

2019年12月版

東大グリーン ICT プロジェクトにおけるスマートキャンパスの実現に向けた活動の概要
東京大学 情報理工学系研究科 教授 江崎 浩

概要

インターネットシステムのアーキテクチャの抽象化を行った「インターネット・バイ・デザイン」[1][2][3] の考え方に基づいたスマートシティの実現と、スマートシティの実現に資する「スマートな」データセンターの実現に向けた技術課題と研究開発の方向性、および、研究成果の概要を報告するとともに、東大グリーン ICT プロジェクト (GUTP: <https://www.gutp.jp/>) におけるスマートキャンパスの実現に向けた活動の概要を記述するとともに、Industry4.0 および Society5.0 を、システムアーキテクチャと{広義の}デジタル化の観点から整理し、Post Society 5.0 の姿を議論する。

1. インターネット・バイ・デザインに基づいた すべての設備のオープン化

1.1 活動概要

GUTP では、関連する研究開発コンソーシアムと連携しながら、スマートビル（さらにはスマートキャンパス）に関する研究開発活動を展開してきた。この研究開発成果は、その重要かつ戦略的な適用・展開領域として、データセンターに展開されつつある。

以下が、主な、これまでの、データセンターを含むビル設備のオープン化・スマート化に関する活動とその成果である。

◆ 施設関係

- 2002年12月 Building Automation 分科会 (IPv6 普及高度化推進協議会)
- 2006年12月 FNIC(ファシリティ・ネットワーク相互接続コンソーシアム)
- 2008年4月 GUTP(東大グリーン ICT プロジェクト) 創設
- 2011年2月 IEEE1888 承認
 - ISO/IEC with 中国(2015年3月)
- 2013年12月 IEEE1888 拡張機能 3セットが承認
 - ISO/IEC with 中国(2015年3月)
- 2014年7月 「東京大学 広域設備ネットワーク標準データモデル形式」 [1]
- 2015年2月 「ファシリティ・インフラ WG」@JDCC with GUTP
- 2016年12月 「サーバー施設高効率化に向けたガイドライン」、東京大学 [2]
- 2017年1月 「サーバ室技術ガイドブック WG」@ JDCC with GUTP

- 2019年6月 「サーバ室技術ガイドブック」 発刊 [3]
- 2018年4月 「{データセンタ}運用ガイドライン」 @ JDCC with GUTP
- 2019年3月 経済産業省 産業サイバーセキュリティー研究会 ビル SWG
 - 経済産業省 「ビルシステムにおけるガイドライン」[4]
- ◆ 日本データセンター協会 (<http://www.jdcc.or.jp/>)
 - 2018年12月設立： 理事、運営委員会委員長
 - 2016年1月： 「次世代データセンタ勉強会」 (with GUTP)
- ◆ 内閣府 総合科学技術会議・イノベーション会議
 - 2018年4月 重要課題 「データ連携基盤 SWG」 Cloud-by-Default [5]

また、2019年12月には、JDCC と GUTP の連携で、「{データセンタ}運用ガイドライン」の拡張に関する活動を起動させた。 インシデント発生時の対応に関するガイドラインの作成である。本活動の成果は、[4] の 経済産業省 産業サイバーセキュリティー研究会から出した「ビルシステムにおけるサイバー・フィジカル・セキュリティー対策ガイドライン」への追加する形態での展開を想定している。

1.2 スマートシティーに向けた展開

データセンターを含む建物だけではなく、インターネット技術およびインターネットアーキテクチャは、ビルのみならず、道路や鉄道などすべてのインフラを包含するキャンパスあるいはシティー（街）へと、その適用領域を拡張しなければならない。スマートキャンパス、さらに、スマートシティーへの展開である。

スマートキャンパスやスマートシティーを構成する業界・システムを構成するセグメント間での「De-Silo-ing」すなわち、相互接続に向けたオープン化を 実現しなければならない。「De-Silo-ing」の実装にたっては、後述する「インターネット・バイ・デザイン」の考え方の適用を提案している。

1.3 インターネット・バイ・デザイン [6][7][8]

筆者は、インターネットシステムの設計・運用思想に基づいたシステムの設計と運用を Internet by Design と呼んでいる。「Internet by Design」は、以下の3つの特徴を持つ。

- (1) インターネットの基本プロトコルであるTCP/IPの設計を行ったことで知られる ロバートカーン(Robert Kahn)博士は、「インターネットは、デジタル情報が自由にかつ自律的に流通するための 論理的なアーキテクチャとして設計した」と説明している。このような空間あるいは環境は、コモンズ(Commons)とも呼ばれる。コモンズの典型的な例は、街にある公園である。公園を利用する人が、自由に、新しい活動(=Innovation)

を行うことができる。このようなコモンズの実現するインフラストラクチャは、(a) 利用法(Application) を制限しない、(b) 利用者(User) を制限しない、という2つの特徴を持つことで、継続的に、新しい利用法と利用者がシステムに投入されることが実現される。

- (2) さらに、Kahn博士は、「インターネットシステムの本質は、“選択肢”の提供にあります」と説明している。そのためには、モジュール間のインタフェースの共通化(=標準化)が必要となる。技術の標準化は、Co-Opetition (Cooperation と Competitionを統合した米国での造語)の状況を作り出すこと、すなわち、協調して新しい市場を創造・拡大し、その拡大した市場において公正で自由な競争状態を醸成する。
- (3) Internet by Design のもう一つの重要な点は、『動くものを尊重する』である。『選択肢の提供』に資するシステム構造は、常に意図的に最適化を行わず、多様な技術・モジュールが導入可能な環境にし、環境の変化に柔軟に対応することを意図している。したがって、「動くもの」を尊重しながら、システムの変更と継続的イノベーションを実現・展開すること意識した技術設計とシステム運用が重要な点となる。

このような、Internet by Designの考え方は、建築業界でよく知られている「スケルトン&インフィル」の考え方と、ほぼ等価な考え方と捉えることができるであろう。透明でオープン、さらに自律的な設計・構築・運用に基づいた建築物とコンプレックスの実現である。我々は、この「スケルトン&インフィル」に、『広域分散協調』の考え方と実装を実現しなければならない。

また、インターネットは、それまで、完全な同期網として設計・構築・運用されてきた国ごとに存在した電話会社を、非同期技術をバッファ機能とともに導入することで、自律分散型の投資・構築・運用へと変革させた。同じことが、エネルギーシステムを含むすべての街を構成するシステムに起こりつつあると考えることができよう。エネルギーシステムにおける蓄電(蓄エネルギー)機能の導入は、需要家側だけではなく、供給者側にも起こりつつあることでも明らかである。電力システムへのバッファ機能(蓄電機能)の導入とともに進行しているのが、小規模発電・創エネルギーシステムの設置・運用コストの急激な低下である。これは、発電機能を都市部から排除するという、これまでの既存概念・前提を否定し、電力供給システムの根本的な構造変革を具現化する可能性を持っているように思われる。

さらに、インターネットは、自律・自立に設計・実装されたシステムを、相互接続(ネットワーク化)することで、グローバル規模で協調動作する「自律分散協調システム」である。各ユーザが投資した自営システムが、相互にサービスを提供し合う(=互助)ことで、よりリッチなサービスが実現される、「ソーシャル(Social)性」を持ったシステムであり、各ユーザの自律的投資が自身へのサービス品質の向上につながる。このような性質によって、各ユーザに対する自律的投資意欲が発生し、急激なインフラ整備が実現された。このような性質は、協調運用(=互助)による利益が提供される社会・産業インフラに共通するところが多い。流

通システムや交通システムは、その典型例である。我々は、このような「マルチプル・ペイオフ」(=ソーシャル・システム)性を持つように都市インフラのスマート化を進める必要があると考える。

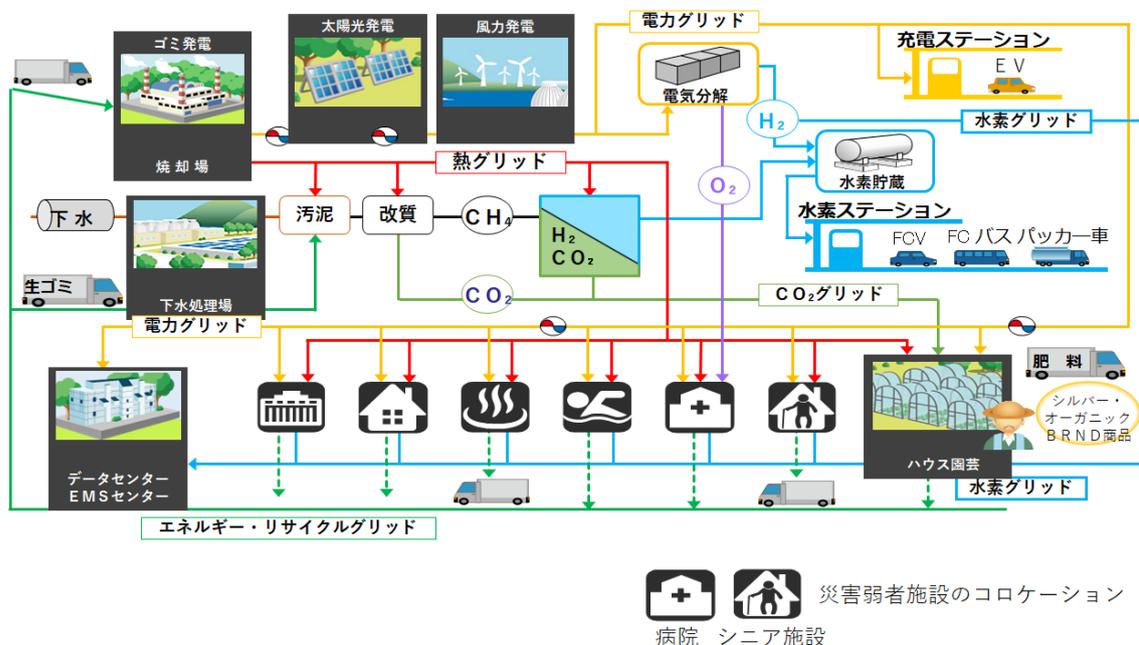


図1 ごみ処理施設を核にしたスマートインフラの考察例

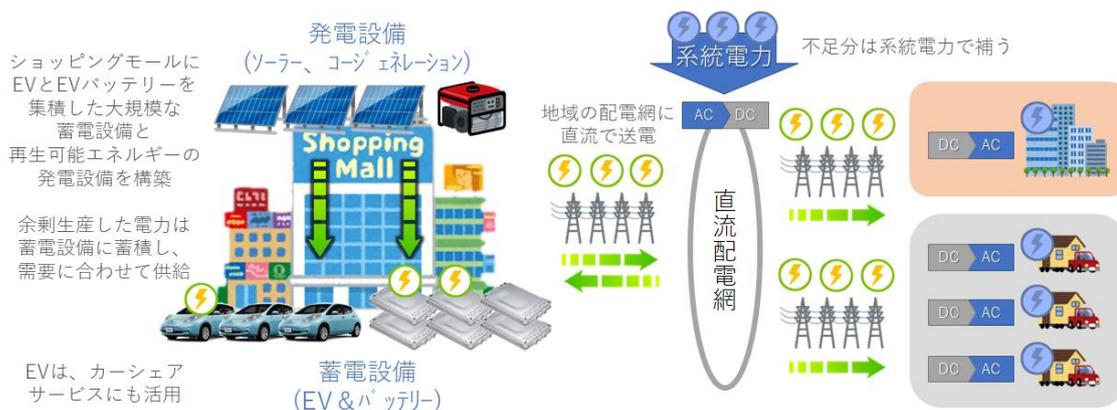


図2 ショッピングモールの考察例

さらに、BIM (Building Information Model) を核にしたスマートキャンパスの実現に向けたシステムアーキテクチャとその実装に関する研究開発を、GUTP (東大グリーン ICT プロジェクト) の BIM-WG および WIDE プロジェクト SDM (Software Defined Media) WG、さらに、ITS (Intelligent Transport System) の研究者と連携しながら推進している。この活動で共有しているシステムアーキテクチャは、内閣府 総合科学技術会議 イノベーション

ン会議「Society5.0 重要課題ワーキンググループ」に設置された「データ連携基盤 SWG」[5] で作成したシステム構造（図3）と矛盾しないアーキテクチャとなっている。特に、名前の管理を意識したオントロジーレポジトリおよび LOD (Linked Open Data) を導入したシステムとしている。[9][10][11]

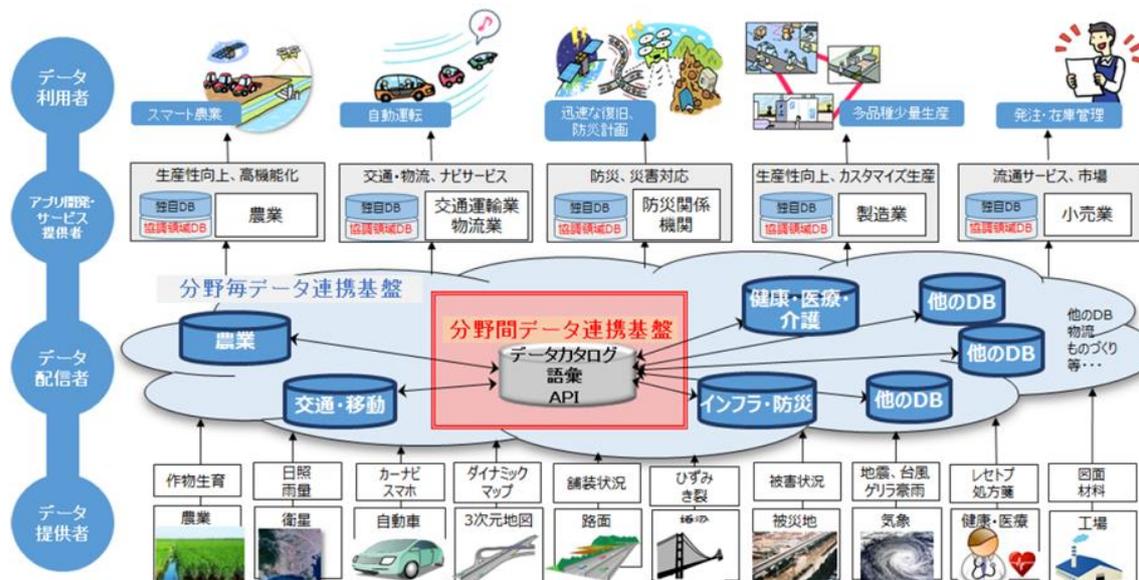


図3 「データ連携基盤 SWG」[5] で作成したシステム構造

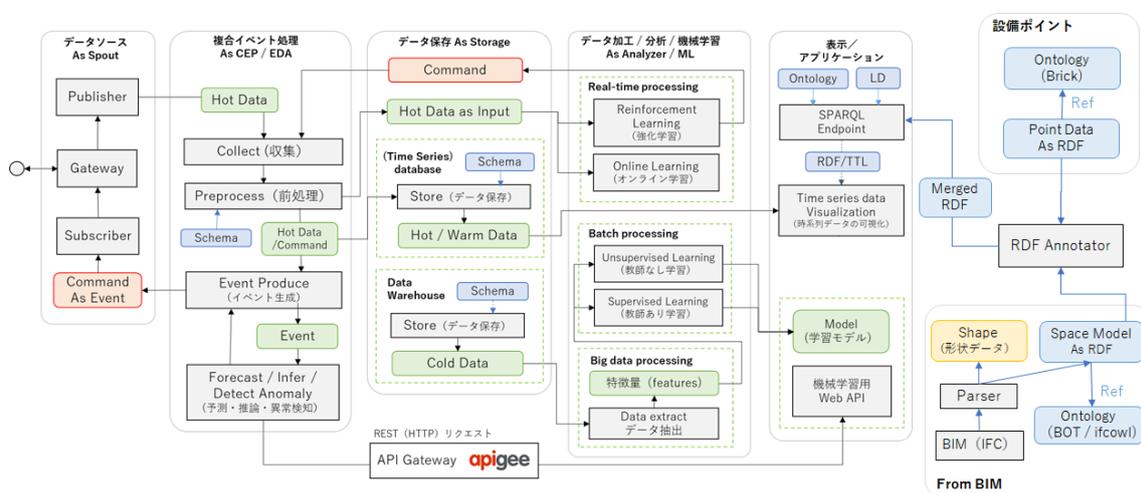


図4. 建物設備システムのためのクラウド・フレームワーク

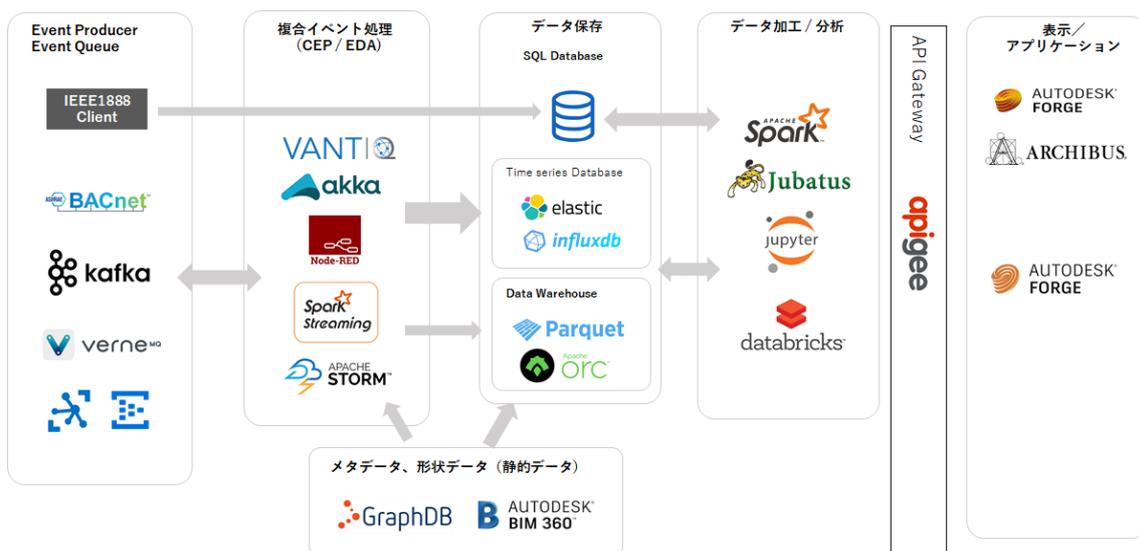


図 5. ビルにおけるデータ処理 with OSS

2. エネルギーを梃子にしたスマートシティへの貢献 [12] [13]

SDGs時代の社会・産業基盤は、情報通信システムの存在と発展が、その創造性と持続性の実現には必須であり、情報通信システムと実空間で展開されるオブジェクトとの連携、すなわち、実空間に存在する物(シングズ; Things)の状態把握(センシング; Sensing)と制御(アクチュエーション; Actuation)の設計と実装が、社会全体の効率を決定することになる。

インターネット技術を用いたビル・キャンパス・都市の効率化・グリーン化には、構成機器自身の省電力化・環境負荷低減と、ICT機器を用いた省電力化・環境負荷低減(by IT)の2つが存在するが、その実現には、インフラを構成する機器のエネルギー消費量の正確な把握と、その情報に基づいたデジタル化を具現化する戦略の策定が行われなければならない。人間に例えれば、デジタル機器が仕事をする場所であるコンピュータールームやデータセンターは『脳』にあたり、ネットワークは『神経系』、発電設備は『心臓』、さらに、電力は『血』に相当する。『賢く能率的な脳』と『俊敏に動作する神経』、さらに『効率的な循環器系』が、人間の効率的で機能的な活動を実現するのは明らかである。さらに、これは、イノベーションの持続性を実現するに資するエコシステムの特長を持ったインフラでなければならない。

特に、データセンターは、自身のグリーン化とスマート化を行う(DCIM: Data Center Infrastructure Management)ことは当然のことながら、さらに、社会・産業インフラのグリーン化とスマート化に大きな貢献することが分かっており、データセンターの戦略的利用は、我が国のみならず、新興国を含む、地球全体に対する大きな貢献となるであろう。東日本大震災は、我々の社会が、アルビントフラー氏が著した「第3の波」で示唆した「情報化社会」となっていることを認識させた。すなわち、我々の社会活動・経済活動・産業活動は、なんらの形ですべてが情報化されており、情報システムの存在なしには、ほとんど、その活動が機能しないことが認識され、「人、物、金」に加えて、「情報」が社会・産業の最重要な財産・資源であることが明確化されたと捉えることができる。

これまでの、情報システムは、さまざまな理由から、基本的運用形態は、事業者敷地内に情報機器を設置する、「On-Premises型」を基本としていた。その結果、津波の到来や激しい地震によって、事業所が被災し、その結果、活動の重要な財産・資源である情報が消失してしまった事例が多数見られた一方、重要情報を他の場所にバックアップしていたことで情報の消失を免れた事例も報告されている。このような経験をもとに、重要情報のバックアップを地理的に離れた自治体間で相互に持ち合うという施策も実装も進展している。当然ながら、企業においては、企業のリスク管理として、同様の対応・対処が検討・実施されている。このように、2011年3月11日に起こった東日本大震災は、社会・産業インフラに対して、まったく異なる次元からのBCP(Business Continuity Plan、事業継続計画)を確立する必要性があることを示した。その帰結として、我々は、BCPの向上と電力使用量の削減と制御を、社会・産業活動の量と質は低下させることなく、むしろ向上させることを可能にするようなスマートなインフラ構築を実現することが要求されることとなった。東

日本大震災を受け、我々は、**図 6** に示したように、(1) 節電・省エネ、(2) BCP の向上と (3) 効率化と生産性の向上電力使用量の削減と制御を、社会・産業活動の量と質を縮退させることなく、むしろ成長・向上させる)、さらに、(4) イノベーションの持続性を具現化するようなスマートなインフラ構築を実現することを目指している。

通常、エコシステムというと、節電・省エネ、質素儉約、柔和温順で、「我慢・忍耐・縮小」というキーワードが出てくる。しかし、正しいエコシステムでは、効率化、生産性向上、独立自尊、共生と共栄の方向性で、「知恵・創造・成長」というキーワードにしなければ、活動やビジネスが持続・発展しにくいものである。そこで、節電を効率化、監視カメラを防犯カメラ、自給自足を LCP(Life Continuation Plan)にすれば、縮小するイメージではなく、活動を安心にかつ効率的に増加させることを可能にするツールである施策であると捉えることができる。すなわち、「節電」は、(1) 同じ量の仕事を少ないエネルギーで行うが、「効率化」では 同じエネルギーでより多くの仕事をするを可能にする、(2) 環境を守りながら成長をするための「効率化」である、と捉えることができるのである。

さらに、省エネ・節電は、先進国では強く意識されているが、新興国などでは、経済成長が最優先であり、省エネ・節電の優先度は低くなる場合が一般的である。しかし、省エネ・節電技術が、組織の生産性の向上を実現させる可能性があることが認識され、さらに、特に、エネルギーセキュリティーの実現に資するものであることが認識されると、省エネ・節電技術が、特に発電・送電システムへの要求レベルを低減することの可能性を持つことが理解され、結果的に持続的な経済成長の実現に貢献する技術であると認識されるようになりつつある。

東日本大震災における我が国の経験は、改めて、「セキュリティー対策は、平常時が続くと、事業貢献もなく、さぼりたくなる」ということへの戒めを提示するとともに、優れたセキュリティー対策機能の導入が、今回の想定以上の大震災の発生にも関わらず、我が国の産業・社会活動の根幹を守ることを再提示したと認識し、これを、日本国内だけではなく、大震災を経験した貴重な国として、国際社会に対する情報発信を行うことが、世界への我が国の責任と貢献である。

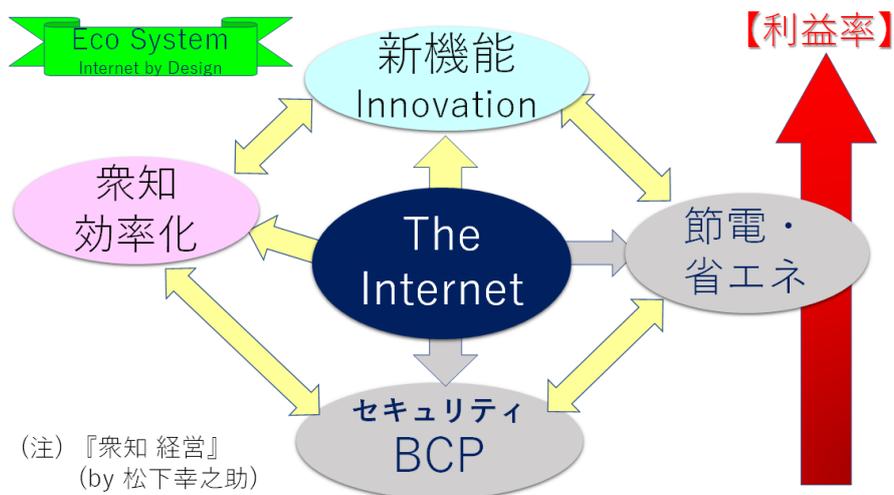


図 6. 持続的成長を実現する「マルチプル・ペイオフ」な相互関係

都市／街といった面的空間においてエネルギー持続可能性を確立し、また BCP を実現していくためには、民生業務部門の建物の他に、データセンタや居住施設といった多様な施設の協調、すなわち都市空間としてのスマート化を展開する必要がある。スマートシティを実現していくためには、従来ネットワークに接続することが前提とされていなかった機器／デバイスをネットワークに接続するとともに、それらの機器／デバイスが検知・計測する膨大な情報をインターネットを介して収集・分析することの可能な基盤を整備することが必要となる。前者については、近年重要インフラへのサイバー攻撃の危険性も指摘されるようになってきていることから、セキュアに機器／デバイス及び情報を管理できる仕組みを確立していくことが重要となる。後者については、指数関数的に増加するデータを高速かつ効率的に分析できる基盤としてのビッグデータ処理基盤を構築することが必要となる。また、ICT を利活用した効率的なエネルギー管理に係る市場を実際に形成・拡大していくためには、直接的な効果の他に、利用者にとって訴求性のある、より具体性を伴った新たな付加価値（BCP の確立や、エネルギー消費データの分析を通じた生産効率改善等）を産み出せる仕組みを提案していく必要がある。

3. クラウドシステムとデータセンターの戦略的利用

3.1 インターネット「第3の波の覚醒」[7][8]

- ・ **第1の波**

ティム・バーナーズ-リーが HTML/HTTP によりコンテンツをリンクし、デジタルコンテンツの網を作る技術を開発。TCP/IP を用いて形成されたインターネットの上で、World Wide Web が創生された。中央集権的な情報収集・配信システムではなく、すべてのエンドノードが情報の保存と発信可能な、地球規模の分散システムである。

- ・ **第2の波：データ検索**

ヤフー、グーグル、フェイスブックに象徴される、World Wide Web 上に存在するデジタル情報のソーシャル化による収集と、その検索である。インターネット上のユーザーが、デジタルデータをオンラインにすることで、世界中からアクセス可能になり、さらに、そのコンテンツを探索・検索するための検索システムが構築された。これによって、「ヒット」が生成する情報のアウトリーチが、革命的に拡大した。言わば、「IP (Internet Protocol) for Everyone」である。

- ・ **第3の波：IoT (Internet of Things)**

「ヒット」が生成するデジタル情報だけではなく、「モノ」が生成するデジタル情報がオンライン化される。「IP for Everything」である。すなわち、すべての「モノ」に対するアウトリーチが革命的に拡大する。これまでの IT 産業・インターネット産業だけではなく、全産業のシステムがオンライン化され、ネットワーク化されることになる。

第3の波では、「デジタル」の本質的な力、言わば“フォース”と言えるものが覚醒しようとしている。具体的には、以下の3つの変革・進化が起こりつつある。

(1) サイバー空間が実空間に染み出す

仮想的な空間、すなわち、サイバー空間に閉じていたデジタルネットワークは、物理的な「モノ」を相互接続 (= 染み出す) し、連携動作が可能な状況になる。当初は、サイバー空間が物理空間の神経系として、実空間の管理・制御、あるいは最適化を担う。これを、我々は「スマート化」と呼んでいる。現在の「物理空間のスマート化」に続いて、サイバー空間の計算能力の向上は、実空間の設計を、ほぼすべてサイバー空間で行うようになる。いわば、「サイバーファースト、フィジカルセカンド」である。

(2) 物理法則を「超越する」&「定義する」

サイバー空間は、実空間の法則、特に 時間と空間に関する法則を超越する。移動速度や移動可能な領域が、実空間よりもはるかに広がることになる。つまり、人は、実空間の物理法則に縛られない「超能力」を手にすることができるようになってきている。その結果、サイバー空間が、物理空間の法則を再定義することになりつつある。すなわち、「サイバー空間が実空間を設計する」のである。さらに、サイバー空間において、実空間をほぼ完全に再現することが可能になりつつあります。このような、サイバー空間による実空間の完全なシミュレーションができるようになってきたので、サイバーファーストが登場してきているのである。このようなシステムは、「ソフトウェア定義 (Software Defined)」のシステムと呼んでもいいであろう。実空間の設計を、すべて ソフトウェアで行うからである。ソフトウェア定義のシステムにすることで、設計や修正の迅速性 (Agility) と 柔軟性 (Flexibility) が向上することになる。

さらに、サイバーファーストを前提にしたソフトウェア定義なシステムにすることで、実空間で発生するインシデントへの対処・対応も迅速になる。

(3) 人間の知識と「交じり・混じり合う」

人工知能によって、人間の知識や経験がオンラインに収集・集約され、莫大なデジタルデータとなって、解析可能となりつつある。この莫大なデータを解析し、インフラのスマート化とイノベティブなサービスを創生することを、「ビッグデータ」と呼んでいるようである。すなわち、人間の知識・経験がデジタル化・オンライン化・ネットワーク化さえることで、「交じり合い・混じり合う」ことになる。人間は、物理空間で、その知識・経験を共有し、それを分析することが可能ですが、その共有には、物理法則の制限が存在する。しかし、デジタル化された知識・経験は、物理法則を超えて瞬時に共有可能であり、さらに分析可能になる。「人間」による知識や情報の共有(同期)は言葉や文字を用いた共有であり脳内に存在する知識や情報の完全な共有は不可能であるし、知識や情報共有には、物理的な人やモノの移動、さらに、アナログ媒体を介した知識や情報のアウトプットとインプットが行われる必要があり、知識や情報共有の実現に必要な時間は大きなものになってしまう。さらに、共有する人の数が多くなると、共有(同期)に必要な時間が加速度的に大きくなってしまし、共有の精度が著しく劣化してしまう。しかし、デジタルネットワークを用いた人工知能の知識・情報は、「ちゃんとした」デジタル情報であり、デジタル情報であるがゆえに、完全に誤りのない正確な知識や情報の共有(同期)が実現可能になるとともに、非常に小さな時間でデジタルの知識と情報の共有の実現が可能になる。しかも、最新のコンテンツ配信技術を用いることで、非常に多数のコンピュータ(例えば、自動車やロボットなど)の間においても、正確な知識や情報の共有(同期)が非常に小さな時間で実現されることになる。すなわち、時間と正確性の両面で、人間による知識や情報の共有とは異次元の知識や情報の共有が実現されることになるのである。

さらに、コンピューターは、人間の経験や知識を参考にするだけではなく、人間の経験や知識による発生する先入観を無視した、シミュレーションをサイバー空間で実験することができる。その結果、特に専門家が縛られることが多い専門的な先入観のために人間では思いつくことができない、突飛なアイデアをサイバー空間で実証し、その結果に基づいて提案・出力することができる。ある自動車会社による人工知能を用いたレシプロエンジンの設計プロジェクトには、このような背景があるようである。レシプロエンジンの熟練エンジニアでは思いつかないような突飛で、しかし有効なアイデアが人工知能によって提案される可能性を探っているのである。

このように、サイバー空間は、ある意味「人・脳」を超える存在になる可能性を持っているし、すでに、このような現象は少なからず発生している。これを、人工知能の領域におけるシンギュラーポイントと呼ぶ人も多くいるようである。したがって、近年、アイザック・アシモフが提唱した「ロボット3原則」が、頻繁に参照されているのではないだろうか。

(4) 人間の脳も模倣できる計算能力の向上

このような3つの観点での、「デジタルフォースの覚醒」が起ころうとしているのであるが、サイバーファーストや人・脳を超えるという考え方が出てきたのは、いったいなぜなだろうか？ これは、計算能力の劇的増加が原因である。スケールアウト機能によって多数のコンピューターが協力して非常に大きな計算機として振る舞うことが可能になるとともに、コンピューターで構成する電子モジュール（たとえば、GPU や CPU など）の性能がムーアの法則に従って向上し続けた結果なのである。この象徴的な出来事として、グーグルの ALPHA GO が、碁の世界チャンピオンに勝利したことが挙げられるであろう。ALPHA GO は、第三期の人工知能ブームを引き起こした深層学習（ディープラーニング）の技術を用いている。深層学習は、これまで過去の研究によってその有効性は分かっていた、多段構成のニューラルネットワークの計算を行う。ある意味、これは、人間の脳で行われている信号処理のデジタル空間での模倣（Emulation）である。この実空間の模倣に必要な計算量が莫大であり、現実的な時間では計算結果を得ることができなかったが、計算能力の飛躍的向上によって、この問題、すなわち、現実的な時間で計算結果をえることができるようになったのである。上述した、サイバー空間において、実空間をほぼ完全に再現することが可能になったので、サイバーファーストの状況が形成され、コンピューターが人の能力を超えたという実例である。

(5) ネイティブ・デジタル化

「デジタル化」とは、さまざまな計測データあるいは意思など、いろいろなものをコンピューターで処理可能な数値の信号にして表現することを指す。しかし、デジタル化をより広義に「情報を抽象化し、オブジェクトとして定義し、相互に共有する方法」

と定義・認識する必要がある。すなわち、情報における本質的な要素を取り出し、操作対象として表示や解釈の仕方を設定し、送り手と受け手で共有する方法ということである。このような定義では、物理的に存在しない多様なものがデジタル化の対象になる。たとえば、「言語」も含まれることになるし、「貨幣」もデジタル化と捉えることができる。人類はこれまで次のような5つのデジタル化の革命を経験してきた。

- (1) 言語
- (2) 文字
- (3) 貨幣
- (4) デジタルサンプリング（標本化の定理）
- (5) プログラム・コード

「言語」の発明というのが、最初に人類が行ったデジタル化と言えよう¹。続いて文字が作られた。それまで聴覚で共有されていた言語が、視覚でも認識できるように2次元の記号で表現されたのである。これによって、音声では消えてしまった言語が何らかの媒体に記録できるようになった。このデジタル化のおかげで、情報が時間や場所を超えて「空想」が共有できるようになったのである。3番目のデジタルの発明である「貨幣」は、本稿では議論していない（著書[7]で議論している）。

言語、文字、貨幣の後には、20世紀にデジタルサンプリングが発明された。音声や記号に関するアナログ信号をデジタル信号によって記録し、正確にかつ品質の劣化なしに再生できるようになった。情報を抽象化するという広義のデジタル化がいつそう推し進められたと言える。そして、さらにデジタル伝送が発明されると、多様な通信媒体でデジタル信号を遠くまで届けられるようになった。その結果、デジタル信号を記録・再生するだけでなく、あらゆる場所に瞬時に転送することを可能にしたのです。さらに多くの人々に共有されるという状態が生み出されたのである。

しかし、他の4つの発明と、この「デジタルサンプリング」をデジタル化の本質という観点から比較すると、他の4つの発明は「ちゃんとした」デジタル化なのであるが、「デジタルサンプリング」は「なんちゃって」なデジタル化と捉えなければならない。

◆ 「なんちゃって」デジタル

ある意味、アナログ・ネイティブなデジタル化である。音のデジタル化では、音波の強さを時系列に量子化したものである。画像のデジタル化では、画像のビットマップ(RGBごとの強度)の情報になる。具体的には、mp3やmp4ファイル、あるいは4Kコンテンツなどである。基本的には、音源や物体のプロファイルやコンテキストは、意識せず、単純な0と1の情報である。文字などの「ちゃんとした」デジタルと比較すると非常に大量のビット数が必要になるので、Expensiveであり、その結果(?)、リッチコンテンツ(Rich

¹ 「数字」の発明もこれに含めてもいいのかもしれない。

Contents)と呼ばれる。なお、この「なんちゃって」なデジタル情報は、その精度と品質が高ければ、高度な信号処理を行うことで、「ちゃんとした」デジタルに変換することが可能ではある（これが、4Kあるいは8K技術の「ちゃんとした」デジタルにとっての利用法かもしれない）。

◆ 「ちゃんとした」デジタル

プロファイルやコンテキストを持った「オブジェクト指向型」のデジタル情報である。具体的には、電子メール、MIDI、VRMLなどである。「ちゃんとした」デジタルは、通常では、必要なビット数が、「なんちゃって」デジタルと比較すると、非常に小さくなる。ExpansiveなRich Contentsに対して、Cheap Contentsと言ってもいいかもしれない。必要なビット数は、一般的に、非常に少なくなるが、こちらは、コンテンツを容易にしかも基本的に自力で操作することが可能となっている。文字や物体などのオブジェクトを回転させたり、大きさを変えたり、色を変えたり、あるいは好きな動作をさせたり、あるいはオブジェクト自体を変更することも可能なのである。D.I.Y (Do It Yourself) なシステムと言えるかもしれない。

(6) IoT(Internet of Things)の進化：IoF(Internet of Function)への拡張

20世紀以前のIoT的デバイスは、アナログの物理法則を利用した機械であった。これが、20世紀の後半から、プログラムの指示によって動作するデジタル機器（シーケンサとも呼ばれる）に進化した。しかし、この頃のIoTデバイスには、動作履歴を保存するメモリはなく、動作を指示するためのプログラムを収納する小さなメモリ領域があるのみであった。つまり、ソフトウェアディファインドなデジタル機械ではあったが、そのプログラムは固定された変更不可能なものであり、スタンドアロンで稼働する機器であった。

しかし、21世紀を迎えて、IoT機器は、ネットワークに接続されることになった。つまり、デジタル機器のオンライン化である。さらに、安価で大容量のメモリが利用可能になったことで、現在のIoT機器は、以下の機能を手に入れることとなった。

- ① 生成されたデータを記憶・保存、さらにインターネット（たとえばデータセンター）に送信可能になった。
- ② データを解析し、その結果に基づいて、IoT機器の動作をインターネット上の任意の場所からコントロールできるようになった。つまり、「神のような知識」が背後、すなわちインターネット上に存在していることを仮定することが可能になった。
- ③ IoT機器のソフトウェア（＝機能）は、自由に変更・注入可能になった。
- ④ ソフトウェア（＝機能）は、インターネット上に存在するIoT機器に自由に注入・移動・削除することが可能になった。

つまり、旧来のIoT機器は、記憶喪失症を持った特定の機能のみしか提供できない

頑固者の専用機器であった。一方、現在の IoT 機器は、ほぼ無限の記憶能力を持ち、しかも、必要な(新しい)機能を依頼された通りに実行可能な便利屋ともいえる汎用機器に進化したと考えることができる。記憶喪失は、ある意味、記録の洗浄ととらえることもできるので、現在の IoT 機器が喪失した、ある意味便利な価値を持つであろう機能を捨てなかったと考えることもできるであろう。これは、現在の IoT 機器が持つ遺伝子の中には、この「記録の洗浄」のコードは存在していないが、発現させていないと考えることも可能であろう。

つまり、IoT 機器を含む物理的な IT/ICT 機器(Physical Instance)は、サイバー空間で定義される「機能(Function)」を実現する生存機械であり、サイバー空間に存在する「モノ(Thing)」の、物理空間における単なる「仮の姿」ということになる。サイバー空間に存在する「機能」のプリントアウト先は、自由に選択し、修正・変更が可能になりつつあるのである。すなわち、IoT(モノの相互接続、Internet of Things)から、IoF(機能の相互接続、Internet of Functions)への進化なのである。

(7) サイバー ファーストへの進化

サイバーファーストの世界と、それ以前の物理ファーストの世界を、IoT とビッグデータ解析・人工知能の観点から、比較する。

IoT は、物理空間をセンターによって正確に計測し、サイバー空間に物理空間の論理的なデジタルコピー²を構築し、収集された大量のデータ(ビッグデータ)をさまざまなデータ処理アルゴリズムを用いて解析し、適切考えられる制御を、物理空間に存在するアクチュエータ機器に指示することで、物理空間に存在するシステムの管理・制御を行う。このサイクルを繰り返すことで、物理システムに関する解析結果(=知見)が集積され、より効率的で無駄のない生産性の高い管理・制御を実現する。このようなシステムが、通常、IoT を用いた工場や街の最適化・スマート化で、Industry4.0 あるいはスマートシティと呼ばれているシステムである。

一方、サイバーファーストな世界では、そもそも、サイバー空間で、システムの設計・シミュレーション・解析を、さまざまなパラメータを変化させながら実行する。このサイバー空間での設計・シミュレーション・解析のプロセスが繰り返され、満足する性能が満足されると、必要な物理空間への出力先を特定し、必要な物理的な機器・施設を、物理空間に構築(=プリントアウト)する。当然、どのようなセンサーが、システムの管理・制御に必要であるかも、最初のサイバー空間での設計手順の中で決定しているので、必要なセンサーを物理空間に設置し、必要なデータを収集することになる。この、収集したデータを用いて、実システムにおけるパラメータの最適化を行うプロセスを動かすことになる。このように、サイバーファーストな世界では、サイバー空間でのシステム全体の設計・シミュレーション・解析を行い、その結果をもと

² デジタルコピーあるいは、デジタルツイン (Digital Twin) と呼ばれている。

に、「必要な」物理機器・施設を定義・設置・運用するのである。

3.2 インターネットおよびデータセンターの変遷

インターネット環境が普及し、さまざまなアプリケーションサービスが展開されるようになると、インターネットを利用してビジネス・サービスを提供する事業者は、サービスの提供に必要なサーバを、自組織の建屋の中のサーバ室、あるいは、データセンターに設置し、サービス提供を行うようになる。インターネットの普及と発展に伴い、サービス品質の確保が重要なシステムの要件となり、データセンターの利用が加速する。この傾向は、Webサービス、クラウドサービスという呼び方でビジネス展開され、サーバーインフラの集約化がますます加速しており、データセンターへのサーバの集約化が進展している。その結果、通信キャリアを核にして伝送装置・スイッチ・ルータで構築・運用されるTCP/IPネットワークインフラのエッジに存在するというシステム形態であったデータセンターの位置着けが、根本的に変化しつつある。データセンター（と自組織の建屋のサーバ室）が主役で、データセンター間をTCP/IPネットワークで相互接続するという形態への変化である。特に、これまで、TCP/IPネットワークの「利用者」であったデータセンター事業者は、TCP/IPネットワークの構築者・運用者、そして、所有者へとなる場合が、増えてきている。既に、GAFAM、BAT と呼ばれるハイパースケーラ事業者は、彼らが所有するグローバル展開されているデータセンターの相互接続を、通信キャリアが提供する通信サービスではなく、自身で設置・運用する物理インフラ（あるいは、通信キャリアが所有するDark Fiberの利用）を用いて実現するようになってきている。巨大なグローバル展開するデータセンターネットワークインフラ（＝クラウドシステム）であり、このデータセンターネットワークインフラが、通信キャリア（およびISP）が提供する {パブリックの} インターネットと相互接続されるというネットワーク構造へと変化しつつある。

また、データセンターで稼働するコンピュータシステムの大規模化・高密度化は、システムのコストダウンと高性能化を実現するために、(1) 疎結合の機器構成を密結合化、(2) データセンター・クラウドシステムへの特化・効率化へと、データセンター内で稼働するIT機器のビジネスエコシステムを変革しつつある。DevOps あるいは WhiteBox と呼ばれる方向性である。データセンターで稼働させるIT機器には、通常のオフィス等で稼働するIT機器には必要であるモジュールは不要（＝無駄）であったり、異なる仕様のモジュールが必要とされる場合が少なくない。ハイパージャイアント（GAFAM、BAT）を核に、OCP（Open Compute Project）や Scorpio などの活動が展開されている。

最後に、データセンターの設備システムのオープン化と高度化である。データセンター内で稼働するサーバ等のIT機器は、良好にかつ安全に継続的で効率的な稼働を実現するために電源や空調など、あるいは監視や入退出管理など多様な設備機器から構成されている。いわゆる、IT（Information Technology）機器に対応する、OT（Operation Technology）機器で

ある。OT 機器に関するオープン化とデジタル・ネットワーク化も急速に進展しつつある。DCIM(Data Center Infrastructure Management)と呼ばれる、デジタルネットワーク技術と人工知能・ビッグデータ技術を導入したデータセンター施設・設備の管理制御、さらに、IT 機器と連携したデータセンター全体での管理制御システムに関する研究開発も精力的に行われている。このような、効率的なデータセンターの運用の KPI として、一番重要視されるのは、当然のことながら「Financial なコスト」であるが、近年では、これに、SDGs に資する「脱炭素化(あるいは地球温暖化防止に資する地球温暖化ガスの削減)」や「省エネ」を実現するための研究開発とシステム導入が進められている。特に、ハイパースケラは、SDGs への貢献に資するデータセンターの構成への努力を近年は加速させている。

3.3 データセンターの戦略的利用

デジタルネットワークシステムは、電力使用量や各種センサーのデータの収集・蓄積・解析と、電力消費機器の制御を実現するが、一方で、大きな電力消費減かつ熱源でもあり、その効果的な対策が必要である。また、クラウドシステムが効果的な省エネを実現することも、最近広く認識されるに至った。クラウドを用いた省エネの実現は、データセンタービジネスと連携した戦略的なオフィスおよび ICT システムのスマート化とグリーン化に向かっていると同時に、スマートシティを構成する戦略的物理拠点に資する可能性を示しつつある。

先端技術である仮想化技術を用いたクラウドの戦略的導入は、節電だけではなく、BCP(Business Continuous Plan)の向上という危機管理機能の向上にも貢献する。ノート PC、タブレット PC あるいはスマートフォンなどバッテリーを持ったユーザー端末とクラウドシステムの導入により、電力不足に対するデマンド制御や、電力に関連するインシデントに対するデータの保全とサービスの継続が可能となる。図 7 に、東京大学工学部電気系学科のサーバ群と江崎研究室のサーバ類をクラウド化した概要を示した。合計で 2.52kW、約 71%の節電を達成することができた。クラウド化の作業は学生が行ったので、必要な経費はサーバハードウェアのみであり、節電効果による原価回収期間は、空調負荷の軽減も考慮に入れると約 6 か月となった。また、クラウド化により、空調設定温度制限を緩和することでの快適性の確保が実現可能となったばかりでなく、広く・快適な作業空間へと改善が行われた。

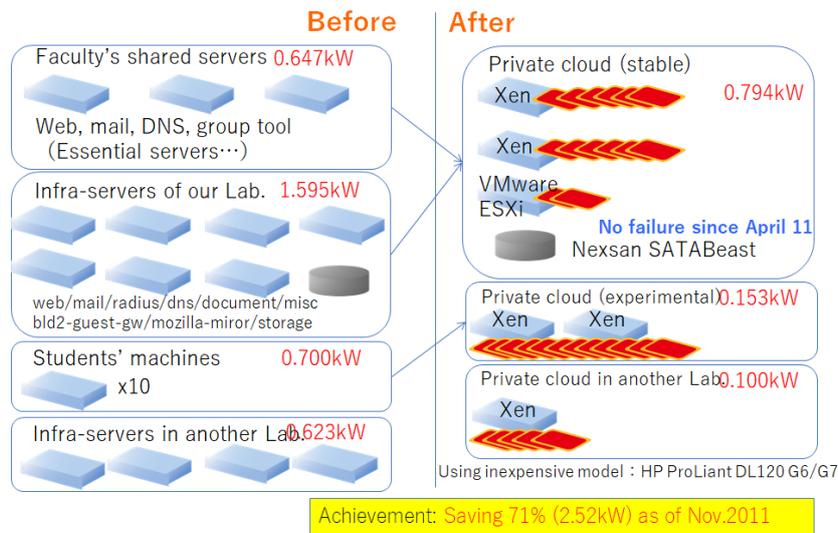


図 7. 江崎研におけるクラウド化を用いた省エネ

日本データセンタ協会(www.jdcc.or.jp)は、東京都環境条例の施行にあたり、クラウドシステムを用いた節電の効果は、効率的な最新の空調を用いてサーバ群を集合・集約運用させるデータセンターの戦略的利用により、さらに大きくなることを、東京都環境局殿にご説明した(図8)。データセンターやクラウドは、大量の電気を消費するため、省エネの敵だといわれていた。しかし、オフィスのサーバ類をクラウド化してデータセンターに移設すれば、大きな節電・省エネが実現される(筆者の研究室では約70%の節電に成功)。その結果、データセンターへの例外規定を策定して頂き、さらに、データセンターとクラウドの利用が、快適性とBCPを向上させながら環境温暖化ガス排出量の削減(=節電)を実現するスマートな方法として紹介・推奨して頂いている。

1. Move and accommodate servers in the offices into iDC , hosting service, will lead to 15% energy saving
2. Vitalize the servers and integrate into a single physical machine, i.e., cloud computing, will lead to 40% energy saving.

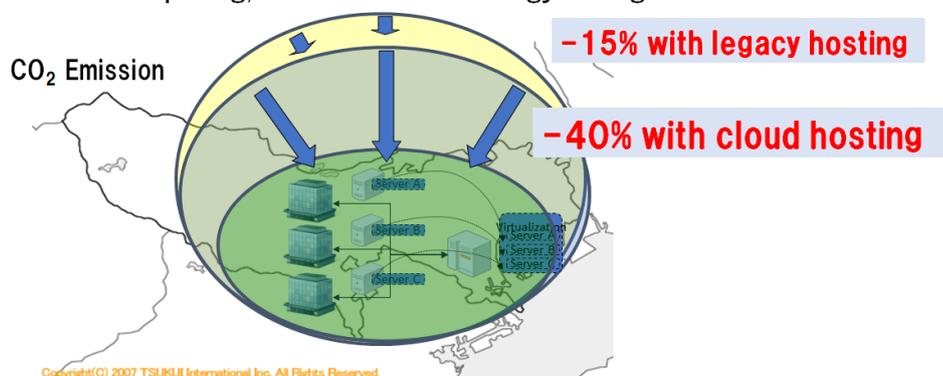


図 8. Strategic Energy Saving using iDC

クラウドシステムの導入は、省エネ・節電に留まるものではなく、むしろ、(1)エネルギーセキュリティを含むBCPの向上と、(2)生産性の向上、さらに、(3)ビッグデータのシステム環境への移行を実現することが分かっている。すなわち、クラウドシステムの戦略的導入は、**図6**で示した、1つのインフラが4つの貢献を同時に実現するグリーン・エコ・システムととらえることができる。

3.4 今後のデータセンターの方向性

今後のデータセンターに係る方向性³としては、以下のようなものが考えられる。

(1) プッシュ型 からプル型 へ ~ サプライチェーンの最適化を超える構造変化

ベンダー主導の構造は、プッシュ型の サプライチェーンを作る。サプライチェーンは、工場内、企業内、さらに企業間や業界間まで含むことになる。しかし、単にサプライチェーンを最適化するだけでは、これまでと同様、プッシュ型のままであり、ベンダーやプロバイダーを中心にしてチェーンが形成されることになる。プッシュ型では通常、供給過剰が発生し、ベンダーやプロバイダーが主役の場合には、エンドカスタマーとの間に存在する仲介組織が供給過剰の吸収役になり、需要と供給のミスマッチは仲介組織に過剰な負担を強いることになる。

この状況を「ユーザー主導」に変えることが、ある意味、インターネットが実現したビジネス構造のイノベーションである。つまり、「ユーザー主導」すなわち、ユーザーの需要・要求をもとに、サプライシステムを管理・制御するのである。サプライチェーンではなくデマンドチェーンの構築である。このような環境では、ユーザーとベンダー（が密接にシステムの技術仕様を定義する「Dev-Ops（デブ・オプス）」と呼ばれる方法を採用することで、より小さなコストで迅速かつ容易に、各エコシステムの高度化・効率化・安定化を実現しようとする。さらに、直線あるいは木構造のデマンドチェーンが進化し、自由なネットワーク構造を持つ、バリュー・クリエーション・ネットワークを形成することになる。

(2) 技術仕様のオープン化

インターネットアーキテクチャの最重要要件の一つは相互接続性であり、その実現に欠かせないのが技術仕様をオープン化することである。垂直統合型のシステムではなくすべてのシステム間で共通の技術仕様をみんなで作るという視点が必要になる。共通の技術仕様を作り、みんなで共有して利用すること、すなわち、技術仕様のオープン化が重要かつ必須の条件となる。インターネット以外の産業・社会インフラにおいては、

³ これらの方向性ならびに要件は、すべての建設物施設ならびに重要インフラ設備に共通する方向性である必要となる要件である。

物理レイヤーからアプリケーションレイヤーまでの機能がそれぞれ独立した個別の独自技術を用いた各サブシステムから構成される「垂直統合のサイロ型システム（あるいは ストーブ&パイプ型システム）」となっていることが一般的であった。

このような既存のシステムに対して、すべてのサブシステムに共通するオープンな技術を用いて相互接続し、すべてのシステムが連携して動作することが求められています。相互接続性を最重要要求条件とする「水平協調型のプラットフォーム型システム」に移行することは、成長と持続的イノベーションを実現し、デジタルエコノミーを活性化させることになる。ライフタイムコストが削減され、長期的な高機能化と運用の継続性に寄与することになる。さらに、相互接続性を最重要条件とするデジタルエコノミーを形成する各システムにおいては、「外部システム・外部機器との接続」を前提にした、『セキュリティ・バイ・デザイン (Security-by-Design)』の考え方に従った、すべてのハードウェア・ソフトウェアに関するサイバーセキュリティ対策の実装が必須条件とされる方向を目指さなければならなくなる。

オープン化は、それを構成するすべてのハードウェアとソフトウェアに関して実現されるだけではなく、これらの調達手順と運用手順もオープン化されるとともに、現在の「ベンダー主導」の設計・実装・運用・管理手順を、オーナー主導、ユーザー主導に変革しなければならない。あるいはユーザーとベンダーが密接にシステムの技術仕様を定義する Dev-Ops へ変革することで、より小さなコストで迅速かつ容易に、各システムの高度化・効率化・安定化を実現することを可能にする。「ベンダー主導」の状況を、「オーナー主導・ユーザー主導」に変化させるためには、発注者（施主）組織の担当者の知見と経験値の向上が必要となり、「発注者側のスキル向上」が欠かせない。発注者側の知見の充実と向上によって、発注者側と受注者側は、お互いに適切な緊張感をもって切磋琢磨しつつも連携し、Win-Win の環境を構築しなければならない。

オープン化のメリットを具体的に挙げる。

(ア) ライフタイムコストの削減

- ① 初期導入コスト
- ② 運用コスト
 1. 機能のアップデート・追加（改修を含む）
 2. モジュールの入れ替え（代替機の可能性）
 3. システム運用のネットワーク化と最適化

(イ) 新機能追加の可能性・実現性の向上

各ベンダーの独自技術を用いた旧来の IT システムでは、システムの構築と運用・改修改善・機能向上に必要なコストが大きくなるのみならず、新機能の導入のための制限が存在し、新機能の導入が不可能な場合も少なくない。ベンダーに共通なオープン技術の適用・導入によって、納品ベンダーでは導入が難しい（苦手な）新機能を、少ないコストで、かつ短い時間での実現 (Agility) する。すなわち、システム的设计・実装および運用の自由度を向上させることの可能性・実現性が向上し、

特にシステムの所有者・運用者の意思を反映することが可能となる。

(ウ) システム統合の可能性・実現性の向上

特定のベンダーが提供する独自技術を用いず、ベンダーに共通なオープン技術を用いることで、それまでは、独立に運用されていたシステムを相互接続し、統合化および連携協働の実現性への困難度が軽減される。これまで、個別に稼働していたシステムを、相互接続し連携動作させることで、システムの効率化の実現と、新機能・革新的機能の実現が、今後の方向性と認識されている。

一方、ベンダーにとっては、技術とシステム構造のオープン化によって、以下の恩恵がもたらされたと解釈することができる。

利益率の高いシステムへ移行することで、既存システムによる事業を継続した時の利益率の低下を防ぐことができる。新しい付加価値を産まない事業・産業は、コストダウンによる利益率の向上のみとなり、結果的・長期的には、衰退せざるをえないというのが一般的である。これまで、相互接続できなかったシステムとの相互接続・連携協働動作により、新しい付加価値を持った利益率の高い新事業の実現可能性への挑戦が可能な状況を作り出した。

現在の、多くの非 IT 産業におけるシステムの設計・実装・構築・運用・保全・管理は、オープン化以前の IT 業界に等しい状況にあると考えることができるであろう。

(3) コンテナ化

コンテナ型のデータセンターは、その機動性・可動性のみならず、頑強で高価な建造物を必要としないため、建物所有者にとっては、魅力的な技術となる。モジュール化の、別の実現手法とみることもできる。外気空調と組み合わせた、特に、アジア等で魅力を持ったコンテナ型データセンターモジュールの製品化も行われている。

(4) 直流給電

情報機器は、内部的には直流で動作しており、データセンターからテナントが持ち込む情報機器への給電を、交流から直流に変える動きも顕著になりつつある。特に、高圧直流給電技術の研究開発は、加速している。運用の安全性の確立が大きな課題とされているが、直流給電技術の導入によって、給電線の物理的大きさが小さくなることが、知られており、データセンター内部での配線やダクトの取りまわしが、より容易になるばかりでなく、空調用のエアフロー特性の向上にも貢献することが期待されている。

(5) 電源の多様化

再生可能エネルギーを含む、多様なエネルギーの利用が推進されるであろう。我が国の電力単価は、原子力発電所の停止と再稼働の遅れ(最悪の場合には廃炉)などの原因により、化石燃料を用いた発電比率の急激かつ急速なシフトによって、急激に上昇している。代替エネルギー源の確保を、データセンターは推進することになるであろう。

(6) 電源の自立化

現在の、電力会社から提供される電力と、石油を中心とした自家発電による非常時の電力という形態は、多様な電源の展開とともに、変化しなければならない。たとえば、ガスの利用もその一つかもしれない。東日本大震災の際に仙台では、ガス供給のインフラの回復が一番遅れたと、一般的には認識されているが、業務用の中・高圧ガスの供給は、震災においても影響を受けずに供給が継続されたとの報告もある。また、コンテナ型の高出力のガスを用いた自家発電(常時発電も可能)システムも商用化されており、今後は、多様な電源をデータセンターみずからが運用し、余剰電力を、周辺の設備等に供給するような形態も検討されるべきであると考えられる。これまでは、安い電源を求めて発電設備にデータセンターが擦り寄る形であったが、今後は、データセンターがコミュニティーへのエネルギー供給源であり、かつ、情報の集約・保全・処理拠点となることも考えられるかもしれない。既に、事業所内の IT システムにおいては、PoE(Power on Ethernet) などの直流給電による、オフィス内に展開する IT 情報機器や周辺機器への電力供給とネットワーク化が可能な環境が整いつつある。ディスプレイとキーボードを含む Thin-Client ノードが、タイプ 1 の PoE を用いて動作可能な状況にある。このような環境では、空調や照明などのファシリティ設備が電力会社のインシデント等により停止した場合でも、IT システムは、UPS 装置や自家発電装置を用いて、通常動作を継続することができるような環境も可能となりつつある。このような環境が、データセンターにも起こり得る可能性があるであろうし、データセンターの場合には、上述の通り、外部への電力供給(=情報のみならずエネルギーの観点でもクリティカルインフラとしての位置付けとなる)の可能性も十分に考えることができるかもしれない。

(7) 通常建築物への影響

屋内設備、および建物のモジュール化、さらに、空調、照明、IT/ICT 機器 という建物を構成するコンポーネントすべてを、一括して設計・構築・運用・管理するよ

うな形態は、一般の通常建物では実現できていない運用形態である。このような、これまで、分離して設計・構築されるために、個別の部分最適化が、改装的に行われ、結果的に、建物を全体としての効率性が損なわれていた、一般の建築物が、参照可能な、より、効率的で経済性に優れた建物の構築体制が実現されるかもしれない。

(8) データセンターを核とした戦略的コンプレックスの可能性

IT システムの戦略拠点として市場拡大を続けるデータセンターは、大量の電力を消費する事業所であり、グリーン化(節電・省エネ)が積極的に推進されてきたが、最近では、発電設備を持った外部電力に頼らない『自立』型データセンターへと進化しようとしている。次の段階では、データセンターが、市街地に電力、熱、さらに IT サービスを提供するスマートシティの頭脳であり心肺機能となることが期待される。さらに、電力や熱エネルギーの発生源であるゴミ処理場や下水処理場などと、その潜在的利用者である病院やシニア施設あるいは温水プールや農業用グリーンハウスなどと、データセンタが共生するエココンプレックスの可能性も十分に考えられる方向性であろう。このエココンプレックスは、災害時にもエネルギー的に自立可能な存在であり、したがって、災害時の避難所としても機能することができる。このように、データセンターが、エコシステムを形成するに資する施設と共生・共存することで、街のエネルギーポートフォリオを変革し、街の IT サービスのみならず、エネルギー(電力と熱)と災害に関するセキュリティーに関する重要拠点となるシナリオが考えられる。

3.5 オープンシステム実現への課題

以下に、オープンシステムの実現に向けた課題を整理した。

(1) 調達システムに関する透明性の不足・欠如

(ア) システム構造

システムを構成するサブシステムがブラックボックス化されることで、結果的に、施主側の要望実現に関する自由度が制限されることになってしまう。

(イ) コスト構造

サブシステムのコストがブラックボックス化され、発注者を含まない、受注側企業間での相対でのコスト構造が形成され、コスト構造の透明化が阻害され、結果的に、

サブシステムを提供する業者間での競争環境の形成が阻害されてしまう。

(2) ベンダーロックイン と 提供機能の制限

オープン技術が利用可能とされているにも関わらず、実質上は オープン技術の利用・適用が、事実上、困難（あるいは不可能）となっており、大幅な維持・管理コストの増加が誘導され、特定のベンダーへのロックイン状況から抜け出すことが容易ではない状況が作り出されている事例が多いのが実状である。具体的には、共通のオープン技術を用いた相互接続環境の実現は不可能ではないが、大きなコストを請求・要求される場合や、基本機能以外の機能に関する相互接続性は保証できない場合、あるいは、導入システムに対する正常・安定運用の保証しない場合（たとえば『オープン化は可能だけど動作保証はできません』と脅迫される）などが、発生している。その結果、事実上・実践的な「相互接続性」実現が阻害され、他のベンダーの機器・ソフトウェアの導入が阻害されているとともに、先端機能・新機能の導入に関する障壁（コストと運用制限）が大きく、事実上阻害されている状況が少なくない。

(3) システムのネットワーク化・統合化への制限

インダストリー4.0（第4次産業革命）や Society5.0 で 提唱されている、さまざまなシステムの相互接続・相互連携・連携協働は、これまでは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である。このネットワーク化・統合化は、自システム内に限ったものではなく、自分のシステム以外のシステムとの相互接続・連携協働を、意図したものである。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。

しかしながら、相互接続に伴うシステムの動作保証の問題、サイバー セキュリティーを含むセキュリティー（安全性）の問題、相互接続に必要な費用の問題などを理由に、システムのネットワーク化・統合化への制限が提示されることになったり、あるいは、導入したシステムが独自技術を用いているために相互接続することが事実上不可能となったりしている場合などが存在している。

(4) セキュリティー

クローズドな独立運用を前提とし、その物理的セキュリティーによって、外部からの攻撃に対処しているので安全であると主張されているシステムが多くなっている。そのため、当該システムを、他のシステムと相互接続する場合には、システムの安全稼働・正常稼働を保証することは不可能といわれることが少なくない。また、他のシステムとの相互接続を行わないことを前提に、システムの設計・実装・

構築・運用・保全が行われている場合が多く、基本的なセキュリティー対策が考慮・実装されていない場合も少なくないのが実状である。

(5) ロックイン型ベンダーの反応

システムの所有者側が、システムの新設や改修などの際に、ベンダーロックインを維持・強化するために、システムのオープン化を行わないように誘導する典型的な独自技術によるロックイン型ベンダーの反応・対応の例を挙げる。

(ア) 「オープン技術を用いることでも、ご希望の要求は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」。

① これは、逆にライフタイムコストはが大きな負担となる場合が、少なくない。

(イ) 「ご希望の機能を提供することは、「不可能」です。」

(ウ) 実は可能でも、不可能と主張される場合が、少なくありません。

(エ) 「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、

(オ) 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。

(カ) 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。

(キ) 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。

(ク) セキュリティー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」

(ケ) こうした反応があるときは、そもそも、セキュリティー対策が考えられていないことが多いのが現状です

(6) ロックイン型ベンダーの対応方法

このようなベンダーに対し、ユーザーに対処するための方針を整理した。

(ア) 経営・財務、および 企業統治・監査への包含

システムのオープン化やサイバーセキュリティ対策は、経営者側にとっては、短期利益への貢献度が小さく、さらに、サイバーインシデントの発生やシステムの統合や機能アップなどの非定常業務・イベントが発生しないとその経営・財務に対するインパクトを実感することができないため、投資意欲がわきにくいというのが一般的である。これらの、非定常業務が発生しないと、「コストセンター」に見えてしまう。しかし、一度、この非定常業務が発生すると、その財務負担と労務負担は大きなものとなってしまふ場合が少なくない。すなわち、経営視点・財務視点での潜在的リスクを、財務管理の中に埋め込むことの必要性、あるいは、社内システムのオープン化とサイバーセキュリティ対策の実施が、企業における監査機能と企業統治 (ガバナンス) に必要な施策であるとの認識の確立が必要である。

さらに、これらが、IR(Investor Relation)における企業の KPI(Key Performance Index)として認識されることが、これらの施策を実施させるために有効な施策となる。例えば、企業の M&A において、独自技術によって構築された社内システムを持っている企業の評価額は、下がってしまう場合が出てきているようである。

(イ) システムの運用・保全・管理のオープン化

システムの 保全・運用などの企画を、システムの所有者側（発注側）が自力で行うことができる環境を構築するのが理想である。そこで、実際の調達では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などして、実現されるべきである。「丸投げ」は禁止すべき。

特に、運用管理の契約において、適切な措置を取れることを可能にするような条件を発注仕様書に明記することが重要である。

(ウ) ライフタイムコストの観点に立ったシステム仕様の検討と定義

設備の発注に際しては、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である。

(7) 調達のオープン化（透明性の確保）

可能な限り、システムを構成するすべてのサブシステムに対するコスト構造がオープン化され、発注側に透明化されることを提案の必須条件に盛り込むべきである。これによって、受注内部でのブラックボックス化された相対での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行うことが可能になる。

(8) 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である。

(9) セキュリティー機能の定義と明文化

安全対策、継続的・持続的運用（BCP）と保全に必要なセキュリティー対策が、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である。調達にあたっては、外部システムとの接続（ネットワーク化）の可能性を前提として、設計・実装・運用・保全されなければならない、適切で有効なセキュリティー対策とシステム運用の考え方が適用されなければならない。

(10) 既存のオープンプロトコルの現状と 統合化

これまでは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・明文化すべきである。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。

- (ア) 相互接続に伴うシステムの動作保証
- (イ) サイバーセキュリティーを含むセキュリティー（安全性）対策
- (ウ) 相互接続に必要な費用

このような項目に配慮しつつ、システム全体のオープン化とネットワーク化（相互接続化）を順次推進する方向性を包含した戦略的で計画的な実行計画が提案されるようにするべきである。

(11) IT 化（クラウド・IoT）の積極的利用

IT 技術・システムを用いた事業の実行・執行形態の変革が進行している。実際の物理システムでの実装を行う前に、コンピュータシステム（＝サイバー空間）において、精細なシミュレーションが行われ、実際の物理システムの詳細設計が完了したあとに、実際の実装が行われる形態である。「サイバースペース・ファースト（Cyber Space First）」あるいは「ソフトウェア・ディファインド（Software Defined）」でのシステム設計・実装である。例えば、建築・設備業界における「BIM First」⁴あるいは「Computational Design」が、この方向にあたる事業形態である。

さらに、ネットワークに接続されシステムとの相互接続と相互連携が可能な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と処理、さらに制御は、仮想技術を積極的に利用したクラウド基盤の積極的な利用が推奨される。クラウド基盤においては、ハードウェアの技術仕様に依存しない、仮想的な計算機環境となっており、経費支出の平滑化と削減が容易になる。

日本政府は、クラウド・バイ・ディフォルト（Cloud-by-Default）の方針を 2018 年 6 月に宣言した。Society5.0 を支えるコンピュータシステム基盤は、クラウドを利用するとの意思決定である。筆者は、内閣府 総合科学技術会議 イノベーション会議「Society5.0 重要課題ワーキンググループ」に設置された「データ連携基盤 SWG」の座長を務めた際に、以下のことをコンセンサスとすることができた。[4]

⁴ 【BIM】 Building Information Modeling の略。コンピューター上のデジタルモデルに、いろいろな属性を付加したものをデータとして扱い、建築の工程を革新する新しいワークフローが取り入れられている。

- (ア) 十分なサイバーセキュリティ対策のもと、分野間の「データ連携基盤」の構築を進める。
- (イ) 統一的な技術仕様の策定や実装を待つことなく、迅速に(agile に)データ変換を行ってもよいので、利用・導入される技術仕様の透明性を確保することで、相互接続性・連携可動性を向上し、異業種間での新しいデータ連携の促進を図る。
- (ウ) 民間等の独自のデータ提供サービス構築などを阻害することなく、できるところから連携を進めていくことが重要である。また、将来的な変更・アップデートを前提とした考えのもとで、柔軟なシステム構築を目指すべきである。
- (エ) 政府が構築するデータ連携基盤は、全体システムの一部であり(しかし重要な役割を果たす)、民間でのデータ連携において、その利用を必須とはしない。民間での異業種間での新しいデータ連携を推奨する。要は、『政府は民間の邪魔をするな』。
- (オ) 最先端の ICT 技術の導入の観点から、分野毎および分野間の両方に対するデータ連携基盤は、競争原理が働く民間企業が運営する最新のデータセンターを活用することが望ましい。要は、『政府は{不良債務となる可能性が高い}官製(自前)のデータセンターは作るな』

4. ポスト Society5.0 の姿を考える

物理的な制約から機能を解き放つ「アンワイアード」(Un-Wired)は、新しいサプライチェーン(正確には デマンドチェーン)を考える上での前提とする。

4.1 サイバーファーストとアンワイアード

デジタル化によって、ハードウェアおよびソフトウェア・オブジェクトが媒体によるロックオンから解放されてアンバンドル化され、情報・データは、いろいろな媒体を渡りあることが可能となる。

物理的な拘束からの解放は、「アンワイアード」な状態になると考えることができる。アンワイアード以前の世界では、物理的な境界線を越えることは国家の制約(=壁)を超えるためには大きなエネルギーが必要であった。しかし、デジタル化によって、この物理的な制約(=ワイアードな状態)と、オブジェクトが物理的な存在場所(=生存機械)を変える(=移動する)ために必要なエネルギーが非常に小さくなり、その移動性(=Mobility)が極めて大きくなったのである。つまり、機能を実現するオブジェクト(=コード・プログラム)は、地球上の物理的生存期間を容易に移動できるようになりつつあると捉えなければならない。機能(Function)であるデジタルオブジェクトが、アンワイアードな状態に進化し、自由に地球上の空間、さらに、サイバー空間の中を自由に移動できるようになってきているのである。このアンワイアードの環境が具現化されてきているがゆえに、IoT(Internet of Things)からIoF(Internet of functions)への進化が加速していると捉えるべきである。

4.2 Post Society 5.0

ドイツ発の Industry4.0、日本発の Society5.0、そして、Post Society5.0の姿を整理してみよう。

(1) Industry4.0

1. Connecting un-connected **“machines”** in **“a”** factory
2. Connecting un-connected **“companies”** in **“a”** supply chain, leading to demand chains

(2) Society5.0

1. Connecting un-connected **“industries”** in **“a”** country
2. Creating **new** supply chains

(3) Post Society5.0

1. **“Un-wire-ing”** (unbundling) to re-connect/newly-connected on **“the globe”**

2. Connecting **“functions”**, rather than connecting things, i.e., Io**F**(Internet of Functions) rather than Io**T**(Internet of Things)
3. **“Demand chains”**, rather than supply chains

Industry 4.0 は、1つ (“a”) の工場の中に独立して存在・稼働していた (=Un-connected) 機械をネット化して相互接続するとともに、これまで接続されていなかった (=Un-connected) 工場をはじめとする施設も相互接続(=Connected)し、サプライチェーンを形成するという革命である。

次に、Society5.0 は、1つの工場ではなく、日本国内のすべての産業を構成する施設を相互接続(=Connected)し、新しいサプライチェーンというビジネスを創生する革命と捉えることができる。

そして、Post Society 5.0 は、アンワイアリング(Un-Wire-ing)された機能オブジェクトが地球上を自由に移動可能になり、新しい接続・結合(Re-connect)をすることで、グローバル規模の新しいデマンドチェーンを形成する革命になる・するべきではないだろうか。この段階では、モノ(thing)の相互接続(=IoT)という考え方は、機能(function)の相互接続(=IoF)という考え方に進化し、プロバイダー主導の PUSH 型のウォーターフォール型のビジネス構造は、ユーザ主導の PULL 型のデマンド起動型のビジネス構造へと進化することになると考えられる。

5. むすび

インターネットの「第3の波」が具現化した21世紀においては、「情報」が、「人・物・金」となる重要な社会・産業財として認識され、さらに、情報通信システム(ICTシステム)が、その高機能化と継続的なイノベーションの実現に必須のものであり、サイバー空間と実空間の連携と統合化が必須のものとなる。本稿で議論した、Internet by Design の考え方は、「スケルトン&インフィル」の考え方と、ほぼ等価な考え方と捉えることができ、我々は、透明でオープン、さらに自律的な設計・構築・運用に基づいた建築物とコンプレックスの実現を目指さなければならないと考える。さらに、インターネットが実現した自律分散協調の環境を、街を構成する施設群において実現しなければならない。その中でも、データセンターは、多様な機能を実現するためのスマートシティーの実現に資する戦略的物理拠点の可能性を持っており、具体的で実践的なエココンプレックスの実現に向けた取り組みを推進するべきであると考えられる。

さらに、Post Society 5.0 の時代には、アンワイアリング(Un-Wire-ing)された機能オブジェクトが地球上を自由に移動可能になり、新しい接続・結合(Re-connect)をすることで、グローバル規模の新しいデマンドチェーンを形成することになるのではないだろうか。この段階では、モノ(thing)の相互接続(=IoT)という考え方は、機能(function)の相互接続(=IoF)という考え方に進化し、プロバイダー主導の PUSH 型のウォーターフォール型のビジネス構造は、ユーザ主導の PULL 型のデマンド起動型のビジネス構造へと進化することになると考えられる。

【文献】

- [1] 東京大学 TSCP 室, “東京大学 広域設備ネットワーク 標準データモデル形式”, 2014 年 7 月.
<http://hiroshi1.hongo.wide.ad.jp/hiroshi/papers/2014/tokyodaigakukouikisetubinet.pdf>
- [2] 東京大学 TSCP 室, “サーバ施設高効率化に向けたガイドライン”, 2016 年 12 月.
http://hiroshi1.hongo.wide.ad.jp/hiroshi/papers/2016/TSCPguideline_about_servers_2016.pdf
- [3] 江崎、尾西、大谷, “データセンター サーバ室ガイドブック”, インプレス R&D 社, 2019 年 6 月 10 日.
- [4] 「ビルシステムにおけるサイバー・フィジカル・セキュリティ対策ガイドライン第 1 版」, 経済産業省 産業サイバーセキュリティ研究会, 2019 年 6 月 17 日.
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/sangyo_cyber/wg_seido/wg_building/20190617_report.html
- [5] 内閣府 総合科学技術・イノベーション会議 専門調査会 Society5.0 重要課題ワーキング

ダグループ「データ連携サブワーキンググループ」、”分野間データ連携基盤の整備に向けた方針”，平成30年4月。

<https://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/datarenkei/3kai/siry01.pdf>

- [6] 江崎, ”インターネット・バイ・デザイン - 21世紀のスマートな社会・産業インフラの創造へ”, ISBN 978-4-13-063456-4, 東京大学出版会, 2019年6月22日.
- [7] 江崎, “サイバーファースト - インターネット遺伝子が創るデジタルとリアルの逆転経済”, ISBN 978-4-8443-7837-2, インプレス R&D 社, 2019年11月22日.
- [8] 江崎, “サイバーファースト - デジタルとリアルの逆転経済”, ISBN 978-4-8443-9778-6, インプレス R&D 社, 2017年6月16日.
- [9] 粕谷、塚田、江崎, “インタラクティブな遠隔ライブ VR 配信プラットフォーム”, 情報処理学会 論文誌 デジタルコンテンツ(DCON), Vol.8, No.2, August 2019. (to be appeared).
- [10] 塚田、菰原、粕谷、高坂、新居、小川、江崎, ” [SDM360-Square : インタラクティブ 3D コンテンツの自由視聴点再生](#)”, 情報処理学会 論文誌 デジタルコンテンツ(DCON), pp.10-23, Vol.6, No.2, August 2018
- [11] Takashi Kasuya, Manabu Tsukada, Yu Komohara, Shigeki Takasaka, Takuhiro Mizuno, Yoshitaka Nomura, Yuta Ueda, Hiroshi Esaki, “[LiVeRation: Remote VR live platform with interactive 3D audio-visual service](#)”, IEEE GEM(The Games, Entertainment and Media) 2019, New Haven, USA, June 2019.
- [12] 東大グリーン ICT プロジェクト, “オープンでスマートなキャンパス施設の実現にむけての提言”, 2016年11月.
http://hiroshi1.hongo.wide.ad.jp/hiroshi/papers/2017/OpenFacilityi_April_04_2017.pdf
- [13] 江崎, ”Internet by Design に基づいた都市のスマート化戦略”, 建築設備総合協会 月刊誌 「BE 建築設備」, pp.22-28, Vol.65, No.8(第763号), 2014年8月.

【別添 1】

A1. 覚醒するインターネット遺伝子

サイバーファーストな社会経済について考えるとき、利己的遺伝子に着想を得てインターネットの進化をとらえ直すことは、さまざまな新旧の構造転換にどう対応し、イノベーションを生み出すのかについて、大きなヒントをもたらします。

A1.1. 「the Internet」の進化

インターネットは、定冠詞の the と大文字の“I”を用いて、the Internet と表記します。これは、インターネットが世界でただ一つのデジタルネットワークであるからです。国境を越え、地球上のすべてのヒトとモノがデジタル情報を自由に送信・受信・共有・利用・加工できる環境を実現することが、その存在意義であり、ミッションとされています⁵。

インターネットは、これまでの物理的なモノの存在を前提にした社会経済活動を、デジタルで置き換えながら、新しいルールに基づいた「サイバーファースト」な社会経済という段階へ進化しつつあります。

これまで、サイバー空間に閉じたインターネットは、すべての物理空間をのみ込みながら、IoT (Internet of Things) やビッグデータ、さらに人工知能 (AI) との融合・共存を前提とした新しいエコシステムを形成しつつあります。私はこれをインターネットの「新たな覚醒」ととらえています。

A1.2. 利己的遺伝子とインターネット

すべての生命体は、遺伝子という歴史書⁶であり、設計図を持っています。この設計図に従って個体が形成され、歴史書から必要となるであろう設計図の部分を抽出し、次の個体の設計図 (= 遺伝子) に組み込みます。

英国の生物学者リチャード・ドーキンス博士は、1976 年に出版された『利己的な遺伝子

⁵ 【インターネットのミッション】近年、インターネットが社会・産業・経済活動のクリティカル・インフラストラクチャとして広く認識されるようになったため、各国政府がインターネット上のデータフローに関する監視や規制を適用するようになってきている。このような動きを発現させる「サイロ主義・ナショナリズム主義の遺伝子」は、インターネット遺伝子の対立遺伝子ととらえることができるだろう。

⁶ 【歴史書】の中には、現在の個体では発現していない過去の個体において発現していた設計図も保存されている。

『(The Selfish Gene)』の中で、この個体のことを、遺伝子を運ぶための「生存機械」と名付けました。

遺伝子は、交叉（こうさ）を続けることにより、機能の交叉と、完全には正確でない誤りを含む複製（誤複製）によって、多様性の拡張と確保、突然変異という新機能の獲得をしつつ、一方では、淘汰によって必要以上の複雑性・多様性の爆発を防ぎ、適切な複雑度・多様度に収れんさせながら、設計図（＝遺伝子）を継承し、進化させていきます。

さらに人類は、遺伝 ATGC の 4 つの核酸塩基から構成される遺伝子と、類似の特性を持って行動・進化する『ミーム (mimine)』と命名された「アイデアや概念あるいは考え方」を示す遺伝子を定義したのです。

なお、ATGC の 4 つのキャラクターで表現される遺伝子の情報を本書で議論する「デジタル化」という観点でとらえると、「4 進数列で形成されるデジタル情報」ということになります。このような観点では、4 進数列のデジタル情報である遺伝子の生存機械がデオキシリボ核酸 (DNA) であるにとらえることも可能です。そして DNA は、4 進数列のデジタル情報である遺伝子情報の、物理空間へのプリントアウト (出力) 先と考えることができます。たとえば遺伝子操作は、DNA という物理実体で行う必要はありません。デジタル空間で操作し、DNA と似た機能を実現できる別の物理実体にプリントアウトして動作させることも可能なのです。つまり、DNA が持つデジタル情報（＝設計図）と、デジタル情報を格納する物理媒体（＝核酸塩基）とは、分離、すなわちアンバンドル化することが不可能ではないということです。『利己的な遺伝子』には、このような解説があります。

遺伝子が遺伝子のプール内で繁殖するに際して、精子や卵子を担体として個体から個体へと飛び回ると同様に、ミーム<mimine>がミームプール内で繁殖する際には、広い意味で模倣と呼ぶうる過程を媒介として、脳から脳へと渡り歩くのである。

まとめると、次の 5 つのポイントがあります。

- ①言葉・文字は、遺伝子における ATGC の核酸塩基（＝4 進数のシンボルキャラクター）と等価なもの。文章、プログラム、そして文化は遺伝子に等価なもの。
- ②生存機械（実存個体）を利用して、個体の意思（＝ルール・コード）を永遠に残そうと（利己的な）努力をする。なお、ATGC の 4 進数のシンボルキャラクターの集合・順序列である物理実体としての核酸塩基の列は、（抽象的な観点での）遺伝子の生存機械ととらえることができる。
- ③遺伝子は、交叉を繰り返し、進化（変化・誤複製）するし、淘汰もされる。遺伝子の中に格納（＝記録・記憶）された設計図は、現在の生存機械で発現しなくても、残って（＝記録・記憶）いれば、次世代以降の生存機械において「発現する可能性」がある（確保されている）。

- ④ 遺伝子は、「歴史をすべて記憶・記録」している。しかし、その記録には、誤った複製が存在している（意図的に誤った複製を行っているとも考えられる）。
- ⑤ 遺伝子が遺伝子のプール内で繁殖するに際して、精子や卵子を担体（生存機械）として個体から個体へと飛び回ると同様に、ミーム<mimine>がミームプール内で繁殖する際には、広い意味で模倣と呼びうる過程を媒介として、脳から脳へと渡り歩く。

このように考えると、ミームの一つが、「システムアーキテクチャ」や「技術仕様」ととらえることができるでしょう。すなわち、システムアーキテクチャや技術仕様は、『利己的な遺伝子』であり、人から人へと、広い意味での模倣の作業を行いながら、物理的に拡散する方向と、時間軸的に過去から未来へと継承される活動を展開することで、その勢力を拡張し、永續させようとする行為であることとらえることができるのではないのでしょうか。

A1.3. 市場の寡占と国家による保護主義の問題

最後に、このような行為は、より大型化された覇権（＝集中型のクライアントサーバー型システム⁷⁾）に取れんするののかという疑問が出てきます。答えは、ノー（否）でしょう。

大きな組織は、意思決定や対応が遅く、このような環境においては、迅速な対応を行う小さな組織の価値が高まります。ベンチャー企業・組織です。この小さな企業・組織と、巨大な企業・組織がどのような関係で進化していくのか。これは、大規模な企業・組織が小さな企業・組織にどのように対処するかによって大きく変わってくることになります。過度の集中は、特定の企業・組織による寡占・独占を生みます。自由な市場原理に単純に任せてしまえば、寡占・独占が継続されるような方策を寡占・独占組織が展開することになりかねないため、政策による措置が重要になります。具体的には、新規参入者へのインセンティブの提供や市場参入のための支援、さらには、寡占・独占組織への非対称規制、あるいは、寡占・独占組織の分割などです。インターネットにおいては、技術の透明性と相互接続性の確保のためのオープン化によって、新しい組織・企業が新しい技術や実装で新規参入を可能にするような、技術の標準化を行うという統治メカニズムを持たせています。

これが、我々が「自律性」と「多様性」を尊重しなければならないとされている理由であると考えられます。生き残るためには、継続的な進化が必要であり、進化のためには、「自律性」と「多様性」、そして、交流を行うための「相互接続性」が必要条件になります。

インターネットの遺伝子は、理論・権威よりも「実際に動くもの」を尊重し、「あえて最適化しない」、「多様性を尊重する」技術とシステムの標準化を行い、持続的進化を実現してきました。これは、インターネットコミュニティーの人たちが共有している以下の象徴的な

⁷⁾ 【大型化された覇権】この現在の典型例がハイパースケーラーと呼ばれる、GAF(A(Google), A(Apple), F(Facebook), A(Amazon)) + M(Microsoft), BAT(Baidu, Alibaba, Tencent)にあたるのかもしれない。

言葉に表れています。1992年のデービッド・クラーク博士の言葉を見てみましょう。

We reject king, president a voting.

We believe in rough consensus and running code.

(by Dr.David Clarke, MIT, at INET92 in Kobe, Japan)

私たちは王や大統領、投票を尊重しない。

ラフコンセンサスと実行コードを信じる。

(MIT デービッド・クラーク博士、神戸で開かれた INET92 にて)

「王様、大統領、そして投票」を否定するというのは、①不適切な民主主義（投票による少数意見の抑え込み）と、②独裁・エリート主義的な統治・運用を、否定するものです。また、「ラフコンセンサスと動くものを信じる」というのは、資本主義的な統治・運用を目指すものと解釈することができます。つまり、自由資本主義です。インターネットは、自由資本主義的な遺伝子を持っていると考えることができるでしょう。第2次世界大戦後、自由資本主義は、社会共産主義に席卷されそうになりましたが、「成長」を前提とするシステムである「資本主義」が、成長のインセンティブが乏しい「共産主義」を凌駕することになりました。米国を中心とする「自由資本主義」です。インターネットに広がるビジネスは、「自由資本主義」のルールに基づいていますが、現在、「社会資本主義」的な、「国に閉じたデータ資本主義」の動きが出てきているように思えます。2018年5月に、EUによって施行された GDPR (General Data Protection Regulation; 一般データ保護規則) や、多くの国で導入が進みつつあるデータローカライゼーション⁸は、この「社会資本主義」的な動きの事例として挙げられます。グローバルを前提とするインターネット遺伝子が、国際 (International) を前提とする国家主義・保護主義の遺伝子からの挑戦を受けている状況であるととらえることができるかもしれません。

インターネットの遺伝子は、独自の技術で閉じたエコシステムを形成し、排他性を持ったサイロを、共通の技術を用いて相互接続させ、1つのシステムにします。その結果、各個人・各組織の自律的投資がインターネットの成長に貢献し、さらにインターネットの成長が各個人・各組織へのサービス向上に繋がるという、ポジティブなスパイラル構造を持った One for All, All for One 型のソーシャルエコシステムを形成することに成功しました。この相互接続性という遺伝子は、これまでのコンピューターの相互接続網の実現から、Society 5.0 でも示されている「すべての社会・産業システムの相互接続統合網の実現」へと、その生存機

⁸ 【データローカライゼーション】 ネット上でのサービスに対して、そのサービスを実行する物理的なサーバーは、サービス対象の国に存在し運用されなければならないという規則。

械のターゲットを拡大しつつあるようです。インターネットの遺伝子にとって最大の対立遺伝子は、「サイロ化」「ブロック化」です。国家による保護主義的な政策とは摩擦が生じることが多々あり、共存のための対話が重要となります。さらに、国を含むすべての組織間（これをマルチステークホルダーと呼ぶ）での自由な情報流通の実現と、各自律システムがさまざまなインシデントに対抗して生き残るために必要なサイバーセキュリティの実現が、インターネット遺伝子が生き残るために重要かつ必要な要件となってきます。

国家主義・保護主義の遺伝子は、インターネット遺伝子とその生存機械の領域を拡大したことによって、その存在を認識し、共存と競争を探る段階を迎えているのではないのでしょうか。また、インターネット遺伝子を持ったハイパースケラーGAF&BAT⁹に代表されるOTT（Over-The-Top）¹⁰事業者は、インターネット遺伝子の重要な要素である「分散」ではなく、「集中」を加速させており、インターネットのインフラ事業者との間での関係が非対称になりつつあります。この問題は、「ネットワークの中立性」の新しい課題・論点になってきています。近年は、この3つの遺伝子が、交流・対立・交叉を行っている段階のように思えます。

A1.4. コネクテッドオーガナイゼーション

組織の壁を越えた情報の流通は、企業のビジネス構造にも大変革をもたらしています。

組織のすべての構成員が、外界の個人や組織と双方向で対話することで、迅速で正確な製品・サービスの企画・生産・提供が可能となりつつあります。コネクテッドオーガナイゼーション（Connected Organization）です。コネクテッドオーガナイゼーションの実現によって、これまでのベンダー主導のプッシュ型サプライチェーンは、ユーザー主導のプル型デマンドチェーンに進化しつつあります。潜在的な消費者の要求が、リアルタイムに収集・共有・解析され、適切な機能を持った適切な量の製品・サービスが需要者に提供され、付加価値の高いものを適量生産するバリュー・クリエーション・チェーンが実現するのであり、破壊的イノベーションを繰り返しながら今後ますます成長・進化することになります。

この現在（あるいはこれまでの）「ベンダー・プロバイダー主導」のビジネス構造を、「ユーザー主導」に変えるのは、トップダウン（＝ウォーターフロー）型の構造を、ボトムアップ型の構造に変えることです。ある意味、権威主義的な民主主義型のビジネス構造を、自由主義と民主主義の中間のビジネス構造にしようとする方向性ととらえることができるでし

⁹ 【GAF&BAT】 GAF& は Google、Apple、Facebook、Amazon という米国発巨大 IT 企業群。これに Microsoft の M を加えることもある。また、BAT は Baidu、Alibaba、Tencent の中国発の巨大 IT 企業群。

¹⁰ 【OTT】 インターネット回線を通じて、メッセージや音声、動画コンテンツなどを提供する事業者のことを指す。通信事業者が持つ回線の上の層のサービスを扱うため、目標や上限を超えるという意味の Over The Top の略称が使われている。

よう。序文でも述べたように、インターネットの遺伝子は、「自由主義と民主主義の中間」を実現するという方向性とミッションを持っているのではないのでしょうか。

このように、「インターネットの遺伝子」は、現在の、強すぎるウォーターフォール型の社会民主主義的ビジネス構造（ある意味、独裁主義、権威主義、社会・共産主義とも近い構造）ではなく、ネットワーク化された個人を最大限尊重する自由資本主義的ビジネス構造を構築・発展させるというものなのかもしれません。

A1.5. マルチプル・ペイオフ

流通の効率化は、結果として必要な物理資源とエネルギー量を削減し、地球環境問題に貢献することができます。ある事例では、ビジネスチェーン上の企業間での情報共有によって、必要となる倉庫容量の 40% を削減することに成功しました。インターネット遺伝子が実現する「マルチプル・ペイオフ」の事例です。プラットフォームが利用可能な媒体からアンバンドルされ、さらに、プラットフォームを利用するアプリケーションがプラットフォームにロックオンされずにアンバンドル化されることで、一つのプラットフォームが多様な異なるアプリケーションを収容できるようになります。プラットフォームの共有（シェアリング）とプラットフォームへの投資の共有（マルチプル・ペイオフ）が実現されることになるのです。すなわち、プラットフォームのアプリケーションに対する透明性と中立性を持つことで、汎用性と持続性を持ったシェアリングエコノミー型の効率的なシステムを形成することができます。

このようなマルチプル・ペイオフ環境の実現には、「データの所有権」の管理ポリシーが重要になります。IT 機器やシステムがサービスプロバイダーから提供されたとしても、利用履歴や通信したデータは、利用者には著作権が存在するとされるべきでしょう。実際、IT 産業および ICT 産業では、ユーザーが利用する機器に存在する、または機器が生成するデータは、すべて、ユーザーが所有権を持っています。たとえば、患者の医療データは病院のものであり、かつ患者のものでもあるとすれば、情報の流通と利用を患者（ユーザー）主導で実現することが可能になりますし、情報の独占も回避することができます。このような観点から、ビッグデータビジネスや IoT ビジネスを考えることが重要になっています。GAFAM/BAT に象徴される、OTT ハイパージャイアントによるデータの排他的所有を回避するためには、適切なデータの所有権に関する考え方が確立・実践されなければなりません。これは、インターネットの重要な遺伝子である「すべてのエンドユーザーに対するサービスの提供機会の担保」にとって、重要なシステムの必要要件となります。

このように、「相互接続性の形成」という遺伝子は、一つの投資が複数の目的によって償却されるマルチプル・ペイオフを実現します。資源の共有と共用は、品質向上と経費削減（TQC）、冗長性の向上によるサービス継続性（BCP）の向上、無駄の削減による環境改善・省エネへの貢献、さらに、データ利用を根子にした新事業創造の可能性を提供します。インターネットを用いて、すべてのユーザーに、自由に新しいサービスをする機会（Opportunity）

を提供することが、マルチプル・ペイオフの実現にとって重要な要件となります。インターネットが前提の経済システムにおいて、法律が追い付かない理由はここにあるのではないのでしょうか。たとえば、データセンターを拠点とするクラウドコンピューティングシステムの環境は、連携する組織のデータが安全な場所に共存し、効率的で創造的なデータ連携を可能にするとともに、災害時の堅牢性の向上、サイバーセキュリティ機能の向上と固定費である人件費と設備費の削減、さらに、大きな電力消費量の削減を、同時に実現することができます。さらに、国土交通省から示された、我が国が2050年に向けて目指すべき社会インフラの方向性である「コンパクト&ネットワーク」(Chapter6で詳しく解説)の一例とも言えるでしょう。この「コンパクト&ネットワーク」は、日本政府が2018年に打ち出した「クラウド・バイ・デフォルト」(Cloud-by-Default)の考え方にもつながっています。

A1.6. 所有権と利用権のアンバンドル化

また、インターネットの遺伝子は、垂直統合型のサイロ型の経済構造を、複数のプラットフォームから構成されるマトリックス型に変える「ディスアグリゲーション化(Disaggregation 化=アンバンドル化)」とも呼ばれるトランスフォームを実現させることとなります。インターネットシステムにおけるシェアリングエコノミーは、利用と所有の分離が不可欠です。インターネットにおけるIPパケット(=デジタルの小包)の発明によって可能になった、①すべてのデジタルコンテンツが共通のデジタル小包に梱包可能となる(運ばれる媒体に非依存)、②デジタル小包はすべての搬送媒体で搬送され流通可能(運ぶ媒体に非依存)となる、という2つの性質によって実現されることとなります。

多様性を持ったすべてのユーザーとサービスが、相互接続性を持った共用のプラットフォームを利用可能にすることで、運用の効率化と競争環境が確保され、品質向上とコストダウンが同時に実現します。これは、1950年代に発明されたコンテナとパレットによる物流システムのシェアリングエコノミー革命と同質ものであり、我々は、いよいよデジタル技術による物流の大革命を本格化させようとしているのです。

「所有権と利用権のアンバンドル化」による社会・産業システムのイノベーションの例としては、自動車産業が生き残りをかけて取り組んでいる、MaaS(Mobile as a Service)が挙げられます。MaaSは、人は、自動車を含む乗り物を所有せず、必要な時に利用料を支払って必要な乗り物を利用するというものです。しかし、もともと人の移動は、ほとんどがMaaSで、飛行機や列車、バス、船舶などは、所有権と利用権がアンバンドル化していて、人は、必要な移動手段を料金を払って利用することで、目的地に移動することができます。自家用自動車がむしろ例外だったのですが、MaaSによって、いよいよ所有権と利用権のアンバンドル化が実現しようとしています。さらに、Uberでは、所有する自家用自動車のペイオフを所有者自身だけではなく、他人に利用させることによって得る収入でペイオフするマルチプル・ペイオフの形態を導入しようとしているのです。これは、アンバンドル化による利用者(=アプリケーション)の透明化と言えるでしょう。

プラットフォームの提供者は、多様な利用者から利用料金を徴収することで投資効率を向上させます。一方、インターネット遺伝子は、利用者が、あるプラットフォームにロックオンされず、最適なプラットフォームを選択して利用可能な環境を維持しようとしています。これにより、たとえば、グーグルやフェイスブックのようなハイパースケーラーが推進するホワイトボックス型の IT 機器の研究開発も可能となりました。これは、人類最初のデジタルの発明品である、「言葉」、「文字」、そして「貨幣」にも共通する性質です。今、仮想通貨に代表される「貨幣のデジタル性」の本格的な覚醒は、出版やレコード業界などのコンテンツ業界におけるデジタル革命と同じような大革命が起こりつつあるととらえることができるのではないのでしょうか。

さらに「プログラム (=コード)」の発明は、機能・サービスのハードウェアからの解放 (非依存) を実現しました。その結果、機能・サービスは、迅速にアップデート・変更可能となり、専用機器が急速に不要になりつつあります。迅速かつ容易に必要なところにサービスの物理的な出口を低コストで生成したり消滅させたりすることが可能となっているのです。ブロックチェーン¹¹を用いて、サイバー空間に企業や組織、プロジェクトを定義することも可能です。ソフトウェアで物理的な社会システムを定義し、実際に構築することが、現実のものになろうとしています。いわゆる、「ソフトウェアデファインド・インフラストラクチャ」です。3D プリンターは、その代表例でしょう。インターネットに接続された任意の 3D プリンターにプログラムを送信することで、任意のモノをサイバー空間から出力することができます。「サイバーファースト」なシステムの典型例です。

この段階においては、インターネットの遺伝子を意識したサイバー空間での迅速なシステム設計や意思決定、さらに戦略的かつ適切なルールの形成が必要となります。

A1.7. サイバー空間という無限の成長可能な領域

社会や経済の発展には、どのような条件が必要なのでしょう。18 世紀までの成長は、ほとんどゼロで、成長を前提とはしない社会でした。すなわち、ゼロサム社会ですので、資産・資源の総量は変化せず、その持ち分の量が変化するだけでした。ところが、19 世紀以降、①領土および資源の発見と拡大、②科学技術の発展、によって、社会の資産・資源の物理的な総量が増加することが可能となりました。その結果、すぐに利益が出なくとも、将来利益を出すことが期待できる (=Trustable) な活動 (=事業) への先行投資が可能となりました。成長領域が存在するために、リスクと利息を支払っても、プラス (=利益) が期待できるようになったのです。これが資本主義ということになります。労働力を投入するこ

¹¹ 【ブロックチェーン】仮想通貨ビットコインの中核技術で分散型取引台帳とも呼ばれる。P2P ネットワークとしてディセントライズ (非中央集権) な仕組みが構築できることから、金融のみならず、さまざまな分野での応用が期待されている。

とで、物理的な新しいモノが手に入るようになったのです。新しいモノとは、領土だったり製品だったりします。つまり、資本主義が成立するためには、「成長領域」が必須なのです。

たとえば、金本位制が放棄されたおかげで、お金の総量という制限は、基本的に消滅しました。その結果、お金の総量は、自由に増加（＝成長）可能な領域になり、「マネーゲーム」が開花したのです。サービスも、さらには、（デジタル）データも同様のものだと考えることができるでしょう。特にデジタルデータは物理的な制限がないので、「成長領域」となることができます。アルゴリズムや知識・アイデアなどの知的財産権や著作権なども同様に、物理的制約がなく、その総量を肥大化（＝成長）させることが可能なものです。もちろん、（将来の）人工知能で生成・創成されるアルゴリズムも同様です。物理的な制限や上限のないサイバー空間は、そもそも、無限に成長可能な資本主義にとって、とても都合のよい空間なのです。

ここで気に留めるべきは、物理空間とサイバー空間との間で主役が交代するということは、物理空間にはこれまでとは異なる価値が生まれるということです（※1）。サイバー空間は、変更（modify）や拡張（expand/add）、削減（shrink/delete）が簡単にできますが、物理空間では、これらが容易にできず、成長の規模規や速度にも大きな制限があります。逆に考えると、物理空間を押さえていると、サイバー空間での激しすぎる競争の状況を回避することができる可能性を持っているのではないのでしょうか。有限な物理資源は、消費されると、その価値が上昇することになります。一方、サイバー空間の資源は、むしろ、その成長により、知的レベルが低い単純なデータのようなもののコスト（＝価値）はムーアの法則にしたがって無限に下落することになります。もちろん、成長の速度は、一般的には、ある事象に対して、S字カーブを描くことになるでしょうが、顕著で急速な成長を実現するのです。

たとえば、サイバーファースト社会の実現に、大きな貢献を行い、かつ、必須となるデータセンター（コンピューターを収容する専門の建物）という不動産を考えてみましょう。そもそも、データセンターは、温度・湿度に敏感で、大量の電力を消費するコンピューター（計算機というイメージ）を収容するために、専用の高価な施設と建物が必要でした。この専用の建物をデータセンターと呼んでいました。その後、コンピューターがデジタルネットワーク技術を用いて相互接続されるインターネットが登場してくると、このインターネットを構成するデジタル機器を収容する施設がデータセンターの主役となり、このデータセンターの中に、インターネットを介して、さまざまな機能やサービスを提供するためのコンピューターを収容する建物をデータセンターと呼ぶようになります。もちろん、インターネットには接続されない、閉じた企業網を実現するためのコンピューターや通信機器を収容する建物もデータセンターと呼ばれます。その後、インターネットの成長とともに、インターネットを用いてサービスを提供する事業者が、専用のコンピューターを、データセンターに設置するようになります。その後、コンピューターネットワークは、クラウドと呼ばれる仮想コンピューター（VM; Virtual Machine）を用いた、コンピューターハードウェアから解放された（＝アンバンドルされた）システムへと進化を遂げ、データセンターの存在意義が大きく変化することになります。ハードウェアとソフトウェア（＝機能）が縮退して、

物理的に同一の場所に存在する必要がありました。しかし、コンピューターの仮想化に伴い、サービスを提供するハードウェアは、どこにあってもいいし、必ずしも所有する必要がなくなりました。所有権と利用権の分離(=アンバンドル)です。その結果、データセンターの事業形態は、場所を提供する不動産である「物理的な事業」と不動産を賃貸してサービスを展開する「サイバー的な事業」が分離された事業形態と、この2つ(物理的な不動産とサービスを展開するソフトウェア)を一括して所有する事業形態です。物理的な資源には、大きな制限が存在しますので、徐々に、データセンターの物理的資源の所有が、ビジネスの競争上クリティカルな要件・条件となりつつあるようです。

「サイバーファースト」な世界は、無限の成長領域を持つサイバー空間を前提に、社会産業を設計・構築・維持・運用するというものです。最近では、大量のデジタルデータを用いたデジタルイノベーションビジネスを、「データ資本主義」と呼ぶことがあるようです。本書で議論している「デジタル化の本質」は、アナログなものを0と1で量子化して表現する「疑似的なデジタル化ではなく、また、ミームのようなコンピューターのプログラムだけではなく、デジタルオブジェクトの動作アルゴリズムやルール(規則などを含む)を含む、「コード(Code)」を議論しており、このようなデジタル化を「きちんとした」デジタル化という意味で、「デジタルネイティブ」と表現しています。つまり、本書では、「なんちゃって」デジタル化を前提とした「データ資本主義」の次に、到来する/しつつある「きちんとした」デジタル化を前提にした「コード資本主義」(あるいは アルゴリズム資本主義)の議論を行っているのです。

最後に、グローバルなサイバー空間を構築したインターネット遺伝子には、①選択肢を提供するためのオープンなインターフェイスの定義、②エンド・エンド原理に根差した自由なインフラの利用、③将来の環境の変化に対応するために“あえて”最適化しない、という特徴が内在されています。これらはすべて、あらゆる生存機械が、多様性を尊重し、自律的に、自由に新しいこと/モノに挑戦することを可能にしようというものであり、すなわち、「成長可能な領域」を確保・担保するための特徴であるととらえることができるのではないのでしょうか。

A1.8. IoT がなぜ成長領域なのか？

物理空間(地面)は、地球の大きさという物理的制限を持っているので、地面の拡張が不可能になると成長が止まります。そこで、人類は空(宇宙を含む)と地下を成長領域にしました。また、デジタル・サイバー空間を作り出し、事実上、拡張に制限のない成長可能な領域を獲得しました。これは、インターネット、ビッグデータ、人工知能に相当します。

では、IoT は、どのような成長可能領域ととらえればよいのでしょうか。IoT 以前のインターネットは、基本的には、人が利用するコンピューターの台数を上限としていました。つまり、成長可能な領域は、人の数のオーダーだったのです。そこで、人以外のモノ(Things)をインターネットに接続することで、人の数という上限を取り払いました。モノは、人が恒

久的に存在することが不可能な空間にも存在・配置することができます。さらに、モノは、科学技術の発展によって、ほぼムーアの法則にしたがって、小型化・高性能化を実現することができます。すなわち、数と能力の両面で成長可能な領域と持っているのとらえることができるのではないのでしょうか。小型化は、相対的には、空間の拡大と同じことを意味します。また、高機能化も、ある空間が、複数（そして多数）の目的に利用できるようになりますので、空間が多次元に拡大することと等価になるのではないのでしょうか。このような理由から、IoT は、人類にとって、新しい成長可能な領域であるのとらえることができるでしょう。なお、地面と同じく、IoT を用いて拡張して獲得した領域も、その領域が価値を産み出さない地面であれば、魅力的な投資の対象とはなりません。

A1.9. IoT から IoF (Internet of Functions) へ

成長領域である IoT (Internet of Things) ですが、これをインターネット遺伝子の観点からとらえると、IoF (Internet of Functions) への展開と進化という姿が見えてきます。これはサイバーファーストでなければ、到達しえないものです。

A1.9.1. 生存機械と IoT

「動植物が遺伝子の生存機械である」ことは、利己的遺伝子の鍵となるメッセージです。遺伝子はわがままで、生き残るために、他の遺伝子と交流し、交叉し、さらに誤複製やいろいろな変異を経験することで、多様化と高機能化を実現します。遺伝子が生き残るためには、優秀な生存機械を求め、生存機械と遺伝子との間で Win-Win の相互利益関係を構築できた遺伝子と生存機械のペアが繁栄することになります。

遺伝子はさまざまな生存機械でその設計図 (=プログラム) を実行 (=execute) することができます。また、生存機械は、さまざまな遺伝子を実行し、保存することが可能です。つまり、生存機械と遺伝子は、アンバンドルの性質を持っています。

このような観点で、IoT (Internet of Things) を考えてみましょう。モノ (Things; 複製型) は、プログラム (=遺伝子) にとっての生存機械に対応するのではないのでしょうか。あるプログラム (=遺伝子) は複数の多様なモノ (=生存機械) に存在し (=保存され)、実行 (execute) されることが可能です。もちろん、一つのモノ (=生存機械) で、複数のプログラム (=遺伝子) が存在し、かつ実行可能となっています。プログラム (=遺伝子) は、一番優秀なモノ (=生存機械) を探そうとし、環境の変化に際しても、生き残るためにその時点では最適でないモノ (=生存機械) の上にも存在しようとしています。少し違った言い方をするなら、「やりたい事」 (=プログラムや命令/コマンド) を、異なるメディア (=生存機械) を使って伝達することが可能です。文字で命令 (コマンド) を使えることもできるし、音や映像、さらに最先端の技術では脳波情報から命令 (コマンド) を生成し、モノ (thing) に伝えることができます。命令 (コマンド) もデジタルととらえると、その生存機械である媒体 (=メディア) にも選択肢、すなわち、多様な生存機械が存在することにな

るのです。

A1.9.2. 仮想マシンという新しい生存機械

さて、最近のモノの実現方法としては、ハードの仕様に依存しない仮想的なコンピューターである VM (Virtual Machine) を使うことが可能になっています。ハードウェアに依存しないソフトウェアを作成して、多様なモノの上で、共通のプログラム (=ソフトウェア) を稼働させる方法が一般化してきました。仮想マシン VM とは、“Function”を実行 (Execute) するインスタンス (=生存機械) です。VM はモノ (=生存機械) でありながら、どのモノに存在するかは問いません。デジタル化 (=抽象化) されれば、どこの生存機械の上で稼働するかは、自由に制御可能であり、その (物理的な) 存在場所を変更することができます。つまり、移動性 (Mobility) があり移行能力 (Migration-ability) が確保できるのです。

このように整理すると、すなわち物理的なモノをオンライン化するという IoT の考え方は、抽象化とアンバンドル化が行われていない前世代的な構造であり、考え方です。サイバーファースト、デジタルファーストの世界では、IoT ではなく、IoF (Internet of Functions) が主流になるのではないのでしょうか。Functions、つまり機能・プログラムが相互接続されるのであって、Function の生存機械の“モノ”が相互接続されるのではないのです。

「専用の」組み込みシステムは生き残るのが非常に難しい生存機械です。

「汎用性」を持った Linux システムのようなオープンシステムが、インターネット遺伝子に対応し、Function (=プログラム) が選択したくなるインスタンスになると私は考えています。つまり、IoT は、ソフトウェアデファインド・シングス (Software Defined Things) であり、ソフトウェアを実行する生存機械という物理インスタンスであって、Software Defined (Digital) Instance が定義され、たまたま、物理空間にプリントアウトすべきモノが、“フィジカルな”モノになります。さらに、この“フィジカルなモノ”というプリントアウト先は、自由に選択可能になるのです。

【別添 2】

A2. シニア人材の活用

オープン技術を用いた統合型情報システムの設計・構築や、その重要性が増大しているサイバーセキュリティに関する仕事は、広い領域にまたがる知識だけではなく、実経験に基づいたスキルが必要になります。さらに、産業分野によって異なる専門的な知識と経験・見識が必要とされます。ここで期待できるのが、シニア人材です。

A2.1 シニア人材のミッション¹²

大企業においては、40代後半から、経営側人材に関する選抜プロセスが行われ、やる気を持って「会社のために」働いていた人材が、閑職へ異動させられることとなります。

シニア層、特に役職定年を迎えた方と話をすると、会社で意義ある仕事ができなくなってしまい、今後は世の中のためになる仕事をしたいと話す方は少なくありません。企業在籍時は、会社の利益を得るために独自技術を用いたり、顧客のロックインをするために健全とは言えない調達要件を顧客に上手に求めるといったノウハウを持っていたりするため、購入側に回ることで、このような「不適切なベンダーの行動」にも会社の利益を損なわない対応が期待できるのではないのでしょうか。もちろん、製品・サービスのベンダー組織におけるシステム・製品のオープン化やサイバーセキュリティ対策の徹底による顧客への正しい高品質製品・サービスの提供への貢献も期待されます。

このようなシニア人材は、以下の2つの役割ができると考えられます¹³。

- (1) ベンダー側から、システム・サービスの購入側（たとえば自治体など）へ
- (2) ベンダー組織における情報システムの設計・調達やサイバーセキュリティ対策の監査役・指導役

すなわち、IT シニアのスキルを、組織統治の観点、特に監査機能の拡充という観点から活用してもらうという方向性であり、①内部監査機能ポスト：CSO/CISO、CSO/CISO補佐、②外部監査機能：監査法人、外部監査人などの職種への展開です。

さらに、人材の育成においては、IT シニアは若年層よりも以下のような観点から優位性

¹² 本節は、筆者が日本セキュリティ監査協会理事である下村正洋氏と共同執筆した「IT シニア人材の活用について～一億総活躍と働き方改革にも資する～」をベースに掲載しています。

¹³ 【シニア人材の活用】企業経営的な観点からは、シニア人材は嘱託社員のような雇用形態になることが一般的なので、企業財務的な観点からは、社会保障等の対処を行う必要がなく、シニア人材の人件費は、固定費ではなく変動費とすることができる可能性を持っている。

を持っていると考えられます。

- (1) 幅広く実践的な経験と知見の習得・理解には多大な時間が必要
- (2) 実践的なマネジメントは、経験により習得が進む

サプライチェーンネットワークを実現することになる Industry4.0 や Society5.0 の実現にあたっては、システムのオープン化とサイバーセキュリティ対策の充実が必須であり、シニア人材の戦略的かつ積極的な活用の場の提供が我が国の国際競争力の強化に資するのではないのでしょうか。

A2.2 IT シニア人材の活用について

「IT シニア人材の活用について～一億総活躍と働き方改革にも資する～」では、IT シニア人材の特長について、こう掲載しています。

- (1) それぞれの分野の IT 技術を熟知している（分野ごとの IT 専門知識）
- (2) 業務と IT 技術との関係を理解している（背景の理解）
- (3) 製品・サービスの提供側に対する利益の向上・確保のための手法のうち、セキュリティ品質の確保・向上の障害となる、以下の 2 つの手法を熟知している¹⁴
 - (ア) 製品・サービスの提供時の契約形態
 - (イ) 製品・サービスの開発時の品質設計と検査
- (4) 組織の管理運営に関する知見がある人材がいる(マネジメントの理解¹⁵)
- (5) 組織の経営に対する IT 技術（製品やサービス）の影響を理解できる人材がいる（組織経営の理解¹⁶）

A2.3. IT シニアの活用案

IT シニアのスキルを、サイバーセキュリティ対策の実現を、組織統治¹⁷、特に、「監査機

¹⁴ 【セキュリティ品質の障害】本来サイバーセキュリティ対策が必要な場合でも、顧客に対して、十分なセキュリティ対策は不要であるとの説明を行い、これを契約条件に埋め込むことで、顧客のロックインと、必要経費の増大（例：提供側の利益拡大）、開発経費の削減が行われる場合は、少なくない。

¹⁵ 【マネジメントを理解している人材】このような経験と知見を持った方の数は、必ずしも大きくはない。

¹⁶ 【組織経営の理解】サイバーインシデントは、組織経営におけるリスク管理の観点から、無視することが不可能なレベルに到達している。サイバーセキュリティ対策の不備によるセキュリティインシデントが組織経営に及ぼす潜在損失を経営視点で捉える必要がある。

¹⁷ 【組織統治】ここで、組織には、営利企業はもちろん、非営利企業や自治体などの組織も含まれている。特に、自治体においては、このような人材の確保と育成は時間と経費の観点から非常に難しいというのが実状である。

能の拡充」という観点から展開してもらってはどうか。

- (1) 上記の特長すべて備えている人（すでに以下の職務を担っている可能性は大きい）
 - (ア)内部監査機能ポスト：CSO/CISO, CSO/CISO 補佐
 - (イ)外部監査機能： 監査法人
- (2) 特長 3、4 が弱いか欠如している人（特長 3、4 のための教育を行った後）
 - (ア)内部監査人、監査人補佐、 セキュリティ対策管理責任者¹⁸
 - (イ)外部監査人

A2.4 育成（教育）について

- (1) 育成における IT シニア人材の優位性について
 - (ア) IT 技術を習得・理解することは時間がかかる
 - (イ)マネジメントはある意味普遍的なものであるから、経験により習得が進む
したがって、IT シニアにセキュリティマネジメントやその評価方法（監査手法）を習得させることは、監査やマネジメントを理解している人材に最新の IT 技術を教育するよりは早道となるのではないのでしょうか。
- (2) 特長 3、4 が弱点となっている IT 人材には、必要な教育支援の仕組みを利用する
 - (ア)資格を利用する（情報処理安全確保支援士、CISSP 等）
- (3) セキュリティ監査の教育
 - (ア)資格を利用する（CAIS¹⁹, CISM/CISA²⁰ 等）

¹⁸ 【セキュリティ対策管理責任者】とは、CSO などの専任者を配置できない中小規模の組織向けに、その企業のセキュリティ対策とその運用に責任を持ち、対外的窓口も兼ねる。外部人材を活用することも可とする。消防・防火分野における防火責任者に相当するような立場である。このセキュリティ対策管理責任者に関しては、必ずしも シニア世代である必要はなく、若い世代の人材でも不可能ではない。

¹⁹ CAIS <http://www.jasa.jp/qualification/about.html>

²⁰ CISM /CISA <http://www.isaca.gr.jp/cism/index.html>