



SICニュースレター「論説・寄稿」集（第2巻）

（2021年度掲載分）

はじめに

本書は2019年1月設立の一般社団法人システムイノベーションセンター（S I C）発行の広報誌「S I Cニューズレター」（月刊：web 発行）に掲載された2021年度（2021年1月～12月）の記事を、「特別企画 対談 新しい山に登ろう！」を巻頭に、S I C会員からの「論説」7編、非会員からの「寄稿」4編を掲載時の内容を改変することなく集約したものです。それぞれの掲載順は「S I Cニューズレター」への掲載順となっており、各著者の所属先名および肩書は掲載当時のものです。

なお、「S I Cニューズレター」のアーカイブに関しては、S I Cのホームページ <https://sysic.org/> に公開しています。

2022年1月

©一般社団法人システムイノベーションセンター(SIC) 2022.1

本著作物の権利は一般社団法人システムイノベーションセンターに帰属します、
無断複製、無断転載を禁止します。

I 特別企画 対談

- 新しい山に登ろう！ 齊藤 裕 S I C 代表理事・センター長に聞く・・・1
S I C 理事・副センター長 木村英紀

II 論説 (S I C 会員)

- 論説 1 システムイノベーションセンター (S I C) 3 年目を迎えて・・・16
S I C 理事・副センター長 木村英紀
- 論説 2 DX と システム・アーキテクチャーの諸課題・・・23
株式会社三菱UFJフィナンシャル・グループ 執行役常務 亀田浩樹
- 論説 3 ニューノーマル時代に向けた IT 企業の変革・・・29
S I C 理事・実行委員長 松本隆明
- 論説 4 コロナ禍を日本復活の契機に・・・35
株式会社野村総合研究所 専務執行役員 立松博史
- 論説 5 量子コンピューティングがもたらす社会システムの変革・・・39
富士通株式会社 代表取締役副社長 COO 古田英範
- 論説 6 21 世紀の知識集約型企業を目指して
技術コンサルティングファームの軌跡・・・46
株式会社構造計画研究所 取締役 代表執行役会長 服部正太
- 論説 7 システム志向の修得
—システムイノベーションのケーススタディの試み—・・・53
株式会社日立システムズ 執行役員 赤津雅晴

III 寄稿（S I C非会員）

- 寄稿1 Future of Energy：テクノロジーがもたらす価格破壊と近づく
限界コストゼロ社会・・・・・・・・・・58
東京ガス株式会社 ソリューション共創部 北澤英里子 様
- 寄稿2 変貌する科学技術と社会を歴史的視点から捉える・・・・・・・・71
新潟大学 人文社会科学系 教授 佐藤 靖 様
- 寄稿3 個別分散協調系スマートシティのすすめ・・・・・・・・76
東京大学生産技術研究所 教授 野城 智也 様
- 寄稿4 列車の安全を支える鉄道信号システムの革新・・・・・・・・83
松本信号システムコンサルタント代表 松本雅行 様

IV S I C正会員一覧・・・・・・・・92

I 特別企画 対談

新しい山に登ろう！ 齊藤 裕 SIC代表理事・センター長に聞く

SIC理事・副センター長 木村英紀



木村英紀 SIC 副センター長

齊藤 裕 SIC センター長

対談日:2021年4月9日

場所:CIC-Tokyo(東京都港区)内

IPA Better Life with IT 情報処理推進機構

DADC 会議室

木村 齊藤センター長には、今日は本当にお忙しいなかで時間をとって頂きまして、ありがとうございます。

これまでいろいろな機会に、大局なお考えを聞かせて頂いていまして、それには、私は常々感銘を受けております。そこで、SIC全体でも、齊藤センター長の壮大な展望を共有する必要があると思いました。そのため、今回は、私がセンター長に色々お話を伺いするという形式で、センター長のお考えを理解していきたいと思っており、このような場を企画いたしました。どうぞ宜しくお願い致します。

最初に、お伺いしたいことは、先日、雑談で伺ったことですが、センター長は、「今、新しい山ができつつある。この山に登る必要がある。ところが多くの方は、もうすでにある山に、更に高く登ろうとしている」とお話をされていました。そして、「このままでは、やはり日本は良くないならない」というお考えをおっしゃいまして、私もその新しい山という表現に、新鮮さを感じました。その時、その新しい山とは何であるかのご説明は頂いたのですが、今日は、それについて、もう少し詳しくお考えをお伺いすることから、この対談を進めていきたいと思っています。さらに、その新しい山は非常に大きな山で、頂にまで日本が進めば、日本がかつて江戸時代から明治維新に向けて大きな変革をしたと同じぐらいのレベルの変革になるだろう、という話もされました。「10

0年に一度の変わり目」というような言説が流布していますが、センター長のお考えは単なるキャッチフレーズを超えた具体性を備えておられました。是非その辺もお伺いし、その中での、システムのあり方という視点から、その明治維新レベルの変革がどのような形でとらえられるのかということも、お話をお伺いしたいと思っております。

そして、このことは日本における企業の企業文化、特にデジタル化の中での経営の在り方に大いに関係するということも、おっしゃっておられました。そこで、これについて、第二に、お伺いしたいと思っております。また、今日は、DADC (Digital Architecture Design Center) の会議室をお借りしてこの対談を進めているのですが、DADCのセンター長として、SICとの連携を強めていきたいとの話も頂いております。これは、SICにとっての大事な課題ですが、これまで議論をする機会が無かったので、今日はこれについても、具体的なお話を伺いたいと思っております。

この三つのことについて、今日は時間の許す限りお話を伺いたいと思います。どうぞよろしくお願いいたします。

—新しい山に登る—

齊藤 まず、新しい山についてです。私は、日立製作所やファナックに勤務し、技術者、経営者として、様々な仕事を担当してきました。また、色々な日本のお客様との付き合いも多くありました。そうした経験を通じて、そういう考えに至りました。

その背景の一つは、ご存じの通り、現在、各社、各所でデジタルトランスフォーメーション (DX) というデジタル時代に向けた変革が進められていますが、期待した成果が出ず、試行錯誤が続いているのが実態です。そういう現実を見るにつけ、現在のやり方が少し違うのではないかと考えたからです。

それともう一つは、最近のGAF A (Google, Apple, Facebook, Amazon) など、いわゆる、プラットフォーム企業のビジネスを学ぶと、世の中のデジタル化という観点だけではなく、これまでとは違う企業のあり方やビジネスのやり方で作り直されていることを実感するからです。例えば、アマゾンには、自身で作り上げた電子商取引 (EC) のプラットフォームをベースにして、各種サービスを提供するエコシステムを拡大しながら、社会にサービスを提供しています。さらに驚くのは、自らのエコシステムの競争力を産み出す技術開発力を活かし、新たにAWSクラウドサービスという多種多様なインフラストラクチャーサービスまで産み出したことです。

私は、現在起きているグローバル社会のデジタル化という変化は、社会のあり方を根底からひっくり返すような変化と感じています。そして、この変化に適応するために、日本社会が目指すべき変革は、これまでの歴史の中でも、豪族中心から天皇中心の形へと変えた大化の改新や幕藩体制を新しい形に変えてきた明治維新に匹敵するぐらい大変なことではないのか、つまり、旧来の社会の概念を変革し、新しい社会のあり方を考えて、社会の構造、やり方などのシステムを作り変えるレベルに相当するほど大変かも

しれない、と考えています。

産業界を例にして、現在、日本が陥っている状況と「新しい山」のイメージをお話します。

明治以降、色々な会社が生まれました。日立製作所やファナックもそうでしたが、そういう会社が小さいベンチャー企業としてスタートして徐々に大きくなり、戦後の復興を契機に、大企業になりました。

そして、そのように発展した企業の集合体としての産業界、そして経済界の総合力で、日本はある時期に“ジャパン アズ ナンバーワン”と呼ばれる国になりました。そこで多くの日本企業は、モノづくりにイノベーションを起こし、改善活動を繰り返し、世界をリードする良い性能や高い品質の製品を安く、効率良く産み出す独自のシステムを創り上げました。それが、世界から称賛されたことはご存じの通りです。

しかし、現在の状況は、どうでしょうか。そうした過去の経験をしてきた企業、そして産業界、また、それをベースにしている日本社会の現状は、今、ここで何か新しいことをやろうとしても難しいし、時間もかかる硬直化した会社、業界、社会になったのが実態ではないでしょうか。また、一方、米国、中国他、海外では、先程のG A F Aに代表されるプラットフォーム企業を始めとして、新興IT企業が次々と生まれ、ネットワーク効果やアルゴリズムを活用して、限界コスト“ゼロ”のサービスで急成長しています。

こうしたグローバルで起きているビジネスの急激な変化、これまでの日本にはない、新しいビジネスモデルに全く対応できていないのが、日本の産業界の現状だと思います。多くの企業が、デジタルトランスフォーメーション（DX）にトライし、従来のビジネスモデルを変革しようとしてきました。また、多くのベンチャービジネスを立ち上げようとしていますが、海外と比較すると、日本の社会においても、そして、企業においても、新しいビジネスがどんどん生まれるような状況にはなっていないのではないのでしょうか。

そもそも旧来の社会や企業といった組織が、デジタル社会に向けた変革への取り組みに合致しないシステム、仕事のやり方なのに、その古いシステム上で、新しいシステムを実現しようとしているのではないのか、だから変えることも難しく、ベンチャービジネスなども育ちにくい環境になっているのではないかと私は考えています。

それを比喩的にコメントしたのが、「古い山」、「新しい山」に登る話です。

これは、日本政府、経済界が実現しようとしている、新たなデジタル社会「Society5.0」についても同じです。そもそも、その社会像は、現在の社会とは違うものになるはずですので、社会のあり方も、システムの構造、機能も、それを実現するやり方も、既存のものとは違うものになっていくはずで

そうした場合に、もしも、あり方が異なる社会の実現に向け、その旧来の社会のシステムの構造ややり方で、出来上がっているシステムに部分的な機能修正を逐次加えていくような方法で進めると、どうなるのでしょうか。私のシステム開発の経験からすると、数多くの矛盾、様々な障害が発生し、少なくともスムーズには進まないと思います。「古

い山」にしながら、「新しい山」に登ろうとしているというのが、まさにこのイメージです。

企業でも、次のデジタル時代に生き残るためにDXプロジェクトを推進していますが、旧来の組織とシステムを部分的に変えるだけのアプローチが多くみられます。これも、同じイメージです。特に、「古い山」が、これまでパッチワークで出来上がっているとすると、これはもう大変です。

これまでの日本の産業界は、得意とするやり方を見出して、システムを創り出して、産業立国を目指し、国を挙げて、「モノづくり」という山を目指し、高度成長期を経て、世界のモノづくりにおいては他の国に比べても、はるかに高い山に登ったと思います。しかし、現在、その山に登ることは、以前ほど難しくはなくなったのは事実です。こうした状況で、日本が、引き続き産業立国を目指すのであれば、これからのデジタルの時代の産業分野の中心になる「新しい山」を目指して、みんなで登る、ことを覚悟すべきではないか、と考えています。

個人的には、今後、産業界の目指すべき「新しい山」は、これからのバーチャルとリアルな世界、サイバーとフィジカルの空間が融合していくCPS (Cyber Physical System)で、作り上げる「コトづくり」、「サービスづくり」の山ではないか、そして、新たな産業立国として、社会課題の解決と経済発展を両立する各種サービスで、グローバルでのビジネス競争に勝ち残っていくことではないか、と思います。

木村 その山とは、GAF A達が作った山とは違う、日本独自の山と考えてよろしいのでしょうか？

齊藤 私は、そのように考えています。私が、これまでに経験してきた制御システムや情報システムのシステムエンジニアとして見てきた、日本のモノづくりは、IT (Information and Communication Technology)から生まれたデジタル技術を活用し、モノを産み出す設備を的確に運用・保守するOT (Operation Technology)のシステムを、それぞれの現場での改善を繰り返しながら作り上げ、現場の固有のシステムになってしまったという反省はあるものの、競争力のある様々な良い製品をグローバルに提供してきました。そして、当初は、業務処理を行う汎用コンピュータとしてメインフレームを中核において、企業内外の各種業務をうまく連携、処理できるようにして、OTのシステム同様に、グローバルでも競争力あるビジネスを展開するための独自のITシステムを作り上げてきました。

ただ、このシステムは、2000年以降、IT分野のハードウェア、ソフトウェアの進歩、技術の汎用化に伴い、メインフレームという集中型から分散型システムへ、汎用ソフトパッケージの活用という時代の変化の中で、欧米に追従したシステムに再構築されていきました。これが私からみた歴史です。

現在、プラットフォーム企業がサイバー空間で作り上げ、取り敢えず成功しているビジネスは、ソフトウェア中心のインターネットを含めたITシステムを活用したサービスビジネスですが、そうした今後のデジタルかつネットワーク社会における様々なサービスは、ハードウェアも含めたCPSを活用したサービスに向かいます。このCPSの

世界では、自律型のロボットなどのモノや人がお互いに繋がり、いわゆる、知識処理や機械学習といったAIなど、様々なデジタル技術を活用した、自動化、自律化されたシステムにより、良いサービスが次々に産み出されていきます。そして、変化のスピードもこれまでにないものとなる社会になると予想されています。

このCPSは、制御システムに似ていると思います。だから、現在の新興IT企業がビジネスで作り上げている、人と人、人と会社、会社と会社を繋ぐシステムよりも、何倍も難しいシステムのはずと考えています。なぜなら、自律移動ロボットなど、モノまで繋がり機械化、自動化される新しいシステムで提供されるサービスのレベルが、現実空間の実生活にとって不可欠なサービスになればなるほど、電力や鉄道といったライフラインのシステムのように、安全で信頼性の高いサービスをできるだけノンストップで提供することが求められるからです。

こうなると、この世界に近づけば近づくほど、もともと日本の産業界が発展してきた、日本のモノづくりで世界を席卷したやり方が生きてくる、日本が得意とする現場主義の強みが発揮されてくると思います。過去のモノづくりの時代に経験したOTやITのシステムでの失敗や反省を活かしながら、現場主義を実践し、サイバー空間を活用して、社会に貢献する「コトづくり」「サービスづくり」という山に登って行けば、再び、日本は世界をリードできる国になることができるのではないかと考えています。

加えてコメントすると、そもそも上記のプラットフォーム企業が提供している各種サービスが、必ずしも以前よりも良い社会を創り出しているわけでは無いのも事実です。現在、これらのサービスが、個人の孤立や社会の分断など、様々な社会課題を産み出していると聞いています。相手よりも優位に立つという戦略ですので、当然かと思っています。

そうした、新たなサービスが産み出している社会課題を含めて、日本人の特質である、相手を思いやり、きめ細かくサービスする「おもてなし」のデジタル化のモデルを上記のシステムに組み込んだ日本型の社会システムが、現在のネット社会の課題も解決できるのではないのか、とも考えています。

私は、今の時代でも、先程申し上げた、過去の日本で何度かあった変革を実行し、もう一回、ゼロベースで考え直して、みんなが一致団結して、新しい山の頂を目指せば、将来、CPSで実現されるデジタル社会においても、日本独自の新しい山で、グローバル社会を牽引する国になれるのではないかと考えています。

木村 日本がGAF Aをしのぐ新しい価値を生み出せるということですね。素晴らしいと思います。GAF Aも日本に追いつけとばかりに今、モノに相当傾注し始めていますよね。

例えば、Googleは自動車、自動運転に相当に注力をしている。そういう意味では、彼らもモノの世界に入って来ようとしています。それとの違いは何ですか？

齊藤 現状では何も違いはないと思います。

モノづくりでは日本が勝ってきたというけれど、世界の国でも同じ事は出来るのに日本は勝ち残ってきました。つまり、それが違うものになるかどうかというのは、これからの人達がどれぐらい真剣に考えるか、ということだけだと思います。

これまでのモノの時代で、日本は産・官・学が連携して、世界トップを目指して、しっかりとやってきました。ところが、現在、デジタル社会でのコトの時代に向けて、その連携があまり出来ていないように思います。

特に、日本では、IT関連の産業界には、過去から課題があり、それが現在にも影響していると思います。そもそも、IBM事件以降、日本のIT産業は、米国を手本にせざるを得ない状況になりました。結果としては、学术界も含めて、米国のIT企業に追随するだけになったように思います。そして、2000年以降、欧米が、カスタマー中心、サービス中心へと視点を変えてITのビジネスを変え始めたときにも、日本の多くのIT企業は、自ら考えることをしませんでした。それが、大きな要因だと思います。そして、現在のクラウドシステム、ビッグデータ、AIなど、IT技術をコアとしてビジネスが変革されていく時代、新たな技術開発において、いつの間にか周回遅れになっていた、というのが私の見解です。

本来、社会の発展は産業分野の発展で起きる。その産業分野の発展は、技術の発展で起きる。つまり、社会の発展はテクノロジードリブンです。過去、技術立国として発展してきた日本の産業界では、自らの製品やサービスのグローバルでの競争力確保のために、コア技術の開発を進めてきましたが、もともと各社がベンチャー企業の頃は、日本社会、産業界の発展という大義をもって、自らの技術を開発した、と聞いています。

しかし、現在、Amazon、Googleなどのプラットフォーム企業は、エコシステムの参加企業が、社会に、優れたコト、サービスが提供できるように、量子コンピュータなどのハードウェアも含め、体系的、戦略的なデジタル関連の技術開発に取り組んでいるのに対して、日本では、自社のモノを意識しただけの取り組みに留まって、社会や産業界の発展という大義からはほど遠い技術開発になっているように思います。

今後、日本の社会、産業界での変革の遅れは、産業競争力に必須の技術開発の遅れにも繋がり、将来のデジタル社会でのデジタル経済において、日本の産業界が生き残れないことにも繋がります。これからのデジタル社会でのビジネスのグローバル競争力の強化に向けて、今、産・官・学の出来るだけ多くの人たちが、現状のモノづくり中心の社会、産業のあり方やそのシステムが昔のままでは拙いということに早く気付いて、一体となって、速やかに変革していくことが肝要です。

木村 大変よくわかりました。今までのようなモノづくりではだめだと、そこから脱皮しなきゃいけないと、このことは一応言われていますね。では、どう脱皮するかと、どうやって今までのモノづくりの成功体験を乗り越えられるのかということについて、センター長のお考えをお聞かせください。

齊藤 全部捨てることでしょうか。一回捨てて、スクラップ・アンド・ビルドという発想になるべきだと思います。やっていることが、間違っているわけではなく、次の時代でも、ある部分は正しいと思います。だからと言って、今までのやり方に固執しながらやっていたのでは、新たなやり方への脱皮もできず、現在のビジネスも何れ儲からなくなって行くという、どうしよう無い状況に陥るのではないかと思います。

私が今いるファナックのロボットやCNC (Computerized Numerical Control)

などのシェアは、現在、トップですが、プロダクトの利益は徐々に落ちてきています。ただ、こうした現象は必然だと思います。過去、コンピュータの世界でも、同様に、技術の汎用化に伴い、ダウンサイジングが起り、メインフレームから、サーバー、ワークステーション、そしてPCベースにだんだん置き換わっていったのと同じです。

モノの世界では、技術の汎用化に伴い、それまでは、技術、つまり、機能と品質で差別化している会社のモノでないとダメ、という時代から、この程度の機能や品質だったら別の会社の安いモノでもいいとされる時代が変わっていきます。そして、置き換えた会社のモノが、使われるうちに、改善を重ね、機能や品質が徐々に高まる中で、もともと優れた技術で勝負してきた会社の利益は、どんどん減ってきます。これがモノのビジネスの歴史です。

木村 ということは、ユーザーにも、ちょっと高いニーズを、高い価値観を持たせて、ニーズとして要求させるということですか？

齊藤 ニーズとしてというか、今のDXは、ユーザー視点、つまりお客様視点という従来のモノのメーカーという提供者とは、反対の視点で、ビジネスを再構築しようという方向です。そして、ユーザーに対して良い経験価値を提供することが大切だと言われています。つまり、製品を使った時の良い経験、例えば心地良い生活シーンが経験できるとか、そういうモノ、生活を提供してくれる会社の世界観に共感し、一緒に実現を目指すとか、ユーザー自身の価値観に、それは本人も気が付いていないニーズに訴えることもあるビジネスです。製品を選ぶというよりも、その会社の世界観に共感して選ぶ、ユーザー自身が充実した生活とか人生を送れそうな、メーカーを選ぶというビジネスの世界になります。

こうしたビジネスの世界は、「アフターデジタル」という概念で既に存在し、そのビジネスのやり方を、「カスタマージャーニー」の企画から始めています。

顧客、つまり、サービスを利用する人たちにどんな経験をしてもらうか、をジャーニーと呼び、満足してもらえるサービスを考え、提供していくビジネスが主流になるというのが、アフターデジタルで言われているデジタル社会です。そこでは、サイバー空間での顧客接点というだけではなくて、フィジカル空間も含めた全ての顧客接点において、顧客体験を最適化するサービスを提供するビジネスモデルが主流になります。

木村 それは、日本で、ということですか？

齊藤 そうですね。日本でも、これから変わっていくと思いますが、既に、中国では、随分と進んでいて、そういうサービスがどんどん生まれているようです。例えば、アリババなどは、サイバー空間でのオンラインの電子商取引（EC）に、「フーマー」というオフラインの実店舗を組み合わせ、両面をビジネスに活かす、つまり、現在、オンラインのビジネスだけではなくて、オフラインのビジネスを融合したOMO (Online Merges with Offline) という顧客体験重視のマーケティングの概念を用いたビジネスの方針に転換しています。

既に、日本でも、いくつかの企業が、実店舗で経験してもらいながら、買うのはサイバー空間を活用するような販売のやり方も出てきていると聞いています。

リアルとデジタルの世界を行ったり来たりしながらお客様を獲得するというビジネスが、どんどん出てきている時代に突入したと言っても過言ではありません。そして、そうした変化は、全ての業界、例えば、製造業の分野にも波及していきます。そうした中で、従来のモノづくりだけでやってきた企業は、そのままでは苦しくなると思います。

木村 その話は非常に良く分かるのですけれど、企業としては何をすればいいのでしょうか？ 製品というよりは、は製品群が必要であると。そこで何か、こう、生活空間になんか寄り添うような、そういうような製品群を生み出さなければいけないということでしょうか？ 単独の企業ではなく、単独の製品ではなくて、企業群が連携しながらそういうユーザーの消費文化を作り上げていくという、そんな感じですか？

齊藤 今のプラットフォーム企業が展開するビジネスにヒントがあると思います。ここでは、プラットフォーム上のエコシステムにて、消費者と生産者のマッチング、インタラクションを活発にさせながら、ネットワーク効果という現象を拡大させてビジネスを拡大しています。プラットフォーム企業自身は、優れたエコシステムを実現することが、ビジネスのコアです。

品質を高めるやり方、キュレーションの仕掛けなどに外部、3rdパーティも活用しながら、エコシステムの経営を改善しています。個人的には、そのエコシステムは、プラットフォーム企業に統治されている植民地のイメージですが、欧米らしいやり方と感じています。

私は、日本はそうした形ではなく、「やっぱりみんなで一緒にやりましょう」というような、「共生・共助」の日本社会の特徴を活かすことで差別化してはどうか、と考えています。

「競争」というよりは、「みんなで一緒に頑張ろう」という「共創」のモデル、もともと日本の現場がそうであったように、イノベーションが起きやすい社会にもなると思います。製造業界を例にあげると、少し前の東日本の大震災で世界が絶賛した日本の国民性を活かした「モノ・サービスづくり」の観点での「共生・共助」のやり方がメーカーやベンダーの間で実現できれば、良い製品とか良いサービスをグローバルに展開する日本型のエコシステムによるビジネスモデルが創れるはず、ということです。これは、「和を以て尊しとなす」という、十七条憲法ではないですけど、日本の企業が、社会に向けて、良いサービスをすることを一緒になってやるエコシステムを作り上げる、「和」の世界のモデルです。私は、今後のデジタル経済の中で、日本の企業が大きな和(やまと)をベースにして世界のビジネスをグローバルに展開することも、あり得るのではないかと思いますね。さらに言えば、これからのデジタルかつネットワーク社会では、「人を中心とした社会」になる、と言われていますが、これを私は、「日本人を中心とした日本社会」という社会システムのモデルは、世界の他の国との差別化が実現できるのではないかと、といった妄想をしています。

木村 なるほど、そうですね。それは非常に面白いですね。

齊藤 いろいろな意味で、モノとコトの世界は別々のあるように見えることがありますが、CPSの世界では、モノとコトが合わさっていきます。日本企業は、現在、コトの

世界では、デジタル関連を含めて、若干遅れをとっています。しかし、モノとコトが共存することになった時に、どうするかを考え始めると、螺旋階段を一つ上がって、「みんなで一緒に頑張ろう」ということになると思います。そうすると、日本の強みがコトの世界でも発揮されると思います。日本は、昔、「やまと」という日本社会を作りましたが、現在のデジタル社会の時代を迎えて、そんな世界に近づいているような気がします。一度、そもそも原点に戻って考え、日本、日本人、日本の企業とはどうだったのかという歴史を見つめ直し、それを共有し、日本社会として目指す姿や概念を再考すべき時期かもしれないと思っています。

木村 なるほど。

—経営者に望むこと—



木村 古い山が依然として高いという、要するに、1980年代の日本のモノづくりがその頂点を極めたという、この成功（戦勝）体験を克服するということはものすごく大変ですよ。

日本の産業界の経営者の中に、やはり品質だと、日本の製品の命は品質が高いことだというのは常日頃聞かされるのですが、その古い山を越えさせるにはどうしたらいいのか。新しい山に気づかせる。確におっしゃる通りです。新しい山についてはいまよく理解しました。この前にセンター長が書かれたS I Cニュースレターを読んでも、本当にそう思いますが、文化の問題ですよ、非常に難しいです。

齊藤 私は、モノづくりで勝ってきたと言っても、なぜできたのか、「なぜ？」の追求が少ないと思います。漠然としたイメージでしか捉えられていない。勝ってきたのなら、本当にそうなのか、そして、なるほど、そういうことだったのか、といった分析が無いように思います。現状/as is の分析がなくて、過去もイメージの世界になっているように思います。モノづくりといっても負けた例はいっぱいあります。

木村 今のままでは危ないところまでは通じますね。確かに。
しかし、どう実行したら良いのかが、分らない。

齊藤 分からないのは、それぞれの現場の過去から現在までの事実を認識し、それを分析していないからではないかと思います。私が制御システムをアナログからデジタルに

変える、デジタルにリプレース(更新)した時に、まず分析したのは as is のシステム、機能です。現状はこうなっているから、それを次にどう変えてくという to be は必要ですので、当然 to be も作りました。そして、as is の中でやっていることを理解した上で、拙ければどう変えるか考え、その実現に向けてきちんと手当をしてきました。だから、まずやることは、制御システムの現状を理解し、分析した上で、そもそもの新しいシステムにする目的、やりたいことをお客様に確認しながら、それを実現するには、どんなアーキテクチャにすべきかを考えることでした。そして、その具体的な仕様については、お客さまと一緒に考えていきました。ここをこうするにはどういう既存の機能を活用し、どういう新しい機能を追加したら良いか、そして、どのような手順、プロセスで変えていったら良いか、といった議論をしながら、チームとして決定、決断しつつプロジェクトを進めるわけです。数多くのリプレースをしながら、苦労を共にした、数多くの仲間ができました。これを、例えば、現状のDXに当てはめると、もしも本気で、現状の経営モデルを変えたいのであれば、同様のシステム設計のアプローチを、今の経営のDXに取り入れていかないと、そして、そういう設計を変えていきたいと考えている経営者が一緒に検討して行かないと、単に指示してやらせるだけでは無理だと思います。きちんと手順を踏んで、プロジェクト的に進めて、初めて本当のDXは実現出来ません。モノづくりを否定せず、モノづくりでも勝っていくためにも、今のやり方を変えていくことが必要です。現在、それをちゃんと設計しなければと思う人間がいなくても知れませんが、そう思っても、システム設計ができる人やチームがいなくてもいいかもしれません。でもそのスタートラインに、まず経営者の皆さんが立たないと難しいと思います。

木村 SICでは今の諸悪の根源はそういうことができない中間管理職にあるという意見があります。

齊藤 それなら、トップが覚悟を決めて、バッサリやるようなつもりでやらないと、難しいと思います。バッサリできる人は、やっぱり力のある人で、そういう変革ができる人が人です。そういう人達は、まだ居ると思います。今まで作ってきたシステム(構造ややり方)が固まっている企業でも、これまで企業を作り上げてきた人たちは変えることができるはずですが。それに乗っかっているだけで何もやってこなかった人が変えることは難しいですが。

木村 企業では、今、事業部縦割り全盛であって、その上に経営者が乗っかっているという、こういう体制をどうやって崩したら、また、崩せるのかが一つの課題ではないか。センター長の前のご発言でピンと来たのは、今の中間管理職は、自分は自分が会社員でいる間はもつだろうと考えているから危機感がない。この中間管理職の問題を経営者が何とか出来ればと思いますね。

齊藤 やるのだったら、自分でその中間階層を抜きにしても自分がやる、つまり、経営者、自らがDXを指揮してやるという覚悟を持って、本気度を示さないと、それは難しいと思います。

木村 やはり経営者が踏み込んで、いざとなったら俺がやるぞという覚悟でやらないと駄目だっていうことですよね。

齊藤 それは本当に感じますね。変える時は、「やれ、やれ！」という掛け声だけでは上手くいきません。トップがコミットして、自分なりの達成後のイメージをもって、口を出すようにしないと。例えば、組織の働き方をこういう風にしたいとか、こんな働き方をして欲しいとか、自分なりのビジョンと達成後のイメージを持っていないと、単にDXやれとか、効率上げろと言う、言葉だけでは、担当者もどうしたら良いか分からないと思います。

コスト低減を目指すとコスト下がりました、と成果を報告することがあります。実は、下がったのはそこだけで、他にコストを付け替えているようなことも多々あります。結果、苦しくなる人が他にできる。これが、本来の姿か、と感ずることも多く経験しました。

木村 もう一つは、やはり、新しく山を作らなければいけないという、その山のイメージを鮮明にさせることですね。それはとても重要ですね。

齊藤 ビジョンや何とか像といった自分なりの概念、イメージがあると、あそこはこうしたい、ここはこうなっているはずだ、という会話も出来るし、そのイメージを持ちながらであれば、多面的に発するメッセージでも、一貫したメッセージとなって伝わるとおもいます。経営者ではなくても、変革をリードする人間は、そのイメージを自分で持って、みんなと会話を始めるようにしないといけないと思います。断片的に話をするだけでは、バラバラに行動する集団を生み、結局、うまくいきません。

— DADCとの連携について —

木村 よく、分かりました。経営者であるSICの理事の皆さんにもセンター長のお考えを共有して頂くことを期待します。最後にSICとDADCとの連携についてお話し頂けないでしょうか？ SIC中でもそれほど議論もしていないので具体的にどうしたらいいかということをお話ししていただけたらと思います。

齊藤 DADCのセンター長の立場で、少しコメントさせていただきます。

DADCは何をするためにあるのかという話ですが、産業界でも皆で共通的なインフラを作って新しいビジネスを始める時に、それをオーソライズする場としてDADCの活用ができると思います。

ある産業界の一部がやっても、これをDADCの場に持ってきて、逆にDADCがメッセージから出していけば、後ろに官の意見も反映されたという形にもなり、オーソライズされる訳ですね。標準化を含めて、業界の皆さんに問うといった話もできます。そういう場として使うことは出来ますし、逆に、自分たちが新しいことをやりたい時、今の制度、規制の上では実現できないということが出てきたとします。その際に、こんなことをやらなければいけない、ということを検討してDADCを経由で、そういう制



度、規制に作り変える動きもできます。そうした形で連携するS I CからのDADCの活用法はあると考えています。

自分達はこういう社会を創りたい、その中でビジネスをやりたい、そこは共通的な話だからその議論をしよう、というのが、S I Cで、今、やっていることですよ。

木村 はい、その通りです。

齊藤 産とか官の課題でやりたいことを聞いて、中立・透明な場をつくり、必要な人材に参加してもらって、そこで議論しながら世の中にメッセージを発信する、そして、フィードバックを得て社会実装に向けてアーキテクチャを固めていく、それがDADCミッションの一つです。

私は、官への政策提言についても、業界に問うことも含めて、それをワンストップで進めることがDADCではできるようにしたい。DADCに持ち込み、関係者と検討して、必要な書類（ホワイトペーパーなど）を作成し、業界にヒアリングしながら、ルール化、標準化などを進めるようなことが、整然と効率的にできる「場」にDADCをしていきたいと考えています。だから、S I Cがこういう協調領域のインフラをとくか、ビジネスを作りたいと言った時に、DADCとうまく連携すると、それが実現する可能性はある、と考えて頂いて良いのではないかと思います。パワフルでないという話を、先日、S I Cの理事の方がされていましたが、DADCは人数が少ないのも事実です。しかし、DADCに人が少なくても、外部の人たちとのネットワークを活かして、必要なチームを作ることもできます。その方たちの協力を得ながら、インキュベーションラボやワーキングの形でプロジェクトを進めながら、そこでの成果をみなさんに問うという形で、いろいろなことをオーソライズするということができると思います。

木村 そのオーソライズするという事は、どういう意味でしょうか？

齊藤 現在、オーソライズする場としては、経団連会長など、経済界の重鎮に加えて、経産省やデジタル庁を所轄する大臣も出席する「デジタル市場基盤整備会議」があります。それ以外にも、アドバイザリーボードという仕組みで、有識者を集めて、意見を聞きながらアーキテクチャに反映し、それを関係者の皆さんに問い、フィードバックを折り込んで、求められるアーキテクチャを確立していくような仕掛けと仕組みもあります。

何れにしても、デジタル社会に不可欠の業界の協調領域、準公共的なインフラなどの産と官の両方に関係するアーキテクチャのデザインには、これからの社会像を描き、そのシステムとしてのあるべき姿をフラットに議論できる「場」が必要ですので、私は、そういう「場」にするためにも、社会を変えられるかもしれない、と思ってもらえる、まずは、そんなDADCにしたい、というメッセージを出しています。そして、皆さんに認めて頂けるようになれば、一番のオーソライズになっていくと思います。

木村 新しい山の話のことかもしれませんが、公共制度を、一度、確立してみて、シミュレーションの上でいろんな政策をやってみる、と言うお話を以前されたと思いますが、その辺りはどうでしょうか。

齊藤 今後、そのような社会シミュレーションを実現するアーキテクチャ設計は必要と考えています。ただ、それが実現できる環境を、まず作らないといけません。

例えば、サプライチェーンやバリューチェーンを全て掌握しているような統合的なビジネスを展開する企業では、必要なデータも揃うので、そういうシミュレーションをやろうとすれば出来ると思います。しかし、実際の社会には、多くの企業が存在しているので、現実を反映した社会のモデルは、いろいろなビジネスの業界に跨るレイヤー構造でもあり、同じ業界でも、いろいろなサービスが乗っかってくるモジュール構造でもあります。そして、現在のモノの世界では、産業クラスターを構成しながら、それぞれの企業がビジネスを行っています。そういう現在の産業構造の中でも、これからのデジタル時代、サイバー空間に現実空間を再現するようなデジタルツインというモデルが出来上がれば、そうしたシミュレーションも可能になると思います。そのためには、現実社会のシミュレーションに必要なデータを利用できるような環境、協調領域、共通領域が、サイバー空間に必要になります。そういう社会システムのアーキテクチャを設計するのがDADCです。

因みに、こういうやり方は、既に欧州では進んでいます。例えばIECなど国際規格を作り、そこに則ってやると変なことが起きないというように、きちんとフレームワークも決め、一連のシステムを作っているのではないですか。それに準拠しておく、全体としてきちんとできあがる。しかも、何か変えたかったらこの部分だけ変えればよいという形で。しかも、運用の際のガバナンスのシステムも含めて、作り上げています。認定機関を設けるわけです。

現在のインダストリー4.0の実現に向けても、データ駆動型の社会を目指して、アーキテクチャを規定し、フレームワークをはめ込んで、その部分を認証する、例えば、品質を良くするためにはどういう仕掛けと仕組みが必要かを考え、アーキテクチャを規定し、フレームワークを決め、認証機関を設けながら、社会全体のシステムを作り上げるプロジェクトを推進しているように聞いています。

DADCでも、現在、そういうやり方で、将来の社会像を描きながら、アーキテクチャ設計をしていくことにトライしています。具体的には、ドローン社会の実現を目指したアーキテクチャ設計です。ドローンという自律移動ロボットに焦点を当てて、その利用するシーンを考えながら、社会実装までを視野にいたした検討を進めています。そこでの必要な技術やビジネス分野を区別し、整理していくと、機体、運行管理、それらを利用する各種サービス、つまり、物流サービスやエンドユーザーに向けたサービスなどに区分されます。DADCでは、そういう全体アーキテクチャが区分されたレイヤー構造で出来上がると仮置きし、全体と個別レイヤーのアーキテクチャをアジャイル的にデザインして行く予定です。

例えば、フィジカル空間の状況をサイバー空間内で把握するために、まず機体のID他の情報の扱いとか、運行管理のシステムを各種サービスと連携して、リアルタイムで最適な意思決定をするとか、そうした社会で想定される様々なリスクの把握とその対処をどうするかとか、さらには、ドローンの運行中に獲得したいろいろなデータの様々なサービスでの活用をどうするかとか、そんなことを議論しながら、実現したいドローン社会において、産業分野が、時代を超えて成長できることも含めて、レイヤー構造、

モジュール構造を有したアーキテクチャ設計に挑戦しています。

まさに、このアーキテクチャには、ドローンで得られる様々なデータを利用して、社会レベルでのシミュレーションを実現できるようなデジタルツインの概念を含めたデザインが必要になると考えています。

木村 それは、コンピュータのアーキテクチャの時代の考え方と、非常に近いですね。アーキテクチャをベースにして、いろんなコンピュータ部品とかデバイスが変わっていったら、その変わっていったときにどうなるのかというのを、アーキテクチャを使って探索していきました。

齊藤 これが社会に埋め込まれないと、何かが変わったら、あらゆるところを変えなければならぬという、今のITのシステムみたいになって、リスクも高く、ものすごくコストの掛かる社会システムになります。

木村 一つも変えられない例は、日本では沢山ありました。世界的に優れたものでも、一つ変えると全部を作り直さなければならなかったこともあります。

齊藤 日本のモノ作りの特徴ですね。日本のもの作りは、欧米のモデルを参照しながら、現場合わせ的に片端から全体を作り上げた例が多いように思います。出来上がったら、試行錯誤しながら作ったのだから良いものなのだけれど、何かあったらもう1回全体を作り直しになるようなことが多いように思います。ここを変えるだけ、いった設計が不得意です。システム視点でアーキテクチャを考えたモジュール化ができていないのです。

木村 DADCの考え方がよく分かりました。そういう意味では非常に重要ですね。今までの日本の不可能を可能にするかもしれない。

齊藤 SICとしては、そこをうまく利用したら良いのではないかと思います。これからの社会をイメージして、何人かで社会を作り替えていくようなことを検討する、その結果をDADCの「場」に持ち込んで、アーキテクチャをデザインしていく、そんな連携でしょうか。いろいろな人たちの話を聞いて、フィードバックして、社会に問いかけながら固めていくというのがDADCのミッションですから、SICもDADCをうまく利用したら良いのではないかと思います。

木村 固めていくというか、ここまで固まったって言う、そういう提示というのは、いろいろな段階でやられて行くのですね。そういうことだと、日本も少し変わるかもしれませんね。

齊藤 それはまだ分かりませんが。とにかく、SICの良いところは、誰かの意見で動くと言うところではなく、皆の意見を尊重することなので、うまく内部で調整をして、それを基にDADCとの連携を図っていったら良いと思いますよ。

木村 今日は、SICが何をやるべきかについていろいろ伺うことが出来て、大変ありがとうございました。

＜対談＞を終えて

コロナ禍中にもかかわらず、あえて対面での対話をお願いしたが、センター長の迫力と熱気に圧倒された1時間半であった。対談というよりはもっぱら私が聞き手に回ったセンター長の「独談」であったが、おかげでセンター長が考えられている日本の産業の未来像、それに至る道筋をこれまで以上にはっきりと理解できた。私には何物にも代えがたい機会であった。今後のS I Cの活動の中で、センター長の持たれている危機感とビジョンを共有し、センター長の強いリーダーシップの下に日本の産業界の再生と発展を目指して努力していきたいと思う。

文責： 木村英紀

記録：S I C事務局：出口光一郎事務局長、久保忠伴事務局次長

(SIC ニュースレターVol. 3. 6、2021年6月8日発行に掲載)

Ⅱ 論説(SIC会員)

論説1

システムイノベーションセンター(SIC)3年目を迎えて

SIC理事・副センター長 木村英紀（東京大学・大阪大学名誉教授）

1. コロナ対策とシステム思考

本年（2021年）1月からSICの活動は3年目に入ります。2年目であった2020年度は活動の本格的な開花期のはずでしたが、残念ながら新型コロナウイルスのため、計画した活動が思うように出来ない一年でした。しかし、コロナが強いるオンライン化を実施していく過程で活動の様々の局面でそのノウハウを獲得し、SICの活動の全面的なオンライン化が可能であることを確認出来ました。さらに、オンライン化にはこれまでの来場方式にはない利点が存在することを発見し、それを取り入れることによって新しい活動のスタイルを確立する可能性を見出しつつあります。ポストコロナの「ニューノーマル」時代でこれまで以上に活動を強化できる態勢を築きつつあります。

2020年12月までの2年間の活動を通してSICの存在は少しずつではありますが社会に注目されるようになってきました。しかし、まだその認知度は十分ではありません。2021年度からの第二期2年間の活動によって、SICが日本の産業社会にとって必要不可欠な存在であることを世の中に広く認知させたいと思っております。例えばSICの主張の一つであるシステム思考の強化によって産業社会のレベルを向上させることは、ますます重要になりつつあります。私見ではありますが、このことを政府や自治体のコロナ対策に例を取って述べます。

皆さんは2020年の春から、政府や自治体のリーダーから「ここ〇週間で勝負時だ」という発言を何度か聞かれたはずですが、これまで遭遇したことの無い大きな危機に国全体が置かれていることへの緊張感からこのような発言をしたくなる気持ちは分かりますが、実際はいたずらに国民に焦燥感をあおり、事態に対する冷静で合理的な対応を阻む結果をもたらす、政策の未熟さを示すものでしかありませんでした。このことは「勝負時」が終わっても勝ったか負けたかの判定は誰からも下されず、あいまいなままに終わってしまっていることから明らかです。

このような発言をリーダーが連発することの背景には日本人の行動様式に深く根を下ろした「短期決戦主義」と「精神論」があります。思えば第二次大戦時の日本軍は、この二つが行動の規範となっていたために負けを早めました。対コロナという「戦争」で

再び過去の亡霊が姿を変えて現れてきたような気がします。

システム思考は短期決戦主義とは無縁です。短期決戦主義は「感染防止」と「経済活動持続」の両極の間を揺れ動く政策のブレを招きました。政府だけでなく、世間もこの二極間で揺れ動き、どちらが大切か、という不毛の議論を招きました。少し冷静に考えれば、「感染防止」も「経済活動持続」もともに必要であることあることは自明の理です。やるべきことは長期的な展望に立って状況に応じて両者のバランスを調整していくことであり、これがシステム思考の教えるところです。

システム思考は空虚な「精神論」を支持しません。正確な状況把握にもとづいて合理的な政策を選び、そのもとで人々の協力を仰ぐことがシステム思考の教えるところです。「今が勝負時」を連発すると、狼少年の故事が示す通りそのうち効果が薄れていくだけでなく、いたずらに人々の恐怖心をあおっただけの結果に終わってしまいます。あり得ない仮定の下で悲観的な予測を科学の名のもとに開示することも、別の意味での精神論の動員であり、システム思考とは無縁のものです。

パンデミックはすべての国を襲った新しい脅威であり、その対策に過去の模範解答はありません。それぞれの国はそれぞれのやり方で対応せざるを得ません。他の国でも様々な失敗をしています。その成功と失敗はそれぞれの国のありようを否応なく映し出します。日本ではそれがシステム思考の未成熟として示されたと私は思っています。日本におけるS I Cの存在の重要性を示しているのではないのでしょうか？

なお、コロナ問題についての私の考えは、S I Cニュースレターの2020年4月号(Vol. 2. 4)と5月号(Vol. 2. 5)に「コラム」として書かせて頂いたので、興味ある読者をご参照下さい。

2. アーキテクチャとシステム

2020年度のS I Cにとっての最大の出来事は、経産省の外郭組織であるIPA(情報処理推進機構)に作られた「デジタルアーキテクチャデザインセンター(DADC)」のセンター長に齊藤裕S I Cセンター長が就任されたことでした。DADCは経産省がシステム化の推進を目指して行った様々な調査や政策模索のプロセスの一つの着地点であり、そのプロセスでそれなりに協力してきたS I Cにとって、齊藤センター長がそのトップになられたことはS I Cの事業を進め日本のシステム化を実装していくうえで大きなプラスです。

S I Cの実行委員会でこのことが報告されDADCとの連携の方向が議論されたとき、そもそもアーキテクチャとは何かがよく分からない、という発言が何人かの方からありました。DADCの使命である「システム化」とDADCが目指すアーキテクチャ設計とはどう結びつくのか、という疑問であったと思います。これについて以下私見を述べたいと思います。

よく知られているようにアーキテクチャのものの意味は建築物の構造・様式です。出来上がった建築物の構造を指すだけでなく、建造物を設計する行為という意味も含まれているようです。素材とは別に様々な構造の違いに注目し、その中から一つを紡ぎだす設計に焦点を合わせるアーキテクチャという概念が生み出されたのは、建造物が近代工業以前の世界で人々が利用する人工物としては、その複雑さが抜きんでていたからではないだろうかと思われます。ご存知のように家を建てるには、大工以外の様々な業種が力を合わせる必要があります。設計を担当する大工（工務店）は、表具屋、水道屋、とび職、電気屋、瓦屋、植木屋など多くの異なった業種を統括することが必要になります。S I Cの文脈ではシステムインテグレータでありプロジェクトマネージャーです。建築家に与えられる「アーキテクト」という呼称は、難しいシステム構築のマネージャーとしての敬意をこめた言葉ではないでしょうか？

アーキテクチャという言葉が建築学以外で初めて使われたのは計算機分野です。計算機は、大量生産される工業製品の中でその複雑さが群を抜いているだけでなく、その用途も実に多様なシステムです。建築の次にアーキテクチャという概念が浮かび上がったのも自然の成り行きでしょう。文献[1]によると、計算機アーキテクチャという言葉が初めて使われたのは、1961年に最初の全トランジスタ型計算機として作られたIBM7030の開発だそうで、計算機科学ではその黎明期からアーキテクチャの概念が存在していたこととなります。

その後計算機アーキテクチャの正確な定義がIBM360の開発担当者のG. M. Amdahlによって与えられたとのこと。その時の定義は計算機の設計に関する限定された範囲の技術を指すものでしたが、その後技術の進展に伴って定義の幅は広がり、[1]では計算機アーキテクチャを「計算機システムの設計または構造」あるいは「ハードウェアおよびソフトウェアに関する基本設計」としています。建築の場合もそうでしたが、「アーキテクチャ」という概念自体に「設計」という行為が内包されていることを[1]では示しています。IPAに設置されたセンターの呼称「DADC」にはアーキテクチャと設計（デザイン）が独立なものとして並列されていますので、アーキテクチャのとらえ方が本来の語義から少し離れているようです。

計算機の科学および技術の発展でアーキテクチャの概念はきわめて重要な役割を果たただけでなく、アーキテクチャの概念も様々な形で進化発展をしました。プログラム言語の開発はアーキテクチャの進歩と軌を一にしていますし、タイムシェアリングやマルチタスク、キャッシュメモリの導入など計算機技術の初期の進展はアーキテクチャの革新によるものです。パイプライン方式やデータフローマシンなど様々な並列計算方式の開発は新しいアーキテクチャの開発そのものであり、オブジェクト指向など深いレベルでのソフトハード両面での計算機の原理的な革新もアーキテクチャの革新にかかわることであるといつてよいでしょう。

計算機アーキテクチャにおける様々な成果を一般の工業製品の製造に適用しようとしたのがMITのBaldwinらです[2]。[2]では計算機アーキテクチャの技術の本

質をモジュール化にあると捉えており、その実例として I B M 3 6 0 のアーキテクチャとその開発の過程を詳細に分析しています。ご存知の通り I B M 3 6 0 は最も成功したメインフレームで、その特徴は周辺機器も含めた計算機のすべての部品を一つの原理で統合し、ユーザーのすべてのニーズをその枠内で充足させる巨大なシステムを構築したことにあります。この計算機がメインフレームのマーケットを独占し他の追随を許さない I B M 王国を作り上げたことはよく知られています。ただし、この成功が I B M を新しい技術の波に乗ることを妨げ、後に I B M が存亡の危機に立たされた原因となりました。

文献[2]ではモジュール化が計算機だけでなく一般の巨大で複雑なシステムを設計・構築するうえでのほとんど唯一の解決策であることを主張しています。そしてモジュール化の利点を挙げるとともに、そのための有力なツールとして「設計構造行列 (DSM)」を詳しく紹介しています。実はこの重要な著書ではアーキテクチャという言葉はほとんど出てこないのが不思議です。この本の内容をシステム構築におけるアーキテクチャの視点から発展させたのが文献 [3]です。

[2]によってモジュール化がアーキテクチャの本命であることが多くの人々に受け入れられて来ました。経済学からの詳細な分析もされています[4]。オープンシステムとクローズドシステムにかかわるビジネスモデルの問題が多くの人々の関心をあつめたのも、モジュール化が工業製品の付加価値を高める市場戦略に有効であることから来ています。また、日本の工業製品の世界シェアの喪失がモジュール化の遅れによるものであるとの指摘もありました (例えば半導体製造機械など)。ドイツ発の Industrie 4.0 でもモジュール化の推進が標榜されています。

モジュール化が支配的であったアーキテクチャの議論に一石を投じたのが東京大学ものづくり経営研究センター (MMRC) の藤本隆宏教授です[5]。彼は工業製品にはモジュール化が難しいものもあることを指摘し、そのような製品を「すり合わせ型」とよびました。日本のモノづくりは「すり合わせ型」を得意としており、その代表が自動車であると主張しています。すり合わせ型とモジュール型の区別を、機能と部品の相関グラフから定量的に捉えられることを示した藤本らの議論はそれなりに説得力もあります。藤本ら以外にもモジュール化の支配的な傾向に疑問を呈している研究者もあります[6]。

以上述べたアーキテクチャの議論はその範囲が工業製品に限られていました。アーキテクチャは工業製品をシステムとして捉えた時に、要素をつなげシステムとして統合する方式全般を示すものとして使われてきたことはすでに述べた通りです。これを産業・社会の組織、政策に適用し、技術だけでなく経営や産業構造、さらに社会の仕組み全体にまで拡張し、アーキテクチャにもとづく政策展開につなげようとするのが DADC 設立の趣旨と理解します[7]。そうするとアーキテクチャの対象は S I C が対象とするシステムと同じレベルの広さと深さを持つことになります。従って、アーキテクチャはシステムのありかたを表現するものとなります。そうなれば DADC と S I C

の目標はほぼ重なり合います。

S I Cの定式化によると、システム化は次の三つを含みます[7]。

- ① システム思考
- ② システム構築
- ③ システム運用

これまで述べてきたことから、アーキテクチャは②のシステム構築に主にかかわっていると考えられます。②はこれら三つの課題の中でもっとも困難で重要な問題ですが、すでにこの文の冒頭に述べたように、日本の社会では①も大変重要です。レガシー問題や危機対応などで明らかになったように、③も極めて重要な課題です。従って、アーキテクチャをベースとするDADCよりもS I Cはさらに広い問題領域を扱うとってよいでしょう。これがS I CとDADCの最も大きな違いです。

一方、DADCには行政組織として現実の日本の課題状況の下で政策を実行する力を持っています。産業界の状況に即して頭で考える頭脳集団としてのS I Cに対して、現実には手足とある程度の権限を持つDADCは、互いに補い合う側面を多く持っています。新しいシステム構築の提言をS I Cが発出し、そのための環境づくりをDADCが進め、両者が協力し合っその最終的な実現に取り組む、というのが一つの理想的な連携の姿ではないかと思ひます。

3. 2021年度計画されている企画の紹介

2021年度企画されているS I Cの催しについて、主なものに限って以下簡単に紹介しておきたいと思ひます。これらはすでに先月末の実行委員会と理事会で承認されており、日程はまだはっきりしないものが多いのですが、一応計画されている順に述べます。

3. 1 「システムイノベーションのケーススタディ講座」の開催

すでに受講生の募集要項が発出されていますが、2021年1月23日に表記の第一回講習会が人財育成協議会で実施される予定です。システム構築の能力を実際に獲得するには、そのプロセスをケーススタディを通して体験することが不可欠です。その場合も、MBAなどで実施されている様式化された現実感が希薄なケースではなく、困難を乗り越えてシステム構築を達成し、実際に稼働しているシステムを題材とすることが望ましいことが人財育成協議会で確認され、この講習会を企画しました。題材はJR東日本の首都圏運行システムです。ともに会員企業であるJR東日本と日立製作所が緊密な連絡を取り合っこの企画が実現しました。今後もできれば会員企業から題材を提供して頂き、この新しい形の講習会を継続していきたいと考えております。ご協力をお願い致します。

3. 2 「戦略委員会」の設立

これまでS I Cには長期戦略を議論する場がなく、本来はその任にあたる実行委員会では差し迫った案件の処理に追われ思うようにその議論が進みませんでした。そのため、S I Cが目指す目標や理念の環境変化に応じた課題提出やその具体化についての議論が不十分で、外部に対する発信力に乏しい面がありました。この反省の上立ち、今年度から「戦略委員会」を理事会直下の組織として立ち上げ、S I Cの活動の戦略を議論し、その内容を発信していきたいと考えております。DADCとの連携の具体化も考えられる主なテーマの一つです。センター長はじめ理事の方々も時間的な余裕があればご参加をお願いする予定です。

3. 3 「経営者啓発のための研修会（仮題）」の開催

S I Cの目標の一つとして企業、業界を超えた連携活動の強化があります。今の日本の現状は、個企業の利害だけを価値基準とした部分最適では全体の落ち込みを避けることが出来ません。対応するS I Cの活動は主に分科会活動として実施されていますが、この活動を強化するにはどうしても企業全体の意思決定を担う経営者の積極的な同意と参画が必要です。そのためには経営層の意識変革が必要であることは2019年度の理事会で強い意見が出され、その結果表記の研修会が企画されました。本来は2020年の夏に実施予定でしたがコロナのために無期延期になってしまいました。オンライン化、あるいはハイブリッド化の技術にそれなりに熟達した協力者を得ましたので、状況が許す限りこの研修会を実施したいと考えております。時期としては東京オリンピック・パラリンピックの後あたりになるのではないかと考えています。すでに、研修会にご登場予定の理事の方も決まっております。

3. 4 国際シンポジウムの開催

これも2020年度企画されていましたが、実現できなかったものです。ポストコロナの状況を踏まえてシステム化の要請が国際的なDXの潮流の中でどのような形をとるか、を議論していきたいと考えています。海外のこの面でのオピニオンリーダーをゲストとしてお迎えし、講演を頂くこと、ゲストを囲んでパネル討論を行うことが主な内容になると思いますが、シンポジウムのテーマやスローガンはまだ決まっておりません。すでに述べた「戦略委員会」で詰めていくことになると思います。ゲストの候補としては、MITのIDS S (Institute for Data, Systems and Society)の教授たちやS I C理事であるTRI (Toyota Research Institute)のギル・プラット氏などが考えられます。オンラインかハイブリッドになるかまだ分かりませんが、大勢の聴衆を集めたキャンペーンとしたいと思いますので、技術的な課題が多く出てきそうです。これについても会員企業の方のご協力をお願いする次第です。

以上、2021年の年頭に当たって感じるところや企画などを述べさせて頂きました。

コロナの攻撃は休むところなく続いています。年末には新手の攻撃が仕掛けられ、対策の成否は予断を許しません。試練はまだ続くと思いますが、それを乗り越えていくことを通して新しい世界が開けつつあるような気がしています。皆様のご健康を心より願っております。

参考文献

- [1] 相磯、飯塚、元岡、田中；計算機アーキテクチャ、岩波講座情報科学第15巻、岩波書店、1982.
- [2] I. Baldwin, K. B. Clark; Design Rule, The Power of Modularity, MIT Press, 2000.
- [3] E. Crawley, B. Cameron and D. Selva; System Architecture, Strategy and Product Development for Complex Systems, Pearson Higher Education, Inc. 2016
- [4] 青木、安藤；モジュール化：新しい産業アーキテクチャの本質、産業経済研究所、2002
- [5] 藤本；能力構築競争、日本の自動車産業はなぜ強いのか、中公新書、2003
- [6] 田中；モジュール化の終焉、NTT出版、2009
- [7] 経済産業省商務情報政策局；アーキテクチャにもとづく政策展開、2020年5月
- [8] 木村；システムイノベーションとは何か (1)(2)、SICニューズレター、Vol.1.1、1.2、2019

(SICニューズレターVol.3.1、2021年1月7日発行に掲載)

論説2

DX と システム・アーキテクチャーの諸課題

株式会社三菱UFJフィナンシャル・グループ 執行役常務 亀田浩樹（SIC顧問）

コロナ禍で人々の行動やニーズが変化し、デジタルトランスフォーメーションが加速する中で、システムの役割も一層多様化している。

システムの技術・データ・ネットワークといった物理的要素、それを支える戦略・ルール・ガバナンス、更にそれを支える組織・人材等、いずれのコンポーネントも変革のスピードが上がり、多様な対応が求められている。

ここでは、散発的ながら、自社におけるいくつかの取り組みと課題に触れたい。SICの立ち位置や社会的意義と比較すれば極めて狭いが、一つの会社が直面する課題は、社会全体の課題の写像であるとも考え、参考になればと思う次第である。

1. DX戦略全般

(ア) 自社の取組み

- ✓ 自社ではDX戦略を、①既存プロセスをベースとした改善（RPA、AI活用等）、②非連続・全く新しい技術に基づくビジネスそのものの創出、③その中間にあるビジネス・プロセスの変革に分類し、活動を進めている。
- ✓ 特に大きな変化をもたらすのは様々なプラットフォームとの連携だろう。金融の世界でも、例えば、米国のプラットフォームと連携したブロックチェーン技術を使った新しい決済ネットワーク構築が、ほぼ完成しつつある。これはFintech企業やペイメント企業による新たなサービスの展開、データ駆動型ビジネス、一層のIoT拡大を展望し現在の数百倍以上の小口大量トランザクションをセキュリティ面でも安全に支える構造、等を目指したものであるが、活用次第で新しい付加価値を生み出せると思う。ブロックチェーン技術は契約スキーム等、多方面での活用が見られるが、更に多様な用途で活用が進むと思われる。
- ✓ また、アジアの配車・宅配プラットフォーム、アジアのグループ銀行との連携を進めている。プラットフォームの持つオンライン顧客接点・サービスおよびデータ分析力と、自社が培ってきた金融業務ノウハウとを掛け合わせ、全く新しいチャンネルを通じて、新しい顧客への新たな金融サービス展開が可能となりつつある。

(イ) 課題と対応

- ✓ DXにおける課題の一つは、「アイデアを形にする実践力・推進力の向上」だと思う。ビジネス・サービス・社会全体のプロセスに対する深い課題認識・考察・戦略が無い、もしくは中途半端なまま、技術のみ先行で議論がされ、P o Cが実施され、それで終了してしまっているケースも散見される。また、手段の一部であるはずのDX化自体が目的化して、本質的な意味を失っているケースもあるように思われる。ビッグ・ピクチャーは必要だが、小規模でも実際に使えるITサービスを早期に世に出す、そして状況を見てサービスを拡充するという「実践・実装にこだわった」アジャイル的アプローチが必要であると思う。
- ✓ 次の課題はバランスである。技術的な実現可能性のみが先行するが、実際にITサービスを提供するにあたって必要となる要素、セキュリティ、コンプライアンス、安定性、パフォーマンスなどについて検討ができていないケースも多い。それらが「後追い」で議論される結果、スピード感を損ねることもあり、複合的な検討体制が必要である。
- ✓ もう一つの課題は、不確実な中でチャレンジに対するリソース配分の在り方だと思う。ビジネス・技術を結合させるアイデアは多様であり、何が結実するかを選定は難しい。自社でも米国をはじめテクノロジー・ラボを設置し、技術のサークルに入ることによってトレンドを把握する取り組みを続けているが、見極めは容易ではない。社会全体として協調するエリアと、戦略として独自に進めるエリアを従来以上に明確化し、前者を共同して推進する仕組・枠組みが更に強化されることが望ましい。

2. システム・アーキテクチャー戦略

(ウ) 課題

- ✓ DX戦略は、顧客接点など目に付きやすい部分での技術・変化にスポットがあたることが多いが、その大半は既存システム資産との連携を抜きにしては語れない。既存資産がDX化の阻害要因とまでは思わないが、足かせになるケースも無視できない。ただ、最大の課題は、DX戦略とシステム戦略は線引き・役割が曖昧になりがちになる、ということだろう。担当セクションが分離されているケースも多いと思うが、役割分担や分掌を超えて一体的な運営をすることが必要になる。
- ✓ また、バックエンド、ネットワーク、データ等、既存資産は膨大であり、一朝一夕に入れ替えることはコスト・システムリスク・人材の面で容易ではない。

更に既存資産システム群は、一定の標準化やアーキテクチャー思想のもとで構築されてきているはずだが、技術や歴史的な制度・環境の変化の中で、結果として統一できていないものが多い。サイロ型システムも複数あり、結果として重複した機能・データの併存、非統一なU I /U Xなどの課題がある。もっともベーシックなI D管理や情報共有の仕組みもバラバラな結果、セキュリティ・脆弱性高度化の障害になっていることも多く、課題は山積している。社会、業界内でも必ずしも標準化や再利用化が進んでない領域も多く、生産性の阻害要因になっている。

(エ) 対応

- ✓ 自社ではこれらを段階的に改善、課題解消していくため、「アーキテクチャー戦略」を10年の計画で推進している。「個別最適」のシステムを積み上げることにならないよう、ビジネス、アプリケーション、データ、基盤、セキュリティといった主に5つのアーキテクチャーを軸に、「全体最適」の観点で中長期的なアーキテクチャーロードマップを策定、それに沿ったシステム構築・更改を進めている。
- ✓ アーキテクチャーの観点でも、業種・業態、官民を超えた枠組みが更に活性化することが望まれる。A P I のO P E N化等による業態連携は進みつつあるが、更に進めて社会全体のアーキテクチャーロードマップ策定と、各処に存在する機能やデータの「オープン化・カタログ化」、それに基づく共同化・共通利用が進むと良いと思う。これらはS I Cの重要な役割の一つであると考えている。

3. 個別トピック

(オ) データ活用

- ✓ データ活用・データビジネスも多くの手法が確立されつつある。オープンデータに加えて、I o TやA Iなど技術進展によって活用が可能となるオルタナティブデータ、更に多種多様な業態が保有するデータを結び付け、A Iを活用した動態管理や将来予測により、新たなサービス展開を目指している。
- ✓ ただ、「思い」と「実態」にはまだ乖離があることは否めない。データ活用という目標は高く、ビッグデータ基盤は構築済、それを活用するためのA I、B I、E T Lのツールなども種々試しているものの、真に意味のあるデータ活用に向けてはハードルが未だ高い。データ分析人材・スキルの枯渇も課題ながら、何をそこから導き出したいか、という目的が明確でないケースが散見される。
- ✓ 人材については、サイバーセキュリティエリアとデータ分析エリアが最も枯渇しているエリアとも言われる。各主体に分散するまでのリソースが十分でない

段階では、Center of Excellence として知見を活かして課題を解決する仕組みが欲しい。

(カ) クラウド活用

- ✓ 自社のクラウド活用の発端は、基盤提供の迅速化、データの一時的・季節性変化への柔軟性の確保、定期的に発生するE O S (End Of Service/Support)対応からの脱却、コスト効率化、などを意図したものであり、I a a S (Infrastructure as a Service)的活用が主だった。大量トランザクションのための装備は、ホストコンピューティングに未だ優位性が多いが、近い将来、立脚する技術は異なるが、安全性・安定性の面では比肩しうるものと思う。
- ✓ この3年程度はI a a S的活用からアプリケーション的活用に変化している。マルチクラウド化は、何と言っても多様なクラウドネイティブサービスの利用、他業態との連携にメリットがある。特にA I活用、ビッグデータ分析など技術進展の速いエリアにおいて、複数のサービスと連携しての効果が期待できる。ここでは、コンテナ技術、セキュリティ面での担保がカギとなることは言うまでもない。
- ✓ S a a S (Software as a Service)的活用としては、既に複数の業界で活用が進んでいるが、例えばアジアで展開される農業サプライチェーンでは、農家・仲介業者・加工業者・商社・メーカーなどを結び、商流・お金の流れ・各種情報をクラウドプラットフォームで一元管理し、流通経路や収穫状況の把握、収穫物のネット販売の代金管理など多様なアプリケーションが開発・提供されている。クラウドが社会全体、業界・業種横断的な基盤となることは明らかとも思われ、サービスの更なる拡充に向けて、構築者・利用者双方の立場からも声を纏めていくことが必要と考える。

(キ) 標準化・ルール・ガバナンス

- ✓ 標準化の仕組みを真に定着させることは、永年の悩みでもある。自社で言えば、海外地域や個別グループ銀行のI Tガバナンスは容易ではない。ルールはあっても、各地域の制度に応じた個別対応をしていく中で、標準化をコントロールすることは困難を極める。
- ✓ 標準化の方法としては、①ルールだけを作る、②ルールに加えて部品・ツールも作って提供する、③もっと大きくパッケージやコンポーネントを丸ごと構築して全て集権管理する、など様々だろうが、目標達成までのスピード感、対応リソースとのバランスで、内容に応じた最適化を実施していくしかない。

- ✓ 幸いなことに、標準化団体による標準化が進み、クラウドネイティブの中で各種のツール・パッケージは急速に洗練されており、造るシステムから、利用できるものは徹底的に使うことができる時代となった。その意味で標準化が容易になりつつもあるが、標準化自体の変化がリスクにもなっている。

(ク) 人材育成

- ✓ 自社では2016年に「ITアカデミー」なる組織を立ち上げた。プログラミング言語やソフトウェアの基礎・設定等に関する座学的な研修は外部への依存度を上げてきたが、内製化と継承が必要な要素は多い。システムは、プロセスの変化やその時々戦略、ルールを積み上げた歴史に外ならず、そういった情報を組織知として継承していく必要性から創設したもの。大規模プロジェクト知見共有や実践アジャイルなども含めて、戦略的内製化を進めている。
- ✓ ただ前述の通り、真のDX人材の育成は試行錯誤。これが正解というものも未だ無い。技術、環境、学際的な視野の広さ、制度・法務に関する理解、チャレンジ精神、好奇心、プロセスやビジネスへの深い理解、そして変革を成し遂げる精神力など、経営トップに求められるものであり、より多くの人材を、多角的なキャリアパスを経験してもらう中で育成していくしかない。

4. 連携の重要性

(ケ) 社会的連携・共通インフラの検討

- ✓ 先にも述べたが、各主体における優先領域・競争領域にシステム資源を集中させるためには、社会的に汎用的な仕組みは、極力共同化を図ることが効率性の観点で望ましい。既に業界内での共同化や共同システムも多く存在するが、更なる業態・業界横断の社会的インフラの高度化が望まれる。例えば、セキュリティ・DDoS (Distributed Denial of Service) 攻撃への対応、災害対策のためのインフラ・ネットワーク、アンチマネーロンダリングやKYC (Know Your Customer) に関する仕組みなどはその対象となると思う。デジタル庁が創設され、官公庁や地方自治体、民間との連携の標準化、データ連携も大いに促進されるだろう。
- ✓ また、ISO20022対応などグローバルとの連携をする上で、各国の定めた税務、制度、報告等の要件、データの持ち出し規制やクラウド利用規制を遵守する必要がある。まさに社会インフラを構成するデータの標準化を含めた「連結」「共有」の必要が望まれる。

(コ) 産学連携

- ✓ 自社におけるシステム・ITエリアでの産学連携は、いまだ大きく拡充の余地がある。AIによる制定帳票の読み取りモデルや、高速分散トランザクション台帳処理など、今後拡大が想定される先端技術への取組みを実施している。また、大きなものとして、量子コンピューティングへの取組みも開始している。簡単にご紹介したい。

- ✓ 自社では、東京大学・慶應義塾大学・IBM等と共に、産学連携で研究を進めている。社員を研究者として大学に常駐させ、大学の専門家、企業の研究者と共に進めることでより一層のイノベーションを目指している。

- ✓ 量子コンピュータは現在のコンピュータとは異なる原理で動き、一部の計算では、本質的に高速な計算が可能となる。その為には、大規模で長時間計算ができ、エラー耐性がある量子コンピュータが必要である。現在の量子コンピュータは、小規模でエラー耐性が限定的で隔たりがあるが、将来の活用にむけて、基礎研究から取り組んでいる。萌芽期であり不確実性の高い技術であったとしても、時間軸と実現した際の影響度合いを鑑みながら、プロジェクトを進めていくことが重要である。攻めの面では、デリバティブの価格算出やリスク計算等へ適用を検討中である。現在最も時間を要する計算の一つであり、量子コンピュータを用いることで、高速化・高精度化を期待している。また、ポートフォリオ最適化を始めとした最適化計算や、様々な機械学習への応用も見込まれている。一方で守りの面では、暗号への影響が大きな課題である。大規模な量子コンピュータが実現した場合には、現在、共通鍵で用いられているRSA暗号等が今までより短時間で解ける可能性があると知られている。金融機関のシステムを安定稼働させながら、暗号方式の変更を行うには、膨大な時間・コストがかかり、前広に対策を検討していく必要がある。

以上脈絡ない内容で恐縮ながら、社会的アーキテクチャーの確立と推進のため、いくつかの課題を述べさせて頂いた。SICが、関係各位と連携し、これらの課題への対応の扇のかなめとしての役割を果たしていければ、と切に思う。

(SIC ニュースレターVol. 3. 2、2021年2月5日発行に掲載)

論説3

ニューノーマル時代に向けたIT企業の変革

SIC理事・実行委員長 松本隆明（元IPAソフトウェア高信頼化センター所長）

はじめに

報道によれば、2020年10月～12月期における米国IT大手企業の決算は、クラウドサービスの伸びなどによりいずれも過去最高益を更新したとのことである。グーグル親会社のアルファベットは売上高が23%増で純利益が43%増、アップルは売上高が21%増で純利益が29%増、フェイスブックは売上高が33%増で純利益が53%増、アマゾンに至っては売上高が44%増で純利益は220%増という好調さである。一方、我が国のIT大手企業4社（NEC、NTTデータ、日立、富士通）のIT部門の業績は、2020年4月～12月期決算で、売上高が同等か数%のマイナス、営業利益は数%から10%程度の増加に留まっている。決算時期が異なっているため単純な比較はできないが、明らかに米国企業より日本企業の方が成長率は低いと言わざるを得ない。

新型コロナウイルスの世界的な感染拡大により、社会はニューノーマルとも呼ばれる新たな時代を迎えており、従来の生活様式や働き方、消費者の購買行動は大きく変化し、リアルからバーチャルへのシフトが急速に進み、企業もこれまでのビジネスドメインやビジネスモデルの修正を求められつつある。こうした転換期に当たり、IT企業にとっては、デジタル化の流れが大幅に加速することで、大きなビジネスチャンスを得ることになるはずであるが、GAF Aに代表される米国企業に比べて日本のIT企業の出足は芳しくない。本稿では、これまでIT業界に身を置いてきた筆者の経験から、ニューノーマル時代に向けたIT企業の変革について私見を述べてみたい。

1. 共同開発

潮目が変わりつつある時期においては、変化に迅速に対応し効率的にシステムの開発を行うことがより一層求められる。そのためには、アプリケーション開発といった付加価値を出すべき部分（競争領域）に開発リソースを集中し、基本ソフトウェアやデータ流通基盤などのミドルウェアに相当する部分は非競争領域として、既存パッケージの活用や、新たに開発する場合でも他社と共同で開発して開発や運用のコストの効率化をはかるべきである。しかしながら、IT業界ではこの共同開発ということが従来からほとんど行われていない。最近、大規模なシステム障害の発生により社会的に大きな影響を与えた某大手銀行のシステムでも、4社のITベンダが開発に関与しているが、それぞ

れ基幹系業務、預金業務、為替業務、対外接続業務などの業務ごとに分担して開発している分担開発の形態であり、共同開発という形態ではない。

I T開発はしばしば建築と相似の形で語られる場合が多いが、建築ではジョイントベンチャー（J V）方式という形で、複数の企業が1つの工事を共同で実施する形態が一般的に用いられている。I T業界でなぜこうした共同開発形態が行えないのか、その最大の理由は作業手順の共通化が図られていないからではないかと考える。ソフトウェア開発においては、テーブル設計書やモジュール設計書等の詳細仕様書のフォーマットや、ラベルや変数の付与基準といったコーディング規約などをあらかじめ作業標準として詳細に決めておく必要がある。この言うなればソフトウェア開発のお作法とも呼ぶべき作業標準がI T企業ごとにバラバラであるために、なかなか共同で同じソフトウェアを開発するということができないのである。作業手順を共通化し共同で開発することで、非競争領域における開発コストや開発に伴うリスクを低減することが可能となる。また、こうした手順が共通化できれば、I T企業間でのエンジニアの融通も柔軟に行えるという利点も期待できる。

競争領域と非競争領域の境界をどこに定めるかは難しい問題ではあるが、技術的な視点からA P Iをどこに切るかと考えるのではなく、ビジネスの視点からサービスで競争すべき領域とそうでない領域とを区別することが重要となろう。いずれにしても、G A F Aに伍していくためには、非競争領域にかかわる開発については複数の企業で連携体制を組んで共同で開発し、成果はなるべくオープン化しプラットフォームとして共用するという必要も必要となってくるであろう。

2. アーキテクチャー設計

システムは、企画、設計、開発、運用・保守、廃棄というライフサイクルをたどるが、ニューノーマルの時代においては、このサイクルはますます短縮化する。企画、設計に割り当てられる期間や検討リソースも絞らざるを得なくなり、本来は企画、設計時に、運用・保守や廃棄に至るまでの考慮をすべきところが疎かになりがちとなる。サイクルが短縮化する時こそ、ライフサイクル全体で品質確保を考えるというシステム思考で進めることがより求められる。

ライフサイクル全体でシステムの品質を確保するためには、運用・保守や廃棄のことも含めて最初にきちんとライフサイクルを踏まえた全体のアーキテクチャーを設計しておくことが重要となる。特に見落としがちになりやすいのがセキュリティである。システムを一通り設計してからセキュリティ要件を入れ込むのは多大なコストを要し、得てして設計してしまったシステムの制約から不十分なセキュリティ対策となる場合が多い。セキュリティ・バイ・デザインの考え方に従って、あらかじめセキュリティ要件をアーキテクチャーの中に入れて込んで設計すべきである。

運用・保守を考慮した設計ということでは、昨今 DevOps [注] も注目され、例えば運用時に様々な記録を取っておいて更改時の開発に役立てるといった取り組みも進みつつあるが、大規模なウォーターフォール型開発での適用はまだまだの状況である。また、セキュリティもフォレンジック技術と組み合わせて開発に役立てる等の取り組みもまだ十分に浸透しているとは言い難い。さらに、廃棄という点では、特にデータの廃棄をどうするかということをおろそかに設計しておくことなど、あまり考えられていないケースが多い。

アーキテクチャーという用語は、元々は建築業界で使われていた用語であるが、建築物のようなハードウェアは一度作ったら改修するのは大変なので、最初からアーキテクチャーをきちんと考えておく文化であったのに対して、ソフトウェアは一旦完成後も比較的容易に改修が行えてしまうためアーキテクチャー設計への配慮が疎かになっていたことを反省すべきであろう。アーキテクチャーの重要性が認識され、建築物のように、ソフトウェアもその設計者の名前が後世まで残るようにしたいものである。

さらに、IT に比べてはるかに長い歴史を持つ建築の世界では、技術の継承についての配慮がなされているという点も IT が見習うべき点であろう。伊勢神宮の 20 年ごとの遷宮も、古くなったので建て替えるということもあるが、一番の目的は技術の継承である。また、東京駅の復元プロジェクトにおいての目標は、「安全」、「強靱」そして「継承」となっており、特に「継承」については、漆喰や銅板葺など現在はその職人が極めて少なくなってしまった技術をどう引き継いでいくかについても配慮してプロジェクトを進めたということである。技術継承のためには、きちんとアーキテクチャーを設計し、それを設計思想も含めて設計図として残し、引き継いでいくことが重要である。

IT の世界では、プロジェクト管理のための世界的な標準として PMBOK があるが、PMBOK でも、品質管理、リスク管理、リソース管理などの方法論は謳われていても、継承管理については何も言及されていない。IT システムが更改時期を迎えモダナイゼーションを行いたいのだが技術者が居なくて苦勞するという話が後を絶たない。システムのアーキテクチャーをきちんと残し、それを継承管理していく仕組みを予め入れていくべきであろう。

3. Why から始める

利用者の行動変容が激しさを増す時代にあっては、何を開発するのかからではなく、なぜ開発するのかから始めることがより求められる。米国の著名なコンサルタントであるサイモン・シネックの著書『WHYから始めよ!』では、ゴールデンサークル理論として内側から WHY、HOW、WHAT の 3 層からなる輪が示されており、多くの人間は外側の WHAT から考えてしまうが、ビジネスを成功に導くには内側の WHY から考えを始めて、徐々に HOW、WHAT と外側に考えを広めていくべきと述べられている。

この考え方は米国の多くの企業や政府機関で採用されており、アップルの成功も実はこうした考え方で製品開発を行ったからだと言われている。

優れた技術力がありながら、最近日本において iPhone や iPad あるいはお掃除ロボットやサイクロン扇風機などの世界を席卷するような革新的な製品が先んじて出てこないのは、日本は課題解決型の思考が中心で、課題探索型の思考になっていないからだという意見もある。確かに、DXを实践せよ、IoTを構築せよ、AIを導入せよといった何をやるかといった議論ばかりが先行して、何のためにやるのかといった議論が不足しているようなケースが多々見受けられるように思う。

ITの開発においても、ITによって何ができるかという発想で開発するのではなく、そもそも「何かやりたい」というアイデアがあって、それをITでどう実現するかというITを手段とした発想で開発を進めるべきで、IT化を目的とするべきではない。“IT doesn't matter”がハーバード・ビジネス・レビューに掲載されたのは2003年5月で今から18年も前のことであるが、今まさにIT化そのもので価値を見出す時代から、IT自身はコモディティ化して、それをうまく活用して創発的な価値を生み出す時代になってきたと言えよう。

4. プログラミング能力

システムにおけるソフトウェアの役割は今後とも増大していくことが想定され、迅速にかつ効率よくソフトウェアを作成することがより一層求められていく。マイクロサービスを活用して、業務プロセスを形式知化し、適切な単位でサービスとして分割して部品化し、それらを柔軟に組み合わせることで、様々な業務アプリケーションが迅速に開発できるような動きも進みつつある。しかしながら我が国の多くの業務アプリケーションでは現場最適に対応した暗黙知が数多く存在し、そのためERPパッケージの普及率も海外に比べて低いという状況にあり、どうしてもスクラッチでソフトウェアを開発せざるを得ない場合が多々存在することも事実である。また、開発の迅速化に伴って、今後はアジャイルによる開発が多く採用されていくことになるだろうが、アジャイルの場合一般的に開発はスモールチームで行うため、必ずしもプログラミングを専門に行うコードがチームにいるとは限らず、高度なプログラミング能力も兼ね備えたITエンジニアが必要となるケースが増えていくと想定される。

最近では「作らないソフトウェア開発」といって、要件定義さえ行えばコーディングレスで後は自動的にソフトウェアが作成できるといったツールや、「超高速開発」といってリポジトリを使って業務ルールを管理することで派生開発や維持管理でのソフトウェア開発を迅速化するツールなども出てきてはいるが、まだ適用対象の業務が限定されるなどの制約があり、現時点では依然として人手に頼らざるを得ない部分が多い。

ソフトウェアは人間の知的創作物であるため、同じ機能を実現するためのソフトウェ

アは無数に存在すると言っても過言ではない。その際、重要となるのは「美しいプログラム」であるかどうかだと思う。「美しいプログラム」とは、アルゴリズムが分かり易い、プログラムの構造がシンプル、プログラム言語が持つ特性を活かしたコーディングがされているなど、何をもって美しいと判断できるかはいささか難しい問題ではあるが、少なくとも「美しいプログラム」ほど品質が高く、保守性が高いのは疑いようのない事実である。

IT業界は、膨大かつ巨大なレガシーシステムをどう更改していくかという大きな課題に直面している。レガシーシステムを構成するプログラムの多くは、COBOLやPL/Iなどのレガシー言語で記述されており、その開発者もすでに退職して分かる人間がいないことが課題の大きさに拍車をかけていると言われている。ただ、この課題はレガシー言語で書かれていることが根本的な原因ではなく、他人に分かり易い「美しいプログラム」となっていたかどうかの主たる原因ではないかと思う。レガシー言語で書かれていても、分かり易いプログラムであれば、多少文法を復習すれば理解可能のはずである。いずれにしても「美しいプログラム」を書けるプログラミング能力を磨くことも当面の間は必要になるのではないだろうか。

5. 検証・評価

昨今、新型コロナウイルス接触確認アプリの不具合の問題が大きな注目を集めている。「適切にテストが行われていなかった」、「業者任せにしていた」等の課題が明らかになりつつあるが、要はシステムとしての検証がきちんと行われていなかったということに尽きる。利用者の行動変容が激しい時代になればなるほど検証の重要性は増大する。開発時には想定していなかったような使い方を利用者が行うケースが増大することで、開発工程での試験内容が容易に決められなくなってくるため、今後は第三者による検証の重要性が増大してくる。開発者が行う検証では、どうしても開発物の動作や機能に着目して検証項目を策定しがちであるため、利用者の動向や世の中の慣習といった全く異なる視点から、開発に関与していない第三者が機能の検証を行っていくことがより求められる。こうした第三者検証を行う独立した検証事業者を産業として育成していくことも急務となろう。

さらに、検証と合わせて、評価ということも今後はより重要となつてこよう。米国の各政府機関は、法律によってCAO (Chief Acquisition Officer) を設置することが義務付けられている。Acquisitionとは、事業を実施する意義があるのか、目標を達成できる見込みがあるのかを評価するとともに、その事業の執行状況をチェックして達成に導く活動全般のことを指す。事業実施可否の判断にあたっては、目標とする成果をアウトプットではなく、アウトカムで評価することが重要であるとされている。ITシステムもややもすると成果の目標を例えば平均レスポンスタイム〇〇秒と定め、それが達成できれば評価がOKとなるケースが多いように感じる。本来は、IT化により、業

務の効率化が図られ利用者の利便性がどれだけ良くなったかなどの価値でシステムを評価すべきであろう。

おわりに

新型コロナウイルスの世界的な感染をきっかけとして社会は大きく変わろうとしている。この転換期を好機ととらえて企業も新たな改革に取り組んでいかなければならず、IT企業も従来の設計・開発のスタイルを見直していくことが求められる。アーキテクチャー設計への一層の取り組みなどよりシステム的な視点から設計・開発を進めていく必要がある。SICはこうした改革に少しでもお役にたてるよう今後とも取り組んでいく所存である

[注] **(Development)** と運用 **(Operations)** を組み合わせた用語であり、開発担当者と運用担当者が連携して協力する（さらに両担当者の境目もあいまいにする）開発手法をさす。ソフトウェアを迅速にビルドおよびテストする文化と環境により、確実なリリースを、以前よりも迅速に高い頻度で可能とする組織体制の構築を目指している。

(SIC ニュースレターVol. 3. 5、2021年5月11日発行に掲載)

論説4

コロナ禍を日本復活の契機に

株式会社野村総合研究所 専務執行役員 立松博史 (SIC顧問)

1. コロナで苦しむ日本経済

2021年4月、日本は再び緊急事態宣言が発出され、COVID-19の感染拡大の影響から抜け出せないでいる。緊急事態宣言の対象地域は拡大し、対象期間も延長を繰り返している。

人口千人当たりの病床数は先進国で最多水準であるにも関わらず、日本の医療は逼迫している。ワクチン接種率でも先進国中、最下位のレベルである。2020年4月7日に日本国内で初めての緊急事態宣言が発出されてから一年が経過したが、この一年でパンデミックに打ち勝つための抜本的な手立てが講じられることはなかった。医療提供体制だけでなく、日本の様々な社会システムの欠点を露呈した形となっている。

米国や英国はコロナ感染が拡がり始めた当初は、対応が鈍く、多くの死者を出してしまったが、その後は緊急時の体制を敷くことで、今やワクチン接種では世界の最先端をいっている。一方で、日本では有事に対する準備が不十分であり、法的拘束力を持たずに、外出自粛や飲食店の休業等を行政が国民にお願いするしかない現状は、VUCA (Volatility、Uncertainty、Complexity、Ambiguityの4つの頭文字からとった言葉)の時代における日本モデルの脆さを映しているのではないだろうか。

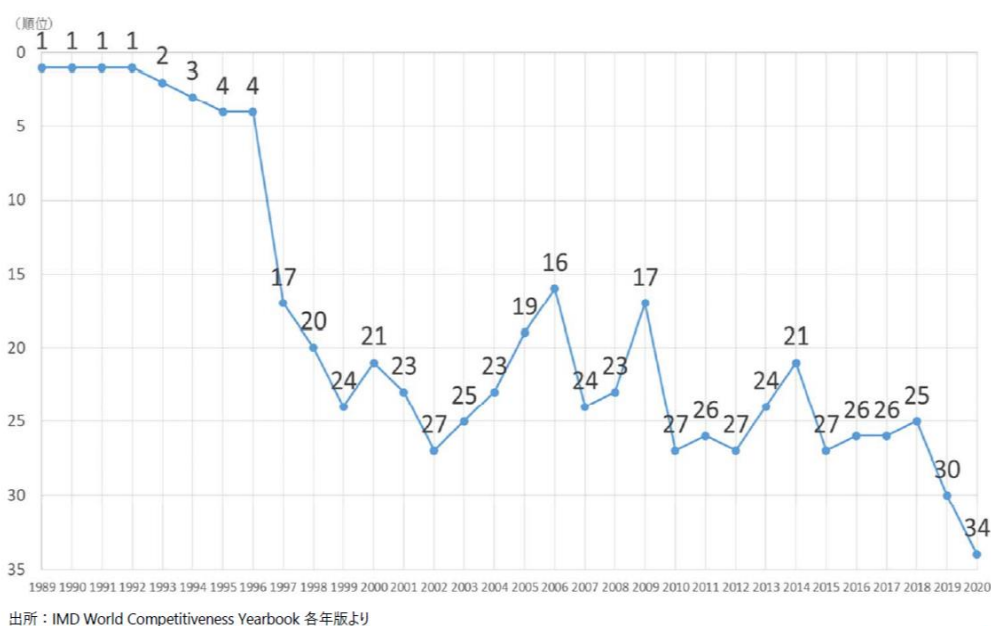
2020年10月に公表されたIMF (国際通貨機関)の予測によると、コロナ禍により落ち込んだ先進地域の経済活動は、21年いっぱいにはコロナ前の水準に戻らない見通しであり、その中でも日本経済の回復力は最も鈍く、コロナ前水準に戻るのは2023年頃と予測されている。2020年度の上場企業の決算発表を見ると、このコロナ禍により経済活動が減速したことにより、幅広い業種に影響が現れている。生活者の行動変容の影響をダイレクトに受けた運輸業、旅行業、飲食業などの減益額の大きさが目立っている。ところが、今回の決算の結果を詳しく見ると、「K字回復」と呼ぶべき状況が読み取れる。コロナの影響により、同じ業界の中でもKの字のように上昇していく企業と下降していく企業が両極端に存在するという状況で、強いところがより強く、厳しいところはさらに落ち込んでいくというものである。行動制限の影響を直接受けた業界かどうかという単純なものだけではなく、同じ産業セクターの中でも業績の明暗がはっきりと分かれ始めている。企業業績の明暗を分けた要因を見ると、業績好調な企業は、テレワークなどの新常態に素早く対応するだけでなく、営業活動においてもECや非対面などのオンラインの活用、行動変容により生じた新しい

市場ニーズへの対応など、危機下においても自らを素早く変革させて成長市場を掴み、開拓していることが特徴である。

2. 日本のプレゼンスの低下はコロナ前から始まっている

このような日本経済の苦境は、コロナ禍の厄災による突発的なものではなく、20年以上前から続いている。中国の世界経済における存在感の高まりなど、近年、世界経済の勢力図が大きく塗り変わっている。その変化の中で、日本のGDPの世界に

IMD「世界競争力年鑑」日本の総合順位の推移



占めるシェアは低下の一途を辿っている。OECD（経済協力開発機構）加盟諸国の国民一人当たりGDPは36カ国中18位であり、2000年代は主要先進7カ国の中でも下位グループが日本の定位置となっている。また、IMD（国際経営開発研究所）が発表した世界競争力ランキングをみても、日本は調査が始まった1989年から1992年までは1位を維持していたが、その後のバブル経済の崩壊とともに徐々にランクを落とし、2020年には調査対象の63カ国中の34位まで転落している。

このランキングは、「インフラ」「経済パフォーマンス」「政府の効率性」「ビジネスの効率性」の4つの項目により分析されているが、この中でも「ビジネスの効率性」に関する評価が低く、日本の総合順位の低下の主な要因となっている。企業の意思決定やデジタル化対応などの指標に課題があり、今回のコロナ禍において不振に陥った企業では、これらへの取り組みの遅れが露呈したところも多かったのではないだろうか。

個別企業で見ても、世界の時価総額の顔ぶれは大きく変化してきた。1989年には、上位50社の中にトップのNTTを始め32社の日本企業が占めていたが、2020年末には、トヨタ自動車が唯一49位にランクインしているだけとなっている。バブル経済崩壊、リーマンショックへの対応など、さまざまな構造改革の努力を行ってきたが、日本経済の世界経済における存在感は圧倒的に低下したと言わざるを得ない。

3. コロナによって見えてきたニューノーマルの姿と日本復活の可能性

以上のように COVID-19 感染拡大以前より日本経済の衰退は始まっており、我々はそのことを改めて認識する必要がある。今回の感染拡大は、そのことに追い討ちをかけたことは間違いないが、私は、「それだけではない」と考えている。感染拡大によって、ニューノーマルの世界が透けて見えており、ここに日本復活の可能性があると信じている。

COVID-19 の感染拡大によって、対面での会話や食事、自由な移動など、これまで日常生活で当たり前と思っていたことが制約を受けて、私たちは行動変容を余儀なくされてきた。マズローの欲求5段階の区分である衣食住の「生理的欲求」や、身体的・経済的な安定を指す「安全欲求」が突如として満たされなくなり、生活者の将来に対する不安が拡大することになった。コロナ前は、生活者の自己実現欲求を充足させるための高付加価値な商品やサービスを供給することが重視されていたが、感染予防が重視される状況では、低次の欲求の充足が大きな価値を生むようになってきている。生活リスクの高まりにより、生活者は安全性を高める機能や性能を有する商品・サービスに対して、高い価格を支払うようになってきている。また、非対面を前提とする行動様式が主流になってきたことにより、デジタルを効果的に活用することで個人を縛っていた時間と空間の制約が大幅に縮減されることになった。生活者は、テレワークの普及により通勤時間がなくなり、ある意味で個人の可処分時間が大幅に増加し、この産み出された余剰時間を自らの生活の質の向上などに活用することが可能になった。

他方、ビジネスの面をみると、コロナによる最大の変化は、「急速で強制的なデジタルシフト」であろう。急速なECへの対応、電子決済の活用など広範かつ非連続的なデジタルシフトが行われた。社員の働き方も、従来の想定を超えた規模とスピードでテレワークを導入して、社内だけでなく顧客とのミーティングの多くがオンラインで実施される状態が定着しつつある。訪問や打ち合わせのために投入されてきた膨大な移動時間が節約され、それを本来の営業や事業活動に投入することが可能となった。業務効率を革新的に改善する機会となり、これまで改革に二の足を踏んでいた多くの日本企業が、コロナに背中を押される形で変革に踏み出してきている。変革に踏み出

すことには慎重で臆病である傾向が強い日本企業ではあるが、一旦、デジタル化に踏み込むと決めれば、きめ細かくチューニングし素早く適応するという強みも持っている。戦略の優先順位をはっきりとさせることが苦手な傾向が強い日本の経営者も、今回のコロナ危機では思い切った意思決定を行い、変革に舵を切ったのではないだろうか。

生活者も企業も、こうした状況から生じた変化をチャンスとして活用することが求められるが、変化の捉え方、活用の度合いによって、アフターコロナの世界でのパフォーマンスや幸福度が大きく変わってくると考えられる。

4. コロナを長期停滞打開の糸口に

突如やってきたパンデミックが人類の力の限界を突きつけ、将来に対する不確実性と不安感を高めている。しかしながら、コロナ禍後の未来の世界がどうなるかを予測するのではなく、望ましい未来の構築のために能動的に働きかけていくことが必要である。

今回の危機で露わになったデジタル化の遅れを取り戻し、日本低迷の根本的な原因を明確にし、ニューノーマルに向けて社会システムを再構築していく必要がある。コロナ禍への克服を契機として、日本を21世紀型にトランスフォームしていく必要がある。戦略の優先順位を明確にして、泥縄式に対応してしまう体質から脱却する。さらに、優先順位が定まらない要因となっている縦割り組織の弊害を克服できるようなリーダー人材を育成していく。そして、「何とかなる」という根拠なき楽観思考を払拭し、意思決定に対してデータに裏打ちされた科学的アプローチをしっかりと取り入れる。脅威に対して目を瞑ることなく必要な危機管理体制を整備することが求められる。今回のコロナ危機は日本が引きずって来た各種システムの欠点を露呈させた。アフターコロナを見据えて、日本企業が様々な変革に向けて動き出していることを勘案すると、今こそ、官民一体となって、起死回生を図るラストチャンスではないだろうか。

(SIC ニュースレターVol. 3. 6、2021年6月8日発行に掲載)

論説5

量子コンピューティングがもたらす社会システムの変革

富士通株式会社 代表取締役副社長 COO 古田英範（SIC理事）

1. 前書き

科学技術とICTの急速な発展に伴い、これまでに見られなかった様々なサービスが登場している。これらは行政や商取引、社会生活などあらゆる場面に波及し、我々の生活を豊かで便利に変えてきた。同時に社会課題解決など、より専門性の高い領域にもICTの積極的活用が議論されるようになってきた。

例えば物流分野の課題としては、ネット通販などの拡大にともなう配送需要の急増とドライバー不足の深刻化、これを解決するための輸配送システムの徹底的な効率化などが挙げられる。医療分野では、特定の病気に効果のある医薬品候補をできるだけ短期間で見つけ出すことはもちろんのこと、未曾有の事態に対応するための病床や機材の割り当てなども大きな課題となる。また、脱炭素社会の実現に向けては、再生可能エネルギーとして期待される太陽光などの再生可能エネルギー発電の効率を向上させる新素材などを効率良く探索することが求められる。

これらは複雑化・多様化する社会における新たな意思決定の問題で、旧来システムを想定した人の経験と勘によるすり合わせ、しかも部分最適化では到底太刀打ちできない。膨大な情報空間の中から最善の一手を見つけ出し、サステナブル社会を実現するための新しいコンピューティングが必要となってくる。

そうしたコンピューティング技術の筆頭となるのが量子コンピューティングである。量子力学的な重ね合わせを利用した演算は古典コンピューティングを圧倒的に凌駕する可能性を秘めており、それゆえ世界中で精力的に開発が進められている。量子性の制御や保持など、量子ならではの様々なブレークスルーが求められるため長期スパンの研究と捉えられがちだが、一方で量子に着想を得つつ、ターゲットとする問題を古典半導体で上手く扱う“量子インスパイアード計算機”も新世代コンピューティングの新たな潮流として注目を集めている。

本稿では、新世代のコンピューティング技術によって実現される社会システム変革の潮流として、量子に着想を得たコンピューティング技術について概説したのち、物

流・創薬システムの刷新に繋がる事例を紹介し、将来技術であるゲート型量子コンピュータがもたらす社会変革像までを示したい。

2. 量子に着想を得たコンピューティング技術

スケジューリングや配送計画など意思決定を必要とする問題の多くは組合せ最適化問題という数学的な問題に帰着される。組合せ最適化問題では、変数の数が少し増えるだけで組み合わせの数が膨大となり、従来のコンピュータで解くことが困難となる。量子コンピュータの一つである量子アニーリングマシンは、イジング模型という統計力学上の形式で組合せ最適化問題を表現し量子効果により高速に解く次世代コンピューティング技術とされるが、大規模化には課題も多く本格的な産業応用はまだ先と言われてきた。

こうした中、量子効果を使わない古典半導体で組合せ最適化問題を効率良くデジタル回路ベースのコンピュータ、いわゆる量子インスパイアード計算機が近年注目を集め、各社による開発が進んでいる。富士通が開発した「デジタルアニーラ」もその一つで、大規模の並列技術や局所解脱出の仕組みなどさまざまな高速化手法がデジタル回路に取り込まれている[1, 2]。2018年にいち早くクラウドサービスが始まったことからさまざまな産業分野への適用も増えてきており、以降ではその中から物流・創薬分野での事例を紹介したい。

3. 事例1 物流システムの変革

物流分野において、輸配送ルート最適化はコストや業務効率に直結する非常に重要な課題である。従来は現場の経験と勘によりルート立案がなされることが多かったが、昨今の輸送量激増でその手法も限界に達しつつある。さらに、溢れる業務量をこなすだけでなく、CO₂排出量の削減など新しい業務課題にも取り組む必要に迫られている。これらの諸問題を解決するため、新たなコンピューティング技術を使って、物流システムそのものの変革に繋げていく取り組みが始まっている。

ここで示すのは、大手自動車関連企業A社と行われた、部品物流ネットワークの最適化事例である。数百を超える仕入れ先から部品を仕入れ、数か所の中継倉庫を通り、数十の工場へ配送する300万以上のルートを探索する問題で、単純な組み合わせ数は300京にせまる膨大な規模となる。これに対して「デジタルアニーラ」を活

用してトラック数、総走行距離、仕分け作業などを含めた物流コストが削減できる配送ルート最適化を行ったところ、算出時間として従来、人手では数ヶ月かかっていた大量の最適化計算をわずか30分以内で完了できた。さらに業務効率化の観点でも、今まで見つけ出すことができなかつた有効な物流ルートの発見等により、配送に関わるコストを従来と比較し2~5%削減できる効果も実証された。

本技術が業界全体に展開されれば輸送効率化とCO₂排出量低減の両面から非常に大きな効果が期待される。

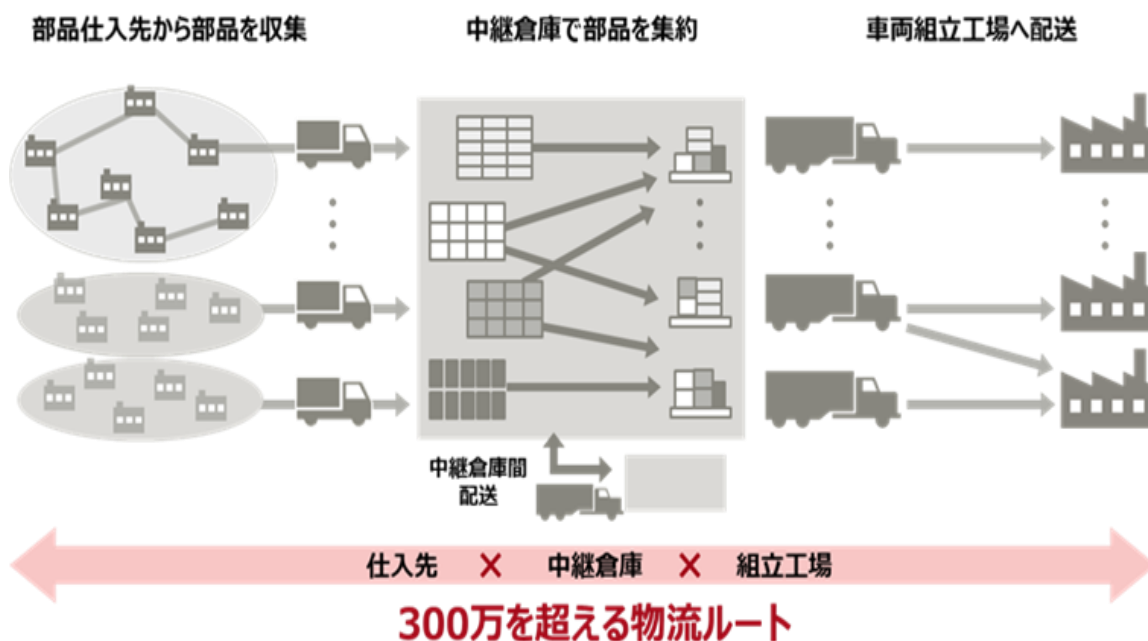


図1: 大規模物流ネットワークのイメージ

4. 事例2 創薬システムの変革

次に創薬分野での事例を紹介する。低分子医薬品と高分子医薬品の間サイズに位置する中分子医薬品(ペプチド薬)は、低い製造コスト・副作用の低減など両者の利点を併せ持つことから高い注目を集めている。だが課題となるのは開発期間の長さで、医薬候補化合物を絞り込む過程において数多くの実験を繰り返す必要があることから、数ヶ月から年単位での時間が必要とされてきた。

ここで示すのは、バイオベンチャー企業B社と行われた、候補化合物の高速探索に必要な安定構造計算を量子インスパイアード計算機により高速化する事例である。コンピュータを用いた候補化合物の探索は従来から行われてきたが、アミノ酸残基が配

列するペプチド薬は、例え15残基程度でも配列種類が1,600京にも及ぶためHPC（ハイパフォーマンス・コンピューティング）を用いても候補を絞り込むのが容易ではない。これに対して、ペプチド化合物を構成するアミノ酸1つ1つをそれぞれ大きな塊としてとらえて空間格子点上に配置するようモデル化することで「デジタルアニーラ」が得意とする組合せ最適化問題に落とし込み、さらにHPCによる精緻な計算と組み合わせることで創薬の候補化合物となる環状ペプチドの安定構造探索を僅か12時間以内で実施できることを実証した。

本事例は、新世代コンピューティングが従来の創薬プロセスを一新できる可能性を示唆しており、健康不安のない持続可能な社会が先端IT技術により実現される未来像を予見させるものと言える。



図2：「デジタルアニーラ」による中分子環状ペプチドの安定構造探索の流れ

5. オープンイノベーション

旧来のICTの枠を超える新しい技術においては、利用の裾野を拡大し幅広い領域での社会課題解決を実現するため、オープンイノベーションを活用してシーズ研究から応用探索、ビジネス化までを繋げていく仕組みを構築することも重要である。「デジタルアニーラ」においては、トロント大学や早稲田大学と連携し、各ドメインの専門家とコンピューティングの数理を理解している専門家が連携してワンチームで問題解決に取り組む体制が構築された。

それらの成果の一つとして、トロント大学では脳腫瘍などの放射線治療計画時間を従来の数十分の一にまで短縮する技術が発表された[3]。これは大学の現役医師がもつ知見と「デジタルアニーラ」のテクノロジーが融合することで初めて可能となったものである。一方、早稲田大学でもエネルギー・電力分野において従来のソルバーで解くことが難しかった1MWh/hの電力需給の調整を30分以内で可能にするエネルギーアグリゲーションが実証されている[4]。本結果も、エネルギー分野における第一線の研究者と連携することで初めて得られた成果である。

このように産学連携に根ざしたオープンイノベーションを活用することで、新世代コンピューティングの応用領域が拡大し、さまざまな社会課題の解決に繋がるビジネス創出が加速していくと期待される。

6. 将来のゲート型量子コンピュータに向けて

量子インスパイアード計算機は量子に着想を得た革新的なコンピューティング技術であるが、ハードウェア自体は既存半導体であるため量子現象そのものを利用しているわけではない。さらなる将来に向けては、量子効果を高速化の源泉とするゲート型量子コンピュータの実現にも注目が集まる。量子コンピューティングでは、従来のビットの代わりに、0と1の重ね合わせの状態を取れる量子ビットを利用する。重ね合わせた状態を同時に計算できるため、Nビットあると、 2^N という状態を同時に扱うことができる。そのため、これまで実質不可能であった計算が可能となったり、ある種の計算が指数関数的に加速されることが期待されている。

ゲート型量子コンピュータで加速が期待されている計算の1つは量子化学計算である。量子化学計算は、材料の物性を予測したり、材料の反応過程をシミュレーションする上で非常に重要であるが、現在のコンピュータでは、実験で扱うような大規模な系になると、高精度、高速な計算が難しくなる。ゲート型量子コンピュータにより大規模な系を扱えるようになると、実験のシミュレーションによる置き換えが進み、化学産業などに革新をもたらす可能性がある。さらに、金融、経済で扱うような複雑な問題のためのアルゴリズムも提案されており、将来的な社会変革に大きく貢献することが期待される。

一方、実用化に向けては100万量子ビット級を実現するための量子デバイス技術、量子状態制御技術、エラー訂正技術など、克服すべき課題は多い。これらを克服しブレークスルーを達成するには、各分野スペシャリストの叡智を結集することが求められる。富士通では、理化学研究所と2021年4月に連携センターを設立したほか、図3に示したような国内外の研究機関と共同研究を進めている。将来的には、ゲート型量子コンピュータをHPCや「デジタルアニーラ」と合わせて使うことにより、社会システムの変革に寄与していきたい。

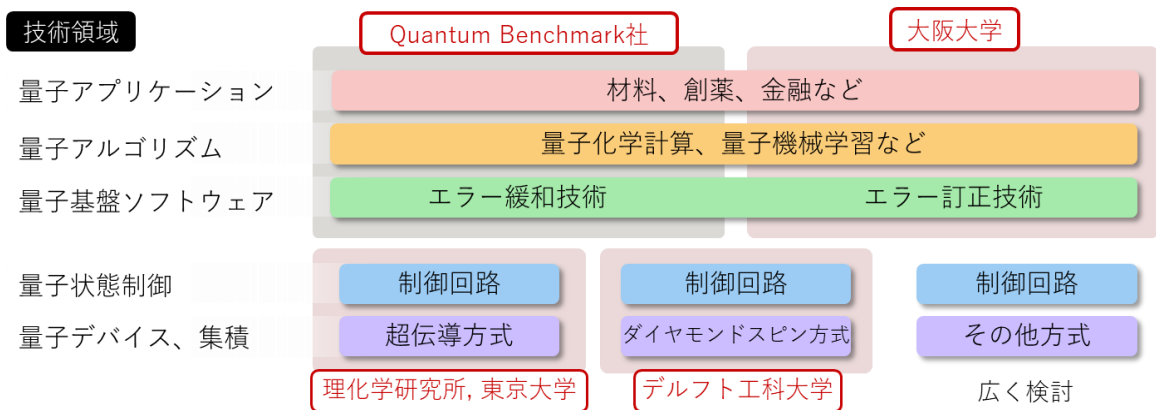


図3： 量子コンピューティングにおいて取り組む技術領域と共同研究機関

7. むすび

富士通は「デジタルアニーラ」を通じて実社会に存在する様々な意思決定問題を解決し、全体最適化の観点から社会システムを刷新していくことを目指している。その過程にあっては、データやアプリケーションを一体的に構築したうえで、さまざまな産業上の実問題に適用していくための手法を習得したり、オープンイノベーションなどの場づくりを推進し、コミュニティの仲間と一緒に課題解決に貢献していくなど、テクノロジーカンパニーとしての社会的位置づけも変化しつつある。こうした経験は、さらに長期のゲート型量子コンピュータの実用化に向けた研究開発にも大いに活かすことができると考えている。

これらの革新的コンピューティング技術が、人々の生活に豊かで健康な暮らしをもたらし、持続的な社会の発展に貢献していくことを願ってやまない。

参考文献

- [1] 富士通株式会社, <https://www.fujitsu.com/jp/digitalannealer/>, 2021. 6. 23 アクセス
- [2] 竹本一矢, 松原聡, 渡部康弘, 島田大地, 栗田知周, 田村泰孝, “組合せ最適化問題を高速に解く「デジタルアニーラ」技術と製造・材料科学への応用” 電子情報通信学会論文誌 C, J104-C(4), 2021, 101-109

[3] 富士通株式会社, <https://pr.fujitsu.com/jp/news/2021/02/26.html>, 2021. 6. 23
アクセス

[4] T. Saito, S. Katayama, A. Yoshida, T. Kashikawa, K. Kimura, Y. Amano and Y. Hayashi, ” Fast Hierarchical Coordination Using Price Signal for Town-scale Home-EMSs Aggregation with Digital Annealer,” International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, June 29-July 3, 2020.

(SIC ニュースレターVol. 3. 7、2021 年 7 月 6 日発行に掲載)

論説6

21世紀の知識集約型企業を目指して

技術コンサルティングファームの軌跡

株式会社構造計画研究所 取締役 代表執行役会長 服部正太（SIC理事）

Design & Engineering Firm を目指して

私ども株式会社構造計画研究所の原点は、1956年に東京工業大学建築学科助手であった服部正（はっとり まこと）が構造設計の専門の事務所を設立したことに始まります。目蒲線沿いの東京工業大学大岡山キャンパスに近い目黒駅から徒歩圏の品川区上大崎1丁目の借家を借りて、所員2名でスタートしました。当時ブームとなっていた日本の城郭建築再建の構造設計を東京工業大学の建築史の大家藤岡通夫教授と組んで、和歌山城、小倉城、熊本城と手がけながら業務を拡大させました。1959年には、服部正自らが、半年ほど米国視察出張に出向き当時建築構造にコンピュータを活用していたイリノイ大学のニューマーク教授の研究室を訪問し、コンピュータ導入の必要性を痛感しました。通産省（現・経産省）の輸入許可を得て、1961年IBM1620を導入しました。服部正のバックグラウンドは、山梨高専で電気通信を専門としており、建築と学問分野の融合がしやすかったと思われま

その後、オペレーションズ・リサーチ（OR）の必要性を感じ、1963年にノルウェーオスロの世界会議に松田武彦元東京工業大学学長らと参加するなど、建築構造設計から始まって幅広いエンジニアリングの領域を拡大していくことを試みました。さらに日本のソフトウェア産業の振興を目指した協会の設立やミニコンピュータ会社米国Data General社の日本法人をシャープ株式会社やタケダ理研（現・株式会社アドバンテスト）と立ち上げたり、積極的なビジネス展開をすすめましたが、1983年6月に肝臓癌で56歳で生涯を終えました。

その後継として、東京工業大学から大卒第一期で入社した富野壽が社長職を継ぎました。服部正が夢見たテクノポリス構想を実現するために熊本県大津町にサテライトオフィスを建築し、ソフトウェア製造の拠点を開設し、全所員数も15年間で220名から550名まで増えました。

売上高は増えましたが、3割が大手通信キャリアのシステム開発の仕事で外注比率も



高く利益性も悪く、給与待遇も低い状況でした。社内で新しい価値創造を目指していましたがなかなか新分野への展開が滞っておりました。

社長職を引き継いで

2002年7月、富野壽から社長職を46歳で引き継いだ私服部正太は、当時の状況からどのような改革を進めたら良いのか、皆目わからない状況でした。学生時代からの友人で当時リクルート社のフェローをしていた藤原和博さん（後に杉並区和田中学校校長となる）に依頼して、新卒採用の改革を進めました。まず彼は当社のビジョンやミッションがわかりやすく描かれているリクルート冊子を作成し、オープン型の一般公募の方法で、従来の大学研究室推薦主体だったやり方を変えました。新入社員の出身大学の偏差値が平均で10ほど上がりました。

また、MBO制度を導入し、才能ある技術者がやりがいのもてる制度設計、個人の目標管理を徹底しました。現在、多摩大学教授の徳岡晃一郎さんにこうした人事、ビジョン、ミッションの定義の方向性を示してもらい、KKE WAY 個のあり方を打ち出しました。

残念ながらエンジニアリングのバックグラウンドのない私は、2002年に就任して以来、プロジェクトの不良化にも悩みました。

大型ソフトウェア開発の不良化、納期の遅延 あるいは構造設計業務での外部発注社の偽装問題などへの対応に追われ、なかなか業績の回復が出来ないままでおりました。

経営数値の一つの指標でありますZスコアでみると、社長職2002年の就任以来2011年まで10年間で5回ほどは企業業績が危険水域の数値となっております。（参考資料1参照）

新たな経営目標を設定して

2010年以降は、全社目標を総付加価値の増大という指標に統一し、所員の人件費とFRINGE・ベネフィットおよび営業利益の合計を増大させ、労働分配率にも配慮しながら所員の待遇改善もはかりつつ、株主への利益還元も四半期ごとに配当できちんと出すという原則を維持しております。結果として過去10年間の総付加価値の年平均成長

創業時から継承してきたもの

- ▶公・徳・品格・粋
- ▶学問への尊敬の念
- ▶人のつながりとネットワークの価値
- ▶同僚・仲間との切磋琢磨
- ▶お金儲けだけではないという想い

率は5.8%という持続成長可能な数字となりました。

ビジネスの展開では、出来るだけ規模の小さいプロジェクト、継続性のあるプロジェクト、区切りをつけて進められるプロジェクトを優先して受注し、それぞれの分野の経験知を活かした、経験曲線による価値向上を目指しております。また品質に関しても、ソフトウェア開発及び構造設計業務のプロジェクトでは社内の品質管理部門が第三者的なチェックを継続的に行うようになりました。こうした組織的な対応が現在の当社の価値向上に貢献しております。

ガバナンスの観点からは、2013年大株主がファンドに売却した構造計画研究所株式を全株買い戻し、それを所員に50%から100%の奨励金を付与して購入してもらう、いわゆる従業員持株会制度ESOPを立ち上げました。その成果として、現在では株式はJASDAQ市場に公開しておりますが、所員、経営陣、OBらが合わせて50%以上を所有する形態にいたりました。

当社は、21世紀に日本を代表する知識集約型企業を目指すと、ミッションで述べております。そのミッションを実現するためのビジョンとして、独立性、自律自立分散機動力、および多様性を展開することを組織に共有しております。これらのビジョンは、創業者服部正が掲げてきた組織運用原則でもあります。

まず多様性のビジョンとしては、当社ではジェンダーの区別なく1970年代初めから女性の技術者を採用しております。また、現在の所員の構成では、女性職技術者は28%であり、結婚、出産後の職場復帰率も非常に高く、女性管理職も10%を超えて増加しております。

また1980年代から外国籍の日本の大学院卒業学生を採用してきましたが、2014年からはシンガポールでの外国籍学生のリクルート活動を開始して、日本で日本語を前提としたエンジニアリング業務を提供しております。現在、外国籍所員は39名、全体の6.4%となっております。昨年以来、コロナ禍でなかなか増やせないのが残念です。

多様性確保の為に中途採用においても、近年の業績回復により当社の給与およびFRINGE・ベネフィットも上昇し、大企業からの転職希望者が入社しやすい条件になりました。(参考資料2参照)

現在中途入社の所員は全体の約2割まで増大しております。特に転職組は、新しいチャレンジの場があるプロジェクトの立ち上げと技術普及に興味を持って入社しています。

自律分散の機動的な組織運営は、それぞれの業績部門の判断で目標を設定、部門毎の業績チャレンジ度と達成度で評価されます。個人の異動希望は直接人事部門が調査から判断することが多く、希望の約7割が希望を叶えることが出来ます。

独立性の観点では、業務の運営を出来るだけ経験曲線が効くように進めることで付加価値を高めることが出来ます。どこかの一定の大企業の下請になり安定受注は出来ても、担当者が新しいチャレンジを出来る環境にはありません。其の点、当社ではさまざまな

顧客と対峙しながら、真の価値提供を目指します。

また、知識集約について技術分野にも強い、多くの弁護士・弁理士から支援を受けながら、自らの立ち位置を知財においても確立されつつあります。

最後に、当社のガバナンス体制についても述べさせていただきます。2017年まではいわゆる監査役会設置会社でしたが、2017年9月から監査等委員会設置会社に移行し、2年前の2019年9月からは指名委員会等設置会社となりました。3つの委員会の委員長は全て社外取締役をお願いしており、また2021年9月開催予定の株主総会で承認されますと、社外取締役が過半の構成となります。今回からは取締役候補のスキルマトリックスも作成し、評価項目としても当社らしい独自の視点で、知識集約型企業経営、採用人才評価制度、企業文化の継承と醸成などの評価項目をくわえております。

新規事業の立ち上げ

続きまして、現在の事業の現況とその展開についてお話しします。

当社ではこの8年間にIoTに関する新規事業を立ち上げてきました。それらは、Mail配信のTwilio SendGrid、入退室管理のRemoteLOCK、および点群データ集積サービスのNavVisです。これらの新規ビジネスの売上高は全売上（図1参照）の9%にまで成長しました。

Twilio SendGridは年間50%以上の成長を続け、米国NY市場に上場しております。全世界の代理店としても構造計画研究所の存在は高く評価されており、今後の成長が楽しみです。またいわゆるサブスクリプションモデルとしても新しいビジネスモデルを組織として学習中です。

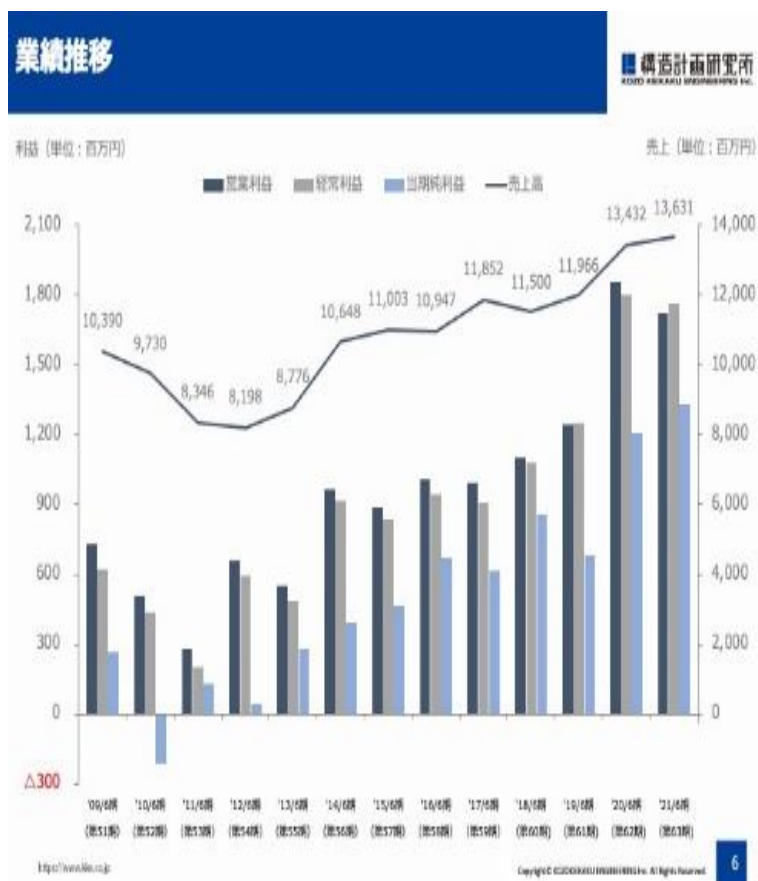


図1 直近13年間の業績の推移

他の2つのビジネスでは、構造計画研究所は米国コロラド州にある RemoteLOCK の開発元 Lock State 社に出資し、独ミュンヘンにある NavVis 社にも出資しております。これらの投資は戦略的パートナーの関係を維持する為です。

RemoteLOCK ビジネスの展開では地方自治体の建物管理に当社独自開発の「まちかぎリモート」と連動して予約から運営まで手がけております。また他の多くのスタートアップ起業とオープンイノベーションで組んで、ハードウェア連携をすすめており、将来が楽しみです。この分野では、Akerun を担ぐ Photosynth 社や BitKey 社などがあり、競合が存在することで市場が顕在化して大変ありがたいと考えます。クラウドサービスで管理しているデバイスは2021年8月末段階で、日本国内で6500個となっております。

NavVis 社も創業から8年を迎え、昨年発売された NavVis VLX が高い評価を得て、日本の自動車産業、建設業へ浸透しております。構造計画研究所でもこの装置を販売するだけでなく、当社の BIM (Building Information Modeling) ビジネス等にも展開が期待されております。東京電力HD株式会社が2021年6月の記者会見で発表された NavVis VLX を活用した福島原発第3号機でのシェル壁点検作業への活用の事例等があります。

こうした新規事業とともに既存事業の拡大も当然目論んでおります。両輪の経営はなかなか難しい面もありますが、これからもきちんとマネジメントしていきます。

その一つの事例が構造設計部門に風力発電の部署を設立したことです。風力発電の構造設計と環境評価を合わせて価値提供して参ります。

また2021年7月に設立したアンリツ株式会社との共同出資会社 AK Radio Design 社も当社のシミュレーション技術とアンリツ様の計測、実測の優位性を組み合わせることを狙ってローカル5G市場を獲得していく心づもりです。

三番目の取り組み例としては、独フランクフォッファー研究所の技術導入を日本で展開し、製造業向けのお客様へ新しい方法による非破壊検査手法を提供しております。

産学連携では、日本国内でも、東京大学生産技術研究所におられた現在特別教授の合原一幸教授との共同研究の成果が気象防災分野で実践されております。日本での異常気象対応で河川氾濫は大きな課題の一つです。それらの課題にプロダクトサービスとコンサルティングの両面から貢献出来る成果をだしつつあります。東京都の高潮対策のコンサルティングもそうした例となりつつあります。

既存ビジネス、新規ビジネスともにスタートアップ起業への投資により戦略的なパートナーシップの関係が築ければと目論んでおります。

最後に

今後の新規展開には、技術を深める人、マーケティングで技術を広める人以外にも、社会との関わり合いに関心をもって、好奇心で新しい技術が当社となんらか繋がらないかという直観を持って、フックをかけられる人才を求めています。

ただし冒頭で申し上げた、3つの原則も両刃でもあります。自律自立が進みすぎると組織の連携がなくなり、独立性ばかりではオープンイノベーションが進みません。多様性もバラバラにもなりかねません。今後とも謙虚な姿勢で所員達が対応出来るように企業風土の伝播にも力をいれていくつもりです。

今回システムイノベーションセンター（S I C）の活動に参加させていただき、システム研究の素晴らしい価値を木村英紀先生（S I C副センター長、東京大学・大阪大学名誉教授）から学ばせていただいております。

今後もS I Cの活動を通じて、我々の業務の価値が高まるように努力を重ねる所存です。

以上、私ども技術コンサルティング業務の活動をご報告申し上げます。

服部正太（はっとり しょうた） プロフィール

- ・ 1956年生まれ、65歳
- ・ 1980年東京大学教養学部教養学科国際関係論卒 指導教官 公文俊平教授
- ・ 専攻 社会システム論 世界システム論
- ・ 社会学大学院進学後、1982年よりフルブライト奨学金でMIT博士課程留学、中退
- ・ 他方、学生時代からスタートアップ組織立ち上げに関心高い
 - 高校時代 陸上ホッケー部創設し、高校3年時に佐賀インターハイ出場
 - 大学時代 自治会委員長、コンパ幹事役等で修業を積む
- ・ MITでは、Political Science 専攻、文書の自然言語処理研究、第2次AIブーム不発に終わる
- ・ 1983年 父服部正急逝後、The Boston Consulting Group に勤務
- ・ 20歳代は研究者ドロップアウト、出来の悪い経営コンサルタント
- ・ 31歳で株式会社構造化計画研究所入社、2002年から19年間社長職
- ・ 現在 同社取締役 代表執行役会長

「人才」について “人財”でも“人材”でもない

①人物 Visionary Leader

会社と共に事業を成功させる決心を持ち、魂で考えて全身全霊で全うする。

②人財 Collaborative Professional

心から、組織の成長は自身の成長と直結している。責任感があり、論法明晰に考えて仕事を遂行できる。

③人手 Worker

ロボットのような動き
(指示されることのみで動く、自主的に考えない)

④人員 Labor Force

給与泥棒的な動き (なるべく仕事をしない)

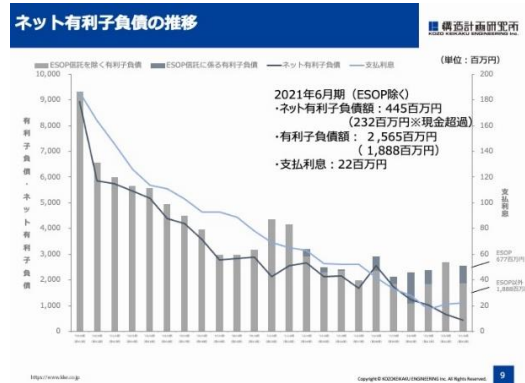
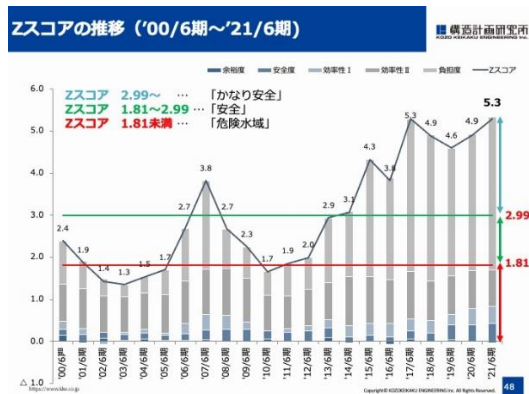
⑤人渣 Slave

文句ばかりで、チームを掻き乱す

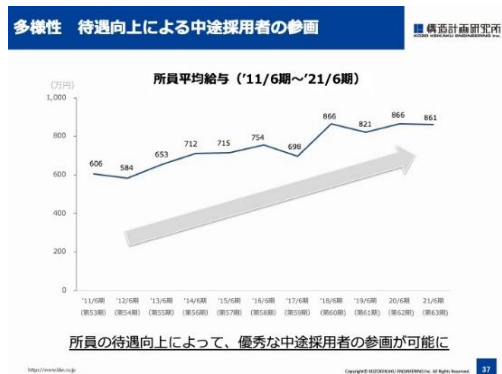
“人財”でも“人材”でもない



参考資料1



参考資料2



(SIC ニュースレターVol. 3. 9、2021年9月9日発行に掲載)

論説7

システム志向の修得

ーシステムイノベーションのケーススタディの試みー

株式会社日立システムズ 執行役員 赤津雅晴（SIC人財育成協議会委員）

1. システム志向

昨年来の新型コロナウイルス感染症をめぐる政府の対応を見ていると、給付金の配布、ワクチンの割り当て、緊急事態宣言の発動など、すべからく局所のかつ場当たりの印象を受ける。もう少し全体を俯瞰して長期的視点で政策を考えるべきだと素人ながらに思ってしまう。こうした政府の対応を議論するのは本稿の趣旨ではない。このような対応に終止している根本原因は、我が国の指導層にシステム志向の人財が欠如していることにあるのではないかという点について、話を掘り下げていきたい。

ここでシステム「志向」という言葉を使った。これはシステム「思考」の誤植ではない。話し言葉ではいずれも「しすてむしこう」であるが、筆者はあえて「志向」という漢字を当てている。試しに、「システム志向」でWeb検索してみると、ほとんどヒットしない。ご丁寧に、「システム思考」の誤りではないかというコメントもついてくる。システム思考については、本ニュースレターの読者ならよくご存知であろうが、一言だけ説明しておく。様々な要素が関連しあっている複雑な状況において、その全体をシステムとして捉えて、全体を俯瞰して要因間の関係や相互作用を理解して、真の課題や解決策を導くアプローチがシステム思考である。確かに、「いまの政治にシステム思考が欠如している」と述べてもおかしくはない。しかし、これは筆者の偏見かもしれないが、「システム思考」というと、問題解決のテクニックという印象を強く感じてしまう。もちろん、システムダイナミクスなどのモデリングや分析技術を習得することは重要である。しかし、現実の複雑な問題に立ち向かうためにはそうしたスキル以上に、対象とするシステムに対しての強い目的意識を持つというマインドセットがより重要であると筆者は考える。すなわち、単なる考え方ではなく、そこに強い意志が必要である。そこで、「志向」という単語を使っている。

そもそもシステムという単語は人によって捉え方は様々であり、システムの専門家集団であるINCOSE（International Council on Systems Engineering）のフェローたちの間でも完全に共通の認識は得られなかった[1]。が、筆者自身は、長らく産業界において、人間がある目的を持って設計する人工物のシステムを対象に研究開発を行ってきたので、人間が価値の創出を目的として作る仕掛けを対象としたい。これは、最近上梓された木村英紀先生の「現代システム科学概論」[2]にも記載されているが、

S I C参加の多くの皆様の共通認識だと考える。ここで大事なポイントは、価値創出という目的を持っているということである。したがって、単に対象となるシステムを客観的に分析すれば事足りるものではない。分析する以前に、そこには、そのシステムに対峙する人の思いといったものが大きな意味を持つ。システムの設計や開発においては、人間性も問われるものであるといえる。システム思考に加えて、そうした要素も含めたものがシステム志向である。

少し横道にそれるが、昨今、D Xの推進に向けてデジタル人財の不足が課題の一つに挙げられている。デジタル人財というと、A Iやセキュリティなどのいわゆるデジタル技術に精通している人というのが多くの人々の理解だと思う。確かに、デジタル技術はD X推進に向けて必要不可欠であることは論を待たない。しかし、「デジタル人財=デジタル技術に精通した人財」という定義には異論を述べたい。D Xの本質は、既存の枠組みにとらわれずに、新たな価値を創造することにある。その価値を実現するための道具としてデジタル技術が必要なだけであり、デジタル技術というのは手段に過ぎない。もっと重要なポイントは、どのような価値を実現しようとするのかというビジョンを描くことである。これはシステムにおける目的志向に通ずる。次に、そのゴールを実現する実体を設計することである。これはアナリシス（分析）とは真逆のシンセシス（総合）という行為である[3]。そのプロセスにおいては、システムの重要な特質である出現（emergence）、すなわち、システムが動作することによって新しい機能が出現すること理解しておくことも重要である[4]。システムには設計段階では予期できなかった出現が必ず存在する。そうしたシステムの特質を理解していれば、“想定外”ということはあるにない。まさにシステム志向こそが D X 実践の本質である。すなわち、「デジタル人財=システム志向を有する人財」というのが筆者の意見である。

2. システム志向の修得

冒頭にも述べたように、システム志向を有する人財は、明らかに不足している。では、そうした人財はどのように育成すればよいのであろうか。モデリングや最適化手法といったシステムを考える上で必要な技術は、いわゆる講義形式の学習によってある程度対応できる。しかし、1章で述べたようなシステムに対峙するときの「心構え」は、やはり机上で勉強するだけでは真には身につかない。システム志向は、純粋なスキルではないので、学習を通じて習得するものではなく、実践を通じて修得するものだと考える。ある具体的な課題を前にしたとき、それを解決する唯一絶対の正解となるシステムは存在しない。どのようなシステムにもメリットとデメリットが共存する。そういう意味で、10人のシステム設計者がいれば10個の違うシステムができあがる。まさに設計者の個性、大きさに言えば、人生観がシステムには反映される。「システム研究は誰がやるかで全く様相が異なるものになる。その意味で、多様な人財の養成、確保が最重要である。」これは筆者の尊敬する先輩が残された言葉で、私がシステム研究のマネージャー

をしていたときに常に意識していたことである。画一的な教育では、実現できない。システムに携わる一人ひとりがそれぞれ実践を重ねて多様な経験を積むことが肝要である。

実践を通じて修得するといっても、それが、既存のシステムの改修、改善では不十分である。既存のシステムには、それを設計した人の思想が入っている。改善にとどまる限りにおいては、その思想を踏襲することになるので、真に自分の考えたシステムにはならない。できれば、白紙のキャンバスを前にしてシステムを描くという経験が望ましい。その点、伊勢神宮の式年遷宮は極めて優れた先人の知恵だと思う。20年に一度、社殿と神宝を新調するという1300年にわたって繰り返されてきたという式年遷宮は、技術者育成という観点でも素晴らしいシステムである。幸い、筆者はこれまでの会社生活の中で、そうしたゼロからシステムを設計するというチャンスを多くいただいた。しかし、残念ながら、身の回りを見渡すと、そういう経験を持っている後輩が極めて少ないのが実状である。日本の社会インフラを支えてきた多くのシステムが、数十年前に作られたあと、スクラップアンドビルドすることなく、改修を繰り返してきた。これは、2025年の崖で指摘されているように、日本のデジタル化の遅れの一因であるが、それと同時に、システム技術者の育成という観点でも大きな課題である。

3. システムイノベーションのケーススタディ

2章で述べたように、システム志向を身につけるには、具体的な社会課題に対して、それを解決するシステムをゼロから描くという経験が一番有効である。しかし、そのような経験の場がなかなか作れない現状において、研修で対応できないかと考えて企画したのが、システムイノベーションのケーススタディである。

一般に、知識の伝達・共有ではなく、実践的な問題解決能力を育て、協調性・探究心といった素質を伸ばすための教育アプローチとしてケーススタディが有効と言われている。ケーススタディは、実際に起った出来事（ケース）を教材としてケースを疑似体験することで、現実の問題解決能力を身につけるもので、ビジネス、医療・看護や教育といった分野での適用がよく知られている。システムの分野も、ケーススタディが広く行われている上記分野と同様に、同じ状況でも人や組織によって対応方法が異なり、一つの解決策で画一的に課題を解決できるものではなく、ケーススタディが有効であると考えた。

S I Cの人材育成協議会の場で提案したところ、主査である木村先生からもご賛同いただき、タスクチームを組成して検討に着手したのが2020年の4月である。一言で、実際にシステムイノベーションを起こした事例を教材にすると言っても、教材となりうるシステムは無数にある。また、ある一つのシステムに着目したとしても、どういう論点でそのシステムを取り上げるかも色々考えられる。例えば、課題解決のためのシステ

ムアーキテクチャを論点にすることもできるし、システムをサステイナブルにするためのビジネスエコシステムをどう構築するかという議論も可能である。そこで、システムを議論するときの論点の全体像を描いてから、それぞれの論点を議論するにふさわしいケースを探すというアプローチを取ることができれば理想ではある。しかし、その全体像に完成形は存在しないので、抽象的な議論を続けるよりも、具体的にケース作成を積み重ねながら、その全体像も固めていくこととした。そのため、当初の企画段階から、本講座はシリーズで実施する計画とした。

タスクメンバで、候補となるシステム事例を挙げて議論した結果、第1回は、東日本旅客鉄道株式会社（以下、JR東日本と略す）の首都圏輸送管理システムATOS (Autonomous Decentralized Transport Operation Control System)を題材として取り上げることに決定した。ATOSは、世界に類を見ない超過密複雑輸送を支えている日本が誇るシステムの一つである[5]ことが、選択の最大の理由である。どのようにその複雑な制御を実現しているかという観点だけでも学びが多い。そして、ATOSは1996年の導入以来、約20年かけて首都圏全域に展開されたが、実運用を続けながらシステムを拡張していったという観点でも議論の価値がある。さらに、今なお現在進行形で新たな課題に対応し続けているという点でも貴重な題材である。

もちろん、企画側の一方的な思いだけでは、ケースを作成することはできない。幸いにも、JR東日本のATOS関係者には本ケーススタディのご協力に快諾いただいた。そして、ケース作成のためにATOS開発の詳細についてヒアリングさせていただくだけでなく、研修当日に、講演や受講生との議論にも参加していただけることになった。ATOSを対象としたケーススタディ講座の企画を本格的に検討開始してから約5ヶ月間、ケース文書(ATOS開発前夜の状況を記した背景編と、実際に課題をどのように解決したかを解説した解決編の2種類)の作成、カリキュラムの設計など、すべてが手探りの中でケーススタディ開発を進めた。

そして、2021年の1月23日に、29名の受講生に参加いただき、第1回を開催することができた。その内容については、SICニューズレターで木村先生が非常に詳しくレポートしていただいている[6]なのでここでは省略する。結論から言えば、ATOSという超高級食材をどう調理するかは料理人の腕の見せ所ではあるが、残念ながら我々料理人のレベルがATOSのレベルには遠く及ばず、多くの反省点を残した。

そこで、次のケース作成を進めつつ、もう一度この素材を調理し直すこととした。基本的には、受講生同士の議論をより活性化させて、受講生にとっての気付きが多くなることを目指した。そのために、事前課題として与える背景編での設問を見直したり、講習を一日半に延ばしたりといった修正を加えた。そして、8月27、28日に、第2回を開催した。受講生同士の議論の活性化に関しては、1回目と比べて大きく改善できた自負する。ただ残念なことは2回とも対面ではなく、オンラインでの実施となったことである。受講生同士の議論の活性化という点では、いまだにオンラインでの実施では限界がある。もちろん、問題点はそれだけではなく、まだ改善の余地は残っている。例え

ば、議論をさらに活性化するためには、受講生に与える前提知識も多くする必要があるが、そうすると事前の予習も含めて受講生の負荷が増して、申込みのハードルが高くなってしまふ。加えて、現在も稼働し続けているシステムが対象なので、より詳細な情報を与えようとする、営業秘密の壁にぶつかってしまう。

このようにまだ課題は残っているが、このケーススタディ自身が唯一絶対の正解のないテーマである。まさに「システム志向」でさらなる改善を重ねていきたい。第3回は、SICニューズレターでも紹介されたマツダ株式会社の SKYACTIV[7]を題材とする計画で、ケーススタディの設計を進めている。今後も改善を重ねながら定期的に講座を開催していく所存なので、多くの方にご参加いただきたい。

4. まとめ

本稿では、システム志向の重要性とその修得を目指したシステムイノベーションのケーススタディの試みについて述べた。筆者の調べた限りにおいて、システムならではのケースメソッドについては、まだ研究の余地が大きいと思う。SICとして、それを研究対象とされる学术界の先生方と、豊富な素材を持っている産業界がタッグを組んで、システムイノベーションのケーススタディを発展させていきたいと思う。筆者も引き続きそのお手伝いをできれば幸いである。

- [1] D. Dori et al.: “System Definition, System Worldviews, and Systemness Characteristics” *IEEE Systems Journal* (2019)
(<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8693820>)
- [2] 木村英紀: 現代システム科学概論、東京大学出版会 (2021)
- [3] 吉川弘之: テクノグローブ、工業調査会 (1993)
- [4] E. Crawley et al.: *System Architecture*, PEARSON (2016)
- [5] 宮島 弘志: “運行管理システムの変革—安全・安定輸送の確保をめざして、” JR 東日本 Technical Review, (No. 5), pp. 12-20 (2003)
- [6] 木村英紀: “「システムイノベーションのケーススタディ講座 (第一回)」開催報告、” SIC ニューズレター、Vol. 3. 2 (21 号), pp. 7-11 (2021)
- [7] 人見光夫: “一番ピン思考による開発革新、” SIC ニューズレター Vol. 2. 9 (16 号), pp. 2-6 (2020)

(SIC ニューズレター Vol. 3. 11、2021 年 11 月 10 日発行に掲載)

Ⅲ 寄稿(SIC非会員)

寄稿1

Future of Energy:テクノロジーがもたらす価格破壊と近づく 限界コストゼロ社会

東京ガス株式会社 ソリューション共創部 北澤英里子 様

アブストラクト

人類は過去二度に渡り、産業革命という既存社会の創造的破壊により、近代工業化社会の礎を築いた。Rifkin[1]の分析によれば、①情報伝達、②エネルギー、③輸送の三つの分野の飛躍的技術革新と、それらの奇跡的融合が、いずれの産業革命でも重要な役割を果たしている。

18世紀後半にイギリスで発祥した第一次産業革命では、三つの分野それぞれで、①蒸気輪転機、②石炭、③蒸気機関車への転換が同時進行することによって、近代社会の第一歩を踏み出した。

19世紀後半からの第二次産業革命では、場所をアメリカに移し、①電話、②石油、③内燃機関によって現代社会へと発展した。

21世紀に入り、①インターネット、②再生可能エネルギー、③自動運転が指数関数的に進化し、次の10年には社会システムが新たな創造的破壊の局面を迎える。

本稿では、再生可能エネルギーの現状と将来について解説し、自動運転にも触れたうえで新たな社会パラダイムについて言及する。

Disclaimer:本稿は筆者の個人的見解に基づくものであり、所属団体の公式見解を必ずしも反映していない。

0. エネルギーとは

エネルギーは物理学的には、光らせる、音を出す、発熱する、モノを動かすという働きをする力を指す。本稿で用いる「エネルギー」は、それらの力をもたらすエネルギー源を意味する。

中世の農耕社会では、人馬が最も経済的で利便性の高いエネルギー源で、「国力＝人口」の時代であった。二度の産業革命を経て、機械化・自動化と石炭・石油へのエネルギー源の転換により、工業化社会が実現した。現代では、「国力＝生産量（GDP）」であり、そこにおいては、エネルギーの本質は労働力の代替・拡張である。本稿ではエネルギーの物理的な性質には触れず、「経済性」と可用性に代表される「利便性」の側面から解説する。

1. 21世紀のエネルギー：再生可能エネルギー

1.1 情報化社会とエネルギー

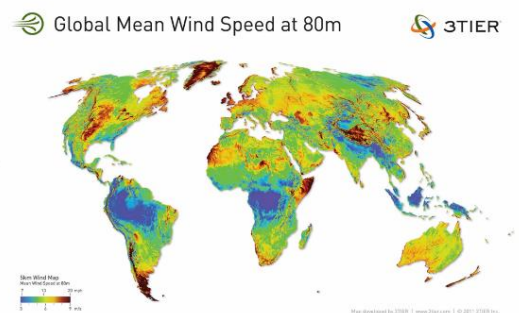
現在はテクノロジーと情報化の時代で、それを支えるエネルギーのバックボーンは電力システムであり、経済性と利便性の観点から、石油・石炭・天然ガスを燃料とする火力発電が主流である。

発電に占める化石燃料の変動費は¥4～10/kWh程度であり、従来は資本費も含めて¥6/kWh程度の石炭火力が最も経済的、というのが世界共通の認識であった。近年では、シェール革命により、米国ではガス火力が石炭火力の価格を下回り、さらに指数関数的な技術革新により、一部の地域では再生可能エネルギーが最も経済的な発電手段となっている。以下、(1)陸上風力、(2)洋上風力、(3)太陽光の現状を俯瞰する。

1.2 再生可能エネルギーの現状と進行する価格破壊

(1) 陸上風力

世界では、北ヨーロッパ、南米の南、アフリカ西岸のモロッコ、東岸のソマリア、中国の内陸などが風況に恵まれている。技術革新により陸上風力は急激なコストダウンが進み、例えば、アメリカでは、1980年には¢57/kWhであった卸売価格が2018年には20分の1の¢3/kWhにまで下落し、現在も価格低減が進んでいる。アメリカよりも更に安い地域がいくつもあり、モロッコでは¢2.8/kWh、ブラジルでは¢2.0/kWh、メキシコでも¢2.0/kWhという卸売価格で取引されており、既存の石炭火力すら代替するだけの経済性がすでに実現している。

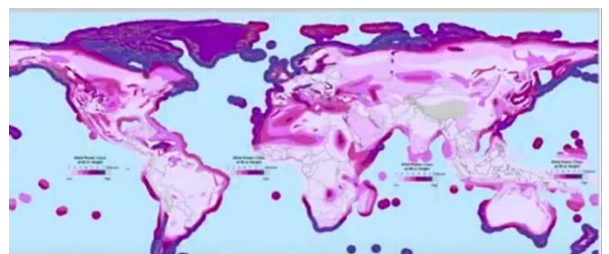


世界の陸上風況

出典：Ramez Naam[2]

(2) 洋上風力

洋上の風は陸上よりも発電に適しており、北極と南極に近い海上は特に風況が良い。洋上風力の価格は10年で4分の1まで下落しているものの、石炭火力の変動費を下回る低コストを実現できているサイトはまだない。しかしながら、2016年には既に2025年の業界到達目標価格¥11/kWhをクリアする洋上風力が出始めており、各国がこぞって開発に血道をあげている。



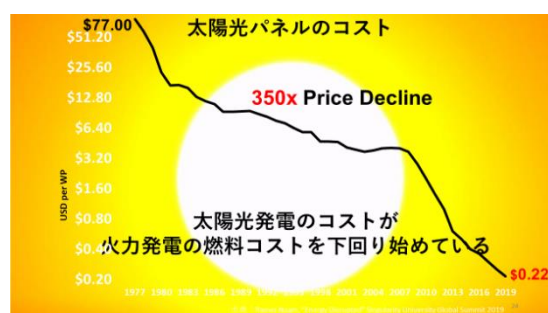
世界の洋上風況

出典：Ramez Naam[2]

現時点のコストが高くて各国が洋上風力に取り組む理由は、潜在的な魅力にある。洋上では一定方向に強く連続した風が吹くため、陸上に比べて出力が安定しており、グリッドへの負荷も小さく、稼働率は最大65%にも達する。また、風は夜に強い傾向があり、太陽光と補完関係にある。さらに、一つのサイトに広い面積が確保できるので、多くのタービンを設置できるうえに、騒音や振動の問題がないことから、大型化による出力アップも可能である。このようなことから、将来のコストダウンの余地が非常に大きく、太陽光に恵まれていない地域では再エネの本命と言われている。

(3) 太陽光

太陽光発電のコストの大部分を占めていたパネルの価格は、1977年には1Wp(約10cm×10cm)あたり\$77もしたが、2019年には¢22と、42年間で350分の1にまで下落し、現在も指数関数的に下落し続けている。その結果、世界各地で太陽光発電のコストは、火力発電の燃料費すら大きく下回り始めている。具体的なサイトの例を挙げると、チリ：¢2.15/kWh、メキシコ：¢2.0/kWh、ブラジル：¢1.75/kWh、またポルトガルでは¢1.48/kWh という価格破壊が実現している。



太陽光パネルのコスト

出典：Ramez Naam[2]

1.3 再エネの課題(可用性)とそれを補完するバッテリー

これまで見てきたように、自然に恵まれた地域では既に再エネは経済性で火力発電を上回っているが、課題もある。第一に、広大な設置面積が必要で人口密度の高い地域には向かない。また、現在の交流送配電システムにおいては、ネットワークに慣性力が必要なため、再エネの導入には上限がある。最大の課題は可用性で、太陽光・風力は発電量が天候に左右され出力の制御が難しく、大量に導入されると停電を引き起こす恐れがある。それを補完するのがバッテリーである。

再エネと同様、バッテリーの技術も指数関数的に進化を続けている。例えば、リチウムイオン電池は10年前には\$1160/kWhもしたが、2018年にはその6分の1以下になり、現在もさらに下落が続いている。ただし、リチウムイオン電池はモバイル向けが主な用途のため、エネルギーシステムにはオーバースペックで、まだ価格が高い。2018年の価格でも一回の充放電のバッテリーコストは¥6/kWh以上であるため、現状の電力ネットワークでは、コストが問題とならない周波数調整などのアンシラリーサービスにしか使われていない。

しかし、バッテリー技術の進化は半導体におけるムーアの法則と同様の経験則(収穫加速の法則)が成り立ち、それを織り込んで今後の価格を予測すると、2030年

までにさらに3分の1から5分の1に下落する。このレベルにまで来ると、一回の充放電コストは¥1/kWhで、再エネの発電コストを加えても¥3/kWhを下回る。これは既存の火力発電所を廃炉にして、新たに再エネ+バッテリーのシステムを構築する方が経済的であることを意味する。詳しくは2章で解説する。

1.4 日本に向けた選択肢の再エネとゼロエミ社会に

(1) 日本の再エネ

日本では、残念ながら、この再エネとバッテリーの技術の進化の恩恵にはあまり預かれない。現時点の日本の再エネのFIT買取価格は、陸上風力が¥18/kWh、洋上風力が¥36/kWh、太陽光が約¥13/kWhで、いずれも火力発電の燃料費を大きく上回り、経済性に乏しい。その理由を太陽光発電を例に説明する。

＜太陽光システムの原価構成＞

(千円/kWh)

造成	架台	パネル	PCS	BOS	設置工事	その他	総額
5.3	32	114	28	27	86	3	295.3
2%	11%	39%	9%	9%	29%	1%	

出典：太陽光発電競争力強化研究会 報告書 平成28年10月（造成費以外）
調達価格等算定委員会 平成29年度以降の調達価格等に関する意見(案)（造成費）

上表は2016年時点での原価構成の公表値である。パネル本体の価格には、収穫加速の法則が成り立ち、今後もコストダウンが進むことが予想されるが、設備工事や架台といった周辺要素が占める割合が既に6割を超えているため、システム全体のコストダウンは進みにくい。加えて、日本は日射に恵まれず、赤道の南北に位置する日射量の多い地域と比較すると半分程度の発電量しか収穫できないため、kWhあたりの発電単価は2倍になる。

陸上風力や洋上風力にも、システム価格のコストダウンが進まないことと風況に恵まれないことで、海外ほどの経済性は出ない。地熱やその他の再エネにも課題が多く、人口密度の高い日本では再エネを将来のエネルギーシステムの主軸に据えることは難しい。

(2) ゼロエミ社会実現に向けた日本の選択肢

菅政権が世界に公約しているカーボンニュートラルを実現するためには、再エネ以外に日本が取り得る手段としては、原子力、化石燃料+CCS（CO₂ Capture & Storage）などが候補として挙げられている。

原子力については、現在の既設の発電所で賄える発電量は、日本の総電力消費の20%以下なので、原子力を主力とするためには新規の発電所を建設する必要がある。イギリスで現在建設中のヒンクリーポイントCサイト(160万kW×2基)の政府買取保証価格は¥14.6/kWhであり、日本では震災対策等の費用が上乗せされるため、経済性の面で競争力がない。原子力に対する国民感情を度外視したとしても、原発に頼るという選択肢は現実的ではない。

化石燃料+CCSという選択肢については、捕捉したCO₂の貯蔵が大きな課題となる。CCSが成り立つ地域とは、CO₂を埋め戻すことができる既存のガス田や油田を保有する地域で、それらを利用して貯蔵のコストを抑えることができるが、化石燃料資源に恵まれない日本で貯蔵地を探すのは、かなりの難題である。代替案として、CO₂を液化して貯蔵コストが安い海外に輸送し埋設するという方法も論理的には可能であるものの、安全性と経済性の面が未解決である。

唯一、経済的にも成り立つ日本の選択肢は海外の安価なCO₂フリーの電力を水素又は水素化合物に変換して輸入することである。その手段については、水素の液化、メチルシクロヘキサンの利用、空中のCO₂と水素を反応させるメタン合成、そして窒素と水素を反応させるアンモニア合成といった四つの方法が実用化に向けて実証段階にある。このうち、私見ではアンモニア合成が本命と考えている。

2. 再エネとバッテリーが変える21世紀の社会

2.1 再エネ+バッテリー (Solar Wind & Battery : 以下SWB) による創造的破壊

1章で見てきたように、既存の火力発電所を廃炉にしてSWBを新たに構築する方が合理的な地域が出現している。実際に既存のビジネスがディスラプトされた例を紹介する。

(1) 石炭火力・石炭産業

2018年にインディアナ州の電力会社(Northern Indiana Public Service Co.)が石炭火力からSWBへの転換計画を公表した。石炭火力はこの電力会社の65%の発電量を占めていたが、10年以内にすべてを廃炉にしてSWBに転換することにより、5%の料金値下げを公約した。SWBが石炭火力よりもすでに経済的であるという事実が全米を驚かせ、多くの州がこれに追随している。

石炭は魅力を失い、2008年に741.46の最高値を記録したダウジョーンズの石炭インデックスは2021年2月現在7.5前後で推移しており、最高値から99%も下落した。石炭産業は既に終わっている。

(2) ガス火力

2017年にTESLAが南オーストラリア州のホーンズデールに100MWのバッテリーを新設し、同州の周波数制御市場に参入した。同市場に参加していた発電所の総容量は5000MWで、TESLAの規模は市場の2%に過ぎないが、運転コストが安いため、同市

場の総取引量の55%を奪い取った。平均の市場価格も90%下落し、価格競争力のない老朽ガス火力の多くが廃炉となった。

(3) 発電機メーカー

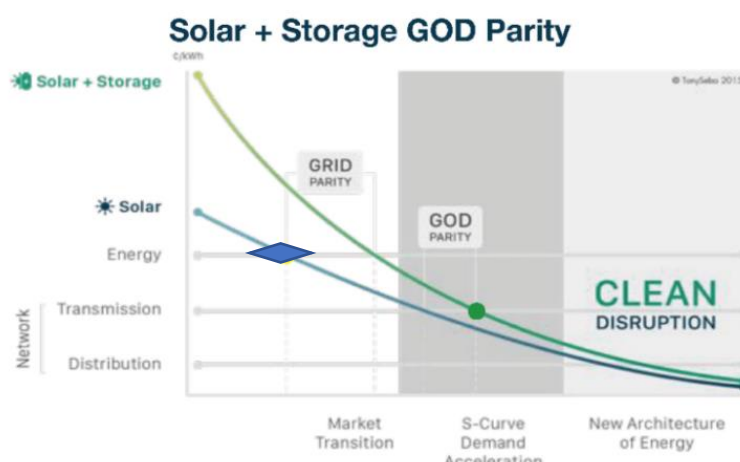
110年の長きにわたって、D J I A 30種に採用され続けてきたGEも再エネの影響を受けている。2010年代にOECD諸国の政府は一斉に再エネに補助金をつけだした。その煽りを受けて、GEの原子力と火力の発電システムの販売が大打撃を受け、2017年に株価が急落した。いずれは再エネへの補助金が無くなり、導入量が頭打ちになると判断したGEは、再エネビジネスへの進出が遅れた。

しかし、指数関数的な技術革新により、再エネは補助金なしでも既にその時点で火力・原子力に対して十分競争力を有しており、GEの予想に反して導入に一層の加速がつき、同社の発電システムの受注はさらに激減して、株価も74%下落し、D J I A 30種からも除外された。

1970年代にデジカメを発明したコダックは、同社の主力製品である銀塩フィルムにこだわり、デジタル技術の指数関数的な革新を読み誤ったために、2012年に経営破綻した。SWBも指数関数的に技術が進化しており、これからも多くの産業をディスラプトするだろう。

(4) GOD (Generation On Demand) Parity

電力会社の販売価格は送配電コストに発電コストを加えたもので、それと太陽光発電のコストがオープンになるところをGRIDパリティ(ひし形の点)という。ソーラーがこの価格を下回ると、パネル



出典：Tony Seba[3]

を屋根につけることで、電力会社から買うよりも電気を安く調達できる。実際には太陽光だけでは夜や雨の日は使えないので、GRIDパリティが実現しても電力会社から電気を買い続ける必要がある。

しかし、ソーラーとバッテリーを設置すれば、いつでも使えるようになる。この価格が送配電コストと対等になるところを Generation on Demand 略してGODパリティという(黒丸の点)。この価格をソーラー+バッテリーが下回ると、電力会社から電気を買う経済合理性がなくなり、送配電網がディスラプトされる。

送配電網のコストは場所によって異なるが、かなり高い地域も多く、日射に恵まれている地域では、送配電網がディスラプトされるのも時間の問題となる。

(5) 変わる世界の産業地図

これまで日本の素材産業は技術力を背景に輸出産業であったが、これからは技術に加えて人件費とエネルギーコストの勝負となる。現在は例えば中国や韓国のエネルギーが安く、粗鋼は中国、半導体は韓国に後れをとっている。

今後は、日本や韓国といった再エネに恵まれない東アジアから東南アジアの地域では、電力料金が高止まりし、素材産業の競争力は徐々に失われていくと予想される。代わって台頭するのは豪州、南アフリカ、チリ、中東などの再エネ先進国で、既にそういう変化は始まっている。

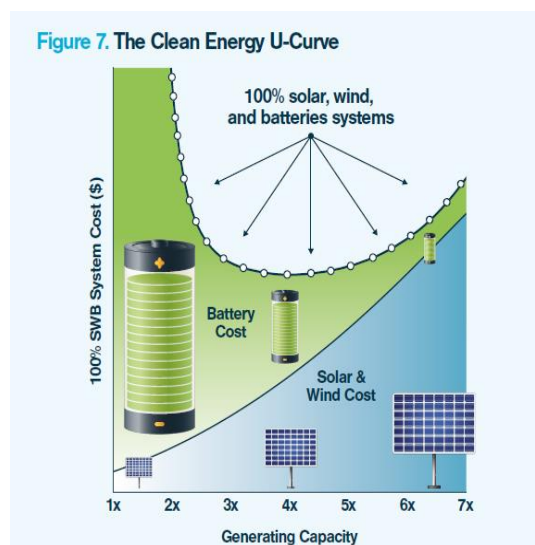
具体的には、アイスランドは、ボーキサイトを輸入して安い地熱電力でアルミを精錬している。イスラエルは、太陽光発電で海水を淡水化し水大国となっている。また、アフリカでも、太陽光発電を利用して空気中の水蒸気から水を製造する技術も実用段階に入っている。素材産業の世界地図は変わりつつある。

(6) SWBによる電力システム再構築

既存の発電所を廃炉にし、SWBで新たな電力システムを構築する未来の社会について言及したが、そのフィージビリティについて検討を加える。

Dorr[4]は、SWBだけで全ての電力を賄い、他の電力ネットワークからの調達や需要抑制などは行わないということと、技術革新については収穫加速の法則が継続するという前提の下で、新たなシステムの構築コストを試算している。

右の図の横軸は、既存の発電所の総容量に対する新設すべき再エネ (Solar & Wind: 以下SW) の比率を表す。例えば、”4x”は既存の発電所総容量の4倍を意味する。縦軸は、SWを補完するのに必要なバッテリー (以下B) も含めた総コストを表す。SWの規模が小さい時には大量のBを必要とするが、SWが大きくなるにつれて、Bの容量が減り、総コストはSWの大きさに対して下に凸の曲線 (以下Uカーブ) を描く。このUカーブの最小点を見つけることが、筆者の専門であるオペレーションズ・リサーチ(OR)のテーマの一つである。



出典：Adam Dorr & Tony Seba[4]

Dorr[4]は、カリフォルニア、テキサス、ニューイングランドの三つの独立系統運用機関(ISO)についてSWBの最適点を試算した。その結果、SWの規模は既存の発電容量の3.5～5倍でBの容量は35～90時間であった。この試算値を全米50州に適用した結果、アメリカ全土をSWBで賄うために必要な投資は200兆円、1年間に20兆円の投資を継続すると10年で完成する。これはアメリカの年間GDPの

1%に過ぎないので、意外と現実的な数字である。

しかも、SWBシステムは冗長性の塊なので、実際に発電される電力は、全米の電力消費量の約2倍となる。加えて注目すべきは、Uカーブは最小点近傍で非常に勾配が緩やかなため、僅か20%の追加投資でさらに総消費量の100~200%の電力を発電できる。このことは、非常に安いマージナル投資で大量のエネルギーを得られることを意味しており、一度はアジア諸国に奪われた素材産業すら、復活の可能性を秘めている。

Seba[5]は日射の強いインドで同じ試算をし、必要なSW容量が既存の発電所総量の4.8倍で、Bの容量は21時間分、投資規模は37兆円、その時の余剰電力量が365TWhで年間消費量の約36%と報告している。さらに20%(7兆円)の追加投資によって余剰電力は852TWhに増加、ほぼ日本の年間電力消費量に相当し、この時の発電コストは僅か¥1.0/kWhである。

2.2 CASE からTaaS (Transportation as a Service) へ

CASE (Connected, Autonomous, Shared, Electrified) は次世代の輸送の四つのトレンドを一つの言葉にまとめたものである。自動車産業の枠を超えて、輸送サービスやエネルギー、ITも巻き込んで、100年に一度の大変革をもたらし、TaaSという巨大市場に成長することが期待され、自動車メーカーのみならず、異業種からも多くの企業が参入の機会を狙っている。まずCASEについておさらいをする。

(1) Connected

車は今や車輪の上に乗ったコンピュータとソフトウェア、そして多数のセンサーの集合体で、常時ネットワークに繋がっていて、ソフトはサーバーからインターネットでダウンロードされる。

(2) Autonomous

自動運転はAIをはじめとする情報技術の集積であり、現在はそれらを効率的に機能させる、いわば新たなOS開発の段階にある。PCではMacとWindows、スマホではiOSとAndroidなどOSを制するものが勝者総取りを実現しているが、一方でOSはせいぜい二つしか併存できない。自動運転に関しても例外ではなく、覇権をめぐる開発競争に、様々な分野の有力企業がしのぎを削っている。

主なプレーヤーは、GM(Cruise)、BMWやTOYOTA(PONY-AI)に代表される自動車メーカー、TESLAなどのEVメーカー、AMAZON(Zoox)、Nuroといった物流企業、Google(Waymo)、Appleなどの巨大IT、それに、Uber(2020年に撤退)、Lyftといったライドシェアサービスなどである。

現在、リードしているのはGoogleで、それを追うのがTESLAやGMである。自動運転を実現するAIは、サーバーにオンラインでつながった車の事故情報を世界中から

吸い上げ、毎日学習して進化する。TESLAは「2018年時点で同社の自動運転が、人間の運転よりも既に6.4倍安全であった」という実績を公表している。自動運転が普及する近い将来は、交通事故がほぼ無くなる。

(3) Shared

Sharedの代表はUberやLyftで、その実体はオンデマンドの白タクだが、従来のタクシーよりも遥かにレベルの高いサービスを実現している。具体的には、車を呼ぶと最短時間で最寄りの場所にピックアップに来る。しかも安価で、多くの利用者を運転という付加価値を生まない単純労働から解放した。

ライドシェアは2016年に多くの大都市でタクシーの航行を上回り、2017年にはサンフランシスコで、Uber+Lyftが全乗用車の総航行マイルの20%を占めるまでに至っている。米国における2012年のタクシーの総利用回数は14億回で、2018年には半減したものの、ライドシェアと合わせると48億回に増加しており、新たなライドの需要を創出している。

(4) Electrified

数年前まで電気自動車(EV)は趣味の車という位置付けであったが、今は実用化が進んでいる。現状のEVの性能を、複数の観点からガソリン車(ICE: Internal Combustion Engine)と比較する。

EVの電気代はICEのガソリン代の10分の1、可動部品の点数はEVが20点以下でメンテナンスフリーなのに対して、ICEは2000点近くもあり定期的なメンテナンスが必要。生涯走行可能距離はEVが50万マイルもあるのに対して、ICEは15万マイル。自家用車の年間走行距離は1万マイル程度なので、この距離の違いはほとんど無意味だが、商用車は年間に10万マイル走るため、ICEは1年半に一度の買い替えが必要だが、EVは5年に一度で済むので、この違いは大きい。

発売当初にはEVの新車価格はICEの2倍以上であったが、現在ではほぼ同額で、2030年には半額以下となると予想されている。唯一、一回の充電での航続距離は、EVはICEに及ばない。しかし、これも次節で解説するTaaSが実現すれば、大きな問題とはならないため、EVは経済性と利便性の面から2030年までにはICEを駆逐する。

ちなみに、EVにはバッテリー駆動のBEVと水素駆動のFCVがあるが、車体価格、燃費、充填インフラ、加速応答性など、ほとんどすべての面でBEVが優位なため、世界はBEVにシフトしている。

(5) T a a S

CASEが実現して花開くTaaSの最も有望なアプリケーションは自動運転EVタクシーで、その市場は世界で200兆円と予測されている。Googleは2018年12月にアリゾナ州フェニックスで商用サービスを開始しており、他社も追随している。

魅力は安価なこと。アメリカのタクシーのコストは\$3.5/マイル、Uberなどのライ

ドシェアは\$1.5/マイルに対して、自動運転タクシーは\$0.35/マイルである。これはICEを維持するコストよりも安いので、ICEの自家用車を保有する合理的な理由がなくなる。

TESLAは\$0.18/マイルで自動運転タクシーを提供すると公言しており、この価格は東京23区内のタクシーの30分の1で、東京の近郊電車の運賃よりも安い。ドアtoドアのサービスが前提の自動運転タクシーが実現すれば、鉄道を使う機会も激減する。

2.3 T a a Sがもたらす破壊

自動運転タクシーが実現すると、自家用車はディスラプトされ、アメリカを例にとると、年間で1兆ドルの家計支出が減る。加えて、運転時間を他の生産的な仕事に充てることで、さらに1兆ドルの付加価値が生まれ、これらを併せるとアメリカのGDPの10%に相当する。

また、駐車専用スペース（アメリカでは都市部の18%）が不要となり、都市は緑地公園、遊歩道、共用スペース、新ビジネスの拠点、住宅などの新たな用途に再設計される。

さらに、都心部と郊外の不動産価格にも変化が起きる。今は都心部へのアクセス時間が不動産価格を決める最大要因だが、T a a Sは移動を快適にするため、都心からの距離は不動産価格の決定要因にならなくなる。その結果、郊外の地価が上昇し、都心の地価が下落する。アメリカを例にとった試算では、郊外の地価合計が100兆円上昇し、逆に都心の地価の合計が100兆円下落する。エレベータの発明によって昇降の不便さが解消し、高層階の価格が低層階より高くなったのと同様に、環境のよい郊外の方が、ごみごみした都心よりも地価が高い時代がくるかもしれない。

環境面をみると、80%の省エネルギー、90%のCO2削減が実現するとともに、大気も浄化され、WHOの推計では世界で年間600万人とも言われる大気汚染による死亡者が救済される。

自動運転は事故を起こさないので交通事故も激減し、世界の年間死者120万人、負傷者2000~4000万人がほぼゼロになる。

これまでは、T a a Sのポジティブな効果について紹介したが、ネガティブな側面もある。交通事故関連の産業は想像以上に多く、GDPの3%に相当するが、それが消滅する。全労働人口の1%を占めるドライバーは全員失業する。自動車の保有が減り、車の販売台数は7割減少することで、GDPは2%減り、日本にとっては大打撃となる。

各国の政府は、今すぐにでも、T a a Sがもたらす負の経済影響に対する政策を講ずる必要があるが、これに気付いている指導者はいない。

T a a Sが破壊するもう一つの代表例が石油産業である。現在世界で一日に1億バ

レルが消費されているが、輸送用（60%）、石油化学製品の原材料（13%）、電力・空調用燃料（14%）などが主な用途である。T a a Sの実現により乗用車・小型トラックの燃料需要（36%）が無くなり、再エネにより電力・空調用需要（14%）が無くなるので、ほぼ確実に半分の需要が消える。さらに、潤滑油（5%）と大型トラックの燃料（8%）も需要が無くなる可能性があり、合計で三分の二の需要が消失する可能性すらある。長年に渡ってサウジの石油相を務めたヤマニ氏の予言：“The stone age didn’t end for lack of stone, and the oil age will end long before the world runs out of oil.” が正に現実となる。

3. 限界コストゼロ社会の到来とパラダイムシフト：GDPからQOL (Quality of Life)へ

2020年からの10年にエネルギー（再エネ）と輸送（自動運転）に飛躍的な技術革新が起きることを見てきたが、加えてAIをはじめとする情報通信技術のさらなる発展が融合し、これまで人類がSFの世界だと考えていた新たな未来の到来が現実味を帯びてきた。その一つは、レイ・カーツワイルが主唱するシンギュラリティの実現であるが、それが起きるかどうかは別として、2020年代における情報伝達（IoT）、エネルギー（SWB）と輸送（T a a S）の共通点は、限界コストがほぼゼロに収斂することである。この三つの分野に限らず、教育、音楽・映像の分野では、既にコストがゼロに近づいており、今後は食料、医療の分野もこれに続いていく。

コストがゼロに近づくことは、人類にとって福音であるが、資本主義にとっては脅威となる。自由競争下における資本主義では、売上げから得られる利益で投下資本を回収するが、限界コストがゼロに近づくると短期価格もゼロに近づき、利益で投下資本を回収できなくなる。資本主義社会と限界コストゼロ社会は相容れないパラダイムの可能性がある。

具体的な例として、アメリカのPJMの卸電力市場での出来事を紹介する。PJMとは(Pennsylvania-New Jersey-Maryland)の略で、三つの州を中心とする地域の送配電を管轄しているISOである。アメリカの卸電力市場のしくみは、シングルプライスオークションで、発電事業者は限界コストでの入札が義務付けられている。

PJMに卸電力市場が導入された当初、競争原理が機能し、卸価格は順調に下落、多くの老朽火力は市場から淘汰された一方で、新規の発電所に対する投資意欲は減退した。そのため、短期的に需給が逼迫し、卸価格は再び高騰したが、それでも発電所への投資は生まれなかった。新設の発電所が増えれば、市場価格が再び下落して、発電所の投資コストを回収できないということを投資家が知っていたからだ。その結果、電源が不足する事態をまねき、絶えず停電の危機に直面するようになった。

卸電力市場の設計に失敗し、停電の危機を招きながらも、対応策として容量市場という新たな市場を創設し、投資を促がしたが、未だに問題は解決していない。市場に

任せればすべてうまくいくという市場原理主義に基づいた資本主義の限界が見える。

これは、遠いアメリカだけの話ではなく、日本でも九州電力管内では、太陽光発電の出力が高くなりすぎると、卸価格は0.01円で清算されており、いつPJMの二の舞となってもおかしくない。

もう少し身近な例に日本の携帯電話サービスがある。これまではDOCOMO、AU、SOFTBANKの寡占による暗黙の協定で、価格は高止まりしてきたが、現在は楽天の新規参入や政府主導の値下げにより、価格破壊が起きようとしている。将来、顧客争奪戦が起こると、携帯電話サービスの限界コストはほぼゼロなので、値下げのスパイラルに歯止めがかからず、利益が大幅に減少するリスクがある。そうなると、次世代の設備投資が不可能となり5G、6Gへの投資に支障が出るかもしれない

このように、限界コストがゼロになると資本が投下されなくなるものの、水、電力、通信、食料、交通、教育などの必要財には初期投資が不可欠である。必要財の初期投資を継続する策の一つとしてコモンス化という概念がある。企業所有ではなく、国家所有でもない運営のありようで、日本で古くから「いりあい」というしくみで実現してきた考え方と同様だ。詳細はRifkin[1]

これまで私たちは生きるために必要な財・サービスを獲得するため、効率的な生産を目指して仕事をしてきた。第一次産業革命では、水力・石炭蒸気による軽工業の機械化、第二次では石油による重工業の機械化と電化、さらに、情報技術と自動化によって、飛躍的に生産効率を向上させてきた。しかし、今後、AIとロボットが、現在の私たちの仕事のほとんどを、限界コストゼロで肩代わりしてくれる時代が来れば、生産の効率性は大きな問題ではなく、GDPは人類の目標とはなりえない。

古代ギリシャでは、奴隷制の発達により、市民の多くは肉体労働から解放され、時間に余裕ができたことから、民主政治と学問、芸術が発展した。

近い将来には、テクノロジーの力で人類は労働から解放され、多くの仕事は人間を必要としなくなる。人々の価値観が急変し、従来の教育はほぼ無意味となる中で、テクノロジーの進化は、我々人類に人間としての本来の生き方(Quality of Life:QOL)を再定義することを迫るだろう。それに成功することこそが国家、社会、個人の目標となる。

参考文献

[1] Jeremy Rifkin, Can a Green New Deal Save Life on Earth?,
<https://www.youtube.com/watch?v=11LJBsTugWo> (参照 2021-1-30)

[2] Ramez Naam, “Energy Disrupted” Singularity University Global Summit 2019

[3] Tony Seba, Rethinking The Future - Clean Disruption and the Collapse of the Oil, Coal and ICEV Industries, <https://www.youtube.com/watch?v=yYFbnrBrbhs> (参照 2021-1-20)

[4] Adam Dorr & Tony Seba, Rethinking Energy 2020-2030, A Rethink X Sector Disruption Report, October 2020

[5] Tony Seba, Rethinking Energy - 100% Solar, Wind, and Batteries is Just the Beginning, https://www.youtube.com/watch?v=TStotTZseiw&trk=organization-update-content_share-embed-video_share-article_title (参照 2021-2-08)

著者プロフィール

北澤 英理子 (きたざわ えりこ) 東京ガス株式会社 ソリューション共創部

1985年東京大学工学部卒業、東京ガス株式会社入社。

専門はOR、データサイエンスとファイナンスで、東京ガスにおいて、エネルギー需給分析、電力トレーディング、天候デリバティブ取引、市場リスク管理などの実務に適用。

最近の関心事はテクノロジーの指数関数的な進展がもたらす、エネルギー、輸送、医療、教育などの未来社会。博士 (Ph. D.)

(SIC ニュースレターVol. 3. 3、2021年3月2日発行に掲載)

寄稿2

変貌する科学技術と社会を歴史的視点から捉える

新潟大学 人文社会科学系 教授 佐藤 靖 様

1. 近年の科学技術の変貌

最近10年間を振り返ると、科学技術には多くの変化があり、世界や日本も変わった。その複雑な変化の全体を捉えるのは容易でないが、俯瞰的にみたときに何がいえるだろうか。最も大きな潮流は、やはりデータの利活用を最大限追求しようとする動きが社会全体に浸透したことだろう。2012年に米国オバマ政権がビッグデータ戦略を打ち出した頃から、ビジネスや国家の未来がデータにかかっているという認識が一気に世界に広がった。人工知能（AI）分野でも機械学習、特に深層学習（ディープラーニング）の実用性が高まり、広範なIoT関連技術の進展と併せて、第4次産業革命が起きつつあるといわれるようになった。さらに2010年代末にかけて、デジタル化によって業務のプロセスやモデルを変革するデジタルトランスフォーメーション（DX）が社会全体で叫ばれるようになる。こうして、あらゆる経済社会活動においてデータの重要性が高まってきた。

もう一つ、科学技術と社会のマクロな変化を挙げるならば、持続可能性の達成に向けた動きの加速だろう。2010年代初頭、気候変動への対処の見通しはまだかなり不透明だった。一部先進国だけが温室効果ガス排出の削減義務を負う京都議定書の実効性は乏しかったからである。しかし、2015年に国連総会で持続可能な開発目標（SDGs）が採択され、さらに気候変動対策の新たな枠組みとしてパリ協定が合意されると、世界が持続可能性の実現に本腰を入れ始める。これらの枠組みは、各国に負担を配分するのではなく、各国が技術開発を重視しつつボトムアップで目標達成を目指すアプローチをとっていた。実際、現在各国では民間セクターも積極的に関与しつつ、気候変動対策が急速に展開している。

このような近年の科学技術と社会の趨勢は、政府や企業では所与の前提として扱われているが、その背景はどう理解すれば良いのだろうか。本稿では以下、データの重要性の高まりと、持続可能性への動きの加速のそれぞれについて、より幅広いタイムスパンで捉えてみることで、現在の科学技術の構造的な特質を考えてみたい。

2. データの重要性の高まり

現在のデータ重視の流れを直接的に作り出したのは、1990年代以降のインターネットの普及によるデジタルデータの爆発的増加と、2010年代のAIの進化に支えら

れたデータ解析の有用性増大といった技術上の要因である。だが歴史的にみると、その背景にはより長期的で複雑な社会経済的状況を認めることができる。

そもそもデータ重視という考え方は、基本的にプロセス志向ではなく結果志向の性格をもつ。さまざまな事象ないし現象の間の相関関係や因果関係を高い確度で確認することで有用な知見を生み出す。しかしそうした相関関係や因果関係が生じているメカニズムが正確にはどうなっているのかという問いには踏み込まない。有用な知見が導き出されればそれで良いのであって、その背後にある理屈は二次的な重要性しかもたないのである。このような意味でのデータ重視の考え方というのは、いつ頃から社会に広がってきたのだろうか。様々な見方があるだろうが、ここでは1970年代以降に各種のリスクへの対応が高度化するなかでデータの役割が拡大してきた過程に注目する。

1960年代の環境運動や反戦運動の高まりを経て、1970年代には科学技術の負の側面への対処が重要な社会的課題となった。米国では原子力、宇宙開発などの分野の軍産複合体による巨大システム開発に批判的な視線が向けられ始め、それらを支えていたエリート科学者の権威が相対化されるとともに、原子力発電所や有害な化学物質のリスクなどに合理的に対応することが求められるようになった。その際には、リスクを定量的に評価し、費用対効果などを勘案しながら対応方策を決める必要がある。例えば化学物質については、動物実験のデータを基に、さまざまな仮定・推定を交えて外挿を行い、リスクを評価する。その過程では化学物質が人体への毒性を発現するに至る機序も考慮はされるが、最終的には動物実験のデータがものをいう。つまり、リスクへの対応においては実体的な専門的知見よりもむしろデータに基づく統計的知見が重視されがちなのである。

原子力発電所のリスクへの対応でも、データに基づく定量的評価の占める位置が増してきた。日本では原子力発電所の過酷事故についてゼロ・リスクが長らく追求されたが、米国では確率論的リスク評価（PRA）の手法が1980年代以降用いられるようになった。PRAでは、巨大システムで生じ得る故障シナリオを網羅的・体系的に洗い出し、部品の試験データなどを基に各故障シナリオの発生確率を推定し、それらを組み合わせでシステム全体の故障確率を算出する。PRAでも多くの仮定や推定が入り込むため、リスクの評価結果の不確実性は大きい、さまざまな故障シナリオの相対的重要度が明らかになるという利点が多い。つまり、データに基づく分析により、費用対効果の高い安全対策を講じることが可能になるのである。

1990年代に入ると、リスクへの対応だけでなく、医療、教育、そして広く公共政策の意思決定において実証的データが重視されるようになる。カナダの医学者ゴードン・ガイアットは1991年、エビデンスに基づく医療（EBM）の概念を提唱した。これは、医師が診療を行う際に、学術的な知見や自身の経験などを基礎とした推論に拠るのではなく、最善のエビデンス、すなわち臨床試験データの分析結果に基づいて意思決定を行うべきであるという考え方である。教育分野でも、教育効果などに関する実証的なデータを重視するエビデンスに基づく教育（EBE）が注目されるようになり、さ

らに2000年代には公共政策全般についてエビデンスに基づく政策立案（EBPM）が台頭し始めた。これらはすべて、専門家の権威や経験よりも、現実うまく機能するものは何かを示すデータを重視していこうという考え方に基づくものである。意思決定において重要なのはその背後の理論ではなく、現実のデータであるという、結果重視の姿勢がそこにある。

最近では特に、欧米や日本でEBPMが全政府的に推進されている。これは、各国の財政悪化の進行と関係がある。財政再建が優先度の高い国家的課題になってくると、政策の費用対効果の追求や説明責任の担保が強く要請される。そうしたニーズを満たす手段としてEBPMは大変有力であり、関連の制度の整備が加速しているのである。米国では2019年にEBPM基盤法が成立し、日本でも2018年に各府省にEBPM推進の責任者が置かれて具体的な取り組みが進んでいる。このように公的部門でも、効果的・効率的な意思決定への要請があるなか、データ基盤の構築と公開、そしてその利活用を重視する流れが強まっている。

3. 持続可能性への戦略の具体化

最近10年間、世界では持続可能性の実現に向けた流れも一気に強まってきた。特に気候変動問題については、世界全体で官民による具体的かつ現実的な取り組みが進んできており、今後の科学技術のあり方を規定する基礎的条件となりつつある。こうした展開は、持続可能性の追求に関わるこれまでの歴史的経緯を振り返れば、新しい段階のものとして捉えることができる。

持続可能性に関しては、1970年代にも資源の枯渇などが懸念されたが、気候変動問題が国際的に重要なアジェンダとして登場したのは1980年代である。科学者らによる問題提起をきっかけに、関連の科学的知見をとりまとめ発信する組織として1988年に気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が設置された。その後、1992年には気候変動枠組条約が採択され、国際的に気候変動対策を進める基盤が築かれる。

しかし1997年に合意された京都議定書は、気候変動対策の初の国際的なアクションプランとして画期的なものではあったが、実効性に乏しかった。中国などの発展途上国に温室効果ガス排出の削減義務が課されず、米国なども結局合意から離脱しただけでなく、そもそも先進国全体で温室効果ガス排出を5%削減するという目標が、持続可能性という観点からは根拠を欠いたものだからである。結局、このような矛盾が2009年のポスト京都議定書の交渉決裂へとつながり、やむをえず京都議定書の（日本などが参加しない形での）単純延長に追い込まれた。同年には、IPCCに関係する研究者らのメールが暴露され、データの捏造の疑いが持ち出された、いわゆるクライメートゲート事件も起きており、気候変動対策は難しい局面に陥る。

ようやく2015年に合意されたパリ協定も、その成否は当初明確とはいえなかった。

各国が自主的に温室効果ガス排出の削減目標を設定し、その達成状況を各国で確認するというボトムアップ型のスキームが果たしてうまく機能するのか、このスキームが発展途上国にも実際に広がっていくのか、懸念もあった。しかし、その頃企業社会でも長期的な持続可能性に配慮する、いわゆるESG (Environmental, Social, Governance) の観点が本格的に重視されるようになり、SDGs の理念も社会全体に着実に浸透してくるなどの変化があった。各国政府も、さまざまな技術開発やイノベーションを重視しながら、温室効果ガスの排出削減の意欲的な目標を打ち出してきた。日本も本年4月、2030年の温室効果ガス排出削減目標を2013年度比で26%減から46%減に上方修正したことは記憶に新しい。最近5年ほどで、官民双方の積極的な関与のもと、カーボンニュートラルの実現に向けた現実的な見通しが急速に見えてきている。

なお、近年では温室効果ガスの排出削減対策（気候変動の緩和）だけでなく、すでに現実化している被害の回避・軽減（気候変動への適応）の重要性が増大している。気候変動は、ローカルな地形や海流などの影響を受けて数～数十 km の単位で異なる形で現れるので、そのくらいのメッシュで中長期的な気温、降水量の変化や洪水、豪雪などの可能性を予測し、それに応じて農業、インフラ、保健などの分野で対応策を練っていく必要がある。日本でも2018年に気候変動適応法が制定され、科学技術と社会の連携により気候変動への適応を進める体制が整ってきたところである。

4. 科学技術と時代の基礎的条件

本稿では、近年の科学技術の大きな特徴であるデータ利活用の重視と持続可能性の取り組みの具体化について、その歴史的経緯を概観してきた。これらの流れは一見、技術的・物理的な現実が必然的にもたらしたものであるようにもみえる。データの量・多様性の拡大や、地球システムの有限性といった条件が、これらの流れを直接的に作り出したといえるからである。しかし、データ重視の流れは、1970年代以降の社会全体の実証主義的な結果志向の高まりや1990年代以降の費用対効果の重視といったより幅広い文脈のなかで捉えることも可能である。持続可能性への動きの加速についても、京都議定書の反省を踏まえた2010年代のボトムアップ型の国際スキームの構築、技術開発とイノベーションの重視への考え方の転換、世界の企業の姿勢の変化といった、社会経済的な方向転換が決定的に作用した。科学技術のマクロな変動は、時代の基礎的条件の動きのなかに位置づけられるのである。

最近では、新型コロナウイルスのパンデミックや、米中対立によるデカップリングの動きなど、社会経済の基礎的条件がまた大きく変わりつつある。グローバリズムや経済合理性の単線的な深化は所与の前提でなくなり、より複雑な社会経済構造への変化が起こる可能性がある。それは、データ重視の流れや持続可能性への実現への動きという、2010年代に急成長したモメンタムを制約・修正するマクロな背景となるかもしれない。科学技術の全体的特徴や性格が時代を反映して変化してきたという歴史的示唆は、

今後の科学技術の方向性を考えるうえでの一つの視点となり得る。

著者プロフィール

佐藤 靖（さとう やすし）新潟大学 人文社会科学系 教授

1994年東京大学工学部卒業、科学技術庁（現文部科学省）を経て2005年米国ペンシルバニア大学博士課程修了（Ph. D.）。専門は科学技術史・科学技術政策。第二次世界大戦後の科学技術史や、科学技術と政治・行政の関係などを中心に研究を進めている。近著に『科学技術の現代史ーシステム、リスク、イノベーション』（中公新書、2019年）。

（SIC ニュースレターVol. 3. 8、2021年8月10日発行に掲載）

寄稿3

個別分散協調系スマートシティのすすめ

東京大学生産技術研究所 教授 野城 智也 様

「ひとつのシステム」への疑問

スマートシティについて様々な動きが進んでいる。都市OSをはじめとした基盤システムの整備に向けての真摯な取組みをされている方々の努力には頭が下がる思いである。

ただ、取組みの周囲にいる方々の中には、夢が拡がりすぎて、「一つのシステムで都市を動かしていく」という意味合いの言説を唱える方もおられる。確かに、理屈としては、ごもったも言説である。しかし、筆者は、その現実性に疑問をもたざるを得ない。

その第一の理由は、システムが重たくなりすぎることである。住宅にある特定機器をIoTで制御するために、東京全体の空間情報が必要になることはまず考えられない。少なくとも、現時点の技術水準で考える限り、エッジ側で何もかも情報処理することは、その能力容量を考えると合理的ではない。かといってクラウドでの大量のデータ処理は、その送受信には負荷となり、用途上問題になるようなコマンドの遅れを生むおそれもある。現実的には、サービスに必要な範囲・粒度のデータを、エッジの処理容量や送受信の遅れが問題にならないように、エッジとクラウドで分担しながら処理していくことが現実的であると思われる。こう考えると、何もかもを詰め込んだ一つの巨大なシステムで都市の様々なモノ・コトを動かしていくという考え方には疑問を抱かざるを得ない。（「何でも使えるというシステムは、実は何にも使えない」ということの好例かもしれない）

加えて第二の理由（これはより本質的な理由であると思われるが）は、「個」に対して、巨大な単一システムが対応することの難しさである。筆者は、スマートシティは、図1に示す、三つの世界、すなわち人・社会、現実空間、サイバー空間の関係がうまくいかないと成立しないと考えている。たとえ、サイバー空間のなかで緻密な論理でスマートシティを組み上げても、様々な価値観をもつ人やその社会集団が抱える個々別々の事情や、そこから発せられる要求条件に応じられなければ、その緻密な論理は価値を持ち得ない。また、現実空間の構成や状況の何をサイバー空間のなかに映しこめばよいのかについても、用途・目的によって異なり一律に決めきれものではない。三つの世界の間関係の多様性、個別性に対して、単一のシステムが対応できるのか、疑問をもたざるを得ない。

個別分散協調系という考え方

では、どうすれば良いのか？ いま、日常生活や業務のなかで、様々な用途のサイバーフィジカルシステム（以下CPS）が用いられている。これらのCPSは、特定の人・社会集団の事情・要求条件や現実空間の構成・状況を反映した用途を提供していることに成功しているCPSであると見なすことができる。すなわち、ある特性・目的・関心・利害をもった人・社会集団にかかわる特定のコトに関して、図1に示す三つの世界を結びつけることに成功したシステムと見なすことができる。

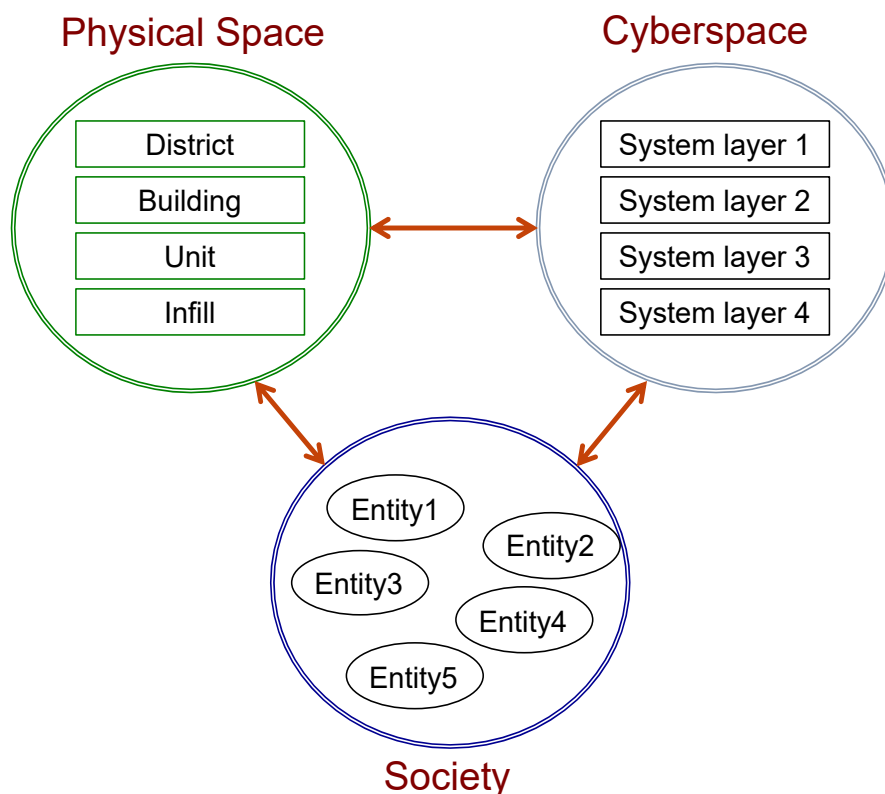


図1 スマートシティが繋ぐべき三つの世界

筆者は、単一のシステムで都市全体を覆うという発想ではなく、こうした既に特定の用途を提供することに成功しているCPSを紡ぎあわせていくことで、徐々に都市空間に多種多様なサービスの網がかかっていくというスマートシステムのあり方を提唱している。そして、そのようなあり方を個別分散協調系スマートシティと呼んでいる。地に足のついたCPSをサブシステムとして紡ぎあわせて、トータルシステムを構成していくというのが、個別分散協調系のスマートシティの考え方である

スタートアップ企業の強み・弱み

では、どのように紡いでいけばよいのか？ その方法を述べるまでに、重要なプレーヤとその二側面を指摘しておきたい。

それは、何らかの特定のコトにかかわる用途のCPSを提供することに成功したスタートアップ企業の方々である。彼らは特定領域で、前記の三つの世界を結びつけることに成功した方々である。ともすれば組織内で稟議書がぐるぐるまわり、動きがどうしても重たくなり、そうこうするうちに、「何でも使えることを標榜しながら何にも使えないシステム」を構想してしまいがちな大規模組織とは対照的に、板子一枚下は地獄という感覚で動いておられるスタートアップ企業が、特定領域に特化することで、成功を収めていくのはある意味では当然である。彼らは、個別分散協調系スマートシティの重要な担い手といってよい。

但、スタートアップ企業は群雄割拠といえる状況のなかで戦っておられるだけに、その多くの方々には、他の競争相手との差別化を図ろうとするマインドが強いような印象を筆者は受けている。競争環境は、よりよいモノをより安く実現する環境であるから決して悪いことではないが、他者との差別化指向だけが作用し続けている限り、紡ぎあわせるといふ動機付けは生まれにくく、個別分散協調系スマートシティの構想は絵に描いた餅で終わってしまう。こうしたことから、他との差別化指向をもつスタートアップ企業の方々にも、積極的に乗っていただける紡ぎあわせ方が必要になる。

繋ぐために中間的な Hub を作る

では具体的には、どうしたらよいのか？

筆者は、繋ぎやすくする仕組みを提供することに尽きると考える。それは、繋げと強制するものではない。繋ぎやすくすることで、何かの拍子で繋いでみたら、繋いだ者同士、1+1が3にでも4にでもなるようなシナジー効果の成功体験できるような、誰でもが利用できる仕組みである。

ここでいう、繋ぎやすさとは、単に技術的な繋ぎやすさだけを指すのではなく、繋ぐための利害調整のハードルの低さも指す。技術面についていえば、

- 繋ぐ接点数を減らす、
 - 何らかの繋ぎ方の約束事をつくる（おそらく、デジュール的というよりも、デファクト的なスタンダード）、
 - 誰かが繋ぐための煩雑な作業を一手に引き受ける
- などの要件が満たす仕組みを構築すれば解決できる。

これに対して、利害調整はなかなか厄介である。いわば繋ぐための取引コストが高け

れば皆腰が引けてしまう。特に、他者との差別化志向が強い者同士の利害調整は大変であることは想像がつく。

筆者は、こうした技術的要件や、想像されうる利害調整の問題を乗り越えるためには、図2に示すような中間的なHubを作ることが至当であると考える。

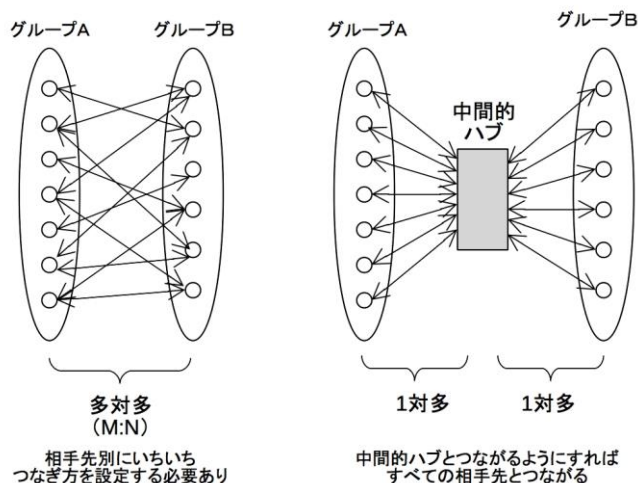


図2 中間的なHub 概念図

お互い繋ぎあおうとしている者同士が、その相対の組み合わせごとに、いちいち技術調整と利害調整をしなければならないというのでは、とてもではないが、繋げやすい仕組みであるとは言いがたい。これは、情報通信分野での所謂M対N問題であるといつてよい。特に、スタートアップ企業は、その経営体力から、とてもではないが、N個の相手といちいち技術調整・利害調整をすることは難しいといわねばならない。M対Nの構造が放置されている限り、スタートアップ企業の参入障壁になる可能性は高い。

それに対して、図2に示す構造は、ハブに接続さえすれば、そのハブに接続している他者と繋げることができるという仕組みである。言い換えれば、N個の相手ではなく、1回だけ技術調整、利害調整をハブの運営者との間で行えば他者と繋げることができる。繋ぐための取引期コストは一気に節減され、接続に十分なメリットが見出されると判断できるならば、スタートアップ企業としては手間暇をかけてよい労力であると思われる。

図2に示したハブ構造は、いま世界を世間するGAF AなどのIT巨人が提供する構造と似ていると仰る方もおられるであろう。しかし、重大な違いがある。それは、筆者が図示しているハブは、その利用者・提供者から切り離された中立的な者によって運営されている仕組みで、その運営者によってハブを通過するデータを閲覧・複写・保存することはない仕組みであり、この点がGAF Aとは異なる。

GAF Aの場合は、その提供する便利なアプリケーション・サービスを私たちが利用しているうちに、知らず知らずのうちにハブ（プラットフォーム）を使っているという仕組みとなっており。言い換えれば、ハブを通過するデータは、運営者・提供者にその意志があれば閲覧・複写・保存できる構造となっている。

自らが集め処理したデータに価値のひとつの源泉をおいているスタートアップ企業にとってみれば、G A F A型よりも、筆者の主張する繋ぐ仕組みの方がのりやすいと推察される。そのように考えて、人・社会集団、現実空間、サイバー空間の間で良い関係を築くことで有効な用途を果たすC P Sを提供している、数多くのスタートアップ企業が、そのC P Sをこのような中間的なハブへと繋いでくれば、総体としては、個別分散協調系のスマートシティが紡ぎあわされていくことになる。

こうした考え方に基づいて、筆者は、以下のような、紡ぎあわせるための繋ぐシステムを提案し、いま社会実装に取り組んでいる。

中間的なH u bの実例1：I o T-H u b

I o Tにかかわる通信プロトコルや、T h i n g s（モノ）が属するプライベートクラウドは多種多様で、そのままではM対Nの問題が顕在化してしまう。そこで、図3に示すように、I o T-H u bにT h i n g s D r i v e rあるいはC l o u d D r i v e rを介して接続さえすれば、それらの相違を超えて、T h i n g s同士が相互接続できる仕組みである（詳しくは（注）参照）。T h i n g s D r i v e rやC l o u d D r i v e rを作り込むおりに、T h i n g sの製造者、プライベートクラウドの運営者は、どのデータやコマンドを繋ぐのか繋がらないのかを選択的に設定することで、自らの利害や外部から干渉されては困るT h i n g sの機能を保護することができる。スタートアップ企業からみれば、I o T-H u bを介して様々なT h i n g sと組み合わせて新たなアプリケーションサービスを創造するための参入障壁が大きく引き下がることになる。I o T-H u bは、既に複数企業で採用されるなど、社会実装されつつある。

（注） https://www.og-cel.jp/search/1296261_16068.html

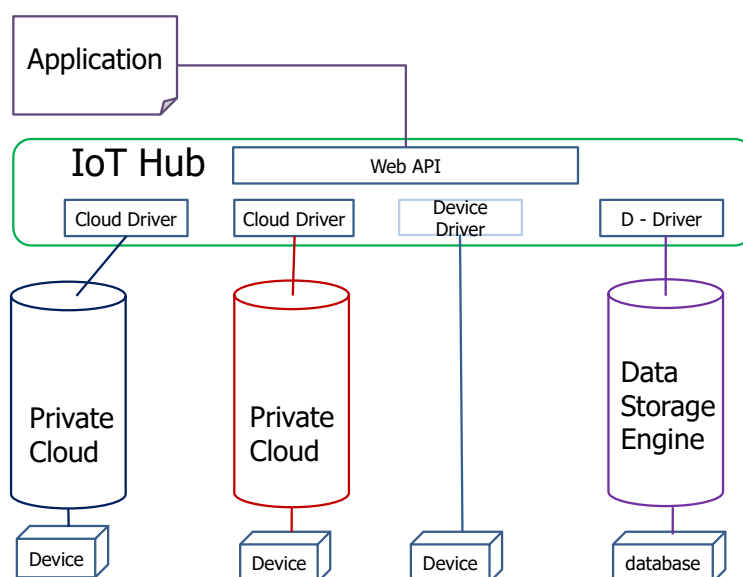


図3 I o T-H u bの仕組み

中間的なHubの実例2：コモングラウンド

空間記述の方法がバラバラでは、サイバー空間と、現実の建築・都市空間を、機能上滑らかに繋いでいくことに支障が出てしまう。そこで、筆者は建築家豊田啓介氏の提唱するコモングラウンドという構想に共鳴し、それが、本稿でいう中間的なHubとして機能していくよう、その研究開発活動を応援している。コモングラウンドとは、筆者が理解する限り、

- 空間スケールの相違
- 用途の相違
- 時間スケールの相違（動的制御か静的制御の相違）
- 分散処理か中央処理かの相違

を越えて、さまざまな人・組織が共用で参照できる空間記述のモデルである。言い換えれば、サイバー空間と現実空間を繋ぐ際に必要となる空間記述方法のHubの役割を果たすコモングラウンドを提供することで、現実空間とサイバー空間は、連携する者同士が技術的調整や取引コストを払うことなく、それぞれの目的・用途に応じて高度に連携していくことが可能になる。筆者は、豊田啓介氏や、同僚とともに、2021年10月に、東京大学生産技術研究所にインタースペース連携研究センターを設立し、多くの方に共用・参照いただける空間記述モデルのHubづくりを推進することになっている。

おわりに： 普請（ふしん）という言葉から学ぶ

本稿では、人・社会集団、現実空間、サイバー空間を繋ぎ用途を発揮しているCPSを紡ぎあわせていく、個別分散協調系スマートシティという考え方と、その紡ぎあわせ方について、筆者自らの試みを重ね合わせながら、提案させていただいた。中間的なHubという考え方は、「普請」という言葉と発想が似ているかもしれない。というのは、建築工事や土木工事を意味する「普請」は、もともと仏教用語で「普く（あまねく）請う（こう）」という意味であったという。本稿での提案は、中間的なHubを、皆で神輿を担ぐようにして、構築し運営するという考え方に拠っている。ある意味では、現実空間での普請の考え方を、サイバー空間・現実空間の組み合わせ、すなわちデジタルツインの領域にも拡張したとご理解いただいてもよいように思われる。

著者プロフィール

野城 智也（やしろ ともなり）東京大学生産技術研究所 教授

1980年 東京大学工学部建築学科卒業

1985年 東京大学大学院工学系研究科 博士課程修了（工学博士）

1985年～1990年 建設省建築研究所 研究員
1990年～1991年 建設省建築研究所 主任研究員
1991年～1998年 武蔵工業大学（現・東京都市大学）建築学科 助教授
（1994年～1995年 Reading 大学 **visiting research fellow**）
1998年～1999年 東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻助教授
1999年～2001年 東京大学生産技術研究所 助教授
2001年4月～ 同 教授
2009年4月～2012年3月 東京大学生産技術研究所所長
2013年4月～2016年3月 東京大学副学長

（SIC ニュースレターVol. 3. 10、2021年10月7日発行に掲載）

寄稿4

列車の安全を支える鉄道信号システムの革新

松本信号システムコンサルタント代表・元JR東日本旅客鉄道株式会社執行役員

松本雅行 様

1. はじめに

来年（2022年）は日本の鉄道開業150年目の年になる。良く知られているように、新橋（現汐留）～横浜（現桜木町）に初めての鉄道が開通したのが1872年10月14日（旧暦9月12日）であった。つい最近、品川再開発の現場から当時の築堤の遺構が高輪ゲートウェイ駅の前に発見された。しかも、そこには信号機柱の基礎の石積みもあったのである（写真1）。



写真1 高輪遺構の信号機柱基礎

このように信号装置は日本初の鉄道とともに使用され、その後の発達経緯を見ると、大きな事故の対策として新しい信号装置を導入後、その盲点をつく形で新たな事故が発生し、また別の対策を施すという、いわばイタチゴッコのような形で発達してきたのが実情である。初めの頃、信号装置は運転事故をいかに防ぐかの目的で、事故を契機に導入が進められてきたが、今日では、安全性をベースにしつつ運転効率やお客様へのサービス向上などへのニーズから新しいシステムの開発が行われている。

本文では、鉄道信号の歴史を振り返り、特にJR東日本になってからの輸送業務の革新的なシステムの導入経緯にもふれ、今後の鉄道信号システムのあり方について述べている。

2. 鉄道信号の歴史

初めは馬に乗った旗振りが、汽車に先行して走って安全を確保していたが、列車速度が向上し線路の分岐点も増えると、要所要所にポリスマンという見張員を置いて、危害（両手頭上）、注意（片腕頭上）、無難（片腕横に）の手合図を出して安全な列車運行を行っていた。その後、一定の場所に常置の合図を掲げる「セマフォア・シグナル」と呼ばれる信号機が設置され、後に腕木式信号機へと発展していった。このセマフォア・シグナルが日本に導入されている（図1）。さらに、ある区間に1列車以上が同時進入しないようにするための閉そく装置、列車の存在を検知するため発明

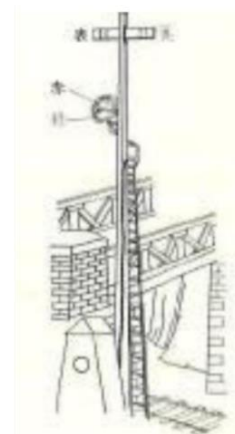


図1 日本最初の信号機

された軌道回路、分岐器の開通方向と信号機に関連を持たせる連動装置などが考案され、20世紀初頭にはこれらの信号装置によって、今日の鉄道信号の基礎が築かれた。はじめは機械式のものであった信号装置もリレーを使用した電気式となり、さらに電子回路、コンピュータを用いたシステムに発展してきている。

鉄道信号の中で、列車の速度を制御する列車制御、駅での信号や転てつ機を動かす連動制御、列車全体の運行を統括する運行管理について発展の経緯、システム化の考え方などについて以下に述べる。

3 列車制御

運転士が信号を見落とししたりすると事故を起こすので、停止信号に近づいていることを知らせる車内警報装置が考案され装備された。しかし、この警報も失念して三河島事故が起こったので、自動的に停止させる機能を付加した自動列車停止装置（ATS）が登場した。この装置は、運転士が警報を見落としたり無視したりすると、自動的にブレーキがかかるというシステムになっており、1966年には国鉄の全線に整備された。

ところが、この装置にも弱点があった。それは、運転士が了解したとして「確認ボタン」を押すと警報がキャンセルされるという機能があったため、確認後に運転士がミスをすれば運転事故は起きてしまうのである。これを解決するために開発されたのが新型ATS（ATS-P）である。

ATS-Pは、停止信号に近づくと「パターン速度」を発生させ、走行速度と比較しながら、速度オーバーすると自動的にブレーキがかかる機能を有している。1988年12月1日に京葉線に導入されたが、その5日後に東中野駅において運転士の不注意による列車追突事故が発生したので、その後の導入計画が加速されるとともに、5年間で2,000億円の安全投資を行うこととなった。

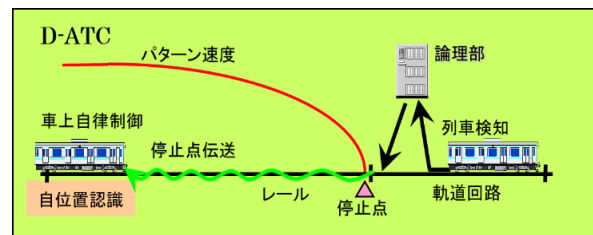


図2 D-ATCの機能概要

一方、高速・高密度運転線区では、信号の見落としは重大な事故に結びつく。許容速度を車内に現示しその指示に従って自動的にブレーキをかける機能を実現する装置は自動列車制御装置（ATC）として知られている。営団日比谷線にバックアップシステムとして、1963年に日本で初めて設備されたが、本格的な車内信号ATCは1964年に名古屋鉄道に導入された。

東海道新幹線では時速210キロの高速運転をするため、地上信号機を目視で確認するのは難しいと考えられたので、1964年の開業当初からATCが導入された。また、国鉄の在来線でも、営団地下鉄線との直通運転の必要性から、1971年に常磐緩行線で初めてATCが導入されている。

軌道回路の電流で信号を伝送するATCは連続制御方式であるため、運転士の信号見誤りのときも安全な運転ができるなど、点制御方式のATSに比べて格段に安全性が向上した。

1987年にJR東日本となつてからまもなく、次世代の信号通信システムについて検討する委員会が発足し、次世代にふさわしいシステムとして、列車検知のための軌道回路を無くし、無線を使用して列車位置を伝送する列車制御システムが望ましいとの方向性が出された。しかし、1981年に導入されていた山手・京浜東北線ATCの更新において、いきなりこのシステムを導入するにはハードルが高いことから、山手・京浜東北線には軌道回路を残した形の新しいATCとすることとした。

従来のATCは、東海道新幹線当時のリレー回路主体の古い技術が使用されているため、列車本数を増やすことができず、急に強いブレーキがかかるため乗り心地が悪い上、地上装置が重厚長大で多大な投資が必要であるなどの問題を抱えていた。

先行列車の手前に列車を安全に停止させるために必要な情報は、「先行列車の位置」、「そこまでの距離」と「列車速度」だけである。本来あるべき姿を考え、先行列車の位置情報を後続列車に伝送し、後続列車は自分自身の位置を常に認識して、停止点までの距離を計算し、自分の速度と曲線、勾配などを考慮し適切なブレーキをかければよいわけである。これが新しく開発したデジタルATC（D-ATC）であり、運転間隔を短縮できるため高密度運転可能となり混雑緩和ができた。かつ汎用情報機器の活用や分散構成のシステムによりスリムで低コストの地上設備とすることができた。さらに、車両加減速性能の向上に追随して、地上設備の変更なしで列車間隔が短縮可能なフレキシビリティも備えている。このようなシステムを構築できたのはコンピュータをはじめとしたICTの発展によることは言うまでもない。D-ATCの機能概要図を図2に示す。

2003年12月に京浜東北線の一部で実用化し、2009年には山手線、京浜東北線全線に設置された。また、東北・上越新幹線にも、新幹線の「S」をつけたDS-ATCを開発し、2002年12月の八戸新幹線の開業から使用開始し、2009年には全線に設備し、さらに、北陸新幹線も同システムが使用されている。東海道新幹線にも一部方式が異なるATC-NSというシステムが2006年8月に導入されている。

JR東日本となつた当初の方向付けにしたがって、無線を使った軌道回路のない新しい列車制御システムの検討開発が1995年から始まり、10年にわたつた現地試験を実施し、最後のプロトタイプ試験は実用機に近い形で、2003年10月から2005年2月まで、昼間の営業運転時間でのモニタラン走行試験を累積で約100万km以上実施、夜間実際に列車を制御するコントロールラン試験を全部で28回行った。この結果、プロトタイプシステムは、機能、安全性共に問題がないことが検証できた。

無線式列車制御システム（ATACS:Advanced Train Administration and Communications System）は情報技術と自律分散技術を使用した新しい列車制御システムであり、主な機能は以下の通りである。

- ・列車間隔制御 : 列車速度は、直接制御するのではなく、列車の停止限界(LMA)からの許容速度を計算することによって行われる。列車間隔の制御は、第一に列車位置を地上の拠点装置に送ることから始まる。次に、拠点装置はその列車がどこまで動けるかのLMAを列車位置と進路情報から決定し、各列車に伝送する。さらに、車上コンピュータはブレーキ性能と勾配、曲線、速度制限などの条件を考慮して、LMAまでに停止できるようなパターン速度を作成してブレーキ制御を行う。
- ・踏切制御 : ATACSでは地上と車上との間のデータ交換によって踏切を制御する。列車接近警報時間を調整するため、速度と列車性能から踏切到達時間を推定し、拠点装置に伝送し、踏切装置を動作させる。その後、その情報を列車に送ってパターン速度を再度計算する。もし、踏切が動作してなかったら、踏切の手前までに停止する。
- ・他の機能 : 他に作業安全管理、転てつ機制御、双方向距離制御と臨時速度制限などがある。

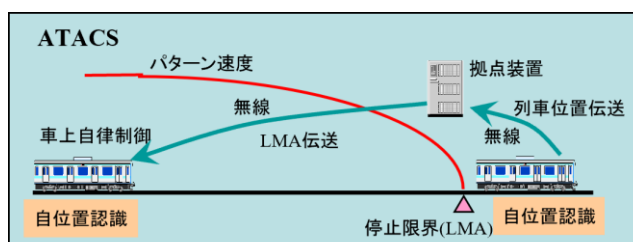


図3 ATACSの機能概要

ATACSは2011年10月に仙石線に、2017年11月には埼京線で実用化されている。ATACSの機能概要図を図3に示す。

4 連動制御

鉄道ができた初めの頃、列車の進路を変えるには、駅の係員が分岐器まで行って転換していた。しかし、列車の本数が増え、行き違いをする場合は、同時に複数の分岐器を操作し、列車に合図を送らなければならないので、一人で扱うことができなくなった。複数の人で受け持つと相互に連絡や確認が必要になるが、人間の注意力のみで安全を確保するには限界がある。そこで、分岐器の開通方向と信号機の動作に連携(連鎖)を持たせ、列車の安全を確保する仕組みが必要となり、この機能を連動制御といい、実現する装置は連動装置と呼ばれている。

信号機、分岐器相互間の連鎖を機械的に行う機械連動装置が1856年に英国で発明された。ワイヤーや鉄管で信号機と分岐器を動かし、分岐器が開通して進行できる条件が整った時のみ信号機が「進行」を指示し、これで安全を確保している。日本では1887年に品川駅で初めて使用された。

機械連動装置は、保守に手間がかかることなどのため効率的ではなかったので、電気によってリレーを動作させる継電連動装置が1929年に米国で考案された。これはリレー回路の組み合わせにより連鎖を施し、リレーの接点で信号機や転てつ機を制御しているもので、一つの進路上にいくつかの信号機や転てつ機があっても一つの「てこ」と

よぶスイッチを操作することによって、必要な転てつ機を自動的に転換し、信号を現示するという優れた機能を持っている。日本では1933年に京王帝都・渋谷駅などに導入された。

戦後まもなく発明されたトランジスタはICへ、さらにはコンピュータへとエレクトロニクス技術が20世紀半ばから急速に進歩したが、これらの技術を使って開発実用化されたのが電子連動装置で、1961年に英国で実用化された。ハード、ソフトの特長を生かして機能の拡充と多様化も図ることが可能となった。駅構内線路のレイアウト変更がソフトウェアの変更で対処できるので改修工事が容易になり、また、旅客案内装置との結合も可能となり、旅客サービスにも寄与するなどの特長を持っている。このように、電子連動装置は従来の継電連動装置に比べてすぐれており、1985年に東神奈川駅に導入されて以降、老朽化した旧来の継電連動装置の取り替えなどを契機に積極的に導入されている。

ところが電子連動化に取り組んできたものの、現場の信号機や転てつ機の制御はケーブルを用いて電氣的に行っていたため、膨大な配線作業とその確認作業は旧態依然であった。このため、多大な労力と一つ間違えると大きな事故につながるという欠点を有していたのである。

この問題を解決するため、光ケーブルを使用して制御データをまとめて送り、これを解読するコンピュータである「現場端末」を各信号機器に置いて制御するようにするネットワーク信号制御システムを開発した。IPプロトコルの情報通信を用い、これまで現場で行わなければならなかった膨大な試験も工場内で行え、試験能率の向上を図ることができるとともに、現場端末自体および各信号機器の自己診断機能を持たせているので、これらを集中監視・制御することで保守性の向上にもつながった。

このネットワーク信号制御システムは2007年2月に武蔵野線の市川大野駅に導入され、2016年6月には京葉線全線で使用開始されている。

5 運行管理

先に紹介した連動装置は駅単位に設備されているので、それを取り扱う「扱い者」も駅毎に配置されていた。一方、その線区全体の列車の運行状況を把握し、交通整理する「指令員」も必要である。そこで、この指令員が指令センタから複数駅の連動装置を介して転てつ機や信号機を遠隔制御する装置として列車集中制御装置（CTC）が1936年1月に大阪電気軌道（現近畿日本鉄道）の天理線において実用化された。

このCTCにより線区の運転取り扱いは、中央の指令に一元化され、その能率は以前に比べて格段と向上したが、列車本数が増大してくると人間の処理では追いつけなくなり、また取り扱い誤りを皆無にすることができないなどの限界もあった。そこで、この人間による業務を、列車の動きにもとづきあらかじめ決められた手順（プログラム）に

したがって進路を自動的に制御するようにし、業務のさらなる効率化と信頼性の向上を図ろうとして開発されたのが、プログラム進路制御装置（PRC）である。

ところが、地方幹線はある程度CTC・PRC化が進んでいたが、経営の基盤を支える東京圏では、列車運行形態が超高密度でかつ複雑なため運行管理の自動化がきわめて困難であったため、全ての運転取扱業務を駅で扱う旧態依然とした運行管理を行っていた。

1970年以降、国鉄は大きな債務に直面した背景を受け、事業を再編するため、1987年に民営化のうえ分割された。その一つであるJR東日本では、技術革新時代にふさわしいサービスを提供するため、列車ダイヤ乱れ時のきめ細かな旅客サービスの提供、早期平常ダイヤに復帰機能、安全性の確保、指令業務の軽減と業務の効率化、駅業務の省力化、保守作業管理など社員の働きやすい環境を作ることなどを目指すこととし、東京圏の高密度線区の運行管理システムについて1988年夏に検討を始めた。

1990年に決定された方針では、対象17線区、旅客案内対象250駅、線路総延長1,100km、対象列車数約6,200本を支える業務に対する大規模な刷新が示された。指令員の業務軽減と業務効率化、駅の業務の省力化と安全性の確保、きめ細かな旅客案内サービスの提供を目的とするため、東京圏に東京圏輸送管理システム（ATOS:Autonomous decentralized Transport Operation control System）を開発導入することとした。

高密度の輸送管理に関する業務面からのシステムコンセプトを以下のように定めた。

1. 駅での運行管理に関する関連業務の軽減・削減
2. 運行管理業務は運転整理を中心とした指令中心の業務への移行
3. 旅客案内をダイヤ情報と連動することによる旅客サービスの向上
4. 駅・区所における運転情報の共有化
5. 保守作業の効率化と安全性の向上

東京圏の輸送管理は、列車運行形態が超高密度でかつ複雑なため、自動化がきわめて困難であった。これらのコンセプトを実現するために各駅にコンピュータを配置し、駅単独で制御できる自律分散システムを採用し、中央システムと駅システム間を100Mbpsの高速光伝送網で結び、中央から送られるダイヤデータにもとづいて、駅で

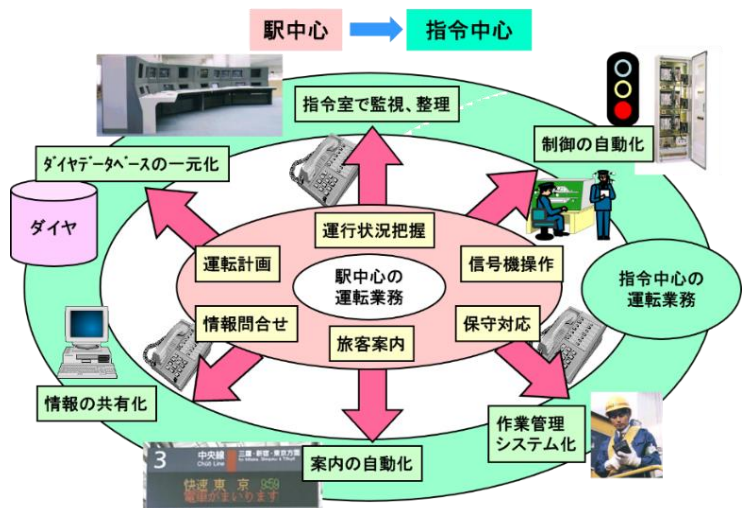


図4 ATOSの目指す方向

自律的に列車制御を行っている。これにより、高密度線区に必要な高い応答性をもたせることができた。東京圏ではATOSを導入したことにより、情報の伝達や作業性は以前のCTCやPRCと比較すると大幅に改善できている。ATOSの目指す方向を図4に示す。

こうしたシステム機能の実現可能性の問題以外にも、システムの導入ならびに業務の変化についても懸念があった。東京圏全体の運行管理業務を一斉に置き換えることは現実的でない。列車は毎日、早朝から深夜まで運行している一方、システム導入のために列車運行を止めるわけにはいかず、システムの置き換えや業務の入れ換えに許される時間は短いことが挙げられる。これに対しては、アシュアランス技術により線区ごとにシステムの段階的構築をできるようにして解決した。駅装置の構築を始めに行い、次に駅装置と線区別中央装置、中央装置との連携を行うことで、駅側から指令側へのシステム化を段階的に進めるのである。

そしてもう一つ重要なポイントとして、構築したシステムを本格運用したときにシステム障害や誤動作を起こすことが許されないことである。システム故障やメンテナンスによる、システムの一部の停止が、線区全体に運行停止が波及することは避けなければいけなかった。これには、自律分散技術によりシステム全体を構成したことにより、ある駅の障害が他の駅には波及せず、中央と駅との間の伝送回線が障害を受けダイヤデータが送られなくとも、駅単独で自律的に動作することが可能となっている。

ATOSは、1996年12月に中央線で第一号システムが稼働開始し、1998年に山手・京浜東北線で使用開始し、以降東京圏の主な線区に展開され、2020年4月現在では東京圏の24線区、約1,300Kmに広がっている。写真2に東京圏の輸送指令室を示す。



写真2 東京圏の輸送指令室

新幹線では、新幹線運行管理システム(COMTRAC:COMputer aidedTRAffic Control system)が東北・上越新幹線開業時から設備されていたが、北陸新幹線への対応をはじめ新しい施策に対応できないものであった。しかも、COMTRACでは、大きな総合表示盤を設けて列車の運行状況を表示していたので、広大なスペースを必要とし、指令間の連携がスムーズでなく、新駅設置への拡張性がないなどの問題もあったので、CRT主体の指令システムに改めることにした。そこで老朽取替に際して、新幹線の業務全体をネットワークで結び、情報の共有化・一元化を行うようにし、また運行管理は危険分散とレスポンスの向上のため自律分散方式とすることとした。

新幹線総合システム(COSMOS:COMputerized Safety Maintenance and Operation System)は、輸送計画システム、運行管理システム、構内作業管理システム、保守作業管理システム、車両管理システム、設備管理システム、集中情報監視システム、電力系統性システムの8つのシステムから構成された、トータルシステムである。各情報は、中央から、駅、乗務員区所、車両基地、保守区に高速デジタル回線を経由し

て配信している。さらに、各駅のPRCが、この回線経由のダイヤデータにもとづき、列車の進路制御、電気掲示器に列車の出発時刻を表示するほか、ホーム、コンコースに案内放送を流している。しかも、大型表示盤を廃止してCRTに各種情報を表示するようになったため、フレキシビリティが高くなり、線区拡張が容易となり、のちの北陸新幹線、北海道新幹線の開業に寄与することとなった。

このCOSMOSは1995年に使用開始し、2015年3月には北陸新幹線対応のCOSMOSが使用開始されている。

6 信号の将来

これまで述べてきたように、列車制御、連動制御、運行管理それぞれのシステムの改良が進み、革新的なシステムとなってきている。しかし、それぞれのシステムは最適であっても、システム・オブ・システムズの観点に立てばさらに全体最適なシステムとすることができると思う。

列車制御システムだけでは、先行列車との間隔が十分にあるからと加速制御することになってしまう。しかし、運行管理システムでは列車の全体運行を把握しているので、先行列車の先に列車が団子状態となっていると、加速運転をする必要はないと判断できる。このように列車制御システムと運行管理システムとが連携することによって無駄な電力の消費が防げるので省エネルギー運転が可能になる。また、事故などで列車が止まった後に運転再開するときにも、同時に運転開始すると一時期に電力が集中するため、容量の大きな変電所が必要となるが、運行管理システムから各列車の運転再開タイミングを制御することができれば、変電所の容量も小さくすることも可能となり、設備費の低減にも寄与することとなる。

また、マルスやスイカなどの営業システムと連携すれば、指定券の予約状況を見て、列車の増発計画を立てたり、自動改札のお客様の通過状況から臨時列車の運行の判断もできるようになる。

一方、地上の装置と車上の装置の取替え時期が異なっているため、どうしても既存のシステムの仕様に合わせざるを得ないという問題もある。この問題の解決とし、車上の装置を新旧のいずれにも対応できるように新車導入時から併用可能な装置を搭載しておくという方法もある。これまでは新旧の装置を2つ搭載しなければできなかったのが、コスト面からも実現はできていなかった。しかし、コンピュータによるソフトウェアで対応すれば、新旧2つのソフトウェアを用意しておき、初めは旧システムの動作をしているが地上装置が新システムに置き換わった時点で、車上を新システムに切り換えるだけで済む。このように、ひとつのコンピュータでソフトウェアの切り替えによってどちらの方式にも対応できるようにしておくことが有効となる。さらに、列車制御方式が異なる線区での相互乗り入れを考えると、異なるソフトウェアを両方搭載することによって、

インターオペラビリティが向上しどの線区にも制約なく乗り入れが可能となるので、この方向の技術開発にも力を入れていく必要があるだろう。

さらにこれまで、PRCは線区ごとに独立していたが、クラウド技術により、一つのシステムでいくつもの線区の運行管理を行うことも可能となろう。こうすることにより、これまで財務的な理由で運行管理システムを導入出来ていなかった、中小私鉄や第三セクタの鉄道にも安価な経費で運行管理システムの恩恵にあずかることも可能となろう。

信号革新がなぜ必要か、鉄道信号システムの発展の経緯から述べ、問題点、解決策についても解説した。最終的には、これまで構築してきたシステムを、システム・オブ・システムズの観点から見なおすことによって、全体最適なシステムとすることができ、業務の効率化、旅客サービスの向上を図ることがわれわれ鉄道システムに携わる技術者の目標であると考えている。

参考文献

- 1) 鉄道信号発達史：社団法人信号保安協会 1980年
- 2) 最新の国鉄信号技術：社団法人信号保安協会 1987年
- 3) 電気鉄道：松本雅行 森北出版 1999年
- 4) 輸送の安全からみた鉄道史：江崎昭 グランプリ出版 1998年
- 5) 鉄道信号技術：一般社団法人日本鉄道電気技術協会 2020年

著者プロフィール

松本雅行（まつもと まさゆき）松本信号システムコンサルタント（MSSC）代表

1972年東京工業大学大学院修了、日本国鉄入社、新幹線運行管理システム（COMTRAC）の開発をはじめ、新幹線・在来線の信号設備の保守・開発・設計業務に従事、1987年JR東日本旅客鉄道（株）入社、東京圏の信号システムの計画・開発、秋田新幹線の建設などに従事、2003年保安工業（株）常務取締役、2004年JR東日本旅客鉄道（株）再入社、2007年信号システム管理センタ所長 執行役員として信号システム全般の計画・管理を担当するとともに国際規格業務にも携わる。2017年同社退職、MSSCを設立現在に至る。IRSEフェロー会員、電気学会・日本信頼性学会の正会員、工学博士

（SIC ニュースレターVol. 3.12、2021年12月9日発行に掲載）

IV SIC 正会員一覧

SCSK株式会社	NTTコミュニケーションズ株式会社
NTTコムウェア株式会社	KDDI株式会社
株式会社NTTドコモ	株式会社構造計画研究所
株式会社JSOL	株式会社テクノバ
株式会社東芝	株式会社ニューチャーネットワークス
株式会社野村総合研究所	株式会社日立システムズ
株式会社日立製作所 研究開発グループ	株式会社日立物流
社会システムイノベーションセンター	
株式会社三井住友銀行	株式会社三菱UFJ銀行
損害保険ジャパン株式会社	デンソー株式会社
東京ガス株式会社	トヨタ・リサーチ・インスティテュート
日鉄ソリューションズ株式会社	ファナック株式会社
富士通株式会社	マツダ株式会社
三井不動産株式会社	三菱重工業株式会社 ICTソリューション本部
三菱電機株式会社	横河電機株式会社

2022年1月1日現在28社(五十音順)

©一般社団法人システムイノベーションセンター(SIC)2022.1 非売品

SICニュースレター「論説」集(第2巻)(2021年度掲載分) 2022年1月17日発行

発行者:一般社団法人システムイノベーションセンター(SIC)

代表理事・センター長 齊藤 裕

編集者:SIC実行委員 中野一夫(株式会社構造計画研究所)

事務局 〒160-0023 東京都新宿区西新宿 6-12-7 ストック新宿 B-19 号

URL: <https://sysic.org> E-mail: office@sysic.org Tel.Fax:03-5381-3567