

電卓感覚で利用できる、設計者向け CAE の紹介

INTRODUCTION OF PARAMETRIC FEM MODELING SYSTEM
BY VERY SIMPLE OPERATION

石井 順造
Junzou Ishii

有限会社 熱解析創研 (〒674-0051 明石市大久保町大窪278-1-603 E-Mail: jishii@netukaiseki.co.jp)

Serius problem about FEM is that difficulty of construntion of FEM model and dificulty of setting boudary conditions. Acularity of each FEM depends too mutch on technics of each operator. So as to acheive both easy and reliable FEM production FEM mesh by simple method of node and elements generation is mutch effective. Here is the Intoduction of both production of high quality mesh and rapid construction of FEM mesh.

Key Word : Mesh FEM Model Boundary Condition Parametric Easy Operation

1. はじめに

数値解析は節点や要素を持つ物理量の演算で、無秩序な要素や節点群に基づく計算では、主として偏微分の精度悪化が起こり、良好な解が得られない点が本質問題として存在する。従って数値解析を利用する場合、良質なメッシュを構築することが必要である。そしてその良質なモデルに適切な条件設定を施すことも必須である。が、企業に於いては、それらを達成することが時間的制約や人的なソース不足などにより難しい問題が存在する。結果として、FEMは難解で設計に活用できない事態に陥っているのが多くの開発現場の実情である。

2. CAEに求められるもの

ものづくりの現場においてCAEに求められるもの、それは設計部門で共有利用できる定量評価技術であることに尽きるであろう。しかしながら、現在のFEMや差分法によるCAEは、解析結果が計算者の技量に依存してしまう問題がある。CAEは定量評価技術であるが、解品質は解析者次第という、評価技術としてあるまじき、大欠陥を抱えているのがCAEである。

3. 直接生成法

直接生成法をまず紹介する。3次元CAD普及以前に、FEMでのモデリング法として広く用いられたが、FEMが3次元CADと連動主体となった現在、殆ど使用されなくなった技術である。直接生成法の主要命令と、開発ソフトにての命令語をTable 1に示す。また説明のため、四角形状にての節点群と要素の時例をtable 2に示す。

命令語が記述されたものをスクリプトと呼ぶ。直接生成法は、節点番号や座標をスクリプトを用いて直接的に生成させる手法とも言える。シンプルな法則を用いてモデル構築を行うため、人に依存しない定量評価技術の構築に有利な特徴を有している。

Table1 直接生成法での主要命令と開発命令語

	命令	開発命令語
1	座標系の指定	円筒座標、全体座標
2	節点番号と座標値の入力	節点
3	節点のコピー	節点コピー
4	節点の対称コピー	対称コピー
5	節点と節点の補間	節点補間
6	要素作成	要素
7	要素のコピー	要素コピー
8	パラメータ	パラメータ
9	同一座標に存在する重複節点の削除	節点マージ

table2 四角形FEM節点群と要素の作成スクリプト

```

節点, 1, 0, 0, 0, , , ,
節点, 5, 4, 0, 0, , , ,
節点補間, 1, 5, , , , ,
節点コピー, 5, 5, 1, 5, 1, 0, 1,
要素, 1, 2, 7, 6,
要素コピー, 4, 1, -1
要素コピー, 4, 5, -4
    
```

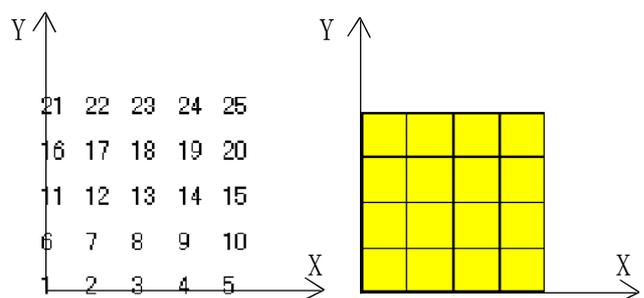


図1 出来上がったメッシュの節点番号と要素

4. パラメトリック化

table2を読み込み、得たモデルが図1である。この段階では単に並んだ四角シェル要素を作成した過ぎない。次に可変性もたせるための方法を紹介する。table2を、table3のように書き換え、X-Yを、横-縦の寸法とし、変更可能なようにする。

開発したFEMモデラーでは、表計算ソフトのような簡素な操作で数値変更を行い、縦横長の異なるモデルを得ることができる。利用者は数値入力のみで、FEMモデル構築可能である。

table3 四角形の縦横長さを可変化したスクリプト

```

パラメータ, X, 4,
パラメータ, Y, 4, (書換えると 縦横長が変化)
節点, 1, 0, 0, 0,
節点, 5, X, 0, 0,
節点の補間, 1, 5, . . . . ,
節点コピー, 5, 5, 1, 5, 1, 0, Y/4,
    
```

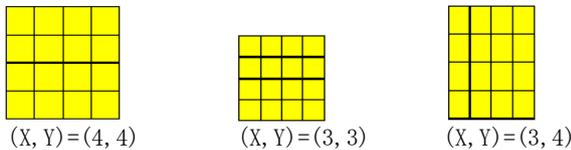


図2 縦・横の長さを可変化した簡単なモデル例

table4 円管の径・長さ・分割数を可変化したケース

```

パラメータ, nD, 16,
パラメータ, Dia, 10,
パラメータ, nL, 20,
パラメータ, Len, 60,
円筒座標, 0,0,0,0,0,0
節点, 1, Dia*0.5, 0, 0,
節点コピー, nD+1,1,1,1,1,0,360/nD
NADD=nD+1
節点コピー, nL+1,NADD,1,nD+1,1,0,0,Len/nL

要素, 1, 2, 2+NADD, 1+NADD,
要素コピー, nD,1,-1
要素コピー, nL,NADD,-nD
    
```

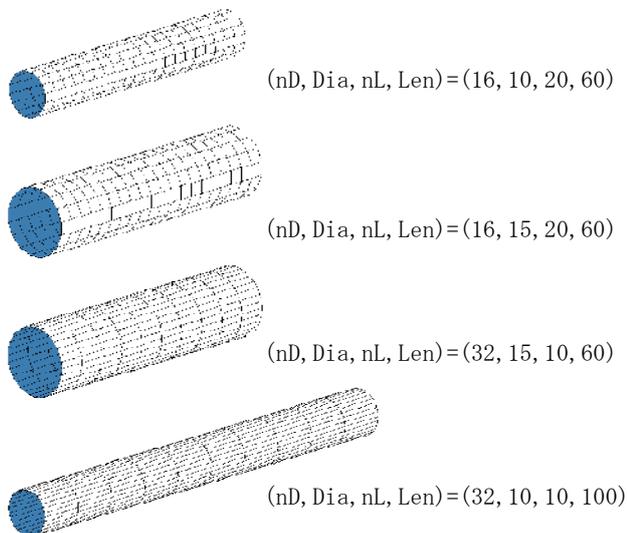


図3 直径 長さ メッシュ数を変更した例

5. ソリッドモデルの構築

実用的な構造解析で、最も利用価値・利用頻度共に高いのが、四変形シェル要素と、六面体ソリッド要素である。四変形シェル要素構築では4節点の設定、六面体要素要素では8節点の設定が必要である。後者の8節点設定はミスを起こしやすく、命令語に、既に作成されたシェル要素をソリッド要素化する機能を設けた。

また、本システムでは任意の等式記述ができる。その時、頭文字、i,j,k,n,mで始まる変数は、整数というルールが課され、故に、table5において、n_AはAtusaを四捨五入した整数となる。

table5 円管ソリッドモデルの構築スクリプト

```

パラメータ, nD, 16,
パラメータ, Dia, 10,
パラメータ, nL, 20,
パラメータ, Len, 60,
パラメータ, Atusa, 4
円筒座標, 0,0,0,0,0,0
節点, 1, Dia*0.5, 0, 0,
節点コピー, nD+1,1,1,1,1,0,360/nD
NADD=nD+1
節点コピー, nL+1,NADD,1,nD+1,1,0,0,Len/nL
n_A=Atusa
NADD_2=NODEMAX
節点選択, ALL, . . . . ,
節点コピー, n_A+1,NADD_2,SALL, . . . , -ATUSA/n_A, 0, 0,

要素, 1, 2, 2+NADD, 1+NADD,
要素コピー, shellsolid, NADD_2, -1
要素コピー, nD, 1, -1
要素コピー, nL, NADD, -nD
要素コピー, n_A, NADD_2, -nD*nL
    
```

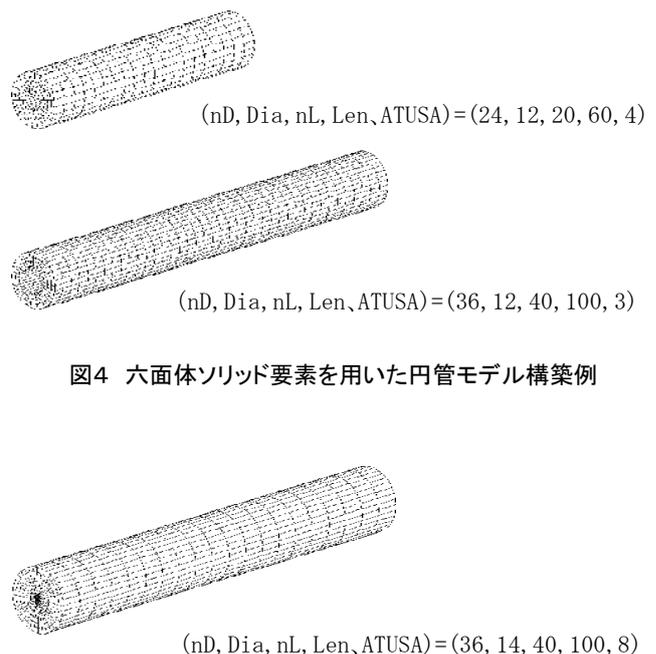


図5 厚さ設定が不適切なモデル例

6. 論理プロセス追加・破綻・不適切モデル構築防止

ここまでの直接生成法での事例は、table1に示される僅か8種の命令による簡素なモデル構築ケースである。これにプログラム言語でよくあるIF文実行機能を追加すると、例えば同一の解析対象物に対し、ソリッドモデル・シェルモデルそれぞれを、キーボードからの入力ひとつで切替構築する事が可能になり、より実用的なCAEシステム構築の助けとなる。

図4のモデルで、例えば板厚8mmで外径10mmの円管構築などは不可能である。使用者が、物理的に形状破綻を起こしたり、不適切なモデル形成をもたらすパラメータ値を入力することは、十分考えられ、その際の救済措置を実装することとした。

形状破綻を回避させる方法は、table6に示す2つが考えられ、開発ソフトは、双方可能になるよう、命令語を設定した。尚、Table7の例では、重複節点の削除命令も加えている。

table6 モデル破綻の防止方法

	処置方法	具体的方法
1	破綻しないぎりぎりの寸法でモデルを構築し使用者に警告を出す	置換を行う
2	形状破綻が起こる場合、その時点でモデル構築強制停止させる	IF文で検出し強制停止させる

table7 円管ソリッド/シェル 場合分け構築スクリプト

```

パラメータ , itype, 2
パラメータ , nD, 24
パラメータ , Dia, 10,
パラメータ , nL, 20
パラメータ , Len, 60
パラメータ , Atusa_sho, 2
Atusa=Atusa_sho<(Dia/2-1)
パラメータ警告 , Atusa_sho, Atusa
円筒座標 , 0, 0, 0, 0, 0
節点 , 1, Dia*0.5, 0, 0
節点コピー , nD+1, 1, 1, 1, 0, 360/nD
NADD=nD+1
節点コピー , nL+1, NADD, 1, nD+1, 1, 0, Len/nL
n_A=Atusa
NADD_2=NODEMAX
節点選択 , ALL
if, itype=2, then, begin
    節点コピー , n_A+1, NADD_2, SALL, , , -ATUSA/n_A, 0, 0
endif

要素 , 1, 2, 2+NADD, 1+NADD
要素コピー , nD, 1, -1
要素コピー , nL, NADD, -nD
if, itype=2, then, begin
    要素コピー , -shellsolid, NADD_2, -nD*nL
    要素コピー , n_A, NADD_2, -nD*nL
endif
節点選択 , ALL
節点マージ , 0.1, , , , ,
    
```

7. 入力部の紹介

円筒モデルを作成する入力部を図6に示す。入力は径・長さ・分割数などの明白値であり、入力部から解析モデルを構築すると、誰がモデル構築を実施しても、同一モデルが構築される。負荷や荷重、運転条件などを加え、明白な入力を元に誰しも同一解を得る、真の定量評価システムを構築することが可能である。円筒ソリッド/シェルモデル構築の入力部を図6に示す。厚さに数値10が入力されたが、実際には厚さ4で構築されたことを示している。



図6 円筒ソリッド/シェル構築用の入力部

8. アセンブリ・溝構造・フィン構造など各種モデル例

直接生成法は、アセンブリ問題に極めて強い特徴がある。個々のパーツを別個に作成し、接合共有部の重複節点をマージさせれば良好なアセンブリモデルが完成する。例として熱交換器の事例を示す。従来アセンブリモデルでは質の低いメッシュになりがちであったが、節点をシンプルなルールで配置させる直接生成法では、アセンブリモデルでも良質な適合格子を構築できるメリットがある。図7は極めてシンプルな熱交換器のFEMモデルである。シンプルであるが、昨今主流の自動メッシュでは良好モデルが構築困難な事例でもある。

図8は、溝構造のモデルを示す、半導体などの分野でよくある構造であるが、非線形性が強い問題においても4面体要素が多様される傾向にあるが、直交性を持つ六面体要素の適合格子を用いることで、一次要素による計算効率と精度が共に良い数値解析を実施することが可能となる。

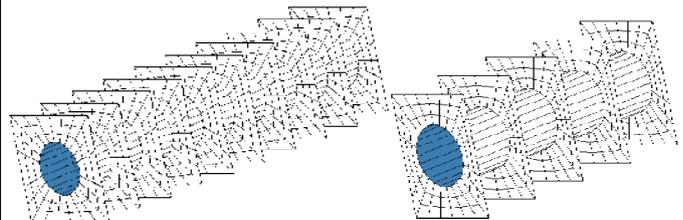


図7 自動メッシュでは構築困難な、シンプルな熱交換器モデル

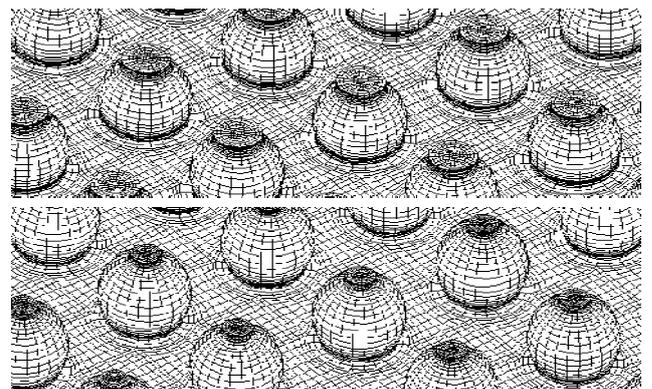


図8 直接生成法による鉛フリー半田可変FEMモデル

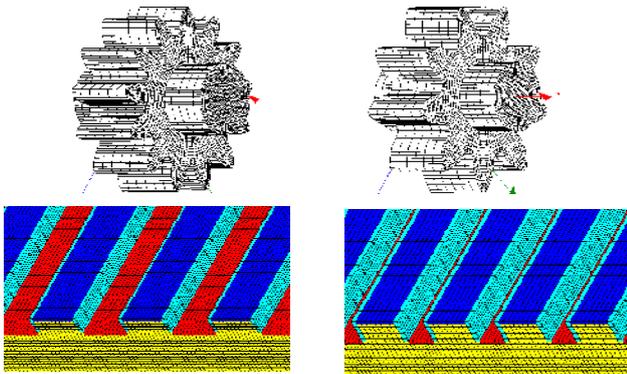


図9 歯車 溝構造 可変 FEM モデル例

table8 円管ソリッド / シェルにフィンを追加するスクリプト

```

パラメータ ,yoko_input,20
パラメータ ,tate_input,20
パラメータ ,NHH,2
K1=nodemax+1
K5=K1+nD
K3=K1+nD/2
K2=K1+nD/4
K4=K3+nD/4
節点 ,K1,DIA/2,-135
節点コピー ,nD+1,1,K1,K1,1,0,-360/nD
全体座標 ,,,,,,
tate=(Dia*0.5*1.1)>tate_input
yoko=(Dia*0.5*1.1)>yoko_input
節点 ,K1+NADD*NHH,-yoko*0.5,-tate*0.5,
節点 ,K2+NADD*NHH,-yoko*0.5,+tate*0.5,
節点 ,K3+NADD*NHH,+yoko*0.5,+tate*0.5,
節点 ,K4+NADD*NHH,+yoko*0.5,-tate*0.5,
節点 ,K5+NADD*NHH,-yoko*0.5,-tate*0.5,
節点の補間 ,k1+NADD*NHH,k2+NADD*NHH
節点の補間 ,k2+NADD*NHH,k3+NADD*NHH
節点の補間 ,k3+NADD*NHH,k4+NADD*NHH
節点の補間 ,k4+NADD*NHH,k5+NADD*NHH
節点の補間 ,k1,k1+NADD*NHH,NHH-1,,,nD+1,1
NAD_3=nodemax-k1+1
節点コピー ,NL+1,NAD_3, K1,nodemax,1,0,0,Len/nL
NE_4=ELEMMAX+1
NE_3=ELEMMAX
NE_2=NE_3-nL*nD+1
NE_1=nL*nD
要素 , k1, k1+NADD, K1+1+NADD, K1+1
要素コピー , nD,1,-1
要素コピー , NHH,NADD,-nD
要素コピー ,nL+1,NAD_3,-nD*NHH
NE_5=ELEMMAX
節点選択 ,ALL
節点マージ ,0.1,,,,,

```

table9 モデル部位に割当てられた要素番号

部位	要素番号
パイプの外側要素グループ	1 ~ NE_1
パイプの内側要素グループ	NE_2 ~ NE_3
フィン	NE_4 ~ NE_5

9. 境界条件の設定

図7に示すシンプルな熱交換器を事例に、境界条件設定について述べる。table7に続けて、table8のリストを記述すると、熱交換器作成用のスクリプトとなる。

ソリッド要素のパイプで伝熱計算を行うには、パイプの外表面・パイプの内表面・フィン伝面の抽出が必須である。table7は、座標値でなく、要素番号より、要素や要素面抽出が実施できることを示している。図10は、要素が座標でなく要素番号で抽出されている点に注意されたい。直接生成法を利用すれば、適切な要素・節点抽出が可能で、条件設定の自動化が実現し、手作業を排除させ、CAE自動化が達成できることになる。

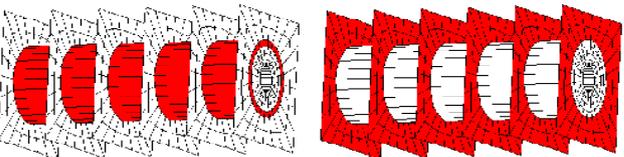


図10 要素番号用いたパイプ伝面とフィン伝面の抽出例

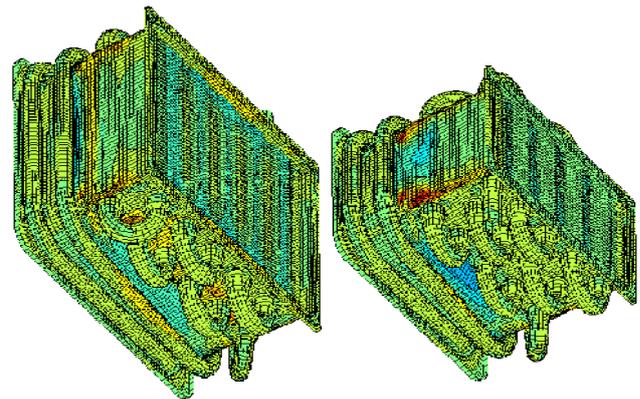


図11 熱交換器の可変モデルによる実用解析事例

10. まとめ

直接生成法を用い、表形式の簡素な入力で解析対象物の忠実な適合格子を形成し、要素番号を用いた抽出により適切な条件設定を施し、実用性が高いCAEシステムを構築することに成功した。また、不正入力に対する救済策実装も可能である点を確認した。普及している市販ソフトでは雑なモデルになりがちな、アセンブリ・フィン構造・多層構造などにも適していることが確認された。複雑な条件設定が要求される伝熱解析に対応できる点も確認された。今後は、表形式の簡素な入力による、実践に強い評価技術として、直接生成法を、広い設計分野に活用させるべく邁進して行く所存である。

参考文献

- 石井順造：直接生成法による熱交換器モデル作成法の紹介 '99 ANSYSカンファレンス
- 石井順造：直接生成法を用いたパラメトリックなメッシュ形成方法と事例紹介 2006 計算工学会