

空力計算における図形処理

末松和代* 磯部俊夫*

Computer Graphics for Computational Aerodynamics

by

Kazuyo SUEMATSU and Tosio ISOBE
National Aerospace Laboratory

ABSTRACT

Recently computer graphics have become useful for efficient processing of the large amount of numerical data obtained from the execution of programs. We have developed a graphic software package to easily display various kinds of figures, such as grid distributions, pressure contours, oilflow patterns, and streamlines, which are often used in the field of computational aerodynamics.

This package has a great many functions but they are accessible by simple subroutine-calls. This software package is applicable to all graphic devices at the NAL computer center by linkage with appropriate libraries, which are determined by the output device.

1. はじめに

近年、計算機性能の向上、計算手法の改良等により今まで不可能とされていたような大規模な計算や複雑な計算が可能となってきた。そのため、計算機システムの利用者にとって、プログラム実行時に発生する大量の数値データを、いかに効率よく的確に処理するかが大きな課題となっている。図形処理は、このような場合のひとつの有力な手段であるといえる。

現在、図形処理装置にはXYプロッタ、2次元ディスプレイ、3次元ディスプレイ、イメージディスプレイと種々のものがあり、多彩な表現が可能となってきた。しかしながら、図形処理装置には独自の図形出力ライブラリが用意されており、それぞれの

ライブラリの作図仕様にはまったく互関性がないために、格子図のような簡単な図を描くときでさえも、出力する装置に応じたライブラリ機能を習得し、作図プログラムを作成しなければならない。さらに、一度作成した作図プログラムも出力装置を変更するたびに修正を余儀なくされる。そのため、計算機システム利用者にとって図形処理を行うための時間的、心理的負担は大きかった。空力工学の間では、出力する図形処理装置にかかわらず、空気力学計算において頻りに利用される格子図、等高線図、流線図、オイルフロー図等を簡単に出力できるようにという強い要望があった。

そのような空力工学者の要望を満たすために、個々の図形処理装置に付随する図形出力ライブラリ機能の習得を必要とせず、簡単に使用できる作図用のソフトウェアパッケージを開発したので、その概要および使用例を紹介する。

* 航空宇宙技術研究所

2. 空気力学計算における図形処理

空気力学計算における図形処理の流れを整理すると図1のように表すことができる。図中の空力計算プログラムは、空力工学者がそれぞれの目的に応じて独自に作成するものである。そのプログラムを実行した結果として、図中の計算出力すなわち数値データが得られる。また、図形作図ルーチンは、このようにして得られた数値データを等高線図のようなある目的をもった図形データに変換するためのプログラムを表している。この図形データは図形処理ソフトウェアによって個々の装置に表示される。

いま、空力計算において頻繁に使用される図形作図ルーチンを汎用的に開発しようとした場合、個々の空力工学者が開発する空力計算プログラムや出力先の図形処理装置とは独立にその開発を行えるようにする必要がある。そのため、空力計算プログラムからの入力形式を標準化し、装置に依存した処理を

図形処理ソフトウェアで行うようにした。

本章では、図形作図ルーチンで使用している図形処理ソフトウェアの機能とデータ入力形式について述べる。

2.1 図形処理ソフトウェア

現在、航技研計算センタには以下に示す5種類の図形処理装置が設置されており、それぞれカッコ内に示すような図形出力ライブラリがサポートされている。

- XYプロッタ装置 (CSP)^(注),1,2)
- 静電プロッタ装置 (CSP)
- 2次元グラフィックディスプレイ装置 (GSP)³⁾
- 3次元グラフィックディスプレイ装置 (SCORE)⁴⁾
- イメージディスプレイ装置 (NEXUS)⁵⁾

注) 日本カルコンプ社の図形出力用ソフトウェアを指す。

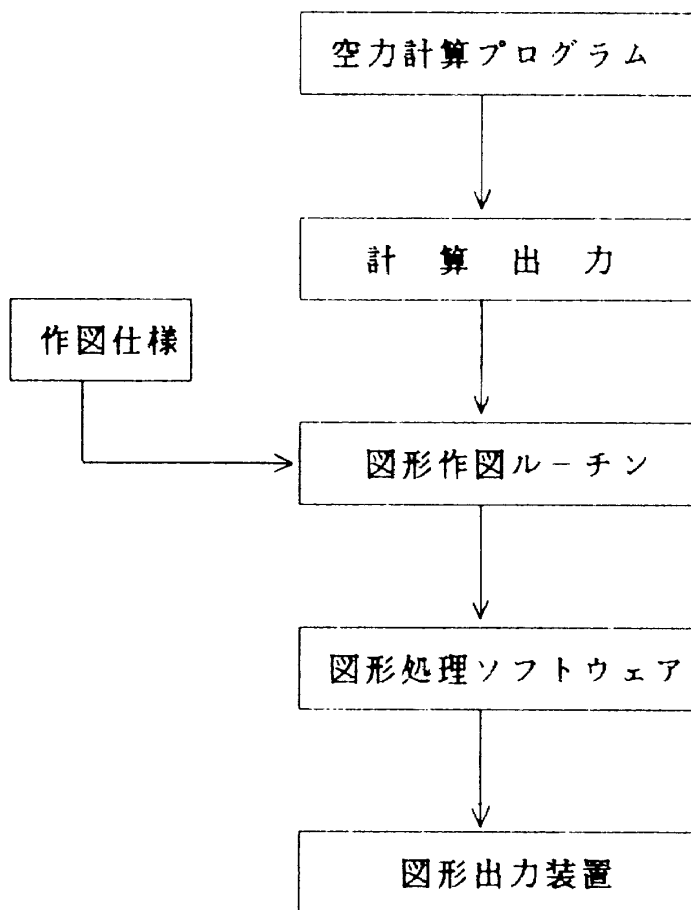


図1 図形処理の流れ

これらの装置を使用する場合には、図形処理装置に応じた図形出力ライブラリ内のサブルーチンを適時呼び出した作図プログラムを作成し、プログラムの結合編集時にそのライブラリを結合することによって図形データを表示することができる。

しかしこの方式では、図形出力ライブラリ毎にサブルーチンの機能や呼び出し形式が異なるため、同じ図形データを表示する場合にも装置毎にプログラムを作成しなければならない。

そこで、図2に示す構造をもつ航技研独自の図形出力用ソフトウェアパッケージを開発した⁶⁾。このパッケージはサブルーチン呼び出しで使用でき、以下の特徴をもつ。

- ① 図形出力ライブラリの開始・終了処理および線、多角形、円等を出力するサブルーチンの機能や呼び出し形式を標準化し、出力する装置に関係なく作図プログラムが開発できるようになっている。
- ② 図形データファイルの概念を導入し、図形データの作成と表示を分離している。
- ③ プログラムは機能別にサブルーチン化している。
- ④ 図形データは階層構造をしている。

通常、①の機能をもつパッケージは、装置毎にプログラムを作成しなければならないが、②により図形データの作成までの処理は図形処理装置に依存せずに行えるため、ソフトウェアパッケージの手続き部分の内、図形データの表示部分を除いた大部分が同図に示す共用部分に格納することができた。

したがって、このパッケージを使用して作図プログラムを作成した場合には、プログラムの結合編集時に使用する装置で必要なパッケージおよび図形出力ライブラリを組み込むことにより、航技研計算センタに設置されている任意の装置を使用できる。なお、装置毎に必要なパッケージ群の結合操作は、TSSコマンドを用意することにより簡単に行うことができるようになっている。

2.2 データ入力形式の標準化

空力計算プログラムからのデータ入力形式は、図3に示すような格子点データとして標準化を行っている。

同図の(a)は計算空間の格子点がI, Jのパラメータにより2次元のアドレスづけがなされている場合

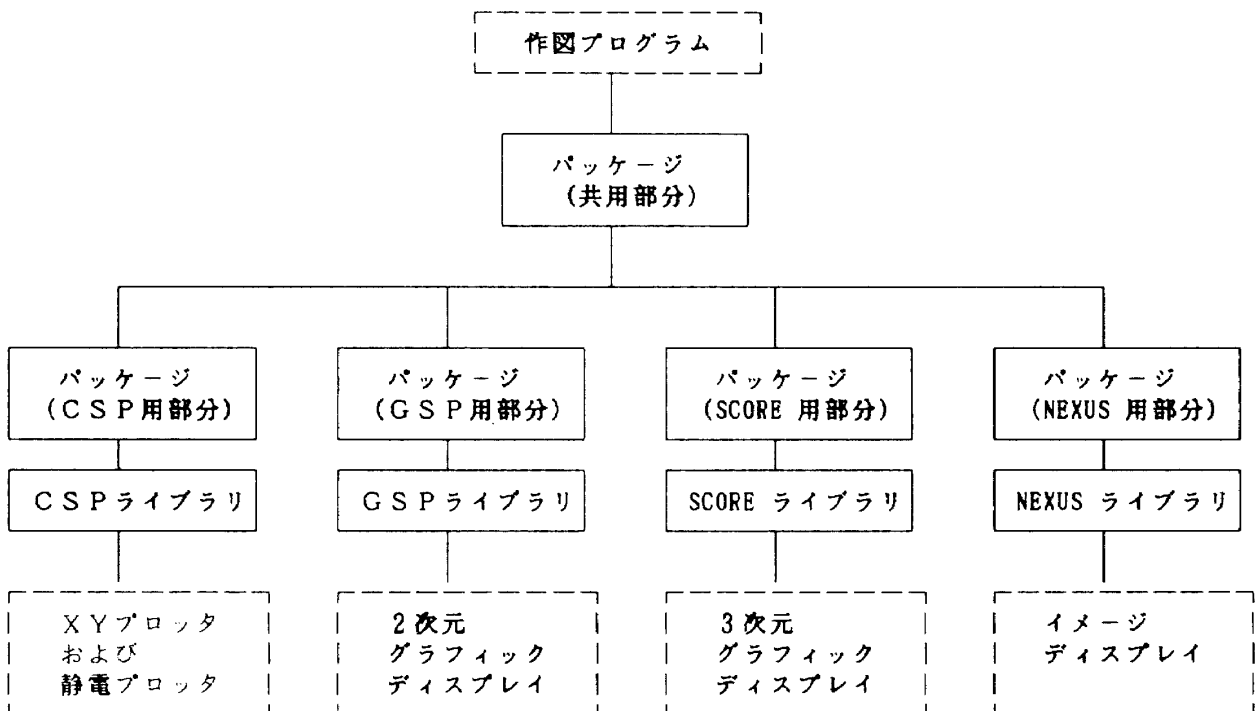
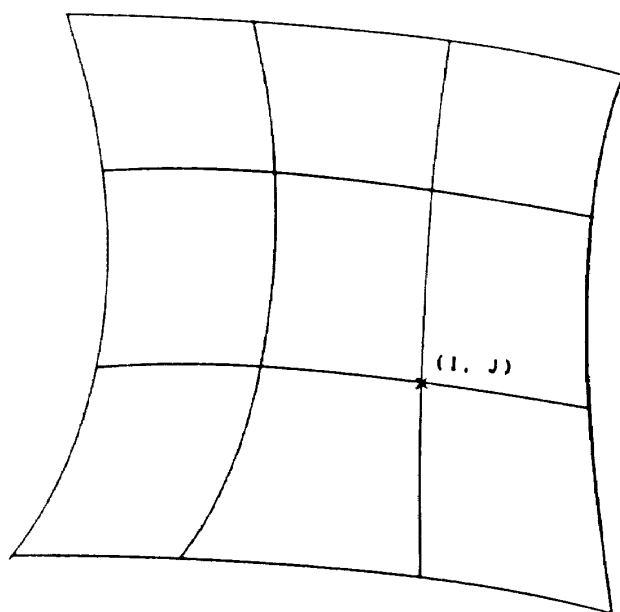


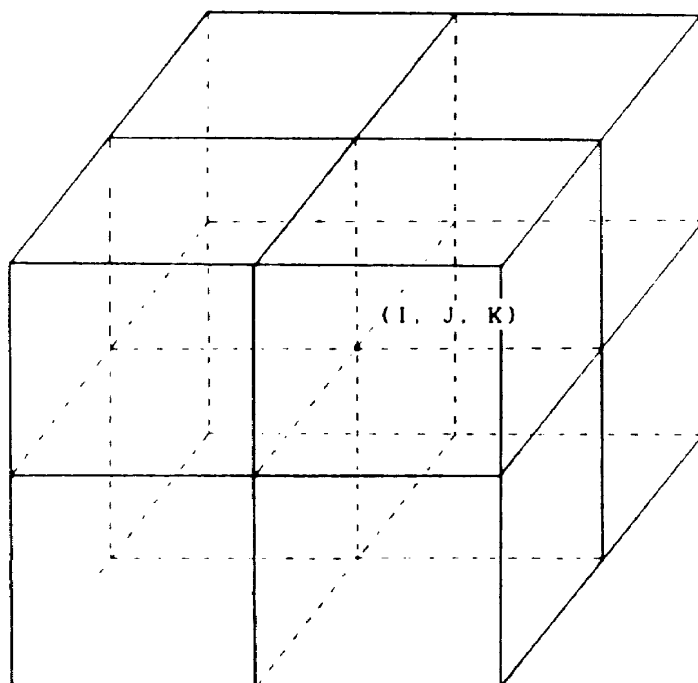
図2 図形処理ソフトウェアパッケージの構造



X (1, J)
 Y (1, J)
 Z (1, J)
 P (1, J)
 V_x (1, J)
 V_y (1, J)
 V_z (1, J)

WRITE (1) NI, NJ, ((X (1, J), I=1, NI), J=1, NJ)

(a) 2次元格子の場合



X (1, J, K)
 Y (1, J, K)
 Z (1, J, K)
 P (1, J, K)
 V_x (1, J, K)
 V_y (1, J, K)
 V_z (1, J, K)

WRITE (1) NI, NJ, NK,
 ((X (1, J, K), I=1, NI), J=1, NJ), K=1, NK)

(b) 3次元格子の場合

図3 計算出力の標準化

上の個々の成分データは図に示すような形式で標準化しておくことにより図形作図ルーチンの入力とすることができる。

なお、ここでは明示していないが、図形作図ルーチンは有限要素法の3角形要素により空間が定義されている場合にも対応できるようになっている。

3. 図形作図ルーチン

現在、図形作図ルーチンに用意されている作図用パッケージにはグラフ、格子、等高線、分布図、流線、オイルフロー作図用があり、それぞれ多次元データの表示、図形データのカラー化隠線・隠面処理機能をもっている。

この図形作図ルーチンの入力形式および出力形式は、2章に述べたような方法を用いることによって標準化したものを使用している。したがって、空力計算における出力形式を標準化しておくことにより、このルーチンの機能を利用してどの図形処理装置へでも簡単に図形データを表示できることになる。

図4は、図形作図ルーチンの中の等高線作図パッ

ケージを使用した場合の簡単な流れを示したものである。この例では、空力計算プログラムから出力されたデータの内、格子点のX座標、Y座標、Z座標および計算数値Pを入力して3次元等高線の計算を行っている。その時、等高線の間隔、視点位置、線の色などが作図仕様として指定できる。なお、等高の例を示している。各格子点ではX、Y、Z座標値のほかに、圧力、速度ベクトルのような図形作図に必要な物理量が定義できる。

また、同図の(b)は計算空間の格子点がI、J、Kのパラメータにより3次元のアドレスづけがなされている場合の例を示している。2次元の場合と同様に各格子点ではX、Y、Z座標値および図形作図に必要な物理量が定義できる。どちらの場合にも、格子点線作図パッケージを使用したプログラムの例を図5に示す。このプログラムで作図した等高線図をディスプレイ装置に表示させるためには、このプログラムを装置上で実行させる前に、ライブラリ群を結合するためのTSSコマンド(たとえば2次元ディスプレイ装置の場合には"GSAPON")を入力しておく

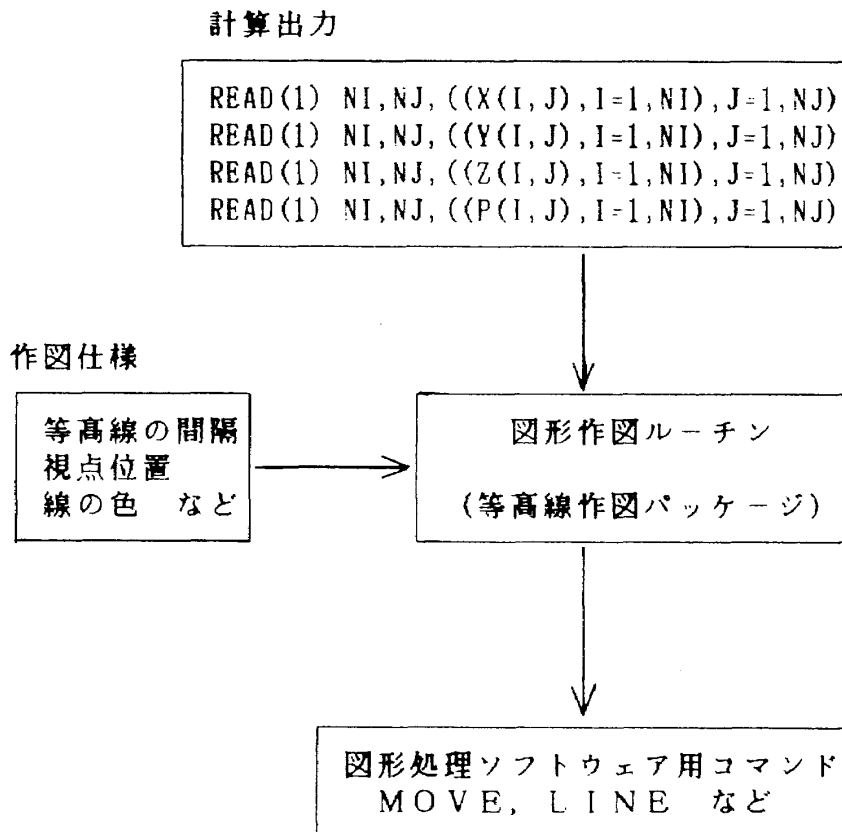


図4 図形作図ルーチンの使用例

```

PARAMETER ( II=55, JJ=57 )
DIMENSION X(II, JJ), Y(II, JJ), Z(II, JJ), P(II, JJ)
READ (1) NI, NJ, ((X(I, J), I=1, NI), J=1, NJ)
READ (1) NI, NJ, ((Y(I, J), I=1, NI), J=1, NJ)
READ (1) NI, NJ, ((Z(I, J), I=1, NI), J=1, NJ)
READ (1) NI, NJ, ((P(I, J), I=1, NI), J=1, NJ)
CALL GCPOPV
CALL GCPVR3(-10.0, -10.0, -10.0, 10.0, 10.0, 10.0)
CALL INITLS(3)
CALL PLOTS(1)
CALL PALETX(I, 0.3, 0.3, 0.3)
CALL DGRIDQ(X, Y, Z, II, JJ, NI, NJ)
CALL CONTQ3(X, Y, Z, P, II, JJ, NI, NJ)
CALL GPVT
CALL STOP
CALL END

```

データの入力

ソフトウェアパッケージに対する
諸設定

格子作図の色設定

格子作図

等高線作図

図形データの表示

図5 3次元等高線作図プログラム例

ばよい。

以下に代表的な図形作図パッケージの内容とその使用例を示す。

3.1 格子作図用パッケージ

格子図には2次元格子図と3次元格子図がある。どちらの場合にも、各格子点の座標を順次結ぶことにより作図できる。

図6は、格子点がX, Yの2次元空間上に定義されている格子および等高線作図の例であり、512×480ドットのイメージディスプレイ装置に表示したものである。この図の格子は空気取り入れ口まわりの計算空間のためのもので、空気取り入れ口の断面の曲線を示している。

図7は、格子点がX, Y, Zの3次元空間上に定義されている格子および等高線作図の例である。この図の格子は、空気取り入れ口表面の3次元格子を表示したものである。この図もイメージディスプレイ装置に表示したものであるが、3次元グラフィックディスプレイ装置に表示した場合には、表示されている図をディスプレイ装置でローカルに回転、拡大・縮小、移動等を行うことができる。

3.2 等高線作図用パッケージ

計算数値を図示する方法のひとつとして等高線表示がある。このパッケージで使用している等高線の作図方式は文献7に示すが、プログラムは本パッケージの仕様に合わせて入出力部分のみを変更したものである。図6の等高線は、空力計算プログラムから出力された数値データの中の、空気取り入れ口まわりの2次元格子上のマッハ数を2次元等高線の形式で表示したものである。また、図7は、空気取り入れ口表面の3次元格子上のマッハ数を3次元等高線の形式で表示したものである。

3.3 分布図作図用パッケージ

計算数値を図示する方法に分布図がある。本パッケージで使用している分布図の作図方式については、文献8に示す。

図8はイメージディスプレイ装置を使用した分布図の例で、図6に示した2次元等高線図と同じデータを使用して色による表示を行ったものである。この図ではもっとも速い部分を赤く表示させている。

また、図9は図8と同じデータを使用して作成した3次元分布図の例である。ここではZバッファ法により隠面処理を行っている。なお、イメージディスプレイ装置の場合には、画面上に表示させた図を

ローカルに回転することはできないため、回転させる場合にはその都度プログラム上で計算させる必要がある。

3.4 流線作図用パッケージ

流線図も、計算数値を図示するひとつの方法である。ここで図形作図パッケージで使用している流線の作図方法について簡単に説明する。流線は格子点に囲まれたセル単位に計算している。この場合セルは立方体になっており、流線の出発点はこの立方体の表面上の点とする。まず、出発点での速度成分を補間により求め、速度ベクトル方向に直線を引き、セルの表面との交点を終点とする。そして、この交点を次の出発点とし、同じようにして新しいセル内に順次流線を引き、流線の終点が計算格子領域外に出たときに、1本の流線の処理を終了させている。なお、オイルフロー図も同様の方法で作図できる。

図10は、空気取り入れ口に流れる、流れの計算結果を流線表示したものである。この場合、流線の出発点は空気取り入れ口の中心を通るXY平面上にとってある。なお、黄色で表示されている部分は空気取り入れ口を通らないで外側を流れている流線を表している。

3.5 オイルフロー作図用パッケージ

物体表面上における流れの様子を観察する1つの方法にオイルフローと呼ばれる方法がある。これは流れ場の中に置かれた物体の表面にオイルを落とし、そのオイルの描く軌跡から物体表面上での流れの様子を知る方法である。オイルフロー作図用パッケージでは、空力計算プログラムから出力される数値データをもとに、表面上のある点に落としたオイルの流れを計算し、任意の色で表示するもので、流線作図と同じ考えで行っている。ただし、粘性流の計算では物体表面上では速度が零なので、物体からわずかに離れた点での速度成分を入力して計算している。

図11は、迎角付き球頭まわりの粘性流の計算結果をオイルフローおよび流線の形式で図形処理したものである。ここで使用している格子は、円柱の先に半球を取り付けた形をしている。図は、この物体を流れ場においた場合の計算結果を用いたもので、

流れは図の左下から右上方向に流れている。この図の中の赤紫で表示されている流線は物体から比較的遠い流れを、紫で表示されている流線は比較的物体に近い流れを表している。また、オイルフローのうち、緑、赤、青で表示されているオイルはそれぞれ半球の下半分、半球の上、円柱の上の位置に落とされたものを表している。オイルフロー図は格子上のオイルの落下点を与えることにより作図できるが、このオイルの落下点は試行錯誤により最適点を決定する必要がある。

なお、オイルフローの計算は、計算領域外に出たとき、速度成分が物体に対し垂直となったとき、あるいは同一点に戻った時に終了している。

4. あとがき

我々は、航技研計算センタに設置されているどの図形処理装置でも簡単に使用できるようにするための図形処理用ソフトウェアを開発した。それを利用することにより、作図用プログラムは装置に依存せず開発できるようになった。さらに、空力計算における図形処理の場合には、空力計算プログラムから発生する数値データの形式を標準化し、上記ソフトウェア機能を用いた作図パッケージを開発したため、作図用のパッケージを呼び出すだけで簡単に図形処理ができるようになった。また、オイルフローや流線は会話形式で開始点を入力することも可能である。

しかしながら、現在使用している図形データは、表示イメージで保存することはできるがその一部分を読み込んで表示したり、データの追加、編集が自由に行えるようにはなっていない。これは、緊急に解決されるべき問題であると考えている。

最後に、使用例を作成するにあたりデータを提供していただいた空気力学第一部安喜隆幸主任研究官、計算センタの中村孝研究員に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 日本カルコンプ(株); CALCOMPソフトウェアマニュアルベーシックソフトウェア
- 2) 日本カルコンプ(株); CALCOMPソフトウェアマニュアルファンクショナルソフトウェア

- | | |
|--|--|
| 3) 富士通(株); FACOM OS IV GSP 文法書 | 料TM- 予定 |
| 4) 武藤工業(株); SCORE 解説書 | 7) 磯部; 等高線を描かせるプログラム, 航技研 |
| 5) (株) 柏木研究所; NEXUS 6400 取扱説明書 | 資料TM- 198, 1971年1月 |
| 6) 末松, 磯部; 3次元グラフィックディスプレイ装置用ソフトウェアパッケージ, 航技研資 | 8) 磯部, 他; ラスタスキャン型ディスプレイのための基本プログラム, 航技研資料執筆予定 |

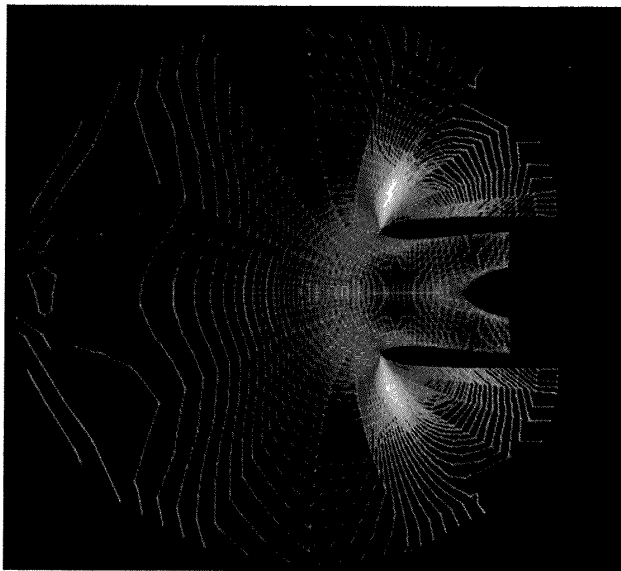


図6 空気取り入れ口まわりの格子図および等マッハ線図

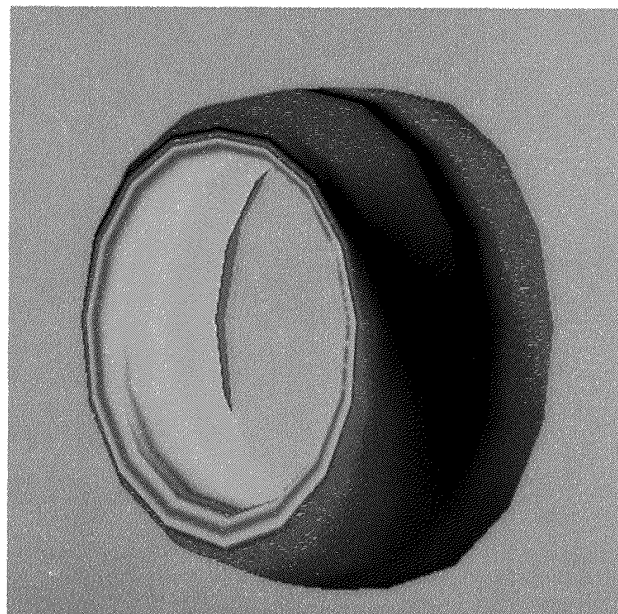


図9 空気取り入れ口表面の3次元マッハ数分布図

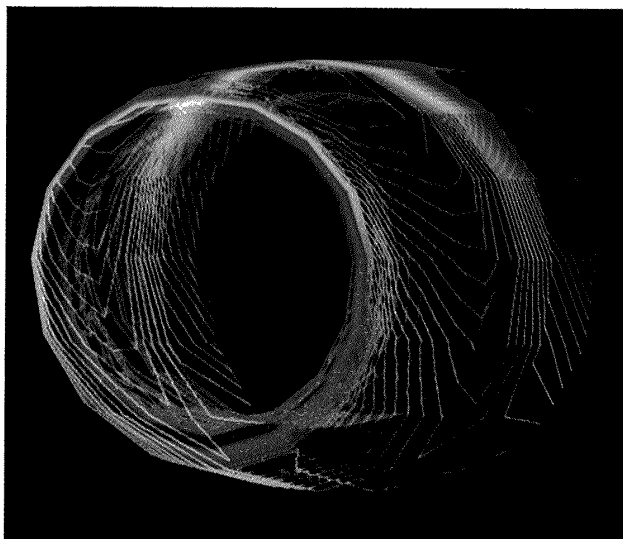


図7 空気取り入れ口表面の格子図および3次元等マッハ線図

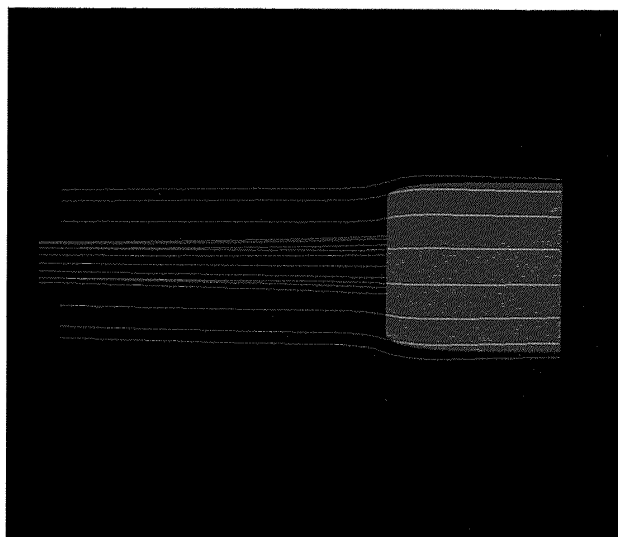


図10 空気取り入れ口まわりの流線図

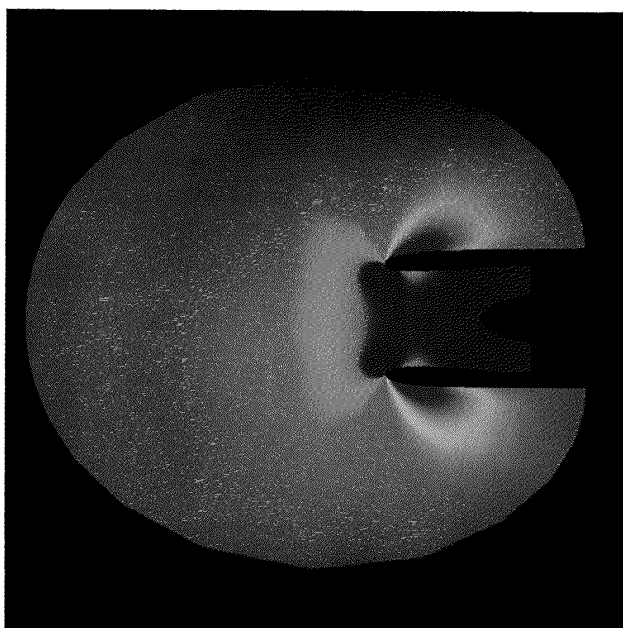


図8 空気取り入れ口まわりのマッハ数分布図

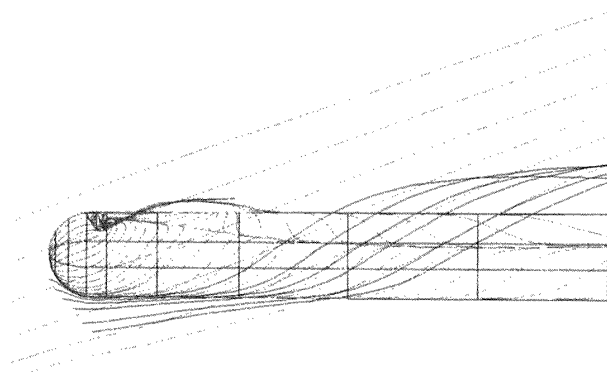


図11 迎角付き球頭まわりの粘性流におけるオイルフローおよび流線図

