

HOKKAIDO



北海道ニュートピアデータセンター研究会
2025.05.26

Nutopia Data Center Forum

提言書

Ver.2.0



Hokkaido Nutopia Data Center Forum

CONTENTS | 執筆担当

002	はじめに ～ デジタル社会のインパクト 概論 ～	山本 強
008	1 デジタル社会のインフラストラクチャー（インフラ経営学）	江崎 浩
039	2 DX と電力・エネルギー	中村 秀治
040	2.1 エネルギーバッファ（ポスト変電所）としてのデータセンター	高野 雅晴
045	2.2 デジタル田園都市グリッド	中村 秀治
049	3 DX による地球温暖化対応スマートインフラ	江崎 浩
076	4 DX から考える一次産業の今と未来	柳川 直隆
088	5 DX と安全保障	村井 純 江崎 浩
114	6 DX と地域戦略	岸上 順一
114	6.1 デジタルがもたらす地域への幸福感	岸上 順一
117	6.2 都市と地域	中村 秀治
122	6.3 地域整備とデジタル基盤	黄瀬 信之
139	6.4 自治体とデータセンター ー人口減少時代における持続可能な住民サービスの提供に向けてー	白井 芳明
151	7 先端半導体製造拠点とデジタルインフラ	山本 強
159	北海道ニュートピアデータセンター研究会 運営委員会名簿	

はじめに

北海道ニュートピアデータセンター研究会

提言書

デジタル社会のインパクト概論

山本 強 北海道大学 名誉教授
Tsuyoshi Yamamoto

はじめに

北海道ニュートピアデータセンター研究会は2020年7月に発足し、以来約5年間にわたって現代社会における情報ネットワークとデータセンターの重要性と啓蒙、そのあるべき姿について様々な活動を続けてきました。

当研究会は名称に北海道という地名を含んでいますが、研究会の発起人の顔ぶれが北海道に偏ってるわけではありません。発起人の共通認識として、北海道には情報インフラの視点から見ると潜在的ポテンシャルがあり、それを活用しなければならないという理念を共有するメンバーが立ち上げた研究会であるがゆえに、自然に名称に北海道が含まれたということなのです。

当研究会は、2022年に提言書として「北海道をデータセンターのパラダイスに」を公表しました。この提言書ではコロナ禍後の新しい社会構造（ニューノーマル）を踏まえて、情報インフラに求められる機能とその実装に向けて、北海道の視点から具体的な提案を行いました。

この提言書で私たちが描いた情報インフラの形は、段階的にはありますが、社会実装が進んでいます。それと同期して北海道ではGX金融特区指定、ラピダス社による先端半導体製造拠点の立地などが具体化してきました。これは偶然の一致ではないと思います。Society 5.0の最重要インフラである情報ネットワークとデータセンター基盤の実装が進んだ結果、北海道が有する潜在的なポテンシャルを活用できるようになったと考えることができます。情報、再生可能エネルギー、半導体デバイスは現代社会を持続するために欠かせない3要素です。これが北海道で揃うことは、これまであまり考えられていなかったのではないのでしょうか。この3要素はそれぞれに重要かつ大規模なので、独立に考えることは簡単です。しかし、別な見方でこの3要素を一体として考えることもできます。先端半導体には情報とエネルギーが必要ですし、情報には半導体とエネルギーが必要です。不安定な再生可能エネルギーを有効利用するためには情報ネットワークが不可欠です。これらは三位一体で考えるべきものです。

テクノロジーは 社会システムを革新する

歴史を振り返れば、狩猟社会から農業社会に変わったのは栽培農業という農業技術の革新があったからです。工業社会は科学技術による大量生産、輸送技術の革新によって起こりました。20 世紀に入ってコンピュータ技術が爆発的に発達した結果、情報化社会（Society 4.0）が出現して今があります。そして、次に起こると考えられているのが物理的実体としての現実空間（Physical Space）と、コンピュータとネットワークの中に構成される情報空間（Cyber Space）が融合して実現する Society 5.0 の社会です。

Society 5.0 の意味するところは、情報ネットワークと情報処理基盤、つまりデジタルインフラが最重要インフラとなる社会です。ネットワークとコンピュータをどのように配置し、運営するかは国家レベルの重要課題になるというのが私たちの共通認識です。

デジタルインフラの強靱化が 日本の未来を創る

Society 5.0 の社会が日本の未来であるとしたとき、最重要インフラが情報ネットワークと情報処理基盤であり、全体を総称してデジタルインフラと考える必要があります。Society 5.0 の世界では、エネルギー、食糧、医療、物流など国を支える全システムがデジタルインフラの上

に構築されています。デジタルインフラが機能不全に陥ることは社会システムの停止を意味します。日本の未来には速く、太く、そして強いネットワークとデータセンターが必須です。

一方で、日本ではネットワーク事業もデータセンター事業も民間ビジネスであり、基本的には企業間競争によって、高性能、低コストのサービスが提供されるという前提があります。競争原理により、新サービス開発やコスト低減が促進されるのは民間ビジネスの利点ですが、それだけで日本の情報基盤が勝手にできるというものではないはずです。国としてのデジタルインフラの目指す姿、大方針を示し、その方向に沿った国家投資も必要になります。

今そこにある危機への備え

21 世紀になってまだ 20 年余しか経っていませんが、この間に日本は未曾有の自然災害や社会的災害を経験しました。2011 年には 3.11 東日本大震災とそれに起因する福島第一原発事故があり、2018 年には北海道胆振東部地震により引き起こされた大規模停電、北海道ブラックアウトが起こっています。経済システムではいわゆるリーマンショックと呼ばれる金融不安もありました。そして、新型コロナウイルスによる COVID-19 パンデミックが世界規模で発生しました。

災害が起こるたびに言われるのが、日本の東京一極集中の構造です。日本は政治・行政・産業の中核機能が東京に集中しており、もしも東京が壊滅的な被害を受けたときのダメージが極め

て大きいと言われています。中枢機能の分散配置は従前から繰り返すと言われていることですが、一向に進まず現在に至っています。現実問題として、情報管理の一極集中が引き起こした人災も実際にありました。

2011 年の東日本大震災の時、北海道は地震そのものによる物理的被害は比較的小さかったのですが、北海道と首都圏を結ぶ通信回線が被害を受けたことで、一部の携帯電話サービスが北海道全域で長期間停止するという障害が発生しました。長距離通信回線の遮断が思わぬ機能停止をもたらしたわけです。2018 年の北海道ブラックアウトでは、長期間の停電により物流や決済の情報端末が停止したため、北海道全域で店舗から生活物資が一時的に消えるという経験をしました。携帯電話基地局の非常用電源が長期間の停電に耐え切れず、携帯電話が一部の地域で不通になるという事態も発生しました。

東日本大震災当時と比べて、今の私たちの生活や経済活動の情報通信依存はさらに高まっています。もしもそれに見合ったデジタルインフラの強靱化対応がなされていたら、2018 年のブラックアウトの時の状況は変わっていたでしょう。

自然災害をゼロにしたいのは人類共通の願いです。しかし、災害の規模は時として人知を超えるものとなり、経済システムは、もはや人間がコントロールできる複雑さではなくなっています。それを完全に防止するという目標を立てるならば、そのコストは非現実的な規模になります。考えたくはないことですが、災害は起こるものという仮定で、その被害をいかに小さくするか、そして速やかに回復するかが現実的な対応となり

ます。日本は地震や台風など過酷な自然環境を前提に社会インフラを構築してきました。そして今、デジタルインフラを前提とした新しいインフラ構造に移行することが想定されています。私たちは、その新しい社会が災害や新環境に対してどれほど強靱かを今一度考える必要があります。

安全保障の視点

21 世紀以降、デジタルインフラはグローバル経済や国家安全保障にも大きく関係しています。失われた 30 年とも言われる経済低迷期もあって、IT や半導体分野で日本の影響力が低下し、それが結果として日本のデジタル赤字につながっています。加えて、ネットワークを経由した政治介入やテロ行為も現実問題です。この状況から脱却するために、新しいデジタルインフラを活用する必要があります。日本が安全で信頼できるデジタルインフラを持つことは、自国のためだけではなく、先進国としての日本の責任でもあります。

しかし、安全だけを考え、デジタルインフラの自由度を低下させるべきではありません。デジタルインフラが抱えるリスクを理解し、高度な情報セキュリティ技術を活用して安全で高機能なデジタルインフラの構築を目指さねばなりません。

グローバルネットワークと日本

情報通信は地球規模で設計する必要があります。いや、それでも不十分で、将来人類が宇宙空間、さらには太陽系外まで進出することを想定した情報通信システムとしてネットワークを考える必要があるかもしれません。そこまで考えるのはまた別のミッションだと思いますが、日本がグローバルネットワークにおいてどのようなポジションにあるかは正しく認識しておく必要があります。

現在の世界の情報通信網を見ると、大きく北米西海岸、北米東海岸、ヨーロッパ、そして東アジアを結ぶ光ケーブル網を中心に作られています。この構造は航空路のハブ&スポーク構造と似ています。現状の光ケーブル網の構築のされ方は、その時々状況の結果だと思います。一方で、光ケーブル、特に海底ケーブルは一度構築すると数十年は変更できません。だからこそ、これから構築する新規幹線網はグローバルな視点、長期的視点で慎重に設計する必要があります。

情報ネットワークは、繋がっていれば良いという単純なものではありません。光といえども速度は有限です。光の速度は1秒間に地球7.5周(秒速30万km)ですが、これはコンピュータの処理速度から見ると驚くほど遅いのです。例えば3GHzで動作するCPUでは、1命令は約0.3nsで実行されますが、光は真空中ですらこの時間で10cmしか進みません。これが光ファイバーの中では速度が60%くらいまで低下し、6cmしか進まないのです。太平洋横断や日本とヨーロッパを結ぶ回線は、総延長が1万kmくらいになること

があり、そのケーブルを通過するのに要する時間は50ms程度になります。人間が見て判断するのなら、50msという遅延は大きな問題ではないのですが、コンピュータ対コンピュータの世界では、遅延が50msか40msかの違いは大きな差となります。

日本の中で北海道は、北米大陸、ヨーロッパに近い地点に位置しています。もしも北海道とそれらの地域とを結ぶ直通光回線が存在したら、北海道は日本でそれらの地域と通信する時に遅延時間が最小の地域となります。現在その経路は存在しないため、インターネット空間では外国から見て北海道が日本の一番遠い地域になっています。北海道にある情報端末が米国のサーバーをアクセスする場合、国内経路で一旦東京か大阪までパケットを飛ばし、そこから光海底ケーブルで北米の陸揚局まで送り、さらに、米国内国網を経由して指定されたサーバーにパケットが届くということになります。

ヨーロッパと北海道間の通信はさらに問題で、多くの場合、北米を経由し、大西洋を越えてヨーロッパ地域へ通信パケットが送られます。その結果、パケットの往復に要する時間(RTT)は250ms近くになります。北米大陸までのRTTが100ms近辺であることから、その2倍以上の長さのネットワークを通過して接続されているということがわかります。

日本-ヨーロッパ間を結ぶネットワークの直通ルートがない理由は、そのルート上にユーラシア大陸があり、自由に光ケーブルを敷設できないためです。特に経路上の大部分がロシアの領土であるため、光ファイバーを敷設するためには主権国であるロシア政府の許可が必須です。

しかし、近年の北極海域の気候変動はこの状況を変える可能性を見せています。ヨーロッパとアジアの間を北極海経由で直接接続する光海底ケーブル事業の構想(Arctic Connect)が、2016年にフィンランド政府の提言として発表されました。その事業化を、フィンランドの国営情報通信企業である CINIA 社が進めています。CINIA 社の事業計画に関する発表は、2018 年に札幌で開催された北極経済評議会の The 3rd Top of the World Summit の場で行われました。この時の提案では、2021 年までに同社が北欧からアジアを結ぶ北極海光海底ケーブルを 7 億ユーロ(約 900 億円)で敷設するというものでした。当時はまだ計画書というレベルの事業計画でしたが、その後構想が具体化し、現在、北極海域の海底地形調査が実際に行われるところまで進んでいます。Arctic Connect が北海道に陸揚することになれば、北海道はアジアの情報ネットワークハブの一つとして重要な役割を持つことになります。

日本は国別 GDP で、米国、中国、ドイツに次いで世界 4 位の規模です。そのポジションから、アジア地域での自由主義経済におけるリーダーシップが求められているわけです。情報通信についても単に日本のことだけを考えるのではなく、アジア・太平洋地域のネットワークを代表する立場でグローバルネットワークの主要メンバーになることが求められます。

SDGs の視点

成長を続ける世界経済が地球環境に与える影

響は大きな問題になってきています。先進国が消費する化石資源量と、発生する CO₂ やプラスチックごみなどが気候変動や生態系にまで影響を与えられます。人類が今後も安定して成長を続けるために、再生可能エネルギーの活用や資源リサイクルなどを徹底することが求められています。特に先進国には、持続可能な開発目標(Sustainable Development Goals-SDGs)を意識した開発や投資をする義務が生じています。

デジタルインフラは、外見的には、CO₂ も廃棄物も出さないクリーンな事業に見えますが、電力消費については相当に大きいのです。コンピュータの処理速度は消費電力に比例します。情報処理の世界では「情報処理量 $\propto$ エネルギー消費」なのです。ネットワーク機器もコンピュータそのものですから、ネットワークが高速・大容量化するということは、そのままネットワーク維持のために消費されるエネルギーも大きくなるということです。

自動車や家電では、エネルギー効率改善の技術開発の結果、化石エネルギー消費量が減少する傾向にあります。コンピュータも省電力化が進み、同じ処理をするのに必要なエネルギー量が減少し、結果として効率は改善されています。しかし、ネットワークトラフィックの総量や、それに伴う計算量が指数関数的に増加しているために、IT 分野のエネルギー消費は他分野と比較して相対的に増加しています。

科学技術振興機構(JST)低酸素社会戦略センター(LCS)が 2019 年 3 月にまとめた「低酸素社会実現に向けた政策立案のための提案書」(LCS-FY2018-PP-15)によれば、日本国内で IT 関連機器が消費した消費電力の総量は、2016 年時点で年

間 55TWh と推定されています。日本の総消費電力は、近年 1PWh 程度で推移しており、IT 関連電力消費は全体の 5.5%程度になります。その内訳は、データセンター機器が 16TWh、ネットワーク機器が 18TWh、エンドユーザー機器(PC, モニタ, プリンタなど)が 21TWh でした。つまり、データセンターとネットワーク機器の消費電力は、IT 関連消費電力の中で 61%と、過半を占めています。データセンターもネットワーク機器もインフラ設備であり、エンドユーザーからは直接見えないので意識されにくいのですが、現実にはこの部分で大きなエネルギー消費が発生しています。

Society 5.0 という未来社会を設定するならば、その基幹インフラとなる情報ネットワークとデータセンターの SDGs は重要な課題になります。

北海道の特性を活用しよう

言うまでもなく、北海道は日本の最北端にあります。国土面積の 22.1%を占める一方、人口は 500 万人台、2024 年 10 月時点の人口密度は 64.3 人/km²です。よく比較される福岡県が 1022.1 人/km²、沖縄県が 642.9 人/km²ですから、いかに人口密度が低いかがわかります。

しかし、北海道の主要機能が集中する札幌圏を見ると、状況が一変します。日本海側の石狩市から太平洋側の苫小牧市までの道央ゾーンには、200 万人都市・札幌市を中心とする札幌圏が形成され、その総人口は 250 万人以上、実に北海道全域の半数以上の人々が生活し、経済活動もこの地

域に集中しています。北海道には、高度に機能が集中した行政・経済センターとしての道央圏と、それ以外の北海道という、2つの異なる地域があると考えるのが自然です。両地域は対立関係にあるのではなく、一次産業基盤を支える北海道とそれ以外の産業集積地としての道央圏という 2つの地域特性をもつエリアだと考えるとわかりやすいのです。

北海道の気候帯は、日本で唯一の亜寒帯気候であり、冷涼な気候特性があります。SDGs の重要なテーマである再生可能エネルギー資源も、風力、水力、太陽光、地熱、バイオマスと資源量が豊富です。日本の国土の 22%を占める北海道には、未開拓の資源も多いはずです。情報通信が新しいエネルギー需要を作ることによって、新しい再生可能エネルギーが実用化される可能性もあります。

北海道の地域特性を活用したネットワークとデータセンターの立地計画は、日本全体の国土強靱化と SDGs に貢献できると確信しています。

デジタル社会のインフラストラクチャー (インフラ経営学)

江崎 浩

Hiroshi Esaki

東京大学大学院 情報理工学系研究科 教授 / WIDE プロジェクト 代表

1.1

インフラとは

社会・経済・産業インフラとはどのような構造・構成でなければならないのだろうか。インフラは、プラットフォームと呼ばれることもあるように、多様なインフラ資源の提供者と多様な利用者が存在する「シェアリングエコノミー型」のネットワークである。

以下、様々な観点から インフラが満足すべき特性・特徴及び課題を整理した。

1) グローバルなインフラとの連携・結合を前提に考えるべき。

2) 利用者の増加と変化に対応可能な Start Small, Scale Fast を意識したシステム設計を行うべき(not Water Fall 型)。

3) 新しいビジネスプレイヤーには、Start Small, Scale Fast を可能にするために、大手の事業者に要求されるユニバーサル・サービスを義務化すべき（負わせるべき）ではない。

4) デジタルビットの送配信・コンピューティングを積極的に利用したインフラ構造・アーキテクチャを目指すべき。

5) 民主導・官支援を目指すべき。

1.1.1 |

社会・経済・産業活動の“コモンズ”

コモンズ概念はさまざまであるが、一般的には、『共有資源を共同管理する仕組み』という定義があげられる。¹ アメリカの生物学者 Hardin, G. (ハーディン) は、「一人ひとりの個人が自己の効用を最大化しようとして合理的に行動を行った結果、過剰利用により共有地は枯渇し、結果的に全体として不合理で悲劇的な結果を生み出してしまう場合が存在すること」を提示した。これを「コモンズの悲劇」としているが、これは、自由資本主義の問題・課題と共通する課題・問題点であると捉えることができる。

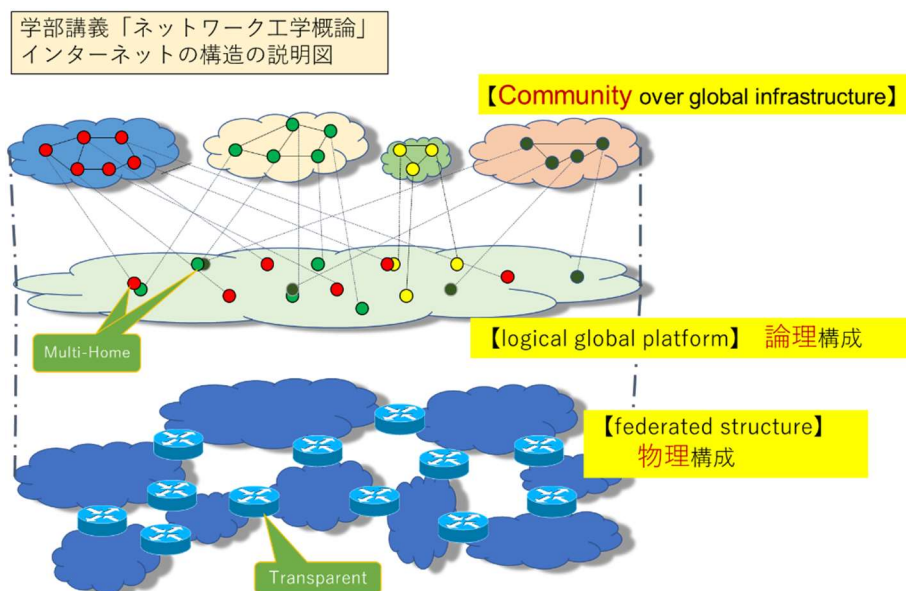
ハーディンはこの解決策として、国家による管理か、私有地への分割を主張している。ハーディン論文以降、さまざまな論者により、コモンズの理論についての研究が行われてきたが、国家による管理か、私有地への分割かという二者択一的

なアプローチではない、第 3 の選択肢を見出そうとする研究が出てきている。伝統的なコモンズは、森林や牧草地などであるが、科学技術が発達した現代では、サイバー空間などの新しいコモンズも出現している。

インターネットは、地球を覆い尽くしたコモンズ・インフラの一つであると捉えることができる。同様に、交通インフラや都市インフラ、あるいは エネルギーインフラなどが、コモンズ・

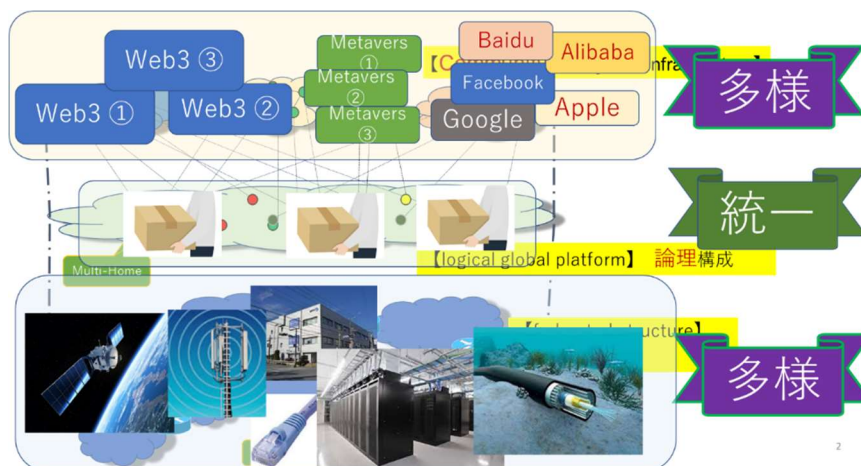
インフラの典型例である。以下、インターネット・インフラを議論してみる。

図表 1.1 及び図表 1.2 に示したように、自律的に運用される多様な個別システム・ネットワークが透明性を持ち、共通の技術仕様を適用した接続点(インターネットではルータ)を介して相互接続される(一番下層の物理的な Federated Structure)。この各自律システム・ネットワーク



出典：筆者作成

図表 1.1 インターネット・インフラの構成



出典：筆者作成

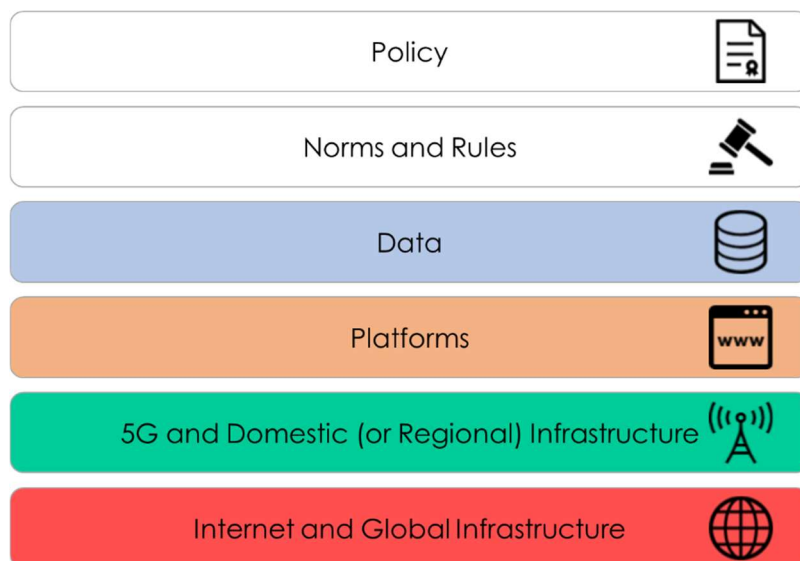
図表 1.2 インターネット・インフラの構成例

内においても、多様な物理資源と相互接続のためのプロトコルが存在しており、図では 1 階層の構成を示しているが、実際には、多階層型の多様なトポロジー構造を構成している。この自律的に運用される多様な個別システム・ネットワークに存在し、システムを構成するすべての構成要素が、「統一の技術仕様である IP (Internet Protocol)」を用いて相互にデータ通信を行うことを可能にしている。つまり、地球上で統一的な技術仕様(=IP)とその運用管理ルールを定義・適用・利用することで、自律的に運用される多様な個別システム・ネットワークに跨る「論理的なグローバルプラットフォーム」を構成している(真ん中の層)。最後に、一番上位の層には、「論理的なグローバルプラットフォーム」の上に、多様なコミュニティネットワークやサービスネットワークが自律的に構成可能となっている。多様な物理資源と多様なユーザによる自律的な個別システム・ネットワークが、「論理的なグローバルプラットフォーム」を仲介にして、相互接続される構成である。すなわち、共通の統一的な

技術仕様(=IP)を地球上のすべてのデジタル機器に適用することで、地球上のすべての物理的資源を、地球上のすべてのユーザが共有利用可能にしているのである。すなわち、上述したコモンズの定義である『共有資源を共同管理する仕組み』を、IP とその運用管理ルールを用いて実現していると捉えることができる。

次に、IP を用いた「論理的なグローバルプラットフォーム」の上に構成される多様なコミュニティネットワークやサービスネットワークを考えよう。

最下層が、図表 1.1 および図表 1.2 で議論した真ん中の層(「論理的なグローバルプラットフォーム」)である。この上に多層的な構造が存在しており、図表 1.3 は、その一つの整理形である。多様な論理ネットワークやプラットフォームが形成され、それらの間でデジタルデータが流通・加工・利用される。デジタルデータの流通・加工・利用にあたっては、コミュニティ内とコミュニティ間での標準やルールが定義・適用され



出典：村井純 講演資料より

図表 1.3 プラットフォームの階層構造

ることになる。これらの標準やルールは、必ずしも「グローバル共通・統一」とはならないが、可能な限り統一することができれば、「論理的なグローバルプラットフォーム」の範囲が拡大することとなり、インフラを、より効率的に運用できる可能性が増大することとなる²。

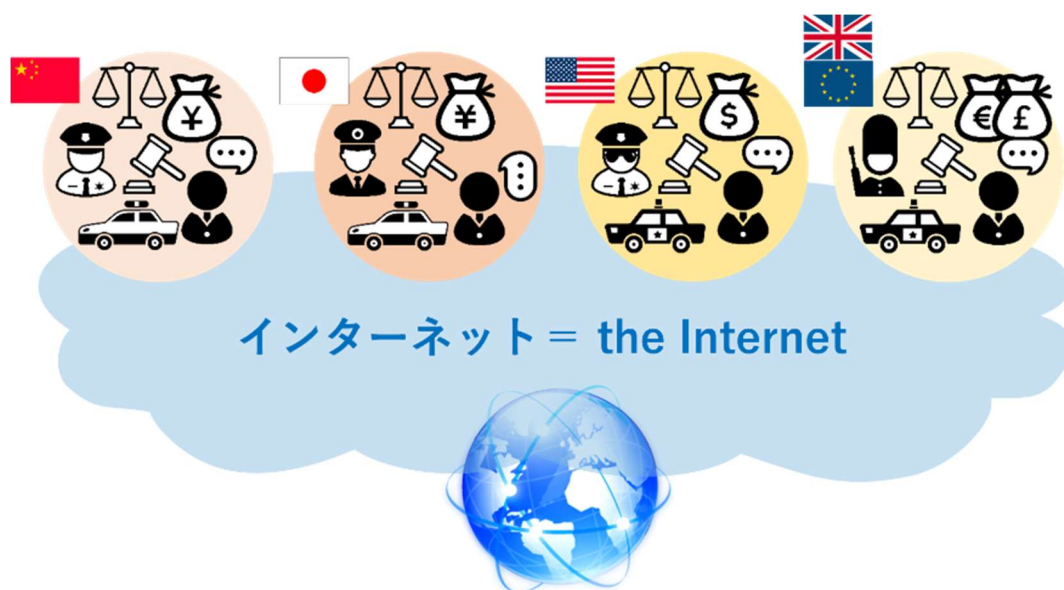
このような構造は、物流インフラ、交通インフラあるいは電力インフラに共通している。物流インフラでは、コンテナやパレットが共通のモノであり、下位層には車・飛行機・船・列車などの輸送インフラが存在し、上位層には様々なユーザコミュニティが形成されている。交通インフラでは、荷物や人が共通のモノであり、下位層には荷物や人の輸送インフラが存在している。また、電力システムにおいては、下位層に、多様な発電装置・設備及び送配電設備が共通の技術で相互接続され、中間層には電力(=Electron)が存在している。上位層には、電力を消費して稼働する多様な機器が存在している。

電力システムは、これまで、各エネルギー(火力、水力、地熱)ごとに個別に形成されていたシ

ステムに、共通の「電力(=Electron)」というモノを導入・利用することで、より大規模なエネルギーのコモンズ・インフラを創世することになったと捉えることができよう。さらに、莫大なエネルギーを放出する核エネルギーを、熱エネルギー、蒸気の運動エネルギー、タービンの回転エネルギーに変換し、それを電気エネルギー(Electron)に変換して、他の発電システムとの統合・連携を可能にしたと捉えることができる。

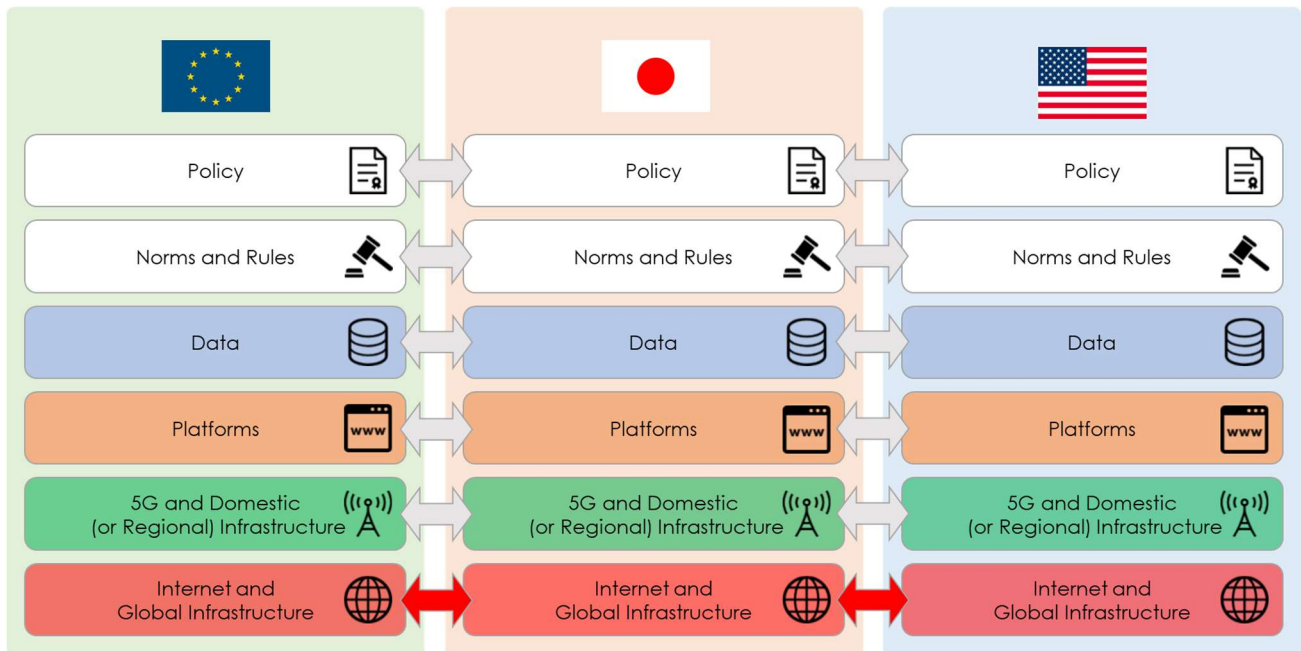
このような観点で、現存のインフラを分析することで、今後の各インフラ間での新しい連携の実現に必要な「共通の中間層」を発見・発掘することができれば、コモンズ・インフラの拡大・拡張が実現可能となり、現存インフラの効率化と高機能化(新しいサービスの創成・創造)が可能になるものと考えられる。

ここで、「国家」という概念との関係が出てくることになる。コミュニティ内とコミュニティ間での標準やルールが定義・適用されなければならず、ここに、国家との関係が発生する。



出典：村井純 講演資料より

図表 1.4 the internet の概念図



出典：村井純 講演資料より

図表 1.5 デジタル・サイバー空間における国家のイメージ

社会・経済・産業活動の“コモンズ”を提供するインフラの運用・管理には、地面という物理的な境界で定義される(されていた)国家との関係が存在することになる。さらに、企業や個人の活動は、既に、物理的にも論理的(デジタル・サイバー空間を含む)にもグローバル空間で展開されている。したがって、次節で議論するマルチステークホルダー型でのルール形成とその運用が実現されなければならないことになる³。

1.1.2 | “マルチステークホルダー”型の自律オープンな分散連携システム

コモンズを形成する空間、そして、その実現事例の一つであるインターネットや交通システム、都市インフラ、あるいはエネルギーインフラは、どのようにしてその運用ルールを構築し、適用・運用しなければならないのであろうか。

コモンズを形成する空間は、多様な参加インスタンスから構成される「自律分散連携システム」であり、共通の技術やルールが適用されなければならない、様々な観点での「オープン性」が確保されなければならない。多様な参加インスタンスの自律性が担保・保証されながら、連携動作を可能にする共通のコト(=技術やルール)が、当事者間で共有されなければならないのである(=透明性・オープン性)。

このルール形成のためには、コモンズの形成に関するすべての利害関係者(=ステークホルダー)が参加し、公平な立場で議論が行われ、共通の認識やルールが形成されなければならない。典型的な利害関係者としては、個人、営利/非営利組織、国家の3者が広く認識されている。国家にも、立法・行政・司法という3つのステークホルダーが存在することが認識されている。すなわち、健全な「コモンズ」の環境が形成・維持されるためには、関係する多数のステークホルダー

一(=マルチステーク・ホルダー)による公平な意思決定が行われる仕組みが存在する必要がある。その上で、各ステークホルダーによる自律的な活動が実現されなければならない。

1.1.3 | インフラ連携の歴史

1.1.3.1 After 産業革命

第1次産業革命は、蒸気機関による、人力を大きく上回る動力源の発明が起因とされているが、本当の動力源の革命は第2次産業革命で起こった。つまり、電気(Electron)を生成・利用する回転機(モーター)の発明と導入である⁴。なお、ここで、回転機が電気の生成と利用(動力の生成)の両方を同一の機器・構造で実現する点は興味深い。

産業革命の初期の工場では、重くて移動が不可能な蒸気機関が生成した回転エネルギーが、ベルトや変則機という“硬い/堅い”ハードウェア資源を用いて、工場内で稼働する複数の工作機器に伝達された。ところが、電気が発見され、モーターが発明されたことで、人類は、ベルトや変則機のような“硬い/堅い”ハードウェア資源を用いずに、“柔らかい”ハードウェア資源である銅線を用いて、工場内に存在する工作機械のモーターに電気エネルギーを供給し、電気エネルギーが再び電磁誘導を用いたモーターによって回転エネルギーに変換される構造を実現させた。これによって、工場内の各工作機械が、ベルトや変則機という“硬い/堅い”ハードウェア資源から解放され、自由に起動・停止、さらには設置場所を移動可能(=トポロジー変更)な環境を獲得した。初期の蒸気機関を用いた工場とほぼ同じ構造を持っているのは、もはや内燃エンジン型の自動車や飛行機・船舶などのみではないだろうか。この内燃エンジン型の自動車は、急激

に電気自動車に入れ替わろうとしている。

電力の発見と利用法の創生と確立は、それまで連携稼働することがなかった人力で稼働するシステムの連携稼働を可能にしたと捉えることができる。これによって、社会・産業活動が劇的に効率化されるとともに、連携領域の拡大を発生させた。

一方、内燃機関の発明は、人や貨物の移動能力を劇的に向上させ、結果的に、経済の連携活動領域の急拡大を実現させることとなった。村などの徒歩可能な領域と人力で移動可能な荷重のモノ(農業での生産物)で形成されていた経済活動、すなわち、人々の間での農業活動の連携活動は、農業での生産物だけではなく、工業生産物に関する地理的連携領域の拡大と連携可能な物資重量の拡大をもたらすこととなった。下位層の性能改善が、中間層と上位層の物理的な領域の拡大と活動内容の多様性をもたらすことになったのである。この結果、国家や企業などの組織間での物理的な領地の拡大・獲得競争が発生することとなった。

1.1.3.2 After インターネット

インターネットは、コンピューターに代表される電子革命・プログラム革命である第3次産業革命の仕上げに位置付けることが可能であろう。第2次産業革命の重要プレイヤーである「電気(=強電、electron)」に対比して、「電子(=弱電、electronics)」と捉えることができる。

インターネットは、それまで、単独での稼働と、物理的に狭い領域に閉じ込められていた電子機器システムを、地球規模の物理領域で自由にかつ自律的に連携可能な環境へと導くことに成功した。すなわち、第2次産業革命において、内燃機関による人や貨物の移動能力の劇的な向上に伴う経済の連携活動領域の急拡大と同様に、地球上のすべての電子機器システムが、「デジタル

通信」を用いて連携可能な環境を提供することになったのである。

さらに、当初は、「データ」の移動のみの実現であったが、VM(Virtual Machine)技術を用いたコンピューターのクラウド化によって、地球上を「コンピューター」が自由に移動可能な状況へと進化することとなった⁵。すなわち、データもコンピューターも地理的な存在位置を気にすることなく、デジタル・サイバー空間の中を自由に移動可能な環境を獲得することとなり、デジタル・サイバー空間から物理空間のモノを観測・制御することが可能になったと捉えることができる。これは、物理空間が主導であったシステムから、デジタル・サイバー空間が主導のシステムへの変革・進化も意味する。

もう一つ、重要な変革・進化として、次のことが言える。

-
- 物理空間での社会・経済・産業活動は、「現状では」地球という有限な 3 次元の物理空間という制限を前提条件としなければならないため、物理資源の争奪戦が発生してしまう⁶が、
 - デジタル・サイバー空間での社会・経済・産業活動には、活動空間の制限(上限)は事実上存在せず、制限なく活動空間を拡大可能である。その結果、デジタル・サイバー空間の資源の争奪戦は大きく緩和されることになる。
-

活動領域の上限が存在しない、新しい領域(デジタル・サイバー空間)での社会・経済・産業活動領域に対して、デジタル・サイバー空間(図表 1.1 の上位 2 層)を形成するための施設(e.g., データセンター)や、機器の稼働に必要な電力エネルギーといった下位層の物理資源の争奪戦が発生する可能性が存在している。既に、これらの物

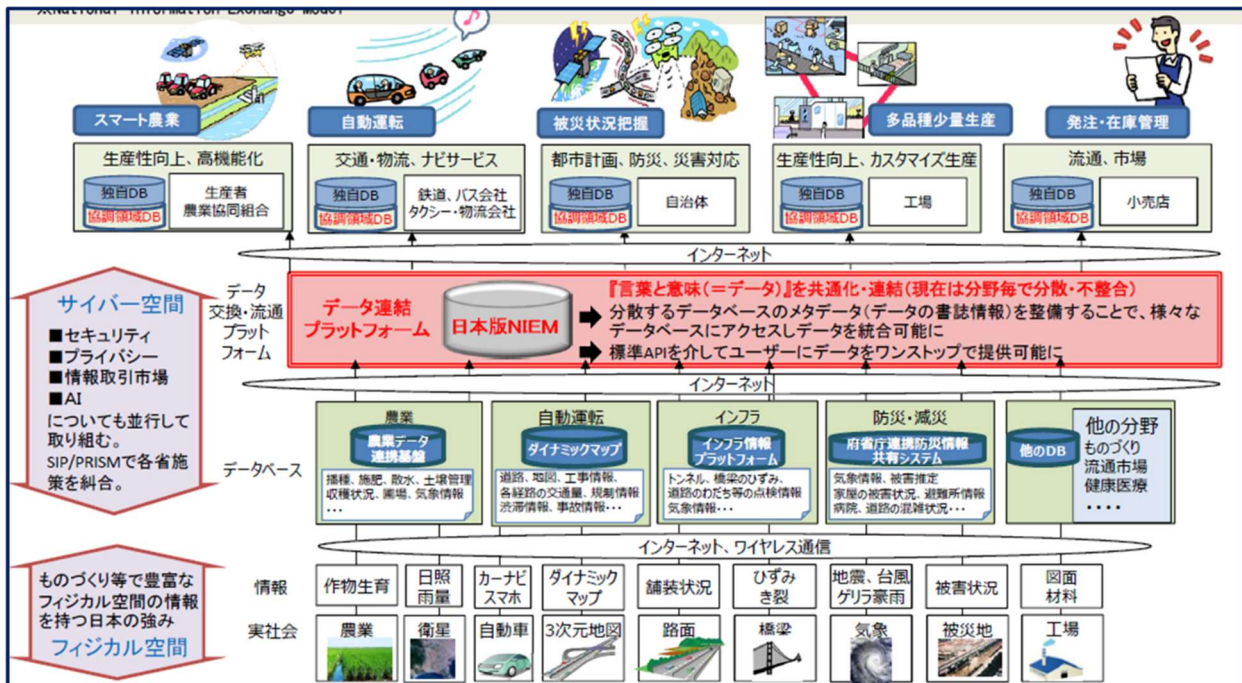
理資源の争奪戦が顕在化しつつあるようにも見える。

1.1.4 | 民主導 & 官支援

社会・経済・産業活動は、基本的には「民主導」である。官は、1.1.2 で議論したように、「**マルチステークホルダー**」型の**自律オープンな分散連携システム**であるべきである。もちろん、「官」は、重要かつ強力な影響力と強制力を他のステークホルダーにもたらす存在であるが、社会・経済・産業活動を主導するべきではないと考える。経済規模においては、少なくとも 6 割から 7 割は民需であり、官需は残りの 3 割から 4 割となっているのが通常である。すなわち、「官」の重要な役割は、「官」による需要の確保ではなく、「民」の活動が、自律・オープンに、かつ、自由に分散連携可能なルールの整備と環境の確立にあると考える。

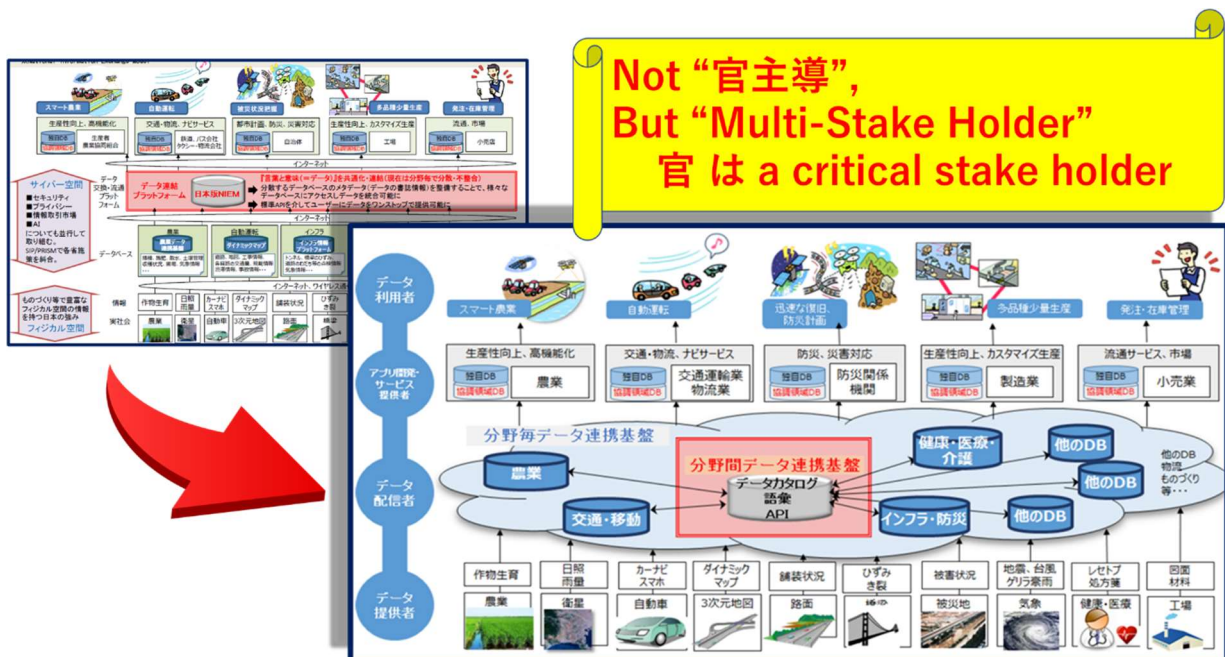
図表 1.6 と図表 1.7 は、2018 年 4 月に内閣府から公開された「第 5 期総合科学技術基本計画～Society 5.0～データ連携 SWG」において、データ連携を促進させるためのシステム設計を示した図である。図中の赤い部分が政府によって環境構築・整備される領域とされていた。当初は図表 1.6 のように、データの収集を行う下部のインフラとデータを利用する各システムが、政府が用意する「データ連携プラットフォーム」で結合される構造であった。官主導によるインフラ環境の構築である。Society 5.0 で構築されるインフラ環境は、「民主導、官支援」であるべきとの議論を行った結果、図表 1.7 の構造へと変更された。政府が整備する「分野間データ連携基盤」は、データカタログ・オントロジー(e.g., 語彙)・API 仕様などの基本機能のみを提供し、民間中心のデータ提供者、サービス提供者、さらに

デジタル社会のインフラストラクチャー



出典：内閣府資料

図表 1.6 データ連携を促進させるためのシステム設計図（当初）



出典：内閣府資料

図表 1.7 データ連携を促進させるためのシステム設計図（変更後）

データ・サービスの利用者が、自由・自律的に連携可能な分散型システム環境に向かうべきとの結論に至った。

1.1.5 | ハードウェア（物資）と エネルギー（フロー）と アルゴリズム（トポロジー）

人類が設計・構築・運用するインフラは、インフラを構成するハードウェア資源（物資）とハードウェアを稼働・利用するために必要なエネルギー（フロー）、そして、望む稼働を実現するためのフローの制御アルゴリズム（トポロジー）を必要とする。この3つを、適切に設計・準備・構築・運用しなければならないとともに、利用者の増加に対応可能な設計、すなわち、Start Small, Scale Fast のシステム設計を行う必要がある。

最初から大規模ユーザを想定した Water Fall 型のシステム設計・運用は、ユーザが想定通りの振る舞いをするを期待することが非常に難しいのが実状である。したがって、Agile 型の、動かしながらシステム構成を修正する手法が採られることが増えているのである。

インターネットでは、Rough Consensus and Running Code と表現されているように、修正・訂正可能な余白を持ったシステムの導入・拡大を心がけてきたとされている。この考え方が、インターネットの環境が激しく変化しても、基幹インフラのクリティカルな変更を行うことなしに、新しいサービスの導入・展開が実現されたと考えられている。「敢えて最適化しない」ことで、変化への対応を行う「余白を残しておく」のである。さらに、アルゴリズムを変更可能にしておくこと、すなわち、ソフトウェア・ディファイン・システム (Software Defined System) にしておくことも、重要な観点である。

インフラのトポロジー（線と点）の構成を、インフラの利用者の状況に応じて変化させなければならない。規模の変化（増減）と領域の変化（拡大・縮小）の掛け算によって、インフラのトポロジーを変化させなければならない。このインフラトポロジーの変更に必要なコストの削減は、非常に大きな問題・課題である。

次節で議論する「デジタル化」は、ソフトウェア（コト＝Functions）とハードウェア（モノ＝Things）を実現することができる。「より少ないハードウェアの投入によってインフラのトポロジーの変更を行う」ことができれば、それは、①インフラ提供事業者も、②利用料を負担することになるインフラ利用者も、そして、③インフラ変更に必要な資源とエネルギーを消費され温暖化を憂慮しなければならない地球と人類の3者の全てが嬉しい状況（「三方良し」）となる。

次節では、「点」で構成されるインフラと「面」で構成されるインフラの議論を行っており、その中間構造である「面」で構成されるインフラハードウェアを変更せずにインフラのトポロジーを変更するソフトウェア・デファインド・システムの議論と具体例を紹介している。インフラ構築の際に、インフラのハードウェア（モノ）を「点」で敷設・維持することができれば、「面」で敷設・維持するインフラと比較して、短期的にも長期的にも、必要な物理資源量を大きく削減することができる。

①「面」での整備が必要なインフラの典型例

：鉄道、道路、電力

②「点」での整備で構築可能なインフラの典型例

：空港（航空機）、港湾（船）

③大規模なインフラ構築が不要なインフラの典型例

：ドローン

ソフトウェア・デファインド・システムでは、「面」での整備が必要な物理インフラにおいて、直接には隣接していない拠点間を「論理的な(仮想)リンク」でプログラマブルに結ぶことを可能にする。物流における鉄道や道路といった「固定された面」のインフラの上に定義される拠点間の「論理的なリンク」上をコンテナが移動する構造、インターネットにおける VLAN (Virtual LAN) や MPLS (Multi-Protocol Label Switching)、海底ケーブルシステムにおける ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer) などがその典型例となる。

1.1.6 |

鶏と卵

(インフラストラクチャ・ファースト?)

「インフラの整備が先か?あるいは、サービス開発が先か?」、なかなか回答がない課題である。以下では、コモنزのインフラの代表例としてのインターネットと電力システムの歴史を整理するが、両者とも、最初は、小規模の Private Asset による小規模の自立・自律システムからスタートし、ネットワーク化が行われる段階で新しい利用法が現れ、狭域と広域の両方でのインフラ投資が加速して、大規模なインフラが構築されるに至っている。その過程では、インフラの運用ルールの変更や新設が、その状況変化に応じて行われてきた。すなわち、各組織が個別に自組織のためにシステムの構築を行い(私益)、他システムとの相互接続を行うことで、新しいサービスの提供の挑戦が行われ(私益)、その結果、公益的なインフラ環境が結果的に構築された。私益と公益の共存であり、ポジティブ・フィードバックの形成である。インフラの構築と提供は私益であり、かつ、公益である構造を目指さなければならない。

1.2

デジタルとは

1.2.1 |

アンバンドル化

「デジタル化」とは、一般的には、画像、文字、音楽、果てはお金に至るまで、様々な情報を、コンピュータで処理できる数値の信号にして保存・伝送することを指す。つまり、デジタル化は「情報を離散的な(とびとびの値しかない)量として表現する方法」とされている。しかし、ここではデジタル化をもっと広義に捉える。

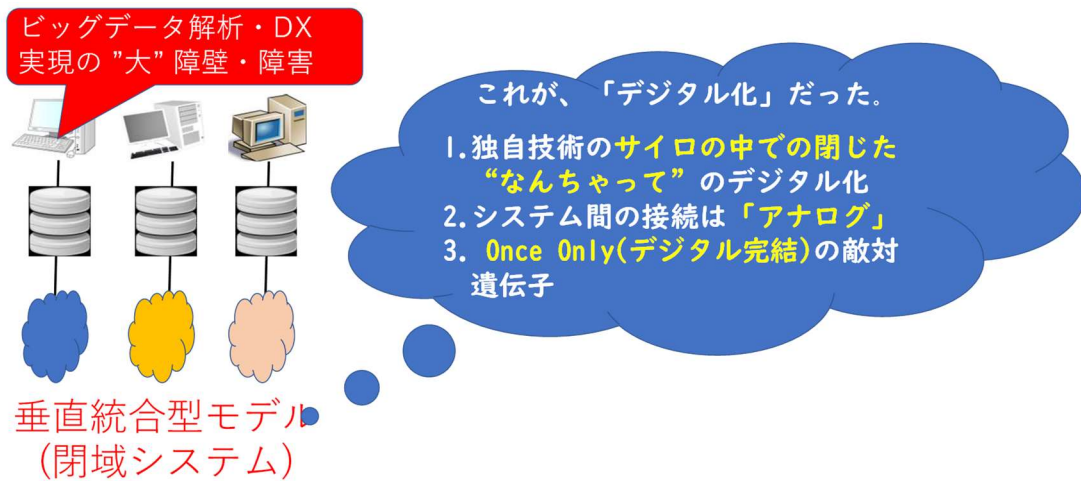
情報を抽象化してオブジェクトとして定義し、それを共有する方法

という考え方・見方である。言い換えるならば、情報に対して本質的な要素のみを取り出して、操作対象として表示や解釈の仕方を設定し、それを送り手と受け手で共通して了解する方法ということである。

このように考えると、「デジタル化とは、システムの抽象化によって、ハードウェア(モノ)とソフトウェア(コト)をアンバンドルすること」でもある。アンバンドル化された「コト」を、新しい「モノ」を用いて実現することが可能となる。その際、「コト」を実現するための新しい「アーキテクチャ」を発明・実装することが「真の”デジタル化”」である。モノとコトとが垂直に密統合されたシステムを、モノとコトに分離し、モノとコトが自由に結合可能に、つまり、モノの空間とコトの空間の要素が疎結合の状態に進化する

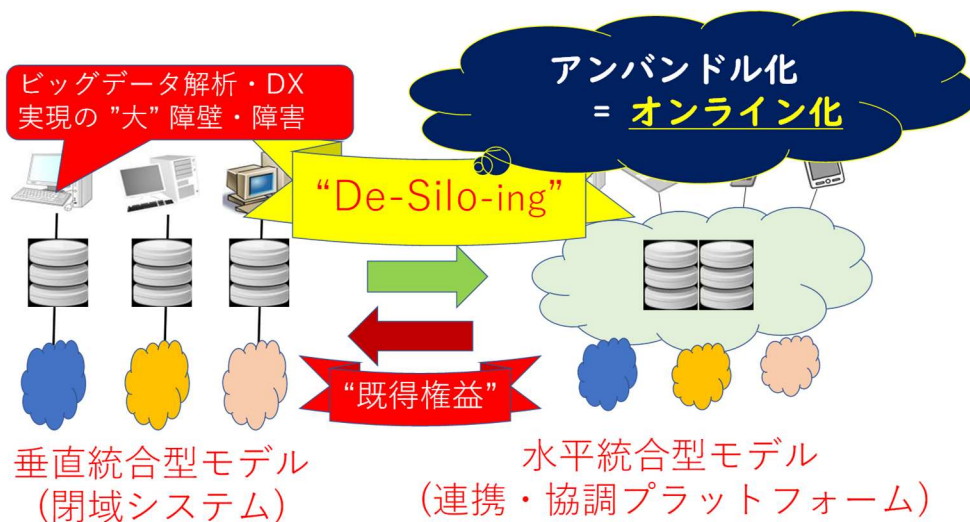
ことである。その結果、垂直統合型のサイロ構造が、水平型の階層構造に変化することになる。これがDe-Silo-ingである。「モノ」と「コト」の間にプラットフォームが存在することもあるが、自由にデジタル小包が配送される狭義のインターネットのように、プラットフォームが存在しない利他型の自律分散構造も構築可能である。

さらに、De-Silo-ingにあたっては、上述のように、物理的な電子機器(Things)の間でのデータの送受信は地球を覆い尽くしているインターネット上で自由に行われるが、IoT(Internet of Things)はいま、デジタルデータの集合が実現する機能(Function)が機器(Things)の間で送受信されるIoF(Internet of Functions)へと進化していることも十分に考慮・配慮すべきである。



出典：筆者作成

図表 1.8 旧来の「デジタル化」のイメージ



出典：筆者作成

図表 1.9 アンバンドル化による効果

1.2.2 | 超低コスト化

デジタルビットの塊である“デジタルのモノ”、すなわち、データや機能を実現する仮想マシン（VM）は、電力を送配電する銅線や地理的な貨物・荷物・人を配送する物流・交通システムよりもはるかに軽量で、低コストの光ファイバー（あるいは質量がゼロの無線）を用いて伝送することを可能にする。後に議論するように、「デジタルビットの塊（＝デジタルのモノ）」を、電力銅線と比較して二桁程度必要コストが小さい光ファイバー（や無線）を用いて、長距離移動させることを可能にした。我々は、『物理的モノの移動≫エネルギー（含電力）の移動≫デジタルビット（デジタル化されたモノとコト）の移動』という事実を、社会産業インフラの初期構築だけではなく、その運用とトポロジーの変更などを含む構成変更においても、そのコスト構造に大きな影響を与えることを認識するべきである。

1.2.3 | デジタル・ツイン化

ビットマップによる空間オブジェクトの表現と把握は、人工知能の利用などを通じた物体認識技術の高機能化に伴い、オブジェクト指向型の Native Digital 化が急激に進展している。

オブジェクトとしての物体の認識と表現は、3D の空間把握を時系列として扱う 4D 情報として、実空間のデジタル・ツイン化を実現しつつある。これは、もちろん、メタバースに代表されるデジタル・サイバー空間を主空間とした拡張空間へと進化を遂げている。Native Digital で構成されるデジタル・ツイン空間では、デジタル空間における多様なシミュレーションが実行可能となり、これまでのように実空間での人力での

作業を前提とした研究開発活動の劇的な効率化と高品質化が、ハードウェアおよびソフトウェアのロボットの導入によって実現されつつある。

すなわち、インフラの設計、施工、運用、解体・廃棄・再利用のライフタイムにおける事前評価と事後評価が実現可能になりつつある。さらに、このライフタイムでの各システムのデジタル・ツイン化は、単体にとどまらず、複数の、さらには、すべてのシステム間での統合・連携へと向かう⁷。

インフラのデジタル・ツインの作成とその修正と利用は、インフラの設計段階からその廃棄までのライフタイムで一貫して行われなければ、デジタル・ツインの再作成という大きなコスト要因を誘導してしまうことになってしまう。すなわち、インフラのライフタイムにおいて、デジタル・ツインの再作成を行うのは、時系列としてのデジタル・ツインが{実空間という}アナログを介して相互接続されるという、時系列空間でのサイロ構造を持っていることになる。もちろん、インフラが独立した排他的な空間でデジタル・ツインの表現仕様が異なり、相互参照性を持っていなければ、その統合化のコストが大きくなり、場合によっては、事実上不可能となってしまう。すなわち、多様なサブ空間が結合されて形成されるインフラのデジタル・ツインを作成するためには、各サブ空間間でのデジタル・ツインデータに関する相互接続性・相互参照性の実現が強く要請される。時系列と空間の両面において、デジタル・ツインデータに関する相互接続性・相互参照性の実現が必要となるのである。

日本の建築関連業界における重要な解決が 必要な重要課題

日本の建築関連業界⁸においては、建築物や道路などのインフラ設備のデジタル・ツインの生成が非常に難しい産業構造・業務工程となって

いる。現在では施設・設備の設計のデジタル・ネイティブ化が進行しているものの、このデジタルデータは建設許可申請のためだけに利用され、しかも、申請審査のための媒体はアナログの紙をオリジナルとしているのが実状である⁹。

日本におけるデジタル・ツインの利活用によって致命的な問題は、建築申請用のデジタルデータが、「現場の優秀なアナログ力」によって、施工後の施設・設備と合致しない結果を招く点である¹⁰。通常、建築申請用の“図面”¹¹作成で、最上流工程である設計会社の仕事は完了し、設計会社は次の実工事をゼネコン等の建築会社(群)に手渡す。ゼネコンは、サブコンなどの関連会社(群)と実際の作業図面を作成し、“その図面”に従って実作業・実工事が実施されることになる。ところが、この作業図面は実作業を行うには完全なものではない場合が一般的で、現場の職人が多様な作業/作業者と調整しながら実行する。その結果、作業図面とは異なる「良質の」実工事が行われることが少なくないのが実状なのである。すなわち、もともと/そもそも、作業図面は、系統ごとに系統間での情報共有と調整が十分に行われずに、各作業用の個別の作業図面が作成されることが一般的となっている。その結果、現場での記録には残らない“良質の”修正・調整が行われることになるのである。

こうしたビジネスフローが形成されている国は、グローバルには稀な存在である。殆どの国では、設計図面と施工図面の違いは、良質の実作業が作業者・作業会社によって発生している。しかし、日本では、現場において“必要以上の”良質の実作業が、自律的に、記録に残らない形で行われることによって発生しているのである。

これまでのように、アナログ前提で、サブシステム毎に独立した建築作業と管理運用を行う体制では邪魔にならなかった「日本の良質な現場での自律的な修正・調整作業」が、デジタル前提

時代のインフラのライフタイム管理・制御にとっては足枷になる危険性を持っていると認識する必要があるのではないだろうか。さらに、ゼネコン及び設計会社を頂点とする階層型のサプライチェーンは、彼らの関連会社から構成されているケースもあり、これら関連企業の事業継続の観点から建設的再構築が躊躇される産業構造になっていることも、現状の変更への足枷となっているとも考えられる。

1.2.4 | 拡張可能空間の無限化

Before デジタルの社会・産業は、物理空間での社会・経済・産業活動を基本としており、地球という有限な 3 次元の物理空間という制限を前提条件としなければならなかったため、物理資源の争奪戦が必然的に発生していた。しかし、デジタル・サイバー空間での社会・経済・産業活動には、上述のように、活動空間の制限(上限)は事実上存在せず、制限なく活動空間を拡大可能である。その結果、デジタル・サイバー空間の資源の争奪戦は大きく緩和されることになる。

1.3

Society 5.0 と デジタル田園都市国家構想

1.3.1 | Society 5.0

Society 5.0 は、「第 5 期科学技術基本計画」(2016 年度から 2020 年度)のキャッチフレーズであり、それは、サイバー空間と現実空間を融合させた CPS (Cyber Physical System) と定義され、経済発展と社会課題の解決を両立するという計画・構想である。

Society 1.0 は狩猟社会、Society 2.0 は農耕社会、Society 3.0 は工業社会、Society 4.0 は情報社会とされた。Society 5.0 は、デジタルによる革新・イノベーションを最大限活用する社会であり、新しい KPI として、(社会・産業・経済の)成長に加えて、国連が提唱し始めた「持続可能な開発目標 (SDGs)」が加えられた。単なる効率化・省力化にとどまることなく、新しい付加価値としての SDGs などを包含することで、新しい社会・産業・経済活動へと進化することが目標とされた。これは、ほぼすべての研究開発領域が、デジタル基盤の強さに依存するようになったことの認識が共有されたことも原因であると考えられる。

1.3.2 | 第 6 期科学技術・イノベーション基本計画

第 5 期科学技術基本構想計画で打ち出した Society 5.0 のインフラは、まったく実装されていなかったことが、2020 年に起こった新型コ

ロナ禍で明らかになったことを認識し、Society 5.0 の「“実”実装」が第一目標に掲げられ、普及の文字に加えて、「定着」という文字が使われた。また、「選択と集中」の政策が失敗であったことが認識され、「多様性・包摂性」が重要な方向性とされ、「政府がアーリーアダプタとなるとともに、自ら行動変容を起こす」とされた。また、データを囲い込むのではなく、共有して活用・連携し、DX を加速するとともに、公共事業への先端技術の導入が明記された。

地方の自律化・自立化のための施策としては、①スーパーシティ/スマートシティの推進、②デジタルガバメントの実現、③標準を活用した {公共} 調達、④ベンチャー企業をグローバル市場へ、⑤民間・専門人材の育成と登用、が提言され、これらが「デジタル田園都市国家構想」の骨格となっている。

さらに、日本に海外の優秀な人材が集結し、創造的な研究開発活動を実現・牽引するために「グローバル・コモンズ拠点」を創生すること、及び、そのための環境整備・構築を行うこと、それに向けて、世界と日本を繋ぐ強力なデジタルインフラである R&D/R&E インフラの整備を行うことの必要性を提唱した。なお、「グローバル・コモンズ」の創生にあたっては、日本市場のユニークな先端技術と高品質が世界で最初に市場化される特長を積極的に活用すべきとの意見が出された。

1.3.3 | デジタル田園都市国家構想

デジタル田園都市国家構想は、2021 年に岸田内閣のもとで起動された「デジタルによる地域活性化を進め、さらに地方から国全体へボトムアップの成長を実現する」ことを目的とした国家構想である。具体的には、①デジタル基盤の整

備、②デジタル人材の育成・確保、③地方の課題を解決するためのデジタル実装、④誰一人取り残さないための取組み、という基軸が示されている。

日本として整備すべきデジタル環境の提示と実装も大きな施策であり、特に、本研究会の副会長である慶應義塾大学 村井純教授、東京大学 江崎浩教授が参画した内閣府・経済産業省・総務省で共同開催された「デジタルインフラ(DC 等)整備に関する有識者会合¹²⁾」では、今後の日本のデジタル化の推進に必要となるデータセンターや通信ネットワークの整備に関する議論・検討が行われ、北海道と九州を、関東および関西に続く第3・第4のデータセンター拠点と位置付け、環境整備のための総合的な施策を展開するべきとの提言がまとめられた。また、日本国内のみに閉じたインフラの議論ではなく、欧州、北米、そして、成長著しい東南アジアを含むグローバルな経済圏の創生と発展に資する戦略的な施策の実施が必要との提言が行われている。さらに、2024 年 10 月に公開された「デジタルインフラ(DC 等)整備に関する有識者会合 中間とりまとめ 3.0」では、以下のように、重要で戦略的な方向性が提言された。

1) 「AI 社会を支えるインフラとしてのデータセンターネットワーク」の役割の重要性とその環境整備を認識・推進すべきである。なお、特に AI インフラに関しては、遅延が許容される学習用途や低遅延が求められる推論用途を分けて考える等、データセンターの用途や必要とされる規模に応じたデータセンターの分散立地の推進が重要である。データセンターが立地可能な地域の幅が広がるため、電力の地産地消も可能となり、脱炭素化の実現にも貢献することが期待される。また、これらの新たな技術の社会実装にあたっては、単に技術開発の成果を実装するだ

けにとどめず、管理・運用技術や環境の整備が重要となる。

■付録 1 | にフィンランドにおける、データセンターの Embodied Carbon の削減をも含む政策・事業事例を示した。

2) 情報処理、電力・通信インフラとの関係性やデータセンターの省エネ性といった観点を、これまでよりも重視すべきである。特に、情報処理と電力・通信インフラとの関係性については、電力の輸送コストに比して通信コストの方がはるかに低廉であることから、データ処理結果の需要地近傍にデータセンターを立地するよりも、電力インフラ近傍に立地されたデータセンターでデータ処理を行った上で、当該処理結果を通信ネットワークにより、その需要地に伝送することが重要である。この際、脱炭素電源を含め、電力の地産地消の観点からも、データセンターの分散立地を推進していくことが一層重要である。

■付録 2 | に中国における『東数西算』と呼ばれるデータセンターの電力インフラとの連携・協調を考慮した国家施策・事業の事例を示した。

3) 首都直下地震・南海トラフ地震等への耐災害性を強化し、高まる地政学的リスクへの対応を強化するなどのレジリエンス強化及び経済的自律性の確保の観点から、デジタルインフラが東京圏・大阪圏に集中する構図を是正していく必要がある。このためには、データセンターだけではなく、国際海底ケーブルの陸揚局の分散立地、ならびに、国際的なプレゼンスの確立・向上と信頼できるパートナーとしての立場を確立することが必要であり、欧米や豪州等との間で連携が進められている太平洋を中心とした国際海

底ケーブル整備とも連動すべきである。

4) 地域 DX によって、あらゆる社会活動にデータや AI が利活用されるようになるためには、データの発生地点（端末）の近くで処理を行う MEC (Multi-access Edge Computing) による処理の分散化等により、地域におけるデータセンターを重要な核インフラとするエコシステムの実現が重要である。

このような地域におけるエコシステムを支える基盤として、社会的な課題を解決する観点から、データセンターの役割は一層重要となる。あわせて、各地域において、GX における電力の地産地消との連携も推進・実現されなければならないことが想定される。

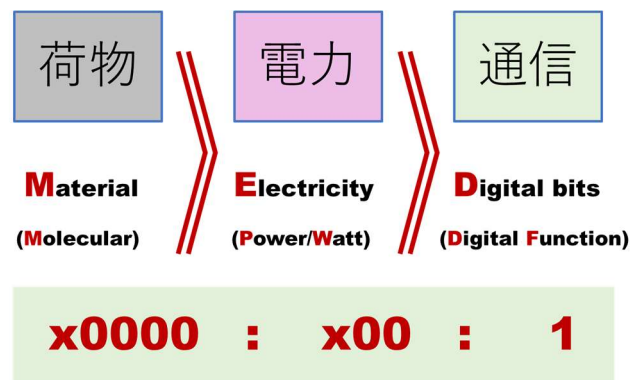
1.4

地球温暖化へのインパクト

自由資本主義に基づく社会・経済の発展は、奔放で制限のないエネルギー消費を誘導した結果、第1次産業革命以降、人類の社会・産業・経済活動によって排出される地球温暖化ガス（主に二酸化炭素）の総量は単調増加を続け、20世紀後半以降、その増加速度が加速してきた。その結果、地球の温暖化は継続・加速し、このままでは、我々は Point of No Return を越えてしまうことが広く共通に認識されるようになってきた。「利益最優先」「成長最優先」から「持続性(生き残る)優先」への優先事項の変更が必須であり、SDGs で議論されているように、持続性と利益及び成長

を実現することが最も望ましい形態であることは明らかである。しかし、地球温暖化を防ぐための地球温暖化ガスの総排出量の削減は、未だ実現されていない。先進国は飽和経済圏であるが、新興国や発展途上国の経済成長はこれからであり、地球温暖化ガスの排出量の増加を回避することは、現状ではほぼ不可能である。

ここで、デジタル技術の積極的かつ戦略的な導入・利用が、社会・産業・経済の発展に必要な地球温暖化ガスの総排出量の削減に貢献することを認識する必要がある。さらに、『物理的モノの移動≫エネルギー(含電力)の移動≫デジタルビット(デジタル化されたモノとコト)の移動』というコスト構造¹³の存在を意識した産業・社会インフラの構築を推進すべきである。



出典：筆者作成

図表 1.10 「移動」に係るコスト構造

当然ながら、デジタル化を推進するためには、デジタルインフラの環境を整備・増強する必要があり、それに伴い、結果的にデジタルインフラが消費するエネルギー量が増加することになる。

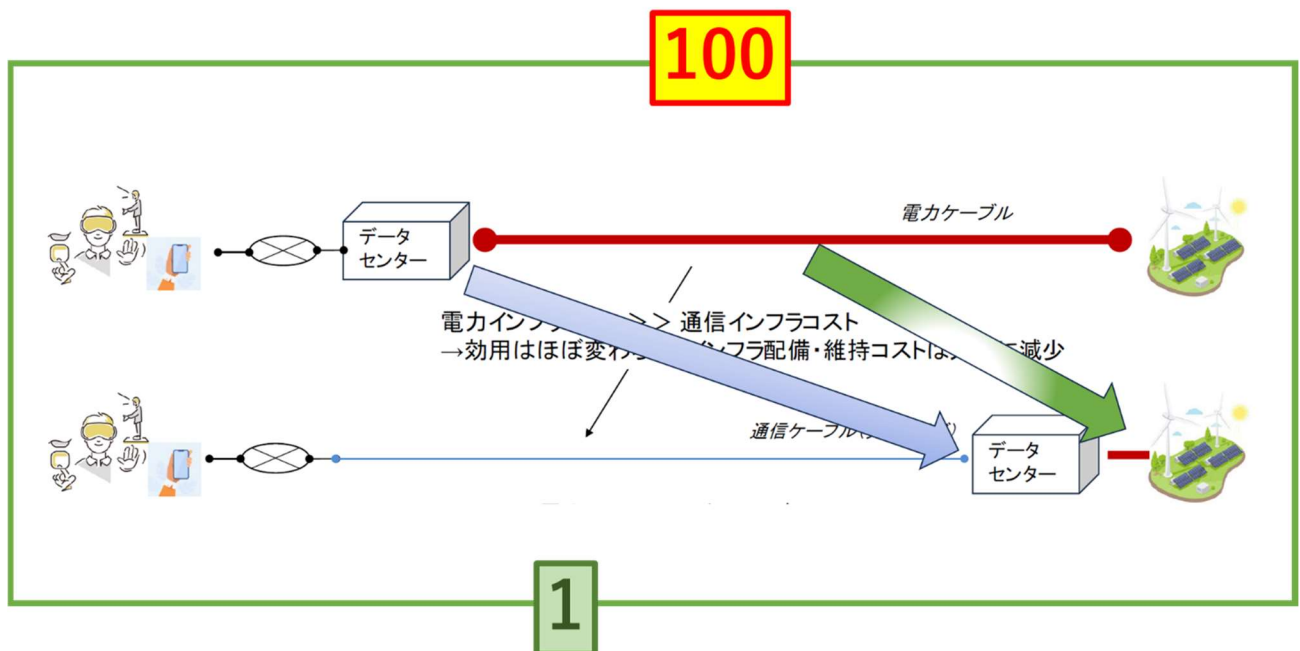
デジタルインフラの消費エネルギーの増加量は、かなりの大きさとなることが指摘されている。しかし、社会・産業・経済インフラ全体で捉えれば、エネルギーの総消費量は削減されるはずである。単体での評価ではなく、全体での包括的な評価を行う必要がある。

デジタル・サイバー空間における社会・経済・産業活動には、活動空間の制限(上限)は事実上存在せず、制限なく活動空間を拡大可能であり、その結果、デジタル・サイバー空間の運用に必要なエネルギーの総量は増加することになる。このためには、地球温暖化ガスを排出せずに電力エネルギーを生成・供給する再生可能エネルギー源の開発・整備が必須となる。活動領域の上限が存在しないデジタル・サイバー空間を実現するインフラのための施設(e.g., データセンター)や、機器の稼働に必要な電力エネルギーの確保が必要となり、これらの物理資源の争奪戦が発生する可能性が存在している(既に、これらの物理資源の争奪戦が顕在化しつつあるようにも見える)。

いわゆるハイパージャイアントは、デジタルビットの伝送インフラの設置・運用コストが電力伝送インフラの設置・運用コストと比較して

非常に小さいことに気付き、既にそのインフラを地球規模で最適配置しようとしている。

図表 1.11 に示したように、元来、低遅延でのサービス提供及びデータセンターとデータセンター内に存在するサーバ類を管理・運用するための技術者の対応のために、データセンターは「人(=サービス利用者とシステム運用者)」の物理的近傍に設置してきた。しかし、①必ずしも低遅延を要求しない計算タスクの急増、②ネットワークとロボット(ハードウェアロボットとソフトウェアロボットの両方)を用いた遠隔管理制御環境の進化・確立によって、データセンターを人に近い場所から、電力エネルギーの生成場所の近傍に移動させることが可能となり、その結果、全体に必要なインフラの構築・維持のために必要なコストの削減が可能となったのである。



出典：筆者作成

図表 1.11 大規模需要家を発電源へ移設

1.5

電力とインターネットインフラの歴史

1.5.1 | 電力インフラ¹⁴

電力産業の歴史を端的に示すと以下のようなになる。

1883 年～1938 年	民間主導体制
1939 年～1950 年	国家管理体制(戦時体制)
1951 年～2012 年	九電力(後に十電力)体制
1956 年～2012 年	原子力政策
2012 年～	FIT(固定価格買取制度)体制

1) 民間主導・自立体制(1883 年～1938 年)

発電事業は、当初、各民間の事業所において自身の機器を稼働させるための「自家発電」からスタートした。続いて、自家発電を行っていた事業者が、余った発電電力を周辺に提供するサービスを開始する。その後、電力の発電・提供(配電)サービスが成功事業となり、個別に展開されていた小規模の発電・配電事業者の M&A(吸収合併)が進行していく。電力会社の合併の時代である。

○「電力王」 福澤 桃介 氏

再生可能エネルギー(当時は「水力」発電)に注力し、「発送電分離」型のインフラ整備を提唱・実施した。国営での事業運営を提唱。

○「電力の鬼」 松永 安左エ門 氏

多様な発電源を開発し、「発送電一致」型のインフラ整備を提唱・実施した。国からの独立性確保を实践し、超電力連携(バックボーン連携ネットワーク)と地域独占ネットワークの2階層の事業者構造を提唱した。民営による競争による品質向上とコスト削減の努力を主張した。

すなわち、当初は、自分のために自分で電力を作るという「自給自足」でスタートしたが、余った電気を販売し、事業者を集約化することで、事業の効率化と収益性が向上したため、「自分で作るのはコスト的に不利」との状況となり、やがて「販売」を目的にした発電と送配電事業が主流となった。

2) 原子力政策(1956 年以降)

1956 年に「産業計画会議」が開催され、国営インフラの改革が実施された。国鉄は日本輸送公社に、専売制度の廃止が行われた。そのような中、電力産業は、国策として「原子力発電」が推進されることになる。1951 年、戦時体制として国営化されていた電力会社は、9 つの電力会社に分割され、国から独立した。しかし、1956 年、国家安全保障の基盤維持のための先進的技術及び核産業を国内に保持するために、原子力発電が推進されることとなる。費用対効果が非常に低い原子力発電の資本確保のために「総括原価方式」が導入され、「電源三法」が施行されることになった。

3) FIT(固定価格買取制度、2012 年以降)

FIT 制度は、再生可能エネルギーの普及のために、2003 年から RPS 制度が、2009 年から太陽光発電の買取制度が施行されていたが、2011 年 3 月 11 日の東日本大震災を受け、2012 年 7 月に「電気事業者による再生可能エネルギー電気に

関する特別措置法(FIT 法)」が創設・施工された。20 年間の高価格での発電・電力の買取が電力会社に強制され、その経費は、実質的には総括原価方式によって、エンドユーザである国民への強制的な負担により、再生可能エネルギーの発電事業者に金銭的支援を行う構造となった。発電事業者にとっては、効率化やコストダウンを行うことなく利益を確保可能な施策であり、営業改善の努力が不要という状況となってしまった。

基本的に、1883 年以降、エネルギー供給の形態は、システムとしては、発電(供給)側から需要側への片方向(Water Fall 型)から変化することはなかった。つまり、双方向で、需要側の状況との対話を行い、発電量の調整を行うシステム構成にはならなかった。しかし、2022 年頃から、再生可能エネルギーの総発電量が大きくなり、発電量が要求需要量を上回ったことで、発電事業者からの送電停止措置の頻度が急増するようになったが、そのことで、逆に、発電量が要求需要量よりも小さくなり、需要家への節電要望の頻度が多くなってきた。これを受け、経済産業省資源エネルギー庁では、家庭や事業者の空調・温熱機・EV 用充電器の遠隔操作機能の組み込みを必須化する施策を実施することとなった。2011 年 3 月の東日本大震災の際、需要家側に存在する機器のオンライン制御機能の導入が進行しなかったことが原因の一つとも考えられる。

1.5.2 | コンピューター・ネットワーク インフラ

コンピューター・ネットワークも、当初は、事業所内に存在する大型コンピューターを、その設置施設内の端末室に存在するユーザ端末から利用する形態であった。その後、半導体技術の進歩によって大型コンピューターのダウンサイジ

ングが実現し、大型コンピューターが設置された場所に行ってそれを利用するという形態から、自身の施設内に小型のコンピューターを設置して利用する形態へと変化した。このような「コンピューターの民主化」が起こったのと同時に、これらを遠隔利用したいという要求が顕在化し、大型コンピューターや小型コンピューターなど、コンピューターを相互接続し、ネットワークを介して利用する要求が発生してきた。誰かがすべてのコンピューターを用意するのではなく、各研究室で購入したコンピューターを相互接続する形態であり、まさに、コモンズのインフラ環境である。

キャンパス内でのネットワーク化には、自営の通信ケーブル(e.g., イーサーネットケーブル)が使われた。キャンパス間の接続には、電話会社の通話サービスを利用して、モデムによるデジタル通信が実現・利用された。このようなシステムの構築と運用が、先進的な研究教育機関の間で普及していった。利益を訴求しない、非営利でのシステムの構築・運用である。

このコンピューター・ネットワークの価値が理解されるようになると、商用のサービス事業者が現れ、営利ビジネスが起動することになった。現在も、営利事業者と非営利事業者が混在する形態で、グローバルなコンピューター・ネットワーク、すなわち、インターネットが維持・運用されている。

当初、コンピューター・ネットワークは、通信会社の音声通話サービスをある意味“借用”しながらインフラを構築していった。その後、通信会社の様々なサービスインフラを“借用”しながらコンピューター・ネットワークの高速化と領域拡大が進んでいった。やがて、コンピューター・ネットワーク専用のインフラを構築・提供する事業が、通信会社や新興の事業者で起動されるようになった。コンピューター・ネットワーク用

のインフラが整備され、その余った資源が音声通話などの非コンピューター・ネットワークのサービスに利用される形態へと変化した。

一方、コンピューターは、自組織のキャンパス内に設置・運用する形態から、自家用のコンピューターを効率的にかつ安全に収容・稼働させるデータセンター事業が始まり、さらに、自家用でコンピューターを購入せずに、事業者が所有するコンピューターを利用するサービスを購入するクラウドコンピューティングが登場することとなった。

クラウドコンピューティングの登場によって、分散度が非常に高い P2P (Peer-to-Peer) 型のインターネットは、CS (Client-Server) 型へ移行した。クラウドコンピューティングを形成するサーバ群ネットワークシステムは、“ローカルには” P2P 型となっているが、“広域(グローバル)”には CS 型となっている。広域において CS 型となる原因は、物理的なデータの移動速度とデータの移動に必要な物理的資源量に関係している。効率的で低コストなコンピューティングを実現するには、「コンピューティング資源が物理的に近くに存在し、低コストで自由に接続可能である」必要があるのである。その結果、コンピューティングは CS 型に向かうことになる。当然ながら、サービスの利用者はグローバル空間に分散しているため、サーバサイトは、グローバル空間上に適度に分散設置・配置される形態が効率的となる。すなわち、グローバルには分散、ローカルには集中という構造・形態である。

このように、コンピューター・ネットワークのインフラの形態、及び、これを構成する事業者や事業形態は、技術の進歩と事業機会の変化・進歩とともに変化してきているが、コンピューター及びネットワークを構成するハードデバイスには物理的な特性・制限が存在しており、現在のところ、この特性・制限を撤廃・打破可能な新技術

は存在していない。そのため、この特性・制限に従ったグローバルなコンピューター・ネットワークであるインターネットのインフラ全体システムの進化・変化が必要となるであろう。

ここで、これまで、ほぼコンピューターだけに閉じていたインターネットは、いわゆるコンピューター以外のすべての機器がデジタル空間を通じて相互接続する段階を迎え、さらに、これらの性能と効率性がデジタルデータのコンピューティング性能によって決定される段階を迎えた。すなわち、すべての産業・社会活動を構成するモノが、インターネットによって相互接続された環境が前提となり、これまでとは比較にならないほど強くコンピューティング機能・性能に依存することとなる。既に、ビジネスを構成するために必要なサプライチェーンは、分業化の進展によって巨大化した。

これまで、多くの産業・社会活動を構成する単位は、比較的小さなモノの集合 (= サプライチェーン) で構成されていた。しかし、このサプライチェーンを構成するモノの数は、シェアリング・エコノミーによる事業運用の CS (Client-Server) 型化による効率化によって急増し、そのモノは地理的に拡大し、グローバルなサプライチェーンが形成されるに至った。さらに、単独の産業・事業に閉じていたサプライチェーンは、他の産業との接合・結合が起こり、さらに大きく複雑なトポロジーのサプライチェーンを構成することとなっている。ここで、近年のサプライチェーンの重要な構成要素がコンピューターとなり、コンピューティングはその物理的な特性・制限からローカル化(あるいは CS 化)が要求され、グローバルレベルでのサプライチェーンを構成するモノの物理的配置が変化しつつある¹⁵。

1.5.3 | 通信インフラ

通信インフラは、第2次世界大戦を経て、それまでの逓信省、電気通信省による官営事業から、1952年の日本電信電話公社に引き継がれて整備されてきた。官によるインフラの整備と運用である。当初はデジタル通信であったが、「アナログ音声通話である電話」が主のサービスインフラとなった。1968年にポケットベルサービスが開始され、エンド・ツー・エンドでのデジタル通信サービスが提供された。

1985年に、日本電信電話公社は通信の自由化を背景に民営化され、日本電信電話株式会社(通称 NTT)となる。同時に、公衆電気通信法が電気通信事業法に改正され、電気通信事業への民間企業の参入が自由化された。1987年には携帯電話サービスの開始、1988年には音声サービスとデジタル通信サービスを同時に提供する ISDN(Integrated Services Digital Network)サービスの開始、1996年にはインターネットサービスとして OCN(Open Computer Network)、1999年には携帯電話への Web インターネットサービスとも言える i-mode サービス、2001年からは一般家庭への光ファイバーによるインターネットサービスの提供、そして、2019年には IOWN(Innovative Optical and Wireless Network)構想が発表された。

NTTは、官が整備したインフラを受け継ぎ、商用サービスを提供・展開しており、特に電話サービスは社会・産業活動に必須であり、災害や公安(警察)などに必須のサービスであるため、日本国民すべてに電話サービスを提供する「ユニバーサル・サービス」の提供義務が課された。

1985年の通信の自由化に伴い、NTT以外の民間企業による通信事業への参画が可能となったが、NTTは全国通信網を所有した独占企業であった

ため、新規参入事業者への事業参入を促進するためのルールが整備されることになった。この時、国内通信の事業化とともに国際通信も民営化され、それまで国際通信を独占していた KDD も、国内通信に参入可能となった¹⁶。NTT との大きな違いは、「ユニバーサル・サービス」が課されないことであり、関東一関西の中継事業や関東や関西の都市部に集中した事業など、事業成功可能性の高いと考える地域・場所に特化したインフラ/サービスの整備・展開が可能とされた。さらに、NTT に対しては、「NTT が所有するインフラ設備の利用は、内部での利用と同一の条件で、新規通信所業者に提供しなければならない」というルールも設定された。なお、新規通信事業への参入は、当然ながら、電力会社も可能とされた。

「NTT が所有するインフラ設備の利用は、内部での利用と同一の条件で、新規通信所業者に提供しなければならないというルール」は、2001年にソフトバンク社が開始した「Yahoo! BB」によって、日本にブロードバンドインターネットサービスを起動させることに大きく貢献した。NTT が持つ通信インフラを利用(借用)して¹⁷、高速・広帯域インターネットのサービスを普及させることに成功した。

e-Japan 構想におけるブロードバンドインターネット環境の整備の実現である。

e-Japan は、2000年に日本政府が掲げた IT 社会の実現を目指す国家構想であり、「IT 基本法」の制定及びデジタル情報通信ネットワークの高度化と整備を行い、デジタル化社会を実現する構想である。その中でも、超高速インターネットの整備、インターネットサービスの低廉化・利便性向上が民主導で推進された。特に、Yahoo! BB(現在のソフトバンク)による ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)を用いたインターネットサービスの実現は、それまでの「ダイヤルアップ」によるインターネット接続

を、「常時接続型」のインターネット接続へと進化させ、我が国のデジタル通信インフラの大改革・大進化を実現した。

以下に、この常時接続型のインターネットサービスがどのような仕組みで実現されたかを概観する。なお、e-Japan 構想における超高速インターネットの整備に当たっては、様々な法令や規制などの整理や検討が行われたが、以下で議論するポイントが成功の大きな原因であると考えられるだろう。

ADSL には、NTT が音声通話(電話通信)に利用していた電線(銅線)を 2 本対で捻り合わせた通信ケーブルであるツイストペアケーブル(Twisted Pair Cable)が使用された。ツイストペアケーブルの、音声通話サービスには利用されていなかった高周波数帯を拝借利用し、モデム技術を用いた常時接続型のインターネット接続サービスが ADSL である。NTT が所有する物理資源の共用であり、有効利用、すなわち「シェアリング・エコノミー」の適用である¹⁸。このシステム実装が実現したのは、電々公社の民営化による通信事業の自由化に伴って制定・適用可能となった事業規律が大きな役割を果たしている。

「通信の自由化」、さらに電電公社の民営化(NTT グループの起動)の際には、NTT(正確には NTT 東西と NTT コミュニケーションズの一部)には、ユニバーサルサービスの責任が継続されたが、第 2 電電に対してはユニバーサルサービスの責任は課せられず、事業性の高い地域のみでの事業が可能とされていた。さらに、第 2 電電各社は、NTT 社内での通信インフラ資源の利用と同一条件で、局舎のスペースや通信ケーブルの利用が可能となっていた。この 2 つの条件を利用し、ソフトバンク社は、Yahoo! BB の事業化に成功したのである。(銅線)通信ケーブルの高周波数の領域を利用し、(銅線)通信ケーブルが集約

される通信局舎へのインターネットサービスの実現に必要な機材の設置が、既存の法令で可能であることが確認され、NTT の施設の利用・活用が加速され、Yahoo! BB が離陸することとなった。もちろん、Yahoo! BB のビジネスモデルの成功には懐疑的な観測も少なくなかったが、電子技術・機器とインターネットに魅力を感じたユーザによって、一般の在宅ユーザによるブロードバンドサービスの利用が急拡大することになった。

なお、この時に、既存の物理施設・資源を再利用・有効利用するという可能性は、NTT が所有する設備・資源だけではなく、電力グリッドや道路、あるいは電鉄系の線路などのインフラも対象として議論された。国交省が内部利用のために敷設した通信ファイバーや、通信ファイバー用の管路、あるいは、電力会社が持つ電柱¹⁹などである。

インターネットは、統一技術・統一オブジェクトであるデジタルの小包(IP パケット)が、多様な通信媒体を利用可能にすることで、通信媒体を多数の多様なユーザ・事業者で共有することを可能にした。さらに、インターネットの利用者(人とアプリケーション)に対しては、この物理インフラを、IP パケットという共通のデジタル小包を利用することで、利用方法の制約なしに自由にインターネットインフラを利用可能にした。すなわち、インターネットの全ユーザに対する「シェアリング・エコノミー」型のインフラを構築したことになっている。新たなユーザ・アプリケーション、新たな通信媒体も、IP パケットという共通の統一技術を用いることで、グローバルなシェアリング・エコノミー型のインフラを利用できるのである。

e-Japan においては、NTT が所有する資源・設備を NTT 関連企業のみならず、ユニバーサルサービスの責任を持たないすべてのインターネッ

トサービス事業者が利用可能であることを再確認したことで、「民主導、官支援」の形態での我が国における急速な超高速インターネット環境の構築に成功したものであると分析することができる。

その後、NTT が精力的に推進した FTTH(Fiber To The Home)によって、銅線を用いたインターネットの広域アクセス網は、光ファイバーを用いたアクセス網へと変換されていった。現在では、宅内や構内での通信ファイバーでは、光ファイバーと銅線(イーサネット)が混在する状況であるが、ほとんどの広域のインターネットアクセス網は、光ファイバーへと進化するに至っている。この過程においては、音声通話とインターネットサービスが、多くの場合、資源を排他的に利用する形態での資源共有であったが、通信速度の向上とインターネットサービスの品質(遅延や誤り率)向上に伴い、音声通話は、インターネットサービス、すなわち、利用用途/アプリケーションを問わないデジタルサービスを利用する一つのアプリケーション/サービスという形態に変化・進化した。

当初のインターネットは、①電話インフラの上に存在していた(ある意味”寄生”)が、②ADSLによって”共生”・共存(シェアリング・エコノミー)、さらに、③電話サービスインフラからの独立(電話サービスが”インターネットに寄生”)へと変化・進化し、2025 年を迎えているのである。

もう一つ、Yahoo! BB の展開において留意すべきと考えられる重要な点は、ガラパゴス技術仕様からの脱却である。ADSL には、複数の技術仕様が国連の組織である CCITT (現在の ITU) において定義・標準化された技術仕様(G. 922)が存在していた。しかし、グローバルに共通な標準化を行うことには失敗し、北米(Annex A)、欧州(Annex B)、日本(Annex C)という 3 つの技術仕様が標準化されていた。Yahoo! BB はコストを安く抑える

ことが可能な北米市場の Annex A、それ以外は Annex C を採用した。多様な物理媒体が利用可能なのがインターネットの TCP/IP の特徴であり、この特性によって、Yahoo! BB とそれ以外の事業者のネットワークは相互接続が可能となった。日本市場を意識して国連で策定された Annex C ではなく、Annex A の使用を日本国内での利用において認めたことは、規制当局が「インターネットが多様な通信媒体の存在を許容可能としていた」ことを理解していたと考えられるが、日本政府および担当の規制当局の英断であると考えることができる。

技術標準には、国家間での競争と調整が必要な国際(デジュール)標準と、市場原理を優先するデファクト標準が存在する。グローバルな経済環境を優先するのか、国内の経済環境を優先するのか、現在でも難しい課題である。

1.5.4 | ワット・ビット+シェル連携

2024 年 10 月に公表された「デジタルインフラ(DC 等)整備に向けた有識者会合」の中間とりまとめ 3.0 においては、データセンターを含む我が国のデジタルインフラの整備にあたっては、「ワット・ビット連携」と称される電力インフラと通信インフラの連携によるインフラ整備が提言された。さらに、GX2040 ビジョンにおける GX、すなわち、グリーン・イノベーションの実現には DX の利用が必要条件であり、デジタルインフラの整備が提言された。これを受け、2025 年 2 月に開催された政府の「デジタル行政改革会議」では、

地方創成 2.0 を実現するためにも、AI・データセンター等を繋ぐ情報通信ネットワークを、電力インフラ・通信インフラの整備と統合し、GX・DXを支

える「新時代のインフラ」として整備すべき

との指示が石破総理大臣から出された。

「ワット・ビット連携」とは、「特に、AI やデータセンターの電力需要の増加に対応しつつ、脱炭素化を加速させるため、脱炭素エネルギーの近くにデータセンターを設置し、通信インフラの整備を行う」こととされている。

電力グリッド及び通信線の構築に必要な金銭的成本と構築に必要な時間は、両方で桁違いに大きくなものとなる。このような特性を考慮した上で、データセンターを含むデジタルインフラの整備戦略を策定・実施しなければならない。そこで、2025 年 3 月に、これを議論する「ワット・ビット連携官民協議会」が起動された。

我々は、「ワット・ビット連携」においては、e-Japan で実現した通信インフラに関する超高速インターネット環境の構築・展開のための活動と同様のことが、電力インフラにおいて行われるような環境整備が必要であると考ええる。電電公社が民営化した NTT がユニバーサルサービスの責任を負っていたのと同様に、地域電力会社である一般送配電事業者(10 社)もユニバーサルサービスの責任を負っている。一般送配電事業者が利用者にお願ひする電力料金は「総括原価方式」となっており、ユニバーサルサービスの実現のために必要な投資は、基本的には、国民・組織で公平に負担する構造となっている。

電力行政も、通信行政と同様に、電力の「自由化」が推進され、「発送電の分離」、さらには、通信における第 2 電電に対応する「新電力」による電気の販売業務が可能になっている。既存の「新電力」事業者だけではなく、新しい事業者が、一般送配電事業者が所有する“利用可能な”資源・設備を利用し、データセンターネットワークを、e-Japan の時の NTT の電話インフラの部分集合や

通信事業者以外のインフラ事業者の施設・資源を利用した超高速インターネットネットワークの構築と同様の方法で構築できる可能性はないのだろうか。e-Japan の時と同様に、最初は、

- ①既存の電力インフラの資源・設備を拝借する形で
のシェアリング・エコノミー(データセンターネットワークが寄生する)から起動し、
- ②既存電力サービスとの共生、さらに、
- ③既存電力サービスを包含する新インフラへの変化・進化が可能かもしれない。

超高速インターネットが e-Japan 1.0 だとすると、DX/GX を実現するデータセンターネットワークの整備は e-Japan 2.0 と位置付けることができるかもしれない。2000 年から四半世紀が経過した 2025 年のグランドプランである。

なお、新しいインフラの整備にあたっては、既存の電力インフラの施設・資源だけではなく、すべての産業部門の既存施設・資源の利用可能性も包含すべきである。

フィンランドにおける製紙工場跡の工場の躯体などの再利用、あるいは 大阪・堺の液晶工場の跡地施設の再利用など、情報通信産業や電力産業以外の産業セグメントは、電力および通信インフラの利用者であり、CONNECTED の状態・容量の違いはあるにしても、利用可能にある施設・資源であり、短期・長期でのシェアリング・エコノミーに包含可能性を持った施設・資源が存在するはずである。これは、電力を意味するワット(Watt)、通信を意味するビット(Bit)に加えて、躯体を意味する「シェル(Shell)」を追加して、『ワット・ビット・シェル連携』と呼べるかもしれない。

中長期での資源管理・財務管理を、既存のプレイヤーに限って考えるのではなく、新しいステ

ークホルダーでの事業・経済モデルの挑戦と構築である。これは、地球温暖化対策における、Scope3 の Embodied Carbon の削減との共存・連携にも寄与・関係することにもなる。

もう一つ、e-Japan では考慮点にならなかったものの重要な項目として、グローバルインフラ、すなわち、国際/グローバル海底ケーブルと衛星システムがある。データセンターネットワークは、インターネット上でグローバルに展開されるため、グローバルなデジタルシステムと CONNECTED な状況にならなければならない。したがって、ワット・ビット連携においては、国際・グローバルインフラの整備も重要な政策・施策の対象となる。

1.6

結論

本章では、コモンズのインフラの構造・特徴を議論整理し、その要求条件を整理した。また、電力エネルギーインフラとコンピューター・ネットワークインフラは、今後、統合してビジネス構造を考えるべきとの考えから、その歴史及びこれまでと今後の関係性を議論した。

電力エネルギーインフラとコンピューター・ネットワークインフラの統合にあたっては、以下の観点・要点を考慮して、施策や戦略を考える必要があると考える。

-
- 1) グローバルなインフラとの連携・結合を前提に考えるべき。
 - 2) 利用者の増加と変化に対応可能な Start Small, Scale Fast を意識したシステム設計を行うべき(not Water Fall 型)。
 - 3) 新しいビジネスプレイヤーには、Start Small, Scale Fast を可能にするため、大手の事業者に要求されるユニバーサル・サービスを義務化すべき(負わせるべき)ではない。
 - 4) デジタルビットの送配信・コンピューティングを積極的に利用した電力エネルギーインフラ構造・アーキテクチャを目指すべき²⁰。
 - 5) 民主導・官支援を目指すべき。
-

■付録 1 | フィンランドにおけるデータセンター 最新状況

日本データセンター協会、北海道ニュートピアデータ研究会の合同で、2023年9月18日～21日にフィンランドの主要なデータセンターの訪問を行った。以下に、概要を取りまとめた。

1) フィンランドは、ロシアのウクライナ侵攻以前から、ほぼ100%再生可能エネルギーによる電力供給が実現されていた。既に、Carbon Negativeな状況も発生しており、下げDRに加えて、過剰・余剰電力に対する需要増加(=上げDR)に対するインセンティブも検討されているようである。

2) フィンランドの南部に位置する首都ヘルシンキの国営放送局の地下に、欧州中西部を結ぶ海底ケーブルが引き込まれ、IXが形成されている。データセンターとしては、Digital Data Center²¹が国営放送局キャンパス内に新設されているが、海底ケーブルの端点とIXは、地上波放送塔の地下の施設に存在している。

3) 近年のMWクラス以上のデータセンターは、フィンランド政府による、エネルギーの再利用を行う事業者に対する電気税の優遇施策(2021年施行)を利用している。そのデータセンターから排出される熱エネルギーの地域熱水提供・循環システムとの連携・連結が推進されている。

2.253 セント/kWh ➡ 0.063 セント/kWh

[適用条件]

電力の5MW以上10MWの部分について、ERE(エネルギー再利用効率)=1.00未満、

または、PUE=1.25未満(2027年以降は1.20未満)。

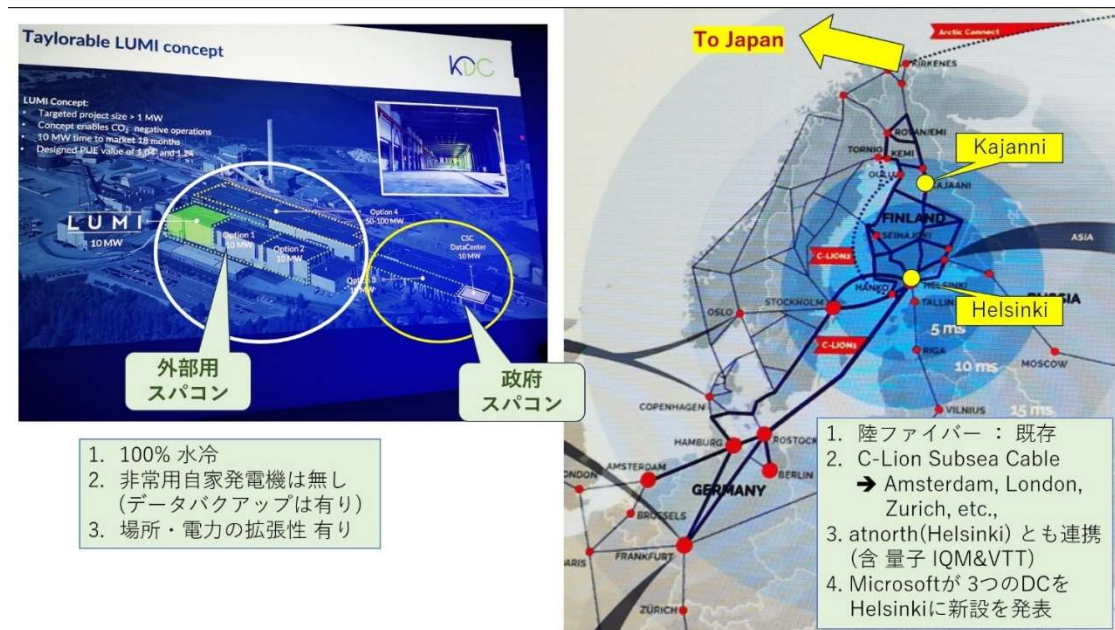
(例)

$$\begin{aligned} \text{ERE} &= \{(\text{全エネルギー}) - (\text{再生可能エネルギー})\} / \text{ITエネルギー} \\ &= \{(15\text{MW}) - (5\text{MW})\} / 10\text{MW} = 1.00 \end{aligned}$$

なお、EUではデータセンターにおけるエネルギー利用効率についての報告等が義務化される見込み(by改正EED(Energy Efficiency Directive)、2023年10月発効、2024年5月報告)。

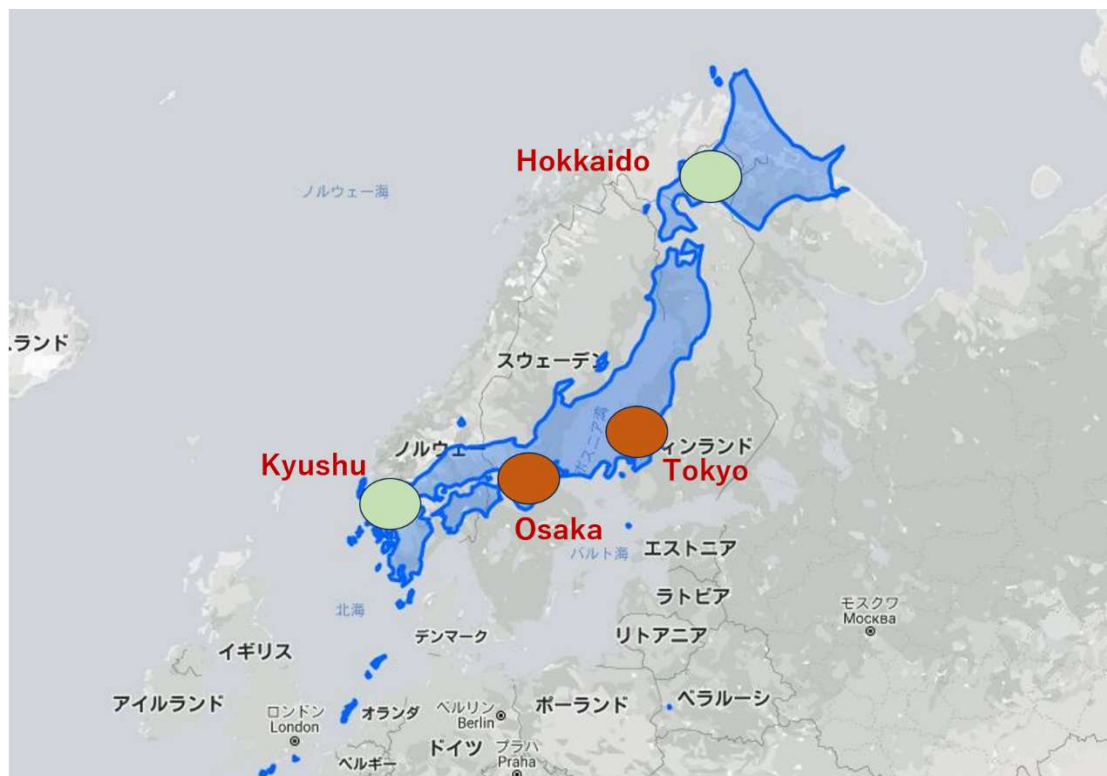
4) 躯体および設備の再利用：殆どのデータセンターが、製紙工場跡地や物流倉庫施設を再利用することで、地球温暖化対策のStep3とされている事業の実現・推進に必要な物資等のサプライチェーンに対する温暖化効果ガスの削減を、政策とビジネスの両面で、主張・PRしている。施設の躯体(セメントや鉄鋼等)や電力設備の再確保及び投資の必要がなく、地球温暖化防止への貢献とデータセンターの構築コストの削減を実現するとしている。

5) ハイパフォーマンス・コンピューティングに注力：政府のスパコンデータセンターCSC²²をはじめとして、レイテンシ要求が厳しくなく、かつ、高エネルギー密度のサーバ施設実装を必要とするハイパフォーマンス・コンピューティングを意識したデータセンターが増加している。CSCおよびCSCに近隣するLUMI²³では、ほぼ100%水冷式でのサーバ室となっている。AtNorth社²⁴は、CSCおよびVTT²⁵との連携で、量子コンピュータとの連携も模索している。



出典：フィンランドスーパーコンピューターセンターCSC 提供の資料をもとに筆者作成

図表 1.12 フィンランドにおけるデータセンターの状況



出典：筆者作成

図表 1.13 地図上におけるフィンランドと日本の対比

■付録2 |

中国『東数西算』国家施策・事業

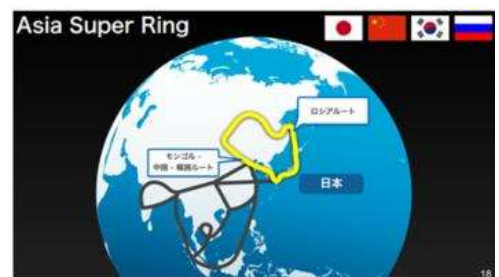
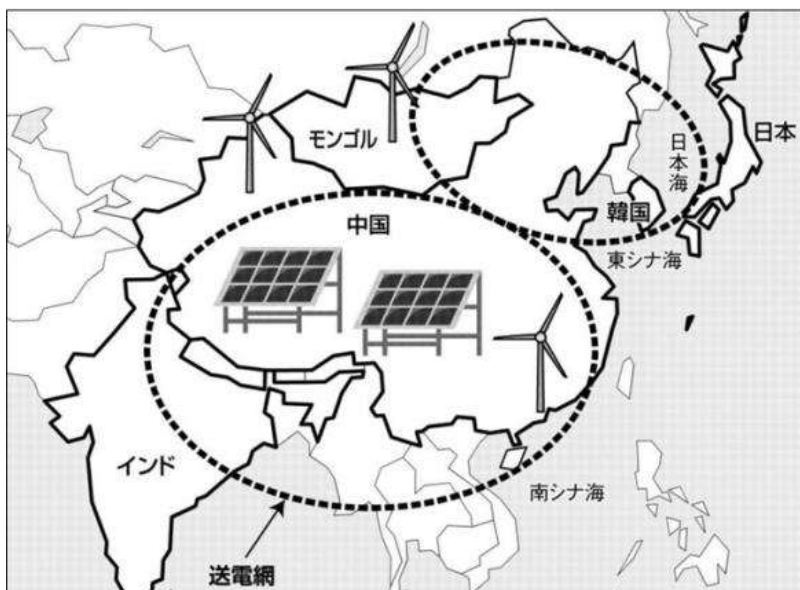
『東数西算』は、データセンターインフラと電力インフラを融合・連携させた、中国全土におけるデジタルインフラの整備政策・事業であり、2021年に開催された中国 第13期全人代(全国人民代表大会)で正式に提起された。

本事業は、再生可能エネルギー発電を含む大規模な発電資源が豊富な中国西部に(超)大規模(ハイパー・スケール)データセンターを整備し、中国東部のコンピューティング需要を賄うことで、中国西部と東部の連携インフラの実現を目指している。本施策・事業は、後述する『西電東送』構想をPhase 1 と考えると、Phase 2 の中国全土におけるインフラ施策・事業と捉えることができよう。さらに、これらの事業は、『一帯一路』とも関連・連携していると考えられ、地球規模でのインフラ構想といえる。実際、中国のビッグテック企業(華為社など)は、地球規模(これに

衛星システムの統合・連携も視野に入れた)での多層構造²⁶のデータセンターネットワークの構築を目指した環境構築を進めている。

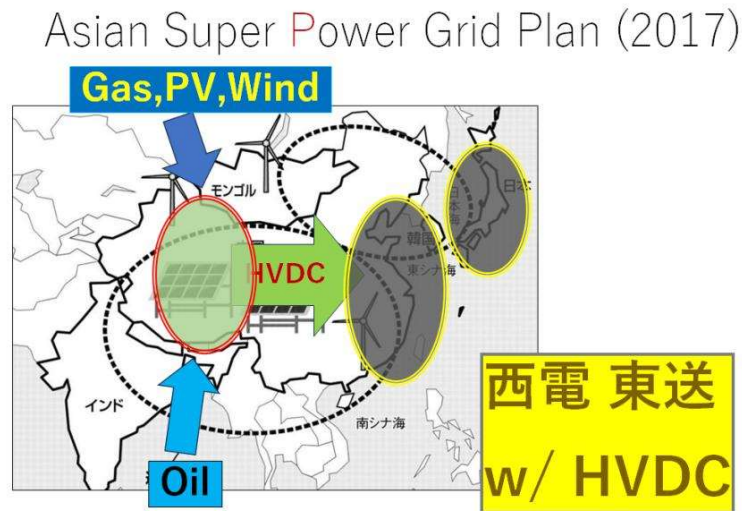
この事業は、2015 年頃から具体的な技術検討が行われており、2017 年に発表された「Asian Super Grid Plan」と連動している。中国国内における直流超高压(HVDC: High Voltage Direct Current)電力伝送システムを利用する『西電東送』構想と連携したPhase 2 の政策・事業であると捉えるべきであろう。「Asian Super Grid Plan」は、「中露韓孫プロジェクト」として着手された²⁷。

図表 1.15 に示すように、ロシア・モンゴルからは天然ガスと太陽光と風力発電による電力が中国西北部に、ミャンマーからはインド洋経由で中東の石油がパイプラインによって中国西南部に、それぞれ供給され、中国西部においては原子力・火力発電が行われ、超高压直流電力送電²⁸インフラを用いて中国東部に送電される。「西電東送」である。



出典：自然エネルギー財団資料を参考に、筆者作成

図表 1.14 中国『東数西算』国家施策・事業の概要



出典：筆者作成

図表 1.15 「西電東送」のイメージ

さらに、中国東部に送電された電力は、韓国と日本に送電するという事業計画である²⁹。

この頃、GAFA / M + BAT (Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft, Baidu, Alibaba, Tencent) と呼ばれるデジタル・テック・ジャイアントが、データセンターの大規模化を進めていた。大電力を消費し、さらに、必ずしも低遅延を要求しないデータマイニングやデータ検索の計算は、消費者の近くにデータセンターを配置して、低遅延のサービスを要求するものではないことが認識されるようになってきた。

検索サービスがメインのGoogle社は、早い段階から、グローバルにデータセンター拠点を配備し、これをネットワーク化して、電力消費量の最適化・削減に挑戦してきていた。空調における冷却コストが大きな時期には、冷たい空気が存在する場所で計算を行う“Follow the Moon”を、VM(仮想マシン)技術と連携させながら推進した。その後、再生可能エネルギーの利用が重要な昨今は、“Follow the Sun & the Wind”へと稼働ポリシーが変化している。

このように、近年のデータセンターで稼働するアプリケーション(代表例が検索や生成AI)の多くが、ユーザ間との低遅延を必ずしも要求しないものが急増しており、発電源にデータセンターを設置する方向が加速している。

これに合致した中国の施策・事業が、『東数西算』である。

- ①中国東部で生成された大量のデータが、光ファイバーネットワーク(not 送電ネットワーク)を介して中国西部に伝送される。
- ②中国西部の大規模データセンターに、大量の電力が近隣の発電所(あるいはモンゴル地域の風力・太陽光発電所)から供給され、大量のデータ処理が行われる。
- ③計算結果が、光ファイバーネットワーク(not 送電ネットワーク)を介して中国東部に伝送される。

生成AIの場合には、西で学習(Training)、東で推論(Inference)である。

東数 西算(2021 第13期全人代)



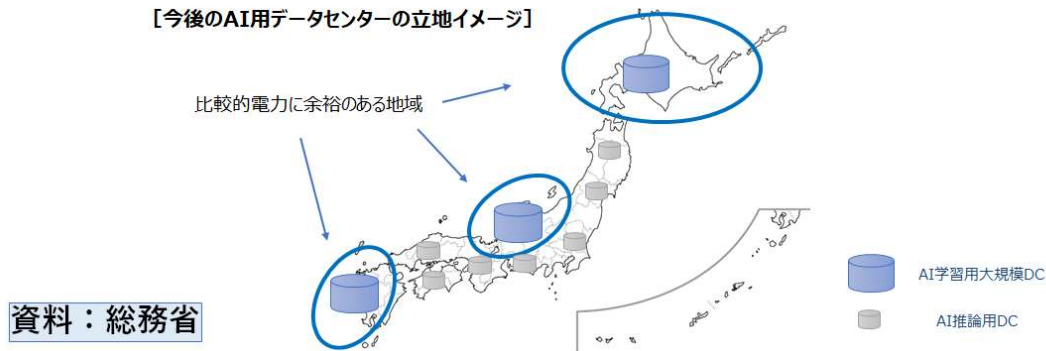
出典：筆者作成

図表 1.16 「東数西算」のイメージ

AIの「学習」と「推論」

- AIの利活用には、大きく分けて、AIのモデルを作り上げる「学習」(learning)と、学習したモデルを動作させる「推論」(inference)の2つのフェーズが存在。
 - 学習：莫大な計算量が必要。近年の大規模言語モデルの学習は、多数のGPU（例：導入コスト数億円～数十億円単位のGPU群）を、長期間（例：数か月間）稼働させ続けて行われる。大電力が必要になる一方で、一つのDC内に閉じた処理のため、需要地近傍である必要はない。（大規模なDC・大量の電力が必要になることから、北海道等が立地として期待。なお、この学習もオール光技術によって遠隔地の複数DC間で連携して実施するという新技術の研究も始まっている）
 - 推論：相対的に小さな計算量で動作（個人用のゲーミングPCでも、一定規模の生成AIは動作させることが可能）。他方、サービスに直結しているため、遅延の観点で需要地の近くで動作させることがより望ましい。
- 今後は、脱炭素の動きと連動して、原発の再稼働が始まった地域や再生可能エネルギーのポテンシャルが大きい、比較的電力に余裕のある地域で大規模な学習を行い、需要地近傍で分散して推論を行う形での実装が進んでいく可能性。さらに、電力需給の調整力として、DCを活用する可能性も。

【今後のAI用データセンターの立地イメージ】



出典：総務省データ通信課資料（2024 年）

図表 1.17 AIの「学習」と「推論」

なお、日本においては、「デジタルインフラ（DC等）整備に関する有識者会合 中間とりまとめ 3.0」の中で、「特にAIインフラに関しては、遅延が許容される学習用途や低遅延が求められる推論用途を分けて考える等、データセンターの用途や必要とされる規模に応じたデータセンタ

一の分散立地の推進が重要である。」との記述に対応して、総務省からは、図表 1.17 のような構想が提示されている。

「北(北海道)・北(陸)・九(州) 算」+「地(域)数」である。

脚注・引用・参考文献等

- *1 非営利用語辞典 https://www.koueki.jp/dic/hieiri_323/ より引用。
コモンズ概念に光が当てられる契機となったのは、アメリカの生物学者 Hardin, G. (ハーディン) が 1968 年に『サイエンス』(Science) に出した論文「コモンズの悲劇」(The Tragedy of the Commons) で提起した問題であり、以降、「コモンズの悲劇」をめぐって、さまざまな分野で多くの論争が展開されてきた。「コモンズの悲劇」とは、以下のようなものである。
複数で共有している牧草地があるとすると、牧畜をしている人は、共有牧草地にできるだけ自分の家畜を放牧しようとする。そして、たとえ、これ以上家畜の放牧を増やせば、牧草地の条件が悪くなることが明らかになっても、一人ひとりにとっては、家畜を 1 頭増やすことによって得られる利益は、家畜を 1 頭増やすことによって被る牧草地の悪化という損失よりも大きいので、家畜の数を増やそうとする。結果として、際限なく家畜を放牧していくうちに、牧草地のキャパシティを超えて過密状態になり、牧草地は枯れて消滅してしまうというものである。
- *2 資源の共通利用型経済、すなわちシェアリング・エコノミーは、サービス実現・提供に必要な総資源量を小さくする可能性を持っており、それによって、結果的に地球温暖化防止及び持続的な社会・経済の成長(=SDGs)に資する可能性を持っている。
- *3 地理的観点からは、国境が存在し、国境内では国の法律・規則が適用される。この法律・規則は、国ごとに異なっており、世界で共通のものではない。国際法を定義して、同じ規則をあい適用しようという努力はもちろんあるが、一般的には、国ごとの法律・規則が優先される。物理的実態を持った「モノ」は、物理的国境を跨ぐ時に国が制限をかけることが比較的容易であるが、物理的実態を持たない「デジタルデータ」は、物理的実態を持った「モノ」に比べて、制限をかけることがはるかに難しくなる。このことに各国政府が気付き、デジタルデータの流通、すなわち、サイバー空間におけるデジタルデータの国境を跨ぐ流通に制限をかけようと、様々な法律や仕組みを導入しつつある。これが、デジタル・サイバー空間で活動を行うグローバルなコミュニティと、実空間での管理を行いたい国との間で複雑な問題を発生させている。
- *4 電気とともに、内燃機関に代表される「油」の利用が第 2 次産業革命とされている。
- *5 1.2 では、これを、Things の間でのデータの送受信である IoT(Internet of Things)に対し、デジタルデータの集合が実現する機能が Things の間で送受信される IoF(Internet of Functions)と呼んでいる。
- *6 地球表面がこれまでの人類の社会・経済・産業活動領域であったが、人類は物理的制限が事実上存在しない宇宙を社会・経済・産業活動領域に取り込もうとしている。
- *7 さらに、3 章で議論する建物・施設における地球温暖化対策としての温暖化ガス排出量の削減に必要な「エンボディド・カーボン量の削減」のために、建物・施設のデジタル・ツイン化と設計・施工から廃棄までの「デジタル完結化」が必須となる。
- *8 台湾では日本と似た状況のようであるが、米国や中国、さらに欧州では、設計から竣工まで一貫通貫でデジタル・ツインデータに基づいた設備・施設の設計・実装が行われ、さらに、竣工後の運用や回収・廃棄を行う環境が整備・確立されつつある。
- *9 現在、建築申請へのデジタルデータ(BIM)の利用可能性が検討・検証されている。
- *10 「優秀ではない現場」では、設計図と同じモノが低品質で実装された結果、設計図とは異なるモノが実装される場合はあるが、基本的には設計図通りに実装される。しかし、「優秀な現場」では、「より良い」、設計図とは異なる実装が行われることが少なくない。
- *11 「図面」としたのは、デジタル・ネイティブなデータではないビットマップの二次元データ、あるいは、印刷図面の場合がほとんどであるようである。
- *12 https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/conferece/digital_infrastructure.html
- *13 内閣府・経済産業省・総務省で共同開催された「デジタルインフラ(DC 等)整備に関する有識者会合」では、「電力送配電システムのコストは、通信システムのコストよりも 2 桁大きい」との報告が電力会社から行われた。この「コスト」は、インフラの設置・運用に必要な金銭のコストであるが、そのインフラ設置に必要な物理施設の生産・設置・維持管理に必要となる総量としての地球温暖化効果ガス(=エンボディド・カーボン)の削減量は、さらに大きな値となるはずである。電力送電には大量・大型の銅とその重量を支える鋼鉄製の鉄塔などのインフラが必要となるが、デジタルビットの送信には、軽量・小型のガラスを収容するインフラで十分である。
- *14 「日本再生最終勧告：原発即時ゼロで未来を拓く」(加藤寛著)、ビジネス社、2013 年 3 月
- *15 サプライチェーンの物理的な配置・トポロジーは、本来、技術的・科学的・経済的観点から決定されるものであるが、ここに政治的要素が入ってきているのが、近年の状況であると考えてことができよう。
- *16 NTT も同様に、国際通信に参入可能となった。
- *17 各家庭・事業所への銅線によるアクセス線の高周波領域をインターネットサービスに利用した。低周波数領域は、NTT の電話サービスに利用された。ハードインフラの共用利用(シェアリングエコノミー)とも見ることができる。
- *18 特に、未使用の高周波数帯の利用は、周波数空間の直行性の性質から、異なる周波数帯を利用する電磁波は干渉することがなく、同時に、互いのサービスへの影響を与えることなく共有の物理資源である銅線上に共存し、共同利用することが可能なのである。局舎内のスペースは、地理空間には排他性が存在するので、同じ空間を利用することはできないが、局舎内の余った空間は、NTT 以外の事業者を提供することが可能である。
- *19 街中に存在する電柱には、主に、電力会社が送配電のために設置する柱と、NTT が通信サービスの提供のために設置する柱の 2 種類が存在していた。この柱は、それぞれの事業のために、排他的に専用利用されていた。本事業の影響がないのであれば、通信サービスの実現のために利用するという物理設備に関する「シェアリング・エコノミー」の実現である。
- *20 これは、電力インフラに限った話ではなく、すべての社会・産業・経済インフラに適用される方向性である。
- *21 <https://www.digita.fi/en/services/data-center/>
- *22 <https://www.csc.fi/en/home>
- *23 <https://www.csc.fi/en/lumi>
- *24 <https://www.atnorth.com/>
- *25 <https://www.vttresearch.com/en/ourservices/quantum-technology>
- *26 ①宇宙・地球(数百ミリ秒)、②国内(数十ミリ秒)、③地域(数ミリ秒)、④施設(ミリ秒以下) の 4 階層を構想していると考えられる。これは、自然法則である「光速が移動速度の上限」に伴う情報の伝搬遅延値に起因すると理解することができよう。
- *27 当時は、日中関係が尖閣諸島問題などで厳しい緊張状態であり、日中の連携を進めることができなかったようである。
- *28 当時、欧州においては、各国間の電力系統の連携線は、伝送効率が交流よりも高く、必要な銅の量が少ない直流送電システムの導入が進んでおり、その実現性と経済効率性が実証されていた。地域配電網には交流が適するが、ポイント・ポイントの系統連携線においては直流の利点が出てくる。宅内・構内における配電システムに、直流技術の導入の取組みも加速している。データセンター内で稼働する電子機器は、基本的に直流で稼働しており、交流での電源源供給を AC-DC 変換して利用している。
- *29 実現には至らなかったが、ロシアと日本の間には、北方領土を経由して、ロシアから北海道への天然ガスあるいは電力送電の可能性も検討されたようである。

DX と電力・エネルギー

中村 秀治

Shuji Nakamura

(大) 北海道国立大学機構理事 / (株) 三菱総合研究所顧問



出典：Canva による作画

https://www.canva.com/ja_jp/

プロンプト：「再生可能エネルギーによる電力を地産地消しているデジタル田園都市グリッドを描き。その中に、AI データセンターをプロットしてください。」

再エネ電源比率が 6 割のスペインにおいて、大停電が発生した。その原因は、全国 86 変電所による送配電システムの周波数制御の失敗であった。これは大きな事件であるが、それ以上に、詳細の解明に数か月を要すると言われる現状に驚きを覚える。検証に向けて解析すべきデータが記録されていないのか、収集に時間が掛かるのか。このことは、要するに DX が進んでおらず、AI を活用できる環境には無いということではないだろうか。

インターネットの進化に伴い、AI に学習させ

るための有効なビッグデータを扱えるようになってはいるものの、何を学習させるべきなのかについては、未だ議論が続いている。さらに、生活・産業の両面で SDGs を達成するために、電力・エネルギーの需給構造解析と予測を AI に学習させることも必須であるはずである。

本章では、DX が進展した後の、電力流通制御機能を装備したデータセンターについて構想し、分散型の再エネ電源を内包したマイクログリッドの導入の可能性について論じる。

2.1

エネルギーバッファ（ポスト変電所） としてのデータセンター

高野 雅晴

（株）ビットメディア 代表取締役社長

Masaharu Takano

2.1.1 | 再生可能エネルギーの課題と データセンターの可能性

現代社会において、データセンターは 24 時間 365 日、電気を止めることなく稼働する重要インフラとなっている。一方、気候変動対策として期待される再生可能エネルギーは、天候に左右されるという本質的な課題を抱えている。特に風力や太陽光発電は、発電量が時間帯や天候によって大きく変動するため、電力系統の安定運用に課題をもたらしている。

日本においては、北海道が風力や太陽光などの発電ポテンシャルで全国 1 位という恵まれた条件を持ちながら、その活用には地理的・系統的な制約が存在している。電力需要の中心である首都圏や関西圏から遠く離れていることに加え、本州との電力連系容量にも限界がある。

HNDC 副代表の村井純教授が座長の「ワット・ビット連携官民懇談会」（2025 年 3 月-6 月開催）では、こうした課題を解決する新たな発想として、北海道を含む再生可能エネルギーに適した地域にデータセンター立地を誘導し、そこから首都圏に電気を運ぶのではなく、データセンターでの計算結果を APN に代表される高速光通信網で運ぶという基本的なコンセプトの具体化やロードマップについて議論され、ワット・ビット連携コンセプトの認知度が高まった。

この考え方は、従来の「電力を遠隔地から運ぶ」という発想から、「電力を使う計算処理そのものを再エネ適地に移す」という発想の転換を意味している。特に、現在開発が進んでいる生成 AI の学習・推論にフォーカスした、電力密度の著しく高い AI データセンター（AI ファクトリーとも呼ばれる）の台頭により、この考え方の実現可能性と重要性が増している。

2.1.2 | AI ファクトリーと エネルギーバッファの概念

2025 年 4 月に開催された OCP（Open Compute Project）EMEA Summit においては、1 ラック当たり電力が数百 kW どころか 1MW 規模もスコープに入れた議論が行われた。しかも、PUE（Power Usage Effectiveness）については 1.1~1.2 以下が当たり前になってくることを考えると、AI ファクトリーの大規模電力の大半を半導体が消費することになる。

この状況は、再生可能エネルギーの弱点である「天候で発電量が変動する」という課題に対して、新たな可能性を示唆する。すなわち、AI ファクトリーのような巨大な電力需要を持ちながら、その稼働を計算負荷制御によって柔軟に調整できる施設と位置付け、エネルギーバッファとして活用するという発想である。

もちろん、高価な GPU を大量に抱えた施設である AI ファクトリーの投資回収のためには、GPU 稼働率をなるべく高めたいという要求がある。生成 AI の学習フェーズでは、高い負荷で一定時間稼働する形態が想定されるが、リクエストと応答の 1 往復だけではなく、連鎖する推論（エージェントなど）が一般化してくると、ユーザ数や利用頻度で稼働状況が大きく変動することが当たり前になり、一般的な Web サービスと同様、平均稼働率をたとえば 30%程度に抑えて、ピーク需要に備える運用が一般的になると考えられる。

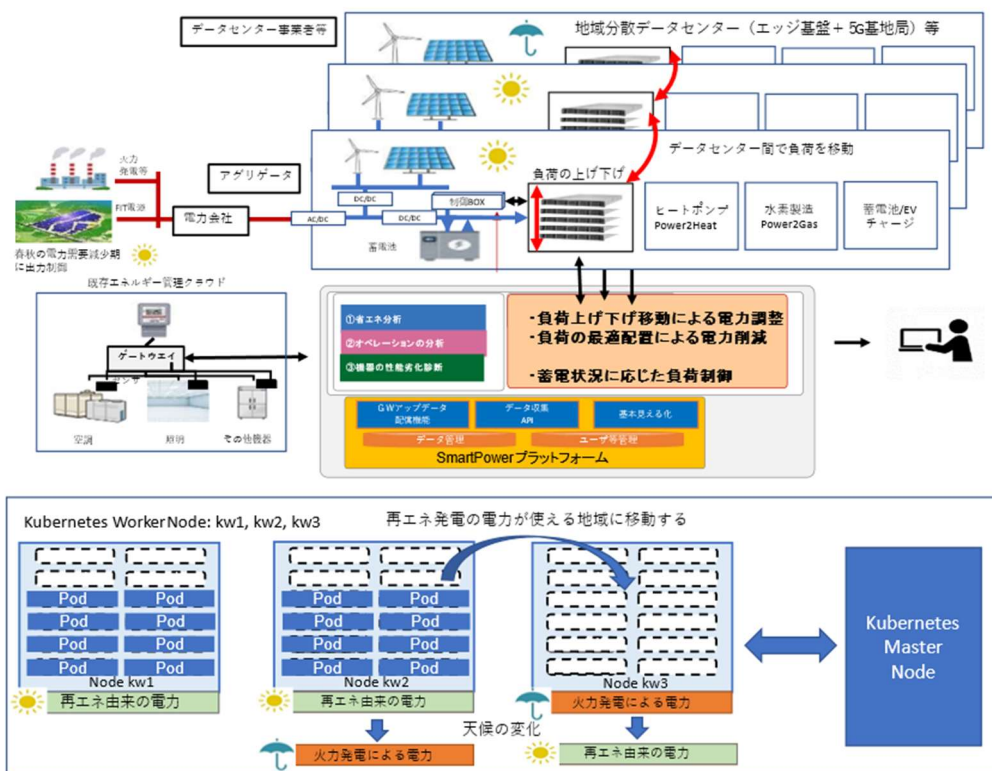
こうした利用方法であれば、再エネが余る時間帯で、他の地域のユーザが求める処理を処理能力に余裕のある AI ファクトリーで実施する「ワークロードシフト」の実運用にリアリティが出てくる。さらに、余剰する再エネを貯める、いわゆる系統用蓄電池を AI ファクトリーのバックアップ電源として連携できれば、AI ファクトリーの夜

間稼働も再エネで充電した蓄電池で賄えることになり、エネルギーバッファとしての柔軟性が高まる。

2.1.3 | SmartPower プラットフォームと SapporoIX PoC

ビットメディアでは、エネルギーバッファとしてのデータセンター活用に貢献できる仕組みとして、SmartPower プラットフォームの開発と PoC を通じて社会実装に向けた準備を進めてきた(図表 2.1.1)。蓄電池との連携制御の実装はこれからであるが、計算資源のワークロードシフトについては様々な PoC を推進してきた。

具体的な取組みとして、2023 年 11 月に、合同会社石狩再エネデータセンター第 1 号、シスコシステムズ、ほくでん情報テクノロジー、ビット



出典：ビットメディア社資料

図 2.1.1 SmartPower プラットフォーム概要

メディア及び石狩市の 5 者で「SapporoIX PoC 環境を使った企業誘致に関する協定」を締結し、後述するように、首都圏のワークロードを北海道のデータセンターにシフトする PoC を実施した。さらにこの枠組みの延長で、トヨタ自動車、シスコシステムズと連携して、発電量予測による計算資源の制御実験も実施している。

このほか、NTT 宇宙環境エネルギー研究所の仮想エネルギー需給制御技術の継続的な実証支援、東京電力パワーグリッドが推進する MESH (Machine-learning Energy System Holistic) 構想の具体化に向けた連携などを進めている。

MESH 構想は、「ワット・ビット連携からの電力システムのインターネット化」である。2024 年 7 月に開催された政府主催の GX2040 リーダーズパネルで、東京電力パワーグリッド取締役副社長執行役員最高技術責任者の岡本浩氏が提唱し、それが契機となって、ワット・ビット連携官民懇談会が設立された。岡本浩氏とビットメディアの高野雅晴氏の共著により、2025 年 4 月には「経営に活かす生成 AI エネルギー論 日本企業の伸びしろを探せ」が日経 BP から出版されている。

2.1.4 | ワークロードアロケーションオプティマイザー (WAO) の開発

ビットメディアでは、「電力調整」のワークロードシフトだけではなく、ワークロードの最適配置による「電力量削減」(省エネ)の研究開発も進めている。それがワークロードアロケーションオプティマイザー (WAO) であり、WAO は AI でデータセンターの消費電力を予測し、電力量を削減できるように計算負荷の配置を決定するシステムである。

NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)の脱炭素社会実現に向けた省エ

ネルギー技術の研究開発・社会実装促進プログラムの一環として、オプテージ、NEC、篠原電機、ビットメディア、さらに大阪大学を共同研究者として研究開発が進められた。実証実験では、WAO の導入により、データセンター全体の消費電力を約 10-15%削減できることが確認されており、たとえば 100MW クラスのデータセンターで 40MW が実稼働していた場合、約 5MW の削減効果が期待できることになる。WAO を加えた SmartPower プラットフォームにより、計算負荷の最適配置によって、消費電力量 (kWh) の削減に貢献するとともに、再生可能エネルギーの余剰電力の状況に応じて計算負荷を上げ下げ移動できる調整力を提供することができる。

2.1.5 | SapporoIX POC 実証実験の概要

北海道の再生可能エネルギー有効活用に向けたデータセンターと再エネ需給連動実証実験 (2024 年実施) では、シスコシステムズ、ビットメディア、ほくでん情報テクノロジーが主要参加者となり、以下の 3 つのステップで検証を進めた。

◎ステップ 1

DC リソースの見える化

- 既存リソース (仮想マシン) の可視化
- 利用状況の解析

◎ステップ 2

マルチサイト DC 運用モデル提示

- マルチサイトリソースの統合運用
- マルチサイト運用の最適化

◎ステップ 3

再生エネルギー利用モデルの提示

- 再エネ利用率の向上
- デマンドレスポンス機能付加の可能性

この PoC では、「首都圏・九州で雨天などにより再エネ不足、電力不足による節電要請になった場合」を想定し、東京・九州から北海道にサーバ・リソースを移動する実証実験を行った。これは、天候・再エネ供給状況と連動して全国のデータセンター間でサーバ・リソースを移動することで再エネの有効活用を目指すものである。

今回の実証実験からは、以下のような成果が得られた。

○1.データセンター・リソースの可視化と管理の効率

化：シスコ Intersight を活用することで、複数拠点のデータセンター・リソースを統合的に可視化・管理できることが確認された。これにより、リソースの利用効率の向上が期待できる。

○2.マルチサイト運用の実現性：東京と北海道という

地理的に離れたデータセンター間でも、仮想マシンやコンテナの移行が実用的なレベルで可能であることが確認された。

○3.再生可能エネルギー活用の可能性：Smart Power

プラットフォームと Intersight の連携により、再エネの発電状況に応じたワークロードシフトが技術的に実現可能であることが示された。デマンドレスポンス指示に応じた制御により、データセンターの消費電力を調整できることを実証した。

この成果は 2024 年 11 月に開催された、ビジネス EXPO「第 38 回 北海道 技術・ビジネス交流会」のほくでん情報テクノロジーのブースでパネル展示された（図表 2.1.2）。

2.1.6 |

今後の展望：

エネルギーバッファとしての データセンターの可能性

今回の実証実験は、データセンターをエネルギ

ーバッファとして活用するという新たな概念の実現可能性を示すものである。この取り組みが拡大・発展することで、以下のような未来像が見えてくる。

○1.全国規模のエネルギーネットワーク：日本全国の

データセンターが連携し、再生可能エネルギーの発電状況や電力需要に応じて、コンピューティング・リソースを最適に配置するネットワークの構築。これにより、再生可能エネルギーの導入拡大が促進される。

○2.AI ファクトリーの地方分散：電力密度の高い AI

ファクトリーを、再生可能エネルギーのポテンシャルが高い地方に戦略的に配置することで、地域経済の活性化と環境負荷の低減を同時に実現する。

○3.新たなデータセンター経済モデル：電力コストだ

けでなく、「調整力」としての価値も組み込んだ新たなデータセンター経済モデルの確立。これにより、再生可能エネルギーの余剰電力を活用する新たなビジネスチャンスが生まれる。

○4.国際競争力の向上：日本の地理的特性と技術力を

活かした、環境に優しく、かつ、経済的に持続可能なデータセンターモデルの確立は、グローバルな競争力向上にも寄与する可能性がある。

エネルギーバッファとしてのデータセンターという概念は、「ポスト変電所」としての新たな社会インフラの役割を示唆している。従来の電力系統が「供給側の調整」を中心としていたのに対し、この新たなモデルは「需要側の柔軟性」を取り入れた分散型のエネルギーシステムを実現するものである。

デジタル技術とエネルギー技術の融合によって、より効率的で環境に優しい社会を構築する一助となることが期待される。

データセンター × 再生可能エネルギー

北海道の再生可能エネルギー有効活用に向けて データセンターと再エネ需給連動実証実験

SapporoIX POC実証実験イメージ

□主要参加者



首都圏・九州で雨天などによる再エネ不足、
電力不足による節電要請になった場合を想定
東京・九州から北海道にサーバーリソース移動する実証実験

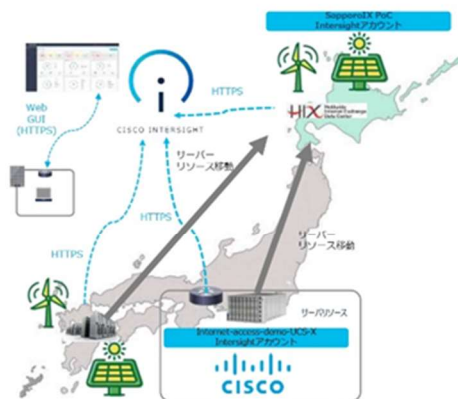


データセンターは24時間365日、
電気を止めることなく稼働



天候に影響されるため電気の安定供給が難しい
北海道は風力・中小水力、太陽光の発電ポテンシャル
全国1位

天候・再エネ供給状況と連動して全国のデータセンター間で
サーバーリソースを移動することで再エネの有効活用



ステップ1

DCリソースの見える化
・ 既存リソース（仮想マシン）
・ 利用状況の解析

ステップ2

マルチサイトDC運用モデル提示
・ マルチサイトリソースの統合運用
・ マルチサイト運用の最適化

ステップ3

再生エネルギー利用モデルの提示
・ 再エネ利用率の向上
・ デマンドレスポンス機能付加の可能性

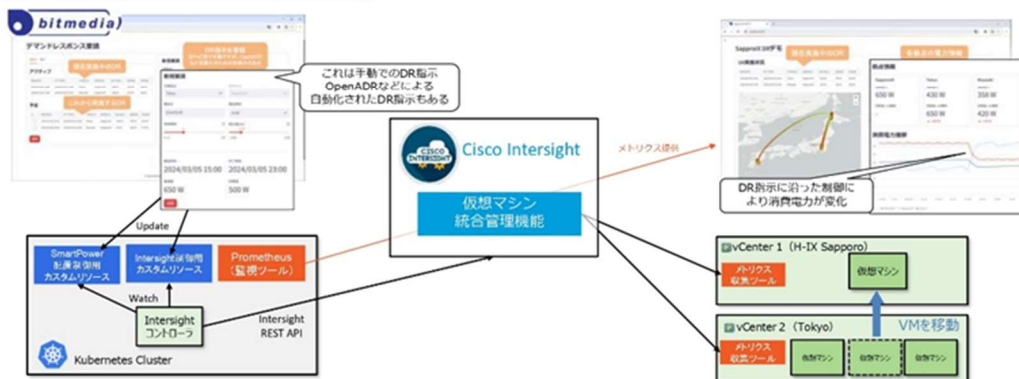
データセンターの見える化とマルチサイトデータセンターの運用モデルの検証

- ・ ほくでん情報テクノロジーH-IXデータセンターにあるSapporoIX疑似環境を利用
- ・ シスコ Intersight/ACIを利用したデータセンターリソースの可視化、利用状況の解析
- ・ シスコ Intersight によるマルチサイトDC運用、リモートマネジメントの有用性確認

再生可能エネルギーの運用効率化 データセンター調整力の体験

- ・ ビットメディア SmartPowerプラットフォームとシスコ Intersightの連携によるデマンドレスポンス機能についての有用性の確認
- ・ マルチサイト運用によるデータセンター調整力の可能性についての有用性確認

電力需要や天候状況に応じた自動制御



2.2

デジタル田園都市グリッド

中村 秀治

Shuji Nakamura

(大) 北海道国立大学機構理事 / (株) 三菱総合研究所顧問

2.2.1 | 地域マイクログリッドへの挑戦は始まっている

経済産業省において再エネ等による分散型エネルギーの議論が始まったのは、2018 年の「総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 持続可能な電力システム構築小委員会」等が契機であり、「再エネをはじめとした、地域に分散的に賦存するエネルギー源を活用することは、災害等の緊急時のレジリエンス強化に資するもので、実際に 2018 年の北海道胆振東部地震や 2019 年の台風による広範な停電被害の発生時には、緊急時の電力供給に再エネが大きく貢献し、レジリエンスの観点に着目した形での再エネの地域活用促進の重要性も高まっている」と指摘されたことによる。また、災害時の停電復旧に加え、地域地区での人口増減による電力需要変化を踏まえ、長距離の送配電線ではなく、特定の区域を独立系統化して地域分散電源による電力供給を行う方が、より送配電網の維持コストの削減につながり、結果的に電力システム全体のコストは下がるという指摘もされている。

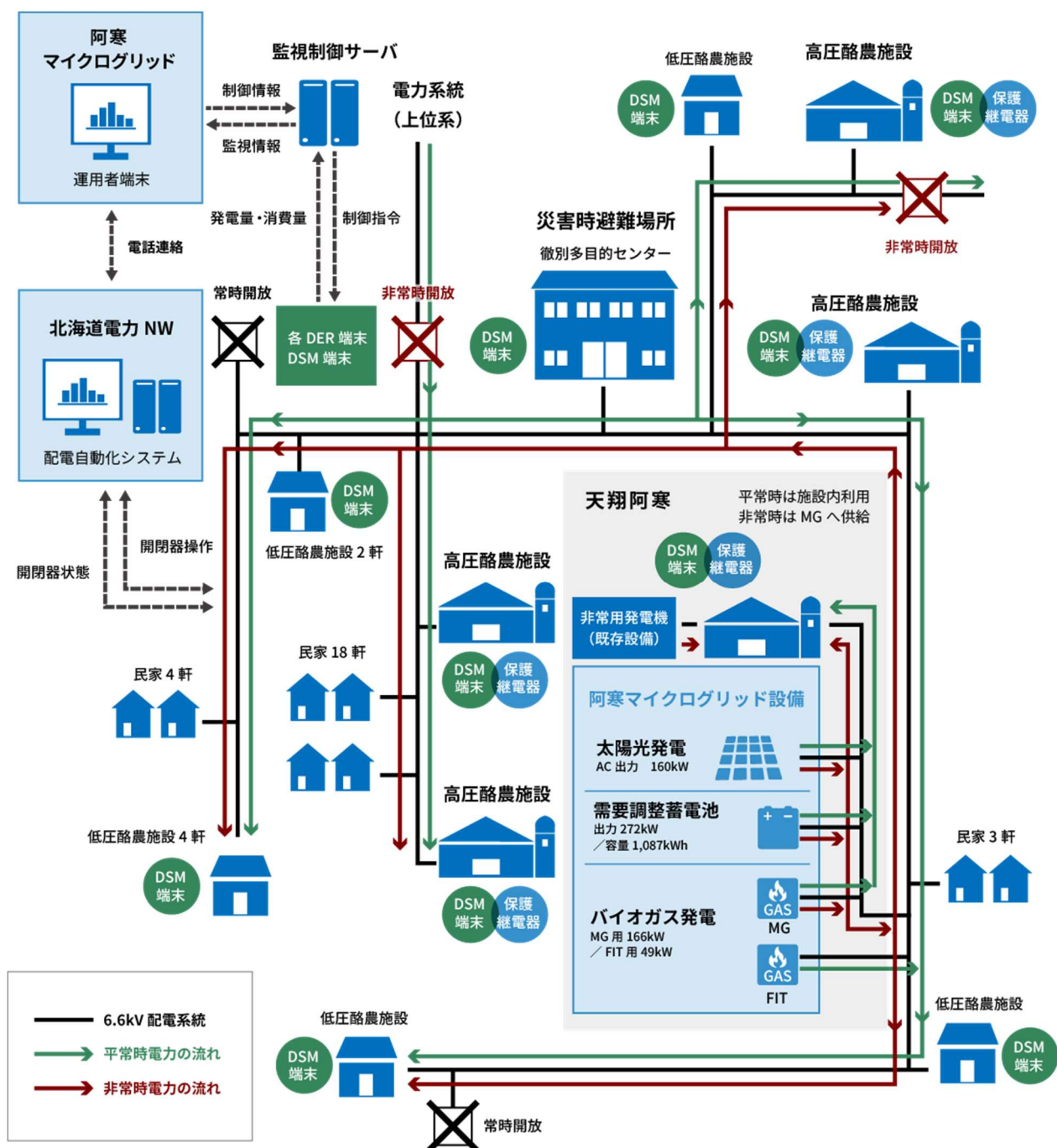
この議論の結果、「平常時は下位系統の潮流を把握し、災害等による大規模停電時には自立して電力を供給できるエネルギーシステム」として、2021 年に「地域マイクログリッド構築の手引き」が経済産業省から公表された。この手引きの中で、

北海道からは、松前町（東急不動産）、石狩市（住友電気工業）、釧路市（阿寒農業協同組合）、上士幌町（Karch）、鶴居村（アドバンテック）、士幌町（シン・エナジー）、白老町（エスコ）の 7 市町が先行事例を提供している。なお、このうち 4 事例は、日高山脈東側の道東エリアに集中している。

2.2.2 | マイクログリッドによるアーキテクチャの可能性

「マイクログリッド」は、米国の電力供給信頼性対策連合（CERTS）から 1999 年に提唱されたものであり、「複数の小さな分散型電源と電力貯蔵装置、電力負荷がネットワークを形成する一つの集合体」と定義されている。さらに、マイクログリッドは、系統や他のマイクログリッドと適切に連系することも可能であるとされており、2000 年以前に、既に、相互運用性が提唱されていた点が注目される。一方、上記の経済産業省による手引きでは「平常時は下位系統の潮流」という表現がなされており、電力は上位から下位への一方通行の「潮流」と考えられている点とは対照的である。

確かにわが国では、いわゆる大停電は起こり難い。1 億人以上が生活し、産業を支える国土を 50Hz と 60Hz の 2 大管理エリアに区分し、各々の



出典：https://akan-mg.jp/より 2025 年 5 月 7 日引用

図 2.2.1 阿寒マイクログリッドの構成図

中をさらに複数の電力事業者によるネットワーク、すなわち、「集合体」で構成するというアーキテクチャが強固に機能している。もちろん、各々の集合体内での周波数制御も緻密かつ瞬時に行われており、初期のインターネットでは使い物にならないと言われたことがある。ブロードバンドが普及期に入った 2005 年頃、とある専門家と議論した際には、「周波数揺らぎの検知からオペレーション完了まで 0.3 秒しかないのでインターネットなんか使えない」との見解であった。

北海道と沖縄以外は、一つの電力事業者で複数都府県による広域圏を対象にしており、その管内で上流から下流の変電所までを監視制御している。変電所も階層的に配置されているが、基本的には、上流から高压で送られてくる電力を降圧して最終需要家に配電する役割を有する。ただし、元々、送電線の事故や複数の電源からの安定した電力流通に対応するために、配下の余剰電力を昇圧して上流に出力する機能も備わっているという。需要地内の火力発電所をピーク時に稼働させたり、夜間は停止したりといった制御を行っていたところに、メガソーラー等の出力制御も含めて、現状は、相当に複雑高度な管理を行っていることが想像できる。残念ながら、最新の AI ツールを駆使しても、インターネット上の情報だけでは詳細に分析できず、電力業界や専門の研究機関、あるいは、研究者の知識を解放してもらわない限り想像の域を超えることができない。経済産業省をはじめ、様々な関連調査結果が PDF 等でオープンにしているはずであるが、未だ学習には貢献できていないのかもしれない。

再エネ電源は、今後も、変電所管内にどんどん増えていくことになるが、これらを効果的かつ効率的に活用するためには、既存の変電所に電力流通経路を制御するインターネットエクスト

レンジ (IX) のような機能を装備してもらう必要がある。加えて、IX には電力貯蔵機能も必須となる。そうすると、変電所管内がマイクログリッドとなることができ、地産地消を基本とする理想的な電力・エネルギー生活が実現する。

2.2.3 | DX 必須の電力流通管理

現状、変電所より上流のデータは、電力事業者から公開されつつあるが、変電所管内の最終需要家のデータはスマートメーター化しているにも拘らず、プライバシー問題等の障壁で研究者でさえも分析可能な状況にはない。要するに、大雑把なマクロ分析しかできず、デジタル化して、緻密な分析に基づく計画や必要技術の開発・実装を目指すには少々距離がある。

北海道では、近年、陸上・洋上風力による電源開発投資が進み、道北地域において送電ネットワークへの民間投資が行われた。結果的に、北海道電力の送配電網に接続する部分でいくつかの問題が明確になり、必要な技術開発や法制度改修が見えつつある。

ひとつの解決策として、“大型の需要家としてのデータセンター”を送電ネットワーク整備エリア内に立地させることが検討されている。これはすなわち、マイクログリッドによる地産地消化である。エリア内の居住や産業も需要家として組み込み、既存の送配電網と切り離すことができれば、本格的なマイクログリッドの誕生となる。そのためには、前述のような新たな機能を装備した変電所を開発しなければならないが、的確な電力需給マネジメントに資するデジタル化された緻密なデータが得られる地域であれば、実装までは速いはずである。

実は、前述した地域マイクログリッドの先進例がある道東の各地域では、これらの問題を克

服できずに、事業撤退の危機に迫られている。GX 金融・資産運用特区の効果により、道北から道東にかけての陸上風力の電源開発投資がさらに活発化していることを考えると、難しいタイミングを迎えていると言える。

これまでの芳しくない状況を払拭し、法制度、技術開発、社会実装手法等を早急かつ統合的に再編・最適化し、特区を活用しながら、できるだけ迅速に導入していけるようにしたい。

2.2.4 | ポスト変電所としてのデータセンター

項目タイトルに「デジタル」を冠した理由は、大雑把な分析ではなく、個々の需要家や設備レベルまで、密に見える化し、データ化された環境下で、監視・分析・制御を行える「田園都市グリッド」という意味を込めたためである。因みに、田園都市は、田園生活の良さと都市生活の良さを 21 世紀的に兼ね備えた地域概念と考えていただければ良い。

通常、スマートメーターは、30 分間隔で電力使用料を記録しているが、北海道電力管内は 2024 年 3 月に導入完了しているはずであり、任意の地域地区における全需要家の、少なくとも過去一年分のデータは存在していることになる。導入は 2015 年から始まっているため、地域によっては過去 5 年分以上が存在し、同期間の気象データや人口動態、イベントなどの主要な都市活動の記録を加えてビッグデータ化し、AI を有効活用することが可能である。主に非都市部で発生する新たな再エネ電源や送電システムに係る設備投資を、マイクログリッドとしての事業収支シミュレーションに乗せることで、「大規模需要家としてのデータセンターを再エネ電源地域のマイクログリッドに内包するケース」と「東

距離搬送するケース」との経済合理性評価も可能となり、必要な法制度改修や技術開発も明確にすることができる。

その際に有効なキーププロジェクトとなるのが、再エネ電源地域のマイクログリッドに導入する「ポスト変電所型データセンター」である。非常時も含め、必要な電力貯蔵量とその入出力制御、既存の系統への経路に加え、新たな送電システムで直結できる近隣マイクログリッドとの経路の制御、そして、マイクログリッド内での需給調整制御等が技術開発の焦点となるのではないだろうか。

道北や道東に新設される再エネ電源や送電システム、さらに、道東に既存する 4 か所の地域マイクログリッドを計画の要素として盛り込みながら、迅速にロードマップ化を図り、その推進に取り組みたい。

DX による地球温暖化対応 スマートインフラ

江崎 浩

Hiroshi Esaki

東京大学大学院 情報理工学系研究科 教授 / WIDE プロジェクト 代表

3.1

地球温暖化の メカニズムと状況¹

地球の現在の平均気温は約摂氏 14 度前後であるが、もしも大気中の水蒸気、二酸化炭素、メタンなどの温暖化効果ガスが存在しない場合には、平均気温は摂氏マイナス 19 度くらいになるとされている。地球に太陽から降り注ぐ太陽光線は、

地球の大気圏を通過して地面（や海面、大気）を暖め、その地表・海面から放射される熱を温室効果ガスが吸収し、大気を暖めること（及び、温室効果ガスが太陽光で直接暖められること）で、温かい温度を保っている。

近年、人間の産業活動が活性化したことによって、二酸化炭素、メタン、さらにフロン類などの温室効果ガスが大量に排出されて大気中の濃度が高まり、その結果、熱の吸収・保存量が増加し、地球の気温が上昇し始めている。これが「地球温暖化」である。

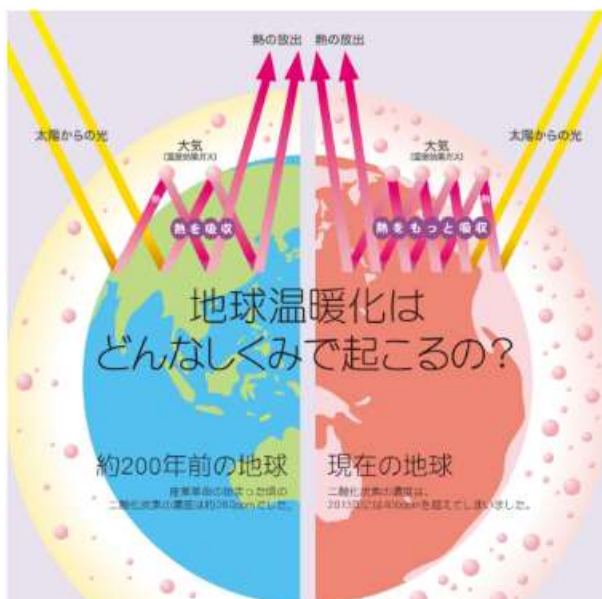
3.1.1 | 温室効果ガス（二酸化炭素）排出量

2021 年の世界の温室効果ガス排出量は、約 332 億トンである。

国別の温室効果ガス排出量（図表 3.2）は、中国(32.0%)、アメリカ(13.7%)、インド(6.9%)、ロシア(5.0%)に続き、日本は第 5 位の 3.0%となっている。

過去 20 年間における大気中の二酸化炭素濃度増加量の 3/4 以上は、石炭、石油などの化石燃料によって排出されている。したがって、排出量の上位は先進国である。

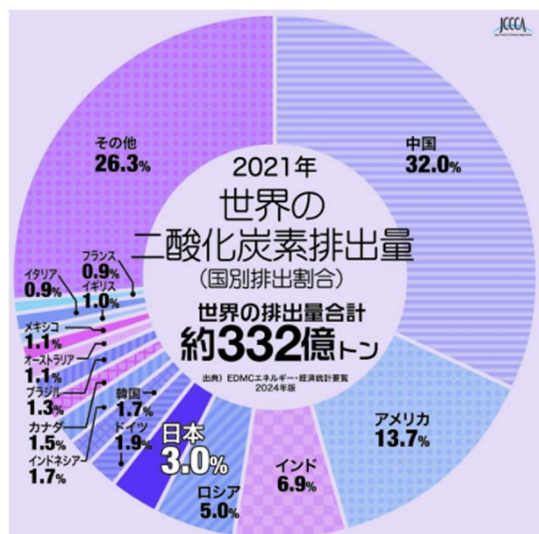
また、一人当たりの二酸化炭素の排出量を見ると、先進国は新興国や途上国に比べ、大きな値となっている。しかし、今後、新興国や途上国にお



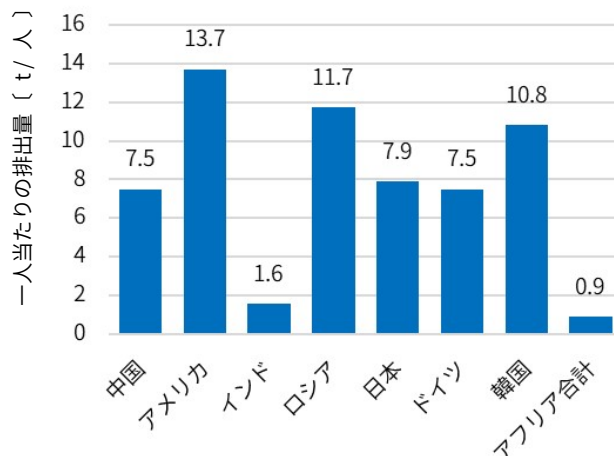
出典：全国地球温暖化防止活動推進センター（JCCCA）WEBサイト
<https://www.jccca.org/download/13102>

図表 3.1 地球温暖化のしくみ

DXによる地球温暖化対応 スマートインフラ



各国の一人当たりの排出量（2021年）



出典：全国地球温暖化防止活動推進センター（JCCCA）WEB サイト

図表 3.2 https://www.jccca.org/download/66920?p_page=3#search 図表 3.3 https://www.jccca.org/download/66928?p_page=3#search

* 国別排出量比は世界全体の排出量に対する比で単位は[%]、排出量の単位は[t/人・エネルギー起源の二酸化炭素(CO₂)]

図表 3.2 主要国の二酸化炭素排出の割合

図表 3.3 各国の一人当たりの地球温暖化ガスの排出量

いては、経済発展の進行に伴い、急速にその量が増加することは明らかである。

1) フロンおよび代替フロンなどの温室効果ガス

オゾン層を破壊するとともに、温室効果ガスでもあるフロンおよび代替フロンガスの大気中濃度は、1995年 モントリオール議定書の規制が効果を発揮して、その排出量の削減が進んでおり、微増または減少の状態となっている。

2) メタン (CH₄)・一酸化窒素 (NO)

二酸化炭素に次いで地球温暖化への大きな気体であり、大気中のメタン濃度は1750年以降で約150%の増加となっており、現在も増加を継続している。メタン排出の半分以上が、化石燃料の使用、家畜、農耕地の土壌、化学工業等の活動によるものである。さらに、一酸化窒素(NO)の濃度も1750年以降で約20%増加し、現在でも増加を続けている。

IPCC 第4次評価報告書によると、温室効果ガス別の地球温暖化への寄与割合は以下のように

示されている。

温暖化効果ガス	寄与の割合
二酸化炭素	76.7%
メタン	14.3%
一酸化窒素	7.9%
フロン類	1.1%

出典：全国地球温暖化防止活動推進センター（JCCCA）
WEB サイトより作成

図表 3.4 地球温暖化効果ガスの割合

すなわち、石炭や石油などの化石燃料の燃焼に伴って排出される二酸化炭素が地球温暖化の最大の原因である。二酸化炭素濃度は、1750年（産業革命以前）の280ppmから、2013年には400ppmを超える値になっており、40%以上も増加している。

2021年のIPCC第6次評価報告書によると、世界の平均気温は、産業革命前と比較して2011年～2020年で1.09℃の上昇と報告されている。また、陸上では海面よりも1.4～1.7倍の速度で気

温の上昇が発生しており、特に、北極圏では世界平均の約 2 倍の速度で気温上昇が発生することになるとされている。

2023 年の夏は、世界平均気温が歴史上、最も高い値となったと報告されている。今後、これまでと同じ速度で温室効果ガス濃度が上昇を続けるとすると、今世紀末までに、3.3～5.7℃の気温の上昇が発生するとの報告が行われている。

気温の上昇は、海面の上昇をも引き起こす。20 世紀において、海面は 19 cm も上昇したとされている。今後も地球温暖化が継続する場合、海水温の上昇に伴う熱膨張と氷河などの融解によって、2100 年までに最大で 82cm の海面の上昇が発生すると予測されている。特に、北極の海氷は、1979 年～1988 年の 10 年間と 2010 年～2019 年とを比較すると、海氷が一番少ない 9 月で約 40% の減少、海氷が一番多い 3 月で約 10% の減少が観測されている。

3.1.2 | 日本におけるエネルギー消費の状況

エネルギーの消費量を整理するために、消費者が利用可能なエネルギーの生産を行うのに必要な一次エネルギーと、消費者が実際に消費・利用する二次エネルギーが定義されている。我々の社会・産業活動を実現するために消費されるエネルギーに由来する地球温暖化の原因となる構造を以下に概観する。

1) 一次エネルギー

石油、石炭、天然ガス、薪(バイオマス)、水力、原子力、風力、地熱、太陽光など、自然から直接採取されるエネルギー源である。これらを加工・変換することで、消費者が利用可能な二次エネルギーが供給されることになる。

2) 二次エネルギー

一次エネルギーを転換・加工することで得られる電力、都市ガス、ガソリン・灯油などの実際に消費者・需要者が利用するエネルギーが二次エネルギーである。水素も二次エネルギーに分類される。最終的に消費者が利用可能な形態に一次エネルギーが転換されたもので、その総量を「最終エネルギー消費」と呼ぶ。

3.1.2.1 一次エネルギー

一次エネルギーを二次エネルギーに変換する際には、無駄(=ロス)が発生することになり、一次エネルギーは二次エネルギーよりも大きな値となる。2021 年度のデータでは、一次エネルギーの総量を 100 とすると、最終エネルギーすなわち二次エネルギーの総量は 66 程度とされており、34% のエネルギーが二次エネルギーの生産・供給のために地球表面に排出されていることになる。このエネルギーのロスは、エネルギーが消費者まで届けられるまでに発生する発電や輸送・配電中のロスを含んでいる。

2021 年度の日本における一次エネルギーの供給構成は以下の通りである。

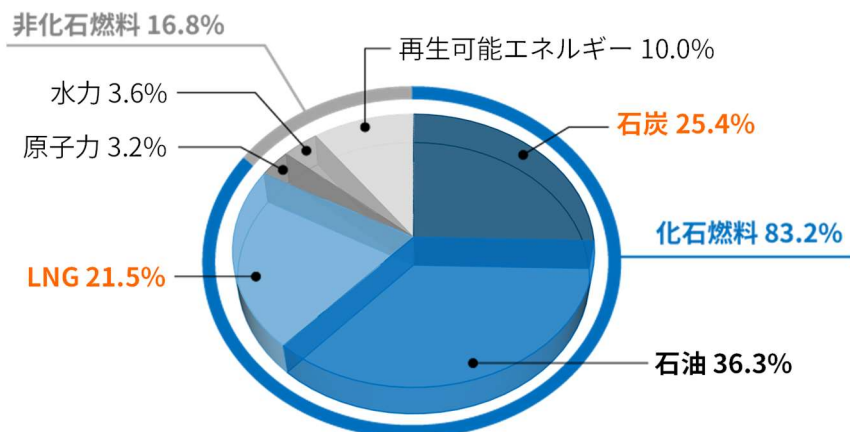
化石 燃料	83.2%	石炭	25.4%
		石油	36.3%
		LNG	21.5%
非化石 燃料	16.8%	原子力	3.2%
		水力	3.6%
		再生可能 エネルギー	10.0%

出典：資源エネルギー庁資料

図表 3.5

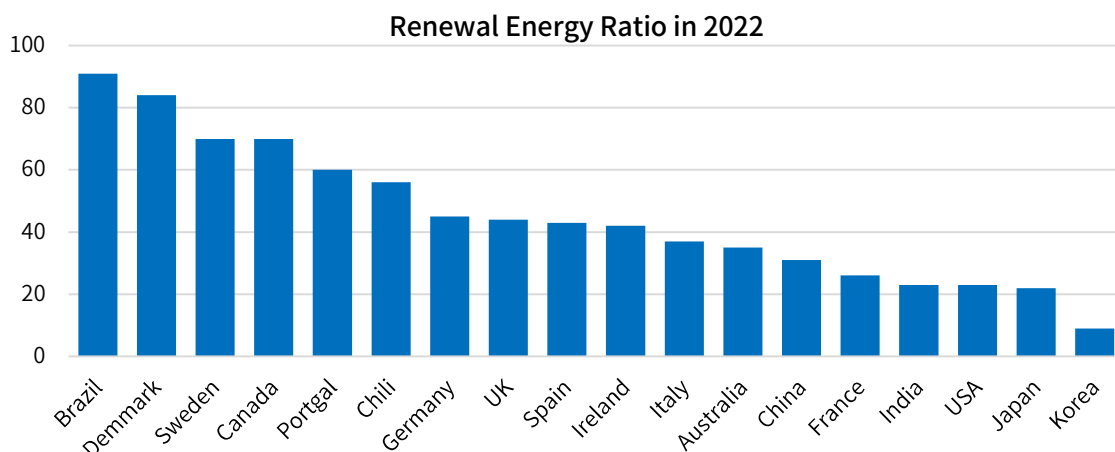
日本における一次エネルギーの
構成 (2021 年度)

DXによる地球温暖化対応
スマートインフラ



出典：EDMC／エネルギー・経済統計要覧 2023 年版

図表 3.6 日本における一次エネルギーの構成



出典：EDMC／エネルギー・経済統計要覧 2023 年版

図表 3.7 主要国における再生可能エネルギーの割合（2022 年）

3.1.2.2 二次エネルギー

二次エネルギーすなわち最終エネルギー消費の構成を図表 3.8 に示した。

ここで、一次エネルギーには存在しない「電力」が登場する。また、再生可能エネルギーの 0.3% は、再生可能エネルギーの自家消費に対応することになり、一次エネルギーで 10.0%となっていた再生可能エネルギーのほとんどは、二次エネルギーの 27%を占める「電力」に対応することになる。政府は、このような状況のエネルギーの

現状を、今後、

- (1) 一次エネルギーに占める再生可能エネルギーの割合を更に増加させる
 - (2) 石油による二次エネルギー供給の、電力(および水素)への置き換えを増加させる
- という方向性を加速しなければならないという政策方針を出している。

次に、二次エネルギーの各産業部門で整理したものが、図 3.9 である。

○これによると、二次エネルギーの44%が製造業において消費されていることが分かる。製鉄や化学など、多くの製造業の中でも大きなエネルギーを必要とする産業は、石油・石炭の自家発電設備および熱利用設備を所有して製造活動を展開している。

○「業務他」は、製造業および農林水産業以外の業務設備であり、オフィスなどのビル設備におけるエネルギー消費を示しており、その割合は17%となっている。

○家庭における消費量は14%であり、オフィスなどのビル設備におけるエネルギー消費と同じレベルの消費量であり、合計すると31%となっている。

○旅客と貨物の運輸の合計は22%である。運輸システムは、ガソリンエンジンで稼働するトラックやバスなどの電化を促進するとされているが、輸送する人と貨物の絶対量を減らさ

ない限り、電力の確保のために多くの化石燃料を使用している現状を改善しなければ、地球温暖化ガスの総排出量の削減は実現することができないことになる。

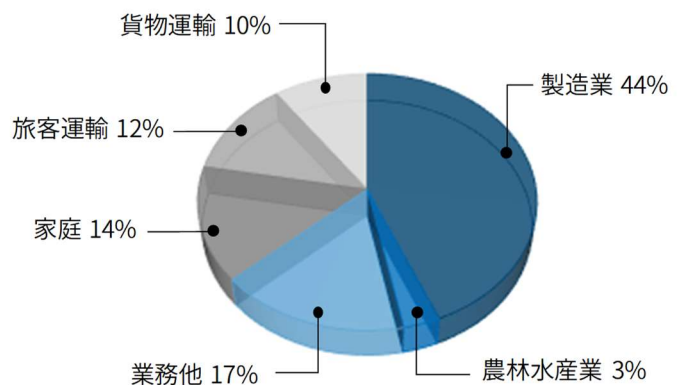
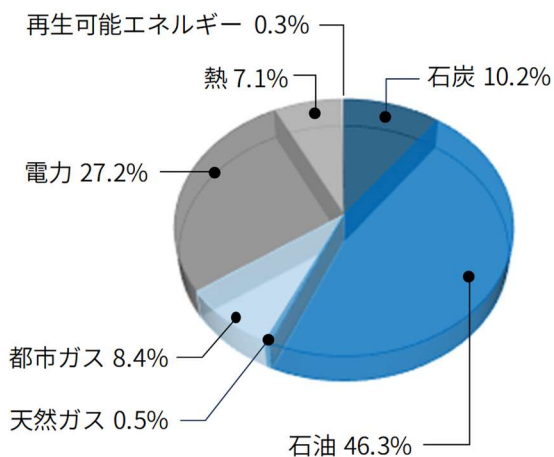
すなわち、

- 1) 再生可能エネルギーによる総電力発電量を劇的に増加させ、

一方では

- 2) 各産業セグメントの活動維持に必要なエネルギー量の削減(=効率化)

を同時に実現しなければ、現在の経済・産業活動の維持は不可能との結論が導き出されることになる。



出典：EDMC／エネルギー・経済統計要覧 2023 年版

図表 3.8 左 | 日本における二次エネルギーの構成

図表 3.9 右 | 二次エネルギーの産業別割合

ここで、簡単な計算を試みよう²。

EP-100 を全セグメントで実現するとすれば、必要なエネルギー量は 1/2 となる。この過程において、化石燃料ベースの産業・社会活動を電力ベースに置換することを基本にする。単純に現在の化石燃料ベースの二次エネルギーを電力に置き換えることが容易ではないことは明白ではあるが、挑戦すべき方向性であろう。

再生可能エネルギーの総量（一次エネルギー）を現在の 2.5 倍（=150%の増加）にすれば、現在の一次エネルギーにおいて $20\% \times 2.5 = 50\%$ を再生可能エネルギーによって獲得可能となる。EP-100 の実現によって、必要な二次エネルギー量が 1/2（=50%）となり、完全に再生可能エネルギーによって、必要な二次エネルギーを確保・提供可能との計算となる。

3.2

各業務セグメントにおける エネルギー消費量の 削減手法

各業務セグメントにおけるエネルギー消費量の削減（＝エネルギーの生産性効率（EP； Energy Productivity）の向上）の手法を考えてみよう。

3.2.1 | システムの構築時に 新規に必要となる モノ を削減する

製造業は、社会・産業活動を行う上で必要な、物理的なモノ資源を製造するために、2 次エネルギーの 44% を消費している。製造業が必要とする二次エネルギーは、社会・産業が「新規に必要とするモノ」の総量を減少することができれば、結果的に減少させることが可能となり、これには次の 2 つのアプローチが考えられる。

1) 「新規に必要とするモノ」を「過去に製造したモノ」で代替する

リサイクルあるいはサーキュラーエコノミーと呼ばれるエコシステムの構築・運用、すなわち、資源や部品の再利用・再生利用³である。産業革命以降は、Scrap & Build が基本的な形態であり、新しいモノづくりのために未使用の資源を確保し、資源から基本原料を製造し、さらにこれを加工・組み合わせて最終的なモノが生産され、社会に提供・展開される形態となった。しかし、基本原料のための資源は貴重であり、基本原料を製造するため（及び、資源から基本原料を製造するため）に必要となるエネルギーとして、既に製造

済の基本原料を再利用することができれば、大きなエネルギー削減を実現することが可能となる。

このような、既に生産し運用されたインフラを構成する「モノ」を再利用(リサイクル)する構造は、少子高齢化と人口増加の停滞・停止による“物理”経済の成長が鈍化・停滞あるいはマイナス成長となっている国や都市・地域にとって有効な構造であり、このような現象は、特に先進国で加速することになるとともに、新興国や発展途上国においても地球温暖化を減少させるために有効な方策になると考えられる。

以下に、4つの具体的な事例を紹介する。

i アムステルダム・スタジアムでの電気自動車(EV; Electric Vehicle)中古蓄電池の再利用⁴

総合競技場を電力グリッドとの連携拠点とし、周辺の街への配電拠点かつ系統との電力デマンドレスポンス拠点とするとともに、競技場は非常時の避難所となることから、競技場内に設置される大容量の蓄電池を避難所での非常用電源とする設計である。電力系統との連携のための大容量の蓄電池として、日産の電気自動車(EV)の中古蓄電池セルを用いるという運用である。具体的には、148個のEV車(LEAF)のバッテリーパックを再利用して、3MWの電力を提供可能としている。この蓄電池は、系統との連携も可能であ



出典：<https://www.nissan.com.sg/experience-nissan/lifestyle/amsterdam-arena.html>

図表 3.10 EV 中古蓄電池の再利用（アムステルダム競技場）

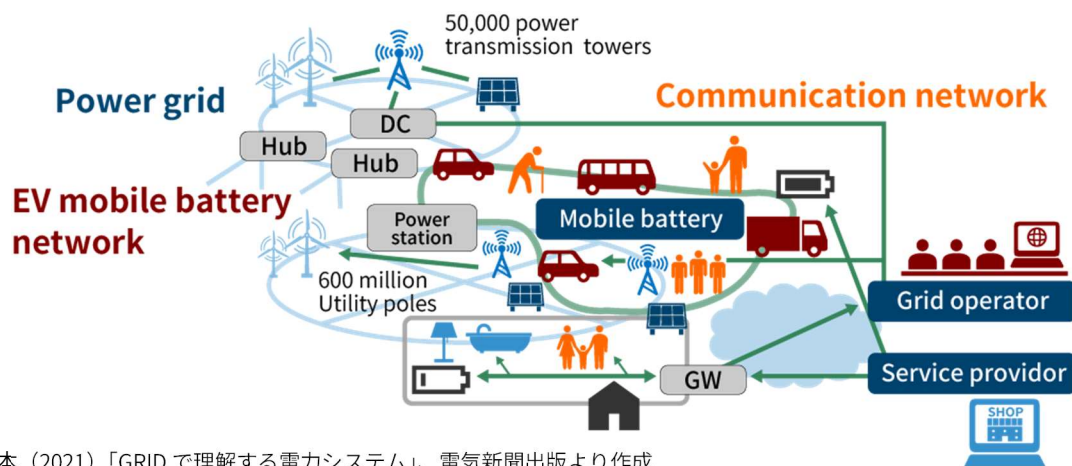
り、系統側で電力供給が不足している場合には、スタジアム配下の街への電力供給に蓄電池からの放電電気を利用することができる。なお、電気自動車に搭載されている蓄電池容量は、非常に大きく、ピークで100KW、平均で30KW、100KWH程度の容量を持っている。

ii EVを用いた電力デマンド制御

自家用自動車の実稼働率は平均で10%程度とされている。つまり、90%の時間は利用されていない遊休の時間と捉えることができる。しかも、この遊休資源は、既に自家用自動車の所有者によって投資済みの資源である(サブスクライプ型の自家用自動車の場合には提供会社が利用者により投資済みで、分割形式でこれをユーザが返済する形態)。つまり、90%の時間は誰も利用しない時間であり、EVが電力ネットワークに接続されていれば、デマンドレスポンス用の蓄電池資源と捉えることができる。上述のように、EVの蓄電池は電源グリッドにとって大容量の分散型の発電機であり、蓄電池であると捉えることができる。EVの目的外利用であるが、これは、既投資済の資源の有効利用であり、社会が必要とする資源の削減をシェアリングエコノミーで実現する形態であると考えることができる。

さらに、EVの大容量蓄電池は、電力グリッドにとって、物理的な場所を動的に需要の状況に応じて変化させることも不可能ではない蓄電池&発電資源と捉えることができる。すなわち、電力グリッドにとってEVは、モビリティ機能を持った大容量分散型蓄電池としての“新しい”利用可能性を持つことになる。

最後に、従来の燃料自動車とEVとの大きな違いとして、計算機資源の大きさがあげられる⁵。正確には、自動運転車である。自動運転の実現には大量の計算資源が必要であり、その電力の提供に適する自動車は、EVとなる。自動運転には、高性能・大容量のCPU、GPUとメモリ資源が必要となる。この計算資源も車体が稼働している時間だけ必要なものであり、その稼働率は10%程度となる。しかも、この物理資源も投資済みの遊休資源である。この遊休時間の計算機資源を、自身あるいは他人が利用可能とすることで、資源の本来の目的以外での有効利用が可能となる。しかも、自動車は稼働していない時でも“通信”ネットワークにはConnectedな状態で静止しており、場合によっては、電源供給・提供のための電源アダプター&ケーブルで“電力”システムともConnectedな状態になる。つまり、非稼働な状



出典：岡本（2021）「GRIDで理解する電力システム」、電気新聞出版より作成

図表 3.11 EVを用いたモバイル蓄電池デマンドレスポンス

態でも、電力と通信システムの両方に Connected な状態となり、電力とデジタル情報を交換可能な状態と捉えることができる。

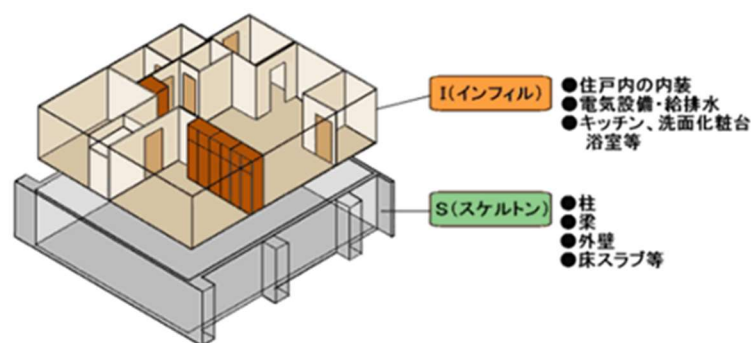
iii 建築物におけるスケルトン&インフィル

スケルトン&インフィルは、1960 年代に MIT の Prof. Nicolaas John Habraken が提唱した考え方で、スケルトン(躯体)とインフィル(内装)を分離して考えることで、新耐性・耐久性のある構造体を保持しつつ、室内を作り替えて何世代にも渡って建物を使用することができるアーキテクチャである。躯体の解体や再構築の必要がないので、廃棄物(含 産業廃棄物)の削減、再構築に必要な資源とエネルギーを実現することになり、地球温暖化ガスの減少に大きな貢献を行うことになる。なお、中国における集合住宅は、スケルトン&インフィルのアーキテクチャで構築・運用されており、東ドイツが西ドイツと統合された際、東ドイツが急速に西側の建築インフラとして機能したのは、東ドイツ内の建築物がスケルトン&インフィルの考え方で構築・運用されていたからとも言われている。

建築物の利用者は、①建築物の所有者である

場合と、②所有者ではなく賃借人(テナント)の場合とが存在する。①の建築物の利用者が建築物の所有者である場合には、基本的には利用者が定住する形態であるが、スケルトン&インフィルの適用によって、地球温暖化ガスの減少に大きな貢献を行うことになる。この形態は、現世代での資源の共有は実現しないが、複数世代での時間軸方向でのシェアリングエコノミーと捉えることができる。一方、②の建築物の利用者が所有者ではなく賃借人(テナント)の場合には、スケルトン&インフィル型の建築物の場合、賃借人が賃貸する建築物の変更が容易になる。ある意味、建築物というハードウェアとその利用者というアプリケーションがアンバンドルされることになり、現世代でのシェアリングエコノミー型の建築物に関する不動産業界が形成されることになる⁶⁾。

当然であるが、これまで、インフィルインスタンスとしての建築物は物理アセットであったが、今後は、居住空間のデジタル・ツイン化が実現・進展することになり、その場合には、インフィルインスタンスとして、ソフトアセットも含まれることになる。



出典：国立環境研究所「つながる ひろがる 環境情報メディア 環境展望台」WEB サイト

図表 3.12 スケルトン&インフィル(as Hardware)

iv トレーラ・ハウス（不動産を動産へ）

建築物は地面に恒久的に固定されており、地理的な場所を変えないので「不動産」と呼ばれている。

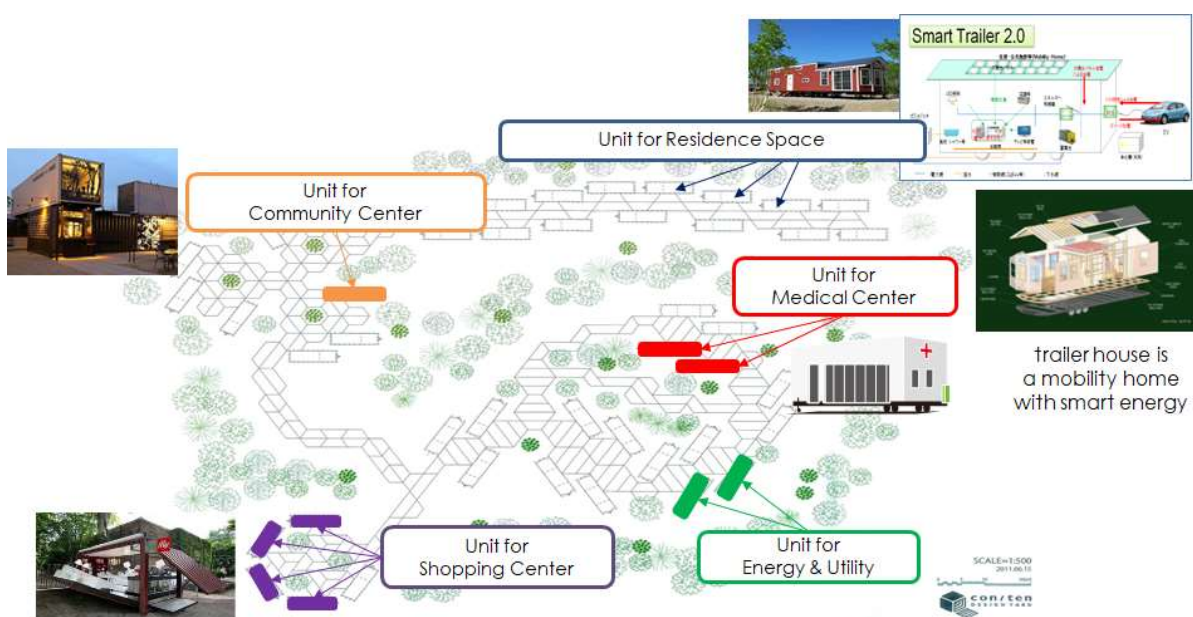
古い日本の建築物は、基礎はしっかり作るが、建築物は地面に固定されない、ある意味、免振構造となっており、建築物自体の解体・再構築、あるいは、建築物を構成する部品の再利用が可能な構造となっていた。すなわち、物理的な移動を可能にした資源の再利用を、“AS IS”で行う場合（建築物をそのまま移動させる）と“TO BE”で行う場合（建築物の部品を再利用して別の構造の建築物を異なる場所に構築する）の両方を可能としていたと捉えることができる。

環境負荷が非常に小さい、古い日本建築に似た近年の建築物が、自由に移動が可能な「トレーラ・ハウス」、あるいは、少し労力は必要であるが、移動や「レゴブロックのように」組み合わせが可能な「コンテナ・ハウス」である。これらは、蓄電池と計算機パワーを持った電気自動車（EV）との連携も容易な建築物であり、物理的な移動

や部材の再利用がほぼ不可能な現在の建築物と比較して、特に竣工後の運用において大きな地球温暖化ガスの減少を実現することになる。移動可能な建築物である特長を活かしたキッチンカーは、その典型例であろう。

さらに、移動可能な住居は、災害時の支援物資としても有効に利用可能であることが広く認識されつつある。特に、2016年4月に発生した熊本地震においては、長期の余震が原因で、被災者のための仮設住宅の施工を行う場所が選定できなかったが、トレーラ/コンテナ・ハウスは、設置後にも設置場所の変更が可能であることから、その有効性が認識された。

このような移動可能な建築物は、「3.2.3 システムの構築・運用に必要となるコストを削減する（TO BE）」の「(3)点(not 面)のインフラ構造」で議論する「点で構成可能なインフラ」に通じるコンポーネントとなる。拠点を構成する建築物が、自由に、地理的な場所を「道路」などを用いて変更可能であり、資源を廃棄せずに再利用・有効利用することを可能にする。つまり、建築



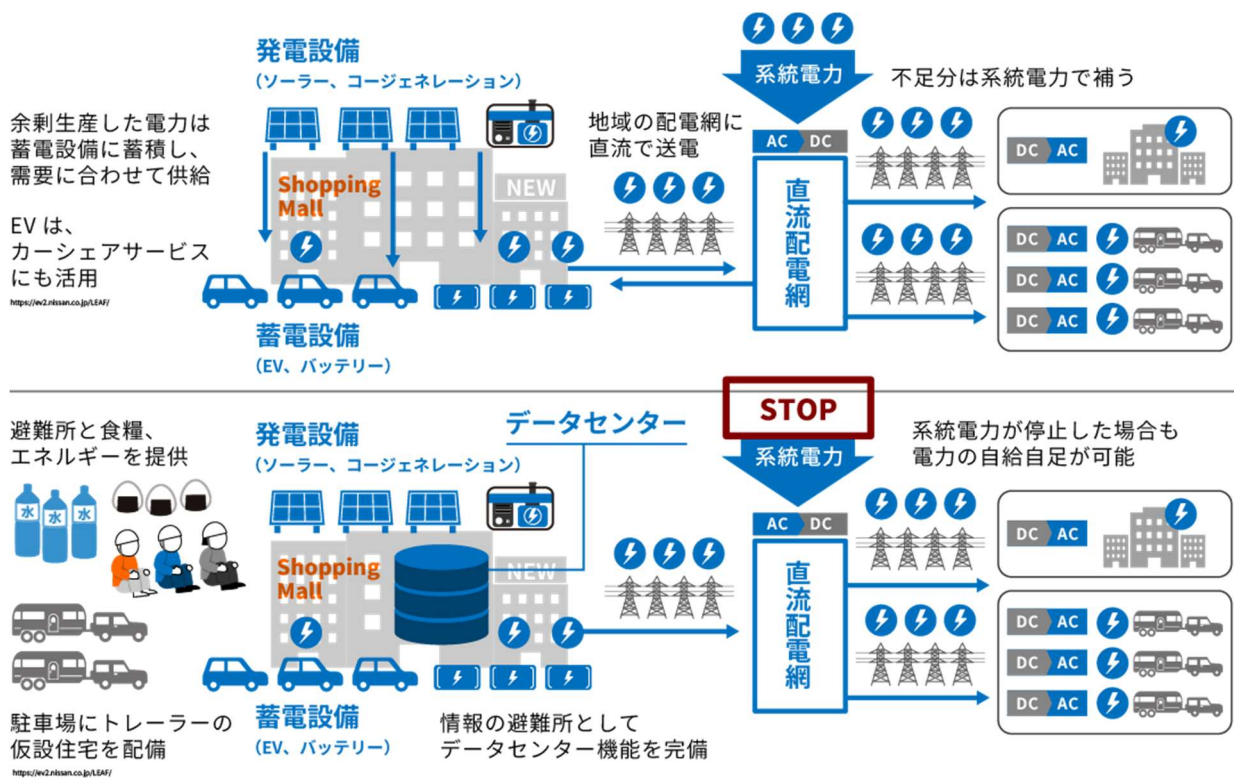
図表 3.13 Connected LEGO-Trailer Town/Campus

物の集合や離脱に必要な資源とエネルギーのコストが大幅に削減され、結果的に地球温暖化ガスの減少にも貢献することとなる。

上述のアムステルダム・スタジアムの事例のように、電気自動車(EV)は大容量の移動可能な蓄電池として、このキャンパスに組み込むことができる。さらに、EVの資源で有効利用可能なコンポーネントとして、自動運転に必要なコンピューティング資源(CPU/GPU/Storage)とコミュニケーション資源が存在する。特に、自動運転に必要なコンピューティング資源(CPU/GPU/Storage)は、蓄電池容量と同様に、非常に大きな容量となっている。後述するように、コンピューティング資源を利用するタスクの中には、リアルタイム性や高品質を要求しないタスクも少なくない。その総量は、人工知能の成長などによっ

て急拡大しており、今後も需要の増加が予想されている。すでに、自己利用のために購入済み(＝投資済)の電気自動車に存在する「遊休資源」を、他の人・組織に利用可能にする(貸し出す)ことで、付加的報酬を獲得する機会が発生する。EVの所有者・購入者にとって「遊休資源」の有効利用である。一方、EVの「遊休資源」を利用する人・組織にとっては、初期ハードウェア投資が不要なサブスクリプション型での資源利用が可能になる。エンドユーザのハードウェア資源のシェアリング・エコノミーである。

図表 3.14 および図表 3.15 に、電力システムシステムと連携運用されるショッピングモールのイメージを示した。電気自動車やデータセンターが持つ大容量のエネルギー貯蔵・供給能力を、常時には電力システムとの連携、災害発生時には非常用エネルギー源として利用する方向性である。



出典：トランスパレントクラウドコンソーシアム作成より加工

図表 3.14 上 | 常時運用

図表 3.15 下 | 非常時運用

2)「新規に必要とするモノ」をシェアリングエコノミーによって削減する

従来の多くのサービスインフラは、サービスとそれを提供するために必要な物理資源がほぼ1対1にロックオンされた形態であった。サービス提供者による物理的資源の専用利用である。

広義のデジタル化の導入によって、人類は、排他的な物理資源の専用利用ではなく、サービス提供者間で共用利用するシェアリングエコノミーを編み出し、実展開している。サービスという「コト」と、サービスという「モノ」を提供するための「モノ」のアンバンドル化である。物流におけるパレット・コンテナ、コンピュータネットワーク(インターネット)におけるIPパケットをその典型例としてあげることができる⁷⁾。実際に、物流においても、コンピュータネットワークにおいても、物理資源の共有によって、必要となる物理的なモノの総量とその運用に必要なエネルギーの両面で、それらの大きな削減を実現することに成功している。Resource ProductivityとEnergy Productivityの飛躍的な向上である。

上で議論したように、資源(Resource)の共用による効率的な有効利用は、資源量(=モノ)の削減だけではなく、資源を作成するために必要となるエネルギー量も削減することになるのである。

3.2.2 | システムの運用時に必要となるエネルギー量を削減する (AS IS)

同じ「モノ」でも、その使い方によって、必要となるエネルギーや時間、さらには廃棄物など資源の無駄も変化する。「賢い・無駄のない運用」の実現によって、システムが消費するエネルギー量と廃棄物の量を少なくすることが可能となる。この「賢い・無駄のない運用」には、対象と

なるシステムの状態を把握するためのデータが取得され、そのデータを用いたシステムの同定し、さまざまな試行錯誤(シミュレーション・エミュレーション)を行い、適切な制御を行うことを可能とする。これを最近ではデジタル・ツイン化と呼んでいる。

デジタル空間でデジタル・ツイン化されたシステムの運用・制御方法の検討・評価は、今後は人工知能の有効利用が進展・導入されることになる(すでに適用・導入が進展しているのが現状である)。このようなデジタル技術を駆使した、システムの同定と適切な制御・運用の適用によって、システムが消費するエネルギーの総量が削減(廃棄物の削減も)可能となる。

このデジタル・ツイン化による消費エネルギー量の削減は、既存(AS IS)のシステムばかりではなく、新規(TO BE)導入・設置されるシステムにも適用可能である。デジタル空間での実空間のエミュレーションとシミュレーションが行われ、最適・適切なシステムを出力(=Print-out)する形態である。例えば、ビル施設においては、ビルのデジタル・ツイン化によって、既存ビルの30%程度のエネルギー削減が多くのビルにおいて実現可能であり、新規ビルの設計においては、ビルの運用時の消費エネルギーを低く抑えるための竣工構造と竣工後の運用の設計・評価が可能となりつつある。特に、データセンターという特殊なビルは、電力消費量がビルの経営上非常に重要なコスト要因であり、デジタル・ツインを用いた、設備設計と運用方法の最適化が取り組まれている。

3.2.3 | システムの構築・運用に必要なコストを削減する (TO BE)

デジタル技術とデジタルインフラを利用する

ことで、それまでのシステムの構造とは根本的に異なる構造(not AI IS, but TO BE)にすることで、結果的に、かつ総合的・統合的に、さらに長期的に、その構築と運用に必要となる地球温室効果ガスの総量を削減するアプローチである。デジタルの力を最大限引き出し、デジタル前提でのシステムの設計である。すなわち、デジタル・ファーストでの設計・実装・運用である。

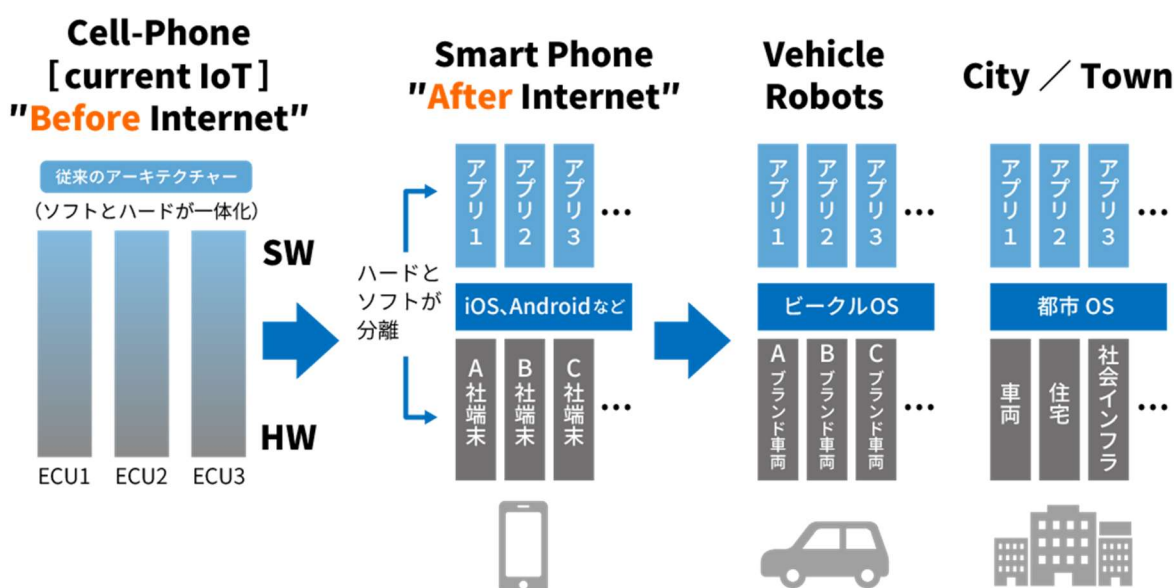
1) コトとモノのアンバンドルによるモノの選択が可能という前提

デジタル化によって、モノ(ハードウェア)とコト(ソフトウェア)がアンバンドル化され、コト(ソフトウェア)が、モノ(ハードウェア)を選択可能となる。すなわち、コト(ソフトウェア=Function)を実現する場所(=ハードウェア)は、効率の高い、すなわち、地球温室効果ガスの排出量が小さいモノを適宜選択することが可能となる。コトをPrint outする場所とモノが選択・変更可能になることを前提にシステムの設計・運

用を行うことができる。複数・多数のコトが、共通のモノを共用するシェアリングエコノミー型のインフラは、コトとモノのアンバンドルにより実現される地球温室効果ガスを小さくし、削減するインフラ構造と捉えることができる⁸⁾。

3D プリンターに代表されるデジタルのレシピ(=デジタルの設計図)を、デジタル通信インフラを用いて、適切な場所に設置されている3Dプリンターに送信すれば、任意の出力(物理的なモノの場合もあるし、ディスプレイへの表示やサウンド出力など多様なモノが存在し、選択可能)を実現することができる。例えば、新聞のように、紙(paper)への出力よりも、表示デバイス(display)への出力、さらにはサウンドデバイス(Speaker/Ear-phone)への出力の方が、長期的視点で地球温室効果ガスの排出量は小さくなり、出力デバイスの世代交代によっても地球温室効果ガスの排出量が削減可能となる。

さらに、分かりやすい事例として、①スマート鍵、②マイナンバーを取り上げる。



出典：筆者作成

図表 3.16 ハードとソフトのアンバンドル化

①スマート鍵

ドアの鍵がハードウェアの呪縛から解放されたおかげで、鍵の所有者・利用者の認証方法や鍵の開閉の指示方法も、音やジェスチャーなど、その機能(=コト)の実現方法・デバイスの選択肢が劇的に増加することになるとともに、さらに、鍵を失くすというインシデントをなくすることが事実上可能になる。さらに、鍵のコピーを作る時に、物理的な鍵を作る手間もコストも不要になった。誰かに渡した鍵は、回収する必要がなく、ドアに取り付けた装置とデジタルデバイス(例えばスマートフォン)との間で電子的認証手続きをする際、許可しない設定をする、あるいは渡した電子鍵の情報を消去するだけで良くなる。さらに、中古の不動産物件の受け渡し時には、前の入居者が物理的な鍵を複製した可能性があるため、ドアの鍵とシリンダーを取り換えることが普通であるが、デジタル鍵の導入によって、鍵の交換コスト(=運用コスト)が劇的に削減可能となる⁹。

ドアの鍵がハードウェアの呪縛から解放されたおかげで、鍵の持つコード(符号)が、持ち運ぶ媒体から自由になることで、大幅なコストダウンになるばかりではなく、新しい機能・サービス(=TO BE)が可能となる。ドアの鍵がデジタル化・オンライン化されることで、「利用履歴データ」という、それまでのシステムでは取得・保存・解析することができなかったものが手に入ることになる。この「利用履歴データ」は、プライバシーの問題が十分に考慮されることを前提とするが、いろいろな新しい価値やビジネスを創出する可能性を持っているのは明らかである。

②マイナンバー

マイナンバーは、各人に割り当てられた固有の番号である。マイナンバー(=デジタルのモノ)、マイナンバーを用いて提供する機能/サー

ビス(=コト)、マイナンバーカード(=物理的なモノ)の3つは区別する必要がある。この3つは、そもそも分離されてシステム構造が設計・構築・運用されなければならない。これを分離不可能にすると、実現方法の選択肢が消失あるいは少なくなってしまう、その進化を阻害することになってしまう。上述した「デジタル鍵」と同様に、「マイナンバーカード」は“物理的な”「ICカード・チップ」である必要はなく、“デジタルの”「ICカード・チップ」で実現可能であり、このデジタルの”ICカード・チップ”を稼働させるインスタンス(=実体)は、デジタルインスタンスでもハードウェアインスタンスでも可能なのである。これは、マイナンバーの機能を、ICカード・チップだけではなくスマートフォンでも実現可能とする取組みに相当する。また、「マイナンバー」は、デジタルのID(=モノ)であり、特定の媒体(=モノ)やサービス(=コト)にその利用が限定されるわけではなく、多くの選択肢を持つように設計・構築・運用が行われなければならない。「コトとモノのアンバンドルによるモノの選択が可能」という前提である。

2) 通信インフラの利用を前提

デジタル通信インフラの敷設・管理・運用コストは、電力の送配電インフラの敷設・管理・運用コストと比較して、二桁以上小さくなることが報告されている¹⁰。物理的なモノ(貨物や人)を輸送・配送する運輸インフラの敷設・管理・運用コストは、さらに違いに大きな値となる。

このシステムの敷設・管理・運用に必要な物理資源とエネルギーの大きさは、金銭的なコストだけではなく、必要となる地球温室効果ガスの排出量にも反映されることは明らかである。すなわち、金銭的成本と地球温室効果ガスの排出量の両面において、『物理的モノの移動』エネルギー(含電力)の移動』デジタルビット(デジタ

『デジタル化されたモノとコトの移動』という関係が一般的に存在する。

a) 新型コロナ禍によって、デジタルネットワークを活用した遠隔会議が一般化した。これは、人という物理的なモノをコスト(時間と金銭)をかけて移動させることと、デジタルインフラを用いてデジタルの人(モノとコト)を遠隔地に移動させることを等価にしたものと捉えることができる。さらに、デジタルファイルをプリンターで出力させた印刷物という物理的なモノを遠隔

地まで持参(=移動)していた従来の対面型の会議は、印刷物(モノ)のレシピ(プログラム)である電子ファイルで表現されるコトを印刷用紙に印刷(print out)せず、遠隔地のディスプレイに出力(これも print out)して、物的な廃棄物を削減させるとともに、移動コストの激減を実現させたと捉えることができる。『物理的モノの移動』と『デジタルビット(デジタル化されたモノとコト)の移動』を利用した地球温室効果ガスの排出量削減の実例の一つである。

Innovation in Logistics

19th century = exclusive separated system

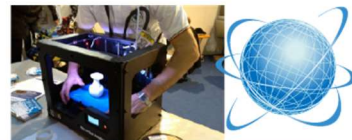


Containe Parrett (1956)

20th century
(1) Physical Sharing Economy



2020s = Cyber - First Sharing Economy



General printer e.g., 3D printer

Late 20th century
(2) Sharing Economy in cyber space

Digital package (= IP Packet)

Innovation in Logistics

19th century



Containe Parrett (1956)

Object transfer/mobility
over sharing platform!!

1. **Physical** object

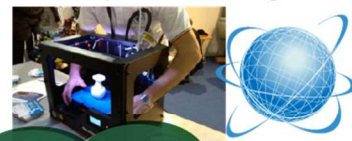


2. **Digital** object

20th century (1) Physical Sharing Economy



2020s = Cyber - First Sharing Economy



Cost of object transfer/mobility ?
Physical >>> Digital



**Huge EP (Energy Productivity)
improvement!!!**

Late 20th century
(2) Sharing Economy in cyber space

Digital package (= IP Packet)

出典：筆者作成

図表 3.17 上 | 物流における2つのシェアリングエコノミー大革命

図表 3.18 下 | 物理的なモノからデジタルのモノへのシェアリングエコノミー

b) クラウドコンピューティングは、コンピュータの仮想化すなわちハードウェアからのアンバンドル化によって実現されたと見ることも可能である。

仮想化マシン (VM ; Virtual Machine) の導入である。仮想マシンの導入によって、コンピューティングという”コト”は、ハードウェアという”モノ”からアンバンドルされた。その結果、コンピューティングを行うコンピューター (= 仮想マシン) は、地球上に張り巡らされたインターネット上を自由に移動可能になった (さらに、複製を生成することも、消滅させることも、簡単にデジタルのみの操作で行えるようになった)。

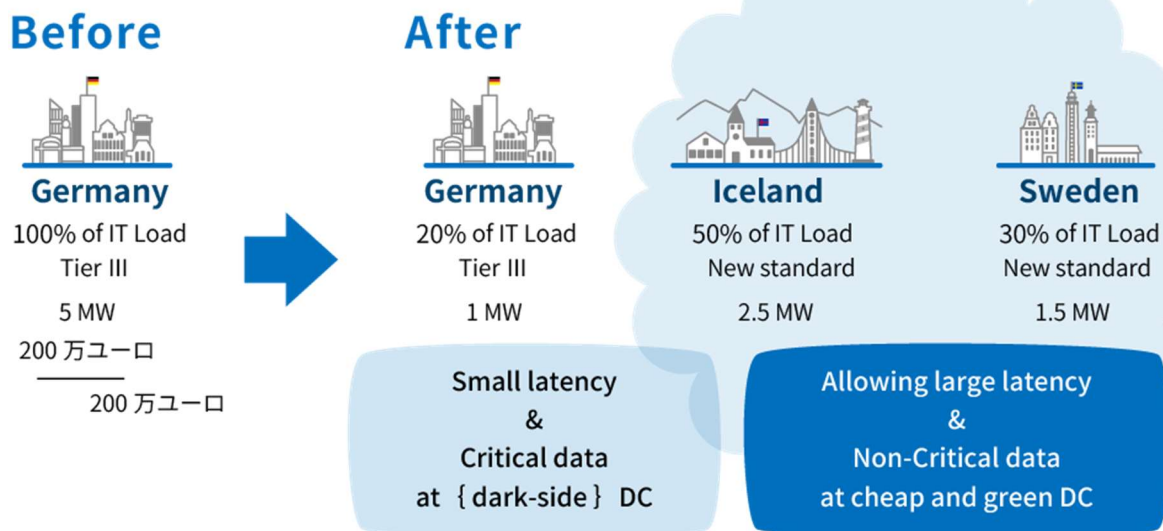
この仮想マシンの移動可能な性質を用いて、多くの先進的な企業・事業者は、コンピューターが動作するために必要な電力を安価に利用可能にするために、電力事情に合わせて、仮想マシン (= デジタルのコンピュータ) をインターネット上で移動させることで、システムの稼働に必要な総電力量と総電力コストを最小化する運用を導入した。これは、まさに、『物理的モノの移動 ≧ 電力の移動 ≧ デジタルビット (デジタル化されたモノとコト) の移動』の関係を考えた時に、デジタルネイティブな仮想マシンの利用によって、固定的なハードウェア (モノ) をデジタル通信インフラで相互接続し、固定的なハードウェアを、地球温室効果ガスを発生させずに電力エネルギーを供給可能な水力・風力・太陽光の再生可能エネルギーの発電源に共生 (Collocation) させることで、電力エネルギーの移動 (送電) コストを小さくすることに成功した事例である。さらに、そのことにより、電力エネルギーの移動 (送電) に必要な資源確保に必要な地球温室効果ガスの排出をゼロにすることに成功した事例でもある。なお、どうしても、低遅延や事故への即時対応性の確保のために、クラウド利用者の物理的に近い場所でコンピューティングを行わな

ければならないタスクは、利用者に近い地球温室効果ガス排出量が小さくない施設のコンピュータハードウェア (モノ) を利用せざるを得ない。すなわち、低遅延の要求が小さく、地理的に遠い場所でのコンピューティングでも構わないコンピューティング・タスクは、地球温室効果ガス排出量が小さい再生可能エネルギーの発電源にデータセンターを立地させることで、特に中長期的な観点で、インフラの敷設・構築・管理・運用の金銭面でのコストと地球温室効果ガス排出量の削減を実現している事例である¹¹⁾。

図表 3.19 は、ドイツの自動車会社における社内の IT/ICT システムの進化を示している。社内のコンピューティング・タスクのカテゴリ化 (棚卸し) を行った結果、80% のタスクは国外の安価な再生可能エネルギーと施設コスト、さらに外気温度が低く空調コストが小さくなるスウェーデンとアイスランドに移動させ、20% のタスクを電力単価も施設コストも高いドイツに残し、大規模な地球温室効果ガス排出量の削減を実現するとともに、財務および運用に必要な金銭のコスト削減を同時に実現した事例である。

このドイツの自動車会社の事例は、低遅延通信・高品質運用・最重要データ管理を必ずしも要求しない計算タスクを実行するコンピューティング・ハードウェアの設置場所を、ドイツからスウェーデンとアイスランドに **Permanent (恒常的に)** に移動させるというソリューションであった。現在では、デジタル化のサーバコンピューターに適用され、計算タスクを実行するサーバコンピューター (あるいはタスク/プロセスコンピューター) は、物理的ハードウェアからアンバンドルされ、デジタル空間上を比較的自由に移動可能 (= マイグレーション) になるとともに、その複製作成と削除/消去 (= スケールアウト) することが可能となった。

特に、ハイパージャイアントあるいは OTT と



出典：筆者作成

図表 3.19 ドイツの自動車会社の事例

呼ばれる GAFA/M-BAT は、このデジタル空間上でのプロセス・タスクのマイグレーション(移動)とスケールアウト(複製・削除)を積極的に利用して、効率的なエネルギー利用とエネルギーコストの削減を実現してきた。最初の段階では、Follow-the-Moon と呼ばれる外気温が低い“月が見える”涼しい夜の場所でコンピューティングタスクを実行する運用を行っていた。近年の運用では、Follow-the-Sun/Wind で、太陽光と風力発の発電量の多い時間・場所にプロセス・タスクのマイグレーション(移動)を行い、再生可能エネルギーの積極的利用を行い、化石燃料由来の電力の使用量削減を実現している。このような運用は、都市部では再生可能エネルギー源の設置空間の確保と設備が産み出す利益額が小さいが、一方、非都市部では設置空間の確保の困難度が小さくなることに起因しており、その結果、再生可能エネルギー源の偏在が発生することになる。

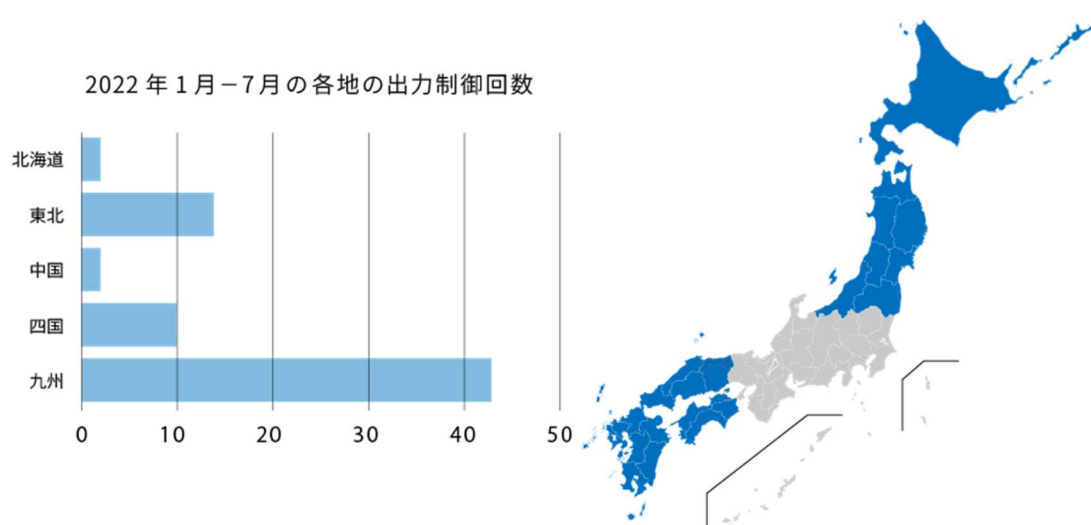
図表 3.20 には、2022 年の 1 月から 7 月での再生可能エネルギーへの発電抑制要請が行われた頻度が示されている。再生可能エネルギー源が

少ない(=化石燃料源の電力が多い)関東圏および関西圏では再生可能エネルギーへの発電抑制要請は行われていなかったが、再生可能エネルギー源が多い(=化石燃料源の電力が少ない)北海道・東北・四国・中国・九州、特に九州においては、再生可能エネルギーへの発電抑制要請が頻発している。

このように、日本においては再生可能エネルギー源が偏在しており、再生可能エネルギー源の割合が大きな地域では電力供給の不安定性が増加し、需要家によるデマンド制御(DR: Demand Response)の実現・実装が望まれる。つまり、デマンド・レスポンスの能力と容量(Δ kW)が大きな産業・タスクの、この地域への設置・移設が望まれる。上述した北陸電力と連携運用を実現しているハイパフォーマンス・コンピューティングに特化した「ハイレゾ・データセンター」が、この典型事例と捉えることができる。

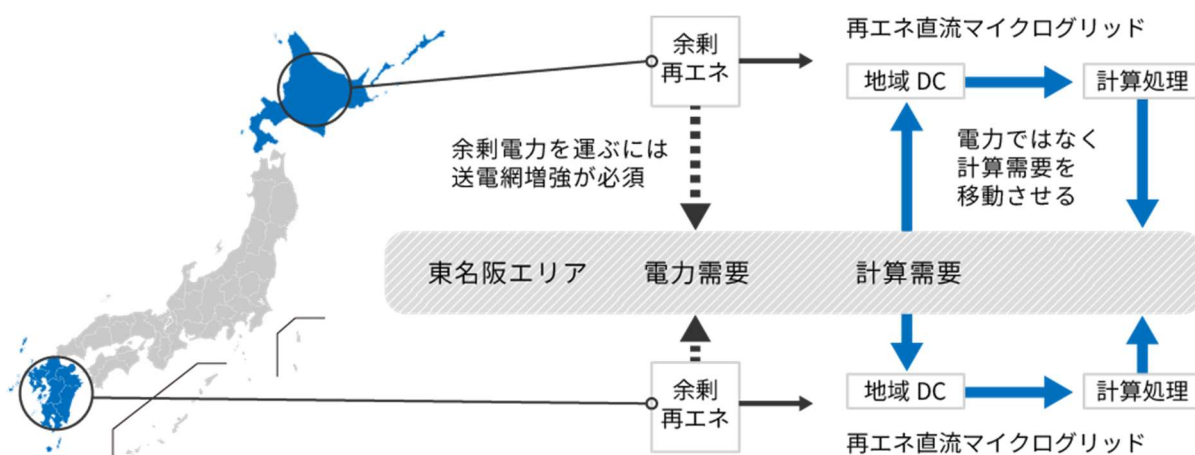
図表 3.21 にその概念図を示した。関東・関西の遠隔地で稼働可能なコンピューティングタスク・プロセスを、恒常的あるいは動的に移動させるというソリューションである¹²。

DX による地球温暖化対応
スマートインフラ



出典：【資料】ビットメディア 代表取締役社長 高野 雅晴 氏

図表 3.20 2022 年 1 月～7 月各地の発電出力制御回数



出典：【資料】ビットメディア 代表取締役社長 高野 雅晴 氏

図表 3.21 地域データセンター連携による再エネ活用・燃料節約・情報基盤レジリアンス



出典：筆者作成

図表 3.22 社会インフラの構成（面から点へ）

3) 点 (not 面) のインフラ構造

2次元(あるいは3次元)に構成される社会インフラを構築する際に、インフラのハードウェア(モノ)を「点」で敷設・維持することができれば、「面」で敷設・維持するインフラと比較して、短期的にも長期的敵にも大きな必要な物理資源量の削減を実現することができる。

図表 3.22 の左端列のインフラである鉄道・道路・光ファイバー網は、地上面に2次元のリンクとノードで構成される固定的なトポロジーを持ったインフラを敷設する。この2次元の固定的なトポロジーを持ったハードインフラの上を、列車や自動車あるいはデジタル小包が走り回る構造となっている。このような面構成のインフラの敷設・運用・維持コストは非常に大きく、インフラのトポロジーの変更に多大なコストを必要とする。すなわち、環境の変化への対応という運用・維持に要する金銭的成本と対応に必要な物理資源量(=地球温室効果ガス排出量)が大きくなる。

ところが、図表 3.22 の中央の列の空港・港湾・地域電力網(米国)・携帯無線網は、{固定}点の拠点を整備すれば、拠点を結ぶリンクへの整備コストは小さくなる。その結果、環境の変化に対応するために必要となる金銭的成本と対応に必要な物理資源量(=地球温室効果ガス排出量)の両面での敷設整備が必要なインフラよりも有利となる。図表 3.22 の右側の右端列は、そもそも、共用の大規模な固定点のノード設備も必要としない、自律分散型のネットワーク構成を持ったインフラであり、公的に整備・共有される固定的ノード施設もほとんど必要としないネットワークである。

このような考察を行うと、面でのインフラ整備に必要なコストはインフラ上で移動させるモノによって、オーダーでの違い(物≫エネルギー≫デジタルビット)が発生することから、物理的

なリンクを必要としない移動体を用いるインフラの可能性を考慮したインフラのアーキテクチャの検討を行う必要がある。例えば、車輪・タイヤを用いた移動が自動車であったが、最近、高品質の舗装道路を必要としない「足」を用いた移動を少ないエネルギーで実現可能な電力で稼働・移動するロボットが出現している。空飛ぶ自動車やドローンは、高品質の舗装道路を必要としない移動体であり、社会インフラ全体で捉えれば、総合的・統合的な観点での地球温室効果ガス排出量の削減に貢献する可能性を持っていると考えることもできよう。

このような考察と方向性は、国交省が平成 26 年に「国土のグランドデザイン 2050～対流促進型国土の形成」の中で提唱した「コンパクト・プラス・ネットワーク」構想に通じる考え方である。

低成長あるいはマイナス成長を前提としないならば、自由な2次元に活動領域を拡大し続けるこれまでのインフラ整備ではなく、コンパクトな拠点(ノード)と、これらを太い高機能リンクで相互接続する構成にすることで、末端神経・血流網の維持コストの削減を目指すものであった。

物理リンクを必要としない、高性能・高効率な移動体が出現すれば、疎密度の領域の結合を、物理的固定リンクを敷設・整備せずに実現可能となる。すなわち、高効率に小さな地球温室効果ガスの排出量で稼働する移動体の研究開発と実現すれば、社会インフラ全体の構造の大進化が可能となるであろうし、地球温暖化対策にはこのような新しい移動体の発明と導入が必要となる。なお、前述のような、物理的なモノを、デジタルビットの移動で代替する技術とシステムは、この新しい移動体の一つの実現形態と捉えることもできるであろう。

最後に、『物理的モノの移動」エネルギー(含電力)の移動」デジタルビット(デジタル化されたモノとコト)の移動』を意識した産業・社会インフラの変革・進化を考えてみよう。

第1次産業革命は、人力を大きく上回る、蒸気機関による動力源の発明がその起因とされている。蒸気機関は、石炭などを燃焼させ、その高熱源を用いて水を蒸気化(相転移)し、その熱エネルギーを用いて生成した蒸気をシリンダーに誘導し、ピストンの往復運動を回転動力に変換するのが一般的なシステム構造であった。産業革命で誕生した工場では、蒸気機関が生成した回転エネルギーが、ベルトや変則機という“硬い/堅い”ハードウェア資源を用いて工場内で稼働する複数の工作機器に伝達された。

ここで人類は、蒸気で羽根車をまわすタービン型の蒸気機関を用いた発電機を発明する。蒸気の移動エネルギーをタービンで回転エネルギーに変換し、電磁誘導を用いて電力を発生させるシステム、すなわち、蒸気機関が生成する回転エネルギーを電気エネルギーに変換する技術の発明である。この典型的な現役のシステムが火力及び原子力発電である(水力発電は、蒸気の代わりに水を用いて羽根車をまわしている)。この蒸気機関の変革・進化は、ベルトや変則機のような“硬い/堅い”ハードウェア資源を用いずに、蒸気機関が生成する回転エネルギーを電気エネルギーに変換し、“柔らかい”ハードウェア資源である銅線を用いて工場内に存在する工作機械のモーターに電気エネルギーを供給し、電気エネルギーが再び電磁誘導を用いたモーターによって回転エネルギーに変換される構造を実現させた。工場内の各工作機械がベルトや変則機という“硬い/堅い”ハードウェア資源から解放され、自由に起動・停止さらに設置場所を移動させること(=トポロジー変更)を容易にした。これが、第2次産業革命である。現在でも生き残って

いる蒸気機関は、ほぼ火力発電・原子力発電であり、さらに、初期の蒸気機関を用いた工場とほぼ同じ構造を持っているのは自動車のみではないだろうか。さらに人類は、近年、高容量・高効率の蓄電池(近年では無線給電)を発明することで、機械が電力供給インフラというハードウェア資源に電線で接続されていなければならないという制約から機械を解放し、発電時にも利用時にも回転エネルギーを経る必要がない技術(例えば、太陽光発電)をたくさん発明した/している。

最後に、人類は、デジタルビットの伝送とその処理技術を発明し、電気エネルギーの発見とその利用法を発明した時に匹敵する、エネルギーインフラに関する大革命を経験している。その結果、人類は、同期型の集中クライアントサーバーシステムである電気(electron)の生成(=発電)と伝送システムを、大量の電気エネルギーの長距離の配送信網を必要としない非同期型の分散ピアツーピアシステムに進化させつつある。デジタルビットの塊である“デジタルのモノ”を銅線よりもはるかに軽量で低コストの光ファイバーあるいは質量がゼロの無線を用いて伝送することで、所望する機能(=コト)を実現する物理的ハードウェアを移動させることなく、さらに、その機能を稼働させるために必要な電気エネルギーを伝送することもなく、ローカルの電気エネルギーを用いて、さらに他の目的のために投資されていたかもしれない{コンピューティング}ハードウェア資源を利用させてもらうことで、所望する機能(=コト)を遠隔地に実現・展開可能とすることができる。つまり、最も地球への環境負荷が大きい「物理的な{硬い/堅い}モノ」を移動させることもなく、さらに、次に環境負荷が大きい「{電力}エネルギー」を“柔らかい”ハードウェア資源である銅線を用いて長距離輸送することもなく、「デジタルビットの塊(=デジタルのモノ)」を電力銅線と比較して二

桁程度必要コストが小さい光ファイバー(や無線)を用いて長距離移動させることを可能にした。さらに、その「デジタルのモノ」が稼働するために必要な電気エネルギーは、遠隔地から輸送されるエネルギー(自立分散化が容易でなく、化石燃料使用の蒸気機関を用いた発電設備由来のエネルギー)ではなく、太陽光発電や風力発電などの自律分散化がより容易なローカルの再生可能エネルギーにすることを可能としつつある。

このように、『物理的モノの移動」エネルギー(含電力)の移動」デジタルビット(デジタル化されたモノとコト)の移動』は、社会産業インフラの初期構築だけではなく、その運用とトポロジーの変更などを含む構成変更においても、そのコスト構造に大きな影響を与えることを認識するべきである。

3.3

カーボンクレジット取引

カーボンクレジットとは、「二酸化炭素などの温室効果ガスの排出量削減量を、主に企業間¹³で売買可能にする仕組み」であり、特に大企業において、温暖効果ガスの削減が社会的責任と位置づけられた結果、利用されるようになってきている。特に、温室効果ガスの排出量の削減が容易ではないエネルギー業界や運輸業界などがカーボンクレジットの購入を行うことで、地球温室効果ガス排出量の削減に貢献していることをアピールする方法として利用されている。

カーボンクレジットの取引としては、(1) ベー

スライン&クレジット制度(削減量取引)と、(2) キャップ&トレード制度(排出権取引)の2つが存在する。

3.3.1 | ベースライン&クレジット制度 (削減量取引)

地球温室効果ガスの「削減量」を取引する制度である。

例えば、ある工場で使用していた機器を、よりエネルギー効率の高い機器に取り換えた時に、前の機器を利用し続けた場合の排出見込み量と、新しい機器に交換した際の排出量の差分が「クレジット」となる。

クレジットの創出者は、このクレジットを、排出量削減を実現したい事業者に売却することができる。なお、造林・植林のような地球温室効果ガスの「吸収・吸着」を行う事業もクレジットの創出を行うことが可能となっている。

3.3.2 | キャップ&トレード制度 (排出権取引)

地球温室効果ガスの「削減量」を取引する制度である。

事業所ごとに排出可能な地球温室効果ガスの総量が決められており、自身の対策で排出量の削減ができない場合、不足している排出量の分をクレジットとして、削減量枠に余裕のある事業者から購入する仕組みである。

東京都では、2010年度から条例に規定された取り組みとして、大規模事業者に対して温室効果ガスの排出量削減が義務化されたため、キャップ&トレード制度(排出権取引)が利用されるようになった。

3.4

非化石証書

非化石証書は、「非化石の電気」、すなわち、化石燃料ではない、クリーンな電気であるという環境価値を証明する証書である。企業が非化石証書による環境価値を組み込んだ電力プランを契約することで、クリーンな電気を使用していることとすることを可能にする。

非化石証書には、以下の3つの種類が存在する。

1) FIT 非化石証書

国が定めた要件を満足し、FIT制度により固定価格で買い取られている①太陽光、②水力、③風力、④地熱、⑤バイオマスの再生可能エネルギー電源から取り出された環境価値を証書化したものの。

2) 非FIT 非化石証書(再エネ指定あり)

FITで定められた買取期間を過ぎた卒FIT電力や、FITの対象にならない大型水力発電から取り出された環境価値を証書化したものの。

3) 非FIT 非化石証書(再エネ指定なし)

化石燃料をエネルギー源としては用いてはいないもの、すなわち、再生可能エネルギーではない原子力発電などから発電された環境価値を証書化したものの。

3.5

カーボン・ニュートラルを実現するスマートシティ

カーボン・ニュートラルに必要なスマートシティの実現には、少なくともDXの推進、すなわち、デジタル化とデジタルの活用を前提としたシステム構造の進化を実現しなければならない。

WEF(World Economic Forum) G20 Smart City Alliance¹⁴での議論では、以下を実現しなければならないと提起されている。単純なカーボン・ニュートラル(decarbonize)ではなく、快適で持続的な成長を実現可能なシステムの構築と運用を実現しなければならないとしている。

1) Decarbonize

2) Democratize

3) Digitalize

4) Demonstration

特に、2) democratize は、政府やインフラ事業者による Water-Fall 型の PUSH システムではなく、ユーザー主導による PULL 型の Agile 型のシステム構築・運用・維持を目指すというマルチステークホルダーによるシステム統治を推奨・提起している。

また、3.1.2.2で議論したように、我が国においては、全産業セグメントにおいて、EP-100(エネルギー生産性を2倍に)が実現され、再生可能エネルギーを5倍にすれば、カーボン・ニュートラルがほぼ実現可能である。

EP-100の実現には、3.2.2で議論したように、デジタル・ツインの実現と人工知能の活用、すな

わち、データ収集とコンピューティングに関する共有空間、すなわちシェアリングエコノミーに立脚した実空間と相互作用が可能なデジタル空間を構築・運用・維持・進化させていかなければならない。このデジタル空間を実現・実装するコンピューターネットワークは、大量の電力を必要とし、その容量は、今後も増加せざるを得ない。すなわち、**コンピューターネットワークとエネルギーシステムは、一体で設計・実装・構築・運用・維持されるインフラストラクチャに進化しなければならない。**

最後に4)については、特に、スマートキャンパスやスマートファシリティなど、実践的な実証から得られる知識と経験を関係者間で共有することが非常に効果的かつ実践的で重要である。したがって、実際の施設やキャンパスを利用した実践的な実証による先進的な挑戦は非常に重要な活動であり、相互に奨励し、連携する必要がある。特に、**地域内だけではなく、地域間、さらに海外組織とのグローバルな実証連携を産学連携で進める体制・インフラを整えるべきである。**

3.5.1 | OT（産業）サイバーセキュリティ

3)Digitizeと2)Democratizeは、これまでのStove & Pipe型のサイロ構造であった社会・産業システムをプラットフォーム化する、すなわちDe-silo-ingを含むことになる。データとソフトウェアがハードウェア(モノ)からアンバンドルされ、デジタルネットワークを介して、De-Siloされたデジタルビットが自由に移動可能なインフラに進化することを意味する。つまり、デジタル空間をプラットフォームとしたシェアリングエコノミーインフラの構築・運営である。

De-Silo-ingされる社会インフラは、従来のいわゆるコンピューターばかりではなく、すべて

の電子デジタルデバイスが国境を越えて接続し、すべてのデジタルデバイス間での自由なデータ交換を可能にするような進化を遂げることになる。すなわち、我々は、これまでデジタル空間に接続されることを想定しなかったデバイス(Things)がインターネットに接続されることを前提にしたサイバーセキュリティを実現しなければならないのである。

デジタルのコンテンツがいわゆるコンピュータの間で流通・交換されるIT/ICTシステムと呼ばれるネットワークは、組込み電子機器のような“ネットワークへの接続を前提としていなかった”デジタル機器で構成されるOTシステムがデジタル空間にConnectされ、さらに各デジタル機器が取得・生成するすべてのデータがネットワークを介してアクセス可能となり、高度なデータ解析を行う人工知能がその高度化を支援・実現するという新しい段階を迎えることにある。経済産業省における「産業サイバーセキュリティ」の活動はそれを象徴した施策である。

地球をとりまくデジタル空間にConnectされたスマートシティでは、多様なコミュニティが形成され、地理的制約(含む国境)を受けることなく、各個人が自身の意志で自由にグローバルなデジタル空間を利用することが実現されなければならない。

当初のインターネットのユーザは、互いに信頼することが可能な技術者を中心としていたが、インターネットの拡大・成長とともに、さまざまな技術者、そして、さまざまな利用者が利用するようになり、残念ながらインターネットを不適切に利用する個人・組織も出てきている。適切なサイバーセキュリティの実現がインフラに要求されることになる。

一方、デジタル空間が社会・産業の重要基盤であることをほぼすべての政府が認識するようになり、各国政府は、サイバーセキュリティを経

済安全保障と国家安全保障にとって戦略的な重要領域と認識するようになった。このような中、我々は、健全なデジタル前提の社会のインフラに必要なサイバーセキュリティ技術の継続的研究開発とその普及、そして適切で健全なデジタルシステムの運用を実現しなければならない。

ここで、我々は、サイバーセキュリティは、国が提供してくれるものではなく、自助を第1、共助を第2、そして公助が第3とならなければ健全なサイバーセキュリティの実現とはならないことを共通認識として確立されなければならないと考える。この順序が守られない時には、不幸なことが起きる確率が大きくなることは歴史が示している。すなわち、バランスのとれた産官学民での、マルチステークホルダーによる“対等な”連携協調が実現されなければならない。

3.5.2 | 新しい三方良し

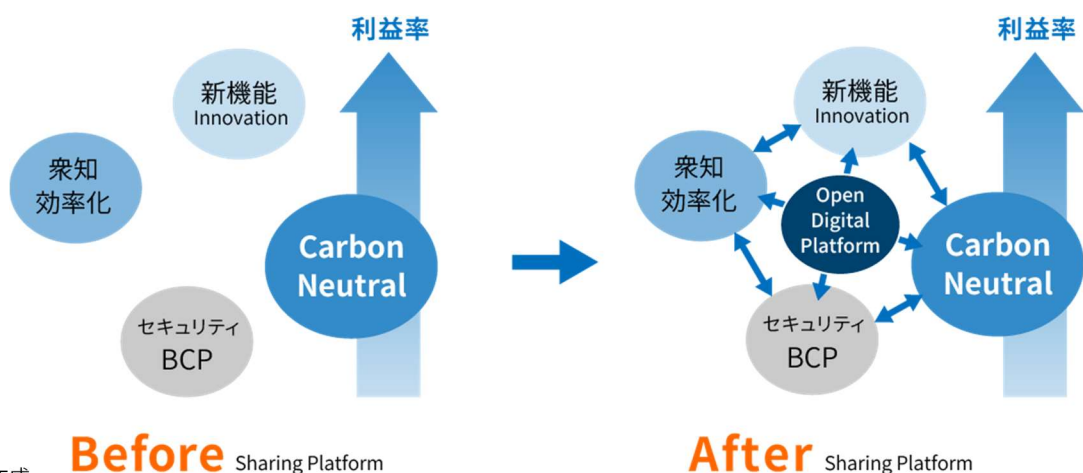
人類だけではなく、地球が生き残るために必要な境界線であるプラネッタリー・バウンダリを越えないために、われわれは2050年までにカーボン・ニュートラルを実現しなければならないとされている。カーボン・ニュートラル、地球

温室効果ガス排出量の削減だけではなく、サイバーセキュリティ対策は、通常、企業(や個人)において、利益を産まない施策・活動であるため、「利益」を産むための投資ではなく利益を蝕む「コスト」と捉えられるのが一般的である。これらの施策・取り組みを「単独」に捉えるのではなく、社会産業活動の“成長”のための投資であり、利益の獲得というインセンティブが必要である。つまり、ある意味、渋沢栄一氏の「論語と算盤」を実現させなければならない。

利益確保・増大と環境保持・改善を実現させた実例として、環境汚染問題の解決があげられよう。

環境汚染問題の解決は公益である。当初は、環境汚染対策はコストとして捉えられ、生産性・生産量、さらに利益率を押し下げるとして、産業界は消極的であった。しかし、環境汚染問題の解決は、結果的には無駄の削減と新技術の発明・導入で実現され、私益の追求・向上が、公益である環境問題の解決になるという Win-Win の関係になった。カーボン・ニュートラルでも、同じような方向を追求しなければならない。

図表 3.23 の左図は、従来のそれぞれの施策・活動が独立していた構造を示している。DX は、基本的に①新機能・サービスによる利益率の高



出典：筆者作成

図 3.23

Before and After 3 方良し

い新ビジネスの創成・創造と、②データを用いた効率化(=生産性の向上)を目指すものと考えられていた。しかし、“ちゃんとした”DXを行うと、同時に、③カーボン・ニュートラル(=節電・省エネルギー)が実現されるとともに、④堅牢性・BCP 向上(含サイバーセキュリティの向上)を実現することができる。

図表 3.23 の右図のように、「オープン・デジタル・プラットフォーム」を構築・利用することで、4つの報酬を得ることが可能となる。明確には意識・認識されてはいないであろうが、たくさんの成功事例が存在している。

例えば、工場における 5S(整理、整頓、清掃、清潔、躰)は、品質向上と効率化(無駄の削減)を主目的に据えているが、実際の現場では、5S の実施によって、無駄の削減による省エネルギー、整理整頓された作業環境による事故の削減(=安心・安全)が実現されている。効率化と品質向上は、企業に高い利益と利益率をもたらす。すなわち「算盤」への貢献である。

一方、省エネルギーと事故の削減は、企業利益への貢献(=利益率)は大きくないが、地球と従業員に対する重要な社会的責任の遂行、すなわち「道徳」の実現に貢献する。このような観点で EP-100 を捉えると、エネルギー効率(Energy Productivity)が 100%向上するので、同じ生産量を半分のエネルギーで実現させることにより、①利益の総量と利益率の向上(=算盤)と同時に、②半分のエネルギーで同じ量の生産可能になるので 50%の省エネルギーを実現し、“自然に/自動的に”地球温暖化対策(=道徳)に貢献することになる。

実際、2018 年に国家政策として提唱した「クラウド・バイ・デフォルト」は、①サイロ構造の各省庁のシステムを共有のインフラとして相互接続させ、省庁の壁を越えたデータの自由な利用を実現することで、新しい社会経済活動を豊

かで快適にするサービスを提供することを{第1}の目的としたが、この「共有インフラ」の構築によって、同時に、②システム基盤のサイバーセキュリティ対策を専門家に任せることで、サイバーセキュリティ品質の向上とオンプレ施設の担当人事の固定費削減の実現、③人件費を含む CAPEX と OPEX の削減を所有(BS)から利用(PL)への変容によって実現、さらに、「Gift(棚から牡丹餅)」のように、④自然災害&サイバー攻撃に対する BCP の拡充、⑤地球温暖化への貢献として省エネルギー(地球温室効果ガス排出量の削減)が実現されるというシナリオを描いていた。言うならば、3 方良しならぬ 5 方良しである。

さらに、マイクロソフト・ジャパンでは、2011 年 3 月の東日本大震災の直前に、首都圏に散在していたオフィスを品川の新本社ビルに集結させる際、オフィスに存在するサーバをすべてデータセンターに移設し、クラウドコンピューティング環境に移行させた。このクラウド化により、発災直後に従業員の 95%以上が品川のオフィスに出社できない状況でも業務を継続することに成功した。まさに BCP の実現である。しかし、このクラウド化によって、発災後には出社することが難しい従業員への対策が可能となり、社員の多様性の確保に大きな貢献をすることになるとともに、ローカルなサーバールームを本社オフィスに設置する必要がなくなったため、①オフィスにおけるライフタイムコストの削減(初期入居経費、入居中の高熱費、退去時の現状復帰経費)、②危機管理機能の向上(知的財産の保護、情報漏洩期間の減少)、③エネルギー使用量の削減(低エネルギー効率で稼働するオンプレサーバを高エネルギー効率で稼働するデータセンターに移動)に貢献することになった。その結果、日本マイクロソフトの本社ビルは、マイクロソフトが全世界で展開するオフィスビルの参照モデルとされた。

3.6

まとめ

本章では、DXによる地球温暖化対応スマートインフラの検討と議論を行った。

1) 地球温暖化は、エネルギー消費量(含 熱エネルギーの排出量)の削減を、資源の生産、利用の両面で実現しなければならない。

2) EP-100 が重要な施策・活動である。

EP-100 を全セグメントで実現するとすれば、必要なエネルギー量は 1/2 となる。再生可能エネルギーの総量(一次エネルギー)を現在の 5 倍にすれば、EP-100 の実現によって、必要な二次エネルギー量が 1/2(=50%)となるので、完全に再生可能エネルギーによって、必要な二次エネルギーを確保・提供可能との計算となる。

3) スマートシティの設計・実装・運用にあたっては、以下の方針を適用すべき。

①システムの構築時に新規に必要となるモノを削減する

- リサイクル・サーキュラーエコノミーの適用によって、「新規に必要とするモノ」を「過去に製造したモノ」で代替する
- 「新規に必要とするモノ」をシェアリングエコノミーによって削減する

②システムの運用時に必要となるエネルギー量を削減する (AS IS)

- デジタル・ツインの適用と普及が必須となる

③システムの構築・運用に必要となるコストを削減する (TO BE)

- コトとモノのアンバンドルによるモノの選択が可能という前提
- 通信インフラの利用を前提
 - 『物理的モノの移動≫エネルギー(含電力)の移動≫デジタルビット(デジタル化されたモノとコト)の移動』であり、デジタルビットの送受信に必要なインフラの敷設・管理・運用コストは、電力送配電のインフラと比較して、二桁以上小さくなる

④点 (not 面) のインフラ構造を目指す

⑤OT (産業) サイバーセキュリティの実現

カーボン・ニュートラルを実現するスマートシティの実現には、以下の 4 つを留意した設計・実装・運用を実現しなければならない。

- 1) Decarbonize
- 2) Democratize
- 3) Digitalize
- 4) Demonstration

最後に、コンピューターネットワークとエネルギーシステムは、一体で設計・実装・構築・運用・維持される「新しいデジタルを前提とした 3 方良し」による「論語と算盤」を同時に 1 つのインフラストラクチャで実現するアーキテクチャに進化しなければならない。

脚注・引用・参考文献等

- *1 全国地球温暖化防止活動推進センター
(JCCCA; Japan Center for Climate Change Action)
<https://www.jccca.org/>
- *2 小宮山宏氏が主宰するグループが提唱する「ブラチナ構想」では、田畑を覆うように太陽光パネルを設置する営農型太陽光発電を利用するなどすれば、国内に必要なエネルギーの5倍で再エネでまかなうことができるとの主張もされている。
https://www.sustainablebrands.jp/news/jp/detail/1213848_1501.html
また、洋上風力発電の大規模な開発が計画されているのが現状であり、現在の再生可能エネルギーの総発電量を2.5倍あるいは5倍にすることは、不可能ではない数字であろう。
- *3 小宮山宏氏が主宰するグループが提唱する「ブラチナ構想」における都市鉱山(金属資源の供給を都市鉱山が担う)のアイデアである。日本のように「鉄が飽和」している先進国では、解体されるビルや自動車から金属資源を取り出し再利用すべきであり、「都市鉱山資源の品質とコスト問題は技術が解決できる」としている。
- *4 <https://www.nissan.com.sg/experience-nissan/lifestyle/amsterdam-arena.html>
- *5 2023年AMDはテスラに搭載するコンピュータの能力を10TFLOPSとしている。
(CES2023での展示
<https://car.watch.impress.co.jp/docs/news/1469629.html>)
一方「富岳」の仕様によると
(<https://www.fujitsu.com/jp/about/businesspolicy/tech/fugaku/specifications/>)、各ノードが約3TFLOPS、158,976ノードで、最大1,000PFLOPSの性能とされている。つまり、約10万台のテスラで富岳と同程度の計算機能力を持つことになる。なお、電力量に関しては、30kW/台なので、100万台(10⁶)で3GW(10⁹)となり黒部ダム(335MW)換算で10基程度(最新の原子力発電5基程度)、容量で100GWhとなり東京電力管内の揚水発電容量(約9GWh)の約10倍の容量(Wh)となる。
- *6 北欧フィンランドなどでは、製紙工場や物流倉庫の躯体、電力受電設備、さらに電力グリッドをそのままデータセンターに再利用する事例が少なくない。これは、データセンターの建設に必要な、セメントや鉄鋼、さらに労働力・建機などに必要な物理資源とエネルギーが節約されることになり、総合地としてのデータセンターの地球温暖化効果ガス量の大幅な削減に寄与することになるとされている。利用者が替わっても、同じ不動産躯体や電力インフラ等を再利用するという構造である。
- *7 物流においては、コンテナとパレットの発明・導入によって、共通の「箱」であるコンテナ・パレットには、任意の「荷物」を収容させることを可能にし、さらに「箱」を任意の輸送媒体(船・列車・飛行機・自動車など)で移動可能かつ乗り換え可能にした。一方、インターネットでは、同様に、デジタルの小包であるIPパケットの発明・導入によって、多様なデジタルコンテンツを共通の「箱」であるIPパケットに収容し、「箱」であるIPパケットは多様なデジタルビットの伝送媒体(無線、銅線、光線など)で移動可能かつ乗り換え可能にした。
- *8 お金(紙幣・貨幣)は、デジタルのモノ(価値)とコト(貸借・約束)の物理的なモノへのPrint Outであると捉えて分析・考察することが可能であると考えられる。デジタル・キャッシュは、デジタル空間での動作となり、選択肢とTO BEのコト(=機能・サービス)を提供することになるであろう。
- *9 引っ越しの際の鍵交換費用は、日本では約200億円/年になっているとのことである。さらに、鍵の紛失による鍵の交換もある。紛失して警察に届けられた鍵の本数は約30万本/年とのことであるし、ポストや鉢に隠した鍵を用いた不法侵入は、約7000件/年とのこと。
- *10 「エネルギー×情報基盤インフラの連携・協調の必要性について」(東京電力パワーグリッド 副社長 岡本浩、P.5)、第5回 デジタルインフラ(DC等)整備に関する有識者会合、2023年3月22日
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/confERENCE/digital_infrastructure/0005/08.pdf
- *11 さらに、低遅延要求とコンピューティングの信頼性がクリティカルでないコンピューティングは、その稼働量、すなわち電力消費量の増減を制御可能であり、電力の発電・送配電事業者とのデマンドレスポンス連携も可能にする。
実際に、(株)ハイレゾ(<https://highreso.jp/>)社は、HPC(High Performance Computing)サービスに特化したデータセンターを構築、北陸電力とのデマンドレスポンス連携を実施・展開している。
- *12 これまでは、寒冷な外気温の地域ではサーバの冷却に必要な電力量を小さくすることができるので、北半球ではGo-North(北へ)となっていた。しかし、近年ではサーバ・コンピュータが稼働可能な温度が大きくなったため、①冷却は熱の移動と、②空気媒体から液体媒体への変化が起こっており、外気温が高い地域の不適合性は急激に緩和・解消されつつある。
- *13 企業間のみならず、国家間でも可能である。
- *14 <https://www.globalsmartcitiesalliance.org/home>

DX から考える 一次産業の今と未来

柳川 直隆

Naotaka Yanagawa

(株) フラワーコミュニケーションズ 代表取締役 北海道産業集積アドバイザー
石狩再エネデータセンター第1号 プロジェクト責任者

北海道は、農業・畜産・水産業において、多くの品目がトップクラスの生産量を誇り、日本の食を支える存在であり、一次産業王国と呼ばれる（図表 4.1、図表 4.2）。

米、たまねぎ、じゃがいも、小麦、大豆、そば、アスパラガス、生乳、ほたて、昆布など、全国でトップシェアの品目が数多くあり、道産そば粉を使った蕎麦屋は人気店となり、道産小豆を使った饅頭や菓子の人気も高く、道産のアスパラガスは

シーズンになると大変な人気で、塩ゆでにしたアスパラガスの味いはたまらない。全国的にもその人気は高く、総務省発表の「ふるさと納税に関する現況調査結果（2024 年度実施）」によると、2023 年度のふるさと納税寄付金額（受入額）は北海道が1位で、受入額は約1,654 億円となり、2位の福岡県の2倍以上の寄付額であった。

このように、北海道はまさしく食の宝庫である。

順位	品目	産出額（億円）	1位（☆）	全国シェア（％）
1位	牛乳	4109億円	☆	52%
2位	肉用牛	1203億円		15%
3位	米	1067億円		8%
4位	たまねぎ	768億円	☆	54%
5位	軽種馬	712億円	☆	100%
6位	豚	550億円		8%
7位	乳牛	550億円	☆	59%
8位	馬鈴薯（じゃがいも）	543億円	☆	54%
9位	てんさい	448億円	☆	100%
10位	小麦	414億円	☆	76%
11位	トマト	238億円		10%
12位	鶏卵	223億円		4%

出典：農林水産省統計部「生産農業所得統計」

図表 4.1 北海道の農業生産額上位品目一覧（令和4年）

・北海道は地域によって気象や地理的条件が異なり、地域ごとに特色ある農業を展開。



出典：令和6年12月 農林水産省 北海道農政事務所「北海道農業をめぐる事情」

図表 4.2 北海道農業の概況

北海道のカロリーベースの食料自給率（2022年度）は全国トップの 218%、生産額ベースでは 205%である。東京のカロリーベースの食料自給率は約 0%、生産額ベースでは 2%で、大阪はそれぞれ 1%、5%である。北海道に住んでいれば食に困ることがない。

北海道の一次産業は、今後、さらなる飛躍が期待できる。なぜなら、北海道に国内最高峰のデジタルインフラが整うからである。今後、道内に最先端のデータセンターが増え、GPU を搭載した AI 用のサーバの実装が進み、光信号のみを使用して超低遅延・超高速通信を実現するオールフォトリクス・ネットワーク（IOWN APN）が東京・大阪～札幌間に開通し、さらに、道内でもその普及が見込まれるのである。

この章では、現在の北海道における一次産業とデジタル産業の関わりの実態を把握し、将来の取り組みを示す。

4.1

北海道の稲作農業と 北海道の米

2013 年、日本の伝統的な食文化である和食が「ユネスコ無形文化遺産」に登録された。和食は「日本の伝統的な食文化」であり、「世代を超えて受け継がれ、地域の結びつきを強めている」ことが評価されたのである。

海外における日本食レストラン数は、2013 年の約 5.5 万店から、2023 年には約 18.7 万店と 3

倍以上に増えた。2021 年にアジアで約 100,900 店、欧州で約 13,300 店、中南米で約 6,100 店だった日本食レストランは、2023 年にはそれぞれ約 122,000 店、約 16,200 店、約 12,900 店と、わずか 2 年で約 2 割増しとなった。

日本の食文化の中心は米であり、世界で日本食レストランが増えれば、日本米に対する関心も高まるであろう。2022 年における北海道の米の産出額は 1,067 億円（全国の 8%）、収穫量は 54 万 200 トンで、全国トップクラスである。道内の地域別に見ると、旭川市（道内の 7%）、深川市（6%）、岩見沢市（5%）の順で収穫量が多い。2022 年産の米の品種別作付比率を見ると、北海道は「ななつぼし」（44.7%）、「ゆめぴりか」（25.8%）、「きらら 397」（6.9%）、「ふっくりんこ」（6.3%）の順であるのに対し、道外では「こしひかり」（33.4%）、「ひとめぼれ」（8.5%）、「ヒノヒカリ」（8.1%）、「あきたこまち」（6.7%）の順である。北海道が独自の品種の米を生産していることで、北海道米の価値が、国内だけでなく海外においても向上することが期待される。

道内の水稲作付面積や収穫量で大きな役割を担うのは、北空知地域と上川地域である。この 2 地域で道内の作付け面積の 60.7%（5 万 6,590ha）、収穫量は 62.8%（33 万 9,000t）を占める。市町村別で作付面積が大きいのは、上川地域が旭川市（道内 1 位）、名寄市（道内 4 位）、当麻町（道内 7 位）で、東川米として有名な東川町もこの地域にある。北空知地域には、深川市（道内 2 位）、新十津川町（道内 5 位）、沼田町などがある。このエリアは、大雪山系・石狩岳に源流をもつ石狩川、空知川や、北見山地の天塩岳が源流の天塩川といった豊富な水資源や、周辺エリアには水稲栽培に適した盆地もあり、量・質ともに北海道の米どころといえる。

他には、北海道の南西部に位置する渡島（おしま）・桧山（ひやま）地域で米作が行われ、せた

な町(桧山地域)、今金町(桧山地域)、北斗市(渡島地域・北海道の稲作発祥地)などが有名である。

南空知地域(岩見沢市・美瑛市・南幌町)、後志(しりべし)地域にある蘭越町、石狩川下流域に位置する石狩地域(石狩市・新篠津町)も道内有数の作付地帯である。国内外からパウダースノーを求めて多くのスキヤーを魅了するニセコ山系、羊蹄山に囲まれたエリアにある「JA ようてい蘭越地区」で生産された「ゆめぴりか」が、2019年、2022年、2023年と連続で全道一の「最高金賞」を受賞し、2024年には「JA 新はこだて」が「最高金賞」を受賞した。このように、道内各地において、地域の気候、風土を生かした美味しい北海道米が生産されている。

農業従事者の高齢化や気候変動の影響など、様々な課題がある点は、北海道も例外ではない。そこで、水稻栽培の際の省力化や田んぼの大規模化、耕作機械の導入など、様々な工夫が行われている。

水稻栽培の作業工程は、1. 播種(はしゅ・種まき)から育苗管理、2. 田植えと初期管理、3. 分げつ期の管理、4. 出穂(しゅっすい・穂がでること)前後の栽培管理、5. 出穂(前後)の病害虫管理、6. 収穫期の判断、7. 乾燥・調製の、大きく7段階で構成されている。

各時期で、経験に基づいた丁寧な作業、適切な水管理、肥料の供給が必要である。種まきから苗を育てる間に、その苗がきちんと育たなければ、その後の収穫に大きな影響が出る。農家は毎日、天気予報を確認し、苗を入れているハウスの開閉、水分管理など、苗が病気にかからないよう手間をかけている。苗を田植えした後、苗の根がしっかり地面に張るよう、茎が増える「分げつ期」に向け、適切な水管理を継続して行うことも大変手間のかかる作業である。

米の収穫量が十分になるよう、田んぼを乾かす「中干し」や「溝きり」、この時期特有の病気

(例えば「いもち病(稲熱病)」)への対策も必要であり、茎から穂が出る時期から穂肥(肥料を加えること)をするために、日々の天候を注意する必要もある。穂が出る時期になると、虫も発生するため、人が補虫網で田んぼを歩きながら虫を採取する(「すくい取り」という)など、その対策を考えなければならない。

出穂から刈取りまでの登熟期間の気温は、刈取り時期を左右する重要な要素である。農家は出穂後の積算温度で凡その収穫時期を判断するが、それもこれまでは農家の経験に頼る作業であった。この時期に十分な水分の供給をすることで、「おいしい米」が育つ。刈取り時期の最終判断は、籾(もみ)の黄化程度(黄色い色になる)で判断するが、黄化状況も穂の様子でまちまちになるため、田んぼ全体の85~90%がそうなったのを見て刈り取りを行っている。刈取りを終えた生籾(もみ)は変質しやすく、急いで乾燥を行う必要があるが、その際には適切な乾燥温度管理が必要となる。乾燥を終えた籾(もみ)から籾殻を取除くと玄米となり、ここで「収穫量と品質」が目に見えて分かる。

こうして多くの手間をかけながら収穫された米の収穫量は、どのように計画が立てられているかといえ、実際に収穫した収穫量(実収量)、一定面積を刈取って算出した収量(刈取り収量)、一定面積穂数と代表株から算出した収量(理論収量)をもとにしている。

主に、実収量と理論収量の差を分析することで、次年度以降の対策ができる。理論収量は、「穂数 $\times$ 1穂籾数 $\times$ 登熟歩合 $\times$ 千粒重(精玄米千粒の重さ)」であり、理論収量と実収量との増減比較をするために、「穂数(本/㎡)、1穂籾数(粒)、登熟歩合(%)、千粒重(グラム)」の収穫構成要素のデータを取得し、増減理由の分析、今後の対策を行う。収穫量増減の最大要素となる穂数(本/㎡)は、穂数が多いと倒れやすくなり、肥料が

多いと穂数が増え、窒素が十分に地中にあれば多くなるが、かえって穂数が増えすぎて収穫が減ってしまうリスクもある。一方、肥料が少なく、中干し不足で、有効茎の歩合が低下し、地中の窒素が少なれば穂数は少なく、収穫が減ってしまう。計画した収穫量を達成するには、各種データを活用し、さらに、毎年の気象条件に対応していく必要がある。

収穫量に加えて大事な指標は、整粒割合を高く維持することである。整粒歩合は気象による影響を強く受けやすい。その年の気象条件の変化に左右されないよう、安定して高い水準を維持するためには、技術だけでなく経験も必要となる。当然、年間を通じて、適切な水稻栽培管理の実践が前提になる。

北海道産の米は、「香り」、「粘り」、「弾力」、「甘さ」そして「うまみ」に優れ、大変美味しい。その実現に向け、農家の方々や多くの道内農業関係者が、刻々と変わる気象条件に応じながら、日々の作業を行っているのである。

前述のとおり、米の収穫量は「種まきから苗の育成期」が非常に大事である。この時期の手間は、農家には相当の負担となっており、作業を省力化する試みが行われている。

北海道の稲作発祥の地・北斗市の農家が「水稻のV溝乾田直播栽培」を実施し、成果を上げている。V溝乾田直播栽培の作業工程は、均平（機械：レザーレベラー）→肥料散布（機械：肥料散布機）→耕耘（こううん・土壌を掘り起こし、土を細かくする作業）・鎮圧（機械：パワーハロー）→鎮圧（機械：ケンブリッジローラー）→播種（はしゅ・種まき）（機械：V溝播種機）となり、ここまでは通常の「移植栽培」の播種・育苗から田植えまでの工程と同じである。V溝乾田直播栽培には、田植え前の田んぼの土の「均平作業」が重要であり、レザーレベラーが非常に効果であることが確認できている。V溝乾田直播栽培によって圧倒的な

春の作業が省力化でき、これまでたくさんの人手が必要だった作業をほぼ一人でできるほどの省力化が実現できた。短縮時間としては、4月から5月の播種の準備または播種・育苗期の労働時間が、移植栽培に対して約1/12、4月の播種又は5月の田植えの労働時間比では約1/7と、圧倒的な効果が出ている。さらに、収穫量や品質も、同地域の移植田植を上回る実績を示している。

今後の普及の課題は、道具が高価であり、初期投資の負担が大きいことである。道南地域では、この手法の導入を検討する農家同士が、共同購入や共同利用などの手法でコストを按分する方法を取っており、そうした方法が必要となろう。

ここで、「田植えと初期管理」、「分けつ期の管理と害虫」、「出穂（しゅっすい・穂がでること）前後の栽培管理」の間の効率化の事例として、北斗市で農業用ドローンを活用している農家の事例を紹介する。

ドローンの導入により、無駄な薬剤を使わなくて済むようになり、1日当たり約30haに農薬散布ができ、作業時間の大幅短縮を実現した。しかし、ここでも、機材費やメンテナンスなどの費用、規制などの課題がある。省力化、時間短縮に係る設備面での費用負担が、生産性向上に向けた取り組みの課題となっている。なお、各事例は、北海道農政事務所の下記URLから詳しく確認できる。

○水稻のV溝乾田直播栽培

<https://youtu.be/gSHloubZIZg>

○農業用ドローンの活用

<https://youtu.be/BLrBDyrHPC4>

前述のように、美味しい米を安定的な量で作るには、大変な手間と経験に基づいた作業の積み重ねが必要になる。こうした作業の一つひとつをデータ化することで、作業の効率化や生産

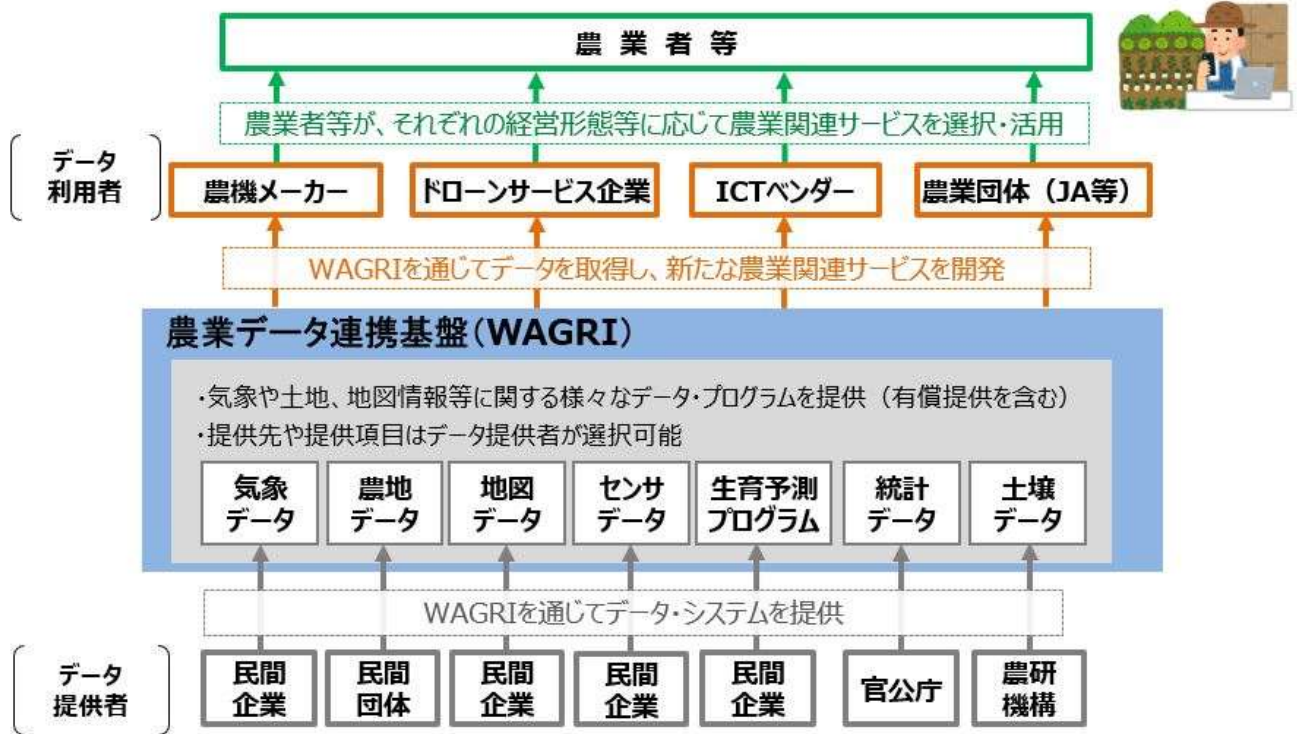
性向上の取組みも行われている。

国立研究開発法人農研機構が運用している農業データ連携基盤「WAGRI」（図表 4.3）は、農業関連のデータを連携させ、データに基づく農業の発展を目指しており、農業生産に係るデータだけでなく、流通・加工・消費までに対応したプラットフォームへの拡張を計画している。

WAGRI が、農林水産省が保有する全国の約 3,100 万筆の農地区画（筆ポリゴン）情報を JSON 形式で提供し、地理情報システムに組み込み、営農管理の基本データとして農業者の農地区画を表示する。WAGRI は今後、「病害虫 AI 診断サービス」や「農機データの連携（オープン API 整備）」などを提供する計画があり、将来的には、生産から流通、加工、消費までのデータの相互活用が可能

な「スマートフードチェーン」の構築を構想している。これは北海道の農業のデジタル化によって、大きな効果がある。

JA グループ北海道において経済事業を担う「ホクレン」は、2024 年 8 月に「ホクレン DX の方向性と取り組み」を発表した。ホクレン DX が目指す姿は、「デジタル技術やデータを活用して持続可能な北海道農業の実現に貢献し、期待に応え、信頼されるホクレンを目指す」ことであり、そのための戦略が、1. 農業 DX、2. 基幹システムの再構築、3. 組織のデジタルシフト、4. 組織風土の醸成、5. 人材育成・環境整備なのである。ホクレン内部に DX 推進体制を整備し、地理情報システム（GIS）データを活用した農業支援システム



出典：農林水産省WEB サイト

<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/forum/R2smaforum/oudan/seika85.html>

図表 4.3 農業データ連携基盤 WAGRI の推進

「ホクレン GIS」を提供する。このシステムは、WAGRI から取得した、農地、土壌、気象データや生育予測モデルをシステム上に表示可能な、(株)日立ソリューションズが提供する「GeoMation 農業支援アプリケーション」をベースに開発している。

WAGRI 提供のデータで、水稻栽培向けの様々なアプリサービスが出てきているが、事例として、(株)ビジョンテックが提供する各サービスを紹介する。「AgriLook®農業情報サービス」は、最新鋭の人工衛星技術を用いて、田んぼごとの生育トレンド・発育予測、気象データ、葉色予測・食味推定マップなどを提供する。栽培管理支援情報サービス「SAKUMO®」(サクモ)は、気候変動による温暖化傾向でも安定的に作物を栽培するために、生育状況を予測し、農業気象災害の軽減、生産の安定、営農の効率化のための情報を提供する。その他にも様々なアプリサービスを提供し、前述した水稻栽培の工程で、これまで人が介在してきた各作業をデジタルで解決するサービスの開発・提供が進んでいる。

(株)インターネットイニシアティブ (IIJ) は、(株)ほくつう (石川県金沢) と、IIJ が提供する「水管理プラットフォーム for 水田」とほくつうが提供する水田水管理省力化システム「水わまりくん」を連携させることで、スマートフォンなどから遠隔で給水装置を操作でき、田んぼへの給水時間や給水量の管理が行えるようにした。

今後は、水稻農業の各工程での作業に、デジタル化、省力化できるサービスが増えていく。北海道では、既に、デジタル基盤の要となる最先端のデータセンターの整備が進んでおり、今後は、北海道の水稻農業の発展に貢献できるサービスがさらに進歩・発展してく見込みである。

一方、北海道米の海外輸出も進む。2024 年 6 月、東川町に世界初の機能を持つ精米工場「ひがしかわライスターミナル」が完成した。東川米の

2026 年の海外輸出推進目標は年間 1,200 トンで、輸出先を 15 か国にする計画である。2025 年の東川町の米の収穫高は 1 万 2800 トンを計画していることから見ても、この海外輸出目標は非常に積極的な目標と言えよう。海外輸出を促進するために、新しい精米工場にはロング・ライフ・ライス・プロセス (LLRP) 装置を導入し、玄米に約 250℃の過熱蒸気(水と熱のみ)を照射し、さらにかき混ぜて、玄米の表面に付着している細菌類などをすべて殺菌処理し、世界で初めて、その作業を 1 時間に 3 トン処理できるようにした。北海道米の海外輸出には、専用の田んぼを用意する必要がある、東川町の海外市場への米輸出の取組みには大いに期待したい。

このように、道内の水稻農業は、省力化、デジタル化や機械化を導入し、さらに、海外市場への展開を視野に入れて取組んでいる。農家の高齢化や田んぼの大規模化、販路ルートの拡大など、様々な課題があるが、「おいしいお米」を「安定的」に、北海道から全国へ、世界へ届けるために、今後は道内のデジタル基盤も積極的に活用することになる。

現在建築中のデータセンターが稼働し、AI 用の GPU サーバ群が増え、さらに、道内外にアイオン・ネットワークが整備されることで、一次産業とデジタル産業との連携・シナジー効果が期待できる。国内市場に対する十分な米の供給と、北海道米がプレミアム米として海外市場でより高い評価を得て、日本食レストランの海外進出を推進し、日本の米ファンを世界に広げていくことになる。

4.2

北海道の畑作・畜産農業

北海道の十勝地域は、日本有数の畑作地帯である。乳用牛・肉用牛の飼養頭数は全道一、長いもや大根など、多種多様な品目が生産されている。個人経営体における年齢別農業従事者数は、水稻生産とは異なり、60歳以上が45.2%、59歳以下が54.8%である。十勝地域の農業産出額は3,080億円、カロリーベースでの食料自給率が約1,100%と、北海道だけでなく、日本を代表する「食料生産地帯」である。

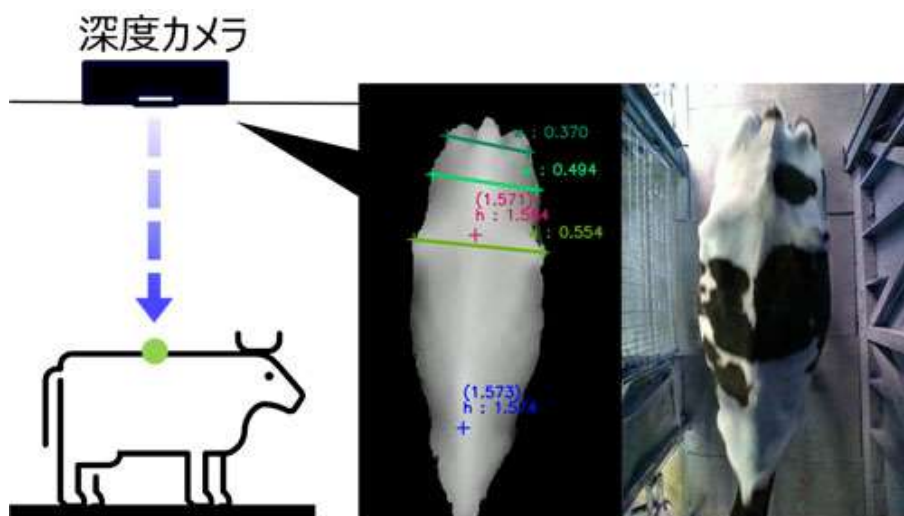
十勝地域の市町村別農業生産額は、清水町（281億円）、士幌町（276億円）、幕別町（271億円）、帯広市（265億円）、芽登町（236億円）、音更町（231億円）の順であり、清水町は乳用牛の飼養頭数が最も多く、2万5,127頭、大樹町（2万4,045頭）、上士幌町（2万3,685頭）と続く。

清水町には乳用牛約3,800頭を飼養する“ギガファーム”を運営するノベルズデーリーファ

ームなど、大型の乳用牛の牧場があり、DX化が進んでいる。畜産業も、人材不足を受け、省力化やデジタルを活用した生産性向上が必要である。エプソンは現在、深度カメラを用いた『牛の体型指標（BCS）*評価システム』（*BCS：牛の過肥具合をスコア1（削瘦）から5（過肥）までスコア化する評価方法）を道内に紹介している（図表4.4）。

十勝地域は「十勝バイオマス産業都市構想」を推進している。これは、環境にやさしいバイオマスエネルギーを様々な産業で活用することで、循環社会と自立・分散型のエネルギー供給システムの構築を行う計画である。こうした取り組みには、デジタルのプラットフォームが欠かせない。

2025年4月から帯広畜産大学で、「十勝地区農業協同組合長会 デジタル農学寄附講座」が開講され、「デジタル農学基礎プログラム」が開始された。デジタル・スマート農業技術を学ぶために、主にJA職員が1年間講義を受け、それによってDX人材の育成が進むと期待される。



出典：2024年11月6日 セイコーエプソン株式会社 プレスリリース
<https://corporate.epson/ja/news/2024/241106.html>

図表 4.4 深度カメラを用いた「牛の体型指標（BCS）評価システム」

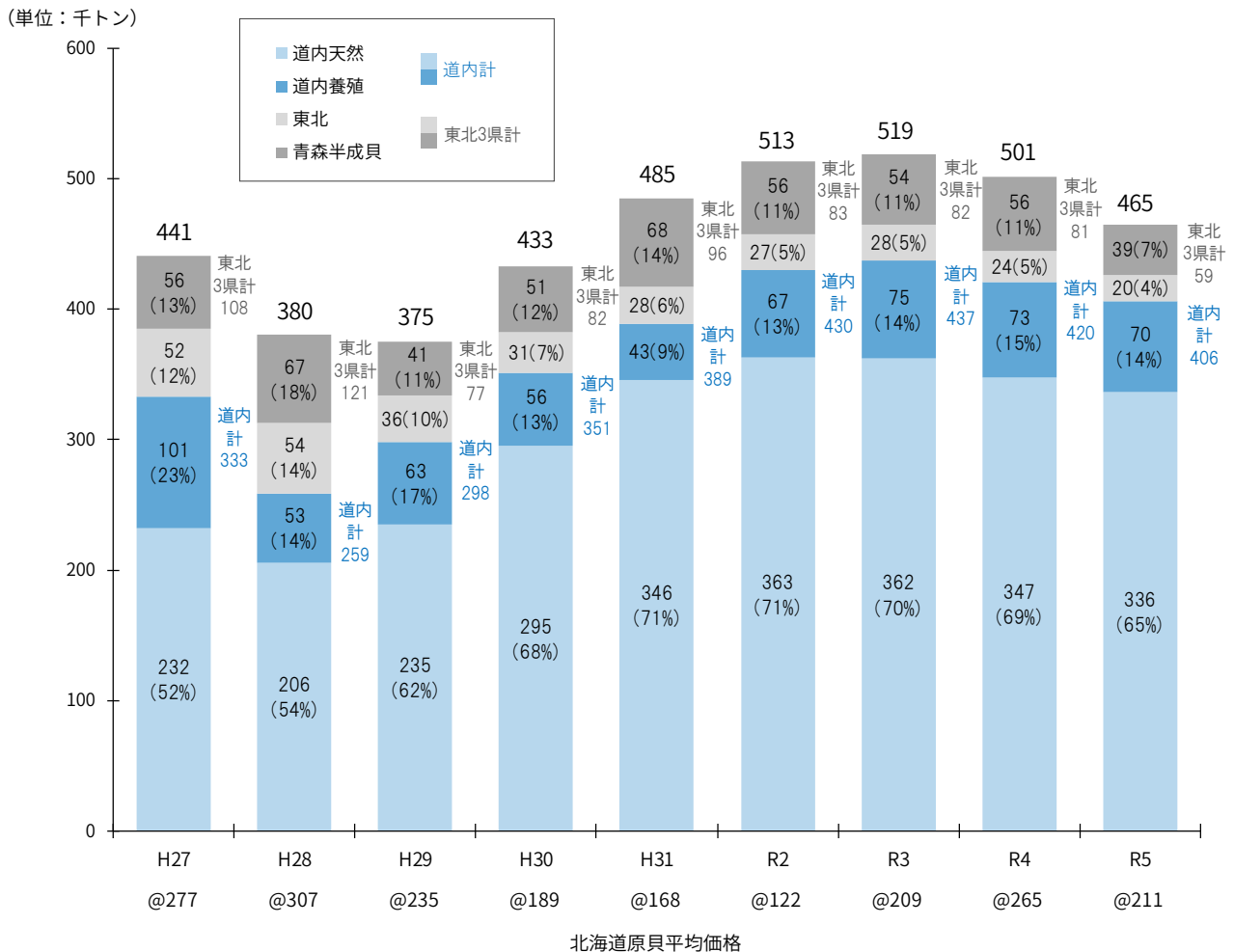
4.3

北海道の水産業

2024 年の北海道の漁業生産量は 104 万 9000 トン、金額は 2,798 億円であり、2023 年はそれぞれ 113 万 5000 トン、金額が 2,916 億円であったのに比べ、若干減少する結果であった。北海道は近年、100 万トンの生産量を確保しており、漁業

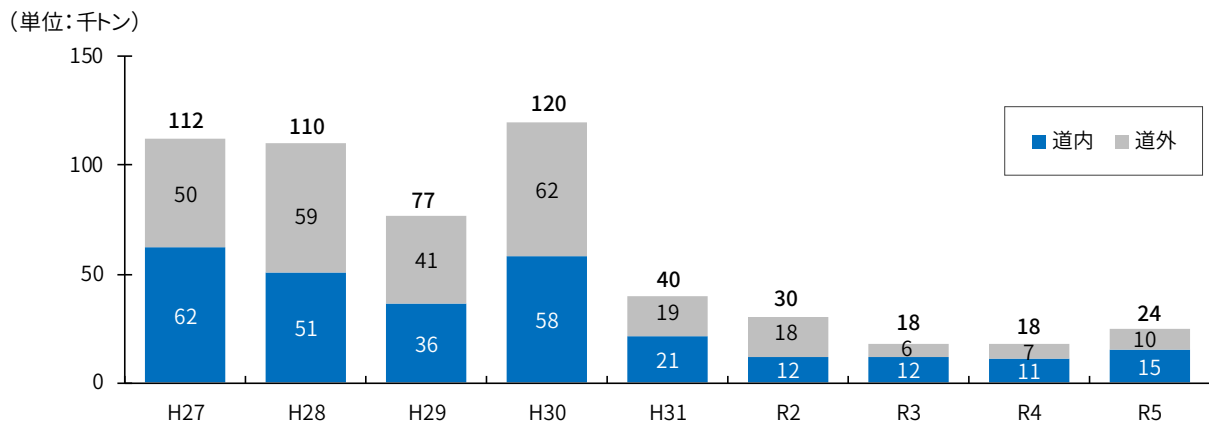
生産量と金額は全国最多である。

魚種別で金額が最も大きいのはホタテガイで 849 億円（図表 4.5）、続いて、サケが 493 億円、コンブが 168 億円、イワシが 129 億円、サンマが 112 億円、タラが 107 億円、スケソウダラが 85 億円、ホッケが 44 億円、ニシンが 35 億円となっている。平成 27 年から令和 5 年までの水揚量推移をみると、秋サケ、サンマ（図表 4.6）、イカ（図表 4.7）、タコの水揚量の減少が際立っている。

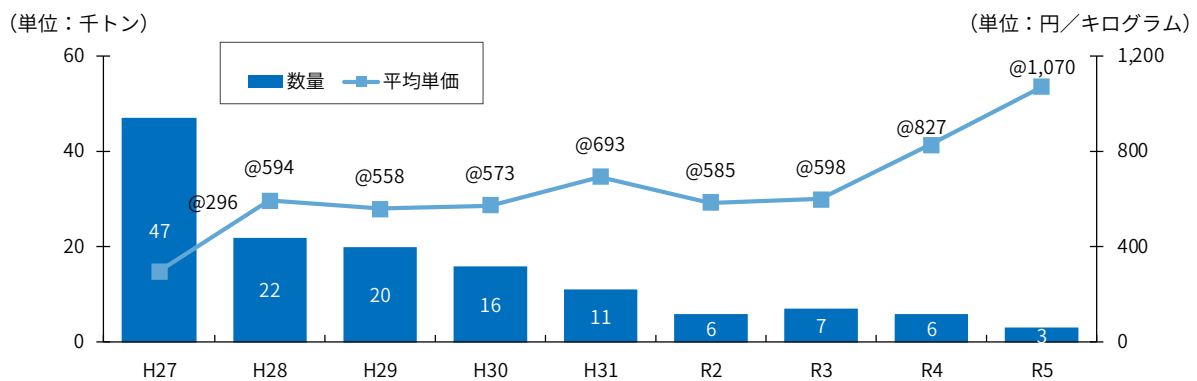


図表 4.5 北海道のほたて貝水揚量推移（全国：4 月～3 月）

DX から考える
一次産業の今と未来



図表 4.6 北海道のさんま水揚量推移



図表 4.7 道内の真いか水揚量・単価推移

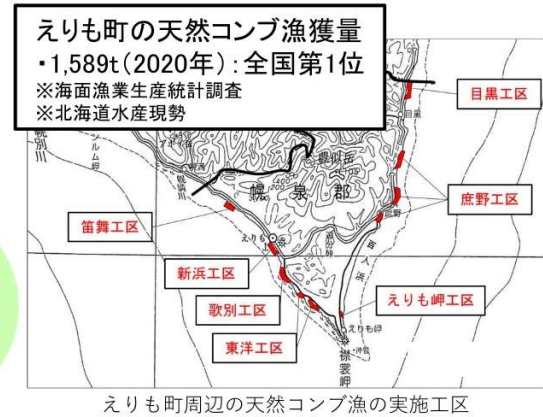
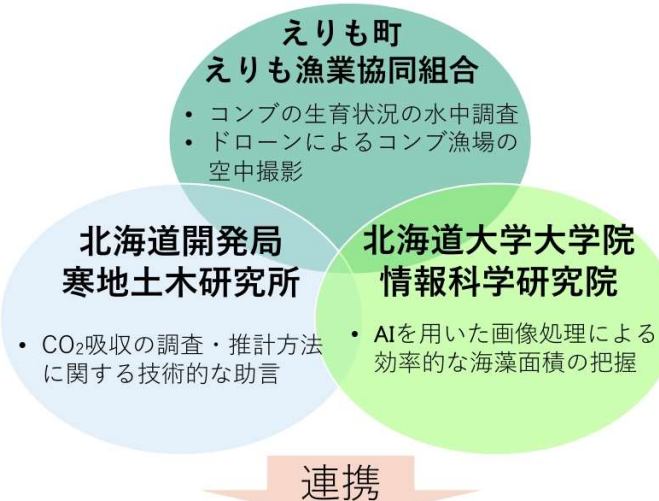
出典：図表 4.5～4.7 北海道ぎょれん資料より作成

2024 年度の北海道産昆布生産量（乾燥重量）は、前年度比 20%減の 9,812 トンとなる見込みであり、初めて 1 万トンを下回る。その主な原因は、気候変動による海水温の変化や流氷被害の影響と考えられている。真昆布、利尻昆布、羅臼昆布など、国内産昆布の生産量の 9 割を北海道産が占めている。北海道産の昆布の減少は、和食文化の衰退に直結する。

北海道の水産業は、気候変動により影響を大きく受けるため、ブルーカーボンの取組みが積極的に行われている。2023 年 4 月 25 日には、北海道開発局がえりも町沿岸の天然コンブ漁場に

おけるブルーカーボンによる CO₂ 吸収量の調査を開始し(図表 4.8)、2023 年 5 月には、株式会社ジャパンプルーカーボンプロジェクト(JBP)と釧路ガス株式会社が「釧路ガス昆布の森づくり」構想を発表した。釧路港の海域に昆布の森を作り、海の二酸化炭素吸収源である海藻や海草を増やすブルーカーボンの取組みを進め、地元の自治体である北海道や釧路市の助言を得ながら進めている(図表 4.9)。2025 年 4 月には、サラヤ株式会社が、海の森(昆布藻場)を守り海の生態系を守る「海の森を守るプロジェクト」を北海道函館市で開始すると表明している。

- 北海道開発局と寒地土木研究所は、ブルーカーボンによるCO₂吸収に関する調査・推計の実績に基づき、えりも町とえりも漁業協同組合が実施するドローンや潜水土による現地調査結果から、両者が連携し、天然コンブ漁場のCO₂吸収量をして把握します。
- さらに、北海道大学大学院情報科学研究院・長谷山研究室とも連携して、ドローンによる撮影画像からAIにより、海藻類の広大な生息面積を効率的に算出する技術開発を進めます。



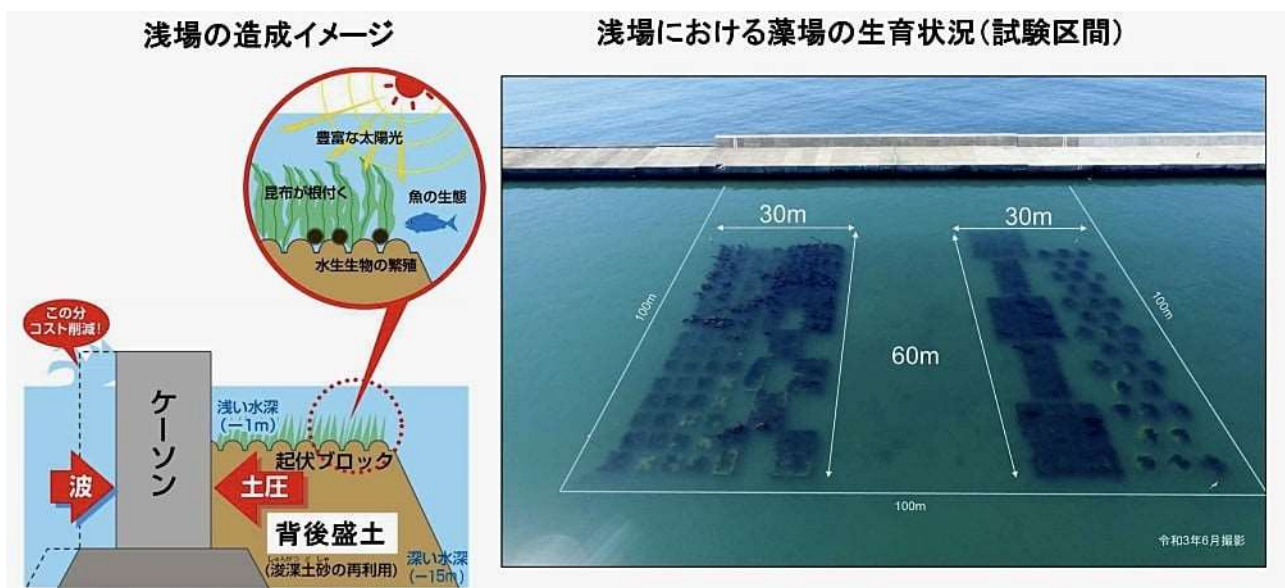
想定スケジュール

5月	関係者による検討会設置
6月	えりも町周辺での現地調査
年内	CO ₂ 吸収量の算定

広大な天然コンブ漁場における
ブルーカーボンによるCO₂吸収量の効率的な把握

出典：令和5年4月25日 北海道開発局プレスリリース

図表 4.8 えりも町沿岸の天然コンブ漁業におけるブルーカーボンによるCO₂吸収量の調査概要



出典：令和4年3月8日 北海道開発局プレスリリース

図表 4.9 釧路港島防波堤での藻場の創出によるCO₂貯蔵効果

このように、昆布の主漁場でブルーカーボンの積極的な取組みが行われており、こうした取組みには、データの取得、蓄積と分析、そしてAI化が必要になることから、道内に普及するデータセンターは、非常に有益なデジタルインフラとなる。

海水温の上昇の影響により、青森・陸奥湾で養殖ホタテの新貝や稚貝が大量死する被害が報告され、原因は不明だが、網走・能取湖でホタテの稚貝 1 億 8000 万個の大量死、渡島管内の噴火湾で養殖ホタテの稚貝が大量に死んでいることも報告されている。

大気中の二酸化炭素の量は年々増加傾向にあり、それを海が吸収することで進行する「海洋酸性化」にも配慮が必要である。もともとアルカリ性である海水が酸性に近づく現象で、21 世紀末までに世界の海洋表層の pH は最大で 0.3 低下すると予測されている。それにより、サンゴや貝類といった炭酸カルシウムの骨格や殻を作りながら成長する海の生き物たちが大きな脅威にさらされている。

深刻なのは、海洋酸性化によって貝類や甲殻類の殻が薄くなることである。特に、カキやホタテに与える影響が大きく、酸性化が進んだことで、殻を形成するのに今まで以上のエネルギーが必要となり、エネルギー不足によって殻が形成できずに死んでしまうか、殻を形成できたとしても、今よりもサイズが小さくなってしまう可能性が考えられる。

北海道には、海水温の変化と酸性化をモニターする仕組み、その膨大なデータを収集、保存、分析、そして将来予測ができるスパコンなみの計算処理が必要となってくる。

4.4

まとめ

北海道は、国内の食を支える重要な役割を担うだけでなく、海外市場に日本の食の輸出を推進する大事な役割も担っている。

北海道は、国内における農業、畜産業、水産業の最大生産地である一方、人手不足や気候変動といった課題も抱えている。

今後、北海道内に最先端のデータセンターが整備されていき、新しい技術を用いた高速・大容量のアイオン・ネットワークが道内に張り巡らされていくであろう。多くの課題はデジタルとAI の機能によって効果的な取組みが可能であるが、一次産業は地球環境変化の影響を受けるため、長期的な取組みが必要な産業である。そのためには、道内の一次産業のデータを地道に集め、蓄え、学習させ、最先端のAI サービスを生み出し、利用していく継続した活動が必要であり、さらに、実際にその取組み事例を増やしていく試みが伴っていかなければならない。

北海道内のデータは道内で蓄積して活用し、さらに、グローバルな事業展開へ、そのデータを活用することを実現したい。

一次産業と道内のデジタル基盤の距離を縮め、使い勝手の良い、効果的なデジタルサービスを一次産業の現場に届け、さらなる一次産業の発展に貢献していく。

DX と安全保障

村井 純

Jun Murai

慶應義塾大学 特別特区特任教授 / WIDE プロジェクト Founder

江崎 浩

Hiroshi Esaki

東京大学大学院 情報理工学系研究科 教授 / WIDE プロジェクト 代表

要約 (Abstract)

本章では、デジタルインフラストラクチャーの現状、サイバーセキュリティ、地政学的課題、海底ケーブル戦略、災害対応におけるインターネットとその重要インフラであるデータセンター及び海底ケーブルを中心に、その役割について分析・議論を行う。

特に、日本が国際通信ネットワークの結節点として果たすべき戦略的使命に焦点を当て、日本のデジタルインフラストラクチャーが世界の安全保障と経済安全保障の枠組みの中でどのように統合されるべきかを論じ、海底ケーブルとデータセンターが形成するデジタルインフラストラクチャーの戦略的重要性を議論する。

キーワード (Keywords)

- デジタルインフラストラクチャー
- 安全保障
- サイバーセキュリティ
- 海底ケーブル
- 国際通信ネットワーク
- 災害対応

5.1

紛争や戦争が明らかにした The Internet の 重要性・必要性

2022 年 2 月に始まったロシアによるウクライナへの侵攻は、現実の戦場における戦闘と並行して、サイバー空間における攻撃が活発に行われた事例として注目されている。ウクライナの政府機関、重要インフラ、金融機関などがサイバー攻撃の標的となり、DDoS 攻撃、マルウェア攻撃、情報破壊攻撃などが報告されている。この事変は、サイバー空間が現代の紛争における重要な戦場となり得ることを改めて示した。

サイバー攻撃は物理的な破壊を伴わないものの、国家の機能を麻痺させ、社会に混乱をもたらす可能性がある。また、偽情報の拡散や世論操作といった、認知領域におけるサイバー活動も活発に行われ、紛争の様相を複雑化させている。ウクライナは、事前の備えや国際的な支援によって、一定のサイバー防衛能力を発揮しているものの、依然として脅威に晒されている。この事変は各国にとって、サイバーセキュリティを単なる技術的な問題としてではなく、国家安全保障の根

幹に関わる重要な課題として捉え、その能力を強化する必要性を強く認識させる契機となった。

インターネットは、国境を越えた自由な情報流通を促進する基盤として発展してきた。しかし、近年、地政学的な対立や国家間の緊張の高まりとともに、インターネットのあり方そのものが課題に直面している。一部の国々は自国の情報統制や検閲を強化し、インターネットの分断化（スプリンターネット化）を進める動きを見せている。また、自国の利益のために、他国に対するサイバー攻撃を積極的に行う国家も存在する。さらに、インターネットの基盤となるインフラ、例えば海底ケーブルや衛星通信システムなどが、地政学的な駆け引きの対象となる可能性も指摘されている。これらのインフラに対する攻撃や妨害工作は、国際的な情報流通を遮断し、経済活動や安全保障に深刻な影響を与える可能性がある。

デジタルインフラストラクチャーは、現代社会の運営に不可欠な基盤として、通信ネットワーク、AI 処理とクラウド技術、電力インフラ、デジタルデータを統合する形へと進化している。特に、日本はアジア太平洋地域において、北米・EU・アジア・太平洋諸国を結ぶ戦略的な結節点として、国際通信ネットワークの構築に重要な役割を果たす必要がある。

中国経済の急拡大、新型コロナ禍、ロシアのウクライナ侵攻、そしてイスラエルのガザ地区への侵攻によって、デジタル{経済}安全保障の重要性が急激に高まっている。半導体に象徴される先端電子技術産業に関する安全保障も重要課題として認識され、サプライチェーンの把握と、重要生産拠点の国内回帰が起こりつつある。

我々は、ほとんどすべての産業がデジタルシステムに依存していること、及び、その活動がグローバルなデジタルネットワークであるインターネット（地球上に存在する唯一の共有のグロ

ーバル空間という意味で The Internet と表現することが少なくない）に依存していることを十分に認識する必要がある。

もはやすべての産業は、デジタル機器を動作させるための「電力」（＝エネルギー）と、「インターネット」の存在及び利用を前提としている。当然ながら、デジタル機器で構成されているインターネットインフラは、「電力の存在」を前提とする。つまり、現在の我々の生活を維持するためには、「電子経済安全保障」を考える必要がある。

以下、本章では、日本のデジタルインフラストラクチャーが安全保障と経済安全保障の枠組みにどのように統合されるべきかを論じ、海底ケーブルの戦略的重要性についての議論を行う。

5.2

デジタルインフラストラクチャーの現状とサイバーセキュリティ政策

デジタルインフラストラクチャーは、現代社会の基盤として不可欠な役割を担い、その構成は、単なる通信ネットワークや計算資源にとどまらず、デジタルデータ、AI データセンターの計算資源、高速光通信技術によるインターネット、さらには電気エネルギーのインフラを包含する形へと進化している。この変化は、産業構造や社会運営の根幹を支え、安全保障や経済政策に直結するものとなっている。

デジタルインフラストラクチャーは、一般に、以下の主要要素から構成される。

1) AI データセンターと計算資源

クラウド基盤、分散コンピューティング、量子コンピュータ

2) 光通信技術とインターネット

光通信技術による新しい挑戦、6G 通信に向けた新しい無線技術の発展、先端光技術を利用した陸上ケーブル、海底ケーブルによる新しいセキュリティとオペレーション技術、衛星通信などの NTN (Non-Terrestrial Network) による静止衛星、低軌道衛星、HAPS(成層圏通信プラットフォーム)による新しい守備範囲と性能

3) 電気エネルギーのインフラ

データセンターの電力供給、スマートグリッド、再生可能エネルギー連携

これに加え、分野を超えた利用や分野を合成したサービスが重要となる中で、デジタルデータそのものの安全で安心な利用が必要となる。そこで、

4) デジタルデータ

個人情報、行政データ、産業データ、リアルタイム分析データ

を加えた 4 要素を、ここではデジタルインフラストラクチャーの構成要素とする。

これらの要素は、各国の安全保障政策や経済戦略において新たな重要インフラとして位置づけられるべきで、これを前提としたサイバーセキュリティの体制整備が必要となる。

特に、日本政府は以下の施策を進めている。

①ワット・ビット連携官民懇談会：

データセンターの整備と電力・通信インフラの統合的な推進

②新サイバーセキュリティ法：

経済安全保障の強化と重要経済基盤の保護

③防衛 3 法におけるサイバー対策：

重要インフラ防御、通信保護、海外攻撃の無害化

④個人情報保護法の見直し：

データ利活用とプライバシー保護の調整

これらの政策動向はすべて、全省庁の守備範囲を包含した役割を含むことを踏まえ、本章では、上記に列挙したデジタルインフラストラクチャーを新たな重要インフラとして定義し、その安全保障上の課題や政策的対応を検討する。

5.3

日本における サイバーセキュリティの 連携課題と国際協力

5.3.1 | 官民連携の課題と提案

官民連携は、日本のサイバーセキュリティ対策において不可欠な要素でありながら、依然と

していくつかの課題を抱えている。

主な問題点として次の三点があげられる。

1) 情報共有の制約

官民間の情報共有のメカニズムが確立していない。特に、インフラを保護するための脅威情報の交換には課題があることが知られている。重要インフラを担う民間企業は自社のセキュリティ対策を優先し、情報公開に慎重な姿勢を取ることが多く、これが迅速な対応を妨げている面がある。重要インフラのサービスは持続的であるべきで、そのためには、自社に限定しない安全対策と障害対応、さらに、代替サービスなど、広い視点でのサイバーセキュリティのデザインが重要である。

2) リソースと技術力の格差

政府機関のサイバーセキュリティ対策は、予算や人材の制約を受けやすく、民間の先進的な技術とノウハウを十分に活用できていない。特に、中小企業ではサイバー攻撃対策が遅れがちであり、官民連携の枠組みを強化する必要がある。

3) 官民専門人材の交換と交流

サイバーセキュリティに限らず、デジタル技術系の人材は、政府機関において極めて不足している。そのために、人事制度の改革による官民の専門人材の共有や交換を実現する「人材リボルビングドア」を実現する必要がある。

5.3.2 | 国と地方の連携

サイバー攻撃は、中央機関だけでなく、地方自治体や地域の企業にも大きな影響を及ぼしており、国と地方の協力が不可欠である。しかし、以

下のような解決すべき課題も存在する。

1) 自治体のリソース不足

地方自治体のサイバーセキュリティ対策は、都市部と比較すると脆弱であり、専任の専門家が不足していることが多い。特に、小規模自治体では人的資源が限られており、適切なセキュリティ対策を講じるのが困難である。地方自治体向けのサイバーセキュリティ支援体制は、専門家の派遣や共有、技術支援を強化する一方、特に、民間、金融機関、防災や警察など、自治体単位での具体的な体制の形成が不可欠である。

2) 統一的な政策の欠如

国が策定するサイバーセキュリティ政策が地方レベルで十分に実施されているとは限らず、地域ごとに取り組みの差が生じている。これにより、地方自治体間の対応にばらつきが生じ、脆弱な地域が攻撃の標的になりやすくなる。デジタル庁による DX のガイドラインが功を奏し始めていることを踏まえ、国主導の「統一セキュリティガイドライン」を地方レベルでも適用できるよう、具体的な施策を提供し、その着実な実行の評価・監査体制を確立する必要がある。

5.3.3 | 世界と日本の連携

国際的なサイバーセキュリティ協力は、日本が信頼されるデジタル社会を構築するための重要な要素である。特に、英国、米国、韓国、オーストラリアと日本の関係に焦点を当てると、各国との連携の特徴と課題が見えてくる。

1) 英国

国家サイバーセキュリティセンター（NCSC）との協力：英国の NCSC は、政府と民間の連携を強

化し、サイバー脅威への対応を迅速化する役割を担っている。日本の状況との類似点が多く、日本との協力では、情報共有の枠組みを拡大し、共同研究を推進することが重要である。

2) 米国

サイバーセキュリティ・社会基盤安全保障庁（CISA）との連携：米国の CISA は、重要インフラの保護を目的としたサイバーセキュリティ対策を推進している。日本との協力では、法的枠組みの調整を進め、情報共有の効率化を図ることで、他の安全保障の体制を含め、強力な連携となる。

3) 韓国

国家情報院（NIS）との技術協力：韓国の NIS は、金融機関や政府機関のサイバーセキュリティ対策を強化している。日韓間での技術協力を深めるため、金融分野における連携への期待が大きい。

4) オーストラリア

オーストラリアサイバーセキュリティセンター（ACSC）との地域連携：ACSC は、サイバーセキュリティを取扱うオーストラリア政府の機関であり、サイバーセキュリティそのものに加え、警察、防衛等の使命を担っている。英国、米国、カナダ、ニュージーランドとともにファイブアイズの一員であり、アジア太平洋地域における日本の役割の拡張に関して、パートナーとしての役割を果たしている。ACSC は、インドネシア、フィリピン、マレーシア、パプアニューギニア、フィジーなどのサイバー防衛能力構築支援（キャパシティ・ビルディング）を実施しており、日本にとって重要な連携先となる。

5.3.4 |

日本のセキュリティ・クリアランスの実態

日本では、2025 年 5 月に「重要経済安保情報保護活用法」が施行され、セキュリティ・クリアランス制度が導入される予定である。この制度は、政府が保有する安全保障上重要な情報へのアクセスを制限し、適性評価を受けた者のみが取り扱えるようにするものである。

日本のセキュリティ・クリアランス制度が米国や英国の制度と連携するためには、法制も含めて未だ課題があり、関係研究機関の提案による前進が必要となっている。

5.4

海底ケーブルと日本の戦略的役割

5.4.1 |

日本の地理的戦略性と海底ケーブルネットワーク

日本は、東アジアの中心に位置するため、北米・EU・アジア・太平洋地域を結ぶ最適な通信拠点となる。そのため、以下の接続ルートをバランスよく整備することが重要となる。

1) 北米との最短ルート（太平洋直結ケーブル）

本州北部から東京、北海道苫小牧の海岸と北米、特にカナダブリティッシュコロンビア州、そ

して、米国ワシントン州、ポートランド州への接続距離が短く、北米との通信遅延の短縮を図る上で、重要なルートとなる。日本ばかりでなく、日本を経由したアジア各国と北米の経由ルートでもあるため、多くのケーブルが存在する。

2) ヨーロッパとの最短ルート(シベリア・北極海経由の接続)

ヨーロッパと日本との最短ルートは、2008 年に敷設されたシベリア経由のトランスロシアケーブルを用いた 2 系統のケーブルである。KDDI の RJCN(Russia-Japan Cable Network) は、Rostelecom 社との共同で敷設され、直江津市とナホトカを接続し、ロシア国内を横断する大陸横断ケーブルの TEA(Trans Europe-Asia)や TEA2 と接続されている。NTT のケーブルは、Trans Telecom 社と提携し、北海道からサハリンを接続している。これらはいずれも日本と EU を最短距離で繋ぐため、低遅延の通信を実現するが、現在では地政学的リスクもあり、インド洋やアメリカ大陸経由の利用に切り替えるクライアントも多い。

3) 太平洋諸国との連携(オセアニア・南北米大陸との接続)

Google 社は 2024 年から、太平洋の海底ケーブル計画の進行を発表し始め、グアム、フィジー、日本、ハワイ、オーストラリアを含む南太平洋全域をつなぐ「Pacific Connect 計画」として総合的な発表を行った。この計画は、チリ政府と Google、フレンチポリネシアとのフンボルト(Humboldt)ケーブルとも連携し、南半球を覆う巨大なプロジェクトとして発展しつつある。この背景には、同海域の安全保障的な背景(後述)があると同時に、インターネットの接続性を持っていない地域に対して具体的な成果を期待できる。

日本の国立天文台は、チリ政府、欧州、北米と

協力してアルマ望遠鏡を設置しており、日本及び世界の研究者に対して、観測データへのアクセスを可能にすることも期待できる。

4) アジア・中東・インド・アフリカとの連携(東南アジア経由の分岐戦略)

日本から東南アジアのケーブルは、世界の通信インフラの中核を担う重要な存在であり、日本からシンガポール、インドを経由して、中東からヨーロッパ、そして、アフリカに至る幹線となっている。

日本はデジタルインフラのグローバルな結節点としての機能を確立しているが、それは、民間の歴史的な発展経緯で実現したものであった。

グローバルなインターネット接続を支える海底光ファイバーの寿命は 25~30 年とされており、常に新しい戦略によって議論すべきインフラである。実際、東シナ海、南シナ海の安全保障面の不安定要素として、ケーブルの切断や修復の障害などが報告されており、中東方面やヨーロッパ内部でも同様な事例が報告されている。これらを鑑みると、日本は、上記の各方面への冗長的なグローバル接続を發展させ、代替ルートの設計とともに総合的な推進体制を構築することが必要である。

インターネットの堅牢性は、1990 年にイラクのクウェートへの侵攻を発端として発生した湾岸戦争における軍事作戦で証明されたとされている。湾岸戦争はまた、砂漠の砂嵐との戦いでもあり、通信機間のデータ通信において、唯一安定的に稼働した通信システムがインターネットプロトコルであった。インターネットの経路制御は、ネットワークの状況に応じ、データの転送経路の動的選択を可能にしている。つまり、冗長な経路が存在するようなネットワークのトポロジーが準備されれば、局所的な障害が発生しても自動的に代替経路を発見し、目的のコンピュー



出典：筆者作成

図表 5.1 日本周辺の海底ケーブルネットワーク

ターへのデータ通信を行うことを可能にしている。

ここで重要な点は、「冗長な経路が存在するような、ネットワークのトポロジーが準備されれば」という条件が存在することである。この冗長な経路は、すべて同じ通信技術であることが必要条件ではなく、光ファイバーでも無線通信でも構わない。ロシアのウクライナ侵攻の際には、光ファイバーによる接続経路に加えて衛星通信という冗長な経路を緊急に提供し、インターネットの接続性を維持したのである。すなわち、デジタル通信の維持のためには、物理的な観点でのデジタルインフラの冗長性が“面として”準備・提供されることが、デジタル通信インフラの安全保障の観点から必要となる。インターネットはグローバルな相互互助によるネットワークシステムであり、この物理的な通信インフラは、必ずしもすべて自力で整備する必要はない。多

数のネットワーク運用者が協力・連携して、インシデントに対応可能な物理的冗長性を実現することを可能にしている。

このような相互連携によるネットワークの実装と運用体制の構築が、デジタルインフラの安全保障に資することとなる。

5.4.2 | 海底ケーブルの安全保障政策

南シナ海的不安定化

南シナ海では、中国が「九段線」に基づき、広範な海域の領有権を主張しており、これに伴い、多数の漁船の往来がある。漁船は、漁業に従事する際にアンカーを打ち、引き上げる際に海底ケーブルを切断する可能性があることが知られている。国際海底ケーブル保護委員会 (ICPC) には、数週間に1回以上の頻度で海底ケーブルの障害

発生が報告されている。また、中国は、他国の排他的経済水域（EEZ）内でのケーブル敷設や修理に対し、許可の遅延や制限を行使していることも報告されている。

南太平洋のデジセル問題

デジセル・パシフィックは、パプアニューギニア、フィジー、サモア、トンガ、バヌアツ、ナウルなど、南太平洋の 6 カ国で通信サービスを提供する主要な通信事業者であり、約 280 万人の加入者を抱えていた。2021 年、デジセル・パシフィックの親会社であるジャマイカのデジセル・グループが財務再建の一環として同社の売却を検討していた際、中国の国有企業であるチャイナ・モバイルが買収に関心を示しているとの報道があった。これに対し、オーストラリア政府は、南太平洋地域における中国の影響力拡大を懸念し、オーストラリア、アメリカ、日本などが共同で、中国による買収を阻止するため、オーストラリアの大手通信会社テルストラ（Telstra）によるデジセル・パシフィックの買収を決定した。この買収は 2022 年 7 月に完了し、テルストラがデジセル・パシフィックを完全子会社として運営することとなった。この買収には、アメリカの国際開発金融公社（DFC）や日本の国際協力銀行（JBIC）も関与し、地域の通信インフラの近代化と安全性の向上を支援するための資金提供が行われた。

5.4.3 | 米国政府の Team Telecom

米国の FCC は、米国の通信全般、特に、民間が主導すると考えられている周波数割当や産業通信政策を担当してきた。一方、DOC の NTIA は、連邦政府機関向けの無線周波数や通信政策を担当する。これは、日本において、デジタル庁の誕

生以来、同庁が政府のデジタル資源の管理などを担ってきたモデルと類似している。

こうした中、1990 年代に米国政府は、海底ケーブルの陸揚げ許可に関して、従来、国務省主導の審査を行っていた方針に加え、2000 年代に安全保障上の懸念が高まったことを背景に、非公式の省庁間組織として Team Telecom を設立し、Team Telecom が FCC の審査に関与するようになった。それにより、この組織は米国連邦通信委員会（FCC）の許認可プロセスに関与し、国家安全保障上のリスクを評価し、介入する役割を担って機能し始めた。このことは、民間主導による通信やインターネット産業の許認可を担っていた FCC に連邦政府が直接関与する環境ができたことを意味する。

2020 年には、Team Telecom が正式な組織として公式化され、それに伴い、審査対象が拡大し、特に、中国製の通信機器の使用に関する規制が強化された。2022 年以降、国務省も審査への関与を見直し、海底ケーブルの安全保障審査がより厳格化された。これにより、Team Telecom は、政府の合法的な傍受活動への協力を求める方針（情報セキュリティ対策）、中国製機器の排除を含むリスク軽減策の導入という方針（サプライチェーン管理）への転換を行った。その結果、許認可プロセスが複雑化し、審査期間の長期化などの事例も報告されている。

5.4.4 | ヨーロッパなどの 海底ケーブル安全保障政策

国連総会での共同声明（2024 年）では、米国、フランス、日本を含む 16 カ国及び EU が、海底ケーブルの安全性確保を目的とした国際法の順守を求める声明を発表した。UNCLOS（海洋法に関する国際連合条約）第 113 条に基づいて、EU 加盟

国は、公海に敷設された海底ケーブルの損壊行為を処罰する法制度を整備し始めた。

しかし、UNCLOS の実効性にはさまざまな議論があり、UNCLOS 第 113 条の規定に従う法律を制定していない国が多く、国際的な法的枠組としては脆弱である。

5.5

データの信憑性と適切なデータ利用

海底ケーブルやデータセンターを通じて個人及び組織間で交換されるデータの信憑性の確保・維持は、特に、サプライチェーンの安全保障にとって重要な課題である。インターネット及びインターネットを利用する社会・経済活動においては、データの不適切な利用や改竄が行われていないことを検知する機能が、グローバルなデジタル空間で実現されなければならない。

社会活動や経済活動は、そのほとんどがグローバルな空間上に形成されるサプライチェーンネットワークを形成し、そのトポロジーは時々刻々変化している。我々は、動的に変化するグローバルなサプライネットワークにおいて、データの改竄が行われ、安心なデジタル通信ネットワークを形成しなければならない。すなわち、データの信憑性の確保と適切なデータ利用の実現が必要なのである。

このような環境を実現するために、「セキュリティー・バイ・デザイン」「プライバシー・バイ・

デザイン」の考え方、さらに、「ゼロトラスト」の考え方が提唱された。設計段階からセキュリティとプライバシーの両方を考慮するべきとの指針である。さらに、攻撃は「どこから来るのか分からない/特定できない」ことを前提としたシステムの設計と実装、さらに運用を行う必要があるとされ、その実現のため、さまざまなガイドラインや検査/検証システムが存在している。

これらを実現するためには、どこかに「トラスト・アンカー(Trust Anchor)」と呼ばれる 信頼の起点が必要となる。このトラスト・アンカーを誰が用意するのかという問題は、安全保障の実現に深く関係することとなる。信頼の「起点」であるので、必然的に「国」がその有望な一つの候補となる。ここで留意すべき点は、「有望な一つの候補である」という考え方である。さらに、信頼の「起点」は単一障害点(Single Point of Failure)とならないような実装が必要となる。

インターネットの設計・実装・運用は、マルチステークホルダー(MSH ; Multi-Stake Holder)という考え方で実現されている。「国」は、重要性の高い Critical なステークホルダーという位置づけではあるが、「国」が全てを引き受けることは、システムの冗長性と多様性の観点から危険な実装となってしまう。したがって、複数のステークホルダーが連携・協調して、自律分散型のトラスト・アンカーシステムを形成することが望まれる。すなわち、「国は、” a” トラスト・アンカー」であるべきである。個人および組織間で交換されるデータの信憑性の確保・維持に必要なトラスト・アンカーの設計・実装・運用においては、相互連携によるネットワークの実装と運用体制の構築が必要であり、その適切な実装・運用が、デジタルインフラ上でのデータ利用の安全保障に資すると考えるべきである。

インターネットは、多様性を持つ物理層、データスペース層、統一性を持つグローバル空間で

のデジタルパッケージの転送を実現する TCP/IP 層の 3 階層で構成されている。これがインターネットの前提であり、以下のように整理することができる。

1. 統一(Unified 技術,i.e.,TCP/IP)によって、デジタルデータの「自由な生成・流通・加工」が可能な「国境を跨る」物理的連邦(Federated)システム。
2. 自律分散 (P2P) から新しいサービスが創生され、分散は維持しながらの集中 (CS) によるビジネス化。①“Start Small, Scale Fast”、②敢えて最適化しない (変化可能なモノが生き残る)。
3. グローバルな空間上に CONNECTED な 国境を跨る{技術的にも}多様性を持った Data Space”s”を形成。これまで、Disconnected だったシステムが、CONNECTED になり、新しい Data Space を創生する。さらに、国境が存在しない物理空間 (e.g., 宇宙) も存在し、CONENCTED になりつつある。
4. 「国」(“a” critical stake holder) を含むマルチステークホルダ (MSH; Multi-Stake Holder) での運用。
5. 複数の Trust Anchors での分散&連携運用。

5.6

ACD (Active Cyber Defense) と能動的サイバーセキュリティ

サイバーセキュリティの重要性と具体的に効果的な対策が、個人、組織、そして国家に必要なとの認識が急速に一般化している。これまでの対策は、活動の継続に必要な CIA の実現とされていた。C「機密性」、I「完全性」、A「可用性」の 3 要素に関する「防御(ディフェンス)」である。

防御が必要とされるということは、すなわち、「攻撃(=アタック)」の存在を前提としていることになる。「何のために攻撃するのか?」といえ、攻撃によって攻撃対象が打撃を受け、攻撃側が利益を獲得する可能性があるからである。

小規模な{ほぼ一方的な}攻撃が「紛争」であり、大規模な攻撃に対する防御と攻撃側に対抗する攻撃が「戦争」である。紀元前 500 年頃の中国春秋時代に執筆されたとされる「孫子の兵法」は、現在でも戦争に関するバイブルとして広く参照されている。「孫子の兵法」には、戦争に勝利するために何を行うかが整理されているが、孫子は「戦争は極めて深刻なものであるから、よく考えるべきである」という“非好戦的な思想”を提唱している。「戦争は回避すべき」との戦略である。これは、日本における「専守防衛」に通じるものであり、世界中の軍事のプロは「戦争行為を行わないことが求めるべき勝利」と考えているようである。

約 10 年前、ACD(アクティブ・サイバーディフェンス)に関する議論がグローバルに行われた。その結果、2018 年 11 月、9 つの原則からなる The Paris Call として提唱され、米国も 2021 年 11 月に参加を発表した。その主旨は、攻撃の発生へ

の受動的(パッシブ・リアクティブ)な対策ではなく、可能性のある攻撃への防衛策をあらかじめ(プロアクティブ)用意・準備するという考え方である。特に、

「攻撃を未然に防ぐための反撃、攻撃行為に対しての攻撃側への攻撃は行わない(No hack back, active defense and countermeasures)」

と明記されている。すなわち、日本で議論されている「能動的サイバー防御」の具体的実装には、適切な注意が払われなければならない。弱点を見せない(“隠す”を含む)、攻撃する意味・利益が存在しない状況にすることが目指すべき状態であり、そのための情報収集と共有・連携を防御側で実現することが必須とされているのである。

Active Cyber Defense (ACD), also known as adaptive security, is a rapidly emerging branch of cybersecurity. It integrates and enhances several cyber intelligence, cyber protection, and cyber analytics technologies to proactively and predictively combat cyber attacks and protect data assets. Rather than passively waiting for cyber attacks to occur, ACD takes an active and proactive approach. Here are some key points about Active Cyber Defense:

- Proactive Defense: ACD focuses on actively defending against cyber threats rather than merely reacting to them. It aims to prevent attacks before they happen by collecting information about potential threats in advance and enhancing defense capabilities.
- Threat Intelligence: ACD involves gathering intelligence about cyber threats, including attack patterns, tactics, techniques, and procedures (TTPs). By understanding the methods used by attackers, organizations can better prepare their defenses.

- Preemptive Measures : ACD includes monitoring network traffic during normal operations to detect early signs of cyber attacks. If suspicious activity is detected, organizations can take preemptive measures to neutralize threats or even launch countermeasures.
- Government Initiatives: Countries like the United States and the United Kingdom have been actively working on ACD initiatives. Government expert panels have emphasized the need to strengthen defensive capabilities through ACD.
- In summary, Active Cyber Defense aims to thwart attackers' objectives by actively and proactively defending against cyber threats. It's a crucial strategy in today's rapidly evolving threat landscape.

5.7

データセンターに 求められるセキュリティ

5.7.1 | 新しいセキュリティを先導する データセンター

データセンターを構成するすべての機器のデジタル化とネットワーク化、さらに、システムのデジタル・ツイン化、AI 及び(ハードウェアとソ

フトウェアの両面での)ロボットによるスマート化は、これまで基本的には個別に独立して運用されてきた機器・設備・システムの相互接続と連携・協働運用の方向へと向かう。すなわち、既存の垂直統合型のビジネス構造の創造的破壊である。その結果、今後の設備システムは、必然的に、オープン化とネットワーク化を前提とした設計・実装・運用・保全が実現されなければならない、適切で有効なサイバーセキュリティ対策の適用が必須条件となる。

そのセキュリティ対策は、「まずは自助、次に共助、最後に公助」の原則のもと、結果的にリスクを増大させる「過保護」な施策を「勇気をもって」避けなければならない。さらに、「経験や知見の共有」を実現し、すべての関係者(ステークホルダー)の間で連携・協調・協働しながら、すべての関係者の活動を応援・支援し、安心して挑戦ができる体制の確立・実践が必要である。

このような、適切なセキュリティ施策の確立と実践によって、これまで、個別に運用されてきていたシステム間でのデータ連携と、システム統合の実現によるシステムの「継続的イノベーション」及び「安定した事業継続性」が実現されることになる。

データセンターを構成するすべての設備が物理(ハードウェア)・サイバー(ソフトウェア)の両面で相互接続され、各機器・システムの提供者(ベンダー)だけではなく、**システムの利用者(ユーザー)もデータの利用が可能で、システムの管理制御にも参画することが可能な、"オープン"なシステム環境**の提供が求められる。さらに、そこでは持続可能なイノベーションと発展性を持つSDGs (Sustainable Development Goals)の実現を目指さなければならない。例えば、エネルギーシステムにおけるSDGsは、3E+S、すなわち、**E**nergy Security、**E**conomic Efficiency、**E**nvironment、+**S**afetyを同時に実現することを

意味するが、これは、1つのインフラが4つの機能を同時に実現すると考えることができる一方、「スマートなインフラを構築することにより、1つの投資が4つの目的(=事業利益)によって償却(=Pay off)される」と捉えることもできる。

また、電力システムは、これまでウォーターフォール型の発電側から消費側への一方向のシステムとなっていたが、発電側と消費側での**双方向でのネットワーク型の電力管理制御システム**への改革を推進するための環境・制度の整備と拡充が進められている。

このような、電力システムにおけるSDGsと同様の進化が、ビッグテックが主導するOCP(Open Compute Project)などを通じて、データセンターにおいても実現されなければならない、実際に実現されつつある。

5.7.2 | デジタルツインを基にしたサイバーファーストとロボット前提

現実世界のすべてのシステムの構造や動き・振舞いが、デジタル世界で完全にコピー(Digital Twin²)され、さらに、各システムがネットワーク化されることで、デジタル空間(サイバー空間)上に、すべてのシステムが統合化可能なデジタルシステムが構築される。これまで連携・協働することがなかったシステム間でのデジタルデータの共有が行われ、従来はできなかった連携・協働が可能となる。この新しい連携・協働によって、これまででないインフラの効率化・高性能化・高機能化、さらに新機能の創生・導入という「付加価値の創生」が実現される。

このような「ビッグデータ」、「IoT(Internet of Things)」、さらに「人工知能」が前提のデータセンターインフラの実現には、「Stove-and-Pipe」の構造が大きな障害となることが認識された。

「Stove-and-Pipe」と呼ばれる垂直統合型のサイロ(silo)型のシステム・事業構造を”De-Siloing”し、水平統合型あるいはマトリックス型の構造へと移行(Migration)することを目指さなければならない。

さらに、デジタル・ツインの存在を前提としたソフトウェアロボット及びハードウェアロボットとの共存を前提にしたデータセンターの設計・実装・運用へと進化を遂げなければならない。当然、これらロボットの背後には人工知能の存在が前提となる。

これまでのデータセンターの実装と運用は、「人(ヒト)」による作業が多くの場合で前提とされていた。しかし、ロボットの進化は、多くの作業を人ではなくロボットが代用可能にしている。ロボットの導入には、データセンターのデジタル・ツイン化と LMM(大規模マルチモーダルモデル)の構築が必要となり、結果的に、これまでのような、人の存在と作業を前提としたハードウェア及びソフトウェアの構造設計ではなく、ロボットが存在し、人と共存・連携するための構造へと進化しなければならない。

こうした「ロボット前提」への進化は、データセンターを、現在のような都市部集中から再生可能/脱炭素エネルギー源へと展開し、分散化させる意味においても重要な進化である。

5.7.3 | データセンターにとっての AI (人工知能)

データセンターで稼働するアプリケーションとして、2012 年、カナダ・トロント大学の Geoffrey Hinton 教授(2024 年ノーベル物理学賞受賞)のグループによる「畳み込みニューラルネットワーク」を用いた深層学習、2015 年に Google 社 DeepMind が開発した Alpha Go、そして 2022 年に OpenAI が発表した大規模言語モデル(LLM;

Large Language Model)を用いた生成 AI である ChatGPT の発表によって、第 4 次 AI ブームともいわれる劇的な AI ブームが起こっている。

特に、Google 社 DeepMind の頃から超大規模データを超大規模なサーバクラスターで処理する大電力消費のデータセンターの必要性が認識されるようになり、OpenAI による ChatGPT の登場がこれを急加速させることとなった。人工知能がデータセンターの需要家(=ユーザ)となったのである。

一方、人工知能は、データセンターの運用、さらに、設計においても大きな役割を持つようになり、変化し、貢献を行っており、その貢献度は拡大を続けている。

1) サイバー攻撃への防御

クラウド”サービス”は、2006 年、アマゾン社によって起動されたが、それ以前から仮想マシン技術を導入した大規模サーバシステムのデータセンターでの稼働は、マイクロソフト社や Google 社が自社サービス用として行っていた。サイバー攻撃への対処は、サービス品質の維持をサービス提供の持続性にとって、当初から最も重要な仕事であった。サイバー攻撃の検知(と対策)のために、ビッグテックは、スマート NIC(Network Interface Card)³の導入などを行い、サイバー攻撃のトラフィック解析や、トラフィックの監視・解析による感染の検出を行っていた。トラフィックの解析には、人工知能技術が積極的に挑戦・導入・利用されている。

近年は、①機器の設定情報(e.g., Config ファイル)の情報を用いた Attack Surface Detection による未然の攻撃防御(=ACD; Active Cyber Defense)、あるいは、②LLM を用いた多数の監視ツール群の統合化など、人工知能を用いたサイバー攻撃の Reactive な攻撃防御と Proactive な攻撃防御が広く実装されつつある。

2) 稼働状況の把握と管理制御

データセンターの効率的な運用を実現するために、人工知能を用いたデータ駆動型の管理・制御も急速に導入されつつある。各導入機器の健康診断(=①故障の予知、②稼働効率)だけではなく、システム全体の健康診断を LLM(大規模言語モデル)、さらに LMM(大規模マルチモーダルモデル)を用いて実現しようとする挑戦である。

機器の故障や性能低下への対処・対応は、システムの設計時に考慮され、その対策を実装するが、故障や性能低下を事前に予測可能であれば、システムの信頼性が格段に向上することは明白である。

人工知能は、障害対策だけではなく、データセンターの稼働効率の向上と稼働の最適化にも利用されている。稼働効率の向上は、電力使用量の削減に結び付く。一方、稼働の最適化は、電力使用量の削減だけではなく、稼働機器の故障確率の減少(=機器の稼働寿命を長くする)につながり、結果的にはデータセンターの運営経費の削減に寄与することになる。

このように、人工知能は、データセンターの利用者が稼働させるアプリケーションだけではなく、データセンター自身の防御と運用の最適化によるサービス及び事業の持続性に貢献するようになってきている。

5.7.4 | セキュリティに対する考え方

セキュリティは、「誰かが解決してくれるもの」ではなく、「関係するすべてのステークホルダー間による協調と協働」によってはじめて実現されるものであることを念頭に置く必要がある。

しかし、以下のような「危険で不適切な」状況が散見されているのが現実である。

多くのプロダクトにおいて、単に「閉じていれば安全」だと考え、対策を怠っている。

これらは、データセンターを構成するすべてのハードウェアをソフトウェアが「インターネットへの接続性の提供を前提とする」今後のデータセンターにとって、結果的に非常に危険な考え方となる。

「閉じていれば安全」という考え方によって構築・運用されるシステムは、他のシステムと相互接続する際のセキュリティリスクと、運用者が「意図しない」状況での外部機器及び外部システムとの接続のリスクが非常に大きくなる。その結果、システムの統合コストの増加のみならず、統合化、すなわち他システムとのデータ連携を不可能にし、新しいシステム構造の導入の障害となってしまう。つまり、外部システムやインターネットへの接続を前提としたサイバーセキュリティ対策(=“Security-by-Design”)が、データセンターを構成する IT(Information Technology)システムだけではなく、OT(Operational Technology)システム⁴にも適用され、データセンターにとっての BCP(事業継続計画)及び事業の成長戦略の観点におけるセキュリティ対策となることを認識しなければならない。

さらに、サイバーセキュリティを含むセキュリティ対策は、データセンターに閉じたセキュリティ対策だけではなく、「データセンターを構成するすべての機器・システムの設計・構築・運用に関係する多数の事業者から構成されるサプライチェーン」に関するセキュリティ対策の実現が重要となる。ソフトウェアにおける SBOM(Software Bill of Materials)は、その典型例である。

経済産業省の「産業サイバーセキュリティ研究会⁵」や、2024年に発足した「ウラノス・エコ

システムの拡大及び相互運用性確保のための「トラスト研究会⁶⁾」の成果が、データセンターに係るすべての事業者を包含するサプライチェーンネットワークで実装されなければならない。

5.7.5 | IOT システムの IoF(Internet of Function)への 進化への対応

IoT は、「ソフトウェア(=Function)」と「ハードウェア(=Thing)」のアンバンドル化を考慮・実現できていない概念である。ハードウェアには複数のプログラム(=ソフトウェア)が存在可能であり、自由にアップデートとアップグレードが可能となった。

従来の組込み系デバイスでは、OS(オペレーティングシステム)を用いない専用機器、すなわち、ハードウェアとソフトウェアが縮退(バンドル化)していた。半導体技術の進展により、IoT 機器は、アプリケーションプログラムに対して共通のインタフェースを提供することで、自由にアプリケーションをアップデート・インストール・削除・移動させることが可能なハードプラットフォームへと進化した。

オペレーティングシステムは、アプリケーションに対してハードウェアの特殊性を隠蔽し、共通のインタフェースを提供する。さらに、ハードウェアに依存しないオペレーティングシステムのメモリイメージ(=ゲスト OS)が定義され、ライトウェイトのオペレーティングシステムのメモリイメージ(=ホスト OS)上で複数のゲスト OS が動作可能となった。それが仮想マシン(Virtual Machine)の導入である。

仮想マシンの導入によって、モノ(=Things)をインターネットで相互接続する IoT ではなく、コト(=Functions)をインターネットで相互接

続する IoF (Internet of Functions)に進化することとなった。エンドユーザの領域における IoF への進化は未だ必ずしも一般的ではないが、データセンター内で稼働する機器類においては急速に常識化しつつある。

5.7.6 | グローバルな データセンターネットワークの セキュリティ

インターネットはグローバルなデジタルインフラ基盤であり、データセンターは、①インターネットとの接続が前提、②グローバルなインターネット上の分散インフラ、という性質を持っている。

上述の通り、データセンターを用いたグローバルサービスの継続性の観点において、グローバル空間への展開が前提となるデータセンター間でのデジタル通信を維持するためには、インターネットを形成する物理通信インフラと同様に、物理的な観点でのデジタルインフラの冗長性が、「面」として地球上に準備・提供されることが要求される。具体的には、「冗長な経路が存在するような、ネットワークのトポロジー」の形成が必要となる。この冗長な経路は、すべて同じ通信技術・サービスプロバイダであることが必要条件ではない。このような、複数の通信プロバイダによる相互連携による“面”としての冗長性を持った物理ネットワークの実装と運用体制の構築と運用が、効率的なインシデント対応能力を持ったグローバルなデータセンターネットワークを実現することとなる。

さらに、インターネット基盤上に形成された(＋今後も形成される)多様性と独立性/自律性を持つ多数の Data Space が、安心してデータの流通と共有、加工を可能にするグローバル基盤

の整備と運用を実現しなければならない。

もう一つ、グローバルという観点におけるセキュリティとして、「地球温暖化」への対応が存在する。日本だけではなく、米国においても、データセンターの電力消費の激増が、減少傾向を続けていた総電力消費量を増加に転じさせたと報告されている。

データセンター基盤が提供するデジタルサービスは、全産業での DX(Digital Innovation)を実現させるとともに、その活動に必要な物理資源量と稼働エネルギー量を劇的に減少させなければならない。つまり、DX による効率化と構造変革によるエネルギー消費量の削減である。一方、データセンター自身の総エネルギーの削減も、データセンター業界の人類/地球への責任として捉えなければならず、自身のビジネスインセンティブとなるようなエコシステムを形成しなければならない。

例えば、以下のような方法が存在することは既に証明され、ビジネス化されつつある。

1) 半導体ハードウェア

特に大量の電力を消費する GPU と CPU の省エネルギー化は、シリコン半導体だけではなく、光デバイス、さらに量子デバイスの可能性が存在する。シリコン半導体も、最先端の回路技術を用いることで、現在の汎用 GPU の消費電力を 1/10 あるいは 1/20 にできることが分かっている。

光技術の導入は、既に大規模ネットワーク機器やサーバ機器に普及しており、ハードウェア(=モノ)とソフトウェア(機能=コト)の Dis-Aggregation によるデータセンター内およびデータセンター間の消費エネルギーの削減にも挑戦されている。

2) ソフトウェア

DeepSeek に代表されるように、ソフトウェア

の改善による計算の効率化は、結果的に消費エネルギーの削減につながる潜在能力を持つと考えることができる。

例えば、AI 研究開発などに広く利用されている高級言語 Python を C 言語や Shell で置き換えるだけで、10-50 倍程度の計算の効率化、すなわち、エネルギー削減が可能となることが知られている。

3) 既存インフラの再利用

地球温暖化対策として、Operational Carbon が主に議論されてきたが、近年、Embodied Carbon が注目されている。これは、システムの実装に必要なすべての素材の製造に必要なエネルギー量や、起動から廃棄に至るまでに必要なライフタイムに係るエネルギー量であり、その評価と削減が、Scope3 のターゲットとして注目されてきている。特に、データセンターを構成する外駆や内駆の構造物、サーバなどの電子機器の材料などの Carbon Footprint も評価の対象となってきた。

このような観点から、既存の物理インフラの再利用(リサイクル)や、データセンターの廃熱等、これまで廃棄していた資源の再利用が必要となってきた。

5.8

災害と サイバーセキュリティ

国土と国民の命の安全という意味における安全保障では、災害に対する対策が不可欠である。Covid-19 をきっかけとしたデジタル社会の発展によって、すべてのインフラにデジタル技術が関連する現在、災害とともにインターネットやデジタル社会が発展してきた日本にとって、災害は重要な道しるべとなる。

5.8.1 | 阪神淡路大震災による インターネットの災害対応の幕開け

1995 年 1 月 17 日に発生した阪神淡路大震災は、情報通信インフラに甚大な被害をもたらし、災害時の情報伝達の重要性と脆弱性を浮き彫りにした。当時、インターネットはまだ一般には普及していなかったものの、研究機関や一部の企業の間では利用されており、被災地の情報発信や安否確認などに活用される事例も見られた。

この震災は、災害時におけるインターネットの可能性を示すとともに、通信インフラの重要性を再認識させる契機となった。その後の災害対策においては、情報通信ネットワークの強化、多様な通信手段の確保、そして災害情報の発信・共有体制の整備などが重視されるようになった。

5.8.2 | 同時多発テロとサイバーセキュリティ

2001 年 9 月 11 日に発生したアメリカ同時多発テロは、物理的な破壊だけでなく、サイバー空間におけるテロの可能性を強く意識させる出来事となった。テロ組織がインターネットを情報発信、資金調達、連絡手段として利用する事例が明らかになり、サイバー空間がテロ活動の舞台となり得るという認識が広がった。

この事件以降、各国はサイバーテロ対策を強化し、インターネット上のテロ関連情報の監視、テロ組織のオンライン活動の阻止、テロリストによるサイバー攻撃への防御体制の構築を進めてきた。

サイバーセキュリティは、物理的なテロ対策と並んで重要な安全保障の課題として認識されるようになった。

5.8.3 | 東日本大震災とサイバーセキュリティ

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災は、巨大な津波によって沿岸部の情報通信インフラに壊滅的な被害をもたらした。電話回線やインターネット回線が寸断され、情報伝達が困難になるなど、デジタル化された社会の脆弱性が露呈した。

一方で、2007 年から普及が始まったスマートフォンにより、それに伴う位置情報の共有を用いたサービスが広がっていた。それらを用いた SNS やインターネット掲示板などが、安否確認や避難情報の共有に重要な役割を果たした。

この経験から、災害時におけるライフラインとしてのインターネットの可用性を確保するための対策の重要性が再認識された。具体的には、通信インフラの多重化、バックアップシステムの整備、衛星通信や移動基地局の活用、そして災害時の情報共有プラットフォームの構築などが進められた。また、サイバー攻撃が災害対応を

妨げる可能性も考慮し、災害時においてもサイバーセキュリティを確保するための対策が求められ始めた。

5.8.4 | 能登半島地震とサイバーセキュリティ

2024 年 1 月 1 日に発生した能登半島地震は、甚大な人的被害とインフラ被害をもたらし、情報通信ネットワークにも大きな影響を与えた。道路の寸断や停電などにより、インターネットや電話回線が不通となり、被災地の情報収集や外部との連絡が困難になった。

この地震では、衛星通信や可搬型基地局などが活用され、一部地域では通信が回復したものの、依然として情報伝達の遅延や途絶が課題として残った。また、災害に乗じた偽情報や詐欺行為といったサイバー犯罪の発生も懸念された。

能登半島地震の経験は、大規模災害時におけるデジタルインフラストラクチャーの脆弱性と、サイバーセキュリティの重要性を改めて示した。

災害時においても、情報通信ネットワークの可用性を確保し、サイバー攻撃や偽情報から被災者や支援活動を守るための対策強化が急務である。具体的には、以下のような点が重要となる。

1) 通信インフラの強靱化：

耐震・耐津波対策の強化、冗長化、バックアップ回線の確保など。

2) 代替通信手段の確保：

衛星通信を含む非地上通信ネットワーク（NTN）、船舶通信、可搬型基地局などの活用。

3) 災害情報共有プラットフォームの整備：

正確かつ迅速な情報伝達のためのシステム構築。

4) サイバーセキュリティ対策：

災害時におけるサイバー攻撃や偽情報対策の強化。

5) 地域防災計画へのサイバーセキュリティの組み込み：

地方自治体における防災計画に、サイバーセキュリティの視点を導入することの重要性が増している。

5.9

北海道の役割と 北極海ケーブルへの期待

北海道には、21 世紀のデジタルインフラ、エネルギー、サイバーセキュリティにおいて、日本の未来をリードする地政学的・戦略的使命が期待される。

5.9.1 | 北極海ケーブルと苫小牧陸揚げ

北極海ルートを経由して、アジアと欧州を最短距離で結ぶ新たな国際海底ケーブル計画が進展する中で、北海道・苫小牧市は、アジア側陸揚げ拠点の最有力候補として注目されている。

北極海を横断するケーブルは、従来のロシア大陸横断ルートや米国経由ルートに依存しない

「第三のグローバル通信動脈」を形成する可能性がある。苫小牧は、気候条件、地勢的安定性、既存インフラとの連携可能性などにおいて、陸揚げ拠点として非常に高いポテンシャルを有している。

この陸揚げ計画が実現すれば、北海道は、日本国内のデジタルインフラ冗長化、国際通信ハブ化、災害時バックアップ拠点として重要な役割を果たすことになる。

5.9.2 | 米国大陸に最も近い地理的特性

地理的に見ると、北海道は、日本列島の中で米国アラスカ・カナダ方面に最も近い位置にある。このことは、将来、北米直結型海底ケーブルの敷設、太平洋北部経由の通信冗長ルートの構築において、大きな戦略的価値を持つことを意味する。

サイバーセキュリティ上も、アジア太平洋地域だけでなく、北米市場とのリアルタイム連携を視野に入れた拠点整備が北海道では可能となる。

5.9.3 | 北極海を越えた EU への接続ポテンシャル

北極海ケーブルの整備により、北海道はアジアだけでなく、北極海を越えて直接 EU 圏と通信接続できる戦略的ゲートウェイとなる可能性を持っている。

これにより、北米依存の緩和、ロシア迂回回避、多様な国際連携の強化、極地国際研究拠点の確立などが実現でき、日本全体のデジタル主権と通信レジリエンスを飛躍的に高める効果が期待される。

5.9.4 | 豊富な自然エネルギーと グリーンデータセンター構想

北海道は、風力（特に道北・道東）、太陽光、地熱、水力といった豊富な自然エネルギー資源を有している。

これらを活用して、環境負荷の少ないグリーンデータセンター群を整備する構想が進んでいる。特に、再生可能エネルギー由来電力で運営されるデータセンターは、グローバル企業のサステナビリティ要件（例：カーボンニュートラル目標）に適合し、国際的なデジタルハブ拠点化に直結する可能性が高い。

サイバーセキュリティの観点においても、独立電源とエネルギーレジリエンスの確保は極めて重要であり、北海道の自然条件はこの点で大きなアドバンテージとなる。

5.9.5 | GX 特区と独立ガバナンスモデル

北海道は国の「GX（グリーントランスフォーメーション）特区」構想の下、再エネ中心のエネルギー・経済システムへの移行を主導する役割を担おうとしている。

この GX 特区の枠組みを活用することで、官民一体型でのサイバーセキュリティモデル、独立したエネルギー・通信ガバナンスモデル、地域発イノベーション（データセンター誘致、AI 開発拠点整備）などが実現可能となる。

北海道は、日本全体にとってのバックアップ拠点にとどまらず、新しい時代のデジタル社会・エネルギー社会をリードする先導モデルとしての役割を果たすべき局面に差し掛かっている。

5.10

まとめ

日本のデジタルインフラストラクチャーが国際的な安全保障および災害対応において果たすべき戦略的役割についての考察を行った。

国際通信ネットワークの強靱化、海底ケーブルの戦略的整備、データセンターを核にしたデジタルインフラのセキュリティ対策とデータの信頼性の確保、さらに災害時の情報伝達システムの確立が今後の重要課題である。

■付録 1 | インターネットの遮断・分断リスク

インターネットの遮断・分断が最初に検討されたのは、2001 年に米国で発生した同時多発テロの発生時であろう。テロの準備にインターネットが利用され、米国政府がテロ対策を十分に行うことができなかつたとされている。この経験をもとに、アメリカ合衆国国土安全保障省(DHS: United States Department of Homeland Security)が創設された。

最初の段階では、インターネットを利用したテロであり、テロリストの動向を把握できなかったのが原因であるから、インターネットを遮断すべきとの意見であったようである。しかし、既にインターネットは社会・産業・経済に深く浸透し、グローバルな社会・産業・経済活動はインターネットに依存していることから、インターネットの遮断は米国の社会・産業・経済を破壊すると認識され、インターネットの遮断は不可能な選択肢となったとのことである。

その代わりの政策として、インターネット上でのデータ通信の監視機能の強化が行われることになった。このような、政府および政府に関連する組織による通信データの監視は、米国以外の国においても行われ、常識化することになった。米国政府による通信データの傍受・監視行為は、2013 年 6 月の元 NSA 職員・エドワード・スノーデンによる暴露によって公知のものとなった。

2019 年末から発生した新型コロナ禍の際、「サピエンス全史」の著者でもあるユヴァル・ノア・ハラリ氏は、2020 年 3 月 15 日の TIMES 誌に「人類はコロナウイルスといかに闘うべきか—今こそグローバルな信頼と団結を（原題：In the Battle Against Coronavirus, Humanity Lacks Leadership）」と題した記事⁷を寄稿した。この寄稿は、新型コロナ禍への対策として書かれているが、現在の安全保障、デジタル経済安全保障に関する意見が展開されている。

-
- ①国境を越えた情報の共有が最善の対策
 - ②自国の都市を封鎖すれば、経済の崩壊を招き
ねない
 - ③1 国における感染症の拡大が、全人類を危険に
さらすことになる
 - ④新型コロナ対策を口実に、プライバシーの侵
害を越えた、国民の通信の傍受と行動の監視
を強化することができた
-

2022 年 2 月 24 日、ロシアがウクライナへの軍事侵攻を行った。この際、スターリンクが、ウクライナのインターネットへの接続環境の維持に大きな貢献をしたことは広く認識されている。

ウクライナのインターネット接続環境の維持が、ウクライナ社会・産業、さらには政府・軍事活動に必須のものであることが分かっていた

からである。

もう一つの出来事は、ウクライナ政府からの ICANN に対するロシアへのインターネット遮断措置に関する要請である。具体的には、.ru（ロシア）に関する DNS（ドメイン名解決サービス）の停止の要請である。これに対し、インターネットコミュニティは「No」の回答を行った。その理由は、『世界からのロシア国民への情報の遮断、ロシア国民からの世界への情報発信の遮断は、「国境を越えた情報の共有」を阻害してしまう』という考え方である。特に、各個人や各独立組織からの情報発信、世界からの各個人や各独立組織の情報受信は、ウクライナ侵攻の解決に向けて極めて重要な環境提供であるとの判断であった。各個人・各独立組織が、多様な情報をもとに自律的な状況認識・解析を行い、行動の意思決定を行うことができる環境の維持を阻止するべきではないとの判断を行ったのである。国境を越えたグローバル空間におけるデジタルデータの、自由なエンド・ツー・エンドでの流通・共有環境の維持である。

データの管理や利用法に関する「デジタル経済安全保障」の議論が、世界中の政府内で活性化している。そこでは、「自立」（not 自律）というキーワードとともに、「分断」という選択肢がしばしば出てくる。エネルギーインフラに関しても同様である。各国のインフラの「自立」と他国からの「分断」が、近年の安全保障であるとする傾向が観測される。「自立と分断」の象徴であった米ソ冷戦構造は、「ウォッカ・コーラ」⁸に象徴される実質経済の相互関係の拡大・進展によって崩壊したと捉えることもできよう。

安全保障にとって重要な観点は、両国が経済的な相互関係を増加させたことにより、両国間での喧嘩（＝戦争）をできなくしたと捉えることも可能かもしれない。さらに、分断・喧嘩をするよりも、手を結んで連携・協力することが賢い方

向性であるとの共通認識が形成された結果、1989年11月9日の「ベルリンの壁崩壊」へと向かったのではないだろうか。相容れないイデオロギーの違いがあっても、結局、両国は戦争には至らなかった。小規模な関連国での紛争・戦争は少なからず発生したが、両国は結局のところ戦争を行うことはせずに、ソ連が崩壊するに至った。ウォッカがニューヨークに輸出され、米国人が美味しいカクテルを楽しみ、コーラがモスクワに展開され、ロシア人は新しい食べ物を獲得していた。イデオロギーは違っても、人間の欲望を満足させる経済活動は国境を越え、一方に偏ったものではなく、相互に依存関係を形成した（していた）のである。非対称ではなく、対称だったのである。2つの大国は、戦争による損失が大き過ぎることを理解し、経済面から戦争には至らなかったのではないだろうか。これは、家族や夫婦関係に似ているかもしれない。相互依存関係がなくなった時、つまり、各人が独立で生活可能になると、家族も夫婦も一緒に生活する必要がなくなり、関係を絶つ可能性が高くなるようである。このような状況で、いざこざが起こると、それが小さなことでも、関係を崩壊する方法を選択することが多くなるようである。強い依存関係がある場合には、関係の崩壊を選択する可能性は低くなる。また、小規模な衝突とそれによるコミュニケーションの存在が、関係の崩壊の可能性を小さくする。依存関係は対称性を持っているべきであり、非対称な依存関係の場合には、依存する必要がなくなった瞬間に関係は崩壊の方向に向かう可能性が増大する。対称性が失われてしまうと、『つながりを切断』というカードを切りたくなるのではないだろうか。経済安全保障として、経済の自立性・独立性が叫ばれているが、これは、危険な方向性といえるのではないだろうか。依存関係を消失させ、非対称性を増殖させるからである。致命的な喧嘩をしな

いたためには、依存関係と対称性を維持・増大さるべきなのではないだろうか。

連携・協力には、相互の信頼関係と敬意が必要である。非対称な関係では、協力関係を構築・維持することはできない。このことは、多様性の尊重と包摂性の重要性をも包含している。デジタル経済安全保障の確立には、「自立・分断」ではなく、「相互連携・相互依存」に舵を取る必要がある。

■付録 2 | オープンでスマートな施設の実現

2.1 | 注意が必要なビジネス慣習

ベンダーロックインを維持するために、システムのオープン化を行わない方向に誘導する典型的なビジネス慣習の例を以下にあげる。

- 1) オープン技術を用いることでご希望の要求を満足することができますが、弊社の技術・製品によって同様のことが、より安いコストで実現可能です。
(注)ライフタイムコストでは、逆に大きなコスト負担となる場合が少なくない。
- 2) ご希望の機能を提供することは「不可能」です。
(注)実は可能でも、不可能と主張される場合が少なくない。
- 3) ご希望の要求を満足するための修正は不可能ではありませんが、

- ①このくらいの{大きな額の}、{システムの動作検証を含む}開発費用が発生しますので、この費用のご負担をお願いしなくてはなりません。
- ②修正に伴い、システムの維持管理に必要な保守費用がこのくらい{大きな額}増加することになります。
- ③納品したシステムとはその構成が異なったものになってしまいますので、関連する部分に関する「契約時の動作保証」は不可能となります。

- 4) セキュリティ面での問題が発生してしまいます。ご希望の修正を行った場合には、セキュア（安全な）稼働を保証することは不可能です。
(注)そもそも、セキュリティ対策が考えられていない場合が多い。

2.2 | 基本となる考え方

以下に、2.1 に示した現状の課題に対処するための方針を示す。

1) システムの運用・保全・管理のオープン化

データセンター施設の保全・運用などの企画を、データセンター設備の所有者側（発注側）が自力で行うことが可能な環境の構築が理想である。そこで、実際の調達における企画の立案と実施管理は、自力もしくは「適切な」コンサル事業者を利用することなどによって実現されるべきである。端的には、「丸投げ」の禁止である。

特に、運用管理の契約における発注仕様書には、適切な措置を取れることを可能にするよう

な条件を明記することが重要である。2.1 - 3) で示したような課題が発生するリスクを軽減し、システム仕様のオープン化を実現すべき。

2) ライフタイムコストの観点にたったシステム仕様の検討と定義

導入時のコストだけではなく、ライフタイムコストの算出とその評価を考慮した提案システムの査定を行うために、ライフタイムコストの提示を調達の評価要件に盛り込むことが望ましい。この対応は、システムの「改修」「追加」「入れ替え」などのすべての発注の際に盛り込むべき。

3) 調達のオープン化(透明性の確保)

受注内部でのブラックボックス化された契約関係がオープン化され、より健全な競争関係の構築と、提案システムの公正で公平な評価を可能にするべき。

4) 技術のオープン化(透明性の確保)

将来の機能拡張・保全維持や他のシステムとの相互接続性の評価を行うとともに、その確保を行うために、各サブシステムが適用している技術仕様が発注側に提示・開示されることを提案の必須条件に盛り込むべき。

5) セキュリティ機能の定義と明文化

安全対策、継続的・持続的運用(BCP: Business Continuity Plan)と保全に必要なセキュリティ対策の提示が「発注側に提示・開示される」ことを、提案の必須条件に盛り込むべき。

6) 既存システム と 統合化

これまで独立に運用保全されてきたシステムを、(透明に)オープン化およびネットワーク化・統合化することで、スマート化するという方向

性を要求条件・仕様として明確化・明文化すべき。

また、このようなシステムのネットワーク化・統合化は、既存の非オープンシステムあるいは既存のオープンシステムとの統合を実現させなければならないため、以下のような項目への配慮が必要なことを明記すべきであると考える。

- ①相互接続に伴うシステムの動作保証
- ②サイバーセキュリティを含むセキュリティ
- ③相互接続に必要な費用

7) IT 化(クラウド・IoT)の積極的利用

オープン技術を用いた(相互接続性が担保された)センサーデバイスの設置、移動あるいは除去が容易になってきている。センサーを含むシステムが生成するデータの収集保存・処理・制御には、オンプレミスのデジタル基盤とクラウド基盤の利用が前提となる。

データセンター内で稼働する IoT 機器に対するサイバーセキュリティの要件適合評価およびラベリング制度は、JC-STAR (Labeling Scheme based on Japan Cyber-Security Technical Assessment Requirements)⁹ という名称で、ETSI EN 303 645 や NISTIR 8425 等の国内外の規格とも調和しつつ、独自に定める適合基準(セキュリティ技術要件)に基づき、IoT 製品に対する適合基準への適合性を確認するべき。

■付録 3 | データセンターの 設計・実装・運用に関する ガイドラインと評価基準

国内外で、さまざまなガイドラインが作成・公開されている。ガイドラインは、以下の 3 つに大別される。

1) プロダクト(機器・サービス)

機器およびサービスが、利用者が要求する基準を満足しているか

2) プロダクトの提供組織

プロダクトを供給する組織(e.g., 営利企業)が、サイバーセキュリティの組織内統治など、適切で十分な事業運用を行っているか

3) サプライチェーン

プロダクトは、単体の組織で製造可能ではないのが通常であり、提供されるプロダクトの製造にかかわるサプライチェーンが適切な基準を満足しているか

さらに、多くのプロダクトがグローバルなサプライチェーンネットワークで製造されており、これらのガイドラインや評価基準は、グローバルに共通であることが望まれる。すなわち、グローバルな標準化組織あるいは国際標準化組織が作成する仕様と整合性の取れた国内仕様となっていることが重要な要件となる。**なお、国内産業・企業を保護するためのグローバル・国際標準とは異なる技術基準やガイドラインの制定と適用は、各国内ベンダーの国際/グローバル市場展開への障害・障壁になるばかりでなく、非関税障壁と認定される可能性も存在しており、十分な留意と注意さらに対応策が必要である。**

以下に、日本における代表的なデータセンターに係るガイドライン・評価基準・評価制度を示した。

1) ISMAP (Information system Security Management and Assessment Program) ¹⁰

日本国政府が求めるセキュリティ要求を満足しているかを評価し、登録・公表する制度で、データセンターの設備ではなく、提供するクラウドサービスの実装・管理・運用に関する要求条件を提示している。リスクの小さな業務・情報の処理に用いる SaaS サービスを対象とする ISMAP for Low-Impact Use: ISMAP-LIU も導入されている。

2) 日本データセンター協会 ¹¹

①J-Tier

(データセンター ファシリティー スタンドード)

グローバルな Tier 規格などとの整合性を持った業界標準を提供している。

②環境基準 (PUE 等の環境対策基準)

電力の使用効率を示す PUE (Power Usage Effectiveness) や、熱対策に必要な水の使用効率を示す WUE (Water Usage Effectiveness) などの定義や測定方法の解説、あるいは政府や自治体の環境対策の解説を行っている。

③セキュリティ

データセンターにおける「セキュリティ」対策を包括的に整理・解説している。データセンターのサービス形態の整理、サービスを提供するためのインフラ設備の構造、想定すべき災害(含自然災害、火災)対策、ネットワークセキュリティを含むサイバーセキュリティだけではなく、入退出管理などの物理セキュリティの領域も含んだガイドブックとなっている。

④建物設備インフラ基準

(含 設備サイバーセキュリティ)

データセンター内で稼働するサーバではなく、電源や空調などデータセンターの建物設備に関する レフェレンスガイドである。OT 機器および

OT システムに関するサイバーセキュリティを含むセキュリティの設計・運用・体制構築のガイドとソリューションの紹介を行っている。

⑤サーバ室技術ガイドブック¹²

サーバを収容するラックやデータホールなど、サーバ室の実装に関する最新技術動向と設計・実装のガイドラインである。当初は、空冷のみでの熱対策であったが、近年は、サーバシステムの爆縮現象の急加速に伴う熱密度の激増の対応するための水冷(含 液浸)技術の導入のための解説、あるいは電源系におけるバスバーの導入や OCP での直流 800V(±400V)の導入などが解説などを行っている。

⑥データセンター運用ガイドブック¹³

データセンター全体の運用方法に関するガイドブックである。データセンター事業者、企業内データセンターにおける施設・運用の高効率化と高信頼化、安定稼働を実現するために必要となる施設の運用についてのガイドラインとベストプラクティスを紹介し、データセンターに関わる事業者、利用者、関連するステークホルダーの間における円滑なコミュニケーションと優れたデータセンター運用の実現を支援することを狙いとしている。

■付録 4 | 日本を Global Commons に

自国主義・デカップリングが急速に進められようとしている。グローバル空間での自由な利他性を活用した社会経済活動から、自律・自立を重要視する利己的な世界への変化である。人類の歴史を鑑みると、退化と言って良いのかもしれない。

れない。2021 年に発表された第 6 期科学技術イノベーション基本計画の中には、日本をグローバルコモンズの中心にするというビジョンが提示された。

「日本は、高い品質とイノベーションを受け入れる市場を持った国であり、日本で成功したサービスや製品を世界に展開すべきである。そのために、国外からの人材を日本に招待し、さらに日本の人財が国外に展開することで、自由闊達な活動を促進させるべき」

との提案である。

世界に開かれた自由闊達な活動を展開する「場」の提供である。多様な文化・経済・環境で育ってきた研究者や技術者が、文科系・理科系などの学術的専門性の壁を越えて交流・議論を行うことでイノベーションの種を育み、日本の市場でその可能性を試行し、成功した種に適切な修正を行い、国外展開するという方向性の施策である。現在進行中の「デカップリング」とは、真逆の方向性ではないだろうか。

グローバルコモンズの方向性は、国レベルだけではなく、個人や企業などの組織においても必要ではないだろうか。AI に代表される、グローバルに開かれたデジタル技術とインターネットによって、情報の拡散と偏在化、さらに、思考や意思決定に必要な情報の量と収集習得速度の激増に伴い、これまでは潜在的に存在していた数多くの矛盾が顕在化・極大化している。その結果、多様で多層的な価値観と意思の衝突が、世代間・コミュニティ間で頻発・激化している。若い世代では、個人の価値観を最重視する傾向が加速しており、他者への敬意と共存・共栄に向けた新しい対話や協調への優先度が低下してきているようにも思われる。

国や企業などにおける独裁的なリーダーは、このような環境を利用し、明るいイノベーションを創生・創成する自由な社会・組織を破壊させ

る可能性を持っているのではないだろうか。このような時代であるからこそ、優れたリーダーシップと各個・組織の「利他性」と Integrity が必要となるのではないだろうか。

さらに、日本は、「通信の秘匿性」が第2次世界大戦での教訓をもとに憲法に盛り込まれており、通信の傍受が厳しく制限されている。「個人情報保護法」は、データの利用の活性化を促進するために制定されたものであり、データの利用

を制限し、萎縮させることを目的として制定されたものではないことも認識する必要がある。当然ながら、個人情報の目的外での利用を制限・禁止しているのは、特に、為政者による取得データの悪用を含む目的外利用を意識してのことである。このような「通信の秘匿性」の堅持は、日本の特筆すべき特性と捉えることができるであろうし、“デジタル”地政学上の日本の潜在的な優位性と捉えることもできるであろう。

脚注・引用・参考文献等

- *1 New York Times と Wall Street Journal は、2016 年、インターネットの「i」を、大文字の「I」ではなく「i」を使うこととした。インターネットは「特定の固有名詞ではない」との理由からである。しかし、インターネット関係者の間では、『インターネットの重要な点は「グローバルに唯一のシステムである」との設計・運用思想にある』として、この措置に対し、批判的・否定的な意見がたくさん出された。
- *2 狭義のデジタル・ツイン(実在する実空間のデジタル化を行う CPS(Cyber Physical System))ではなく、サイバー空間でのシミュレーションの結果を実空間に展開する CPS の次の段階(サイバー・ファースト)をベースにしたデジタル・ツインが実現される。
- *3 初期には FPGA を用いた専用 NIC カード、近年ではオリジナルの専用 NIC カードが利用されている。
- *4 産業分野ごとにサイバーセキュリティ対策の具体的施策の実現に向けた議論を行っている「産業サイバーセキュリティ研究会」(経済産業省)では、注力する産業分野として以下の 5 つの産業分野が取り上げられている。①ビル・工場、②電力、③防衛産業、④自動車産業、⑤スマートホーム
- *5 https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/sangyo_cyber/
- *6 https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/digital_architecture/ouranos_trust.html
- *7 <https://web.kawade.co.jp/bungei/3455/>
- *8 1997 年 Charles Levinson 著
- *9 <https://www.ipa.go.jp/security/jc-star/index.html>
- *10 <https://www.ismap.go.jp/csm>
- *11 <https://www.jdcc.or.jp/>
- *12 インプレス社、ISBN 4295019127, 2024 年 6 月
- *13 インプレス社、ISBN 4295010987, 2023 年 6 月

主な参考文献

1. National Institute of Standards and Technology (NIST) . (2021). Cybersecurity Framework.
2. International Telecommunication Union (ITU) . (2023). Global Connectivity Report .
3. Japan Ministry of Internal Affairs and Communications (MIC) . (2022). Cybersecurity Policy and Infrastructure Strategy
4. United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS) . (1982).
5. Legal framework for submarine cables and international communication .
6. Council on Foreign Relations (CFR) . (2023). Geopolitical Risks in Cybersecurity and Digital Infrastructure.
7. KDDI Corporation . (2021). The Role of Trans-Pacific Undersea Cable Networks in Japan' s Digital Strategy.
8. Google Inc. . (2024). Pacific Connect Project: Enhancing Global Digital Connectivity in Oceania.

DX と地域戦略

6.1

デジタルがもたらす地域への幸福感

岸上 順一

Junichi Kishigami

室蘭工業大学 客員教授

6.1.1 | 小規模であっても 幸福感を得られる生業とは？

消滅可能性自治体が、日本の 1,724 市町村の 4 割にも上ると発表されている¹。これに対し、東京のコンサルタントなどを使いながら、何とかこの衰退への道から脱出しようとしているが、殆ど成果を上げていない。人口が減り、生産年齢人口割合も低下している中、いつかは良くなるだろうという幻想を持つ人も減ってきていると言われている。これについては、特にこれからの自分たちの暮らしを見ている若者の意見が徐々に効いてきていると捉えることができる。若者に比べて残りの人生が短い高齢者は、新たな投資をする意欲が少ないからである。

東京のコンサルタントが地域活性化の名のもとに税金を使い、各自治体に“こうすればきっと反映しますよ”と、箱物を象徴的に、ある種の成功神話をばらまいていたが、北海道ではそれも鳴りを潜めてきている。

自分たちの野菜などの生産物が買い叩かれる構図から反転させ、正当な対価と健全な消費者、流通業者との関係性を築き上げることが重要であろう。

都会では市場経済最優先の構造がなかなか崩れないため、健全な値上げがままならない。ひいては給料も上がらないという構造が続いている。流石に政府も、外国との比較から、この状態をなんとか変えたいとは言っているが、そう簡単ではないことも事実であろう。

北海道の各自治体を巡っていると、サラリーマンなど都会で働いた後に農家になった人が結構多いことに気づく。自らスマホのアプリを作りながら、自分や周辺の農家が作った美味しい野菜を新鮮なうちに近隣地域に移動販売し、消費者と良い関係性を築けている人、ふるさと納税を効果的に使い、野菜や鮮魚などに分かりやすい調理法などを記載してナラティブ性を全面に出して成功している例、北海道ですらほとんどいなくなってきた羊を自分がハンドリングできる数にこだわり、最も美味しい状態で出荷で

*1 人口戦略会議・公表資料『地方自治体「持続可能性」分析レポート』

きるようにし、名だたるシェフとの強い関係性を築いた畜産家など、例示すればいくらかでも出てくる。

ここで重要なのは「規模」である。岩見沢市では、6.3 で黄瀬氏が記述したように、デジタル技術を積極的に取り入れ、北海道ならではの大規模集約型農業に気象などのデータをきめ細かく取り入れた「DX 農業」の成功が光っている。ここでは、北海道大学をはじめとする大学や多くの民間企業が協力して、DX を農業に取り入れる試みを長年にわたって進めてきており、住民の健康維持の面からも先行的な試みが見られる。

帯広、十勝地域は北海道でも最も大規模な農場が多く、大規模投資をした広大な農場で、じゃがいも、たまねぎなどが生産され、日本の食料生産に大きな役割を果たしている。しかし、北海道 179 市町村の殆どは、小さな規模での農業、漁業、畜産を行っていることも忘れてはならない。

小規模であっても幸福感を得られるような生業とはどういうものであろうか？我々はこのポイントを外してはならない。北海道の大規模畜産やホタテ業などは大規模ゆえの高収入というイメージが先行するが、そうしたところは、やはりほんの一部である。

北海道の食料自給率は、カロリーベースで 216% (2022 年) と全国で最も高く、日本の食料の安定供給に大きく貢献している。北海道は日本の農地面積の約 4 分の 1 を占め、農業産出額は全国の 14.8% を占めている。農業産出額の内訳は、乳用牛が 38%、野菜が 16%、肉用牛が 8.6% などである。また、生乳、ばれいしょ、たまねぎ、軽種馬、小麦など多くの品目が全国 1 位となっている。

漁業においても、量や金額ともに全国で最も生産規模が大きく、漁業生産量は全国の約 2 割

を占め、漁業従事者の数、漁船数ともに全国第 1 位である。その内容は、ホタテガイ、スケトウダラ、ホッケ、サケ、サンマ、コンブなどの主要魚種の生産割合が高く、全国水揚げの大部分を占めている。海底地形が起伏に富み、好漁場となっているところが多い北海道沿岸は、大陸棚や武蔵堆などの堆が北方に広く展開しており、道東太平洋沖では黒潮と親潮が交錯して潮目が作られていることがこのような良い結果を生み出している。しかし、地球温暖化に伴う海水温の上昇により、サンマやイカ、サケなどの従来の特産魚介類が不漁になっている。特に秋サケは影響が顕著で、2022 年は 3000 万尾と豊漁であったが 2024 年には 1700 万尾と大幅に減少した。漁業は農業に比べても自然の影響が強く DX の力を駆使してもなかなか結果が出ないのが現実である。

6.1.2 |可能性に満ちた北海道

6.2 では、歴史的な観点での都市の形成から議論を始め、電力やエネルギー、さらに、通信などのネットワークの整備が都市の形成に及ぼす影響に関して述べられている。また、最近話題になっているワット・ビット連携 (電力と通信の連携) の必然性に関しても触れており、他の章でも触れられている電力と通信の整備コストが 2 桁以上違うことをベースに、整備のスキームに関して提言をしている。

北海道における都市形成は、これらの議論を基礎に、北海道が日本最大の再エネ可能地域であることや、農業においても独自性を有することなどに言及している。

食料生産基地である北海道から東京などの大消費地への物流の多くが、JR の貨物輸送によって支えられている。しかし北海道新幹線が札幌

まで延伸すると、在来線の維持が難しくなると言われており、今後は厳しい選択を迫られる。また、このような大規模な輸送だけではなく、先に述べた移動販売あるいは道内のスーパーやコンビニなどへの輸送の将来も考えなければならない。

ここで LaaS (Logistics as a Service) という概念を提唱したい。これと似た概念が MaaS (Mobility as a Service) である。MaaS は、移動に必要なバス、タクシー、UBER、自家用車などのサービスを、必要な時に迅速にユーザーに提供する仕組みであり、徐々に浸透してきている。これと同じように、農家や酪農家、漁業関係者が必要な時に必要な輸送手段を、“高速で割高”あるいは“低速で安価”といったように、輸送される産物の性質に合わせて運べる仕組みが LaaS である。北海道でこのような LaaS が実現すれば、小規模な一次産業に従事する人も、安心して生産に注力できるのではないだろうか。

6.3 では、北海道の中でも、いち早く DX の具体化と社会実装に取り組んだ岩見沢市の具体的な取り組みについて述べている。1993 年の「広域情報化促進協議会」の設立に始まり、全国初となった「公設公営型自営光ファイバ網」の整備を続け、社会基盤としての環境構築がその後の様々なデジタル基盤活用に結び付いている。

具体的な地域戦略例として、北海道大学や NTT グループとの連携によるスマート・データ駆動型農業、健康経営都市の推進、デジタル人材育成、さらに、教育、防災、災害監視、除排雪作業、ドローン輸送、遠隔検診などに広がっている。

ここで最も重要なことは、「市民とビジョンを共有」と「産学官連携によるバックキャストिंगの志向」である。

6.4 では、500 万人を超える人口を抱えながら、

全国平均を上回るペースで人口が減少している北海道の現状を踏まえ、その課題を議論している。

2004 年、全道 179 の自治体に、共通基盤でサービスを行うという「北海道電子自治体共同運営協議会」を立ち上げるとともに、その構想を実行するための官民連携組織「株式会社 HARP」が確立されたことが述べられている。HARP は「北海道自治体クラウド」を進め、複数の地方自治体が同一サービスを利用する取り組みが行われた。各自治体が個別に調達するのではなく、同じ仕組みを横展開していくことが効率的であり、セキュリティの面からも重要である。

これは自治体だけにとどまらず、農業、漁業、畜産などへの展開も可能であろう。各自治体で処理可能なことは、データを一箇所で処理することによって経済的に可能となり、一次産業における DX も考えられる。気象データをはじめ、LaaS の情報、育成状況等を最適化できれば、稼働最小で一定の収入を上げることも可能になる。

さらに、消費者との関係性を、ナラティブ性と人と人との関係性を築き上げる仕組みを使って強くすることは、今後、新型コロナ禍のような有事が起こった際にも、一定の、安定した市場を確保することが可能になる。このことは、新型コロナ禍における畜産農家とレストランのシェフの強い結びつきなどで証明されている。

現在、デジタル庁を中心に進められている全国規模でのガバメントクラウドは、まさに HARP 構想の全国版と言えよう。そこでは多くの困難性が語られているが、北海道での取り組みが、全国展開への一助とならんことを期待したい。

6.2

都市と地域

中村 秀治

Shuji Nakamura

(大) 北海道国立大学機構理事 / (株) 三菱総合研究所顧問

6.2.1 |
江戸時代までの都市づくり

日本の都市形成は、水運を基軸にしていると考えられる。学問的な都市史上では、平城京や平安京の内陸部が注目されており、中国がお手本のようにも思われがちであるが、海洋、河川、湖沼が豊富な日本では、モビリティといえば水運が主役であり、このことは、ほとんどの大都市が沿岸に立地していることにも現れている。ただ、とりわけ海運については、残念ながら、いつのころからか海賊というレッテルが貼られ、その活躍の史実も裏側に追いやられてしまった感がある。古くは「海のシルクロード」や「北前船」といった産業基盤として、今も研究が続く海運もあるが、江戸時代まで、物流の主役は陸運ではないという経済史の通説を裏付けるような都市形成史の研究は少ない。

武家の時代を切り拓いた源平も、基本的には沿岸部に拠点を構えたが、畿央の内陸部にわざわざ都市開発を行った公家との対比が興味深い。しかし、神武東征の際に、灘で地元勢力に追い払われ、紀伊半島南部に迂回して、八咫鳥の導きで畿央に入って「都」を建設したという物語もあり、源平の武家の方が地元だった可能性が高い。

戦国時代に入ると、城下町が内陸部にも建設されるようになり、元々の沿岸部都市との交易が盛んになるにつれ、街道筋に宿場町も形成さ

れていく。戦に農民が駆り出されたり、戦地をめぐる部隊に物資を供給するなど、地方から人や物を集めたり動かしたりすることで、都市と地域が各々の役割分担を始めたのは、戦国武将たちによる戦争が大きな要因となったとも言える。

江戸の都市開発も独特であり、初期に諸国の大名に参勤交代用の江戸屋敷を建設させたのが発端である。そのため、短期間に大量の木材と大工等の職人が江戸に集められ、彼らに対するサービスを提供する商人も集まることとなり、長屋などの居住形態が発達していくことになる。

なお、本能寺の変から逃げる家康に三河まで船を出した九鬼水軍が、その報酬として江戸への木材運搬の大半を担い、紀州の森林等が供給地として大いに貢献したとされる。

その時代までは、都市でも地域でも、電気はまだ使われず、通信や情報伝搬と言えば書状や本であった。さらに、物流の主役は水運であり、江戸もまた、運河無しで都市形成は難しかった。

6.2.2 |
明治以降の都市化

明治以降は、欧米を巡行した使節団が様々な技術や知識を持ち帰ることになるが、特に、土木計画、都市計画に係る技術は、フランス、ドイツ、イギリス由来となっており、現状の我が国の法制度は、それらの寄せ集めの状態となっている。

建築については、寺社建築も含め、日本の木材やその生育環境に起因する独自の工学的手法が持続しており、鉄骨やコンクリートの登場以降も、石工の欧州とは一線を画する独自のものとなっている。なお、大阪・関西万博では、象徴的に木造による大規模構築物が登場しているが、木造大規模建築の発展は、都市の SDGs 貢献にも大いに期待される。

エネルギーも、江戸時代までは薪、木炭が主流で、木材由来であった。それが、産業革命も大きく影響し、明治から大正にかけては石炭が主流へと移り変わり、昭和に入ってから直ぐに石油に変わり、石油を求めて太平洋戦争に至ってしまった。ロシアとの対峙に焦点をあて、しっかりと北方整備を続けていれば良かったものを、東南アジアの石油資源に目が向いてしまって無益な戦線拡大となった点が悔やまれる。

筆者は、1985 年に社会に出て早々、石油産業活性化センターの仕事をするようになるのだが、戦後の反省から全国の沿岸部に 45 か所もの製油所が整備管理されており、そのリストラクチャリングがミッションであった。どう考えても製油所が過剰であり、余剰分はニュータウンやレジャー施設にした方が良いという結果を出した。苫東の備蓄基地等を含め、最低限、必要な拠点だけを残すという構想であった。しかし、バブル景気が到来し、45 か所の古い設備を使って石油精製を継続した方が効率が良いということになった。その結果とも言えるが、東日本大震災の際、東京湾東岸の古い精製設備が液状化や高潮によって被害を受けたのは残念でならない。その後は現在に至るまで石油が主流であり、ガスが加わり、原子力の登場も経て、それらを電力に変換して使っている。

6.2.3 | 電力・エネルギーによる都市と地域

これらのエネルギー源の輸送ハブとネットワークが、都市や地域の空間形成に大きく影響しているのは言うまでもない。

明治初期の殖産興業により、大規模な工場を作り、そこに人々や物資を輸送するために鉄道が敷かれ、そのためのエネルギー供給、あるいは、それらを管理するための業務組織が東京等の大都市に集中し、オフィスという都市施設にも人やエネルギーを供給する構造が出来上がっていった。英国の田園都市論を実践した鉄道家もいたものの、戦後のニュータウン政策の流れもあり、都市における職住分離は進展するばかりであった。さらに、それに類似する機能分離が、都市と地域の関係においても進んでしまった。そして、都市の集積効果による生活利便性が新たな産業を生み出し、地域から都市への人口流出が止まらない状態が続いている。

電気とそれを使った通信の発達は明治以降となるが、つい最近まで、石油石炭によるエネルギーは、電力よりも動力に活用されていた。特に、電力源としての火力は 1970 年代から主流になり始め、急速に拡大していった。高度成長とともに大都市化が進展し、それまでの地域立地の水力発電所では対応しきれず、加えて、都市化により発生する需要ピークへの対応としても、出力コントロールが容易な火力発電所が求められていった。

電力設備としては、地域の水力発電所から、石油コンビナート、火力発電所、メガソーラー、陸上風力発電所、そして、洋上風力発電所、送電鉄塔や変電所、電柱等の送配電施設へと立地が変遷している。

一方、郵便と電話とテレビのユニバーサルな普及も空間形成に大きな影響を与え、郵便局舎や電話局舎は変電所と同等の立地密度であり、電柱は電力会社と通信会社、そして、地域の CATV

会社などが時に共有しながら各々の地域で整備されてきている。

送信・中継鉄塔とそこへの電力供給設備、交換局と変電所とそこから各家庭までの銅線や光ファイバー、それを支える電柱や埋設管路などは、大小郵便局舎を含め、都市計画においては、上下水道施設と並ぶ供給処理基盤施設として、最も重要なインフラに類型されている。

20 世紀最後に計画された東京の臨海副都心では、廃棄物の管路収集とテレポート地球局と NTT 局舎を拠点に、エリア内のオフィスや集客施設、住戸等に光ファイバーを届けるための共同溝が導入された。しかしながら、工事初期に、計画時の基準値を超える震災による液状化現象が発生し、設計のやり直しとなった。しかも、それを実現するためのコストが都議会で否決され、廃棄物の収集管路を断念すると同時に、光ファイバーと電力線、上下水を効率的に収容する共同溝へと変更された。この影響で、その後の都市開発では、CC 管路と上下水管理、ガス管理等が統合されないまま現在に至っている。それ故か、日本の電線地中化は、諸外国に比べて圧倒的に劣後しており、傾いた電柱が変電設備と光 BOX 等を支える風景が散見される有様となっている。

6.2.4 | ワット・ビット連携で 供給処理基盤施設を再設計

これらの都市と地域の形成史を踏まえ、ワット・ビット連携の必要性及び必然性を構想することが重要である。各供給処理基盤施設の立地理由を再点検した上で、計画を再検討し、統合再編のうえ、実空間にプロットし直さなければならない。

そのためには、AI を活用し、都市と地域の変電所未満の個々の最終需要家による需要構造を

ミクロに解析する必要がある。その上で、送配電システムや蓄電システム等に最先端技術を積極的に導入しつつ、トータルなアーキテクチャを再設計し、再エネ等の近隣で供給可能な電源の需給及び広域連携による需給の双方を、ともにベストな状態に導けるよう、ステップバイステップで移行していく必要がある。

現状、供給処理基盤のうち発電所以外は、通信も含め、人口集中度によって都市にも地域にも分散配置されている。例えば、変電所は人口 1 万人ごと、電話局舎は中学校区ごと、といった具合である。上下水、ガス、ごみ処理場も同様である。ごみ処理場は、地方公共団体の広域連合の場合もあるため、発電所立地と類似するかもしれない。

発電所は、水力、原子力等、地域に立地するケースが多い。高度成長期以降は、他の生産設備とともに火力発電所も首都圏外縁部へと立地が進んだ。ただし、石油コンビナートは相変わらず大都市部に立地しているものが多く、天然ガスの輸入拠点は未だ定まっていない。未利用水力、太陽光、風力については、その空間特性により、依然として地域での立地可能性の方が高い。

ところで、インターネットが主流となる 21 世紀初頭から、都市と地域の関係性にも変化が現れている。電子メールと Web の発達、人々のコミュニケーションの方法を革新し始め、時空間の制約からの解放を進めている。2005 年の愛知万博では、ロハスなライフスタイルの実践を目指し、インターネットを武器に、都市から自然環境豊かな地域へ脱出するという動きが注目され、主テーマともなっていた。経済的な大事件や災害が続き、一度はその流れが乱れたものの、Covid-19 による都市封鎖を大きな契機として、都市を離れて地域での就業や居住を再評価する動きが活発化している。

6.2.5 | あらためて北海道の可能性

北海道でも、良好な自然環境と居住環境を求め、一定期間道内に滞在し、滞在地の教育施設を使って子育てをしつつ、親はリモートワークをするという居住スタイルが普及し始めている。旭川市に隣接する東川町では、町立小学校を刷新して子育て環境重視を前面に押し出すことで、小学生を持つ家族が首都圏等から移住するケースが増え、人口の社会増加率が全国トップクラスとなっている。

明治開拓以来、北海道の都市と地域は、広大な大地及び寒冷環境と向き合うために、化学や工学で多大な技術開発を行ってきた。基幹産業である食農ビジネスでは、物流機能の脆弱性をヘッジするために農水ともに冷凍倉庫技術を発達させている。これは、マーケット状況に応じてタイミングよく出荷できるようにするためのバッファ機能であるが、鮮度を保てるように冷凍制御するための様々な技術開発が積み重ねられている。それらは、グローバルで注目されるコールドチェーンのコア技術でもあり、今後の進化の可能性も大きい。

居住先行型ではあるものの、職の機能の発展可能性も大きく、加えて、北海道は、現時点で日本最大の再エネ可能地域である。

北海道の都市形成は、北前船の拠点として小樽や函館が江戸末期から先行して都市化していたところに開拓使が入り、札幌や旭川など主に内陸部での計画都市整備に取り組んだ。その中で帯広は、民間の開拓団体が中心となって開拓が進められ、先住民としてのアイヌ民族と協働しながら、独自の農業都市として発展した。太平洋岸気候で日高と十勝の2つの連峰からの豊富な水と肥沃な黒土に恵まれ、早くから小麦や豆類などに注力して現在の大穀倉地帯へと成長を遂

げ、ずば抜けて裕福な農業者によって支えられることとなった。帯広はその母都市として着実に進化し、都市形成経緯としては特異ともいえる。周囲の芽室、音更、幕別等も、大区画農地に浮かぶ副都心という様相を呈しており、無秩序に市街地が連坦するのではなく、あくまでも農地が基本の都市構成となっている。なお、4年ごとに帯広で開催される国際農業機械展は、2023年で第34回目を迎え、今では世界有数の規模へと発展している。広大な大地と寒冷環境と上手に付き合うためには、既に、AI やロボットの活用が必須となっており、多くの企業や機関が十勝地域で研究開発に取り組んでいる。

子育てを含む住機能の可能性で東川町を、農業という職機能の側面で帯広を取り上げたが、都市機能の面で、残るは「遊」と「安心安全」であろうか。とりわけ、後者は地域医療の先進地としての北海道という側面もあるが、その論は別の機会としたい。

明治以降、技術革新を率先して取り入れながら独自の成長を遂げつつある北海道の都市と地域が、インターネットとAI とロボット、そして、豊富な再エネという巨大な二つの革新要因をもって、どのようなトランスフォーメーションを遂げるのか、今後の十年が大いに注目される。

地域環境と一次産業から輸送・加工等SCMへ

アイヌ・オホーツク文化の人々と共栄

→ 開拓以降は没落士族も入り復活の地

→ 明治30年「北海道国有未開地処分法」300間(546m)区画

→ 農業の機械化と技術開発の先駆

元々、北方圏の厳しい気候ではあるものの資源は豊かであり魅力的な生活文化も根付いていた。

地名はアイヌ語が基本

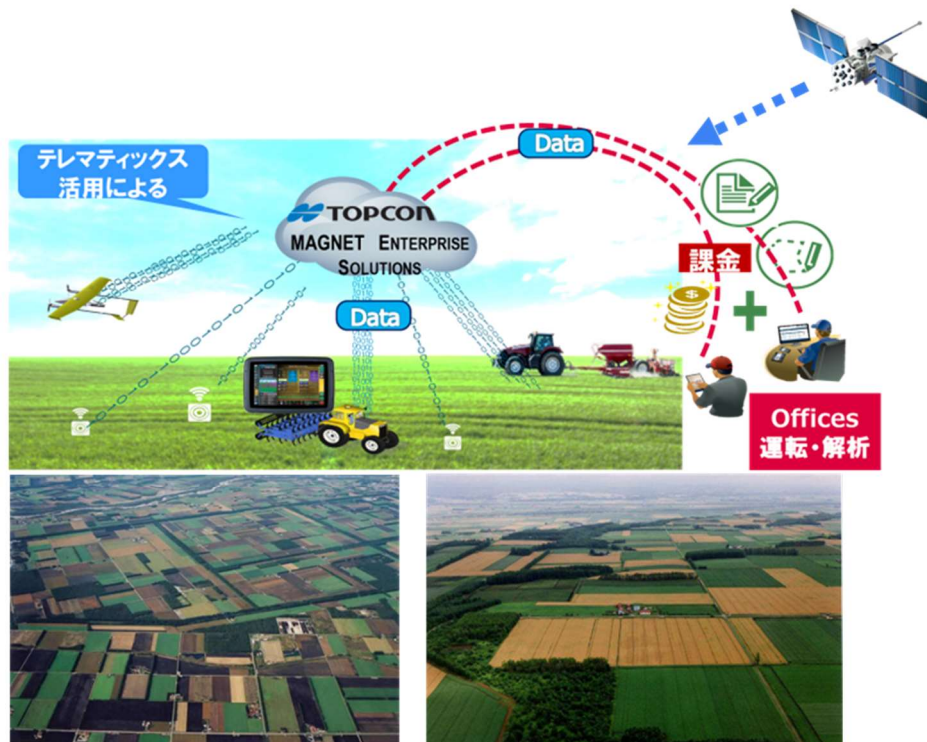


出所) 山田秀三作製「札幌附近略図」(山田秀三『北海道の地名』北海道新聞社1984年P.16)



札幌市民第一号の
琴似又市氏

出所) 前列中央：渋谷の開拓使
官舎で明治6年頃(北海道大学
附属図書館蔵)



出所) TOPCON2017年Interopプレゼン資料より引用／農林水産省Webより2023年9月26日引用
https://www.maff.go.jp/j/nousin/sekkei/museum/m_siki/07_tokati_heiya/

図表 6.2.1 北海道開発の経緯と可能性

6.3

地域整備とデジタル基盤

黄瀬 信之

Nobuyuki Kise

岩見沢市情報政策部長 / 北海道大学産学・地域協働推進機構 客員教授

6.3.1 | はじめに

デジタル社会と言われる現在、地方社会においても日常生活や経済活動における様々なシーンにおいて、幼少期から高齢者世代に至るまで、当たり前のようにデジタル技術の活用がなされ始めている。岩見沢市が地域の生き残りをかけて取組みを始めた ICT・デジタル戦略（施策開始当時は「地域情報化」と表現していた）を 30 年程前と比較すると、そのライフスタイルへの浸透の速さには担当者としても驚愕することが多々ある。

また、当市が基幹産業の持続性確保に向け社会実装を進める「スマート・データ駆動型農業」に関しても、単なる「農作業の省力化」を求めているだけではなく、世界規模で進む食糧課題への対応や環境対策への先駆的な取組みとして、国内のみならず世界からも注目されるなど、農業分野におけるデジタル活用への期待が急速に高まってきている。

つまり、地域に居住する市民の幸せな生活 (Well-being) はもちろんのこと、農業をはじめとする地域産業の持続性確保 (Sustainability) に情報通信・デジタル技術を用いた DX の果たす役割は大きく、言い換えれば、その動きを実装・深化させなければ社会が持続できない状況にある。

しかしながら、DX の具体化・社会実装に不可欠であるデジタル基盤については、都市部と地

方の間に大きな格差があるのが実情である。

例えば、国（総務省）の支援事業等により、家庭までの光ファイバ網整備は加速されたものの、農作業の実現場である農地（圃場）には未だに LTE すらカバーできていないエリアもあり、通信事業者単独による整備運用も期待できない地域が多く所在している。このような通信ネットワーク環境をはじめ、DX の社会実装に必要不可欠となるデータセンター機能についても、地方社会では脆弱と言わざるを得ない。

地域の持続性確保には DX の具体化が不可欠であり、そのための社会インフラであるデジタル基盤はなくてはならないものとなっている。また、デジタル技術を使うための「人材育成」の取組みも大切であり、岩見沢市の背景や取組み経過等を振り返りながら、その重要性について考えてみる。

6.3.2 | 地域概況

岩見沢市は、北海道の中央南西部、札幌市や新千歳空港から約 40 km に位置する田園都市である。行政面積の約 41% が農地であり、水稻や小麦、大豆などを生産する北海道内有数の農業生産地域であるほか、1882 年に国内 3 番目の開通となった幌内鉄道（小樽～幌内）を背景に、周辺の産炭地で産出される石炭の鉄道輸送における結節点として栄えてきた。

しかしながら、農業を取り巻く環境の変化や

エネルギー政策の転換等によって地域産業が全般に渡り停滞するなど、産業構造の変革が不可欠となっている。また、経済活動の停滞は人口減少を誘発しており、年に 1000 人程の減少が続き、高齢化率も 37%を超えるなど、少子高齢化・人口減少という大きな課題も抱える地域である。

そのような厳しい社会環境を打破すべく、1993 年に周辺自治体で構成する「南空知ふるさと市町村圏組合」（夕張市、岩見沢市、美唄市、三笠市、南幌町、由仁町、長沼町、栗山町、栗沢町、月形町、北村の 4 市 6 町 1 村、現在は市町村合併により 4 市 5 町で構成）が「広域情報化促進協議会」を設立し、情報通信技術の活用による地域活性化と、そのために必要となる基盤整備について議論を開始した。なお、1997 年には、当時の郵政省と北海道による補助を受け地域情報化の拠点施設として「岩見沢市自治体ネットワークセンター」を開設したが、このセンターは「南空知広域情報化センター」として広域情報化の推進も担う拠点として位置づけている。

センターの開設時より力を入れているのは「人材育成・教育」である。インターネット活用の黎明期であった当時、市民向けの PC 操作教室の開催をはじめ、国内大手書籍販売法人との連携のもと、デジタルメディア（当時は CD-ROM が主流）をサーバに格納し、端末から視聴閲覧を可能とする新たな利用形態を確立した。出版社との協議を経て、複数の端末が同時に検索利用できるライセンス手法を全国で初めて導入・実装するなど、現在では当たり前となっているスタイルでの「学びの場」の形成を進めた。

また、センター開設とともに整備を行ったのは、基礎自治体として全国初となった「公設公営型自営光ファイバ網」である。衛星通信アプリケーション機能をはじめ、センターが持つ優れた情報受発信機能を地域内の各施設にて共有するため、国（当時の自治省）の支援制度であった「若者定

住促進等緊急プロジェクト」の採択を受け、小中学校や医療福祉施設、主要公共施設を結ぶ光ファイバ網を整備した（接続施設数 105、総延長約 210km）。後述する「市内データセンター」とダイレクトに接続することで、閉域環境の中で遅延なく、かつ、セキュアな環境下において、様々な利活用を行うことができる重要な社会基盤として現在も活用している。

6.3.3 | 地域戦略としてのデジタル基盤活用の考え方

道路や上下水道と同様に重要な社会基盤と位置付けるデジタル基盤は、現在の松野市長就任以降（2012 年～）、さらに利活用を加速させている。市の最上位計画である「岩見沢市総合計画」や地方創生に向けた「岩見沢市第二期総合戦略」（図表 6.3.1）においても、地域の持続性確保を目指し、地域特性であるデジタル・情報通信基盤を用いながら、「市民生活の質の向上」と「地域経済の活性化」をビジョンとした様々な取組みを推進している。デジタル利活用プロジェクトの内容も、まちづくり全般を対象とするものから教育や医療・健康、防災、産業に至るまで幅広く、将来を見据えた国の先行実証プロジェクトも数多く展開してきている。

プロジェクトを推進する際に重要視しているのは、目の前の課題解決を目指すのではなく、「数年後の地域の未来がどのようにありたいか」、「どうあるべきか」を考えてビジョンを設定し、地域資源や特性などのアセットを用いながらチャレンジを進める「バックカスティング思考」である。

また、この考え方に共感し、共有できる企業や大学研究機関と連動する「産学官連携」スタイル



出典：「岩見沢市第二期総合戦略」の取組をもとに作成

図表 6.3.1 岩見沢市第二期総合戦略

も、岩見沢市の特徴となっている。ICT やデジタル技術活用に関する産学官連携プロジェクトが直近の 12 年間で 35 件と、異例の多さとなっているが、その要因のひとつは、市民と共に「バックカスティング思考」でチャレンジする環境が、大学等の PBL (Project Based Learning) に適しているためと考えられる。

なお、プロジェクトの全てがスタート当初に想定した手法やプログラムで推移しているわけではない。例えば、利用者である市民に協力いただきながら検証を行った結果、想定外の不具合が出たり、あるいは、社会受容性に課題が発現するケースもある。しかしながら、開始当初から共有するビジョン（未来像）に向け、取組手法を都度カスタマイズしながらチャレンジを続けることにより、社会実装を目指すスタイルを貫いている。

以降、岩見沢市の特徴的なデジタル基盤を用いた地域戦略（利活用）事例を紹介する。

6.3.4 |

デジタル基盤を用いた地域戦略例 1

スマート・データ駆動型農業に関する取組み

岩見沢市の農業は、耕地面積 19,700ha の、広大で肥沃な土地と石狩川水系の豊富な水を活かし、北海道内トップクラスの作付面積・収穫量を有する水稻を中心に、畑作、野菜、花きなど、多種多様な農産物生産に加え、水稻の優良種子の生産・供給を行うなど、道内有数の食料供給地域としての役割を担っている。

しかしながら、人口減少や少子高齢化の進行に伴う国内食市場の縮小、共働き世帯の増加など、社会構造やライフスタイルの変化に伴う消費者ニーズの多様化等によって、食料を取り巻く環境は大きく変化してきているほか、地球温暖化防止に向けた温室効果ガス排出削減や化学肥料・化学合成農薬の使用を減らす取組みが求められている。

さらに、2005 年に 1,743 戸であった農業経営体は年々減少を続け、2023 年には 786 戸となるなど、わずか 18 年あまりで半数以下となっている。高齢化や後継者不在等を理由に離農した農業経営体の農地は継続する担い手が引き受け、現在のところ耕作放棄地は存在しないものの、一経営体あたりの経営面積は拡大を続けており（2024 年現在で平均 23ha）、従来からの営農手法では限界が見え始めている状況にある。

農作物の生産現場では、依然として人手に頼る作業や、経験豊富な熟練者でなければ容易に進まない作業が多く、省力化や労働力の確保、危険で過重な労働の軽減等への対応が求められている。今後、岩見沢市の農業・農村が持続的に発展していくためには、ロボット技術や情報通信技術などの先端技術を活用し、省力化・精密化や安定した高品質生産を維持する「スマート農業技術」の導入や「データ駆動型農業」の実装が喫緊の課題となっている。

このような課題への対応として、2012 年度に取組みを開始し、今では海外を含め毎年多くの視察者が訪れることとなったのが、岩見沢市の「スマート・データ駆動型農業」である。そのきっかけは、「“情報通信のまち”を標榜するのであれば、農作業の効率化に期待できると感じている『高精度位置情報』を社会インフラとして利用しても良いのではないか」という、ひとりの市内生産者の一言であった。

当時、行政側にはトラクターなどの農業機械の操作に高精度な位置情報を活用するという発想は全くなく、ましてやロボットトラクター等も存在しない時代であった。

「誤差が数 cm の精度で位置情報が活用できれば、作物を傷つけることなく、管理や収穫などの作業が容易となる。経験の少ない若者や体力的に厳しくなっている高齢者でも十分に効率的な作業が可能となるだろう」

この市民の声がきっかけとなり、翌 2013 年 4 月に自治体として全国初となる RTK-GNSS 基地局の運用を開始した。なお、市内 4 か所に設置した基地局は、全て自営光ファイバ網で市内データセンターと接続し、通信遅延等による誤差が生じない、新たな社会基盤として現在も運用中にある。

一方、基地局整備を実施する際に課題として掲げたのが、いかに多くの市内生産者に利活用を普及させるかであった。位置情報を農作業で活用するためには、自己が所有する農業機械への関連装置導入など新たな投資が必要となる。生産者に利用するメリットを理解してもらい、浸透しなければ社会基盤として機能できない。

そこで、スマート・データ駆動型農業の普及啓発、実装の促進を目的とする生産者の組織「いわみざわ地域 ICT(GNSS 等) 農業利活用研究会」を発足させることとなった。興味はあるものの先行投資すべきか躊躇されていた方を含む生産者 109 名でスタートし、2024 年 4 月現在で 287 名までに拡大するなど、岩見沢のこれからの将来を考え具体化する重要な組織として精力的に活動が続けている。

なお、行政としても普及促進に向け、地方創生交付金を活用した導入支援プログラムを 3 年程実施したが、あくまでも生産者自らが投資する際の一部を支援する手法とした。その結果、RTK-GNSS 基地局を利用する農業機械は 300 台を超えるまでに拡大し、近年では建設業や測量業等、農作業以外の企業活動にも利用されるなど重要な社会基盤として定着している。

また、データ駆動型農業の基礎的な取組みとして、2013 年度から「農業気象サービス」の活用を推進している。このサービス導入の際も、そのきっかけは利用者である生産者の声であった。市の情報政策担当者が市内生産者とこれからの農業をテーマとした膝詰めでの議論を行った際、

生産者から寄せられたのは「精度の高い気象情報が必要」という声であった。生産者は、作物の生育状況や病害虫の発生予見に合わせて肥料や薬剤を散布するが、散布のタイミングは経験値や一般的な気象情報（いわゆる天気予報）に基づいて決定している。しかしながら、近年では気象条件が大きく変動するなど、過去の実績はあてにならず、また、広範囲な気象情報では自己の圃場でどのような天候になるのかわからず、せっかく散布した薬剤等が雨で流れて無駄になるケースも出てきている。資材コストの削減はもとより、作物の高位平準化を進めるためにも、きめ細やかな気象情報が必要との声が生産者から寄せられたのである。その後、関連企業を交えて検討を行った結果、市内 13 か所に気象観測装置を設置することで、実際の圃場サイズに近い 50m メッシュで予測値を提供することが可能と整理した。



出典：岩見沢市提供

図表 6.3.2

気象観測装置
(市内 13 か所に設置)

しかしながら、受益者負担の原則を通した場合、利用する生産者だけではビッグデータ解析費用などのランニングコストを賄うことができない。このため、当該基盤整備の目的を「安全安心な市民生活確保のための社会基盤」として整

理し、HP 等で一般市民が活用できる「市民気象サービス」を基本に、ランニングコストを社会基盤（公共サービス）として賄いながら、病害虫発生予測や作物毎の収穫期予測値など生産者が必要とするビッグデータ解析については、解析に要するコスト部分を生産者による受益者負担とする多段方式を採用することとした。岩見沢市が進める「デジタル基盤の多面的・複合的活用」の社会実装システムとして、現在も効率的に運用を行っているものである。

このような事例で示す通り、デジタル基盤を用いた利活用システムの社会実装には、利用する市民と行政との共感や、それぞれが役割や責任を持って（利活用の仕組みを）磨いていけるかが大切である。

■ 大学・企業との連携

このように、岩見沢市でのスマート・データ駆動型農業の取り組みは、生産者との共感をベースに開始したものであるが、もうひとつの大きな特徴は、生産者である市民と企業や大学・研究機関、行政による「産学官連携」が共鳴し、地域が抱える課題克服に向け、それぞれが持つリソースを出し合いながら、バックキャスティング思考のもとで取り組んでいる点である。

2013 年度には、北海道内の大学や企業の参画による「ICT 活用による地域課題解決検討会」を設立した。農業分野をはじめとする各種利活用の可能性等を協議する母体として活動しており、例えば、除排雪作業の効率化など、豪雪地帯特有の課題解消に向けた実証では、デジタルの利活用によって 30%程度の作業効率化が確認され、既に社会実装している事例もある。

このような産学官連携、農業分野における取り組みをさらに加速したのは、2019 年に北海道大学、NTT グループ、岩見沢市で締結した「最先端の農業ロボット技術と情報通信技術の活用によ

る世界トップレベルのスマート農業およびサステイナブルなスマート・アグリシティの実現に向けた共同検討に関する産官学協定」である。

北海道大学大学院農学研究院の野口伸教授によるビークルロボティクス技術と NTT グループによる高度な情報通信技術との融合のもと、ロボットトラクターなどの自動運転作業機に関する遠隔監視制御機能の開発等、岩見沢市内の実際の農地で最新のテクノロジーを用いた様々な実証を進めてきている。(図表 6.3.3)

この実証においても、前述した生産者による研究会の協力のもと、実作業時を想定した課題等を洗い出しながら推進しており、これが本格的な社会実装を見据えた取り組みとして評価され、内閣府の「未来技術社会実装事業」をはじめ、総務省や農林水産省の関連プロジェクトに採択いただいている。

また、5G やローカル 5G、地域 BWA など、プロジェクトの実施に用いる情報通信環境については、農作業での活用と同時に、農業農村地域（ルールエリア）が抱える課題解消に向けた技術実証を実施した。例えば、近傍地に医療機関が所

在しない地域課題の解消をテーマに、情報通信技術を用いた「遠隔健診」機能の実証を行うとともに、住民の移動手段確保に向け、積雪時期を含めた EV 車両の自動運転実証を行うなど、それぞれの社会受容性やビジネスモデルとしての可能性などを分析した。また、市民生活の安全性確保として実証した河川（農業用排水路等）の監視機能については、関係部局との間で共同評価を実施した結果、有用性を確認し、市内全ての排水路への整備に至ったケースも発現している。

なお、他地域からの視察対応や講演などのアウトリーチ活動にも精力的に取り組んでおり（年間 100 件程対応）、最近では岩見沢市での取り組みを参考に、基盤整備を開始したケースも見受けられてきている。

岩見沢市におけるスマート・データ駆動型農業は、取り組みを開始してまだ 10 年少々ではあるものの、着実に浸透してきている。振り返って考えると、スマート・データ駆動型農業の導入を検討する際、まずは市民（生産者）が持つ現在のニーズや将来的な目標を適切に把握することが基本となっている。また、実現に向けた具体的手法



出典：岩見沢市提供

図表 6.3.3 北海道大学・NTT グループ・岩見沢市の連携

を考える際には、地域の農業関係者（市町村の農業担当部局、農業協同組合、土地改良区等）が相互に連携し合うことが重要であり、生産者を中心とした検討組織（研究会・勉強会・協議会・検討会）を組成し、地域農業の将来像（イメージ・ビジョン）を共有し、課題の整理や条件整備への具体的なロードマップを作成するなど、地域内の協働体制の確立が大切である。

- 地域自らが課題を認識し
- 生産者（市民）や農業関係団体、自治体などがビジョンを共有しながら
- 地域の大切な基幹産業の持続性確保に向け、バックカスティング思考でチャレンジ

しかしながら、仮に農業関係者間で意識を共有したとしても、デジタル基盤の整備・維持が速やかに実現するとは言い難い。最適な環境整備計画の策定はもとより、どのように維持（ランニング）していくか、この部分をクリアしなければ社会実装にはつながらない。

- 人口減少や少子高齢化が進む現在、デジタル技術は地域の持続性確保に不可欠な要素
- そのための「デジタル基盤」を考える場合、維持費など持続性を鑑みると、農業利活用だけではなく、様々な利活用を考慮するべき

このような整理を効率的・網羅的に展開できているのは、ひとえに共感し合える企業や大学との連携（産学官連携）が背景にあったことがその大きな要因である。

6.3.5 | デジタル基盤を用いた地域戦略例 2 健康経営都市の推進

岩見沢市では、2016 年 6 月に全国の自治体で初めてとなる「健康経営都市宣言」を実施した。

これは、民間企業が進める健康経営の考え方を地域コミュニティ活動に導入し、医療・介護といった公的サービス等による「まもる」基盤を確保しつつ、市民自らが健康づくりを進める「つくる」健康、さらにはデジタル活用を含めた環境整備や啓発などを通じ、これらを「つなぐ」ことにより、誰もが健康で生きがいをもって暮らすことのできる、「人もまちも元気で健康」なまちづくりを地域一体となって進めていくというものである。

日本社会全体で少子化が進む中、北海道は少子高齢化や人口減少の課題先進地と言われており、岩見沢市も同様の課題を抱えている。人口減少とともに、出生率の低下によって年少人口や生産年齢人口の地域社会に占める割合が低下しつつある。率の差はあるものの、多くの地方社会は総じて同様の傾向であろう。

これにより、様々な問題が生じている。例えば生活面においては、教育や医療・福祉に関するサービスの格差をはじめ、買い物や交通など日常生活を送る上での利便性が低下し、様々な社会インフラの維持や災害非常時における即応性確保の課題も顕在化しつつある。経済活動面においても、就業人口の減少に伴う生産力低下や消費動向・消費量変動に伴う地域産業の持続性確保も大きな課題となっている。

これらの課題に対し、単一かつ即効性のある施策の発現は困難であり、個々の課題対策を進めると同時に、課題への本質的な対応を図るべきと考えている。その際に大切なのは、前述したスマート農業の取組みと同様に、市民といかに共感し合えるかであり、目標・ビジョンを共有しながら、バックカスティング思考で課題解決に取り組んでいくことである。その具体例とし

て、2016 年度より北海道大学医学部等と協働するケースを紹介する。

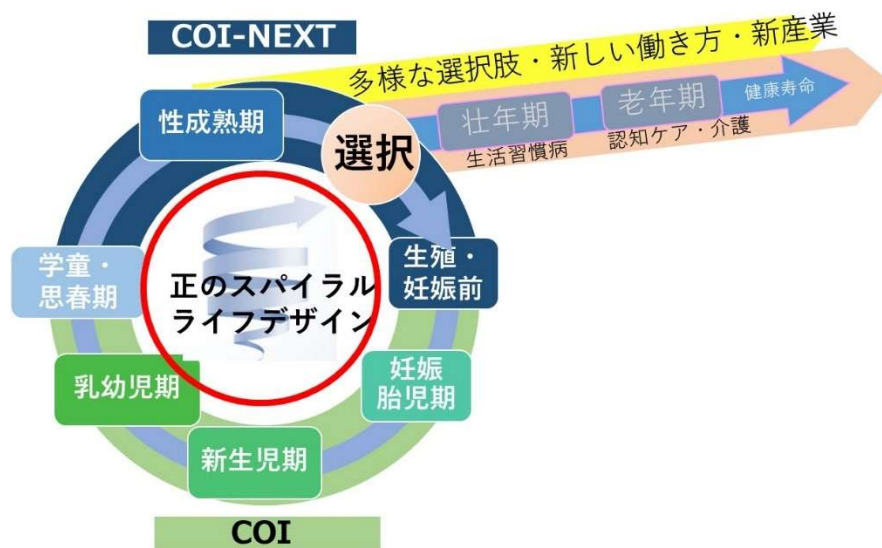
文部科学省・JST のプログラムである COI（センター・オブ・イノベーション 2016～2021 年度）は、研究開発課題を特定し、既存の分野や組織の壁を取り払い、革新的なイノベーションを連続的に創出する「イノベーションプラットフォーム」を我が国に整備することを目的とするもので、北海道大学が代表機関として展開する「北海道大学 COI『食と健康の達人』拠点プロジェクト」は、基礎自治体として唯一参画する岩見沢市をフィールドとして、妊娠期から出産、子育てに関する様々なトライアルを実施しながら、新たな地域社会環境の形成を目指したもので、既にいくつかの具体的成果が現れている。

例えば、北海道大学医学部や森永乳業研究所等との協調（産学官連携）のもと、市民に参加をいただきながら、母子健康調査をはじめとした長期的コホート研究を実施した。母乳や乳幼児の便などを採取し、データ解析を行うケースで

は、研究で明らかになった事象、乳幼児の生育に必要な栄養要素の不足やその原因が母親の食事や運動行動に起因することなど、研究成果をエビデンスとして市民に提示することにより、行動変容を促したもので、その結果、出生後の健康維持に大きな問題があるとされる低出生体重児（2500g 未満の出生児）の出生率が、2015 年の 10.4%から 2019 年の 6.3%へ劇的に改善された。

この取組みで改めて重要と考えるのは、住民が事実（ファクト）や根拠（エビデンス）に触れ、学び、理解することであり、かつ、保健師をはじめとした行政もデータ等を共有しながら伴走することである。このことは、子育て支援施策に限らず、全ての地域施策に通じるものと言える。

現在、COI の実践を通じた成果を背景としながら、次のステージである「COI-NEXT『こころとカラダのライフデザイン』共創拠点」（共創の場形成支援プログラム）の取組みを開始している。（2021 年度～）（図表 6.3.4）



出典：厚生労働省子ども家庭局「最近の母子保健行政の動向」2019.2.27

図表 6.3.4 COI 及び COI-NEXT の対象（成育の概念：ライフステージ）

このプロジェクトは、引き続き北海道大学が代表機関、岩見沢市が幹事自治体として、国立成育医療研究センターや北里大学、北海道教育大学岩見沢校等の大学研究機関、森永乳業をはじめとする関連企業、北海道や札幌市、小樽市等の行政機関による産学官連携のもと、「誰もが活躍できる地域社会」の実現に向け、バックキャスティング思考による研究開発を10年にわたって実施していくものである。市民一人ひとりの課題（自分課題）と地域としての課題（社会課題）を設定し、それらを連動させながら展開しているが、その根本的なテーマは「少子化対策」である。

少子化の根本的な克服に即効性のある施策はないと言える。COI で明らかになったように、大きな社会的課題への対応には、市民が「気づき」、そして「自分ごと」として捉え、「自分らしく選択」できることが何よりも重要であり、そのためにもファクトやエビデンスを正しく学び、理解する「場・環境」の形成が不可欠である。

ターゲットとする世代は、COI の「妊娠期から胎児期、新生児期、乳幼児期までの子育て期間」を拡大する形で、「学童・思春期、性成熟期、生殖・妊娠期」を加えながら、ライフステージ全般を対象に、市民が自分たちの生活や健康に向き合う「プレコンセプションケア」の展開をはじめ、子どもが最先端科学や多様性に触れることができ、選択肢を広げられ、大人も学び直しができる場、新しい人の流れを生み出す新たな産学地域連携拠点づくりに取り組んでいる。

なお、少子化対策という観点で考えると、一般的には出産や子育て支援の世代を対象とした取り組みにフォーカスしがちであるが、2021 年に閣議決定された「成育医療等の提供に関する施策の総合的な推進に関する基本的な方針」に示されるように、子育て世代をサポートする立場である親の世代を対象としたリカレント教育の場も必要であり、さらにはライフステージ全般の

好循環を意識して考えた場合、学童・思春期や性成熟期の「学び」も重要であるなど、広く市民がファクトや学術的見地に立ったエビデンスに触れる機会の創出がこれからの地域行政にとっての大切な役割となる。

このため、インクルーシブな地域・社会システムとして、多くの市民が触れ学ぶことのできる拠点（未来人材育成拠点）の構築を進めるとともに、小中学校での教育カリキュラム化など、国際標準に未到達とされているプレコンセプションケアの社会実装に向けた取組みを進めている。

これらの取組みの本質的なビジョンは、「他者（ひと）とともに自分らしく幸せに生きる社会の創出」であり、そのためには「こころとカラダを正しく理解」し「自分らしいライフデザインが描ける社会」の形成が求められる。現在、ビジョン達成に向けた大切な要素の一つとしてプレコンセプションケアの実装を位置づけ、政策部門や健康福祉部門、教育部門などの行政内部での横断連携を図りながら、ライフステージ全般をケアする形で、市民がファクトを正しく理解し、自分らしく選択できる社会づくりを目指している。

COI や COI-NEXT の実践を通じて再認識したのは、市民が「自分ごと」として捉え、理解するための学ぶ機会の創出であり、さらには、正確なエビデンスの重要性である。例えば、健康に関する一般的な情報に触れたとしても、それを他人事と捉えてしまうことがあるが、自身の治療・投薬データや健診データを用いた解析結果を目にした場合、明らかに「自分ごと」として認識し、行動変容につながるケースが多い。COI で開発を開始し、現在も機能強化を継続している「健康データプラットフォーム」では、日常生活上でのパーソナルデータやレセプト・健診データ等を統合解析し、その結果を「健康予報」として可視化しているが、分散され、若しくはアナログ状態にあ

るデータをエッジ（ローカル）データセンターなどセキュアな環境のもとでビッグデータとして解析し、かつ、市民が安全安心に参照できる環境の形成は、デジタルを用いたウェルビーイングを追求する意味においても地域社会として実装すべき重要な機能である。

- 市民が学びながら自らが考え、行動変容を促すためには、エッジ側（ローカル側）にデータセンター機能を保有するなど、即時性や柔軟性さらにはセキュリティ性を担保する形での（個人情報を含む）データ利活用環境の構築が重要
- そのデータを「市民」と「行政などのサービス側」が共有しながら、効率的かつ最適なサービス環境を構築することがDXによるウェルビーイング社会実現に不可欠

6.3.6 | デジタル基盤を用いた地域戦略例 3 人材育成に関する取組み

デジタル ICT を用いた地域戦略を推進するにあたり、その担い手となる人材育成が非常に重要となる。岩見沢市では、次世代のデジタル人材育成を目指し、2002 年に市立高校である岩見沢緑陵高等学校に情報コミュニケーション科を開設した（1 学年あたり定員 80 名）。

「グローバルな 18 歳の育成」をモットーに、地域課題とグローバル化、DX に対応しながら、礼儀正しく、豊かな心と社会性を身に付けた生徒を育てる拠点として機能しており、IT パスポート取得をはじめ、CG デザインやレンダリング技術等を学び、卒業後はさらなるスキル向上に向けた進学や市内企業等の即戦力人材として活躍している。

一般市民のスキルアップ施策も展開している。

拠点施設である「岩見沢市自治体ネットワークセンター」の開設以降、初歩的な PC 操作教室をはじめ就業時に必要となるソフトウェア講座等を実施しており、最近ではマイナンバー利用に向けた高齢者向けスマートフォン活用講座も多くの市民に参加いただいている。

また、2023 年度より、第 3 期 SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）における「ポストコロナ時代の学び方・働き方を実現するプラットフォームの構築」に参画し、市立緑陵高等学校を中心に、国内の大学や企業との連動のもと、「新しい学び」の実践を開始している。

地域社会の持続的発展には、「人材育成（ひとづくり）」と「地域産業の創出」が両輪として必須である。

変化が速く、かつ、多種多様なニーズがある現代社会において、子どもの成長に寄り添い、自分らしく生きるための選択肢が多いことや、市民が健康、最先端技術に触れ、学び、実践する場の実現が、新たな地域産業創出による経済活動の活性化や地元への定住促進、関係人口増につながる。地域社会の持続的発展に不可欠な「人材育成」と「地域産業の創出」をテーマに、小中高校などの学校教育現場を含め、市民が最先端技術に触れ、学び、実践することによって「自分らしいライフデザインが描けるまち・社会」の実現を具体化する「未来人材育成拠点」（3rd Place）の構築を進めている。

6.3.7 | 地域戦略を具体化するための デジタル基盤

ここまで、岩見沢市のデジタルを用いた代表的な地域戦略例を紹介してきたが、このほかにも様々な分野におけるサービスの社会実装が進んできている。例えば、RFID を用いて児童の登

下校情報を家族に通知する「児童見守りシステム」は、希望する家庭を対象としたサービスとして 2007 年度から展開しており、現在では市内児童家庭のほぼ 100% で利用されているほか、市内医療機関で撮影する CT や MRI 等のモダリティ画像を遠隔地に所在する読影専門医がレポートを行う「遠隔画像診断」（2002 年度～）では、地元医師の判断が難しい画像について、従来は大学病院に読影を依頼し、結果が出るまでに 2 週間程を要していたものが、翌日には検査結果が出るなど、患者負担が大幅に縮減されている。

また、文部科学省が推進する「GIGA スクール構想」においても、市内全小中学校や市立高等学校と市内データセンター間を、自営光ファイバ網により 10Gbps で接続し、全ての小中学生が授業でストレスなくタブレットを活用しているほか、市立緑陵高等学校では、国内外の高校や大学との間でのコミュニケーション授業を展開するなど、これまでにない、開かれた授業環境の実践による人材育成にチャレンジしている。

さらに、情報通信環境を用いた新たな産業の創出にも注力している。「未来投資促進法」に基づく「岩見沢市第 2 期基本計画」及び地域の特性を生かして高い付加価値を創出し、地域の事業者に対する相当の経済的効果を及ぼす「地域経済牽引事業」の促進や、市独自の支援制度である「新産業創出・雇用促進支援補助金」等との連動のもと、企業誘致や創業、市民の雇用創出を進めているもので、これまでに 35 社の進出・創業と延べ 1,100 人を超える新たな雇用創出がなされている。特に、後述する家庭でのネットワーク環境を背景とした在宅就業（テレワーク）については、子育てや介護等の事由で通勤が難しい市民を対象とする研修を実施しており、全国の高校受験対策の模擬試験採点業務など、女性を中心に 200 名を超える方が個人事業主として活躍中であるなど、個人のライフスタイルに合わせた

就業環境として定着している。

次に、こうした様々な分野でのデジタル利活用や、就業環境を実現している岩見沢市のデジタル基盤の概要を紹介する。

6.3.7.1 通信環境

光ファイバ網は、現在では重要な社会基盤のひとつとなっているが、情報通信技術を用いた地域の持続性確保の検討を開始した 1993 年当時、地方では一般家庭はもちろんのこと、公共施設や学校、医療施設に至るまで、殆どが未整備であった。このため、近い将来の必要性を考慮し、独自に整備を実施することとなり、1997 年に開設した「自治体ネットワークセンター」を中心に、同センターが備える受発信機能やデータ蓄積機能、人材育成機能を公共・準公共施設等で共有可能とすることをコンセプトに、仕様作成を含めて通信事業者の協力を得ながら整備を実施した。伝送・接続装置は耐用年数経過や技術的進展等に合わせて更新しているものの、通信事業者と同一規格として整備した光ファイバ自体は、20 年以上経過した現在でも問題なく活用されている。

また、地域内だけではなく外部とのネットワーク環境の脆弱性も課題であった。地域内をいくら高速化したとしても、国内外との接続が脆弱では機能しない。このため、センター開設と同時に第 3 セクター方式による地域通信事業者を設立し、AS 番号の取得、経路情報の制御など、上位の通信事業者 2 社と接続しながら国内外との快適な接続環境を確保した。次に着手したのは、一般家庭のインターネット接続環境の高度化である。2000 年代に入ると家庭でのインターネット利用も急速に普及し、接続帯域幅の拡大に関するニーズも高まってきたが、特に農業農村地域に所在する家庭での高速接続は困難であり、隣家まで数 100m 離れているエリアに光ファ

イバサービスは難しい時代であり、電話回線による接続を余儀なくされていた。

このため、自営光ファイバ網をバックホールとし、無線で家庭を接続する「有線・無線併用型接続方式」を考案し、構造改革特別区域計画認定のもと、公設民営型による FWA サービスを開始した（サービス開始時は 4.9GHz 帯無線アクセスシステムを活用）。利用者から「農作業計画策定にインターネット検索を日々利用しているが、これまでと比較して劇的に早くなり、作業はもちろんのこと、生活自体も大きく変わった」と評価いただいたものである。なお、家庭でのインターネット用に開始した FWA サービスは、農作業時の利用や圃場に設置する IoT デバイス接続など、スマート・データ駆動型農業に対するニーズの高まりを受け、現在は地域 BWA サービスへと更改している。

6.3.7.2 データセンター機能

通信ネットワーク環境の高度化を進める一方、行政や教育、医療機関等が取扱う各種個人情報を安全に蓄積・保管するための機能確保ニーズが高まり、また、情報通信技術を用いた新たな産業創出を目的とした企業誘致活動や創業支援施策を展開する際にも、企業側から同様のリクエストが寄せられていた。

このため、共感する市内複数企業との協働体制のもと、PPP (Public Private Partnership) 方式によるビジネスセンターを 2008 年に開設した。内陸部に位置し、大規模な地震被害発生のリスクが低い地勢をもとに、小規模ながら Tier2 相当のデータセンター機能を確保した。

2011 年の東日本大震災や 2018 年の北海道胆振東部地震を契機としたブラックアウト時にも問題なく稼働したこともあり、現在は行政系基幹システムや医療情報システムを設置するほか、政府系団体や交通関連サービス、農業情報シス

テム関連企業などに幅広く利用され、併設するオフィス機能への進出、地元雇用の創出等にも寄与している。

6.3.7.3 デジタル基盤の多面的活用

地方のデジタル基盤を考える上で大きな課題となるのは、整備・運用に関する「コスト」である。そもそも利用者自体が少ない中で、投資回収が困難であるなど、通信事業者による展開は望めず、その結果、都市部との格差はますます拡大していくというのが一般的な流れであり、そのことは、デジタル基盤や情報通信技術活用による「市民生活の質の向上」と「地域経済の活性化」を掲げて施策を開始した岩見沢市でも同様である。そのような課題に対し、岩見沢市が取り組んでいるのが「デジタル基盤の多面的活用」である。

単一の利用目的では収支均衡には程遠く、仮に地域行政が負担したとしても、機器更新費用を含めて大きな負担を強いられる。現在の松野市長は「デジタル基盤を使い倒す」と唱えているが、これは「基盤を多方面で多面的に利用する」という意味でもあり、いくつか事例を紹介する。

6.3.7.4 教育と防災

自治体ネットワークセンター開設時よりサービスを開始した「遠隔学習システム」は、衛星通信と地上回線を組合わせた双方向遠隔学習として、大規模校と小規模校における学習機会の格差是正を図るために活用していたが（ビジネスモデル特許 2 件取得）、同システムを災害非常時における防災情報等の伝達手段としても活用し、さらに、北海道大学水産学部との連携によって、海洋上の船舶にもデータ送信を行うビジネスを展開するなど、多方面での活用を進めたものである。

6.3.7.5 デジタルデバイド解消とスマート・データ駆動型農業・災害監視

農業農村地域のデバイド解消を目的とした「地域 BWA 網」については、条件不利地域に所在する家庭のインターネット接続を主としてサービスを開始しているが、農地に設置するセンサーなどの IoT デバイスの接続をはじめ、農業用ハウスや農産物乾燥施設等の遠隔監視用に活用が広がっており、前述した「排水路」の監視など、市民生活の安全性確保に向けた行政活用なども進めている。

6.3.7.6 農作業と除排雪作業、ドローン輸送

農業機械に高精度位置情報を配信する「RTK-GNSS 基地局」は、夏は農作業に活用し、冬は除排雪車が位置や道路幅を確認しながら安全に作業を行うための活用を推進している。測量事業者による活用も開始され、今後期待されている「ドローン輸送」についても、地元民間企業による実証が行われている。

6.3.7.7 ローカル 5G の活用（農作業・MaaS・遠隔健診）

現在の法制度やガイドラインでは、トラクターなど農業機械の自動運転時には近傍地での監視が求められ、監視役としての人的リソースが不可欠となっている。岩見沢市では、2018 年度より「遠隔監視」に関する技術実証を開始しており、2020 年度からは 5G やローカル 5G の低遅延性を活用し、監視に加え、遠隔操縦に関する技術実証を進めている。

このデジタル基盤の多面的活用として、農業農村地域における交通手段確保に向けた自動運転バス(Lv3)の遠隔監視に関する実証や、北海道大学病院の協力のもと、専門医が不足する皮膚科と産婦人科の医師による遠隔健診の実証を行ったものである。

なお、現時点では社会実装の前段階であるが、技術的評価は完了しており、また、いずれの実証も市民に協力をいただきながら社会的受容性を確認したもので、各種制度への対応や経済性の確保など、環境が整った際に実装する予定となっている。

6.3.8 | 岩見沢市におけるデジタル基盤を用いた地域戦略の今後

例示するような利活用を具体化する際、情報担当部局のみでの展開は困難である。このため、行政内部における「水平・横展開」をキーワードに、市長が主催する定期的な政策レビューにて情報・意見交換を実施しており、それぞれの部局が抱える市民・企業ニーズを持ち合いながら、最適な環境づくりにチャレンジしている。(図表 6.3.5)

さらに重要視しているのは、行政サービスとしてコスト等を全て賄うのではないという点である。例示した農業分野における利活用をはじめ、利用者（市民）がメリットを認識できれば、気兼ねなく負担（投資）することが可能となる。この部分を「つなぐ」サービス部位を市内企業が担えた場合、内製化をはじめ、地域内における新たな経済流動の創出も期待できる。他地域へのサービス拡大、いわゆる外貨獲得にもつながる可能性もあり、現在、関連する企業と社会実装に向けた取組みを加速している。

一方、デジタルや ICT 分野は進展が相当に速く、最新の技術を実装していたとしても直ぐに「枯れた技術」となることが多々ある。逆に、「難しい」と考えてしまうことが、翌年には簡単に実現できることもあるのが実情である。その意味でも、目の前にある技術を「どう使うか」ではなく、「デジタルを使って生活や仕事をどうしたい

DX と地域戦略



出典：岩見沢市提供

図表 6.3.5 岩見沢市における水平・横展開

か」という観点で考え、ビジョンを持つことが大切である。

その際、やはり大切なのは、いわゆる「現場」、フィジカル空間である。デジタルを考えるあまり、バーチャル空間上でとかく考えがちであるが、実際の利活用は「現場」である。現場にいる市民がどうしたいか、どうなりたいかを基点としてビジョンを先に持つことができれば、そのビジョンの達成に向けて様々な工夫が生まれてくる。技術進展に合わせ、新たな機能も「ブレる」ことなく活用することができるのではないかな。そのような取組みを継続していくことで、常に最適化を図るなど、利活用機能やサービスが実装・深化していく。

トラクターなどの農業機械に関する活用が最たる例のひとつである。RTK-GNSS 基地局の活用を開始した 2013 年度時点では、有人走行に対するアシスト機能の提供が主であった。

しかしながら、生産者による研究会とのディスカッションでは、「現在は有人走行へのアシスト機能を普及させることがメインであるが、農業人口の減少が続いている中で、農業の持続性確保のためには無人で走行するトラクターが必要不可欠な時代が間もなく訪れる。自分達には困難な、深夜での作業もロボットに任せることができれば、耕作面積の拡大にも対応できるかもしれない。そのためにも、実作業での活用課題の洗い出しに精力的に協力する」という意欲のもと、様々な実証プロジェクトに参加しており、時には「こんな機能では使えない。こうすべきだ」という厳しい意見も出している。大学をはじめ、農作業機メーカーも生産者の意見を真摯に取り入れ、改良を重ねてきており、最新のロボットトラクターの機能は、かなり多くの部分に岩見沢市の生産者の声が反映されたものとなっている。



出典：岩見沢市提供

図表 6.3.6 スマート・データ駆動型農業のイメージ

現在、岩見沢市で進めている「農業 DX」の取り組みも同様である。質の高い作物を作る、さらには、気象変動にも対応可能な生育環境づくりには「(圃場の) 土づくり」が一番大切と考える生産者が、数年前から堆肥投入等による土壌改良に取り組んでおり、その結果、未処理の圃場と比較しても、明らかに生育状況が変化し、化学肥料の投入量の削減にもつながってきている。その点について科学的根拠を明らかにすべく、市で土壌物理センターを開設した。北海道大学大学院農学研究院の協力のもと、採取した現場の土をデータ解析し、改善手法を可視化するサービスの地域実装を進めている。また、肥料等の資材コストの削減についても、作物の生育状況をドローンや衛星画像等によるリモートセンシングにより分析を行っている。生育が遅れている部位に肥料をドローンで「スポット散布」する方式を検証しており、従来手法と比較して、相当のコスト削減効果を確認している状況にある。市内企業による作業請負に関する準備も進められているが、このように、現場で取得するデータを基と

した新たなビジネスモデルの創出が期待されている。



出典：岩見沢市提供

図表 6.3.7 リモートセンシングデータに基づく肥料散布

そうした意味でも、現場「フィジカル空間」から現状値を収集し、それを「サイバー空間」で解析（あるいはシミュレーション）した上で「フィジカル空間」での作業に生かすという、まさにデジタル・ツインの実装がデジタル基盤活用手法の原点である。

また、地域戦略としてのデジタル活用を考えた場合、単純に「サービスシステム（アプリケーション）」と「利用端末（デバイス）」をつなぐだけでは環境は成立しない。前述したように、コスト面での課題解消を図る上でも、可能な限り多面的な利用を可能とする環境形成が不可欠である。

一方、地域が実装を必要とするソリューション機能は地域ごとに異なる。岩見沢市が基幹産業の持続性確保に向けて取組む「スマート・データ駆動型農業」の実装と、そのデジタル基盤を特別豪雪地帯の課題克服にも活用しているのはその最たる例である。この組み合わせは、同様の課題を抱える地域には参考となろうが、やはり重要なことは、各々の地域が持つニーズ、あるいはアセットを生かしながら組み立て、地域が「自分ごと」として捉え、地域コミュニティを形成する市民や企業とともに最適な環境を考えることである。

6.3.9 | 最後に（取組みながらの考察）

本稿では、岩見沢市のデジタル基盤を用いた地域戦略について紹介してきた。いずれの取組みも「地域社会の持続性確保」に向けた重要なものであるが、施策展開にあたり重要視しているのは

- 市民とビジョンを共有
 - 産学官連携によるバックカスティング思考
- という点である。

地域行政が果たすべき役割は多種多様であるが、本質的なテーマは地域の発展・持続性確保であり、そのためにもデジタルや ICT を徹底して活用し、「市民生活の質の向上」と「地域経済の活性化」に向けた DX の社会実装を進めることが重要である。この際、人口減少が進む現代社会においては、これまでのような行政（公共）のみでの展開は困難であり、産学官連携などによるリソースの相互活用・複合的展開は必須となる。また、同様の課題を抱える地域間での連携・横展開に向けた取組みも重要であり、アウトリーチ活動をはじめ、成果の積極的発信も求められる。

本稿で紹介した「スマート・データ駆動型農業」では、生産者自らが必要性を訴え、可能性信じて日々トライアルを重ねている。その姿からも、デジタルを用いて地域社会を変革する、いわゆる地域 DX の社会実装を推進する上で、効率的かつ最も大切と考えるのは「共感に基づく市民との協働」であり、市民が納得し、「自分ごと」として自己のライフスタイルや地域社会自体の仕組みを変えていくことが重要である。

少子化への対応に向けた COI 及び COI-NEXT の取組みについても同様である。市が実施する「母子健康調査」や「健康意識調査」で取得したデータに加え、市が保管管理する国民健康保険や後期高齢者医療保険に関するレセプトデータと各種健診データ、全国協会健康保険協会の「レセプトデータ」、血圧や体重、食事など市民が日常生活上で確認するパーソナルヘルスデータ等を組み合わせる形で、「健康データ統合プラットフォーム」の開発実装を進めているが、これは単にデータを紐づけするだけではない。解析したデータを基に、EBPM 的に健康施策へ活かすとともに、市民に解析データを戻し、「自分ごと」として理解・納得するために利用できるような実装することが望ましい。さらには、個人情報への取扱いには留意しながら、オープンデータ化することによ



出典：岩見沢市の取組をもとに作成

図表 6.3.8 データに基づく健康経営都市の目指す姿

って、健康に関する新たなビジネスモデルの創出も期待される。

このように、デジタルは、ヒトやモノ、あるいは地域を「つなぐチカラ（能力）」を間違いなく有している。その「チカラ」を生かしきるためには、ベースとなるデジタル基盤が地域に備わっていないと、現在の地方社会が抱える大きな課題でもある。

行政業務におけるクラウド活用など、地方に大きな基盤を持たずしても効率化を図ることが可能な環境形成は徹底して進めるべきであり、今後の国の施策展開への期待が大きい。

一方、地域社会の未来を見据えた場合、その全てがクラウド活用のような形態で実現するとは言い難い。地域コミュニティを形成する市民や

企業、行政が Well-being と Sustainability の具体化に向け、自分ごととして「このようなデジタル活用を行いたい」と考えた時、少なくとも通信環境にはボトルネックが生じないよう実装することが必要であるほか、セキュリティ性を確保し、かつ、即時性や柔軟性も備えたデジタル基盤を備えておくことが肝要であり、地方社会に実装・確保すべき基盤である。

通信ネットワークやデータセンターをはじめとするデジタル基盤は、「国内全体」と「地方」のどちらか一方を整備することで課題解決とはならず、将来の姿を見据えたデザインのもとで最適化を図るべきである。その意味においても、地方社会として責任を持って今後も邁進していくことが必要である。

6.4

自治体とデータセンター

ー人口減少時代における持続可能な住民サービスの提供に向けてー

白井 芳明

Yoshiaki Shirai

(株) つうけん IT ビジネス事業部営業部マーケティング部長
 室蘭工業大学 デジタルキャンパス推進室 副室長 / CDO 補佐
 総務省 地域情報化アドバイザー / 栗山町 CIO 補佐官

6.4.1 | 北海道の人口減少の現状と課題

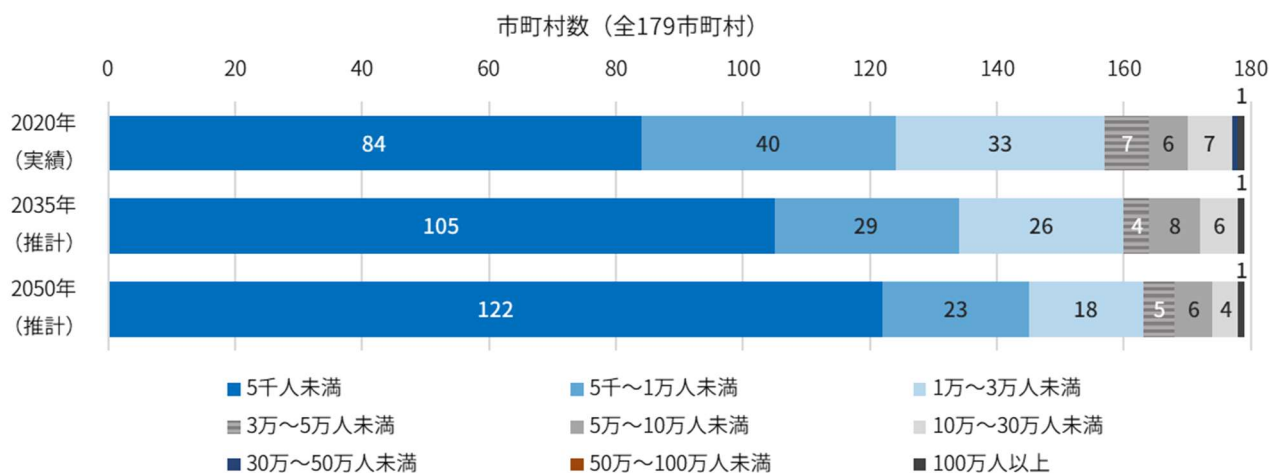
2024 年 10 月 1 日現在、国内の日本人人口は 1 億 299 万 6 千人であり、前年から 89 万 8 千人減少し (0.74% 減少)、人口減少は 13 年連続である。

一方、北海道は、総人口 504 万 3 千人で、前年から 4.9 万人減少し (0.97% 減少)、減少率は全国平均 (0.44%) を上回る。

2023 年 12 月に公表された「日本の地域別将来推計人口 (2023 年推計)」によると、2050 年の人口が 2020 年に比べて 30% 以上減少する自治体は、北海道の全 179 自治体のうち 151 自治体、

2050 年に 65 歳以上人口の割合が 40% を超えるのは 157 自治体と推計されている。2050 年の人口が 2020 年の半数未満になる自治体は 67 自治体 (道内全体の 37.4%) に達し、全国平均 20% を上回る見込みである。さらに、人口規模別にみると、1 万人未満の自治体が 145 で、全体の 81% になると推計されている。

北海道は、人口の地域分散・積雪寒冷といった地域特性により、全国に比べて人口減少のペースが約 10 年早いと言われている。人口減少の影響は、納税者の減少に伴う税収減、若い働き手や公務員の不足を招き、公共サービスの低下、公共交通、商業など、地域の生活基盤が成り立たなくなるとともに、行政サービスの維持が困難にな



出典：国立社会保障・人口問題研究所「日本の地域別将来推計人口」(令和 5 (2023) 年推計)

図表 6.1.1 北海道における総人口規模別市町村数 (実績・推計)

ることが懸念される。

ここ1～2年の間のニュースとして、建設業では新築ビル等の完成が遅れ、北海道においては、宅配荷物の翌日配達不能地域の出現や、札幌においても運転手不足によるバス路線の削減、さらに減便が数度にわたって実施されるなど、影響が出てきている。

6.4.2 | 自治体戦略 2040 構想とパラダイムシフトの必要性

2008 年、総務省の「自治体戦略 2040 構想研究会」は、「自治体戦略 2040 構想研究会第二次報告～人口減少下において満足度の高い人生と人間を尊重する社会をどう構築するか～」を公表した。

同報告書は、高齢者人口がピークを迎える 2040 年頃に向け、内政上の危機とその対応を整理し、危機を乗り越えるために必要となる新たな施策の開発とその施策の機能を最大限発揮できるように、自治体行政の姿を書き換えることを目的としたものである。

同報告書は、若者労働者の不足を背景に、従来のように人口の増加を前提とした社会経済モデルからの転換を図り、人口減少時代に向けたパラダイムシフトと、それに向けた自治体行政の基本的な考え方を提示した。

具体的には、個々の自治体単位で行政サービスやまちづくりを進めるのではなく、地域特性の類似する圏域としての対応や、新たな行政運営の在り方が提起されている。ICT や AI を最大限活用したスマートな自治体への転換、その基礎となる行政事務の標準化、共通化の必要性も指摘され、それらは後述の自治体基幹業務の標準化という法律にもつながっている。

さらに、まちを維持するため、行政が一方的に

施策を考え実行するのではなく、共助や、多様な担い手を活用する住民との関係構築、2040 年を起点としたバックキャスティングによって取組むべき課題が明記されている。

1 スマート自治体への転換

- 将来的に半分の職員でも担うべき機能が発揮されるために、AI、ロボティクスといった技術を使いこなした行政運営
- 業務の自動化・省力化を進めるとともに、業務の標準化・共通化による費用の低廉化、次期のデータ活用を見据えた共通データ形式化、業務プロセスの見直し、法制度の整備等

2 公共私によるくらしの維持

- 公：自治体や行政機関、共：地域社会や地縁組織、私：民間事業者や個人
- 自治体だけが住民サービスを担うのではなく、公共私が連携協力しリソースを有効に活用しながら住民サービスを継続的にする

3 圏域マネジメントと二層制の柔軟化

- 従来の市町村の枠組みから、圏域における行政サービス、都市機能の役割分担、利害関係の調整
- 都道府県、市町村の二層制の柔軟化

4 東京圏のプラットフォーム

- 三大都市圏毎に事情や性質が異なる中での最適なマネジメント手法の検討

出典：自治体戦略 2040 構想研究会

「自治体戦略 2040 構想研究会 第二次報告」（2018 年 7 月）

図表 6.4.2

2040 年に向けて取組むべき自治体行政の課題

北海道内の多くの自治体では、人口減少が顕著であるが、たとえ人口がどんなに減ったとしても、住民へのサービス提供を止めることはできない。各自治体は、同報告を踏まえ、庁内業務の効率化、住民サービスの高度化を進める必要があり、その手段としての ICT 化、デジタル化が重要な意味を持つこととなる。

一方、道内では人口 3 万人以下の自治体が多数を占めるが、総務省の調査によると、情報化を担当する自治体職員の数はずっと 1~2 名であり、さらにその職員も複数の課や係を兼務している場合が多い。IT に関して十分な知識やスキルを持つ人員を配置できている市町村はわずかであり、人事異動で IT 担当となった職員は、自学や公務員の研修プログラムへの参加、自治体を訪問する事業者からの情報によって、知識と経験を向上させているのが現状である。

また、地方自治体における IT 関連予算は、市町村の総予算の 1% 前後~2% 以下(北海道の場合)にとどまり、十分な施策を実施できる状況ではなく、民間事業者から情報を提供してもらいながら、ICT 化施策を進めている状況である。

このように、職員自身の努力に加え、民間事業者からの情報提供によって、自治体の各種システムやネットワークの構築、保守運用が行われてきたが、北海道のような地方においては、これらを支える事業者の営業担当者や SE の人数が不足する事態となっている。

このような課題の解決に向け、「自治体戦略 2040 構想研究会第二次報告」では、破壊的技術を徹底的に活用し、高い専門性や企画調整能力を持ち、業務プロセスを見直し、これらに対応する柔軟な人事運用により、スマート自治体への転換が指摘されている。

仕組みや規則といった制度への対応ばかりではなく、必要な人材や財源の確保についても議論を行い、自治体職員には、地域というプラット

フォームの上で、関係者を巻き込み、取りまとめるプロジェクトマネージャーとしての役割が求められる。

6.4.3 | HARP 構想と共同アウトソーシングの取り組み

北海道は、2002 年、総務省の共同アウトソーシング・電子自治体戦略に呼応し、北海道独自のアウトソーシングモデルである「HARP 構想」を立ち上げた。「HARP 構想」は、道内市町村の人口減と職員減を想定し、自治体行政を支える ICT サービスを自治体個々に考え、作り、使い、事務処理を行うことが今後さらに難しくなると考え、道庁の旗振りのもとで、全道の自治体が共同で進めていく構想である。

2004 年には、道庁と道内の自治体が共同で「HARP 構想」の推進に向け、「北海道電子自治体共同運営協議会」を立ち上げた。



(c)HOKKAIDO 2005-2006

出典：北海道

図表 6.4.3

北海道 ICT 利活用推進マスコットキャラクター「ドーチョくん」

HARP 構想について特筆すべきことは、この構想を実行するため、北海道と道内民間企業の出資による官民連携組織「株式会社 HARP」を立ち上げたことである。

株式会社 HARP は、官の意識を強く持ちながら、構想の実現に向け、自社及び協力を仰ぐ多くの会社との調整を図る機能を有する。

HARP 構想は、ICT システムを効率的に運用できるよう、共通基盤を共同で装備し、電子申請システムや施設予約システム、電子調達システムといった共同化されたサービスを供給することからスタートしている。

その後、HARP 構想は、2010 年より「北海道自治体クラウドサービス」を展開し、共同利用型サービスを進めたが、これは 2025 年に国の指導のもとで全国の自治体において実施が行われる「地方公共情報システムの標準化」の先行実践事例と呼べるものである。

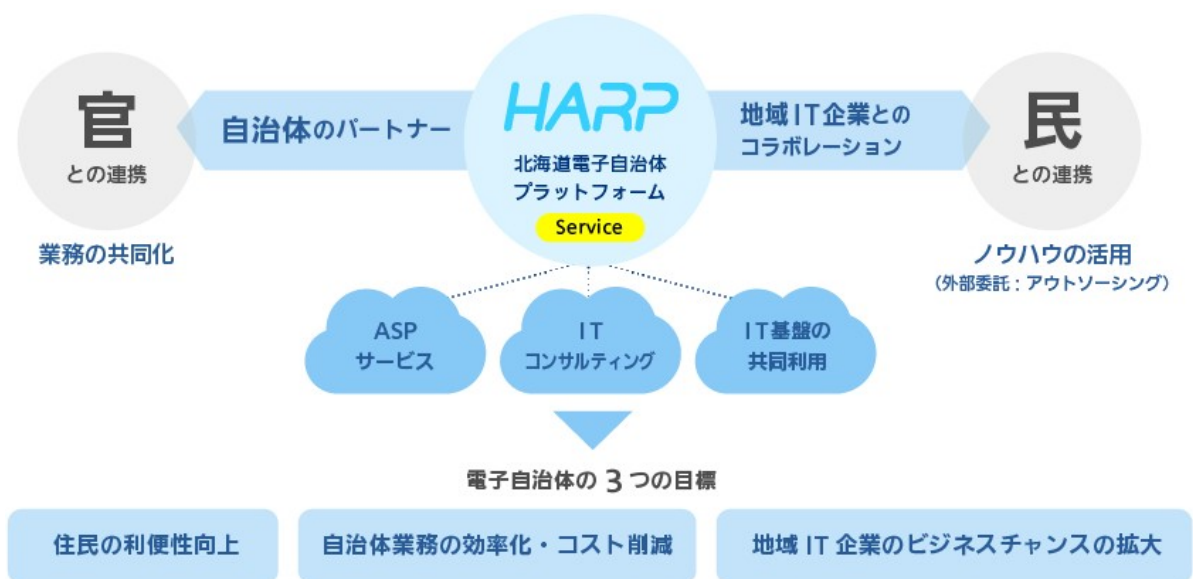
従来、住民サービスを維持するための基礎となる住民基本台帳や戸籍、税、健康福祉、医療、年金、教育といった基幹業務(これらのシステムを総合行政システムと呼ぶ)は、各自治体のそれぞれが、個別にシステムを開発し、運用を行ってきた。しかし、システムの複雑化、セキュリティ対応、対応職員の不足、事業者 SE の不足等の要

因により、各自治体によるシステム開発・運用が困難になってきており、適正な費用、適正な運用が将来的に難しくなることが想定されていた。

HARP 構想は、この総合行政システムをノンカスタマイズで、かつ、ネットワークを介して共同利用できるよう、「業務モデル」と「技術モデル」を構築し、これを「北海道モデル標準」と規定し、複数の地方自治体で同一サービスを利用する「北海道自治体クラウド」を進めてきた。

この動きは北海道内だけではなく、全国においても取組が行われ、それらの実績が「地方公共団体情報システムの標準化に関する法律（2021 年法律第 40 号）」の制定に当たり、地方の一つの事例として参考にされた。同法に基づき、2025 年を当初目標に、全国の自治体の基幹システムが標準化され、それらのシステムは国が整備するガバメントクラウド上に置かれるアプリケーションパッケージ群へと移行され、各自治体は、標準化された総合行政システム(20 業務)を利用しながら業務を進めていくこととなる。

HARP 構想や株式会社 HARP は、「自治体戦略



出典：株式会社 HARP WEB サイト

図表 6.4.4 株式会社 HARP のコンセプト

2040 構想」が公表される以前より自治体の将来を予測し、自治体の業務システムを、従来の ICT 基盤の整備から、業務を行う手段としてのサービス提供型への転換、さらに、そこに担うべき自治体や事業者を集め、ステップアップを成功させた。これは、国内でもほぼ例のない取組であると言える。

6.4.4 | デジタル社会の実現に向けた重点計画とガバメントクラウド

HARP 構想のような、地域発の取組や施策を踏まえ、人口減少下においても行政サービスを維持し、国際経済に対抗できる強いニッポンの実現に向け、国は「デジタル社会の実現に向けた重点計画」を取りまとめた

同計画は、日本全体の「デジタル駆動型社会」への変革を目標に据え、デジタルの活用により、一人ひとりのニーズに合ったサービスを選ぶことができ、多様な幸せが実現できる社会づくりを謳っている。

社会全体のデジタル化のあるべき姿は、国民生活の利便性を向上させ、官民の業務を効率化し、データを最大限活用しながら、安全・安心を前提とした「人に優しいデジタル化」であるとされている。

デジタル社会で目指す 6 つの姿

1. デジタル化による成長戦略

社会全体の生産性・デジタル競争力を底上げし、成長していく持続可能な社会を目指す。

2. 医療・教育・防災・こども等の準公共分野のデジタル化

データ連携基盤の構築等を進め、安全・安心が確

保された社会の実現を目指す。

3. デジタル化による地域の活性化

地域の魅力が向上し、持続可能性が確保された社会の実現を目指す。

4. 誰一人取り残されないデジタル社会

誰もが日常的にデジタル化の恩恵を享受できるデジタル社会の実現を目指す。

5. デジタル人材の育成・確保

デジタル人材が育成・確保されるデジタル社会を実現する。

6. DFFT の推進をはじめとする国際戦略

国境を越えた信頼性ある自由なデータ流通ができる社会の実現を目指す。

出典：デジタル庁「デジタル社会の実現に向けた重点計画」

図表 6.4.5 デジタル社会で目指す 6 つの姿

この計画の重点的な取組みとして、デジタル・ガバメントの強化（システムの最適化）が謳われた。これは、人口減少社会においても公共サービスをデジタルの力で維持・強化していくため、約 1,724 の自治体（都道府県 47 を含まない基礎自治体数）が個々にシステムを開発・所有するのではなく、国と地方が協力して共通システムを開発し、それを幅広い自治体が利用する仕組みを広げていくものである。具体的には、国と地方が「デジタル共通基盤」の整備・運用に取り組むものであり、その推進にあたり、2021 年 5 月には、「地方公共情報システムの標準化に関する法律（令和 3 年法律第 40 号）」（標準化法）が成立した。

同法では、これまで全国の自治体が個々に行ってきた業務について、進め方を統一し、それに

に基づいた業務の標準仕様書と、クラウド技術の利用が規定され、対象となった事務及び制度を所管する府省庁によって標準仕様書の作成が行われた結果、標準化対象業務は20業務となった。

住民基本台帳に係る業務や、税の処理、福祉サービス関連業務をはじめとする業務は、地方自治体の基幹業務と呼ばれる。ここで、住民票の発行業務を例にあげると、住民票の記載事項は住民基本台帳法第二章第7条に定められており、どこの町にいても住民票に記載される事項は同一である。しかしながら、住民票を発行するための業務フローは自治体毎に異なり、全国で1,724通りもの手法によって住民票が発行されているのが現実であり、さらに、それを支援するシステムも1,724通り（実際に1,724個の個別なシステムがあるわけではなく、数十種類のパッケージシステムを個々の団体用にカスタマイズしているという意味において）あると言われてきた。

現在、こうした基幹業務のフローを標準化し、効率化する取組が進められつつあり、2025年度中（2024年12月、開発ベンダのリソース逼迫等を理由に5年程度の期限延長も可能）を目途に、全国ほぼすべての自治体において、国主導による標準化された仕様の下で作られたシステムに

移行し、業務を行うこととなる。具体的には、住民基本台帳、国民健康保険、介護保険、戸籍、税等の20の業務について、全ての自治体が同様の事務処理を行えるような標準仕様を作成し、その標準化仕様に基づいて開発された基幹系システムに従来の業務を移行することとなる。

標準化されたシステムは、「ガバメントクラウド」と呼ばれるクラウドに置かれ、自治体は、同クラウドにあるシステムを利用しながら住民サービスの情報を管理することになる。当初、ガバメントクラウド（迅速、柔軟、セキュア、コスト効率）には、

○AmazonWebService（AWS）

○MicrosoftAzure

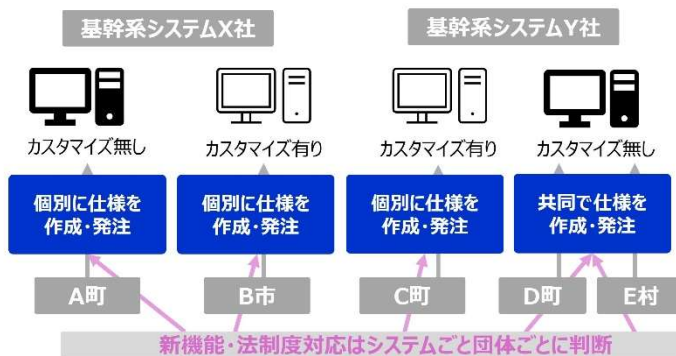
○GoogleCloud

○OracleCloudInfrastructure（OCI）

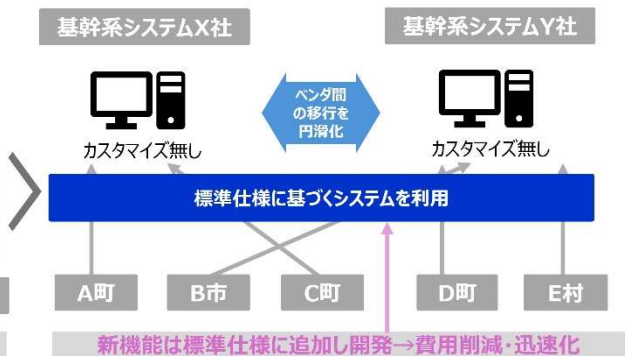
が採択されたが、2023年11月にはさくらインターネットのクラウドも採択され、2025年を目途に、ガバメントクラウドとして運用が始まる予定である。これによって、永きにわたって全国の各自治体がそれぞれ個別にシステムの調達、運用、保守を行ってきた歴史が大きく変革することとなる。

地方公共団体の基幹業務システムの統一・標準化のイメージ

【標準化前】

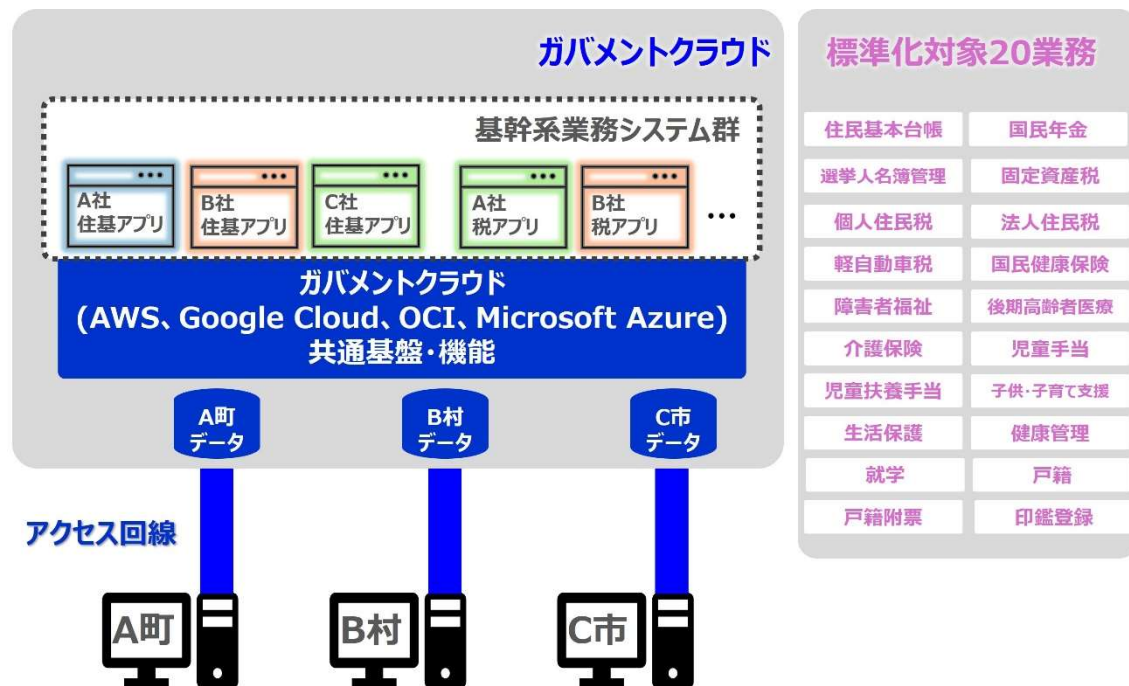


【標準化後】



出典：総務省資料

図表 6.4.6 情報システムの標準化イメージ



出典：総務省資料をもとに著者作成

図表 6.4.7 ガバメントクラウドの運用図

全国の自治体は、これまで、基幹系システムの仕様作成から調達、運用までを各自治体それぞれが行ってきた。このため、法律改正に伴って仕様が変更になる際には、各自治体で制度対応のための調達が行われ、この対応業務は職員の大きな負担となってきた。

しかし、今後は、国が定める標準化仕様に対応したシステムがいくつかのメーカーによってガバメントクラウド上に置かれることとなり、これによって、法制度改正への対応、更改時期における調達業務等の業務から地方自治体職員の手間が解放されることとなる。

さらに、今回標準化される 20 業務については、各社が提供する基幹系システムのアプリケーションも仕様の標準化が図られるため、各自治体はどの会社のシステムを利用することも可能となり、従来の基幹系システムのベンダーロックインの解消が期待される。

また、セキュリティ対応についても、ガバメントクラウドの基盤を提供するクラウド事業者や

クラウド上に置かれるアプリケーション開発事業者によって対応が行われるため、自治体の規模や地域を問わず、日々の運用を行うことが可能となる。

これまで、自治体業務の標準化に関する動きは総務省を中心に行われてきた。具体的には、各自治体が利用する業務アプリケーションの相互接続確認を図るための「地域情報プラットフォーム標準仕様」、システムに格納するデータの標準化を図る「中間標準レイアウト」といった施策が行われてきた。また、国内の多くの先進自治体では、個別カスタマイズを排除し、事業者の提供するシステムをノンカスタマイズで利用するための業務改革に取組み、複数の自治体で共同利用を行う「自治体クラウド」も手掛けられてきた。

こうした取組が基礎となり、各地域が取組みを深化させてきたことが法律の制定につながり、全国の自治体が利用できるシステムの構築へと結実したのである。

6.4.5 | 地方公共団体基幹業務システムの統一化、標準化の現状と課題

現在、20 の業務について標準化の準備が進められているが、そもそも自治体の基幹業務を支える総合行政システムは、メーカーによる差異はあるものの、標準化業務を中心に 25～28 業務を処理できるシステムになっているものが一般的である。

住民基本台帳、福祉、年金、教育、税金等の業務を支える総合行政システムは、住民が出生してから死亡するまで、住民生活に必要な情報が記録され(一部の情報については死亡後も記録が残される)、住民情報のデータはそれぞれの法律を根拠に、地方自治体が保有し、情報の更新、維持が行われる。

住民票の発行や所得証明の発行などは、住民生活の基礎であり、様々なサービスの基本となるデータを扱うことから、これまで、単一の事務処理のために単一の手続きが行われてきた。

デジタル社会の実現のためには、これらを単一の事務処理ではなく、複合した住民サービスや、準公共分野での活用によるサービスの高速化、高度化を社会全体で実現していくことが必要であり、そうした対応が国のデジタル・ガバメントの流れとなっている。

2025 年 3 月現在、全国の自治体において、従来型の総合行政システムからガバメントクラウドに置かれた標準化システムへの移行準備が行われている。標準化システムの調達は、自由選択が原則とされているが、準備期間の不足、対応するベンダの人員不足、標準化されるシステムとそれ以外のシステムの整合性確保の困難性等により、現行システムの円滑な移行が重要視されている。標準化システムの対応については、下記の事項に取り組みながら準備が進められている。

基幹業務システムの統一化、標準化に係る対応項目

1. 推進体制の立ち上げ
2. 現行システムの概要調査
3. 標準仕様との比較分析
4. 移行計画作成
5. ベンダからの意見調整
6. RFI の実施、結果分析、移行計画
7. 予算要求
8. ベンダ提案依頼、選定
9. 契約、詳細スケジュール策定
10. 特定個人情報保護評価
11. システム移行時の設定、データ移行
12. 運用テスト、研修
13. 次期システムに合わせた環境設定
14. 条例、規則改正

出典：自治体情報システムの標準化・共通化に係る手順書
【第 4.0 版】

図表 6.4.8

基幹業務システムの統一化、標準化に係る対応項目

これらの作業は、主に現行の自治体オリジナルのシステムから標準化システムへと業務を適合させるための業務変革に係る作業が中心となる。

地方公共団体の基幹業務システムの統一・標準化に係る取組では、地方公共団体が人的・財政的負担を軽減し、地域の実情に即した住民サービスの向上に注力できるようにするとともに、新たなサービスの迅速な展開を可能とすることを目指している。

「地方公共団体情報システム標準化基本方針(2024 年 12 月 24 日閣議決定)」は、地方公共団

体のデジタル化の基盤を整備するための「デジタル化 3 原則」を定めている。

地方公共団体のデジタル化の 基盤を整備するための「デジタル化 3 原則」

○デジタルファースト

個々の手続・サービスが一貫してデジタルで完結すること

○ワンスオンリー

一度提出した情報は、二度提出することを不要とすること

○コネクテッド・ワンストップ

民間サービスを含め、複数の手続・サービスをワンストップで実現すること

出典：総務省「地方公共団体情報システム標準化基本方針」
(2024 年 12 月)

図表 6.4.9

地方公共団体のデジタル化の 基盤を整備するための 「デジタル化 3 原則」

地方公共団体のデジタル基盤は、デジタル化 3 原則に基づく業務改革やデジタル処理を前提とした業務フローをもとに、標準化基準を策定又は変更することによって整備が進められる。

標準化への対応は、中心となる自治体職員の考え方の変革をも誘発する。自治体職員の仕事は、住民サービスを処理するために行われる事務処理と、住民サービス向上のために企画立案する自治体業務遂行とに大別される。過去の国の調査によると、自治体の仕事全般は事務処理が 6 割、住民サービス等に係る業務が 4 割と言

われている。事務処理に関しては、できるだけ軽く、簡単に、正確に実施することで 6 割の時間を減らし、創造的業務に充てる時間を創出することが、今後の自治体運営にとっては重要である。さらに、今まで多くの職員が未来形と感じていたクラウドサービスの利用が、今後はごく普通になることを期待する声が大きくなっている。

北海道の自治体クラウド開発実証事業等、先行して実行されてきた事業では、実証団体の 49%が 2 割程度のコスト削減を実現したという(平成 30 年総務省地方自治情報管理概要)。

同事業により、自治体が単体でハードウェア管理をする必要がなくなり、毎年の法制度改正対応、仕様作成・調達業務をする稼働から解放されただけでなく、共同化参加団体相互の情報交換により、検討案の担保を取ることが可能となった。

さらに提供事業者においても、従来は各自治体に対して個別の営業体制を敷き、個々の SE 配置を行ってきたものが、営業体制が集約され、システムを集約するデータセンターにのみ SE を配置することにより、実質的な稼働費の削減につながった。

過去の自治体共同化、共同アウトソーシングといった集約化の考え方から、自治体クラウド、さらに今回法制度が整備された地方公共団体の基幹業務システムの統一・標準化といった流れは、これに携わる自治体職員の行政サービス変革の意識へとつながっている。

6.4.6 | 地方自治体におけるシステム運用の 現状と課題

北海道内の人口 3 万人以下の標準的な自治体を例にあげると、住民サービスを提供するにあ

たり、大小約 80~90 程度のシステムが稼働している。

今回、標準化法で定められる業務は 20 業務であり、残る数十のシステムについては現在のところ標準化される予定はなく、従来通り、自治体毎の調達と運用によってシステムの維持が行われていくこととなる。

自治体の業務は、標準化される基幹業務以外にも多数の業務が存在する。直近において、人口 1 万人程度の自治体が、自治体業務改革を実施するために庁内業務事務分掌を調査したところ、12~20 の課で約 25,000 の事務が洗い出された。事務分掌としてあらかじめ整理されない業務も存在するため、庁内の業務としてはこれを超える数の業務が存在することとなる。都市では町村よりもさらに多い 25~35 ほどの課があるため、事務分掌も多い。それぞれの事務、業務を処理するために前述の数十のシステムのほか、デジタルツールとしてのアプリケーション、さらに最近では自動化のための RPA や OCR、AI といったものの活用が急速に進んできている。これらのデジタルツールは、パソコン単体、庁舎内サーバーへの構築、メーカーやベンダのデータセンターの利用、LG-WAN といった地方公共団体ネットワークでのアプリ提供、インターネット上のクラウド利用といったパターンで利用されている。

地方自治体では、セキュリティの強度や制度の関係から、庁内のネットワーク環境を、マイナンバー利用事務系、LG-WAN 利用事務系、インターネット系の 3 層の基盤を利用して日々の業務を行っている。

クラウド系サービスの急速な拡大により、インターネット上で提供されるクラウドサービスの活用が、デジタル技術導入のスピードやコスト削減等の観点から有効であることが認識されるようになった。その一方で、各自治体では、庁内で運用している 3 層のネットワーク基盤をイン

ターネット中心のネットワーク基盤に移行しようとする動きが出てきているものの、特に住民の個人情報の取扱いの課題から、すぐにはオープンなインターネット環境に移行できないという課題も抱えている。

クラウドサービスを利用するには様々な課題があるにせよ、上記のように 80~90 も存在する業務システムを、従来どおり庁舎内で運用していく時代ではないことも徐々に理解されてきている。

自治体毎にデジタルシステムを利用するためには、仕様作成、業者選定、開発、保守、運用といった手間が必要となる。先進的な自治体職員の多くには、世の中にあるシステムをそのまま利用する（もしくはシステムに業務をあわせる BPR を事前に行う）ことが効率的であるという考え方が浸透してきたものの、調達をする職員も、提供する事業者側の SE も、ともに人員不足である現在、発注ができない、受注ができないという状態が発生しており、今後のシステム運用については、仕様の共同化という新たな調達方式を検討する必要があると考える。

庁内で利用される各種システムについても、総合行政システムの提供事業者が中心となってシステムの提供が行われるケースが多いが、全ての事業者が自社製以外のシステムについて詳しいとは限らないため、新たなシステム導入に際しては、十分な情報提供を受けることが難しい状況が起きている。

さらに、北海道のような広大な土地においては、障害時の回復対応も念頭に置く必要がある。道内自治体の大部分は小規模であるために、一台のサーバーのみでシステムを運用しているケースが多い。しかし、そうした場合でも、障害発生時には、職員が状況を把握し、保守を依頼している事業者の支援を受けながら一時対応を行い、そこで回復ができない場合には事業者の SE の派

遣を依頼し、その到着を待つこととなる。北海道の場合は、主として札幌等からの技術者派遣を待つこととなるため、非常に長い時間を要する場合が多いと想定される。

クラウドサービスの利用は、これらの数多くの課題の解消につながる有力な手段となる。

6.4.7 | データセンター活用の必要性和将来展望

今回、地方公共団体の基幹業務システムの統一・標準化において活用が図られるガバメントクラウドの考え方は、地方自治体が安全にクラウドサービスを利用する上での最適解といえる。

小規模な自治体では、リアルタイム性、ms 単位での即時応答性、拡張性が必要なシステムはさほど多くはないと考えられるが、住民の個人情報扱う場合が多いため、情報セキュリティの対策が最重要の課題となる。

北海道は、2011 年の東日本大震災、2018 年の北海道胆振東部地震及びこれに伴う全道ブラックアウト等の災害を経験した。頻発する大雨等の災害時に、いかに素早く災害救済の基礎となる住民データを活用できるようにできるかといった課題への対応も重要となる。

標準化法で定められた 20 の業務以外の業務や、それらを司るシステムについては、特に小規模自治体の場合、サーバールーム内に簡素なサーバーを置いて運用される場合が多い。しかしながら、ここまで述べてきた通り、自治体職員の不足、事業者の SE 不足やセキュリティ対応といった課題や、小規模システムのコストを勘案すると、地域のデータセンターにアプリケーションを共同化して運用されていくことが必要である。

あわせて、世の中にあるリソース(アプリケーションや ICT サービス)の活用及び従来の業務の改革(BPR)が必要となる。さらに、近隣や、類似

規模の自治体との情報交換を行い、圏域で共同化していくことも重要である。

道内のある先進的な自治体では、職員が共同調達や仕様の統一化への必要性について理解しつつ、従来の基礎自治体毎の規則や、歴史、各自治体の背景を踏まえたうえで、共同調達や仕様の統一といったハードルを越えるのではなく、近隣自治体同士での意見交換や、優良事例の知識共有など、「自ら今できること」を実践し、将来に備える人的ネットワークを構築しようとする動きがでてきている。

北海道の多くの自治体は、HARP 構想に基づく共同化や、自治体クラウドへの取組み、一部先進自治体の取組みにより、データセンターや閉域型のクラウドサービス(LGWAN-ASP)の利用、事業者が閉域で展開するサービスの利用を実践してきた。

一方、国は今回の基幹業務の標準化に始まり、将来的には公共サービスメッシュ等、行政が持つ様々なデータの活用、連携をする情報連携基盤に発展することを構想しており、情報連携の基盤として、

-
- 1) 行政機関間のバックオフィスでの情報連携による添付書類の削減等
 - 2) 手続時の入力を最小限化するためにあらかじめ申請内容をプレ表示
 - 3) 関連する手続などを推奨したりするプッシュ機能等を備えたプッシュ型サービスの実現。地方公共団体が保有する住民情報を当該住民向けプッシュ型サービスなどに活用する仕組み

- 4) 官民の様々な機関が保有する住民情報に住民が自らアクセスし、自らの情報を外部提供するなどして活用できる仕組み（本人を介した官民の情報活用）

等を包括的に実現し、利便性の高いデジタルサービスの実現を更に推進することとしている。

このような住民サービスの基盤ができると、「行かなくても良い自治体」が形成され、それが住民サービスを能動的に動かすサービスづくりにもつながっていく。

さらに、バックヤードで住民サービスの情報を管理する自治体職員も、デジタル化による効率化の恩恵を受けることができる。

職員の不足、支える事業者の不足、災害への対応、セキュリティへの対応、将来への対応の準備といった課題は、多くの自治体が直面している課題である。圏域自治体で共同化したシステムを融通の利くデータセンターに置き、データセンターを活用していくことは、このような課題の解消につながるものといえる。

さらに、標準化されない小規模なシステムであっても、従来型の庁内オンプレミス型を脱却し、技術者が集積する地域のデータセンターに置いて運用をしていくこと、できればデータセンターすらも意識せずに ICT サービスを利用するということが、人員不足の課題対応の観点及び業務継続性の観点からも望ましいと考えられる。

将来的なガバメントクラウドの活用も必要と想定されるが、北海道のように人口減少が早く進んでいる地域においては、1年でも早くその仕組みを構築し、共同化に取り組むことにこそ意義があるといえる。

ここ数年、道内の市町村においても、自治体 DX

をキーワードに、ICT 技術を活用した業務改革に取り組む職員が増えてきている。その中で確実に言えることは、元気な職員が多い自治体は、まち自体も元気であり、住民幸福度も高いということである。

地方公共団体の ICT 化、デジタル化は手段に過ぎないが、それに取り組む職員の意識は、現状の業務の効率化を促し、それによって、職員が地域を良くするために考えを巡らす時間を生み出すこととなる。

さらに、デジタル化対応が進んだ自治体の動きは、地域の民間企業を通じたトータルデザインを描くことにも通じる。例えば、自治体の手掛ける「まちのスーパーアプリ」等は、共通機能のコンポーネント化や API の提供にもつながり、それらを活用する民間事業者等が機能の重複化を回避できる効果も期待される。

つまり、北海道のような地域においては、地方公共団体のデジタル化、DX 推進の取組みとして、地域データセンターを最大限に活用し、仕様づくりから調達、運用、保守に至る業務までを個々に行うのではなく、「全道での共同化」「圏域での共同化」「同一提供事業者利用者による共同化」が今後ますます重要となる。

北海道内においては HARP 構想に基づいて取り組んできた実践経験があり、何より重要な地方自治体同士のコミュニケーションが行われている。この実践力に加え、これを支える事業者の力を得ながら、課題解決の実現に向けて、従来の枠組みや仕組み、規則等を変革し、早急に実際の取組を行っていくことが重要である。

先端半導体製造拠点と デジタルインフラ

山本 強

Tsuyoshi Yamamoto

北海道大学 名誉教授

2023 年にラピダス社の先端半導体製造拠点 IIM-1, IIM2 が千歳市に建設されることが決定し、以来、北海道では半導体関連のニュースが連日報じられている。

ラピダス社が目指す 2nm スケールのロジック半導体は、超高速の情報処理、特に生成 AI の性能を決定する要素であり、現在ではその安定供給が国家の経済や防衛の根幹に関わる重要事項になっている。

日本がこの分野で大きく後れを取っているという危機感から、日本政府は半導体分野に対する巨額の支援を行っている。金があれば最先端半導体の製造ができるのならば簡単なのだが、現実にはそれが出来ている国や地域は数えるほどしかない。

日本が先端半導体分野で国際競争に勝ち残るために、何をしなければならないか、それを北海道とデジタルインフラの視点から考えてみたい。

7.1

半導体設計・製造基盤 としての デジタルインフラ

コンピュータの基本演算素子が IC 化されて以来、半導体技術と情報技術 (IT) は不可分の関係になっている。コンピュータが半導体で出来ているというだけでなく、半導体 LSI の設計、製造が IT に大きく依存しているのである。コンピュータはコンピュータが設計すると言っても過言ではない。100 億個以上のトランジスタを集積する現在の最先端ロジック半導体は人間が理解できる限界を超えた複雑さであり、設計用 CAD システムやシミュレータといったソフトウェアを用いなければ設計も製造もできない。

先端半導体の設計・製造の工程は、設計工程、前工程、後工程の 3 工程に大別され、その各工程で技術要素が大きく異なっている。前工程と後工程は、前者が IC チップまでの製造工程で、後者が IC チップを最終製品としてパッケージに組

込む工程であるが、どちらも物理的な IC チップを取り扱う工程なので、まとめて製造工程と呼ぶことにする。

設計工程のみでビジネスを展開するのがファブレス企業であり、その代表が、米国・シリコンバレーに拠点を持つ nVIDIA 社である。ファブレス企業が開発した LSI 設計データを受け取り、それをモノとしての半導体に作り込むのがファウンドリ企業であり、その代表が台湾の TSMC 社である。この両者の協業が水平分業型の半導体ビジネスの成功事例の代表とされているが、両社は太平洋の両端に位置していることが気にならないだろうか。

開発するロジック半導体の仕様が決まると、まず、設計工程に入る。設計工程は、LSI の機能設計部分、つまりシステム設計、論理回路設計、トランジスタ回路設計、マスクデータ生成までを含む。設計工程を取扱うのが設計データであり、情報システムの中で作業が完結する世界である。

次の前工程は、半導体原材料であるシリコンウェハに対する加工処理を行い、電子回路として機能する IC チップを製造する工程である。

設計工程でフォトリソまで出来ているので、それを忠実に、エラー無くウェハに作り込み、電子回路として機能するところまでを担当する製造業ともいえる。設計工程と製造工程は明確に分離されているように見えるが、実際は、製造プロセスのパラメータ（デザインルール）が無ければマスクデータを作れないわけで、そのデータを Process Design Kit (PDK) として設計工程に提供する必要がある。

また、製造された IC の動作確認・テストが製造工程の最終段階で必要になるが、この時に膨大なテストパターンが使われる。テストパターンは設計データからシミュレーションにより自動生成されるものである。実際のところ、設計工

程と製造工程はデジタルデータで密に繋がっている。

より短期間で、しかも高い歩留まりで IC の設計製造を行うには、設計工程と製造工程の間の調整や大量のデータの交換が不可欠である。日本企業が社内で設計と製造を一貫して行う垂直統合型に固執してきたのは、日本型製造業の得意技である「擦り合わせ」に優位性を感じていたのかもしれない。

nVIDIA と TSMC が太平洋を跨いで提携の契約をしたのは 1998 年だが、その時期はインターネットの商業利用、産業利用の黎明期と重なっている。

中華民国教育部（日本の文科省に相当）が運営する教育研究ネットワークである Tanet (Taiwan Academic Network) は、1998 年、台湾-米国間のインターネット接続回線を T3link (45Mbps) に増強し、民間企業にもサービスを始めている。TSMC の国際水平分業モデルが回り始めた時期と、インターネット環境、特に国際回線の強化が進んだ時期とが重なっているのは偶然ではないだろう。

設計工程と製造工程の擦り合わせはデジタルデータでできることが多いのだから、設計工程と製造工程の連携をインターネット前提で行うように作り直すことで、設計工程と製造工程の物理距離は問題にならなくなる。インターネット経由で太平洋を跨ぐ情報共有が使える水準になったから水平分業型のビジネスモデルが成立したと考えるべきであろう。

7.2

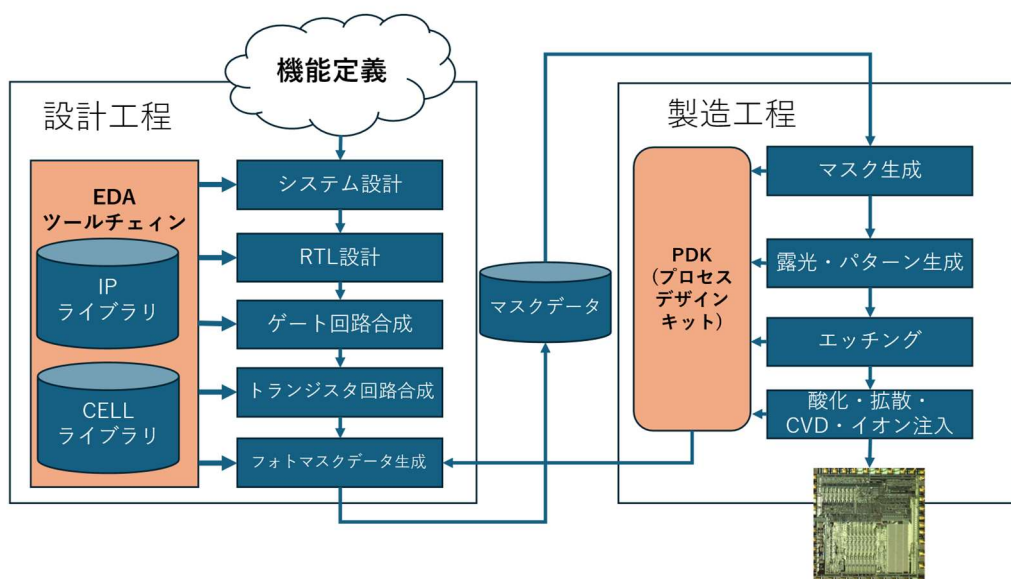
2nm ロジック半導体の設計と情報量

Apple 社が iPhone15 に搭載しているメイン CPU A17 は、190 億個のトランジスタを集積しており、TSMC 社の 3nm プロセスで製造されている。この規模の LSI の論理規模は人間が把握できる規模をはるかに超えており、設計者が個々のトランジスタや論理ゲート回路を見ることはほとんどない。設計工程の上流部分であるシステム設計、RTL 設計までは設計者が見るとしても、それ以降のゲート回路、トランジスタ回路、マスクパターンのレベルは、EDA ツールにより自動変換可能であり、人間の関与は少なくなる。

設計工程から前工程への接続は、LSI 製造の原板であるフォトマスクデータ (GDSII 形式) で行われることになる。このデータ量をざっくりと推定してみよう。トランジスタ 1 個はウェハー

上では数個の長方形で表現される。長方形 1 個は 2 次元の位置とサイズ、つまり個の数値データとして表現できる。仮に、4 個の長方形でトランジスタ 1 個が記述できるとすれば、1 トランジスタは 16 個の数値データとなる。数値を 32bit 整数とすれば、1 トランジスタのデータ量は 64 バイトとなる。したがって、190 億個のトランジスタを集積する LSI のマスクデータは $64 \times 190 \times 10^8$ バイト、つまり 1.2TB 程度のデータ量となる。現在の CMOS プロセスではマスクを 20 枚以上必要とするので、マスクデータだけでも 20TB 以上になる。20TB のデータは、10Gb/s のインターネット回線を 100% 占有しても 4.4 時間を要するのである。実際には繰り返しパターンやデータ圧縮でこれよりも小さくなるだろうが、このレベルのデータをファブレス企業とファウンドリの間で日常的にやり取りするのが水平分業の半導体製造の世界だということである。

同様に、LSI が正しく動作することを検証するテスト段階においても、大規模な計算資源が必要になる。LSI の動作検証では、設計データからシミュレーションで生成するテストパターンを



出典：筆者撮影

図表 7.1 半導体設計・製造のワークフロー

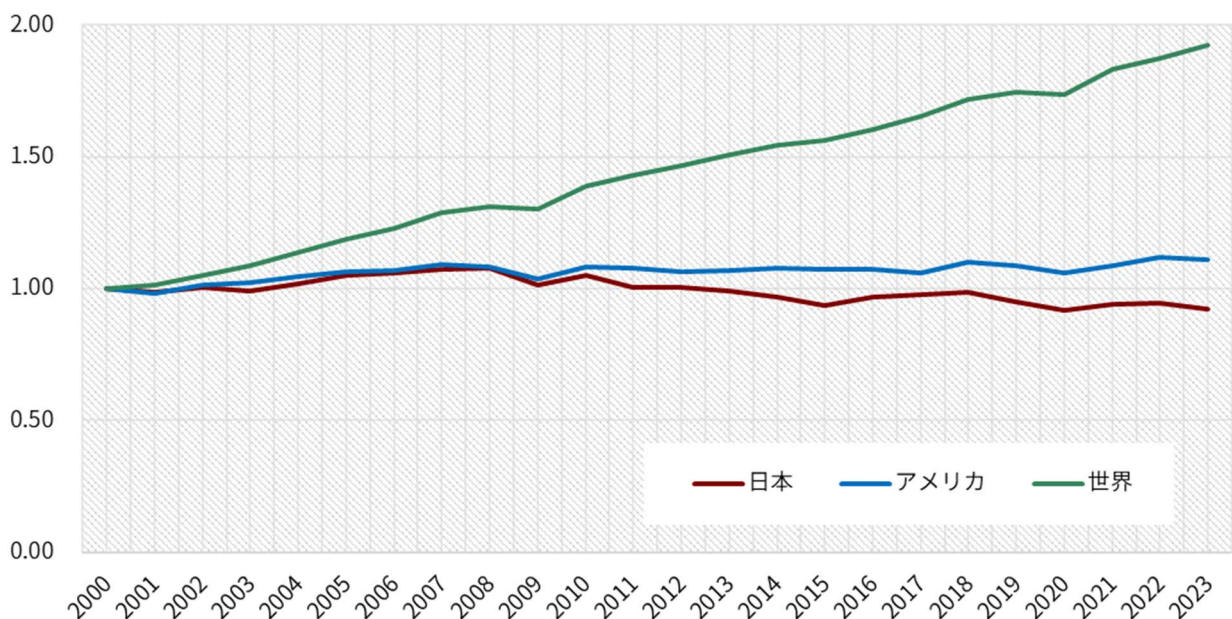
用いて実行される。遅延時間まで含めたテストパターンは、ゲートレベルの論理シミュレーションで生成される。この実行には、ゲート数に比例した記憶容量と処理時間が必要になる。この規模の論理回路シミュレーションでは、簡単な実機との速度差が 100 万倍以上になることもあり、4GHz で動作する実機の 1μ 秒のシミュレーションに 4000 秒、つまり 1 時間以上かかる計算になる。これらの推定は、1 世代前の 3nm プロセスでの数値を根拠にしたものであり、プロセスノードが 1 段上がると、その設計・製造に必要なデジタルインフラも要求水準が上がってくる。

2027 年には、ラピダス社が 2nm 半導体の量産を開始する予定である。同社の優位性は、社名の由来でもある短時間、少量多品種の半導体製造サービスにある。その優位性を国際的にアピールするためにも、それが現実の物であると裏付けるデジタルインフラの構築を、同時並行で進めていくことが求められる。

7.3

三位一体の半導体製造とデータセンターとエネルギー

先端半導体製造とデータセンターは、先進国におけるエネルギー多消費型の産業分野として警戒されている。図表 7.2 は、2000 年を基準として、日本、米国、世界全体の電気エネルギー供給量の増減を時系列でグラフ化したものである。発展途上国を含む世界全体では急激な増加を示しているが、日米はほとんど増加しておらず、日本では減少傾向ですらある。バブル経済崩壊後の日本経済低迷を反映しているともいえるが、この間、一般家庭や各産業分野でエネルギー効率改善が進み、電力需要を低減したと前向きに考えたい。



出典：2024 Energy Institute Statistical World Review of Energy のデータをもとに作成

図表 7.2

2000 年を基準とした日・米・世界全体の年間発電電力量推移（伸び率）

「第6期科学技術・イノベーション基本計画」(2016～2025)で重要キーワードとして取り上げられた Society 5.0 のコンセプトには、サイバー・フィジカル融合、つまり情報と実社会の連携により、カーボンニュートラル化に貢献するという意味がある。Society5.0 のシナリオは、デジタルインフラや半導体製造に要するエネルギー量は、その効果としてもたらされるエネルギー効率の向上で相殺され、さらに生活や経済がより良くなると説明されるが、そのシナリオは生成 AI や先端半導体の需要によって崩れかかっている。

コンピュータの消費エネルギーは計算量に比例するので、1 命令実行で消費されるエネルギーを少なくすることが重要になる。半導体分野では、トランジスタのサイズを縮小すると計算処理が高速になり、かつ消費電力が低下するスケーリング則が知られている。半導体 IC が実用化されてから現在に至るまで、スケーリング則が成立しているので、100 億個を超えるトランジ

スタを集積しても、1GHz 以上のクロック周波数で 100W 程度の消費電力で動作できるともいえる。

この先、AI の利活用が進むと予想されており、その分野のエネルギー需要増が懸念されている。その需要増が具体的に発生するのがデータセンターと半導体工場である。持続可能性という視点で考えるなら、データセンターや半導体工場でのエネルギー消費増加量は、その効果としての社会全体のエネルギー消費削減量よりも小さいという説明も必要になる。

Society5.0 時代の最重要インフラは、情報ネットワークとデータセンターであり、それを支えるハードウェアとして先端半導体 LSI がある。

データセンターも、半導体も、電力エネルギーの安定供給がなければ成立しない。そして、データセンターとネットワークが、電力エネルギーの利用効率を改善する。どれか一つでも隘路があれば、全体の機能が低下することになる。半導体、デジタルインフラそして電力エネルギーは三位一体で推進すべきである。



石狩湾洋上風力発電施設の近景（筆者撮影）

7.4

「北海道バレー構想」と 北海道

ラピダス社の小池社長が、同社の半導体製造拠点を核に北海道経済を活性化させる、いわゆる「北海道バレー構想」を提唱した。北海道バレー構想は、2nm 半導体をコア技術にして、それから新産業を作り出すという構想である。

しかし、現時点で 2nm の半導体 LSI を必要とする企業は、道内には見当たらない。2nm 半導体が必要とする企業や産業分野が北海道から出てくることを期待したいところだが、そう簡単ではないだろう。当面、2nm 半導体を発注するのも、それを使うのも北海道外、それも日本ではなく欧米企業になりそうである。受発注型の連携で北海道バレー構想を具体化するのは容易ではない。

歴史を振り返ると、北海道、特に札幌圏では IT 関連の新技术による産業振興プランが提唱されたことがあった。古くは 1970 年代にインテル社がマイクロプロセッサを実用化し、いわゆるマイコンブームが起こった際、札幌でマイコン関連企業が多数立ち上がり、1980 年代に入って札幌テクノパークに情報関連ベンチャー企業の集積が進んだことがあった。それがのちに「サッポロバレー」と呼ばれることになった。

また、北海道ニュートピアデータセンター研究会の前身でもあるグローバルクラウドネットワーク研究会は、デジタルインフラ強化が北海道の経済活性化に必要であるということで、北海道と本州、北米、欧州を海底光ケーブルで結び、石狩、千歳-苫小牧の道央ゾーンにデータセンターを立地させる「ICT コリドール構想」を 2014 年

に提唱し、その後、北海道庁との連携により、構想の実現に向け活動が今も続いている。

この二つの構想で共通することは、その構想が大企業や国からトップダウンで降って来たものではなく、北海道の産学官の日常的な活動から自発的に出て来たということである。別な視点で、サッポロバレーも ICT コリドール構想も、中核企業があるわけではなく、その分野に注目する企業、研究者、行政のフラットなネットワーク構造が根底にある。つまり、水平分業ネットワークが北海道型の構想の根底にある。

北海道には、新技术の黎明に同期してそれを産業に取り入れるという風土がある。北海道のこれまでの経験知を北海道バレー構想にも盛り込み、「北海道あつての北海道バレー」にしたいものである。

北海道ニュートピアデータセンター研究会

運営委員会名簿

本会役職	氏名	所属/肩書/役職等
代表	山本 強	北海道大学 名誉教授
副代表	江崎 浩	東京大学大学院 情報理工学系研究科 教授、WIDE プロジェクト 代表
副代表	岸上 順一	室蘭工業大学 客員教授、WCAP 代表理事
副代表	村井 純	慶應義塾大学 特別特区特任教授、WIDE プロジェクト Founder
運営委員	黒瀬 善仁	京セラコミュニケーションシステム(株) 取締役副会長
運営委員	桑原 靖文	アルテリア・ネットワークス(株) 取締役副社長執行役員
運営委員	ユハ・サウナワラ	北海道大学 北極域研究センター 准教授
運営委員	田中 邦裕	さくらインターネット(株) 代表取締役社長
運営委員、監事	中村 秀治	(大)北海道国立大学機構 理事、(株)三菱総合研究所 顧問
運営委員	馬場 聡	北海道総合通信網株式会社
運営委員	藤原 洋	(株)ブロードバンドタワー 代表取締役会長 兼 社長 CEO
運営委員	古田 敬	President, Digital Edge Group、 デジタル・インフラストラクチャー・コンサルティング合同会社 代表取締役
運営委員	前田 章博	ビットスター(株) 代表取締役 CEO
運営委員	村田 英司	王子エンジニアリング(株) 代表取締役社長
運営委員	柳川 直隆	(株)フラワーコミュニケーションズ 代表取締役、北海道産業集積アドバイザー
運営委員、事務局	三谷 公美	一般社団法人 LOCAL 理事、さくらインターネット (株)情報システム統括室
運営委員、事務局	吉田 淳	クラウドネットワークス(株) 代表取締役

(所属等は 2025 年 5 月現在のもの)



Hokkaido Nutopia Data Center Forum

北海道ニュートピアデータセンター研究会

提言書 2.0

編 者：山本 強

発行者：北海道ニュートピアデータセンター研究会

<https://nutopia-hokkaido.org/>

2025 年 5 月 26 日 発行

Copyright © 2025 北海道ニュートピアデータセンター研究会 All Rights Reserved.

本提言書の無断による複写、複製、引用、転載、改変及び配信は固くお断りします。



Hokkaido Nutopia Data Center Forum