

# 航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-690

## 内挿式六分力天秤の較正について 第二報. 複合荷重式自動天秤較正装置の開発

河本 巖 ・ 鈴木 弘一 ・ 中村 正剛  
小國 保男 ・ 飯島 由美

1996年 3 月

航空宇宙技術研究所  
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

# 目 次

1. はじめに	3
2. 天秤較正装置本体の構造と機能	5
2.1 負荷機構	5
2.1.1 大張力伝達機構	5
2.1.2 小張力伝達機構	5
2.1.3 ロードセル出力と六分力の関係	5
2.2 自動運転機構	5
2.2.1 姿勢・荷重制御機構	6
2.2.2 天秤保護機構と運転中断後の作業再開	8
2.3 高剛性固定フレーム	8
2.4 高剛性キャリボディ	8
2.4.1 キャリボディ重量と相当天秤出力	9
2.4.2 キャリボディの取付け	9
2.4.3 初期張力の設定	9
2.5 ロードセルの較正機構	11
2.6 天秤較正室の恒温室化	11
3. 計測制御装置	11
3.1 エンジニアリングワークステーション	12
3.2 計測用アンプラック	12
3.2.1 デジタルマルチメータ	12
3.2.2 スキャナ	12
3.2.3 励起電源	12
3.2.4 天秤出力用アンプ	12
3.2.5 ロードセル用アンプ	12
3.3 サーボアンプラック	12
3.3.1 負荷サーボモータ用	12
3.3.2 姿勢制御サーボモータ用	12
3.4 シーケンサラック	13
4. 運転法	13
4.1 運転操作の流れ図	13
4.2 システムメニュー	13
4.2.1 天秤設定	20
4.2.2 複合荷重プロファイル	20
4.2.3 天秤取付・調整	20
4.2.4 天秤較正	20
4.2.5 データ処理	20
4.3 データ転送	21
5. 初期運転中に発生した問題点と改善策	21
5.1 作業の容易性、安全性	21
5.2 電気ノイズ対策	21

5.3	制御性の改善と校正時間の短縮化	22
5.4	位置・姿勢制御状態の監視装置	22
6.	機器調整試験	22
6.1	負荷設定	22
6.2	収集データ	27
6.2.1	設定負荷と制御負荷出力	27
6.2.2	天秤出力	27
6.2.3	位置・姿勢出力	27
6.2.4	ロードセル精度からの誤差検討	27
7.	天秤校正試験	27
7.1	供試天秤と試験条件設定	27
7.2	天秤特性式	27
8.	天秤校正データ処理	28
8.1	校正係数決定アルゴリズムの改善	28
8.2	偏差	29
9.	風洞試験結果への適用例	29
9.1	風洞試験データ	29
9.2	座標系の変換等	29
9.3	六分力の作図	30
10.	まとめと課題	30

## 表 目 次

1. 新旧天秤較正装置比較	3
2. 複合荷重式自動天秤較正装置の主要機能	3
3. 六分力とアクチュエータの関係	5
4. ロードセル仕様	6
5. マグネスケール仕様	7
6. 電動サーボモータ仕様(荷重負荷用, 姿勢制御用)	7
7. キャリボディ製作に想定した天秤類	8
8. エンジニアリングワークステーション仕様	12
9. 天秤励起電源仕様	12
10. 直流ブリッジ電源型ストレインアンプユニット仕様	13
11. 供試天秤の容量	27
12. LMC6522-50/Z1000S天秤の偏差	29
13. 遷音速風洞試験	30

## 図 目 次

1. 複合荷重式自動天秤較正装置の概略図	4
2. キャリボディ, 負荷方法及び座標系の定義	5
3. キャリボディとマグネスケールの配置図	6
4. 変位測定マグネスケール配置図	6
5. 四分割姿勢荷重制御	7
6. $\phi 50\text{mm}$ 天秤用キャリボディ	8
7. 半載模型天秤用キャリボディ	9
8. 天秤較正室温度測定結果	10
9. 計測制御系ブロック図	11
10. 運転計測操作流れ図: システムメニュー(天秤設定)	14
11. 運転計測操作流れ図: システムメニュー(複合荷重プロファイル)	14
12. 運転計測操作流れ図: システムメニュー(天秤取付・調整)	15
13. 運転計測操作流れ図: システムメニュー(天秤較正)	15
14. 運転計測操作流れ図: システムメニュー(データ処理)	16
15. システムメニュー	17
16. 天秤設定画面	17
17. 複合荷重プロファイル画面	18
18. 天秤取付・調整画面	18
19. 天秤較正画面	19
20. モニター画面	19
21. データ処理画面	21
22. レーザビーム式キャリボディ位置監視装置	22
23. $F_x, F_y, F_z$ の設定負荷	23
24. $M_x, M_y, M_z$ の設定負荷	23
25. 制御された $F_x, F_y, F_z$ のロードセル出力	24
26. 制御された $M_x, M_y, M_z$ のロードセル出力	24
27. $F_{xv}, F_{yv}, F_{zv}$ の天秤出力	25

28. $M_{xv}$ , $M_{yv}$ , $M_{zv}$ の天秤出力	25
29. 位置制御誤差	26
30. 姿勢制御誤差	26
31. 天秤較正係数決定のフロー	28
32. $F_x$ 成分の初期誤差	29
33. $F_x$ 成分の最終誤差	29
34. 複製オイラー模型	30
35. $\alpha$ スweep試験の $F_x$ 出力	31
36. $\alpha$ スweep試験の $F_z$ 出力	31
37. $\alpha$ スweep試験の $M_y$ 出力	31
38. $\beta$ スweep試験の $F_y$ 出力	31
39. $\beta$ スweep試験の $M_x$ 出力	31
40. $\beta$ スweep試験の $M_z$ 出力	31

# 内挿式六分力天秤の較正について

## 第二報. 複合荷重式自動天秤較正装置の開発\*

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> 飯島 由美<sup>\*1</sup>

### On the Calibration of Six-Component Internal Balances Part 2. Development of an Automatic Balance Calibration System using Combination Loading\*

Iwao KAWAMOTO<sup>\*1</sup>, Kouichi SUZUKI<sup>\*1</sup>, Seigo NAKAMURA<sup>\*1</sup>  
Yasuo OGUNI<sup>\*1</sup>, Yoshimi IIJIMA<sup>\*1</sup>

#### ABSTRACT

The calibration rig for internal balances of the NAL-TWT is a system which uses component loading. In terms of the need for combination loading in the calibration of single-piece balances, it is expected that the old system must be replaced by a new one.

In this paper, a description is given of a newly developed balance calibration system for the NAL-TWT. The main features of the new system are as follows.

1. Full combination loading.
2. Automatic operation system to reduce manpower and to realize all-night operation.
3. Easy operation using menu system on the CRT display.
4. Loading ranges are  $\pm 2,000\text{N}$ ,  $\pm 20,000\text{N}$ ,  $\pm 20,000\text{N}$ ,  $\pm 400\text{Nm}$ ,  $\pm 4,000\text{Nm}$  and  $\pm 4,000\text{Nm}$  for axial force, side force, normal force, rolling moment, pitching moment and yawing moment, respectively.
5. Repositioning system.
6. Double safety system for the balances against overloading.
7. Four calibration bodies are equipped for the application to various sizes of the balances.
8. Three formulations for balance characteristics are available: Linear, second order and third order expressions.
9. Electric servo motor system for safe operation and a clean room.
10. Room temperature for the balance calibration rig is kept constant to within  $\pm 1^\circ\text{C}$  between  $10^\circ\text{C}$  and  $35^\circ\text{C}$ .
11. The forces applied to a balance are measured with highly accurate load cells. Calibration of these load cells is possible using dead weight.
12. The balance matrices after calibration are transferred to the NAL-TWT instrumentation system through a local area network at the NAL.

Operation method, problems encountered and experimental data in the course of preliminary operation are also included.

**Key Words:** balance calibration system, internal balance, combination loading, automatic operation

---

\* 平成 8 年 1 月 23 日 受付 (received 23 January, 1996)

\*1 空力性能部 (Aircraft Aerodynamics Division)

## 概 要

航技研の遷音速風洞に設置してある内挿式六分力天秤用較正装置は成分荷重方式であり、最近の一体化天秤の較正に必要な複合荷重機能が欠けていた。この機能不足を補うために平成5年度に航技研遷音速風洞計測装置改修の一環として複合荷重式自動天秤較正装置を開発した。この較正装置の主要機能は以下の通りである。

1. 六分力同時負荷を可能とする複合荷重機能。
2. 自動運転機能を取入れ省力化と終夜運転を実現。
3. メニュー選択による容易な運転。
4. 荷重範囲は軸力 $\pm 2,000\text{N}$ 、横力 $\pm 20,000\text{N}$ 、垂直力 $\pm 20,000\text{N}$ 、横揺れモーメント $\pm 400\text{Nm}$ 、縦揺れモーメント $\pm 4,000\text{Nm}$ 、偏揺れモーメント $\pm 4,000\text{Nm}$ である。
5. 変位復元機能。
6. 多重の天秤保護機能。
7. キャリボディ4体を用意し汎用性を持たせた。 $\phi 50\text{mm}$ 、 $\phi 38\text{mm}$ 、 $\phi 25\text{mm}$ 内挿式六分力天秤及び五分力半載模型用外挿天秤を取付け可能。
8. 天秤特性表示式として線形関数モデル、非線形関数モデル(二次式、三次式)を選択可能。
9. 安全運転と天秤較正室の清潔化を目的に電動サーボモータ制御システムを採用。
10. 天秤較正室の室温は $10^\circ\text{C}$ から $35^\circ\text{C}$ の範囲で $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内で設定可能。
11. 天秤負荷は高精度ロードセルで計測しロードセルは併設してある旧天秤較正装置の分銅で較正。
12. 較正係数マトリックスは航技研LANシステムで遷音速風洞計測システムへ転送。

本報告では新規に開発した複合荷重式自動天秤較正装置の構造と機能、計測制御装置、運転法、調整運転中の問題点と較正例について述べる。

主な記号		セル出力(N)
		$Te_1 \sim Te_6$ : 天秤温度( $^\circ\text{K}$ )
$C_{AF}$	: 前面軸力	$X1, X2, X3, X4$ : X方向負荷アクチュエータ番号(図2)
$C_i (i=1, n)$	: 天秤較正係数	$Y1, Y2, Y3, Y4$ : Y方向負荷アクチュエータ番号(図2)
$C_l$	: 横揺れモーメント, 右翼下げ正	$Z1, Z2, Z3, Z4$ : Z方向負荷アクチュエータ番号(図2)
$C_m$	: 縦揺れモーメント, 頭上げ正	$Z5, Z6, Z7, Z8$ : Z方向負荷アクチュエータ番号(図2)
$C_N$	: 垂直力, 上方正	$Xa, Ya, Yb, Za, Zb, Zc$ : マグネスケール番号(図4)または変位(mm)
$C_n$	: 偏揺れモーメント, 頭右振り正	$\alpha$ : 迎角(deg)
$C_Y$	: 横力, 右翼正	$\beta$ : 横滑り角(deg)
$F_X, F_Y, F_Z$	: X, Y, Z方向の負荷(N)	$\sigma_{FX}, \sigma_{FY}, \sigma_{FZ}$ : $F_X, F_Y, F_Z$ 要素の最大許容荷重に対する標準偏差(%)
$F_{XV}, F_{YV}, F_{ZV}$	: X, Y, Z要素の出力( $mV$ 又は $mV/V$ )	$\sigma_{MX}, \sigma_{MY}, \sigma_{MZ}$ : $M_X, M_Y, M_Z$ 要素の最大許容荷重に対する標準偏差(%)
$h$	: マグネスケールの基準点と天秤中心点の距離	$\Delta X_{mg}, \Delta Y_{mg}, \Delta Z_{mg}$ : マグネスケール基準点の変位(mm)
$l_1, l_2$	: マグネスケールの横, 縦方向距離(図4)	$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ : キャリボディ基準点の変位(mm)
$M_X, M_Y, M_Z$	: X, Y, Z軸周りのモーメント( $N \times m$ )	$\Delta \phi_{mg}, \Delta \theta_{mg}, \Delta \psi_{mg}$ : マグネスケール基準点の変位(度)
$M_{XV}, M_{YV}, M_{ZV}$	: $M_X, M_Y, M_Z$ 要素の出力( $mV$ 又は $mV/V$ )	$\Delta \phi, \Delta \theta, \Delta \psi$ : キャリボディの基準点の変位(度)
$M_\infty$	: マッハ数	$\Delta Xa$ : $Xa$ マグネスケール変位(mm)
$Recr$	: 中心コード基準レイノルズ数	$\Delta Ya, \Delta Yb$ : $Ya, Yb$ マグネスケール変位(mm)
$T$	: 張力ワイヤに加わる力またはロード	$\Delta Za, \Delta Zb, \Delta Zc$ : $Za, Zb, Zc$ マグネスケール変位(mm)
		添え字:

- (F.S.) : フルスケール
- (CB) : キャリボディ
- (RO) : 定格出力
- (T) : 初期張力

### 1. はじめに

最近の内挿式六分力天秤は機械加工技術の進歩により六分力計測エレメントを一つの機械部品として加工(一体化加工)するのが一般的で、従来の組み立て式エレメントに比べて再現性等に優れ測定精度が高い。反面エレメントの剛性が低く、各成分間の干渉が大きい欠点があり

この量を如何に正しく評価するかが天秤の性能を引出す最大のポイントである。天秤較正により作用力と電圧変化の関係式を作る場合、天秤の各エレメントの剛性が低い場合には、干渉量に非線形性が強く現れるので、天秤特性を非線形関数表示しないと精度が悪くなる。この非線形関数モデルの未定係数を決定するためには、天秤較正作業で2個以上のエレメントに同時に荷重を掛ける複合荷重が必須である<sup>(1)</sup>。諸外国では、ドイツDLRのETW用較正装置<sup>(2)</sup>、カナダIARの5ft×5ft Tri. WT用較正装置、スウェーデンFFA T1500用較正装置、イスラエルIAIのTri. WT用較正装置等それぞれ特長のある複合

表1 新旧天秤較正装置比較

		旧天秤較正装置	新天秤較正装置
負荷	荷重方式	成分荷重(実荷重)	六成分複合荷重(ロードセル)
	軸力	2,000(N)	2,000(N)
	横力	8,000(N)	20,000(N)
	垂直力	8,000(N)	20,000(N)
	横揺れ	250(Nm)	400(Nm)
	縦揺れ	8,000×arm(Nm)	4,000(Nm)
	偏揺れ	8,000×arm(Nm)	4,000(Nm)
天秤	保持姿勢	水平保持	水平保持
	天秤種類	内挿式天秤	内挿式天秤, 半模型天秤
運転	方式	手動運転	自動運転
	姿勢復帰	電動モータによる手動操作	電動モータによる自動復帰

表2 複合荷重式自動天秤較正装置の主要機能

	主要機能	説明
1	複合荷重機能	本装置の最重要機能で六分力同時負荷が可能。
2	自動運転機能	省力化対策として自動運転方式を採用し夜間運転可能。
3	最大荷重(要求仕様)	軸力:2,000N, 横力:10,000N, 垂直力:10,000N 横揺れ:400Nm, 縦揺れ:1,000Nm, 偏揺れ:1,000Nm
4	変位復元機能	天秤は水平保持とし、負荷による天秤六成分変位はアクチュエータで自動復元。天秤座標系と負荷方向は常時直交。
5	天秤保護機能	負荷誤入力等によるアクチュエータ暴走に備え電氣的ロック機構と機械的ストッパーの二重保護機能を有する。
6	キャリボディ	φ50mm, φ38mm, φ25mm内挿天秤及び半模型天秤の較正治具を備え汎用性ある。
7	天秤特性表示式	線形関数モデル(一次式), 非線形関数モデル(二次式, 三次式)を選択可能。
8	電動サーボによる姿勢荷重制御	油圧装置に伴う消防法の規制や油洩れによる床面汚濁を回避。負荷はロードセルで計測。
9	天秤較正室の恒温室化	遷音速風洞測定部に近い温度環境を実現するため、10℃から35℃の範囲で任意に設定可能。また試験中の相対温度も一定値に制御。
10	ロードセル検定	六分力負荷用ロードセルの実荷重較正装置併設。
11	データ転送機能	航技研LANシステムにより較正係数マトリックスを遷音速風洞計測システムに転送。



荷重天秤較正装置を開発している。これに対して我が国では最近KHI三次元遷音速風洞に二分力複合荷重式の天秤較正装置が導入されている<sup>(4)</sup>。航技研遷音速風洞にある従来の天秤較正装置は成分負荷方式で複合荷重機能が欠けていた。このためキャリボディに工夫をこらし、部分的に複合荷重を作り較正作業を行って来たが自由度

が不足しているため任意の複合荷重を作るに至ってなかった<sup>(4)</sup>。この様な状況を踏まえて航技研遷音速風洞計測装置改修の一環として平成5年度に任意の組合せの複合荷重を作る「複合荷重式自動天秤較正装置」を新たに開発した。表1に航技研の新旧天秤較正装置の主要項目の比較を示す。表2に本較正装置の主要機能を要約し、図

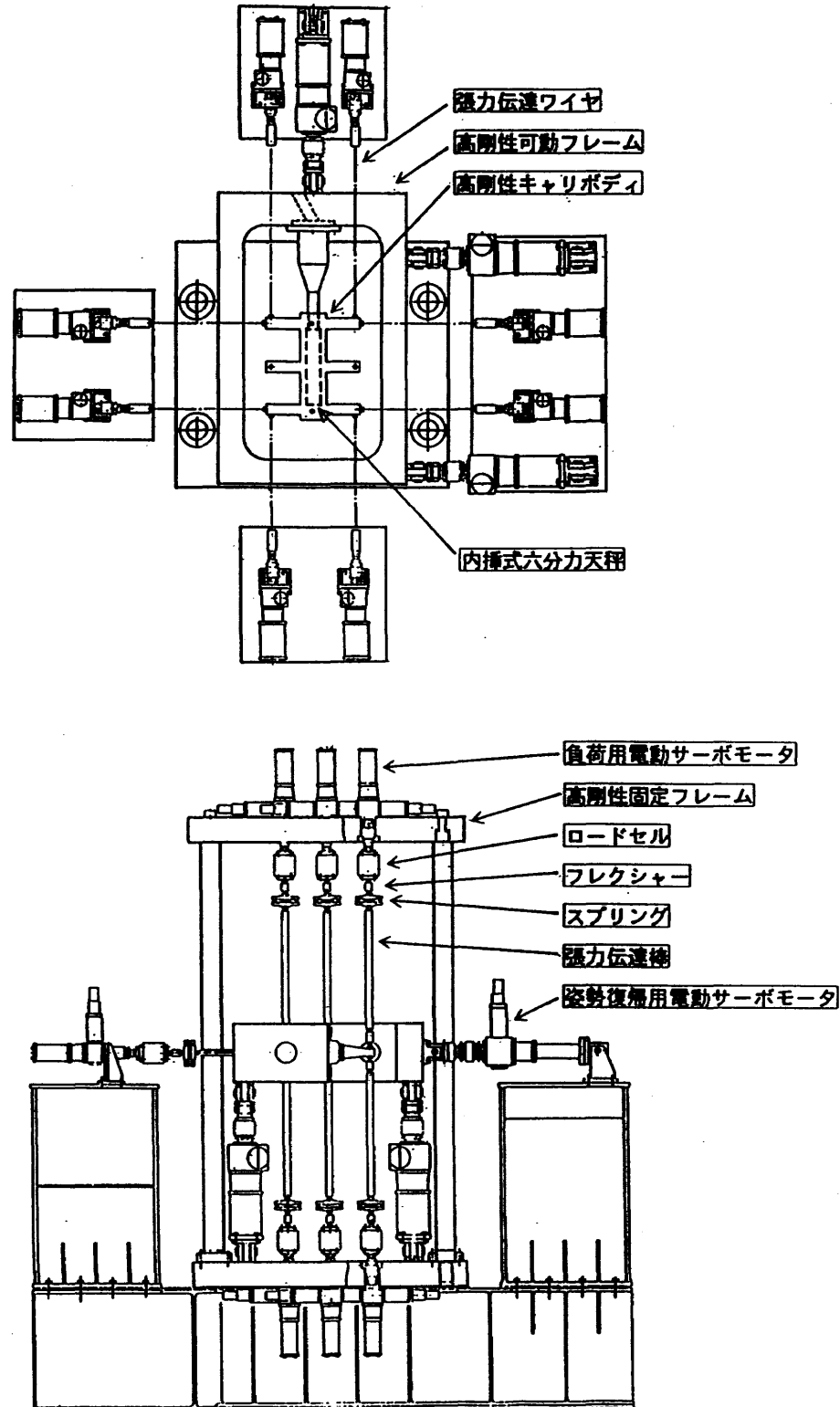


図1 複合荷重式自動天秤較正装置の概略図

1に概略図を示す。大きさは縦×横×高さが2.8m×2.8×3m程度である。本資料は所内外の風洞関係者が複合荷重自動天秤較正装置を利用して天秤較正する場合の参考資料としてまとめたものである。

## 2. 天秤較正装置本体の構造と機能

### 2.1 負荷機構

図2にキャリボディに対する負荷方法の概念図と力の方向の定義(座標系定義)を示す。電動モータ16台による負荷制御で任意の大きさの成分荷重および複合荷重を発生させキャリボディを介して天秤に負荷を加える。16個の負荷機構は常時張力を利用しており圧縮は使わない。「零負荷」状態も一対の張力の大きさをバランスさせ天秤へ負荷を掛けないように制御している状態であり、「負荷の解除」とは異なる。航技研遷音速風洞で力試験に用いる標準的な六分力天秤の容量を考慮して、表3に示すように負荷要求を設定した。この表に示したように16個の負荷機構は大容量負荷エレメント用と小容量負荷エレメント用の2グループに分け、ロードセルは10,000Nと1,000Nで統一した。

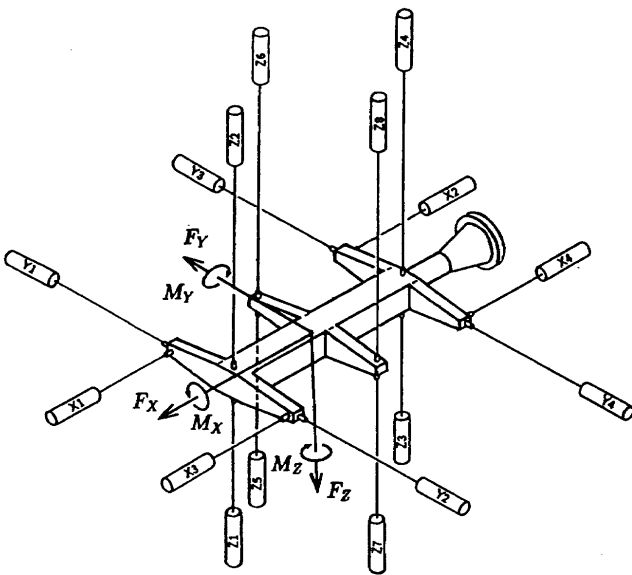


図2 キャリボディ, 負荷方法及び座標系の定義

#### 2.1.1 大張力伝達機構

横力, 垂直力, 縦揺れモーメント, 偏揺れモーメントに係わる力伝達機構は負荷が大きいため, 電動サーボモータで発生する力は, 大容量ロードセル, モータ側フレクチャー, 大容量張力伝達ワイヤ, キャリボディ側フレクチャーを通してキャリボディに伝わる。図2と表3に示すように8個の要素(Y<sub>1</sub>~Y<sub>4</sub>, Z<sub>1</sub>~Z<sub>4</sub>)からなりロードセル容量は全て10,000Nである。

#### 2.1.2 小張力伝達機構

軸力とローリングモーメントは負荷が小さいので電動サーボモータの力は, 小容量ロードセル, モータ側フレクチャー, 細いワイヤ, キャリボディ側フレクチャーを経てキャリボディに伝わる。図2の8個の要素(X<sub>1</sub>~X<sub>4</sub>, Z<sub>5</sub>~Z<sub>8</sub>)のロードセル容量は全て1,000Nである。

#### 2.1.3 ロードセル出力と六分力の関係

荷重負荷による天秤(キャリボディ)変位は6個のサーボモータで高剛性可動フレームを動かして初期状態に復元するので, キャリボディに固定した直交軸と16個の張力伝達機構はデータ収集時には図2のように常に直交性が保持される。従って16個のアクチュエータ負荷力と天秤六分力とは次式で関係づけられる。天秤中心とキャリボディの中心は正しく一致させ, その点回りのモーメントアームは全て0.2mである。各アクチュエータに取付けられたロードセル特性を表4に示す。

$$F_x = (T_{X1} - T_{X2}) + (T_{X3} - T_{X4}) \quad (1)$$

$$F_y = (T_{Y1} - T_{Y2}) + (T_{Y3} - T_{Y4}) \quad (2)$$

$$F_z = (T_{Z1} - T_{Z2}) + (T_{Z3} - T_{Z4}) + (T_{Z5} - T_{Z6}) + (T_{Z7} - T_{Z8}) \quad (3)$$

$$M_x = 0.2(T_{Z5} - T_{Z6}) + 0.2(T_{Z8} - T_{Z7}) \quad (4)$$

$$M_y = 0.2(T_{Z2} - T_{Z1}) + 0.2(T_{Z3} - T_{Z4}) \quad (5)$$

$$M_z = 0.2(T_{Y1} - T_{Y2}) + 0.2(T_{Y4} - T_{Y3}) + 0.2(T_{X2} - T_{X1}) + 0.2(T_{X3} - T_{X4}) \quad (6)$$

### 2.2 自動運転機構

荷重負荷と変位復元は計算機制御により自動的に行われる。自動運転で問題になるのは負荷機構の暴走により

表3 六分力とアクチュエータの関係

分力	天秤較正装置仕様	サーボモータ番号	ロードセル容量
F <sub>x</sub> (軸力)	2,000N	X1, X2, X3, X4	1,000N
F <sub>y</sub> (横力)	10,000N	Y1, Y2, Y3, Y4	10,000N
F <sub>z</sub> (垂直力)	10,000N	Z1, Z2, Z3, Z4	10,000N
M <sub>x</sub> (横揺れ)	400Nm	Z5, Z6, Z7, Z8	1,000N
M <sub>y</sub> (縦揺れ)	1,000Nm	F <sub>z</sub> と共通	10,000N
M <sub>z</sub> (偏揺れ)	1,000Nm	F <sub>y</sub> と共通	10,000N

表4 ロードセル仕様

項目	仕様
定格容量	1,000N&10,000N
許容過負荷	150%RO
最大許容過負荷	200%RO
定格出力	2 mV/V±1%
非直線性	0.02%RO
ヒステリシス	0.02%RO
繰返し性	0.01%RO
許容印加電圧	20V, 推奨12V
入力抵抗	350Ω
出力抵抗	350Ω
温度補償範囲	-10~60℃
許容温度範囲	-30~80℃
零点の温度影響	0.002%/℃
出力の温度影響	0.002%/℃

天秤を破損する事、過負荷等により作業が中断した場合の復旧後の作業の継続性である。

2.2.1 姿勢・荷重制御機構

水平に保持された天秤(キャリポディ)にアクチュエータで負荷を掛けた時、天秤(キャリポディ)の位置と姿勢

角の変位 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta \phi, \Delta \theta, \Delta \psi$ が生じるので、図3、図4に示すように、高剛性固定フレームに取付けられた6個のマグネスケール出力を用いて姿勢制御を行う。

マグネスケール変位が発生すると、図1に示す通り高剛性可動フレームに取付けられた $F_x$ 方向に1個、 $F_y$ 方向

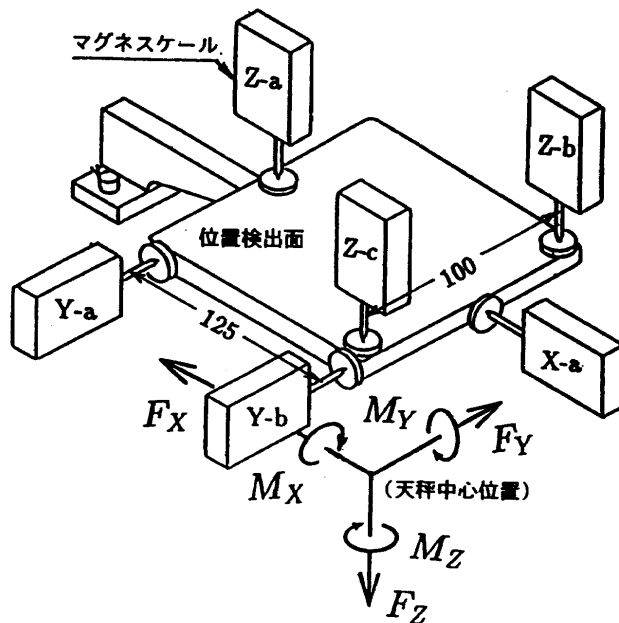


図4 変位測定マグネスケール配置図

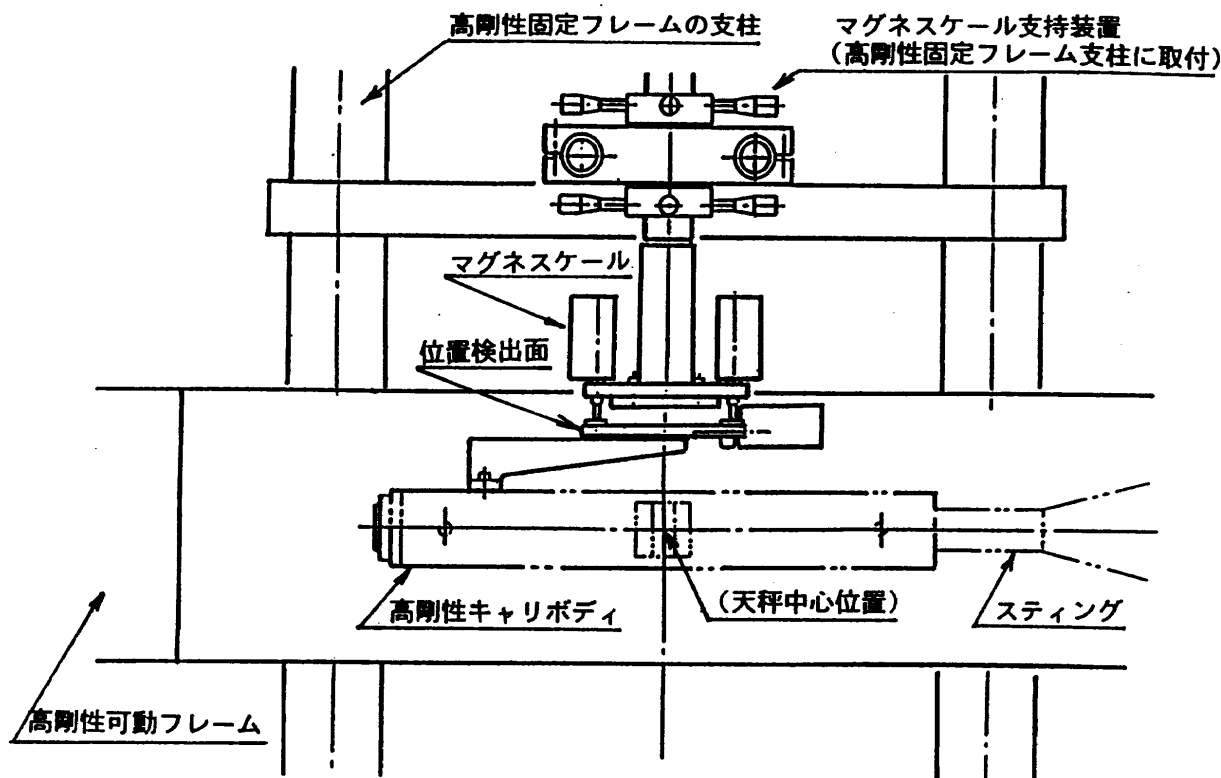


図3 キャリポディとマグネスケールの配置図

に2個,  $F_z$ 方向に3個, 合計6個の姿勢復帰用電動サーボモータが作動しキャリボディ位置と姿勢を初期状態に自動的に復元する。この時の制御にあたっては位置の読み取りに誤差の入らないように緩やかな作動を目的に, 図5に示すように負荷ステップを4等分し, 各分割点を仮の目標値としてロードセル出力値とマグネスケール出力を制御する。これを4回行う事でステップの制御を終了しデータを収集するようにソフトが組まれている。マグネスケールの仕様と電動サーボモータの仕様を表5と表6に示す。位置と姿勢の制御に当っては $10\mu\text{m}$ 以内のマグネスケール位置誤差で収敛したとみなす。例えば2個のマグネスケールの距離を $100\text{mm}$ とすると角度誤差としては $0.01^\circ$ 以下程度となる。この精度を高めるために位置誤差を数 $\mu\text{m}$ に減少させることも可能であるが, この場合の制御時間は大幅に増加する。反対に出来るだけ短い運転時間で天秤の較正データ収集を終える事を考えれば, 運転時間のほとんど全てが姿勢制御と負荷制御のために費やされるので, 姿勢制御終了の判断基準を $10\mu\text{m}$ (マグネスケール出力)よりもっと大きい値に設定することが有効となる。どの程度の値が現実的であるか今後運転を重ね最適値を決めることとする。なお姿勢制御が収敛した時のマグネスケール変位とそれに対応するキャリボディ変位の関係を整理しておく。図4を参考に $l_1=100\text{mm}$ ,  $l_2=125\text{mm}$ とするとマグネスケール系基準点(中心点)での変位は次の通りである。

$$\Delta X_{\text{mg}} = \Delta X_a \quad (7)$$

$$\Delta Y_{\text{mg}} = \frac{\Delta Y_a + \Delta Y_b}{2.0} \quad (8)$$

$$\Delta Z_{\text{mg}} = \frac{2\Delta Z_a + \Delta Z_b + \Delta Z_c}{4.0} \quad (9)$$

$$\Delta \phi_{\text{mg}} = \frac{\Delta Z_b - \Delta Z_c}{l_1} \times \frac{180}{\pi} \quad (10)$$

$$\Delta \theta_{\text{mg}} = \frac{\Delta Z_b + \Delta Z_c - 2\Delta Z_a}{2l_2} \times \frac{180}{\pi} \quad (11)$$

$$\Delta \psi_{\text{mg}} = \frac{\Delta Y_a - \Delta Y_b}{l_2} \times \frac{180}{\pi} \quad (12)$$

これらのデータファイルを作成しておく事でキャリボディ基準点(天秤中心)での変位量が次式で計算出来, 姿勢制御の状態及び精度の目安が得られる。

$$\Delta X = \Delta X_{\text{mg}} + h\Delta \theta_{\text{mg}} \times \frac{\pi}{180} \quad (13)$$

$$\Delta Y = \Delta Y_{\text{mg}} - h\Delta \phi_{\text{mg}} \times \frac{\pi}{180} \quad (14)$$

$$\Delta Z = \Delta Z_{\text{mg}} \quad (15)$$

表5 マグネスケール仕様

項目	仕様
測定範囲	12mm
最大可動長	13.2mm
最小分解能	0.0001mm
精度	0.001mm
検出方式	磁気式

表6 電動サーボモータ仕様(荷重負荷用, 姿勢制御用)

項目	仕様
最大ストローク	100mm
制御分解能	0.0001mm
最大速度	50mm/min
緊急停止位置記憶機能	有り

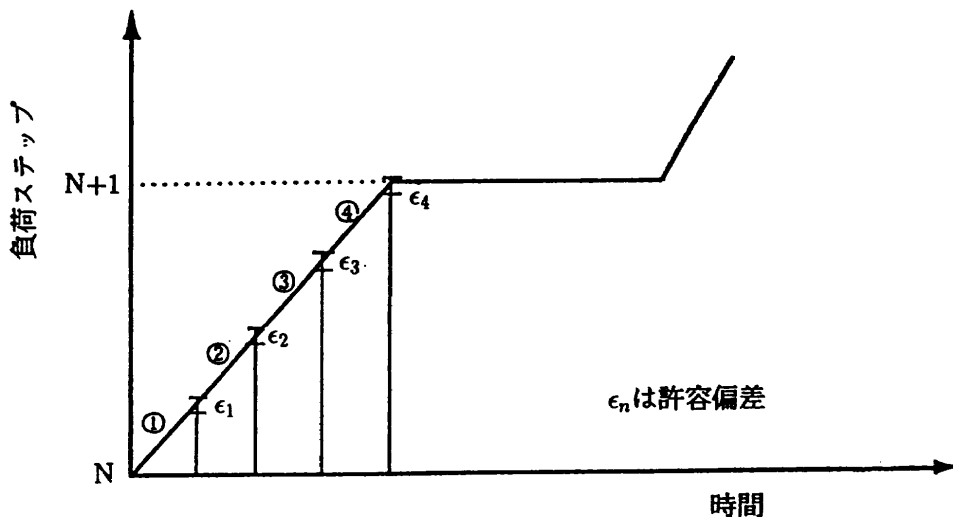


図5 四分割姿勢荷重制御

$$\Delta\phi = \Delta\phi_{mg} \quad (16)$$

$$\Delta\theta = \Delta\theta_{mg} \quad (17)$$

$$\Delta\psi = \Delta\psi_{mg} \quad (18)$$

### 2.2.2 天秤保護機構と運転中断後の作業再開

天秤の保護は電氣的対策と機械的対策とからなる。電氣的保護機構としては天秤各エレメント容量に対して105%でCRT画面に警報を表示し停止し、110%の場合には負荷用及び姿勢制御用の全アクチュエータを瞬時に停止させ直ちに負荷を解除する。また緊急停止ボタンによる手動停止機構も設けてある。この他キャリボディの姿勢検出部であるマグネスケールの変位 $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ,  $\Delta\phi$ ,  $\Delta\theta$ ,  $\Delta\psi$ が予め設定したリミットを超過した場合、天秤出力 $F_{XV}$ ,  $F_{YV}$ ,  $F_{ZV}$ ,  $M_{XV}$ ,  $M_{YV}$ ,  $M_{ZV}$ がリミットを超過した場合も除荷し運転を停止する。機械的な保護機構としては天秤の変位に機械的な制限を加えるためのストッパーを予め調整しておき過負荷を防止する機構も有する。システムが一時的に停止した場合、それまでに収集されたデータと試験リスタートに必要な試験制御情報を補助記憶装置に収納し、復旧時にはリスタート情報を呼出し較正作業を継続して行うことが出来る。

### 2.3 高剛性固定フレーム

任意の方向に10,000Nの力を加えた時の弾性変形は9 $\mu\text{m}$ 以下である。供試天秤の最大容量は10,000N以下であること、姿勢制御終了の判断基準を10 $\mu\text{m}$ に設定している事等で、高剛性固定フレームの弾性変形による精度低下は姿勢制御誤差による精度低下より小さいものと考えられる。

### 2.4 高剛性キャリボディ

キャリボディは本来天秤に付属して製作すべきであるが、スリーブ等を利用すれば標準的なキャリボディ数体用意しておけば汎用性を保てる。本装置では内挿式六分力天秤用3体( $\phi 50\text{mm}$ 天秤用,  $\phi 38\text{mm}$ 天秤用,  $\phi 25\text{mm}$ 天秤用), 半載模型天秤用1体の合計4体を用意してある。これらキャリボディ4体の製作に当って想定した天秤を表7に示す。代表的なキャリボディ形状として $\phi 50\text{mm}$ 天秤用と半載模型天秤用を図6, 図7に示す。また力の方向の定義については本天秤較正装置は図2に示す(X, Y, Z)系に従っており,  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ はこれに従って運転制御される。しかし市販天秤の座標系はまちまちであり, 必ずしも図2の座標系と一致しない。この場合必要に応じて座標変換を行う必要がある。

表7 キャリボディ製作に想定した天秤類

天秤径 (mm)	天秤名	$F_x$ (N)	$F_y$ (N)	$F_z$ (N)	$M_x$ (Nm)	$M_y$ (Nm)	$M_z$ (Nm)
50	LMC-6522-50/Z1000S	1,000	5,000	10,000	200	800	400
38	LMC-6186-2S	400	1,000	1,000	15	150	150
20	LMC-6522-20/Z120	400	1,200	1,200	20	40	40
半載模型用	LMC-3661-5	50	50	—	50	50	5

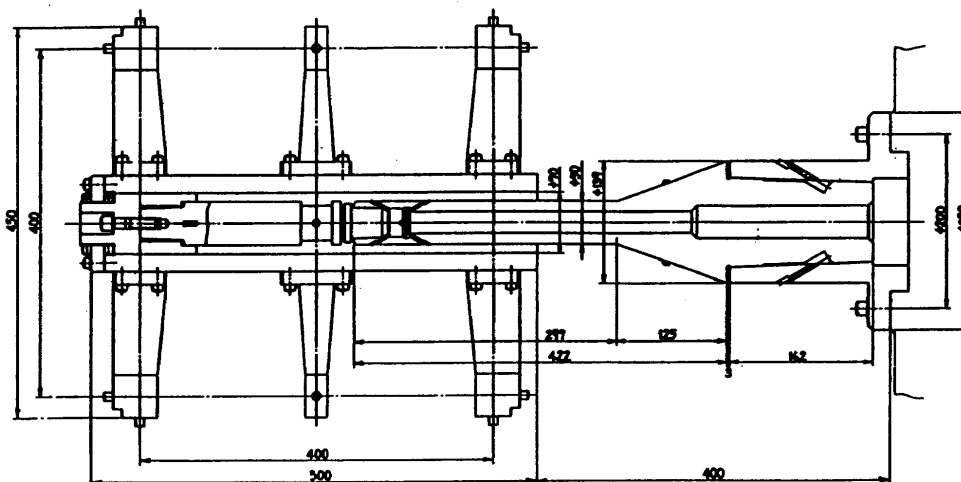


図6  $\phi 50\text{mm}$ 天秤用キャリボディ

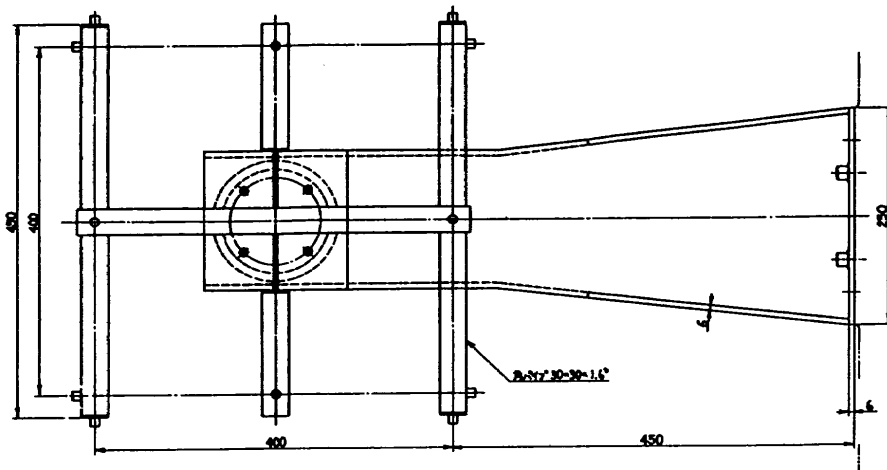


図7 半載模型天秤用キャリボディ

2.4.1 キャリボディ重量と相当天秤出力

天秤に装着するキャリボディ重量とこれに相当する天秤出力を予め求めておく風袋処理をする必要がある。天秤にキャリボディのみを装着し、水平状態と天秤軸回りに180度回転した時との天秤出力差の1/2が天秤の風袋に相当する。これらを  $F_{XV(CB)}$ ,  $F_{YV(CB)}$ ,  $F_{ZV(CB)}$ ,  $M_{XV(CB)}$ ,  $M_{YV(CB)}$ ,  $M_{ZV(CB)}$  とすると、較正作業で得られた負荷と出力のデータを用いて線形天秤特性を仮定し次式で風袋が決定できる。

$$F_{X(CB)} = C_2 F_{XV(CB)} + C_3 F_{YV(CB)} + C_4 F_{ZV(CB)} + C_5 M_{XV(CB)} + C_6 M_{YV(CB)} + C_7 M_{ZV(CB)} \quad (19)$$

$$F_{Y(CB)} = C_9 F_{XV(CB)} + C_{10} F_{YV(CB)} + C_{11} F_{ZV(CB)} + C_{12} M_{XV(CB)} + C_{13} M_{YV(CB)} + C_{14} M_{ZV(CB)} \quad (20)$$

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

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

$$M_{Y(CB)} = C_{30} F_{XV(CB)} + C_{31} F_{YV(CB)} + C_{32} F_{ZV(CB)} + C_{33} M_{XV(CB)} + C_{34} M_{YV(CB)} + C_{35} M_{ZV(CB)} \quad (23)$$

$$M_{Z(CB)} = C_{37} F_{XV(CB)} + C_{38} F_{YV(CB)} + C_{39} F_{ZV(CB)} + C_{40} M_{XV(CB)} + C_{41} M_{YV(CB)} + C_{42} M_{ZV(CB)} \quad (24)$$

天秤単体に対する作用力と出力のデータ群を作る時これらの値を付加する必要がある。

2.4.2 キャリボディの取付け

次に天秤とキャリボディを較正装置本体に装着する。この時較正装置の(X, Y, Z)軸をキャリボディ(天秤)の(X, Y, Z)軸に正しく合わせる必要がある。水平に設定された初期状態でマグネスケールの基準ゼロ位置を設定する。この状態が運転中の復元姿勢位置となる。このため図2で  $X_1 - X_2$ ,  $X_3 - X_4$  及び  $Z_5 - Z_6$ ,  $Z_7 - Z_8$  に  $\phi 0.3\text{mm}$

の細い基準ピアノ線を張り、予めキャリボディに正しく設けた小さい基準穴の中心をこのピアノ線が通るようにキャリボディの初期位置と姿勢を設定する。この場合キャリボディの位置と角度の調整は姿勢制御用電動モータを手動で操作して行う。これにより0.1mm位の位置誤差でキャリボディの姿勢が決定出来る。この方法は今後さらに精度を上げる必要があるかもしれないが、負荷とキャリボディの直交性を直接的に確認できるので決定的な誤差は排除出来るものと考えている。因みにアーム間距離を400mmとして0.1mmずつの位置誤差は0.03度の角度誤差に相当する。この様に設定された状態を「キャリボディの初期状態」と定義しマグネスケールの出力値をリセットする。

2.4.3 初期張力の設定

16個の張力機構はバックラッシュ等を排除し精度を確保するために常時一定の張力を加えておく方式とした。較正装置に取付けた後初期状態設定を終えたキャリボディに張力伝達ワイヤーや治具を取付ける事になる。この時ワイヤーや治具重量、また初期張力により天秤の位置・姿勢は初期状態から変化する。この時後述する負荷プロファイルで荷重番号1に必ず零負荷を置く事にすれば荷重番号1の天秤出力と初期状態の天秤出力の差は治具荷重等の風袋によるものとなる。この天秤出力に相当する荷重、モーメントは先に述べたキャリボディ重量補正式と同様に以下の式で決定できる。

$$F_{X(T)} = C_2 F_{XV(T)} + C_3 F_{YV(T)} + C_4 F_{ZV(T)} + C_5 M_{XV(T)} + C_6 M_{YV(T)} + C_7 M_{ZV(T)} \quad (25)$$

$$F_{Y(T)} = C_9 F_{XV(T)} + C_{10} F_{YV(T)} + C_{11} F_{ZV(T)} + C_{12} M_{XV(T)} + C_{13} M_{YV(T)} + C_{14} M_{ZV(T)} \quad (26)$$

$$F_{Z(T)} = C_{16} F_{XV(T)} + C_{17} F_{YV(T)} + C_{18} F_{ZV(T)} + C_{19} M_{XV(T)} + C_{20} M_{YV(T)} + C_{21} M_{ZV(T)} \quad (27)$$

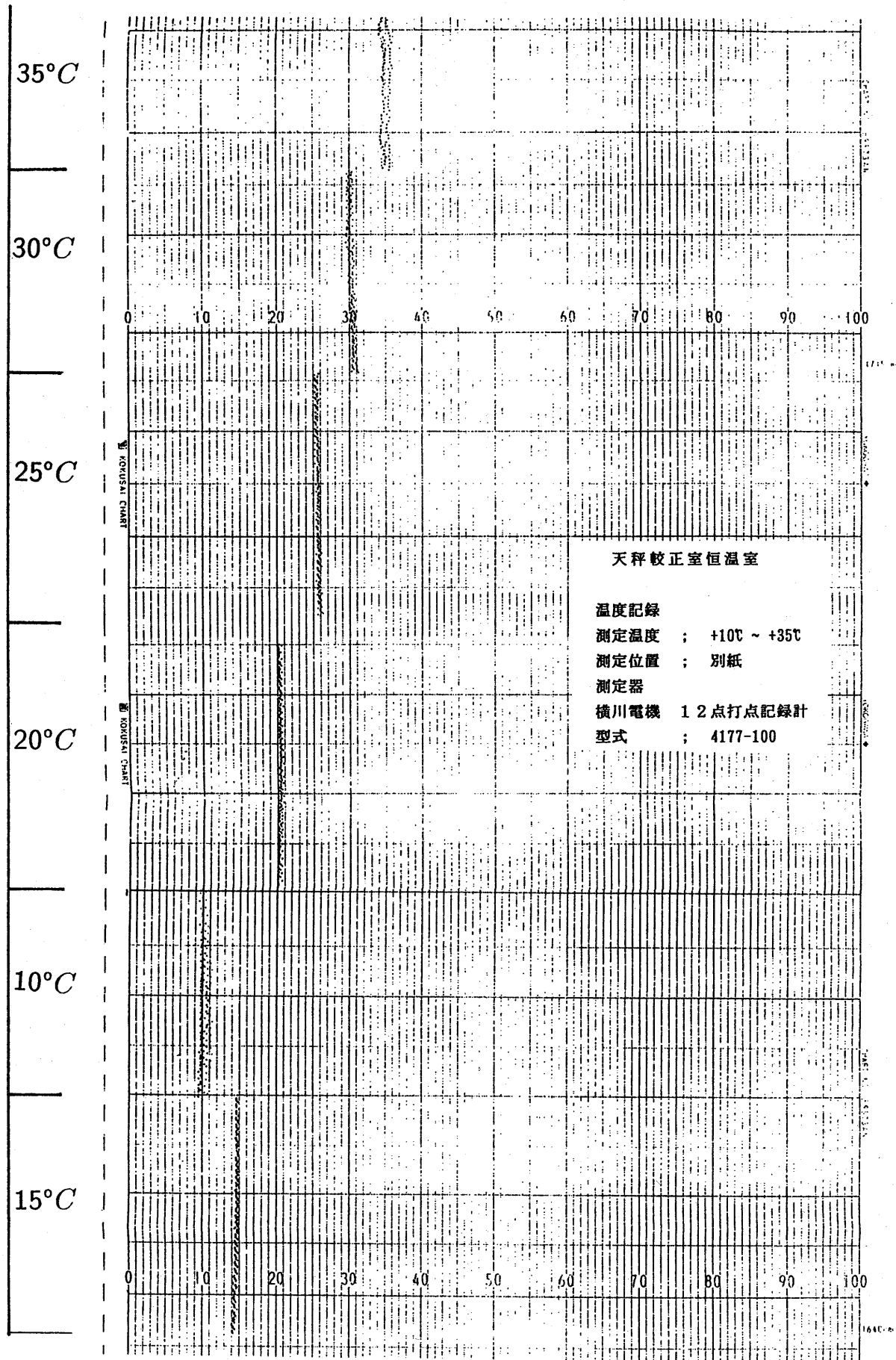


図 8 天秤校正室温度測定結果

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

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

$$M_{Z(T)} = C_{37}F_{XV(T)} + C_{38}F_{YV(T)} + C_{39}F_{ZV(T)} + C_{40}M_{XV(T)} + C_{41}M_{YV(T)} + C_{42}M_{ZV(T)} \quad (30)$$

2.5 ロードセルの較正機構

負荷制御用ロードセルの較正は従来の分銅を使った実荷重天秤較正装置の負荷機構を利用する事とした。大分銅は250N×30個=7,500N迄、小分銅は50N×20個=1,000N迄負荷が可能である。従って10,000Nのロードセルは大分銅を使って容量の75%迄の負荷による較正となるがロードセルの直線性は0.02%でありあまり大きな問題にはならない。1,000Nのロードセルは小分銅により容量の100%負荷が可能である。

2.6 天秤較正室の恒温化

天秤較正は長時間連続運転を想定している。この間気温変化による歪ゲージ等に温度ドリフトが生じないように試験中室温を一定に保持する必要がある。また天秤較正は天秤を使用する環境温度に合わせて較正するのが理想的

である。航技研遷音速風洞測定部温度は遷音速試験時には模型表面で35℃~40℃(澁み点温度は45℃~50℃)程度になる。この様な環境温度を実現するために天秤較正室内の恒温化を行った。このため従来の天秤較正室を高い温度環境が設定できる天秤較正装置設置ルームと計測制御装置を設置するオペレーションルームに仕切で分離した。図8に天秤較正室のうち天秤較正装置設置ルームの空調機新設, 断熱壁工事を行った後の温度制御の状態を測定した結果を示す。較正装置設置ルーム内の空間を6点で代表して計測を行った。縦軸に経過時間を横軸に設定温度を示すが, この図より10℃~35℃の環境温度設定と±1.0℃程度の定常性が保たれている事が解る。この温度測定時期は3月なので更に高温域の温度環境が必要であれば室温の高い夏期に高温設定すれば40℃程度は実現できるものと思われる。なお天秤較正係数に対する環境温度の影響の有無は今後詳細に調べる予定である。また本空調システムは温度制御の他, 除湿も行っており相対湿度値±3%RH程度の精度で一定に保持する性能を有している。ただし加湿装置は設けてない。

3. 計測制御装置

計測制御のためのブロック図を図9に示す。

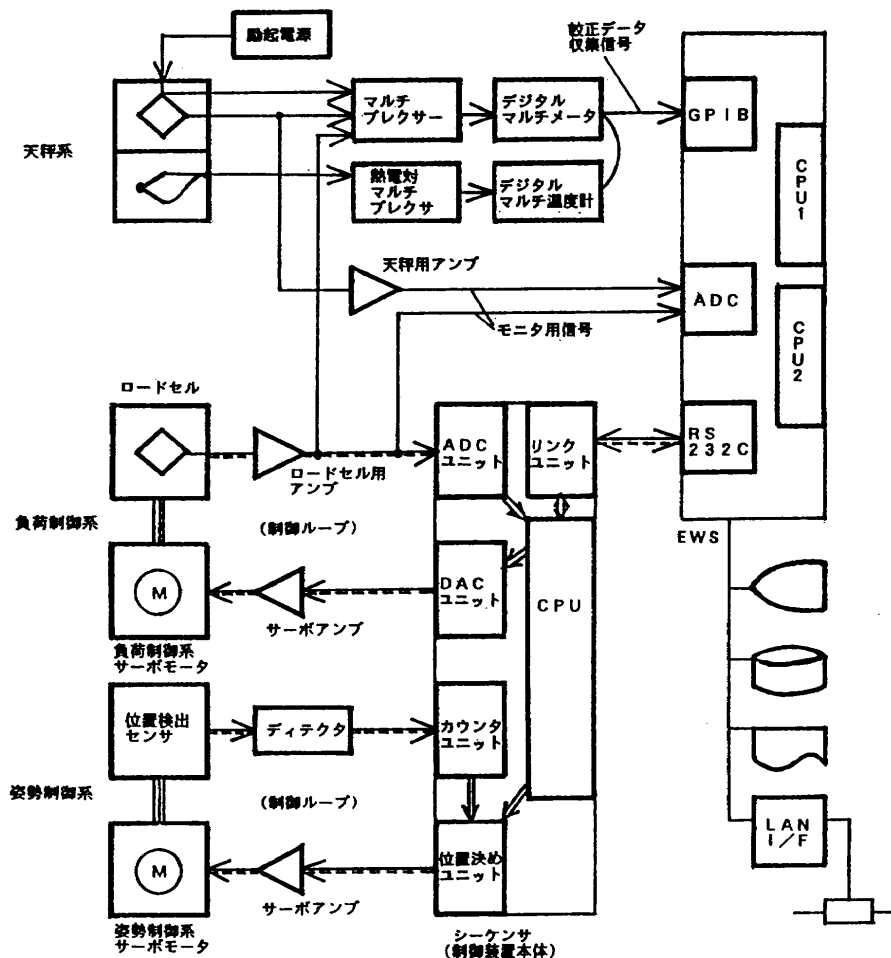


図9 計測制御系ブロック図



### 3.1 エンジニアリングワークステーション

全ての制御、計測、データ処理等は計算機の管理下に置かれている。エンジニアリングワークステーション(EWS)の仕様を表8に示す。

### 3.2 計測用アンブラック

#### 3.2.1 デジタルマルチメータ

測定精度は200mVレンジの場合、読み値の $\pm 0.002\%$ + $4\mu\text{V}$ (24時間 $23\pm 1^\circ\text{C}$ )である。荷重計測用ロードセル出力電圧、天秤出力電圧、天秤励起電圧を積分型ADCで

表8 エンジニアリングワークステーション仕様

項目	仕様
形式	MC7100
CPU	68040 25MHz×2台
主メモリ	32MB
ハードディスク	1GB
CRTディスプレイ	16インチ(1280×1024)
プリンター	レーザプリンタ
AD変換器	16bit, 64ch
OS	RTU V6.0&X Window

測定する。天秤エレメント温度は別置き熱電対マルチプレクサー、デジタルマルチ温度計で計測する。

#### 3.2.2 スキャナ

熱起電力は $0.2\mu\text{V}/(23\pm 5)^\circ\text{C}$ 以下である。上記測定電圧を低熱起電力マルチプレクサーで切替えてデジタルマルチメータに出力する。

#### 3.2.3 励起電源

天秤用歪ゲージブリッジ励起電源は8チャンネル分用意してありチャンネル単位で定電圧励起と定電流励起の切替式とし、ステップスイッチとバーニアにより0V~15V, 0mA~75mAの範囲で使用できる。仕様を表9に示す。

#### 3.2.4 天秤出力用アンプ

計測制御系の監視用に8台使用。アンプの仕様を表10に示す。

#### 3.2.5 ロードセル用アンプ

荷重負荷用16台のロードセル出力用アンプで天秤出力用アンプと同一機種である。

### 3.3 サーボアンブラック

#### 3.3.1 負荷サーボモータ用

負荷制御用電動サーボモータ用のアンプ16台。

#### 3.3.2 姿勢制御サーボモータ用

姿勢制御電動サーボモータ用アンプ6台。

表9 天秤励起電源仕様

項目	仕様
1 チャンネル数	1チャンネル/ユニット×8チャンネル
2 出力電圧	0~ $\pm 7.5\text{V}$ (15V)リモートセンシング機能付 電圧設定法 (1)0,1.5,3,4.5...15Vの11ステップ切替 (2)0~1.5V 10回転ポテンショによる連続切替
3 出力電流	0~75mA (1)0,7.5,15,22.5,30...75mA 11ステップ切替 (2)0~7.5mA 10回転ポテンショによる連続切替
4 安定度	$\pm 0.01\%/^\circ\text{C}$
5 出力インピーダンス	(1)電圧レンジ 1 $\Omega$ 以下 (2)電流レンジ 1M $\Omega$ 以上
6 使用温度湿度範囲	0 $^\circ\text{C}$ ~40 $^\circ\text{C}$ , 20~85%RH
7 電源	AC100V $\pm 10\%$ , 50,60Hz
8 外形	50×143×254(mm)

表10 直流ブリッジ電源型ストレインアンプユニット仕様

	項目	仕様
1	チャンネル数	1チャンネル/ユニット×8チャンネル(電源内蔵)
2	適用ゲージ抵抗	60Ω~1kΩ
3	設定ゲージ率	2.00
4	ブリッジ電源	直流電圧(BV)2,3,5,10,12V 精度は±0.1%以内 リモートセンス回路付(0.55Sq,6芯ケーブルにて約600m迄)
5	平衡調整方式	抵抗分手動バランス
6	平衡調整範囲	抵抗値偏差 ±約2%(±約10,000×10 <sup>-6</sup> ひずみ)
7	電圧感度	10,000×10 <sup>-6</sup> ひずみ入力で0.5V以上(ATT=1, VAR最大, BV=2V)
8	減衰率(ATT)	OFF, 1/20, 1/10, 1/5, 1/2, 1 微調整(VAR) ×1~×約2.5
9	内部較正器	±1~±9999×10 <sup>-6</sup> ひずみ 精度±0.2%/FS以内 (ユニット背面より内部較正量, 微調整可能)
10	非直線性	±0.01%FS以内
11	周波数特性	DC~2kHz +1db, -3db
12	ローパスフィルタ	3ポールベッセル型, DC~1,10,30,100Hz
13	安定度	ATT=1, VAR最小, BV=2にて 零点 ±0.01%/°C以内 ±0.25%/FS/電源変化±10%以内 感度 ±0.01%/°C以内, ±0.05%/24H以内 ±0.01%/FS/電源変化±10%以内
14	雑音	10×10 <sup>-6</sup> ひずみp-p入力換算(W/B, ATT=1, VAR最小, BV=2V) 但し帯域内雑音
15	出力	最大出力 ±10V以上 電圧電流 OUTPUT1 ±10V ±5mA OUTPUT2 ±10V ±30mA (単独に×1~×1/5まで可変) 出力抵抗 0.5Ω以下 容量負荷 0.1μFまで動作
16	出力モニタ	17ドットLED表示 ±約10.5V以上での両端のLED点滅
17	耐震性	3G(3,000cpm, 0.6mm)
18	絶縁抵抗	DC500Vメガーで100MΩ以上(入力各端子A,B,C,D,Eとケース間)
19	耐電圧	入力各端子A,B,C,D,Eとケース間 AC250V 1分間 AC電源入力と入出力, ケース間 AC1kV 1分間
20	電源	AC100V(85V~110V) 50,60Hz 約8VA DC12V(10.5V~15V) 約0.4A
21	仕様温度湿度範囲	-10~+50°C, 20~85%RH以内(結露を除く)
22	外形寸法重量	約143(H)×50(W)×254(D)mm, 約1.2Kg

### 3.4 シーケンサラック

荷重負荷制御, 天秤姿勢制御に使用。CPU, ADC, DAC, カウンター, 位置決め等のユニットを含む。

## 4. 運転法

### 4.1 運転操作の流れ図

図10~図14に運転計測操作の流れ図を示す。

運転に関してはCRTに対面しマウス操作で行うが, 特別な計算機知識が無くても運転出来るよう極力簡略化してある。以下に代表的な画面表示等を用いて運転手順を簡単に説明する。

### 4.2 システムメニュー

計算機本体電源及び周辺装置の電源を入れる事により

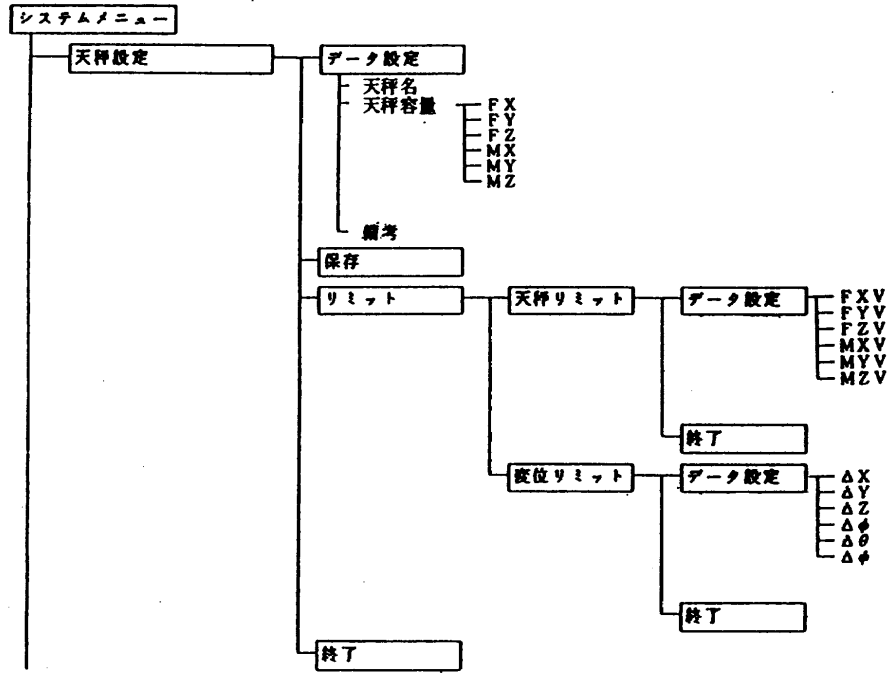


図10 運転計測操作流れ図：システムメニュー(天秤設定)

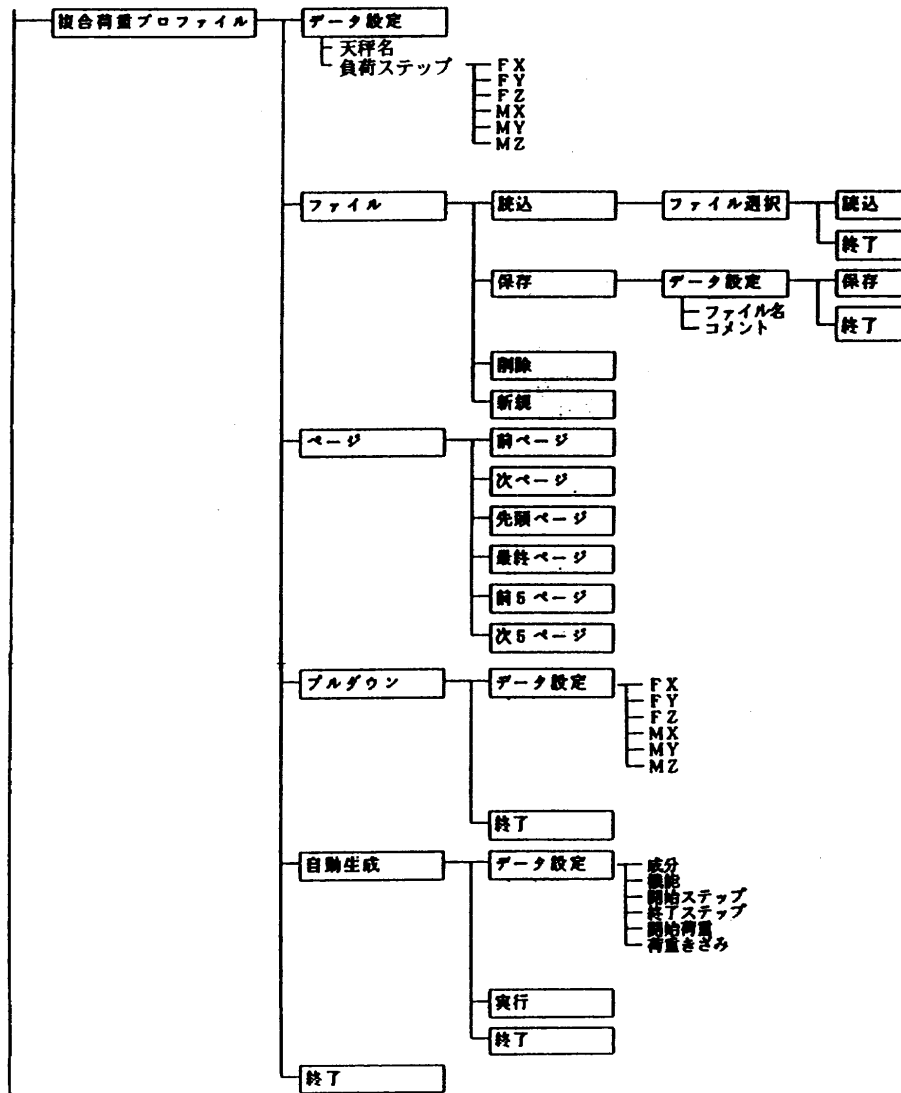


図11 運転計測操作流れ図：システムメニュー(複合荷重プロファイル)

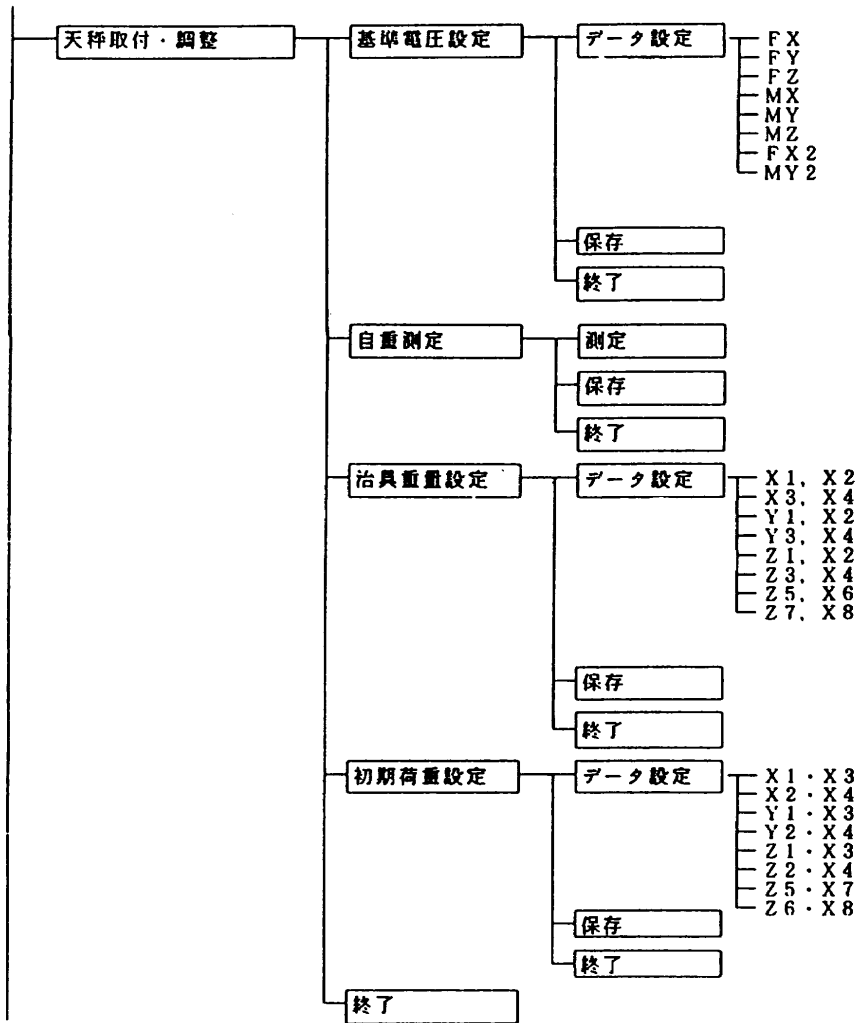


図12 運転計測操作流れ図：システムメニュー(天秤取付・調整)

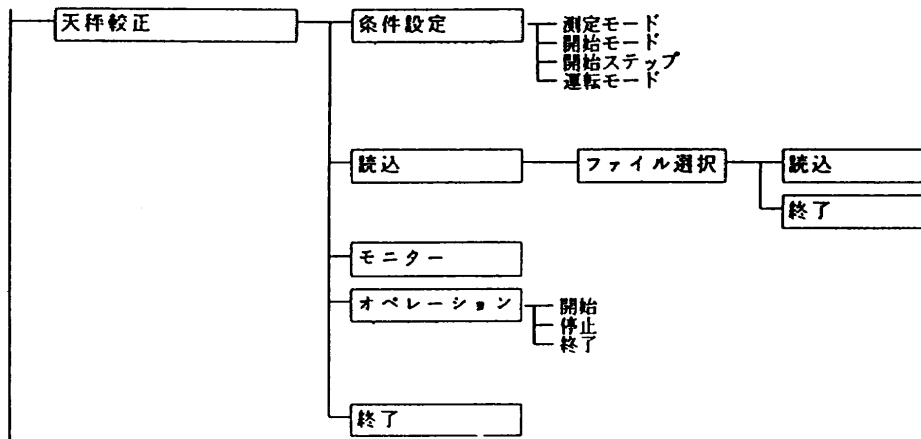


図13 運転計測操作流れ図：システムメニュー(天秤較正)

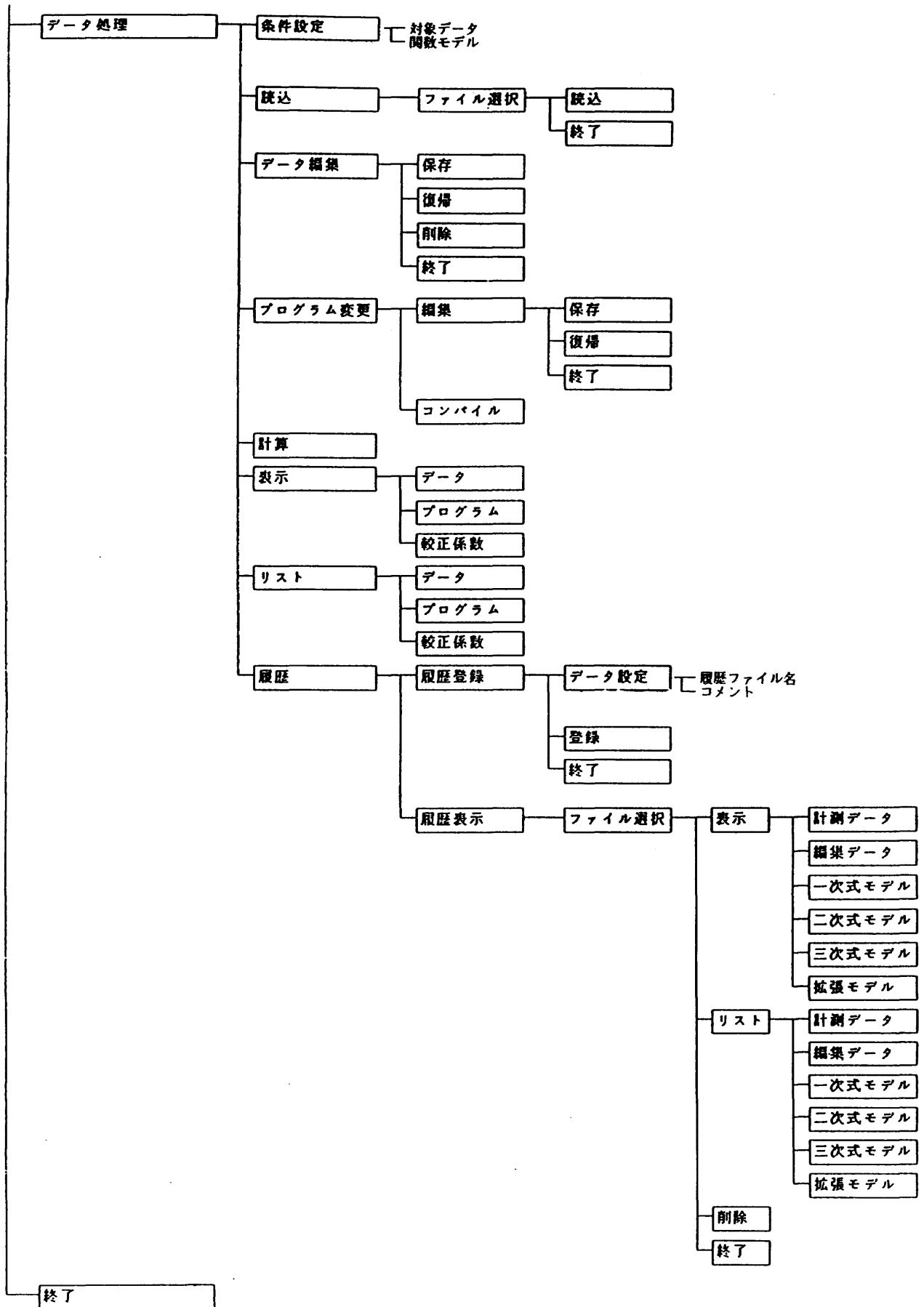


図14 運転計測操作流れ図：システムメニュー(データ処理)

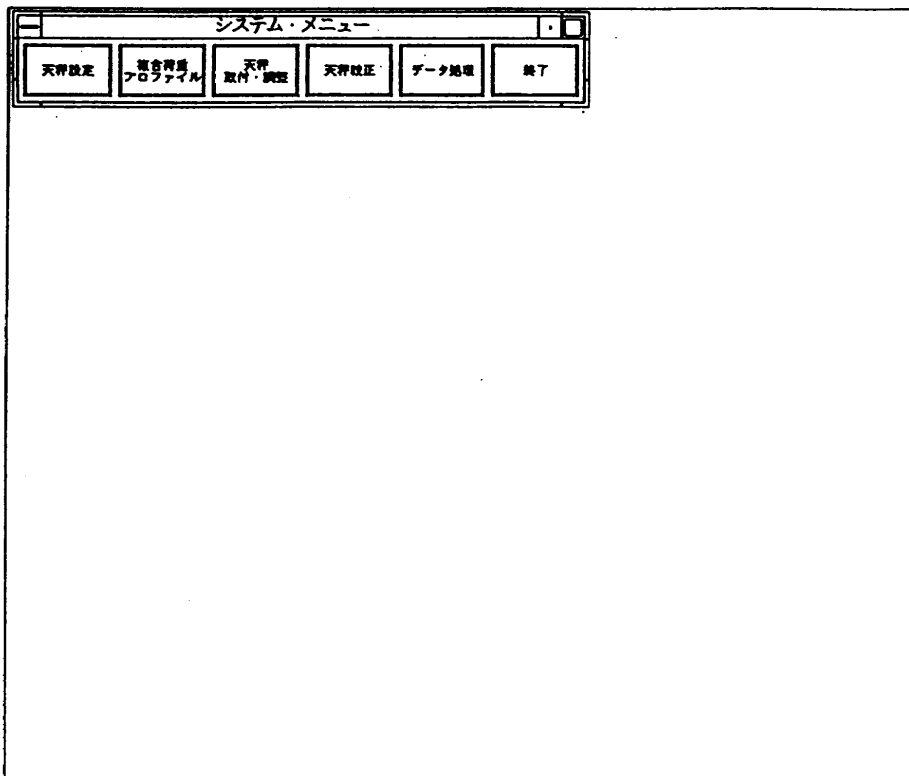


図15 システムメニュー

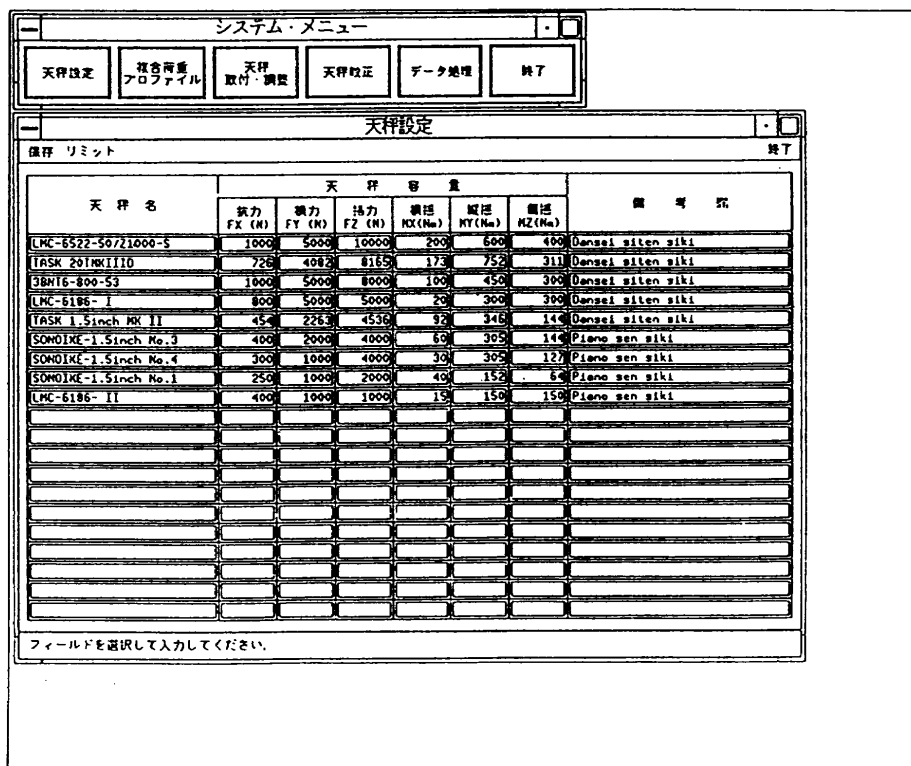


図16 天秤設定画面

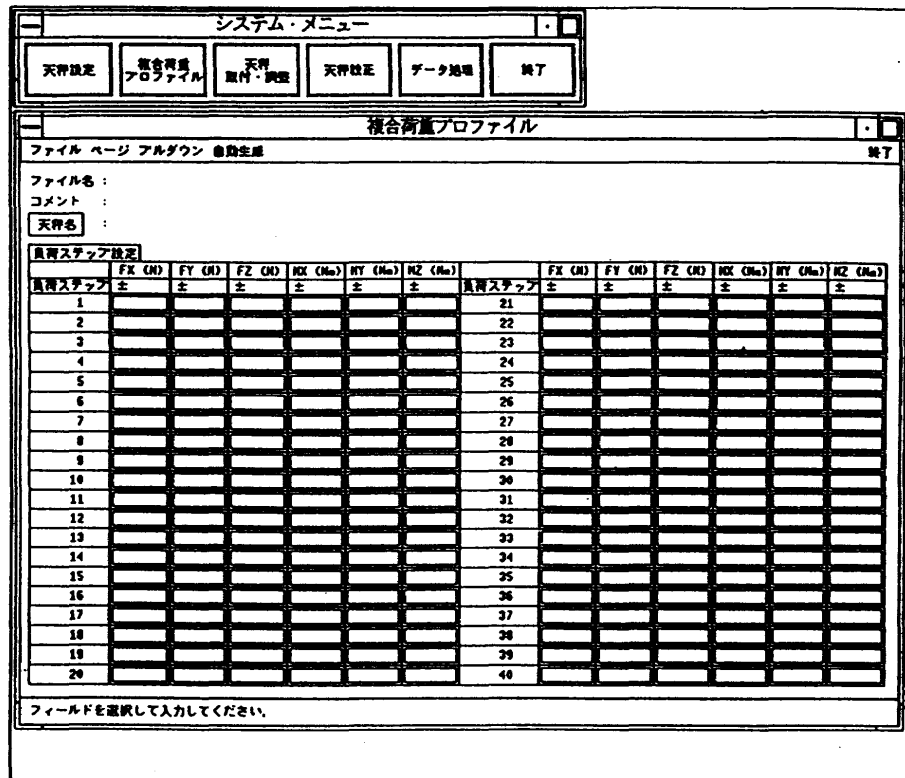


図17 複合荷重プロファイル画面

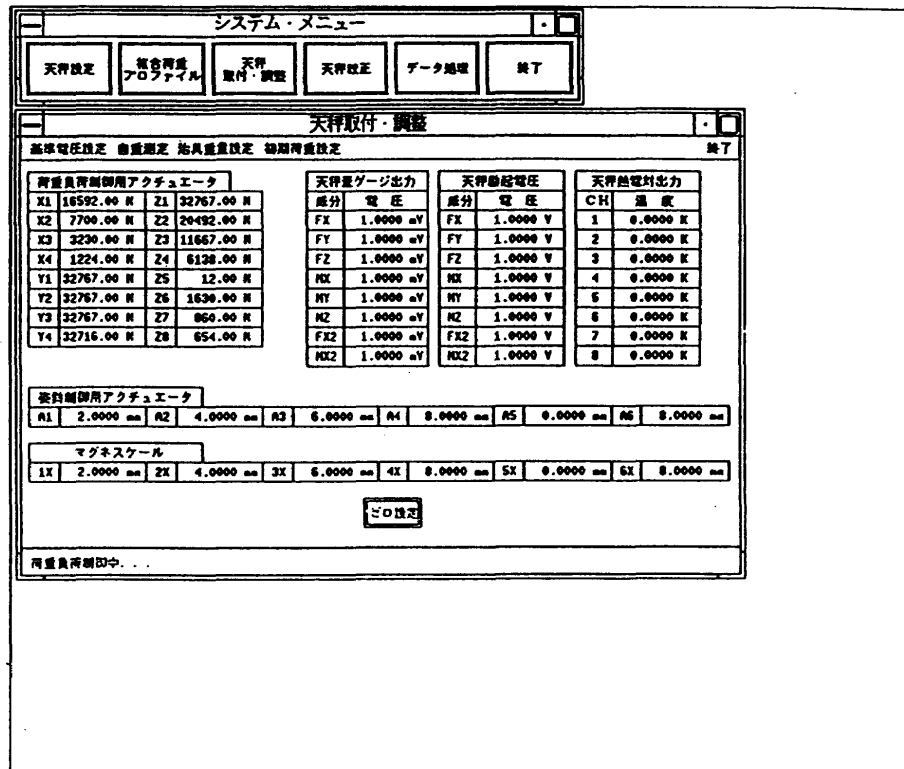


図18 天秤取付・調整画面

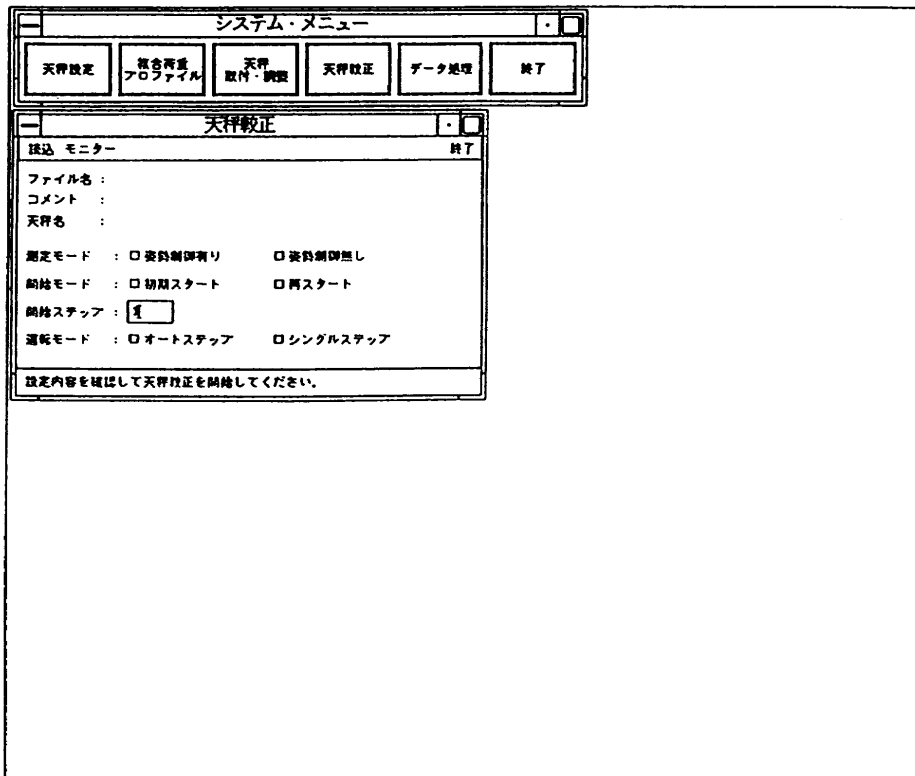


図19 天秤較正画面

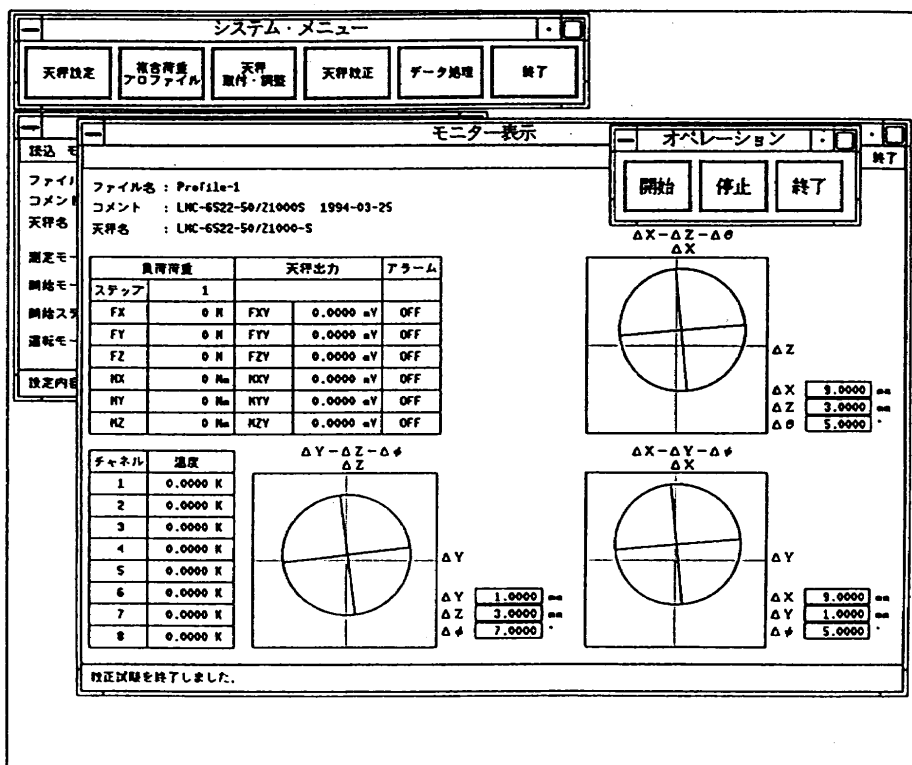


図20 モニター画面



システムは起動し図15がCRTディスプレイ上に表示される。このメニューの中から選択する事により本システム全ての処理の実行を指示する事が出来る。

#### 4.2.1 天秤設定

システムメニューで天秤設定を選択すると図16がCRT上に表示され最大20本迄の天秤を登録しておくことが出来る。

##### (1) 天秤容量の設定

天秤の名称、六分力容量(N,Nm)の登録。

##### (2) 天秤リミットの設定

各々の天秤六成分に対してmV出力の上限値を設定(安全対策)。

##### (3) 変位リミット設定

天秤の変形量( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ,  $\Delta \phi$ ,  $\Delta \theta$ ,  $\Delta \psi$ )の上限値設定(安全対策)。

#### 4.2.2 複合荷重プロファイル

システムメニューで複合荷重プロファイルを選択すると図17がCRT画面に現れる。このモードでは較正試験に使用する各種天秤に対して成分荷重及び任意の複合荷重を設定し、荷重プロファイルとして保存する。最大1,000点の荷重点が設定可能で、100種類のプロファイルを登録できる。新たに荷重プロファイルを作成する場合入力ミスの無い様に、天秤名はすでに登録してあるものから選択し、六成分の荷重点は入力用画面から写し取るか、プルダウン設定で、各成分毎に使用頻度の高い荷重データを登録しておく、ファイル保存時にソートされる。初期表示としては定格値を10等分したものが表示されている。荷重プロファイルを新規に作る場合も天秤容量を超過した入力は出来ないようになっている。

#### 4.2.3 天秤取付・調整

システムメニューで天秤取付・調整を選択するとCRT画面に図18が現れる。天秤とスティングとの結合、天秤とキャリボディとの結合、スティングと高剛性可動フレームとの結合、負荷用金具等の取付け、初期荷重の設定など各種の状態をリアルタイムにモニター表示する。画面に示すように次のモニターが可能である。

- (1) 16本の荷重負荷用アクチュエータの作用力
- (2) 天秤歪ゲージ出力
- (3) 天秤励起電圧
- (4) 天秤熱電対出力
- (5) 姿勢制御用アクチュエータの変位
- (6) マグネスケールの変位

#### 4.2.4 天秤較正

システムメニューで天秤較正を選択するとCRT画面に図19が現れる。

このモードでは画面に従い運転方式の選択等を行う。

- (1) 測定モード：「姿勢制御あり」では負荷制御と姿勢

復元制御を、「姿勢制御なし」では負荷制御のみを行う。通常前者を選択する。

- (2) 開始モード：初期スタートで荷重番号1から測定を開始するが、途中でシステムが停止し(例えば過負荷)、途中から再起動する場合は再スタートを選択する。

- (3) 開始ステップ：荷重点番号

- (4) 運転モード：自動運転を要求する場合オートステップを、手動の場合はシングルステップを選択する。通常は前者で運転。

条件設定を終えモニター選択を行うとCRT画面に図20が現れる。オペレーションを開始し運転状態をモニターする事になるが監視項目は以下の通りである。

##### ● 負荷荷重と天秤出力

天秤成分負荷が最大荷重の105%で警告画面となり試験継続か試験中止のいずれかを選択し、110%で自動的に停止除荷する。

##### ● 位置と姿勢の制御状態

天秤中心位置の変位と撓み角のグラフ表示とデジタル表示。

##### ● 熱電対出力

#### 4.2.5 データ処理

データ収集が終了したあとシステムメニューでデータ処理を選択するとCRT画面に図21が現れる。このモードでは収集データをもとに天秤較正係数マトリックスの計算を行う。画面に従いメニューを選択する。

- (1) 対象データ

##### (a) 計測データ

測定値そのもので処理

##### (b) 編集データ

データ編集モードで不良データの除去を行う等加工したデータ。

- (2) データファイル

現在では以下の11データファイルが作成される。

##### (a) 励起電圧データファイル

(ファイル名：\*\*\*\*\*.ORA)

##### (b) 六分力出力データファイル

(ファイル名：\*\*\*\*\*.ORB)

##### (c) 天秤たわみデータファイル

(ファイル名：\*\*\*\*\*.ORC)

##### (d) 初期状態データファイル

(ファイル名：\*\*\*\*\*.ORD)

##### (e) マグネスケールデータファイル

(ファイル名：\*\*\*\*\*.ORG)

##### (f) キャリボディ重量データファイル

(ファイル名：\*\*\*\*\*.ORJ)

##### (g) 六分力設定データファイル

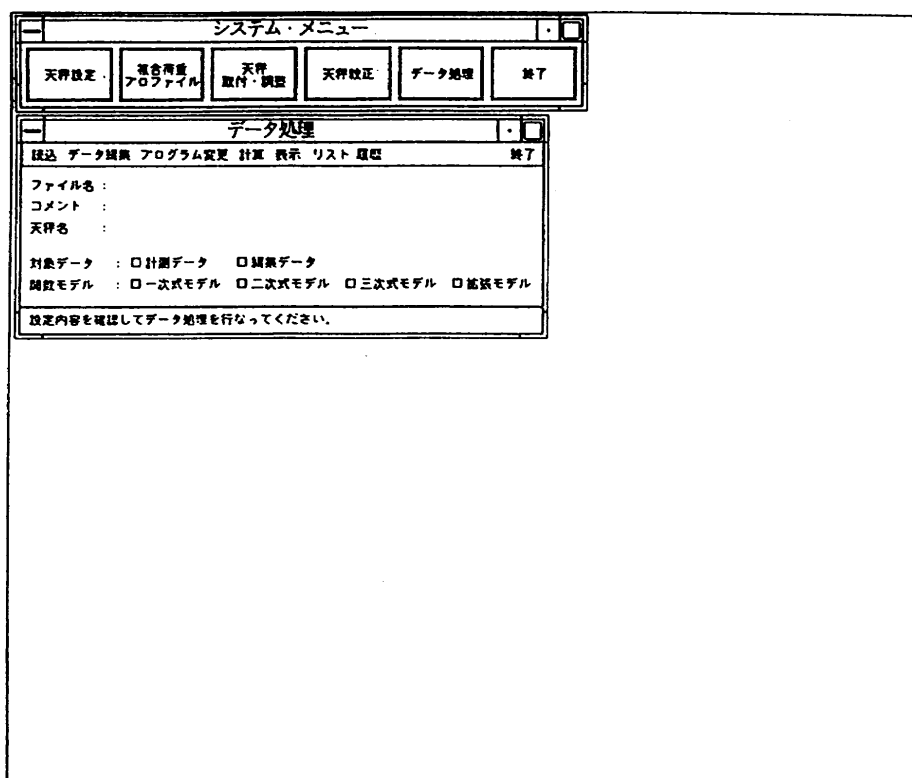


図21 データ処理画面

(ファイル名: \*\*\*\*\*.ORL)

(h) 六分力負荷データファイル

(ファイル名: \*\*\*\*\*.ORM)

(i) 姿勢累積データファイル

(ファイル名: \*\*\*\*\*.ORP)

(j) ロードセルデータファイル

(ファイル名: \*\*\*\*\*.ORS)

(k) 熱電対データファイル

(ファイル名: \*\*\*\*\*.ORT)

これらファイル構造の詳細は付録1に示した。

(3) 関数モデル

(a) 一次式モデル

(b) 二次式モデル

(c) 三次式モデル

(d) 拡張モデル

関数モデルの詳細と係数決定アルゴリズムは文献(1)で詳細に述べた。なお必要に応じてこれらプログラムは修正可能である。言語はFORTRANを使用する。拡張モデルは現在空白で自由に利用できる。

#### 4.3 データ転送

計算された天秤較正係数マトリックスのデータファイルは航技研構内LANにより本システムから航技研遷音速風洞計測室のデータ処理システムに送り風洞試験デー

タ処理に用いる。本較正装置の調整運転中は機器の作動状況、負荷や出力の良否の判断を作図を通して行う必要がある。本装置のEWSには現在作図ソフトウェアがないので、収集データファイルを試験後に航技研大型計算機に転送し、作図を行っている。将来機器の運転状況が安定し特に作図を必要としなくなれば較正係数の計算は本装置のEWSで十分行える。

### 5. 初期運転中に発生した問題点と改善策

#### 5.1 作業の容易性、安全性

(1) キャリボディ等重量物の吊り上げ、移動装置

天秤較正装置設置ルームの天井のクレーンを改修し天秤等精密機器の吊り上げ移動を容易にした。更に天秤較正装置の天井部にも天秤とキャリボディの吊り込み移動装置を追加した。

(2) 作業用踊場の設置:

キャリボディを較正装置に装着するための作業用踊場を追加した。

#### 5.2 電気ノイズ対策

(1) 負荷用電動モータからの電気ノイズ

電動モータとロードセルが直結しており、ロードセル出力(負荷力)測定にノイズ対策が新たに必要になり、16個のロードセル全てに絶縁シートによりシールドを施し

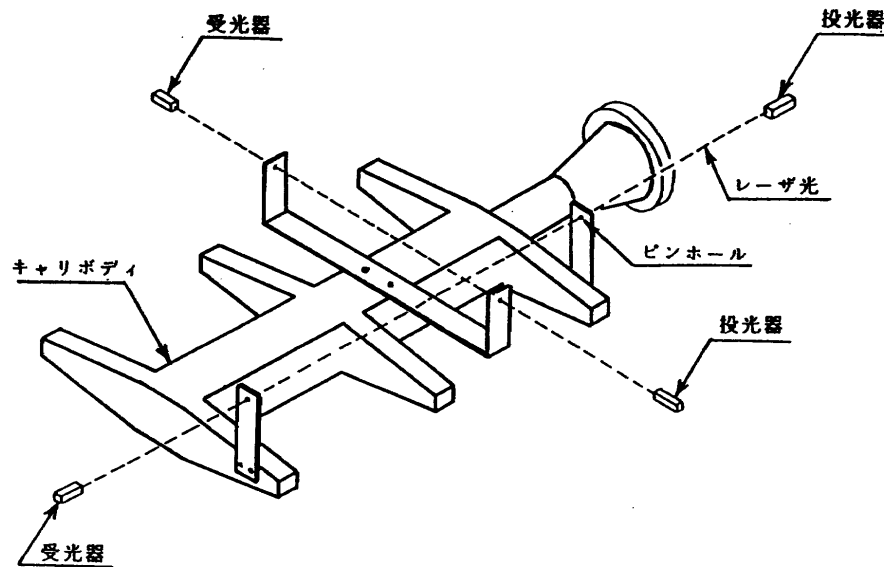


図22 レーザビーム式キャリボディ位置監視装置

た。また較正装置本体に取りついている電気端子盤、マグネスケール台等にも同様な対策を施した。

#### (2) 姿勢制御用電動モータからの電氣的ノイズ

6台の制御用モータ出力が大きいためこれらモータのON状態とOFF状態とで収集データへのノイズレベルが大幅に異なった。シールドを施すと同時に較正装置運転ソフトの改修を行い姿勢制御終了時に六個のモータ電源をOFFとし計測を行ったあと次の荷重ステップに移る時点でONとした。

#### (3) 床面からの電気ノイズ:

天秤較正室床面は恒温室化の目的で断熱床とした。天秤較正装置と計測制御装置との間の信号授受用電線はこの床面を這わせたが、床からのノイズが大きいため電線を床面から浮かすノイズ対策用被膜に包みこみシールドを施した。

### 5.3 制御性の改善と較正時間の短縮化

張力伝達機構は初期には大荷重(10,000N)はロッドで小荷重(1,000N)はピアノ線を用いた。ロッドはスプリングを介して変位を拡大し負荷制御特性の改善を意図した設計であったがスプリングが硬いため制御のための変位が少なく負荷制御と位置・姿勢制御に時間のかかる結果となった。また大荷重用ロッドにあっては一方のロッドのうち一方の異常検知で負荷を解除すると残りのロッドに圧縮力が作用し荷重機構がロック状態になる等問題点が浮び上がった。このため16個の張力伝達機構を圧縮に対してフリー、引張りに対してより変位の大きいものに変更を行った。

### 5.4 位置・姿勢制御状態の監視装置

運転中「初期状態」位置にキャリボディが常に姿勢制御出来ているかどうかはワークステーションのCRT画面でモニター出来ることはすでに述べた。この監視システムはマグネスケールの電気出力を用いてキャリボディの動きをCRT上に描いているものであり、マグネスケールの出力に電気ノイズが生じた場合誤った「初期状態」位置に姿勢制御されることになる。この場合自動運転で得られた較正データに誤差が含まれる恐れがある。このような誤動作を検知する目的でキャリボディの微細な動きを直接目視するために、図22に示すレーザービームシステムを設けた。キャリボディ「初期状態」設定時にビームがピンホールを通過するように位置決めしておく。姿勢復元後のビーム位置異常により直接的にキャリボディ復元状態の異常を確認できる。ビームの位置異常は目視とビームの受光部の光強度のデジタル表示の変化で検知する事とした。自動運転終了時の姿勢位置が正しく「初期状態」に戻っていれば運転中に位置検知部(マグネスケール)に電氣的なドリフトが無かった事になる。

## 6. 機器調整試験

### 6.1 負荷設定

荷重点の設定に当っては装置の運転時間を考えて荷重点数をきめる必要がある。代表的な自動運転装置としてFFA MK15やIAI ABCSがあるが前者は成分負荷と六分力複合負荷の組合せで試験しており、後者は成分負荷と二分力複合負荷で試験を行っている。航技研の「複合荷重式自動天秤較正装置」の場合は姿勢復帰方式のために運転時間がかかるので荷重点数を極力削減したい事、風洞試験中は通常6成分複合荷重が作用するので零荷重点も含めて以下の434点の荷重群を標準負荷プロフィールと

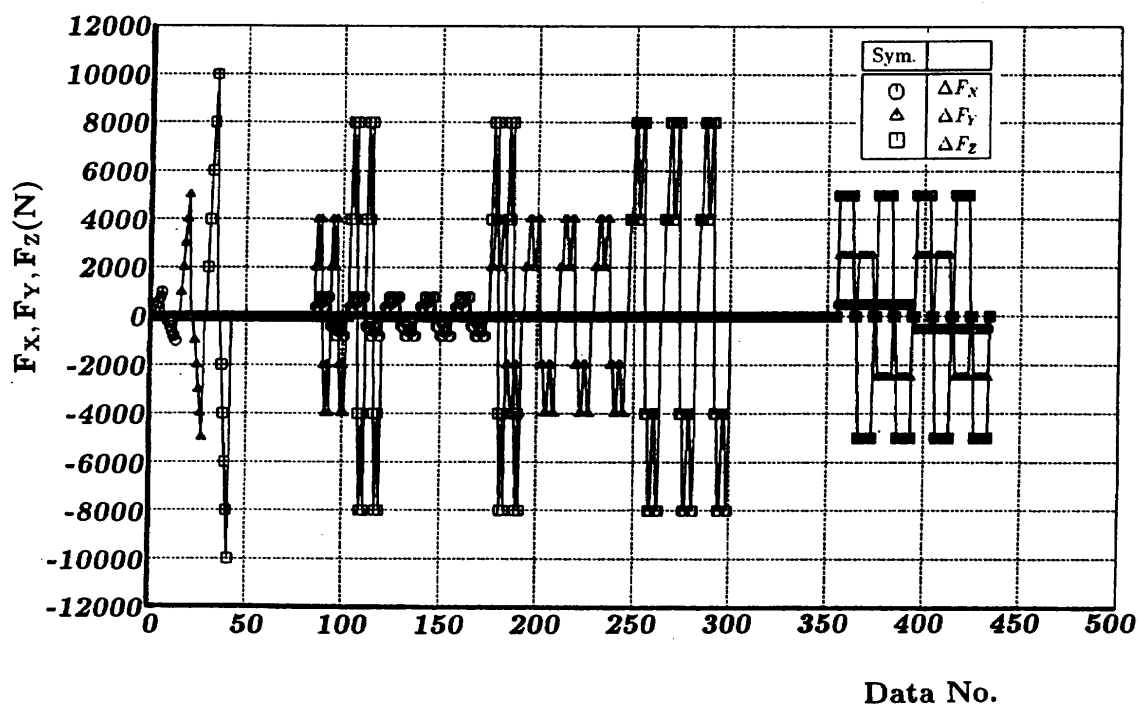


図23  $F_x, F_y, F_z$ の設定負荷

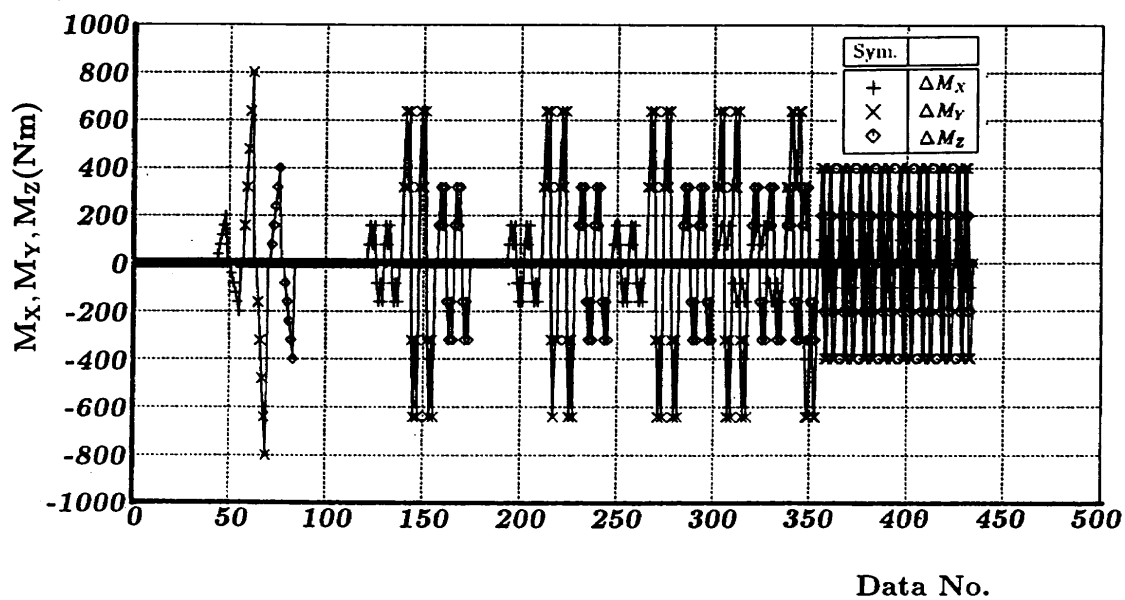


図24  $M_x, M_y, M_z$ の設定負荷

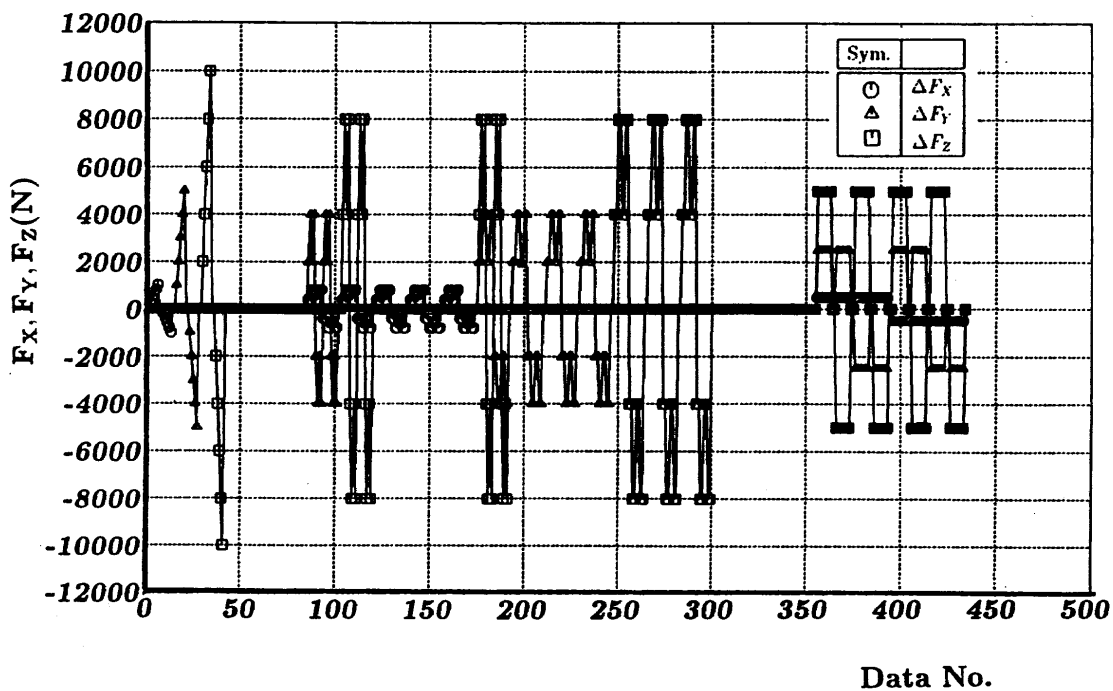


図25 制御された $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ のロードセル出力

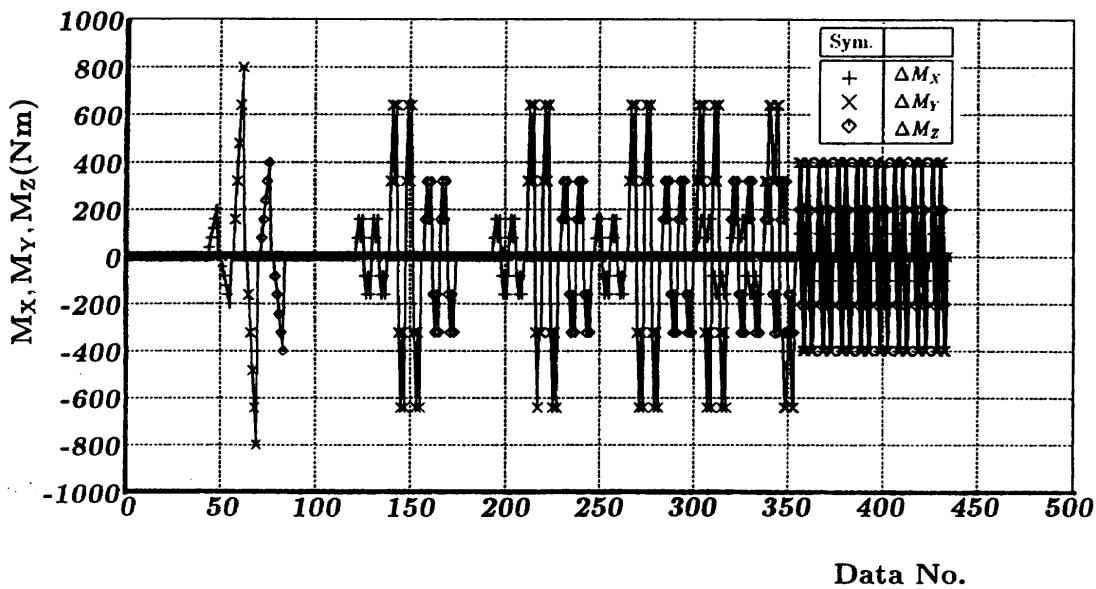


図26 制御された $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ のロードセル出力

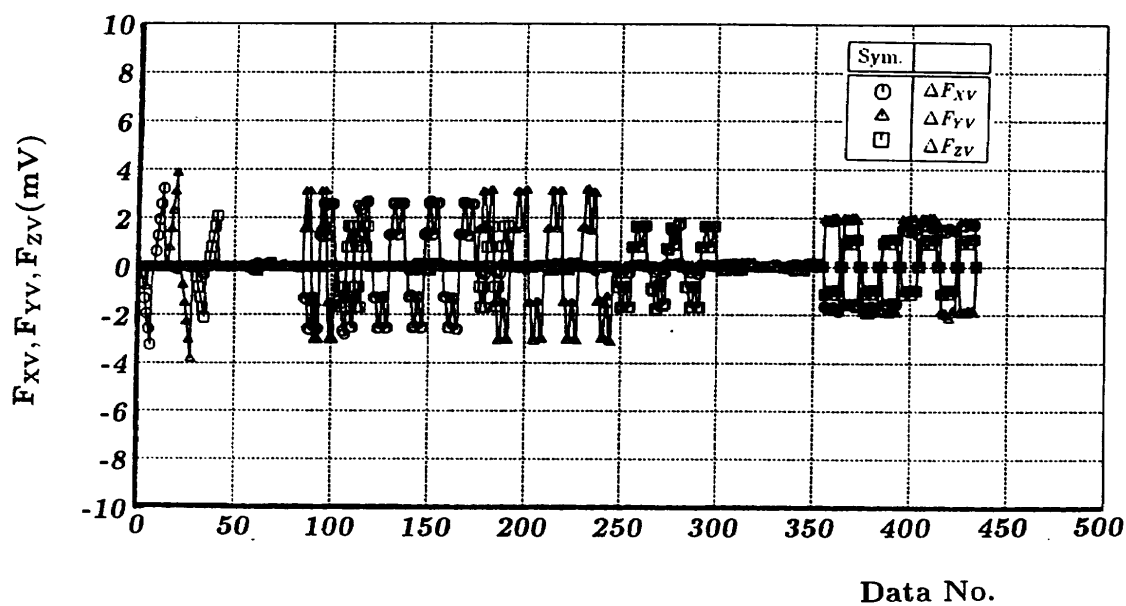


図27  $F_{XV}$ ,  $F_{YV}$ ,  $F_{ZV}$ の天秤出力

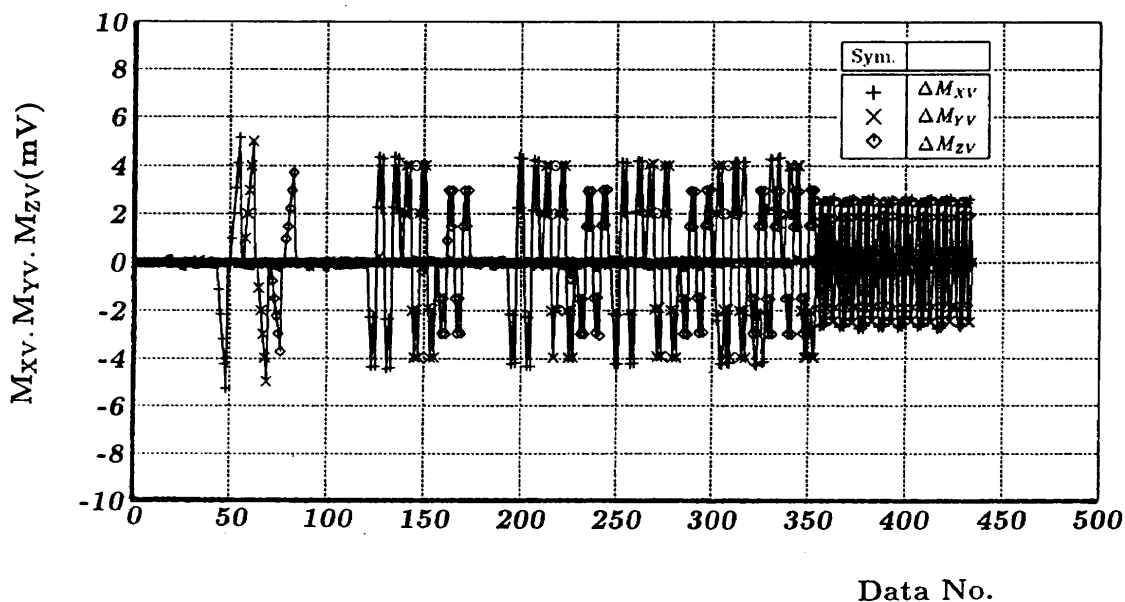


図28  $M_{XV}$ ,  $M_{YV}$ ,  $M_{ZV}$ の天秤出力

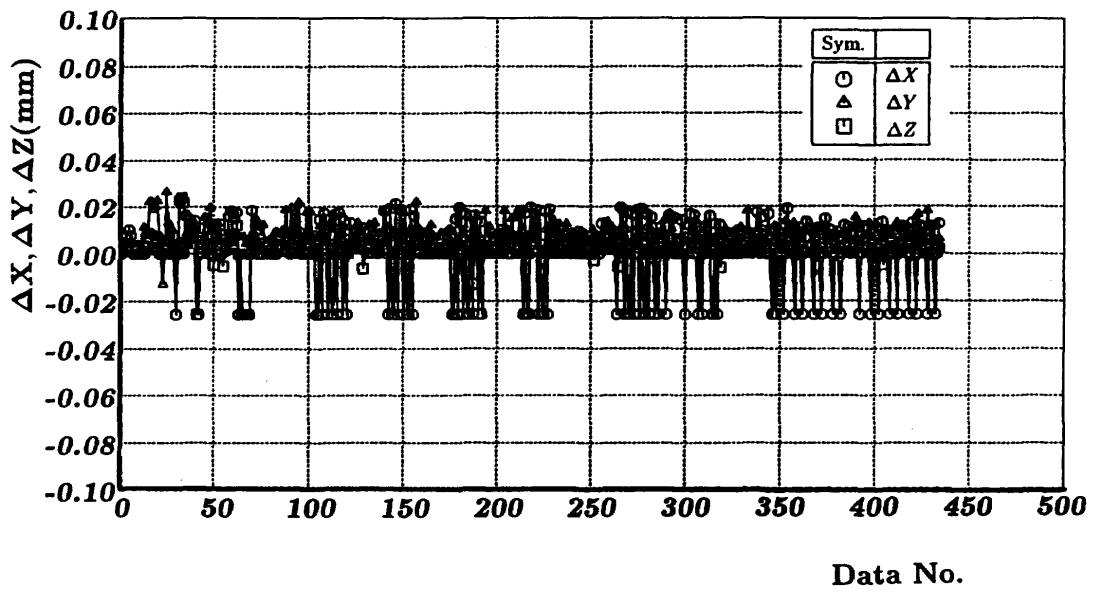


図29 位置制御誤差

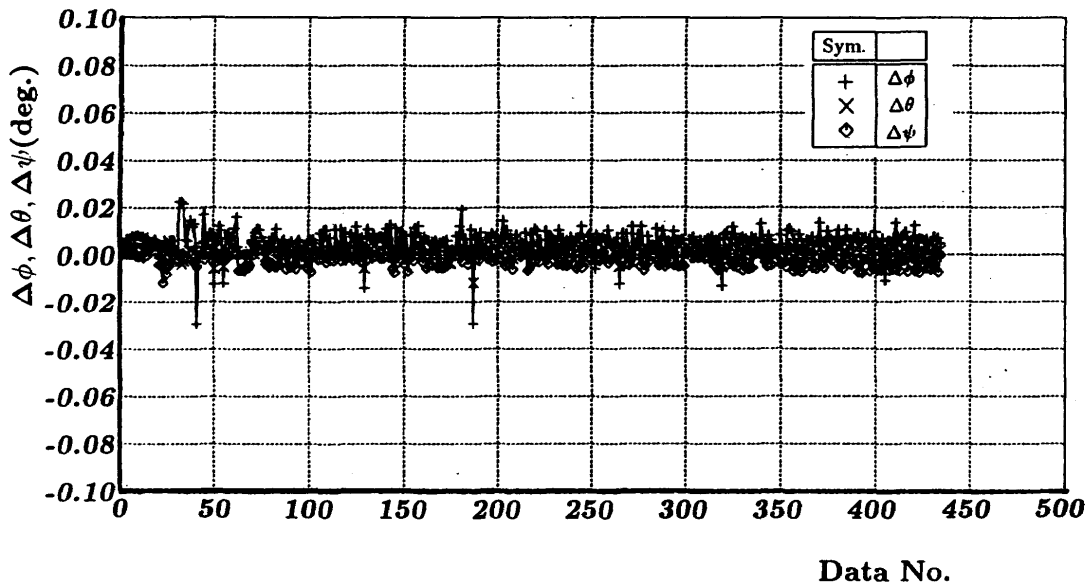


図30 姿勢制御誤差

した。

- (1) 成分荷重( $F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z$ )について84点。
- (2) 二成分複合荷重( $F_x \times F_y$ 等15組)について270点。
- (3) 六成分複合荷重( $F_x \times F_y \times F_z \times M_x \times M_y \times M_z$ )について80点。

荷重点数と試験精度の関係は今後較正作業を通して検討する事とする。調整運転に使った標準負荷プロファイルを付録2に示す。

## 6.2 収集データ

航技研遷音速風洞所有の汎用天秤(LMC6522-50/Z1000S)を使い調整運転を行った。試験室温は20°Cで試験中の温度変化は1°C以内で、湿度は40%RHである。付録2に示した荷重点の較正試験で約40時間の連続自動運転を行った。この時運転法の節で述べた11のデータファイルが作成された。

### 6.2.1 設定負荷と制御負荷出力

システムの動きを見るためにデータファイルの作図結果を示す。設定負荷プロファイルを図23、図24に、この負荷命令の下で制御されたロードセル出力を図25と図26に示す。この結果から荷重設定精度、ロードセル出力は良好であることが分る。このロードセル出力が天秤への入力負荷となる。

### 6.2.2 天秤出力

上記負荷に対応する天秤出力を図27、図28に示す。 $F_x$ 等の天秤出力値の極性の違いは天秤較正装置の座標系と天秤の座標系が異なるためである。

### 6.2.3 位置・姿勢出力

運転中の姿勢制御状況の出力を図29、図30に示す。位置制御に関しては20 $\mu$ m程度の制御誤差が見られる。先に述べたように計算機制御ではマグネスケール位置で10 $\mu$ m以下で制御を収斂したと判断しているが、その後ノイズ対策のため制御用モータ電源を断ってデータ収集する。この際に幾分ブレーキの弛みが発生しやや大きめの誤差を生じたものと考えている。この点については姿勢制御を加えた状態でデータ収集出来るように今後ソフトウェアの変更を行い精度向上の可能性を調べる必要がある。ここでは図2を参考に位置誤差により発生する負

荷分力を推定してみる。天秤中心(キャリボディ中心)とキャリボディの力の作用点の距離は全て0.2m、キャリボディの力の作用点と負荷用モータの位置を0.4m程度とする。この時X方向の復帰位置誤差による $F_z, F_y$ 負荷の角度誤差は0.002度程度となり精度上大きな問題とはならない。天秤の姿勢制御誤差はロール角で0.02°程度、縦揺れの角度誤差0.01°程度、偏揺れ誤差は極めて小さい。ロール角度誤差により、Y方向に最大負荷5,000Nが作用すると $M_x$ への分力は0.35Nm程度と考えられる。

### 6.2.4 ロードセル精度からの誤差検討

ロードセルの精度は容量の0.02%であり、 $F_x, M_x$ 成分は1,000Nの変換器を用い、残りの $F_y, F_z, M_y, M_z$ の四成分は10,000Nを用いている。各成分力を発生させるためのロードセル個数、アーム長を考慮するとロードセル自身の誤差から下記程度の誤差は入る可能性がある。

- (1)  $F_x \leq 0.8N$
- (2)  $F_y \leq 8N$
- (3)  $F_z \leq 8N$
- (4)  $M_x \leq 0.16Nm$
- (5)  $M_y \leq 1.6Nm$
- (6)  $M_z \leq 1.6Nm$

## 7. 天秤較正試験

### 7.1 供試天秤と試験条件設定

LMC6522-50/Z1000Sについて負荷容量を較正装置の負荷容量と比較して表11に示した。天秤の励起電圧は5V一定とし、データ処理に当っては単位励起電圧当りの天秤出力(mV/V)と負荷データ(NおよびNm)との関係を最小二乗法で係数決定した。

### 7.2 天秤特性式

天秤特性を表示する方程式は二次多項式が適当である<sup>(1)</sup>。

$$F_x = C_1 + C_2 F_{xv} + C_3 F_{yv} + C_4 F_{zv} + C_5 M_{xv} + C_6 M_{yv} + C_7 M_{zv} + C_8 F_{xv}^2 + C_9 F_{yv}^2 + C_{10} F_{zv}^2 + C_{11} M_{xv}^2 + C_{12} M_{yv}^2 + C_{13} M_{zv}^2 + F_{xv}(C_{14} F_{yv} + C_{15} F_{zv} + C_{16} M_{xv} + C_{17} M_{yv} + C_{18} M_{zv}) + F_{yv}(C_{19} F_{zv} + C_{20} M_{xv} + C_{21} M_{yv} + C_{22} M_{zv}) + F_{zv}(C_{23} M_{xv}$$

表11 供試天秤の容量

天秤名等	$F_x$	$F_y$	$F_z$	$M_x$	$M_y$	$M_z$
LMC6522-50/Z1000S(N,Nm)	1,000	5,000	10,000	200	800	400
較正装置負荷容量(N,Nm)	2,000	20,000	20,000	400	4,000	4,000



$$+ C_{24}M_{YV} + C_{25}M_{ZV} + M_{XV}(C_{26}M_{YV} + C_{27}M_{ZV}) + C_{28}M_{YV}M_{ZV} \quad (31)$$

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

$$F_Z = C_{57} + C_{58}F_{XV} + C_{59}F_{YV} + C_{60}F_{ZV} + C_{61}M_{XV} + C_{62}M_{YV} + C_{63}M_{ZV} + C_{64}F^2_{XV} + C_{65}F^2_{YV} + C_{66}F^2_{ZV} + C_{67}M^2_{XV} + C_{68}M^2_{YV} + C_{69}M^2_{ZV} + F_{XV}(C_{70}F_{YV} + C_{71}F_{ZV} + C_{72}M_{XV} + C_{73}M_{YV} + C_{74}M_{ZV}) + F_{YV}(C_{75}F_{ZV} + C_{76}M_{XV} + C_{77}M_{YV} + C_{78}M_{ZV}) + F_{ZV}(C_{79}M_{XV} + C_{80}M_{YV} + C_{81}M_{ZV}) + M_{XV}(C_{82}M_{YV} + C_{83}M_{ZV}) + C_{84}M_{YV}M_{ZV} \quad (33)$$

$$M_X = C_{85} + C_{86}F_{XV} + C_{87}F_{YV} + C_{88}F_{ZV} + C_{89}M_{XV} + C_{90}M_{YV} + C_{91}M_{ZV} + C_{92}F^2_{XV} + C_{93}F^2_{YV} + C_{94}F^2_{ZV} + C_{95}M^2_{XV} + C_{96}M^2_{YV} + C_{97}M^2_{ZV} + F_{XV}(C_{98}F_{YV} + C_{99}F_{ZV} + C_{100}M_{XV} + C_{101}M_{YV} + C_{102}M_{ZV}) + F_{YV}(C_{103}F_{ZV} + C_{104}M_{XV} + C_{105}M_{YV} + C_{106}M_{ZV}) + F_{ZV}(C_{107}M_{XV} + C_{108}M_{YV} + C_{109}M_{ZV}) + M_{XV}(C_{110}M_{YV} + C_{111}M_{ZV}) + C_{112}M_{YV}M_{ZV} \quad (34)$$

$$M_Y = C_{113} + C_{114}F_{XV} + C_{115}F_{YV} + C_{116}F_{ZV} + C_{117}M_{XV} + C_{118}M_{YV} + C_{119}M_{ZV} + C_{120}F^2_{XV} + C_{121}F^2_{YV} + C_{122}F^2_{ZV} + C_{123}M^2_{XV} + C_{124}M^2_{YV} + C_{125}M^2_{ZV} + F_{XV}(C_{126}F_{YV} + C_{127}F_{ZV} + C_{128}M_{XV} + C_{129}M_{YV} + C_{130}M_{ZV}) + F_{YV}(C_{131}F_{ZV} + C_{132}M_{XV} + C_{133}M_{YV} + C_{134}M_{ZV}) + F_{ZV}(C_{135}M_{XV} + C_{136}M_{YV} + C_{137}M_{ZV}) + M_{XV}(C_{138}M_{YV} + C_{139}M_{ZV}) + C_{140}M_{YV}M_{ZV} \quad (35)$$

$$M_Z = C_{141} + C_{142}F_{XV} + C_{143}F_{YV} + C_{144}F_{ZV} + C_{145}M_{XV} + C_{146}M_{YV} + C_{147}M_{ZV} + C_{148}F^2_{XV} + C_{149}F^2_{YV} + C_{150}F^2_{ZV} + C_{151}M^2_{XV} + C_{152}M^2_{YV} + C_{153}M^2_{ZV} + F_{XV}(C_{154}F_{YV} + C_{155}F_{ZV} + C_{156}M_{XV} + C_{157}M_{YV} + C_{158}M_{ZV}) + F_{YV}(C_{159}F_{ZV} + C_{160}M_{XV} + C_{161}M_{YV} + C_{162}M_{ZV}) + F_{ZV}(C_{163}M_{XV} + C_{164}M_{YV} + C_{165}M_{ZV}) + M_{XV}(C_{166}M_{YV} + C_{167}M_{ZV}) + C_{168}M_{YV}M_{ZV} \quad (36)$$

調整運転では二次式表示の場合の168項の係数決定を行った。

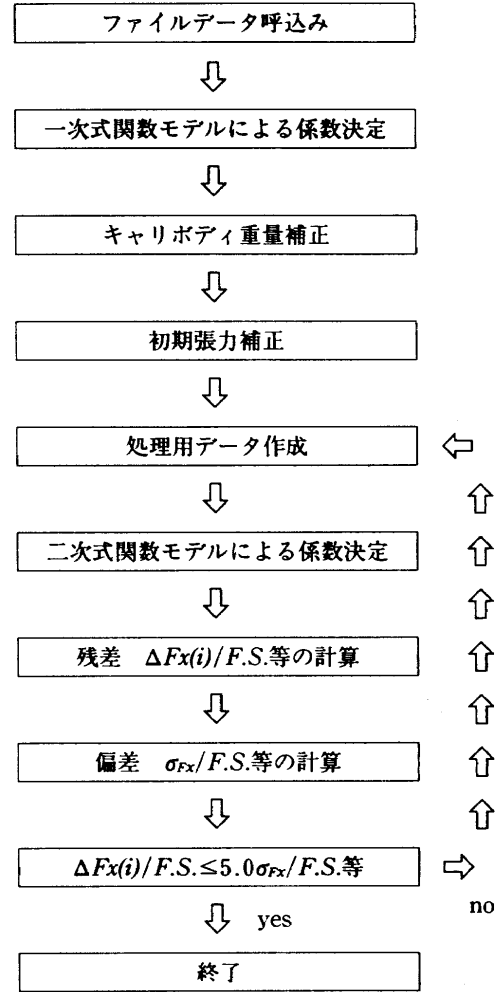


図31 天秤較正係数決定のフロー

## 8. 天秤較正データ処理

### 8.1 較正係数決定アルゴリズムの改善

本装置では運転計測の自動化を取入れ、ノイズ対策にも十分注意したが調整運転結果、最小二乗法で決定した較正曲線と負荷との残差から見ると、天秤出力については完全にノイズを遮断出来たとは言いきれない。これら不具合データ点については明らかに電気ノイズと考えられ、データ処理の過程で修正を加える事にした。係数決定のフローを図31に示す。ノイズデータ修正の基準は全てのデータ点について残差と標準偏差の比較を行い標準偏差の5倍を越すデータ点について電気ノイズと判断し残差が0となるように修正した。図32にノイズを含んだデータの較正結果のうち $F_x$ 成分の残差を示す。3点だけ大きい残差が認められ上記処理で自動的に修正され最終的には図33の結果が得られる。

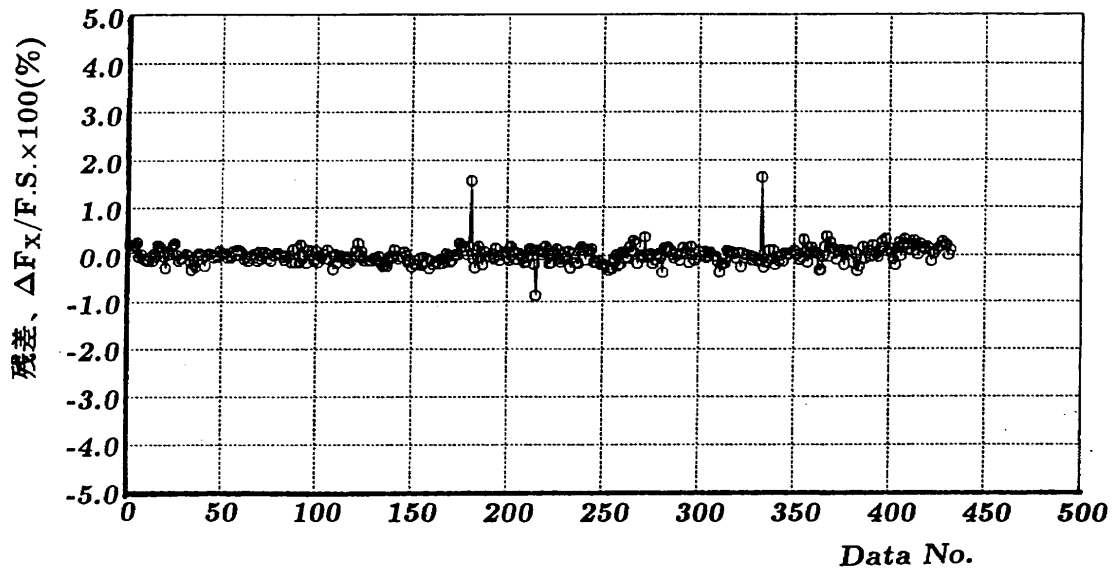


図32  $F_x$ 成分の初期誤差

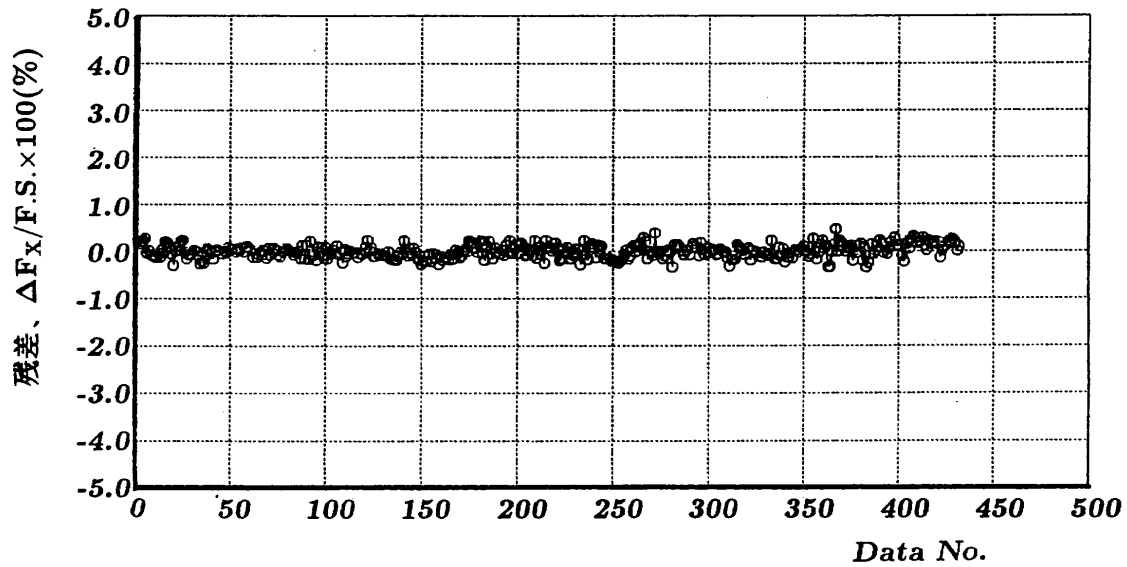


図33  $F_x$ 成分の最終誤差

表12 LMC6522-50/Z1000S天秤の偏差

試験日	$\sigma_{FX}$ (%FS)	$\sigma_{FY}$ (%FS)	$\sigma_{FZ}$ (%FS)	$\sigma_{MX}$ (%FS)	$\sigma_{MY}$ (%FS)	$\sigma_{MZ}$ (%FS)
H70406	0.13	0.10	0.14	0.91	0.20	0.29

### 8.2 偏差

最後に調整運転の段階での二次式関数モデルに対する実験データの標準偏差値を表12に示した。

## 9. 風洞試験結果への適用例

較正試験結果から得られた較正マトリックスを実際の

航技研遷音速風洞試験結果に適用してみる。

### 9.1 風洞試験データ

風洞試験条件を表13に示し、供試模型の概略形状を図34に示した。

### 9.2 座標系の変換等

天秤較正装置の座標系, 天秤の座標系及び航技研遷音速風洞データ処理ソフト上の座標系の向きが統一されていないので試験結果の作図プログラムを走らせる場合座標系の変換を行った。

表13 遷音速風洞試験

模型名	複製オイラー模型
天秤名	LMC6522-50/Z1000S
$\alpha$ -Sweep試験 試験日 Mach数 Re数 $\alpha$	H7.3.29(pm) 0.85 $7.7 \times 10^6$ $-2^\circ \sim 22^\circ$
$\beta$ -Sweep試験 試験日 Mach数 Re数 $\beta$	H7.3.29(pm) 0.85 $7.7 \times 10^6$ $-2^\circ \sim 16^\circ$

翼面積	0.1642m <sup>2</sup>
中心コード	0.600m
スパン	0.476m
基準点	57%中心コード

X座標	Y座標
$X/C \leq 0.4$	$Z/C = 0.1183 \sqrt{X/C} - 0.2101(X/C) + 0.3501(X/C)^2 - 0.3406(X/C)^3$
$0.4 \leq X/C \leq 0.75$	MACA64A005形状
$0.75 \leq X/C \leq 1.0$	後縁まで直線
$X/C = 1$	$Z/C = 0.065mm$ (一定)

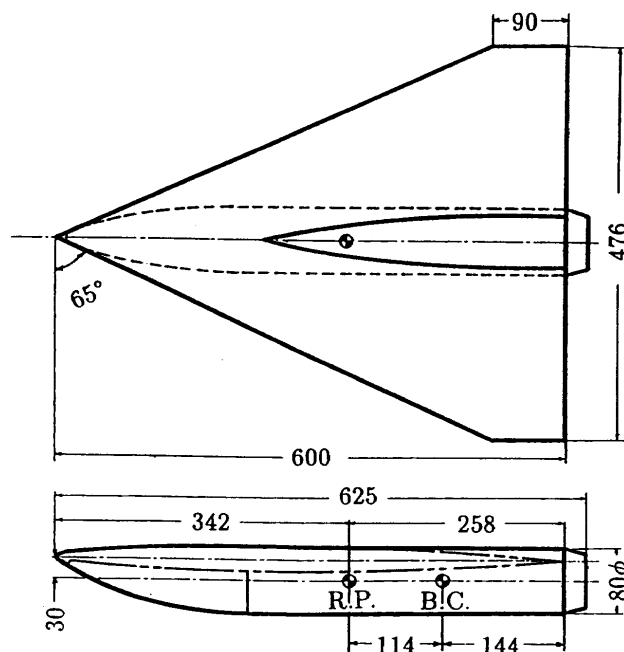


図34 複製オイラー模型

### 9.3 六分力の作図

従来の簡易複合荷重による係数マトリックス(平成5年較正)と本装置で求めた係数マトリックスを使って試験結果の作図を図35~図40に示した。本装置による較正試験は平成7年4月に行ったものであり、4回(4月6日, 11日, 18日, 21日)の較正試験結果から得た4種類の係数マトリックスを使用してみた。○印が従来の係数マトリックスによるもので、他の△□+×4ケースが本装置により求めた係数を適用した結果である。新旧の比較ではCm曲線の大迎角域で幾分相違が見られる。これは較正装置が異なること、従来の実荷重較正では完全な形で複合負荷が加えられなかったこと、天秤較正時期に2年以上違いがあるなどのためと考えている。なお4回の新係数マトリックスを用いた結果は再現性が優れていることが解る。

## 10. まとめと課題

本報告では新しく開発した複合荷重式自動天秤較正装置の構成、運転法、調整運転経過と問題点について述べた。今までの成果をまとめると次の様になる。

### (1) 要素機能

- 任意の複合荷重機能の確認。
- 自動運転機能の確認。
- メニュー方式による運転計測ソフトの主要機能の確認
- 最大負荷能力の確認
- 変位復元機能の確認。
- 二重の天秤保護機能の確認。
- ノイズ対策効果の確認。
- 室温設定値の確認。
- 航技研LANシステムへの結合確認。

### (2) 調整運転結果

- ロードセル出力による負荷の大きさは設定負荷に極めてよく一致している。
- 試験精度の指標として標準偏差でみると  $M_x$  成分に幾分偏差値が大きいことが分かったので今後改善を行う予定である。
- 実際の風洞試験に適用した結果から新係数マトリックスは実用可能と思われる。なお同一天秤を繰返し試験した場合の再現性の詳細検討、負荷プロファイルの最適化、本供試天秤と他の類似した汎用天秤との対応、試験環境温度への依存性等較正試験結果の詳細は改めて報告する予定である。

最後にこの種の天秤較正装置は我が国では初めての試みであり、初号機であるがゆえにハード、ソフトともまだ改善すべき事項は残っている。今後も運転を通してよ

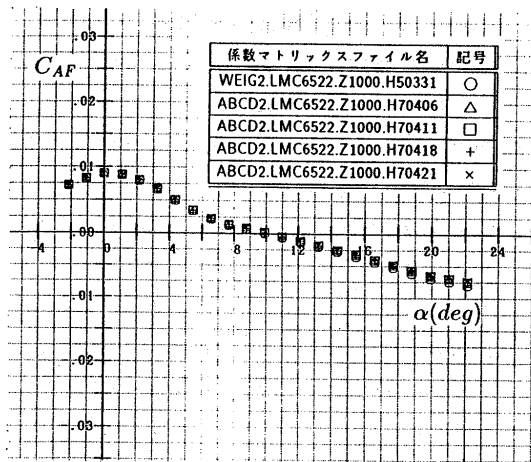


図35  $\alpha$ スイープ試験の $F_x$ 出力

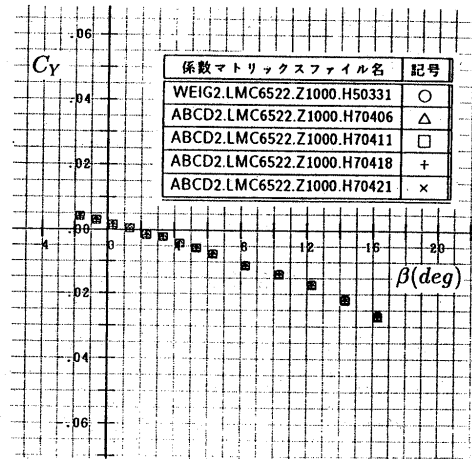


図38  $\beta$ スイープ試験の $F_y$ 出力

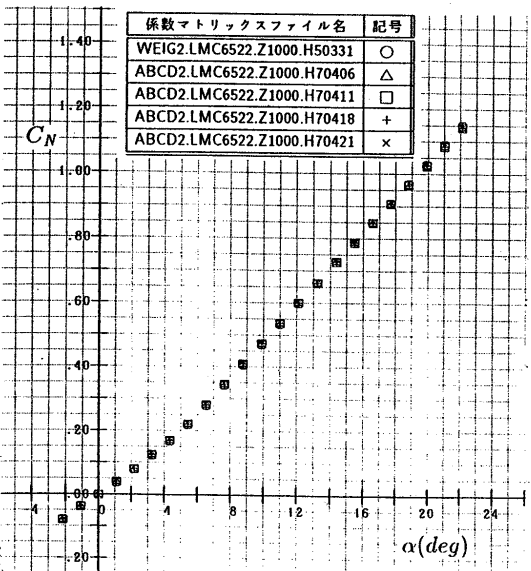


図36  $\alpha$ スイープ試験の $F_z$ 出力

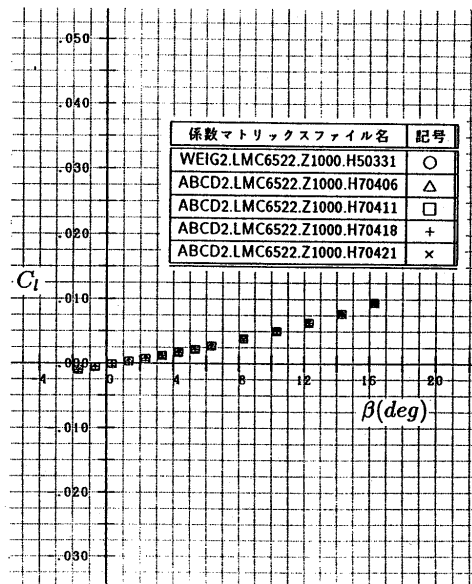


図39  $\beta$ スイープ試験の $M_x$ 出力

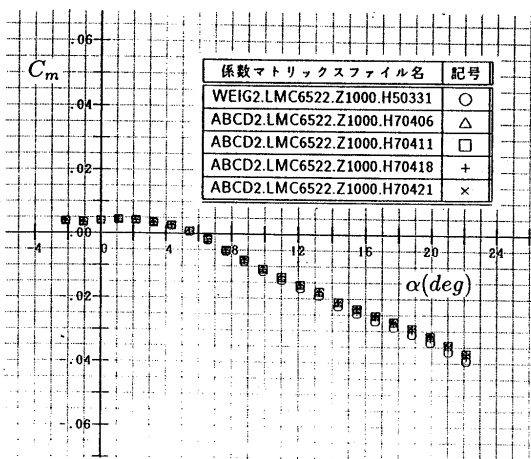


図37  $\alpha$ スイープ試験の $M_y$ 出力

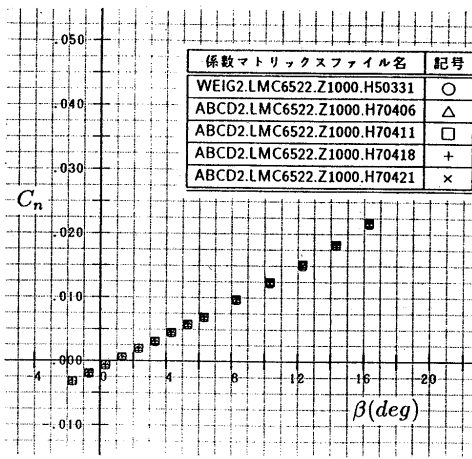


図40  $\beta$ スイープ試験の $M_z$ 出力

り精度の高いものに仕上げて行く予定である。最後に(株)島津製作所試験機工場の松原主任, 三田主任, 衡器工場の木村主任, 島津エスディ(株)の真鍋主任, 大町氏, 島津試験機サービス(株)の技術者など設計, 製作, 据付け, 調整運転の過程で献身的な協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

#### 参考文献

- [1] 河本巖, 鈴木弘一, 中村正剛, 小國保男: 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, 航空宇宙技術研究所資料TM-663, 1994年3月
- [2] 中村正剛, 鈴木弘一, 白井正孝, 小池陽, 藤田敏美: 航技研2m×2m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
- [3] 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
- [4] Estlow, 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

## 付録 1. データファイル構造

## 1.1 励起電圧データファイル

Z5, Z6, Z7, Z8

- ・ 1行目：ファイル名(試験日, 温度, 湿度)
- ・ 2行目：コメント(\*\*\*\*\*.ORA)
- ・ 3行目：天秤名
- ・ 4行目：総ステップ数
- ・ 5行目：天秤容量
- ・ 6行目：ステップ数, 励起電圧データ6 Ch(単位:V)  
N,  $F_{XEV}$ ,  $F_{YEV}$ ,  $F_{ZEV}$ ,  $M_{XEV}$ ,  $M_{YEV}$ ,  $M_{ZEV}$

## 1.2 六分力出力データファイル

- ・ 1行目：ファイル名(試験日, 温度, 湿度)
- ・ 2行目：コメント(\*\*\*\*\*.ORB)
- ・ 3行目：天秤名
- ・ 4行目：総ステップ数
- ・ 5行目：天秤容量
- ・ 6行目：ステップ数, 天秤出力データ6 Ch(単位:mV)  
N,  $F_{XV}$ ,  $F_{YV}$ ,  $F_{ZV}$ ,  $M_{XV}$ ,  $M_{YV}$ ,  $M_{ZV}$

## 1.3 天秤たわみデータファイル

姿勢制御モータ変位出力(姿勢制御量)

- ・ 1行目：ファイル名(試験日, 温度, 湿度)
- ・ 2行目：コメント(\*\*\*\*\*.ORC)
- ・ 3行目：天秤名
- ・ 4行目：総ステップ数
- ・ 5行目：天秤容量
- ・ 6行目：ステップ数, 姿勢データ6 Ch(単位:mm)  
N,  $Xa$ ,  $Ya$ ,  $Yb$ ,  $Za$ ,  $Zb$ ,  $Zc$

## 1.4 初期状態データファイル

天秤にキャリボディのみを装着し天秤較正装置に取付けた後手動で初期状態を設定しマグネスケールをゼロ設定したときのデータ

- ・ 1行目：ファイル名(試験日, 温度, 湿度)
- ・ 2行目：コメント(\*\*\*\*\*.ORD)
- ・ 3行目：天秤名
- ・ 4-5行目：天秤出力6 chと予備2 (単位:mV)  
 $F_{XV}$ ,  $F_{YV}$ ,  $F_{ZV}$ ,  $M_{XV}$ ,  $M_{YV}$ ,  $M_{ZV}$   
予備1, 予備2
- ・ 6-7行目：上に対応した励起電圧6 chと予備2 (単位:V)  
 $F_{XEV}$ ,  $F_{YEV}$ ,  $F_{ZEV}$ ,  $M_{XEV}$ ,  $M_{YEV}$ ,  $M_{ZEV}$   
予備1, 予備2
- ・ 8-10行目：ロードセル出力16ch(単位:V)  
 $X1$ ,  $X2$ ,  $X3$ ,  $X4$ ,  $Y1$ ,  $Y2$   
 $Y3$ ,  $Y4$ ,  $Z1$ ,  $Z2$ ,  $Z3$ ,  $Z4$

## 1.5 マグネスケールデータファイル

姿勢制御終了時のマグネスケール6台の出力

- ・ 1行目：ファイル名(試験日, 温度, 湿度)
- ・ 2行目：コメント(\*\*\*\*\*.ORG)
- ・ 3行目：天秤名
- ・ 4行目：総ステップ数
- ・ 5行目：天秤容量
- ・ 6行目：ステップ数, マグネスケール生データ  
6 Ch(単位:mm)  
N,  $\Delta Xa$ ,  $\Delta Ya$ ,  $\Delta Yb$ ,  $\Delta Za$ ,  $\Delta Zb$ ,  $\Delta Zc$

## 1.6 キャリボディ重量データファイル

キャリボディ重量等を推定する場合の天秤出力。

- ・ 1行目：ファイル名(試験日, 温度, 湿度)
- ・ 2行目：コメント(\*\*\*\*\*.ORJ)
- ・ 3行目：天秤名
- ・ 4行目：正位置天秤自重出力6 cm(mVまたは  
mV/V)
- ・ 5行目：180°回転位置天秤出力6 cm(mVまたは  
mV/V)
- ・ 6行目：上記出力差の1/2(キャリボディ重量に  
相当する天秤出力)
- ・ 7行目：正位置天秤励起電圧6 ch(V)
- ・ 8行目：180°回転位置天秤励起電圧6 ch(V)
- ・ 9行目：励起電源平均値6 ch(V)

## 1.7 六分力設定データファイル

設定荷重点データがストアされたファイルでその並びは次の通りである。

- ・ 1行目：ファイル名(試験日, 温度, 湿度)
- ・ 2行目：コメント(\*\*\*\*\*.ORL)
- ・ 3行目：天秤名
- ・ 4行目：総ステップ数
- ・ 5行目：天秤容量
- ・ 6行目：ステップ数, 設定データ6 Ch(単位:N,  
Nm)  
N,  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$

## 1.8 六分力負荷データファイル

設定負荷に対応するロードセル出力から計算した6分力出力

- ・ 1行目：ファイル名(試験日, 温度, 湿度)
- ・ 2行目：コメント(\*\*\*\*\*.ORM)

- ・ 3行目：天秤名
- ・ 4行目：総ステップ数
- ・ 5行目：天秤容量
- ・ 6行目：ステップ数，ロードセルデータ6Ch  
(単位：N,Nm)  
N,  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$

### 1.9 姿勢累積データファイル

4分割姿勢制御時の変位量・変位角データの累積加算値

- ・ 1行目：ファイル名(試験日, 温度, 湿度)
- ・ 2行目：コメント(\*\*\*\*\*.ORP)
- ・ 3行目：天秤名
- ・ 4行目：総ステップ数
- ・ 5行目：天秤容量
- ・ 6行目：ステップ数，変位量・変位角データ6Ch  
(単位：mm, deg)  
N,  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ,  $\Delta \phi$ ,  $\Delta \theta$ ,  $\Delta \psi$

### 1.10 ロードセルデータファイル

姿勢制御終了時の16台のロードセル出力データ

- ・ 1行目：ファイル名(試験日, 温度, 湿度)
- ・ 2行目：コメント(\*\*\*\*\*.ORS)
- ・ 3行目：天秤名
- ・ 4行目：総ステップ数
- ・ 5行目：天秤容量
- ・ 6行目：ステップ数，ロードセル生データ16Ch  
(単位：N)  
N1,  $F_{x1}$ ,  $F_{x2}$ ,  $F_{x3}$ ,  $F_{x4}$ ,  $F_{y1}$ ,  $F_{y2}$ ,  $F_{y3}$ ,  $F_{y4}$   
N2,  $F_{z1}$ ,  $F_{z2}$ ,  $F_{z3}$ ,  $F_{z4}$ ,  $F_{z5}$ ,  $F_{z6}$ ,  $F_{z7}$ ,  $F_{z8}$

### 1.11 熱電対データファイル

- ・ 1行目：ファイル名(試験日, 温度, 湿度)
- ・ 2行目：コメント(\*\*\*\*\*.ORT)
- ・ 3行目：天秤名
- ・ 4行目：総ステップ数
- ・ 5行目：天秤容量
- ・ 6行目：ステップ数，熱電対データ6Ch(単位:°K)  
N,  $T_{e1}$ ,  $T_{e2}$ ,  $T_{e3}$ ,  $T_{e4}$ ,  $T_{e5}$ ,  $T_{e6}$

## 付録 2. 調整運転中の標準負荷プロフィール

## 2.1 成分負荷

No.	$F_x(N)$ $\pm 1000$	$F_y(N)$ $\pm 5000$	$F_z(N)$ $\pm 10000$	$M_x(Nm)$ $\pm 200$	$M_y(Nm)$ $\pm 800$	$M_z(Nm)$ $\pm 400$
1	0	0	0	0	0	0
2	200	0	0	0	0	0
3	400	0	0	0	0	0
4	600	0	0	0	0	0
5	800	0	0	0	0	0
6	1000	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	-200	0	0	0	0	0
10	-400	0	0	0	0	0
11	-600	0	0	0	0	0
12	-800	0	0	0	0	0
13	-1000	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0

No.	$F_x(N)$ $\pm 1000$	$F_y(N)$ $\pm 5000$	$F_z(N)$ $\pm 10000$	$M_x(Nm)$ $\pm 200$	$M_y(Nm)$ $\pm 800$	$M_z(Nm)$ $\pm 400$
15	0	0	0	0	0	0
16	0	1000	0	0	0	0
17	0	2000	0	0	0	0
18	0	3000	0	0	0	0
19	0	4000	0	0	0	0
20	0	5000	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	-1000	0	0	0	0
24	0	-2000	0	0	0	0
25	0	-3000	0	0	0	0
26	0	-4000	0	0	0	0
27	0	-5000	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0



No.	$F_x(N)$ $\pm 1000$	$F_y(N)$ $\pm 5000$	$F_z(N)$ $\pm 10000$	$M_x(Nm)$ $\pm 200$	$M_y(Nm)$ $\pm 800$	$M_z(Nm)$ $\pm 400$
29	0	0	0	0	0	0
30	0	0	2000	0	0	0
31	0	0	4000	0	0	0
32	0	0	6000	0	0	0
33	0	0	8000	0	0	0
34	0	0	10000	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0
37	0	0	-2000	0	0	0
38	0	0	-4000	0	0	0
39	0	0	-6000	0	0	0
40	0	0	-8000	0	0	0
41	0	0	-10000	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0

No.	$F_x(N)$ $\pm 1000$	$F_y(N)$ $\pm 5000$	$F_z(N)$ $\pm 10000$	$M_x(Nm)$ $\pm 200$	$M_y(Nm)$ $\pm 800$	$M_z(Nm)$ $\pm 400$
43	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	40	0	0
45	0	0	0	80	0	0
46	0	0	0	120	0	0
47	0	0	0	160	0	0
48	0	0	0	200	0	0
49	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0
51	0	0	0	-40	0	0
52	0	0	0	-80	0	0
53	0	0	0	-120	0	0
54	0	0	0	-160	0	0
55	0	0	0	-200	0	0
56	0	0	0	0	0	0

No.	$F_x(N)$ $\pm 1000$	$F_y(N)$ $\pm 5000$	$F_z(N)$ $\pm 10000$	$M_x(Nm)$ $\pm 200$	$M_y(Nm)$ $\pm 800$	$M_z(Nm)$ $\pm 400$
57	0	0	0	0	0	0
58	0	0	0	0	160	0
59	0	0	0	0	320	0
60	0	0	0	0	480	0
61	0	0	0	0	640	0
62	0	0	0	0	800	0
63	0	0	0	0	0	0
64	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0	0	-160	0
66	0	0	0	0	-320	0
67	0	0	0	0	-480	0
68	0	0	0	0	-640	0
69	0	0	0	0	-800	0
70	0	0	0	0	0	0

No.	$F_x(N)$ $\pm 1000$	$F_y(N)$ $\pm 5000$	$F_z(N)$ $\pm 10000$	$M_x(Nm)$ $\pm 200$	$M_y(Nm)$ $\pm 800$	$M_z(Nm)$ $\pm 400$
71	0	0	0	0	0	0
72	0	0	0	0	0	80
73	0	0	0	0	0	160
74	0	0	0	0	0	240
75	0	0	0	0	0	320
76	0	0	0	0	0	400
77	0	0	0	0	0	0
78	0	0	0	0	0	0
79	0	0	0	0	0	-80
80	0	0	0	0	0	-160
81	0	0	0	0	0	-240
82	0	0	0	0	0	-320
83	0	0	0	0	0	-400
84	0	0	0	0	0	0

## 2.2 二分力複合荷重

No.	$F_x(N)$ $\pm 1000$	$F_y(N)$ $\pm 5000$	$F_z(N)$ $\pm 10000$	$M_x(Nm)$ $\pm 200$	$M_y(Nm)$ $\pm 800$	$M_z(Nm)$ $\pm 400$
85	0	0	0	0	0	0
86	400	2000	0	0	0	0
87	400	4000	0	0	0	0
88	800	2000	0	0	0	0
89	800	4000	0	0	0	0
90	400	-2000	0	0	0	0
91	400	-4000	0	0	0	0
92	800	-2000	0	0	0	0
93	800	-4000	0	0	0	0
94	-400	2000	0	0	0	0
95	-400	4000	0	0	0	0
96	-800	2000	0	0	0	0
97	-800	4000	0	0	0	0
98	-400	-2000	0	0	0	0
99	-400	-4000	0	0	0	0
100	-800	-2000	0	0	0	0
101	-800	-4000	0	0	0	0
102	0	0	0	0	0	0
103	0	0	0	0	0	0
104	400	0	4000	0	0	0
105	400	0	8000	0	0	0
106	800	0	4000	0	0	0
107	800	0	8000	0	0	0
108	400	0	-4000	0	0	0
109	400	0	-8000	0	0	0
110	800	0	-4000	0	0	0
111	800	0	-8000	0	0	0
112	-400	0	4000	0	0	0
113	-400	0	8000	0	0	0
114	-800	0	4000	0	0	0
115	-800	0	8000	0	0	0
116	-400	0	-4000	0	0	0
117	-400	0	-8000	0	0	0
118	-800	0	-4000	0	0	0
119	-800	0	-8000	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0

No.	$F_x(N)$ ±1000	$F_y(N)$ ±5000	$F_z(N)$ ±10000	$M_x(Nm)$ ±200	$M_y(Nm)$ ±800	$M_z(Nm)$ ±400
121	0	0	0	0	0	0
122	400	0	0	80	0	0
123	400	0	0	160	0	0
124	800	0	0	80	0	0
125	800	0	0	160	0	0
126	400	0	0	-80	0	0
127	400	0	0	-160	0	0
128	800	0	0	-80	0	0
129	800	0	0	-160	0	0
130	-400	0	0	80	0	0
131	-400	0	0	160	0	0
132	-800	0	0	80	0	0
133	-800	0	0	160	0	0
134	-400	0	0	-80	0	0
135	-400	0	0	-160	0	0
136	-800	0	0	-80	0	0
137	-800	0	0	-160	0	0
138	0	0	0	0	0	0
139	0	0	0	0	0	0
140	400	0	0	0	320	0
141	400	0	0	0	640	0
142	800	0	0	0	320	0
143	800	0	0	0	640	0
144	400	0	0	0	-320	0
145	400	0	0	0	-640	0
146	800	0	0	0	-320	0
147	800	0	0	0	-640	0
148	-400	0	0	0	320	0
149	-400	0	0	0	640	0
150	-800	0	0	0	320	0
151	-800	0	0	0	640	0
152	-400	0	0	0	-320	0
153	-400	0	0	0	-640	0
154	-800	0	0	0	-320	0
155	-800	0	0	0	-640	0
156	0	0	0	0	0	0

No.	$F_x(N)$ $\pm 1000$	$F_y(N)$ $\pm 5000$	$F_z(N)$ $\pm 10000$	$M_x(Nm)$ $\pm 200$	$M_y(Nm)$ $\pm 800$	$M_z(Nm)$ $\pm 400$
157	0	0	0	0	0	0
158	400	0	0	0	0	160
159	400	0	0	0	0	320
160	800	0	0	0	0	160
161	800	0	0	0	0	320
162	400	0	0	0	0	-160
163	400	0	0	0	0	-320
164	800	0	0	0	0	-160
165	800	0	0	0	0	-320
166	-400	0	0	0	0	160
167	-400	0	0	0	0	320
168	-800	0	0	0	0	160
169	-800	0	0	0	0	320
170	-400	0	0	0	0	-160
171	-400	0	0	0	0	-320
172	-800	0	0	0	0	-160
173	-800	0	0	0	0	-320
174	0	0	0	0	0	0
175	0	0	0	0	0	0
176	0	2000	4000	0	0	0
177	0	2000	8000	0	0	0
178	0	4000	4000	0	0	0
179	0	4000	8000	0	0	0
180	0	2000	-4000	0	0	0
181	0	2000	-8000	0	0	0
182	0	4000	-4000	0	0	0
183	0	4000	-8000	0	0	0
184	0	-2000	4000	0	0	0
185	0	-2000	8000	0	0	0
186	0	-4000	4000	0	0	0
187	0	-4000	8000	0	0	0
188	0	-2000	-4000	0	0	0
189	0	-2000	-8000	0	0	0
190	0	-4000	-4000	0	0	0
191	0	-4000	-8000	0	0	0
192	0	0	0	0	0	0

No.	$F_x(N)$ $\pm 1000$	$F_y(N)$ $\pm 5000$	$F_z(N)$ $\pm 10000$	$M_x(Nm)$ $\pm 200$	$M_y(Nm)$ $\pm 800$	$M_z(Nm)$ $\pm 400$
193	0	0	0	0	0	0
194	0	2000	0	80	0	0
195	0	2000	0	160	0	0
196	0	4000	0	80	0	0
197	0	4000	0	160	0	0
198	0	2000	0	-80	0	0
199	0	2000	0	-160	0	0
200	0	4000	0	-80	0	0
201	0	4000	0	-160	0	0
202	0	-2000	0	80	0	0
203	0	-2000	0	160	0	0
204	0	-4000	0	80	0	0
205	0	-4000	0	160	0	0
206	0	-2000	0	-80	0	0
207	0	-2000	0	-160	0	0
208	0	-4000	0	-80	0	0
209	0	-4000	0	-160	0	0
210	0	0	0	0	0	0
211	0	0	0	0	0	0
212	0	2000	0	0	320	0
213	0	2000	0	0	640	0
214	0	4000	0	0	320	0
215	0	4000	0	0	640	0
216	0	2000	0	0	-320	0
217	0	2000	0	0	-640	0
218	0	4000	0	0	-320	0
219	0	4000	0	0	-640	0
220	0	-2000	0	0	320	0
221	0	-2000	0	0	640	0
222	0	-4000	0	0	320	0
223	0	-4000	0	0	640	0
224	0	-2000	0	0	-320	0
225	0	-2000	0	0	-640	0
226	0	-4000	0	0	-320	0
227	0	-4000	0	0	-640	0
228	0	0	0	0	0	0

No.	$F_x(N)$ $\pm 1000$	$F_y(N)$ $\pm 5000$	$F_z(N)$ $\pm 10000$	$M_x(Nm)$ $\pm 200$	$M_y(Nm)$ $\pm 800$	$M_z(Nm)$ $\pm 400$
229	0	0	0	0	0	0
230	0	2000	0	0	0	160
231	0	2000	0	0	0	320
232	0	4000	0	0	0	160
233	0	4000	0	0	0	320
234	0	2000	0	0	0	-160
235	0	2000	0	0	0	-320
236	0	4000	0	0	0	-160
237	0	4000	0	0	0	-320
238	0	-2000	0	0	0	160
239	0	-2000	0	0	0	320
240	0	-4000	0	0	0	160
241	0	-4000	0	0	0	320
242	0	-2000	0	0	0	-160
243	0	-2000	0	0	0	-320
244	0	-4000	0	0	0	-160
245	0	-4000	0	0	0	-320
246	0	0	0	0	0	0
247	0	0	0	0	0	0
248	0	0	4000	80	0	0
249	0	0	4000	160	0	0
250	0	0	8000	80	0	0
251	0	0	8000	160	0	0
252	0	0	4000	-80	0	0
253	0	0	4000	-160	0	0
254	0	0	8000	-80	0	0
255	0	0	8000	-160	0	0
256	0	0	-4000	80	0	0
257	0	0	-4000	160	0	0
258	0	0	-8000	80	0	0
259	0	0	-8000	160	0	0
260	0	0	-4000	-80	0	0
261	0	0	-4000	-160	0	0
262	0	0	-8000	-80	0	0
263	0	0	-8000	-160	0	0
264	0	0	0	0	0	0

No.	$F_x(N)$ ±1000	$F_y(N)$ ±5000	$F_z(N)$ ±10000	$M_x(Nm)$ ±200	$M_y(Nm)$ ±800	$M_z(Nm)$ ±400
265	0	0	0	0	0	0
266	0	0	4000	0	320	0
267	0	0	4000	0	640	0
268	0	0	8000	0	320	0
269	0	0	8000	0	640	0
270	0	0	4000	0	-320	0
271	0	0	4000	00	-640	0
272	0	0	8000	0	-320	0
273	0	0	8000	0	-640	0
274	0	0	-4000	0	320	0
275	0	0	-4000	0	640	0
276	0	0	-8000	0	320	0
277	0	0	-8000	0	640	0
278	0	0	-4000	0	-320	0
279	0	0	-4000	0	-640	0
280	0	0	-8000	0	-320	0
281	0	0	-8000	0	-640	0
282	0	0	0	0	0	0
283	0	0	0	0	0	0
284	0	0	4000	0	0	160
285	0	0	4000	0	0	320
286	0	0	8000	0	0	160
287	0	0	8000	0	0	320
288	0	0	4000	0	0	-160
289	0	0	4000	0	0	-320
290	0	0	8000	0	0	-160
291	0	0	8000	0	0	-320
292	0	0	-4000	0	0	160
293	0	0	-4000	0	0	320
294	0	0	-8000	0	0	160
295	0	0	-8000	0	0	320
296	0	0	-4000	0	0	-160
297	0	0	-4000	0	0	-320
298	0	0	-8000	0	0	-160
299	0	0	-8000	0	0	-320
300	0	0	0	0	0	0



No.	$F_x(N)$ $\pm 1000$	$F_y(N)$ $\pm 5000$	$F_z(N)$ $\pm 10000$	$M_x(Nm)$ $\pm 200$	$M_y(Nm)$ $\pm 800$	$M_z(Nm)$ $\pm 400$
301	0	0	0	0	0	0
302	0	0	0	80	320	0
303	0	0	0	80	640	0
304	0	0	0	160	320	0
305	0	0	0	160	640	0
306	0	0	0	80	-320	0
307	0	0	0	80	-640	0
308	0	0	0	160	-320	0
309	0	0	0	160	-640	0
310	0	0	0	-80	320	0
311	0	0	0	-80	640	0
312	0	0	0	-160	320	0
313	0	0	0	-160	640	0
314	0	0	0	-80	-320	0
315	0	0	0	-80	-640	0
316	0	0	0	-160	-320	0
317	0	0	0	-160	-640	0
318	0	0	0	0	0	0
319	0	0	0	0	0	0
320	0	0	0	80	0	160
321	0	0	0	80	0	320
322	0	0	0	160	0	160
323	0	0	0	160	0	320
324	0	0	0	80	0	-160
325	0	0	0	80	0	-320
326	0	0	0	160	0	-160
327	0	0	0	160	0	-320
328	0	0	0	-80	0	160
329	0	0	0	-80	0	320
330	0	0	0	-160	0	160
331	0	0	0	-160	0	320
332	0	0	0	-80	0	-160
333	0	0	0	-80	0	-320
334	0	0	0	-160	0	-160
335	0	0	0	-160	0	-320
336	0	0	0	0	0	0

No.	$F_x(N)$ ±1000	$F_y(N)$ ±5000	$F_z(N)$ ±10000	$M_x(Nm)$ ±200	$M_y(Nm)$ ±800	$M_z(Nm)$ ±400
337	0	0	0	0	0	0
338	0	0	0	0	320	160
339	0	0	0	0	320	320
340	0	0	0	0	640	160
341	0	0	0	0	640	320
342	0	0	0	0	320	-160
343	0	0	0	0	320	-320
344	0	0	0	0	640	-160
345	0	0	0	0	640	-320
346	0	0	0	0	-320	160
347	0	0	0	0	-320	320
348	0	0	0	0	-640	160
349	0	0	0	0	-640	320
350	0	0	0	0	-320	-160
351	0	0	0	0	-320	-320
352	0	0	0	0	-640	-160
353	0	0	0	0	-640	-320
354	0	0	0	0	0	0

## 2.3 六分力複合荷重

No.	$F_x(N)$ $\pm 1000$	$F_y(N)$ $\pm 5000$	$F_z(N)$ $\pm 10000$	$M_x(Nm)$ $\pm 200$	$M_y(Nm)$ $\pm 800$	$M_z(Nm)$ $\pm 400$
355	0	0	0	0	0	0
356	500	2500	5000	100	400	-200
357	500	2500	5000	-100	400	-200
358	500	2500	5000	100	-400	200
359	500	2500	5000	-100	-400	200
360	500	2500	5000	100	400	200
361	500	2500	5000	-100	400	200
362	500	2500	5000	100	-400	-200
363	500	2500	5000	-100	-400	-200
364	0	0	0	0	0	0
365	0	0	0	0	0	0
366	-500	2500	5000	100	400	-200
367	-500	2500	5000	-100	400	-200
368	-500	2500	5000	100	-400	200
369	-500	2500	5000	-100	-400	200
370	-500	2500	5000	100	400	200
371	-500	2500	5000	-100	400	200
372	-500	2500	5000	100	-400	-200
373	-500	2500	5000	-100	-400	-200
374	0	0	0	0	0	0
375	0	0	0	0	0	0
376	500	-2500	-5000	100	400	-200
377	500	-2500	-5000	-100	400	-200
378	500	-2500	-5000	100	-400	200
379	500	-2500	-5000	-100	-400	200
380	500	-2500	-5000	100	400	200
381	500	-2500	-5000	-100	400	200
382	500	-2500	-5000	100	-400	-200
383	500	-2500	-5000	-100	-400	-200
384	0	0	0	0	0	0

No.	$F_x(N)$ $\pm 1000$	$F_y(N)$ $\pm 5000$	$F_z(N)$ $\pm 10000$	$M_x(Nm)$ $\pm 200$	$M_y(Nm)$ $\pm 800$	$M_z(Nm)$ $\pm 400$
385	0	0	0	0	0	0
386	-500	-2500	-5000	100	400	-200
387	-500	-2500	-5000	-100	400	-200
388	-500	-2500	-5000	100	-400	200
389	-500	-2500	-5000	-100	-400	200
390	-500	-2500	-5000	100	400	200
391	-500	-2500	-5000	-100	400	200
392	-500	-2500	-5000	100	-400	-200
393	-500	-2500	-5000	-100	-400	-200
394	0	0	0	0	0	0
395	0	0	0	0	0	0
396	500	2500	-5000	100	400	200
397	500	2500	-5000	-100	400	200
398	500	2500	-5000	100	-400	-200
399	500	2500	-5000	-100	-400	-200
400	500	2500	-5000	100	400	-200
401	500	2500	-5000	-100	400	-200
402	500	2500	-5000	100	-400	200
403	500	2500	-5000	-100	-400	200
404	0	0	0	0	0	0
405	0	0	0	0	0	0
406	-500	2500	-5000	100	400	200
407	-500	2500	-5000	-100	400	200
408	-500	2500	-5000	100	-400	-200
409	-500	2500	-5000	-100	-400	-200
410	-500	2500	-5000	100	400	-200
411	-500	2500	-5000	-100	400	-200
412	-500	2500	-5000	100	-400	200
413	-500	2500	-5000	-100	-400	200
414	0	0	0	0	0	0

No.	$F_x(N)$ $\pm 1000$	$F_y(N)$ $\pm 5000$	$F_z(N)$ $\pm 10000$	$M_x(Nm)$ $\pm 200$	$M_y(Nm)$ $\pm 800$	$M_z(Nm)$ $\pm 400$
415	0	0	0	0	0	0
416	500	-2500	5000	100	400	200
417	500	-2500	5000	-100	400	200
418	500	-2500	5000	100	-400	-200
419	500	-2500	5000	-100	-400	-200
420	500	-2500	5000	100	400	-200
421	500	-2500	5000	-100	400	-200
422	500	-2500	5000	100	-400	200
423	500	-2500	5000	-100	-400	200
424	0	0	0	0	0	0
425	0	0	0	0	0	0
426	-500	-2500	5000	100	400	200
427	-500	-2500	5000	-100	400	200
428	-500	-2500	5000	100	-400	-200
429	-500	-2500	5000	-100	-400	-200
430	-500	-2500	5000	100	400	-200
431	-500	-2500	5000	-100	400	-200
432	-500	-2500	5000	100	-400	200
433	-500	-2500	5000	-100	-400	200
434	0	0	0	0	0	0

## 既 刊 資 料

TM-680	2m×2m遷音速風洞測定胴改修, その2 可変ノズル装置の改修について Renewing of the Test Section of the NAL 2m×2m Transonic Wind Tunnel Part 2. Renewal of the Variable Nozzle and Control system	1995年 4 月	細江 信幸, 鈴木 弘一 小池 陽, 河本 巖 海老原正夫
TM-681	光学式 3 次元位置測定装置による風洞内動的模型の位置測定 Position Measurement of Dynamic Model in Low Speed Wind Tunnel by Optical Position Measuring System	1995年 4 月	野中 修, 鈴木 誠三
TM-682	CAD設計によるUSB-STOL機半裁模型のエンジン後流測定 -排気流偏向特性に対するエンジン間隔の影響- Measurements of Engine Exhaust Flow in USB-STOL Semi-span Aircraft Model by CAD -Influence of Space between Engines on Turning Characteristics of Engine Exhaust Flow-	1995年 4 月	藤枝 郭俊, 藤田 敏美 岩崎 昭人, 高橋 暉 奥山 政広 伴
TM-683	動的変位計測装置と振動予備実験 Preliminary Vibration Tests Using the Dynamic Displacement Measurement System	1995年 5 月	外崎 得雄, 上田 哲彦
TM-684	ヘリコプタパイロットの視覚情報取得に関する飛行実験 A Field Study on Visual Cues of Helicopter Pilots	1995年 7 月	川原 弘靖, 若色 薫 船引 浩平, 田中 敬司 渡辺 顯
TM-685	風洞実験による高層ビル周辺の風の測定 -消火ヘリコプタの安全基準に関する基礎実験- Wind Tunnel Test of the Turbulent Wind around a High-Rise Building -Basic experiment to establish the safety criteria of a fire helicopter-	1995年 8 月	奥野 善則, 赤松 重樹 齊藤 茂, 原田 正志
TM-686	流れの可視化用小型回路水槽 Circulating Water Channel for Flow Visualization	1995年 8 月	進藤 重美, 柳 良二 三村富嗣雄, 坂田 公夫
TM-687	立体画像入出力システムの試作および機能試験 A Prototype 3-D Image Input/Output System and Its Functional Tests	1995年 9 月	本間 幸造, 山本 浩通 中 正夫
TM-688	高高度無人機の飛行シミュレーションプログラム Flight Simulation Program for High Altitude Long Endurance Unmanned Vehicle	1995年11月	鈴木 広一, 外立 政隆
TM-689	HOPE風洞試験データベースについて(その2) Data Base for HOPE Wind Tunnel Tests (Part 2)	1995年11月	伊藤 忠, 穂積 弘一 吉沢 昭, 河本 巖 石塚 只夫

---

## 航空宇宙技術研究所資料690号

平成 8 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 実 業 公 報 社  
 東京都千代田区九段北 1 - 7 - 8

---