

14. 生産システム部門

14.1 生産システムを取り巻く環境

ドイツ発の生産システムの新しいコンセプトである Industrie4.0⁽¹⁾に注目が集まり、国内においても生産システムへの関心が高くなりつつある。

生産システムは、変動する六つの環境である、「社会環境」、「自然環境」、「ものづくり技術環境」、「基盤技術環境」、「労働環境」、「国際環境」の影響を受けながら、柔軟にそれらの影響に対応する必要があると考えられる（図 1）。それぞれの環境におけるニーズやシーズは時々刻々と変化しており、変化するニーズやシーズを考慮した生産システムを機敏に開発し、最適化することが、これまでも、そして、今後とも重要である。

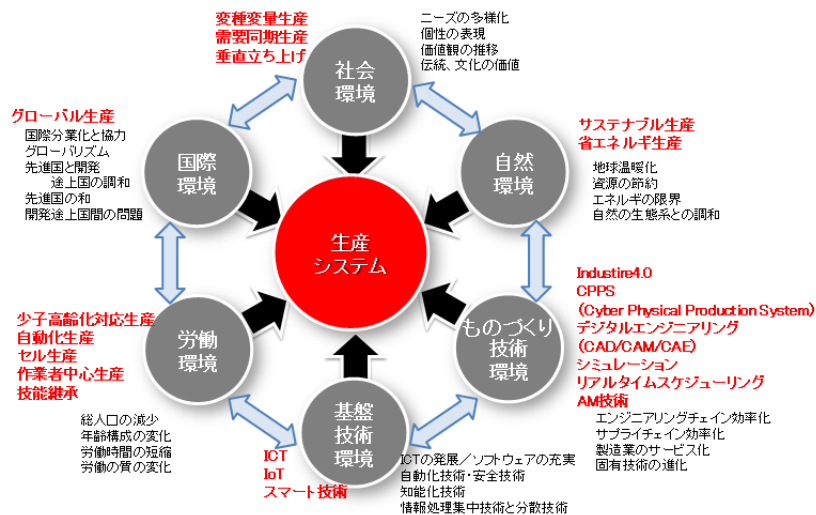


図 1 生産システムと関係する六つの環境

そのため、生産システム分野では、ICT (Information and Communication Technology) を活用するファクトリーオートメーション技術、システム化技術、デジタル情報活用設計技術 (CAD, CAM, 生産システム関連シミュレーション等)、生産管理技術 (スケジューリング技術等)、加工技術 (精密加工技術、精密計測技術、AM (Additive Manufacturing) 技術等) など幅広い技術を扱い、かつ、それらが関連する境界・統合領域に関する技術を扱っている。

特に、近年、「ものづくり技術環境」および「基盤技術環境」では ICT 関連技術の進展が早く、第四次産業革命と呼ばれている IoT (Internet of Things) 環境下のスマートファクトリー (つながる工場) を実現するためのシステム化技術、要素技術、標準技術等の開発が活発化しており、生産システム関連技術開発は、従来の企業間の開発競争に加え、国家的な開発競争領域となりつつある。特に、Industrie4.0 (ドイツ)、IIC (Industrial Internet Consortium) (米国)⁽²⁾など産学官連携技術開発活動が活発化している。このような動きに対応し、生産システム部門では、学会として対応可能な研究分科会の設置、講演会・講習会の企画などを行っている。

また、継続的に実施している活動として、部門講演会、講習会、見学会、国際会議等を企画・実施を行い、生産システム分野の研究者、技術者の研究成果の発表機会、最新技術の聴講の機会を提供し、コミュニティの活性化に寄与してきたと考えている。

本章では、これらのなかで「部門の活動」について 10 年間の活動を要約した上で、「IoT 環境下の生産システム技術」、「スケジューリング技術」、「設計・生産プロセスの情報化技術」、「AM 技術とそのシステム化技術」、「生産システムのロードマップ」について、研究動向、研究分科会動向、技術戦略動向などの視点で、動向を記す。

[日比野 浩典 東京理科大学]

参考文献

- (1) Industrie4.0, <http://www.plattform-i40.de/> (2017 年 1 月 6 日)
- (2) IIC (Industrial Internet Consortium), (2017 年 1 月 6 日)

14.2 部門の活動

14.2.1 部門講演会

生産システム部門の最も重要な活動の一つとして、部門講演会を毎年実施した。最近 10 年では、名古屋市工業研究所(2007 年度)、産業技術大学院大学(2008 年度)、法政大学(2009 年度)、早稲田大学(2010 年度)、武蔵大学(2012 年度)、中央大学(2013 年度)、慶應義塾大学(2014 年度)、東京理科大学(2015 年度)、埼玉大学(2016 年度)で開催した。部門講演会は関東近郊を中心に開催してきたが、2007 年に初めて東海地区での開催を試みた。また 2011 年度は中央大学での開催が予定されていたが、東日本大震災に伴う計画停電により開催を中止した。2014 年度以降は、第 4 次産業革命として、産業 IoT、つながる工場などが注目されており、発表数、参加者などが増えている傾向にある。部門講演会では、基本的に、基調講演、および、オーガナイズドセッションを毎回企画している。直近の 2016 年度は 7 つのオーガナイズドセッションで構成され、それらの名称は、「生産・物流システムのモデリング・シミュレーションと見える化」、「生産管理・スケジューリングおよびサプライチェーン」、「設計・生産プロセスの情報化 (CAD, CAM, CNC など)」、「生産システムにおける設計・運用・評価および国際展開」、「アディティブ・マニファクチャリングの生産システム」、「新生産システム (IoT 活用, AI 活用, CPPS など)」、「企業の開発事例」であった。また、2014 年度より、学生向けの企画として、大手企業の生産システムエンジニアが仕事の魅力をざっくばらんに語る「生産技術の仕事とは?」を企画し、参加した学生(大学院生、学部 4 年生等)から好評であった。

14.2.2 国際会議

生産システム部門では、10 年間で 5 つの国際会議を他部門および他学会と共催で実施した。

まず、International Symposium on Scheduling (ISS) は、スケジューリング学会との共催により隔年で開催している。2009 年に名古屋工業大学、2011 年に大阪大学中之島センター、2013 年に東京国際交流館、2015 年に神戸市産業振興センターで開催した。

International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century (LEM21) は、生産加工・工作機械部門との共催により 2007 年に福岡国際会議場で開催した。2017 年より、隔年で共同開催を開始予定。2017 年は広島での開催予定。

International Conference on Design and Concurrent Engineering (iDECON) は、設計工学システム部門との共催により 2014 年から毎年開催している。2014 年にマレーシア、2015 年に徳島大学、2016 年にマレーシアで開催した。なお、2014 年は、マレーシアで協賛として開催した。2017 年は大阪での開催予定。

International Conference on Industrial Management (ICIM) は、日本経営工学会中国四国支部との共催により、2016 年に広島で開催した。なお、2014 年は、成都の中国で協賛として開催した。

International Conference Advances in Production Management Systems (APMS) は、International Federation for Information Processing (IFIP) の WG5.7 との共催により、武蔵大学(東京)で開催した。

14.2.3 講習会・見学会

生産システム部門では、講習会、および、見学会を定期的 to 実施した。

講習会は、部門独自の講習会と、外部企業との共同企画の講習会がある。

部門独自の講習会は、2007 年度「最新空気圧機器技術の生産システムへの適用」見学会付講習会（東京工業大学）、2008 年度「クルマづくりの最前線—製造技術とデジタルエンジニアリング—（三菱自動車工業(株)名古屋製作所見学付講習会）」、「各種高機能性材料の研究・開発・生産の状況と多用途展開の可能性（住友 3M(株)カスタマーテクニカルセンター見学付講習会）」、2009 年度「環境に優しい・コンパクトでムダの少ない・需要に同期するものづくりの最新技術（開催場所：機械振興会館）」、2010 年度「生産システムセミナー『ものづくりの技能継承と自動車部品の先端生産システム（開催場所：(株)デンソー大安製作所）」、2011 年度「生産システムセミナー「グローバルサプライチェーン改革の理論と実践（開催場所：(株)日立製作所 RAID システム事業部）」、2013 年度「今後のものづくりの動向と生産システムの方角性（開催場所：オムロン(株)草津事業所）」、2015 年度「特別講演会（見学付）「持続可能なモノづくり—トヨタ自動車元町工場—」、「シミュレーションによる生産ライン設計講座ベーシックコース～生産シミュレーションの個人別操作体験演習付～（開催場所：日本機械学会）」、2016 年度「シミュレーションによる生産システム設計講座 ベーシック編 ～生産シミュレーションの個人別操作体験演習付～（開催場所：日本機械学会）」、「スマートマニュファクチャリングの最新動向—日立製作所 横浜研究所—」、「IoT 時代のシミュレーションによる生産システム設計講座／戦略的活用編 ～生産シミュレーションの個人別操作体験演習付～（開催場所：日本機械学会）」を実施した。

外部企業との共同企画の講習会としては、日刊工業新聞社、および、日本能率協会社と共同で企画し、東京ビッグサイトでの講習を実施した。

日刊工業新聞社との共同企画の講習会では、生産革新フォーラムを 2007 年から 2012 年まで毎年実施した。企画のテーマは、2007 年「先端技術フォーラム ユビキタス時代のものづくり」、2008 年「自動車業界を取り巻く最先端の生産システム」、2009 年「これからの日本のものづくりを探る」、2010 年「環境負荷低減とコスト削減を両立する物流システムとは」、2011 年「モノづくりにおける環境負荷低減に向けた最近の動向」、2012 年「省エネルギーの生産システムのための最新技術動向」であった。

日本能率協会社との共同企画の講習会では、生産システム見える化展（東京ビッグサイトで開催）において、特別講演会を 2014 年から継続して開催している。企画のテーマは、2014 年「ボーダレスに広がる生産システム技術の新展開」、2015 年「IT の進展とモノづくり融合による技術革新」、2016 年「つながるサイバー工場：サイバーフィジカルプロダクションシステム CPPS」であった。

見学会としては、2007 年度（株）ヤマザキマザック美濃加茂製作所見学会、2008 年度清水建設(株)技術研究所見学会、シチズンホールディング(株)時計・工作機械工場見学会、2009 年度「カワサキモーターサイクルの先端技術と生産システム（川崎重工業(株)明石工場）」、2011 年度「エンジン組立実習『ガソリン、ディーゼルエンジンの分解・組立体験実習』」（株）クボタ堺研修センター）、「デザインから製造までの流れがわかる工場見学（日野自動車(株)日野工場）」、2012 年度(株)ツムラ茨城工場見学会（(株)ツムラ茨城工場）、2014 年度「千葉大学環境健康フィールド科学センター植物工場見学会」、2016 年度「本田技研工業株式会社 埼玉製作所（寄居完成車工場）」を実施した。

〔日比野浩典 東京理科大学、阪口龍彦 豊橋技術科学大学〕

14.3 IoT 環境下の生産システム技術

14.3.1 国内動向

生産システム部門では、IoT 環境下の生産システム技術の研究分科会として、二つの研究分科会を設置した。まず、2014 年度に企画した「つながる工場研究分科会」（インターネットを活用した「つながる工場」における生産技術と生産管理のイノベーション研究分科会：主査：西岡靖之（法政大学））⁽¹⁾では、産学官 100 名以上の参加者により、つながる工場の利点や課題を抽出・明確化を行い、当初の目的を達成し、2016 年 3 月に成功裏に終了した。より発展的な活動を実施するために、一般社団法人 IVI（インダストリアル・バリューチェーン・イニシアティブ）⁽²⁾を発足し、活動の場を移し、産学官連携によるつながる工場の実証検証活動を始めている。日本国内の産学官連携の IoT 関連技術開発は、IVI、RRI（ロボット革命イニシアティブ協議会）⁽³⁾、IoT 推進コンソーシアム⁽⁴⁾の三つに集約されている現在、IVI はその一角を担っている。

次に、2016年度生産システム部門では、新たにIoT環境下でつながった先にある、工場の将来展望を研究テーマとした「つながるサイバー工場研究分科会 CPPS: Cyber Physical Production System」(主査: 日比野浩典(東京理科大学))⁽⁵⁾の活動を2016年6月より開始している。CPPSは、生産システムを対象としたCyber Physical Systemであり、現実世界であるPhysicalとコンピュータ上の仮想世界のCyberとを連携して、ものづくりにおいて新たな価値を創造するものづくりマネジメントのためのシステム技術と捉えている(図2参照)。Physical世界のCyber世界への転写率が高まるとCyber世界において、システムの振る舞いの予測精度が進展し、さまざまな意思決定の精度が高まり、かつ、意思決定の規模・範囲が大きくなる。そのため、エンジニアリングチェーンやサプライチェーンにおける効率化が一層進むと考えられる。しかしながら、CPPSとは何かについて、明確な定義がされておらず、かつ、CPPSの可能性や将来ビジョンについて、技術的な方向性や展開指針が明確に打ち出されていないのが現状である。そこで、本研究分科会ではCPPSとは何か、そのコンセプトと位置づけを明確にするとともに、それを支える要素技術を明らかにすることを目的とする。その際、2040年の生産システムを予測し、CPPSにおいて現状との技術的な差をバックキャストし、将来に向けて必要な要素技術を明確にする。さらに、Industrie4.0、IIC等を推進する欧米とは異なる日本のものづくりの本質的な強さを意識し、今後の要素技術の展開、また、製造業の展開を視野に入れ、CPPSのリファレンスモデルを提示する。

本研究分科会は基本的に本領域に知見を持つ産学官の専門家40名程度の参加者により、2年間実施し、技術の視点で調査と探究を行う。個別テーマ毎に専門家による講演、および、全体会議とWGによる個別会議によるディスカッションを通じてビジョン策定を積み上げ、最終報告書を作成する。分科会の成果は、部門講演会、講習会などを通して、発信していく予定。なお、2017年3月の部門講演会で中間発表を実施した。また、2017年3月にドイツ・ハノーバーで開催されたITビジネスに特化した世界最大級の国際展示会CeBITの日独IoTフォーラム(経済産業省等企画)において、これまでの活動内容の講演を行った。

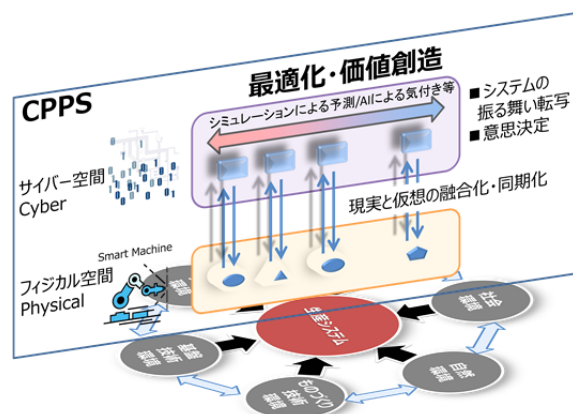


図2 CPPSの概要

[日比野 浩典 東京理科大学]

参考文献

- (1) つながる工場研究分科会, <https://www.jsme.or.jp/msd/sig/cm/>, (2017年1月6日)
- (2) IVI(Industrial Value Chain Initiative), <https://iv-i.org/>, (2017年1月6日)
- (3) RRI(ロボット革命イニシアティブ協議会), <https://www.jmfrri.gr.jp/>, (2017年1月6日)
- (4) IoT推進コンソーシアム, <http://www.iotac.jp/>, (2017年1月6日)
- (5) つながるサイバー工場研究分科会, <https://www.jsme.or.jp/msd/sig/cpps/index.html>, (2017年1月6日)

14.3.2 国際動向

図3に、主要国の労働人口に関する年代変化を示す⁽¹⁾。各国色付きの領域は「飛躍的経済成長の機会」と呼ばれ、総人口に対し15歳未満が30%以下、65歳以上が15%以下のとき経済が飛躍的に成長する統計分析に基づく。この図からわかるように、日、独、英は1990年代まででその機会が終わっていることがわかる。また2010年と2030年にある数字は、それぞれの年における各国の中央値年齢を示している。数字の背景が

四角のものは「ポスト成熟社会」，丸のものは「成熟社会」，五角形のものは「中間年齢社会」と呼ばれる。この数字からわかるように，日，独，英だけでなく，2030年には米，中，露まで中央値年齢が40歳を越え，世界的に見て先進国の老いが顕著になってくることがわかる。このように先進国は労働人口減少による成長戦略の課題に直面している。

一方で，2000年代後半，目覚しく発展していたインターネット技術の拡散とセンサー技術の低価格化が技術革新の起爆剤になる概念が欧米で提唱され，これを先進国の成長戦略に位置付ける機運が高まった。産業分野では労働生産性革新や技術伝承を図る，第4次産業革命に期待をかけている。そして各国はRRI, Industrie4.0, CATAPULT, Industrial Internet, Made In China 2025などの生産システムに関わる変革活動を主催もしくは後押ししている。

2006年米National Science Foundationで実世界とコンピューティング能力の組み合わせによる技術革新Cyber Physical System(CPS)の概念が提唱され，2012年にGEがモノとデータが融合する産業革命としてIndustrial Internetを提唱した⁽²⁾。このオープンコンソーシアムIndustrial Internet ConsortiumはGE他，Intel, IBM, BOSCH等が設立会社および幹事会社となり，日本から数社参加している⁽³⁾。またIoTの普及のための複数の企業が協業する技術検証事業としてTest-bedが自由公募で運営され，現在22のTest-bedが推進されている。

英では，TSB(英技術戦略会議)が主導してEPSRC(英工学・物理科学研究会議)，BIS(英ビジネス・イノベーション・技能省)，IfM(英製造研究所)と共に製造業の強化策を検討し，High Value Manufacturing(高価値製造)を提言，これに基づき産学官のマッチングファンド形式の施策“CATAPULT”を策定，その産学連携の場としてCATAPULTセンターが2011年に設立された⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。CATAPULTセンターでは医薬・バイオテクノロジー，飲食物，ヘルスケア，航空機，自動車等の製造業に関する研究設備を整備し，成果の迅速な商業化を目指している。CATAPULTではサービス等を含むバリューチェーン全体を対象としたHigh Value Manufacturingを目指すとしている。

独では，初の科学技術イノベーション基本計画「ハイテク戦略」を2006年に策定し，2010年に更新して「ハイテク戦略2020」と称した⁽²⁾。この計画は，アイデア創発に加えて，迅速に市場投入するためのイノベーション環境整備を目標とし，国際競争力のある分野を更に伸ばすことを方針とした。これに則り，グローバルな社会的課題を5項目策定し，その課題を解決するために11個の未来プロジェクトを策定した。このプロジェクトのひとつとして経済科学研究連盟がIndustrie4.0の検討を2011年から開始し，ドイツ工学アカデミー(Acatech)の合同作業部会の成果として2013年4月にIndustrie4.0の提言がなされ，白書が公開された。そして，ドイツ産業系団体VDMA, BITKOM, ZVEIを事務局としたPlatformIndustrie4.0が設立された(2015年にドイツ経済エネルギー省BMWが事務局となる改組)。PlatformIndustrie4.0ではIoTを活用した生産システム技術の産学官連携開発の他，関係する国際標準化活動の加速，中小企業に対する啓蒙支援，米・日・中などの類似活動との協業管理が行われている。

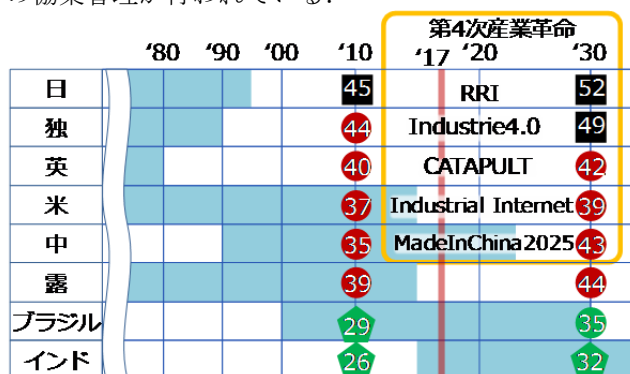


図3 主要国の労働人口に関する年代変化⁽¹⁾

[野中 洋一 (株)日立製作所]

参考文献

- (1) GLOBAL TRENDS 2030:ALTERNATIVE WORLDS, National Intelligence Council, <https://globaltrends2030.files.wordpress.com/2012/11/global-trends-2030-november2012.pdf>, (参照日 2017年3月5日)
- (2) ものづくりと ICT の新たな結合 Industrie4.0 のチャレンジ 狙い, 課題, インパクト, 科学技術振興機構 永野博, 情報処理学会連続セミナー2015 第2回, 2015年7月2日
- (3) Industrial Internet Consortium, <https://www.iiconsortium.org/test-beds.htm>, (参照日 2017年3月5日)
- (4) A landscape for the future of high value manufacturing in the UK, Technology Strategy Board, https://hvm.catapult.org.uk/wp-content/uploads/2015/08/tsb_ifm_highvaluemanufacturingt12_009_final.pdf (参照日 2017年3月5日)
- (5) 科学技術・イノベーション動向報告 ~英国編~, 科学技術振興機構 研究開発センター, <http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2014/OR/CRDS-FY2014-OR-03.pdf>, (参照日 2017年3月5日)
- (6) 英国における 21 世紀型製造業戦略 中小企業の事業環境へのインプリケーション, 日本貿易振興機構, https://www.jetro.go.jp/ext_images/_Reports/01/d3f2976d447afe11/20150169.pdf, (参照日 2017年3月5日)

14.4 スケジューリング技術動向

14.4.1 スケジューリングの 10 年の潮流

生産活動の効率化のためにスケジューリングが果たす役割は大きく、従来からさまざまな生産システムに対してスケジューリング問題の定式化、スケジューリングアルゴリズムの提案がなされてきた。実装が比較的容易なヒューリスティクスをはじめ、1990年代には遺伝的アルゴリズムなどのメタヒューリスティクスが盛んに研究されてきた⁽¹⁾。2000年以降は「多品種少量生産」あるいは「変種変量生産」への移り変わりに伴い、生産システムの大規模・複雑化が著しく、これに対する対応が一つの大きな話題となった。また ICT 技術の発達により情報共有が容易になったことで、スケジューリングがカバーすべき範囲が広がり、作業設計や工程設計等との統合化に対する取り組みが活発となった。一方、2007年問題、2012年問題のように、団塊の世代の大量退職が社会問題として大きな注目を集め、スケジューリング分野においても作業教育・技能伝承を意識した研究も行われた。

14.4.2 生産システムの大規模・複雑化への対応

生産システムの大規模・複雑化はスケジューリングを困難にするが、その要因は大きく分けて二つある。一つは計算負荷の増大であり、もう一つは生産環境の変動である。前者に対する一つの解決策として、分散型スケジューリングへの関心が集まった。例えばホロニック生産システムを対象としたリアルタイムスケジューリング手法⁽²⁾や、集中管理機能を含まない超分散型生産スケジューリング法⁽³⁾などが提案された。後者の生産環境の変動とは作業遅延など事前予測不可能な事象であり、これに対応してスケジューリングの柔軟性、頑健性を向上させる取り組みが活発となった。生産シミュレーションとオークション型スケジューリングを組み合わせたリアルタイムスケジューリング⁽⁴⁾、共進化遺伝的アルゴリズムを用いたリアクティブスケジューリング⁽⁵⁾、ゼロサプレス型二分決定グラフと遺伝的アルゴリズムを用いた動的生産プランニングの統合的計画法⁽⁶⁾などがその一例として挙げられる。

14.4.3 設計情報との統合

セル生産方式の拡大、生産設備の多機能化等により、スケジューリング問題は単に処理順序を決定するだけでなく、工程順序や設備割当等も決定しなければ全体最適の実現が困難となってきた。また情報通信機器の急速な普及により設計生産情報の共有が容易となったことで、これらを活用した統合的なスケジューリング手法が求められるようになった。自律エージェントによる工程設計とスケジューリングの統合化⁽⁷⁾、精密板金加工を対象とした作業設計とスケジューリングの統合化⁽⁸⁾などの取り組みがなされた。

14.4.4 作業教育・技能伝承の考慮

熟練技術者の一斉退職，セル生産への移行による多能工化等により，技術・技能の伝承が急務となり，いかにして教育を行うかが問題となった．業務を行いながら訓練するOJTは，生産性を損なわずに教育できる方法として多くの生産現場で採用されている．OJTにより高い生産性を維持しつつ，効果的な訓練・教育を行うためには，適切な作業割当，スケジューリングが不可欠であり，それらに対するさまざまな取り組みがなされた．作業者の技能レベルと教育を考慮したエージェントベースのスケジューリング手法の研究⁽⁹⁾，スキルインデックスに基づく作業割当・スケジューリングの研究⁽¹⁰⁾などがその一例である．

[阪口龍彦 豊橋技術科学大学]

参考文献

- (1) 茨木俊秀，組合せ最適化とスケジューリング問題：新解法とその動向，計測と制御，Vol. 34, No. 5 (1995)，pp. 340-346.
- (2) 岩村幸治，中野厚，谷水義隆，杉村延広，ホロニック生産システムにおけるリアルタイムスケジューリングに関する研究（第5報，他のホロンの意思決定基準を用いない将来の状態の予測），日本機械学会論文集C編，Vol. 74, No. 742 (2008)，pp. 1662-1668.
- (3) Morinaga, E., Takagi, A., Sakaguchi, Y., Wakamatsu, H., Arai, E., Basic study on production scheduling method for highly-distributed manufacturing systems, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol. 8, No. 5 (2014), DOI:10.1299/jamdsm.2014jamdsm0072.
- (4) 八尾佳宏，貝原俊也，藤井信忠，堀栄一，動的生産環境下におけるスケジューリングの自動化に関する研究，日本機械学会論文集C編，Vol. 77, No. 784 (2011)，pp. 4718-4729.
- (5) 谷水義隆，小松悠介，小澤知里，岩村幸治，杉村延広，共進化遺伝的アルゴリズムを用いたリアクティブスケジューリング手法の拡張（オープンショップスケジューリング問題への適用と実験的評価），日本機械学会論文集C編，Vol. 79, No. 802 (2013)，pp. 2207-2220.
- (6) Takahashi, K., Onosato, M., Tanaka, F., Comprehensive representation of feasible combinations of alternatives for dynamic production planning using Zero-Suppressed Binary Decision Diagram, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol. 8, No. 4 (2014)，DOI:10.1299/jamdsm.2014jamdsm0061.
- (7) Nejad, H. T. N., Sugimura, N., Iwamura, K., Tanimizu, Y., Integrated Dynamic Process Planning and Scheduling in Flexible Manufacturing Systems via Autonomous Agents, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol. 2, No. 4 (2008)，pp. 719-734.
- (8) 阪口龍彦，松本昂樹，清水良明，精密板金加工のためのネスティング・スケジューリング統合化の研究（部品の再配置によるネスティングの改良），日本機械学会論文集，Vol. 81, No. 825 (2015)，DOI:10.1299/transjsme.14-00640.
- (9) 館野寿丈，清水慶子，作業者の技能レベルと教育を考慮した作業スケジューリング支援，日本機械学会論文集C編，Vol. 73, No. 734 (2007)，pp. 2854-2862.
- (10) 原口春海，貝原俊也，藤井信忠，國領大介，セル生産における技能向上を目的とした作業者の配置に関する研究（第2報，熟練者による新人指導を考慮したモデル），日本機械学会論文集，Vol. 82, No. 835 (2016)，DOI:10.1299/transjsme.15-00436.

14.5 設計・生産プロセスの情報化の動向

製品の設計や製造では，高品質や低コスト，短納期が求められ，その中で情報化とそれを実現するソフトウェア要素の役割は非常に需要である．設計・生産プロセスに関わる情報化は，各要素技術の開発や各要素の統合について数多く取り組まれた．

CAD (Computer Aided Design) 内で扱うモデルでは，ソリッドモデルだけでなく，CAM (Computer Aided Manufacturing) やCAE (Computer Aided Engineering)，RP (Rapid Prototyping)，計測ソフトウェアなどの後工程での利用を円滑に行うためメッシュモデリング技術が注目され，データ変換の修正を大幅に少な

くし、製品開発期間の大幅な短縮の新たな可能性が示された⁽¹⁾。CAMでは、複雑な形状を高能率・高精度で加工可能な5軸加工機や複合加工機を対象に、工具や被削材との干渉を避け、それらの機能を使いこなすためのCAMの開発が取り組まれた⁽²⁾。これに関係した工程設計支援として、加工除去領域から加工フィーチャを認識し、複合加工機の加工工程を自動的に算出する試みも行われている⁽³⁾。CAEでは、製品の短納期と高精度を実現するための応用事例が多く、溶融した樹脂や金属の流動解析による流入や凝固プロセスの事前評価⁽⁴⁾⁽⁵⁾、高張力鋼のプレス加工時のスプリングバック量の正確な予測⁽⁶⁾や、CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) といった新しい素材の変形解析⁽⁷⁾などが産業界を中心に公表されている。

その他、加工工程シミュレーションとして、仮想環境下で一連の加工を実機と同じように行い、おこりうる可能性のある全ての干渉を事前評価する機能の高度化や⁽⁸⁾、有限要素法を利用した加工現象の解明による切削条件の評価⁽⁹⁾、切削加工モデルと形状シミュレーションを組み合わせ加工中のNCプログラムに応じたエンドミルの切削力の予測を行う⁽¹⁰⁾など、経験やトライアンドエラーによる評価に変わるソフトウェアの開発も数多く行われた。

さらにバーチャル空間を利用した試作・事前評価も取り入れられ、製品のデザインレビューや組立・分解検証⁽¹⁰⁾、3次元設備シミュレーションによるロボットプログラムや視覚検査プログラムの評価⁽¹¹⁾など、品質向上やコストダウン、期間短縮への有効性が示されている。

[成田浩久 名城大学]

参考文献

- (1) 金井理, CAD/CAM/CAE/計測/RP における形状モデリングの現状と展望—メッシュモデリング技術の開発—, 型技術, Vol. 24, No. 9 (2009) pp. 18-22.
- (2) 竹内芳美, 多軸複合加工の CAM, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 77, No. 782 (2011), pp. 3544-3551.
- (3) 上野 瑛, 中本 圭一, 複合加工機用工程設計支援システムのための加工フィーチャの提案, 日本機械学会論文集, Vol. 81, No. 825 (2015) DOI: 10.1299/transjsme.15-00108.
- (4) 井上実, 平本健治, 高田幸次, 藤和久, 西村賢治, 樹脂部品の熱収縮現象解明と CAE 予測技術開発, マツダ技報, No. 31 (2016), pp. 180-185.
- (5) 茅根佳孝, 川本 茂, 笈川裕輔, 鋳造シミュレーションシステム「ADSTEFAN」の最新機能, 型技術, Vol. 31, No. 10, (2016) pp. 58-61.
- (6) 吉田亨, 上西朗弘, 磯貝栄志, 佐藤浩一, 米村繁, 高強度鋼板のスプリングバック予測精度向上のための材料モデル, 新日鉄技報, No. 392 (2012), pp. 65-71.
- (7) 西正人, 鎗木哲志, 黒瀬雅詞, 平島禎, 倉敷哲生, 有限要素法による織物強化熱可塑性樹脂のプレス成形解析, 日本機械学会論文集, Vol. 80, No. 820 (2014), pp. 1-10.
- (8) 山田聡, マシンシミュレーション VERICUT, 機械技術, Vol. 61, No. 8 (2013), pp. 64-67.
- (9) 大西慶弘, AdvantEdge による切削加工シミュレーションの現状, 砥粒加工学会誌, Vol. 55, No. 4 (2011) pp. 193-213.
- (10) 高鹿初子, 日本発モノづくり IT「モノを作らないものづくり」を支援する VPS, 型技術, Vol. 22, No. 12, (2007) pp. 34-38.
- (11) 日比野浩典, 犬飼利宏, 吉田幸重, 外観検査向け設備シミュレーションの研究 第一報: 基本システムの提案, 日本機械学会生産システム部門講演会 2010 (2010), pp. 73-74.

14.6 AM 技術とシステム化の動向

Additive Manufacturing (AM) という用語は、材料を付加しながら形状を整えていく加工法を意味する専門用語であるが、印刷のような処理で作られる層を重ねて立体にするものが多く、一般には 3D プリンティングという用語で知られている。AM は 3 次元 CAD モデルから直接に実体を作るので、型を使って成形する方法に比べて迅速に造形できたり、切削加工では困難な物体内部の構造を容易に製作できることから、これまでにない製品や製造プロセスを実現する可能性を持っている。AM 装置である 3D プリンタは、最近 (2013~2014 年頃) の世界的なブームによって一般の人にも知られることとなった。しかし、AM の技術自体はラピッドプロトタイプング (RP) として機械工学の分野で使われてきたものである。この RP の技術が、最近の 10 年で大きな変化を遂げ、AM という用語が ASTM および ISO で定義⁽¹⁾されるまでに至っている。

生産システムにおけるAMの位置づけを述べるには、3次元CADとの関係を切り離すことはできない。機械製品の開発は、部品が正しく組み立てられるのか、また意図した形状になっているかを評価しながら進められる。その評価には試作物が有効である。ただし、設計図通りの大きさや複雑な自由曲面などを含む試作物を手作業でつくるには多くの労力が必要となるため、3次元CADが開発され、利用されてきた。3次元CADはバーチャルに部品をモデル化して組み立ての検証もできるうえ、自由曲面の具合も検証できる。さらには、3次元CADモデルのデータに基づいてNC工作機械を動かすことで、実部品も自動で加工できる。これはCAD/CAMの流れとして現在の生産システムの基礎を成している。一方で、3次元CADモデルをすぐに実体にして形状評価したいとする試作物製作の要求もあり、RPの技術開発が進められ、その造形方法の一つである積層造形法が、試作物製作を超えて実部品を製作するAM技術として展開されたのである。

最近の10年のAM技術の展開を、樹脂AMと金属AMに分けて説明する。樹脂AMでは、材料の多様化と複数材料による造形の進展が挙げられる。材料においては、1980年にAMに相当する技術が初めて開発⁽²⁾された当時、光硬化樹脂が使われた。現在も高精度に形状を表現する用途での重要な材料となっているが、用途に応じた材料開発が進み、高強度と耐熱性を兼ね備えたウルテムなど、実用に耐える素材も増えている。複数材料においては、硬い材料と柔らかい材料を組み合わせることで、多段階の硬さを有する材料を作り出す装置が増え、応用が広がっている。金属AMでは、粉末をレーザで溶かして固める方法による装置が多く市販されているが、最近の10年で電子ビームやレーザの出力が向上したことにより、以前には粉末を焼結により固めていたため、脆かったが、現在では完全に熔融させて固めるため、鋳物と同程度の強度を得られるまでになっている。そして、10年前には実用の機能部品の加工にAMを用いる例は殆ど見られなかったが、2017年現在には、かなりの事例が見られるようになった⁽³⁾。また、AM装置のシステム化も進み、一つの対象物に対し、従来の切削加工とAM加工の両方を施せる複合加工機が、複数の工作機械メーカーから市販されるまでになった。

生産システム部門は、前身がFA部門であり、工場の自動化・効率化について扱ってきたことから、3次元CAD、RP、NC加工などは、主要なテーマであり、AMに関する活動も積極的に進められている。2013年3月には生産システム部門研究発表講演会にて、「アディティブ・マニュファクチャリングの生産システム」と称するオーガナイズドセッションが設置され、現在も継続的に企画されている。また、2013年12月には、「アディティブ・マニュファクチャリングにおける生産システム工学の研究分科会（AM分科会）」が設置された。この分科会での研究成果は、学会誌の2017年3月号⁽³⁾などで発表された。そして、2016年12月からは「AMを軸とした生産システム革新研究分科会」として継続されている。

表1に、AM分科会での議論のテーマを示す。AM装置の開発を扱うのではなく、AMの運用・活用方法を議論している。AMは、従来の除去加工や変形加工とは異なる加工方法であるため、従来とは異なる製造プロセスを構築できる可能性がある。例えば、型を作らず造形できることは、少量生産に有利であり、部品の使用場所に近い場所での製造を可能にする。このようなAMによる製造プロセスの変化は、今後10年において大きく現れると予想している。

表1 AM分科会での課題

対象の範囲	主な課題	課題例
加工機	加工条件 加工工程	・最適な加工条件の導出 ・加工機の多機能化・生産性の向上 ・加工工程設計ツールの開発(CAM/CAE)
工場	システム化 FA化	・複数のオーダーを同時に生産する生産管理 ・後処理との連携 ・インターネット等の情報通信を用いたAM装置の運用
製品関係 組織	新しい設計・ 製造法(アプリケーション)	・軽量設計や部品の一体化により部品数を削減する設計 ・切削加工で困難な形状・素材を利用した設計 ・個別生産の特徴を活かしたアプリケーションやものづくり教育
企業 (経営組織)	新しい生産 組織	・メンテナンス部品やカスタマイズ部品の現地生産 ・中小企業のアライアンスによる新しい生産形態 ・個人によるものづくりを展開させる生産拠点
国家・ グローバル	省エネ・ 省資源 環境対応	・製品性能の向上に伴う環境負荷低減 ・環境負荷の定量評価 ・新しい持続可能な価値提供モデルの提案

参考文献

- (1) Standard Terminology for Additive Manufacturing - General Principles - Terminology, ISO/ASTM520015.
- (2) Hideo Kodama, “Automatic method for fabricating a threedimensional plastic model with photo hardening polymer”, Review of Scientific Instruments, Vol.52 (1981), p1770.
- (3) 塩谷景一, ほか12名, 小特集 アディティブマニュファクチャリングによる新生産システムの展開, 日本機械学会誌, Vol.120, No.3 (2017), pp.26-37.

14.7 生産システムロードマップ

前節まで、生産システム分野における主要技術の動向を示してきたが、本節では将来に向けた生産システム部門の活動として実施し、2016年3月に公表した生産システム部門技術ロードマップ(1)の概要を述べる。本ロードマップは生産システム部門で初めて作成・公表するものであるため、生産システム分野全体を俯瞰し、将来の工場像を描いて、その実現のための主要技術をまとめたものとした。

ロードマップ作成にあたり、まず、近年の生産システムやそれを取り巻く環境の変遷について議論した結果、技術的要因のみならず社会的・経済的な影響が多岐にわたることが浮き彫りとなった。そこで、生産システムを取り巻く状況の変化に対応するものとして「グローバル化」を、その中での社会的・経済的影響も含む生産システム構成の軸として「自動化⇄人」と「汎用機⇄専用機」を、それぞれキーワードとして工場の将来像とそれを実現するための必要技術の検討を行った。

海外展開の動きとしては、為替動向や各国の経済政策にも左右されるものの、1990年代から海外投資比率は着実に増加し、2010年頃から急激な上昇をみせている。この傾向は今後も続くことが予測されるが、その要因は、当初の人件費や関税などの経済的・法的なものから、現地の顧客ニーズへのきめ細かく迅速な対応などに広がりつつある。今後は、現地のニーズをキャッチーに捉えカスタマイズ設計を含む製品を現地で生産・供給する、地産地消型の生産形態が増えていくと予想される。地産地消型の生産形態を含むグローバル化により、生産設備に加え、人による作業の管理・教育のための技術が必要となってくることが予想される。また、ネットワークを利用したシステムが高度に普及し、その上で、標準化がなされ、レジリエンスを強化したサプライチェーンシステムが稼働すると予測される。

自動化⇄人の観点からは、かつての自動化率の向上を目指す方向性だけではなく、人と機械双方の適材適所の役割分担が進み、人と機械が混在して協調作業を行うことを前提とした機械の安全・知能化技術開発が進められると予測される。また、人が介在するプロセスは一定割合残ることが想定されることから、作業者を支援するシステムや作業者を考慮した生産シミュレーション技術も必要となる。汎用機⇄専用機の観点では、現時点においても、品質や精度面ではかなり高いレベルで達成されている。今後は、品質や精度の追求に加えて、製品の需要や必要となる技術レベルに応じて適切に選択を行う生産システムの全体最適化の技術が必要となってくると予測される。

以上をまとめると、グローバル環境下の将来の工場は、地産地消型で高度に情報共有がなされた「どこでも工場」へと進化し、地域ニーズに柔軟に対応したカスタマイズ製品設計、および要求品質に見合う製造技術を有し短納期・低コストを実現できる製造設備を世界中に分散する工場群から適切に選択して製造する生産システムへと発展していくことが期待される(図4)。そのためには、分散されたそれぞれの工場におけるローカルレベルの対応と、工場のデータや知識・ノウハウの高度な共有・展開に裏打ちされた工場群のグローバルレベルの全体最適化が鍵となり、その前提としてネットワーク化や標準化技術の整備が必須となる(表2)。

表 2 理想の工場および実現技術の変遷

	1990～2010 自動化工場	2010～2020 つながる工場	2020～2030 どこでも工場 (地産地消・情報共有)
海外生産	工場移転の技術(工場管理) (作業教育)	グローバルに広がる製販統合の技術	需要地での設計と製造とのすり合わせ技術 効率的でレジリエントなグローバルサプライチェーンの技術 現地の文化・環境に適合した生産システム化技術
自動化⇔人	自動化の技術	機械と人をつなぐ技術 遠隔地の工場をつなぐ技術 需要変動に応じた工程計画・スケジューリング技術	製品のカスタマイズに対応し、設備のカスタマイズを含む適切なリソースを選択的に使用して最適化する技術 作業員の作業指示と教育を含む人間支援システム
汎用機⇔専用機	多機能化の技術	汎用機や専用機を選択的に使用できるネットワーク技術、標準化技術	需要や技術レベルに応じて、作業員や AM (Additive Manufacturing) を含む工場内の設備を含めたリソースを選択的に使用して最適化する技術

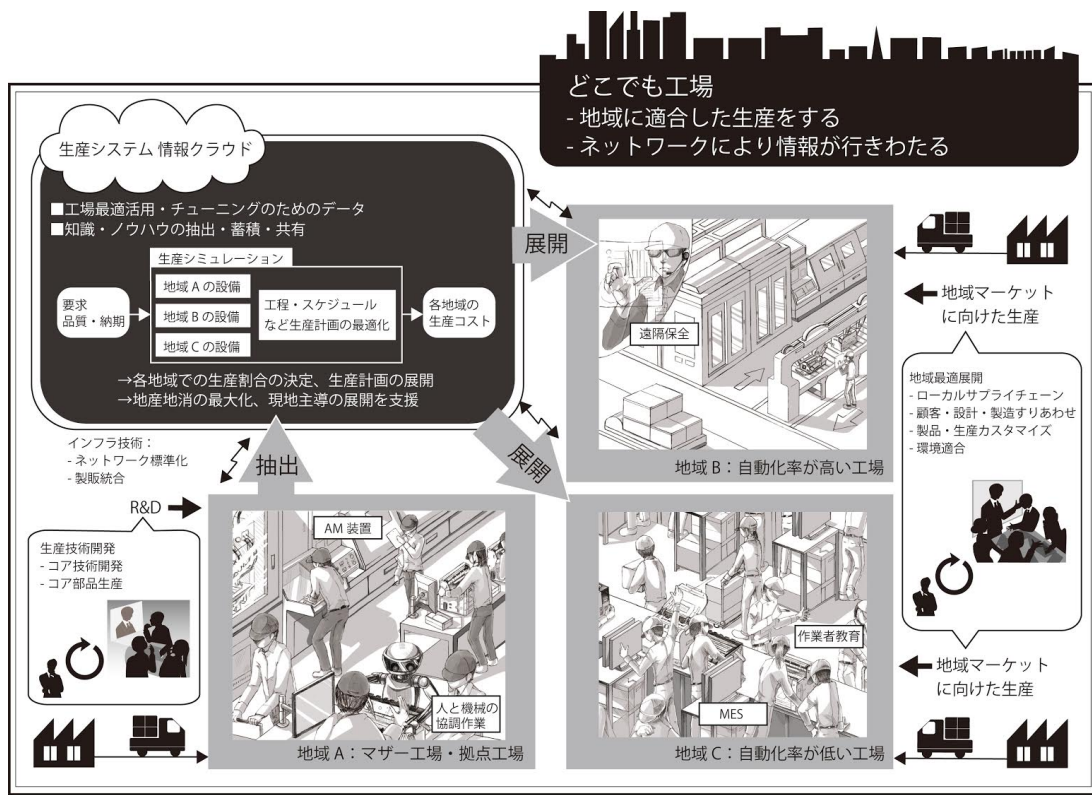


図 4 将来 (2030 年) の「どこでも工場」

[妻屋 彰 神戸大学]

参考文献

- (1) 生産システム部門技術ロードマップ (2016 年 3 月公表), 日本機械学会生産システム部門
https://www.jsme.or.jp/msd/html/RoadMap/msd_roadmap201603.pdf