製品ライフサイクルにおける ICT の活用状況と今後の展望*

ICT Support for Product Life Cycle Development : Current Trends and Future Perspective

木村文彦**
Fumihiko KIMURA

Key words

CPS (Cyber-Physical System), IoT (Internet of Things), digital manufacturing, life cycle management, MBD (Model-Based Design), product data representation, standardization, simulation, closed loop manufacturing, mass-customization

1. はじめに

ICT（情報通信技術）の急速な発展により、われわれの社会は大きく変貌している。例えば、スマートフォンの普及は人々の日常生活に大きな影響を与えており、またそれを製造・提供する産業も ICT の活用により今までにない形態をとろうとしている。本稿は、家電・情報機器・自動車のような消費者向け大量生産品や産業機械などを主な対象として、製品そのもの、あるいはそれらの設計生産活動・技術が ICT の影響により、今後どのように発展していくかを考察する。

わが国も含めて、欧米など工業技術の先進国における製造業は、発展途上国とのコスト競争などにより、困難な時代を過ごしてきており、近年はいわゆる伝統的な製造業の衰退が危惧される状況にも陥っていた。ところが最近、ドイツでは Industrie4.0¹⁾ のような、産官学を挙げて国家レベルで製造業を活性化させ、競争力を強化しようとする活動が強力に推進され、英国²⁾、米国³⁾ などでも同様の動きが見られるようになってきた。わが国でも革新的設計生産⁴⁾ などとして同様の動きが始まっている。

これらについての具体的な内容は各国の事情によりさまざまであるが、ICT の活用により製品や設計生産活動を革新しようという基本的な考え方があることは共通であろう。CPS (Cyber-Physical System)⁵⁾、IoT (Internet of Things)、IoS (Internet of Services)、Industrial Internet、Big Data⁶⁾、MBD (Model Based Design)⁷⁾、Digital Manufacturing などのキーワードが引用されている。

しかし、「こと」から始まる製品開発、製品ライフサイクル管理、また CAD/CAM や高度シミュレーション、生産自動化や自律化など、ICT により製品や設計生産を高度化しようという研究開発は、今に始まったわけではなく、少なくとも最近の 20 年間にかけて継続的に行われてきた。したがって基礎的な考え方はよく理解されている。

しかし、計算機能力やネットワーク機能が未成熟でありコスト高であったために、現実的に実用化できていなかったことも多い。近年に至り、計算機のみならずセンサーやアクチュエータなども高性能・高精度・小型化、低価格化が進み、高速・大容量のネットワークも広範囲に普及してきた。汎用的な支援ソフトウェアも整備され、標準化も進んできた。ものづくりの徹底した ICT 化を実現できる臨界点を越えたということであろう。

本稿では、今後見込まれる ICT の発展を基に、ものづくりの革新を考える。次のような事柄を指標として考察してみることも有効であろう。

・デジタル化の徹底度

デジタル化が可能で有効でありながら、技術や経済の状況が変わったにもかかわらず過去の制約に捉われて実行していない例は多い。

・要求される状況への適合度

過大な機械、過剰な機能など、さまざまな変動下で生ずる余裕は無駄を生む。デジタル化により状況変化への迅速な適合が見込まれる。

・人の役割の明確化

機械にできることは機械に任せて、人の中途半端な介入を排除する。人がなぜ介入しなければならないのかを明確にすることは重要である。

次のような視点も重要である。方法は一般的であっても、製品や状況により、製品設計や生産の実現形態は異なり、汎用的な解はない。ICT による迅速・柔軟な対応が望まれるゆえんである。近未来には、ICT の向上により、定型的な活動をする設計者・技術者の仕事はデジタル化されると考えられる。ものづくり価値の創造という観点から人の役割を見直す必要がある。

2. 製造業を取り巻く状況

すでによく議論されていることではあるが、現代の工業先進国における製造業を取り巻く課題についてまとめておこう。

・工業先進国と発展途上国との競争

*原稿受付 平成 27 年 1 月 7 日

**正 会 員 法政大学理工学部機械工学科（東京都小金井市梶野町 3-7-2）

発展途上国においても生産に関する環境整備が進み ICT の普及に伴い、コスト低減を目指した製造活動の移転が容易となってきた。製造のみならず、人材育成が進むにつれ製品開発においても途上国の進出が目覚ましい。

- ・資源枯渇と環境劣化

現状の工業製品が膨大な潜在市場である発展途上地域へ普及すれば、深刻な資源枯渇や環境劣化を招くことは明らかであり、工業先進国には、現状より格段に環境に配慮した製品や製造技術を開発していく責務がある。

- ・変動に対する対応

生産活動がグローバル化するにつれ、経済や社会情勢による予期しがたいさまざまな変動が発生するようになり、生産活動の一層の頑健性や迅速な回復性が要求されるようになってきた。

これらの課題に対応して工業先進国において製造業を維持し雇用を確保していくために、本質的な高コスト体質を克服していくような高付加価値な生産活動が強く求められている。前章に示した欧米の諸活動^{1)~3)}はまさにこのようなことを目指している。

現代の工業先進国で、将来の製造業がどのような姿を採っていくのか、いまだに明確な方向は見えない。後述するように、製造業のサービス産業化などが議論されるが、単純な解はないであろう。「こと」を中心とする全く新しいものづくりが発生してくるであろうが、一方で、自動車や家電、産業機械や社会インフラ施設などについて、基礎技術や ICT による革新が起こり、既存製造業がその姿を変えていくことも見込まれる。これらについて、ICT の影響を考えてみたい。

3. 設計生産技術の今後の在り方

工業先進国における製品や設計生産活動の高付加価値化について、次のような事柄は重要であり、ICT の進展が大きな影響を及ぼしている。

- ・差別化できる基盤的なコア技術の継続的な開発

今後のものづくりの主流ではますます技術が高度化し、いわゆる Knowledge-intensive な活動となってゆく。このことは特殊な高機能製品に特化するという意味ではなく、日常的な消費者製品についても、新技術・新材料、高度なソフトウェアなどが導入されて、安価に大量市場に提供されるようになることに注意する必要がある。ここに工業先進国の競争力が存在する。このためには、従来の経験や勘、摺合せなどに依存する技術開発では対処できず、原理原則・基礎理論に従った革新的な技術開発力が競争力となる。大規模・複雑化する生産プロセス管理においても、経験的な管理から ICT 活用によるプロセスの合理的管理が可能となる⁸⁾。真に実効あるものとするためには、可能なものから実行可能なソフトウェアとして体系化していく継続的な努力が必須である。

- ・新たな製品やサービスの開発

新たな製品やサービスの開発、あるいは従来製品の新た

な機能展開なども求められる。このための有効な理論的方法は依然として明らかではないが、システムエンジニアリング的なアプローチや利用者と生産者の共創的アプローチなどが議論されている。基本的な考え方であるが、広く利害関係者を集めて潜在する社会的期待を発掘し、広範な専門家により可能技術を俯瞰して期待とのマッチング（邂逅）により研究開発の方向を定めようとするような試みもある⁹⁾。領域横断的な研究開発として今後の成果が期待されている。社会的期待の収集・分析において、IoT、CPS あるいは Big Data 等の手法が活用される。

- ・ICT 環境による製品や製造のライフサイクル管理

従来からのサプライチェーン管理、メンテナンス、リサイクリングやリユース等を超えて、CPS、IoT あるいは BigData 等の ICT 環境を活用し、常時、継続的に実世界の情報を獲得することにより、製品の全ライフサイクルにおいて新たな付加価値活動の可能性が生まれてくる。基本的な概念は従来からよく議論され、実現例も多いが、ICT 環境の高度化により、実践を通じて画期的な成果が出てくることが期待される。

- ・専門性の高いものづくり人材の育成⁸⁾

上記のようなものづくり革新は、基本的に定式化され、定型化された活動は自動化されていくことを意味する。製品技術開発も含めて、ものづくり人材には、従来にも増して高い専門性と高度な思考力が要請される。そのようにして、Knowledge-intensive な活動に進化していくことが、工業先進国において、ものづくりが発展していく道である。総合 (Synthesis) を旨とする設計科学の素養を身に付け、高度な ICT 環境を使いこなせるような人材の育成が求められており、わが国において今後の大きな課題である。

上記のような事柄について、わが国産業界にはものづくり文化の基盤があり、基本的には大きな潜在力があると考えられる。しかし、学界も含めて、わが国では個人の学術的努力に依存する傾向があり、技術開発を俯瞰したうえでの体系的・組織的な取り組みや ICT 活用の成果としてのソフトウェアツールの整備や標準化などに積極的ではなく、単なる手段であるとして軽視してきた傾向があった。以下に述べるように、今後の製品や設計生産技術においては、情報ネットワークなどの社会基盤としての情報インフラや学術研究や技術開発の成果としてのソフトウェア環境が大きな役割を果たすと考えられる。積極的にもものづくりの ICT 基盤を構築していく努力が求められている。

4. 設計生産のための ICT 基盤

これまでに述べたような製品や設計生産技術を現実のものとしていくためには、手段として ICT を駆使できるような基盤を整備することが重要である。そのような ICT 基盤により将来の製品や設計生産がどのように変わるのかについては次節以降に記すとして、本節では ICT 基盤の概要を論じる。

図1 参照アーキテクチャの一例¹⁾

製品および設計生産のための ICT として、二つの側面を考えることができる。一つは高度な製品やその設計生産の要素技術のデジタル化であり、もう一つは要求に応じてさまざまな機能の製品や設計生産形態の実現を支援するためのシステム構築支援の ICT 環境である。

前者については、ICT の発展が推進力となって継続的に研究開発が続けられてきた。例を挙げれば CAD/CAM/CAE, PDM (Product Data Management), PLM (Product Life Cycle Management), MES (Manufacturing Execution System), SCM (Supply Chain Management), ERP (Enterprise Resource Planning),あるいは、各種の自動化システムソフトウェア, NC, 組込ソフトウェアなどがある。これらのソフトウェアはすでに製品開発や生産に不可欠となっているが、基本的には独立して発展してきたので、特定のものづくりのために自在に組み合わせて統合的に活用することは必ずしも容易ではない。

後者の ICT 環境は、前者のようなソフトウェア群を組み合わせ、目的の製品や設計生産のシステムを創り出そうとするものである。近年の ICT の発展により、目的に応じた多様なシステム構成が可能となってきたことが、ICT によるものづくりの革新として近年注目を浴びているゆえんである。特に通信機能の発展により、システムの物理的な構成に自由度が増えたことが大きな効果を発揮している。

ものづくり活動の目的により、さまざまな視点でのシステムの構成が考えられる。例えば次のような見方が議論されている¹⁾。

- ・ 組織の枠を超えて必要とされるさまざまな活動の水平統合
- ・ 組織内でのミクロな活動からマクロな活動の垂直統合
- ・ 製品、製造プロセス、ビジネスプロセスなどに着目した一貫した Value Chain

上記のような視点に従って必要とされるソフトウェアを

組み合わせるためには、機能インターフェースや関連する情報の共有メカニズムを規定できる仕組みが必要であり、これを参照アーキテクチャと呼ぶ。目的に応じて、関連する活動を統合するイメージの一例を図1に示す¹⁾。

参照アーキテクチャについて、論理的・物理的な集中・分散構成の制御、頑健で回復性に富んだシステム構成、迅速・柔軟な再構成、実時間性など、さまざまな要求がある。特に、既存資産活用と公開性を担保するための標準化は重要な検討事項である¹⁰⁾。どこまで公開して標準化するか、コア技術として非公開とするかなど、技術戦略として重要であり、今後、国際共同研究などを通じて、さまざまな提案がなされることが期待されている。わが国も、蓄積した設計生産技術のデジタル化を推進し、国際標準化にも貢献していくことが国際競争力の維持のために肝要である。

5. ICT 支援による製品開発の革新

製品の付加価値を高める開発の方策として、第3章に記したように、既存製品の機能、品質、省資源・省エネルギー性、低コスト化などを革新技術により極限まで高める考え方がある。一方で、最近のネットワークインフラの普及やデータ収集・処理能力の向上などを基礎に常に「つながる」製品として新たな価値を追求する考え方もある。いずれにおいても ICT が必須の実現手段として活用される。

製品開発の技術的支援については、3次元 CAD をはじめとして、大規模シミュレーションなどすでに多くの支援ソフトウェアが日常的な開発に不可欠の手段として広く使われている¹¹⁾。近年は、特に利用者要求を適正に機能に反映させる上流設計が注目されており、MBSE (Model-Based System Engineering)¹²⁾、1DCAE¹³⁾、MBD などが提唱され実践されている。

CPS や IoT の概念の元で膨大なセンサー群による実世界との融合を前提として、不断に収集される Big Data の予断のない解析により新たな製品やサービスの提供を目指す動きもある。これらの結果を上記の技術開発へつなげる

図2 ISO STEP AP 242 概要¹⁶⁾

図3 活動組織の機能構成¹⁷⁾

ことも重要である¹⁴⁾。

上記のような ICT 支援を統合し、製品開発を通じて一貫して活用できるようにするためには、支援ソフトウェア機能の制御と情報の共有を可能とする参照アーキテクチャが重要である¹⁵⁾。なかでも製品開発の上流工程から下流工程にかけて製品情報やそれに付随する技術情報のモデル表現標準化は基本的に重要であり、多くの国際標準や業界標準が規定され使用されてきた。ISO TC184/SC4 では長年にわたり製品モデルの国際規格 ISO10303 (Product data representation and exchange) の開発を進め、関連業界団体も支援ソフトウェアや実装支援活動を行っている。製品開発全般を十分に支援するにはいまだに不十分であるが、このような方向で、製品開発全般の技術情報を徹底してデジタル化することの効果は大きい。困難な課題ではあるが、今後の ICT による支援技術のコアとして、わが国も技術開発に貢献していく必要がある。航空機や自動車開発などを主な対象として、3次元形状製品の技術情報を表現する製品モデル規格 ISO10303-242: Application protocol:

Managed model-based 3D engineering の概要を図2に示す¹⁶⁾。

6. 自動化・自律化による生産の革新

ICT の浸透により生産システムもその姿を大きく変えようとしている。生産の形態は、品種数や生産数量、納期、品質やコスト、変動要因などによりさまざまであり、状況に応じて迅速・柔軟に形態を変えられることが、近年の工場に求められる能力であろう。基本的な考え方は、ICT を採用して製品製造の全ライフサイクルを俯瞰し、トップダウンに適切な方策を決定して、自動化機器を適切に組み替えて、状況に応じた生産形態に適応していくことであろう。

生産には多くの物理的制約があるので、それらを十分に取り込んだモデリングを基に計画していく必要がある。ここに、図1に示したような、生産技術情報、生産プロセス、生産設備、ビジネスプロセス等を連携させることの重要性がある。近年の通信技術の中核とする ICT の進展に

より実世界からの継続的な情報獲得が可能となったことで、Mass-customization のような生産形態も実用的に実現が可能となってきた。

上記のような情報インフラの整備に対応して、設備の情報化・自律化も進んでいる。汎用ネットワークが大容量化・高速化し、ネットワークを介した実時間操作も可能となってきたので、基本的に設備が「レゴブロック」化して、さまざまなシステム再構成が自動で可能となってきた。工場の機能的な構成が、例えば IEC 62264-1¹⁷⁾に図 3 のように規定されている。このような構成を介して、物理的な設備の世界と情報の世界を結合することにより、さまざまな形態の生産が可能となる。ここでは、物理的および論理的なインタフェースの標準化が重要になる。

このような構成の中で、人の役割も明確にしていくことが重要である。計画された作業は自動化が主体となっていくであろうから、人の役割は、システムの改善や新たなシステムの計画になるのかもしれない。人とシステムとのインタフェースをどのように設定するのが重要になる。

7. サービス化と循環型生産

通信ネットワークを中核とする近年の ICT の影響を最も強く受けている分野が、広義の製品ライフサイクル管理であろう。常にネットワークにつながっていることからさまざまなサービスが可能となる。以前からよく議論されてきた概念であり、産業機器などを中心に実現されてきたが、今日ではサービス提供と環境性能向上の観点からあらゆる製品についてその可能性が考えられている。

多くの事例を目にするのでここでは詳しくは取り上げないが、航空機エンジン、鉄道、建設機械、工作機械などについてのモニタリングとメンテナンスの例はよく知られている。電気自動車に対して、メンテナンスのみならず機能アップグレードなどもオンラインで提供する試みが評価されている。

オンラインで継続的なモニタリングとメンテナンスを行うことは、製品の状態を常時よく把握できることを意味するので、製品の回収・再利用も含めてライフサイクルの合理的な管理が可能となり、循環型生産の定着に寄与する。ICT の発展によりこのためのインフラコストが十分に低減してきたといえるであろう。

8. お わ り に

本稿で述べたような ICT による革新は、工業製品やその設計生産に限ることなく、広く他産業やわれわれの生活を革新していく。共通的な ICT が多いので、他産業での実施により、ICT 基盤を介した産業の融合が進み、新たな産業構造が生まれてくることが見込まれる。医療や農業はその典型的な分野であろう。

今後の人の役割については、十分な議論が必要である。

日常的な技術作業は基本的にデジタル化されていくので、人はものづくりの本質にかかわる創造的な作業に専念できるようになる。Knowledge-intensive な産業に転換することが先進国のものづくりの進む道である。このような状況に向けて、ものづくり人材育成についての継続的な努力が強く望まれている。一方で、情報技術の爆発的な進化を予測する Singularity¹⁸⁾の議論もあり、ICT の長期的な効果を見誤らないことが重要である。

参 考 文 献

- 1) Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0, Federal Ministry of Education and Research, Germany, 2013.
- 2) High Value Manufacturing Catapult: <https://catapult.org.uk>, Innovate UK.
- 3) National Network for Manufacturing Innovation: <http://www.manufacturing.gov/nmii.html>, USA.
- 4) 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 革新的設計生産技術: <http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/>, 内閣府.
- 5) 特集: サイバーフィジカルシステム, 情報処理, 55, 9 (2014) 908.
- 6) 特集: ビッグデータ: 世界を変えていくイノベーションの原動力として, 情報処理, 55, 9 (2014) 956.
- 7) dSPACE Japan: モデルベース開発, 日経 BP, (2013).
- 8) 報告: 社会や市場の変化に対応する生産科学の振興と人材育成, 日本学術会議, (2014).
- 9) 吉川弘之: 社会と科学技術を結び付けるために, 科学技術振興機構研究開発戦略センター, (2014).
- 10) The German Standardization Roadmap INDUSTRIE 4.0, Version 10, VDE, Germany, (2014).
- 11) 木村文彦: 3 次元 CAD の研究動向と製品設計への貢献, 日本機械学会講習会「自動車における 3 次元設計の現状と課題」予稿集, No. 14-88, (2014).
- 12) S. フリーデンタール, 他, 西村秀和, 他訳: システムズモデリング言語 SysML, 東京電機大学出版局, (2012).
- 13) 大富浩一: IDCAE によるものづくり, 第 1 部~第 3 部, シミュレーション, 33, 1-3 (2014).
- 14) M. Abramovici, J.C. Goebel and M. Neges: Smart Engineering—As an Enabler for the 4th Industrial Revolution, 6th Int. Conf. Integrated System Design and Technology, UC Berkeley, (2014).
- 15) N. Ivezic, B. Kulvatunyon and V. Srinivasan: On Architecting and Composing Through-life Engineering Information Services to Enable Smart Manufacturing, Proc. the 3rd Int. Conf. Through-life Engineering Services, Elsevier, (2014) 45.
- 16) ISO10303-242: <http://www.ap242.org>, ISO TC184/SC4.
- 17) IEC 62264-1: Enterprise-control System Integration—Models and Terminology, IEC TC65E, (2013).
- 18) 特集: 人類と ICT の未来, シンギュラリティまで 30 年?, 情報処理, 56, 1 (2015) 2.

木村文彦

1974 年東京大学大学院修了。工学博士。現在は、東京大学名誉教授。法政大学理工学部機械工学科教授。設計生産の計算機支援技術の研究に従事。第 21/22 期日本学術会議会員。ISO TC184 日本代表。CIRP, 日本機械学会, 精密工学会フェロー。