

特集 プロセス産業のスマート化への挑戦 - Smart Manufacturing, Industrie 4.0, IoT -

近年、製造業のスマート化が叫ばれ、欧米からは Industrie 4.0 や Smart Manufacturing 等の新たなパラダイムやビジョンが提唱されているものの、その対象は機械系の組立加工産業が主であり、装置産業たる PA (Process Automation) 分野に関してはどのようなスマート化が求められているのかさえ不確かなのが現状である。しかしながら、特に国内においては要素技術の議論ばかりが先行しており、体系的な方法論にまで踏み込んだ課題について議論が充分になされているとは言い難い。本特集企画では、PA 分野のスマート化を模索する戦略的な挑戦や取り組みを紹介すると共に、あるべき姿のビジョンについて議論を展開し、提示することを試みる。

(編集担当：北島禎二・高井 努)†

プロセス分野における第4次産業革命の考察

水上 潔

1. はじめに

2015年1月6日、日経ビジネスの表紙に第4次産業革命が登場し、この頃から日本でも変革へ意識をし始めた。政府は、同年2月にロボット新戦略を発表し、これを受けて同年5月ロボット革命イニシアティブ協議会(RRI)が発足した。その後、2016年日独の行政間及び独の Industrie4.0 の推進組織 Platform Industrie4.0 (PI4) と日本の RRI とのイニシアティブ間で連携協力を締結した。ここから日独の専門家による会合を重ねて2018年4月ハノーバーメッセにて将来像の1つのユースケース Value-based service に関する共同文書を発表した。現在、産業セキュリティ、さらには人材育成、Business to Business (B2B) のプラットフォームエコノミーなどの検討も予定している。本稿では、こうした国際連携活動などを通して得た第4次産業革命の意味を整理し、スマート化とは何かを俯瞰してみる。また、日本のプロセス業界特に化学や素材分野の変革への対応についての国内意見を概観した上で、プロセス分野における第4次産業革命とは何かを考察する。尚、本稿は科学的論文ではない。1つのものの見方を提示するものであることをお許し願いたい。

The 4th Industrial Revolution and the Process Industry

Kiyoshi MIZUKAMI

現在 ロボット革命イニシアティブ協議会

連絡先：〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 (機械振興会館507号室)

E-mail kiyoshi.mizukami@jmfrii.gr.jp

2019年1月7日受理

2. 第4次産業革命とスマート化

2.1 第4次産業革命の意義

一般に第4次産業革命がデジタル化、データ活用による産業変革と扱われることが多い。例えば、ドイツはデジタル化への対応がハイテク戦略の目的である。第4次産業革命は、Industrie4.0の日本語訳として使われることがあるが、Industrie4.0 (I4) は、ドイツのハイテク戦略のプロジェクト群の1つである。そこで本稿では Industrie4.0 と 4th Industrial Revolution (4thIR) = 第4次産業革命を区別して使う。但し、視点は製造業に置く。これは RRI のスタンスである。

第4次産業革命の類義語は多々ある。例えば、技術的視点では、IoT、ビッグデータ、AI や Cyber Physical System (CPS)、デジタルツイン、シンガリティイーなどがある。デジタル化を捉えたデジタルライゼーション、デジタルトランスフォーメーション (DX)、スマートを冠したスマートマニュファクチャリング、スマートファクトリー、さらには、スマートシティも海外では盛んに使われている。日本では、行政が示したコンセプトとして、Society5.0、Connected Industries がある。これらを全て区別するのは難しい。また人によって同じ用語の解釈はまちまちでもあるし、同じ人が時と場合によって違う意味にすら使っている。用語はともあれ、大事なものは、未来の姿を描く、未来を創造する姿勢である。技術的用語も、コンセプトを表す用語もこれ

† Kitajima, T. 平成29, 30年度化工誌編集委員(4号特集主査)
東京農工大学大学院工学研究院Takai, T. 同上 アズビル(株)アドバンスオートメーション
カンパニー SS マーケティング部

からの世界観をある視点で表現したものであることは間違いない。

目的で捉えると生産性・効率性がよく一番に挙げられる。また、「マスカスタマイゼーション」に代表されるニーズの多様化への対応や、日本のSociety5.0に代表される持続可能な開発目標（SDGs）など社会課題解決も重要であろう。が、これ以外に、技術革新速度の加速化と社会への影響への対応、資本主義の次なる仕組みの必要性、オープンイノベーション・ビジネスエコシステム化、国家レベルでの科学技術の開発投資の回収という観点も国際では議論されている。これらが示唆することは、多視点で捉えることの重要性である。それだけ今回の変革は大きなものだと考える。

2.2 未来像

では、どのような未来を考えるのだろうか。情報通信技術（ICT）が社会に半世紀に渡り影響したプロセスと結果を例に考えてみる。1960年代、IBMは汎用電子計算機のそれもハードのメーカーとして世界を席卷した。当時汎用電子計算機は行政や大企業しか持てなかった。現在、当時の汎用電子計算機よりはるかに性能の良いコンピュータをスマートフォンとしてほとんどの人が使っている。そしてこの業界を主導しているのはGAF（Google, Apple, Facebook, Amazon）と呼ばれる2000年頃に登場した当時のベンチャー企業達である。情報技術（IT）の民主化とも言うべきこのインテリジェント化の状況は、代表的な事例として、自動車で言えば3桁の数のプロセッサが搭載され、コネクテッドカー、CASE（Connected, Autonomous, Shared, Electric）、MaaS（Mobility as a Service）などと呼ばれる環境のIT化と一体化した事業の大転換に現れている。1990年代ユビキタスと呼ばれた世界が現実味を帯びてきた訳だ。この計算処理力を背景に、人工知能も深層学習による認識能力が劇的に向上し、今も進化している。CPSの要のシミュレーションも、例えば自動車であれば設計段階で格段の精度でコンピュータ上でアジャイルな開発を進められるようになった。過去の膨大なデータや論理を処理して様々なことが自動化できる時代に入った。高度な知識を持った専門家の仕事が、コンピュータにより自動化される時代に入ったのである。

2.3 未来に向けた対応

こうした時代に求められるものは、工学、エンジニアリングとシステム指向と考える。前者はあらゆることの論理体系化である。後者は個々の現象が組み合わせたより複雑な現象の捉え方である。例えば、改善活動が論理体系化できれば、日本のような高質の労働力でなくても日本のような高品質なものづくりが可能になる。

ドイツは製造エンジニアリングを製造業のサービス化の1つの形として捉えている。これまでのB2Bの生産財の需要に合わせた変動の多い売り切りビジネスから、顧客の欲しいものを一緒に開発するエンジニアリングサービスにより収益が安定化すると見て、デジタル化時代はサービス化

の重要性が増すと考えている。

概して言えば、第4次産業革命により実現されるスマートな世界とは、多くのことが論理体系化され、最先端の分野の技術革新が、これら論理体系化された知識で支援され、生まれる世界である。論理体系化されるとモジュール化が進むことになる。2000年代初頭、日本でもモジュール化への対応が議論されたが今はあまり注目されていない。むしろ、モジュール化=欧米型として、アンチの意味で日本型=すり合わせのインテグリティが強調されている。確かに日本の産業構造を考えると理解はするが、技術の高度化とシステム化さらにはシステム・オブ・システムズ（SoS）化や、世界中が1つの経済圏になるグローバル化が進む（この2年程度は逆行の動きもあるが）中で、モジュール化を否定しても、世界は産業界自身がモジュール化され構造化されてきている。

もう1つ重要な点は、データやシミュレーションで支援される世界が、個人のエンパワメントを進める世界だということだ。これも2000年頃から情報社会学のテーマとなっている。Social Networking Service（SNS）で個人が世界と繋がり出した。グローバル企業は国際でベンチャーの技術に注目して買収などを進めている。これが進めば、個人がやりたいことをやりたい仲間と実現する、即ち企業そのものの形や雇用関係が変わる。こうした議論が国際での指導者や専門家でおこなわれている。一挙に変化することはないが、こうした大きな潮流を国家や企業が意識する必要がある。

2.4 エンジニアリング

再度述べるが、変革への対応の根源として、論理体系化即ち実学としての「工学」、エンジニアリングが益々重要な時代になった。では、これをどう進めるのか。エンジニアリングの論理体系化、エンジニアリングのエンジニアリング、例えば、システムズエンジニアリングが問われている。

RRIでは、将来像の検討にこうしたエンジニアリングの考え方を独米から学びながら国際と議論をおこなっている。詳しくは述べないが、RRIのホームページ（<https://www.jmfri.gr.jp/>）のRRI活動の中で公開している下記四つなどを参照して頂きたい。

2017.12.19 第3回 RRI国際シンポジウム開催報告

2018.04.19 日独標準化共同文書「アプリケーションシナリオ（Value-Based Service）の機能的視点」のリリース

2018.06.14 『「システム思考」ガイドブック（入門編）』のリリースについて

2018.12.04 ロボット革命・産業IoT国際シンポジウム2018開催報告

本項では、2点目のアプリケーションシナリオ（Value-Based Service）について概観しておく。図1に示すように¹⁾、製造業特にB2Bでの生産財は従来、顧客に設備機器を納めるというビジネスモデルであった。が、これに対して、スマートフォンやUberなどのように、インターネットやクラウドのようなプラットフォームインフラが参加して、サービ



図1 製造業ビジネスの抽象化¹⁾



図2 デジタルインフラストラクチャの階層化モデル²⁾

スを提供するサービスプロバイダーが登場するビジネスモデルに代わる。ユーザーニーズに応えるサービス化とはこうしたビジネスモデルになる。これに対して、世界共通でどのような仕組みが必要なのかを考察したものが、日独標準化共同文書である。ここで注目するのは、この分析に使われたエンジニアリング手法だ。日本はドイツと米国 Industrial Internet Consortium (IIC)の参照アーキテクチャに準拠した検討をおこなった。

このようなサービス化それも B2Bの世界をも包含して、将来どのようなアーキテクチャになるのだろうか。抽象度が高いレベルでドイツから案が提示されている。図2のデジタルインフラストラクチャの階層化モデルである²⁾。ドイツはハイテク戦略の1つとして Industrie4.0を進めると同時に、産業界のサービス化に着目したサービスワールドというプロジェクトも進めている。その報告書「Smart Service Welt」²⁾にモデルが記載されている。スマートサービスを司るサービスプラットフォーム、スマートデータを司るソフト定義プラットフォーム、スマートプロダクトを司るネットワークフィジカルプラットフォームと言う3つのプラットフォームの概念が表されている。サービスとデータとフィジカルというこの3階層は、ICTから見た必然の構造である。エンジニアリングは具象を抽象化し共通化する手法でもある。こうした議論への参加と貢献が国際では先進国日本に求められている。

3. 日本のプロセス分野の展望

3.1 国内の提言

プロセス分野は、石油精製、石油化学の連続プロセス、ゴムや機能性材料に代表されるバッチプロセスがある。鉄鋼、非鉄、窯業などもプロセス分野でもある。ここでは特

に化学や素材に着目してみる。日本では1960年前後から装置産業としての石油化学が本格化していく。その後、環境汚染への対応、オイルショックなどを経る。欧米と並び日本もこの分野では頑張っている。

近年、経済産業省他から第4次産業革命への対応としてそれぞれの調査に基づき、いくつかの提言がなされてきた。年代順にいくつかをピックアップしてみる。

2016年のみずほ産業調査：「特集 世界の潮流と日本産業の将来像－グローバル社会のパラダイムシフトと日本の針路－」では、目指すべき姿として「最終顧客にとって、かなり離れた位置にある素材産業へ求める価値は、モノそのものが提供されることにある。引き続きモノを作ることを生業としていくと考えられるため、生産効率の向上はさることながら、社会に貢献する新しい素材の開発スピードが向上していくと考えられる。」としている。そして下記2点を挙げている。

(1) 新素材開発のフルオートメーション化

マテリアルズインフォマティクスにより、材料を実際に試作することなくデジタルモデルで性能評価することが可能となる。鉄鋼など元素・分子の種類が少ない材料だけでなく、複合材料や高分子へと拡大していく。コンピュータ上で開発対象の素材候補を挙げ、絞り込むことで、現実世界では成果の出ない実験が少なくなっていく、新素材開発のスピードが向上する。

(2) シェアリング・ファクトリーの実現

従来はプラントで大量に作り上げたものを販売するモデルであった素材産業であるが、複数の顧客と複数の企業・工場の空き状況を横に繋ぎマッチングさせることで、顧客サイドから見ると一品生産品を受け取れる状態（マスカスタマイゼーション）が実現する。

また、達成に向けた課題と解決方策では、「競合関係にある企業との間でのマッチングや仕事の融通をおこなうことは心理的にも技術的にも困難である。素材メーカー自身ではなく、例えばマッチングサービスを提供する他産業タイプの力を借りることによって解決を図ることが望まれる。」とある。

この提言の纏めとして、多分欧米企業との比較から「化学産業のビジネスモデルは、原料や特定の素材に拘らない、むしろその呪縛から脱却し、多様化する市場ニーズに対し、迅速に新素材を開発し投入することが求められる。そのためには、あらゆる素材を使いこなし、あらゆるニーズに応えるために、あらゆる技術を結集する必要があるが、単体の企業がこれらの経営資源を全て有することは不可能である以上は、引き寄せる仕組み、即ちプラットフォームを構築して、運営者であるプラットフォーマーか、そのコアメンバーとなる必要がある」とエコシステムについて強調している。

行政の白書の1つ「ものづくり白書2017」では、①生産プロセスの合理化・高度化、②素材のセンサー化、③顧客接

点の直接構築，④研究開発の加速化と記載されている。

2018年の経産省素材産業課纏めの「素材産業におけるイノベーションの役割と期待」では、次の3点を示唆している。

- ・イノベーションや市場ニーズの変化のスピードに対応するためには、調達先や顧客との連携強化・効率化が不可欠。臨機応変な多品種製造に対応したデータ共有、バッチ生産方式の革新が必要。
- ・Connected Industriesの取組は、生産性向上に留まらず、新たなビジネスモデルの創出のチャンスに。データ利活用による開発力・提案力の強化が競争力のカギに。
- ・第4次産業革命による世界的な破壊的イノベーションに対応した素材イノベーションエコシステムの確立が急務。

3.2 国際的視点の加味

纏めると、素材のセンサー化などにより多様化する潜在的市場ニーズを定量的に把握し、社会に貢献する新しい素材の開発を掲げ、そのためのコンピュータ上で開発対象の素材候補を挙げて絞り込む開発の効率化。また、ビジネスモデルとして、複数の顧客と複数の企業・工場の空き状況を横に繋ぎマッチングさせ、開発含めたオープンイノベーション、エコシステムの重要性を提言している。

その中で、他の産業同様、競合関係にある企業との間でのマッチングや仕事の融通をおこなうことは心理的にも技術的にも困難と、日本の産業構造の課題を挙げている。が、欧米の議論では、この点についても、独占禁止法の改定までを視野に入れた検討が始まっている。国際動向を見ると、システムズエンジニアリングの推進で、機能や価格、さらにはプロセスに対する論理的（法的も含め）説明責任の下での事業が進むようになる。技術などの必然的論理で複数企業や世界中の個人までもが参加して1つの仕組みを作る時代になってきている。これは大転換点であり、資本主義自体のあり方に遡り、新たな経済原理の導出が問われる時代になっていることを示唆している。

4. プロセス分野の第4次産業革命への対応の再考

前節に述べたとおりプロセス分野も変革期にいる。では、どう対応していくべきなのか。国際では、今回の変革への対応は、もはや、個人、企業、国家では対応が難しく、国際的な連携協力が問われている。RRIでも、2016年の国際シンポジウムで、この国際連携協力の重要性を謳い、2017年の国際シンポジウムでは、国際連携協力していくためのコミュニケーション手段ともなるシステム指向の重要性を理解した。そして2018年の国際シンポジウムでは、国際連携協力のためのB2Bのプラットフォームエコノミーの検討の必要性の議論を開始した。

問われているのは、1つには、エコシステム化とその中

での企業や個人の役割である。日本ではオープンイノベーションとエコシステムの議論が遅れている。これは、競合企業が多く、かつ、その構造が故のシェア争いへの対応として垂直統合が発展した経緯から仕方がないことではある。が、先進国欧米とともに進むのであれば、もはや過去の構造を乗り越えていかなければならない。産業界のリーダー即ち企業経営者には、自企業ではなく、日本の産業政策を議論することが問われている。

もう1つが、オペレーション即ち事業運営全体での論理体系化である。先にも触れたが、デジタル化とは、データと論理体系を形式知化することに他ならない。日本はすり合わせなど、質の高い労働力で優位性を作ってきたし、これからは先端部分は同様と考えられるが、それ以外の部分は企業機密といくら隠しても、国際で誰かが形式知化して共有知化されればもはや意味がない（国際では知財としてのあり方も問われているし、戦略もより高度化しなければならない）。そして、この範囲は、経営、エンジニアリング、マニファクチャリングなど全ての事業運営に及ぶ。問題は、国際では同業種、異業種に問わない企業間での集合知、共通言語化として、学識者特に実業のモデル化を軸とする工学系の学識者のみならず、法学を含む社会科学、哲学や倫理学を含む人文学までも巻き込んだ検討が始まっている。戦後、学問分野ではいつしか実学としての工学が蔑ろになり、産業界とも一線を引いてしまった。太平洋戦争最中、若手が、産業界と手を組んで東大第2工学部を起し、戦後すぐに消えたものの、1980年代までその流れを受けて当時の日本を先導した事実もある。また再び、同様の、いや、現在にあった活動を起こす必要があると考えている。化学工学会の中でもその1つの芽があると期待する。

RRIでは、2018年、第4次産業革命への対応の課題として、先に挙げたシステム指向の遅れ、実学としての工学の遅れ以外に、日本のIT化の課題を調査している。これら3つは相互に関連する問題でもあり、高度成長しJapan as No.1に突き進んだ1980年代以降の構造問題と考えている。これを解決していくには個人や企業の立場を超えた議論が必要だ。1960年代若手も中高年も共に、立場や企業を超え闊達に議論した時代があった。これを思うと再びこうしたことが可能だと考える。既に地方の中小企業ではエコシステム化が始まっている。気づいた人は始めている。RRIはこうした人材を増やし、次の時代に向けて推進役としての任を果たしていきたい。

最後に、本稿執筆に当たり国際を含めた多くの方の御支援に感謝の意を表したい。

引用文献

- 1) Functional Viewpoint of Application Scenario Value-Based Service, https://www.jmfri.gr.jp/content/files/Open/2018/20180419_VBS_FV/ValueBasedService-FunctionalViewpoint-09.pdf
- 2) accatech : SMART SERVICE WELT, https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2015/03/BerichtSmartService2015_mitUmschlag_KURZVERSION.pdf