

第2部

特集2 データセンター・アーキテクチャ

江崎浩

概要

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、具体的で実践的なスマートシティの実現に向けた取り組みを推進するべきであると考え。データセンターをスマートシティの実現に向けた戦略的拠点とするためには、スマートシティのアーキテクチャの姿を捉えなければならない。本稿では、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」[30, 31, 32]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、その現時点でのWIDEプロジェクトにおける研究成果の概要を報告している。

第1章 はじめに

WIDEプロジェクトにおいては、プロジェクト創設の以来、基本的に「データセンターの利用者」としての研究活動を主に行ってきた。特に、通信キャリアが提供するデータセンターのコロケーション・スペースに、伝送装置・スイッチ・ルータなどのネットワーク機器とDNSなどのインターネットにおける基本サービスの提供に必要なサーバ類を設置するデータセンターの利用者であった。

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ル事業者は、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(GAFA+M、BAT)を核に、OCP (Open Compute Project)やScorpioなどの活動が開発されている。

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、ハイパースケーラは、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。

第2章 インターネットは第3の波へ

インターネットは過去に二つの大きな波を経験し、現在第3の波を経験しつつあると考えることができる。

2.1 インターネットの3つの波

・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。

2.2 第3の波の覚醒

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、「ソフトウェアディファインド(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。ソフトウェアディファインド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ディファインド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・ネットワーク化させることで、「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、いったいなぜだろう？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。

第3章 DevOpsおよびWhitebox化

3.1 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。

3.2 データセンター業界で進行するユーザー主導のプロジェクト

このような動きは、データセンター業界において進展している。フェイスブックによるOCP(Open Compute Project)やグーグルやIBMによるOpenPOWER Foundation、あるいは、中国のアリババやテンセントなどのOTT(Over The Top)プレイヤーによるScorpioである。これらのプロジェクトでは、データセンターのユーザーであるOTTプレイヤー自身が、必要とする機器やシステムを、ベンダーと連携・協力して設計・実装・導入するビジネス形態である。これまでのデータセンターとは異なる新しいビジネス構造である。

(1)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、みんなで作って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、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、システムの設計・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

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。

(2) 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ました。

(ア) 調達システムに関する透明性の不足・欠如

① 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

② 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。

(イ) 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。

(ウ) 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。

(エ) 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。

(オ) ロックイン型ベンダーの反応

次に、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。

①「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」。

=>これは、逆にライフタイムコストは大きな負担となる場合が、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。」
=>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。

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(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」

=>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

(カ)ロックイン型ベンダーの対応方法

以下に、このようなベンダーに対し、ユーザーはどのように対応したらいいのでしょうか。対処するための方針を整理した。

①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。

②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。

③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。

(キ)調達オープン化(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。

(ク)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。

(ケ)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)と保全に必要なセキュリティ対策が、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。

(コ)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られる。

- 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(安全性)対策

③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。

(サ)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・執行形態の变革が進行している。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。たとえば、建築・設備業界における「BIM First」*1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。[33]

*1 【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。

- (1)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。
- (2)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。
- (3)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、できること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。
- (4)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』。
- (5)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』

第4章 データセンターネットワークの構成とWhiteBox化

4.1 データセンターネットワークの構成

以下に、データセンターネットワークの構成に関する環境の変化と課題、ならびに解決のための方向性をまとめた。

- (1) 2000年頃までのインターネットにおけるピアリングは、基本的にはISP事業者間でのピアリングがほとんどであった。しかし、2000年代中盤以降、CSPやASPが、ピアリング対象の事業者として急速に増加してきた。特に、デジタルコンテンツと金融に関する事業者とのピアリングの増加が著しい。
- (2)データセンター内ネットワークの階層化

データセンターの規模の拡大に伴い、ネットワークが階層化され、サーバ間へのマルチパス環境の提供による、(a)機器障害への対応と、(b)通信スループットの向上が行われている。マルチパスの提供にあたっては、MPLSやVXLAN、さらに最近でSR (Segment Routing)の技術が利用されている。

(3)データセンター間ネットワークの形成

提供されるサービスの規模が、物理的に1つのデータセンターのみでサービスを提供する可能な段階を超えたのと、障害対策、さらに、遅延特性の向上を実現するために、データセンター間のネットワークが形成されている。複数のデータセンターをネットワークしたある意味仮想的なクラウド型のデータセンターである。複数のデータセンターで構成される仮想的なデータセンターは、単一のデータセンター事業者である場合もあるし、複数のデータセンター事業者がネットワークされて構成されるハイブリッド型の{仮想的}データセンターである場合もある。近年のデータセンター間の通信に準備される通信帯域の大きさは、爆発的に増加しており、データセンター事業者自身が、データセンター間の通信回線と関連施設の建設・保有・運用(従来は通信キャリアから回線やサービスを借りていた)を行う事業形態が激増している。

(4)大規模化の加速

従来は数MW以下の電力消費量であったデータセンターは、現在では数百MWクラスの規模の超大規模データセンターが建設されてきており、これまでのデータセンターとは桁違いのエネルギー消費量となる。そのため、電力グリッドをはじめとしてさまざまなデータセンターの運用に関係するステークホルダーとの調整・連携が必須となってきている。数百MWの電力消費量は、大規模な発電所の発電容量に匹敵・相当する大きさであり、データセンター事業者が、発電設備を購入あるいは建設する場合も少なくないケースとなってきている。特に、再生可能エネルギーを積極的に利用した大規模データセンターの建設も数多くみられる。

(5) 「爆縮」現象の加速

消費電力量の増加と共に、電力密度の増加も進んでいる。集積密度の上昇である。特に、熱問題は、極めて深刻な問題である。このような、現象は、「爆縮」と呼んでもよいであろう。超微細プロセス技術を用いた集積度の高いプロセッサにおいて、並列処理がアグレッシブに行われており、熱問題は、極めて深刻な問題である。既に、空冷による排熱では限界となりつつあり、水冷や液浸により排熱システムの先駆的導入も進められている。なお、高密度化は、空間コストの削減だけではなく、物理的距離に伴い発生する伝搬遅延を、データ処理効率を向上するために小さくしたいという要求からも必要とされている。つまり、「爆縮」現象への対応は、非常に深刻なデータセンター内コンピューティングシステムの技術課題となっている。既に、1ラックあたりの電力消費量は、数十KVA程度が要求されており、100KVAクラスの電力密度での実装への挑戦が行われている。この次元での実装においては、単独のサーバでの対応では不可能であり、ラックの構成と連携した設計・実装、さらには、データセンターのサーバ室としての熱管理・空気管理との連携が必要となりつつある。DCIM (Data Center Infrastructure Management) との連携である。ある、ハイパージャイアントは、データセンターを、一つのコンピュータとして、設計・構築・運用するという考え方になってきている。

(6) データセントリックなアーキテクチャへの移行

従来のコンピュータの構成は、CPUを中心に据えたアーキテクチャであった。これは、算術計算の量が最も重要であったためである。しかし、近年は、大量(莫大な)のデータを入出力しながらコンピューティングを行うアプリケーションが急増している。いわゆる、「ビッグデータ」である。深層学習もその一つと捉えることができる。データの量は、テラバイト、さらにはペタバイトクラスになろうとしている。このような環境では、データの保存(write)と移動(read)操作の遅延、データの物理的移動による遅延が非常にクリティカルになってくる。実際、データ処理(コンピューティング)を行うデータイメージは、ギガバイトクラスであり、データサイズよりもはるかに小

さいサイズとなってしまった。このような環境においては、データの保存領域に、コンピューティングリソースが寄り添う形態が、より効率的ではないかとの議論・挑戦が始まっている。CPUを中心に据えたアーキテクチャではなく、メモリ、さらには、ストレージを中心に据えたアーキテクチャである。コンピュータの仮想化が一般化・汎用化してきており、{仮想的になった}コンピューティングモジュールを、メモリ領域近傍にマイグレーション(=移動)させることは、容易になってきている。帯域幅と遅延の特性は、以下のようになっており、この物法則を変えることは、現状ではほぼ不可能である。

CPU >> メモリネットワーク >> ストレージ

(7) オープン化

インターネットは、OS (Operating System) とIT機器のオープン化とそれに伴う相互接続性を実現した。このオープン化は、OSおよび個別のIT機器内部のハードウェアおよびソフトウェアにまで進展しつつある。Whitebox化である。1つの事業者(ベンダー)が、IT機器というハードウェアとその上で稼働するソフトウェアプラットフォーム(OS)を提供するのではなく、ユーザが、各自ハードウェア・ソフトウェアコンポーネントを、複数のベンダーから調達し、インテグレートして希望するIT機器を実装する形態である。これは、PUSH型のIT/ICT産業が、PULL型に進化していると捉えることができる。

WIDEプロジェクトでは、Whitebox化が、ある意味創設以来のビジョン・ミッションである。以下が、ボードが毎年開催している「Board Retreat」における2001年以降のテーマである。2006年の無線システムのインターネット化、2010年のハンドメイドシステム(WIDEインターネットのWhitebox化)、2016年のSDN、2018年の5Gとインターネットの議論は、まさに、Whitebox化に関する議論である。

- 2019: SRv6 (Segment Routing IPv6) and the Internet
- 2018: インターネット と 5G

- 2017: SWEET (i.e., at large Security)
- 2016: Software Defined Infrastructure (e.g., SDN, NFV)
- 2015: Internet x Digital Intelligence (with IoT/WoT)
- 2014: WIDE DESiGN
- 2013: Data Center Networks
- 2012: Big Data
- 2011: Disaster responding
- 2010: Hand-Made System ==> White-Box
- 2009: WIDE project after 2010
- 2008: "Next" Internet
- 2007: Future Internet architecture
- 2006: Internet-Native wireless ==> 5G ?
- 2005: Understanding Grid computing
- 2004: Lambda Network
- 2003: Mobile Reality
- 2002: Peer-to-Peer architecture
- 2001: Internet security

4.2 WIDEプロジェクトにおけるWhitebox導入

以上の背景のもと、マルチベンダー環境での、Whiteboxと従来のネットワーク機器が混在する環境での、WIDEインターネットの運用を行っている。2010年以降のハンドメイドシステムは、サーバー系のWhitebox化であり、クラウドコンピューティング環境のハンドメイド化であった。同時に、ルータ・スイッチに関する高性能化と低コスト化を目的としたハンドメイド化の研究開発も行い、2018年頃からは、サーバに加えて、whiteboxルータのWIDEインターネットへの導入を行った。

第5章 データセンター設備のオープン化

データセンターは、建築物の中でも、高い運用品質が要求される重要インフラの建築物と捉えることができる。つまり、スマートビルの一つである。

WIDEプロジェクトでは、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(DCIM; Data Center Infrastructure Management)

- 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)[34]
- 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」[35]
- 2015年2月 「ファシリティー・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 [36]
- 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 [37]
- 2018年4月 「{データセンター}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研究会 ビルSWG
==> 経済産業省「ガイドライン」[38]

■ 日本データセンター協会 [39]

- 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ー勉強会」
(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 [33]

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。

第6章 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。

6.1 インターネット・バイ・デザイン[30][31]

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ドカーン(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(Communs)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ーフェースの共通化(=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。

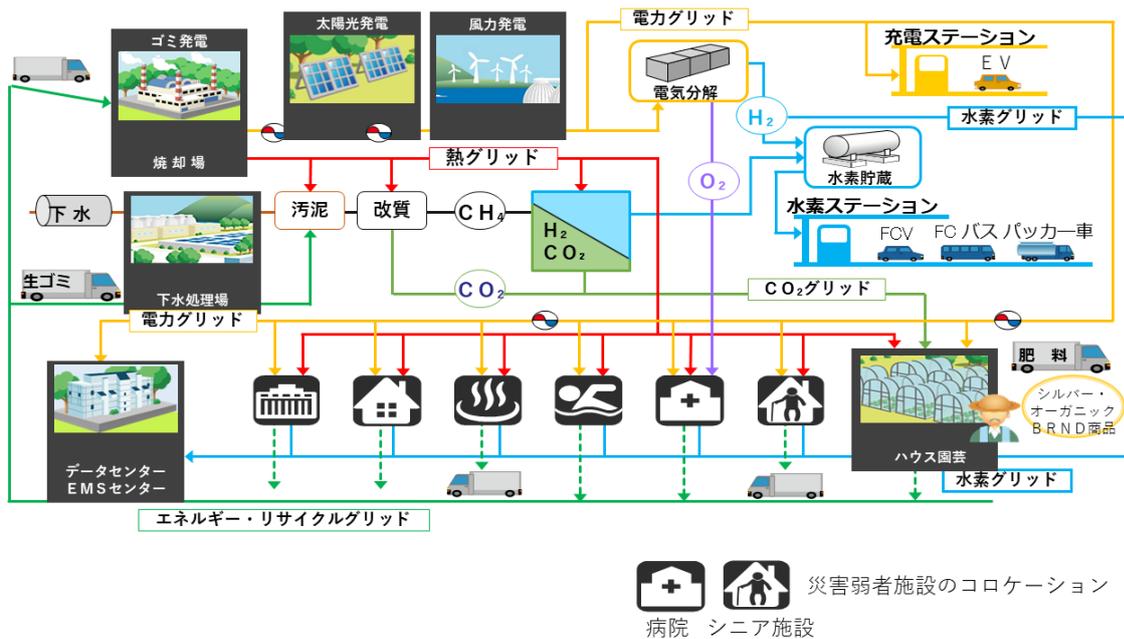


図3 ごみ処理施設を核にしたスマートインフラの考察例

(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

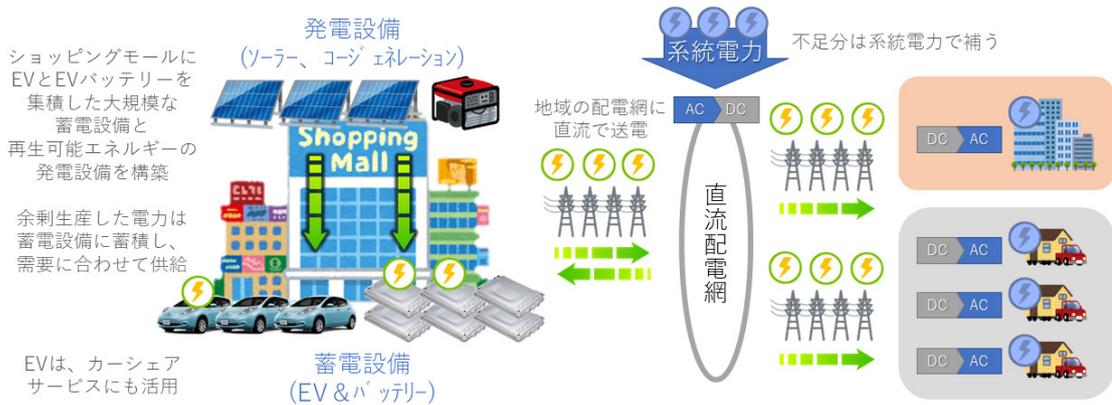


図2 ショッピングモールの考察例

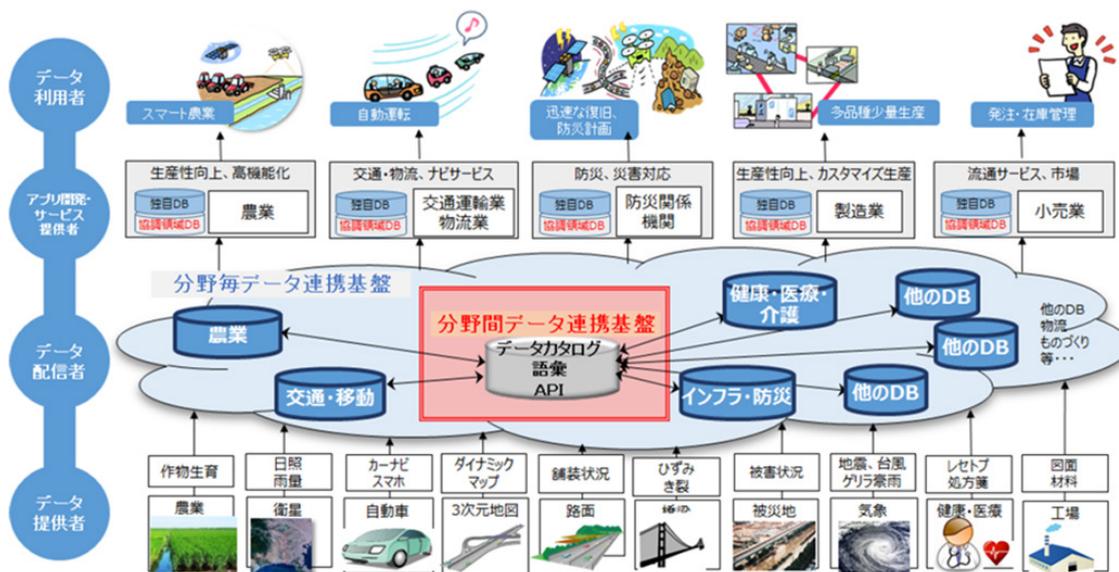


図3 「データ連携基盤SWG」で作成したシステム構造

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」

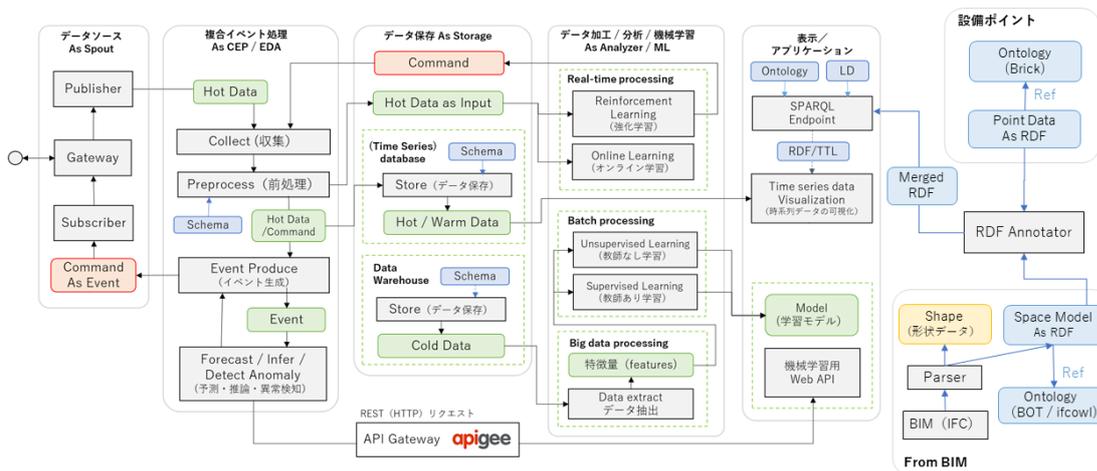


図4 建物設備のためのクラウド・フレームワーク

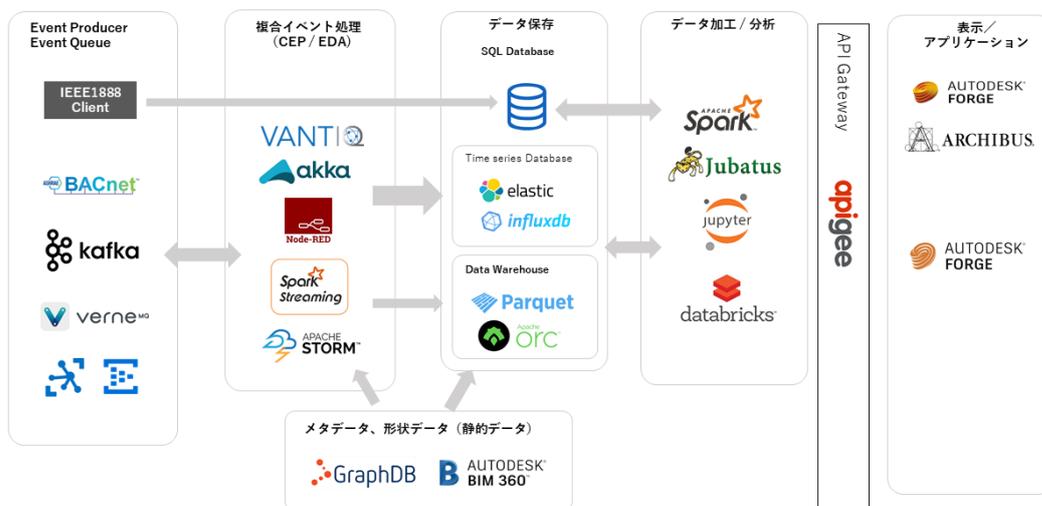


図5 ビルにおけるデータ処理 with OSS

(=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。

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」[33]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。[40][41][42]

6.2 エネルギーを根子にしたスマートシティーへの貢献[43][44]

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(上述したDCIM)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・産業の最も重要な財産・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、重要な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

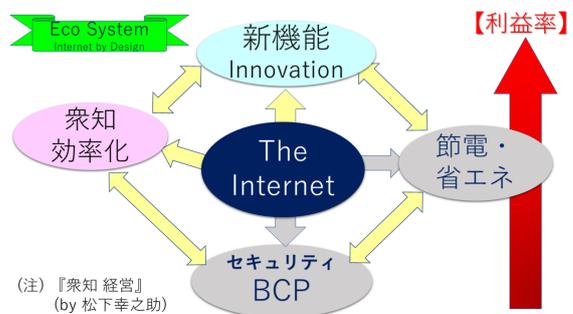


図6 持続的成長を実現する「マルチプル・ペイオフ」な相互関係

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ことを可能にする、(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。

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。

6.3 クラウドシステムと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
いるとともに、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。

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

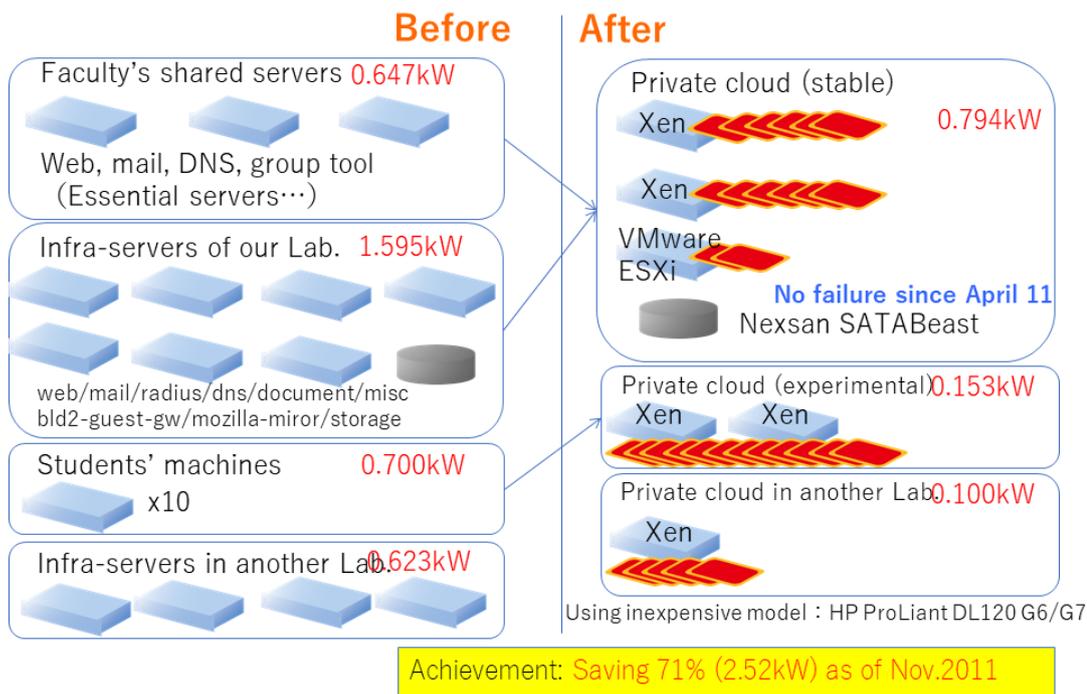


図7 江崎研におけるクラウド化を用いた省エネ

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.

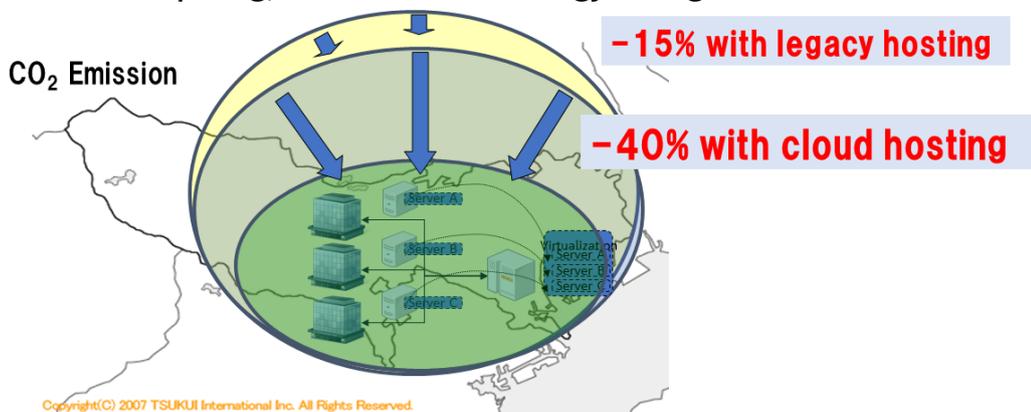


図8 Strategic Energy Saving using iDC

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。

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。

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ーを含む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。

今後のデータセンターに関係する方向性としては、前章で議論した方向性に加えて、以下のようなものが考えられる。

(1) 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でもできる。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。

(2) 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、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。

(3) 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。

(4) 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する。これまで、安い電源を求めて発電設備にデータセンターが擦り寄り形であったが、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。

(5) 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。

(6) 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、データセンター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に関する重要拠点となるシナリオが考えられる。

第7章 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。