

非線形構造解析汎用プログラム MSC.MARC * の紹介

大型計算機センター システム運用掛
大泉 健治

概要

当センターでは、1993年から非線形構造解析汎用プログラム MARC と、そのプリ/ポストプロセッサである Mentat をそれぞれサービスしてきました。両ソフトウェアは、当センターでサービスしているアプリケーションソフトウェア中でも人気が高いソフトの一つとして、現在ご好評をいただいております。

今回、2000年4月から汎用サーバ (gen) 用の MARC もサービスに加わることになり、従来の”super 用 MARC”,”gen 用 MARC” 2つの MARC 環境が利用できるようになりました。これを機会に、当センターでの MARC-Mentat 利用手順を紹介いたします。

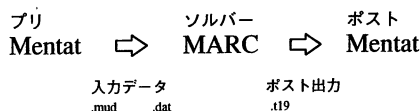
1 はじめに

MARC は有限要素法による非線形構造解析汎用プログラムです。世界中で広く利用され最も評価を受けているプログラムの一つで、その扱える解析は以下の通り非常に広範囲にわたっています。

線形/大変形/弾塑性/剛塑性/破壊/熱伝導/動的非線形
境界非線形/流体と固体の連成/電気伝導と熱伝導の連成/熱と応力の連成

また Mentat は、有限要素法によるデータ解析のための会話型プリ/ポストプロセッサとして、有限要素モデルの作成及び解析結果の表示が行えます。

MARC と Mentat の組合せによる解析の概略は、



と、以上ようになります。プリでは、メッシュ作成、境界条件の設定、初期条件の設定、材料特性の定義、形状特性の定義、接触条件等、ソルバーでは荷重履歴、解析実行、ポストでは解析結果の表示を行います。

2 MARC、Mentat の実行環境

2.1 サービスホスト

MARC, Mentat の実行には、まず (1) 東北大学大型計算機センター利用者番号、(2) X Window System の表示できる環境¹が最低限必要となります。MARC は、2000年4月からスーパーコンピュータ (super) と汎用サーバ (gen) の両ホストでサービスを開始しました。Mentat は、従来どおり汎用サーバ (gen) でサービスをしております。これらのホスト名、IP アドレスを表 1 に示します。

*1999年 日本エムエスシー (株) と日本マーク (株) の合併により、MSC.MARC, MSC.Mentat と製品名が変わったようです。本稿では、単に MARC, Mentat と呼びます。

¹Windows パソコンなら Exceed, ASTEC-X(ともに市販)、MI/X(フリー) 等、Linux なら XFree86 といった X サーバソフトが必要です。

表 1: サービスホスト名、IP アドレス

	ホスト名 (IP アドレス)	システム名
MARC K7.3	super(130.34.245.1)	SX-4/128H4
	gen(130.34.244.2)	NX7000/460
Mentat ver3.3	gen(130.34.244.2)	NX7000/460

2.2 ”super” と ”gen” の MARC

スーパーコンピュータと汎用サーバの MARC は、バージョンも同一で機能、使用方法の違いはありません。利用者の方はどちらで実行していただいても結構です。(具体的な使用方法の説明は、3.7 6.2で行います。)

ただ CPU 性能、使用できるメモリサイズ等のハードウェア的な違いがありますので、ご自分の解析モデルの大きさに使いわけるようお願いいたします。

表 2: MARC で扱える最大メモリサイズ

	最大メモリサイズ
スーパー (super)	2 GB
汎用サーバ (gen)	900MB

3 サンプルモデルの解析例

マニュアル [16] 「簡単な例題」 (33 ページ) に載っているモデルを例に、メッシュ作成から解析、結果の表示の例を紹介します。

3.1 例題

図 1 に示す、引っ張りを受ける穴あき正方形板の線形弾性解析を行います。

一辺が 500mm の正方形板の中央に、半径 125mm の穴があいた厚さ 2.5mm の板を 6250kgf の力で引っ張りその応力分布を求めてみます。対象条件を考慮して 1/4 モデルを使用し、2 次元要素でモデル化します。板の材料特性は以下のとおりです。

$$\text{ヤング率} = 21000 \text{kgf/mm}^2$$

$$\text{ポアソン比} = 0.3$$

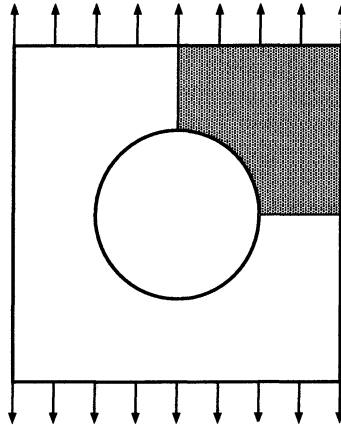


図 1: 穴あき正方形板

3.2 Mentat の起動

まず、研究室のワークステーション等からセンターの汎用サーバ (gen) にログインします。その際、Mentat を自ホストに表示させるための、アクセス許可コマンド (xhost) と環境変数 (DISPLAY) も設定します。IP address は、自ホストの IP アドレスを設定します。

設定が済んだら、コマンド mentat で Mentat を起動させます。無事起動できれば、図 2 の Mentat ウィンドウが表示されます。

```
% xhost gen.cc.tohoku.ac.jp          (← gen をアクセスリストに加える)
gen.cc.tohoku.ac.jp being added to access control list
% telnet gen.cc.tohoku.ac.jp        (← gen にログインする)
Trying 130.34.244.2...
Connected to gen.cc.tohoku.ac.jp.
Escape character is '^]'.

HP-UX gen B.10.20 C 9000/889 (ttyqe)

login: (利用者番号)
Password: (パスワード)
Please wait...checking for disk quotas
You have mail.
2000年03月22日 23時35分37秒

gen% setenv DISPLAY IP-address:0     (← DISPLAY 環境変数に自ホストの IP アドレス:0 を設定する)
gen% mentat                          (← Mentat を起動する)
```

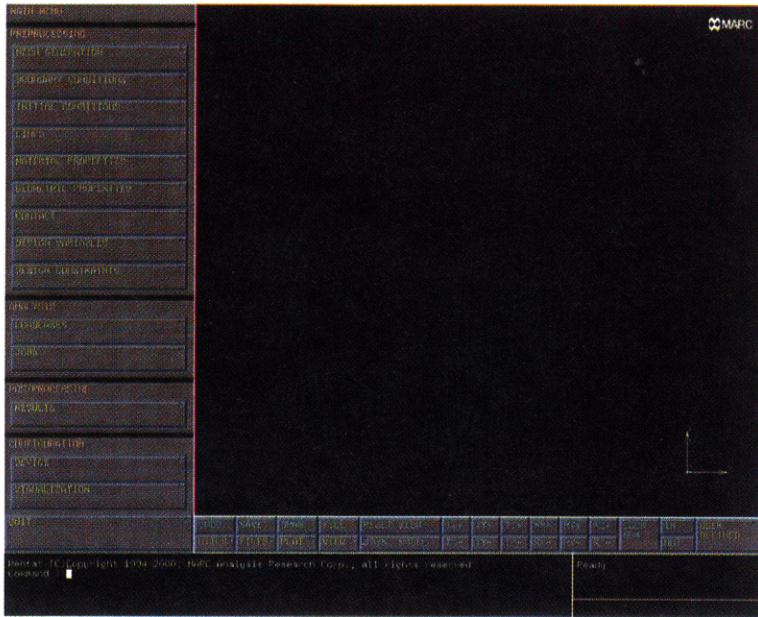
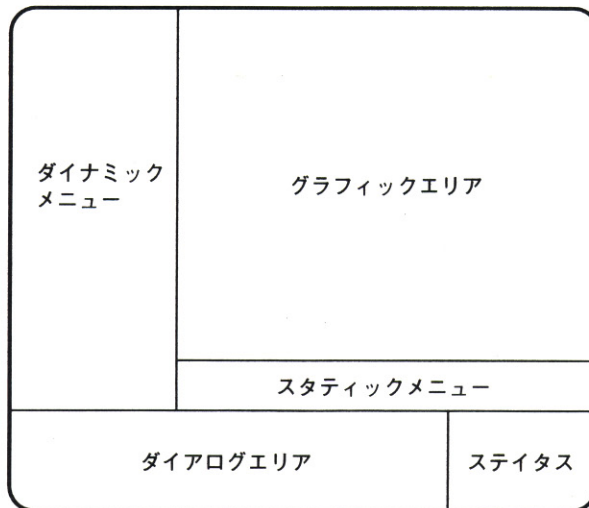


図 2: 起動画面

ウィンドウレイアウト



メインメニュー

メインメニューは、上から順に解析の手順と一致しています。

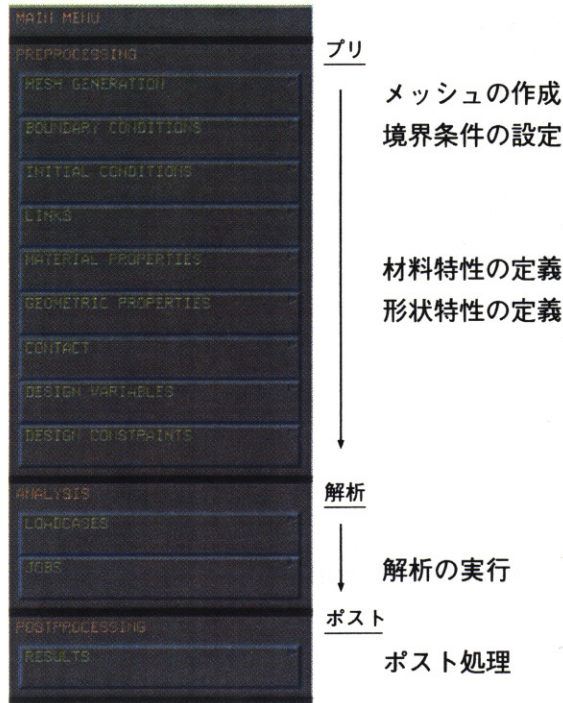


図 3: メインメニュー

3.3 メッシュの作成

まず外周（線分と円弧）を定義し、AUTO MESH 機能を用い自動で要素分割してみます。

説明文中の記号は以下のとおりです。

- は、そのボタンをマウス左クリックする。
- は、キーボードの Enter または Return キーを押す。
- $\langle ML \rangle \langle MR \rangle$ は、それぞれマウスの左、右ボタンをクリックする。
- 数値は、ダイアログエリアにキーボードで入力する。

MESH GENERATION (MAIN MENU)

ADD (PTS)

- 125 0 0 (→ PTS1)
- 250 0 0 (→ PTS2)
- 250 250 0 (→ PTS3)
- 0 250 0 (→ PTS4)
- 0 125 0 (→ PTS5)

外周を描くため5点定義します。

FILL (スタティックメニュー)

画面全体に収まるサイズにします。

CURVE TYPE → **POLY LINE**

ポイントを折れ線で結びます。

→ **RETURN**

ADD (CRVS)

- (PTS1) を < ML >
- (PTS2) を < ML >
- (PTS3) を < ML >
- (PTS4) を < ML >
- (PTS5) を < ML >
- < MR >

これで設定ポイントは終わりです。

CURVE TYPE → **CENTER/POINT/POINT**

円弧の部分を作成します。

→ **RETURN**

ADD (CRVS)

- 0 0 0
- 125 0 0
- 0 125 0

円弧の中心点

円弧の始点

円弧の終点

AUTOMESH → **2D PLANAR MESHING**

定義した領域に自動メッシュをかけます。

→ **QUADMESH!** (OVERLAY) → ALL: **EXIST.**

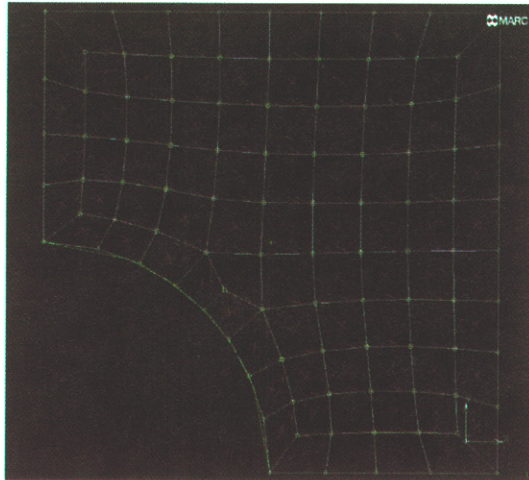


図 4: AUTOMESH をかけた結果

3.4 境界条件の設定

作成したメッシュに、対称条件と荷重条件を与えます。

BOUNDARY CONDITIONS (MAIN MENU) → **MECHANICAL**

対称条件 1

NEW → **NAME**

固有の名前を与えます。

fix_x (↔)

FIXED DISPLACEMENT → **ON** (X DISPLACE) → **OK**

ADD (NODES)

→ < ML > ドラッグで ND4, ND6, ND7, ND8, ND5 を囲んで指定。

ノードが緑色に変わります。

→ < MR >

これで設定ポイントは終わりです。

対称条件 2

NEW → **NAME**

固有の名前を与えます。

fix_y (↔)

FIXED DISPLACEMENT → **ON** (Y DISPLACE) → **OK**

ADD (NODES)

→ < ML > ドラッグで ND1, ND9, ND10, ND11, ND2 を囲んで指定。

ノードが緑色に変わります。

→ < MR >

荷重条件

NEW → **NAME**

固有の名前を与えます。

ed_load (↔)

EDGE LOAD → **PRESSURE**

-1 (↔) → **OK**

ADD (EDGES)

→ < ML > ドラッグ ND4, ND12, ND13, ND14, ND15, ND16, ND18, ND3 を囲んで指定。 → < MR >

辺が緑色に変わります。

→ **RETURN**

ID BOUNDARY CONDS

設定を確認します。

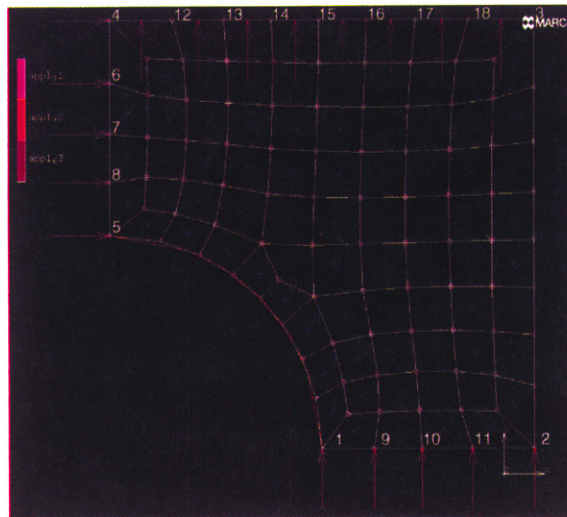


図 5: 境界条件の設定

3.5 材料特性の設定

ヤング率、ポアソン比を与えます。

MATERIAL PROPERTIES (MAIN MENU)
 NEW → NAME
 steel ↵
 ISOTROPIC → YOUNG'S MODULES
 21000 ↵
 0.3 ↵ → OK
 ADD (ELEMENTS) → ALL: EXIST.
 ID MATERIALS

固有の名前を与えます。

ヤング率
 ポアソン比
 全ての要素に適用します。
 設定を確認します。

3.6 形状特性の設定

平面要素として厚さを与えます。

GEOMETRIC PROPERTIES (MAIN MENU)
 NEW → NAME
 thickness ↵
 PLANAR
 → PLANE STRESS
 → THICKNESS
 2.5 ↵ → OK
 ADD (ELEMENTS) → ALL: EXIST.
 ID GEOMETRIES

固有の名前を与えます。

平面要素
 平面応力

厚さ
 全ての要素に適用します。
 設定を確認します。

3.7 解析実行

MARCで解析を実行します。

JOBS (MAIN MENU)
 → MECHANICAL
 → PLANE STRESS (ANALYSIS DIMENSION)
 → JOB RESULTS
 → von_mises (SCALARS) → OK
 → OK
 RUN
 → SUBMIT1 (RUN JOB)

応力解析
 平面応力
 ポストファイルに出力する情報を設定。
 ミーゼス応力を指定。

super の s クラスで、解析を実行します。
 MONITOR を押し、解析レポート覧 EXIT
 NUMBER が 3004 なら、正常終了です。
 その他の番号については、マニュアル [3] 付録
 A をご覧ください。

その他、SUBMIT2,3 や、MONITOR KILL に表 3 の機能が割り当てられています。

表 3: RUN JOB メニューボタンの機能

ボタン	機能
SUBMIT1	super の s クラスで解析実行
SUBMIT2	super の ss クラスで解析実行
SUBMIT3	gen の gb クラスで解析実行
UPDATE	その時点の、解析の状態を解析レポート覧に表示します。
MONITOR	解析の状態を、解析レポート覧に随時表示します。(*)
KILL	実行している解析を中止します。

(*) super で解析を実行した場合、つまり **SUBMIT1** **SUBMIT2** で実行した場合は、レポートを自動更新してくれません。**UPDATE** と同じ機能となります。

MARC ジョブは、NQS(Network Queuing System) により実行処理を行っております。NQS ではジョブクラス (キュー) という概念を設け、全てのジョブはユーザが選択したいいずれかのクラスで実行されます。各 **SUBMIT** ボタンには、表 4 のようなジョブクラスが設けております。

例えば、扱うメモリサイズが大きい場合、super での解析 **SUBMIT1** や **SUBMIT2** を使用し、メモリサイズが 900MB 以下の小さなモデルなら gen での解析 **SUBMIT3** を使うなど、解析モデルの大きさ² に応じ使いわけるようおすすめします。

当然ながら、CPU 時間制限のあるクラスは、その時間になると解析が打ち切られてしまいます。長時間の解析は無制限の s クラスで実行してください。

また、**SUBMIT** ボタンには割り当てられていない他のクラスでの解析も可能です。こちらは、6 で解説します。

表 4: SUBMIT ボタンとジョブクラス

ボタン	クラス	CPU 時間	ホスト名
SUBMIT1	s	無制限	super
SUBMIT2	ss	10 分以内	super
SUBMIT3	gb	60 分以内	gen

² **CHECK SIZES** をチェックして **SUBMIT** すると必要なメモリサイズが求められるようです。出力ファイル (model1.job1.out) 中の、"total workspace needed with in-core matrix storage =(ワード単位)" この数値が必要メモリ量だそうです。(1 ワード=4 バイト)



図 6: RUN JOB メニュー

3.8 解析結果の表示

解析した結果 (応力分布) を表示させます。

```

RESULTS (MAIN MENU)
OPEN DEFAULT
NEXT INC
DEF & ORIG
SETTINGS → AUTOMATIC → RETURN
SCALAR → Equivalent Von Mises Stress → OK
CONTOUR BANDS
    
```

変形図と原形図の両方を表示します。
 変形量をオートにします。
 ミーゼス応力を指定します。
 バンドコンター処理をします。

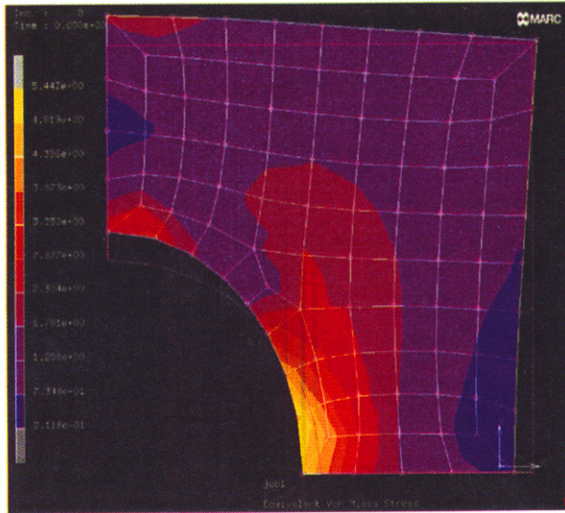
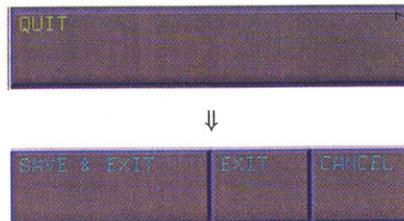


図 7: 応力解析結果

4 Mentat の終了

メインメニューの一番下の **QUIT** を選択します。後は、**SAVE&EXIT** か **EXIT** で Mentat は終了します。



5 解析結果画像の出力

解析結果の画像は、PostScript ファイルやプリンタへも出力できます。

5.1 PostScript ファイルへの出力

UTILS (スタティックメニュー)

- **COLOR FILE** カラー PostScript ファイル
- **GRAY FILE** モノクロ PostScript ファイル


```

gen% run_marc -jid model1_job1      (←入力ファイルの .dat を略したものを指定する)

MARC K7.3.2 HP-V-Class version
-----
Program name       : marck73
Job ID            : model1_job1
User subroutine name :
Restart file job ID :
Substructure file ID :
Post file job ID   :
Defaults file ID   :
View Factor ID     :
Save generated module: no
Number of tasks    : 1
Number of threads  : 1
Message passing type : 0
Run job in queue   : gc (ジョブクラス)
Queue priority     :
Queue CPU limit    :
Queue start time   :

Are these parameters correct (yes,no,quit,<no>)? y      (←この設定で良ければ、y を押す)
License Manager daemon is running

2000年03月21日 13時59分30秒
Request 25059.gen submitted to queue: gc.
gen%

```

6.3 run_marc コマンドオプション

run_marc コマンドには、様々なオプションが用意されております。ここでは、よく利用しそうなものだけを載せておきます。その他については、マニュアル [3] C9-35 をご覧ください。

キーワード	オプション	説明
-jid(-j)	job_name	入力ファイル名を指定する。(必須)
-queue(-q)	s	ジョブクラス名を設定する。
	ss	
	ga	
	gb	
	gc	
-ver	yes	ジョブ開始前に確認を要求するか否か。
	no	

ボールドはデフォルト値です。

表 5: ジョブクラス

クラス	CPU 時間	ホスト名
s	無制限	super
ss	10 分以内	
ga	10 分以内	
gb	60 分以内	gen
gc	無制限	

gen と super 両ホストとも、オプションの使用法は同じです。が、super 上で run_marc を実行する場合に限り、ga, gb, gc クラスが使用できません。gen からは、全クラス利用できます。

6.4 解析の状態

解析が実行中か終了したかを確認するには、qstatr コマンドを使用します。

```
gen% qstatr
=====
NQS (R07.10) BATCH REQUEST  HOST: gen
=====
REQUEST ID      NAME      OWNER      QUEUE      PRI  NICE STT  PGRP  R
-----
25059.gen       mesh1_j1* w20159     gc          31    0  RUN  2302  -
-----
NQS (R07.10) DEVICE REQUEST  HOST: gen
=====
REQUEST ID      NAME      OWNER      QUEUE      PRI      SIZE  STT
-----
:
:
```

この例ですと、先程実行したリクエスト ID(25059.gen) のジョブが、gc クラスで実行中 (STT=RUN) だとわかります。この一行が表示されなければ、ジョブは終了したことになります。また解析中のジョブを止めたい場合は、以下のようにします。

```
gen% qdel -k リクエスト ID
```

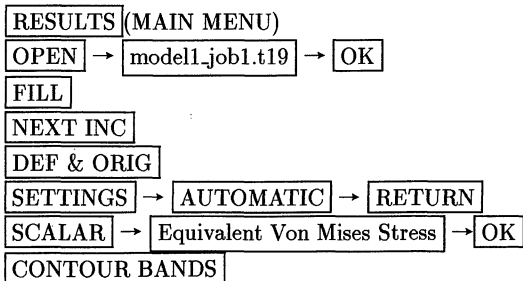
6.5 出力ファイル

解析が終了すると、以下の4つのファイルが作成されているはずですが、ちなみに、解析結果ファイル末尾の exit number が 3004 なら正常終了です。

- modell_job1.t19 (ポストファイル)
- modell_job1.out (解析結果)
- modell_job1.log (解析ログ)
- modell_job1.batch_err.log (エラーログ)

6.6 解析結果の表示

ポスト処理手順は 3.8 と同じです。ただ、事前にポストファイルを読み込む必要があります。



- 目的のポストファイルを読み込みます。
- 画面全体に収まるサイズにします。
- 変形図と原形図の両方を表示します。
- 変形量をオートにします。
- ミーゼス応力を指定します。
- バンドコンター処理をします。

7 サンプルプログラム

マニュアルに掲載されている例題ファイルが用意されております。コピーしてご利用ください。

- MARC E 編 [5]~[9]
super:/usr/ap/marck73/marck73/demo/
- MENTAT II 2.3 ユーザーズ・ガイド [11]
gen:/usr/ap/mentat330/mentat330/examples/userguide/

8 オンラインマニュアル

PDF 形式のオンラインマニュアル (参考文献 [1]~[9],[12]) が用意されております。以下のように、gen の Netscape を起動し案内ファイルにアクセスしてください。

```
gen% netscape file:/usr/ap/mentat330/html/index.html
```

9 マニュアル

参考文献の各マニュアルがプログラム相談室 (センター 1F) に備えてあります。ご利用ください。

参考文献

- [1] MARC A 編 User Information(K-7)
- [2] MARC B 編 Element Library(K-7)
- [3] MARC C 編 Program Input(K-7)
- [4] MARC D 編 User Subroutines/Special Routines(K-7)
- [5] MARC E 編 Part I イントロダクション・線形解析
- [6] MARC E 編 Part II 塑性とクリープ・大変形
- [7] MARC E 編 Part III 熱伝導・動解析
- [8] MARC E 編 Part IV 特殊な機能・最新の機能
- [9] MARC E 編 Part V 流体解析・感度設計と最適化設計
- [10] MENTAT II コマンドリファレンス 3.1
- [11] MENTAT II 2.3 ユーザーズ・ガイド
- [12] MENTAT 3.1-MARC K7.1 新しい機能
- [13] MARC K7.1 Mentat3.1 リリースノート
- [14] MARC/HexMesh User Guide
- [15] MARC コースノート K7.2 (講習会資料)
- [16] MENTAT コースノート ver3.2.0 (講習会資料)
以下、スペシャルトピックセミナー・コースノート
- [17] ADAPTIVE MESH + APPENDIX
- [18] DYNAMICS (PART1~PART3) (英文)
- [19] USER SUBROUTINES
- [20] Non-linear Material Models + APPENDIX (英文)
- [21] Metal Forming Analysis + APPENDIX (英文)
- [22] Heat Transfer Analysis
- [23] Analysis of Rubber Materials + APPENDIX (英文)
- [24] 自動増分解析機能
- [25] 日本エムエスシー株式会社
Web ページ <http://www.mscsoftware.co.jp/>