

射出成形支援統合システム：MOLDEST

Integrated Injection Molding Support System “MOLDEST”

あらまし

富士通・ファナック・東レの3社は、樹脂成形加工のCAD/CAE/CAMである射出成形支援統合システムMOLDESTを共同で開発し商品化することに成功した。

MOLDESTは、三次元設計した成形加工部品のCADデータから製品量産時に必要な射出成形の最適条件を導き出すことができる画期的なソフトウェアである。このシステムを導入することにより成形品の量産立ち上げ時に発生する試打ち作業を低減するばかりではなく、金型を製作する前から成形条件の適否を検討することが可能になる。

本稿は、今回、共同開発した本システムの開発経緯および商品概要を紹介する。さらにMOLDESTが最終的に目指している「モールド金型設計システム（MOLDWARE）との連携による設計品質フィードバックシステムについて開発の取組みを述べる。

Abstract

Fujitsu, FANUC, and TORAY have jointly developed and marketed an injection molding support system called “MOLDSET” which integrates computer-aided design (CAD), computer-aided engineering (CAE) and computer-aided manufacturing (CAM) for resin molding processes into a single system. MOLDSET is an innovative software system that can provide the optimum injection molding conditions for mass production of products from the three-dimensional CAD data of molded parts. This system enables the user to not only reduce the trial molding operation at the beginning of mass production but also to determine whether the selected molding conditions are appropriate before producing metal molds. This paper describes the joint development of MOLDSET and gives an outline of MOLDSET. This paper also describes the design quality feedback system that Fujitsu plans to develop as the final goal of MOLDEST by linking it with the metal mold design system “MOLDWARE.”



宮澤秋彦（みやざわ あきひこ）

先行生産技術開発部デジタルエンジニアリング開発部所属
現在、ボリュームビジネス製品を主対象に、設計・製造支援システムの開発に従事。



稲葉善治（いなば よしはる）

ファナック(株)専務取締役(工学博士)
現在、ファナック(株)のセールス・サービス部門の管掌および研究開発部門の管掌補佐。



田中豊喜（たなか とよき）

東レ(株)ソフト事業推進グループリーダー(工学博士)
現在、CAE、CG、Solutionなどの企画、開発、販売を統括。

まえがき

近年、製品設計から量産までの開発期間は大幅に短縮化されてきている。例えば、自動車の開発期間は2年前では24か月以上もかかっていたが、現在では短いものは15か月となっている。

このような背景にはCAD/CAE/CAMの統合環境といったデジタルエンジニアリングの進展が大きな役割を果たしている。

設計情報(CADデータ)は直接、解析データ(CAE)と試作データ(CAM)に変換され、短期間で設計検証を行う一方、試作品を製作して評価を開始する。試作評価および金型製作は、CAD/CAE/CAMの連携によって大幅な工程短縮が実現している。

しかし、プラスチック成形加工の場合を例にとると、金型完成後の樹脂製品を成形する量産工程において製品設計データが活用されることはほとんどなく、設計情報と製造情報は独立してしまうため、成形工程は金型が完成してから初めて成形条件の検討に入らねばならなかった。

この原因は以下の二つの理由に起因している。

- (1) 流動解析結果である圧力値を直接、成形条件に適用できない(成形機は速度制御を使用している場合が多い)。

- (2) 成形機が解析結果で与えられた成形条件どおりに動作しない(成形機が解析した結果どおりに追従しない)。

このため、新しい金型で量産が始まる時には、成形技術者または熟練した作業者が常に試行錯誤しながら成形条件を決定しなければならなかった。

こうした技術問題を解決するために、富士通・ファナック・東レの3社が共同して取り組み、成形射出条件を容易に決定する射出成形支援統合システム“MOLDEST”を完成させた。

MOLDESTの開発

開発の経緯

MOLDESTとMOLDESTに連携しているソフトウェアおよび成形装置を図-1に示す。

製品設計には米UGS社製三次元CAD/CAMシステムUNIGRAPHICSを使用し、金型設計にUNIGRAPHICS上で動作する富士通の金型設計システムUG/MOLDWAREを用いている。樹脂流動解析には、東レの射出成形流動解析ソフト3D-TIMON^(注1)で培った解析技術を応用している。

これらの設計・解析情報は実際の成形加工条件と連携することができれば、新しい金型を量産現場に持ち込む前に問題点を検討することができ、量産立上げ工程を大

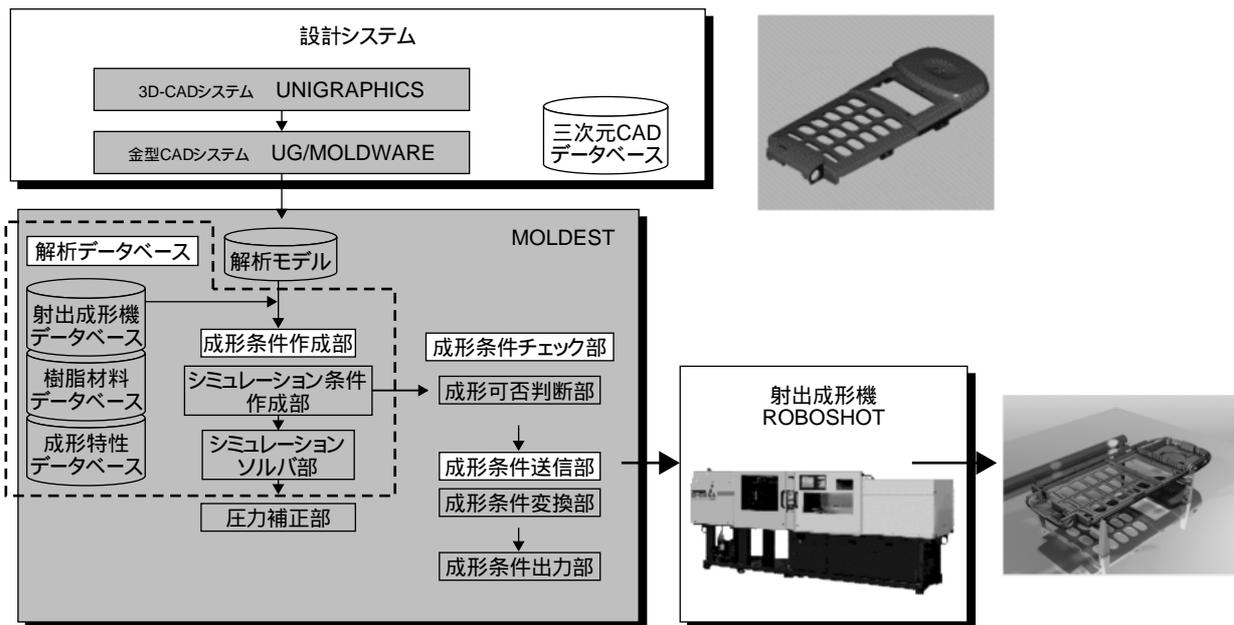


図-1 MOLDEST概要と連携するシステム

Fig.1-MOLDEST and related systems.

(注1) 東レが開発した流動解析に使用している解析ソフト。完全三次元対応であり、解析速度が非常に速い。豊富な材料データが蓄積されており、精度の高い解析が行える。

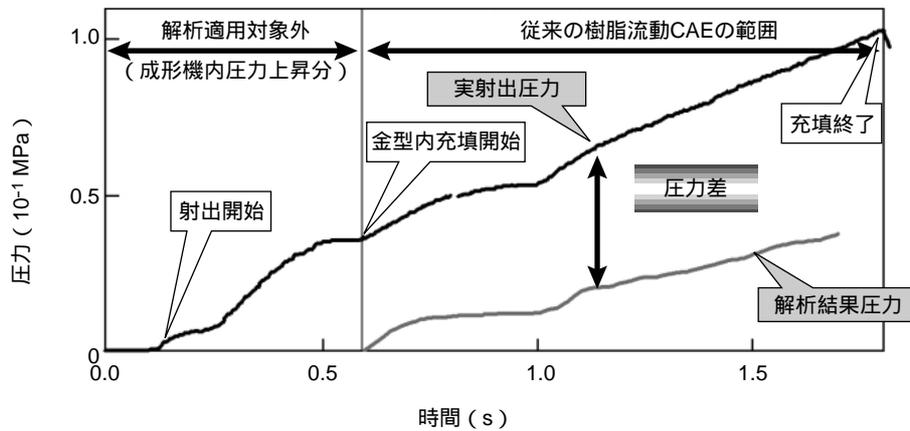


図2 射出成形における解析結果と実測値の比較
Fig.2-Comparison between analyzed data and practical data.

大きく短縮することが可能になる。

しかし、現実には実成形データと解析データを比較してみると、図-2に示すように大きくかけ離れてしまい一致できない。さらに、成形機は一般には成形スクリーン速度で制御しているため、せっかく解析結果が計算されてもそのまま成形加工条件として使用することは非常に困難であった。

これらの課題を解決するためには、解析データと成形機駆動条件の差異を見極め、さらに両者を統合する統一パラメタを見い出さなければならなかった。

このため、成形機メーカー(ファナック)および樹脂流動解析メーカー(東レ)と3社で原因を究明し、設計から製造まで統合したシステムを完成させるべく共同開発を開始した。

なお、成形機は外部からの圧力波形入力に対して正確な追従制御機能(AI圧力波形追従制御)を持つファナック製射出成形機ROBOSHOT^(注2)を採用することにより本システムを実現させた。

問題解決への取組み

図-2に示す解析結果圧力は、UNIGRAPHICSで作成した製品の三次元データを3D-TIMONで解析した結果である。これを図-3に示すようなモデルを用いて実際の成形作業により成形圧力を測定してみると図-2に示す実射出圧力波形になって現れる。

この両者の波形差異は、以下の要因が考えられる。

- (1) 流動解析では、樹脂流入口からしか計算していないため、成形機が金型内に樹脂充填するまでに時間遅れを生ずる。

(注2) ファナックが開発した射出成形機。AI圧力波形追従機能を持ち、圧力波形を電動駆動モータにフィードバックさせることで高速・高精度の射出成形を実現することができる成形機である。

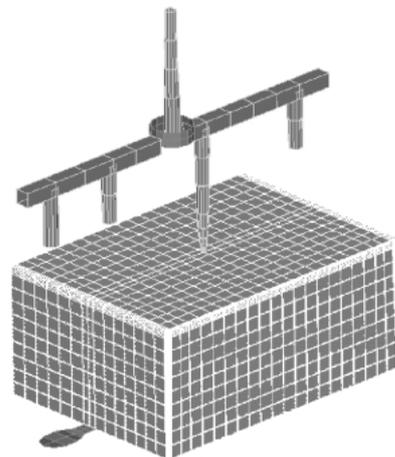


図3 実験モデル(解析比較)
Fig.3-Model for experiment.

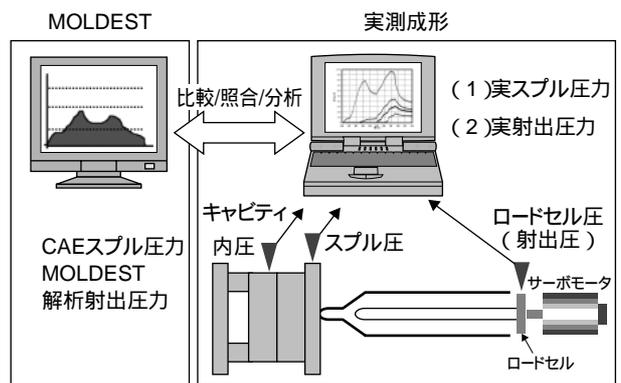


図4 実射出圧力と解析圧力の比較実験
Fig.4-Experiment system of molding.

- (2) 流動解析では、樹脂流入口に圧力センサがあると仮定してシミュレーションを行っているが、実成形では成形機後端のロードセルで測定しているため、誤差を生ずる。

(3) 樹脂材料，金型構造，成形温度，樹脂温度などによる解析外の圧力損失が発生している。

MOLDESTはこれらの要因を定量的に究明し，解析結果と実測結果を整合させることから開発を進めた。

一例として図-3に示すようなモデル金型を製作し，内部に圧力センサを組み込んで解析結果と実測結果を比較分析する。図-4には，解析結果と実測値の比較実験したときのシステムの概念図を示している。上述した差異要因ごとに1要因あたり260～300点のデータを取り，データテーブルを作成する。

この測定結果を分析し，以下のことを解明した。

- (1) 成形機条件によって射出圧力の金型充填開始時間が決定する。
- (2) 金型充填開始時間以降では，解析結果圧力とスプル圧力は比例関係にある。
- (3) 比例定数は一意的に決定できず，樹脂材料，成形温度に依存する。

この結果を用いて3D-TIMONの解析データに補正値を加えると同時に，様々な金型形状や樹脂材料に対してデータ変換を行い，解析結果を実測値と一致させる「スプル圧補正アルゴリズム」を初めて開発した。

一方，解析結果を成形機で忠実に再現させる必要がある。そのためには成形機自体が射出圧力を検出でき，かつ圧力波形を制御することが必須条件になる。この解決には前述したAI圧力波形追従制御機能を持ち，任意の圧力波形入力に対してフィードバックループを構成することができる射出成形機ROBOSHOTを使用した。この装置は連続成形ではばらつきが少なく，解析値と実測値の整合が取りやすい装置である。

新しいデータ変換による解析結果

MOLDESTによる解析結果と実測結果を図-5に示して

いる。成形材料はABS樹脂を使用しており，射出温度を210 / 230 / 250 の3点で評価しているが，いずれの場合も非常によく解析結果と実測値は一致している。

MOLDESTのメリット

MOLDESTの基本思想は，「設計部門と生産部門を結び付け，三次元モデルの解析結果から現場の成形条件を導き出す」ことである。これを解決する手段として，基本に立ち戻り「成形圧力」という共通パラメタで結合することにより，すべてのデータの一元化が可能になった。

つぎに，MOLDESTによるメリットを挙げると以下のようになる。

- (1) 新しい金型に対して射出成形条件を事前に見つけ出すことができる。
- (2) 金型を量産現場に持ち込む前に成形作業における課題を洗い出すことができる。経験や勘に頼らず，安定した成形条件が得られる。経験者でなくとも成形条件を算出できる。
- (3) 金型を移転した場合，移転先で同一の成形条件で成形することができる。
- (4) 材料の特性ばらつきによる圧力変動に対して，安定し，成形することができる。
- (5) 連続成形における成形条件変動をモニタすることにより，成形不良の品質管理ができる。
- (6) MOLDESTに蓄積する成形条件データを利用して未知の成形条件を予想することができる。

MOLDEST の商品化

この商品は，富士通・ファナック・東レの3社が共同して，各社の持つノウハウを最大限に集結して完成したシステムである。

MOLDEST(ver.1.0)の機能は以下のとおりであり，

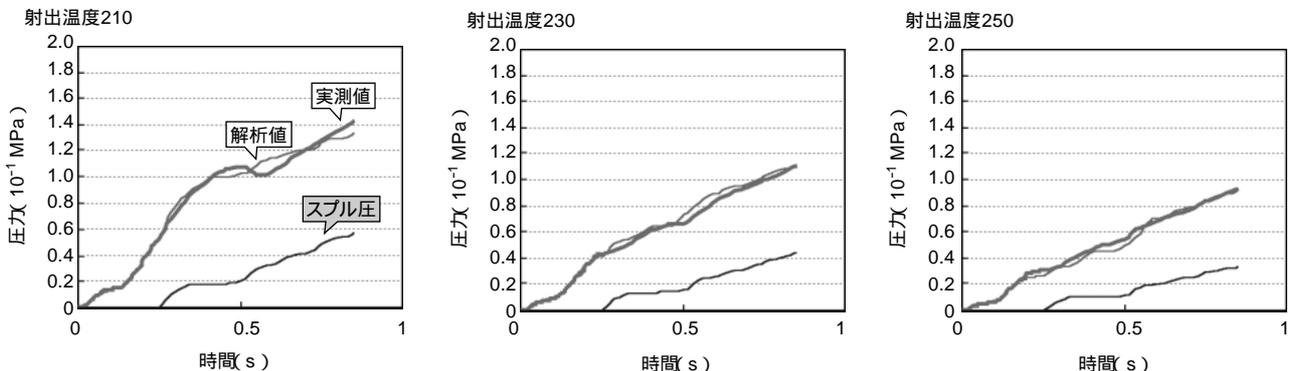


図-5 MOLDEST解析値と実測値の比較
Fig.5-Result of molding pressure obtained from MOLDEST.

表-1 MOLDEST (ver.1.0) の主な仕様

| 項目 | 内容 |
|------|--------------------|
| 製品機能 | 成形条件算出 |
| | 成形可否判断 |
| | 成形品の計量算出 |
| | 成形条件データの保管 |
| | 成形条件データの収集 |
| 機能範囲 | 成型機 |
| | ピンゲート (1点对応) |
| | サイドゲート (1点对応) |
| 樹脂 | ABS, PC, PMMA, PA6 |

また、決定した成形条件はデータを保管してほかの成形品と条件の比較検討ができる。例えば、試作品をナチュラル樹脂材(色材が入っていない樹脂)で成形し、量産時では顔料入り樹脂材で成形する場合は、試作時のデータをもとにして修正を加える必要があるが、そのときは試作時に使用した成形条件を参照できる。

成形作業データを蓄積していくと成形作業の問題点を設計へフィードバックすることも可能である。類似形状の成型成形データを収集し、それぞれの最適成形条件の差異分析を行うことにより、今まで考慮できなかった設計ノウハウを浮き彫りにすることができる。

機能の充実

MOLDEST(ver.1.0)は、まだ発展途上のシステムである。

現在、成形条件を求めることができる樹脂としては、汎用性の高い4種類の樹脂材料を選定している。今後、早急に適用材料を増やしていく。また、樹脂材料の中にガラスやカーボンといった強化材などを充填した場合、顔料などの色材を加えた場合も材料特性が大きく変化するため、随時検証を進めていく予定である。

他方、成型においてはゲート形状を1点ゲートのみで対応している。これは、2000年度中に多点ゲート検証を実施する。さらに、同時に多数成形ができる多数個取りの成型条件出しも行いMOLDESTの解析精度の向上を図っていく。

画面操作性については、使用ユーザの意見をヒアリングしながら更に使い勝手の良い商品に作り上げていく予定である。

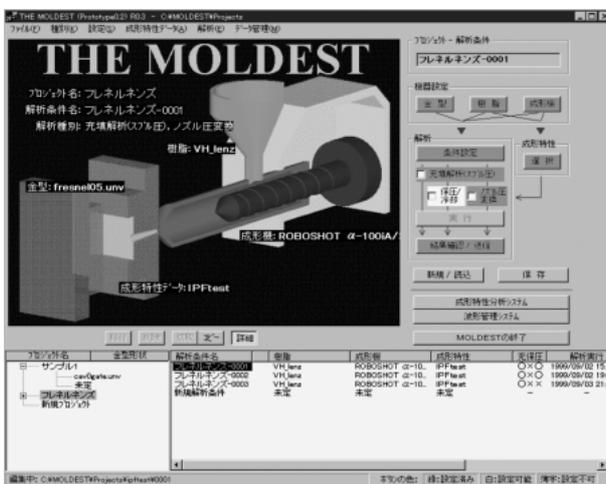


図-6 MOLDESTのメインメニュー画面
Fig.6-Main menu on MOLDEST.

2000年4月に商品出荷を開始した。商品仕様は、表-1のとおりである。

活用手順

図-6はMOLDESTのメインメニューの画面を示している。

操作方法は、画面右側にあるアイコン「成型機」「樹脂」「成形機」をそれぞれ選定し、データを入力していく。例えば、成型機では、ゲート形状、ノズル形状などを次々聞いてくる。順番にデータを入力していくと最適成形条件を算出する。

このとき、成形品の体積を計算しているため、オペレータが指定した設定条件で成形条件が成立しない場合は、成形可否判断を行いアラームを上げる。設定条件で条件が成立した場合は、算出されたデータをROBOSHOTに転送し成形条件設定が完了する。

成形の試打ち作業は、MOLDESTが算出した条件でそのまま実行されるが、オペレータは成形条件を修正することもできる。

MOLDESTの将来像

MOLDESTの完成により、設計データから成形射出条件といった製造条件を導くことができるようになった。しかし、MOLDESTを設計情報(三次元データ)から解析情報、成型機情報、製造情報を結び付け、一元管理を行うシステムと捉えれば、本システムは大きな可能性を秘めていると考えられる。

つまり、上流の設計情報(三次元データ)から下流の製造条件(成形射出条件)を求めるだけでなく、成形条件から製品設計条件にノウハウを戻すことも可能になる。具体的には成型設計ツールMOLDWAREにMOLDESTから導き出された製造情報をフィードバックさせ、成型設計時点で事前に問題解決させるシステムとして構築する。さらに、製品設計時点で成形可否まで判断し、最適な設計形状を示唆するシステムに発展させていきたいと考えている。

また、製造面に目を向ければ、成形量産時での安定成形を確保する監視機能、金型メンテナンスまでを含めた量産管理システムとしてもMOLDESTの機能を高めていきたい。

む す び

このシステムは、富士通・ファナック・東レの3社が共同して開発に携わり商品化に成功したものである。各社が最も得意とする保有技術を統合することで、優れた樹脂成形加工のトータルソリューションを提供することができたと自負している。

今後、デジタルエンジニアリングが大きな進展を遂げていく中で、MOLDESTも更なる機能強化を図っていく所存である。

さらに富士通が持つ優位技術を核にしながら、様々な業種・分野との連携を深め、あらゆる生産技術ソリューションに積極的に挑戦していく。

参考文献

- (1) 猪俣ほか：最新加工技術入門．日経メカニカル2000.4月号．
- (2) 稲葉ほか：圧力波形制御と成形良否判別．成形加工1997.9月号．

