

# システムモノづくりを支える共通基盤技術

Frontier & Platform Research for System Development and MONOZUKURI

佐々木 直哉  
Sasaki Naoya

齊藤 昭男  
Saito Akio

高口 雅成  
Kouguchi Masanari

## モノづくりに求められるシステム視点

地球温暖化、資源・エネルギーの枯渇、激変する社会経済など、現代社会には極めて困難な課題が山積している。その中で、豊かな社会に向けた基盤整備が急スピードで進められる一方、低炭素社会へのリノベーションが求められるなど、世界中で、地球環境に配慮しつつ安全・安心を確保する高信頼な社会基盤が待望されている。これからのモノづくりにおいては、グローバルな視点で製品システム全体を俯瞰（ふかん）し、設計開発、生産することが必要である。

こうしたことから、モノづくりを支える基盤技術には、従来の要素としての技術だけでなく、システム視点に立ち、モノづくりの上流から下流までの一貫した低コスト・高性能・高信頼を実現する技術が求められる。

グローバルで多様な製品やシステムを開発するためには、(1) 従来のシミュレーション、実験・計測、製造などの技術に加え、高度なIT (Information Technology) や数理工学、データ解析技術、システム、サービス技術などの多様な異分野技術との連携、(2) 異なるスケールの現象モデルを連携することでシステムにおける複雑現象を理解、予測、制御する技術を構築することが重要と思われる。

## 基盤技術の位置づけ

「基盤技術」は、モノづくりの基盤を横断的に支える共通技術と定義される。関連する分野は、シミュレーション技術、計測技術、生産技術など、多岐にわたる。特に、今後は環境問題への対応や、市場のグローバル化に伴うニーズの多様化への対応が必須である。

### 社会・産業・情報分野におけるモノづくり

日立グループでは、社会・産業・情報分野の製品の環境対応・グローバル化を加速するために、最新のシミュレーションや計測技術を活用した解析主導設計技術、環境負荷を低減する技術、グローバル化に対応し生産性を向上する生産技術など、共通的なコア技術として基盤技術を位置づけている。

分野としては、電力、上下水道・水処理、鉄道、自動車関連機器、各種産業・都市開発システム、ヘルスケア、情報・通信システム、それらを支えている先進的な材料技術やキーデバイスなどである。それらの広範な分野で日立グループが培ってきたシステム、技術を有機的に融合させることによって、地球環境に対する負荷の低減と快適な生活、経済の成長を両立できる、持続可能な社会の基盤となるインフラを実現していくことになる。

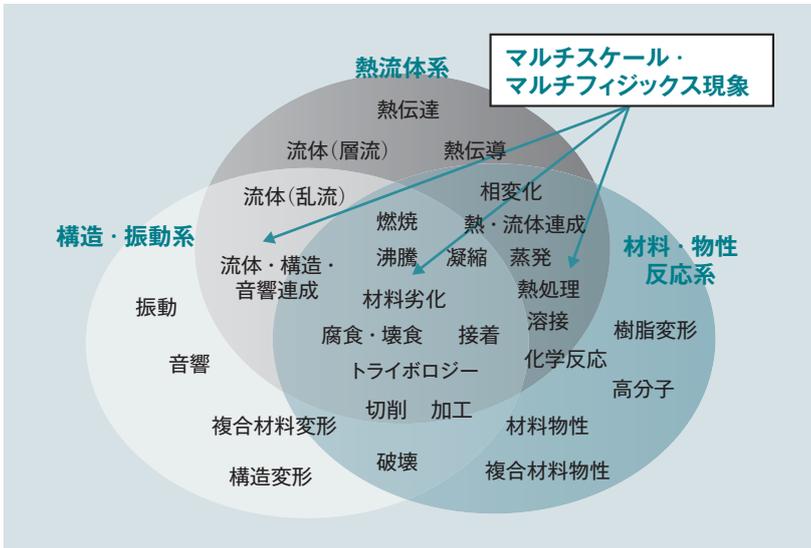


図1 | 機械・材料系分野における分野融合・連成の複雑現象  
各分野の交わる領域として、材料劣化や腐食、蒸発、トライボロジーなどの界面現象や連成現象といったマルチスケール・マルチフィジックス現象の解明が今後必要になる。

(a) トライボロジー

社団法人日本トライボロジー学会によると、トライボロジー(Tribology)とは、潤滑、摩擦、摩耗、焼付き、軸受設計を含め「相対運動しながら互いに影響を及ぼしあう二つの表面の間におこるすべての現象を対象とする科学と技術」と定義されている。「Tribology」は、「擦(する)」を意味するギリシャ語「tribos」と、学問を意味する「ology」とをつなぎ合わせた造語である。

(b) 連成現象

構造・熱・流れ・電場・磁場・音場など、二つ以上の場が互いに影響し合うことで、個々の場の特性だけでは予測できないような現象や挙動が誘発されること。こうした現象を解析することを連成解析と言う。

グローバルな視点の基盤技術

グローバルワイドな事業展開のためには、従来の設計基準に比べ、複雑・多様な文化や環境の中で製品システムを運用させることが求められる。そのためには、各製品が稼働する環境の複雑性を考慮するだけでなく、設計・開発・製造におけるスピードアップと安定したコスト・品質の両立が必要不可欠になる。さらに、システム視点のモノづくり(以下、システムモノづくりと記す。)が必要となる。また、高性能、低コスト化に伴い極限的な設計が必要となり、複雑現象を理解した高度な基盤技術が要求される。

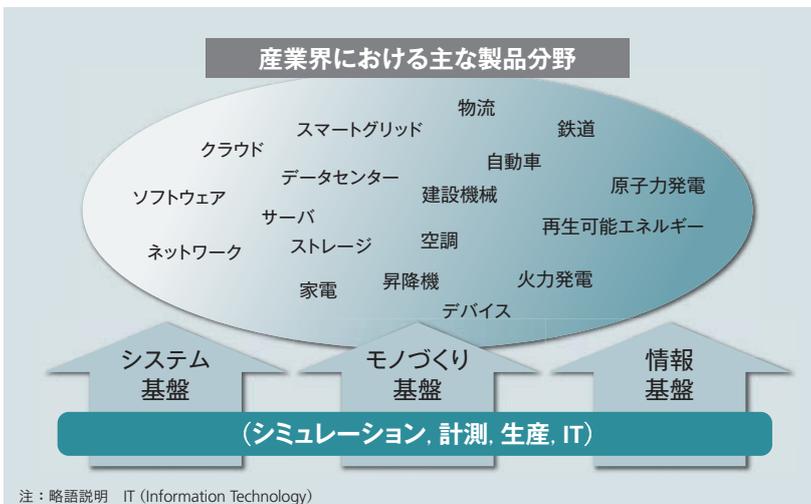


図2 | 製品システムを支える基盤技術  
産業界においては、多数の製品群のモノづくりをモノづくり基盤、システム基盤、情報基盤などの多様な基盤技術が支えている。

機械・材料系分野を例にとれば、従来は単一分野の現象モデルを活用していたものが、製品性能への厳しい要求の高まりから、本来は複数分野の融合現象である、**トライボロジー<sup>(a)</sup>**や材料劣化、**連成現象<sup>(b)</sup>**などのマルチスケール・マルチフィジックス現象をなるべく忠実に解明し、制御することが必要となる(図1参照)。

また、モノづくりのアプローチとして、以下のような視点が考えられる。

- (1) 既存コンセプトの製品の性能、品質やコストをどこまでも改善し、追従を許さぬように勝負する。例えば、材料を改良し、より過酷な環境での運転を可能とする次世代製品を開発するアプローチであり、少しでも性能を上げることが重要となる。さらに、突出した技術を開発し、同種の製品をリードする。
- (2) 課題やニーズに対して、多様なアプローチにより解決方法を見だし、それを実現する新しい技術、コンセプトの製品、システム、サービスを開発する。

この場合、(1) だけのアプローチでは技術の成熟期にさしかかると差別化が困難になるため、(1) と (2) を連携して進められるアプローチが将来の研究開発には重要になってくる。

これらの背景から、今後の取り組みとして、従来のモノづくり技術を主とした「モノづくり基盤」だけでなく、例えば、システム視点の設計や運用シミュレーション、制御技術から成る「システム基盤」や、情報科学を活用した大規模データ処理やソリューションを提供する「情報基盤」というような、多様な基盤技術体系の構築と、その相互連携が必要になってくると思われる(図2参照)。

例えば、「システム基盤」としては、今後必要となるスマートグリッドのシミュレータ、鉄道などの運用評価シミュレーション、システム機能を予測するモデルベース技術などの基盤技術、「情報基盤」としては、データセンターにおける大規模データ処理、セキュリティの暗号技術や情報科学を用いた認識技術、ネットワーク技

術、クラウド技術、ストレージ技術などがあり、グローバルなシステムやソリューションを提供するための基盤技術として、必要不可欠なものになる(図3参照)。

そのうえでさらに、シミュレーションや計測、生産、ITなどの技術を横断的共通基盤技術として、各基盤間の連携が必須となる。

### システムモノづくりにおける基盤技術の活用

前述したように、グローバルワイドなモノづくりでは、複雑な視点、視野が必要であり、そのためには、学際的で分野横断的な基盤技術の連携が必要になるとされる。ただ、各分野の専門性の高度で深い追求が多様な連携を成立させることの前提であるのは言うまでもない。

ここでは、特にモノづくり基盤におけるシミュレーション技術、計測技術、生産技術について、今後の動向を俯瞰する。

### シミュレーション(計算工学, 計算科学)技術

計算機性能の大幅な向上に伴い、大規模で複雑系のシミュレーションが可能になってきている。熱流体や構造解析の分野での流体・構造・騒音の連成解析、電磁場や回路系の連成解析、製品全体のまるごとシミュレーション<sup>1)</sup>などがある。また、材料シミュレーションでは、ミクロな原子・分子とマクロ現象を物性データを介して連携したものや、金属の組織変化など、少しずつ複雑な系の解明へと進化している<sup>1)</sup>。しかし、流体機械内の不安定現象や複雑な反応を伴う燃焼現象、材料における加工、溶接、潤滑、腐食などの複雑現象は、まだ精度よく予測ができないのが現状である。また、材料シミュレーションにおいては、ミクロな材料物性がマクロな製品性能にどう影響するかを予測するための、**メゾスケール**<sup>(c)</sup>の解析技術が重要になる(図4参照)。

また、製品の多機能化や多様なニーズに対応するためには、多目的で妥当な解を求めることが要求されてくる。これに対しては、幾つかの最適化技術が研究開発されて

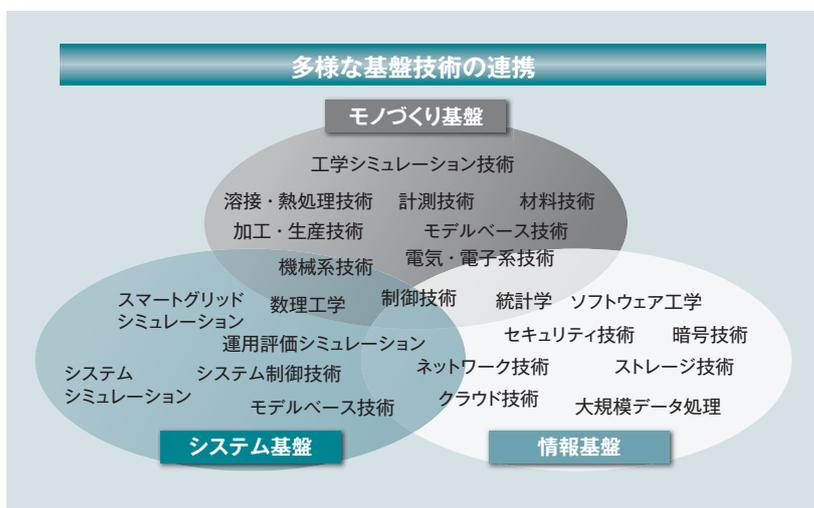


図3 | 多様な基盤技術とその連携

グローバルなソリューションを提供するためには、モノづくり、システム、情報などの基盤技術が連携することが大事である。

いる<sup>1)</sup>。今後、従来の物理・化学系のシミュレーションだけでは対応は難しく、最適化や数理工学的、情報科学的なアプローチとの連携が重要になってくる。

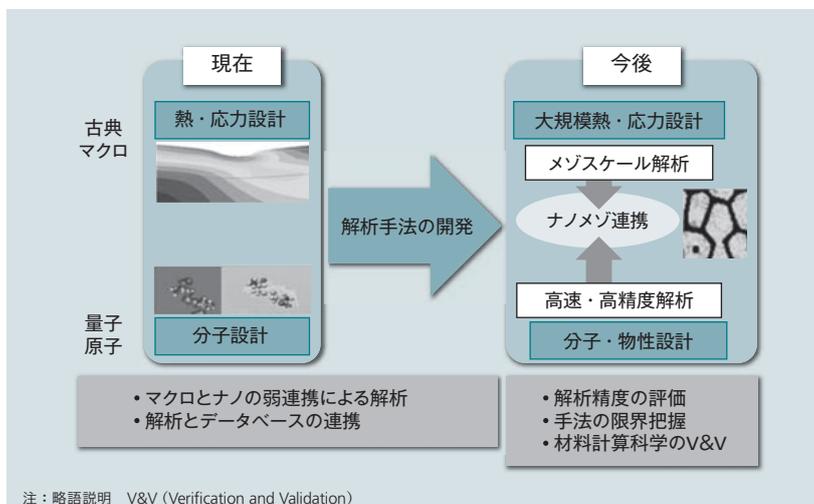
グローバルな環境においては、多様で予想が付きにくい現象の解明、制御が想定される。対象とする複雑な現象に対するシミュレーション技術の精度の保証や妥当性の解釈という、いわゆる**V&V**<sup>(d)</sup>の考え方、プロセス構築が今後さらに必要になってくる<sup>2)</sup>。これは、扱う対象に対して、理論的、数学的に妥当な計算モデルであるかどうかの検証(Verification)、高度な計測技術や実際の現象との比較による解析モデルの妥当性の評価(Validation)のプロセスの構築

### (c) メゾスケール

「メゾ」は「中位の、中間の」といった意味を持ち、メゾスケールは、ナノスケールとミリスケールの中間的な空間スケールを指す。物質の性質に関わる重要な構造が存在する領域。古典力学と量子力学の中間的な領域であることから、この領域における現象の解析には、双方の特性を考慮したモデル設計が必要になる。

### (d) V&V

Verification and Validationの略。検証と妥当性確認。製品、サービス、システムなどの品質を確保する手法の一つであり、例えば、製品開発では、開発・設計・製造などのプロセスが妥当であるか、その結果としての製品が目的に適合しているかについて、検証(Verification)と妥当性確認(Validation)という二つの視点から評価すること。



注：略語説明 V&V (Verification and Validation)

図4 | メゾスケール材料シミュレーションの必要性

今後、ナノスケールの特性を考慮してメゾスケールのモデル構築と解析が材料設計、開発には必要になってくる。

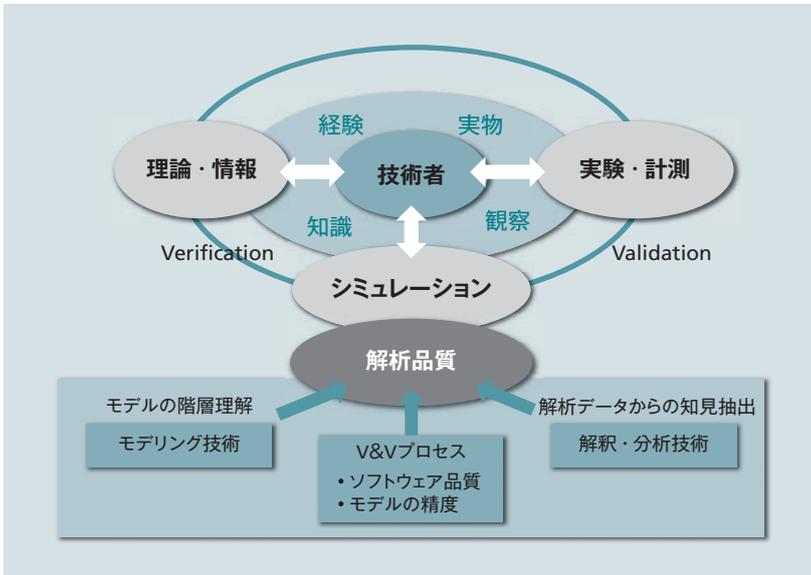


図5 | 解析品質の考え方

解析の品質向上には、モデリング、V&Vプロセス、解析結果の解釈などの高度な技術が必要になる。

であり、計測技術や生産技術など他の基盤技術との連携が必須になってくる(図5参照)。

さらに、現実の系において、シミュレーション技術だけでは予測が不可能であり、計測技術や大規模データ処理とうまく連携するモデリング手法の開発が必要と思われる。例えば、気象予測の世界では、「データ同化」<sup>3)</sup>のような新しい連携技術も開発されており、産業界での技術活用が期待される。

今後のシミュレーション活用では、主に以下のような点が要求される。

- (1) 大規模複雑現象の高精度モデリング
- (2) 大規模解析結果データの解釈・分析
- (3) 従来から解明が困難な現象の高精度モデル化
- (4) ばらつきや変動を考慮した解析

さらに、製品システムの複雑化に伴い、シミュレーションから得られる情報も膨大になり、解析結果の解釈が難しいケースが増加しつつある。この場合、シミュレーションのアプローチでも、解析精度や現象の複雑さに応じて適切な手法を活用することが大事である(図6参照)。

### 計測技術

科学技術は、理論予測と実験検証の繰り返しにより進歩してきており、計測技術は科学技術の根幹である。自然界には、計測

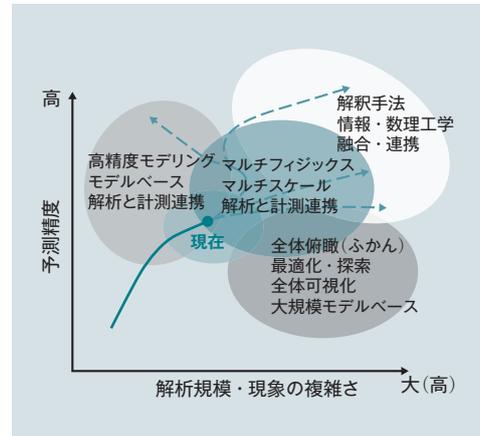


図6 | 多様な計算工学のアプローチ

シミュレーション(計算工学)のアプローチとしては、予測精度と現象の複雑さなどを考慮して、多様で最適なアプローチが存在する。

や可視化が難しい現象がまだまだ多く、いっそう高度な計測技術が必要である。一方、プラントや車両などの社会基盤製品においては、グローバルな低コスト化の流れの中で、日本の企業が取べき差別化ポイントとして、計測による信頼性の担保や複雑現象モデリングの重要性が増している。

現在、計測技術の課題は、大きく分けて以下の三つが挙げられる。例として、エレクトロニクス分野でのモノづくりにおける計測評価ニーズを図7に示す。

(1) 環境材料や生体材料の分野では、ソフトマテリアル、含水系材料の役割が大きく、「低ダメージで元の状態を保ったまま効率的に信号を取得する計測」が共通課題である。グラフェンやポリマー、多くの生体試料では、光でさえも照射することでダメージを受ける材料が増えてきている。また、リチウムイオン電池の電極材料評価の場合、電解液から取り出すと変質するため、液固相界面をナノメートルレベルで評価する必要がある。同様に、触媒などの機能性微粒子では、本来使われる気相界面での計測が必要である。

(2) プラント、車両、建機、モータ、素形材などのさまざまな中・大型製品においては、「非破壊、非接触、非汚染での計測」、現場での計測を実現するための「低コストで可搬型の計測」が求められる。三次元的分布、または内部構造を高空間分解能で可視化するにはまだまだ技術的な課題も多

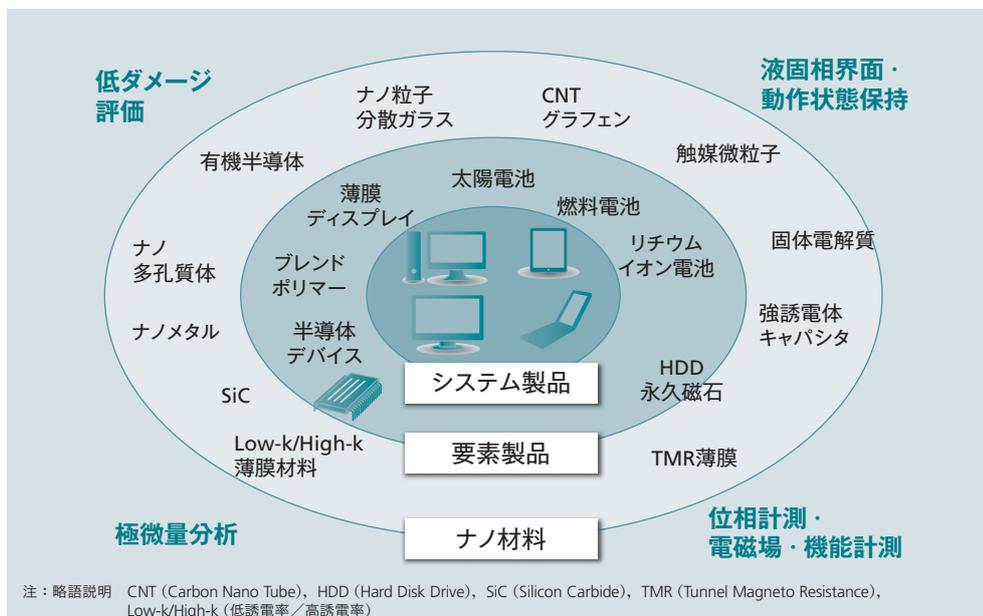


図7 | モノづくりにおける多様な計測評価ニーズ（エレクトロニクス分野の例）

エレクトロニクス分野においては、システム製品から要素製品、ナノ材料という広い範囲で多様な計測ニーズがある。

い。また、流体機械内の複雑な回転流れ場の流速や圧力、ボイラにおける燃焼現象などでは、その場での計測が必要になる。

(3) 食品中の異物や残留農薬などの高速検査技術も喫緊の課題である。スループットとコストの点で難度も高く、国ごとの規制や法律も異なるなど、今後の対応の重点化分野である。レアアース削減の動きに対しても、材料開発をサポートする計測技術が必須である。

上記の課題に対して、今後、検討すべき計測基盤技術分野は以下のとおりである。

(1) 電子線応用計測においては、位相を制御・検出する技術が重要である。低加速電子線でも原子レベルの観察が可能な電子レンズ技術、信号を弁別する検出・分析器、大強度パルス化電子銃などの基盤技術が重要である。試料からの信号が弱い軽元素をベースにしたソフトマテリアル系の材料・デバイス開発の革新を図ることが可能となる。

(2) 微細な探針を試料上で走査させるプローブ顕微鏡技術では、真空が不要なことから、高効率な**近接場光**<sup>(e)</sup>を用いた**ナノ分光技術**<sup>(f)</sup>、液固相界面の物性を解析できれば、含水系試料、タンパク質や遺伝子の構造解析のブレークスルーとなる。

(3) 放射光や中性子ビームなど、大規模計

測施設を活用した計測では、原子レベルの非破壊構造解析が実現できる。例えば、パッケージを解体することなく製品形態で実施できるリチウムイオン電池の電極構造評価、製品の内部応力評価、偏光ビーム技術を用いた永久磁石の磁区評価などの広範囲の応用が成果を上げ始めている。さらには、パルス化したビームを用いて時間分解能を高めた計測により、化学反応や分子構造の変化など過渡現象の評価が可能になる。分子材料設計や創薬に新たな道を開くことが期待されている。

(4) 中・大型製品においては、信頼性を担保するための非破壊検査技術が必須である。X線、超音波、渦電流、レーザー光などを用いた探傷技術、測長技術などが実用化されており、情報の三次元化や計測装置の小型・可搬化なども積極的に進められている。

将来的には、例えば資源探査などへの応用も期待されている。また、熱流体や音場の計測では、シミュレーションと連携した場全体を計測する技術が必要になる。

## 生産技術

事業のグローバル化においては、コスト競争に打ち勝つため、海外（特にアジア）での生産が必須となってきた。

### (e) 近接場光

極めて微細な開口部や先端部など、光の波長よりも小さな物質構造に光を当てると発生し、その物質表面付近だけに存在して伝播（ば）しない特殊な光。通常の光よりも波長が短く、回折限界を超えることから、この光を用いることで、光学顕微鏡の空間分解能を飛躍的に向上させられる。

### (f) ナノ分光技術

ナノスケールで、対象物の光の吸収・反射・屈折・散乱などを測定し、構造を解析する技術。従来、分光法の空間分解能は光の波長（可視光で数百ナノメートル）程度に制限されてきたが、近接場光によって、光の回折限界を超えるナノスケールの空間分解能を実現できるようになった。

日本のモノづくりは、生産現場における「擦り合わせ」や生産システムなど、グローバルな優位技術により世界をリードしてきた。しかし、それらをそのまま海外の生産拠点に移しても有効に機能するわけではなく、実際に海外で生産を行うことで、生産現場の課題は多岐にわたることが明確となってきた。作業員、調達、サプライチェーン、現地インフラ、現地法規／商習慣、知財など、いずれも解決に相当な時間と労力を要するものである。また、コスト競争に打ち勝つためには、単に生産現場での努力だけでは不十分であり、製品企画、設計などの上流での革新が必要であることは、これまでに見てきたとおりである。

したがって、グローバルなモノづくりにおける生産技術を考えるにあたって、単に生産現場での技術に限らず、グローバルな視点から概念を大きく変えていく必要がある。そのために考察すべき対象としては以下の七つが挙げられる。

- (1) 工場やプラントのスムーズな建設
- (2) 調達を含むサプライチェーンの確立
- (3) 工場内ラインレイアウトの最適化
- (4) 作業員
- (5) 調達（品質ばらつき、納期変動などへの対応）
- (6) 広域／多拠点での生産最適化
- (7) 保守、メンテナンスの最適化

これらには、従来の生産技術には含まれない要素もあるが、グローバルなモノづくりの課題に対応する生産技術として、いずれも研究開発の対象にすべきと考える。

ここで特に重要な基盤技術はシミュレーション技術の活用である（図8参照）。

以下、その視点を中心に、上記の考察すべき七つの対象それぞれで、グローバルなモノづくりにおける生産技術について述べる。

(1) 工場やプラント建設については、設計と施工の2段階に分けて考える必要があり、設計段階では立地選択、工場レイアウト設計、物流設計などにおける多次元CAD (Computer-aided Design) やシミュレーション技術が重要である。施工の段階では、膨大な数の対象や制約条件を考慮し、建設プロジェクト全体の日程・コスト・リソース管理技術、資材調達・輸送・搬入の統合計画技術が求められる。

(2) 調達を含むサプライチェーンについては、2011年の震災や洪水などでモノづくりにおけるグローバルサプライチェーンの重要性とその脆（ぜい）弱さが露呈されたこともあり、各国、各地域における実情把握を事前に確実に行ったうえで、スムーズなサプライチェーンを実現するためのシミュレーションによる検討が不可欠となる。

(3) 工場内ラインレイアウトについては、製品構造と目標生産量に基づく製造工程設計が基本になるが、低投資、高効率を実現する製造設備配置、作業員配置、スペース設計、工場内物流を実現するため、事前に設計内容の最適性評価、実行可能性チェックを可能とするデジタルファクトリー技術（シミュレーション技術とアニメーション技術の組み合わせ）が必須である。

(4) 作業員については、熟練度が十分ではない作業員に対して、組立を簡便にする設計段階での工夫や、わかりやすい作業指示を自動的に生成する技術が有効である。組立を簡便にする設計に対しては、組立信頼性評価法<sup>4)</sup>が有効である。この評価法は、一つ一つの部品の組立の難易度を考慮し、また、個々の生産現場の作業能力を指標化

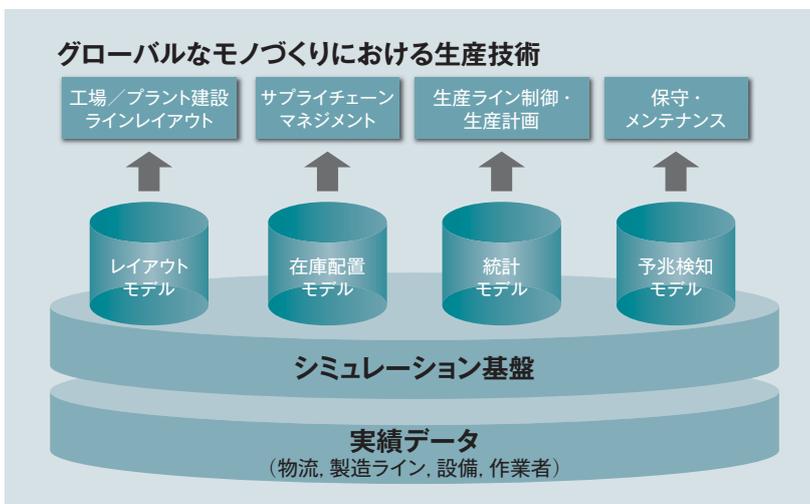


図8 | グローバル生産技術を支えるシミュレーション  
統計モデルや在庫配置モデルなどと組み合わせたシミュレーション技術の活用が今後、必要になってくる。

することにより、組立不良率を推定するもので、各設計案に対する組立の簡便さを定量化できる。

(5) 調達については、サプライヤーの改善を促すことも必要であるが、生産側としては、調達品がばらつくことを前提として加工や組立技術をロバストなものとしておくことが重要である。また、部品納期の変動も予想されるが、この場合リアルタイムでの生産管理技術が不可欠である。

(6) 広域／多拠点での生産最適化については、生産ライン制御／生産計画の精度向上やリアルタイム化、および生産と連動したサプライチェーンの構築が重要である。いずれも精緻なシミュレーション技術がキーであり、その高度化が不可欠である。

(7) 保守、メンテナンスにおいては、予兆を見逃さないことにより、メンテナンス時期などを正確に把握することで、確実な保守やメンテナンスのコスト削減を実現することができる。

ここで述べたような生産技術の概念を拡張することは、システム的アプローチがより重要になることであり、シミュレーション技術を高度化することが技術的に大きな課題であると言える。

ここまで、システムの視点で生産技術を考えてきたが、従来からのハードウェア技術の向上も重要である。特に、高信頼なシステムを支える基盤技術として、加工、溶接、潤滑、表面処理などは現象が複雑であり、モデル化が確立していない分野である。高度な技術を持つ職人も高齢化に伴い減少しており、グローバル生産において特に大きな課題になっている。「ノウハウ」という言葉で代替えられる傾向があるが、シミュレーションや計測技術を連携させ、形式知化を推進すべき分野と言える。

#### 日立グループの取り組み事例

ここでは、本特集に掲載されている9論文の位置づけと概要を紹介する。各論文では、モノづくり基盤を中心に、情報・システム基盤との連携も含めて、シミュレ

ション、計測、生産技術を活用した事例を取り上げている。

#### シミュレーション技術の活用

「環境対応・高機能材料の設計基盤を支える物性シミュレーション技術」では、電子・原子レベルの基本原則を用いて材料物性を予測できるシミュレーション技術について述べる。

地球環境問題が深刻化する中で、環境対応材料の開発が急務となっている。このような新しい材料を開発する際、従来は試行錯誤的に試作評価を繰り返す方法が多かったが、膨大な時間がかかってしまうため、計算機シミュレーションを応用して効率的に設計する解析主導設計型の材料設計が望まれていた。

当論文では、高性能リチウムイオン電池の負極材料、鉛を含まない圧電素子材料、リサイクルできる樹脂材料を例に、電子挙動を解く量子力学と、原子核挙動を解く古典力学という二つのスケールの違う解析技術を組み合わせて全体の挙動を解く分子シミュレーション技術の活用例を紹介する。

「電力・産業機械から家電製品にわたるシステム製品設計を支える流体解析基盤技術」では、今後必要となる大規模流体シミュレーションによる流体複雑現象予測事例について述べる。

家電製品から電力・産業機器に至る多くの製品では、省エネルギー性能の追求が重要な開発課題となっている。こういったシステムにはポンプやファンといった流体機器が多く使用されており、数値流体解析は基盤技術として、数多くの製品設計に適用され、成果を上げてきた。競争力のある製品開発のために、今後はさらなる設計手法としての流体解析の活用方法の工夫や、通常の解析では得られない現象解明への取り組みなどが必要になってくる。

当論文では、産学連携も活用し、従来は捉えられなかった現象を解明するための大規模流体解析の取り組みや、多目的最適化設計手法、キャビテーション解析手法の製品設計への適用などの例を紹介する。

「社会インフラ製品の高品質・高効率生産を支える溶接シミュレーション技術」では、大型構造物の溶接変形シミュレーションについて述べる。

電力プラントや産業プラント機器、建設機械、鉄道車両などの製品群では、大型の溶接構造が多く用いられており、製造プロセス全体に占める溶接工程の割合が非常に大きい。日立グループでは、これまでに有限要素法をベースに、実製品の材質、構造、使用環境などを考慮した材料物性値のデータベース化や、解析の高速化・高精度化手法を開発している。

当論文では、高精度化と高速化を両立できる変形シミュレーション手法の開発における技術開発状況、および大型構造物製造への適用例について紹介する。

「環境対応自動車を支える次世代インバータ技術」では、次世代インバータの構造と高速で高効率なスイッチングを実現するパワーモジュールについて述べる。

持続可能な社会の実現に向けてCO<sub>2</sub>排出削減が求められる中、HEV (Hybrid Electric Vehicle:ハイブリッド電気自動車)、EV (Electric Vehicle:電気自動車)の普及が進んでいる。また、風力発電、太陽光発電などの再生可能エネルギーによる電力供給量の拡大に向けて、大規模発電システムの構築が急がれている。このような低炭素社会の実現には、小型で高効率なインバータシステムが必要となる。

当論文では、この分野を支えるパワーエレクトロニクスシステムを構築するコンポーネントの一つであるインバータ装置の小型、高パワー密度化に必要な回路実装方式、冷却や耐振解析などの要素技術を用いた解析設計技術について紹介する。

### 計測技術の活用

「システムの高信頼設計を可能とする大容量産業用リチウムイオン電池の寿命予測技術」では、電池寿命年数を高精度に予測する技術について述べる。

リチウムイオン電池は、自然エネルギー発電システムの出力変動緩和用途やバック

アップ電源などの蓄電システムへの活用が期待されている。これらの用途に用いる電池の寿命を適切に予測することで、蓄電システムのコスト適正化やシステム寿命の高信頼化を達成できる。

当論文では、寿命予測精度の向上を目的とし、実験計測技術と理論モデルを連携することで、従来手法のルート則、アレニウス則、加成則を統合した寿命予測式を構築し、充放電サイクル数、稼働期間、環境温度を考慮可能な寿命予測技術について紹介する。

「スピンSEMによるその場磁区観察技術開発」では、HDD (Hard Disk Drive) や永久磁石など、さまざまな磁性材料の評価解析に応用されてきた電子顕微鏡の中で、特にスピンSEM (Scanning Electron Microscope) について述べる。

スピンSEMはデバイスの磁気構造をナノスケールで解析する装置で、磁化の方向を三次元的に定量解析できること、磁化と形状情報を分離して解析可能であることなどの特長を生かし、これまで磁気記録ビットの形状評価などに適用されてきた。

当論文では、新たに試料を加熱して高温で磁区変化を観察できる機構、ならびに試料表面の漏洩(えい)磁界をシールドすることにより、残留磁化を有する試料を観察できる機構を開発し、永久磁石などのより幅広い材料解析を可能にしたことについて、応用例とともに紹介する。

「軽元素系複雑構造物質の低ダメージ観察を可能とする回折顕微鏡技術」では、低エネルギー電子ビームに回折イメージングを適用する試みとして、走査電子顕微鏡に回折パターンから位相情報を復元して高分解能観察を実現する機能を搭載した電子回折顕微鏡について述べる。

電子顕微鏡はこれまで、半導体製造を中心に、材料およびデバイス開発に適用され、また、金属中の転位の構造を解明する研究にも盛んに用いられてきた。しかし近年は、リチウムイオン電池など、各種電池の電極材として炭素系材料が盛んに使われるなど、より軽元素側に材料の解析ニーズ

が拡大している。当論文では、グラフエンシートを一巻きした構造である単層カーボンナノチューブの回折パターンと計算機処理による原子配列像を得た内容について紹介する。

### 統計モデルに基づく生産技術の活用

「問題発生時の生産量変動を予測する統計モデルを用いた生産管理技術」では、サプライチェーンにおいて想定される、部品の入荷不足や装置故障といったトラブルが発生した際に、生産量の変動を高い精度で予測する生産管理技術について述べる。

近年、ビジネスのグローバル化とともに、世界に広がる生産拠点や物流に予期せぬトラブルや災害が生じたときにも、その影響を最小限に抑える柔軟で強靱（じん）なサプライチェーンが求められている。当論文では、トラブルが発生した際に、生産工程で将来生じる生産量の変動を、統計モデルを用いて高い精度で予測する生産管理技術について紹介する。

### 情報・ITの活用

「大規模クラウドデータセンターの運用管理コスト削減を可能とするITリソース管理技術」では、大規模化が進むクラウドデータセンターを運用管理する管理者を支援するITリソース管理技術について述べ

る。

近年、クラウドを支える基盤であるデータセンターの抱える主な問題として、「大規模化したデータセンターの一元管理が困難」、「高度な管理スキルの属人化による特定管理者への作業集中」、「役割の異なる複数管理者の連携による作業時間の増大」がある。

当論文では、大規模ITリソースの一元管理を可能とする管理リポジトリ技術、高度管理者の持つノウハウを形式知化した障害原因解析技術、ストレージ構築を自動化し管理者間の連携を省力化した仮想サーバ・ストレージ管理連携技術に取り組んだ内容について紹介する。

### 複雑で多様なシステムを支える基盤技術

ここまで、グローバルでシステム的な視点での製品開発における、今後の共通基盤技術の方向性について述べてきた。

グローバルな競争に勝つためには、多様で複雑な製品環境において、種々の現象を予測して制御できる多様な基盤技術とその連携が必要である。複雑で多様なシステムにおいて、それを支えるためのリスクの考慮とチャレンジの両立を実現できる技術が、これからの新しい価値を生む共通基盤技術と言える。

### 参考文献

- 1) 海保, 外: 最新のシミュレーション技術が実現する解析主導設計, 日立評論, 90, 11, 881~885 (2008.11)
- 2) 白鳥: シミュレーションの品質保証, 計算工学, Vol.16, No. 4, 2628, 日本計算工学会 (2011)
- 3) 中村, 外: データ同化: その概念と計算アルゴリズム, 統計数理, Vol. 53, No. 2, 211~229 (2005)
- 4) 鈴木, 外: 生産性評価法 [II] - 組立信頼性評価法 -, IEレビュー, Vol. 44, No. 5, p. 73~78, 日本IE協会 (2003.12)

### 執筆者紹介



#### 佐々木 直哉

1982年日立製作所入社, 日立研究所 所属  
現在, 機械系基盤技術やシミュレーション技術の普及, 開発に従事  
博士 (工学)  
日本機械学会フェロー, 日本計算工学会理事, 日本トライボロジー学会会員



#### 斉藤 昭男

1982年日立製作所入社, 横浜研究所 所属  
現在, 研究企画業務に従事



#### 高口 雅成

1989年日立製作所入社, 中央研究所 ライフサイエンス研究センター 所属  
現在, ナノ計測装置開発および材料・デバイス評価技術の研究に従事  
日本顕微鏡学会会員, 応用物理学会会員