

# 宇宙航空研究開発機構研究開発報告

## JAXA Research and Development Report

---

### 低ソニックブーム設計概念実証フェーズ2 (D-SEND#2) 飛行シミュレーションモデル

Report on the Flight Simulation Model of Flight Demonstration of Low Sonic Boom Design Concept Phase II (D-SEND#2)

川口 純一郎, 鈴木 広一, 二宮 哲次郎, 富田 博史

Jun'ichiro Kawaguchi, Hirokazu Suzuki, Tetsujiro Ninomiya and Hiroshi Tomita

2018年1月

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

# 低ソニックブーム設計概念実証フェーズ 2 (D-SEND#2) 飛行シミュレーションモデル

川口純一郎<sup>\*1</sup>, 鈴木広一<sup>\*2</sup>, 二宮哲次郎<sup>\*1</sup>, 富田博史<sup>\*1</sup>

## Report on the Flight Simulation Model of Flight Demonstration of Low Sonic Boom Design Concept Phase II (D-SEND#2)

Jun'ichiro Kawaguchi<sup>\*1</sup>, Hirokazu Suzuki<sup>\*2</sup>, Tetsujiro Ninomiya<sup>\*1</sup> and  
Hiroshi Tomita<sup>\*1</sup>

### ABSTRACT

This report provides a comprehensive set of information on the mathematical models necessary to develop a six-degree-of-freedom nonlinear flight simulation code for the design and evaluation of the guidance and control law for D-SEND#2. This paper also elaborates the sonic boom propagation model to evaluate sonic boom measurement condition at the target boom measurement system and provides a list of modeling error data and evaluation criteria for robustness analysis of the guidance and control law using Monte Carlo simulation (MCS).

**Keywords:** Supersonic Flight, Flight Simulation, Guidance and Control

### 概要

本稿では低ソニックブーム設計概念実証フェーズ 2 (D-SEND#2) の誘導制御則の設計ならびに評価に用いるための 6 自由度非線形飛行シミュレーション環境の構築に必要となる各種数学モデルをまとめる。また目標としたブーム計測システムにおけるブーム計測条件の評価に用いるためのブーム伝播解析とモンテカルロシミュレーション (MCS) による誘導制御則のロバスト性解析で使用する各種誤差モデルと評価基準についても詳述する。

---

doi: 10.20637/JAXA-RR-17-006/0001

<sup>\*</sup> 平成 29 年 11 月 20 日受付 (Received November 20, 2017)

<sup>\*1</sup> 航空技術部門 飛行技術研究ユニット  
(Flight Research Unit, Aeronautical Technology Directorate)

<sup>\*2</sup> 研究開発部門 第一研究ユニット  
(Research Unit I, Research and Development Directorate)

## 目次

概要	1
略語・記号	6
1 はじめに	15
2 数学シミュレーションモデル構成	18
2.1 6自由度非線形飛行シミュレーションモデル構成	18
2.2 ブーム伝播解析のながれ	19
3 座標系	20
3.1 各種座標系の定義	20
3.2 座標変換行列	27
4 運動モデル	29
4.1 6自由度非線形運動方程式	29
4.1.1 機体並進運動方程式	29
4.1.2 機体回転運動方程式	29
4.1.3 機体姿勢運動方程式	30
4.1.4 機体位置方程式	30
4.2 飛行シミュレーション区間	31
4.2.1 飛行シミュレーション開始条件	31
4.2.2 飛行シミュレーション終了条件	32
4.3 飛行シミュレーションの時間刻み	33
4.4 特異点近傍における機体姿勢表現	33
4.5 補助変数の定義	34
4.5.1 対地補助変数	34
4.5.2 対気補助変数	34
4.5.3 その他の補助変数	36
5 機体モデル	37
5.1 機体諸元および誤差モデル（第1回落下試験）	37
5.2 機体諸元および誤差モデル（第2回落下試験）	37
6 空力モデル	42
6.1 6分力モデルおよび誤差モデル（第1回落下試験）	42
6.2 6分力モデルおよび誤差モデル（第2回落下試験）	45
6.3 ヒンジモーメント	48
6.4 空力データの適用範囲と補外方法	48
6.5 重心位置における空気力と空力モーメント	51
6.6 運動方程式の積分時における慣性力変形効果の取り扱い	51
6.7 各種空力誤差の相関	52
6.8 傾斜誤差の取り扱いについて	52

<b>7 センサモデル</b> .....	<b>54</b>
7.1 EGI モデル.....	54
7.1.1 EGI 誤差モデル.....	54
7.1.2 EGI 遅れモデル.....	59
7.2 ADS モデル.....	61
7.2.1 ADS 誤差モデル.....	61
7.2.2 ADS 遅れモデル.....	94
7.3 Az センサモデル.....	96
7.3.1 Az センサ誤差モデル.....	96
7.3.2 Az センサ遅れモデル.....	98
<b>8 アクチュエータモデル</b> .....	<b>99</b>
8.1 アクチュエータモデルおよび誤差モデル（基本設計および詳細設計時）.....	100
8.2 アクチュエータモデルおよび誤差モデル（維持設計時）.....	102
8.3 初期舵角および投棄舵角コマンド.....	104
8.4 スタビレータ空力弾性変形モデル.....	105
<b>9 環境モデル</b> .....	<b>107</b>
9.1 地球モデル.....	107
9.2 Esrange 実験場モデル.....	108
9.3 重力加速度モデル.....	110
9.4 大気モデルおよび誤差モデル.....	111
9.5 定常風モデルおよび誤差モデル.....	122
9.5.1 設計風モデル.....	122
9.5.2 放球日風モデル（第2回キャンペーン時）.....	141
9.5.3 放球日風モデル（第3回キャンペーン時）.....	141
9.6 連続突風モデル.....	149
<b>10 ブーム伝播解析</b> .....	<b>152</b>
10.1 ブームコーンによる三次元伝播モデル.....	152
10.2 Blimp ドリフトモデル.....	154
10.3 ブーム計測システムにおけるブーム計測判定方法.....	155
<b>11 モンテカルロシミュレーション評価基準</b> .....	<b>157</b>
11.1 D-SEND#2 誘導制御則に対するミッション要求.....	157
11.2 ミッション成否判定.....	161
11.3 ミッション成功率の信頼区間.....	162
<b>12 結論</b> .....	<b>163</b>
<b>謝辞</b> .....	<b>163</b>
<b>A. Appendix</b> .....	<b>164</b>
A.1 乱数生成について.....	164
A.1.1 一様乱数の生成.....	164

A.1.2	正規乱数の生成	164
A.1.3	相関を持つ乱数の生成	164
	<b>参考文献</b>	<b>165</b>

## 略語・記号

本稿で用いる記号と略語の定義を次に示す。ただし特段の注記がない限り、左上付き文字は座標系（3章で定義）、右上付き文字は位置を表す。単位はSI単位系を用いる。

略語	名称
ABBA	Airborne Blimp Boom Acquisition
ADS	Air Data System
BMS	Boom Measurement System
D-SEND	<u>D</u> rop test for <u>S</u> implified <u>E</u> valuation of <u>N</u> on-symmetrically <u>D</u> istributed sonic boom
EGI	Embedded GPS/INS
FLCC	Flight Control Computer
HSFD-II	High Speed Flight Demonstration Phase II
ICAO	International Civil Aviation Organization
IMU	Inertial Measurement Unit
LBM	Low Boom Model
MAC	Mean Aerodynamic Chord
MCS	Monte Carlo Simulation
NWM	N-Wave Model
NEXST-1	National Experimental airplane for Supersonic Transport
OFP	Operational Flight Program
S3CM	Silent Supersonic Concept Model
SSC	Swedish Space Corporation
TAT	Total Air Temperature

記号	定義	単位
$ADS$	ADS 圧力センサ位置を示す代表記号	(-)
$A_{nav}$	重力以外の外力による加速度ベクトルの航法出力値	(m/s <sup>2</sup> )
$A_x, A_y, A_z$	重力以外の外力による加速度の各軸方向成分	(m/s <sup>2</sup> )
$A_{xm}, A_{ym}, A_{zm}$	重力以外の外力による加速度の各軸方向成分の計測値	(m/s <sup>2</sup> )
$A_{xnav}, A_{ynav}, A_{znav}$	重力以外の外力による加速度の各軸方向成分の航法出力値	(m/s <sup>2</sup> )
$A_z$	$A_z$ センサ位置を示す代表記号	(-)
$b$	気温低減率	(K/m)

$b_w$	機体主翼幅	(m)
$c$	音速	(m/s)
$c_r$	ラダー平均空力翼弦長	(m)
$c_s$	スタビレータ平均空力翼弦長	(m)
$c_w$	主翼平均空力翼弦長	(m)
$C_A$	基準機体軸系における軸力係数	(-)
$C_D$	基準安定軸系における抗力係数	(-)
$C_{Dp}$	圧力抗力係数	(-)
$CG$	機体重心位置を示す代表記号	(-)
$C_{hr}$	ラダーヒンジモーメント基本特性	(-)
$C_{hrud}$	ラダーヒンジモーメント係数	(-)
$C_{hs}$	スタビレータヒンジモーメント基本特性 (右舷)	(-)
$C_{hstbl}, C_{hstbr}$	左右スタビレータヒンジモーメント係数	(-)
$C_l$	基準機体軸系におけるローリングモーメント係数	(-)
$C_{lp}, C_{lr}$	動安定微係数 (ロールダンピング)	(-)
$C_L$	基準安定軸系における揚力係数	(-)
$C_m$	基準機体軸系におけるピッチングモーメント係数	(-)
$C_{mq}$	動安定微係数 (ピッチダンピング)	(-)
$C_n$	基準機体軸系におけるヨーイングモーメント係数	(-)
$C_{np}, C_{nr}$	動安定微係数 (ヨーダンピング)	(-)
$C_N$	基準機体軸系における垂直力係数	(-)
$C_{xbasic}$	空力基本特性 ( $x = L, D, Y, l, m, n$ )	(-)
$C_Y$	基準安定軸系における横力係数	(-)
$\Delta C_{Dfric}$	表面摩擦抗力係数	(-)
$\Delta C_{Dmisc}$	雑抵抗係数	(-)
$\Delta C_{lw}$	主翼アライメントのずれによるローリングモーメント係数誤差	(-)
$\Delta C_{xflex}$	空力弾性効果 ( $x = L, D, m$ )	(-)
$\Delta C_{xintl}$	慣性力変形効果 ( $x = L, D, m$ )	(-)
$\Delta C_{xr}$	ラダー舵効き ( $x = L, D, Y, l, m, n$ )	(-)
$\Delta C_{xs}$	エレベータ舵効き ( $x = L, D, Y, l, m, n$ )	(-)
$\Delta C_{xsa}$	エルロン舵効き ( $x = L, D, Y, l, m, n$ )	(-)

$\Delta C_{xt}$	垂直尾翼アライメントのずれによる横・方向系の空力係数および空力モーメント係数誤差 ( $x = Y, l, n$ )	(-)
$\Delta C_{x\alpha}$	縦系空力係数の傾斜誤差 ( $x = L, m$ )	(-)
$\Delta C_{x\beta}$	横・方向系空力係数の傾斜誤差 ( $x = Y, l, n$ )	(-)
$D_i, L_i, V_i$	$i$ 段目配管の内径, 長さおよび体積	(m) (m <sup>3</sup> )
$e$	WGS84 回転楕円体離心率	(-)
$EGI$	EGI 位置を示す代表記号	(-)
$f_0^{EGI}$	EGI アンチエイリアシングフィルタのカットオフ周波数	(Hz)
$F_{ax}, F_{ay}, F_{az}$	空気力ベクトルの各軸方向成分	(N)
$F_x, F_y, F_z$	全外力ベクトルの各軸方向成分	(N)
$g_0$	標準重力加速度	(m/s <sup>2</sup> )
$g_E$	重力加速度	(m/s <sup>2</sup> )
$g_{E0}$	誘導座標系原点における重力加速度	(m/s <sup>2</sup> )
$h$	地表面から機体重心までの高度	(m)
$h_{bar}$	気圧高度	(m)
$h_{barm}$	気圧高度の計測値	(m)
$h_g$	ジオポテンシャル高度	(m)
$h_m$	地表面から機体重心までの高度の計測値	(m)
$h_{mic}$	地表面から BMS マイクまでの高度	(m)
$h_{nav}$	地表面から機体重心までの高度の航法出力値	(m)
$h_s$	地表面から地上局までの高度	(m)
$HM$	ヒンジモーメント	(N·m)
$HM_{stbl}, HM_{stbr}, HM_{rud}$	左右スタビレータ, ラダーヒンジモーメント	(N·m)
$I_{xx0}, I_{yy0}, I_{zz0}$	機体のノミナル慣性モーメント	(kg·m <sup>2</sup> )
$I_{xy0}, I_{yz0}, I_{zx0}$	機体のノミナル慣性乗積	(kg·m <sup>2</sup> )
$l_1, m_1, n_1, l_2, m_2, n_2,$ $l_3, m_3, n_3$	局所水平座標系から機体軸系間の方向余弦	(-)
$l'_1, m'_1, n'_1, l'_2, m'_2, n'_2,$ $l'_3, m'_3, n'_3$	EGI が認識している局所水平座標系から機体軸系間の方向余弦	(-)
$l_{1m}, m_{1m}, n_{1m}, l_{2m}, m_{2m}, n_{2m},$ $l_{3m}, m_{3m}, n_{2m}$	局所水平座標系からセンサ機体軸系間の方向余弦の計測値	(-)
$L, D, Y$	揚力, 抗力, 横力	(N)
$L_{ref}$	機体胴体長	(m)



$L_{stbCG}$	左右スタビレータ重心位置	(m)
$L_{stbHL}$	左右スタビレータヒンジライン位置	(m)
$L_U, L_V, L_W$	連続突風モデルの乱れスケール長	(m)
$m_0$	機体ノミナル質量	(kg)
$m_{stb0}$	左右スタビレータ舵面ノミナル質量 (片翼分)	(kg)
$M$	マッハ数	(-)
$M_{ax}, M_{ay}, M_{az}$	空力モーメントの各軸周り成分	(N·m)
$M_m$	マッハ数の計測値	(-)
$N_{MCS}$	MCS 試行回数	(-)
$N_z$	荷重倍数	(-)
$p$	ミッション成功率	(-)
$\hat{p}$	ミッション成功率の推定値	(-)
$p_0$	配管内初期圧力	(Pa)
$p_1$	配管への印加圧力	(Pa)
$p_m$	測定圧力	(Pa)
$p_s, p_t$	静圧, 総圧	(Pa)
$p_{sm}$	静圧の計測値	(Pa)
$P_A, Q_A, R_A$	対気角速度ベクトルの各軸周り成分	(rad/s)
$P_H, Q_H, R_H$	対局所水平面角速度ベクトルの各軸周り成分	(rad/s)
$P_I, Q_I, R_I$	慣性角速度ベクトルの各軸周り成分	(rad/s)
$PITOT$	ピトー管先端を示す代表記号	(-)
$P_{Im}, Q_{Im}, R_{Im}$	慣性角速度ベクトルの各軸周り成分の計測値	(rad/s)
$P_{Inav}, Q_{Inav}, R_{Inav}$	慣性角速度ベクトルの各軸周り成分の航法出力 値	(rad/s)
$P_L, P_U$	信頼区間の下限および上限	(-)
$\Delta P_G, \Delta Q_G, \Delta R_G$	分離時のゴンドラ角速度の各軸周り成分	(rad/s)
$\bar{q}$	動圧	(Pa)
$\bar{q}_m$	動圧の計測値	(Pa)
$R$	モーメント基準点を表す代表記号	(-)
$R_0$	米国標準大気モデル (1976 年版) の地球半径	(m)
$R_a$	WGS84 回転楕円体長軸半径	(m)
$R_{air}$	空気のガス定数	(J/kg·K)
$R_b$	WGS84 回転楕円体短軸半径	(m)
$R_E$	誘導座標系原点における地心半径	(m)
$R_{M0}$	誘導座標系原点における子午線曲率半径	(m)
$R_{N0}$	誘導座標系原点における卯酉線曲率半径	(m)

$R_p$	地上局から機体重心までの水平距離	(m)
$s$	ラプラス演算子	(-)
$S_r$	ラダー面積	(m <sup>2</sup> )
$S_s$	スタビレータ面積 (片翼分)	(m <sup>2</sup> )
$S_w$	機体主翼面積	(m <sup>2</sup> )
$t$	飛行シミュレーション開始からの時刻	(s)
$t_f$	投棄舵角コマンド出力時刻	(s)
$T$	飛行シミュレーション時間間隔	(s)
$T_{100}^{ADS}$	ADS 航法処理周期 (100Hz データ)	
$T_{50}^{EGI}, T_{200}^{EGI}$	EGI 航法処理周期 (50Hz, 200Hz データ)	
$T_{avg}$	ADS 平均化処理ポイント数に相当する時間	(s)
$T^{stb}, T^{rud}$	スタビレータおよびラダーのアクチュエーター 次モデルの時定数	(s)
$T_s, T_t$	静温度, 全温度	(K)
$T_{sm}, T_{tm}$	静温度, 全温度の計測値	(K)
$T_{B/C}$	CATIA 座標系から機体軸系への座標変換行列	(-)
$T_{B/H}$	局所水平座標系から機体軸系への座標変換行列	(-)
$T_{C/A}$	空力座標系から CATIA 座標系への座標変換行列	(-)
$T_{H/BAL}$	気球座標系から局所水平座標系への変換行列	(-)
$T_{H/E}$	地球固定座標系から局所水平座標系への変換行列	(-)
$T_{RB/RS}$	基準安定軸系から基準機体軸系への変換行列	(-)
$T_{SB/B}$	機体軸系からセンサ機体軸系への変換行列	(-)
$T_{TA/H}$	局所水平座標系から対気方位角座標系への変換行列	(-)
$T_{V/TA}$	対気方位角座標系から対気速度座標系への変換行列	(-)
$u_i^{Az}, y_i^{Az}$	FLCC 入力ポートのアンチエイリアシングフィルタの入力および出力	(m/s <sup>2</sup> )
$u_i^{EGI}, y_i^{EGI}$	EGI アンチエイリアシングフィルタへの入力および出力	(m/s <sup>2</sup> ) (rad/s)
$U(s), Y(s)$	s領域における入力および出力	(-)
$U(z), Y(z)$	z領域における入力および出力	(-)
$U_{6.1}$	高度 6.1 m における風速	(m/s)
$U_A, V_A, W_A$	対気速度ベクトルの各軸方向成分	(m/s)

$U_g, V_g, W_g$	連続突風ベクトルの各軸方向成分	(m/s)
$U_I, V_I, W_I$	慣性速度ベクトルの各軸方向成分	(m/s)
$U_{Im}, V_{Im}, W_{Im}$	慣性速度ベクトルの各軸方向成分の計測値	(m/s)
$U_{Inav}, V_{Inav}, W_{Inav}$	慣性速度ベクトルの各軸方向成分の航法出力値	(m/s)
$U_r, V_r, W_r$	機体の剛体回転によって誘起される慣性速度ベクトルの各軸方向成分	(m/s)
$U_s, V_s, W_s$	定常風ベクトルの各軸方向成分	(m/s)
$\Delta U_B, \Delta V_B, \Delta W_B$	気球並進速度と周囲の定常風速度との偏差の各軸方向成分	(m/s)
$V_{EAS}$	等価対気速度	(m/s)
$V_{EASm}$	等価対気速度の計測値	(m/s)
$V_G$	対地速度	(m/s)
$V_{TAS}$	真対気速度	(m/s)
$V_{TASm}$	真対気速度の計測値	(m/s)
$x_{stbl}, x_{stbr}, x_{rud}$	左右スタビレータおよびラダー動特性モデル状態量	(rad)
$\dot{x}_{stbl}, \dot{x}_{stbr}, \dot{x}_{rud}$		(rad/s)
$x_{stblo}, x_{stbro}, x_{rud0}$	左右スタビレータおよびラダー舵角初期アライメントのずれ	(rad)
$X_{ADS0}, Y_{ADS0}, Z_{ADS0}$	ピトー管先端ノミナル位置	(m)
$X_{Az0}, Y_{Az0}, Z_{Az0}$	$A_z$ センサノミナル搭載位置	(m)
$X_{CG0}, Y_{CG0}, Z_{CG0}$	機体重心ノミナル位置	(m)
$X_{EGI0}, Y_{EGI0}, Z_{EGI0}$	EGI ノミナル搭載位置	(m)
$X_{HG0}, Y_{HG0}, Z_{HG0}$	機体懸吊ノミナル位置	(m)
$X_m, Y_m, Z_m$	位置ベクトルの各軸方向成分の計測値	
$X_{ref}, Y_{ref}, Z_{ref}$	モーメント基準点	
$Z_{\alpha/2}$	上側, 下側それぞれの累積確率が $\alpha/2$ となるときのパーセント点	(-)
$\alpha$	迎角	(rad)
$\alpha_0$	縦系空力係数傾斜誤差分布の基準迎角	(rad)
$\alpha_m$	迎角の計測値	(rad)
$\beta$	横滑り角	(rad)
$\beta_m$	横滑り角の計測値	(rad)
$\gamma_a$	対気経路角	(rad)
$\gamma_{air}$	空気の比熱比	(-)
$\gamma_e$	対地経路角	(rad)
$\Delta X$	$X$ の差分量, ノミナル値 $X$ からの誤差	(-)

$\Delta_{BS}^{ADS} X, \Delta_{RN}^{ADS} X$	ADS 計測値 $X$ のバイアス誤差およびランダム誤差	(-)
$\Delta_{BS}^{A_z} X, \Delta_{RN}^{A_z} X$	$A_z$ センサ計測値 $X$ のバイアス誤差およびランダム誤差	(-)
$\Delta_{BS}^{EGI} X, \Delta_{RN}^{EGI} X$	EGI 計測値 $X$ のバイアス誤差およびランダム誤差	(-)
$\Delta_{BS}^{TAT} X, \Delta_{RN}^{TAT} X$	TAT センサ計測値 $X$ のバイアス誤差およびランダム誤差	(-)
$\Delta_{Re}^{ADS} X$	ADS 計測値 $X$ のレイノルズ数効果	(-)
$\Delta_{WT}^{ADS} X$	ADS 計測値 $X$ の風洞計測誤差	(-)
$\delta_a, \delta_e, \delta_r$	エルロン, エレベータ, ラダー舵角 (空力弾性変形なし)	(rad)
$\delta'_a, \delta'_e$	エルロン, エレベータ実効舵角	(rad)
$\delta_{lim}^{stb}, \delta_{lim}^{rud}$	スタビレータおよびラダー舵角リミット値	(rad)
$\dot{\delta}_{lim}^{stb}, \dot{\delta}_{lim}^{rud}$	スタビレータおよびラダー舵角レートリミット値	(rad/s)
$\delta_{stbl}, \delta_{stbr}$	左右スタビレータ舵角 (空力弾性変形なし)	(rad)
$\delta'_{stbl}, \delta'_{stbr}$	左右スタビレータ実効舵角	(rad)
$\delta_{stblc}, \delta_{stbrc}, \delta_{rc}$	誘導制御則から出力される左右スタビレータ舵角コマンドおよびラダー舵角コマンド	(rad)
$\epsilon$	アクチュエータ誤差パラメータ	(-)
$\zeta^{EGI}$	EGI アンチエイリアシングフィルタの減衰率	(-)
$\zeta^{stb}, \zeta^{rud}$	スタビレータおよびラダーのアクチュエータ二次モデルの減衰率	(-)
$\eta$	経度	(rad)
$\eta_0$	誘導座標系原点経度	(rad)
$\eta_m$	経度の計測値	(rad)
$\eta_{nav}$	経度の航法出力値	(rad)
$\theta_0$	懸吊時機体ピッチ角	(rad)
$\theta_{ELV}$	地上局からの仰角	(rad)
$\theta_F$	垂直尾翼ピッチ角	(rad)
$\theta_t$	垂直尾翼アライメントのずれ	(rad)
$\theta_w$	主翼アライメントのずれ	(rad)
$\lambda$	地理緯度	(rad)
$\lambda_0$	誘導座標系原点地理緯度	(rad)
$\lambda_c$	地心緯度	(rad)

$\lambda_{c0}$	誘導座標系原点地心緯度	(rad)
$\lambda_{cm}$	地心緯度の計測値	(rad)
$\lambda_{cnav}$	地心緯度の航法出力値	(rad)
$\lambda_m$	地理緯度の計測値	(rad)
$\mu$	マッハ角	(rad)
$\mu_{air}$	空気の粘性係数	(Pa·s)
$\rho$	大気密度	(kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_0$	海面上大気密度	(kg/m <sup>3</sup> )
$\sigma$	バンク角	(rad)
$\sigma_0$	縦系空力係数の傾斜誤差分布の標準偏差	(rad)
$\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W$	連続突風の乱れの強さの各軸方向成分	(m/s)
$\tau^{ACT/FLCC}$	FLCC-アクチュエータ間遅れ	(s)
$\tau_{100}^{FLCC/ADS}$	ADS-FLCC 間通信遅れ (100Hz データ)	(s)
$\tau_{50}^{EGI}, \tau_{200}^{EGI}$	EGI 本体遅れ (50Hz データ, 200Hz データ)	(s)
$\tau_{50}^{FLCC/EGI}, \tau_{200}^{FLCC/EGI}$	EGI-FLCC 間通信遅れ (50Hz データ, 200Hz データ)	(s)
$\tau^{Az}$	FLCC 入力ポートのアンチエイリアシングフィルタの時定数	(s)
$\tau_{CPU}^{ADS}$	ADS の CPU 計算遅れ	(s)
$\tau_p^{ADS}$	圧力センサ検出遅れ	(s)
$\tau^{stb}$	スタビレータ遅れ時間	(s)
$\phi, \theta, \psi$	局所水平座標系から機体軸系へのオイラー角	(rad)
$\phi_{ADS0}, \theta_{ADS0}, \psi_{ADS0}$	機体軸系に対するピトー管のノミナル取り付け角	(rad)
$\phi_{ADSintl0}, \theta_{ADSintl0}, \psi_{ADSintl0}$	機体構造の慣性変形に伴う機体軸系に対するピトー管の取り付け角変化のノミナル値	(rad)
$\phi_{Az0}, \theta_{Az0}, \psi_{Az0}$	機体軸系に対する $A_z$ センサのノミナル取り付け角	(rad)
$\phi_{Azintl0}, \theta_{Azintl0}, \psi_{Azintl0}$	機体構造の慣性変形に伴う機体軸系に対する $A_z$ センサの取り付け角変化のノミナル値	(rad)
$\phi_{EGl0}, \theta_{EGl0}, \psi_{EGl0}$	機体軸系に対する EGI のノミナル取り付け角	(rad)
$\phi_{EGlintl0}, \theta_{EGlintl0}, \psi_{EGlintl0}$	機体構造の慣性変形に伴う機体軸系に対する EGI の取り付け角変化のノミナル値	(rad)
$\phi_m, \theta_m, \psi_m$	局所水平座標系から機体軸系へのオイラー角の計測値	(rad)

$\phi_{nav}, \theta_{nav}, \psi_{nav}$	局所水平座標系から機体軸系へのオイラー角の航法出力値	(rad)
$\Delta\phi_B, \Delta\theta_B, \Delta\psi_B$	分離時の気球揺動による姿勢変化	(rad)
$\Delta\phi_{HG}, \Delta\theta_{HG}, \Delta\psi_{HG}$	分離時のノミナル機体懸吊位置のずれ, および機体重心のずれによる姿勢誤差	(rad)
$\Delta\phi_S, \Delta\theta_S, \Delta\psi_S$	機体軸系に対するセンサ取り付け角	(rad)
$\Phi_{U_g}(\omega), \Phi_{V_g}(\omega), \Phi_{W_g}(\omega)$	連続突風のパワースペクトル密度の各軸方向成分	((m/s) <sup>2</sup> /Hz)
$\psi_a$	対気方位角	(rad)
$\psi_e$	対地方位角	(rad)
$\psi_F$	垂直尾翼方位角	(rad)
$\omega_n^{stb}, \omega_n^{rud}$	スタビレータおよびラダーのアクチュエータ二次モデルの振動数	(Hz)
$\Omega_{nav}$	慣性角速度ベクトルの航法出力値	(rad/s)

## 1 はじめに

国際民間航空機関 (ICAO) が計画している陸上超音速飛行に向けたソニックブーム強度基準策定への貢献を目的として、JAXA は 2010 年度に低ソニックブーム設計概念実証 (D-SEND) プロジェクトを立ち上げ、これまで独自に研究を進めてきた多分野融合最適設計法 [1]を用いた低ブーム設計技術の飛行実証を行うことになった。D-SEND プロジェクトは図 1 に示す通り、2つのフェーズの落下試験で構成される。フェーズ 1 (D-SEND#1) では軸対称形状を有する 2つの機体 (LBM,NWM) を成層圏気球から鉛直に落下させることで発生するソニックブームの音響データをブーム計測システム (BMS) により取得することで、空中ブーム計測技術の確立と低ブーム波形の計測可能性を確認することが目的である。D-SEND#1 はスウェーデンのエスレンジ実験場にて 2011 年 5 月 7 日に第 1 回落下試験、5 月 16 日に第 2 回落下試験を実施した。フェーズ 2 (D-SEND#2) では D-SEND#1 で確立したブーム計測技術を利用し、図 2 に示す非軸対称形状の機体 (S3CM) が疑似的な定常飛行状態で発生するソニックブームの音響データを取得することで、JAXA の低ブーム設計技術を飛行実証することが目的である。落下試験は D-SEND#1 と同じくスウェーデンのエスレンジ実験場にて 2013 年夏に 2 度実施される予定となっていたが、2013 年 8 月 16 日に行われた第 1 回落下試験では機体は正常に分離されたものの、BMS 手前で想定飛行経路から外れて所望のソニックブーム計測ができなかった。2013 年夏の第 1 回キャンペーンで実施した第 1 回落下試験の失敗原因究明を行い、追加の風洞試験と CFD 解析による空力データの精度向上や誘導制御則の安定性向上などの対策を実施した上で 2014 年度に第 2 回キャンペーンに臨んだ。2014 年 8 月 23 日および 26 日に実施を目指して第 2 回落下試験が開始されたが、両日とも試験準備中の気象条件悪化のため中止となった。天候リスクの低減に向けた運用方法等の追加検討を行い、2015 年度に第 3 回キャンペーンに臨んだ結果、2015 年 7 月 24 日に第 2 回落下試験は無事に成功した。

D-SEND#2 では成層圏気球から分離された機体を搭載計算機により BMS まで自律誘導させた上で、一定のマッハ数と一定の揚力係数を保持した状態を実現せねばならず、精密な誘導と姿勢制御が必須である。図 3 に D-SEND#の誘導制御フェーズを示す。誘導制御則設計は JAXA が担当しているため、その設計評価にあたり機体運動を高精度に模擬できる 6 自由度非線形飛行シミュレーションモデルを開発する必要があった。さらに D-SEND#2 のミッション成否はソニックブームが BMS に到達したかどうか、またそのブームが所望の条件を満たしているかどうかで決定されるため、ソニックブームの伝播を模擬するためのブーム伝播解析用のモデルの開発も必要となった。本稿では誘導制御則を除く D-SEND#2 の 6 自由度非線形飛行シミュレーションモデルとブーム伝播解析に関する情報、ならびにモンテカルロシミュレーション (MCS) による誘導制御則のロバスト性解析で使用する各種誤差モデルと評価基準をまとめる。

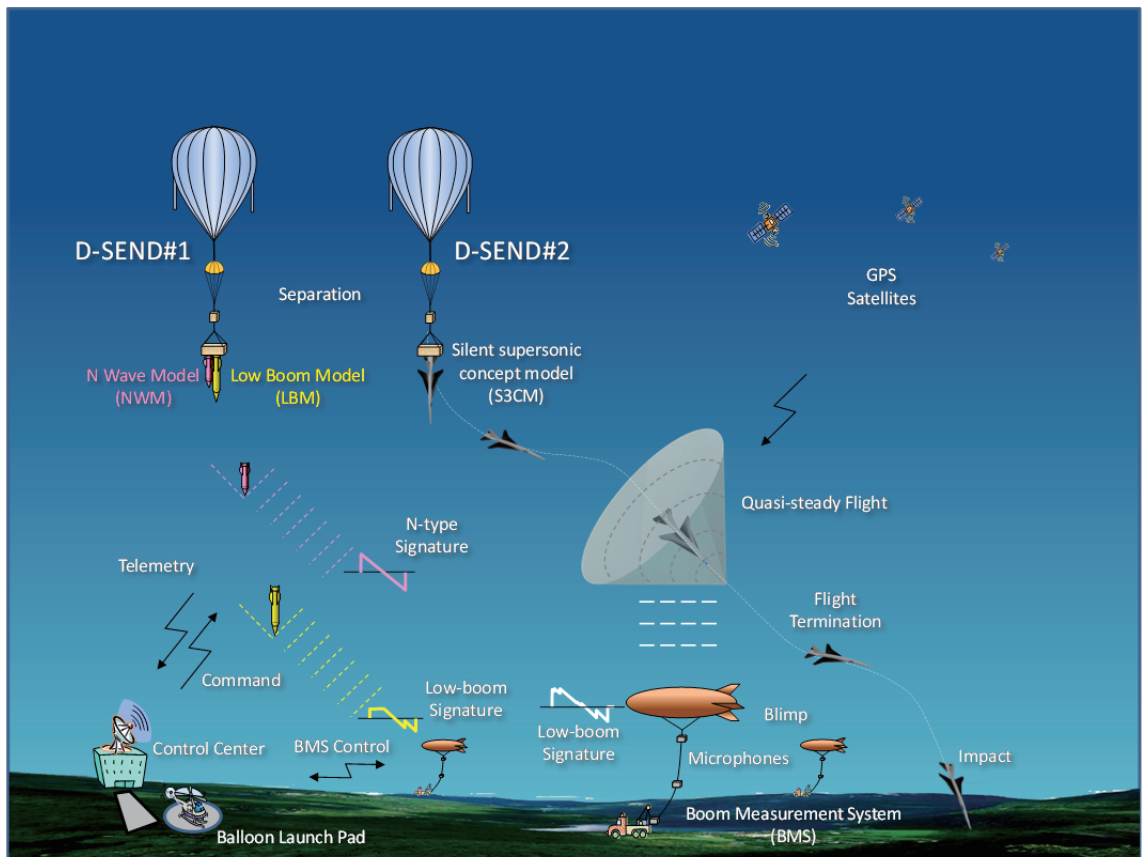


図 1 D-SEND プロジェクトの飛行実証概要

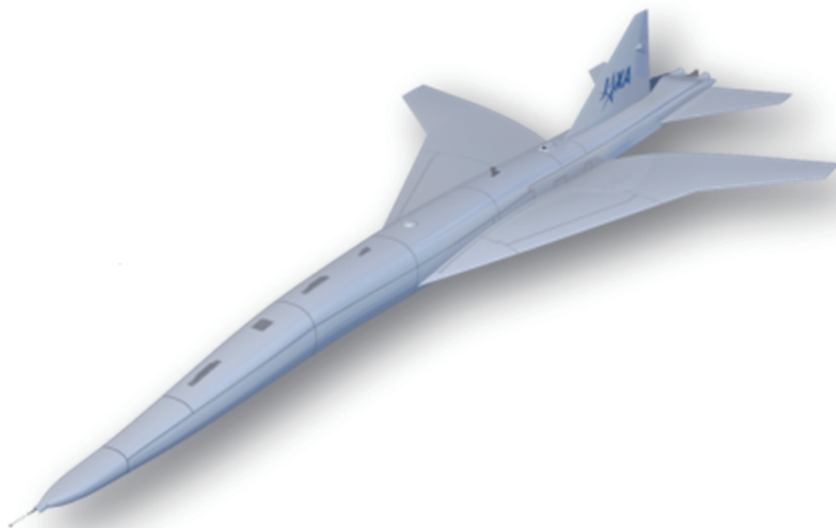


図 2 D-SEND#2 で用いる試験機 (S3CM)



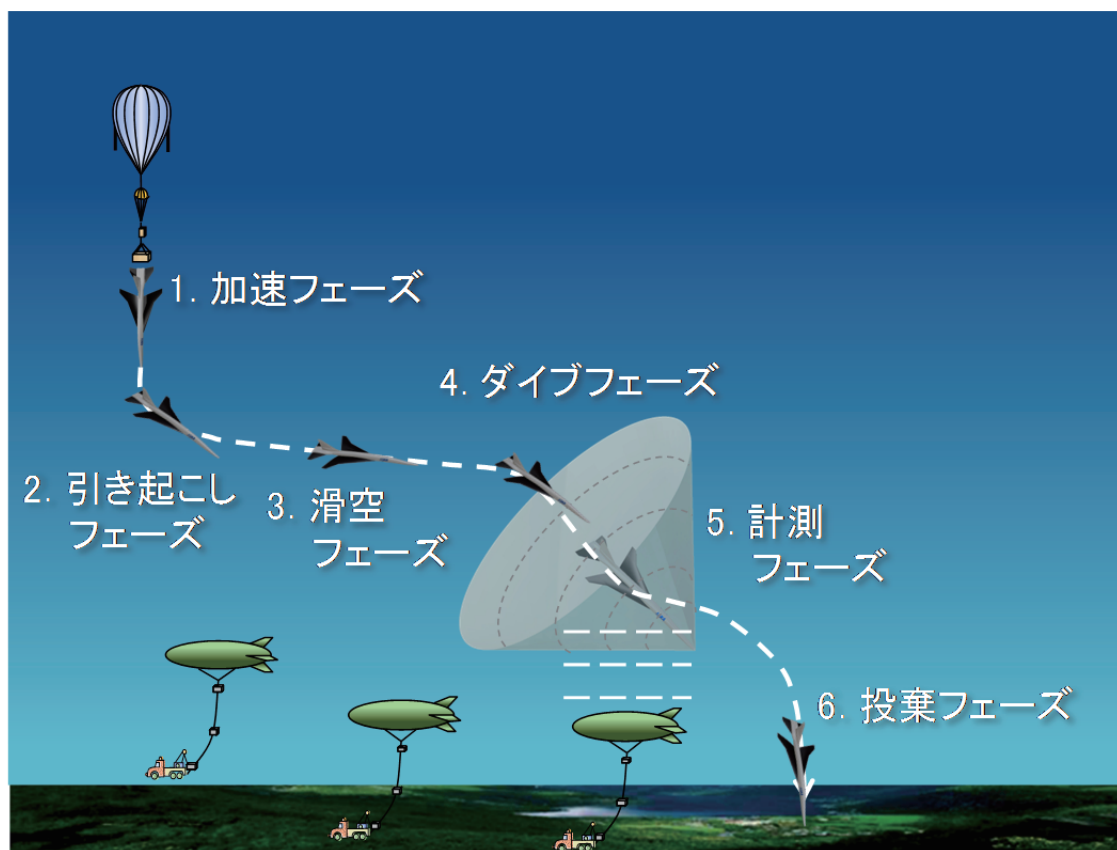


図 3 D-SEND#2 の誘導制御フェーズ

## 2 数学シミュレーションモデル構成

本章では、D-SEND#2 誘導制御則設計評価に用いるための6自由度非線形飛行シミュレーションモデルの構成と、飛行シミュレーション終了後に所望のブームがBMSで計測できたかどうかの判定に用いるブーム伝播解析のながれについて説明する。

### 2.1 6自由度非線形飛行シミュレーションモデル構成

図4は6自由度非線形飛行シミュレーションモデルのブロック図であり、本稿で対象とする部分を灰色で示している。各ブロックの詳細については次章以降で説明するものとし、図5に実際の機器配置を示す。誘導制御則を除く全てのモデルはその平均的な特性を表すノミナルモデルと、平均からのずれを表す誤差モデルから構成される。

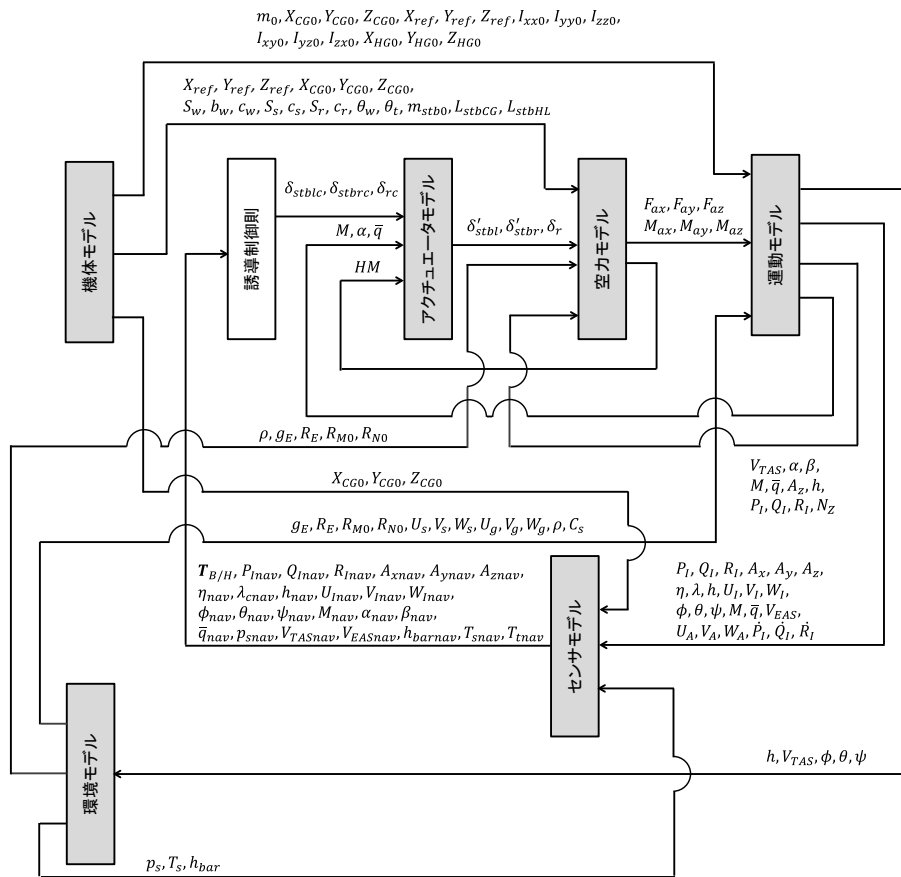


図4 6自由度非線形飛行シミュレーションモデルのブロック図

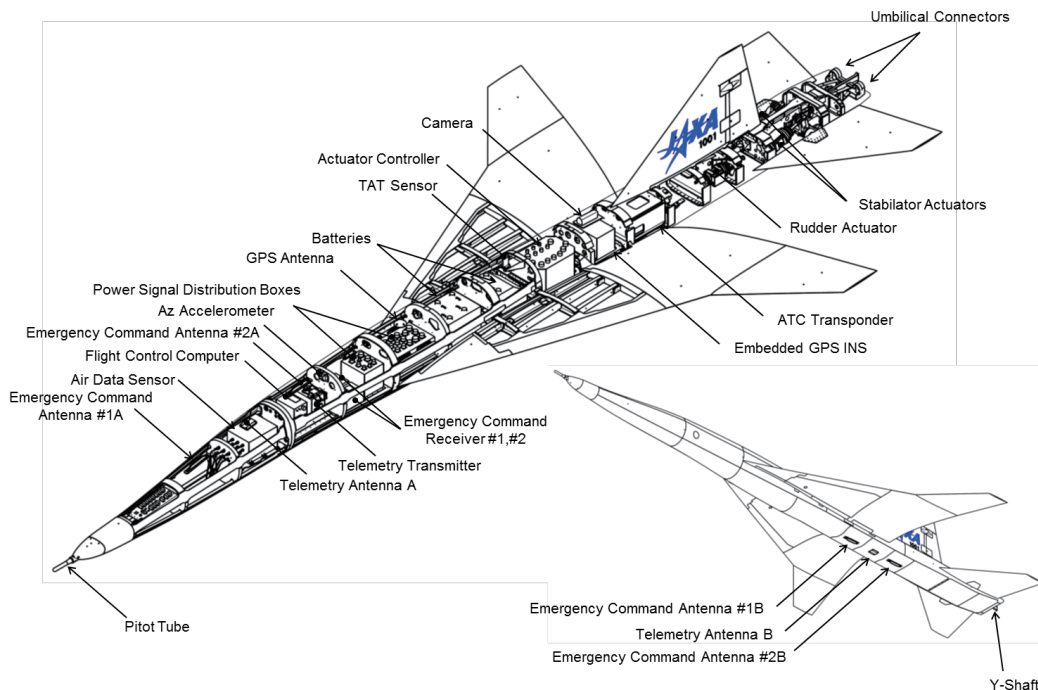


図 5 S3CM 機器配置図

## 2.2 ブーム伝播解析のながれ

D-SEND#2 のミッション成否は所望の飛行状態で発生したブームが BMS で計測されたかどうかで決定されるが、これは 2.1 節の 6 自由度非線形飛行シミュレーションモデルでは判定できないため、別途ブーム伝播解析用のモデルが必要となる。図 6 にブーム伝播解析のながれを示す。まず 2.1 節の 6 自由度飛行シミュレーションの出力データから 11.1 節のブーム計測要求を満足する飛行をしていた区間を抽出し、その各瞬間において発生したブームに対してブーム伝播解析を行って BMS との位置関係を計算することにより、所望のブームが計測できたかどうかを判定する。ブーム伝播解析と BMS 計測判定の詳細については 10.1 節および 10.3 節を参照されたい。

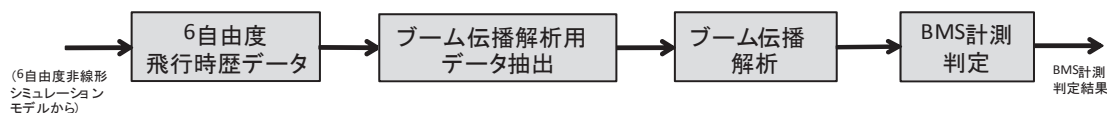


図 6 ブーム伝播解析のながれ

### 3 座標系

ここでは本稿で使用する各種座標系と座標変換行列の定義を行う。

#### 3.1 各種座標系の定義

本稿で使用する座標系は以下に定義する 16 種類である。ただし特記なき場合は右手直交系をなすものとする。

① 地球固定座標系 ( $O_E - X_E Y_E Z_E$ 系)

地球中心を原点とし、 $X_E$ 軸をグリニッジ子午線と赤道との交点(緯度 $0^\circ$ 、経度 $0^\circ$ )方向、 $Z_E$ 軸を北極の方向にとる座標系。本稿では地球の公転および自転を無視することで、この座標系を慣性空間に固定された慣性座標系として取り扱う。機体位置方程式や重力加速度モデルの定義に用いられる。

② 誘導座標系 ( $O_G - X_G Y_G Z_G$ 系)

WGS84 回転楕円体上の東経  $21.0^\circ$ 、北緯  $68.25^\circ$  の位置を原点とし、 $X_G$ 軸を原点における子午線曲率中心から半径  $R_{M0}$  の球面上北極向き、 $Y_G$ 軸を緯線上東向き、 $Z_G$ 軸を子午線曲率中心方向にとる曲線座標系。ただし  $R_{M0}$  は原点における子午線曲率半径である。実験場内の位置関係の計算に用いられる。

③ 局所水平座標系 ( $CG - X_H Y_H Z_H$ 系)

機体重心 ( $CG$ ) を原点とし、 $X_H$ 軸を機体重心を含む子午面上北極向き、 $Z_H$ 軸を鉛直下向きにとる座標系。機体軸系と併せてオイラー角による機体姿勢の定義に用いられる。

④ 機体軸系 ( $CG - X_B Y_B Z_B$ 系)

機体重心を原点とし、 $X_B$ 軸を機体対称面内機首先端方向、 $Z_B$ 軸を機体対称面内下方向にとる座標系。主に機体の並進運動と回転運動の記述に用いられる。

⑤ 基準機体軸系 ( $R - X_{RB} Y_{RB} Z_{RB}$ 系)

主翼 25%MAC 位置にあるモーメント基準点 ( $R$ ) を原点とし、 $X_{RB}$ 軸を機体対称面内機体先端方向、 $Z_{RB}$ 軸を機体対称面内下方向にとる座標系。横力係数  $C_Y$ 、ならびに空力モーメント係数  $C_l, C_m, C_n$  の定義に用いられる。機体軸系と平行移動の関係にある。

⑥ センサ機体軸系 ( $CG - X_{SB} Y_{SB} Z_{SB}$ 系)

機体軸系を  $Z_B$  軸周りに  $\Delta\psi_S$  だけ回転させた座標系を  $CG - X_{B1} Y_{B1} Z_{B1}$  系、 $Y_{B1}$  軸周りに  $\Delta\theta_S$  だけ回転させた座標系を  $CG - X_{B2} Y_{B2} Z_{B2}$  系としたとき、 $CG - X_{SB} Y_{SB} Z_{SB}$  系は  $X_{B2}$  軸周りに  $\Delta\phi_S$  だけ回転させた座標系として定義される。ただし  $\Delta\phi_S, \Delta\theta_S, \Delta\psi_S$  は機体軸系各軸周りのセンサ取り付け角である。センサ計測値の計算に用いられる。

⑦ 安定軸系 ( $CG - X_S Y_S Z_S$ 系)

機体軸系の  $Y_B$  軸周りに  $-\alpha^{CG}$  だけ回転させて得られる座標系。ただし  $\alpha^{CG}$  は機体重心における迎角である。

⑧ 基準安定軸系 ( $R - X_{RS} Y_{RS} Z_{RS}$ 系)

基準機体軸系の $Y_{RB}$ 軸周りに $-\alpha^R$ だけ回転させて得られる座標系。ただし $\alpha^R$ はモーメント基準点における迎角である。機体の剛体回転運動がない場合は、安定軸系と平行移動の関係にある。揚力係数 $C_L$ および抗力係数 $C_D$ の定義に用いられる。

⑨ 風軸系 ( $CG - X_W Y_W Z_W$ 系)

機体重心を原点とし、 $X_W$ 軸を機体重心対気速度ベクトルの方向、 $Z_W$ 軸を機体対称面内下方向にとる座標系。ブーム伝播解析で用いられる。安定軸系の $Z_S$ 軸周りに $\beta^{CG}$ だけ回転させた座標系と一致する。ただし $\beta^{CG}$ は機体重心における横滑り角である。またこの座標系を $X_W$ 軸周りに $-\sigma$ だけ回転させると対気速度座標系に一致する。ただし $\sigma$ は対気速度ベクトル周りの機体ロール角（バンク角）である。

⑩ 基準風軸系 ( $R - X_{RW} Y_{RW} Z_{RW}$ 系)

モーメント基準点を原点とし、 $X_{RW}$ 軸をモーメント基準点における対気速度ベクトルの方向、 $Z_{RW}$ 軸を機体対称面内下方向きにとる座標系。空力データテーブルのパラメータとして使用する各種対気補助変数の定義に用いられる。機体の剛体回転運動がない場合は、風軸系と機体対称面内で平行移動の関係にある。

⑪ CATIA 座標系 ( $O_C - X_C Y_C Z_C$ 系)

機体対称面内で機体先端から前方 1 m、下方 2 m を原点とし、 $X_C$ 軸を機体対称面内後端方向、 $Z_C$ 軸を機体対称面内上方向きにとる座標系。主に機体構造や装備品配置の定義に用いられる。

⑫ 気球座標系 ( $CG - X_{BAL} Y_{BAL} Z_{BAL}$ 系)

機体重心を原点とし、 $X_{BAL}$ 軸を鉛直下向き、 $Z_{BAL}$ 軸を垂直尾翼の方位角 $\psi_F$ の方向にとる座標系。機体を懸吊している気球の剛体回転を定義するために用いられる。

⑬ 空力座標系 ( $O_A - X_A Y_A Z_A$ 系)

機体対称面内で機体先端を原点とし、 $X_A$ 軸を機体対称面内後端方向、 $Z_A$ 軸を機体対称面内上方向きにとる座標系。モーメント基準点などの空力データ処理基準量を定義するために用いられる。

⑭ 対気方位角座標系 ( $CG - X_{TA} Y_{TA} Z_{TA}$ 系)

機体重心を原点とし、 $X_{TA}$ 軸を局所水平面内における対気速度ベクトルの方位角の向き、 $Z_{TA}$ 軸を鉛直下向きにとる座標系。ブーム伝播解析で用いられる。

⑮ 対気速度座標系 ( $CG - X_V Y_V Z_V$ 系)

対気方位角座標系の $Y_{TA}$ 軸周りに対気経路角 $\gamma_a$ だけ回転させて得られる座標系。ブーム伝播解析で用いられる。

⑯ ブーム計測座標系 ( $O_M - X_M Y_M Z_M$ 系)

機体重心から局所水平座標系 $Z_H$ 軸の正方向に $h - h_{mic}$ だけ下方に移動した点を原点とし、 $X_M$ 軸を局所水平面内における対気速度ベクトルの方位角の向き、 $Z_M$ 軸を鉛直下向きにとる座標系。ブーム伝播解析で用いられる。対気方位角座標系と平行移動の関係にある。

地球固定座標系，誘導座標系，局所水平座標系の関係は図 7，機体軸系，安定軸系，風軸系，対気速度座標系の関係は図 8，基準機体軸系，基準安定軸系，基準風軸系の関係は図 9，機体軸系，基準機体軸系，CATIA 座標系，空力座標系の関係は，図 10，局所水平座標系，対気方位角座標系，対気速度座標系，ブーム計測座標系の関係は図 11 と図 12 に示す通りである．表 1 に座標系を示す記号と座標系の関係をまとめる．

表 1 座標系を示す記号と座標系の関係

記号	座標系	記号	座標系
<i>E</i>	地球固定座標系	<i>W</i>	風軸系
<i>G</i>	誘導座標系	<i>RW</i>	基準風軸系
<i>H</i>	局所水平座標系	<i>C</i>	CATIA 座標系
<i>B</i>	機体軸系	<i>BAL</i>	気球座標系
<i>RB</i>	基準機体軸系	<i>A</i>	空力座標系
<i>SB</i>	センサ機体軸系	<i>TA</i>	対気方位角座標系
<i>S</i>	安定軸系	<i>V</i>	対気速度座標系
<i>RS</i>	基準安定軸系	<i>M</i>	ブーム計測座標系

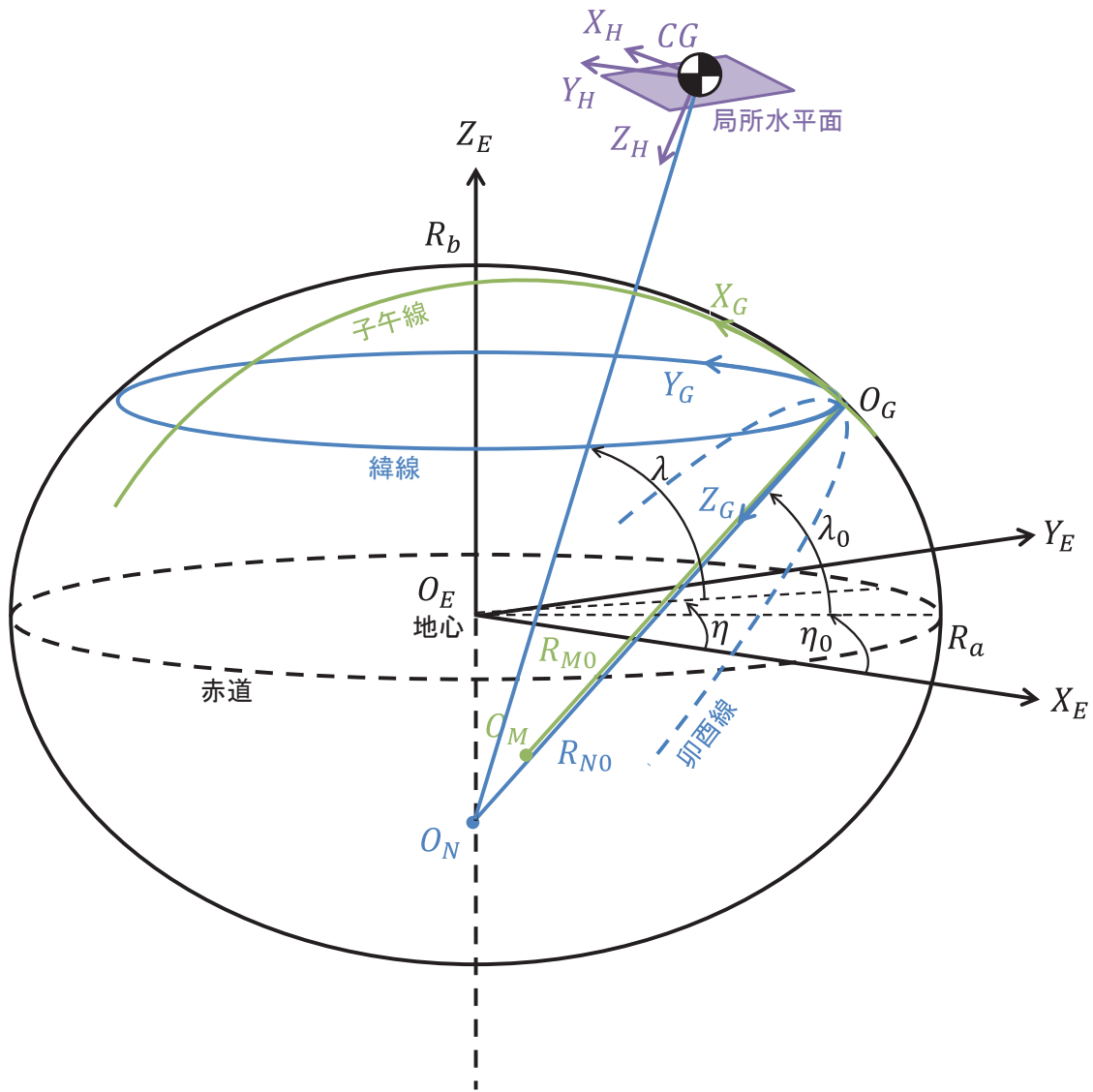


図 7 地球固定座標系，誘導座標系，局所水平座標系の関係

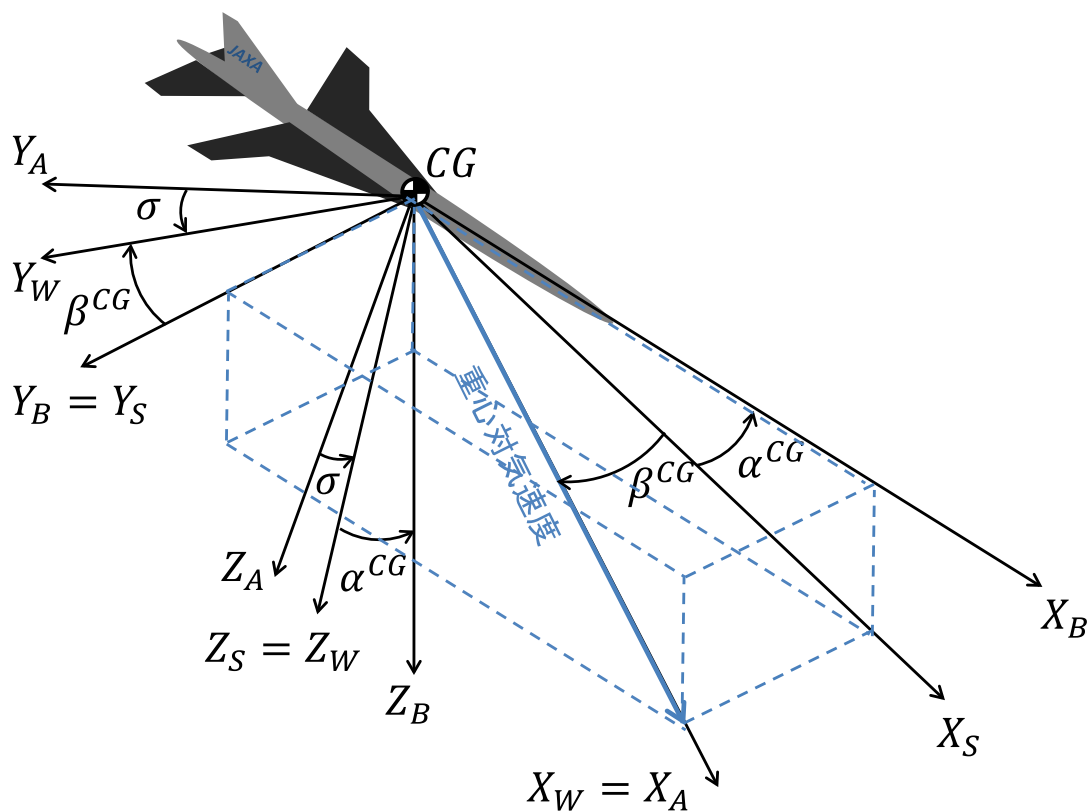


図 8 機体軸系，安定軸系，風軸系，対気速度座標系の関係

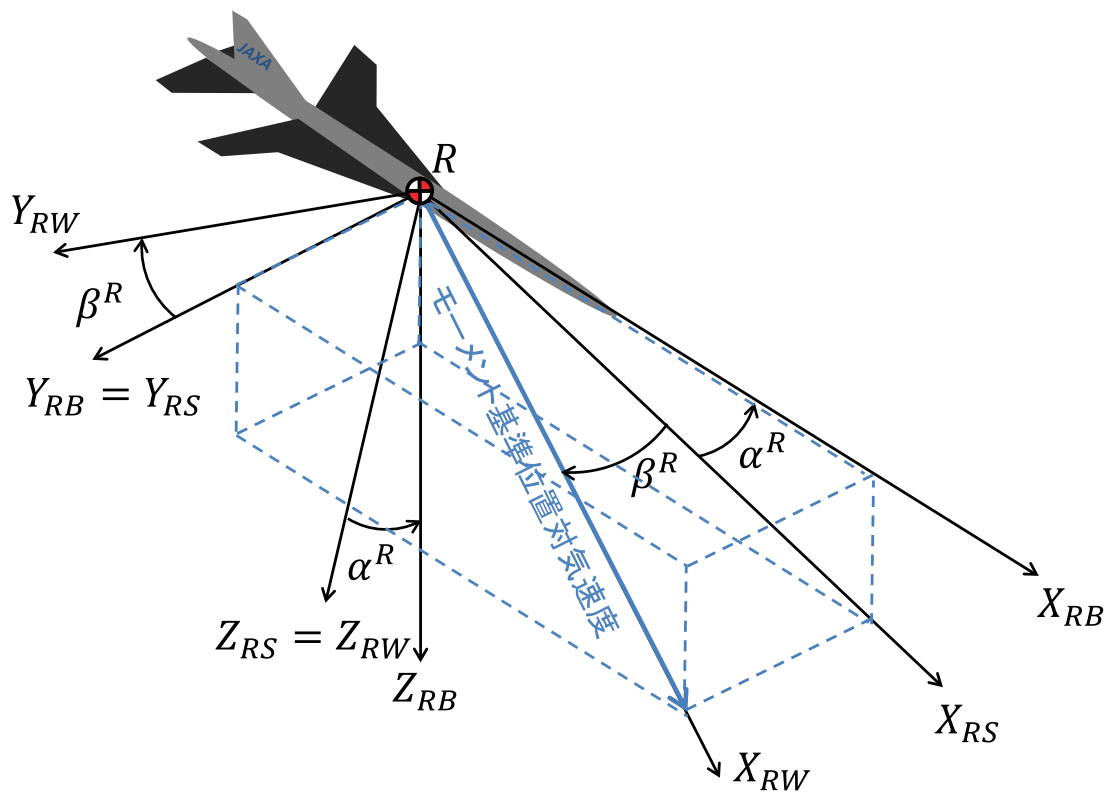


図 9 基準機体軸系，基準安定軸系，基準風軸系の関係



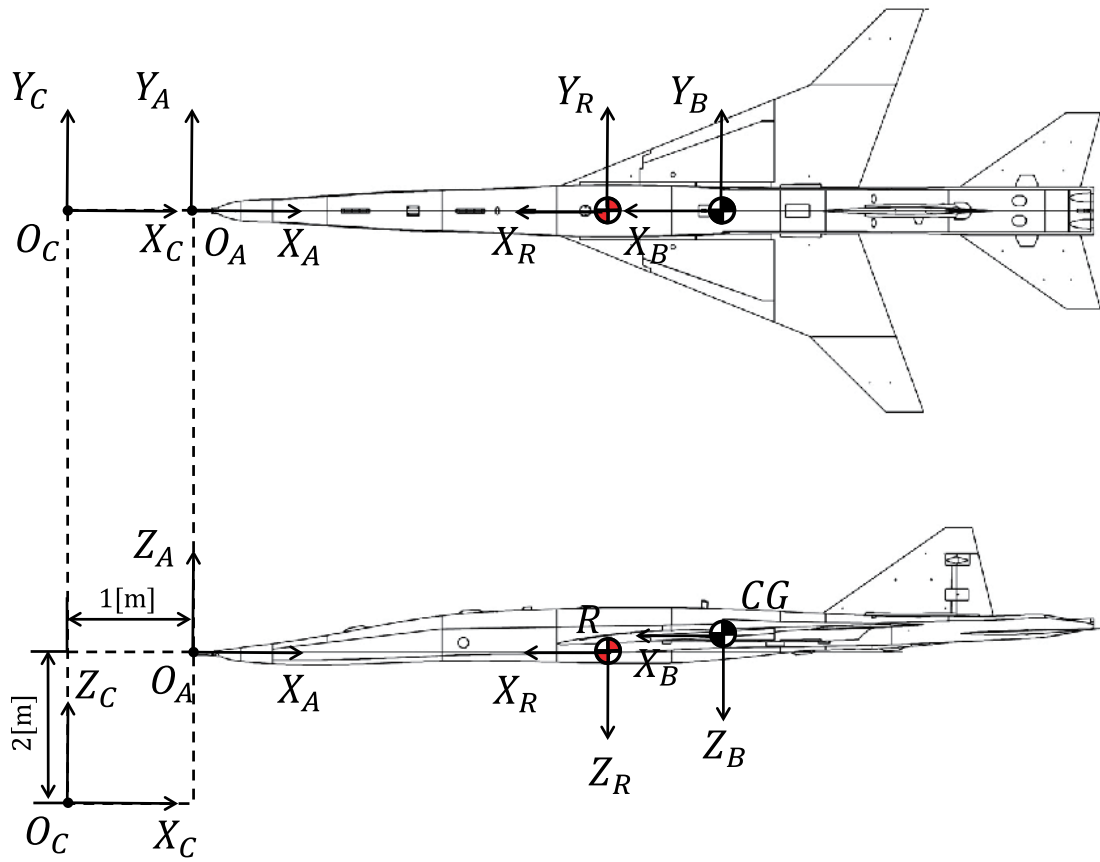


図 10 機体軸系，基準機体軸系，CATIA 座標系，空力座標系の関係

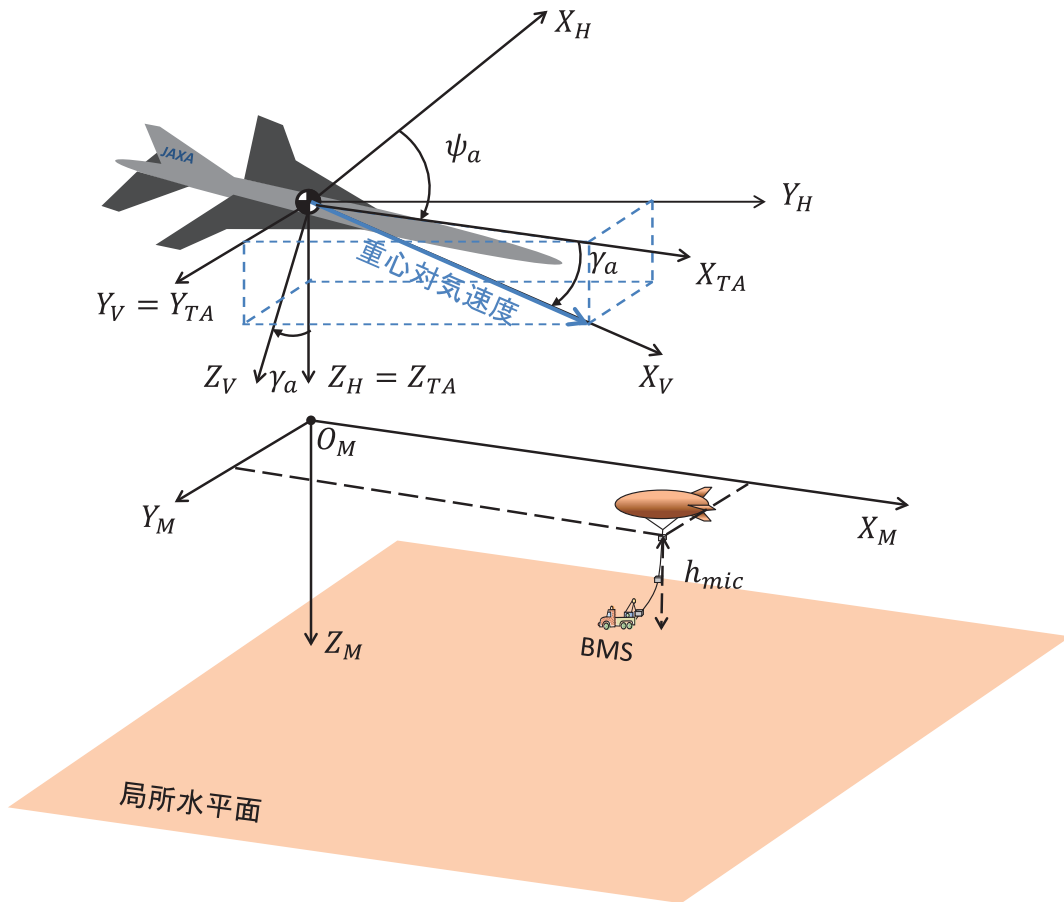


図 11 局所水平座標系，対気方位角座標系，対気速度座標系，ブーム計測座標系（その 1）

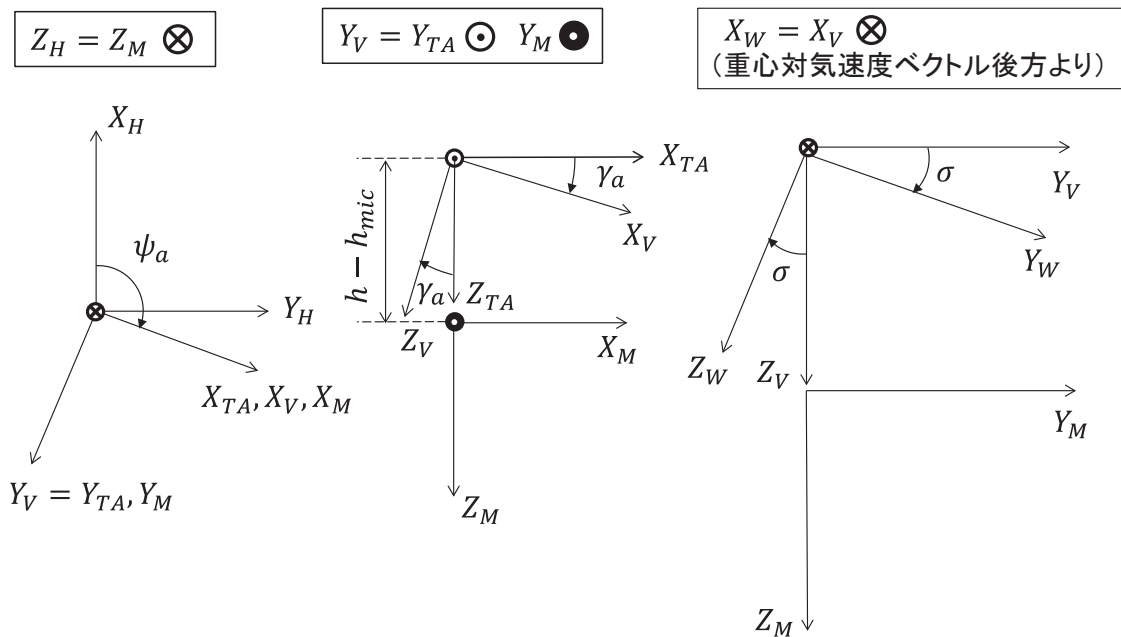


図 12 局所水平座標系，対気方位角座標系，対気速度座標系，ブーム計測座標系（その 2）

### 3.2 座標変換行列

ここでは前節で定義した各種座標系間の座標変換行列のうち、本稿で対象とする数学シミュレーションモデル構築に必要となるものを抜粋して示す。局所水平座標系から機体軸系への変換行列は次式で表される。

$$\mathbf{T}_{B/H} = \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \theta & \sin \psi \cos \theta \\ \cos \psi \sin \theta \sin \phi - \sin \psi \cos \phi & \sin \psi \sin \theta \sin \phi + \cos \psi \cos \phi \\ \cos \psi \sin \theta \cos \phi + \sin \psi \sin \theta & \sin \psi \sin \theta \cos \phi - \cos \psi \sin \phi \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} -\sin \theta \\ \cos \theta \sin \phi \\ \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_1 & m_1 & n_1 \\ l_2 & m_2 & n_2 \\ l_3 & m_3 & n_3 \end{bmatrix}$$

式(1)で $\phi, \theta, \psi$ は局所水平座標系から機体軸系へのオイラー角、 $l_1 \sim n_3$ は方向余弦である。

式(1)の $\phi, \theta, \psi$ をそれぞれセンサの機体軸系に対する取り付け角 $\Delta\phi_s, \Delta\theta_s, \Delta\psi_s$ で置き換えると、機体軸系からセンサ機体軸系への座標変換行列 $\mathbf{T}_{SB/B}([\Delta\phi_s \ \Delta\theta_s \ \Delta\psi_s]^T)$ が得られる。センサの種類によってセンサ機体軸系はそれぞれ異なるが、本稿では座標変換行列の引数である $[\Delta\phi_s \ \Delta\theta_s \ \Delta\psi_s]^T$ にセンサ種別を明示することで、センサ個別にはセンサ機体軸系を定義しないものとする。

地球固定座標系から局所水平座標系への変換行列は次式で表される。

$$\mathbf{T}_{H/E} = \begin{bmatrix} -\cos \eta \sin \lambda_c & -\sin \eta \sin \lambda_c & \cos \lambda_c \\ -\sin \eta & \cos \eta & 0 \\ -\cos \eta \cos \lambda_c & -\sin \eta \cos \lambda_c & -\sin \lambda_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

気球座標系から局所水平座標系への変換行列は次式で表される。

$$\mathbf{T}_{H/BAL} = \begin{bmatrix} 0 & -\sin \psi_F & -\cos \psi_F \\ 0 & \cos \psi_F & -\sin \psi_F \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

局所水平座標系から対気方位角座標系への変換行列は次式で表される

$$\mathbf{T}_{TA/H} = \begin{bmatrix} \cos \psi_a & \sin \psi_a & 0 \\ -\sin \psi_a & \cos \psi_a & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

対気方位角座標系から対気速度座標系への変換行列は次式で表される。

$$\mathbf{T}_{V/TA} = \begin{bmatrix} \cos \gamma_a & 0 & -\sin \gamma_a \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \gamma_a & 0 & \cos \gamma_a \end{bmatrix} \quad (5)$$

基準安定軸系から基準機体軸系への変換行列は次式で表される。

$$\mathbf{T}_{RB/RS} = \begin{bmatrix} \cos \alpha^R & 0 & -\sin \alpha^R \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha^R & 0 & \cos \alpha^R \end{bmatrix} \quad (6)$$

空力座標系からCATIA座標系への変換行列は次式で表される。

$$\mathbf{T}_{C/A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ -2 \\ 1 \end{pmatrix} \end{bmatrix} \quad (7)$$

CATIA 座標系から機体軸系への変換行列は次式で表される。

$$\mathbf{T}_{B/C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \left[ \begin{array}{c} \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} X_{CG0} \\ Y_{CG0} \\ Z_{CG0} \\ 1 \end{pmatrix} \end{array} \right] \quad (8)$$

ただし、 $\mathbf{T}_{C/A}$ は平行移動、 $\mathbf{T}_{B/C}$ は平行移動と回転移動の双方で構成されることから式(7)、(8)は同次座標表現により記述されている。同次座標表現では変換元の座標を一次元拡張し、ダミー値として1を入れて計算する。

## 4 運動モデル

ここでは機体運動を記述するための 6 自由度非線形運動方程式について詳述する。運動方程式の導出の詳細については文献 [2]を参照のこと。

### 4.1 6 自由度非線形運動方程式

本稿の飛行シミュレーションで使用する 6 自由度非線形運動方程式は文献 [2]に基づいて定式化されており、機体並進運動方程式、機体回転運動方程式、機体姿勢方程式および機体位置方程式の 4 つから構成され、合計 12 個の状態量をもつ。D-SEND#2 では BMS への精密な誘導が必要ではあるものの、飛行時間がおおよそ 120 秒前後と文献 [2]で扱っている宇宙往還機と比較してかなり短く、かつ最大飛行速度もマッハ 1.6 程度と低いことから、地球の自転の影響を無視して地球固定座標系を慣性座標系として扱うものとする。また機体にはエンジン等の推力を発生するデバイスは搭載されていないため、推力と燃料消費に伴う質量変化に関する項も省略している。一方で誘導制御則の誤差耐性評価の手法として一般的になっている MCS の利用を念頭に置き、各種誤差を明示して定式化を行っている。

#### 4.1.1 機体並進運動方程式

機体並進運動方程式は機体軸系で次式の通り記述される。

$${}^B \begin{bmatrix} \dot{U}_I \\ \dot{V}_I \\ \dot{W}_I \end{bmatrix}^{CG} = \frac{1}{m_0 + \Delta m_0} \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix}^{CG} - \begin{bmatrix} P_I \\ Q_I \\ R_I \end{bmatrix}^{CG} \times \begin{bmatrix} U_I \\ V_I \\ W_I \end{bmatrix}^{CG} \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix}^{CG} = \begin{bmatrix} F_{ax} \\ F_{ay} \\ F_{az} \end{bmatrix}^{CG} + (m_0 + \Delta m_0) \mathbf{T}_{B/H} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g_E \end{bmatrix}^{CG} \quad (10)$$

式(9)で  $U_I^{CG}, V_I^{CG}, W_I^{CG}$  は機体重心慣性速度の各軸方向成分、 $P_I^{CG}, Q_I^{CG}, R_I^{CG}$  は機体慣性角速度の各軸周り成分である。式(10)は機体重心に作用する全外力であり、第 1 項は機体重心に作用する空気力、第 2 項は機体重心に作用する重力である。空気力と重力についてはそれぞれ 6 章、および 9.3 節で詳述する。 $m_0$  は機体のノミナル質量、 $\Delta m_0$  は機体質量誤差を表し、5 章にそのデータを示す。

#### 4.1.2 機体回転運動方程式

機体回転運動方程式は機体軸系で次式の通り記述される。

$$\begin{bmatrix} \dot{P}_I \\ \dot{Q}_I \\ \dot{R}_I \end{bmatrix}^{CG} = \begin{bmatrix} I_{xx0} + \Delta I_{xx0} & -(I_{xy0} + \Delta I_{xy0}) & -(I_{zx0} + \Delta I_{zx0}) \\ -(I_{xy0} + \Delta I_{xy0}) & I_{yy0} + \Delta I_{yy0} & -(I_{yz0} + \Delta I_{yz0}) \\ -(I_{zx0} + \Delta I_{zx0}) & -(I_{yz0} + \Delta I_{yz0}) & I_{zz0} + \Delta I_{zz0} \end{bmatrix}^{-1} \quad (11)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \begin{bmatrix} M_{ax} \\ M_{ay} \\ M_{az} \end{bmatrix}^{CG} - \begin{bmatrix} P_I \\ Q_I \\ R_I \end{bmatrix}^{CG} \times \\ \begin{bmatrix} I_{xx0} + \Delta I_{xx0} & -(I_{xy0} + \Delta I_{xy0}) & -(I_{zx0} + \Delta I_{zx0}) \\ -(I_{xy0} + \Delta I_{xy0}) & I_{yy0} + \Delta I_{yy0} & -(I_{yz0} + \Delta I_{yz0}) \\ -(I_{zx0} + \Delta I_{zx0}) & -(I_{yz0} + \Delta I_{yz0}) & I_{zz0} + \Delta I_{zz0} \end{bmatrix}^B \begin{bmatrix} P_I \\ Q_I \\ R_I \end{bmatrix}^{CG} \end{array} \right\}$$

式(11)で $M_{ax}^{CG}$ ,  $M_{ay}^{CG}$ ,  $M_{az}^{CG}$ は機体重心に作用する各軸周りの空力モーメントであり, 6章で詳述する.  $I_{xx0}$ ,  $I_{yy0}$ ,  $I_{zz0}$ および $\Delta I_{xx0}$ ,  $\Delta I_{yy0}$ ,  $\Delta I_{zz0}$ は機体のノミナル慣性モーメントならびに慣性モーメント誤差,  $I_{xy0}$ ,  $I_{yz0}$ ,  $I_{zx0}$ および $\Delta I_{xy0}$ ,  $\Delta I_{yz0}$ ,  $\Delta I_{zx0}$ は機体のノミナル慣性乗積ならびに慣性乗積誤差を表し, 5章にそのデータを示す.

#### 4.1.3 機体姿勢運動方程式

機体姿勢運動方程式は次式の通り記述される.

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \tan \theta \sin \phi & \tan \theta \cos \phi \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \frac{\sin \phi}{\cos \theta} & \frac{\cos \phi}{\cos \theta} \end{bmatrix}^B \begin{bmatrix} P_H \\ Q_H \\ R_H \end{bmatrix}^{CG} \quad (12)$$

式(12)で $P_H^{CG}$ ,  $Q_H^{CG}$ ,  $R_H^{CG}$ は機体の対局所水平座標角速度の各軸周り成分であり, 地球の自転を無視した場合は次式で定義される.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} P_H \\ Q_H \\ R_H \end{bmatrix}^{CG} &= \begin{bmatrix} P_I \\ Q_I \\ R_I \end{bmatrix}^{CG} + \mathbf{T}_{B/H}^{-1} \left\{ \begin{array}{l} \begin{bmatrix} 0 \\ -\dot{\lambda}_c \\ 0 \end{bmatrix}^{CG} + \mathbf{T}_{H/E} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\eta} \end{bmatrix}^{CG} \end{array} \right\} \\ &= \begin{bmatrix} P_I \\ Q_I \\ R_I \end{bmatrix}^{CG} + \mathbf{T}_{B/H}^{-1} \begin{bmatrix} \dot{\eta} \cos \lambda_c \\ -\dot{\lambda}_c \\ -\dot{\eta} \sin \lambda_c \end{bmatrix}^{CG} \end{aligned} \quad (13)$$

式(13)の第2項は地心緯度と経度の時間変化による局所水平面の回転の影響を表す項であるが, D-SEND#2の飛行速度は宇宙往還機と比較して十分小さいため, 本稿の飛行シミュレーションではこの影響を無視している.

#### 4.1.4 機体位置方程式

機体位置方程式は地球固定座標系で次式の通り記述される.

$$\begin{bmatrix} \dot{\eta} \\ \dot{\lambda}_c \\ \dot{h} \end{bmatrix}^{CG} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{(R_E + h^{CG}) \cos \lambda_c^{CG}} & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ \frac{1}{(R_E + h^{CG})} & 0 & -1 \end{bmatrix} \mathbf{T}_{B/H}^{-1} \begin{bmatrix} U_I \\ V_I \\ W_I \end{bmatrix}^{CG} \quad (14)$$

式(14)で $\eta^{CG}$ ,  $\lambda_c^{CG}$ は機体重心の経度と地心緯度,  $h^{CG}$ は機体重心の高度である. なお $R_E$ は誘導座標系原点における地心半径であり, 9.1節にそのデータを示す.

## 4.2 飛行シミュレーション区間

ここでは本稿で対象とする飛行シミュレーションの開始条件と終了条件をまとめる。

### 4.2.1 飛行シミュレーション開始条件

本稿の飛行シミュレーションでは機体分離後に搭載計算機（FLCC: Flight Control Computer）にインストールされている OFP（OFP: Operational Flight Program）がアンビリカルケーブルの引き抜きを検知して、目標 BMS を確定させた時をシミュレーション開始時刻と定義する。ただし、分離検知から目標 BMS の確定までは最大で 0.1 秒の遅れがあるが、これは無視している。機体を懸吊している気球が周囲の定常風と同じ速度で並進運動をしており、かつ揺動もない状態を飛行シミュレーションのノミナル初期条件とすると、式(9)、式(11)、および式(12)の初期条件はそれぞれ次式で定義される。

$${}^B \begin{bmatrix} U_I(0) \\ V_I(0) \\ W_I(0) \end{bmatrix}^{CG} = {}^B \begin{bmatrix} 0.01 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^{CG} + \mathbf{T}_{B/H} {}^H \begin{bmatrix} U_S \\ V_S \\ W_S \end{bmatrix}^{CG} + \mathbf{T}_{B/H} {}^H \begin{bmatrix} \Delta U_B \\ \Delta V_B \\ \Delta W_B \end{bmatrix} \quad (15)$$

$${}^B \begin{bmatrix} P_I(0) \\ Q_I(0) \\ R_I(0) \end{bmatrix}^{CG} = {}^B \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^{CG} + \mathbf{T}_{B/H} \mathbf{T}_{H/BAL} {}^{BAL} \begin{bmatrix} \Delta P_G \\ \Delta Q_G \\ \Delta R_G \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} \phi(0) \\ \theta(0) \\ \psi(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \theta_0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta\phi_{HG} \\ \Delta\theta_{HG} \\ \Delta\psi_{HG} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta\phi_B \\ \Delta\theta_B \\ \Delta\psi_B \end{bmatrix} \quad (17)$$

式(15)の $U_S, V_S, W_S$ は機体分離時における定常風ベクトルの各軸方向成分であり、9.5 節で詳述する。式(15)の $\Delta U_B, \Delta V_B, \Delta W_B$ は気球並進速度と周囲の定常風速度との偏差の各軸方向成分、式(16)の $\Delta P_G, \Delta Q_G, \Delta R_G$ は機体を懸吊しているゴンドラの分離時の角速度の各軸方向成分、式(17)の $\Delta\phi_{HG}, \Delta\theta_{HG}, \Delta\psi_{HG}$ と $\Delta\phi_B, \Delta\theta_B, \Delta\psi_B$ は機体懸吊位置や機体重心位置のノミナル値からのずれによる姿勢誤差ならびに気球の揺動による姿勢変化であり、それぞれ表 2 の通り定義されている。なお式(15)の $U_I^{CG}(0)$ のノミナル値として機体軸系 $X_B$ 軸方向に 0.01 m/s の初期値が与えられているが、これはノミナル条件かつ無風状態における迎角の初期値を定義するために便宜上 0 より大きい小さな値を設定しているためである。式(17)の $\theta_0$ は懸吊位置周りの重力によるモーメントの釣り合いから次式の通り定義できる。

$$\theta_0 = \text{atan} \left( -\frac{X_{CG0} - X_{HG0}}{Z_{CG0} - Z_{HG0}} \right) \quad (18)$$

式(18)で $X_{CG0}, Z_{CG0}$ と $X_{HG0}, Z_{HG0}$ はそれぞれ CATIA 座標系でのノミナル機体重心位置ならびにノミナル懸吊位置であり、5 章にそのデータを示す。 $X_{CG0}, Z_{CG0}$ と $X_{HG0}, Z_{HG0}$ にも 5 章に示す通り誤差が設定されているため、副次的に式(18)により $\Delta\phi_{HG}, \Delta\theta_{HG}, \Delta\psi_{HG}$ を求めることができるが、本稿では $\Delta\phi_{HG}, \Delta\theta_{HG}, \Delta\psi_{HG}$ は独立に設定するものとする。

初期分離位置は 9.2 節で定義される実験可能領域の分離許容域内で誘導制御則の BMS か

らの飛行可能レンジに従って選択され、誘導座標系で定義される。式(14)の機体位置方程式は地球固定座標系で記述されているため、次式により誘導座標系における初期分離位置を地球固定座標系における初期分離位置に変換して用いる。

$${}^E \begin{bmatrix} \eta(0) \\ \lambda(0) \\ h(0) \end{bmatrix}^{CG} = \begin{bmatrix} \eta_0 \\ \lambda_0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{R_{N0} \cos \lambda^{CG}(0)} & 0 \\ \frac{1}{R_{M0}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}^G \begin{bmatrix} X(0) \\ Y(0) \\ Z(0) \end{bmatrix}^{CG} \quad (19)$$

$${}^E \begin{bmatrix} \eta(0) \\ \lambda_c(0) \\ h(0) \end{bmatrix}^{CG} = \begin{bmatrix} \eta_0 + \frac{{}^G Y^{CG}(0)}{R_{N0} \cos \lambda^{CG}(0)} \\ \operatorname{atan} \left\{ \frac{R_b^2}{R_a^2} \tan \left( \lambda_0 + \frac{{}^G X^{CG}(0)}{R_{M0}} \right) \right\} \\ -{}^G Z^{CG}(0) \end{bmatrix} \quad (20)$$

式(19)で $\eta_0, \lambda_0$ は誘導座標系原点の経度(東経 21.0°)および地理緯度(北緯 68.25°),  $R_{M0}, R_{N0}$ は誘導座標系原点における子午線曲率半径および卯酉線曲率半径であり 9.1 節にそのデータが与えられる。

表 2 初期条件誤差モデル

項目	誤差 ( $\pm 3\sigma$ または最大最小)	単位	誤差 分布	設定根拠
${}^H \Delta U_B, {}^H \Delta V_B, {}^H \Delta W_B$	$\pm 5$	m/s	正規	SSC から提示された気球の移動速度をベースに設定
${}^{BAL} \Delta P_G$	$\pm 6$	deg/s	正規	HSFD-II の実績値ベースで設定
${}^{BAL} \Delta Q_G, {}^{BAL} \Delta R_G$	$\pm 1$	deg/s	正規	HSFD-II の設計時ベースで設定
$\Delta \phi_{HG}, \Delta \theta_{HG}$	$\pm 0.2$	deg	正規	構造設計提示値
$\Delta \psi_{HG}$	0	deg	正規	ヨー方向はフリー
$\Delta \phi_B, \Delta \theta_B$	$\pm 2$	deg	正規	HSFD-II の設計時ベースで設定
$\Delta \psi_B$	$\pm 180$	deg	一様	ヨー方向はフリー

#### 4.2.2 飛行シミュレーション終了条件

通常運用ではブーム計測終了後に OFP が投棄舵角指令をアクチュエータに送信し、機体をロールスピンさせて自動投棄する。また運用中に飛行安全上の問題が生じると予測される場合には、地上局からテレコマンドによる投棄舵角指令を送信する場合もある。本稿の飛行シミュレーションでは通常運用を対象とし、次のいずれかの条件が満足された場合にシミュレーションを終了するものとする。

- 誘導制御フェーズが投棄フェーズに進行した場合



- 状態量が異常な値 ( $h$ を除くいずれかの状態量の大きさが 1000 以上) となった場合
- 飛行高度が設定高度 ( $h = 100 \text{ m}$ ) より低くなった場合

ただし飛行安全解析等で投棄舵角入力後も飛行シミュレーションを継続する場合はこの限りではない。

#### 4.3 飛行シミュレーションの時間刻み幅

OFP のタスク処理はその処理内容に応じて 10 Hz タスク, 50 Hz タスク, 100 Hz タスクの 3 種類があることから, OFP のタスク処理を正確に模擬するためには 100 Hz 以上で飛行シミュレーションを行う必要がある。このため D-SEND#2 誘導制御則の設計および評価にあたっては 200 Hz の積分計算により飛行シミュレーションを行っている。積分法は 4 次の Runge-Kutta 法を使用している。

アクチュエータ動作の時間スケールは機体運動のそれと比較するとかなり短いため, 運動計算の積分を 1 ステップ行う間で, アクチュエータモデルの積分を 100 ステップ実施する。積分法は運動計算の積分と同じ 4 次の Runge-Kutta 法を用いる。

#### 4.4 特異点近傍における機体姿勢表現

気球に懸吊された機体は初期ピッチ角が式(18)の値となるように設計されているが, 分離時の機体揺動や初期方位角制御中の姿勢制御の影響で  $\theta = -90^\circ$  の特異点を横切ることがある。特異点においてはロール角と方位角が不定となり, 機体姿勢の表現と姿勢制御に支障をきたす。そこでピッチ角については垂直尾翼ピッチ角  $\theta_F$ , すなわち局所水平座標系  $Z_H$  軸負方向の単位ベクトルと機体軸系  $Z_B$  軸負方向の単位ベクトルがなす角度, ロール角については垂直尾翼方位角  $\psi_F$ , すなわち機体軸系  $Z_B$  軸負方向の単位ベクトルの局所水平面内成分の方位角により定義することにする。機体軸系  $Z_B$  軸負方向の単位ベクトルの局所水平座標系での成分は

$$\mathbf{T}_{B/H}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -l_3 \\ -m_3 \\ -n_3 \end{bmatrix} \quad (21)$$

であるので,  $Z_H$  軸負方向の単位ベクトルとの内積から  $\theta_F$  は

$$\theta_F = \text{acos} \left\{ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -l_3 \\ -m_3 \\ -n_3 \end{bmatrix} \right\} = \text{acos}(n_3) = \text{acos}(\cos \theta \sin \phi) \quad (22)$$

で与えられ,  $\psi_F$  は

$$\psi_F = \text{atan} \left( \frac{-m_3}{-l_3} \right) = \text{atan} \left( \frac{\sin \psi \sin \theta \cos \phi - \cos \psi \sin \phi}{\cos \psi \sin \theta \cos \phi + \sin \psi \sin \phi} \right) \quad (23)$$

で与えられる。

## 4.5 補助変数の定義

ここでは4.1節で定義した12個の状態量に加えて、飛行シミュレーションを行うために必要となる各種補助変数の定義を行う。

### 4.5.1 対地補助変数

対地補助変数として飛行経路角 $\gamma_e$ および飛行方位角 $\psi_e$ を定義する。機体軸系における機体重心の慣性速度ベクトルを局所水平座標系で表現すると次式の通りとなる。

$${}^H \begin{bmatrix} U_I \\ V_I \\ W_I \end{bmatrix}^{CG} = \mathbf{T}_{B/H}^{-1} \begin{bmatrix} U_I \\ V_I \\ W_I \end{bmatrix}^{CG} \quad (24)$$

式(24)より、機体重心における飛行経路角および飛行方位角は次式の通りに定義される。

$$\gamma_e^{CG} = -\operatorname{atan} \left( \frac{{}^H W_I^{CG}}{\sqrt{{}^H U_I^{CG^2} + {}^H V_I^{CG^2}}} \right) \quad (25)$$

$$\psi_e^{CG} = \operatorname{atan} \left( \frac{{}^H U_I^{CG}}{{}^H V_I^{CG}} \right) \quad (26)$$

### 4.5.2 対気補助変数

対気補助変数として対気経路角 $\gamma_a$ 、対気方位角 $\psi_a$ 、真対気速度 $V_{TAS}$ 、等価対気速度 $V_{EAS}$ 、マッハ数 $M$ 、動圧 $\bar{q}$ 、迎角 $\alpha$ 、横滑り角 $\beta$ を定義する。機体軸系における機体重心の慣性速度ベクトルと局所水平座標系における風ベクトルから、機体軸系における機体重心の対気速度ベクトルは次式で与えられる。

$${}^B \begin{bmatrix} U_A \\ V_A \\ W_A \end{bmatrix}^{CG} = \begin{bmatrix} U_I \\ V_I \\ W_I \end{bmatrix}^{CG} - \mathbf{T}_{B/H} \left\{ \begin{bmatrix} U_s \\ V_s \\ W_s \end{bmatrix}^{CG} + \begin{bmatrix} U_g \\ V_g \\ W_g \end{bmatrix}^{CG} \right\} \quad (27)$$

式(27)の ${}^H U_s$ 、 ${}^H V_s$ 、 ${}^H W_s$ および ${}^H U_g$ 、 ${}^H V_g$ 、 ${}^H W_g$ はそれぞれ定常風ベクトルと連続突風ベクトルの局所水平座標系成分であり、9.5節と9.6節で詳述する。対気速度ベクトルから機体重心における各種対気補助変数は次式の通りに定義される。

$${}^H \begin{bmatrix} U_A \\ V_A \\ W_A \end{bmatrix}^{CG} = \mathbf{T}_{B/H}^{-1} \begin{bmatrix} U_A \\ V_A \\ W_A \end{bmatrix}^{CG} \quad (28)$$

$$\gamma_a^{CG} = -\operatorname{atan} \left( \frac{{}^H W_A^{CG}}{\sqrt{{}^H U_A^{CG^2} + {}^H V_A^{CG^2}}} \right) \quad (29)$$

$$\psi_a^{CG} = \operatorname{atan} \left( \frac{{}^H U_A^{CG}}{{}^H V_A^{CG}} \right) \quad (30)$$

$$V_{TAS}^{CG} = \sqrt{{}^B U_A^{CG2} + {}^B V_A^{CG2} + {}^B W_A^{CG2}} \quad (31)$$

$$V_{EAS}^{CG} = V_{TAS}^{CG} \sqrt{\frac{\rho^{CG}}{\rho_0}} \quad (32)$$

$$M^{CG} = \frac{V_{TAS}^{CG}}{c^{CG}} \quad (33)$$

$$\bar{q}^{CG} = \frac{1}{2} \rho^{CG} V_{TAS}^{CG2} \quad (34)$$

$$\alpha^{CG} = \text{atan} \left( \frac{{}^B W_A^{CG}}{{}^B U_A^{CG}} \right) \quad (35)$$

$$\beta^{CG} = \text{asin} \left( \frac{{}^B V_A^{CG}}{V_{TAS}^{CG}} \right) \quad (36)$$

式(32)から式(34)で $\rho, \rho_0, c$ はそれぞれ大気密度, 海面上大気密度, 音速であり, 9.4 節で詳述する. これらの対気補助変数は 6 章の空力係数および空力モーメント係数のテーブルを参照する際のパラメータとして使用されるが, 式(31)から式(36)は重心における値であるので, モーメント基準点における値に変換する必要がある. 機体重心周りの剛体回転によってモーメント基準点に誘起される慣性速度は次式で与えられる.

$${}^B \begin{bmatrix} U_r \\ V_r \\ W_r \end{bmatrix}^R = {}^B \begin{bmatrix} P_I \\ Q_I \\ R_I \end{bmatrix}^{CG} \times \left\{ \mathbf{T}_{B/C} \mathbf{T}_{C/A} \begin{bmatrix} X_{ref} \\ Y_{ref} \\ Z_{ref} \\ 1 \end{bmatrix} - \mathbf{T}_{B/C} \begin{bmatrix} X_{CG0} + \Delta X_{CG0} \\ Y_{CG0} + \Delta Y_{CG0} \\ Z_{CG0} + \Delta Z_{CG0} \\ 1 \end{bmatrix} \right\} \quad (37)$$

したがって式(37)と式(27)より, モーメント基準点における対気速度は次式で与えられる.

$${}^B \begin{bmatrix} U_A \\ V_A \\ W_A \end{bmatrix}^R = {}^B \begin{bmatrix} U_A \\ V_A \\ W_A \end{bmatrix}^{CG} + {}^B \begin{bmatrix} U_r \\ V_r \\ W_r \end{bmatrix}^R \quad (38)$$

式(38)の ${}^B U_A^R, {}^B V_A^R, {}^B W_A^R$ と式(31)から式(36)から, モーメント基準点における各種対気量は次式の通りに定義される.

$$V_{TAS}^R = \sqrt{{}^B U_A^{R2} + {}^B V_A^{R2} + {}^B W_A^{R2}} \quad (39)$$

$$V_{EAS}^R = V_{TAS}^R \sqrt{\frac{\rho^{CG}}{\rho_0}} \quad (40)$$

$$M^R = \frac{V_{TAS}^R}{C_s^{CG}} \quad (41)$$

$$\bar{q}^R = \frac{1}{2} \rho^{CG} V_{TAS}^R2 \quad (42)$$

$$\alpha^R = \text{atan} \left( \frac{{}^B W_A^R}{{}^B U_A^R} \right) \quad (43)$$

$$\beta^R = \text{asin} \left( \frac{{}^B V_A^R}{V_{TAS}^R} \right) \quad (44)$$

なお式(40)から式(42)において $\rho, C_s$ の重心位置とモーメント基準点における差は無視できるため、重心位置における値を用いた。さらに、超音速飛行においては重心位置における各種対気補助変数との違いは相対的に小さくなり、また D-SEND#2 誘導制御の技術的課題である引き起こしフェーズとダイブフェーズのピッチ運動では重心位置における各種対気補助変数を用いるほうが、負迎角および高迎角で機体が固有不安定となる領域において安全側の評価となることから、本稿では重心位置における各種対気補助変数をモーメント基準点における値として用いることにする。

#### 4.5.3 その他の補助変数

対地補助変数と対気補助変数以外の補助変数として、7.1 節の EGI モデルおよび 7.3 節の  $A_z$  センサモデルで使用する機体重心における機体軸系各軸方向の加速度  ${}^B A_x^{CG}, {}^B A_y^{CG}, {}^B A_z^{CG}$  ならびに機体重心における荷重倍数  $N_z^{CG}$  を定義する。EGI ならびに  $A_z$  センサは重力以外の外力により発生する加速度を計測し、地上静止時に出力される垂直加速度は  $A_z = -g_{E0}$  である。なお  $g_{E0}$  は誘導座標系原点における重力加速度であり、9.3 節にそのデータを示す。式(10)より機体重心に作用する外力は空気力と重力のみであるので、 ${}^B A_x^{CG}, {}^B A_y^{CG}, {}^B A_z^{CG}$  と  $N_z^{CG}$  は次式の通り定義される。ただし、 $N_z^{CG}$  は機体軸系  $Z_B$  軸負方向が正であることを注意する。

$${}^B \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{bmatrix}^{CG} = \frac{1}{(m_0 + \Delta m)} {}^B \begin{bmatrix} F_{ax} \\ F_{ay} \\ F_{az} \end{bmatrix}^{CG} \quad (45)$$

$$N_z^{CG} = -\frac{{}^B F_{az}^{CG}}{(m_0 + \Delta m)g_E^{CG}} = -\frac{{}^B A_z^{CG}}{g_E^{CG}} \quad (46)$$

## 5 機体モデル

ここでは4章の運動モデル、6章の空力モデル、8章のアクチュエータモデルで使用する機体諸元ならびに誤差モデルについて詳述する。

### 5.1 機体諸元および誤差モデル（第1回落下試験）

表3に第1回落下試験で使用した2号機の機体モデルのノミナル値ならびにその誤差モデルの一覧を示す。機体質量と機体重心位置は要求で上下限が規定されているため誤差は一様分布とし、機体慣性モーメントは機体構成部品の積み上げ値をベースに算出したものであるため誤差は正規分布とした。モーメント基準点と機体寸法は機体モデル上では誤差なしとして取り扱い、これらの誤差による影響は6章の空力モデルの誤差に含めるものとした。ただし主翼と垂直尾翼のアライメントのずれは規定値があるため誤差を一様分布で与えている。

### 5.2 機体諸元および誤差モデル（第2回落下試験）

表4に第2回落下試験で使用した1号機の機体モデルのノミナル値ならびにその誤差モデルの一覧を示す。誤差分布の設定については5.1節と同様である。

表 3 機体モデル (第 1 回落下試験)

項目	ノミナル	誤差 ( $\pm 3\sigma$ または最大最小)	単位	誤差 分布
機体質量				
$m_0$	999.7	$\pm 10$	kg	一様
機体重心位置 (CATIA 座標系)				
$X_{CG0}$	5864.9	$\pm 26$	mm	一様
$Y_{CG0}$	0	$\pm 5$	mm	一様
$Z_{CG0}$	2173.9	$\pm 40$	mm	一様
モーメント基準点 (空力座標系)				
$X_{ref}$	4322	なし	mm	—
$Y_{ref}$	0	なし	mm	—
$Z_{ref}$	0	なし	mm	—
機体慣性モーメント (機体軸系)				
$I_{xx0}$	174	$\pm 20 \%$	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$	正規
$I_{yy0}$	2750	$\pm 20 \%$	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$	正規
$I_{zz0}$	2893	$\pm 20 \%$	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$	正規
$I_{xy0}$	0	$\pm 20 \%$	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$	正規
$I_{yz0}$	0	$\pm 20 \%$	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$	正規
$I_{zx0}$	84	$\pm 20 \%$	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$	正規
機体懸吊位置 (CATIA 座標系)				
$X_{HG0}$	8510	$\pm 1.25$	mm	正規
$Y_{HG0}$	0	$\pm 1.25$	mm	正規
$Z_{HG0}$	2240	$\pm 1.25$	mm	正規
スタビレータ基準位置 (CATIA 座標系)				
$L_{stbCG}$ (左右スタビ重心位置)	8.1988	なし	m	—
$L_{stbHL}$ (左右スタビヒンジライン)	8.1	なし	m	—
機体寸法				
$L_{ref}$ (胴体長)	7.68	なし	m	—
$S_w$ (主翼面積)	4.891	なし	$\text{m}^2$	—
$b_w$ (主翼幅)	3.511	なし	m	—
$c_w$ (主翼平均空力翼弦長)	1.912	なし	m	—
$S_s$ (スタビレータ面積)	0.436	なし	$\text{m}^2$	—
$c_s$ (スタビレータ平均空力翼弦長)	0.743	なし	m	—
$S_r$ (ラダー面積)	0.135	なし	$\text{m}^2$	—

$c_r$ (ラダー平均空力翼弦長)	0.255	なし	m	—
$\theta_w$ (主翼アライメントのずれ)	0	$\pm 0.2$	deg	同様
$\theta_t$ (垂直尾翼アライメントのずれ)	0	$\pm 0.1$	deg	同様
$m_{stb0}$ (左右スタビ舵面質量)	26.1	なし	kg	—
胴体曲げモード (CATIA 座標系)				
一次モード固有振動数 (縦)	19.8	$\pm 15\%$	Hz	同様
一次モード固有振動数 (横)	28.2	$\pm 15\%$	Hz	同様
一次モード腹位置 (縦)	5695	なし	mm	—
一次モード腹位置 (横)	5000	なし	mm	—
一次モード節位置 (縦)	3986 7163	なし	mm	—
一次モード節位置 (横)	3651 6824	なし	mm	—

表 4 機体モデル (第 2 回落下試験)

項目	ノミナル	誤差 ( $\pm 3\sigma$ または最大最小)	単位	誤差 分布
機体質量				
$m_0$	1002.6	$\pm 10$	kg	一様
機体重心位置 (CATIA 座標系)				
$X_{CG0}$	5870.3	$\pm 26$	mm	一様
$Y_{CG0}$	0	$\pm 5$	mm	一様
$Z_{CG0}$	2173.4	$\pm 40$	mm	一様
モーメント基準点 (空力座標系)				
$X_{ref}$	4322	なし	mm	—
$Y_{ref}$	0	なし	mm	—
$Z_{ref}$	0	なし	mm	—
機体慣性モーメント (機体軸系)				
$I_{xx0}$	174	$\pm 20 \%$	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$	正規
$I_{yy0}$	2774	$\pm 20 \%$	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$	正規
$I_{zz0}$	2917	$\pm 20 \%$	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$	正規
$I_{xy0}$	0	$\pm 20 \%$	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$	正規
$I_{yz0}$	0	$\pm 20 \%$	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$	正規
$I_{zx0}$	84	$\pm 20 \%$	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$	正規
機体懸吊位置 (CATIA 座標系)				
$X_{HG0}$	8510	$\pm 1.25$	mm	正規
$Y_{HG0}$	0	$\pm 1.25$	mm	正規
$Z_{HG0}$	2240	$\pm 1.25$	mm	正規
スタビレータ基準位置 (CATIA 座標系)				
$L_{stbCG}$ (左右スタビ重心位置)	8.1988	なし	m	—
$L_{stbHL}$ (左右スタビヒンジライン)	8.1	なし	m	—
機体寸法				
$L_{ref}$ (胴体長)	7.68	なし	m	—
$S_w$ (主翼面積)	4.891	なし	$\text{m}^2$	—
$b_w$ (主翼幅)	3.511	なし	m	—
$c_w$ (主翼平均空力翼弦長)	1.912	なし	m	—
$S_s$ (スタビレータ面積)	0.436	なし	m	—
$c_s$ (スタビレータ平均空力翼弦長)	0.743	なし	m	—
$S_r$ (ラダー面積)	0.135	なし	$\text{m}^2$	—



$c_r$ (ラダー平均空力翼弦長)	0.255	なし	m	—
$\theta_w$ (主翼アライメントのずれ)	0	$\pm 0.2$	deg	同様
$\theta_t$ (垂直尾翼アライメントのずれ)	0	$\pm 0.1$	deg	同様
$m_{stb0}$ (左右スタビ舵面質量)	26.1	なし	kg	—
胴体曲げモード (CATIA 座標系)				
一次モード固有振動数 (縦)	19.8	$\pm 15\%$	Hz	同様
一次モード固有振動数 (横)	28.2	$\pm 15\%$	Hz	同様
一次モード腹位置 (縦)	5695	なし	mm	—
一次モード腹位置 (横)	5000	なし	mm	—
一次モード節位置 (縦)	3986 7163	なし	mm	—
一次モード節位置 (横)	3651 6824	なし	mm	—

## 6 空力モデル

ここでは機体に作用する空気力と空力モーメントを計算する空力モデルについて詳述する。ただし空気力と空力モーメントは準定常状態であると仮定する。図 13 に空力係数を定義するために使用する座標系を示す。

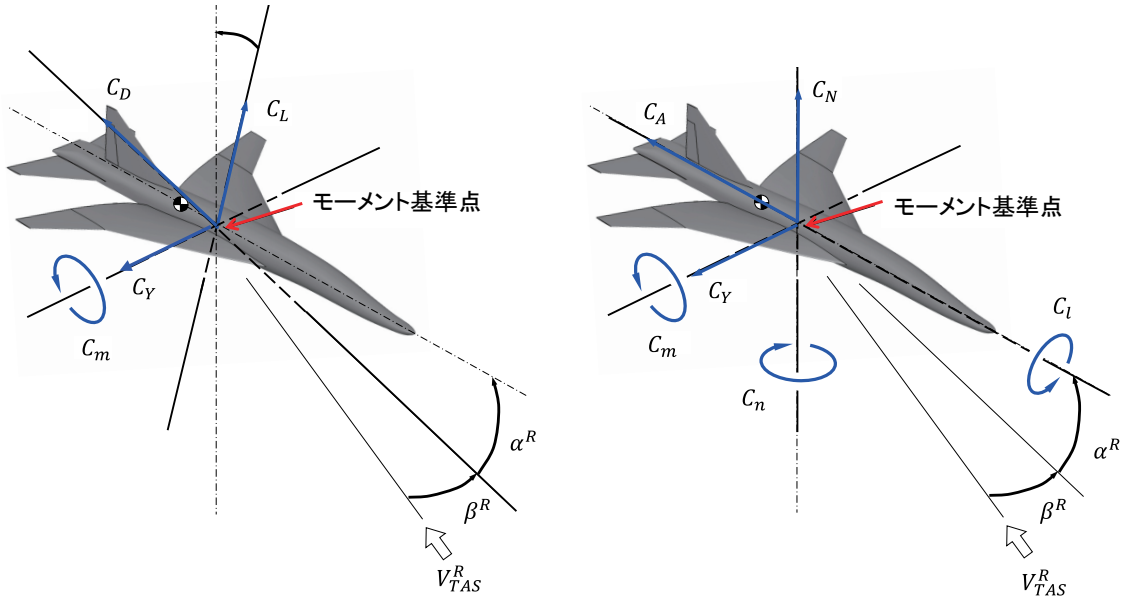


図 13 空力係数を定義する座標系（左：基準安定軸系，右：基準機体軸系）

### 6.1 6分力モデルおよび誤差モデル（第1回落下試験）

ここでは第1回落下試験時の6分力モデルおよび誤差モデルについて詳述する。空力係数 $C_L, C_D, C_Y$ は基準安定軸系において次式の通り定義されている。

$$C_L = C_{Lbasic}(M^R, \alpha^R, \beta^R) + \Delta C_{Ls}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e) + \Delta C_{Lr}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_r) \\ + \Delta C_{Lsa}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e, \delta'_a) + \Delta C_{Lflex}(M^R, \alpha^R, \bar{q}^R) + \Delta C_{Lintl}(M^R, \alpha^R, A_z^{CG}) \quad (47) \\ + \Delta C_{Lbasic}(M^R) + \Delta \Delta C_{Ls} \times \delta'_e + \Delta \Delta C_{Lflex}(M^R)$$

$$C_D = C_{Dp}(M^R, \alpha^R, \beta^R) + \Delta C_{Dfric}(h^{CG}, M^R) + \Delta C_{Dmisc}(h^{CG}, M^R) \\ + \Delta C_{Ds}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e) + \Delta C_{Dr}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_r) + \Delta C_{Dsa}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e, \delta'_a) \\ + \Delta C_{Dflex}(M^R, \alpha^R, \bar{q}^R) + \Delta C_{Dintl}(M^R, \alpha^R, A_z^{CG}) \quad (48) \\ + \Delta C_{Dp}(M^R) + \Delta C_{Dfric}(M^R) + \Delta C_{Dmisc}(M^R) + \Delta \Delta C_{Ds} \times \delta'_e \\ + \Delta \Delta C_{Dflex}(M^R)$$

$$C_Y = C_{Ybasic}(M^R, \alpha^R, \beta^R) + \Delta C_{Ys}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e) + \Delta C_{Yr}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_r) \\ + \Delta C_{Ysa}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e, \delta'_a) + \Delta C_{Ybasic}(M^R) + \Delta C_{Yt}(M^R) \times \theta_t \quad (49) \\ + \Delta \Delta C_{Ysa} \times \delta'_a + \Delta \Delta C_{Yr} \times \delta'_r$$

式(47), (48), (49)において,  $\delta'_e, \delta'_a$ はそれぞれエレベータ実効舵角, エルロン実効舵角であり,  $\delta'_e, \delta'_a$ は左右スタビレータの実効舵角 $\delta'_{stbl}, \delta'_{stbr}$ を用いて次式で定義される。 $\delta'_{stbl}, \delta'_{stbr}$ は

スタビレータの空力弾性変形による舵効き低減を考慮した舵角であり、8.4節で詳細を述べる。

$$\delta'_e = \frac{(\delta'_{stbl} + \delta'_{stbr})}{2} \quad (50)$$

$$\delta'_a = \frac{(\delta'_{stbl} - \delta'_{stbr})}{2} \quad (51)$$

式(47)より $C_L$ は基本特性 $C_{Lbasic}$ と操舵効果 $\Delta C_{Ls}, \Delta C_{Lr}, \Delta C_{Lsa}$ 、空力弾性効果 $\Delta C_{Lflex}$ 、慣性力変形効果 $\Delta C_{Lintl}$ の重ね合わせによりノミナル特性が定義され、基本特性、エレベータ操舵効果、空力弾性効果に対してはそれぞれ誤差 $\Delta C_{Lbasic}, \Delta \Delta C_{Ls}, \Delta \Delta C_{Lflex}$ が定義されている。 $\Delta \Delta C_{Ls}$ は舵角 $1^\circ$ あたりの値であり、舵角に比例した誤差となっている。式(48)より $C_D$ の構成は $C_L$ と同じであるが、基本特性 $C_{Dbasic}$ が圧力抗力係数 $C_{Dp}$ 、表面摩擦抗力係数 $\Delta C_{Dfric}$ 、雑抵抗係数 $\Delta C_{Dmisc}$ に分割して定義されている。式(49)より $C_Y$ は基本特性 $C_{Ybasic}$ と操舵効果 $\Delta C_{Ys}, \Delta C_{Yr}, \Delta C_{Ysa}$ の重ね合わせによりノミナル特性が定義され、基本特性誤差 $\Delta C_{Ybasic}$ 、垂直尾翼アライメントのずれ $\Delta C_{Yt}$ 、およびエルロン操舵効果、ラダー操舵効果による誤差 $\Delta \Delta C_{Ysa}, \Delta \Delta C_{Yr}$ が考慮されている。 $\Delta \Delta C_{Ysa}, \Delta \Delta C_{Yr}$ は $\Delta \Delta C_{Ls}$ と同様に舵角 $1^\circ$ あたりの値、 $\Delta C_{Yt}$ は垂直尾翼アライメントのずれ $0.1^\circ$ あたりの値として定義されている。

空力モーメント係数 $C_m, C_l, C_n$ は基準機体軸系において次式の通り定義されている。

$$\begin{aligned} C_m = & C_{mbasic}(M^R, \alpha^R, \beta^R) + \Delta C_{ms}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e) + \Delta C_{mr}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta_r) \\ & + \Delta C_{msa}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e, \delta'_a) + \Delta C_{mflex}(M^R, \alpha^R, \bar{q}^R) + \Delta C_{mintl}(M^R, \alpha^R, A_Z^{CG}) \\ & + C_{mq}(M^R, \alpha^R) \frac{Q_A^R c_w}{2V_{TAS}^R} \times \left(1 + \frac{\Delta C_{mq}}{100}\right) \end{aligned} \quad (52)$$

$$\begin{aligned} C_l = & C_{lbasic}(M^R, \alpha^R, \beta^R) + \Delta C_{ls}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e) + \Delta C_{lr}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta_r) \\ & + \Delta C_{lsa}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e, \delta'_a) + C_{lp}(M^R, \alpha^R) \frac{P_A^R b_w}{2V_{TAS}^R} \times \left(1 + \frac{\Delta C_{lp}}{100}\right) \\ & + C_{lr}(M^R, \alpha^R) \frac{R_A^R b_w}{2V_{TAS}^R} \times \left(1 + \frac{\Delta C_{lr}}{100}\right) + \Delta C_{lbasic}(M^R) + \Delta C_{lw}(M^R) \times \theta_w \end{aligned} \quad (53)$$

$$\begin{aligned} C_n = & C_{nbasic}(M^R, \alpha^R, \beta^R) + \Delta C_{ns}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e) + \Delta C_{nr}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta_r) \\ & + \Delta C_{nsa}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e, \delta'_a) + C_{np}(M^R, \alpha^R) \frac{P_A^R b_w}{2V_{TAS}^R} \times \left(1 + \frac{\Delta C_{np}}{100}\right) \\ & + C_{nr}(M^R, \alpha^R) \frac{R_A^R b_w}{2V_{TAS}^R} \times \left(1 + \frac{\Delta C_{nr}}{100}\right) + \Delta C_{nbasic}(M^R) + \Delta C_{nt}(M^R) \times \theta_t \\ & + \Delta \Delta C_{nsa} \times \delta'_a + \Delta \Delta C_{nr} \times \delta_r \end{aligned} \quad (54)$$

式(52)より $C_m$ は基本特性 $C_{mbasic}$ と操舵効果 $\Delta C_{ms}, \Delta C_{mr}, \Delta C_{msa}$ 、空力弾性効果 $\Delta C_{mflex}$ 、慣性変形効果 $\Delta C_{mintl}$ 、動安定微係数 $C_{mq}$ の重ね合わせによりノミナル特性が定義され、基本特性、

エレベータ操舵効果，空力弾性効果，動安定微係数に対してはそれぞれの誤差として  $\Delta C_{mbasic}$ ,  $\Delta \Delta C_{ms}$ ,  $\Delta \Delta C_{mflex}$ ,  $\Delta C_{mq}$  が定義されている．  $\Delta \Delta C_{ms}$  は舵角  $1^\circ$  あたりの値であり，舵角に比例した誤差となっている．式(53)より  $C_l$  は基本特性  $C_{lbasic}$  と操舵効果  $\Delta C_{ls}$ ,  $\Delta C_{lr}$ ,  $\Delta C_{lsa}$ , 動安定微係数  $C_{lp}$ ,  $C_{lr}$  の重ね合わせによりノミナル特性が定義され，誤差として主翼アライメントのずれおよび垂直尾翼アライメントのずれによる影響  $\Delta C_{lw}$ ,  $\Delta C_{lt}$  とエルロン操舵効果，ラダー操舵効果による影響  $\Delta \Delta C_{lsa}$ ,  $\Delta \Delta C_{lr}$  が考慮されている．  $\Delta \Delta C_{lsa}$ ,  $\Delta \Delta C_{lr}$  は舵角  $1^\circ$  あたりの値，  $\Delta C_{lw}$  は主翼アライメントのずれ  $0.2^\circ$  あたりの値，  $\Delta C_{lt}$  は垂直尾翼アライメントのずれ  $0.1^\circ$  あたりの値として定義されている．式(54)より  $C_n$  の構成は主翼アライメントのずれによる影響による誤差がない以外は  $C_l$  と同じである．動安定微係数の算出に用いる角速度はモーメント基準点における対気角速度  $P_A^R$ ,  $Q_A^R$ ,  $R_A^R$  を用いるが，本稿では 9.6 節に示す通り連続突風の角速度成分は考慮していないため，慣性角速度  $P_I^R$ ,  $Q_I^R$ ,  $R_I^R$  と同じものとして扱う．

第 1 回落下試験時のノミナル空力特性データは式(47)から式(49)，また式(52)から式(54)より 2 つから 5 つの対気補助変数，垂直加速度，および実効舵角をパラメータとするテーブル形式のデータとして定義されている．空力誤差データは一定値，あるいはマッハ数をパラメータとするテーブル形式のデータとして与えられる．ただし誤差分布は全て正規分布である．過去に開発された様々な機体 (B-747, F-16 等) の飛行試験と設計時の  $C_{Dbasic}$  の差分がおおよそ 5 % 程度であることを根拠として  $\Delta C_{Dbasic}$  を設定し，JAXA 風洞の不確かさにおける  $\Delta C_{Dbasic}$  との比率からその他の基本特性誤差を定義している．空力弾性効果誤差は，全機強度試験での実測結果と空力弾性効果推算に用いた構造モデルの差異が各種空力係数に与える影響を評価することで定義されている．主翼および垂直尾翼のアライメントのずれに起因する誤差は，主翼アライメントのずれで生じる左右の揚力差と垂直尾翼アライメントのずれで生じる横力により発生するモーメントを推算し，それらが空力係数に与える影響を評価することで定義されている．操舵特性の誤差は，舵面と胴体間のギャップ部のシールがない場合に 15 % 程度舵効きが低下するという事例 [3] をもとに設定されている．

## 6.2 6分力モデルおよび誤差モデル（第2回落下試験）

第2回落下試験時に使用した6分力モデルおよび誤差モデルは、ノミナル特性および誤差の構成が6.1節のものから一部変更されている。空力係数 $C_L, C_D, C_Y$ は基準安定軸系、空力モーメント係数 $C_m, C_l, C_n$ は基準機体軸系でそれぞれ次式の通り定義される。

$$\begin{aligned}
 C_L = & C_{Lbasic}(M^R, \alpha^R, \beta^R) + \Delta C_{Ls}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e) \times \{1 + \Delta \Delta C_{Ls}(M^R)\} \\
 & + \Delta C_{Lr}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_r) + \Delta C_{Lsa}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e, \delta'_a) + \Delta C_{Lflex}(M^R, \alpha^R, \bar{q}^R) \\
 & + \Delta C_{Lintl}(M^R, \alpha^R, A_z^{CG}) + \Delta C_{Lbasic}(M^R) \\
 & + \Delta C_{La}(M^R) \times (\alpha^R - \alpha_0^R) \exp\left\{-\frac{(\alpha^R - \alpha_0^R)^2}{2\sigma_0^2}\right\}
 \end{aligned} \tag{55}$$

$$\begin{aligned}
 C_D = & C_{Dp}(M^R, \alpha^R, \beta^R) + \Delta C_{Dfric}(h^{CG}, M^R) + \Delta C_{Dmisc}(h^{CG}, M^R) \\
 & + \Delta C_{Ds}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e) \times \{1 + \Delta \Delta C_{Ds}(M^R)\} + \Delta C_{Dr}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_r) \\
 & + \Delta C_{Dsa}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e, \delta'_a) + \Delta C_{Dflex}(M^R, \alpha^R, \bar{q}^R) + \Delta C_{Dintl}(M^R, \alpha^R, A_z^{CG}) \\
 & + \Delta C_{Dbasic}(M^R)
 \end{aligned} \tag{56}$$

$$\begin{aligned}
 C_Y = & C_{Ybasic}(M^R, \alpha^R, \beta^R) + \Delta C_{Ys}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e) \\
 & + \Delta C_{Yr}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_r) \times \{1 + \Delta \Delta C_{Yr}(M^R)\} + \Delta C_{Ysa}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e, \delta'_a) \\
 & + \Delta C_{Ybasic}(M^R) + \Delta \Delta C_{Ysa}(M^R) \times \delta'_a + \Delta C_{Y\beta}(M^R) \times \beta^R
 \end{aligned} \tag{57}$$

$$\begin{aligned}
 C_m = & C_{mbasic}(M^R, \alpha^R, \beta^R) + \Delta C_{ms}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e) \times \{1 + \Delta \Delta C_{ms}(M^R)\} \\
 & + \Delta C_{mr}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_r) + \Delta C_{msa}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e, \delta'_a) + \Delta C_{mflex}(M^R, \alpha^R, \bar{q}^R) \\
 & + \Delta C_{mintl}(M^R, \alpha^R, A_z^{CG}) + C_{mq}(M^R, \alpha^R) \frac{Q_I^{CG} c_w}{2V_{TAS}^R} \times \left(1 + \frac{\Delta C_{mq}}{100}\right) \\
 & + \Delta C_{mbasic}(M^R) + \Delta C_{ma}(M^R) \times (\alpha^R - \alpha_0^R) \exp\left\{-\frac{(\alpha^R - \alpha_0^R)^2}{2\sigma_0^2}\right\}
 \end{aligned} \tag{58}$$

$$\begin{aligned}
 C_l = & C_{lbasic}(M^R, \alpha^R, \beta^R) + \Delta C_{ls}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e) \\
 & + \Delta C_{lr}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_r) \times \{1 + \Delta \Delta C_{lr}(M^R)\} \\
 & + \Delta C_{lsa}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e, \delta'_a) \times \{1 + \Delta \Delta C_{lsa}(M^R)\} \\
 & + C_{lp}(M^R, \alpha^R) \frac{P_I^{CG} b_w}{2V_{TAS}^R} \times \left(1 + \frac{\Delta C_{lp}}{100}\right) + C_{lr}(M^R, \alpha^R) \frac{R_I^{CG} b_w}{2V_{TAS}^R} \times \left(1 + \frac{\Delta C_{lr}}{100}\right) \\
 & + \Delta C_{lbasic}(M^R) + \Delta C_{l\beta}(M^R) \times \beta^R
 \end{aligned} \tag{59}$$

$$\begin{aligned}
 C_n = & C_{nbasic}(M^R, \alpha^R, \beta^R) + \Delta C_{ns}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e) \\
 & + \Delta C_{nr}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_r) \times \{1 + \Delta \Delta C_{nr}(M^R)\} \\
 & + \Delta C_{nsa}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_e, \delta'_a) + C_{np}(M^R, \alpha^R) \frac{P_I^{CG} b_w}{2V_{TAS}^R} \times \left(1 + \frac{\Delta C_{np}}{100}\right) \\
 & + C_{nr}(M^R, \alpha^R) \frac{R_I^{CG} b_w}{2V_{TAS}^R} \times \left(1 + \frac{\Delta C_{nr}}{100}\right) + \Delta C_{nbasic}(M^R) \\
 & + \Delta \Delta C_{nsa} \times \delta'_a + \Delta C_{n\beta}(M^R) \times \beta^R
 \end{aligned} \tag{60}$$

空力弾性誤差と主翼および垂直尾翼アライメントのずれに起因する誤差については基本特

性誤差に含めるものとして削除されている。舵効き誤差のうちエレベータに関する縦 3 分力誤差 $\Delta\Delta C_{L_s}, \Delta\Delta C_{D_s}, \Delta\Delta C_{m_s}$ 、ラダーに関する横 3 分力誤差 $\Delta\Delta C_{Y_r}, \Delta\Delta C_{l_r}, \Delta\Delta C_{n_r}$ 、およびエルロンに関する主係数誤差 $\Delta\Delta C_{l_{sa}}$ については舵角に比例するバイアス誤差ではなく、ノミナル値に対する割合として定義するよう変更されている。傾斜誤差 $\Delta C_{L\alpha}, \Delta C_{m\alpha}, \Delta C_{Y\beta}, \Delta C_{l\beta}, \Delta C_{n\beta}$ も新規に追加されており、その詳細については 6.8 節で述べる。さらに縦 3 分力の基本特性誤差 $\Delta C_{Lbasic}, \Delta C_{Dbasic}, \Delta C_{mbasic}$ および横・方向系のラダーの舵効き誤差 $\Delta C_{n_r}, \Delta C_{l_r}$ については相関を考慮するモデルに変更されている。これらの相関の詳細については 6.7 節で述べる。

第 2 回落下試験時のノミナル空力特性データは 6.1 節と同じくテーブル形式のデータで定義されている。第 1 回落下試験時のノミナル特性データでは、実機形状と風洞試験模型形状の差異分を修正しておらず、横・方向系の基本空力特性および操舵特性の一部にずれがあったことが判明したため、追加の CFD 解析と超音速風洞試験を行うことでノミナル空力特性を修正した。修正後の横・方向系のノミナル空力特性に 5%程度のわずかな補正を行うことで第 1 回落下試験と同様の挙動を飛行シミュレーションにより再現することができた。以上の結果より、第 2 回落下試験時のノミナル空力特性データはより実機の空力特性に近いものになっているといえる。

第 2 回落下試験時の空力誤差モデルは高速飛行実証フェーズ 2 (HSFD-II) のモデルをベースに再構成されている。第 1 回落下試験時の空力誤差モデルと比較すると、表 5 より第 2 回落下試験時の誤差の値は総じて大きく設定されていることがわかる。なお表 5 では双方の誤差値の適切な比較のため、第 1 回落下試験時の $\Delta C_{Lbasic}, \Delta C_{Dbasic}, \Delta C_{mbasic}$ は空力弾性誤差、 $\Delta C_{Ybasic}, \Delta C_{nbasic}$ は尾翼アライメントのずれ、 $\Delta C_{lbasic}$ は主翼および尾翼アライメントのずれを含んだものになっている。

表 5 第 1 回落下試験時と第 2 回落下試験時の各種空力誤差の値の比較

	第 1 回落下試験時	第 2 回落下試験時
$\Delta C_{Lbasic}$	$\pm 0.005 \sim 0.012$ ( $\Delta C_{Lflex}$ 含む)	$\pm 0.0032 \sim 0.0047$
$\Delta C_{L\alpha}$	なし	$\pm 0.0047 \sim 0.0070$
$\Delta \Delta C_{Ls}$	$\pm 0.00044 / \text{deg}$ ( $\pm 4\%$ 相当)	$\pm 34\% \sim 43\%$
$\Delta C_{Dbasic}$	$\pm 0.001 \sim 0.0015$ ( $\Delta C_{Dflex}$ 含む)	$\pm 0.0068 \sim 0.0085$
$\Delta \Delta C_{Ds}$	$\pm 0.00021 / \text{deg}$ ( $\pm 4\%$ 相当)	$\pm 16\% \sim 47\%$
$\Delta C_{mbasic}$	$\pm 0.0072 \sim 0.0176$ ( $\Delta C_{Lflex}$ 含む)	$\pm 0.012 \sim 0.023$
$\Delta C_{m\alpha}$	なし	$\pm 0.0015 \sim 0.0029$
$\Delta C_{ms}$	$\pm 0.00065 / \text{deg}$ ( $\pm 4\%$ 相当)	$\pm 32\% \sim 42\%$
$\Delta C_{mq}$	$\pm 100\%$	$\pm 100\%$
$\Delta C_{Ybasic}$	$\pm 0.012 \sim 0.018$ ( $\Delta C_{Yt}$ 含む)	$\pm 0.0015 \sim 0.0021$
$\Delta C_{Y\beta}$	なし	$\pm 0.0022 \sim 0.0028$
$\Delta C_{Yr}$	$\pm 0.00014 / \text{deg}$ ( $\pm 4\%$ 相当)	$\pm 36\% \sim 56\%$
$\Delta C_{Ysa}$	$\pm 0.00006 / \text{deg}$ ( $\pm 4\%$ 相当)	$-0.0061 \sim +0.0020 / \text{deg}$
$\Delta C_{nbasic}$	$\pm 0.003 \sim 0.005$ ( $\Delta C_{nt}$ 含む)	$\pm 0.0006 \sim 0.009$
$\Delta C_{n\beta}$	なし	$\pm 0.0009 \sim 0.0013$
$\Delta C_{nr}$	$\pm 0.000075 / \text{deg}$ ( $\pm 4\%$ 相当)	$\pm 34\% \sim 54\%$
$\Delta C_{nsa}$	$\pm 0.000046 / \text{deg}$ ( $\pm 4\%$ 相当)	$-0.0008 \sim +0.0023 / \text{deg}$
$\Delta C_{np}$	$\pm 100\%$	$\pm 100\%$
$\Delta C_{nr}$	$\pm 100\%$	$-100\% \sim +600\%$
$\Delta C_{lbasic}$	$\pm 0.0025 \sim 0.0032$ ( $\Delta C_{lw}, \Delta C_{lt}$ 含む)	$\pm 0.00105 \sim 0.0015$
$\Delta C_{l\beta}$	なし	$\pm 0.0007 \sim 0.0016$
$\Delta C_{lr}$	$\pm 0.000012 / \text{deg}$ ( $\pm 4\%$ 相当)	$\pm 51\% \sim 75\%$
$\Delta C_{lsa}$	$\pm 0.000046 / \text{deg}$ ( $\pm 4\%$ 相当)	$\pm 29\% \sim 38\%$
$\Delta C_{lp}$	$\pm 100\%$	$\pm 100\%$
$\Delta C_{lr}$	$\pm 100\%$	$\pm 100\%$

### 6.3 ヒンジモーメント

左右スタビレータとラダーのヒンジモーメント係数は次式の通り定義される。

$$C_{hstbl} = C_{hs}(M^R, \alpha^R, -\beta^R, \delta'_{stbl}) + \Delta C_{hs} \times \delta'_{stbl} \quad (61)$$

$$C_{hstbr} = C_{hs}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta'_{stbr}) + \Delta C_{hs} \times \delta'_{stbr} \quad (62)$$

$$C_{hrud} = C_{hr}(M^R, \alpha^R, \beta^R, \delta_r) + \Delta C_{hr} \times \delta_r \quad (63)$$

式(61)から式(63)より、ヒンジモーメント係数は基本特性 $C_{hs}$ 、 $C_{hr}$ と誤差 $\Delta C_{hs}$ 、 $\Delta C_{hr}$ で構成され、 $C_{hs}$ は右スタビレータの値として定義されている。左スタビレータのヒンジモーメント係数は機体の左右対称性から $\beta^R$ の符号を反転させて計算する。ヒンジモーメント係数は第1回落下試験時と第2回落下試験時でノミナル特性データは同じであり、テーブル形式のデータとして与えられている。誤差データも第1回落下試験時と第2回落下試験時で同じであり、表6にその値を示す。誤差の設定根拠は6.1節の操舵特性誤差と同様である。式(61)から式(63)より、各舵面のヒンジモーメントは次式で与えられる。

$$HM_{stbl} = \frac{1}{2} \rho^{CG} V_{TAS}^R{}^2 S_s c_s C_{hstbl} + m_{stb0} g_E^{CG} N_z^{CG} (L_{stbCG} - L_{stbHL}) \quad (64)$$

$$HM_{stbr} = \frac{1}{2} \rho^{CG} V_{TAS}^R{}^2 S_s c_s C_{hstbr} + m_{stb0} g_E^{CG} N_z^{CG} (L_{stbCG} - L_{stbHL}) \quad (65)$$

$$HM_{rud} = \frac{1}{2} \rho^{CG} V_{TAS}^R{}^2 S_r c_r C_{hrud} \quad (66)$$

式(64)および式(65)の第2項はスタビレータの舵面慣性力項である。

表6 ヒンジモーメント係数誤差の3 $\sigma$ 値

	第1回落下試験時	第2回落下試験時	単位
$\Delta C_{hs}$	8.21560E-04	8.21560E-04	1/deg
$\Delta C_{hr}$	1.84661E-03	1.84661E-03	1/deg

### 6.4 空力データの適用範囲と補外方法

表7および表8に第1回落下試験および第2回落下試験の空力データの適用範囲と補外方法を示す。空力データを飛行シミュレーションで使用するにあたりその適用範囲が定められているが、飛行シミュレーション条件によっては適用範囲を逸脱する可能性があるため、補外方法についても併せて示している。



表 7 空力データの適用範囲と補外方法 (第1回落下試験)

	適用範囲	補外方法
$M^R$	$M^R = 0 \sim 1.8$	$M^R = 0.2$ 以下の領域は $M^R = 0.2$ , $M^R = 1.6$ 以上の領域は $M^R = 1.6$ のデータで端点保持.
$\alpha^R$	$\alpha^R = -10^\circ \sim +15^\circ$	適用範囲下限以下の領域は $\alpha^R = -11^\circ$ まで線形補外, それ以下は $\alpha^R = -11^\circ$ のデータを端点保持. 適用範囲上限以上の領域は $\alpha^R = 16^\circ$ まで線形補外し, それ以上は $\alpha^R = 16^\circ$ のデータを端点保持.
$\beta^R$	$\beta^R = -10^\circ \sim +10^\circ$	$\beta^R = -5^\circ$ 以下の領域は $\beta^R = -10^\circ$ まで線形補外し, それ以下は $\beta^R = -10^\circ$ のデータを端点保持. $\beta^R = 5^\circ$ 以上の領域は $\beta^R = 10^\circ$ まで線形補外し, それ以上は $\beta^R = 10^\circ$ のデータを端点保持.
$\delta'_e, \delta'_a, \delta_r$	$\delta'_e, \delta'_a, \delta_r = -20^\circ \sim +20^\circ$	各舵は適用範囲上下限までデータが定義されており, 舵面機構上適用範囲を超えて動作しないので補外は行わない.
$\bar{q}^R$	$\bar{q}^R = 0 \sim 80 \text{ kPa}$	$\bar{q}^R = 60 \text{ kPa}$ 以上の領域は適用範囲上限まで線形補外, それ以上は適用範囲上限のデータを端点保持.
$A_Z^{CG}$	$A_Z^{CG} = -44.13 \sim +44.13 \text{ m/s}^2$	$A_Z^{CG} = -40 \text{ m/s}^2$ 以下の領域は適用範囲下限まで線形補外, それ以下は適用範囲下限のデータを端点保持. $A_Z^{CG} = 40 \text{ m/s}^2$ 以上の領域は適用範囲上限まで線形補外, それ以上は適用範囲上限のデータを端点保持.

表 8 空力データの適用範囲と補外方法 (第 2 回落下試験)

	適用範囲	補外方法
$M^R$	$M^R = 0 \sim 1.7$	$M^R = 0.2$ 以下の領域は $M^R = 0.2$ , $M^R = 1.8$ 以上の領域は $M^R = 1.8$ のデータで端点保持.
$\alpha^R$	$\alpha^R = -10^\circ \sim +15^\circ$	適用範囲下限以下の領域は $\alpha^R = -10^\circ$ のデータを端点保持. 適用範囲上限以上の領域は $\alpha^R = 15^\circ$ のデータを端点保持.
$\beta^R$	$\beta^R = -10^\circ \sim +10^\circ$	$\beta^R = -5^\circ$ 以下の領域は $\beta^R = -10^\circ$ まで線形補外し, それ以下は $\beta^R = -10^\circ$ のデータを端点保持. $\beta^R = 5^\circ$ 以上の領域は $\beta^R = 10^\circ$ まで線形補外し, それ以上は $\beta^R = 10^\circ$ のデータを端点保持.
$\delta'_e, \delta'_a, \delta_r$	$\delta'_e, \delta'_a, \delta_r = -20^\circ \sim +20^\circ$	$\delta'_e, \delta_r$ は適用範囲上下限までデータが定義されており, 舵面機構上適用範囲を超えて動作しないので補外は行わない. $\delta'_a$ は $\delta'_a = -10^\circ$ 以下の領域は適用範囲下限まで線形補外, $\delta'_a = 10^\circ$ 以上の領域は適用範囲上限まで線形補外
$\bar{q}^R$	$\bar{q}^R = 0 \sim 80 \text{ kPa}$	$\bar{q}^R = 60 \text{ kPa}$ 以上の領域は適用範囲上限まで線形補外, それ以上は適用範囲上限のデータを端点保持.
$A_Z^{CG}$	$A_Z^{CG} = -44.13 \sim +44.13 \text{ m/s}^2$	$A_Z^{CG} = -40 \text{ m/s}^2$ 以下の領域は適用範囲下限まで線形補外, それ以下は適用範囲下限のデータを端点保持. $A_Z^{CG} = 40 \text{ m/s}^2$ 以上の領域は適用範囲上限まで線形補外, それ以上は適用範囲上限のデータを端点保持.

## 6.5 重心位置における空気力と空力モーメント

6.1 節と 6.2 節で計算した各種空力係数および空力モーメント係数はそれぞれ基準安定軸系, 基準機体軸系における値であるため, 式(10)および式(11)で用いるためには機体軸系における値に変換する必要がある. 揚力 $L$ , 抗力 $D$ , 横力 $Y$ は基準安定軸系において次式で与えられる.

$${}^{RS} \begin{bmatrix} L \\ D \\ Y \end{bmatrix}^R = \frac{1}{2} \rho^{CG} V_{TAS}^R{}^2 S_w \begin{bmatrix} C_L \\ C_D \\ C_Y \end{bmatrix} \quad (67)$$

したがって, 基準機体軸系における空気力は

$${}^{RB} \begin{bmatrix} F_{ax} \\ F_{ay} \\ F_{az} \end{bmatrix}^R = \mathbf{T}_{RB/RS} {}^{RS} \begin{bmatrix} L \\ D \\ Y \end{bmatrix}^R \quad (68)$$

となる. 基準機体軸系における各軸周りのモーメントは次式で与えられる.

$${}^{RB} \begin{bmatrix} M_{ax} \\ M_{ay} \\ M_{az} \end{bmatrix}^R = \frac{1}{2} \rho V_{TAS}^R{}^2 S_w \begin{bmatrix} b_w & 0 & 0 \\ 0 & c_w & 0 \\ 0 & 0 & b_w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_l \\ C_m \\ C_n \end{bmatrix} \quad (69)$$

機体軸系における空気力は基準機体軸系と同じであるが, 基準機体軸系における空気力は機体重心周りにモーメントを生じさせる. したがって, 機体軸系における空気力と空力モーメントはそれぞれ次式で与えられる.

$${}^B \begin{bmatrix} F_{ax} \\ F_{ay} \\ F_{az} \end{bmatrix}^{CG} = {}^{RB} \begin{bmatrix} F_{ax} \\ F_{ay} \\ F_{az} \end{bmatrix}^R \quad (70)$$

$$\begin{aligned} {}^B \begin{bmatrix} M_{ax} \\ M_{ay} \\ M_{az} \end{bmatrix}^{CG} &= {}^{RB} \begin{bmatrix} M_{ax} \\ M_{ay} \\ M_{az} \end{bmatrix}^R + \\ &\left\{ \mathbf{T}_{B/C} \mathbf{T}_{C/A} \begin{bmatrix} X_{ref} \\ Y_{ref} \\ Z_{ref} \\ 1 \end{bmatrix} - \mathbf{T}_{B/C} \begin{bmatrix} X_{CG0} + \Delta X_{CG0} \\ Y_{CG0} + \Delta Y_{CG0} \\ Z_{CG0} + \Delta Z_{CG0} \\ 1 \end{bmatrix} \right\} \times {}^{RB} \begin{bmatrix} F_{ax} \\ F_{ay} \\ F_{az} \end{bmatrix}^R \end{aligned} \quad (71)$$

## 6.6 運動方程式の積分時における慣性力変形効果の取り扱い

6.1 節と 6.2 節で定義した $C_L, C_D, C_m$ の構成要素のうち, 慣性力変形効果は機体重心の垂直加速度 $A_z^{CG}$ がパラメータとなっているが, 式(45)から $A_z^{CG}$ は機体重心に働く空気力に依存するので再帰的な関係となっている. そこで以下の繰り返し計算により $A_z^{CG}$ を収束させたうえで,  $C_L, C_D, C_m$ の計算を行う必要がある.

運動方程式の積分時には, まず適当な初期値 $A_{z0}^{CG}$ を定めて式(70)により $F_{az}^{CG}$ を求めた上で, 式(45)より空気力に起因する垂直加速度を計算する. 式(45)で求めた $A_z^{CG}$ と $A_{z0}^{CG}$ の差が設定し

た閾値よりも大きい場合には、 $A_{z0}^{CG}$ を $A_z^{CG}$ に置き換えてから再度式(45)により $A_z^{CG}$ を求め、閾値を下回るまでこの手順を繰り返す。なお誘導制御則の設計・評価に使用した飛行シミュレーションプログラムでは閾値を $1.0 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$ に設定した。

## 6.7 各種空力誤差の相関

6.2節で述べたように、第2回落下試験時の空力誤差モデルでは縦3分力の基本特性誤差 $\Delta C_{Lbasic}$ 、 $\Delta C_{Dbasic}$ 、 $\Delta C_{mbasic}$ および横・方向系のラダーの舵効き誤差 $\Delta C_{nr}$ 、 $\Delta C_{lr}$ については相関を考慮して誤差値を決定する必要がある。これらの空力誤差の相関行列のデータを表9と表10にまとめる。相関を有する誤差の設定方法はA.1.3節を参照のこと。

表9 縦3分力の基本特性誤差の相関行列

	$\Delta C_{Lbasic}$	$\Delta C_{Dbasic}$	$\Delta C_{mbasic}$
$\Delta C_{Lbasic}$	1	0.6	-0.83
$\Delta C_{Dbasic}$	0.6	1	-0.5
$\Delta C_{mbasic}$	-0.83	-0.5	1

表10 横・方向系のラダーの舵効き誤差の相関行列

	$\Delta C_{nr}$	$\Delta C_{lr}$
$\Delta C_{nr}$	1	-0.9
$\Delta C_{lr}$	-0.9	1

## 6.8 傾斜誤差の取り扱いについて

6.2節で示したように、第2回落下試験時の空力誤差モデルには傾斜誤差である $\Delta C_{L\alpha}$ 、 $\Delta C_{m\alpha}$ 、 $\Delta C_{Y\beta}$ 、 $\Delta C_{l\beta}$ 、 $\Delta C_{n\beta}$ が考慮されている。 $\alpha^R$ 、 $\beta^R$ に関する傾斜誤差は式(55)および式(57)から式(60)に示されている通り

$$\Delta C_{x\alpha}(M^R) \times (\alpha^R - \alpha_0^R) \exp\left\{-\frac{(\alpha^R - \alpha_0^R)^2}{2\sigma_0^2}\right\} \quad (72)$$

$$\Delta C_{x\beta}(M^R) \times \beta^R \quad (73)$$

の形で与えられる( $x = L, m, Y, l, n$ )。 $\beta^R$ は姿勢制御により飛行中の全区間を通して $\beta^R = 0$ の近傍にあるため、 $\Delta C_{x\beta}$ は $\beta^R = 0$ を中心として $\Delta C_{x\beta}(M^R)$ だけ $C_Y$ 、 $C_l$ 、 $C_n$ を回転させるような式(73)のモデル化を行った。ただし $\Delta C_{x\alpha}$ に関しては飛行フェーズ毎に基準となる $\alpha^R$ は変化することから、 $\beta^R$ と同様なモデル化により傾斜誤差を定義すると基準迎角から離れたところで過大な誤差を生じてしまう。そこで文献[4]を参考にして $\alpha^R = \alpha_0^R$ において $\Delta C_{x\alpha}(M^R)$ だけ $C_L$ 、 $C_m$ の傾きを変化させ、 $\alpha^R = \alpha_0^R$ を中心とした標準偏差 $\sigma_0$ の正規分布の形で傾斜が減少していくような式(72)のモデル化を行った。このモデルは $\alpha_0^R$ から離れるほどノミナルの傾斜に漸近するようなモデルであり、 $\sigma_0$ がその漸近挙動を支配するパラメータである。図14は

$\Delta C_{L\alpha}(M^R)$ を例に式(72)のモデルを図示したものであるが、 $\sigma_0$ が大きいほど $\alpha_0^R$ から離れてもノミナルの傾斜からの誤差の影響が残りやすいことがわかる。ただし、図 14 では誤差の影響を分かりやすくするために、 $\Delta C_{L\alpha}(M^R)$ の値を 10 倍にして描画している。 $\alpha_0^R, \sigma_0$ は一様分布の誤差とし、D-SEND#2 の全フェーズでの飛行パターンを参考にその幅をそれぞれ $\alpha_0^R = [0^\circ, 10^\circ]$ 、 $\sigma_0 = [1^\circ, 4^\circ]$ に設定した。

傾斜誤差の値はマッハ数のみをパラメータとしたモデルになっているが、たとえば姿勢制御の安定性に大きな影響を与える $\Delta C_{l\beta}$ のモデル化については以下の問題点が指摘されている。デルタ翼の $\Delta C_{l\beta}$ は後退角の影響によって左右の主翼に揚力差が生じることで発生する。そのためゼロ揚力迎角では $\Delta C_{l\beta}$ は発生せず、 $\alpha_0^R$ が大きくなるほど揚力差が生じるはずである。そのためゼロ揚力迎角から離れるほど誤差が大きくなるように、 $\alpha^R$ もパラメータとして考慮すべきである。ただし平板翼ではゼロ揚力迎角で $\Delta C_{l\beta}$ は発生しないが、S3CM はゼロ揚力迎角でも主翼上では局所的に揚力を発生してキャンセルし合って結果的にゼロ揚力になっているため、必ずしもゼロ揚力迎角を基準とすることはできない。 $\Delta C_{l\beta}$ の適切なモデル化については引き続き空力的観点からの検討が望まれる。

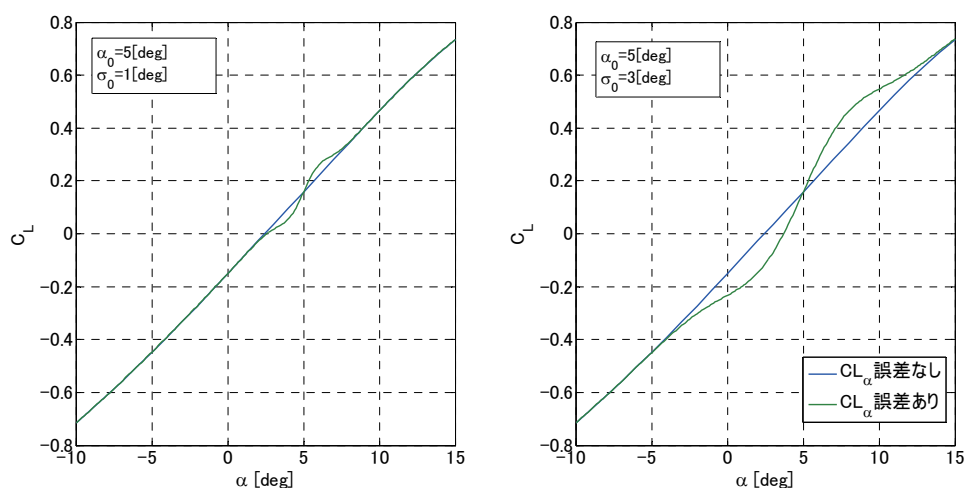


図 14 迎角に関する傾斜誤差のモデル化 ( $C_{Lbasic}$ と $\Delta C_{L\alpha}$ のみ考慮,  $^R M = 1.2$ )

## 7 センサモデル

ここでは、機体に搭載される EGI(Embedded GPS/INS), ADS(Air Data System),  $A_z$  センサのモデル概要について述べる。誘導制御則の評価にあたっては第 1 回および第 2 回落下試験において、各種センサで直接計測する電圧などの物理量から誘導制御則で使用する物理量への変換を模擬できる詳細なセンサモデル（ただし EGI は除く）と、FLCC にインストールされる OFP を利用した評価結果を正として取り扱う。しかしながら誘導制御則の設計開発段階ではセンサ仕様には未確定の部分があり、また OFP も利用できないため、飛行シミュレーションで計算される真値のうち、誘導制御則で使用する物理量に対して適切な誤差や遅れなどを直接付加してセンサ出力を定義する簡易的なセンサモデルが必要となる。本稿の目的は誘導制御則の設計開発に資することであることから、誘導制御則の評価のみに必要となる詳細なモデルセンサモデルについての記述は割愛し、簡易的なセンサモデルについてのみ記述するものとする。

### 7.1 EGI モデル

EGI は 3 軸レートジャイロと加速度計から構成される慣性計測装置 (IMU: Inertial Measurement Unit) と GPS 受信機ならびにそれらの出力データを処理する計算機で構成されており、機体軸系での慣性角速度と加速度の計測、および GPS を利用した複合航法計算による地球固定座標系での位置、機体軸系での慣性速度、ならびに姿勢角の計算を行う。EGI 出力のうち慣性角速度と加速度の計測値は EGI 内部のアンチエイリアシングフィルタを経て 200 Hz で、複合航法計算を経た位置、慣性速度、姿勢角の計測値は 50 Hz でデジタルバスへ出力され、OFP は EGI からの角速度データを 100 Hz, それ以外のデータを 50 Hz で処理して誘導制御機能と航法インターフェースに受け渡す。航法インターフェースは各種センサで計測された値をもとに、誘導制御機能で使用する各種物理量の計算を行う OFP の機能の一部である。なお EGI は胴体の構造振動による姿勢変化の影響を避けるために構造振動一次モードの腹の位置に搭載されている。本稿では複合航法の模擬は行わず、4 章の運動モデルで得られた誘導座標系における位置、機体軸系における慣性速度、加速度、姿勢角、慣性角速度の真値に対して誤差と遅れを付加した EGI モデルを定義する。

#### 7.1.1 EGI 誤差モデル

EGI 搭載位置における慣性角速度の機体軸系ならびにセンサ機体軸系での計測値は

$${}^B \begin{bmatrix} P_{Im} \\ Q_{Im} \\ R_{Im} \end{bmatrix}^{EGI} = {}^B \begin{bmatrix} P_I \\ Q_I \\ R_I \end{bmatrix}^{CG} + \Delta_{BS}^{EGI} \begin{bmatrix} P_I \\ Q_I \\ R_I \end{bmatrix} + \Delta_{RN}^{EGI} \begin{bmatrix} P_I \\ Q_I \\ R_I \end{bmatrix} \quad (74)$$

$${}^{SB} \begin{bmatrix} P_{Im} \\ Q_{Im} \\ R_{Im} \end{bmatrix}^{EGI} = \mathbf{T}_{SB/B} \begin{pmatrix} \phi_{EGIO} + \Delta\phi_{EGIO} \\ \theta_{EGIO} + \Delta\theta_{EGIO} + \theta_{EGIntI0} + \Delta\theta_{EGIntI0} \\ \psi_{EGIO} + \Delta\psi_{EGIO} \end{pmatrix} {}^B \begin{bmatrix} P_{Im} \\ Q_{Im} \\ R_{Im} \end{bmatrix}^{EGI} \quad (75)$$

で表される．式(74)で $\Delta_{BS}^{EGIB}P_I, \Delta_{BS}^{EGIB}Q_I, \Delta_{BS}^{EGIB}R_I$ は EGI の慣性角速度のバイアス誤差， $\Delta_{RN}^{EGIB}P_I, \Delta_{RN}^{EGIB}Q_I, \Delta_{RN}^{EGIB}R_I$ は慣性角速度のランダム誤差であり，式(75)で $\phi_{EGIO}, \theta_{EGIO}, \psi_{EGIO}$ および $\Delta\phi_{EGIO}, \Delta\theta_{EGIO}, \Delta\psi_{EGIO}$ は EGI のノミナル取り付け角およびその誤差， $\theta_{EGIntI0}$ と $\Delta\theta_{EGIntI0}$ は慣性力による機体構造変形に伴う EGI の取り付け角変化のノミナル値とその誤差であり，その値は表 11 および表 12 に示す通りである．

EGI 搭載位置における誘導座標系位置の計測値は次式の通りである．

$${}^G \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{bmatrix}^{EGI} = {}^G \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}^{CG} + \mathbf{T}_{B/H}^{-1} \left\{ \mathbf{T}_{B/C} \begin{bmatrix} X_{EGIO} + \Delta X_{EGIO} \\ Y_{EGIO} + \Delta Y_{EGIO} \\ Z_{EGIO} + \Delta Z_{EGIO} \\ 1 \end{bmatrix} \right\} - \mathbf{T}_{B/C} \begin{bmatrix} X_{CG0} + \Delta X_{CG0} \\ Y_{CG0} + \Delta Y_{CG0} \\ Z_{CG0} + \Delta Z_{CG0} \\ 1 \end{bmatrix} \left\{ + \Delta_{BS}^{EGI} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \Delta_{RN}^{EGI} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \right\} \quad (76)$$

$${}^G \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}^{CG} = \begin{bmatrix} R_M(\lambda^{CG} - \lambda_0) \\ R_N \cos \lambda^{CG} (\eta^{CG} - \eta_0) \\ -h^{CG} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_M \left\{ \text{atan} \left( \frac{R_a^2}{R_b^2} \tan \lambda_c^{CG} \right) - \lambda_0 \right\} \\ R_N \cos \left\{ \text{atan} \left( \frac{R_a^2}{R_b^2} \tan \lambda_c^{CG} \right) \right\} (\eta^{CG} - \eta_0) \\ -h^{CG} \end{bmatrix} \quad (77)$$

式(76)で第 2 項は重心位置から EGI 搭載位置への位置ベクトルであり， $X_{EGIO}, Y_{EGIO}, Z_{EGIO}$ および $\Delta X_{EGIO}, \Delta Y_{EGIO}, \Delta Z_{EGIO}$ は CATIA 座標系における EGI ノミナル搭載位置とその誤差である．第 3 項および第 4 項の $\Delta_{BS}^{EGIG}X, \Delta_{BS}^{EGIG}Y, \Delta_{BS}^{EGIG}Z$ と $\Delta_{RN}^{EGIG}X, \Delta_{RN}^{EGIG}Y, \Delta_{RN}^{EGIG}Z$ はそれぞれ EGI の位置計測バイアス誤差とランダム誤差である．これらの値は表 11 と表 12 に示す通りである．式(76)より，地球固定座標系での EGI 搭載位置における地心緯度，経度，高度の計測値は次式で定義される．

$${}^E \begin{bmatrix} \eta_m \\ \lambda_m \\ h_m \end{bmatrix}^{EGI} = \begin{bmatrix} \eta_0 \\ \lambda_0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{R_{N0} \cos \lambda_m^{EGI}} & 0 \\ \frac{1}{R_{M0}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} {}^G \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{bmatrix}^{EGI} \quad (78)$$

$${}^E \begin{bmatrix} \eta_m \\ \lambda_{cm} \\ h_m \end{bmatrix}^{EGI} = \begin{bmatrix} \eta_0 + \frac{{}^G Y_m^{EGI}}{R_{N0} \cos \lambda_m^{EGI}} \\ \text{atan} \left\{ \frac{R_b^2}{R_a^2} \tan \left( \lambda_0 + \frac{{}^G X_m^{EGI}}{R_{M0}} \right) \right\} \\ -{}^G Z_m^{EGI} \end{bmatrix} \quad (79)$$

EGI 搭載位置における慣性速度の機体軸系およびセンサ機体軸系での計測値は次式の通りである．

$${}^B \begin{bmatrix} U_{Im} \\ V_{Im} \\ W_{Im} \end{bmatrix}^{EGI} = {}^B \begin{bmatrix} U_I \\ V_I \\ W_I \end{bmatrix}^{CG} + {}^B \begin{bmatrix} P_I \\ Q_I \\ R_I \end{bmatrix}^{CG} \times \left\{ \mathbf{T}_{B/C} \begin{bmatrix} X_{EGIO} + \Delta X_{EGIO} \\ Y_{EGIO} + \Delta Y_{EGIO} \\ Z_{EGIO} + \Delta Z_{EGIO} \\ 1 \end{bmatrix} \right\} - \mathbf{T}_{B/C} \begin{bmatrix} X_{CGO} + \Delta X_{CGO} \\ Y_{CGO} + \Delta Y_{CGO} \\ Z_{CGO} + \Delta Z_{CGO} \\ 1 \end{bmatrix} \left\{ \Delta_{BS}^{EGI} \begin{bmatrix} U_I \\ V_I \\ W_I \end{bmatrix} + \Delta_{RN}^{EGI} \begin{bmatrix} U_I \\ V_I \\ W_I \end{bmatrix} \right\} \quad (80)$$

$${}^{SB} \begin{bmatrix} U_{Im} \\ V_{Im} \\ W_{Im} \end{bmatrix}^{EGI} = \mathbf{T}_{SB/B} \begin{pmatrix} \phi_{EGIO} + \Delta\phi_{EGIO} \\ \theta_{EGIO} + \Delta\theta_{EGIO} + \theta_{EGIntl0} + \Delta\theta_{EGIntl0} \\ \psi_{EGIO} + \Delta\psi_{EGIO} \end{pmatrix} {}^B \begin{bmatrix} U_{Im} \\ V_{Im} \\ W_{Im} \end{bmatrix}^{EGI} \quad (81)$$

式(80)の第 2 項は慣性角速度によって EGI 搭載位置に誘起される速度成分, 第 3 項の  $\Delta_{BS}^{EGIH}U_I, \Delta_{BS}^{EGIH}V_I, \Delta_{BS}^{EGIH}W_I$ , および  $\Delta_{RN}^{EGIH}U_I, \Delta_{RN}^{EGIH}V_I, \Delta_{RN}^{EGIH}W_I$  はそれぞれ機体慣性速度のバイアス誤差とランダム誤差であり, 表 12 にそのデータが与えられている.

EGI による姿勢角の計測値の定義には注意を要する. 実際の EGI はクォータニオンを用いて方向余弦行列を計算してからオイラー角に変換しているが, 本稿のシミュレーションモデルではまず式(12)を積分して式(1)により方向余弦行列を計算して, その後で次式によりオイラー角に変換している.

$$\begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{atan}\left(\frac{n_3}{n_2}\right) \\ -\text{asin}(n_1) \\ \text{atan}\left(\frac{m_1}{l_1}\right) \end{bmatrix} \quad (82)$$

表 11 と表 12 に示す通り, EGI の搭載位置における姿勢角の計測値  $\phi_m, \theta_m, \psi_m$  に影響を与える要素は EGI 固有の計測誤差と EGI 取り付け角の 2 つに大別される. 前者は姿勢角のバイアス誤差  $\Delta_{BS}^{EGI}\phi, \Delta_{BS}^{EGI}\theta, \Delta_{BS}^{EGI}\psi$  とランダム誤差  $\Delta_{RN}^{EGI}\phi, \Delta_{RN}^{EGI}\theta, \Delta_{RN}^{EGI}\psi$  であり, 後者は機体軸系に対する EGI のノミナル取り付け角  $\phi_{EGIO}, \theta_{EGIO}, \psi_{EGIO}$  とその誤差  $\Delta\phi_{EGIO}, \Delta\theta_{EGIO}, \Delta\psi_{EGIO}$ , そして慣性力による機体構造変形に伴う EGI の取り付け角変化のノミナル値  $\theta_{EGIntl0}$  とその誤差  $\Delta\theta_{EGIntl0}$  である.  $\Delta_{BS}^{EGI}\phi, \Delta_{BS}^{EGI}\theta, \Delta_{BS}^{EGI}\psi$  と  $\Delta_{RN}^{EGI}\phi, \Delta_{RN}^{EGI}\theta, \Delta_{RN}^{EGI}\psi$  は EGI が認識する姿勢  $\phi', \theta', \psi'$  と真の姿勢  $\phi, \theta, \psi$  の間の単純な差分を意味するわけではなく, 真の姿勢から EGI 固有の計測誤差に相当する回転によって  $\phi', \theta', \psi'$  で定義される姿勢に一致させることができるということの意味する. すなわち

$$\begin{bmatrix} l'_1 & m'_1 & n'_1 \\ l'_2 & m'_2 & n'_2 \\ l'_3 & m'_3 & n'_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Delta\psi \cos \Delta\theta \\ \cos \Delta\psi \sin \Delta\theta \sin \Delta\phi - \sin \Delta\psi \cos \Delta\phi \\ \cos \Delta\psi \sin \Delta\theta \cos \Delta\phi + \sin \Delta\psi \sin \Delta\theta \\ \sin \Delta\psi \cos \Delta\theta \\ \sin \Delta\psi \sin \Delta\theta \sin \Delta\phi + \cos \Delta\psi \cos \Delta\phi \\ \sin \Delta\psi \sin \Delta\theta \cos \Delta\phi - \cos \Delta\psi \sin \Delta\phi \\ -\sin \Delta\theta \\ \cos \Delta\theta \sin \Delta\phi \\ \cos \Delta\theta \cos \Delta\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_1 & m_1 & n_1 \\ l_2 & m_2 & n_2 \\ l_3 & m_3 & n_3 \end{bmatrix} \quad (83)$$

である. ただし式において  $l'_1 \sim n'_3$  は EGI が認識する機体軸系の方向余弦であり,



$$\begin{bmatrix} \Delta\phi \\ \Delta\theta \\ \Delta\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta_{BS}^{EGI} \phi + \Delta_{RN}^{EGI} \phi \\ \Delta_{BS}^{EGI} \theta + \Delta_{RN}^{EGI} \theta \\ \Delta_{BS}^{EGI} \psi + \Delta_{RN}^{EGI} \psi \end{bmatrix} \quad (84)$$

である. さらに EGI に認識する機体軸系を EGI 取り付け角の分だけ回転させたものを EGI が認識するセンサ機体軸系と定義すると,

$$\begin{bmatrix} l_{1m} & m_{1m} & n_{1m} \\ l_{2m} & m_{2m} & n_{2m} \\ l_{3m} & m_{3m} & n_{3m} \end{bmatrix} = \mathbf{T}_{SB/B} \begin{pmatrix} \phi_{EGIO} + \Delta\phi_{EGIO} \\ \theta_{EGIO} + \Delta\theta_{EGIO} + \theta_{EGIntl0} + \Delta\theta_{EGIntl0} \\ \psi_{EGIO} + \Delta\psi_{EGIO} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} l'_1 & m'_1 & n'_1 \\ l'_2 & m'_2 & n'_2 \\ l'_3 & m'_3 & n'_3 \end{bmatrix} \quad (85)$$

となる. したがって, 式より, EGI での姿勢角の計測値  $\phi_m, \theta_m, \psi_m$  は次式で与えられる.

$$\begin{bmatrix} \phi_m \\ \theta_m \\ \psi_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{atan}\left(\frac{n_{3m}}{n_{2m}}\right) \\ -\text{asin}(n_{1m}) \\ \text{atan}\left(\frac{m_{1m}}{l_{1m}}\right) \end{bmatrix} \quad (86)$$

EGI 搭載位置における加速度の機体軸系およびセンサ機体軸系での計測値は

$$\begin{bmatrix} A_{xm} \\ A_{ym} \\ A_{zm} \end{bmatrix}^{EGI} = \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{bmatrix}^{CG} + \begin{bmatrix} \dot{P}_I \\ \dot{Q}_I \\ \dot{R}_I \end{bmatrix}^{CG} \times \left\{ \mathbf{T}_{B/C} \begin{bmatrix} X_{EGIO} + \Delta X_{EGIO} \\ Y_{EGIO} + \Delta Y_{EGIO} \\ Z_{EGIO} + \Delta Z_{EGIO} \\ 1 \end{bmatrix} - \mathbf{T}_{B/C} \begin{bmatrix} X_{CG0} + \Delta X_{CG0} \\ Y_{CG0} + \Delta Y_{CG0} \\ Z_{CG0} + \Delta Z_{CG0} \\ 1 \end{bmatrix} \right\} + \Delta_{BS}^{EGI} \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{bmatrix} + \Delta_{RN}^{EGI} \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{bmatrix} \quad (87)$$

$$\begin{bmatrix} A_{xm} \\ A_{ym} \\ A_{zm} \end{bmatrix}^{SB} = \mathbf{T}_{SB/B} \begin{pmatrix} \phi_{EGIO} + \Delta\phi_{EGIO} \\ \theta_{EGIO} + \Delta\theta_{EGIO} + \theta_{EGIntl0} + \Delta\theta_{EGIntl0} \\ \psi_{EGIO} + \Delta\psi_{EGIO} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} A_{xm} \\ A_{ym} \\ A_{zm} \end{bmatrix}^{EGI} \quad (88)$$

である. 式(87)で, 第 1 項は機体重心に作用する空気力による加速度の機体軸成分, 第 2 項は機体重心周りの角加速度により EGI 搭載位置に誘起される加速度の機体軸成分, 第 3 項の  $\Delta_{BS}^{EGI} A_x, \Delta_{BS}^{EGI} A_y, \Delta_{BS}^{EGI} A_z$  は EGI の加速度計測値のバイアス誤差, 第 4 項の  $\Delta_{RN}^{EGI} A_x, \Delta_{RN}^{EGI} A_y, \Delta_{RN}^{EGI} A_z$  はそのランダム誤差であり, 表 12 に値が定義されている.

表 11 EGI 搭載位置 (CATIA 座標系) および取り付け角のデータ

項目	ノミナル値	誤差 (最大最小)	単位	誤差分布
$X_{EGIO}$	6148.1	$\pm 1.25$	mm	一様
$Y_{EGIO}$	-30	$\pm 1.25$	mm	一様
$Z_{EGIO}$	2177.7	$\pm 1.25$	mm	一様
$\phi_{EGIO}$	0	0	deg	一様
$\theta_{EGIO}$	0	0	deg	一様
$\psi_{EGIO}$	0	$\pm 0.055$	deg	一様
$\theta_{EGIntI0}$	$0.0103 \times N_z$	$\pm 0.0071 \times N_z$	deg	一様

表 12 EGI 計測値のバイアス誤差およびランダム誤差のデータ

項目	バイアス誤差 ( $\pm 3\sigma$ または最大最小)	ランダム誤差 ( $\pm 3\sigma$ )	単位	誤差分布
$\Delta_{BS}^{EGB} P_I, \Delta_{RN}^{EGB} P_I$	なし	$\pm 0.3$	deg/s	正規
$\Delta_{BS}^{EGB} Q_I, \Delta_{RN}^{EGB} Q_I$	なし	$\pm 0.3$	deg/s	正規
$\Delta_{BS}^{EGB} R_I, \Delta_{RN}^{EGB} R_I$	なし	$\pm 0.3$	deg/s	正規
$\Delta_{BS}^{EGI} X, \Delta_{RN}^{EGI} X$	$\pm 10$	$\pm 4$	m	正規
$\Delta_{BS}^{EGI} Y, \Delta_{RN}^{EGI} Y$	$\pm 10$	$\pm 4$	m	正規
$\Delta_{BS}^{EGI} Z, \Delta_{RN}^{EGI} Z$	$\pm 10$	$\pm 8$	m	正規
$\Delta_{BS}^{EGIH} U_I, \Delta_{RN}^{EGIH} U_I$	$\pm 1.27$	$\pm 0.23$	m/s	正規
$\Delta_{BS}^{EGIH} V_I, \Delta_{RN}^{EGIH} V_I$	$\pm 1.27$	$\pm 0.23$	m/s	正規
$\Delta_{BS}^{EGIH} W_I, \Delta_{RN}^{EGIH} W_I$	$\pm 2.5$	$\pm 0.5$	m/s	正規
$\Delta_{BS}^{EGI} \phi, \Delta_{RN}^{EGI} \phi$	$\pm 0.1$	$\pm 0.05$	deg	正規
$\Delta_{BS}^{EGI} \theta, \Delta_{RN}^{EGI} \theta$	$\pm 0.1$	$\pm 0.05$	deg	正規
$\Delta_{BS}^{EGI} \psi, \Delta_{RN}^{EGI} \psi$	$\pm 0.6$	$\pm 0.4$	deg	正規
$\Delta_{BS}^{EGB} A_x, \Delta_{RN}^{EGB} A_x$	$\pm 0.06$	$\pm 0.3$	m/s <sup>2</sup>	正規
$\Delta_{BS}^{EGB} A_y, \Delta_{RN}^{EGB} A_y$	$\pm 0.06$	$\pm 0.3$	m/s <sup>2</sup>	正規
$\Delta_{BS}^{EGB} A_z, \Delta_{RN}^{EGB} A_z$	$\pm 0.06$	$\pm 0.3$	m/s <sup>2</sup>	正規

### 7.1.2 EGI 遅れモデル

式(78), 式(81), 式(86)の EGI 搭載位置における位置, 慣性速度, 姿勢角の計測値は複合航法処理の影響で表 13 に示す無駄時間 $\tau_{50}^{EGI}$ だけ遅れて出力される。したがって誘導制御則への航法出力は次式で定義される。

$${}^G \begin{bmatrix} \eta_{nav}(t) \\ \lambda_{cnav}(t) \\ h_{nav}(t) \end{bmatrix}^{EGI} = {}^G \begin{bmatrix} \eta_m(t - \tau_{50}^{EGI}) \\ \lambda_{cm}(t - \tau_{50}^{EGI}) \\ h_m(t - \tau_{50}^{EGI}) \end{bmatrix}^{EGI} \quad (89)$$

$${}^{SB} \begin{bmatrix} U_{Inav}(t) \\ V_{Inav}(t) \\ W_{Inav}(t) \end{bmatrix}^{EGI} = {}^{SB} \begin{bmatrix} U_{Im}(t - \tau_{50}^{EGI}) \\ V_{Im}(t - \tau_{50}^{EGI}) \\ W_{Im}(t - \tau_{50}^{EGI}) \end{bmatrix}^{EGI} \quad (90)$$

$$\begin{bmatrix} \phi_{nav}(t) \\ \theta_{nav}(t) \\ \psi_{nav}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_m(t - \tau_{50}^{EGI}) \\ \theta_m(t - \tau_{50}^{EGI}) \\ \psi_m(t - \tau_{50}^{EGI}) \end{bmatrix} \quad (91)$$

ただし位置, 慣性速度, 姿勢角の航法出力は 50 Hz で更新されるため,

$${}^G \begin{bmatrix} \eta_{nav}(t) \\ \lambda_{cnav}(t) \\ h_{nav}(t) \end{bmatrix}^{EGI} = {}^G \begin{bmatrix} \eta_{nav}(nT_{50}^{EGI} + \tau) \\ \lambda_{cnav}(nT_{50}^{EGI} + \tau) \\ h_{nav}(nT_{50}^{EGI} + \tau) \end{bmatrix}^{EGI} = {}^G \begin{bmatrix} \eta_{nav}(nT_{50}^{EGI}) \\ \lambda_{cnav}(nT_{50}^{EGI}) \\ h_{nav}(nT_{50}^{EGI}) \end{bmatrix}^{EGI} \quad (92)$$

$${}^{SB} \begin{bmatrix} U_{Inav}(t) \\ V_{Inav}(t) \\ W_{Inav}(t) \end{bmatrix}^{EGI} = {}^{SB} \begin{bmatrix} U_{Inav}(nT_{50}^{EGI} + \tau) \\ V_{Inav}(nT_{50}^{EGI} + \tau) \\ W_{Inav}(nT_{50}^{EGI} + \tau) \end{bmatrix}^{EGI} = {}^{SB} \begin{bmatrix} U_{Inav}(nT_{50}^{EGI}) \\ V_{Inav}(nT_{50}^{EGI}) \\ W_{Inav}(nT_{50}^{EGI}) \end{bmatrix}^{EGI} \quad (93)$$

$$\begin{bmatrix} \phi_{nav}(t) \\ \theta_{nav}(t) \\ \psi_{nav}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{nav}(nT_{50}^{EGI} + \tau) \\ \theta_{nav}(nT_{50}^{EGI} + \tau) \\ \psi_{nav}(nT_{50}^{EGI} + \tau) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{nav}(nT_{50}^{EGI}) \\ \theta_{nav}(nT_{50}^{EGI}) \\ \psi_{nav}(nT_{50}^{EGI}) \end{bmatrix} \quad (94)$$

となる。ただし $0 \leq \tau < T_{50}^{EGI}$ であり,  $T_{50}^{EGI} = 1/50 = 2 \text{ msec}$ である。

式(75)および式(88)に示す EGI 搭載位置における慣性角速度と加速度のセンサ機体軸における計測値は EGI のサンプリングや平均化処理の影響により表 13 に示す無駄時間 $\tau_{200}^{EGI}$ だけ遅れて出力されるので, 航法出力は次式で定義される。

$${}^{SB} \begin{bmatrix} P_{Inav}(t) \\ Q_{Inav}(t) \\ R_{Inav}(t) \end{bmatrix}^{EGI} = {}^{SB} \begin{bmatrix} P_{Im}(t - \tau_{200}^{EGI}) \\ Q_{Im}(t - \tau_{200}^{EGI}) \\ R_{Im}(t - \tau_{200}^{EGI}) \end{bmatrix}^{EGI} \quad (95)$$

$${}^{SB} \begin{bmatrix} A_{xnav}(t) \\ A_{ynav}(t) \\ A_{znav}(t) \end{bmatrix}^{EGI} = {}^{SB} \begin{bmatrix} A_{xm}(t - \tau_{200}^{EGI}) \\ A_{ym}(t - \tau_{200}^{EGI}) \\ A_{zm}(t - \tau_{200}^{EGI}) \end{bmatrix}^{EGI} \quad (96)$$

ただし慣性角速度と加速度の航法出力は 200 Hz で更新されるため,

$${}^{SB} \begin{bmatrix} P_{Inav}(t) \\ Q_{Inav}(t) \\ R_{Inav}(t) \end{bmatrix}^{EGI} = {}^{SB} \begin{bmatrix} P_{Inav}(nT_{200}^{EGI} + \tau) \\ Q_{Inav}(nT_{200}^{EGI} + \tau) \\ R_{Inav}(nT_{200}^{EGI} + \tau) \end{bmatrix}^{EGI} = {}^{SB} \begin{bmatrix} P_{Inav}(nT_{200}^{EGI}) \\ Q_{Inav}(nT_{200}^{EGI}) \\ R_{Inav}(nT_{200}^{EGI}) \end{bmatrix}^{EGI} \quad (97)$$

$${}^{SB} \begin{bmatrix} A_{xnav}(t) \\ A_{ynav}(t) \\ A_{znav}(t) \end{bmatrix}^{EGI} = {}^{SB} \begin{bmatrix} A_{xnav}(nT_{200}^{EGI} + \tau) \\ A_{ynav}(nT_{200}^{EGI} + \tau) \\ A_{znav}(nT_{200}^{EGI} + \tau) \end{bmatrix}^{EGI} = {}^{SB} \begin{bmatrix} A_{xnav}(nT_{200}^{EGI}) \\ A_{ynav}(nT_{200}^{EGI}) \\ A_{znav}(nT_{200}^{EGI}) \end{bmatrix}^{EGI} \quad (98)$$

と表すことができる。ただし  $0 \leq \tau < T_{200}^{EGI}$  であり、 $T_{200}^{EGI} = 1/200 = 5$  msec である。

慣性角速度と加速度については式(97)と式(98)にさらにアンチエイリアシングフィルタを通すことで最終的な誘導制御則への航法出力とする。表 13 の EGI アンチエイリアシングフィルタは EGI 内部でソフトウェア実装されているデジタルフィルタであり、次式の差分方程式によって定義される。

$$y_n^{EGI} = b_1^{EGI} y_{n-1}^{EGI} + b_2^{EGI} y_{n-2}^{EGI} + a_0^{EGI} u_n^{EGI} \quad (99)$$

式(99)で  $y_n^{EGI}$  は  $n$  ステップ目のフィルタ出力、 $u_n^{EGI}$  は  $n$  ステップ目のフィルタ入力であり、EGI 内部で式(97)と式(98)の出力が瞬時にフィルタ処理されるものとする  $u_i^{EGI}$  は

$$u_n^{EGI} = \begin{bmatrix} \Omega_{nav}(nT_{200}^{EGI}) \\ A_{nav}(nT_{200}^{EGI}) \end{bmatrix}^{EGI} \quad (100)$$

で与えられる。ただし  $\Omega_{nav} = [P_{Inav} \ Q_{Inav} \ R_{Inav}]^T$ 、 $A_{nav} = [A_{xnav} \ A_{ynav} \ A_{znav}]^T$  である。式(99)の  $b_1^{EGI}$ 、 $b_2^{EGI}$ 、 $a_0^{EGI}$  はそれぞれ

$$\begin{bmatrix} b_1^{EGI} \\ b_2^{EGI} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{A^{EGI}} (2 + 2\zeta^{EGI} \omega_0^{EGI} T_{200}^{EGI}) \\ -\frac{1}{A^{EGI}} \end{bmatrix} \quad (101)$$

$$a_0^{EGI} = 1 - (b_1 + b_2)$$

$$\omega_0^{EGI} = 2\pi f_0^{EGI}$$

$$A^{EGI} = 1 + 2\zeta^{EGI} \omega_0^{EGI} T_{200}^{EGI} + \omega_0^{EGI^2} T_{200}^{EGI^2}$$

で定義される。式(101)でフィルタのカットオフ周波数  $f_0^{EGI}$  と減衰率  $\zeta^{EGI}$  がパラメータであり、それぞれ  $f_0^{EGI} = 20$  Hz、 $\zeta^{EGI} = 0.5$  である。

式(92)から式(94)、および式(97)と式(98)はデジタルバスを通してそれぞれ 50 Hz または 200 Hz で FLCC へ送信されるが、OFP の誘導制御タスク処理開始タイミングで用いられる航法出力値は 1 フレーム分遅れている。表 13 に示す  $\tau_{50}^{FLCC/EGI}$  および  $\tau_{200}^{FLCC/EGI}$  がこれに対応するが、本稿の簡易モデルでは OFP のタスク処理は模擬しないため、この通信遅れを式(89)から式(91)および式(95)と式(96)の EGI 本体遅れに加えるものとした。ただし誘導制御則の航法インターフェース側で 1 フレーム前の航法出力値を用いるようにするほうが、モデル化としては実際の OFP タスク処理に近くなる。

表 13 EGI 遅れモデルの定義

項目	記号	遅れ時間	単位	遅れ種別
EGI 本体遅れ (200Hz データ)	$\tau_{200}^{EGI}$	5	msec	無駄時間
EGI 本体遅れ (50Hz データ)	$\tau_{50}^{EGI}$	22	msec	無駄時間
EGI-FLCC 通信遅れ (200Hz データ)	$\tau_{200}^{FLCC/EGI}$	5	msec	無駄時間
EGI-FLCC 通信遅れ (50Hz データ)	$\tau_{50}^{FLCC/EGI}$	20	msec	無駄時間
EGI アンチエイリアシングフィルタ	式(99)から式(101)で定義			

## 7.2 ADS モデル

ADS はピトー管先端に配置された 5 つの総圧孔で計測される総圧，ピトー管の外周に等間隔に配置された静圧孔で計測される静圧，および TAT センサで計測される全温度を電気信号に変換してデジタルバスに 50 Hz で出力し，OPF はピトー管からの圧力データから対気量であるマッハ数，迎角，横滑り角，真対気速度，等価対気速度，動圧，静圧，気圧高度，TAT センサのデータから対気全温度，対気静温度を計算して 50 Hz で航法インターフェースに出力する．ここでは ADS と各種対気量および温度の計算を行う OPF の一部機能をまとめて，これらの真値に直接誤差と遅れを付加するモデル化を行うものとする．図 15 に ADS モデルのブロック図を示す．

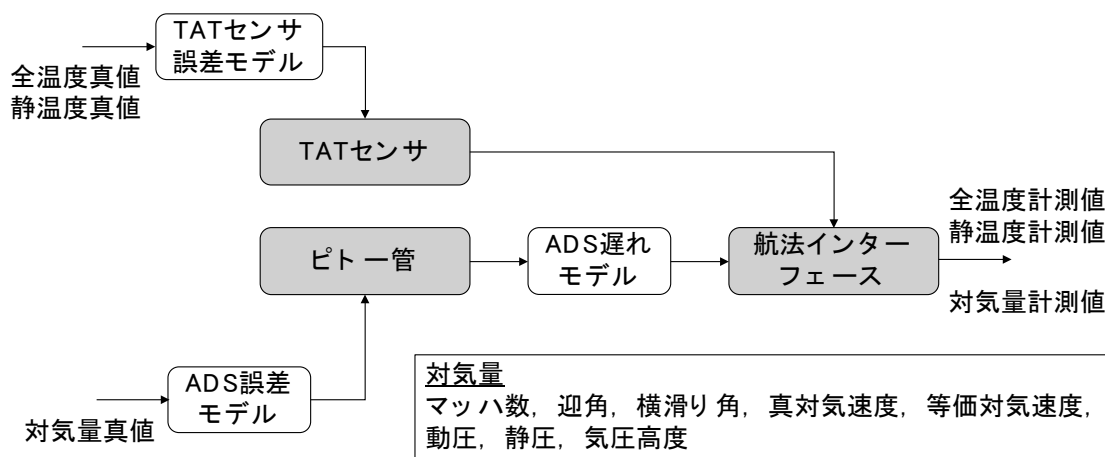


図 15 ADS モデルのブロック図

### 7.2.1 ADS 誤差モデル

機体重心における静温度 $T_s^{CG}$ ，静圧 $p_s^{CG}$ ，大気密度 $\rho^{CG}$ ，気圧高度 $h_{bar}^{CG}$ の真値は機体重心高度の真値 $h^{CG}$ を入力として 9.4 節の大気モデルから計算できる．全温度の真値は次式で定義される．

$$T_t^{CG} = T_s^{CG} \left( 1 + \frac{\gamma_{air} - 1}{2} M^{CG2} \right) \quad (102)$$

ただし式(102)において $\gamma_{air}$ は空気の比熱比であり、 $\gamma_{air} = 1.4$ である。 $M^{CG}$ は機体重心におけるマッハ数の真値であり、式(33)で与えられる。その他の機体重心における対気補助変数の真値も4.5.2節の通り計算できる。機体軸系およびセンサ機体軸系におけるピトー管先端位置での対気速度の真値は次式で定義される。

$$\begin{aligned} {}^B \begin{bmatrix} U_A \\ V_A \\ W_A \end{bmatrix}^{PITOT} &= {}^B \begin{bmatrix} U_A \\ V_A \\ W_A \end{bmatrix}^{CG} + {}^B \begin{bmatrix} P_I \\ Q_I \\ R_I \end{bmatrix}^{CG} \times \\ &\left\{ \mathbf{T}_{B/C} \begin{bmatrix} X_{ADS0} + \Delta X_{ADS0} \\ Y_{ADS0} + \Delta Y_{ADS0} \\ Z_{ADS0} + \Delta Z_{ADS0} \\ 1 \end{bmatrix} - \mathbf{T}_{B/C} \begin{bmatrix} X_{CG0} + \Delta X_{CG0} \\ Y_{CG0} + \Delta Y_{CG0} \\ Z_{CG0} + \Delta Z_{CG0} \\ 1 \end{bmatrix} \right\} \end{aligned} \quad (103)$$

$${}^{SB} \begin{bmatrix} U_A \\ V_A \\ W_A \end{bmatrix}^{PITOT} = \mathbf{T}_{SB/B} \begin{pmatrix} \phi_{ADS0} + \Delta\phi_{ADS0} \\ \theta_{ADS0} + \Delta\theta_{ADS0} + \theta_{ADSintlo} + \Delta\theta_{ADSintlo} \\ \psi_{ADS0} + \Delta\psi_{ADS0} \end{pmatrix} {}^B \begin{bmatrix} U_A \\ V_A \\ W_A \end{bmatrix}^{PITOT} \quad (104)$$

式(103)の第2項はピトー管先端位置に慣性角速度によって誘起される速度成分である。 $X_{ADS0}, Y_{ADS0}, Z_{ADS0}$ および $\Delta X_{ADS0}, \Delta Y_{ADS0}, \Delta Z_{ADS0}$ はCATIA座標系におけるピトー管先端位置とその誤差であり、そのデータは表14に定義されている。式(104)の $\phi_{ADS0}, \theta_{ADS0}, \psi_{ADS0}$ および $\Delta\phi_{ADS0}, \Delta\theta_{ADS0}, \Delta\psi_{ADS0}$ はピトー管のノミナル取り付け角およびその誤差、 $\theta_{ADSintlo}$ および $\Delta\theta_{ADSintlo}$ は慣性力による機体構造変形に伴うピトー管の取り付け角変化のノミナル値およびその誤差であり、表14にそのデータが与えられている。式(104)よりピトー管先端位置における対気速度、迎角、横滑り角の真値は次式で与えられる。

$$V_{TAS}^{PITOT} = \sqrt{{}^{SB}U_A^{PITOT^2} + {}^{SB}V_A^{PITOT^2} + {}^{SB}W_A^{PITOT^2}} \quad (105)$$

$$\alpha^{PITOT} = \text{atan} \left( \frac{{}^{SB}W_A^{PITOT}}{{}^B U_A^{PITOT}} \right) \quad (106)$$

$$\beta^{PITOT} = \text{asin} \left( \frac{{}^{SB}V_A^{PITOT}}{V_{TAS}^{PITOT}} \right) \quad (107)$$

厳密にはその他の対気量であるマッハ数、動圧、等価対気速度もピトー管先端位置における真値から計算できるが、その差が誘導制御性能に与える影響は無視できるため重心位置における値と同じものとして取り扱う。したがって、式(105)から式(107)よりピトー管先端位置における各種対気量の計測値はそれらの真値と表15に示すバイアス誤差とランダム誤差の和として次式で定義できる。

$$M_m^{PITOT} = M^{CG} + \Delta_{BS}^{ADS} M(h^{CG}, M^{CG}) + \Delta_{RN}^{ADS} M(h^{CG}, M^{CG}) \quad (108)$$

$$p_{sm}^{PITOT} = p_s^{CG} + \Delta_{BS}^{ADS} p_s + \Delta_{RN}^{ADS} p_s \quad (109)$$

$$\bar{q}_m^{PITOT} = \bar{q}^{CG} + \Delta_{BS}^{ADS} \bar{q}(h^{CG}, M^{CG}) + \Delta_{RN}^{ADS} \bar{q}(h^{CG}, M^{CG}) \quad (110)$$

$$\alpha_m^{PITOT} = \alpha^{PITOT} + \Delta_{BS}^{ADS} \alpha(h^{CG}, M^{CG}) + \Delta_{RN}^{ADS} \alpha(h^{CG}, M^{CG}) \quad (111)$$

$$\beta_m^{PITOT} = \beta^{PITOT} + \Delta_{BS}^{ADS} \beta(h^{CG}, M^{CG}) + \Delta_{RN}^{ADS} \beta(h^{CG}, M^{CG}) \quad (112)$$

$$V_{TASm}^{PITOT} = V_{TAS}^{PITOT} + \Delta_{BS}^{ADS} V_{TAS}(h^{CG}, M^{CG}) + \Delta_{RN}^{ADS} V_{TAS}(h^{CG}, M^{CG}) \quad (113)$$

$$V_{EASm}^{PITOT} = V_{EAS}^{CG} + \Delta_{BS}^{ADS} V_{EAS}(h^{CG}, M^{CG}) + \Delta_{RN}^{ADS} V_{EAS}(h^{CG}, M^{CG}) \quad (114)$$

$$T_{sm}^{PITOT} = T_s^{CG} + \Delta_{BS}^{TAT} T_s + \Delta_{RN}^{TAT} T_s \quad (115)$$

$$T_{tm}^{PITOT} = T_t^{CG} + \Delta_{BS}^{TAT} T_t + \Delta_{RN}^{TAT} T_t \quad (116)$$

$$h_{barm}^{PITOT} = h_{bar}^{CG} + \Delta_{BS}^{ADS} h_{bar}(h^{CG}) + \Delta_{RN}^{ADS} h_{bar}(h^{CG}) \quad (117)$$

式(108)から式(114)のマッハ数，動圧，迎角，横滑り角，真対気速度，等価対気速度のバイアス誤差およびランダム誤差は高度およびマッハ数のテーブル，式(117)の気圧高度のバイアス誤差およびランダム誤差は高度のテーブルとして表 17 から表 29 に定義されている。ADS 計測値のバイアス誤差とランダム誤差のデータは表 15 に示す通りであり，第 1 回落下試験と第 2 回落下試験は同じデータとなっている。

第 2 回落下試験では，第 1 回落下試験時の誤差モデルでは考慮していなかった風洞試験における圧力計測誤差，マッハ数計測誤差，支持系角度計測誤差，およびこれらが ADS 算出ロジックに与える影響と，レイノルズ数効果の影響の二つを考慮して，マッハ数，迎角，横滑り角の計測値を次式で計算するものとした。

$$M_m^{PITOT} = M^{CG} + \Delta_{BS}^{ADS} M(h^{CG}, M^{CG}) + \Delta_{RN}^{ADS} M(h^{CG}, M^{CG}) + \Delta_{Re}^{ADS} M(M^{CG}, \alpha^{ADS}, \beta^{ADS}) + \Delta_{WT}^{ADS} M(M^{CG}, \alpha^{ADS}, \beta^{ADS}) \quad (118)$$

$$\alpha_m^{PITOT} = \alpha^{PITOT} + \Delta_{BS}^{ADS} \alpha(h^{CG}, M^{CG}) + \Delta_{RN}^{ADS} \alpha(h^{CG}, M^{CG}) + \Delta_{WT}^{ADS} \alpha(h^{CG}, M^{CG}) \quad (119)$$

$$\beta_m^{PITOT} = \beta^{PITOT} + \Delta_{BS}^{ADS} \beta(h^{CG}, M^{CG}) + \Delta_{RN}^{ADS} \beta(h^{CG}, M^{CG}) + \Delta_{WT}^{ADS} \beta(h^{CG}, M^{CG}) \quad (120)$$

式(118)において， $\Delta_{Re}^{ADS} M$ はレイノルズ数効果によるマッハ数計測誤差であり，MCS では確率的分布を持つ誤差ではなくノミナル変動分として取り扱うものとし，表 30 から表 33 にそのデータを示す。式(118)から式(120)で $\Delta_{WT}^{ADS} M$ ， $\Delta_{WT}^{ADS} \alpha$ ， $\Delta_{WT}^{ADS} \beta$ はレイノルズ数効果を除く風洞試験の計測誤差の影響をまとめたものであり，表 34 から表 45 にそのデータを示す。

さらに，第 1 回落下試験時に分離直後の低動圧時には式(102)で計算した全温度と実際に TAT センサで計測した全温度に大きな乖離があったため，実飛行データをもとに  $V_{EAS} \leq 136.1$  m/s の範囲では以下の補正項を式(102)に加えることで整合を図った。

$$\Delta T_t^{CG} = 0.0026 \times V_{EAS}^2 - 0.7237 \times V_{EAS} + 50.3 \quad (121)$$

表 14 ADS 搭載位置 (CATIA 座標系) および取り付け角のデータ

項目	ノミナル値	誤差 (最大最小)	単位	誤差分布
$X_{ADS0}$	827.7	$\pm 1.25$	mm	一様
$Y_{ADS0}$	0	$\pm 1.25$	mm	一様
$Z_{ADS0}$	1984	$\pm 1.25$	mm	一様
$\phi_{ADS0}$	0	$\pm 0.18$	mm	一様
$\theta_{ADS0}$	0	$\pm 0.07$	deg	一様
$\psi_{ADS0}$	0	$\pm 0.07$	deg	一様
$\theta_{ADSint10}$	$-0.0286 \times N_z$	$\pm 0.0091 \times N_z$	deg	一様

表 15 ADS 計測値のバイアス誤差およびランダム誤差のデータ

項目	バイアス誤差 ( $\pm 3\sigma$ または最大最小)	ランダム誤差 ( $\pm 3\sigma$ )	単位	誤差分布
$\Delta_{BS}^{ADS} M, \Delta_{RN}^{ADS} M$	表 17 の通り	表 18 の通り	-	正規
$\Delta_{BS}^{ADS} p_s, \Delta_{RN}^{ADS} p_s$	$\pm 38.3$	$\pm 1.7$	Pa	正規
$\Delta_{BS}^{ADS} \bar{q}, \Delta_{RN}^{ADS} \bar{q}$	表 27 の通り	表 28 の通り	Pa	正規
$\Delta_{RN}^{ADS} \alpha, \Delta_{RN}^{ADS} \alpha$	表 19 の通り	表 20 の通り	deg	正規
$\Delta_{BS}^{ADS} \beta, \Delta_{RN}^{ADS} \beta$	表 21 の通り	表 22 の通り	deg	正規
$\Delta_{BS}^{ADS} V_{TAS}, \Delta_{RN}^{ADS} V_{TAS}$	表 23 の通り	表 24 の通り	m/s	正規
$\Delta_{BS}^{ADS} V_{EAS}, \Delta_{RN}^{ADS} V_{EAS}$	表 25 の通り	表 26 の通り	m/s	正規
$\Delta_{BS}^{TAT} T_s, \Delta_{RN}^{TAT} T_s$	$\pm 1.2$	$\pm 1.1$	K	正規
$\Delta_{BS}^{TAT} T_t, \Delta_{RN}^{TAT} T_t$	$\pm 0.48$	$\pm 1.04$	K	正規
$\Delta_{BS}^{ADS} h_{bar}, \Delta_{RN}^{ADS} h_{bar}$	表 29 の通り	表 29 の通り	m	正規

表 16 ADS 計測値の追加誤差のデータ (第 2 回落下試験時)

項目	誤差値 ( $\pm 3\sigma$ , 最大最小, または固定値)	単位	誤差分布
$\Delta_{Re}^{ADS} M$	表 30 から表 33 の通り	-	固定
$\Delta_{WT}^{ADS} M$	表 34 から表 37 の通り	-	正規
$\Delta_{WT}^{ADS} \alpha$	表 38 から表 41 の通り	deg	正規
$\Delta_{WT}^{ADS} \beta$	表 42 から表 45 の通り	deg	正規



表 17 ADS 計測値バイアス誤差の  $3\sigma$  値 (マツハ数)

高度(km)	M0.2	M0.6	M0.9	M1.1	M1.2	M1.4	M1.6	M1.8
0	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
4	0.004	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
6	0.006	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.008	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
10	0.011	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
12	0.015	0.005	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
14	0.020	0.006	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
16	0.028	0.009	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.005
18	0.040	0.012	0.008	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
20	0.058	0.016	0.010	0.009	0.008	0.008	0.008	0.009
22	0.087	0.022	0.014	0.012	0.011	0.011	0.011	0.012
24	0.145	0.030	0.019	0.016	0.015	0.015	0.016	0.016
26	0.200	0.042	0.026	0.022	0.021	0.021	0.021	0.022
28	0.200	0.057	0.036	0.029	0.029	0.028	0.029	0.030
30	0.200	0.079	0.049	0.040	0.039	0.038	0.040	0.041
32	0.209	0.109	0.066	0.054	0.053	0.052	0.054	0.056
34	0.260	0.151	0.089	0.073	0.071	0.071	0.073	0.076
36	0.320	0.213	0.120	0.098	0.096	0.096	0.099	0.103
38	0.390	0.311	0.162	0.131	0.129	0.129	0.133	0.139
40	0.472	0.600	0.218	0.175	0.172	0.173	0.179	0.188

表 18 ADS 計測値ランダム誤差の  $3\sigma$  値 (マツハ数)

高度(km)	M0.2	M0.6	M0.9	M1.1	M1.2	M1.4	M1.6	M1.8
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
22	0.003	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001
24	0.004	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
26	0.006	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
28	0.008	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
30	0.011	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
32	0.014	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
34	0.020	0.006	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
36	0.027	0.008	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
38	0.036	0.011	0.007	0.006	0.005	0.005	0.006	0.006
40	0.050	0.014	0.009	0.007	0.007	0.007	0.007	0.008

表 19 ADS 計測値バイアス誤差の3σ値 (迎角)

高度(km)	M0.2	M0.6	M0.9	M1.1	M1.2	M1.4	M1.6	M1.8
0	0.43	0.05	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
2	0.56	0.06	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01
4	0.72	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
6	0.96	0.10	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02
8	1.29	0.13	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03
10	1.79	0.17	0.09	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04
12	2.54	0.24	0.13	0.11	0.10	0.08	0.06	0.05
14	3.69	0.33	0.18	0.15	0.13	0.10	0.08	0.07
16	5.50	0.45	0.24	0.21	0.19	0.14	0.12	0.10
18	8.58	0.63	0.33	0.29	0.25	0.19	0.16	0.13
20	14.49	0.88	0.46	0.40	0.35	0.27	0.22	0.18
22	28.97	1.22	0.63	0.55	0.48	0.37	0.30	0.25
24	105.40	1.71	0.88	0.76	0.67	0.51	0.41	0.35
26	114.87	2.42	1.22	1.05	0.92	0.70	0.56	0.47
28	45.52	3.47	1.69	1.46	1.27	0.96	0.77	0.65
30	31.58	5.08	2.37	2.03	1.76	1.32	1.06	0.89
32	25.79	7.68	3.37	2.86	2.46	1.83	1.47	1.22
34	22.74	12.27	4.84	4.06	3.47	2.54	2.02	1.68
36	20.94	21.77	7.12	5.85	4.94	3.56	2.80	2.31
38	19.79	50.48	10.86	8.66	7.17	5.03	3.90	3.18
40	19.01	2065.09	17.80	13.42	10.77	7.24	5.49	4.42

表 20 ADS 計測値ランダム誤差の 3 $\sigma$  値 (迎角)

高度(km)	M0.2	M0.6	M0.9	M1.1	M1.2	M1.4	M1.6	M1.8
0	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.14	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
16	0.19	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
18	0.26	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
20	0.35	0.04	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
22	0.49	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
24	0.67	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
26	0.93	0.09	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02
28	1.29	0.13	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03
30	1.79	0.17	0.09	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04
32	2.51	0.24	0.13	0.11	0.10	0.07	0.06	0.05
34	3.55	0.32	0.17	0.15	0.13	0.10	0.08	0.07
36	5.10	0.43	0.23	0.20	0.17	0.13	0.11	0.09
38	7.49	0.57	0.30	0.26	0.23	0.18	0.14	0.12
40	11.46	0.76	0.40	0.35	0.31	0.23	0.19	0.16

表 21 ADS 計測値バイアス誤差の  $3\sigma$  値 (横滑り角)

高度(km)	M0.2	M0.6	M0.9	M1.1	M1.2	M1.4	M1.6	M1.8
0	0.43	0.05	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
2	0.56	0.06	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01
4	0.72	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
6	0.96	0.10	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02
8	1.29	0.13	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03
10	1.79	0.17	0.09	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04
12	2.54	0.24	0.13	0.11	0.10	0.08	0.06	0.05
14	3.69	0.33	0.18	0.15	0.13	0.10	0.08	0.07
16	5.50	0.45	0.24	0.21	0.19	0.14	0.12	0.10
18	8.58	0.63	0.33	0.29	0.25	0.19	0.16	0.13
20	14.49	0.88	0.46	0.40	0.35	0.27	0.22	0.18
22	28.97	1.22	0.63	0.55	0.48	0.37	0.30	0.25
24	105.40	1.71	0.88	0.76	0.67	0.51	0.41	0.35
26	114.87	2.42	1.22	1.05	0.92	0.70	0.56	0.47
28	45.52	3.47	1.69	1.46	1.27	0.96	0.77	0.65
30	31.58	5.08	2.37	2.03	1.76	1.32	1.06	0.89
32	25.79	7.68	3.37	2.86	2.46	1.83	1.47	1.22
34	22.74	12.27	4.84	4.06	3.47	2.54	2.02	1.68
36	20.94	21.77	7.12	5.85	4.94	3.56	2.80	2.31
38	19.79	50.48	10.86	8.66	7.17	5.03	3.90	3.18
40	19.01	2065.09	17.80	13.42	10.77	7.24	5.49	4.42

表 22 ADS 計測値ランダム誤差の  $3\sigma$  値 (横滑り角)

高度(km)	M0.2	M0.6	M0.9	M1.1	M1.2	M1.4	M1.6	M1.8
0	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.14	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
16	0.19	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
18	0.26	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
20	0.35	0.04	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
22	0.49	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
24	0.67	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
26	0.93	0.09	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02
28	1.29	0.13	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03
30	1.79	0.17	0.09	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04
32	2.51	0.24	0.13	0.11	0.10	0.07	0.06	0.05
34	3.55	0.32	0.17	0.15	0.13	0.10	0.08	0.07
36	5.10	0.43	0.23	0.20	0.17	0.13	0.11	0.09
38	7.49	0.57	0.30	0.26	0.23	0.18	0.14	0.12
40	11.46	0.76	0.40	0.35	0.31	0.23	0.19	0.16

表 23 ADS 計測値バイアス誤差の  $3\sigma$  値 (真対気速度)

高度(km)	M0.2	M0.6	M0.9	M1.1	M1.2	M1.4	M1.6	M1.8
0	1.0	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8
2	1.3	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9
4	1.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9
6	2.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0
8	2.5	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1
10	3.3	1.4	1.2	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3
12	4.4	1.7	1.4	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5
14	6.1	2.2	1.7	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7
16	8.5	2.9	2.1	1.9	1.9	2.0	2.0	2.1
18	12.0	3.8	2.7	2.4	2.4	2.4	2.5	2.6
20	17.2	5.1	3.6	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3
22	25.7	6.9	4.7	4.1	4.0	4.0	4.1	4.3
24	43.2	9.4	6.3	5.3	5.2	5.2	5.4	5.6
26	59.8	12.8	8.4	7.1	6.9	6.9	7.1	7.4
28	60.1	17.5	11.3	9.5	9.2	9.2	9.4	9.8
30	60.4	24.1	15.2	12.7	12.3	12.3	12.7	13.2
32	63.5	33.3	20.5	17.0	16.6	16.5	17.0	17.8
34	79.4	46.3	27.7	22.9	22.3	22.3	22.9	23.9
36	98.2	65.4	37.3	30.6	30.0	30.0	30.9	32.3
38	120.2	95.7	50.2	40.9	40.1	40.3	41.6	43.5
40	145.9	185.0	67.7	54.7	53.8	54.2	56.0	58.6

表 24 ADS 計測値ランダム誤差の  $3\sigma$  値 (真対気速度)

高度(km)	M0.2	M0.6	M0.9	M1.1	M1.2	M1.4	M1.6	M1.8
0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
4	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
6	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
8	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
10	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
12	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
14	0.5	0.4	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
16	0.7	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
18	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.3
20	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7
22	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9
24	1.7	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4
26	2.1	1.7	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.8
28	2.8	1.9	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2
30	3.6	2.2	2.3	2.3	2.4	2.5	2.5	2.5
32	4.8	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.8	2.8
34	6.4	3.1	2.9	2.9	3.0	3.1	3.1	3.2
36	8.5	3.7	3.3	3.3	3.3	3.4	3.5	3.6
38	11.5	4.5	3.9	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1
40	15.6	5.6	4.6	4.3	4.3	4.4	4.6	4.7



表 25 ADS 計測値バイアス誤差の  $3\sigma$  値 (等価対気速度)

高度(km)	M0.2	M0.6	M0.9	M1.1	M1.2	M1.4	M1.6	M1.8
0	0.9	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
2	1.0	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
4	1.2	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6	1.3	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
8	1.6	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
10	1.8	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
12	2.1	0.6	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
14	2.5	0.7	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
16	3.0	0.8	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1
18	3.7	0.9	0.5	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
20	4.5	1.1	0.6	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2
22	5.8	1.3	0.7	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2
24	8.4	1.5	0.8	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3
26	9.9	1.8	0.9	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3
28	8.5	2.2	1.1	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
30	7.3	2.6	1.3	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
32	6.3	3.1	1.5	1.0	0.8	0.6	0.5	0.5
34	6.7	3.8	1.8	1.1	1.0	0.7	0.6	0.5
36	7.0	4.7	2.1	1.3	1.1	0.9	0.7	0.6
38	7.3	6.1	2.5	1.6	1.3	1.0	0.8	0.7
40	7.5	10.7	3.1	1.9	1.5	1.2	1.0	0.8

表 26 ADS 計測値ランダム誤差の  $3\sigma$  値 (等価対気速度)

高度(km)	M0.2	M0.6	M0.9	M1.1	M1.2	M1.4	M1.6	M1.8
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
32	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
34	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
36	0.6	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
38	0.7	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
40	0.9	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0

表 27 ADS 計測値バイアス誤差の3 $\sigma$ 値 (動圧)

高度(km)	M0.2	M0.6	M0.9	M1.1	M1.2	M1.4	M1.6	M1.8
0	75.1	63.6	49.1	39.2	36.8	34.3	33.1	32.3
2	75.1	63.6	49.1	39.2	36.8	34.3	33.1	32.3
4	75.1	63.6	49.1	39.2	36.8	34.3	33.1	32.3
6	75.1	63.6	49.1	39.2	36.8	34.3	33.1	32.3
8	75.1	63.6	49.1	39.2	36.8	34.3	33.1	32.4
10	75.2	63.7	49.2	39.2	36.8	34.3	33.1	32.4
12	75.2	63.7	49.2	39.2	36.8	34.3	33.1	32.4
14	75.2	63.7	49.2	39.2	36.8	34.3	33.1	32.4
16	75.3	63.8	49.3	39.2	36.8	34.3	33.1	32.4
18	75.4	63.8	49.3	39.3	36.9	34.3	33.1	32.4
20	75.5	63.9	49.4	39.3	36.9	34.3	33.1	32.4
22	75.6	64.0	49.5	39.4	36.9	34.3	33.1	32.4
24	75.8	64.2	49.6	39.4	36.9	34.4	33.1	32.4
26	74.1	64.4	49.8	39.5	37.0	34.4	33.1	32.4
28	73.8	64.7	50.1	39.7	37.1	34.4	33.1	32.4
30	73.3	65.1	50.4	39.8	37.2	34.5	33.2	32.4
32	72.7	65.7	50.9	40.1	37.3	34.5	33.2	32.4
34	71.9	66.4	51.5	40.5	37.5	34.6	33.2	32.5
36	70.9	67.3	52.3	41.0	37.8	34.7	33.3	32.5
38	69.5	68.5	53.3	41.7	38.2	34.9	33.4	32.5
40	67.8	69.9	54.6	43.0	38.7	35.1	33.5	32.6

表 28 ADS 計測値ランダム誤差の 3 $\sigma$  値 (動圧)

高度(km)	M0.2	M0.6	M0.9	M1.1	M1.2	M1.4	M1.6	M1.8
0	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
2	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
4	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
6	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
8	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
10	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
12	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
14	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
16	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
18	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
20	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
22	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
24	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
26	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
28	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
30	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
32	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
34	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
36	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
38	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4
40	3.3	2.8	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4

表 29 ADS 計測値バイアス誤差およびランダム誤差の 3σ 値 (気圧高度)

バイアス誤差		ランダム誤差					
高度(km)	誤差 Δh(m)	高度(km)	誤差 Δh(m)	高度(km)	誤差 Δh(m)	高度(km)	誤差 Δh(m)
0	3.2	21	52.6	0	0.1	21	2.3
1	3.5	22	61.8	1	0.2	22	2.7
2	3.9	23	72.5	2	0.2	23	3.2
3	4.3	24	85.1	3	0.2	24	3.8
4	4.8	25	99.7	4	0.2	25	4.4
5	5.3	26	117.1	5	0.2	26	5.2
6	6.0	27	137.4	6	0.3	27	6.1
7	6.7	28	161.0	7	0.3	28	7.1
8	7.5	29	188.4	8	0.3	29	8.3
9	8.4	30	220.7	9	0.4	30	9.7
10	9.5	31	258.4	10	0.4	31	11.3
11	10.8	32	302.6	11	0.5	32	13.2
12	12.7	33	356.9	12	0.6	33	15.5
13	14.8	34	420.2	13	0.7	34	18.2
14	17.4	35	494.0	14	0.8	35	21.3
15	20.3	36	580.5	15	0.9	36	24.8
16	23.8	37	681.3	16	1.1	37	28.9
17	27.9	38	799.0	17	1.2	38	33.7
18	32.6	39	936.9	18	1.4	39	39.1
19	38.2	40	1098.0	19	1.7	40	45.3
20	44.7	-	-	20	2.0	-	-

表 30 ADS 計測値レイノルズ数効果 (マッハ数) (その 1)

M = 0.4																		
$\alpha$	M = 0.2					$\alpha$	M = 0.8											
	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$		$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$			
-10.00	0.0073	0.0058	0.0053	0.0052	0.0053	-10.00	0.0073	0.0058	0.0053	0.0052	0.0053	0.0146	0.0115	0.0106	0.0103	0.0106	0.0115	0.0146
-8.00	0.0066	0.0049	0.0043	0.0041	0.0043	-8.00	0.0066	0.0049	0.0043	0.0041	0.0043	0.0132	0.0097	0.0087	0.0083	0.0087	0.0097	0.0132
-6.00	0.0060	0.0040	0.0034	0.0031	0.0034	-6.00	0.0060	0.0040	0.0034	0.0031	0.0034	0.0120	0.0081	0.0067	0.0062	0.0067	0.0081	0.0120
-4.00	0.0056	0.0033	0.0024	0.0021	0.0024	-4.00	0.0056	0.0033	0.0024	0.0021	0.0024	0.0111	0.0066	0.0049	0.0041	0.0049	0.0066	0.0111
-2.00	0.0053	0.0028	0.0017	0.0010	0.0017	-2.00	0.0053	0.0028	0.0017	0.0010	0.0017	0.0105	0.0056	0.0033	0.0021	0.0033	0.0056	0.0105
0.00	0.0052	0.0026	0.0013	0.0000	0.0013	0.00	0.0052	0.0026	0.0013	0.0000	0.0013	0.0103	0.0052	0.0026	0.0000	0.0026	0.0052	0.0103
2.00	0.0053	0.0028	0.0017	0.0010	0.0017	2.00	0.0053	0.0028	0.0017	0.0010	0.0017	0.0105	0.0056	0.0033	0.0021	0.0033	0.0056	0.0105
4.00	0.0056	0.0033	0.0024	0.0021	0.0024	4.00	0.0056	0.0033	0.0024	0.0021	0.0024	0.0111	0.0066	0.0049	0.0041	0.0049	0.0066	0.0111
6.00	0.0060	0.0040	0.0034	0.0031	0.0034	6.00	0.0060	0.0040	0.0034	0.0031	0.0034	0.0120	0.0081	0.0067	0.0062	0.0067	0.0081	0.0120
8.00	0.0066	0.0049	0.0043	0.0041	0.0043	8.00	0.0066	0.0049	0.0043	0.0041	0.0043	0.0132	0.0097	0.0087	0.0083	0.0087	0.0097	0.0132
10.00	0.0073	0.0058	0.0053	0.0052	0.0053	10.00	0.0073	0.0058	0.0053	0.0052	0.0053	0.0146	0.0115	0.0106	0.0103	0.0106	0.0115	0.0146
12.00	0.0080	0.0067	0.0063	0.0062	0.0063	12.00	0.0080	0.0067	0.0063	0.0062	0.0063	0.0161	0.0134	0.0127	0.0124	0.0127	0.0134	0.0161
15.00	0.0093	0.0082	0.0079	0.0077	0.0079	15.00	0.0093	0.0082	0.0079	0.0077	0.0079	0.0186	0.0163	0.0157	0.0155	0.0157	0.0163	0.0186
M = 0.6																		
$\alpha$	M = 0.2					$\alpha$	M = 0.8											
	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$		$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$			
-10.00	0.0219	0.0173	0.0160	0.0155	0.0160	-10.00	0.0219	0.0173	0.0160	0.0155	0.0160	0.0292	0.0231	0.0213	0.0207	0.0213	0.0231	0.0292
-8.00	0.0198	0.0146	0.0130	0.0124	0.0130	-8.00	0.0198	0.0146	0.0130	0.0124	0.0130	0.0264	0.0195	0.0173	0.0165	0.0173	0.0195	0.0264
-6.00	0.0181	0.0121	0.0101	0.0093	0.0101	-6.00	0.0181	0.0121	0.0101	0.0093	0.0101	0.0241	0.0161	0.0134	0.0124	0.0134	0.0161	0.0241
-4.00	0.0167	0.0099	0.0073	0.0062	0.0073	-4.00	0.0167	0.0099	0.0073	0.0062	0.0073	0.0222	0.0132	0.0097	0.0083	0.0097	0.0132	0.0222
-2.00	0.0158	0.0083	0.0050	0.0031	0.0050	-2.00	0.0158	0.0083	0.0050	0.0031	0.0050	0.0211	0.0111	0.0066	0.0041	0.0066	0.0111	0.0211
0.00	0.0155	0.0077	0.0039	0.0000	0.0039	0.00	0.0155	0.0077	0.0039	0.0000	0.0039	0.0207	0.0103	0.0052	0.0000	0.0052	0.0103	0.0207
2.00	0.0158	0.0083	0.0050	0.0031	0.0050	2.00	0.0158	0.0083	0.0050	0.0031	0.0050	0.0211	0.0111	0.0066	0.0041	0.0066	0.0111	0.0211
4.00	0.0167	0.0099	0.0073	0.0062	0.0073	4.00	0.0167	0.0099	0.0073	0.0062	0.0073	0.0222	0.0132	0.0097	0.0083	0.0097	0.0132	0.0222
6.00	0.0181	0.0121	0.0101	0.0093	0.0101	6.00	0.0181	0.0121	0.0101	0.0093	0.0101	0.0241	0.0161	0.0134	0.0124	0.0134	0.0161	0.0241
8.00	0.0198	0.0146	0.0130	0.0124	0.0130	8.00	0.0198	0.0146	0.0130	0.0124	0.0130	0.0264	0.0195	0.0173	0.0165	0.0173	0.0195	0.0264
10.00	0.0219	0.0173	0.0160	0.0155	0.0160	10.00	0.0219	0.0173	0.0160	0.0155	0.0160	0.0292	0.0231	0.0213	0.0207	0.0213	0.0231	0.0292
12.00	0.0241	0.0201	0.0190	0.0186	0.0190	12.00	0.0241	0.0201	0.0190	0.0186	0.0190	0.0322	0.0268	0.0253	0.0248	0.0253	0.0268	0.0322
15.00	0.0278	0.0245	0.0236	0.0233	0.0236	15.00	0.0278	0.0245	0.0236	0.0233	0.0236	0.0371	0.0326	0.0314	0.0310	0.0314	0.0326	0.0371

表 31 ADS 計測値レイノルズ数効果 (マッハ数) (その 2)

M = 0.9034										M = 0.9540									
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$				
-10.00	0.0329	0.0261	0.0240	0.0233	0.0240	0.0261	0.0329	-10.00	0.0348	0.0275	0.0254	0.0246	0.0254	0.0275	0.0348				
-8.00	0.0298	0.0220	0.0196	0.0187	0.0196	0.0220	0.0298	-8.00	0.0315	0.0232	0.0207	0.0197	0.0207	0.0232	0.0315				
-6.00	0.0272	0.0182	0.0152	0.0140	0.0152	0.0182	0.0272	-6.00	0.0287	0.0192	0.0160	0.0148	0.0160	0.0192	0.0287				
-4.00	0.0251	0.0149	0.0110	0.0093	0.0110	0.0149	0.0251	-4.00	0.0265	0.0158	0.0116	0.0099	0.0116	0.0158	0.0265				
-2.00	0.0238	0.0126	0.0075	0.0047	0.0075	0.0126	0.0238	-2.00	0.0251	0.0133	0.0079	0.0049	0.0079	0.0133	0.0251				
0.00	0.0233	0.0117	0.0058	0.0000	0.0058	0.0117	0.0233	0.00	0.0246	0.0123	0.0062	0.0000	0.0062	0.0123	0.0246				
2.00	0.0238	0.0126	0.0075	0.0047	0.0075	0.0126	0.0238	2.00	0.0251	0.0133	0.0079	0.0049	0.0079	0.0133	0.0251				
4.00	0.0251	0.0149	0.0110	0.0093	0.0110	0.0149	0.0251	4.00	0.0265	0.0158	0.0116	0.0099	0.0116	0.0158	0.0265				
6.00	0.0272	0.0182	0.0152	0.0140	0.0152	0.0182	0.0272	6.00	0.0287	0.0192	0.0160	0.0148	0.0160	0.0192	0.0287				
8.00	0.0298	0.0220	0.0196	0.0187	0.0196	0.0220	0.0298	8.00	0.0315	0.0232	0.0207	0.0197	0.0207	0.0232	0.0315				
10.00	0.0329	0.0261	0.0240	0.0233	0.0240	0.0261	0.0329	10.00	0.0348	0.0275	0.0254	0.0246	0.0254	0.0275	0.0348				
12.00	0.0363	0.0303	0.0286	0.0280	0.0286	0.0303	0.0363	12.00	0.0384	0.0320	0.0302	0.0296	0.0302	0.0320	0.0384				
15.00	0.0419	0.0369	0.0355	0.0350	0.0355	0.0369	0.0419	15.00	0.0443	0.0389	0.0375	0.0370	0.0375	0.0389	0.0443				
M = 1.0531										M = 1.1077									
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$				
-10.00	0.0384	0.0304	0.0280	0.0272	0.0280	0.0304	0.0384	-10.00	0.0404	0.0320	0.0295	0.0286	0.0295	0.0320	0.0404				
-8.00	0.0348	0.0256	0.0228	0.0218	0.0228	0.0256	0.0348	-8.00	0.0366	0.0270	0.0240	0.0229	0.0240	0.0270	0.0366				
-6.00	0.0317	0.0212	0.0177	0.0163	0.0177	0.0212	0.0317	-6.00	0.0333	0.0223	0.0186	0.0172	0.0186	0.0223	0.0333				
-4.00	0.0293	0.0174	0.0128	0.0109	0.0128	0.0174	0.0293	-4.00	0.0308	0.0183	0.0135	0.0114	0.0135	0.0183	0.0308				
-2.00	0.0277	0.0146	0.0087	0.0054	0.0087	0.0146	0.0277	-2.00	0.0292	0.0154	0.0092	0.0057	0.0092	0.0154	0.0292				
0.00	0.0272	0.0136	0.0068	0.0000	0.0068	0.0136	0.0272	0.00	0.0286	0.0143	0.0072	0.0000	0.0072	0.0143	0.0286				
2.00	0.0277	0.0146	0.0087	0.0054	0.0087	0.0146	0.0277	2.00	0.0292	0.0154	0.0092	0.0057	0.0092	0.0154	0.0292				
4.00	0.0293	0.0174	0.0128	0.0109	0.0128	0.0174	0.0293	4.00	0.0308	0.0183	0.0135	0.0114	0.0135	0.0183	0.0308				
6.00	0.0317	0.0212	0.0177	0.0163	0.0177	0.0212	0.0317	6.00	0.0333	0.0223	0.0186	0.0172	0.0186	0.0223	0.0333				
8.00	0.0348	0.0256	0.0228	0.0218	0.0228	0.0256	0.0348	8.00	0.0366	0.0270	0.0240	0.0229	0.0240	0.0270	0.0366				
10.00	0.0384	0.0304	0.0280	0.0272	0.0280	0.0304	0.0384	10.00	0.0404	0.0320	0.0295	0.0286	0.0295	0.0320	0.0404				
12.00	0.0424	0.0353	0.0333	0.0326	0.0333	0.0353	0.0424	12.00	0.0446	0.0372	0.0351	0.0343	0.0351	0.0372	0.0446				
15.00	0.0489	0.0430	0.0414	0.0408	0.0414	0.0430	0.0489	15.00	0.0514	0.0452	0.0435	0.0429	0.0435	0.0452	0.0514				

表 32 ADS 計測値レイノルズ数効果 (マッハ数) (その 3)

$M = 1.2055$										$M = 1.3067$									
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$				
-10.00	0.0439	0.0348	0.0321	0.0311	0.0321	0.0348	0.0439	-10.00	0.0476	0.0377	0.0348	0.0338	0.0348	0.0377	0.0476				
-8.00	0.0398	0.0294	0.0261	0.0249	0.0261	0.0294	0.0398	-8.00	0.0431	0.0318	0.0283	0.0270	0.0283	0.0318	0.0431				
-6.00	0.0363	0.0243	0.0202	0.0187	0.0202	0.0243	0.0363	-6.00	0.0393	0.0263	0.0219	0.0203	0.0219	0.0263	0.0393				
-4.00	0.0335	0.0199	0.0147	0.0125	0.0147	0.0199	0.0335	-4.00	0.0363	0.0216	0.0159	0.0135	0.0159	0.0216	0.0363				
-2.00	0.0318	0.0168	0.0100	0.0062	0.0100	0.0168	0.0318	-2.00	0.0344	0.0182	0.0108	0.0068	0.0108	0.0182	0.0344				
0.00	0.0311	0.0156	0.0078	0.0000	0.0078	0.0156	0.0311	0.00	0.0338	0.0169	0.0084	0.0000	0.0084	0.0169	0.0338				
2.00	0.0318	0.0168	0.0100	0.0062	0.0100	0.0168	0.0318	2.00	0.0344	0.0182	0.0108	0.0068	0.0108	0.0182	0.0344				
4.00	0.0335	0.0199	0.0147	0.0125	0.0147	0.0199	0.0335	4.00	0.0363	0.0216	0.0159	0.0135	0.0159	0.0216	0.0363				
6.00	0.0363	0.0243	0.0202	0.0187	0.0202	0.0243	0.0363	6.00	0.0393	0.0263	0.0219	0.0203	0.0219	0.0263	0.0393				
8.00	0.0398	0.0294	0.0261	0.0249	0.0261	0.0294	0.0398	8.00	0.0431	0.0318	0.0283	0.0270	0.0283	0.0318	0.0431				
10.00	0.0439	0.0348	0.0321	0.0311	0.0321	0.0348	0.0439	10.00	0.0476	0.0377	0.0348	0.0338	0.0348	0.0377	0.0476				
12.00	0.0485	0.0404	0.0382	0.0374	0.0382	0.0404	0.0485	12.00	0.0526	0.0438	0.0414	0.0405	0.0414	0.0438	0.0526				
15.00	0.0559	0.0492	0.0473	0.0467	0.0473	0.0492	0.0559	15.00	0.0606	0.0533	0.0513	0.0506	0.0513	0.0533	0.0606				
$M = 1.4080$										$M = 1.6157$									
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$				
-10.00	0.0513	0.0406	0.0375	0.0364	0.0375	0.0406	0.0513	-10.00	0.0589	0.0466	0.0430	0.0417	0.0430	0.0466	0.0589				
-8.00	0.0465	0.0343	0.0305	0.0291	0.0305	0.0343	0.0465	-8.00	0.0533	0.0393	0.0350	0.0334	0.0350	0.0393	0.0533				
-6.00	0.0424	0.0284	0.0236	0.0218	0.0236	0.0284	0.0424	-6.00	0.0486	0.0326	0.0271	0.0250	0.0271	0.0326	0.0486				
-4.00	0.0391	0.0233	0.0172	0.0145	0.0172	0.0233	0.0391	-4.00	0.0449	0.0267	0.0197	0.0167	0.0197	0.0267	0.0449				
-2.00	0.0371	0.0196	0.0116	0.0073	0.0116	0.0196	0.0371	-2.00	0.0426	0.0225	0.0134	0.0083	0.0134	0.0225	0.0426				
0.00	0.0364	0.0182	0.0091	0.0000	0.0091	0.0182	0.0364	0.00	0.0417	0.0209	0.0104	0.0000	0.0104	0.0209	0.0417				
2.00	0.0371	0.0196	0.0116	0.0073	0.0116	0.0196	0.0371	2.00	0.0426	0.0225	0.0134	0.0083	0.0134	0.0225	0.0426				
4.00	0.0391	0.0233	0.0172	0.0145	0.0172	0.0233	0.0391	4.00	0.0449	0.0267	0.0197	0.0167	0.0197	0.0267	0.0449				
6.00	0.0424	0.0284	0.0236	0.0218	0.0236	0.0284	0.0424	6.00	0.0486	0.0326	0.0271	0.0250	0.0271	0.0326	0.0486				
8.00	0.0465	0.0343	0.0305	0.0291	0.0305	0.0343	0.0465	8.00	0.0533	0.0393	0.0350	0.0334	0.0350	0.0393	0.0533				
10.00	0.0513	0.0406	0.0375	0.0364	0.0375	0.0406	0.0513	10.00	0.0589	0.0466	0.0430	0.0417	0.0430	0.0466	0.0589				
12.00	0.0566	0.0472	0.0446	0.0436	0.0446	0.0472	0.0566	12.00	0.0650	0.0542	0.0511	0.0501	0.0511	0.0542	0.0650				
15.00	0.0653	0.0574	0.0553	0.0546	0.0553	0.0574	0.0653	15.00	0.0750	0.0659	0.0635	0.0626	0.0635	0.0659	0.0750				



表 33 ADS 計測値レイノルズ数効果 (マッハ数) (その 4)

$\alpha$	$M = 1.7127$									
	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$			
-10.00	0.0624	0.0494	0.0456	0.0442	0.0456	0.0494	0.0624			
-8.00	0.0565	0.0417	0.0371	0.0354	0.0371	0.0417	0.0565			
-6.00	0.0515	0.0345	0.0288	0.0265	0.0288	0.0345	0.0515			
-4.00	0.0476	0.0283	0.0209	0.0177	0.0209	0.0283	0.0476			
-2.00	0.0451	0.0238	0.0142	0.0088	0.0142	0.0238	0.0451			
0.00	0.0442	0.0221	0.0111	0.0000	0.0111	0.0221	0.0442			
2.00	0.0451	0.0238	0.0142	0.0088	0.0142	0.0238	0.0451			
4.00	0.0476	0.0283	0.0209	0.0177	0.0209	0.0283	0.0476			
6.00	0.0515	0.0345	0.0288	0.0265	0.0288	0.0345	0.0515			
8.00	0.0565	0.0417	0.0371	0.0354	0.0371	0.0417	0.0565			
10.00	0.0624	0.0494	0.0456	0.0442	0.0456	0.0494	0.0624			
12.00	0.0689	0.0575	0.0542	0.0531	0.0542	0.0575	0.0689			
15.00	0.0795	0.0699	0.0673	0.0664	0.0673	0.0699	0.0795			

表 34 ADS 計測値風洞計測誤差の  $3\sigma$  値 (マッハ数) (その 1)

$M = 0.2$													$M = 0.4$												
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$										
-10.00	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	-10.00	0.0022	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0022										
-8.00	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	-8.00	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021										
-6.00	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	-6.00	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021										
-4.00	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	-4.00	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021										
-2.00	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	-2.00	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021										
0.00	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.00	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021										
2.00	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	2.00	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021										
4.00	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	4.00	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021										
6.00	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	6.00	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021										
8.00	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	8.00	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021										
10.00	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	10.00	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021										
12.00	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	12.00	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021										
15.00	0.0037	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0037	15.00	0.0021	0.0021	0.0022	0.0021	0.0022	0.0021	0.0021										

$M = 0.6$													$M = 0.8$												
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$										
-10.00	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	-10.00	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015										
-8.00	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	-8.00	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015										
-6.00	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	-6.00	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015										
-4.00	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	-4.00	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015										
-2.00	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	-2.00	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015										
0.00	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.00	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015										
2.00	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	2.00	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015										
4.00	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	4.00	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015										
6.00	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	6.00	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015										
8.00	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	8.00	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015										
10.00	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	10.00	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015										
12.00	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	12.00	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015										
15.00	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	15.00	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015										



表 36 ADS 計測値風洞計測誤差の  $3\sigma$  値 (マッハ数) (その 3)

$M = 1.2055$													$M = 1.3067$												
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$										
-10.00	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	-10.00	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019										
-8.00	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	-8.00	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019										
-6.00	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	-6.00	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019										
-4.00	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	-4.00	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019										
-2.00	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	-2.00	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019										
0.00	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.00	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019										
2.00	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	2.00	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019										
4.00	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	4.00	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019										
6.00	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	6.00	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019										
8.00	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	8.00	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019										
10.00	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	10.00	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019										
12.00	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	12.00	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019										
15.00	0.0018	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0017	0.0018	15.00	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020										
$M = 1.4080$													$M = 1.6157$												
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$										
-10.00	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	-10.00	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052										
-8.00	0.0022	0.0022	0.0022	0.0021	0.0021	0.0021	0.0022	-8.00	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052										
-6.00	0.0022	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0022	-6.00	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052										
-4.00	0.0022	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0022	-4.00	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052										
-2.00	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	-2.00	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052										
0.00	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.00	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052										
2.00	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	2.00	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052										
4.00	0.0022	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0022	4.00	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052										
6.00	0.0022	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0022	6.00	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052										
8.00	0.0022	0.0022	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0022	8.00	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052										
10.00	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	10.00	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052										
12.00	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	12.00	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052										
15.00	0.0021	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0021	15.00	0.0052	0.0052	0.0053	0.0053	0.0053	0.0053	0.0052										

表 37 ADS 計測値風洞計測誤差の 3σ 値 (マッハ数) (その 4)

M = 1.7127										
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$			
-10.00	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047			
-8.00	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0047	0.0047			
-6.00	0.0047	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0047			
-4.00	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046			
-2.00	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046			
0.00	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046			
2.00	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046			
4.00	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046			
6.00	0.0047	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0047			
8.00	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0047			
10.00	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047			
12.00	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047			
15.00	0.0047	0.0047	0.0048	0.0048	0.0048	0.0047	0.0047			

表 38 ADS 計測値風洞計測誤差の  $3\sigma$  値 (迎角) (その 1)

$M = 0.2$													$M = 0.4$												
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$		
-10.00	0.705	0.686	0.700	0.707	0.708	0.680	0.694	-10.00	0.193	0.194	0.190	0.184	0.194	0.190	0.198	-10.00	0.193	0.194	0.190	0.184	0.194	0.190	0.198		
-8.00	0.609	0.628	0.646	0.632	0.620	0.623	0.618	-8.00	0.173	0.174	0.175	0.171	0.169	0.173	0.173	-8.00	0.173	0.174	0.175	0.171	0.169	0.171	0.173		
-6.00	0.576	0.562	0.561	0.554	0.573	0.556	0.568	-6.00	0.158	0.150	0.148	0.147	0.151	0.150	0.150	-6.00	0.158	0.150	0.148	0.147	0.151	0.149	0.150		
-4.00	0.478	0.484	0.484	0.500	0.489	0.491	0.484	-4.00	0.136	0.133	0.134	0.131	0.133	0.131	0.135	-4.00	0.136	0.133	0.134	0.131	0.133	0.131	0.135		
-2.00	0.428	0.431	0.422	0.423	0.418	0.436	0.434	-2.00	0.119	0.115	0.112	0.115	0.115	0.113	0.118	-2.00	0.119	0.115	0.112	0.115	0.115	0.113	0.118		
0.00	0.375	0.359	0.366	0.359	0.374	0.361	0.370	0.00	0.098	0.092	0.093	0.101	0.094	0.098	0.101	0.00	0.098	0.092	0.093	0.101	0.094	0.098	0.101		
2.00	0.428	0.431	0.422	0.423	0.418	0.436	0.434	2.00	0.119	0.115	0.112	0.115	0.115	0.113	0.118	2.00	0.119	0.115	0.112	0.115	0.115	0.113	0.118		
4.00	0.478	0.484	0.484	0.500	0.489	0.491	0.484	4.00	0.136	0.133	0.134	0.131	0.133	0.131	0.135	4.00	0.136	0.133	0.134	0.131	0.133	0.131	0.135		
6.00	0.576	0.562	0.561	0.554	0.573	0.556	0.568	6.00	0.158	0.150	0.148	0.147	0.151	0.150	0.150	6.00	0.158	0.150	0.148	0.147	0.151	0.149	0.150		
8.00	0.609	0.628	0.646	0.632	0.620	0.623	0.618	8.00	0.173	0.174	0.175	0.171	0.169	0.173	0.173	8.00	0.173	0.174	0.175	0.171	0.169	0.171	0.173		
10.00	0.705	0.686	0.700	0.707	0.708	0.680	0.694	10.00	0.193	0.194	0.190	0.184	0.194	0.190	0.198	10.00	0.193	0.194	0.190	0.184	0.194	0.190	0.198		
12.00	0.777	0.773	0.763	0.799	0.760	0.787	0.779	12.00	0.209	0.205	0.216	0.211	0.208	0.211	0.207	12.00	0.209	0.205	0.216	0.211	0.208	0.211	0.207		
15.00	0.864	0.874	0.937	0.925	0.913	0.876	0.841	15.00	0.230	0.235	0.234	0.242	0.240	0.230	0.230	15.00	0.230	0.235	0.234	0.242	0.240	0.233	0.230		
$M = 0.6$													$M = 0.8$												
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$		
-10.00	0.105	0.102	0.102	0.100	0.102	0.102	0.104	-10.00	0.081	0.076	0.076	0.072	0.076	0.076	0.082	-10.00	0.081	0.076	0.076	0.072	0.076	0.076	0.082		
-8.00	0.098	0.091	0.093	0.090	0.092	0.092	0.098	-8.00	0.075	0.072	0.069	0.070	0.072	0.074	0.075	-8.00	0.075	0.072	0.069	0.070	0.072	0.074	0.075		
-6.00	0.087	0.084	0.083	0.081	0.082	0.083	0.088	-6.00	0.070	0.065	0.065	0.061	0.064	0.064	0.070	-6.00	0.070	0.065	0.065	0.061	0.064	0.064	0.070		
-4.00	0.077	0.073	0.073	0.072	0.072	0.072	0.075	-4.00	0.061	0.056	0.056	0.056	0.057	0.056	0.061	-4.00	0.061	0.056	0.056	0.056	0.057	0.056	0.061		
-2.00	0.066	0.061	0.061	0.064	0.061	0.061	0.065	-2.00	0.053	0.049	0.050	0.052	0.050	0.049	0.053	-2.00	0.053	0.049	0.050	0.052	0.050	0.049	0.053		
0.00	0.055	0.048	0.047	0.057	0.049	0.050	0.055	0.00	0.045	0.038	0.037	0.050	0.036	0.044	0.044	0.00	0.045	0.038	0.037	0.050	0.036	0.038	0.044		
2.00	0.066	0.061	0.061	0.064	0.061	0.061	0.065	2.00	0.053	0.049	0.050	0.052	0.050	0.049	0.053	2.00	0.053	0.049	0.050	0.052	0.050	0.049	0.053		
4.00	0.077	0.073	0.073	0.072	0.072	0.072	0.075	4.00	0.061	0.056	0.056	0.056	0.057	0.056	0.061	4.00	0.061	0.056	0.056	0.056	0.057	0.056	0.061		
6.00	0.087	0.084	0.083	0.081	0.082	0.083	0.088	6.00	0.070	0.065	0.065	0.061	0.064	0.064	0.070	6.00	0.070	0.065	0.065	0.061	0.064	0.064	0.070		
8.00	0.098	0.091	0.093	0.090	0.092	0.092	0.098	8.00	0.075	0.072	0.069	0.070	0.072	0.074	0.075	8.00	0.075	0.072	0.069	0.070	0.072	0.074	0.075		
10.00	0.105	0.102	0.102	0.100	0.102	0.102	0.104	10.00	0.081	0.076	0.076	0.072	0.076	0.076	0.082	10.00	0.081	0.076	0.076	0.072	0.076	0.076	0.082		
12.00	0.111	0.110	0.111	0.112	0.113	0.109	0.111	12.00	0.088	0.083	0.081	0.078	0.082	0.084	0.086	12.00	0.088	0.083	0.081	0.078	0.082	0.084	0.086		
15.00	0.119	0.124	0.123	0.123	0.125	0.125	0.120	15.00	0.096	0.091	0.088	0.086	0.088	0.090	0.097	15.00	0.096	0.091	0.088	0.086	0.088	0.090	0.097		

表 39 ADS 計測値風洞計測誤差の 3σ 値 (迎角) (その 2)

M = 0.9540													
M = 0.9034						M = 1.1077							
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	
-10.00	0.080	0.075	0.073	0.070	0.073	0.075	0.080	-10.00	0.080	0.075	0.073	0.070	0.070
-8.00	0.072	0.068	0.067	0.064	0.067	0.068	0.072	-8.00	0.073	0.068	0.067	0.063	0.063
-6.00	0.067	0.063	0.061	0.060	0.063	0.063	0.067	-6.00	0.067	0.062	0.062	0.060	0.063
-4.00	0.059	0.056	0.058	0.056	0.055	0.058	0.061	-4.00	0.059	0.056	0.057	0.056	0.057
-2.00	0.053	0.047	0.047	0.052	0.048	0.047	0.052	-2.00	0.052	0.047	0.047	0.051	0.046
0.00	0.044	0.036	0.034	0.048	0.034	0.035	0.043	0.00	0.043	0.035	0.034	0.047	0.035
2.00	0.053	0.047	0.047	0.052	0.048	0.047	0.052	2.00	0.052	0.047	0.047	0.051	0.046
4.00	0.059	0.056	0.058	0.056	0.055	0.058	0.061	4.00	0.059	0.056	0.057	0.056	0.057
6.00	0.067	0.063	0.061	0.060	0.063	0.063	0.067	6.00	0.067	0.062	0.062	0.060	0.063
8.00	0.072	0.068	0.067	0.064	0.067	0.068	0.072	8.00	0.073	0.068	0.067	0.063	0.068
10.00	0.080	0.075	0.073	0.070	0.073	0.075	0.080	10.00	0.080	0.075	0.073	0.070	0.074
12.00	0.085	0.079	0.077	0.074	0.078	0.079	0.085	12.00	0.085	0.079	0.076	0.075	0.079
15.00	0.092	0.086	0.084	0.082	0.084	0.086	0.091	15.00	0.090	0.087	0.085	0.081	0.087
M = 1.0531													
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	
-10.00	0.080	0.075	0.072	0.070	0.072	0.074	0.078	-10.00	0.078	0.073	0.072	0.068	0.079
-8.00	0.072	0.068	0.067	0.063	0.067	0.068	0.072	-8.00	0.073	0.068	0.066	0.062	0.072
-6.00	0.067	0.063	0.062	0.060	0.062	0.063	0.068	-6.00	0.067	0.062	0.061	0.060	0.067
-4.00	0.061	0.055	0.055	0.055	0.057	0.058	0.060	-4.00	0.059	0.056	0.055	0.055	0.059
-2.00	0.052	0.047	0.048	0.052	0.046	0.046	0.052	-2.00	0.051	0.046	0.047	0.051	0.052
0.00	0.041	0.035	0.033	0.047	0.034	0.035	0.044	0.00	0.043	0.035	0.033	0.047	0.043
2.00	0.052	0.047	0.048	0.052	0.046	0.046	0.052	2.00	0.051	0.046	0.047	0.051	0.052
4.00	0.061	0.055	0.055	0.055	0.057	0.058	0.060	4.00	0.059	0.056	0.055	0.055	0.059
6.00	0.067	0.063	0.062	0.060	0.062	0.063	0.068	6.00	0.067	0.062	0.061	0.060	0.067
8.00	0.072	0.068	0.067	0.063	0.067	0.068	0.072	8.00	0.073	0.068	0.066	0.062	0.072
10.00	0.080	0.075	0.072	0.070	0.072	0.074	0.078	10.00	0.078	0.073	0.072	0.068	0.079
12.00	0.085	0.079	0.075	0.074	0.076	0.079	0.085	12.00	0.085	0.078	0.074	0.072	0.084
15.00	0.091	0.086	0.084	0.081	0.083	0.086	0.091	15.00	0.089	0.084	0.081	0.080	0.091

表 40 ADS 計測値風洞計測誤差の  $3\sigma$  値 (迎角) (その 3)

$M = 1.2055$											$M = 1.3067$										
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$						
-10.00	0.076	0.072	0.069	0.067	0.070	0.071	0.076	-10.00	0.076	0.071	0.068	0.066	0.068	0.071	0.075						
-8.00	0.072	0.067	0.066	0.061	0.065	0.067	0.072	-8.00	0.072	0.067	0.065	0.062	0.065	0.068	0.072						
-6.00	0.066	0.062	0.061	0.058	0.061	0.062	0.066	-6.00	0.066	0.062	0.061	0.058	0.060	0.062	0.067						
-4.00	0.059	0.054	0.055	0.054	0.055	0.054	0.059	-4.00	0.059	0.054	0.054	0.054	0.055	0.054	0.059						
-2.00	0.051	0.046	0.046	0.051	0.048	0.047	0.051	-2.00	0.051	0.045	0.046	0.050	0.047	0.046	0.052						
0.00	0.043	0.035	0.033	0.047	0.033	0.035	0.043	0.00	0.042	0.035	0.033	0.047	0.033	0.035	0.043						
2.00	0.051	0.046	0.046	0.051	0.048	0.047	0.051	2.00	0.051	0.045	0.046	0.050	0.047	0.046	0.052						
4.00	0.059	0.054	0.055	0.054	0.055	0.054	0.059	4.00	0.059	0.054	0.054	0.054	0.055	0.054	0.059						
6.00	0.066	0.062	0.061	0.058	0.061	0.062	0.066	6.00	0.066	0.062	0.061	0.058	0.060	0.062	0.067						
8.00	0.072	0.067	0.066	0.061	0.065	0.067	0.072	8.00	0.072	0.067	0.065	0.062	0.065	0.068	0.072						
10.00	0.077	0.072	0.069	0.067	0.070	0.071	0.076	10.00	0.076	0.071	0.068	0.066	0.068	0.071	0.075						
12.00	0.082	0.076	0.073	0.071	0.074	0.076	0.081	12.00	0.082	0.075	0.072	0.070	0.073	0.074	0.080						
15.00	0.087	0.083	0.080	0.077	0.080	0.082	0.088	15.00	0.087	0.082	0.079	0.075	0.080	0.081	0.087						
$M = 1.4080$											$M = 1.6157$										
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$						
-10.00	0.076	0.070	0.068	0.065	0.067	0.071	0.075	-10.00	0.064	0.061	0.062	0.061	0.062	0.062	0.064						
-8.00	0.071	0.066	0.064	0.063	0.066	0.068	0.072	-8.00	0.059	0.058	0.059	0.058	0.058	0.058	0.059						
-6.00	0.066	0.062	0.062	0.058	0.060	0.062	0.067	-6.00	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.053	0.053						
-4.00	0.059	0.054	0.054	0.053	0.055	0.054	0.059	-4.00	0.047	0.047	0.050	0.051	0.050	0.047	0.048						
-2.00	0.051	0.045	0.046	0.050	0.046	0.045	0.052	-2.00	0.040	0.040	0.043	0.048	0.043	0.040	0.040						
0.00	0.040	0.034	0.033	0.047	0.033	0.035	0.043	0.00	0.033	0.031	0.031	0.045	0.031	0.031	0.034						
2.00	0.051	0.045	0.046	0.050	0.046	0.045	0.052	2.00	0.040	0.040	0.043	0.048	0.043	0.039	0.040						
4.00	0.059	0.054	0.054	0.053	0.055	0.054	0.059	4.00	0.047	0.047	0.050	0.051	0.050	0.047	0.047						
6.00	0.066	0.062	0.062	0.058	0.060	0.062	0.067	6.00	0.053	0.054	0.054	0.054	0.054	0.053	0.053						
8.00	0.071	0.066	0.064	0.063	0.066	0.068	0.072	8.00	0.059	0.058	0.059	0.058	0.058	0.058	0.059						
10.00	0.076	0.070	0.068	0.065	0.067	0.071	0.075	10.00	0.064	0.061	0.062	0.061	0.062	0.062	0.064						
12.00	0.083	0.075	0.072	0.070	0.072	0.074	0.079	12.00	0.072	0.067	0.066	0.065	0.067	0.066	0.072						
15.00	0.086	0.081	0.080	0.075	0.080	0.080	0.085	15.00	0.078	0.080	0.080	0.079	0.080	0.081	0.078						



表 41 ADS 計測値風洞計測誤差の  $3\sigma$  値 (迎角) (その 4)

$\alpha$	$M = 1.7127$									
	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$			
-10.00	0.062	0.061	0.060	0.059	0.061	0.060	0.062			
-8.00	0.056	0.057	0.057	0.056	0.057	0.057	0.056			
-6.00	0.052	0.052	0.054	0.053	0.053	0.052	0.051			
-4.00	0.045	0.045	0.048	0.050	0.048	0.045	0.045			
-2.00	0.038	0.039	0.042	0.047	0.042	0.038	0.038			
0.00	0.033	0.030	0.030	0.044	0.030	0.030	0.033			
2.00	0.038	0.039	0.042	0.047	0.042	0.038	0.038			
4.00	0.045	0.045	0.048	0.050	0.048	0.045	0.045			
6.00	0.052	0.052	0.054	0.053	0.053	0.052	0.051			
8.00	0.056	0.057	0.057	0.056	0.057	0.057	0.056			
10.00	0.063	0.061	0.060	0.059	0.061	0.060	0.063			
12.00	0.072	0.065	0.065	0.063	0.065	0.065	0.071			
15.00	0.075	0.075	0.075	0.074	0.075	0.077	0.076			

表 42 ADS 計測値風洞計測誤差の 3σ 値 (横滑り角) (その 1)

M = 0.2													M = 0.4												
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$										
-10.00	0.535	0.437	0.408	0.375	0.408	0.437	0.535	-10.00	0.149	0.122	0.112	0.099	0.112	0.122	0.149										
-8.00	0.532	0.440	0.420	0.377	0.420	0.440	0.532	-8.00	0.147	0.121	0.112	0.096	0.112	0.121	0.147										
-6.00	0.538	0.446	0.417	0.367	0.417	0.446	0.538	-6.00	0.150	0.124	0.109	0.094	0.109	0.124	0.150										
-4.00	0.542	0.450	0.413	0.373	0.413	0.450	0.542	-4.00	0.146	0.122	0.111	0.094	0.111	0.122	0.146										
-2.00	0.537	0.446	0.418	0.363	0.418	0.446	0.537	-2.00	0.146	0.123	0.113	0.095	0.113	0.123	0.146										
0.00	0.529	0.438	0.427	0.373	0.427	0.438	0.529	0.00	0.146	0.124	0.112	0.096	0.112	0.124	0.146										
2.00	0.540	0.447	0.415	0.371	0.415	0.447	0.540	2.00	0.146	0.122	0.111	0.095	0.111	0.122	0.146										
4.00	0.532	0.441	0.428	0.370	0.428	0.441	0.532	4.00	0.148	0.126	0.111	0.094	0.111	0.126	0.148										
6.00	0.533	0.436	0.419	0.377	0.419	0.436	0.533	6.00	0.148	0.124	0.111	0.095	0.111	0.124	0.148										
8.00	0.535	0.437	0.413	0.368	0.413	0.437	0.535	8.00	0.149	0.123	0.109	0.096	0.109	0.123	0.149										
10.00	0.542	0.448	0.410	0.370	0.409	0.448	0.542	10.00	0.149	0.124	0.111	0.099	0.111	0.124	0.149										
12.00	0.539	0.437	0.424	0.381	0.424	0.437	0.539	12.00	0.146	0.122	0.115	0.102	0.115	0.122	0.146										
15.00	0.555	0.445	0.419	0.387	0.419	0.445	0.555	15.00	0.147	0.122	0.113	0.110	0.114	0.122	0.148										

M = 0.6													M = 0.8												
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$										
-10.00	0.087	0.073	0.064	0.053	0.064	0.073	0.087	-10.00	0.069	0.058	0.052	0.046	0.052	0.058	0.069										
-8.00	0.085	0.072	0.061	0.052	0.061	0.072	0.085	-8.00	0.067	0.057	0.050	0.043	0.050	0.057	0.067										
-6.00	0.083	0.070	0.060	0.050	0.060	0.070	0.083	-6.00	0.066	0.055	0.049	0.040	0.049	0.055	0.066										
-4.00	0.082	0.070	0.059	0.048	0.059	0.070	0.082	-4.00	0.064	0.055	0.048	0.039	0.048	0.055	0.064										
-2.00	0.081	0.070	0.062	0.047	0.062	0.070	0.081	-2.00	0.062	0.055	0.051	0.036	0.051	0.055	0.062										
0.00	0.080	0.069	0.062	0.046	0.062	0.069	0.080	0.00	0.060	0.053	0.052	0.036	0.052	0.053	0.060										
2.00	0.081	0.070	0.060	0.047	0.060	0.070	0.081	2.00	0.061	0.055	0.051	0.036	0.051	0.055	0.061										
4.00	0.082	0.070	0.059	0.047	0.059	0.070	0.082	4.00	0.065	0.055	0.047	0.039	0.047	0.055	0.065										
6.00	0.083	0.070	0.060	0.049	0.060	0.070	0.083	6.00	0.066	0.055	0.049	0.040	0.049	0.055	0.066										
8.00	0.084	0.071	0.061	0.050	0.061	0.071	0.084	8.00	0.067	0.056	0.050	0.043	0.050	0.056	0.067										
10.00	0.086	0.071	0.064	0.053	0.064	0.071	0.086	10.00	0.070	0.057	0.052	0.046	0.052	0.057	0.070										
12.00	0.088	0.075	0.065	0.056	0.065	0.075	0.088	12.00	0.072	0.061	0.055	0.049	0.055	0.061	0.072										
15.00	0.090	0.077	0.070	0.061	0.070	0.077	0.091	15.00	0.075	0.064	0.061	0.055	0.061	0.064	0.075										

表 43 ADS 計測値風洞計測誤差の 3σ 値 (横滑り角) (その 2)

M = 0.9540															
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$
-10.00	0.067	0.057	0.051	0.044	0.051	0.057	0.067	-10.00	0.068	0.057	0.052	0.044	0.052	0.057	0.068
-8.00	0.066	0.055	0.048	0.041	0.048	0.055	0.066	-8.00	0.066	0.055	0.048	0.041	0.048	0.055	0.066
-6.00	0.064	0.054	0.047	0.038	0.047	0.054	0.064	-6.00	0.064	0.054	0.048	0.038	0.048	0.054	0.064
-4.00	0.062	0.054	0.046	0.037	0.046	0.054	0.062	-4.00	0.062	0.054	0.046	0.037	0.046	0.054	0.062
-2.00	0.060	0.053	0.049	0.035	0.049	0.053	0.060	-2.00	0.060	0.054	0.049	0.035	0.049	0.054	0.060
0.00	0.057	0.052	0.051	0.035	0.051	0.052	0.057	0.00	0.057	0.052	0.051	0.034	0.051	0.052	0.057
2.00	0.060	0.053	0.050	0.034	0.050	0.053	0.060	2.00	0.060	0.054	0.049	0.034	0.049	0.054	0.060
4.00	0.062	0.054	0.047	0.036	0.047	0.054	0.062	4.00	0.062	0.054	0.046	0.036	0.046	0.054	0.062
6.00	0.064	0.054	0.047	0.038	0.047	0.054	0.064	6.00	0.064	0.054	0.047	0.038	0.047	0.054	0.064
8.00	0.065	0.055	0.048	0.041	0.048	0.055	0.065	8.00	0.066	0.055	0.049	0.039	0.049	0.055	0.066
10.00	0.067	0.056	0.051	0.044	0.051	0.056	0.067	10.00	0.067	0.056	0.052	0.043	0.052	0.056	0.067
12.00	0.070	0.060	0.054	0.047	0.054	0.060	0.070	12.00	0.070	0.060	0.054	0.047	0.054	0.060	0.070
15.00	0.073	0.063	0.058	0.053	0.058	0.063	0.073	15.00	0.073	0.063	0.058	0.053	0.058	0.063	0.074
M = 1.0531															
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$
-10.00	0.069	0.057	0.050	0.043	0.050	0.057	0.069	-10.00	0.068	0.056	0.051	0.043	0.051	0.056	0.068
-8.00	0.066	0.055	0.048	0.041	0.048	0.055	0.066	-8.00	0.066	0.055	0.048	0.039	0.048	0.055	0.066
-6.00	0.064	0.054	0.047	0.038	0.047	0.054	0.064	-6.00	0.064	0.054	0.046	0.038	0.046	0.054	0.064
-4.00	0.062	0.054	0.046	0.036	0.046	0.054	0.062	-4.00	0.062	0.054	0.046	0.036	0.046	0.054	0.062
-2.00	0.060	0.054	0.048	0.034	0.048	0.054	0.060	-2.00	0.060	0.053	0.049	0.034	0.049	0.053	0.060
0.00	0.058	0.052	0.050	0.034	0.050	0.052	0.058	0.00	0.057	0.052	0.050	0.034	0.050	0.052	0.057
2.00	0.060	0.053	0.049	0.034	0.049	0.053	0.060	2.00	0.060	0.053	0.049	0.034	0.049	0.053	0.060
4.00	0.062	0.054	0.046	0.037	0.046	0.054	0.062	4.00	0.062	0.054	0.046	0.035	0.046	0.054	0.062
6.00	0.064	0.054	0.046	0.037	0.046	0.054	0.064	6.00	0.064	0.054	0.047	0.037	0.047	0.054	0.064
8.00	0.066	0.055	0.048	0.039	0.048	0.055	0.066	8.00	0.066	0.055	0.048	0.039	0.048	0.055	0.066
10.00	0.068	0.057	0.051	0.043	0.051	0.057	0.068	10.00	0.067	0.056	0.051	0.043	0.051	0.056	0.067
12.00	0.070	0.060	0.054	0.047	0.054	0.060	0.070	12.00	0.070	0.060	0.054	0.046	0.054	0.060	0.070
15.00	0.074	0.063	0.058	0.053	0.058	0.063	0.074	15.00	0.073	0.063	0.058	0.053	0.058	0.063	0.074
M = 1.1077															
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$
-10.00	0.069	0.057	0.050	0.043	0.050	0.057	0.069	-10.00	0.068	0.056	0.051	0.043	0.051	0.056	0.068
-8.00	0.066	0.055	0.048	0.041	0.048	0.055	0.066	-8.00	0.066	0.055	0.048	0.039	0.048	0.055	0.066
-6.00	0.064	0.054	0.047	0.038	0.047	0.054	0.064	-6.00	0.064	0.054	0.046	0.038	0.046	0.054	0.064
-4.00	0.062	0.054	0.046	0.036	0.046	0.054	0.062	-4.00	0.062	0.054	0.046	0.036	0.046	0.054	0.062
-2.00	0.060	0.054	0.048	0.034	0.048	0.054	0.060	-2.00	0.060	0.053	0.049	0.034	0.049	0.053	0.060
0.00	0.058	0.052	0.050	0.034	0.050	0.052	0.058	0.00	0.057	0.052	0.050	0.034	0.050	0.052	0.057
2.00	0.060	0.053	0.049	0.034	0.049	0.053	0.060	2.00	0.060	0.053	0.049	0.034	0.049	0.053	0.060
4.00	0.062	0.054	0.046	0.037	0.046	0.054	0.062	4.00	0.062	0.054	0.046	0.035	0.046	0.054	0.062
6.00	0.064	0.054	0.046	0.037	0.046	0.054	0.064	6.00	0.064	0.054	0.047	0.037	0.047	0.054	0.064
8.00	0.066	0.055	0.048	0.039	0.048	0.055	0.066	8.00	0.066	0.055	0.048	0.039	0.048	0.055	0.066
10.00	0.068	0.057	0.051	0.043	0.051	0.057	0.068	10.00	0.067	0.056	0.051	0.043	0.051	0.056	0.067
12.00	0.070	0.060	0.054	0.047	0.054	0.060	0.070	12.00	0.070	0.060	0.054	0.046	0.054	0.060	0.070
15.00	0.074	0.063	0.058	0.053	0.058	0.063	0.074	15.00	0.073	0.063	0.058	0.053	0.058	0.063	0.074

表 44 ADS 計測値風洞計測誤差の 3σ 値 (横滑り角) (その 3)

M = 1.2055											M = 1.3067										
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$						
-10.00	0.067	0.056	0.050	0.043	0.050	0.056	0.067	-10.00	0.067	0.056	0.050	0.043	0.050	0.056	0.067						
-8.00	0.065	0.054	0.048	0.039	0.048	0.054	0.065	-8.00	0.064	0.054	0.048	0.039	0.048	0.054	0.064						
-6.00	0.064	0.053	0.047	0.037	0.047	0.053	0.064	-6.00	0.063	0.053	0.046	0.036	0.046	0.053	0.063						
-4.00	0.062	0.053	0.046	0.034	0.046	0.053	0.062	-4.00	0.061	0.053	0.046	0.034	0.046	0.053	0.061						
-2.00	0.059	0.052	0.049	0.032	0.049	0.052	0.059	-2.00	0.058	0.052	0.048	0.032	0.048	0.052	0.058						
0.00	0.056	0.052	0.050	0.032	0.050	0.052	0.056	0.00	0.056	0.052	0.050	0.032	0.050	0.052	0.056						
2.00	0.059	0.052	0.048	0.032	0.048	0.052	0.059	2.00	0.059	0.052	0.048	0.032	0.048	0.052	0.059						
4.00	0.062	0.053	0.046	0.035	0.046	0.053	0.062	4.00	0.062	0.053	0.046	0.035	0.046	0.053	0.062						
6.00	0.064	0.053	0.046	0.036	0.046	0.053	0.064	6.00	0.064	0.053	0.045	0.036	0.045	0.053	0.064						
8.00	0.065	0.054	0.048	0.038	0.048	0.054	0.065	8.00	0.065	0.054	0.048	0.038	0.048	0.054	0.065						
10.00	0.067	0.056	0.051	0.042	0.051	0.056	0.067	10.00	0.067	0.056	0.050	0.043	0.050	0.056	0.067						
12.00	0.069	0.059	0.053	0.046	0.053	0.059	0.069	12.00	0.069	0.060	0.053	0.046	0.053	0.060	0.069						
15.00	0.073	0.062	0.058	0.053	0.058	0.062	0.073	15.00	0.073	0.062	0.058	0.053	0.058	0.062	0.073						

M = 1.4080											M = 1.6157										
$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$	$\alpha$	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$						
-10.00	0.067	0.055	0.050	0.042	0.049	0.055	0.067	-10.00	0.055	0.042	0.038	0.033	0.038	0.042	0.053						
-8.00	0.064	0.054	0.047	0.038	0.047	0.054	0.064	-8.00	0.055	0.042	0.038	0.033	0.038	0.042	0.052						
-6.00	0.062	0.052	0.045	0.036	0.045	0.052	0.062	-6.00	0.053	0.043	0.038	0.032	0.038	0.043	0.053						
-4.00	0.060	0.052	0.046	0.034	0.046	0.052	0.060	-4.00	0.053	0.045	0.040	0.031	0.040	0.045	0.053						
-2.00	0.057	0.052	0.047	0.032	0.047	0.052	0.057	-2.00	0.053	0.047	0.043	0.031	0.043	0.047	0.053						
0.00	0.056	0.051	0.049	0.032	0.049	0.051	0.056	0.00	0.052	0.047	0.047	0.031	0.047	0.047	0.052						
2.00	0.058	0.052	0.047	0.032	0.047	0.052	0.058	2.00	0.054	0.047	0.043	0.031	0.043	0.047	0.053						
4.00	0.061	0.052	0.046	0.034	0.046	0.052	0.061	4.00	0.054	0.045	0.039	0.031	0.039	0.045	0.053						
6.00	0.062	0.052	0.045	0.036	0.045	0.052	0.062	6.00	0.053	0.044	0.038	0.032	0.038	0.044	0.053						
8.00	0.064	0.054	0.047	0.038	0.047	0.054	0.064	8.00	0.054	0.042	0.038	0.032	0.038	0.042	0.052						
10.00	0.067	0.055	0.049	0.042	0.049	0.055	0.067	10.00	0.054	0.042	0.038	0.033	0.038	0.042	0.052						
12.00	0.069	0.059	0.052	0.045	0.052	0.059	0.069	12.00	0.053	0.042	0.039	0.033	0.039	0.042	0.054						
15.00	0.073	0.062	0.058	0.053	0.058	0.062	0.073	15.00	0.064	0.044	0.040	0.036	0.041	0.044	0.052						

表 45 ADS 計測値風洞計測誤差の  $3\sigma$  値 (横滑り角) (その 4)

$\alpha$	$M = 1.7127$									
	$\beta = -10$	$\beta = -5$	$\beta = -2.5$	$\beta = 0$	$\beta = 2.5$	$\beta = 5$	$\beta = 10$			
-10.00	0.052	0.042	0.038	0.033	0.038	0.042	0.052			
-8.00	0.052	0.041	0.038	0.032	0.038	0.041	0.052			
-6.00	0.053	0.043	0.038	0.031	0.038	0.043	0.052			
-4.00	0.052	0.045	0.038	0.030	0.038	0.045	0.052			
-2.00	0.052	0.047	0.042	0.030	0.042	0.047	0.052			
0.00	0.051	0.047	0.045	0.030	0.045	0.047	0.051			
2.00	0.052	0.047	0.042	0.030	0.042	0.047	0.052			
4.00	0.052	0.045	0.038	0.030	0.038	0.045	0.052			
6.00	0.053	0.043	0.037	0.032	0.037	0.043	0.052			
8.00	0.051	0.042	0.037	0.032	0.037	0.042	0.051			
10.00	0.052	0.042	0.037	0.033	0.037	0.042	0.052			
12.00	0.053	0.042	0.037	0.033	0.037	0.042	0.053			
15.00	0.071	0.042	0.039	0.034	0.039	0.042	0.052			

## 7.2.2 ADS 遅れモデル

表 46 に ADS 遅れモデルの概要を示す．本節ではピトー管による計測系に関する遅れのみを考慮するものとし，TAT センサは遅れなしとして取り扱う．ピトー管の圧力孔と ADS の圧力変換部を繋ぐ配管は途中で配管径が変化しているため，ここでは多段圧力配管での圧力伝播遅れを各段の応答遅れの足し合わせとして簡単に表現できる文献 [5] のモデルを利用する．いま  $n$  段圧力配管を仮定し，配管内初期圧力を  $p_0$ ，初期測定圧力  $p_m(0) = p_0$  とする．ここでステップ状に圧力  $p_1$  を印加した場合，測定圧力が  $p_m$  となるまでの時間は次式で与えられる．

$$t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n \frac{128\mu_{air}L_iV_j}{\pi D_i^4 p_1} \left( \ln \frac{p_1 + p_m}{p_1 - p_m} - \ln \frac{p_1 + p_0}{p_1 - p_0} \right) \quad (122)$$

式(122)で  $\mu_{air}$  は空気の粘性係数， $L_i, D_i, V_i$  は  $i$  段目圧力配管の長さ，内径および体積であり， $V_i = \pi L_i D_i^2 / 4$  とする．式(122)を  $p_m$  について解くと測定圧力は次式の通りになる．

$$p_m(t) = \frac{c-1}{c+1} p_1 \quad (123)$$

$$c = \frac{p_1 + p_0}{p_1 - p_0} \exp \left( \frac{t}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n \frac{128\mu_{air}L_iV_j}{\pi D_i^4 p_1}} \right) \quad (124)$$

D-SEND#2 で使用するピトー管と ADS 圧力配管の各種パラメータは表 47 に示す通りである．ただし ADS 空圧センサ部の長さと同径は ADS 計測部と同じで，ADS 計測部の一部をなすものであると仮定し， $V_3 \rightarrow V_3 + V_p$  と置き換えて用いるものとする．

実際の飛行では印加圧力  $p_1(t)$  はステップ状ではなく連続的に変化するため，式(123)を遅れモデルとして直接適用することはできない．そこで  $p_1(t)$  を十分小さい幅  $\Delta t$  をもつ階段状の印加パターンで近似し，式(123)から求まる  $t = \Delta t$  での測定圧力  $p_m(\Delta t)$  を式(124)の  $p_0$  の更新値として用いることにする．これを繰り返すことで印加圧力の不連続点である  $t = n\Delta t$  における測定圧力  $p_m(n\Delta t)$  を順次求めることができる．したがって任意の時刻における  $p_m(t)$  は  $t = n\Delta t + \tau$  (ただし  $0 \leq \tau < \Delta t$ ) とすると次式で定義できる．

$$p_m(t) = \frac{c-1}{c+1} p_1(t) \quad (125)$$

$$c = \frac{p_1(t) + p_m(n\Delta t)}{p_1(t) - p_m(n\Delta t)} \exp \left( \frac{\tau}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n \frac{128\mu_{air}L_iV_j}{\pi D_i^4 p_1(t)}} \right) \quad (126)$$

印加圧力  $p_1(t)$  に対する測定圧力  $p_m(t)$  の遅れは

$$k_p(t) = \frac{p_m(t) - p_m(n\Delta t)}{p_1(t) - p_m(n\Delta t)} \quad (127)$$

であるので，ピトー管圧力センサ位置における計測値  $x_m^{ADS}$  も式(127)と同じだけ式(108)～式(114)および式(117)のピトー管先端における各種計測値  $x_m^{PITOT}$  から遅れると仮定すると

$$x_m^{ADS}(t) = x_m^{ADS}(n\Delta t) + k_p(t)\{x_m^{PITOT}(t) - x_m^{ADS}(n\Delta t)\} \quad (128)$$

となる。ただし  $x = M, p_s, \bar{q}, \alpha, \beta, V_{TAS}, V_{EAS}, h_{bar}$  である。

誘導制御則の設計開発においては最も時定数が遅く安全側の評価となるように、機体重心における静圧  $p_s^{CG}$  を印加圧力とみなして遅れを定義した。設計開発が進んで OFP を利用した詳細モデルによる評価が可能になった後は、静圧と総圧を一定の比で混合した圧力を印加圧力とみなし、混合比をパラメータとして本節の遅れモデルと OFP を利用した詳細モデルの両方で 3000 ケースの MCS を行い、両者の結果の差を比較した。その結果、混合比が 3:7 のときに両者の MCS 結果の差が最も小さくなることがわかったので、このときの混合比を誘導制御則の評価に用いることにした。

ピトー管圧力センサ位置における計測圧力は圧力センサにより 32 kHz でサンプリングされ、この際の処理遅れは表 46 に示す通り無駄時間  $\tau_p^{ADS}$  と  $\tau_{CPU}^{ADS}$  でモデル化される。ADS はサンプリングされたデータをもとに 1400 点の移動平均データを航法出力として OFP へ出力する。したがってサンプリングの影響を考慮しない場合、ADS の誘導制御則への航法出力は

$$x_{nav}^{ADS}(t) = \frac{\int_{t-T_{avg}}^t x_m^{ADS}(t - \tau_p^{ADS} - \tau_{CPU}^{ADS}) dt}{T_{avg}} \quad (129)$$

で表すことができる。式(129)で  $T_{avg}$  は 32 kHz で 1400 点のデータを取得するのに相当する時間であり、 $T_{avg} = 43.75$  msec である。サンプリングの影響を考慮する場合、通常用いられる飛行シミュレーションでは上記レートでのサンプリングならびに平均化処理を直接模擬することはできない。そこでサンプリングを飛行シミュレーションの周期  $T$  で行うものとする。サンプリングならびに平均化処理を経た ADS の航法出力は次式で定義される。ただし  $N_{avg} = \lceil T_{avg}/T \rceil$  であり、 $\lceil x \rceil$  は  $x$  を実数とするとき  $x$  以上の最小の整数を表す。

$$x_{nav}^{ADS}(t) = x_{nav}^{ADS}(nT + \tau) = \frac{\sum_{i=0}^{N_{avg}} x_m^{ADS}(nT - iT - \tau_p^{ADS} - \tau_{CPU}^{ADS})}{N_{avg}} \quad (130)$$

ただし  $0 \leq \tau < T$  である。ADS の航法出力は 100 Hz で更新されるため、

$$x_{nav}^{ADS}(t) = x_{nav}^{ADS}(nT_{100}^{ADS} + \tau) = x_{nav}^{ADS}(nT_{100}^{ADS}) \quad (131)$$

となる、ただし  $0 \leq \tau < T_{100}^{ADS}$  であり、 $T_{100}^{ADS} = 1/100 = 10$  msec である。

FLCC は ADS の 100 Hz の航法出力をデジタルバスから 50 Hz で受信するため、OFP の誘導制御タスク処理開始タイミングで使用する航法出力値は 1 フレーム分遅れることになる。表 46 に示す  $\tau_{100}^{FLCC/ADS}$  がこれに対応するが、本稿の簡易モデルでは OFP のタスク処理は模擬しないため、7.1.2 節と同様にこの通信遅れを式(129)および式(130)の  $\tau_p^{ADS}$  と  $\tau_{CPU}^{ADS}$  に加えるものとした。

表 46 ADS 遅れモデルの定義

項目	記号	遅れ時間	単位	遅れ種別
圧力センサ検出遅れ	$\tau_p^{ADS}$	0.1	msec	無駄時間
ADS の CPU 処理遅れ	$\tau_{CPU}^{ADS}$	8	msec	無駄時間
ADS-FLCC 通信遅れ	$\tau_{100}^{FLCC/ADS}$	10	msec	無駄時間
平均化処理遅れ	式(130)で定義			
配管内圧力伝播遅れ	式(123)で定義			
TAT センサ遅れ	遅れなし			

表 47 ピトー管と ADS 圧力配管の各種パラメータ

項目	定義	値	単位
$\mu_{air}$	空気の粘性係数	1.458	Pa·s
$L_1$	ピトー管長	0.2326	m
$L_2$	ADS 圧力配管長	1.7984	m
$L_3$	ADS 計測部長	0.274	m
$D_1$	ピトー管径	1.51	mm
$D_2$	ADS 圧力配管径	3.34	mm
$D_3$	ADS 計測部径	0.77	mm
$V_p$	ADS 空圧センサ部体積	$2.21 \times 10^{-7}$	m <sup>3</sup>

### 7.3 $A_z$ センサモデル

$A_z$  センサは非重力成分による機体軸z軸方向の加速度，すなわち垂直加速度を計測し，アナログデータとして出力する．FLCC はアナログ回路で構成されたアンチエイリアシングフィルタを通した後で D/A 変換を行い，OFP は 100 Hz でデジタルデータを受信する．なお  $A_z$  センサは胴体の構造振動による加速度変化の影響を避けるために構造振動一次モードの節の位置に搭載されている．ここでは垂直加速度の真値に直接誤差と遅れを付加するモデル化を行うものとする．

#### 7.3.1 $A_z$ センサ誤差モデル

機体重心における機体軸系各軸方向の加速度の真値は式(45)で計算される通りである． $A_z$  センサ搭載位置における機体軸系ならびにセンサ機体軸系各軸方向の加速度の計測値は次式で定義できる．

$${}^B \begin{bmatrix} A_{xm} \\ A_{ym} \\ A_{zm} \end{bmatrix}^{Az} = {}^B \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{bmatrix}^{CG} + \begin{bmatrix} \dot{P}_I \\ \dot{Q}_I \\ \dot{R}_I \end{bmatrix}^{CG} \times \left\{ T_{B/C} \begin{bmatrix} X_{Az0} + \Delta X_{Az0} \\ Y_{Az0} + \Delta Y_{Az0} \\ Z_{Az0} + \Delta Z_{Az0} \\ 1 \end{bmatrix} \right\} \quad (132)$$



$$\begin{aligned}
 & \mathbf{T}_{B/C} \left( \begin{array}{c} X_{CG0} + \Delta X_{CG0} \\ Y_{CG0} + \Delta Y_{CG0} \\ Z_{CG0} + \Delta Z_{CG0} \\ 1 \end{array} \right) + \Delta_{BS}^{Az} \begin{Bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{Bmatrix} + \Delta_{RN}^{Az} \begin{Bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{Bmatrix} \\
 & \begin{Bmatrix} A_{xm} \\ A_{ym} \\ A_{zm} \end{Bmatrix}^{SB} = \mathbf{T}_{SB/B} \left( \begin{array}{c} \phi_{Az0} + \Delta\phi_{Az0} \\ \theta_{Az0} + \Delta\theta_{Az0} + \theta_{Azintl0} + \Delta\theta_{Azintl0} \\ \psi_{Az0} + \Delta\psi_{Az0} \end{array} \right) \begin{Bmatrix} A_{xm} \\ A_{ym} \\ A_{zm} \end{Bmatrix}^{EG1} \tag{133}
 \end{aligned}$$

式(132)の第2項は角加速度が $A_z$ センサ搭載位置に誘起する加速度である。 $X_{Az0}, Y_{Az0}, Z_{Az0}$ および $\Delta X_{Az0}, \Delta Y_{Az0}, \Delta Z_{Az0}$ はCATIA座標系における $A_z$ センサ搭載位置とその搭載位置誤差, $\phi_{Az0}, \theta_{Az0}, \psi_{Az0}$ および $\Delta\phi_{Az0}, \Delta\theta_{Az0}, \Delta\psi_{Az0}$ は $A_z$ センサのノミナル取り付け角およびその誤差, $\theta_{Azintl0}$ および $\Delta\theta_{Azintl0}$ は慣性力による機体構造変形に伴う $A_z$ センサの取り付け角変化のノミナル値およびその誤差であり,表48にそのデータを示す。 $\Delta_{BS}^{Az} A_z$ および $\Delta_{RN}^{Az} A_z$ は $A_z$ センサの加速度計測時のバイアス誤差ならびにランダム誤差であり,表49に誤差データを示す。ただし式(132)で $\Delta_{BS}^{Az} A_x, \Delta_{BS}^{Az} A_y$ および $\Delta_{RN}^{Az} A_x, \Delta_{RN}^{Az} A_y$ は便宜上表記しているだけある。

表 48  $A_z$ センサ搭載位置 (CATIA 座標系) および取り付け角のデータ

項目	ノミナル値	誤差 (最大最小)	単位	誤差分布
$X_{Az0}$	3480.1	$\pm 1.25$	mm	一様
$Y_{Az0}$	0	$\pm 1.25$	mm	一様
$Z_{Az0}$	2157.6	$\pm 1.25$	mm	一様
$\phi_{Az0}$	0	$\pm 1.46$	deg	一様
$\theta_{Az0}$	0	$\pm 0.5$	deg	一様
$\psi_{Az0}$	0	$\pm 0.5$	deg	一様
$\theta_{Azintl0}$	$-0.0235 \times N_z$	$\pm 0.0075 \times N_z$	deg	一様

表 49  $A_z$ センサ計測値のバイアス誤差およびランダム誤差のデータ

項目	バイアス誤差 ( $\pm 3\sigma$ )	ランダム誤差 ( $\pm 3\sigma$ )	単位	誤差分布
$\Delta_{BS}^{Az} A_z, \Delta_{RN}^{Az} A_z$	表 50 の通り	$\pm 0.56$	m/s <sup>2</sup>	正規

表 50  $A_z$ センサバイアス誤差のデータ

計測加速度絶対値 [G]	0.00	1.00	3.34	6.00
$\Delta_{BS}^{Az} A_z$ [m/s <sup>2</sup> ]	$\pm 0.96$	$\pm 1.12$	$\pm 2.18$	$\pm 3.65$

### 7.3.2 $A_z$ センサ遅れモデル

$A_z$  センサの遅れモデルの定義にあたっては、 $A_z$  センサ本体の遅れはないものとし、FLCCのアナログ入力ポートにアナログ回路として実装されているアンチエイリアシングフィルタによる遅れのみを模擬するものとする。このアンチエイリアシングフィルタは時定数  $\tau^{Az}$  の一次遅れ系の 2 重連結  $1/(\tau^{Az}s + 1)^2$  として模擬される。ただし  $s$  はラプラス演算子である。飛行シミュレーションは 200 Hz で離散的に行われるため、連続系の伝達関数  $1/(\tau^{Az}s + 1)^2$  で

$$s = \frac{2z - 1}{Tz + 1} \quad (134)$$

として双一次変換 (Tustin 変換) により離散系の伝達関数に置き換えて式を整理すると、

$$\frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{T^2 + 2T^2z^{-1} + T^2z^{-2}}{(2\tau^{Az} + T)^2 - 2\{(2\tau^{Az})^2 - T^2\}z^{-1} + (2\tau^{Az} - T)^2z^{-2}} \quad (135)$$

となる。ただし式(134)において  $T$  は飛行シミュレーションの周期であり  $T = 5$  msec、式(135)において  $Y(z)$ 、 $U(z)$  はそれぞれ離散系におけるアンチエイリアシングフィルタの出力信号と入力信号である。したがって式(135)より、 $A_z$  センサの遅れは次式の差分方程式として定義することができる。

$$y_n^{Az} = \frac{T^2}{(2\tau^{Az} + T)^2} \{u_n^{Az} + 2u_{n-1}^{Az} + u_{n-2}^{Az}\} + \frac{2(2\tau^{Az} - T)}{\tau^{Az} + T} y_{n-1}^{Az} - \left(\frac{2\tau^{Az} - T}{2\tau^{Az} + T}\right)^2 y_{n-2}^{Az} \quad (136)$$

式(136)において  $y_n^{Az}$  は  $n$  ステップ目のフィルタ出力、 $u_n^{Az}$  は  $n$  ステップ目のフィルタ入力であり、フィルタへの入力  $u_i^{Az}$  は式(133)で定義される計測値を用いて

$$u_n^{Az} = {}^{SB}A_{zm}^{Az}(nT) \quad (137)$$

で与えられる。したがってアンチエイリアシングフィルタを通した誘導制御則への航法出力は次式で定義される。

$${}^{SB}A_{znav}^{Az}(nT) = y_n^{Az} \quad (138)$$

## 8 アクチュエータモデル

D-SEND#2 では機体に搭載するアクチュエータを新規開発するのはスケジュールの面で困難であったことから、NEXST-1 で使用したアクチュエータと同一のものを採用している。ただし NEXST-1 と異なり D-SEND#2 ではブーム計測時に高動圧下で引き起こしを行う必要がある。そのためアクチュエータの制御則が変更されており、動特性は NEXST-1 のものとは異なっている。アクチュエータを構成する各コンポーネントレベルでモデル化を行った MATLAB ベースの詳細モデルが誘導制御則の詳細設計段階で整備されていたが、飛行シミュレーション周期と比較して非常に短い周期での積分計算が必要なため計算負荷が高いこと、またモデルが非常に複雑であり Fortran ベースの飛行シミュレーションへの組み込みと検証作業が開発スケジュールの面で実施困難という課題があった。

そこで飛行シミュレーションで用いるにあたり、アクチュエータの簡易モデルを定義することにした。簡易モデルは誘導制御則の基本設計および詳細設計では NEXST-1 準拠の二次モデルを一部簡略化して使用し、維持設計では詳細モデルと動作試験で取得した実測データをベースに周波数特性をチューニングした一次モデルを作成した。ただし MCS 等による誘導制御則評価の際にアクチュエータ負荷の詳細検討が必要と判断されたケースについては、その飛行履歴を入力データとして MATLAB ベースの詳細モデルによるアクチュエータ負荷解析を別途実施するものとした。ここでは誘導制御則から出力される左右スタビレータおよびラダーの舵角コマンド  $\delta_{stbl}$ ,  $\delta_{stbr}$ ,  $\delta_{rc}$  に適切な誤差と遅れを付加し、舵角リミッタおよびレートリミッタを通して左右スタビレータ舵角  $\delta_{stbl}$ ,  $\delta_{stbr}$ ,  $\delta_r$  を出力する簡易モデルについてのみ説明する。図 16 に本稿のアクチュエータモデルで用いる舵角の定義を示す。

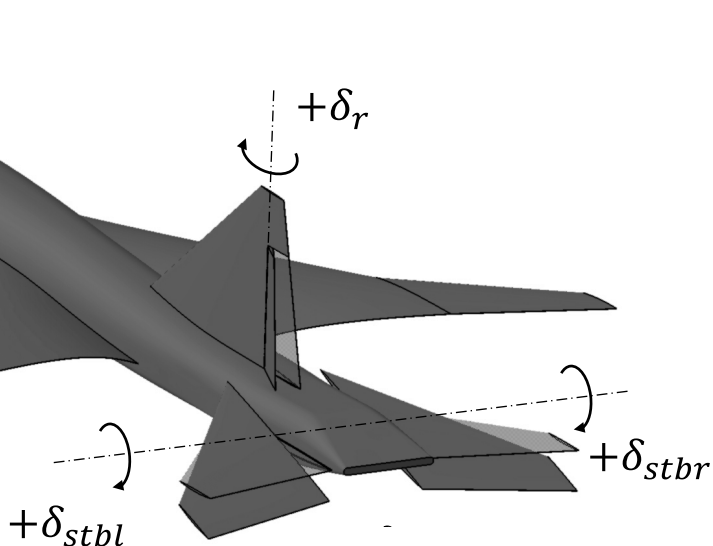


図 16 舵角の定義

### 8.1 アクチュエータモデルおよび誤差モデル（基本設計および詳細設計時）

表 51 と表 52 に誘導制御則開発の基本設計と詳細設計で使用したアクチュエータモデルとその誤差モデルの情報をまとめる。アクチュエータモデルは NEXST-1 準抛の二次遅れ系と無駄時間の組み合わせとして定義されているが、レートリミッタとヒステリシスは省略している。また表 52 に示す誤差モデルも誘導制御則のロバスト性の初期評価にあたっての仮置き値であり、NEXST-1 時に実際に使用した誤差モデルとは異なる。

基本設計および詳細設計時のアクチュエータのダイナミクスは次式で与えられる。

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \dot{x}_{stbl} \\ \ddot{x}_{stbl} \\ \dot{x}_{stbr} \\ \ddot{x}_{stbr} \\ \dot{x}_{rud} \\ \ddot{x}_{rud} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -(\omega_n^{stb} + \Delta\omega_n^{stb})^2 & -2(\zeta^{stb} + \Delta\zeta^{stb})(\omega_n^{stb} + \Delta\omega_n^{stb}) \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{stbl} \\ \dot{x}_{stbl} \\ x_{stbr} \\ \dot{x}_{stbr} \\ x_{rud} \\ \dot{x}_{rud} \end{bmatrix} + \\
 &\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ -(\omega_n^{stb} + \Delta\omega_n^{stb})^2 & -2(\zeta^{stb} + \Delta\zeta^{stb})(\omega_n^{stb} + \Delta\omega_n^{stb}) \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ -(\omega_n^{rud} + \Delta\omega_n^{rud})^2 & -2(\zeta^{rud} + \Delta\zeta^{rud})(\omega_n^{rud} + \Delta\omega_n^{rud}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{stbl} \\ \dot{x}_{stbl} \\ x_{stbr} \\ \dot{x}_{stbr} \\ x_{rud} \\ \dot{x}_{rud} \end{bmatrix} + \\
 &\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ (\omega_n^{stb} + \Delta\omega_n^{stb})^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & (\omega_n^{stb} + \Delta\omega_n^{stb})^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (\omega_n^{rud} + \Delta\omega_n^{rud})^2 \end{bmatrix} \cdot \\
 &\begin{bmatrix} \delta_{stblc}(t - \tau^{stb} - \Delta\tau^{stb} - \tau^{ACT/FLCC}) \\ \delta_{stbrc}(t - \tau^{stb} - \Delta\tau^{stb} - \tau^{ACT/FLCC}) \\ \delta_{rc}(t - \tau^{rud} - \Delta\tau^{rud} - \tau^{ACT/FLCC}) \end{bmatrix} \\
 \begin{bmatrix} \delta_{stbl} \\ \delta_{stbr} \\ \delta_r \end{bmatrix} &= \min \left\{ \begin{bmatrix} \delta_{lim}^{stb} \\ \delta_{lim}^{stb} \\ \delta_{lim}^{rud} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} x_{stbl0} + \Delta x_{stbl0} \\ x_{stbr0} + \Delta x_{stbr0} \\ x_{rud0} + \Delta x_{rud0} \end{bmatrix} \right\} \quad (140)
 \end{aligned}$$

式(139)で $\tau^{stb}$ ,  $\tau^{rud}$ はそれぞれスタビレータとラダーの無駄時間,  $\tau^{ACT/FLCC}$ は FLCC からアクチュエータへの D/A 変換に伴う時間遅れ,  $x_{stbl}$ ,  $x_{stbr}$ ,  $x_{rud}$  および  $\dot{x}_{stbl}$ ,  $\dot{x}_{stbr}$ ,  $\dot{x}_{rud}$  はアクチュエータモデルの状態量,  $\omega_n^{stb}$ ,  $\omega_n^{rud}$  および  $\zeta^{stb}$ ,  $\zeta^{rud}$  は各舵の二次動特性パラメータである固有角振動数と減衰率を表す。式(140)で $x_{stbl0}$ ,  $x_{stbr0}$ ,  $x_{rud0}$  は各舵の初期アライメントのず

れ,  $\delta_{lim}^{stb}, \delta_{lim}^{rud}$  はスタビレータおよびラダーの舵角リミット値である.

表 51 アクチュエータモデルの概要 (基本設計および詳細設計時)

項目		ノミナル値	単位
スタビレータ動特性 (左右共通) (NEXST-1 準拠)	二次遅れ	$\omega_n^{stb}$	9.632 Hz
		$\zeta^{stb}$	0.625 -
	無駄時間	$\tau^{stb}$	0.021 s
ラダー動特性 (NEXST-1 準拠)	二次遅れ	$\omega_n^{rud}$	7.061 Hz
		$\zeta^{rud}$	0.6278 -
	無駄時間	$\tau^{rud}$	0.015 s
FLCC-アクチュエータ間遅れ		$\tau^{ACT/FLCC}$	1.4 msec
舵角リミッタ (全舵共通)		$\delta_{lim}^{stb}, \delta_{lim}^{rud}$	$\pm 20$ deg
初期アライメントのずれ (全舵共通)		$x_{stb0}, x_{stbr0}, x_{rud0}$	0 deg

表 52 アクチュエータモデルの誤差 (基本設計および詳細設計時)

項目		バイアス誤差 ( $\pm 3\sigma$ )	単位	誤差分布	
スタビレータ動特性 (左右共通)	二次遅れ	$\Delta\omega_n^{stb}$	$\pm 20$	%	正規
		$\Delta\zeta^{stb}$	$\pm 20$		
	無駄時間	$\Delta\tau^{stb}$	$\pm 0.05$	s	正規
ラダー動特性	二次遅れ	$\Delta\omega_n^{rud}$	$\pm 20$	%	正規
		$\Delta\zeta^{rud}$	$\pm 20$		
	無駄時間	$\Delta\tau^{rud}$	$\pm 0.05$	s	正規
舵角リミッタ (全舵共通)		なし	-	-	
初期アライメントのずれ	$\Delta x_{stb0}$	$\pm 0.3$	deg	正規	
	$\Delta x_{stbr0}$				
	$\Delta x_{rud0}$				

## 8.2 アクチュエータモデルおよび誤差モデル（維持設計時）

表 53 と表 54 に誘導制御則の維持設計時に使用したアクチュエータモデルとその誤差モデルの情報をまとめる．詳細モデルを用いたパラメトリックスタディにより，D-SEND#2 で機体に搭載されるアクチュエータにはレートリミッタにかかったままコマンドに近づく動特性があること，またヒンジモーメントの大きさによってレートリミッタの値が異なることがわかった．そこで，維持設計では一次遅れと無駄時間を組み合わせた動特性に，ヒンジモーメントをパラメータとするレートリミッタを付加したモデル化を行った．

維持設計時のアクチュエータのダイナミクスは次式で与えられる．

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{stbl} \\ \dot{x}_{stbr} \\ \dot{x}_{rud} \end{bmatrix} = \min \begin{bmatrix} -\frac{1}{(T^{stb} + \Delta T^{stb})} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{(T^{stb} + \Delta T^{stb})} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{(T^{rud} + \Delta T^{rud})} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{stbl} \\ x_{stbr} \\ x_{rud} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{(T^{stb} + \Delta T^{stb})} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{(T^{stb} + \Delta T^{stb})} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{(T^{rud} + \Delta T^{rud})} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta_{stblc}(t - \tau^{stb} - \Delta\tau^{stb} - \tau^{ACT/FLCC}) \\ \delta_{stbrc}(t - \tau^{stb} - \Delta\tau^{stb} - \tau^{ACT/FLCC}) \\ \delta_{rc}(t - \tau^{rud} - \Delta\tau^{rud} - \tau^{ACT/FLCC}) \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \delta_{lim}^{stb} \\ \delta_{lim}^{stb} \\ \delta_{lim}^{rud} \end{bmatrix} \quad (141)$$

$$\begin{bmatrix} \delta_{stbl} \\ \delta_{stbr} \\ \delta_r \end{bmatrix} = \min \left\{ \begin{bmatrix} \delta_{lim}^{stb} \\ \delta_{lim}^{stb} \\ \delta_{lim}^{rud} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} x_{stbl0} + \Delta x_{stbl0} \\ x_{stbr0} + \Delta x_{stbr0} \\ x_{rud0} + \Delta x_{rud0} \end{bmatrix} \right\} \quad (142)$$

式(141)で $x_{stbl}, x_{stbr}, x_{rud}$ はアクチュエータモデルの状態量， $T^{stb}, T^{rud}$ は各舵の一次動特性の時定数， $\delta_{lim}^{stb}, \delta_{lim}^{rud}$ は各舵のレートリミッタ値である．

レートリミッタは図 17 に示す最高性能と最低性能で囲まれる領域においてヒンジモーメント $HM$ をパラメータとする折れ線として定義される．折れ線の両端 ( $HM = 0, 981[\text{N}\cdot\text{m}]$ ) と変曲点は次式の通りである．なお図 17 の最高性能と最低性能は実際の開発試験のデータと詳細モデルを用いたパラメトリックスタディのデータを包含するように設定した．ただし， $HM = 981[\text{N}\cdot\text{m}]$ でのモデル最低値はアクチュエータが動作しない ( $\delta_{lim}^{stb} = \delta_{lim}^{rud} = 0$ ) となっているが，試験データからもアクチュエータが動作しないということはないため，折れ線を定義するにあたってモデル最低値は考慮していない．

$$[HM \quad \delta_{lim}^{stb}] = [HM \quad \delta_{lim}^{rud}] = \begin{cases} [0 & 4.0\epsilon + 64.6] \\ [156.6\epsilon + 435.1 & 4.7\epsilon + 58.5] \\ [981 & 28.8\epsilon + 8.2] \end{cases} \quad (143)$$

式(143)において $0 \leq \epsilon \leq 1$ はアクチュエータ性能を表す誤差パラメータであり、 $\epsilon = 1$ のとき図 17 の最高性能線、 $\epsilon = 0$ のとき図 17 の最低性能線に一致する。ただし維持設計において左右スタビレータのレートリミッタをそれぞれ独立に最高性能または最低性能に固定して MCS を行ったところ、顕著な性能の違いは見られなかった。そこで安全側として MCS 評価結果が最も悪かった $\epsilon = 0$ に固定して MCS 評価を行うことにし、 $\epsilon$ は乱数を利用した誤差設定を行わないものとした。

表 53 アクチュエータモデルの概要 (維持設計時)

項目		ノミナル値	単位
スタビレータ動特性 (左右共通)	一次遅れ	$T^{stb}$	0.1 s
	無駄時間	$\tau^{stb}$	0.05334 s
ラダー動特性	一次遅れ	$T^{rud}$	0.1 s
	無駄時間	$\tau^{rud}$	0.05334 s
FLCC-アクチュエータ間遅れ		$\tau^{ACT/FLCC}$	1.4 msec
スタビレータレートリミッタ		$\delta_{lim}^{stb}$	式(143)で定義 deg/s
ラダーレートリミッタ		$\delta_{lim}^{rud}$	式(143)で定義 deg/s
舵角リミッタ (全舵共通)		$\delta_{lim}^{stb}, \delta_{lim}^{rud}$	$\pm 20$ deg
初期アライメントのずれ		$x_{stbl0}, x_{stbr0}, x_{rud0}$	0 deg

表 54 アクチュエータモデルの誤差 (維持設計時)

項目		バイアス誤差 ( $\pm 3\sigma$ または最大最小)	単位	誤差分布
スタビレータ動特性 (左右共通)	一次遅れ	$\Delta T^{stb}$	0 %	正規
	無駄時間	$\Delta \tau^{stb}$	$\pm 0.05$ s	正規
ラダー動特性	一次遅れ	$\Delta T^{rud}$	0 %	正規
	無駄時間	$\Delta \tau^{rud}$	$\pm 0.05$ s	正規
舵角リミッタ (全舵共通)		なし	-	-
レートリミッタ (全舵共通)		$\epsilon$	[0,1] ※MCS では $\epsilon = 1$ で固定	- 一様
初期アライメントのずれ		$\Delta x_{stbl0}$ $\Delta x_{stbr0}$ $\Delta x_{rud0}$	$\pm 0.3$ deg	正規

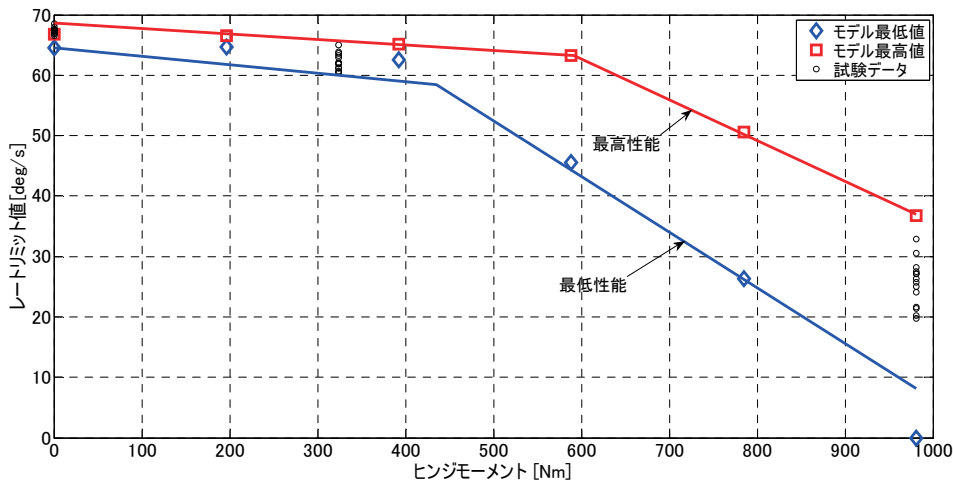


図 17 アクチュエータレートリミッタの折れ線モデル（維持設計時）

### 8.3 初期舵角および投棄舵角コマンド

アクチュエータモデルの初期舵角 $\delta_{stbl}(0), \delta_{stbr}(0), \delta_r(0)$ は次式で定義される。

$$\begin{bmatrix} \delta_{stbl}(0) \\ \delta_{stbr}(0) \\ \delta_r(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_{stbl0} + \Delta x_{stbl0} \\ \delta_{stbr0} + \Delta x_{stbr0} \\ \delta_{r0} + \Delta x_{rud0} \end{bmatrix} \quad (144)$$

式(144)で $\delta_{stbl0}, \delta_{stbr0}, \delta_{r0}$ は初期舵角のノミナル値, 第2項は表 52 および表 54 に定義されている初期アライメントのずれである。初期舵角は放球前の機体点検時に設定されるため, 分離時にはスタビレータとラダー共にコマンドと舵角が一致している定常状態にあるものとし, アライメントのずれだけを考慮している。 $\delta_{stbl0}, \delta_{stbr0}, \delta_{r0}$ の値ならびに飛行終了時に OFP がアクチュエータに送信する投棄舵角コマンド $\delta_{stblc}(t_f), \delta_{stbrc}(t_f), \delta_{rc}(t_f)$ の値を表 55 に示す。なお $\delta_{stbl0}, \delta_{stbr0}, \delta_{r0}$ は第1回落下試験時には全舵 $0^\circ$ に設定されていたが, 第2回落下試験に向けた制御則再設計にあたり分離直後に迎角が制限値を逸脱するケースに対処するために左右スタビレータの値を $-1.0^\circ$ に変更した。

表 55 初期舵角および投棄舵角コマンド

項目			第1回落下試験時	第2回落下試験時	単位
スタビレータ (左)	初期舵角	$\delta_{stbl0}$	0	-1.0	deg
	投棄舵角コマンド	$\delta_{stblc}(t_f)$	4.7	4.7	deg
スタビレータ (右)	初期舵角	$\delta_{stbr0}$	0	-1.0	deg
	投棄舵角コマンド	$\delta_{stbrc}(t_f)$	-4.7	-4.7	deg
ラダー	初期舵角	$\delta_{r0}$	0	0	deg
	投棄舵角コマンド	$\delta_{rc}(t_f)$	5.7	5.7	deg



#### 8.4 スタビレータ空力弾性変形モデル

飛行中に受ける動圧によってスタビレータのホーンアームとシャフトが空力弾性変形を生じるため、実効舵角 $\delta'_{stbl}$ ,  $\delta'_{stbr}$ は式(140)および式(142)の $\delta_{stbl}$ ,  $\delta_{stbr}$ から減少する。マッハ数, 動圧, スタビレータ舵角, 迎角をパラメータとしてスタビレータ弾性変形解析を行い, その結果を静強度試験の結果で補正すると,  $\delta'_{stbl}$ ,  $\delta'_{stbr}$ と $\delta_{stbl}$ ,  $\delta_{stbr}$ との差分量 $\Delta\delta_{stb}$ は表 56 のテーブルで与えられることがわかった。したがって実効舵角は次式で定義される。

$$\begin{bmatrix} \delta'_{stbl} \\ \delta'_{stbr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_{stbl} + \Delta\delta_{stb}(M, \alpha, \bar{q}, \delta_{stbl}) \times (1 + \Delta\Delta\delta_{stb}) \\ \delta_{stbr} + \Delta\delta_{stb}(M, \alpha, \bar{q}, \delta_{stbr}) \times (1 + \Delta\Delta\delta_{stb}) \end{bmatrix} \quad (145)$$

式(145)で $\Delta\Delta\delta_{stb}$ はスタビレータ空力弾性変形量の誤差であり, その正規分布の $\pm 3\sigma$ 値をノミナル変形量 $\Delta\delta_{stb}(M, \alpha, \bar{q}, \delta_{stbl})$ の $\pm 20\%$ であるとした。飛行シミュレーションに適用するにあたっては表 56 の各パラメータについて線形補間および補外を行うが,  $M < 0.6$ の領域では $M = 0.6$ のデータを端点保持するものとした。

表 56 スタビレータ空力弾性変形量

$M$	0.6	0.9	1.1	1.2	1.4	1.6
$\bar{q}$ [kPa]	10	10	30	60	50	30
$\delta_{stb}$ [deg]	$\alpha$ [deg]	$\Delta\delta_{stb}$ [deg]				
-10	-5	0.04	0.03	0.24	0.67	0.70
	0	0.05	0.07	0.28	0.64	0.53
	10	0.01	0.03	-0.07	-0.30	-0.47
0	-5	-0.18	-0.39	-0.86	-1.27	-0.66
	0	-0.22	-0.34	-0.77	-1.29	-0.96
	10	-0.30	-0.57	-1.31	-2.39	-2.01
10	-5	0.42	0.61	1.51	3.04	2.44
	0	0.36	0.56	1.39	2.59	2.02
	10	0.18	0.35	0.88	1.55	0.93

## 9 環境モデル

ここでは飛行シミュレーションで必要となる機体以外の要素を記述する環境モデルについてまとめる。環境モデルは、地球形状を定義する地球モデル、BMS位置や飛行可能領域を定義するEstrange実験場モデル、重力加速度を定義する重力モデル、大気状態量を計算する大気モデル、機体が受ける風を定義する定常風モデルおよび連続突風モデルから構成されている。

### 9.1 地球モデル

本稿で用いられる地球モデルは3種類あり、それぞれ機体運動計算、大気モデル計算、航法計算に用いられる。機体運動計算と大気モデル計算では地球を真球として取り扱い、その半径をそれぞれ $R_E$ および $R_0$ で表す。 $R_E$ は誘導座標系原点における地心半径であり、 $R_0$ は米国標準大気モデル1976年版に定義された半径である。航法計算では図7に示すWGS84回転楕円体モデルの近似モデルである誘導座標系を用いている。各地球モデルで用いられる地球形状パラメータを表57に示す。 $R_a, R_b$ はWGS84回転楕円体モデルで定義された値であり、これらの値を用いて $R_E, R_{M0}, R_{N0}$ は次式でそれぞれ計算することができるが、実際に計算を行うと $R_E = 6359.710 \text{ km}$ となる。表57に示した $R_E$ の値は文献[6]に基づいているが、この差がシミュレーション結果に与える影響は無視できる程度であるため、本稿の飛行シミュレーションモデルではHSFD-II準拠の値である $R_E = 6359.646 \text{ km}$ を使用している。

$$R_E = \frac{R_a \sqrt{(1-e^2)^2 \sin^2 \lambda_0 + \cos^2 \lambda_0}}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \lambda_0}} = \frac{R_b}{\sqrt{1-e^2 \cos^2 \lambda_{c0}}} \quad (146)$$

$$R_{M0} = \frac{R_a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \lambda_0)^{\frac{3}{2}}} \quad (147)$$

$$R_{N0} = \frac{R_a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \lambda_0}} \quad (148)$$

ただし、式(146)と式(147)において $\lambda_{c0}$ と $e$ はそれぞれ誘導座標系原点の地心緯度、WGS84楕円体の離心率であり、次式で定義される。

$$\lambda_{c0} = \text{atan} \left( \frac{R_b^2}{R_a^2} \tan \lambda_0 \right) \quad (149)$$

$$e = \sqrt{1 - \left( \frac{R_b}{R_a} \right)^2} \quad (150)$$

表 57 地球モデルの定義

項目	値	単位	定義
$R_0$	6356.766	km	大気モデル計算用地球半径
$R_E$	6359.646	km	誘導座標系原点の地心半径
$R_{M0}$	6390.720	km	誘導座標系原点の子午線曲率半径
$R_{N0}$	6396.635	km	誘導座標系原点の卯酉線曲率半径
$R_a$	6378.137	km	WGS84 回転楕円体長軸半径
$R_b$	6356.752	km	WGS84 回転楕円体短軸半径

## 9.2 Esrange 実験場モデル

図 18 に Esrange 実験場の概要を示す。実験可能領域はロケット落下可能領域である ZoneB と飛行制限領域 R01, ならびに 2 か所の Stay-out Zone により規定される。実験場内には BMS が 3 か所 (North, Center, South) 配置され, それぞれを中心としたドーナツ状の領域が分離許容域として設定される。地上局は機体に投棄指令コマンドを送信するための設備であり, 11.1 節の仰角判定の基準となる。飛行安全上の観点から, 機体の初期分離位置は図 18 の Zone B 境界から 8 km 内側または R01 境界の 5 海里内側のいずれか狭い方の領域内, かつ Stay-out Zone 上空を除く, あるいはそこに向かって飛行しないような領域内に制限されている。なお Zone B 境界から 8 km 内側のラインと R01 境界の 5 海里内側のラインはほぼ重なるため, 飛行シミュレーションにおいては前者のみを考慮するものとした。Zone B, Stay-out zone および地上局の座標を表 58, また第 1 回～第 3 回キャンペーンにおける BMS 位置および標高を表 59 に示す。BMS は地表面の計測マイクと 4 つの空中計測マイクで構成され, 空中マイクは高度 1000 m に係留された Blimp のテザーに沿って地表面から 50 m, 250 m, 500 m, 750 m の位置に設置される。

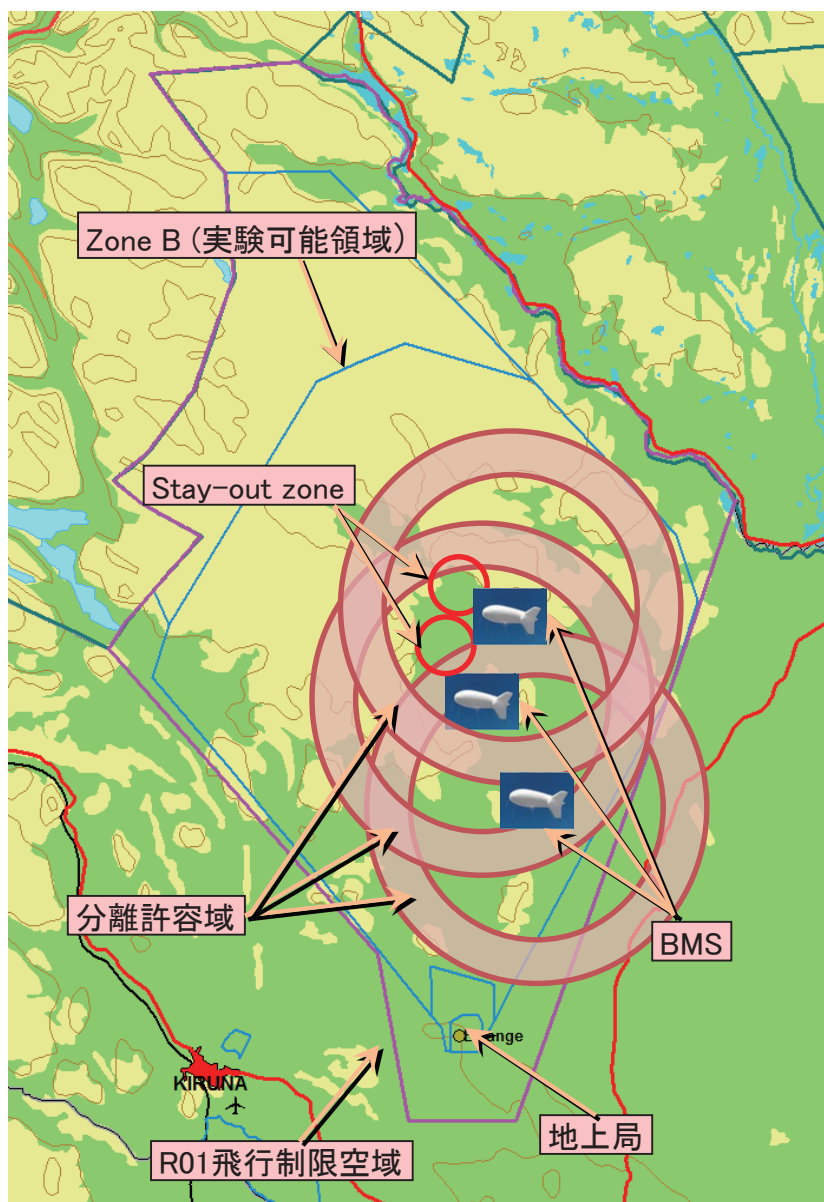


図 18 Esrange 実験場の概要

表 58 飛行制限区域および地上局の座標

Zone B	領域端点 1 座標	67°52'20"N/21°08'37"E
	領域端点 2 座標	68°17'52"N/21°46'05"E
	領域端点 3 座標	68°24'47"N/21°52'09"E
	領域端点 4 座標	68°29'33"N/21°48'10"E
	領域端点 5 座標	68°40'37"N/21°19'13"E
	領域端点 6 座標	68°43'22"N/20°54'06"E
	領域端点 7 座標	68°40'45"N/20°36'53"E
	領域端点 8 座標	68°23'09"N/20°07'17"E
	領域端点 9 座標	68°19'22"N/20°03'59"E
	領域端点 10 座標	67°53'59"N/21°01'36"E
	領域端点 11 座標	67°52'21"N/21°02'21"E
Stay-out zone	Stay-out zone1 中心座標	68°26.27'N/21°04.85'E
	Stay-out zone2 中心座標	68°22.30'N/21°01.50'E
	Stay-out zone1 半径	4 km
	Stay-out zone2 半径	4 km
地上局	地上局座標	67°52'45.7"N/21°03'41.4"E
	地上局高度	509 m

表 59 BMS 位置および高度 (第 1 回～第 3 回キャンペーン時)

キャンペーン	BMS サイト	座標	地表面の標高
第 1 回	North	68.41595°N/21.35933°E	604 m
	Center	68.34185°N/21.10972°E	514 m
	South	68.28913°N/21.21120°E	594 m
第 2 回	North	68.41595°N/21.35933°E	604 m
	Center	68.33823°N/21.18653°E	619 m
	South	68.28913°N/21.21120°E	594 m
第 3 回	North	68.32265°N/21.22663°E	672 m
	Center	68.28767°N/20.94278°E	619 m
	South	68.25660°N/21.16272°E	615 m

### 9.3 重力加速度モデル

本稿で用いる重力加速度モデルは 2 種類あり、それぞれ大気モデル計算および運動計算に用いられる。地表面での重量加速度はそれぞれ表 60 の通りであり、 $g_0$  は米国標準大気モデル 1976 年版に定義された標準重力加速度の値、 $g_{E0}$  は次の測地基準系 1980 (GRS80) の

正規重力式において、誘導座標系の原点緯度である  $68.25^\circ$  を与えた時の値である。

$$g_{E0}(\lambda) = 9.7803267715(1 + 0.0052790414 \sin^2 \lambda + 0.0000232718 \sin^2 \lambda + 0.0000001262 \sin^6 \lambda + 0.0000000007 \sin^8 \lambda) \quad (151)$$

重力加速度モデルは地球を真球とする逆二乗場モデルで定義する。したがって運動計算に用いる機体重心における重力加速度は次式で与えられる。

$$g_E^{CG} = g_{E0} \left( \frac{R_E}{R_E + h^{CG}} \right)^2 \quad (152)$$

表 60 重力加速度モデル

記号	値	単位	定義
$g_0$	9.80665	m/s <sup>2</sup>	大気モデル計算用標準重力加速度(地表面)
$g_{E0}$	9.8250381450	m/s <sup>2</sup>	運動計算用重力加速度(地表面)
$g_E$	式(152)で定義	m/s <sup>2</sup>	運動計算用重力加速度(逆二乗場モデル)

#### 9.4 大気モデルおよび誤差モデル

本稿で用いる大気モデルはジオポテンシャル高度 $h_g$ をパラメータとして静温度 $T_s$ 、静圧 $p_s$ 、大気密度 $\rho$ 、音速 $c$ を計算、あるいは $p_s$ をパラメータとして気圧高度 $h_{bar}$ を計算するものである。表 61 から表 66 に示すように、 $p_s$ をパラメータとする $h_g$ および $T_s$ のノミナルモデルおよび誤差モデルが4月から9月までの各月ごとに17個の大気層に対するテーブル形式データとして構成されている。表 61 から表 66 は Esrange 実験場 ( $67^\circ 53' N / 21^\circ 04' E$ ) の位置における統計データであり、2000年から2009年までの10年間の $67.5^\circ N / 20.0^\circ E$ 、 $67.5^\circ N / 22.5^\circ E$ 、 $70.0^\circ N / 20.0^\circ E$ 、 $70.0^\circ N / 22.5^\circ E$ の4点における6時間毎のNOAA/NCEP再解析データを統計処理して平均値、標準偏差、最大・最小値のデータを求め、さらにこれら4点の統計データを線形補間することで定義されている。

大気モデルの計算にあたっては、表 61 から表 66 を $h_g$ をパラメータとするテーブルとして読み替える必要がある。そこで飛行シミュレーション開始前に $h_g$ および $T_s$ の誤差を反映したテーブルをあらかじめ準備しておき、 $h_g$ をパラメータとして $p_s$ および $T_s$ を補間または補外する。なお $h_g$ および $T_s$ の各層における誤差には相関があるため、表 67 から表 78 に定義された相関行列を用いてA.1.3節に示す通りに誤差を生成する。さらに $p_s$ のテーブルと誤差を反映した $T_s$ のテーブルを用いて、気体の状態方程式 $p_s = \rho R_{air} T_s$ から $\rho$ のテーブルもあらかじめ準備しておく。ただし、 $R_{air} = 287.0 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ は空気的气体定数である。

$h_g$ は次式で局所水平面から測った高度 $h$ から変換できる。

$$h_g = \frac{R_0}{R_0 + h} \quad (153)$$

表 61 から表 66 の $h_g$ のノード点のうち、式(153)で計算される値未満で最大のものを $h_g(i)$  ( $i = 1, \dots, 16$ )、 $h_g(i)$ に対応する $T_s, p_s$ のノード点をそれぞれ $T_s(i), p_s(i)$ とする。ただし、

$h_g(1) \leq h_g \leq h_g(17)$ とする。このとき $T_s$ は線形補間により、

$$T_s = T_s(i) + b(i) (h_g - h_g(i)) \quad (154)$$

で与えられる。ただし式(154)で $b(i)$ は次式で定義される気温低減率である。

$$b(i) = \frac{T_s(i+1) - T_s(i)}{h_g(i+1) - h_g(i)} \quad (155)$$

$p_s, \rho$ は指数関数を用いた補間により、 $b(i) = 0$ の場合は、

$$p_s = p_s(i) \exp \left\{ -\frac{g_0}{R_{air} T_s} (h_g - h_g(i)) \right\} \quad (156)$$

$$\rho = \rho(i) \exp \left\{ -\frac{g_0}{R_{air} T_s} (h_g - h_g(i)) \right\} \quad (157)$$

$b(i) \neq 0$ の場合は、

$$p_s = p_s(i) \left( \frac{T_s}{T_s(i)} \right)^{-\frac{g_0}{b(i) R_{air}}} \quad (158)$$

$$\rho = \rho(i) \left( \frac{T_s}{T_s(i)} \right)^{\left( -\frac{g_0}{b(i) R_{air}} - 1 \right)} \quad (159)$$

で与えられる。なお音速は空気の比熱比を $\gamma_{air} = 1.40$  [J/kg]として、次式で与えられる。

$$c = \sqrt{\gamma_{air} R_{air} T_s} \quad (160)$$

$h_g > h_g(17)$ および $h_g < h_g(1)$ の場合は、それぞれ $b(16)$ および $b(1)$ を用いて $T_s$ を式(154)から線形補外で計算し、さらにこの $T_s$ を用いて式(156)～式(160)より $p_s, \rho, C_s$ を求める。

$h_{bar}$ は以下の手順で求める。 $p_s(1) \leq p_s \leq p_s(17)$ のとき、上記と同じ誤差を反映した $h_g$ および $T_s$ のテーブルをもとに式(156)と式(158)を $h_g$ について解くと、 $b(i) = 0$ の場合は

$$h_g = h_g(i) - \frac{R_{air} T_s(i)}{g_0} \ln \left( \frac{p_s}{p_s(i)} \right) \quad (161)$$

$b \neq 0$ の場合は、

$$h_g = h_g(i) + \frac{T_s(i)}{b(i)} \left\{ \left( \frac{p_s}{p_s(i)} \right)^{-\frac{b(i) R_{air}}{g_0}} - 1 \right\} \quad (162)$$

となる。なお $p_s > p_s(17)$ または $p_s < p_s(1)$ で、かつ $b(i) \neq 0$ の場合は、 $b(16)$ を用いて式(162)を用いて補外する。したがって次式により $h_{bar}$ が計算できる。

$$h_{bar} = \frac{R_0 h_g}{R_0 - h_g} \quad (163)$$



表 61 大気モデルおよび誤差モデル (4月)

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		temperature(K)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.	min.
1	1000	103	87	273.7	3.2	282.7	263.5
2	925	726	87	271.2	3.9	283.9	261.4
3	850	1395	89	267.8	4.5	280.3	256.7
4	700	2895	101	259.5	4.9	272.0	246.1
5	600	4052	117	252.7	5.0	263.7	236.6
6	500	5377	138	243.8	4.9	253.9	227.0
7	400	6936	165	232.8	4.3	242.9	218.1
8	300	8840	187	220.9	2.6	228.6	211.8
9	250	10011	184	218.2	4.0	229.7	207.3
10	200	11442	170	219.8	4.9	229.8	204.1
11	150	13302	167	220.4	3.4	227.7	208.4
12	100	15906	175	218.5	3.6	227.2	206.1
13	70	18184	194	217.6	4.1	226.7	205.0
14	50	20325	220	217.1	4.4	227.7	204.6
15	30	23571	264	216.9	4.7	228.4	206.4
16	20	26153	299	218.2	4.8	230.4	206.0
17	10	30646	356	224.4	5.2	235.9	211.2

表 62 大気モデルおよび誤差モデル (5月)

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		temperature(K)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.	min.
1	1000	98	75	278.3	3.3	292.2	269.2
2	925	732	76	275.2	4.2	289.4	265.6
3	850	1410	78	271.4	4.6	284.3	259.9
4	700	2930	88	262.8	4.4	273.8	249.1
5	600	4101	101	255.8	4.5	265.7	242.3
6	500	5443	119	246.9	4.4	256.7	234.3
7	400	7021	141	235.6	4.0	244.8	226.0
8	300	8949	159	223.9	2.8	233.9	216.8
9	250	10140	151	222.5	4.7	235.7	212.5
10	200	11602	128	224.8	5.1	235.6	209.3
11	150	13502	111	225.1	3.0	232.8	213.9
12	100	16161	99	223.3	2.7	229.9	215.4
13	70	18488	98	222.6	2.6	228.5	214.8
14	50	20683	105	222.9	2.7	227.8	213.7
15	30	24024	129	223.8	3.0	228.5	214.2
16	20	26695	156	226.3	3.2	231.6	216.2
17	10	31376	207	234.7	3.2	242.4	222.4

表 63 大気モデルおよび誤差モデル (6月)

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		temperature(K)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.	min.
1	1000	93	68	283.6	3.5	295.3	274.7
2	925	738	70	279.7	4.0	292.0	270.5
3	850	1428	73	275.8	4.3	287.8	265.0
4	700	2971	85	266.6	4.0	277.1	256.0
5	600	4161	98	259.9	3.9	269.5	249.2
6	500	5525	114	251.0	4.0	261.0	239.9
7	400	7130	136	239.4	3.9	250.0	230.2
8	300	9085	158	226.1	2.7	234.2	218.6
9	250	10284	153	223.7	4.5	236.1	214.1
10	200	11756	130	226.6	5.3	236.4	211.0
11	150	13672	112	226.9	2.7	232.4	219.1
12	100	16354	98	225.7	2.1	230.6	219.3
13	70	18709	90	225.5	1.6	228.9	219.5
14	50	20936	88	226.4	1.2	229.0	222.2
15	30	24334	89	228.1	1.2	230.8	223.5
16	20	27060	94	231.3	1.3	234.3	227.2
17	10	31851	109	240.3	1.6	246.1	234.5

表 64 大気モデルおよび誤差モデル (7月)

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		temperature(K)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.	min.
1	1000	94	64	287.7	3.2	296.9	279.2
2	925	749	64	283.7	3.5	292.2	274.6
3	850	1449	65	279.6	3.3	287.6	269.8
4	700	3016	71	270.7	2.8	277.5	262.0
5	600	4225	79	263.9	2.9	270.6	254.5
6	500	5611	89	255.1	3.0	262.0	245.5
7	400	7243	105	243.4	3.2	250.6	234.0
8	300	9228	123	228.8	2.3	234.9	221.6
9	250	10434	121	223.6	3.5	237.8	215.7
10	200	11902	101	226.0	5.1	238.0	212.2
11	150	13820	84	227.1	2.4	233.1	218.7
12	100	16498	68	225.6	1.8	230.8	220.3
13	70	18853	59	225.7	1.3	229.9	222.2
14	50	21084	52	226.7	1.0	229.7	223.8
15	30	24486	46	228.6	1.1	232.1	225.2
16	20	27218	42	231.9	1.1	235.3	228.6
17	10	32022	42	241.0	1.3	245.9	237.1

表 65 大気モデルおよび誤差モデル (8月)

Level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		temperature(K)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.	min.
1	1000	90	65	286.4	3.5	297.8	275.8
2	925	743	67	282.7	3.6	293.1	271.6
3	850	1440	70	278.4	3.6	288.8	267.3
4	700	3001	81	269.7	3.3	278.5	258.2
5	600	4205	93	262.8	3.5	271.9	249.3
6	500	5585	108	254.0	3.7	262.2	239.2
7	400	7210	130	242.3	3.9	251.6	228.6
8	300	9185	156	227.5	3.0	236.5	217.3
9	250	10384	160	222.0	3.0	232.6	214.8
10	200	11840	141	223.8	5.3	236.2	210.5
11	150	13739	116	225.3	3.2	232.7	214.8
12	100	16405	97	224.8	2.3	231.5	218.3
13	70	18753	88	224.7	1.8	229.9	219.2
14	50	20967	88	224.6	1.7	229.1	220.3
15	30	24330	100	225.5	2.0	230.4	220.8
16	20	27023	118	228.3	2.2	233.4	222.7
17	10	31737	161	235.6	2.8	242.8	227.6

表 66 大気モデルおよび誤差モデル (9月)

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		temperature(K)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.	min.
1	1000	71	96	281.4	3.6	291.9	272.2
2	925	712	96	278.1	3.7	287.1	270.4
3	850	1398	98	274.5	4.0	285.5	266.1
4	700	2938	110	266.4	4.4	277.4	254.5
5	600	4126	125	259.4	4.7	269.3	244.1
6	500	5489	144	250.7	4.8	261.5	233.5
7	400	7093	170	239.5	4.7	250.9	222.2
8	300	9048	197	225.9	3.2	238.5	216.5
9	250	10241	198	221.3	3.6	234.3	212.2
10	200	11688	177	221.8	5.8	234.4	208.2
11	150	13563	148	222.4	4.1	230.1	207.0
12	100	16196	125	221.3	3.1	228.3	212.5
13	70	18503	118	220.4	2.7	227.3	212.7
14	50	20671	124	219.4	2.6	226.2	212.3
15	30	23945	147	218.8	2.8	225.9	211.7
16	20	26550	174	220.1	3.2	229.4	212.4
17	10	31070	236	225.2	3.9	234.8	214.9

表 67 ジオポテンシャル高度の相関行列 (4月)

1.000000	0.995756	0.978117	0.903289	0.838903	0.777303	0.728228	0.690179	0.680644	0.672235	0.637450	0.587529	0.542245	0.502248	0.441885	0.393971	0.330227
0.995756	1.000000	0.992623	0.935119	0.878433	0.821629	0.775039	0.738837	0.730498	0.722687	0.687185	0.632604	0.581193	0.535731	0.470139	0.419977	0.356911
0.978117	0.992623	1.000000	0.969390	0.925010	0.876131	0.833825	0.800592	0.793298	0.784768	0.746612	0.684291	0.622888	0.570022	0.497316	0.443715	0.379940
0.903289	0.935119	0.969390	1.000000	0.988881	0.963391	0.934848	0.909791	0.903161	0.890065	0.844211	0.766107	0.688701	0.620915	0.533065	0.472974	0.405272
0.838903	0.878433	0.925010	0.988881	1.000000	0.992043	0.974907	0.955987	0.948893	0.932188	0.882384	0.796932	0.711826	0.637519	0.543193	0.480475	0.410791
0.777303	0.821629	0.876131	0.963391	0.992043	1.000000	0.994643	0.982312	0.974668	0.954683	0.902043	0.811532	0.721380	0.642855	0.544110	0.479622	0.408409
0.728228	0.775039	0.821629	0.876131	0.925010	0.974907	1.000000	0.995058	0.987613	0.965285	0.910740	0.816953	0.723934	0.641735	0.539009	0.472610	0.399811
0.690179	0.738837	0.800592	0.909791	0.955987	0.982312	0.995058	1.000000	0.996718	0.976024	0.922014	0.827291	0.731092	0.646619	0.539885	0.471512	0.398002
0.680644	0.730498	0.793298	0.903161	0.948893	0.974668	0.987613	0.996718	1.000000	0.988914	0.943777	0.857122	0.764303	0.680462	0.572495	0.502227	0.425425
0.672235	0.722687	0.784768	0.890065	0.932188	0.954683	0.965285	0.976024	0.988914	1.000000	0.980950	0.918496	0.839113	0.761071	0.654686	0.581815	0.497239
0.637450	0.687185	0.746612	0.844211	0.882384	0.902043	0.910740	0.922014	0.943777	0.980950	1.000000	0.974592	0.918525	0.852969	0.753736	0.679946	0.586289
0.587529	0.632604	0.684291	0.766107	0.796932	0.811532	0.816953	0.827291	0.839113	0.918496	0.974592	1.000000	0.982068	0.941834	0.863536	0.795654	0.695173
0.542245	0.581193	0.623888	0.688701	0.711826	0.721380	0.723334	0.731092	0.764303	0.839113	0.918496	0.982068	1.000000	0.987230	0.935386	0.878082	0.777730
0.502248	0.535731	0.570622	0.620915	0.637519	0.642855	0.641735	0.646619	0.680462	0.761071	0.852969	0.941834	0.987230	1.000000	0.977485	0.935389	0.843230
0.441885	0.470139	0.497316	0.533065	0.543193	0.544110	0.539009	0.539885	0.572495	0.654686	0.753736	0.863536	0.935386	0.977485	1.000000	0.987611	0.924458
0.393971	0.419977	0.443715	0.472974	0.480475	0.479622	0.472610	0.471512	0.502227	0.581815	0.679946	0.795654	0.878082	0.935389	0.987611	1.000000	0.968955
0.330227	0.356911	0.379940	0.408409	0.399811	0.408409	0.399811	0.398902	0.425405	0.497239	0.586289	0.695173	0.777730	0.843230	0.924458	0.968955	1.000000

表 68 ジオポテンシャル高度の相関行列 (5月)

1.000000	0.993355	0.966916	0.864054	0.781707	0.699067	0.629120	0.585033	0.578927	0.503260	0.394432	0.258548	0.138153	0.000285	-0.074488	-0.145487	
0.993355	1.000000	0.989372	0.912480	0.841009	0.765329	0.698617	0.655762	0.650276	0.632856	0.572991	0.312615	0.182319	0.022085	-0.048590	-0.123372	
0.966916	0.989372	1.000000	0.959999	0.904584	0.839862	0.778862	0.737988	0.732226	0.714168	0.649864	0.366971	0.224505	0.060303	-0.026374	-0.105023	
0.864054	0.912480	0.959999	1.000000	0.986480	0.953344	0.912472	0.879279	0.871422	0.849299	0.780332	0.466020	0.308174	0.124912	0.031321	-0.049889	
0.781707	0.841009	0.904584	0.986480	1.000000	0.989436	0.964614	0.938154	0.928320	0.902995	0.832052	0.683891	0.507785	0.346218	0.158101	-0.014210	
0.699067	0.765329	0.839862	0.953344	0.989436	1.000000	0.991997	0.973988	0.962447	0.933402	0.860410	0.709296	0.532240	0.370251	0.181707	0.015594	
0.629120	0.698617	0.778862	0.912472	0.964614	0.991997	1.000000	0.992475	0.980337	0.94787	0.873174	0.721648	0.545833	0.385379	0.198699	0.039747	
0.585033	0.655762	0.737988	0.879279	0.938154	0.973988	0.992475	1.000000	0.994787	0.966651	0.896278	0.751286	0.578695	0.418742	0.230524	0.140441	
0.578927	0.650276	0.732226	0.871422	0.928320	0.962447	0.980337	0.994787	1.000000	0.985846	0.928637	0.798018	0.631540	0.471463	0.277913	0.182576	
0.562396	0.633856	0.714168	0.849299	0.902995	0.933402	0.947866	0.966651	0.985846	1.000000	0.975676	0.878551	0.731094	0.576435	0.377387	0.274102	
0.503260	0.572991	0.649864	0.780332	0.832052	0.860410	0.873174	0.896278	0.928637	0.975676	1.000000	0.955055	0.842983	0.705047	0.509233	0.400974	
0.394432	0.457216	0.523312	0.637883	0.683891	0.709296	0.721648	0.751286	0.798018	0.878551	0.955055	1.000000	0.960283	0.867344	0.700744	0.597285	
0.258548	0.312615	0.366971	0.466020	0.507785	0.532240	0.545833	0.578695	0.631540	0.731094	0.842983	0.960283	1.000000	0.968760	0.858078	0.774280	
0.138153	0.182319	0.224505	0.308174	0.346218	0.370251	0.385379	0.418742	0.471463	0.576435	0.705047	0.867344	1.000000	1.000000	0.955716	0.898946	
0.000285	0.026374	0.060303	0.124912	0.158101	0.181707	0.198699	0.230524	0.277913	0.377387	0.509233	0.700744	0.858078	0.955716	1.000000	0.986110	
-0.074488	-0.048590	-0.026374	0.031321	0.064141	0.105023	0.140441	0.182576	0.274102	0.400974	0.597285	0.858078	0.955716	1.000000	0.986110	1.000000	
-0.145487	-0.123372	-0.105023	-0.049589	-0.014210	0.015594	0.039747	0.069957	0.105772	0.158493	0.230524	0.377387	0.509233	0.688901	0.986110	0.977416	
																1.000000

表 69 ジオポテンシャル高度の相関行列 (6 月)

1.000000	0.992056	0.964545	0.872576	0.802978	0.730229	0.661423	0.598927	0.572580	0.533809	0.469313	0.377730	0.286907	0.220764	0.187832	0.061972	-0.033790
0.992056	1.000000	0.989652	0.923653	0.864935	0.800079	0.736235	0.676316	0.650571	0.612875	0.548210	0.452765	0.358481	0.289471	0.201906	0.119592	0.021307
0.964545	0.989652	1.000000	0.967364	0.923398	0.869771	0.813600	0.758560	0.734166	0.697917	0.631572	0.531564	0.433113	0.360665	0.266546	0.178147	0.076982
0.872576	0.923653	0.967364	1.000000	0.989596	0.962936	0.926861	0.886233	0.866226	0.831837	0.765548	0.659536	0.554721	0.472689	0.372974	0.276894	0.173231
0.802978	0.864935	0.923398	0.989596	1.000000	0.991368	0.969661	0.939876	0.923179	0.890921	0.826068	0.719209	0.612729	0.522281	0.425241	0.326653	0.222942
0.730229	0.800079	0.869771	0.962936	0.991368	1.000000	0.992975	0.974481	0.960847	0.930476	0.867866	0.761980	0.655961	0.575249	0.468167	0.370239	0.267881
0.661423	0.736235	0.813600	0.926861	0.969661	0.992975	1.000000	0.992988	0.982127	0.953035	0.892667	0.788875	0.684460	0.604582	0.499495	0.408658	0.303841
0.598927	0.676316	0.758560	0.866233	0.939876	0.974481	0.992988	1.000000	0.995550	0.970452	0.913245	0.812837	0.709717	0.630140	0.527049	0.433570	0.335957
0.572580	0.650571	0.734166	0.866226	0.923179	0.960847	0.960847	0.960847	1.000000	0.986813	0.938681	0.847678	0.748481	0.669649	0.567013	0.473866	0.373793
0.533809	0.612875	0.697317	0.831837	0.890921	0.930476	0.930335	0.970452	0.986813	1.000000	0.979857	0.915079	0.831530	0.759602	0.661268	0.570111	0.465778
0.469313	0.548210	0.631572	0.765548	0.826068	0.867866	0.892667	0.913245	0.938681	0.979857	1.000000	0.972508	0.914470	0.859522	0.767658	0.682521	0.577771
0.377730	0.452765	0.531564	0.659536	0.719209	0.761980	0.788875	0.812837	0.847678	0.878579	0.915079	0.972508	1.000000	0.981006	0.945214	0.878378	0.807383
0.286907	0.358481	0.433113	0.554721	0.612729	0.655961	0.684460	0.709717	0.748481	0.784841	0.831530	0.914470	0.981006	1.000000	0.988984	0.946994	0.893371
0.220764	0.289471	0.360665	0.476552	0.532281	0.575249	0.604582	0.630140	0.669649	0.709717	0.758560	0.813600	0.869771	0.913600	1.000000	0.981312	0.943960
0.138732	0.201906	0.266546	0.372974	0.425241	0.468167	0.499495	0.527049	0.567013	0.612837	0.661268	0.719209	0.779857	0.831530	0.889894	0.943960	0.988006
0.061972	0.119592	0.178147	0.276894	0.326653	0.370239	0.403658	0.433570	0.473866	0.510111	0.554721	0.604582	0.659536	0.719209	0.779857	0.831530	0.889894
-0.033790	0.021307	0.076982	0.173231	0.222942	0.267881	0.303841	0.335957	0.373793	0.412837	0.465778	0.522281	0.577771	0.630140	0.682521	0.735000	0.787500

表 70 ジオポテンシャル高度の相関行列 (7 月)

1.000000	0.992644	0.967568	0.889535	0.826885	0.749662	0.669311	0.593055	0.588548	0.539200	0.472302	0.410752	0.305505	0.187276	0.036617		
0.992644	1.000000	0.990540	0.935505	0.879411	0.809306	0.733245	0.652289	0.643820	0.652289	0.584128	0.443820	0.334688	0.212196	0.052268		
0.967568	0.990540	1.000000	0.971409	0.929987	0.870985	0.802784	0.736200	0.720502	0.719495	0.630068	0.549148	0.361574	0.235151	0.066984		
0.889535	0.935505	0.971409	1.000000	0.989585	0.958883	0.913003	0.860561	0.845179	0.834673	0.706104	0.608751	0.522163	0.397436	0.084306		
0.826885	0.879411	0.929987	0.989585	1.000000	0.989363	0.960306	0.919808	0.905895	0.890982	0.847078	0.744902	0.646361	0.281574	0.092739		
0.749662	0.809306	0.870985	0.958883	0.989363	1.000000	0.990048	0.963882	0.951725	0.931760	0.879727	0.770667	0.660722	0.565450	0.104230		
0.669311	0.733245	0.802784	0.913003	0.960306	0.990048	1.000000	0.990471	0.980434	0.965436	0.893745	0.780559	0.667804	0.571802	0.305297		
0.593055	0.663269	0.736200	0.860561	0.919808	0.963882	0.990471	1.000000	0.995599	0.985694	0.898379	0.784588	0.671326	0.576135	0.318630		
0.584979	0.648892	0.720502	0.845179	0.905895	0.951725	0.980434	0.995599	1.000000	0.982115	0.921112	0.816124	0.707116	0.613198	0.359201		
0.539305	0.653289	0.719495	0.834673	0.890982	0.931760	0.954236	0.965694	0.982115	1.000000	0.972793	0.896545	0.800303	0.716107	0.459726		
0.588548	0.643070	0.700960	0.799162	0.847078	0.870787	0.893745	0.898379	0.921112	0.927293	1.000000	0.966088	0.902254	0.829802	0.459726		
0.539200	0.584128	0.630068	0.706104	0.744902	0.770667	0.780559	0.784588	0.816124	0.819645	0.866088	1.000000	0.978691	0.936230	0.715433		
0.472302	0.511094	0.549148	0.608751	0.640074	0.660722	0.667804	0.671326	0.707116	0.803303	0.900254	0.978691	1.000000	0.984958	0.808309		
0.410752	0.443820	0.475198	0.522163	0.547943	0.565450	0.571802	0.576135	0.613198	0.716107	0.829802	0.936230	0.984958	1.000000	0.963311		
0.305505	0.334688	0.361574	0.397436	0.416361	0.430195	0.443329	0.443329	0.483122	0.554721	0.661268	0.779857	0.921624	0.963311	0.809779		
0.187276	0.212196	0.235151	0.265247	0.281574	0.296058	0.305297	0.318630	0.359201	0.459726	0.577142	0.715433	0.921624	0.963311	0.809779		
0.036617	0.052268	0.066984	0.084306	0.092739	0.104230	0.115176	0.133138	0.168350	0.212196	0.267881	0.335957	0.433651	0.577142	0.735500		
															0.868619	1.000000
															0.868619	1.000000

表 71 ジオポテンシャル高度の相関行列 (8月)

1.000000	0.992585	0.968981	0.89234	0.839811	0.777988	0.719581	0.668382	0.619045	0.639477	0.574811	0.514727	0.447601	0.350393	0.281348	0.214544
0.992585	1.000000	0.931486	0.940976	0.894606	0.840694	0.787562	0.739453	0.690877	0.711578	0.642362	0.575361	0.501508	0.395121	0.320347	0.246896
0.968981	0.931486	1.000000	0.975700	0.941480	0.897433	0.851199	0.807525	0.780404	0.758230	0.704323	0.629563	0.548455	0.432896	0.352710	0.272635
0.89234	0.940976	0.975700	1.000000	0.991591	0.969052	0.906414	0.894206	0.880642	0.853961	0.790169	0.702347	0.608811	0.478815	0.390173	0.300944
0.839811	0.897433	0.941480	0.991591	1.000000	0.992573	0.974125	0.949750	0.938985	0.924504	0.827031	0.733691	0.634690	0.498365	0.406388	0.313600
0.777988	0.840694	0.897433	0.969201	0.992573	1.000000	0.993981	0.978754	0.969666	0.954517	0.923969	0.852451	0.652550	0.511781	0.417842	0.322614
0.719581	0.787562	0.851199	0.939052	0.974125	0.993981	1.000000	0.994592	0.987663	0.972929	0.939141	0.865366	0.660207	0.516875	0.421926	0.325361
0.668382	0.739453	0.807525	0.906414	0.949750	0.975700	0.994692	1.000000	0.997395	0.983094	0.947370	0.871386	0.660853	0.515964	0.420585	0.323464
0.619045	0.723830	0.792931	0.894206	0.938985	0.969666	0.997395	0.997395	1.000000	0.992049	0.958002	0.884771	0.673461	0.527796	0.430990	0.332262
0.639477	0.711578	0.780404	0.880642	0.924504	0.954517	0.972229	0.983094	0.992049	1.000000	0.981607	0.924392	0.728114	0.584020	0.485559	0.383045
0.574811	0.642362	0.704323	0.790169	0.827031	0.852451	0.865366	0.871386	0.884771	0.924392	1.000000	0.974614	0.822001	0.687584	0.591075	0.484253
0.514727	0.575361	0.629563	0.702347	0.733691	0.755342	0.768575	0.782142	0.831877	0.908494	0.976622	1.000000	0.980655	0.907753	0.835436	0.737232
0.447601	0.501508	0.548455	0.608811	0.634690	0.652550	0.660207	0.668853	0.673461	0.728114	0.822001	0.920649	1.000000	0.968319	0.919335	0.839279
0.350393	0.395121	0.432896	0.478815	0.498365	0.511781	0.516875	0.515964	0.527796	0.584020	0.687584	0.812312	0.907753	0.968319	1.000000	0.986408
0.281348	0.320347	0.352710	0.390173	0.406388	0.417842	0.420585	0.430990	0.430990	0.485559	0.591075	0.724559	0.835436	0.919335	0.986408	1.000000
0.214544	0.246896	0.272635	0.300944	0.313600	0.322614	0.325361	0.323464	0.332262	0.383045	0.484253	0.618804	0.737232	0.839279	0.940315	0.980720

表 72 ジオポテンシャル高度の相関行列 (9月)

1.000000	0.995924	0.982130	0.927638	0.877263	0.820348	0.763609	0.712449	0.680969	0.639096	0.545652	0.427278	0.321501	0.190902	0.123938	0.057318
0.995924	1.000000	0.994848	0.955211	0.912471	0.861398	0.808570	0.745071	0.731014	0.692737	0.603705	0.486970	0.379743	0.244135	0.173241	0.101207
0.982130	0.994848	1.000000	0.979134	0.946223	0.902811	0.852338	0.809960	0.796272	0.783352	0.661010	0.544421	0.434443	0.292482	0.217156	0.139191
0.927638	0.955211	0.979134	1.000000	0.991523	0.968206	0.935269	0.899926	0.888932	0.875665	0.757604	0.636732	0.518632	0.362509	0.278337	0.189201
0.877263	0.912471	0.946223	0.991523	1.000000	0.992071	0.971312	0.944418	0.934938	0.924621	0.804783	0.681959	0.559967	0.397152	0.308863	0.214350
0.820348	0.861398	0.902811	0.968206	0.992071	1.000000	0.993089	0.976195	0.968205	0.956311	0.923895	0.838769	0.715506	0.591288	0.333439	0.234780
0.763609	0.808570	0.852338	0.935269	0.971312	0.993089	1.000000	0.994002	0.987535	0.974291	0.941071	0.856543	0.733599	0.608396	0.347436	0.246138
0.712449	0.759879	0.809960	0.899926	0.944418	0.976195	0.994002	1.000000	0.997579	0.985109	0.951085	0.867700	0.745454	0.619678	0.450324	0.251096
0.680969	0.745071	0.796272	0.888932	0.934938	0.968205	0.987535	0.997579	1.000000	0.993318	0.962114	0.883021	0.762423	0.636498	0.466027	0.266369
0.639096	0.692737	0.747365	0.843763	0.890759	0.923895	0.941071	0.951085	0.962114	1.000000	0.984142	0.919940	0.808915	0.687170	0.517753	0.314477
0.545652	0.603705	0.661010	0.757604	0.804783	0.838769	0.856543	0.867700	0.883021	0.919940	0.970243	0.970243	0.887090	0.782170	0.625038	0.425360
0.427278	0.486970	0.544421	0.636732	0.681959	0.715506	0.735599	0.745454	0.762423	0.808915	0.887090	0.970551	1.000000	0.978701	0.900708	0.752277
0.321501	0.379743	0.434443	0.518632	0.559967	0.591288	0.608396	0.619678	0.636498	0.687170	0.903072	0.978701	1.000000	0.969218	0.928726	0.862191
0.190902	0.244135	0.292482	0.362509	0.397152	0.424459	0.439868	0.450324	0.466027	0.517753	0.625038	0.778637	0.900708	0.969218	1.000000	0.990464
0.123938	0.173241	0.217156	0.278337	0.308863	0.333439	0.347436	0.357016	0.371404	0.422078	0.532392	0.697124	0.838230	0.928726	0.990464	1.000000
0.057318	0.101207	0.139191	0.189201	0.214350	0.234780	0.246138	0.251096	0.266369	0.314477	0.425360	0.596213	0.752277	0.862191	0.953316	1.000000

表 73 大気温度の相関行列 (4月)

1.000000	0.873408	0.777173	0.627524	0.561929	0.513084	0.477530	0.346988	-0.062075	-0.121892	0.013460	-0.032974	0.013524	0.057147	-0.114723	0.272603
0.873408	1.000000	0.935339	0.769999	0.693447	0.637714	0.600021	0.373841	-0.213369	-0.299232	-0.126008	-0.105458	-0.044904	0.004259	0.054278	0.222743
0.935339	0.769999	1.000000	0.880398	0.798418	0.733996	0.682776	0.367114	-0.303512	-0.382039	-0.192092	-0.138712	-0.079167	-0.042491	-0.012884	0.120315
0.627524	0.769999	0.880398	1.000000	0.968171	0.909808	0.840301	0.345537	-0.472497	-0.507999	-0.258287	-0.103708	-0.051712	-0.041696	-0.036862	0.046332
0.561929	0.693447	0.798418	0.968171	1.000000	0.971852	0.903890	0.336800	-0.522414	-0.523724	-0.255366	-0.169740	-0.027789	-0.034073	-0.035463	0.037243
0.513084	0.637714	0.733996	0.909808	0.971852	1.000000	0.961938	0.372485	-0.541940	-0.541940	-0.265196	-0.172824	-0.071851	-0.055297	-0.060279	0.016879
0.477530	0.600021	0.682776	0.840301	0.903890	0.961938	1.000000	0.518161	-0.492016	-0.538126	-0.261548	-0.184355	-0.093034	-0.061644	-0.092576	0.016491
0.346988	0.373841	0.367114	0.345537	0.336800	0.372485	0.372485	1.000000	0.331905	-0.002875	0.135340	0.099967	0.074208	0.015272	0.011024	0.062045
0.062075	-0.213369	-0.303512	-0.472497	-0.524414	-0.541940	-0.541940	-0.541940	0.331905	0.331905	0.331905	0.331905	0.331905	0.331905	0.331905	0.331905
-0.121892	-0.299232	-0.382039	-0.507999	-0.523724	-0.523724	-0.523724	-0.523724	-0.002875	0.835353	1.000000	0.879848	0.682080	0.424053	0.298640	0.190427
0.013460	-0.126008	-0.192092	-0.258287	-0.255366	-0.265196	-0.265196	-0.265196	0.835353	1.000000	0.879848	1.000000	0.869446	0.626644	0.432687	0.264684
-0.055472	-0.144821	-0.180827	-0.185719	-0.169740	-0.172824	-0.172824	-0.172824	0.879848	0.879848	0.879848	0.879848	0.879848	0.879848	0.879848	0.879848
-0.032974	-0.105458	-0.138712	-0.103708	-0.074694	-0.071851	-0.071851	-0.071851	0.869446	0.869446	0.869446	0.869446	0.869446	0.869446	0.869446	0.869446
0.013524	-0.044904	-0.049040	-0.051712	-0.027789	-0.051712	-0.051712	-0.051712	0.869446	0.869446	0.869446	0.869446	0.869446	0.869446	0.869446	0.869446
0.057147	0.004259	-0.042491	-0.041696	-0.034073	-0.055297	-0.055297	-0.055297	0.869446	0.869446	0.869446	0.869446	0.869446	0.869446	0.869446	0.869446
0.114723	0.054278	-0.012884	-0.036862	-0.035463	-0.060279	-0.060279	-0.060279	0.869446	0.869446	0.869446	0.869446	0.869446	0.869446	0.869446	0.869446
0.272603	0.222743	0.120315	0.048332	0.037243	0.016879	0.016491	0.062075	0.024843	0.040066	0.051556	0.089497	0.187020	0.331335	0.574378	1.000000

表 74 大気温度の相関行列 (5月)

1.000000	0.886579	0.850344	0.744961	0.688261	0.631370	0.554584	0.152221	-0.318793	-0.372642	-0.305941	-0.250297	-0.172771	-0.098402	0.010762	0.109057	0.206809
0.886579	1.000000	0.945278	0.789390	0.727015	0.664199	0.581103	0.100624	-0.451194	-0.522876	-0.473041	-0.425188	-0.354934	-0.282126	-0.138723	-0.069791	-0.017163
0.850344	0.945278	1.000000	0.879106	0.810688	0.750068	0.656511	0.069775	-0.502873	-0.543891	-0.487101	-0.436584	-0.350481	-0.250777	-0.118873	-0.036479	0.025753
0.744961	0.789390	0.879106	1.000000	0.974855	0.924375	0.826766	0.030994	-0.649221	-0.665266	-0.594018	-0.523246	-0.404580	-0.276649	-0.132145	-0.041240	0.049768
0.688261	0.727015	0.810688	0.974855	1.000000	0.973185	0.886368	0.034582	-0.699069	-0.707732	-0.629404	-0.557350	-0.423771	-0.289130	-0.134369	-0.038900	0.058284
0.631370	0.664199	0.750068	0.924375	0.973185	1.000000	0.951996	0.084807	-0.724870	-0.740783	-0.646489	-0.565464	-0.432340	-0.297004	-0.138855	-0.042238	0.053912
0.554584	0.581103	0.656511	0.826766	0.886368	0.951996	1.000000	0.259520	-0.673116	-0.734156	-0.614546	-0.545112	-0.417004	-0.282215	-0.125761	-0.029232	0.058269
0.152221	0.100624	0.069775	0.030994	0.034582	0.084807	0.259520	1.000000	0.383526	0.025984	0.098751	0.025182	-0.026878	0.011138	0.047143	0.061857	0.041544
-0.318793	-0.451194	-0.502873	-0.649221	-0.699069	-0.724870	-0.734156	-0.673116	0.383526	0.025984	0.098751	0.025182	-0.026878	0.011138	0.047143	0.061857	0.041544
-0.372642	-0.522876	-0.543891	-0.665266	-0.707732	-0.740783	-0.734156	-0.734156	0.025984	0.025984	0.025984	0.025984	0.025984	0.025984	0.025984	0.025984	0.025984
-0.305941	-0.473041	-0.487101	-0.594018	-0.629404	-0.646489	-0.614546	-0.614546	0.098751	0.098751	0.098751	0.098751	0.098751	0.098751	0.098751	0.098751	0.098751
-0.250297	-0.425188	-0.436584	-0.532346	-0.557350	-0.565464	-0.534512	-0.534512	0.025182	0.025182	0.025182	0.025182	0.025182	0.025182	0.025182	0.025182	0.025182
-0.172771	-0.354934	-0.350481	-0.404580	-0.423771	-0.432340	-0.417004	-0.417004	-0.026878	-0.026878	-0.026878	-0.026878	-0.026878	-0.026878	-0.026878	-0.026878	-0.026878
-0.098402	-0.262126	-0.250777	-0.276649	-0.289130	-0.297004	-0.282215	-0.282215	0.011138	0.011138	0.011138	0.011138	0.011138	0.011138	0.011138	0.011138	0.011138
0.010762	-0.138723	-0.118873	-0.132145	-0.134369	-0.138855	-0.125761	-0.125761	0.047143	0.047143	0.047143	0.047143	0.047143	0.047143	0.047143	0.047143	0.047143
0.109057	-0.069791	-0.036479	-0.041240	-0.038900	-0.042238	-0.029232	-0.029232	0.061857	0.061857	0.061857	0.061857	0.061857	0.061857	0.061857	0.061857	0.061857
0.206809	-0.017163	0.025753	0.049768	0.058284	0.053912	0.053912	0.053912	0.058269	0.058269	0.058269	0.058269	0.058269	0.058269	0.058269	0.058269	0.058269

表 75 大気温度の相関行列 (6月)

1.000000	0.930691	0.877986	0.767966	0.723881	0.692825	0.645068	0.524578	-0.390505	-0.436514	-0.429602	-0.411679	-0.344241	-0.230653	-0.192323	-0.033614	0.318775
0.930691	1.000000	0.955945	0.813750	0.764878	0.732526	0.682561	0.333828	-0.464699	-0.526721	-0.517927	-0.481275	-0.424999	-0.309830	-0.289324	-0.138895	0.213699
0.877986	0.955945	1.000000	0.903727	0.853173	0.819550	0.770415	0.408778	-0.517101	-0.625982	-0.611760	-0.579228	-0.522808	-0.388893	-0.351240	-0.193283	0.181432
0.767966	0.813750	0.903727	1.000000	0.975047	0.940652	0.898098	0.490682	-0.567221	-0.704760	-0.672669	-0.670590	-0.621304	-0.483293	-0.391014	-0.2236051	0.130633
0.723881	0.764878	0.853173	0.975047	1.000000	0.981206	0.941510	0.521980	-0.585678	-0.714633	-0.670945	-0.621495	-0.621495	-0.472338	-0.369480	-0.224355	0.136451
0.692825	0.732526	0.819550	0.940652	0.981206	1.000000	0.975795	0.615561	-0.604396	-0.721738	-0.670360	-0.668872	-0.610168	-0.445112	-0.334648	-0.199120	0.136451
0.645068	0.682561	0.770415	0.898098	0.941510	0.975795	1.000000	0.615561	-0.588465	-0.717455	-0.652016	-0.653409	-0.603409	-0.431474	-0.306668	-0.179393	0.122187
0.624578	0.333828	0.408778	0.490832	0.521990	0.541858	0.615561	1.000000	0.083698	-0.311360	-0.287965	-0.327804	-0.422467	-0.298766	-0.122851	-0.044262	0.122187
0.396505	-0.464699	-0.517101	-0.567221	-0.585678	-0.604396	-0.604396	0.083698	1.000000	0.80816	0.80816	0.80816	0.80816	0.738363	0.412035	0.304767	0.068734
-0.436514	-0.326721	-0.625982	-0.704760	-0.714633	-0.721738	-0.717455	-0.311360	0.80816	1.000000	0.927938	0.818547	0.713318	0.564089	0.515349	0.412093	0.122385
-0.429602	-0.517927	-0.611760	-0.672669	-0.670945	-0.670360	-0.652016	-0.287965	-0.333631	1.000000	0.882047	0.882047	0.882047	0.863641	0.745375	0.566407	0.448391
-0.411679	-0.481275	-0.579228	-0.670590	-0.671495	-0.668872	-0.653874	-0.372804	0.692824	0.818547	0.882047	1.000000	0.893863	0.745029	0.660715	0.545896	0.202940
-0.344241	-0.424999	-0.522808	-0.621304	-0.621495	-0.610168	-0.603409	-0.422467	0.495051	0.713318	0.745375	0.893863	1.000000	0.863641	0.735781	0.629849	0.270101
-0.230653	-0.309830	-0.388893	-0.483293	-0.479338	-0.445112	-0.431474	-0.298766	0.378534	0.564089	0.601924	0.745029	0.863641	1.000000	0.836353	0.728176	0.434973
-0.192323	-0.289324	-0.351240	-0.391014	-0.369480	-0.334648	-0.306668	-0.122851	0.515349	0.566407	0.660715	0.660715	0.735781	0.836353	1.000000	0.852297	0.471226
-0.033614	-0.138895	-0.193283	-0.2236051	-0.224355	-0.199120	-0.179393	-0.044262	0.304767	0.412093	0.448391	0.545896	0.628849	0.728176	0.852297	1.000000	0.601711
0.318775	0.213699	0.181432	0.130633	0.136451	0.130808	0.122385	0.122187	0.068734	0.122385	0.151656	0.202940	0.270101	0.434973	0.471226	0.601711	1.000000

表 76 大気温度の相関行列 (7月)

1.000000	0.910478	0.821423	0.626546	0.580352	0.561593	0.502690	0.279322	-0.374099	-0.439476	-0.445598	-0.425310	-0.369822	-0.331355	-0.145992	-0.158168	-0.011643
0.910478	1.000000	0.922496	0.673301	0.624539	0.599785	0.528282	0.252361	-0.444287	-0.489080	-0.486070	-0.449057	-0.387671	-0.338882	-0.173524	-0.183742	-0.077426
0.821423	0.922496	1.000000	0.842137	0.786042	0.758724	0.681868	0.389161	-0.509271	-0.613823	-0.609610	-0.529525	-0.451142	-0.247907	-0.241532	-0.085090	-0.085090
0.626546	0.673301	0.842137	1.000000	0.967668	0.928565	0.859451	0.573509	-0.538884	-0.721863	-0.734657	-0.756783	-0.709227	-0.637349	-0.399485	-0.362253	-0.133420
0.580352	0.624539	0.786042	0.967668	1.000000	0.972884	0.906666	0.612267	-0.551380	-0.724735	-0.714654	-0.751944	-0.709273	-0.645624	-0.421778	-0.377567	-0.159757
0.561593	0.599785	0.758724	0.928565	0.972884	1.000000	0.960130	0.662760	-0.575869	-0.755143	-0.717641	-0.750022	-0.694789	-0.623218	-0.407753	-0.352054	-0.134724
0.502690	0.528282	0.681868	0.859451	0.906666	0.960130	1.000000	0.751694	-0.574638	-0.788685	-0.693322	-0.729525	-0.664045	-0.593123	-0.386144	-0.331416	-0.131516
0.279322	0.252361	0.389161	0.573509	0.612267	0.662760	0.751694	1.000000	-0.069553	-0.552473	-0.499465	-0.568987	-0.545120	-0.501024	-0.266972	-0.097852	-0.097852
-0.374099	-0.444287	-0.509271	-0.538884	-0.551380	-0.575869	-0.574638	-0.069553	1.000000	0.741719	0.548462	0.483772	0.396922	0.276012	0.188821	0.092064	0.020634
-0.439476	-0.489080	-0.613823	-0.721863	-0.724735	-0.755143	-0.788685	-0.552473	0.741719	1.000000	0.834232	0.722495	0.618408	0.488936	0.271733	0.170214	-0.017515
-0.445598	-0.486070	-0.609610	-0.734657	-0.714654	-0.717641	-0.695322	-0.499465	0.548462	0.834232	1.000000	0.844173	0.730252	0.606904	0.347288	0.226715	-0.033043
-0.253110	-0.449057	-0.589931	-0.756783	-0.751944	-0.750022	-0.729525	-0.568987	0.483772	0.722495	0.844173	1.000000	0.890811	0.754136	0.467310	0.370319	0.042703
-0.369822	-0.387671	-0.525257	-0.709227	-0.709273	-0.694789	-0.664045	-0.545120	0.396922	0.618408	0.730252	0.890811	1.000000	0.832366	0.595588	0.505599	0.117049
-0.331355	-0.338882	-0.451142	-0.637349	-0.645624	-0.623218	-0.593123	-0.501024	0.276012	0.488936	0.606904	0.754136	0.879236	1.000000	0.699384	0.642741	0.249252
-0.145992	-0.173524	-0.247907	-0.399485	-0.421778	-0.407753	-0.386144	-0.256681	0.188821	0.271733	0.347288	0.467310	0.595588	0.699384	1.000000	0.798812	0.389859
-0.158168	-0.183742	-0.241532	-0.362253	-0.377567	-0.352054	-0.331416	-0.266972	0.092064	0.170214	0.226715	0.370319	0.505599	0.642741	0.798812	1.000000	0.530275
-0.011643	-0.077426	-0.085090	-0.133420	-0.159757	-0.134724	-0.131516	-0.097852	0.020634	-0.017515	-0.033043	0.042703	0.117049	0.249252	0.389859	0.530275	1.000000



表 77 大気温度の相関行列 (8月)

Table with 32 columns and 32 rows of correlation coefficients for atmospheric temperature in August. Values range from approximately 0.194859 to 1.000000.

表 78 大気温度の相関行列 (9月)

Table with 32 columns and 32 rows of correlation coefficients for atmospheric temperature in September. Values range from approximately 0.194859 to 1.000000.

## 9.5 定常風モデルおよび誤差モデル

本稿で定義する定常風モデルはジオポテンシャル高度 $h_g$ をパラメータとして、局所水平座標系における定常風ベクトル $^H[U_s \ V_s \ W_s]^T$ を計算するものである。なお南北方向の風速 $U_s$ 、および東西方向の風速 $V_s$ はそれぞれ南風、西風を正とし、高度方向の定常風成分 $W_s$ はゼロであるとする。定常風モデルは誘導制御則の設計に用いるための設計風モデルと、設計が完了した誘導制御則を用いた運用計画策定に用いるための放球日風モデルに区別される。NOAA/NCEP 再解析データに対して 9.4 節と同様の統計処理と線形補間を行い、Esrange 実験場における設計風モデルを定義した。放球日風モデルは、設計風モデルの源泉データから、落下試験に適する気球軌道であった日時のデータだけを抽出し、設計風モデルと同様な統計処理を行ったものである。

### 9.5.1 設計風モデル

設計風モデルのノミナルモデルおよび誤差モデルは、表 79 から表 90 に示すように、4 月から 9 月までの各月に対して、 $p_s$ をパラメータとする $h_g, U_s, V_s$ に関する 17 個の大気層のテーブル形式データとして構成されている。9.4 節と同様に誤差を反映させたテーブルをシミュレーション開始前にあらかじめ定義しておき、 $h_g$ をパラメータとするテーブルとして読み替えて線形補間により $U_s, V_s$ を算出する。ただしテーブル外の補外については端点保持を行うものとする。なお誤差については各層間の相関だけでなく $U_s$ と $V_s$ の相関も考慮している。そのため相関行列は 34 次となり、その値は表 91 から表 102 に定義されている。

表 79 定常風（南北風 $U_s$ ）モデルおよび誤差モデル（4月）

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		$U_s$ (m/s)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.	min.
1	1000	103	87	1.54	4.08	14.42	-12.60
2	925	726	87	1.59	5.97	19.40	-18.59
3	850	1395	89	0.85	6.29	19.76	-22.74
4	700	2895	101	-0.17	7.14	17.77	-22.46
5	600	4052	117	-0.76	8.78	19.88	-26.48
6	500	5377	138	-1.36	11.22	24.65	-34.29
7	400	6936	165	-2.03	14.30	33.14	-45.61
8	300	8840	187	-2.81	16.68	42.59	-58.35
9	250	10011	184	-3.24	15.16	36.03	-57.39
10	200	11442	170	-3.22	11.48	23.43	-46.33
11	150	13302	167	-3.29	8.88	17.03	-40.19
12	100	15906	175	-3.76	7.74	16.05	-39.62
13	70	18184	194	-4.03	7.69	24.05	-39.68
14	50	20325	220	-4.21	8.19	28.74	-41.82
15	30	23571	264	-3.96	9.04	31.91	-38.10
16	20	26153	299	-3.26	9.62	36.25	-39.44
17	10	30646	356	-1.37	9.72	37.29	-31.62

表 80 定常風（南北風 $U_s$ ）モデルおよび誤差モデル（5月）

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		$U_s$ (m/s)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.	min.
1	1000	98	75	0.41	3.62	10.94	-9.71
2	925	732	76	0.38	5.42	15.58	-14.17
3	850	1410	78	0.00	5.73	14.63	-16.51
4	700	2930	88	-0.38	7.02	17.84	-19.93
5	600	4101	101	-0.52	8.66	21.63	-26.61
6	500	5443	119	-0.68	10.92	28.11	-37.50
7	400	7021	141	-0.66	14.01	38.78	-49.78
8	300	8949	159	-0.57	16.44	45.81	-59.04
9	250	10140	151	-0.85	14.54	42.67	-54.79
10	200	11602	128	-0.91	10.31	28.54	-37.02
11	150	13502	111	-0.79	7.31	18.03	-25.65
12	100	16161	99	-0.97	5.20	12.88	-23.56
13	70	18488	98	-1.26	4.10	9.44	-22.57
14	50	20683	105	-1.46	3.65	7.73	-22.59
15	30	24024	129	-1.25	3.53	7.63	-19.13
16	20	26695	156	-0.98	3.52	9.13	-15.47
17	10	31376	207	0.34	3.57	12.10	-17.91

表 81 定常風（南北風 $U_s$ ）モデルおよび誤差モデル（6月）

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		$U_s$ (m/s)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.	min.
1	1000	93	68	-0.50	3.17	10.20	-9.39
2	925	738	70	-0.17	4.34	14.64	-12.55
3	850	1428	73	-0.10	4.73	18.21	-14.45
4	700	2971	85	-0.33	5.77	20.81	-15.67
5	600	4161	98	-0.37	6.84	23.26	-18.28
6	500	5525	114	-0.38	8.38	28.48	-22.17
7	400	7130	136	-0.27	10.62	36.73	-27.53
8	300	9085	158	0.08	13.19	44.08	-30.82
9	250	10284	153	0.09	12.38	39.94	-31.97
10	200	11756	130	0.13	8.97	27.81	-22.35
11	150	13672	112	0.26	6.28	16.42	-14.99
12	100	16354	98	0.29	4.53	11.68	-10.97
13	70	18709	90	0.13	3.31	8.09	-8.97
14	50	20936	88	0.03	2.70	6.47	-7.85
15	30	24334	89	0.03	2.16	6.82	-8.04
16	20	27060	94	-0.15	1.95	6.60	-7.45
17	10	31851	109	0.42	2.40	8.24	-9.61

表 82 定常風（南北風 $U_s$ ）モデルおよび誤差モデル（7月）

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		$U_s$ (m/s)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.	min.
1	1000	94	64	0.25	3.25	11.11	-9.16
2	925	749	64	1.03	4.38	15.01	-12.84
3	850	1449	65	1.38	4.66	15.86	-12.27
4	700	3016	71	1.76	5.73	17.31	-16.42
5	600	4225	79	2.23	6.82	20.54	-18.78
6	500	5611	89	2.85	8.30	24.87	-23.64
7	400	7243	105	3.72	10.45	32.83	-31.45
8	300	9228	123	5.09	13.29	38.42	-38.69
9	250	10434	121	5.27	13.10	42.55	-37.74
10	200	11902	101	4.24	9.53	34.09	-26.19
11	150	13820	84	3.21	6.47	20.73	-17.27
12	100	16498	68	2.27	4.37	11.99	-13.45
13	70	18853	59	1.55	3.16	8.33	-8.51
14	50	21084	52	1.16	2.48	6.97	-7.27
15	30	24486	46	0.84	1.88	7.06	-5.34
16	20	27218	42	0.41	1.77	5.53	-5.04
17	10	32022	42	0.60	2.37	6.94	-6.95

表 83 定常風（南北風 $U_s$ ）モデルおよび誤差モデル（8月）

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		$U_s$ (m/s)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.	min.
1	1000	90	65	0.01	2.34	10.15	-9.32
2	925	743	67	1.11	4.63	15.83	-13.03
3	850	1440	70	0.99	4.94	19.61	-14.42
4	700	3001	81	0.70	5.60	19.33	-16.47
5	600	4205	93	0.79	6.46	21.53	-21.11
6	500	5585	108	0.94	7.78	25.89	-26.11
7	400	7210	130	1.08	9.75	30.47	-34.63
8	300	9185	156	1.30	12.54	37.84	-41.26
9	250	10384	160	1.27	12.85	38.50	-39.29
10	200	11840	141	1.15	9.92	30.71	-30.46
11	150	13739	116	0.99	6.61	21.21	-20.34
12	100	16405	97	0.60	4.30	13.16	-13.22
13	70	18753	88	0.15	3.05	8.80	-9.63
14	50	20967	88	-0.24	2.37	7.53	-7.47
15	30	24330	100	-0.36	1.90	6.45	-7.76
16	20	27023	118	-0.42	1.91	5.96	-5.66
17	10	31737	161	0.01	2.34	6.44	-6.82

表 84 定常風（南北風 $U_s$ ）モデルおよび誤差モデル（9月）

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		$U_s$ (m/s)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.	min.
1	1000	71	96	1.83	4.13	14.29	-8.92
2	925	712	96	1.66	5.95	20.12	-13.53
3	850	1398	98	0.67	6.24	20.00	-15.73
4	700	2938	110	-0.05	6.82	17.92	-18.51
5	600	4126	125	-0.35	7.92	20.97	-23.32
6	500	5489	144	-0.64	9.65	27.30	-31.16
7	400	7093	170	-1.05	12.26	34.32	-40.70
8	300	9048	197	-1.49	15.57	46.45	-52.88
9	250	10241	198	-1.73	15.66	44.49	-56.95
10	200	11688	177	-1.99	12.48	38.57	-47.60
11	150	13563	148	-1.95	8.56	23.72	-30.58
12	100	16196	125	-1.85	5.65	13.28	-18.25
13	70	18503	118	-1.88	4.18	10.65	-13.03
14	50	20671	124	-2.05	3.47	8.26	-11.02
15	30	23945	147	-2.37	3.14	6.19	-13.18
16	20	26550	174	-2.63	3.38	7.22	-13.96
17	10	31070	236	-2.88	4.00	8.40	-17.94

表 85 定常風（東西風 $V_s$ ）モデルおよび誤差モデル（4月）

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		$V_s$ (m/s)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.	min.
1	1000	103	87	0.55	4.10	15.59	-11.10
2	925	726	87	2.34	5.70	23.51	-16.28
3	850	1395	89	3.72	5.80	26.54	-16.11
4	700	2895	101	5.93	6.33	29.03	-14.80
5	600	4052	117	7.50	7.49	35.48	-19.06
6	500	5377	138	9.31	9.28	42.79	-25.62
7	400	6936	165	11.31	11.56	50.40	-33.80
8	300	8840	187	13.24	13.57	54.34	-36.69
9	250	10011	184	12.76	12.58	54.56	-34.51
10	200	11442	170	11.02	9.50	46.89	-24.55
11	150	13302	167	10.23	7.35	33.55	-14.65
12	100	15906	175	9.79	7.16	33.24	-8.75
13	70	18184	194	9.34	7.74	35.34	-9.21
14	50	20325	220	8.97	8.65	36.82	-13.14
15	30	23571	264	8.13	10.33	40.30	-21.01
16	20	26153	299	7.37	11.32	39.01	-28.81
17	10	30646	356	6.25	12.74	50.85	-36.20

表 86 定常風（東西風 $V_s$ ）モデルおよび誤差モデル（5月）

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		$V_s$ (m/s)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.	min.
1	1000	98	75	0.26	3.91	15.14	-11.48
2	925	732	76	1.49	5.31	23.10	-17.90
3	850	1410	78	2.82	5.47	24.32	-15.66
4	700	2930	88	4.67	6.40	30.56	-10.12
5	600	4101	101	5.77	7.55	34.39	-12.80
6	500	5443	119	7.05	9.29	39.06	-16.55
7	400	7021	141	8.64	11.75	47.80	-21.68
8	300	8949	159	10.00	13.54	50.74	-22.30
9	250	10140	151	9.46	11.87	48.53	-18.32
10	200	11602	128	7.57	8.39	39.92	-15.41
11	150	13502	111	6.10	5.83	25.84	-10.59
12	100	16161	99	3.75	4.22	19.48	-8.10
13	70	18488	98	1.47	3.55	15.22	-10.80
14	50	20683	105	-0.62	3.47	12.20	-14.18
15	30	24024	129	-3.67	4.24	10.19	-19.25
16	20	26695	156	-5.70	5.03	13.57	-20.37
17	10	31376	207	-8.52	6.49	16.85	-23.27

表 87 定常風（東西風 $V_s$ ）モデルおよび誤差モデル（6月）

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		$V_s$ (m/s)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.	min.
1	1000	93	68	-0.10	3.34	12.24	-9.12
2	925	738	70	0.57	4.45	18.39	-12.55
3	850	1428	73	1.91	4.67	20.31	-11.64
4	700	2971	85	3.50	5.71	22.72	-13.89
5	600	4161	98	4.34	6.67	27.60	-17.27
6	500	5525	114	5.41	7.92	33.79	-19.87
7	400	7130	136	6.89	9.73	41.95	-22.99
8	300	9085	158	8.06	11.78	51.28	-25.21
9	250	10284	153	7.45	11.18	50.05	-25.53
10	200	11756	130	5.72	8.07	35.37	-17.26
11	150	13672	112	4.39	5.45	22.79	-10.64
12	100	16354	98	2.16	3.86	13.76	-9.44
13	70	18709	90	-0.18	2.90	8.41	-6.89
14	50	20936	88	-2.47	2.36	3.98	-7.89
15	30	24334	89	-5.70	2.14	0.79	-12.47
16	20	27060	94	-7.75	2.22	-0.50	-15.23
17	10	31851	109	-11.31	2.63	-0.77	-18.98

表 88 定常風（東西風 $V_s$ ）モデルおよび誤差モデル（7月）

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		$V_s$ (m/s)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.	min.
1	1000	94	64	-0.24	3.53	12.28	-10.54
2	925	749	64	0.60	4.70	15.77	-14.63
3	850	1449	65	1.87	5.01	19.16	-13.63
4	700	3016	71	3.27	5.99	22.76	-15.47
5	600	4225	79	4.08	7.03	26.10	-16.20
6	500	5611	89	5.22	8.44	31.88	-16.80
7	400	7243	105	6.64	10.50	40.03	-21.66
8	300	9228	123	7.95	13.09	48.71	-28.02
9	250	10434	121	7.67	12.93	48.32	-28.68
10	200	11902	101	5.92	9.50	39.91	-18.80
11	150	13820	84	4.31	6.10	28.83	-11.17
12	100	16498	68	1.92	3.63	14.95	-8.00
13	70	18853	59	-0.40	2.53	6.84	-8.50
14	50	21084	52	-2.46	2.04	3.34	-8.95
15	30	24486	46	-5.30	1.89	2.08	-13.18
16	20	27218	42	-6.90	1.83	-1.91	-13.92
17	10	32022	42	-9.83	2.16	-3.58	-17.16

表 89 定常風（東西風 $V_s$ ）モデルおよび誤差モデル（8月）

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		$V_s$ (m/s)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.	min.
1	1000	90	65	-0.11	3.27	13.15	-9.80
2	925	743	67	0.92	4.29	16.02	-13.20
3	850	1440	70	2.27	4.50	16.89	-11.89
4	700	3001	81	3.74	5.12	21.99	-11.34
5	600	4205	93	4.75	5.88	25.18	-12.71
6	500	5585	108	6.06	7.01	28.51	-13.75
7	400	7210	130	7.74	8.71	35.99	-18.77
8	300	9185	156	9.61	11.07	48.65	-25.27
9	250	10384	160	9.97	11.34	50.43	-25.13
10	200	11840	141	8.50	8.88	41.78	-15.62
11	150	13739	116	6.45	5.58	25.44	-9.28
12	100	16405	97	4.22	3.61	17.01	-5.91
13	70	18753	88	2.40	2.81	11.76	-5.57
14	50	20967	88	0.72	2.51	8.61	-5.58
15	30	24330	100	-1.60	2.38	5.83	-8.37
16	20	27023	118	-2.67	2.40	4.85	-9.95
17	10	31737	161	-3.43	3.37	9.64	-13.61

表 90 定常風（東西風 $V_s$ ）モデルおよび誤差モデル（9月）

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		$V_s$ (m/s)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.	min.
1	1000	71	96	1.98	4.04	15.24	-7.54
2	925	712	96	4.17	5.58	22.64	-10.48
3	850	1398	98	5.68	6.11	27.84	-8.88
4	700	2938	110	7.51	6.94	29.16	-10.09
5	600	4126	125	8.84	8.14	34.31	-11.54
6	500	5489	144	10.55	9.88	46.52	-14.31
7	400	7093	170	12.78	12.31	62.82	-19.74
8	300	9048	197	15.44	15.07	71.75	-25.21
9	250	10241	198	15.79	15.29	69.04	-23.80
10	200	11688	177	13.97	12.47	59.20	-17.54
11	150	13563	148	11.22	8.37	37.17	-12.79
12	100	16196	125	8.48	5.37	22.12	-7.35
13	70	18503	118	6.86	4.06	18.55	-4.66
14	50	20671	124	5.64	3.55	15.79	-3.44
15	30	23945	147	4.62	3.88	16.92	-4.84
16	20	26550	174	4.80	4.32	20.21	-6.50
17	10	31070	236	6.74	5.19	24.27	-4.91



表 91 設計風モデル相関行列 (4月, その1)

	$U_1(1)$	$U_1(2)$	$U_1(3)$	$U_1(4)$	$U_1(5)$	$U_1(6)$	$U_1(7)$	$U_1(8)$	$U_1(9)$	$U_1(10)$	$U_1(11)$	$U_1(12)$	$U_1(13)$	$U_1(14)$	$U_1(15)$	$U_1(16)$	$U_1(17)$
$U_1(1)$	1.000000	0.916032	0.814160	0.658466	0.510814	0.429514	0.343154	0.288166	0.234797	0.329865	0.305916	0.269157	0.257416	0.234986	0.190435	0.139797	0.092601
$U_1(2)$	0.916032	1.000000	0.949261	0.844604	0.770569	0.646265	0.547156	0.496662	0.508369	0.521538	0.454422	0.362875	0.304928	0.253256	0.192892	0.135994	0.077606
$U_1(3)$	0.814160	0.949261	1.000000	0.894466	0.862131	0.885066	0.807440	0.756592	0.785733	0.766292	0.847246	0.822182	0.762620	0.258463	0.144705	0.076004	-0.006985
$U_1(4)$	0.658466	0.770569	0.894466	1.000000	0.962131	1.000000	0.919731	0.873069	0.865108	0.847246	0.872954	0.923182	0.867877	0.242714	0.108601	0.031481	-0.047831
$U_1(5)$	0.510814	0.770569	0.862131	0.962131	1.000000	0.972261	0.980312	0.943314	0.926794	0.895044	0.966215	0.943453	0.873063	0.236970	0.092153	0.010507	-0.063241
$U_1(6)$	0.429514	0.646265	0.862131	0.885066	0.972261	1.000000	0.980312	0.943314	0.926794	0.913502	0.957945	0.956669	0.873063	0.236970	0.087150	0.002991	-0.070807
$U_1(7)$	0.343154	0.547156	0.807440	0.919731	0.980312	0.980312	1.000000	0.981470	0.957945	0.935022	0.987945	0.956669	0.873063	0.236970	0.087150	0.002991	-0.070807
$U_1(8)$	0.288166	0.496662	0.756592	0.873069	0.943314	0.943314	0.981470	1.000000	0.987945	0.968880	0.984822	0.931983	0.873063	0.236970	0.087150	0.002991	-0.070807
$U_1(9)$	0.234797	0.508369	0.508369	0.785733	0.862131	0.862131	0.957945	0.987945	1.000000	0.968880	0.984822	0.931983	0.873063	0.236970	0.087150	0.002991	-0.070807
$U_1(10)$	0.329865	0.521538	0.521538	0.766292	0.847246	0.847246	0.935022	0.968880	0.968880	1.000000	0.991983	0.956669	0.873063	0.236970	0.087150	0.002991	-0.070807
$U_1(11)$	0.305916	0.454422	0.454422	0.658466	0.727954	0.727954	0.766292	0.806516	0.848222	0.891983	1.000000	0.911956	0.770954	0.616621	0.412511	0.250084	0.159876
$U_1(12)$	0.269157	0.362875	0.362875	0.488216	0.523182	0.523182	0.556669	0.584471	0.637210	0.754008	0.911956	1.000000	0.940334	0.851997	0.653263	0.536648	0.386314
$U_1(13)$	0.257416	0.304928	0.304928	0.362920	0.367877	0.373063	0.379812	0.403631	0.456634	0.580060	0.770954	0.940334	1.000000	0.959598	0.844423	0.729320	0.568300
$U_1(14)$	0.234986	0.253256	0.253256	0.288463	0.242714	0.236970	0.238686	0.258140	0.306386	0.416621	0.616621	0.831997	0.959598	1.000000	0.940867	0.858548	0.706216
$U_1(15)$	0.190435	0.193131	0.192892	0.144705	0.108601	0.092153	0.087150	0.100229	0.136802	0.229197	0.412511	0.653263	0.834423	0.940867	1.000000	0.965716	0.850627
$U_1(16)$	0.139797	0.135994	0.147976	0.076004	0.031481	0.010507	0.025911	0.031263	0.043672	0.121345	0.290084	0.535648	0.729320	0.858548	0.965716	1.000000	0.933609
$U_1(17)$	0.092601	0.077606	0.068525	-0.006085	-0.017831	-0.063241	-0.070807	-0.060721	-0.040203	0.015875	0.159876	0.386314	0.568300	0.706216	0.850627	0.933609	1.000000
$U_2(1)$	-0.382192	-0.058171	0.079889	0.012718	-0.024273	-0.046684	-0.052733	-0.035741	-0.037012	-0.114627	-0.038847	-0.105822	-0.086983	-0.011770	0.036578	0.084714	0.112018
$U_2(2)$	-0.464584	-0.178840	-0.036726	-0.070844	-0.086117	-0.090423	-0.083987	-0.063321	-0.070624	-0.122268	-0.154100	-0.147105	-0.129436	-0.048031	-0.020959	0.046477	0.103997
$U_2(3)$	-0.343984	-0.095450	0.016565	-0.065522	-0.026409	-0.036106	-0.027877	-0.019585	-0.029232	-0.066872	-0.087904	-0.078378	-0.061139	-0.023222	0.023005	0.077210	0.115370
$U_2(4)$	-0.268463	-0.057850	0.038946	0.019745	0.001806	-0.012681	-0.011970	-0.002883	-0.010224	-0.034174	-0.040414	-0.029086	-0.004051	0.019229	0.060656	0.102144	0.123284
$U_2(5)$	-0.220722	-0.042991	0.043107	0.034136	0.015163	0.003122	0.002041	0.005811	-0.001131	-0.013383	-0.005261	0.014980	0.036672	0.055498	0.085318	0.115296	0.122845
$U_2(6)$	-0.203723	-0.046231	0.031257	0.032927	0.020063	0.007501	0.005743	0.005554	-0.000964	-0.004950	0.006558	0.030004	0.051570	0.066135	0.0868317	0.108717	0.109308
$U_2(7)$	-0.204273	-0.068970	0.004785	0.014964	0.006386	-0.002639	-0.002112	-0.002227	-0.009095	-0.011764	0.000658	0.021452	0.042214	0.054590	0.069266	0.088716	0.089178
$U_2(8)$	-0.197490	-0.076129	-0.008740	-0.001595	-0.008367	-0.015913	-0.0114861	-0.010004	-0.023718	-0.025026	-0.014402	0.005412	0.027316	0.041265	0.057894	0.078518	0.082173
$U_2(9)$	-0.201497	-0.066176	-0.037309	-0.031598	-0.034475	-0.037658	-0.034612	-0.034815	-0.045972	-0.049801	-0.037152	-0.015989	0.012221	0.033738	0.059992	0.084827	0.091756
$U_2(10)$	-0.191224	-0.115196	-0.071518	-0.061711	-0.058951	-0.056141	-0.053146	-0.055170	-0.068149	-0.073622	-0.075132	-0.053812	-0.017204	0.015014	0.053288	0.081622	0.093479
$U_2(11)$	-0.168589	-0.141069	-0.120311	-0.105882	-0.091645	-0.087687	-0.084219	-0.088826	-0.104319	-0.121169	-0.130401	-0.112708	-0.062159	-0.015035	0.043824	0.086735	0.103295
$U_2(12)$	-0.133153	-0.139258	-0.131864	-0.120334	-0.105862	-0.102556	-0.099441	-0.101102	-0.117758	-0.137553	-0.156261	-0.145107	-0.086607	-0.026113	0.049201	0.103634	0.133607
$U_2(13)$	-0.108819	-0.126243	-0.131749	-0.124701	-0.111879	-0.109001	-0.107195	-0.112356	-0.123143	-0.140228	-0.159870	-0.142937	-0.084294	-0.022703	0.062699	0.128028	0.168208
$U_2(14)$	-0.092289	-0.118420	-0.131799	-0.136293	-0.129292	-0.127428	-0.124666	-0.127323	-0.138386	-0.143076	-0.159267	-0.121975	-0.064833	0.002795	0.082293	0.170268	0.224005
$U_2(15)$	-0.077867	-0.101858	-0.116751	-0.131950	-0.132883	-0.135309	-0.135309	-0.138100	-0.140340	-0.143808	-0.146472	-0.106339	-0.034697	0.037566	0.134905	0.217005	0.273365
$U_2(16)$	-0.061451	-0.085738	-0.108968	-0.146700	-0.158065	-0.165064	-0.165484	-0.171624	-0.172720	-0.169864	-0.155925	-0.089692	-0.005276	0.063062	0.182463	0.254158	0.287538

表 92 設計風モデル相関行列 (4月, その2)

$V_1(1)$	-0.075314	-0.382192	-0.464584	-0.243394	-0.228463	-0.220272	-0.203723	-0.194224	-0.192224	-0.168589	-0.133153	-0.092239	-0.077867	-0.061461
$V_1(2)$	0.252469	-0.058171	-0.173840	-0.095450	-0.057850	-0.042991	-0.048231	-0.069700	-0.076129	-0.141089	-0.136258	-0.118420	-0.101858	-0.085738
$V_1(3)$	0.359902	0.079889	-0.036726	0.016565	0.043107	0.051257	0.043257	-0.008740	-0.020311	-0.120311	-0.131856	-0.131799	-0.116751	-0.108968
$V_1(4)$	0.241868	0.012718	-0.070844	-0.006522	0.034136	0.032927	0.014294	-0.001585	-0.061711	-0.106582	-0.120334	-0.124701	-0.136293	-0.146700
$V_1(5)$	0.162745	-0.024737	-0.086117	-0.026409	0.001806	0.020083	0.006386	-0.008367	-0.055955	-0.091645	-0.105862	-0.111879	-0.129292	-0.135805
$V_1(6)$	0.100623	-0.046684	-0.090423	-0.036406	0.001221	0.007501	-0.002639	-0.015133	-0.037658	-0.056141	-0.087687	-0.102356	-0.127428	-0.136588
$V_1(7)$	0.068557	-0.052733	-0.083987	-0.032787	0.002941	0.005743	-0.002112	-0.014861	-0.053416	-0.084219	-0.099441	-0.107196	-0.124668	-0.146584
$V_1(8)$	0.062754	-0.037571	-0.063321	-0.019555	-0.002883	0.006811	0.002227	-0.003415	-0.004810	-0.088826	-0.104162	-0.112323	-0.138100	-0.171624
$V_1(9)$	0.065035	-0.037012	-0.070624	-0.025232	-0.010224	-0.001131	-0.000864	-0.003095	-0.023718	-0.104319	-0.117758	-0.133386	-0.140340	-0.172720
$V_1(10)$	0.022403	-0.081676	-0.122268	-0.066872	-0.034174	-0.013383	-0.004950	-0.011764	-0.079222	-0.121169	-0.137553	-0.140228	-0.143808	-0.169864
$V_1(11)$	-0.033847	-0.114327	-0.154100	-0.087904	-0.040414	-0.008263	0.006587	0.000658	-0.014402	-0.073132	-0.130401	-0.158270	-0.152267	-0.155925
$V_1(12)$	-0.047504	-0.105822	-0.147105	-0.078378	-0.023086	0.014980	0.030004	0.021452	0.005412	-0.112708	-0.145167	-0.121975	-0.106359	-0.086992
$V_1(13)$	-0.041454	-0.086983	-0.129436	-0.061139	-0.040451	0.036672	0.051570	0.027316	0.012221	-0.017204	-0.062159	-0.066607	-0.084294	-0.080833
$V_1(14)$	-0.017170	-0.052820	-0.089031	-0.032322	0.019229	0.055498	0.066135	0.054590	0.041265	0.033738	0.015014	-0.022703	0.002795	0.037566
$V_1(15)$	0.038578	0.015278	-0.020939	0.023005	0.060656	0.085318	0.086317	0.069266	0.057894	0.059992	0.053288	0.043824	0.049201	0.062699
$V_1(16)$	0.084714	0.079817	0.046477	0.077210	0.102144	0.115236	0.108717	0.088716	0.078518	0.084827	0.103634	0.138028	0.170268	0.170005
$V_1(17)$	0.112018	0.123155	0.103997	0.115370	0.122845	0.122845	0.109308	0.089178	0.082173	0.091756	0.093479	0.103295	0.133607	0.168208
$V_2(1)$	1.000000	0.924384	0.842889	0.710191	0.602984	0.512561	0.444614	0.386940	0.335443	0.279345	0.174555	0.102399	0.064359	0.037244
$V_2(2)$	0.924384	1.000000	0.961426	0.821891	0.709185	0.615277	0.544643	0.490779	0.449165	0.391759	0.281746	0.197701	0.145354	0.105192
$V_2(3)$	0.842889	0.961426	1.000000	0.904505	0.799116	0.708122	0.637699	0.587884	0.567862	0.563140	0.512815	0.404074	0.319114	0.246797
$V_2(4)$	0.710191	0.821891	0.904505	1.000000	0.968227	0.909249	0.850521	0.804202	0.787573	0.779487	0.749256	0.640304	0.509035	0.396623
$V_2(5)$	0.602984	0.709185	0.799116	0.909249	1.000000	0.979158	0.938374	0.898487	0.868900	0.864572	0.840304	0.762525	0.650335	0.525251
$V_2(6)$	0.512561	0.615277	0.708122	0.809249	0.909249	0.979158	0.984960	0.954071	0.934789	0.909730	0.873392	0.810299	0.730895	0.647617
$V_2(7)$	0.444614	0.544643	0.637699	0.850521	0.938374	0.984960	1.000000	0.985672	0.964953	0.931030	0.874788	0.829419	0.754379	0.684817
$V_2(8)$	0.386940	0.490779	0.587884	0.804202	0.898487	0.954071	0.985672	1.000000	0.989798	0.953038	0.867556	0.844797	0.786273	0.751402
$V_2(9)$	0.335788	0.461235	0.567862	0.779487	0.868290	0.934789	0.964953	0.989798	1.000000	0.973999	0.900475	0.842889	0.786273	0.751402
$V_2(10)$	0.335788	0.461235	0.567862	0.779487	0.868290	0.934789	0.964953	0.989798	1.000000	0.973999	0.900475	0.842889	0.786273	0.751402
$V_2(11)$	0.279345	0.391759	0.512815	0.717399	0.792564	0.831029	0.847788	0.867556	0.900475	0.960351	0.941543	0.831856	0.719476	0.620752
$V_2(12)$	0.174555	0.281746	0.404074	0.578646	0.640304	0.673392	0.689419	0.711573	0.753945	0.842788	0.948743	0.948743	0.864738	0.719476
$V_2(13)$	0.102399	0.197701	0.319114	0.453738	0.530895	0.530895	0.543739	0.564023	0.608746	0.705852	0.831856	0.948743	0.966093	0.857269
$V_2(14)$	0.064359	0.145354	0.246797	0.360495	0.396623	0.417554	0.427929	0.444797	0.487545	0.582381	0.715034	0.864738	0.942883	0.870593
$V_2(15)$	0.037244	0.107523	0.189608	0.264567	0.288251	0.296125	0.298795	0.306658	0.342894	0.428032	0.554317	0.719476	0.857269	0.942883
$V_2(16)$	0.043018	0.105192	0.172086	0.224191	0.233080	0.237617	0.234817	0.236273	0.266958	0.343356	0.460085	0.620752	0.767103	0.870593
$V_2(17)$	0.047837	0.092892	0.135447	0.189141	0.162251	0.161760	0.156041	0.151402	0.175239	0.235273	0.331154	0.465666	0.595420	0.831875

表 93 設計風モデル相関行列 (5月, その1)

$U_1(1)$	1.000000	0.919973	0.818812	0.705902	0.641185	0.571487	0.504529	0.452341	0.415055	0.475021	0.420449	0.324666	0.246698	0.164785	0.168000	0.178933
$U_1(2)$	0.919973	1.000000	0.956741	0.844767	0.772280	0.693197	0.617780	0.546582	0.567580	0.581389	0.503546	0.386155	0.296381	0.203795	0.199289	0.205841
$U_1(3)$	0.818812	0.956741	1.000000	0.934075	0.867273	0.790046	0.712390	0.662631	0.672746	0.627974	0.589585	0.455855	0.353064	0.259794	0.185572	0.184554
$U_1(4)$	0.705902	0.844767	0.934075	1.000000	0.976712	0.924076	0.860225	0.810896	0.809444	0.712224	0.650118	0.409770	0.292142	0.171658	0.130754	0.123983
$U_1(5)$	0.641185	0.772280	0.867273	0.976712	1.000000	0.979260	0.933304	0.889117	0.867554	0.759534	0.683177	0.417518	0.281474	0.114908	0.108406	0.106877
$U_1(6)$	0.571487	0.693197	0.790046	0.924076	0.979260	1.000000	0.981521	0.945656	0.929757	0.896916	0.795146	0.599308	0.418186	0.124306	0.085347	0.088000
$U_1(7)$	0.504529	0.617780	0.712390	0.860225	0.933304	0.981521	1.000000	0.981494	0.957326	0.912000	0.816199	0.606877	0.418186	0.124306	0.085347	0.088000
$U_1(8)$	0.452341	0.546582	0.662631	0.810896	0.889117	0.945656	0.981494	1.000000	0.986382	0.935183	0.816199	0.606877	0.418186	0.124306	0.085347	0.088000
$U_1(9)$	0.415055	0.567580	0.672746	0.809444	0.867554	0.929757	0.957326	0.986382	1.000000	0.967815	0.829212	0.677667	0.487398	0.316779	0.112555	0.099668
$U_1(10)$	0.475021	0.581389	0.627974	0.809444	0.867554	0.896916	0.912000	0.935183	0.967815	1.000000	0.932731	0.782017	0.598847	0.421313	0.239287	0.126694
$U_1(11)$	0.420449	0.503546	0.589754	0.712224	0.759534	0.795146	0.795195	0.816199	0.852912	0.932731	1.000000	0.913486	0.751304	0.565963	0.347764	0.148706
$U_1(12)$	0.324666	0.386155	0.455855	0.503546	0.571487	0.617780	0.693197	0.772280	0.860225	0.924076	0.976712	1.000000	0.900304	0.745700	0.599154	0.258117
$U_1(13)$	0.246698	0.296381	0.353064	0.409770	0.417518	0.418186	0.416849	0.440667	0.487398	0.598847	0.751304	0.900304	1.000000	0.916367	0.702492	0.400977
$U_1(14)$	0.203809	0.251087	0.285616	0.292142	0.281474	0.265016	0.253768	0.272041	0.316779	0.421313	0.565963	0.745700	0.916367	1.000000	0.864469	0.567537
$U_1(15)$	0.164785	0.203795	0.209794	0.171658	0.149008	0.124306	0.108103	0.120794	0.158731	0.239287	0.347764	0.509154	0.702492	0.864469	1.000000	0.921040
$U_1(16)$	0.168000	0.199289	0.185572	0.130754	0.108406	0.085347	0.088712	0.078798	0.112555	0.171584	0.241064	0.378473	0.554367	0.731022	1.000000	0.929289
$U_1(17)$	0.178933	0.205841	0.184554	0.123983	0.106877	0.088000	0.069281	0.073589	0.099668	0.126694	0.148706	0.258117	0.400977	0.567537	0.781956	1.000000
$U_2(1)$	0.194713	0.194713	0.313911	0.277978	0.253904	0.232066	0.217164	0.216748	0.210929	0.174179	0.117157	0.082521	0.099782	0.121441	0.119516	0.120809
$U_2(2)$	-0.118610	-0.118610	0.022900	0.020482	0.021652	0.028773	0.040695	0.059799	0.051681	0.010464	-0.015751	-0.015634	0.033121	0.059784	0.052268	0.037542
$U_2(3)$	-0.493985	-0.216931	-0.084897	-0.076675	-0.069000	-0.048462	-0.026356	-0.000840	-0.012715	-0.054787	-0.064849	-0.046673	0.019271	0.053200	0.043318	0.015711
$U_2(4)$	-0.385680	-0.168704	-0.072972	-0.062210	-0.088413	-0.077043	-0.068091	-0.037371	-0.051623	-0.080142	-0.065466	-0.038298	0.040912	0.082970	0.051893	-0.007589
$U_2(5)$	-0.337224	-0.156788	-0.077863	-0.098034	-0.104455	-0.097637	-0.079814	-0.060458	-0.071766	-0.090851	-0.065925	-0.028409	0.049909	0.091051	0.058132	-0.009997
$U_2(6)$	-0.187298	-0.083594	-0.104010	-0.104010	-0.111189	-0.105008	-0.088075	-0.070172	-0.079578	-0.091901	-0.061874	-0.024016	0.050542	0.082902	0.054398	-0.015578
$U_2(7)$	-0.268885	-0.147515	-0.093736	-0.111473	-0.116536	-0.107503	-0.088870	-0.073242	-0.081826	-0.089870	-0.057100	-0.020026	0.048049	0.084461	0.051244	-0.018034
$U_2(8)$	-0.257686	-0.155038	-0.110067	-0.125400	-0.127454	-0.116243	-0.094865	-0.077387	-0.084591	-0.090667	-0.058509	-0.020130	0.048688	0.084414	0.050608	-0.017077
$U_2(9)$	-0.249384	-0.153477	-0.114494	-0.135352	-0.140312	-0.131242	-0.110798	-0.093656	-0.100370	-0.102483	-0.063973	-0.019102	0.058153	0.098063	0.061929	-0.091919
$U_2(10)$	-0.238451	-0.150057	-0.117051	-0.147063	-0.157468	-0.150835	-0.130795	-0.116673	-0.129120	-0.123962	-0.071048	-0.012902	0.071287	0.117566	0.077239	-0.008389
$U_2(11)$	-0.228502	-0.159158	-0.133842	-0.166578	-0.174628	-0.173250	-0.153288	-0.141642	-0.159259	-0.141861	-0.079354	-0.012170	0.079880	0.088388	0.077239	-0.0202673
$U_2(12)$	-0.217428	-0.1719385	-0.163162	-0.191200	-0.201654	-0.194632	-0.174748	-0.169822	-0.179445	-0.164293	-0.109821	-0.055521	0.038872	0.086956	0.058980	-0.030292
$U_2(13)$	-0.223220	-0.209173	-0.200211	-0.218022	-0.221501	-0.212669	-0.193237	-0.190344	-0.200899	-0.186243	-0.136475	-0.101037	-0.019606	0.035097	0.026078	-0.053147
$U_2(14)$	-0.248174	-0.248150	-0.239039	-0.251136	-0.2570145	-0.238584	-0.218851	-0.217008	-0.227540	-0.213049	-0.168923	-0.144653	-0.086708	-0.024275	-0.094103	-0.180777
$U_2(15)$	-0.244280	-0.253483	-0.242336	-0.239394	-0.229160	-0.211925	-0.188347	-0.186970	-0.200470	-0.188001	-0.172290	-0.168945	-0.128168	-0.141097	-0.189468	-0.255593
$U_2(16)$	-0.211387	-0.212752	-0.203653	-0.201150	-0.183090	-0.135320	-0.137334	-0.137334	-0.155303	-0.167625	-0.160132	-0.170466	-0.138291	-0.142352	-0.238737	-0.268016
$U_2(17)$	-0.123593	-0.110864	-0.108307	-0.086032	-0.057570	-0.027938	-0.002663	-0.010030	-0.037042	-0.066769	-0.069455	-0.074781	-0.059547	-0.046733	-0.119071	-0.185833

表 94 設計風モデル相関行列 (5月, その2)

$V_1(1)$	$V_1(2)$	$V_1(3)$	$V_1(4)$	$V_1(5)$	$V_1(6)$	$V_1(7)$	$V_1(8)$	$V_1(9)$	$V_1(10)$	$V_1(11)$	$V_1(12)$	$V_1(13)$	$V_1(14)$	$V_1(15)$	$V_1(16)$	$V_1(17)$
-0.133884	-0.434565	-0.493985	-0.385650	-0.337224	-0.292621	-0.268885	-0.257686	-0.249384	-0.238451	-0.227428	-0.217428	-0.207428	-0.248174	-0.214280	-0.211387	-0.123553
0.194713	-0.118610	-0.216831	-0.168704	-0.156677	-0.148798	-0.147515	-0.150308	-0.153477	-0.150057	-0.150158	-0.179385	-0.209173	-0.248450	-0.253183	-0.212752	-0.110864
0.313391	0.029200	-0.084897	-0.077863	-0.078633	-0.083934	-0.089736	-0.110067	-0.114494	-0.117051	-0.138842	-0.163162	-0.200211	-0.239039	-0.242336	-0.210807	-0.108907
0.277378	0.029482	-0.076675	-0.086240	-0.098034	-0.104010	-0.111473	-0.125400	-0.135352	-0.147063	-0.166578	-0.191200	-0.251136	-0.253694	-0.239394	-0.201160	-0.086692
0.253304	0.021652	-0.066900	-0.098413	-0.104455	-0.111159	-0.116536	-0.124745	-0.135242	-0.147063	-0.178628	-0.201654	-0.221191	-0.250145	-0.220145	-0.183090	-0.079388
0.232066	0.028773	-0.048462	-0.077043	-0.097637	-0.105008	-0.107503	-0.116243	-0.131242	-0.150335	-0.175250	-0.194632	-0.212639	-0.238354	-0.211925	-0.158681	-0.027938
0.217164	0.040695	-0.026356	-0.058091	-0.079814	-0.088075	-0.088870	-0.094865	-0.107098	-0.130795	-0.152284	-0.174748	-0.192377	-0.218851	-0.188347	-0.135320	-0.002463
0.216748	0.025799	-0.000840	-0.037371	-0.048458	-0.070172	-0.073242	-0.077387	-0.093356	-0.116673	-0.141642	-0.169822	-0.190344	-0.217008	-0.186730	-0.137334	-0.010030
0.210299	0.051681	-0.012175	-0.051623	-0.071766	-0.073978	-0.081826	-0.084591	-0.103070	-0.127120	-0.150259	-0.179445	-0.200899	-0.227540	-0.200470	-0.155303	-0.037042
0.174179	0.010464	-0.064787	-0.080442	-0.090851	-0.091901	-0.089870	-0.090967	-0.102483	-0.123962	-0.141861	-0.164293	-0.186243	-0.213049	-0.198001	-0.167625	-0.066769
0.117157	-0.015751	-0.064849	-0.065466	-0.069255	-0.061874	-0.057100	-0.058509	-0.063973	-0.071048	-0.079554	-0.106621	-0.136475	-0.168923	-0.172290	-0.160192	-0.069465
0.092321	-0.015634	-0.046673	-0.033298	-0.028409	-0.024016	-0.020206	-0.020130	-0.019102	-0.016202	-0.012170	-0.005521	-0.101057	-0.144653	-0.168945	-0.170466	-0.074781
0.099782	0.033121	0.019271	0.040912	0.049909	0.050542	0.048049	0.048668	0.058153	0.071297	0.079390	0.085872	-0.019606	-0.086708	-0.128168	-0.138291	-0.059547
0.121441	0.059784	0.053200	0.082070	0.091051	0.089202	0.084461	0.084144	0.098403	0.117556	0.130794	0.086586	0.038607	-0.068333	-0.129687	-0.142352	-0.046733
0.119516	0.052368	0.043318	0.051893	0.054398	0.051244	0.050608	0.050608	0.061929	0.077239	0.088388	0.058980	0.026078	-0.024275	-0.141097	-0.191981	-0.119071
0.120809	0.037542	0.015711	-0.007589	-0.009987	-0.015578	-0.018034	-0.017077	-0.019199	-0.008389	-0.002373	-0.030292	-0.055147	-0.094103	-0.189438	-0.238737	-0.174674
0.130730	0.035196	0.000290	-0.051005	-0.070631	-0.084068	-0.088893	-0.088561	-0.091835	-0.099882	-0.103168	-0.130560	-0.150642	-0.180777	-0.255993	-0.268046	-0.185833
1.000000	0.921133	0.825419	0.664648	0.483157	0.411011	0.357897	0.334522	0.291341	0.198164	0.158164	0.130213	0.074220	0.032627	0.046102	0.057137	0.087137
0.921133	1.000000	0.955452	0.735489	0.630711	0.600711	0.521299	0.470538	0.457028	0.409682	0.316293	0.249680	0.198322	0.154566	0.156795	0.117382	0.173682
0.825419	0.955452	1.000000	0.904555	0.812988	0.726721	0.645795	0.596712	0.587622	0.585000	0.537194	0.430287	0.349321	0.263976	0.213153	0.199292	0.128712
0.664648	0.735489	0.904555	1.000000	0.975717	0.924761	0.863574	0.821571	0.816856	0.810656	0.749952	0.621022	0.508687	0.414061	0.301944	0.258457	0.167390
0.483157	0.600711	0.726721	0.924761	0.981851	1.000000	0.983512	0.954876	0.943383	0.929399	0.853098	0.718793	0.594463	0.463116	0.336635	0.275310	0.161103
0.411011	0.521299	0.645795	0.863574	0.939801	0.983512	1.000000	0.986798	0.970189	0.938111	0.866531	0.732409	0.606482	0.501299	0.363381	0.287849	0.162864
0.357897	0.470538	0.560712	0.821571	0.903495	0.954876	0.986798	1.000000	0.9390547	0.954761	0.880488	0.749085	0.624825	0.517249	0.377691	0.300210	0.174493
0.334094	0.457028	0.587622	0.817193	0.890759	0.946383	0.970189	0.990547	1.000000	0.978356	0.909575	0.784514	0.661351	0.551632	0.406435	0.324007	0.194116
0.334922	0.452792	0.585000	0.810656	0.884267	0.920399	0.938111	0.954761	0.978356	1.000000	0.963794	0.859275	0.742040	0.628699	0.474836	0.383146	0.232479
0.291341	0.409682	0.537194	0.749952	0.810388	0.853098	0.866531	0.880488	0.909875	0.963794	1.000000	0.939674	0.842063	0.731461	0.585500	0.459346	0.277659
0.198164	0.312993	0.430287	0.621022	0.686390	0.718793	0.732409	0.749085	0.784514	0.859275	0.939674	1.000000	0.949314	0.855984	0.703247	0.586511	0.353553
0.130213	0.249680	0.349321	0.508687	0.562929	0.594463	0.606482	0.624825	0.661351	0.742040	0.842063	0.949314	1.000000	0.951170	0.814278	0.688538	0.422761
0.074220	0.198322	0.283976	0.414061	0.463416	0.487688	0.501299	0.517249	0.551632	0.628699	0.731461	0.855984	0.951170	1.000000	0.883732	0.775266	0.475713
0.032627	0.154566	0.213153	0.301944	0.336835	0.356272	0.363381	0.377691	0.406435	0.474836	0.565500	0.703247	0.842063	0.951170	1.000000	0.883732	0.886777
0.046102	0.158795	0.199282	0.253457	0.275310	0.282620	0.287849	0.300210	0.324007	0.383146	0.459346	0.586511	0.688538	0.775266	0.883732	1.000000	0.679313
0.057137	0.117382	0.128712	0.157390	0.161103	0.161120	0.162864	0.174493	0.194116	0.232479	0.277659	0.353553	0.422761	0.475713	0.586777	0.679313	1.000000

表 95 設計風モデル相関行列 (6月, その1)

$U_1(1)$	$U_1(2)$	$U_1(3)$	$U_1(4)$	$U_1(5)$	$U_1(6)$	$U_1(7)$	$U_1(8)$	$U_1(9)$	$U_1(10)$	$U_1(11)$	$U_1(12)$	$U_1(13)$	$U_1(14)$	$U_1(15)$	$U_1(16)$	$U_1(17)$
$U_1(1)$	1.000000	0.914889	0.790728	0.636089	0.498195	0.424169	0.365863	0.357704	0.392083	0.391201	0.35454	0.347140	0.321231	0.221856	0.111693	-0.022713
$U_1(2)$	0.914889	1.000000	0.938983	0.786719	0.649277	0.567135	0.510446	0.502045	0.498001	0.440622	0.416629	0.413659	0.377913	0.259740	0.133909	-0.016030
$U_1(3)$	0.790728	0.938983	1.000000	0.920674	0.797586	0.724629	0.666958	0.666547	0.628531	0.637637	0.650799	0.650799	0.430575	0.328832	0.139586	-0.022780
$U_1(4)$	0.636089	0.786719	0.920674	1.000000	0.980731	0.883632	0.825810	0.812746	0.810478	0.806614	0.806174	0.806174	0.472851	0.291853	0.110117	-0.046664
$U_1(5)$	0.498195	0.649277	0.797586	0.980731	1.000000	0.980731	0.980731	0.980731	0.980731	0.980731	0.980731	0.980731	0.491520	0.296160	0.113176	-0.048853
$U_1(6)$	0.424169	0.567135	0.724629	0.883632	0.980731	1.000000	0.980731	0.980731	0.980731	0.980731	0.980731	0.980731	0.491420	0.293581	0.109343	-0.052322
$U_1(7)$	0.365863	0.510446	0.666958	0.825810	0.980731	0.980731	1.000000	0.980731	0.980731	0.980731	0.980731	0.980731	0.491420	0.293581	0.109343	-0.052322
$U_1(8)$	0.357704	0.502045	0.666547	0.810478	0.980731	0.980731	0.980731	1.000000	0.980731	0.980731	0.980731	0.980731	0.491420	0.293581	0.109343	-0.052322
$U_1(9)$	0.392083	0.520312	0.628531	0.812746	0.980731	0.980731	0.980731	0.980731	1.000000	0.980731	0.980731	0.980731	0.491420	0.293581	0.109343	-0.052322
$U_1(10)$	0.391201	0.520312	0.628531	0.812746	0.980731	0.980731	0.980731	0.980731	0.980731	1.000000	0.980731	0.980731	0.491420	0.293581	0.109343	-0.052322
$U_1(11)$	0.35454	0.440622	0.637637	0.806614	0.980731	0.980731	0.980731	0.980731	0.980731	0.980731	1.000000	0.980731	0.491420	0.293581	0.109343	-0.052322
$U_1(12)$	0.347140	0.416629	0.650799	0.806614	0.980731	0.980731	0.980731	0.980731	0.980731	0.980731	0.980731	1.000000	0.491420	0.293581	0.109343	-0.052322
$U_1(13)$	0.321231	0.377913	0.430575	0.472851	0.491420	0.472851	0.491420	0.491420	0.491420	0.491420	0.491420	0.491420	1.000000	0.808207	0.622122	0.384907
$U_1(14)$	0.221856	0.259740	0.293581	0.293581	0.293581	0.293581	0.293581	0.293581	0.293581	0.293581	0.293581	0.293581	0.293581	1.000000	0.777432	0.517054
$U_1(15)$	0.111693	0.133909	0.139586	0.110117	0.113176	0.109343	0.107635	0.141081	0.174617	0.237997	0.328431	0.411027	0.532054	0.777432	1.000000	0.828356
$U_1(16)$	-0.022713	-0.016030	-0.022780	-0.049664	-0.049664	-0.049664	-0.049664	-0.049664	-0.049664	-0.049664	-0.049664	-0.049664	-0.049664	-0.049664	-0.049664	1.000000
$U_1(17)$	-0.022713	-0.016030	-0.022780	-0.049664	-0.049664	-0.049664	-0.049664	-0.049664	-0.049664	-0.049664	-0.049664	-0.049664	-0.049664	-0.049664	-0.049664	-0.049664
$U_2(1)$	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149
$U_2(2)$	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149	0.003149
$U_2(3)$	-0.100116	-0.100116	-0.100116	-0.100116	-0.100116	-0.100116	-0.100116	-0.100116	-0.100116	-0.100116	-0.100116	-0.100116	-0.100116	-0.100116	-0.100116	-0.100116
$U_2(4)$	-0.190397	-0.190397	-0.190397	-0.190397	-0.190397	-0.190397	-0.190397	-0.190397	-0.190397	-0.190397	-0.190397	-0.190397	-0.190397	-0.190397	-0.190397	-0.190397
$U_2(5)$	-0.144610	-0.144610	-0.144610	-0.144610	-0.144610	-0.144610	-0.144610	-0.144610	-0.144610	-0.144610	-0.144610	-0.144610	-0.144610	-0.144610	-0.144610	-0.144610
$U_2(6)$	-0.123554	-0.123554	-0.123554	-0.123554	-0.123554	-0.123554	-0.123554	-0.123554	-0.123554	-0.123554	-0.123554	-0.123554	-0.123554	-0.123554	-0.123554	-0.123554
$U_2(7)$	-0.119501	-0.119501	-0.119501	-0.119501	-0.119501	-0.119501	-0.119501	-0.119501	-0.119501	-0.119501	-0.119501	-0.119501	-0.119501	-0.119501	-0.119501	-0.119501
$U_2(8)$	-0.127607	-0.127607	-0.127607	-0.127607	-0.127607	-0.127607	-0.127607	-0.127607	-0.127607	-0.127607	-0.127607	-0.127607	-0.127607	-0.127607	-0.127607	-0.127607
$U_2(9)$	-0.125223	-0.125223	-0.125223	-0.125223	-0.125223	-0.125223	-0.125223	-0.125223	-0.125223	-0.125223	-0.125223	-0.125223	-0.125223	-0.125223	-0.125223	-0.125223
$U_2(10)$	-0.108324	-0.108324	-0.108324	-0.108324	-0.108324	-0.108324	-0.108324	-0.108324	-0.108324	-0.108324	-0.108324	-0.108324	-0.108324	-0.108324	-0.108324	-0.108324
$U_2(11)$	-0.091789	-0.091789	-0.091789	-0.091789	-0.091789	-0.091789	-0.091789	-0.091789	-0.091789	-0.091789	-0.091789	-0.091789	-0.091789	-0.091789	-0.091789	-0.091789
$U_2(12)$	-0.091586	-0.091586	-0.091586	-0.091586	-0.091586	-0.091586	-0.091586	-0.091586	-0.091586	-0.091586	-0.091586	-0.091586	-0.091586	-0.091586	-0.091586	-0.091586
$U_2(13)$	-0.100593	-0.100593	-0.100593	-0.100593	-0.100593	-0.100593	-0.100593	-0.100593	-0.100593	-0.100593	-0.100593	-0.100593	-0.100593	-0.100593	-0.100593	-0.100593
$U_2(14)$	-0.095495	-0.095495	-0.095495	-0.095495	-0.095495	-0.095495	-0.095495	-0.095495	-0.095495	-0.095495	-0.095495	-0.095495	-0.095495	-0.095495	-0.095495	-0.095495
$U_2(15)$	-0.074026	-0.074026	-0.074026	-0.074026	-0.074026	-0.074026	-0.074026	-0.074026	-0.074026	-0.074026	-0.074026	-0.074026	-0.074026	-0.074026	-0.074026	-0.074026
$U_2(16)$	-0.064447	-0.064447	-0.064447	-0.064447	-0.064447	-0.064447	-0.064447	-0.064447	-0.064447	-0.064447	-0.064447	-0.064447	-0.064447	-0.064447	-0.064447	-0.064447
$U_2(17)$	-0.059095	-0.059095	-0.059095	-0.059095	-0.059095	-0.059095	-0.059095	-0.059095	-0.059095	-0.059095	-0.059095	-0.059095	-0.059095	-0.059095	-0.059095	-0.059095

表 96 設計風モデル相関行列 (6月, その2)

$V_1(1)$	$V_1(2)$	$V_1(3)$	$V_1(4)$	$V_1(5)$	$V_1(6)$	$V_1(7)$	$V_1(8)$	$V_1(9)$	$V_1(10)$	$V_1(11)$	$V_1(12)$	$V_1(13)$	$V_1(14)$	$V_1(15)$	$V_1(16)$	$V_1(17)$
0.010331	-0.283300	-0.327780	-0.190397	-0.144610	-0.123534	-0.119501	-0.125223	-0.091789	-0.091586	-0.100593	-0.091586	-0.100593	-0.091586	-0.074026	-0.064447	-0.059035
$V_1(2)$	0.302576	0.003149	-0.045462	-0.039546	-0.050316	-0.071583	-0.102782	-0.116005	-0.109587	-0.098547	-0.116007	-0.123046	-0.115013	-0.087911	-0.064639	-0.051791
$V_1(3)$	0.388324	0.114271	-0.004459	-0.016290	-0.036392	-0.064588	-0.102852	-0.126318	-0.134611	-0.136872	-0.167169	-0.172632	-0.162516	-0.085395	-0.065278	-0.052768
$V_1(4)$	0.286696	0.058987	-0.045004	-0.084272	-0.102951	-0.125372	-0.159061	-0.186135	-0.205334	-0.218824	-0.245883	-0.249547	-0.237455	-0.193138	-0.138174	-0.026398
$V_1(5)$	0.263490	0.062214	-0.027847	-0.056654	-0.075701	-0.118638	-0.149954	-0.178766	-0.198518	-0.216495	-0.232543	-0.254707	-0.249433	-0.190905	-0.142500	-0.026636
$V_1(6)$	0.254595	0.075773	-0.000526	-0.039976	-0.082751	-0.107701	-0.138178	-0.162973	-0.186919	-0.210189	-0.224719	-0.251386	-0.240801	-0.198609	-0.145319	-0.017692
$V_1(7)$	0.249694	0.069345	0.032268	-0.015459	-0.036803	-0.065527	-0.121476	-0.144202	-0.167156	-0.193317	-0.227671	-0.255861	-0.246404	-0.184663	-0.134636	-0.008972
$V_1(8)$	0.266744	0.136283	0.022987	-0.024412	-0.029097	-0.069152	-0.117464	-0.142911	-0.162401	-0.168832	-0.201250	-0.210656	-0.201527	-0.158057	-0.106618	-0.006165
$V_1(9)$	0.271119	0.145747	0.087685	0.041072	0.010527	-0.023856	-0.086487	-0.108371	-0.139224	-0.165894	-0.201138	-0.211920	-0.202776	-0.156357	-0.098369	-0.015586
$V_1(10)$	0.239704	0.111535	0.058793	0.030114	0.007912	-0.022268	-0.078817	-0.101848	-0.137966	-0.166442	-0.202094	-0.214094	-0.206587	-0.156320	-0.102596	-0.035095
$V_1(11)$	0.188848	0.067768	0.029074	0.007124	-0.005285	-0.027493	-0.075284	-0.099208	-0.129504	-0.158854	-0.187313	-0.195056	-0.185731	-0.128859	-0.092265	-0.040852
$V_1(12)$	0.160536	0.060773	0.028187	0.033928	0.029805	0.011984	-0.025570	-0.041215	-0.064273	-0.082900	-0.110199	-0.130418	-0.111932	-0.056016	-0.047234	-0.041225
$V_1(13)$	0.166579	0.076777	0.057767	0.082266	0.082599	0.066158	0.026067	0.014976	0.002512	-0.002863	-0.003736	-0.017496	-0.016395	0.040371	0.020064	-0.007288
$V_1(14)$	0.175017	0.097314	0.097187	0.145894	0.155719	0.142046	0.107400	0.100398	0.099228	0.109084	0.100842	0.121689	0.127201	0.131988	0.099482	0.028257
$V_1(15)$	0.168197	0.128801	0.156595	0.233810	0.251569	0.244241	0.211382	0.211399	0.225392	0.241253	0.229006	0.232982	0.256169	0.231959	0.112285	0.085211
$V_1(16)$	0.154161	0.169698	0.217873	0.283182	0.289452	0.291772	0.255266	0.257010	0.297077	0.297385	0.302880	0.314999	0.338297	0.369044	0.281344	-0.051219
$V_1(17)$	0.087554	0.139240	0.198875	0.263402	0.279510	0.270835	0.243381	0.230086	0.246064	0.259482	0.248724	0.263374	0.278194	0.284056	0.241282	0.042216
$V_2(1)$	1.000000	0.916466	0.803468	0.634532	0.532228	0.441829	0.392351	0.292392	0.254321	0.237339	0.187933	0.175362	0.163966	0.155819	0.147866	0.095738
$V_2(2)$	0.916466	1.000000	0.941528	0.767949	0.664172	0.572201	0.427439	0.400653	0.386779	0.356812	0.296628	0.277967	0.270261	0.263851	0.215714	0.068078
$V_2(3)$	0.803468	0.941528	1.000000	0.890468	0.811923	0.728907	0.583632	0.571877	0.558325	0.518298	0.445039	0.411532	0.389803	0.335427	0.285728	0.094008
$V_2(4)$	0.634532	0.767949	0.890468	1.000000	0.974834	0.924537	0.866878	0.798852	0.774962	0.739852	0.621504	0.662683	0.592081	0.428266	0.328108	0.130510
$V_2(5)$	0.532228	0.664172	0.811923	0.974834	1.000000	0.981022	0.940346	0.852588	0.825258	0.792319	0.680650	0.607177	0.558022	0.449962	0.335484	0.123769
$V_2(6)$	0.441829	0.572301	0.728807	0.924537	0.981022	1.000000	0.982972	0.922006	0.896531	0.825188	0.706294	0.622572	0.566937	0.454900	0.325346	0.119744
$V_2(7)$	0.360620	0.491843	0.653102	0.866878	0.940346	0.982972	1.000000	0.980866	0.913908	0.829380	0.706255	0.616016	0.555081	0.441855	0.306453	0.108173
$V_2(8)$	0.292351	0.427439	0.593632	0.812296	0.892696	0.944970	0.980866	1.000000	0.938601	0.846206	0.724556	0.629432	0.563367	0.446863	0.311081	0.109654
$V_2(9)$	0.262392	0.400653	0.571877	0.793852	0.874515	0.929206	0.955673	0.986646	1.000000	0.972120	0.885908	0.772330	0.677353	0.608676	0.484886	0.129742
$V_2(10)$	0.254321	0.386779	0.558325	0.779462	0.852588	0.896531	0.913908	0.938601	0.972120	1.000000	0.954364	0.862786	0.777417	0.709660	0.578097	0.169177
$V_2(11)$	0.237339	0.356812	0.518298	0.725288	0.792319	0.825188	0.829380	0.846206	0.885908	0.943644	1.000000	0.948553	0.884118	0.822868	0.683665	0.214143
$V_2(12)$	0.187933	0.296628	0.445039	0.621504	0.680650	0.706294	0.706255	0.724556	0.772330	0.862786	0.948553	1.000000	0.944084	0.890563	0.764645	0.227190
$V_2(13)$	0.175362	0.279677	0.411532	0.562663	0.607177	0.622572	0.616016	0.629432	0.677353	0.774117	0.884118	0.944084	1.000000	0.949967	0.809663	0.651040
$V_2(14)$	0.169698	0.270261	0.389803	0.520811	0.558022	0.566937	0.555081	0.563367	0.709660	0.822868	0.890563	0.894967	1.000000	0.850265	0.680300	0.257919
$V_2(15)$	0.155819	0.238511	0.335427	0.429266	0.449962	0.454900	0.441855	0.446863	0.484886	0.578097	0.683665	0.764645	0.809663	1.000000	0.757442	0.274854
$V_2(16)$	0.147866	0.215714	0.285728	0.329108	0.335484	0.329346	0.311081	0.306453	0.311081	0.32839	0.413330	0.496956	0.558399	0.651040	1.000000	0.253418
$V_2(17)$	0.095738	0.068078	0.094008	0.130510	0.123769	0.119744	0.108173	0.109654	0.129742	0.169177	0.221443	0.249908	0.257919	0.274854	0.253418	1.000000

表 97 設計風モデル相関行列 (7月, その1)

	$U_1(1)$	$U_1(2)$	$U_1(3)$	$U_1(4)$	$U_1(5)$	$U_1(6)$	$U_1(7)$	$U_1(8)$	$U_1(9)$	$U_1(10)$	$U_1(11)$	$U_1(12)$	$U_1(13)$	$U_1(14)$	$U_1(15)$	$U_1(16)$	$U_1(17)$
$U_1(1)$	1.000000	0.292262	0.851221	0.748158	0.685402	0.621547	0.555465	0.485446	0.458443	0.469003	0.491567	0.455561	0.431338	0.411885	0.332901	0.263692	0.113275
$U_1(2)$	0.292262	1.000000	0.958948	0.811049	0.767486	0.693407	0.616332	0.544331	0.520642	0.527881	0.542834	0.495058	0.473325	0.456136	0.367076	0.271917	0.104936
$U_1(3)$	0.851221	0.958948	1.000000	0.930479	0.796291	0.739291	0.724733	0.653605	0.632302	0.638358	0.647196	0.630335	0.527243	0.416735	0.301196	0.128717	
$U_1(4)$	0.748158	0.811049	0.930479	1.000000	0.986290	0.939757	0.887429	0.829294	0.839510	0.831189	0.804062	0.732403	0.677084	0.604864	0.440366	0.293056	0.144926
$U_1(5)$	0.685402	0.767486	0.796291	0.986290	1.000000	0.984720	0.949018	0.901242	0.881537	0.877903	0.860361	0.782262	0.716178	0.627574	0.448195	0.295912	0.147769
$U_1(6)$	0.621547	0.693407	0.739291	0.939757	0.984720	1.000000	0.984424	0.947197	0.926809	0.919255	0.897207	0.804639	0.739231	0.652322	0.441483	0.290836	0.152533
$U_1(7)$	0.555465	0.616332	0.653605	0.887429	0.949018	0.984424	1.000000	0.982000	0.938862	0.930315	0.907315	0.811233	0.728681	0.624423	0.425511	0.275173	0.155106
$U_1(8)$	0.485446	0.544331	0.616332	0.811049	0.901242	0.947197	0.982000	1.000000	0.969084	0.957010	0.930315	0.813588	0.728681	0.624423	0.425511	0.275173	0.155106
$U_1(9)$	0.458443	0.520642	0.632302	0.809290	0.881537	0.926809	0.938862	0.930315	1.000000	0.977252	0.946235	0.829613	0.744934	0.635985	0.426799	0.275667	0.153370
$U_1(10)$	0.469003	0.527881	0.638358	0.811049	0.877903	0.915255	0.938862	0.937010	0.977252	1.000000	0.962527	0.875287	0.799805	0.689198	0.467103	0.322734	0.168361
$U_1(11)$	0.491567	0.542834	0.647291	0.804062	0.860361	0.887207	0.897315	0.900320	0.916235	0.962527	1.000000	0.934031	0.861149	0.746815	0.515821	0.373504	0.203529
$U_1(12)$	0.455614	0.495058	0.590933	0.734203	0.782262	0.804639	0.811233	0.813588	0.829613	0.875287	0.934031	1.000000	0.915534	0.805120	0.572039	0.428737	0.247370
$U_1(13)$	0.431338	0.473325	0.560335	0.677084	0.716178	0.739231	0.728681	0.727699	0.744934	0.799805	0.861149	0.915534	1.000000	0.892668	0.633530	0.508903	0.296771
$U_1(14)$	0.411885	0.456136	0.527243	0.604864	0.627574	0.632222	0.624423	0.619766	0.635985	0.689198	0.746815	0.805420	0.892668	1.000000	0.739549	0.578058	0.365886
$U_1(15)$	0.332901	0.367076	0.416735	0.440366	0.448195	0.441483	0.425511	0.412837	0.420879	0.467103	0.515821	0.572039	0.635330	0.739549	1.000000	0.748002	0.404623
$U_1(16)$	0.263692	0.271917	0.301196	0.293056	0.293912	0.290836	0.275173	0.268371	0.275667	0.322734	0.373504	0.428737	0.495252	0.578058	0.748002	1.000000	0.535282
$U_1(17)$	0.113275	0.104936	0.128717	0.144926	0.147769	0.152533	0.155106	0.153887	0.153370	0.168961	0.203529	0.247370	0.296771	0.365886	0.404623	0.535282	1.000000
$U_2(1)$	-0.252502	0.088763	-0.065193	-0.056022	-0.122015	-0.131839	-0.129486	-0.098897	-0.077233	-0.095090	-0.064281	-0.025248	0.044033	0.115434	0.120986	-0.001668	
$U_2(2)$	0.060078	-0.060078	0.060078	-0.18718	-0.126024	-0.130710	-0.121045	-0.088430	-0.072957	-0.070029	-0.082922	-0.053505	0.052924	0.117427	0.124047	0.000266	
$U_2(3)$	-0.477664	-0.059248	-0.062743	-0.113833	-0.117377	-0.117629	-0.104945	-0.073081	-0.056845	-0.036334	-0.039281	-0.005779	0.056455	0.117126	0.122542	-0.001755	
$U_2(4)$	-0.127486	-0.0606937	-0.069625	-0.113884	-0.114341	-0.110284	-0.092381	-0.058024	-0.042306	-0.038769	-0.054852	-0.029363	0.000276	0.058898	0.112032	0.112831	-0.008114
$U_2(5)$	-0.202600	-0.069341	-0.079385	-0.120332	-0.118165	-0.111588	-0.091515	-0.053630	-0.035537	-0.027728	-0.047214	-0.021647	0.006386	0.065489	0.113886	0.115458	-0.000573
$U_2(6)$	-0.094558	-0.047349	-0.067586	-0.110879	-0.118865	-0.115555	-0.098911	-0.064632	-0.049328	-0.039767	-0.054261	-0.026438	0.003457	0.066088	0.120170	0.123681	0.004345
$U_2(7)$	-0.072989	-0.023708	-0.050343	-0.113161	-0.122467	-0.124631	-0.112625	-0.082946	-0.070588	-0.067529	-0.080405	-0.040616	-0.005243	0.062890	0.130892	0.131536	0.025334
$U_2(8)$	-0.081047	-0.035680	-0.066638	-0.138712	-0.149644	-0.153357	-0.146523	-0.119929	-0.110537	-0.130012	-0.092668	-0.028399	0.041142	0.118622	0.149501	0.118430	0.069702
$U_2(9)$	-0.110892	-0.081349	-0.113963	-0.188636	-0.202039	-0.206153	-0.199226	-0.173241	-0.167794	-0.193442	-0.166992	-0.094917	-0.02718	0.080132	0.114214	0.069702	
$U_2(10)$	-0.127068	-0.098791	-0.134564	-0.215478	-0.232407	-0.236444	-0.232865	-0.211854	-0.208561	-0.213146	-0.227765	-0.198158	-0.163910	-0.062807	0.070536	0.103148	0.000518
$U_2(11)$	-0.130942	-0.102582	-0.132280	-0.200422	-0.218399	-0.224556	-0.222059	-0.203890	-0.202505	-0.218247	-0.202901	-0.192701	-0.137946	-0.104292	0.100933	-0.024958	
$U_2(12)$	-0.118985	-0.096511	-0.122534	-0.181487	-0.188804	-0.192212	-0.187207	-0.167996	-0.166290	-0.166922	-0.179283	-0.163316	-0.109799	-0.077748	0.040179	-0.059536	
$U_2(13)$	-0.078512	-0.068194	-0.106446	-0.089429	-0.091510	-0.086327	-0.080429	-0.088073	-0.101642	-0.114195	-0.125439	-0.101982	-0.127504	-0.084593	-0.032480	0.051793	

表 98 設計風モデル相関行列 (7月, その2)

$V_1(1)$	$V_1(2)$	$V_1(3)$	$V_1(4)$	$V_1(5)$	$V_1(6)$	$V_1(7)$	$V_1(8)$	$V_1(9)$	$V_1(10)$	$V_1(11)$	$V_1(12)$	$V_1(13)$	$V_1(14)$	$V_1(15)$	$V_1(16)$	$V_1(17)$
-0.025807	-0.311519	-0.370279	-0.252502	-0.200536	-0.170144	-0.147664	-0.127436	-0.120260	-0.094558	-0.081047	-0.081047	-0.116992	-0.127068	-0.130942	-0.118985	-0.078512
$V_1(2)$	0.246045	-0.046193	-0.088763	-0.065193	-0.060078	-0.059248	-0.060637	-0.069941	-0.047549	-0.023708	-0.036680	-0.081349	-0.098791	-0.102632	-0.099511	-0.098194
$V_1(3)$	0.284104	-0.016035	-0.096314	-0.058872	-0.069625	-0.062743	-0.069625	-0.079885	-0.067896	-0.050343	-0.066638	-0.113963	-0.134564	-0.132280	-0.122834	-0.106446
$V_1(4)$	0.116812	-0.068479	-0.136652	-0.136652	-0.118718	-0.113833	-0.113833	-0.120825	-0.116879	-0.113161	-0.138742	-0.188636	-0.215478	-0.200022	-0.181487	-0.089429
$V_1(5)$	0.111843	-0.092969	-0.171139	-0.147337	-0.131839	-0.126024	-0.114341	-0.118165	-0.118865	-0.122467	-0.149644	-0.202039	-0.232407	-0.218399	-0.188804	-0.091510
$V_1(6)$	0.069790	-0.109692	-0.175475	-0.154140	-0.138635	-0.130710	-0.110284	-0.111588	-0.115655	-0.124631	-0.153587	-0.206153	-0.236444	-0.224556	-0.192312	-0.086527
$V_1(7)$	0.044525	-0.110473	-0.163397	-0.144820	-0.129486	-0.121045	-0.092281	-0.091515	-0.098911	-0.128255	-0.146523	-0.192226	-0.232865	-0.222659	-0.187207	-0.080429
$V_1(8)$	0.049728	-0.081633	-0.123887	-0.109528	-0.096033	-0.073081	-0.058024	-0.064632	-0.064632	-0.119929	-0.172941	-0.211854	-0.211854	-0.167696	-0.167696	-0.087073
$V_1(9)$	0.035201	-0.062977	-0.104036	-0.090854	-0.078897	-0.072537	-0.042006	-0.035537	-0.049288	-0.070888	-0.110537	-0.167794	-0.208361	-0.202595	-0.165290	-0.101642
$V_1(10)$	0.041266	-0.074140	-0.112637	-0.091453	-0.077233	-0.070029	-0.035634	-0.038769	-0.039767	-0.067529	-0.110471	-0.172474	-0.213146	-0.202901	-0.166922	-0.114195
$V_1(11)$	0.008636	-0.107099	-0.146458	-0.112210	-0.093090	-0.083262	-0.054852	-0.047214	-0.054261	-0.080405	-0.130012	-0.193442	-0.227765	-0.215247	-0.179283	-0.125439
$V_1(12)$	-0.007358	-0.105613	-0.133879	-0.098451	-0.064281	-0.039281	-0.023363	-0.021647	-0.026138	-0.040616	-0.092668	-0.163992	-0.196158	-0.192701	-0.163316	-0.101952
$V_1(13)$	0.029552	-0.066923	-0.095252	-0.050812	-0.029248	-0.015343	0.000276	0.006386	0.003457	-0.005243	-0.028399	-0.090617	-0.163910	-0.137946	-0.109799	-0.127594
$V_1(14)$	0.079835	-0.011566	-0.084956	0.016827	0.044033	0.050284	0.058998	0.065489	0.066088	0.062890	0.041142	-0.002718	-0.062807	-0.104292	-0.077748	-0.084593
$V_1(15)$	0.123263	0.059648	0.047891	0.093666	0.115434	0.117427	0.112831	0.115458	0.123681	0.131266	0.149501	0.114214	0.103148	0.100833	0.040179	-0.151672
$V_1(16)$	0.092541	0.062549	0.064270	0.103635	0.120856	0.124047	0.122542	0.119458	0.123681	0.130592	0.118622	0.080132	0.070536	-0.021600	-0.089645	0.051793
$V_1(17)$	-0.016638	-0.034630	-0.028058	-0.010996	-0.011668	0.000266	-0.001755	-0.005573	0.004345	0.025334	0.018430	0.009702	0.000518	-0.024958	-0.058536	0.051793
$V_2(1)$	1.000000	0.917521	0.813161	0.682776	0.612706	0.549392	0.476556	0.388916	0.388916	0.409813	0.396111	0.375342	0.347221	0.303899	0.232329	0.028233
$V_2(2)$	0.917521	1.000000	0.947188	0.805813	0.725202	0.647596	0.572264	0.473949	0.470424	0.480142	0.459186	0.441517	0.412218	0.356421	0.275937	0.022855
$V_2(3)$	0.813161	0.947188	1.000000	0.914070	0.774946	0.702949	0.634049	0.603701	0.599878	0.602415	0.565832	0.538777	0.495287	0.419844	0.318066	0.043949
$V_2(4)$	0.682776	0.805813	0.914070	1.000000	0.979594	0.886166	0.839441	0.803591	0.800210	0.786252	0.721355	0.685963	0.598080	0.484053	0.330095	0.061737
$V_2(5)$	0.612706	0.725202	0.843643	0.979594	1.000000	0.984540	0.945110	0.924882	0.910213	0.872861	0.786252	0.703380	0.629234	0.496503	0.332086	0.067180
$V_2(6)$	0.549392	0.647596	0.774946	0.839441	0.984540	1.000000	0.983803	0.945110	0.924882	0.910213	0.872861	0.786252	0.703380	0.629234	0.496503	0.332086
$V_2(7)$	0.476556	0.572264	0.702949	0.886166	0.947521	1.000000	0.981471	0.940347	0.932154	0.876955	0.784543	0.708463	0.626600	0.480271	0.310962	0.080972
$V_2(8)$	0.417919	0.504513	0.634049	0.825358	0.896598	0.945110	1.000000	0.987971	0.947485	0.871848	0.776231	0.698745	0.616393	0.467669	0.301804	0.081975
$V_2(9)$	0.388547	0.473949	0.603701	0.803591	0.876955	0.924882	0.987971	1.000000	0.972455	0.891618	0.796594	0.718547	0.632254	0.478122	0.306818	0.078762
$V_2(10)$	0.388916	0.470424	0.599878	0.800210	0.868168	0.910213	0.932154	0.947485	0.924882	0.876955	0.796594	0.718547	0.632254	0.478122	0.306818	0.078762
$V_2(11)$	0.409813	0.480142	0.602415	0.786252	0.843187	0.872861	0.876955	0.871848	0.891618	1.000000	0.947947	0.888515	0.809204	0.637578	0.425822	0.125970
$V_2(12)$	0.396111	0.459186	0.565832	0.721355	0.768244	0.789895	0.776231	0.796594	0.872200	0.947947	1.000000	0.949931	0.875580	0.759735	0.550149	0.140122
$V_2(13)$	0.375342	0.441517	0.538777	0.665963	0.703380	0.717747	0.708463	0.698745	0.718547	0.798933	0.888515	1.000000	0.933603	0.836603	0.759735	0.550149
$V_2(14)$	0.347221	0.412218	0.495287	0.598080	0.629234	0.639500	0.626600	0.616393	0.632254	0.713072	0.808204	0.875580	1.000000	0.933603	0.836603	0.759735
$V_2(15)$	0.303899	0.359421	0.419844	0.484053	0.496593	0.498553	0.480271	0.467669	0.478122	0.545582	0.637578	0.711117	0.759735	1.000000	0.695603	0.142544
$V_2(16)$	0.232329	0.275937	0.314806	0.330095	0.332086	0.330220	0.310962	0.301804	0.306818	0.351654	0.425822	0.509007	0.559149	0.603491	1.000000	0.170258
$V_2(17)$	0.028233	0.022855	0.043949	0.061737	0.080972	0.081975	0.080972	0.078762	0.078762	0.089178	0.119086	0.140122	0.155558	0.142544	0.170258	1.000000





表 100 設計風モデル相関行列 (8月, その2)

$V_1(1)$	0.157592	-0.405084	-0.306104	-0.439089	-0.306104	-0.157592	-0.168564	-0.150441	-0.133380	-0.093667	-0.075343	-0.032903	-0.036580	-0.022353	-0.041619
$V_1(2)$	0.178489	-0.079816	-0.061471	-0.032733	-0.016896	-0.031702	-0.036053	-0.030752	-0.030752	-0.031302	-0.047760	-0.045435	-0.051336	-0.034061	-0.082543
$V_1(3)$	0.304227	0.069141	-0.010927	0.035372	0.050489	0.038129	0.015865	0.007561	0.008855	0.011402	-0.057866	-0.046150	-0.035585	-0.091240	-0.082543
$V_1(4)$	0.274732	0.069060	0.019056	0.023266	0.029644	0.021580	0.004110	-0.002347	-0.006244	-0.032200	-0.064901	-0.071155	-0.072935	-0.067687	-0.071745
$V_1(5)$	0.249682	0.051039	0.000798	0.006944	0.005484	-0.003148	-0.018277	-0.023023	-0.030479	-0.033414	-0.087841	-0.082546	-0.080151	-0.065621	-0.074280
$V_1(6)$	0.232462	0.053995	-0.005418	-0.008772	-0.006682	-0.013126	-0.022866	-0.039887	-0.050431	-0.07818	-0.120989	-0.108846	-0.108846	-0.110533	-0.078653
$V_1(7)$	0.227010	0.070490	0.015440	-0.005689	-0.023246	-0.036177	-0.046652	-0.047981	-0.07350	-0.121111	-0.145386	-0.147022	-0.130071	-0.126415	-0.080992
$V_1(8)$	0.246834	0.111354	0.058700	0.023756	0.007551	-0.008909	-0.023756	-0.040340	-0.060039	-0.131461	-0.160574	-0.163295	-0.146468	-0.138249	-0.095922
$V_1(9)$	0.276296	0.147688	0.092253	0.048511	0.027247	0.003397	-0.019361	-0.038323	-0.039981	-0.127470	-0.152832	-0.162057	-0.146592	-0.127084	-0.103750
$V_1(10)$	0.234138	0.163906	0.112889	0.075767	0.034381	0.009927	-0.010644	-0.010740	-0.028896	-0.044602	-0.092030	-0.125261	-0.133809	-0.128169	-0.108068
$V_1(11)$	0.259397	0.149309	0.111644	0.099364	0.076866	0.057125	0.039253	0.043286	0.038482	0.025083	-0.013150	-0.040806	-0.051532	-0.077342	-0.141111
$V_1(12)$	0.213018	0.131267	0.111515	0.118903	0.112964	0.097676	0.081591	0.088393	0.091102	0.092337	0.085334	0.060769	0.043625	-0.044720	-0.122646
$V_1(13)$	0.196718	0.141456	0.131151	0.143570	0.147778	0.142408	0.125716	0.106767	0.110045	0.117210	0.127455	0.162925	0.142421	0.103283	-0.000680
$V_1(14)$	0.180860	0.139688	0.139028	0.155045	0.163760	0.162355	0.149920	0.131437	0.146951	0.166397	0.204326	0.214281	0.174985	0.066920	-0.119772
$V_1(15)$	0.127422	0.097361	0.100366	0.128693	0.146616	0.153441	0.146590	0.132422	0.153880	0.169093	0.200473	0.204687	0.203287	0.123346	-0.079273
$V_1(16)$	0.131085	0.102943	0.102188	0.132765	0.158066	0.168846	0.161011	0.147795	0.155585	0.166438	0.184295	0.179858	0.166605	0.156351	0.079546
$V_1(17)$	0.145305	0.111478	0.106646	0.124758	0.140418	0.149478	0.139855	0.120723	0.109063	0.105676	0.105355	0.076157	0.040260	0.011201	0.035490
$V_2(1)$	1.000000	0.986522	0.871608	0.857168	0.839946	0.819288	0.795218	0.775218	0.75218	0.7298	0.407298	0.406012	0.319967	0.189818	-0.020388
$V_2(2)$	0.938522	1.000000	0.961146	0.944865	0.926247	0.908247	0.88247	0.8584	0.83584	0.81384	0.79384	0.77384	0.75384	0.73384	-0.013675
$V_2(3)$	0.871608	0.961146	1.000000	0.924524	0.850135	0.770842	0.682981	0.592236	0.575149	0.570723	0.565723	0.560723	0.555723	0.550723	0.008343
$V_2(4)$	0.775218	0.844865	0.924524	1.000000	0.975743	0.925592	0.855612	0.783389	0.703986	0.614322	0.524655	0.434988	0.345321	0.255654	0.020548
$V_2(5)$	0.699946	0.761249	0.850135	0.975743	1.000000	0.979839	0.933107	0.873436	0.849980	0.807601	0.765222	0.722843	0.680464	0.638085	0.037078
$V_2(6)$	0.619298	0.670189	0.770842	0.923562	0.979839	1.000000	0.980238	0.935424	0.912331	0.869668	0.827300	0.784931	0.742562	0.700193	0.046188
$V_2(7)$	0.531234	0.586507	0.682981	0.855612	0.933107	0.980238	1.000000	0.979934	0.958212	0.937631	0.917050	0.896469	0.875888	0.855307	0.046734
$V_2(8)$	0.446315	0.506247	0.602236	0.783389	0.873436	0.935424	0.979934	1.000000	0.989097	0.964874	0.940651	0.916428	0.892205	0.867982	0.054294
$V_2(9)$	0.417343	0.482107	0.578149	0.760386	0.849980	0.912331	0.958212	0.989097	1.000000	0.978221	0.953997	0.929774	0.905551	0.881328	0.025963
$V_2(10)$	0.407298	0.475198	0.570723	0.760386	0.839553	0.894668	0.931964	0.958212	0.978221	1.000000	0.98180	0.957575	0.933350	0.909125	0.071837
$V_2(11)$	0.406012	0.473884	0.565723	0.75218	0.807601	0.856094	0.878631	0.886758	0.902859	0.918900	0.934941	0.950982	0.967023	0.983064	0.104805
$V_2(12)$	0.319967	0.382330	0.462057	0.614322	0.682981	0.732888	0.772888	0.812888	0.852888	0.892888	0.932888	0.972888	1.012888	1.052888	0.111438
$V_2(13)$	0.249167	0.307315	0.378407	0.508119	0.563546	0.594594	0.605272	0.608525	0.611821	0.615067	0.618313	0.621559	0.624805	0.628051	0.182293
$V_2(14)$	0.189818	0.242701	0.303767	0.420719	0.462593	0.483334	0.494067	0.496855	0.518621	0.593910	0.716787	0.839691	0.934622	1.000000	0.222399
$V_2(15)$	0.109017	0.150071	0.198613	0.279170	0.316968	0.336317	0.335759	0.334379	0.344540	0.418217	0.527397	0.636467	0.745536	0.854605	0.260907
$V_2(16)$	0.098351	0.138113	0.170475	0.226853	0.252713	0.259044	0.258665	0.257286	0.255907	0.254528	0.253149	0.251770	0.250391	0.249012	0.367919
$V_2(17)$	-0.020388	-0.013675	0.008343	0.020548	0.037078	0.046188	0.048734	0.052963	0.071837	0.106805	0.111438	0.112993	0.114548	0.116103	1.000000

表 101 設計風モジュール相関行列 (9月, その1)

$U_1(1)$	$U_1(2)$	$U_1(3)$	$U_1(4)$	$U_1(5)$	$U_1(6)$	$U_1(7)$	$U_1(8)$	$U_1(9)$	$U_1(10)$	$U_1(11)$	$U_1(12)$	$U_1(13)$	$U_1(14)$	$U_1(15)$	$U_1(16)$	$U_1(17)$
$U_1(1)$	1.000000	0.916546	0.820813	0.717917	0.647383	0.580020	0.461471	0.432694	0.438615	0.453908	0.392531	0.310728	0.244096	0.192023	0.150984	0.048218
$U_1(2)$	0.916546	1.000000	0.954530	0.853467	0.777534	0.704446	0.590395	0.571333	0.575523	0.592912	0.457605	0.344706	0.256145	0.186561	0.133654	0.022229
$U_1(3)$	0.820813	0.954530	1.000000	0.937868	0.807381	0.697071	0.639862	0.684729	0.690618	0.679921	0.469253	0.339243	0.245875	0.180303	0.056056	0.000000
$U_1(4)$	0.717917	0.853467	0.937868	1.000000	0.976956	0.938447	0.843291	0.826685	0.830026	0.815622	0.696568	0.546320	0.419141	0.295856	0.218653	0.083591
$U_1(5)$	0.647383	0.777534	0.807381	0.976956	1.000000	0.983851	0.949448	0.988242	0.982517	0.861607	0.738988	0.580500	0.442114	0.304099	0.226877	0.087538
$U_1(6)$	0.580020	0.704446	0.807381	0.938447	0.983851	1.000000	0.950470	0.930859	0.916649	0.886638	0.761501	0.609459	0.453751	0.307255	0.231082	0.096203
$U_1(7)$	0.461471	0.590395	0.697071	0.843291	0.949448	0.983851	1.000000	0.982467	0.959897	0.898746	0.766461	0.601028	0.452130	0.297609	0.225447	0.097817
$U_1(8)$	0.432694	0.571333	0.684729	0.826685	0.882422	0.930859	0.982467	1.000000	0.989626	0.949354	0.765928	0.604346	0.441637	0.287976	0.213890	0.092152
$U_1(9)$	0.438615	0.575523	0.690618	0.826685	0.882422	0.930859	0.982467	1.000000	0.982064	0.923140	0.743688	0.603436	0.440515	0.295011	0.221129	0.085698
$U_1(10)$	0.453908	0.562912	0.69618	0.830026	0.882517	0.916649	0.936997	0.959729	1.000000	0.957572	0.815775	0.652719	0.496843	0.332507	0.251070	0.107591
$U_1(11)$	0.392531	0.457605	0.606568	0.766461	0.738988	0.761501	0.766361	0.774368	0.815775	1.000000	0.919875	0.799165	0.591268	0.474474	0.276171	0.087670
$U_1(12)$	0.310728	0.344706	0.439253	0.546320	0.580500	0.599459	0.604346	0.603436	0.652719	0.783246	1.000000	0.930263	0.749121	0.633381	0.424247	0.086670
$U_1(13)$	0.244096	0.256145	0.335243	0.419141	0.442114	0.453751	0.461471	0.449515	0.496843	0.629398	0.692633	1.000000	0.871536	0.779825	0.592943	0.382034
$U_1(14)$	0.192023	0.186561	0.245875	0.295856	0.304099	0.307255	0.299609	0.295011	0.332507	0.439530	0.591268	0.749121	1.000000	0.929343	0.749067	0.500000
$U_1(15)$	0.150984	0.133654	0.180303	0.218653	0.220877	0.231082	0.225447	0.213890	0.251070	0.338415	0.474474	0.633381	0.773825	1.000000	0.852034	0.582034
$U_1(16)$	0.048218	0.022229	0.056056	0.083591	0.087538	0.096203	0.097817	0.096688	0.107591	0.164307	0.276171	0.424247	0.589670	0.749067	0.852034	1.000000
$U_1(17)$	-0.106288	-0.229289	-0.372344	-0.392288	-0.291431	-0.268860	-0.294828	-0.282246	-0.283163	-0.215174	-0.107255	-0.039126	-0.008249	-0.006764	-0.029937	-0.047484
$U_2(1)$	-0.347954	-0.022286	0.149301	0.123009	0.111999	0.110102	0.122488	0.152524	0.157139	0.102146	0.026313	-0.010430	-0.020374	-0.028203	-0.041688	-0.038603
$U_2(2)$	-0.475405	-0.179217	-0.005998	-0.009764	-0.006899	0.002938	0.023921	0.060675	0.079377	0.014810	-0.044564	-0.064408	-0.062406	-0.058674	-0.066770	-0.057833
$U_2(3)$	-0.388089	-0.126824	0.022332	0.017289	0.010795	0.012543	0.026723	0.055987	0.069049	0.056943	-0.032388	-0.050171	-0.043261	-0.048387	-0.060985	-0.064231
$U_2(4)$	-0.321670	-0.088647	0.046385	0.037083	0.022874	0.018036	0.036932	0.060476	0.052682	0.023404	-0.020532	-0.023212	-0.020597	-0.029782	-0.043811	-0.050616
$U_2(5)$	-0.071178	-0.071178	0.051483	0.041187	0.022816	0.013013	0.016084	0.033310	0.037295	0.018353	-0.017726	-0.025654	-0.010089	-0.019773	-0.034644	-0.044454
$U_2(6)$	-0.232499	-0.070930	0.042906	0.037774	0.018022	0.007484	0.008924	0.019299	0.025038	0.025422	-0.009676	-0.012392	0.008416	-0.003645	-0.017921	-0.030285
$U_2(7)$	-0.241592	-0.085402	0.020965	0.018627	0.000618	-0.008429	-0.005477	0.002631	0.008096	0.008970	-0.012152	-0.011397	0.013140	-0.000756	-0.011292	-0.021568
$U_2(8)$	-0.098506	0.013119	-0.011308	-0.006007	-0.006007	-0.014159	-0.010901	-0.002756	0.001016	0.005299	-0.013524	-0.011915	0.014331	0.002377	-0.006671	-0.016241
$U_2(9)$	-0.079716	-0.079716	0.018723	0.017162	0.000368	-0.007532	-0.007094	-0.001127	-0.002823	-0.000237	0.0014392	0.000857	0.031054	0.018818	0.009852	-0.000795
$U_2(10)$	-0.054832	0.017614	0.006367	0.006367	0.017614	0.009141	0.006987	0.012206	0.010338	0.027550	0.022854	0.023733	0.052121	0.044013	0.029269	0.018573
$U_2(11)$	-0.120882	-0.044021	0.035717	0.025452	0.008047	-0.000168	-0.005622	-0.004002	-0.004687	0.012459	0.009797	0.023427	0.042528	0.036846	0.036748	0.010721
$U_2(12)$	-0.107271	-0.061167	0.007263	-0.002036	-0.012494	-0.015676	-0.020346	-0.024644	-0.032053	-0.003208	0.001612	0.021806	0.051613	0.049804	0.049876	0.024316
$U_2(13)$	-0.114712	-0.094874	-0.037619	-0.044539	-0.044939	-0.048371	-0.051268	-0.052267	-0.058471	-0.063064	-0.035465	0.008582	0.046572	0.056174	0.058454	0.033819
$U_2(14)$	-0.129380	-0.139351	-0.092797	-0.108888	-0.108380	-0.103495	-0.102022	-0.100509	-0.105443	-0.088684	-0.060415	-0.025846	0.014990	0.043932	0.063037	0.023915
$U_2(15)$	-0.132630	-0.149687	-0.116648	-0.140080	-0.137785	-0.132416	-0.130594	-0.126092	-0.129120	-0.137524	-0.120690	-0.052620	-0.008268	0.030361	0.049612	0.034086
$U_2(16)$	-0.146102	-0.160818	-0.146718	-0.167751	-0.159478	-0.144429	-0.136124	-0.131490	-0.138641	-0.145175	-0.135345	-0.132743	-0.102776	-0.083610	-0.074992	-0.004898

表 102 設計風モジュール相関行列 (9月, その2)

	$V_1(1)$	$V_1(2)$	$V_1(3)$	$V_1(4)$	$V_1(5)$	$V_1(6)$	$V_1(7)$	$V_1(8)$	$V_1(9)$	$V_1(10)$	$V_1(11)$	$V_1(12)$	$V_1(13)$	$V_1(14)$	$V_1(15)$	$V_1(16)$	$V_1(17)$
$V_1(1)$	-0.106258	-0.347954	-0.475405	-0.388039	-0.321670	-0.276304	-0.252489	-0.241592	-0.232283	-0.210725	-0.166040	-0.120882	-0.107271	-0.114742	-0.129380	-0.132630	-0.146102
$V_1(2)$	0.229239	-0.022286	-0.179217	-0.125824	-0.088647	-0.071178	-0.070980	-0.085402	-0.088506	-0.079716	-0.054832	-0.044021	-0.061167	-0.094874	-0.133951	-0.149687	-0.160818
$V_1(3)$	0.372344	0.143901	-0.005898	0.022332	0.046385	0.051483	0.042906	0.020965	0.013119	0.035717	0.040452	0.035717	0.007263	-0.037619	-0.092797	-0.116648	-0.146718
$V_1(4)$	0.322288	0.123009	-0.009764	0.017269	0.037087	0.041787	0.037774	0.018627	0.011308	0.017162	0.036367	0.025452	0.002036	-0.044539	-0.108888	-0.140080	-0.167751
$V_1(5)$	0.291431	0.111999	-0.006899	0.010795	0.022874	0.022816	0.018022	0.000614	-0.006007	0.000368	0.017614	0.009047	-0.012494	-0.049369	-0.108380	-0.159478	-0.184229
$V_1(6)$	0.268680	0.110102	0.002938	0.012543	0.018036	0.013013	0.007194	-0.008429	-0.014159	-0.007832	0.009141	-0.000168	-0.015676	-0.048371	-0.103495	-0.132416	-0.144429
$V_1(7)$	0.264828	0.122488	0.023921	0.026723	0.020852	0.016084	0.008224	-0.005477	-0.010901	-0.007094	0.006987	-0.005622	-0.020346	-0.051268	-0.102922	-0.130594	-0.138124
$V_1(8)$	0.282246	0.152524	0.060675	0.055288	0.050288	0.033310	0.019299	-0.002931	-0.002766	-0.001127	0.012206	-0.004002	-0.020464	-0.052267	-0.100509	-0.126022	-0.131490
$V_1(9)$	0.236321	0.169968	0.073977	0.069049	0.060476	0.041233	0.025038	0.005616	-0.001620	-0.002823	0.010358	-0.006327	-0.024844	-0.084471	-0.105443	-0.129120	-0.138641
$V_1(10)$	0.283163	0.157139	0.066227	0.056943	0.052682	0.037285	0.025422	0.008096	0.001016	-0.000237	0.009870	-0.004687	-0.026053	-0.063064	-0.113245	-0.137524	-0.148364
$V_1(11)$	0.215174	0.102146	0.014810	0.016307	0.023404	0.018353	0.017415	0.008970	0.005289	0.014392	0.027550	0.012459	-0.002608	-0.035465	-0.088684	-0.120090	-0.145175
$V_1(12)$	0.107255	0.023313	-0.044564	-0.033268	-0.020532	-0.017726	-0.009676	-0.012152	-0.013324	0.000857	0.022854	0.009797	0.001612	-0.014556	-0.060415	-0.091320	-0.135345
$V_1(13)$	0.039126	-0.010430	-0.064408	-0.050171	-0.032312	-0.025654	-0.012392	-0.011397	-0.011915	0.003117	0.023733	0.023427	0.021806	0.008582	-0.025846	-0.052620	-0.132743
$V_1(14)$	0.008249	-0.020374	-0.062406	-0.045281	-0.020597	-0.010089	0.008116	0.013140	0.014331	0.031054	0.082121	0.042526	0.051613	0.046572	0.014990	-0.008288	-0.027776
$V_1(15)$	-0.006764	-0.028203	-0.058874	-0.048387	-0.029782	-0.019773	-0.036415	-0.000756	0.002377	0.018818	0.040013	0.036846	0.049804	0.056174	0.043932	0.030361	-0.083610
$V_1(16)$	-0.029937	-0.041688	-0.066770	-0.060985	-0.043811	-0.034644	-0.017321	-0.011292	-0.006671	0.009852	0.032630	0.036748	0.049876	0.058454	0.063937	0.049612	-0.074992
$V_1(17)$	-0.047484	-0.038603	-0.057833	-0.064251	-0.050616	-0.044454	-0.030265	-0.021568	-0.016241	-0.000795	0.018873	0.010721	0.024316	0.033819	0.023915	0.034086	-0.004898
$V_1(1)$	1.000000	0.943533	0.861778	0.752109	0.672080	0.596053	0.530566	0.467114	0.434738	0.402117	0.370826	0.357085	0.293912	0.136333	0.063198	0.033664	-0.003440
$V_1(2)$	0.943533	1.000000	0.962539	0.858021	0.776392	0.696777	0.628133	0.564834	0.533465	0.501707	0.467488	0.379914	0.299218	0.233468	0.155718	0.123225	0.063891
$V_1(3)$	0.861778	0.962539	1.000000	0.925573	0.843377	0.764254	0.690352	0.625720	0.597556	0.570400	0.538165	0.453612	0.372403	0.304220	0.218713	0.181034	0.096277
$V_1(4)$	0.752109	0.861778	0.925573	1.000000	0.974117	0.892020	0.806360	0.732616	0.698820	0.749115	0.714625	0.620244	0.515713	0.422160	0.289313	0.230693	0.118252
$V_1(5)$	0.672080	0.776392	0.843377	0.974117	1.000000	0.979815	0.933939	0.878526	0.856723	0.834951	0.795690	0.690636	0.576172	0.467574	0.313643	0.240118	0.117178
$V_1(6)$	0.596053	0.696777	0.764254	0.892020	0.979815	1.000000	0.981290	0.939213	0.917979	0.893158	0.846610	0.731469	0.607997	0.457575	0.314946	0.230484	0.102908
$V_1(7)$	0.530566	0.628133	0.690352	0.856360	0.933939	0.981290	1.000000	0.981288	0.929173	0.873210	0.748434	0.617095	0.488751	0.302901	0.210133	0.079761	0.068075
$V_1(8)$	0.467114	0.564834	0.625720	0.762616	0.876526	0.939213	0.981288	1.000000	0.956357	0.892549	0.829254	0.768973	0.632742	0.500382	0.303937	0.201084	0.068075
$V_1(9)$	0.434738	0.533465	0.597556	0.769820	0.856723	0.917979	0.960493	0.960493	1.000000	0.980541	0.919741	0.794339	0.667321	0.534535	0.330200	0.219549	0.081063
$V_1(10)$	0.402117	0.501707	0.570400	0.749115	0.834951	0.893158	0.929173	0.956357	0.980541	1.000000	0.965234	0.857875	0.739198	0.606894	0.389767	0.266872	0.064848
$V_1(11)$	0.370693	0.467488	0.538165	0.714625	0.795690	0.846610	0.873210	0.892549	0.919741	0.965234	1.000000	0.837488	0.842134	0.712568	0.479890	0.338325	0.142448
$V_1(12)$	0.287085	0.379914	0.453612	0.620244	0.690352	0.731469	0.768973	0.768973	0.794339	0.857875	0.937488	1.000000	0.940740	0.835651	0.597203	0.441957	0.195985
$V_1(13)$	0.203912	0.299218	0.372403	0.515713	0.576172	0.607997	0.617095	0.632742	0.667321	0.739198	0.842134	0.940740	1.000000	0.940236	0.724974	0.557121	0.288210
$V_1(14)$	0.136333	0.233468	0.304220	0.422160	0.467574	0.488751	0.500382	0.534535	0.606894	0.606894	0.606894	0.606894	0.606894	1.000000	0.844875	0.691741	0.400120
$V_1(15)$	0.063198	0.155718	0.218713	0.289313	0.313643	0.314946	0.302901	0.303937	0.330200	0.389767	0.479890	0.597203	0.724974	0.844875	1.000000	0.882064	0.570972
$V_1(16)$	0.033664	0.123225	0.181034	0.230693	0.240118	0.230484	0.210133	0.201084	0.219549	0.266872	0.338325	0.441957	0.557121	0.691741	0.882064	1.000000	0.719168
$V_1(17)$	-0.003440	0.063891	0.099277	0.115252	0.117178	0.102908	0.079761	0.068075	0.081063	0.108484	0.142448	0.195985	0.288210	0.400120	0.570972	0.719168	1.000000

### 9.5.2 放球日風モデル（第2回キャンペーン時）

第2回落下試験の運用評価に供した放球日風モデルを表103と表104に示す。2000年から2009年までの10年間の7月および8月の合計2480個の源泉データのうち、落下試験に適する気球軌道であると判定されたのは221ケースであり、これらのデータについて、7月と8月のデータを区別せずに $U_s, V_s$ について統計処理を行った。なお、ジオポテンシャル高度 $h_g$ の統計データと大気層間および南北風と東西風の相関行列は抽出した221個のデータから新規に求めることはせず、7月の設計風モデルと同じデータ（表64および表97と表98）を使用した。

### 9.5.3 放球日風モデル（第3回キャンペーン時）

第3回キャンペーン時の運用評価に使用した放球日風モデルを表105から表108に示す。2000年から2009年までの10年間の7月および8月の合計2480個の源泉データのうち、落下試験に適する気球軌道であると判定されたのは7月が166ケース、8月が102ケースであった。第2回落下試験時と抽出されたケース数が異なっているが、これは誘導制御則の改修による分離許容域の拡大とBMSの配置変更によるものである。第3回キャンペーン時の放球日風モデルは7月と8月のデータを分けて統計処理を行い、各月ごとに作成した。さらに、大気層間および南北風と東西風の相関行列は抽出した各月のデータから表109から表112に示す通り新規に作成した。ただし、第2回落下試験時と同様に、ジオポテンシャル高度 $h_g$ については統計処理を行っておらず、7月と8月の設計風モデルと同じデータ（表64および表65）を使用した。

表 103 第2回落下試験時放球日風モデル（南北風 $U_s$ ）および誤差モデル（7-8月）

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		$U_s$ (m/s)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.	min.
1	1000	94	64	1.35	2.65	-6.6	9.3
2	925	749	64	2.51	3.69	-8.56	13.58
3	850	1449	65	3.1	4.21	-9.53	15.73
4	700	3016	71	4.39	4.05	-7.76	16.54
5	600	4225	79	5.68	4.52	-7.88	19.24
6	500	5611	89	7.29	5.27	-8.52	23.1
7	400	7243	105	9.29	6.69	-10.78	29.36
8	300	9228	123	12.09	9.4	-16.11	40.29
9	250	10434	121	12.33	9.16	-15.15	39.81
10	200	11902	101	10.06	7.98	-13.88	34
11	150	13820	84	7.2	3.86	-4.38	18.78
12	100	16498	68	4.43	2.67	-3.58	12.44
13	70	18853	59	2.88	2.15	-3.57	9.33
14	50	21084	52	1.94	1.87	-3.67	7.55
15	30	24486	46	1.24	1.77	-4.07	6.55
16	20	27218	42	0.82	1.81	-4.61	6.25
17	10	32022	42	1.04	2.29	-5.83	7.91

表 104 第2回落下試験時放球日風モデル（東西風 $V_s$ ）および誤差モデル（7-8月）

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		$V_s$ (m/s)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.	min.
1	1000	94	64	-0.09	3.96	-11.97	11.79
2	925	749	64	1.31	4.84	-13.21	15.83
3	850	1449	65	2.85	5.44	-13.47	19.17
4	700	3016	71	4.44	6.11	-13.89	22.77
5	600	4225	79	5.39	6.86	-15.19	25.97
6	500	5611	89	6.62	7.74	-16.6	29.84
7	400	7243	105	8.24	7.54	-14.38	30.86
8	300	9228	123	10.18	9.58	-18.56	38.92
9	250	10434	121	10.35	9.6	-18.45	39.15
10	200	11902	101	8.81	8.18	-15.73	33.35
11	150	13820	84	7.04	6.25	-11.71	25.79
12	100	16498	68	4.36	2.73	-3.83	12.55
13	70	18853	59	2.13	2.18	-4.41	8.67
14	50	21084	52	0.23	2.09	-6.04	6.5
15	30	24486	46	-2.35	2.55	-10	5.3
16	20	27218	42	-3.68	2.15	-10.13	2.77
17	10	32022	42	-5.47	2.68	-13.51	2.57

表 105 第3回キャンペーン時放球日風モデル（南北風 $U_s$ ）および誤差モデル（7月）

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		$U_s$ (m/s)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.(*1)	min.(*2)
1	1000	94	64	1.58	3.16	8.26	-5.89
2	925	749	64	3.17	4.14	11.95	-9.54
3	850	1449	65	3.98	3.52	11.53	-6.18
4	700	3016	71	5.85	3.34	14.08	-4.12
5	600	4225	79	7.26	3.63	17.87	-3.07
6	500	5611	89	8.92	4.31	20.72	-2.13
7	400	7243	105	11.19	5.85	25.83	-1.80
8	300	9228	123	14.14	8.13	34.40	-3.41
9	250	10434	121	14.22	8.38	35.10	-3.58
10	200	11902	101	10.69	5.81	28.88	-1.04
11	150	13820	84	7.20	3.56	14.78	-0.94
12	100	16498	68	4.71	2.66	9.82	-1.63
13	70	18853	59	3.07	1.89	6.59	-1.99
14	50	21084	52	1.96	1.53	5.45	-2.03
15	30	24486	46	1.55	1.55	4.98	-1.90
16	20	27218	42	0.82	1.32	4.42	-2.23
17	10	32022	42	-1.10	1.66	3.18	-5.51

表 106 第3回キャンペーン時放球日風モデル（東西風 $V_s$ ）および誤差モデル（7月）

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		$V_s$ (m/s)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.(*1)	min.(*2)
1	1000	94	64	0.05	3.54	9.40	-8.52
2	925	749	64	2.33	4.68	14.10	-8.08
3	850	1449	65	3.86	4.22	15.34	-6.44
4	700	3016	71	5.66	4.46	19.04	-3.45
5	600	4225	79	7.18	4.95	22.94	-3.55
6	500	5611	89	9.07	6.03	26.15	-4.39
7	400	7243	105	11.60	7.86	31.94	-6.43
8	300	9228	123	15.31	10.19	41.37	-6.54
9	250	10434	121	15.81	10.67	43.53	-6.96
10	200	11902	101	12.30	8.17	34.02	-1.90
11	150	13820	84	8.34	5.09	24.81	-0.82
12	100	16498	68	4.38	3.03	11.95	-2.52
13	70	18853	59	1.34	1.96	6.36	-2.97
14	50	21084	52	-1.19	1.75	3.90	-4.71
15	30	24486	46	-4.59	1.52	-0.72	-9.11
16	20	27218	42	-5.67	1.84	-0.31	-11.13
17	10	32022	42	-9.33	2.11	-3.80	-13.65

\*1 最大値は源泉データの 99.87%順位値で代用

\*2 最小値は源泉データの 0.13%順位値で代用

表 107 第3回キャンペーン時放球日風モデル（南北風 $U_s$ ）および誤差モデル（8月）

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		$U_s$ (m/s)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.(*1)	min.(*2)
1	1000	90	65	1.59	3.36	8.62	-6.68
2	925	743	67	3.30	4.67	14.80	-8.07
3	850	1440	70	3.86	4.19	14.61	-7.71
4	700	3001	81	5.23	4.60	16.80	-7.29
5	600	4205	93	6.41	5.06	18.69	-5.05
6	500	5585	108	7.59	5.83	22.20	-5.53
7	400	7210	130	9.44	7.13	27.76	-9.10
8	300	9185	156	11.91	9.21	34.00	-11.06
9	250	10384	160	12.25	9.39	33.10	-10.31
10	200	11840	141	9.60	6.87	27.27	-7.02
11	150	13739	116	6.84	3.95	16.04	-3.17
12	100	16405	97	4.64	2.32	11.29	-0.68
13	70	18753	88	3.00	1.84	7.34	-2.17
14	50	20967	88	1.78	1.53	5.10	-2.50
15	30	24330	100	1.14	1.87	5.95	-2.86
16	20	27023	118	0.74	1.55	4.47	-2.71
17	10	31737	161	-0.59	1.91	3.80	-4.51

表 108 第3回キャンペーン時放球日風モデル（東西風 $V_s$ ）および誤差モデル（8月）

level	pressure (hPa)	geo-potential hgt.(m)		$V_s$ (m/s)			
		average	std.dev.	average	std.dev.	max.(*1)	min.(*2)
1	1000	90	65	-0.80	2.90	6.27	-6.12
2	925	743	67	0.90	4.28	9.27	-9.14
3	850	1440	70	2.27	4.02	9.40	-8.06
4	700	3001	81	3.65	4.29	13.03	-6.43
5	600	4205	93	4.71	4.54	15.40	-6.51
6	500	5585	108	5.69	5.19	18.86	-6.11
7	400	7210	130	6.85	6.42	23.66	-6.89
8	300	9185	156	8.51	8.50	29.89	-10.38
9	250	10384	160	9.13	8.78	33.28	-11.20
10	200	11840	141	8.31	6.68	28.56	-6.45
11	150	13739	116	6.58	3.82	15.68	-3.10
12	100	16405	97	4.58	2.45	10.68	-0.46
13	70	18753	88	2.65	1.95	7.53	-2.57
14	50	20967	88	0.75	1.82	5.11	-3.48
15	30	24330	100	-2.23	1.68	2.49	-5.38
16	20	27023	118	-2.73	1.75	2.75	-6.00
17	10	31737	161	-4.17	2.83	3.62	-11.96

\*1 最大値は源泉データの99.87%順位値で代用

\*2 最小値は源泉データの0.13%順位値で代用





表 110 第3回キャンペン時放球日風モデル相関行列 (7月, その2)

	$V_1(1)$	$V_1(2)$	$V_1(3)$	$V_1(4)$	$V_1(5)$	$V_1(6)$	$V_1(7)$	$V_1(8)$	$V_1(9)$	$V_1(10)$	$V_1(11)$	$V_1(12)$	$V_1(13)$	$V_1(14)$	$V_1(15)$	$V_1(16)$	$V_1(17)$
$U_1(1)$	0.053124	-0.382820	-0.415010	-0.190500	-0.082005	0.019820	0.072014	0.065170	0.006861	0.009157	0.132320	0.090052	0.009142	0.012173	0.047802	0.051963	-0.066616
$U_1(2)$	0.420820	-0.004984	-0.081029	0.049599	0.061038	0.078543	0.055002	0.014761	-0.043014	-0.090257	0.078903	0.029170	-0.027584	-0.005772	0.107170	0.100290	-0.054014
$U_1(3)$	0.397400	-0.004737	-0.059873	0.053461	0.054566	0.029236	0.021966	-0.032518	-0.079295	-0.089891	0.031512	-0.036041	-0.109120	-0.098520	0.056832	0.025871	-0.066144
$U_1(4)$	0.268470	-0.057542	-0.101120	0.029199	0.054665	0.069591	0.048661	-0.021989	-0.051392	-0.062653	-0.003010	-0.104520	-0.198510	-0.216100	-0.050633	-0.105390	-0.085089
$U_1(5)$	0.178360	-0.095473	-0.111070	0.011506	0.050827	0.081523	0.010339	-0.012376	-0.012948	-0.032648	-0.014106	-0.120420	-0.292040	-0.246527	-0.149950	-0.108974	-0.089414
$U_1(6)$	0.109860	-0.092517	-0.099683	0.006513	0.059231	0.102960	0.099271	0.045805	0.030439	0.006597	-0.010760	-0.126730	-0.253850	-0.272530	-0.116400	-0.171700	-0.080144
$U_1(7)$	0.040670	-0.114710	-0.113910	-0.031120	0.037805	0.096502	0.110380	0.073173	0.069043	-0.001979	-0.001979	-0.114840	-0.219500	-0.261230	-0.128500	-0.184810	-0.065850
$U_1(8)$	0.043735	-0.074900	-0.080823	-0.024957	0.043221	0.109480	0.131900	0.116070	0.201700	0.088206	0.016654	-0.117080	-0.209930	-0.243030	-0.127980	-0.195450	-0.048394
$U_1(9)$	0.061391	-0.026806	-0.033196	0.024881	0.088691	0.147940	0.164800	0.131160	0.171430	0.135470	0.044132	-0.118050	-0.214200	-0.237710	-0.140590	-0.229480	-0.057736
$U_1(10)$	0.082653	-0.017798	-0.023518	0.059623	0.109550	0.167640	0.177520	0.161610	0.195760	0.165920	0.057977	-0.110660	-0.226380	-0.242580	-0.154790	-0.291420	-0.071810
$U_1(11)$	0.082546	-0.042794	-0.070821	0.025731	0.064290	0.119670	0.132840	0.107530	0.119250	0.092423	0.028658	-0.146600	-0.260890	-0.265140	-0.126290	-0.261770	-0.104640
$U_1(12)$	0.039229	-0.051518	-0.086192	-0.031568	-0.026070	0.012045	0.023262	0.002772	0.005966	-0.015676	-0.072226	-0.196210	-0.297310	-0.303240	-0.139170	-0.235230	-0.063564
$U_1(13)$	0.005881	-0.066809	-0.126870	-0.129920	-0.129790	-0.092795	-0.060215	-0.069735	-0.080269	-0.084406	-0.120050	-0.128110	-0.271670	-0.355830	-0.151430	-0.170410	-0.056971
$U_1(14)$	0.090083	0.009142	-0.042720	-0.016186	-0.028308	-0.009270	0.002941	-0.018979	-0.017733	-0.036573	-0.080071	-0.151700	-0.217020	-0.255580	-0.208530	-0.202820	-0.074640
$U_1(15)$	0.061918	0.028930	0.040813	0.105180	0.098879	0.089597	0.095554	0.077180	0.094929	0.111920	0.044828	-0.023391	-0.040444	0.004035	-0.090051	-0.264400	-0.115690
$U_1(16)$	0.147140	0.108140	0.095380	0.147700	0.143510	0.139370	0.119100	0.080328	0.105200	0.134240	0.080235	0.046452	0.058828	0.025614	0.060739	-0.136360	-0.174410
$U_1(17)$	0.143630	0.197440	0.168260	0.107890	0.061768	0.024468	0.013311	-0.010308	0.027452	0.048975	-0.006837	-0.029023	0.062689	0.023250	-0.002947	-0.026198	-0.052676
$V_1(1)$	1.000000	0.879230	0.752060	0.567600	0.387760	0.236370	0.086520	0.029188	0.020067	0.022929	0.073386	0.053702	0.068336	0.102410	0.243410	0.159010	0.009116
$V_1(2)$	0.879230	1.000000	0.938200	0.698630	0.489000	0.282260	0.110140	0.045458	0.065440	0.065254	0.042741	0.023692	0.057153	0.089046	0.169620	0.100870	0.025586
$V_1(3)$	0.752060	0.938200	1.000000	0.830350	0.621040	0.409200	0.224240	0.132640	0.141540	0.123300	0.072826	0.037672	0.057929	0.096062	0.136580	0.016106	-0.004127
$V_1(4)$	0.567600	0.698630	0.830350	1.000000	0.910750	0.937700	0.817650	0.968880	0.664040	0.618120	0.497230	0.297880	0.184390	0.181140	0.0866819	-0.130510	-0.253340
$V_1(5)$	0.387760	0.489000	0.621040	0.910750	1.000000	0.937700	0.817650	0.968880	0.664040	0.618120	0.497230	0.297880	0.184390	0.181140	0.0866819	-0.130510	-0.253340
$V_1(6)$	0.236370	0.282260	0.409200	0.489000	0.937700	1.000000	0.968880	0.856760	0.510960	0.749670	0.602000	0.366490	0.202990	0.188830	0.0566473	-0.137660	-0.291970
$V_1(7)$	0.086520	0.110140	0.224240	0.282260	0.937700	0.968880	1.000000	0.955510	0.900550	0.814390	0.629290	0.392960	0.187670	0.159980	0.002284	-0.138110	-0.333630
$V_1(8)$	0.029188	0.045458	0.132640	0.409200	0.621040	0.409200	0.955510	1.000000	0.963070	0.856500	0.638430	0.411340	0.208420	0.178210	0.026924	-0.099579	-0.306160
$V_1(9)$	0.020067	0.065440	0.141540	0.489000	0.664040	0.810960	0.963070	0.963070	1.000000	0.934330	0.839180	0.461530	0.282190	0.234320	0.066536	-0.101080	-0.300860
$V_1(10)$	0.022929	0.065254	0.123300	0.415400	0.618120	0.749670	0.814390	0.856500	0.934330	1.000000	0.839180	0.630000	0.469220	0.394620	0.218370	-0.041335	-0.303620
$V_1(11)$	0.073386	0.042741	0.057929	0.072826	0.497230	0.602000	0.629290	0.638430	0.630000	0.839180	1.000000	0.860720	0.724080	0.657050	0.520510	0.166340	-0.278270
$V_1(12)$	0.053702	0.023692	0.057929	0.037672	0.184390	0.392960	0.392960	0.411340	0.461530	0.630000	0.860720	1.000000	0.837170	0.731020	0.623330	0.356940	-0.247690
$V_1(13)$	0.068336	0.057153	0.057929	0.057929	0.184390	0.202990	0.187670	0.208420	0.282190	0.461530	0.630000	0.860720	1.000000	0.882130	0.742350	0.401810	-0.168810
$V_1(14)$	0.102410	0.089046	0.096062	0.134160	0.181140	0.188330	0.159980	0.178210	0.234320	0.394620	0.637050	0.731020	0.882130	1.000000	0.711750	0.398960	-0.151210
$V_1(15)$	0.243410	0.169620	0.136580	0.099336	0.086819	0.056473	0.002284	0.026214	0.066536	0.218370	0.520510	0.623330	0.742350	1.000000	0.541210	-0.074615	-0.136470
$V_1(16)$	0.159010	0.100870	0.016106	-0.086099	-0.130510	-0.137660	-0.138110	-0.099579	-0.101080	-0.041335	0.166340	0.356940	0.401810	0.398960	0.541210	1.000000	0.136470
$V_1(17)$	0.009116	0.025586	-0.004127	-0.150310	-0.253340	-0.291970	-0.333630	-0.306160	-0.308860	-0.303620	-0.278270	-0.247690	-0.168810	-0.151210	-0.074615	0.136470	1.000000

表 111 第3回キヤンペーン時放球日風モデル相関行列 (8月, その1)

$U_1(1)$	$U_1(2)$	$U_1(3)$	$U_1(4)$	$U_1(5)$	$U_1(6)$	$U_1(7)$	$U_1(8)$	$U_1(9)$	$U_1(10)$	$U_1(11)$	$U_1(12)$	$U_1(13)$	$U_1(14)$	$U_1(15)$	$U_1(16)$	$U_1(17)$
1.000000	0.4848390	0.797780	0.730010	0.633880	0.503680	0.375880	0.260590	0.189720	0.143580	0.113940	0.016557	-0.133390	-0.249440	-0.233510	-0.259280	-0.254370
$U_1(2)$	1.000000	0.961510	0.846210	0.731610	0.593580	0.452040	0.338380	0.291190	0.243480	0.198070	-0.009747	-0.201570	-0.397150	-0.263180	-0.275510	-0.216440
$U_1(3)$	0.797780	1.000000	0.915020	0.804220	0.674720	0.528610	0.391020	0.346470	0.311730	0.266290	-0.111430	-0.089270	-0.265120	-0.234080	-0.232080	-0.230850
$U_1(4)$	0.730010	0.846210	1.000000	0.958880	0.869270	0.766290	0.599820	0.554970	0.505780	0.499210	0.059529	-0.159600	-0.159600	-0.265570	-0.304340	-0.364300
$U_1(5)$	0.633880	0.731610	0.804220	1.000000	0.956700	0.865090	0.737690	0.668090	0.666420	0.618010	0.360300	0.134370	-0.129500	-0.285530	-0.312420	-0.404500
$U_1(6)$	0.503680	0.593580	0.674720	0.869270	1.000000	0.958600	0.854550	0.801720	0.773180	0.705810	0.393130	0.156450	-0.124240	-0.300400	-0.319410	-0.415020
$U_1(7)$	0.375880	0.452040	0.528610	0.766290	0.865090	1.000000	0.954740	0.904680	0.861040	0.774400	0.401610	0.152220	-0.139000	-0.325390	-0.350400	-0.450550
$U_1(8)$	0.260590	0.338380	0.391020	0.599820	0.737690	0.854550	1.000000	0.954970	0.908690	0.842170	0.445490	0.169770	-0.153050	-0.332950	-0.346180	-0.424090
$U_1(9)$	0.189720	0.291190	0.346470	0.554970	0.668090	0.801720	0.904680	1.000000	0.956890	0.892540	0.465140	0.292760	-0.081408	-0.290220	-0.292220	-0.394240
$U_1(10)$	0.143580	0.243480	0.311730	0.505780	0.666420	0.773180	0.861040	0.904680	1.000000	0.925240	0.734730	0.492970	0.174490	-0.192280	-0.199690	-0.368340
$U_1(11)$	0.139410	0.188070	0.266320	0.499210	0.618010	0.705810	0.842170	0.904680	0.925240	1.000000	1.000000	0.829760	0.174490	-0.192280	-0.199690	-0.368340
$U_1(12)$	0.016557	-0.009747	0.089270	0.059529	0.360300	0.393130	0.395410	0.445490	0.564140	0.734730	1.000000	0.829760	0.174490	-0.192280	-0.199690	-0.368340
$U_1(13)$	-0.133390	-0.201570	-0.111430	0.059829	0.134370	0.156450	0.131130	0.169770	0.292760	0.492970	0.829760	1.000000	0.846390	0.364340	0.286560	0.132690
$U_1(14)$	-0.249440	-0.397150	-0.265120	-0.159600	-0.120500	-0.124240	-0.173190	-0.153050	-0.031108	0.174490	0.829760	0.846390	1.000000	0.625400	0.540620	0.279060
$U_1(15)$	-0.233510	-0.259280	-0.234080	-0.304340	-0.323890	-0.323380	-0.352530	-0.346180	-0.292220	-0.289920	0.155140	0.364340	0.625400	1.000000	0.667940	0.403660
$U_1(16)$	-0.254370	-0.216440	-0.230850	-0.364300	-0.415020	-0.450550	-0.445010	-0.420990	-0.399420	-0.368340	-0.074632	0.132690	0.279060	0.403660	0.534620	1.000000
$U_1(17)$	-0.058160	0.405130	0.404880	0.287770	0.190680	0.152780	0.118650	0.136830	0.097560	0.018332	-0.116920	-0.178640	-0.184980	0.021407	0.044650	0.124720
$U_2(1)$	-0.369210	0.097350	0.115200	-0.012539	-0.042084	-0.027014	-0.013805	0.063484	0.045118	-0.036533	-0.134480	-0.161830	-0.118440	0.075814	0.124490	0.174500
$U_2(2)$	-0.273140	0.157340	0.166090	0.017368	-0.016531	0.001026	0.048568	0.088805	0.056135	-0.053104	-0.197280	-0.254550	-0.223460	0.025110	0.048910	0.120130
$U_2(3)$	-0.062966	0.320980	0.316530	0.148980	0.091220	0.085971	0.060828	0.130820	0.114290	-0.007326	-0.188700	-0.317690	-0.344230	-0.101280	-0.062971	0.027675
$U_2(4)$	-0.025945	0.313770	0.305590	0.131590	0.076257	0.072146	0.069945	0.129640	0.119430	-0.003260	-0.182360	-0.319890	-0.357690	-0.143270	-0.095783	0.004090
$U_2(5)$	0.015162	0.304790	0.292540	0.122080	0.065856	0.067004	0.072537	0.103680	0.133180	0.012242	-0.168750	-0.334640	-0.378880	-0.198790	-0.127940	0.029478
$U_2(6)$	0.048183	0.270460	0.260150	0.116580	0.077797	0.092310	0.160100	0.195330	0.193040	0.078065	-0.116050	-0.315260	-0.366950	-0.239040	-0.156770	-0.043421
$U_2(7)$	0.047370	0.206110	0.197810	0.087173	0.068747	0.098839	0.153170	0.213770	0.241140	0.241140	-0.064783	-0.292140	-0.349780	-0.279470	-0.199530	-0.103690
$U_2(8)$	0.050842	0.189390	0.188750	0.063930	0.079534	0.107270	0.163080	0.256110	0.273320	0.151800	-0.058810	-0.310900	-0.364000	-0.295770	-0.196200	-0.141160
$U_2(9)$	0.092762	0.228860	0.229720	0.139430	0.119310	0.123100	0.161600	0.242830	0.272400	0.171180	-0.053845	-0.298560	-0.351300	-0.317920	-0.163480	-0.167390
$U_2(10)$	0.152540	0.233370	0.217650	0.163600	0.132400	0.094921	0.098809	0.109870	0.139820	0.113980	0.019202	-0.154900	-0.188710	-0.211960	-0.048911	-0.095446
$U_2(11)$	0.087794	0.041813	0.050501	0.018686	0.000156	-0.058335	-0.091306	-0.083403	-0.041805	-0.021626	0.054223	0.059179	0.088885	-0.030049	0.126410	-0.093190
$U_2(12)$	0.088864	0.011220	0.006444	-0.018257	-0.059109	-0.135260	-0.220180	-0.216210	-0.220660	-0.176420	-0.053883	0.008664	0.144760	0.071644	0.229170	0.009172
$U_2(13)$	0.028124	-0.015145	-0.005368	-0.019533	-0.051579	-0.110900	-0.158060	-0.226980	-0.209100	-0.146970	-0.066439	0.035618	0.151300	0.154920	0.285180	-0.000180
$U_2(14)$	-0.005079	-0.068120	-0.030574	0.008070	0.022346	0.018067	0.006153	-0.000834	0.036122	0.109350	0.183000	0.216460	0.175210	0.042162	0.255090	-0.143650
$U_2(15)$	-0.051623	-0.175600	-0.162920	-0.123300	-0.096156	-0.103550	-0.123500	-0.134680	-0.121270	0.032211	0.225300	0.310660	0.201800	0.118340	0.209590	0.180650
$U_2(16)$	0.036825	-0.060096	-0.076591	-0.020489	0.047578	0.065071	0.058744	0.028425	0.020112	0.038931	0.101690	0.241610	0.254000	0.072501	0.044849	0.2923130

表 112 第3回キヤンペーン時放球日風モデル相関行列 (8月, その2)

	$V_1(1)$	$V_1(2)$	$V_1(3)$	$V_1(4)$	$V_1(5)$	$V_1(6)$	$V_1(7)$	$V_1(8)$	$V_1(9)$	$V_1(10)$	$V_1(11)$	$V_1(12)$	$V_1(13)$	$V_1(14)$	$V_1(15)$	$V_1(16)$	$V_1(17)$
$U_1(1)$	-0.058160	-0.369210	-0.273140	-0.062966	0.015162	0.048183	0.047370	0.050842	0.092762	0.152540	0.087794	0.088964	0.028124	-0.005079	-0.051623	0.036825	0.036825
$U_1(2)$	0.405130	0.097350	0.157340	0.320960	0.313770	0.304790	0.270460	0.206110	0.189390	0.228860	0.233370	0.041813	0.011220	-0.068120	-0.175600	-0.060096	-0.060096
$U_1(3)$	0.404680	0.115200	0.166090	0.316530	0.303590	0.292540	0.260150	0.197810	0.188750	0.229720	0.247650	0.050501	0.006444	-0.005368	-0.162920	-0.076591	-0.076591
$U_1(4)$	0.257770	-0.012539	0.017968	0.146880	0.131590	0.129080	0.087173	0.039890	0.139490	0.163800	0.163800	0.018686	0.018257	0.068070	-0.123300	-0.020489	-0.020489
$U_1(5)$	0.190680	-0.042084	-0.016531	0.091220	0.076257	0.068556	0.077797	0.079534	0.119340	0.119340	0.132400	0.000156	-0.059169	-0.051579	0.022246	-0.096156	0.047578
$U_1(6)$	0.120460	-0.013805	0.014765	0.077056	0.069945	0.067004	0.092310	0.099839	0.107270	0.123100	0.094921	-0.058335	-0.152600	0.018067	-0.103550	0.065071	0.065071
$U_1(7)$	0.113680	0.062483	0.048568	0.090820	0.089915	0.103680	0.160100	0.213770	0.224690	0.098590	-0.091306	-0.220180	-0.208610	0.006153	-0.132200	0.058744	0.058744
$U_1(8)$	0.089750	0.045118	0.056135	0.114290	0.119430	0.133180	0.193040	0.240750	0.256110	0.242830	0.109870	-0.085403	-0.245210	-0.226980	-0.000834	-0.134680	0.028425
$U_1(9)$	0.018332	-0.036533	-0.065104	-0.007326	-0.008621	0.012242	0.078065	0.126390	0.151800	0.171180	0.113880	-0.021626	-0.176420	-0.146970	0.109350	0.032211	0.032211
$U_1(10)$	-0.116920	-0.134480	-0.187280	-0.168700	-0.182360	-0.168750	-0.119050	-0.064783	-0.058810	-0.053845	0.019202	0.054223	-0.053883	-0.066439	0.183000	0.225300	0.101690
$U_1(11)$	-0.176640	-0.161830	-0.254550	-0.317690	-0.319890	-0.334840	-0.315260	-0.292140	-0.310800	-0.298560	-0.154900	0.059179	0.008664	0.035618	0.216460	0.310660	0.216460
$U_1(12)$	-0.184980	-0.118440	-0.223460	-0.344230	-0.357690	-0.378830	-0.366950	-0.349780	-0.364000	-0.351300	-0.188710	0.088885	0.144780	0.151300	0.175210	0.231800	0.231800
$U_1(13)$	0.021407	0.075814	0.025110	-0.101280	-0.146270	-0.198790	-0.239040	-0.275470	-0.295770	-0.317920	-0.211960	-0.030049	0.071544	0.154320	0.042162	0.118340	0.072501
$U_1(14)$	0.046540	0.124490	0.048910	-0.062971	-0.095783	-0.127940	-0.156770	-0.199530	-0.192900	-0.163480	-0.048911	0.126410	0.229170	0.285180	0.259090	0.205950	0.044849
$U_1(15)$	0.124720	0.174500	0.120130	0.027675	0.004090	0.002478	-0.043421	-0.103690	-0.141160	-0.167390	-0.095446	-0.099190	0.009172	-0.001801	-0.148650	0.180650	0.232130
$V_1(1)$	1.000000	0.925330	0.809560	0.823760	0.729750	0.620220	0.480260	0.316340	0.269400	0.229460	0.111370	-0.140920	-0.179590	-0.105050	-0.134090	-0.221400	-0.167490
$V_1(2)$	0.925330	1.000000	0.960220	0.832040	0.747650	0.642790	0.505770	0.354730	0.305690	0.274160	0.137750	-0.107310	-0.166410	-0.090462	-0.103730	-0.217460	-0.205910
$V_1(3)$	0.809560	0.960220	1.000000	0.918580	0.840910	0.745740	0.612480	0.451880	0.403270	0.364830	0.202320	-0.087916	-0.186570	-0.112250	-0.249230	-0.250000	-0.250000
$V_1(4)$	0.823760	0.832040	0.918580	1.000000	0.970920	0.901080	0.794050	0.641600	0.594380	0.570680	0.381780	0.038653	-0.138720	-0.080192	-0.306440	-0.323140	-0.323140
$V_1(5)$	0.729750	0.747650	0.840910	0.970920	1.000000	0.968690	0.890160	0.761680	0.711570	0.682460	0.492850	0.129880	-0.094001	-0.086069	-0.034133	-0.274310	-0.351010
$V_1(6)$	0.620220	0.642790	0.745740	0.901080	0.968690	1.000000	0.966170	0.871600	0.824910	0.777940	0.596380	0.201830	-0.059008	-0.102610	-0.239460	-0.239460	-0.342930
$V_1(7)$	0.480260	0.505770	0.612480	0.794050	0.890160	0.966170	1.000000	0.958100	0.918540	0.855410	0.656770	0.240410	-0.044478	-0.114640	-0.002036	-0.236280	-0.333570
$V_1(8)$	0.316340	0.354730	0.451880	0.641600	0.761680	0.871600	0.958100	1.000000	0.978780	0.903830	0.700940	0.290490	0.002139	0.029866	-0.200490	-0.310020	-0.310020
$V_1(9)$	0.260400	0.305860	0.403270	0.594380	0.711570	0.824910	0.918540	0.978780	1.000000	0.950810	0.752450	0.368100	0.079171	-0.027295	0.087093	-0.206690	-0.328420
$V_1(10)$	0.229460	0.274160	0.364830	0.570890	0.682460	0.777940	0.855410	0.930390	0.950810	1.000000	0.850240	0.500310	0.201750	0.091465	0.171810	-0.202650	-0.384510
$V_1(11)$	0.113370	0.137750	0.202520	0.381780	0.492850	0.596380	0.656770	0.700940	0.752450	0.850240	1.000000	0.765580	0.498480	0.364840	0.408260	0.055940	-0.313800
$V_1(12)$	-0.140920	-0.107310	-0.087916	0.038653	0.129880	0.201830	0.240410	0.290490	0.368100	0.500310	0.765580	1.000000	0.829220	0.671860	0.597530	0.241560	-0.133940
$V_1(13)$	-0.179590	-0.166410	-0.186370	-0.138720	-0.094001	-0.039008	-0.044478	0.002139	0.029866	0.091465	0.408430	0.829220	1.000000	0.865540	0.671900	0.333230	0.012171
$V_1(14)$	-0.105050	-0.090462	-0.115340	-0.106010	-0.096069	-0.102610	-0.114640	-0.095046	-0.027295	0.091465	0.364840	0.671860	0.865540	1.000000	0.724640	0.396700	0.024673
$V_1(15)$	-0.221400	-0.217460	-0.249230	-0.206440	-0.274310	-0.239460	-0.236280	-0.200490	-0.206690	-0.205650	0.053940	0.241560	0.333230	0.396700	1.000000	0.468570	0.336800
$V_1(17)$	-0.167490	-0.205910	-0.323140	-0.323140	-0.351010	-0.342930	-0.335710	-0.310020	-0.328420	-0.384510	-0.313800	-0.139940	0.012171	0.024673	0.036800	1.000000	1.000000

## 9.6 連続突風モデル

本稿で定義する連続突風モデルは局所水平面から測った重心高度 $h^{CG}$ をパラメータとして、局所水平座標系における連続突風ベクトル $^H[U_g \ V_g \ W_g]^T$ を計算するものである。なお南北方向成分 $^H U_g$ と東西方向成分 $^H V_g$ 、上下方向成分 $^H W_g$ はそれぞれ南風、西風、下方向を正とする。ただし孤立突風ならびに連続突風の角速度成分は考慮しないものとする。

機体軸系での連続突風のパワースペクトル密度として次式の **Dryden** モデルを用いた。

$$\Phi_{B_{U_g}}(\omega) = \sigma_U^2 \frac{2L_U}{\pi V_{TAS}^{CG}} \frac{1}{1 + \left(\frac{L_U \omega}{V_{TAS}^{CG}}\right)^2} \quad (164)$$

$$\Phi_{B_{V_g}}(\omega) = \sigma_V^2 \frac{L_V}{\pi V_{TAS}^{CG}} \frac{1 + 3\left(\frac{L_V \omega}{V_{TAS}^{CG}}\right)^2}{\left\{1 + \left(\frac{L_V \omega}{V_{TAS}^{CG}}\right)^2\right\}^2} \quad (165)$$

$$\Phi_{B_{W_g}}(\omega) = \sigma_W^2 \frac{L_W}{\pi V_{TAS}^{CG}} \frac{1 + 3\left(\frac{L_W \omega}{V_{TAS}^{CG}}\right)^2}{\left\{1 + \left(\frac{L_W \omega}{V_{TAS}^{CG}}\right)^2\right\}^2} \quad (166)$$

式(164)～式(166)で $L_U, L_V, L_W$ と $\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W$ はそれぞれモデルパラメータである乱れのスケール長および乱れの強さであり、一般的には MIL-F-8785C や MIL-F-9490D に定義されている値が用いられる。MIL-F-8785C や MIL-F-9490D では高度 80000 ft 以上では $L_U, L_V, L_W$ および $\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W$ は一定値となっているが、D-SEND#2 落下試験における機体の分離高度は 30 km 付近であるため、その領域を適切にカバーするために、スペースシャトルの乱気流シミュレーションモデルである NASA-TM-4511 をベースに $L_U, L_V, L_W$ と $\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W$ の値を高度 1 km 以上では表 113 と表 114 を線形補間、高度 1 km 未満の領域での値は次式の通りに設定した。なお実際の設計評価における遭遇確率は $3 \times 10^{-3}$ を用いた。

$$L_u = \begin{cases} 31.5 \left(\frac{h^{CG}}{18.3}\right)^{0.6425} & (18.3 \leq h^{CG} < 300) \\ 31.5 & (0 \leq h^{CG} < 18.3) \end{cases} \quad (167)$$

$$L_v = \begin{cases} 18.4 \left(\frac{h^{CG}}{18.3}\right)^{0.8347} & (18.3 \leq h^{CG} < 300) \\ 18.4 & (0 \leq h^{CG} < 18.3) \end{cases} \quad (168)$$

$$L_w = \begin{cases} 10.0 \left(\frac{h^{CG}}{18.3}\right)^{1.0528} & (18.3 \leq h^{CG} < 300) \\ 10.0 & (0 \leq h^{CG} < 18.3) \end{cases} \quad (169)$$

$$\sigma_u = \begin{cases} 0.20U_{6.1} \left( \frac{h^{CG}}{18.3} \right)^{0.3575 \ln\left(\frac{2.3}{0.20U_{6.1}}\right)} & (18.3 \leq h^{CG} < 300) \\ 0.20U_{6.1} & (0 \leq h^{CG} < 18.3) \end{cases} \quad (170)$$

$$\sigma_v = \begin{cases} 0.15U_{6.1} \left( \frac{h^{CG}}{18.3} \right)^{0.3575 \ln\left(\frac{2.3}{0.15U_{6.1}}\right)} & (18.3 \leq h^{CG} < 300) \\ 0.15U_{6.1} & (0 \leq h^{CG} < 18.3) \end{cases} \quad (171)$$

$$\sigma_w = \begin{cases} 0.11U_{6.1} \left( \frac{h^{CG}}{18.3} \right)^{0.3575 \ln\left(\frac{2.3}{0.11U_{6.1}}\right)} & (18.3 \leq h^{CG} < 300) \\ 0.11U_{6.1} & (0 \leq h^{CG} < 18.3) \end{cases} \quad (172)$$

ただし、式(170)から式(172)において $U_{6.1} = 14.0$  m/s は高度 6.1 m における風速である。

機体軸系における乱気流ベクトルは単位パワースペクトル密度のホワイトノイズ $\eta(t)$ を次式の Dryden 型のフィルタに通すことで生成される。ただし数値シミュレーションは離散的であるため、ホワイトノイズの乱数列が連続系におけるホワイトノイズの特性と同等でなければならない。

$$\dot{d}_{U1} = -\frac{V_{TAS}^{CG}}{L_U} d_{U1} + \sqrt{\frac{2V_{TAS}^{CG}\sigma_U^2}{L_U\pi}} \eta(t) \quad (173)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{d}_{V1} \\ \dot{d}_{V2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{2V_{TAS}^{CG}}{L_V} & -\left(\frac{V_{TAS}^{CG}}{L_V}\right)^2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_{V1} \\ d_{V1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{3V_{TAS}^{CG}\sigma_V^2}{L_V\pi}} \left( \frac{V_{TAS}^{CG}}{\sqrt{3}L_V} - \frac{2V_{TAS}^{CG}}{L_V} \right) \\ \sqrt{\frac{3V_{TAS}^{CG}\sigma_V^2}{L_V\pi}} \end{bmatrix} \eta(t) \quad (174)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{d}_{W1} \\ \dot{d}_{W2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{2V_{TAS}^{CG}}{L_W} & -\left(\frac{V_{TAS}^{CG}}{L_W}\right)^2 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_{W1} \\ d_{W1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{3V_{TAS}^{CG}\sigma_W^2}{L_W\pi}} \left( \frac{V_{TAS}^{CG}}{\sqrt{3}L_W} - \frac{2V_{TAS}^{CG}}{L_W} \right) \\ \sqrt{\frac{3V_{TAS}^{CG}\sigma_W^2}{L_W\pi}} \end{bmatrix} \eta(t) \quad (175)$$

$${}^H \begin{bmatrix} U_g \\ V_g \\ W_g \end{bmatrix} = \mathbf{T}_{B/H}^{-1} \begin{bmatrix} U_g \\ V_g \\ W_g \end{bmatrix} = \mathbf{T}_{B/H}^{-1} \begin{bmatrix} d_{U1} \\ d_{V2} \\ d_{W2} \end{bmatrix} \quad (176)$$

表 113 連続突風モデルの乱れの強さ (高度 1km 以上)

h[km]	$\sigma_U$ [m/s]			$\sigma_V, \sigma_W$ [m/s]		
	遭遇確率			遭遇確率		
	$3 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-5}$
120	36.0	40.0	57.0	10.0	11.0	16.0
90	28.0	32.0	48.0	10.0	11.0	16.0
60	7.0	8.2	13.0	3.0	3.6	6.0
30	1.8	2.4	4.4	1.2	1.5	2.8
20	1.2	1.5	3.0	1.0	1.3	2.6
10	1.8	3.2	6.5	1.4	2.5	5.0
1	2.8	3.5	5.5	2.3	2.9	4.5

表 114 連続突風モデルの乱れのスケール長 (高度 1km 以上)

h[km]	$L_U$ [m]	$L_V, L_W$ [m]
120	200.0	16.0
50	58.0	5.0
30	25.0	9.0
20	6.0	4.0
10	1.2	1.1
1	0.8	0.6
0.3	0.19	0.19

## 10 ブーム伝播解析

ここでは前章までの 6 自由度非線形飛行シミュレーションモデルを使って計算した飛行データをもとに、BMS で所望のブームが計測できるかどうかを判定するためのブーム伝播解析についてまとめる。ブーム伝播解析は機体重心位置を頂点とする円錐表面をブームが伝播すると近似してブームの三次元空間での伝播を模擬するものである。ただし計算負荷の観点から、MCS では大気温度の変化や定常風の影響によるブームコーンの屈折ならびにフォーカシングの影響を考慮したブーム伝播解析は通常は行わず、必要に応じて実施した。

### 10.1 ブームコーンによる三次元伝播モデル

ブームコーンによる三次元伝播モデルの概要を図 19 および図 20 に示す。ブームコーンはブームが発生した時の機体重心位置を頂点とし、重心対気速度ベクトルの方向を軸とする円錐によって定義される。ブーム計測座標系の  $X_M - Y_M$  平面とブームコーンとの交線（形状は楕円あるいは双曲線）が BMS のマイクと交差したときにブームが計測される。

6 自由度非線形シミュレーションの飛行データは離散的であるため、飛行データのうち計測フェーズ中に 11.1 節の計測条件を満足する全ての時刻においてブーム伝播解析を実施してこの交線を求め、交線が BMS と交差した時刻にブームが計測されたと定義する。交線を求めるための幾何学的な解析の詳細は 10.3 節に示す。

ただし、目的のブーム波形が計測できるのは機体の下面で発生したブームなので、この範囲内で BMS と交差しなくてはならない。この判定は対気速度座標系で行う。所望の波形が観測できるための条件は、BMS に到達したブームが発生した時点での重心対気速度ベクトル周りの機体のロール角（バンク角）を  $\sigma$ 、またその時の機体重心位置から BMS へ向かうベクトル  ${}^H d_{BMS} = [X_{BMS} \ Y_{BMS} \ h - h_{mic}]^T$  を  $Y_V - Z_V$  平面へ投影したもの（図 19 において対気速度座標系の原点から  $P_{BMS}$  に向かうベクトル）と  $Z_V$  軸のなす角度を  $\xi$  としたとき、 $|\sigma - \xi| \leq 40^\circ$  を満足することである。ただし  $h_{mic}$  は BMS のマイク高度であり、 $\sigma, \xi$  の符号は  $X_V$  軸の正方向に右ねじを回す向きの角度を正とする。 $\sigma, \xi$  は次式で与えられる。

$$\sigma = -\operatorname{atan}\left(\frac{{}^V e_z}{{}^V e_y}\right)$$

$${}^V \begin{bmatrix} e_x \\ e_y \\ e_z \end{bmatrix} = \mathbf{T}_{V/TA} \mathbf{T}_{TA/H} \mathbf{T}_{B/H}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (177)$$

$$\xi = -\operatorname{atan}\left(\frac{{}^V d_{BMSz}}{{}^V d_{BMSy}}\right)$$

$${}^V \begin{bmatrix} d_{BMSx} \\ d_{BMSy} \\ d_{BMSz} \end{bmatrix} = \mathbf{T}_{V/TA} \mathbf{T}_{TA/H} {}^H d_{BMS} \quad (178)$$



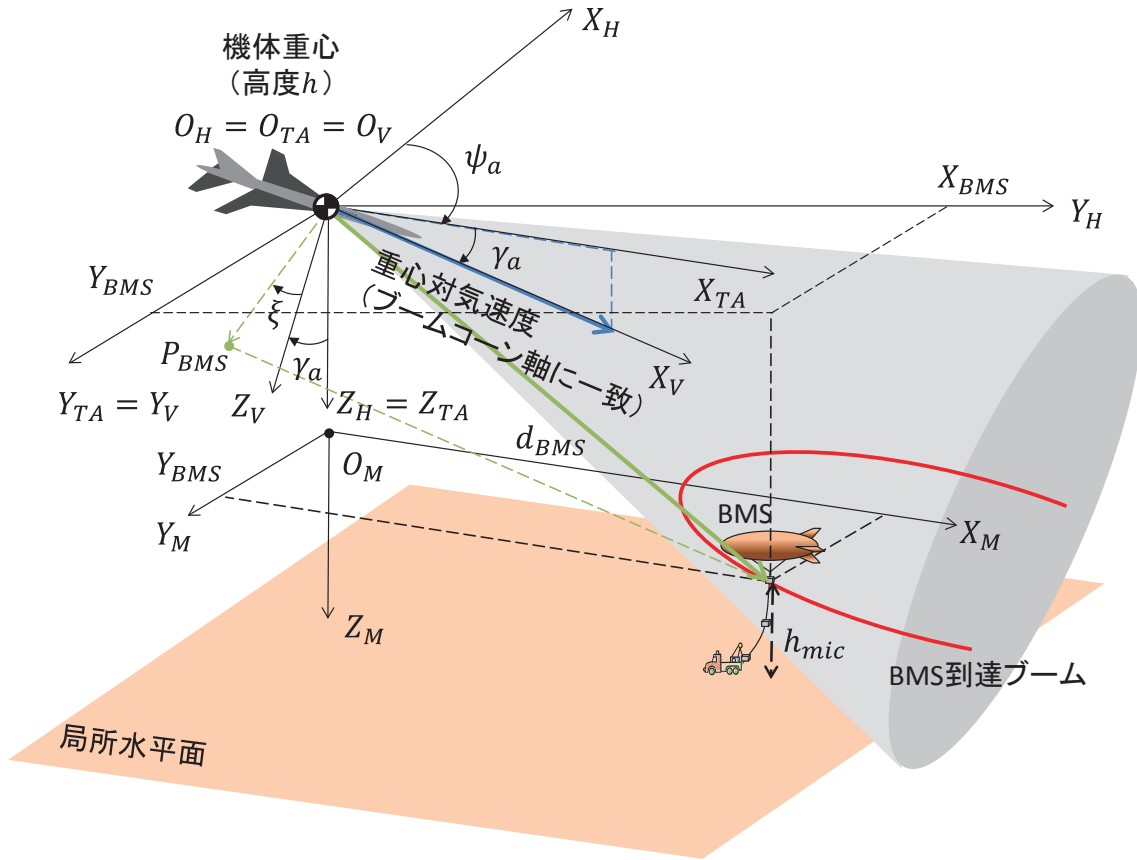


図 19 ブームコーンによる三次元伝播モデルの概要 (その 1)

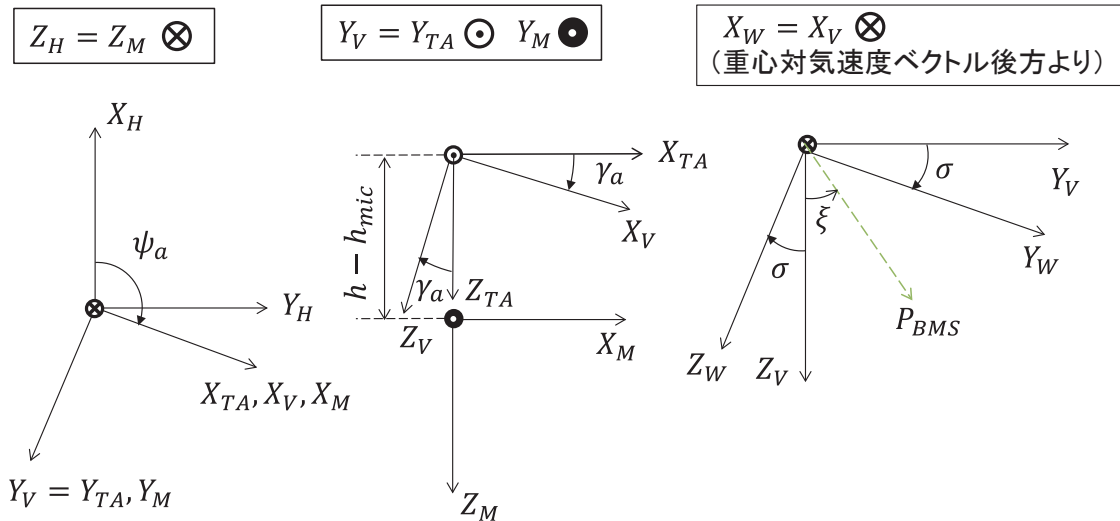


図 20 ブームコーンによる三次元伝播モデルの概要 (その 2)

## 10.2 Blimp ドリフトモデル

ブーム計測に用いるマイクは Blimp を係留しているテザーに 250 m の間隔で取り付けられており、Blimp のノミナル位置は地表から鉛直上方 1000 m の位置である。ただし実際には Blimp は定常風に流されてしまうため、マイクの水平位置ならびに高度も変化する。そこで D-SEND#1 と ABBA（2009 年から 2011 年に計 3 回実施された BMS 機能確認試験）における Blimp 位置の実測データを検証したところ、Blimp のノミナル位置からのドリフト量と風向きおよび風速の間にはある程度相関があることがわかった。

いま Blimp のドリフト方向は定常風の向きに一致するものとし、Blimp を係留しているテザーの変形を FEM により解析したところ、Blimp のノミナル位置からの水平変位と変位後の Blimp 高度のテーブルがそれぞれに表 115 と表 116 に示すように定常風の風速  $\sqrt{U_s^2 + V_s^2}$  をパラメータとして得られたので、これを線形補間して用いるものとした。なお、補外する場合は端点保持とする。

表 115 Blimp の水平面内のドリフト量 (m) と風速の関係

Blimp ノミナル高度[m]	定常風の風速[m/s]						
	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	2.32	9.10	19.03	28.94	36.16	40.49	42.54
250	11.45	45.09	95.33	147.87	188.62	214.49	227.20
500	20.33	80.28	171.49	271.41	354.71	411.79	441.45
750	26.34	104.29	224.33	361.07	483.33	575.26	627.34
1000	30.04	118.96	257.30	418.58	569.86	692.41	767.99

表 116 変位後の Blimp 高度 (m) と風速の関係

Blimp ノミナル高度[m]	定常風の風速[m/s]						
	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	50.06	49.21	46.02	39.95	32.74	26.34	22.27
250	250.40	246.57	231.80	202.43	165.39	130.67	107.77
500	500.95	494.79	470.64	420.55	353.27	285.79	238.96
750	751.68	744.44	715.78	654.71	568.48	475.98	407.51
1000	1002.54	994.89	964.47	898.84	803.81	697.58	614.96

### 10.3 ブーム計測システムにおけるブーム計測判定方法

マッハ角を $\mu = 1/\cos M^{CG}$ とすると、 $-\gamma_a - \mu > 0$ のときブーム計測座標系の $X_M - Y_M$ 平面とブームコーンとの交線は楕円、 $-\gamma_a - \mu \leq 0$ のときは双曲線となる。 $-\gamma_a - \mu > 0$ の場合における $X_M - Y_M$ 平面とブームコーンとの交線との関係を図 21 に示す。ブームコーンの円錐の方程式は対気速度座標系では

$${}^V Z^2 + {}^V Y^2 = {}^V X^2 \tan^2 \mu \tag{179}$$

で表現され、また対気速度座標系と対気方位角座標系の関係は

$${}^V \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = T_{V/TA} {}^{TA} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \gamma_a & 0 & -\sin \gamma_a \\ 0 & 1 & 1 \\ \sin \gamma_a & 0 & \cos \gamma_a \end{bmatrix} {}^{TA} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \tag{180}$$

であるので、これを式(179)に代入すると

$$({}^{TA} X \sin \gamma_a + {}^{TA} Z \cos \gamma_a)^2 + {}^{TA} Y^2 = ({}^{TA} X \cos \gamma_a - {}^{TA} Z \sin \gamma_a)^2 \tan^2 \mu \tag{181}$$

となる。これを ${}^{TA} Y$ について解くと

$${}^{TA} Y = \pm \sqrt{({}^{TA} X \cos \gamma_a - {}^{TA} Z \sin \gamma_a)^2 \tan^2 \mu - ({}^{TA} X \sin \gamma_a + {}^{TA} Z \cos \gamma_a)^2} \tag{182}$$

となる。対気方位角座標系における $P_1, P_2$ の座標は ${}^{TA} [(h - h_{mic}) \tan(-\gamma_a \pm \mu) \quad 0 \quad h - h_{mic}]^T$ であるので、 $(h - h_{mic}) \tan(-\gamma_a + \mu) \leq {}^{TA} X \leq (h - h_{mic}) \tan(-\gamma_a - \mu)$ の範囲では式(182)において ${}^{TA} Z = h - h_{mic}$ とすることで交線となる楕円の軌跡を求めることができる。なおこの範囲外においても式(182)で同様に ${}^{TA} Z = h - h_{mic}$ として双曲線軌道が計算される。

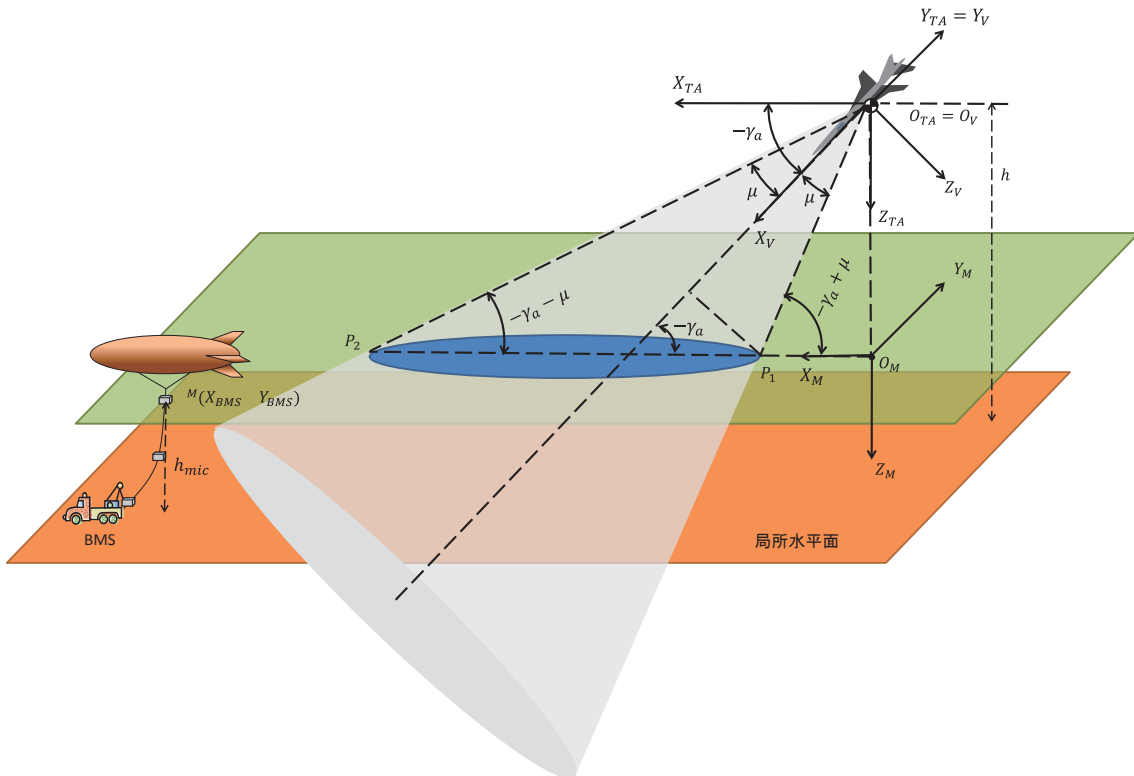


図 21 ブーム計測座標系におけるブームコーンとの交線（楕円）の計算

式(182)で記述される楕円もしくは双曲線が **BMS** を横切る瞬間を判定することにより **BMS** でブームが計測される時刻を決定できる。ただし **D-SEND#2** における計測マッハ数は 1.2 から 1.4 程度、 $\gamma_a \cong -45^\circ$  程度であり  $-\gamma_a - \mu$  の値が十分小さくなることから、機体上方から発生するブームに対応する  $P_2$  近傍の線分は **BMS** よりもかなり遠方 ( $P_2 > {}^M X_{BMS}$ ) となる。そのため楕円軌道のうち実際に **BMS** を横切るのは機体下方から発生するブームに対応する  $P_1$  近傍の線分に限られる。そこで楕円軌道のうち  $P_1$  を含む側の半分 (弧  $P_{Ymin}P_1P_{Ymax}$ ) のみを交差判定の対象とする。

## 11 モンテカルロシミュレーション評価基準

ここでは前節までの 6 自由度飛行シミュレーションモデルとブーム伝播解析に基づきモンテカルロシミュレーション (MCS) を行った結果を D-SEND#2 のミッション要求に照らして評価するための基準についてまとめる。

### 11.1 D-SEND#2 誘導制御則に対するミッション要求

D-SEND#2 誘導制御則に対するミッション要求は機体分離から計測終了までの間の飛行状態に対する要求と、ソニックブームの計測要求に大別される。第 1 回キャンペーンから第 3 回キャンペーンまでの誘導制御則に対するミッション要求は表 117 から表 119 に示す通りである。ただし計測要求の評価にあたっては BMS の 3 つの計測マイクのうち、高度 750 m のものだけに対して実施するものとし、全 BMS サイトの標高は一律に 500 m とした。表 117 にはマッハ数変化率 $\dot{M}^R$ に関する要求があるが、連続突風を考慮した MCS を行った場合、連続突風に伴う $\dot{M}^R$ の変動の影響により BMS に到達したブームの前後 0.5 秒間の全区間で $\dot{M}^R$ を姿勢制御により要求値以内に収めることは難しいため、対象区間における $\dot{M}^R$ の 1.5 秒間の移動平均値により評価するものとする。

地上局からの仰角 $\theta_{ELV}^{CG}$ は図 22 を参考に、地球の曲率を考慮して次式の通り計算する。ただし、 $h_s$ は地上局高度、 $R_p$ は地上局から機体重心までの水平距離で $R_p \ll R_e$ とする。

$$\theta_{ELV}^{CG} = \tan^{-1} \left\{ \frac{h^{CG} - h_s - \Delta h}{R_p} \right\} \quad (183)$$

$$\Delta h = \sqrt{R_e^2 + R_p^2} - R_e \quad (184)$$

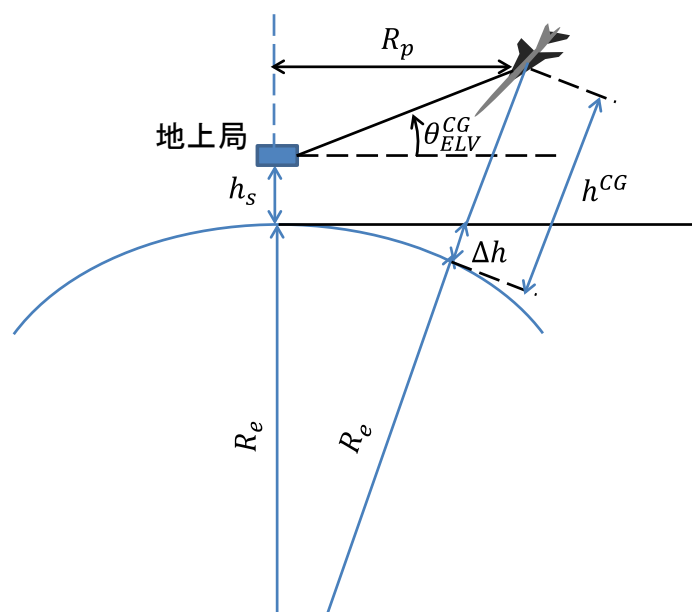


図 22 地上局からの仰角の定義

表 117 ミッション要求一覧 (第 1 回落下試験時)

種別	項目	要求	備考
飛行要求	飛行領域制限	Zone B 内で飛行すること	飛行安全上の制限
	フライトエンベロープ制限	$\bar{q}^R \leq 65 \text{ kPa}$	動圧制限
		$M^R \leq 1.7$	マッハ数制限
		$V_G^{CG} \leq 1000 \text{ kt}$	GPS 対地速度制限
		$0.735 \leq M^R \leq 1.2$ で $V_{EAS}^{CG} \leq 250 \text{ m/s}$	遷音速フラッタ制限
		$h_{bar}^{CG} \leq 32 \text{ km}$	機器環境条件制限
	荷重倍数制限	$ N_2^{CG}  \leq 4.5 \text{ G}$	機体構造制限
	迎角制限	$M^R > 0.6$ のとき $-11^\circ \leq \alpha^R \leq 16^\circ$	空力モデルの適用可能範囲
	横滑り角制限	$M^R > 0.6$ のとき $ \beta^R  \leq 10^\circ$	
	仰角制限	$\theta_{ELV}^{CG} \geq 3.0^\circ$	地上局との通信の確保
ヒンジモーメント制限	$ HM  \leq 981 \text{ N}\cdot\text{m}$	アクチュエータ能力制限	
計測要求	計測時マッハ数要求	$1.25 \leq M^R \leq 1.35$	BMS に到達したブームの前後 0.5 秒間に発生したブームが対象
	計測時マッハ数変化率要求	$ \dot{M}^R  \leq 0.01 \text{ [1/s]}$	
	計測時揚力係数要求	$0.1 \leq C_L^R \leq 0.13$	
	計測時機体姿勢要求	$ \sigma - \xi  \leq 40^\circ$	10.1 節参照
	計測時高度	$h^{CG}/L_{ref} \leq 600$	$h^{CG}/L_{ref}$ は換算飛行高度

表 118 ミッション要求一覧 (第2回落下試験時)

種別	項目	要求	備考
飛行要求	飛行領域制限	Zone B 内で飛行すること	飛行安全上の制限
	フライトエンベロープ制限	$\bar{q}^R \leq 65 \text{ kPa}$ ただし計測ブームが発生した後は $V_{EAS} \leq 360 \text{ m/s}$	動圧制限
		$M^R \leq 1.7$	マッハ数制限
		$V_G^{CG} \leq 1000 \text{ kt}$	GPS 対地速度制限
		$0.735 \leq M^R \leq 1.2$ で $V_{EAS}^{CG} \leq 250 \text{ m/s}$	遷音速フラッタ制限
		$h_{bar}^{CG} \leq 32 \text{ km}$	機器環境条件制限
	荷重倍数制限	$ N_z^{CG}  \leq 4.5 \text{ G}$	機体構造制限
	迎角制限	$M^R > 0.6$ のとき $-10^\circ \leq \alpha^R \leq 15^\circ$	空力モデルの適用可能範囲
	横滑り角制限	$0.6 < M^R < 0.9$ のとき $ \beta^R  \leq 10^\circ$ $M^R \geq 0.9$ のとき $ \beta^R  \leq 5^\circ$	
	仰角制限	$\theta_{ELV}^{CG} \geq 3.0^\circ$	地上局との通信の確保
ヒンジモーメント制限	$ HM  \leq 981 \text{ N}\cdot\text{m}$	アクチュエータ能力制限	
計測要求	計測時マッハ数要求	$1.2 \leq M^R \leq 1.4$	BMS に到達したブームの前後 0.5 秒間に発生したブームが対象
	計測時揚力係数要求	$0.1 \leq C_L^R \leq 0.13$	
	計測時機体姿勢要求	$ \sigma - \xi  \leq 40^\circ$	10.1 節参照
	計測時高度	$h^{CG} \leq 11 \text{ km}$	—

表 119 ミッション要求一覧 (第3回キャンペーン時)

種別	項目	要求	備考
飛行要求	飛行領域制限	Zone B 内で飛行すること	飛行安全上の制限
	フライトエンベロープ制限	$\bar{q}^R \leq 65 \text{ kPa}$ ただし計測ブームが発生した後は $V_{EAS} \leq 360 \text{ m/s}$	動圧制限
		$M^R \leq 1.7$	マッハ数制限
		$V_G^{CG} \leq 1000 \text{ kt}$	GPS 対地速度制限
		図 23 参照	遷音速フラッタ制限
		$h_{bar}^{CG} \leq 32 \text{ km}$	機器環境条件制限
	荷重倍数制限	$ N_2^{CG}  \leq 4.5 \text{ G}$	機体構造制限
	迎角制限	$M^R > 0.6$ のとき $-10^\circ \leq \alpha^R \leq 15^\circ$	空力モデルの適用可能範囲
	横滑り角制限	$0.6 < M^R < 0.9$ のとき $ \beta^R  \leq 10^\circ$ $M^R \geq 0.9$ のとき $ \beta^R  \leq 5^\circ$	
	仰角制限	$\theta_{ELV}^{CG} \geq 3.0^\circ$	
ヒンジモーメント制限	$ HM  \leq 981 \text{ N}\cdot\text{m}$	アクチュエータ能力制限	
計測要求	計測時マッハ数要求	$1.2 \leq M^R \leq 1.4$	BMS に到達したブームの前後 0.5 秒間に発生したブームが対象
	計測時揚力係数要求	$0.1 \leq C_L^R \leq 0.13$	
	計測時機体姿勢要求	$ \sigma - \xi  \leq 40^\circ$	10.1 節参照
	計測時高度	$h^{CG} \leq 11 \text{ km}$	—

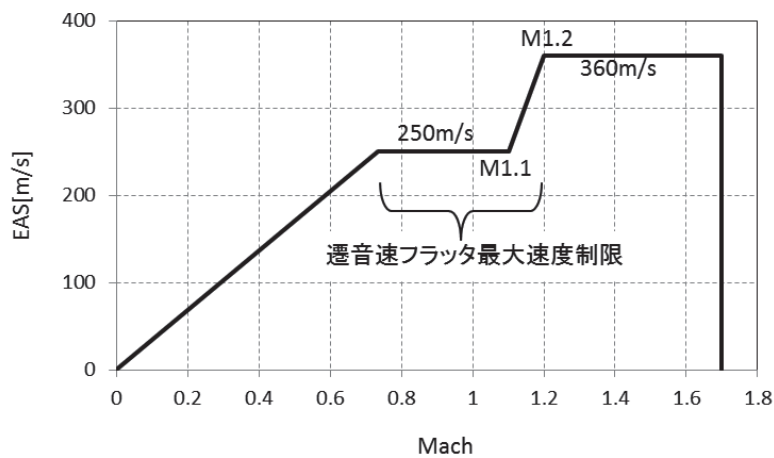


図 23 遷音速フラッタ条件 (第3回キャンペーン時)



## 11.2 ミッション成否判定

D-SEND#2 のミッション成否は表 117 から表 119 に示したミッション要求と、表 120 の飛行不良判定項目に照らして、4つのカテゴリー（計測成功、計測不良、制限超過、飛行不良）に分類して判定する。各カテゴリーの定義は次に示す通りである。なお D-SEND#2 誘導制御則の設計要求は 90 %以上の計測成功率を満足することである。

### ➤ 飛行不良

表 117 から表 119 に示されている飛行要求のうち、飛行領域制限が満足されない、または表 120 に示す判定項目のうちいずれか一つ以上に当てはまる場合、機体喪失や飛行安全上のクリティカルな問題につながる可能性が高い

### ➤ 制限超過

表 117 から表 119 に示されている飛行要求のうち、飛行領域制限を除くいずれか一つ以上の項目が飛行中に満足されていない場合、ただし機体喪失や飛行安全上のクリティカルな問題につながる可能性はほとんどない

### ➤ 計測不良

表 117 から表 119 に示されている飛行要求は飛行の全区間において全て満足されているが、計測要求のうちいずれか一つ以上が満足されていない場合、飛行状態に問題はないが、BMS におけるブーム計測が適切に行われていない可能性がある

### ➤ 計測成功

上記 3つのカテゴリーのいずれにも該当しない場合、飛行履歴に問題はなく、BMS でのブーム計測も適切に行われている

表 120 飛行不良判定項目

飛行不良判定項目	第 1 回キャンペーン時	第 2 回キャンペーン時	第 3 回キャンペーン時
ロール角超過	$ \phi  > 90^\circ$	$ \phi  > 90^\circ$	$ \phi  > 90^\circ$
迎角超過	$M^R > 0.6$ のとき $\alpha^R < -20^\circ$ または $\alpha^R > 25^\circ$	$0.6 < M^R < 0.9$ のとき $ \alpha^R  \leq 30^\circ$ $M^R \geq 0.9$ のとき $\alpha^R < -10^\circ$ または $\alpha^R > 15^\circ$	$0.6 < M^R < 0.9$ のとき $ \alpha^R  \leq 30[\text{deg}]$ $M^R \geq 0.9$ のとき $\alpha^R < -10[\text{deg}]$ または $\alpha^R > 15[\text{deg}]$
横滑り角超過	$M^R > 0.6$ のとき $ \beta^R  > 10^\circ$	$M^R > 0.6$ のとき $ \beta^R  > 10^\circ$	$M^R > 0.6$ のとき $ \beta^R  > 10^\circ$

### 11.3 ミッション成功率の信頼区間

D-SEND#2 誘導制御則の設計要求である 90 %以上の計測成功率は MCS の結果により保証する必要があるが、MCS で得られるミッション成功率 $\hat{p}$ は有限回の試行による推定値であるため、実際のミッション成功率 $p$ とは異なる。大数の法則により試行回数 $N_{MCS}$ が十分に大きいときに $\hat{p}$ は $p$ の一致推定量となることが知られているが、MCS は計算負荷が高い評価手法であるため、 $N_{MCS}$ を必要最低限の値に設定することが重要である。そこで本稿では区間推定の考え方をを用いて、 $N_{MCS}$ をパラメータとした場合に信頼区間の下限値がどのように変化するかについてまとめる。詳細については文献 [7]に詳しい。

区間推定は $p$ がある区間 $[P_L, P_U]$ に入る確率が $1 - \alpha$  ( $\alpha$ は $p$ が区間に入らない確率) 以上になるように保証する方法であり、 $[P_L, P_U]$ を信頼区間と呼ぶ。D-SEND#2 誘導制御則の評価では 95 %信頼区間 ( $1 - \alpha = 0.95$ ) を用いるものとする。MCS におけるミッション成功率は成功か失敗かの二値で判定されるため、 $p$ は二項分布に従う。二項分布の両側信頼区間は文献 [8]より

$$[P_L, P_U] = \left[ \hat{p} - Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1 - \hat{p})}{N_{MCS}}}, \hat{p} + Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1 - \hat{p})}{N_{MCS}}} \right] \quad (185)$$

式(185)において $Z_{\alpha/2}$ では上側、下側それぞれの累積確率が $\alpha/2$ となるときのパーセント点であり、通常 MCS で行う程度の試行回数ならば $Z_{\alpha/2} = 1.960$ となる。

ただし、ミッション成功率の信頼区間を求める場合には、実際の成功率が上側信頼限界の外側にある ( $p > P_U$ ) である分には問題がないため、次式で与えられる片側信頼区間を求めればよい。この場合下側累積確率が $\alpha$ となるようにすればよいので、 $Z_{\alpha} = 1.645$ となり両側信頼区間よりも推定精度を上げることができる。このとき片側信頼区間は

$$[P_L, 1] = \left[ \hat{p} - Z_{\alpha} \sqrt{\frac{\hat{p}(1 - \hat{p})}{N_{MCS}}}, 1 \right] \quad (186)$$

で与えられる。 $p = 0.9, 0.95, 0.98$ を $\alpha = 0.05$ の片側信頼区間で担保するために必要となる $\hat{p}$ を $N_{MCS}$ をパラメータとしてまとめた結果を表 121 に示す。

表 121 信頼区間下側限界と MCS 試行回数の関係

	$P_L = 0.9$	$P_L = 0.95$	$P_L = 0.98$
$N_{MCS} = 500$	$\hat{p} = 0.920$	$\hat{p} = 0.964$	$\hat{p} = 0.988$
$N_{MCS} = 1000$	$\hat{p} = 0.915$	$\hat{p} = 0.961$	$\hat{p} = 0.987$
$N_{MCS} = 3000$	$\hat{p} = 0.909$	$\hat{p} = 0.957$	$\hat{p} = 0.984$
$N_{MCS} = 5000$	$\hat{p} = 0.907$	$\hat{p} = 0.955$	$\hat{p} = 0.983$
$N_{MCS} = 10000$	$\hat{p} = 0.905$	$\hat{p} = 0.954$	$\hat{p} = 0.983$

## 12 結論

本稿では D-SEND#2 誘導制御則の設計・評価に用いるための 6 自由度非線形飛行シミュレーションモデルの構築にあたり必要となる運動モデル，機体モデル，空力モデル，センサモデル，アクチュエータモデル，環境モデルのそれぞれに対して定式化を行い，モデルパラメータに関する具体的なデータをまとめた．誘導制御則の評価手法として近年主流となっているモンテカルロシミュレーション（MCS）の利用を強く意識し，モデルパラメータのノミナル値と誤差値を明確に区別した定式化と MCS 評価基準の明確化により，今後の機体開発の基礎となるデータをただ列記するだけでなく，同様なシミュレーションモデルのコーディングを効率的に実施できるように配慮した．

また第 1 回飛行キャンペーンの結果を踏まえたモデル変更点や，モデル化の課題なども記述することで，適切な数学モデルの構築にあたって考慮すべき点も明らかにした．

D-SEND#2 特有のミッション要求であるソニックブームの計測条件を判定するために，MCS との組み合わせを考慮したブーム伝播解析をベースとするモデル化を行った．

## 謝辞

本稿の執筆にあたり，機体モデル，センサモデル，アクチュエータモデルを作成していただいた株式会社 SUBARU の皆様，空力モデルを作成していただいた JAXA 航空技術部門次世代航空イノベーションハブの牧野好和氏，大気モデルを作成していただいた JAXA 航空技術部門次世代航空イノベーションハブの原田賢哉氏，Blimp ドリフトモデルを作成していただいた構造・複合材技術研究ユニットの平野義鎮氏に深く感謝の意を表します．

## A. Appendix

### A.1 乱数生成について

ここでは、MCSにおけるパラメータ誤差を定義するために用いる各種乱数の生成法についてまとめる。

#### A.1.1 一様乱数の生成

文献 [9]の Mersenne Twister (MT) 法により [0,1]の一様乱数が生成でき、各種プログラム言語でのソースコードも利用可能である。

#### A.1.2 正規乱数の生成

前節の MT 法により生成した 2 つの [0,1]の一様乱数をそれぞれ  $u_1, u_2$  とすると、次式により [-1,1]の一様乱数に変換することができる。

$$v_1 = 2u_1 - 1 \quad (187)$$

$$v_2 = 2u_2 - 1 \quad (188)$$

このとき、次式の Box-Muller 法 (Polar Form) で与えられる  $z_0$  と  $z_1$  は平均 0, 分散 1 の正規分布を持つ乱数となる。

$$z_0 = v_1 \sqrt{\frac{-2 \ln s}{s}} \quad (189)$$

$$z_1 = v_2 \sqrt{\frac{-2 \ln s}{s}} \quad (190)$$

ただし  $s = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$  であり、 $0 < s < 1$  とする。MCS では式(189)と式(190)の値を交互に並べた乱数列を用いる。

#### A.1.3 相関を持つ乱数の生成

独立な  $n$ 次元の正規乱数列を  $r = [z_0 \ \cdots \ z_n]^T$ ,  $r$  と同じ次元で互いに相関のある正規乱数列を  $r' = [w_0 \ \cdots \ w_n]^T$  とする。ただし、 $r'$ の相関係数行列を  $C$  とする。 $r$  から  $r'$  への変換行列は  $C$  を Cholesky 分解して得られる下三角行列  $C_L$  により  $r' = C_L r$  で与えられる。

## 参考文献

- [1] K. Chiba, Y. Makino, T. Takatoya, "Multi-disciplinary Design Exploration of Wing Shape for Silent Supersonic Technology Demonstrator," AIAA Paper 2007-4168, 2007.
- [2] 柳原, "宇宙往還機飛行シミュレーションプログラム," 航空宇宙技術研究所資料, TM-594, 1988.
- [3] D. P. Raymer, Aircraft Design: A Conceptual Approach, Third Edition.
- [4] 元田, 塚本, 南, 濱田, "リフティングボディ飛行実験 (LIFLEX) 誘導制御系—システム評価と飛行制御パラメタ最適化—," JAXA-RR-10-007, 2010.
- [5] 郭, 吉田, 野口, 田中, 安藤, "小型超音速実験機の第2回飛行実験における表面静圧計測システム," JAXA-RM-08-001, 2008.
- [6] 塚本, 鈴木, 二宮, "高速飛行実証フェーズ II の誘導制御則設計," JAXA-RR-04-006, 2004.
- [7] 元田, "モンテカルロ法によるシステムの統計的評価," JAXA-RR-07-005, 2007.
- [8] 東京大学出版会, 統計学入門, 1991.
- [9] 松本, 西村, "Mersenne Twister: A random number generator," [オンライン]. Available: <http://www.math.sci.hiroshima-u.ac.jp/~m-mat/MT/mt.html>.

宇宙航空研究開発機構研究開発報告 JAXA-RR-17-006  
JAXA Research and Development Report

低ソニックブーム設計概念実証フェーズ2(D-SEND#2)  
飛行シミュレーションモデル

Report on the Flight Simulation Model of Flight Demonstration of Low Sonic Boom Design  
Concept Phase II (D-SEND#2)

---

発 行 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)  
〒182-8522 東京都調布市深大寺東町7-44-1  
URL: <http://www.jaxa.jp/>

発 行 日 平成30年1月22日  
電 子 出 版 制 作 松枝印刷株式会社

©2018 JAXA

※本書の一部または全部を無断複写・転載・電子媒体等に加工することを禁じます。

Unauthorized copying, replication and storage digital media of the contents of this publication, text and images are strictly prohibited. All Rights Reserved.

---

