

ISSN 0452-2982
UDC 681.3.02
681.326

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-599

二液式アポジエンジン用デジタルデータ処理システム

木 皿 且 人 ・ 須 藤 孝 幸

千 葉 彰 ・ 長 島 隆 一

1989年1月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

二液式アポジエンジン用デジタルデータ処理システム*

木 田 且 人** 須 藤 孝 幸**
千 葉 彰*** 長 島 隆 一****

概 要

近年、パーソナルコンピュータの性能の進歩はめざましいものがあり、一世代前のミニコンベースの計測システムと同等の機能を、今ではパソコンを中心としたシステムでも十分満足させることができるようになった。本資料は、1972年に整備された航空宇宙技術研究所角田支所ロケット高空性能研究室(HATS)のミニコンベースのデジタル計測システムを1987年にパソコンを中心とした新しいシステムに更新した際の作業についてソフト、ハード両面からまとめたものである。

1. はじめに

1972年、航空宇宙技術研究所角田支所にロケットエンジンの高空性能試験を目的にHATS(High Altitude Test Stand)が建設され、計測システムは当時の我国のロケット試験設備としては比較的新しいシステムが導入された¹⁾。しかし、数年前頃より、計測システムはいくつかの問題が生じるようになつた。周知の通り、内外の計測事情を取り巻く環境は当時と比較にならないほど著しい進歩を遂げており当所の計測システムは時代にあわないものとなつた。また一方で、機器の老朽化が進み深刻な問題が生じ始めていた。

このような状況の下で、技術試験衛星VI型(ETS

-VI)に搭載予定の二液式アポジエンジン(AKE)の研究開発が宇宙開発事業団と当所の共同で行なわれることになった²⁾。ところが、既設のデジタル計測システムは老朽化に伴う信頼性の低下に加え、AKE開発試験で要求されている精度を確保することが出来ないという問題に直面した。計測システムの本格的な更新には多額の費用を要し、研究フェーズの資金ではとてもまかない切れないでの、所要の能力を最低限度満足する事を主たる目標として低価格で導入できるパーソナルコンピュータ(以下パソコン)を中心としたデジタルデータ処理システムを既設システムに併設した。運用開始以来、新設システムは当初の導入目的をほぼ満足している。以下、新設したデジタルデータ処理システムについて述べる。

1.1 本文中の語句の定義

最初に、本資料中でしばしば用いられる一般的でない語句について説明する。

End-to-End校正；この校正は、センサから計測システム全てを含み、数値まで含んだ端から端までの系の校正を言う。校正データは同一系内でのみ有効で、センサのばらつきに加え、途中の伝送系、增幅系、AD変換器のばらつきまで含まれたデータで整理する。これら複合したばらつきの精度を系固有の精度とし処理する。図1参照。

カルデータ；本資料の中では次の様に使用する語句。校正データと計測データを関係付けるために各々のデータを収録する前後に各計測点毎に

* 1987年12月17日 受付

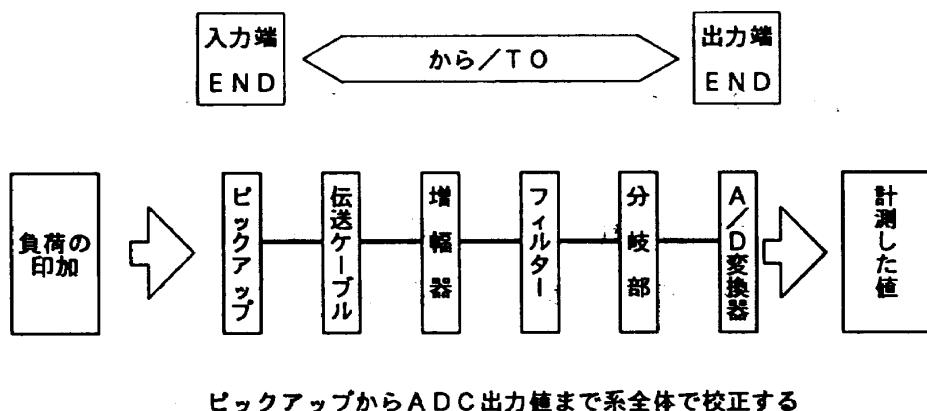
** 角田支所

*** 石川島播磨重工業

**** 宇宙開発事業団

1) 大塚他；航空宇宙技術研究所のロケットエンジン高空性能試験設備 NAL TR-454 (1976)

2) Iihara., Miyajima, H., and Nagashima, R., "Hydrazine/NTO Liquid Apogee Engine for the ETS-VI", AIAA Paper 87-1986(1987)



END-TO-END 校正

図1 END-TO-END校正概念

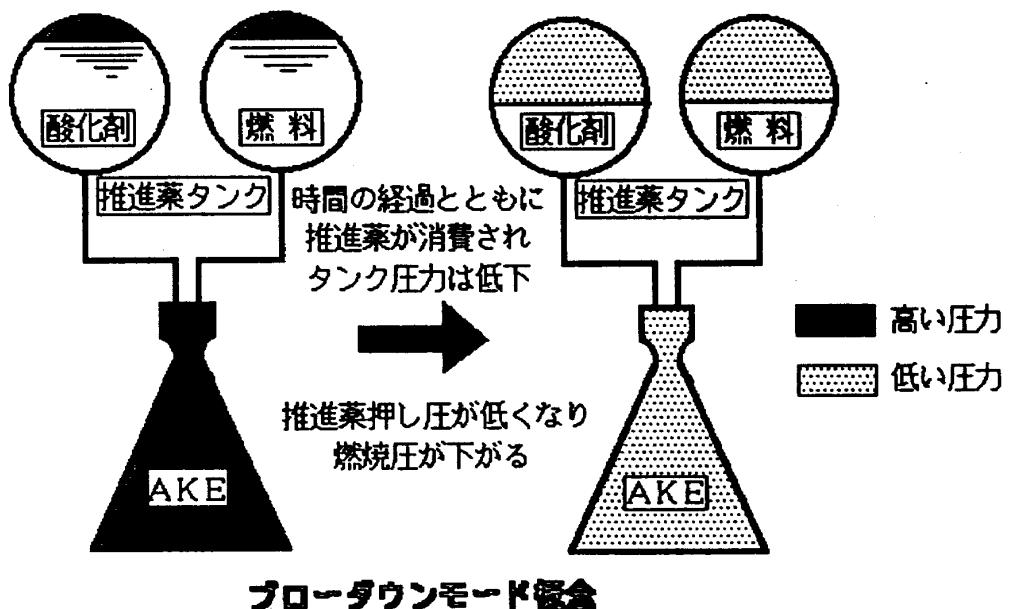


図2 プローダウン方式

電気的に発生させられる電圧データを指す。データ収録前のものをプリキャル、収録後のものをポストキャルと呼ぶ。校正作業で得られる校正データとは異なる。後出の図7参照。

レッドライン；閾値(Threshold-level)のこと。特に燃焼試験等で用いられ、試験中異常と判断する限界値の事。危険な領域(レッドゾーン)に入る限界値をレッドラインと定義している。後出図18参照。

プローダウン；Blow-down. ETS-VI用のAKEで採用した推進薬供給方式。推進薬タンクに押しガスを封じ込め、そのガス圧によって推進薬をエンジンに供給する。推進薬の消費に伴い封

じ込められたガスは膨張するので圧力が下がる。図2参照。

2. 既設システムの状態

試験した結果をリアルタイムで得たいと考えるのは実験に携わる者の当然の願いである。今日、リアルタイムでデータを得ることは難しい処理ではない。しかし、既設計測システムを用いたデータ処理の現状はその水準から離れたものである。既設システムのデータ処理は、収録したデータを離れた別の建物にあるコンピュータでバッチ処理する方法、いわゆるオフライン処理となっている。ミニコンとデータ処理するコンピュータはハード的に接続しておら

す、収録した生データ（電圧値をAD変換したオリジナルデータ）を物理量に換算する際、校正データと計測値の関係付けを人為的な手段、つまりあらかじめプリントアウトしておいた校正データをオペレーターがキーボードから再入力する方法で行なっており、人為的ミスが生じやすい方法となっている。また、処理の施されたデータをデータベースとして登録する時もやはり同様の手段で行なわれ、現代の一般的な技術水準から見ると極めて非効率的な作業を行なっている。

計測システムを最良の状態にしておくには保守が肝要である。しかし、年月は計画的な保守を行なっていても機器に老朽化をもたらす。本システムでは特にデジタルデータ収録システムにもたらした老朽化の影響は深刻で、中心となるミニコン本体の老朽化の影響と思われる障害として、データを記録する磁気テープ装置が試験直前に起動出来なくなったり、逆に暴走したりし、計測システムの信頼性を著しく低下させた。また、中心となっているミニコンは1973年に製造中止となっており、保守を依頼していた会社から、計算機の保守部品および保守技術者の確保が困難になったため1988年以降の保守契約を締結しない旨通告され、老朽化が著しい中で深刻な問題となっていた。

このような諸問題を抱えながらもAKEの研究開発当初は既設のシステムでデータ収録・処理を行なった。しかし、エンジンの研究開発が進み、原型エンジンに近づくに従って、ついに致命的な問題に直面した。それは、既設のアナログ／デジタル変換器（以下ADCと呼ぶ）の分解能（10mV, 10bit）ではAKE試験で要求されている計測精度を確保する事

が出来ないという問題である。試験を続けて行くために、緊急な改善が求められた。このように、既設システムには、

- ・時代にそぐわない非効率的なシステム
- ・著しい老朽化による信頼性の低下
- ・要求された計測精度が達成できない

という難しい問題が山積されている状態であった。

3. 要求される機能

3.1 ハードウェア

ハードウェア面で要求される機能は前述のソフトウェア開発基本思想と、計測に必要な基本スペック(spec; 仕様)から決められる。表1に要求されるハードウェアスペックについて記す。当システムに置けるAKE開発試験に必要な計測点数は60チャンネルであり、ADC分解能は既設システムの倍の精度が最低限要求される。他のスペックは既設システムのスペックを下回らないことが基本的な要求である。このような要求をベースに資金面で最もコストパフォーマンスの良いハードウェアを導入することになる。

以上、構想をまとめると、次の様に述べることが出来る。すなわち、試験の準備からはじまり、ドキュメント作成時に使用できる図表等の出力まで一貫した処理が可能なシステムで、熟練を必要とせず、操作が容易で、計測、データ処理に必要な機能を最低限有し、資金面で達成可能なシステムとなる。

このことは、基本的に許された研究費で許される資金の範囲内でハードウェアを整備し、必要なアプリケーションは内作することを意味する。

表1 要求されている機能

ハードウェア	ソフトウェア
計測点数	60 ch 以上
データ分解能	5 mV (12 bit ADC)
Sampling-Rate	100 Hz 以上
レッドライン監視	
高品位データ出力機能	グラフィック処理機能
制御機器との接続機能	リアルタイム処理機能
	計測データのデータベース化
	精度管理機能

3.2 ソフトウェア

前述の様な状況を解決するには明らかに新たな機器の導入が不可欠である。しかし、デジタル計測システムの導入は、単なる機器の置き換えとはならず、新たなシステムに対応するソフトウェアが必要である。機器の導入に際し、計測システムとして必要なソフトウェアの基本思想を考慮する。

既設計測システムは長い年月にわたって使用され、様々なデータ処理上のノウハウを蓄積した。新設システムはそれらのノウハウを生かし、今日の水準で達成可能で使いやすいシステムを目指とした。機能的な要求は、

- ・校正・精度管理システム
- ・計測・監視・制御システム
- ・データ処理・データ管理システム

である。これは、AKE開発試験を促進するという必然性が根底にあり、これを満足させるシステムが要求されていることによる。一方、操作面からは、

- ・日本語による表示とメニュー方式によるコマンドの実行。

・理解しやすい画面構成と対話形式による処理。により、操作に熟練を必要としない配慮が必要である。特に、利用する計測担当スタッフが限定出来ない場合には、操作性はソフトウェア構築の際の重要な要素である。また計測システムの合理性と信頼性を考慮すると、次の点を配慮する必要がある。

- ・手作業を出来るだけ自動化する。
- ・紙と鉛筆で行なって来た作業をペーパーレス環境に移行する。

新計測システムの導入は、前述の様に、AKE開発試験に寄与する事が重要な要素である。従って、AKE試験に重点を置いたシステムが構築されるが、それでも試験の多様性を考慮するとソフトウェア開発は、多様性と柔軟性に配慮して行なわなければならない。つまり、

- ・様々な試験形態に対応できる事

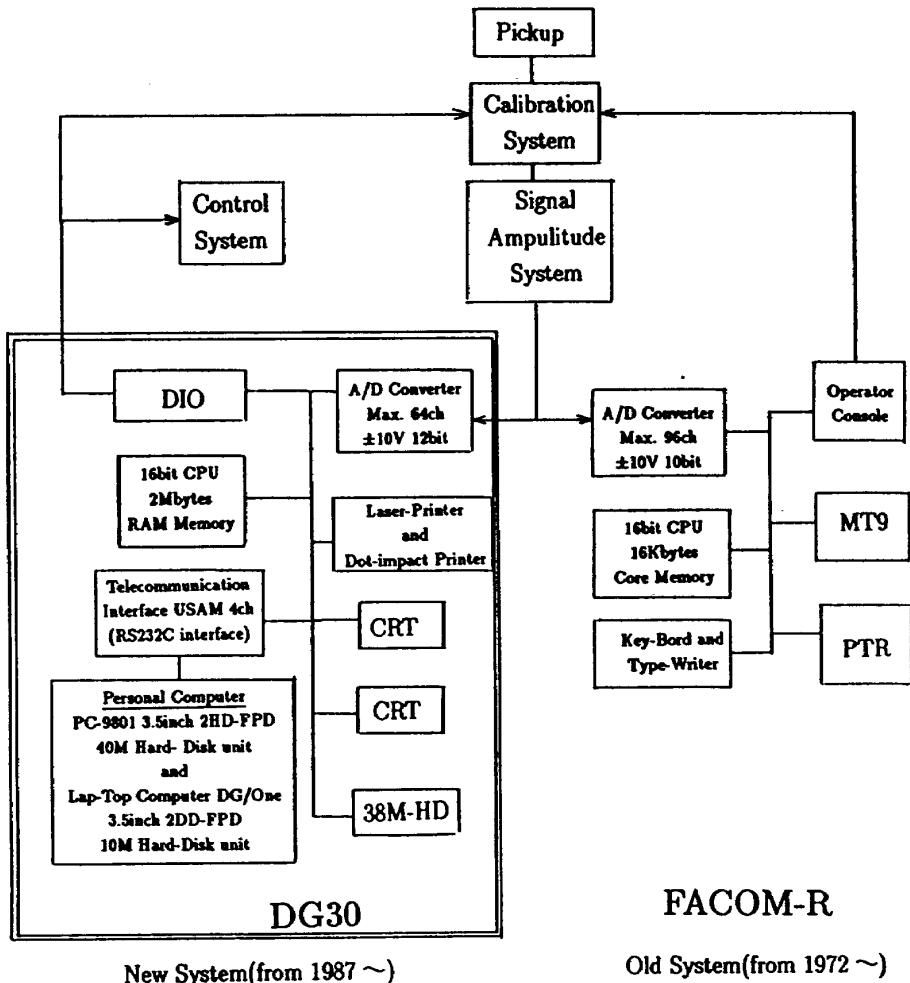


図3 ハードウェアシステム構成

・アプリケーション修正が容易に出来ることが必要である。このようなソフトウェア開発のスペックを表1に示す。アプリケーションプログラムソフトの開発は機器に左右される。機器の導入は、資金と要求されるスペックによって決められる。次に機器の導入に必要なハードウェア面を考慮する。

4. 計測システム

4.1 システム構成

新設デジタル計測系を含めたHATS計測系ハードウェアのシステム構成を図3に計測室全景を写真1に示す。図中、二重枠で囲まれた部分が新設の部分である。システム全体の整合性を考慮し、既設システムと同じような構成となっている。計測するデータは、既設システムの信号分岐部から信号を分岐させ、ADCを介してデータ収録する。この方法は既設システムで長年行なって来た実績のある方法で、データ処理のためのソフトウェアのノウハウ等も多く、それらを活用することが出来る。また既設及び新設システムが同時に各々独立してデータ収録が出来るという利点もある。

新設システムは、パソコンを中心としたシステムで、OSはリアルタイム性を重視し、計測制御のために開発されたものを採用した。ディスプレイ、プリンタ等の周辺機器はマンマシンインターフェイスを構築しやすいように日本語に対する性能を重視した。新設および既設システムのスペック比較を表2に示す。

以下、新設システムで可能となった若干の特徴に

ついて述べる。新設システムは、16チャンネルのデジタル信号入出力(DIO)が出来る。この機能を利用し、計測機器やシーケンサー制御が可能で、それほど複雑でない試験なら、試験を制御しながら計測するという事も可能である。現在は、計測データを常時監視し、各計測点ごとにあらかじめ定められた閾値(threshold-level)に対する条件を定め、その条件に従って、種々の処理を行なっている。

遠隔計測が可能である。パソコン本体を計測室におき、モデム等の通信機器を利用して、所内の内線電話を使って、ラップトップパソコンを実験室に持込み、そこで計測システムを呼び出し利用するものである。この機能は、実験室があちこちに分散している場合、有効である。

4.2 ハードウェア

ホストコンピュータは日本データゼネラル社(以下NDGと略す)の16ビットパソコンDG/30シリーズである。それに通信回線(RS 232C)を介し、NEC製パソコンPC-9801とNDG社のラップトップパソコンDG/1が接続される。これらのパソコンを用いた理由は、金銭上の理由による。メインメモリ容量は2Mバイトで、通常、システムとプログラムで占有する領域を除いた約1.6-1.7Mバイトがデータ領域として利用出来る。メモリアクセスは16ビットのパソコンなのでバンク切替方式で行なっている。

ADCは分解能12ビット、入力レンジは既設システムに合わせ、 $\pm 10\text{V}_{\text{max}}$ である。入力チャンネルは最大64チャンネル(シングルエンド)準同時サン



写真1 HATS計測室

表2 新旧システム比較

項目	旧システム	新システム
CPU	富士通 FACOM-R 16 bit Mini - Computer 16Kbytes CORE Memory	日本データゼネラル社 DG 30 Desk-Top Computer 2Mbytes RAM-Memory
OS	FACOMオリジナル	DG/RDOS
USER	Single Task Single Job	Multi-Task Dual Job
Application Language	アセンブラー FORTRAN (JIS3000)	アセンブラー FORTRAN5
端末装置 出力装置	タイプライタ 1台 紙テープ読取り機 1台 紙テープ穿孔機 1台 X-Y プロッタ 1台	カラー漢字 CRT 2台 レーザープリンタ 1台 シリアルプリンタ 1台 ハードコピー 1台
補助記憶装置	800 bpi MT9	38M HD 5" FPD
ADC	最大入力電圧 ±10V ADC ユニット 96 台 分解能 10 mV Sample/Rate 100 Hz	最大入力電圧 ±10V ADC ユニット 4 台 分解能 5 mV Sample/Rate 200 Hz
DAC	16 ch	—
DIO	—	DI; 16 ch and DO; 16 ch
計測点	80 ch (Max 96 ch)	60 ch (Max 64 ch)
通信	—	USAM (RS 232C) 4 line
データ処理	他の汎用計算機	クローズ処理
その他	—	PC-9801 1台 DG/ONE 1台

プリング(最初のチャンネルと最後のチャンネルは 0.5 msec. 程度の時間的ズレがある。)となっている。ADCは 30 KHz の ADC ユニットを 4 台パラレルに接続し、0.005 秒から 30 秒まで 0.001 秒の間隔で任意にサンプリングレートが選べる。

外部記憶装置として、ハードディスクがあるが、これは記憶容量 38 メガバイトで実験データの一時的な保存に用いる。個別の試験データは通常、1 メガバイトのフロッピーディスクに保存する。

4.3 ソフトウェア

基本 OS はリアルタイム性を重視した NDG の DG/

RDOS と呼ばれるもので、計測・制御等に非常に都合の良い OS である。

同 OS 上のソフト開発アプリケーションとして FORTRAN5 がこの OS 上で働く。FORTRAN5 は ANSI 規格 (X3.9-1966) の拡張言語で、リアルタイム処理のための様々な拡張機能が付加えられており、DG/RDOS 上で最も効果性を發揮する言語である。今回内作した計測アプリケーションプログラムのソースリストはこの言語で記述されている。

FORTRAN5 コンパイラは最適化をはかるためコンパイルに要する時間が長いという欠点があるが、実行時の高速化と占有領域を最小化を意図しオブジェ

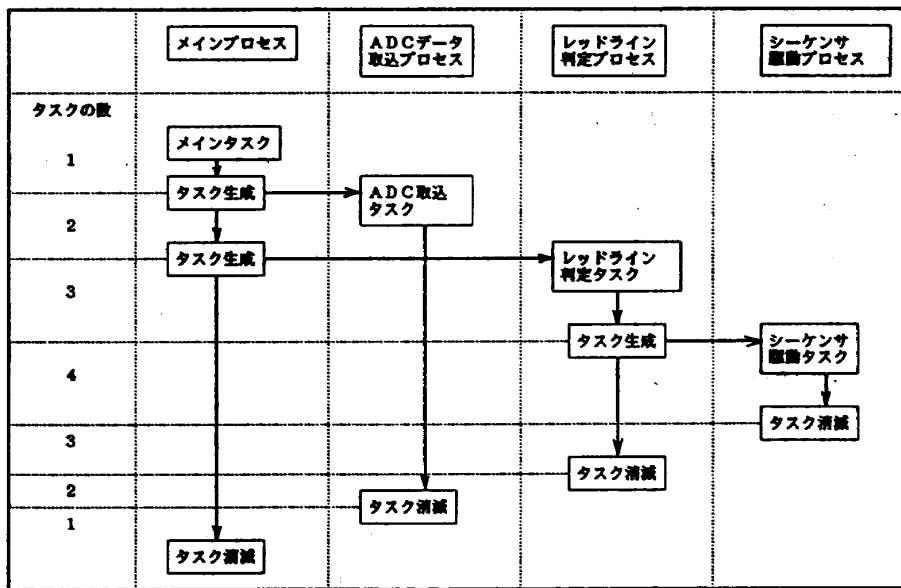


図4 マルチタスクプログラム例

クトコードが生成される。パソコンクラスの計測システムの実行には不可欠な要素である。

マルチタスク処理も可能である。この機能を用いると、試験時の様々な条件に対応した非同期で生じを多くの事象を制御することが出来る。サブルーチンと似ているが、両者の違いはサブルーチン処理の流れが時間的にシーケンシャルな流れになるのに対し、マルチタスクではパラレルな処理となる。マルチタスクプログラムの一例として試験時のデータ収録と閾値判定、並びにシーケンサ制御から成るマルチタスク概念を図4に示す。

メインタスクは全体の流れを制御し、試験データを取り込む。A/Dデータ入力タスクは設定されたサンプリング間隔で設定された数のデータを取り込み、そのフラグをセットする。このフラグは、メインおよびレッドライン判定の2つのタスクで監視されている。メインタスクはこのフラグがセットされたことを認知するとただちに、試験データをメモリに記録する。一方、レッドライン判定タスクもほぼ同時にそれを認知し、データの判定を行なう。両タスクの作業が終了するとA/D判定タスクのフラグはリセットされ、再び新しいデータを取り込む。このように、マルチタスクのアルゴリズムでプログラムを組むことによってリアルタイムの様々な処理が出来る。

FORTRAN5はマルチタスクに加え、計測・制御機器の様々な操作を可能にするサブルーチン形式の

ライブラリが用意されている。それらはハンドラと呼ばれる複数のサブルーチンパッケージで、高級言語から直接入出力インターフェイスを管理する事が出来る。ハンドラ概念を図5に示す。本システムでは2つのハンドラがあり、1つは外部の計測機器をリモートコントロールしたり、逆にイベント信号を受取ったりするDIOハンドラ、もう1つはADCを制御し、データを取り込むADCハンドラである。ハンドラは、ADCやDIOを制御するハードウェアモジュールのインターフェースを管理するアッセンブラー言語で記述されたオブジェクトモジュールで、プログ

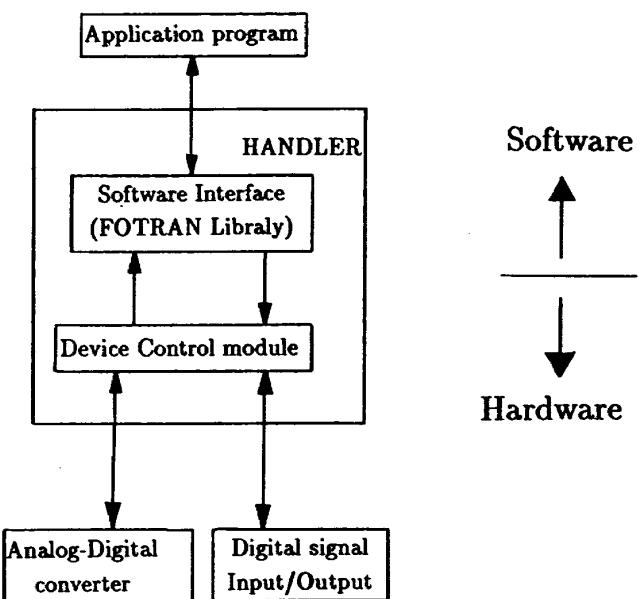


図5 ハンドラ概念

ラマ側から見た場合、1つのフォートランライブラリとして論理的な使用が出来るユニットである。

以上のように DG/RDOS - FORTAN 5 を用いることによりプログラムは高級言語でハードウェアを利用する事が出来、アセンブリや他のハードウェアに関する詳細な専門的知識から解放され、ソフト開発の負担が軽減される。

5. AKE 試験データ処理

5.1 データ処理アルゴリズム

現在開発している AKE は、プローダウンモードで動作する。従って、開発試験もプローダウンモードでの試験が行われる。そのことは、従来のデータ処理に次のような機能を付加することになる。すなわち、プローダウン範囲全域に渡る校正手法の確立と校正結果を物理量換算時に反映させるリレーション手段の開発である。

図 6 に代表的なプローダウンモードにおけるデータ取得形態を示す。バルブ信号やその他の制御信号の様なイベント信号以外の計測データは図 6 に示されたように、動作点が広範囲に渡る。当システムにおけるピックアップは大きく、3つの種類に分けられる。すなわち、

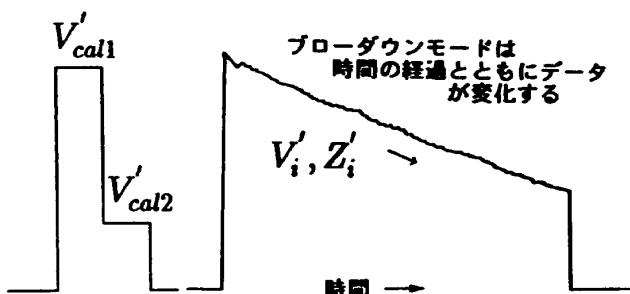


図 6 プローダウンモードのデータ形態

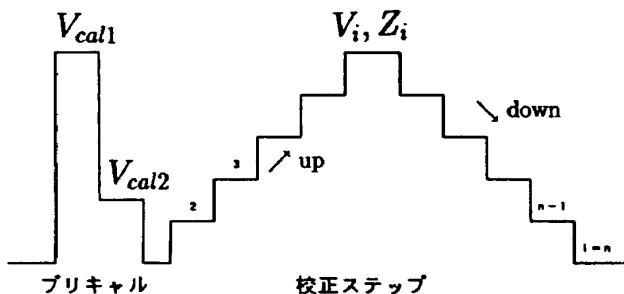


図 7 キャルモード

- ・圧力・推力（ストレインゲージ系）
- ・流量（ターピンフローメーター系）
- ・温度（サーモカップル系）

5.1.1 ストレインゲージ系の処理

最初にストレインゲージ系について説明する。プローダウンでは、時間の経過とともにデータレベルが変化するので、校正もこの事を加味した方法で行なわなければならない。図 7において、キャル第一ステップによる出力 V'_{cal1}, V'_{cal1}' （「」は試験時のデータを示す）及びキャル第二ステップの出力 V'_{cal2}, V'_{cal2}' は図 8 のスイッチを切り替える事により、基準抵抗を切り替えて発生させる。出力電圧は基準抵抗と励起電圧の関係から一義的に定まるので、校正時と計測時の電気系全体のシフトは、この校正電圧の値で関係付けられる。

校正手順は、まず、キャル第 1 ステップ及び第 2 ステップの出力電圧 V_{cal1}, V_{cal2} を収録する。続いて、階段ステップ状に荷重を加え、その出力値 V_i と加えた荷重の値 Z_i を記録する。この校正データを基に、決められた方法で何回かのデータを収集し、最小自乗近似式を求める。

$$Z = f(V) \quad (1)$$

校正時と、実験時のセンサから ADC 出力までの系全体の関係付けは、系内の基準抵抗に対する出力値、すなわち、 $V_{cal1}, V'_{cal1}, V_{cal2}, V'_{cal2}$ の関係で、

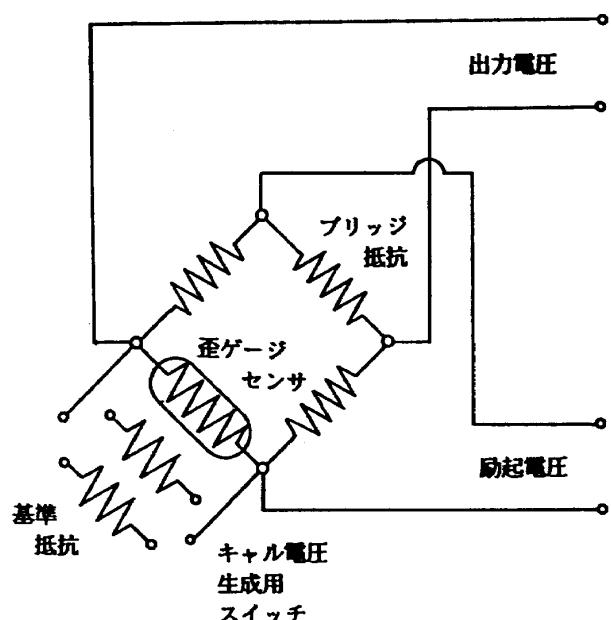


図 8 キャル電圧の生成

次の様な式が成り立ち、すなわち、

$$c = \frac{V_{cal1} - V_{cal2}}{V'_{cal1} - V'_{cal2}} = \frac{\text{校正時のキャラスパン}}{\text{計測時のキャラスパン}} \quad (2)$$

(1)と(2)の関係から、次のような式が導かれる。すなわち、計測した電圧を V'_i とすれば、それに対応する物理量 Z'_i は、次のように求められる。

$$Z'_i = f(V_i = \{c(V'_i - V'_{cal2}) + V_{cal2}\}) \quad (3)$$

物理量換算アルゴリズムについて述べる。END-TO-END 校正が行なわれている計測点の物理量換算は、次のような仮定のもとで、增幅系の利得とバイアスが校正している時と計測の時に相違があっても処理出来る。

- ・センサ、信号伝達系および、校正電圧発生用ブリッジが校正時と計測時同一
 - ・プリキャルから、データ収録完了まで、増幅器等にドリフトがない。（無視し得る程度）
- この仮定の下では、キャラ電圧と計測時の電圧の間には次のような式が成り立つ。すなわち、

$$\frac{V_i - V_{cal2}}{V_{cal1} - V_{cal2}} = \frac{V'_i - V'_{cal2}}{V'_{cal1} - V'_{cal2}} \quad (4)$$

上式を変形し、 V_i を左辺にすると

$$V_i = \frac{V_{cal1} - V_{cal2}}{V'_{cal1} - V'_{cal2}} (V'_i - V'_{cal2}) + V_{cal2} \quad (5)$$

ここで、

V_i, V'_i ; 印加した物理量に対する計測電圧

V_{cal1}, V'_{cal1} ; キャル第1ステップ電圧

V_{cal2}, V'_{cal2} ; キャル第2ステップ電圧

[']印は計測時のデータを示す

物理量換算は、校正時の印加物理量 Z_i と収録電圧 V_i を次式であらかじめ近似する。

$$Z_i = f(V_i) \quad (6)$$

校正時と計測時の収録した出力電圧のリレーションは上式で示される。この式から、実際に燃焼試験などで収録した電圧 V'_i を校正時のキャラ電圧とその時の収録電圧に変換し、(6)式の近似多項式から物理量を算出するものである。実際には、校正時のデータサイクルが複数回行なわれ、そのプリキャルの値も各校正毎のデータで多少の変化があり、生の校正データと計測時のデータを直接関係付けると複雑な処理が必要となる。それで、処理を簡素化するため、一

旦生データを整理する。その手段は、プリキャルに対応する論理的な定数を定め、その定数で生データを整理する。すなわち、次式において、任意に定めた定数 V_{s1}, V_{s2} を用いてキャラと出力電圧の関係を次のように定義する。この式は、キャラスパンと出力電圧の関係を表している。生データ V_i に対応する変換値が V_{si} である。

$$\frac{V_i - V_{cal2}}{V_{cal1} - V_{cal2}} = \frac{V_{si} - V_{s2}}{V_{s1} - V_{s2}} \quad (7)$$

上式を変換値 V_{si} でまとめると、

$$V_{si} = \frac{V_{s1} - V_{s2}}{V_{cal1} - V_{cal2}} (V_i - V_{cal2}) + V_{s2} \quad (8)$$

となる。このとき、 $V_{s2} = 0$ とすれば上式は

$$V_{si} = V_{s1} \frac{V_i - V_{cal2}}{V_{cal1} - V_{cal2}} \quad (9)$$

と単純な形に変換することが出来る。この変換値、 V_{si} と物理量 Z_i の関係を求め、多項式を作成する。関係式は、

$$Z_i = f(V_{si}) = \sum_{n=0}^m a_n (V_{si})^n \quad (10)$$

となる。

計測時にも同様な処理を行なう。計測データ V'_i を前述した方法で V_{si} に変換する。すなわち、校正時に用いた同じ論理定数値 V_{s1}, V_{s2} で変換し、

$$\frac{V'_i - V'_{cal2}}{V'_{cal1} - V'_{cal2}} = \frac{V_{si} - V_{s2}}{V_{s1} - V_{s2}} \quad (11)$$

と定義する。上式を V_{si} でまとめると、

$$V_{si} = \frac{V_{s1} - V_{s2}}{V'_{cal1} - V'_{cal2}} (V'_i - V'_{cal2}) + V_{s2} \quad (12)$$

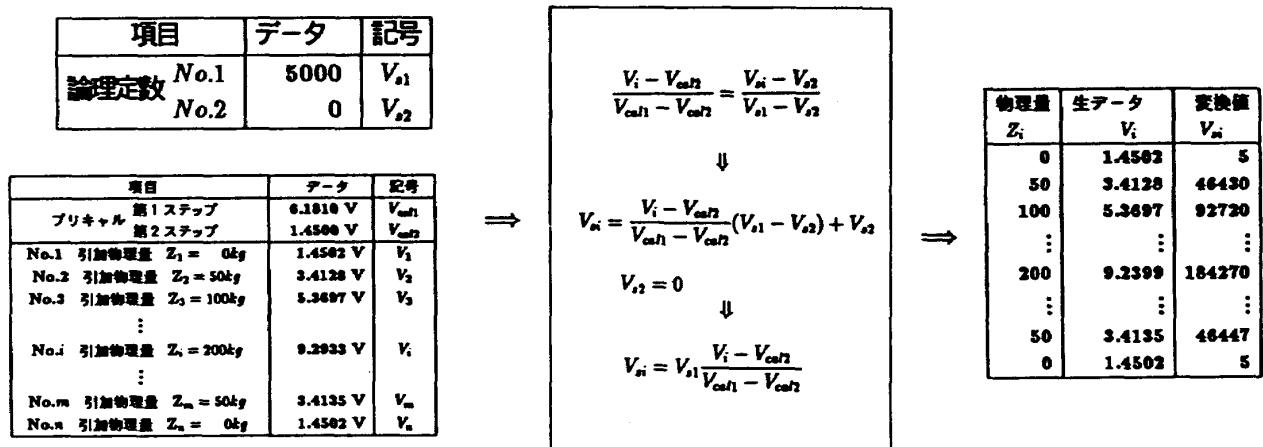
となり、 $V_{s2} = 0$ ゆえ、上式は

$$V_{si} = V_{s1} \frac{V'_i - V'_{cal2}}{V'_{cal1} - V'_{cal2}} \quad (13)$$

となる。まとめると

$$V_i = \frac{V_{cal1} - V_{cal2}}{V'_{cal1} - V'_{cal2}} (V'_i - V'_{cal2}) + V_{cal2} \quad (14)$$

となる。このように、物理量換算は、キャラの値を用いて計測時と校正時のデータを関連付けており、系に変更がなければ基本的に校正時のデータテーブルを使用して作成した最小自乗近似式多項式から物理量を求めるに等しい。この処理は、丁度 X-Y 座標系における X 軸側の座標変換をした多項式に



物理量 Z_i	生データ V_i	変換値 V_{ci}
0	1.4502	5
50	3.4128	48430
100	5.3697	92730
⋮	⋮	⋮
200	9.2393	184270
⋮	⋮	⋮
50	3.4135	48447
0	1.4502	5

図9 校正と計測データのリレーション

置き換えた処理となる。この概念を図9に示す。

5.1.2 ターピン式流量計

ターピン式流量計の場合は、校正電圧 V_{cal1}, V_{cal2} の発生方法がストレインゲージ系とは異なり、基準周波数を入力して、周波数-電圧変換器(FVC)の出力を得る方法である。基準周波数の再現性が良好であれば基準抵抗からブリッジを介して電圧を発生させるストレインゲージの場合と同様の処理が行える。実際、図10に示すように、校正用に発生させた基準パルスと流量計測から発生したパルスは同じFVC系を通過する。このように、流量の処理は圧力系と熱電対系の中間の処理となる。

流量校正は、ENE-TO-END法による系全体の一括校正とセンサ部それ以外を分けて校正する分離校正とがある。流量校正をEND-TO-ENDで行なうのは圧力や温度に比べ複雑である。流量校正の場合、いずれの方法でも校正是一定時間に流れた流量と出力パルスもしくは出力電圧の関係で求められる。直接得られるデータは、流出時間 t (sec.) と総重量 WT とトータルパルス数 TP 、もしくはFVCにより

パルスに相当する電圧に変換された計測電圧の積分値 TV ($= \sum_{i=1}^n v_i$) である。それらの間には次の様な関係がある。

$$\text{平均流量 } W(\text{g/sec.}) = WT(\text{g})/t(\text{sec.}) \quad (15)$$

$$\text{平均周波数 } P(\text{Hz}) = WT(\text{パルス})/t(\text{sec.}) \quad (16)$$

$$\text{平均計測電圧 } V(\text{ボルト}) = TV(\text{ボルト}\cdot\text{秒})/t(\text{秒}) \quad (17)$$

ここで、流量校正中に計測開始から終了までの間、その流路中の圧力変動と温度勾配が無視しえる程度に小さくほぼ一定と仮定出来るなら、平均流量 W は流路内の代表される圧力 P と温度 T のデータから算出した密度 $\rho = f(P, T)$ で変換し、体積流量 $Q(\text{cc/sec.}) = W/\rho$ と平均周波数 $P(\text{Hz})$ の相関が得られる。ターピンフローメーターの校正では、この比を通常 K ファクター $= (P/Q)$ と呼んでおり、ターピンフローメーターの単体校正の指標となる。一方、ターピンフローメーターをEND-TO-END校正する場合は平均計測電圧と平均流量でまとめておくと使いやすい。

このような作業を繰り返すことによりプローダウン範囲の必要な校正データを得、最小自乗多項式近似係数を取得出来るようになる。このような作業のため、校正プログラムパッケージの中で流量校正だけは他の校正と異なった処理が必要となり、コードフロー試験として通常の校正作業とは独立したプログラムを用いるようになっている。流量校正では、1データ点のデータに關係する情報が非常に多い。そのため再計算や編集の面で専用のプログラムが必

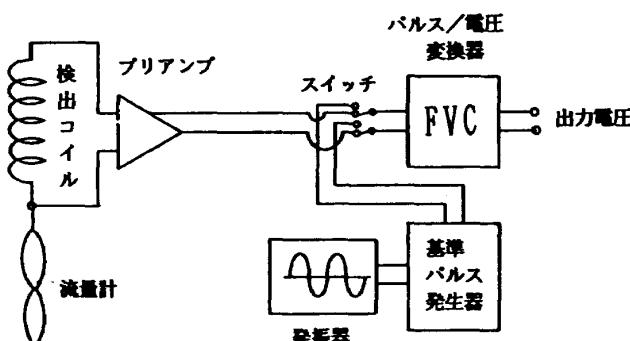


図10 ターピンフローメーター系統概念

要となる。

5.1.3 サーモカップル

熱電対系の処理について説明する。もし、熱電対が圧力計等と同じようにEND-TO-END校正がなされているなら、それは多項式で計算することが出来る。それ以外の熱電対については、出力電圧と入力した基準電圧の関係から、起電力を計算し、この値と起電力表の関係から温度を算出する方法をとっている。図11に熱電対系の計測系統を示す。

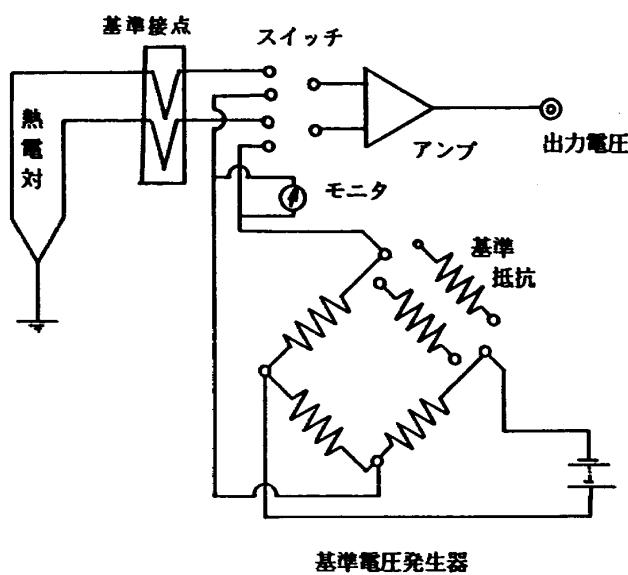


図11 サーモカップル系概念

処理手順は、次のように行う。まず、アンプ(増幅器)のゲイン(増幅率、利得)を求める。その方法は、図11においてキャル時、基準電圧がアンプに入力される。基準電圧はLowとHighの二種類があり、それらはスイッチが切り替えられることによって生成される。その電圧をキャルの第1ステップ、第2ステップに対応させ、それぞれ入力した基準電圧を V_{S1} , V_{S2} 、一方、ADCを介して計算機に取込まれたデータ、すなわち出力値を V_{cal1} , V_{cal2} とすれば、系全体のゲイン(G : 増幅率)は

$$\text{増幅率 } G = (V_{cal1} - V_{cal2}) / (V_{S1} - V_{S2}) \quad (18)$$

となる。出力値 V_{cal1} と入力値 V_{S1} の間には次のような関係がある。すなわち、

$$\text{出力値 } V_{cal1} = V_{S1} G + B \quad (19)$$

したがって、バイアス B は次式のようになる。

$$\text{バイアス } B = \frac{V_{cal1}}{G} - V_{S1} \quad (20)$$

このバイアスとゲインが計測開始から終了まで変化しない、つまり一定であるなら熱電対が発生する起電力 v_i と計測値 V_i の間には次のような関係が成立する。

$$\text{起電力 } v_i = \frac{V_i}{G} - B \quad (21)$$

ここで得られた v_i をもとに熱電対の温度と起電力の関係から温度を求める。

$$\text{温度 } T = f(v_i) \quad (22)$$

以上のように、AKE試験でデータとして計測される圧力、推力、流量、温度の各データは上述のアルゴリズムにより処理される。

5.2 精度管理

精度管理はAKE試験における特に重要な要素の1つである。計測データに基づいて算出される値には、必ず誤差が含まれている。従って、実験結果に含まれる誤差に対する十分な配慮が求められる。測定したデータの信頼性は、誤差解析に依存する。AKE試験ではエンジンの正味の性能値が重要であり、それらを算出するためには各計測点の精度管理が求められる。本システムでは、AKE試験の場合の計測精度の計算は、二液アポジ推進系計測精度管理要求(JAR 4B-364-C)に従って行なわれ、AKE試験以外のデータ処理における精度管理は、日本機械学会翻訳の「ASME性能試験規約、計測機器および試験装置に関する補則、第一部 計測の不確かさ」³⁾に準じている。精度管理は次の3つのプログラムパッケージで構成されている。すなわち、

- 校正データ多項式近似プログラム
- 校正生データ編集プログラム
- 精度管理データ編集プログラム

プログラム作成の基本方針は次の通りである。校正データ多項式近似プログラムは、選択された生

3) 日本語訳1987年11月25日発行

ANSI/ASME PTC 19.1-1985, ASME Performance Test Codes. Supplement on Instruments and Apparatus, Part I, Measurement Uncertainty.

ータを最小自乗近似し、その結果を表示、印刷するとともに、係数と偏差等のデータを記録する。このとき、校正データが精度管理要綱にもとづく要求を満たさないデータに関しては精度管理は行なわない。

校正生データ編集プログラムは校正データの修正、変更及び校正したときの生データの管理を行なう。基本的に編集は、人為的な誤りによる間違いを修正する場合にのみ用いるため、校正時に手操作入力したデータの修正以外は修正操作ができないようになっている。データ管理は対話形式で行なう。

精度管理データ編集プログラムは、単体校正における精度や基準器の精度のように、入力の必要なデータを定義作成し、システムもしくは、END-TO-END 校正の結果(これは多項式近似による計算結果であるが,)と合わせて精度計算を行ない、精度管理表を作成する基礎データを作る。修正の場合と新たに作成する場合が考えられるので、同じ精度管理テーブルが同一ファイルに複数生じえないようそれらが容易に識別出来るようファイル管理をする。

この精度管理テーブルは、性能計算プログラムから参照される。性能計算プログラムでは、このテーブルから必要なデータを取りだし、計測精度を算出する。従って、このテーブルは性能計算プログラムから参照しやすいようにデザインされている。AKE 試験の処理には特に保証精度の期限切れセンサで計

測がなされた場合や計測精度があらかじめ要求されている許容精度を外れているとき、そのデータの信憑性について警告を出力するので、そのための情報もテーブルに含まれている。

精度管理データ編集プログラムは各センサの計測ライン系毎に短期間の一時的な精度管理、および長期間に渡る長い履歴を考慮した精度を算出する。データファイルは固定長のランダムアクセスデータとして記録される。同一データによる精度データの多重定義を避けるため、登録はあらかじめ多項式近似データを計算して、そのとき計算される偏差等が精度データテーブルに記録されたのち、精度データが処理されるというアルゴリズムとなっている。

6. AKE 試験計測プログラム

6.1 データ処理の区分

AKE 試験データ処理プログラムの概念を図 12 に示す。大きく 5 つの部分に分けられる。すなわち、

- ・基礎情報の作成
- ・校正
- ・計測
- ・データ処理
- ・データの有効利用

以下簡単に説明する。従来、試験に際して「チャネル対応表」と呼ばれる表が試験ごとに作成され

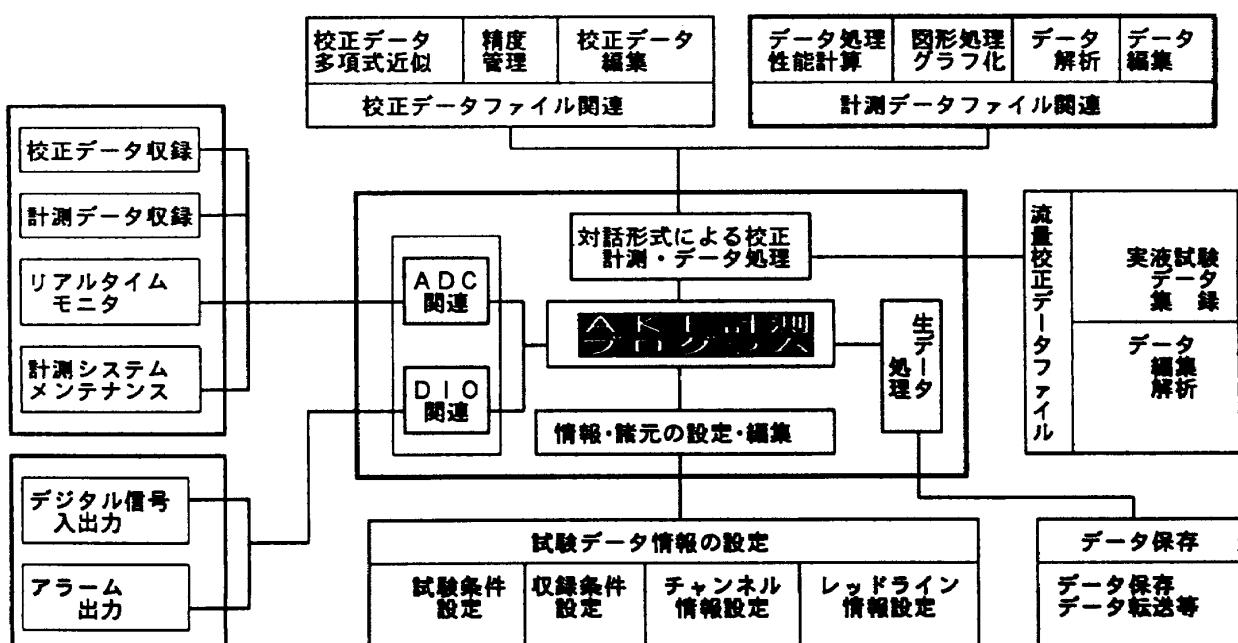


図 12 AKE 試験データ処理概念

表3 チャンネル対応表

番号	項目	フォーマット	リレーショナルデータ、備考等									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	物理量指標	I4	mV	(C)	(K)	ata	MPa	Kg	KN	…	torr	cc/s
2	処理指標 3桁の数字で処理 百の位 处理種別 十の位 センサー種別 一の位 伝送経路	I3 I1 I1 I1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	計測点記号	A8	タグコード									
4	変換電圧 1 2	F8.0 F8.0	ソフト的なキャルの第1, 2ステップの値。校正データと計測値を結びつけるもの									
5	センサー情報	A16	シリアル番号, センサ製造元, その他の情報									
6	参照電圧カード	A4	シグナルコンディショナーカード									
7	要求精度	F8.3	各計測点ごとに要求されている精度%									
8	多項式次数	I4	データ処理時に使用される最小二乗近似多項式次数									
9	多項式係数	1PG14. 7	多項式係数, 次数+1個の係数がある。通常自動でセットされる									

ていた。これは計測のための基本情報、すなわちどの様な試験が行なわれるのか、また計測する項目の細かい指示、情報が記述されているリストである。新システムでは、この最も基本的な情報を計算機に記憶させることにより、この情報を基準に全ての処理を行なうようにした。チャンネル対応表の項目を表3に、画面上の例を写真2に示す。

校正是、図1に示したように、基本的にセンサに印加した物理量からその計測値のデジタル出力までの端から端までの系を1つの系として校正する。(END-TO-END校正)この全データは記録され各計測点に対する校正基礎データとしてそれらを蓄積しその全履歴を保存する。この校正データ群を母

集団とし、校正係数の算出、並びに精度管理を行なう。これらは、チャンネル対応表により整理される。

計測は、計測スケジュール情報、コンフィグレーション情報、レッドライン情報が設定され、これらに基付いて計測される。これらの情報はデータ収録、処理、並びにデータベース化の際の基本情報となる。これらの試験条件の設定は、対話形式で設定される。(写真3)次いでキャルデータが収録され、そのデータを基にレッドライン判定値を算出し、試験中モニタされる。その後、試験データの収録が行なわれる。収録中、要求されていればレッドライン処理やシーケンサ制御がリアルタイムで行なわれる。試験時の電圧データはRAMメモリに一時的に取込み、後

AD01 TABLE v3.01 (DG/30版)		MALINATS
処理種別		電圧処理、電流処理、熱処理、湿度処理、特殊処理、その他
センサ種別		電圧、電流、温度、湿度、風速、風向、空気流量、その他
伝送経路		標準経路、歪ゲージ、標準経路、零接点、特殊経路
校正機器		標準計、標準計、熱流計、風速計、風向計、風量計、その他
精度管理		精度管理、分極定、管理せず
物理量単位		mV (C) (K) ata MPa (kg) (KN) --- torr cc/s
チャンネル情報		
cn	記号	処理 センサ 伝達 単位 センサ型式
36	F1	標準処理 歪ゲージ 標準経路 (kg) 750LBS I39950
カート 評理CAL1 評理CAL2 要求精度 /校正機器 校正機器 精度著理		
-- 5000.00 .00 2750 165.00 鋼直筒 END-END		
有効期限 計測精度 次数 A0 A1 A2 A3		
89/1/8 1.381 1 -.020 24.140		
【入力する項目にカーソルを移動し、[NEW LINE]キーを押して下さい】		
f.1 f.2 f.3 f.10		
前のch 次のch 戻る 終了		

写真2 チャンネル対応表編集画面

試験情報、ハート構成設定	
(1) 環境種別コード	:1 海面高度
(2) 試験種別コード	:1 ETS6
(3) 評価種別コード	:1 NTO
(4) 燃料種別コード	:12 :01 +N2H4
(5) 噴射器種別コード	:12 :02 印刷された表参照
(6) 燃耗種別コード	:12 :03 -
(7) ノズル種別コード	:12 :00 -
(8) 推素弁種別コード	:11 :2 -
(9) ユーザー定義コード	:14 :0000 任意に定義
設定する番号を指定して下さい。終了は END と入力して下さい	
1	
環境種別コード	
(0) ---	*
(1) --- 海面高度	*
(2) --- 高空性能	*
(3) --- その他	*
コードを入力して下さい。	

写真3 試験情報設定時の画面

表4 計測データファイル構成

燃焼試験チャンネル情報 (1 レコード 128 バイト × 196 ランダムデータ)		
レコード番号	レコード概要	所要領域
1 2	試験スケジュール および条件	2 レコード (128×2)
3 4	上のデータの複写(バックアップ) 将来のための予備領域	2
5 (1) 6 (2) ⋮ 67 (63) 68 (64)	チャンネル情報データ	64 レコード (128×64) 1 ch が 1 レコードを使用
69 (1) 70 (2) ⋮ 131 (63) 132 (64)		64 レコード (128×64) 1 ch が 1 レコードを使用
133 (1) 134 (2) ⋮ 195 (63) 196 (64)	レッドライン情報定義データ	64 レコード (128×64) 1 ch が 1 レコードを使用
1	キャルデータファイル バイナリコード 128 バイト × 4 レコード	
	プリキャル 第1ステップ 128 バイト (64 ch×2 バイト)	
	プリキャル 第2ステップ 128 バイト (64 ch×2 バイト)	
	ポストキャル第1ステップ 128 バイト (64 ch×2 バイト)	
	ポストキャル第2ステップ 128 バイト (64 ch×2 バイト)	
燃焼試験生データファイル		
(使用チャンネル数+2) データ × 収録フレーム数 × 2 バイト		

にディスクに保存する。生データファイル構成を表4に示す。

収録されたデータは物理量に換算され、また必要な処理がなされる。これらの処理されたデータのうち、特定のものはデータベース化され、後日データ整理に利用する。データ処理は、数値データと图形化された出力が出来る。出力サンプルを図13～15に示す。

6.2 プログラム体系

全体のイメージはオペレータサイドからみると一つの大きなアプリケーションシステムのように構成

されている(図16)。各プログラムは、1つの大きなパッケージを中心にいくつものプログラムが接続しており、一方、データの方も一つの大きなデータベースのように構成され、それらが直結されたイメージとなっている。プログラムの起動は、ディスプレイに表示されたメニューの選択から始まる。メニューはツリー構造(樹木のような構造。肝心の部分から幹、大枝、小枝、葉というように関連付けられている構造)となっている。一例を写真4～6に示す。オペレータはプログラムを意識することなくパソコンと対話したりメニューを選択しながら作業を進めることが出来る。プログラムは大きく次の6つ

二液アポジエンジン試験 [性能]

試験場所: 宮城県角田市君董字小金沢一番地
科学技術庁 航空宇宙技術研究所角田支所 H A T S

実験番号: AKE-8274
コメント: J21P2S3 TH701 TB2 G03 HATS
実験日付: 88/12/9
大気圧: 752.00 torr

スロート面積 11.1045cm² (ノズル面積比 = 241.281)
補正係数 (FP = .9830 , FR = 1.0000 , FHL = 1.0000 , Fdis = .9900)
試験コード 1110102030020000

表示: 99.000秒目 (平均: 1.000秒間)

----< 性能データ >----

項目	決定値	補正等	一致度 %	選択値	計測値 1	計測値 2
燃焼室圧 (ata)	5.127	-.089	.084	5.216	5.218	5.214
推力 (kg)	105.097	2.537	.292	102.560	102.410	102.709
低圧室圧 (torr)	.697	.000	7.536	.697	.749	.644
"NTO" 側流量	159.051	1.444	.711	110.139	109.748	110.531
"N2H4" 側流量	169.841	1.007	.103	168.647	168.734	168.560

項目	測定値	理論値	効率 %	項目	データ
C * (a)	1680.66	1771.09	94.89	混合比 o/f	.9365
推力係数 CFV	1.8646	1.8903	98.64	Stag-Pc Pn	5.13 ata
比推力 (sec.)	319.55	341.39	93.60	真空推力 Fv	105.10 kg
Energy発生効率	319.55	323.23	98.86	総流量 Wt	328.89 g

項目	NTO抵抗	N2H4抵抗	NTO差圧	N2H4差圧"
Tank-Chamber	.2463	.1190	4.32	3.41
Tank-Line	.0108	.0159	.19	.46
Line-Inlet	.0356	.0355	.62	1.02
Inlet-Inj.	.1227	.0237	2.15	.68
Inj.-Chamber	.0772	.0439	1.35	1.26

---< 計測値 >---

SIG :	51.83	TBI1:	284.07	TBI2:	.00	TBJ1:	294.03	TBC :	285.97
TWA1:	1635.81	TWA2:	1614.74	TWA3:	1664.78	TWA4:	1650.55	TWB1:	505.18
TWB2:	541.53	TWB3:	1068.55	TWB4:	846.67	TWC1:	421.37	TWD1:	408.32
TWE :	1220.88	TNA2:	1087.45	TNB1:	759.02	TNC2:	668.86	TWAB:	1595.09
VF :	6356.75	THA2:	301.55	THB2:	618.31	THAB:	510.78	THC2:	341.57
THD2:	339.03	THE2:	319.31	WAB:	1581.90	TLO:	293.80	TLF :	294.57
TV1 :	.00	TJC :	297.53	TJO:	293.85	IJF :	295.18	TAMB:	282.91
F1 :	102.41	F2 :	102.71	PC1:	5.22	PC2:	5.21	PC3 :	5.22
PIO :	8.72	PIF :	7.15	PJO:	6.57	PJF :	6.47	PLO :	9.34
PLF :	8.17	PTO :	9.53	PTF:	8.62	VV :	4766.99	POU :	.01
PGM :	.02	PDB1:	21.75	PDB2:	21.47	PV1 :	.75	PV2 :	.64
PV3 :	.56	QOD :	109.75	QUU :	110.53	QFU :	168.73	QFD :	168.56

図13 出力サンプル(性能例)

二液アボジエンジン試験 [精度]

試験場所: 宮城県角田市君董字小金沢一番地
科学技術庁 航空宇宙技術研究所角田支所 H A T S

実験番号: AKE-8274
コメント: J21P2S3 TH701 TB2 G03 HATS
実験日付: 88/12/9
大気圧: 752.00 torr

スロート面積 11.1045cm² (ノズル面積比 = 241.281)
補正係数 (FP=.9830, FR=1.0000, FHL=1.0000, Fdis=.9900)
試験コード 1110102030020000

表示: 99.000秒目 (平均: 1.000秒間)

-----<< 計測データ >>-----

計測項目	計測値		計測精度		校正番号	有効期限
	物理量	単位	物理量	単位			年/月/日
酸化剤流量(上流)	109.75	cc/s	.3585	cc/s	QOD 881121	88/12/21
酸化剤流量(下流)	110.53	cc/s	.3784	cc/s	QOU 881121	88/12/21
燃料流量(上流)	168.73	cc/s	.6867	cc/s	QFU 881121	88/12/21
燃料流量(下流)	168.56	cc/s	.6723	cc/s	QFD 881121	88/12/21
酸化剤ライン温度	293.80	K	.1912	deg.	TLO 881121	88/12/21
燃料側ライン温度	294.57	K	.2268	deg.	TLF 881121	88/12/21
酸化剤ライン圧力	9.34	ata	.0732	ata	PLO 881121	88/12/21
燃料側ライン圧力	8.17	ata	.0771	ata	PLF 881121	88/12/21
燃焼圧力 No.1	5.22	ata	.0328	ata	PC1 881206	89/01/05
燃焼圧力 No.2	5.21	ata	.0440	ata	PC2 881121	88/12/21
大気圧力	752.00	torr	.5000	torr	TAMB ***	***
環境圧力 No.1	.75	torr	.0724	torr	PV1 881209	89/01/08
環境圧力 No.2	.64	torr	.0720	torr	PV2 881209	89/01/08
推力 No.1	102.41	kg	.0790	kg	F1 881209	89/01/08
推力 No.2	102.71	kg	.1573	kg	F2 881209	89/01/08
ノズルスロート径	3.76	cm	.0001	cm	DT ***	***
ノズル出口径	58.41	cm	.0500	cm	DE ***	***

-----<< 性能へのね返り >>-----

性能項目	計算値		誤差 (2)	正味性能 (1)-(2)
	(1)	(2)		
特性排気速度 C*	1680.66	m	9.3821	m 1671.28
推力係数 Cf _v	1.8646		.0105	1.8541
真空比推力 Isp _v	319.55	s	.8647	s 318.68
混合比 MR	.936		.0035	-- .933 .940
真空推力 F _V	105.097	Kg	.2058	kg 104.891

図 14 出力サンプル (計測精度例)

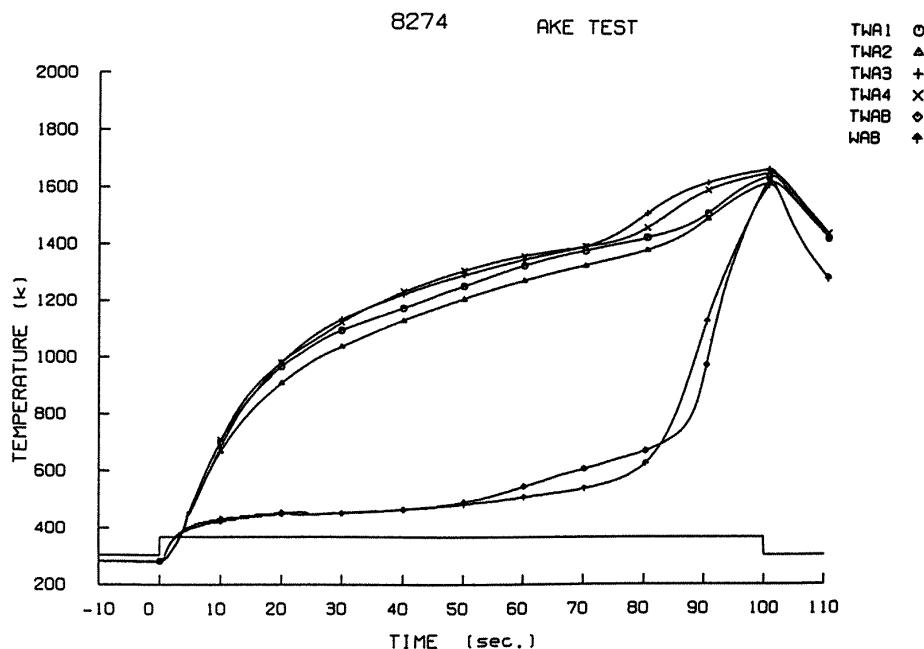


図 15 出力サンプル(グラフィック)

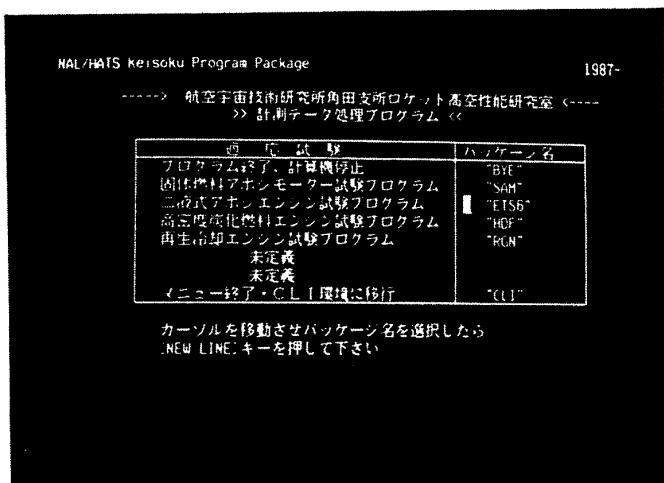


写真4 オープンメニュー

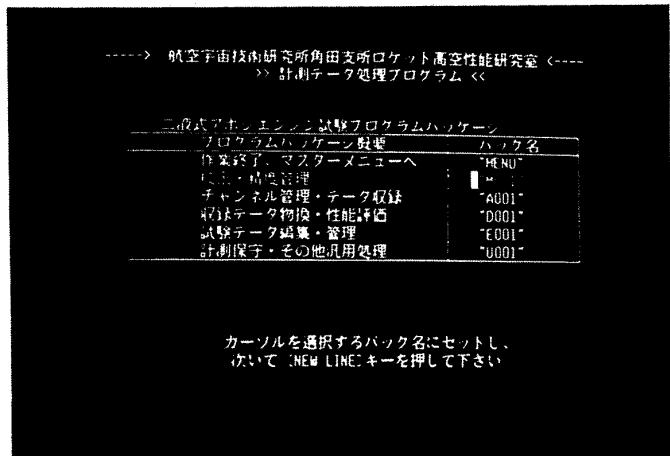


写真5 作業メニュー選択(作業種別選択)

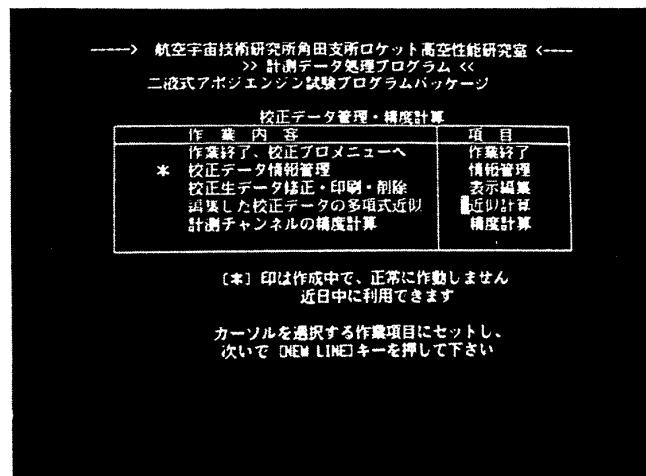


写真6 必要なプログラムを選ぶ(作業項目選択)

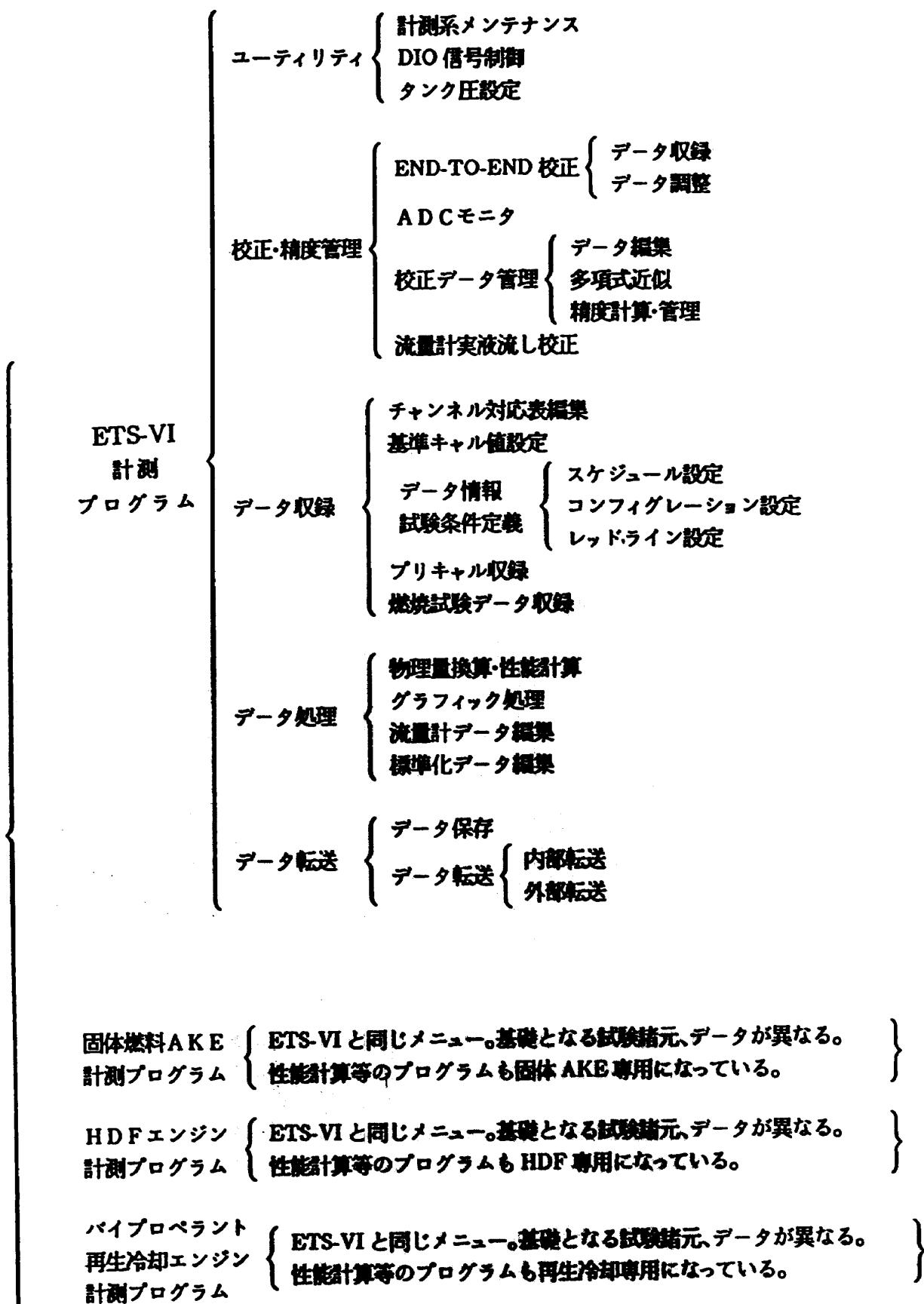


図 16 プログラムイメージ

の作業に分類できる。すなわち、

- ・校正・精度管理系は校正データに関する作業
- ・試験情報定義・データ収録系はデータ収録、レッドライン設定等の作業
- ・データ処理系は性能計算、物理量換算、作図、編集等の作業
- ・データ転送・変換系は収録データの保存、転送に関連する作業
- ・ユーティリティプログラム系は試験に必要な様々な汎用作業
- ・その他上記以外の作業全般

6.3 データ収録・処理プログラム

収録されたデータは保存され、いつでも再処理出来るように全ての情報を持つていなければならない。このプログラムは試験情報や、データ処理に関するそれらの情報を作成し、収録した試験データを定めた仕様で編集し一貫したデータ保存を行なう。また、ここでは、レッドライン情報の定義や基準化した校正電圧の定義、また、関連する他の情報も作成する。

燃焼試験データを計測する時の作業手順は、図17に示したように、ヘッダー情報作成→プリキャル→データ収録、の順に流れ、次いで、データ編集→データ処理という手順で流れる。従って、このプログラムパッケージが呼び出されると、プリキャル以降

は連続した手順で自動的に進み、オペレータが特に意識することなく、対話形式でデータ処理まで行なうことが出来る。なお、基本的なファイルは自動的に編集されながら最終的に実験毎の一つのファイルとなる。このファイルは3.5インチの1Mバイトマイクロフロッピーディスクに保存される。

試験情報定義ファイル（試験スケジュールとコンフィグレーション情報が結合したファイル）構成を表5に、レッドライン情報を表6に示す。通常これらのファイルにチャンネル対応表とデータ処理指標パラメータ定義表を編集結合したものを燃焼試験情報ファイルと呼んでいる（前出表4参照）。これらの情報の一部は、プリキャル収録後で且つ計測が行なわれる前にデータ処理され、レッドラインパラメータの設定やスタートトリガパラメータの設定に用いられる。

レッドライン判定の概念は、時間パラメータと物理量パラメータからなり、レッドライン・トラップが有効なのは、次の条件の時である。図18および写真7はレッドラインに関するものであるが、図中の判定開始（CK1；判定開始秒）から終了（CK1+CK2）の範囲（CK2；監視秒時）で、上限物理量（DTH）、もしくは下限物理量（DTL）の範囲を設定されている基準時間（CK3；判断秒時）を連続して越えた時、レッドライントラップが有効となる。

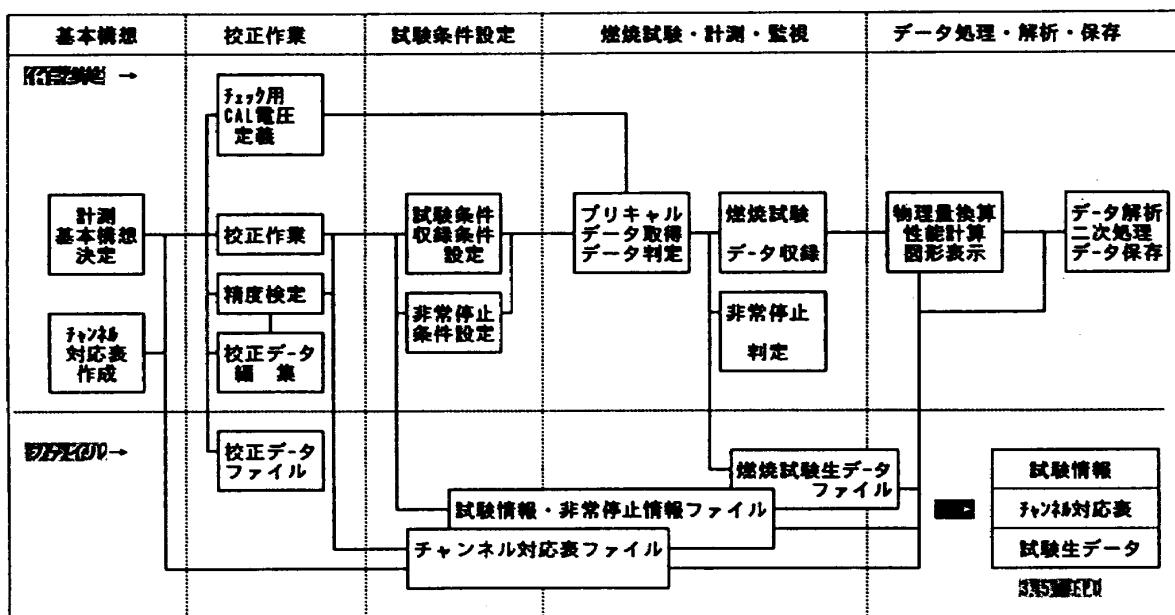


図17 データ収録の流れ

表 5 試験情報定義ファイル

番号	項目	記号	書式	関連表	備考
1	試験コード	KRUN	A8		8 文字以内で入力
2	実験日付	IDATE	YY/MM/DD		自動的にセットされる
3	実験時間	ITYME	HH:MM:SS		自動的にセットされる
4	コメント	COMENT	A40		実験のメモ
5	実験諸元	ICONF	A16	諸元 テーブル	
6	収録秒時	ADUP	F8.3		計測時間の設定
7	サンプリング	ISAMP	I5		収録サンプリング設定、単位は msec.
8	収録チャンネル数	IUSEH	I3		計測チャンネル数
9	トリガ自動 / 手動	IOS	I4		計測スタートトリガ区分
10	トリガチャンネル	ICCH	I4		自動トリガチャンネル番号
11	トリガレベル	TRGLBL	G14.7		トリガ基準値(物理量)レベル
12	トリガ方向	ITRGTP	I2		トリガ検出 GT, LT の指定
13	トリガ物理量指標	JTP	I4		物理量単位
14	基準接点温度	ZEROPT	G14.7		熱電対基準接点経路の基準温度 (C)
15	T1 カード電圧	T11	G14.7		T1 カード熱電対キャップ第1ステップ入力値
		T12	G14.7		第2ステップ入力値
16	T2 カード電圧	T21	G14.7		T2 カード
		T22	G14.7		
17	T3 カード電圧	T31	G14.7		T3 カード
		T32	G14.7		
18	大気圧	TAIKI	G14.7		試験時の環境圧力。単位は torr
19	レッドライン チャンネル数	IEM	I4		

表 6 レッドライン情報

番号	項目	記号	書式	バイト	関連表	備考
1	マルチプレクサ番号	ICH	I4	4	(*)	チャンネル対応表の計測点番号
2	上限 物理量	DTH	F8.3	8	.....	レッドラインパス上限物理量(バンドパスの上限)
3	下限 物理量	DTL	F8.3	8	.....	レッドラインパス下限物理量(バンドパスの下限)
4	物理量単位	ITP	I4	4	(**)	計測点の物理量、表からの番号で入力
5	判定開始秒時	CK1	F8.3	8	.....	計測開始からレッドライン判定までの秒
6	判定終了秒時	CK2	F8.3	8	.....	レッドライン判定開始から終了までの秒
7	判定有効秒時	CK3	F8.3	8	.....	レッドライン検出から非常停止までのホールド秒

(**) 物理量指標

物理量単位	mV	(C)	(K)	ata	MPa	Kg	KN	...	torr	cc/s	
番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

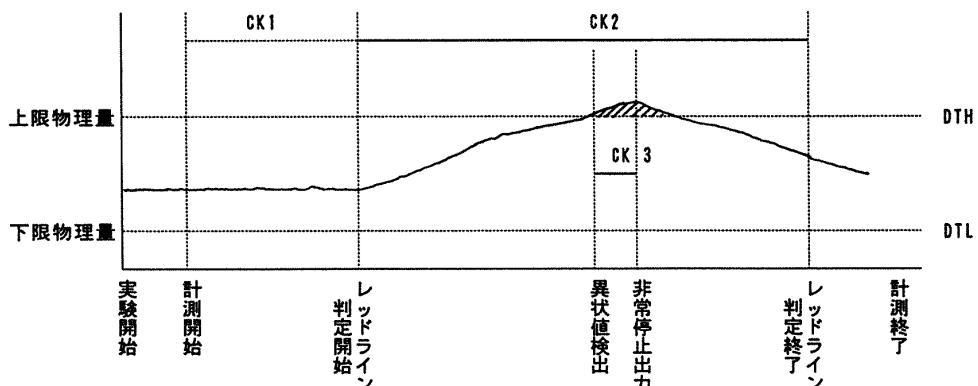


図 18 レッドライン概念



写真 7 レッドライン情報

図中、斜線の部分がレッドライン領域である。

燃焼試験データ収録は図17に示されているように、試験条件が設定されると次いでキャルが収録される。キャルは第1ステップ100点、第2ステップ100点の平均をそれぞれ代表値として記録される。収録された値は以前に収録設定された基準値（図中チェック用CAL電圧）と比較する。この事により、アンプの電源の未投入やケーブルの断線等の異常を試験前にチェックでき、この類による原因のデータ処理の不具合を無くし、信頼性に寄与している。このキャル駆動信号は計測プログラムからDIOを介して制御される。

キャルが終わると次いで、燃焼試験データの収録に入る。レッドラインが設定されているなら、計測したデータを監視しながらデータが記録される。このようにして、計測生データファイルが出来あがる。試験終了後、RAM上にあるデータファイルを固定ディスクに転送する。この最も重要なRAM-固定ディスク間データ転送中に停電等が生じた場合はバック

アップ電源で保証される。

データ処理系プログラムは性能計算、物理量換算、作図等の作業を行なうプログラムパッケージである。プログラムは基本的に、物理量換算と性能計算からなるクイックルックプログラムと作図操作を行なうグラフィックプログラムから成っており、試験直後は自動的にクイックルックが起動する。クイックルックは試験結果を対話形式で編集したり表示、印刷することが出来る。クイックルックで扱えるデータは、任意の時間、任意のチャンネルの、物理量変換データとその生データ（物理量換算されていない計測された電圧値）および性能計算データである。物理量換算はあらかじめチャンネル対応表を含むデータ処理情報ファイルに記録されている処理指標にしたがって自動的に換算される。グラフィックプログラムもクイックルックプログラムと同じ様に、物理量換算、性能計算を試験直後にデータ処理し、それらの結果を計算機と対話しながらそれらの結果を編集し、グラフィックディスプレイに表示、もしくはレーザープリントに出力される。

ファミリー化したデータの編集・解析プログラムは一連の個々の試験データを編集・ファミリー化し、決った様式（表7）でデータを蓄積しながら、試験コードやエンジンのハードウェア相互の関連を分析、解析するプログラムである。例えば、同一コンフィグレーションでのエンジンにおける性能の燃焼圧力依存性を調べたり、異なったエンジンコンフィグレーションでの性能比較とか前述のクイックルック等が一つの実験のデータ処理を行なうのに対し、このプログラムは更に試験全体を大局的に見るために開発されたものである。このプログラムで用いるデー

表7 ファミリー化データテーブル

ファミリー化データ情報ファイル (25ページ=12,800バイト)			
第1レコード (最初の32バイト)			
最大使用番号	I4	LOF番号	
実質登録番号	I4	実際に登録されているデータ数	
予備領域	24X		
第2レコードから第400レコードまで			
番号	項目	書式	備考
1	登録 / 無効判定	I1	データ使用の有無 = -1なら有効 = 0なら無効
2	修正可否判定	I1	データ修正の可否 = -1なら有効 = 0なら無効
3	予備領域	6X	後日の予備
4	試験コード	A8	試験情報定義ファイルから記録
5	試験パラメータ	A16	16パラメータ×10タイプ
第1 ファミリー化データ 128ch×4バイト=512バイト (1頁)			
第2 ファミリー化データ 128ch×4バイト=512バイト (1頁)			
第xy ファミリー化データ 128ch×4バイト=512バイト (1頁)			
第xy ファミリー化データ 128ch×4バイト=512バイト (1頁)			

ファミリー化データファイル編成

ファミリー化データ情報				ファミリー化データ			
第1レコード	第2レコード	レコード情報	第399レコード	第一データ	第二データ	第三データ	-----
0 31 32	32	397 データ	12799 12800 13311 13312 13823 13824	ブロック	ブロック	ブロック	-----
32	32バイト刻み	512	512	512	512バイト刻み		

タの作成はクイックルックプログラムで指定、登録できる。

6.4 校正・精度管理パッケージ

校正、精度管理は、燃焼試験における計測した値の精度を推定したり、履歴を保存し各計測点の動向を把握する部分である。データを収録する校正作業としてはEND-TO-END校正と流量計実液流し校正がある。表8にEND-TO-END校正データテーブルを、表9に流量計データテーブルを示す。いずれのデータテーブルも、データベース化され管理されている。

校正データ管理のためのプログラムとしては、データベース上の校正データの編集、任意のデータの多项式を求めるプログラム、そして、精度計算のプログラムである。これらはいずれも対話形式で操作される。対話形式の例を写真8に示す。これは多项式近似プログラムの実行を写したものである。この結果求められた多项式近似係数を前出のチャンネル対応表に登録し、一方それが精度管理されている計測点であればデータ点数や偏差等、精度管理に必要なデータが精度管理テーブルに記録される。精度管理テーブルを表10に示す。

表8 校正データテーブル

項目	データ長バイト	備考
チャンネル番号	2	チャンネル対応表の計測番号からセット
チャンネル対応表番号	2	対応表に設定されている番号
校正日日	6	YYMMDD形式内蔵カレンダから自動設定
校正時間	6	HHMMSS形式内蔵クロックから自動設定
未使用	6	単位mV 整数型データ
プリキャル第一ステップ	2	単位mV 整数型データ
プリキャル第二ステップ	2	単位mV 整数型データ
ポストキャル第一ステップ	2	単位mV 整数型データ
ポストキャル第二ステップ	2	インプレースステップ数(記録データ数n)
校正データ数	2	
第一ステップ物理量 〃 計測値 ⋮ 第nステップ物理量 〃 計測値	4 4 4 4	実数型データ

表9 流量校正データテーブル

項目	単位	FORMAT	備考
流量計番号		2X, I4	流量計の識別番号下4桁が有効
作動流体指標		I6	(*)表参照
校正年月日時分		5I4	校正データ記録時間
タンク圧力	ata	G14.7	供給タンク圧力の計測値
ライン圧力	ata	G14.7	計測値
ライン温度	deg.c	G14.7	計測値
計測総重量	g	G14.7	測定値, 秤によって測定
流体密度	g/cc	G14.7	ライン圧力, 温度から計算
総流量	cc	G14.7	重量と密度から計算
機測総パルス数	pulse	G14.7	直接流量計から出力されるパレス数をカウントした値
計算総パルス数	pulse	G14.7	FVCの電圧からパルスに換算した値。機測値と同じ値になるのが望ましい
計測秒時	sec	G14.7	総重量や総パルス数など, 計測していた時間
キャル第1ステップ電圧	mV	G14.7	キャル第一ステップで発生する基準周波数がFVCにより電圧に変換された値
キャル第2ステップ電圧	mV	G14.7	〃 第二ステップ 〃
平均計測出力電圧	mV	G14.7	計測した平均流量に対する計測電圧
平均流量	cc/s	G14.7	総流量を計測秒時で割った値
Kファクター	p/cc	G14.7	機測の総パルス数を総流量で割った値

(*) 作動流体指標

推進薬指標	酸化剤(マイナス指標)		水	燃料(プラス指標)					
流体指標	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
流体識別	...	NTO	H ₂ O	N2H4	MMH	混合燃料	HDF1	HDF2	RJ1J

MO01 PRECI vs2.01 (06/30版)
 ----- 航空宇宙技術研究所角田支所 ロケット高圧性能研究室 <-----
 >> 精度管理ルーチン <<

チャンネル選択表										
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	TIG	TB11	TB12	TB11	TBC	TWA1	TWA2	TWA3	TWA4	TWB1
10	TWB2	TWB3	TWB4	TWC1	TWD1	TWE	TNA2	TNB1	TNC2	TWA8
20	VF	THA2	THB2	THC2	THD2	THE2	WAB	TLO	TLF	
30	TVI	TJC	TJO	TJF	TAM	F1	F2	PC1	PC2	PC3
40	P10	P1F	PJO	PJF	PLO	PLF	P10	P1F	VV	POU
50	PGM	PDB1	PDB2	PV1	PV2	PV3	Q00	Q0U	QFU	QFD

この対応表は、二液式アボジエンジン試験 (ETS 6) 用のものです

カーソルを選択するチャンネルにセットし、
次いで [NEW LINE] キーを押して下さい

指定されたデータは全部で 184 ケース記録されています。
1988年のデータは 9月分あります。それらは、次の通り

3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 11月 12月

何月のデータを処理しますか。処理する月を入力して下さい。
尚、実行を中止するときは "END" と入力して下さい。

12 该当するデータは 12 ケースあります
1988年、12月のデータは 4日分あります。それらは、次の通り

2日 7日 8日 9日

何月のデータを処理しますか。処理する日を入力して下さい。
尚、実行を中止するときは "END" と入力して下さい。

9 该当するデータは次の通りです。

選定データは、チャンネル36 F1 1988年12月 9日のものです

校正時間	ステップ数	レコード番号
13 36 4	15	1226
13 42 14	15	1228
13 48 51	15	1230

では、件数を求めるデータのレコード番号を入力して下さい。
なら、表示されている全データを対象とするときは "ALL" と入力して下さい

all 处理データは、チャンネル36 F1 1988年12月 9日のものです

校正時間	ステップ数	レコード番号
13 36 4	15	1226
13 42 14	15	1228
13 48 51	15	1230

このデータを処理してよければ "YES" と、再指定なら "RETRY"
省略値(デフォルト値)は、"YES" が選択されます

これから処理するデータのブリキヤ電圧は有効ですか
有効 "YES" (デフォルト値)
無効 "NO"

計算結果は以下の通りです。

チャンネル番号	:	36 記号 : F1
校正日付(年月日)	:	1988年12月 9日
校正サイクル数	:	3
校正データ登録番号	:	1226 1228 1230
データ総数	:	45
指定された多項式次数	:	1
偏差(物理量)	:	03900
誤差	:	2.00000
基準	:	-203552E-01 24.1401

注意: ***
チャンネルのものです。
"NO"

写真8 対話形式の例
(多項式近似プログラム)

表 10 精度管理テーブル

項目	記号	領域
チャンネル番号	LCH	2
前回レコード番号	LNO	2
校正方式	LHO	2
短期精度	UWR	4
長期精度	UR	4
校正データ番号 1	LC1	2
2	LC2	2
3	LC3	2
センサ単体校正偏差	SS	4
バイアス	BS	4
分布95%値	T95 S	4
センサ基準器偏差	SSN	4
バイアス	BSN	4
t 分布95%値	T 95 SN	4
システム校正偏差	SC	4
バイアス	BC	4
t 分布95%値	T 95 C	4
システム校正基準器偏差	SCN	4
バイアス	BCN	4
t 分布95%値	T 95 CN	4
校正日付 年		2
月		2
日		2
有効期限 年		2
月		2
日		2
要求精度	UREQ	4
ノミナル値		4
データ作成日付 年		2
月		2
日		2
データ修正日付 年		2
月		2
日		2
修正回数		2
次のレコード番号		2
チャンネル内データ番号		2

6.5 データの保存とファイルの位置付け

試験が終って、収録したデータを主記憶装置内のメモリからディスクに記録する。そのとき、その試験の全ての制御、およびデータ処理に必要な全ての情報が蓄込まれたファイルと、プリおよびポストキャラクタ電圧の記録されたファイルを転送と同時に開設されているハードディスクのカレントディレクトリ内に作成し一つの試験データパッケージを作成する。このパッケージは1つの実験に対応するので、実験シリーズが長期に渡る時は、ハードディスクから別のメディアに退避する必要がある。

データパッケージを別のメディアに退避させるには様々な方法が考えられるが、ここでは、データパッケージサイズ1.2Mバイト以下なら直接PC-9801の3.5インチマイクロフロッピーディスクに転送する。それ以上のサイズであれば、一旦ハードディスクに転送し、更にそれから3.5インチマイクロフロッピーディスクに転送する。概念を図19に示す。

試験で得られたデータは、ファイル化され、保存されることは前に述べた。この校正データファイルやチャンネル対応情報ファイルは、試験シリーズ毎に、別個に作成される。例えば、二液アポジエンジン試験シリーズと、固体ロケット試験シリーズにはファイル情報の共通性はない。それゆえ、試験シリーズによってその都度ファイルがすぐに切り替えられるように構成されている。

チャンネル対応表ファイル構成は校正データと試験データを関連付ける働きをしており、基本的に各測定点の情報が集められたものである。64chのデータで試験シリーズ毎に作成されるものである。校正

作業やチャンネルの状態が変化するごとに更新するもので、試験シリーズの最も新しい情報が保存されているファイルである。燃焼試験データファイルはこのファイルから情報を複写し試験毎に保存する。

校正データファイル構成は定期的に、また必要に応じて行なわれる校正試験のデータが収められているファイルで、1レコード1024バイトのランダムファイルである。

燃焼試験データファイル構成はレコードが128バイトのランダムファイルで、スケジュール4レコード、チャンネル情報64レコード、校正係数64レコード、レッドライン情報64レコード、そしてキャラクタ4レコードがヘッダレコードで、これに生データが連なる。

ファミリー化データファイルは一連の試験における代表データを蓄積するファイルであり、図式化や解析を助けるために利用するデータベースファイルである。先頭25ページ(12800バイト)は処理データ情報が用意され、統いて試験毎の処理データ(最大128データ(4byte/data))を登録することが出来る。このファイルは燃焼試験データファイルの一部の情報とユーザーが任意に設定できる試験パラメータを付与することが出来、試験パラメータ(例えば二液式エンジン試験では、推進薬種別コード、噴射器種別コード、燃焼器種別コード、ノズル種別コード、試験環境コード、…etc)は対話形式で任意に設定出来るようになっている。後日、この試験パラメータを利用して種々の処理が行なえる。1試験データは512バイトで構成されている。

流量校正試験データファイルは特に流量校正試験

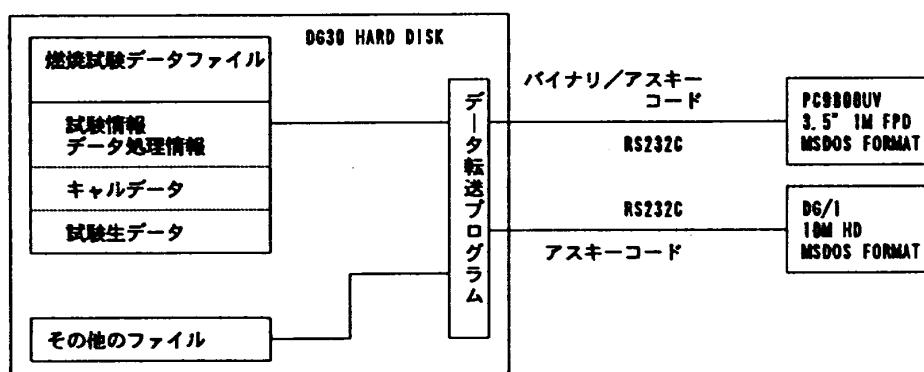


図19 データ転送

だけのデータを記録して行くものである。一回のコールドフロー試験データを1つのポイントとして保存している。1データは256バイトで記録される。日付、流量計製品番号、作動流体等で検索、分類することが出来、基本的に永久保存される。

7. おわりに

更新した効果について述べる。新システムの運用は1987年8月より開始された。以来、このシステムでの試験効率は極めて良い状況にある。ハードウェア面では、ADCの性能向上に伴い、AKE試験で要求されている精度を満足させるレベルを達成した。さらに、既設システムに比べ処理に要する時間が大きく改善され、試験後直ちに性能計算されたデータを見る事ができるようになった。加えて、校正作業からデータ処理まで一貫した処理と、データベースを維持することにより、信頼性の面で良い結果を得ている。

新システムのアプリケーションプログラムは前述したように内作したものである。それゆえ、種々の試験に容易に対応する事が出来る。実際、運用開始以来、酸素／水素／炭化水素推進薬のトライプロペラントエンジンを含めて、コンフィグレーションの異なる3種のエンジン試験に対応して来たが、比較的簡単に適応することが出来た。既設のシステムのそれと比べ運用の面で大きな自由度を試験担当者にもたらしたことがわかる。このように新システムは既設システムに比べ多くの点で勝れた結果を得たが、全て問題が解決されたわけではない。次いで問題点について述べる。

まず、計測点数についてであるが、新システムは従来のシステムに比べ、チャンネル数が60chとなり、最大収録データ量も小さくなつた。これは、主に記録媒体の違いによるものであるが、新システムではデータ収録量が最大1.6メガバイト程度であり、従来のシステムに比べ1/10程度である。この条件で満足できないような試験、例えば、計測点の多いターボポンプ式エンジン試験あるいは液酸液水エンジン等の場合には大きな問題となろう。そのときには、従来のシステムを生かすかあるいはチャンネルの増設が必要となろう。

また、従来のシステムではデータ処理に際し、大型計算機によるバッチ処理を行なっていたので、大型計算機に蓄積された豊富なアプリケーションと高性能の周辺機器を利用することが出来た。しかし、新システムでは、クローズドシステムのため、従来のそれらを利用する事は出来なくなったのはマイナス面の代表といえる。

また、当初予想していなかった問題も生じた。既設システムでは入力チャンネル毎に個々のADCが割当てられており、ADCにたいする過大入力があつても他のADCに影響を及ぼすことは無かった。しかし、新システムは1個のADCが16チャンネルをまかなつておらず、この16チャンネルのうちどれかがADCの許容範囲を越える過大な電圧になるとADCの基準電源が影響され、残りの同じADCを利用しているチャンネルのデータに影響を及ぼすことがわかつた。

過大入力は、例えば、燃焼試験時にセンサが壊れてしまう等の不具合によって、しばしば生じる。このように予期せぬ事情で生じるADCへの過大入力という現象を阻止するために、各チャンネル毎にアンプ出口とADC入り口間に最大入力レベルが±11V_{max}で制限される回路（入力レンジリミッタ）を設ける必要が生じたが、その効果は良好でAKE試験の用途を十分満足する試験データの収録が可能となった。

とはいっても、極めて低成本で更新できた新システムが既設システムで生じた致命的な問題点を全て解消したので、当初の目的は達成されたと言える。そして、現時点で大型計算機と比べソフトウェア面で生じている不満足な状況は、順次ソフトウェア開発を積み重ねることにより、時間の経過とともにある程度解消される問題である。

今まで、前述した様々な基本的なソフトウェアを開発した。今後、更にシステムを便利なものとするためソフトウェアを充実させる必要がある。また、運用期に入った現在、基本的な機能を果たすソフトウェアを一層使いやすくするため、計算機とオペレータ間のやり取り（マン／マシンインターフェイス）を配慮したソフトウェアに順次改良し、特に専門的な知識を持たなくとも操作出来るシステムを目標として開発を続ける必要があろう。

最後に、このシステムを導入するに当たって、ひ

とかたならぬご尽力を頂いた角田支所官島博研究調
整官並びに同所ロケット高空性能研究室日下和夫氏,
またソフトウェアに関する情報を提供し, ソフトウ
エア開発に際し, 多くの助言を呈して下さった日本
データゼネラルの樋口, 佐藤両氏各位に心より謝意
を表する。

参考文献

- 日本データゼネラル;
RDOS / DOS解説書 593-000028-05,(1976)
DGRDOS利用手引書 069-500056-01,(1984)
FORTRAN 5 解説書 093-500085-04,(1974)
FORTRAN 5 Programmer's Guide
093-000227-01(1984)
DG 30 操作手順 515-000471-01,(1984)
他, 同社関連マニュアル
東京都港区虎の門, 日本データゼネラル株式会社

航空宇宙技術研究所資料 599 号

平成元年 1 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
