

グリーンな社会インフラのためのサイバーファースト戦略

江崎 浩 ●東京大学 教授

脱炭素を目指す持続可能な都市づくり。その新しい社会インフラを開く鍵は“インターネット遺伝子”がもたらすサイバーファーストへの変革。データセンター改革を突破口に、新しい取り組みが始まっている。

■デジタルツインからサイバーファーストへ

インターネット (The Internet) のアーキテクチャは生き物の遺伝子のごとく、進化してきた。今では現実世界にあるものを抽象化 (デジタル化) し、その管理と制御をデジタルプログラムの上で実現しつつある。インターネット技術の進展がもたらしたサイバー空間能力の劇的な向上によって、物理空間に存在するインスタンス (実体) のほぼ正確な模擬化が可能となり、その結果、サイバー空間 (デジタル空間) での評価が物理空間での評価よりも先に行われるようになってきた。

こうして現実世界の情報 (物理空間にあるもの) をサイバー空間にリアルタイムで再現する「デジタルツイン」が進み、さらにその先に社会のさまざまな事柄をサイバー空間で定義し構築していく「サイバーファースト (デジタルファースト)」へ向かう道が見えてきた。この変革こそが、インターネット遺伝子の急激な進化のプロセスだと筆者は考えている。

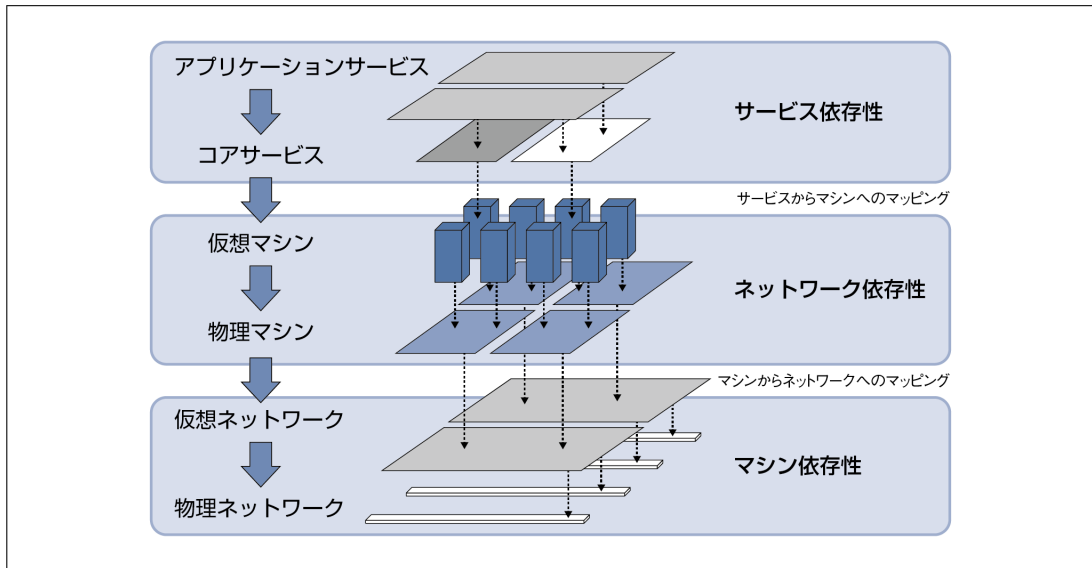
サイバーファーストの実現には、サイバー空間で定義されるインスタンスと物理空間に存在するインスタンスとの間でのアンバンドル化が行われる必要がある。アンバンドル化とは、サイバー空

間を上位層に、物理空間を下位層に捉え、上位層と下位層との間でのインターフェースを共通化・標準化・汎用化することである (資料4-2-14)。ここにおいてインターネット遺伝子の「生存機械」¹であるコンピューターなどの物理インスタンスは汎用化し、デジタル上のインスタンスへと進化を遂げることになる。仮想化技術はその一つの例である。

これは汎用コンピューターの世界だけではない。例えば組み込み機器を含むIoTデバイスでは、機能 (function) と物理デバイス (things) のアンバンドル化が進んでいる。機能自体はサイバー空間にあり、物理デバイスが汎用化することで機能は自由に物理デバイスを選択可能になるだけでなく、物理デバイスの制約なしに相互接続が自由に行えるようになる。これによって水平方向、すなわち機能間での自由な結合・連携が可能となるのだ。

■インターネット遺伝子に基づいた都市づくり・街づくり

サイバーファーストの社会では、都市や街のつくり方も変わり、次の2つの視点が必要になる。



出所：著者作成

- (1) 物理空間：競争力のある生存機械
- (2) サイバー空間：競争力のあるプログラム

サイバー空間での（仮想的な）物理空間と物理空間に（実際に）存在するインスタンスの選択と配置、その結合技術やトポロジーの設計力が、私たちの住む都市・街の価値を決定することになるだろう。スイッチやルーター、コンピューターで構成されるデータセンターなどの通信基盤やデジタル情報の送受信、共有・加工を実現するインターネットの利用は、もはや自明の前提条件である。さらに、これまでサイロ化していたさまざまな物理インスタンス（および複数の物理インスタンスで構成されるシステム）も、共通化・標準化・汎用化されて相互に接続可能な状態になければならない。

コロナ後の社会に資するインフラはプロフラマブル、すなわちソフトウェア定義な社会インフラであり、環境の変化に柔軟かつ迅速

に対応して変容できる基盤でなければならない。21世紀型の都市・街のランドデザインとしては、国土交通省による「コンパクトシティ&ネットワーク」²と、環境省による「地域循環共生圏」³の考え方が提唱されている。各地にSDGsに寄与するコンパクトな都市・街を創り、それをネットワーク化する。自然災害などによる非常事態への対応とリスク管理が重視されているが、リスク管理の観点からは地産地消の能力も必要になる。

各都市・街が排他的あるいは非対称な関係を、その他の都市・街に強いるわけではない。ボトムラインとして適切な期間での地産地消能力を確保しつつ、その上でグローバルなシェアリングエコノミー型のネットワークを形成しようという方向性である。このような特性・特長を持った都市・街を、「スマートシティ」と呼ぶ。

■データセンターやITを「ダークサイド」にしないための戦略

インターネットの利用を支え、スマートシティの実現においても大きな役割を果たすデータセンターは、莫大な電力を継続的に利用する事業所であり、電力会社にとっては重要な需要家、顧客である。またデータセンターの運用費（固定費）に占める電力調達コストは非常に大きく、安価な調達が、その設置場所の選定にとって大きな要素の一つとなる。当然、継続的な安定運用は最重要課題の一つであり、複数系統の電力確保も必要になる。

以下の2つが、データセンターが必要とするエネルギーの出し入れである。電力エネルギーを入力し、演算実施に伴う熱の除去（＝熱を建屋外に移動）を行っているのである。

- (1) サーバー設備への電力供給
- (2) サーバー設備が発生する熱の除去

このようなエネルギーの流れをどうやって低コストに実現するかが、データセンターの運用にとって重要となる。データセンター設置場所の選定にあたっては、データセンターへの電力提供コストだけで考えるのではなく、発電システムと熱の移動システムを含んだ、マルチステークホルダー型のエコシステム構築を考えなくてはならない。これはデータセンター単独で捉えるのではなく、SDGsを念頭においた都市・街づくりの中に、データセンターを当てはめて考える。具体的には、エネルギーと熱に関するネットワークにデータセンターを戦略的に組み込む取り組みである。

超大規模のデータセンターを必要とするハイパージャイアント（GAFAM、BAT）は、都市部へのデータセンターの設置が困難になってきたこともあって、郊外に設置することになった。安価

な安定電源を確保できる所にデータセンターを設置する必要があるためだ。一方で大量の電力を消費し、大量の熱を放出するデータセンターは、脱炭素社会やSDGsの観点からは、「ダークサイド」の事業者となってしまう。

この安定確保とサステナビリティという2つの観点から、ハイパージャイアントは再生可能エネルギーの利用を推進している。具体的には水力発電、風力発電、さらに太陽光／熱発電である。特に、安定して低コストの電力供給が可能な水力発電と風力発電に関しては、積極的な利用が進められている。またアップルとアマゾン、リチウムイオン蓄電池や水素燃料電池を利用した太陽光／熱発電も積極的に活用している。

日本においては今後、洋上風力発電設備が主に日本海沿岸に整備される計画がある。日本海沿岸には多くの大規模太陽光発電プラントが存在していると同時に、水力発電所も多数存在している。さらに重化学工業等のプラントにおいては、多くの自家発電設備が存在している。このような発電設備の近くにデータセンターを設置する選択肢は、上述した米国のハイパージャイアントだけでなく、中国においては国家电网（全国の送配電網を所有運用している企業）とデータセンターが連携して、超高圧送電系統と大規模発電所に連携したデータセンターの設置が推進されている。需要と供給とのマッチングである。

次に熱の除去に関しては、効率的なヒートシンクが存在すれば、除去（移動）効率は向上することになる。寒冷な空気の利用（北海道石狩市のさくらインターネット）、あるいは積雪の利用（北海道美唄町）など、寒冷地にデータセンターを設置することで、熱の除去（移動）効率を向上させることによるコスト削減も一般的な方法である。これがデータセンター業界における「Go North」の方向性である。データセンター内のサーバーが

生成した熱は、低温の熱という制限や条件の下での利用サイクルが考えられなければならない。

以下に、データセンターを含む、エコシステムの事例を2つ挙げる。

(1) データセンターによる省エネの実現

オフィスのコンピューターを物理的に、あるいはクラウド技術を使ってデータセンターに移設し、コロケーションすることで、多数のコンピューターを集約した運用を行い、大きな節電効果を実現できる。仮にオフィスのコンピューターをそのままデータセンターに移設するだけでも10~20%程度の節電が可能となるが、さらにクラウドコンピューティング技術を用いてサーバーやデスクトップコンピュータを仮想化して移設すると、60~70%、場合によっては80%以上の節電が実現可能である。

節電に加え、BCP（事業継続計画）や財務効果の向上にもつながることを証明したのは、2011年に品川に移転した日本マイクロソフトの本社ビルが挙げられる。ここではインターネット技術を用いたオープンな施設の管理制御が導入され、それまで個別に稼働していたビル内の空調や照明などのサブシステムをサイバー空間で相互接続し、統合化すると同時に、オフィス内にサーバーームを持たず、データセンターにおけるクラウド技術を用いてIT環境を実現した。これによって節電・省エネが一気に進むとともに、ITシステムのBCPが向上し、次のような事業活動が可能になった。

(a) 災害時の事業継続（東日本大震災の際には約85%の社員が在宅勤務を行った実績を持つ）

(b) 在宅勤務環境によって女性社員や身体に障害を持った社員の活動を支援

さらにデータセンター+クラウドの利用によって、オフィスの運用に関するライフタイムコスト

の観点での財務的にも改善した。テナントビルを利用する会社にとって、入居時・入居中・移転時という各段階で次のようなメリットがあることが明らかになったのである。

(a) 入居時：電力工事、床荷重対策、空調工事などを必要とするサーバー室を設置する必要がなくなり、工事費の負担が小さくなると同時に入居までの期間を短縮できる。

(b) 入居中：大きな熱源であるサーバー室を設置する必要がなく、電力負荷および光熱費負担が小さくなる。

(c) 移転時：サーバー室は原状復帰のコストが非常に大きいですが、その必要がなく、転居時の工事費の負担が小さくなり、結果的により良い条件のビルに移転するための財務面での障壁が低くなる。

(2) ドイツの自動車会社によるアイランドのデータセンター利用

アイランドは、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。気候は極寒ではなく、1年を通して“クール”な環境で、冬季は北海道よりも寒くない。冷房はほぼ必要なく、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ランドへの通信遅延は30msec（ミリ秒）程度であることなどを考慮すると、リアルタイム性は求められず、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向いている。アイランドの利点である長期に安定した低価格な電力と安価な地価、税制優遇を利用して事業企画が作成されている。近年の高密度および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者にとっては魅力的である。

またドイツの自動車メーカーであるBMWでは、大きな電気エネルギーを必要とする自動車の設計・評価をすべて再生可能エネルギーで行うこ

とで、企業イメージの向上につなげている。自動車は温室効果ガスの主要な発生源でもあるので、温室効果ガスの削減を実現するための取り組みを多岐にわたって行っている。

■まとめ：Society 5.0に向けて

Society 5.0が目指すすべての産業・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シティの実現は、これまで基本的には個別に独立して運用されてきた施設・システムを相互接続し、連携・協働運用することが前提となる。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。スマートシティを構成するスマートビル、スマートキャンパスの実現には、ビルやキャン

パスに閉じたシステム内で解決方法を見出さなければならぬというこれまでの制約は、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だろう。さらに物理空間に展開されるもの（things）はグローバルなサイバー空間と接続され、必要な機能がいつでもアップデートされることを前提に、システムが設計され、構築・運用ができるようになる。これがサイバーファーストの世界であり、今後のスマートシティの姿となるであろう。その中で、戦略的なデータセンターの利用と、グローバルに展開するデータセンターネットワークの戦略的な構築について、グローバルとローカルの両視点から推進しなければならないのだ。

1. 生物個体は遺伝子が自らのコピーを残すために一時的に作り出した「乗り物」に過ぎないという生物学・動物行動学の考え方。筆者はサイバー空間の基礎となるインターネットのアーキテクチャを「インターネット遺伝子」と捉え、それを運ぶデバイスやコンピューター、出力されるすべてモノをその「生存機械」と例えている。
2. 国土交通省「国土のグランドデザイン2050」
https://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_tk1_000016.html
3. 環境省「地域循環共生圏」
<https://www.env.go.jp/seisaku/list/kyoseiken/>



1996, 1997, 1998, 1999, 2000...

[インターネット白書ARCHIVES] ご利用上の注意

このファイルは、株式会社インプレスR&Dおよび株式会社インプレスが1996年～2022年までに発行したインターネットの年鑑『インターネット白書』の誌面をPDF化し、「インターネット白書 ARCHIVES」として以下のウェブサイトで公開しているものです。

<https://IWParcives.jp/>

このファイルをご利用いただくにあたり、下記の注意事項を必ずお読みください。

- 記載されている内容(技術解説、データ、URL、名称など)は発行当時のものです。
- 収録されている内容は著作権法上の保護を受けています。著作権はそれぞれの記事の著作者(執筆者、写真・図の作成者、編集部など)が保持しています。
- 著作者から許諾が得られなかった著作物は掲載されていない場合があります。
- このファイルの内容を改変したり、商用目的として再利用したりすることはできません。あくまで個人や企業の非商用利用での閲覧、複製、送信に限られます。
- 収録されている内容を何らかの媒体に引用としてご利用される際は、出典として媒体名および年号、該当ページ番号、発行元などの情報をご明記ください。
- オリジナルの発行時点では、株式会社インプレスR&Dおよび株式会社インプレスと著作権者は内容が正確なものであるように最大限に努めましたが、すべての情報が完全に正確であることは保証できません。このファイルの内容に起因する直接のおよび間接的な損害に対して、一切の責任を負いません。お客様個人の責任においてご利用ください。

お問い合わせ先

インプレス・サステナブルラボ

✉ iwp-info@impress.co.jp