

射出成形 C A E の新潮流について

東レ（株）新事業開発部門

ソフト事業推進グループ

田中 豊喜

1. はじめに

I T (Information Technology) 革命の影響を受けて C A E (Computer Aided Engineering) が変わりつつある。e-CAE と呼ばれ、普及が加速し始めた。すなわち C A E は解析を行うスペシャリストのツールから、開発のラインで設計を担当する設計者のツールとして役割が交代しつつある。射出成形 CAE の世界でも、この変革が胎動し、新潮流となって動き出した。

2. I T 革命とデジタルエンジニアリング

21 世紀を間近に控え、産業革命を上回る勢いで I T 革命が、社会全体に浸透しつつある。今年が“ ミレニアム・2000 年 ”、20 世紀の工業化社会から 21 世紀の情報化社会に移る過渡期を迎えている。米国製造業が I T 戦略を武器に復活して好況を維持している。製造業において米国が日本に比べて好調な理由は、いろいろ論じられているが、筆者が思うに、米国は経営革新を伴った I T 革命の実現に成功したからである。

すなわち日本との違いは、I T を単に導入しただけではなく、10 年前頃から B P R (Business Process Reengineering) や Business Restructuring など経営革新を実施して、ビジネスの構造、プロセスを I T に適合するように変革してきた点にあると考えられる。織田信長が、長篠の合戦に当時の革命的武器であった鉄砲を単に導入しただけではなく、戦争のモデル、プロセスを鉄砲に適合するように変革して成功した史実（3 段構え戦法）によく似ていると思われる。

日本の場合、多くの企業は I T を効率化のツールとしてのみとらえ、ビジネスモデルやプロセスを従来のまま進めてきた点が、米国との相違が生じた原因と考えられる。

製造業の I T の中核はデジタルエンジニアリングである。すなわち CAD/CAM, CAE、PDM (Product Data Management) を業務モデルの革新を伴った形で導入し、企画、設計から製造までを統合しコンカレント・エンジニアリング化を達成すれば、開発期間、コスト、品質の面で強い企業競争力が生まれ、企業価値の高い製造業に脱皮できる。

3. Virtual Molding と Real Molding の統合化 (MOLDEST)

製造業のITの中核であるデジタルエンジニアリングの波が、プラスチック射出成形分野にも押し寄せつつある。すなわちCAD/CAM,CAEが各分野に浸透し始めている。しかし現状では、CAD/CAM,CAEが統合化(システム化)されておらず、互いに独立し活用されているのが実情である。

Virtual Manufacturing(仮想生産)とReal Manufacturing(実生産)の統合化は、機械加工(例えば金型加工)の分野では、比較的進んでいる。第1図に示したように機械加工では、CAM(Computer Aided Manufacturing)が発達しており、CAMが仮想生産と実生産の仲介として貢献している。すなわち、CAD(CAE)情報を基に、NC加工マシンを対象とした加工情報(例えば工具のカッターパスの最適の軌跡など)がCAMで生成され、これを基に機械加工が実施され製品が作られている。

これに比べ、プラスチック成形や鋳造成形などプロセス系の加工分野では、Virtual Molding(仮想成形)とReal Molding(実成形)の統合化が著しく遅れている。しかもVirtual Moldingとしての射出成形CAEは金型内の樹脂流動を解析するのみに過ぎず、実成形である成形機との対応が全くとれていなかったのが実情である(第2図)。

上記課題を解決するために開発されたシステムがMOLDESTである。MOLDESTは富士通、東レ、FANUCという全く異業種3社が共同して、極めて短期間(約2年)で開発した世界初のシステムである。

東レの3次元射出成形CAE技術、FANUCのデジタル圧力波形追従制御の電動射出成形機技術、富士通のUG、MOLDWAREなど3次元CAD/CAM技術および量産成形技術と互いに得意な技術を結集してMOLDESTは開発された。

MOLDESTは、Virtual MoldingとReal Moldingを融合し成功した世界初のシステムで、機械加工分野のCAMにちなんでComputer Aided Molding(CAM)と呼ばれている。Total Digital Engineering Solution for Injection Molding, Integrating CAD/CAM,CAE and Injection Machineとも表現でき、2000年4月に大阪で開催されたInter Mold2000に出展し、成形加工業界に大きなインパクトを与えた。

MOLDEST技術の神髄は、金型内圧力を成形機成形圧(駆動圧)に変換した技術である。この技術を開発するため、上記3社の技術者が、約1年間寝食を忘れ数多くの成形実験、シミュレーションを繰り返し実施し、激しいディスカッションを通じて生まれたものであ

る。この成果は特許共同出願されている。

FANUC が開発した電動射出成形機ロボショットは、デジタル圧力波形追従制御が特徴で、良品が成形できるデジタル圧力波形を入力すれば、良品を安定して成形加工できる。もし、CAE で良品が成形できる金型内デジタル圧力波形をシミュレートできれば、この波形を金型圧 / 成形駆動圧変換技術によりロボショットの駆動圧（ロードセル圧）に変換入力すると良品が安定して量産できる。これが MOLDEST 技術の神髄でもあり、最大の特徴である。該変換技術は、エアショット（金型を取り外して射出）の結果に、樹脂、成形条件、成形機特性などを考慮して構築されている。以上を第 2 図、第 3 図に示した。

2000 年 4 月に MOLDEST の第 1 バージョンが完成し、山形カシオ（株）殿に導入し試験的に使われ始めている。第 4 図に、携帯電話に対する MOLDEST の実施例を示した。今後、ユーザーニーズを取り込み、富士通開発の金型設計 CAD / MOLDWARE とも連動し、機能を拡張していく予定である。

MOLDEST の導入効果としては以下の 3 点があげられる。

製品設計・金型構想段階で成形性が検討でき、金型修正を最小限回避できる。

量産成形機の仕様（型締力、ノズル形状、射出圧力など）が事前に検討可能で、生産計画・手配に先手が打てる。

製品形状、樹脂、成形機（ロボショット）が決まると、成形条件が自動算出されるので、経験者、熟練者でなくても、スムーズな試作・量産立ち上げができる。

第 5 図に試作・量産条件へのアプローチを示した。第 5 図から明らかなように、従来のファーストトライでは、過去の類似品や経験、あるいは金型内樹脂流動 CAE 解析から成形条件を設定するのに比べ、MOLDEST では製品（金型）形状、樹脂 DB、成形機仕様および樹脂流動 CAE がシステムに内蔵されており、これらを考慮して、成形条件が自動作成される。しかも、ファーストトライの初期値が、良品安定成形条件にかなり隣接しており、量産条件が求め易いことが特徴である。

4 . CAE の新潮流（Image Based CAE）について

IT 革命はデジタル革命とも呼ばれる。デジタルはすべての情報を 0 と 1 に変換して処理、伝送、蓄積、表示する。音声、画像、イメージ、テキストなど従来はアナログ情報として扱われてきたメディアを全てデジタルの世界で扱えるようになってきた。

CAE の世界にも、デジタル化の潮流が押し寄せ、3 次元構造形状を Voxel（2 D 画像で

は Pixel に相当) と呼ばれる小さな立方体で表現し、Voxel のあるなし (1 or 0) で形状を定義し、CAE 解析が可能となった。ミシガン大学の菊池昇教授は、この新しい CAE を Image Based CAE と名付け、従来の CAE では困難であった位相 (形状) 最適化問題、マイクロメカニクス問題、バイオメカニクス問題などに展開している。

Image Based の例を第 6 図 ~ 9 図に菊池教授の講演資料から掲載させていただいた。位相最適化では、ある構造物に外力が作用した場合、構造体内部の応力を計算し、主応力分布を元に、応力を均等に受けるような構造体に形状を変えて最適化できる。外力として静的な外力以外に周期的外力にも対応できる。

マイクロメカニクスの分野では、微細構造を Voxel (セル) で表現しピエゾ効果が従来の微細構造に比べ 3 倍となるセラミックスの開発に成功している。またポアソン比や熱膨張率が負になるような微細構造機構を導き、連続体としては存在しえない新規構造体 (広義の材料開発) を提案している。バイオメカニクス分野では、人骨を Voxel で表現し、セラミックスで補強した場合の補強効果などを導いている。

以上のように、従来の CAE では解析できなかった問題に対して、Voxel の概念を導入することにより実際のレベルで解析が可能となった。東レで開発した射出成形 CAE システム 3D TIMON が 3 次元化に成功した 1 つの理由は、FEM モデルに Voxel を採用している点にある。3 次元 CAD データとの親和性がよく、2.5 次元システムでは、従来不可能であった任意形状のシミュレーションに対応でき、活用範囲を大幅に拡大した。

3D TIMON の特徴を第 10 図に示した。

5 . 設計者のツールとしての CAE

CAE は、有限要素法を基盤としており、有限要素法の背景には、連続体力学、応用力学など高度な力学や近似応用数学などがあり、CAE のスペシャリストでないと十分に使えないツールであった。すなわち CAE は、CAE 解析者、研究者のツールとして、これまで発展し活用されてきた。

しかし近年 CAD/CAM が急激に普及し、設計の現場では CAD がラインの中で使われる状況となってきた。この傾向に伴い、設計者の頭の中で瞬時に考えられる設計案以外の高度な新規設計案 (耐衝撃強度構造など) やアイデアの検証に CAE のニーズが高まり、設計者のツールとしての CAE が注目を浴び始めてきた。

従来、トラブルシューティングなど問題解決に CAE が利用されていたが、最近では開発

期間の短縮、開発プロセスの変更を伴う現場におけるフロントローディングのツールとして CAE が着目され、問題解決型から事前性能評価型に役割が変わりつつある（トヨタ、第 1 車両技術部主査、斉藤公則氏談）。

CAD から CAE への変換技術も進み、自動要素分割技術の登場で、設計技術者が最も理解しにくいメッシュ（有限要素）の概念を経由せずに CAE が使える状況が近づきつつある。

ミシガン大学の菊池昇教授の指導の下に、くいんと社と富士通（株）が最近開発した VOXELCON の最大の狙いは、CAE を設計者のツールとして位置付けている。

VOXELCON は現存する構造体の改善設計（Reverse Engineering）にも有効である。すなわち CT スキャナーを現存する構造体にあて、数百のスライス撮影から断面形状を読みとり Voxel メッシュにより、構造体の CAE モデルを作成できる。第 11 図には、車のディファレンシャルギアのケーシングを VOXELCON によりモデル化したものである。このモデル化は、従来の CAE のプリプロセッサと自動要素分割機能では、数ヶ月もかかるモデル化を数時間で作成したものである。この形状を基に、Voxel を操作して形状変更し、最適構造解析などにより改善設計が可能となってきた。VOXELCON の試作・製造へのソリューション例を第 12 図に示した。

6 . 終わりに

IT 革命、デジタル革命の状況下における、射出成形 CAE の新潮流についてレビューした。製造業における IT 化の波は、急激に訪れつつあり、この波に乗り遅れると製品の開発に支障をきたし Time to Market へのタイミングを失うことになる。

80 年代後半と 90 年代初期の日本の製造業は、日本的生産方式（TQC、カンバン方式など）と人間関係に根ざした物造りにより頂点に達したが、90 年代後半になると IT を復活の原動力としたアメリカに追い越されてしまった。米国では、人間関係よりデータベースに根ざしたシステムを完成している。プロダクトアウトからマーケットインに社会システムが変革している。作った物売る時代から、売れる物しか作らないというように逆転の発想と事業モデル変革を伴う経営革新無しでは、生き残れない時代になってきている（ミシガン大学、デビッド・コール教授談）。

射出成形 CAE も、IT 革命（デジタルエンジニアリング）の中で、最大の顧客である設計者のニーズに応じてシステムを革新して、e-CAE に向かっていかなければならないと開発者の 1 人として痛感する次第である。