

エンジニアリングワークステーション向け CAEシステム“CADAS”とその適用事例

CAE System for Engineering Workstation and Its Applications

CAEは、製品の開発設計で必要不可欠なものになりつつある。しかし、ユーザーの立場に立った真に使いやすいCAEシステムが、実用化されているかという点必ずしもそうではないようである。CAEシステムのなかで、解析プログラムの入出力データの処理をする、いわゆるプリ・ポストプロセッサの使い勝手がよいことが最も重要である。

日立製作所は、実用性の高いCAEシステムの構築を目指して、エンジニアリングワークステーション向けのプリ・ポストプロセッサ“CADAS”(Computer Aided Design Analysis of Structure system)を開発し実用化にこぎつけた。これによって使いやすいCAEシステムが提供できるようになった。現在CADASは、全社規模で使用されており、製品の開発設計支援ツールとして必須(す)のものになりつつある。

高橋陸郎* *Rikurô Takahashi*
立見榮男** *Hideo Tatsumi*
金井紘美*** *Hiromi Kanai*
鈴木睦男**** *Mutsuo Suzuki*

1 緒 言

製品の開発設計支援ツールとして、CAEがますます重要になってきている。このため、日立製作所は、多岐にわたるユーザーの利用分野に対応した各種のCAEシステムを開発・製品化してきた^{1)~4)}。

CAEシステムで、解析プログラムの入力データの作成と解析結果の出力処理をする、いわゆるプリ・ポストプロセッサには、CAEを普及・利用拡大するうえでユーザーの立場に立った使いやすいものであることが要求される。そのためには、応答性と使い勝手がよいものである必要がある。さらに、さまざまな物理現象の解析シミュレーションを可能にするため、解析手法が異なり、各種の解析シミュレーション分野にまたがる解析プログラムとのインタフェースがとれることも必要である。

近年、開発設計部門でのコンピュータ処理業務は、急速にホスト処理方式からEWS(Engineering Workstation)をネットワークで接続した分散処理方式に移行しつつある。これに伴い日立製作所は、EWS向けに、ホスト用に開発されたCAD/CAM/CAEソフトウェアの移植を進めている。

CAEソフトウェアでは社内用に開発されたCAE用のプリ・ポストプロセッサ“CADAS”(Computer Aided Design Analysis of Structure system)⁴⁾が、応答性と使い勝手がよいことと、各種解析プログラムとのインタフェースが整って

いることからEWSへ移植が行われ、実用化された。現在CADASは、社内へのEWSの普及と相まって急速に普及し、日立製作所でのCAEシステムの中核CAEソフトウェアとして非常に重要なものになってきている。そこで本稿では、このEWS向けのCADASを中核にした、CAEシステムの開発に取り組む基本的な考え方と、その概要について述べるとともに、適用事例についても述べる。

なお、CADASは、EWS「2050Gシリーズ」向けに製品化され、平成2年2月から出荷が開始された。

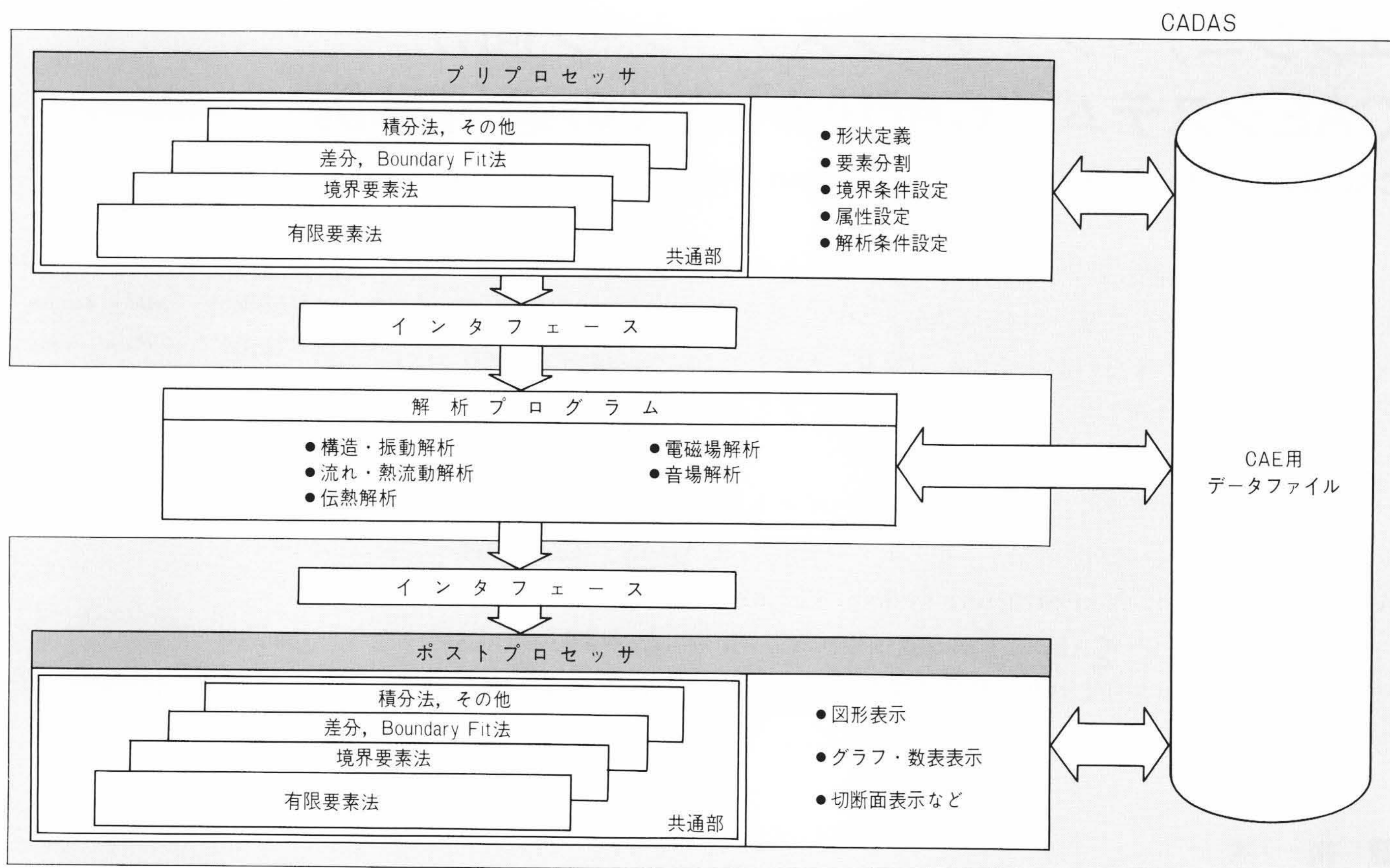
2 CAEシステムの構成

CADASを中核にしたCAEシステムの構成を図1に示す。同図で、CADASはプリプロセッサとポストプロセッサ、およびこれらを解析プログラムに接続するインタフェースならびにデータを管理するCAE用データファイルで構成している。

プリプロセッサは、解析用入力データを作成するためのもので、解析対象の物体(これを解析モデルと呼ぶ。)の形状定義、有限要素法や差分法などでの要素分割と境界条件、属性、解析条件設定の機能から成る。ポストプロセッサは、解析結果を出力するためのもので、図形、グラフ・数表、切断面表示などの機能から成る。

プリ・ポストプロセッサは、異なる解析手法(有限要素法、

* 日立製作所 日立工場 ** 日立製作所 佐和工場 *** 日立製作所 茂原工場 **** 日立製作所 生産技術部



注: 略語説明など CADAS (Computer Aided Design Analysis of Structure system), 共通部は有限要素法, 差分法などの解析手法に関係しない部分である。

図1 CAEシステムの構成 各種の解析シミュレーションを行うための解析プログラム群と入力データ作成, 結果の画面表示をするプリ・ポストプロセッサを, CAE用データファイルを介して接続した一貫したシステムを構成している。

境界要素法, 差分法, Boundary Fit法, 積分法など)の解析プログラムに対する入出力処理ができるようになっている。インターフェースは, 解析手法が異なり, しかも各種の解析シミュレーション分野(構造・振動解析, 流れ・熱流動解析, 伝熱解析, 電磁場解析, 音場解析など)に関する解析プログラムとプリ・ポストプロセッサが接続できる機能になっている。プリ・ポストプロセッサと解析プログラムとのデータ授受は, CAE用データファイルを介して行われる。

このように, 本CAEシステムは解析プログラム用の入力データの作成から解析結果の表示まで一貫して行うように構成しており, EWS向けの閉じたCAEシステムを提供している。ただし, 本CAEシステムで解析プログラムの実行は, EWSで行うほか非線形解析など計算量の多い解析に対して, ホストコンピュータやスーパーコンピュータで行っている。

3 CADASの概要

3.1 開発方針

CADASの開発で, 図1に示したCAEシステムの処理効率をよくするためや解析作業の高効率化を図るため, 開発方針を定めた。次にその主なものを述べる。

(1) プリプロセッサに関するもの

- 解析モデルの形状定義が容易に行える。
- 形状定義から解析条件設定(図1)までの処理順序が論理的に矛盾のない範囲で, 順不同に行える。
- 解析モデルの入力データ作成作業が分担できる。
- 境界条件設定, 属性設定が簡単に行える。
- 材料物性値がデータベース化されている。
- 線形解析だけでなく, 非線形解析などの高度な解析プログラムの入力データが作成できる。
- 解析手法や解析シミュレーション分野が異なる解析プログラムの入力データが, できるだけ統一的に作成できる。

(2) ポストプロセッサに関するもの

- 解析結果の表示機能が充実している。
- この表示機能には, 任意の平面で切断した面上に, その位置の解析結果が表示できる機能を持たせる。
- 一画面に, 複数の解析結果の表示ができる。

(3) インターフェースに関するもの

- 希望する解析プログラムを指定するだけで入力データが作成できる。
- 解析プログラムの入力データが誤って作成されない。

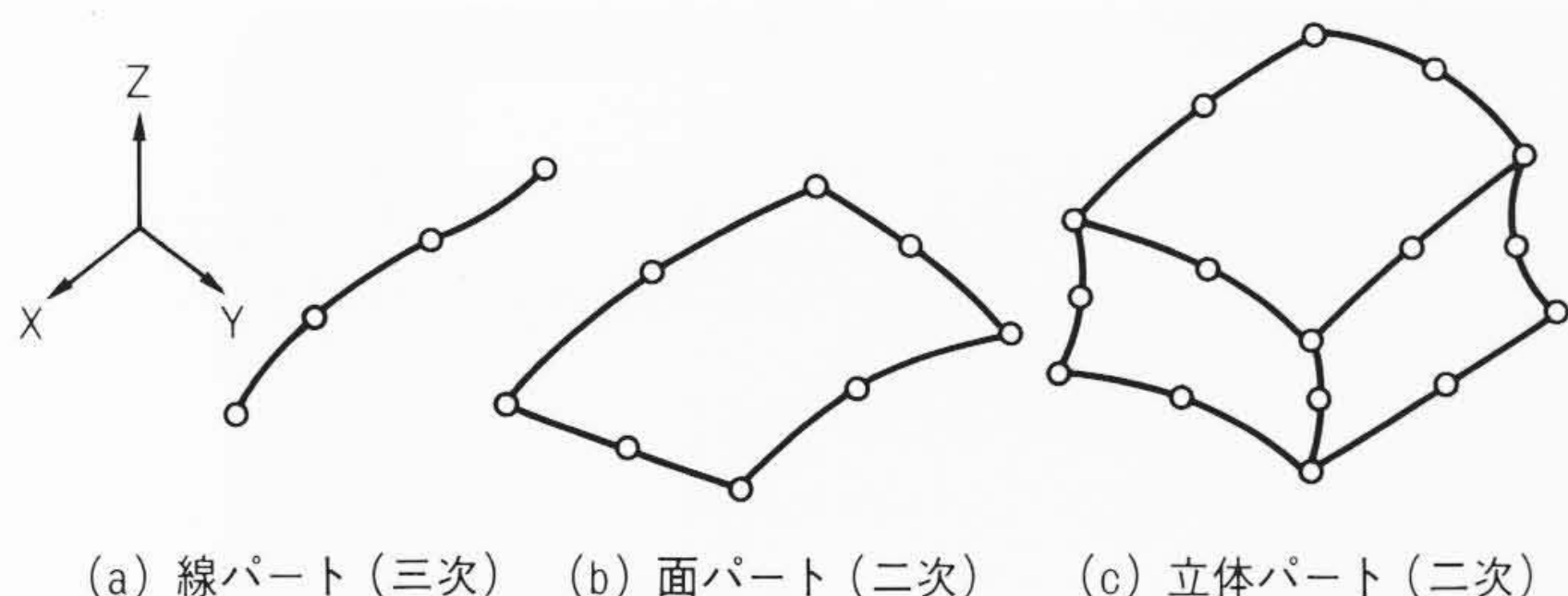


図2 パートの種類 線、面、立体の3種のパートが、解析モデルを形状定義する基本形状である。これらのパートの集合体で、解析モデル全体を定義する。

3.2 プリプロセッサ

CADASで用いている形状定義は、解析モデルを図2に示す線、面、立体パートと呼ぶ基本形状の集まりで分割し、パートの占める位置を指定する方式である⁵⁾。現在パートの形状表現には一次から三次の形状関数を用いている。この形状定義方式は有限要素法の内部データ構造の表現がそのまま使えるので、プログラムの構造が単純になり、3.1の開発方針(1)の(a)から(d)を実現することが容易になる。

CADASで対話的に有限要素モデルを作成する場合の代表的な作成手順例を図3に示す。まず解析モデルを表す基本となる点(基本点)を入力し、この点をスイープして線パートを定義する。次にこの線パートから面パートを定義し、これにコピーとスイープを施して全体の形状を定義する。続いて各パートについて要素分割を行い、生成した要素に対し境界条件と

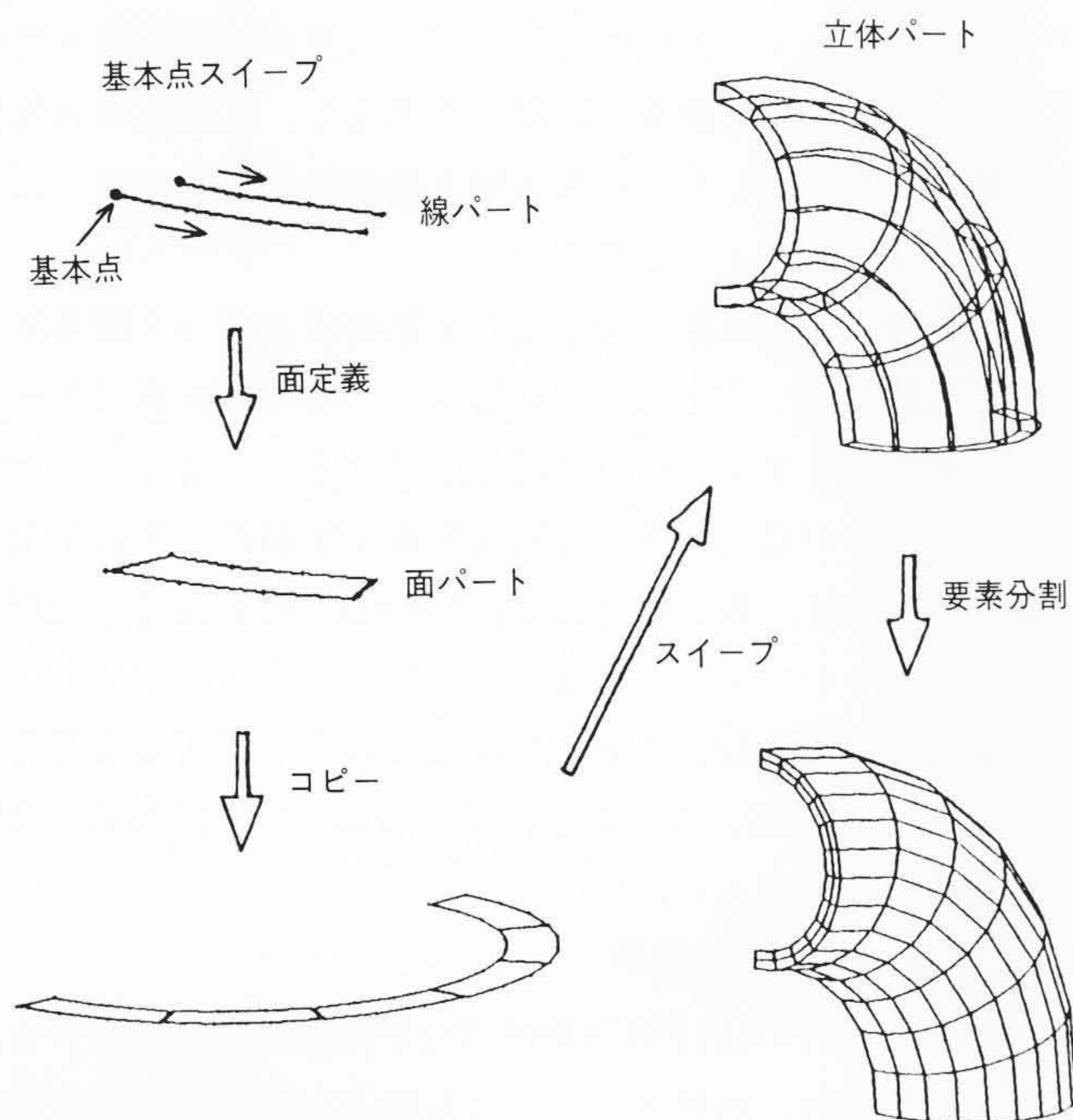


図3 解析モデル生成から要素モデル生成までの代表例 基本点からスイープ、コピー機能を用いて線パート、面パート、立体パートを生成させる。最終的に立体パートの集合として形状を定義(解析モデル)する。これを要素分割して解析のための要素モデルを生成する。

材料物性値などの属性情報を設定(これを要素モデルと呼ぶ。)する。以上、解析モデル生成から要素モデル生成までの手順の一例を説明したが、さらに効率化するため、図4に示すようなアセンブリ機能(3.1の開発方針(1)の(c)の具体策)などの機能を開発し、解析モデルの入力データ作成を容易にした。

3.3 ポストプロセッサ

ポストプロセッサは、解析結果を即技術文書に使用可能な形で画面出力できる機能を持つことが重要である。これが実現できれば、解析結果の整理・検討作業が大幅に省力化できる。CADASでは、これを達成するため3.1の開発方針(2)の(a)から(c)を定めた。

有限要素法で応力解析した結果を、CADASで出力した表示画面の一例を図5に示す。同図は応力値を、それぞれ等高線図、グラフ、数表、切断面表示(矢印はグラフの応力値の始点を示す。)したものである。上記の開発方針を満たしていることが同図でわかる。

本ポストプロセッサは、使いやすく機能も豊富であることから、社内ユーザーから好評を得ている。

3.4 インタフェース

インタフェース(図1)は、プリ・ポストプロセッサを解析プログラムから独立させるため重要である。CADASでは、3.1の開発方針(3)の(a)、(b)を実現させるため、解析プログラム名を指定するだけで、CAE用データファイルから解析プログラムの入力データを、その解析機能の適合性をチェックしながら、誤りなく生成する。また、CAE用データファイルから解

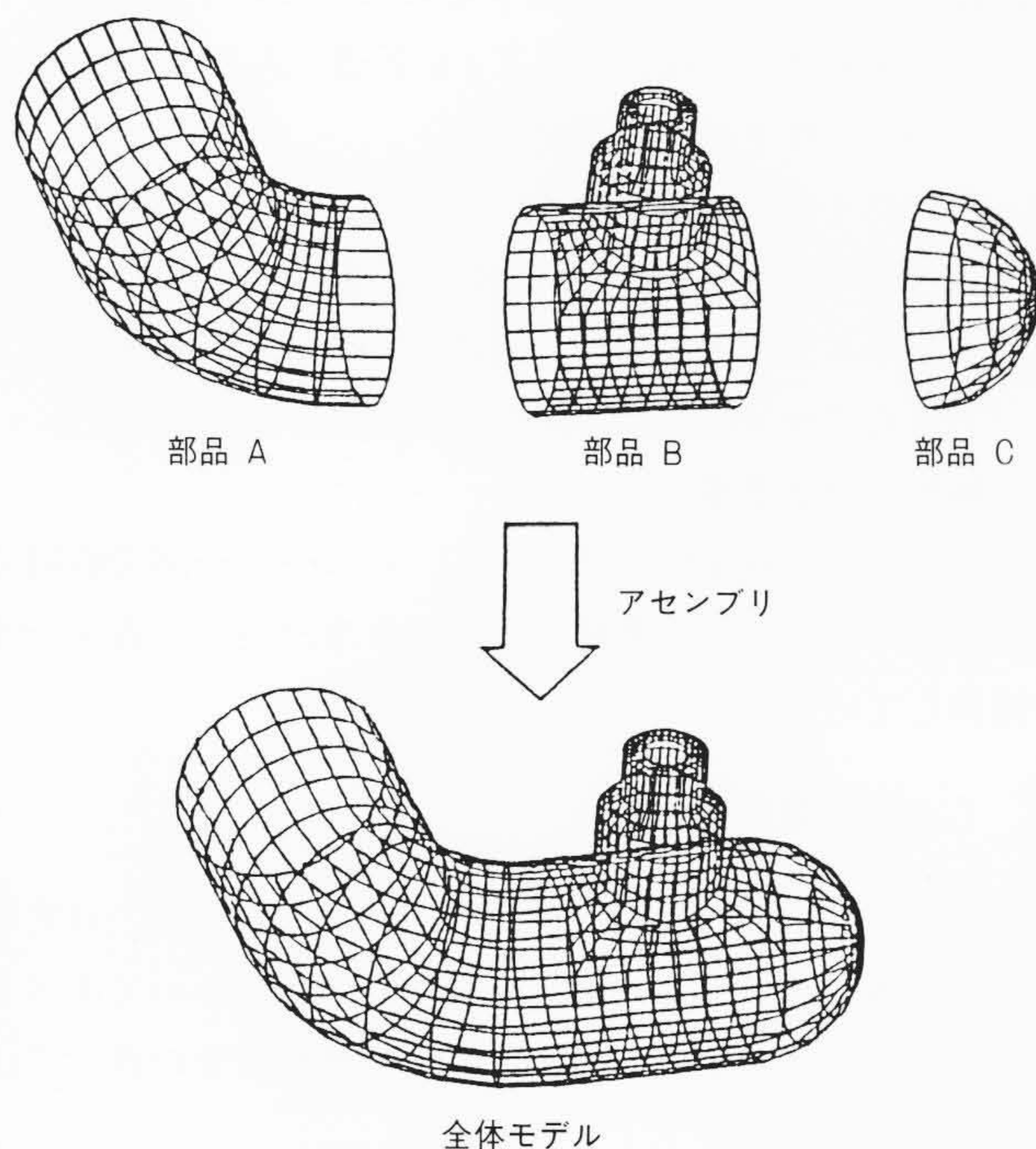


図4 アセンブリ機能の説明 複雑な解析モデルの入力データ作成は、部品ごとに分けて作成する。解析モデル全体の入力データは、アセンブリ機能を用いて完成させる。

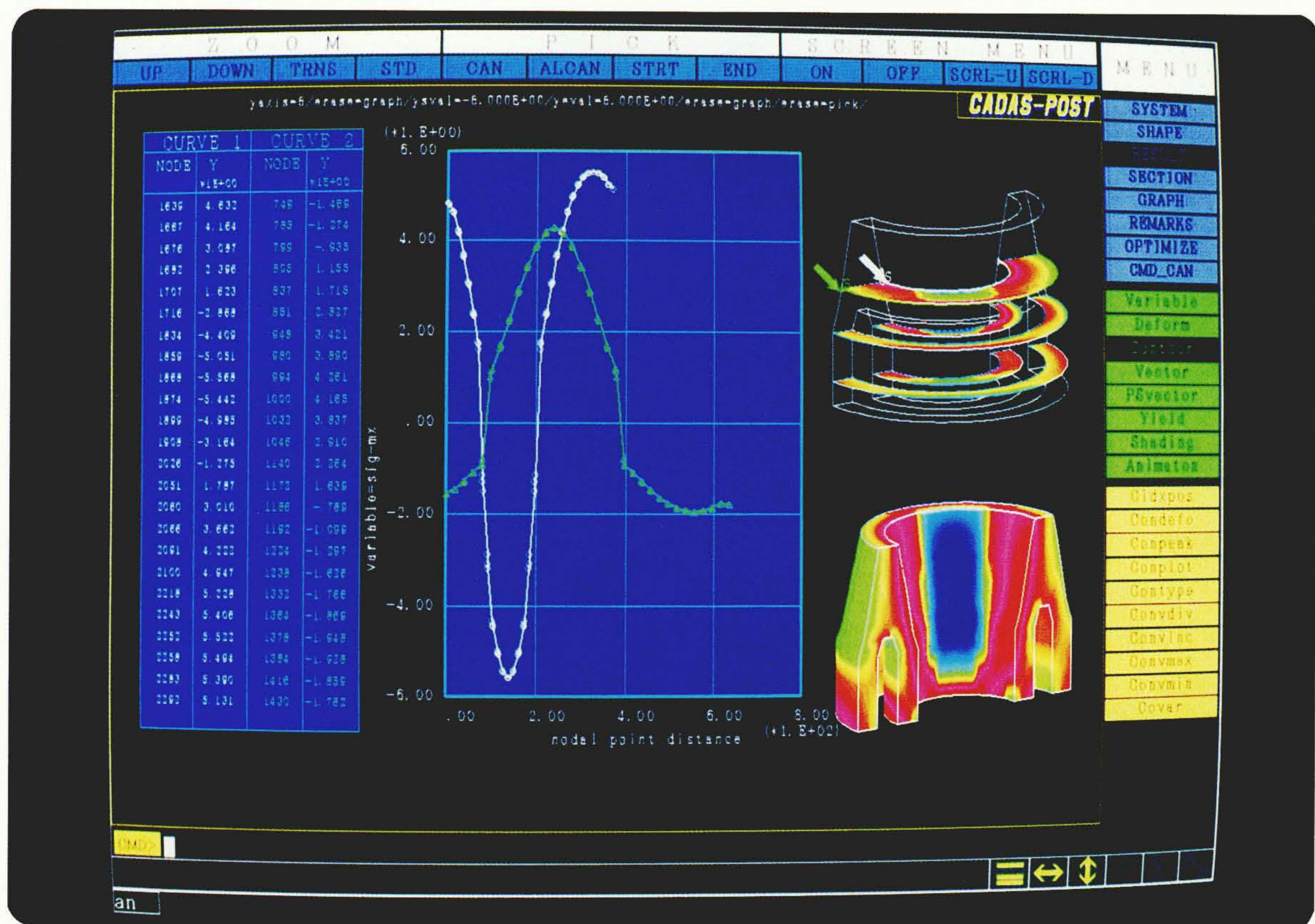


図5 解析結果の画面表示例 解析モデル全体と、任意の位置で切断した面の応力分布図、切断面周りの応力分布のグラフおよびその値を、数値として表したものを同一画面上に表示させた。

析結果出力データを読み込み、標準形式に変換する。

3.5 CADASを有効に活用する支援ツール

CAEシステムを有効に活用するには、これを支援するソフトウェアを開発し、提供することが近道である。そのために、次の二つの支援ツールを開発した。

(1) オンラインマニュアル

対話的にコマンドの内容、使い方を調べるのに使う。これにより、マニュアルの追加・訂正が容易になるとともに、マニュアルもフロッピーディスクで、提供できるようになった。

(2) 解析事例集蓄積ツール

解析事例集を対話的に蓄積して、各ユーザー間で利用できる支援ツールである。蓄積された解析事例集は、各ユーザーへ提供している。

4 CAEの適用事例

CADASを中核にしたEWS向けCAEシステムを、日立製作所のさまざまな製品に適用した場合の事例について述べる。これら事例の入力データの作成および解析結果の表示には、EWS「2050Gシリーズ」を使用した。

4.1 蒸気タービンケーシング衝撃破壊モデルへの適用

重電機器の設計で、解析シミュレーションを行うことは必須(す)である。そのため、各種の製品にCAEが積極的に利用

されている。ここでは、その代表的な例として、蒸気タービンケーシングの衝撃解析について述べる。

米国EPRI(Electric Power Research Institute)では、蒸気タービンケーシング内の回転体のディスクが破片となって飛散し、ケーシングに衝突する場合を想定し、実物大の大規模な衝撃実験を実施した。その実験を衝撃解析プログラムによってシミュレーションしてみた⁶⁾。

要素分割し、境界条件を与えた有限要素モデルを図6(a)に示す。実験では、ディスク $\frac{1}{3}$ の破片が、種々の角度でケーシングに衝突する場合について実施しているが、ここではケーシングの変形が最も大きくなる鋭角衝突実験を対象にした。

図6(b)、(c)は、衝突後それぞれ1.6 ms、8.3 msでの変形と応力分布図を示すものである。

重電機器の開発設計において、このような解析は日常行われており、本CAEシステムを使用することで解析作業の大幅な効率の向上を図った。

4.2 自動車部品への適用

自動車部品へのCAE適用範囲は近年着実に拡大している。構造・振動解析、熱解析といった基盤となる解析は、自動車部品の信頼性確保のため不可欠である。いずれも厳しい使用環境下であり、一例を挙げるならば、電子部品の基板上への実装強度・寿命の解析などミクロな評価にも及んでいる。

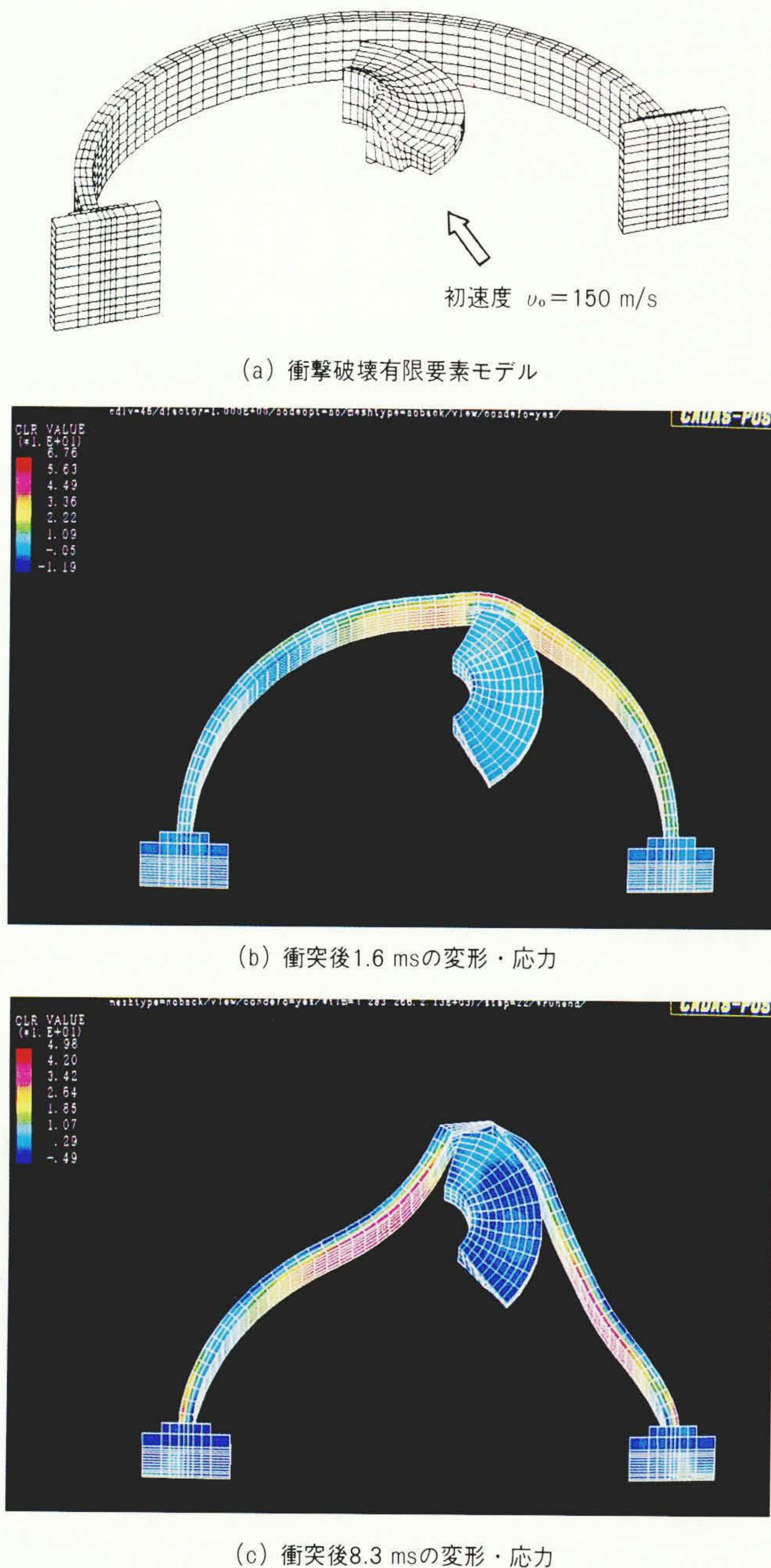


図6 衝撃大変形の解析 回転体ディスクの破片がケーシングに衝突する場合、種々の角度で衝突することが想定されるが、ここではケーシングの変形が最も大きくなる鋭角衝突実験を対象とした。

面実装IC部品のはんだ熱疲労寿命解析結果を図7(a)に示す。

エンジン、車両装着時の車全体としての性能・信頼性を確保するため、解析の対象を広げてさまざまな要素解析が行われている。吸気燃料系の製品では、吸気系の上流から下流に至る流れ分布、脈動流の影響、燃料の挙動や分配特性などの物理現象の解明が試みられている。吸気管内の流れ分布図を図7(b)に示す。

一方、衝撃解析による部品の衝突時の変形・応力の評価⁶⁾、電磁場解析による電動機類の磁気回路分析、電子回路解析による回路動作の評価などさまざまなアプローチも行っている。

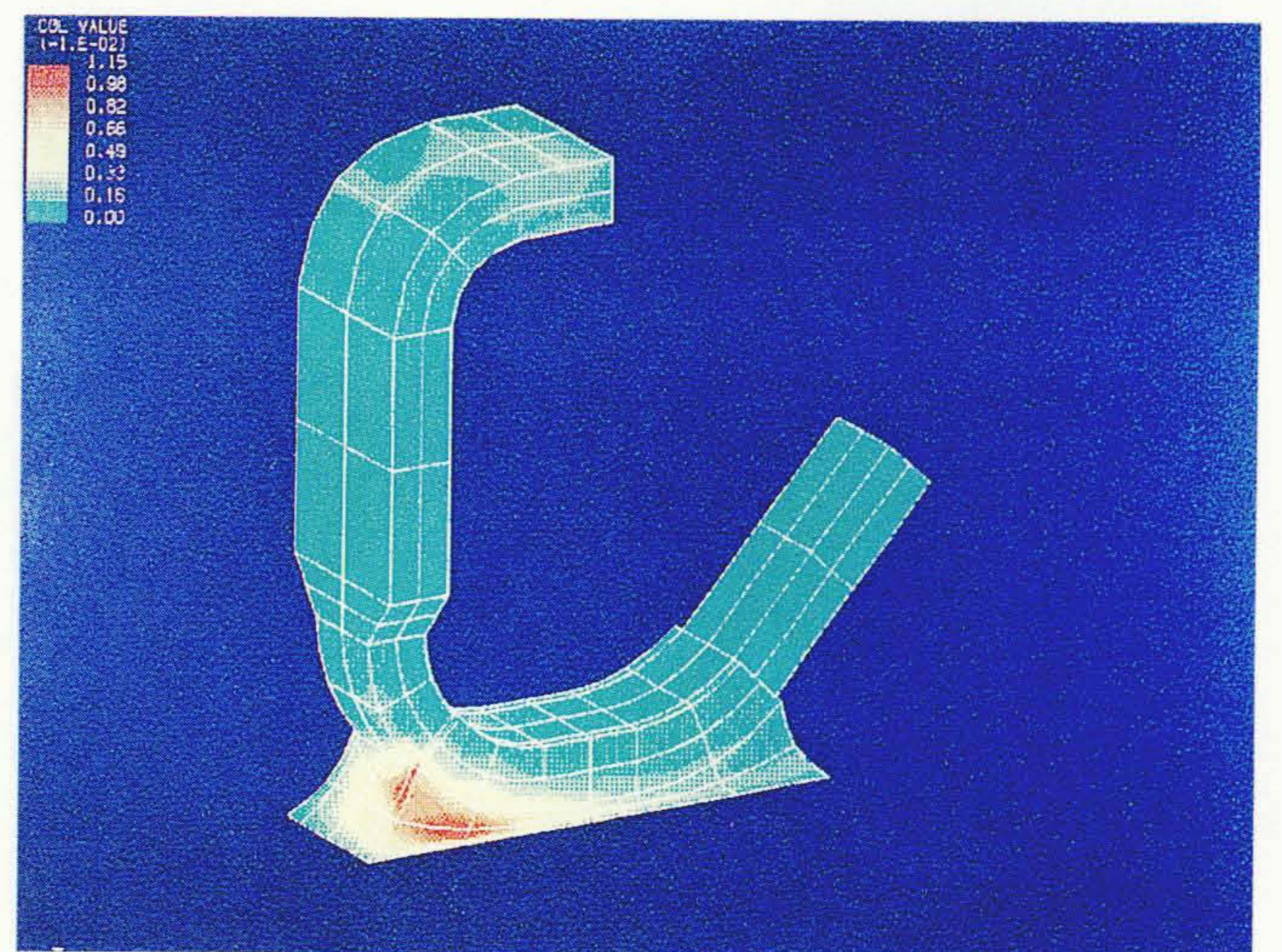
自動車の開発設計は、もはや最先端の解析シミュレーションなしには不可能であるが、自動車部品の開発も同様になりつつあると言える。

4.3 ブラウン管への適用

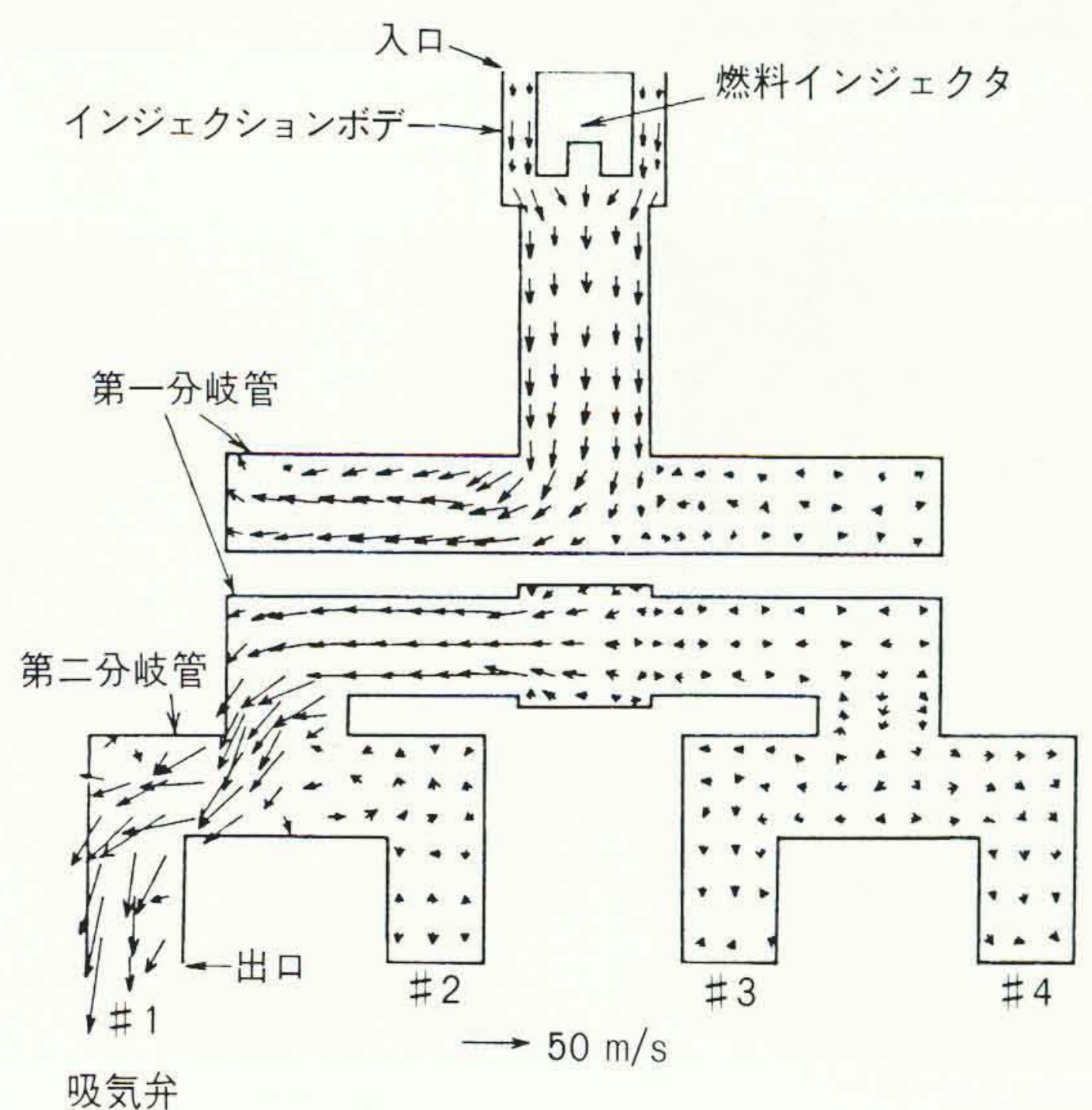
ブラウン管の超大形・超高精細化への対応や次世代の高品位テレビジョン(HDTV: High Definition TV)の開発は、解析シミュレーション技術で可能となった。

ブラウン管部品は、シャドウマスク、電子銃、バルブ、偏向系に大別できるが、ここでは、シャドウマスクと電子銃について述べる。

シャドウマスクでは、大形化や薄肉化に伴う強度確保、振動対策として、それぞれ衝撃変形解析、振動解析を行っている。また、電子ビームによる熱変形とそれによるビームシフト(これをドーミングと呼ぶ。)の解析を行い、色ずれの対策を



(a) はんだ接続部のひずみ分布



(b) 吸気管内の流速ベクトル分布

図7 自動車部品へのCAE適用事例 (a)は面実装IC部品のはんだ接続部の熱応力解析で求めたひずみ分布を、(b)は気筒弁#1が開いた直後の吸気管内の空気の流速ベクトル分布を表す。

立てている。特にビームシフト解析では、温度分布解析と温度上昇による熱変形解析を行った後、ビームシフト量を計算するという連携解析を行っており、温度分布解析では、シャドウマスク孔形状による実効熱伝導率まで計算している⁹⁾。ディスプレイ管用シャドウマスクの熱変形解析事例を図8に示す。シャドウマスクの温度がほぼ定常状態に達したとき(点灯後15

分)の温度分布および熱変形を示している。微小領域の温度分布計算結果[同図(a)]から、有効面の実効熱伝導率を計算する。電子ビームが照射される位置を中心に、マスク温度は20~60℃上昇するので[同図(b)]、マスクが上方に変形し[同図(c)]、電子ビームは内側にシフトする。

電子銃では、画面全体にわたりいかにフォーカス性能をよくするかが重要である。そのために、電極形状の基本設計は軸対称軌道解析を、非軸対称形状部分の詳細設計は三次元軌道解析を駆使して、電子銃電極形状の最適設計を行っている。その他、ブラウン管の寿命を左右するカソードの温度分布解析、外部磁場の影響を制御するポールピース・フィールドコントローラの磁場解析、カソードの熱による電極の熱変形解析、耐電圧不良の対策として電場解析を行っている。

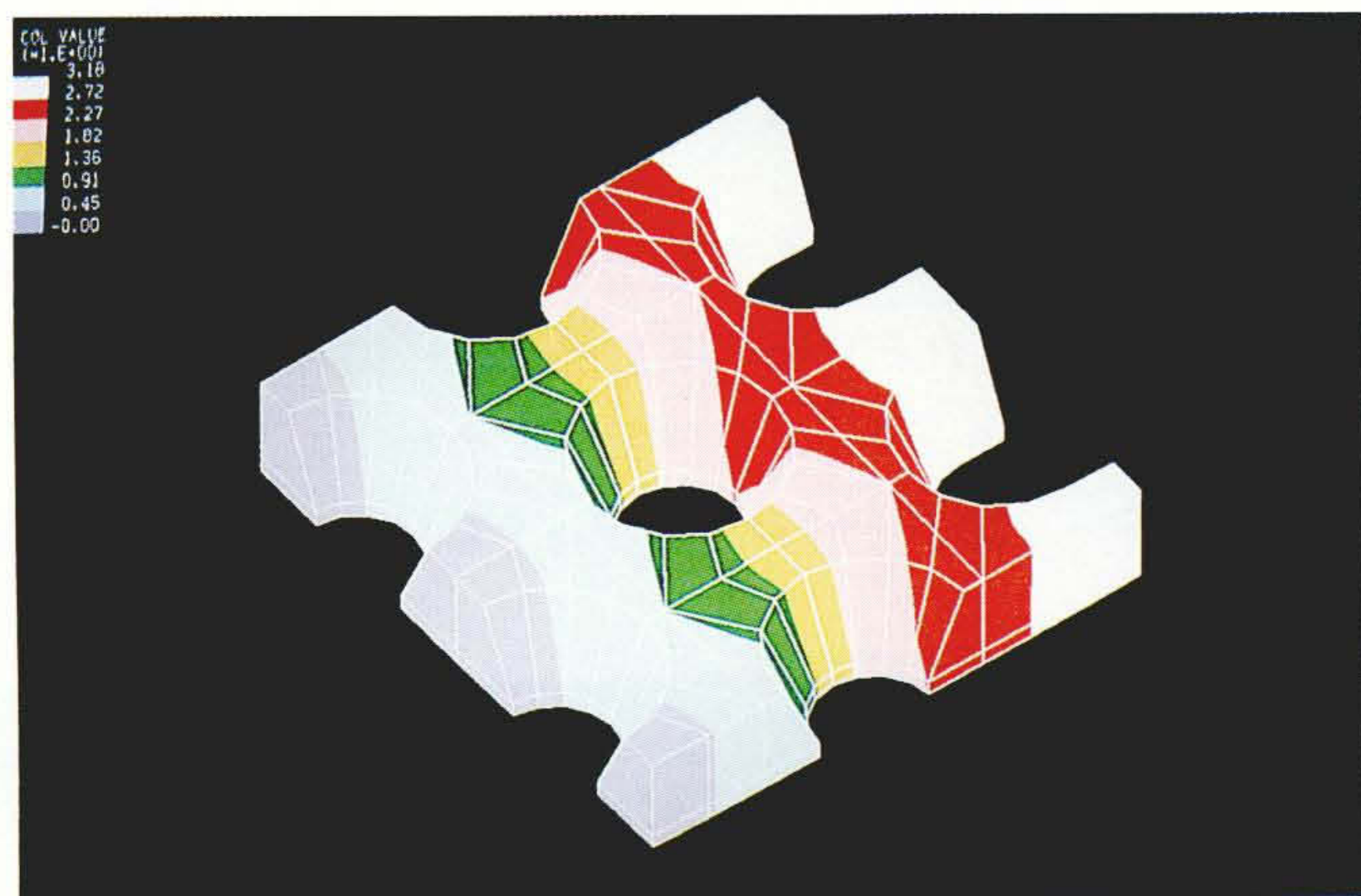
5 結 言

日立製作所で、エンジニアリングワークステーション向けに開発・実用化されたCAE用のプリ・ポストプロセッサ“CADAS”を中核にした、CAEシステムの開発に取り組む基本的な考え方とその概要について述べた。また、このCAEシステムを製品に適用した場合の事例についても述べた。

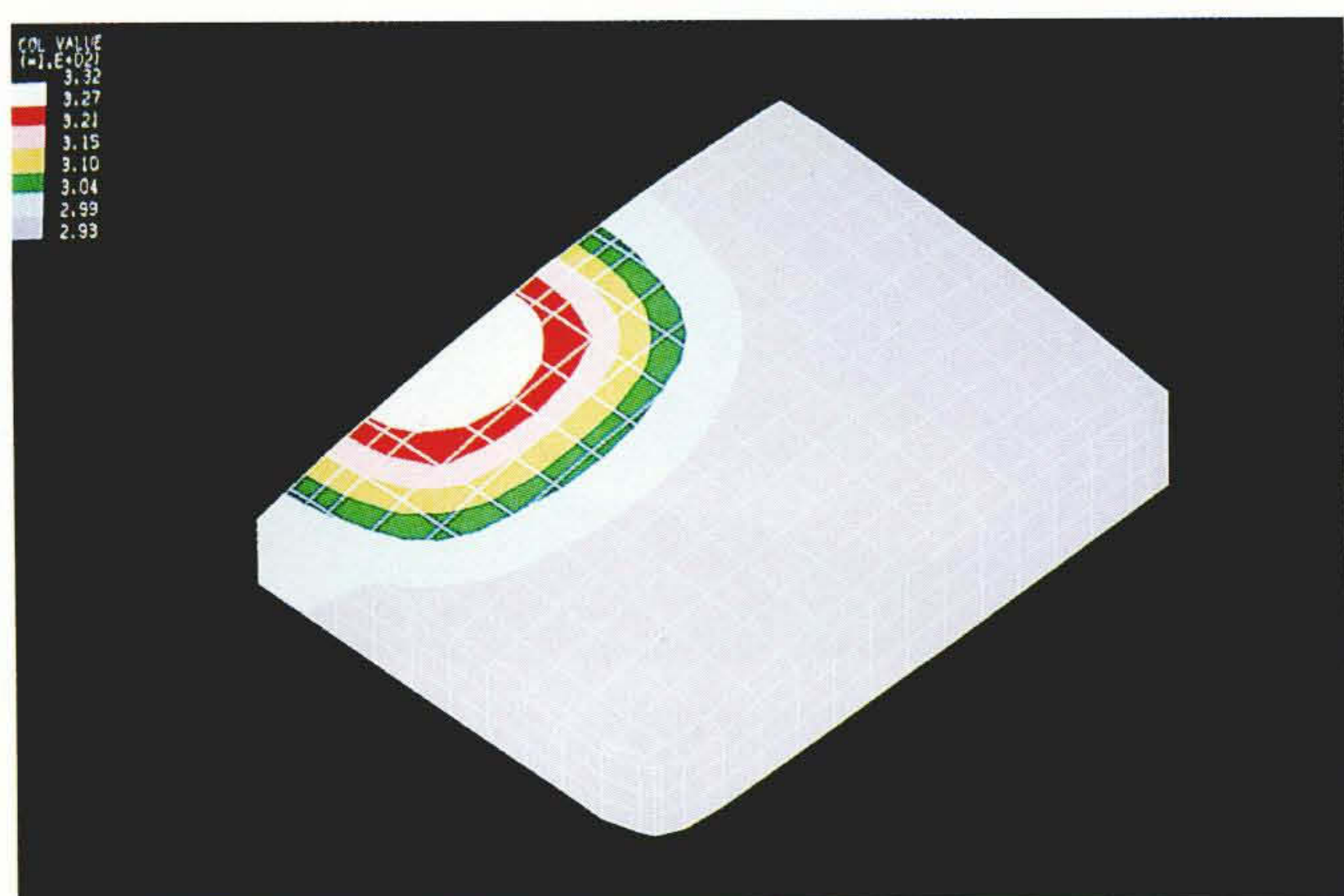
現在CADASは、日立製作所各研究所、工場のユーザーに月々5,000件程度使用されており、その実用性と信頼性の高さが認められてきている。今後は、ユーザーの声を反映させて、より実用的で信頼性の高いシステムを目指して改良していきたいと考えている。

参考文献

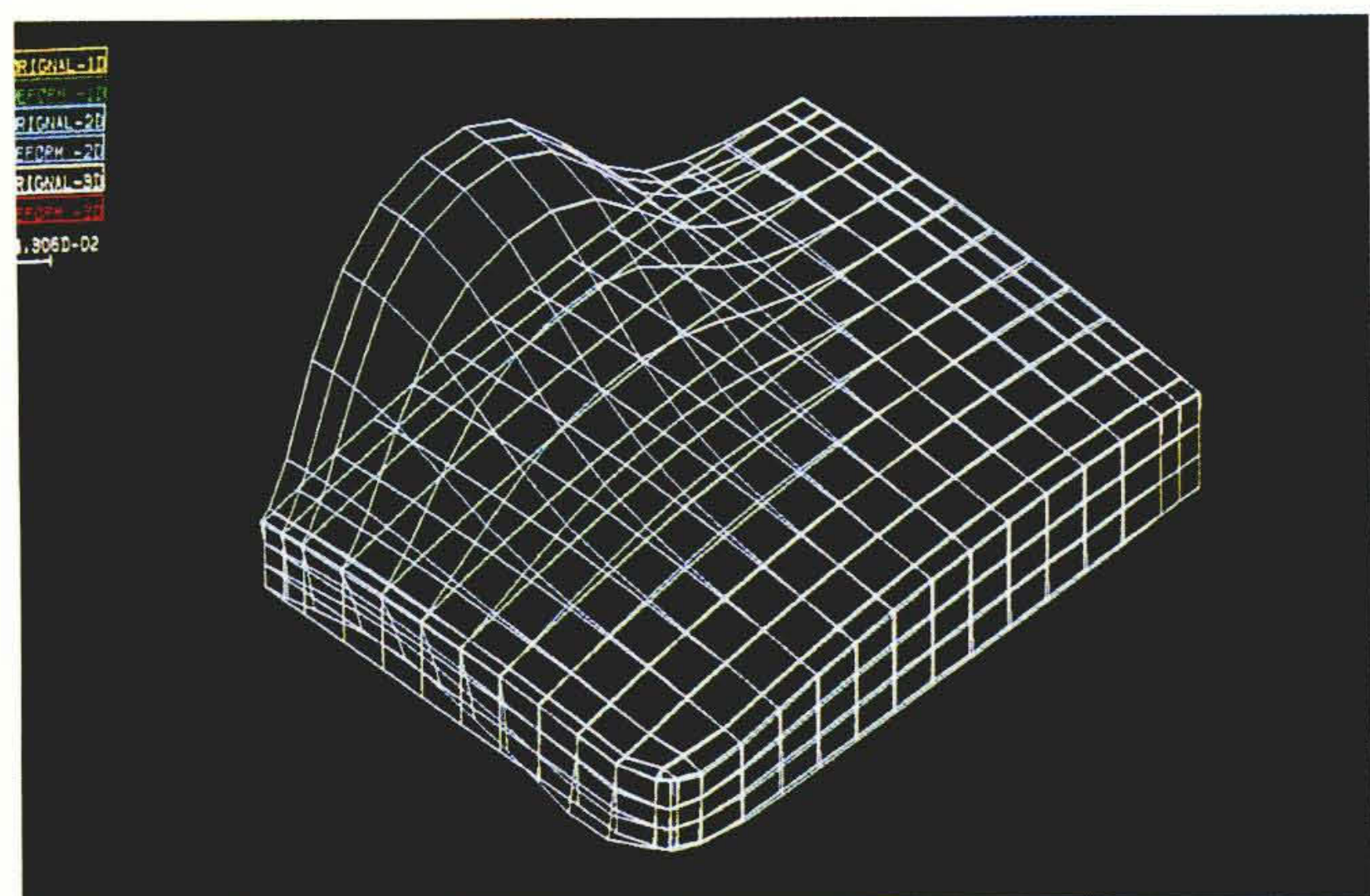
- 1) 渡谷, 外: CAD/CAM/CAEの最近の動向と日立製作所における展開, 日立評論, 69, 2, 89~94(昭62-2)
- 2) 中島, 外: 対話形構造解析支援システム“HICAD/FEM”, 日立評論, 69, 2, 109~118(昭62-2)
- 3) 大西, 外: 機械系CAEシステムの開発, 日立評論, 69, 2, 125~132(昭62-2)
- 4) 高橋, 外: 汎用対話型3次元構造解析システム, 機械学会日立地方講演会講演論文集, No.202, 34~36(昭62-9)
- 5) 木村: 形状モデリングとCAD/CAM, 精密工学会誌, 53巻, 3号, 5~8(昭62-3)
- 6) 千葉, 外: 衝撃大変形のスーパーコンピュータによるシミュレーション, 日本シミュレーション学会第8回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス, 29~32(平1-6)
- 7) 立見, 外: 自動車部品へのCAE適用と普及—自動車電子機器のはんだ接続部の熱疲労寿命解析—, 機械学会日立地方講演会講演論文集, No.603, 157~159(平1-9)
- 8) 高森, 外: 自動車用燃料供給系内流れの数値シミュレーション, 機械学会論文集(B編), 55巻, 510号, 529~534(平1-2)
- 9) T. Ueyama, et al.: Improved Computer Simulation Method for Shadow Mask Thermal Deformation and Beam Shift, Proceedings of Japan Display '89, 558~561(1989)



(a) シャドウマスク微小領域の温度分布



(b) シャドウマスクの温度分布



(c) シャドウマスクの熱変形図

図8 シャドウマスク部品へのCAE適用事例 (a)は、シャドウマスク有効面の実効熱伝導率を求めるための微小領域での温度分布, (b)は、シャドウマスク全体の温度分布, (c)は、(b)の温度分布による熱変形を表す。