

# 電気評論

2021

# 8

ELECTRICAL REVIEW

ホームページ <https://www.ehyo.co.jp/>

特集 進化するネットワーク

解説 最適化における数学の活用

環境技術ノート CO<sub>2</sub> 分離回収技術の新展開

一般論文 各種データを利活用した雷保護支援手法の検討



株式会社 電気評論社

# デジタル遺伝子 x ネット遺伝子の覚醒

～ Society5.0 の実実装へ～

東京大学 江 崎 浩\*

## 1. はじめに

インターネットは、デジタルの遺伝子とネットの遺伝子が融合し、地球上のすべてのヒトとモノが「自律・分散・協調」する世界で唯一のインフラストラクチャーを形成することをその目標にしている。世界で一つという意味を込め、定冠詞“The”と大文字を用いて、“The Internet”と表現する。ニューヨークタイムズ社が、小文字を用い、さらに the を付けず、“internet”と表現した際には、大きな反響を呼んだ。The Internet の遺伝子は、デジタル空間において、地球上に存在する“すべて”のデジタルオブジェクトを相互接続し、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受信し、利用・加工する環境を実現することを、その存在目的としている。

インターネット遺伝子は、「デジタル空間」に閉じこもらず、物理的なモノのネットワーク相互接続にもその展開領域を拡大し、すべての物理空間を飲み込みながら、あらゆるモノを相互接続する新しいエコシステムを形成しつつある。インターネットの遺伝子をもとにした物理インフラの再構築は、CPS (Cyber Physical System) と称される、物理空間とサイバー空間が並列し、デジタル空間でのビッグデータの利用と人工知能の活用による物理空間の最適化や効率化の段階を越え、既に、サイバー・ファーストの段階に進みつつあると捉えるべきと考える<sup>1)</sup>。

遺伝子工学および進化学の領域で著名な「利己的な遺伝子」(1976年 Richard Dawkins 著)における遺伝子と生存機械の関係から、Society5.0あるいはCPSの世界を捉えるなら、物理空間のモノ・ネットワークシステムが生存機械に対応し、遺伝子がデジタル空間に存在するCode<sup>※1</sup>に対応することになる。

\*えさき ひろし 大学院 情報理工学系研究科 教授

インターネット遺伝子は、デジタルの遺伝子を実現する相互接続を実現するために必要となるインタフェースの抽象化とオブジェクトの抽象化によって、機能(狭義にはソフトウェア)とハードウェアのアンバンドルを実現する。このプロセスによって、異なるハードウェア間で機能を実現するモジュール(=オブジェクトのインスタンス)の自由な移動が可能となる。コンピュータと通信メディアというハードウェアで構成される狭義のThe Internetは、まず、IPパケットと呼ばれるデジタルビットの小包を、異なるハードウェア上で、自由に地球上で移動可能にした。その後、デジタルビットの塊で形成される「ファイル」は、“Code”を表現(describe)、さらに、実行(execute)を実現するインターネット上の遺伝子となった。この遺伝子は、クラウドコンピューティングで広く利用されている仮想マシン(VM: Virtual Machine)のようなもので、プログラムや実行ファイルと考えることができよう。この“遺伝子”は、異なるハードウェアを相互接続させインフラを形成し、そのインフラ上を自由に移動可能にした。IPパケットと呼ばれる「デジタルの小包」は、Codeを表現する生存機械であり、遺伝子における「デオキシリボ核酸」に対応すると考えることができよう。

電力ネットワークの領域においては、「デジタル小包」を「電力エネルギー」として捉えれば、「エネルギー変換」という「機能(“a”code)」を実現する物理オブジェクトによって、異なる物理インフラ上で、「電力エネルギー」が自由に移動するプログラムを実現している。さらに、電力ネットワークは、「電力エネルギー」という共通の「生存機械」を用いて、さまざまな物理オブジェクトが相互接続されネットワークを構成していると捉えることができよう。

本稿では、インターネットの構造を、上述した遺伝子と生存機械で構成されるネットワークの観点から整理・展望し、電力ネットワークの今後の進化のシナリオの考察への参考にして頂ければと考え寄稿させて頂いた。

※1: Code には、処理手順を記述し実行させるプログラムだけでなく、ルールや規範を含む。組織における Governance Code や憲法、あるいは文化や倫理なども含む。Code を表現するデオキシリボ核酸の列がプログラムであり、環境に応じて、適切なプログラムが実行 (execute) され、物理実態が形成 (=プリントアウト) され、プログラムに従ってデータの入出力を行いながら動作する。

## 2. インターネットの進化

インターネットが持つ特長は、参考文献2) に整理したが、この特徴によって、以下の進化を既存のコンピュータネットワークと通信ネットワークにもたらしたと捉えることができよう。

「ユーザ主導」の原理、すなわち、Supply/Push 型のシステム・ビジネス構造に Demand/Pull 型を持ち込むことで、社会・産業構造を変革した。具体的には、以下の5点の変革・進化を推進した。

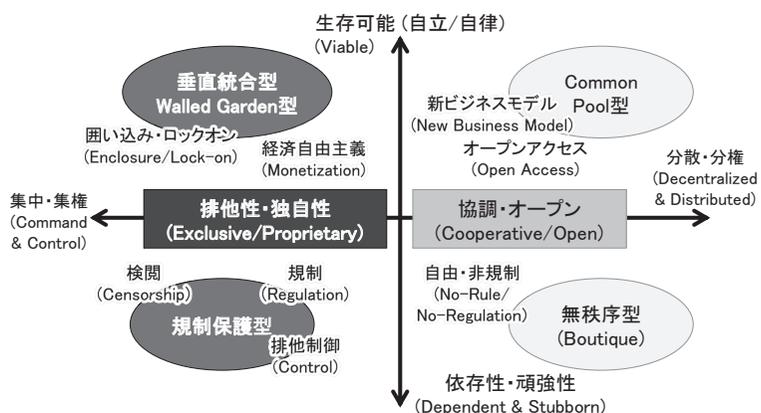
- ①アンバンドリングと相互接続によるサイロ構造を破壊し、マルチプル・ペイオフ型のシェアリングエコノミーを実現。
- ②オープン・モジュール構造による選択肢の提供によって新技術・新ビジネスの導入・展開機会を提供。なお、独自技術の投入も同時に可能にしている。Open & Transparent なシステムである。
- ③データの所有権はエンドユーザにあり、ネットワークに迷惑をかけなければ、どんな機器でもネットワークに接続可能とすることで、すべての人に新しいビジネスへの挑戦を可能にするコマンドの環境を提供。これを、エンド・ツー・エンド (End-to-End) の原則と呼んでいる。
- ④プログラムによるシステム定義を可能にする環境 (Software/Digital/Codes

Defined System) を提供。

- ⑤グローバルが前提を実現 (国は、重要であるが1つのステークホルダ)。

### 2.1 P2P (Peer-to-Peer) と CS (Client Server) の振子

インターネットは、図1に示した第2象限 (あるいは第3象限) にあったメインフレーム (大型コンピュータシステム) を、デジタル通信技術を用いて、第1象限 (あるいは第4象限) に進化させたのがインターネットである。排他性・独自性を前提にしたシステムの集合 (“networks”) ではなく、協調性とオープン性を前提にしたグローバルな集合 (すべての networks を連結させた “the network”) である。新しい技術やサービスが導入される時には、P2P 型の個別ネットワークの構築がグローバルな空間上に行われる。その際、デジタル技術によるアウトリーチコストの劇的な削減が行われ、パレートの法則に従わないロングテール型のコスト構造が可能となった。従来は、地理的制約に縛られたニッチビジネスが、地理的制約のないグローバル市場で展開可能となり、新ビジネスの立ち上げに関する地理的制約が撤廃されることになった。書籍のオンライン販売からスタートした Amazon 社はその典型例である。また、情報/データの転送コストが、物理媒体からデジタル媒体に変化したことで、Google 社の検索サービスが実現した。Amazon 社も Google 社も、第4象限の構造である。従来の第2象限の垂直統合型を維持しつつ、第1象限と第2象限のサービスを利用して成長を続けているのは Apple 社である。



出所) 2007年12月 Internet Society Board of Trustee Retreat 会合での作成資料を加工

図1 産業構造分類 (集中と分散, 自律性と依存性)

研究開発からスタートするシステムは、ほとんどが第1象限のCommon Pool型であり、P2P（ピア・ツー・ピア）型のフラットな双方向型の自律分散アーキテクチャである。Webシステムは、CERN（欧州原子核研究機構）で発明されたが、完全なP2P型の、全体を管理する主体が存在しない自律分散ネットワークであった。その後、Web技術を用いて情報を提供することがビジネスに資することが理解され、高品質サービスを行うサーバを集中運用することで、コストが安く高品質のサービスを提供するサーバビジネスが登場し、P2P型のWebサービスは、CS（クライアント・サーバ）型のシステムに進化した。マイクロにはP2P型がCS型に進化した。The Internet上には、膨大な数の自律型のWebサーバが存在し、サービスを展開しているという観点からみれば、マクロにはP2P型のネットワークを維持している。P2P型ではエンドユーザへのハード機器の提供が主役のハードウェアベンダー主導の市場構築、CS型ではエンドユーザへのサービスの提供が主役のサービスプロバイダ主導の市場が構築される。

インターネット遺伝子は、②と③の遺伝子を維持することで、OpenでTransparentなEnd-to-End型のネットワーク構造を維持しながら、持続的な新技術の導入と展開による進化を継続してきている。

## 2.2 非同期ネットワーク

インターネットシステムの爆発的な拡大は、アナログ技術を基本にした電話網のインフラを拝借することで実現した。電話網は、時分割多重方式を用いたネットワークであり、交流技術を用いた電力網と同じく、同期型の広域ネットワークである。日本には、2重化のために関東と関西に2つの参照クロックが存在し、全国に存在する電話交換機間でのクロック同期が前提となっていた。ローカル・エリアでのコンピュータネットワークにおいては、そもそも、すべてのコンピュータ間でのクロック同期は前提としない、非同期型（asynchronous）の通信方式を前提としていた。クロック速度の増加とともに、相対的に物理空間は大きくなり、同期の作業の困難度は上がっていく<sup>※2</sup>。

※2：クロック速度の増加とともに、パラレル（並列）型の接続ケーブルが、シリアル型の接続ケーブルに変化していることにも表れている。

## 2.3 IoTからIoF（Internet of Functions）への進化

Society5.0では、ヒトを相互接続していたインターネットは、モノを相互接続するように進化するとされた。Internet of Things, IoTである。IoTは、デジタル遺伝子による「機能（＝遺伝子）」と「生存機械」のアンバンドル化を考慮できていない概念である。生存機械であるモノには、複数のプログラム（＝遺伝子）が存在可能であり実現可能となった。従来の組み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、遺伝子と生存機械が縮退（バンドル化）していた。半導体技術の進展によって、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に進化した。OS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て、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。VM（Virtual Machine）の導入である。VMの導入によって、モノをインターネットで相互接続するIoTではなく、コトをインターネットで相互接続するIoF（Internet of Functions）に進化することになった。エンドユーザの領域におけるIoFへの進化はまだ一般的ではないが、データセンターやサーバ室にあるクラウドコンピューティングネットワークにおいては急速に常識化している進化である。

IoFにおけるF（Function）は、これまでは、ソフトウェアによって実現されるコトであった。しかし、ソフトウェアを通して、ハードウェアを稼働させることも可能となりつつあり、汎用のコンピュータプラットフォーム上で、自由に、ハードウェア機器を設置・移動させることも可能になりつつある。5G携帯網で実現されつつあるO-RAN（Open Radio Access Networks）への進化がこれに相当する。

さらに、IoTのIoFへの進化は、物理空間が主役のCPSのインフラをCyber Firstのインフラに進化させつつある。図2に示すような物流網のデジタル化による大革命（＝進化）である。コンテナ・パレットは、それまで排他性を持った個別の商品ごとに最適化された物流網を形成していた。人類は、

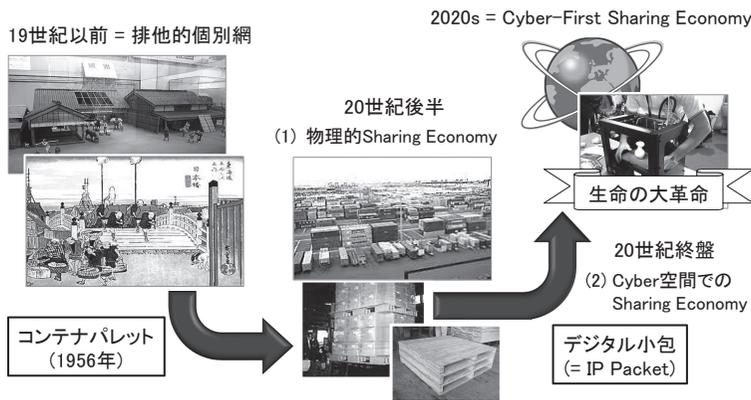


図2 物流の進化 (2つの大革命)

コンテナ・パレットを発明・導入し、運ばれる荷物と、コンテナ・パレットを運ぶ媒体の両方に関するインタフェースの共通化を実現するとともに、運ばれるモノと運ぶモノとのアンバンドル化を実現し、シェアリングエコノミー型システムへと進化し、爆発的な効率化を実現した。インターネットは、同様の進化を情報の流通インフラに実現させた。デジタル機器間でのデータの流通は、各コンテンツ毎(音声用の電話網や映像用の放送網など)に専用のインフラを形成していた。すべての、コンテンツをデジタルビットで表現し、デジタルビットの小包(= IP パケット)で搬送することにより、運ばれる荷物(=コンテンツ)と、IP パケットを運ぶ通信媒体の両方に関するインタフェースの共通化を実現することで、運ばれるモノと運ぶモノとのアンバンドル化を実現し、シェアリングエコノミー型システムへと進化し、物流網と同様の爆発的な効率化を実現した。

次の段階として、新聞や書籍に代表されるように、これまで物理媒体に固定された形で流通していたコンテンツが、物理媒体からアンバンドルされ、デジタルのコンテンツとして、インターネット上で流通するとともに、出力媒体も多様な媒体を選択可能にする新しい進化が進行している。デジタルのモノである「完パケ」状態のコンテンツの流通だけではなく、デジタルで表現された「コト」であるプログラムも流通可能になりつつある。3D プリンタはその典型例である。レシピのデジタルデータ(= Program/Code)を送信すれば、レシピ通りに3D プリンタを動作させ(= execute)、原材料を用いて物理オブジェクトを出力する(= printout)。

物流に関するビッグデータを用いて、物流の効率

化をデジタルトランスフォーメーション(DX)という場合が少なくないが、これは、as is のシステム/ネットワークの構造のまま、効率化を実現するものでしかない。しかし、物理的なモノの移動を、デジタルなモノの移動に置き換え、さらに、デジタルのモノの作り方、すなわち、ルールと手段を根本的に変化させる3D プリンタの事例が、本当のDXである。この、物流の大進化/大革命には、3D プリンタに代表される「先端的」汎

用技術を用いたマイクロファブが必要となる。インターネットは、半導体技術の進歩による大型コンピュータのダウンサイジング(小型化)と汎用化(コストダウン)によって、「集中型生産+完パケの配布」のシステムを、「分散レシピ生産+レシピの配布+ユーザでの自力での完パケ生産」を実現したと捉えることができる。

3D プリンタは、「生存機械」に対するモノのアトミック化と「遺伝子」にあたるコトの移動性を劇的に向上させたものであり、これは、既に工場やオフィスへと展開されつつある。工場やオフィスのデジタル化は、工場やオフィスの地球上での移動を、急速に容易化しつつある。工場やオフィスの地面からの解放である。物理的な工場やオフィスの地面からの解放の前に、インターネット上では、既にDAO(Decentralized Autonomous Organization)と呼ばれるブロックチェーンを用いたインターネットのデジタル空間上での企業組織が登場している。インターネットで接続された人や処理機能が、定義されたルールに沿って相互作用・共同作業を行い、利益を出し、その利益をステークホルダに配分および次の活動に投資する構造をサイバー空間を介して構築するものである。このように、これまで、物理的な存在を前提にしていた各種の組織が、サイバー空間に、物理空間における活動手順やルールとは異なるアーキテクチャで再構築されるとともに、物理空間とのインタフェース(物理的な場所や形態)も自由に変化させることを可能にする進化が進行しているのである。もちろん、この進化は、現状では、一部の領域において起動されていることであるが、今後、急激に進展・進化することが予想・期待される。

このように、デジタル遺伝子とネット遺伝子の組

み合わせによって、The Internet を産み出した「インターネット遺伝子」は、コンピュータネットワークである The Internet だけではなく、すべての社会・産業システムを生存機械として展開することになるであろう。これが、Industry4.0 での「Connecting un-connected machines in a factory」から「Connecting un-connected companies in a supply chain」へ、次に、Society5.0 での「Connecting un-connected industries and creating new supply chains」であり、今後の ① Un-wire-ing (=unbundling) to re-connect on the globe, ② Connecting functions, rather than connecting things, ③ To Demand chain from supply chain である。

## 2.4 サイバー・ファーストへの進化

半導体技術の進歩は、膨大なデータを用いた膨大な計算能力を提供することに成功し、われわれは物理世界のほぼ正確なコピーをデジタル空間に構築し、物理法則に従ったシミュレーションを可能にしつつある。デジタルツインの実現である。デジタルツインは、実際の物理空間である必要はなく、これからプリントアウトすべき、プリントアウト可能な物理空間をサイバー空間に構築し、様々な条件でのシミュレーション評価を行うことを可能にしつつある。既に、自動車のエンジンの設計や航空機やドローンの設計においては、実際の物理空間では実証することが事実上不可能な評価をサイバー空間で行い、最適な設計図を作成し、物理空間にプリントアウトする手順が採用されている。物理空間が主で、センサ技術などを用いて、物理空間のデジタルコピーをサイバー空間に構築して、システムの解析と管理制御を行う形態から、サイバー空間でのシステム構築が主であり、最適なモノを物理空間で実現する手順である。

## 2.5 さらに進化への課題

以下に、インターネットの今後の進化あるいは存続にとって大きな課題を挙げる。

### (1) 国の関与

地球をカバーするグローバルな透明で自由な、そしてオープンなデータ流通を実現するデジタル空間を形成するインターネットに対して、物理的な境界の存在を前提にする国家の政策は、時に両立することが困難な場合が存在する。日本が提唱する DFFT (Data Free Flow with Trust) の実現と維持である。「国はインターネットを構成する重要なマルチステ

ークホルダの1つである」という考え方の維持を重要視している。

### (2) エネルギー消費量

インターネットシステムにおいては、システムの膨張と拡大とともに、各システムにおける「爆縮」現象が発生している。小型化と高性能化が同時に要求され、マイクロレベルでの熱問題の解決と、マクロレベルでの電力消費量の増大である。コンピュータは、計算を行うために、電子に電圧をかけ、動かし（電流）、その観測結果がデータ・情報となって利用される。エネルギー消費量の増大とエネルギー密度・熱密度との戦いである。しかも、これまでの電子工学科の技術領域であった弱電とされていた電子の問題は、強電と言われる電気工学科の技術領域を同時に解決しなければならない。典型的な領域は、データセンターである。GAFA + M/BAT<sup>※3</sup> と呼ばれるハイパージャイアントなどは、数百 MW 以上の電力消費量のデータセンターを必要とし世界中に展開している。莫大な電力消費量であり、さまざまな先端的省エネ対策だけではなく、再生可能エネルギーの積極利用、さらに、ほとんど電子機器は直流で動作していることから直流の積極利用<sup>※4</sup> などが、精力的に進められている。

インターネットシステムの発展と社会・産業のデジタル化と DX による構造変革（省エネの実現を含む）には、情報ネットワークの電力消費量は増加させざるを得ない。この増加量の削減には、ソフトウェア技術だけでは限界があることは明らかであり、革新的なデバイス技術・ハードウェア技術の進化が必須となる。

※3: Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft, Baidu, Alibaba, Tencent

※4: IT 機器の直流化によって、電力消費量、熱排出量、さらに、構成部品の削減と小型化が実現可能であることが広く共通な認識となっている。

### (3) 物理インフラの維持・拡大

インターネットへのアクセスは、コロナ禍を契機に、すべての人間にとって必須のものとの認識が加速した。すべての社会・産業活動が、インターネットの存在なしには、成り立たないことが認識されるとともに、ブロードバンドインターネットへのアクセスは、すべての子供が持つ教育を受ける権利の公平性を担保するための必須環境との認識も形成されつつある。インターネットアクセスのユニバーサル・サービス化である。これまで、電話による通話サー

ビスの提供が、ユニバーサル・サービスとされてきたが、そろそろ、インターネットサービスの提供が、ユニバーサル・サービスに替わりつつある。電力の提供サービスのユニバーサル・サービスと同様である。インターネットサービスのユニバーサル・サービスの提供にあたっては、IP パケットを配送するための物理インフラが必要である。この物理インフラを効率的により小さなコストで実現しなければならない。そのためには、次の2つの方法が模索されているし、模索されなければならないと考える。

#### (1) 既存物理インフラの共用

コンテナ・パレットが発明・導入される前の物流システムが、極めて非効率で大きなコスト構造であったことは上述の通りである。コンテナ・パレットの発明・導入に似たシェアリングエコノミーシステムとしては、共同溝・共同管路が存在する。物理的な管・溝を複数の事業者で共有・共用するインフラ設計・構築である。2000年頃のブロードバンドインターネットの整備政策であった e-Japan 構想においては、電力インフラ、道路インフラ、鉄道インフラなどと通信インフラの共用が議論された。このような、物理インフラの所有・利用形態の DX の実現がスマートシティー・スーパーシティーで実現されるべきアジェンダではないだろうか。まさに、Society5.0 で定義した、産業間連携のための既存のサイロ構造の創造的破壊 (De-Siloing との呼び方も存在する) である。

#### (2) 空中領域の利用

これまで、インターネットのインフラは、基本的には、地上付近に展開される有線ケーブルと無線局、さらに、海底ケーブルで面的なインフラ構築が行われてきた。無線インフラは、電力ネットワークにおいても認識されているように、地震や洪水などの自然災害の際に非常に有効で頑強なインフラである。また、面としての物理インフラ構築が必要な有線システムと比較して、点のインフラ構築のみで結果的に面としてのインフラが構築可能な無線システムは安価なインフラ構築を可能にする。近年、航空宇宙技術領域の民営化による空・宇宙空間を用いたインフラ構築の実現可能性が経済面でも高まりつつある。基本的には2次元で展開されてきた情報通信システムが、本格的に3次元化へ進化しつつある<sup>※5</sup>。

※5: インフラの3次元化は、情報通信インフラに限ったことではなく、運輸インフラ、さらには、エネルギーインフラにも展開されつつあるのではないだろうか。

### 3. 電力システムとインターネット

#### 3.1 産業構造の歴史

電力システムは、もともとは、各組織に自家発電システムが導入され、余剰電力を外部に提供可能にする配電技術が発明・導入され、電力の配電・販売サービスを実現する電力会社ができた。多数の電力会社が吸収合併 (M&A) され、企業の大規模化が進行した。図1の第2象限からスタートし、第1象限に進化したと捉えることができる。第2次世界大戦の際には、電力インフラの重要性が国家によって認識され「官」が運営に深く関与することになった。図1の第3象限への遷移である。戦後は、国家安全保障にも関係する原子力政策の推進も兼ね、「総括原価方式」が導入され、第2象限に遷移した。当然、発電と送配電事業は一体の事業体で運用される<sup>3)</sup>。電力自由化の施策は、第3象限から、もともとの電力業界の構造であった第1・4象限への遷移・進化と捉えることができよう。

インターネットも当初は、コンピュータが各組織に存在し、独立運用されていた。これを、通信線を用いて相互接続し、新しいサービスが実現され、多数の商用インターネットサービスプロバイダ (ISP) が起動した (図1の第1象限)。インターネットの発展とともに、合併吸収 (M&A) が展開し ISP の大規模化が進行した。検索サービスやオンラインショッピングなども、同様の過程を経て大規模化が進行した。

そのような中、電力事業は、電話事業やインターネット事業で行われた構造改革を行いつつあるのではないだろうか。

- ①送電分離 (= アンバンドル化) による送電事業者と発電事業者の選択肢の提供,
- ②アグリゲーション事業による新サービスへの挑戦権の提供,
- ③他事業領域との連携機会の提供, である。

インターネットにおいては、インターネットの進化を持続・継続させるために、以下の「ネットワーク中立性」がユーザ (注意: End-to-End の考え方によって、アプリケーションサービスを提供するサーバもユーザに含まれる<sup>※6)</sup>) の権利として提唱・共有され、政策立案のため参照されている。

①合法的インターネットコンテンツに自由にアクセスする権利  
 ②法が許す範囲で、自由にアプリケーションを実行しサービスを利用する権利  
 ③ネットワークを傷つけない合法的な手段で自由にデジタル機器を接続する権利  
 ④ネットワーク・アプリケーション・サービス・コンテンツのプロバイダを自由に選択する権利

この「ネットワークの中立性」にもとづいて、導入されたのがスマートメータにおけるB系<sup>※7</sup>の導入と捉えることができる。スマートメータのデータは、電力の消費者・ユーザが、①アクセス可能で、②利用可能（含む再利用）、④流通可能とした。③の自由にユーザがスマートメータを設置することは許容されなかった。なお、インターネット・IT業界では常識の「機器とその所有者・利用者が、持つ・生成するデータにアクセス・利用する権利」は、なかなか常識とはなっていない。医療業界では、個人の医療情報は、病院のみならず個人が所有可能なデータであるとするので、個人に複数の病院での治療データが集約され、別の目的でのデータの活用や、病院間でのデータ連携を結果的に実現することに成功しつつある。病院間でのデータ共有・連携は、各システムが排他性を持った独自運用であり、各ベンダーが独自技術で自社製品へのロックオンを実現していたため、容易ではなかったのが現実である。

インターネットは、共通のオープンな技術仕様の利用がステークホルダー間で共有されていたため、ユーザ間でのデータ連携の障壁が低い状態が維持されていたのである。

※6：インフラ提供者とそれを利用してサービスを提供する事業者は、エンドユーザと同じである。すなわち、個人やベンチャー企業が事業サービスを提供するために、なんらかの許可は不要で自由にサービスの提供を開始可能。

※7：スマートメータには通信モジュールが内蔵されており、電力会社向けのデータ通信部をA系、HEMS（Home Energy Management System）向けのデータ通信部をB系と呼んでいる。

### 3.2 競争事業者の育成

日本における通信の自由化に際しては、以下のような施策が適用され、新規の事業参入者が育成され、ブロードバンドインターネットのビジネス構造が構築された。

- ①電々公社のインフラを公正に同じルールで利用可能にする。➡ 金銭支援ではなくルール
- ②設備を借りる形態から自前の設備を設置・利用可能にする。➡ 新技術の導入
- ③非対称規制による長期ビジネスプランを支援する。 ➡ 金銭支援ではなくルール

このように、ルール変更によって、市場参入の障壁を下げたのである。この考え方は、今後のインターネットの進化を持続させるために、重要であると考えている人々は少なくない。

#### 参考文献

- 1) 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～」, インプレス社, 2019年11月.
- 2) 江崎, 「インターネット・バイ・デザイン」, 東京大学出版会, 2016年6月.
- 3) 加藤寛, 「日本再生最終勧告 ― 原発即時ゼロで未来を拓く ―」, 総合出版ビジネス社, 2013年.

#### 【付録】情報通信網と電力網における生存機械の進化

電力システムと、情報システムの代表例として、放送、電話、インターネットのネットワークアーキテクチャを整理し、電力システムと比較してみる。

電力システムは、基本的にはバス構造（あるいは放送型）のアーキテクチャである。さらに、交流システムでは、同期システムになっており、自由にシステムを分割あるいは分離することができない致命的（fatal）な連結型のシステム構造になっている。この観点からみると、電力システムは、「放送」のシステムに似ている。発電源＝放送局、送配電網＝地上波、需要家＝テレビに対応する。

放送網においては、全テレビに電波に載せた番組コンテンツを配信し、テレビが見たいものだけをフィルタ（＝選択）して視聴する。電子メールサービスにおけるSPAMメールのようなシステムである。コンテンツの配信に際しては、放送局をルートとした複数の配信木を構築する。地上波のみの放送であっても、後ろにはキー局から有線（昔は無線）を用いて、各県の（地上波）放送局にコンテンツ配信を行い、最後の配信が放送波となる。放送局を発電源、テレビを需要家、その間を送配電網と見れば、現在の電力システムに近い構造となっている。

次に、回線交換を用いた電話システムは、制御網がデータの配送網とは物理的に別に存在しており、相手先の電話番号を受信すると、データの配送網に排他的な資源予約をオンデマンドに行う（昔は物理

空間と周波数の排他性/直行性, 次に, 時間空間の排他性/直行性, さらに, 特殊な通信では符号空間の排他性/直行性を利用して, 混信が起らないようにして, ポイント・ツー・ポイントでの通信パイプを送受信装置の間に提供する。通話が終わればこの予約資源の解放を行うというアーキテクチャである。個別の排他的な資源の割り当てを, 基本的には時間空間の排他性を用い, さらに, 通信品質を確保・保証するために, 時間空間での同期システムとなっている。この「通信品質を確保・保証する」が, 時間同期システムを用いて, 電話網のユーザ(お客さん)である通信者が, エンド・ツー・エンドに仮想的な通信パイプを, オンデマンドに提供される構造になっていた(現在では, 電話網の生存機械である回線交換網は, そのほとんどが IP パケット網に置換された)。旧来の電話システムでは, システム全体でのクロック同期だけではなく, システム全体での情報の同期が必要になっていた。情報の同期とクロックの同期は, 理論的には可能であるが, 実装, すなわち, エンジニアリング的には, 大規模化に伴い, 非常に困難度が上がってしまうことになる。

その結果, インターネット, すなわち IP パケットの配送システムに, その生存機械が置換されたわけである。インターネットでは, 基本的に機器の間でのクロック同期は常時行うのではなく, 各自 IP パケットの受信時に行う (= Asynchronous 同期)。具体的には, ブートストラップ回路を用いて, 最初のビットパターンで送信元のクロックに, 受信側のクロックが引き込まれる。クロックの違いは, 「バッファ」で吸収する。記憶デバイスであるバッファ

を介して, 右側と左側は同じクロックで動作する必要がなくなる。この「バッファ」の導入によって, コンピュータ自身, そしてコンピュータネットワークは, クロック同期を完全に ローカルな作業に押し込むことに成功した。デジタルビットの記憶デバイスの大貢献である。

電力系統網の相互接続には, バッファ (= 蓄電装置) が設置される。「電力網を安定化させるために, 電力網の中に, たくさんの大容量蓄電池を送配電網の中に入れた」と聞いている。蓄電機能 (= バッテリー) の積極利用が, 今日では, 大容量蓄電池である EV の利用に到達しているのではないだろうか。EV は, 大きな蓄電容量だけではなく, これまでの蓄電池にはなかった移動能力を持っている。つまり, 安価で大容量, しかも場所を容易に移動可能なバッファ (= 蓄電機能) が, 現在の電力システムの同期の問題をかなり解決してくれるのではないだろうか。これは, インターネットの IP パケット網という「生存機械」が, 放送と電話の遺伝子(ここではサービスという遺伝子)を取り込み, 放送網と電話網の生存機械をインターネットの生存機械に置換され, 放送網と電話網がインターネットに飲み込まれたことと似たことが電力網で起こる可能性を持っているのではないだろうか。コンピュータとネットワークにおいては, 半導体メモリ技術が, 大容量化とコストダウンをムーアの法則に従って実現してきたことが, この進化を加速させた大きな要因であろう。EV に代表される蓄電池の大容量化をコストダウンが, 電力網の生存機械の構造を劇的に進化させる可能性があるのではないだろうか。

**編** 先生は「ポスト・コロナの新たな情報化社会へ向けての提言」をまとめていらっしゃいます。

この提言書(1)は、第6期 総合科学技術・イノベーション基本計画を行う検討委員会での議論で、東京大学情報理工学系研究科での議論という形で、資料/意見を提出をさせていただき、基本計画にかなり反映して頂いたかなと思っております。第5期の基本計画で世界に提唱されたSociety5.0の実現には、デジタル・ネット技術の戦略的利用が前提になっておりますでしたが、これが、コロナ禍によって顕在化し、さらにその重要性・必要性が強く認識されたことを検討委員会の議論の中で実感しました。

**編** 今回のご寄稿はネットワークのネットワークの社会に与える影響についてご執筆頂いております。先生のご著書「サイバーファースト」「オンラインファースト」にはさらに広い範囲で先生のご意見が説明されていますね。

昨年(2020年)12月に東京大学出版会から上梓させて頂きました「オンラインファースト」を出すきっかけになりました提言書の中に、電力システムについての具体的な言及はありませんが、これまで&最近の社会・産業状況の整理と、今後の話を議論させて頂いています。

<提言の骨子>

- (1) 「もとのシステムに戻さない!」・・・オンライン・デジタルを前提に
- (2) 新しい KPI (e.g., 復元力、冗長性、倫理、危機管理、オープン性) の導入・・・『新しい三方よし』
- (3) グローバル視点を忘れない。
- (4) 人材育成：新しい社会を先導する人材の育成(リカレントを含む)
- (5) 政治から干渉されないグローバル・{アカデミック}・コミュニティーの形成・確立
- (6) オンライン (インターネット) を前提にした新しいシステムの研究開発
- (7) 情報のガバナンス体制 (グローバルと日本) の確立・実装・運用
- (8) 戦略的調達
- (9) 危機管理領域の強化
- (10) SD (Social Distance) を維持した社会活動を実現するための情報技術の研究開発

**編** 先生はご著書の中で「人類は『言語』『文字』そして『コード』と三段階でデジタル化を発明した」と仰っていますね。

この整理は、実は、東京大のEMP(Executive Management Program : <https://www.emp.u-tokyo.ac.jp/>)での講義と、工学部の講義(ネットワーク工学概論)の中で、インターネットの本質を議論するために、整理をした結果です。ちなみに、養老孟司先生の講演を拝聴した際に、デジタルとは?とのお話がありまして、この整理は間違ったことは言っていないことを確認することができました。

## 編 ビットコインなどの仮想通貨とブロックチェーンについてどうお考えでしょうか

仮想通貨のお話ですが、「仮想通貨 ≠ ビットコイン」で、「仮想通貨 ⊃ ビットコイン」になります。ビットコインは、ブロックチェーンで実現されていて、ブロックチェーン ⊃ ビットコインとなります。ビットコインは、ブロックチェーンを用いて実現された仮想通貨ですね。つまり、仮想通貨を実現するたくさん方法の一つがブロックチェーンという技術になります。

ブロックチェーンは、多数の関係者(利益相反がないプレーヤ、競争関係にあってもいい)の間での多数決で「正しい」を定義するシステムで、単数(あるいは少数)の権威者によってシステムの管理制御が行われない(独占されない)ところに重要なシステムの特長があります。

これによって、権威者(最悪は独裁者)が自由にデータの改竄操作を行うことを不可能にしています。ですから、マイナー(\*)の過半数が中国のプレーヤになったことで、ブロックチェーンを用いた仮想通貨システムへの警告が発生しました。ある政党が選挙で過半数を持つと、議会と政権において、次の選挙までは、何でもできるようになってしまうという現象と同じですね。司法/立法/行政の三権分立と同様に、マルチステークホルダによる適切な相互監視・管理が、実運用において実現されなければ、技術・仕組みが実現可能性/実現能力を持っていても、それが実システムにおいて発現・実行されないことになってしまうのです。ガバナンスコードがあっても、実現されなければ絵にかいた餅になってしまうのです。

(\*) 計算機を使って仮想通貨を発掘する人。鉱山で貴金属などを発掘する人になぞらえてマイナーと呼ばれる。

## 編 日本では現金がまだまだ使われていますね。中国では偽札が横行しているため、通貨のデジタル化が日本より早く進んでいるとも聞きます。

「偽札の横行防止、汚い物理紙幣をつかいたくないので」との話がいられていますが、これは、後付けの理由だと見えています。誰が得をするのか?結局、マイナーの作業は、米国におけるゴールドラッシュ、オランダにおけるチューリップ球根のバブルと似たものかと。賢く、ビットコインを利用して、売り逃げして、大儲けする人がいて、そのビジネスを推進するための公的な綺麗な理由を創る(詐欺行為に近いかもしれません)ということではないでしょうか。もちろん、創生期のマイナーは、リスクをとって、挑戦をした結果利益を獲得しています。

中国のアリババのジャック・マーは、「規則ができる前に自分のルールを作ってビジネスを行う」をモットーにしていました。しかし、よく観察すると、貨幣のデジタル化は、デジタル通貨が出てくる前に、既に起こっていたことを、サイバーワールドである意味模倣し適用したのだと、「サーバーファースト」の本でも書きました。『イノベーションは模倣・真似から生まれる』です。

「金本位制」をニクソン米国大統領が廃止した時に、物理的な希少物による貨幣総量の管理が消え、紙幣は金という物理的な価値を持つモノと兌換することが不可能になり、サイバー空間でのマネーゲームが超加速しました。しかし、よく考えれば、貨幣は登場した時から、貨幣は単なる「数字」だったのです。貨幣は、そもそも、税金の管理からスタートしたともいわれています。このあたりは、有名な「負債論」(\*)で議論・整理されていますね。

(\*) 貨幣論 -貨幣と暴力の5000年-デヴィッド・グレーパー(著)

編 ビットコイン等の仮想通貨は日々発掘されており、ある意味金鉱発掘に似ているとすれば、経済状況に合わせて発行数の調整ができるわけでもなく、まさに金・銀等の貴金属取引に似ているとは言えないでしょうか。

ブロックチェーンの場合には、発行数の総量(上限)が定義されています。したがって、通貨による{延べの}取扱い総量が増えれば、その価値が相対的に大きくなることになります。しかし、この貨幣は、流通して移動するモノですので、その価値が流通総量(=延べの貨幣)が増えると上昇するというのは、実は変なんです。

不適切な粉飾会計では、売りと買いを2以上の組織で循環取引すれば、利益は同じでも売上は大きく見せることを行いますね。利益率は下がるのですが、売上は大きくなる。こういうあたりは、企業会計でのKPIをどう設定するのか?が、会社の階層で異なることに原因があるのではないのでしょうか。

最上層の取締役会でも、担当事業の数字に責任を持つ執行役員は、自分の業績がどの数字(=KPI)で評価されるのかで、重要視する数字が変わってきます。最近では、売上よりも利益率を重視するようになってきているわけです。しかし、依然として、多くの事業において利益率とともに、利益の絶対値も同様に重要視されています。利益の総量は、ある割合で株主に配当されますので、配当額は、売上×利益率に比例することになりますので、売上の総額は大きな評価値(=KPI)となります。

マイナーの競争は、早く発掘すれば、より大きな利益を獲得可能であるとの意識がマイナーの間で共有されれば、「競争環境」が形成されます。これによって、マイナー行為が、自動的に加速されてシステムが大規模化(=普及)することに貢献することになります。なお、これは、ねずみ講と同じ原理ではありませんが、当然、ねずみ講の構造をここに導入したくなりますし、ずる賢い人は、ねずみ講の構造を作ります。これを投資という形で行えば。

「サイバーファースト」にも書きましたが、貨幣の総量は、結局は、PL(Profit & Loss)に反映される流通量、しかし、実際の価値の総量はBS(Balance Sheet)になります。BSに載っている価値をすべて物理貨幣にすることは、もともと不可能だったのです。

PLでは、取引物(これは、物理的なものだけではなく、サービスのような仮想的なモノもあります)に対する単位価値が、貨幣で表現される。売値-原価 = 利益になって、使い切れない利益と創出された利益を生む財がBSに蓄積される。そして、蓄積された利益と財の一部が仕事をして、利益を産む。

編 仮想通貨の発掘をやっている人の話を聞きますと、できるだけ高速な計算機を使い、ひたすら計算機を回すのだそうです。最近では発掘できる仮想通貨の価値は電気代とトントンだとか。ということは、仮想通貨の価値が下がって電気代の方が高くなるとみんな発掘をやめると予想されますので、仮想通貨が普及した暁には、これは新たな「電力本位制」と言えるかも知れません(もうちょっとタマ(=流通量)が増えないと価格は安定しないと思いますが)。

これが、中国がマイナーの過半数になった理由の一つになります。中国のエネルギー戦略は、中露韓・孫正義アライアンスに表れています。私は、データセンターとエネルギーの連携とインターネットを用いた省エネ・節電(効率化による)の研究開発活動を行っていた関係で、中国国家電網と意見交換をする機会がありました。

西側(欧州)との関係が悪化したロシアは天然ガスが売れない。右下をみたら、エネルギーが欲しい中国がいた。中国は、左下をみたら、インドをバイパスしてインド洋から石油源であるアラブ諸国に通じる陸路がミャンマーにあった! 経済支援ということで、鉄道や道路と一緒に石油パイプラインを引いて中国南西部とインド

洋をつなげられるので、東シナ海を通過せずとも、石油が南西から中国南西部に陸路で輸送可能になる。さらに、中国西部やモンゴル地域には、広い土地があって、そこには太陽光パネルと風車も沢山設置可能な状況である。では、北西からガス、南西から油、自分の土地で太陽光と風で発電して、右(東)の中国沿海地域、左(西)のヨーロッパには陸路で電力を配送というエネルギーグリッドに関する一帯一路の計画になる。さらに、中国西部で発電した電気は、超高圧直流で東側の沿岸部に送電する。

ということで、中国西部地域の発電源の足元にマイナーを置こう。同様のことが、データセンターの設置場所にも当てはまります。発電源の近辺に大容量の電力を消費するデータセンターを設置しよう。これが、国家戦略になりました。

BAT(Baidu, Alibaba, Tencent), 最近は、これにTikTokなども加わり、データセンターが西に展開。仮想通貨のマイナー用のデータセンターは、ある意味、質の悪い(信頼性よりも処理能力に重きを置いた)データセンターになります。

貨幣の発掘に電力が必要になる・・・あれれ? これは、ビッグデータ処理によって、データが価値を生み出す(データが新しい油/半導体)・・・似ていませんか?

データセンターは、たくさんの電気を使って貨幣価値につながるマイニング行為を行っていると考えれば、デジタル通貨のマイニングと同じことを、異なるアウトプット(商品)に対して行っていると見ることができます。膨大な量のデジタルデータから、価値ある情報のマイニング(絞り出し)を、莫大なコンピュータ資源と電力を用いて行い利益を掘り出している(=マイニングを行っている)のです。

さて、ハイパージャイアントと呼ばれるGAFA + M, BAT は、データセンターのクラウド化(技術革新)によって、データセンターの運用に必要な人手の劇的な削減を実現しました。すなわち、都市部にデータセンターを置く必要がなくなった瞬間、過疎地にデータセンターを疎開させるようになったのです。データセンターは、大量の電気を必要とするので、発電源から高価な送電線を使って{お金を払って}電力会社に電力を輸送してもらわず、『発電源にデータセンターを発電源に持って行こう!!!』です。

日本では、IIJさんが、松江にデータセンターを持って行きました。原発です。中国では、再生可能エネルギー、原発、火力などの発電源にデータセンターを持って行くことが普通に行われています。

さて、ここで、地球温暖化の問題への対応が必須化した! そうなると、再生可能エネルギーの発電源にデータセンターを持って行くことは、地球温暖化への貢献にもなると言うことができる。これが、現在のGAFA + Mの動きになります。アマゾン(AWS)は、日本でも再生可能エネルギーの発電事業に取り組むとのアナウンスを最近行いました。実は、1・2年前から、AWSさんは、メガソーラ事業の経験者の募集を日本でも行っていました。

**編 仮想通貨I 単位を発掘するのに10kWh 必要として、kWhあたりの電気代を仮に20円とすれば仮想通貨I 単位は200円となるわけですが、そんなことなら仮想通貨0.1単位を新単位としてI 新単位=1kWh = 20円とすればすっきりするなというようなことを妄想いたします。**

はい。これは、上述の通り、何も仮想通貨に限った話ではないのです。電気代+コンピュータ代で算盤をはじくわけです。コンピュータの方は、日本では富士通さんやNECさんなどが、たくさんのコンピュータを作っていました。米国ではHPやDELLなどです。どれも多目的利用を前提にした汎用計算機で、データセンターの運用事業者からすると、汎用の計算機は無駄なハードとソフトを満載している無駄の多い計算機だな

あ・・・もっと、単純にして 必要最低限のハードウェアとソフトウェアにシェイプアップ(ダイエット/スリム化)して納品してあげませんかねえ。これが、OCP(Open Compute Project)になります。

大手のコンピュータベンダーは、なかなかこういうコンピュータを作ってくれませんでしたので、アップル社の真似・模倣をして、カルフォルニアでシステム設計と財務設計、台湾で部品の設計・生産、中国で生産・アSEMBLをして、世界中のデータセンターに納品というハイパージャイアント 用のグローバルサプライチェーンを形成したのです。アップルのiPhone のグローバルなサプライチェーンの形成は有名ですね。データセンターのサーバにも 同様のことが起こったのです。

もうひとつは、データセンターを電気代が安く、地球環境に優しい場所に持って行く。まずは、Go-To-Northです。この典型例が、米国西北部のデータセンターパークになります。水力発電所と、長期の購買契約です。さらに、米国の中部は、風力発電が安定して安価なので、ここにも 大規模データセンターが存在するようになりました。

ここには、送電線の価格/km は、通信線の価格/km にくらべて非常に大きいという算盤も存在します。昔は、クラウド技術がありませんでしたので、仕方なく、データセンターは、たくさんのエンジニアが駆け付け可能な都市部にありました。この境界条件が、技術革新によって変化して、物理的なネットワーク構成の境界条件が劇的に変化した・しているのです。

**編 確かに電気代は国や地方によって変わりますね。さらに言えば電源によって変わります。油田や鉱山の無い国でも山と雨があるような国では水力発電所を作ってしまうと宝の山となりますね。**

下記のようなBMW のビジネスが出てきました。「地球レベルで 考えよう！」アイスランドは、完全再生可能エネルギーの国ですね。アイスランドの主要産業は、アルミニウム生成だったとのこと。富山県と似た構造ですね。アルミニウム工場の代わりにデータセンターにするかあ・・・。

また、寒い気候ですので、冷却効率がいい(=Go-To-North)。また、電力代も安い。そこで、BMW社 は、電力単価の高いドイツのデータセンタの面積を20%に縮小して、残りの80%は、再生可能エネルギーが利用可能で、かつ場所代と電気代の安いアイスランドとスウェーデン に疎開(移動)させました。ちなみに、自動車会社は、自分では車用の素材は生産していないので、比較的 RE-100 化は容易に実現な企業なのです。化石燃料を燃焼させ、大量の地球温暖化ガスを排出する車をたくさん 売っているのですが、自身の会社が排出する地球温暖化ガスを含むカーボンフットプリントは、実は、そんなに大きくはない。しかし、サプライチェーンで見ると・・・

また、日本では・・・水力発電(含む揚水発電)には、ほとんど投資していません。古い発電設備のまま運用されています。水力発電施設は、既に減価償却が完了し、真水の純利益を産み出すマシンですので、4年ほどで入れ替わる経営者からすると投資するよりは、真水の純利益をそのまま出し続けてもらった方がいい設備なのではないでしょうか。本当は、設備更新に投資をすれば、発電量が増えるので、次の世代への貢献になるはずなのですが。ここでも、短期利益優先の企業統治の弊害が・・・

私は、この話(既存発電設備の効率化のための更新)をエネ庁の委員会において発言・提言しています。最初は、原子力の夜間の余剰電気を有効利用ということで揚水発電を行ったけど、太陽光発電が増えて、今は、揚水発電は、昼間の太陽光発電の余剰電力を使って揚水を行っています。さらに、最近の一番厳しい電力状態は、夏の昼間ではなく、夕方、特に、冬の夕方になっています。太陽光発電が弱くなり、家庭での電力需要

が急増する冬の夕方ですね。このように、揚水発電は、当初の原発の夜間の余剰電力のリサイクルという観点ではなく、再生可能エネルギーの導入にとって重要なインフラの一つに変化したようです。つまり、余った原子力の電気の対策ではなく、再生可能エネルギーの発電量の不安定性に起因する電力供給量の不足への対応力になっているのです。実際、2年前の1月の需給ひっ迫の際には、残雪の影響で太陽光による発電量が持続的に減少し、揚水発電もできなくなり電力不足に陥ったとの報告をもらっています。また、電力の取引価格(スポット市場)が急上昇した2021年1月の電力逼迫の際には、関東地区での積雪がなかったことで乗りきることができました。当初の目的とは異なる利用法となるわけですが、新しい利用価値を獲得したインフラの積極的利用と整備更新(効率化とパワーアップ)を行う必要があります。「サイバーファースト」にも書かせていただきました「必要は発明の母ですが、発明は必要の母でもある」(Melvin Kranzberg 第2法則)です。そのままでは無駄になってしまう原子力発電の余剰電力の蓄積のための揚水発電の発明が、再生可能エネルギーの不安定性の解決という必要に貢献することになったのです。

**編 中東は油田という宝の山を持って金持ち国になりましたが、今後はラオスやスウェーデンが金持ち国になっていくかも知れませんね。既に原子力発電所を持っているがそれほど需要が伸びない国は打ち出の小槌を持っているようなものとも言えそうです。(日本がそうであれば良いのですが)**

これは、日本国内における「地方vs 都市部」とも見ることができます。発電源を持つ地方、電力を消費する都市。都市はお金を持っているけど、発電源はない。昔は火力発電所をつくれたんだけど、、、今は、もう。。。そもそも、原発は危ないので 都市部にはおけないから、地方に設置した。

さて・・・発電源の 所有者は?まさか、都市部のお金持ち?投資をして、儲けは都市部の人の懐に、ということにならないために、私は、『{再生可能エネルギーの}発電源は、将来、打ち出の小槌になるので、地方の所有権にするべきです』と申し上げています。お金がないので、仕方がない場合には、『都市部のお金持ちとの共同出資や、税金として、利益のx%は、地方に還元しなさい』と。

鉄道産業は、既に、不動産事業がメインになっていますね。私鉄は、安い( 利益率を低く) 鉄道を引いて、安い土地に街を新しく作り売り抜けて鞘を抜く、あるいは家賃収入を得る。だから、専門の国鉄よりも安い価格で電車を走らせられる。国鉄が民営化して、このモデルをJR さんが理解され実践されているような・・・

こういう観点から、トレーラハウスに象徴される、場所を変えることが可能な インフラ(スマートシティ) をTクラウドコンソーシアムで議論・提言(<https://www.t-cloud.org/project/smart-home/>)したのでした。

**編 先生の仰る通り電力は通信より放送に近いように思います。電力のパケット化についてはこれまでも議論されていたのでしょうか。**

電力のパケット化 は、京都大学の 松山隆司先生が、提唱されていました。

完全パケット化には、まだ、技術が追いついていません。しかし、「バッファを増やす」( = 「蓄電池が増える」)、「直流部分が増える」は確実に起こると観測しています。

編 今、各家庭にはスマートメーターが装備されています。電力メータは基本的に情報端末化されています。使用電力量を測定し、通信することが可能です。またHEMS(Home Energy Management System) 機器が家庭にあればHEMS 機器と通信し、データを送信することができます。A, B, C の三つのルートがあり、一部はIP パケットを用いて通信していますね。

テスラは、既に、行っています。もちろん、中国でも。スマートメータ等の国内の電力関係設備の技術標準化には・・・ガラパゴス技術が少なくなく・・・困ったものです。

私は、東日本大震災の際に、スマートメータの議論に呼ばれました。その際に私は、マルチホップ型のスマートメータはちゃんとは動かない(正確には、良好な運用には非常に苦勞するし、理論上のホップ数は現場では実現できない)と申し上げましたが・・・。

一方、九州電力さんからはスマートメータの導入のご相談がありまして、携帯電話網の技術の利用を推薦しました(これは、小職の専門領域である通信技術の問題でしたので)。この携帯電話網の技術を用いる方式は、九州電力さんのみで、各所から心配の声が少なからずあったと聞いています。

スマートメータの技術標準は、そもそも Echonetからスタートして・・・マルチホップやPLC も・・・独自技術で・・・オープン化とグローバル標準が採択されず。しかも、各電力会社ごとに技術仕様が、微妙に異なる場合が少なくないようです。さらに、私は、昨年総務省で認可されたNTT さんのグループ内での共同調達購入と同様に、電力会社間での共同調達購入を提案しています。一部、ハードウェアに関しては、実現されましたが・・・なかなか拡大されていません。情報システムに関しては、少しずつ進んでいますけども・・・。サイバーセキュリティや動作確認・動作保証を理由に、技術のオープン化・標準化の推進は、まだ容易な状況にはありません。安心・安全の確保を理由・梃子にしたガラパゴス化の堅持でしようか。

また、Bルートに関しても・・・自宅の電力消費量のデータの所有権は、ユーザにあるはず!このデータをアクセス可能にするのは 当然のこととの意見を、経産省の担当者に申し上げました。類似の事例として、病院で作られるカルテのデータで我々が行ったことを示して進めてもらいました。Aルート、Cルートには、データの提供と利用に関してかなりの制約がかかる。しかし、Bルートは、各個人の判断で、取得データの再利用を可能にすることができる。しかし、残念ながら、このアクセスのためのインターフェース仕様は・・・ガラパゴスだったので、スマホからは読めない技術仕様になっていました。

HEMSという名の、排他的ビジネス構造を作りたい方々がいらっしやっただからでしょうが・・・。一方、海外では・・・様々なIoTデバイスやスマホが、スマートメータのデータを、インターネットの標準技術で読み取ることを可能にして、新しいサービスの開拓・創成が行われましたね。

編 IoT 機器が普及すれば、IoT 機器は自分が必要な電力をIP パケットに載せてリクエストし、事業者がリクエストに応じたIP パケットを返送すると同時に電力調達を行い同時同量を達成する方向を目指すことができるのではないのでしょうか。

これを行うために、Bルートの背中を押しました。

テスラは、既に、EV用の蓄電池を住居とオフィス用に展開しています。さらに、EVは、強力でコスト競争力のある空調を持っていますので。そして、さらに、空調は、各部屋に室外機からの管路を持っているんですよ。

編 先生の「サイバーファースト」の中では、国土交通省の「国土のグランドデザイン2050」における「新しい集積」の具体例としてトレーラーハウスの話も、大変示唆的でありました。日本の道路事情ではなかなか大きなトレーラーハウスを運ぶのは大変ですが、シェアする考えもありますね。

はい、シェアリング(賃貸)にするのか、所有(持ち家)にするのかの違いですが、これは、不動産ビジネスになります。お金を持っている人が、

- ① 分譲;開発して分割し売り抜けるか、
  - ② 賃貸;所有して家賃収入をもらうか、
- ②の方が安定した{パイプライン型の}収入になります。①は一気に大きな収入を得ます。

これは、自動車の販売とシェアリングと同じ話になります。オリックスは、リース(=シェアリング)ビジネスからスタートしました。

一方、トヨタは、売り切りからスタートしました。トヨタは、ある時期から、現金買い/一括買い から、分割払いに誘導を始めたようです。分割の方が顧客に得になるようにします。もちろん、その際には、トヨタのクレジットカードを推奨しますし、そのインセンティブが提供されます。

これで、経営者としては、売上と利益のキャッシュフローが安定化することになりました。各顧客ごとに、景気も変化しても、分割払いになっているので、車検の期間は、収入が安定するという形でのパイプラインでのキャッシュフローを作ります。このパイプラインは、始点が異なる多数のフロー群になっていますので、長期視点での経営から考えれば、キャッシュフローの安定化につながる、オリックスのリースビジネスに似た、当然の手法になります。

オーナー企業の特長も持っている会社なので、短期利益より中長期利益を考える経営層なんでしょうか。我々の自宅も同様に考えればどうなるだろう…。それで、考えたのが、モバイルハウスなのです。

資源が貴重だった昔の家屋は、モバイルハウスだったんですね。有名な神社仏閣、お城は、ほとんどすべてが解体・再構築が可能な構造になっていましたね。しかも、釘も使わずに!

実際、お城も神社仏閣も、長距離・単距離移動したものが たくさんあります。私の場合、実家が、道路の拡張の際に、自宅の敷地内ですが、家ごと移動させた 記憶が残っています。当時は、家が石の上に乗っていましたね。これは、実は、免振構造でもあるんですね。より頑丈・頑強な構造物を要求することになる耐震構造ではなかったのです。ちなみに、米国製の洗濯機が耐震構造、日本製の洗濯機は免振構造となっています。

経済効果という観点からは、移動できないようにして、scrap and build にしたいですね…。西ドイツと東ドイツの統合の際に、東ドイツの建物が Skelton & Infill 型になっていたため、内装を自由に変えるだけで、新しい建物になったので、東ドイツは、少ない投資で、西ドイツに追いついたとの話を建築の専門家の方に 教えて いただきました。

編 全国にシェアハウスがあれば、家を運ばなくてもこれはどうしても使いたいという調度品のみ運べば引越が完了するし、家の構造をある程度標準化しておけば(現在かなり標準化が進んでいると思いますが)自分の元の家と同じタイプの家を探すことも可能であるし、気分を変えることも可能になりますね。クルマにいろんなメーカー、車種があるのと同様、。フェラーリに相当するような高価な家や軽トラックのように低価格・多用途が売りの家も考えられます。

はい。さらに、家が物理的に移動できれば、同時に産業廃棄物も減ります。昔の日本家屋は、廃材が出ないように、工夫されていました。材料が貴重だったからかだと思います。コストが大きくなるのは、売り手にはとても嬉しいことですが。。。。つまり、ウォーターフォール型のベンダー主導の市場か、ボトムアップ型のユーザー（消費者）主導の市場か、我々はどちらを選択すべきなのか。

GAFAMのハイパージャイアントのデータセンター用のIT機器の調達の話は、上述しました。実は、トヨタとスズキの提携は、非常の興味深いものでした。スズキさんは、これまでの、スズキのビジネスフローを、トヨタ型にしたいとおっしゃっていました。

スズキは、車の生産計画は、上流のスズキ自動車が、市場をみながら決めるもの、その計画に従って生産された車を、売りまくるのが販売店との構図でした。いわゆるPUSH型のウォーターフォール型です。ユーザーへの納品も早くする！在庫を販売店が抱えて。在庫が増えるとディスカウント=利益率の低下。

一方、トヨタは、いつの間にか納期が長くなっていませんか？ユーザーの希望に応じて車のカスタマイズして、利益率をあげながら、同時に受注生産にしています。カンバン方式が、顧客まで及んだものと見ることができます。注文を受けて、材料が確保をされ、生産される。すいません、納期は1か月後・2か月後になります。でも自分仕様の車なので、ユーザーは、良いかあ、人気のある車種だし、となります。

無駄もなくなり、利益率も上がり、リスク管理も改善される。ここに、さらに、一括払い御免でキャッシュフローも安定化。これが、スズキとトヨタの提携だと認識しています。本質的には、GAFAMのハイパージャイアントのデータセンター用のIT機器の調達の構造と同じ話なのです。