

NATURE INTERFACE

2020 Dec. No.

80 NI

ネイチャーインタフェイス 見えない情報をキャッチする五感センサ ジャーナル



巻頭言

ポストコロナ社会インフラのデザイン 江崎 浩

特集

先端スマートセンシングシステム技術と
健康・医療・ロボットへの応用

MEMS技術の振動発電とスマートセンシングシステムへの応用 藤田博之

皮膚密着型ウェアラブルセンサの開発 横田知之

移動予測技術の構築と身近な社会的課題へのアプローチ 大川真耶

経営者コラム

斎藤悦郎 「イノベーションによる持続可能な社会実現への貢献」

WIN 法人会員紹介

岡本株式会社 「足を知ってレッグウェアに活かす」

巻頭言

ポストコロナ社会インフラのデザイン あと戻りせず、オンライン前提の社会へ

江崎 浩 東京大学大学院 情報理工学系研究科 教授

ポストコロナ社会の姿

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) は、コロナ禍が発生する前の社会が抱えていた問題を拡大・顕在化させたと考えられる。

情報インフラ (インターネット) は今回のコロナ禍による最悪の事態を回避することに貢献したことは明白であるとともに、これまでのオンラインでの活動を支援する技術の改良と進歩が急激に加速された。

しかし、ポスト・コロナの社会産

業活動は、単なる情報化ではなく、空間的制約を大幅に緩和する情報技術をさまざまな形で活用することで、これまでとは根本的に異なる新たな社会の姿を模索しなければならない。

これまでの、短期利益の最大化を主な KPI (Key Performance Indicator) とする研究開発活動や社会産業活動は、(1) 相互利益 (=他利益主義) による新しい Multiple-Payoff (=“三方良し”)、(2) 適応性・柔軟性 (=環境変化への順応能力、迅速かつ正確な危機

管理能力)、(3) 対称性 (現在のさまざまな問題の原因である非対称性の解消と相互監視性の堅持)、(4) 包摂性、(5) 持続 (可能) 性、などの多様な KPI を同時に満足するような新しい社会システムの設計・実装・構築・運用管理が必要となると考える。

今回のコロナ禍は、人の移動がグローバル化したことで、その伝染の速度がこれまでの伝染病とは異次元なものとなった。短絡的な対処法は境界遮断 (=ファイアウォール) による分断 (=フラグメンテーション)



えさき・ひろし

1987年九州大学工学部電子工学科修士課程了。同年株式会社東芝入社。総合研究所にて ATM ネットワーク制御技術の研究に従事。94年より2年間 米国ニューヨーク市 コロンビア大学 Centre for Telecommunications Research にて客員研究員。98年10月より東京大学 大型計算機センター助教授。2001年よ東京大学大学院情報理工学系研究科・工学部電子情報工学科助教授、2005年4月より現職。WIDE プロジェクト代表、東大グリーン ICT プロジェクト代表、Live E! プロジェクト代表、MPLS-JAPAN 代表、IPv6 普及・高度化推進協議会専務理事、IPv4 アドレス枯渇対応タスクフォース代表、JPNIC 副理事長、IPv6 Forum Fellow、ISOC 理事、日本データセンター協会 理事・運営委員長。工学博士 (東京大学)。

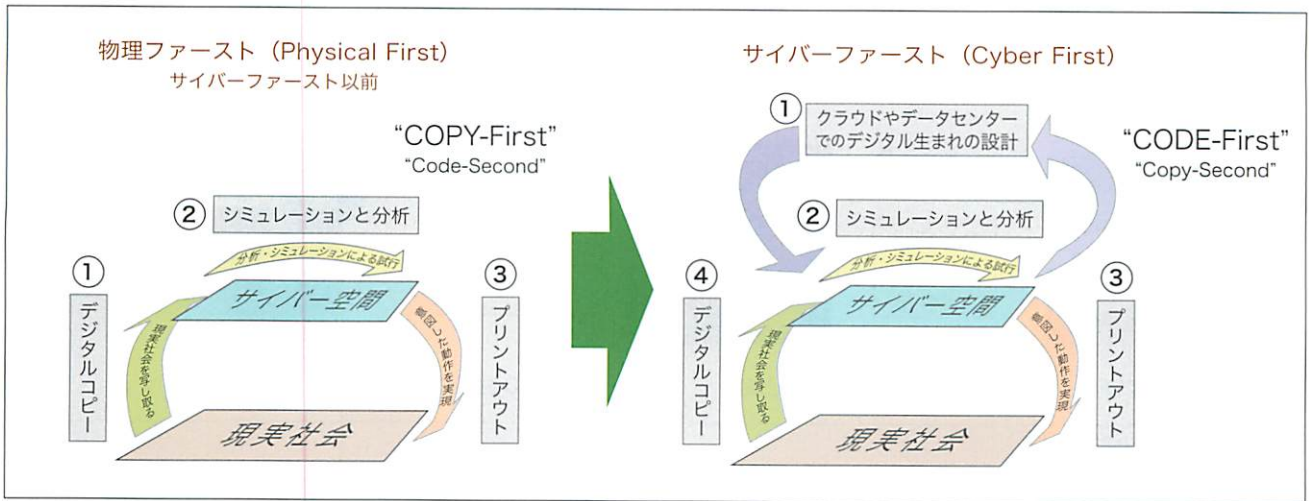


図1 サイバーファースト (Cyber First) のサイバー空間と物理空間の融合 (CPS : Cyber Physical System)

である。

しかし、人の移動を止めることは、後退・退化であり、もはや不可能であることを我々は認識している。

すなわち、「グローバルである」ことを前提にして、有効な対策を見出す必要がある。

さらに、情報化によるフェイクニュースを含むデジタル情報の伝搬（伝染）も、我々の想像をはるかに超えるものとなった。

人類の生存と繁栄のために、オンラインを前提にし、デジタル・ネット遺伝子の正と負の力を認識しつつ、我々は新たな社会基盤を構築しなければならない。

インターネット遺伝子の新しい覚醒

インターネットアーキテクチャという遺伝子（＝プログラム）が、生存機械としてスイッチ、ルータ、コンピュータを選択し、The Internet が形成された*1。

The Internet という インターネットアーキテクチャ遺伝子が形成

した生存機械の中には、光ファイバーやデータセンターあるいは電力システムなど、スイッチ・ルータ・コンピュータを接続・収容し稼働させるための物理インフラも必要となり、適切な生存機械である物理インスタンスが選択された。

もちろん、生存機械に関する選択肢は、オープン性をもっているモノほど、その時の状況・環境に適したものに変更する障壁が小さく、次の世代のシステムを構成する適切な選択肢として選択される確率が高くなり、その結果生き残る & 繁栄する可能性が高くなる。

インターネットアーキテクチャ遺伝子は、生存機械がオープン性をもつことを強く推奨（Encourage）し、さらに、オープン性を持つことがその生存機械自身の繁栄と、The Internet の繁栄に寄与する前提であり必要条件（Premise）であることを啓示・提示し続けてきた。

The Internet は、すべてのコン

ローバルに通信・共有・加工可能なインフラである。

コンピュータは、すべての物理インスタンスを抽象化（＝デジタル化）し、その管理制御をデジタルのプログラムで実現可能にしつつある。すなわち、サイバー空間と物理空間の融合（CPS : Cyber Physical System）である。

それ以前の、社会インフラは、「物理ファースト (Physical First)」で、コンピュータは、物理空間の作業の効率化を実現していたに過ぎない。しかし、近年では、CPS の状況は、急激に、「サイバーファースト (Cyber First)」に進化しつつある（図1）。

旧来の The Internet は、ほぼ、サイバー空間に閉じていた。

これが、汎用のコンピュータ以外に拡大する過程で、サイバー空間に物理空間の複製（Digital-Twin）が可能になりつつあると認識するようになった。

しかし、実際には、さまざまな物理製品の設計において、サイバーファーストの状況・環境が構築され

*1 リチャード・ドーキンス、『利己的な遺伝子』(The Selfish Gene)、1976年



図2 “物流” 2つの大革命

てきていた。

コンピュータ上に、物理製品とその製品が存在する物理空間の物理法則も定義・模擬（＝デジタル試作）することで、その製品の挙動や特性をシミュレーション（Simulation）することが可能になってきた。すなわち、物理実体を用いた“実験”を行うことなく、デジタル空間に構築された模擬空間でのシミュレーションによる“模擬実験”を行うことで、高精度の評価が可能となった。

さまざまなコンピュータ上での“模擬実験”で候補となったモノを、実空間に展開（＝物理的試作）し、物理実体を用いた実験評価を行うという製品の研究開発が一般化してきた。

旧来は、たくさんの物理的試作と実験から、共通の法則や経験知を見出す手法が一般的であった。すなわち、「物理ファースト」である。

コンピュータ、すなわちサイバー空間・デジタル空間の能力が不足している時代には、簡略化された物理インスタンスの挙動をコンピュータ上で模擬化（Emulation）し、シミュレーション（Simulation）を行っていた。

しかし、サイバー空間・デジタル空間の能力の劇的な向上によって、ほぼ、正確な物理空間に存在するインスタンスの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のである。

これが、「物理ファースト」の「デジタル・ツイン」を経由し、「サイバーファースト（あるいはデジタルファースト）」に向かう急激な進化のプロセスである。

このような、サイバーファースト（あるいはデジタルファースト）への進化には、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実現される必要がある。

これは、物理インスタンスのサイバー空間に対する汎用化・共通化である。サイバー空間を上位層に、物理空間を下位層として捉えると、上位層と下位層との間でのインタフェースの共通化・標準化・汎用化である。

この進化においては、生存機械である物理空間のインスタンスは、汎用技術を用いたインスタンスへの進

化を遂げることになる*2。

この現象（＝進化）は、汎用のコンピュータだけではなく、組み込み機器を含むIoTデバイスに対して急速に進展している。IoTデバイスにおける機能（Function）と物理デバイス（Thing）のアンバンドル化である。機能がサイバー空間に、物理デバイスが物理空間に対応する。

物理デバイス（Things）が汎用化することで、機能（Function）は自由に物理デバイス（Things）を選択可能になるとともに、機能（Function）が自由に物理デバイス上を移動することが可能になる。

さらに、機能（Function）は、物理デバイス（Things）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（Function）間での自由な結合・連携が可能となる。すなわち、モノの相互接続であるIoT（Internet of Things）から、機能およびコードの相互接続であるIoF

*2 この現象は、The Internet システムにおいて進展しているサーバ、スイッチ、ルータ、ユーザ端末におけるホワイト・ボックス（White-Box）化に対応する

(Internet of Function) あるいはIoC (Internet of Code) への進化である。

最後に、物理デバイス間での相互接続性が実現されれば、コンピュータ間での論理的 (= デジタル空間) での相互接続と物理的な相互接続の両方で実現されている The Internet を、さらに、コンピュータ以外の物理インスタンスに拡張することが可能となる。

この実例として、物流システムやエネルギーシステムがあげられる。

物流システムは、コンテナとパレットの導入によって、それまで、融合・連携することができなかった、排他的な物流システムが統合されることになった (図 2)。

コンテナとパレットの導入によって、運ばれる荷物と荷物を運ぶ輸送媒体 (車+道路、列車+線路、船+海、飛行機+空*3) の両方に非依存の、共通の基盤 (プラットフォーム) が形成された。シェアリングエコノミー型のインフラである。

エネルギーシステムも、エネルギーの変換技術によって、エネルギーを蓄積する媒体の間でのエネルギーの移動が可能になり、エネルギーのシェアリングエコノミー型のプラットフォームへと向かっている。

エネルギーシステムにおいては、石炭、石油、蒸気、熱、化学物質などがエネルギーの蓄積・輸送媒体と

捉えることができる。

インターネット遺伝子に基づいた都市づくり・街づくり

このように、サイバーファーストの社会においては、サイバー空間での物理空間と物理空間に存在する物理インスタンスの選択と配置、物理インスタンスの結合技術とトポロジーの設計図の創成力が、生存機械である都市・街の価値と繁栄力を決定することになる。

また、物理インスタンスの共通化・標準化・汎用化の進展に伴い、以下の2つが、都市・街の繁栄力にとって、重要な要素となる。

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

すなわち、スイッチ・ルータ・コンピュータで構成される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存在と利用は自明な前提条件とし、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構築されるシステム) が、「インターネット遺伝子」に基づいて、共通化・標準化・汎用化されて、相互接続可能な、シェアリングエコノミー型の社会インフラが形成されなければならない。

この社会インフラは、プロフラマブル、すなわち、Software Defined であり、状況・環境の変化に柔軟にかつ迅速に対応・変容可能であり、さ

らに、プログラムによって、その特長と競争力を醸成することが可能となる。

21世紀型の都市・街のグランドプランとしては、国土交通省による「コンパクト&ネットワーク」と、環境省による「地域循環共生圏」の考え方が提唱されている。

各地域にコンパクトでSDGsを実現する都市・街を創り、それをネットワーク化するという、自律分散型ネットワークの創成である。

自然災害などによる非常事態への対応能力とリスク管理能力を持ちつつ、グローバルなネットワークが可能な都市づくり・街づくりである。

リスク管理能力の観点から自給自足能力が必要になるが、各都市・街が「Me First」になり、排他的あるいは非対称な関係をその他の都市・街を形成するという考え方ではない。

ボトムラインとしての適切な期間での自給自足能力を確保しつつ、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。

我々は、「ポストコロナ社会に資する社会インフラ」として、このような Software Defined な社会インフラを創成して行かなければならない。このような、各都市・街固有の特長・特性を持ったユニークでグローバルに接続され、かつグローバルな競争力をもった街づくり (プログラミング ⇒ 評価 ⇒ 実装) を実現しなければならない。

*3 道路、線路、海、空は、すべて、輸送媒体の移動を実現する「航路」であり、「航路」はTCP/IPにおける物理レイヤ、「輸送媒体」はリンクレイヤに対応する。「荷物」はIPレイヤ (IPパケットがそのインスタンス) に対応することになる

NATURE INTERFACE

ネイチャーインタフェイス

2020 Dec. No.80



椿（ツバキ）_ 西王母
撮影：森 昌文

五感センサ ジャーナル
「ネイチャーインタフェイス」
とは・・・

人間の五感は、究極のセンサといえる。機械は人間の五感にどこまで近づくことができるのか——人体や自然のしくみの謎を解明し、それを工学的な見地に基づいて社会に役立つ技術やしぐみとして生み出していく、その目指すべきカタチが自然と人間と人工物のしなやかなインタフェイス、すなわち「ネイチャーインタフェイス」である。まったく新しいセンサネットワークの世界を提案しつつ、NI誌そのものが時代のセンサとして、未知の情報をキャッチし、発信していく。

Contents

巻頭言

- 02 ポストコロナ社会インフラのデザイン 江崎 浩

特集

- 07 先端スマートセンシングシステム技術と健康・医療・ロボットへの応用
- 08 MEMS 技術の振動発電とスマートセンシングシステムへの応用 藤田博之
- 12 皮膚密着型ウェアラブルセンサの開発 横田知之
- 17 移動予測技術の構築と身近な社会的課題へのアプローチ 大川真耶

- 20 WIN 定期講演会 / 人間情報学会講演会 案内と報告

WIN Column

- 22 コロナ終息のシナリオ！ 吉田たかよし

WIN の活動報告

- 23 WIN 総会報告 公文章三

NI Club

- 24 「14 歳からの哲学サロン」によろこそ！ 大峯郁衣

経営者コラム

- 26 斎藤悦郎 株式会社富士通ゼネラル代表取締役社長
「イノベーションによる持続可能な社会実現への貢献」

WIN 法人会員紹介

- 28 岡本株式会社
「足を知ってレッグウェアに活かす」

- 30 バックナンバーのご案内

表 2 / 01 WIN 紹介

表 3 / 表 4 WIN 法人会員一覧