

デジタルエンジニアリングに関する一考察

A Consideration on Digital Engineering

大 高 哲 彦

要 約 有限差分法や有限要素法の数値シミュレーションに端を発する工学問題への本格的コンピュータ適用は、NC加工、各種設計支援、製品データ管理とその範囲を広げ、Globalizationやインターネットベースへのビジネス形態の変化に伴い製品開発をコアとした業務管理系全体に拡大している。

CAD/CAM/CAEの適用が製品開発の不可欠な条件になっていることは事実であるが、コンピュータ化が期待通りの効果を挙げていない問題も多々存在する。本稿では製品開発を焦点にデジタルエンジニアリングの現状分析と将来課題の抽出を試みる。

Abstract Essential use of computers for engineering problems, which started from deployment of Finite Difference Method or Finite Element Method based simulations, expanded to NC machining, various design supports and product data management. It is further expanding, affected by business model change caused by globalisation and internet based business process, to all the business management processes. Though deployment of CAD/CAM/CAE is becoming an essential condition for successful product development, there are issues computerisation has not resulted in expected effects. This paper tries to investigate state of the art of digital engineering and future issues around product development.

1. はじめに

デジタルエンジニアリング (Digital Engineering, 以下、DEと略す) という言葉が普及しだして5年以上が経過している。DEという用語に正確な定義が付与されなくても、CIM, CALS, PLMなどの用語に比べて違和感がないのは、その目標が‘エンジニアリングにまつわるデータと活動を徹底的にコンピューターが扱えるように定量化、数値化することによりエンジニアリング行為で作り出すものの価値や品質を最大化し、関わるコストや期間を最小化すること’と無理なく理解できることによる。但しその範囲に関しては製品企画、製品開発・製造というDEの本流 (狭義のDE) のみならず物流・販売、調達、SCM (サプライチェーンマネジメント)、保守、修理・回収・廃棄なども含めて広範に論じる (広義のDE) 向きもある^(*)。

用語の範囲を論ずる以前に重要なことは、CAD/CAM/CAEほかのDEを支えるプロダクト提供側とエンドユーザの要求の距離を狭め、真にエンドユーザの業務改革に資するIT環境を整備することである。この実現のためには、プロダクトの提供側にはエンドユーザの要求の正確な理解にもとづくIT環境、各種支援機能の整備が要求されるし、エンドユーザ側には近未来も含めた要求の整理・提示が要求される。近年一部の企業を除き日本の製造業の地盤沈下を示す統計データが議論を呼んでいるが、日本の製造業の国際競合力の維持、拡大のためにはベンダ、研究者、ユーザー一体となった日本独自のDEインフラのイメージ固めとその整備が必須課題である。

筆者も関わった1970年代前半のNASTRANに代表されるFEM技術の設計・製造現場への適用はそれまでの物理実験に代わる数値実験の手段を提供し、航空機、自動車、船舶、建築・

土木、プラント、気象予報など様々な分野で品質向上、コスト低減に画期的な役割を果たして今日に受け継がれている。つまり一つのデジタル革命 (Digital Innovation) の強力な道具となった。これに対して機械製品の設計・生産の改革にまつわる用語として過去に話題をにぎわしたものとしては CIM (Computer Integrated Manufacturing), CALS (Computer Aided Logistic Support) などがあり、今日使われている用語としては PLM (Product Lifecycle Management), SCM (Supply Chain Management), VM (Virtual Manufacturing), VF (Virtual Factory) などがある。これらの用語が短命あるいは定着しないのは2つの理由が考えられる。一つ目は設計・生産システムを取り巻く種々の環境 (経済環境, 市場環境, コンピュータ・通信環境) の変化が早く設計・生産システムの技術が環境変化に追従できないこと。2つ目は、より本質的には、用語を実務に定着させるための種々の支援 IT 技術開発が遅れ、ややもすると用語が Catch Words として一人歩きしていることである。

そこで本稿では CAD/CAM/CAE/CG/PDM ほか DE を支える目標で開発され市場に提供されているシステムが実際の製品開発・製造にどこまで寄与できており残課題は何かを適用が最も進んでいる機械産業を中心に考察する。

2. 設計支援

設計とは一般的に与えられた仕様を満足する製品または部品の形状, 材質, 部品構造などを決定する行為であると言える。製品や部品の製作方法や品質評価方法, 場合によっては運搬方法なども視野に入れて設計が行われる。定型化した設計, そうでない自由度の高い新規設計など一口に設計と言ってもその性格や要件は各種各様ではあるが, 設計は与えられた「仕様」から一気に最終の設計案を決められるようなものではなく, 図1に示す「設計スパイラル」と呼ばれる逐次改善行為の連続の結果として最終解に到達する形で実施される。

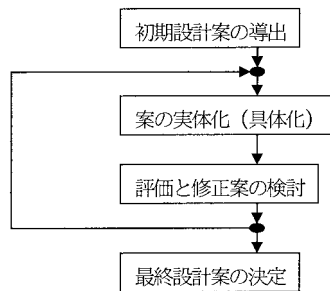


図1 設計スパイラル

CADは Computer Aided Design の略語であるが古くは Computer Aided Draughting (図面書き) と揶揄され、今日も、形状モデリングの域を出ていないと批判する向きがある。そこで本質的設計支援がどこまでできているかを設計支援の主要な要件ごとに検討する。

2.1 設計対象のモデリング

(1) 形状モデリング

機械製品において形状が機能, 魅力を担う重要な属性であることは論を待たない。形状表現はワイヤフレーム→サーフェス→ソリッド→形状特徴→パラメトリックとこの数十年で表現力

の観点で進化し、ハードウェア、ソフトウェア技術の格段の進歩に支えられ、今やPCの画面でも現実感に富む形状が手軽に得られるようになってきている。また形状処理技術の進歩により、自由曲面を含む複雑な形状を対象とした演算が設計環境で使用できるレベルの安定性、効率で実現されており、形状モデリング環境は大幅に改善されたと言える。特にパラメトリック形状モデリングは当初Pro/Engineerなどが先鞭をきいて、ソリッドモデリング環境を改革したが、一部の市販システムはソリッドのみならずワイヤフレーム、サーフェス、ソリッド、およびこれらの混合モデル(Hybrid Model)に対してもパラメトリックモデリングを可能にしており、パラメトリックモデリングの適用範囲が大幅に拡大した。計算速度の大幅向上により、パラメトリックモデリングは実務に十分適用できる技術に成長している。パラメトリックモデリングは内包した拘束(幾何拘束、代数式拘束)により設計意図の一部を表現できるため、ある設計工程での試行錯誤対応、設計変更対応などで威力を発揮するだけでなく、工程間連携(Process Association)改革の有望な道具にもなっている。例えば乗用車ボデーの開発では意匠デザイン、ボデー設計、型設計、型製作などの一連の工程で開発が進められる。新車開発期間短縮のために、各工程は前工程の作業の完了を待たずに未完成なデータを受け取り、それを参照して自工程の作業を行う。当然前工程から改定形状が度々供給されるが、自工程の作業をパラメトリックモデリングで実施しておけば、改定形状が供給されたとき、参照先を旧形状から改定形状に変更してパラメトリック再生を実施すれば、一部の困難なケースを除き、改定形状に対応する自工程形状が自動的に得られる。勿論工程間連携には形状以外の課題もあるが、前工程の形状変更を自工程形状へ反映することは現場が大変苦勞している課題であり、パラメトリックモデリング技術はこの課題の解決に大きく寄与できる可能性を持つ。

では現状の市販CADシステムの形状の扱いが設計支援に十分寄与できているかという課題も多い。設計活動における標準的な形状の位置付けを図2に示したが、この図からも一部読み取れるように、以下の課題が残っている。

- 1) 設計者が形状表現した時は必ず意図がある。勿論意図には形式的・数学的に記述できるものもあるが、意図の多くは‘端はバリなきこと’などのように形式的・数学的記述が不可能で、明確に言葉で表現することが困難な意図さえある。これらの整理を図り、少なくとも重要な意図と形状を関係付けておかないと‘何故このような形状にしたのか?’の理由が分からない。理由が分からない以上後工程の技術者が前工程の技術者の意図に反する変更を行うことを防止できない。
- 2) 点・線・面などという数学用語でなく、設計者の用語でのモデリングを可能にし、個々の工程の設計作業の改善、工程間連携の改善、リソース管理の改善を計ることを目的とした特徴(Feature)ベースのシステムが普及してきている。しかし実装を容易にするために特徴と関係のない一般の点・線・面まで特徴扱いしているのが市販CADの現状であり、上記の目的は部分的にしか満たされていない。
- 3) 一つの部品であっても重要部位とそうでない部位など優先に差があるがこの対処が未解決である。
- 4) 現状のパラメトリックモデリングは拘束(幾何拘束、代数式拘束)表現と拘束を満たす形状の自動作成、モデリング操作履歴の記憶とその自動再実行の2技術が組み合わさっており、どの市販システムでも後者が基幹技術になっている。前者は数学的基盤がしっかりしており設計者の意図も拘束の形で陽に表現されているが、後者は数学的基盤は特にない。

後者は後の再生を可能にする全ての情報を記憶していてその中にCADシステム固有のコマンド情報が含まれるため一般性に欠ける，履歴の可読性が低いため履歴情報の複数の設計者による共有が困難，設計者の意図が操作からは分らないなどの欠点を持つ．これらの欠点はパラメトリック情報を交換したいという市場の要求にもかかわらず交換標準制定に手間取る要因になっている．

筆者等が現在ISO TC 184/SC 4で開発中のパラメトリック関連の規格文書^{(*)2, (*)3}は上記の理由情報なども含めたパラメトリック情報の交換が可能な仕様であり，2004年中にIS (International Standard) 化される予定である．

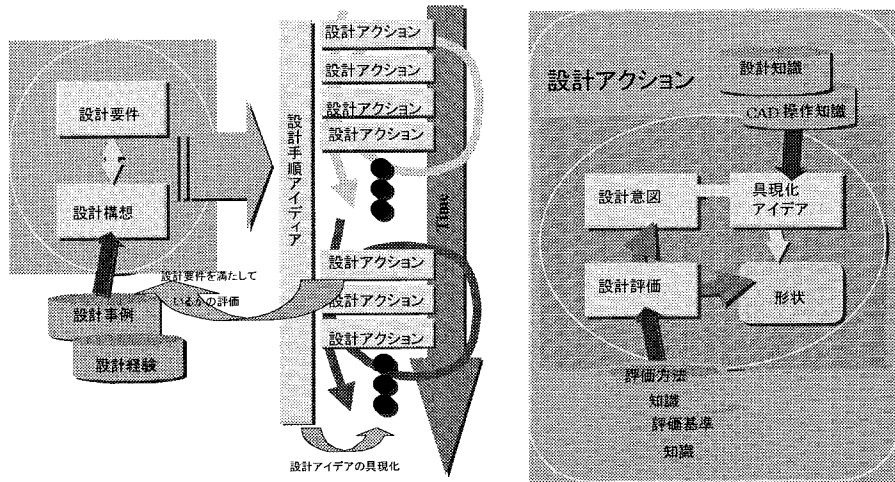


図2 設計行為と形状

(2) 非形状情報の表現

非形状情報としては，材料，公差，表面処理，仕上げ精度，BOMにつながる部品情報，色/グループ/レイヤー，断面/図面情報などがある．そもそも約20年前に提唱され，ISO/STEP規格でも一部実現されているプロダクトモデルは形状情報と非形状情報を適切にリンクさせて設計の上流から製造に至るプロセスチェーン (Process Chain) 改革を狙ったが，今日のCADシステムの非形状情報の表現はあくまでも2次元的で且つ形状の補助情報的な位置付けから抜け出していない．また設計意図 (Design Intent) や何故この形状にしたかななどの理由 (Design Rationale) がうまく3次元形状にリンクされていない．このためエンドユーザが従来の物基準から数値基準 (3Dデータ基準) に業務プロセスを変更しようとしてもままならず，相変わらず3Dデータに図書 (解説書，図面) を付加して後工程にデータを渡さざるを得ない状況である．このような状況の改善のためにJAMA (日本自動車工業会) やSASIG (日米欧自動車工業会の集合組織) などは 'Engineering Viewing' あるいは '3D図面' などのキーワードで3Dモデルに主要な属性情報 (設計断面，公差，材料，加工精度等々) を付加したデータモデルの検討を始めている．関連する研究の推進とCAD/CAMベンダの実装が強く望まれる．

2.2 設計過程/行為の扱い

設計者の思考，試行も含めた設計過程の記憶，再利用が設計の効率化，民主化にとって重要

であることは良く理解されているが、CAD システムの機能体系（コマンド構造）が細か過ぎ設計行為との対応がとれないことなどが主因で殆ど手がついていない。今後の研究開発が待たれる領域である。

2.3 試行錯誤支援環境

図1に示されているように設計支援のための試行錯誤支援環境整備はベンダーにとっての大きな課題の一つである。現在実務レベルで可能な仕組みはパラメトリックモデリング技術を用いた試行錯誤環境が中心である。パラメトリックに試行錯誤できる範囲は位相的に大きく違わない範囲に限定されること、意匠設計などの上流設計では位相が大きく異なる諸案を試行錯誤する必要があるため現状のパラメトリックモデリング技術の適用対象に含められないことなどを考慮すると、この課題も未解決課題の一つとして扱わざるを得ない。

2.4 CAD システムの知識システム化

2.1 項の議論からも類推できるように今後のCAD システム進化の大きな柱は設計行為そのものを支援する仕組み、機能の整備であろう。最終的には設計技術の向上を支援するシステムが求められる。この観点で知識の扱いが大きな課題となる。知識の活用に関しても過去に幾多の試みがあったが、インタラクティブな設計環境で知識が設計者を支援する環境、知識が設計作業と共にデータベースに増殖していく環境の整備が著しく不足していた。近年ようやくCAD ベンダもCAD システム知識化が、CAD システムの改革につながる本質的な設計支援の必須機能であるとの認識を強め、種々の仕組みを提案し始めている。過去にも‘知的CAD’をキーワードとして多くの研究があり、システム試作も試みられた。但しその大部分がルールベースのアプローチで、適用できる設計が一部の定型設計に限られ大きなCAD システムの改革には到らなかった。その理由は‘柔らかい設計の本質’に迫れなかったことにあると思われる。設計は納期、コスト、各種基準等に関する厳しい制約の下で機能、性能を程よく満たす妥協解を探る行為であり、手順や手順内の設計法は単純に形式化できるようなものではない。今後の研究開発が待たれる。

2.5 設計評価 (CAE)

3次元形状作成の最大の効果として、試作・実験をコンピュータ上で仮想的に行えることがあげられる。通常の製品開発においては、設計→評価→再設計のサイクルが繰り返し実施されるが、実際に試作品を作成してテストするのではなく、コンピュータ内部で計算することにより、コスト削減、開発期間短縮が期待される。また試作による実験では不可能な条件下でのテストなど、多数のテストケースが設定でき、設計の初期段階からの解析の実施による品質の早期折り込みなども可能となる。

機能・性能を検討するための解析として、構造解析（強度、剛性、歪みなど）、振動・音解析、熱伝導解析、電場・磁場解析、流れ解析、衝突・衝撃解析、機構解析などが、成形性、加工性検討のための解析として、樹脂流動解析、铸造湯流れ解析、板成形シミュレーション、鍛造シミュレーションなどがある。解析法の選択、解析条件の設定、解析結果に対する判断を正しく行うためには、ある程度の解析理論の理解が不可欠である。そのため、設計現場に解析の専門家・専門部門をおくことも多い。一方で、詳細な解析である必要はないが、設計の初期段

階から設計者自身の手で簡易的な解析を行い設計の手戻りを抑制したいというニーズも強い。後者の解析を支援する試みとしては、機構の動作シミュレーションや動的な干渉検査機能の提供があげられる。例えばプレス機械が上死点から下死点まで移動する間の各 부품の挙動をディスプレイ上で確認し、部品間の干渉の発生や隙をリアルタイムに確認することは、試作に代わる仮想実験とも言える。さらに、特定断面で切断した状態で動作シミュレーションを行えば、試作では行えないプレス装置内部の検査を行うこともできる。図3に示すパラメトリック変形との連携による自動最適化の試みも、将来の知識・ノウハウの活用と自動設計へつながる可能性を秘めた取り組みである。

CAEの目的は設計案が設計要件を満たすかの評価であるから広義のCADに含まれることは明らかである。しかし設計サイクルの中にCAE解析を採りこむためには残課題も多い。その主なものは；

- 1) 解析データ作成工数の低減
- 2) 解析速度の抜本的向上
- 3) 解析精度の向上

などである。大規模・複雑なモデルに関しては時間 (hour) 単位の処理時間が必要となる1)、2)は自明であろう。FEMによる本格的なプレス成形性解析を強引にダイフェース設計サイクルに含めているAUDIなどの例もあるが、1)、2)の課題に技術的な目処がつかない以上、設計サイクル中では簡易解析で高速に設計評価し、設計案がほぼ固まった時点で本格的なFEM解析を実施するという現実的な業務プロセスを支えるシステムの整備は現状では不可欠である。鉄板のプレス特殊樹脂の成形で置き換えようとするDaimler Chryslerの試み^(*)(図4参照)が実務に適用されるためには樹脂流動・凝固解析が極めて高い精度で実施されなければならない。このことは3)も重要な課題の1つであることを示している。

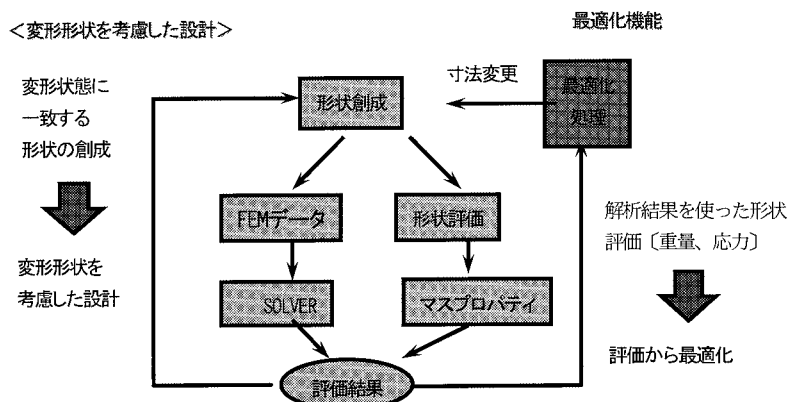


図3 CADとCAEの連携

2.6 設計評価 (Presentation)

CG (Computer Graphics) 技術を設計サイクルの中で適用することも近年大分現実的になっている。図5に乗用車のスタイル審査 (形状, 色) を従来の物理モデルベース (クレイモデル+実塗装) からデジタルモデルベース (CAD 曲面モデル+高機能レンダリング) に置きかえることを可能にするレンダリング例を示す。

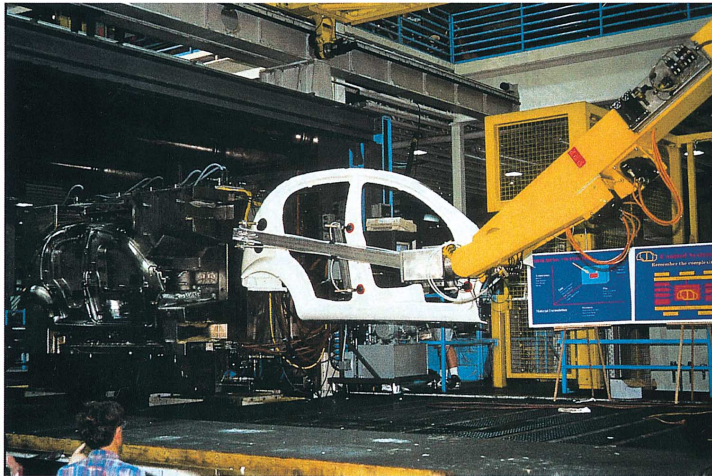


図4 樹脂成形ドアパネル (Daimler Chrysler 社)



図5 乗用車レンダリング例 (トヨタ自動車(株)殿提供)

この技術は従来のクレイモデル作成、塗装に要する期間、コストを要求しないため種々の形、色を自由に試せるだけでなく、気象データ、環境データと組み合わせることにより、意図した形と色の車が曇りのミラノの町を走っている様子などを精密に仮想空間で表すことが出来る。このアナログで種々の応用が考えられるがここでは触れない。但しこの技術も CAE と同様な課題を有する。図のような精密レンダリングには現状の H/W では時間 (hour) 単位の計算時間が要求されるということである。形状も決まっていないデザイン初期に種々の案をリアルタイムに評価したいという局面とデザイン案がほぼ固まった時点での精密評価の使い分けが現状では必要である。

2.7 データ交換/共有

古くは IGES, SET, VDA-FS, などの国ごと標準あるいは業界標準に端を発し、1984 年以降国際標準への統一を意図して Product Model Data の交換/共有規格として開発されている STEP がある。

IGES, SET, VDA-FS などが設計形状データの交換を意図しているのに対して STEP は製品ライフサイクルの任意の時点でのデータ交換/共有を意図していること、つまり異なるアプリ

ケーション間のデータ交換（設計→解析，設計→生産準備）を視野に入れていることが大きな特徴である。CADデータ交換という本来のSTEPのスコープの一部に過ぎない領域でも近年STEPの安定性，交換率の高さがようやく世界的に認知されてきているがSTEPの真価が問われるのはむしろこれからであろう。

製品開発の協業を推進するためにデータ交換/共有が死活的に重要であることは論を待たない。ここで忘れてはならないのは業界依存，CADシステム依存のデータ品質，精度の問題である。STEPはUser InterfaceとしてAP（Application Protocol）という仕組みがあり，APは業界の問題ごとに作成されている。但し，‘業界依存，CADシステム依存のデータ品質，精度の問題’については未だ着手できていない。この課題に関しては自動車業界（JAMA，SASIG）が先行してPDQ（Product Data Quality）Guide Lineとして業界基準を定めてきた^{(*)5}。業界依存性を考慮した上でPDQ問題をSTEP規格に含める活動と，既に発行された自動車PDQを実務の世界で実証し，業界全体で流通するデータの品質改良，結果としての納期短縮を図る活動を今後平行して進める必要がある。

2.8 データ管理

(1) CAD/CAM/CAEシステムのデータ管理の現状

形状，公差，シミュレーション，設計手順，設計・加工ノウハウ等，CAD/CAM/CAEに代表される設計支援システムが取り扱うデータの種類は様々である。また，これらのデータを一括して操作・格納する領域としての，図面，部品，アセンブリ等も，対象とするデータの種類と言うことができる。結果としての製品データを管理するシステムとして，近年PDM（Product Data Management）システムの導入が進み，さらに，部品構成や部品表といったBOM（Bill Of Material）システム，調達系システムのSCM（Supply Chain Management）やCSM（Component & Supplier Management）と連動し，生産情報全体の管理へと連携・展開を計ることにより，製造業における一環システム化を狙う動きが，盛んである。現状では，CAD/CAM/CAEシステムのデータベースマネジメントシステム（DBMS）は，PDMシステムを始めとするこれらのシステムと，図面，部品，アセンブリ等の一括操作単位でのみ連携する傾向が強い。

昨今，技能の技術化ということが叫ばれ，設計ノウハウ，製造ノウハウ等の非形式化データを取り扱うことも，CAD/CAM/CAEシステムのDBMSの大きな役割の一つとなりつつあり，様々な研究，実験が行われている。このような非形式化データも含めて，CAD/CAM/CAEシステムの特徴として，データモデルの変動が大きいことが挙げられる。実際の設計行為は，一つの設計手法に基づいた，手順の羅列のみでは成し得ず，様々な形状の変形や，構造的変更を加え，さらに評価するといった，設計サイクルを，何重にも，何種類も実施し熟成して行く作業である。この観点からは，固定的なデータモデルでは，表現が困難な場合も考えられる。この問題を解決するためには，高次なセマンティックスの表現方法とその実用化が検討課題である^{(*)6}。

一般に，CAD/CAM/CAEシステムの取り扱うデータ量は増大の一途を辿っている。ワイヤフレーム→サーフェス→ソリッド→形状特徴→パラメトリックに代表されるCADシステムの形状表現能力の進歩がデータの肥大化の一因であるし，CAD/CAM/CAEシステムの対象が，単なる図面，部品から，アセンブリ情報や，機構シミュレーションにまで拡張されていることも一因である。昨今の自動車製造に関連する生産準備部門，特にプレス型設計過程におい

ては、型全体を表現するためのデータベースが、数千部品、データ量にして数 GB となる例も、稀ではなくなってきた。

CAD システムの機能単位は、例えば、点を創成、線を変更のような処理単位から、部品単位、アセンブリ単位の複写や保存まで、その対象データの単位は様々である。多くの CAD/CAM/CAE システムの DBMS は、図面、部品、アセンブリと言った一括操作単位の処理系と、形状や設計手順と言った個々のデータの処理系を分離している。後者は、主にクライアント機器上に実装されている。インターネットの進化に伴い、一部に、全てのトランザクション処理系をクライアント/サーバーのアーキテクチャ上に実装している DBMS もあるが、実用化には、ブロードバンド、グラフィックアクセラレータの進化、廉価なメモリ等のインフラの高度化と、圧縮展開処理や、表示用データ作成処理の効率化が必須である。

中規模以上の製品は開発期間短縮のために複数人の設計者の同時並行的設計で実施されている。この活動の本格的支援、つまり協同設計/協調設計支援環境整備も CAD/CAM/CAE システムの DBMS の必須要件と認識されてきた。ここでは、複数人の設計者による、同期管理、変更の伝播と整合性管理が DBMS の主要な機能となる。CAD ベンダーはそれぞれ独自の仕組み/機能整備でこの課題に対処してきたが、制約のない安定した技術には辿りついていない。今後の一層の研究開発が必要である。

(2) CAD/CAM/CAE システムのデータ管理の今後

CAD/CAM/CAE システムの扱うデータの構造化、階層化が進み、さらに、これらを処理するアプリケーションの性能も高度化しつつある。また、性能を支える H/W 等の進化も CPU 性能の向上、グラフィックアクセラレータの性能向上と合わせて、急速に進歩している。最近 CAD/CAM/CAE システムへのオブジェクト指向技術の適用が盛んに行われている。一般的な DBMS は、リレーショナル DBMS にオブジェクト指向 DBMS の基本要件を備えたオブジェクト・リレーショナル DBMS へと進化しつつある。

オブジェクト指向技術の CAD/CAM/CAE システムへの導入は、クライアントシステム上での処理系において、処理効率や、データサイズの問題から、概念的な導入に留まっているといえ、内部構造は、リレーショナルデータモデルに基づいた DBMS の上に、アプリケーションに対応し最適化された独自の実装がなされている。このようなシステムは、オブジェクト指向技術により、概念的にカプセル化された単位でのアプリケーションインタフェースを備えた、オブジェクトデータモデル DBMS と見ることもできる。

即ち、内部的な実装方式は別として、CAD/CAM/CAE システムの DBMS は、構造化、階層化されたオブジェクトデータモデルを操作するアプリケーションインタフェースの集合であるのとらえるのが、現状の一般的な見方である。一部に、全てを純粋なオブジェクト指向技術により実装した CAD システムも見受けられるが、処理効率や、量的課題も含めたデータ表現能力で、未だ実用的でない。以上に加えて、CAD/CAM/CAE システムの機能向上のために、マルチメディアデータベース、全文検索データベースの技術的な取り込みも必要となり、CAD/CAM/CAE 分野以外において実用化が進みつつある XML (eXtensible Markup Language) や、XVL (eXtensible Virtual world description Language) 等の活用も盛んとなるであろう。

一方で、前述した PDM システムは、CAD/CAM/CAE システムの DBMS の一部と重複する機能を有しているが、その視点は大きく異なり、業務、ビジネスの流れが基本である。例え

ば、部品構成管理は、PDM システムの重要な機能の一つであるとともに、CAD システムにおけるアセンブリ情報の一部である。しかし、PDM システムでは、単に親子の関係だけがあればよいのに比較して、CAD システムにおいては、どのように親子関係を構築するかといった部品間の配置拘束情報や、部品間のクリアランス等を定義するための、設計のための情報を表現しなければならない。PDM システムはビジネスの範囲変化に伴い、様々なシステム間の連携を取ることが必要となり、いずれは、ビジネス全体のデータの流れ、業務の流れを管理するためのシステム、製造業情報基盤 DBMS へと変化していく必要があると考える。CAD/CAM/CAE システムの DBMS は、この基盤 DBMS とのインタフェースを備えることで、CAD/CAM/CAE システムを、ビジネス全体の一つのコンポーネントとして他のビジネスコンポーネントとの情報共有を可能とする必要がある。

3. 生産準備支援

3.1 NC 加工の進展

1952 年の MIT の最初の NC 工作機械の発表、APT、EXAPT などに端を発する機械部品、治工具の NC 加工は機械産業が最も早くコンピュータ化に着手した領域である。自動車産業は航空機産業に似ていて対象製品が自由曲面形状のため曲面加工 (Sculptured Machining) が最も早く実務に供された。当然プレス型構造部に見られるような 2・1/2 加工も平行して進展してきた。加工法は除去加工、放電加工が中心で、加工対象もクレイ、鋳物、鋼材と多様でその粗加工、仕上げ加工に供するために各種の工具が開発されてきた。

大部分の加工対象に対して 3 軸 or 2・1/2 制御が主流であるが、プロペラのような特殊な対象用に 5 軸制御も古い歴史を持っている。

この分野の今日的課題は依然として；

- (1) 無人加工を可能にする工具系干渉のない、削り込み/削り残しのない加工パス算出
- (2) 高い加工品質の実現
- (3) 最短の加工パス計算時間
- (4) 加工指示への人の関与の極小化

である。高速 NC 加工機を上記 4 条件を満たして現場に適用するための研究・検討がエンドユーザ、工作機械メーカ、CAM ベンダー一体で進められている。最近話題の加工シミュレーションは工具系の干渉、削り残し/削り込み確認、加工面の品質確認などの事前検証を短期間かつ低コストで仮想空間で実施する手段として最近とみに注目されている。この話題と共に設計、加工連携が製品開発全体の納期短縮の観点から着目されている。これは加工技術データベースを参照することにより、設計特徴から加工特徴へ自動変換することにより NC 加工準備工程への人の介入をなくす試みである。当然生産準備の抜本的工数低減が狙いである。設計特徴から加工特徴に自動変換することを一般的に実現しようとするのが困難があるので、加工対象を制約することによる特殊制約下で実現が図られている。そのイメージを図 6 に示す。

NC システムの将来的課題としては最適生産のための工程設計の強化と知識システム化 (インテリジェント化) が挙げられよう。現状 CAM システムの知的処理は削りの残し自動認識とその除去の工程の自動発生などに限られているが、与えられた対象形状、素材、加工環境情報から自動的に適切な工程を組み高品質の加工を実施するインテリジェンスが求められる。

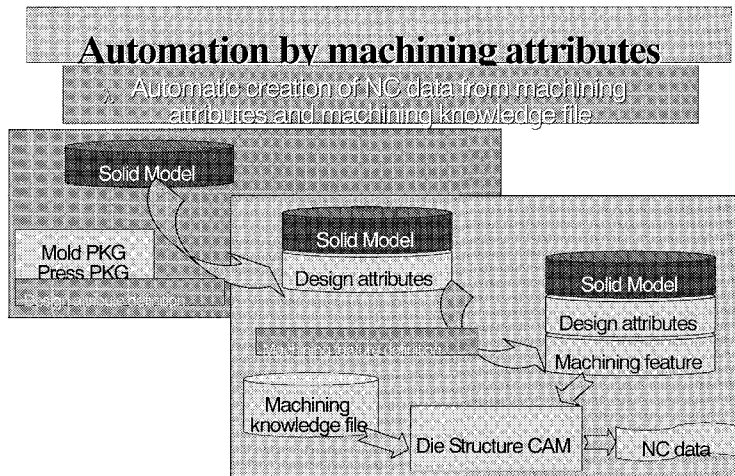


図6 型設計と型構造加工の連携

3.2 生産技術革新の一つの試み

図4にも事例を示したが、樹脂射出成形による自動車パネル生産技術の研究が欧米で強力に進められている^(*)。AUDIもかなり高い技術レベルにあると聞くがここではDaimlerChrysler社のLIMBTプロジェクトに焦点を当てる。LIMBTとはLarge Injection Molded Body Technologyの略であり、言わば車体パネルの生産をプラモデルの延長として解決しようとするものである。その狙いは軽量化と新車開発期間とコストの抜本短縮であり、方法は熱可塑性樹脂の射出成形でプレス部品を生産しようというものである。幾つかの試作の結果として、従来のSheet Metal方式に比して以下の特徴を持つと主張している。

- 1) 材料：Sheet Metal→塗装不要な複合樹脂、2) 部品点数：80~120→4~12
- 3) 車体完成時間：19時間→6.5時間
- 4) 設備・型コスト：50-70%削減（工場スペースも塗装、組み立て設備が不要もしくは大幅縮小のため減少）
- 5) アセンブリ組み付け工数：30-50%削減

顧客側利点としては、以下を挙げている。

- 1) Body Frame重量20-50%減少→性能/燃費向上、2) 低価格、耐久性向上、錆びなし
- 3) Bodyの傷への耐久性向上、4) 修繕費低減

この技術がプレスラインを置きかえるポテンシャルを持つか否かは分らないし、若しそうでも十年レベルの準備期間が必要と想定される。この車体技術がCAD/CAMシステムに与える影響を考えてみよう。幾何・位相などの基本数学的基盤は変更が不要であろうが、設計・生産技術折込みは一車体が4部位程度で構成されることになると大幅な改良が必要そうである。具体的には、

- 1) 大容量データ管理、操作環境（表示、モデリング）整備
- 2) 樹脂、アルミの成形性解析、流動/凝固解析の高度化（解析手法、解析速度）
- 3) 巨大部位に対応して、新設計法での基準、精度確保が可能な新型設計システム開発
- 4) これまでは凸基準の加工が主であったが、この車体技術に対応して、たちの深い凹基準の加工を支援するNC機能、などが最低限必要と思われる。射出成形による車体技術はDie

系に比べ材料への依存度は高いが、流体、熱などの解析技術は適用しやすい。従って、コンピュータの一層の高速化、大容量化の恩恵を受けやすく、今後利用環境の整備、向上が進むことが十分期待できる。

4. お わ り に

製品開発に焦点を当ててデジタルエンジニアリングを支えるコンピュータシステムの主な現状と残課題を論じた。ますます短納期、高品質が要求され、国際競合力強化が不可欠な製造業の維持・強化のために、システムベンダー、研究者とユーザが一体になってIT武装した設計・製造の辿りつくべきイメージを明らかにしその実現のために着実な研究・開発を実施し、コンピュータシステムとしての実装を図ることが望まれる。

- 参考文献 [1] 日本機械学会誌 Vol. 106 NO.1013 特集デジタルエンジニアリング
 [2] M.Pratt, A.Ohtaka, Industrial automation systems and integration Part 108: Integrated application resources: Parametrization and constraints for explicit geometric product models
 [3] A.Ohtaka, N.Sugimura, Industrial automation systems and integration Part 109: Integrated application resources: Kinematic and geometric constraints for assembly models
 [4] L.Oswald, Lighter than aluminium, lower cost than steel-injection molded composite body development, DaimlerChrysler innovation symposium 1999
 [5] Product Data Quality Guidelines for the Global Automotive Industry Ver.1.0, 2002
 [6] 吉川, 木村編, 「設計とCAD」, 朝倉書店, pp 74-75, 1993

執筆者紹介 大高 哲彦 (Akihiko Ohtaka)

1970年東京工業大学理工学研究科修士課程修了。同年4月日本ユニバック総合研究所入社。同年開始されたタンカー建造用のFEMシステム開発の国家プロジェクト参画に始まり NASTRAN および周辺システムの開発・適用サービスに従事。以降 UNICAD/曲面機能開発、トヨタ自動車 TINCA 5 開発を経て、1989年以降日本ユニシス統合 CAD/CAM/CAE/CG システム: CADCEUS のデザインおよび開発指揮に従事。CADCEUS をプラットフォームとするトヨタ自動車 TOGO システムの開発支援のあと CADCEUS の国際展開業務を指揮し現在に至る。1988年以降 ISO TC 184/SC 4 におけるデータ交換/共有国際規格 STEP 開発にも従事し、現在 SC 4 国内対策委員会委員長、IFIP WG 5.3 Advanced Geometric Modelling Program Committee 委員

大高哲彦 参事

「工業標準化事業功労者経済産業大臣表彰」を受ける

平成 15 年 10 月 14 日、本稿筆者の大高哲彦 参事 (自動車産業事業部担当役員付) が、経済産業省から「工業標準化事業功労者経済産業大臣表彰」を授与されました。ISO TC 184/SC 4 における産業データの表現と交換に関する国際規格開発に長年に渡って貢献し 6 規格制定で挙げた成果が評価されたもの。

本年は、工業標準化事業功労者として 30 名の個人、工業標準化貢献事業者として 4 団体、1 企業が表彰された。