

No.4

航技研 1m×1m 超音速風洞データ処理設備の更新

○浜本 滋、楯 篤志、原 亘利（航技研）

Renewal of the Data Processing Equipment of the NAL 1m×1m
Supersonic Wind TunnelShigeru HAMAMOTO, Atsushi TATE,
Nobutoshi HARA (NAL)*Key Words: Wind Tunnel Instrumentation, Renewal*

Abstract

The new data processing equipment of the NAL 1m × 1m Supersonic Wind Tunnel has been in operation since March 1997. It consists of two workstations and several VXI cards carrying out data I/O, all produced by HP (Hewlett Packard). This paper presents an outline of the new equipment as well as the whole wind tunnel instrumentation including data processing procedure.

1. はじめに

航技研 1m×1m 超音速風洞は超音速領域の開発風洞としては国内最大の間欠吹き出し式風洞で、宇宙往還機、超音速輸送機、超音速インテーク等の開発試験が年間 5～600 ブロー行われている。また、開発試験の合間を縫って空力現象の解明等に関わる基礎試験も行われている。このような大型試験設備の運営においては、その運転制御とともに試験データの計測および処理を効率的に行う設備の充実が重要である。近年の計算機の発達と計測技術の向上にともない、より高速な、より高精度な計測が風洞に期待されている。

航技研ではこれまで、大型試験設備に付随するデータ処理用計算機を計算センター（数理解析部）が一括して借入れ、管理する体制をとってきている。計算機の借入れ期間はおおむね7年間とし、その期限ごとに設備の更新を行って来た。平成8年度末（平成9年2月末）が前代の計算機（日本データゼネラル製 MV-7800）の借入れ期限となっており、同時に新規の計算機の借入れを開始した。

前代の計算機を使用していた7年間における

計算機の発達はめざましく、特に処理スピードの向上と記憶容量の増大（容量単価の減少）は飛躍的であった。またユーザインタフェースの向上は特筆すべきものがある。前代の計算機がキャラクタ端末の使用を標準としたコマンド主体の環境であったのに対し、新規の計算機ではGUI(Graphical User Interface)によるマウス操作を基本とする環境が実現されている。とはいえ、ユーザインタフェースの向上が計算機自体の操作性を向上させる一方で、風洞計測として期待される各種の処理作業が必ずしも GUI 環境にマッチしたものではない場合も多く、また GUI 環境に基づいたプログラム開発も新たに必要になることから、実際に新規の計算機が GUI 環境をベースとしたデータ処理設備として完成した形となるまでには多大な時間を要するようである。

以下、新データ処理設備の概要について説明し、あわせて超音速風洞の計測設備全体およびデータ処理についてその概要を述べる。

2. 新データ処理設備の概要

2. 1 設備の構成

超音速風洞のデータ処理設備はデータ収集、

データ処理を行うワークステーション（以下「WS」と記述する）、プリンタ等の出力機器を含むその周辺機器、そして計測前置装置（シグナルコンディショナ群、デジタル計測機器）からの信号を入力するための I/O 装置により構成される。図 1 にデータ処理設備のハードウェア構成図を示す。

通風試験時に計測目標となる諸量はアナログセンサーにより計測され、シグナルコンディショナにより適切な電圧信号に変換される。また、一部の信号はセンサー固有のデジタル計測装置（計測ユニット）により計測され、デジタル信号が出力される。これらのシグナルコンディショナやデジタル計測装置は計測前置装置（3.2 で説明）に含まれ、今回の更新の対象にはなっていない。I/O 装置は計測前置装置とデータ処理計算機の仲介をして、電圧信号やデジタルデータを計算機の記憶装置に取り込む。計算機に取り込まれた信号は物理量変換、係数変換など各種のデータ処理を経て適切な形で出力される。

超音速風洞ではデータ処理設備をデータ収集用 WS および I/O 装置を含む「データ収集部」とデータ処理用 WS を中心とする「データ処理部」に便宜上区分している。「データ収集部」および「データ処理部」のハードウェアの詳細をそれぞれ 2.2、2.3 に紹介する。

2.2 データ収集部

(1) データ収集用 WS

データ収集用 WS は HP9000 ワークステーション・モデル 715/100 で、メモリ容量 128MByte、内蔵ハードディスク容量 2GByte である。補助記憶装置として 1.44MByte フロッピディスクドライブ(3.5")、CD-ROM ドライブ、DDS/DAT ドライブおよび MO ディスクドライブ(3.5")を装備している。また、標準のインターフェイス群（LAN=イーサネット、SCSI-2、RS-232C、セントロニクス等）に加えて外部機器用の HP-IB

インターフェイスを備えている。OS（オペレーティングシステム=基本ソフト）は HP-UX9.0x (UNIX)で、GUI 環境として HP-VUE が、また、GUI ベースで I/O 装置の制御を行うためのプログラミング言語として HP-VEE 3.2 が用意されている。

(2) VXI メインフレーム

I/O 装置は VXI 規格のボードで構成される。VXI (VME eXtensions for Instrumentation)は従来の VME および IEEE-488(HP-IB)という測定機器のデータ通信に関する汎用性の高い規格に基づいた拡張性の高い新しい規格で、両者の統合と高速なデータ輸送を実現している。VXI メインフレームは VXI 規格のボードを埋め込むための箱で、VXIbus をサポートしている。なお、「メインフレーム」といっても従来の高性能計算機の俗称ではない。今回は次に述べる VXI コントローラおよび各種 I/O 装置を埋め込むために C サイズ 13 スロット用のメインフレーム(HP E1401A)を 1 台用意した。

(3) VXI コントローラ

各種 VXI 対応の I/O 装置を制御を効率よく行うため、VXI コントローラ(V743 = HP E1498A)を 1 台メインフレームに内蔵している。このコントローラは実は UNIX の WS であって、データ収集 WS と同等の性能、容量を持っている。VXI コントローラを VXI メインフレームに内蔵することで、各種の VXI ボードの制御を直接 VXIbus を介して行うことが可能となる。従って、実際の運営時の I/O 装置の制御はデータ収集用 WS ではなく、VXI コントローラが行うようにしている。VXI コントローラも HP-UX9.0x を OS としており、HP-VUE および HP-VEE 3.2 を備えている。

(4) I/O 装置

VXI メインフレームに埋め込まれる I/O 装置の概要は表 1 に示したとおりである。また、各 I/O 装置の信号割り当てを表 2 に示した。VXI コントローラの 13 スロットの内訳は、VXI コ

ントローラ×1、A/D 変換ボード×2、D/A 変換ボード×1、デジタル入出力ボード×6、カウンタ×1、VXI Local Bus 対応 HDD&DAT (2 スロットサイズ) ×1 である。デジタル入出力には絶縁型 (オープンコレクタ、フォトカプラ絶縁等)、非絶縁型 (TTL)、リレー接点があるが、これらの区別はデジタル I/O Box を中継して行っており、VXI のデジタル入出力ボードではすべて非絶縁 (TTL) 信号のやりとりが行われている。

2. 3 データ処理部

(1) データ処理用 WS

データ処理用 WS は HP9000 ワークステーション・モデル C110 で、複雑なデータ処理や多大な量のデータ処理をストレスなく行える高性能な WS である。メモリ容量 256MByte、内蔵 HDD 容量 4GByte で、補助記憶装置として CD-ROM ドライブ、DDS/DAT ドライブを装備している。標準のインターフェイス群に加えて LAN ポートを 1 ポート追加しており、このデータ処理用 WS をゲートウェイとして超音速風洞のデータ処理設備全体をローカル LAN 接続とするようにしている (ネットワークについては 2. 4 で説明する)。

(2) 高速レーザプリンタ/カラーレーザプリンタ

データ収集部、データ処理部共通の出力装置として、日本語ポストスクリプト (レベル 2) 対応の高速レーザプリンタ (モノクロ) およびカラーレーザプリンタを装備している。高速レーザプリンタは A3 サイズまでの出力に対応し、16PPM (Page per Minute) の印字能力を持っている。カラーレーザプリンタは A4 専用で高精度なカラー印刷が可能となっている。両プリンタとも LAN 接続のネットワークプリンタとして使用している。

(3) パーソナルコンピュータ

データ処理設備の一部として、既設のパーソ

ナルコンピュータを LAN 接続している。パーソナルコンピュータは計測前置装置コントローラ (NEC PC-9821Xf)、高速多点圧力装置コントローラ (Scanivalve HyScan 2000=IBM PC/AT 互換機)、RCS (Reaction Control System) 試験用ジェット圧力制御盤コントローラ (HP Vectra XU5/90C) の 3 台である。データ処理、収集用 WS とパーソナルコンピュータの間のデータの受け渡しは LAN を介して行うことができる。その他、風洞ユーザがデータ処理用の機器を持ち込んだ場合についても LAN 接続でデータ授受に対応するようにしている。

2. 4 ネットワーク

計算機のオンライン化は情報処理では不可欠なものであって、イーサネットや FDDI を使用したネットワークの構築が設備整備の重要な一要素である。データ処理設備の中心が UNIX の WS であることから、当設備ではイーサネット上で TCP/IP をプロトコルとするネットワーク環境を構築した。

超音速風洞でのネットワークは、(1) ネットワーク機器に関するセキュリティを高めるため、そして (2) ユーザ機器の接続に柔軟に対応するため、航技研の構内 LAN とは独立したローカル LAN としている。

ハードウェアとしては 2. 3 で述べたようにデータ処理用の高性能 WS をゲートウェイとして航技研構内 LAN と超音速風洞ローカル LAN を分割し、超音速風洞内では 1 台の HUB を用いてスター型に機器を接続している。ローカル LAN を用いることで、超音速風洞外からの不法な侵入や超音速風洞内から外部への不用意な接続を回避している。

なお、ローカル LAN 内の IP アドレスについては一般的に (公式に) 推奨されているプライベートアドレスを使用している。

2. 5 その他の設備

データ処理設備全体の安全性を高めるために、データ処理用、収集用の各 WS および VXI コントローラについては一括して一系統の無停電電源装置(UPS)に接続している。UPS により瞬時停電に対応できるほか、停電時および使用終了時の自動シャットダウンと起動時の自動復帰を実現している。

また、データ処理装置に付随してオペレータおよびユーザに試験状況を伝えるためのマッハ数・迎角表示装置を製作した。

3. 風洞計測設備

3. 1 計測設備の概要

通風試験時の計測目標は風洞基準量、六分力(空気力)、圧力分布、汎用の各データに分類される。風洞基準量は各試験ごとに必ず計測を行い、六分力、圧力分布についてはそのいずれかを選択して行う。また汎用データの計測は各試験ごとにオプションで設定が可能である。六分力と圧力分布の同時計測は、配管干渉などの問題から基本的に行っていない。六分力測定試験を「力試験」、圧力分布測定試験を「圧力試験」と称して試験を大別している。

各計測データを計測する計測設備の概略系統図を図2に示した。計測設備はデータ処理設備の他、計測前置装置および各種のセンサー類に分類される。計測前置装置は各種アンプ類からなるシグナルコンディショナ群とデジタル計測機器が中心となって構成されている。センサー類はデータ計測のための各種センサーデバイスで、六分力検出器(天秤)、圧力変換器などがそれに相当する。3. 2で計測前置装置の概略を、3. 3でセンサー類の紹介を行う。

3. 2 計測前置装置

計測前置装置はアンプ類(ストレインアンプ、DCアンプ)、デジタル計測機器、ピンボード等により構成される。

風洞基準量としての圧力(大気圧、動圧、静

圧、校正圧)は MKS のバトロロン(絶対型圧力トランスデューサ)で計測し、デジタル計測ユニットからデジタル(BCD)信号およびアナログ信号を同時に出力する。温度については旭計器製のデジタル温度計に温度センサー(測温抵抗体)を接続し、温度計のデジタル(BCD)およびアナログ信号を出力している。

六分力、圧力分布といった計測のメインとなる項目については、センサーがひずみゲージ型センサーであることからストレインアンプに接続し、電圧信号を出力する。また、一部の信号(エンコーダ、ポテンシオメータ等)は F/V コンバータや DC アンプを介して電圧信号に変換している。

ピンボードは計測前置装置の各出力をデータ処理設備側の A/D 変換器の入力チャンネルに割り振るためのボードで、計算機に取り込むデータの種類と順序を任意に決めることができる。実際は処理プログラムの関係から力試験と圧力試験でそれぞれ A/D 変換器の各チャンネルに対する入力項目を固定している。その一覧を表3に示す。

表4にはデジタル計測機器から計算機に取り込まれるデジタル信号の一覧を示す。デジタル計測機器の多くはデジタル出力とアナログ出力の双方を備えており、風洞基準量にかかわる重要項目についてはデジタル信号とアナログ信号を同時に取り込み、データ処理の段階でどちらか一方のデータを選択するようにしている。

3. 3 各種センサー

超音速風洞で用いるセンサーの主なものを以下に紹介する。

(1) 六分力天秤

最も一般的な試験として供試模型に働く空気力の測定を行う力試験があげられるが、空気力の測定には六分力検出器(六分力天秤)が主に用いられる。超音速風洞では標準的に用いる天

秤として表5に示す4種類のモーメントタイプの天秤を所有している。

(2) 圧力変換器

力試験における底面圧の測定や、圧力分布の測定には圧力変換器を用いる。圧力変換器は試験ごとに校正を行い、校正曲線を求めて使用している。通常、超音速風洞は大気圧で起動し通風中は(大気圧に対する)負圧の静圧を計るので、変換器としては差圧型のものを大気圧を基準として用いることが多い。測定レンジとしては1気圧($\pm 15\text{psid}$)を用いるのが最も一般的で、一部ピトー圧等の正圧側の高い圧力を計る場合には3気圧相当($\pm 50\text{psid}$)のセンサーを用いる場合がある。

(3) スキャニバルブ(機械式圧力走査器)

圧力分布の測定は一度に多点の圧力を計る必要があるため、圧力走査器を用いて計測を行う。従来用いられてきたロータリーソレノイドによる機械式圧力走査器(製造メーカーの名称から「スキャニバルブ」と呼ぶ)は、1つの圧力センサーに複数の圧力ポートを切り替えて接続する方式の走査器である。超音速風洞所有のスキャニバルブは「48S」という1台あたり48ポートの圧力測定が可能なもので、最高4台(192ポート)を使用した計測が可能である。

(4) ZOC HyScan 2000 システム(電子式圧力走査器)

平成7年度にスキャニバルブに代わる圧力走査器として、電子式圧力走査器である ZOC HyScan 2000 システム(スキャニバルブ社製)を導入した。同走査器は機械式のものとは異なり、計測ポート数分の圧力変換器を内蔵し、その出力を電子的に走査することで測定を行う。その結果きわめて高速に複数ポートを走査できるため、圧力分布測定試験の効率化が期待されている。現在超音速風洞が所有する圧力計測モジュールの一覧を表6に示す。HyScan システムは独自の制御装置(PC ベース)を中心とするシステムであり、目下そのシステムの運用試験中で

ある。将来的にはデータ処理設備から HP-IB を介して HyScan システムの制御を行う予定である。

4. 風洞データ処理

4. 1 データ処理の概要

データ収集部で I/O 装置を介して取得したデータは適切な処理を行い物理量、係数等に変換される。ここでは取得データ(電圧データ)の基本的な処理作業を総称して「一次処理」と呼び、得られた物理量、係数等を使用して実験固有の処理を行う作業を「二次処理」と呼ぶこととする。「一次処理」はデータ収集部で完結することを基本とし、「二次処理」はデータ処理部、あるいは一次処理結果を持ち帰ったユーザサイドで行うことを基本とする。

データ収集については力試験と圧力試験によりデジタルデータ収集のタイミングが異なるが、全体の流れ(タイムチャート)はすべての通風においてほぼ同様である。信号収集のタイミングチャートを図3に示す。圧力試験の場合はスキャニバルブの計測ポートの歩進を制御する信号が付加されている。データ処理については、処理ソフトウェアの構成図を図4に示した。

以下、基本的な処理作業である「一次処理」についてその詳細を説明する。なお、データ処理の説明に関わる記号は以下の通りである。

A_{bal}	干渉係数
CEF_{bal}	たわみ係数
C_p	圧力係数
EF_{bal}	天秤出力電圧
F_{bal}	天秤受感六分力 $=\{F_A, F_Y, F_N, M_X, M_Y, M_Z\}$
L_{body}	模型全長
P_0	集合胴総圧
P_b	底面圧
P_s	測定部静圧
R	気体定数

Re_x	単位レイノルズ数
S_b	底面圧作用面積
S_{ref}	基準面積
T	気流温度
T_0	集合胴総温
W	模型重量
X_{cb}	基準点－天秤中心の距離 (X方向：前方が正)
X_{cg}	基準点－模型重心の距離 (X方向：前方が正)
X_{cp}	空力中心位置 (X方向)
X_{ct}	基準点－模型先端の距離
Y_{cp}	空力中心位置 (Y方向)
Z_{cb}	基準点－天秤中心の距離 (Z方向：上方が正)
Z_{cg}	基準点－模型重心の距離 (Z方向：上方が正)
f_A	軸力
f_Y	横力
f_N	垂直力
l_{refP}	縦基準長
l_{refY}	横基準長
l_{refR}	ロール基準長
m_X	x 軸まわりのモーメント
m_Y	y 軸まわりのモーメント
m_Z	z 軸まわりのモーメント
q	動圧
u	流速
$\Delta\alpha$	天秤縦方向のたわみ量
$\Delta\beta$	天秤横方向のたわみ量
α	迎角
α_t	自重補正用迎角
α_{0t}	自重補正用迎角 (基準)
β	横滑り角
r	比熱比
δ_α	迎角オフセット角
δ_β	横滑りオフセット角
θ	スティングポッド角
μ	粘性係数

ρ	気流密度
ϕ	バンク角 (補正後)
ϕ_{0t}	自重補正用バンク角 (基準)
ϕ_s	バンク角 (設定値)
ϕ_t	自重補正用バンク角

なお、空気力に関わる空力係数については文中に標記したとおりである。

4. 2 電圧データの抽出

電圧データは A/D 変換器のバーストモード (連続取り込みモード) で取得するので、以下のデータ切り分け抽出の作業を要する。A/D 変換器の 32ch.にはデータステータス信号 (風洞制御用時刻設定器からのパルス信号) が入力されており、その信号を参照して基準データ、有効データ、終了データの抽出を行う。

基準データは通風直前の無風時のデータとして、基準データ信号 (A/D 変換器のバースト開始トリガ) から最初の 1 秒間を平均する。風洞の通風手順として起動ボタンの押下から調圧弁が開いて通風が始まるまでに 5 秒間の猶予時間があり、その間に基準データを取得するようにしている。

有効データは実際にデータ処理に用いるデータで、データ開始信号からプログラムで指定した計測時間分のデータを指定したサンプル数毎に平均した経時データとして抽出する。標準では A/D 変換器のサンプルレートが 1280Hz、平均サンプル数 128 で、結果 0.1 秒ごとにデータの抽出が行われる。スキャニバルブを使用した計測 (圧力分布計測) の場合は、データの抽出はスキャニバルブの歩進ごと (通常 150 ミリ秒ごと) に行う。この場合、スキャニバルブの歩進タイミング信号 (パルス信号) は A/D 変換器の 31ch.に記録されている。

終了データは通風後の無風データとしてデータ終了信号から 1 秒間のデータを平均する。通

風後は通常、測定部内の気流が完全におさまる前にデータを取得するので、終了データは主に基準データのバックアップとして使用する。

デジタル計測機器からの信号は直接デジタルデータとして計算機に取り込まれるが、A/D 変換器による取り込みに比べるとデータの間隔は粗い (>0.3 秒/サンプル)。デジタル計測器から得られるデータのうち、迎角及びストラット位置、主管圧力以外のものは通風中変化の少ない(理論上変化をしない)諸量であることから、取り込まれたデータは A/D 変換器信号の抽出タイミングに合わせてデータを展開し、電圧データとの対応をとっている。

データ処理は抽出された基準データ(基準データに問題がある場合は終了データを使用する)と有効データを対象に行う。抽出された各データは「生データ」としてファイルに保存し、再処理を可能にしている。

4. 3 電圧データの物理量化

デジタル計測機器からのデジタル信号が物理量として得られるのに対して、A/D 変換器を介して得られた電圧データは係数をかけて物理量化する必要がある。計測センサーには絶対量を計測するものと相対量を計測するものがあり、物理量化の手順は双方で異なる。絶対量を計測するものとしては測定部静圧、集合胴総圧、集合胴総温の各センサーがあり、これらは電圧に所定の係数をかけることで物理量が得られる(実際はこれらのセンサー独自の計測ユニットが測定した物理量の絶対量に比例した電圧を出力している)。他のセンサーについては相対量の計測を行っているので、測定電圧と基準電圧との差に対して係数をかける必要がある。また、センサーの出力電圧が正である場合と負である場合に係数が異なるセンサー(ダイヤフラム型圧力センサーやひずみゲージなど)も多く、その場合は基準電圧に対する物理量と測定電圧に対する物理量の、物理量同士の差をとる必要が

ある。

4. 4 風洞基準量の計算

通風毎の最も基本かつ重要なデータとして風洞基準量の計算を行う。風洞基準量は測定した測定部静圧、集合胴総圧、集合胴総温に基づいて以下のように求められる。

(1) マッハ数

$$\frac{T_0}{T} = \left(\frac{P_0}{P_s} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$M = \sqrt{\frac{2}{\gamma-1} \left(\frac{T_0}{T} - 1 \right)}$$

(2) 動圧の計算

$$\rho = \frac{P_s}{RT}$$

$$u = M \sqrt{\gamma RT}$$

$$q = \frac{1}{2} \rho u^2 = \frac{\gamma}{2} P_s M^2$$

(3) 単位レイノルズ数

$$\mu = \frac{1.458 \times 10^{-6} T^{3/2}}{T + 110.4}$$

(サザーランドの公式)

$$Re_x = \frac{\rho u}{\mu}$$

4. 5 六分力の計算

力試験では天秤を用いて六分力を計測するのが標準である。六分力天秤では6つのエレメントから6つの信号が得られるが、その信号に対して干渉補正、自重補正、底面圧補正等を経て物理量、空力係数化を行う。

4. 5. 1 干渉補正

電圧データに係数をかけて得られる物理量は各エレメントの出力である。六分力天秤の場合、一方向のみに力をかけた場合でも他方向を受感するエレメントに出力(干渉)が生じる。従って実際に天秤が受感した六分力 F_{bal} に対して、各エレメントからの出力は係数行列 A_{bal} を用い

て次のように表される。

$$EF_{bal} = A_{bal} \cdot F_{bal}$$

実際の計測は出力を計測して六分力を求めるので、上式を連立一次方程式として解く必要がある。係数行列 A_{bal} を一般的には干渉マトリクスと呼ぶ。

干渉マトリクスについては明確な定義がないため、記述されている係数が力対力、あるいは電圧対電圧の補正を表している場合も多く、干渉補正の計算には注意が必要である。超音速風洞では電圧対電圧の補正を基本としており、電圧データの物理量化の前に干渉補正を行っているのが現状である。

4. 5. 2 自重補正用迎角、バンク角

天秤は無風時の基準データとして模型および天秤自身の自重と釣り合った状態を零点としている。従って、模型が迎角をとったりバンク角、横滑り角が存在する場合は自重を補正するための迎角およびバンク角を求める必要がある。これらの自重補正用迎角およびバンク角は天秤自身の水平面に対する迎角、回転角である。

基準データ取得時および計測時の自重補正用迎角、バンク角はそれぞれ以下の通りである。

基準データ取得時：

$$\alpha_{0r} = \delta_\alpha \cos \delta_\beta$$

$$\phi_{0r} = \phi_s - \delta_\alpha \sin \delta_\beta$$

計測時：

$$\alpha_t = (\theta + \delta_\alpha) \cos \delta_\beta$$

$$\phi_t = \phi_s + CEM_X \cdot M_X - (\theta + \delta_\alpha) \sin \delta_\beta$$

4. 5. 3 空気力の計算

天秤の受感力から天秤縦方向および横方向のたわみ量（角度）を計算する。そのたわみ量でスティングポッド角および横滑りオフセット角を補正して模型の迎角、横滑り角を求める。

天秤縦方向のたわみ：

$$\Delta\alpha = CEF_N \cdot F_N + CEM_Y \cdot M_Y$$

天秤横方向のたわみ：

$$\Delta\beta = -CEFY \cdot F_Y - CEM_Z \cdot M_Z$$

ロール方向のねじれ：

$$\phi = \phi_s + CEM_X \cdot M_X$$

$$\begin{aligned} \sin \beta &= \cos(\theta + \delta_\alpha) \cos \delta_\beta \cos \Delta\alpha \sin \Delta\beta \\ &+ \cos(\theta + \delta_\alpha) \sin \delta_\beta \cos \phi \cos \Delta\beta \\ &+ \sin(\theta + \delta_\alpha) \sin \phi \cos \Delta\beta \\ &+ \cos(\theta + \delta_\alpha) \sin \delta_\beta \sin \phi \sin \Delta\alpha \sin \Delta\beta \\ &- \sin(\theta + \delta_\alpha) \cos \phi \sin \Delta\alpha \sin \Delta\beta \\ \sin \alpha &= \frac{1}{\cos \beta} \{ \cos(\theta + \delta_\alpha) \cos \delta_\beta \sin \Delta\alpha \\ &- \cos(\theta + \delta_\alpha) \sin \delta_\beta \sin \phi \cos \Delta\alpha \\ &+ \sin(\theta + \delta_\alpha) \cos \phi \cos \Delta\alpha \} \end{aligned}$$

機体軸における空気力（六分力）は、天秤の受感力に対して自重を補正して得られる。

$$\begin{aligned} f_A &= F_A - W(\sin \alpha_t - \sin \alpha_{0r}) \\ f_Y &= F_Y \\ &- W(\cos \alpha_t \sin \phi_t - \cos \alpha_{0r} \sin \phi_{0r}) \\ f_N &= F_N \\ &+ W(\cos \alpha_t \cos \phi_t - \cos \alpha_{0r} \cos \phi_{0r}) \\ m_X &= M_X + F_Y Z_{cb} \\ &- WZ_{cg}(\cos \alpha_t \sin \phi_t - \cos \alpha_{0r} \sin \phi_{0r}) \\ m_Y &= M_Y + F_A Z_{cb} + F_N X_{cb} \\ &+ WX_{cg}(\cos \alpha_t \cos \phi_t - \cos \alpha_{0r} \cos \phi_{0r}) \\ &- WZ_{cg}(\sin \alpha_t - \sin \alpha_{0r}) \\ m_Z &= M_Z + F_Y X_{cb} \\ &- WX_{cg}(\cos \alpha_t \sin \phi_t - \cos \alpha_{0r} \sin \phi_{0r}) \end{aligned}$$

4. 5. 4 空力係数化

空気力は通常機体軸、安定軸、風軸について基準面積、基準長、動圧等で無次元化した係数で表すことが多い。各軸系での空力係数の計算は以下の通りである。

(1) 機体軸系 (X_b, Y_b, Z_b)

$$C_N = \frac{f_N}{qS_{ref}}, \quad (C_N = -C_Z)$$

$$C_Y = \frac{f_Y}{qS_{ref}}$$

$$C_A = \frac{f_A}{qS_{ref}}, \quad (C_A = -C_X)$$

$$C_m = \frac{m_Y}{qS_{ref}l_{refP}}$$

$$C_n = \frac{m_Z}{qS_{ref}l_{refY}}$$

$$C_l = \frac{m_X}{qS_{ref}l_{refR}}$$

(2) 風洞安定軸系 (X_{wt}, Y_{wt}, Z_{wt})

$$C_{L_{wt}} = C_N \cos \alpha - C_A \sin \alpha$$

$$C_{Y_{wt}} = C_Y$$

$$C_{D_{wt}} = C_N \sin \alpha + C_A \cos \alpha$$

$$C_{m_{wt}} = C_m$$

$$C_{n_{wt}} = C_n \cos \alpha - C_l \sin \alpha \frac{l_{refR}}{l_{refY}}$$

$$C_{l_{wt}} = C_l \cos \alpha + C_n \sin \alpha \frac{l_{refY}}{l_{refR}}$$

(3) 風軸系 (X_w, Y_w, Z_w)

$$C_{L_w} = C_N \cos \alpha - C_A \sin \alpha$$

$$C_C = C_Y \cos \beta$$

$$+ C_A \cos \alpha \sin \beta + C_N \sin \alpha \sin \beta$$

$$C_D = C_A \cos \alpha \cos \beta$$

$$+ C_N \sin \alpha \cos \beta - C_Y \sin \beta$$

$$C_{m_w} = C_m \cos \beta - C_n \sin \alpha \sin \beta \frac{l_{refY}}{l_{refP}}$$

$$- C_l \cos \alpha \sin \beta \frac{l_{refR}}{l_{refP}}$$

$$C_{n_w} = C_n \cos \alpha - C_l \sin \alpha \frac{l_{refR}}{l_{refY}}$$

$$C_{l_w} = C_l \cos \alpha \cos \beta + C_n \sin \alpha \cos \beta \frac{l_{refY}}{l_{refR}}$$

$$+ C_m \sin \beta \frac{l_{refP}}{l_{refR}}$$

4. 5. 5 底面圧

底面圧により底面抗力係数を求める。

$$C_{AB} = \frac{(P_s - P_b)S_b}{qS_{ref}}$$

前面抗力係数(Forebody Drag Coefficient)は以下の通り。

機体軸系：

$$C_{AF} = C_A - C_{AB}$$

風洞安定軸系：

$$C_{DF_{wt}} = C_{AF} \cos \alpha + C_N \sin \alpha$$

風軸系：

$$C_{DF_w} = C_{AF} \cos \alpha \cos \beta + C_N \sin \alpha \cos \beta + C_Y \sin \beta$$

なお、安定軸、風軸については揚力係数についても補正が必要である。

$$C_{LF} = C_N \cos \alpha - C_{AF} \sin \alpha$$

4. 5. 6 空力中心位置

力およびモーメントから空力中心位置を計算する。

縦方向の力に対する中心位置：

$$X_{cp} = \frac{1}{L_{body}} \left(X_{ct} - \frac{m_Y}{f_N} \right) [\%]$$

横方向の力に対する中心位置：

$$Y_{cp} = \frac{1}{L_{body}} \left(X_{ct} - \frac{m_Z}{f_Y} \right) [\%]$$

4. 6 圧力分布計測

圧力分布の計測はスキャニバルブ（機械式圧力走査器）および ZOC HyScan 2000 システム（電子式圧力走査器：試験中）を用いて行う。通常、圧力分布計測と六分力計測は同時には行わない。

圧力分布計測での処理は、電圧データの物理量化で測定ポートの圧力が算出されるので、圧力係数化とデータのソートとなる。それ以上の処理は二次処理にゆだねられる。圧力係数は測定圧力と静圧との差を動圧で無次元化して得られる。

$$C_p = \frac{P - P_\infty}{q}$$

4. 7 汎用データ計測

汎用データ計測はユーザ指定の汎用信号（任意の電圧信号）を扱うもので、指定 ch.の電圧データについて指定した係数により物理量化する処理である。現在のところ汎用データ計測については一連の物理量化の手順を持って一次処理とし、それ以上の処理（係数化等）は二次処理にゆだねることにしている。

4. 8 出力

六分力および圧力分布計測については所定のフォームでのリスト出力、グラフ出力を一次処理に含める。力試験におけるリスト出力例を図5に、グラフ出力例を図6に示す。現在グラフ出力については HP 標準のグラフィック機能を利用した暫定的なもので、今後汎用アプリケーションを利用した高品質なグラフ出力への切り替えを検討中である。

5. まとめ

新規のデータ処理設備の運用を開始し、設備更新以前と同様なデータ収集処理を実現し風洞運営を行っている。しかしながらハードウェア、ソフトウェア双方でまだ多くの問題点、検討すべき点が残っている。今後、風洞側が意図しているデータ処理の完全な実行と、設備としての安定した運用が行えるようになるまでに多くの修正が必要である。

今後のデータ処理設備の検討課題として以下の点があげられる。

- ・全体の計測の流れの見直し
- ・出力ファイル形式の見直し
- ・一次処理グラフ出力の高品質化および種類の充実
- ・I/O 装置のハードウェアエラーの回避
- ・再処理手順の効率化

上記のような課題を消化しつつ、新規計測項目への対応、新しい計測技術の研究開発といったことを目標に風洞計測技術の向上を図っていきたいと考えている。

表1 I/O 装置 (VXI ボード) 仕様

入出力モジュール	仕様		補足事項
	項目	仕様	
A/D変換器	<ul style="list-style-type: none"> ・チャンネル数 ・入力レンジ ・入力方式 ・分解能 ・サンプリングレート ・信号帯域 	32ch. $\pm 10V$ シングルエンド、差動 16bit max50kHz以上 D. C. $\sim 20kHz$	<ul style="list-style-type: none"> ・サンプル&ホールド機能により各チャンネルの同時サンプルが可能なこと ・高速データ収集に対応したメモリ容量、およびローカルバスを経由した高速なデータ転送をサポートしていること ・外部信号 (パルス) によるトリガが可能なこと
D/A変換器	<ul style="list-style-type: none"> ・チャンネル数 ・出力信号 ・分解能 ・整定時間 	4ch. $\pm 10V$ (電圧) $\pm 20mA$ (電流) 16bit 1ms以下	<ul style="list-style-type: none"> ・出力短絡に対する保護機能を有すること ・出力信号は電圧/電流よりチャンネルごとに選択可能であること
非絶縁型デジタル I/O 装置	<ul style="list-style-type: none"> ・入出力点数 ・論理レベル 	288点 TTL (正/負論理)	<ul style="list-style-type: none"> ・ハードウェア・ハンドシェイク機能を有すること ・正/負論理の切り換えが可能なこと ・出力ポートの論理レベルを保持できること ・1ms\sim100msの任意幅のパルス出力が可能なこと ・8点 (8ビット) 毎に独立に制御が可能なこと
絶縁型デジタル入力装置	<ul style="list-style-type: none"> ・入力点数 ・入力レンジ ・入力回路 	96点 5, 12, 24V オープンコレクタ、接点、TTL等	<ul style="list-style-type: none"> ・外部回路用の電源を内蔵していること ・8点 (8ビット) 毎に独立に制御が可能なこと
絶縁型デジタル出力装置	<ul style="list-style-type: none"> ・出力点数 ・出力回路 ・耐電圧 	96点 オープンコレクタ 24V以上	<ul style="list-style-type: none"> ・8点 (8ビット) 毎に独立に制御が可能なこと
スイッチボックス (リレー接点)	<ul style="list-style-type: none"> ・スイッチ点数 ・スイッチ容量 ・接点種別 	16点 100V, 1A以上 C接点 (Form C)	<ul style="list-style-type: none"> ・各接点が絶縁されていること ・各接点のオン・オフが同時に行えること
カウンタ	<ul style="list-style-type: none"> ・チャンネル数 ・入力信号 ・周波数 	4ch. (単相) 2ch. (Up/Down, Gated) $\pm 5\sim 24V$ 汎用信号 1MHz以上	<ul style="list-style-type: none"> ・4チャンネル (単相) と 2チャンネル (Up/Down 等) は排他的に使用する

表2 I/O 装置信号割当表

入出力モジュール	ch. 数	割当内容
A/D変換器	32	ピンボードによる選択切換入力 測定部静圧(1)、集合胴総圧(1)、集合胴総温(1)、ステイングポッド角(1)、データ認識信号(2)、六分力(6)、補助六分力(6)、底面圧(4)、スキャニバルブ圧力(4)、スキャニバルブポート番号(4)(*1)、汎用信号(8)
D/A変換器	2 1 1	A/D変換器モニター(任意の2chを選択) 圧力校正装置圧力設定 予備
非絶縁型デジタルI/O装置	32 32 32 16 16 16 40 8 96	(I) 大気圧: BCD 6桁+符号 (I) 集合胴総圧: BCD 6桁+符号 (I) 測定部静圧: BCD 6桁+符号 (I) 主管圧力: BCD 3-1/2桁 (I) 気温: BCD 3-1/2桁 (I) 集合胴総温: BCD 3-1/2桁 (I) スキャニバルブコントローラ(予約)(*1) (O) スキャニバルブコントローラ(予約)(*1) 予備
絶縁型デジタル入力装置	32 16 16 16 8 8	ストラット位置(BCD 6桁+符号/O. C.) ステイングポッド角(BCD 3-1/2桁/O. C.) スキャニバルブコントローラ(O. C.)(*1) 集合胴総圧測定用変換器番号(接点1bit)/汎用 制御盤時刻設定器(接点) オペレータBOX(接点)
絶縁型デジタル出力装置	16 16 16 16 16 8 8	迎角表示(BCD 3-1/2桁) マッハ数表示(BCD 3-1/2桁) 迎角出力(BCD 3-1/2桁/スーパーインポーズ用) マッハ数表示(BCD 3-1/2桁/スーパーインポーズ用) 計測器ホールド信号(最大16台) オペレータBOX LED表示(入力に対応) スキャニバルブコントローラ(6ch)(*1)
スイッチボックス	16	計測準備完了指示灯点灯、模型制御、写真撮影、汎用機器リモートコントロール、電磁弁開閉他
カウンタ	2 4	シャフトエンコーダ タイマー

(*1) スキャニバルブコントローラは TTL 信号による制御機器に入れ替えの予定あり

表3 A/D変換器チャンネル割り当て表

ch.	データ名		備考
	力試験	圧力試験	
1	測定部静圧	測定部静圧	MKS
2	集合胴総圧	集合胴総圧	MKS
3	集合胴総温	集合胴総温	MKS
4	スティングポッド角	スティングポッド角	
5	較正圧 1	較正圧 1	MKS
6	較正圧 2	較正圧 2	MKS
7	汎用 7	汎用 7	
8	汎用 8	汎用 8	
9	六分力 1	SV 1 圧力変換器	
10	六分力 2	SV 2 圧力変換器	
11	六分力 3	SV 3 圧力変換器	
12	六分力 4	SV 4 圧力変換器	
13	六分力 5	SV 1 ポート番号	DCアンプ
14	六分力 6	SV 2 ポート番号	DCアンプ
15	底面圧 1	SV 3 ポート番号	DCアンプ
16	底面圧 2	SV 4 ポート番号	DCアンプ
17	底面圧 3		
18	底面圧 4		
19	補助六分力 1		
20	補助六分力 2		
21	補助六分力 3		
22	補助六分力 4		
23	補助六分力 5		
24	補助六分力 6		
25	汎用 1 / 補助底面圧 1	汎用 1	補助底面圧優先
26	汎用 2 / 補助底面圧 2	汎用 2	補助底面圧優先
27	汎用 3 / 補助底面圧 3	汎用 3	補助底面圧優先
28	汎用 4 / 補助底面圧 4	汎用 4	補助底面圧優先
29	汎用 5	汎用 5	
30	汎用 6	汎用 6	
31	デジタルタイミング信号	デジタルタイミング信号	ピンボード非接続
32	データステータス信号	データステータス信号	ピンボード非接続

表4 デジタル信号入力項目

番号	計測項目	センサー	アナログ計測	備考
1	測定部静圧	MKS バラトロン	○	A/D ch.1
2	集合胴総圧	MKS バラトロン	○	A/D ch.2
3	大気圧	MKS バラトロン	×	
4	校正圧 1	MKS バラトロン	○	A/D ch.5
5	校正圧 2	MKS バラトロン	○	A/D ch.6
6	主管圧力	マルチメータ	×	
7	集合胴総温	デジタル温度計	○	A/D ch.3
8	室温	デジタル温度計	×	
9	スティングポッド角	レゾルバ	△	A/D ch.4 (アナログ 計測は二者択一)
10	ストラット位置	エンコーダ	△	

表5 超音速風洞標準天秤一覧

番号	直径 [mm]	タイプ	定格容量						製造元	製造年
			F _A	F _Y	F _N	M _X	M _Y	M _Z		
11	38.0	モーメント	80	500	500	7	30	30	日章電機	1982
12	25.0	モーメント	60	400	400	6	20	20	日章電機	1988
13	38.0	モーメント	80	500	500	7	30	30	日章電機	1988
14	38.0	モーメント	50	250	250	5	20	20	日章電機	1988

表6 ZOC圧力計測モジュール一覧表

番号(S/N)	型式	ポート数	圧力レンジ	TCU(*)	備考
222	ZOC22B	32	±15psid	○	
223	ZOC22B	32	±15psid	○	
180	ZOC33	64	±15psid	○	
181	ZOC33	64	±15psid	○	
204	ZOC33	64	±15psid		
171	ZOCEIM16	16	N/A	○	電圧入力用モジュール

(*)TCU = Thermal Control Unit

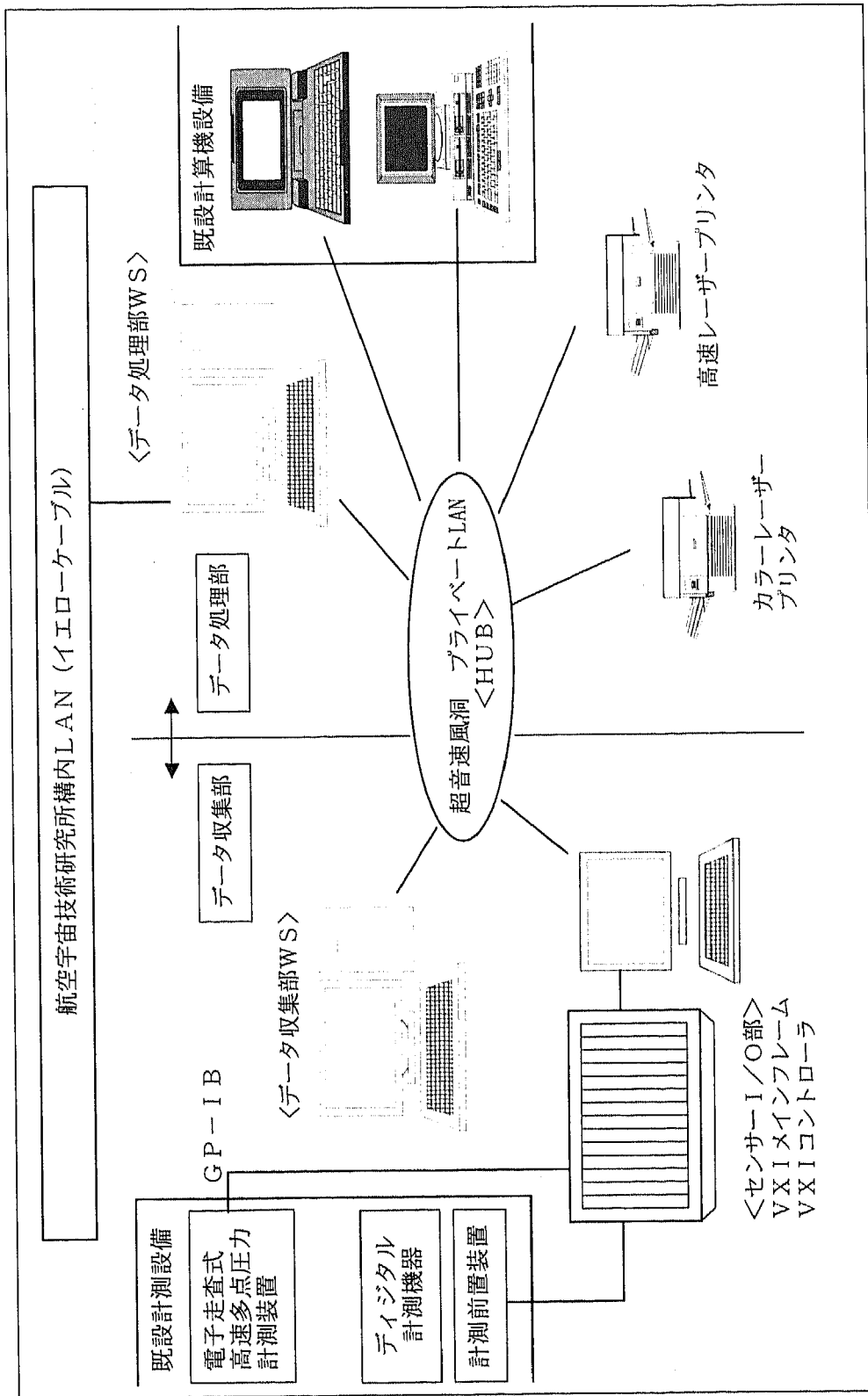


図1 ハードウェア構成図

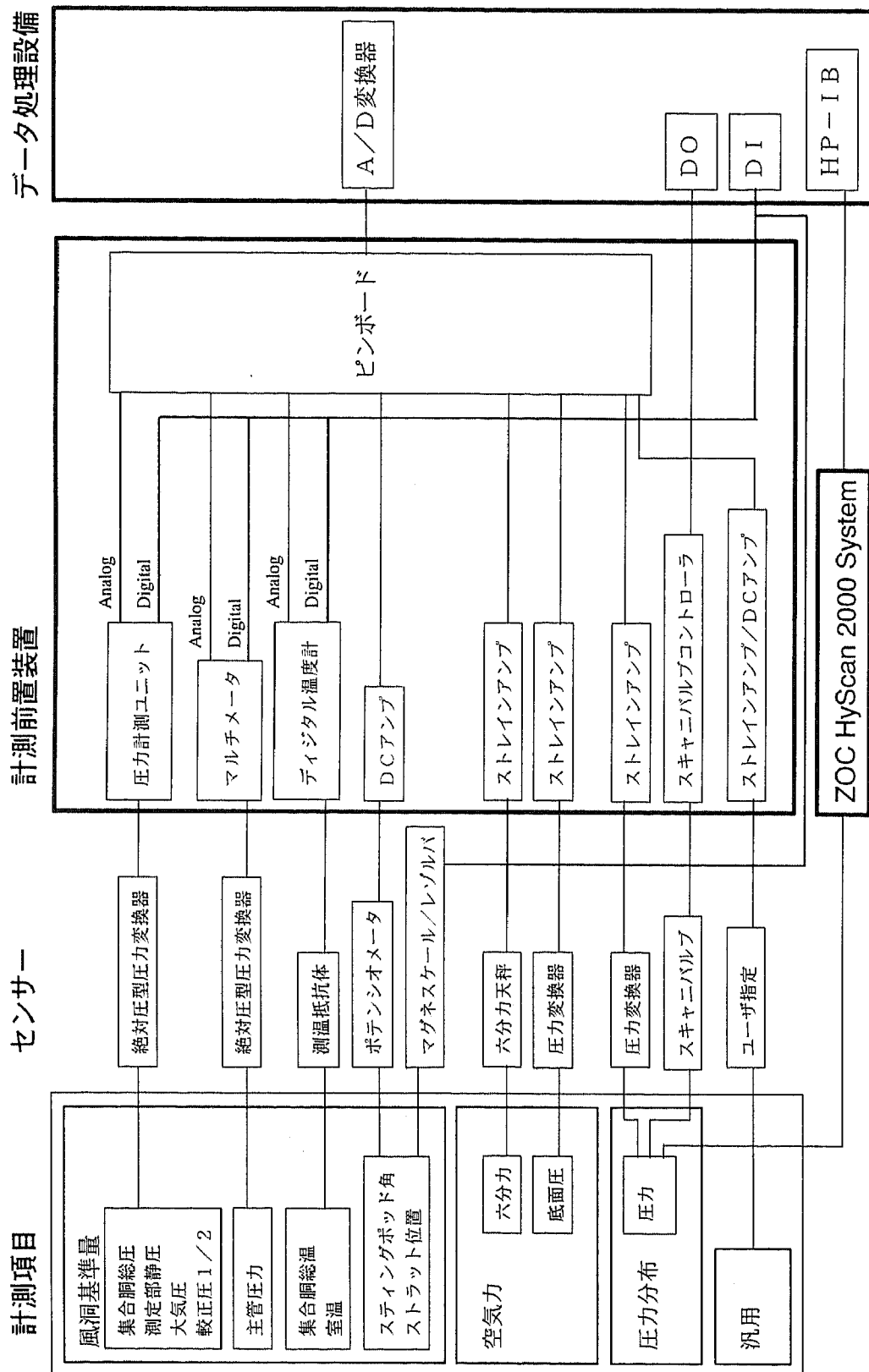
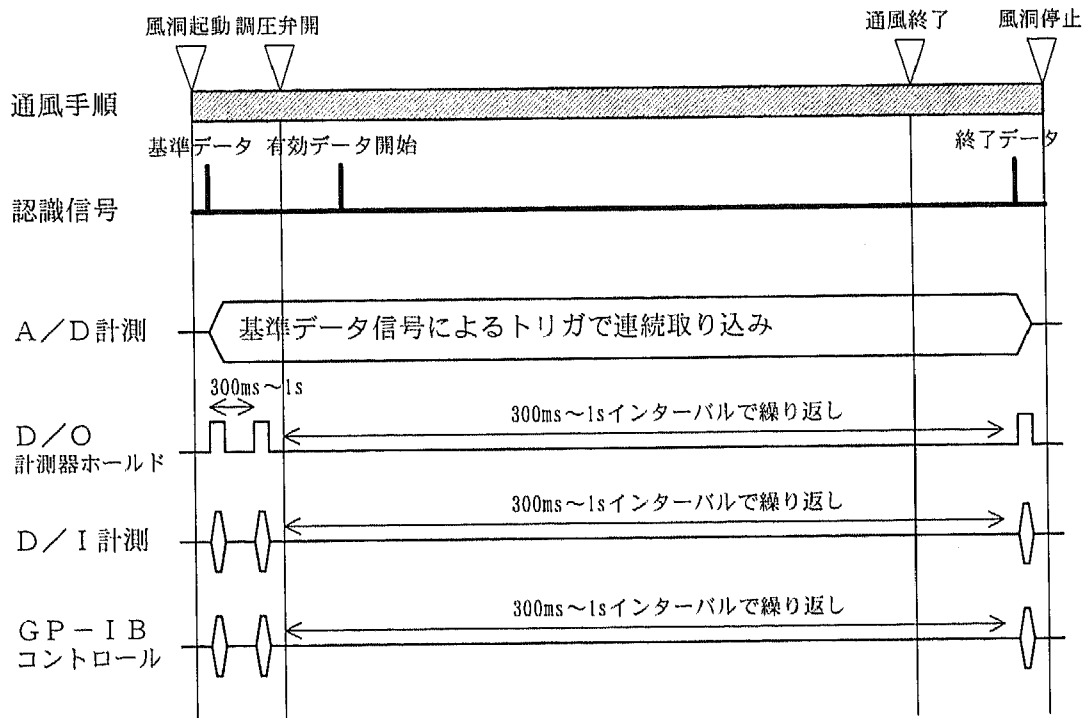


図2 計測系統図

(a) 基本データ／六分力データ／圧力分布データ収集タイミング



(b) 圧力分布データ収集オプション指定時のスキヤニバルブ歩進タイミング

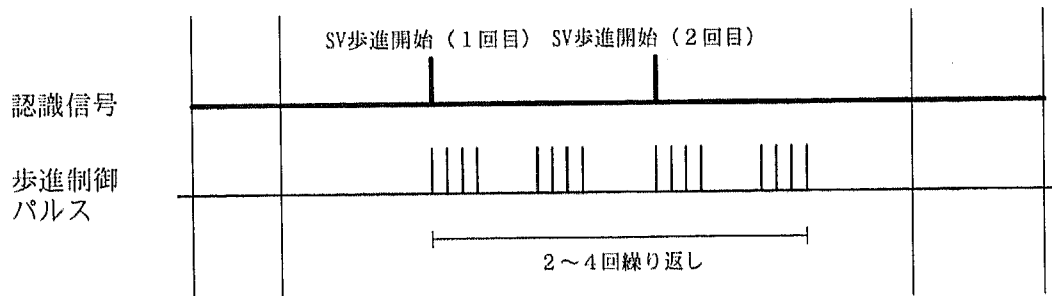


図3 データ収集タイミングチャート

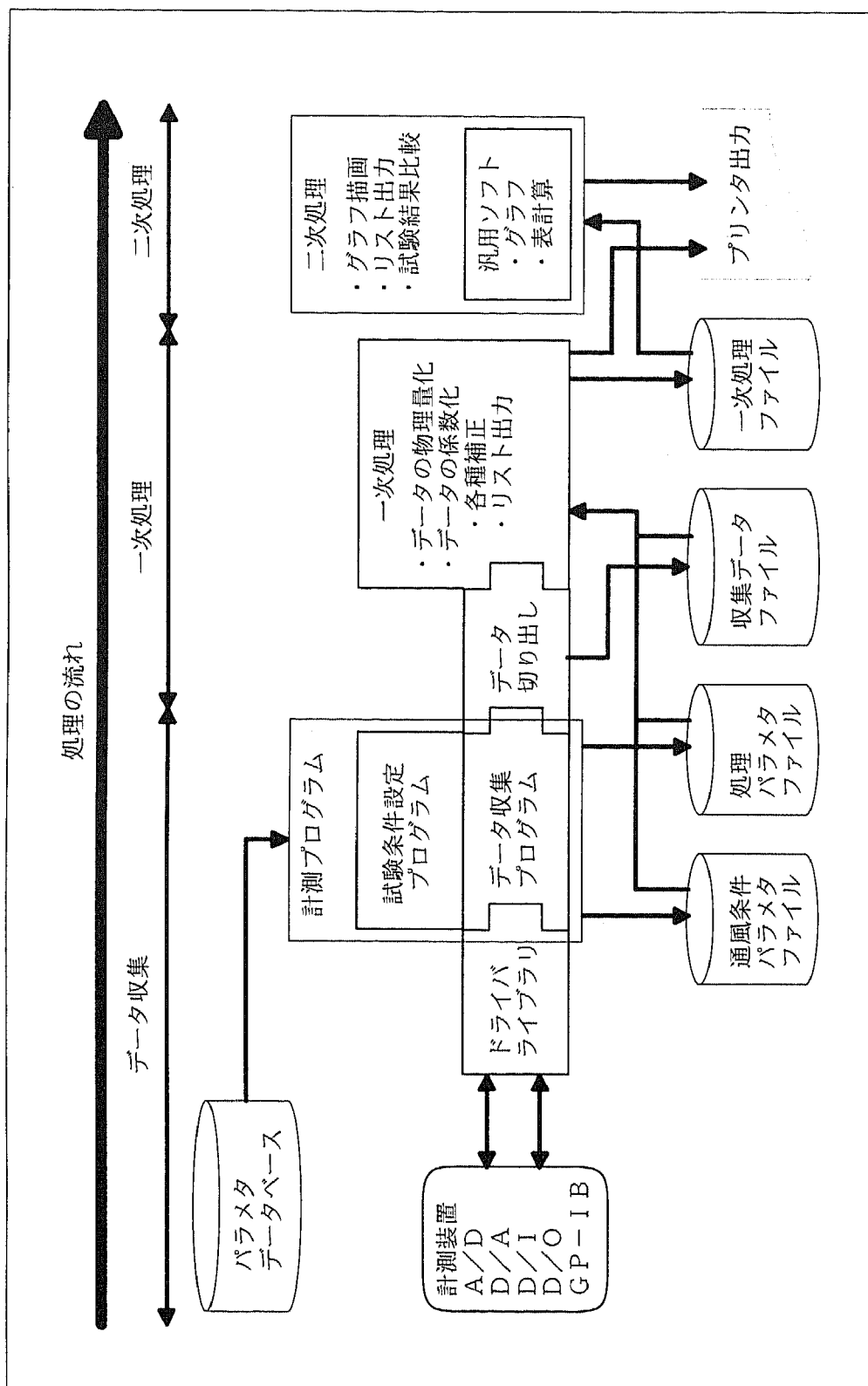


図4 ソフトウェア構成図

航空宇宙技術研究所 1m x 1m 超音速風洞

実験番号 : 17683

試験名称 : H S C T - F 1 超音速力試験 (その2)

試験日時 : 1997年 4月 22日 10時 24分

処理日時 : 1997年 4月 22日 10時 29分

実験番号 : 17683

模型番号 : 97251000

模型名称 : HSCT-F1

模型形態 : CLEAN

模型姿勢 : 初期迎角 = 0.0 [deg]

担当者 : 浜本 滋 (空気力学部)

オペレータ : 橋 篤志

処理番号 : 1

設定マッハ数 : 2.00

初期バンク角 = 0.0 [deg]

初期横滑り角 = 0.0 [deg]

形態オブション

1 :	0
2 :	0
3 :	0
4 :	0
5 :	0
6 :	0
7 :	0
8 :	0
9 :	0
10 :	0

使用データ指定

Ps	P0	Ta	Pod	Pcal1	Pcal2	h	Iref1	Iref2	Iref3	[1:Analog 2:Digital 3:Keyin]
1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	

< 風洞基準量 >

大気圧 = 101.170 [kPa] 室温 = 19.3 [°C]

Ps	P0	Ta	Pod	Angle	Pcal1	Pcal2
(Ch.1)	(Ch.2)	(Ch.3)	(Ch.4)	(Ch.5)	(Ch.6)	
13.335	199.870	10.000	3.107	3.107		

感度係数 (+) : 3.107

感度係数 (-) : 3.107

基準データ [V]	終了データ [V]
7.5393	0.5223
1.8008	-3.1035
-0.0025	0.0019

図 5 (a) 六分力測定試験リスト出力例 (p.1: タイトル、風洞基準量処理パラメタ)

航空宇宙技術研究所 1m x 1m 超音速風洞

実験番号 : 17683

風洞基準量

時間 (s)	測定部静圧 (kPa)	集合胴総圧 (kPa)	集合胴総温 (°C)	ポット角 (deg)	気流温度 (K)	マッハ数	気流密度 (kg/m ³)	気流速度 (m/s)	動圧 (kPa)	単位レイノルズ数 (1/m)
0.50	27.607	224.090	18.887	-4.989	160.550	2.024	5.989e-01	5.141e+02	79.134	2.8126e+07
1.00	27.570	223.791	18.597	-4.990	160.391	2.024	5.987e-01	5.138e+02	79.029	2.8128e+07
1.50	27.580	223.872	18.293	-4.651	160.222	2.024	5.996e-01	5.135e+02	79.057	2.8179e+07
2.00	27.582	223.782	18.014	-4.148	160.091	2.023	6.001e-01	5.132e+02	79.039	2.8209e+07
2.50	27.580	223.743	17.740	-3.648	159.944	2.023	6.006e-01	5.130e+02	79.028	2.8243e+07
3.00	27.583	223.812	17.475	-3.152	159.790	2.023	6.013e-01	5.128e+02	79.047	2.8286e+07
3.50	27.581	223.831	17.217	-2.660	159.641	2.023	6.018e-01	5.126e+02	79.049	2.8323e+07
4.00	27.575	223.737	16.989	-2.166	159.525	2.023	6.021e-01	5.123e+02	79.022	2.8344e+07
4.50	27.571	223.722	16.780	-1.668	159.407	2.023	6.024e-01	5.122e+02	79.014	2.8370e+07
5.00	27.577	223.716	16.593	-1.169	159.314	2.023	6.029e-01	5.120e+02	79.019	2.8397e+07
5.50	27.548	223.614	16.423	-0.655	159.194	2.024	6.027e-01	5.119e+02	78.965	2.8403e+07
6.00	27.566	223.673	16.270	-0.159	159.127	2.023	6.038e-01	5.117e+02	78.998	2.8435e+07
6.50	27.573	223.641	16.109	0.345	159.057	2.023	6.038e-01	5.115e+02	78.997	2.8456e+07
7.00	27.586	223.781	15.953	0.841	158.965	2.023	6.049e-01	5.114e+02	79.043	2.8494e+07
7.50	27.580	223.689	15.803	1.346	158.890	2.023	6.048e-01	5.113e+02	79.016	2.8505e+07
8.00	27.564	223.632	15.667	1.859	158.801	2.023	6.046e-01	5.112e+02	78.987	2.8514e+07
8.50	27.558	223.609	15.539	2.351	158.725	2.023	6.047e-01	5.111e+02	78.975	2.8528e+07
9.00	27.560	223.598	15.438	2.858	158.676	2.023	6.050e-01	5.110e+02	78.975	2.8542e+07
9.50	27.551	223.527	15.344	3.349	158.623	2.023	6.050e-01	5.109e+02	78.949	2.8545e+07
10.00	27.548	223.408	15.238	3.833	158.584	2.023	6.051e-01	5.108e+02	78.919	2.8548e+07
10.50	27.572	223.556	15.144	4.316	158.543	2.023	6.059e-01	5.106e+02	78.978	2.8582e+07
11.00	27.561	223.574	15.067	4.808	158.478	2.023	6.057e-01	5.106e+02	78.970	2.8591e+07
11.50	27.563	223.505	14.988	5.301	158.451	2.023	6.059e-01	5.105e+02	78.957	2.8597e+07
12.00	27.545	223.486	14.911	5.783	158.384	2.023	6.058e-01	5.105e+02	78.934	2.8601e+07
12.50	27.538	223.321	14.825	6.270	158.358	2.023	6.057e-01	5.104e+02	78.889	2.8595e+07
13.00	27.551	223.508	14.732	6.764	158.291	2.023	6.062e-01	5.103e+02	78.945	2.8629e+07
13.50	27.550	223.525	14.657	0.589	158.245	2.023	6.064e-01	5.103e+02	78.948	2.8641e+07

図5(b) 六分力測定試験リスト出力例 (p.2 : 風洞基準量データ)

実験番号 : 17683		航空宇宙技術研究所 1m x 1m 超音速風洞														
< 六分力処理 >		六分力処理タイプ		2	干渉補正		1	種別		0 [0: 六分力 1: 補助六分力]						
模型定数	模型番号	97251000		模型名称		HSCT-F1		模型重量		88.200 [N]		ヨーイング	0.457 [m]	ローリング	0.457 [m]	
	全長	0.850 [m]		基準面積		1341.000 [cm^2]		0.457 [m]		天祥中心 (前方+)		-0.034 [m]	天祥中心 (前方+)	-0.034 [m]	(上方+)	0.000 [m]
	モーター	基準点からの距離		模型先端 (前方+)		0.600 [m]		模型重心 (前方+)		-0.034 [m]		模型重心 (前方+)	-0.034 [m]	(上方+)	0.000 [m]	0.000 [m]
	初期迎角	0.000 [deg]		初期横滑り角		0.000 [deg]		バンク角		0.000 [deg]		迎角処理				
	1															
天秤定数	天秤番号	13		天秤タイプ		0 [0: モーメントタイプ 1: フォースタイプ]		Y1-Y2エレメント間の距離		0.000 [m]		MX	MY	MZ	0.000 [m]	
	天秤重量	0.000 [N]		FA	FY	FZ	FX	68.60 [Nm]	294.00 [Nm]	294.00 [Nm]	294.00 [Nm]	294.00 [Nm]	294.00 [Nm]	294.00 [Nm]	294.00 [Nm]	
	定格	784.00 [N]		4900.00 [N]	4900.00 [N]	5.00	5.00	5.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	
	励起電圧 [V]	5.00		5.00	5.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	
	アンプゲイン	2.531		5.678	5.705	2.723	6.864	6.869	6.869	6.869	6.869	6.869	6.869	6.869	6.869	
二次較正器電圧 [V]	感度係数 (+)	313.7981		1960.4221		1961.4060		1961.6829		27.4605		117.6695		117.6894		
	感度係数 (-)	313.5652		1961.4409		1961.6829		1961.6829		27.4317		117.6890		117.6610		
	干渉係数 (+)	1.000000		-0.000244		-0.000384		-0.000384		-0.000907		0.000014		-0.000161		
	干渉係数 (-)	-0.009416		1.000000		0.003470		0.025734		0.025734		0.001777		0.014823		
	干渉係数 (+)	-0.008833		0.004377		1.000000		-0.010922		-0.010922		0.014761		-0.001207		
たわみ係数	感度係数 (+)	-0.000074		-0.005583		0.003490		0.000000		1.000000		0.000000		0.004355		
	感度係数 (-)	0.033879		-0.002989		0.008330		0.012925		1.000000		0.002633		0.000000		
	干渉係数 (+)	0.015633		0.003397		-0.000865		-0.041162		-0.041162		-0.003378		1.000000		
	干渉係数 (-)	1.000000		0.000000		-0.001040		-0.001046		0.000135		0.000135		-0.000151		
	干渉係数 (+)	0.025988		1.000000		-0.004235		0.021748		0.002281		0.002281		0.016886		
底面圧	感度係数 (+)	0.026216		0.004938		1.000000		-0.010968		0.015011		-0.015011		-0.001288		
	感度係数 (-)	-0.006210		-0.005579		0.003634		1.000000		0.000143		0.000143		0.004331		
	基準面積	-0.011378		-0.002852		0.008581		0.012843		1.000000		0.003278		0.003278		
	基準データ [V]	0.006039		0.003456		-0.002006		-0.040319		-0.005157		1.000000		1.000000		
	終了データ [V]	0.000000		0.000441		0.000440		0.000000		0.003367		0.003503		0.003503		
基準データ [V]	感度係数 (+)	13.6610		13.7500		12.9490		13.7630		13.7630		13.7630		13.7630		
	感度係数 (-)	13.7370		13.8540		13.0800		13.8140		13.8140		13.8140		13.8140		
	基準面積	6.8100		6.8100		6.8100		6.8100		6.8100		6.8100		6.8100		
	Ch. 9	Ch. 10	Ch. 11	Ch. 12	Ch. 13	Ch. 14	Ch. 15	Ch. 16	Ch. 17	Ch. 18						
	-0.0059	-0.0013	-0.0007	-0.0072	-0.0019	-0.0076	-0.0049	-0.0030	0.0009	0.0025						

図5(c) 六分力測定試験リスト出力例 (p.3: 六分力処理パラメタ)

航空宇宙技術研究所 1m x 1m 超音速風洞

実験番号 : 17683

物理量データ

時間 [s]	迎角 [deg]	横滑り角 [deg]	FA [N]	FY [N]	FN [N]	MX [Nm]	MY [Nm]	MZ [Nm]	Pb1 [kPa]	Pb2 [kPa]	Pb3 [kPa]	Pb4 [kPa]
0.50	-5.841	-0.005	114.64	10.72	-1801.45	-1.227	42.568	-0.365	14.718	9.348	19.735	17.243
1.00	-5.830	-0.004	114.69	9.24	-1782.15	-0.123	43.021	-0.445	14.691	9.304	19.722	17.228
1.50	-5.428	-0.006	115.05	9.90	-1657.84	0.185	41.412	0.192	14.645	9.384	19.728	17.259
2.00	-4.836	-0.005	115.07	10.51	-1472.81	-1.342	37.316	-0.232	14.684	9.464	19.822	17.324
2.50	-4.249	-0.004	114.87	7.71	-1292.20	-0.490	33.456	-0.217	14.772	9.489	19.913	17.402
3.00	-3.650	-0.003	114.40	6.64	-1086.03	-0.736	30.138	-0.330	14.791	9.629	20.041	17.549
3.50	-3.061	-0.002	113.62	6.29	-891.32	-1.965	27.139	-0.525	14.873	9.700	20.148	17.637
4.00	-2.485	-0.002	112.99	4.73	-713.89	-0.383	22.380	-0.151	14.922	9.757	20.225	17.637
4.50	-1.901	-0.003	111.63	4.49	-536.36	-0.835	18.934	0.041	14.968	9.868	20.365	17.616
5.00	-1.310	-0.002	109.70	3.24	-339.98	-0.773	13.914	0.083	15.010	9.873	20.504	17.595
5.50	-0.688	-0.002	107.00	2.97	-125.43	-1.377	10.726	-0.035	15.042	9.899	20.667	17.600
6.00	-0.109	-0.001	105.42	0.82	57.27	-0.538	5.691	0.261	15.058	9.958	20.757	17.628
6.50	0.495	-0.002	104.06	1.82	256.85	-1.260	2.145	0.273	15.098	10.054	20.832	17.679
7.00	1.083	0.001	102.37	-1.83	449.68	-0.161	-1.887	0.143	15.117	10.174	20.911	17.716
7.50	1.680	-0.001	100.36	-1.74	644.85	0.655	-6.648	0.505	15.074	10.213	20.891	17.760
8.00	2.300	-0.002	97.62	-0.77	859.25	-0.006	-10.068	0.592	15.198	10.268	21.038	17.847
8.50	2.869	0.000	94.98	-2.50	1032.61	-0.484	-15.688	0.355	15.340	10.326	21.199	17.973
9.00	3.465	0.001	91.60	-3.46	1217.93	-0.414	-19.852	0.374	15.711	10.325	21.323	18.140
9.50	4.048	0.001	87.62	-4.08	1410.98	-0.929	-23.977	0.429	15.894	10.395	21.484	18.279
10.00	4.620	-0.002	83.47	-1.51	1600.03	-0.933	-29.008	0.739	16.146	10.452	21.568	18.406
10.50	5.186	-0.001	79.87	-3.10	1777.08	-0.924	-33.296	0.792	16.232	10.476	21.645	18.485
11.00	5.797	0.002	75.28	-6.31	2012.48	-0.398	-36.572	0.512	16.357	10.442	21.569	18.521
11.50	6.381	0.003	72.01	-6.51	2199.02	-0.717	-40.253	0.296	16.374	10.410	21.652	18.567
12.00	6.950	0.003	69.12	-8.36	2383.73	0.218	-44.746	0.450	16.476	10.465	21.714	18.621
12.50	7.521	-0.001	66.90	-5.73	2561.57	-0.698	-49.278	1.300	16.493	10.441	21.716	18.622
13.00	8.105	0.000	65.28	-7.38	2743.41	-0.308	-52.322	1.119	16.524	10.395	21.806	18.671
13.50	0.796	0.000	105.34	-1.26	386.32	-0.178	-1.809	0.151	15.009	10.116	20.838	17.765

図 5 (d) 六分力測定試験リスト出力例 (p.4 : 六分力物理量データ)

実験番号 : 17683
航空宇宙技術研究所 1m x 1m 超音速風洞

安定軸空力係数データ

時間 [s]	迎角 [deg]	横滑り角 [deg]	CL	CY	CD	Cm	Cn	Cl	CLF	CDF	Xcp [%]	Ycp [%]
0.50	-5.841	-0.005	-0.1678	0.0010	0.0280	0.0088	-0.0001	-0.0002	-0.1680	0.0255	73.365	74.593
1.00	-5.830	-0.004	-0.1662	0.0009	0.0278	0.0089	-0.0001	0.0000	-0.1664	0.0254	73.425	76.257
1.50	-5.428	-0.006	-0.1547	0.0009	0.0256	0.0086	0.0000	0.0000	-0.1549	0.0231	73.524	68.308
2.00	-4.836	-0.005	-0.1375	0.0010	0.0225	0.0077	-0.0001	-0.0003	-0.1378	0.0201	73.566	73.181
2.50	-4.249	-0.004	-0.1208	0.0007	0.0198	0.0069	-0.0001	-0.0001	-0.1210	0.0174	73.631	73.891
3.00	-3.650	-0.003	-0.1016	0.0006	0.0173	0.0062	-0.0001	-0.0001	-0.1017	0.0148	73.850	76.434
3.50	-3.061	-0.002	-0.0834	0.0004	0.0152	0.0056	-0.0001	-0.0004	-0.0835	0.0128	74.167	80.397
4.00	-2.485	-0.002	-0.0668	0.0004	0.0136	0.0046	0.0000	-0.0001	-0.0669	0.0111	74.273	74.348
4.50	-1.901	-0.003	-0.0502	0.0004	0.0122	0.0039	0.0000	-0.0002	-0.0503	0.0098	74.738	69.507
5.00	-1.310	-0.002	-0.0318	0.0003	0.0111	0.0029	0.0000	-0.0002	-0.0319	0.0087	75.400	67.564
5.50	-0.688	-0.002	-0.0117	0.0003	0.0102	0.0022	0.0000	-0.0003	-0.0118	0.0079	80.647	71.987
6.00	-0.109	-0.001	0.0054	0.0001	0.0099	0.0012	0.0001	-0.0001	0.0054	0.0076	58.892	33.367
6.50	0.495	-0.002	0.0242	0.0002	0.0100	0.0004	0.0001	-0.0003	0.0242	0.0077	69.602	52.929
7.00	1.083	0.001	0.0422	-0.0002	0.0105	-0.0004	0.0000	0.0000	0.0423	0.0081	71.079	79.786
7.50	1.680	-0.001	0.0606	-0.0002	0.0113	-0.0014	0.0001	0.0001	0.0606	0.0089	71.798	104.621
8.00	2.300	-0.002	0.0807	-0.0001	0.0125	-0.0021	0.0001	0.0000	0.0808	0.0101	71.963	161.557
8.50	2.869	0.000	0.0969	-0.0002	0.0138	-0.0032	0.0001	-0.0001	0.0970	0.0115	72.372	87.333
9.00	3.465	0.001	0.1143	-0.0003	0.0156	-0.0041	0.0001	-0.0001	0.1144	0.0133	72.503	83.304
9.50	4.048	0.001	0.1324	-0.0004	0.0177	-0.0050	0.0001	-0.0002	0.1325	0.0154	72.584	82.976
10.00	4.620	-0.002	0.1501	-0.0004	0.0197	-0.0060	0.0002	-0.0002	0.1502	0.0178	72.718	128.336
10.50	5.186	-0.001	0.1664	-0.0003	0.0227	-0.0069	0.0002	-0.0002	0.1666	0.0205	72.789	100.586
11.00	5.797	0.002	0.1883	-0.0006	0.0263	-0.0076	0.0001	-0.0001	0.1886	0.0241	72.723	80.136
11.50	6.381	0.003	0.2056	-0.0006	0.0298	-0.0083	0.0001	-0.0001	0.2059	0.0277	72.739	75.942
12.00	6.950	0.003	0.2228	-0.0008	0.0337	-0.0093	0.0001	0.0001	0.2230	0.0316	72.793	76.923
12.50	7.521	-0.001	0.2392	-0.0005	0.0380	-0.0102	0.0003	-0.0001	0.2395	0.0358	72.848	97.290
13.00	8.105	0.000	0.2557	-0.0007	0.0426	-0.0108	0.0002	0.0000	0.2560	0.0405	72.829	88.421
13.50	0.796	0.000	0.0363	-0.0001	0.0106	-0.0004	0.0000	0.0000	0.0364	0.0082	71.136	84.630

図5(e) 六分力測定試験リスト出力例 (p.5 : 安定軸空力係数データ)

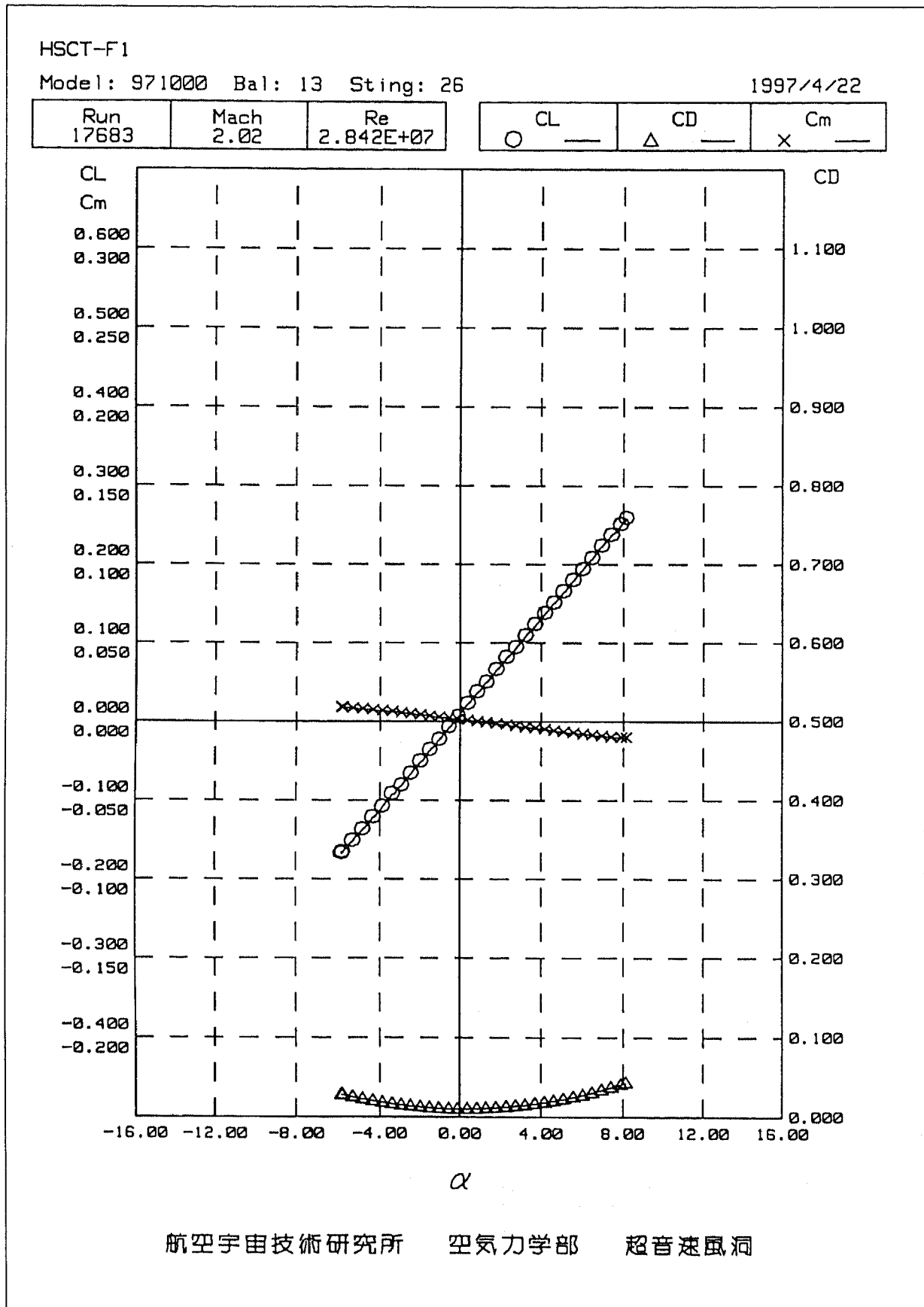


図6 六分力測定試験グラフ出力例