有限要素解析のためのPre, and Post-Processor

株式会社 東洋情報システム 本橋幸一
○東野美孝

1. はじめに

有限要素法（FEM）による構造解析技術は、コンピュータ利用技術の進歩・普及の波に乗り、わが国のあらゆる研究機関，産業分野でひろく活用され、めざましい発展をとげていることは、周知のとおりである。

有限要素法は，複雑な幾何学的データ，境界条件データなどをもつ問題への適用であるため、より一層複雑で大規模な構造物を対象とするようになり、そのための入力データ作成および解析結果の整理にますます多大の労力を要することになってきた。

それら作業の省力化のために、従来より数多くのシステムが開発され、筆者らも同種のシステムを開発し使用してきた。それらを調査した結果、処理形態や機能に制約があり、また各FEMプログラム単位の対応ということから、ユーザにとって使い勝手が悪いなど種々の不満、要望があることが解った。

これらを見直し、国内有数の各社のご参加の下にシステム設計委員会を組織し、設計技術者が本来の業務に携われるよう、より実用的なシステム・「会話型有限要素法支援システム（FEMAS[*1]）」の開発を行った。FEMASは既に20数社において実用に供されているので、以下に概要を紹介し同学の方々の参考に供したい。

2. FEMASの概要

FEMASは、

1) FEMIS[*2]（会話型有限要素法データ生成システム）
2) FEMOS[*3]（会話型有限要素法ポストプロセッサ）

の2つのシステムから構成されている。

FEMISは、入力データ作成作業の省力化を目的とするシステムで、解析モデルの構造（節点・要素・物性値）や解析条件（荷重・拘束条件）などを簡単なコマンドを使って作成し、自動的にFEM解析プログラムの入力データに変換する機能をもつものである。

FEMOSは、解析結果の整理作業の省力化を目的とするシステムで、解析結果の抽出・編集・図化・作表などを行い、構造解析の目的である安全評価が迅速かつ的確にできるよう技術者を支援するものである。

これらの処理概念を図-1に示す。

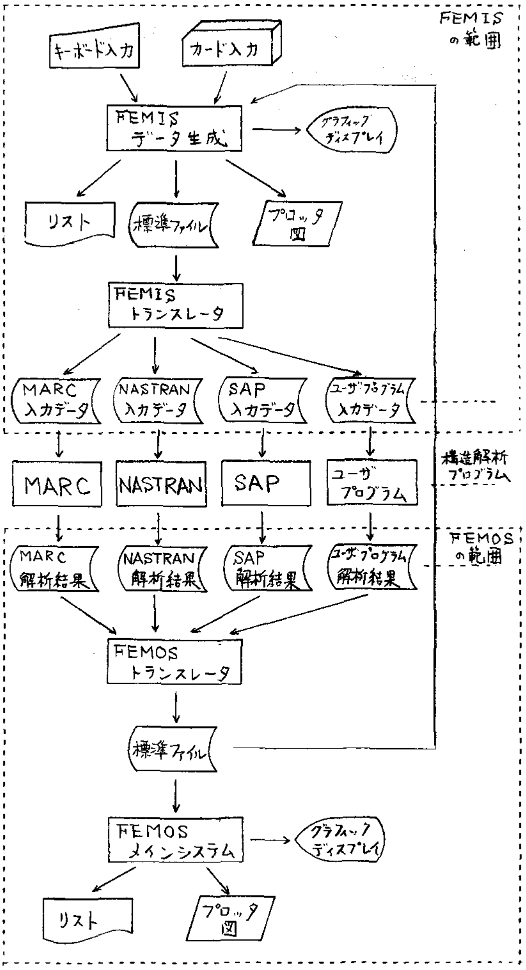

図1　FEMASの処理概念図

*1 Finite Element Method Assist System
*2 Finite Element Method Input System
*3 Finite Element Method Output System

3. FEMISの機能

（1） 解析モデルの作成

（ア） モデルのデータ構造

構造物をモデル化する際、構造形状の複雑さの度合に応じて、構造物の任意領域を指定して、その作成・変更・削除・検索・作図を容易に行えることが望ましい。

FEMISでは、生成要素と構造形状を勘案して、全体構造物を部分構造物に分割し、節点、節点ブロック，要素，要素ブロック，サブストラクチャからなるトリー構造を設定することができる。

（イ） 座標系の定義

複雑な構造物の形状表現を容易にし、また拘束条件・荷重条件などの入力をも容易にするため、適切な座標系を任意に設定できることが望ましい。

FEMISでは、各種の分割手法に応じ、かつ部分構造ごとに、座標系を定義することができる。

（ウ） 生成要素の種類

汎用的なシステムにするため、各種の解析プログラムが対象にしている数多くの要素を作成できるようにしている。

（エ） 節点・要素の自動生成

複雑な幾何形状モデルを扱う場合、形状関数だけでは、形状の認識は困難なため、数多くの節点の座標計算法，要素の自動生成法を用意している。

i）節点の座標計算

図面からモデルを生成する準備段階として、境界点や基準点の入力は、座標値そのものの入力でできるが、補助計算をする頻度の高いものは自動計算できる。その際、曲線上の節点列を一度に計算することも可能である。

ii）写像関数法

部分構造物を正方形でとらえ、境界の分割情報に従い内点を計算し、実座標へ写像変換して、節点・要素を生成する。一般的な手法であるが、座標系を併用することにより、従来不可能であった円筒面，球面の写像を行うことができる。

1次元，3次元についても同じように扱うことができる。

iii）移動法

既に生成されている要素を移動することにより、移動軌跡上に要素を作成していく。こうすることにより、1次元から2次元，2次元から3次元へと、次元の拡張を行うことができるので、ユーザは3次元の複雑なモデルに対して、2次元で考えればよいことになり、容易に自動分割することができる。移動の方法としては、平行移動，回転移動，相似移動などがある。

iv）結合法

既に生成されている1対の要素をもとにして(iii)と同様に要素の次元の拡張を行うことで、その間に新しい要素を生成する。

（2） 解析モデルのチェック

（ア） 図化機能

モデルの作成段階において、形状のチェック，修正など、データ生成システムと人とのインタフェースをとるうえで、グラフィックの役割は非常に大きい。このため、図化できる範囲は構造物の形状だけでなく、拘束条件，荷重条件，材料データなど生成データのほとんどを図化できるようにしている。（図2）

また視覚的に要素の入力忘れをチェックする図（図3）など各種の作図ができる。

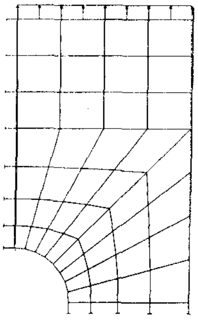

図2．荷重条件，拘束条件の図化

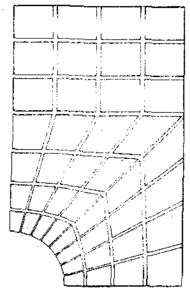

図3．要素の入れ忘れチェック

（イ） 生成データの精度チェック

有限要素法解析の結果の整理を困難にする要素や、精度を悪くする要素を検出できるよう、平面性のチェック，番号付けのチェック，形状のチェックなど各種のチェックを行うことができる。

（3） トランスレータ

FEMISでは、頻繁に使用される構造解析データの節点座標値，要素，拘束条件，荷重条件などを生成することができ、それらを必要とする有限要素プログラムに適用できる。特に汎用構造解析プログラム（MARC，NASTRAN，SAP，ICES）に対しては、トランスレータを用意し、また他のFEMプログラムに対しても、ユーザ・ルーチンを作成することでできる。図4は図2のモデルをNASTRANとSAPの入力データに変換した例である。

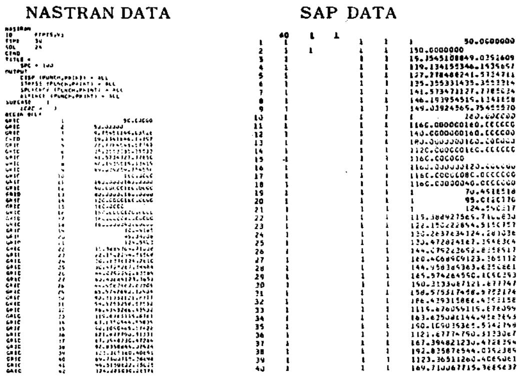

図4．トランスレート後のデータ

4．FEMOSの機能

（1） トランスレータ

FEMプログラムの出力形式は、各FEMプログラムごとに形式が異なり、また要素ごとに要素座標系が設定され、その座標系において応力・歪等が出力されている。

そこでFEMOSでは、汎用形式のデータ構造をなす標準ファイルを設定し、出力結果をその形式に変換している。これにより、どのFEMプログラムでも、FEMOS本体とインタフェースをとることができる。とくにMARC，NASTRAN，SAPに関してはトランスレータを内蔵しており、他のFEMプログラムに関しては、数個のユーザ・サブルーチンを作成することにより、FEMOSとのインタフェースがとれるよう設計してある。

（2） 選択機能

非線形解析・動的解析等では、FEM出力データは荷重増分数、時間数だけ出力されて、膨大な量となるが、一般的には必要なデータは非常に限られているのが普通である。

そこで処理時間の短縮、モデルの簡単化を目的として対象構造物の選択、解析ケースの選択を行えるようにしてある。

図5に対象構造物の主な選択機能をあげる。

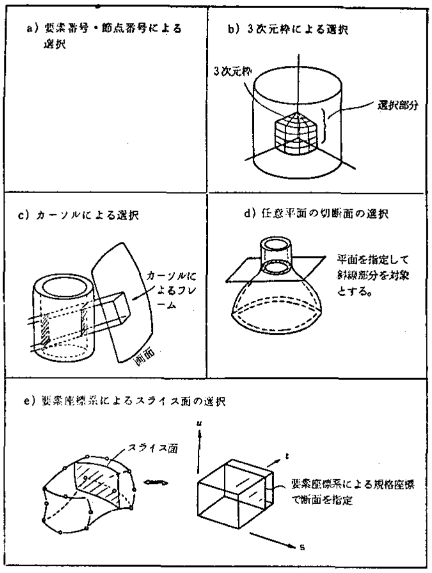

図5．対象構造物の選択

（3） 補足計算機能

構造物の安全評価に必要であるが、FEMプログラムの出力結果に含まれない各種の応力・歪みの計算、また全体座標系以外の局所座標系への変換、スムージング値の計算を行うことができる。

（4） 編集機能

FEMプログラムの出力データおよび補足計算結果のうち、必要なデータのみを編集し、技術者にとって見やすく扱いやすいリストとして、プリンタ出力またはディスプレイ表示を行う。

（5） 図化機能

選択機能で指定した構造物領域（構造物の局部、特定断面または全体など）に対して、要素形状図，外形線図，表面図または隠線消去図を描き、その上にFE出力データを希望の形式で図化することができる。

FEMOSでは次の種類の図を描くことができる。

(a) 形状図（隠線消去図，外形線図，‥‥）

(b) モード図（変位，速度，加速度）

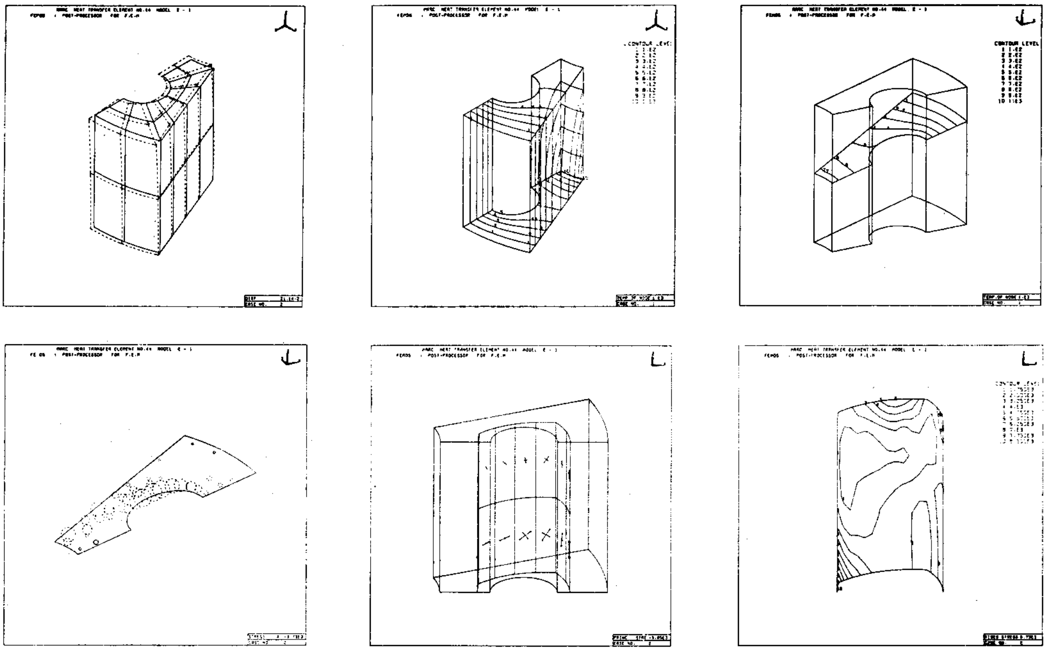

図6．構造物Ｅへの図化

(c) ベクトル図（変位，主応力…）
(d) コンタ図（計算出力成分すべて）
(e) 濃淡図（ 〃 ）
(f) 数値図（ 〃 ）
(g) 円　図（ 〃 ）
(h) 矢印図（ 〃 ）
(i) グラフ図
(j) 梁・トラス図（軸力図，剪断力図，モーメント図）

また、これらの図面に対して、図の回転，拡大，重ね描き，複数図の編集を行うことができる。さらに対象構造物に対しては、鏡映面を定義し各象限ごとに希望の図を描くこともできる。

図化の例を図6と図7に掲げる。

（6）　応力評価機能

原子力圧力容器等の設計基準である ASME CODE SECTION Ⅲ および Ⅷ-DIV2 のコードに従って、応力成分の出力結果に対し応力分類，1次応力評価，1次および2次応力評価，簡易弾塑性評価，疲労評価を行う。

一般的にＦＥＭの解析結果の値は応力の成分で出力されるが、これを一次応力，二次応力，ピーク応力に分類し評価する。

立体の場合には、断面を指定することによって2次元問題におきかえる。

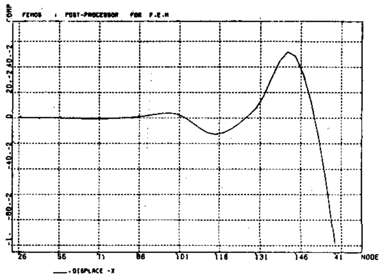

図7．グラフ図

5．今後の課題

ＦＥＭＯＳは、ＴＩＳの有限要素法における技術と、同学の国内有数の各社のご参加の下に、システム設計委員会を組織し、基本設計、システム設計を行ってきたが、多様な意向が機能仕様に織り込まれ、広範なユーザの要請に十分応えたシステムを作り上げたと自負している。

今後は、使い勝手面での手直し、外部ソフトの変更，ユーザ・ニーズの変遷等への対応に関して、ユーザとのコミュニケーションを充分とり、常に最新のシステムとしての機能を維持できるよう努めたい。