オープンでスマートなデータ共通基盤とシステムインテグレーション

System Integration with Open and Smart Data Sharing Platform

江崎（えさき）　浩（ひろし）*

キーワード：データ連携基盤，サイバー・ファースト，サイバーセキュリティ，オープン化，SDGs

1．背景と概要

COVID-19(新型コロナウイルス)によるパンデミックは，狭義のデジタルツイン(Digital Twin)であるCPS(Cyber Physical System)の次の段階である「サイバー・ファースト」[1]を覚醒させつつあり，社会・産業活動と建築設備の劇的な変革と進化を起こす劇薬となるであろう。抗ウイルス薬が存在しない状況では，物理的な接触と近接を避けることが，パンデミックへの本質的な解決法である。このような条件下でも，我々は社会・経済活動を継続させなければならない。すなわち，物理空間での短絡(＝ショート)を行うことなく，物理空間に存在するヒトの間での相互作用を，サイバー・デジタル空間を介して排他的に実現しなければならない。コミュニケーションのデジタル化，そして「オンライン化」である。人類は，今回の経験を通して，多くの活動がデジタル・オンラインシステムで実現可能であること，また，将来の同様の(更に類似)のインシデントに備え，我々の生活・活動の「オンライン化」の必要性を認識することになる。そのときには，オンライン・デジタル・コミュニティにおける「オフ会」の価値が再評価されるようになる。物理ファーストの世界で，ICT/IT技術を用いたビルやキャンパスのスマート化を実現する「サイバー・デジタル空間でのコミュニケーション」に価値が見いだされた逆の現象が，今後起こるであろう。

＊東京大学大学院情報理工学系研究科教授

1963年1月生まれ，福岡県出身。1987年九州大学大学院修士課程修了。1987年～1988年㈱東芝。1998年～2000年東京大学大型計算機センター助教授，2000年～2005年東京大学大学院情報理工学系研究科准教授，2005年より現職(教授)。

2．デジタル化とネットワーク化のインパクト

2.1　デジタル・ツイン(Digital Twin)

Society5.0が目指す社会インフラは，全てのシステムが物理・サイバーの両面で相互接続され，各システムの所有・運営者だけではなく，「システムの利用者(ユーザー)もデータの利用を可能とし(＝データのオープン化)，更にシステムの管理制御にも参画することが可能なシステム環境」が提供されることで，デジタル技術を用いた社会・産業の持続可能な発展(SDGs：Sustainable Development Goals)を目指している[2]。一つの共通インフラが，ユーザーやインフラの提供者など，システムに関係する全てのステークホルダに対してオープン化され，多種多様な機能を同時に実現することを可能にする※1。すなわち，「スマートなインフラを構築することによって，一つの投資が多数の事業目的(＝事業利益)によって償却(＝Pay off)される」“Multiple Pay Off”の考え方であり，デジタルデータと物理資源の利用の方法と目的を透明化(transparent)するというインターネット・バイ・デザイン(Internet-by-Design)[3]の考え方である。このような考え方は，CPS(Cyber Physical System)と称され，Digital Twinとも呼ばれるようになってきた。サイバー空間に物理空間のコピー(複製)を作り，更に，BIMやコンピュータグラフィックス，さらにはクラウドコンピューティング等，最先端のコンピュータサイエンス技術を導入し，システムの統合化(＝インテグレーション)と高機能化(＝スマート化)を実現しようとする方向性である。

※1　マルチステークホルダと呼ばれる。

これまで，連携・協働することがなかったシステム間でのデジタルデータの共有が行われ，これまでにはできなかった連携・協働を可能にすることで，これまでにないインフラの効率化・高性能化・高機能化，更に新機能の創生・導入という「付加価値の創生」が実現する。この実現には，既存システムにおける「Stove-and-Pipe」の構造が大きな障害となることが広く認識された。そこでSociety5.0では，「Stove-and-Pipe」と呼ばれるこれまでの「垂直統合型のサイロ(silo)型」のシステム・事業構造を“De-Silo-ing”して，水平統合型若しくはマトリックス型の構造に移行させることを目指している[4]。

2.2 サイバー・ファースト

物理空間が主で，サイバー空間に存在するデジタルオブジェクトによってサイバー空間に複製を構築するというCPSは，サイバー空間が主である，現在，物理空間とサイバー空間の主従関係が逆転する「サイバー・ファースト」への進化は進行しつつある。これが，今回のCOVID-19で劇的に加速することになるであろう。

この進化は，地球上の全ての「モノ(Thins)」がデジタル通信技術を用いて相互接続されるIoT(Internet of Things)を，地球上に存在するソフトウエアで定義される全ての「機能(Functions)」がデジタル通信技術を用いて相互接続されるIoF(Internet of Functions)へと発展させることである。IoTからIoFへの進化は，デジタル化によって，ソフトウエアで定義される機能(Functions)が物理的なモノ(Things)に固定・拘束されている状態から解放され，地球上を自由に移動可能になり，かつ，自由に相互接続されるようになることである。このような物理的に拘束されなくなる自由な状態は，「アンワイアード(Un-Wired)」[※2]と呼ぶことができる。

※2 従来は，有線接続のワイアード(Wired)から無線接続への進化をアンワイアード(Un-Wired)と呼んでいた。

リチャードドーキンズ著の「利己的遺伝子」では，「遺伝子は様々の生存機械(＝モノ，Things)で，その設計図(＝プログラム)を実行(＝execute)することが可能であり，また，生存機械は，様々な遺伝子を実行(＝execute)，保存(＝store)することが可能である」と整理されている。デジタル化の遺伝子は，その生存機械であるシステムの効率化・高機能化の段階から，生存機械の動態の革新の段階へと進みつつあるようである。さらに，デジタル化はUnwired化，すなわち，「“つながれた”状況からの解放」を実現させる。このような観点で，Industry 4.0，Society 5.0，そして，今後の方向性を次に整理した。

(1) Industry 4.0

①Connecting un-connected “***physical machines***” in “**a**” factory
一つの工場(含ビル)の中にあるデジタル接続されていない物理的な機械を相互接続する。

②Connecting un-connected “***companies***” in “**a**” supply chain
一つのサプライチェーンの中のデジタル接続されていない企業・組織を相互接続する。

(2) Society 5.0

①Connecting un-connected ***industries*** in “**a**” “country”
一つの国の中に存在するデジタル接続されていない産業を相互接続する。

②Creating **new** supply chains
新しいサプライチェーンを創生する。

(3) 今後の方向性

①Un-wire-ing(＝unbundling) to **re**-connect on **the** “globe”
地球上の拘束されていない(アンバンドル状況にある)組織を，｛これまで接続されることがなかった組織と｝再接続させる。

②Connecting ***functions***, rather than connecting ***things***
モノをデジタル接続するのではなく，機能をデジタル接続させる。

③***Demand*** chain, from ***supply*** chain
サプライチェーンからデマンドチェーンへの進化

近年のモノの実現方法としては，VM(Virtual Machine)を用いて，ハードウエアに依存しないソフトウエアコンピュータを作成し，多様なモノの上で，共通のプログラムを稼働させる方法が一般化しつつある[※3]。VMとは，要は，“Function”をExecute(実行)するインスタンス(＝生存機械)なのである。このモノ(＝生存機械)であるVMは，どの生存機械上で，更にどこで稼働するかは，自由に制御・選択可能であり，その物理的な存在場所を自由に変更可能となる。

※3 これまでは，それぞれのモノのハードウエア仕様にロックオンされた専用の組込みソフトウエアの開発と利用が一般的であった。

このように整理すると，IoTすなわち，「物理的な

モノをオンライン化する」という考え方は，ある意味，「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，考え方ではないだろうか。Functions（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。つまり，IoTは，「Software Defined Things と再定義され，Softwareを実行（Execute）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，“Physical”なモノになる。さらに，この“Physical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」ということになる。

2.3 セキュリティに対する考え方[5)]

Society5.0で目指すスマートインフラは，これまで相互に接続されることがなかったシステムを，オープンなデジタル通信技術を用いて相互接続することになる。すなわち，適切なサイバーセキュリティ対策の適用と実施が必須の要求条件となる。

セキュリティ※4は，「誰かが解決してくれるもの」ではなく，「関係する全てのステークホルダ間による協調と協働」によって初めて実現されるものであるということを念頭に置く必要がある。しかし，次のような「危険で不適切な」状況が散見されているのが現実である。

※4 サイバーセキュリティに限らず，全ての安全衛生・危機管理に共通する。

多くの企業や組織において，単に「閉じていれば安全」だと考え，対策を怠っている。

これらは，「インターネットへの接続性の提供を前提とした」Society 5.0が実現する社会にとって，結果的に非常に危険な考え方となってしまう。「閉じていれば安全」の考え方で構築・運用されるシステムは，他のシステムと相互接続するときのセキュリティリスクと運用者が「意図しない」状況での外部機器及び外部システムとの接続のリスクが非常に大きくなってしまい，結果的にシステムの統合コストの増加のみならず，統合化，すなわち他システムとのデータ連携を不可能としてしまい，新しいビジネス構造の構築の障害となってしまうだけではなく，サプライチェーンの効率化への大きな障害となってしまう。単独の事業者に閉じたサイバーセキュリティ対策だけではなく，「システム・施設の設計・構築・運用に関係する多数の事業者から構成されるサプライチェーン」に関するサイバーセキュリティ対策の実現が重要となる。すなわち，外部システムやインターネットへの接続を前提としたサイバーセキュリティ対策（＝“Security-by-Design”）を適用しておくことが，企業にとってのBCP（事業継続計画）と事業の成長戦略の観点からの「経営的なセキュリティ対策」となることを認識しなければならない。

3. スマートビル・キャンパスの広域化・グローバル化

3.1 クラウド化とエッジ・コンピューティングの融合

2016年くらいから政府及び内閣府で議論されてきたSociety5.0では，インターネットとクラウドシステムの存在と積極的な利用を前提とした，CPSシステムの検討と議論が行われてきた。さらに，最初から，エッジ・コンピューティングの重要性を意識・明記していた。特に，リアルタイム性と堅牢（けんろう）な稼働が要求される工場を始めとする多くの設備では，遠隔地に存在するデータセンターで動作するクラウドでは，リスク管理とリアルタイム性の観点から，不十分との認識が理由であった。すなわち，オンプレのシステムと，オフプレのクラウドシステムのハイブリッド型のシステムである。当然ながら，オンプレのシステムでも，IoFを含む，仮想マシンを用いたクラウドシステムの導入が推進されることになる。このようなシステムでは，汎用のデータベースを用いたクラウドシステムではなく，導入されるビジネスドメインに適した高速動作を実現するデータベースシステムが導入されることになる。さらに，オンプレのシステムにおいても，データベースを介したシステムでは，同様に遅延の問題とデータベースがシステム停止の原因になってしまう場合もあり，昔のキーワードでいえばM2M（Machine-to-Machine）若しくはP2P（Peer-to-Peer）での通信を用いたシステムの必要性が認識されつつある※5。Cisco社が提案していたフォグ・コンピューティングやMQTT（Message Queuing Telemetry Transport）に代表されるようなPublisher-Subscriptionシステムと捉えることができるし，筆者が代表のGUTP（東大グリーンICTプロジェクト）が，中国のパートナー組織を中心としたグループで連携して国際標準化に成功したIEEE1888のアーキテクチャに同様のシステムアーキテクチャとなる。

※5 最近では，イベント・ドリブン・アーキテクチャ（EDA：Event Driven Architecture）などが提唱されている。

インターネット及びIT産業は，これまで何度も，「集中」と「分散」の振子を動かしてきた。完全な分散システムとして登場したWorld Wide Webシステムは，商用サービスの登場によって集中へと進化した。ファイル共有・配信サービスもP2Pシステムに代表される分散型システムが，データセンターに設置された大規模サービスサイトによる集中型システムへ進化し，その後，CDN(Contents Delivery Network)による分散システム化へと進化した。その後，全てのサービスが，GAFA+MとBATが運用するグローバルなクラウドシステム基盤へと集約・集中されてきた。そして，今回，リアルタイム性と堅牢性を要求するIoTシステム(更にIoFへの進化が進展している)のインターネットへの接続によって，グローバル規模での分散化へのうねりが発生してきているのではないだろうか。

3.2　グローバルインフラの利用(事例紹介)

アイスランドは，人口は約35万人(新宿区と同じくらい)，GDPは5兆円(鳥取県と同じくらい)で，ほぼ100%再生可能エネルギーによる電力供給が行われている。気候は，極寒な環境ではなく，一年を通して“クール”な環境で，冬季は北海道よりも暖かい(＝寒くない)気候となっており，ほぼ，冷房が必要ない状況で，外気空調(直接と間接の両方)のみでデータセンターを運用することができる。欧州本土からのアイスランドへの通信遅延は30msec程度であることなどを考慮し，リアルタイム性が要求される事業ではなく，リアルタイム性が要求されず，計算量や記憶量が要求される人工知能やビッグデータ処理などに注力し，アイスランドの利点である，長期に安定な低電力価格と安価な地価，税制優遇を利用して事業企画が作成されている。近年の高密度&多量の電力を必要とする新しいアプリケーションの事業にとっては，魅力的である。ドイツの自動車メーカーであるBMW社では，CAD/CAMを用いた自動車の設計・評価には，リアルタイム性と従来のデータセンターのHigh Availabilityは要求されない。さらに，自動車は地球温暖化ガスの主要な発生源であるので，地球温暖化ガスの削減を実現するために，大きな電気エネルギーを必要とする自動車の設計・評価を全て再生可能エネルギーで行うという会社イメージの向上に貢献させることで，Multiple-Payoffを実現させている。

もう一つの特長は，電力価格が長期間(10年や15年)変化しないという条件を提供可能な点である。ほとんどの国では，再生可能エネルギーの導入のために，電力価格は非常に不安定にならざるを得ない。これは，企業経営における財務的観点からはリスク要素となる。安定な低価格の長期間の保証は，財務的には歓迎される要素になる。

4．おわりに

Society5.0が目指す全ての産業・システムのデジタル化とネットワーク化によるスマート化は，これまでの基本的には個別に独立して運用されてきた施設・システムの相互接続と連携・協働運用へと向かう。すなわち，既存の垂直統合型のビジネス構造の創造的破壊である。さらに，今後の設備システムは，オープン化とネットワーク化を前提として設計・実装・運用・保全が実現されなければならず，その結果，適切で有効なサイバーセキュリティ対策が適用されることが必須条件となる。

最後に，スマートビル，スマートキャンパスの実現には，ビル・キャンパスに閉じたシステムで解法を見いださなければならないという制約は，システムのデジタル化とネットワーク化によって払拭されることになる。さらに，物理空間に展開(＝Printed-out)されるモノ(things)は，グローバルなサイバー空間と接続され，必要な機能のアップデートが可能となることを前提にシステムの設計と構築・運用が可能となる。これが，サイバー・ファーストの世界であり，今後のスマートビル・キャンパス，更にスマートシティの姿となるであろう。

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：「Society 5.0を支えるデータ共通基盤をエネルギーインフラ」，電気設備学会誌，特集「最先端の電気設備技術動向」，pp.289-292，Vol.39，No.6，2019年6月
3)　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
4)　内閣府：「分野間データ連携基盤の整備に向けた方針案」，平成30年4月4日，https：//www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/datarenkei/3kai/siryo1.pdf
5)　江崎，中村等：「セキュリティに対する考え方」，2016年7月，http：//www.igcj.jp/meetings/concept-for-security.pdf