

フローティング メッシュ法を用いた精密図表作成プログラムの開発と応用

Development and Application of Computer Program for Precision Diagram by Floating Mesh Method

高木陽市* Takagi Yoichi

電子計算機による作画図面上に座標目盛を付けて、座標読取精度を高めることは図面利用上極めて有益であるが、従来、必要最小限の時間で作画ができ、しかもいろいろなプログラムに容易に組み込んで使用できる実用性の高い手法がなかった。本稿で記述するフローティング メッシュ法は、出力図形の周辺に必要な最小限の画面にだけ詳細な部分格子目盛を作成させるというユニークな精密図表作成法で、座標読取精度や自動製図機の作画能率の面で優れた特長をもち、一般プログラミングへの応用も容易である。本稿ではフローティング メッシュ法の考え方と電子計算機処理内容について述べ、応用例として (1)データ分析と散布図の作成 (2)各種データのグラフ化 (3)関数写像などを目的とした精密図表作成システムの内容を紹介した。

1 緒言

最近、高精度の自動製図機が比較的手軽に利用できるようになり、電子計算機出力として図面が用いられる例が多くなってきた。図形は人間の視覚に直接訴え、その内容を容易に理解させると同時に図形上の座標値は、定量的な情報伝達という重要な役割をもっている。図形の座標読取精度の問題は、電子計算機による作画図形(以下、電子計算機図形という)の利用方面の拡大とともに、その重要性が認識されるようになってきた。しかし、一般の電子計算機図形は機械的な作画精度の向上にもかかわらず、図形の座標読取精度(人間の目による)はあまり改善されておらず、コンピュータ図面の利用範囲を極めて狭いものにしてきている。座標読取精度の改善は、ハード的な面よりもむしろソフト的な面の充実待つところが大きいとされているが、作画時間やプログラム開発の面で実用性のある解決法はいまだに発表例をみない。以下に述べるフローティング メッシュ法(特許出願中)は、図形の座標読取に必要な最小の画面にだけ詳細な部分格子目盛を描かせるという精密図表作成法で、(1)座標読取精度 (2)作画能率 (3)プログラム開発などの面で実用性の高い手法である。

2 フローティング メッシュ法の構成

図1はフローティング メッシュ法による電子計算機図表の一例である。図面の内容は、実験データを電子計算機で処理しグラフ化したものである。実験値を示す折れ線グラフに沿った帯状の面に、詳細な部分格子目盛(以下、この部分格子目盛のことを浮動格子目盛、又はフローティング メッシュと呼ぶことにする)が描かれているのが特徴である。この部分格子目盛は、グラフ上の座標値を精度よく読み取るために設けたもので、このような図表をフローティング メッシュ図表(FM図表と略す)と呼ぶことにする。フローティング メッシュ法では、必要最小限の画面にだけ詳細な部分格子目盛を描かせるという手法をとっているため、X-Yプロッタによる作画時間がそれほど大きくならない利点があり、電子計算機に

よる精密図表作成法としては最も優れた手法であると考えられる。

図2はフローティング メッシュの構造図で、曲線及びその曲線に沿うフローティング メッシュを図形表示している。フローティング メッシュを構成する縦線、横線はFMエレメントと称呼し、表示図形との関連で自動的に作成される。フローティング メッシュと座標数字との関係を明確にするため、FMエレメントの一部を延長しこれを主線と称呼する。主線はFMエレメントとともに、座標読取に欠かすことのできないフローティング メッシュ構成要素の一つである。FMエレメントを作成するための電子計算機処理部は、本稿における最も特徴的な電子計算機処理の展開がなされている部分である。

図3はフローティング メッシュ法によるデータ分析プログラムFMデータアナライザの処理フローの例で、処理内容はデータ読込部、データ分析部、図形処理部、最終処理部などから成っている。図形処理部では、図形作画のためのプロッタ情報を作成すると同時に、必要に応じFMエレメントを作成する。フローティング メッシュ付きの図形が処理されるたびにFMエレメントは作成され、ディスクに蓄えられる。このようにして、各曲線ごとに作成されたFMエレメントはそれらが重複する場合には、重複するFMエレメントを1本のFMエレメントに合併し、作画順に並べ替えを行なうなどの最終処理をしてフローティング メッシュ作画用のプロッタ情報としてプロッタテープに出力する。ここで、図形処理部でのフローティング メッシュ作成の基本的な考え方を示しておく。任意図形の作画は点、直線、曲線、点群などの基本作画パターンを使って行なうが、フローティング メッシュ法による図形処理では、これらの基本パターンに対して固有のFMエレメントを作成する機能を付加させたルーチンを使って行なう。代表的なものを挙げると図4のようである。例えば、SPOT機能とは座標点を表示すると同時に、点を囲うよう

* 日立製作所日立工場

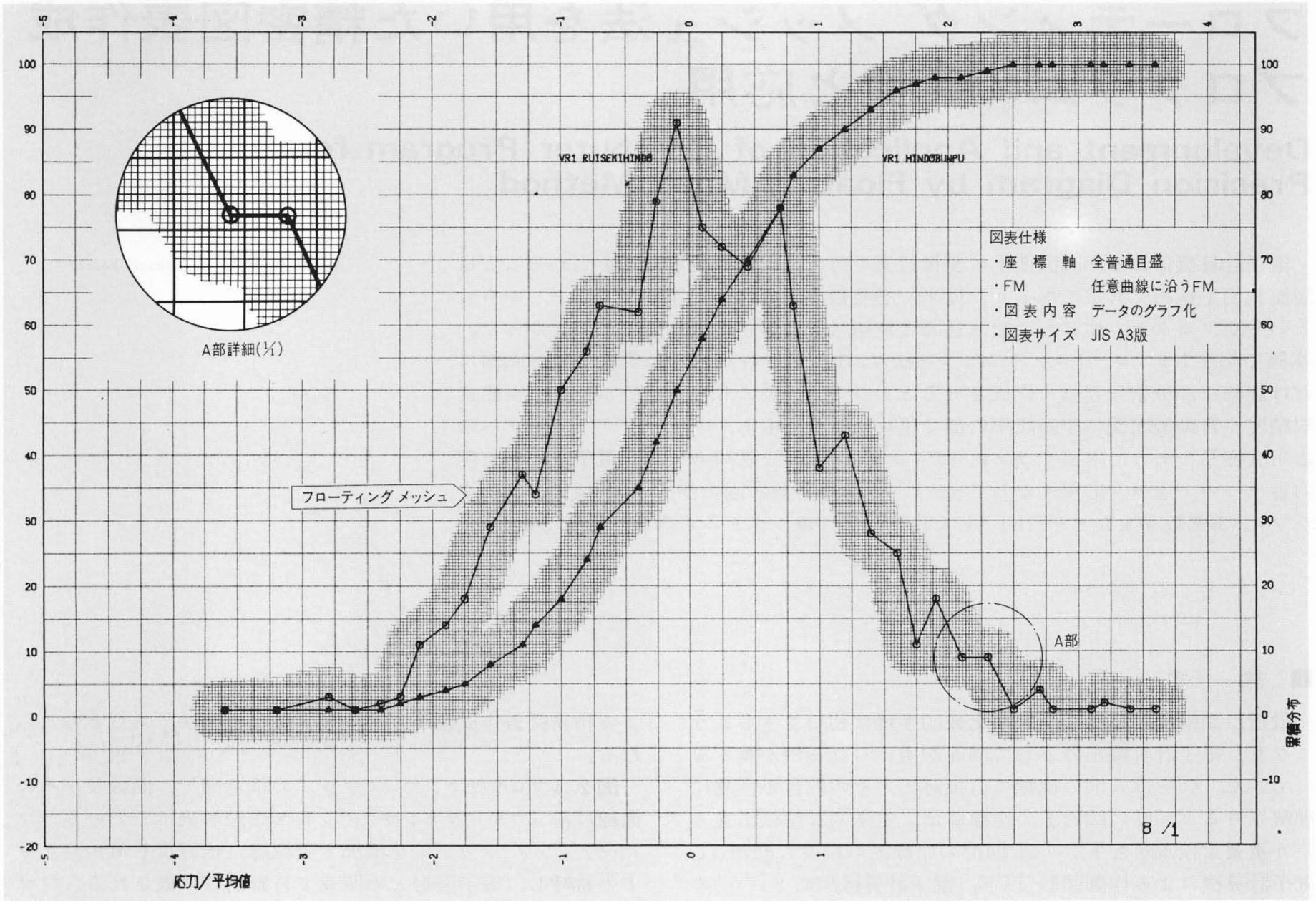


図1 フローティング メッシュ精密図表例 グラフ上の座標値を精度よく読むため、グラフに沿って詳細な部分格子目盛が作成されている。このような部分格子目盛をフローティング メッシュ(FMと略す)と呼び、また、このような図表をフローティング メッシュ図表(FM図表)と名付けた。

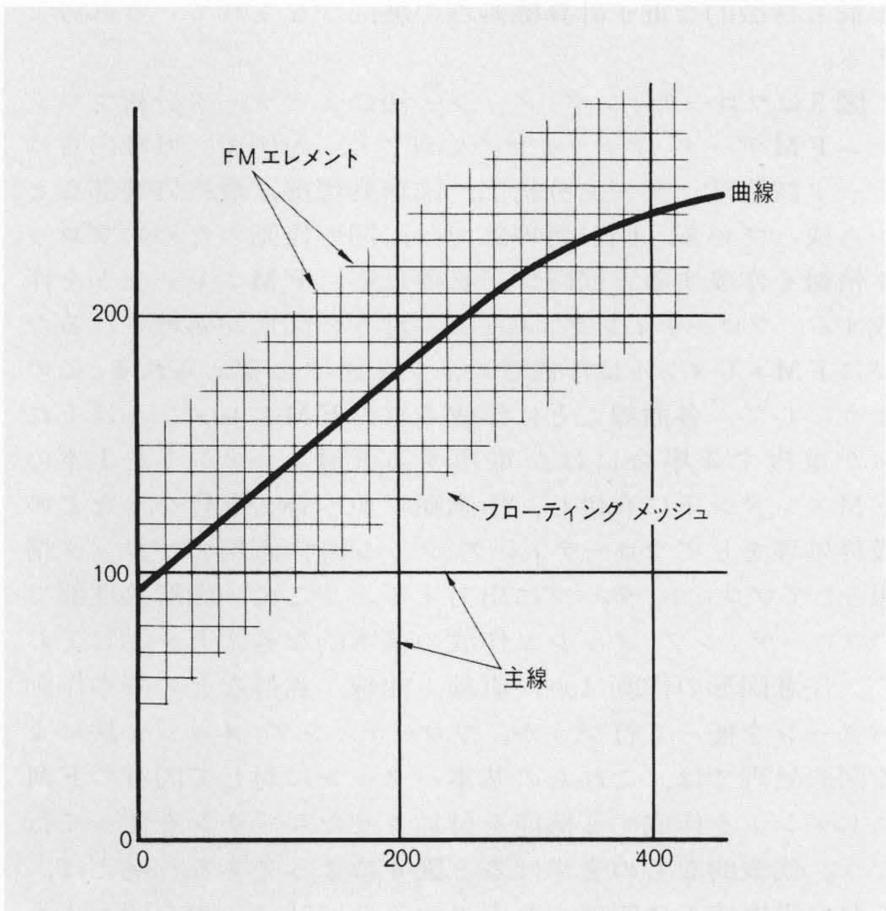


図2 フローティング メッシュの構造図 フローティング メッシュを構成する縦線、横線は、FMエレメントと呼び、表示図形との関連で自動的に作成する。主線はFMエレメントの一部を延長し、座標読取りを容易にしたものである。

なFMエレメントを作成する機能を付加したもので、その他TWIN機能、STICK機能、LINE機能及びSPOTS機能は図4に示すとおりである。

画面上に描かれた複数の座標点を一つの図形として扱い、これにフローティング メッシュを作成する機能が散布図の図形処理に使われる。一般に座標点は直線の周りに分布するとか、長円の内部に分布する場合が多い。これらのデータ特性を生かして、面積最小のフローティング メッシュを作成したものが回帰形フローティング メッシュ及び長円形フローティング メッシュである(図4(f))。不規則に画面全体に広がる座標点に対して回帰形フローティング メッシュ、長円形フローティング メッシュは、X-Yプロッタの作画能率上望ましくない。このような場合には、データ座標点をあらかじめ分類を行なった後、分類された座標点のグループごとにフローティング メッシュを作成するなどの手順によりフローティング メッシュの面積を極力抑えて作画能率を向上させることが必要である。データの分類手法には、クラスター アナリシス⁽¹⁾として知られている手法がある。

3 データ分析プログラムへの応用

ここではフローティング メッシュ法の応用プログラムFMデータアナライザについて述べる。FMデータアナライザは、データ分析と散布図の作成(図5参照)、実験データのグラフ化(図1参照)、関数の写像(図9参照)など、多目的な機

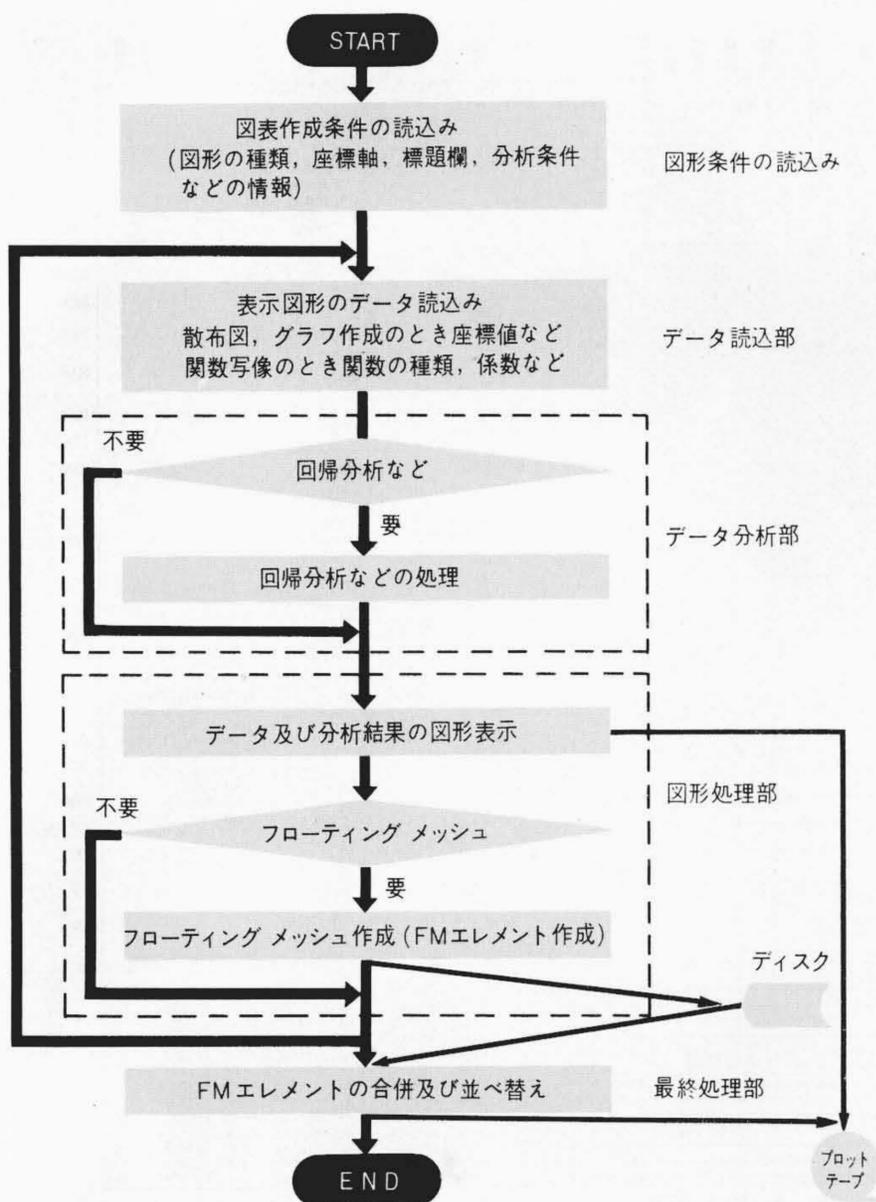


図3 フローティング メッシュ法によるデータ分析プログラムの処理フロー 図形処理部では、図形ごとにFMエレメントを作成する。これらのFMエレメントは、最終的に合併、作画順に並び替えられ、作画情報としてプロット テープに出力される。

能を備えた精密図表作成システムである。特に、本システムによる散布図作成機能は汎用性が高く、しかもフローティング メッシュ法の最も代表的な実用例であるので、以下に本システムの内容を散布図を例にとって紹介する。

3.1 図形表示法

図5は本システムによる散布図の例である。データ座標点を囲う部分格子目盛を描いてあるので、データ座標点及び分析線上の座標値は精度よく読み取ることができる。図面内の表示項目は、(1)データ座標点とその説明欄(2)データ分析曲線とその説明欄(3)データ分析結果の数値表示(回帰係数、偏差、相関係数など)(4)コメントの表示などである。

本システムでは、これらの表示項目に対して出力図形の適正配置機能をもたせ、図面の質の向上を図っている。このような配慮は、この種システム開発上のキーポイントでもある。

3.2 データ分析機能

3.2.1 本システムにおけるデータ分析の考え方

本システムにおけるデータ分析の特徴は、データに座標変換を行なった後、分析を行なうところにある。この分析法では、縦軸、横軸に対数目盛、又は普通目盛を使い分けることにより指数関数や対数関数の関係にあるデータを線形化して、分析し表示することができる。また、分析結果は図形から得られるイメージと一致するという利点もある。本システムでは、最小二乗法による回帰分析のほか後述する定傾斜分析などの機能を持ち、幅広いデータの分析ができる。

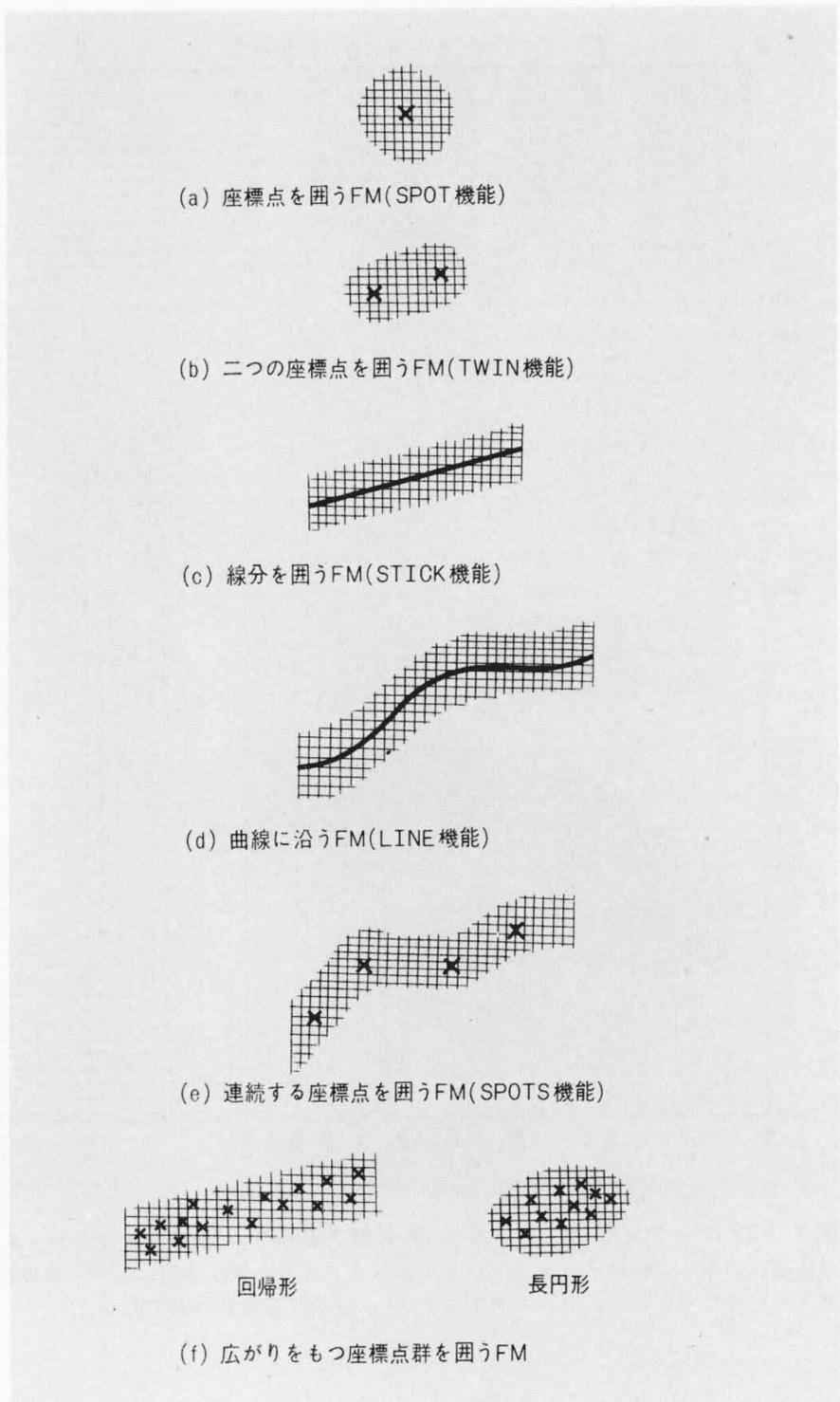


図4 フローティング メッシュ作画基本パターン 点、直線、曲線などに関する基本図形処理ルーチンにFMエレメント作成機能を付加させてある。これらの組合せにより、任意図形にフローティング メッシュを作成することが可能である。

3.2.2 最小二乗法による回帰分析

データを最小二乗法により多項式近似を行ない、得られた近似式の図形表示を行なう。

当てはめの式

$$y = A_0 + A_1 \cdot x + \dots + A_m \cdot x^m \dots \dots \dots (1)$$

データの時間要素及び分類要素ごとに分析可能で、同一図面中に9種類まで分析線を描かせることができる。

3.2.3 定傾斜分析法

分析対象となるデータ数が少ないとき、前述の分析法ではデータのもつ誤差の影響が大きく、曲線の形を決定し得ない場合、すなわちパラメータを変えて分析した分析線の形が分析のたびに異なった様相を呈して分析結果の検討に役立たない場合がある。このようなデータの分析の際には、なんらかの方法で近似曲線の形をあらかじめ決めておき、残差二乗和が最小となるようその曲線を平行移動することにより、都合のよい分析結果が得られる場合がある。このような分析法を、定傾斜分析法と名付けることにする。図6は少数データ分析における定傾斜分析法を、最小二乗法による回帰分析と比較

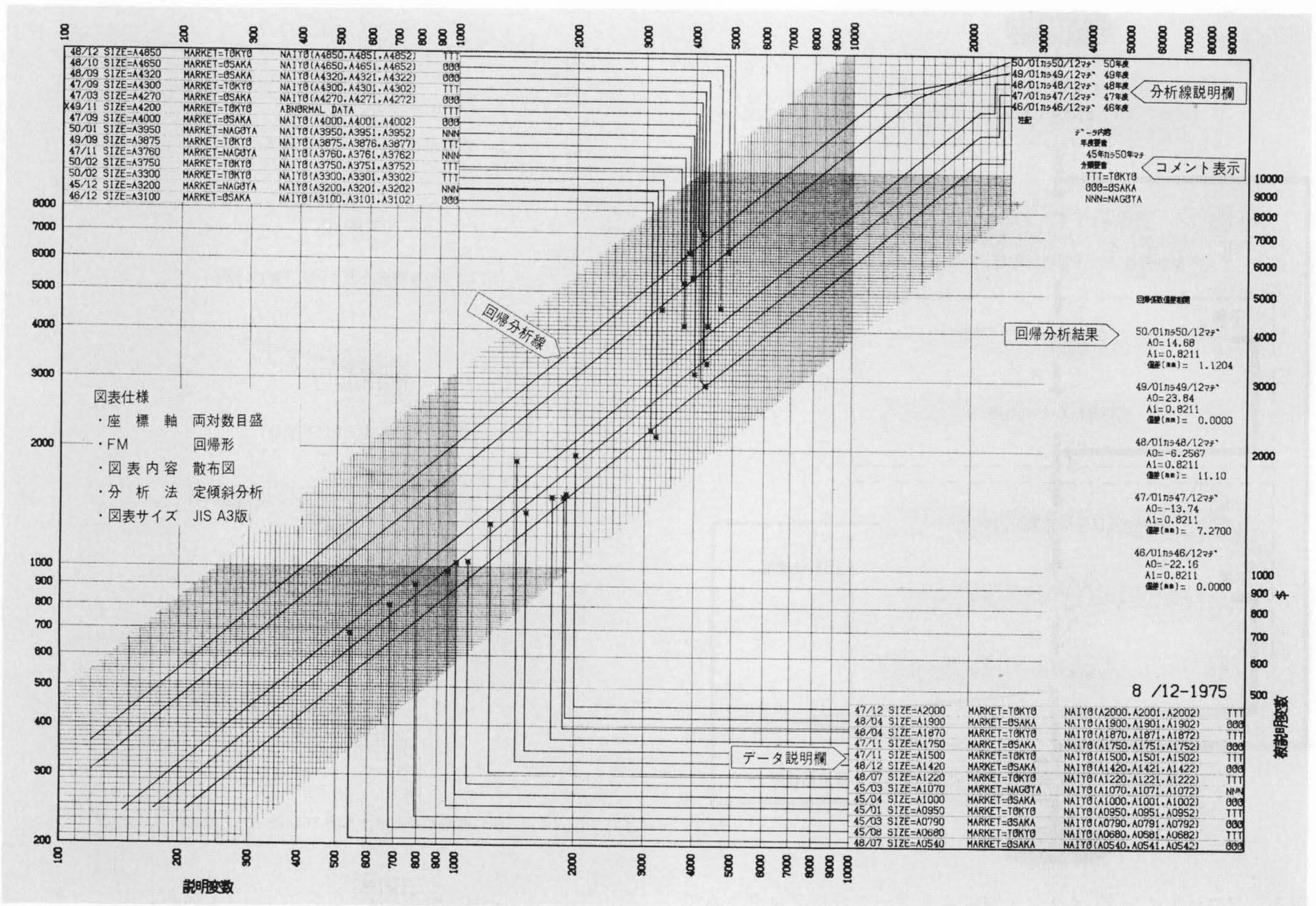


図5 フローティングメッシュ法の散布図例 表示項目は、データ座標点、データ説明欄、分析線、分析線説明欄、分析値、コメントなどである。これらの表示項目は、データ座標点の分布具合により図形配置の適正化を行なっている。フローティングメッシュは回帰形の例である。

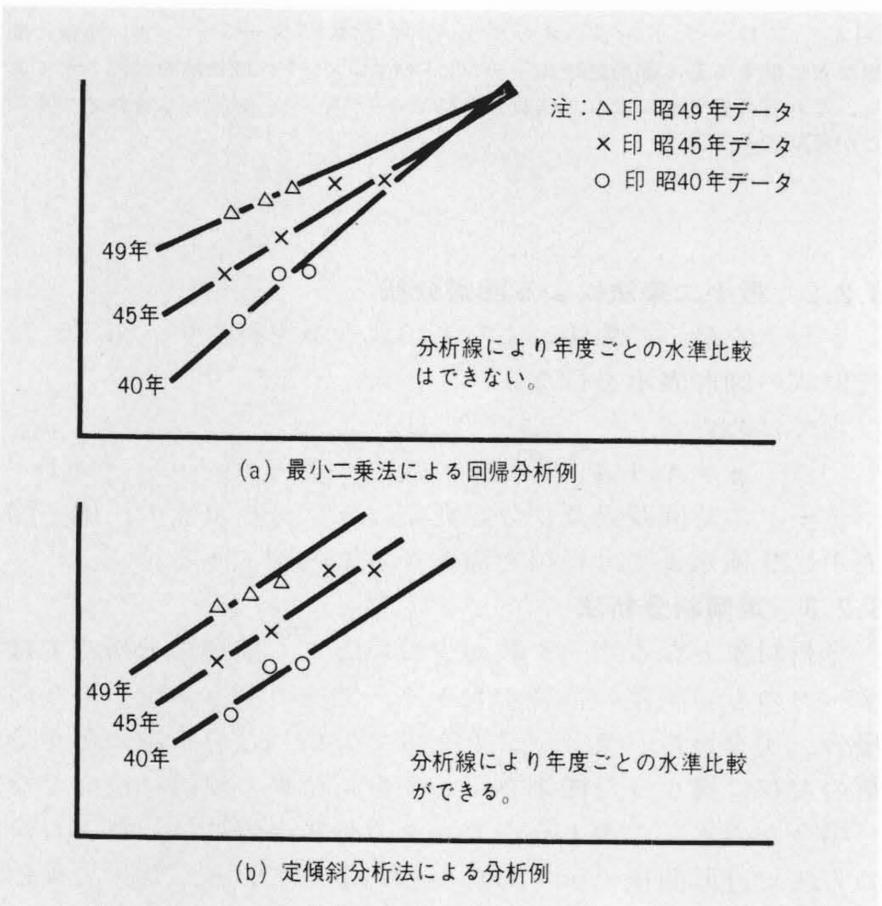


図6 少数データにおける回帰分析法と定傾斜分析法の比較 少数データの分析において、最小二乗法による回帰分析ではデータの誤差の影響により分析線の形を決定し得ない場合がある。このようなとき、定傾斜分析法が有効である。定傾斜分析法が望ましいと思われる例は実には多い。

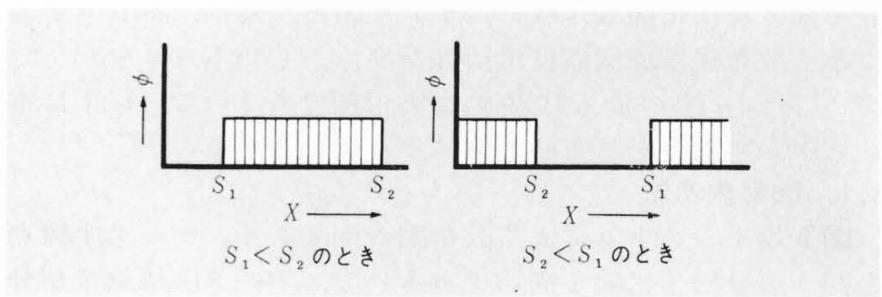


図7 位相関数 $\phi(S_1, S_2, X)$ データ分析範囲を示す部分を重み関数における位相関数と名付けた。位相関数は図のように S_1, S_2 により、0又は1の値をとるステップ関数で定義すると利用上便利である。

して示したものである。定傾斜分析法が望ましいと思われる実例は実には多い。

次式は定傾斜分析法における当てはめの式である。

$$y = A_1 \cdot x + \dots + A_m \cdot x^m + P(t, S) \dots \dots (2)$$

定傾斜分析法の適用条件は、上式において係数 A_1, \dots, A_m がデータ要素 t, S に対して独立に決定できることである。但し、 t はデータの時間的要素、 S はデータの分類要素である。 $P(t, S)$ は定傾斜変動項で、 $\partial P / \partial t$ は時間的変動を、 $\partial P / \partial S$ は分類要素による変動を表わしている。これらの変動の値は出力図面から容易に読み取ることができる。

3.2.4 データ分析と重み関数

本システムではデータ分析の際、重みを付けて目的に合っ

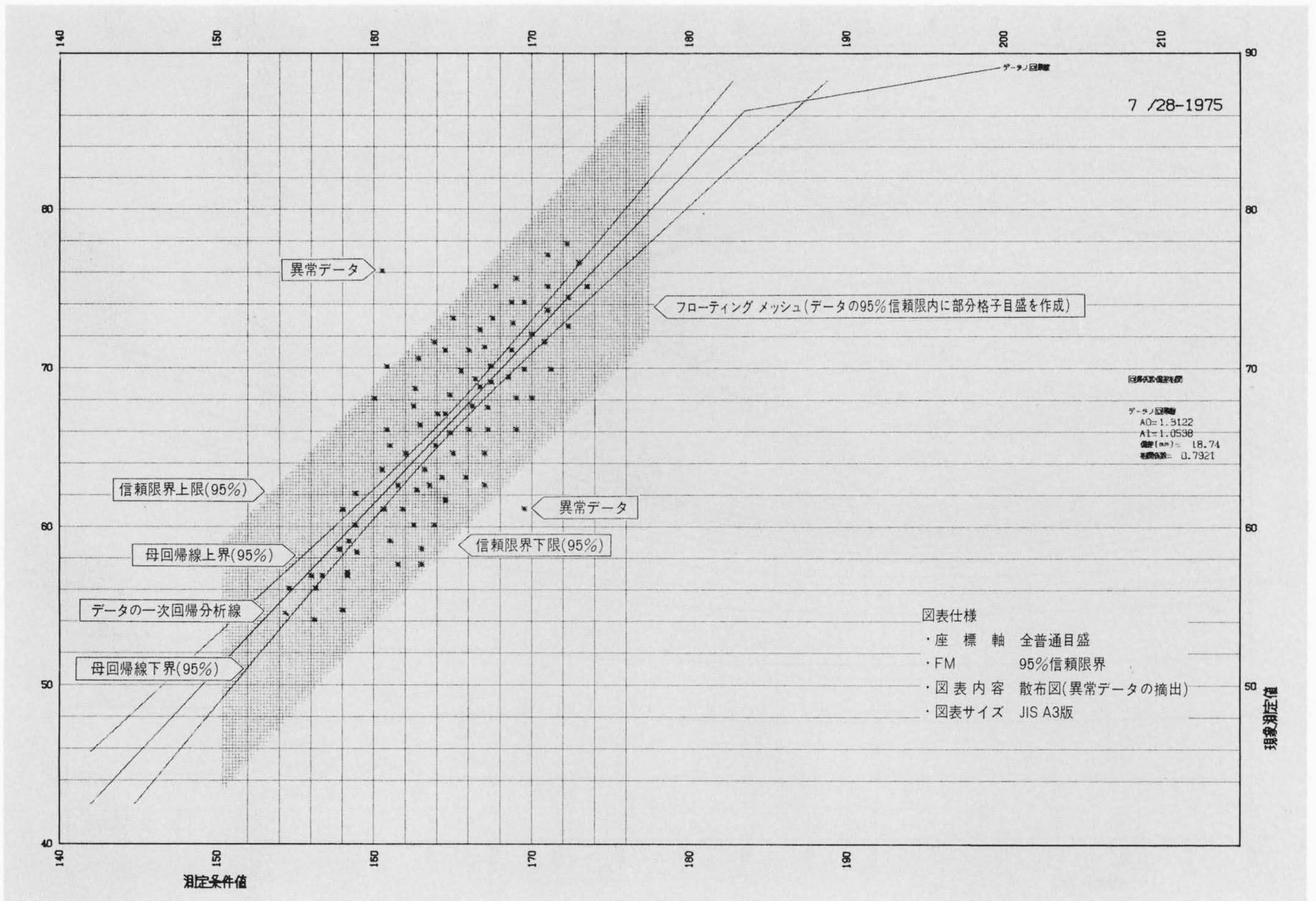


図8 フローティング メッシュの特殊な応用例 データの95%信頼限界内にフローティング メッシュを描かせた例である。大量生産部門における性能値、又は寸法値などの異常値の抽出などに応用される。データの回帰線及び母回帰線の存在範囲を示す上限、下限が表示されている。

た分析を行なうことができる。

回帰分析及び定傾斜分析において、正規方程式導入の基本式である残差二乗和の定義式 S_r と重み関数 w との関係は次式のようになる。

$$S_r = \sum_{i=1}^n (\Delta y_i^2 \cdot w_i) \dots\dots\dots(3)$$

本システムにおける重み関数 w は、その絶対値を示す部分(以下、振幅関数と呼び φ で表わす)と分析範囲を示す部分(以下、位相関数と呼び ϕ で表わす)の積で表示している。

$$w = \varphi \cdot \phi \dots\dots\dots(4)$$

振幅関数 φ は多項式で表示するか、又はデータの座標値そのものを振幅関数とすることができる。

位相関数は、図7に示すようなステップ関数で定義している。

3.3 出力図面仕様

- (1) 図面サイズはJIS A3 版用紙横長である。
- (2) 座標目盛は縦軸、横軸共に普通目盛、対数目盛を任意選定できる。
- (3) 標題欄などの図面外装は、使用目的により各種のものが用意されている。
- (4) 出力図表は、散布図、関数の写像図、実験データのグラフなどがある。
- (5) 散布図では長円形及び回帰形フローティング メッシュを任意指定できる。図8はフローティング メッシュの特殊目的への応用例である。同図はデータの95%信頼限界内にフローティング メッシュを描かせたもので、異常データの抽出など

に利用すると有効である。

3.4 機器構成

FMデータ アナライザ システムを使うための機器構成は次に述べるとおりである。

3.4.1 電子計算機

- (1) 中央計算処理装置
 - HITAC : 8000シリーズ
 - IBM : システム360, システム370シリーズ
- (2) オペレーティング システム
 - HITAC : (a)DOS (Disk Operating System)
 - (b)EDOS (Extended Disk Operating System)
 - (c)EDOS-MSO (Extended Disk Operating System-Multi-Stage Operations)
 - IBM : (a)OS-VS 1 (Operating System-Virtual Storage 1), OS-VS 2
- (3) カード読取機(1台)
- (4) ラインプリンタ(1台)
- (5) 磁気テープ装置(1台)
- (6) 磁気ディスク装置(1台)

3.4.2 プロッタ構成

自動製図機(1台)

3.4.3 ソフトウェア構成

- (1) FMデータ アナライザ(220KB)
- (2) X-Yプロッタ(80KB)

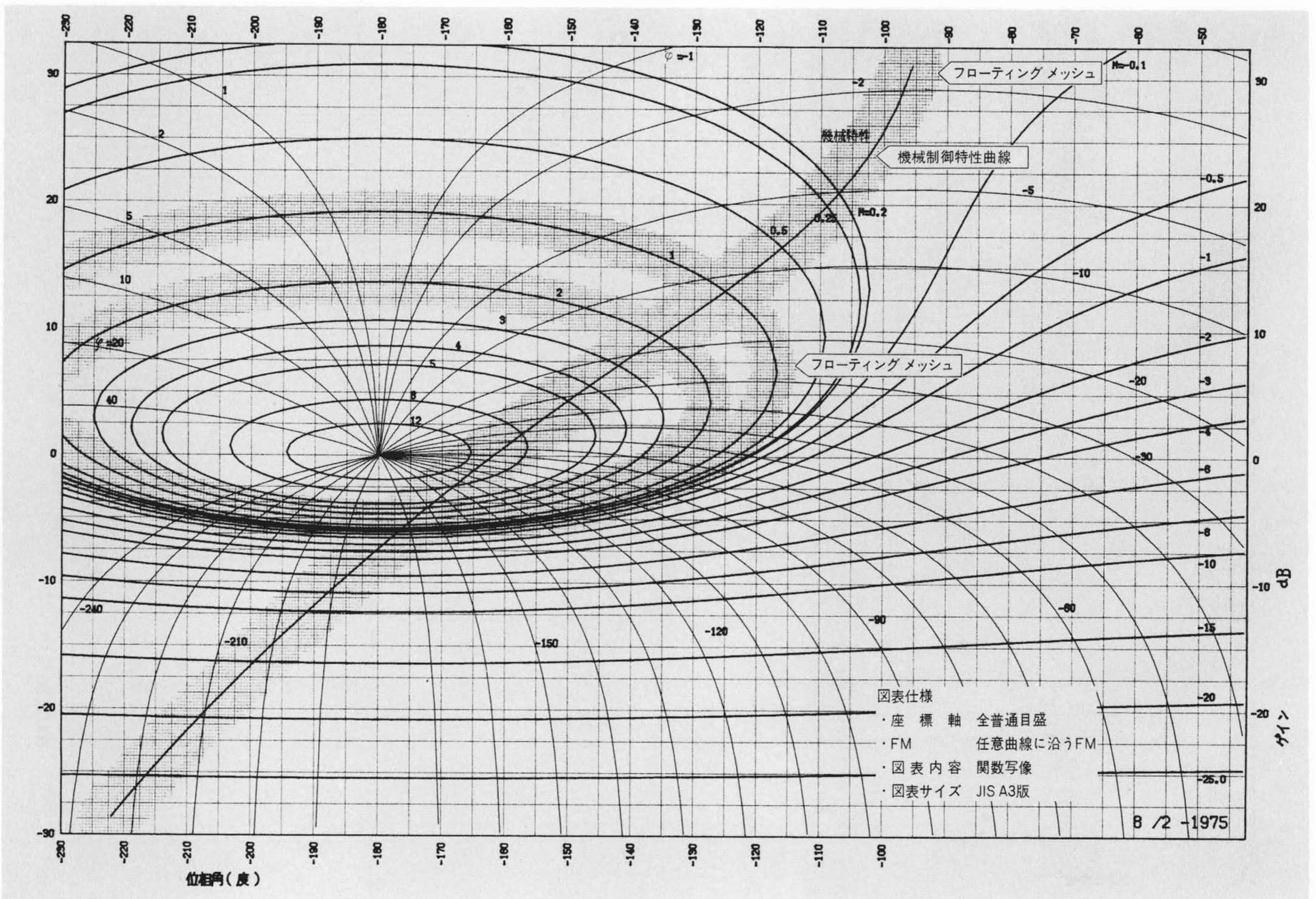


図9 フローティングメッシュ法の関数写像例 本システムでは、複素関数を含む各種関数の図形表示を行ない必要に応じフローティングメッシュを作成する機能がある。本図では、機械制御特性曲線など特に重要な曲線にフローティングメッシュを付けた。

4 汎用サブルーチンパッケージ(GEORAMA-FLOAT)の内容

フローティングメッシュ法は、電子計算機による精密図表作成手法として広範囲の利用が考えられるが、これらの機能をもつプログラムを目的に応じてそのつど作成することはかなり困難な作業である。GEORAMA-FLOATは、フローティングメッシュ法に関する各種機能をサブルーチンパッケージ化したものである。GEORAMA-FLOATのルーチンを利用することにより、フローティングメッシュ法による図形処理を含んだプログラムの開発は、一般の図形処理プログラムの開発程度の労力で可能である。GEORAMA-FLOATルーチンは、(1)図表の体裁を整えるためのルーチン、(2)各種図形とフローティングメッシュを描かせるためのルーチン、(3)データ分析と分析結果を図形表示するためのルーチン、(4)フローティングメッシュ付きの関数写像を行なうためのルーチン、(5)システム制御用ルーチンなどから成っている。図9は関数写像のルーチンによる出力図面の例で、座標値の読取りを必要と思われる曲線にだけ詳細な部分格子目盛を描かせてある。

5 結 言

以上、フローティングメッシュ法の考え方及び電子計算機処理の概要について述べたが、フローティングメッシュ法は次のような特徴をもっている。

(1) 座標読取精度

座標読取精度は、物差しや計算尺における目盛の読取程度まで高めることができる。

(2) X-Yプロッタ作画能率

部分格子目盛(フローティングメッシュ)を描かせる面積を極力抑えることができ、作画時間はそれほど大きくならず部分格子目盛を描くためのペンの摩耗やインクの消費量も少ない。

(3) 完成プログラム利用上の問題

部分格子目盛作成のためのインプットデータは全く不要で、一般の図形処理プログラムの利用法と変わらない。

(4) フローティングメッシュ法によるプログラム開発

汎用サブルーチンパッケージが準備されているので、プログラムの開発は容易である。

従来、電子計算機出力として精密図表は作画能率やプログラム開発の面で問題があり、実用化された例をみない。しかし、電子計算機利用の立場からみると、精密図表化への要請は極めて強いと言える。フローティングメッシュ及びその関連システムは、このような要請から開発されたもので、電子計算機図形の質的な向上に役立つものと確信する。

参考文献

- (1) 矢島、「クラスター・アナリシス」オペレーション・リサーチ、7・8・9月号(1971年)