

# 再考 第4次産業革命

## 目的とねらい、産官学の7つの施策



藤野直明



梶野真弘

### CONTENTS

- I 今、あらためて問う第4次産業革命
- II 第4次産業革命の短期的なねらい
- III 第4次産業革命の長期的なねらい
- IV 注目すべき新しいタイプのイノベーション加速政策
- V 日本で、今求められる産官学の7つの施策

### 要約

- 1 本稿では、まず第4次産業革命の「目的とねらい」について、日本企業から見た短期的なねらいと、第4次産業革命本来の長期的なねらいに分けて整理した。
- 2 短期的なねらいは、直面する4つの課題、①技術継承と事業のサステナビリティの確保、②スマートなマザー工場によるスケールアウトできる業務能力の構築、③海外への円滑な技術移転の仕組みの構築、④M&A時の円滑なPMIの実現、の解決である。
- 3 長期的なねらいは、「クラウド技術を活用した製造業のサービタイゼーション（＝サービス事業の展開）の推進」とそれがもたらすイノベーションにより、「新興国の成長と先進国製造業の成長との共生を図ること」である。
- 4 新しい2つのタイプの「イノベーションの加速政策」、①政策的な産業のアーキテクチャ設計を政策的に行うこと、②実用工学的な研究機能の整備、が採用されている。
- 5 本論文では、上記文脈を整理・共有した上で、以下の産官学の7つの施策を提案する。  
①地域中小製造業向け「第4次産業革命エグゼクティブ・スクール」の実施、②大企業における事業モデルの長期構想（ブループリント）の作成、③「ビジネススクール×経営工学×IoT・ITの総合カリキュラム」の構築、④産業アーキテクチャ設計に関して国際標準化機関と連携できる組織機能の整備、⑤「オープン（開放系）で体系的な実用工学研究機能」の設置、⑥第4次産業革命をリードするシンクタンクの設置、⑦産業政策立案当局や経営人材に対する「産業技術発展史」のカリキュラムの提供

## I 今、あらためて問う 第4次産業革命

大手企業ではデジタルトランスフォーメーション（DX）やCPS（サイバー・フィジカル・システム）のPoC（Proof of Concept：概念実証）がブームである。中小企業政策でも、各地域のIoT（Internet of Things：モノのインターネット）コンソーシアムがにぎわいを見せ、中小企業のIoT振興策も豊富である。

しかし、PoCが本格的なDXへの投資に結びつくケースは少ない。DXの投資効果の評価・役員会への説明が難しいことが理由のようである。

PoCで技術を理解しようという試みは重要である。しかしながら、ともすると「IoTやAI、RPAなどのいわゆるDXツールを適用し、限られた予算と期間で何かアピーリングな成果を挙げること」が目的となると、もともと限定的な活動であるPoCの脆弱性が露呈してしまうのは想像に難くない。

変革には、まず組織としての変革のビジョンが必要である。今、あらためて「第4次産業革命の目的、ねらい」が問われている。本稿では、日本の製造業が直面している現在の課題への対応という短期的なねらいと、そもそも「第4次産業革命」という少し大げさな言葉を活用していることから推測できる長期的なねらいに分けて整理したい。筆者はその双方が重要と考えている。

## II 第4次産業革命の 短期的なねらい

第4次産業革命の短期的なねらいは、日本

の製造業特有の目前にある次の4つの課題を解決することであると考えている。4つの課題とは、①技術継承と事業の継続性（サステナビリティ）の確保、②スマートなマザー工場によるスケールアウトできる企業能力の構築、③海外展開の際の円滑な技術移転の仕組みの構築、④M&A時の円滑なPMIの実現、である。

ここでいう技術継承すべき技術とは、製造技術そのものに加えて、いわゆる製造管理技術を含めた技術である。製造管理技術とは一般的にはQCD（Q：品質、C：コスト、D：納期）のことを指すが、これに「S：スケーラビリティ」を加え、新しい製造管理技術をQCDSとしたい。S：スケーラビリティとは、QCD業務の形式知化・組織知化を図り、技術継承、技術移転ができ、事業のスケールアウトを可能とするシステム能力である。「人がボトルネック」となって、事業成長の機会損失が発生することを回避するための能力といってもよい。その経済価値は、成長戦略上のオプション価値（成長機会を活かし成長できる価値）である。

筆者はこれまで、日本製造業の経営層の方々と多数のミーティングを持ち、この点を議論してきた。実は、経営層にとって上記4つの課題が重要なことは、説明する必要のないくらい自明なことであるが、日本の経営層の反応は微妙で、「理屈は分かる。しかし頭では分かっている、身体がついていかない」という反応が多い。ここでは、日本の経営層から寄せられる次の7つの論点について、実際にあった具体的な質問にできるだけ丁寧に回答する形で議論を整理したい。いくつかのパラドクス（逆説）と発見があるはず

である。

## 1 成長しないケースでのDX・CPSの投資評価はどうすればよいのか

疑問1：S（スケーラビリティ）を目的とすると、投資効果はあくまで潜在的であり、今期や来期のPLには直結しない。成長しない企業では現場の労働力を削減できるわけがなく、効果は顕在化しないかもしれない。この理解は正しいか。

この理解は正しい。成長戦略がなく、かつ成長の可能性が乏しい企業が、DX・CPSへの投資を拡大しても、短期的な効果（＝今・来期のPLへの効果）は通常、限定的である。売上に占める製造原価の割合は、調達部材を除くと数～10%を下回る企業が多いからである。

もちろん、中長期では議論が異なる。最近よく耳にする現象がある。現場の高齢エンジニアの（70歳まで嘱託で延長した上での）退職で、若手への品質管理技術の継承が難しいため事業の継続性が危うくなるというケースがある。ここまで来てはじめて、当該エンジニアの価値と技術の形式知化・組織知化の重要性を経営層が理解した。しかしながらもはや「時、既に遅し」である。現場の謙遜の美徳もあると思うが、現場もっと早く警告を発するべきだった。もちろん、事業の長期の継続性を考えるのはマネジメントの責任である。同様のことは大企業でも起こり得る。

## 2 「現場カイゼンとDX・CPSとは相いれない」という現場からの指摘にはどう答えればいいのか

疑問2：現場のカイゼン活動とDX・CPSは相いれない。これまでもFAや自動化は現場の抵抗に遭ってきた。CPSはFA導入の自動化であり、自動化は現場業務のブラックボックス化を招く。現場業務のブラックボックス化は、現場で最も重要なカイゼンを止めてしまう。このため、DX・CPSもFAと同様、そもそも日本の製造業の現場には不向きなのではないか。

成長戦略もあり、内部留保を現預金で多額に蓄積している企業が、DXやCPSへの投資を躊躇している理由として典型的な理由の1つがこれである。現場の方々に使ってもらわないとDX・CPS投資には意味がない。経営層にとっては頭の痛い問題であるが、上記の質問に対する回答は「NO」である。

まず、DX・CPSはブラックボックス化ではない。CPSを導入、可視化、モデル化、シミュレーション、最適化を含め、常にCPSでカイゼンを続けていけばよい。DX・CPSを設計・運用し、保守するのは現場や現場と連動した生産技術部門である。ブラックボックスにするわけではないし、ブラックボックスにしてはいけない。高度化し安価になった各種センサーなどで常に可視化し、ITの支援で分析やカイゼンを行う。保守のための振動分析などはスペクトル分析をしなければ、可視化すらできない。

### 3 「現場がソフトウェア投資に自信がない場合はどうするのか」

疑問3：「現場はソフトウェアには強くない。しかも、現場はソフトウェアごときに負けるわけではない」（若干、情緒的表現をとることが多い）と言っている。さらに、「これまでソフトウェアに投資をして、過去、どれだけ痛い目に遭ってきたか。ソフトウェア投資には自信がない」と現場は語るのだが、どう考えるべきか。

回答としては、「羹（あつもの）に懲りて膾（なます）を吹く愚」となってはいないか。慎重に検討すべきである。また、(2)のような組織特有の問題も考慮に入れることが重要である。

#### (1) 過去の投資失敗の原因分析を行い、同じ失敗を繰り返さないこと。

##### 新技術を冷静に評価すること

たとえば、単にこれまでのSIパートナーが物理現象の知識に乏しく、解析力にも弱かったために発生した失敗かもしれない。型通りのトレーニングだけで、分厚い紙のマニュアルを読めと言われても読む気がしなかったのかもしれない。

計測技術も日進月歩で、分析技術もソフトウェアの機能も格段に向上し、クラウド技術の活用で実際の利用量課金型に移行したため、固定資産や固定費への投資は少なく、変動費化できるようになった。算出の方法にもよるが、ソフトウェアそのものであれば、概算価格で数年前の100分の1になったソリュ

ーションも多い。

マニュアルも電子化され、検索も容易になった。現場の機械に2次元バーコードを貼って、タブレットを活用し、物理空間とデジタル空間を連携することも容易に、また、現場で動画を含むマニュアル作成も容易かつ安価に可能となった。現場からマニュアルを作成し、世界へ発信できる時代である。

もちろん、ソフトウェアは万能ではないが、ほとんどの場合、成否は使い方にかかっている。日本各地にある国立高等工業専門学校（高専）でも、今や、3D・PLMや3Dプリンターの授業は通常カリキュラムで行っている。各種の物理現象の解析技術、シミュレーション技術も進んだ。技術がコモディティ化するスピードは想像を超えている。

もっとも、疑問3は純粹に技術だけの問題ではない。いわゆる「企業文化」の問題がかかわるケースが多いことに、特に経営層は留意すべきであろう。

#### (2) いわゆる「企業文化」などの組織特有の問題

たとえば、IT投資の失敗の責任を製造現場に負わせるかのような人事評価をかつて行った経緯がある場合などは、いくら「投資の責任についてはマネジメントが負う」と説いても、現場がその発言を信用していないケースがある。この場合、DXプロジェクトをやりたくないのではなく、投資失敗の責任を現場が取らされたくはない、というのが本音である。

一方、カイゼンは投資も発生しないし失敗する確率は小さい。このため、カイゼンで対

応していきたいと現場は考えがちである。現場の立場になれば自然なことである。

改革のためには、失敗を恐れず、むしろ失敗から学び成功へつなげるという文化が重要ということ、トップが人事評価で示すことが重要である。たとえ多少の失敗をしたとしても、取り組み姿勢や取り組み内容そのものを高く評価すればよい。現場は、言葉ではなく人事評価で動く。もともと単年度の短い評価期間では投資が成果を上げる確率は小さい。このようなケースでは、改革のビジョンとロードマップを組織的に意思決定し、機敏にトップ自らローリング作業に加わり、責任をとるというスタンスで臨むべきであろう。

#### 4 製造現場の組織・人材はどう変わるべきなのか

**疑問 4-1：製造現場の組織・人材・管理方式は今と同じでよいのか。**

この疑問に対しては、製造の現場組織を2つに分け、オペレーションズ・マネジメント(OM)部門を新設すべきであり、ここに、生産技術人材、IT人材や、外部リソースからのDX・CPSの人材も統合してみてもどうか。

製造現場の組織も発展的な改革が必要となる。日本企業の製造現場は、非常に高度な機能を担っているケースが普通である。カイゼンという言葉に託された意味は実に広い。このため、現場のカイゼン活動を発展させ、企業オペレーション全体を設計・運用・管理(カイゼンを含む)し続ける部門、組織を新設することが効果的と考える。つまり、部分としての現場、「目で見える」範囲の現場、で

はなく企業活動全体を視野に入れたカイゼン活動ができる組織を設置すべきである。こうした組織を、通常OM部門と呼ぶ。

外国企業の海外工場では、既にカイゼン活動の範囲を拡大し、製品CADから製造工程を設計、各工程の連携としてソフトウェアシミュレーションで工場設計までを行い、当初から最適設計、最適設備配置での製造ラインのオペレーションを行うことに加え、カイゼンを運営管理し続ける組織が設置されているケースもある。

もっとも、どこまでデジタル化したとしても、物理現象の内容を理解し、カイゼンを続けようとする創造性豊かな現場を作っていくことは、競争上、極めて重要である。組織的な知識を拡大するためにも、現場の知恵は常に必要なのである。このため、現場とOM部門との双方向のコミュニケーションの設計は、極めて重要である。SOP(標準業務プロセス)の設定は必要だが、OM部門が決めたことに、現場は単に従うだけ、という上意下達の運用は適切ではない。

ここまで来ると、現場の仕事はオペレーションのエンジニアリングであり、オペレーションのマネージャー+生産技術エンジニアの仕事になる。日々、学習することは格段に増える。もちろん、現場の方の報酬も向上すべきである。グローバルにオペレーション領域をマネジメントする人材であれば当然のことである。

**疑問 4-2：「グローバルにオペレーション領域をマネジメントする人材」と言っても、わが社はそれぞれの事業所ごとに製造ノウハウを培っている。い**



わば、切磋琢磨が基本である。それぞれの事業所でカイゼンを重ねて、切磋琢磨することで全体の水準が向上していくという考え方である。このため、日本のある事業所の製造管理ノウハウを共通ノウハウとして展開するという考え方をしていない。それでもDX・CPSへの投資をするべきなのか。

切磋琢磨という文化は温存してもよいが、切磋琢磨が事業所間の競争となる結果、製造管理ノウハウの共有や、カイゼン活動の知識共有を行う動機が乏しくなるとしたら、それは組織全体として見ると生産性向上の速度を減じている危険性がある。グローバルにOMの水準を向上させていくためには、共通知識データベースを設け、製造管理ノウハウを共通ノウハウとして展開する仕組みを構築し、組織として生産性向上速度を最大化すべきである。生産性の結果指標をKPI（重要業績評価指標）で競わせるのではなく、組織全体に貢献したグループを評価すればよいだけである。マネジメントの問題である。

## 5 現場の能力や準備（レディネス）は十分なのか

疑問5：そもそもウチの現場にできるのか。実はそんな優秀な人材は獲得できていない。これまで現場の教育はOJTだった。現場の徒弟制度が崩れると、どう動機付けしてよいか分からない。現場の管理が崩壊するのではないのか。

この問題に対しては、科学的に仕事を行う

か、経験で仕事を行うかという選択と考えるべきではないか。われわれの経験では、日本の製造業の現場能力は、経営層が考えるよりはるかに優秀で科学的であることが多い。日本の現場の業務レベルは、概して経営層の想像を超えて高い。試しに、まず現場業務を形式知化・組織知化・システム化することから始めてみてはどうだろうか。現在の現場の匠がリタイアするまでの期間はそう長くはない。一方、現場の若手には、技術革新の結果非常に安価になった最新のツールを活用し、世界で活躍できる人材になってもらわなければいけない。徒弟制度で15年かけて知識を取得するのでは、もはや間に合わない。

おそらくDX・CPSに適応した「現場」は、現在とは見た目は大きく異なる「スーパー現場」になっていくだろう。競争優位性は圧倒的に向上し、グローバル展開も容易になる。何より若手にとって魅力的な職場になる。しかし、「現場」で行っている業務の本質は変わらない。

## 6 起案部署はどこがよいのか。 現場からの起案を待っていても よいか

疑問6：この事案は、現場からのボトムアップの起案を待っていてよいのか。

回答は「NO」である。おそらく、競争相手より早く現場から起案される確率は小さいと考えられる。待っていては遅れをとる可能性が高い。現場は、「部分」だからだ。

経営層のリーダーシップが問われている。マネジメントが気づき、実行に移せるか。問

題の構造上、現場から起案されることは少ないことを覚悟するべきであろう。「現場」はいくら優秀でも「部分」であり、「全体」を見ているわけではない。また、現場だけで小規模でもトライアルができるファイナンス機能も乏しい。このため、現場に検討や起案を任せても、十分なROI（投下資本利益率）のプロジェクトを、自信をもって企画できる可能性はむしろ低い。仮にトップが号令だけをかけて、小額の部分的な案件が多数起案されたとしても全体は一向に見えてこないはずである。

経営層がまず率先して、自ら調査・学習し検討するためのチームを組成することが極めて重要である。実は、事情は海外でも同様である。ドイツのアーヘン工科大学、ダルムシュタット工科大学などの9つの工科大学、シンガポールのナンヤン工科大学再製造技術開発センター（ARTC）などで、スマート工場の支援技術を体験的に学べる擬似工場が用意され、盛況である。学んでいるのは、経営層や役員候補の社会人博士課程のエリート人材である。なお、疑似工場で実習する理由は、「まさか、経営層が自社の工場で実習するわけにはいかないから」だそうである。

## 7 成長戦略の実現可能性について

疑問7-1：そもそも成長戦略をどう考えるべきか。現在の経済情勢では国内市場での成長戦略の実現は難しい。また海外事業所での業務は、単に英語で会話ができればよいというわけではない。製造現場での専門用語を現場の方々に習得してもらわなくてはいけない。

人材の流動性も高い。一体、どうやって海外での人材育成を行ったらよいか。実は、海外展開は、既に一度やったが失敗し、撤退をした経緯がある。同じ轍は踏めない。（中堅製造業）

製造業のグローバル展開という視点では、実は日本企業があまり知らされていないソフト・インフラが2つある。APICS（米国生産在庫管理者協会：会員数4万3000人／全世界に約300のパートナー組織を有する）と、先ほどから説明しているOMである。APICSとOMという2つのグローバルスタンダードの教育・トレーニング機能により、製造業のグローバル展開、オペレーションは格段に容易になっている。要は、コンセプトや言語体系が世界標準語化されたのである。

「この2つを知らない日本の製造業は『井の中の蛙』だ」。この警告は、日本を代表する製造業の米国事業所で副社長を20数年務めた方からの指摘である。これに対し、「日本の製造業の言葉は特殊だから……」と思われる方も多いが、APICSの辞書では既に「アンドロ、デミング賞、5S、ゲンバ、ゲンチゲンブツ、5W、ヘイジュンカ、イシカワダイアグラム（いわゆるフィッシュボーン図であるが国際用語としてはこう呼ばれている）、JIT、カイゼン、カンバン、ケイレツ、ポカヨケ、タグチメソッド、TQM……」などは、国際語として辞書に登録され、世界で通用している。ちなみにこのAPICS辞書（3500語）の日本語版は、野村総合研究所（NRI）と日立製作所ほかのチームがボランティアで翻訳し、2016年にはじめて日本生産性本部より刊行された。

疑問7-2：事業提携やM&Aもこれまで弊社ではうまくいっていない。もちろん、東南アジアの製造業よりも技術力は高い。しかし、事業展開となると、もともと営業力が弱い当社は独自に東南アジアでの営業を行うことは難しい。問題はDX・CPSだけでは解決できない。また、IT関連の投資は巨額の先行投資となる。しかも効果は曖昧だ。これまでITへの投資を起案・意思決定した役員は、結果的にあまり高く評価されてこなかった経緯がある。(地方の中堅製造業)

日本の製造業の製造技術・加工技術・品質管理技術・運営ノウハウは今でも世界トップクラスであり、容易に真似できないことを世界は知っている。その一方で、ERPなどの業務アプリケーションやDX・CPSのツールは、クラウド技術の普及で既にグローバル価格が設定され、活用するだけなら非常に安価なため、東南アジアにおいても製造業の業務管理ツールとして常識となってきた。コモディティとなった安価なツールを活用することで海外投資銀行の投資適格要件は満たされ、海外展開の機会は格段に拡大する可能性は高い。

しかしながら、次のケースに見られるように、日本の製造業やその関連機関はこうした事実を十分に認識していないのが実態である。

### 東南アジアの投資銀行のケース

日本の中小製造業へ出資し、東南アジアの製造業と提携させて事業拡大させ

たいということで日本の地方銀行に相談した。そこで、その地銀から紹介された中小製造業10社を1週間で巡るツアーを組んだ。理由は「日本の製造業は製品の加工精度、製造技術は極めて素晴らしい」からである。地銀は数100億以上のディールの可能性を期待していたが、ツアーの最終日にこの投資銀行が告げた言葉は、地銀のバンカーの想像を超えるものであった。

「大変申し上げにくいのですが、残念ながら1社も投資適格要件を満たしません。理由は、製造管理技術、経営管理技術の問題です。スケジューリングはホワイトボードでの会議体、品質管理はシニアの管理者の経験と勘、見積原価はエクセルシートという状態。WTOで推薦されている標準原価計算も原価差異分析もなされていない。ERPすら活用していない。なぜでしょうか。正直、理解に苦しみます。もっと普通の会社を紹介してください」(東南アジアの投資銀行バンカーの発言)

## Ⅲ 第4次産業革命の 長期的なねらい

ドイツを中心とした海外企業の動向や政策動向から考えると、ドイツ科学技術アカデミーが提案するインダストリー4.0や、ダボス会議(WEF)の「第4次産業革命」には、さらに「長期的なねらい」があるようである。

長期的なねらいとは、短期的なねらいで提示した「先進国製造業の技術継承、技術移転ができ、事業のスケールアウトを可能とする



システム能力」を、今度は主に新興国の製造業へ応用しようという考え方である。具体的には、製造にかかわるあらゆる技術（製品設計、生産技術設計、製造管理、設備の運用・保守）に対し、クラウド技術を活用し、クラウドボックス化した上で「製造ソリューションのサービス事業」として展開するわけである。

さらに、「製造ソリューションのサービス事業」がもたらすグローバルな産業構造の革新（＝イノベーション）を長期的なねらいとすることにより、「新興国の成長と先進国製造業の成長との共生を図る」ことが視野に入ってくる。

こうしたグローバルな動きにより、日本の製造業の将来の事業環境、競争環境はどう変わるだろうか、また生存領域をどこに確保していけるだろうか。思考実験として問題提起したい。

## 1 ハノーバーメッセ2019に見る「クラウド技術を活用した製造業のサービタイゼーション」の拡大

ハノーバーメッセとは世界最大規模の産業見本市である。2011年の同メッセにおいてインダストリー4.0の概念が打ち出されたことはあまりにも有名であり、まさに第4次産業革命のメッカといえることができる場所である。

HM2019では、日本企業と中国を含む海外企業とのDX・CPSの目的やねらいの明確な相違が確認できた。そこでは、欧州主要企業の新興国（中国、東南アジア、中近東、アフリカ、ロシア・東欧、中南米ほか）をターゲットとしたクラウド技術を活用したサービタイゼーション<sup>※1</sup>の展示が目立った。具体的

には、新興国で工場や発電所まるごとの設計と運営・保守サービス、ビルや病院のエネルギーマネジメントシステムへの投資を代替し、エネルギー効率向上の成果に対し報酬をフィーとして獲得するサービス事業の成功をアピールしていた。ちなみに、日本企業のHM2019での展示は、「AIを組み込んだ製品」「エンジニアが担当の工場で担当範囲の機械の予兆保全を円滑に行うためのAIシステム」といった、事業モデルは変えない範囲でのAIやIoTの要素技術の活用がアピールポイントであった。

欧州企業による新興国でのサービタイゼーションは、日本ではあまり報道されていないようであるが、既に、実ビジネスとしてかなりの規模の投資や長期契約が締結されていると推測される。たとえば、シュナイダーの東南アジアでの売上成長率は10%を超えてきている。この売上のかなりのウエイトは、プラントや発電所での長期の運用保守ソリューションのクラウドサービス契約と考えられる。製品と比較し、当期売上の規模は見かけ上小さいサービス契約であるにもかかわらず、10%以上の売上成長を遂げている点が特筆される。

## 2 「製造業のサービタイゼーション」というコンセプト提案

筆者が「製造業のサービタイゼーション」というコンセプトをはじめて知ったのは、米国POMS学会の重鎮でペンシルバニア大学ウォートン校のモリス・コーエン教授が、2013年に日本のJOMSA（OM：オペレーションズ・マネジメント&戦略）学会で講演した際である。

コーエン教授は、日本のコマツをケースと

して取り上げ、「コマツは、南米のある鉱山との契約形態を変えた。出荷量1t当たり何ドルという契約を長期で締結した。コマツはもう機械を売っている製造業ではなく、サービスを売っている。これは事業モデルの革新である。コマツは、競合他社が優れた機械を開発したら、それをコマツのサービスシステムに組み入れ収益を拡大できる立場を確保したのだ」という主旨で、「製造業のサービタイゼーション」を解説していた。

コーエン教授は、サービタイゼーションが、製品ビジネスからシステムビジネスへの転換となることを示し、「サービス契約の設計方法」が重要な論点であること、さらにサービス提供をすることで得られる情報が製品企画力向上につながる戦略的な意義も大きいことを指摘した。

サービタイゼーションが製品企画力の向上につながったケースとしては、「火力発電所のガスタービンの設計方針の転換」が挙げられた。具体的には「最高出力／製品価格」から、リニューアブルエネルギーの補完エネルギーとして重要な「変動出力／運営費用」への設計方針の転換が起こったこと、などをケースとして紹介した。

サービタイゼーションは、顧客すら気がついていない潜在的な顧客ニーズの発見に有効である。製品企画は製品の開発技術者の視点だけでは十分ではなく、利用している顧客の視点から行う重要性があらためて強調された。日本ではあまり注目されていないが、「製造業のサービタイゼーション」は、米国ビジネススクールの必須科目であるOM分野（米国POMS、欧州EurOMA、日本JOMSAなどの経営工学関連学会が研究）の主要テーマ

の1つである。OMについてはビジネス誌も多く取り上げ、多数の研究者が多角的かつ活発に研究発表を行っている分野である。

### 3 第4次産業革命と製造業のサービタイゼーション、その背景と留意事項

なぜ、第4次産業革命で製造業のサービタイゼーションが重要な要素になるのだろうか。筆者は、欧州における数々のカンファレンスに参加し、ドイツ企業の戦略担当者と意見交換する機会を得た。彼らの考え方はほぼ同様で、その共通項を整理すると下記のようになる。

#### (1) 製造業のサービタイゼーションが注目される背景

##### ①スケールアウト可能で高いROA

製造業のサービス化により、限界費用ゼロのソフトウェアを活用したスケールアウトできるビジネスモデルへの転換を遂げる。

イノベーションのスピードはますます加速する。新興国の経済成長率が高い。製品事業だけではこの成長スピードを享受できない。理論的には、スケールアウトするために限界費用ゼロでROAの高い、ソフトウェアのウエイトの高い事業へと転換を図るべきである。クラウドサービスが基本なので、ブラックボックス化も容易となった。誤解も多いが、もちろん、決してハードウェアを捨てたというわけではない。

##### ②成長性

製造ノウハウ提供のサービス事業として参入することで、製品事業では参入が容易では

ないが、成長性が高い新興国市場への「早期参入」が可能である。

成長性が高い新興国といっても、1人当たりGDPの水準は低く、先進国の製品を今すぐ販売できるわけではない。ダウングレードした商品を企画・設計・製造・販売することもかえってコストがかかるため、製品販売事業では一定の経済水準に達するまでは参入は容易ではない、という考え方が日本の製造業の常識であろう。

一方、考え方を転換し、新興国に既に強いニーズがある製造業の技術やノウハウを、クラウド技術を基礎としたソフトウェア型のソリューションサービス事業として提供できれば、即、上記の新興国もまた参入可能な市場になるのである。

### ③安定性

サービス事業は、10~20年の長期契約に持ち込めれば、安定収益が見込める事業となる。特に、設備型の製造業での大きな悩みの1つは、景気変動に大きく影響を受ける事業ということである。一方、サービス事業は設備投資ではなく継続性のある安定事業であり、景気変動の影響は少ない。ホールディングス傘下にサービス型の事業を設置すれば、全体事業のポートフォリオを安定させることができるわけである。

### ④イノベーションの内部化

後述するRAMI4.0をフレームとする各種APIなどが国際標準として設定され、産業のアーキテクチャが確立すれば、CPS領域でのオープンイノベーションが急進展することが期待される。サービス契約を締結し顧客フ

ロントの立場を維持できれば、こうしたイノベーションを自社の収益として内部化できるわけである。

### ⑤株式時価総額の向上

製造業のサービタイゼーションのねらいは、今期、来期のPLではない。①スケールアウトでき、ROAが高い事業モデル、②成長性、③安定性、④イノベーションの内部化を高く評価するのは、投資家である。この結果、株式時価総額の向上を図ることができる。

## (2) 製造業のサービタイゼーションの留意事項

逆に、製品販売からサービス事業へ転換すると、見かけ上は売上が小さくなる。一般的には製品を販売した方がその期の売上は10倍程度大きい。日本企業では、この見かけの売上の小ささを気にして、「それでは今期の目標達成には貢献しない。サービスは儲からない」という判断をしがちである。しかしながら20年契約の事業を現在価値に換算すれば、製品販売よりも現在価値は大きい。今期のPLだけで業績を評価するのは、株主価値から見るとむしろ誤った評価ともいえる。目標設定そのものが誤っている危険性がある。

## 4 「新興国の成長と先進国製造業の成長との共生を図る」というアイデア

マクロ的視点から、第4次産業革命における製造業のサービタイゼーション、特に「製造技術などのクラウド技術を活用したシステムソリューションのサービス展開」を見直すと、これまで容易ではなかった「新興国の成

長と先進国製造業の成長との共生を図る」ことを実現する「SDGs的な価値観」が背景にあることが理解できる。ダボス会議で有名なWEF（世界経済フォーラム）も、この価値観を共有していると考えられる。一見、不思議に思われるかもしれないが、アフリカのルワンダの首都キガリで行われたWEF会議で第4次産業革命が議論された理由はここにある。

実際、『「第四次産業革命」を生き抜く』（クラウス・シュワブ著、日本経済新聞出版社、2019年）において、著者のシュワブは「技術が人類全体の厚生を向上させるようガバナンスを強化する必要がある」とし、そうした課題を解決するためには「システムのリーダーシップ」という新しいリーダーシップが必要であると言及している。また、「システムのリーダーシップ」に求められる役割について、「すべてのステークホルダーと協働して変化についてのビジョンを共有し、そのビジョンに基づいて行動し、想定した人々が恩恵を受けられるようにシステムを変えていくこと」の重要性が指摘されている。

ドイツのインダストリー4.0で提案されている、製造業、特に生産技術や製造管理技術のサービタイゼーションは、「システムのリーダーシップ」の典型例だと筆者は考えている。繰り返すが、SDGsとしての意義も大きいのではないだろうか。

## 5 日本の製造業の将来における 事業環境——競争環境の変化と 生存領域の確保——

製造業のサービタイゼーションが進展した場合、日本の製造業の将来における事業環境、競争環境はどのように変わるのだろうか

か。これまでの議論を整理すると、資本市場、製品市場の2つの市場で、次のような大きな変革が起こり得ると予想される。

- M&Aなどの資本市場：新興国の成長やイノベーションを内部化、ROAが高い安定収益事業を確立することで株式時価総額を拡大することに成功した欧米先進国製造業との競争が激化する
- 製品市場：欧米先進製造業の製品企画・設計、生産技術、製造技術、製造管理技術を活用した新興国の製造業との競争が激化する

現在の事業モデルに固執し、この2つの市場で先進国製造業と新興国製造業との板挟みになってしまうのでは、日本の製造業の生存領域の確保は容易ではなくなるのではないだろうか。こうした両市場の構造変化が、長期戦略を検討する上で、今後、不可欠な視点となるであろう。

## IV 注目すべき新しいタイプの イノベーション加速政策

### 1 2つの新しいタイプの 「イノベーション加速政策」

さらに、これらの短期や長期のねらいを実現するために、欧米諸国では、2つのタイプの「イノベーション（＝産業の創造的破壊と新結合）の加速政策」が採用されている。具体的には、①産業アーキテクチャの設計活動と、②「死の谷」を円滑に越えるオープンな応用工学・実用工学研究機能、の2つであ

る。日本にとっては、比較的目新しいイノベーション政策といえよう。

これら2つのイノベーション加速政策が相乗効果を上げ始めているのが、今のドイツなのではないだろうか。ドイツのインダストリー4.0は、主に①に注力した活動として知られている。ただ、独政府にとって②は自明なので、報告書には記載されることは少ない。一方、学界が基礎的、基盤的な科学研究に注力しがちな日本にとっては、強調すべき重要なアイデアであろう。

新興国への短期的な事業展開が注目され、それももちろん重要であるが、ドイツのこうした動きは、むしろ長期的な時間軸で評価するべきであろう。

## 2 需要表現（ダイヤモンドアーティキュレーション）

実は、これら2つのタイプのイノベーションは、児玉文雄・東京大学名誉教授が提唱した「需要表現（デマンドアーティキュレーション）」を政策的に行う仕組みと捉えると、理解しやすい。日本の一部で考えられているような「ドイツ発のドイツ有利のための国際標準化活動」「フラウンホーファー（FH）研究所への潤沢な公的研究開発投資」という理解は、少しバイアスがかかっていると考えられる。

需要表現とは、児玉氏によって従前のパイプラインモデル（科学から技術へという経路を線形的にたどるモデル）に対して、1990年代に提唱された技術開発の概念モデルである。需要表現とは、「アナリシスとシンセシス（分解と統合）という2つの正反対の概念を包含する概念」であり、「潜在需要を製品

概念として統合化し、同時に製品概念を個々の要素技術の開発項目へ分解するという、2つの技術的活動の動学的相互作用」と定義される。「人間の持つ漠然とした欲求を明確な製品概念に翻訳するという「需要表現」の技術能力が、技術開発の成否の決定要因になりつつあるのである」（児玉文雄「ハイテク技術経営論」日本オペレーションズ・リサーチ学会vol.32）。

最近の表現では、システムデザインとシステムズエンジニアリングとを同時に行うイメージであろうか。RAMI4.0<sup>22</sup>もERC<sup>23</sup>もその基本的なアイデアは共通のように思える。

## 3 産業アーキテクチャ設計の戦略性

### (1) 基本的な考え方

産業のアーキテクチャ設計とは、「当該産業のモジュール間インターフェイスを国際標準化し、モジュール構造を設計する活動」である。

複雑ではない製品であれば、優秀な現場の匠の技の方が機敏なイノベーションが可能であろう。しかしながら、たとえば、スマートフォンなどの小型でも巨大なソフトウェア群を含む複雑なシステム製品や、ましてや社会システムソリューションのような、1社では構築できない複雑で巨大なシステムについて継続的なイノベーションを図るためには、開放系（オープン）で、新技術をモジュール単位で組み替えることができる産業構造を有していることが極めて重要と考えられる。

また、産業のアーキテクチャ設計は、「政策的なオープンイノベーション」を強力に推進する政策手段としても重要である。機



能モジュールへの投資リスクを下げ、コーディネーションの生産性を上げることで、政策的にオープンイノベーションのスピードを加速することができるからである。図1は、岡田武氏が整理した政策的なオープンイノベーションモデルの模式図である。

産業のアーキテクチャ設計は、当該産業にかかわるユーザー企業や関心を有する企業（ベンダー）が、標準化機関などの支援の下でコンソーシアムを形成し、①新産業の需要表現（ダイヤモンドアーティキュレーション）、②構成するモジュール機能の明確化、③機能モジュール間のインターフェイスの設計と国際標準化、④全体のロードマップとレファレンスアーキテクチャを作成することである。

アーキテクチャ設計は、特許性のないモジュール間インターフェイスがアウトプット

であるため、独占禁止法の適用除外とされ、競合企業が参集して議論できる前競争（Pre-Competitive）的活動と位置付けられる。一方、競争（Competitive）は、①機能モジュールの技術開発・提供活動、②モジュールを組み合わせるコーディネーション活動とサービス提供で行う。

## (2) 産業のアーキテクチャ設計がもたらすイノベーションの加速

前述したように、産業のアーキテクチャ設計は、イノベーションを加速させることが期待されるが、その理由は、表1に見られるように、複雑で巨大なシステム産業のイノベーションに対しては、従前の自前主義モデルよりも政策的なオープンイノベーションモデルの方が優れているからである。

図1 政策的なオープンイノベーションモデルの模式図

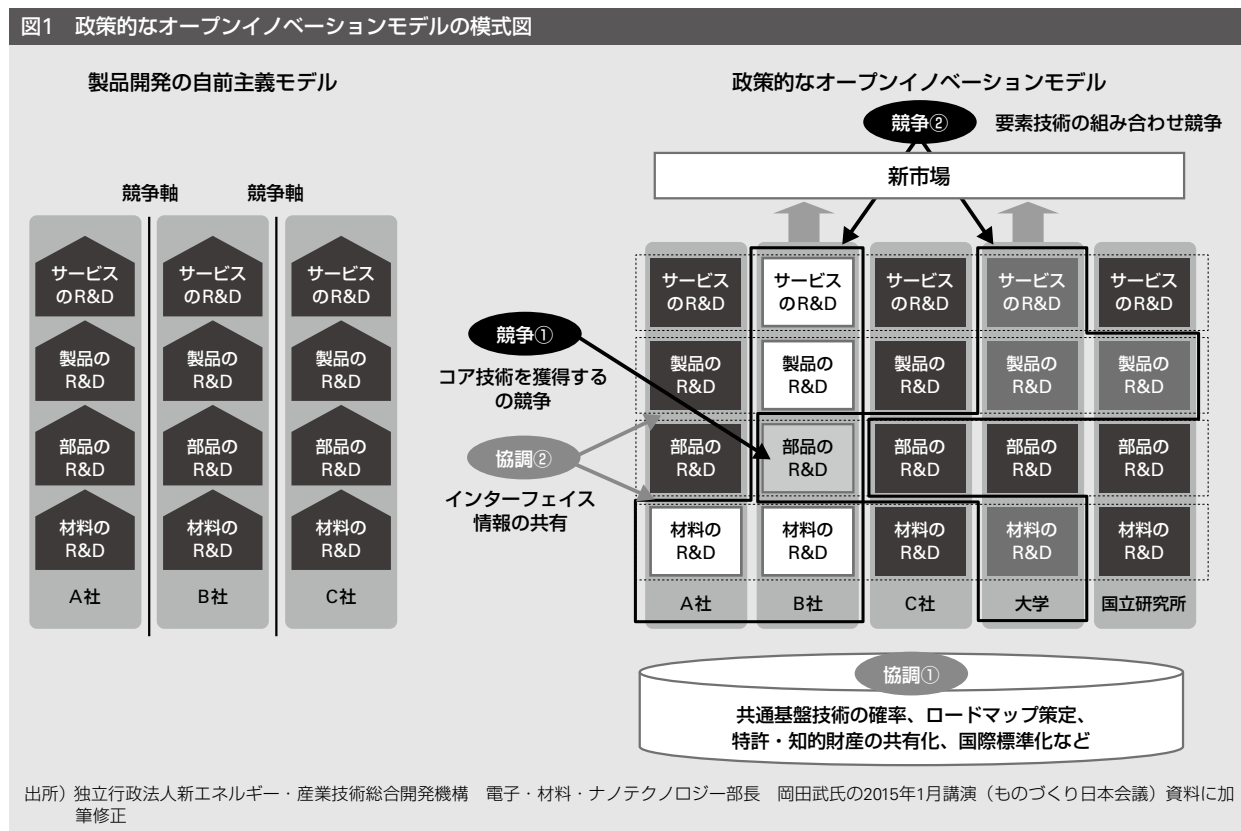


表1 「自前主義モデル」と「政策的オープンイノベーションモデル」の比較

視点	自前主義	政策的なオープンイノベーション
マーケティング	市場開拓（マーケティングセールス）活動の費用と期間を要すること。顧客の潜在的なニーズを明瞭な姿で捉えることは容易ではない	ユーザー産業が当初から参画したコンソーシアムにより、新産業の外部機能設計が行われるためにユーザーニーズが早期に明確化され、マーケティングやセールス上のリスクは圧倒的に小さくなる
技術開発の目標設定	R&Dに対する課題認識は、「複雑なハイテク産業であればあるほど、技術の将来像が見えにくく、技術開発の焦点・目標を定めにくいこと。技術開発力そのものよりも、何を開発すればよいのかという点が明確でないため投資が分散する」ことが問題という指摘は多い。特に、他社が既に有する既存技術が不明であることが生産性を下げている	コンソーシアムには、ユーザーだけでなく競合ベンダーも参加しているため、競合他社を含め、既存技術が適用できる場所はどこか、新たに開発しなければいけない技術モジュールは「何か」、いつ頃までに必要か、その需要規模はどの程度か、が示されることになる。つまり、誰も既存技術を有していない、いわゆる「新規技術開発領域（ミッシングリンク）」の発見が容易になり、投資領域を早い段階で絞り込むことができるわけである
ファイナンス	自前の際の投資意思決定は、当期のキャッシュフローに依存することが多い。安定的な開発投資活動は容易ではない	リスクマネーが投入できること。明らかになったモジュール構造の下で、ミッシングリンクが規定される際に、技術開発にリスクが伴うものについては、ベンチャーキャピタルやファンドなど資本市場からのリスクマネーの投入が可能となる。資本市場からの資金調達が可能になる効果は計り知れない
上市後の継続的なイノベーション	開発された製品の継続的なイノベーションも、モジュール化がなされていないため外部からの技術提供を受けづらい。協力会社やグループでのいわゆる系列的取引が1980年代に有効に機能してきたのは、この4点を系列的取引でクリアすることに成功したからであった	モジュール組み換えによるオープンな（開放系）イノベーションが容易である。モジュール間インターフェイスが公開されることにより、グローバルに、かつ他業種からも参入が進むことでイノベーションが加速する

#### 4 オープン（開放系）で システムのな実用工学研究機能

基礎研究と実用研究を結びつける、オープンでシステムのな実用工学研究所の仕組みが整備されてきている。基礎研究を応用しようという発想ではなく、製品やソリューション開発のための一部の主要技術を、世界中の基礎研究と関連付け、具体化するという発想である。このため、基礎研究はオープンに世界中の技術を探索・活用する。また、製品開発やソリューション開発では、世界中の企業のニーズを、受託研究を行うことで把握するという仕組みである。国際標準のモジュール間インターフェイスに従ってソリューションや製品を開発し、開発されたモジュールは、他システムと組み合わせられるため、実用までの道筋が比較的容易となるわけである。

FH研究所（ドイツ）や、民間のパロアルト研究所（米国）などがそれに当たる。さらに、米国でのERCは、各種の工学研究を、要素技術、イネイブラー、サブシステムとサブシステム連携でのシステム設計の3階層構造を常に意識しつつ、長期の研究を、動的にテーマ設定を変更し続け、オープンな仕組みで実用工学研究を推進する仕組みとして成功している。ERCもシステムのな実用工学の研究機能として重要である。

##### (1) フラウンホーファー（FH）研究所

FH研究所はドイツ全土に72の研究所・研究ユニットを持つ欧州最大の応用研究機関である。傘下の各研究所は応用研究を目的としている。2万6600人以上のスタッフを抱え、年間研究予算は26億ユーロ超、受託研究によ

る予算は22億ユーロである。

図2は、筆者が2019年4月にフラウンホーファーIPK研究所（ベルリン）を訪問した際に、コール所長が説明してくれた図である。ポイントは次の3点である。

### ①需要・ニーズ駆動型の実用研究をオープンに推進すること

州政府や連邦政府の委託もあるが、民間からの技術R&Dの受託研究が約50%以上を占める。大企業だけではなく、SMEやスタートアップを含めて行う。こうすることで、民間企業のR&Dニーズを的確に把握し、需要・ニーズ駆動型の研究を推進できる。

共同研究ではなく、納期と研究成果に一定の責任を負う受託研究という点が重要である。FH研究所のアドバイザーボードを通じた実業界との緊密な関係を活用することが基本であるが、顧客企業は多様かつオープンである。ドイツ企業とも限らない。たとえば、南米にもFH研究所が多数展開し受託研究を

行っているほか、日本企業もクライアントに名を連ねている。FH研究所のダイナミズムはオープンな受託研究活動が基本であると筆者らは考えている。

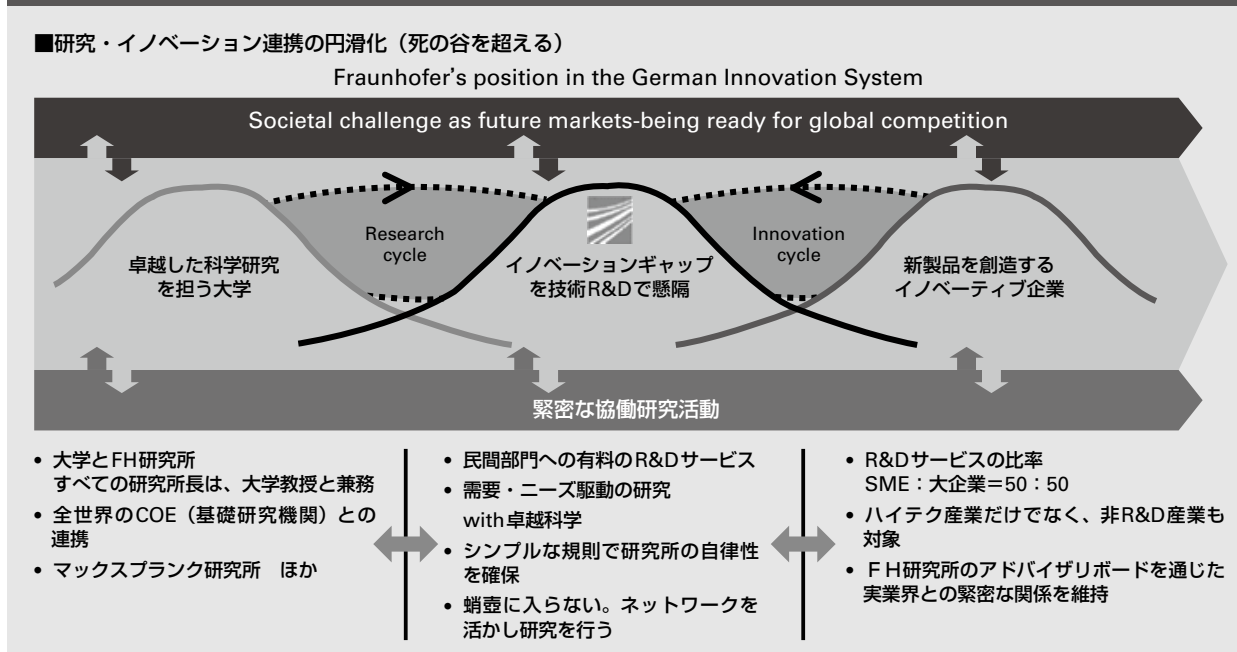
### ②世界のCOEとの連携・オープンなネットワークの形成

FH研究所は、必要に応じて世界中の基礎研究の成果を活用するというスタンスであり、ドイツが誇るマックスプランク研究所はもとより、世界のCOE（基礎研究機関）との連携・ネットワークを構築している。日本も例外ではなく、既に三重県や産業技術総合研究所（産総研）とも連携している。さらに仙台の基礎研究機関（おそらく大学関係と思われる）とのネットワーク形成のために、仙台にもオフィスを設置している。

### ③基礎・応用・実用研究の緊密な連携の実現

FH研究所は大学に付置する形態で設置され、すべてのFH研究所長は大学教授が兼務

図2 フラウンホーファー（FH）研究所



することになっている。FH研究所長は、製品開発のスタートアップ企業のCEOを兼務することも多い。つまり、大学教授とFH研究所、スタートアップ企業をすべて兼務することができる仕組みである。基礎・応用・実用研究を緊密な連携で行うには、これ以上よい方法はないかもしれない。

## (2) パロアルト研究所と米国ERC

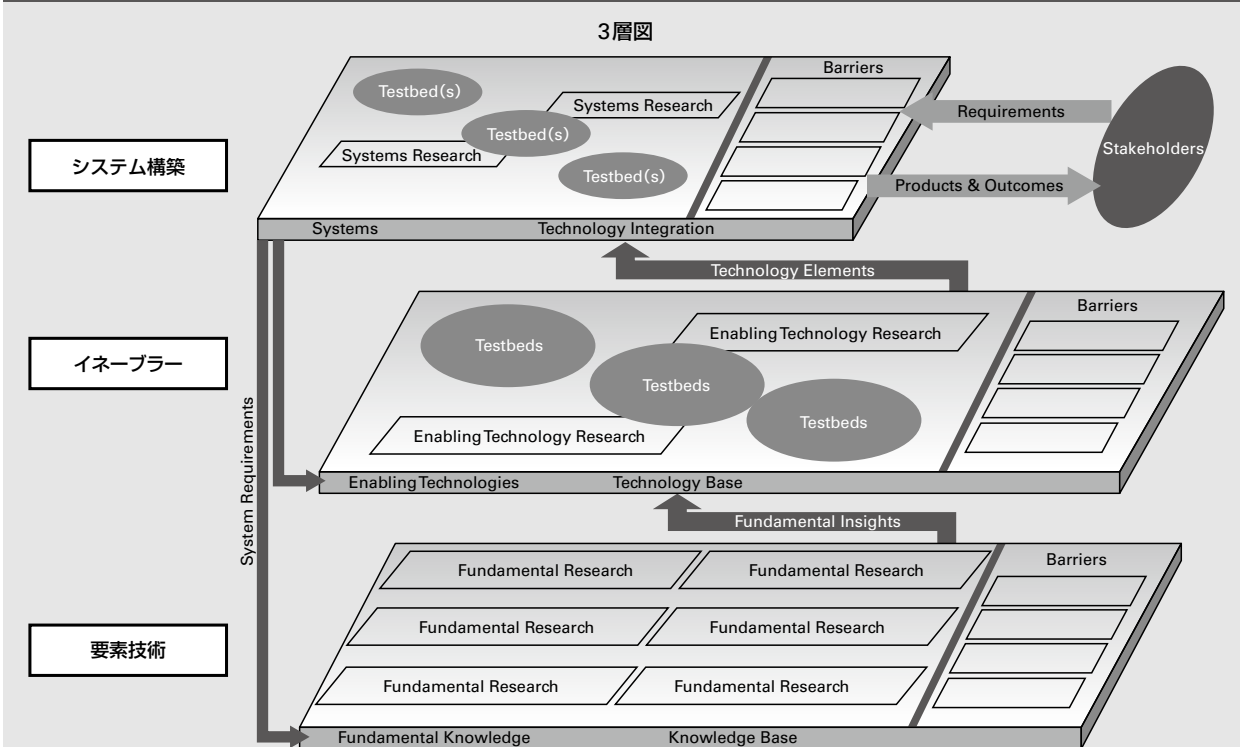
オープンな応用研究所は、ドイツのFH研究所だけではない。近年、あらためて注目されているのが米国・パロアルト研究所である。さらに基礎・応用・実用を連携させる研究プロジェクトを比較的長期で推進することに成功してきたのが、ERC（米国科学財団（NSF）により設立された米国の大学付置研

究機関）である。

パロアルト研究所は、ゼロックスのR&D部門であり純民間の研究機関であるが、近年、外部からの受託研究を拡大してきている。CEOのTolga Kurtoglu氏は「外部からオープンにR&Dを受託研究することによって研究活動が加速した。何より世界中の企業とニーズ、シーズ両面でのネットワークが形成できるようになった。この価値は計り知れない」と語ってくれた。

ERCはNSFのファンディングの仕組みである。産業界におけるニーズ駆動型の学際的研究の推進を目的とし、多数の大学に設置されている。特に注目されるのは、図3の3層図（3階層アーキテクチャ）による研究活動のシステム化である。「研究」と「社会実

図3 3階層アーキテクチャによる研究活動のシステム化



注) ERCはNSFの工学部門が管轄し、約7000万ドル（17拠点）の予算措置が施されている。支援期間は通常は10年。3年目と6年目に更新審査が行われ、3年目の更新審査に「不適格」の評価を受けると、2年後にNSFからの支援は終了する。ERCにおける資金源はNSFからの支援だけでなく、ほかの政府機関、産業界および大学など、多岐にわたっている

出所) 独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター「平成26年度調査報告書米国のEngineering Research Centers（ERC）——融合型研究センターのFederal Flagship Scheme」より作成<https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2014/RR/CRDS-FY2014-RR-02.pdf>

装」の連携は、「システム構築」「イネーブラー」「要素技術」の3層図に基づき、長期の研究活動が企画・実施・評価・公開され、ローリングされていることで図られる。3層図により、常に3つの階層が同時に検討され、研究テーマの価値評価がシステム視点から行われるため、基礎・応用・実用が連携できる仕組みになっている。もちろん、民間企業の参加や研究受託もこのスキームの中で行われる。

残念ながら日本では類似の機能は存在していたとしても、企業など各組織で閉じた活動にとどまっていた、オープンなネットワーク効果のレバレッジが効いていないのではないかと考えられる。

## V 日本で、今求められる 産官学の7つの施策

これまでの考察を踏まえ、今、日本で求められている施策を検討したい。まず、短期的なねらいに対応して、特に地域中小製造業の経営層向けに、正確な情報を提供する「第4次産業革命エグゼクティブ・スクール」を設けてみてはどうだろう。一方、大企業は、既にPOCの段階を経て、サービタイゼーションへの本格的な投資のための長期のブループリントを立案すべき段階であろう。

こうした動きを本格化するには、人材育成が喫緊の課題であり、日本のビジネス教育の盲点となっている「ビジネスについての文系・理系の区分」を取り払い、文理融合での「ビジネススクール×経営工学×IoT・ITの総合カリキュラム」の構築を行うことが強く求められる。海外ではマネジメント&エンジニ

アリングはイノベーション論の基本である。「マネジメントのないエンジニアリングはないし、エンジニアリングのないマネジメントもない」という議論は、海外でのOM関連のビジネススクールの教授のほぼ常識である。

政策的には、産業アーキテクチャ設計に関して国際標準化機関と連携できる組織機能の整備、「オープンで体系的な実用工学研究機能」の設置などを進める必要があり、そこでは、日本でもイノベーションを加速する政策として謙虚に学ぶべきだと考える。

最後に、第4次産業革命をリードするシンクタンクの設置と、産業政策立案当局や経営人材に対する「産業技術発展史」のカリキュラムの提供が有効と考えられる。既に類似機能や知識体系はある。必要なのはマインドセットの切り替えだけだ。

令和の時代は智恵の時代である。必要な知識体系を発見、創造、学習、実践し続けるスピードそのものが問われている。

### 1 地域中小製造業向け 「第4次産業革命エグゼクティブ・ スクール」(短期策)

日本の地域中小製造業には、第4次産業革命、DX・CPSなどの技術情報はなかなか伝わっていないという指摘がある。大学や公設試験研究機関、中小企業大学校、国立高専などの工学系の教育・トレーニング機関も、地域の中小製造業からすると必ずしも十分な情報入手ルートになっているわけではない。ITベンダーも地域の中小製造業まで直接営業に行くだけの営業資源には乏しいようである。地域中小製造業の経営層には、「東京や大阪で年に一度あるイベントに参加すること



で入手する情報に頼らざるを得ない」という声が一般的である。各地域のIoTコンソーシアムの全国ネットワーク構築は重要である。

一方、「第4次産業革命は中小製造業にとってはチャンス」（スウェーデン政府のIoT担当ほか）という指摘は多い。つまり、これまでの大手取引先からの仕事に限定されることなしに、直接、世界市場に展開できるチャンスというわけである。そのために、先駆的な中小企業では、OPC-UAやAASなど国際標準に準拠した製品・ソリューション開発を始めた。

このため、全国の中小製造業の経営層向けに「第4次産業革命エグゼクティブ・スクール」を開講することが効果的と考えられる。米国の社会人・経営層向けビジネススクールと類似したスクールを、第4次産業革命に焦点を当てて編集・作成するのである。技術者だけでなく中小製造業の場合は、経営層自らが腑に落ちる内容にすることが必要であろう。常設のデモセンターも効果的と考えられる。

参考事例は海外に豊富にある。シンガポールモデル（Workforce Singaporeほか）、OMBOK（OM Body of Knowledge）教育・トレーニングなども参考になるだろう。典型的なカリキュラムは既に海外では普及しているので、日本でも、中小企業大学校、国立高等工業専門学校、公設試、産総研、工業高校、職能技術大学など、幅広い組織で対応すべきではないだろうか。

DX・CPSに関する要素技術と併せ、APICSなどの国際標準的なOM教育・トレーニングを日本の中小企業における常識にすることの意義や効果は計り知れない。日本の産業を支えているのは地域の中小製造業なのである。

国立高等専門学校機構では「第4次産業革命のカリキュラム開発」が既に始まった。

## 2 大企業における事業モデルの長期構想（ブループリント）の作成

大手製造業では、既に多数のPoCを通じてエンジニアレベルでは要素技術は理解されているはずである。つまり、できることからまずやってみて技術を理解する、というフェーズはほぼ終了している。

次は、本格的な投資を行うために各企業の経営戦略に位置付けることが効果的であろう。企業ごとに、また業種や規模により、第4次産業革命への適応戦略は大きく異なる。国内の類似企業や競合企業の事例を分析して満足しては、判断を誤る危険性も高い。日本企業には知らされていないことが多いからである。ぜひ、海外の競合企業の戦略をマークすることを提案したい。

具体的には、将来の事業別に業務のポートフォリオ（内製・外部調達の見え方）を描くことが必要になると考えられる。中期計画では届かない、地殻変動的といえる大きな構造変化への適応戦略として検討することである。

## 3 「ビジネススクール×経営工学×IoT・ITの総合カリキュラム」の構築

最近、データサイエンティスト人材やAI人材が不足しているという指摘がなされる。しかしながら、そもそも分析やモデルの目的や内容が曖昧なままでは経営には活かされない。つまり、経営の視点から技術戦略やオペレーション、業務戦略・業務設計を考える学識が必要である。そのため、海外では普通に見られるマネジメント&エンジニアリング

(OMやOR、経営工学、企業の技術戦略、科学技術政策などとマネジメントと)のダブル・ディグリー人材の養成を通じて、分厚い研究者の層を形成していくことが重要と考える。

エンジニア、特に生産技術エンジニアについて、日本企業では、ともすると「現場に任せてカイゼンを行わせていれば十分」と考えられてきたかもしれない。しかし、現在でもそう考えているとしたら成功の復讐といわれても仕方がない。

確かに、欧米が1980年代から90年代にかけて日本から学んだのは、現場が創造したOMという研究領域が企業の競争優位性へ与える影響の重要性であった。とりわけ米国では「Made in America」という大統領報告でOMの重要性を指摘し、カリキュラム(POMS)を構築し、MBA教育の一環として導入・定着させ、さらに研究を続けるという学界の側の学習能力を発揮した。

今や1万人のPOMSの教授陣がビジネススクールで研究と教育を行っている。欧州の同種の学会EurOMAも5000人の陣容を誇る。もちろん、米国POMSや欧州EurOMAには、中国、台湾、韓国、タイ、シンガポール、ベトナムをはじめ、アジア地域のビジネススクールの教授が参加し、OMを共通のコンセプトで理解している。日本の教育機関、人材育成機関は、こうしたインテリジェンスが国家の底力になっていることを肝に銘じるべきである。

これに対し、日本では文系マスターの就職が容易ではないという通念と、MBAのコースは極めて少ないという事情もあり、OMの研究者の数は極めて限定的である。MBAコースでOMを明確に位置付けているのは、神戸大学経営大学院のみという厳しい状況である。

日本では経営学は文系に分類され、ITやIoT、AIとは、基本的に無縁の学問と考えられている。そのためか、日本ではもともと経営を科学的・工学的に分析・研究しようという、いわゆる経営工学の研究者は少なく、経営工学を設置する学科や研究科も少ない。実際、国立大学では、東京工業大学と広島大学くらいにしか経営工学関係の研究科が設置されていない。

欧米のように、ビジネススクールと経営工学(OM・OR)やエンジニアリング(IoT・ITを含む)などを包含した教育カリキュラムの構築と、教授の育成、学科の新設・拡充は、日本でも急務と考えられる。

もともと、現在は提供されていないカリキュラムなので、ニーズが顕在化しているわけではない。このため、新設はリスクがあると考えられる向きもあろう。はじめは、マスター、ドクターにこだわらない、参加しやすく、多様で柔軟で、かつ魅力的な内容の社会人リカレント教育(1週間・2週間・1カ月プログラムほか)を提供すれば、比較的早期に社会人のニーズを喚起できるのではないか。東京大学の理工系修士の就職ランキングで、OMを主とするコンサルティングファームが上位を占める時代である。潜在的なニーズは高いはずである。

#### 4 産業アーキテクチャ設計に 関して国際標準化機関と 連携できる組織機能の整備

「標準化」、特に「国際標準化」は、わが国では誤解を招きやすい言葉の1つである。「技術を標準化したら技術革新が起きなくなる。標準化はイノベーションを阻害する。国際標準化を推進する際は慎重に」という意見

は少なくない。しかしながら、ここでいう標準化は技術そのものの標準化ではなく、モジュール間インターフェイスの標準化である。標準化はイノベーションを加速するために必要なのである。

ところで、第IV章で論じたように、産業政策としての標準化活動の本質は、新しい産業のアーキテクチャを設計することであり、マーケティング活動の一環として捉えることが重要である。実際、欧州ではマーケティング担当役員が直接従事している活動である。

政府の産業政策として、産業のアーキテクチャ設計の情報を幅広く入手し、広く経営層に認知させることが重要と考えられる。また、民間企業は、CPSの製品やソリューションのマーケティング部門を標準化活動へ投入すべきである。さらに、産業アーキテクチャの設計力を有する人材（＝システムズエンジニアリング教育を受けた人材）を多数輩出することも重要であろう。最近でこそ、慶応義塾大学大学院システムデザイン&マネジメント研究科（SDM）や東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻などで研究や教育が始められているが、このことは高く評価すべきである。政府関連機関においても「産業アーキテクチャデザイン」の実働部隊を組織化する動きがあるようである。2019年度に活動を開始した一般社団法人システムイノベーションセンターにも期待している。

## 5 「オープン（開放系）でシステム的な実用工学研究機能」の設置

第IV章では、FH研究所やERCなどの事例を紹介し、「オープンでシステム的な工学研究機能」の重要性を指摘した。日本では、国

立の研究機関も大学もどちらかというところな形態、かつ基礎研究・基盤研究への取り組みが重視されてきたため、実用工学の研究は必ずしも重視されていなかったのではないかと考えられる。企業との共同研究は行うが、受託研究を行える研究機関はかなり限られると思う。

世界中の基礎研究を活用し、世界中の民間企業のニーズに応える研究活動を行うことにより、世界トップクラスの実用工学研究が可能となるはずだ。こう考えると、日本にもオープンで、産業のアーキテクチャ設計やモジュール構造を意識した、システム的な実用工学研究機能の整備が必須であろう。

たとえば、国立大学や私立大学の付置研究所として支援スタッフを整備した上で、大学教授が所長を兼ねる仕組みとすることも一案と考えられる。民間からのR&Dの受託研究を行うこと、世界中の研究者ネットワークを活用すること、などの運営の仕組みについては、海外の類似研究機構から謙虚に学ばばよいと考えられる。

## 6 第4次産業革命をリードするシンクタンクの設置

第4次産業革命は、よくあるITベンダーのプロモーションのスローガンではない。RAMI4.0などの国際的な産業のアーキテクチャ設計を行い、オープンイノベーションを促進し、グローバルなビジネスエコシステムを形成する活動なのである。こうした活動に対し、日本の民間企業が独自に情報収集を行い、対応することも必要ではあるが、やはり日本の代表として国際的な活動を行う主体が極めて重要となる。

日本企業がCPSの製品・ソリューション開

発を行う際には、海外の標準化機関における標準化活動を幅広くモニターし、必要に応じて国内でコンソーシアムを形成、国際標準化機関への提言を行うことになるが、そうした主体には、取り組みをサポートする機能が求められる。加えて、民間企業の要請に応じた調査・コンサルティング、海外の人脈紹介機能の提供、政府機関、民間団体への各種提言活動なども必要である。

現在、当該役割を担っているのは、「ロボット革命イニシアティブ協議会WG1」である。しかしながら、限定されたコンソーシアム組織になっているため、上記活動のすべてを行うことは難しい。将来的に改組し、公共性の高いシンクタンク組織として、「第4次産業革命推進センター」に昇格させ、役割を担わせてみてはどうだろうか。

## 7 産業政策立案当局や経営人材に対する「産業技術発展史」のカリキュラムの提供

3節でも指摘したが、文系と理系との境界領域の研究者は日本では少ない。ミクロが経営工学とすれば、マクロは科学技術政策になる。科学技術政策（民間企業の長期技術戦略から産業政策までを取り扱う）も、同様に日本での研究者は少ない。このため、産業政策立案当局はもとより技術戦略を議論できる人材の層が薄いことが、ソサエティ5.0の時代、令和の時代の日本の弱点になってきている感は否めない。科学技術政策立案のために、1990年代以降の日本の産業の栄枯盛衰史とその背景について、いわば「産業技術発展史」について、共通の認識を持って客観的に政策を検討することが必要である。そのためには

少し高度な基礎教養カリキュラムを整備した上で、政策当局や経営人材の社会人教育の一環として教育・トレーニングを提供し、また入庁段階での試験問題への組み込みを図ることも有効と考えられる。

### 注

- 1 製造業のサービタイゼーションのケースは豊富である。有名なケースだけでも次の事例がある。『知的資産創造』でも2017年4月号、2018年12月号などで取り上げたので、ここでは繰り返さない事例1：農業用ポンプ製造業（TEXMOインダストリーズ）の運営システムのクラウドサービス事業（ポッシュ）／事例2：シーメンスのビルや病院のエネルギー管理受託サービス／事例3：TRUMPF社のAXOOMサービス／事例4：SCHNEIDERのプラント運用・保守サービス
- 2 レファレンス・アーキテクチャ・モデル・インダストリー4.0
- 3 エンジニアリング・リサーチ・センター

### 著者

藤野直明（ふじのなおあき）

野村総合研究所（NRI）産業ITイノベーション事業本部産業デジタル企画部主席研究員

日本経営工学会副会長、日本オペレーションズリサーチ学会フェロー、オペレーションズ・マネジメント&戦略学会理事、ロボット革命イニシアティブ協議会WG1（IoT第4次産業革命推進）情報マーケティングチーム・リーダー、JR東日本モビリティ変革コンソーシアムステアリング委員会委員、日本小売業協会CIO研究会コーディネーター

梶野真弘（かじのまさひろ）

野村総合研究所（NRI）コーポレートイノベーションコンサルティング部上級コンサルタント

専門は業務改革のコンサルティング（新規事業育成・業務改革・経営指標設計・企業統合などPMO支援業務、公共向けPMO業務支援など）、産業振興・第4次産業革命などに関する調査研究・コンサルティング