

構造解析システム GPOC. SAS の開発

群馬職業能力開発短期大学校 栗山好夫

Development of the Structural Analysis System GPOC. SAS

Yoshio KURIYAMA

要約

一般の大型汎用 CAE システムは多機能で便利ではあるが、ブラックボックス化されているか、利用制限が付加されていることが多い。そのため、新しい機能の組み込みや使い易い独自のシステムに改良することが一般に困難である。

本研究はすでに導入されている CAD/CAM/CAE システムの活用を念頭において、CAE システムの一つである拡張性の高い構造解析システムを開発し、既存システムの自由度を高めようとしたものである。開発システム中の各ソフトウェアは、すべてソースプログラムを公開で利用できるもので構成し、コンピュータの機種に依存しないで活用できるようにした。

本報告のシステムは、現バージョンでのシステムの機能を表すために、構造解析システム GPOC. SAS (Gunma Polytechnic College Structural Analysis System) と名称した。本報告では、この単独のシステムでの利用例と既存のシステムや他のソフトウェアの一部を組み入れて利用した例を示す。

I はじめに

現在多くの短大で利用されている商用の CAD/CAM/CAE システムは、専門のスタッフにより長期の開発期間をもって改良と機能拡張が行われてきており、その汎用性と信頼性は非常に高いものがある。

商用システムの使用上の問題点としては、利用形態がブラックボックス的であるためソースプログラムが公開されていないこと、そのために教育・訓練用に機能の追加や削除が簡単におこなえないこと、可能な場合でもかなりの制限が加えられることなどがある。また、近年の社会情勢変化の増大に対応するため、ソフトウェアのバージョンアップやそれに伴うハードウェアの変更が頻繁に行われるようになってきている。とくに教育・訓練を主にするユーザには不必要なバージョンアップにも、汎用であるために耐えなければいけないこともある。そのための経済的負担もあるが、それ以上に大型の汎用システムに対する人的負担は、担当が専従でない場合にはかなり重いものがある。

これらの問題を解決するためには、保有するシステムの自由度を高くすることが有効である。そこで、本

研究ではすでに導入されている CAD/CAM/CAE システムの活用を念頭において、CAE システムの一つである拡張性の高い構造解析システムを開発し、既存システムの自由度を高めようとした。そのため、本開発システム中の各ソフトウェアはすべてソースプログラムを公開で利用できるもので構成し、コンピュータの機種に依存しないで活用できるようにした。

本報告のシステムは、利用目的による機能の拡張や削除が自由にできるため、機能を限定して表現することが妥当でないが、現バージョンでのシステムの機能を表すために構造解析システム GPOC. SAS (Gunma Polytechnic College Structural Analysis System) と名称した。本報告では、単独のシステムでの利用例と当短大で既に導入されているシステムの一部をブリ・プロセッサとして利用した例および熱解析プログラムとの結合例を示す。

II 構造解析システム GPOC. SAS

1. 構造解析システムの基本構成

一般の汎用構造解析システムでは、図 1 に示すような流れで 3 つのプロセッサが用いられている。各プロ

セッサでは、プリ・プロセッサが解析モデルの作成、ソリューション・プロセッサが解析の実行、ポスト・プロセッサが解析結果の表示の機能を有する。

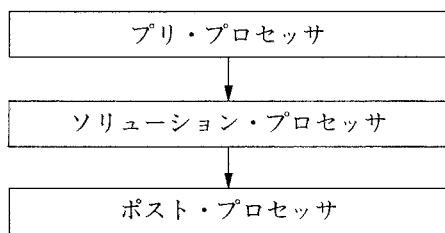


図1 汎用構造解析システムの基本構成

図形表示機能を有するプリ・プロセッサは、モデル作成の補助になり、モデルの信頼性を高めるために不可欠である。また、ポスト・プロセッサは、通常の解析結果をプリントアウトすると膨大な枚数になるため、文字情報を図形情報に変換する機能がないと、解析者は迅速な判断をすることが困難になる。

本システムでもこれらの機能を含めるため、構造(有限要素)解析用と図形処理用の2種類のソフトウェアについて、つぎの項目を満足するように選定した。

- ①ソースプログラムが利用できること。
- ②低価格で汎用性があること。
- ③図形処理(プリポスト・プロセッサ兼用)用は有限要素解析に有用であること。
- ④解析用は変形、応力、振動問題に対応できること。
- ⑤プログラム機能の拡張性が高いこと。

通常上記①②の条件を満たすためには、PDS(パブリックドメインソフトウェア)的な性格を有するものに限定される。国内外にはこの種のプログラムを配布する機関がいくつか存在する。一般にこれらの機関を利用するためには、購入前に施設登録などの手続きを要する。

この種のソフトウェアの利用上の問題点としては、通常の市販ソフトウェアで期待できるマニュアルや

サービスが無いことである。送付されるのは英文テキストと媒体だけで、通常大型コンピュータ用に開発されたソフトウェアがほとんどのため、利用者側で使用するマシンへのコンバージョンの負担がある。そのため、本格的な利用ができるようになるまでに、かなりの整備期間を要する。

本システムではこれらの条件を考慮して、図形処理用に汎用CGソフトウェアシステムMOVIE.BYU^{(1),(2)}、解析用に非線形構造解析プログラムNONSAP^{(3),(4)}を導入した。

この2つのソフトウェアを基にして、それぞれの移植と一部の機能の変更により構造解析システムGPOC.SASをワークステーションEWS4800上で構築した。

2. 構造解析システムGPOC.SAS

MOVIE.BYUシステムのうち、後述するDISPLAYプログラムを基にして、コマンドの処理状態がわかるウィンドウと本校のロゴマークの勾玉を表示するウィンドウを追加して、プリポスト・プロセッサの機能を果たすGPOC.Viewを作成した。

このGPOC.ViewにNONSAPの出力結果を表示させるには、各プログラムを書き直すこともできるので次の3種類の方法が考えられる。

- ① NONSAP内にGPOC.Viewが要求する形状や変形データファイル作成の機能を追加する。
- ② GPOC.View内にNONSAPの出力ファイルを入力する機能を追加する。
- ③ NONSAPの出力ファイルからGPOC.Viewが要求する形状や変形データファイルを作成するインターフェイスプログラムを作成する。

ここでは利用のための便利さに欠けるが、今後、他の図形表示プログラムや解析プログラムを用いる可能性も考慮して、③の方法をとることにした。このインターフェイスプログラムをC言語とFORTRAN言語でそれぞれ作成し、NGPOCと名称した。

これらのプログラムからなる構造解析システムGPOC.SASを図2に示す。

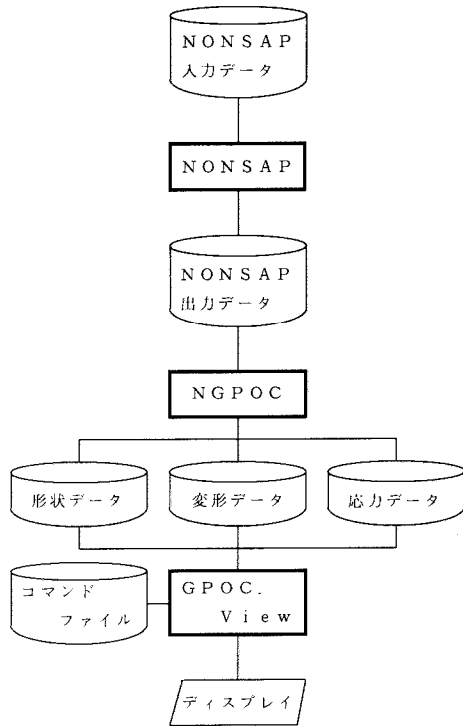


図2 構造解析システム GPOC.SAS

III MOVIE. BYU の機能

1. MOVIE. BYU の概要

多くの大型汎用ソフトウェアと同様に、このCGソフトウェアもアメリカ政府の援助のもとに開発が始まった。この研究開発は、1976年にBYU (Brigham Young University)に引き継がれて、MOVIE. BYUとして改良が加えられ、現在もその機能が拡張され続けている。

MOVIE. BYUは3次元の数学モデル、地形モデルや建築モデルなどを会話形式で操作しながら、線画や連続色調画像で表示することができる。また、これらのモデルの作成や修正、切断、タイトル表示、等高線からの多角形要素表示などの多くの機能をもっている。

今回導入したソフトウェアは1989年にリリースされたVer. 6.3を基にしたもので、主要部分はFORTRAN77からできており、一部分がXウィンドウとCで記述されている。

このソフトウェアの規模をカード・イメージの枚数で調べると、ソース・プログラム(コンパジョン・プログラムなども含む)が約11万枚、デモやサンプル・モデルのデータなどが約3万枚となっている。

2. プログラムの基本構成

プログラム整備のために作成したサブプログラムの機能図とファイル間の依存関係を定義してあるメイクファイルおよびテキスト⁽¹⁾からプログラムの基本構成を把握することができる。

MOVIE. BYUは図3に示すようにDISPLAY、TITLE、SECTION、MOSAICおよびUTILITYの5つのモジュールから構成されたシステムである。

図3における5つのモジュールのおもな機能をつぎに示す。

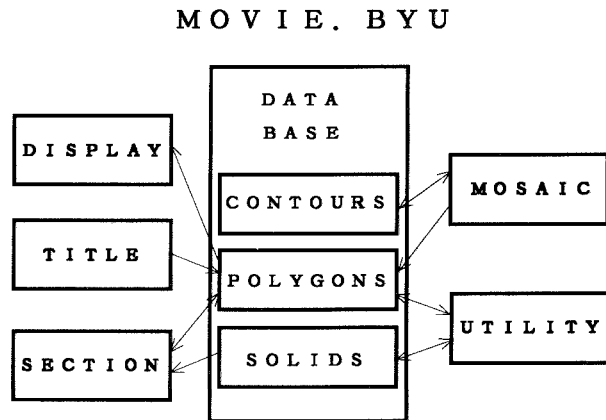


図3 システムモジュール間の関係

(1) DISPLAY

本システムの心臓部であり、多角形要素モデルを線画や連続色調画像で表示するモジュールである。その他に、モデルの移動、回転、視点の変更、4方向からの同時表示、光源の位置制御などの機能がある。

他の4つのモジュールは、DISPLAYで表示するモデルをCONTOURS(等高線)、POLYGONS(多角形要素)、SOLIDS(ソリッド)の各データで生成するものである。等高線とソリッドのデータは、多角形要素データに変換して表示する。

(2) TITLE

2次元または3次元の文字モデルを生成する。この文字モデルはUTILITYを用いて他のモデルと合成することができる。

(3) SECTION

ソリッド・データを多角形要素データに変換する。このソリッド・データを任意の複数の平面で切断して、切断面に要素を生成することができる。また、不要な要素を消去できる。

(4) MOSAIC

複雑な等高線データから多角形要素データを生成する。

(5) UTILITY

2次元または3次元のモデルを、用意されているプリミティブ（基本形状）を組み合わせて生成する。

また、モデルの編集や他のモジュールで生成されたモデルとの合成および対称形の生成ができる。

3. プログラム構造図

5つのモジュールについて、メインプログラムを先頭にしたサブ（ルーチン）プログラムの呼出関係を明らかにするために、プログラム構造図⁽²⁾を作成した。

本ソフトウェアが膨大なため、このプログラム構造図を作成するプログラム PROST を作成した。PROST による出力は、サブプログラム名の重複を避けるために、プログラムの実行順でなくアルファベット順で作成した。

4. サブプログラムの機能図

ソース・プログラム中にはコメントがとくに多く、プログラムの半数近くを占めている。これらのコメントにはプログラムの機能、変数名の説明などの関連情報が詳細に記述されている。また、複数の開発者が関わっているためコメントが何種類かの定型的なフォーマットで作成されている。そこで、これらのことに注目してサブプログラム名、目的、注記および修正目的についてこれらの情報をファイルに出力するプログラム PCOMMF⁽²⁾を作成した。この実行結果から、プログラム構造図で示される各サブプログラムの機能の概略を把握することができる。出力内容は、サブプログラム名、カード・イメージの枚数、機能の一覧で、最後に枚数（ステップ数）の合計が出力される。図4は PCOMMF で作成した機能図で、入力データをソース

プログラム section.f としたときの実行結果の一部である。

```

TRGEOM : 67: TRGEOM - TRANSFORMS, REDUCES AND/OR AUGMENTS THE
          GEOMETRY ARRAY
TRNSD  : 46: TRNSD - TRANSFERS DATA IN CORE
TRSARY : 82: TRSARY - TRANSFORMS, REDUCES AND/OR AUGMENTS ARRAYS
WFACE  : 102: WFACE - WRITES A POLYGON FACE
WPOLY  : 91: WPOLY - WRITES POLYGON FACES
WRDISP : 50: WRDISP - WRITES DISPLACEMENT FILE
WRFILE : 108: WRFILE - WRITES GEOMETRY FILE
WRGEOM : 120: WRGEOM - REDUCES DEGENERATE QUADRILATERALS TO TRIANGLES
          AND WRITES THE GEOMETRY FILE
WRSFUN : 50: WRSFUN - WRITES SCALAR FUNCTION FILE

* TOTAL : 5630
    
```

図4 サブプログラム section.f の機能図の一部

IV NONSAP の機能

1. NONSAP の概要

NONSAP は、1974年カリフォルニア大学の Wilson 教授らのグループで開発されたプログラムである。関連したプログラムとして線形有限要素解析を行う SAP IV⁽⁵⁾があるが、本プログラムは基本的にはこのプログラムを直接拡張したものではなく、それまでの非線形解析手法の研究成果を取り入れ、柔軟性を持ち、かつ容易に修正、拡張できるようにしたものである。さらに、この汎用コードは全ての人にソースプログラムで解放されてきた。これらの特徴を有するため、開発したコンピュータは CDC/6400 で、言語は FORTRAN IV であったが、その後登場した各種のコンピュータに移植され、各種の解析機能や要素が拡張されて、現在でも有効に利用されている。これらは総称して SAP と呼ばれ、COSMOS、ADINA などの多くの FEM 汎用コードのもとになっている。表1に SAP IV および NONSAP の概要⁽⁶⁾を示す。

表1 SAP IV および NONSAP の概要

	SAP IV	NONSAP
大 き さ	約11,000ステップ	約6,700ステップ
要 素 種 類	トラス、梁、二次元(2種)、三次元(2種)、板及び殻、配管	トラス、二次元(5種)、三次元(1種)、アイソパラメトリック要素
解 析 機 能	微小変位弾性、静解析、固有値、動的応答(モード法、直接積分法)	微小変位弾塑性、有限変位、静解析、固有値、動的応答(非線形直接積分法)
連立一次方程式解法	Variable Band (ブロックバンド法)	Skyline Band
最大問題の大きさ(標準版)	節点数 ≤ 1,000 (要素自由度によらない)	自由度400以下 (二次元正方形板の場合)

表中の最大問題の大きさは、メインプログラム中のメインメモリ確保のための標準設定値 MTOT=10,000 (単位はワード数) などを変更することで簡単に加減することができる。

2. プログラム構造図

前項で作成したプログラム構造図を作成するプログラム PROST を用いて、NONSAP のプログラム構造図⁽⁴⁾作成した。

このプログラム構造図を用いることで、ソースプログラムを容易に書き換えることができる。

V GPOC. SAS の使用例

本システムを用いて、圧電振動ジャイロの振動子のトリミングのシミュレーション⁽⁷⁾を行った。この解析でははりの自由-自由振動解析が必要なため、剛体モード解析ができるように NONSAP にシフトの機能を追加した。このとき得られた曲げの第2モードの出力結果を図5に示す。

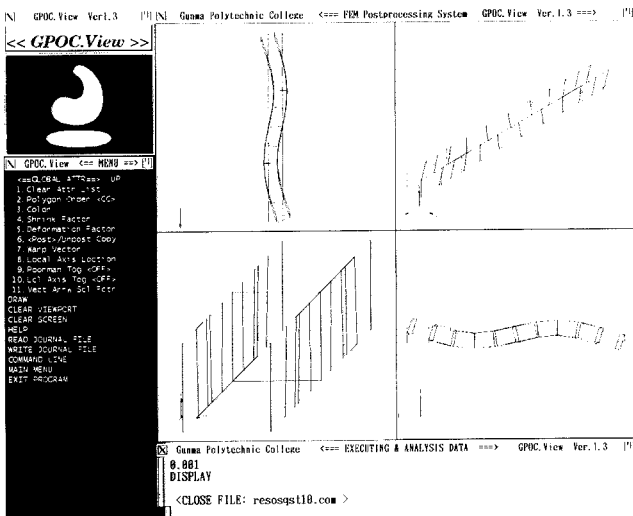


図5 GPOC. SAS による振動解析

VI 既存システムとの結合

1. I/FEM システムとの結合

本校に既に導入されている CAD/CAM/CAE システム中の I/FEM⁽⁸⁾のモデリング機能に注目し、このインターフェイスプログラム INON⁽⁴⁾を開発した。

図6はI/FEMのニュートラルファイルを利用して、INONからNONSAPの入力データを作成するプ

ロセスを示すもので、この後の処理は図2のシステムを用いる。

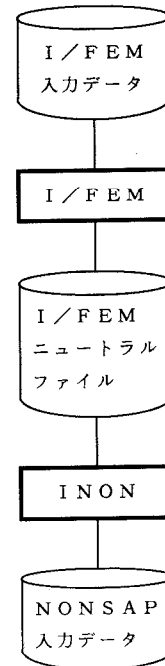


図6 I/FEM システムとの結合

このシステムでは平板モデルによる片持ちはりの曲げ問題と穴あき平板の応力集中問題について解析⁽⁴⁾し、良好な数値解と出力図を得た。

2. 熱解析プログラムとの結合

熱伝導問題にも対応できるようにするために、2次元熱伝導解析プログラム⁽⁹⁾(以後 FEMT と呼ぶ)を一部書き直して、ワークステーションに移植した。ここでは、FEMT のソースプログラム内に GPOC. View が要求するフォーマットファイル作成の機能を追加した。ここで作成したファイルは形状データと温度データの2つである。

図7は正方形平板の両側で温度が指定される場合の温度分布を4節点アイソパラメトリック要素を16要素用いて解析した出力図である。図7は図5で示されている付属するウィンドウを切り放して、主ウィンドウのみを示したものである。主ウィンドウ内では4画面に分割し、左上部は節点番号、左下部は要素番号、右上部は節点番号と要素番号を合わせて示した解析モデル図である。右下部は解析結果を連続色調画像で表している。なお、主ウィンドウ内は自由に大きさを変更

でき、さまざまな結果を同時表示することが可能である。

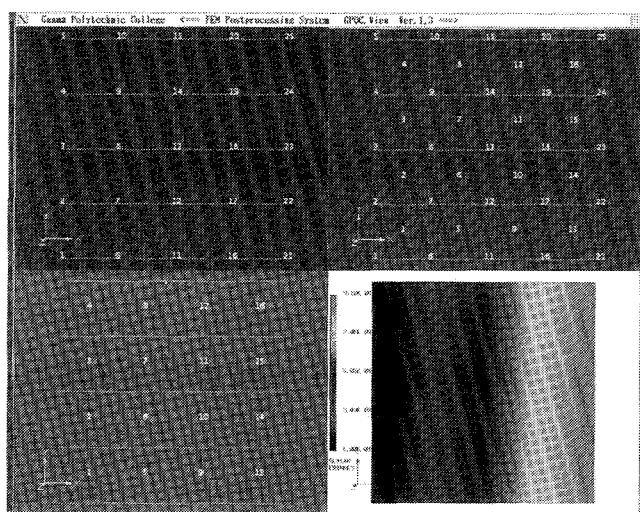


図7 2次元熱伝導解析プログラムの出力図

VIII まとめ

自由度の高い構造解析システムを開発するため、システム中の各ソフトウェアのすべてのソースプログラムを公開で利用できるもので構成した構造解析システム GPOC. SAS を開発した。

本システムの特徴は、通常のソフトウェア利用上の問題点である設置台数や機種に関して同一の施設内であれば制限を受けることなく自由であること、ならびにその機能は教育・訓練用だけでなく実用性も有することにある。

本システムを単独で利用した例と本校に導入されているシステムの一部をブリ・プロセッサとして利用した例および熱解析プログラムとの結合例を示した。得られたそれぞれの解析値および出力図の結果は良好なものである。また、必要に応じた機能拡張も行えるようにプログラム構造図とサブプログラム機能図を作成して整備をした。

今後は、利用目的に応じた機能別のコンパクト化とパーソナルコンピュータ上で稼働できるように移植することで、より使い易いシステムになるものと考えられる。

謝辞

本研究の汎用コード導入および検証に際し、科学技術庁航空宇宙技術研究所構造力学部の大竹邦彦博士より技術援助を受けました。深く感謝致します。

また、本研究の一部は平成6年度指定研究の助成を受けて実施されたことを記し、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- (1) H. Christiansen, M. Stephenson, B. Nay and A. Grimsrud: MOVIE. BYU TRAINING TEXT, 1987 EDITION
- (2) 栗山好夫他: 汎用CGソフトウェアシステム MOVIE. BYU, 群馬職訓短大紀要、第2号、1992. 3、pp. 12-21
- (3) K. Bathe, E. Wilson, R. Iding: NONSAP, A STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAM FOR STATIC AND DYNAMIC RESPONSE OF NONLINEAR SYSTEMS, Feb. 1974
- (4) 栗山好夫他: I/FEM システムと NONSAP の機能と検証、群馬職訓短大紀要、第3号、1993. 3、pp. 15-29
- (5) K. Bathe, E. Wilson, F. Peterson: SAP IV, A STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAM FOR STATIC AND DYNAMIC RESPONSE OF LINEAR SYSTEMS, Jun. 1973
- (6) 大竹邦彦他: SAP系プログラムのコンバージョンについて、航技研ニュース、1978-2、No. 225
- (7) 栗山好夫: 圧電振動ジャイロ用正四角柱振動子のトリミングに関するシミュレーション、日本機械学会第7回計算力学講演会講演論文集、No. 940-54、1994. 11、pp. 159-160
- (8) Intergraph/Finite Element Modeling/Solver (I/FEM) Reference Manual, Nov. 1990
- (9) 矢川元基他: 有限要素法による熱応力・クリープ・熱伝導解析、サイエンス社、1987-12、pp. 302-387