

# 極超音速飛行実験機(HYFLEX)の空力特性\*

HYFLEX 空力特性研究チーム

## Aerodynamic Characteristics of Hypersonic Flight Experiment (HYFLEX) Vehicle

HYFLEX Aerodynamic Characteristics Research Team

### ABSTRACT

The Hypersonic Flight Experiment (HYFLEX) vehicle successfully performed a hypersonic lifting flight. The vehicle was developed to establish the basic technologies necessary for an unmanned shuttle vehicle. In this report, the primary aerodynamic characteristics derived from analysis of the flight data are presented. They are aerodynamic force coefficients, longitudinal trim characteristics, stability and control derivatives, elevon hinge moment coefficient, and surface pressure distribution. The flight results are compared with the preflight predictions based on wind tunnel tests and CFD calculations. The purpose of the comparison is to evaluate the validity of the prediction methods including the development of aerodynamic uncertainties in the vehicle design process. The flight results agreed well with the predictions. This shows that the prediction methods are generally valid for the design of a lifting reentry vehicle with a high angle of attack. On the other hand, some differences between the flight results and the predictions were found in axial force coefficient, elevon trim deflection, and RCS gas-jet interaction. The causes of these are also discussed in this report.

**Key words :** HYFLEX, hypersonic, aerodynamic characteristics, wind tunnel test, CFD, flight experiment

### 概要

極超音速飛行実験機(HYFLEX)は、我が国で初めての極超音速揚力飛行を行うことに成功した。この実験機は、無人宇宙往還機に必要な基礎技術を確立するために開発されたものである。本報告では、飛行データの解析により得られた主要な空力特性およびその予測結果との比較を示す。それらは、空力係数、縦トリム特性、空力微係数、エレボンヒンジモーメント係数、表面圧力分布である。飛行結果と比較した予測値は、風洞試験やCFD計算に基づき設定されたものである。比較の目的は、設計の過程における不確定性の設定も含めて、予測法の妥当性を評価することにある。飛行結果は概ね予測値に一致したが、このことは今回使用した予測法が高迎角で飛行する再突入揚力体の設計に有効であることを示している。その一方で、軸力係数、エレボントリム舵角、RCSガスジェット干渉について、飛行結果と予測値の間に差が見られたため、それらの原因も考察する。

### 記号

$a$	機体加速度	$C_{AF}$	フォアボディ軸力係数 = $C_A + C_{pB}S_B/S$
$a_A$	軸方向加速度	$C_D$	抗力係数
$a_N$	垂直方向加速度	$C_L$	揚力係数
$b$	胴体幅	$C_i$	ローリングモーメント係数 = $L/qSb$
$C_A$	軸力係数 = $F_A/qS$	$C_{lx}, C_{mx}, C_{nx}, C_{zx}$	各係数の $x$ に関する微係数
		$C_{mH}$	エレボンヒンジモーメント係数 = $HM/qS_e l_e$
		$C_N$	垂直力係数 = $F_N/qS$
		$C_n$	ヨーイングモーメント係数 = $N/qSb$
		$C_p$	圧力係数 = $(p - p_\infty)/q$

\* 平成9年4月11日受付 (received 11 April 1997)

$C_{pB}$	ベース圧係数 = $(p_B - p) / q$
$C_z$	垂直力係数 = $-C_N$
$C$	Chapman-Rubisien 数 = $(\mu_w T) / (\mu T_w)$
$F_A$	軸力
$F_N$	垂直力
$HM$	エレボンヒンジモーメント (片舷)
$I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}$	慣性能率
$I_{xy}, I_{yz}, I_{zx}$	慣性乗積
$L$	ローリングモーメント
$l_B$	胴体長
$L/D$	揚抗比
$l_e$	エレボン基準長
$L_{YRCS}$	ヨー RCS によるローリングモーメント
$M$	ピッチングモーメント
$M, M$	一様流マッハ数
$m$	全機質量
$m_e$	エレボン質量
$N$	ヨーイングモーメント
$N_{YRCS}$	ヨー RCS によるヨーイングモーメント
$p$	圧力
$p_B$	ベース面圧力
$p$	一様流圧力
$q$	ピッチング角速度
$q, q$	動圧
$Re, Re_B$	一様流レイノルズ数
$S$	平面形面積
$S_B$	胴体ベース面積
$S_e$	エレボン面積 (片舷)
$T_w$	壁面温度
$T$	一様流温度
$\bar{V}$	粘性干渉パラメータ $M = \bar{C} / Re_B$
$X, Y, Z$	機体基準座標
$X_B, Y_B, Z_B$	機体軸座標
$X_{CG}, Y_{CG}, Z_{CG}$	全機重心位置
$X_e$	エレボンヒンジライン位置
$X_{ecg}$	エレボンヒンジラインからエレボン重心までの距離
$X_{CP}$	風圧中心の X 座標
$X_S, Y_S, Z_S$	安定軸座標
	迎角
	横滑り角
$\alpha$	エルロン舵角 = $(L - R) / 2$
$C_{AV}$	粘性干渉効果による軸力係数の増分
$C_{mH}$	エレボンヒンジモーメント係数予測値の不確定性
$\epsilon$	エレベータ舵角 = $(L + R) / 2$

$L$	左舷エレボン舵角
$R$	右舷エレボン舵角
$\mu_w$	壁面粘性係数
$\mu$	一様流粘性係数

## 略 語

A/D	Analog to Digital、アナログからデジタルへ
ADS	Air Data System、エアデータシステム
C/C	Carbon/Carbon、カーボン/カーボン
CFD	Computational Fluid Dynamics、計算流体力学
FHI	Fuji Heavy Industries、富士重工業
FS	Full Scale、フルスケール
GRAM	Global Reference Atmosphere Model、全地球標準大気モデル
HOPE	H- Orbiting Plane、H- ロケット打ち上げ型有翼回収機
HSWT	High-Speed Wind Tunnel、高速風洞
HWT	Hypersonic Wind Tunnel、極超音速風洞
HYFLEX	Hypersonic Flight Experiment、極超音速飛行実験 (機)
IMU	Inertial Measurement Unit、慣性センサユニット
ISAS	Institute of Space and Astronautical Science、宇宙科学研究所
KHI	Kawasaki Heavy Industries、川崎重工業
NAL	National Aerospace Laboratory、航空宇宙技術研究所
NASDA	National Space Development Agency of Japan、宇宙開発事業団
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration、合衆国商務省海洋大気局
OBC	On Board Computer、搭載計算機
ONERA	Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales、フランス国立航空宇宙研究所
PCM	Pulse Code Modulation、パルス符号変調
RCS	Reaction Control System、ガスジェット姿勢制御システム
RSS	Root Sum Square、二乗和の平方根
SHKT	Shock Tunnel、衝撃風洞
SPS	Samples Per Second、毎秒サンプル数
SWT	Supersonic Wind Tunnel、超音速風洞
UHF	Ultra High Frequency、極超短波
VHF	Very High Frequency、超短波

## 1. はじめに

航空宇宙技術研究所 (NAL) と宇宙開発事業団

(NASDA)は無人有翼宇宙往還機の研究開発を共同で進めている。極超音速飛行実験(HYFLEX, Hypersonic Flight Experiment)は、実用機規模の試験機を飛行させる前の研究段階として計画されたもので、小型実験機による一連の飛行実験のひとつである。このプロジェクトの目的は、極超音速揚力体の設計、製作、飛行運用、飛行データ解析という一連の技術経験を蓄積すること、空力特性や熱防護系、飛行制御系に関する飛行データを取得することである<sup>1-3)</sup>。

実験機は平成8年2月12日に種子島宇宙センターからJ-Iロケット試験機1号機によって大気圏の上端付近まで打ち上げられ、大気圏に突入した後に日本で初めての極超音速滑空飛行を行った。飛行はほぼ計画通りに行われ、飛行経路や姿勢もきわめて飛行計画に近いものであった<sup>3-6)</sup>。このことは機体の設計における空力特性の予測が十分に有効であったことを示している。本報告では、飛行後のデータ解析により得られた空力係数などの主要な空力特性を示し、飛行前の予測値と比較する<sup>6-8)</sup>。予測値およびその不確定性の幅は、スペースシャトルなどに比べてはるかに少ない風洞試験、CFD解析結果に基づき、いくつかの独自の手法を用いて設定された。飛行データと予測値が大きく異なる場合には、今後の予測技術の向上に役立つようにその原因を考察する。本報告が

扱う空力特性は、空力係数、縦トリム特性、安定微係数、エレポンヒンジモーメント係数、表面圧力である。

本報告の主たる目的はすでに述べたように飛行データの評価および予測値との比較であるが、今後の研究に広く役立つようにという配慮から、設計に用いられた空力データを数表の形で整理した。これらは付録として集録されている。したがって、本報告はHYFLEXの空力データブックとしての役割も兼ねている。

本報告で用いる座標系、姿勢、空力係数、舵角の定義を図1-1に示す。空力係数や舵角などは矢印の方向が正である。迎角は $X_B$ 軸と $X_S$ 軸の成す角、横滑り角は $X_S$ 軸と対気速度の成す角として定義される。機体基準座標系は、質量特性、センサ位置などを記述するためのもの、機体軸および安定軸は空気力や機体運動の記述に用いられる座標系である。機体軸、安定軸の定義は、通常空気力学と飛行力学の慣習に従っている。

## 2. 実験機

HYFLEX実験機は主翼を持たない無推力の機体で、いわゆるリフティングボディと呼ばれる形態に分類することができる。ただし、通常のリフティングボディと比較すると胴体幅が狭く、再突入機としては独特な形状となっている。実験機の機体三面図を図2-1に示す。実際に

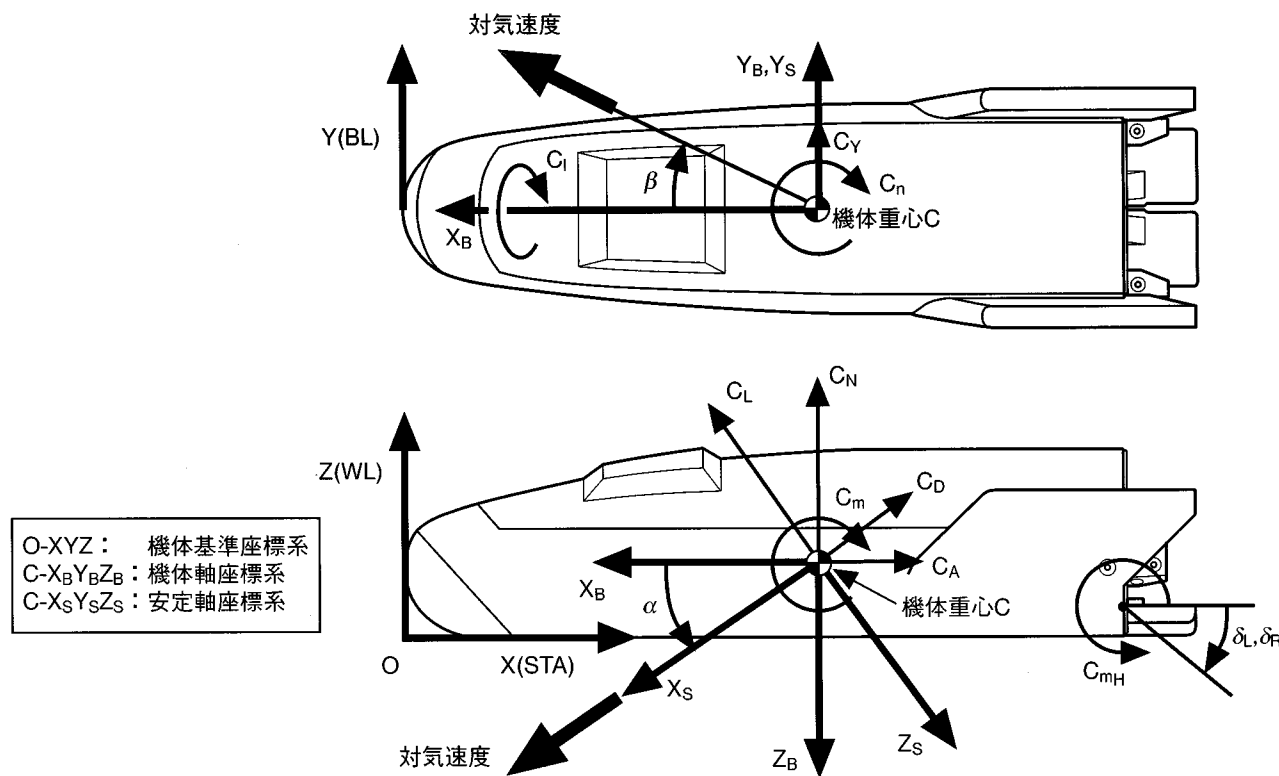


図 1-1 座標系、姿勢、空力係数、舵角の定義

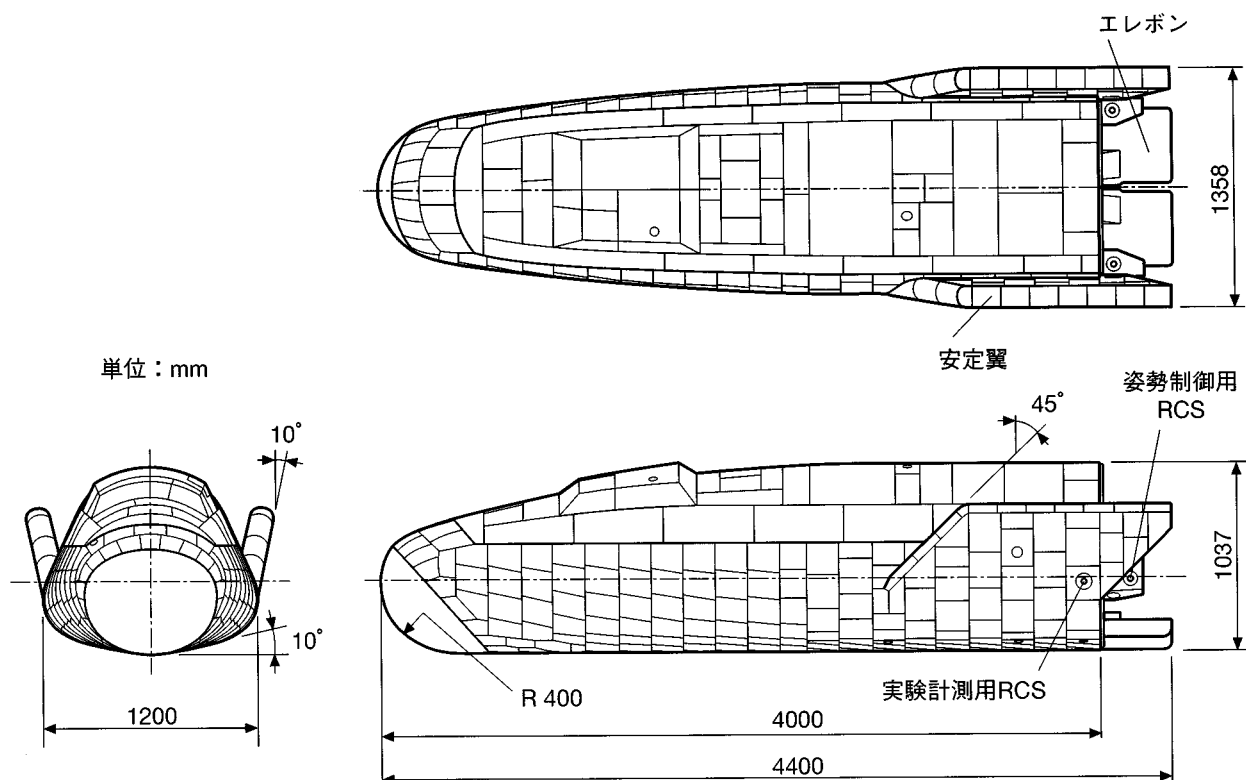


図 2-1 機体三面図

飛行を行った実験機の形態は「HRV03-540 形状」と呼ばれている。また、機体の基準諸元を表 2-1 に、打上げ時の質量特性を表 2-2 に示す。これらは、空力データを無次元化する際に用いられる。なお、質量および重心位置は打上げ直前に実測された値、慣性性能率および慣性乗積は構造部材や機器の配置から推算された値である。

HYFLEX の平面形は、主に J-I ロケットの衛星フェアリング内に収容可能であるという要求から設定されたものである。機体規模に比べて大きなノーズ曲率半径を持っているのは、再突入時の空力加熱率を緩和するためであ

る。また、飛行中に十分な方向安定や上反角効果（横安定）が得られるように、機体側面に安定翼を備えるとともに、胴体下面と安定翼に適度な上反角が付けられた。さらに、外観上の特徴として胴体上面の凸部があるが、これはテレメータ用の送信アンテナを保護するための可とう断熱材である。

滑空飛行中の姿勢制御は、機体後部のエレボンと姿勢制御用 RCS によって行われた。エレボンは、通常の航空機のエレベータとエルロンを兼ねたもので、リンク機構を通して電動アクチュエータにより駆動された。姿勢制

表 2-1 機体基準諸元

項目	記号	値	単位	備考	
六分力係数	基準面積	$S$	4.270	$m^2$	平面形面積
	胴体ベース面積	$S_B$	0.931	$m^2$	
	縦基準長	$l_B$	4.000	m	胴体長
	横・方向基準	$b$	1.200	m	胴体幅
エレボン ヒンジモーメント 係数	基準面積	$S_e$	0.1677	$m^2$	エレボン面積(片舷)
	基準長	$l_e$	0.400	m	エレボン長
	モーメント基準点	$X_e$	4.025	m	図 1-1 の機体基準座標系による。

表 2-2 機体質量特性

項目	記号	値	誤差	単位	備考
質量	$m$	1072.9	±2.0	kg	実測値
慣性能率	$I_{xx}$	144.2	±19.6	kgm <sup>2</sup>	推算値 図1-1の機体軸座標系での値である。
	$I_{yy}$	1493.6	±117.7	kgm <sup>2</sup>	
	$I_{zz}$	1504.3	±117.7	kgm <sup>2</sup>	
慣性乗積	$I_{xy}$	0.0	±19.6	kgm <sup>2</sup>	推算値 図1-1の機体軸座標系での値である。
	$I_{yz}$	-1.0	±2.9	kgm <sup>2</sup>	
	$I_{zx}$	-1.0	±19.6	kgm <sup>2</sup>	
重心位置	$X_{CG}$	2300.1	+5.3/-9.7	mm	実測値 図1-1の機体基準座標系による。
	$Y_{CG}$	0.7	±3.8	mm	
	$Z_{CG}$	431.5	±3.8	mm	

御用RCSはモジュールとして6基のスラスタから構成されており、高圧の窒素ガスを噴射することにより3軸周りのモーメントを発生させた。それぞれのスラスタの真空中推力は約40Nである。6基のうち上下方向に噴射する4基のスラスタはロール軸とピッチ軸制御を兼ねており、エレポンが効果的でない実験機分離後の低動圧領域のみで使用された。また、左右方向に噴射する2基のスラスタ(ヨーRCS)は、マッハ2までラダーの代わりとしてヨー軸制御に用いられた。実験機には姿勢制御用RCSの他に一対の実験計測用ヨーRCSも装備されていた。これはガスジェット空力干渉を調べるために安定翼上に取り付けられたものである。

以上、空力特性に関連する実験機システム、サブシステムの概要を述べたが、他サブシステムについては文献9を参照されたい。

### 3. 飛行実験の概要

飛行実験は飛行計画に従って、図3-1に示すように行われた<sup>4)</sup>。HYFLEXは種子島宇宙センターから2段式のJ-Iロケットによって打ち上げられ、約9分後にほぼ計画通りの条件(高度107.1km、対地速度3896m/s)で分離された。その後、実験機は自由落下的に降下したが、大気圏突入時の空力加熱を低減するために迎角49度、バンク角20度の姿勢をとった。この降下の途中で最大マッハ数14.1を記録した。次いで、最大空力加熱率に到達するマッハ11付近から右側に60度程度までバンク角を大きくと

り、水平飛行に近い揚力飛行を開始した。ほぼ同時に、揚抗比を大きくするためにゆっくりと機首を下げ始め、マッハ8からは迎角30度で飛行した。マッハ3からは横・方向の姿勢制御の安定性を確保するために迎角を35度に変更し、マッハ2まで安定した滑空飛行を行った。この間、バンク角の調整による誘導(経路制御)が行われたが、バンクの方向は電波リンクの確保や飛行安全などの観点から右側のみに限られた。マッハ2までの飛行条件については5章および付録Aを参照されたい。

マッハ2以降はそれまでの姿勢を維持することが難しかったため、迎角90度に近い姿勢に投入された。マッハ2以降の姿勢の挙動は詳細に解析されていないが、タンプリング運動を経た後にフラットスピン運動に移行したものと考えられる。その後、亜音速域まで減速した実験機は、3つのパラシュートを順次開き、小笠原諸島父島の北東海上に着水した。機体は回収船により引き上げられる予定であったが、フローテーションバッグ(浮き袋)と機体をつなぐ帯状のベルトが破損したため海中に失われた。

飛行中に計測されたデータはPCM変調されたのち、VHFとUHFのテレメータによって小笠原追跡所、航空機局、船舶局(回収船)に送信された。空力加熱率が最大となった付近でVHFにはいわゆる通信ブラックアウト現象が観測されたが、この期間中のデータはメモリ上に記録され、ブラックアウト終了後に再生送信されたため飛行データが失われることはなかった。また、小笠原追跡所では、UHF、VHFともに北側の山とのスカイライン



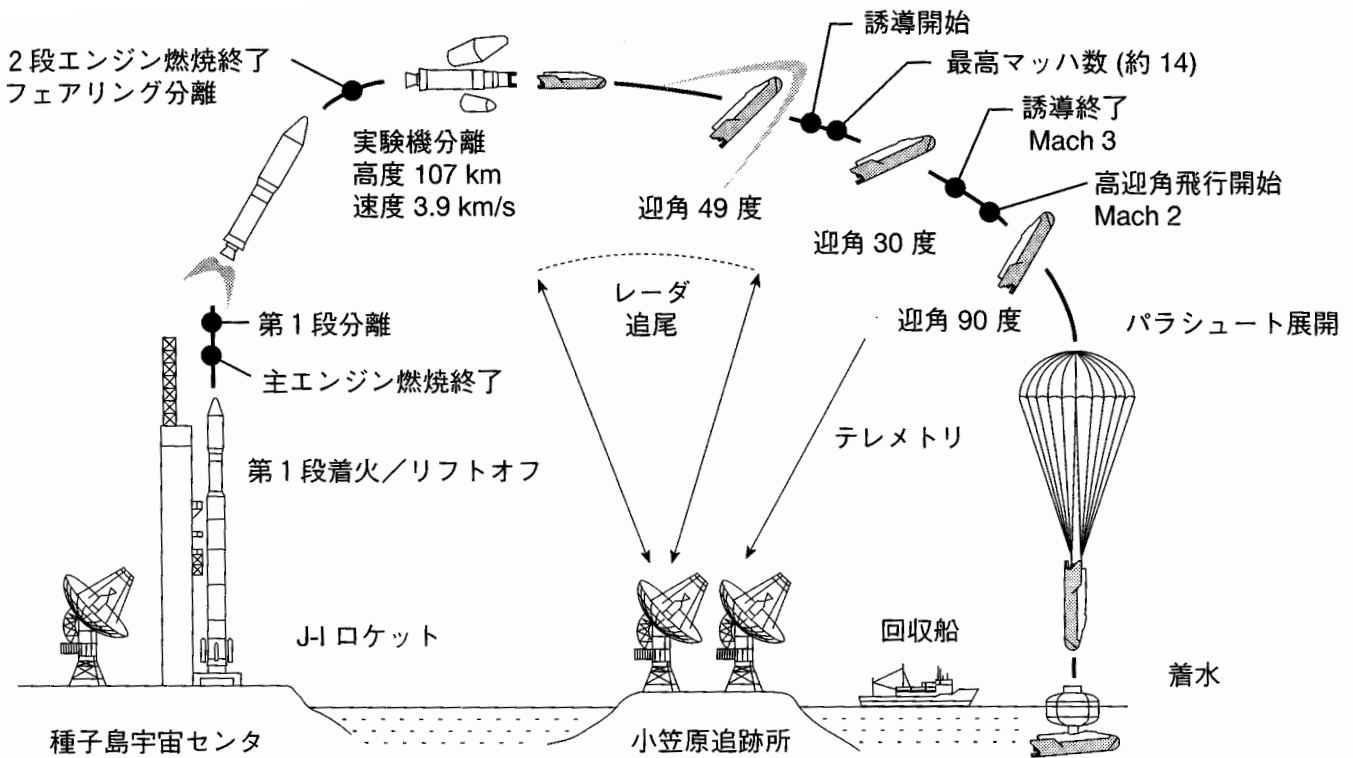


図3-1 飛行実験の概要

干渉による電波途絶が発生したが、飛行データは他の2局により問題なく受信された。各局により正常に受信されたテレメータデータは地上装置によって復調され、現在さまざまな飛行後解析に使用されている。

#### 4. 飛行データ

飛行実験においてはさまざまな飛行データが取得されたが、それらから推算された空力特性は以下のように分類することができる。

- (1) 空力係数
- (2) 縦トリム特性
- (3) 空力微係数 (RCSの効きを含む)
- (4) エレボンヒンジモーメント係数
- (5) 表面圧力
- (6) 空力加熱
- (7) RCSガスジェット干渉データ

空力係数や微係数は、飛行中に計測された加速度、姿勢およびその変化から導出された。本報告では、これらの空力特性のうち(1)から(5)に関する飛行データを示し、飛行前の風洞試験やCFD計算に基づく予測値との比較を行う。ただし、(1)から(4)の空力特性の評価は、揚力飛行を行ったマッハ2までの範囲とする。表面圧力についてはマッハ2以降の評価も行う。飛行データの取得法、処理法は7章で詳しく述べる。

#### 5. 飛行条件

ここでは空力特性を推算あるいは評価する際に必要な飛行条件を整理する。

##### 5.1 大気特性の推定

空力特性の推算結果は大気状態(温度、圧力)に大きく依存するため、これらを精度良く推定することが重要となる。HYFLEXの飛行データ解析では、精度や費用を考慮してNOAA極軌道気象衛星(以下ではNOAA衛星と呼ぶ)の観測データから大気特性を推定し、これを共通の解析条件とした<sup>10)</sup>。衛星の観測データから大気状態を計算する方法は文献11に詳しく述べられているのでここでは省略する。この方法の推定精度については、気象庁が岩手県綾里から定期的に打ち上げている観測ロケットの実測結果との比較によって検証されている。それによれば、NOAA衛星と観測ロケットから得られた圧力および温度の差の標準偏差は、それぞれ3%、10K以下(高度55km以下での比較)であり、U. S. Standard Atmosphere(合衆国標準大気、1976<sup>12)</sup>)を用いた場合に比べて大幅に推定精度が向上することが確かめられている。図5.1-1にHYFLEXの飛行経路に沿って推定された大気温度、圧力、密度の時間変化を示す<sup>13)</sup>。飛行経路には、機体に搭載されたIMUによる航法データと小笠原精測レーダの追跡

データに基づいて計算された最良推定値を用いた。

定常風の推定も、NOAA衛星データによる空間的な圧力分布から試みられたが、風向、風速ともに推定精度が低く、解析精度の向上を期待できないことから、データ解析には用いなかった。そこで、飛行中の定常風としては文献14によるGRAM-90の風モデルを使い、対気速度などの大気に対する相対量を求めることにした。なお、

GRAMの風モデルは実際の飛行中にも対気姿勢などを推定するために用いられた。

### 5.2 飛行プロファイル

迎角、横滑り角の時間変化を図5.2-1に示す。姿勢の定義については図1-1を参照されたい。図5.2-1は対気姿勢を示したものであるが、対地速度から計算した値やADS

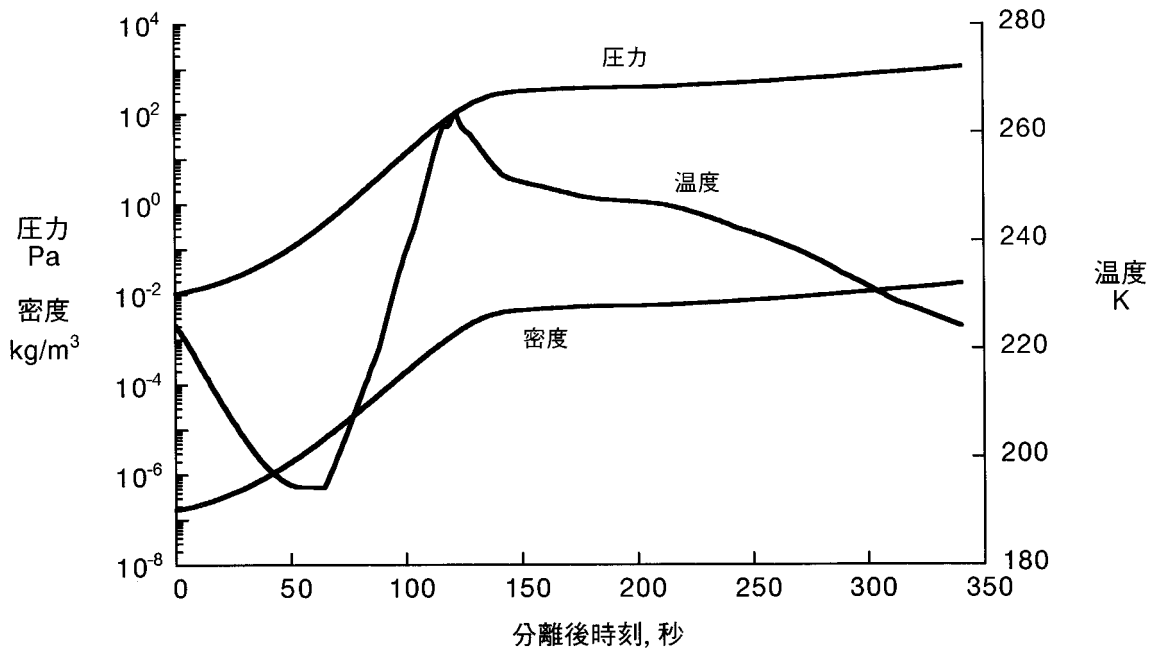


図 5.1-1 飛行経路に沿った大気特性の時間変化

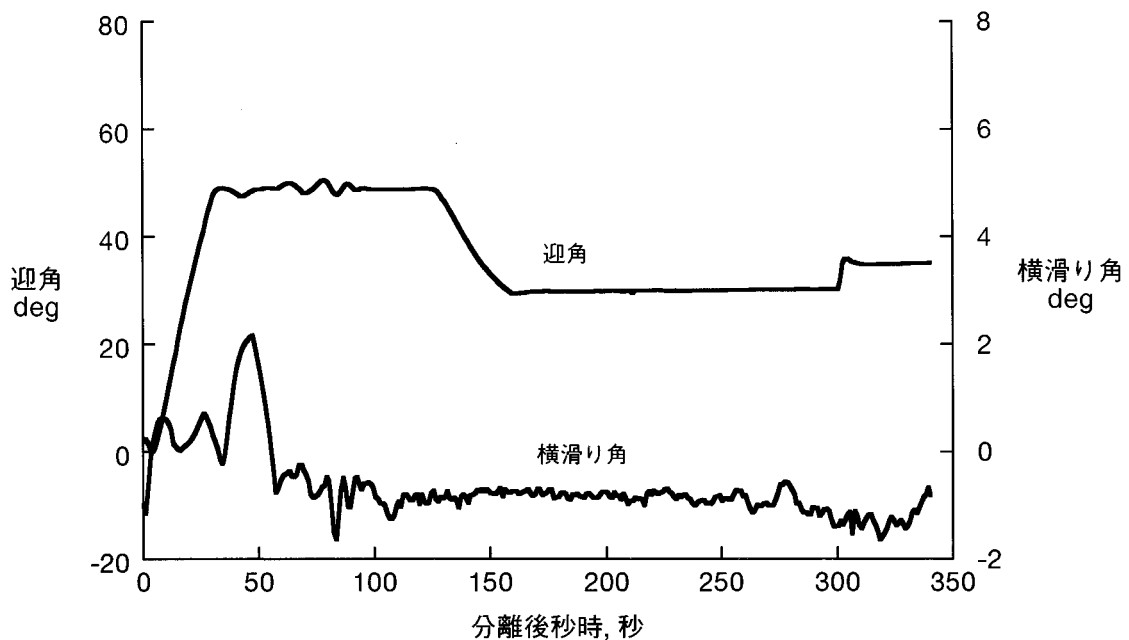


図 5.2-1 実飛行における対気姿勢の時間変化

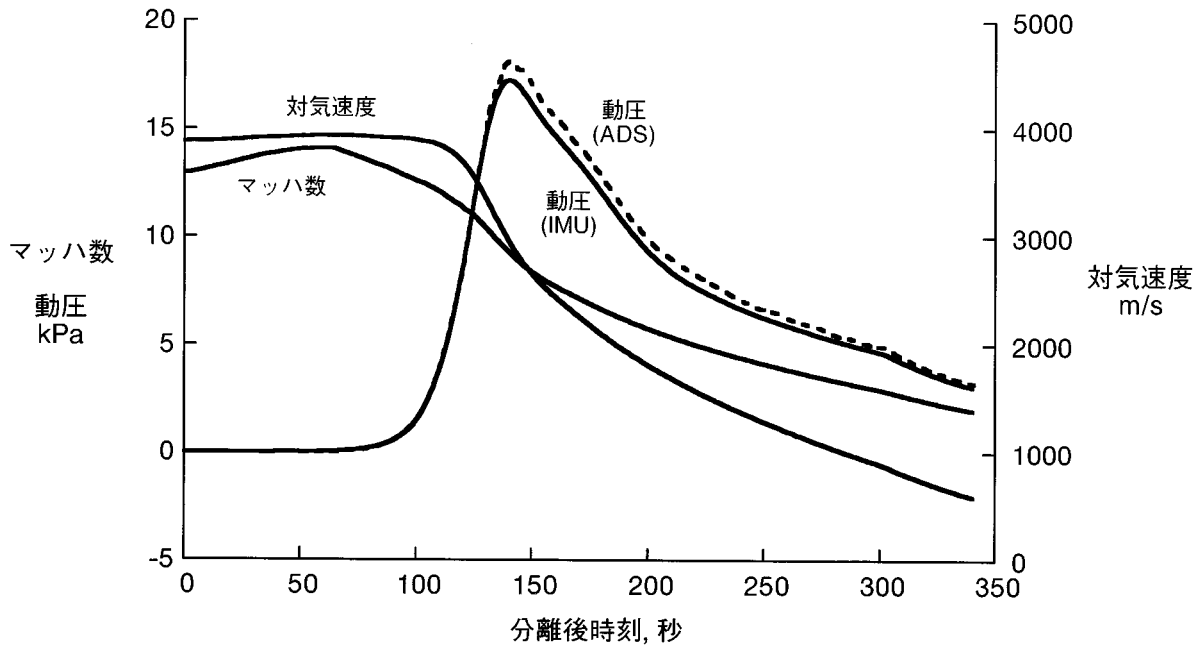


図 5.2-2 実飛行における対気速度、マッハ数、動圧の時間変化

の計測結果から推算した姿勢<sup>15,16)</sup>と比較しても差が小さいことから風の影響は小さかったようである。特に、姿勢制御に対して外乱となるような突風はなかったと考えられる。また、対気速度、マッハ数、動圧の時間変化を図 5.2-2 に示す。参考のため動圧については ADS の計測結果も併せて示した。NOAA 衛星と ADS による動圧データを比較すると、ADS の方が数%高いことが分かる。なお、5章に示したデータおよびレイノルズ数、粘性干渉パラメータは数表として付録 A に整理されている。

## 6. 飛行前の予測

### 6.1 風洞試験による予測

#### 風洞試験の種類と計測方法

HYFLEX 実験機の開発の過程では、大きく分けて三段階の風洞試験を実施した。まず、基本設計当初に予備設計において設定した実験機形状 (HRV03-510 形状) の基本的な空力特性の取得を目的として、基本風洞試験を実施した。その後、詳細設計段階において、改良された機体形状 (HRV03-530 形状) の空力特性取得のための詳細風洞試験を実施した。また、維持設計段階および飛行実験後には、飛行データと比較するための空力特性データを取得するために、実機形状 (HRV03-540 形状) を用いて確認風洞試験を実施した。これらの試験データは、文献 17 ~ 21 等にまとめられている。

各風洞試験における使用風洞、試験項目等を表 6.1-1 にまとめた。また、試験ケースの詳細を付録 B に示した。6 分力試験では、図 6.1-1 の ONERA 極超音速風洞 (S4MA)

での例のように胴体後端面から差し込んだ内挿式 6 分力天秤を用いて、通風中に模型に働く 6 分力を測定した (ただし、詳細遷音速大迎角試験では迎角 90 度以上の大迎角姿勢での試験を行うために、模型背面から天秤を取り付けた)。超音速域の試験では、6 分力と同時に胴体後端面上の圧力をスティング回りに 4 点計測しておき、その平均値が胴体後端面全体に一樣に作用すると仮定してベース抵抗補正を行って、フォアボディ抵抗  $C_{Af}$  を求めた (記号表の  $C_{PB}$  および  $C_{Af}$  の算出式参照)。測定した 4 点の底面圧力の差は、実機状態での軸力係数推算時には、文献 22 の Love の解析値に基づく手法によりスティング干渉のない状態でのベース抵抗を推算し、風洞試験により得られたフォアボディ抵抗に加算した。極超音速域での試験ではベース抵抗の軸力への寄与が非常に小さいため、ベース圧補正は行っていない。横滑り角に関する空力微係数は、 $\alpha = 0$  度および 5 度のデータの差分から、この間で空力係数が  $\alpha$  に関し線形であると仮定して求めた。

エレボンヒンジモーメントは、模型のエレボンヒンジ部に埋め込まれたヒンジモーメント天秤により計測した。風洞試験ではエレボン舵角 0、10、20 度の 3 種類程度の舵角についてしか測定を実施しなかったため、その間の舵角に対するヒンジモーメントは、ヒンジモーメントが舵角に線形に変化すると仮定して内挿により求めた。

機体表面圧力は、機体表面に開けられた圧力孔 (内径 0.5 ~ 1 mm) に接続された圧力センサにより計測した。NAL 超音速風洞での確認風試では、Scanivalve 社製のス



表 6.1-1 HYFLEX 実験機風洞試験概要

速度域	試験区分	使用風洞	ノズル出口 寸法 (m)	試験マッハ数	迎角範囲 (deg)	測定項目 <sup>a, b</sup>				模型形状 (実機に対する scale)
						F/M	H/M	S/P	A/H R/I F/V	
極超音速	基本風試	NAL 極超音速風洞	φ 0.50	7.1	16 - 50	○	○	○	○	HRV03-510 (5.3%) <sup>c</sup>
	詳細風試	ONERA S4MA	φ 0.99	9.9	26 - 52	◎	◎	○	○	HRV03-530 (10%) <sup>e</sup>
	確認風試	NAL 大型極超音速風洞 (HWTT)	φ 1.27	10.0 - 10.1	28 - 51		◎	○	○	HRV03-540 (10%) <sup>f</sup>
	確認風試	NAL 中型衝撃風洞 (SHKT)	φ 0.44	9.7 - 10.3	30 - 49		◎	○	○	HRV03-540 (6.0%)
遷音速 / 超音速	基本風試	FHI 高速風洞 (SWT)	0.61 × 0.61	0.5 - 3.9		○			○	HRV03-510 (5.3%)
	詳細風試	FHI 高速風洞 (SWT)	0.61 × 0.61	0.5 - 3.9	16 - 40	◎			○	HRV03-530 (5.3%)
	詳細風試	ISAS 超音速風洞 (SWT)	0.60 × 0.60	1.6 - 4.0	20 - 40		◎		○	HRV03-530 (5.3%)
	詳細風試	KHI 三次元遷音速風洞	1.00 × 1.00	0.5 - 1.4	30 - 120				○	HRV03-520 (7.0%) <sup>d</sup>
	確認風試	NAL 超音速風洞 (SWT)	1.00 × 1.00	2.0 - 4.0	28 - 35			◎	○	HRV03-540 (10%)

<sup>a</sup> F/M : 6 分力測定 H/M : エンベロップメント測定 S/P : 表面圧力測定 A/H : 空力加熱率測定 (加熱量法, 赤外線カメラ法, 同軸熱電対法)

R/I : RCS 干渉特性測定 (干渉圧力計測、干渉力計測 [2 または 6 分力]) F/V : 流れの可視化 (シュリーノ、シャドウグラフィ、オイルフロー)

<sup>b</sup> ○ : 実施した測定項目 ; ◎ : 本稿で実機空力特性データとの比較のために使用した測定項目

<sup>c</sup> HRV03-510 : 予備設計終了時形状 (HRV03-520 に比べ胴体下面前部形状が若干異なる)

<sup>d</sup> HRV03-520 : 基本設計終了時形状 (HRV03-530 に比べエロゾル形状 / 角部曲率半径が異なる)

<sup>e</sup> HRV03-530 : 詳細設計終了時形状 (HRV03-540 の胴体前部上面バルジがない)

<sup>f</sup> HRV03-540 : 実機形状

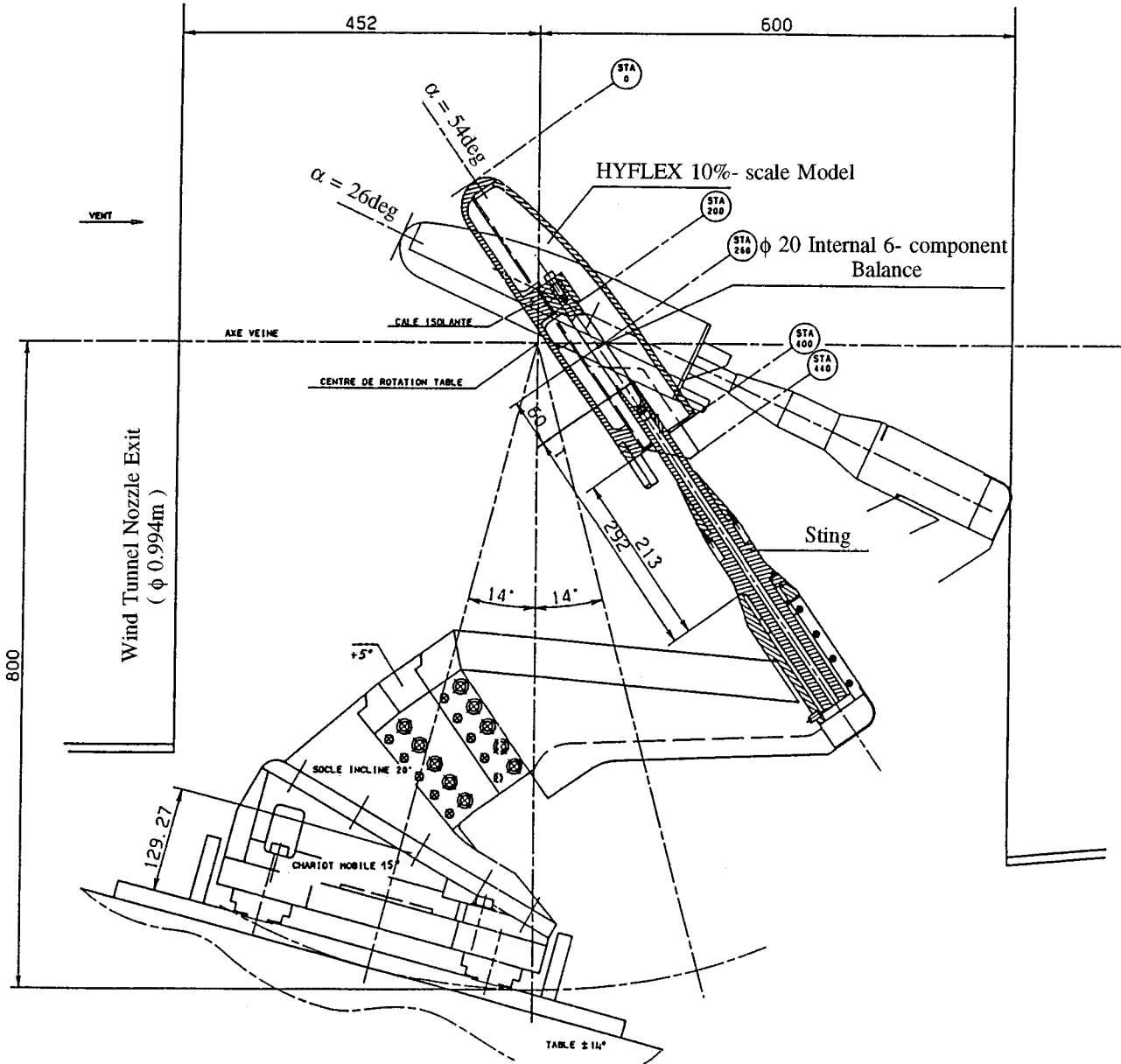


図 6.1-1 6 分力試験における模型取付け状態

(詳細極超音速風洞実験; ONERA S4MA; M=10)

キャニバルブを用いて機械的に圧力配管との接続を切り替えることにより、1つの圧力センサで多点の圧力計測を行った。また、大型極超音速風洞での確認風試においては、圧力計測システムとしてPressure System社製の電子走査式の高速多点圧力計測装置を用いたが、圧力導入孔から配管を通じて入り込む高温の空気によるセンサへの空力加熱によると考えられるセンサ出力のドリフトが大きく、再現性および計測精度の悪い結果となった。

本来の目的からわかるように、本報告での実飛行データとの比較には確認風洞試験結果を使うべきであるが、確認風洞試験においては6分力試験、エレボンヒンジモーメント計測試験を実施しなかったため、その項目については比較データとして詳細風洞試験結果を用いてい

る。詳細風洞試験で用いたモデルには、胴体前部上面のアンテナカバー用の凸部が存在しない。しかし、機体は常に迎角30度以上の大迎角で飛行するため、機体形状の相違の影響は無視できるものと仮定した。ただし、後述するように、ピッチングモーメント等への影響は無視できるレベルでなかった可能性もある。

実機の比較に使用した風洞試験におけるマッハ数、レイノルズ数、粘性干渉パラメータ、迎角/横滑り角を実飛行環境と比較したものを図 6.1-2 ~ 6.1-4 に示す。図からわかるように、動圧が高く空気が飛行経路に影響を与える領域(マッハ数約13以下、動圧約2kPa以上)においては風洞試験は実飛行環境のレイノルズ数、粘性干渉パラメータおよび迎角/横滑り角範囲をカバーしてい

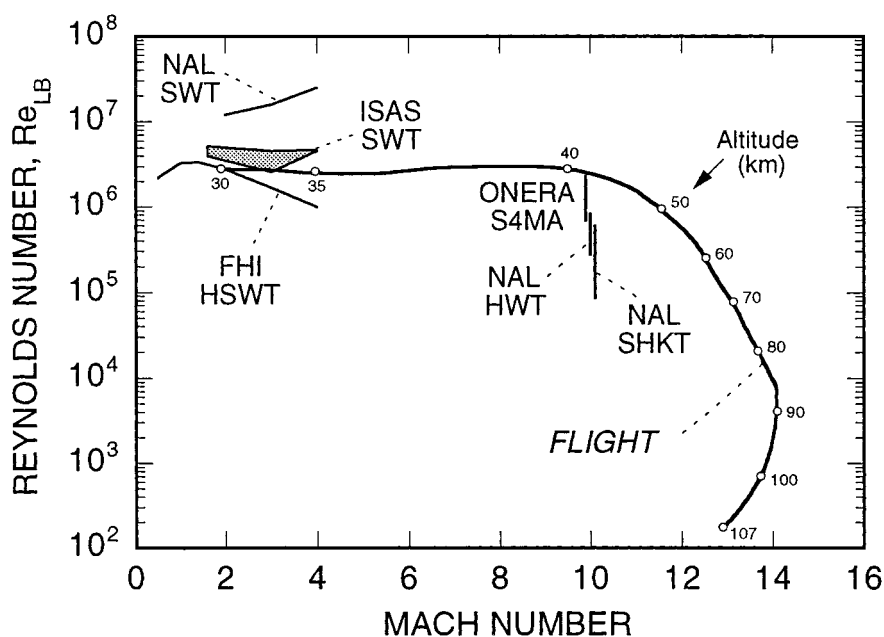


図 6.1-2 風洞試験と実飛行におけるマッハ数 / レイノルズ数の比較

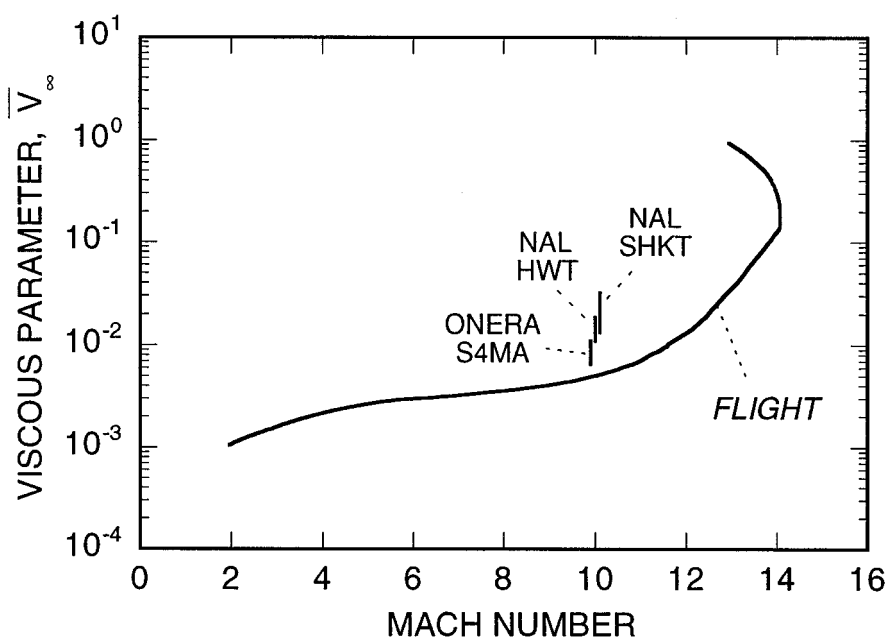


図 6.1-3 風洞試験と実飛行における粘性干渉パラメータの比較

る。マッハ数は風洞試験での最大値が10.3であり、飛行環境の最大値よりもかなり低い、マッハ数10以上では空力特性のマッハ数依存性が極めて弱いため、問題ないものと考えられる。マッハ数4～10の間の空力特性を予測する際には、スペースシャトル・オービタの空力特性のマッハ数依存性を参考にして、マッハ数4および10の風試データから推定した。また、マッハ数10以上では空力特性はマッハ数に依存しないものとした。

風洞試験による予測値の不確定性

スペースシャトルの開発<sup>23)</sup>の場合と異なり、HYFLEXの開発においては、風洞試験データの誤差(スペースシャトルにおいては“tolerance”と呼ばれる)を調べるために、多数の風洞、模型を使って様々な試験条件で風洞試験を実施するという方法が採れなかった。また、日本にはHYFLEX以前に極超音速で揚力飛行を行った経験がなく、風洞試験条件と実飛行条件との相違による空力

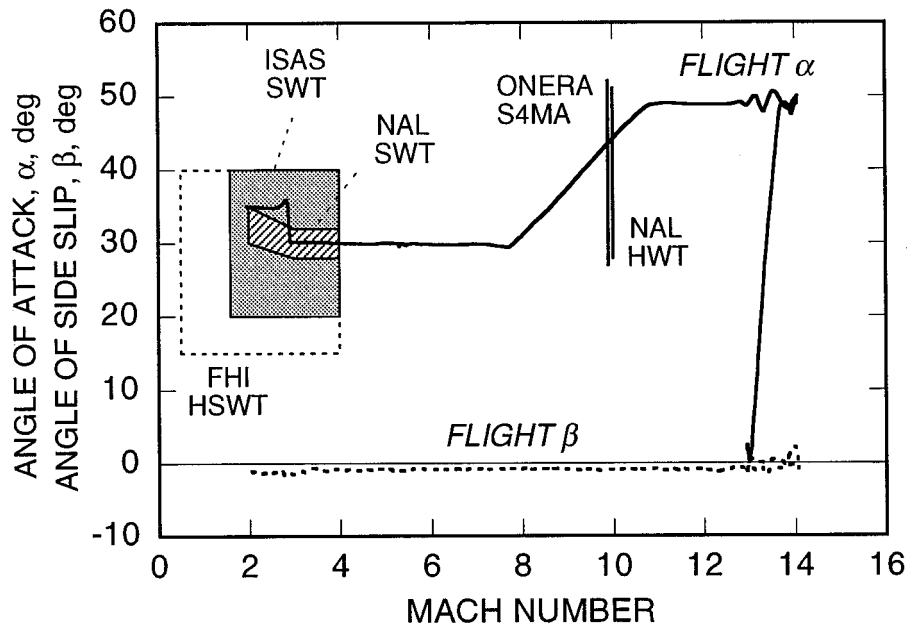


図 6.1-4 風洞試験と実飛行における迎角 / 横滑角の比較

特性への影響量（スペースシャトルにおいては“variation”と呼ばれる）を実機データに基づいて推定することも不可能であった。そのため、風洞試験結果に基づく実機 6 分力空力特性の予測値の不確定性（uncertainty : 3 レベル）は、以下の方法で推算することとした。

・空力特性予測値の不確定性の要因として、以下の 2 つを考慮する。

(a) 風洞試験計測誤差

天秤測定誤差、胴体底面圧力計測誤差、風洞気流関連誤差（動圧測定誤差、気流偏向誤差）、模型関連誤差（模型取付アライメント誤差）、データの再現性の積み上げ（全誤差のRSS値）により推算。各誤差源の値は、それぞれ天秤校正試験データ、使用圧力センサのスペック値、風洞気流校正試験データ、過去の同種の風洞試験データ、HYFLEX風洞試験における再現性試験データに基づいて推定した。

(b) 実飛行と風洞試験条件の違いに伴う誤差

スペースシャトルのvariation に対してHYFLEX とスペースシャトルとの基準面積、基準長、エルロンボリュームの比を考慮した変換を行うことにより推算

・空力特性予測値の不確定性は、上記の風洞試験計測誤差及びvariation のRSS値とする。（理由：HYFLEXでは、積み上げによる計測誤差がvariation に比べ無視できない大きさとなっているため、安全側の評価として両者を考慮する。スペースシャトルではvariationのみを考慮している。）

（空力特性予測値の不確定性）

$$= (\text{風洞試験計測誤差})^2 + (\text{variation})^2$$

・ただし、上記の方法により推算した予測値の不確定性を考慮した結果、以下の 3 つの横・方向系空力微係数について符号の反転が発生する場合、または微係数の絶対値が予測値のノミナル値に比べ極度に小さくなる場合（ノミナル値の 25% 以下）には、空気力学的な考察およびHYFLEXで実施したいくつかの風洞試験における実績より、下式を満足するように不確定性の幅を減少させるものとする。

$$C_l < 0.25 \times (C_l)_{\text{nominal}} < 0$$

$$C_{l_a} > 0.25 \times (C_{l_a})_{\text{nominal}} > 0$$

$$C_{n_a} < 0.25 \times (C_{n_a})_{\text{nominal}} < 0$$

この方法により求めた 6 分力係数および空力微係数の不確定性を付録 C の図 C-7 にまとめて示す（付録中では「設計用空力誤差」と呼んでいる）。その中で、超音速領域での空力係数については、2 つの風洞での試験結果が不確定性を考慮しても一致しないケースがあったため、それについては便宜的に不確定性の幅の拡大を行っている。また、垂直力係数  $C_{N_z}$ 、軸力係数  $C_A$ 、揚抗比  $L/D$  の variation は、上記の方法で求めた揚力係数  $C_l$  および抗力係数  $C_D$  の variation から、スペースシャトルで用いられた誤差の相関係数<sup>24)</sup>を適用して換算した。

風洞試験データに基づくエレポンヒンジモーメント予測値の不確定性としては、風洞一様流状態量の誤差、ヒンジモーメント天秤に関する誤差、実飛行舵角に応じた



表 6.1-2 エレポンヒンジモーメント係数予測値の不確か性

マッハ数	試験名称 (風洞)	$\Delta C_{mH}$
9.9	詳細 極超音速風試 (ONERA S4MA)	0.022
2.0	詳細 遷超音速風試 (ISAS SWT)	0.0094
3.0		0.0104
4.0		0.0200

データ内挿による誤差が考えられる。風洞一様流状態量およびヒンジモーメント天秤に関する誤差の推定値(3レベル)を表6.1-2に示す。また、スペースシャトルのボディフラップ舵角とヒンジモーメントの関係のデータ<sup>24)</sup>から推定すると、舵角に応じたデータの内挿に伴う誤差は5%以内と考えられる。

## 6.2 CFD による予測

HYFLEX 実験機の開発においては、開発期間が短くかつ極超音速風洞試験設備が十分に確保できなかったため、設計データ取得のための多数のCFD解析が実施された<sup>25, 26)</sup>。ただし、設計データとして使用するに当たっては、可能な限り風洞試験結果との比較・検討を行い、解析結果の妥当性を評価した。熱構造系設計の基礎となる全機空力加熱分布および表面圧力分布の設計値は、CFD解析結果に基づいて設定されたものである。我が国の航空機・宇宙機の開発においてここまで広範囲にCFD解析結果が活用された例はなく、この点は特筆に値する。

解析に使用した基礎方程式は、三次元Navier-Stokes方程式である。解析は完全気体と実在気体の両方の仮定の下に実施されたが、本報告で示すデータは完全気体を仮定した結果のみである。乱流モデルは考慮せず層流を仮定し、実在気体解析においては7化学種24反応の非平衡化学反応を取り入れ、空気の高温再突入飛行環境下での解離・電離による熱空力特性への影響を評価した。機体表面での触媒性は無しと仮定し、壁面の温度は一様とした。詳細は文献27を参照されたい。計算格子数は、流れ方向121点、機体まわりの片側半分の領域に89点、物体面に垂直な方向に60点である。表面格子分布を図6.2-1に示す。

飛行データとの比較のための解析は、飛行後、実飛行経路上の大気データ、対気姿勢を使用して実施された。解析は、空力加熱が高くなり始める分離後50秒、高度93km地点から、最大空力加熱を経過した分離後200秒、高度37km地点までの間、10秒間隔で行った。壁温度としては、各時刻でのC/Cノーズキャップの淀み点位置における表面温度推定値を用いた<sup>28)</sup>。

## 7. 飛行データと予測値の比較

### 7.1 空力係数

#### 飛行データ取得法

空力係数は、IMUの加速度出力を動圧、基準面積、質量で無次元化することにより求めた。動圧は5.2項に示したNOAA衛星データに基づく推定値を用いた。IMUは3個の加速度計を内蔵しており、それぞれが機体軸方向の

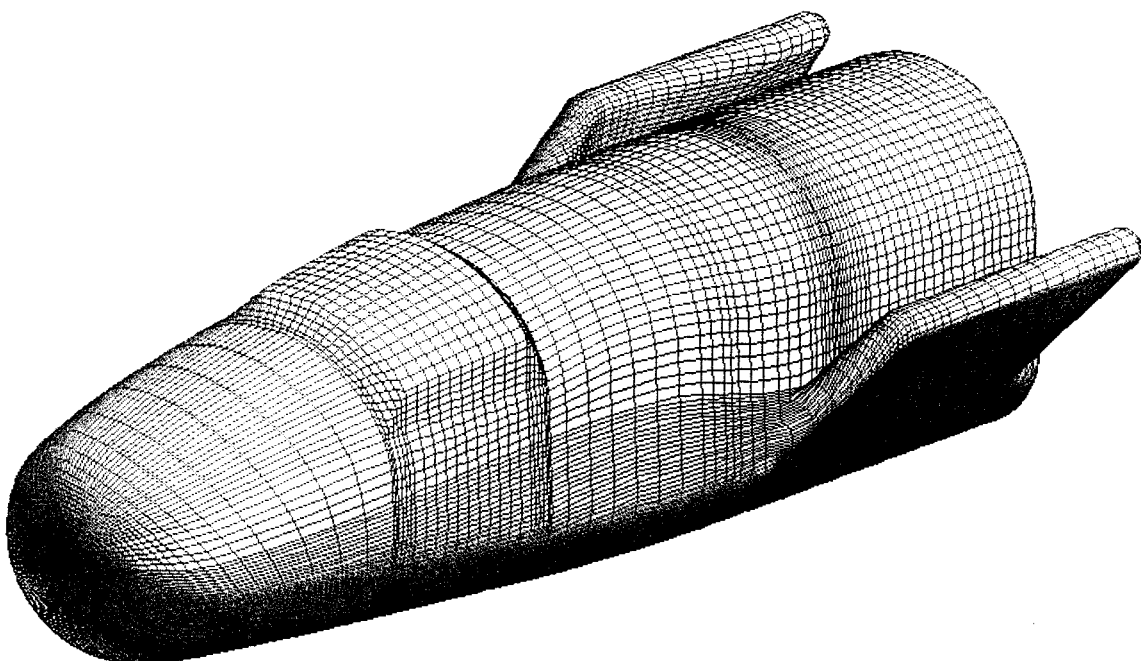


図 6.2-1 代表的な表面格子分布



表 7.1-1 飛行データから推定された空力係数の精度

実験機 分離後時刻 (sec)	飛行 マッハ数	動圧 計測精度 <sup>a</sup> (%)	機軸加速度 計測精度 <sup>b</sup> (%)	垂直加速度 計測精度 <sup>b</sup> (%)	軸力係数 $C_A$ 計測精度 <sup>c</sup>		垂直力係数 $C_N$ 計測精度 <sup>c</sup>	
					相対誤差(%)	絶対誤差	相対誤差(%)	絶対誤差
50.4	14.04	3.0	222.5	37.1	222.5	0.391	37.2	0.392
70.4	13.87	3.0	45.8	7.0	45.8	0.070	7.6	0.076
90.4	13.06	3.0	11.1	1.3	11.5	0.013	3.2	0.032
110.4	12.07	3.0	7.9	0.2	8.4	0.008	3.0	0.030
130.4	10.40	3.0	7.0	0.1	7.6	0.008	3.0	0.028
170.4	7.14	3.0	4.8	0.8	5.6	0.006	3.1	0.015
255.4	3.99	3.0	7.9	1.4	8.5	0.010	3.3	0.019
297.4	2.99	3.0	9.2	1.7	9.7	0.012	3.4	0.021
336.4	2.04	3.0	12.3	1.7	12.7	0.017	3.5	0.030

a NOAA衛星データと観測ロケットによるデータの比較から仮定。

b 加速度計バイアス誤差、スケールファクタ誤差、取り付けミスアライメント誤差、量子化誤差(最小分解能の1/2)のRSS値をとったもの。

c 動圧計測誤差、加速度計測誤差、質量計測誤差(±2.0kg)を積み上げたもの。

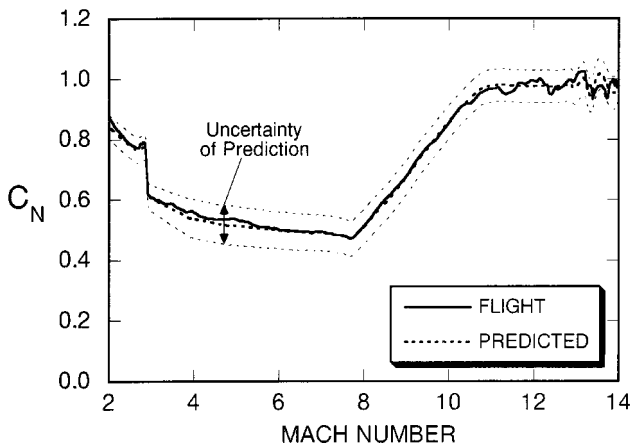
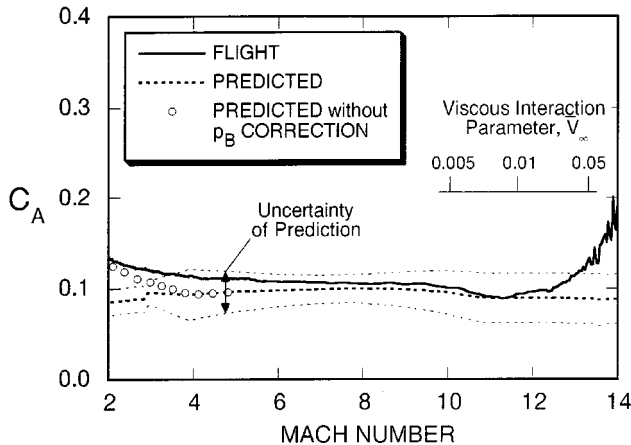


図 7.1-1 縦の空力係数の比較  
(a) 垂直力係数



(b) 軸力係数

加速度(正確には速度増分)を40Hzのサンプリングレートで計測した。加速度データは16bit デジタル値としてOBCに出力され、航法計算などに用いられるとともにテレメータデータとして地上に送られた。分離後162.5秒(マッハ数約7.6)までのテレメータデータは、航法計算に用いられたものと同じであるが、それ以降は8bitに変換されたデータのみが地上局に送信された。これは、ブラックアウト期間中の再生データと実時間計測データを同時に送る必要から、データ伝送能力が限られたためである。したがって、加速度はこれらの16bitと8bitのデータから再現したものをつなぎ合わせて用いることにした。

すでに述べたように加速度データは40Hzの周期で得られたが、それを無次元化するための動圧データが1秒間隔のものしか得られていないことから、空力係数も同じ周期で推定することにした。これは位置や速度データを計算する周期(メジャーサイクル)が1Hzであったためである。しかし、空力係数に関してはトリムがとれた状態での特性を調べることが重要であり、この周期のデータでも十分に有効であると考えられる。ところで、一般に加速度計の出力にはかなり大きめのノイズが含まれており、空力係数を推定するにはそれらを取り除く必要がある。ノイズ除去には低次のローパスフィルタを用いるのが普通であるが、HYFLEXの場合、分離直後空気力による加速度が急激に上昇するため、単純なフィルタを用いると時間遅れが無視できなくなる。そこで、時間遅れの影響を最小限にとどめ、かつ簡単な計算でノイズを取り除くことを目的として、係数を計算する時刻の前後

0.5 秒間(すなわち合計 1 秒間)の加速度の平均をとることにした。

飛行データから算出した空力係数には、さまざまな誤差の影響が含まれているが、それらを総合した推定誤差は表 7.1-1 のように見積もることができる。これは加速度計の取り付け誤差や量子化誤差、動圧の推定誤差、質量の測定誤差などを積み上げたものである。

飛行結果

垂直力係数  $C_N$  および軸力係数  $C_A$  の飛行結果と予測値の比較を図 7.1-1 に示す。予測値は、実際の飛行でのマッハ数、迎角、舵角を用いて設計用空力データから計算されたものである。

垂直力係数の飛行結果は、全てのマッハ数で不確定性の幅に含まれており、予測値と非常に良い一致を見せている。マッハ数 11 から 13 の範囲での飛行データの乱れは、後述する揚抗比に乱れが見られないことから、動圧の推定誤差によるものと考えられる。また、マッハ数 13 以上での乱れは、迎角の振動や加速度の計測ノイズの影響と考えられる。

軸力係数の飛行結果も、マッハ数 4 から 13 までは予測値の不確定性の範囲に入っている。しかし、マッハ数 4 以下とマッハ数 13 以上では顕著な差が見られ、いずれも飛行結果が予測値を上回っている。高マッハ数域での不一致は、スペースシャトルの飛行でも観測された粘性干渉効果が原因と考えられる<sup>29,30</sup>。予測値に粘性干渉効果の補正を加えた場合の比較を図 7.1-2 に示す。この計算ではスペースシャトル・オービターに対して提案された補正式を用いた<sup>30</sup>。(補正式は図中に示されている。)ただし、両形状の基準面積に対する機体下面の濡れ面積の比率の違いを考慮し、定数項を修正した。スペースシャトル・オービターと HYFLEX の形態の差にも関わらず、粘性干渉効果を考慮した場合の予測値は飛行結果と良く一致しており、ここで用いた補正式が様々な形態の再突入

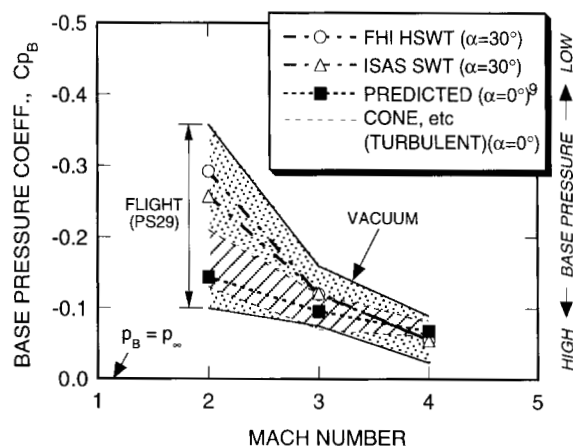


図 7.1-3 ベース圧係数の比較

機に対しても有効であることを示している。

マッハ数 4 以下の不一致は、6.1 項で述べた、ベース圧力の迎角依存性を考慮していないベース抵抗補正方法に問題があったためと考えられる。図 7.1-3 にベース圧係数の飛行結果、風洞試験での測定値、文献 22 による予測値および円錐やオジャイブに対する実験結果の比較を示す。飛行結果に幅があるのは、主に計測された圧力が A/D 変換される際の分解能力が悪いためである。精度不足のため飛行結果との比較は難しいが、迎角 0 度での文献 22 による予測値や円錐等のデータと比較して、迎角 30 度での風洞試験ベース圧はスティング干渉の効果(過去の実験例よりベース圧に対して 10~20% 以下の影響と推定される)を考慮しても低すぎるように思われる。この差はベース圧の迎角依存性(迎角が大きいくほどベース圧が低くなる)によるものと推定される。この迎角依存性は風洞試験での迎角スイープ結果において観察されていた。図 7.1-4 は、超音速風試における天秤出力から直接算出した軸力係数と、ベース圧計測値を用いて求めたフォアボ

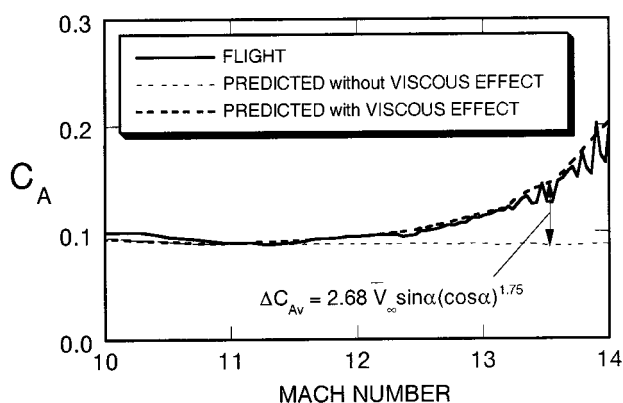


図 7.1-2 軸力係数に対する粘性干渉効果

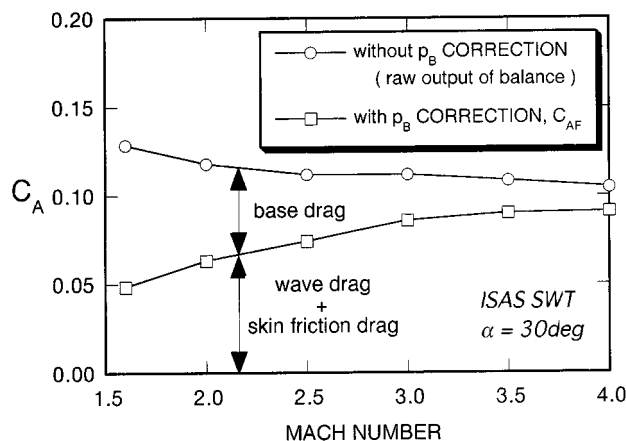


図 7.1-4 風洞試験で得られた軸力係数

ディ軸力係数  $C_{AF}$  を示したものである。 $C_{AF}$  の大半を占めるノーズ部の造波抵抗を垂直衝撃波関係式を用いて概算した結果は図中の  $C_{AF}$  とほぼ一致しており、風洞試験での軸力、ベース圧計測は適正と判定される。図7.1-1(b)には、ベース圧補正を行わなかった場合の軸力係数予測値(天秤の生出力から求めた値)も示されている。この場合はベース圧の迎角依存性が自然に反映されているため、スティング干渉の影響が若干含まれているにも関わらず、飛行結果と良い一致を見せている。

図7.1-5は揚抗比の比較を示したものである。マッハ数12以上を除き全領域で良く一致していると言えるが、飛行結果はマッハ数8以下でわずかに予測値よりも小さく、マッハ数効果がほとんど見られないことが分かる。マッハ数12以上で飛行結果が小さくなっているのは前述した粘性干渉効果の影響である。

## 7.2 縦トリム特性

エレベータ舵角の飛行結果と予測値の比較を図7.2-1に示す。飛行結果はヒンジモーメントによる舵角の補正を行ったものである。また、予測値は、実際の飛行におけるマッハ数、迎角に対して設計用の空力データを用いてトリム計算を行った結果である。予測値の不確定性はピッチングモーメント係数の誤差によるもので、重心位置の測定誤差は含まれていない。マッハ数8以下では、飛行結果はわずかに予測値よりも小さい(すなわち、上げ舵側にずれている)ことが分かる。これは実際の飛行では予想よりも頭下げモーメントが発生したことを意味している。図7.2-1には、測定誤差の範囲で重心位置が最前方にある場合の予測値も示されている。この場合、マッハ数8以下で予測値と飛行結果は良く一致する。この結果から、マッハ数8以下の差(少なくともその一部)は重心位置の測定誤差に起因すると推論できるが、機体前方上面の凸部によって頭下げモーメントが生じた可能性もある。アンテナを保護するための凸部は維持設計に

おいて追加されたため、詳細風洞試験に基づく設計用空力モデルにはその影響は含まれていないからである。一方、マッハ数8以上での不一致は、予測の不確定性を大きく越えている。この不一致は迎角の変化に対応しており、迎角が大きくなるとともに舵角の差も大きくなる。迎角49度での舵角のずれは3度程度に達している。このように大きな不一致の原因としては、風洞試験結果が飛行結果に比べて頭上げのピッチングモーメントを予測していたことから、高迎角域でのスティング支持の影響が考えられる。この他にも実在気体効果などが考えられるが、現時点では明確な結論は出ていない。マッハ数13以上では、舵角が振動しているため明確ではないが、舵角がマッハ数の増加とともにわずかに上げ舵側に移動している傾向が見られる。これは、粘性干渉効果により機体下面の摩擦抵抗が増え、その結果として頭下げモーメントが発生し、それを補償するために舵角が変化したものと考えられる。なお、HYFLEXでは、エレボンの撓みが飛行に影響を与えることが懸念されたが、動圧に対応した舵角の変化が見られないことから、ピッチングモーメントを変化させるような大きな撓みは生じなかったと考えられる。このことは、実測されたヒンジモーメント(詳細は7.4項を参照)が設計時に設定した最大許容モーメント(1800Nm)に比べて非常に小さかったことから明らかである。

次に、風圧中心位置の比較を図7.2-2に示す。予測値は、実際の飛行のマッハ数、迎角、エレボン舵角に対して計算したものである。飛行結果については、角速度データのノイズや量子化誤差が大きくピッチングモーメント係数の推算が困難であると考えられたため、推算は行わなかった。ただし、飛行のほぼ全域でピッチ軸まわりのトリムが成立していたため、飛行中の風圧中心はほとんど重心位置に一致していたと考えて良い。図7.2-2の比較を見ると、風圧中心の予測値はマッハ数12付近で重心位置よりも0.4%程前方にあることが分かる。

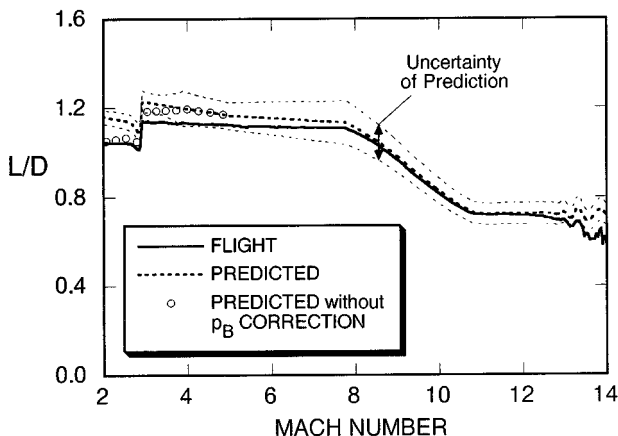


図 7.1-5 揚抗比の比較

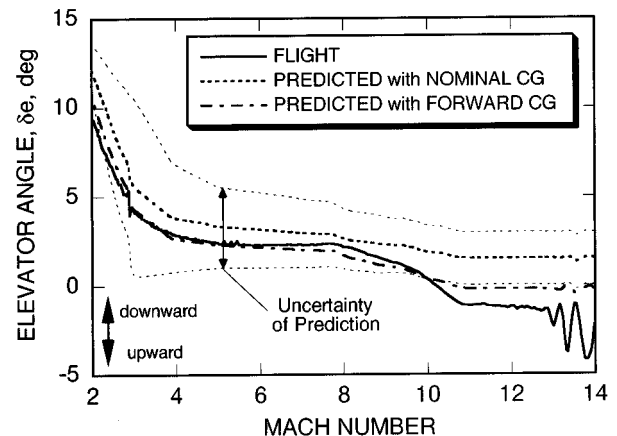


図 7.2-1 エレボントリム舵角の比較



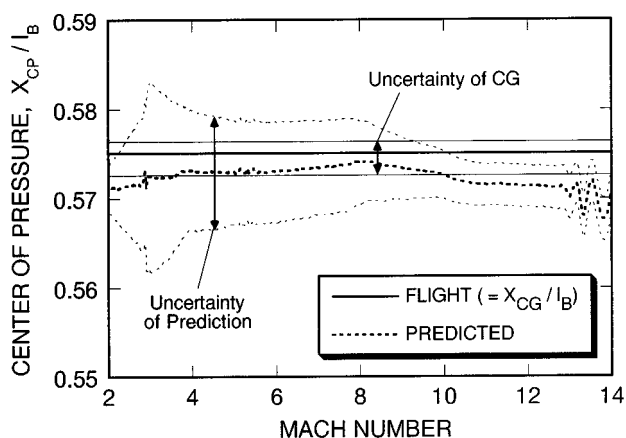


図 7.2-2 風圧中心位置の比較

### 7.3 空力微係数

#### パラメータ推定法

空力微係数の推定には、最尤推定法 (maximum likelihood estimation method) を用いた。この推定法はいわゆる時間領域での手法の一つで、機体に加えられた操舵に対し、システムモデル (運動方程式) から計算される応答と、飛行試験から得られる応答を有限時間内で比較し、ある評価関数が最適になるように未知のパラメータ (運動方程式の係数や初期状態量) を決めるものである。最尤推定法の場合、観測された出力を生じるような確率が最大化されるためこの名称がある。評価関数の最適化には、Gauss-Newton 法などの逐次計算法が用いられる。なお、システムにプロセス (状態) ノイズが存在する場合、状態量はカルマンフィルタによって推定されることになる。

最尤推定法にはいくつかの定式化があるが、ここではスペースシャトルの微係数推定<sup>31)</sup>にも実績がある Mainelli の方法<sup>32,33)</sup> を参考とした。この方法では、運動方程式を線形時不変システムとしてモデル化し、状態量を計算するために定常カルマンフィルタを用いる。また、運動方程式の係数や初期状態量の他に、プロセスノイズの共分散行列も推定することが可能である。この他にパラメータの最適化の手法などにも特徴があるが、詳細は文献 32、33 などを参照されたい。

#### 飛行データ取得方法

空力微係数の推定のために主として用いた飛行データは、加速度、角速度、エレボン舵角、RCS の推力状態 ( $0, \pm 1$ ) である。前の 2 つは入力、後の 2 つのデータは出力である。これらは、40Hz のサンプルレートで計測記録され、テレメータデータとして地上局に送信された。エレボン舵角は、アクチュエータ出力軸の舵角をリンク機構の幾何学的関係から換算した値を用いた。これらには機体やリンク機構の撓みの効果は考慮されていない。また、RCS の推力状態としては、OBC から送出されたスラスト

バルブ駆動コマンドを用いた。ただし、RCS の推力レベルは、コマンドに対して 25msec 程度の応答遅れがあることが推進系機能試験により分かっているため、データを 1 サンプル (25msec) 分だけ遅らせる補正を行った。迎角や横滑り角、ピッチ角などの姿勢角についても 1 秒周期のデータが得られているが、加速度などと比べてサンプル数が少なすぎることから、運動を計算する際の初期値としてのみ用い、応答を比較するための出力としては用いなかった。

#### 縦の微係数

機体ピッチ軸まわりの運動は、制御則の働きによりほぼトリムが保たれていたため、微係数を推算することは困難である。マッハ数 11 付近から 8 程度にかけて大きく迎角の変更を行っているが、これもほぼ釣り合いを保ちながら準静的に行われている (図 5.2-1、図 7.2-1 を参照)。どのような手法を使う場合でも、空力微係数を推定するためには、トリム位置からの迎角やエレベータ舵角の変動が観測される必要がある。唯一の例外は、マッハ数 3 における迎角の変更で、かなり大きなピッチ軸回りの運動を伴っている。このような理由から縦微係数の推定は、マッハ数 3 (正確には 2.9) においてのみ行った。

縦微係数の推定には、速度の変化を無視した線形運動方程式<sup>32)</sup>を用いた。状態変数は迎角、ピッチング角速度、ピッチ姿勢、入力はエレベータ操舵 (エレボン舵角の平均)、出力は垂直加速度およびピッチング角速度である。

推定を行った未知パラメータは、安定微係数 (運動方程式の状態変数に関する係数)、舵効き微係数 (運動方程式の制御変数に関する係数)、トリム状態での空気力 (運動方程式の定数項)、観測値に含まれるバイアス量、観測および状態ノイズの共分散である。状態量の初期値は未知パラメータとはせず、全て計測値を用いた。

推定されたおもな空力微係数を表 7.3-1 に示す。推定結果は無次元微係数に変換されている。この表には、風洞試験に基づく予測値とその不確定性、および飛行データに基づく推定値および推定誤差が示されている。推定誤差は、Cramér-Rao の下界と呼ばれる指標を 3 倍したものである。Cramér-Rao の下界は厳密な推定誤差を表すものではないが、その目安として広く用いられている<sup>32)</sup>。ただし、Cramér-Rao の下界はしばしば、実状よりも低めの値を与えることが知られているので、3 倍してから用いることにした。なお、推定誤差には無次元化に用いる質量、慣性性能率、動圧の計測誤差も含めるべきであるが、ここではこれらの影響は考慮していない。

安定微係数  $C_m$  の推定結果は正であり、予測値と同様に迎角に関する静安定がないことを示している。ただし、表中の予測値は ISAS 超音速風洞の結果によるもので、制

表 7.3-1 縦の微係数の比較

微係数	予測		飛行結果		単位
	ノミナル値	設計用誤差	推定値	推定誤差	
$C_{z\alpha}$	-0.02731	未設定	-0.02679	$\pm 0.00679$	1/deg
$C_{m\alpha}$	0.00019	+0.00074/-0.00056	0.00011	$\pm 0.00003$	1/deg
$C_{zq}$	0.00000 <sup>a</sup>	未設定	-30.05	$\pm 58.13$	—
$C_{mq}$	0.00000 <sup>a</sup>	未設定	-2.138	$\pm 0.472$	—
$C_{z\delta_e}$	-0.00223	未設定	-0.00126	$\pm 0.00797$	1/deg
$C_{m\delta_e}$	-0.00134	+0.00031/-0.00032	-0.00126	$\pm 0.00006$	1/deg

<sup>a</sup> 制御系設計における仮定

御系の設計に用いたFHI高速風洞の試験結果では、わずかながら静安定があることを予測していた。(付録Cに示されたピッチングモーメント特性はFHIの結果に基づいている。)なお、設計用の空力誤差は、これら2つの風洞試験結果を包含するように定められていたため、制御系もその誤差を前提として設計されており、飛行に問題は起こらなかった。安定微係数 $C_z$ および舵効き微係数 $C_m$ の推定結果は予測値と良く一致している。また、垂直力に関する微係数 $C_{zq}$ 、 $C_{z\delta_e}$ は推定誤差が大きく、予測値との定量的な比較は難しいことが分かる。

表7.3-1において $C_{mq}$ などの動安定微係数の予測値が0となっているが、これは姿勢制御系の設計における仮定を示している。横・方向系についても同様の仮定を用いた。極超および超音速域では、機体の速度が大きいため角速度による空気力の変化が小さく、また、姿勢の安定化・減衰の大部分も制御系によって行われるため、安定性・応答性に対する動安定微係数の影響は小さく、飛行前の予測値の重要性は一般に低い。

図7.3-1にマッハ2.9における縦の運動の時刻歴を示す。迎角は参考として示したもので、応答の一致が良くないのは、飛行データが1秒周期でしか得られていないからである。

#### 横・方向の微係数

ロールおよびヨー軸回りの運動は、バンクマニューバを行う際に励起されたが、微係数推定の観点からは十分なものではない。したがって、得られた推定結果は精度の高いものとは言えない。また、以下の理由で、推定結果はマッハ数7.3から3.7までの範囲に限られている。マッハ数7.3以上の領域では、動圧の時間変化が大きいため、線形時不変モデルを仮定しているこの解析では、収

束解を得ることができなかった。また、マッハ数3.7以下の領域では、計算が発散するケースが多く見られ、収束する場合も物理的に考えられない値が得られた。これは姿勢や舵角の変化が十分に大きくなかったためであると考

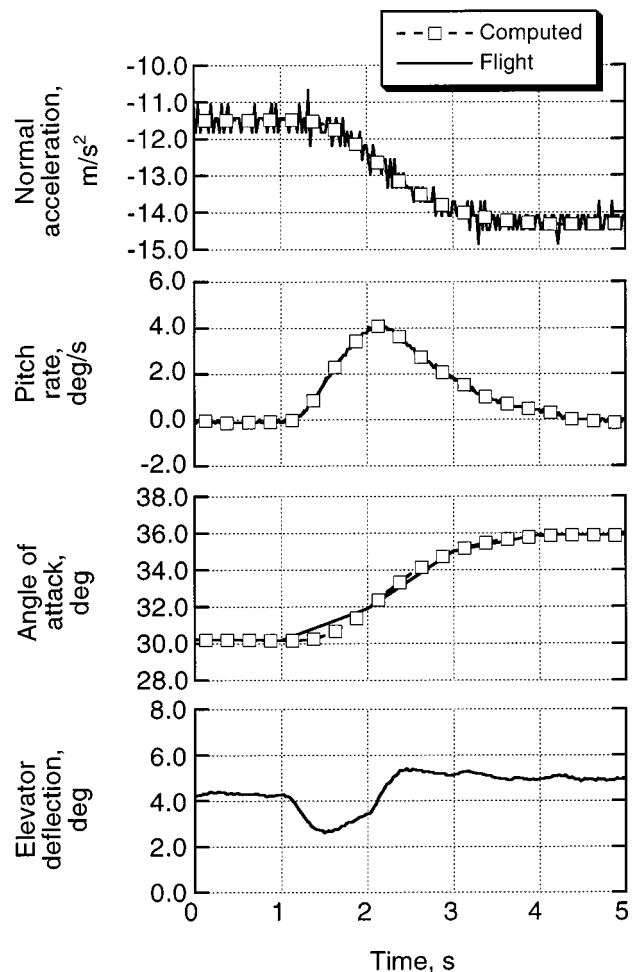


図 7.3-1 マッハ 2.9 における縦の応答時刻歴  
(時刻 0: 実験機分離後 299.4 秒)



えられる。

横・方向微係数の推定には、通常の航空機の運動の解析で用いられる線形モデル<sup>32)</sup>を用いた。ただし、ヨーRCSに関する項をつけ加えた。状態変数は、横滑り角、ローリングおよびヨーイング角速度、ロール姿勢である。また、入力エルロン操舵(左右のエレポン舵角の差の半分)とヨーRCSの推力状態、出力は横加速度、ローリング角速度、ヨーイング角速度である。

推定を行った未知パラメータは、縦の場合と同様である。ただし、横・方向系では、減衰などを表す角速度に関する微係数を全て0と仮定した。これは角速度に関する微係数を未知パラメータに含めて計算を行っても、評価関数に対する感度が低く、有意な値が得られなかったからである。

横・方向の微係数のおもな推定結果を図7.3-2に示す。これらは機体軸における無次元微係数に変換されている。ただし、ヨーRCSの効き $L_{YRCS}$ 、 $N_{YRCS}$ は、左舷側のヨーRCSによって発生するローリングモーメント、ヨーイングモーメントを表す。また、推定結果に添えられたエラーバーは、Cramér-Raoの下界をの3倍を示したものである。

方向静安定を表す微係数 $C_n$ の推定結果は、予測よりもかなり不安定側となっている。しかし、上反角効果を表す微係数 $C_l$ がほぼ予測値に近かったことから、安定

軸での方向安定(横滑りに関する静安定)が失われることはなかった。エルロン操舵の舵効き $C_{l_a}$ 、 $C_{n_a}$ は概ね予測値に一致している。4つの空力微係数は予測値の不確定性の範囲に含まれており、これらが非常に微小な運動から推定されたことを考えれば予測値と良く一致していると言って良い。推定された微係数のばらつきやエラーバーの大きさから、誤差を含めた設計用空力データが十分に妥当なものであったことが分かる。なお、ヨーイングモーメントに関する微係数の推定誤差が大きくなっているのは、ヨー軸よりもロール軸回りの運動が卓越していたためであると考えられる。

ヨーRCSの効きの絶対値は、真空中推力から予測された値よりもかなり大きな値が得られている。このことは実飛行でのヨーRCSのトータルインパルス(=燃料消費量)がシミュレーションよりも少なかったという解析結果<sup>5)</sup>にも符合する。なお、ヨーRCSの効きの予測値は、ノミナル真空中推力40Nとスラストの取り付け位置 $X$ (STA):4165mm、 $Z$ (WL):405mmから計算される値である(座標系は図1-1を参照)。ヨーRCSの推力が変動する要因としては、真空中推力そのものの変動(36~45N)や噴射ガスと安定翼との干渉が考えられるが、推定誤差を考慮しても飛行結果を説明することは難しい。RCSによって発生するモーメント(特にローリングモーメント)はマッハ数の減少とともに小さくなる傾向が見られるが、

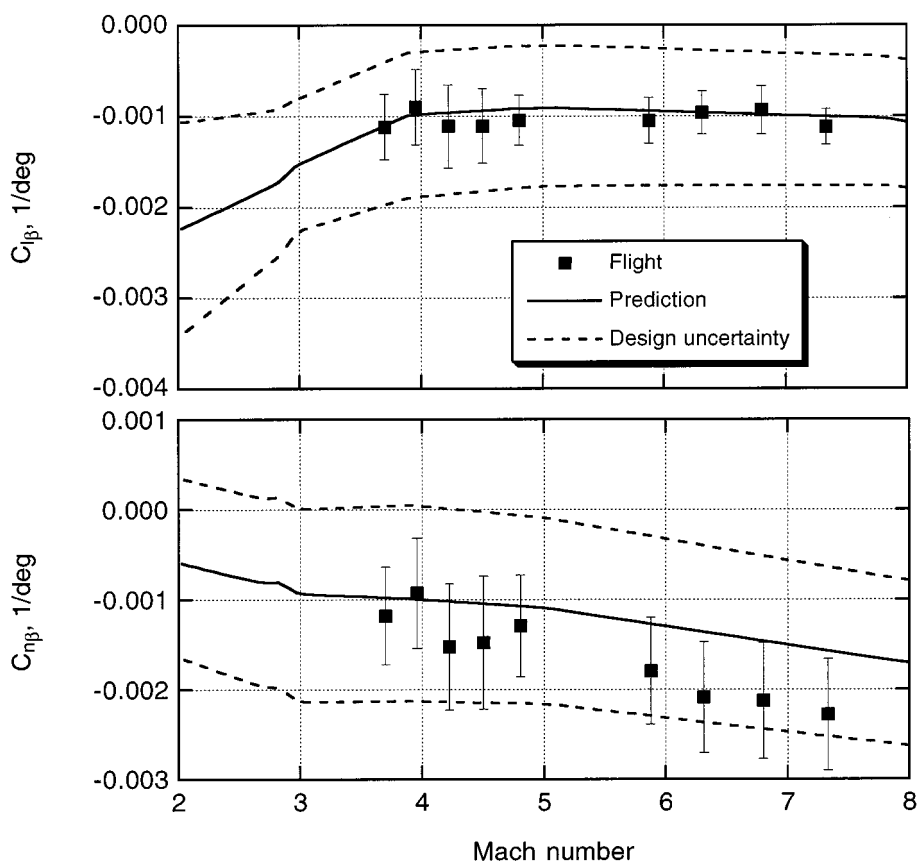
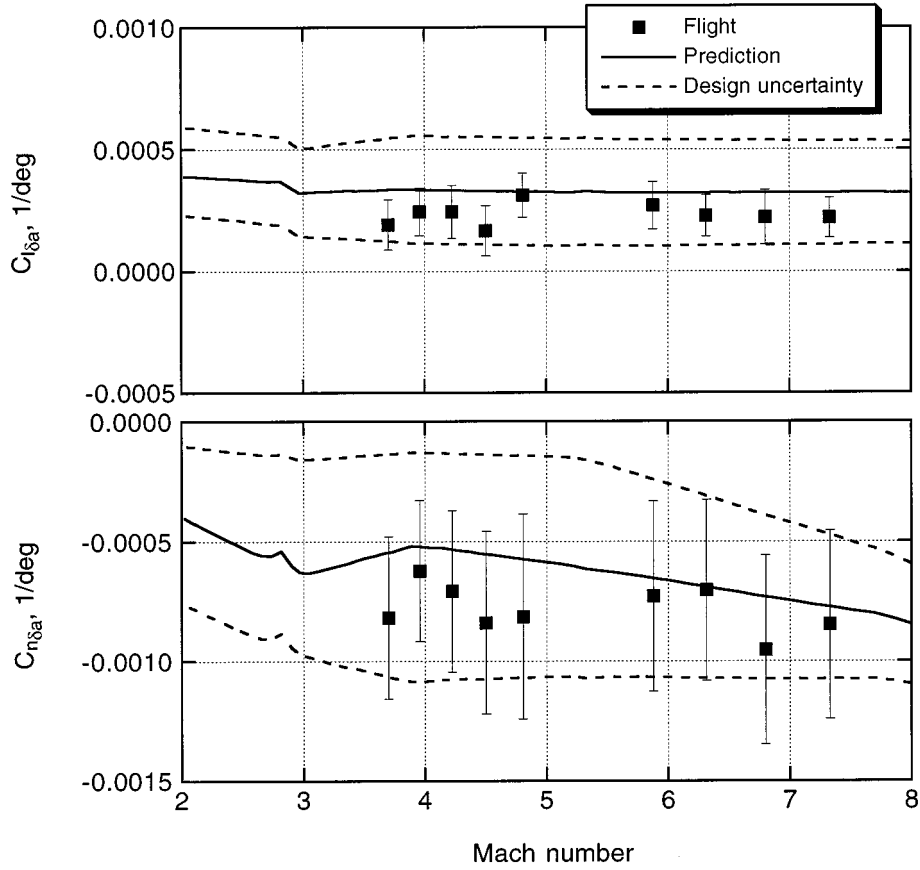
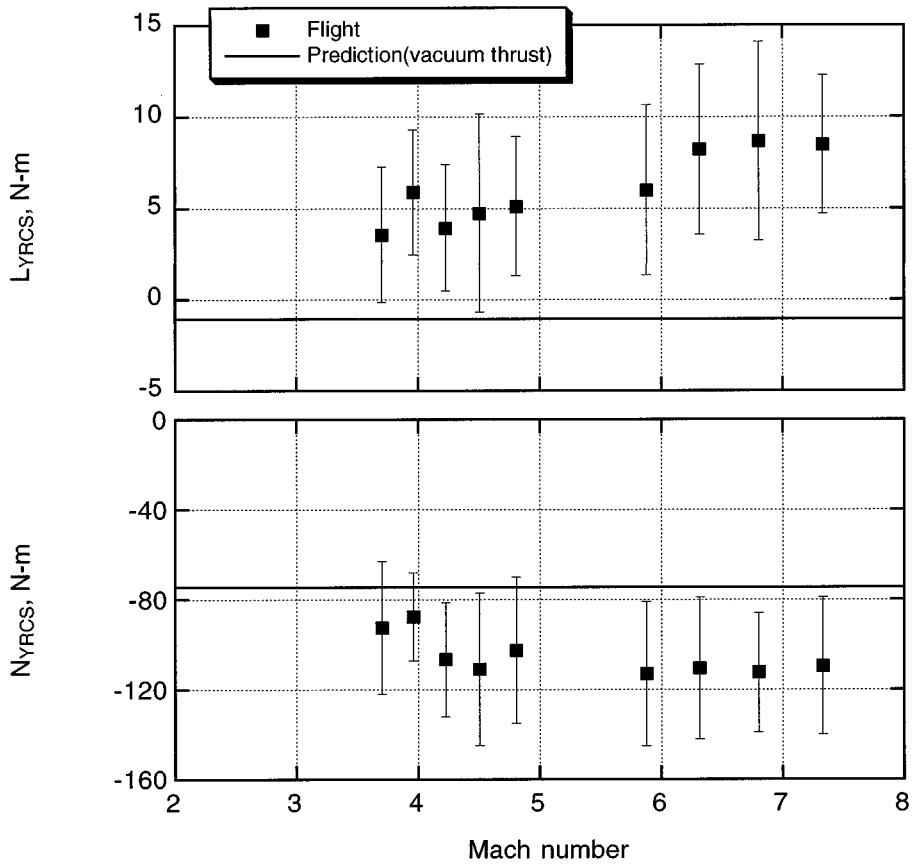


図7.3-2 横・方向の微係数の比較 (a) 横滑り角に関する微係数



(b) エルロン舵角に関する微係数



(c) ヨーRCSの効き

これは動圧の減少に対応していると考えられ、空気力学的な現象によってモーメントが発生していることを示唆している。このような考察から、大きなモーメントが発生した原因は、ガスジェットと外部流の干渉により安定翼の上部後端付近の圧力が上昇したためであると考えられる。この推論は、左舷安定翼後部で計測された圧力データ(PS14、15、19)に、RCSの作動に一致するスパイク状の圧力上昇が見られることでも裏付けされている<sup>34)</sup>。(圧力の計測位置は図7.5-1(c)を、圧力データは図D-1(d,e)を参照されたい。)このガスジェット干渉によ

る空力モーメントは、飛行後に行われたNAL極超音速風洞でのRCSガスジェット干渉試験でも観測された<sup>34)</sup>。なお、RCSモジュールの位置は、ガスジェット干渉を避ける目的で、詳細設計時に安定翼上から干渉が少ないと考えられる機体後端に変更されたが、それにも関わらず予想を上回る干渉モーメントが発生した。

図7.3-3に横・方向の応答の一例を示す。横加速度にはかなり大きなノイズが含まれているが、精度良く状態量の推定が行われていることが分かる。

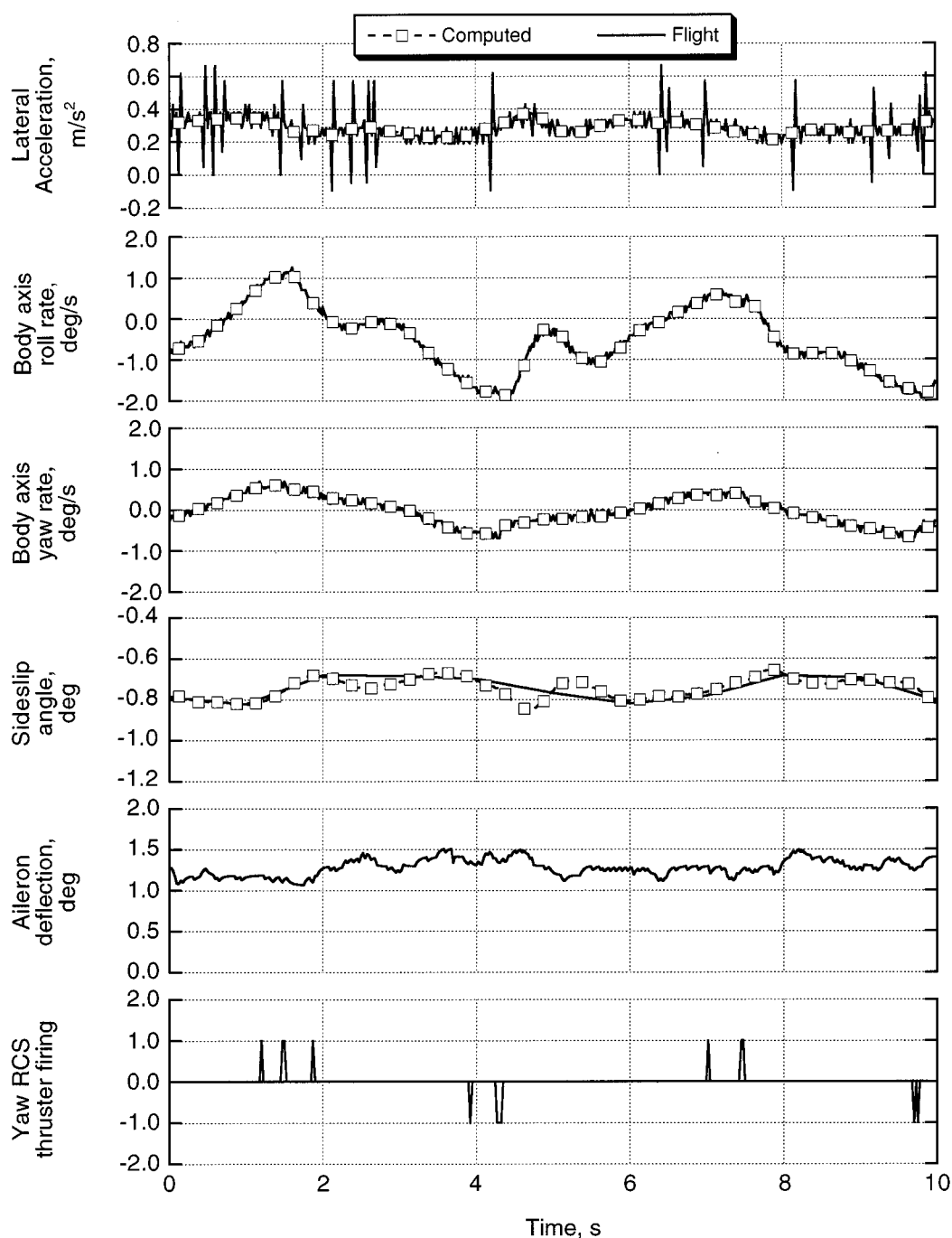


図7.3-3 横・方向の応答時刻歴の一例(時刻0:実験機分離後162.4秒)

## 7.4 エレボンヒンジモーメント係数

### 飛行データ取得方法

実飛行中の空気力によりエレボンヒンジ回りに働くモーメント(以下、エレボンヒンジモーメントと呼ぶ)を計測するために、エレボン駆動用のリンク機構の左右のロッド上に4ゲージ式の歪みゲージを搭載した。飛行前に校正したロッドの軸方向荷重と歪みゲージの出力の関係と、実飛行時に計測した歪みゲージ出力(FS:1500  $\mu$ -strain、A/D変換bit数:8bit、サンプリングレート:20sps)からロッドの軸荷重を求める。それにその時のエレボン舵角に対応したロッドの幾何学的なアーム長を乗ずることにより、ヒンジ回りの合モーメント $HM_{total}$ (空気力による寄与分と慣性力による寄与分の和)が得られる。最終的に空気力のみによるヒンジモーメント $HM_{aero}$ を得るために、図7.4-1に示されるような機体の減速加速度に伴う慣性力による寄与分 $HM_{inertial}$ の補正をする必要がある。

$$HM_{aero} = HM_{total} - HM_{inertial}$$

HYFLEXの実飛行時にはエレボン舵角がほぼ全飛行領域で10度以下と小さかったこと、垂直力による加速度が軸力加速度に比べ十分大きかったことより、 $HM_{inertial}$ は近似的に下式で表される。

$$HM_{inertial} = m_e a_N x_{ecg}$$

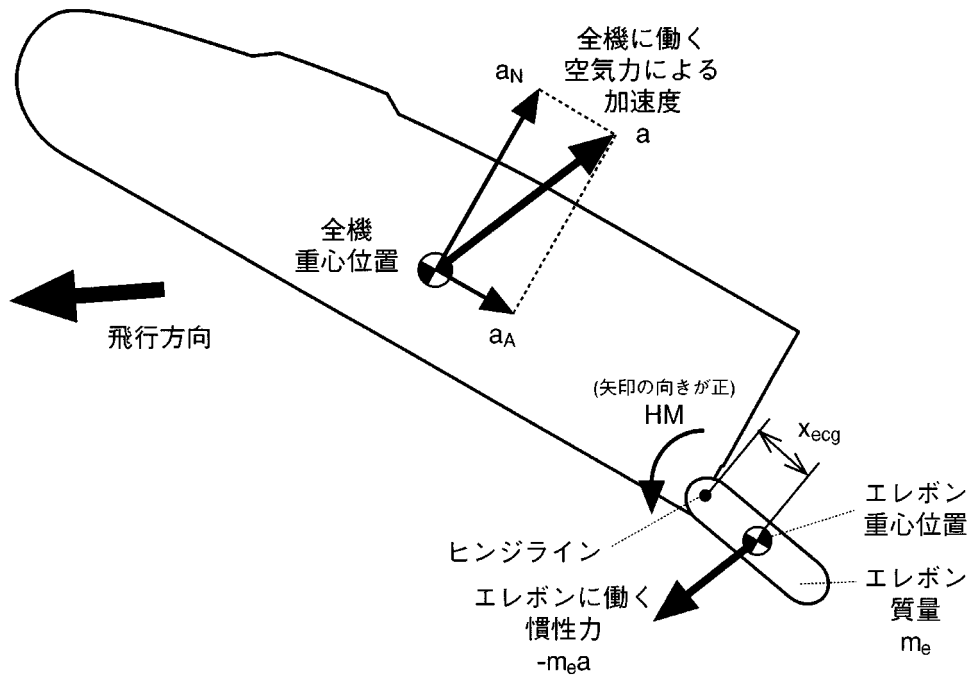


図7.4-1 エレボンに働く慣性力のエレボンヒンジモーメントへの影響

HYFLEX実験機のように大迎角で強い減速を行いながら飛行する再突入機の場合には、一般にこの慣性力による寄与分が無視できないため、この補正は必須のものである。HYFLEX実験機の最大ヒンジモーメント時には、慣性力の寄与分が空気力分の35%に達している。

### 飛行結果

上記の方法で求めたエレボンヒンジモーメントと風洞試験結果に基づく予測値を比較した結果を図7.4-2に示す。また、ヒンジモーメント係数 $C_{mh}$ の比較を図7.4-3に示す。風洞試験による極超音速領域でのヒンジモーメント計測はマッハ数9.9でしか実施していないが、マッハ数5以上ではマッハ数依存性が小さいものと仮定しマッハ数9.9のデータをマッハ数5以上の全域に適用している。実飛行データの階段状の変化は、A/D変換の最小bitに対応したものである。参考のために、アクチュエータの舵角モニタ出力に対して空気力による機体やリンク機構の撓みを考慮して求めたエレボンの実舵角を図7.4-4に示す。舵角の推定精度は、 $\pm 0.5$ 度程度である。

ヒンジモーメントは飛行動圧の上昇とともに増加し、実験機分離後135秒付近で最大値340N-m(左舷エレボン)に達する。エレボンの舵角変化が小さく、かつ極超音速領域では空力係数のマッハ数依存性が一般に小さいために、この時刻は最大飛行動圧時刻(分離後141秒)とほぼ一致した結果となっている。その後は飛行動圧の減少

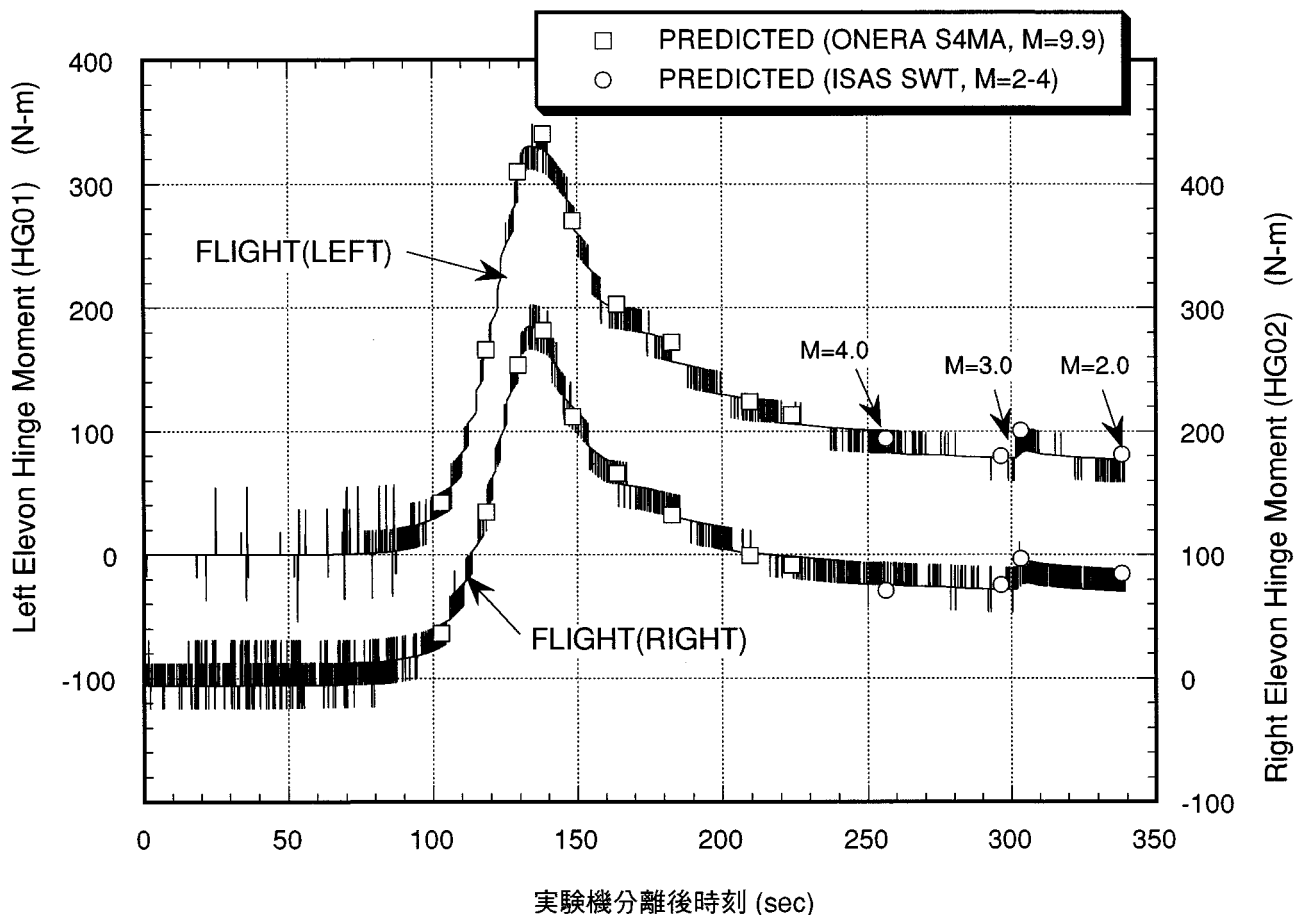


図7.4-2 エレボンヒンジモーメントの比較

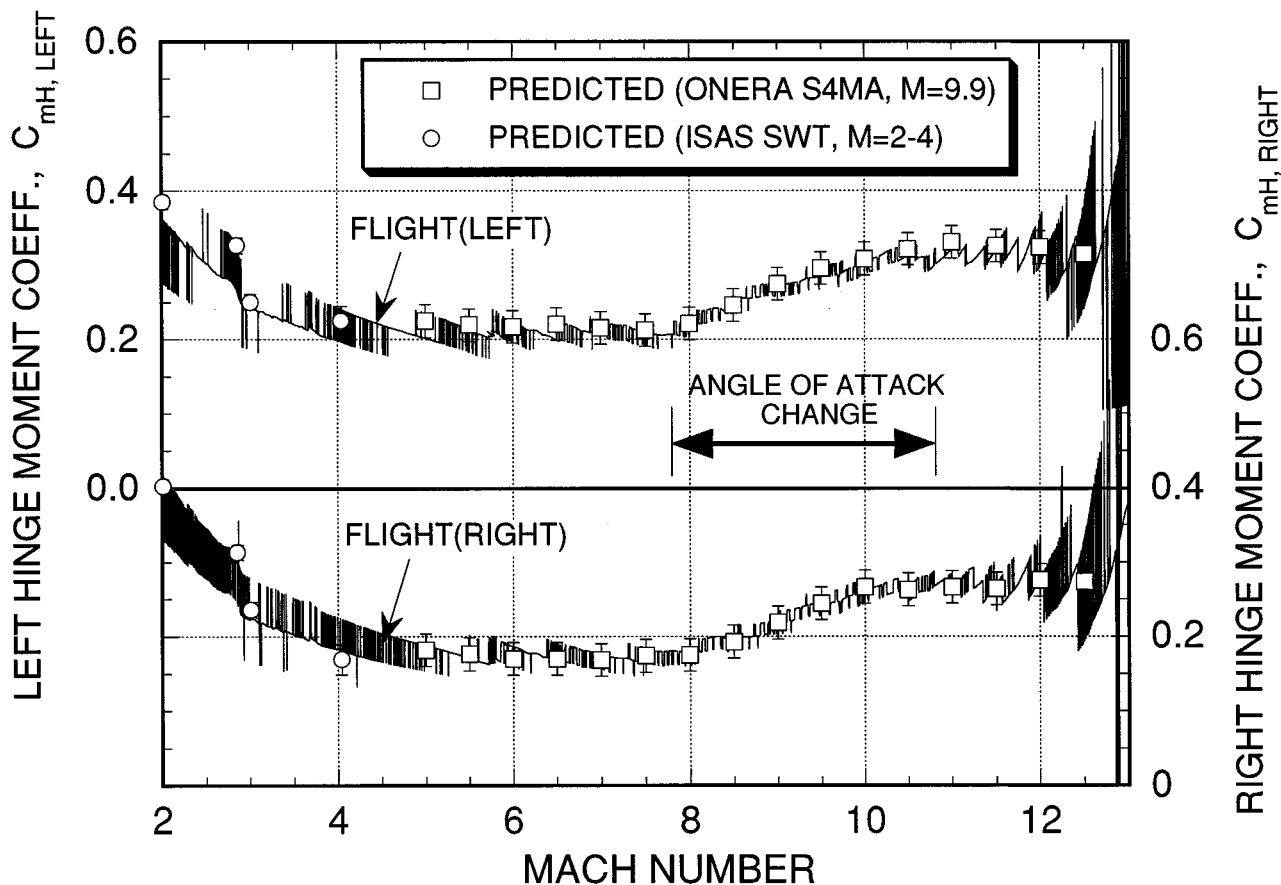


図7.4-3 エレボンヒンジモーメント係数の比較



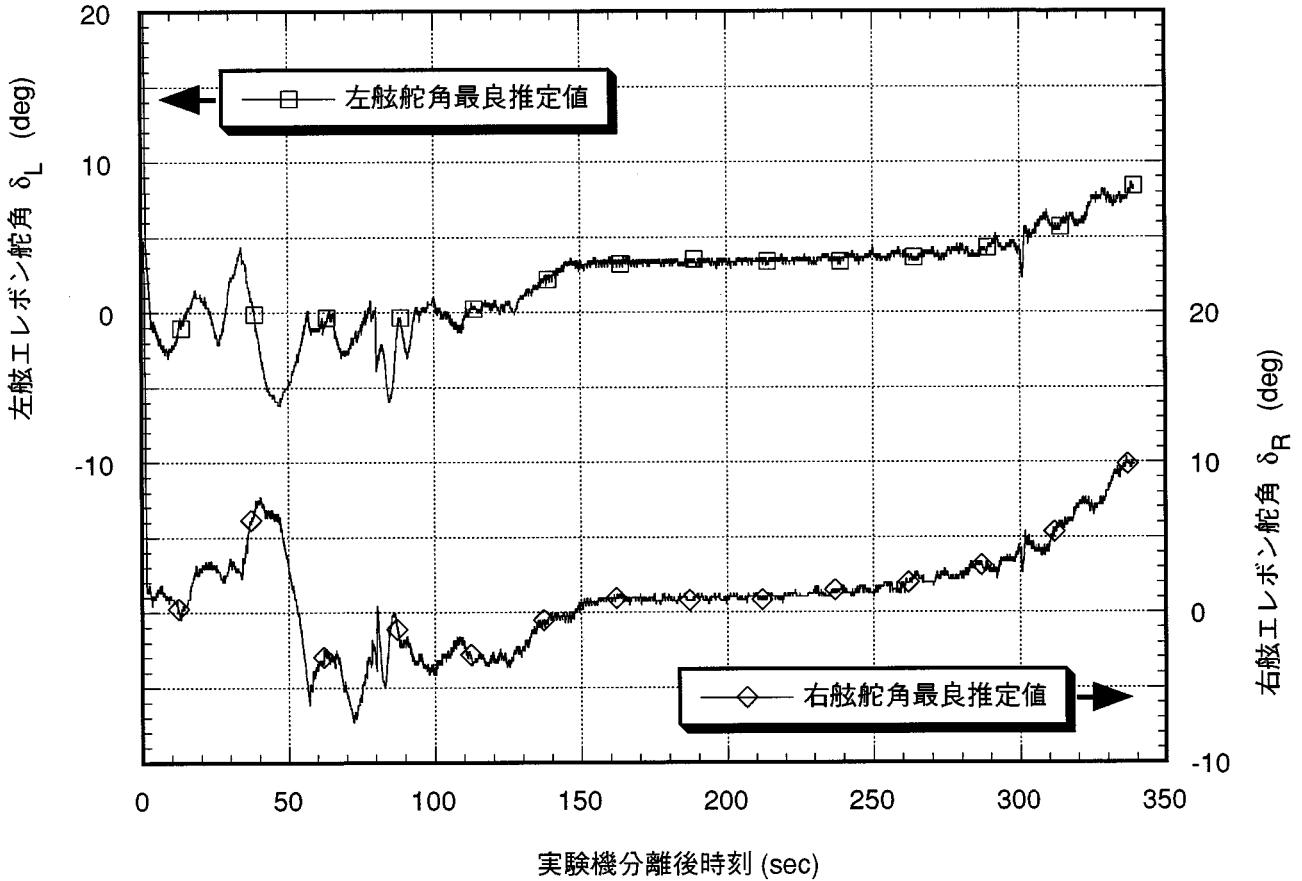


図 7.4-4 実飛行時のエレボン舵角履歴

に対応して、ヒンジモーメントも急激に減少している。飛行マッハ数の全域において、左舷 / 右舷とも飛行結果は風試データに基づく予測値と非常によく一致している。一般に風洞試験におけるヒンジモーメント計測では、天秤がヒンジモーメントのみに感度を持たせた 1 分力天秤であるため他の分力からの干渉補正ができないこと、試験中の空力加熱による模型温度上昇の影響を受けやすい

こと等の理由で高精度の計測が困難であると考えられるが、今回の HYFLEX の試験では、ヒンジモーメントの迎角依存性、舵角依存性を含めて大変精度良く計測されていたといえる。また、マッハ数 5 以上での両者の一致は特によく、この領域においてはヒンジモーメントのマッハ数依存性はきわめて小さいことがわかる。

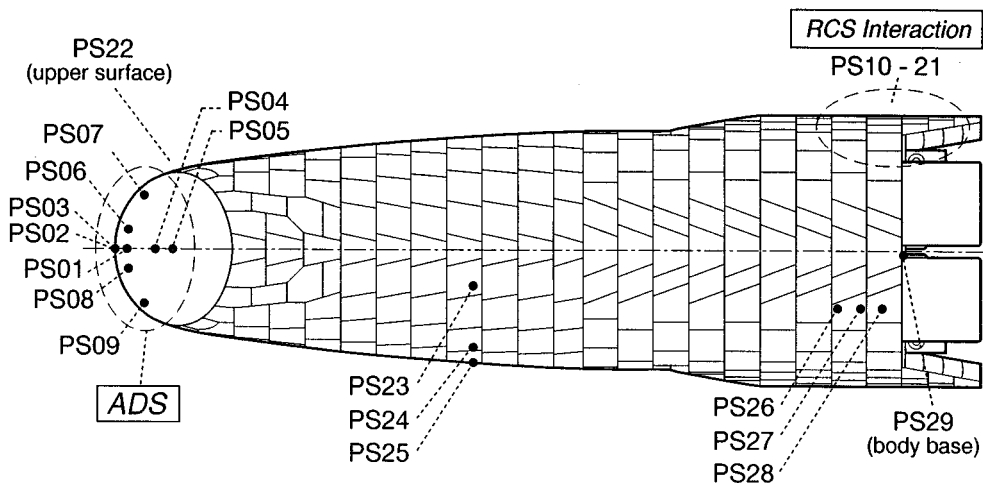
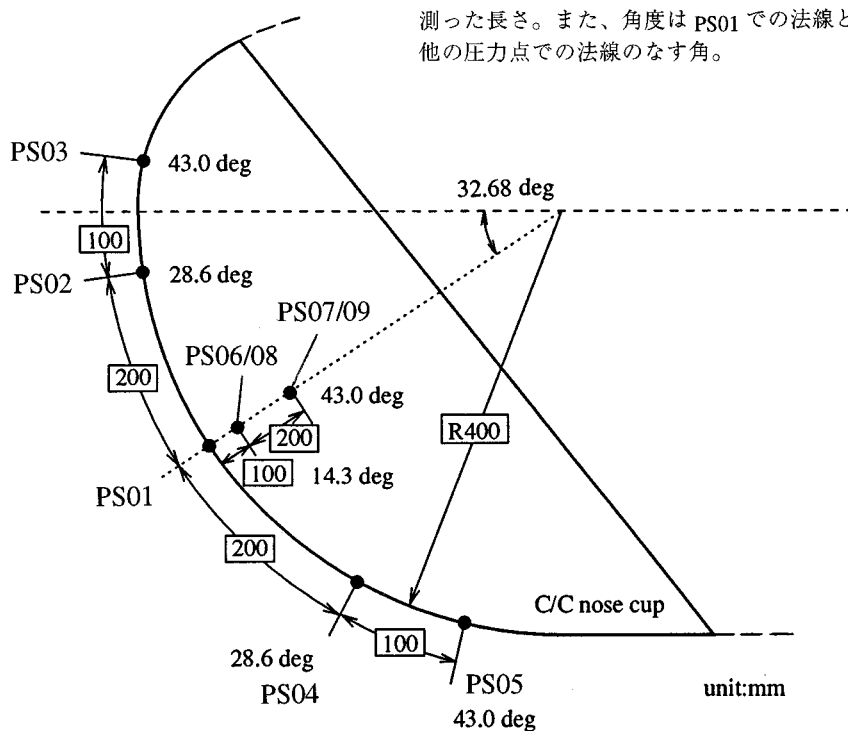


図 7.5-1 表面圧力計測位置 (a) 全般

(注) 図中の寸法はノーズキャップ表面に沿って測った長さ。また、角度は PS01 での法線と他の圧力点での法線のなす角。



(b) ADS用圧力計測位置側面図 (PS01-09)

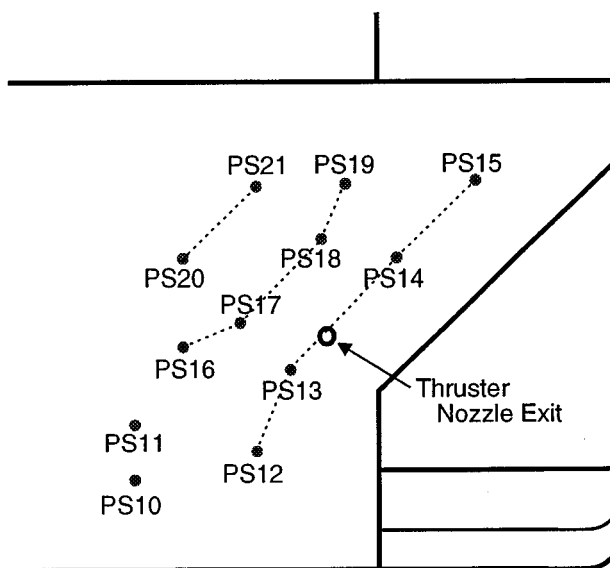
7.5 表面圧力

飛行データ取得方法

飛行中の表面圧力は、図 7.5-1、表 7.5-1 に示す 29 点で計測された。PS01-09 の 9 点は、飛行動圧と迎角 / 横滑角推定のための ADS 用の圧力計測点である<sup>15,16)</sup>。PS10-21 の 12 点は、実験計測用 RCS の空力干渉計測用に用いられる<sup>35,36)</sup>。上記以外の 8 点は、機体表面の全般的な圧力分布を計測することを目的としたものである。各圧力計測点ごとに 1 個ずつ、計 29 個の圧力センサが搭載されている。高精度が要求される ADS 用および RCS 干渉実験用には、Solartron 社製の周波数出力式圧力センサ 78811Z を、表面圧力分布計測用には IMO 社製のダイヤフラム式圧力センサ CEC5003 を使用した。圧力計測系仕様の概要を表 7.5-2 に示す。実験機分離直後のほぼ真空な状態で、各圧力センサー出力に数十 Pa (ADS 用 / RCS 干渉計測用) ~ 数千 Pa (圧力分布計測用) のオフセットが見られたため、その分だけオフセット補正を実施した。また、ADS 用 / RCS 干渉計測用の圧力センサでは、センサ温度の計測値を用いてセンサ出力の温度ドリフト補正を行った。

表面圧力の飛行データの計測精度を表 7.5-3 に示す。ここでいう計測精度は圧力センサ精度と A/D 変換時の量子化に伴う誤差のみを考慮したものであり、動圧の推定精度は含まれていない。PS01 ~ 21 については高精度センサを使用しかつ A/D 変換も 12bit で行われているため、分離後 110 秒程度以降は精度上の問題は小さい。しかし、

PS22-29 についてはセンサの精度が悪くかつ 8bit-A/D 変換であり計測精度が不十分である。特に相対的に圧力の低い胴体上面および後端面 (PS22、25、29) においては致命的であり、最も圧力の低い胴体後端面圧力 PS29 では、実験機分離時からマッハ数 2 に到達するまでの区間で全く圧力変化が計測されていない (すなわち、圧力変化量が最小 bit 以下)。このことは、圧力計測系の仕様設定時の検討が不十分であったことを意味する。



(c) RCS 干渉計測用圧力計測位置側面図 (PS10-21)

表 7.5-1 表面圧力計測位置座標と法線ベクトル

圧力計測 位置 No.	圧力孔位置			外向き法線単位ベクトルのx, y, z成分			目的分類
	x (STA)	y (BL)	z (WL)	x	y	z	
PS01	63	0	184	-0.842	0.000	-0.540	ADS用
PS02	1	0	372	-0.998	0.000	-0.070	
PS03	11	0	470	-0.952	0.000	0.305	
PS04	208	0	49	-0.480	0.000	-0.877	
PS05	301	0	12	-0.247	0.000	-0.969	
PS06	74	-99	191	-0.816	-0.248	-0.523	
PS07	154	-273	242	-0.615	-0.682	-0.395	
PS08	74	99	191	-0.816	0.248	-0.523	
PS09	154	273	242	-0.615	0.682	-0.395	
PS10	3587.0	-541.5	148.7	0.000	-0.766	-0.643	RCS干渉用
PS11	3587.0	-590.8	242.3	0.000	-0.963	-0.268	
PS12	3791.5	-573.3	196.9	0.000	-0.893	-0.451	
PS13	3848.5	-608.4	334.9	0.000	-0.985	-0.174	
PS14	4026	-641.0	520.1	0.000	-0.985	-0.174	
PS15	4158.3	-663.8	649.5	0.000	-0.985	-0.174	
PS16	3668.5	-615.1	373.0	0.000	-0.985	-0.174	
PS17	3764	-622.2	413.4	0.000	-0.985	-0.174	
PS18	3900	-646.6	551.6	0.000	-0.985	-0.174	
PS19	3944	-662.9	644.2	0.000	-0.985	-0.174	
PS20	3668.5	-640.8	518.8	0.000	-0.985	-0.174	
PS21	3791.5	-662.1	639.9	0.000	-0.985	-0.174	
PS22	390	130	705	-0.284	0.229	0.931	表面圧力 分布計測用
PS23	1780	168	23	0.000	0.174	-0.985	
PS24	1780	484	149	-0.073	0.716	-0.694	
PS25	1780	558	401	-0.048	0.970	0.236	
PS26	3669	285.0	44.1	0.000	0.177	-0.984	
PS27	3782	285.0	44.1	0.000	0.177	-0.984	
PS28	3895	285.0	44.1	0.000	0.177	-0.984	
PS29	4000	17.8	974.9	1.000	0.000	0.000	

注) x, y, zの定義は図1-1を参照のこと。

表 7.5-2 圧力計測系仕様

計測目的 (圧力孔番号)	計測 点数	圧力センサ	計測レンジ (kPa)	センサ精度 (%FS)	A/D 変換		サブリンク レート (sps)	圧力導入 孔径 (mm)	配管内径 (mm)	配管長 (m)
					bit 数	分解能 (Pa/bit)				
ADS 用圧力計測 (PS01-10)	9	Solartron 社 78811Z (共振周波数 計測式)	0.051 - 107	0.02 (21Pa)	12	26	10	φ 4.4	φ 3.7	0.44 - 0.54
RCS 干渉圧力計測 (PS11-21)	12						20	φ 9.0	φ 6.4 - 7.8	1.52 - 2.39
表面圧力分布計測 (PS22-29)	8	IMO 社 CEC5003 (データ7774式)	0 - 103	0.5 (515Pa)	8	402	5	φ 3.0 (前胴) φ 9.0 (後胴)	φ 3.0 (前胴) φ 7.8 (後胴)	0.09 (前胴) 0.16-0.52 (後胴)

表 7.5-3 表面圧力の飛行データの計測精度

実験機 分離後時刻 (sec)	飛行 マッハ数 M	飛行 迎角 α (deg)	飛行 動圧 (Pa)	計測精度 <sup>a</sup>			
				PS01-21		PS22-29	
				圧力 (Pa)	圧力係数	圧力 (Pa)	圧力係数
50.4	14.04	48.8	15	1.667	36.867		
70.4	13.87	48.2	86	0.291	6.430		
90.4	13.06	49.3	582	0.043	0.950		
110.4	12.07	48.8	3943	0.006	0.140		
130.4	10.40	46.5	14797	25	553		
170.4	7.14	29.8	13380		0.002		
255.4	3.99	30.0	6070		0.004		
297.4	2.99	30.2	4744		0.005		
305.4	2.79	35.6	4443		0.006		
336.4	2.04	35.0	3175		0.008		

<sup>a</sup> センサ精度と A/D 変換最小分解能 (LSB) の 1/2 の RSS 値、動圧推定精度を含まない。

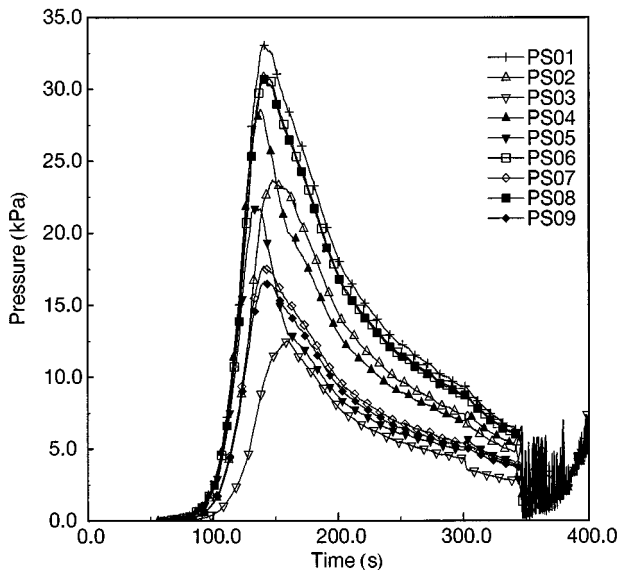


図 7.5-2 ノーズ部表面圧力 (PS01-09) の時間履歴

#### 飛行結果

以下、飛行中に得られた表面圧力計測データのうち主要なものを示す。その他の詳細なデータについては、付録 D にまとめた。

ノーズ部の圧力計測点 PS01 ~ 09 の圧力の時間履歴を図 7.5-2<sup>(5)</sup> に示す。圧力は飛行動圧の増加とともに上昇し、淀み点に最も近い PS01 では実験機分離後 140.5 秒後に最

大(約 33kPa)となる。これは、動圧最大時刻 141 秒と大変よく一致している。最大動圧付近で迎角 49 度から 30 度への姿勢変更が実施されたため、PS01 以外の周辺部の圧力計測点では圧力が最大となる時刻がそれぞれ異なる。最大動圧を過ぎると、飛行動圧減少に比例して表面圧力も徐々に減少する。分離後約 340 秒以降に大きな圧力の変動が見られるが、これは機体がタンブリングまたはフラットスピン運動を行い、機体姿勢が激しく変化したことによる。

胴体下面中央付近の圧力計測点 PS23 および 24 の圧力係数  $C_p$  を飛行マッハ数の関数として図 7.5-3 に示す。比較のために風洞試験および CFD による予測値を合わせて示した。CFD 解析には、完全気体を仮定した Navier-Stokes コードを用いた。境界層は層流を仮定し、乱流モデルは使用していない。マッハ数 12 以上および 7 以下の飛行データに顕著に見られる圧力の段差は、A/D 変換時の量子化に伴うものであり、流体現象ではない。迎角が 49deg でほぼ一定なマッハ数 11 以上とほぼ迎角 30deg で飛行したマッハ数 3 ~ 8 の領域では、PS23、24 とともに圧力係数がほぼ一定となっている。PS26、27、28 においても同様な傾向が見られた(付録 D の図 D-1(h) 参照)。このことは、超音速以上の速度領域では、風上側の圧力係数はマッハ数にあまり依存せず、迎角のみに依存することを示している(一方、超音速領域ではマッハ数の減少に伴い風下側の圧力係数が低下するため、図 7.1-1 に示

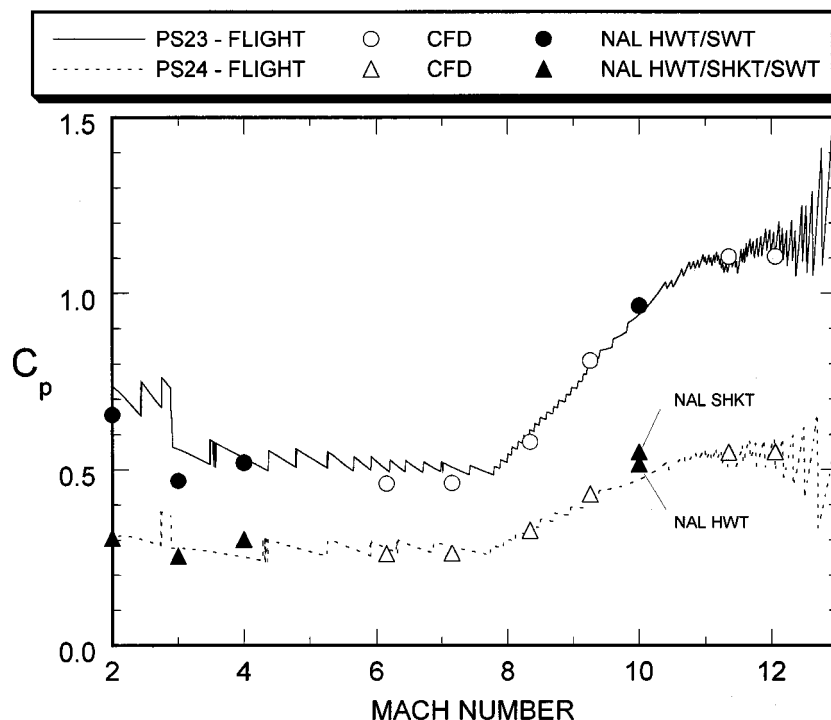


図 7.5-3 胴体下面中央付近の表面圧力係数 (PS23, 24)



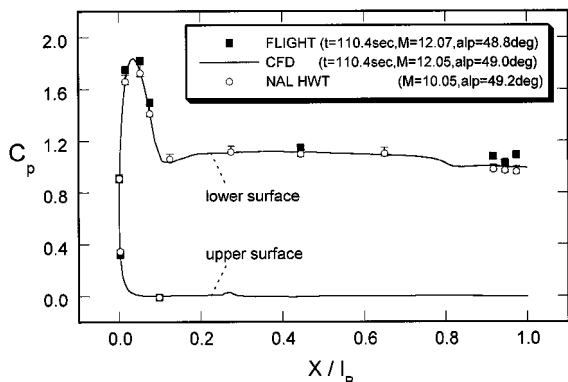
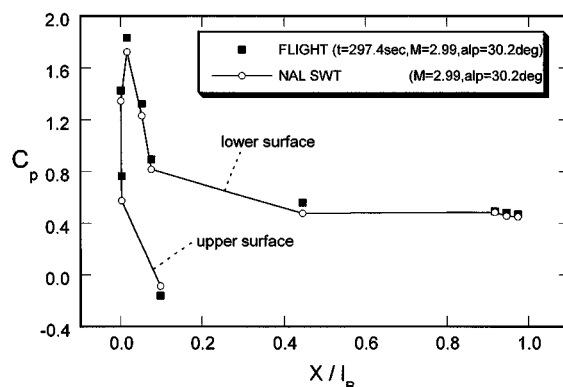
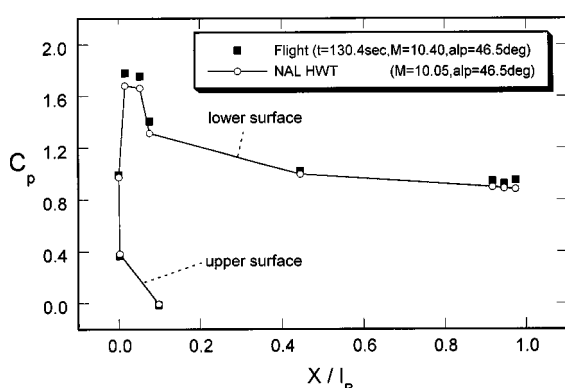


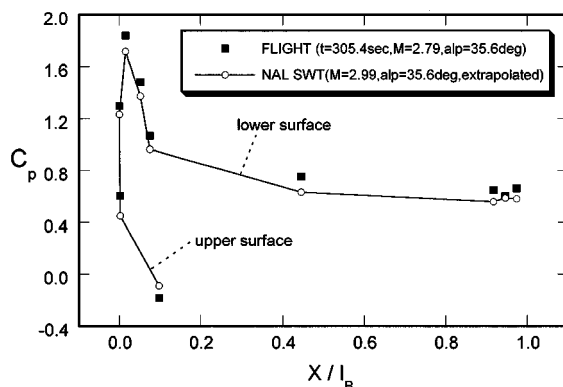
図7.5-4 機体センターライン上の圧力分布  
(a) 分離後 110.4 秒, マッハ数 12.07, 迎角 48.8 度



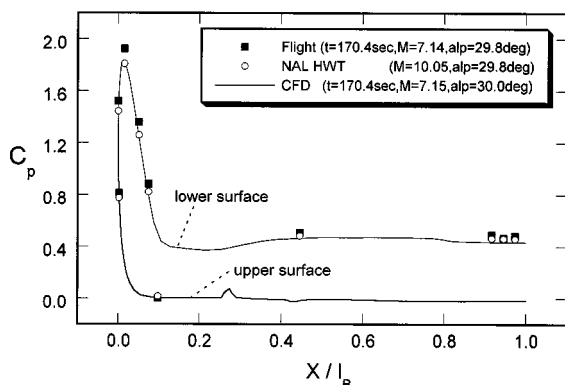
(e) 分離後 297.4 秒, マッハ数 2.99, 迎角 30.2 度



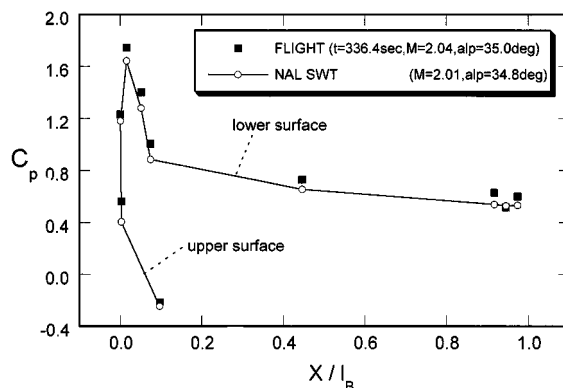
(b) 分離後 130.4 秒, マッハ数 10.40, 迎角 46.5 度



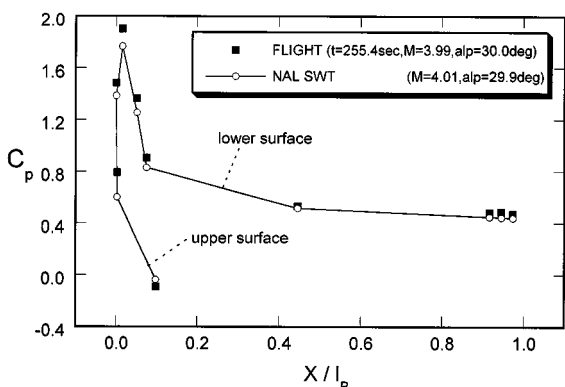
(f) 分離後 305.4 秒, マッハ数 2.79, 迎角 35.6 度



(c) 分離後 170.4 秒, マッハ数 7.14, 迎角 29.8 度



(g) 分離後 336.4 秒, マッハ数 2.04, 迎角 35.0 度



(d) 分離後 255.4 秒, マッハ数 3.99, 迎角 30.0 度

したように垂直力係数はマッハ数の減少とともに増加する。風洞試験結果、CFD解析結果に基づく予測値はマッハ数9以上では飛行データとほぼ一致している。しかし、マッハ数9以下では、予測値の方が飛行データよりも5~10%程度小さい。実飛行時の圧力計測精度が表7.5-3に示したように不十分なために十分根拠を持って原因を特定することはできないが、この差は以下に述べるように飛行中の動圧推定誤差が原因である可能性が高い。なお、その他の圧力計測点の圧力係数の履歴を付録Dの図D-1に示す。

図7.5-4に機体のほぼセンターライン上の表面圧力分布を示す。比較のために風洞試験結果とCFD解析結果をと

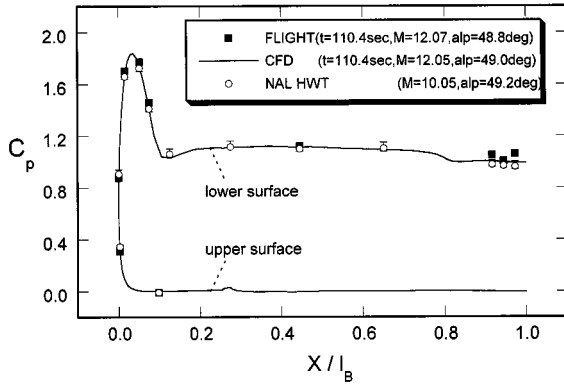
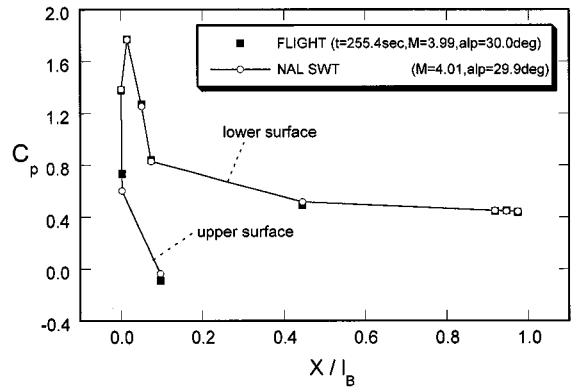
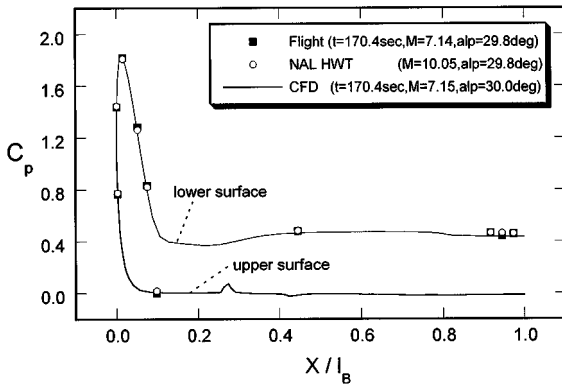


図 7.5-5 ADS により推定した飛行動圧で無次元化した機体センターライン上の圧力分布

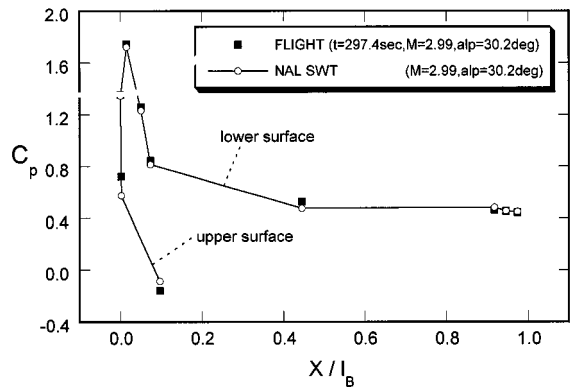
(a) 分離後 110.4 秒, マッハ数 12.07, 迎角 48.8 度



(c) 分離後 255.4 秒, マッハ数 3.99, 迎角 30.0 度



(b) 分離後 170.4 秒, マッハ数 7.14, 迎角 29.8 度



(d) 分離後 297.4 秒, マッハ数 2.99, 迎角 30.2 度

もに示した。飛行データも予測値も胴体下面の圧力計測点を通るライン上の圧力分布であり、正確にはセンターライン上ではないことに注意を要する。分離後 110 秒、マッハ数 12.07 での結果を見ると ((a) 図)、下面に沿っ

て淀み点から後方へ行くに従い急激に圧力が減少し、胴体長の 20% 以降では圧力がほぼ一定になっていることがわかる。CFD 解析結果に見られる  $x/l_B = 0.1$  付近のくぼみは球面のノーズから下面の直線部分への接続部で流れ

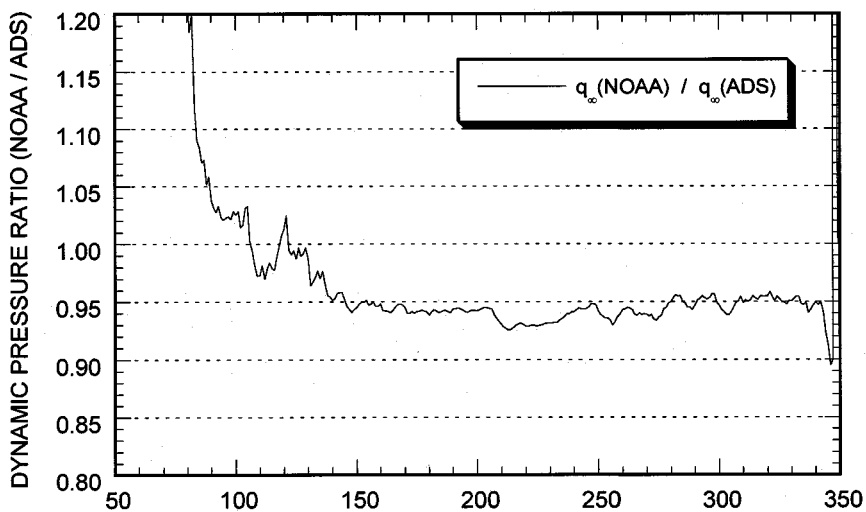


図 7.5-6 NOAA 温度データおよび最良推定飛行経路に基づく飛行動圧推定値と ADS による推定値の比

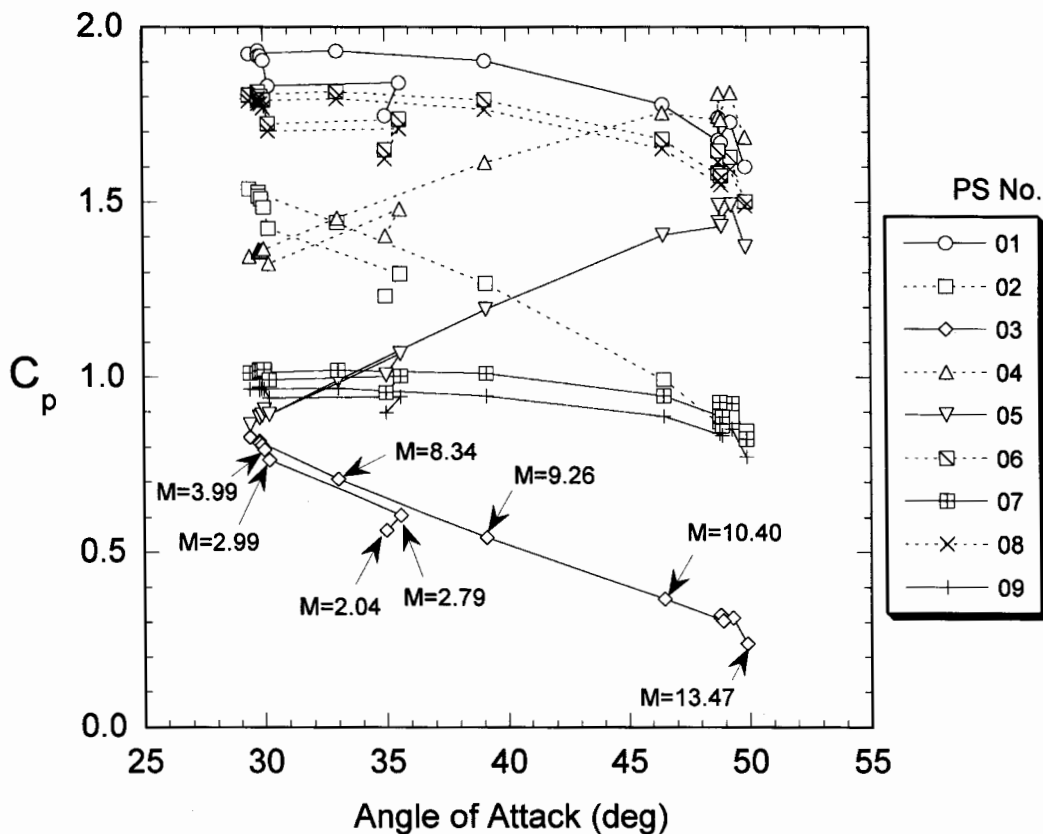


図 7.5-7 ノーズ部圧力係数と迎角との関係

が過膨張していることによるものである。飛行データと予測値の一致はほぼ良いが、下面全面でやや飛行データの方が予測値よりも大きい。この差は図示した極超音速風洞試験結果のエラーバーよりもやや大きい。マッハ数7以下ではこの差は更に顕著となる((c)~(f)図)。図7.5-5にADSにより推定した飛行動圧<sup>15)</sup>を用いて実飛行圧力データを無次元化した結果を示す。ここで用いたADSによる飛行動圧推定値と5.1項で示した手法による推定値(本報告全体でこれが共通に使用されている)の比率は図7.5-6のようにになっている。図7.5-4に比べて、極超音速領域から超音速領域に至るまで飛行データと風洞試験結果、CFD解析結果の一致が良くなっている\*1。このことは、図7.5-3、7.5-4で見られた飛行データと予測値の差がおもに飛行動圧の推定法の誤差によるものである可能性を示唆している。

胴体下面後部のPS26、27、28の3つの圧力孔は、右舷エレポンが下向きの舵角を取ったときに発生する衝撃波

と境界層との干渉による表面圧力の変化を計測するためのものである。図7.5-4ではPS26-28の圧力に差が見られるが、これは有意な差ではないものと考えられる。なぜならば、全飛行範囲で舵角が10度以下と小さかったため衝撃波/境界層干渉の表面圧力への影響が存在したとしても小さく、圧力センサ精度、A/D変換の分解能がこれを測定するには十分ではなかったためである(付録Dの図D-1(h)参照)。

図7.5-7にノーズ部の圧力計測点PS01-09の圧力係数の履歴を横軸に迎角をとって示す。参考のため、各迎角での飛行マッハ数を図中に付記している。圧力係数と迎角は強い依存性を示してはいるものの、飛行中マッハ数が変化しているため、当然のことながら完全に一対一の対応とはなっていない(迎角30~35度の超音速領域で明か)。しかし、淀み点に近いPS01の圧力係数でその他の点の圧力係数を無次元化すると、図7.5-8のようにマッハ数依存性の小さい迎角のみの関数となる。このことは、ノーズ部でModified Newtonian流の仮定がマッハ数によらず成立するとしてノーズ付近の圧力分布から迎角、横滑角を推定するHYFLEXのADSの手法が、超音速以上の速度領域全体で有効であることを示唆している。なお、その他の圧力計測点の横軸に迎角をとった圧力履歴を付録Dの図D-2に示す。

\* 1PS03( $x/l_B=0.0275$ )の風洞試験結果がマッハ数4以下で飛行データに比べかなり小さい値となっている。この傾向は極超音速領域では見られず、かつModified Newtonianによる推定値と飛行データがよく一致しているため、模型の圧力孔の詰まり等の風洞試験時の異常が原因のものと考えられる。

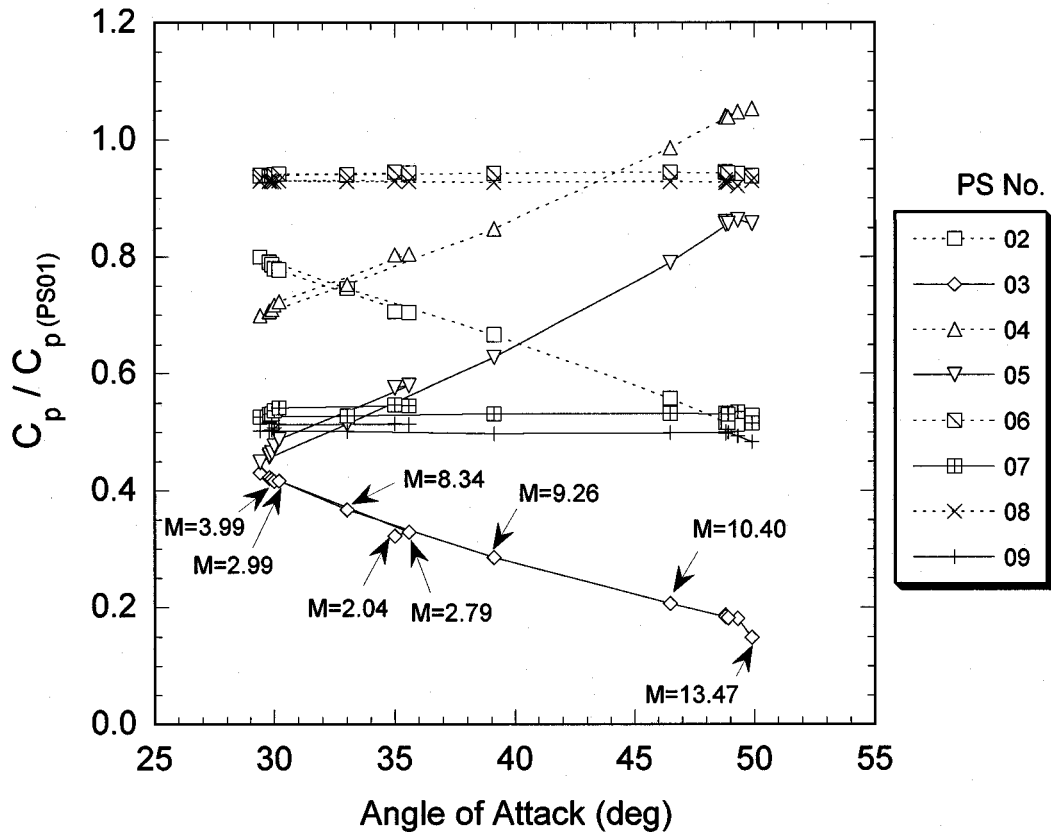


図 7.5-8 PS01 で無次元化したノーズ部圧力係数と迎角との関係

## 8. まとめ

本報告では、HYFLEXの空力特性に関する飛行データを示し、飛行前予測との比較を行った。比較の結果、風洞試験やCFD計算に基づく予測値は、概ね飛行結果に一致していることが分かった。また、飛行結果と予測値の差や飛行データのばらつきから、予測値の不確定性の設定も妥当であることも確認された。このことは、設計の過程で用いられた空力特性の予測技術や誤差の設定方法が、極超音速域を高迎角で飛行する揚力体に対して有効であることを示している。これはHYFLEXにおける大きな成果と言って良い。

その一方で、想定した不確定性以上に飛行データと予測値の間に差が見られる空力特性もあった。それらは、(1)粘性干渉効果と不適切なベース抵抗補正が原因と考えられる軸力係数の不一致、(2)エレベータトリム舵角の不一致、(3)RCSガスジェット干渉によるヨーRCSの効きの増加である。(2)のトリム舵角のずれについては原因が明確になっておらず、今後も検討を続ける必要がある。また、ベース抵抗補正については、スティング干渉の影響等を調べる風洞試験を計画している。

HYFLEXでは、空力特性の予測、空力誤差の設定、飛行データの解析に関して貴重な技術経験を得ることがで

きた。今後は、これらの経験を将来の往還機的设计に生かしていくことが重要であると考えられる。

## 参考文献

- 1) Shirouzu, M. and Watanabe, S.: On the Hypersonic Flight Experiment (HYFLEX) for the Development of HOPE, AIAA-93-5080 (1993/11).
- 2) NAL/NASDA HOPE研究共同チーム HYFLEXサブグループ: 極超音速飛行実験(HYFLEX)計画、HOPE/OREX ワークショップ講演論文集、航空宇宙技術研究所特別資料 SP-24 (1994/9), pp. 49-60.
- 3) 白水正男: 極超音速飛行実験の目的及び位置づけについて、HYFLEX/HOPE シンポジウム講演論文集、航空宇宙技術研究所特別資料 SP-32 (1996/9), pp.35-42.
- 4) Shirouzu, M. and Yamamoto, M.: Overview of the HYFLEX Project, AIAA-96-4524 (1996/11).
- 5) Ishimoto, S., Takizawa, M., Suzuki, H., and Morito, T.: Flight Control System of Hypersonic Flight Experiment Vehicle, AIAA-96-3403 (1996/7).
- 6) 石本真二、佐々修一: 姿勢制御の評価と空力微係数の推算、HYFLEX/HOPE シンポジウム講演論文集、航空宇宙技術研究所特別資料 SP-32(1996/9), pp.78-

- 87.
- 7) 渡辺重哉、石本真二：HYFLEX の空力特性評価、HYFLEX/HOPEシンポジウム講演論文集、航空宇宙技術研究所特別資料 SP-32 (1996/9), pp.111-117.
- 8) Watanabe, S., Ishimoto, S., and Yamamoto, Y.: Aerodynamic Characteristics Evaluation of Hypersonic Flight Experiment (HYFLEX) Vehicle Based on Flight Data, AIAA-96-4527 (1996/11) .
- 9) 科学技術庁航空宇宙技術研究所・宇宙開発事業団：NAL/NASDA 共同研究成果報告書 HOPE の研究(その16) 極超音速飛行実験 (HYFLEX)(1997/3) .
- 10) 井上安敏、白水正男：HYFLEX の計測計画、HYFLEX/HOPE シンポジウム講演論文集、航空宇宙技術研究所特別資料 SP-32 (1996/9), pp.118-128.
- 11) 白水正男、末松俊二、山本一二三：NOAA 極軌道衛星データに基づく上層大気の推定について、航空宇宙技術研究所資料 NAL TM-700 (1996/7) .
- 12) National Oceanic and Atmospheric Administration, National Aeronautics and Space Administration, United States Air Force: U. S. Standard Atmosphere, 1976 (1976/10) .
- 13) Suzuki, H., Ishimoto, S., and Morito, T.: Postflight Evaluation of the HYFLEX Guidance, Navigation and Control, AIAA-96-4525 (1996/11) .
- 14) Justus, C. G., Alyea, F. N., Cunnold, D. M., Jeffries, W. R., and Johnson, D. L.: The NASA/MSFC Global Reference Atmospheric Model 1990 Version (GRAM-90), NASA TM-4268 (1991/4) .
- 15) 高木亮治、滝沢実：HYFLEX における ADS 計測、HYFLEX/HOPEシンポジウム講演論文集、航空宇宙技術研究所特別資料 SP-32 (1996/9), pp.134-142.
- 16) Takaki, R. and Takizawa, M.: ADS Measurement of HYFLEX(Hypersonic Flight Experiment), AIAA-97-0193 (1997/1) .
- 17) 三菱重工業：基本極超音速風洞試験結果報告書、平成4年度NASDA委託業務成果報告書 極超音速飛行実験機基本設計(そのア)付録D (1993) .
- 18) 三菱重工業：詳細極超音速風洞試験、平成5年度NASDA委託業務成果報告書 極超音速飛行実験機基本設計(そのア)(1994) .
- 19) 富士重工業：極超音速飛行実験機 基本遷超音速風洞試験報告書、UHD-24414 (1993) .
- 20) 富士重工業：詳細遷超音速風洞試験、平成5年度NASDA委託業務成果報告書 極超音速飛行実験機基本設計(そのウ)(1994) .
- 21) 川崎重工業：遷音速大迎角風洞試験実施報告書、平成5年度NASDA委託業務成果報告書 極超音速飛行実験機基本設計(そのイ)(1994) .
- 22) Jorgensen, L. H.: Prediction of Static Aerodynamic Characteristics for Space-Shuttle-Like and Other Bodies at Angles of Attack from  $0^\circ$  to  $180^\circ$ , NASA TN D-6996 (1973/1) .
- 23) Young, J. C. and Underwood, J. M.: Development of Aerodynamic Uncertainties for the Space Shuttle Orbiter, J. Spacecraft, Vol. 20, No. 6(1983) pp. 513-517.
- 24) Rockwell International: Aerodynamic Design Data Book, Volume 1, Orbiter Vehicle, SD72-SH-0060-1 (1980/11) .
- 25) Yamamoto, Y. and Yoshioka, M.: HYFLEX Computational Fluid Dynamics Analysis, Proc. 19th International Symposium on Space Technology and Sciences (1994/5) .
- 26) Yamamoto, Y., Wada, Y., and Yoshioka, M.: HYFLEX Computational Fluid Dynamics Analysis Part II, AIAA-95-2274 (1995/6) .
- 27) Yamamoto, Y.: Numerical Simulation of Hypersonic Viscous Flow for the Design of H- Orbiting Plane (HOPE) Part II, AIAA-91-1390 (1991/6) .
- 28) 山本行光：全機空力特性のCFD解析、HYFLEX/HOPEシンポジウム講演論文集、航空宇宙技術研究所特別資料 SP-32 (1996/9), pp.103-110.
- 29) Romero, P. O., Kanipe, D. B., and Young, J. C.: Space Shuttle Entry Aerodynamic Comparisons of Flight 1 with Preflight Predictions, J. Spacecraft, Vol. 20, No.1 (1983) pp. 12-21.
- 30) Griffith, B. J., Maus, J. R., and Best, J. T.: Explanation of the Hypersonic Longitudinal Stability Problem - Lessons Learned, NASA CP-2283 Part1(1983/5)pp. 347-379.
- 31) Illif, K. W. and Shafer, M. F.: Extraction of Stability and Control Derivatives from Orbiter Flight Data, NASA TM-4500 (1993) .
- 32) Maine, R. E. and Illif, K. W.: User's Manual for MMLE3, a General FORTRAN Program for Maximum Likelihood Parameter Estimation, NASA TP-1563 (1980) .
- 33) Maine, R.E. and Illif, K. W.: Formulation and Implementation of a Practical Algorithm for Parameter Estimation with Process and Measurement Noise," SIAM J. of Applied Mathematics, Vol.41, No.3 (1981/12) pp.558-579.
- 34) Inouye, Y., Fujii, K., Takizawa, M., Takaki, R., Watanabe, S., and Ito, K.: Flight Results of HYFLEX Onboard Measurements, AIAA-96-4528 (1996/11) .
- 35) 渡辺重哉、高木亮治：HYFLEX における RCS ガス



ジェット干渉実験、HYFLEX/HOPEシンポジウム講演論文集、航空宇宙技術研究所特別資料 SP-32 (1996/9), pp.143-150.

36) Watanabe,S. and Takaki,R.: RCS Gas-Jet Interaction in the Hypersonic Flight Experiment, HYFLEX, AIAA-97-0524 (1997/1).

## 付 録

### A 飛行条件

本付録では空力特性を推算または評価する際に用いた飛行条件を数値データとしてまとめた。表A-1に、迎角、横滑り角、対気速度、マッハ数、動圧、レイノルズ数、粘性干渉パラメータの数値データを示す。これらのデータは1秒毎の機上での航法計算結果とレーダの追跡データに基づいている。分離後の時刻が端数になっているのは、航法計算の間に実験機分離のイベントが発生したためである。

表A-1に用いられている記号の定義および単位は以下の通りである。

TIME	HYFLEX 分離後の時刻、s
VA	対気速度、m/s
ALP	迎角、deg
BET	横滑り角、deg
MACH	マッハ数
QBAR	動圧、Pa
RHO	大気密度、kg/m <sup>3</sup>
TA	大気温、K
PA	大気圧、Pa
RE	レイノルズ数(胴体長基準)
VINF	粘性干渉パラメータ

### B 空力特性取得用風洞試験ケース一覧

本付録では、HYFLEXの開発における風洞試験の試験内容詳細を、表B-1と表B-2にまとめた。

### C 設計用空力データ

本付録では、HYFLEXの設計に用いられた空力係数、微係数データを示す。座標軸や舵角などの定義は図1-1を、空気を無次元化するための基準量は表2-1を参照されたい。なお、本付録で示すモーメント係数は、表C-1に示す基準点まわりの値である。

図C-1～6に設計用空力データ(ノミナル値)を、図C-7に設計用空力誤差を示す。これらのデータの使用に当たっては付録末の特記事項を参照されたい。また、図中で用いられている記号の意味、単位は以下の通りである。

ALP	迎角、deg
CD	抗力係数 $C_D$

CLB	ローリングモーメントの横滑り角に関する微係数 $C_l$ 、1/deg
CLDA	ローリングモーメントのエルロン操舵に関する微係数 $C_{l_a}$ 、1/deg
CLF	揚力係数 $C_L$
CM	ピッチングモーメント係数 $C_m$
CNB	ヨーイングモーメントの横滑り角に関する微係数 $C_n$ 、1/deg
CNDA	ヨーイングモーメントのエルロン操舵に関する微係数 $C_{n_a}$ 、1/deg
CYB	横力の横滑り角に関する微係数 $C_Y$ 、1/deg
CYDA	横力のエルロン操舵に関する微係数 $C_{Y_a}$ 、1/deg
DCD	$C_D$ に対する設計用誤差
DCLB	$C_l$ に対する設計用誤差、1/deg
DCLDA	$C_{l_a}$ に対する設計用誤差、1/deg
DCLF	$C_L$ に対する設計用誤差
DCM	$C_m$ に対する設計用誤差
DCMA	$C_m$ に対する設計用誤差、1/deg
DCMDE	$C_{m_e}$ に対する設計用誤差、1/deg
DCNB	$C_n$ に対する設計用誤差、1/deg
DCNDA	$C_{n_a}$ に対する設計用誤差、1/deg
DCYB	$C_Y$ に対する設計用誤差、1/deg
DCYDA	$C_{Y_a}$ に対する設計用誤差、1/deg
DELE	エレベータ舵角 $\delta_e$ 、deg
MACH	マッハ数 $M$

### 特記事項

- (1) 超音速領域 ( $M=1.6 \sim 3.9$ ) での設計用空力係数値としては、FHI 高速風洞で実施した詳細遷超音速風洞試験結果を採用している。しかし、飛行データとの比較検討の結果、 $M=3$ でのピッチングモーメント係数の風試データ(当図に示したデータ)がマッハ数依存性の傾向等から判断して正しくないと推定された。そのため、本文中の実飛行データとの比較には、ISAS 超音速風洞で実施した詳細遷超音速風試のデータを用いている。
- (2) 設計用空力誤差のうち、符号(SIGN)に対して整理されていないものは、増加側と減少側で同じ値をもちいること。
- (3) 設計用空力誤差DCLB, DCLDA, DCNDAを用いる際には、6.1項に示した規則に従うこと。

### D 表面圧力計測詳細データ

本付録では、本文中に示すことのできなかった表面圧力計測の詳細データをまとめた。

図D-1に圧力計測点27点(PS01～22, 25～29)の圧力係数  $C_p$  のマッハ数2～13における履歴を示す。PS23、

24については、本文の図7.5-3を参照されたい。RCS干渉計測用の圧力計測点(PS10-21)のデータに間欠的にスパイク状の圧力変化が見られるが、これはRCS干渉による圧力変動であり、ノイズではない<sup>35)</sup>。

図D-2にノーズ部以外の圧力計測点(PS10～29)の圧力係数 $C_p$ の履歴を横軸に迎角をとって示す。PS01～09については、本文の図7.5-7を参照されたい。

図D-3に全圧力計測点の圧力計測データと風洞試験、CFDに基づく予測値を比較したものを示す。飛行中のマッハ数12～2の間の7時点で比較している。飛行データは1秒間のデータを平均化したものである。風試データについては、再現性確認等のために同一ケースのデータが多数ある場合にはその平均値を用いている。また、実飛行中の迎角に合わせるため、迎角に関して風試データの内挿(一部のケースでは外挿)を行っている。参考のため、各時点の飛行マッハ数での垂直衝撃波を通過したあとの淀み点圧力係数 $C_{pstag}$ も図中に示した。この際、

完全気体(比熱比1.4で一定)を仮定している。マッハ数7以下で迎角約30度の状態では、ノーズのほぼ淀み点位置にあるPS01の圧力係数が、理論的な上限値である $C_{pstag}$ を若干上回っており、このことから飛行動圧が実際よりも低めに推定されている可能性があることがわかる。

胴体頭部の左右対称位置に設置された圧力孔(PS06と08、PS07と09)の圧力を比較すると、全飛行領域において左舷側(PS06、07)の圧力が高くなっており、負の横滑角を持って飛行していたことがわかる。これは、IMUの出力から求めた結果と一致している。

また、極超音速領域ではRCSスラスト近傍の安定翼上の圧力(PS13-21)がほぼ同じであり、平板上の流れに近い様な流れ場が形成されていることがわかる。しかし、超音速領域では安定翼下部の曲率部での流れの膨張の影響が安定翼上の平板部にも及んでおり、圧力が一様ではなくなっている。

表A・1 HYFLEXの飛行条件 (a) 分離後0.4 ~ 29.4secまで

TIME	VA	ALP	BET	MACH	QBAR	RHO	TA	PA	RE	VINF
0.4	3882	1.90	-0.927	12.93	1.259E-3	1.671E-7	224.4	1.077E-2	177.9	9.446E-1
1.4	3882	2.43	-1.088	12.95	1.288E-3	1.710E-7	223.6	1.098E-2	182.6	9.330E-1
2.4	3882	1.48	-0.542	12.97	1.318E-3	1.749E-7	223.1	1.120E-2	187.1	9.219E-1
3.4	3882	0.30	-0.048	12.99	1.351E-3	1.793E-7	222.3	1.144E-2	192.4	9.099E-1
4.4	3883	0.09	0.244	13.00	1.385E-3	1.837E-7	221.8	1.170E-2	197.6	8.981E-1
5.4	3883	0.92	0.416	13.03	1.423E-3	1.887E-7	221.1	1.198E-2	203.5	8.855E-1
6.4	3883	2.38	0.580	13.05	1.463E-3	1.940E-7	220.3	1.227E-2	209.9	8.727E-1
7.4	3884	4.05	0.661	13.07	1.506E-3	1.997E-7	219.6	1.259E-2	216.6	8.596E-1
8.4	3884	5.86	0.678	13.10	1.552E-3	2.057E-7	218.9	1.293E-2	223.7	8.463E-1
9.4	3885	7.77	0.669	13.12	1.603E-3	2.125E-7	218.0	1.330E-2	231.9	8.323E-1
10.4	3885	9.93	0.644	13.15	1.656E-3	2.193E-7	217.3	1.368E-2	240.1	8.185E-1
11.4	3886	12.09	0.574	13.18	1.714E-3	2.270E-7	216.4	1.410E-2	249.4	8.041E-1
12.4	3887	14.25	0.449	13.20	1.774E-3	2.348E-7	215.8	1.455E-2	258.6	7.900E-1
13.4	3887	16.40	0.193	13.23	1.840E-3	2.435E-7	215.0	1.502E-2	269.0	7.754E-1
14.4	3888	18.58	0.136	13.25	1.908E-3	2.525E-7	214.4	1.553E-2	279.6	7.610E-1
15.4	3889	20.76	0.088	13.27	1.984E-3	2.623E-7	213.6	1.608E-2	291.5	7.461E-1
16.4	3890	22.94	0.064	13.30	2.064E-3	2.728E-7	212.8	1.666E-2	304.1	7.312E-1
17.4	3891	25.13	0.121	13.33	2.150E-3	2.841E-7	212.0	1.729E-2	317.7	7.161E-1
18.4	3892	27.32	0.151	13.35	2.241E-3	2.959E-7	211.4	1.796E-2	331.8	7.012E-1
19.4	3893	29.09	0.179	13.38	2.341E-3	3.089E-7	210.6	1.867E-2	347.6	6.860E-1
20.4	3894	30.82	0.222	13.41	2.447E-3	3.227E-7	209.9	1.944E-2	364.1	6.708E-1
21.4	3895	32.55	0.281	13.43	2.560E-3	3.374E-7	209.3	2.027E-2	381.7	6.557E-1
22.4	3897	34.28	0.354	13.46	2.681E-3	3.532E-7	208.6	2.115E-2	400.7	6.406E-1
23.4	3898	36.00	0.438	13.49	2.815E-3	3.704E-7	207.8	2.210E-2	421.7	6.252E-1
24.4	3900	37.72	0.532	13.52	2.956E-3	3.888E-7	207.1	2.312E-2	443.9	6.099E-1
25.4	3901	39.44	0.633	13.54	3.108E-3	4.085E-7	206.5	2.421E-2	467.7	5.948E-1
26.4	3903	41.15	0.737	13.57	3.268E-3	4.292E-7	205.8	2.536E-2	492.8	5.800E-1
27.4	3904	42.85	0.686	13.60	3.439E-3	4.513E-7	205.2	2.658E-2	519.7	5.653E-1
28.4	3906	44.52	0.587	13.62	3.625E-3	4.753E-7	204.5	2.790E-2	549.0	5.507E-1
29.4	3907	46.16	0.456	13.65	3.825E-3	5.011E-7	203.9	2.932E-2	580.5	5.361E-1

(b) 分離後 30.4 ~ 60.4sec まで

30.4	3909	47.68	0.295	13.68	4.041E-3	5.289E-7	203.2	3.085E-2	614.5	5.216E-1
31.4	3911	48.51	0.187	13.71	4.274E-3	5.589E-7	202.6	3.250E-2	651.1	5.072E-1
32.4	3913	48.82	0.044	13.73	4.525E-3	5.912E-7	202.0	3.428E-2	690.6	4.930E-1
33.4	3913	48.99	-0.132	13.75	4.795E-3	6.261E-7	201.4	3.621E-2	733.4	4.787E-1
34.4	3914	49.02	-0.228	13.78	5.087E-3	6.641E-7	200.8	3.828E-2	779.9	4.645E-1
35.4	3915	48.99	-0.064	13.80	5.402E-3	7.049E-7	200.3	4.053E-2	829.8	4.506E-1
36.4	3916	48.91	0.250	13.82	5.744E-3	7.493E-7	199.8	4.297E-2	884.3	4.368E-1
37.4	3916	48.78	0.626	13.84	6.116E-3	7.974E-7	199.3	4.561E-2	943.4	4.231E-1
38.4	3917	48.60	0.902	13.86	6.518E-3	8.495E-7	198.8	4.848E-2	1007.0	4.097E-1
39.4	3918	48.37	1.226	13.88	6.955E-3	9.061E-7	198.3	5.158E-2	1077.0	3.964E-1
40.4	3919	48.10	1.490	13.90	7.431E-3	9.676E-7	197.9	5.496E-2	1153.0	3.834E-1
41.4	3920	47.78	1.705	13.92	7.948E-3	1.034E-6	197.4	5.864E-2	1235.0	3.705E-1
42.4	3921	47.47	1.823	13.93	8.511E-3	1.107E-6	197.1	6.263E-2	1324.0	3.579E-1
43.4	3922	47.46	1.935	13.95	9.124E-3	1.186E-6	196.7	6.699E-2	1422.0	3.456E-1
44.4	3923	47.66	2.028	13.97	9.792E-3	1.273E-6	196.3	7.173E-2	1528.0	3.334E-1
45.4	3923	47.99	2.075	13.98	1.052E-2	1.367E-6	196.0	7.691E-2	1643.0	3.215E-1
46.4	3924	48.28	2.123	13.99	1.132E-2	1.470E-6	195.7	8.257E-2	1770.0	3.099E-1
47.4	3925	48.53	2.160	14.01	1.219E-2	1.582E-6	195.4	8.875E-2	1908.0	2.985E-1
48.4	3926	48.69	1.977	14.02	1.314E-2	1.705E-6	195.2	9.551E-2	2058.0	2.874E-1
49.4	3927	48.80	1.744	14.03	1.418E-2	1.839E-6	195.0	1.029E-1	2223.0	2.766E-1
50.4	3928	48.84	1.523	14.04	1.532E-2	1.985E-6	194.8	1.110E-1	2403.0	2.657E-1
51.4	3929	48.83	1.277	14.05	1.657E-2	2.146E-6	194.7	1.199E-1	2599.0	2.546E-1
52.4	3930	48.99	1.022	14.06	1.793E-2	2.322E-6	194.6	1.297E-1	2815.0	2.439E-1
53.4	3931	49.08	0.735	14.06	1.943E-2	2.515E-6	194.5	1.404E-1	3050.0	2.336E-1
54.4	3932	49.11	0.441	14.07	2.108E-2	2.727E-6	194.4	1.522E-1	3308.0	2.236E-1
55.4	3933	49.08	0.057	14.07	2.289E-2	2.959E-6	194.4	1.652E-1	3591.0	2.139E-1
56.4	3934	49.01	-0.391	14.07	2.488E-2	3.215E-6	194.4	1.794E-1	3903.0	2.045E-1
57.4	3935	48.92	-0.782	14.08	2.707E-2	3.497E-6	194.4	1.952E-1	4247.0	1.954E-1
58.4	3935	48.93	-0.697	14.08	2.948E-2	3.808E-6	194.4	2.125E-1	4626.0	1.866E-1
59.4	3935	49.27	-0.560	14.08	3.214E-2	4.152E-6	194.4	2.317E-1	5046.0	1.780E-1
60.4	3935	49.55	-0.462	14.08	3.508E-2	4.532E-6	194.4	2.529E-1	5509.0	1.698E-1

(c) 分離後 61.4 ~ 91.4sec まで

61.4	3935	49.78	-0.429	14.08	3.834E-2	4.952E-6	194.4	2.763E-1	6023.0	1.619E-1
62.4	3935	49.93	-0.412	14.08	4.194E-2	5.418E-6	194.4	3.023E-1	6591.0	1.542E-1
63.4	3934	49.97	-0.370	14.08	4.593E-2	5.934E-6	194.4	3.311E-1	7222.0	1.469E-1
64.4	3934	49.91	-0.468	14.08	5.036E-2	6.508E-6	194.3	3.630E-1	7922.0	1.398E-1
65.4	3934	49.75	-0.480	14.05	5.505E-2	7.114E-6	195.1	3.984E-1	8634.0	1.332E-1
66.4	3934	49.46	-0.429	14.01	6.014E-2	7.773E-6	196.1	4.376E-1	9395.0	1.270E-1
67.4	3934	49.07	-0.258	13.98	6.575E-2	8.499E-6	197.1	4.809E-1	10230.0	1.211E-1
68.4	3933	48.61	-0.241	13.94	7.192E-2	9.297E-6	198.2	5.289E-1	11140.0	1.154E-1
69.4	3933	48.21	-0.348	13.90	7.873E-2	1.018E-5	199.2	5.820E-1	12150.0	1.099E-1
70.4	3933	48.20	-0.417	13.86	8.622E-2	1.115E-5	200.3	6.407E-1	13250.0	1.047E-1
71.4	3933	48.28	-0.550	13.83	9.448E-2	1.222E-5	201.3	7.059E-1	14460.0	9.973E-2
72.4	3933	48.50	-0.781	13.79	1.037E-1	1.340E-5	202.4	7.787E-1	15790.0	9.491E-2
73.4	3933	48.83	-0.857	13.75	1.136E-1	1.469E-5	203.5	8.582E-1	17240.0	9.036E-2
74.4	3932	49.23	-0.824	13.72	1.247E-1	1.613E-5	204.6	9.470E-1	18840.0	8.599E-2
75.4	3932	49.70	-0.793	13.68	1.369E-1	1.771E-5	205.6	1.046E+0	20610.0	8.179E-2
76.4	3930	50.15	-0.734	13.64	1.503E-1	1.946E-5	206.8	1.155E+0	22550.0	7.777E-2
77.4	3929	50.48	-0.641	13.59	1.651E-1	2.140E-5	207.9	1.277E+0	24680.0	7.393E-2
78.4	3927	50.59	-0.614	13.55	1.815E-1	2.353E-5	209.0	1.412E+0	27030.0	7.027E-2
79.4	3926	50.42	-0.457	13.51	1.996E-1	2.590E-5	210.1	1.562E+0	29620.0	6.677E-2
80.4	3924	49.93	-0.544	13.47	2.195E-1	2.851E-5	211.2	1.729E+0	32470.0	6.343E-2
81.4	3923	49.22	-0.976	13.43	2.416E-1	3.140E-5	212.3	1.914E+0	35610.0	6.024E-2
82.4	3921	48.46	-1.457	13.39	2.660E-1	3.461E-5	213.5	2.121E+0	39070.0	5.721E-2
83.4	3920	47.93	-1.611	13.35	2.931E-1	3.815E-5	214.6	2.350E+0	42890.0	5.432E-2
84.4	3919	47.87	-1.215	13.31	3.232E-1	4.208E-5	215.7	2.606E+0	47110.0	5.158E-2
85.4	3919	48.32	-0.711	13.27	3.566E-1	4.643E-5	216.9	2.890E+0	51760.0	4.897E-2
86.4	3918	49.05	-0.456	13.24	3.935E-1	5.126E-5	218.0	3.207E+0	56900.0	4.648E-2
87.4	3918	49.71	-0.656	13.20	4.344E-1	5.661E-5	219.1	3.560E+0	62580.0	4.411E-2
88.4	3917	50.03	-0.982	13.17	4.796E-1	6.254E-5	220.2	3.953E+0	68840.0	4.185E-2
89.4	3915	49.87	-0.999	13.11	5.285E-1	6.895E-5	221.8	4.390E+0	75440.0	3.974E-2
90.4	3914	49.39	-0.732	13.06	5.824E-1	7.602E-5	223.4	4.876E+0	82670.0	3.774E-2
91.4	3913	48.91	-0.454	13.01	6.420E-1	8.384E-5	225.0	5.415E+0	90620.0	3.585E-2



(d) 分離後92.4 ~ 122.4sec まで

92.4	3913	48.73	-0.426	12.97	7.077E-1	9.246E-5	226.6	6.015E+0	99350.0	3.405E-2
93.4	3912	48.88	-0.568	12.92	7.802E-1	1.020E-4	228.2	6.681E+0	108900.0	3.234E-2
94.4	3910	49.12	-0.661	12.87	8.602E-1	1.125E-4	229.8	7.421E+0	119500.0	3.071E-2
95.4	3909	49.21	-0.554	12.82	9.483E-1	1.241E-4	231.3	8.242E+0	131100.0	2.916E-2
96.4	3907	49.13	-0.548	12.77	1.045E+0	1.370E-4	232.8	9.154E+0	143800.0	2.768E-2
97.4	3905	49.02	-0.533	12.73	1.152E+0	1.512E-4	234.2	1.016E+1	157800.0	2.629E-2
98.4	3903	48.98	-0.563	12.68	1.271E+0	1.669E-4	235.7	1.129E+1	173200.0	2.496E-2
99.4	3900	48.97	-0.625	12.64	1.401E+0	1.842E-4	237.0	1.253E+1	190200.0	2.369E-2
100.4	3898	48.95	-0.814	12.59	1.544E+0	2.033E-4	238.4	1.391E+1	208900.0	2.250E-2
101.4	3894	48.93	-0.836	12.55	1.702E+0	2.245E-4	239.6	1.544E+1	229500.0	2.137E-2
102.4	3891	48.92	-0.925	12.51	1.876E+0	2.479E-4	240.8	1.713E+1	252100.0	2.030E-2
103.4	3886	48.92	-0.922	12.47	2.067E+0	2.737E-4	241.9	1.900E+1	277000.0	1.928E-2
104.4	3882	48.93	-0.971	12.42	2.275E+0	3.019E-4	243.2	2.107E+1	303900.0	1.833E-2
105.4	3879	48.93	-1.105	12.37	2.501E+0	3.325E-4	244.7	2.336E+1	332400.0	1.744E-2
106.4	3874	48.94	-1.201	12.31	2.747E+0	3.660E-4	246.3	2.587E+1	363500.0	1.659E-2
107.4	3869	48.93	-1.212	12.26	3.013E+0	4.026E-4	247.8	2.864E+1	397000.0	1.579E-2
108.4	3862	48.92	-1.147	12.20	3.301E+0	4.425E-4	249.4	3.168E+1	433300.0	1.503E-2
109.4	3855	48.91	-0.983	12.14	3.611E+0	4.859E-4	251.0	3.501E+1	472200.0	1.431E-2
110.4	3846	48.91	-0.891	12.07	3.943E+0	5.330E-4	252.6	3.864E+1	514000.0	1.364E-2
111.4	3837	48.93	-0.990	12.00	4.298E+0	5.839E-4	254.2	4.261E+1	558500.0	1.300E-2
112.4	3826	48.93	-0.771	11.93	4.675E+0	6.387E-4	256.0	4.693E+1	605700.0	1.240E-2
113.4	3814	48.89	-0.748	11.85	5.078E+0	6.982E-4	257.5	5.162E+1	656400.0	1.182E-2
114.4	3800	48.90	-0.792	11.78	5.512E+0	7.632E-4	258.8	5.669E+1	712100.0	1.128E-2
115.4	3785	48.90	-0.871	11.71	5.967E+0	8.327E-4	260.1	6.218E+1	770300.0	1.076E-2
116.4	3769	48.91	-0.866	11.63	6.448E+0	9.078E-4	261.3	6.808E+1	832900.0	1.027E-2
117.4	3751	48.92	-0.784	11.58	6.990E+0	9.934E-4	261.0	7.444E+1	907400.0	9.786E-3
118.4	3732	48.92	-0.754	11.52	7.549E+0	1.084E-3	261.1	8.128E+1	984500.0	9.332E-3
119.4	3710	48.94	-0.937	11.44	8.119E+0	1.180E-3	261.6	8.860E+1	1063000.0	8.911E-3
120.4	3687	48.99	-0.761	11.35	8.691E+0	1.278E-3	262.6	9.638E+1	1141000.0	8.523E-3
121.4	3663	49.04	-0.892	11.26	9.282E+0	1.384E-3	263.4	1.046E+2	1224000.0	8.156E-3
122.4	3635	49.01	-0.931	11.18	9.908E+0	1.500E-3	263.2	1.133E+2	1317000.0	7.797E-3

(e) 分離後 123.4 ~ 153.4sec まで

123.4	3606	48.98	-0.912	11.11	1.058E+1	1.628E-3	262.0	1.224E+2	1422000.0	7.444E-3
124.4	3574	48.92	-0.748	11.03	1.125E+1	1.762E-3	261.1	1.321E+2	1530000.0	7.117E-3
125.4	3541	48.83	-0.687	10.94	1.191E+1	1.899E-3	260.5	1.420E+2	1637000.0	6.814E-3
126.4	3505	48.73	-0.835	10.84	1.253E+1	2.040E-3	260.2	1.524E+2	1742000.0	6.534E-3
127.4	3468	48.31	-0.891	10.73	1.314E+1	2.185E-3	259.8	1.629E+2	1847000.0	6.273E-3
128.4	3429	47.76	-0.801	10.62	1.372E+1	2.333E-3	259.4	1.737E+2	1952000.0	6.029E-3
129.4	3390	47.17	-0.835	10.51	1.427E+1	2.484E-3	258.9	1.846E+2	2058000.0	5.803E-3
130.4	3350	46.52	-0.800	10.40	1.480E+1	2.638E-3	258.3	1.956E+2	2163000.0	5.591E-3
131.4	3308	45.85	-0.691	10.28	1.527E+1	2.791E-3	257.6	2.064E+2	2265000.0	5.395E-3
132.4	3266	45.12	-0.821	10.16	1.570E+1	2.943E-3	257.0	2.172E+2	2362000.0	5.215E-3
133.4	3225	44.41	-0.846	10.04	1.607E+1	3.092E-3	256.5	2.276E+2	2454000.0	5.050E-3
134.4	3184	43.61	-0.812	9.93	1.640E+1	3.237E-3	255.9	2.378E+2	2540000.0	4.898E-3
135.4	3143	42.84	-0.860	9.81	1.667E+1	3.376E-3	255.4	2.475E+2	2620000.0	4.759E-3
136.4	3103	42.06	-0.996	9.70	1.690E+1	3.510E-3	254.8	2.567E+2	2694000.0	4.633E-3
137.4	3064	41.30	-0.789	9.58	1.706E+1	3.636E-3	254.3	2.654E+2	2760000.0	4.518E-3
138.4	3025	40.54	-0.755	9.47	1.717E+1	3.754E-3	253.8	2.734E+2	2817000.0	4.413E-3
139.4	2987	39.80	-0.781	9.36	1.724E+1	3.863E-3	253.3	2.809E+2	2868000.0	4.318E-3
140.4	2950	39.05	-0.904	9.26	1.725E+1	3.964E-3	252.8	2.877E+2	2911000.0	4.231E-3
141.4	2915	38.27	-0.769	9.15	1.723E+1	4.057E-3	252.4	2.939E+2	2946000.0	4.153E-3
142.4	2881	37.52	-0.759	9.05	1.718E+1	4.140E-3	252.0	2.995E+2	2976000.0	4.082E-3
143.4	2848	36.85	-0.731	8.95	1.709E+1	4.214E-3	251.8	3.046E+2	2996000.0	4.018E-3
144.4	2816	36.20	-0.677	8.86	1.698E+1	4.280E-3	251.6	3.092E+2	3011000.0	3.960E-3
145.4	2786	35.57	-0.697	8.76	1.685E+1	4.341E-3	251.5	3.134E+2	3022000.0	3.907E-3
146.4	2757	34.96	-0.659	8.67	1.670E+1	4.396E-3	251.3	3.172E+2	3030000.0	3.857E-3
147.4	2728	34.37	-0.698	8.59	1.655E+1	4.447E-3	251.2	3.207E+2	3035000.0	3.811E-3
148.4	2701	33.91	-0.665	8.50	1.639E+1	4.495E-3	251.1	3.240E+2	3038000.0	3.767E-3
149.4	2674	33.43	-0.689	8.42	1.623E+1	4.539E-3	251.0	3.270E+2	3039000.0	3.726E-3
150.4	2649	32.96	-0.744	8.34	1.607E+1	4.581E-3	250.9	3.299E+2	3038000.0	3.691E-3
151.4	2624	32.51	-0.735	8.27	1.591E+1	4.620E-3	250.8	3.326E+2	3037000.0	3.663E-3
152.4	2601	32.07	-0.755	8.19	1.575E+1	4.658E-3	250.7	3.351E+2	3035000.0	3.636E-3
153.4	2578	31.63	-0.698	8.12	1.560E+1	4.694E-3	250.6	3.376E+2	3033000.0	3.610E-3

(f) 分離後 154.4 ~ 184.4sec まで

154.4	2556	31.18	-0.638	8.06	1.545E+1	4.729E-3	250.5	3.400E+2	3030000.0	3.586E-3
155.4	2535	30.76	-0.795	7.99	1.530E+1	4.764E-3	250.4	3.424E+2	3028000.0	3.562E-3
156.4	2514	30.44	-0.665	7.93	1.516E+1	4.798E-3	250.3	3.447E+2	3026000.0	3.540E-3
157.4	2494	30.08	-0.703	7.87	1.503E+1	4.832E-3	250.2	3.470E+2	3024000.0	3.517E-3
158.4	2475	29.73	-0.724	7.81	1.490E+1	4.866E-3	250.1	3.493E+2	3022000.0	3.496E-3
159.4	2456	29.40	-0.698	7.75	1.477E+1	4.899E-3	250.0	3.515E+2	3021000.0	3.475E-3
160.4	2437	29.27	-0.688	7.69	1.465E+1	4.932E-3	249.9	3.538E+2	3019000.0	3.455E-3
161.4	2419	29.35	-0.692	7.63	1.452E+1	4.966E-3	249.8	3.560E+2	3018000.0	3.434E-3
162.4	2400	29.43	-0.740	7.58	1.440E+1	4.999E-3	249.6	3.582E+2	3016000.0	3.414E-3
163.4	2382	29.50	-0.716	7.52	1.427E+1	5.031E-3	249.6	3.604E+2	3013000.0	3.395E-3
164.4	2364	29.54	-0.693	7.47	1.414E+1	5.063E-3	249.4	3.625E+2	3010000.0	3.375E-3
165.4	2347	29.55	-0.669	7.41	1.403E+1	5.095E-3	249.3	3.647E+2	3008000.0	3.357E-3
166.4	2329	29.58	-0.646	7.36	1.390E+1	5.127E-3	249.2	3.668E+2	3005000.0	3.338E-3
167.4	2311	29.61	-0.714	7.30	1.377E+1	5.159E-3	249.1	3.689E+2	3001000.0	3.319E-3
168.4	2293	29.68	-0.763	7.25	1.364E+1	5.190E-3	249.0	3.710E+2	2997000.0	3.301E-3
169.4	2275	29.69	-0.723	7.19	1.351E+1	5.220E-3	248.9	3.730E+2	2993000.0	3.283E-3
170.4	2258	29.69	-0.626	7.14	1.338E+1	5.250E-3	248.8	3.749E+2	2987000.0	3.265E-3
171.4	2240	29.68	-0.633	7.09	1.325E+1	5.279E-3	248.7	3.768E+2	2981000.0	3.248E-3
172.4	2223	29.69	-0.744	7.03	1.311E+1	5.307E-3	248.6	3.787E+2	2975000.0	3.231E-3
173.4	2206	29.74	-0.712	6.98	1.298E+1	5.334E-3	248.5	3.804E+2	2968000.0	3.215E-3
174.4	2189	29.76	-0.681	6.93	1.284E+1	5.360E-3	248.4	3.821E+2	2960000.0	3.199E-3
175.4	2172	29.72	-0.635	6.88	1.270E+1	5.384E-3	248.3	3.837E+2	2952000.0	3.184E-3
176.4	2155	29.67	-0.635	6.82	1.256E+1	5.408E-3	248.2	3.853E+2	2943000.0	3.169E-3
177.4	2139	29.58	-0.791	6.77	1.242E+1	5.430E-3	248.1	3.867E+2	2933000.0	3.155E-3
178.4	2122	29.69	-0.751	6.72	1.228E+1	5.451E-3	248.0	3.881E+2	2923000.0	3.141E-3
179.4	2106	29.69	-0.760	6.67	1.213E+1	5.470E-3	247.9	3.893E+2	2911000.0	3.128E-3
180.4	2090	29.67	-0.684	6.62	1.199E+1	5.488E-3	247.9	3.905E+2	2899000.0	3.115E-3
181.4	2074	29.65	-0.671	6.57	1.184E+1	5.504E-3	247.8	3.915E+2	2886000.0	3.103E-3
182.4	2059	29.64	-0.699	6.52	1.170E+1	5.519E-3	247.8	3.925E+2	2873000.0	3.092E-3
183.4	2043	29.63	-0.784	6.48	1.155E+1	5.532E-3	247.7	3.934E+2	2859000.0	3.081E-3
184.4	2028	29.67	-0.802	6.43	1.140E+1	5.544E-3	247.7	3.942E+2	2844000.0	3.070E-3

(g) 分離後 185.4 ~ 215.4sec まで

185.4	2013	29.67	-0.700	6.38	1.125E+1	5.555E-3	247.6	3.949E+2	2829000.0	3.060E-3
186.4	1998	29.64	-0.723	6.33	1.111E+1	5.565E-3	247.6	3.955E+2	2813000.0	3.051E-3
187.4	1983	29.63	-0.687	6.29	1.096E+1	5.574E-3	247.6	3.961E+2	2797000.0	3.041E-3
188.4	1969	29.62	-0.736	6.24	1.082E+1	5.583E-3	247.5	3.966E+2	2781000.0	3.032E-3
189.4	1954	29.64	-0.743	6.20	1.068E+1	5.591E-3	247.5	3.972E+2	2765000.0	3.024E-3
190.4	1940	29.68	-0.759	6.15	1.053E+1	5.598E-3	247.5	3.977E+2	2749000.0	3.015E-3
191.4	1926	29.68	-0.686	6.11	1.040E+1	5.606E-3	247.4	3.982E+2	2733000.0	3.006E-3
192.4	1912	29.65	-0.675	6.06	1.026E+1	5.614E-3	247.4	3.987E+2	2717000.0	2.998E-3
193.4	1898	29.64	-0.722	6.02	1.013E+1	5.622E-3	247.4	3.992E+2	2702000.0	2.990E-3
194.4	1885	29.65	-0.756	5.98	1.000E+1	5.630E-3	247.4	3.998E+2	2687000.0	2.981E-3
195.4	1871	29.69	-0.766	5.94	9.874E+0	5.639E-3	247.3	4.004E+2	2672000.0	2.973E-3
196.4	1858	29.70	-0.741	5.89	9.750E+0	5.649E-3	247.3	4.010E+2	2658000.0	2.964E-3
197.4	1845	29.69	-0.679	5.85	9.630E+0	5.659E-3	247.3	4.017E+2	2644000.0	2.956E-3
198.4	1832	29.64	-0.651	5.81	9.514E+0	5.670E-3	247.3	4.024E+2	2631000.0	2.947E-3
199.4	1819	29.68	-0.643	5.77	9.401E+0	5.682E-3	247.2	4.032E+2	2618000.0	2.938E-3
200.4	1806	29.69	-0.663	5.73	9.293E+0	5.695E-3	247.2	4.041E+2	2606000.0	2.928E-3
201.4	1794	29.72	-0.728	5.69	9.187E+0	5.710E-3	247.2	4.051E+2	2595000.0	2.916E-3
202.4	1781	29.75	-0.754	5.65	9.085E+0	5.726E-3	247.1	4.061E+2	2584000.0	2.904E-3
203.4	1769	29.76	-0.649	5.61	8.986E+0	5.742E-3	247.1	4.073E+2	2574000.0	2.891E-3
204.4	1757	29.74	-0.714	5.58	8.892E+0	5.761E-3	247.0	4.085E+2	2565000.0	2.879E-3
205.4	1745	29.74	-0.704	5.54	8.801E+0	5.780E-3	247.0	4.098E+2	2557000.0	2.866E-3
206.4	1733	29.74	-0.777	5.50	8.713E+0	5.801E-3	246.9	4.112E+2	2549000.0	2.853E-3
207.4	1721	29.52	-0.658	5.46	8.613E+0	5.815E-3	246.9	4.121E+2	2538000.0	2.842E-3
208.4	1709	29.66	-0.754	5.43	8.514E+0	5.828E-3	246.9	4.130E+2	2526000.0	2.831E-3
209.4	1697	29.80	-0.850	5.39	8.415E+0	5.841E-3	246.8	4.139E+2	2514000.0	2.820E-3
210.4	1686	29.79	-0.791	5.35	8.338E+0	5.867E-3	246.7	4.155E+2	2509000.0	2.806E-3
211.4	1675	29.33	-0.792	5.32	8.265E+0	5.895E-3	246.7	4.174E+2	2504000.0	2.792E-3
212.4	1663	29.76	-0.728	5.28	8.192E+0	5.923E-3	246.6	4.192E+2	2500000.0	2.777E-3
213.4	1652	29.76	-0.757	5.25	8.122E+0	5.953E-3	246.5	4.212E+2	2496000.0	2.763E-3
214.4	1641	29.79	-0.735	5.21	8.054E+0	5.985E-3	246.4	4.233E+2	2493000.0	2.748E-3
215.4	1629	29.81	-0.740	5.18	7.988E+0	6.017E-3	246.3	4.254E+2	2490000.0	2.733E-3



(h) 分離後216.4 ~ 246.4sec まで

216.4	1618	29.79	-0.856	5.15	7.925E+0	6.051E-3	246.2	4.276E+2	2488000.0	2.718E-3
217.4	1607	29.82	-0.637	5.11	7.862E+0	6.086E-3	246.1	4.299E+2	2486000.0	2.703E-3
218.4	1597	29.81	-0.587	5.08	7.802E+0	6.121E-3	246.0	4.322E+2	2485000.0	2.688E-3
219.4	1586	29.80	-0.646	5.04	7.743E+0	6.158E-3	245.9	4.346E+2	2484000.0	2.673E-3
220.4	1575	29.83	-0.563	5.01	7.685E+0	6.196E-3	245.8	4.371E+2	2483000.0	2.658E-3
221.4	1564	29.84	-0.584	4.98	7.628E+0	6.234E-3	245.6	4.396E+2	2482000.0	2.642E-3
222.4	1554	29.86	-0.611	4.95	7.572E+0	6.273E-3	245.5	4.421E+2	2482000.0	2.627E-3
223.4	1543	29.86	-0.587	4.91	7.516E+0	6.313E-3	245.4	4.446E+2	2481000.0	2.612E-3
224.4	1533	29.83	-0.562	4.88	7.461E+0	6.353E-3	245.2	4.472E+2	2481000.0	2.597E-3
225.4	1522	29.76	-0.522	4.85	7.407E+0	6.393E-3	245.1	4.498E+2	2481000.0	2.581E-3
226.4	1512	29.74	-0.500	4.82	7.354E+0	6.434E-3	245.0	4.524E+2	2481000.0	2.566E-3
227.4	1502	29.73	-0.559	4.79	7.301E+0	6.475E-3	244.8	4.551E+2	2481000.0	2.551E-3
228.4	1492	29.73	-0.575	4.76	7.249E+0	6.516E-3	244.7	4.577E+2	2481000.0	2.537E-3
229.4	1482	29.74	-0.648	4.73	7.197E+0	6.558E-3	244.6	4.604E+2	2481000.0	2.522E-3
230.4	1472	29.76	-0.683	4.70	7.146E+0	6.600E-3	244.4	4.630E+2	2481000.0	2.507E-3
231.4	1462	29.75	-0.606	4.66	7.095E+0	6.642E-3	244.3	4.657E+2	2481000.0	2.493E-3
232.4	1452	29.74	-0.642	4.64	7.044E+0	6.685E-3	244.1	4.684E+2	2482000.0	2.478E-3
233.4	1442	29.73	-0.601	4.61	6.995E+0	6.728E-3	244.0	4.711E+2	2482000.0	2.464E-3
234.4	1432	29.72	-0.593	4.58	6.946E+0	6.772E-3	243.8	4.740E+2	2483000.0	2.449E-3
235.4	1423	29.72	-0.659	4.55	6.899E+0	6.817E-3	243.6	4.768E+2	2484000.0	2.435E-3
236.4	1413	29.75	-0.668	4.52	6.852E+0	6.863E-3	243.5	4.797E+2	2485000.0	2.420E-3
237.4	1404	29.78	-0.744	4.49	6.806E+0	6.909E-3	243.3	4.826E+2	2486000.0	2.406E-3
238.4	1394	29.79	-0.793	4.46	6.760E+0	6.956E-3	243.2	4.855E+2	2487000.0	2.391E-3
239.4	1385	29.80	-0.737	4.43	6.715E+0	7.003E-3	243.0	4.885E+2	2489000.0	2.377E-3
240.4	1376	29.79	-0.718	4.40	6.671E+0	7.052E-3	242.8	4.915E+2	2490000.0	2.363E-3
241.4	1366	29.79	-0.699	4.38	6.627E+0	7.101E-3	242.6	4.945E+2	2492000.0	2.348E-3
242.4	1357	29.78	-0.688	4.35	6.585E+0	7.151E-3	242.4	4.977E+2	2495000.0	2.334E-3
243.4	1348	29.78	-0.747	4.32	6.543E+0	7.202E-3	242.3	5.009E+2	2497000.0	2.320E-3
244.4	1339	29.79	-0.730	4.29	6.501E+0	7.252E-3	242.1	5.041E+2	2498000.0	2.305E-3
245.4	1330	29.81	-0.751	4.26	6.459E+0	7.304E-3	242.0	5.074E+2	2500000.0	2.291E-3
246.4	1321	29.83	-0.705	4.24	6.417E+0	7.356E-3	241.9	5.107E+2	2502000.0	2.277E-3



(i) 分離後 247.4 ~ 277.4sec まで

247.4	1312	29.84	-0.621	4.21	6.376E+0	7.409E-3	241.8	5.141E+2	2504000.0	2.263E-3
248.4	1303	29.83	-0.613	4.18	6.336E+0	7.462E-3	241.6	5.176E+2	2506000.0	2.249E-3
249.4	1294	29.82	-0.591	4.15	6.297E+0	7.517E-3	241.5	5.211E+2	2508000.0	2.235E-3
250.4	1286	29.81	-0.695	4.13	6.258E+0	7.574E-3	241.4	5.247E+2	2511000.0	2.221E-3
251.4	1277	29.83	-0.637	4.10	6.220E+0	7.631E-3	241.2	5.284E+2	2514000.0	2.206E-3
252.4	1268	29.85	-0.634	4.07	6.182E+0	7.690E-3	241.1	5.321E+2	2517000.0	2.192E-3
253.4	1259	29.87	-0.667	4.05	6.144E+0	7.749E-3	240.9	5.359E+2	2520000.0	2.177E-3
254.4	1251	29.88	-0.644	4.02	6.107E+0	7.809E-3	240.8	5.398E+2	2523000.0	2.162E-3
255.4	1242	29.88	-0.564	3.99	6.070E+0	7.871E-3	240.6	5.437E+2	2527000.0	2.148E-3
256.4	1233	29.86	-0.474	3.97	6.032E+0	7.933E-3	240.5	5.476E+2	2530000.0	2.133E-3
257.4	1225	29.86	-0.491	3.94	5.996E+0	7.996E-3	240.3	5.516E+2	2534000.0	2.119E-3
258.4	1216	29.87	-0.481	3.91	5.961E+0	8.060E-3	240.2	5.557E+2	2538000.0	2.104E-3
259.4	1208	29.88	-0.578	3.89	5.925E+0	8.125E-3	240.0	5.598E+2	2542000.0	2.090E-3
260.4	1199	29.92	-0.562	3.86	5.891E+0	8.191E-3	239.8	5.639E+2	2546000.0	2.075E-3
261.4	1191	29.93	-0.686	3.84	5.857E+0	8.258E-3	239.7	5.681E+2	2550000.0	2.061E-3
262.4	1183	29.96	-0.795	3.81	5.823E+0	8.325E-3	239.5	5.724E+2	2554000.0	2.047E-3
263.4	1174	29.98	-0.876	3.79	5.789E+0	8.393E-3	239.3	5.766E+2	2558000.0	2.033E-3
264.4	1166	30.00	-0.846	3.76	5.754E+0	8.462E-3	239.2	5.810E+2	2562000.0	2.019E-3
265.4	1158	30.01	-0.730	3.74	5.720E+0	8.531E-3	239.0	5.853E+2	2567000.0	2.005E-3
266.4	1150	30.00	-0.762	3.71	5.686E+0	8.602E-3	238.8	5.897E+2	2571000.0	1.991E-3
267.4	1142	30.00	-0.752	3.69	5.652E+0	8.673E-3	238.6	5.941E+2	2575000.0	1.977E-3
268.4	1134	30.00	-0.703	3.66	5.618E+0	8.745E-3	238.5	5.986E+2	2580000.0	1.963E-3
269.4	1125	29.99	-0.693	3.64	5.585E+0	8.818E-3	238.3	6.032E+2	2584000.0	1.949E-3
270.4	1117	30.00	-0.745	3.61	5.552E+0	8.893E-3	238.1	6.078E+2	2589000.0	1.935E-3
271.4	1109	30.00	-0.747	3.59	5.519E+0	8.968E-3	237.9	6.124E+2	2593000.0	1.921E-3
272.4	1101	30.03	-0.730	3.56	5.486E+0	9.044E-3	237.7	6.171E+2	2598000.0	1.907E-3
273.4	1093	30.04	-0.622	3.54	5.453E+0	9.121E-3	237.5	6.219E+2	2603000.0	1.894E-3
274.4	1085	30.04	-0.497	3.51	5.419E+0	9.199E-3	237.3	6.267E+2	2608000.0	1.880E-3
275.4	1077	30.04	-0.349	3.49	5.386E+0	9.279E-3	237.1	6.315E+2	2612000.0	1.866E-3
276.4	1070	30.03	-0.358	3.47	5.353E+0	9.359E-3	236.9	6.364E+2	2617000.0	1.853E-3
277.4	1062	30.04	-0.292	3.44	5.321E+0	9.440E-3	236.7	6.414E+2	2623000.0	1.839E-3

(j) 分離後 278.4 ~ 308.4sec まで

278.4	1054	30.05	-0.298	3.42	5.289E+0	9.523E-3	236.5	6.464E+2	2628000.0	1.826E-3
279.4	1046	30.06	-0.347	3.40	5.258E+0	9.607E-3	236.3	6.515E+2	2634000.0	1.812E-3
280.4	1039	30.08	-0.443	3.37	5.227E+0	9.692E-3	236.0	6.567E+2	2639000.0	1.799E-3
281.4	1031	30.09	-0.522	3.35	5.197E+0	9.778E-3	235.8	6.619E+2	2645000.0	1.786E-3
282.4	1023	30.10	-0.689	3.33	5.167E+0	9.866E-3	235.6	6.672E+2	2651000.0	1.772E-3
283.4	1016	30.11	-0.681	3.30	5.137E+0	9.955E-3	235.4	6.725E+2	2658000.0	1.759E-3
284.4	1008	30.11	-0.806	3.28	5.108E+0	1.005E-2	235.1	6.780E+2	2664000.0	1.746E-3
285.4	1001	30.10	-0.866	3.26	5.078E+0	1.014E-2	234.9	6.835E+2	2671000.0	1.733E-3
286.4	993	30.10	-0.863	3.24	5.049E+0	1.023E-2	234.6	6.890E+2	2677000.0	1.719E-3
287.4	986	30.09	-0.913	3.21	5.020E+0	1.033E-2	234.4	6.947E+2	2684000.0	1.706E-3
288.4	979	30.07	-0.908	3.19	4.992E+0	1.042E-2	234.1	7.004E+2	2692000.0	1.693E-3
289.4	971	30.07	-0.771	3.17	4.962E+0	1.052E-2	233.9	7.063E+2	2698000.0	1.680E-3
290.4	964	30.07	-0.784	3.15	4.933E+0	1.062E-2	233.7	7.122E+2	2704000.0	1.667E-3
291.4	957	30.08	-0.784	3.12	4.905E+0	1.072E-2	233.5	7.183E+2	2710000.0	1.654E-3
292.4	949	30.09	-0.941	3.10	4.877E+0	1.082E-2	233.3	7.245E+2	2717000.0	1.641E-3
293.4	942	30.10	-0.872	3.08	4.850E+0	1.092E-2	233.1	7.308E+2	2725000.0	1.628E-3
294.4	935	30.12	-0.812	3.06	4.823E+0	1.103E-2	232.9	7.373E+2	2732000.0	1.615E-3
295.4	928	30.13	-0.802	3.03	4.796E+0	1.114E-2	232.6	7.438E+2	2740000.0	1.602E-3
296.4	921	30.14	-0.853	3.01	4.769E+0	1.125E-2	232.4	7.505E+2	2748000.0	1.589E-3
297.4	914	30.16	-0.983	2.99	4.744E+0	1.136E-2	232.2	7.573E+2	2756000.0	1.577E-3
298.4	907	30.16	-1.130	2.97	4.718E+0	1.147E-2	232.0	7.642E+2	2764000.0	1.564E-3
299.4	900	30.15	-1.126	2.95	4.693E+0	1.159E-2	231.8	7.712E+2	2773000.0	1.551E-3
300.4	893	30.09	-1.123	2.93	4.668E+0	1.171E-2	231.5	7.784E+2	2782000.0	1.538E-3
301.4	886	31.83	-1.034	2.90	4.641E+0	1.183E-2	231.3	7.857E+2	2790000.0	1.525E-3
302.4	877	34.96	-1.104	2.88	4.599E+0	1.196E-2	231.1	7.930E+2	2795000.0	1.511E-3
303.4	868	35.82	-1.018	2.85	4.548E+0	1.208E-2	230.8	8.003E+2	2795000.0	1.496E-3
304.4	858	35.80	-0.919	2.82	4.495E+0	1.220E-2	230.6	8.076E+2	2795000.0	1.481E-3
305.4	849	35.56	-0.874	2.79	4.443E+0	1.232E-2	230.4	8.148E+2	2795000.0	1.467E-3
306.4	840	35.18	-1.278	2.76	4.396E+0	1.245E-2	230.1	8.225E+2	2797000.0	1.453E-3
307.4	831	35.12	-0.859	2.74	4.348E+0	1.258E-2	229.9	8.302E+2	2799000.0	1.438E-3
308.4	823	34.99	-0.932	2.71	4.300E+0	1.271E-2	229.6	8.374E+2	2799000.0	1.425E-3

(k) 分離後 309.4 ~ 339.4sec まで

309.4	814	34.89	-1.106	2.68	4.253E+0	1.283E-2	229.4	8.447E+2	2799000.0	1.411E-3
310.4	806	34.81	-1.183	2.66	4.206E+0	1.295E-2	229.2	8.520E+2	2799000.0	1.398E-3
311.4	798	34.77	-1.070	2.63	4.159E+0	1.308E-2	228.9	8.594E+2	2799000.0	1.385E-3
312.4	789	34.74	-0.986	2.60	4.113E+0	1.320E-2	228.7	8.668E+2	2799000.0	1.372E-3
313.4	781	34.73	-0.931	2.58	4.066E+0	1.333E-2	228.5	8.743E+2	2797000.0	1.360E-3
314.4	773	34.73	-0.921	2.55	4.019E+0	1.345E-2	228.4	8.818E+2	2795000.0	1.347E-3
315.4	765	34.74	-1.041	2.53	3.973E+0	1.357E-2	228.3	8.894E+2	2793000.0	1.335E-3
316.4	757	34.75	-1.118	2.50	3.928E+0	1.370E-2	228.1	8.971E+2	2791000.0	1.323E-3
317.4	749	34.78	-1.237	2.48	3.883E+0	1.383E-2	228.0	9.049E+2	2790000.0	1.311E-3
318.4	742	34.78	-1.399	2.45	3.839E+0	1.396E-2	227.8	9.128E+2	2788000.0	1.299E-3
319.4	734	34.77	-1.352	2.43	3.795E+0	1.409E-2	227.7	9.208E+2	2787000.0	1.287E-3
320.4	726	34.78	-1.282	2.40	3.753E+0	1.422E-2	227.5	9.290E+2	2786000.0	1.275E-3
321.4	719	34.80	-1.209	2.38	3.711E+0	1.436E-2	227.4	9.373E+2	2785000.0	1.263E-3
322.4	711	34.78	-1.059	2.35	3.670E+0	1.450E-2	227.2	9.458E+2	2784000.0	1.251E-3
323.4	704	34.78	-0.997	2.33	3.629E+0	1.464E-2	227.1	9.544E+2	2784000.0	1.239E-3
324.4	697	34.79	-1.043	2.31	3.590E+0	1.479E-2	226.9	9.632E+2	2784000.0	1.228E-3
325.4	689	34.80	-1.147	2.28	3.551E+0	1.494E-2	226.7	9.723E+2	2785000.0	1.216E-3
326.4	682	34.81	-1.117	2.26	3.514E+0	1.509E-2	226.5	9.815E+2	2786000.0	1.204E-3
327.4	675	34.81	-1.062	2.24	3.477E+0	1.525E-2	226.3	9.910E+2	2788000.0	1.192E-3
328.4	668	34.83	-1.119	2.22	3.441E+0	1.541E-2	226.2	1.001E+3	2790000.0	1.181E-3
329.4	661	34.87	-1.224	2.19	3.405E+0	1.558E-2	226.0	1.011E+3	2791000.0	1.169E-3
330.4	654	34.91	-1.175	2.17	3.370E+0	1.575E-2	225.8	1.021E+3	2794000.0	1.157E-3
331.4	647	34.92	-1.093	2.15	3.336E+0	1.592E-2	225.7	1.031E+3	2796000.0	1.146E-3
332.4	641	34.94	-0.933	2.13	3.302E+0	1.609E-2	225.5	1.042E+3	2799000.0	1.134E-3
333.4	634	34.95	-0.882	2.11	3.270E+0	1.628E-2	225.4	1.053E+3	2802000.0	1.123E-3
334.4	627	34.94	-0.955	2.08	3.237E+0	1.646E-2	225.2	1.064E+3	2806000.0	1.111E-3
335.4	621	34.94	-0.878	2.06	3.206E+0	1.665E-2	225.0	1.076E+3	2810000.0	1.100E-3
336.4	614	34.95	-0.777	2.04	3.175E+0	1.685E-2	224.9	1.087E+3	2815000.0	1.088E-3
337.4	607	34.95	-0.664	2.02	3.145E+0	1.705E-2	224.7	1.100E+3	2820000.0	1.077E-3
338.4	601	34.95	-0.634	2.00	3.116E+0	1.725E-2	224.5	1.112E+3	2825000.0	1.065E-3
339.4	595	34.97	-0.501	1.98	3.088E+0	1.746E-2	224.4	1.125E+3	2831000.0	1.054E-3

表B-1 極超音速風洞試験 (a) 基本極超音速風洞試験 (NAL 極超音速風洞)

風試 ケース	風試内容	マッハ数 $M_\infty$	風洞総圧 $P_0$ (kg/cm <sup>2</sup> )	風洞総温 $T_0$ (°C)	レイノルズ数 (1) Re	迎角 $\alpha$ (°)	横滑角 $\beta$ (°)	エレボン $\delta_e$ (°)	RUN No.	備考
0	ブレーク・テスト	7.1	30	約450	$1.9 \times 10^6$	16~50	0	0	3481	ダミー天秤使用
1	基本形態縦特性 — レイノルズ数効果	7.1	30.4	469	$1.9 \times 10^6$	16~50	0	0	3485	ノミナル条件
2			10.8	437	$0.7 \times 10^6$				3486	
3			50.5	517	$2.8 \times 10^6$				3484	
4	基本形態横/方向特性 — レイノルズ数効果	7.1	30.5	475	$1.9 \times 10^6$	16~50	5	0	3489	
5			10.7	409	$0.8 \times 10^6$				3487	
6			49.8	485	$3.0 \times 10^6$				3488	
7	舵効き (エレベータ)	7.1	30.3	436	$2.0 \times 10^6$	16~50	0	-20	3491	ヒンジ・モーメント天秤装着
8			30.6	432	$2.0 \times 10^6$				3494	
9			30.2	442	$2.0 \times 10^6$				3492	
10			30.3	463	$1.8 \times 10^6$				3482	
11	舵効き (エルロン)	7.1	30.5	502	$1.8 \times 10^6$	16~50	0	-10±10	3490	
12			30.1	501	$1.7 \times 10^6$				3493	
13			30.5	493	$1.8 \times 10^6$				3483	
14	$\beta$ -スweep	7.1	30.5	474	$1.9 \times 10^6$	30	-10~10	0	3497	
15	再現性チェック (ケース1に対し)	7.1	30.6	443	$2.0 \times 10^6$	16~50	0	0	3495	
16			30.6	478	$1.9 \times 10^6$				3496	

計17ラン

注：(1) 胴体長 (模型スケールで212mm) 基準



(b) 詳細極超音速風試 (ONERA 極超音速風洞 [S4MA JM=9.9])

ケース	Run	項目	総圧 (bar)	総温 $T_0$ (K)	壁温 $T_w$ (K)	レイノルズ数 $Re_{LB}$ ( $\times 10^6$ )	迎角 $\alpha$ (deg)	横滑角 $\beta$ (deg)	エロン舵角 (deg)		基準加熱率 ( $kW/m^2$ )		備考
									$\delta_L$	$\delta_R$	$q_{ref}$	$q_{ref}$	
1	2041	空力加熱率	85.4	1125	293	2.102	52.0	0.0	10	10*	223.4	基本特性及び再現性**	
	2043		85.6	1077	293	2.263					210.0		
2	2044		85.4	1123	299	2.119	40.0	0.0	10	10*	221.2	迎角効果	
3	2046		85.3	1142	300	2.053	52.0	-5.0	10	10*	226.2	同上	
	2045		84.7	1120	300	2.111							
4	2050		84.6	1111	294	2.121	52.0	0.0	5	0*	219.1	横滑角効果及び再現性	
	2047		84.7	1140	300	2.044					218.1		
5	2049		85.4	1134	293	2.089	52.0	0.0	20	20*	224.8	エロン効果	
6	2049		85.4	1134	293	2.089	52.0	0.0	20	20*	226.0	エレベータ効果	
7	2039		26.0	1057	292	0.729	52.0	-5.0	10	10*	116.8	レイノルズ数効果	
8	2053		85.4	1168	-	2.159	26.6~53.0	-0.3	0	0*	-	基本特性	
9	2056		85.4	1171	-	2.149	26.7~53.0	0.1	10	10*	-	縦特性	
10	2052		85.4	1161	-	2.178	26.5~53.1	-0.3	20	20*	-	同上	
11	2065		85.4	1168	-	2.157	26.7~52.8	0.1	-20	-20	-	同上	
12	2058		84.7	1181	-	2.100	26.8~53.0	0.1	-10	-10	-	同上	
13	2069		85.4	1172	-	2.143	26.7~52.7	0.1	5	5	-	同上	
14	2055		85.5	1170	-	2.152	26.9~53.2	5.1	0	0*	-	横方向特性	
15	2057		85.4	1178	-	2.129	26.6~52.9	0.1	10	-10	-	エロン効果	
16	2061		84.7	1154	-	2.181	26.7~52.6	0.1	-5	-15	-	同上	
17	2063		85.3	1146	-	2.225	26.9~52.6	0.2	5	-5	-	同上	
18	2064	84.6	1159	-	2.164	26.7~52.7	0.1	15	5	-	同上		
19	2068	85.4	1169	-	2.153	26.9~52.4	0.1	10	0*	-	同上		
20	2071	26.0	1064	-	0.801	26.9~52.2	5.1	0	0*	-	レイノルズ数効果		
21	2067	85.4	1165	-	2.169	27.0~52.5	5.1	0	0*	-	再現性		

注 \*エレボンヒンジモニター計測 \*\*RUN2041のみ30mm径球淀み点加熱率同時計測



(c) 確認極超音速圧力風試(その1)(NAL 大型極超音速風洞)

RCS干渉試験目的	Run No.	風洞一様流条件				迎角 [deg]	可視化試験				
		マッハ数	総圧 [MPa]	総温 [K]	レイノルズ数 ReLB						
Mfl <sub>t</sub> =7模擬 (He)	202	10.05	2.99	1107	8.3×10 <sup>5</sup>	30.1	×				
	203					30.1	×				
Mfl <sub>t</sub> =12模擬 (He)	204					49.1	×				
Mfl <sub>t</sub> =7模擬 (N <sub>2</sub> )	205					30.1	×				
	207					30.1	SG				
Mfl <sub>t</sub> =12模擬 (N <sub>2</sub> )	208					49.1	SL				
Re数効果	206					9.98	0.98	1031	2.8×10 <sup>5</sup>	30.0	×
ADS用圧力計測	209					10.05	2.99	1107	8.3×10 <sup>5</sup>	28.1/30.1/32.1	SL
	210									47.1/49.2/51.1	SL
ノズル形状効果 (Mfl <sub>t</sub> =12模擬; N <sub>2</sub> )	211									49.2	SG
	212	49.2	SG								
	213	30.1	SG								
オイルフロー試験(α=30°)	214	30.1	OF								
	(α=49°) 215	49.2	OF								

- (注) ・Mf: 本試験で模擬している実機飛行マッハ数  
 ・全ケースで、横滑角β=0°、エレボン舵角(左右とも)=0°。  
 ・レイノルズ数は、胴体全長(L<sub>B</sub>=0.40m)基準。  
 ・可視化試験の略号: SL(シュレーレン撮影)、SG(シャッターカメラ撮影)、OF(オイルフロー観察)

(d) 確認極超音速圧力風試(その2)(NAL 中型衝撃風洞)

高圧室初期 圧力p <sub>4</sub> [MPa]	高/低圧室 圧力比	風洞一様流条件				迎角 [deg]	横滑角 [deg]	エレボン 舵角 [deg]					
		マッハ数	総圧 [MPa]	総温 [K]	レイノルズ数 ReLB								
0.5	100	9.7	0.43	1013	0.8×10 <sup>5</sup>	30, 40, 49	0	0					
						30, 40, 49		10					
1.0						9.9		0.87	1.5×10 <sup>5</sup>	30, 40, 49	-10		
						30, 40, 49		0					
2.0						10.1		1.74		2.9×10 <sup>5</sup>	30, 40, 49	10	
											30, 40, 49	0	
4.0						10.3		3.50			5.5×10 <sup>5</sup>	30, 35, 40, 45, 49	-10
												30, 35, 40, 45, 49	0
30, 35, 40, 45, 49						10							

- (注) ・レイノルズ数は、胴体全長(L<sub>B</sub>=0.24m)基準。  
 ・ブロー中迎角は固定(すなわち迎角の種類の数だけブローを実施する必要がある)  
 ・エレボン舵角は左/右舷同一(エレベータとして使用)

表 B-2 遷 / 超音速風洞試験 (a) 基本遷超音速風洞試験 (FHI 高速風洞)

◎ : オイルフロー実施ケース ( $\alpha = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ )  
 ● : 6分力試験実施ケース (T.No.: 試験番号)

ケース No.	風洞内容	エレボン舵角 $\delta e$	迎角 $\alpha$	横滑角 $\beta$	試験マツハ数							
					0.5	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0	3.0	4.0
1	◎ 基本形態縦特性	0°		0°	T.No.4675 ●	T.No.4674 ●	T.No.4668 ●	T.No.4671 ●	T.No.4652 ●	T.No.4627 ●	T.No.4592 ●	T.No.4605 ●
2	◎ 基本形態横 / 方向特性	0°		-5°	T.No.4708 ●	T.No.4714 ●	T.No.4711 ●	T.No.4713 ●	T.No.4600 ●	T.No.4720 ●	T.No.4596 ●	T.No.4599 ●
3	◎	-20°			T.No.4676 ●	T.No.4677 ●	T.No.4678 ●	T.No.4669 ●	T.No.4653 ●	T.No.4628 ●	T.No.4593 ●	T.No.4620 ●
4	○ 舵効き	-10°					T.No.4681 ●			T.No.4629 ●		T.No.4621 ●
5	○ (エレベータ)	10°	10°~35°	0°			T.No.4683 ●			T.No.4630 ●		T.No.4613 ●
6	◎	20°			T.No.4687 ●	T.No.4688 ●	T.No.4686 ●	T.No.4689 ●	T.No.4656 ●	T.No.4631 ●	T.No.4594 ●	T.No.4614 ●
7	○	(右) -20° (左) 0°					T.No.4691 ●			T.No.4634 ●		T.No.4619 ●
8	◎ 舵効き (エルロン)	(右) -10° (左) +10°		0°	T.No.4698 ●	T.No.4696 ●	T.No.4692 ●	T.No.4695 ●	T.No.4650 ●	T.No.4626 ●	T.No.4624 ●	T.No.4617 ●
9	○	(右) 0° (左) +20°			T.No.4716 ●		T.No.4717 ●			T.No.4633 ●		T.No.4618 ●
10	○ $\beta$ スイープ	0°	20°	-5° ~ 10°			T.No.4705 ●			T.No.4636 ●		T.No.4623 ●

(b) 詳細遷超音速風試(その1)(FHI 高速風洞)

試験形態	迎角 (deg)	横滑角 (deg)	試験マツハ数										エレボン舵角		備考				
			0.5	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0	3.0	4.0	$\delta L$	$\delta R$						
1 基本形態縦特性		0°	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0°	0°		
			5553	5554	5555	5557	5576	5587	5602	5612	5630								
2 基本形態横/方向特性		-5°	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0°	0°	
			5562	5563	5565	5566	5573	5596	5600	5625	5629								
3																			
4 舵効き (エレベータ)	15° ~ 40°	0°																	
5																			
6																			
7																			
8 舵効き (エルロン)		0°																	
9																			
10 (舵角非線形性)																			

(注記) ○: 6分力試験  
 ◎: 6分力試験 (再現性確認試験を含む。)  
 ●: オイルフロー試験 ( $\alpha = 30^\circ$ )  
 $\delta L$ : 左エレボン舵角 (後縁下げ正) /  $\delta R$ : 右エレボン舵角 (後縁下げ正)

表中4桁の数字は試験番号を示す。

(c) 詳細遷超音速風試 (その2) (ISAS 超音速風洞)

ケ 1 ス	風試内容	試験マッハ数								エルボン舵角		迎角 $\alpha$	横滑 角 $\beta$	備考
		1.6	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	$\delta L$	$\delta R$					
1	基本形態縦特性	<u>1010</u> ○	<u>992/996</u> ◎	<u>1046</u> ○	<u>968/1032</u> ◎ (●: 972)	1040 ○	<u>1034</u> ○	0°	0°	20-40°	0°	ヒンジモーメント計測		
2	基本形態 横/方向特性 (●:1014)	<u>1012</u> ○	<u>994</u> ○	<u>1048</u> ○	<u>970/988</u> ◎ (●: 974)	<u>1042/1044</u> ◎	956/964 ◎	0°	0°	20-40°	5°	(ヒンジモーメント計測)		
3	舵効き(エルボン)	1016 ○	1002 ○		976 ○		950 ○	-10°	-10°	20-40°	0°			
4		<u>1018</u> ○	<u>998</u> ○		<u>978/1030</u> ◎		952/1036 ◎	20°	20°			ヒンジモーメント計測		
5		1020 ○	1004 ○		1052 ○		954 ○	30°	30°			(ISASのみの測定)		
6	舵効き(エルボン)				980 ○		958 ○	-15°	-5°	20-40°	0°	$\delta e = -10^\circ / \delta a = -5^\circ$		
7		1026 ○	1006 ○	1050 ○	982 ○ (●: 984)	1038 ○	960/966 ◎	-5°	5°			$\delta e = 0^\circ / \delta a = -5^\circ$		
8		<u>1028</u> ○	<u>1000</u> ○		986 ○		962 ○	10°	20°			$\delta e = 15^\circ / \delta a = -5^\circ$		

- (注) . ○ : 6分力試験 ◎ : 6分力試験 (再現性確認のため2回同一試験を実施) ● : 6分力試験 (○) に比べ低レイノルズ数ケース
- ・  $\delta L$  : 左エルボン舵角 (後縁下げ正) /  $\delta R$  : 右エルボン舵角 (後縁下げ正)
  - ・ 下線はヒンジモーメント測定ケース (右舵について測定)
  - ・ 迎角範囲はマッハ数により異なる。
  - ・ 全ケースにつき胴体底面 (ベース面) 圧力を4点測定
  - ・ 全ケースに対して、ビデオにてシユレレーン撮影実施

(d) 確認超音速圧力風試 (NAL 超音速風洞)

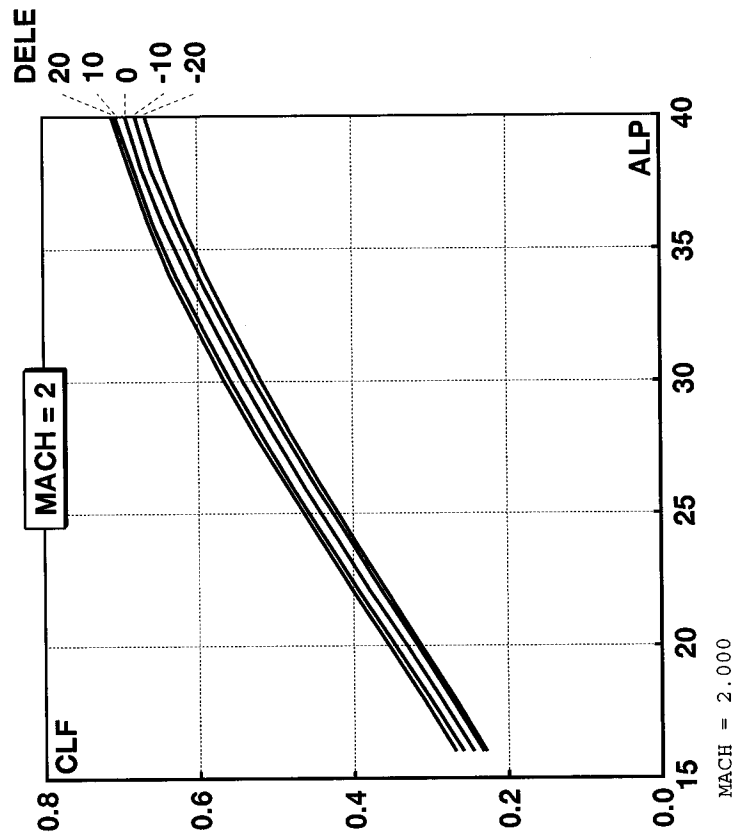
RCS干渉試験目的	Test No	風洞一様流条件			迎角(ストラット角) [deg]	横滑角 [deg]	レホン舵角 左/右 [deg]
		マッハ数	総圧 [kPa]	総温 [K]			
運動量比模擬 (Mf=4)	16845	2.005	223	283	29.5 (29.4)	-0.1	
圧力比模擬 (Mf=4)	16846	2.005	223	284	29.5 (29.4)	-0.1	
質量流量比模擬(Mf=4)	16847	2.005	223	283	29.5 (29.4)	-0.1	
迎角効果	16848	2.005	223	284	34.8 (34.4)	-0.1	
運動量比模擬 (Mf=3)	16849	3.002	518	285	30.0 (29.4)	-0.2	0/ 0
運動量比模擬 (Mf=4)	16850	2.993	518	286	29.9 (29.3)	-0.2	
圧力比模擬 (Mf=3)	16851	2.994	518	285	29.9 (29.3)	-0.2	
圧力比模擬 (Mf=4)	16852	2.994	518	286	29.9 (29.4)	-0.2	
質量流量比模擬(Mf=3)	16853	2.994	518	287	29.9 (29.4)	-0.2	
質量流量比模擬(Mf=4)	16854	2.994	518	288	29.9 (29.4)	-0.2	
迎角効果	16855	2.994	518	288	28.0 (27.4)	-0.2	
	16856	2.994	518	288	32.2 (31.4)	-0.1	
Nozzle形状効果	16864	3.005	518	287	30.0 (29.3)	-0.2	
再現性チェック	16863	3.005	518	287	32.2 (31.4)	-0.1	
運動量比模擬 (Mf=4)	16858	4.005	1296	285	29.9 (29.3)	0	
圧力比模擬 (Mf=4)	16859	4.006	1296	286	29.9 (29.3)	0	
質量流量比模擬(Mf=4)	16860	4.004	1296	287	29.9 (29.4)	0	
迎角効果	16861	4.003	1296	288	27.9 (27.4)	0	
	16862	4.003	1296	289	32.0 (31.4)	0	
オイルフロー (運動量, Mf=4)	16869	2.005	221	280	29.5 (29.4)	-0.1	0/ 0
試験 (質量, Mf=4)	16870	2.005	221	280	29.5 (29.4)	-0.1	
(運動量, Mf=3)	16865	2.995	516	282	29.9 (29.4)	-0.2	
(質量, Mf=3)	16866	2.995	516	280	30.0 (29.4)	-0.2	
(運動量, Mf=4)	16867	4.003	1294	282	30.0 (29.4)	0	
(質量, Mf=4)	16868	4.006	1294	282	29.9 (29.4)	0	

(注) ・Mf : 本試験で模擬している実機飛行マッハ数  
 ・「迎角」、「横滑角」は、空気力による模型/ステイング系の撓み、風洞の気流偏向(M=2,3のみ)を補正した値。

表C-1 設計用空力データのモーメント基準点

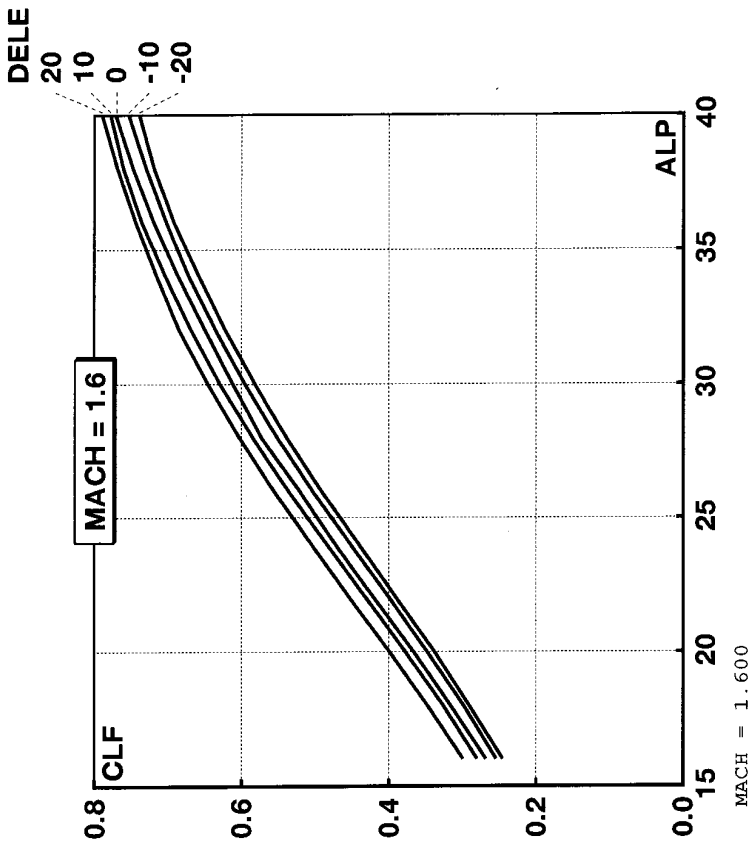
項目	値	単位	備考	
モーメント 基準点	前後方向位置X	2.300	m	座標は図1-1の 機体基準座標系 による。
	左右方向位置Y	0.000	m	
	上下方向位置Z	0.423	m	





MACH = 1.600

ALP	DELE -20.000	-10.000	0.000	10.000	20.000
16.000	0.2281	0.2315	0.2447	0.2583	0.2678
18.000	0.2685	0.2733	0.2870	0.3008	0.3094
20.000	0.3116	0.3166	0.3307	0.3457	0.3538
22.000	0.3554	0.3610	0.3763	0.3911	0.3987
24.000	0.3976	0.4035	0.4194	0.4345	0.4415
26.000	0.4399	0.4471	0.4619	0.4776	0.4843
28.000	0.4799	0.4884	0.5027	0.5184	0.5265
30.000	0.5174	0.5274	0.5412	0.5569	0.5650
32.000	0.5534	0.5631	0.5772	0.5933	0.6007
34.000	0.5877	0.5982	0.6126	0.6272	0.6349
36.000	0.6191	0.6298	0.6439	0.6575	0.6626
38.000	0.6456	0.6586	0.6707	0.6813	0.6864
40.000	0.6664	0.6787	0.6914	0.7054	0.7103

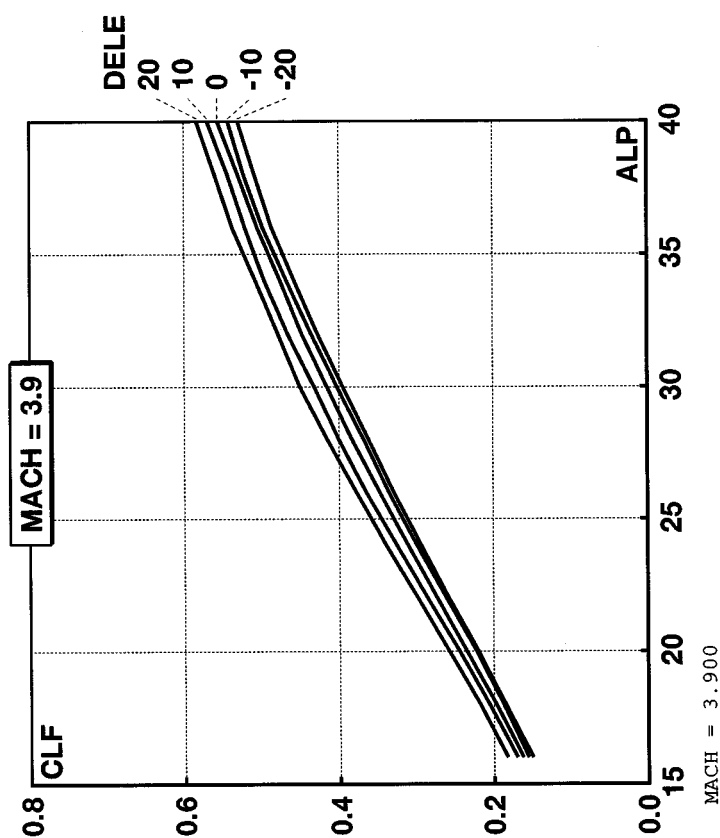


MACH = 2.000

ALP	DELE -20.000	-10.000	0.000	10.000	20.000
16.000	0.2454	0.2540	0.2677	0.2793	0.2992
18.000	0.2912	0.2985	0.3153	0.3260	0.3477
20.000	0.3375	0.3474	0.3655	0.3767	0.3986
22.000	0.3889	0.3988	0.4195	0.4303	0.4522
24.000	0.4395	0.4509	0.4720	0.4831	0.5037
26.000	0.4905	0.5023	0.5201	0.5352	0.5546
28.000	0.5379	0.5503	0.5721	0.5843	0.6023
30.000	0.5812	0.5943	0.6106	0.6285	0.6456
32.000	0.6214	0.6343	0.6491	0.6680	0.6845
34.000	0.6573	0.6707	0.6860	0.7031	0.7149
36.000	0.6907	0.7022	0.7185	0.7349	0.7433
38.000	0.7187	0.7297	0.7468	0.7606	0.7688
40.000	0.7389	0.7540	0.7708	0.7787	0.7897

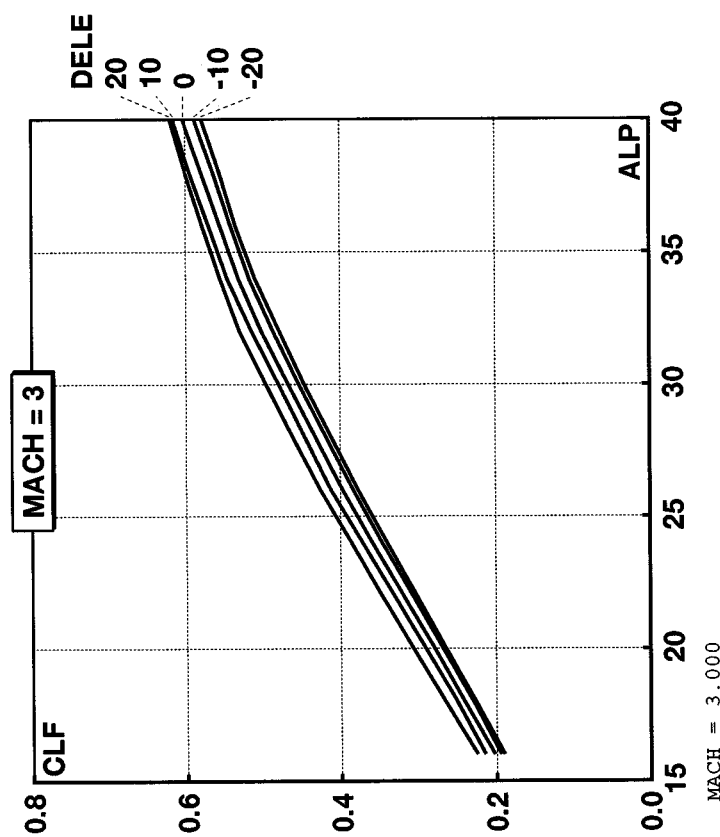
(b) マッハ数 2.0

図 C-1 揚力係数 (a) マッハ数 1.6



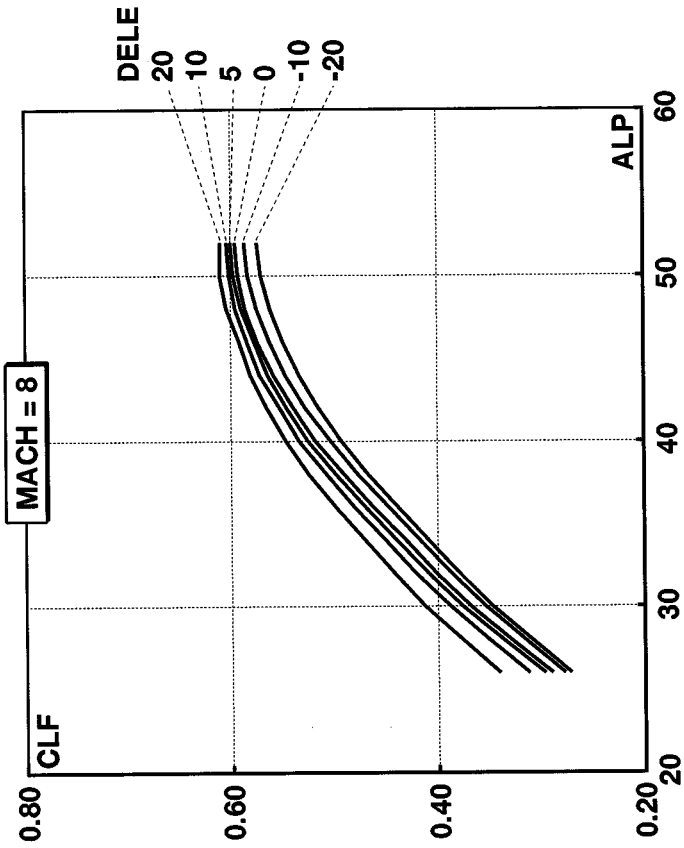
ALP	DELE -20.000	-10.000	0.000	10.000	20.000
16.000	0.1900	0.1942	0.2024	0.2145	0.2244
18.000	0.2262	0.2299	0.2407	0.2506	0.2654
20.000	0.2639	0.2678	0.2790	0.2898	0.3059
22.000	0.3017	0.3064	0.3186	0.3307	0.3463
24.000	0.3397	0.3456	0.3584	0.3711	0.3850
26.000	0.3760	0.3827	0.3960	0.4117	0.4254
28.000	0.4116	0.4182	0.4324	0.4453	0.4610
30.000	0.4463	0.4530	0.4677	0.4799	0.4965
32.000	0.4789	0.4866	0.5016	0.5146	0.5298
34.000	0.5098	0.5172	0.5319	0.5459	0.5558
36.000	0.5356	0.5411	0.5559	0.5699	0.5783
38.000	0.5563	0.5649	0.5797	0.5943	0.6005
40.000	0.5791	0.5884	0.6033	0.6168	0.6208

(c) マッハ数3.0



ALP	DELE -20.000	-10.000	0.000	10.000	20.000
16.000	0.1498	0.1548	0.1619	0.1701	0.1821
18.000	0.1848	0.1871	0.1965	0.2053	0.2179
20.000	0.2193	0.2218	0.2347	0.2434	0.2571
22.000	0.2574	0.2601	0.2725	0.2846	0.2974
24.000	0.2931	0.2993	0.3100	0.3243	0.3386
26.000	0.3285	0.3353	0.3469	0.3640	0.3767
28.000	0.3610	0.3680	0.3825	0.4003	0.4153
30.000	0.3950	0.4025	0.4159	0.4321	0.4499
32.000	0.4276	0.4356	0.4476	0.4658	0.4785
34.000	0.4571	0.4673	0.4759	0.4954	0.5071
36.000	0.4857	0.4969	0.5049	0.5204	0.5369
38.000	0.5087	0.5220	0.5292	0.5429	0.5596
40.000	0.5296	0.5424	0.5556	0.5692	0.5823

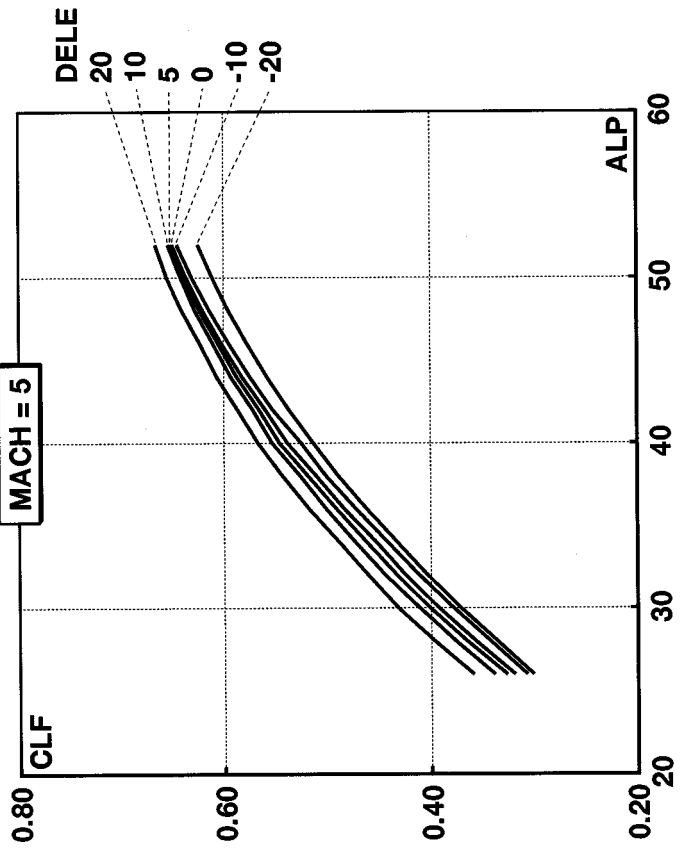
(d) マッハ数3.9



MACH = 8.000

ALP	DELE -20.000	-10.000	0.000	5.000	10.000	20.000
26.000	0.2709	0.2768	0.2884	0.2961	0.3113	0.3395
28.000	0.3085	0.3149	0.3284	0.3364	0.3500	0.3762
30.000	0.3462	0.3531	0.3677	0.3759	0.3879	0.4124
32.000	0.3781	0.3862	0.4010	0.4092	0.4213	0.4424
34.000	0.4092	0.4177	0.4313	0.4398	0.4515	0.4708
36.000	0.4387	0.4481	0.4628	0.4703	0.4817	0.4995
38.000	0.4678	0.4780	0.4911	0.4996	0.5083	0.5254
40.000	0.4937	0.5040	0.5187	0.5258	0.5345	0.5474
42.000	0.5158	0.5289	0.5396	0.5465	0.5535	0.5659
44.000	0.5345	0.5477	0.5589	0.5648	0.5724	0.5814
46.000	0.5502	0.5631	0.5744	0.5773	0.5847	0.5921
48.000	0.5621	0.5754	0.5865	0.5905	0.5958	0.6042
50.000	0.5709	0.5837	0.5929	0.5974	0.6015	0.6105
52.000	0.5747	0.5872	0.5959	0.6000	0.6038	0.6098

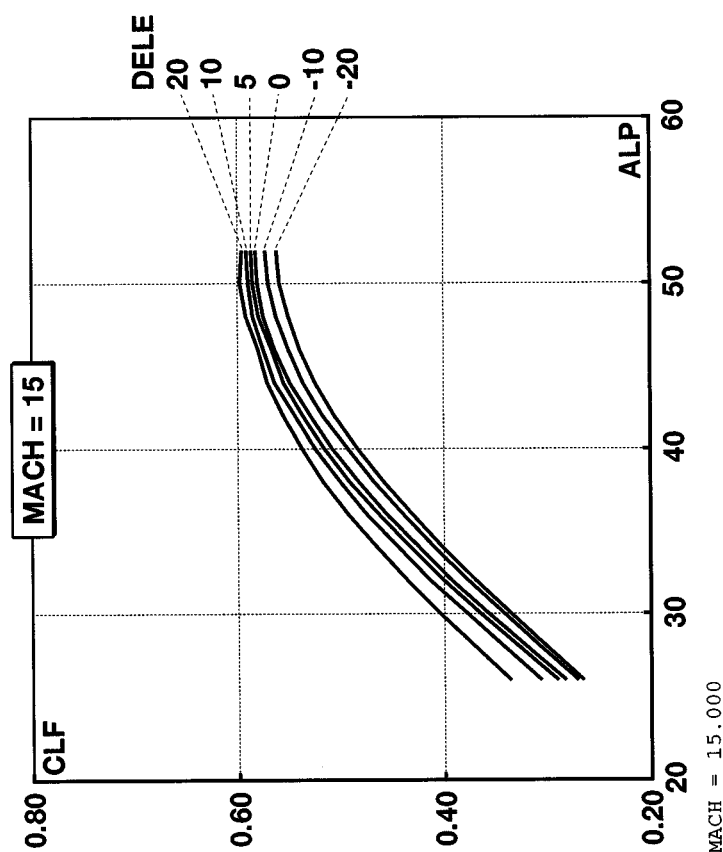
(f) マッハ数8.0



MACH = 5.000

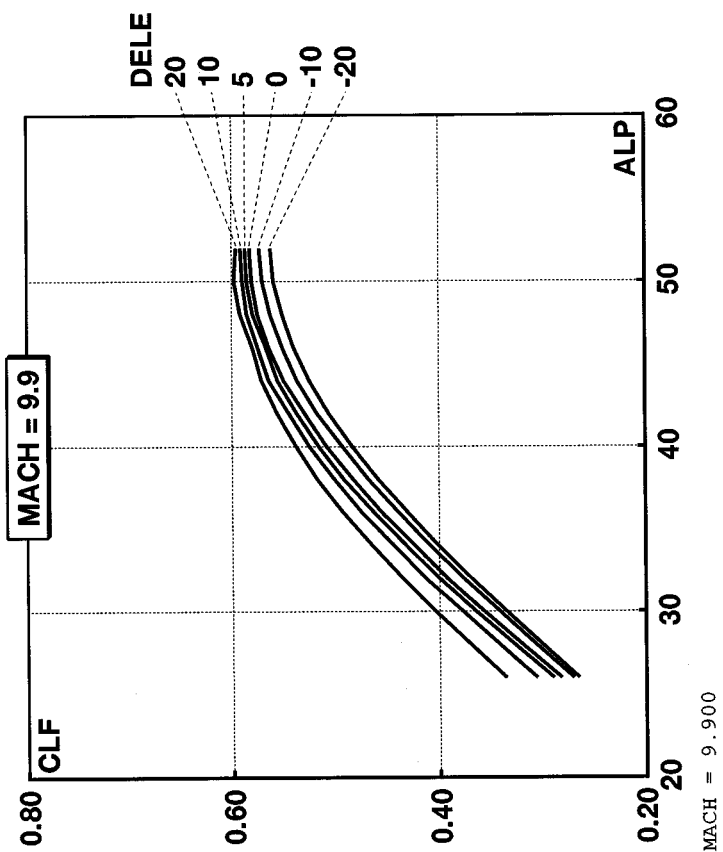
ALP	DELE -20.000	-10.000	0.000	5.000	10.000	20.000
26.000	0.3007	0.3070	0.3187	0.3268	0.3385	0.3587
28.000	0.3356	0.3423	0.3563	0.3648	0.3759	0.3964
30.000	0.3713	0.3786	0.3925	0.4007	0.4106	0.4317
32.000	0.4030	0.4110	0.4244	0.4330	0.4437	0.4606
34.000	0.4327	0.4420	0.4532	0.4623	0.4730	0.4886
36.000	0.4620	0.4723	0.4837	0.4913	0.5009	0.5181
38.000	0.4892	0.5009	0.5109	0.5186	0.5264	0.5432
40.000	0.5134	0.5251	0.5389	0.5459	0.5535	0.5665
42.000	0.5371	0.5525	0.5603	0.5663	0.5723	0.5871
44.000	0.5580	0.5745	0.5822	0.5873	0.5930	0.6064
46.000	0.5774	0.5950	0.6023	0.6055	0.6107	0.6234
48.000	0.5951	0.6139	0.6207	0.6239	0.6278	0.6409
50.000	0.6113	0.6309	0.6364	0.6394	0.6422	0.6557
52.000	0.6250	0.6455	0.6504	0.6527	0.6549	0.6671

(e) マッハ数5.0



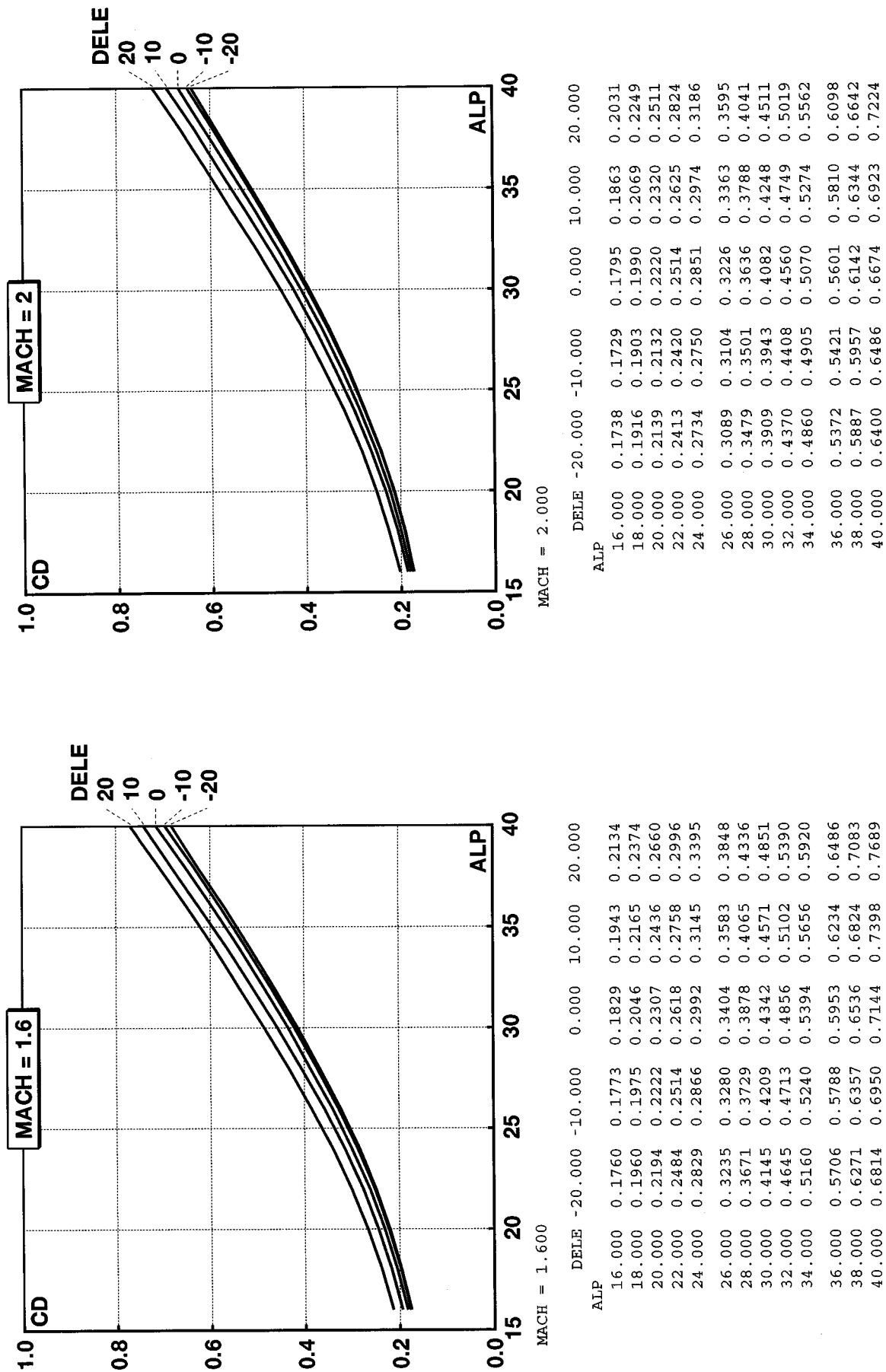
ALP	DELE -20.000	-10.000	0.000	5.000	10.000	20.000
26.000	0.2644	0.2702	0.2818	0.2894	0.3053	0.3353
28.000	0.2996	0.3059	0.3191	0.3270	0.3414	0.3695
30.000	0.3347	0.3415	0.3564	0.3646	0.3774	0.4036
32.000	0.3682	0.3762	0.3916	0.3996	0.4124	0.4351
34.000	0.4010	0.4093	0.4237	0.4321	0.4441	0.4646
36.000	0.4304	0.4395	0.4554	0.4628	0.4748	0.4929
38.000	0.4585	0.4680	0.4824	0.4914	0.5005	0.5176
40.000	0.4837	0.4932	0.5083	0.5156	0.5247	0.5376
42.000	0.5060	0.5180	0.5299	0.5373	0.5447	0.5560
44.000	0.5248	0.5365	0.5492	0.5555	0.5638	0.5710
46.000	0.5400	0.5513	0.5641	0.5669	0.5751	0.5805
48.000	0.5513	0.5628	0.5753	0.5796	0.5854	0.5922
50.000	0.5594	0.5703	0.5806	0.5855	0.5899	0.5977
52.000	0.5625	0.5730	0.5827	0.5872	0.5914	0.5959

(h) マッハ数 15.0



ALP	DELE -20.000	-10.000	0.000	5.000	10.000	20.000
26.000	0.2644	0.2702	0.2818	0.2894	0.3053	0.3353
28.000	0.2996	0.3059	0.3191	0.3270	0.3414	0.3695
30.000	0.3347	0.3415	0.3564	0.3646	0.3774	0.4036
32.000	0.3682	0.3762	0.3916	0.3996	0.4124	0.4351
34.000	0.4010	0.4093	0.4237	0.4321	0.4441	0.4646
36.000	0.4304	0.4395	0.4554	0.4628	0.4748	0.4929
38.000	0.4585	0.4680	0.4824	0.4914	0.5005	0.5176
40.000	0.4837	0.4932	0.5083	0.5156	0.5247	0.5376
42.000	0.5060	0.5180	0.5299	0.5373	0.5447	0.5560
44.000	0.5248	0.5365	0.5492	0.5555	0.5638	0.5710
46.000	0.5400	0.5513	0.5641	0.5669	0.5751	0.5805
48.000	0.5513	0.5628	0.5753	0.5796	0.5854	0.5922
50.000	0.5594	0.5703	0.5806	0.5855	0.5899	0.5977
52.000	0.5625	0.5730	0.5827	0.5872	0.5914	0.5959

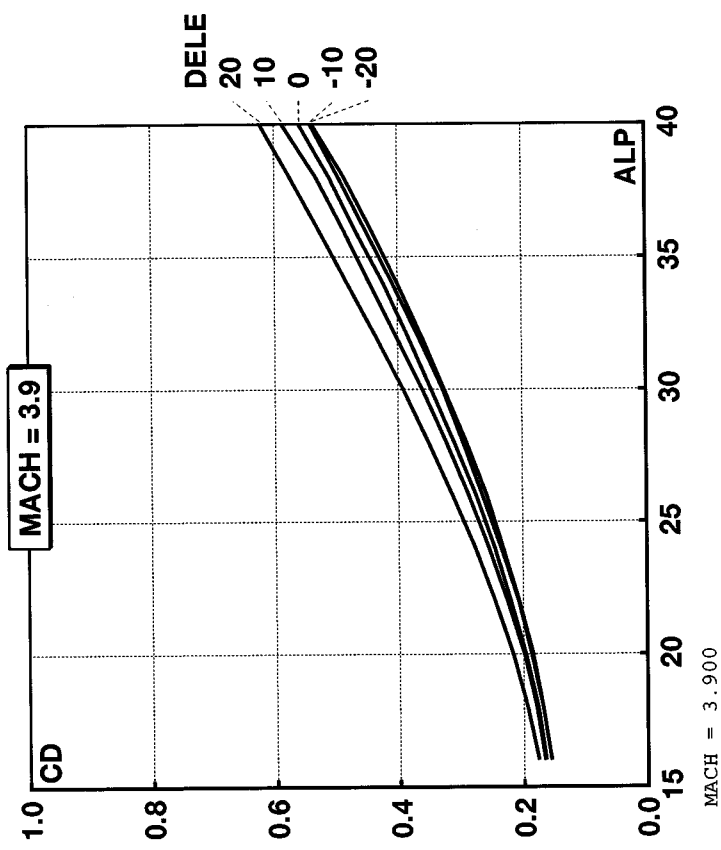
(g) マッハ数 9.9



(b) マッハ数 2.0

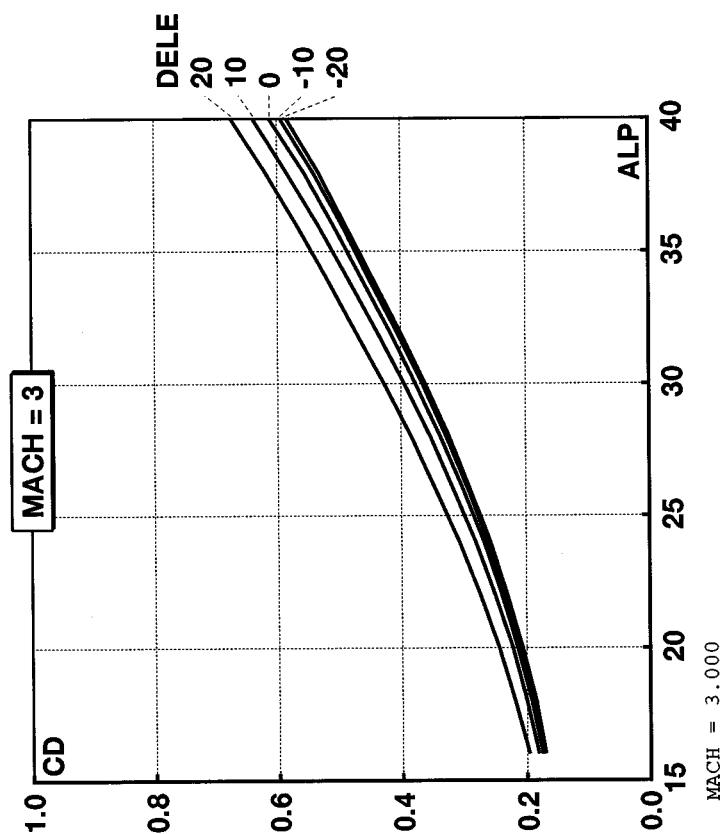
図 C-2 抗力係数 (a) マッハ数 1.6





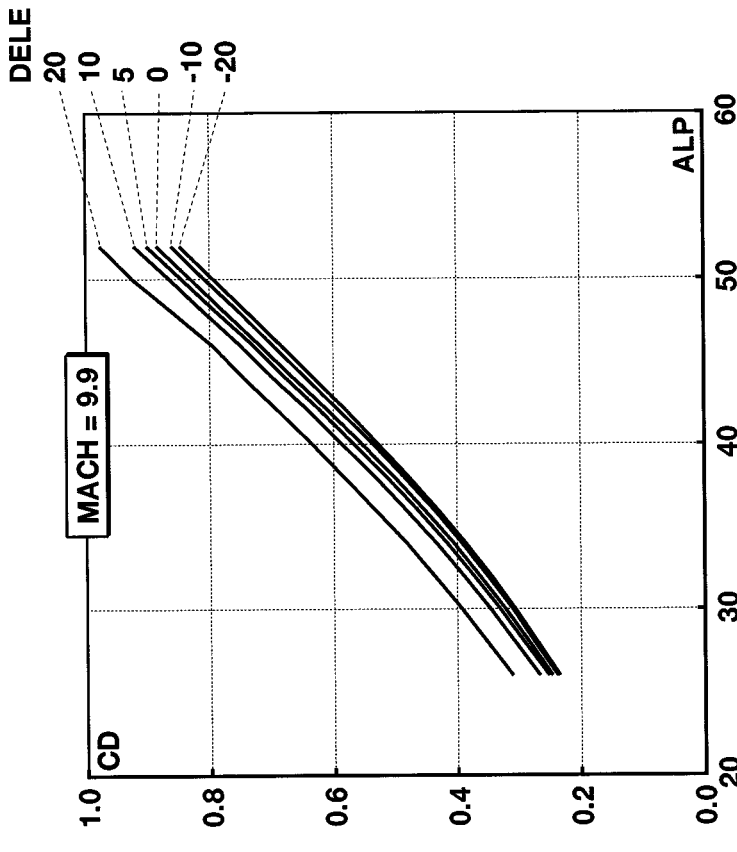
ALP	DELE -20.000	-10.000	0.000	10.000	20.000
16.000	0.1553	0.1556	0.1632	0.1652	0.1754
18.000	0.1679	0.1684	0.1765	0.1782	0.1935
20.000	0.1839	0.1865	0.1965	0.1981	0.2164
22.000	0.2065	0.2079	0.2196	0.2249	0.2452
24.000	0.2314	0.2342	0.2445	0.2541	0.2771
26.000	0.2581	0.2644	0.2747	0.2873	0.3127
28.000	0.2899	0.2953	0.3093	0.3227	0.3511
30.000	0.3253	0.3284	0.3467	0.3609	0.3917
32.000	0.3620	0.3674	0.3837	0.4025	0.4353
34.000	0.4000	0.4088	0.4236	0.4449	0.4817
36.000	0.4422	0.4517	0.4687	0.4872	0.5272
38.000	0.4863	0.4955	0.5099	0.5320	0.5747
40.000	0.5382	0.5409	0.5597	0.5871	0.6223

(d) マッハ数 3.9



ALP	DELE -20.000	-10.000	0.000	10.000	20.000
16.000	0.1701	0.1720	0.1749	0.1817	0.1967
18.000	0.1855	0.1884	0.1921	0.2003	0.2191
20.000	0.2065	0.2093	0.2140	0.2229	0.2443
22.000	0.2308	0.2341	0.2397	0.2504	0.2739
24.000	0.2583	0.2620	0.2684	0.2814	0.3076
26.000	0.2893	0.2934	0.3005	0.3169	0.3450
28.000	0.3236	0.3277	0.3374	0.3535	0.3838
30.000	0.3610	0.3656	0.3764	0.3947	0.4271
32.000	0.4015	0.4072	0.4192	0.4389	0.4736
34.000	0.4447	0.4510	0.4638	0.4855	0.5197
36.000	0.4885	0.4943	0.5082	0.5332	0.5675
38.000	0.5329	0.5411	0.5562	0.5851	0.6193
40.000	0.5844	0.5940	0.6120	0.6391	0.6746

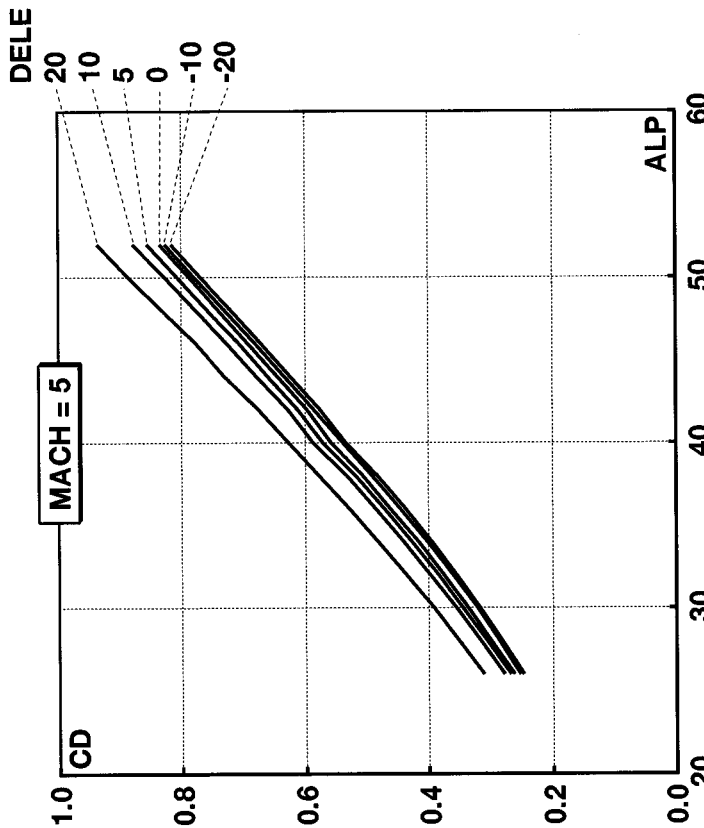
(c) マッハ数 3.0



MACH = 9.900

ALP	DELE -20.000	-10.000	0.000	5.000	10.000	20.000
26.000	0.2339	0.2374	0.2455	0.2513	0.2662	0.3092
28.000	0.2696	0.2734	0.2834	0.2905	0.3058	0.3507
30.000	0.3053	0.3095	0.3213	0.3297	0.3455	0.3923
32.000	0.3439	0.3492	0.3624	0.3717	0.3889	0.4361
34.000	0.3864	0.3922	0.4059	0.4164	0.4342	0.4825
36.000	0.4306	0.4375	0.4537	0.4645	0.4834	0.5323
38.000	0.4782	0.4858	0.5023	0.5153	0.5329	0.5833
40.000	0.5277	0.5359	0.5546	0.5669	0.5857	0.6338
42.000	0.5789	0.5904	0.6073	0.6209	0.6391	0.6877
44.000	0.6311	0.6432	0.6624	0.6761	0.6967	0.7427
46.000	0.6844	0.6968	0.7179	0.7286	0.7504	0.7966
48.000	0.7381	0.7517	0.7748	0.7883	0.8082	0.8601
50.000	0.7934	0.8076	0.8298	0.8452	0.8645	0.9242
52.000	0.8475	0.8625	0.8858	0.9019	0.9225	0.9776

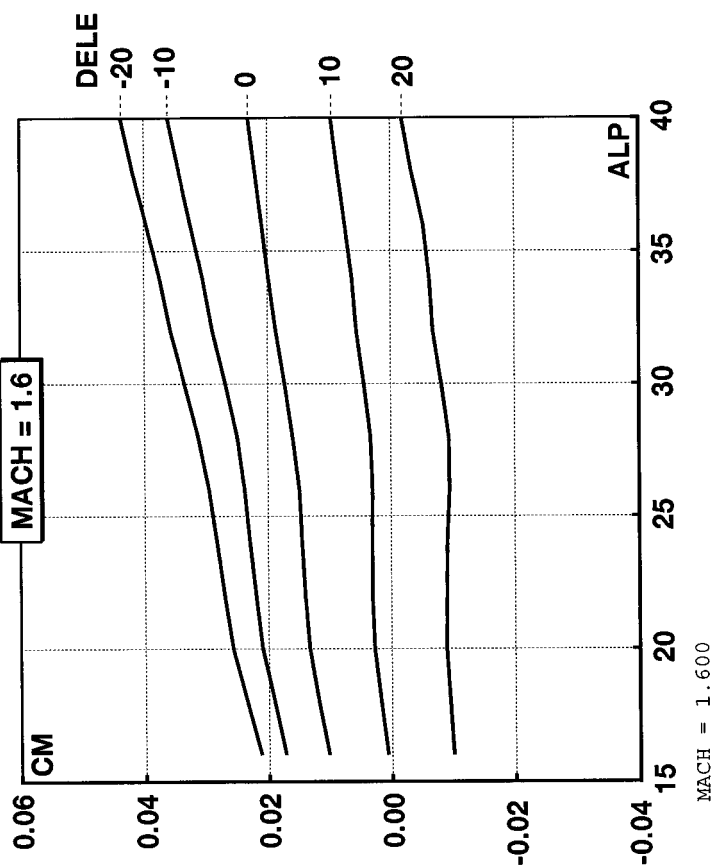
(g) マッハ数9.9



MACH = 5.000

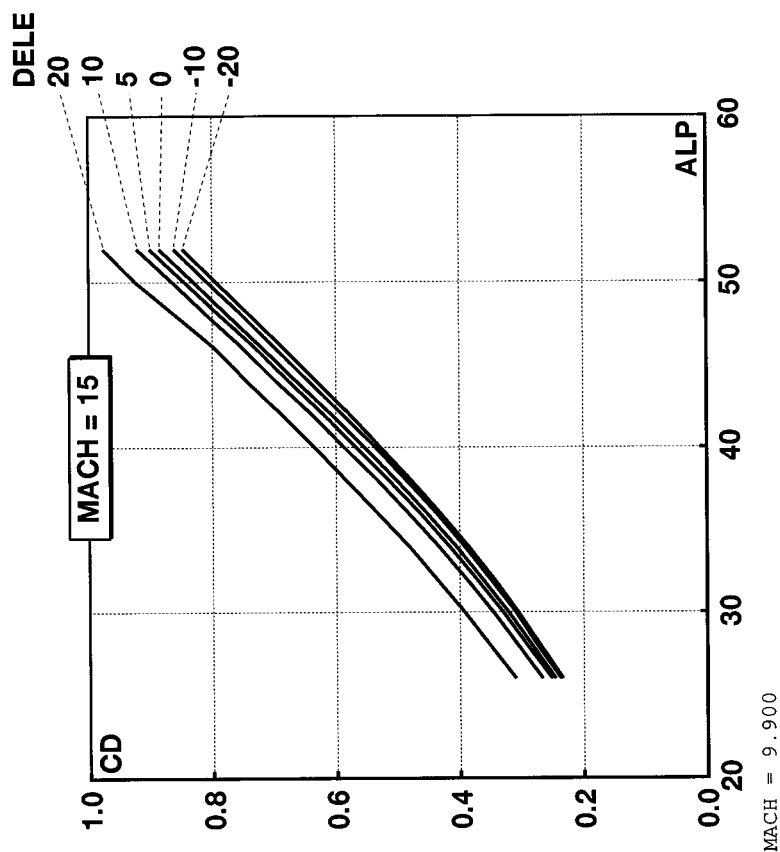
ALP	DELE -20.000	-10.000	0.000	5.000	10.000	20.000
26.000	0.2478	0.2529	0.2623	0.2683	0.2783	0.3112
28.000	0.2817	0.2864	0.2988	0.3057	0.3159	0.3509
30.000	0.3176	0.3211	0.3369	0.3445	0.3550	0.3919
32.000	0.3547	0.3601	0.3751	0.3844	0.3970	0.4356
34.000	0.3943	0.4018	0.4161	0.4267	0.4404	0.4821
36.000	0.4374	0.4458	0.4625	0.4724	0.4856	0.5293
38.000	0.4832	0.4918	0.5070	0.5188	0.5324	0.5780
40.000	0.5346	0.5392	0.5579	0.5712	0.5866	0.6263
42.000	0.5760	0.5856	0.5976	0.6120	0.6279	0.6762
44.000	0.6231	0.6328	0.6442	0.6597	0.6777	0.7286
46.000	0.6709	0.6805	0.6913	0.7067	0.7264	0.7771
48.000	0.7191	0.7291	0.7393	0.7568	0.7769	0.8315
50.000	0.7682	0.7783	0.7869	0.8062	0.8271	0.8865
52.000	0.8171	0.8274	0.8353	0.8559	0.8784	0.9373

(e) マッハ数5.0



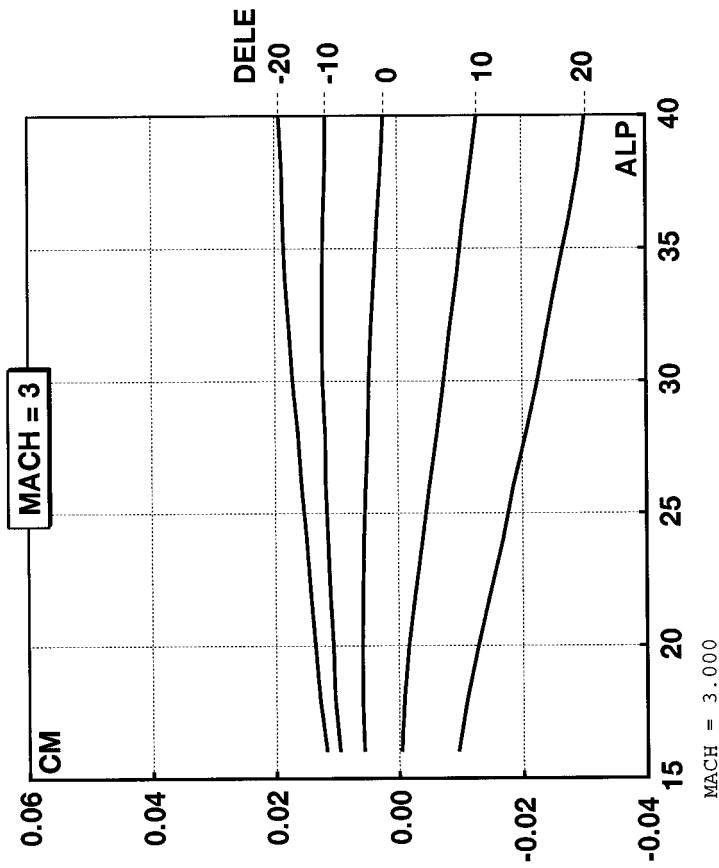
ALP	DELE				
	-20.000	-10.000	0.000	10.000	20.000
16.000	0.0211	0.0172	0.0102	0.0007	-0.0100
18.000	0.0235	0.0191	0.0119	0.0018	-0.0094
20.000	0.0257	0.0209	0.0133	0.0028	-0.0089
22.000	0.0271	0.0220	0.0140	0.0031	-0.0090
24.000	0.0282	0.0229	0.0145	0.0031	-0.0091
26.000	0.0295	0.0237	0.0149	0.0030	-0.0094
28.000	0.0312	0.0250	0.0160	0.0034	-0.0093
30.000	0.0335	0.0268	0.0172	0.0044	-0.0081
32.000	0.0357	0.0289	0.0186	0.0055	-0.0068
34.000	0.0375	0.0305	0.0198	0.0063	-0.0063
36.000	0.0396	0.0324	0.0208	0.0074	-0.0053
38.000	0.0418	0.0343	0.0220	0.0085	-0.0035
40.000	0.0437	0.0362	0.0231	0.0096	-0.0019

図C-3 ピッチングモーメント係数(a) マッハ数1.6



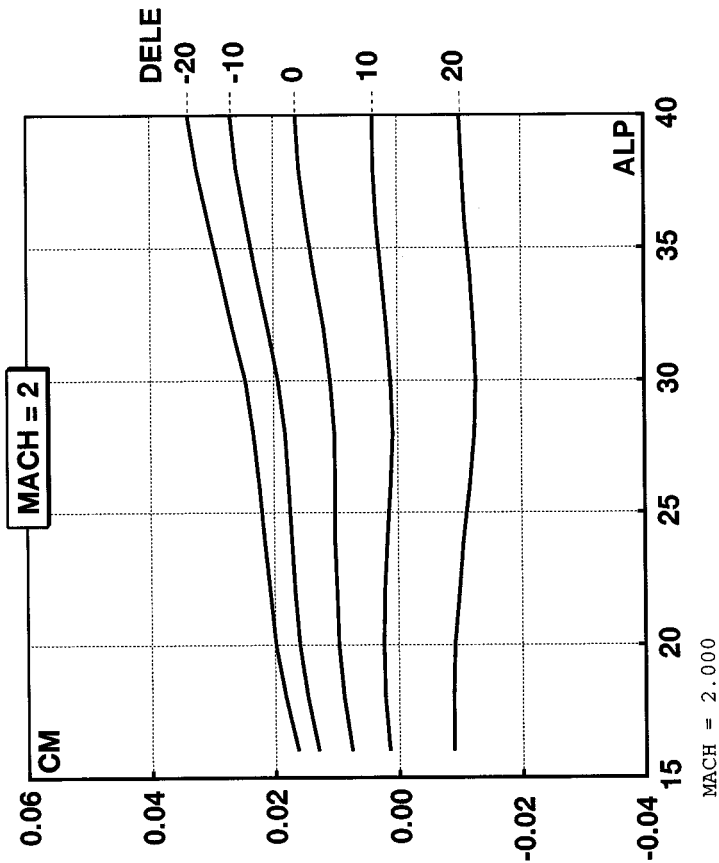
ALP	DELE					
	-20.000	-10.000	0.000	5.000	10.000	20.000
26.000	0.2339	0.2374	0.2455	0.2513	0.2662	0.3092
28.000	0.2696	0.2734	0.2834	0.2905	0.3058	0.3507
30.000	0.3053	0.3095	0.3213	0.3297	0.3455	0.3923
32.000	0.3439	0.3492	0.3624	0.3717	0.3889	0.4361
34.000	0.3864	0.3922	0.4059	0.4164	0.4342	0.4825
36.000	0.4306	0.4375	0.4537	0.4645	0.4834	0.5323
38.000	0.4782	0.4858	0.5023	0.5153	0.5329	0.5833
40.000	0.5277	0.5359	0.5546	0.5669	0.5857	0.6338
42.000	0.5789	0.5904	0.6073	0.6209	0.6391	0.6877
44.000	0.6311	0.6432	0.6624	0.6761	0.6967	0.7427
46.000	0.6844	0.6968	0.7179	0.7286	0.7504	0.7966
48.000	0.7381	0.7517	0.7748	0.7883	0.8082	0.8601
50.000	0.7934	0.8076	0.8298	0.8452	0.8645	0.9242
52.000	0.8475	0.8625	0.8858	0.9019	0.9225	0.9776

(h) マッハ数15.0



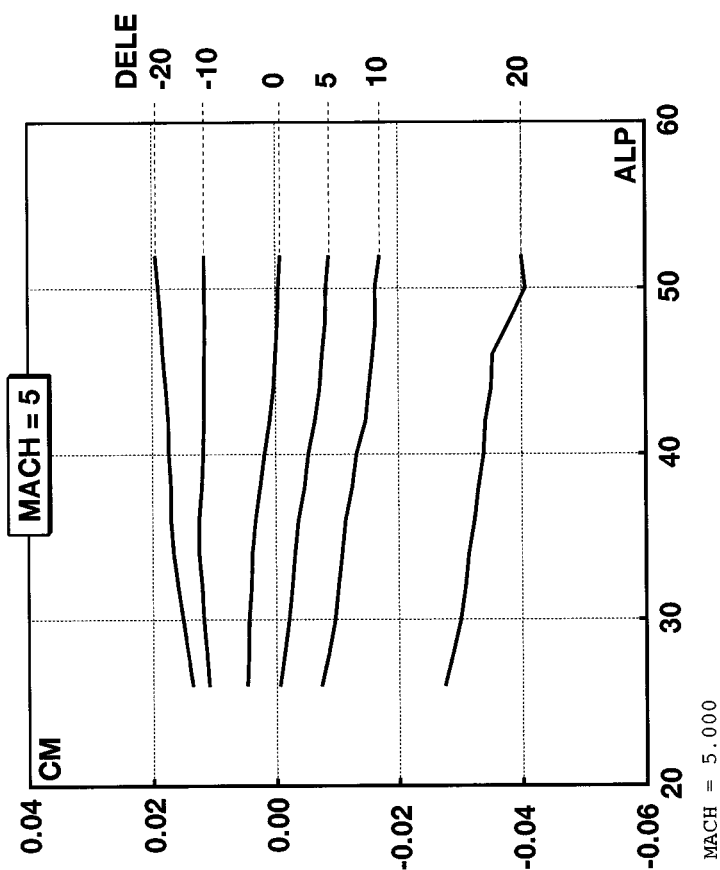
ALP	DELE -20.000	-10.000	0.000	10.000	20.000
16.000	0.0118	0.0096	0.0057	-0.0004	-0.0096
18.000	0.0129	0.0105	0.0060	-0.0008	-0.0110
20.000	0.0136	0.0107	0.0060	-0.0016	-0.0128
22.000	0.0143	0.0111	0.0058	-0.0027	-0.0148
24.000	0.0150	0.0115	0.0056	-0.0039	-0.0168
26.000	0.0157	0.0118	0.0053	-0.0050	-0.0185
28.000	0.0163	0.0119	0.0050	-0.0063	-0.0206
30.000	0.0171	0.0122	0.0048	-0.0074	-0.0224
32.000	0.0177	0.0123	0.0044	-0.0084	-0.0240
34.000	0.0183	0.0122	0.0038	-0.0096	-0.0257
36.000	0.0186	0.0121	0.0034	-0.0106	-0.0275
38.000	0.0188	0.0118	0.0027	-0.0117	-0.0291
40.000	0.0193	0.0117	0.0022	-0.0128	-0.0302

(c) マッハ数3.0

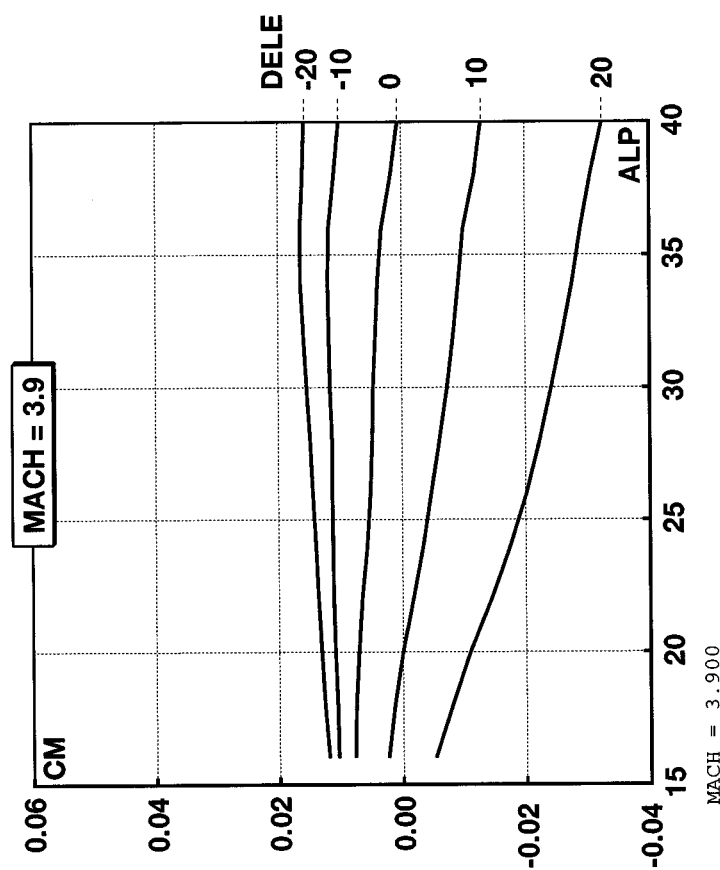


ALP	DELE -20.000	-10.000	0.000	10.000	20.000
16.000	0.0163	0.0130	0.0076	0.0015	-0.0088
18.000	0.0182	0.0147	0.0089	0.0022	-0.0088
20.000	0.0198	0.0160	0.0096	0.0024	-0.0091
22.000	0.0207	0.0166	0.0099	0.0022	-0.0098
24.000	0.0216	0.0171	0.0102	0.0018	-0.0106
26.000	0.0223	0.0176	0.0101	0.0012	-0.0116
28.000	0.0233	0.0181	0.0102	0.0008	-0.0123
30.000	0.0246	0.0193	0.0108	0.0011	-0.0126
32.000	0.0266	0.0209	0.0119	0.0018	-0.0122
34.000	0.0286	0.0227	0.0134	0.0025	-0.0117
36.000	0.0306	0.0244	0.0147	0.0034	-0.0109
38.000	0.0324	0.0260	0.0158	0.0038	-0.0105
40.000	0.0338	0.0269	0.0164	0.0039	-0.0101

(b) マッハ数2.0

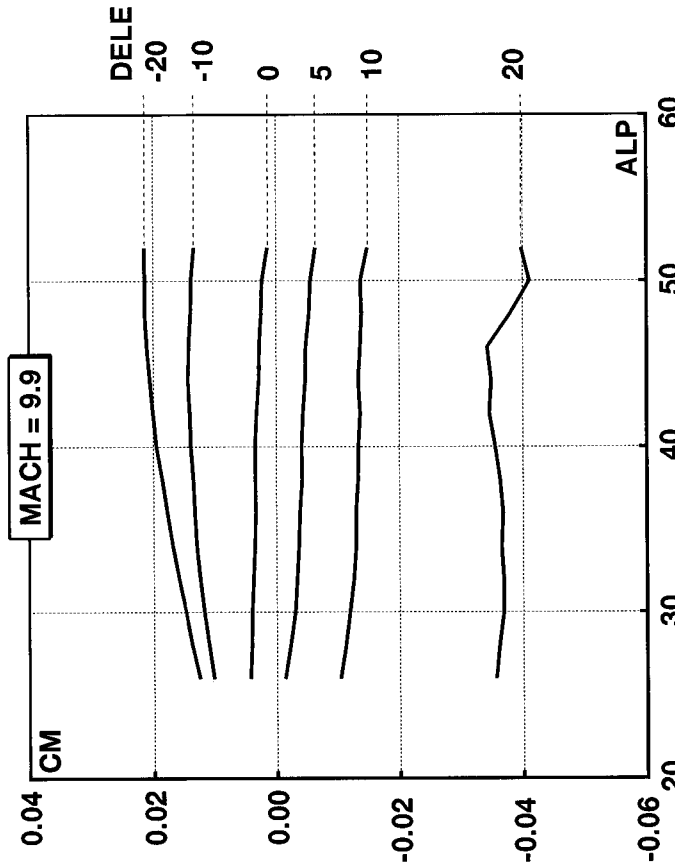


(d) マッハ数3.9



(e) マッハ数5.0

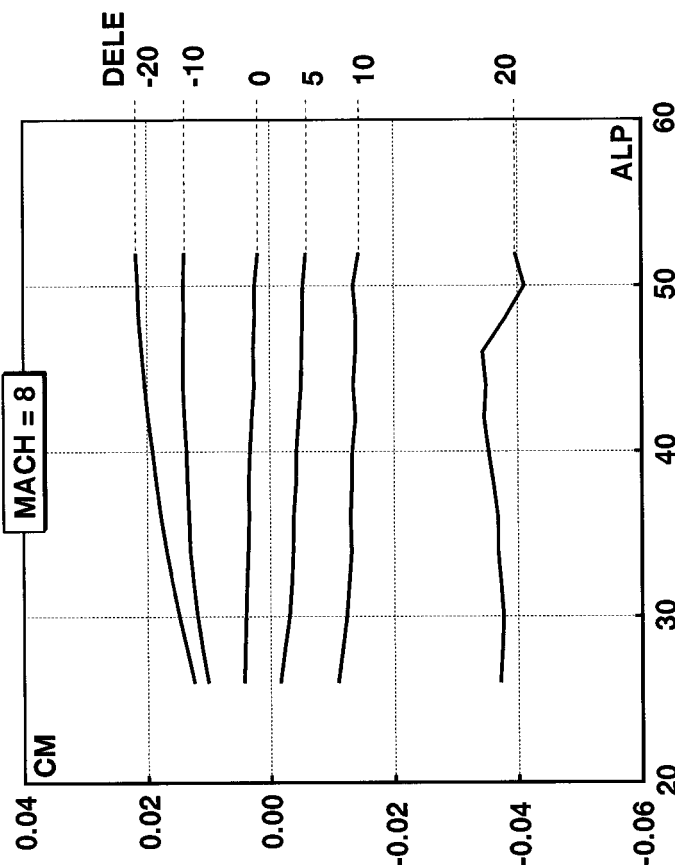




MACH = 9.900

ALP	DELE -20.000	-10.000	0.000	5.000	10.000	20.000
26.000	0.0125	0.0102	0.0043	-0.0014	-0.0104	-0.0356
28.000	0.0137	0.0110	0.0041	-0.0022	-0.0112	-0.0362
30.000	0.0148	0.0118	0.0040	-0.0030	-0.0120	-0.0368
32.000	0.0159	0.0124	0.0037	-0.0034	-0.0125	-0.0368
34.000	0.0169	0.0130	0.0036	-0.0036	-0.0130	-0.0365
36.000	0.0178	0.0133	0.0034	-0.0038	-0.0130	-0.0367
38.000	0.0186	0.0136	0.0035	-0.0042	-0.0133	-0.0363
40.000	0.0195	0.0139	0.0035	-0.0041	-0.0134	-0.0355
42.000	0.0201	0.0141	0.0032	-0.0044	-0.0136	-0.0346
44.000	0.0206	0.0144	0.0028	-0.0048	-0.0134	-0.0349
46.000	0.0210	0.0142	0.0027	-0.0049	-0.0136	-0.0342
48.000	0.0213	0.0139	0.0024	-0.0054	-0.0139	-0.0379
50.000	0.0213	0.0138	0.0022	-0.0056	-0.0137	-0.0411
52.000	0.0214	0.0134	0.0014	-0.0064	-0.0149	-0.0397

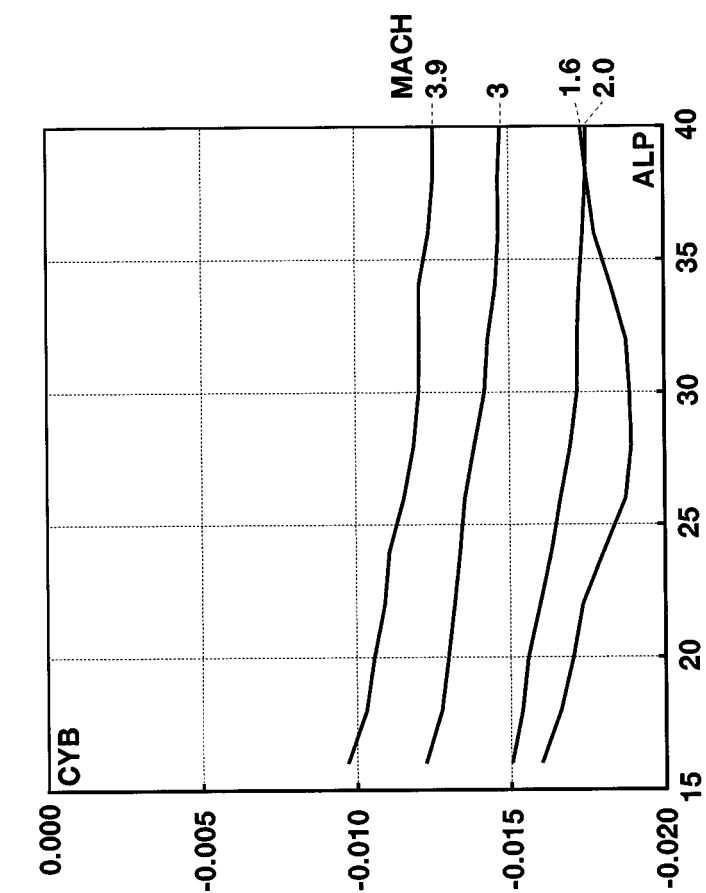
(g) マッハ数9.9



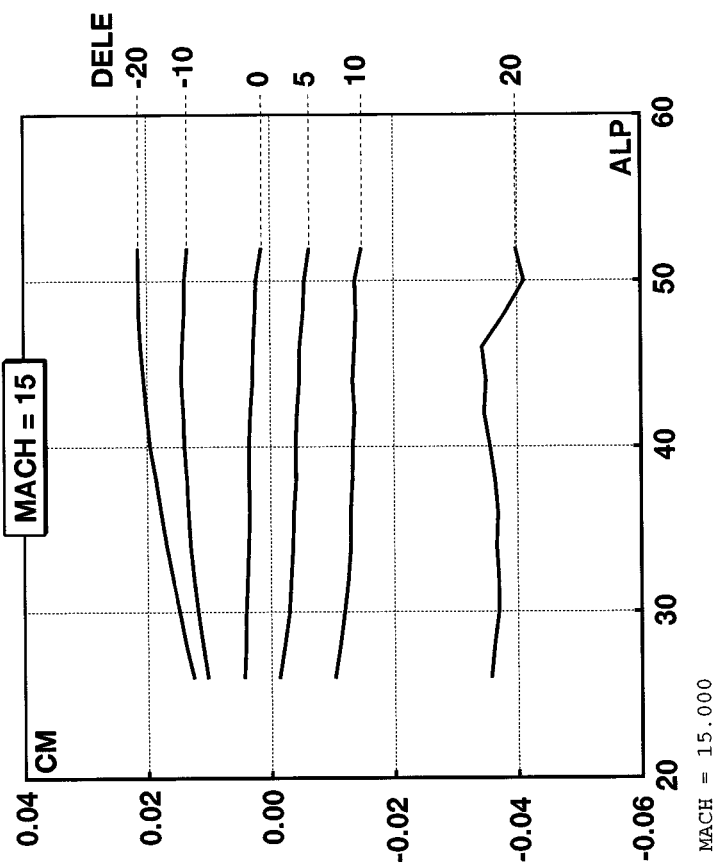
MACH = 8.000

ALP	DELE -20.000	-10.000	0.000	5.000	10.000	20.000
26.000	0.0123	0.0101	0.0042	-0.0016	-0.0109	-0.0371
28.000	0.0136	0.0110	0.0041	-0.0023	-0.0116	-0.0374
30.000	0.0148	0.0118	0.0039	-0.0031	-0.0123	-0.0377
32.000	0.0159	0.0124	0.0037	-0.0035	-0.0127	-0.0372
34.000	0.0169	0.0130	0.0036	-0.0037	-0.0131	-0.0367
36.000	0.0178	0.0132	0.0034	-0.0038	-0.0130	-0.0367
38.000	0.0185	0.0134	0.0035	-0.0042	-0.0132	-0.0361
40.000	0.0192	0.0136	0.0032	-0.0043	-0.0133	-0.0352
42.000	0.0198	0.0138	0.0029	-0.0047	-0.0138	-0.0346
44.000	0.0204	0.0141	0.0025	-0.0050	-0.0135	-0.0349
46.000	0.0208	0.0141	0.0026	-0.0051	-0.0138	-0.0343
48.000	0.0213	0.0139	0.0024	-0.0053	-0.0139	-0.0379
50.000	0.0215	0.0140	0.0024	-0.0054	-0.0135	-0.0411
52.000	0.0218	0.0138	0.0019	-0.0059	-0.0144	-0.0396

(f) マッハ数8.0



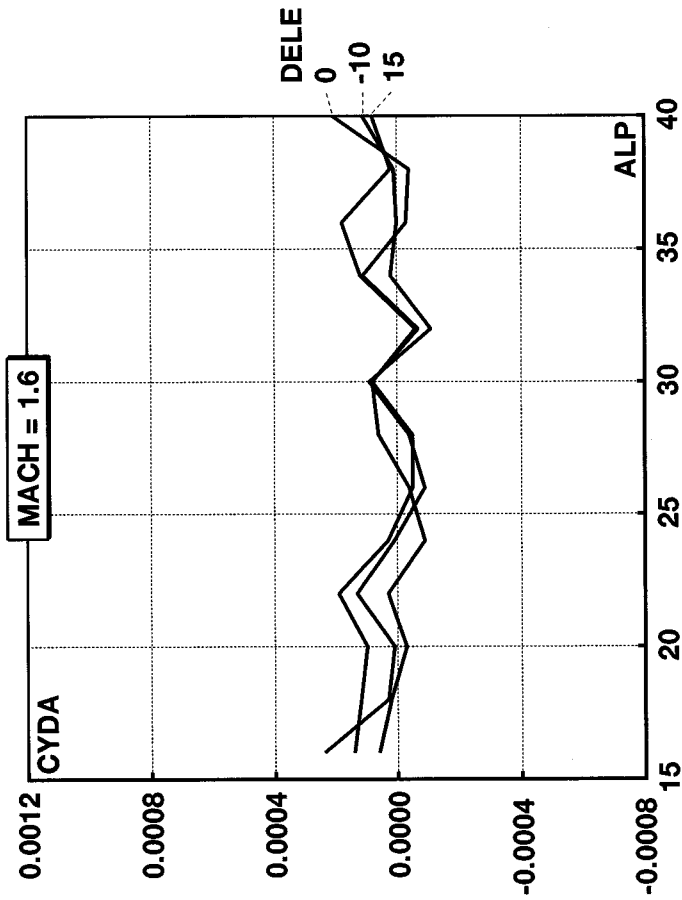
MACH	1.600	2.000	3.000	3.900
ALP	16.000-0.01599-0.01502-0.01225-0.00970	18.000-0.01662-0.01536-0.01276-0.01032	20.000-0.01702-0.01556-0.01300-0.01060	22.000-0.01734-0.01594-0.01319-0.01094
	24.000-0.01803-0.01633-0.01339-0.01110	26.000-0.01874-0.01664-0.01353-0.01157	28.000-0.01894-0.01696-0.01385-0.01191	30.000-0.01887-0.01718-0.01418-0.01208
	32.000-0.01877-0.01719-0.01430-0.01210	34.000-0.01830-0.01726-0.01454-0.01209	36.000-0.01776-0.01738-0.01466-0.01241	38.000-0.01754-0.01748-0.01464-0.01257
	40.000-0.01733-0.01750-0.01473-0.01257			



DELE	-20.000	-10.000	0.000	5.000	10.000	20.000								
ALP	26.000 0.0125 0.0102 0.0043 -0.0014 -0.0104 -0.0356	28.000 0.0137 0.0110 0.0041 -0.0022 -0.0112 -0.0362	30.000 0.0148 0.0118 0.0040 -0.0030 -0.0120 -0.0368	32.000 0.0159 0.0124 0.0037 -0.0034 -0.0125 -0.0368	34.000 0.0169 0.0130 0.0036 -0.0036 -0.0130 -0.0365	36.000 0.0178 0.0133 0.0034 -0.0038 -0.0130 -0.0367	38.000 0.0186 0.0136 0.0035 -0.0042 -0.0133 -0.0363	40.000 0.0195 0.0139 0.0035 -0.0041 -0.0134 -0.0355	42.000 0.0201 0.0141 0.0032 -0.0044 -0.0136 -0.0346	44.000 0.0206 0.0144 0.0028 -0.0048 -0.0134 -0.0349	46.000 0.0210 0.0142 0.0027 -0.0049 -0.0136 -0.0342	48.000 0.0213 0.0139 0.0024 -0.0054 -0.0139 -0.0379	50.000 0.0213 0.0138 0.0022 -0.0056 -0.0137 -0.0411	52.000 0.0214 0.0134 0.0014 -0.0064 -0.0149 -0.0397

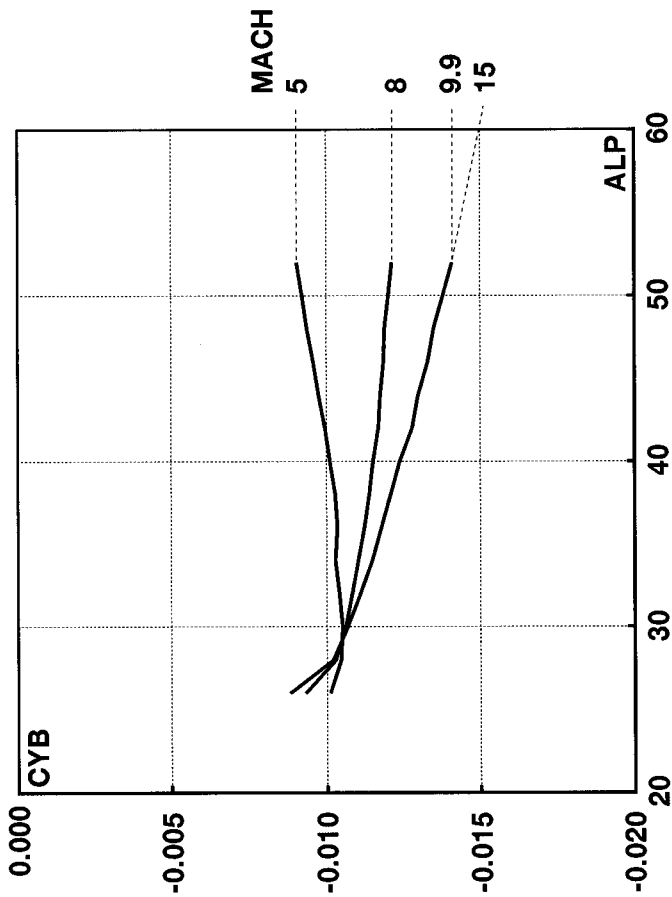
図 C-4 横力係数 (a) 横滑り角に対する微係数、マッハ数 1.6 から 3.9

(h) マッハ数 15.0



MACH = 1.600

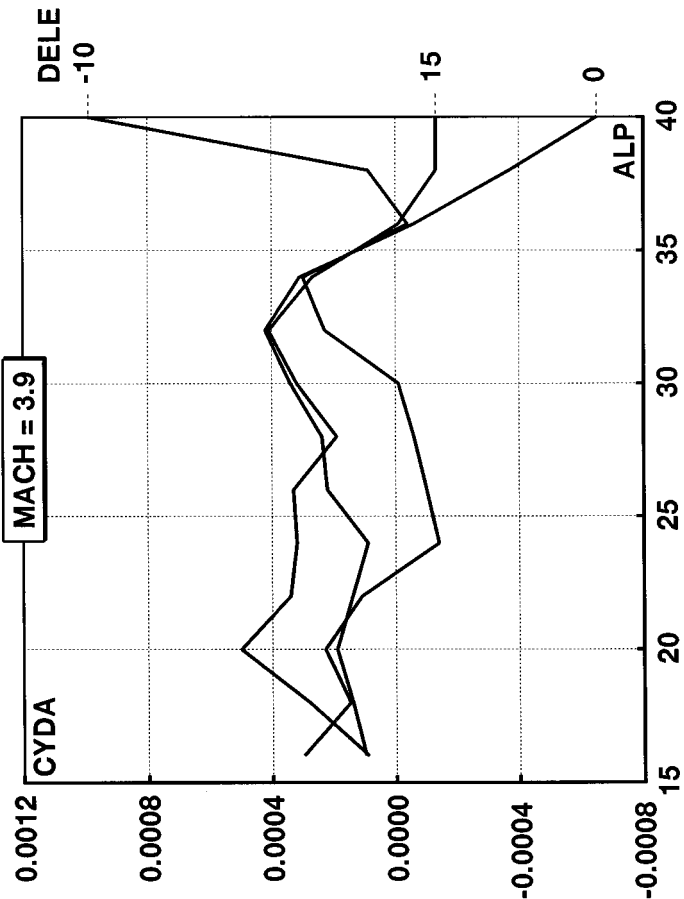
ALP	DELE -10.000	0.000	15.000
16.000	0.00024	0.00014	0.00006
18.000	0.00003	0.00012	0.00002
20.000	0.00001	0.00010	-0.00003
22.000	0.00013	0.00019	0.00003
24.000	0.00001	0.00003	-0.00009
26.000	-0.00009	-0.00005	-0.00004
28.000	-0.00004	-0.00005	0.00006
30.000	0.00009	0.00008	0.00008
32.000	-0.00011	-0.00007	-0.00006
34.000	0.00002	0.00011	0.00012
36.000	0.00000	-0.00003	0.00018
38.000	0.00001	-0.00004	0.00002
40.000	0.00011	0.00021	0.00008



MACH	5.000	8.000	9.900	15.000
26.000	-0.01011	-0.00931	-0.00880	-0.00880
28.000	-0.01046	-0.01030	-0.01020	-0.01020
30.000	-0.01050	-0.01062	-0.01070	-0.01070
32.000	-0.01041	-0.01083	-0.01110	-0.01110
34.000	-0.01029	-0.01103	-0.01150	-0.01150
36.000	-0.01035	-0.01124	-0.01180	-0.01180
38.000	-0.01030	-0.01140	-0.01210	-0.01210
40.000	-0.01012	-0.01152	-0.01240	-0.01240
42.000	-0.00996	-0.01170	-0.01280	-0.01280
44.000	-0.00976	-0.01175	-0.01300	-0.01300
46.000	-0.00959	-0.01186	-0.01330	-0.01330
48.000	-0.00939	-0.01191	-0.01350	-0.01350
50.000	-0.00921	-0.01202	-0.01380	-0.01380
52.000	-0.00904	-0.01214	-0.01410	-0.01410

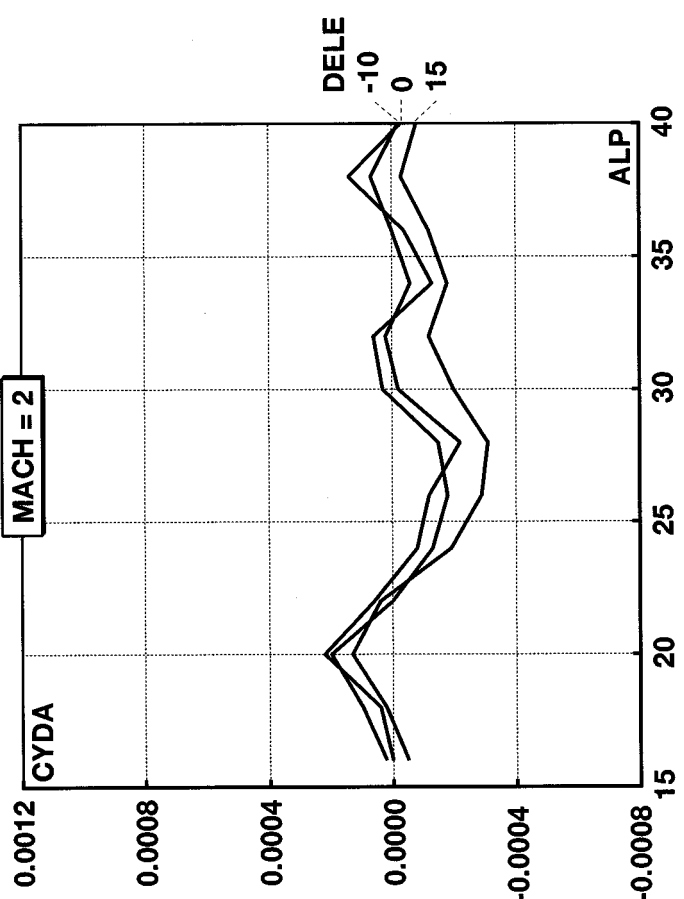
(c) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 1.6

(b) 横滑り角に対する微係数、マッハ数 1.6 から 3.9



MACH = 3.900

ALP	DELE -10.000	0.000	15.000
16.000	0.00030	0.00010	0.00009
18.000	0.00015	0.00014	0.00028
20.000	0.00023	0.00019	0.00050
22.000	0.00011	0.00014	0.00034
24.000	-0.00014	0.00009	0.00032
26.000	-0.00010	0.00022	0.00033
28.000	-0.00006	0.00024	0.00019
30.000	-0.00001	0.00034	0.00032
32.000	0.00023	0.00042	0.00041
34.000	0.00030	0.00031	0.00027
36.000	-0.00004	-0.00006	-0.00001
38.000	0.00009	-0.00037	-0.00013
40.000	0.00099	-0.00065	-0.00013

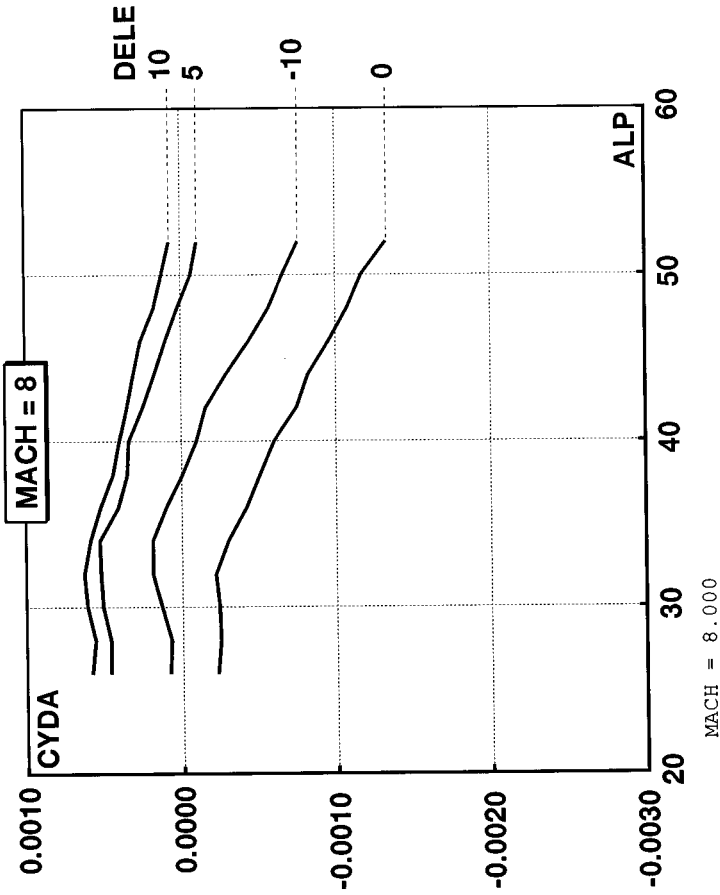


MACH = 2.000

ALP	DELE -10.000	0.000	15.000
16.000	0.00000	0.00002	-0.00005
18.000	0.00004	0.00010	0.00002
20.000	0.00022	0.00020	0.00013
22.000	0.00006	0.00000	0.00004
24.000	-0.00008	-0.00013	-0.00019
26.000	-0.00012	-0.00018	-0.00029
28.000	-0.00022	-0.00015	-0.00031
30.000	-0.00002	0.00003	-0.00020
32.000	0.00002	0.00006	-0.00012
34.000	-0.00006	-0.00013	-0.00018
36.000	0.00000	-0.00004	-0.00012
38.000	0.00007	0.00014	-0.00003
40.000	-0.00002	-0.00003	-0.00008

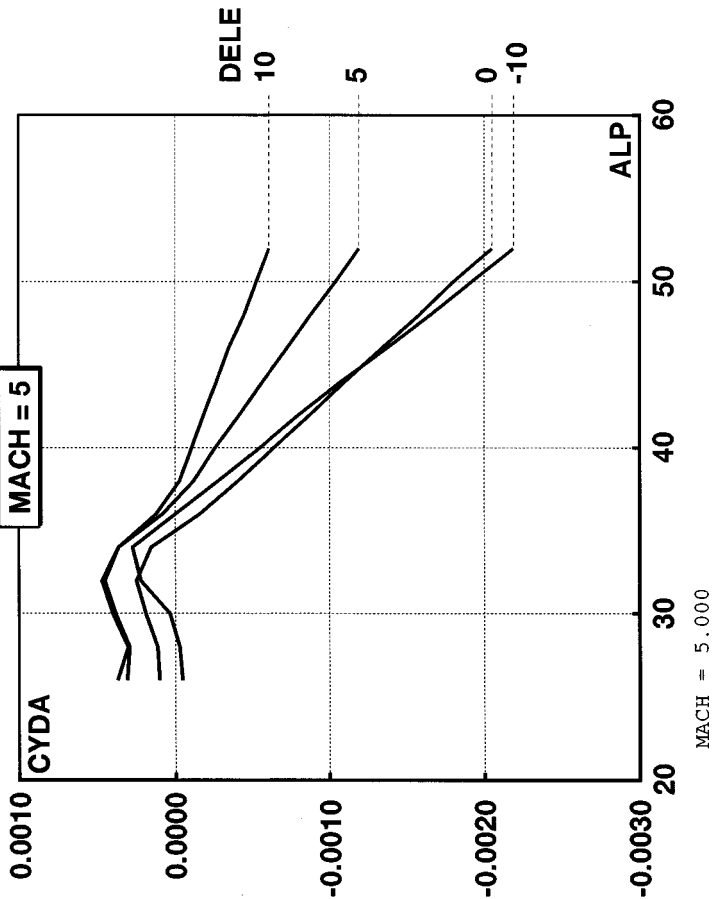
(e) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 3.9

(d) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 2.0



ALP	DELE -10.000	0.000	5.000	10.000
26.000	0.00008	-0.00023	0.00046	0.00058
28.000	0.00007	-0.00025	0.00046	0.00056
30.000	0.00013	-0.00024	0.00051	0.00061
32.000	0.00019	-0.00022	0.00052	0.00063
34.000	0.00019	-0.00030	0.00053	0.00059
36.000	0.00010	-0.00042	0.00041	0.00052
38.000	-0.00001	-0.00051	0.00035	0.00044
40.000	-0.00010	-0.00060	0.00034	0.00040
42.000	-0.00016	-0.00075	0.00025	0.00035
44.000	-0.00029	-0.00082	0.00017	0.00031
46.000	-0.00044	-0.00096	0.00010	0.00026
48.000	-0.00057	-0.00108	0.00002	0.00017
50.000	-0.00066	-0.00117	-0.00007	0.00012
52.000	-0.00076	-0.00133	-0.00011	0.00007

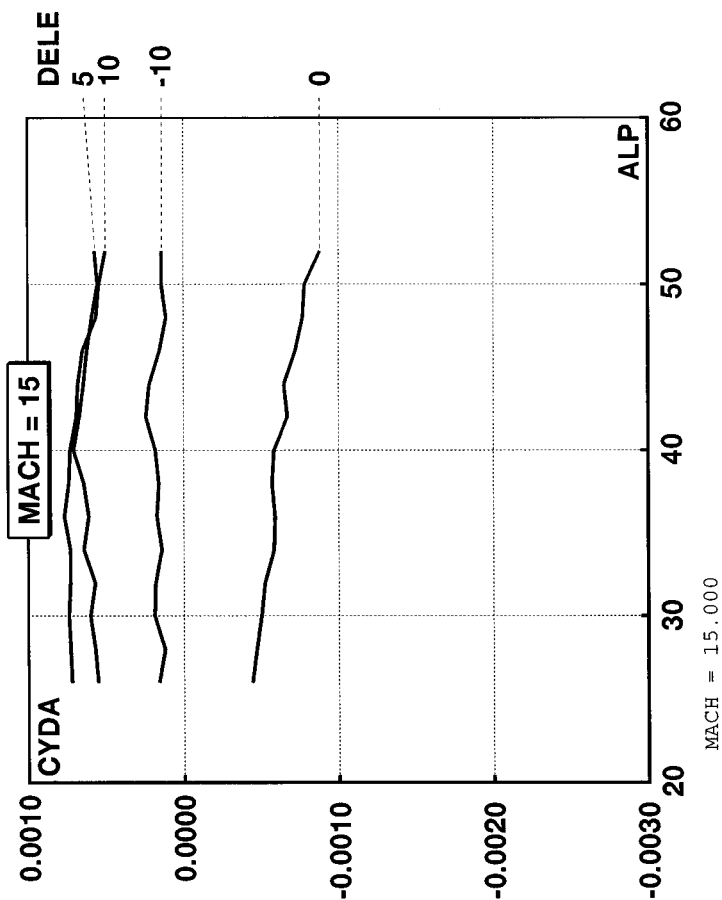
(g) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 8.0



ALP	DELE -10.000	0.000	5.000	10.000
26.000	-0.00005	0.00010	0.00031	0.00037
28.000	-0.00003	0.00011	0.00029	0.00030
30.000	0.00003	0.00019	0.00038	0.00040
32.000	0.00022	0.00025	0.00045	0.00047
34.000	0.00027	0.00015	0.00036	0.00036
36.000	0.00000	-0.00016	0.00008	0.00012
38.000	-0.00028	-0.00041	-0.00012	-0.00003
40.000	-0.00055	-0.00064	-0.00026	-0.00011
42.000	-0.00081	-0.00088	-0.00042	-0.00019
44.000	-0.00108	-0.00110	-0.00057	-0.00027
46.000	-0.00137	-0.00134	-0.00073	-0.00035
48.000	-0.00165	-0.00158	-0.00088	-0.00045
50.000	-0.00192	-0.00180	-0.00104	-0.00053
52.000	-0.00219	-0.00205	-0.00119	-0.00061

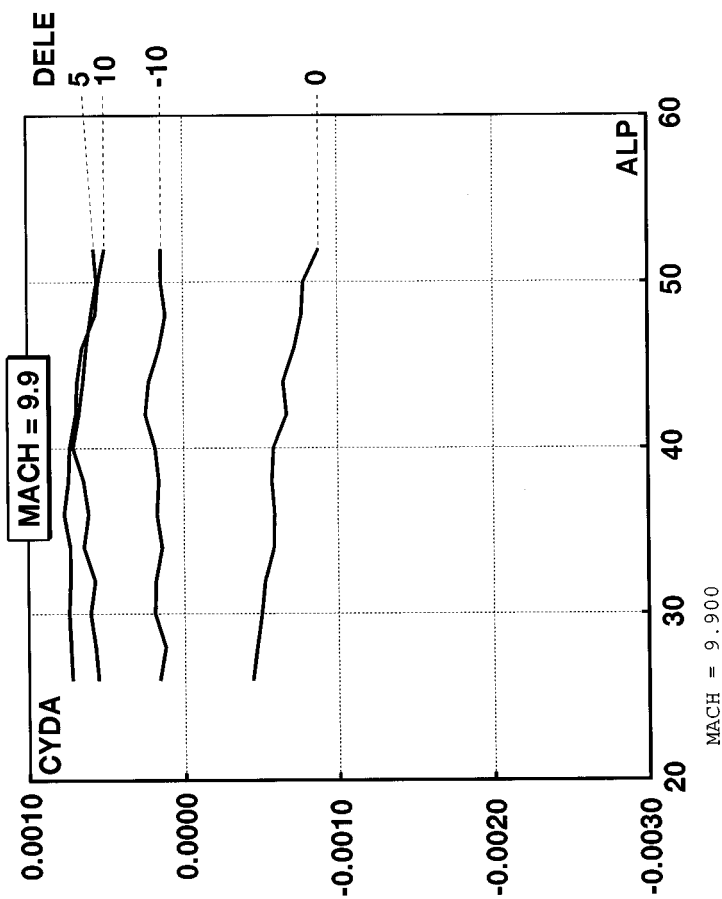
(f) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 5.0





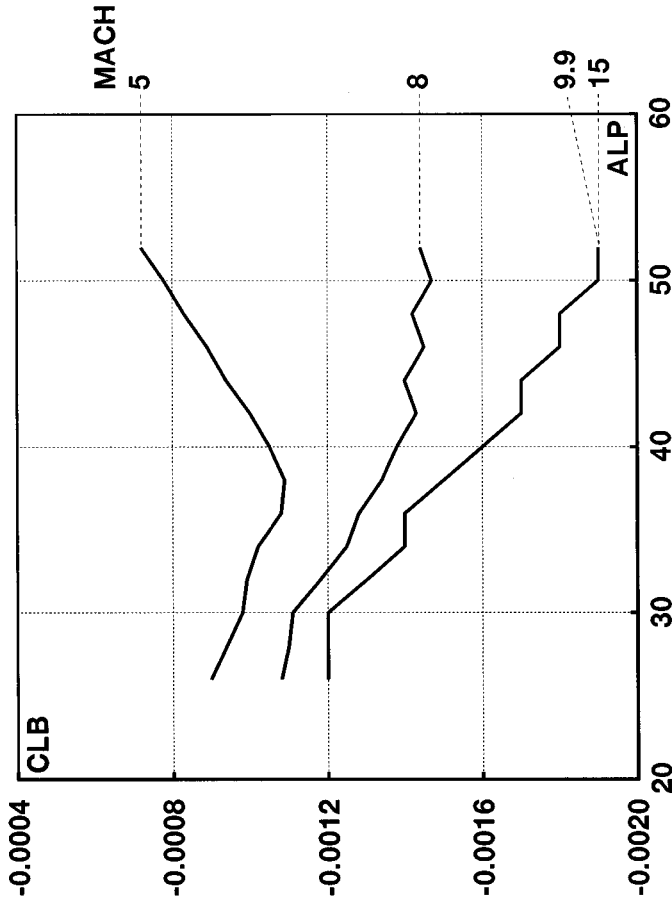
ALP	DELE -10.000	0.000	5.000	10.000
26.000	0.00016	-0.00044	0.00055	0.00072
28.000	0.00012	-0.00047	0.00057	0.00073
30.000	0.00019	-0.00050	0.00060	0.00074
32.000	0.00018	-0.00052	0.00057	0.00073
34.000	0.00014	-0.00058	0.00064	0.00073
36.000	0.00017	-0.00059	0.00061	0.00077
38.000	0.00016	-0.00057	0.00064	0.00074
40.000	0.00018	-0.00058	0.00071	0.00073
42.000	0.00024	-0.00067	0.00067	0.00069
44.000	0.00022	-0.00065	0.00064	0.00068
46.000	0.00015	-0.00072	0.00062	0.00065
48.000	0.00011	-0.00077	0.00059	0.00056
50.000	0.00014	-0.00078	0.00055	0.00054
52.000	0.00014	-0.00088	0.00057	0.00050

(i) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 15.0



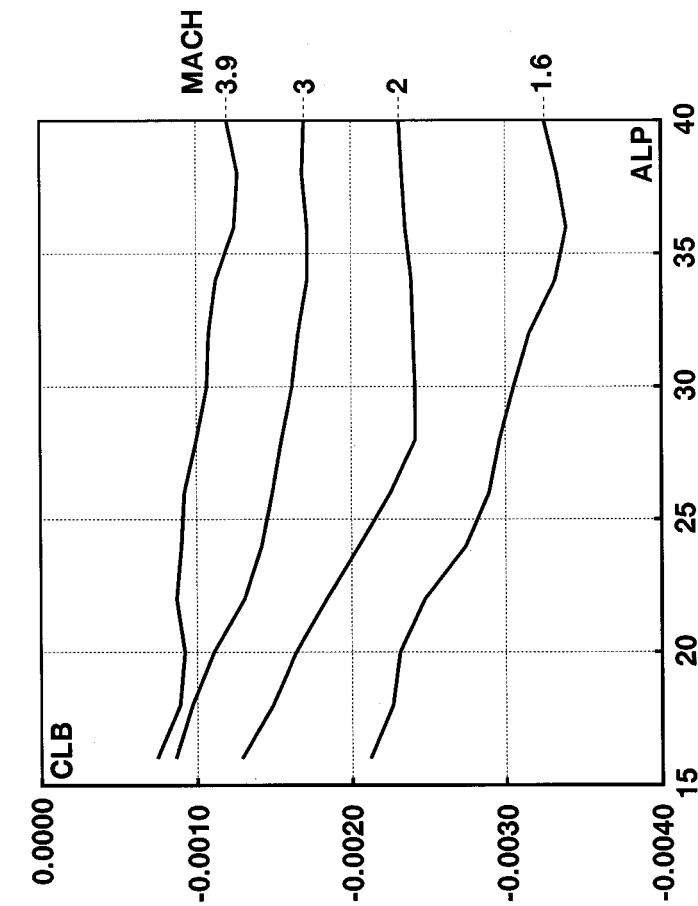
ALP	DELE -10.000	0.000	5.000	10.000
26.000	0.00016	-0.00044	0.00055	0.00072
28.000	0.00012	-0.00047	0.00057	0.00073
30.000	0.00019	-0.00050	0.00060	0.00074
32.000	0.00018	-0.00052	0.00057	0.00073
34.000	0.00014	-0.00058	0.00064	0.00073
36.000	0.00017	-0.00059	0.00061	0.00077
38.000	0.00016	-0.00057	0.00064	0.00074
40.000	0.00018	-0.00058	0.00071	0.00073
42.000	0.00024	-0.00067	0.00067	0.00069
44.000	0.00022	-0.00065	0.00064	0.00068
46.000	0.00015	-0.00072	0.00062	0.00065
48.000	0.00011	-0.00077	0.00059	0.00056
50.000	0.00014	-0.00078	0.00055	0.00054
52.000	0.00014	-0.00088	0.00057	0.00050

(h) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 9.9



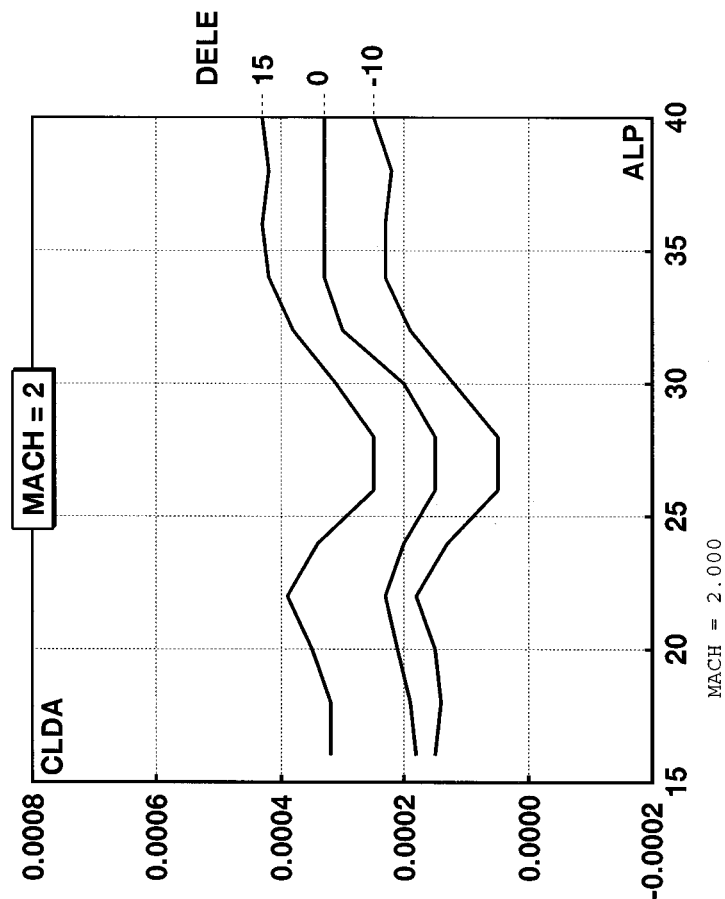
MACH	1.600	2.000	3.000	3.900
ALP	16.000-0.00212-0.00129-0.00086-0.00074	18.000-0.00226-0.00149-0.00097-0.00089	20.000-0.00231-0.00164-0.00111-0.00092	22.000-0.00247-0.00184-0.00131-0.00087
	24.000-0.00274-0.00205-0.00142-0.00090	26.000-0.00289-0.00225-0.00149-0.00092	28.000-0.00296-0.00241-0.00155-0.00100	30.000-0.00305-0.00241-0.00162-0.00107
	32.000-0.00315-0.00240-0.00166-0.00108	34.000-0.00332-0.00239-0.00172-0.00113	36.000-0.00339-0.00235-0.00172-0.00125	38.000-0.00333-0.00233-0.00169-0.00127
	40.000-0.00325-0.00231-0.00170-0.00120			

図 5 ローリングモーメント係数 (a) 横滑り角に関する微係数、マッハ数 1.6 から 3.9



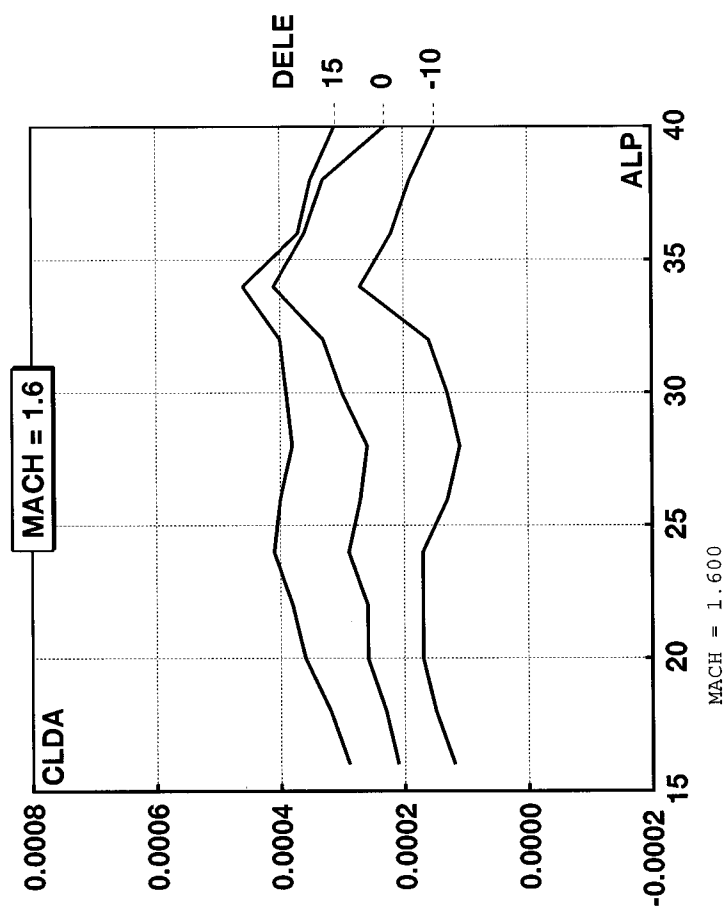
MACH	5.000	8.000	9.900	15.000
ALP	26.000-0.00090-0.00108-0.00120-0.00120	28.000-0.00094-0.00110-0.00120-0.00120	30.000-0.00098-0.00111-0.00120-0.00120	32.000-0.00099-0.00118-0.00130-0.00130
	34.000-0.00102-0.00125-0.00140-0.00140	36.000-0.00108-0.00128-0.00140-0.00140	38.000-0.00109-0.00134-0.00150-0.00150	40.000-0.00105-0.00138-0.00160-0.00160
	42.000-0.00100-0.00143-0.00170-0.00170	44.000-0.00094-0.00140-0.00170-0.00170	46.000-0.00089-0.00145-0.00180-0.00180	48.000-0.00083-0.00142-0.00180-0.00180
	50.000-0.00078-0.00147-0.00190-0.00190	52.000-0.00072-0.00144-0.00190-0.00190		

(b) 横滑り角に関する微係数、マッハ数 5.0 から 15.0



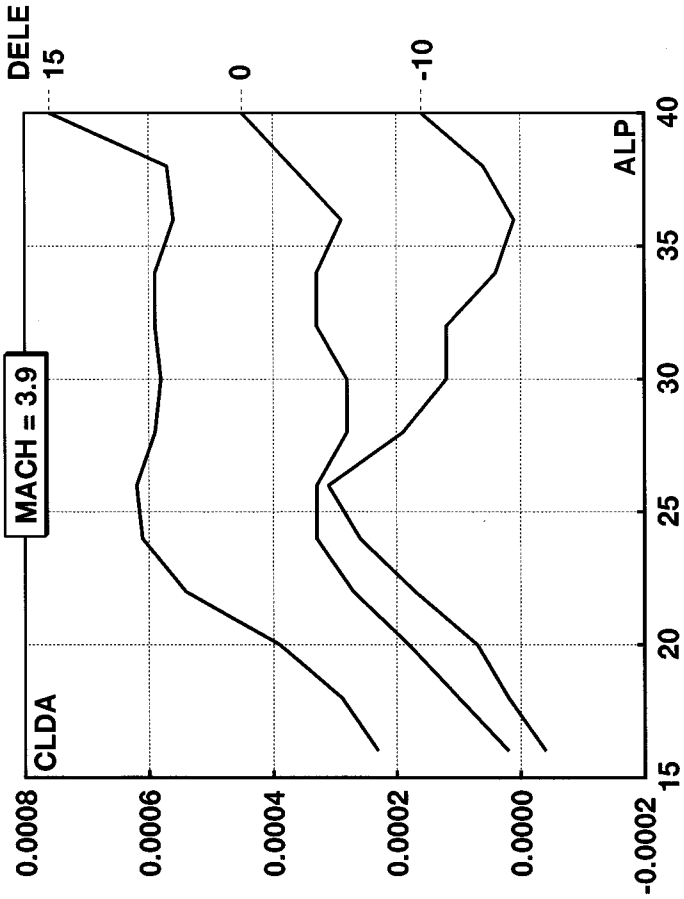
ALP	DELE -10.000	0.000	15.000
16.000	0.00015	0.00018	0.00032
18.000	0.00014	0.00019	0.00032
20.000	0.00015	0.00021	0.00035
22.000	0.00018	0.00023	0.00039
24.000	0.00013	0.00020	0.00034
26.000	0.00005	0.00015	0.00025
28.000	0.00005	0.00015	0.00025
30.000	0.00012	0.00020	0.00031
32.000	0.00019	0.00030	0.00038
34.000	0.00023	0.00033	0.00042
36.000	0.00023	0.00033	0.00043
38.000	0.00022	0.00033	0.00042
40.000	0.00025	0.00033	0.00043

(d) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 2.0



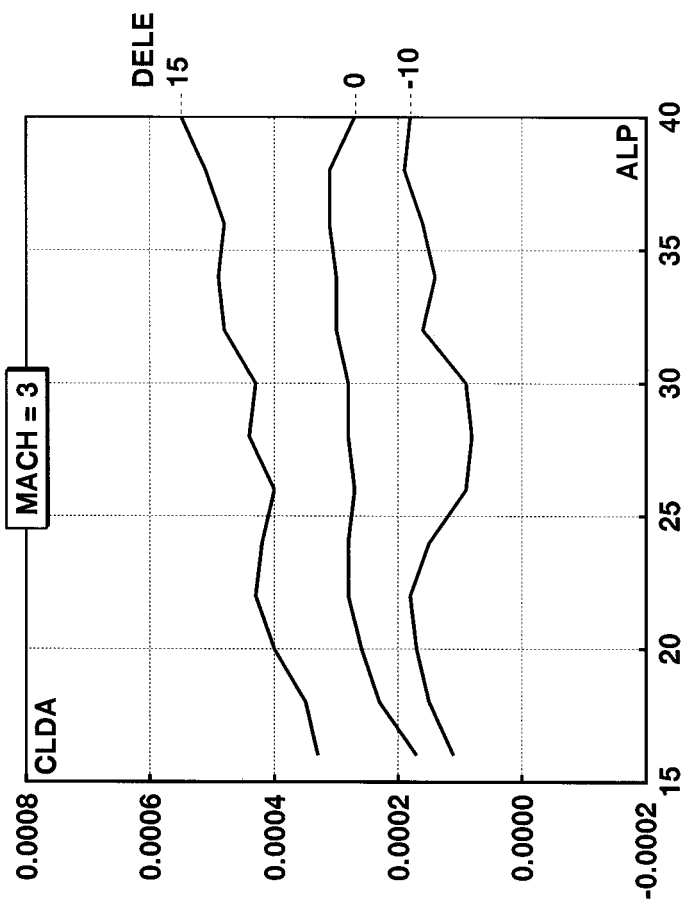
ALP	DELE -10.000	0.000	15.000
16.000	0.00012	0.00021	0.00029
18.000	0.00015	0.00023	0.00032
20.000	0.00017	0.00026	0.00036
22.000	0.00017	0.00026	0.00038
24.000	0.00017	0.00029	0.00041
26.000	0.00013	0.00027	0.00040
28.000	0.00011	0.00026	0.00038
30.000	0.00013	0.00030	0.00039
32.000	0.00016	0.00033	0.00040
34.000	0.00027	0.00041	0.00046
36.000	0.00022	0.00036	0.00037
38.000	0.00019	0.00033	0.00035
40.000	0.00015	0.00023	0.00031

(c) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 1.6



MACH = 3.900

ALP	DELE -10.000	0.000	15.000
16.000	-0.00004	0.00002	0.00023
18.000	0.00002	0.00010	0.00029
20.000	0.00007	0.00018	0.00039
22.000	0.00017	0.00027	0.00054
24.000	0.00026	0.00033	0.00061
26.000	0.00031	0.00033	0.00062
28.000	0.00019	0.00028	0.00059
30.000	0.00012	0.00028	0.00058
32.000	0.00012	0.00033	0.00059
34.000	0.00004	0.00033	0.00059
36.000	0.00001	0.00029	0.00056
38.000	0.00006	0.00037	0.00057
40.000	0.00016	0.00045	0.00076

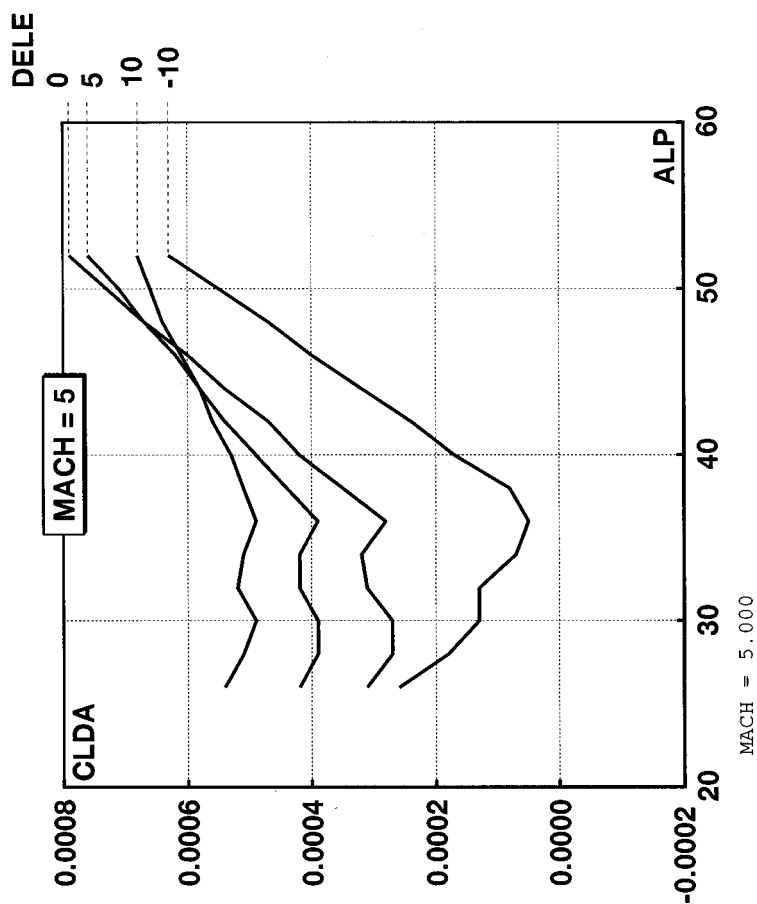


MACH = 3.000

ALP	DELE -10.000	0.000	15.000
16.000	0.00011	0.00017	0.00033
18.000	0.00015	0.00023	0.00035
20.000	0.00017	0.00026	0.00040
22.000	0.00018	0.00028	0.00043
24.000	0.00015	0.00028	0.00042
26.000	0.00009	0.00027	0.00040
28.000	0.00008	0.00028	0.00044
30.000	0.00009	0.00028	0.00043
32.000	0.00016	0.00030	0.00048
34.000	0.00014	0.00030	0.00049
36.000	0.00016	0.00031	0.00048
38.000	0.00019	0.00031	0.00051
40.000	0.00018	0.00027	0.00055

(e) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 3.0

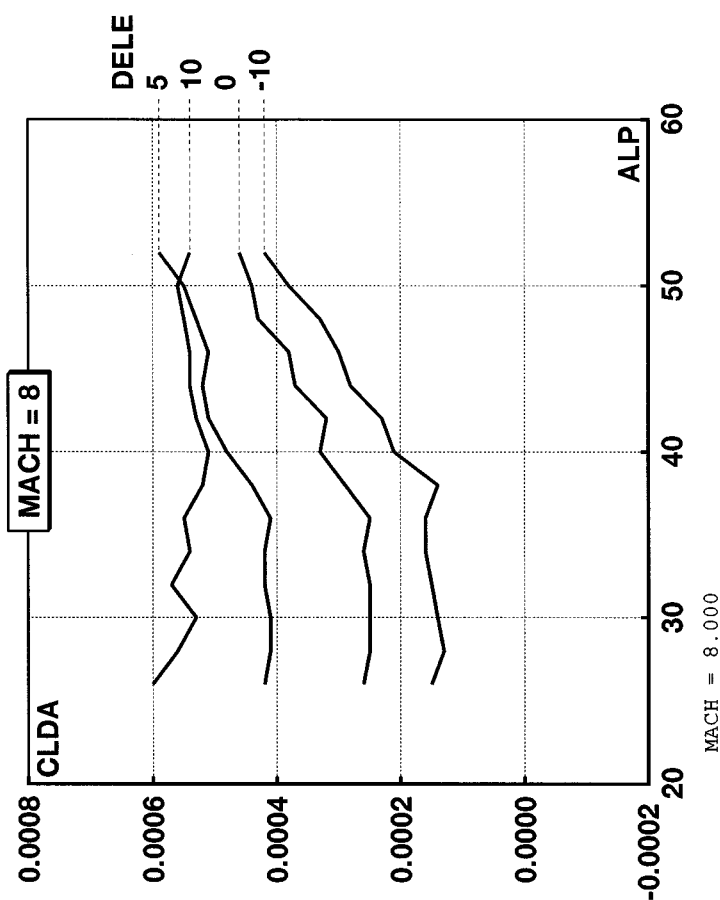
(f) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 3.9



MACH = 5.000

ALP	DELE -10.000	0.000	5.000	10.000
26.000	0.00026	0.00031	0.00042	0.00054
28.000	0.00018	0.00027	0.00039	0.00051
30.000	0.00013	0.00027	0.00039	0.00049
32.000	0.00013	0.00031	0.00042	0.00052
34.000	0.00007	0.00032	0.00042	0.00051
36.000	0.00005	0.00028	0.00039	0.00049
38.000	0.00008	0.00035	0.00044	0.00051
40.000	0.00017	0.00042	0.00049	0.00053
42.000	0.00024	0.00047	0.00054	0.00056
44.000	0.00032	0.00054	0.00058	0.00058
46.000	0.00040	0.00060	0.00062	0.00061
48.000	0.00047	0.00067	0.00067	0.00064
50.000	0.00055	0.00073	0.00071	0.00066
52.000	0.00063	0.00079	0.00076	0.00068

(g) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 5.0

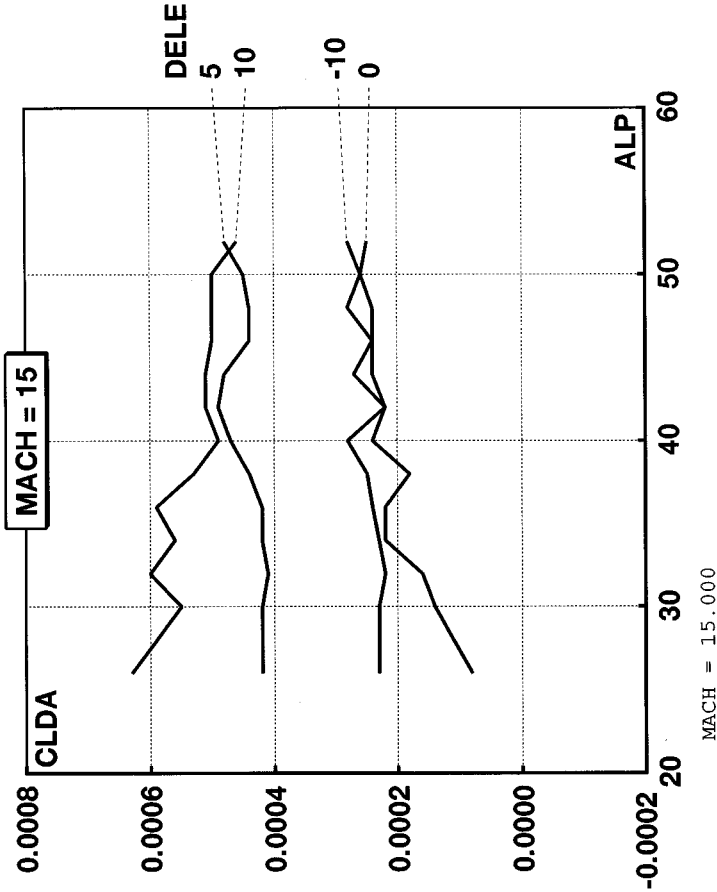


MACH = 8.000

ALP	DELE -10.000	0.000	5.000	10.000
26.000	0.00015	0.00026	0.00042	0.00060
28.000	0.00013	0.00025	0.00041	0.00056
30.000	0.00014	0.00025	0.00041	0.00053
32.000	0.00015	0.00025	0.00042	0.00057
34.000	0.00016	0.00026	0.00042	0.00054
36.000	0.00016	0.00025	0.00041	0.00055
38.000	0.00014	0.00029	0.00044	0.00052
40.000	0.00021	0.00033	0.00048	0.00051
42.000	0.00023	0.00032	0.00051	0.00053
44.000	0.00028	0.00037	0.00052	0.00054
46.000	0.00030	0.00038	0.00051	0.00054
48.000	0.00033	0.00043	0.00053	0.00055
50.000	0.00038	0.00044	0.00055	0.00056
52.000	0.00042	0.00046	0.00059	0.00054

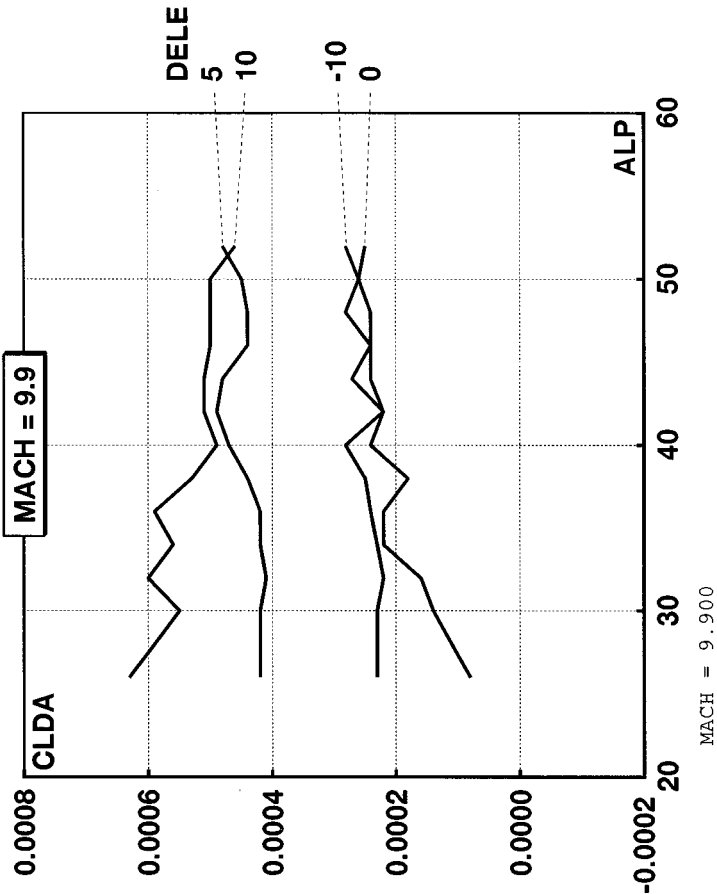
(h) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 8.0





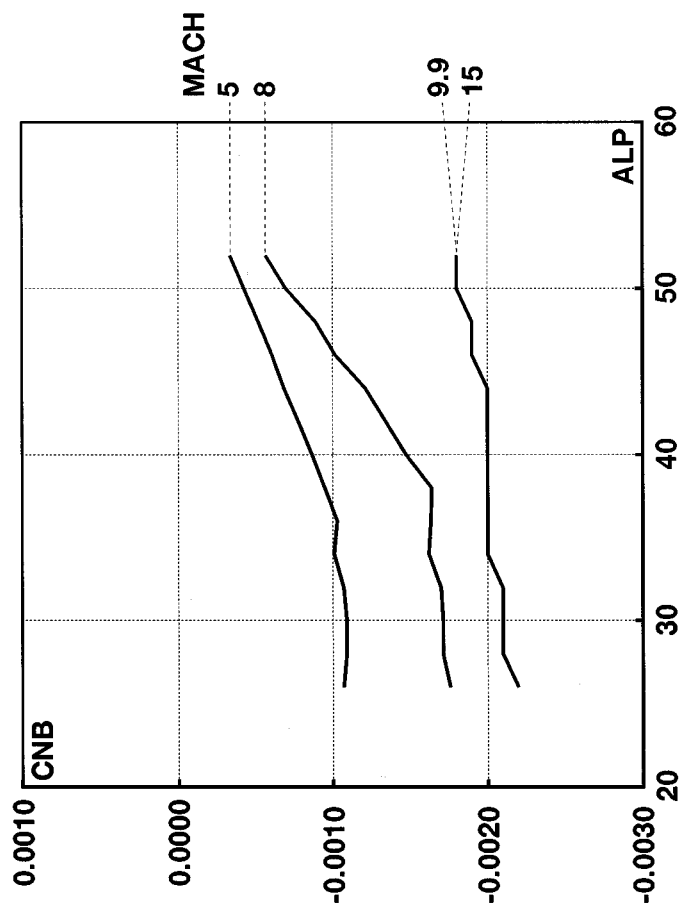
ALP	DELE -10.000	0.000	5.000	10.000
26.000	0.00008	0.00023	0.00042	0.00063
28.000	0.00011	0.00023	0.00042	0.00059
30.000	0.00014	0.00023	0.00042	0.00055
32.000	0.00016	0.00022	0.00041	0.00060
34.000	0.00022	0.00023	0.00042	0.00056
36.000	0.00022	0.00024	0.00042	0.00059
38.000	0.00018	0.00025	0.00044	0.00053
40.000	0.00024	0.00028	0.00047	0.00049
42.000	0.00022	0.00022	0.00049	0.00051
44.000	0.00024	0.00027	0.00048	0.00051
46.000	0.00024	0.00024	0.00044	0.00050
48.000	0.00024	0.00028	0.00044	0.00050
50.000	0.00026	0.00026	0.00045	0.00050
52.000	0.00028	0.00025	0.00048	0.00046

(j) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 15.0

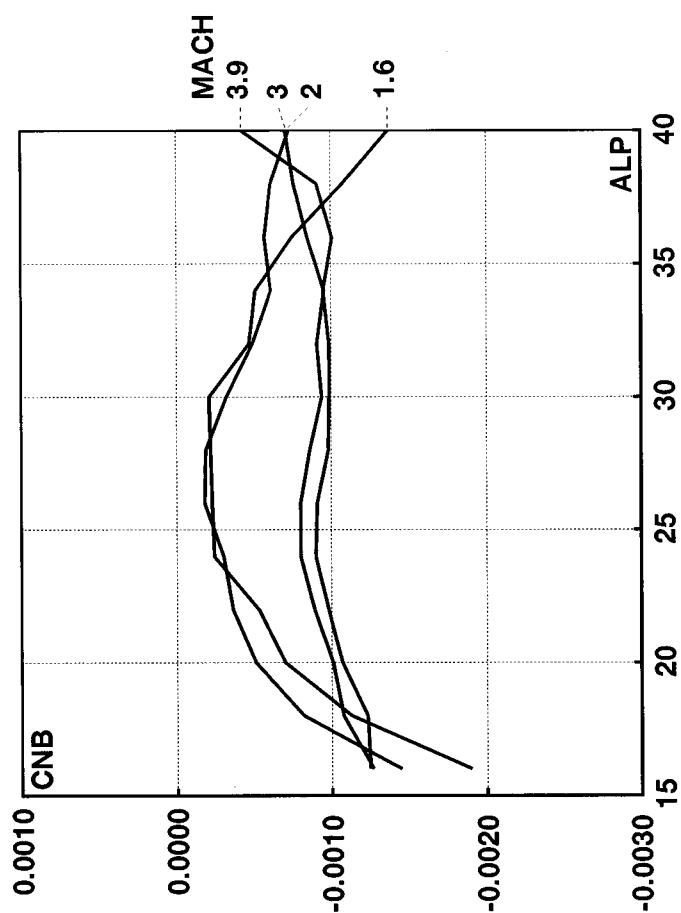


ALP	DELE -10.000	0.000	5.000	10.000
26.000	0.00008	0.00023	0.00042	0.00063
28.000	0.00011	0.00023	0.00042	0.00059
30.000	0.00014	0.00023	0.00042	0.00055
32.000	0.00016	0.00022	0.00041	0.00060
34.000	0.00022	0.00023	0.00042	0.00056
36.000	0.00022	0.00024	0.00042	0.00059
38.000	0.00018	0.00025	0.00044	0.00053
40.000	0.00024	0.00028	0.00047	0.00049
42.000	0.00022	0.00022	0.00049	0.00051
44.000	0.00024	0.00027	0.00048	0.00051
46.000	0.00024	0.00024	0.00044	0.00050
48.000	0.00024	0.00028	0.00044	0.00050
50.000	0.00026	0.00026	0.00045	0.00050
52.000	0.00028	0.00025	0.00048	0.00046

(i) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 9.9



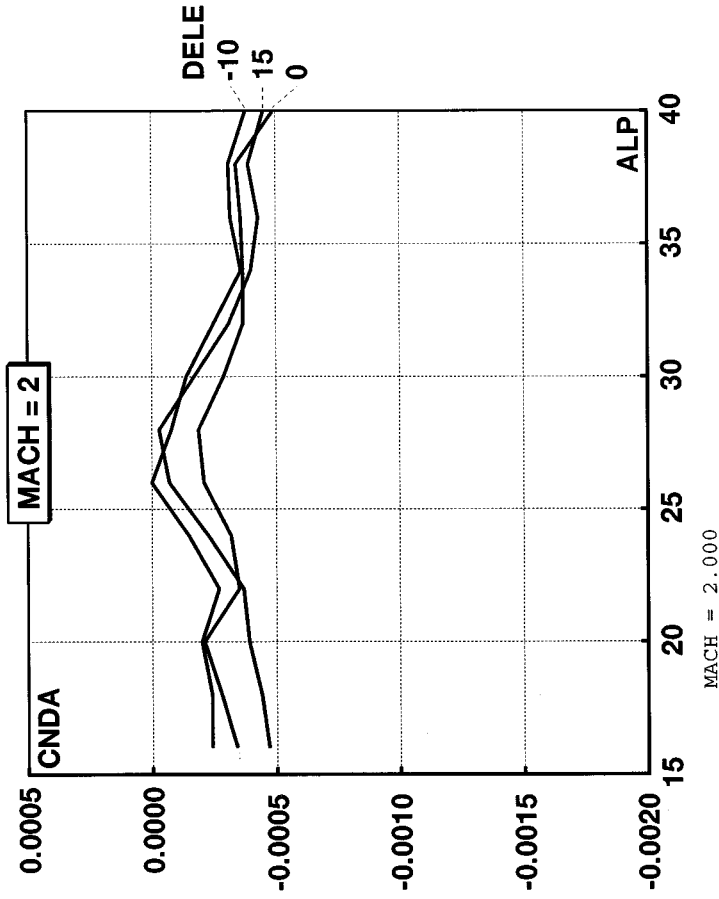
MACH	1.600	2.000	3.000	3.900
ALP	16.000-0.00190-0.00145-0.00127-0.00125	18.000-0.00113-0.00082-0.00108-0.00123	20.000-0.00070-0.00051-0.00101-0.00107	22.000-0.00053-0.00036-0.00089-0.00098
	24.000-0.00024-0.00030-0.00080-0.00090	26.000-0.00023-0.00018-0.00080-0.00091	28.000-0.00022-0.00019-0.00086-0.00098	30.000-0.00021-0.00032-0.00094-0.00099
	32.000-0.00047-0.00049-0.00091-0.00099	34.000-0.00051-0.00061-0.00096-0.00095	36.000-0.00075-0.00057-0.00085-0.00101	38.000-0.00108-0.00061-0.00076-0.00091
	40.000-0.00137-0.00073-0.00071-0.00042			



MACH	5.000	8.000	9.900	15.000
ALP	26.000-0.00107-0.00176-0.00220-0.00220	28.000-0.00109-0.00171-0.00210-0.00210	30.000-0.00109-0.00171-0.00210-0.00210	32.000-0.00107-0.00170-0.00210-0.00210
	34.000-0.00101-0.00162-0.00200-0.00200	36.000-0.00103-0.00163-0.00200-0.00200	38.000-0.00095-0.00164-0.00200-0.00200	40.000-0.00087-0.00147-0.00200-0.00200
	42.000-0.00078-0.00134-0.00200-0.00200	44.000-0.00069-0.00121-0.00200-0.00200	46.000-0.00061-0.00102-0.00190-0.00190	48.000-0.00052-0.00089-0.00190-0.00190
	50.000-0.00043-0.00070-0.00180-0.00180	52.000-0.00034-0.00057-0.00180-0.00180		

図 C-6 ヨーイングモーメント係数 (a) 横滑り角に関する微係数、マッハ数 1.6 から 3.9

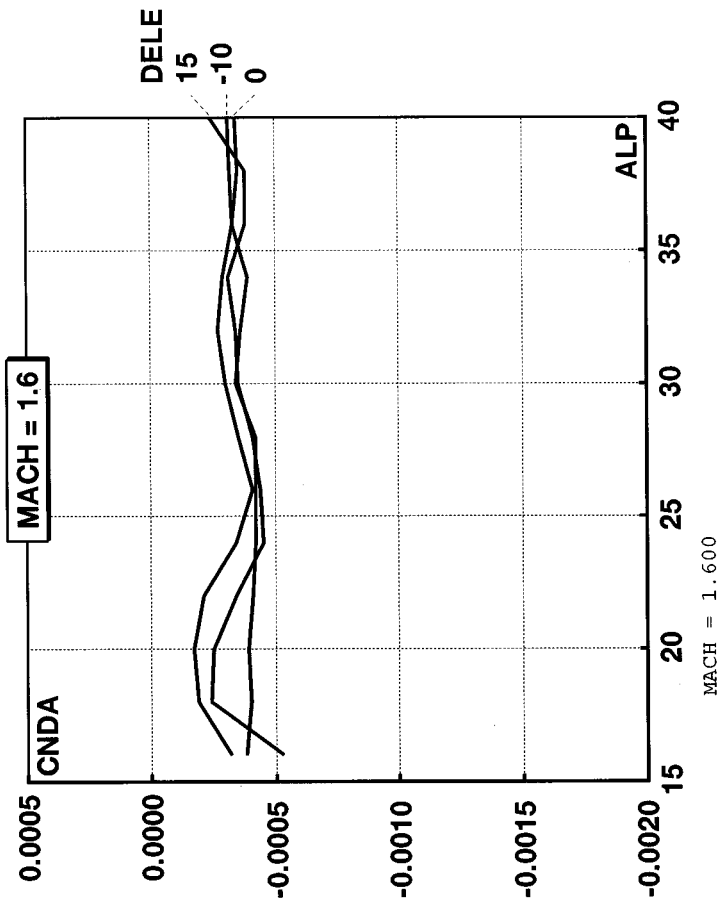
(b) 横滑り角に関する微係数、マッハ数 5.0 から 15.0



MACH = 2.000

ALP	DELE -10.000	0.000	15.000
16.000	-0.00024	-0.00034	-0.00047
18.000	-0.00024	-0.00028	-0.00044
20.000	-0.00020	-0.00021	-0.00039
22.000	-0.00027	-0.00035	-0.00037
24.000	-0.00015	-0.00032	-0.00023
26.000	0.00000	-0.00021	-0.00007
28.000	-0.00008	-0.00019	-0.00003
30.000	-0.00014	-0.00029	-0.00017
32.000	-0.00025	-0.00037	-0.00031
34.000	-0.00036	-0.00037	-0.00040
36.000	-0.00032	-0.00036	-0.00043
38.000	-0.00031	-0.00034	-0.00039
40.000	-0.00038	-0.00049	-0.00045

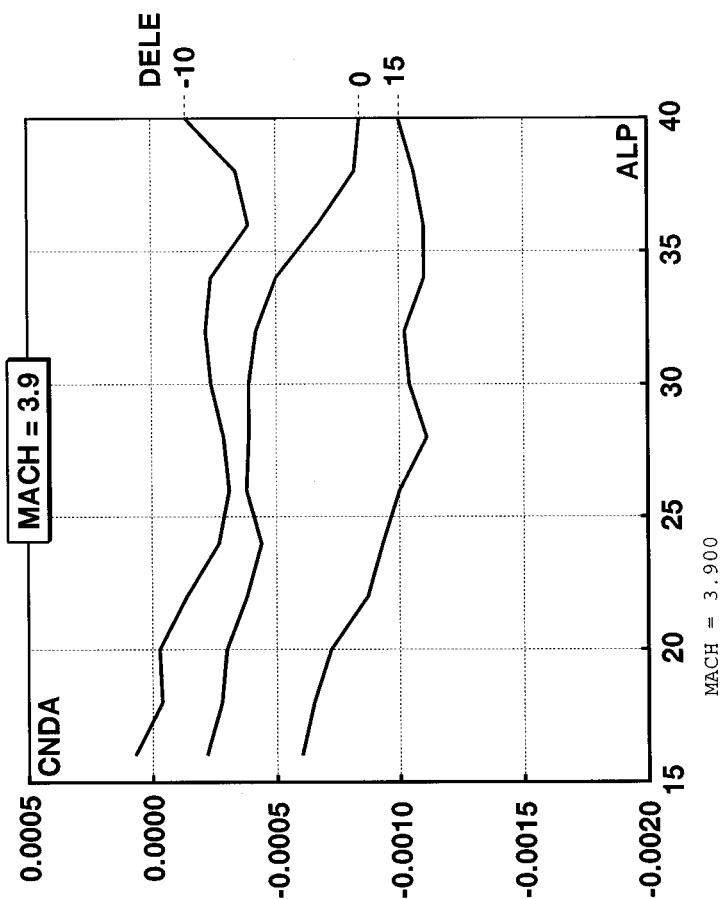
(d) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 2.0



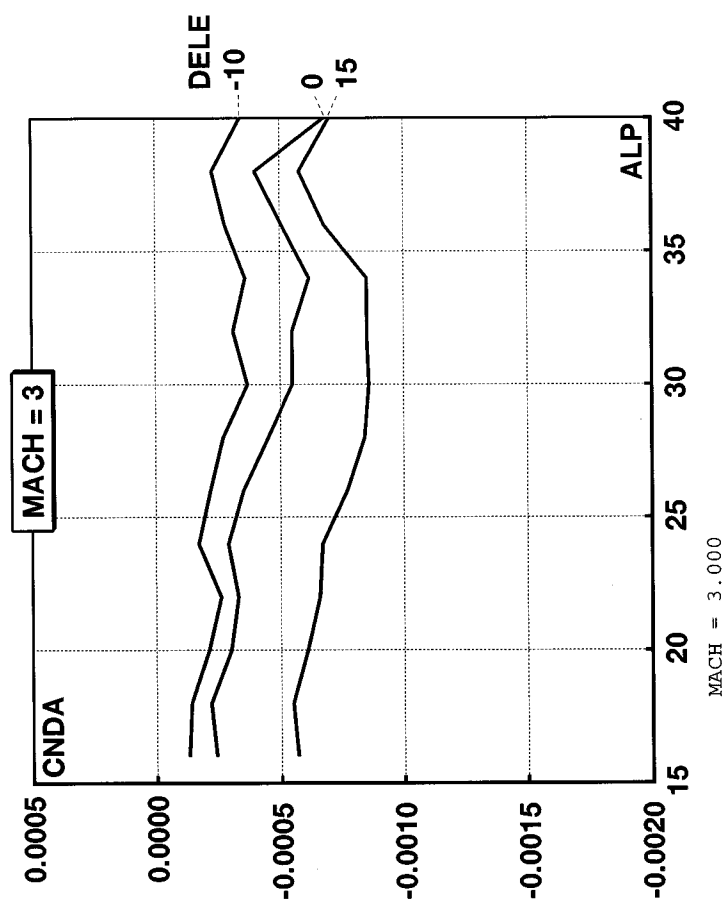
MACH = 1.600

ALP	DELE -10.000	0.000	15.000
16.000	-0.00032	-0.00038	-0.00053
18.000	-0.00019	-0.00040	-0.00024
20.000	-0.00017	-0.00039	-0.00025
22.000	-0.00021	-0.00041	-0.00034
24.000	-0.00034	-0.00042	-0.00045
26.000	-0.00041	-0.00042	-0.00044
28.000	-0.00035	-0.00042	-0.00041
30.000	-0.00030	-0.00034	-0.00035
32.000	-0.00027	-0.00036	-0.00034
34.000	-0.00029	-0.00039	-0.00031
36.000	-0.00033	-0.00033	-0.00038
38.000	-0.00032	-0.00035	-0.00038
40.000	-0.00031	-0.00034	-0.00024

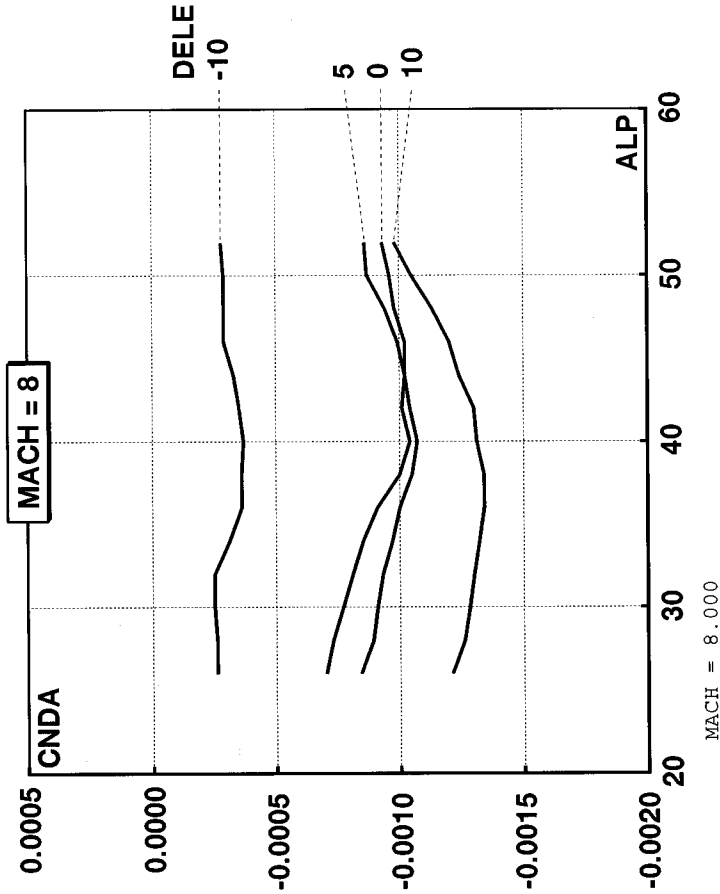
(c) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 1.6



(e) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数3.0



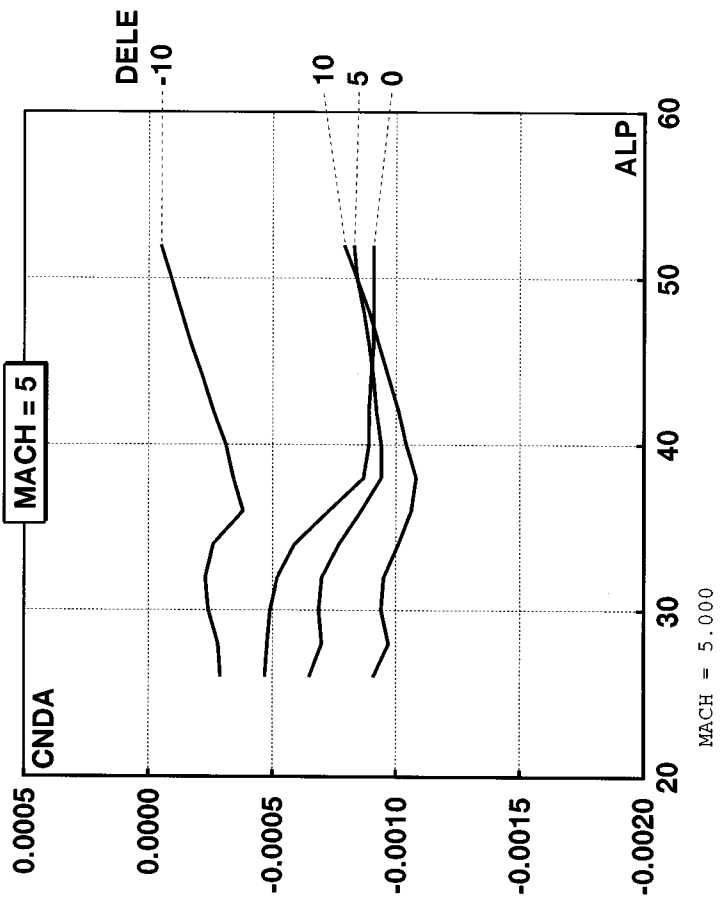
(f) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数3.9



MACH = 8.000

ALP	DELE -10.000	0.000	5.000	10.000
26.000	-0.00026	-0.00070	-0.00084	-0.00121
28.000	-0.00026	-0.00073	-0.00089	-0.00126
30.000	-0.00025	-0.00077	-0.00091	-0.00128
32.000	-0.00025	-0.00081	-0.00093	-0.00130
34.000	-0.00031	-0.00085	-0.00097	-0.00132
36.000	-0.00036	-0.00091	-0.00100	-0.00134
38.000	-0.00036	-0.00100	-0.00105	-0.00134
40.000	-0.00037	-0.00104	-0.00107	-0.00131
42.000	-0.00035	-0.00101	-0.00104	-0.00130
44.000	-0.00033	-0.00102	-0.00102	-0.00124
46.000	-0.00029	-0.00102	-0.00099	-0.00120
48.000	-0.00029	-0.00098	-0.00094	-0.00113
50.000	-0.00029	-0.00096	-0.00087	-0.00105
52.000	-0.00028	-0.00093	-0.00086	-0.00098

(h) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 8.0

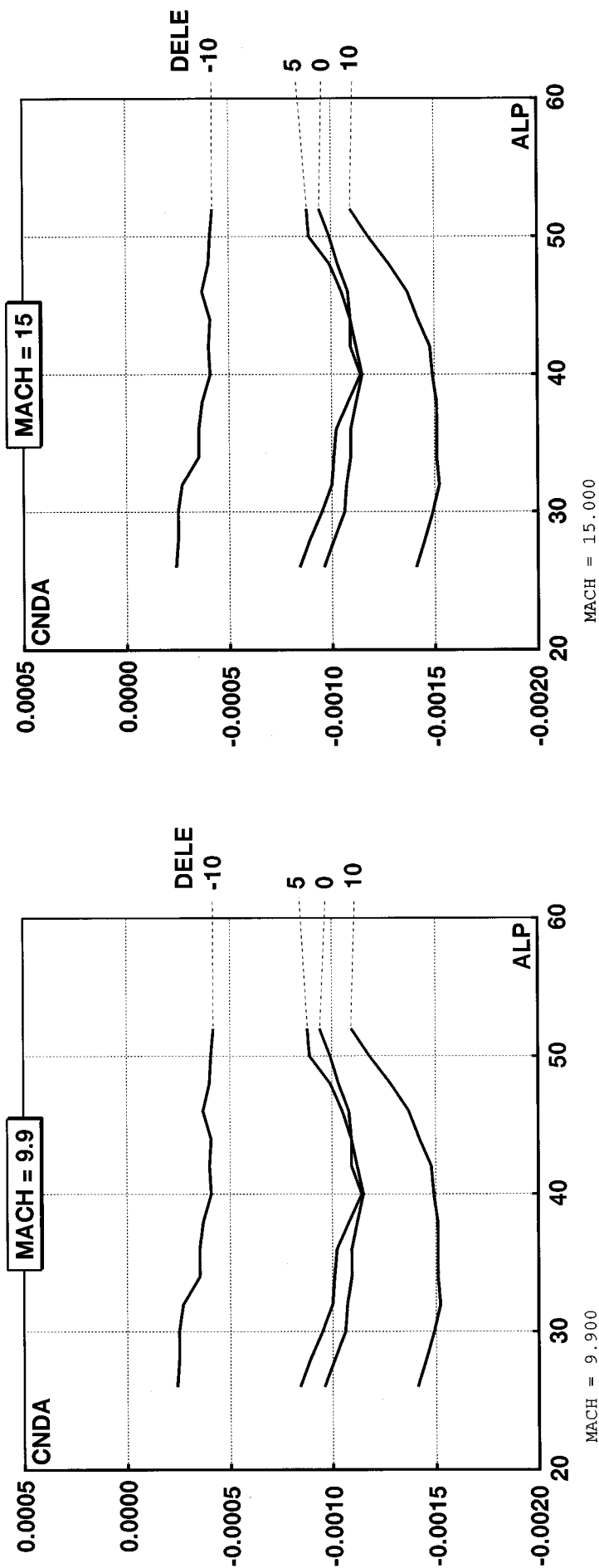


MACH = 5.000

ALP	DELE -10.000	0.000	5.000	10.000
26.000	-0.00029	-0.00047	-0.00065	-0.00091
28.000	-0.00028	-0.00048	-0.00070	-0.00097
30.000	-0.00024	-0.00049	-0.00069	-0.00094
32.000	-0.00023	-0.00052	-0.00070	-0.00095
34.000	-0.00026	-0.00059	-0.00077	-0.00101
36.000	-0.00038	-0.00073	-0.00086	-0.00106
38.000	-0.00034	-0.00087	-0.00094	-0.00108
40.000	-0.00031	-0.00089	-0.00094	-0.00104
42.000	-0.00026	-0.00089	-0.00092	-0.00101
44.000	-0.00022	-0.00090	-0.00091	-0.00097
46.000	-0.00017	-0.00091	-0.00089	-0.00093
48.000	-0.00013	-0.00091	-0.00087	-0.00089
50.000	-0.00009	-0.00091	-0.00084	-0.00084
52.000	-0.00005	-0.00091	-0.00083	-0.00079

(g) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 5.0

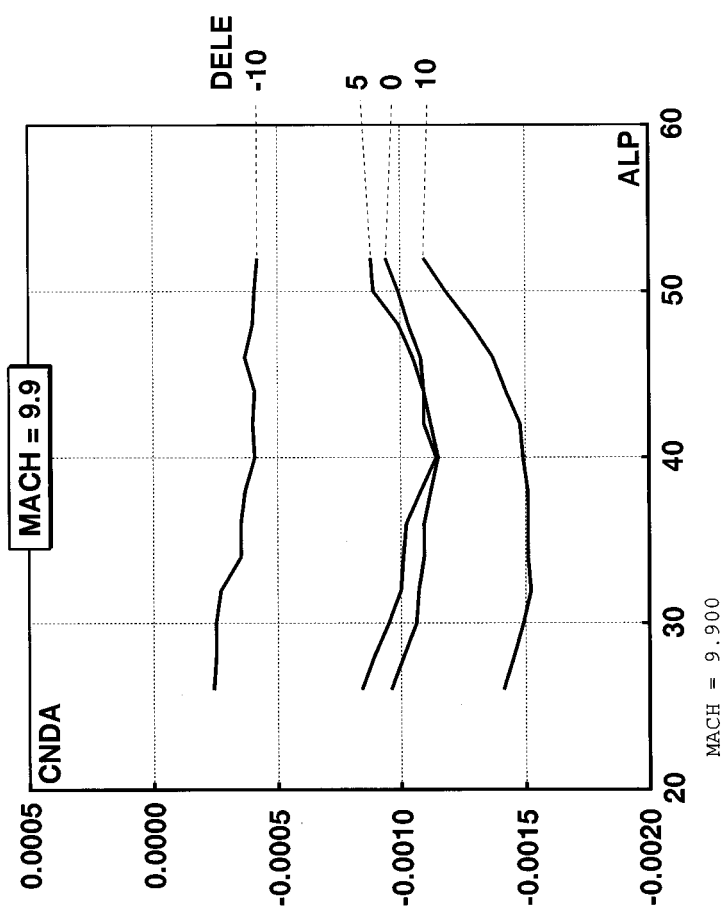




MACH = 15.000

DELE	-10.000	0.000	5.000	10.000
ALP	26.000-0.00024-0.00084-0.00096-0.00141	28.000-0.00025-0.00089-0.00101-0.00145	30.000-0.00025-0.00095-0.00106-0.00149	32.000-0.00027-0.00100-0.00107-0.00152
ALP	34.000-0.00035-0.00101-0.00109-0.00151	36.000-0.00035-0.00102-0.00109-0.00151	38.000-0.00037-0.00108-0.00112-0.00151	40.000-0.00041-0.00114-0.00115-0.00149
ALP	42.000-0.00040-0.00109-0.00112-0.00148	44.000-0.00041-0.00109-0.00109-0.00142	46.000-0.00037-0.00108-0.00105-0.00137	48.000-0.00040-0.00103-0.00099-0.00128
ALP	50.000-0.00041-0.00099-0.00089-0.00118	52.000-0.00042-0.00094-0.00088-0.00109		

(1) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 15.0



MACH = 9.900

DELE	-10.000	0.000	5.000	10.000
ALP	26.000-0.00024-0.00084-0.00096-0.00141	28.000-0.00025-0.00089-0.00101-0.00145	30.000-0.00025-0.00095-0.00106-0.00149	32.000-0.00027-0.00100-0.00107-0.00152
ALP	34.000-0.00035-0.00101-0.00109-0.00151	36.000-0.00035-0.00102-0.00109-0.00151	38.000-0.00037-0.00108-0.00112-0.00151	40.000-0.00041-0.00114-0.00115-0.00149
ALP	42.000-0.00040-0.00109-0.00112-0.00148	44.000-0.00041-0.00109-0.00109-0.00142	46.000-0.00037-0.00108-0.00105-0.00137	48.000-0.00040-0.00103-0.00099-0.00128
ALP	50.000-0.00041-0.00099-0.00089-0.00118	52.000-0.00042-0.00094-0.00088-0.00109		

(1) エルロン操舵に関する微係数、マッハ数 9.9

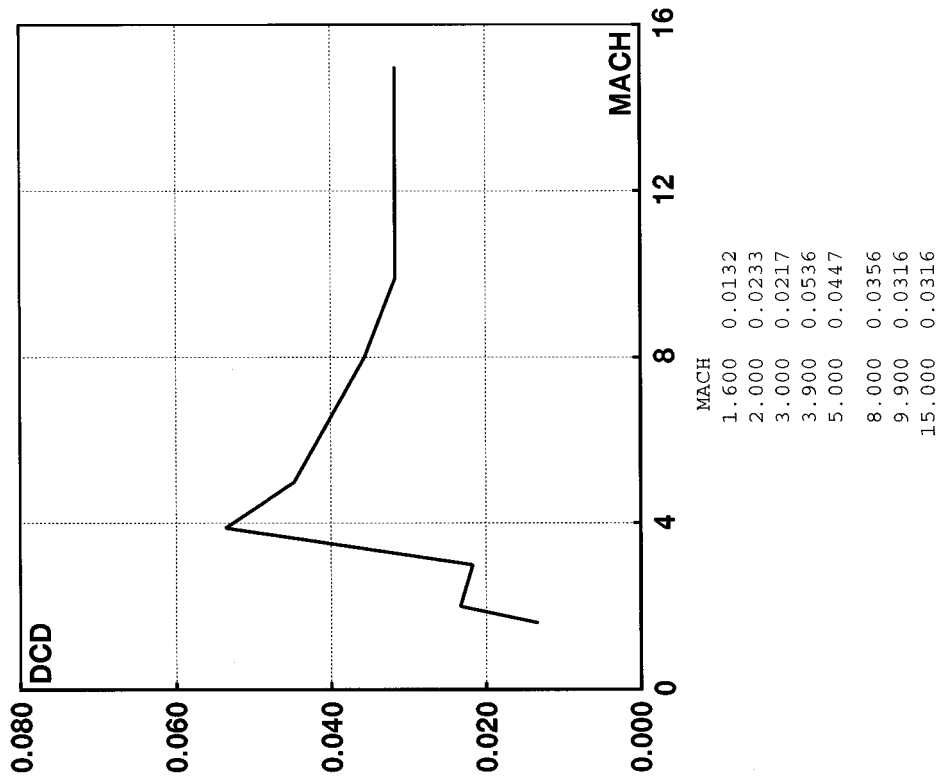
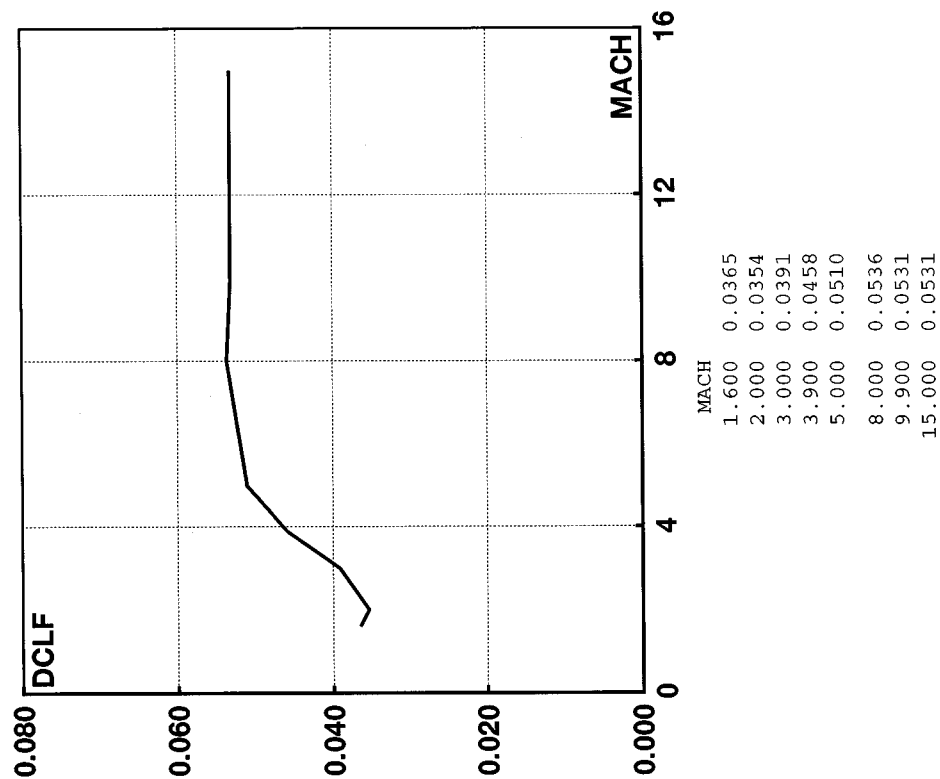
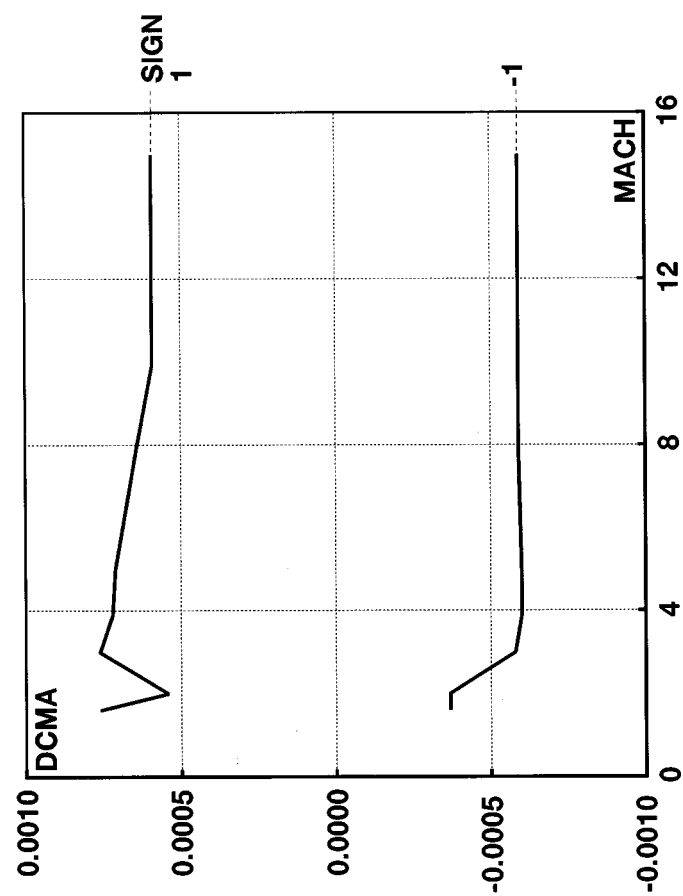


図 C-7 設計用空力誤差 (a) 揚力係数



(b) 抗力係数

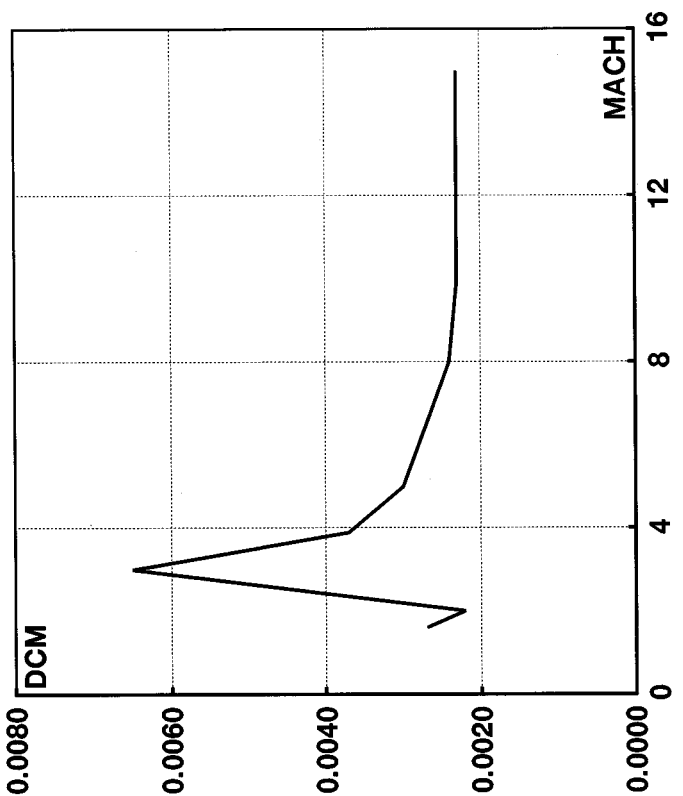


MACH	1.600	2.000	3.000	3.900
SIGN	-1.000	-0.00037	-0.00037	-0.00058
	1.000	0.00076	0.00054	0.00076

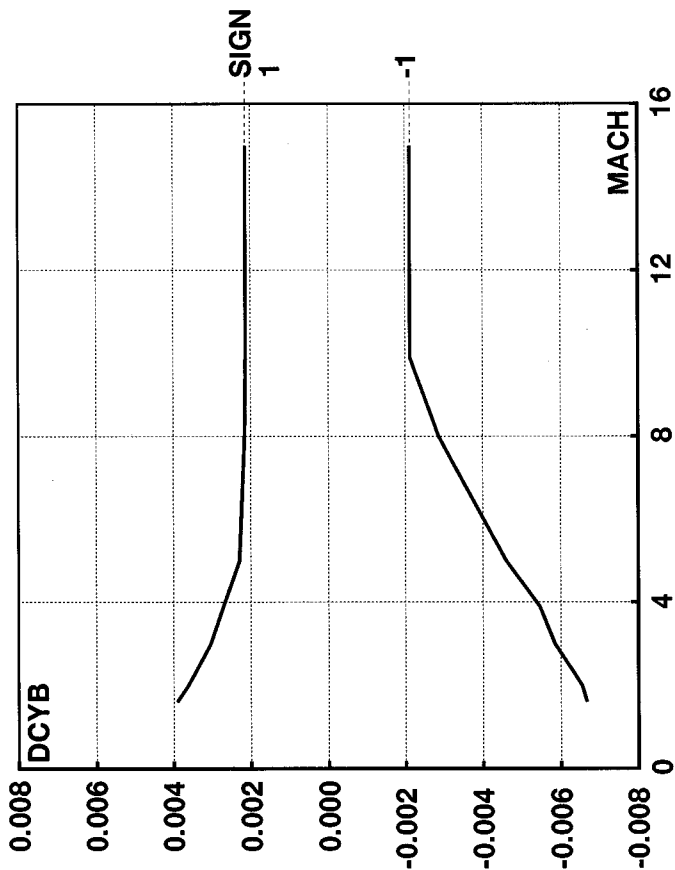
MACH	5.000	8.000	9.900	15.000
SIGN	-1.000	-0.00060	-0.00059	-0.00059
	1.000	0.00071	0.00064	0.00059

(d) 迎角に関するピッチングモーメント係数の微係数



MACH	1.600	2.000	3.000	3.900	5.000	8.000	9.900	15.000
DCM	0.0027	0.0022	0.0065	0.0037	0.0030	0.0024	0.0023	0.0023

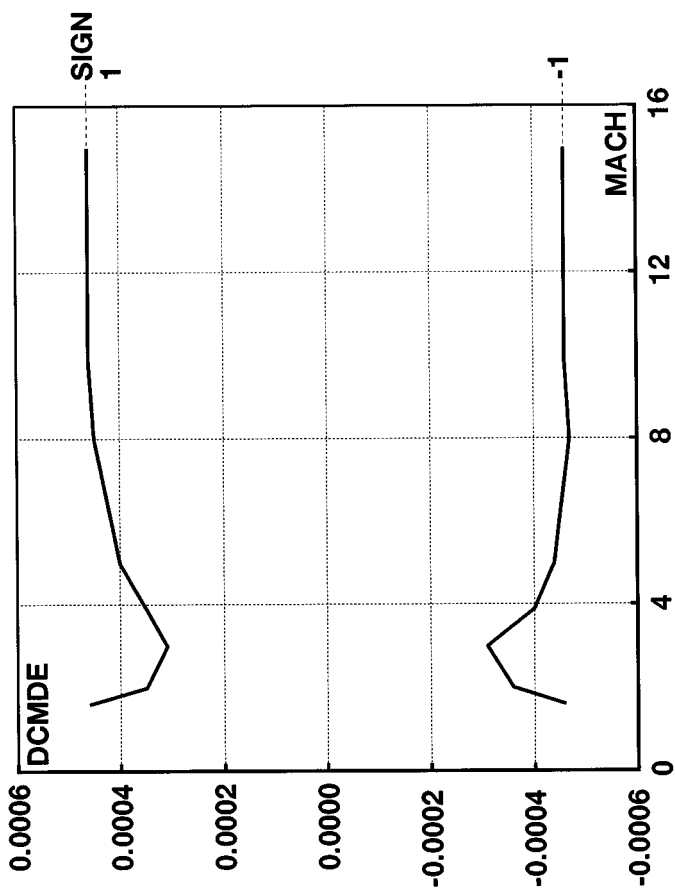
(c) ピッチングモーメント係数



MACH	1.600	2.000	3.000	3.900
SIGN				
-1.000	-0.00667	-0.00654	-0.00585	-0.00547
1.000	0.00390	0.00362	0.00304	0.00271

MACH	5.000	8.000	9.900	15.000
SIGN				
-1.000	-0.00460	-0.00287	-0.00213	-0.00213
1.000	0.00229	0.00216	0.00213	0.00213

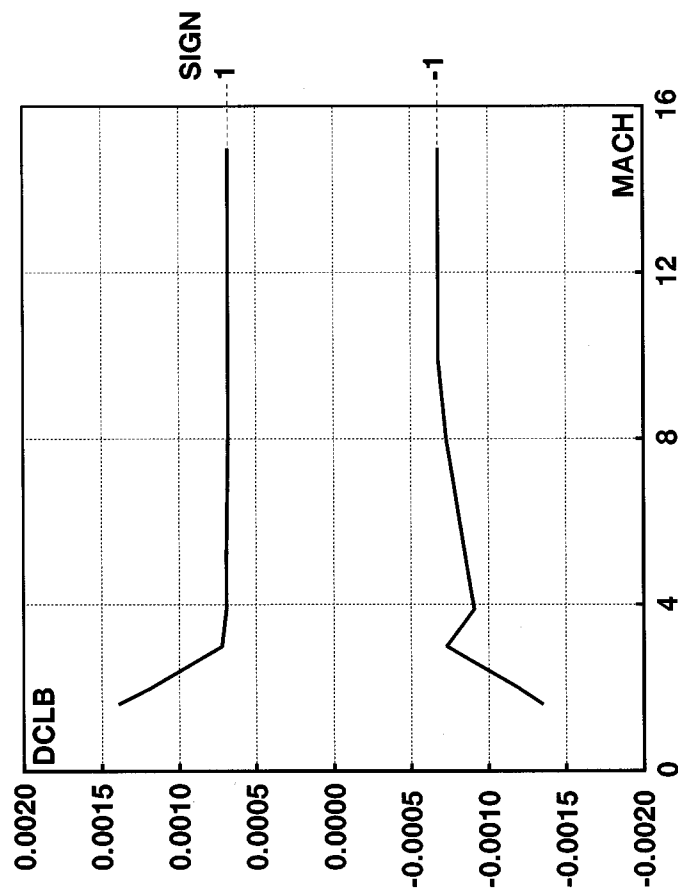
(f) 横滑り角に関する横力係数の微係数



MACH	1.600	2.000	3.000	3.900
SIGN				
-1.000	-0.00046	-0.00036	-0.00031	-0.00040
1.000	0.00046	0.00035	0.00031	0.00035

MACH	5.000	8.000	9.900	15.000
SIGN				
-1.000	-0.00044	-0.00047	-0.00046	-0.00046
1.000	0.00040	0.00045	0.00046	0.00046

(e) エレベータ操舵に関するピッチングモーメント係数の微係数



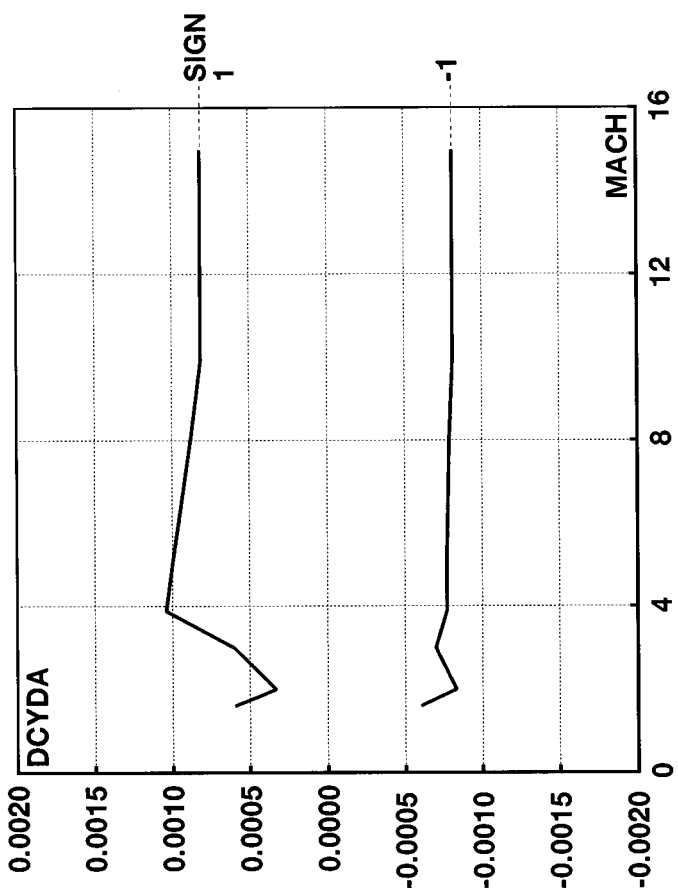
```

MACH  1.600  2.000  3.000  3.900
SIGN
-1.000-0.00135-0.00119-0.00073-0.00091
 1.000 0.00139 0.00118 0.00072 0.00069
    
```

```

MACH  5.000  8.000  9.900 15.000
SIGN
-1.000-0.00086-0.00073-0.00068-0.00068
 1.000 0.00069 0.00068 0.00068 0.00068
    
```

(h) 横滑り角に関するローリングモーメント係数の微係数



```

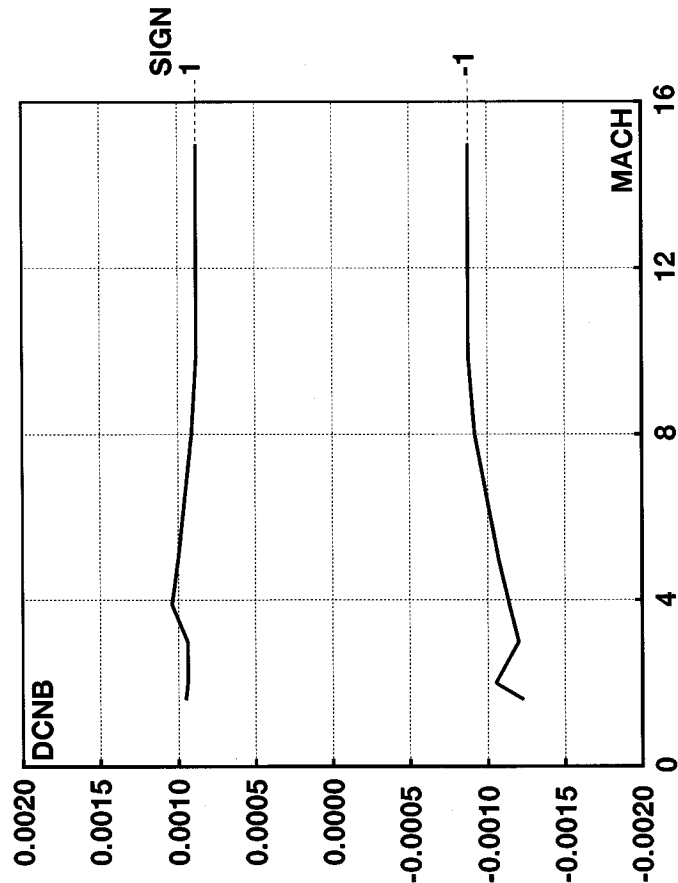
MACH  1.600  2.000  3.000  3.900
SIGN
-1.000-0.00060-0.00083-0.00070-0.00077
 1.000 0.00060 0.00033 0.00060 0.00104
    
```

```

MACH  1.600  2.000  3.000  3.900
SIGN
-1.000-0.00060-0.00083-0.00070-0.00077
 1.000 0.00060 0.00033 0.00060 0.00104
    
```

(g) エルロン操舵に関する横力係数の微係数

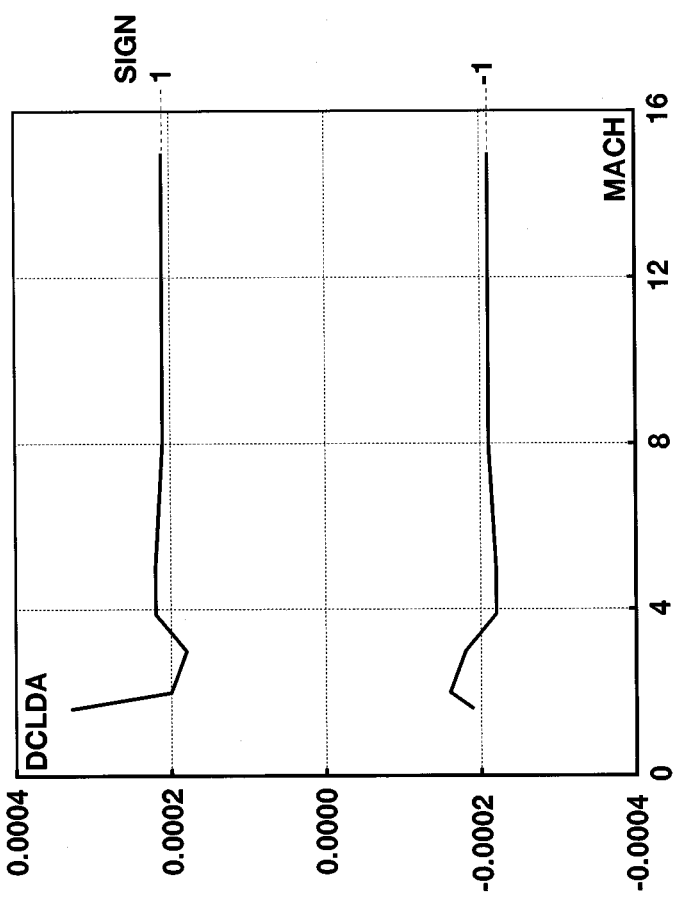




MACH 1.600 2.000 3.000 3.900  
SIGN  
-1.000-0.00123-0.00105-0.00120-0.00114  
1.000 0.00095 0.00094 0.00094 0.00104

MACH 5.000 8.000 9.900 15.000  
SIGN  
-1.000-0.00107-0.00092-0.00088-0.00088  
1.000 0.00100 0.00091 0.00088 0.00088

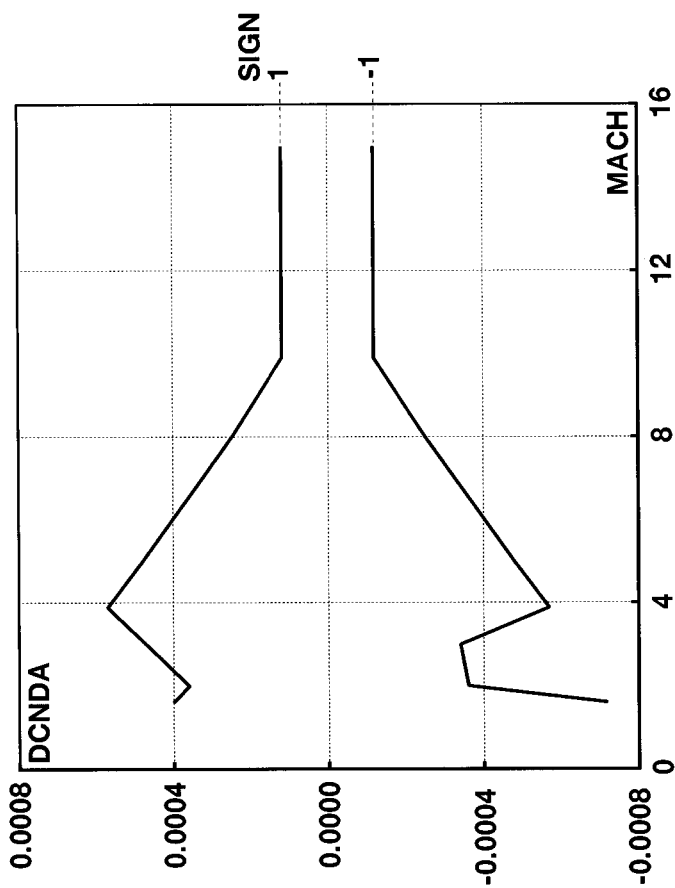
(j) 横滑り角に関するヨーイングモーメント係数の微係数



MACH 1.600 2.000 3.000 3.900  
SIGN  
-1.000-0.00019-0.00016-0.00018-0.00022  
1.000 0.00033 0.00020 0.00018 0.00022

MACH 5.000 8.000 9.900 15.000  
SIGN  
-1.000-0.00022-0.00021-0.00021-0.00021  
1.000 0.00022 0.00021 0.00021 0.00021

(i) エルロン操舵に関するローリングモーメント係数の微係数



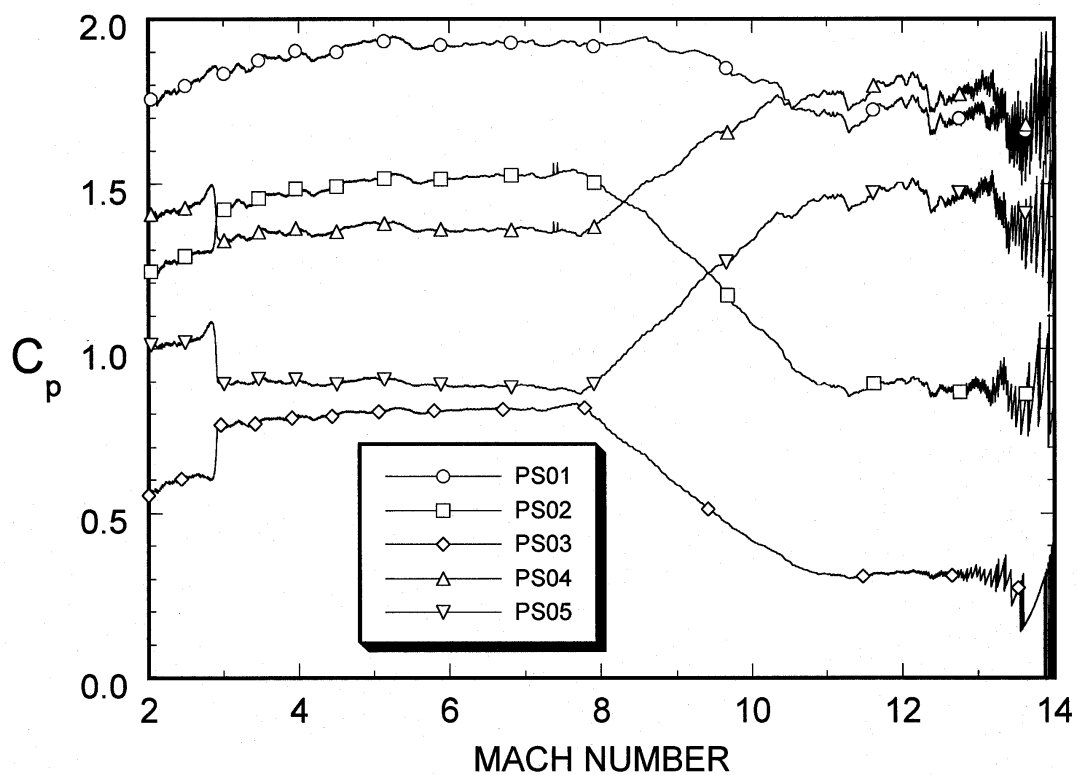
```

MACH  1.600  2.000  3.000  3.900
SIGN
-1.000-0.00072-0.00036-0.00034-0.00057
 1.000 0.00040 0.00036 0.00047 0.00057
    
```

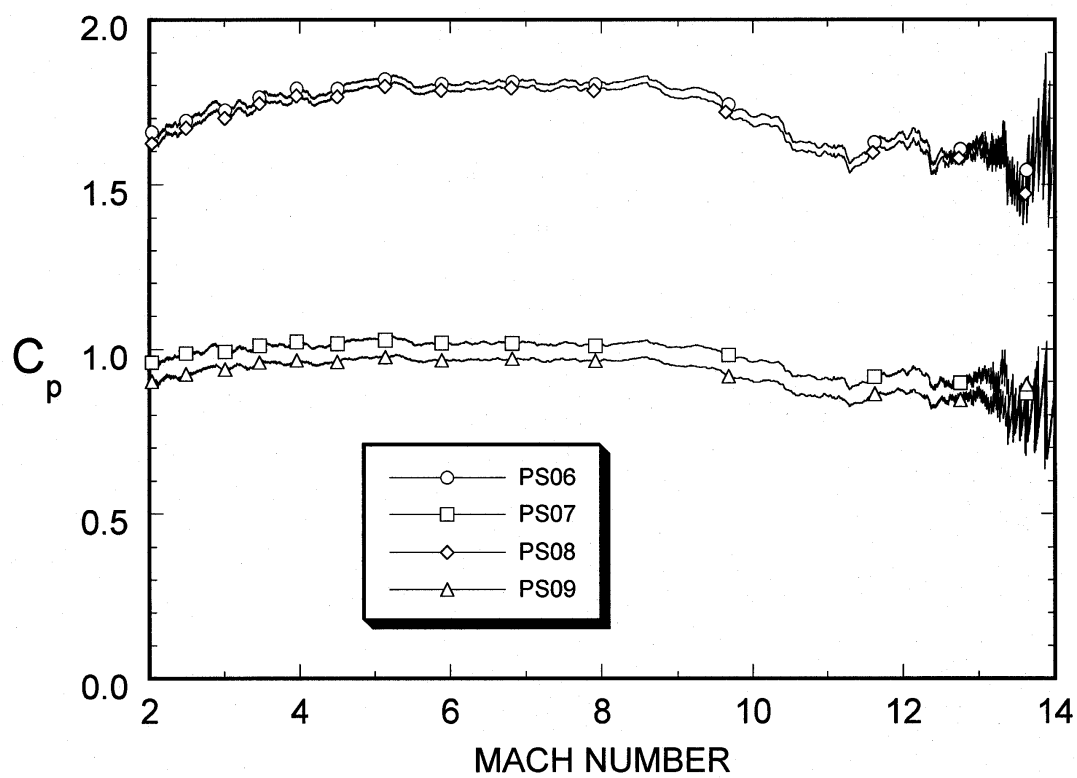
```

MACH  5.000  8.000  9.900 15.000
SIGN
-1.000-0.00048-0.00025-0.00012-0.00012
 1.000 0.00048 0.00025 0.00012 0.00012
    
```

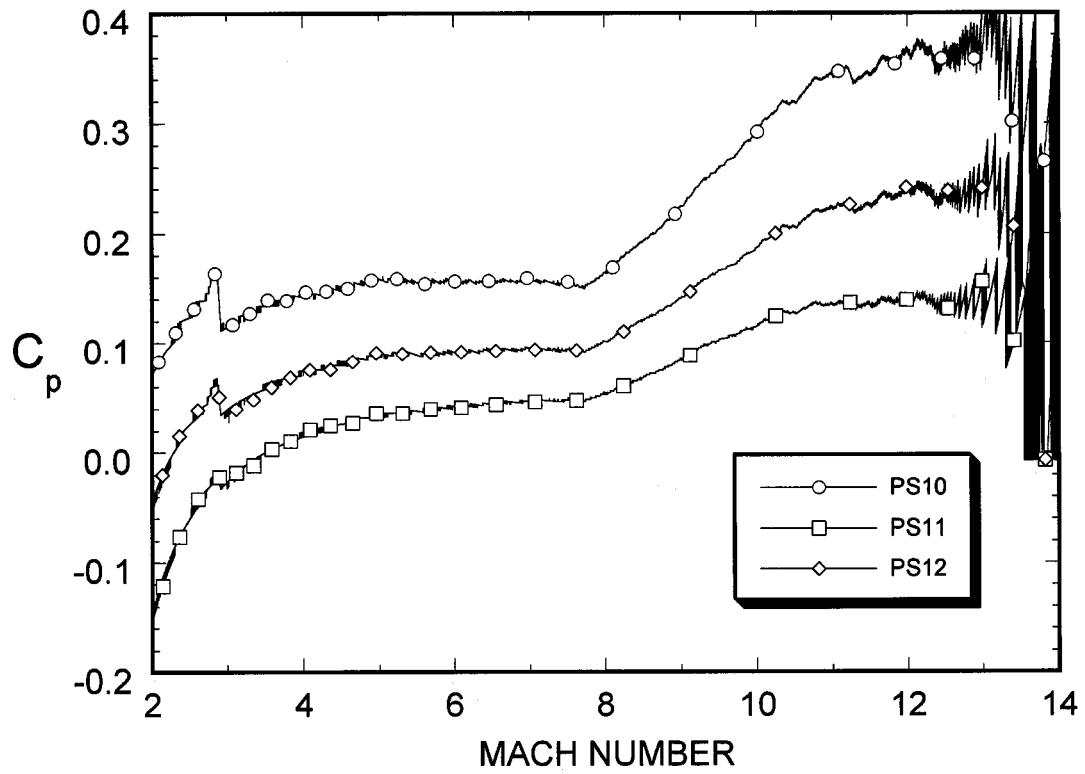
(k) エルロン操舵に関するヨーイングモーメント係数の微係数



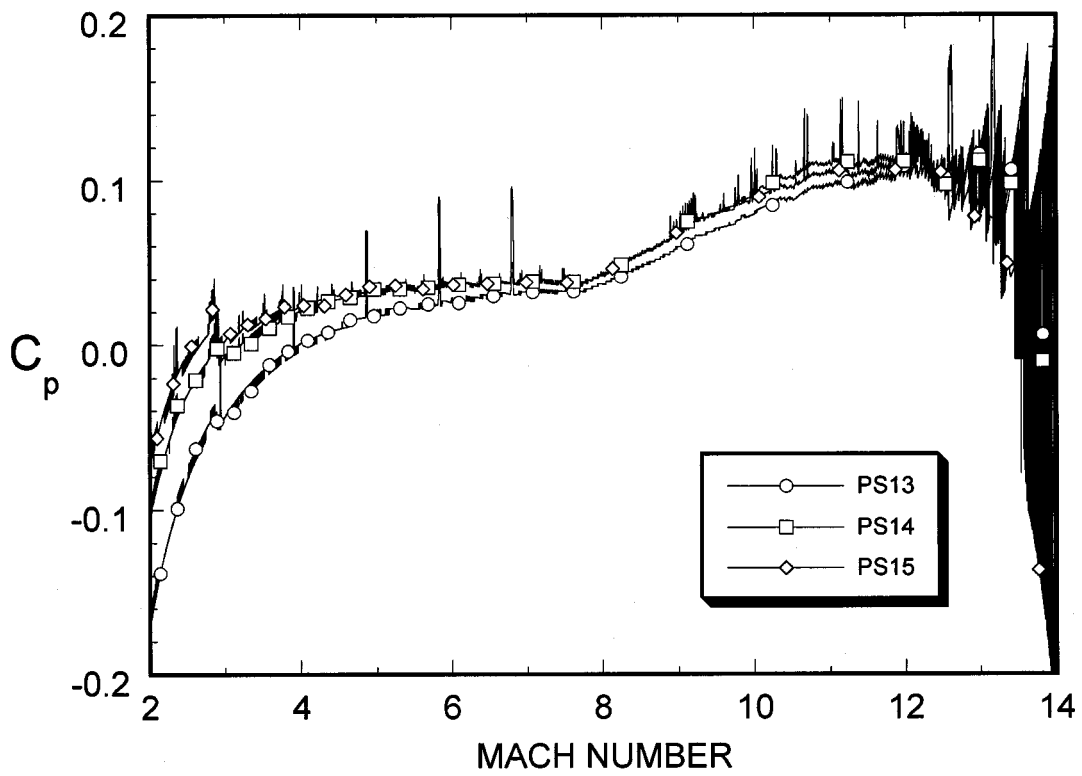
図D-1 表面圧力係数の時間履歴 (横軸: マッハ数) (a) PS01 ~ 05 (ADS用)



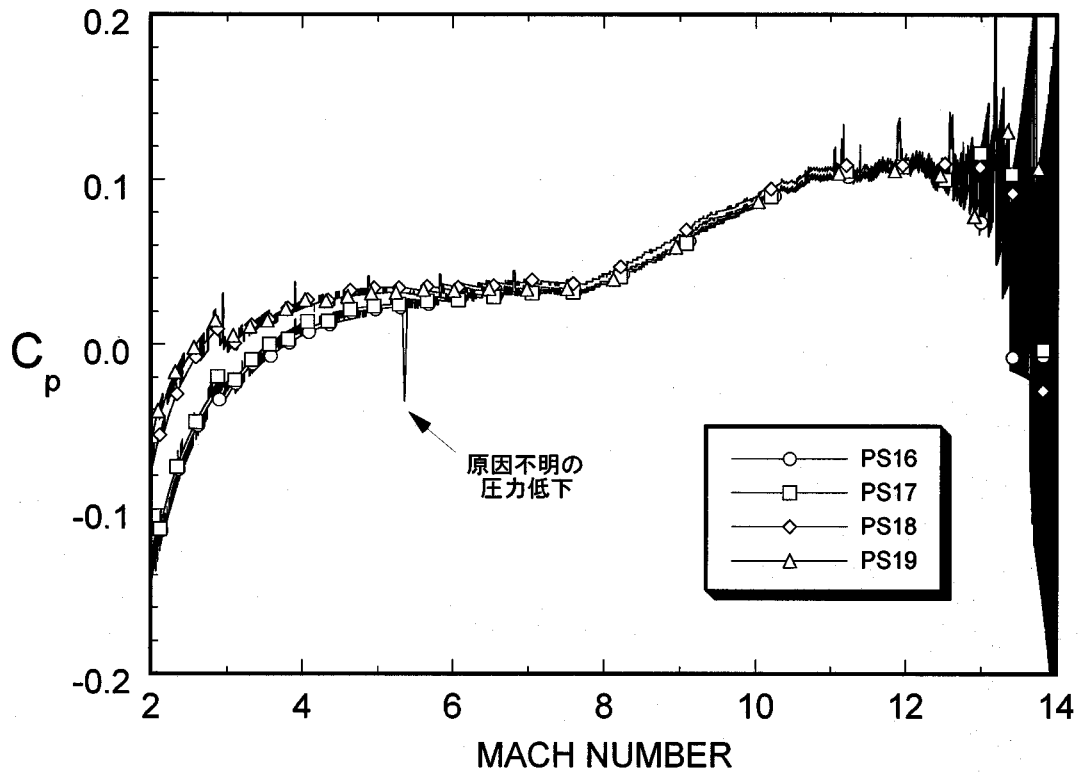
(b) PS06 ~ 09 (ADS用)



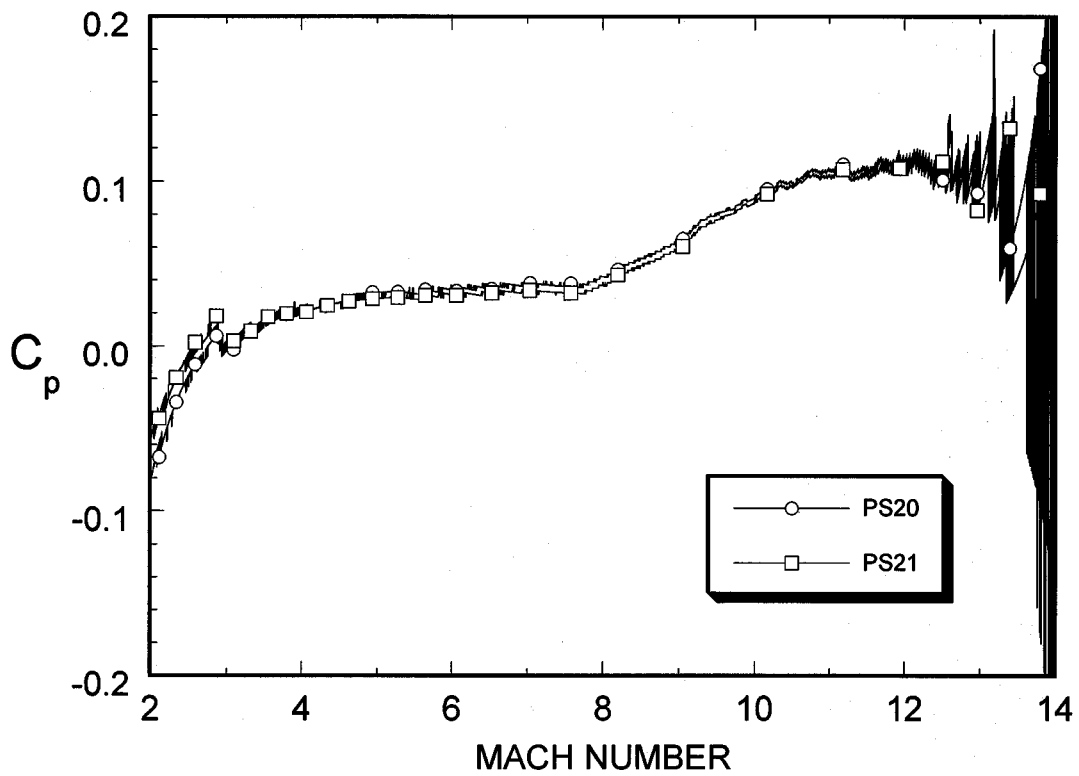
(c) PS10 ~ 12 (RCS 干渉計測用)



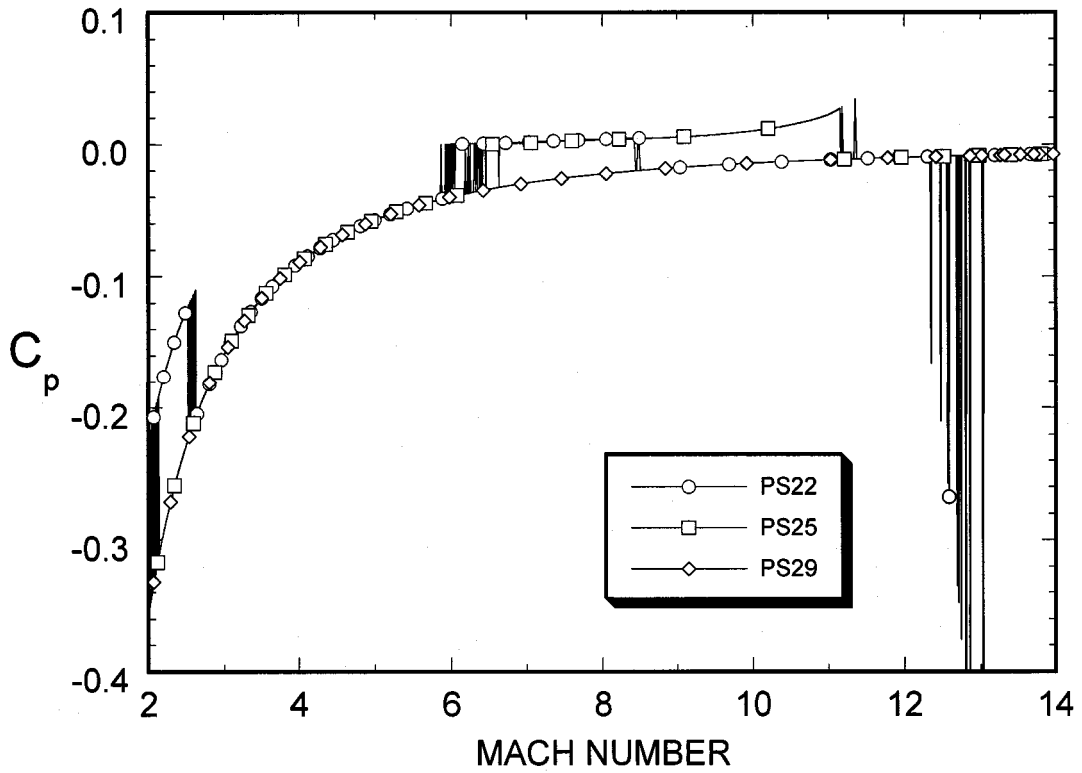
(d) PS13 ~ 15 (RCS 干渉計測用)



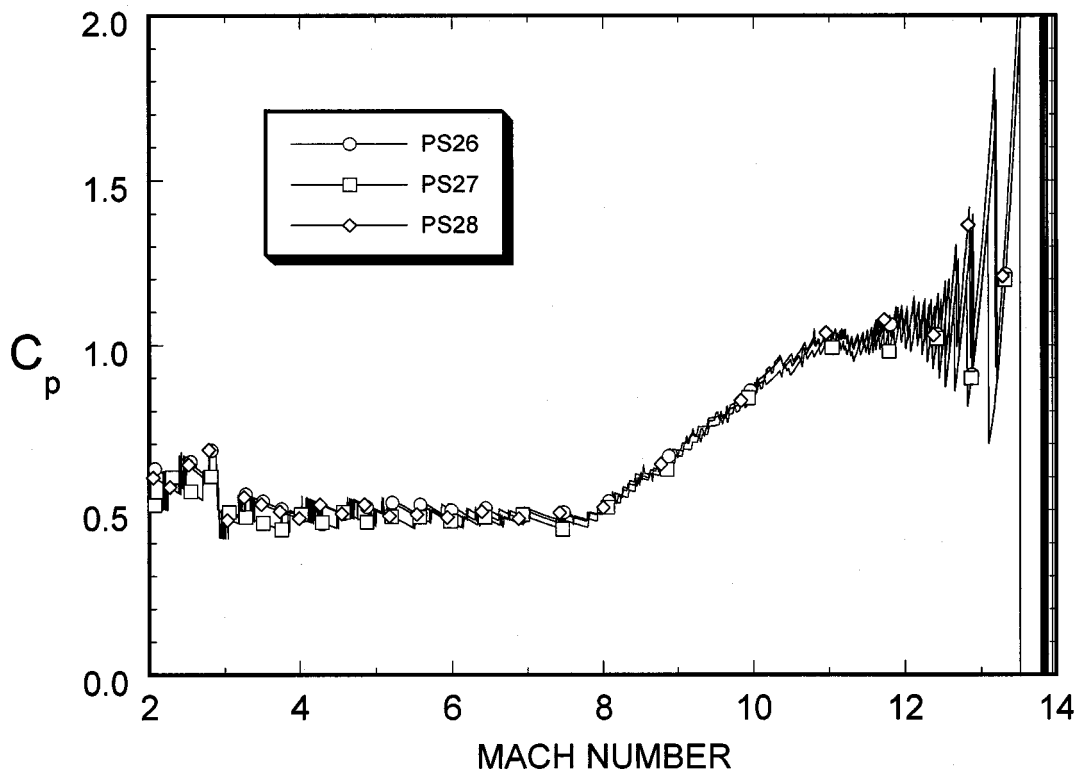
(e) PS16 ~ 19 (RCS 干渉計測用)



(f) PS20 ~ 21 (RCS 干渉計測用)

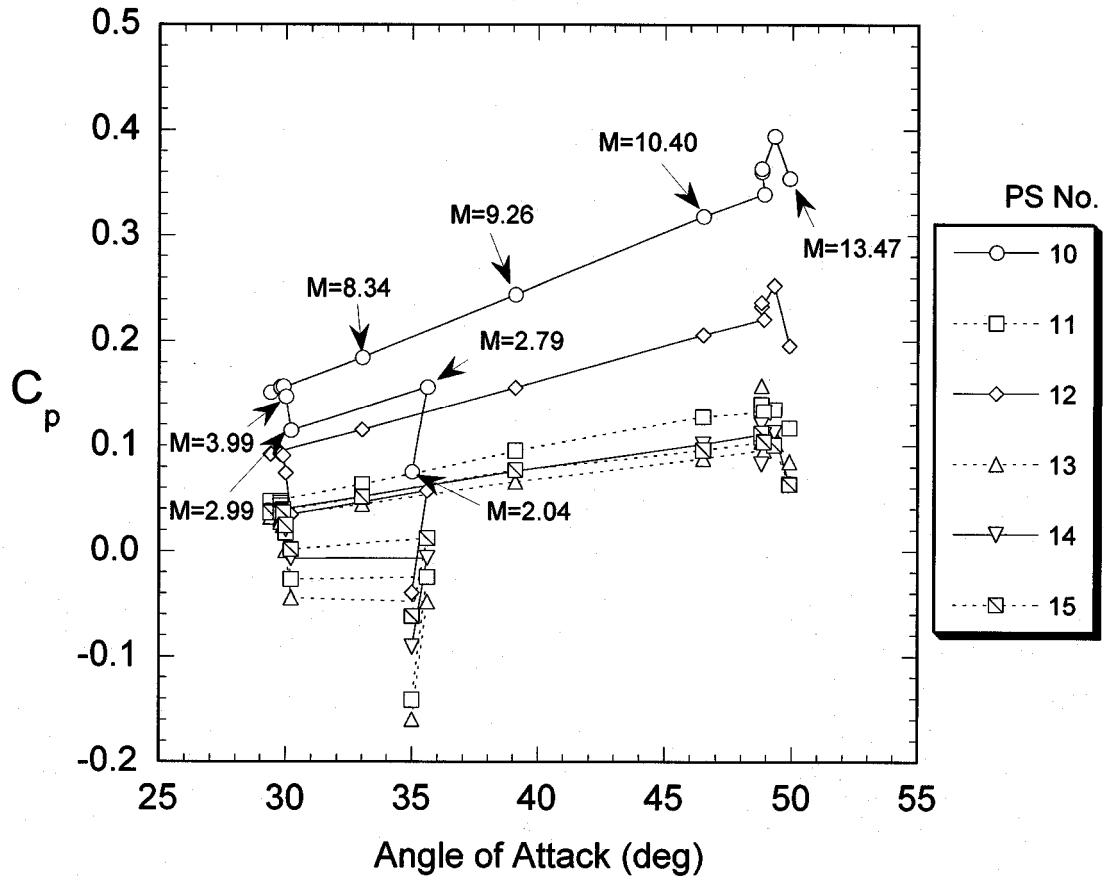


(g) PS22, 25, 29 (表面圧力分布計測用)

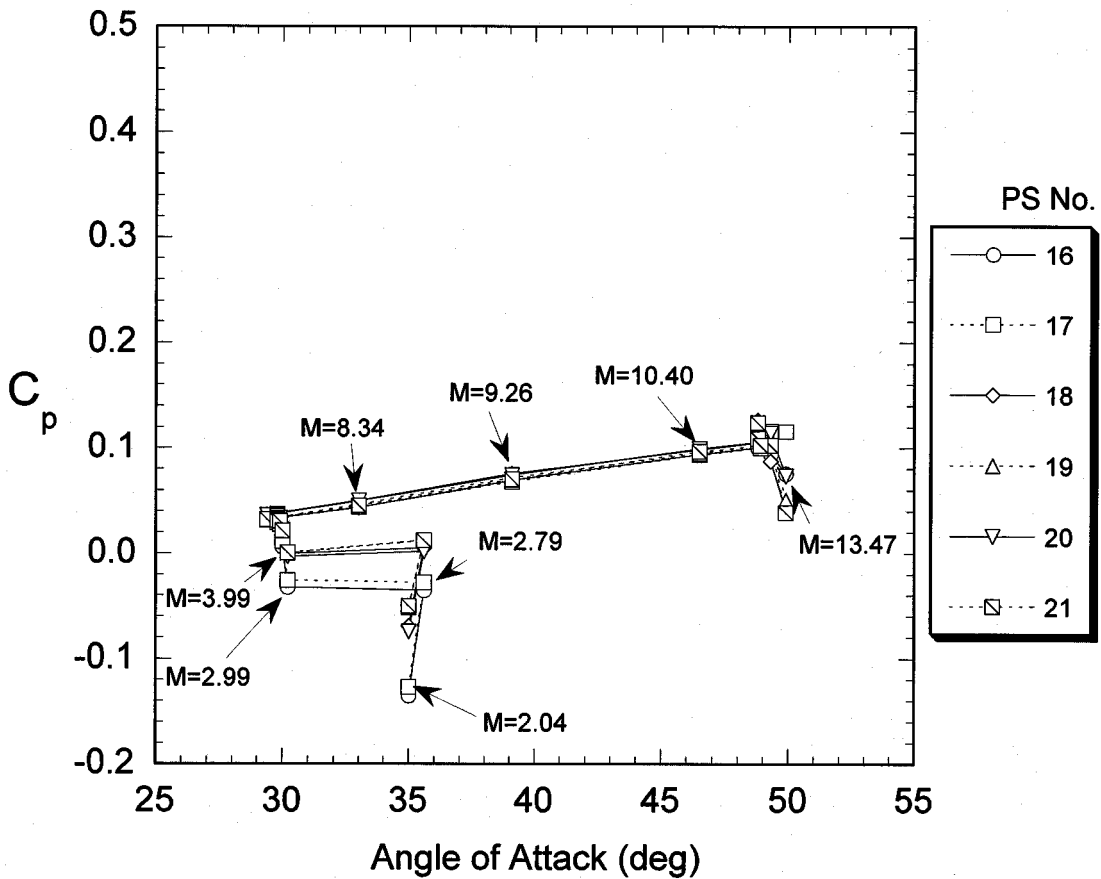


(h) PS26 ~ 28 (表面圧力分布計測用)

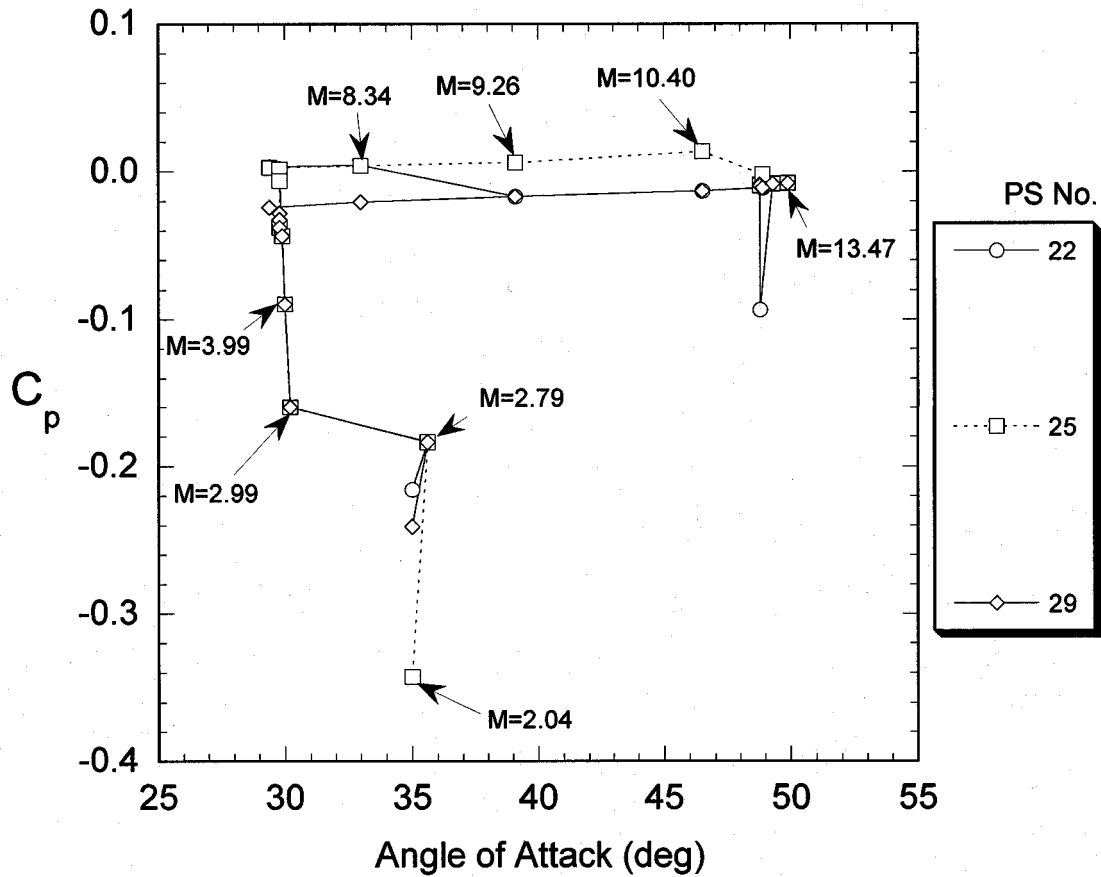




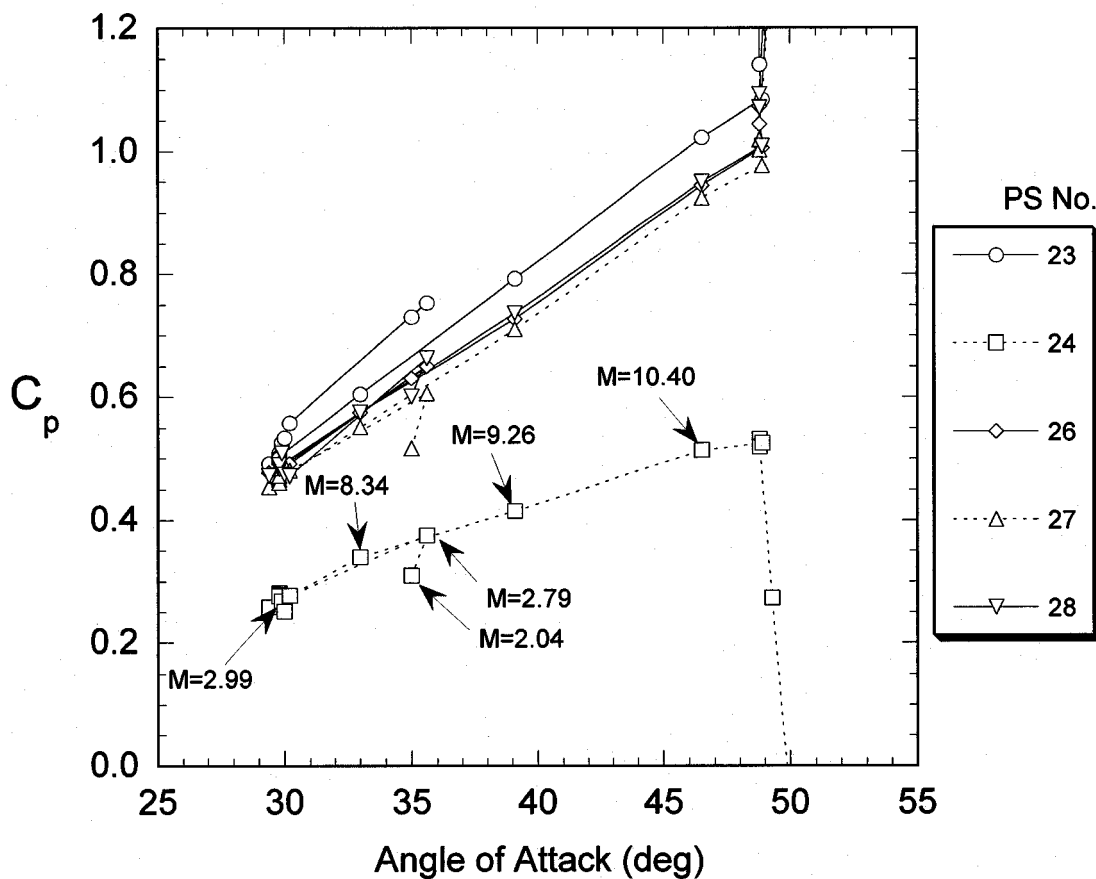
図D-2 表面圧力係数の時間履歴 (横軸:迎角) (a) PS10 ~ 15 (RCS 干渉計測用)



(b) PS16 ~ 21 (RCS 干渉計測用)



(c) PS22, 25, 29 (表面圧力分布計測用)



(d) PS23, 24, 26 ~ 28 (表面圧力分布計測用)

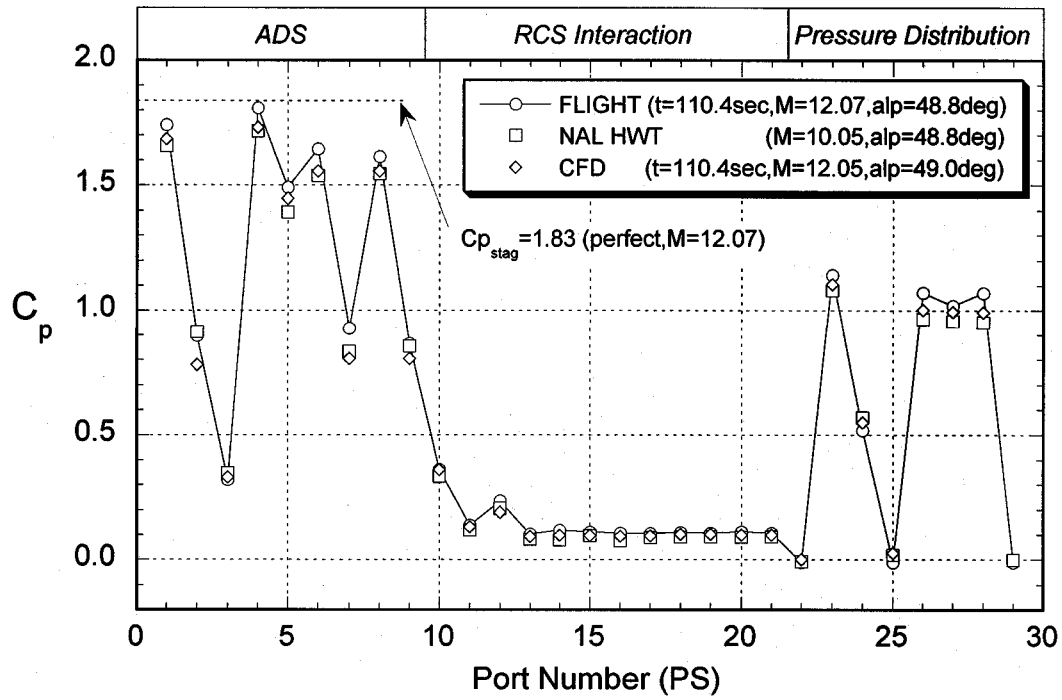
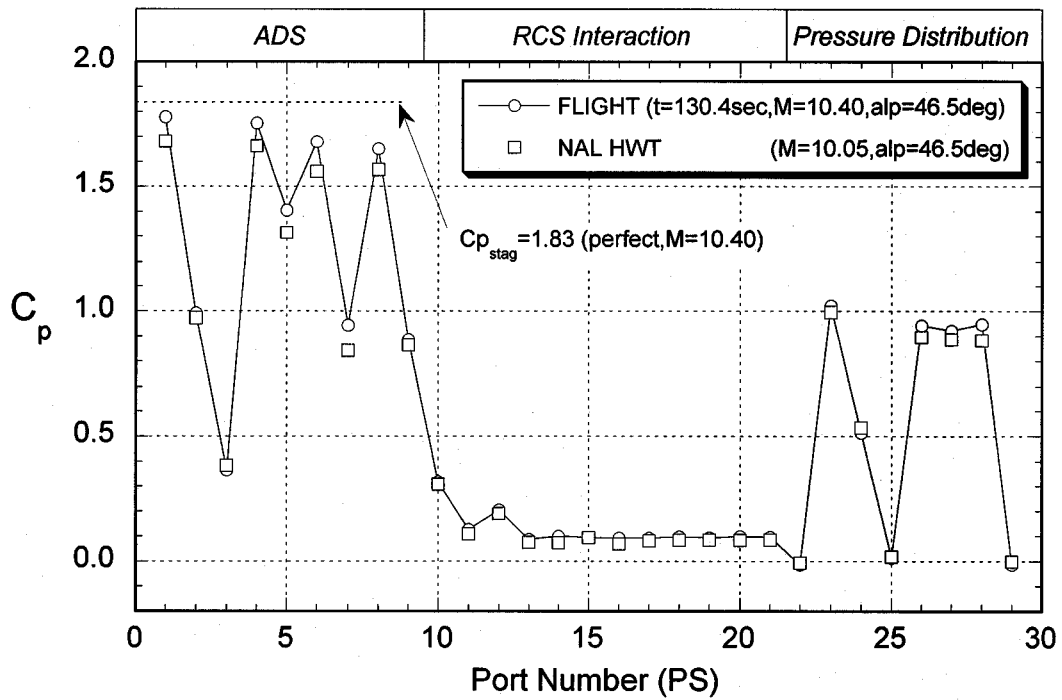
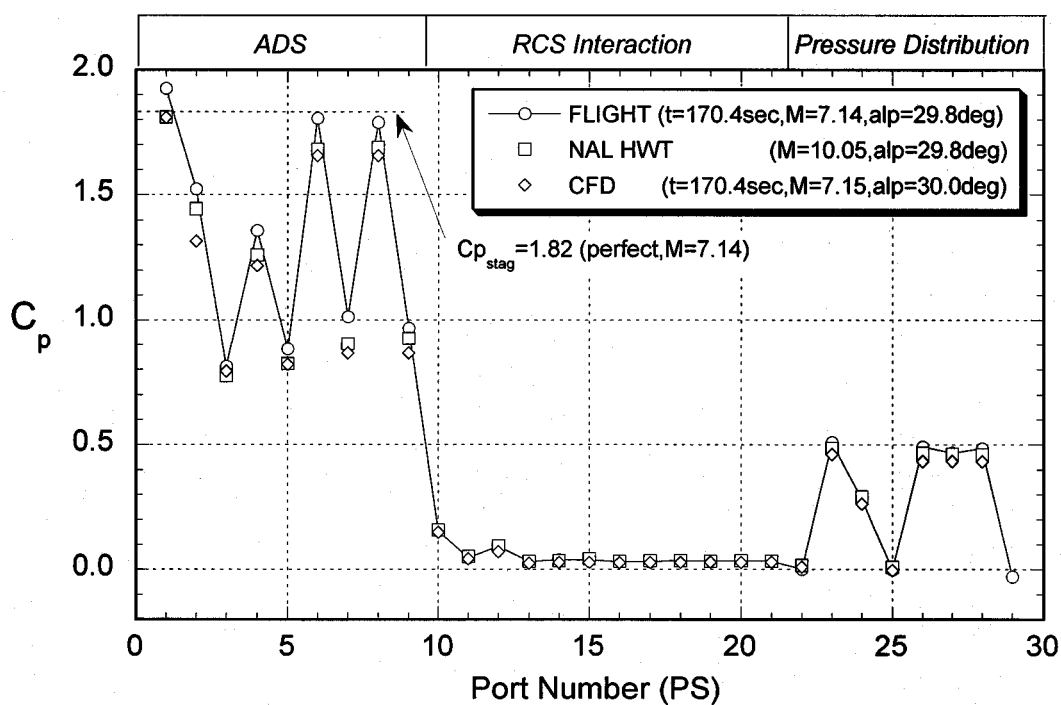


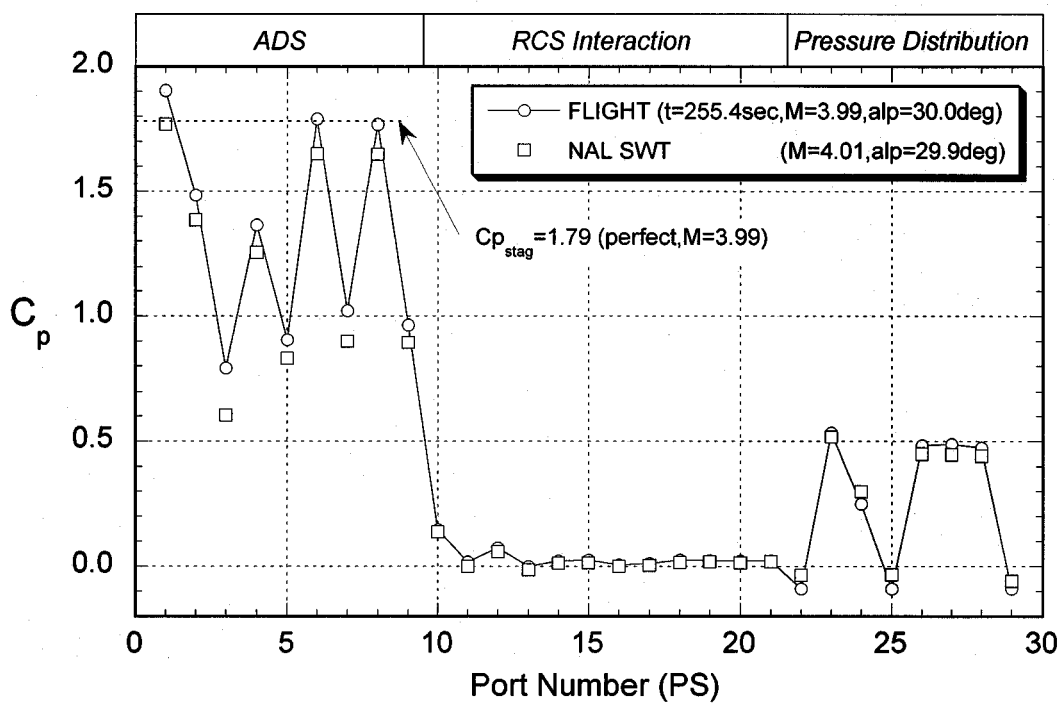
図 D-3 全表面圧力計測点の飛行データと予測値の比較 (a) 分離後 110.4sec、マッハ数 12.07、迎角 48.8deg



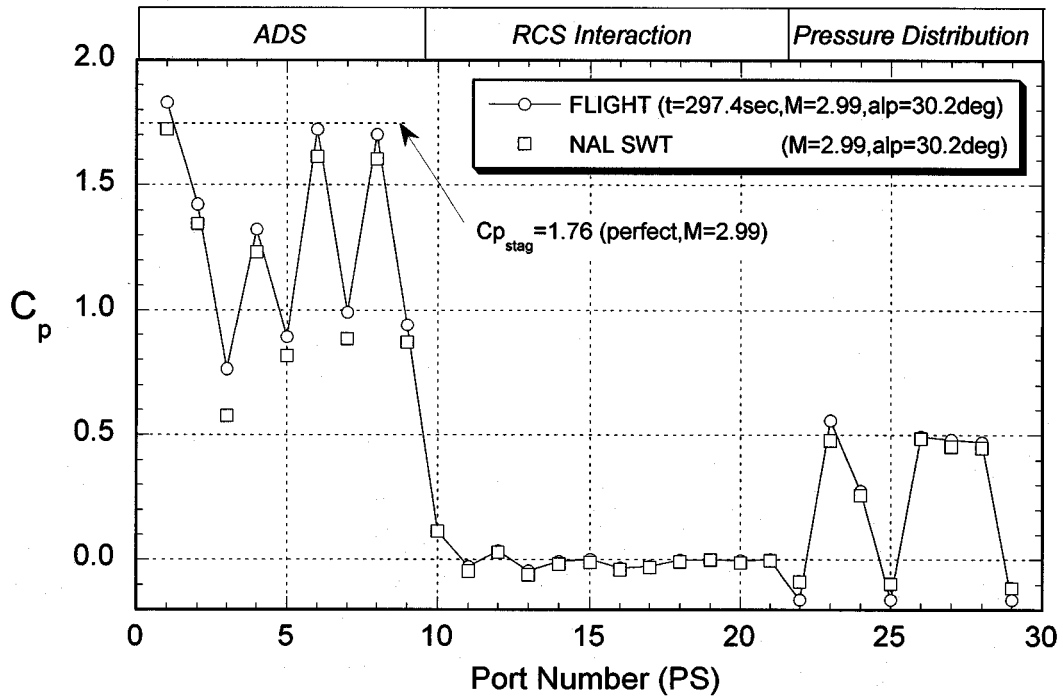
(b) 分離後 130.4sec、マッハ数 10.40、迎角 46.5deg



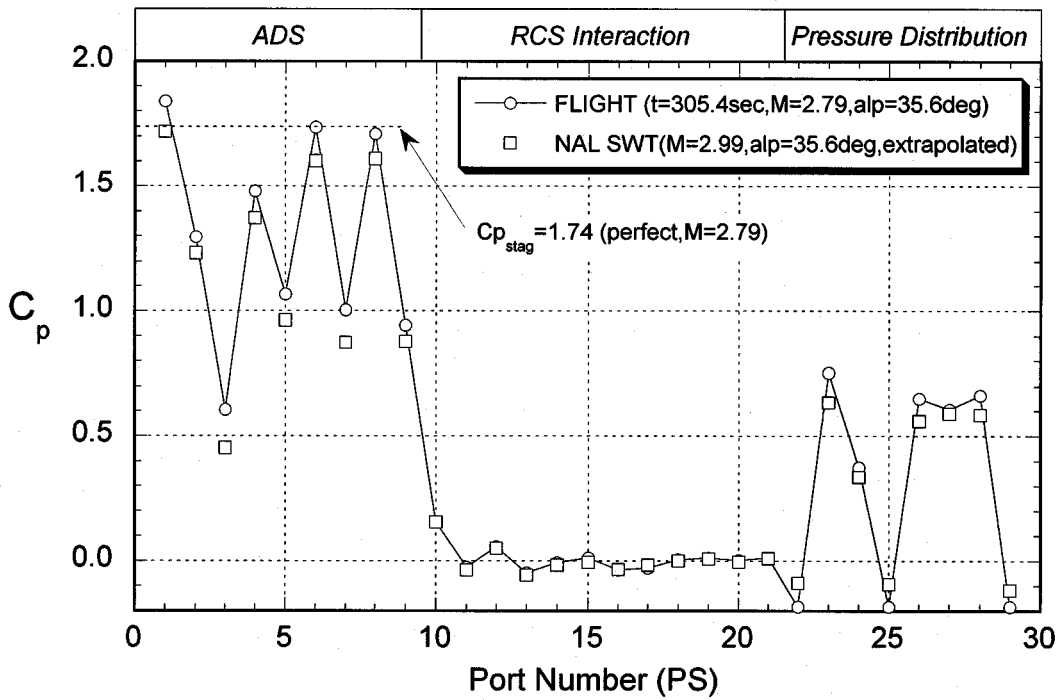
(c) 分離後 170.4sec、マッハ数 7.14、迎角 29.8deg



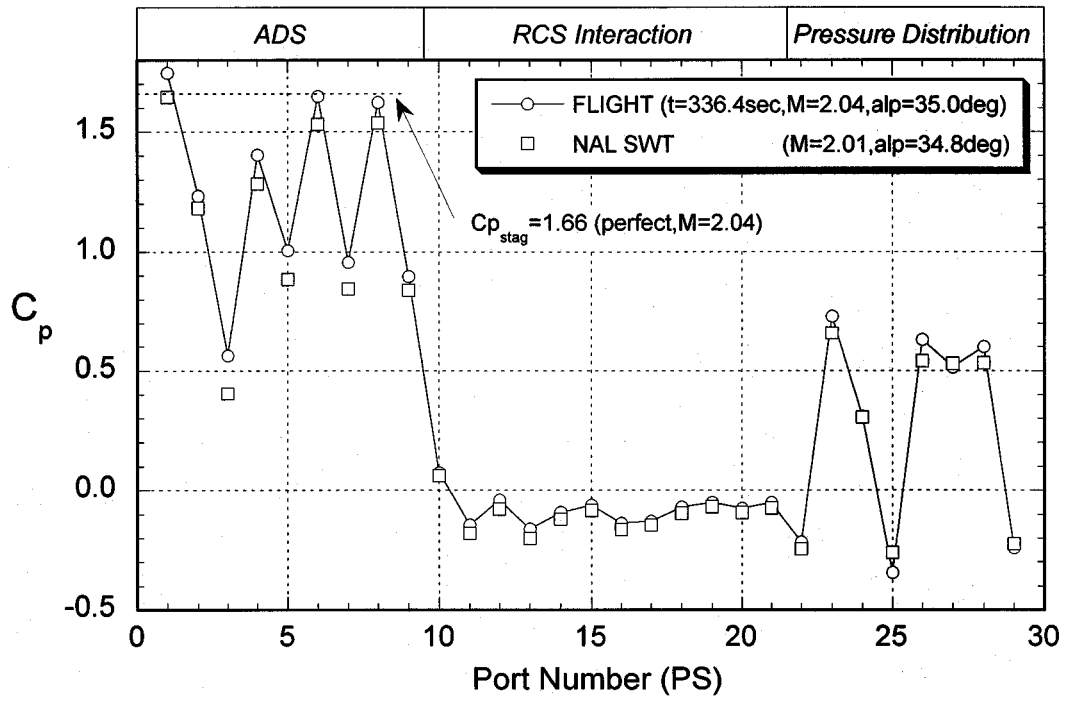
(d) 分離後 255.4sec、マッハ数 3.99、迎角 30.0deg



(e) 分離後 297.7sec、マッハ数 2.99、迎角 30.2deg



(f) 分離後 305.4sec、マッハ数 2.79、迎角 35.6deg



(g) 分離後 336.4sec、マッハ数 2.04、迎角 35.0deg





ISSN 0389-4010

UDC 629.782

533.6.013

533.6.05

533.6.07

# 航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-1334

## 極超音速飛行実験機(HYFLEX)の空力特性

HYFLEX 空力特性研究チーム

1997年12月

航空宇宙技術研究所  
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

---

## 航空宇宙技術研究所報告1334号

平成9年12月発行

発行所 科学技術庁航空宇宙技術研究所  
東京都調布市深大寺東町7-44-1  
電話(0422)47-5911 〒182  
印刷所 株式会社実業公報社  
東京都千代田区九段北1-7-8

---

©禁無断複写転載

本書(誌)からの複写、転載を希望される場合は、企画室  
調査普及係にご連絡ください。