製品データに連動した自動金型設計システムとその論理解析*

佐藤 声喜*¹, 岡村 知暁*¹Automatic Mold Design System Synchronized with Product Design Data
and Logical Analysis of Mold DesignSeiki SATO*² and Tomoaki OKAMURA*² Process Solution Group, INCS INC,
1-5-1 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo, 100-6531 Japan

Market trends state that most of product sales happen near the beginning of a product release. The purpose of this research, "Mold Design System synchronized with Product Design", is to create a system that maximizes the production output. Analyzing previous cell phone production molds, we have been able to categorize mold design factors into two functional engineering elements; "Fixed Standard Engineering Elements" and "Adjustable Standard Engineering Elements". Fixed standard Engineering Elements are parameters and shapes defined as 3 Dimension (3D) models. Adjustable standard Engineering Elements are Experts' know-how and thought processes defined and parameterized as variables in a 3D model. Combination of these 3D models is called the "Master Data". As a result, using the Master Data we have successfully reduced the lead-time of cellular phone Mold-Design from 60 hours to 1 hour.

Key Words: Design, Computer Aided Design (CAD), Modeling, Metal Mold Die, Fixed Standard Engineering Elements, Adjustable Standard Engineering Elements, Master Data

1. 緒言

近年携帯電話に見られるように消費者の嗜好の多様化が進み、製品ライフサイクルが短くなりメーカー側では新製品を次々と市場に投入しなければならなくなった。しかしながら、金型領域がボトルネックとなり、なかなか短期生産を実現できていない。これまで熟練の金型設計者の暗黙知を活用し高品質な金型を提供してきた金型産業にとって、高品質な金型を設計するためには熟練設計者のノウハウが必要となり、垂直立ち上げ垂直降下する製品寿命に効率的に対応できていない(図1参照)。

製品設計は従来の製品図面をより正確に形状表現し情報伝達する為3次元(3D)CADによる設計に移行しているが、金型設計は、その製品3Dデータに対応した3D金型設計のロジックがなく、モデリングと言われる手作業による3D金型設計になっている。

課題は、CAD操作時間が大幅に掛かる事と、個人のCADスキルに依存する為、3Dデータの作り方と品質がばらつきが生じ、設計変更に対応できずに金型加工時の不具合に繋がっている事である。

本研究の目的は、製品設計と連動した金型設計システムを構築し、図1の右側の携帯電話の販売曲線が示す様に製品が最も売れる時に大量の製品を市場に投入出来る様な生産体制を実現することである。

本論文では、CADシステムを用い、ベテラン金型設計者でなくても高品質な金型3Dデータを短期間で設計することを可能にした新金型設計手法と自動金型設計システムについて述べる。

Fig.1 Sales Volume Curve of Cellular Phone
and Development Process

* 原稿受付 2007年4月20日.

*¹ 正員、(株)インクス(〒100-6531 東京都千代田区丸の内1-5-1).

E-mail: s.sato@incs.co.jp

2 金型構成要素の分類及び標準化

従来携帯電話の3D金型設計では、製品毎に都度設計や都度モデリングを行っていた。

本研究では、携帯電話の金型構成要素を金型部品の中で製品デザインデータに応じて設計する必要がある設計要素を都度設計要素に、製品デザインデータとは直接的な関係がない設計要素を標準設計要素に分類した。

そこで、図2の様にデザインデータと直接的には関係の無いプレート (Plate) やキャビコアの型板 (Cavi, Core)、ガイドピンなどの取り付け部品 (Misc Components) のモールドベースに関する設計要素を標準設計要素と分類し、デザインデータに応じて設計する必要があるキャビ、コア、スライド (Cavi insert, Core insert, Slide) と射出機構のランナー・ゲート (Runner-Gate)、冷却機構の水管 (Coolant Channel)、押し出し機構のエジェクタピン (Ejector Pin) 等の製品廻りに関する設計要素を都度設計要素と分類した。

Fig. 2 Fixed Standard Engineering Elements and Adjustable Standard Engineering Elements

次に、実績を基に標準化できるものを抽出し標準化を行うために、これまで設計してきた実績を金型構造マトリクス上に展開した (図3参照)。

金型構造マトリクスとは、縦軸にこれまで設計してきた携帯電話の機種 (製品)、横軸にその製品の金型属性 (プレートの構成、ランナーの種類 / 形状 / サイズ、ガイドピン等のサイズ / 位置、スライドの位置 / 傾斜角度等々) を並べたものであり、これまでの実績 (金型構造) をまとめたものである。

その結果、標準設計要素であるモールドベースの設計要素に関しては、製品に関係なく、同じ様なサイズで同じ様な位置に配置していることが分かった。都度設計要素である製品廻りの設計要素に関しては、使用する部品等おまぼ同じではあるものの、位置やサイズは製品によって変わるということが分かった。

そこで、モールドベースの設計要素に関しては、実績を基に位置やサイズ、使用する部品の標準化を行った。

プレート類のサイズに関しては、実績や強度、コストを考慮して、携帯電話金型の標準プレートサイズを決定した。但し、プレート構成に関しては、実績を分析した結果、品質という点で、2プレート/3プレートの両パターンを標準として用意しておく必要があるということが分かったため、2プレート/3プレートの両方を標準のプレート構成とした。

型板に関しては、プレートの標準化と同じ手法を用いサイズの標準化を行った。ポケットの加工数に関しては、キャビ、コアのポケット加工数とスライドのポケット加工数の合計となることから、これまでのスライド構造の実績調査を行った。その結果、図4の様に、4つの垂直方向に摺動するスライドを用いることでほとんどの携帯電話に対応できることが分かった。

そこで、固定側型板と可動側型板にキャビ、コアのポケットと4つのスライドのポケットの加工を施したものを標準の型板とした。

取り付け部品に関しては、プレートの標準化と同様に実績を基に標準化を行った。

Fig. 3 Product vs. Functional Feature Matrix

Fig. 4 Illustration of Slide Direction of Cellular Phone

製品廻りの設計要素に関しては、モールドベースの設計要素と同様に実績から使用部品の標準化を行った。それ以外の設計要素に関しては、デザインデータによるところが大きいので、実績調査による標準化とは別のアプローチを用いて標準化を行った。

その手法とは、金型設計プロセスの特定であり、金型設計手順の標準化である。そこで、ベテラン金型設計者にインタビューを行い、ベテラン金型設計者のノウハウを抽出し金型設計プロセスの特定を行った。次節で、この設計プロセスの特定について説明する。

3. ベテラン要件抽出と設計プロセスの特定

本節では、どのようなアプローチを用い設計プロセスの特定を行ったかについて説明する。

STEP.1 業務工程の可視化 先ず、ベテラン金型設計者にインタビューを行い、ベテラン金型設計者が製品廻りの金型設計で行っている作業業務の流れを可視化した。作業業務を一つの工程とし、一つの箱として表現した。

STEP.2 要件のロジック化 STEP.1で可視化した工程の一つに着目し、その工程にて考慮すべき要件や必要な情報を可視化し、その要件及び情報の精査を行い、要件のロジック化を行った。

先ず、一つ一つの工程においてその工程で考慮する必要のある要件を可視化しリスト化した。次に、要件考慮時、必要なINPUT情報を抽出し、要件リストにその情報を追記していった。

例えば、傾斜スライドの場合、図5の様子、エジェクタプレートのストローク時に傾斜スライドと製品が干渉しないという要件を満たす必要があるため、傾斜スライドを検討する時点で、製品データ、傾斜スライドで処理する必要のあるアンダーの位置やアンダー方向及びアンダー量等の情報が必要になる。

STEP.3 工程のフロー化 STEP.2で各工程における要件のロジック化を行った。次に、工程間のINPUT情報、OUTPUT情報に注目し、全工程の情報の流れを可視化し、INPUT/OUTPUTの整合性を保つようにフロー化していった。なお、OUTPUT情報は後工程へ伝達する情報を除くと、レイアウト情報などの位相情報と形状などの幾何情報に分類される。

STEP.1からSTEP.3までの概念図を描くと図6の様になる。「(業務)工程の可視化⇒各工程における設計要件や設計情報のロジック化⇒工程のフロー化」というステップを踏むことで、単なるインタビューから得られる情報よりも正確かつ詳細な情報を可視化することができるのである。

Fig.5 Illustration to explain undercut mechanism and possible manufacturing problem

Fig.6 Steps to visualize thought process

STEP.4 金型設計の論理化 最後に、これまでで可視化できた情報やフローを基に金型設計の論理化を行い、設計プロセスの特定を行った。

先ず、STEP.3までで可視化した工程とそれら工程のINPUT情報、OUTPUT情報をINPUT/OUTPUTマトリクス上に展開し、図7のような金型設計IN-OUTマトリクスを作成した。図7の縦軸は各設計工程、横軸は各設計工程のOUTPUT情報が記載されている。

例えば、Process AのOUTPUT CがProcess BのINPUTになるのであれば、そこを示す欄に印を付ける。その際には、その情報が位相情報なのか幾何情報なのかもしっかりと明記していく。これにより、情報の流れを体系的にまとめることが出来る⁽¹⁾。

ここでまとめた情報を基にCADシステムを用いマスタデータ(詳細は4節)を構築していくのである。

Fig.7 IN/OUT Matrix to compile
Input/Output relation for all process.

次に、この金型設計工程の中の要件処理に「判断」を伴うのか、単に「作業」を行うだけで対応できる要件なのかを一つ一つ定義していった。

判断に分類された要件は、要件の対象となるものを固定化することで、判断自体を失くすことが出来ないのか、または、その判断をパターン化することで判断を簡単にできないのかを検討した。判断要素を無くせない、もしくはパターン化できない場合には、その判断の基準を数値化できるかどうかの検討を行った⁽²⁾。

例えば、携帯電話のデザインケースのランナー・ゲート設計の場合には、ゲート位置は液晶画面が入る位置に設置し、ゲート数に関しては、図8が示す様aとbの対比で異なるということが分かった。つまり、ゲート位置は固定化、ゲート数はaとbの対比でパターン化出来ることが分かった。この理由は、樹脂の流れを考慮して製品の中心付近にゲートを配置すること、図8で示すaとbの対比が、液晶画面位置付近で製品を上下分割した場合の上下製品の体積比とほぼ比例するため、bが大きくなるとゲート数を1点増やすためである。

ランナーやゲートの形状に関しては、モールドベースの標準化手法と同様に、実績を基に解析結果を参照しながら標準化を行った。

Fig.8 Design to Define Number of Gates

4 金型マスターデータの構築

第2節では、モールドベースの設計要素を標準設計要素に、製品廻りの設計要素を都度設計要素に分類した。また、実績を基に標準化できる設計要素は実績を基に標準化し、できない設計要素は設計プロセスの特定化を行ったことを述べた。第3節では、その設計プロセスの特定手法について説明した。

本節では、標準設計要素と都度設計要素及び設計プロセスをどのようにCADシステムで実装し、マスターデータを構築したかについて説明する。なお、マスターデータとは、3D金型設計に必要なロジックを持つCADデータのことである。

4-1 標準設計要素のマスターデータ構築 前述した通り、標準設計要素とは、完全に標準化できることを意味しているので、標準設計要素に関しては、CADシステムを用いてモデリングし、適当な位置に配置し、マスターデータを構築した。但し、本研究においては、2プレート、3プレートの両プレートで標準化を行ったので、この2つの場合のマスターデータを構築した。

4-2 都度設計要素のマスターデータ構築 都度設計要素に関しては、前述した金型設計のINPUT/OUTPUTマトリクス及び要件リストにどのような要件が関連し合い、どのような情報がINPUTされ、どのような情報がOUTPUTされるのか可視化されているので、これらの情報を式(1)の形で表せる様に情報の流れをパラメータ化し、CADシステムで実装した。

$$x_{i+1} = f(x_i) \quad (1)$$

$i = 1 \sim n$, i : ある時点, n : 要素数, x_i : i 時点での位相情報又は幾何情報

例えば、ゲート設計の場合には、図9の様に、製品データのa/bを計算させる。そうすると、ゲート点数が式(1)に従い決定される。次に、製品の幅Wを計算させ、その中間位置を算出し、ゲート位置を決定する。その後、標準化した標準ゲート形状をその位置に自動配置させる。

Fig.9 Example to define Gate Design Location

このような要素の繋がりを CAD システムの履歴と呼ばれる媒体に記録していった。ここで重要なのは、設計プロセスの流れに沿って記録していくということである。この様に、熟練技術者の頭の中をフロー化しノウハウを体系的にまとめることで金型設計を論理化し、その論理と CAD システムを上手く繋ぎ合わせて、製品廻りのマスターデータを構築した。

本研究では、ユニット毎にモジュール化することで、コンピュータへの演算負荷を低減できることを考慮し、キャビユニット、コアユニット、スライドユニットと分類し、それぞれのユニットモジュールを構築し、それぞれのユニットモジュールをアセンブリすることでマスターデータの構築を行った。

5. 自動金型設計システム

本節では、マスターデータを用いた金型設計を携帯電話のデザインケースを例で説明する。

まず、CAD システムを起動し金型設計プロセスが記録されている製品廻りのマスターデータを読み込む。そうすると、画面上にはマスター製品データによって生成された金型の設計データが表示される。その後、CAD システムの持つ履歴操作機能と参照機能を利用して、参照先をマスター製品データから製品の設計データに変更し、記録してある履歴を再計算させる。そうすると、INPUT した製品設計データに対して、履歴として残されている設計プロセスが自動的に実行される。

その後、モールドベースのマスターデータ（デザインケースの場合、3 プレート構成）が読み込まれ、製品廻りのマスターデータの計算結果が自動的に反映される。これにより、所望の金型の設計データを自動的に生成することができる。

もし自動で決定された設計要素がクリアランス等の金型設計要件を満足していない場合には、アラート画面が自動的に表示され、設計者は、そのアラートが表示された設計要素のみを調整する。調整時には、優先度が高い設計要素に関しては、式(1)が示す様に情報の繋がりと一貫性を持たせているので、式(1)で定義されていない設計要素で調整していくことになる（携帯電話の金型設計の場合には、取り付けボルト等がこれに当たる）。

同様のことが製品の設計データに変更が生じた場合にも有効に機能する。この場合は、変更前に実行された操作が CAD システムの履歴として残っているため、参照履歴の参照先を変更前のモデルから変更後のモデルに変えることで、製品側の設計変更に対応することができる。

これにより、製品の 3D データの置換という操作から、自動的に金型 3D データを生成することが可能になり、製品 3D データと金型 3D データの自動連動が実現できるのである。

図 10 にマスターデータの概念図を示す。

Fig.10 Data structure illustration of the Master Data ⁽³⁾

図 10 には、3D 金型マスターデータが、キャビコアのマスターデータとモールドベースのマスターデータから構成されており、キャビコアのマスターデータは、キャビ、コア、スライドのユニットデータから構成されていることを表している。

実例として、図 11 にこの自動金型設計システム（マスターデータ）の実際の画面を示す。

Fig.11 Illustration of the Master Data

6. 開発の効果

これまで述べてきた様に、本研究では、携帯電話の金型設計に焦点を当て、その領域の設計要素を論理解析し、製品 3D データに連動した自動金型設計システムを構築した。本節では、携帯電話の金型に適用した検証結果について示す。

従来携帯電話の金型を設計し終えるまでには平均 7 日程掛かっており、その中の約 5 日（時間に換算すると、60 時間程度）を CAD システムによる設計やモデリングに割いていた。

しかしながら、本研究で確立した新金型設計手法を用いると、従来の CAD システムの操作に掛かっていた 60 時間を僅か 1 時間にまで短縮することができた。

これは、実績から標準化可能な設計要素をしっかりと定義し徹底的に標準化したこと、及びベテラン金型設計者の設計プロセスを特定し、その設計プロセスを CAD システムで実装したことで、常に高品質な金型 3D データを設計できる様にしたためだと考えられる。

この検証結果から、この新金型設計手法により高品質な金型 3D データを短納期で設計でき、設計変更にも迅速に対応できるということが立証された。

これにより、若手金型設計者でも高品質な金型 3D データを短納期で設計できることが証明された。

7. 結言

本稿では、樹脂の金型設計領域に対し論理的アプローチを用いることで、ベテラン金型設計者でなくても、高品質な金型 3D データを短納期で設計可能にした新金型設計手法及び自動金型設計システムについて説明した。また、これまでの活動実績と効果についても述べた。

これにより、本システムの有用性が立証された。

文献

- (1) Shinjiro Yamada, "INCS Way", DIAMOND.Inc. (2003)
(In Japanese)
- (2) M. Nakao, S.Yamada, M. Kuwabara, M. Otubo, Y.Hatamura, Annals of the CIRP, Vol.51/1/2002, pp.127-130, "Decision -Based Process Design for Shortening the Lead Time for Mold Design and Production"
- (3) Shinjiro Yamada, "Supporting Method for Mold Design", Public Patent, 2002-321225 (2002)
(In Japanese)
- (4) Nobuo Hori, "What Happened Mold Industry in Japan", RIETI BBL Seminar Report (2002)
<http://www.rieti.go.jp/jp/events/bbl/02052401.html>
(In Japanese)
- (5) Yotaro Hatamura, "Design and Creation of Tecnology", Iwanami Shoten, Publish (2006)
(In Japanese)
- (6) Yuichi Fukushima, "Plastic Injection Mold Design", THE NIKKAN KOGYO SHIMBUN,LTD. (2002)
(In Japanese)