

モノづくり技術イノベーションが目指す方向

Directions of Manufacturing Technologies Innovation

久保 智彰

■ KUBO Tomoaki

新製品の早期市場投入と既存製品の競争力強化をモノづくり技術で支えるためには、“先端モノづくり要素技術の創出”，“モノづくりの仕組み変革”，“製品設計技術力の強化”の三つの領域でイノベーションを起こしていく必要がある。その進化の方向は、全体最適の追求とコア技術の深耕の二つであると考えられる。全体最適の追求では、DFM (Design for Manufacturability) の考え方とシミュレーション技術が強力なツールとなる。コア技術の深耕では、加工技術、製品差異化要素技術、及び環境調和型生産技術の強化が重要となる。

To support putting new products on the market and to enhance the competitive power of current products with manufacturing technologies, Toshiba needs to keep making innovations in the fields of “Creating Advanced Manufacturing Technology Elements,” “Reforming of Manufacturing Operations,” and “Strengthening of Product Design Technologies.” The directions of these innovations are the pursuit of total optimization and the development of core technologies. In the pursuit of total optimization, Design for Manufacturability (DFM) and simulation technologies become powerful tools. In the development of core technologies, the strengthening of processing technologies, the underlying technologies for product differentiation, and manufacturing technologies that are harmonized with the environment become important.

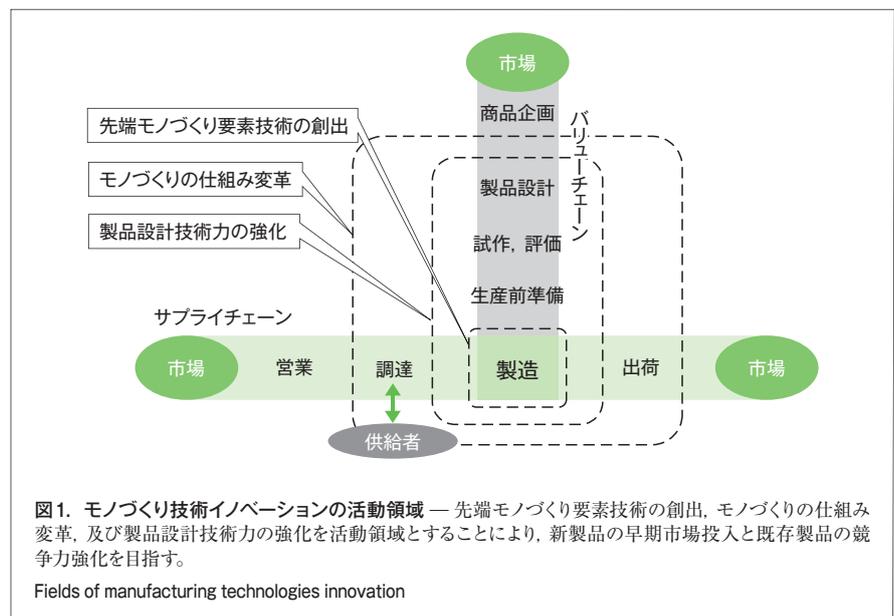
モノづくり技術イノベーションの活動領域

市場競争がグローバル規模で激化し続けるなか、新製品の早期市場投入と既存製品の競争力強化はモノづくり企業にとってますます重要となっている。東芝は、モノづくり技術によりこれらの活動を支えるために必要な活動領域は、“先端モノづくり要素技術の創出”，“モノづくりの仕組み変革”，及び“製品設計技術力の強化”の三つであると考えている。

先端モノづくり要素技術は、加工、組立て、検査、製造装置開発にかかわる基本原理、及び量産化技術に関する領域である。

モノづくりの仕組み変革は、調達、製造、及び出荷におけるプロセスの変革と、それを支える人財の育成に関する領域である。

製品設計技術力の強化の一つは、製造で得られた知見を製品設計にフィードバックすることにより、製造時に予想される様々な問題をより上流で防止すると



いう領域である。もう一つは、モノづくり技術を通して蓄積した技術をより直接的に製品設計に適用し、製品の差異化に寄与するという領域である。

これらの領域を生産活動にマッピングして、図1に示す。

新製品の早期市場投入と既存製品の競争力強化を加速するために、これら

の各領域で行われているイノベーションの全体を見渡すと、一つは全体最適の追求、もう一つはコア技術の深耕であることが見えてくる。ここではこれらの視点から、モノづくり技術イノベーションの目指す方向について述べる。

全体最適の追求

モノづくり技術におけるイノベーションは、様々な形態の全体最適化の発想によって実現されている。

製品個体の領域では、個別の箇所での最適化から、製品全体を見渡したうえでの最適化がこれにあたる。

製造工程の領域では、個別の工程最適化から工程全体を見渡したうえでの最適化がこれにあたる。また製品設計から製造までを含めた領域では、製造での最適化から製品設計と連携した最適化がこれにあたる。

特に最後に述べた形態による全体最適化は、DFM (Design for Manufacturability) と呼ばれ、モノづくりの変革に重要な役割を果たすコンセプトである(囲み記事参照)。

電子デバイスの製造プロセス適正化

電子デバイスの製造プロセスは、機能の高度化と構造の微細化に伴って複雑化の一途をたどっている。製造プロセスを早期に安定化させるためには、製造工程全体の特性を把握したうえでクリティカルな工程を見つけ、全体とのバランスを取りながら各加工条件を適正化する活動が重要となる。

例えば半導体デバイスの製造工程では、従来は実際にウェーハを流す実験を繰り返してそれが行われてきた。このような状況に対して、前述の活動を短期間で実施するためにはプロセスシミュレーションが強力なツールとなる。

この技術を活用し、半導体製造工程全体にわたってプロセスシミュレーションモデルを構築することが現実のものとなりつつある。

また、今後のもう一つの進化の方向

は、加工のできばえを、基本条件下での予測から始まり、周辺回路パターンへの依存性やチャンバ(注1)内位置への依存性まで考慮することにより、いっそう精度よく予測することである。更に、この技術で得られた情報を設計にフィードバックすることにより、デバイス構造の適正化を行う手法も今後ますます重要となる。

デジタルプロダクトと機能部品の構造適正化

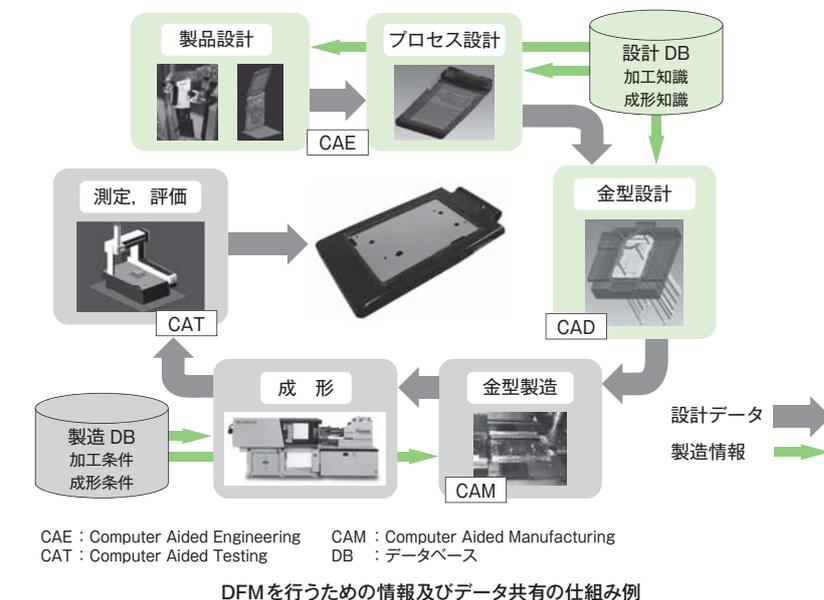
携帯電話、液晶ディスプレイ(LCD)、電池など、様々なデジタルプロダクトや機能部品でも、製品設計と連携したモノづくりの全体最適化が重要となる。ここでもシミュレーションが極めて重要な役割を果たす。部品製造時や製品使用時の複雑な物理現象を統合的に解析して、構造設計と製造工程をともに適正化する取組みが必要となっている。

DFMによるモノづくり技術の変革

DFMとは、製造性を考慮した製品設計の手法の総称である。製品開発にDFMの考え方を導入することにより、製品設計、製造プロセス設計、試作、及び評価の過程で、時間のかかる試行を繰り返して適正化するという作業をなくし、試作レスと後戻りのない開発で開発リードタイムを短縮する効果が期待できる。

DFMの推進では、設計から製造、評価までデジタルデータで情報を流し、研究開発部門、設計部門、及び工場製造部門でデータを共有する仕組みの構築がキーとなる。この仕組みに製造現場で蓄積された知識を、設計ルールやシミュレーションモデルなどの形にして埋め込むことにより、設計された製品をコンピュータ上で仮想的に製造し、評価することが可能になる。

この仕組みを携帯電話のきょう体の開発を例にとりて図に示す。この図では、設計データが製品設計から製造へと流れてい



る。これに対して、加工・成形知識や加工・成形条件などの製造情報が各段階で適用され、シミュレーションによって仮想的な製造や評価が行われる。製造や製品使用

時の様々な物理現象をシミュレーションするためのアルゴリズム開発も、この仕組みの構築に重要である。

(注1) チャンバ
物理的、化学的の反応を起こさせるための密閉した反応容器。

これを実現するためのキー技術となるのは、シミュレーションにおける異なる物理量に関する現象の統合（マルチフィジックス化）、及び異なるスケールの現象の統合（マルチスケール化）である。前者は、構造にかかわる弾塑性、衝撃、振動などの現象、熱にかかわる伝導、対流、放射などの現象、及び流れにかかわる層流、乱流、自由表面流などの現象の統合的な把握である。後者は、原子レベル、分子レベル、高分子レベル、部品微細構造レベル、及び製品全体構造レベルでの統合である。

当社は、これらの技術を使って、積層複合材料の構造設計、結晶成長、回転機械の騒音低下、HDD（ハードディスク装置）搭載機器の緩衝構造設計など多岐にわたるDFMを行ってきた。シミュレーション技術の統合化のトレンドを図2に示す。

また、公差解析による製品全体の公差配分の適正化は、製品個体における全体最適化にとって有力な手法となる。

■モノづくりの仕組み変革

モノづくりの仕組みとは、図1に示したサプライチェーンの実態を可視化してその情報を活用し、また、見えない情報を予測することにより、スピードと感度に富んだ商品供給を実現するための様々な仕組みである。顧客の要求を基本とした部材調達及び生産計画策定、更には製品の配送や納品先での現地作業など、対象領域は多岐にわたる。

モノづくりの仕組みの全体最適化は、これらサプライチェーンをスルーした物と情報の流れを生産システムとして最適設計することである。ここでもシミュレーションは不可欠なツールとなる。ソフトウェア、設備、人を含む生産システム全体をミクロからマクロまでモデル化することが必要となりつつある。

■品質維持・向上の仕組み構築

情報技術の飛躍的な進化は、モノづくりに関する品質の維持と向上の手法に

も革新をもたらしつつある。

トレーサビリティ、すなわち製造過程での様々な情報の履歴を製品に関連付けた形で記録することは、様々な製品で可能となってきている。また、製造履歴情報も、最終検査に関するものから、加工条件、使用材料、使用装置、作業員、更には、加工中における加工装置の状態量も、必要に応じて詳しく収集し記録することが可能となりつつある。

当社は、これらの仕組みから得られ

る情報を活用して、単に製品のできばえを評価するにとどまらず、良好な製造結果が得られる製造条件を見いだしていく仕組みの構築を進めてきた。これらの情報を製造工程の管理項目と管理基準にフィードバックすることが、品質の維持と継続的向上にとって重要である。また、この仕組みの構築には、膨大な情報を効率よく分析するための分析アルゴリズムや統計手法の高度化が不可欠となる。この仕組みの概念を図3に示す。

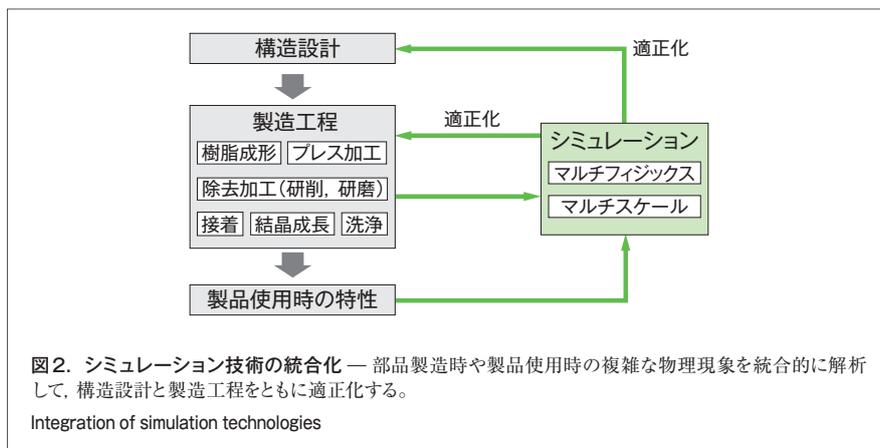


図2. シミュレーション技術の統合化 — 部品製造時や製品使用時の複雑な物理現象を統合的に解析して、構造設計と製造工程をともに適正化する。
Integration of simulation technologies

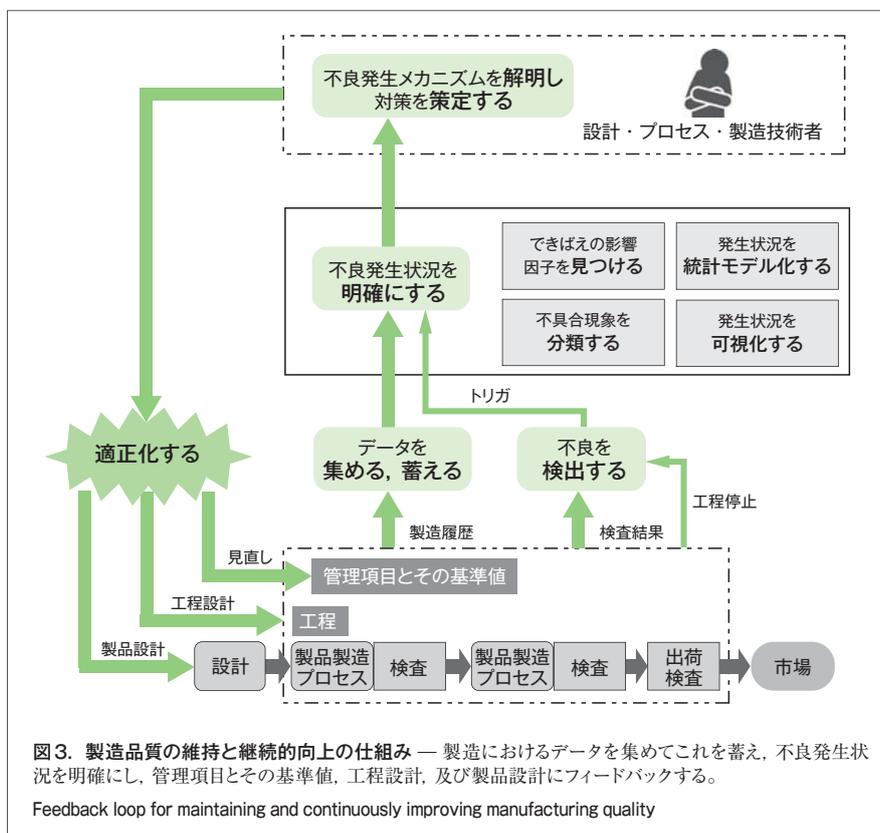


図3. 製造品質の維持と継続的向上の仕組み — 製造におけるデータを集めてこれを蓄え、不良発生状況を明確にし、管理項目とその基準値、工程設計、及び製品設計にフィードバックする。
Feedback loop for maintaining and continuously improving manufacturing quality

品質向上の仕組みのもう一つの進化の方向は、製造品質から設計品質、調達品質、市場品質へ領域を拡大することによる全体最適化である。

設計品質への領域拡大では、製造分野で得られる知識を設計者が活用しやすい形に形式知化する仕組みの構築が重要となる。例えば、半導体の配線パターンや、プリント基板の回路パターン、半導体パッケージの樹脂成形などの製造でのばらつきに関する知識を、設計ルールという形に落とし込むという方法は一つの有力なアプローチとなりつつある。これもまた、前述したDFMの形態の一つであると言える。

また、調達品質や市場品質を向上させる仕組みの構築にもトレーサビリティの確保が基本となる。

コア技術の深耕

モノづくり技術におけるイノベーションは、コア技術の深耕によっても実現されている。コア技術の深耕では、加工技術、製品差異化要素技術、及び環境調和型生産技術の強化が特に重要である。

■加工技術

加工技術は、材料やプロセスなどのコストを直接削減できる、モノづくり技術イノベーションの重要な活動領域である。

半導体デバイスや表示デバイスにおける微細パターンの形成では、塗布や、化学的気相成長、蒸着などの手法で母材の様な薄膜を形成し、リソグラフィを用いて薬液やプラズマなどにより除去するという方法が広く用いられている。これを、インクジェットなどの局所的塗布の技術により、必要な箇所に必要なだけ母材を塗布するプロセスへ転換することで、間接材料や直接材料が大幅に削減できる。

この技術は、例えば有機EL (Electroluminescence) デ스플레이の大型化に大きく貢献できるものである。また、転

写型プロセスも、微細パターン加工コストの大幅な削減ができる技術として期待されている。

■製品差異化要素技術

製品を差異化する機能要素の開発もモノづくり技術イノベーションの活動領域の一つである。

LED (発光ダイオード) や、CCD (電荷結合素子) 撮像素子、表示デバイスのバックライト照明などの製品では、光学的性能が重要な差異化要素となる。この分野では、光学シミュレーションが設計の適正化のための有力なツールとなる。今後の課題としては、製品構造微細化に伴う波動光学的なシミュレーションの導入が重要となる。

電子デバイスに機構部を設けることにより、高周波特性の改善など新たな特性の獲得を狙うMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 素子が実用段階に入りつつある。実現に向けた課題の一つは、パッケージング技術の確立である。MEMS素子は可動部を持つため、パッケージは中空構造を持つ必要がある。これを低コストで製造するため、半導体プロセス技術を応用し、ウェーハレベルでMEMSを保護する微小なケースを形成する方法が効果的である。当社がこれまでに開発した中空封止技術は、可動部の残留振動を抑制できる“実圧気密方式”と、高速動作に対応した“真空気密方式”の2種類であり、MEMS素子に要求される特性により使い分ける。この技術は、静電駆動型可変容量MEMSに適用するほか、高周波デバイスや各種センサへの応用も検討していく。

■環境調和型生産技術

環境調和型生産技術では、生産活動におけるCO₂ (二酸化炭素) 排出量の削減や資源の有効活用のほか、環境調和型製品の実現に貢献する製品差異化要素技術の開発も重要となりつつある。

半導体製造工程では、レジスト (感光

性樹脂) の除去に過酸化水素水や硫酸が使用される。当社がこれに対して、硫酸の電気分解により酸化性の化学種を生成することで、過酸化水素と同等以上のレジスト除去特性を実現する技術を開発した。これにより、過酸化水素の全廃と、これを製造するエネルギーの大幅な削減が可能になる。

携帯電話用LCDモジュールでは、軽量化と低消費電力化が求められている。薄型ガラスプロセス、ガラスカット技術、及び薄型導光板形成技術を開発し採用することで、製品の総厚さ0.99 mm、質量3.5 gと、当社従来品に比べて半減を実現した。これにより、製品ライフサイクルでの廃棄物量を半減した。また、生産性向上のため、マルチ塗布ヘッドを搭載したシール塗布装置を採用して製造設備の生産性を向上することにより、製造時のCO₂排出量を削減した。

今後も、コア技術の深耕により環境調和型生産技術に積極的に取り組んでいく。

モノづくり技術のイノベーションに向けて

グローバルな競争が激化するなかで成長を続けるためには、モノづくり技術においても次々とイノベーションを起こしていかなければならない。当社は、活動領域を拡大することによる全体最適の追求に加え、コア技術の絶え間ない深耕により、その実現を図っていく。



久保 智彰
KUBO Tomoaki

生産技術センター 品質技術研究センター研究主幹。品質情報活用技術の研究・開発に従事。計測自動制御学会会員。

Quality Technology Research Center