1215 樹脂成形製品設計における非接触型形状測定／評価システム適用事例

Design verification for resin molding parts by using a non-contact measuring/evaluation system

○ 中島 靖(三菱電機) 藤原 一郎(三菱電機) 西村 浩之(三菱電機)
藤田 章洋(三菱電機) 井上 孝之(三菱電機)

Yasushi Nakashima, Takayuki Inoue, Mitsubishi Electric Corp. Design Systems Engineering Center 5-1-1, Ofuna, Kamakura, Kanagawa 247-8501
Ichiro Fujiwara, Hiroyuki Nishimura, Mitsubishi Electric Corp. Mobile Terminal Center 8-1-1, Tsukaguchi Honmachi, Amagasaki, 661-0001
Akihiro Fujita, Mitsubishi Electric Corp. Advanced Technology R&D Center 8-1-1, Tsukaguchi Honmachi, Amagasaki, 661-0001

For a resin molding parts of portable electric device, which have a free-form surface, it is difficult to verify the molding shape with accuracy only using a contact measuring system and a visual inspection. This paper proposes an advantageous rapid verification method using an on-contact measuring/evaluation system.

Also this paper presents some applications of the reverse engineering and the simplification technic in drawing.

Key Words: Design verification, Resin molding parts, Non-contact measuring system, 3D-digitizer, CAT; Computer Aided Testing, Reverse Engineering, Free-form surface, Portable electric device

1. はじめに

近年の小型携帯電子機器の市場規模は極めて大きく、僅かな品質トラブルが市場に大きな損失を産む。品質トラブルには電氣的なもの、ソフトウェア不具合の他に、構造的・意匠的なもの、即ち筐体・機構部品の構造・形状に起因するものも多い。

筐体・機構部品に多く用いられる樹脂成形部品は、大量生産時のコスト、軽さの面で利点を持つ反面、製造過程や使用環境による変形、強度不足による破損が発生しやすい欠点を持つ。市場から更なる小型化・薄型化、デザイン性が要求される中で、これらの欠点をコントロールし、高品質、短期開発を維持するため、設計・製造・検査等の現場では様々な技術・ノウハウを活用している。

開発プロセス上流における三次元設計もその一つであり、三次元 CAD による構想設計、モノ作り前の各種のシミュレーション（熱、強度、樹脂流動、干渉チェック等）、製造・検査工程での三次元データ活用が積極的に行われている。そして、これらを駆使して「斬新な製品の創造」、「高品質設計」、「設計通りの製造」、「短期開発」を達成することが製造メーカの目標となっている。

しかし、シミュレーションの結果を設計に反映するには実物での実験結果との比較検証実績が必要である。また、設計通りに製造できているかを確認するにも製造物と設計モデル（三次元 CAD データ）との比較検証を行う必要がある。これらの製造物は数十ミクロン～数ミクロンといった厳しい精度・公差で設計される上、複雑な自由曲面、樹脂成形部品特有のそり・ねじれも相まって、従来の接触型の測定手法だけでは実物の全体形状を精密に取得することが難しいのが現状である。

そこで本稿では、非接触型形状測定／評価システムを用いて自由曲面を含む製造物の形状を精密かつ簡易に計測し、三次元 CAD データや別の計測データとの比較検証を行うことによる短期設計検証への取り組み事例を紹介する。更に、リバースエンジニアリングシステムを用いた CAE モデルの短期作成、図面簡略化等の応用用途、今後の課題について報告する。

2. 開発プロセスにおける設計検証の位置付け

図 1 に樹脂成形部品の開発プロセスの例を示す。

本稿における設計検証は、初期の成形品（トライ品とも言う）に対して行う。まず非接触型形状測定機で部品形状を取得し、次に三次元 CAD データと重ねて比較して差異を確認する。ここで確認した問題点を製品設計や金型にフィードバックし、これを問題が解決するまで繰り返す。

このとき、設計検証のポイントは次の通りである。

- ・ 成形→設計検証→修正のループ回数を短縮する。初回の検証で大きな問題と根本原因を発見できるかが鍵となる。
- ・ 1 回の設計検証にかかる時間を短縮する。
- ・ 計測の専門家でなくても簡易に実施可能にする。
- ・ 検証の過程で得られた実績データやノウハウを蓄積し、次の設計に活かす。

Fig.1 Development process of resin molding parts.

3. システム構成

非接触型形状測定／評価システムの構成を以下に示す。

(1) 非接触型形状測定機

機種：独 Steinbecher 社 COMET75

タイプ：カメラ型、測定原理：モアレ法

精度：±25μm、測定範囲 (X/Y/Z)：75×58×80mm

(2) 評価システム

S/W：カナダ Polyworks 社

IMAlign (測定点群の結合), IMInspector (比較評価)

米 Raindrop 社 Geomagic Studio (ポリゴン・サーフェス化)

H/W：Pentium3 800MHz, mem:2GB, graphic:Open-GL

(システム販売：東京貿易テクノシステム株式会社)

4. 測定および設計検証手順

今回の測定および設計検証手順を以下に示す。

(1) 非接触形状測定機による測定

検証する部位の全体形状が得られるよう、幾つかの角度から測定する。今回は 1 部品あたり計 10～20 ショット撮影した。

(2) 測定点群の結合

各点群間の距離が最小になるように位置を自動計算するベストフィット機能を用いて点群を結合し、全体形状を表す 1 つの測定点群を作成する。

(3) 測定点群と三次元 CAD データの照合

結合した測定点群と三次元 CAD データの位置・向きを合わせ、形状の差異をコンター図で出力する。

(4) 設計検証

コンター図、断面、寸法値により現象を確認し、解決策を検討する。

5. 短期設計検証事例 ～製造物と設計モデルとの差異検証～

図 2 は樹脂成形部品の初回の成形品の測定点群と設計モデルの形状の差異を照合した結果のコンター図である。

まず部品全体の形状を確認した結果、側面部の曲面が内側に $600\mu\text{m}$ 程度反っていることがすぐに確認できた。また、数百 μm 程度の目立った形状違いがある部分（コンター図では濃い赤や青で表示される）を数箇所発見し、金型の修正指示や更なる精密測定などの対処を優先的に実施した。その他の差異については、反りの問題が解決した場合には問題にならないと判断し、特に対処を行わなかった。この事例では、深い穴底などカメラ型測定機で測定困難な箇所、更なる精密測定を要する箇所の検証は残るが、早期に対処すべき大きな問題に対する検証を数時間で実施できた。

Fig.2 Design verification by using a non-contact measuring/evaluation system.

ここで、非接触の検証手段がなく、接触型の測定手法のみを用いた場合について考察する。

まず複雑な自由曲面を含む意匠面について、精度の高い検証を短時間で行うことは困難である。一般的に接触型の三次元測定機の精度は非接触型よりも高いが、時間あたりに取得できる測定点が少ないため、複雑な自由曲面全体をカバーするだけの測定点を得るには時間がかかる。更に測定物の固定、測定基準の設定、測定機の動作プログラム作成等も必要で、時間とノウハウが必要となる。その点、非接触型の場合は測定物はカメラに向けて自由に配置でき、一度に数十万点の測定点を取得可能である。

次に構造面（意匠面の裏側）について、一般に樹脂成形部品の構造面には内部部品の保持、強度向上、勘合等のために多数のリブ、ボス、穴、爪形状があり、図面に記される寸法は多いもので数百になる。従って設計検証を行うためには、まずこれらの寸法を時間をかけて測定しなければならない。全体の中で怪しい部分の見当をつけることができないため形状違いの発見は遅れる可能性がある。そして、より大きな問題は、設計どおりに寸法が出ていない真の原因に気づかず、対処を誤る可能性である。例えば図 2 の断面において、リブ 1ーリブ 2 間の寸法 d が設計値より小さく測定されたとする。ここでもし、部品全体が内側に反っていることを知らなければ、設計者は、反り以外にもリブの位置ズレ、肉厚、傾き等の様々な原因を想定し、時間をかけて追加の測定を行い、最悪の場合は真に修正すべき問題を取り違えて対処するかもし

れない。対処には時間も費用もかかる上、誤った対処は別の問題を産む可能性すらある。

以上のことから、今回、小型携帯電子機器の樹脂成形部品に対し、非接触型形状測定/評価システムを用いて短期設計検証を行ったことは極めて有効であったと言える。

6. その他の短期設計検証事例

前述の設計検証以外にも、いくつかの検証に応用した。以下にその事例を紹介する。

(1) 試験前後の形状変化検証

図 3 は樹脂成形部品の耐熱性試験前後の形状比較を実施した結果である。まず試験前形状の測定点群と設計モデルを照合して現在の状態を確認した。次に耐熱性試験後の測定点群と、試験前の測定点群を照合し、部品形状がどの程度変化したかを検証した。この例では一部に $250\mu\text{m}$ 程度の反りが見られることが確認できた。この他、類似の検証として強度試験前後の摩耗や変形の検証も実施した。

Fig.3 Evaluation of the distortion after the heat test.

(2) 組み付け後の各部品にかかるストレス検証

部品単体では問題はないが、他の部品と組み付けた場合に予期せぬ部位にストレスがかかり、疲労、隙間、きしみ等の問題を引き起こすことがある。そこで組み付け前後の部品形状比較を行うことで、ストレスのかかっている部位を推定する検証を実施した。図 4 は組み付け時のストレスのため部品 2 が変形していることを示すイメージである。実際には目視により微小な変形を確認することは困難だが、非接触形状測定システムを用いることで容易に検証可能となる。

Fig.4 Evaluation of the influence in attachment.

(3) 内部部品の占有容積検証

組み付け時、内部に位置する部品の周辺にどの程度の空間的余裕があるかを確認する取り組みにも応用した。設計の余裕・制約を知る上で有効な検証である。部品の容積は、測定点群を閉じたポリゴンデータ化することで容易に求められる。

$$\text{空間の容積} = \text{全部品を組み付けた際の全体容積} - (\text{部品 1 の容積} + \text{部品 2 の容積} + \text{部品 3 の容積})$$

Fig.5 Measurement of the capacity which the inner part occupies.

7. 応用用途

今回用いた非接触型形状測定／評価システムは、設計検証、検査以外にも様々な応用が考えられる。以下に現在取り組んでいる応用用途を紹介する。

(1) CAE モデル短期作成

設計において、なるべく初期の段階で多くの問題を発見し解決しておくことが品質向上、工期短縮に繋がる。そのため、三次元 CAD データを用いて熱、強度、樹脂流動、干渉チェック等の様々な解析が行われているが、次のような場合には、肝心の三次元 CAD データが得られないのが現状である。

① デザインモック（模型）しかない場合

② 他社からの購入部品で CAD データが貰えない場合
したがって、モックや購入部品の形状を、CAD や CAE で利用可能なデータとして短時間で作成する手段が必要となる。一般に、このような場合、測定データや図面をもとに CAD でモデリングする、自由曲面を含む複雑な形状の再現が求められる場合には、作業に相当の時間を要することになる。

そこで現在、非接触型形状測定機で取得した測定点群からポリゴンデータやサーフェスデータを作成するリバースエンジニアリングシステムを用いて、CAD や CAE ツールに短時間で簡易に渡す方式の確立に取り組んでいる（図 6）。

今回はトライアルとして、デザインモックの測定点群からポリゴンデータ（STL 形式）を作成し、樹脂流動解析ツールに渡し、温度分布、圧力分布、ウェルド位置（成形時の樹脂の合流点。強度的に弱くなることが知られている）等の解析を行った。より現物に近い形状データを用することで、精度の高い解析が行える目処がついた。

Fig6. The main current of Reverse Engineering Process.

(2) 図面簡略化

三次元設計の普及により、一見、二次元図面の役割は終えたかに見える。しかし現実には依然として詳細な図面が作成され、活用されている。数百もの寸法が記載される詳細な図面を年間に数千～数万枚作成する製造メーカーも珍しくない。

三次元 CAD データがあっても図面が必要とされる理由はいくつかある。設計の承認、製造要件・設計意図の伝達、組立指示等であるが、詳細な図面が必要とされる最大の要因は検査にある。つまり従来の接触式の測定手法による製品検査においては、図面に記載される全寸法を測定し、設計値と比較することで製品形状が設計通りにできているかを確認しているためである。前述の通り、図面には多くの寸法が記載されており、図面作成・検査工数の削減が求められている。

そこで現在、非接触型形状測定／評価システムを用いた全体形状の評価を取り入れ、従来型の測定を行う箇所を極力減らすことで図面の簡略化、検査時間の短縮に取り組んでいる。設計上極めて重要な寸法以外は、全体形状評価において、ある一定公差内に収まっていればよいとする考え方である。

図面の簡略化は、単に図面作成時間の短縮にとどまらず、設計者が創造的な仕事を行う時間、技術伝承や設計スキルア

ップに活用する時間を確保することにも繋がり、その隠れた効果は極めて大きいと言える。

ただし、実施にあたっては設計から製造・保守までの全工程にわたって詳細図面を必要とする作業はないか、どのレベルまで簡略化してよいかを慎重に見極める必要がある。

8. 今後の課題

非接触型形状測定／評価システムを用いた設計検証、その他の応用について、更なる普及、精度向上、時間短縮に向けた課題を示す。

(1) 測定不能部位への対処

一般にカメラ型の非接触型形状測定機は、測定物にレーザ光線や干渉縞を照射し、CCD カメラで画像を取得、三角測量の原理で座標を計算する方式となっている。そのため、深い穴底など光線の届かない部位は原理的に測定不能である。現在のところ、これら測定不能部分については接触型の測定機器を用いて測定し、この結果をもとに手作業でモデリングするなどして対処している。完全な全体形状データを作り込むには数日を要することもある上、使用する接触型の測定機器によっては誤差が大きくなる可能性もある。

また、一度の測定で得られるデータは、測定物のカメラに面した部分だけであり、全体形状を得るためには角度を変えて数十回の測定を行った後、各測定データをソフトウェア上で合成しなくてはならない。大量の測定データの処理にはハードウェアパワーと時間が必要な上、測定データの合成時に若干の誤差が生ずることもある。

これらの手間とデータの信頼性低下による総合的な損失は無視できないものがあり、今後はこのような測定不能部位がなく、一度に全体形状を取得可能な測定手法が望まれる。最近注目されてきている工業用 CT スキャナの精度向上、価格低下に期待したい。

(2) サーフェスデータ・解析メッシュデータの短期作成

大量の測定点群データから CAD/CAM/CAE 向けのポリゴンデータ、サーフェスデータを作成するリバースエンジニアリングシステムの現在主流の方式は図 6 に示す通り、まず測定点群を一旦ポリゴンデータに変換し、次にこのポリゴン面上にサーフェス境界を定義し、サーフェスデータに変換する。このうち、ポリゴンデータへの変換はほぼ自動化されており容易であるが、サーフェス境界の定義は手動で行うため時間がかかる。境界の作成にはノウハウも必要で、品質の悪いデータの場合は CAD/CAM/CAE ツールでエラーを起こすことも珍しくない。

従って、CAD で作成したような品質の高い境界を定義することが必ずしも必要とされない用途に対しては、エラーの発生しない程度の品質のサーフェスを早く簡単に作成できる機能が望まれる。CAE の場合は受け取ったデータから有限要素法の三角メッシュを作成することが多く、ポリゴンデータから直接解析メッシュデータに変換する仕組みも有効である。

9. おわりに

本稿では、製造メーカーにおける非接触型形状測定／評価システムの実際の活用事例、その効果と課題について報告した。非接触型形状測定／評価システムの応用範囲は非常に広い。現実の問題に直面しなければ新しい用途の開発も進みにくい。また、高精度のシステムは依然高価で、研究利用のための導入も簡単には行えないと思われる。したがって今回の事例報告が、現在の研究の裏付け、新たな発想の一助となれば幸いである。