特集 展望　専門委員会・分科会研究レビュー

現物融合型エンジニアリング専門委員会

3次元計測とデジタルエンジニアリングの融合*

Convergence of Digital Engineering and 3D Scanning Technologies

鈴木宏正**
Hiromasa SUZUKI

Key words　digital engineering, surface scanning, X-ray CT scanners, three dimensional measurement, reverse engineering

1. はじめに

本専門委員会は，昨年11月に設立されたばかりの新しい委員会であり，まだ成果として報告すべきものはない．発足以来，筆者の予想を上回る，企業20社と学識経験者20名の参加を得，また例会も毎回盛況で，本分野への期待の大きさを実感している．本稿では，本専門委員会の対象とする現物融合型エンジニアリング（Convergence Engineering）という技術分野について中心に紹介する．

“現物融合型エンジニアリング”という名前は，本委員会の設立にお力をいただいたトヨタ自動車（株）・三和田靖彦委員と（株）日立製作所・定岡紀行委員らと相談して付けた名前である．また，英語名 Convergence Engineering は筆者の造語である．

この名前は，デジタルエンジニアリングに対応する名称でもある．デジタルエンジニアリングの定義は様々あろうが，ここでは，CAD/CAM/CAE を中心とした設計・製造を支援する情報システムを総称的に表しているものとする．日本の製品開発力を強化し，世界に先駆けた製品を出し続けるための競争力を実現するには，モノつくりの IT 武装，すなわち，このデジタルエンジニアリング技術が必須である．しかし，これらの技術は世界的に普及してきているために，もはやそれだけでは差別化できず，国際競争において十分な競争力を与えるものにはならない．

現物融合型エンジニアリングの最大の特徴は，最新の計測技術をベースにして現物とデジタルエンジニアリングを結び付け，現場のレベルが高い日本固有のモノつくりの強みをデジタルエンジニアリングに織り込むことである．従来のデジタルエンジニアリングは，このような現物からのアプローチが欠けていたために，日本固有の技術とはならなかったのかもしれない．高度に進化した計測技術と，そのデータを活用するモデリングやシミュレーションなどの技術を開発し，それらを統合することによって，日本のモノつくりに適合したデジタルエンジニアリング手法によって製品開発力の飛躍的向上を図ろうとするのが，現物融合型エンジニアリングである（**図1**）．

2. 仮想生産から現物融合へ

いうまでもなく，CAD/CAM/CAE を中心としたデジタルエンジニアリングシステムの発達と普及は目覚しいものがあり，ものつくりにおける品質・コスト・リードタイムの向上の原動力となっている．その技術の大きな鍵となっているコンセプトは“仮想化”である．設計，試験から製造準備にいたるプロセスにおいて，コンピュータ内でモデリングやシミュレーションを行うことによって，できるだけ試作や実験，トライを減らすことによって，効果を挙げようとするものである．

例として，**図2**に示した単純な鋳造部品の設計・製造プロセスの様子を使って説明を行う．図の上半分が，上記の仮想化された部分（仮想世界）である．この仮想世界で作り出された製品情報や製造情報が製造工程へ流れ，図の下半分に示されるように，工場で実体としての部品や製品が

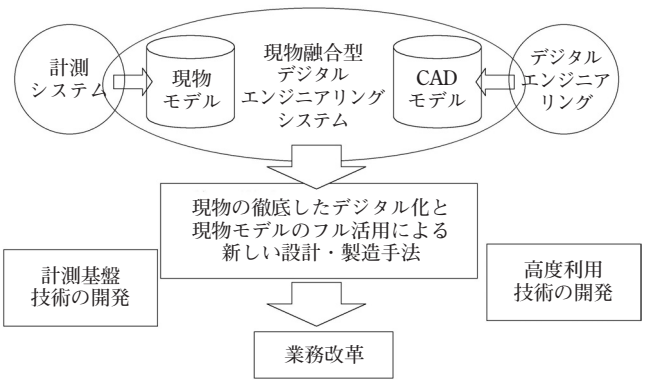

図1　現物融合型エンジニアリング

*原稿受付　平成17年7月1日
**正 会 員　東京大学（東京都目黒区駒場4-6-1）
鈴木宏正
1986年東京大学大学院博士課程修了・工学博士，1987年東京大学助手（教養学部），1988年同講師，1990年同助教授，1994年東京大学助教授（精密機械工学専攻），2003年同教授，2004年より同大先端科学技術研究センター．現在に至る．研究分野：形状モデリング，デジタルエンジニアリング．

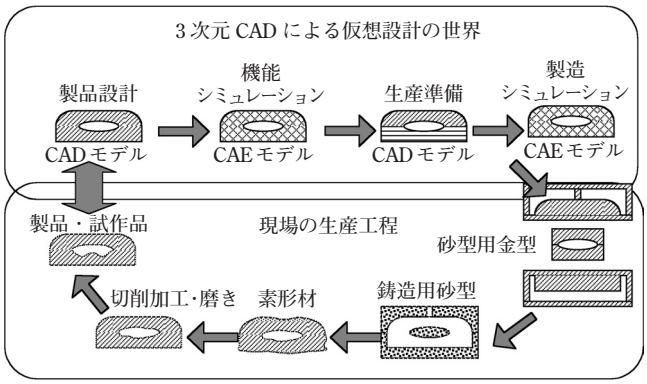

図 2　仮想生産と生産工程（鋳造を例として）

作り出される．この製造工程では，砂型を作る木型，鋳造用の砂型が作られ，さらに素形材が鋳造され，機械加工を経て試作品となる．そして，これを使って実験が行われ，性能を評価しつつ物理的な形状修正が行われる．

部品の形という観点で見ると，最初の CAD で設計された部品の形から出発して，製造要件を織り込んだ金型形状へ修正され，さらにそれが各製造工程において型や鋳物といった実物の形へ転写され，様々な歪み・変形を受け，手直しなども行われたものが最終的な部品形状になっていることがわかる．

このような複雑な工程を経て製品や試作品が作成されるわけであるが，素朴な疑問として“CAD モデルの形状と製品形状は合っているのか”，“合っていないとすれば，どこでどのように狂ったのか”といったものがある．すなわち，工程中の金型や部品などの現物の形やその変化は正確には把握されておらず，例えば次に挙げるようなことが実現できれば，品質・コスト・リードタイムの上で大きな効果があると期待されている．

○形状比較：現物と CAD モデル，部品同士，耐久試験前後の部品などの形状を比較する．

○形状追跡：1 個の特定の部品の形状の変化履歴を工程を通して追跡する．

○ CAD へのフィードバック：実験などを経て最適化された試作品形状を CAD モデルに反映する．

これらを解決する有効な手段は，3 次元計測技術，すなわち非接触 3 次元スキャナや X 線 CT スキャナによって各工程段階において現物を“そっくりそのまま”計測し，3 次元形状の現物モデルを生成し，さらにそれを CAD，CAM，CAE などのデジタルエンジニアリングに取り込むことである．このように 3 次元計測による現物のデジタルモデルを徹底利用する新しいエンジニアリング手法を目指すのが，現物融合型エンジニアリングである．

このような技術が現実化してきた背景には，非接触 3 次元スキャナや X 線 CT スキャナなどの 3 次元スキャニング技術の高度化があることはいうまでもない．しかし，本専門委員会では，このような装置技術自体よりも，むしろその利用技術を中心とする．

さて，現物融合型エンジニアリングに対する期待が高まっている背景には，次のような状況があるように思われる．

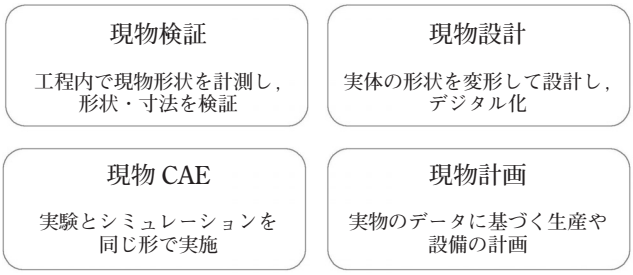

図 3　現物融合型エンジニアリングの分類

○すり合わせ型製品の要求品質レベルの高度化

日本のものづくりの強みの 1 つは，現場におけるすり合わせによる高度な品質の作り込みにある[1]．しかし，現状のデジタルエンジニアリングは，特に部品が組み合わされたときの品質の実現・予測において十分ではなく，現物に忠実なモデルによる評価でないと，評価にならない．

○勘やノウハウに頼った方法の限界

未知の材料やプロセスの出現によって，製造工程における製造条件の作り込みが困難になってきている．2007 年問題のような技能者不足の問題もあり，従来の勘やノウハウに頼った手法の限界がきている．計測による現象のデータ化と，その解析に基づく合理的な方法への転換が求められている．

○デジタルエンジニアリングの展開

デジタルエンジニアリングによる IT 化が製造現場まで浸透してきており，そもそもデジタル化されていないと作業ができない状況になりはじめている．

3.　現物融合型エンジニアリングの分野

3.1　技術分野

筆者は，現物融合型エンジニアリングの技術分野を，次の 4 つに分類して考えている（**図 3**）．

○現物検証

工程内で現物形状を計測し，形状や寸法を比較検証する．

例えば，各工程で型や製品を計測し CAD と比較して問題点を洗い出したり，異なる製造条件による製品の形状比較を行うことによって製造条件を最適化したりする．

○現物設計

実体の形状を操作して設計し，それをデジタル化する．

代表例は，クレイモデルから CAD モデルを生成するリバースエンジニアリングであろう．人間の感性による評価が重要な製品意匠の場合は，モックアップの作成が不可欠であり，モックアップを手修正して製品意匠を評価し修正後のモックアップから CAD モデルを生成する．あるいは，金型の手直しが行われた時に，その CAD モデル生成する．さらに現物しかないもの（旧製品，他社製品）の CAD モデルの生成もこれに含まれる．

○現物 CAE

実験とシミュレーションを同じ形で実施するために，試験対象の現物形状を計測して作成された現物モデルを用い

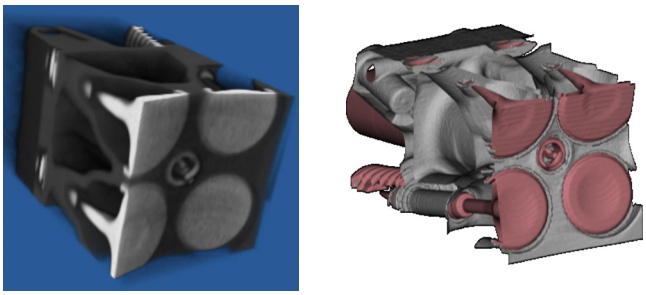

図4　エンジンの一部のCT画像からの媒質毎のメッシュ生成
（左：ボリュームモデル，右：非多様体三角形メッシュ）

てシミュレーションを行うものである．現物の主な誤差要因としては，例えばスプリングバック，ヒケ・反り，手直しなどがある．またCADデータがなく，現物しかないもののシミュレーションにも有効である．例えば，古い製品や，他社製品（ベンチマーキング）などである．

○現物計画

現物のデータに基づいて生産や設備の計画を行うものである．例えば，機上で素形材を計測して，その形状データに基づいてNC加工を行ったり，組立中の車体を計測してロボットの溶接経路を変更したりする．また，最近では建造物などをスキャンできる装置が開発され，それを用いて工場の設備や建屋を計測し，それに合った設備設計を行うAs Builtモデリングと呼ばれるものもある．

3.2　事例紹介

ここでは専門委員会で紹介された中から，誌上で公開可能な事例を2つ紹介する．

○多媒質部品のメッシュ生成　東京大学・鈴木研

図4上に示したのは，自動車のエンジンのある部分をX線CTによって計測したボリュームモデル（3次元画像）である．X線やX線CTは鋳造巣の検査に利用されてきた歴史があり，このようなエンジンはX線CTの最大の適用分野である．デジタルエンジニアリングでこのような計測データを活用するには，3次元画像のままではCAD/CAM/CAEとの相性が悪いので，通常まずメッシュに変換される．しかし，この部品は，アルミと鉄など複数の材質で構成されているために，従来の方法では，材質ごとの境界を同時に精度よくメッシュ化することができなかった．筆者の研究室では，多媒質部品のメッシュを非多様体モデルとして生成する方法を研究開発しており，同図下はその結果である．

○計測データによるCAE　日本ビジュアルサイエンス（株）

X線による検査のもう1つの大きな分野は，電子機器の実装分野である．特にハンダなどによる接合の不良の検査に利用されてきている．マイクロフォーカスX線CT装置と呼ばれる装置が利用されており，**図5**上はリレー装置のハンダボールのボリュームモデルである．このようなハンダボールは内部にボイドが含まれ，それが接続不良などの原因となる．この下図は，ボリュームモデルから四面体メッシュを作り，それを用いてFEMによる応力解析をし，ボイド周辺の応力分布を解析した例である．

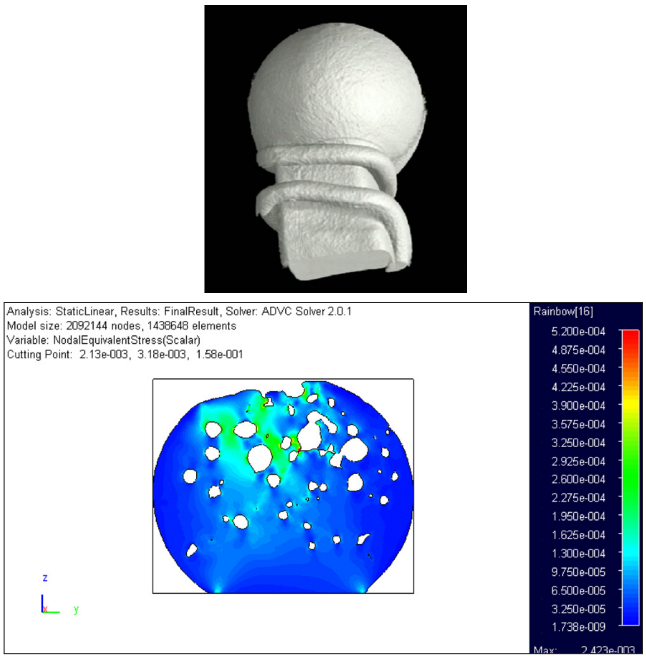

図5　ハンダボールのCT画像から有限要素法のメッシュを生成し応力解析
（上：ボリュームモデル，下：応力解析結果）
（提供：日本ビジュアルサイエンス（株））

4.　専門委員会の活動

4.1　目的

他の専門委員会とも共通する部分が多いと思うが，本専門委員会は次のような目的を掲げている．

○分野活性化　“仲間を増やす”

本文分野は計測技術とデジタルエンジニアリングの融合領域にあるために，本分野で活躍する技術者や研究者が集まれる場を作ることが，現段階としてはもっとも重要であると考えている．そして，分野の固有性や技術の有効性を明確化し，認知度を高め，外部者の理解を促進したいと考えている．

○産学連携促進　“現場の声を研究機関へ”

また，本分野は多くの技術的課題を抱えており，従来技術の延長ではカバーできない部分が多い．そのために，企業にとっても，大学・研究機関にとっても，産学連携は有益であり，特に先進技術の実用化につながるような産官学の連携強化を目指している．また，企業と研究機関の相互情報交換を活発にして，類似研究による重複投資を回避し，さらには研究成果の流通を促進したいと考えている．また，競争的資金などへの産学プロジェクトのきっかけとなることも期待している．

○技術レベルの底上げ

参加委員の技術レベルを上げるために，基礎理論・技術の学習の機会を設け，また先端技術の動向調査や国内外情報調査を行いたいと考えている．

4.2　活動内容

以上のような目的を達成するために，本委員会では次のような活動を計画，あるいは行っている．

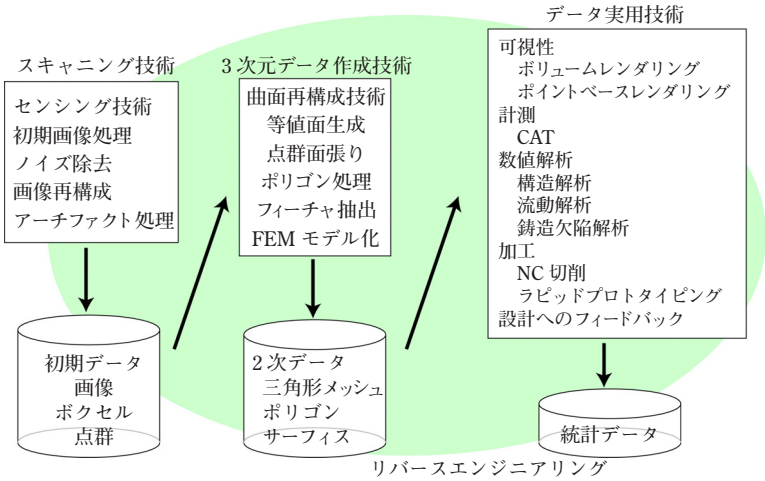

図 6　技術マップ

○例会等の活動

年に 5，6 回の例会を開催するほか，見学会や合宿などを計画している．例会では，委員による情報提供の発表や，外部講師によるセミナーを開催する．このような活動により，企業における業務や開発内容，特に最新計測機器，ソフトウェアについて紹介してもらい，一方で研究機関による研究紹介などを行い，シーズとニーズのマッチングをはかる．また，セミナーでは基礎理論や最新技術，第一線の研究者から，講義をしていただき，基礎理論や技術課題のポイントについて効率良く情報獲得する．また，先端技術の動向の調査も行う．さらに，国内外情報調査として，国内外の展示会や国際会議などの情報を紹介していただく．

これらの例会で対象分野する分野としては**図 6** の技術マップ（後述）に示すものである．

○情報発信

委員会の活動を情報発信するために，ホームページ開設，講演会・技術展示会・研究発表会などを実施する．また，活動紹介するパンフレットを作成し，さらに活動をまとめた専門書の出版，特集記事掲載などを行う．

なお，2005 年度精密工学会秋季大会において，シンポジウム“Convergence Engineering：産業用 X 線 CT による現物融合型エンジニアリング”を実施する．

○技術マップ作成

本分野に関連する技術分野のマップを作成し，さらに将来予測を行うことによって，ロードマップ化し技術開発項目を抽出する．さらにこれを委員間の共同研究のベースとする．図 6 は三浦憲二郎委員（静岡大学）が中心となって作成中の技術マップである．

○標準化

技術革新のスピードの速い本分野では，標準化が遅れており，例えば計測精度などのスキャナの性能に関する標準化が遅れている．非接触 3 次元スキャナについては，産総研を中心に標準化が進められているが，X 線 CT スキャナについては手付かずの状態である．標準化戦略上も重要な課題と考えられるため，今後専門委員会としても対応を行いたいと考えている．現在，小林一也委員（富山県立大学）を中心にして作業を開始している．

○データ共有

研究開発のための基礎資料をデータベース化して提供する．例えば，サンプルデータやソフトウェア，技術資料，論文などである．

4.3　組織

組織としては，委員長（鈴木（東大）），幹事（三和田（トヨタ自動車）），会計監事（定岡（日立製作所））であり，事務局を委員長の所属する研究室に置いている．

参加委員は 2005 年 6 月現在で，以下の企業 20 社，大学・研究機関（個人参加）20 名である．（株）エリジオン，（株）くいんと，（株）SAN，（株）島津製作所，（株）セリオ，（株）先端力学シミュレーション研究所，千代田アドバンスト・ソリューションズ（株），中部日本工業（株），テスコ（株），（株）東京精密計測社，東京貿易テクノシステム（株），（株）トヨタコミュニケーションシステム，トヨタ自動車（株），日本ビジュアルサイエンス（株），日本ユニシス・ソリューション（株），（株）日立製作所，ヤマハ発動機（株），マテリアライズジャパン（株），（株）本田技術研究所，東京大学，徳島県立工業技術センター，和歌山県工業技術センター，群馬産業技術センター，理化学研究所，産業技術総合研究所，慶應義塾大学，静岡大学，芝浦工業大学，富山県立大学，豊橋技術科学大学，北海道大学，山梨大学．

5.　ま　と　め

以上，現物融合型エンジニアリングの背景や考え方について中心に述べた．初頭に述べたように本専門委員会はまだ発足したばかりの委員会であり例会を中心とした活動をしているが，今後この分野の中核となるよう委員会の活動を発展させたいと考えている．さらに多くの委員の方の参加を期待している．