

# 航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-663

内挿式六分力天秤の較正について  
第一報．遷音速風洞における実荷重較正の現状

河 本 巖 ・ 鈴 木 弘 一  
中 村 正 剛 ・ 小 國 保 男

1994 年 3 月

航空宇宙技術研究所  
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

## 目 次

1. はじめに	2
2. 天秤特性の定式化	2
2.1 一次式表示	2
2.2 二次式表示	3
2.3 三次式表示	3
3. 校正係数決定アルゴリズム	4
4. 天秤とキャリボディ	5
5. 天秤校正時の負荷選定	6
6. キャリボディ重量等の推算法	7
6.1 LMC6522 天秤校正用キャリボディ	7
6.2 B660H 天秤校正用キャリボディ	7
7. LMC6522 天秤の校正例	8
7.1 キャリボディ重量等の影響による校正データの補正	8
7.2 LMC6522 天秤の校正係数	9
7.2.1 一次式表示の場合	9
7.2.2 二次式表示の場合	9
7.2.3 三次式表示の場合	9
8. B660H 天秤の校正例	9
8.1 キャリボディ重量等の影響による校正データの補正	9
8.2 B660H 天秤の校正係数	9
8.2.1 一次式表示の場合	9
8.2.2 二次式表示の場合	12
8.2.3 三次式表示の場合	12
9. 校正精度	12
9.1 残 差	12
9.2 偏 差	21
10. 風試への適用例	21
10.1 定数項の除去	21
10.2 座標系の変換	21
10.2.1 座標系の変換1	21
10.2.2 座標系の変換2	24
10.3 LMC6522 天秤と複製オイラー模型の組合せ	26
10.4 B660H 天秤と複製オイラー模型の組合せ	26
11. まとめ	26
A LMC-6522-50/Z1000-S 天秤校正荷重指示書	30
B B660H 天秤校正荷重指示書	35

# 内挿式六分力天秤の較正について

## 第一報．遷音速風洞における実荷重較正の現状\*

河 本 巖\*<sup>1</sup> 鈴木 弘 一\*<sup>1</sup>  
中 村 正 剛\*<sup>1</sup> 小 國 保 男\*<sup>1</sup>

### On the Calibration of Six-Component Internal Balances Part 1. A state of the calibration using dead weight for the NAL-TWT

Iwao KAWAMOTO<sup>2</sup>, Kouichi SUZUKI<sup>2</sup>  
Seigo NAKAMURA<sup>2</sup>, Yasuo OGUNI<sup>2</sup>

#### Abstract

NAL decided to renew the balance calibration rig as a part of the revision program of the instrumentation system for the NAL-TWT. In this paper, the method of the balance calibration using dead weight, data processing method and calibration results are presented. The present results will be used to evaluate the new balance calibration system.

Two balances, one is fabricated in Japan and the other in the USA, were chosen for this study because they are typical balances in the NAL-TWT. In the data reduction, three analytical formulae to describe the balance characteristics are applied. The linear expression is poor in accuracy compared with the non-linear formulae including second and third order terms. In the case of non-linear expressions, standard deviations for six balance components are small enough to be acceptable in wind tunnel force tests. The difference in the accuracy between second and third order formulae is small. The difference is not found in the evaluation result of two balances using standard deviation. The present calibration results are applied to the NAL-TWT experimental data using a delta-wing model to evaluate the three formulae for the balance characteristics.

**Keywords :** balance calibration, internal balance, calibration rig, data processing algorithm, calibration accuracy, transonic wind tunnel.

#### 概 要

遷音速風洞計測装置改修の一環として天秤較正装置の更新を行なうこととした。本資料は実荷重による天秤較正法、データ処理法、較正結果等遷音速風洞での内挿式天秤較正の現状を述べたものであり、この作業を通して新しく導入される装置の評価の目安を得ようとするものである。

本較正作業では遷音速風洞で使用頻度の高い天秤二体（国産天秤と外国製天秤）を選び、三種類の天秤特性表示式を適用した。較正データ処理結果によると両天秤ともその特性を線形表示した場合明らかに精度不足であった。特に複合負荷でその傾向が顕著であった。一方天秤特性を非線形表示することで精度は力測定試験で許容できる範囲に十分収まっていること、また天秤特性を二次式で評価した場合と三次式で評価した場合の精度の違いおよび二本の天秤の精度の違いは小さいこと等を示した。また較正マトリックスをデルタ翼模型の遷音速風洞試験結果に適用し、天秤特性表示式の違いによる計測結果への影響を示した。

\* 平成6年2月17日 受付 (received 17 February 1994)

\*<sup>1</sup>空力性能部 (Aircraft Aerodynamics Division)

## 記号

$C_{AF}$	: 前面軸力係数, $-F_{XF}/(q_{\infty}S)$
$C_N$	: 垂直力係数, $-F_Z/(q_{\infty}S)$
$C_m$	: 縦揺れモーメント係数, $M_Y/(q_{\infty}Sl_R)$
$C_Y$	: 横力係数, $F_Y/(q_{\infty}S)$
$C_l$	: 横揺れモーメント係数, $M_X/(q_{\infty}Sl_R)$
$C_n$	: 偏揺れモーメント係数, $M_Z/(q_{\infty}Sl_R)$
$C_k$	: 天秤校正係数
$C'_k$	: キャリボディ重量を補正するための方程式の係数
$F$	: 評価関数, 式 (19)
$F_X, F_Y, F_Z$	: X, Y, Z 方向の力 (N または kgf), 図1で定義
$F_{\bar{X}}, F_{\bar{Y}}, F_{\bar{Z}}$	: $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ 方向の力, 図11で定義
$F_{XV}, F_{YV}, F_{ZV}$	: X, Y, Z 要素の出力 (mV または $\mu\text{st}$ )
$F_{\bar{X}V}, F_{\bar{Y}V}, F_{\bar{Z}V}$	: $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ 要素の出力
$I_g$	: キャリボディ回転位置
$l_R$	: 模型基準長, 中心コード長
$M_X, M_Y, M_Z$	: X, Y, Z 軸周りのモーメント (N×m または kgf×m)
$M_{\bar{X}}, M_{\bar{Y}}, M_{\bar{Z}}$	: $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ 軸周りのモーメント, 図11で定義
$M_{XV}, M_{YV}, M_{ZV}$	: $M_X, M_Y, M_Z$ 要素の出力 (mV または $\mu\text{st}$ )
$M_{\bar{X}V}, M_{\bar{Y}V}, M_{\bar{Z}V}$	: $M_{\bar{X}}, M_{\bar{Y}}, M_{\bar{Z}}$ 要素の出力
$M_{\infty}$	: 風洞試験マッハ数
$N_{\max}$	: 校正試験データ数
$q_{\infty}$	: 風洞一様流動圧
$Rec_r$	: 中心コードを基準長としたレイノルズ数
$S$	: 模型基準面積, 主翼面積
$\sigma_{FX}, \sigma_{FY}, \sigma_{FZ}$	: $F_X, F_Y, F_Z$ 要素の最大許容荷重に対する標準偏差 (%)
$\sigma_{MX}, \sigma_{MY}, \sigma_{MZ}$	: $M_X, M_Y, M_Z$ 要素の最大許容荷重に対する標準偏差 (%)
$\Delta F_{XV}, \Delta F_{YV}, \Delta F_{ZV}$	: 天秤を回転させたときの X, Y, Z 要素の出力差 (mV または $\mu\text{st}$ )
$\Delta M_{XV}, \Delta M_{YV}, \Delta M_{ZV}$	: 天秤を回転させたときの $M_X, M_Y, M_Z$ 要素の出力差

(mV または  $\mu\text{st}$ )

$\mu\text{st}$	: マイクロストレーン
subscript	:
F	: Forebody
(CB)	: キャリボディ
exp	: 実荷重
(F.S.)	: 最大負荷容量
th	: 計算値
0	: 初期状態

## 1. はじめに

航空宇宙技術研究所遷音速風洞では計測装置改修の一環として天秤校正装置の更新を行うこととした。基本的な要求として複合荷重機構<sup>2, 4, 5, 7, 8, 10, 11</sup>、校正作業の自動化<sup>2, 4, 5, 7, 8, 10, 11</sup>、姿勢復元機構<sup>4, 5, 8, 10</sup>、天秤校正室の恒温室化などを含める事とした。校正精度については校正装置の製作精度に大きく依存する事が予想される。本資料は現状の天秤校正作業を通して誤差や精度を明確にし新しい天秤校正装置の要求精度の目安を得ようとしたものである。

遷音速風洞における力計測試験ではロードセル組立式の天秤に代わって一体材料加工式(一体化)天秤が主流となっている。この種の天秤は再現性が優れている反面変形が大きくエレメント間の干渉が大きい欠点がある。このため一体化天秤の使用に当たっては天秤校正を通して干渉量評価を正しく行う事が何よりも重要となる。即ち天秤校正作業において負荷時のキャリボディアライメントを正しく取る事、荷重負荷方式の選択(成分荷重, 複合荷重)、天秤特性表示(関数モデル)、キャリボディ重量の補正等が重要となる。遷音速風洞で使用頻度の高い天秤二体(国産天秤と外国製天秤)を用いて実際の校正作業を行い航技研遷音速風洞における天秤校正の現状を再検討した。

## 2. 天秤特性の定式化

## 2.1 一次式表示

天秤特性を線形で表示できる場合は次のように記述できる。この場合右辺の天秤出力は mV, 左辺は N 及び Nm の次元を持つので係数についても次元を持つことになる。また  $C_1, C_8$  など各式第1項の定数は校正荷重データを最小二乗法であてはめる際に原点を強制的に通る条件を弛めるために設けた。なお風洞試験データの処理時にはこれら第1項は除外している。

$$F_X = C_1 + C_2 F_{XV} + C_3 F_{YV} + C_4 F_{ZV} + C_5 M_{XV} + C_6 M_{YV} + C_7 M_{ZV} \quad (1)$$

$$F_Y = C_8 + C_9 F_{XV} + C_{10} F_{YV} + C_{11} F_{ZV} + C_{12} M_{XV} + C_{13} M_{YV} + C_{14} M_{ZV} \quad (2)$$

$$F_Z = C_{15} + C_{16} F_{XV} + C_{17} F_{YV} + C_{18} F_{ZV} + C_{19} M_{XV} \\ + C_{20} M_{YV} + C_{21} M_{ZV} \quad (3)$$

$$M_X = C_{22} + C_{23} F_{XV} + C_{24} F_{YV} + C_{25} F_{ZV} + C_{26} M_{XV} \\ + C_{27} M_{YV} + C_{28} M_{ZV} \quad (4)$$

$$M_Y = C_{29} + C_{30} F_{XV} + C_{31} F_{YV} + C_{32} F_{ZV} + C_{33} M_{XV} \\ + C_{34} M_{YV} + C_{35} M_{ZV} \quad (5)$$

$$M_Z = C_{36} + C_{37} F_{XV} + C_{38} F_{YV} + C_{39} F_{ZV} + C_{40} M_{XV} \\ + C_{41} M_{YV} + C_{42} M_{ZV} \quad (6)$$

## 2. 2 二次式表示

一体化天秤では干渉量の非線形特性が著しく、その特性を表現出来る関数モデルが必要となる。最も簡単なものが二次の多項式である。

$$F_X = C_1 + C_2 F_{XV} + C_3 F_{YV} + C_4 F_{ZV} + C_5 M_{XV} + C_6 M_{YV} \\ + C_7 M_{ZV} \\ + C_8 F_{XV}^2 + C_9 F_{YV}^2 + C_{10} F_{ZV}^2 + C_{11} M_{XV}^2 \\ + C_{12} M_{YV}^2 + C_{13} M_{ZV}^2 \\ + F_{XV} (C_{14} F_{YV} + C_{15} F_{ZV} + C_{16} M_{XV} + C_{17} M_{YV} \\ + C_{18} M_{ZV}) \\ + F_{YV} (C_{19} F_{ZV} + C_{20} M_{XV} + C_{21} M_{YV} + C_{22} M_{ZV}) \\ + F_{ZV} (C_{23} M_{XV} + C_{24} M_{YV} + C_{25} M_{ZV}) \\ + M_{XV} (C_{26} M_{YV} + C_{27} M_{ZV}) \\ + C_{28} M_{YV} M_{ZV} \quad (7)$$

$$F_Y = C_{29} + C_{30} F_{XV} + C_{31} F_{YV} + C_{32} F_{ZV} + C_{33} M_{XV} \\ + C_{34} M_{YV} + C_{35} M_{ZV} \\ + C_{36} F_{XV}^2 + C_{37} F_{YV}^2 + C_{38} F_{ZV}^2 + C_{39} M_{XV}^2 \\ + C_{40} M_{YV}^2 + C_{41} M_{ZV}^2 \\ + F_{XV} (C_{42} F_{YV} + C_{43} F_{ZV} + C_{44} M_{XV} + C_{45} M_{YV} \\ + C_{46} M_{ZV}) \\ + F_{YV} (C_{47} F_{ZV} + C_{48} M_{XV} + C_{49} M_{YV} + C_{50} M_{ZV}) \\ + F_{ZV} (C_{51} M_{XV} + C_{52} M_{YV} + C_{53} M_{ZV}) \\ + M_{XV} (C_{54} M_{YV} + C_{55} M_{ZV}) \\ + C_{56} M_{YV} M_{ZV} \quad (8)$$

$$F_Z = C_{57} + C_{58} F_{XV} + C_{59} F_{YV} + C_{60} F_{ZV} + C_{61} M_{XV} \\ + C_{62} M_{YV} + C_{63} M_{ZV} \\ + C_{64} F_{XV}^2 + C_{65} F_{YV}^2 + C_{66} F_{ZV}^2 + C_{67} M_{XV}^2 \\ + C_{68} M_{YV}^2 + C_{69} M_{ZV}^2 \\ + F_{XV} (C_{70} F_{YV} + C_{71} F_{ZV} + C_{72} M_{XV} + C_{73} M_{YV} \\ + C_{74} M_{ZV}) \\ + F_{YV} (C_{75} F_{ZV} + C_{76} M_{XV} + C_{77} M_{YV} + C_{78} M_{ZV}) \\ + F_{ZV} (C_{79} M_{XV} + C_{80} M_{YV} + C_{81} M_{ZV}) \\ + M_{XV} (C_{82} M_{YV} + C_{83} M_{ZV}) \\ + C_{84} M_{YV} M_{ZV} \quad (9)$$

$$M_X = C_{85} + C_{86} F_{XV} + C_{87} F_{YV} + C_{88} F_{ZV} + C_{89} M_{XV} \\ + C_{90} M_{YV} + C_{91} M_{ZV} \\ + C_{92} F_{XV}^2 + C_{93} F_{YV}^2 + C_{94} F_{ZV}^2 + C_{95} M_{XV}^2 \\ + C_{96} M_{YV}^2 + C_{97} M_{ZV}^2 \\ + F_{XV} (C_{98} F_{YV} + C_{99} F_{ZV} + C_{100} M_{XV} + C_{101} M_{YV} \\ + C_{102} M_{ZV}) \\ + F_{YV} (C_{103} F_{ZV} + C_{104} M_{XV} + C_{105} M_{YV} \\ + C_{106} M_{ZV}) \\ + F_{ZV} (C_{107} M_{XV} + C_{108} M_{YV} + C_{109} M_{ZV}) \\ + M_{XV} (C_{110} M_{YV} + C_{111} M_{ZV}) \\ + C_{112} M_{YV} M_{ZV} \quad (10)$$

$$M_Y = C_{113} + C_{114} F_{XV} + C_{115} F_{YV} + C_{116} F_{ZV} + C_{117} M_{XV} \\ + C_{118} M_{YV} + C_{119} M_{ZV} \\ + C_{120} F_{XV}^2 + C_{121} F_{YV}^2 + C_{122} F_{ZV}^2 + C_{123} M_{XV}^2 \\ + C_{124} M_{YV}^2 + C_{125} M_{ZV}^2 \\ + F_{XV} (C_{126} F_{YV} + C_{127} F_{ZV} + C_{128} M_{XV} \\ + C_{129} M_{YV} + C_{130} M_{ZV}) \\ + F_{YV} (C_{131} F_{ZV} + C_{132} M_{XV} + C_{133} M_{YV} \\ + C_{134} M_{ZV}) \\ + F_{ZV} (C_{135} M_{XV} + C_{136} M_{YV} + C_{137} M_{ZV}) \\ + M_{XV} (C_{138} M_{YV} + C_{139} M_{ZV}) \\ + C_{140} M_{YV} M_{ZV} \quad (11)$$

$$M_Z = C_{141} + C_{142} F_{XV} + C_{143} F_{YV} + C_{144} F_{ZV} + C_{145} M_{XV} \\ + C_{146} M_{YV} + C_{147} M_{ZV} \\ + C_{148} F_{XV}^2 + C_{149} F_{YV}^2 + C_{150} F_{ZV}^2 + C_{151} M_{XV}^2 \\ + C_{152} M_{YV}^2 + C_{153} M_{ZV}^2 \\ + F_{XV} (C_{154} F_{YV} + C_{155} F_{ZV} + C_{156} M_{XV} \\ + C_{157} M_{YV} + C_{158} M_{ZV}) \\ + F_{YV} (C_{159} F_{ZV} + C_{160} M_{XV} + C_{161} M_{YV} \\ + C_{162} M_{ZV}) \\ + F_{ZV} (C_{163} M_{XV} + C_{164} M_{YV} + C_{165} M_{ZV}) \\ + M_{XV} (C_{166} M_{YV} + C_{167} M_{ZV}) \\ + C_{168} M_{YV} M_{ZV} \quad (12)$$

## 2. 3 三次式表示

二次式で非線形特性を記述しきれない場合、三次式関数モデルが必要となる。この場合完全な三次式表現では項数が多くなるため以下のように主要な三次の項だけを取入れるのが一般的である<sup>3, 5, 7, 8, 11)</sup>。

$$F_X = C_1 + C_2 F_{XV} + C_3 F_{YV} + C_4 F_{ZV} + C_5 M_{XV} + C_6 M_{YV} \\ + C_7 M_{ZV} \\ + C_8 F_{XV}^2 + C_9 F_{YV}^2 + C_{10} F_{ZV}^2 + C_{11} M_{XV}^2 \\ + C_{12} M_{YV}^2 + C_{13} M_{ZV}^2 \\ + F_{XV} (C_{14} F_{YV} + C_{15} F_{ZV} + C_{16} M_{XV} + C_{17} M_{YV}$$

$$\begin{aligned}
& + C_{18} M_{ZV}) \\
& + F_{YV} (C_{19} F_{ZV} + C_{20} M_{XV} + C_{21} M_{YV} + C_{22} M_{ZV}) \\
& + F_{ZV} (C_{23} M_{XV} + C_{24} M_{YV} + C_{25} M_{ZV}) \\
& + M_{XV} (C_{26} M_{YV} + C_{27} M_{ZV}) \\
& + C_{28} M_{YV} M_{ZV} \\
& + C_{29} F_{XV}^3 + C_{30} F_{YV}^3 + C_{31} F_{ZV}^3 + C_{32} M_{XV}^3 \\
& + C_{33} M_{YV}^3 + C_{34} M_{ZV}^3 \quad (13)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_Y = & C_{35} + C_{36} F_{XV} + C_{37} F_{YV} + C_{38} F_{ZV} + C_{39} M_{XV} \\
& + C_{40} M_{YV} + C_{41} M_{ZV} \\
& + C_{42} F_{XV}^2 + C_{43} F_{YV}^2 + C_{44} F_{ZV}^2 + C_{45} M_{XV}^2 \\
& + C_{46} M_{YV}^2 + C_{47} M_{ZV}^2 \\
& + F_{XV} (C_{48} F_{YV} + C_{49} F_{ZV} + C_{50} M_{XV} + C_{51} M_{YV} \\
& + C_{52} M_{ZV}) \\
& + F_{YV} (C_{53} F_{ZV} + C_{54} M_{XV} + C_{55} M_{YV} + C_{56} M_{ZV}) \\
& + F_{ZV} (C_{57} M_{XV} + C_{58} M_{YV} + C_{59} M_{ZV}) \\
& + M_{XV} (C_{60} M_{YV} + C_{61} M_{ZV}) \\
& + C_{62} M_{YV} M_{ZV} \\
& + C_{63} F_{XV}^3 + C_{64} F_{YV}^3 + C_{65} F_{ZV}^3 + C_{66} M_{XV}^3 \\
& + C_{67} M_{YV}^3 + C_{68} M_{ZV}^3 \quad (14)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_Z = & C_{69} + C_{70} F_{XV} + C_{71} F_{YV} + C_{72} F_{ZV} + C_{73} M_{XV} \\
& + C_{74} M_{YV} + C_{75} M_{ZV} \\
& + C_{76} F_{XV}^2 + C_{77} F_{YV}^2 + C_{78} F_{ZV}^2 + C_{79} M_{XV}^2 \\
& + C_{80} M_{YV}^2 + C_{81} M_{ZV}^2 \\
& + F_{XV} (C_{82} F_{YV} + C_{83} F_{ZV} + C_{84} M_{XV} + C_{85} M_{YV} \\
& + C_{86} M_{ZV}) \\
& + F_{YV} (C_{87} F_{ZV} + C_{88} M_{XV} + C_{89} M_{YV} + C_{90} M_{ZV}) \\
& + F_{ZV} (C_{91} M_{XV} + C_{92} M_{YV} + C_{93} M_{ZV}) \\
& + M_{XV} (C_{94} M_{YV} + C_{95} M_{ZV}) \\
& + C_{96} M_{YV} M_{ZV} \\
& + C_{97} F_{XV}^3 + C_{98} F_{YV}^3 + C_{99} F_{ZV}^3 + C_{100} M_{XV}^3 \\
& + C_{101} M_{YV}^3 + C_{102} M_{ZV}^3 \quad (15)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_X = & C_{103} + C_{104} F_{XV} + C_{105} F_{YV} + C_{106} F_{ZV} + C_{107} M_{XV} \\
& + C_{108} M_{YV} + C_{109} M_{ZV} \\
& + C_{110} F_{XV}^2 + C_{111} F_{YV}^2 + C_{112} F_{ZV}^2 + C_{113} M_{XV}^2 \\
& + C_{114} M_{YV}^2 + C_{115} M_{ZV}^2 \\
& + F_{XV} (C_{116} F_{YV} + C_{117} F_{ZV} + C_{118} M_{XV} \\
& + C_{119} M_{YV} + C_{120} M_{ZV}) \\
& + F_{YV} (C_{121} F_{ZV} + C_{122} M_{XV} + C_{123} M_{YV} \\
& + C_{124} M_{ZV}) \\
& + F_{ZV} (C_{125} M_{XV} + C_{126} M_{YV} + C_{127} M_{ZV}) \\
& + M_{XV} (C_{128} M_{YV} + C_{129} M_{ZV}) \\
& + C_{130} M_{YV} M_{ZV} \\
& + C_{131} F_{XV}^3 + C_{132} F_{YV}^3 + C_{133} F_{ZV}^3 + C_{134} M_{XV}^3 \\
& + C_{135} M_{YV}^3 + C_{136} M_{ZV}^3 \quad (16)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_Y = & C_{137} + C_{138} F_{XV} + C_{139} F_{YV} + C_{140} F_{ZV} + C_{141} M_{XV} \\
& + C_{142} M_{YV} + C_{143} M_{ZV} \\
& + C_{144} F_{XV}^2 + C_{145} F_{YV}^2 + C_{146} F_{ZV}^2 + C_{147} M_{XV}^2 \\
& + C_{148} M_{YV}^2 + C_{149} M_{ZV}^2 \\
& + F_{XV} (C_{150} F_{YV} + C_{151} F_{ZV} + C_{152} M_{XV} \\
& + C_{153} M_{YV} + C_{154} M_{ZV}) \\
& + F_{YV} (C_{155} F_{ZV} + C_{156} M_{XV} + C_{157} M_{YV} \\
& + C_{158} M_{ZV}) \\
& + F_{ZV} (C_{159} M_{XV} + C_{160} M_{YV} + C_{161} M_{ZV}) \\
& + M_{XV} (C_{162} M_{YV} + C_{163} M_{ZV}) \\
& + C_{164} M_{YV} M_{ZV} \\
& + C_{165} F_{XV}^3 + C_{166} F_{YV}^3 + C_{167} F_{ZV}^3 + C_{168} M_{XV}^3 \\
& + C_{169} M_{YV}^3 + C_{170} M_{ZV}^3 \quad (17)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_Z = & C_{171} + C_{172} F_{XV} + C_{173} F_{YV} + C_{174} F_{ZV} + C_{175} M_{XV} \\
& + C_{176} M_{YV} + C_{177} M_{ZV} \\
& + C_{178} F_{XV}^2 + C_{179} F_{YV}^2 + C_{180} F_{ZV}^2 + C_{181} M_{XV}^2 \\
& + C_{182} M_{YV}^2 + C_{183} M_{ZV}^2 \\
& + F_{XV} (C_{184} F_{YV} + C_{185} F_{ZV} + C_{186} M_{XV} \\
& + C_{187} M_{YV} + C_{188} M_{ZV}) \\
& + F_{YV} (C_{189} F_{ZV} + C_{190} M_{XV} + C_{191} M_{YV} \\
& + C_{192} M_{ZV}) \\
& + F_{ZV} (C_{193} M_{XV} + C_{194} M_{YV} + C_{195} M_{ZV}) \\
& + M_{XV} (C_{196} M_{YV} + C_{197} M_{ZV}) \\
& + C_{198} M_{YV} M_{ZV} \\
& + C_{199} F_{XV}^3 + C_{200} F_{YV}^3 + C_{201} F_{ZV}^3 + C_{202} M_{XV}^3 \\
& + C_{203} M_{YV}^3 + C_{204} M_{ZV}^3 \quad (18)
\end{aligned}$$

### 3. 校正係数決定アルゴリズム

上式に見られるように、一次式表示では 42 個の未知係数を、二次式表示では 168 個の未知係数を、三次式表示では 204 個の未知係数を決定すれば良い。校正係数  $C_j$  ( $j=1 \sim j_{\max}$ ) 決定のための評価関数は、 $N_{\max}$  を天秤校正時の負荷の回数 (データ数)、添え字  $\text{exp}$  で校正時の負荷、 $\text{th}$  は係数  $C_j$  ( $j=1 \sim j_{\max}$ ) が与えられたときの天秤特性表示式からの計算値として次式で定義する。

$$\begin{aligned}
F = & \sum_{n=1}^{N_{\max}} \{ (F_{X\text{exp}} - F_{X\text{th}})_n^2 + (F_{Y\text{exp}} - F_{Y\text{th}})_n^2 + (F_{Z\text{exp}} - F_{Z\text{th}})_n^2 \\
& + (M_{X\text{exp}} - M_{X\text{th}})_n^2 + (M_{Y\text{exp}} - M_{Y\text{th}})_n^2 + (M_{Z\text{exp}} - M_{Z\text{th}})_n^2 \} \quad (19)
\end{aligned}$$

この関数  $F$  を最小にするように未知係数  $C_j$  を決定すればよい。校正係数  $C_j$  を計算する場合、予め適当に与えられた初期値  $C_{j0}$  に対して評価関数を最小にするよう

に次の逐次近似を用いた。

$$C_j = C_{j0} + \Delta C_j \quad (20)$$

修正量  $\Delta C_j$  は次の様に計算される。

式 (19) で

$$F_{X_{\text{exp}}} - F_{X_{\text{th}}} \cong F_{X_{\text{exp}}} - F_{X_{\text{th}0}} - \sum_{j=1}^{j_{\text{max}}} \frac{\partial F_X}{\partial C_j} \Delta C_j \quad (21)$$

$$F_{Y_{\text{exp}}} - F_{Y_{\text{th}}} \cong F_{Y_{\text{exp}}} - F_{Y_{\text{th}0}} - \sum_{j=1}^{j_{\text{max}}} \frac{\partial F_Y}{\partial C_j} \Delta C_j \quad (22)$$

$$F_{Z_{\text{exp}}} - F_{Z_{\text{th}}} \cong F_{Z_{\text{exp}}} - F_{Z_{\text{th}0}} - \sum_{j=1}^{j_{\text{max}}} \frac{\partial F_Z}{\partial C_j} \Delta C_j \quad (23)$$

$$M_{X_{\text{exp}}} - M_{X_{\text{th}}} \cong M_{X_{\text{exp}}} - M_{X_{\text{th}0}} - \sum_{j=1}^{j_{\text{max}}} \frac{\partial M_X}{\partial C_j} \Delta C_j \quad (24)$$

$$M_{Y_{\text{exp}}} - M_{Y_{\text{th}}} \cong M_{Y_{\text{exp}}} - M_{Y_{\text{th}0}} - \sum_{j=1}^{j_{\text{max}}} \frac{\partial M_Y}{\partial C_j} \Delta C_j \quad (25)$$

$$M_{Z_{\text{exp}}} - M_{Z_{\text{th}}} \cong M_{Z_{\text{exp}}} - M_{Z_{\text{th}0}} - \sum_{j=1}^{j_{\text{max}}} \frac{\partial M_Z}{\partial C_j} \Delta C_j \quad (26)$$

なる展開を施すと評価関数  $F$  は次の近似式で置き換えられる。

$$\begin{aligned} F \cong & \sum_{n=1}^{N_{\text{max}}} \left\{ (F_{X_{\text{exp}}} - F_{X_{\text{th}0}} - \sum_{j=1}^{j_{\text{max}}} \frac{\partial F_X}{\partial C_j} \Delta C_j)^2 \right. \\ & + (F_{Y_{\text{exp}}} - F_{Y_{\text{th}0}} - \sum_{j=1}^{j_{\text{max}}} \frac{\partial F_Y}{\partial C_j} \Delta C_j)^2 \\ & + (F_{Z_{\text{exp}}} - F_{Z_{\text{th}0}} - \sum_{j=1}^{j_{\text{max}}} \frac{\partial F_Z}{\partial C_j} \Delta C_j)^2 \\ & + (M_{X_{\text{exp}}} - M_{X_{\text{th}0}} - \sum_{j=1}^{j_{\text{max}}} \frac{\partial M_X}{\partial C_j} \Delta C_j)^2 \\ & + (M_{Y_{\text{exp}}} - M_{Y_{\text{th}0}} - \sum_{j=1}^{j_{\text{max}}} \frac{\partial M_Y}{\partial C_j} \Delta C_j)^2 \\ & \left. + (M_{Z_{\text{exp}}} - M_{Z_{\text{th}0}} - \sum_{j=1}^{j_{\text{max}}} \frac{\partial M_Z}{\partial C_j} \Delta C_j)^2 \right\} \quad (27) \end{aligned}$$

この式を  $C_k$  ( $k=1, j_{\text{max}}$ ) で微分し、 $\Delta C_j$  の二次以上の項を省略すると

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial C_k} \cong & -2 \sum_{n=1}^{N_{\text{max}}} \left\{ (F_{X_{\text{exp}}} - F_{X_{\text{th}0}}) \frac{\partial F_X}{\partial C_k} \right. \\ & - \frac{\partial F_X}{\partial C_k} \sum_{j=1}^{j_{\text{max}}} \frac{\partial F_X}{\partial C_j} \Delta C_j \\ & \left. + (F_{Y_{\text{exp}}} - F_{Y_{\text{th}0}) \frac{\partial F_Y}{\partial C_k} - \frac{\partial F_Y}{\partial C_k} \sum_{j=1}^{j_{\text{max}}} \frac{\partial F_Y}{\partial C_j} \Delta C_j \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & + (F_{Z_{\text{exp}}} - F_{Z_{\text{th}0}) \frac{\partial F_Z}{\partial C_k} - \frac{\partial F_Z}{\partial C_k} \sum_{j=1}^{j_{\text{max}}} \frac{\partial F_Z}{\partial C_j} \Delta C_j \\ & + (M_{X_{\text{exp}}} - M_{X_{\text{th}0}) \frac{\partial M_X}{\partial C_k} - \frac{\partial M_X}{\partial C_k} \sum_{j=1}^{j_{\text{max}}} \frac{\partial M_X}{\partial C_j} \Delta C_j \\ & + (M_{Y_{\text{exp}}} - M_{Y_{\text{th}0}) \frac{\partial M_Y}{\partial C_k} - \frac{\partial M_Y}{\partial C_k} \sum_{j=1}^{j_{\text{max}}} \frac{\partial M_Y}{\partial C_j} \Delta C_j \\ & \left. + (M_{Z_{\text{exp}}} - M_{Z_{\text{th}0}) \frac{\partial M_Z}{\partial C_k} - \frac{\partial M_Z}{\partial C_k} \sum_{j=1}^{j_{\text{max}}} \frac{\partial M_Z}{\partial C_j} \Delta C_j \right\} \quad (28) \end{aligned}$$

かくして  $\frac{\partial F}{\partial C_k} = 0$  の解として  $\Delta C_j$  が求まる。

#### 4. 天秤とキャリボディ

国産天秤と外国天秤の精度の現状認識と相互評価を目的に、航技研遷音速風洞で使用頻度の高い LMC-6522-50/Z1000-S (以下 LMC6522 と略記) と B660H 天秤の校正作業を行った。

天秤容量を表 1 に示す。上記天秤に高剛性八面体キャリボディを取付け、ワイヤーや受け皿を介して分銅により実荷重を掛けた。天秤校正の概念図と直交系の定義を図 1 に示す。 $W_1, W_2$  で  $F_X$  (逆向きで  $-F_X$ ) を発生させる。 $W_3$  で  $F_Z$  を、また  $X$  軸周りに 45 度回転させると

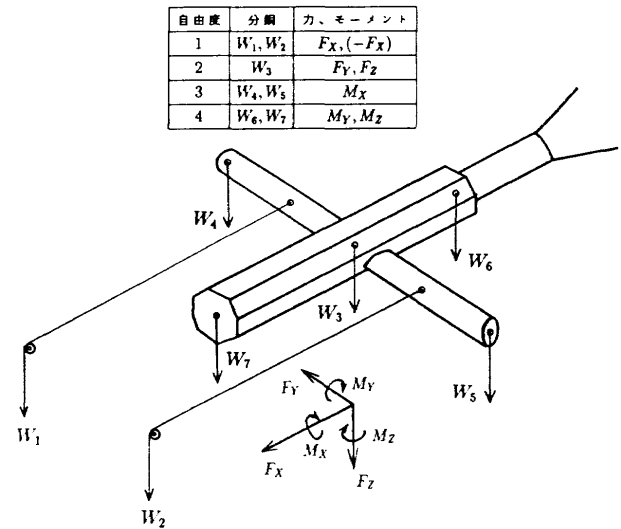


図 1 天秤校正概念図と直交系の定義

表 1 天秤容量 (括弧内は kgf, kgfm)

天秤名	$F_X$ (N)	$F_Y$ (N)	$F_Z$ (N)	$M_X$ (Nm)	$M_Y$ (Nm)	$M_Z$ (Nm)
LMC 6522 (一体化天秤)	±980 (±100)	±4900 (±500)	±9800 (±1000)	±196 (±20)	(±784) (±80)	(±392) (±40)
B660H (一体化天秤)	±686 (±70)	±3920 (±400)	±7840 (±800)	±245 (±25)	±588 (±60)	±245 (±25)

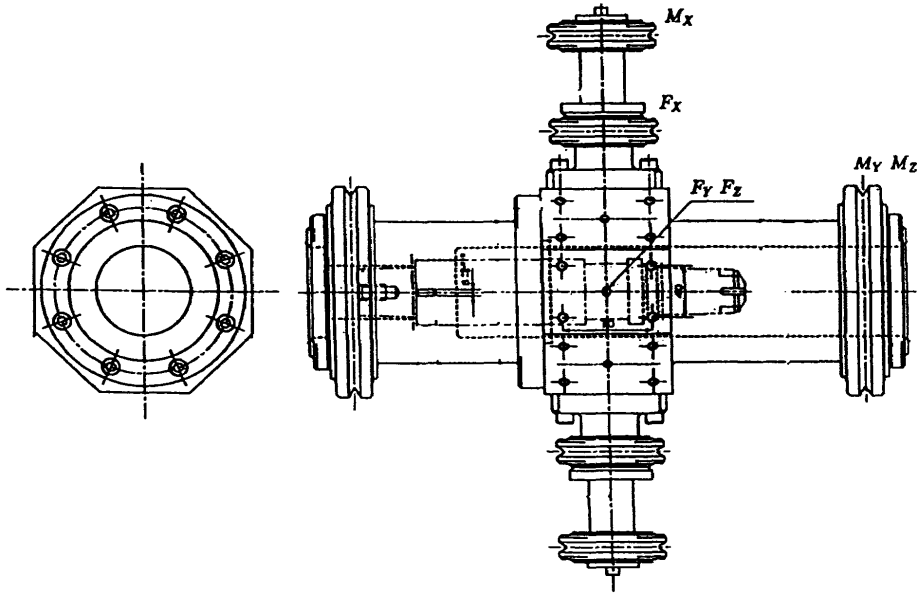


図2 キャリボディ

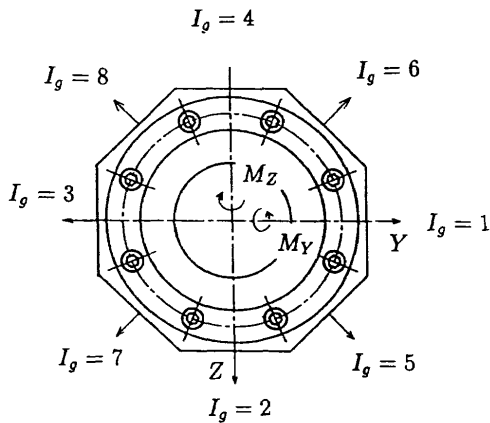


図3 キャリボディ回転位置の定義（後方より見て）

$F_y$ ,  $F_z$ の複合力が得られる。90度回転位置で $F_y$ が得られる。次に $W_4$ と $W_5$ 負荷で $M_x$ を発生させるがこの時 $F_z$ 等の力も付加的に発生する。この $M_x$ 用の両アームは図3で見られる八面体の各面に取付け可能な構造となっている。同様に $W_6$ と $W_7$ 負荷で $M_y$ ,  $M_z$ を発生させることができる。負荷によるたわみ修正は水準器によった。

図2, 図3にキャリボディの形状と較正作業時の分銅付加方向（重力方向）の定義 ( $I_g$ ) を示した。上に述べたように八面体キャリボディをX軸周りに45°ずつ回転させて分力を発生させ複合荷重を実現しているが、この簡易試験装置では負荷機構は四自由度しかなく、自由度が不足しているために複合荷重の組合せが実現出来ないものもある。

### 5. 天秤較正時の負荷選定

出来るだけ少ない荷重点数で所定の精度を保ち較正係

数が決定出来ることが望ましい。天秤特性を表示する方程式で見られるようにクロスアームを評価するには複合荷重が必須である。しかし六分力に対する複合荷重の組合せを作る場合、荷重点数が極めて大きくなり現実的でない。今回の天秤較正では成分荷重と複合荷重の混成とし以下の考え方で荷重点数を決定した。

- (1) 成分荷重については各成分とも+側5点, -側5点, 合計11点程度とする。
- (2) 複合荷重については
  - (a) 縦三分力の複合荷重
  - (b) 六分力複合荷重
  - (c) 縦三分力+ロール
  - (d) 横三分力+軸力

(3) 複合荷重時の荷重点数を極力減らすため、各成分ともその容量の50%を目途として代表的な荷重点を+側1点, -側1点選定し、組合せを作成した。

(4) 較正作業が長時間に渡るため、作業中の気温変化による温度ドリフトの影響を極力取除く目的でゼロ点を多く取り入れる事とし、一ブロック（5ないし10荷重点）の前後に無負荷データを挿入し、一ブロックに対する較正データ収集中は温度一定とみなした。

今回の較正試験におけるLMC6522天秤の荷重指示例を付録Aに示した。B660Hについても同様な考え方で荷重点数を決定し付録Bに示した。なお荷重指示書の単位系は現場での混乱を避けるためkgf, kgfmを用い、データ処理の段階でSI系に換算してある。荷重点を選定する場合、現在の簡易装置では負荷機構の自由度が不足しているため複合荷重の組合せが実現出来ない場合があることを述べたが現状ではやむをえず、付録A, Bに示した一覧表で荷重点番号の付いていない組合せがそれに



表2 負荷方式と荷重点番号の関係

天秤名	LMC6522	B660H
成分負荷	1~160	1~164
縦三分力複合負荷	161~184	165~188
六分力複合負荷	185~256	189~260
縦三分力+ロール	257~292	261~296
横三分力+軸力	293~328	297~332

該当する。この様な欠点は新規に導入する校正装置にはない。表2に上記(a)~(d)の各負荷方式に対する荷重点数内訳を示す。

6. キャリボディ重量等の推算法

天秤特性を非線形表示する場合、キャリボディ重量による負荷、分銅受け皿の重量による負荷等いわゆる風袋の天秤への寄与を推算する必要がある。キャリボディを天秤に装着し正規の状態(F<sub>Z</sub>を下側)に取付けた時の天秤出力と180°回転させた時(F<sub>Z</sub>を上側)の出力を求める。

F<sub>ZV</sub>, M<sub>XV</sub>, M<sub>YV</sub>の出力差はF<sub>Z(CB)</sub>, M<sub>X(CB)</sub>, M<sub>Y(CB)</sub>の2倍の負荷に相当する。予め天秤の特性方程式を線形表示で求めておけば、天秤出力差からキャリボディ重量、モーメントが求まる。具体的には次式による。

$$F_{Z(CB)} = \frac{1}{2} (C_{16} \Delta F_{XV} + C_{17} \Delta F_{YV} + C_{18} \Delta F_{ZV} + C_{19} \Delta M_{XV} + C_{20} \Delta M_{YV} + C_{21} \Delta M_{ZV}) \tag{29}$$

$$M_{X(CB)} = \frac{1}{2} (C_{23} \Delta F_{XV} + C_{24} \Delta F_{YV} + C_{25} \Delta F_{ZV} + C_{26} \Delta M_{XV} + C_{27} \Delta M_{YV} + C_{28} \Delta M_{ZV}) \tag{30}$$

$$M_{Y(CB)} = \frac{1}{2} (C_{30} \Delta F_{XV} + C_{31} \Delta F_{YV} + C_{32} \Delta F_{ZV} + C_{33} \Delta M_{XV} + C_{34} \Delta M_{YV} + C_{35} \Delta M_{ZV}) \tag{31}$$

6.1 LMC6522 天秤校正用キャリボディ

今回行った校正作業についてキャリボディ重量、重心位置等の推算した結果を示す。

天秤校正時の定格負荷と定格出力を表3に、天秤にキャリボディを装着した時の出力と180°バンクさせた時の出力を表4に示す。

この結果から、式(29)~(31)を使い表5の結果が得られる。即ちキャリボディ等風袋荷重は669.4ニュートン、重心位置は天秤中心の0.0122m前方に有る事が知れる。なお横ゆれモーメントM<sub>X</sub>は小さく、キャリボディ重心の横方向(Y方向)へのずれは無視できる。

6.2 B660H 天秤校正用キャリボディ

同様な計算をB660H天秤に適用した場合について、表6に定格負荷と定格出力を、表7にキャリボディを回転したときの天秤出力変化を、表8にB660H天秤用キャリボディ重量等計算結果を示す。

この場合にはキャリボディ重量等による負荷が681.6ニュートンとやや大きい事、重心位置が0.0068m前方

表3 LMC6522 天秤校正時の定格負荷と定格出力 (括弧内は kgf, kgfm)

	F <sub>X</sub> F <sub>XV</sub>	F <sub>Y</sub> F <sub>YV</sub>	F <sub>Z</sub> F <sub>ZV</sub>	M <sub>X</sub> M <sub>XV</sub>	M <sub>Y</sub> M <sub>YV</sub>	M <sub>Z</sub> M <sub>ZV</sub>
定格負荷 (N, Nm)	980 (100)	4900 (500)	9800 (1000)	196 (20)	784 (80)	392 (40)
定格出力 (μst)	1271.4	1501.0	814.7	2048.4	1931.3	1444.7
定格出力 (mV)	1.908	2.258	1.220	3.072	2.850	2.178

表4 LMC6522 天秤用キャリボディ重量による天秤出力変化

	F <sub>XV</sub>	F <sub>YV</sub>	F <sub>ZV</sub>	M <sub>XV</sub>	M <sub>YV</sub>	M <sub>ZV</sub>
F <sub>Z</sub> (下)(μst)	40.08	40.00	40.32	40.00	40.00	40.00
F <sub>-Z</sub> (下)(μst)	48.48	37.20	-69.60	40.24	80.80	39.52
F <sub>Z</sub> (下)(mV)	0.06015	0.06017	0.06038	0.05999	0.05903	0.06030
F <sub>-Z</sub> (下)(mV)	0.07275	0.05596	-0.1042	0.06035	0.1192	0.05958
差分Δ (mV)	-0.0126	0.00421	0.16458	-0.00036	-0.06017	0.00072

表5 LMC6522 天秤用キャリボディ重量等 (括弧内は kgf, kgfm)

	F <sub>X(CB)</sub> (N)	F <sub>Y(CB)</sub> (N)	F <sub>Z(CB)</sub> (N)	M <sub>X(CB)</sub> (Nm)	M <sub>Y(CB)</sub> (Nm)	M <sub>Z(CB)</sub> (Nm)
一次表示式			669.4 (68.31)	-0.0098 (-0.0010)	-8.163 (-0.833)	

表 6 B660H 天秤校正時の定格負荷と定格出力 (括弧内単位系は kgf, kgfm)

	$F_X$ $F_{XV}$	$F_Y$ $F_{YV}$	$F_Z$ $F_{ZV}$	$M_X$ $M_{XV}$	$M_Y$ $M_{YV}$	$M_Z$ $M_{ZV}$
定格負荷 (N, Nm)	686 (70)	3920 (400)	7840 (800)	245 (25)	588 (60)	245 (25)
定格出力 ( $\mu$ st)	1666.5	1814.5	3173.8	2688.0	2153.1	847.9
定格出力 (mV)	0.83325	0.90725	1.5869	1.344	1.07655	0.42395

表 7 B660H 天秤用キャリボディ装着時の天秤出力変化

	$F_{XV}$	$F_{YV}$	$F_{ZV}$	$M_{XV}$	$M_{YV}$	$M_{ZV}$
$F_Z$ (下) ( $\mu$ st)	-4.48	35.60	592.64	60.80	-12.00	36.00
$F_{-Z}$ (下) ( $\mu$ st)	40.80	40.80	39.60	39.84	40.40	40.40
$F_Z$ (下) (mV)	-0.00224	0.0178	0.29632	0.0304	-0.006	0.018
$F_{-Z}$ (下) (mV)	0.0204	0.0204	0.0198	0.01992	0.0202	0.0202
差分 $\Delta$ (mV)	-0.02264	-0.0026	0.27652	0.01048	-0.0262	-0.0022

表 8 B660H 天秤校正用キャリボディ重量等 (括弧内は kgf, kgfm)

	$F_X$ (CB) (N)	$F_Y$ (CB) (N)	$F_Z$ (CB) (N)	$M_X$ (CB) (Nm)	$M_Y$ (CB) (Nm)	$M_Z$ (CB) (Nm)
一次表示式			681.6 (69.55)	-0.0676 (-0.0069)	-4.635 (-0.473)	

に有る事が分かる。

## 7. LMC6522 天秤の較正例

### 7.1 キャリボディ重量等の影響による較正データの補正

天秤特性を非線形表示するときはキャリボディ重量等の補正が必要であることは既に述べた。天秤較正は八面体キャリボディを利用し回転させて複合荷重を作るので、

キャリボディ重量等の作用方向が八通り変化することになる。すでに述べたようにキャリボディ重量等による負荷は 669.4 N (68.31kgf)、重心位置は天秤中心の前方 0.0122m である。また軸力負荷のための治具重量を 2.94N (0.3kgf) とするとキャリボディ重量等の天秤への影響は各  $I_{\theta}$  に対して表 9 のように計算される。ここで  $I_{\theta}$  は天秤較正時の八面体キャリボディの回転位置を示す指示値である (図 3, 付図 1 等)。本較正時の荷重点

表 9 LMC6522 天秤用キャリボディ重量の天秤六分力への影響 (括弧内は kgf, kgfm)

データ群 ( $I_{\theta}$ )	$F_X$ (CB) (N)	$F_Y$ (CB) (N)	$F_Z$ (CB) (N)	$M_X$ (CB) (Nm)	$M_Y$ (CB) (Nm)	$M_Z$ (CB) (Nm)
1	$\pm 2.94$ ( $\pm 0.30$ )	669.44 (68.31)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	8.163 (0.833)
2	$\pm 2.94$ ( $\pm 0.30$ )	0.0 (0.0)	669.44 (68.31)	0.0 (0.0)	-8.163 (-0.833)	0.0 (0.0)
3	$\pm 2.94$ ( $\pm 0.30$ )	-669.44 (-68.31)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	-8.163 (-0.833)
4	$\pm 2.94$ ( $\pm 0.30$ )	0.0 (0.0)	-669.44 (-68.31)	0.0 (0.0)	8.163 (0.833)	0.0 (0.0)
5	$\pm 2.94$ ( $\pm 0.30$ )	473.34 (48.30)	473.34 (48.30)	0.0 (0.0)	-5.772 (-0.589)	5.772 (0.589)
6	$\pm 2.94$ ( $\pm 0.30$ )	473.34 (48.30)	-473.34 (-48.30)	0.0 (0.0)	5.772 (0.589)	5.772 (0.589)
7	$\pm 2.94$ ( $\pm 0.30$ )	-473.34 (-48.30)	473.34 (48.30)	0.0 (0.0)	-5.772 (-0.589)	-5.772 (-0.589)
8	$\pm 2.94$ ( $\pm 0.30$ )	-473.34 (-48.30)	-473.34 (-48.30)	0.0 (0.0)	5.772 (0.589)	-5.772 (-0.589)

番号に対する  $I_g$  の関係は図3の定義に従う事にすれば、校正作業時に各荷重点に対して  $I_g$  値を一緒に取込んでおけば、表9に従って修正データが作成できる。

このキャリボディ重量等の天秤六分力への影響に対応する検出器出力は、次式により計算する。

$$F_{XV} = C'_1 + C'_2 F_X + C'_3 F_Y + C'_4 F_Z + C'_5 M_X + C'_6 M_Y + C'_7 M_Z \quad (32)$$

$$F_{YV} = C'_8 + C'_9 F_X + C'_{10} F_Y + C'_{11} F_Z + C'_{12} M_X + C'_{13} M_Y + C'_{14} M_Z \quad (33)$$

$$F_{ZV} = C'_{15} + C'_{16} F_X + C'_{17} F_Y + C'_{18} F_Z + C'_{19} M_X + C'_{20} M_Y + C'_{21} M_Z \quad (34)$$

$$M_{XV} = C'_{22} + C'_{23} F_X + C'_{24} F_Y + C'_{25} F_Z + C'_{26} M_X + C'_{27} M_Y + C'_{28} M_Z \quad (35)$$

$$M_{YV} = C'_{29} + C'_{30} F_X + C'_{31} F_Y + C'_{32} F_Z + C'_{33} M_X + C'_{34} M_Y + C'_{35} M_Z \quad (36)$$

$$M_{ZV} = C'_{36} + C'_{37} F_X + C'_{38} F_Y + C'_{39} F_Z + C'_{40} M_X + C'_{41} M_Y + C'_{42} M_Z \quad (37)$$

$C'_1 \sim C'_{42}$  は最小二乗法で決定する。これら同定した方程式で  $C'_1, C'_8, C'_{15}, C'_{22}, C'_{29}, C'_{36}$  をゼロとおき表9の負荷を右辺に代入する事でキャリボディ重量等に相当する検出器出力が求まる。これら付加重量と付加出力を生データに加える事で天秤に加わる全荷重とそれに対応する天秤出力のデータが得られる。これを修正データと呼び、第2章で記した天秤特性の表示式の未知係数決定のデータとして用いる。

## 7. 2 LMC6522 天秤の校正係数

### 7. 2. 1 一次式表示の場合

式(1)～(6)の係数決定した結果を表10に示す。

係数マトリックスの読み方は左から右に向かって係数  $C_j$  を並べてある。各要素に対する干渉の大きい要素を取り出して見ると、(1)  $F_X$  成分に対して  $F_Z$  要素、(2)  $F_Y$  成分に対して  $M_Z, F_Z, M_X$  要素、(3)  $F_Z$  成分に対して  $M_Y$  要素、(4)  $M_X$  成分に対して  $M_Z$  要素、(5)  $M_Y$  成分に対して  $M_X$  要素、(6)  $M_Z$  成分に対して  $M_Y, F_Y$  要素、の干渉が大きい。この中で  $F_X$  に及ぼす  $F_Z$  の干渉が大きいのが特徴的である。 $F_X$  は力測定試験において最も重要な抵抗を計測するエレメントであり、特に正確に干渉量を評価する必要がある。

### 7. 2. 2 二次式表示の場合

表11に校正係数マトリックスを示す。

表の書き方は各行及び列の積で出来る二次項の係数として  $C_j$  値を示している。

一次式表示の場合と同様に影響の大きい干渉項を取り出すと、(1)  $F_X$  成分に対して  $F_Z, F_Z \times M_Z, F_Y \times M_Y$  要素、(2)  $F_Y$  成分に対して  $M_Z, F_Z, M_X, F_Z \times M_Z, F_Y \times M_Y$  要素、(3)  $F_Z$  成分に対して  $M_Y, F_Z \times M_Z, F_Y \times M_Y$  要素、(4)  $M_X$  成分に対して  $M_Z, F_Z \times M_Z, F_Y \times M_Y$  要素、(5)  $M_Y$  成分に対して  $M_X, F_Z \times M_Z, F_Y \times M_Y$  要素、(6)  $M_Z$  成分に対して  $M_Y, F_Y, F_Z \times M_Z, F_Y \times M_Y$  要素、が挙げられる。ここで特徴的な結果は一次式表示の場合と同じ一次干渉項の他に、クロスタームの中で特に  $F_Z \times M_Z, F_Y \times M_Y$  の影響が大きい事である。複合荷重による校正の重要性和校正結果の非線形表示の重要性が改めて浮彫りになった。

### 7. 2. 3 三次式表示の場合

表12に校正係数マトリックスを示す。

マトリックスの読み方は二次式表示の場合に準ずる。この表から各要素に対する卓越した干渉項は二次式表示の場合と同じで、三次項はあまり影響がないことがわかる。

## 8. B660H 天秤の校正例

### 8. 1 キャリボディ重量等の影響による校正データの補正

ここではキャリボディ重量を 681.6N (69.55kgf)、重心位置を天秤中心の前方 0.0068 m とし、軸力負荷のための治具重量を 2.94N (0.3kgf) とした。また校正時のキャリボディ位置の指示値  $I_g$  は図3で示されるので、キャリボディ重量の天秤への影響は表13により計算される。

この負荷に相当する天秤出力を計算式(32)～(37)で計算し、修正データを作成した。

### 8. 2 B660H 天秤の校正係数

#### 8. 2. 1 一次式表示の場合

表14に校正マトリックスを示す。

天秤構造が LMC6522 天秤と異なるため干渉の様子も若干異なる。干渉の大きい項は、(1)  $F_X$  成分に対して

表10 LMC6522 天秤の一次式表示マトリックス

	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
FX	-6.7135	511.5005	1.1404	39.3786	-1.0294	-4.0317	-4.6065
FY	0.3824	-0.3208	2163.8375	-45.0224	-17.6967	-2.7369	-58.1228
FZ	1.5158	0.4135	-14.6704	8040.5536	17.9905	-260.9318	7.9971
MX	0.0022	-0.0337	-0.5955	0.2224	63.7098	0.5382	1.1704
MY	0.0449	0.0490	0.2585	0.8605	1.1997	273.5910	-1.0483
MZ	0.0279	-0.0025	-1.4703	-0.2598	-0.2544	1.5228	179.0060

表 11 LMC6522 天秤の二次式表示マトリックス

## COEFFICIENTS OF FX

	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	0.4313	512.3684	1.1348	39.6009	-1.0101	-3.9856	-4.6331
FXV		0.1038	0.0125	-4.1192	-0.0187	0.3045	0.0354
FYV			-4.1085	1.0174	-3.3039	-37.7050	5.2332
FZV				-14.9035	0.1042	8.4698	-91.4111
MXV					0.5757	0.3092	3.0561
MYV						3.3579	4.1256
MZV							-1.4918

## COEFFICIENTS OF FY

	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	0.0715	-0.3405	2163.8478	-45.0112	-17.7061	-2.7366	-58.0522
FXV		0.0972	0.6183	-0.9691	0.0330	0.2551	-0.8047
FYV			0.1654	-3.4572	0.0191	9.8389	-0.0811
FZV				0.1601	8.2862	-0.2095	25.5234
MXV					0.0092	-5.7412	-0.0610
MYV						-0.1193	-1.1872
MZV							0.0924

## COEFFICIENTS OF FZ

	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	0.0729	0.3442	-14.6711	8040.5069	17.8753	-260.9296	8.1065
FXV		-0.2774	0.5429	3.2542	-0.0253	0.8500	-0.0316
FYV			1.1331	-3.7191	-1.2797	221.4143	-2.0476
FZV				0.4628	-0.9385	1.8317	538.6698
MXV					0.0922	-1.6376	-0.8731
MYV						-0.0293	-23.7019
MZV							0.2022

## COEFFICIENTS OF MX

	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	-0.0032	-0.0334	-0.5967	0.2196	63.7133	0.5385	1.1690
FXV		-0.0025	0.0124	0.0234	-0.0081	0.0033	0.0082
FYV			-0.0095	-0.1571	-0.0164	-3.7599	0.0313
FZV				-0.0075	0.0792	0.0249	-8.7513
MXV					0.0152	0.0617	-0.0181
MYV						0.0101	0.4835
MZV							0.0071

## COEFFICIENTS OF MY

	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	-0.0186	0.0433	0.2598	0.8679	1.1961	273.5917	-1.0452
FXV		0.0102	-0.0114	-0.2704	-0.0065	-0.1465	-0.0027
FYV			0.0089	-0.1409	0.1649	8.2073	-0.1293
FZV				-0.0231	-0.0375	-0.0158	19.9426
MXV					-0.0074	-0.0607	0.1046
MYV						0.0345	-0.8676
MZV							0.0829

## COEFFICIENTS OF MZ

	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	0.0054	-0.0034	-1.4763	-0.2612	-0.2581	1.5229	179.0147
FXV		-0.0154	0.0946	0.0106	-0.0065	0.0281	-0.0889
FYV			0.0088	-0.0932	0.0133	3.4016	-0.0269
FZV				-0.0072	0.4524	-0.0311	8.0709
MXV					-0.0027	-0.1605	0.0171
MYV						-0.0042	-0.4299
MZV							0.0494

表 12 LMC6522 天秤の三次式表示マトリックス

COEFFICIENTS OF FX							
	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	0.4322	512.0584	1.1645	39.8114	-1.0422	-3.9571	-4.6036
FXV		0.1071	0.0132	-4.1165	-0.0180	0.3041	0.0344
FYV			-4.1113	1.0090	-3.3037	-37.1616	5.2307
FZV				-14.9072	0.1020	8.4692	-90.0899
MXV					0.5751	0.3049	3.0613
MYV						3.3552	4.0679
MZV							-1.4894
FXV**3	0.2386						
FYV**3	-0.0056						
FZV**3	-0.3740						
ELV**3	0.0081						
EMV**3	-0.0060						
ENV**3	-0.0088						
COEFFICIENTS OF FY							
	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	0.0729	-0.4260	2165.4372	-44.8661	-17.6736	-2.7090	-57.9862
FXV		0.1013	0.6273	-0.9638	0.0366	0.2560	-0.8068
FYV			0.1518	-3.2543	-0.0332	-2.0630	0.0203
FZV				0.1956	8.3263	-0.2068	-3.4140
MXV					0.0095	-5.6393	-0.1227
MYV						-0.0949	0.0838
MZV							0.0607
FXV**3	0.0665						
FYV**3	-0.3153						
FZV**3	-0.2563						
ELV**3	-0.0057						
EMV**3	-0.0063						
ENV**3	-0.0043						
COEFFICIENTS OF FZ							
	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	0.0744	0.2179	-15.0887	8044.9467	17.6918	-261.5656	7.6513
FXV		-0.2804	0.5406	3.2908	-0.0234	0.8826	-0.0336
FYV			1.1300	-3.7018	-1.2837	220.2696	-2.0368
FZV				0.4749	-0.9315	1.8315	535.8866
MXV					0.0922	-1.6307	-0.8771
MYV						-0.0281	-23.5795
MZV							0.1997
FXV**3	0.0972						
FYV**3	0.0833						
FZV**3	-8.4515						
ELV**3	0.0458						
EMV**3	0.2450						
ENV**3	0.1275						
COEFFICIENTS OF MX							
	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	-0.0033	-0.0342	-0.6058	0.2520	63.6742	0.5353	1.1836
FXV		-0.0028	0.0127	0.0235	-0.0075	0.0034	0.0080
FYV			-0.0084	-0.1757	-0.0114	-2.6252	0.0216
FZV				-0.0109	0.0751	0.0246	-5.9924
MXV					0.0151	0.0525	-0.0122
MYV						0.0077	0.3626
MZV							0.0101
FXV**3	0.0005						
FYV**3	0.0019						
FZV**3	-0.0610						
ELV**3	0.0098						
EMV**3	0.0014						
ENV**3	-0.0042						
COEFFICIENTS OF MY							
	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	-0.0185	0.0724	0.2380	1.0610	1.1898	273.5578	-0.9582
FXV		0.0099	-0.0119	-0.2689	-0.0063	-0.1449	-0.0022
FYV			0.0082	-0.1242	0.1607	7.1834	-0.1208
FZV				-0.0194	-0.0340	-0.0155	17.4536
MXV					-0.0073	-0.0524	0.0991
MYV						0.0368	-0.7583
MZV							0.0801
FXV**3	-0.0224						
FYV**3	0.0045						
FZV**3	-0.3715						
ELV**3	0.0017						
EMV**3	0.0125						
ENV**3	-0.0259						
COEFFICIENTS OF MZ							
	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	0.0055	-0.0055	-1.5032	-0.3069	-0.2611	1.5089	179.1313
FXV		-0.0152	0.0941	0.0105	-0.0064	0.0285	-0.0884
FYV			0.0080	-0.0818	0.0102	2.6960	-0.0209
FZV				-0.0052	0.4546	-0.0309	6.3558
MXV					-0.0026	-0.1549	0.0134
MYV						-0.0027	-0.3545
MZV							0.0474
FXV**3	0.0016						
FYV**3	0.0055						
FZV**3	0.0860						
ELV**3	0.0008						
EMV**3	0.0035						
ENV**3	-0.0346						

表 13 B660H 天秤用キャリボディ重量の天秤六分力への影響 (括弧内は kgf, kgfm)

データ群 ( $I_g$ )	$F_X$ (CB) (N)	$F_Y$ (CB) (N)	$F_Z$ (CB) (N)	$M_X$ (CB) (Nm)	$M_Y$ (CB) (Nm)	$M_Z$ (CB) (Nm)
1	±2.94 (±0.30)	681.59 (69.55)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	4.635 (0.473)
2	±2.94 (±0.30)	0.0 (0.0)	681.59 (69.55)	0.0 (0.0)	-4.635 (-0.473)	0.0 (0.0)
3	±2.94 (±0.30)	-681.59 (-69.55)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	-4.635 (-0.473)
4	±2.94 (±0.30)	0.0 (0.0)	-681.59 (-69.55)	0.0 (0.0)	4.635 (0.473)	0.0 (0.0)
5	±2.94 (±0.30)	481.96 (49.18)	481.96 (49.18)	0.0 (0.0)	-3.273 (-0.334)	3.273 (0.334)
6	±2.94 (±0.30)	481.96 (49.18)	-481.96 (-49.18)	0.0 (0.0)	3.273 (0.334)	3.273 (0.334)
7	±2.94 (±0.30)	-481.96 (-49.18)	481.96 (49.18)	0.0 (0.0)	-3.273 (-0.334)	-3.273 (-0.334)
8	±2.94 (±0.30)	-481.96 (-49.18)	-481.96 (-49.18)	0.0 (0.0)	3.273 (0.334)	-3.273 (-0.334)

表 14 B660H 天秤の一次式表示マトリックス

	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
FX	0.1994	821.0894	-55.0291	69.6418	-15.2032	-32.1864	-2.1682
FY	0.6609	2.6876	4315.7718	35.2841	20.1182	-8.8647	55.9094
FZ	0.7952	-1.0499	28.8175	4946.7900	-16.1332	172.1377	4.4163
MX	-0.1228	0.0614	0.2595	-6.0481	182.4542	14.1795	0.3447
MY	0.0231	-0.0173	-4.3534	17.8760	6.3595	545.0753	2.2324
MZ	-0.0615	-0.2274	55.7070	5.5460	0.7411	1.6956	576.1114

$F_Z$ ,  $F_Y$ ,  $M_Y$ ,  $M_X$  要素, (2)  $F_Y$  成分に対して  $M_Z$ ,  $F_Z$ ,  $M_X$  要素, (3)  $F_Z$  成分に対して  $M_Y$  要素, (4)  $M_X$  成分に対して  $M_Y$  要素, (5)  $M_Y$  成分に対して  $F_Z$  要素, (6)  $M_Z$  成分に対して  $F_Y$  要素, 等であるが, この中で  $F_X$  に対して  $F_Z$ ,  $F_Y$ ,  $M_Y$ ,  $M_X$  の 4 項からの干渉が大きいことと, 他の成分 ( $F_Y \sim M_Z$ ) に対しても LMC 6522 天秤に比べて全体的に干渉量が多めである。

### 8. 2. 2 二次式表示の場合

表 15 に較正マトリックスを示す。

一次式表示の場合と同じ線形干渉量がある他に, B660H 天秤の場合も非線形干渉量が無視できないことが明らかである。

### 8. 2. 3 三次式表示の場合

表 16 に較正マトリックスを示す。

干渉の程度は二次式表示の場合とほぼ同じで三次項の影響は小さい。

## 9. 較正精度

### 9. 1 残 差

実荷重と較正曲線の差を各エレメント容量で割ったものを残差と定義しておく。

$$\frac{\Delta F_X}{FS} = \frac{F_{X\text{exp}} - F_{X\text{th}}}{F_{X(F.S.)}} \times 100 \quad (38)$$

$$\frac{\Delta F_Y}{FS} = \frac{F_{Y\text{exp}} - F_{Y\text{th}}}{F_{Y(F.S.)}} \times 100 \quad (39)$$

$$\frac{\Delta F_Z}{FS} = \frac{F_{Z\text{exp}} - F_{Z\text{th}}}{F_{Z(F.S.)}} \times 100 \quad (40)$$

$$\frac{\Delta M_X}{FS} = \frac{M_{X\text{exp}} - M_{X\text{th}}}{M_{X(F.S.)}} \times 100 \quad (41)$$

$$\frac{\Delta M_Y}{FS} = \frac{M_{Y\text{exp}} - M_{Y\text{th}}}{M_{Y(F.S.)}} \times 100 \quad (42)$$

$$\frac{\Delta M_Z}{FS} = \frac{M_{Z\text{exp}} - M_{Z\text{th}}}{M_{Z(F.S.)}} \times 100 \quad (43)$$

残差結果を LMC6522 天秤について, 天秤特性を一次式表示した場合を図 4. 1 ~ 図 4. 6 に, 二次式表示した場合を図 5. 1 ~ 図 5. 6 に, 三次式表示した場合を図 6. 1 ~ 図 6. 6 に示した。B660H 天秤について図 7. 1 ~ 図 7. 6, 図 8. 1 ~ 図 8. 6, 図 9. 1 ~ 図 9. 6 に示した。横軸は荷重指示書に記した荷重点番号である。

±0.5% を越える残差に対しては作図上 ±0.5% の位置にプロットした。特徴的な結果として両天秤とも一次式表示では残差が極めて大きい事, とくに複合荷重負荷領域でこの傾向が顕著である。しかし非線形表示を採用

表 15 B660H 天秤の二次式表示マトリックス

COEFFICIENTS OF FX							
	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	0.0806	821.7661	-54.7851	69.7208	-15.1650	-32.2763	-0.6966
FXV		0.5929	-7.8259	0.1128	-0.0776	0.4857	0.4065
FYV			-0.4942	-3.8677	-1.0592	-20.4047	13.3780
FZV				-2.6765	-1.8935	-19.5831	-24.0901
MXV					13.0791	58.0559	-0.5136
MYV						-6.5885	-3.1145
MZV							19.8761

COEFFICIENTS OF FY							
	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	-0.0679	2.3632	4316.0568	35.2510	19.9200	-8.7943	56.4930
FXV		-1.7508	4.8032	0.1716	-0.3747	-1.8863	-4.5620
FYV			4.1123	16.4660	1.5875	80.7774	5.2397
FZV				0.1034	46.4819	15.5632	104.6231
MXV					1.2679	-27.8143	-0.7906
MYV						-1.7581	0.3795
MZV							-2.9283

COEFFICIENTS OF FZ							
	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	0.0609	-1.0523	28.8469	4946.8498	-16.2959	172.1564	4.5684
FXV		2.4682	2.1123	7.4064	-0.2019	4.7093	-1.1204
FYV			-0.3969	14.3156	-48.0271	60.8824	0.9529
FZV				3.0584	-0.0177	0.6740	93.1632
MXV					-0.1092	-0.1121	-38.3798
MYV						0.5170	0.9171
MZV							0.4767

COEFFICIENTS OF MX							
	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	-0.0073	0.0625	0.2620	-6.0494	182.5269	14.1815	0.2924
FXV		-0.2534	-0.0272	0.0449	0.0382	-0.0801	0.0356
FYV			0.0206	-2.7833	-0.5366	-23.6458	-0.4036
FZV				-0.5608	0.1826	-0.1611	-27.4428
MXV					0.0876	-0.0750	-0.4731
MYV						-0.0329	-2.6023
MZV							0.2716

COEFFICIENTS OF MY							
	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	0.0433	-0.0129	-4.2751	17.8819	6.2911	545.0790	2.4433
FXV		-0.1969	0.0551	0.0780	-0.0111	0.4900	0.0846
FYV			-0.2863	3.7436	-1.6587	24.3970	2.1800
FZV				0.1860	0.0672	0.5225	29.7710
MXV					-0.2589	0.1481	-1.8809
MYV						0.0506	2.3746
MZV							4.2479

COEFFICIENTS OF MZ							
	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	0.0082	-0.2138	55.7017	5.5476	0.7598	1.6919	576.0490
FXV		0.1064	-0.1416	0.0374	0.0146	0.0911	0.0692
FYV			-0.0939	-1.0215	-0.1940	-6.5495	-0.4636
FZV				-0.0501	-1.7127	-0.2783	-8.0107
MXV					0.0534	1.4290	0.2105
MYV						-0.9385	-0.1379
MZV							0.1857

表 16 B660H 天秤の三次式表示マトリックス

## COEFFICIENTS OF FX

	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	0.0834	821.4134	-54.9404	69.7880	-15.1174	-32.3614	-0.4988
FXV		0.5919	-7.8283	0.1162	-0.0751	0.4979	0.4170
FYV			-0.4846	-4.4423	-1.1030	-24.2494	13.2520
FZV				-2.7254	-1.8994	-19.6511	-28.7223
MXV					13.0730	58.0719	-0.4982
MYV						-6.5792	-3.3408
MZV							19.9291
FXV**3	1.5719						
FYV**3	0.2739						
FZV**3	-0.0565						
ELV**3	-0.0830						
EMV**3	0.2095						
ENV**3	-1.1555						

## COEFFICIENTS OF FY

	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	-0.0263	2.9172	4314.1722	35.4942	20.2609	-7.9167	59.2074
FXV		-1.8469	4.8244	0.1739	-0.3727	-1.9150	-4.5853
FYV			4.0580	12.6244	1.2961	55.1411	3.8294
FZV				-0.2328	46.4504	15.0305	73.7427
MXV					1.1772	-28.0110	-0.7089
MYV						-1.7992	-1.1216
MZV							-1.6131
FXV**3	-2.4658						
FYV**3	3.8737						
FZV**3	-0.3242						
ELV**3	-0.5206						
EMV**3	-2.3519						
ENV**3	-15.8356						

## COEFFICIENTS OF FZ

	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	0.0694	-2.1483	28.3851	4947.2669	-16.2279	172.3383	5.2292
FXV		2.4664	2.1049	7.4149	-0.1825	4.7507	-1.0884
FYV			-0.3901	12.9613	-48.1308	51.8128	0.5764
FZV				2.9403	-0.0299	0.4930	82.2372
MXV					-0.1284	-0.0494	-38.3441
MYV						0.5389	0.3899
MZV							0.6632
FXV**3	4.8845						
FYV**3	0.8062						
FZV**3	-0.4262						
ELV**3	-0.1065						
EMV**3	-0.5708						
ENV**3	-3.8496						

## COEFFICIENTS OF MX

	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	-0.0065	0.0943	0.2203	-6.1010	182.3649	14.2934	0.4057
FXV		-0.2546	-0.0262	0.0407	0.0450	-0.0795	0.0333
FYV			-0.0146	-2.2092	-0.4947	-19.7955	-0.4074
FZV				-0.5155	0.1898	-0.1253	-22.7993
MXV					0.0854	-0.0609	-0.4885
MYV						-0.0444	-2.3877
MZV							0.3149
FXV**3	-0.1421						
FYV**3	0.0879						
FZV**3	0.0642						
ELV**3	0.3152						
EMV**3	-0.3002						
ENV**3	-0.6433						

## COEFFICIENTS OF MY

	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	0.0528	-0.1221	-4.5732	17.9215	6.2470	544.8087	3.5113
FXV		-0.2189	0.0594	0.0793	-0.0132	0.4831	0.0835
FYV			-0.3368	2.9020	-1.7218	18.8169	1.6795
FZV				0.1112	0.0592	0.3588	23.0561
MXV					-0.2925	0.1271	-1.8625
MYV						0.0350	2.0187
MZV							4.7963
FXV**3	0.4869						
FYV**3	0.6041						
FZV**3	-0.0335						
ELV**3	0.1240						
EMV**3	0.7204						
ENV**3	-6.2989						

## COEFFICIENTS OF MZ

	1	FXV	FYV	FZV	MXV	MYV	MZV
1	0.0060	-0.1906	55.7847	5.5213	0.7197	1.6305	575.8616
FXV		0.1113	-0.1423	0.0364	0.0140	0.0903	0.0690
FYV			-0.0939	-0.6744	-0.1676	-4.2302	-0.3610
FZV				-0.0206	-1.7094	-0.2341	-5.2165
MXV					0.0598	1.4389	0.2025
MYV						-0.9381	-0.0038
MZV							0.0894
FXV**3	-0.1036						
FYV**3	-0.1658						
FZV**3	0.0298						
ELV**3	0.0686						
EMV**3	0.1680						
ENV**3	1.1045						



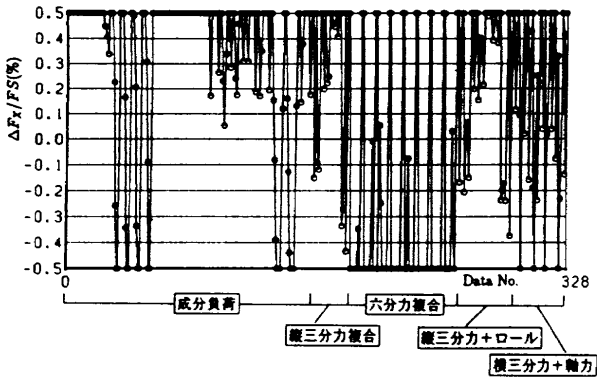


図 4.1 LMC6522 天秤一次式表示残差 ( $F_x$  成分)

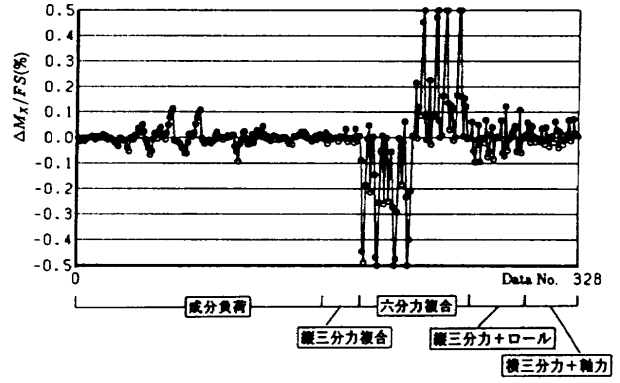


図 4.4 LMC6522 天秤一次式表示残差 ( $M_x$  成分)

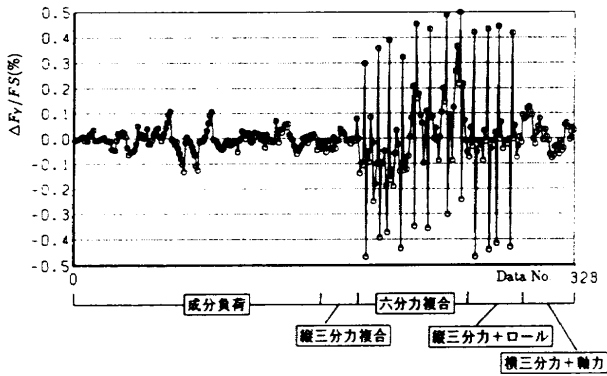


図 4.2 LMC6522 天秤一次式表示残差 ( $F_y$  成分)

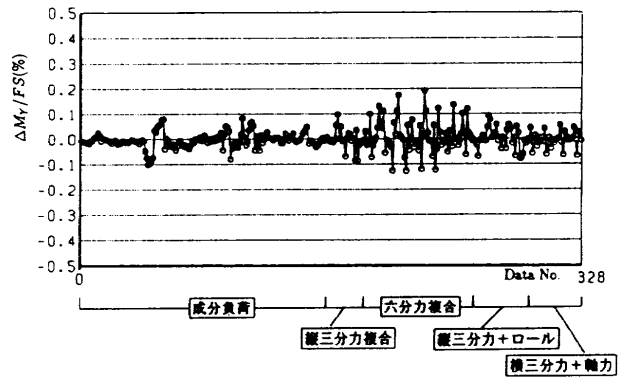


図 4.5 LMC6522 天秤一次式表示残差 ( $M_y$  成分)

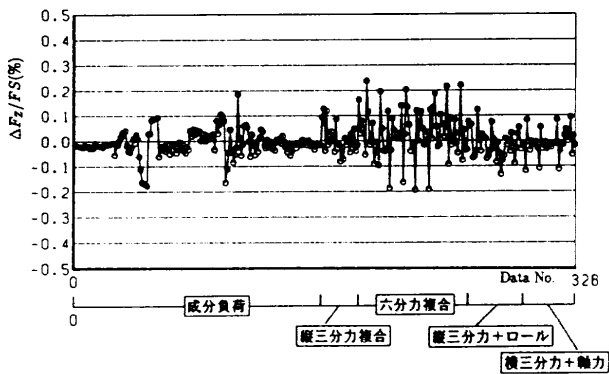


図 4.3 LMC6522 天秤一次式表示残差 ( $F_z$  成分)

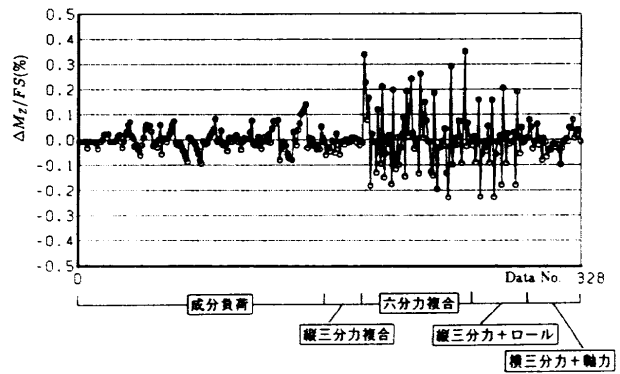


図 4.6 LMC6522 天秤一次式表示残差 ( $M_z$  成分)

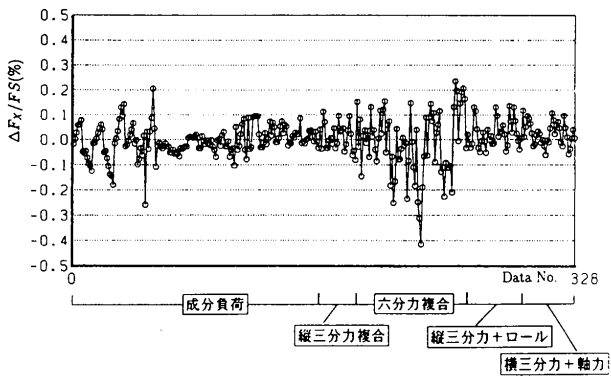


図 5.1 LMC6522 天秤二次式表示残差 ( $F_x$ 成分)

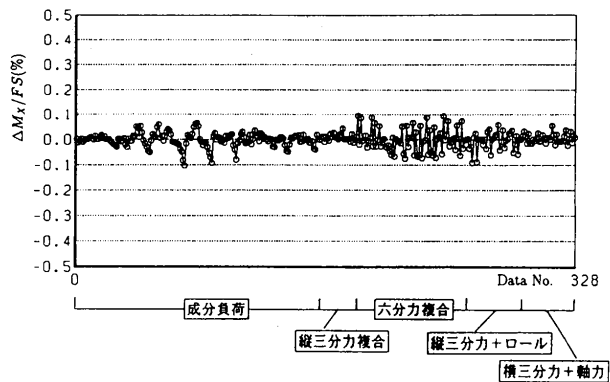


図 5.4 LMC6522 天秤二次式表示残差 ( $M_x$ 成分)

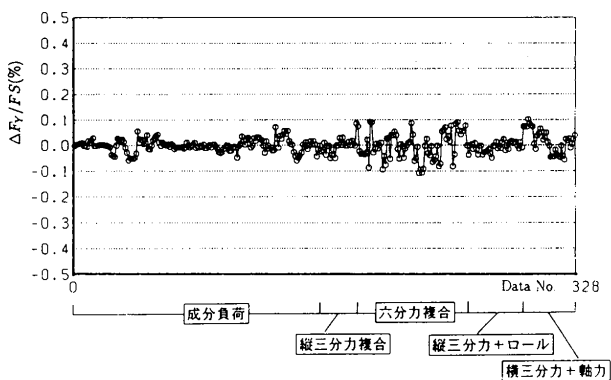


図 5.2 LMC6522 天秤二次式表示残差 ( $F_y$ 成分)

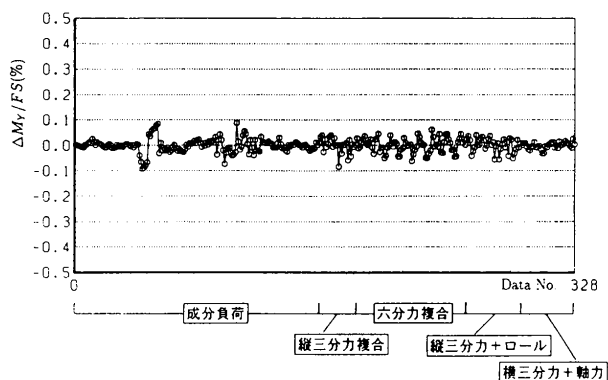


図 5.5 LMC6522 天秤二次式表示残差 ( $M_y$ 成分)

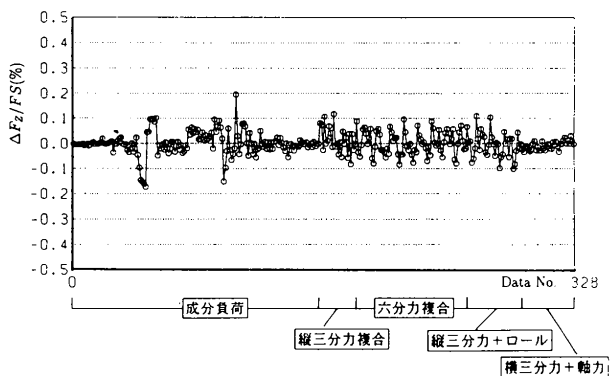


図 5.3 LMC6522 天秤二次式表示残差 ( $F_z$ 成分)

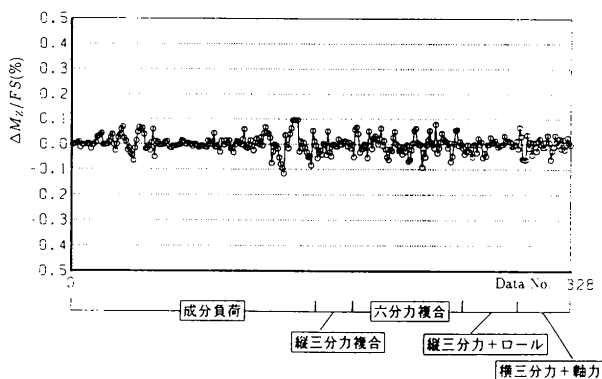


図 5.6 LMC6522 天秤二次式表示残差 ( $M_z$ 成分)

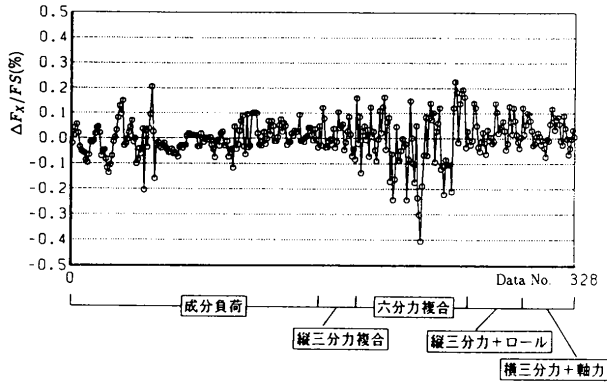


図 6.1 LMC6522 天秤三次式表示残差 ( $F_x$  成分)

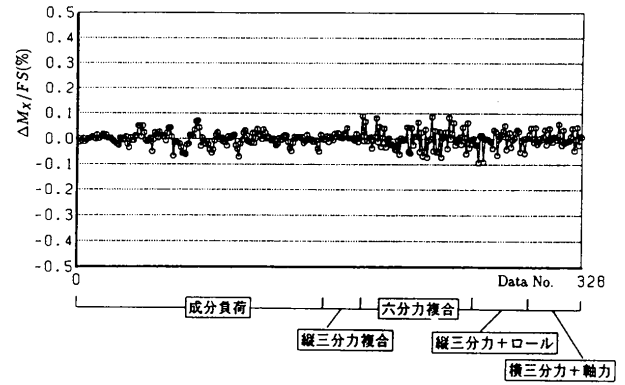


図 6.4 LMC6522 天秤三次式表示残差 ( $M_x$  成分)

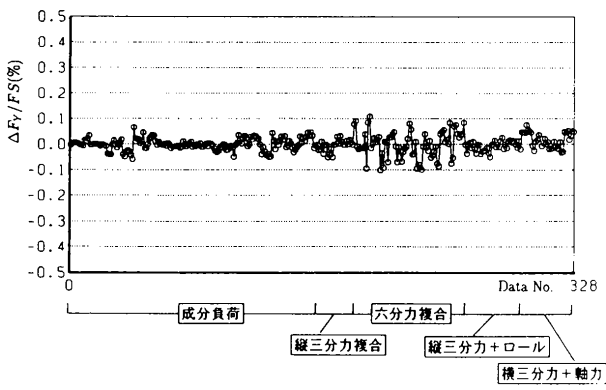


図 6.2 LMC6522 天秤三次式表示残差 ( $F_y$  成分)

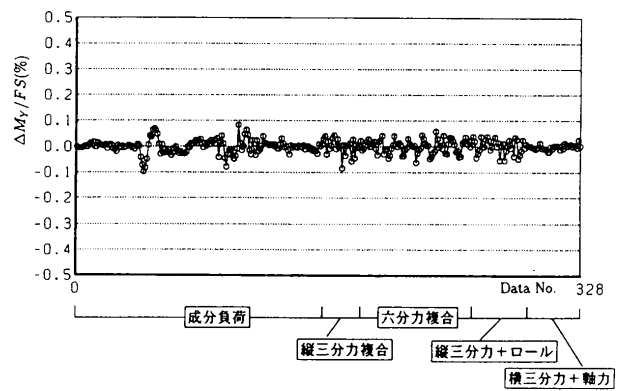


図 6.5 LMC6522 天秤三次式表示残差 ( $M_y$  成分)

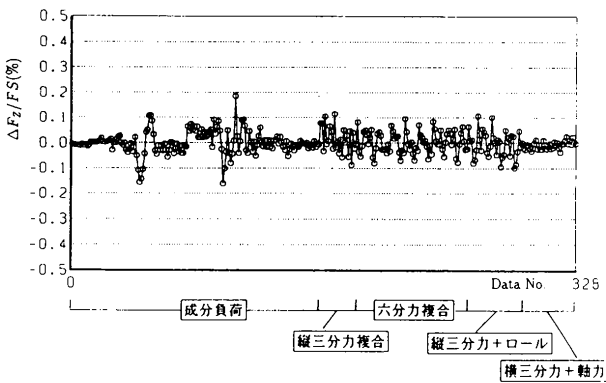


図 6.3 LMC6522 天秤三次式表示残差 ( $F_z$  成分)

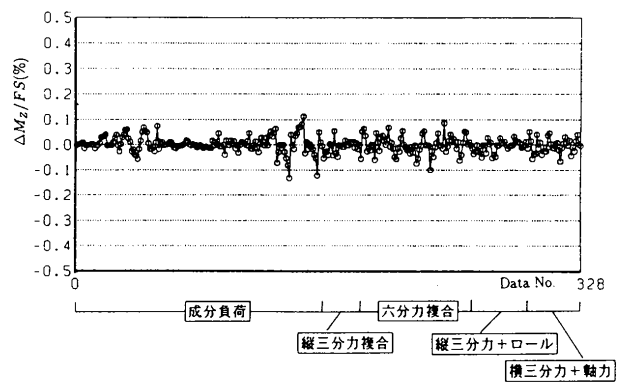


図 6.6 LMC6522 天秤三次式表示残差 ( $M_z$  成分)

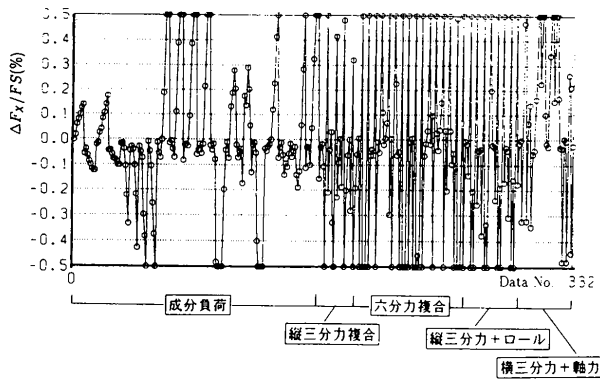


図 7.1 B660H 天秤一次式表示残差 ( $F_x$ 成分)

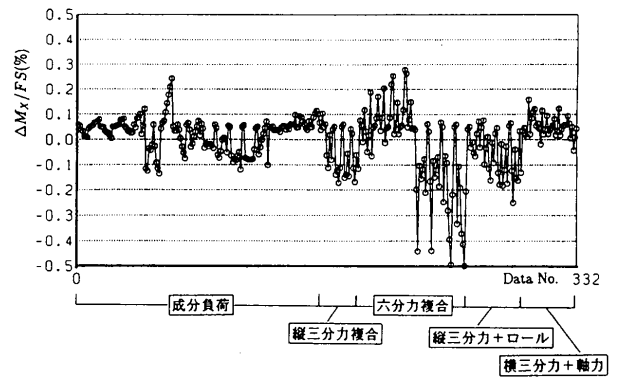


図 7.4 B660H 天秤一次式表示残差 ( $M_x$ 成分)

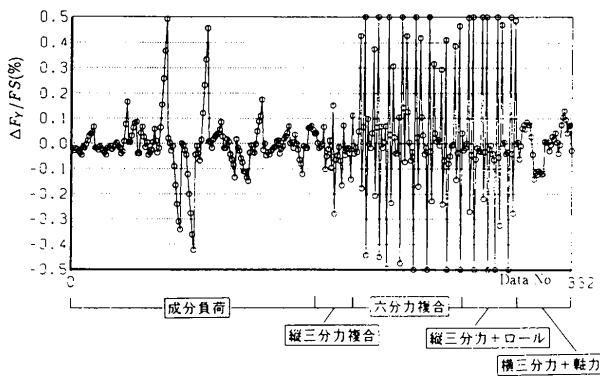


図 7.2 B660H 天秤一次式表示残差 ( $F_y$ 成分)

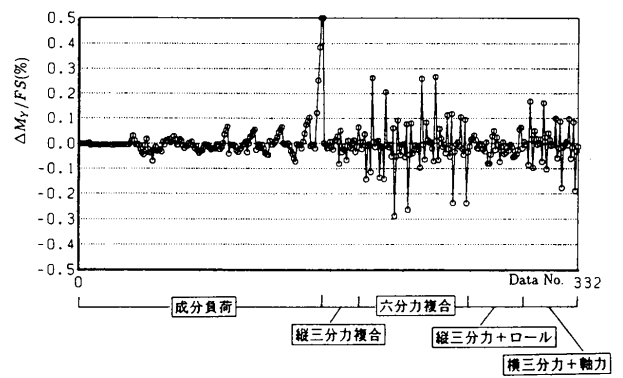


図 7.5 B660H 天秤一次式表示残差 ( $M_y$ 成分)

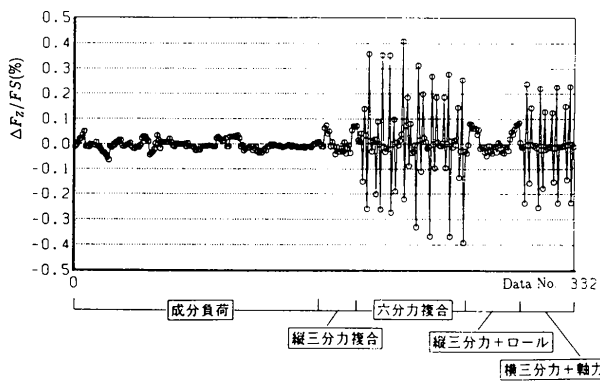


図 7.3 B660H 天秤一次式表示残差 ( $F_z$ 成分)

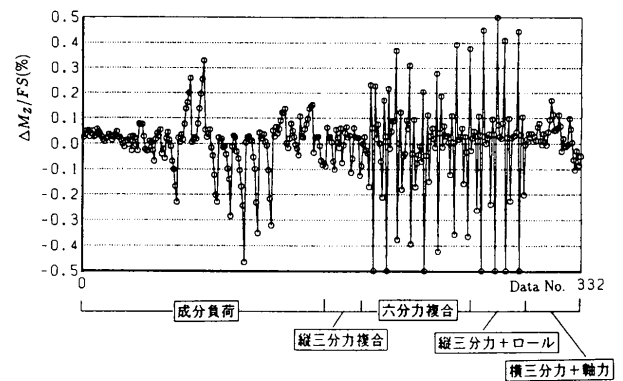


図 7.6 B660H 天秤一次式表示残差 ( $M_z$ 成分)

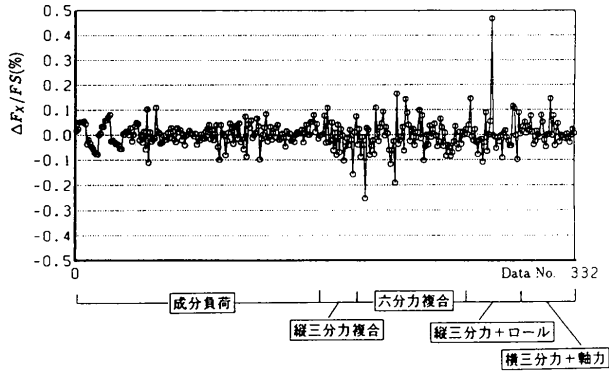


図 8.1 B660H 天秤二次式表示残差 ( $F_x$  成分)

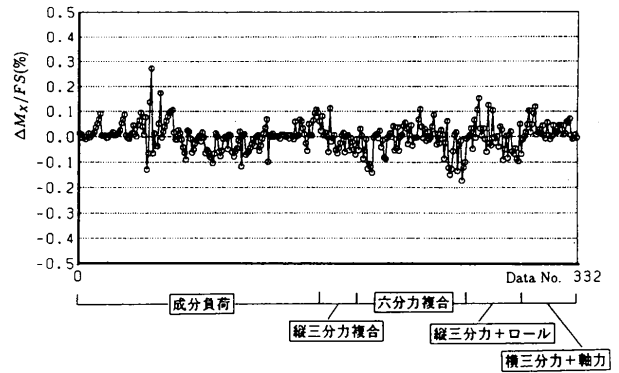


図 8.4 B660H 天秤二次式表示残差 ( $M_x$  成分)

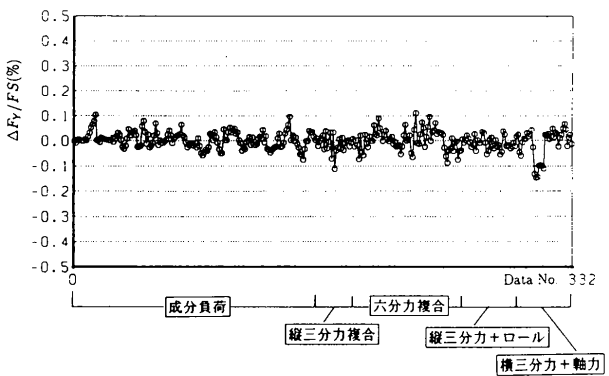


図 8.2 B660H 天秤二次式表示残差 ( $F_y$  成分)

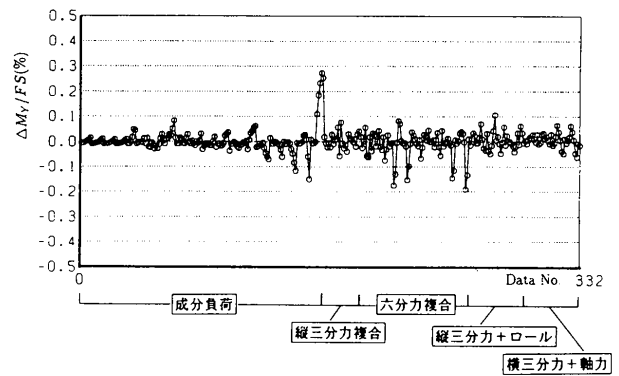


図 8.5 B660H 天秤二次式表示残差 ( $M_y$  成分)

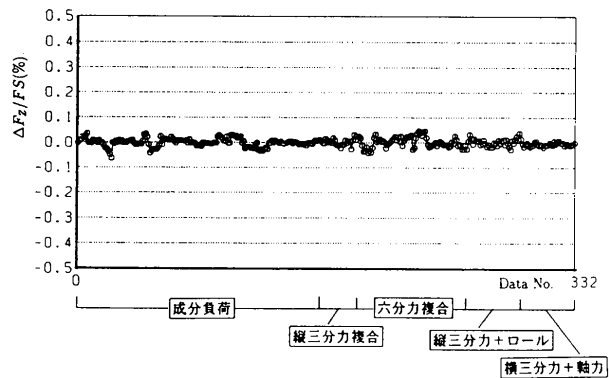


図 8.3 B660H 天秤二次式表示残差 ( $F_z$  成分)

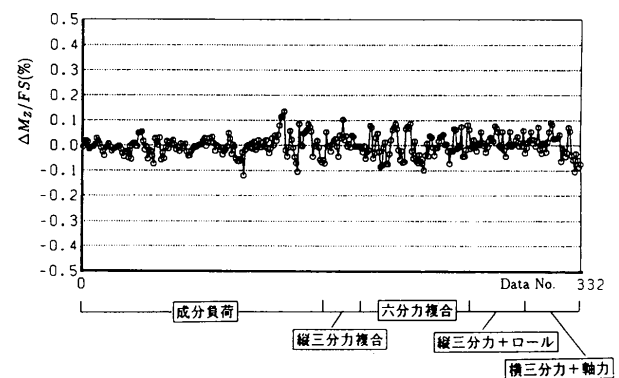


図 8.6 B660H 天秤二次式表示残差 ( $M_z$  成分)

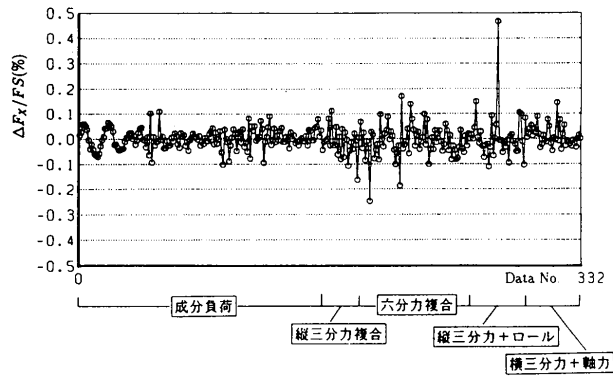
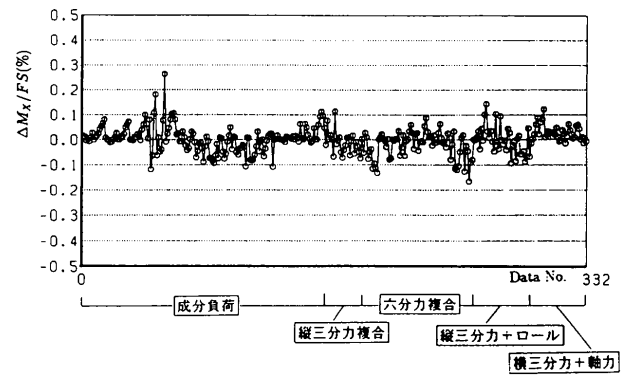
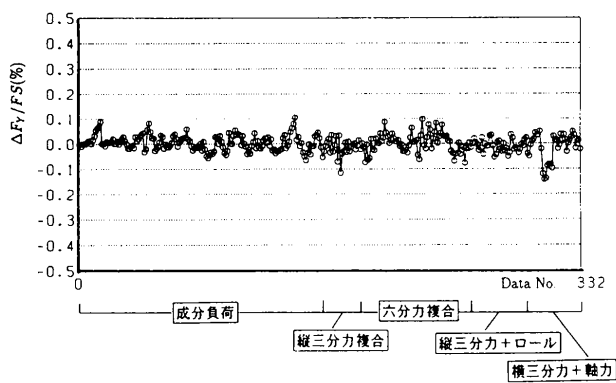
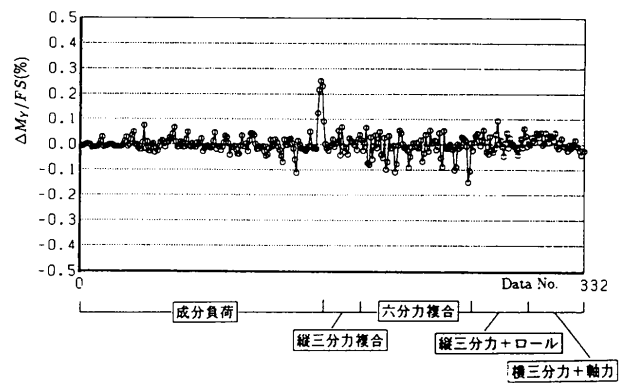
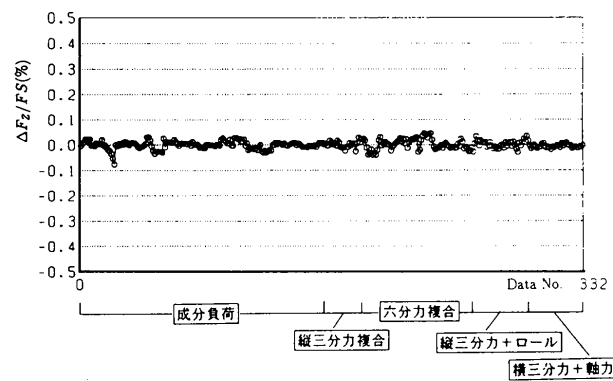
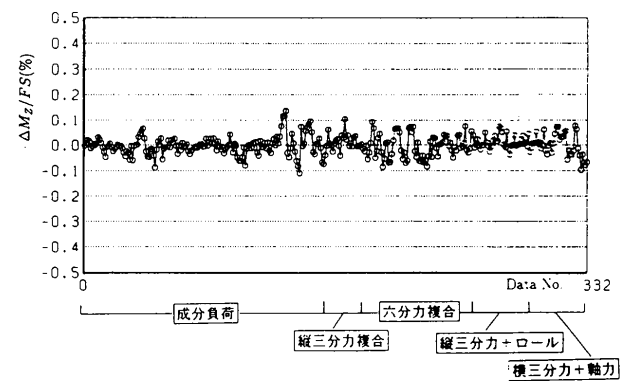
図 9.1 B660H 天秤三次式表示残差 ( $F_x$  成分)図 9.4 B660H 天秤三次式表示残差 ( $M_x$  成分)図 9.2 B660H 天秤三次式表示残差 ( $F_y$  成分)図 9.5 B660H 天秤三次式表示残差 ( $M_y$  成分)図 9.3 B660H 天秤三次式表示残差 ( $F_z$  成分)図 9.6 B660H 天秤三次式表示残差 ( $M_z$  成分)

表 17 校正曲線と実荷重の偏差

	$\sigma_{F_X}$ (%)	$\sigma_{F_Y}$ (%)	$\sigma_{F_Z}$ (%)	$\sigma_{M_X}$ (%)	$\sigma_{M_Y}$ (%)	$\sigma_{M_Z}$ (%)
LMC 6522/一次式	1.46	0.13	0.06	0.14	0.04	0.07
LMC 6522/二次式	0.08	0.04	0.05	0.03	0.03	0.03
LMC 6522/三次式	0.08	0.03	0.04	0.03	0.02	0.03
B660H/一次式	0.99	0.22	0.09	0.11	0.08	0.15
B660H/二次式	0.06	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04
B660H/三次式	0.06	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04

する事でこれら残差を大幅に低減できる事が分かる。天秤相互の対応をみると非線形表示を用いる事で両天秤とも許容できる程度に残差は収まっており、本作業範囲では両天秤の優劣はほとんど認められない。

9. 2 偏 差

前節で示した残差のちらばりの標準偏差を計算し、表 17 に一覧した。二次式表示で許容できるといえよう。

$$\sigma_{F_X} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N_{\max}} \sum_{n=1}^{N_{\max}} \{F_{X \text{ exp}} - F_{X \text{ th}}\}_n^2}}{F_X(\text{F.S.})} \times 100 \quad (44)$$

$$\sigma_{F_Y} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N_{\max}} \sum_{n=1}^{N_{\max}} \{F_{Y \text{ exp}} - F_{Y \text{ th}}\}_n^2}}{F_Y(\text{F.S.})} \times 100 \quad (45)$$

$$\sigma_{F_Z} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N_{\max}} \sum_{n=1}^{N_{\max}} \{F_{Z \text{ exp}} - F_{Z \text{ th}}\}_n^2}}{F_Z(\text{F.S.})} \times 100 \quad (46)$$

$$\sigma_{M_X} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N_{\max}} \sum_{n=1}^{N_{\max}} \{M_{X \text{ exp}} - M_{X \text{ th}}\}_n^2}}{M_X(\text{F.S.})} \times 100 \quad (47)$$

$$\sigma_{M_Y} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N_{\max}} \sum_{n=1}^{N_{\max}} \{M_{Y \text{ exp}} - M_{Y \text{ th}}\}_n^2}}{M_Y(\text{F.S.})} \times 100 \quad (48)$$

$$\sigma_{M_Z} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N_{\max}} \sum_{n=1}^{N_{\max}} \{M_{Z \text{ exp}} - M_{Z \text{ th}}\}_n^2}}{M_Z(\text{F.S.})} \times 100 \quad (49)$$

10. 風試への適用例

上に述べた校正作業から両天秤とも一次式表示では特に軸力成分に大きい誤差が生じる可能性が明らかになったが、これら各3通りの校正マトリックスを用いて、図 10 に示す複製オイラー模型の遷音速風試を行い具体的にデータ処理を行った例を示す。なお風試時の空気力と模型重量による姿勢角補正(たわみ補正)は予め用意したたわみ式を用いてデータ処理の段階で補正した<sup>12)</sup>。

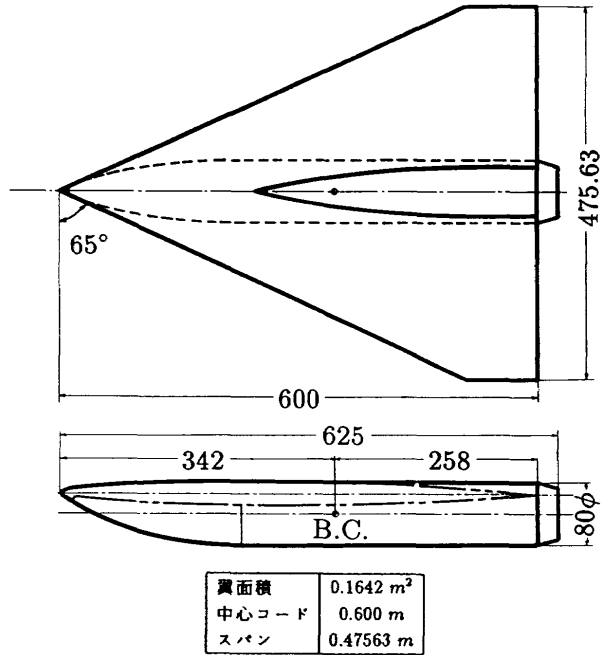


図 10 複製オイラー模型

10. 1 定数項の除去

校正係数の風試への適用に当たっては

- (1) 一次式表示:  $C_1 = C_8 = C_{15} = C_{22} = C_{29} = C_{36} = 0$
- (2) 二次式表示:  $C_1 = C_{29} = C_{57} = C_{85} = C_{113} = C_{141} = 0$
- (3) 三次式表示:  $C_1 = C_{35} = C_{69} = C_{103} = C_{137} = C_{171} = 0$

とした。

10. 2 座標系の変換

本資料で述べた校正係数は図 11. 1 に示した直角座標系を使っている。航技研遷音速風洞の力試験データ処理プログラム<sup>12)</sup>は図 11. 2 または図 11. 3 に示す座標系を用いているので座標系の変換が必要になる。

10. 2. 1 座標系の変換 1

天秤校正作業時と同じ状態で天秤を風洞に取付けた場合、即ち図 11. 1 と図 11. 2 の組合せの場合には式 (1)

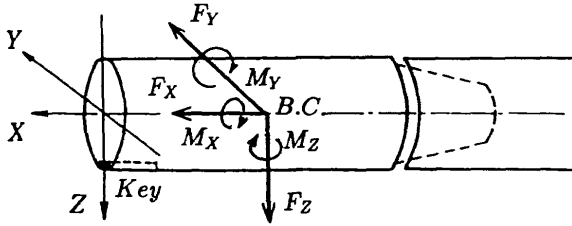


図 11.1 天秤校正作業時の座標系

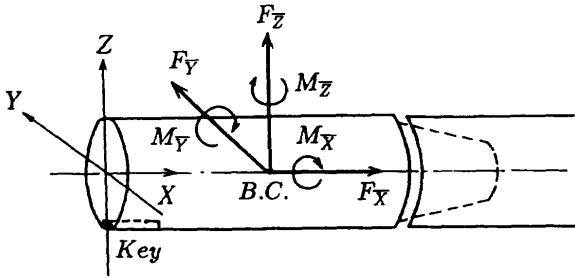


図 11.2 風洞試験時の座標系(1)

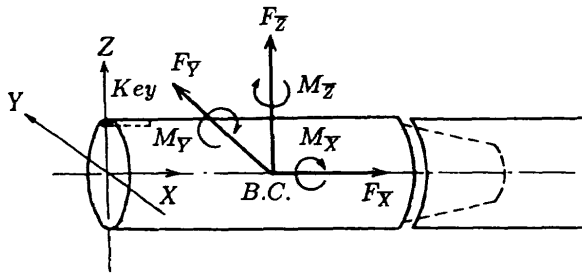


図 11.3 風洞試験時の座標系(2)

～式 (6), 式 (7)～式 (12), 式 (13)～式 (18) に次の変換を行えばよい。

1.  $F_x = -F_{\bar{x}}, F_{xv} = -F_{\bar{x}v}$
2.  $F_y = F_{\bar{y}}, F_{yv} = F_{\bar{y}v}$
3.  $F_z = -F_{\bar{z}}, F_{zv} = -F_{\bar{z}v}$
4.  $M_x = M_{\bar{x}}, M_{xv} = M_{\bar{x}v}$
5.  $M_y = M_{\bar{y}}, M_{yv} = M_{\bar{y}v}$
6.  $M_z = M_{\bar{z}}, M_{zv} = M_{\bar{z}v}$

この置き換えを行った次式をデータ処理プログラムに取込めばよい。

(1) 一次式の場合

$$F_{\bar{x}} = -\{C_2(-F_{\bar{x}v}) + C_3 F_{\bar{y}v} + C_4(-F_{\bar{z}v}) + C_5 M_{\bar{x}v} + C_6 M_{\bar{y}v} + C_7 M_{\bar{z}v}\} \quad (50)$$

$$F_{\bar{y}} = C_9(-F_{\bar{x}v}) + C_{10} F_{\bar{y}v} + C_{11}(-F_{\bar{z}v}) + C_{12} M_{\bar{x}v} + C_{13} M_{\bar{y}v} + C_{14} M_{\bar{z}v} \quad (51)$$

$$F_{\bar{z}} = -\{C_{16}(-F_{\bar{x}v}) + C_{17} F_{\bar{y}v} + C_{18}(-F_{\bar{z}v}) + C_{19} M_{\bar{x}v} + C_{20} M_{\bar{y}v} + C_{21} M_{\bar{z}v}\} \quad (52)$$

$$M_{\bar{x}} = C_{23}(-F_{\bar{x}v}) + C_{24} F_{\bar{y}v} + C_{25}(-F_{\bar{z}v}) + C_{26} M_{\bar{x}v} + C_{27} M_{\bar{y}v} + C_{28} M_{\bar{z}v} \quad (53)$$

$$M_{\bar{y}} = C_{30}(-F_{\bar{x}v}) + C_{31} F_{\bar{y}v} + C_{32}(-F_{\bar{z}v}) + C_{33} M_{\bar{x}v} + C_{34} M_{\bar{y}v} + C_{35} M_{\bar{z}v} \quad (54)$$

$$M_{\bar{z}} = C_{37}(-F_{\bar{x}v}) + C_{38} F_{\bar{y}v} + C_{39}(-F_{\bar{z}v}) + C_{40} M_{\bar{x}v} + C_{41} M_{\bar{y}v} + C_{42} M_{\bar{z}v} \quad (55)$$

(2) 二次式の場合

$$\begin{aligned} F_{\bar{x}} = & -[C_2(-F_{\bar{x}v}) + C_3 F_{\bar{y}v} + C_4(-F_{\bar{z}v}) \\ & + C_5 M_{\bar{x}v} + C_6 M_{\bar{y}v} + C_7 M_{\bar{z}v} \\ & + C_8(-F_{\bar{x}v})^2 + C_9 F_{\bar{y}v}^2 + C_{10}(-F_{\bar{z}v})^2 \\ & + C_{11} M_{\bar{x}v}^2 + C_{12} M_{\bar{y}v}^2 + C_{13} M_{\bar{z}v}^2 \\ & + (-F_{\bar{x}v})\{C_{14} F_{\bar{y}v} + C_{15}(-F_{\bar{z}v}) + C_{16} M_{\bar{x}v} \\ & + C_{17} M_{\bar{y}v} + C_{18} M_{\bar{z}v}\} \\ & + F_{\bar{y}v}\{C_{19}(-F_{\bar{z}v}) + C_{20} M_{\bar{x}v} + C_{21} M_{\bar{y}v} \\ & + C_{22} M_{\bar{z}v}\} \\ & + (-F_{\bar{z}v})\{C_{23} M_{\bar{x}v} + C_{24} M_{\bar{y}v} + C_{25} M_{\bar{z}v}\} \\ & + M_{\bar{x}v}\{C_{26} M_{\bar{y}v} + C_{27} M_{\bar{z}v}\} \\ & + C_{28} M_{\bar{y}v} M_{\bar{z}v}] \end{aligned} \quad (56)$$

$$\begin{aligned} F_{\bar{y}} = & C_{30}(-F_{\bar{x}v}) + C_{31} F_{\bar{y}v} + C_{32}(-F_{\bar{z}v}) \\ & + C_{33} M_{\bar{x}v} + C_{34} M_{\bar{y}v} + C_{35} M_{\bar{z}v} \\ & + C_{36}(-F_{\bar{x}v})^2 + C_{37} F_{\bar{y}v}^2 + C_{38}(-F_{\bar{z}v})^2 \\ & + C_{39} M_{\bar{x}v}^2 + C_{40} M_{\bar{y}v}^2 + C_{41} M_{\bar{z}v}^2 \\ & + (-F_{\bar{x}v})\{C_{42} F_{\bar{y}v} + C_{43}(-F_{\bar{z}v}) + C_{44} M_{\bar{x}v} \\ & + C_{45} M_{\bar{y}v} + C_{46} M_{\bar{z}v}\} \\ & + F_{\bar{y}v}\{C_{47}(-F_{\bar{z}v}) + C_{48} M_{\bar{x}v} + C_{49} M_{\bar{y}v} \\ & + C_{50} M_{\bar{z}v}\} \\ & + (-F_{\bar{z}v})\{C_{51} M_{\bar{x}v} + C_{52} M_{\bar{y}v} + C_{53} M_{\bar{z}v}\} \\ & + M_{\bar{x}v}\{C_{54} M_{\bar{y}v} + C_{55} M_{\bar{z}v}\} \\ & + C_{56} M_{\bar{y}v} M_{\bar{z}v} \end{aligned} \quad (57)$$

$$\begin{aligned} F_{\bar{z}} = & -[C_{58}(-F_{\bar{x}v}) + C_{59} F_{\bar{y}v} + C_{60}(-F_{\bar{z}v}) \\ & + C_{61} M_{\bar{x}v} + C_{62} M_{\bar{y}v} + C_{63} M_{\bar{z}v} \\ & + C_{64}(-F_{\bar{x}v})^2 + C_{65} F_{\bar{y}v}^2 + C_{66}(-F_{\bar{z}v})^2 \\ & + C_{67} M_{\bar{x}v}^2 + C_{68} M_{\bar{y}v}^2 + C_{69} M_{\bar{z}v}^2 \\ & + (-F_{\bar{x}v})\{C_{70} F_{\bar{y}v} + C_{71}(-F_{\bar{z}v}) + C_{72} M_{\bar{x}v} \\ & + C_{73} M_{\bar{y}v} + C_{74} M_{\bar{z}v}\} \\ & + F_{\bar{y}v}\{C_{75}(-F_{\bar{z}v}) + C_{76} M_{\bar{x}v} + C_{77} M_{\bar{y}v} \\ & + C_{78} M_{\bar{z}v}\} \\ & + (-F_{\bar{z}v})\{C_{79} M_{\bar{x}v} + C_{80} M_{\bar{y}v} + C_{81} M_{\bar{z}v}\} \\ & + M_{\bar{x}v}\{C_{82} M_{\bar{y}v} + C_{83} M_{\bar{z}v}\} \\ & + C_{84} M_{\bar{y}v} M_{\bar{z}v}] \end{aligned} \quad (58)$$

$$\begin{aligned} M_{\bar{x}} = & C_{86}(-F_{\bar{x}v}) + C_{87} F_{\bar{y}v} + C_{88}(-F_{\bar{z}v}) \\ & + C_{89} M_{\bar{x}v} + C_{90} M_{\bar{y}v} + C_{91} M_{\bar{z}v} \\ & + C_{92}(-F_{\bar{x}v})^2 + C_{93} F_{\bar{y}v}^2 + C_{94}(-F_{\bar{z}v})^2 \\ & + C_{95} M_{\bar{x}v}^2 + C_{96} M_{\bar{y}v}^2 + C_{97} M_{\bar{z}v}^2 \\ & + (-F_{\bar{x}v})\{C_{98} F_{\bar{y}v} + C_{99}(-F_{\bar{z}v}) + C_{100} M_{\bar{x}v} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
& + C_{101} M_{\bar{Y}V} + C_{102} M_{\bar{Z}V} \\
& + F_{\bar{Y}V} \{ C_{103} (-F_{\bar{Z}V}) + C_{104} M_{\bar{X}V} + C_{105} M_{\bar{Y}V} \\
& + C_{106} M_{\bar{Z}V} \} \\
& + (-F_{\bar{Z}V}) (C_{107} M_{\bar{X}V} + C_{108} M_{\bar{Y}V} + C_{109} M_{\bar{Z}V}) \\
& + M_{\bar{X}V} (C_{110} M_{\bar{Y}V} + C_{111} M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{112} M_{\bar{Y}V} M_{\bar{Z}V} \quad (59)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{\bar{Y}} = & C_{114} (-F_{\bar{X}V}) + C_{115} F_{\bar{Y}V} + C_{116} (-F_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{117} M_{\bar{X}V} + C_{118} M_{\bar{Y}V} + C_{119} M_{\bar{Z}V} \\
& + C_{120} (-F_{\bar{X}V})^2 + C_{121} F_{\bar{Y}V}^2 + C_{122} (-F_{\bar{Z}V})^2 \\
& + C_{123} M_{\bar{X}V}^2 + C_{124} M_{\bar{Y}V}^2 + C_{125} M_{\bar{Z}V}^2 \\
& + (-F_{\bar{X}V}) \{ C_{126} F_{\bar{Y}V} + C_{127} (-F_{\bar{Z}V}) + C_{128} M_{\bar{X}V} \\
& + C_{129} M_{\bar{Y}V} + C_{130} M_{\bar{Z}V} \} \\
& + F_{\bar{Y}V} \{ C_{131} (-F_{\bar{Z}V}) + C_{132} M_{\bar{X}V} + C_{133} M_{\bar{Y}V} \\
& + C_{134} M_{\bar{Z}V} \} \\
& + (-F_{\bar{Z}V}) (C_{135} M_{\bar{X}V} + C_{136} M_{\bar{Y}V} + C_{137} M_{\bar{Z}V}) \\
& + M_{\bar{X}V} (C_{138} M_{\bar{Y}V} + C_{139} M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{140} M_{\bar{Y}V} M_{\bar{Z}V} \quad (60)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{\bar{Z}} = & C_{142} (-F_{\bar{X}V}) + C_{143} F_{\bar{Y}V} + C_{144} (-F_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{145} M_{\bar{X}V} + C_{146} M_{\bar{Y}V} + C_{147} M_{\bar{Z}V} \\
& + C_{148} (-F_{\bar{X}V})^2 + C_{149} F_{\bar{Y}V}^2 + C_{150} (-F_{\bar{Z}V})^2 \\
& + C_{151} M_{\bar{X}V}^2 + C_{152} M_{\bar{Y}V}^2 + C_{153} M_{\bar{Z}V}^2 \\
& + (-F_{\bar{X}V}) \{ C_{154} F_{\bar{Y}V} + C_{155} (-F_{\bar{Z}V}) + C_{156} M_{\bar{X}V} \\
& + C_{157} M_{\bar{Y}V} + C_{158} M_{\bar{Z}V} \} \\
& + F_{\bar{Y}V} \{ C_{159} (-F_{\bar{Z}V}) + C_{160} M_{\bar{X}V} + C_{161} M_{\bar{Y}V} \\
& + C_{162} M_{\bar{Z}V} \} \\
& + (-F_{\bar{Z}V}) (C_{163} M_{\bar{X}V} + C_{164} M_{\bar{Y}V} + C_{165} M_{\bar{Z}V}) \\
& + M_{\bar{X}V} (C_{166} M_{\bar{Y}V} + C_{167} M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{168} M_{\bar{Y}V} M_{\bar{Z}V} \quad (61)
\end{aligned}$$

## (3) 三次式の場合

$$\begin{aligned}
F_{\bar{X}} = & - [ C_2 (-F_{\bar{X}V}) + C_3 F_{\bar{Y}V} + C_4 (-F_{\bar{Z}V}) \\
& + C_5 M_{\bar{X}V} + C_6 M_{\bar{Y}V} + C_7 M_{\bar{Z}V} \\
& + C_8 (-F_{\bar{X}V})^2 + C_9 F_{\bar{Y}V}^2 + C_{10} (-F_{\bar{Z}V})^2 \\
& + C_{11} M_{\bar{X}V}^2 + C_{12} M_{\bar{Y}V}^2 + C_{13} M_{\bar{Z}V}^2 \\
& + (-F_{\bar{X}V}) \{ C_{14} F_{\bar{Y}V} + C_{15} (-F_{\bar{Z}V}) + C_{16} M_{\bar{X}V} \\
& + C_{17} M_{\bar{Y}V} + C_{18} M_{\bar{Z}V} \} \\
& + F_{\bar{Y}V} \{ C_{19} (-F_{\bar{Z}V}) + C_{20} M_{\bar{X}V} + C_{21} M_{\bar{Y}V} \\
& + C_{22} M_{\bar{Z}V} \} \\
& + (-F_{\bar{Z}V}) (C_{23} M_{\bar{X}V} + C_{24} M_{\bar{Y}V} + C_{25} M_{\bar{Z}V}) \\
& + M_{\bar{X}V} (C_{26} M_{\bar{Y}V} + C_{27} M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{28} M_{\bar{Y}V} M_{\bar{Z}V} \\
& + C_{29} (-F_{\bar{X}V})^3 + C_{30} F_{\bar{Y}V}^3 + C_{31} (-F_{\bar{Z}V})^3 \\
& + C_{32} M_{\bar{X}V}^3 + C_{33} M_{\bar{Y}V}^3 + C_{34} M_{\bar{Z}V}^3 ] \quad (62)
\end{aligned}$$

$$F_{\bar{Y}} = C_{36} (-F_{\bar{X}V}) + C_{37} F_{\bar{Y}V} + C_{38} (-F_{\bar{Z}V})$$

$$\begin{aligned}
& + C_{39} M_{\bar{X}V} + C_{40} M_{\bar{Y}V} + C_{41} M_{\bar{Z}V} \\
& + C_{42} (-F_{\bar{X}V})^2 + C_{43} F_{\bar{Y}V}^2 + C_{44} (-F_{\bar{Z}V})^2 \\
& + C_{45} M_{\bar{X}V}^2 + C_{46} M_{\bar{Y}V}^2 + C_{47} M_{\bar{Z}V}^2 \\
& + (-F_{\bar{X}V}) \{ C_{48} F_{\bar{Y}V} + C_{49} (-F_{\bar{Z}V}) + C_{50} M_{\bar{X}V} \\
& + C_{51} M_{\bar{Y}V} + C_{52} M_{\bar{Z}V} \} \\
& + F_{\bar{Y}V} \{ C_{53} (-F_{\bar{Z}V}) + C_{54} M_{\bar{X}V} + C_{55} M_{\bar{Y}V} \\
& + C_{56} M_{\bar{Z}V} \} \\
& + (-F_{\bar{Z}V}) (C_{57} M_{\bar{X}V} + C_{58} M_{\bar{Y}V} + C_{59} M_{\bar{Z}V}) \\
& + M_{\bar{X}V} (C_{60} M_{\bar{Y}V} + C_{61} M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{62} M_{\bar{Y}V} M_{\bar{Z}V} \\
& + C_{63} (-F_{\bar{X}V})^3 + C_{64} F_{\bar{Y}V}^3 + C_{65} (-F_{\bar{Z}V})^3 \\
& + C_{66} M_{\bar{X}V}^3 + C_{67} M_{\bar{Y}V}^3 + C_{68} M_{\bar{Z}V}^3 \quad (63)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{\bar{Z}} = & - [ C_{70} (-F_{\bar{X}V}) + C_{71} F_{\bar{Y}V} + C_{72} (-F_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{73} M_{\bar{X}V} + C_{74} M_{\bar{Y}V} + C_{75} M_{\bar{Z}V} \\
& + C_{76} (-F_{\bar{X}V})^2 + C_{77} F_{\bar{Y}V}^2 + C_{78} (-F_{\bar{Z}V})^2 \\
& + C_{79} M_{\bar{X}V}^2 + C_{80} M_{\bar{Y}V}^2 + C_{81} M_{\bar{Z}V}^2 \\
& + (-F_{\bar{X}V}) \{ C_{82} F_{\bar{Y}V} + C_{83} (-F_{\bar{Z}V}) + C_{84} M_{\bar{X}V} \\
& + C_{85} M_{\bar{Y}V} + C_{86} M_{\bar{Z}V} \} \\
& + F_{\bar{Y}V} \{ C_{87} (-F_{\bar{Z}V}) + C_{88} M_{\bar{X}V} + C_{89} M_{\bar{Y}V} \\
& + C_{90} M_{\bar{Z}V} \} \\
& + (-F_{\bar{Z}V}) (C_{91} M_{\bar{X}V} + C_{92} M_{\bar{Y}V} + C_{93} M_{\bar{Z}V}) \\
& + M_{\bar{X}V} (C_{94} M_{\bar{Y}V} + C_{95} M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{96} M_{\bar{Y}V} M_{\bar{Z}V} \\
& + C_{97} (-F_{\bar{X}V})^3 + C_{98} F_{\bar{Y}V}^3 + C_{99} (-F_{\bar{Z}V})^3 \\
& + C_{100} M_{\bar{X}V}^3 + C_{101} M_{\bar{Y}V}^3 + C_{102} M_{\bar{Z}V}^3 ] \quad (64)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{\bar{X}} = & C_{104} (-F_{\bar{X}V}) + C_{105} F_{\bar{Y}V} + C_{106} (-F_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{107} M_{\bar{X}V} + C_{108} M_{\bar{Y}V} + C_{109} M_{\bar{Z}V} \\
& + C_{110} (-F_{\bar{X}V})^2 + C_{111} F_{\bar{Y}V}^2 + C_{112} (-F_{\bar{Z}V})^2 \\
& + C_{113} M_{\bar{X}V}^2 + C_{114} M_{\bar{Y}V}^2 + C_{115} M_{\bar{Z}V}^2 \\
& + (-F_{\bar{X}V}) \{ C_{116} F_{\bar{Y}V} + C_{117} (-F_{\bar{Z}V}) + C_{118} M_{\bar{X}V} \\
& + C_{119} M_{\bar{Y}V} + C_{120} M_{\bar{Z}V} \} \\
& + F_{\bar{Y}V} \{ C_{121} (-F_{\bar{Z}V}) + C_{122} M_{\bar{X}V} + C_{123} M_{\bar{Y}V} \\
& + C_{124} M_{\bar{Z}V} \} \\
& + (-F_{\bar{Z}V}) (C_{125} M_{\bar{X}V} + C_{126} M_{\bar{Y}V} + C_{127} M_{\bar{Z}V}) \\
& + M_{\bar{X}V} (C_{128} M_{\bar{Y}V} + C_{129} M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{130} M_{\bar{Y}V} M_{\bar{Z}V} \\
& + C_{131} (-F_{\bar{X}V})^3 + C_{132} F_{\bar{Y}V}^3 + C_{133} (-F_{\bar{Z}V})^3 \\
& + C_{134} M_{\bar{X}V}^3 + C_{135} M_{\bar{Y}V}^3 + C_{136} M_{\bar{Z}V}^3 \quad (65)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{\bar{Y}} = & C_{138} (-F_{\bar{X}V}) + C_{139} F_{\bar{Y}V} + C_{140} (-F_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{141} M_{\bar{X}V} + C_{142} M_{\bar{Y}V} + C_{143} M_{\bar{Z}V} \\
& + C_{144} (-F_{\bar{X}V})^2 + C_{145} F_{\bar{Y}V}^2 + C_{146} (-F_{\bar{Z}V})^2 \\
& + C_{147} M_{\bar{X}V}^2 + C_{148} M_{\bar{Y}V}^2 + C_{149} M_{\bar{Z}V}^2 \\
& + (-F_{\bar{X}V}) \{ C_{150} F_{\bar{Y}V} + C_{151} (-F_{\bar{Z}V}) + C_{152} M_{\bar{X}V} \\
& + C_{153} M_{\bar{Y}V} + C_{154} M_{\bar{Z}V} \}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +F_{\bar{Y}V} \{C_{155} (-F_{\bar{Z}V}) + C_{156} M_{\bar{X}V} + C_{157} M_{\bar{Y}V} \\
& + C_{158} M_{\bar{Z}V}\} \\
& + (-F_{\bar{Z}V})(C_{159} M_{\bar{X}V} + C_{160} M_{\bar{Y}V} + C_{161} M_{\bar{Z}V}) \\
& + M_{\bar{X}V} (C_{162} M_{\bar{Y}V} + C_{163} M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{164} M_{\bar{Y}V} M_{\bar{Z}V} \\
& + C_{165} (-F_{\bar{X}V})^3 + C_{166} F_{\bar{Y}V}^3 + C_{167} (-F_{\bar{Z}V})^3 \\
& + C_{168} M_{\bar{X}V}^3 + C_{169} M_{\bar{Y}V}^3 + C_{170} M_{\bar{Z}V}^3 \quad (66)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{\bar{Z}} = & C_{172} (-F_{\bar{X}V}) + C_{173} F_{\bar{Y}V} + C_{174} (-F_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{175} M_{\bar{X}V} + C_{176} M_{\bar{Y}V} + C_{177} M_{\bar{Z}V} \\
& + C_{178} (-F_{\bar{X}V})^2 + C_{179} F_{\bar{Y}V}^2 + C_{180} (-F_{\bar{Z}V})^2 \\
& + C_{181} M_{\bar{X}V}^2 + C_{182} M_{\bar{Y}V}^2 + C_{183} M_{\bar{Z}V}^2 \\
& + (-F_{\bar{X}V}) \{C_{184} F_{\bar{Y}V} + C_{185} (-F_{\bar{Z}V}) + C_{186} M_{\bar{X}V} \\
& + C_{187} M_{\bar{Y}V} + C_{188} M_{\bar{Z}V}\} \\
& + F_{\bar{Y}V} \{C_{189} (-F_{\bar{Z}V}) + C_{190} M_{\bar{X}V} + C_{191} M_{\bar{Y}V} \\
& + C_{192} M_{\bar{Z}V}\} \\
& + (-F_{\bar{Z}V})(C_{193} M_{\bar{X}V} + C_{194} M_{\bar{Y}V} + C_{195} M_{\bar{Z}V}) \\
& + M_{\bar{X}V} (C_{196} M_{\bar{Y}V} + C_{197} M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{198} M_{\bar{Y}V} M_{\bar{Z}V} \\
& + C_{199} (-F_{\bar{X}V})^3 + C_{200} F_{\bar{Y}V}^3 + C_{201} (-F_{\bar{Z}V})^3 \\
& + C_{202} M_{\bar{X}V}^3 + C_{203} M_{\bar{Y}V}^3 + C_{204} M_{\bar{Z}V}^3 \quad (67)
\end{aligned}$$

### 10. 2. 2 座標系の変換 2

天秤校正作業時に対して天秤位置を  $180^\circ$  回転した状態で風洞に取付けた場合、即ち図 11. 1 と図 11. 3 の組合せの場合には式 (1)~式 (6)、式 (7)~式 (12)、式 (13)~式 (18) に次の変換を行えばよい。

1.  $F_X = -F_{\bar{X}}, F_{XV} = -F_{\bar{X}V}$
2.  $F_Y = -F_{\bar{Y}}, F_{YV} = -F_{\bar{Y}V}$
3.  $F_Z = F_{\bar{Z}}, F_{ZV} = F_{\bar{Z}V}$
4.  $M_X = M_{\bar{X}}, M_{XV} = M_{\bar{X}V}$
5.  $M_Y = -M_{\bar{Y}}, M_{YV} = -M_{\bar{Y}V}$
6.  $M_Z = -M_{\bar{Z}}, M_{ZV} = -M_{\bar{Z}V}$

この置き換えを行った次式をデータ処理プログラムに取込めばよい。

#### (1) 一次式の場合

$$F_{\bar{X}} = -\{C_2 (-F_{\bar{X}V}) + C_3 (-F_{\bar{Y}V}) + C_4 F_{\bar{Z}V} + C_5 M_{\bar{X}V} + C_6 (-M_{\bar{Y}V}) + C_7 (-M_{\bar{Z}V})\} \quad (68)$$

$$F_{\bar{Y}} = -\{C_9 (-F_{\bar{X}V}) + C_{10} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{11} F_{\bar{Z}V} + C_{12} M_{\bar{X}V} + C_{13} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{14} (-M_{\bar{Z}V})\} \quad (69)$$

$$F_{\bar{Z}} = C_{16} (-F_{\bar{X}V}) + C_{17} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{18} F_{\bar{Z}V} + C_{19} M_{\bar{X}V} + C_{20} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{21} (-M_{\bar{Z}V}) \quad (70)$$

$$M_{\bar{X}} = C_{23} (-F_{\bar{X}V}) + C_{24} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{25} F_{\bar{Z}V} + C_{26} M_{\bar{X}V} + C_{27} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{28} (-M_{\bar{Z}V}) \quad (71)$$

$$M_{\bar{Y}} = -\{C_{30} (-F_{\bar{X}V}) + C_{31} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{32} F_{\bar{Z}V} + C_{33} M_{\bar{X}V} + C_{34} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{35} (-M_{\bar{Z}V})\} \quad (72)$$

$$M_{\bar{Z}} = -\{C_{37} (-F_{\bar{X}V}) + C_{38} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{39} F_{\bar{Z}V} + C_{40} M_{\bar{X}V} + C_{41} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{42} (-M_{\bar{Z}V})\} \quad (73)$$

#### (2) 二次式の場合

$$\begin{aligned}
F_{\bar{X}} = & -[C_2 (-F_{\bar{X}V}) + C_3 (-F_{\bar{Y}V}) + C_4 F_{\bar{Z}V} \\
& + C_5 M_{\bar{X}V} + C_6 (-M_{\bar{Y}V}) + C_7 (-M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_8 (-F_{\bar{X}V})^2 + C_9 (-F_{\bar{Y}V})^2 + C_{10} F_{\bar{Z}V}^2 \\
& + C_{11} M_{\bar{X}V}^2 + C_{12} (-M_{\bar{Y}V})^2 + C_{13} (-M_{\bar{Z}V})^2 \\
& + (-F_{\bar{X}V}) \{C_{14} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{15} F_{\bar{Z}V} + C_{16} M_{\bar{X}V} \\
& + C_{17} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{18} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + (-F_{\bar{Y}V}) \{C_{19} F_{\bar{Z}V} + C_{20} M_{\bar{X}V} + C_{21} (-M_{\bar{Y}V}) \\
& + C_{22} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + F_{\bar{Z}V} \{C_{23} M_{\bar{X}V} + C_{24} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{25} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + M_{\bar{X}V} \{C_{26} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{27} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + C_{28} (-M_{\bar{Y}V}) (-M_{\bar{Z}V})] \quad (74)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{\bar{Y}} = & -[C_{30} (-F_{\bar{X}V}) + C_{31} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{32} F_{\bar{Z}V} \\
& + C_{33} M_{\bar{X}V} + C_{34} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{35} (-M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{36} (-F_{\bar{X}V})^2 + C_{37} (-F_{\bar{Y}V})^2 + C_{38} F_{\bar{Z}V}^2 \\
& + C_{39} M_{\bar{X}V}^2 + C_{40} (-M_{\bar{Y}V})^2 + C_{41} (-M_{\bar{Z}V})^2 \\
& + (-F_{\bar{X}V}) \{C_{42} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{43} F_{\bar{Z}V} + C_{44} M_{\bar{X}V} \\
& + C_{45} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{46} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + (-F_{\bar{Y}V}) \{C_{47} F_{\bar{Z}V} + C_{48} M_{\bar{X}V} + C_{49} (-M_{\bar{Y}V}) \\
& + C_{50} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + F_{\bar{Z}V} \{C_{51} M_{\bar{X}V} + C_{52} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{53} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + M_{\bar{X}V} \{C_{54} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{55} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + C_{56} (-M_{\bar{Y}V}) (-M_{\bar{Z}V})] \quad (75)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{\bar{Z}} = & C_{58} (-F_{\bar{X}V}) + C_{59} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{60} F_{\bar{Z}V} \\
& + C_{61} M_{\bar{X}V} + C_{62} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{63} (-M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{64} (-F_{\bar{X}V})^2 + C_{65} (-F_{\bar{Y}V})^2 + C_{66} F_{\bar{Z}V}^2 \\
& + C_{67} M_{\bar{X}V}^2 + C_{68} (-M_{\bar{Y}V})^2 + C_{69} (-M_{\bar{Z}V})^2 \\
& + (-F_{\bar{X}V}) \{C_{70} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{71} F_{\bar{Z}V} + C_{72} M_{\bar{X}V} \\
& + C_{73} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{74} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + (-F_{\bar{Y}V}) \{C_{75} F_{\bar{Z}V} + C_{76} M_{\bar{X}V} + C_{77} (-M_{\bar{Y}V}) \\
& + C_{78} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + F_{\bar{Z}V} \{C_{79} M_{\bar{X}V} + C_{80} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{81} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + M_{\bar{X}V} \{C_{82} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{83} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + C_{84} (-M_{\bar{Y}V}) (-M_{\bar{Z}V}) \quad (76)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{\bar{X}} = & C_{86} (-F_{\bar{X}V}) + C_{87} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{88} F_{\bar{Z}V} \\
& + C_{89} M_{\bar{X}V} + C_{90} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{91} (-M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{92} (-F_{\bar{X}V})^2 + C_{93} (-F_{\bar{Y}V})^2 + C_{94} F_{\bar{Z}V}^2 \\
& + C_{95} M_{\bar{X}V}^2 + C_{96} (-M_{\bar{Y}V})^2 + C_{97} (-M_{\bar{Z}V})^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + (-F_{\bar{X}V}) \{C_{98} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{99} F_{\bar{Z}V} + C_{100} M_{\bar{X}V} \\
& + C_{101} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{102} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + (-F_{\bar{Y}V}) \{C_{103} F_{\bar{Z}V} + C_{104} M_{\bar{X}V} + C_{105} (-M_{\bar{Y}V}) \\
& + C_{106} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + F_{\bar{Z}V} \{C_{107} M_{\bar{X}V} + C_{108} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{109} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + M_{\bar{X}V} \{C_{110} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{111} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + C_{112} (-M_{\bar{Y}V}) (-M_{\bar{Z}V}) \quad (77)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{\bar{Y}} = & - [C_{114} (-F_{\bar{X}V}) + C_{115} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{116} F_{\bar{Z}V} \\
& + C_{117} M_{\bar{X}V} + C_{118} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{119} (-M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{120} (-F_{\bar{X}V})^2 + C_{121} (-F_{\bar{Y}V})^2 + C_{122} F_{\bar{Z}V}^2 \\
& + C_{123} M_{\bar{X}V}^2 + C_{124} (-M_{\bar{Y}V})^2 + C_{125} (-M_{\bar{Z}V})^2 \\
& + (-F_{\bar{X}V}) \{C_{126} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{127} F_{\bar{Z}V} \\
& + C_{128} M_{\bar{X}V} + C_{129} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{130} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + (-F_{\bar{Y}V}) \{C_{131} F_{\bar{Z}V} + C_{132} M_{\bar{X}V} + C_{133} (-M_{\bar{Y}V}) \\
& + C_{134} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + F_{\bar{Z}V} \{C_{135} M_{\bar{X}V} + C_{136} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{137} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + M_{\bar{X}V} \{C_{138} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{139} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + C_{140} (-M_{\bar{Y}V}) (-M_{\bar{Z}V})] \quad (78)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{\bar{Z}} = & - [C_{142} (-F_{\bar{X}V}) + C_{143} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{144} F_{\bar{Z}V} \\
& + C_{145} M_{\bar{X}V} + C_{146} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{147} (-M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{148} (-F_{\bar{X}V})^2 + C_{149} (-F_{\bar{Y}V})^2 + C_{150} F_{\bar{Z}V}^2 \\
& + C_{151} M_{\bar{X}V}^2 + C_{152} (-M_{\bar{Y}V})^2 + C_{153} (-M_{\bar{Z}V})^2 \\
& + (-F_{\bar{X}V}) \{C_{154} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{155} F_{\bar{Z}V} \\
& + C_{156} M_{\bar{X}V} + C_{157} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{158} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + (-F_{\bar{Y}V}) \{C_{159} F_{\bar{Z}V} + C_{160} M_{\bar{X}V} + C_{161} (-M_{\bar{Y}V}) \\
& + C_{162} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + F_{\bar{Z}V} \{C_{163} M_{\bar{X}V} + C_{164} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{165} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + M_{\bar{X}V} \{C_{166} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{167} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + C_{168} (-M_{\bar{Y}V}) (-M_{\bar{Z}V})] \quad (79)
\end{aligned}$$

## (3) 三次式の場合

$$\begin{aligned}
F_{\bar{X}} = & - [C_2 (-F_{\bar{X}V}) + C_3 (-F_{\bar{Y}V}) + C_4 F_{\bar{Z}V} \\
& + C_5 M_{\bar{X}V} + C_6 (-M_{\bar{Y}V}) + C_7 (-M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_8 (-F_{\bar{X}V})^2 + C_9 (-F_{\bar{Y}V})^2 + C_{10} F_{\bar{Z}V}^2 \\
& + C_{11} M_{\bar{X}V}^2 + C_{12} (-M_{\bar{Y}V})^2 + C_{13} (-M_{\bar{Z}V})^2 \\
& + (-F_{\bar{X}V}) \{C_{14} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{15} F_{\bar{Z}V} + C_{16} M_{\bar{X}V} \\
& + C_{17} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{18} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + (-F_{\bar{Y}V}) \{C_{19} F_{\bar{Z}V} + C_{20} M_{\bar{X}V} + C_{21} (-M_{\bar{Y}V}) \\
& + C_{22} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + F_{\bar{Z}V} \{C_{23} M_{\bar{X}V} + C_{24} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{25} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + M_{\bar{X}V} \{C_{26} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{27} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + C_{28} (-M_{\bar{Y}V}) (-M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{29} (-F_{\bar{X}V})^3 + C_{30} (-F_{\bar{Y}V})^3 + C_{31} F_{\bar{Z}V}^3 \\
& + C_{32} M_{\bar{X}V}^3 + C_{33} (-M_{\bar{Y}V})^3 + C_{34} (-M_{\bar{Z}V})^3] \quad (80)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{\bar{Y}} = & - [C_{36} (-F_{\bar{X}V}) + C_{37} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{38} F_{\bar{Z}V} \\
& + C_{39} M_{\bar{X}V} + C_{40} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{41} (-M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{42} (-F_{\bar{X}V})^2 + C_{43} (-F_{\bar{Y}V})^2 + C_{44} F_{\bar{Z}V}^2 \\
& + C_{45} M_{\bar{X}V}^2 + C_{46} (-M_{\bar{Y}V})^2 + C_{47} (-M_{\bar{Z}V})^2 \\
& + (-F_{\bar{X}V}) \{C_{48} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{49} F_{\bar{Z}V} + C_{50} M_{\bar{X}V} \\
& + C_{51} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{52} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + (-F_{\bar{Y}V}) \{C_{53} F_{\bar{Z}V} + C_{54} M_{\bar{X}V} + C_{55} (-M_{\bar{Y}V}) \\
& + C_{56} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + F_{\bar{Z}V} \{C_{57} M_{\bar{X}V} + C_{58} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{59} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + M_{\bar{X}V} \{C_{60} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{61} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + C_{62} (-M_{\bar{Y}V}) (-M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{63} (-F_{\bar{X}V})^3 + C_{64} (-F_{\bar{Y}V})^3 + C_{65} F_{\bar{Z}V}^3 \\
& + C_{66} M_{\bar{X}V}^3 + C_{67} (-M_{\bar{Y}V})^3 + C_{68} (-M_{\bar{Z}V})^3] \quad (81)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{\bar{Z}} = & C_{70} (-F_{\bar{X}V}) + C_{71} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{72} F_{\bar{Z}V} \\
& + C_{73} M_{\bar{X}V} + C_{74} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{75} (-M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{76} (-F_{\bar{X}V})^2 + C_{77} (-F_{\bar{Y}V})^2 + C_{78} F_{\bar{Z}V}^2 \\
& + C_{79} M_{\bar{X}V}^2 + C_{80} (-M_{\bar{Y}V})^2 + C_{81} (-M_{\bar{Z}V})^2 \\
& + (-F_{\bar{X}V}) \{C_{82} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{83} F_{\bar{Z}V} + C_{84} M_{\bar{X}V} \\
& + C_{85} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{86} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + (-F_{\bar{Y}V}) \{C_{87} F_{\bar{Z}V} + C_{88} M_{\bar{X}V} + C_{89} (-M_{\bar{Y}V}) \\
& + C_{90} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + F_{\bar{Z}V} \{C_{91} M_{\bar{X}V} + C_{92} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{93} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + M_{\bar{X}V} \{C_{94} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{95} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + C_{96} (-M_{\bar{Y}V}) (-M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{97} (-F_{\bar{X}V})^3 + C_{98} (-F_{\bar{Y}V})^3 + C_{99} F_{\bar{Z}V}^3 \\
& + C_{100} M_{\bar{X}V}^3 + C_{101} (-M_{\bar{Y}V})^3 + C_{102} (-M_{\bar{Z}V})^3 \quad (82)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{\bar{X}} = & C_{104} (-F_{\bar{X}V}) + C_{105} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{106} F_{\bar{Z}V} \\
& + C_{107} M_{\bar{X}V} + C_{108} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{109} (-M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{110} (-F_{\bar{X}V})^2 + C_{111} (-F_{\bar{Y}V})^2 + C_{112} F_{\bar{Z}V}^2 \\
& + C_{113} M_{\bar{X}V}^2 + C_{114} (-M_{\bar{Y}V})^2 + C_{115} (-M_{\bar{Z}V})^2 \\
& + (-F_{\bar{X}V}) \{C_{116} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{117} F_{\bar{Z}V} \\
& + C_{118} M_{\bar{X}V} + C_{119} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{120} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + (-F_{\bar{Y}V}) \{C_{121} F_{\bar{Z}V} + C_{122} M_{\bar{X}V} + C_{123} (-M_{\bar{Y}V}) \\
& + C_{124} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + F_{\bar{Z}V} \{C_{125} M_{\bar{X}V} + C_{126} (-M_{\bar{Y}V}) \\
& + C_{127} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + M_{\bar{X}V} \{C_{128} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{129} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + C_{130} (-M_{\bar{Y}V}) (-M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{131} (-F_{\bar{X}V})^3 + C_{132} (-F_{\bar{Y}V})^3 + C_{133} F_{\bar{Z}V}^3 \\
& + C_{134} M_{\bar{X}V}^3 + C_{134} (-M_{\bar{Y}V})^3 + C_{136} (-M_{\bar{Z}V})^3 \quad (83)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{\bar{Y}} = & - [C_{138} (-F_{\bar{X}V}) + C_{139} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{140} F_{\bar{Z}V} \\
& + C_{141} M_{\bar{X}V} + C_{142} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{143} (-M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{144} (-F_{\bar{X}V})^2 + C_{145} (-F_{\bar{Y}V})^2 + C_{146} F_{\bar{Z}V}^2 \\
& + C_{147} M_{\bar{X}V}^2 + C_{148} (-M_{\bar{Y}V})^2 + C_{149} (-M_{\bar{Z}V})^2 \\
& + (-F_{\bar{X}V}) \{C_{150} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{151} F_{\bar{Z}V} \\
& + C_{152} M_{\bar{X}V} + C_{153} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{154} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + (-F_{\bar{Y}V}) \{C_{155} F_{\bar{Z}V} + C_{156} M_{\bar{X}V} + C_{157} (-M_{\bar{Y}V}) \\
& + C_{158} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + F_{\bar{Z}V} \{C_{159} M_{\bar{X}V} + C_{160} (-M_{\bar{Y}V}) \\
& + C_{161} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + M_{\bar{X}V} \{C_{162} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{163} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + C_{164} (-M_{\bar{Y}V}) (-M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{165} (-F_{\bar{X}V})^3 + C_{166} (-F_{\bar{Y}V})^3 + C_{167} F_{\bar{Z}V}^3 \\
& + C_{168} M_{\bar{X}V}^3 + C_{169} (-M_{\bar{Y}V})^3 + C_{170} (-M_{\bar{Z}V})^3] \\
\end{aligned} \tag{84}$$

$$\begin{aligned}
M_{\bar{Z}} = & - [C_{172} (-F_{\bar{X}V}) + C_{173} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{174} F_{\bar{Z}V} \\
& + C_{175} M_{\bar{X}V} + C_{176} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{177} (-M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{178} (-F_{\bar{X}V})^2 + C_{179} (-F_{\bar{Y}V})^2 + C_{180} F_{\bar{Z}V}^2 \\
& + C_{181} M_{\bar{X}V}^2 + C_{182} (-M_{\bar{Y}V})^2 + C_{183} (-M_{\bar{Z}V})^2 \\
& + (-F_{\bar{X}V}) \{C_{184} (-F_{\bar{Y}V}) + C_{185} F_{\bar{Z}V} \\
& + C_{186} M_{\bar{X}V} + C_{187} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{188} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + (-F_{\bar{Y}V}) \{C_{189} F_{\bar{Z}V} + C_{190} M_{\bar{X}V} + C_{191} (-M_{\bar{Y}V}) \\
& + C_{192} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + F_{\bar{Z}V} \{C_{193} M_{\bar{X}V} + C_{194} (-M_{\bar{Y}V}) \\
& + C_{195} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + M_{\bar{X}V} \{C_{196} (-M_{\bar{Y}V}) + C_{197} (-M_{\bar{Z}V})\} \\
& + C_{198} (-M_{\bar{Y}V}) (-M_{\bar{Z}V}) \\
& + C_{199} (-F_{\bar{X}V})^3 + C_{200} (-F_{\bar{Y}V})^3 + C_{201} F_{\bar{Z}V}^3 \\
& + C_{202} M_{\bar{X}V}^3 + C_{203} (-M_{\bar{Y}V})^3 + C_{204} (-M_{\bar{Z}V})^3] \\
\end{aligned} \tag{85}$$

### 10.3 LMC6522 天秤と複製オイラー模型の組合せ

試験条件はマッハ数  $M_\infty = 0.85$ , レイノルズ数  $Re_{cr} = 7.7 \times 10^6$ ,  $\alpha = -2^\circ \sim 22^\circ$  である。一次式表示, 二次式表示, 三次式表示による係数マトリックスを用いて作図した結果を示す。図 12.1 から図 12.6 に  $C_{AF}$ ,  $C_Y$ ,  $C_N$ ,  $C_b$ ,  $C_m$ ,  $C_n$  について重ね書きの形で示した。

なお風洞試験は縦三分力試験なので横力の出力値は小さく参考図として示したものである。表 17 で見たとうり垂直力成分の標準偏差  $\sigma_{FZ}$ , 縦揺れモーメント成分の標準偏差  $\sigma_{MY}$  は一次式表示でも十分許容できる精度範囲に入っていたが, 軸力成分の標準偏差  $\sigma_{FX}$  は 1% を越え精度上問題がある事を指摘した。この点を風試結果の作図で見ると, 前面軸力の特性を示す  $C_{AF} \sim \alpha$  曲線の大迎角域で差異が生じる結果となった。

$C_{AF} \sim \alpha$  曲線で線形表示と非線形表示の比較でその差異が意外と小さい結果になったが次の様に考えられる。この天秤では大きい較正係数を持つ干渉項  $F_Z \times M_Z$  と  $F_Y \times M_Y$  については縦三分力試験のため横の天秤出力が極めて小さいため影響が出なかった事, また  $F_Z^2$  と  $F_Z \times M_Y$  の干渉項の影響がほぼ打消すためである。従って迎角と横滑り角を持つような試験形態では非線形項の影響は大きく現れるものと考えておくべきである。また全ての作図結果から二次式表示と三次式表示の優劣は認められない。

### 10.4 B660H 天秤と複製オイラー模型の組合せ

試験条件はマッハ数  $M_\infty = 0.85$ , レイノルズ数  $Re_{cr} = 10.5 \times 10^6$ ,  $\alpha = -2^\circ \sim 22^\circ$  である。図 13.1 ~ 図 13.6 に見られるように縦三分力のうち  $C_{AF} \sim \alpha$  曲線の大迎角域で一次式表示の場合かなり大きい精度低下が見られる。それ以外は LMC6522 天秤の場合と同様な傾向を示している。

## 11. まとめ

代表的な二本の遷音速風洞用天秤の実荷重較正作業を通して, 現状を次のように要約できる。

(1) 二本の一体化天秤についてその特性を非線形表示することで風洞試験で許容できる精度におさまっていることが確認され, 新しく導入する複合荷重式自動天秤較正装置の要求精度の目安が得られた。

(2) 両天秤ともその特性を一次式表示した場合明らかに精度不足である。とくに複合負荷による荷重点でその誤差が顕著である。実際に風洞試験する場合は多成分に同時に空気力が掛かる場合が一般的なので一体化天秤と一次式表示の組合せは特に注意を要する。

(3) 国産天秤, 外国天秤とも軸力成分への他成分からの干渉が特に顕著である。軸力へ干渉を及ぼす要素は両天秤で幾分異なるが, 各要素の影響の程度が明らかになり, 今後の較正作業時の荷重負荷選定の参考資料が得られた。

(4) 天秤特性の二次式表示と三次式表示との差は少ない。

(5) 一週間程度の長時間にわたる実荷重作業でも荷重指示書に示す様に無負荷データを数多く取込む事で温度ドリフト等の誤差を極力排除できた。

(6) 天秤較正作業は常温付近で行われたが, 遷音速風洞の濃み点温度  $45^\circ$  付近に較正結果を適用する場合の問題点の有無については本作業では考察出来ない。今後の課題とする。

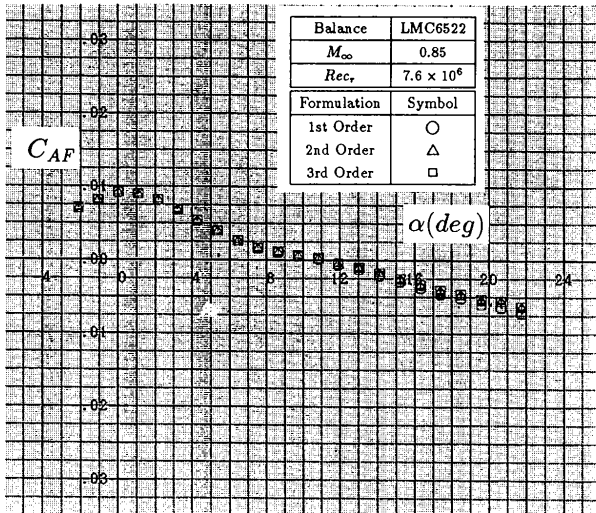


図 12.1 LMC6522 天秤の一次, 二次, 三次式表示比較 :  $F_X$ 成分 ( $C_{AF} \sim \alpha$ )

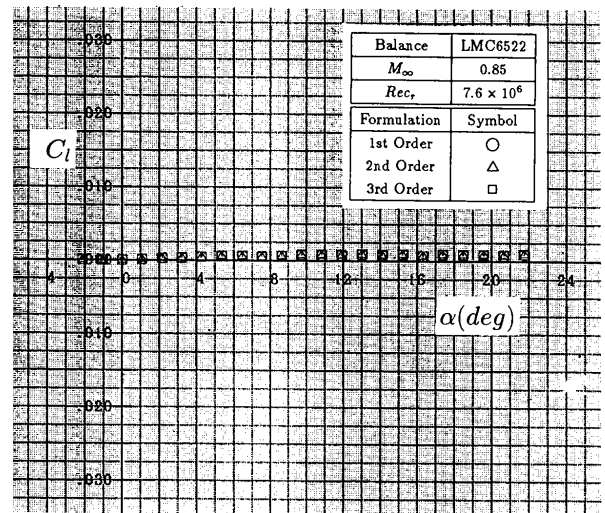


図 12.4 LMC6522 天秤の一次, 二次, 三次式表示比較 :  $M_X$ 成分 ( $C_I \sim \alpha$ )

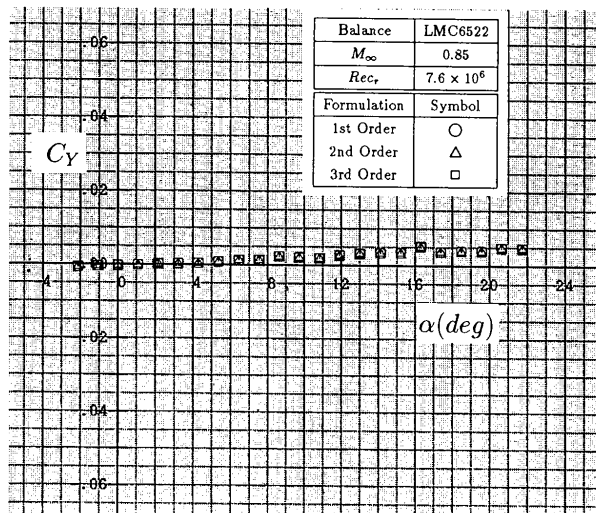


図 12.2 LMC6522 天秤の一次, 二次, 三次式表示比較 :  $F_Y$ 成分 ( $C_Y \sim \alpha$ )

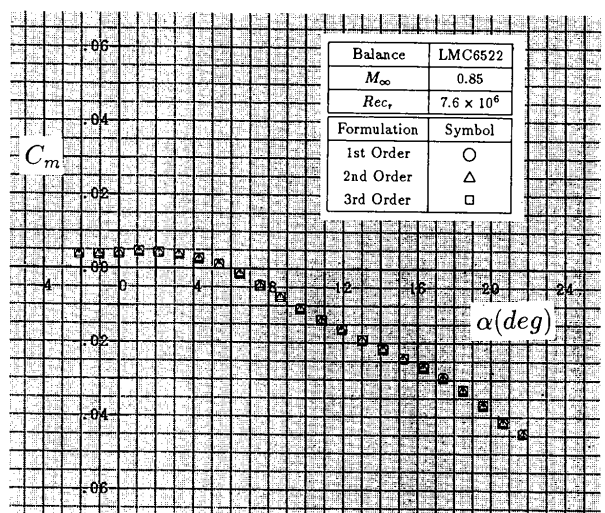


図 12.5 LMC6522 天秤の一次, 二次, 三次式表示比較 :  $M_Y$ 成分 ( $C_m \sim \alpha$ )

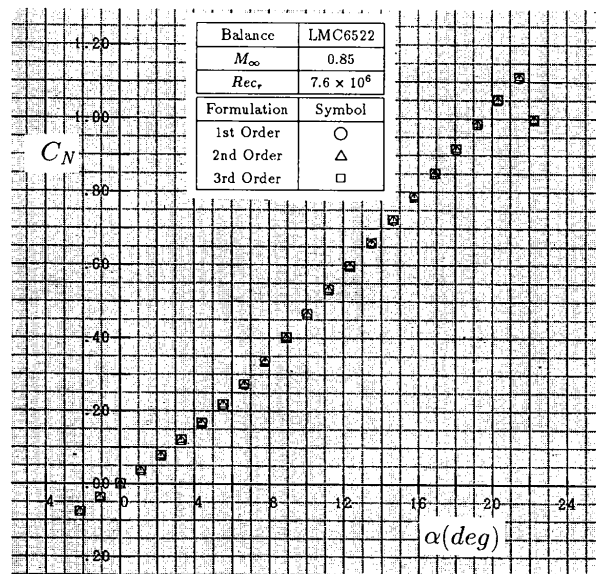


図 12.3 LMC6522 天秤の一次, 二次, 三次式表示比較 :  $F_Z$ 成分 ( $C_N \sim \alpha$ )

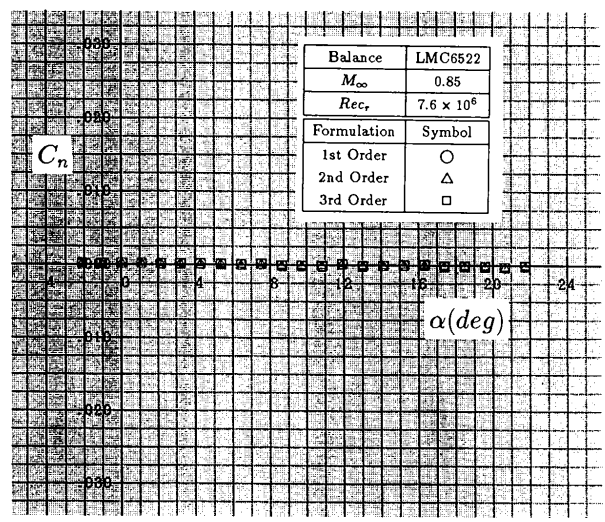


図 12.6 LMC6522 天秤の一次, 二次, 三次式表示比較 :  $M_Z$ 成分 ( $C_n \sim \alpha$ )

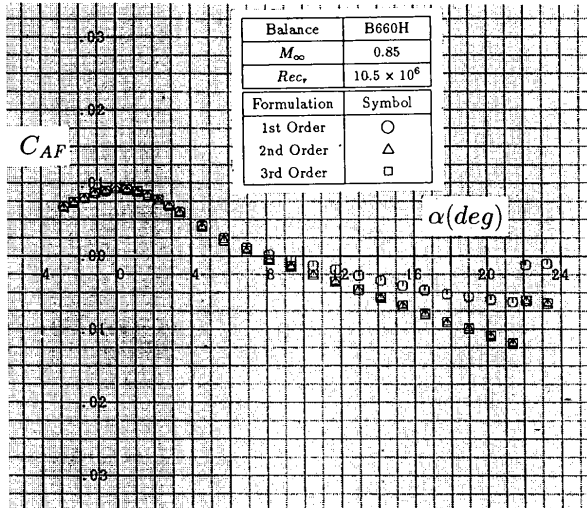


図 13.1 B660H 天秤の一次, 二次, 三次式表示比較 :  $F_X$ 成分 ( $C_{AF} \sim \alpha$ )

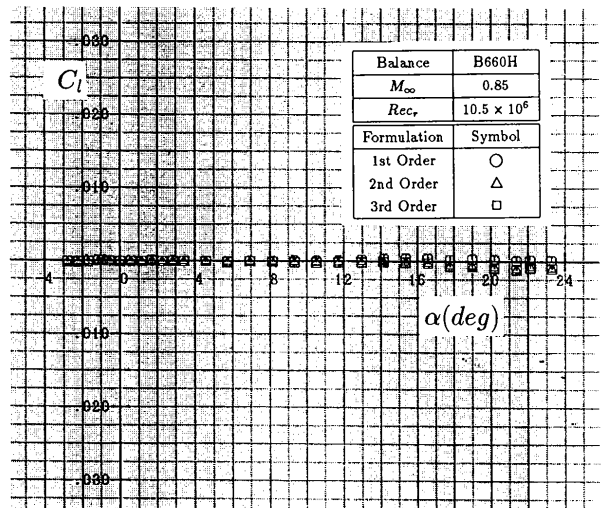


図 13.4 B660H 天秤の一次, 二次, 三次式表示比較 :  $M_X$ 成分 ( $C_l \sim \alpha$ )

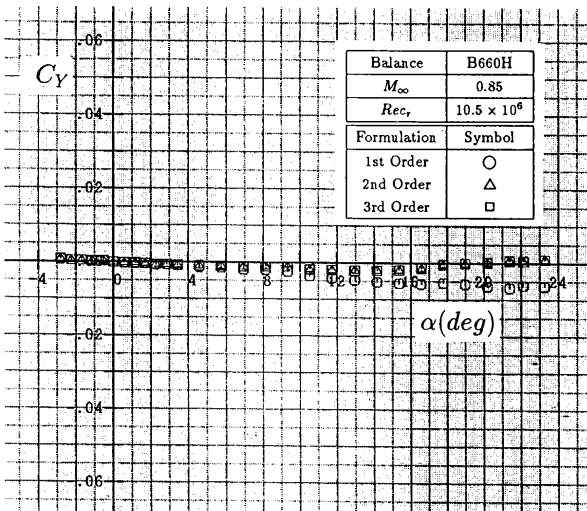


図 13.2 B660H 天秤の一次, 二次, 三次式表示比較 :  $F_Y$ 成分 ( $C_Y \sim \alpha$ )

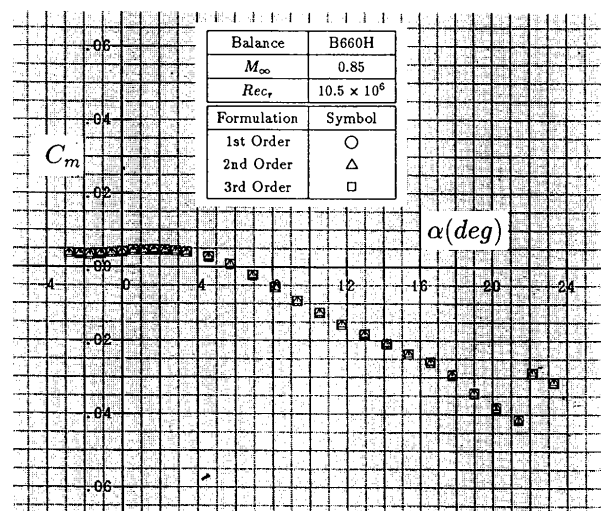


図 13.5 B660H 天秤の一次, 二次, 三次式表示比較 :  $M_Y$ 成分 ( $C_m \sim \alpha$ )

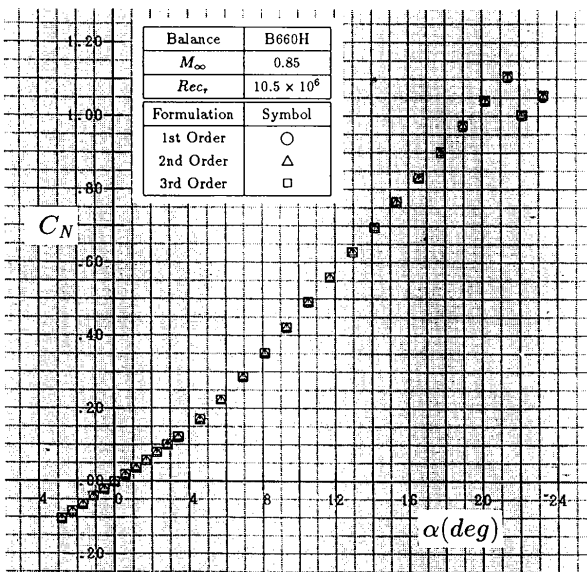


図 13.3 B660H 天秤の一次, 二次, 三次式表示比較 :  $F_Z$ 成分 ( $C_N \sim \alpha$ )

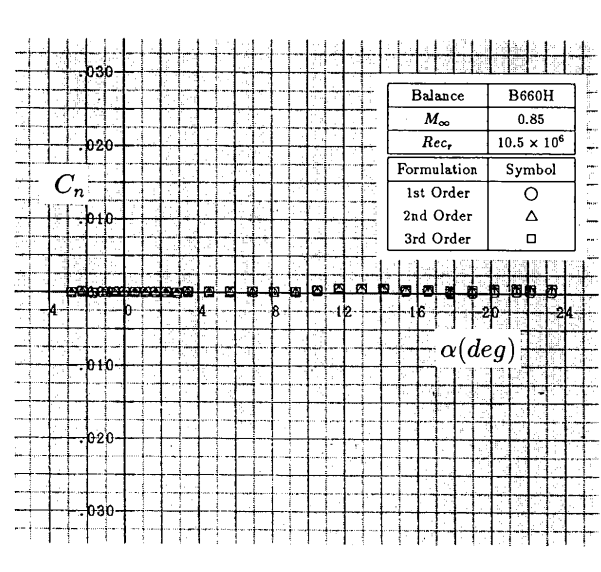


図 13.6 B660H 天秤の一次, 二次, 三次式表示比較 :  $M_Z$ 成分 ( $C_n \sim \alpha$ )

## 参考文献

- [1] Cook, T.A., A note on the calibration of strain gauge balances for wind tunnel models, RAE Tech. Note No. Aero. 263, Dec. 1959
- [2] Smith, David, L., An efficient Algorithm Using Matrix Methods to Solve Wind-Tunnel Force Balance Equipment, NASA TND-6860, 1972
- [3] Gustav Ingmar Johnson, FFA Sweden, Aspect of Wind Tunnel Data Processing at FFA, ICIASF (International Congress on Instrumentation in Aerospace Simulation Facilities) 81, 1981
- [4] R.D. Galway, NAE Canada, A six Component Auto-Levelling Balance Calibration Frame, 58th Semi-annual STA meeting, 1982
- [5] Han Buzhang, NAI China, Ingmar Johnson, FFA Sweden and Zhao Lei, SARI China, An Investigation on methods of Wind Tunnel Balance Calibration for a Rig without Repositioning after Loading, FFA TN 1988-06 and FFA TN 1988-14
- [6] Bruce Fairlie, A New Approach to Internal Strain Gage Balance Calibration, 69th Semi-annual STA meeting, 1988
- [7] Gustav Ingmar Johnson, FFA Sweden, A New Computer Controlled Rig for Calibration of the T1500 Wind Tunnel Balances, 71st Semi-annual STA meeting, April 3-4 1989
- [8] Gustav Ingmar Johnson, FFA Sweden, A New Type of Calibration Rig for Wind Tunnel Balances, ICIASF (International Congress on Instrumentation in Aerospace Simulation Facilities) 89, 1989
- [9] Eatlow, E., FluiDyne Engineering Corp. and Kovacevic, N., NK Biotechnical Engineering Corp., A Six-Component Force/Moment Sensor Calibration Stand, AIAA 90-1395, June 18-20, 1990
- [10] Ewald, B., Technical Univ. Darmstadt and Graewe, E., Deutsche Airbus GmbH, Automatic Calibration Machine for Cryogenic and Conventional Internal Strain Gage Balance, AIAA 90-1396, June 18-20 1990
- [11] Michael Levkovitch, A New Six Degrees of Freedom Calibrator for Wind Tunnel Balances at Israel Aircraft Industries, 75th Semi-annual STA meeting, April 29-30, 1991
- [12] 中村正剛, 鈴木弘一, 白井正孝, 小池 陽, 藤田敏美: 航技研 2 m × 2 m 遷音速風洞のデータ処理, 航空宇宙技術研究所報告 TR-811, 1984年5月

〔付 録〕

A LMC-6522-50/Z1000-S 天秤校正荷重指示書

付表 1

天秤名	$F_X$ (kgf)	$F_Y$ (kgf)	$F_Z$ (kgf)	$M_X$ (kgfm)	$M_Y$ (kgfm)	$M_Z$ (kgfm)
LMC6522	±100	±500	±1000	±20	±80	±40

No.	$I_g$	$F_X$	$F_Y$	$F_Z$	$M_X$	$M_Y$	$M_Z$
1	2	0	0	0	0	0	0
2	2	20	0	0	0	0	0
3	2	40	0	0	0	0	0
4	2	60	0	0	0	0	0
5	2	80	0	0	0	0	0
6	2	100	0	0	0	0	0
7	2	0	0	0	0	0	0
8	2	0	0	0	0	0	0
9	2	-20	0	0	0	0	0
10	2	-40	0	0	0	0	0
11	2	-60	0	0	0	0	0
12	2	-80	0	0	0	0	0
13	2	-100	0	0	0	0	0
14	2	0	0	0	0	0	0
15	4	0	0	0	0	0	0
16	4	20	0	0	0	0	0
17	4	40	0	0	0	0	0
18	4	60	0	0	0	0	0
19	4	80	0	0	0	0	0
20	4	100	0	0	0	0	0
21	4	0	0	0	0	0	0
22	4	0	0	0	0	0	0
23	4	-20	0	0	0	0	0
24	4	-40	0	0	0	0	0
25	4	-60	0	0	0	0	0
26	4	-80	0	0	0	0	0
27	4	-100	0	0	0	0	0
28	4	0	0	0	0	0	0
29	1	0	0	0	0	0	0
30	1	0	100	0	0	0	0
31	1	0	200	0	0	0	0
32	1	0	300	0	0	0	0
33	1	0	400	0	0	0	0
34	1	0	500	0	0	0	0
35	1	0	0	0	0	0	0
36	3	0	0	0	0	0	0
37	3	0	-100	0	0	0	0
38	3	0	-200	0	0	0	0
39	3	0	-300	0	0	0	0
40	3	0	-400	0	0	0	0
41	3	0	-500	0	0	0	0
42	3	0	0	0	0	0	0
43	2	0	0	0	0	0	0
44	2	0	0	200	0	0	0
45	2	0	0	400	0	0	0
46	2	0	0	600	0	0	0
47	2	0	0	800	0	0	0
48	2	0	0	1000	0	0	0
49	2	0	0	0	0	0	0

No.	$I_g$	$F_X$	$F_Y$	$F_Z$	$M_X$	$M_Y$	$M_Z$
50	4	0	0	0	0	0	0
51	4	0	0	-200	0	0	0
52	4	0	0	-400	0	0	0
53	4	0	0	-600	0	0	0
54	4	0	0	-800	0	0	0
55	4	0	0	-1000	0	0	0
56	4	0	0	0	0	0	0
57	2	0	0	0	0	0	0
58	2	0	0	(100)	0	0	0
59	2	0	0	(100)	4	0	0
60	2	0	0	(100)	8	0	0
61	2	0	0	(100)	12	0	0
62	2	0	0	(100)	16	0	0
63	2	0	0	(100)	20	0	0
64	2	0	0	(100)	0	0	0
65	2	0	0	0	0	0	0
66	2	0	0	0	0	0	0
67	2	0	0	(100)	0	0	0
68	2	0	0	(100)	-4	0	0
69	2	0	0	(100)	-8	0	0
70	2	0	0	(100)	-12	0	0
71	2	0	0	(100)	-16	0	0
72	2	0	0	(100)	-20	0	0
73	2	0	0	(100)	0	0	0
74	2	0	0	0	0	0	0
75	4	0	0	0	0	0	0
76	4	0	0	(-100)	0	0	0
77	4	0	0	(-100)	4	0	0
78	4	0	0	(-100)	8	0	0
79	4	0	0	(-100)	12	0	0
80	4	0	0	(-100)	16	0	0
81	4	0	0	(-100)	20	0	0
82	4	0	0	(-100)	0	0	0
83	4	0	0	0	0	0	0
84	4	0	0	0	0	0	0
85	4	0	0	(-100)	0	0	0
86	4	0	0	(-100)	-4	0	0
87	4	0	0	(-100)	-8	0	0
88	4	0	0	(-100)	-12	0	0
89	4	0	0	(-100)	-16	0	0
90	4	0	0	(-100)	-20	0	0
91	4	0	0	(-100)	0	0	0
92	4	0	0	0	0	0	0



付表1 (続)

No.	$I_g$	$F_X$	$F_Y$	$F_Z$	$M_X$	$M_Y$	$M_Z$
93	2	0	0	0	0	0	0
94	2	0	0	(400)	0	0	0
95	2	0	0	(400)	0	20	0
96	2	0	0	(400)	0	40	0
97	2	0	0	(400)	0	60	0
98	2	0	0	(400)	0	80	0
99	2	0	0	(400)	0	0	0
100	2	0	0	0	0	0	0
101	2	0	0	0	0	0	0
102	2	0	0	(400)	0	0	0
103	2	0	0	(400)	0	-20	0
104	2	0	0	(400)	0	-40	0
105	2	0	0	(400)	0	-60	0
106	2	0	0	(400)	0	-80	0
107	2	0	0	(400)	0	0	0
108	2	0	0	0	0	0	0
109	4	0	0	0	0	0	0
110	4	0	0	(-400)	0	0	0
111	4	0	0	(-400)	0	20	0
112	4	0	0	(-400)	0	40	0
113	4	0	0	(-400)	0	60	0
114	4	0	0	(-400)	0	80	0
115	4	0	0	(-400)	0	0	0
116	4	0	0	0	0	0	0
117	4	0	0	0	0	0	0
118	4	0	0	(-400)	0	0	0
119	4	0	0	(-400)	0	-20	0
120	4	0	0	(-400)	0	-40	0
121	4	0	0	(-400)	0	-60	0
122	4	0	0	(-400)	0	-80	0
123	4	0	0	(-400)	0	0	0
124	4	0	0	0	0	0	0
125	1	0	0	0	0	0	0
126	1	0	(200)	0	0	0	0
127	1	0	(200)	0	0	0	8
128	1	0	(200)	0	0	0	16
129	1	0	(200)	0	0	0	24
130	1	0	(200)	0	0	0	32
131	1	0	(200)	0	0	0	40
132	1	0	(200)	0	0	0	0
133	1	0	0	0	0	0	0
134	1	0	0	0	0	0	0
135	1	0	(200)	0	0	0	0
136	1	0	(200)	0	0	0	-8
137	1	0	(200)	0	0	0	-16
138	1	0	(200)	0	0	0	-24
139	1	0	(200)	0	0	0	-32
140	1	0	(200)	0	0	0	-40
141	1	0	(200)	0	0	0	0
142	1	0	0	0	0	0	0

No.	$I_g$	$F_X$	$F_Y$	$F_Z$	$M_X$	$M_Y$	$M_Z$
143	3	0	0	0	0	0	0
144	3	0	(-200)	0	0	0	0
145	3	0	(-200)	0	0	0	8
146	3	0	(-200)	0	0	0	16
147	3	0	(-200)	0	0	0	24
148	3	0	(-200)	0	0	0	32
148	3	0	(-200)	0	0	0	40
150	3	0	(-200)	0	0	0	0
151	3	0	0	0	0	0	0
152	3	0	0	0	0	0	0
153	3	0	(-200)	0	0	0	0
154	3	0	(-200)	0	0	0	-8
155	3	0	(-200)	0	0	0	-16
156	3	0	(-200)	0	0	0	-24
157	3	0	(-200)	0	0	0	-32
158	3	0	(-200)	0	0	0	-40
159	3	0	(-200)	0	0	0	0
160	3	0	0	0	0	0	0
161	2	0	0	0	0	0	0
162	2	50	0	500	0	0	0
163	2	50	0	500	0	40	0
164	2	50	0	500	0	-40	0
165	2	50	0	500	0	0	0
166	2	0	0	0	0	0	0
167	2	0	0	0	0	0	0
168	2	-50	0	500	0	0	0
169	2	-50	0	500	0	40	0
170	2	-50	0	500	0	-40	0
171	2	-50	0	500	0	0	0
172	2	0	0	0	0	0	0
173	4	0	0	0	0	0	0
174	4	50	0	-500	0	0	0
175	4	50	0	-500	0	40	0
176	4	50	0	-500	0	-40	0
177	4	50	0	-500	0	0	0
178	4	0	0	0	0	0	0
179	4	0	0	0	0	0	0
180	4	-50	0	-500	0	0	0
181	4	-50	0	-500	0	40	0
182	4	-50	0	-500	0	-40	0
183	4	-50	0	-500	0	0	0
184	4	0	0	0	0	0	0

付表 1 (続)

No.	$I_g$	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
185	5	0	0	0	0	0	0
186	5	50	495	495	0	0	0
187	5	50	495	495	10	35	-35
188	5	50	495	495	-10	35	-35
189	5	50	495	495	0	0	0
190	5	50	495	495	10	-35	35
191	5	50	495	495	-10	-35	35
192	5	50	495	495	0	0	0
193	5	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
	5	50	495	495	0	0	0
	5	50	495	495	10	(35)	(35)
	5	50	495	495	-10	(35)	(35)
	5	50	495	495	0	0	0
	5	50	495	495	10	(-35)	(-35)
	5	50	495	495	-10	(-35)	(-35)
	5	50	495	495	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
194	5	0	0	0	0	0	0
195	5	-50	495	495	0	0	0
196	5	-50	495	495	10	35	-35
197	5	-50	495	495	-10	35	-35
198	5	-50	495	495	0	0	0
199	5	-50	495	495	10	-35	35
200	5	-50	495	495	-10	-35	35
201	5	-50	495	495	0	0	0
202	5	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
	5	-50	495	495	0	0	0
	5	-50	495	495	10	(35)	(35)
	5	-50	495	495	-10	(35)	(35)
	5	-50	495	495	0	0	0
	5	-50	495	495	10	(-35)	(-35)
	5	-50	495	495	-10	(-35)	(-35)
	5	-50	495	495	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
203	8	0	0	0	0	0	0
204	8	50	-495	-495	0	0	0
205	8	50	-495	-495	10	35	-35
206	8	50	-495	-495	-10	35	-35
207	8	50	-495	-495	0	0	0
208	8	50	-495	-495	10	-35	35
209	8	50	-495	-495	-10	-35	35
210	8	50	-495	-495	0	0	0
211	8	0	0	0	0	0	0

No.	$I_g$	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
	8	0	0	0	0	0	0
	8	50	-495	-495	0	0	0
	8	50	-495	-495	10	(35)	(35)
	8	50	-495	-495	-10	(35)	(35)
	8	50	-495	-495	0	0	0
	8	50	-495	-495	10	(-35)	(-35)
	8	50	-495	-495	-10	(-35)	(-35)
	8	50	-495	-495	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0
212	8	0	0	0	0	0	0
213	8	-50	-495	-495	0	0	0
214	8	-50	-495	-495	10	35	-35
215	8	-50	-495	-495	-10	35	-35
216	8	-50	-495	-495	0	0	0
217	8	-50	-495	-495	10	-35	35
218	8	-50	-495	-495	-10	-35	35
219	8	-50	-495	-495	0	0	0
220	8	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0
	8	-50	-495	-495	0	0	0
	8	-50	-495	-495	10	(35)	(35)
	8	-50	-495	-495	-10	(35)	(35)
	8	-50	-495	-495	0	0	0
	8	-50	-495	-495	10	(-35)	(-35)
	8	-50	-495	-495	-10	(-35)	(-35)
	8	-50	-495	-495	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0
221	6	0	0	0	0	0	0
222	6	50	495	-495	0	0	0
223	6	50	495	-495	10	35	35
224	6	50	495	-495	-10	35	35
225	6	50	495	-495	0	0	0
226	6	50	495	-495	10	-35	-35
227	6	50	495	-495	-10	-35	-35
228	6	50	495	-495	0	0	0
229	6	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0
	6	50	495	-495	0	0	0
	6	50	495	-495	10	(35)	(-35)
	6	50	495	-495	-10	(35)	(-35)
	6	50	495	-495	0	0	0
	6	50	495	-495	10	(-35)	(35)
	6	50	495	-495	-10	(-35)	(35)
	6	50	495	-495	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0

付表1 (続)

No.	$I_g$	$F_X$	$F_Y$	$F_Z$	$M_X$	$M_Y$	$M_Z$
230	6	0	0	0	0	0	0
231	6	-50	495	-495	0	0	0
232	6	-50	495	-495	10	35	35
233	6	-50	495	-495	-10	35	35
234	6	-50	495	-495	0	0	0
235	6	-50	495	-495	10	-35	-35
236	6	-50	495	-495	-10	-35	-35
237	6	-50	495	-495	0	0	0
238	6	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0
	6	-50	495	-495	0	0	0
	6	-50	495	-495	10	(35)	(-35)
	6	-50	495	-495	-10	(35)	(-35)
	6	50	495	-495	0	0	0
	6	-50	495	-495	10	(-35)	(35)
	6	-50	495	-495	-10	(-35)	(35)
	6	-50	495	-495	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0
239	7	0	0	0	0	0	0
240	7	50	-495	495	0	0	0
241	7	50	-495	495	10	35	35
242	7	50	-495	495	-10	35	35
243	7	50	-495	495	0	0	0
244	7	50	-495	495	10	-35	-35
245	7	50	-495	495	-10	-35	-35
246	7	50	-495	495	0	0	0
247	7	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0
	7	50	-495	495	0	0	0
	7	50	-495	495	10	(35)	(-35)
	7	50	-495	495	-10	(35)	(-35)
	7	50	-495	495	0	0	0
	7	50	-495	495	10	(-35)	(35)
	7	50	-495	495	-10	(-35)	(35)
	7	50	-495	495	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0
248	7	0	0	0	0	0	0
249	7	-50	-495	495	0	0	0
250	7	-50	-495	495	10	35	35
251	7	-50	-495	495	-10	35	35
252	7	-50	-495	495	0	0	0
253	7	-50	-495	495	10	-35	-35
254	7	-50	-495	495	-10	-35	-35
255	7	-50	-495	495	0	0	0
256	7	0	0	0	0	0	0

No.	$I_g$	$F_X$	$F_Y$	$F_Z$	$M_X$	$M_Y$	$M_Z$
	7	0	0	0	0	0	0
	7	-50	-495	495	0	0	0
	7	-50	-495	495	10	(35)	(-35)
	7	-50	-495	495	-10	(35)	(-35)
	7	-50	-495	495	0	0	0
	7	-50	-495	495	10	(-35)	(35)
	7	-50	-495	495	-10	(-35)	(35)
	7	-50	-495	495	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0
257	2	0	0	0	0	0	0
258	2	50	0	500	0	0	0
259	2	50	0	500	10	40	0
260	2	50	0	500	10	-40	0
261	2	50	0	500	0	0	0
262	2	50	0	500	-10	40	0
263	2	50	0	500	-10	-40	0
264	2	50	0	500	0	0	0
265	2	0	0	0	0	0	0
266	2	0	0	0	0	0	0
267	2	-50	0	500	0	0	0
268	2	-50	0	500	10	40	0
269	2	-50	0	500	10	-40	0
270	2	-50	0	500	0	0	0
271	2	-50	0	500	-10	40	0
272	2	-50	0	500	-10	-40	0
273	2	-50	0	500	0	0	0
274	2	0	0	0	0	0	0
275	4	0	0	0	0	0	0
276	4	50	0	-500	0	0	0
277	4	50	0	-500	10	40	0
278	4	50	0	-500	10	-40	0
279	4	50	0	-500	0	0	0
280	4	50	0	-500	-10	40	0
281	4	50	0	-500	-10	-40	0
282	4	50	0	-500	0	0	0
283	4	0	0	0	0	0	0
284	4	0	0	0	0	0	0
285	4	-50	0	-500	0	0	0
286	4	-50	0	-500	10	40	0
287	4	-50	0	-500	10	-40	0
288	4	-50	0	-500	0	0	0
289	4	-50	0	-500	-10	40	0
290	4	-50	0	-500	-10	-40	0
291	4	-50	0	-500	0	0	0
292	2	0	0	0	0	0	0

付表 1 (続)

No.	$I_g$	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
293	1	0	0	0	0	0	0
294	1	50	250	0	0	0	0
295	1	50	250	0	10	0	20
296	1	50	250	0	-10	0	20
297	1	50	250	0	0	0	0
298	1	50	250	0	10	0	-20
299	1	50	250	0	-10	0	-20
300	1	50	250	0	0	0	0
301	1	0	0	0	0	0	0
302	1	0	0	0	0	0	0
303	1	-50	250	0	0	0	0
304	1	-50	250	0	10	0	20
305	1	-50	250	0	-10	0	20
306	1	-50	250	0	0	0	0
307	1	-50	250	0	10	0	-20
308	1	-50	250	0	-10	0	-20
309	1	-50	250	0	0	0	0
310	1	0	0	0	0	0	0
311	3	0	0	0	0	0	0
312	3	50	-250	0	0	0	0
313	3	50	-250	0	10	0	20
314	3	50	-250	0	-10	0	20
315	3	50	-250	0	0	0	0
316	3	50	-250	0	10	0	-20
317	3	50	-250	0	-10	0	-20
318	3	50	-250	0	0	0	0
319	3	0	0	0	0	0	0
320	3	0	0	0	0	0	0
321	3	-50	-250	0	0	0	0
322	3	-50	-250	0	10	0	20
323	3	-50	-250	0	-10	0	20
324	3	-50	-250	0	0	0	0
325	3	-50	-250	0	10	0	-20
326	3	-50	-250	0	-10	0	-20
327	3	-50	-250	0	0	0	0
328	3	0	0	0	0	0	0

B B660H 天秤校正荷重指示書

付表2

天秤名	$F_x$ (kgf)	$F_y$ (kgf)	$F_z$ (kgf)	$M_x$ (kgfm)	$M_y$ (kgfm)	$M_z$ (kgfm)
B660H	±70	±400	±800	±25	±60	±25

No.	$I_g$	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
1	2	0	0	0	0	0	0
2	2	10	0	0	0	0	0
3	2	20	0	0	0	0	0
4	2	30	0	0	0	0	0
5	2	40	0	0	0	0	0
6	2	50	0	0	0	0	0
7	2	60	0	0	0	0	0
8	2	0	0	0	0	0	0
9	2	0	0	0	0	0	0
10	2	-10	0	0	0	0	0
11	2	-20	0	0	0	0	0
12	2	-30	0	0	0	0	0
13	2	-40	0	0	0	0	0
14	2	-50	0	0	0	0	0
15	2	-60	0	0	0	0	0
16	2	0	0	0	0	0	0
17	4	0	0	0	0	0	0
18	4	10	0	0	0	0	0
19	4	20	0	0	0	0	0
20	4	30	0	0	0	0	0
21	4	40	0	0	0	0	0
22	4	50	0	0	0	0	0
23	4	60	0	0	0	0	0
24	4	0	0	0	0	0	0
25	4	0	0	0	0	0	0
26	4	-10	0	0	0	0	0
27	4	-20	0	0	0	0	0
28	4	-30	0	0	0	0	0
29	4	-40	0	0	0	0	0
30	4	-50	0	0	0	0	0
31	4	-60	0	0	0	0	0
32	4	0	0	0	0	0	0
33	1	0	0	0	0	0	0
34	1	0	100	0	0	0	0
35	1	0	200	0	0	0	0
36	1	0	300	0	0	0	0
37	1	0	400	0	0	0	0
38	1	0	0	0	0	0	0
39	3	0	0	0	0	0	0
40	3	0	-100	0	0	0	0
41	3	0	-200	0	0	0	0
42	3	0	-300	0	0	0	0
43	3	0	-400	0	0	0	0
44	3	0	0	0	0	0	0

No.	$I_g$	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
45	2	0	0	0	0	0	0
46	2	0	0	200	0	0	0
47	2	0	0	400	0	0	0
48	2	0	0	600	0	0	0
49	2	0	0	800	0	0	0
50	2	0	0	0	0	0	0
51	4	0	0	0	0	0	0
52	4	0	0	-200	0	0	0
53	4	0	0	-400	0	0	0
54	4	0	0	-600	0	0	0
55	4	0	0	-800	0	0	0
56	4	0	0	0	0	0	0
57	4	0	0	0	0	0	0
58	2	0	0	(100)	0	0	0
59	2	0	0	(100)	4	0	0
60	2	0	0	(100)	8	0	0
61	2	0	0	(100)	12	0	0
62	2	0	0	(100)	16	0	0
63	2	0	0	(100)	20	0	0
64	2	0	0	(100)	0	0	0
65	2	0	0	0	0	0	0
66	2	0	0	0	0	0	0
67	2	0	0	(100)	0	0	0
68	2	0	0	(100)	-4	0	0
69	2	0	0	(100)	-8	0	0
70	2	0	0	(100)	-12	0	0
71	2	0	0	(100)	-16	0	0
72	2	0	0	(100)	-20	0	0
73	2	0	0	(100)	0	0	0
74	2	0	0	0	0	0	0
75	4	0	0	0	0	0	0
76	4	0	0	(-100)	0	0	0
77	4	0	0	(-100)	4	0	0
78	4	0	0	(-100)	8	0	0
79	4	0	0	(-100)	12	0	0
80	4	0	0	(-100)	16	0	0
81	4	0	0	(-100)	20	0	0
82	4	0	0	(-100)	0	0	0
83	4	0	0	0	0	0	0
84	4	0	0	0	0	0	0
85	4	0	0	(-100)	0	0	0
86	4	0	0	(-100)	-4	0	0
87	4	0	0	(-100)	-8	0	0
88	4	0	0	(-100)	-12	0	0
89	4	0	0	(-100)	-16	0	0
90	4	0	0	(-100)	-20	0	0
91	4	0	0	(-100)	0	0	0
92	4	0	0	0	0	0	0

付表 2 (続)

No.	$I_g$	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
93	2	0	0	0	0	0	0
94	2	0	0	(250)	0	0	0
95	2	0	0	(250)	0	10	0
96	2	0	0	(250)	0	20	0
97	2	0	0	(250)	0	30	0
98	2	0	0	(250)	0	40	0
99	2	0	0	(250)	0	50	0
100	2	0	0	(250)	0	0	0
101	2	0	0	0	0	0	0
102	2	0	0	0	0	0	0
103	2	0	0	(250)	0	0	0
104	2	0	0	(250)	0	-10	0
105	2	0	0	(250)	0	-20	0
106	2	0	0	(250)	0	-30	0
107	2	0	0	(250)	0	-40	0
108	2	0	0	(250)	0	-50	0
109	2	0	0	(250)	0	0	0
110	2	0	0	0	0	0	0
111	4	0	0	0	0	0	0
112	4	0	0	(-250)	0	0	0
113	4	0	0	(-250)	0	10	0
114	4	0	0	(-250)	0	20	0
115	4	0	0	(-250)	0	30	0
116	4	0	0	(-250)	0	40	0
117	4	0	0	(-250)	0	50	0
118	4	0	0	(-250)	0	0	0
119	4	0	0	0	0	0	0
120	4	0	0	0	0	0	0
121	4	0	0	(-250)	0	0	0
122	4	0	0	(-250)	0	-10	0
123	4	0	0	(-250)	0	-20	0
124	4	0	0	(-250)	0	-30	0
125	4	0	0	(-250)	0	-40	0
126	4	0	0	(-250)	0	-50	0
127	4	0	0	(-250)	0	0	0
128	4	0	0	0	0	0	0
129	1	0	0	0	0	0	0
130	1	0	(100)	0	0	0	0
131	1	0	(100)	0	0	0	4
132	1	0	(100)	0	0	0	8
133	1	0	(100)	0	0	0	12
134	1	0	(100)	0	0	0	16
135	1	0	(100)	0	0	0	20
136	1	0	(100)	0	0	0	0
137	1	0	0	0	0	0	0

No.	$I_g$	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
138	1	0	0	0	0	0	0
139	1	0	(100)	0	0	0	0
140	1	0	(100)	0	0	0	-4
141	1	0	(100)	0	0	0	-8
142	1	0	(100)	0	0	0	-12
143	1	0	(100)	0	0	0	-16
144	1	0	(100)	0	0	0	-20
145	1	0	(100)	0	0	0	0
146	1	0	0	0	0	0	0
147	3	0	0	0	0	0	0
148	3	0	(-100)	0	0	0	0
149	3	0	(-100)	0	0	0	4
150	3	0	(-100)	0	0	0	8
151	3	0	(-100)	0	0	0	12
152	3	0	(-100)	0	0	0	16
153	3	0	(-100)	0	0	0	20
154	3	0	(-100)	0	0	0	0
155	3	0	0	0	0	0	0
156	3	0	0	0	0	0	0
157	3	0	(-100)	0	0	0	0
158	3	0	(-100)	0	0	0	-4
159	3	0	(-100)	0	0	0	-8
160	3	0	(-100)	0	0	0	-12
161	3	0	(-100)	0	0	0	-16
162	3	0	(-100)	0	0	0	-20
163	3	0	(-100)	0	0	0	0
164	3	0	0	0	0	0	0
165	2	0	0	0	0	0	0
166	2	35	0	400	0	0	0
167	2	35	0	400	0	30	0
168	2	35	0	400	0	-30	0
169	2	35	0	400	0	0	0
170	2	0	0	0	0	0	0
171	2	0	0	0	0	0	0
172	2	-35	0	400	0	0	0
173	2	-35	0	400	0	30	0
174	2	-35	0	400	0	-30	0
175	2	-35	0	400	0	0	0
176	2	0	0	0	0	0	0
177	4	0	0	0	0	0	0
178	4	35	0	-400	0	0	0
179	4	35	0	-400	0	30	0
180	4	35	0	-400	0	-30	0
181	4	35	0	-400	0	0	0
182	4	0	0	0	0	0	0

付表2 (続)

No.	$I_g$	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
183	4	0	0	0	0	0	0
184	4	-35	0	-400	0	0	0
185	4	-35	0	-400	0	30	0
186	4	-35	0	-400	0	-30	0
187	4	-35	0	-400	0	0	0
188	4	0	0	0	0	0	0
189	5	0	0	0	0	0	0
190	5	35	275	275	0	0	0
191	5	35	275	275	10	20	-20
192	5	35	275	275	-10	20	-20
193	5	35	275	275	0	0	0
194	5	35	275	275	10	-20	20
195	5	35	275	275	-10	-20	20
196	5	35	275	275	0	0	0
197	5	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
	5	35	275	275	0	0	0
	5	35	275	275	10	(20)	(20)
	5	35	275	275	-10	(20)	(20)
	5	35	275	275	0	0	0
	5	35	275	275	10	(-20)	(-20)
	5	35	275	275	-10	(-20)	(-20)
	5	35	275	275	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
198	5	0	0	0	0	0	0
199	5	-35	275	275	0	0	0
200	5	-35	275	275	10	20	-20
201	5	-35	275	275	-10	20	-20
202	5	-35	275	275	0	0	0
203	5	-35	275	275	10	-20	20
204	5	-35	275	275	-10	-20	20
205	5	-35	275	275	0	0	0
206	5	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
	5	-35	275	275	0	0	0
	5	-35	275	275	10	(20)	(20)
	5	-35	275	275	-10	(20)	(20)
	5	-35	275	275	0	0	0
	5	-35	275	275	10	(-20)	(-20)
	5	-35	275	275	-10	(-20)	(-20)
	5	-35	275	275	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0

No.	$I_g$	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
207	8	0	0	0	0	0	0
208	8	35	-275	-275	0	0	0
209	8	35	-275	-275	10	20	-20
210	8	35	-275	-275	-10	20	-20
211	8	0	0	0	0	0	0
212	8	35	-275	-275	10	-20	20
213	8	35	-275	-275	-10	-20	20
214	8	35	-275	-275	0	0	0
215	8	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0
	8	35	-275	-275	0	0	0
	8	35	-275	-275	10	(20)	(20)
	8	35	-275	-275	-10	(20)	(20)
	8	0	0	0	0	0	0
	8	35	-275	-275	10	(-20)	(-20)
	8	35	-275	-275	-10	(-20)	(-20)
	8	35	-275	-275	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0
216	8	0	0	0	0	0	0
217	8	-35	-275	-275	0	0	0
218	8	-35	-275	-275	10	20	-20
219	8	-35	-275	-275	-10	20	-20
220	8	-35	-275	-275	0	0	0
221	8	-35	-275	-275	10	-20	20
222	8	-35	-275	-275	-10	-20	20
223	8	-35	-275	-275	0	0	0
224	8	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0
	8	-35	-275	-275	0	0	0
	8	-35	-275	-275	10	(20)	(20)
	8	-35	-275	-275	-10	(20)	(20)
	8	-35	-275	-275	0	0	0
	8	-35	-275	-275	10	(-20)	(-20)
	8	-35	-275	-275	-10	(-20)	(-20)
	8	-35	-275	-275	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0
225	6	0	0	0	0	0	0
226	6	36	275	-275	0	0	0
227	6	35	275	-275	10	20	20
228	6	35	275	-275	-10	20	20
229	6	35	275	-275	0	0	0
230	6	35	275	-275	10	-20	-20
231	6	35	275	-275	-10	-20	-20
232	6	35	275	-275	0	0	0
233	6	0	0	0	0	0	0

付表 2 (続)

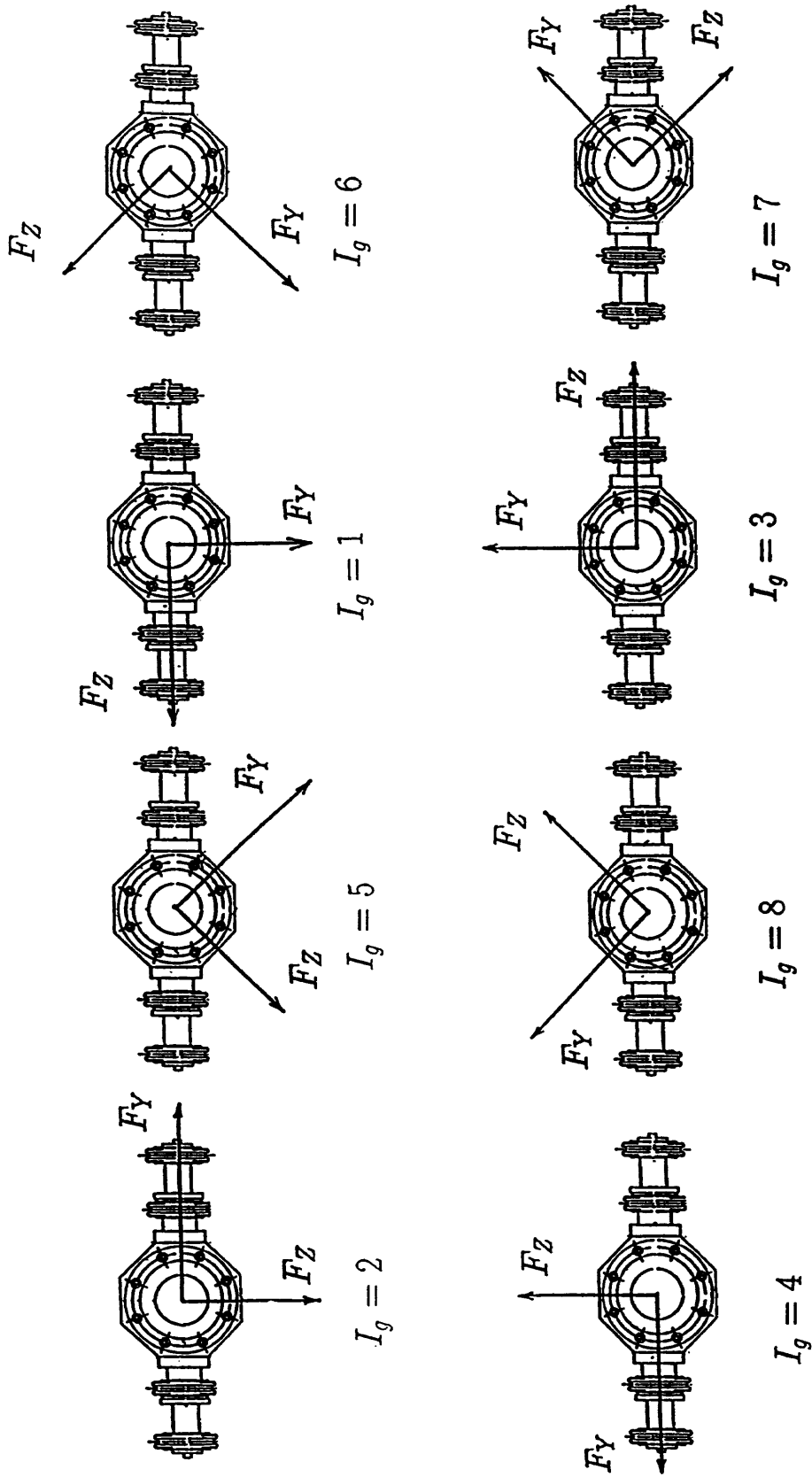
No.	$I_g$	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
	6	0	0	0	0	0	0
	6	35	275	-275	0	0	0
	6	35	275	-275	10	(20)	(-20)
	6	35	275	-275	-10	(20)	(-20)
	6	35	275	-275	0	0	0
	6	35	275	-275	10	(-20)	(20)
	6	35	275	-275	-10	(-20)	(20)
	6	35	275	-275	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0
234	6	0	0	0	0	0	0
235	6	-35	275	-275	0	0	0
236	6	-35	275	-275	10	20	20
237	6	-35	275	-275	-10	20	20
238	6	-35	275	-275	0	0	0
239	6	-35	275	-275	10	-20	-20
240	6	-35	275	-275	-10	-20	-20
241	6	-35	275	-275	0	0	0
242	6	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0
	6	-35	275	-275	0	0	0
	6	-35	275	-275	10	(20)	(-20)
	6	-35	275	-275	-10	(20)	(-20)
	6	-35	275	-275	0	0	0
	6	-35	275	-275	10	(-20)	(20)
	6	-35	275	-275	-10	(-20)	(20)
	6	-35	275	-275	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0
243	7	0	0	0	0	0	0
244	7	35	-275	275	0	0	0
245	7	35	-275	275	10	20	20
246	7	35	-275	275	-10	20	20
247	7	35	-275	275	0	0	0
248	7	35	-275	275	10	-20	-20
249	7	35	-275	275	-10	-20	-20
250	7	35	-275	275	0	0	0
251	7	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0
	7	35	-275	275	0	0	0
	7	35	-275	275	10	(20)	(-20)
	7	35	-275	275	-10	(20)	(-20)
	7	35	-275	275	0	0	0
	7	35	-275	275	10	(-20)	(20)
	7	35	-275	275	-10	(-20)	(20)
	7	35	-275	275	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0

No.	$I_g$	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
252	7	0	0	0	0	0	0
253	7	-35	-275	275	0	0	0
254	7	-35	-275	275	10	20	20
255	7	-35	-275	275	-10	20	20
256	7	-35	-275	275	0	0	0
257	7	-35	-275	275	10	-20	-20
258	7	-35	-275	275	-10	-20	-20
259	7	-35	-275	275	0	0	0
260	7	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0
	7	-35	-275	275	0	0	0
	7	-35	-275	275	10	(20)	(-20)
	7	-35	-275	275	-10	(20)	(-20)
	7	-35	-275	275	0	0	0
	7	-35	-275	275	10	(-20)	(20)
	7	-35	-275	275	-10	(-20)	(20)
	7	-35	-275	275	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0
261	2	0	0	0	0	0	0
262	2	35	0	400	0	0	0
263	2	35	0	400	10	30	0
264	2	35	0	400	-10	30	0
265	2	35	0	400	0	0	0
266	2	35	0	400	10	-30	0
267	2	35	0	400	-10	-30	0
268	2	35	0	400	0	0	0
269	2	0	0	0	0	0	0
270	2	0	0	0	0	0	0
271	2	-35	0	400	0	0	0
272	2	-35	0	400	10	30	0
273	2	-35	0	400	-10	30	0
274	2	-35	0	400	0	0	0
275	2	-35	0	400	10	-30	0
276	2	-35	0	400	-10	-30	0
277	2	-35	0	400	0	0	0
278	2	0	0	0	0	0	0
279	4	0	0	0	0	0	0
280	4	35	0	-400	0	0	0
281	4	35	0	-400	10	30	0
282	4	35	0	-400	-10	30	0
283	4	35	0	-400	0	0	0
284	4	35	0	-400	10	-30	0
285	4	35	0	-400	-10	-30	0
286	4	35	0	-400	0	0	0
287	4	0	0	0	0	0	0



付表2 (続)

No.	$I_g$	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
288	4	0	0	0	0	0	0
289	4	-35	0	-400	0	0	0
290	4	-35	0	-400	10	30	0
291	4	-35	0	-400	-10	30	0
292	4	-35	0	-400	0	0	0
293	4	-35	0	-400	10	-30	0
294	4	-35	0	-400	-10	-30	0
295	4	-35	0	-400	0	0	0
296	4	0	0	0	0	0	0
297	1	0	0	0	0	0	0
298	1	35	200	0	0	0	0
299	1	35	200	0	10	0	10
300	1	35	200	0	-10	0	10
301	1	35	200	0	0	0	0
302	1	35	200	0	10	0	-10
303	1	35	200	0	-10	0	-10
304	1	35	200	0	0	0	0
305	1	0	0	0	0	0	0
306	1	0	0	0	0	0	0
307	1	-35	200	0	0	0	0
308	1	-35	200	0	10	0	10
309	1	-35	200	0	-10	0	10
310	1	-35	200	0	0	0	0
311	1	-35	200	0	10	0	-10
312	1	-35	200	0	-10	0	-10
313	1	-35	200	0	0	0	0
314	1	0	0	0	0	0	0
315	3	0	0	0	0	0	0
316	3	35	-200	0	0	0	0
317	3	35	-200	0	10	0	10
318	3	35	-200	0	-10	0	10
319	3	35	-200	0	0	0	0
320	3	35	-200	0	10	0	-10
321	3	35	-200	0	-10	0	-10
322	3	35	-200	0	0	0	0
323	3	0	0	0	0	0	0
324	3	0	0	0	0	0	0
325	3	-35	-200	0	0	0	0
326	3	-35	-200	0	10	0	10
327	3	-35	-200	0	-10	0	10
328	3	-35	-200	0	0	0	0
329	3	-35	-200	0	10	0	-10
330	3	-35	-200	0	-10	0	-10
331	3	-35	-200	0	0	0	0
332	3	0	0	0	0	0	0



付図1 キャリボディ回転位置の定義 (後方より見て)

---

## 航空宇宙技術研究所資料663号

平成6年3月発行

発行所 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 三鷹(0422)47-5911(大代表) ㊦182  
印刷所 株式会社 共 進  
東京都杉並区久我山5-6-17

---