



応用物理学会秋季学術講演会 注目講演プレスリリース

2023年 9月 11日

IoT/AI が拓くサイバーフィジカルシステムの可能性

Potential of Cyber-Physical Systems based on IoT and AI

サイバーフィジカルシステム研究の第一人者が語る、 “サイバーファースト”が革新する未来のものづくり

国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）理事長 慶應義塾大学名誉教授
徳田英幸

E-mail: tokuda@nict.go.jp

【発表概要】

- ・ 日本においてSociety 5.0の実現を目指すテクノロジーとしてCPSが位置付けられている
- ・ 高度なCPSによる「サイバーファースト」なものづくりは、製造業に大きなインパクトを与える
- ・ CPSによって、柔軟性が課題となる既存の半導体の製造プロセスを革新できる可能性がある

近年、物理空間とサイバー空間の相互作用が世界を急速に変革している。「CPS」（サイバーフィジカルシステム）は、日本の第5期科学技術基本計画の中で注目され、産業や交通、医療、エネルギー、都市など多岐にわたる分野の革新を担う重要な役割が期待されている。国内外でサイバーフィジカルシステムの研究を牽引してきた国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）理事長、慶應義塾大学名誉教授の徳田英幸氏は講演「IoT/AIが拓くサイバーフィジカルシステムの可能性」において、「サイバーファースト」が実現する、未来のものづくりについて語る。半導体の生産プロセスの革新もCPSの可能性として期待されており、この新技術の導入がより効率的な生産体制の実現に貢献するとされる。

【詳細】

Society 5.0の実現に欠かせないCPS

今日、私たちの周りの世界は、物理的な世界（フィジカル空間）とデジタル情報による世界（サイバー空間）の相互作用によって革新を続けている。その中心にあるテクノロジーが「CPS」（サイバーフィジカルシステム／Cyber Physical System）だ。

2008年に開催されたアメリカのNSF（National Science Foundation）主催による「Cyber-Physical Systems Summit」は、CPSの大きなターニングポイントだったという。当時の議論においてCPSは「Internet of Things (IoT)」と比較し、「Internet of Controlled Things」と表現され、物理的な世界とサイバー空間の統合による革新的なサービスや製品の創出が注目を集めていた。

「同サミットでの議論では、リアルタイムシステム、ミッションクリティカルな組み込みシステム、ネットワーク、ロボティクス、制御システムなどの多様な研究者が一堂に会し、未来の産業や社会システムの方向性について深く考察した」と日本においてCPS研究を牽引してきた徳田氏は話す。

「日本においても、CPSへの取り組みはIoT、AI、ビッグデータの研究開発と並行して進展してきました。しかし、NSFのような分野横断的なプログラムの立ち上げは難しいままであり、課題となっていました。日本においてCPSへの取り組みが現実味を帯びてきたのは第5期科学技術基本計画において、『Society 5.0』（※1）の実現を目指すテクノロジーとしてCPSが位置付けられたことが挙げられます。その背景には、産業、交通、医療、エネルギー、都市といった多岐にわたる分野からのCPSへの期待があります」（徳田）

※1 Society5.0 狩猟社会（Society1.0）、農耕社会（Society2.0）、工業社会（Society3.0）、情報社会（Society4.0）に続く新しい社会のこと。

CPSが革新した航空産業

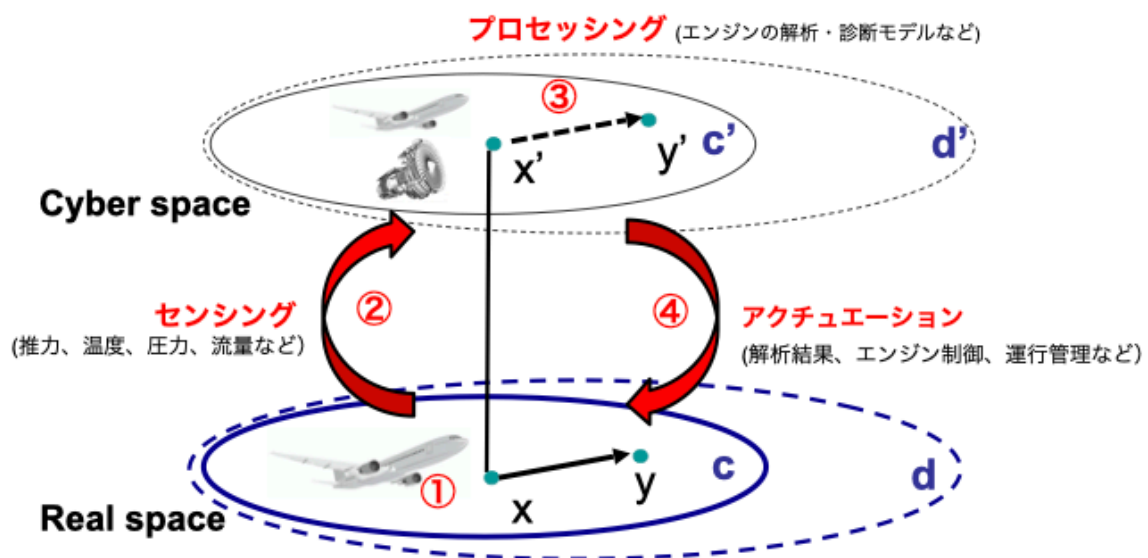


図1 航空産業を例にしたCPSのフレームワーク

CPSは3つの要素によるフレームワークだ（図1）。ひとつは、実世界からのデータを取得する「S（Sensing、センシング）」、そのデータをサイバー空間で処理する「P（Processing、プロセッシング）」そして、その結果を実世界にフィードバックする「A（Actuation、アクチュエーション）」だ。このCPSにおけるフレームワークが、革新的なシステムの設計や運用の基盤となる。

「たとえば航空機の事例として、GE Aviation社が導入しているCPSを例に考えてみましょう」と徳田氏は話す。「GE Aviation社は、航空機のジェットエンジンの管理のためにCPSを導入しています。このシステムは、飛行中のエンジンからのデータ、例えば推力や温度、圧力、流量などの主要な情報をほぼリアルタイムで収集します（S）。これらのデータはデジタル化されたエンジンの解析・分析モデルを使って処理され、診断に有用な情報を得ます（P）。この技術により、エンジンの診断を行い、予防的な整備、燃料消費の最小化、航行を最適化することなどが可能です（A）」（徳田）

また徳田氏はより発展的なCPSのモデルとして「HOT-SPA」を提唱している。このモデルでは、センシング（S）、プロセッシング（P）、アクチュエーション（A）の3つの要素を最適な場所に分散配置（モジュールをEdge側〈Here〉か〈Or〉、Cloud側〈There〉に分散配置）することで、より効率的で多様なCPSとして機能するという。

未来のものづくりは「サイバーファースト」

高度なCPSの社会実装はものづくり、つまり製造業に大きなインパクトを与えるという。「デザイン、設計、シミュレーション、検証といった一連の作業が全てサイバー空間上で行われる時代が到来しています。これからのものづくりは『サイバーファースト』になるでしょう。私はよく『ビットとアトム』という表現でこれからのものづくりを説明します」と徳田氏は話す。

ビットはサイバー空間における情報の最小単位であり、アトムはフィジカル空間における物質の最小単位だ。「ビットとアトムの操作をものづくりにおけるコスト面から考えてみると、ビットで操作をするほうが遥かにコストが安いわけです。机をつくろうとすると、実際の材木よりも、ソフトウェア上でデザインを試行錯誤をしたほうが安いということです。したがってフィジカル空間とサイバー空間が高度に融合した世界におけるものづくりでは、できる限りビットで操作を行い、最後の仕上げだけを3Dプリンターなどでアトムにする戦略が、より多くの製造業で一般化するでしょう」（徳田）

さらに徳田氏は、CPSが社会実装されれば「コネクテッドオブジェクト」すなわちサイバー空間と常時接続することが前提となるデバイスやプロダクトが、「コネクテッドサービス」へと進化すると話す。「サイバー空間と物理的な空間が繋がり、連続したループとしてデータの収集と反映が行われるのがサイバーフィジカルシステムの特徴です。これにより、ものづくりの起点が物理的なオブジェクトであるか、サイバー空間であるかという大きな変化が生じ、製造業におけるプロダクトのあり方を大きく変えていきます」（徳田）

コネクテッドオブジェクトは、単純な製品として売られるのではなく、サービスの一環として提供される。例えば自動車（コネクテッドカー）は走行する際、運転の履歴や事故発生などのデータなどがデータセンターに送信され、そのフィードバックは常に製造企業に送られる。これにより、

自動車のより良い設計や、ソフトウェアの欠陥修正が行われるとともに、新たな自動車の開発に生かされる。

さらにコネクテッドオブジェクトは、社会サービスのあり方を変革する。コネクテッドカーにおける「テレマティクス保険」だ。これは運転手の実際の運転行動に基づいて保険料を調整する新しいタイプの自動車保険だ。具体的には、運転者の運転習慣や行動をモニタリングするための小さなデバイスを車に取り付け（コネクテッドオブジェクト化する）、そのデータをリアルタイムで保険業者へと送信する。安全に運転するドライバーは保険料が削減され、乱暴な運転をするドライバーは保険料が高くなる仕組みだ。この新しい自動車保険は、ドライバーの安全な運転を促進するだけでなく、正確な保険評価を行うことができることから注目を集めている。

CPSは半導体製造における変革の鍵

徳田氏によればCPSによって、半導体の製造プロセスを革新できる可能性があるという。近年、大規模な半導体工場における生産プロセスは、高度に自動化されている。工場内の多くの機器やシステムは徹底的な最適化がなされている。しかしこの高度なシステム化には課題も存在する。

高度に自動化・集積化された製造プロセスは、「外乱」（外部から受ける干渉）への対応が困難であり、事前に定義されたパラメーターを超える変動に対し、柔軟に適応するのは難しい。また、工場のオペレーションは、システムの最適な動作を維持するために、「リファクタリング」（システムの再構築や改善）を行う必要があるが、高度に自動化・集積化された製造プロセスでは困難だ。加えて、AIやデジタルツイン（※2）などの最先端の技術を製造プロセスに導入することも昨今のトレンドだが、既存のシステムに柔軟性がないため、シームレスな統合が課題になっている。

「これらの課題を解決し、半導体の製造プロセスをCPSに統合することで、より効率的な生産体制の実現が期待されます。課題解決のために求められることは、例えば、異なるドメイン間のデータ結合が挙げられます。ドメインが異なるとデータの統合や解読が難しくなります。さらにシステム間のデータの互換性を保つためのフォーマットの標準化が求められています」（徳田）

実際の講演では、半導体の生産プロセスのCPS統合におけるより具体的な提案と、汎用LLMを用いることによる新しいものづくりのサイクルについても紹介される予定だ。

※2 **デジタルツイン** 物理世界のオブジェクトやプロセスの動作、性能、状態をリアルタイムまたは非リアルタイムで反映・シミュレートすることができるデジタルモデルやシミュレーションを指す。