

# 航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-536

アーク加熱風洞データ処理ソフトウェアの開発

松崎 貴至

1984年7月

航空宇宙技術研究所  
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

# アーク加熱風胴データ処理ソフトウェアの開発\*

松崎 貴至\*\*

## 1. まえがき

衛星回収技術の研究においては、熱空気力学的環境のシミュレーションとそれによる防熱技術の研究が必要となる。当所と宇宙開発事業団との共同研究「回収技術の研究」を進めるためアーク加熱風胴<sup>1)</sup>が設置され、高エンタルピ流中での防熱技術や空力加熱の研究がすすめられている。本報告ではこの装置による実験データ処理のために新たに開発したソフトウェア技術について述べる。

アーク加熱風胴の主要構成<sup>1)</sup>は、アーク加熱装置と風胴本体であり、前者はアーク加熱器、直流電源および制御装置からなり、後者は測定室、拡散筒、排気装置などから構成されている。本風胴のアーク加熱器に流入した作動気体は、直流電源により供給される電流制御された最大約450 kW（電圧500～2000V、電流37.5～1,500A）の直流電力の直流アーク放電によって加熱される。加熱された作動気体は、プレナム室とノズルを通して測定室内に極超高速の高エンタルピ流を発生させる。その後気体は、拡散筒、冷却器などを経て、真空ポンプで連続的に排出される。作動気体としては、空気または窒素が使用でき、常用通風時間は、約30分である。

実験では、風胴動作特性データや数多くの供試体試験データの収集処理を確実に速やかにできることが要請される。また、アーク加熱風胴は、電極の損耗等によって長時間運転中にはアーク放電特性が変わる可能性があるため、風胴動作特性を常時監視し、適時に高エンタルピ流中に加熱条件を測定するためにセンサーを直接挿入して測定し、得られた結果を短時間に分析して次の供試体試験条件の確認を行う必要がある。さらに、データ処理に当っては時間とともに変動する大量のデータの実時間のできるこ

とが要求される。このために必要なソフトウェア技術として、データを収集処理し実験中または実験終了後、すみやかにかつ自動化して実験結果を編集し、指定した装置へ出力するプログラムを開発した。データ処理においては、データの分析を容易に行えるよう、時間的変動の多いデータに対して目的とする信号成分を得るため平滑化処理を行い、実時間処理し、得られた結果を時系列別にカラーグラフィック表示することができるようにした。また時間領域でこれらのデータの分析を確実に速やかに行うためキョラクタ表示することができるようにした。データ処理プログラムは、実験結果を迅速に正確に実験者へ供給するためマルチウィンドウによるマルチディスプレイ化を図った。実験後処理プログラムにおいては、表や図形の作成を自動化し作業能率の向上を図った。

今回開発したデータ処理ソフトウェアによって、所期の成果が得られたので、ここに報告する。

次章では、データ処理システムについて概略を述べ、新たに開発したソフトウェアについては、3章において詳述する。

## 2. データ処理システムの概要

風胴試験では、風胴動作特性データを測定し、風胴加熱条件を確認後、試料回転装置にとりつけた供試体を急激に高エンタルピ流れの中に挿入し加熱するので、風胴動作特性のデータと供試体からのデータを単独または同時に測定する必要がある。以下では前者を風胴動作特性試験、後者を供試体試験と名づける。風胴動作特性試験は、加熱直後から一定の時間のあいだ風胴動作特性データであるガス流量、アーク電圧、アーク電流、冷却水温度差、冷却水流量、プレナム圧力などを各種センサーにより電圧に変換し測定するものである。また供試体試験では、試料回転装置および移動支持装置に取付られた供試

\* 昭和59年5月17日受付

\*\* 空気力学第1部

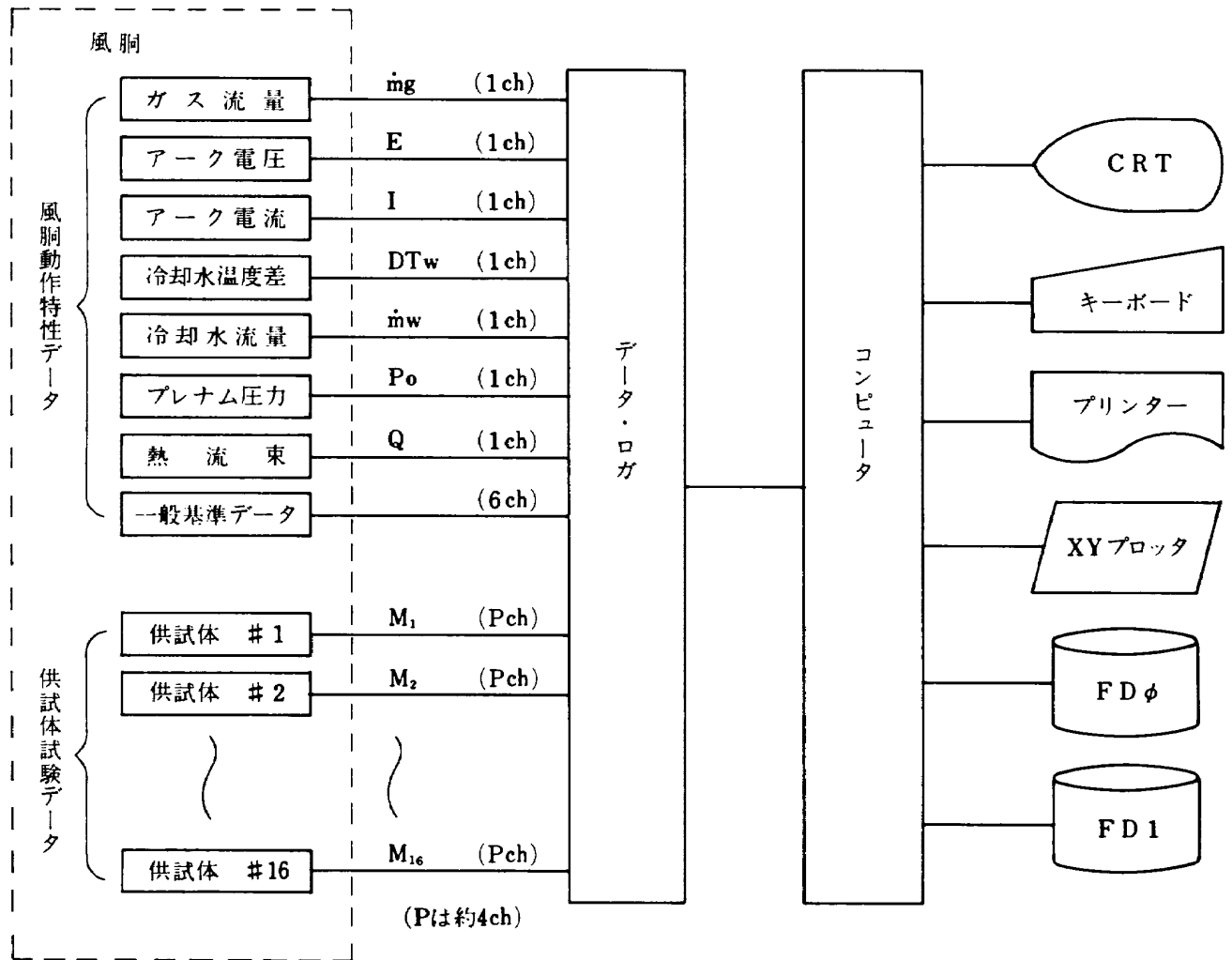


図1 データ処理システム概要

体を加熱して、温度変化などのデータを取得する。

図1にデータ処理システムの構成を示す。測定データは、風洞動作特性データ13chと供試体データ約4ch(16個)の計77chから成る。必要な測定条件をデータログに設定した後データログは、これらのデータを走査しA/D変換を行い、測定データは、コンピュータに転送され物理量変換などの実時間処理をし、必要な結果についてカラーCRTにマルチディスプレイされる。データ収集された生データは、フロッピーディスクに記録され、実験後処理して結果をプリンターやXYプロッタへ出力する。

本システムの性能概要は下記の通りである。

コンピュータ

型式	Sord M243	マークV
メインメモリ	192kB	
演算速度	加減算	27~185μs
	乗除算	73~92μs

フロッピーディスク (FD)

記憶容量	1.152kB
登録可能ファイル数	240
ファイル名	ディスプレイ (CRT)

画面	12インチカラー8色
キャラクタ表示部	80文字×25行
グラフィック表示部	640×400ドット

プリンター

型式	Sord SLP-160
印字速度	120字/秒
印字数	136字/行

XYプロッタ

型式	Sord S4636
ペンの数・色	10本・8色
作図範囲	381×254 (mm)
ステップサイズ	X, Y軸 0.1mm

データログ

型式	タケダ理研
----	-------

	TR2731/2741B
走査速度	50 ms/チャンネル
測定チャンネル	80チャンネル
A/D 変換方式	2重積分方式
有効桁数	小数点+4 $\frac{1}{2}$ 桁
分解能	1 $\mu$ V/電圧測定 0.1 $^{\circ}$ C/温度測定

### 3. ソフトウェアの開発

#### 3.1 オペレーティングシステムの概要

本システムのオペレーティングシステムは、マルチプログラム、マルチジョブ等の機能を有する常駐MDOS (Multi Disk Operating System) であり、フロッピーディスクの補助記憶装置を大容量ファイルとして使用することができる。メインメモリは、64 kB のバンクを3つ保有している。MDOSは、1つのバンクを占有し、残った2つのメモリがジョブ用に使用される。言語処理プログラムは、アセンブラ、ベーシック等があり、ベーシックは、インタプリタ機能を有するEBASIC、コンパイラ機能を有するCBASIC、インターフェースの制御機能を有する制御BASIC等がある。MDOSとの対話は、コマンド・ライン・インタプリタによりキーボードから直接行うことができ、アプリケーションプログラムのインタプリタ、コンパイル、ロードなどの操作が容易にできる。

#### 3.2 アプリケーションプログラムの概要

アーク加熱風胴のデータ収集・処理を自動化するためのプログラムは、条件設定プログラム、マルチディスプレイ前処理プログラム、データ収集・実時間処理プログラム、実験後処理プログラムから構成されている。各プログラムは、フロッピーディスクに常駐で使用され、一連の流れにそってメインメモリにロードし実行される。

図2にデータ処理のフローチャートを示す。一連の実験計画が決定すると、データ収集・処理に必要な共通条件データの初期生成を行い、フロッピーディスクに共通条件ファイルとして記録する。また必要があれば各プログラムの改造を行う。実験毎に行われる準備としては、条件設定プログラムにより共

通条件データを読み込んだ後、データ収集・処理パラメータ、描画パラメータ、実験パラメータ等の追加および更新を行い、データ処理システムを自動化しオンラインで処理させるための条件テーブルの作成をする。次に実時間処理結果をCRT上にマルチ・ディスプレイするためグラフィックディスプレイの座標系の設定、キャラクタディスプレイの領域設定などの描画前処理をマルチディスプレイ前処理プログラムにより行う。

以上が終ると、データ収集・実時間処理プログラムによりデータの収集、実時間処理、描画処理、記録等が行われる。風胴の実験準備が完了後、無風時にセンサーの信号のデータ収集を行う。このデータは、実験データの補正をするとともに、計測系のチェックを行う。データに異常がないことを確認した後、データは、条件テーブルに設定され、生データとともにフロッピーディスクに無風時データファイルとして記録する。次にプログラムは、CRTの対話表示部へ計測準備完了の表示をし、データ収集待ちになる。

風胴が起動され、アーク加熱器が定常状態に達した後、風胴動作特性データの収集を行う。得られた風胴動作特性データは、物理量変換処理、平滑化処理などの1次処理をし、風胴動作特性データの1つであるエンタルピの算出をして、結果をCRTにマルチディスプレイをする。その結果から実験条件にかなりエンタルピの値を確認した後、センサーを高エンタルピ流へ挿入し直接加熱条件を測定して結果を表示する。得られた結果を分析し、風胴加熱条件が確認されるとデータ収集の停止を行い、生データは、フロッピーディスクに風胴動作特性データファイルとして記録する。

次に供試体試験データの測定を行う。この測定に際しては、これから測定をする供試体番号を指定する。これにより測定を必要とする供試体について、データ収集条件の設定をし、データ収集待ちとなる。データ収集は、加熱直後から風胴動作特性データとともに数分間行う。この間実時間処理をし、結果をCRTにマルチディスプレイして風胴動作特性データの監視を行い、供試体試験データの評価を行う。データ収集が終了すると、実験後処理に必要な供試

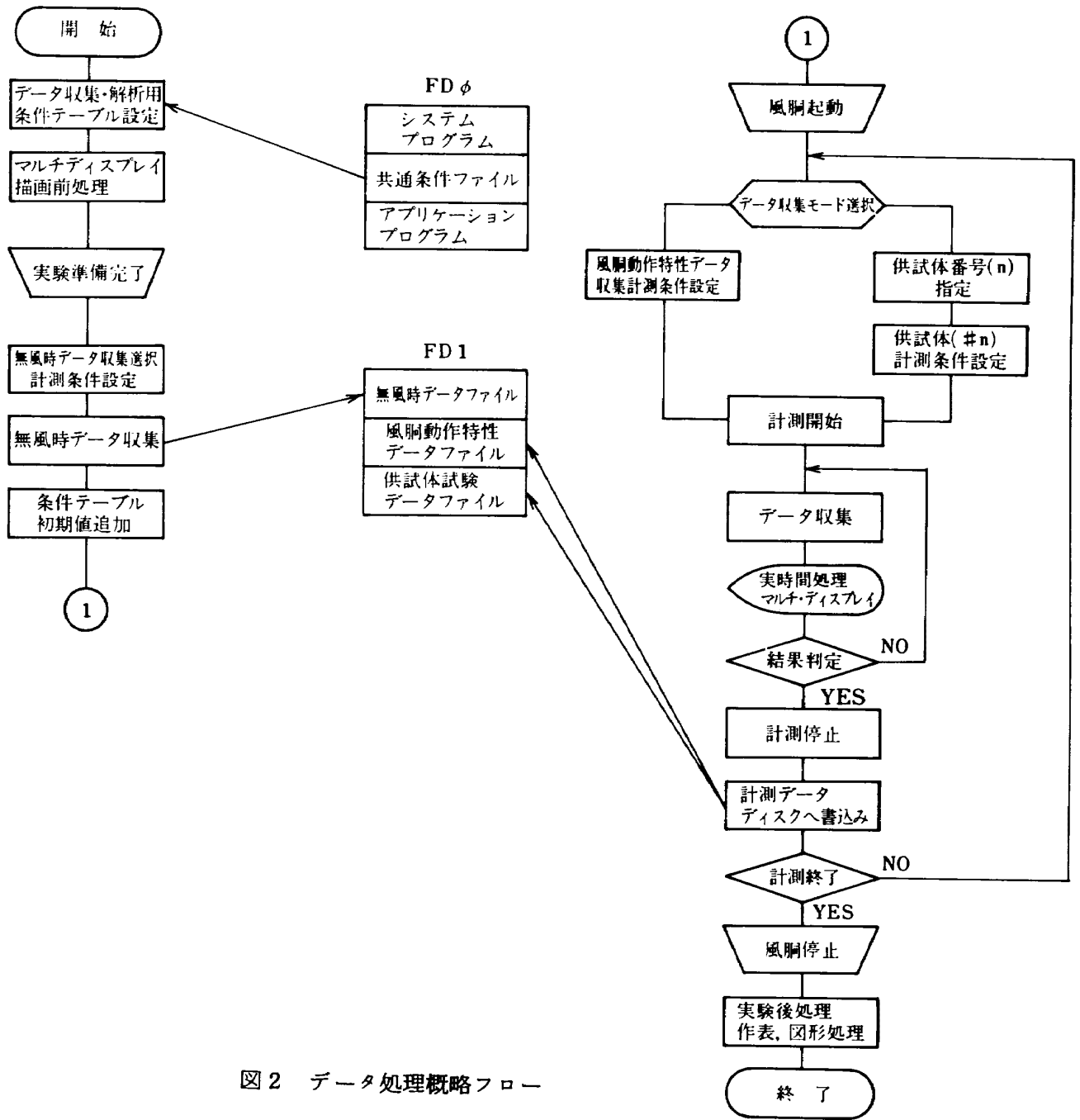


図2 データ処理概略フロー

体パラメータなどを条件テーブルに設定し、生データは、フロッピーディスクに供試体試験データファイルとして記録される。

このようにして供試体試験のデータ収集・実時間処理は、試料回転装置に取付けられた供試体の試験が全て終了するまで繰返し行い。また適時に、センサーを高エンタルピ流へ挿入し、加熱条件を測定して結果を確認後、これら供試体の試験を進めていく。全供試体の試験が終了後、フロッピーディスクから生データを読み込み、計算処理をして、その結果をCRTに拡大表示したり、プリンターに表を作成したり、XYプロッタを使用してグラフ化する。

### 3.3 条件設定プログラム

本プログラムにより、あらかじめ生成された共通条件データに基づいて、データ収集、処理に必要な各種パラメータを条件テーブルに作成する。パラメータの設定は、以下に述べる項目について行われる。

#### (1) 実験パラメータ

実験日(年, 月, 日)は, RTC (Real Time Clock) から読み込み設定され, 実験番号は, 前回の実験番号に1が加えられ設定される。次に, 実験の種類, 供試体名, 作動気体名, アーク加熱器の長さ(バック数), 実験予定時間(分)を設定する。

#### (2) データ収集パラメータ(共通)

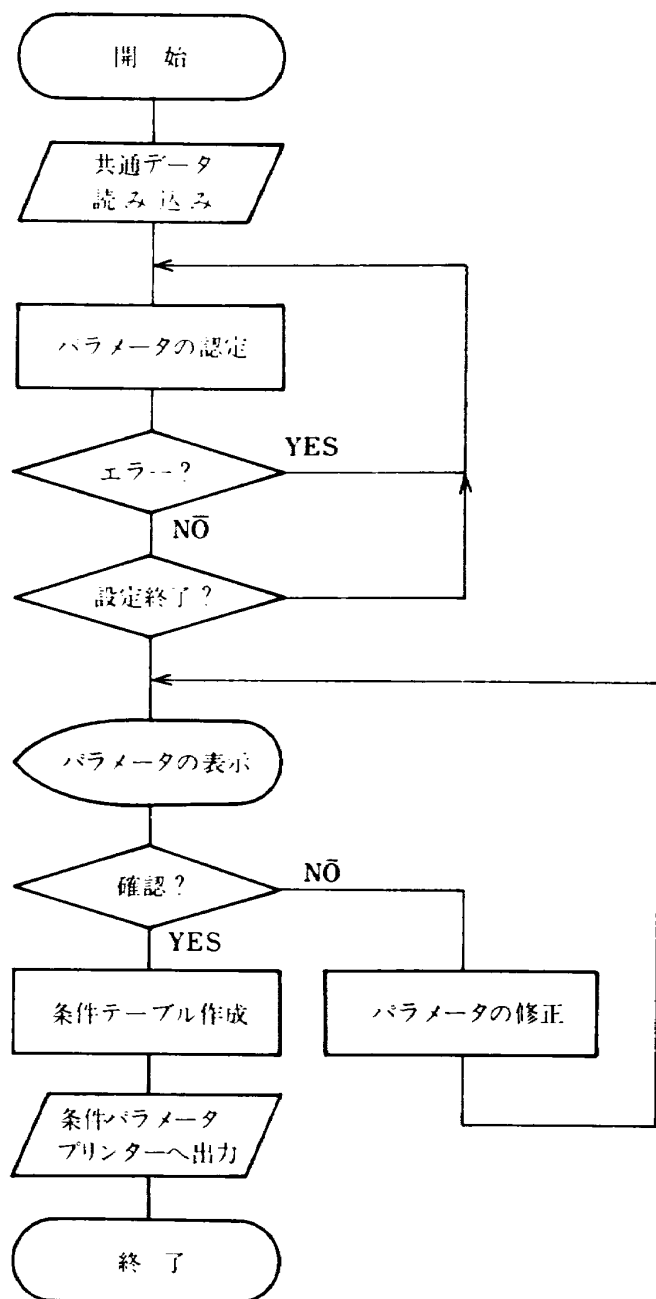


図3 条件設定の流れ

インターバル時間の設定をし、クロックモードの指定をして、1ランの実験において測定を必要とする走査チャンネル数および測定レンジを設定する。

(a) 風胴動作特性データ収集パラメータ

収集をする風胴動作特性データについて、先頭チャンネル番号と最終チャンネル番号を設定する。

(b) 供試体試験データ収集パラメータ

データのチャンネル数を設定し、1ランの実験で測定をする全供試体データについて、先頭チャンネル番号と最終チャンネル番号を設定する。

(3) データ解析パラメータ

センサーの感度およびオフセットを収集する全チ

ャンネルについて設定をする。

(4) 描画処理パラメータ

グラフィック表示をするチャンネル数を設定し、各チャンネルについて、描画レンジを設定する。次に平滑化パラメータの移動平均をとる個数を設定する。

図3に条件設定プログラムの流れを示す。パラメータは、条件を満たしているかどうかのチェックを行いながら設定される。全て設定が終了すると、設定結果をCRTに表示をして、オペレータの確認待ちになる。ここで設定ミスがあると、上記の項目別にCRTと対話することにより修正することができる。次に全てのパラメータの確認が終了すると、条件テーブルが作成されプリンターに出力される。このテーブルは、順次メモリにロードされるマルチディスプレイ前処理プログラムおよびデータ収集実時間処理プログラムの共通変数領域に設定され、これらプログラムの実行を自動化して行い。また条件テーブルは、データ収集後、1部追加されデータファイルの条件データ部に記録される。

3.4 マルチディスプレイ前処理プログラム

(1) マルチディスプレイ

コンピュータにオンラインで接続されている表示装置は、グラフおよびキャラクタを表示する12インチ・カラーCRT、画面の制御を行うエスケープ・シーケンスコマンドおよびグラフ表示言語から構成されている。このエスケープ・シーケンスコマンドは、キーボード上の全ての文字のみならず、利用者が定義した特殊パターンも表示することができる。この他文字を表示する以外に、表示属性を付けたり、キャラクタモード、グラフィックモードおよびマルチレアモードのディスプレイモードの制御を行う機能がある。図形を描かせるためのグラフ表示言語は、直線、円、多角形などの種々の作図を、パラメータを与えるのみで容易に作図するためのサブルーチンの集まりから構成され、ユーザープログラムと容易にコミュニケーションを行う機能をもっている。

(2) 描画前処理

実験では、刻々収集される大量のデータを実時間処理し、結果をより迅速に、正確に実験者へ供給す

るために、これらコマンド群を使用し、グラフ化およびキャラクタ化して、同一画面上にマルチ表示を行う。本プログラムは、マルチ表示をするデータの分析を容易にするために、画面をグラフィック表示部、キャラクタ表示部、データガイド部、対話表示部、タイトル表示部に分割し、これらの領域の描画前処理を行う。この描画の実行は、グラフィック初期化により表示画面の消去を行った後、次の表示部の設定を行う。これにより図4に示すようなCRT同一画面上にマルチウィンドウ画面が表示される。

#### (a) 対話表示部

その時々状態を知らせる表示、およびプログラムとコミュニケーションを行うための表示部の領域を設定する。

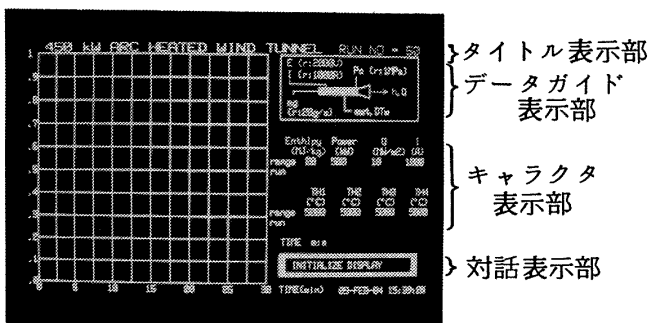
#### (b) キャラクタ表示部

実時間処理された結果を絶対値表示するために領域の設定をし、表示される各データのシンボルおよび単位を描画する。

#### (c) グラフィック表示部

グラフィック表示のための座標系の設定をする。ここでは、格子、座標軸の作成および原点の設定を行う。座標系は、CRTグラフィック表示領域(640×400ドット)の左下を原点(20, 20)とし、右上が(380, 380)となるように領域を設定する。座標X軸は、最小値を実験開始時間、最大値を実験予定時間としたパラメータでスケーリングし、座標Y軸のスケーリングは、最大値1.0から最小値0.0までをインターバル0.1で作成する。座標系内は、スケーリングされた目盛を基準に格子を作成する。

#### (d) データガイド表示部



グラフィック表示部

図4 マルチウィンドウ表示部

グラフ化される多チャンネルのデータをガイドするため、データのシンボルおよび描画レンジを描画する。グラフ化されたデータとの対応は、画色で行う。

#### (e) タイトル表示部

画面最上段は、実験名および実験番号を表示するための領域を設定し描画する。

### 3.5 データ収集実時間処理プログラム

本プログラムのフローチャートを図5に示す。本プログラムでは、共通変数領域に設定された条件テーブルの内容に従い、実験データの収集、実時間処理、結果の表示をしてデータをフロッピーディスクに記録する。データ収集は、CRTの対話表示部に表示されたメッセージと対話を行い、データ収集モードの選択をすることによりデータ収集パラメータを設定してデータの収集を行う。データの収集開始および停止の割込みは、キーボードのキーを入力することにより行われる。データの収集が開始されると対話表示部にデータを収集しているモードの表示を行い、収集した実験データの物理量変換や平滑化処理をし、実時間処理をして結果をカラーグラフィック表示およびキャラクタ表示を行う。マルチ表示された実験結果の分析、評価、判定を行った後計測停止を行う、計測一時停止、計測停止、計測完了などがあり、実験進行状況によりキーボードのセンス・スイッチ・キーを入力することにより行われる。生データは、条件テーブルとともに各種データ収集別にフロッピーディスクに記録する。このようにして実験データ収集実時間処理は、供試体の試験が全て終了するまで繰返し行われる。

#### 3.5.1 データ収集

データ収集は、無風時データ収集モード、風洞動作特性データ収集モード、供試体試験データ収集モードがあり、モード別にデータ収集パラメータが設定され収集される。また供試体試験データ収集モードにおいては、これから実際に測定をしたい供試体番号を指定することにより、測定する供試体のデータ収集パラメータが設定される。これにより、試料回転装置に取付けられた任意の供試体の測定を速や

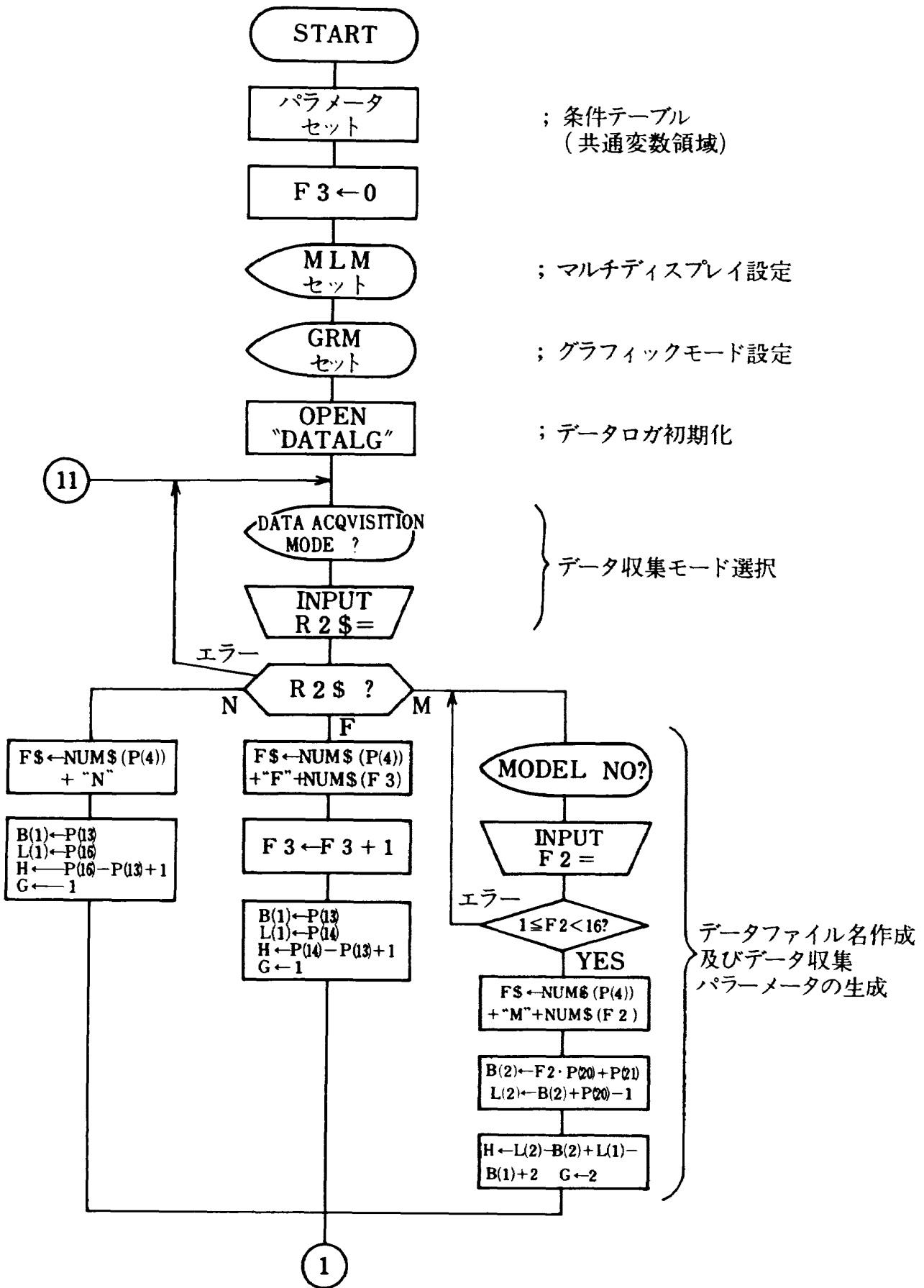


図5 データ収集・実時間処理フローチャート(4)



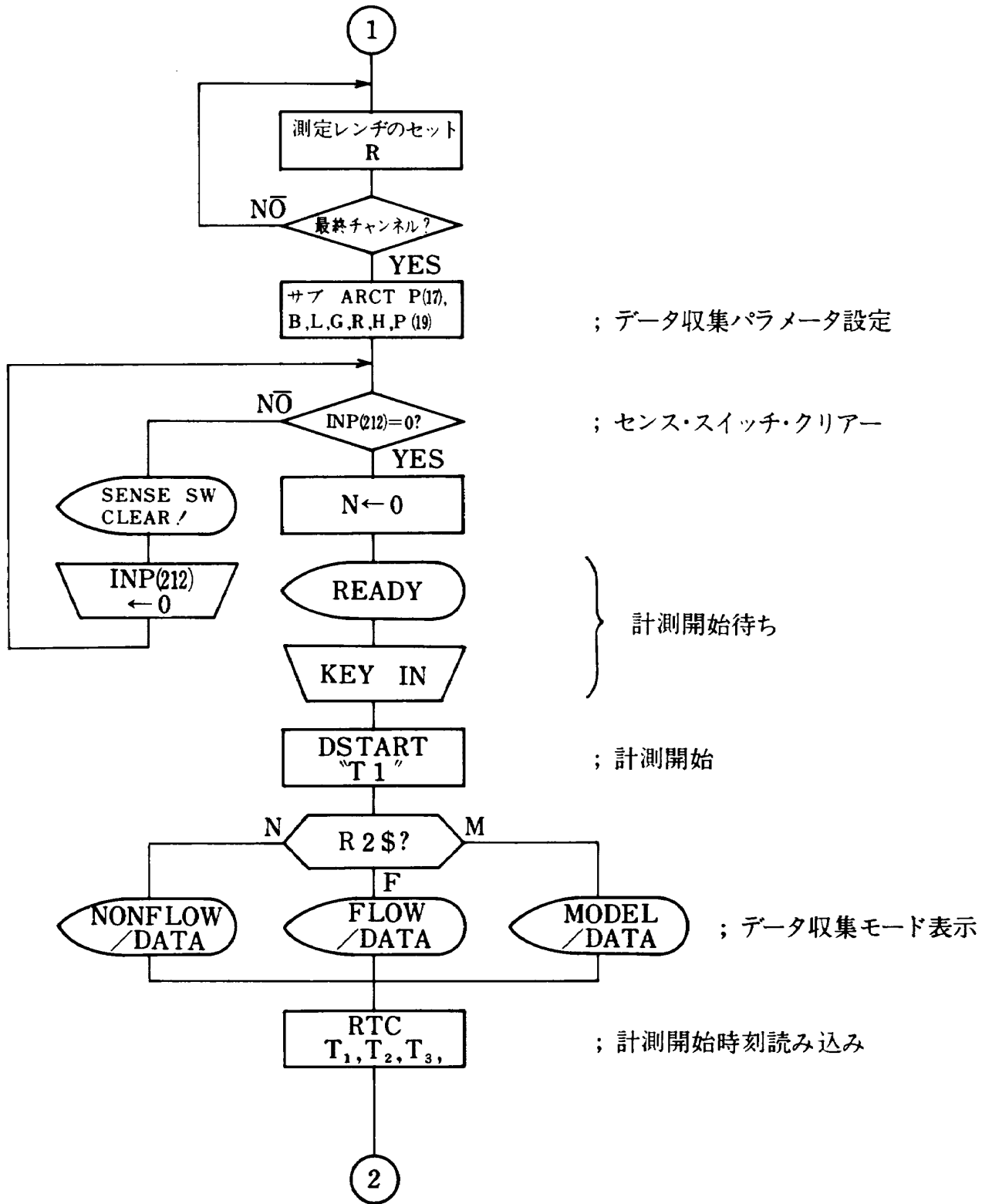


図5 データ収集・実時間処理フローチャート(2/4)

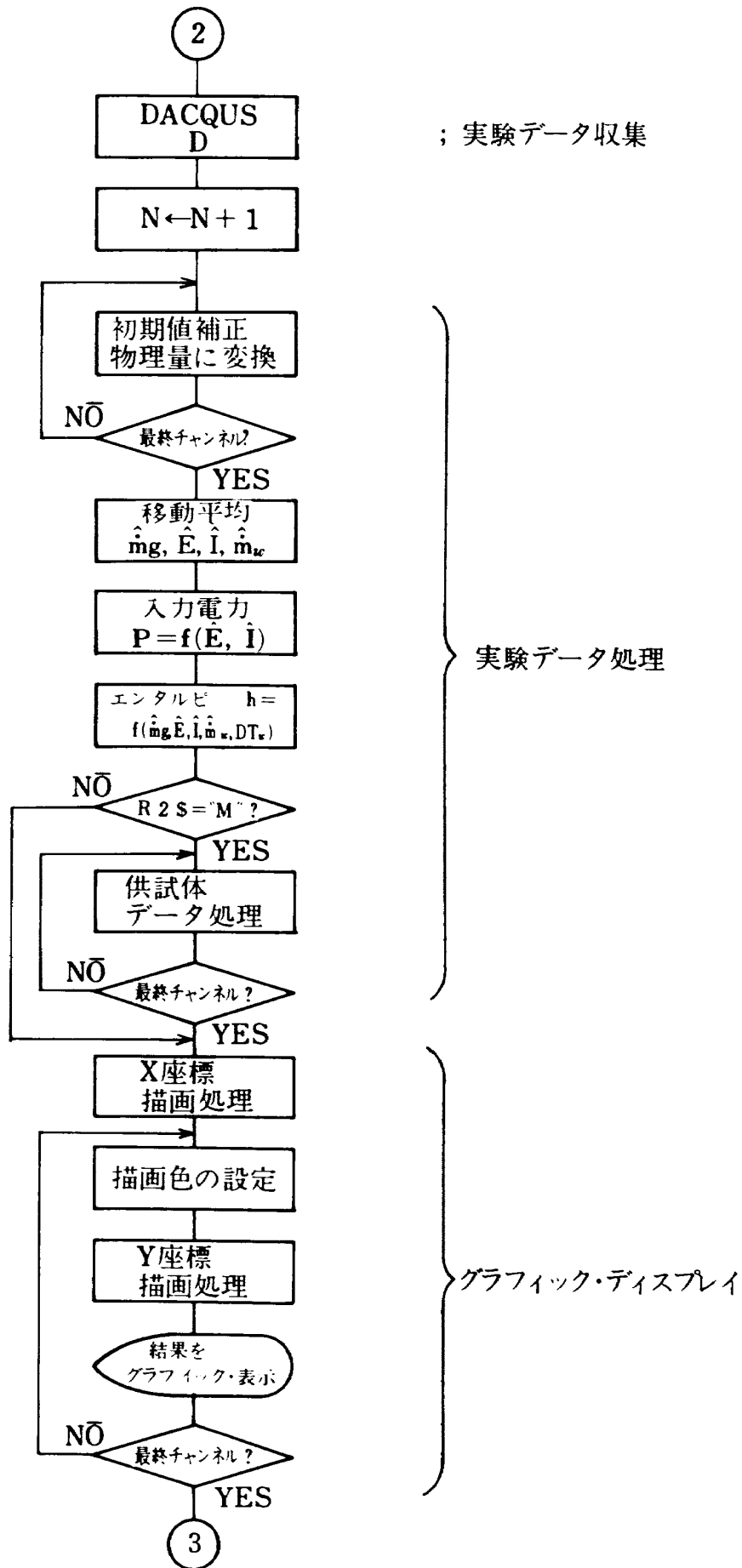


図5 データ収集・実時間処理フローチャート(2)

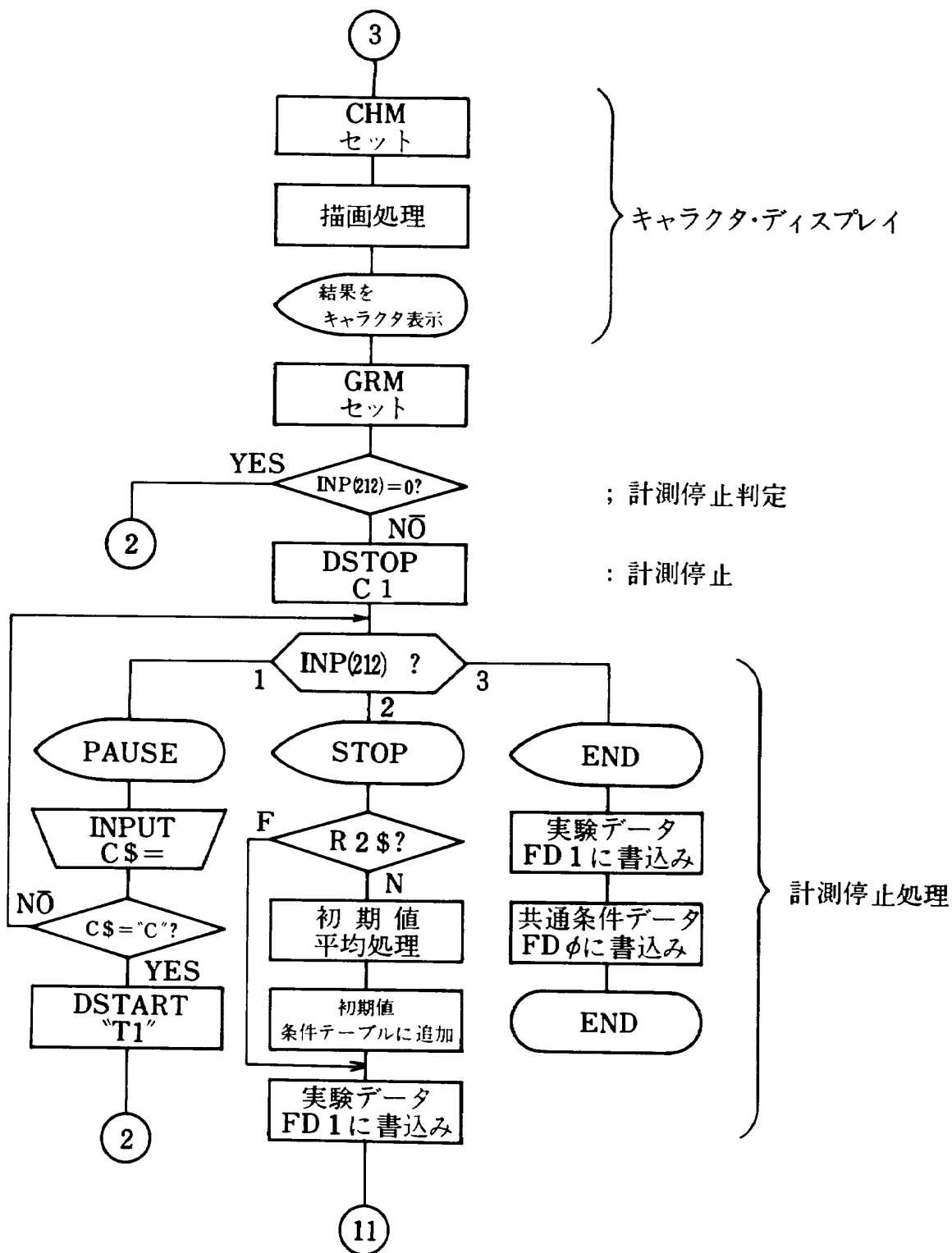


図5 データ収集・実時間処理フローチャート(4)

表1 データ収集対話項目

対話項目	記号	機能
データ収集モード選択	N	無風時データ収集
	F	風胴動作特性データ収集
	M	供試体試験データ収集
供試体番号の選択	1, 2, 3 …… , 16	データ収集条件設定
計測開始	任意のキー	データ収集の開始
計測停止	センス・スイッチキーの1	データ収集の1時停止
	” 2	” 停止
	” 3	” 終了

かに行うことができる。

プログラムの進行は、CRTと対話することにより行われる。対話用項目は、表1に示すように、データ収集モードの選択、供試体番号の選択、計測開始、計測停止等があり、これらの項目は、対話表示部に表示されキーイン待ちになる。ここでオペレータは、該当する記号をキーボードから入力すると、プログラムは、それに対応した処理を行う。

(1) データ収集モード

(a) 無風時データ収集モード

〔入力記号〕 N

実験データの補正および計測系のチェックを行うため実験準備完了後、無風時にデータを収集する。本データ収集は、風胴動作特性データの先頭チャンネルから最終チャンネル、次に1ランの実験で測定を必要とする全供試体試験データの先頭チャンネルから最終チャンネルまで、データ収集パラメータの設定を行い、結果が確認されるまで繰返しデータを収集する。収集したデータは、チャンネル別に算術平均が行われ、条件テーブルに設定される。

(b) 風胴動作特性データ収集モード

〔入力記号〕 F

風胴加熱条件の監視および確認をするため風胴動作特性データを収集する。本データ収集は、ガス流量、アーク電圧、アーク電流、冷却水温度差、冷却

水流量、プレナム圧力、熱流束などの風胴動作特性データについてデータ収集パラメータの設定を行い加熱条件が確認されるまで繰返しデータを収集する。

(c) 供試体試験データ収集モード

〔入力記号〕 M

各種供試体のデータ収集を行う。供試体試験のデータ収集は、これから測定をする供試体の番号(n)を入力することにより供試体測定チャンネル範囲が次のように算出される。

$$\text{供試体先頭チャンネル番号 } F(n) = n \cdot P + 13$$

$$\text{供試体最終チャンネル番号}$$

$$L(n) = F(n) + P - 1$$

但しPは供試体のチャンネル数である。

供試体の測定チャンネルが決定すると条件テーブルに従い、供試体のデータ収集パラメータが設定される。本データ収集モードにおいては、供試体試験データおよび風胴動作特性データの収集を同時に行い、供試体の試験中に風胴加熱条件の監視を行う。本データ収集モードにおけるデータ収集タイムチャートを図6に示す。この方式は、設定されたインターバル時間で風胴動作特性データの先頭チャンネルから供試体試験データの最終チャンネルまで一定の時間繰返しデータを収集する。

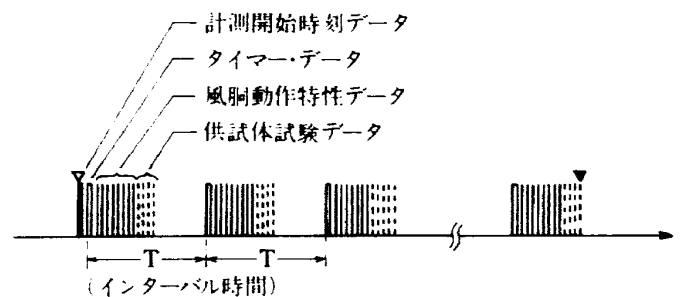


図6 供試体試験データ収集モードの1フレーム

- ▽ 計測開始
- ▼ 計測停止
- 無風時データ収集モード選択
- 風胴動作特性データ収集モード選択
- 供試体試験データ収集モード選択
- 及び供試体番号 (n) の指定

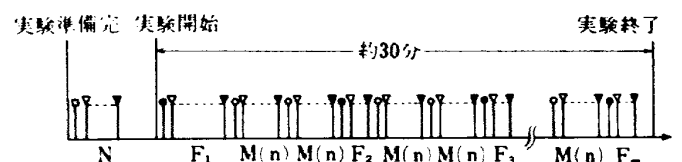


図7 データ収集タイムチャート

次にデータ収集における共通事項を記述する。

i) データ収集動作は、図7に示すタイムチャートに従って行われる。

ii) データ収集は、データ収集モードの選択あるいは供試体番号を指定することにより、インターバル時間、スキャン先頭チャンネル、スキャン最終チャンネル、測定レンジなどのデータ収集パラメータが作成される。このパラメータは、後述のサブルーチンARCTによりデータログに設定される。

iii) データ収集の計測開始・停止の割込みは、手動で行われる。

iv) 1フレームのデータ収集開始時は、計測開始時刻が収集され、データ収集時には、外部現象と同期した時刻データが収集される。

v) データファイルを管理するためのデータファイル名は、実験番号、データ収集モード、データ番号などをパラメータとした6文字から、次のように生成される。

データファイル名=実験番号(3文字)+データ収集モード(1文字)+データ番号または供試体番号(2文字)

## (2) データ収集の割込み

### (a) 計測開始

〔入力記号〕 キーボード上の任意のキー

データ収集モードなどの選択後、データ収集パラメータの設定が完了するとプログラムは、対話表示部に計測準備完了・計測開始待ちの表示をしてアイドル状態となる。そこでオペレータは、他の実験状況を監視しながらキーボード上の任意の1文字を入力すると、データ収集の開始を行う。

### (b) 計測一時停止

〔入力記号〕 センス・スイッチの1(S1)

データ収集時にキーを入力するとプログラムは、データ収集の実行を一時中断し、計測を続行するか終了かの表示をして、アイドル状態となる。ここでは、再度計測開始(入力記号・C)または次に述べる計測停止、計測完了の指令を行う。

### (c) 計測停止

〔入力記号〕 センス・スイッチの2(S2)

計測停止は、データ収集の1フレームが終了時にキーを入力することにより行われる。停止処理は、

表2 データログ・コマンド概要

コマンド名	機能
LI	インターバル時間の設定
SC	測定チャンネル範囲の設定
CK	クロック/タイマーのモード指定
FR	測定レンジの設定
T1	スキャン開始
C1	スキャン終了

生データをフロッピーディスクに記録し、次のデータ収集モードの選択の表示をして入力待ちになる。

### (d) 計測完了

〔入力記号〕 センス・スイッチの3(S3)

データの収集が全部完了時にキーを入力することにより行われる。完了処理は、生データをフロッピーディスクに記録し、次回の実験に必要なパラメータを共通条件ファイルに記録後、計測完了の表示をしてデータ収集実時間処理は完了する。

### (3) データ収集パラメータの設定

データ収集モードの選択あるいは供試体番号の指定により生成されたデータ収集パラメータは、サブルーチンによってデータログに伝送され設定される。このサブルーチンは、データログへ伝送するステートメントおよび表2に示すデータログコマンドにより構成されている。次にサブルーチンのパラメータの説明を行い、データ収集パラメータの設定例を記述する。設定例における記号等の意味を以下に示す。

{ } { } の項目は、データログへ伝送するステートメントである。

[ ] [ ] で囲まれた数値をアスキー変換する。  
サブルーチン名 ARCT(I, F, L, M, R, N, T)  
パラメータの説明(変数は全て整数単精度)

I; インターバル時間を秒の単位で指定する。1秒以下のインターバル時間の指定は、0と指定する。

〔設定例〕 CALL{#9, "TLK", "05", "F"}, "LI0, 0, {I}"

F; 配列名; スキャン先頭チャンネル

L; 配列名; スキャン最終チャンネル

M;配列名; F, Lに入っているデータの数を指定する。

実際に測定したいチャンネル範囲をグループ別に指定する。

〔設定例〕 F(1)ch~L(1)ch, F(2)ch~L(2)ch, F(3)ch~L(3)ch の3グループをスキャンする場合  
CALL{ #9, "TLK", "05", "F", "SC{F(1)}, {L(1)}; {F(2)}, {L(2)}; {F(3)}, {L(3)}" }

R;配列名;測定レンジ

N;配列名に入っているデータの数を指定する。

測定を行う全チャンネルについて、先頭チャンネルから順次測定レンジの指定を行う。この指定は、電圧レンジ4種類、温度レンジ8種類、その他白金測温抵抗体、合計13種類のレンジを表3に示す設定記号により行う。

〔設定例〕 測定するチャンネルの始めから終わりまでの合計5レンジを指定する場合

CALL{ #9, "TLK", "05", "F", FR{R(1)}; {R(2)}; {R(3)}; {R(4)}; {R(5)}" }

T;データ収集時に外部現象と同期した時刻データ収集モードの指定を行う。

T=0のときは、実時間。

T=1のときは、データ収集開始からの経過時刻。

表3 測定レンジの設定記号

記号	レンジ	測定種別
0	20 mV	電圧測定
1	200 mV	
2	2 V	
3	20 V	
4	CC(T)	温度測定
5	IC(J)	
6	CRC(E)	
7	CA(K)	
8,0	PR10(S)	
8,1	PR13(R)	
8,2	PR30(B)	
8,3	PR12.8	
9	Pt	

〔設定例〕 CALL{ #9, "TLK", "05", "F", "CK0.0, 0, (T)" }

(4) 実験データの記録

各種データ収集モードにより収集された実験データは条件テーブルとともにデータファイルとしてフロッピーディスクに記録される。このファイルは、供試体データや風胴データの計測においてデータの容量が異なるためシーケンシャルファイルであり、実験後処理が容易に行えるようにデータ計測毎に作成される。条件テーブルは、データ収集パラメータ、実験パラメータの更新および追加をし、データファイルの条件データ部に記録される。この条件データは、各種実験後処理プログラムでの処理を自動化するために使用される。その内容を表4に示す。またデータファイル構成を図8に示す。データ収集された実験データは、エンドマークを追加し、全て単精度実数型で記録される。

表4 条件データ

項目	設定内容	入力データの形式及び数
実験パラメータ	実験日(年,月,日)	整数 (3)
	実験番号	" (1)
	実験の種類	アスキー 00
	供試体の名称	" 00
	作動気体名	" 00
	加熱器の長さ	実数 (1)
	実験時間(時,分,秒)	整数 (3)
	供試体番号	" (1)
	実験開始時間(時,分,秒)	" (3)
風胴動作特性 データ収集パラメータ	先頭チャンネル番号	整数 (1)
	最終チャンネル番号	" (1)
供試体試験 データ収集パラメータ	先頭チャンネル番号	整数 (1)
	最終チャンネル番号	" (1)
データ収集(共通) パラメータ	インターバル(時,分,秒)	整数 (1)
	走査チャンネル数, N	" (1)
	測定レンジ (1, 2, ..., N)	" N
解析パラメータ	変換器の感度 (1, 2, ..., N)	整数 N
	" のオフセット (1, 2, ..., N)	" N
	補正值 (1, 2, ..., N)	" N
図形表示パラメータ	図形表示チャンネル数, M	整数 (1)
	描画レンジ (1, 2, ..., M)	" M
	移動平均をとる個数	" (1)

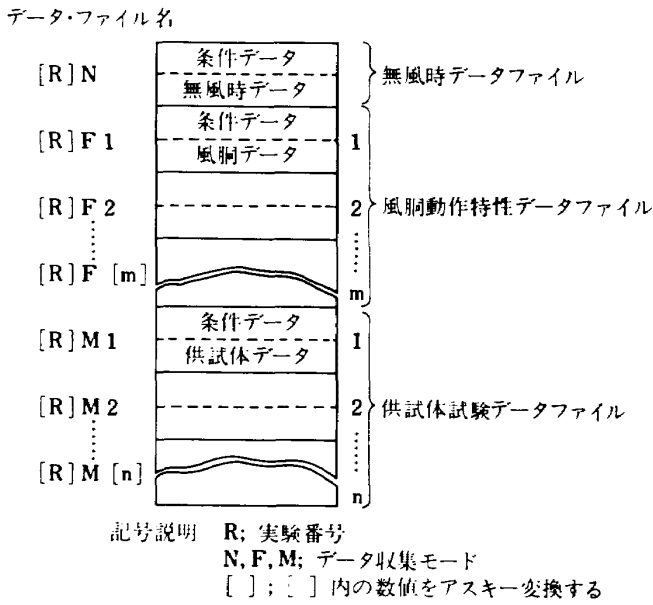


図8 データ・ファイルの構成

3.5.2 実時間処理

実時間処理では、実験中、風胴加熱条件の監視や確認をしたり、供試体試験データの評価を行うもので、データの処理結果をCRTにマルチディスプレイする。ここでは、風胴加熱条件の測定や供試体の温度測定、抵抗測定について処理過程を述べる。

(1) センサー出力値の物理量への変換

(a) 風胴動作特性データ

ガス流量  $\dot{m}_g = V_1 \cdot G_1 - O_1 \text{ (g/s)}$   
 アーク電圧  $E = V_2 \cdot G_2 - O_2 \text{ (V)}$   
 アーク電流  $I = V_3 \cdot G_3 - O_3 \text{ (A)}$   
 冷却水流量  $\dot{m}_w = V_4 \cdot G_4 - O_4 \text{ (kg/s)}$

冷却水圧力  $P_w = V_5 \cdot G_5 - O_5 \text{ (MPa)}$   
 プレナム圧力  $P_0 = V_6 \cdot G_6 - O_6 \text{ (MPa)}$   
 熱流束  $Q = V_7 \cdot G_7 - O_7 \text{ (MW/m}^2\text{)}$   
 冷却水温度差  $DT_w = V_8 \cdot G_8 - O_8 \text{ (}^\circ\text{C)}$   
 プレナム・ノズル冷却水温度差  
 $DT_n = V_9 \cdot G_9 - O_9 \text{ (}^\circ\text{C)}$   
 $V_1 \sim V_9$ ; センサーの電圧出力値  
 $G_1 \sim G_9$ ; センサーの感度  
 $O_1 \sim O_7$ ; センサーのオフセット (物理量)  
 $O_8 \sim O_9$ ; 初期出力値 (物理量)

表5にセンサーの規格を示す。

(b) 供試体試験データ

再使用型回収防熱材料の開発のため、供試体は、4~5本のセンサーを軸上に決められた深さに埋め込み加熱試験を行う。供試体のセンサーは、熱電対を使用し温度変化を測定する。また、供試体が加熱され、分解し炭化層を形成する。このような供試体の性能評価を行うため、センサーに銅線を使用し表面近くに埋められた銅線をマークワイヤとして各銅線間との抵抗値を測定する。

i) 抵抗測定

抵抗測定は、被測定抵抗と基準抵抗を直列に接続し、これに基準電圧源により電流を流して基準抵抗の電圧を測定し、被測定抵抗値を算出する方法による。

被測定抵抗  $R(n) = (S - v(n)) \cdot r(n) / v(n)$   
 (Ω)

表5 センサーの規格

センサー名	測定レンジ	出力	精度	備考
ガス流量	air 0~8.670g/s	1~5 V	±0.1 %FS	
	N <sub>2</sub> 0~8.536g/s	1~5 V	±0.1 %FS	
アーク電圧	0~10 kV	0~10 V		
アーク電流	0~2000 A	0~100mV		SHUNT
冷却水温度差	0~125 °C	0.4 mV/°C	±0.04 °C	
冷却水流量	0~17.10kg/s	1~5 V	±0.25%FS	
冷却水圧力	0~2.452MPa	1~5 V	±0.2 %FS	
プレナム・ノズル冷却水温度差	0~125 °C	0.4 mV/°C	±0.04 °C	
プレナム圧力	0~1.471MPa	1~5 V	±0.4 %FS	
熱流束				REF. ASTM E511-73

- $n$  ; 被測定抵抗チャンネル数
- $v(n)$  ; 基準抵抗の電圧出力値
- $r(n)$  ; 基準抵抗値
- $S$  ; 基準電圧値

表6に使用した機器の規格を示す。

ii) 温度測定

温度測定は、測定温度により、CA(K), PR13(R), タングステン/タングステン・レニウムなどの熱電対を使用する。熱電対CA(K), PR13(R)の場合は、データロガにおいてリニアライズ、基準接点補償され出力される。このためこれらの熱電対データは、温度(℃)で収集される。この他の熱電対タングステン/タングステン・レニウムによる温度測定は、データを電圧で収集して実験後処理において補正を行う。

熱電対の規格を表7に示す。

(2) 風胴動作特性データの平滑化

時間的変動の多い風胴動作特性データに対しては、現時点( $t$ )から、それ以前の $m$ 個収集したデータを移動平均処理をする。

$$\hat{m}_{gt} = \frac{1}{m} (\dot{m}_{gt-m-1} + \dots + \dot{m}_{gt-1} + \dot{m}_{gt})$$

$$\hat{E}_t = \frac{1}{m} (E_{t-m-1} + \dots + E_{t-1} + E_t)$$

$$\hat{I}_t = \frac{1}{m} (I_{t-m-1} + \dots + I_{t-1} + I_t)$$

$$\hat{m}_{wt} = \frac{1}{m} (\dot{m}_{wt-m-1} + \dots + \dot{m}_{wt-1} + \dot{m}_{wt})$$

$$\hat{P}_{ot} = \frac{1}{m} (P_{ot-m-1} + \dots + P_{ot-1} + P_{ot})$$

但し添字 $t$ は現時点での値、 $t-i$  ( $0 < i < m$ )は現時点から $i$ 番目以前の値を示す。移動平均をとる個数( $m$ )は、条件設定時に任意な値が選択できる。

(3) エンタルピの計算

風胴動作特性データからエンタルピを求めるには、アーク加熱器への入力電力から損失分を差引いて求める。入力電力の損失は、冷却水への伝熱による損失量を冷却水の流量 $\dot{m}_w$ と温度上昇 $DT$ から推算する。

$$\text{アーク加熱器入力電力 } P = \hat{E} \cdot \hat{I} \quad (\text{W})$$

$$\text{プレナム・ノズル冷却水流量}^2)$$

$$\dot{m}_{wn} \text{ [ 1バック ]}$$

$$= (0.259 + 8.16 \times 10^{-4} \cdot \frac{P_w}{0.09807}) \cdot \dot{m}_w$$

$$\text{[ kg/s ]}$$

$$\dot{m}_{wn} \text{ [ 2バック ]}$$

$$= (0.222 + 1.514 \times 10^{-4} \cdot \frac{P_w}{0.09807}) \cdot \dot{m}_w$$

$$\text{[ kg/s ]}$$

$$\dot{m}_{wn} \text{ [ 3バック ]}$$

$$= (0.184 + 4.783 \times 10^{-4} \cdot \frac{P_w}{0.09807}) \cdot \dot{m}_w$$

$$\text{[ kg/s ]}$$

表6 抵抗測定における使用機器の規格

機器名	規格
基準抵抗器	金属皮膜抵抗器, 絶縁塗装型, 定格電力1W, 抵抗値500Ω±1%
基準電圧源	基準電圧発生器, 安定度±600μV/1日, 電圧値5V±1mV

表7 熱電対の規格

記号, 名称	構成材料		温度範囲
	+	-	
CA(K)	ニッケル・クロム	ニッケル	0~1200℃
PR13(R)	白金・ロジウム13%	白金	0~1600℃
タングステン/タングステン・レニウム	タングステン・レニウム5%	タングステン・レニウム26%	0~2800℃



バック ; アーク加熱器電極間の長さ ( 1 バックは約 18.0 cm )

電極・コラムの冷却水流量

$$\dot{m}_{wa} = \hat{m}_w - \dot{m}_{wn} (D) \quad [\text{kg/s}]$$

$D$  ; バック数

電極・コラムの損失量

$$P_{la} = C_p \cdot \dot{m}_{wa} \cdot DT \times 10^3 \quad [\text{W}]$$

$C_p$  ; 水の比熱 ( 4.1861 J/g · °C )

プレナム・ノズルの損失量

$$P_{ln} = C_p \cdot \dot{m}_{wn} \cdot DT_n \times 10^3 \quad [\text{W}]$$

アーク加熱器の損失量

$$P_l = P_{la} + P_{ln} \quad [\text{W}]$$

アーク加熱器の効率

$$\eta = (P - P_l) / P \quad [\%]$$

電極・コラムの効率

$$\eta_a = (P - P_{la}) / P \quad [\%]$$

全エンタルピ

$$h = \eta \frac{P}{\dot{m}_g} \times 10^3 \quad [\text{J/kg}]$$

電極・コラムのエンタルピ

$$h_b = \eta_a \frac{P}{\dot{m}_g} \times 10^3 \quad [\text{J/kg}]$$

#### (4) 実時間処理結果の表示

実時間処理された結果は、マルチディスプレイ前処理プログラムにより設定されたグラフィック表示部およびキャラクタ表示部へデータ収集毎に表示する。

CRTディスプレイに表示するにあたって、グラフィックディスプレイとキャラクタディスプレイの重畳表示を行うためエスケープシーケンスコマンドによりマルチレアモードの設定を行った後、次に示す手順でコマンドパラメータを作成し、グラフ表示言語のサブルーチンに出力する。

(a) グラフィックディスプレイ

(i) グラフィックモードの指定をする。

(ii) x座標は、時刻データを x 座標軸の最大値である実験予定時間に基づいて算出する。

(iii) 描画色の指定をする。

(iv) y座標は、実時間処理された結果を描画レンヂに基づいて算出する。

(v) (iii)と(iv)から座標値(ドット座標)が求まり、

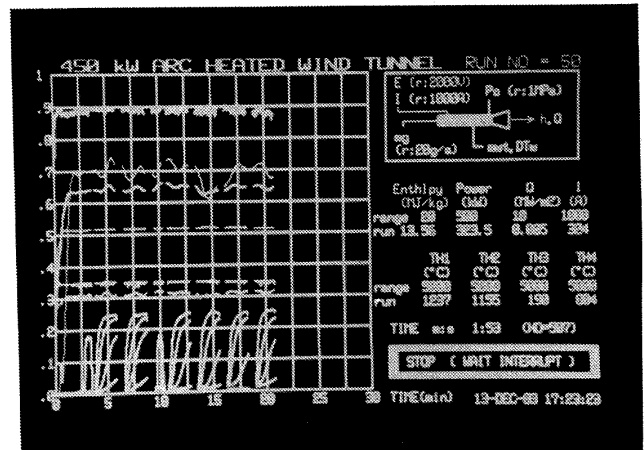


図9 実時間処理結果

1つまえに求められた座標値との直線補間を行い、設定された描画色で表示する。

このようにしてグラフィックディスプレイは、指定された描画チャンネルが終了するまで(iii)から(v)まで繰返し行う。

(b) キャラクタディスプレイ

(i) キャラクタモードの指定をする。

(ii) 表示に先だち動作中のカーソルのちらつきをなくすため、カーソルを消す。

(iii) 実時間処理された結果を、キャラクタ表示部の指定された表示位置に指定桁数分だけ表示する。

図9にインターバル時間2秒で測定し、移動平均をとる個数6を指定したときの実験結果の表示例を示す。グラフィック表示部に表示されているデータは、上側からプレナム圧力( $P_0$ )、全エンタルピ( $h$ )、電力( $P$ )、ガス流量( $\dot{m}_g$ )、アーク電圧( $E$ )、アーク電流( $I$ )、熱流束( $Q$ )、などの風洞動作特性データであり、下側の4チャンネル6グループにより表示されているデータは、供試体試験データ(TH1~TH4)である。キャラクタ表示部に表示されているデータは、最後の供試体の測定が開始されてから1分53秒後の各データ値である。

### 3.6 実験後処理プログラム

実験後処理プログラムは、実験結果の分析、整理などで必要となる表の作成やデータのグラフ化といった作業を対話形式で行えるようにしたプログラムであり、CRT拡大処理、作表処理、作図処理などがある。これらの処理では、フロッピーディスクに

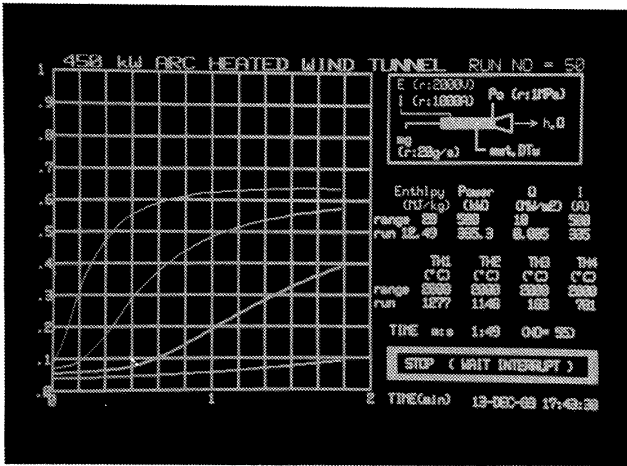


図 10 拡大表示結果

記録された実験結果をデータファイル毎に処理し各装置へ出力する。

(1) CRT 拡大処理プログラム

実験結果のデータの分析が至急必要な場合、CRTディスプレイに拡大表示させることができる。この表示は、時系列データについてのある部分の拡大をステップ毎あるいは連続でデータを表示することができ、次のパラメータの指定を行うことにより表示される。

- (a) データファイル名の指定をする。
- (b) 拡大すべきデータのチャンネル数およびチャンネル番号を指定する。
- (c) 座標 x 軸の最小値および最大値の指定をする。
- (d) 座標 y 軸の拡大描画レンジを指定する。

これにより拡大表示された供試体試験データの表示例を図 10 に示す。

(2) 作表処理プログラム

実験結果は、1 次演算処理をしてパラメータ別および時間毎にプリンターに出力し表を作成する。実験結果が全て必要ないときは、処理を必要としないインターバル時間数を与えることにより、これをスキップさせ必要な結果について出力させることができる。この他時間の変動の多い風洞動作特性データに対しては、データ別に最大、最小、平均、標準偏差を求め、時間領域との相関係数、回帰係数などの 2 次演算処理を行う。また風洞総合パラメータであるアーク加熱器入力電力およびエンタルピは、これら風洞動作特性データの平均値から算出する。次に作表のための処理過程を記述する。

(a) 実験結果の 1 次演算処理は、実時間処理と同様に処理し作表する。この際、2 次演算処理に必要なデータについて総和、総乗和、総積和を求める。

$$S_x = \sum x_i$$

$$S_y = \sum y_i$$

$$S_{xx} = \sum x_i^2$$

$$S_{yy} = \sum y_i^2$$

$$S_{xy} = \sum x_i y_i$$

$y_i$  ; 一次演算処理結果

$x_i$  ; 時刻データ

$n$  ; データの総数

(b) 風洞動作特性データの平均値、標準偏差

平均値  $\hat{y} = \frac{S_y}{n}$

$$\hat{x} = \frac{S_x}{n}$$

標準偏差  $S = \sqrt{\frac{S_{yy}}{n} - \hat{y}^2}$

(c) 相関係数

$$r = \frac{S_{xy} - \frac{S_x \cdot S_y}{n}}{\sqrt{(S_{xx} - \frac{S_x^2}{n})(S_{yy} - \frac{S_y^2}{n})}}$$

(d) 回帰係数

1 次回帰係数  $y_i = a + b \cdot x_i$  の係数を求める。

$$b = \frac{S_{xy} - \frac{S_x \cdot S_y}{n}}{S_{xx} - \frac{S_x^2}{n}}$$

$$a = \hat{y} - b \cdot \hat{x}$$

図 11 に実験結果の作表例を示す。

(3) 図形処理プログラム

本プログラムでは、データ測定種類別にプロットコマンドを使用して実験結果の図形処理を行い XY プロットに出力する。同時に実験番号、実験日時、供試体の諸元などの実験パラメータなども表示される。図形処理は、データファイル名、X 座標軸の最

MODEL DATA ( for thermocouples ) MODEL NO = 3 ----- FILE NAME = 50M3

THIS DATA IS MADE DATA 1983/ 9/19 TIME 17: 3:51

NO	TIME	TH1	TH2	TH3	TH4	m g	Varc	Iarc	DTw	Po	m w	Calorimeter	Power	Enthalpy
	(min:sec)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(g/s)	(Volt)	(Amp)	(°C)	(MPa)	(kg/s)	(MW/m2)	(kW)	(MJ/kg)
1	0: 0	112	68	42	56	7.04	1031	300.8	4.41	0.893	13.29	0.00	310.1	9.18
6	0:10	712	215	44	60	7.05	1031	316.4	4.44	0.896	13.43	0.00	326.2	10.91
11	0:20	963	489	47	73	7.04	1031	309.6	4.44	0.895	13.39	0.00	319.2	10.02
16	0:30	1078	720	53	119	7.04	1024	341.6	4.42	0.891	13.00	0.00	349.8	15.53
21	0:40	1149	867	63	200	7.05	1040	335.2	4.42	0.893	13.22	0.00	348.7	14.76
26	0:50	1191	961	77	304	6.93	1038	338.6	4.45	0.893	13.18	0.00	351.3	15.32
31	1: 0	1213	1026	95	419	7.06	1040	314.4	4.44	0.898	13.40	0.00	327.0	11.09
36	1:10	1222	1075	115	530	7.05	1036	324.2	4.44	0.902	13.21	0.00	335.8	12.82
41	1:20	1229	1113	137	639	7.05	1036	285.8	4.44	0.899	13.12	0.00	296.0	7.41
46	1:30	1235	1141	160	736	7.06	1029	305.8	4.43	0.890	13.05	0.00	314.7	10.31
51	1:40	1241	1161	183	809	7.04	1031	291.8	4.44	0.901	13.35	0.00	300.8	7.46
56	1:50	1244	1175	205	859	7.06	1034	330.0	4.43	0.889	13.17	0.00	341.2	13.73
61	2: 0	1244	1186	227	899	7.04	1047	303.6	4.46	0.891	13.30	0.00	317.7	9.87

Calculations DATA NO. ----- 1 - 62

	m g	Varc	Iarc	DTw	Po	m w	Power	Enthalpy
	(g/s)	(Volt)	(Amp)	(°C)	(MPa)	(kg/s)	(kW)	(MJ/kg)
AVERAGE	7.03	1036	311.5	4.43	0.896	13.25	322.6	10.92
MAXIMUM	7.07	1048	360.2	4.46	0.904	13.52		
MINIMUM	6.79	1024	270.2	4.41	0.886	12.89		
STANDARD D.	0.048	5.43	21.4	0.012	0.004	0.131		
a	7.04	1035	311.9	4.42	0.895	13.30		
b	-0.006	0.687	-0.41	0.01	0.001	-0.04		
r	-0.08	0.075	-0.011	0.60	0.108	-0.20		

図11 実験結果の作表例

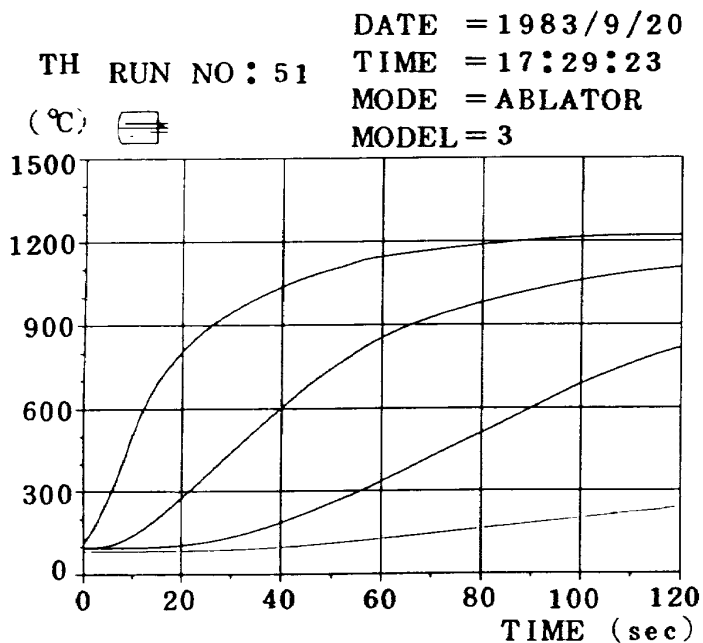


図12 供試体の温度測定結果

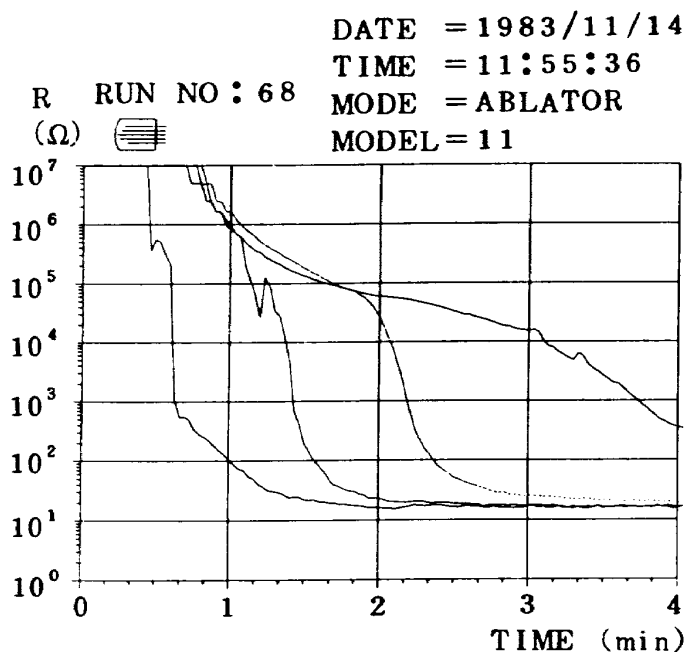


図13 供試体の抵抗測定結果

大値を与えることにより座標軸のスクーリング，原点の設定，格子の作成などを自動的に処理し，実験結果をデータ別に直線補間し色分けしてグラフの作成を行う。作成されるグラフの種類は，風洞動作特性データ，供試体の温度測定や抵抗測定などがある。

測定インターバル時間2秒で測定された供試体の熱電対による温度測定データ，供試体のメークワイヤ—炭化層センサーによる抵抗測定結果をそれぞれ図12，図13に示す。これらの図形作成は実験終了後直ちに（約20分以内で）行うことができる。1枚当りの図形出力は，およそ3分で得られる。

#### 4. あとがき

アーク加熱風洞用データ処理ソフトウェアの開発により次のような成果が得られた。

(1) 実験データを実時間処理し結果をマルチ表示することにより，データの分析および評価を速やかに行うことができ，実験を確実に能率良くすすめることができる。

(2) 作表処理，作図処理は，対話形式により実験後短時間で行えるなどの機能が十分に発揮され，作業効率が向上した。

(3) 出力として得られる図表は，何等の後処理を必要とせず，そのまま実験結果の評価や報告の作成に利用することができる。

本研究の遂行にあたって空気力学第1部松崎利一室長および野村茂昭室長に指導していただいた。

#### 参考文献

- (1) 航空宇宙技術研究所・宇宙開発事業団，共同研究成果報告書，回収技術の研究，昭和56年3月
- (2) T. Foster User's Manual of 450 kW Arc Plasma Generator, Vol. 1 (1982), Acurex/Aerotherm Co.
- (3) 長洲秀夫・吉沢昭・松崎貴至“極超音速風洞計測装置について”航技研資料 TM-160 1969年7月
- (4) 吉沢昭“極超音速風洞計測装置について”-II. 電子計算機システムの更新-TM-317 1976年10月

---

## 航空宇宙技術研究所資料 536号

昭和 59 年 7 月 発行

発行所 航空宇宙技術研究所  
東京都調布市深大寺町 1880  
電話武蔵野三鷹(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南4-2-12

---

