

インフラシステムのCPS/IoTを担うセンサー機器

Sensor Devices Shouldering Realization of CPS and IoT Systems in Infrastructure Fields

飯島 拓也 賀川 武 深井 亘

■ IIJIMA Takuya ■ KAGAWA Takeshi ■ FUKAI Wataru

社会・産業インフラでは、IoT (Internet of Things) によってモノがインターネットにつながり、モノや現場 (エッジ) からデータや情報が特定の場所に蓄積され、そのデータが可視化・分析された結果に基づいて、モノや工場の運用・管理が行われる。ここでデータは現実社会にあり、そのデータが蓄積される先がサイバー空間である。この現実社会とサイバー空間を接続するシステムであるCPS (Cyber Physical System) でデータを分析し、モノや工場が運用される。また、インフラシステムに適した、あるいは特化したセンサー機器が、サイバー空間へのデータ伝送を担っている。

このような状況を踏まえて、東芝インフラシステムズ (株) は、今後ますます重要となる水資源を監視する投げ込み式水位伝送器や、鉄鋼産業における高品質・高効率な生産を支える幅計を開発した。また、予兆診断機能を搭載した鉄鋼圧延ライン向け厚み計の開発も進めている。

The Internet of Things (IoT) is expected to play an increasingly prominent role in facility control and management in the fields of social and industrial infrastructure systems. This will be implemented through analysis and visualization based on data and information stored in cyberspace, which will be derived from the overall equipment in the physical space via the Internet. The cyber-physical systems (CPS) connecting this physical space and cyberspace perform analysis of data and operation of facilities. In these CPS and IoT systems, sensor devices focused on and installed in infrastructure systems play a key role in the transmission of data from physical space to cyberspace.

Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corporation has developed the following sensor devices as edge devices for infrastructure systems: (1) an immersion type level transmitter to monitor water resources, which will become increasingly important in the future; and (2) a width gauge to support high-quality and high-efficiency steel rolling processes. We are also developing a thickness gauge with a predictive diagnosis function to provide notifications of maintenance timings and targeted items.

1 まえがき

IoT (Internet of Things) によって、あらゆるモノがインターネットにつながり、モノや現場 (エッジ) からデータや情報が特定の場所に蓄積され、そのデータが可視化・分析された結果を基に、モノや工場の運用・管理が行われる。すなわち、データがある現実社会とそのデータが蓄積されるサイバー空間とを接続するシステムであるCPS (Cyber Physical System) がデータを分析し、モノや工場が運用される。

このようなIoTの概念は、ドイツではIndustrie 4.0、米国ではIndustrial Internetと呼ばれ、特に、SICE (公益社団法人計測自動制御学会) やIEC (国際電気標準会議)/TC65 (工業プロセス計測制御技術委員会) が扱う範囲のIoTは、IIoT (インダストリアルIoT) と呼ばれている。

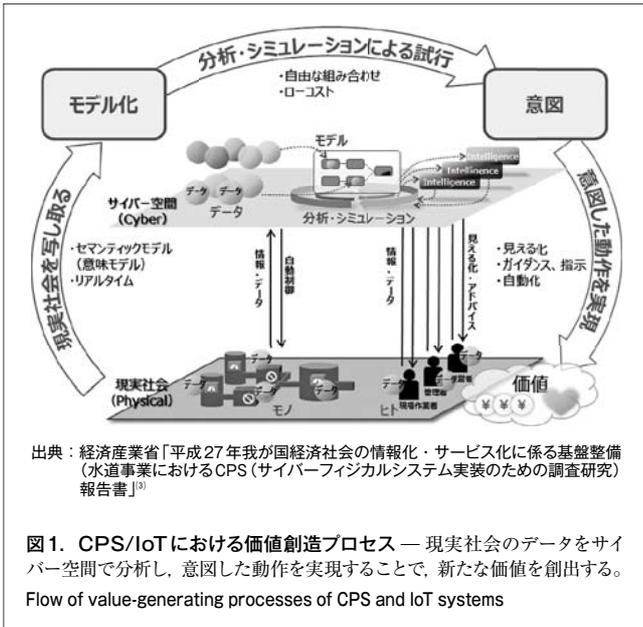
また、IoTや、ビッグデータ、AI、ロボットなどを活用した第4次産業革命による技術革新を、あらゆる産業や社会生活に取り入れることで様々な社会問題を解決しようとする“Society 5.0”⁽¹⁾や、我が国の産業が目指す姿として、モノとモノ、人と機械、人とシステム、人と技術、異なる産業に属する企業と企業、世代を超えた人と人、生産者と消費者など、様々なつながりに

より新たな付加価値を創出する“Connected Industries”⁽²⁾といった概念も提唱されている。

経済産業省の報告書⁽³⁾では、CPS/IoTの価値創造プロセスが図1のように示されている。現実社会では、フィールド機器はエッジ部に置かれ、コントローラーや、センサー、アクチュエーター、バルブなどを備えている。ここで、センサー機器は、現実社会をデータとして写し取る部分である。したがって、たとえサイバー空間で良いモデルやアプリケーションが構築できても、現実社会のデータが正しくかつ欲しい部分から集められなければ、ビッグデータとして分析した結果に基づいて、システム全体を適切に制御することはできなくなる。このようにセンサー機器は、IIoTの中で重要な役割を果たしている。

このセンサー機器を社会インフラという切り口で見ると、発電、送配電・受電、鉄道、上下水道、ビル、物流、石油化学、鉄鋼、紙パルプなど様々な適用分野があり、各分野に適した、あるいは特化したセンサー機器がある。

ここでは、それらのセンサー機器の中で、東芝インフラシステムズ (株) が開発した、水資源を監視するための投げ込み式水位伝送器、及び鉄鋼産業における高品質・高効率な生産を支える幅計の概要について述べる。また、鉄鋼圧延ライン向

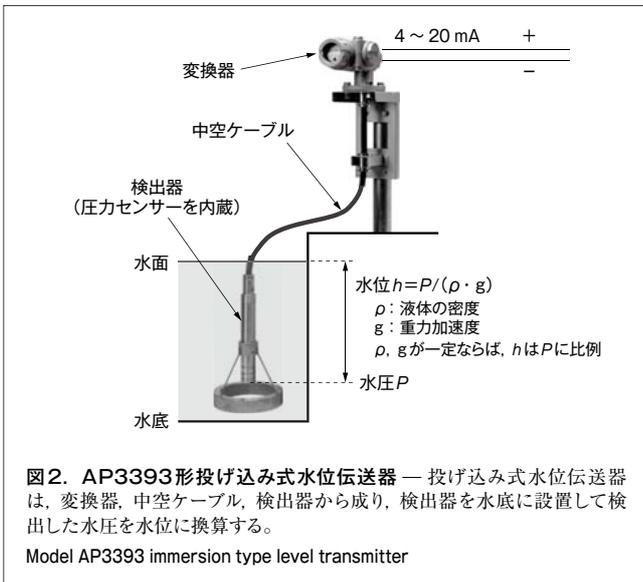


け厚み計の予兆診断技術についても述べる。

2 投げ込み式水位伝送器

社会インフラを構成している上水、下水、深井戸、河川などの水位の測定には、一般に投げ込み式水位伝送器と呼ばれるセンサー機器が用いられている。図2に示すように、圧力センサーを内蔵した検出器を水底に設置し、検出した水圧を水位に換算するもので、フィールドでの長期安定性が強く求められている。

投げ込み式水位伝送器の主な機能は、水位の変化を4～20 mAのDC（直流）電気信号に変換し、2線式で伝送することである。このような計器では、CPUを搭載したデジタル回



路方式が主流であるが、当社の投げ込み式水位伝送器はアナログ回路方式を採用している。これは、高い信頼性が求められる原子力プラント用伝送器の技術を踏襲したもので、実際に、福島第一原子力発電所内の地下水位の測定にも当社製の投げ込み式水位伝送器が使用されている。

今回開発した投げ込み式水位伝送器 AP3393では、フィールドでのロバスト性を更に強化するため、アレスター回路のツェナーダイオードの耐電力量をアップさせるとともに、アレスターの放電管を長寿命化することにより、耐雷性能の向上を実現した。

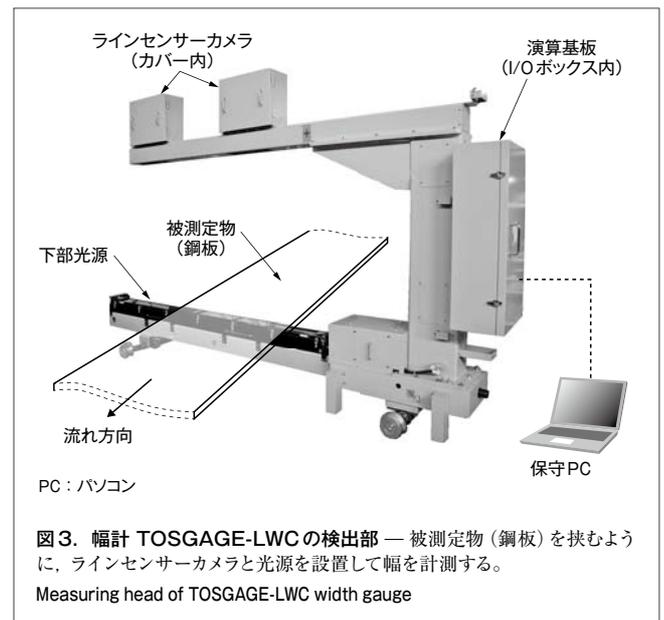
3 鉄鋼圧延ライン向け幅計

一般産業分野、特に製鉄所では、鉄鋼の品質を確保するために、鉄鋼の圧延ライン中に幅計や、厚み計、傷検出装置などを設置し、連続走行中の鋼板の寸法計測や傷の検出を行っている。このような幅計や厚み計などの鉄鋼圧延ライン中のセンサー機器は、設置されるラインごとにその大きさや機能をカスタマイズしている。

今回、図3に示す幅計 TOSGAGE-LWCの検出部について、機能・構成を必要最低限に絞り込む一方で、新開発の専用ラインセンサーカメラを採用するとともに、それらの演算や制御を行う演算基板をI/O（Input/Output）ボックス内に収納した。これによって、従来検出部とは別に設置していた制御部を必要としない、省スペースかつ高機能の幅計を実現した。

4 鉄鋼圧延ライン向け厚み計の予兆診断

鉄・非鉄の圧延ライン用の厚み計は、連続安定性や高い信



頼性が求められ、保守に対応する人手の確保や、客先に在庫がない部品のタイムリーな交換などが難しくなっている。そのため予防保全が重要で、必要な交換部品の準備と次回の保守作業内容を事前に知らせる予兆診断機能に対して大きなニーズがある。

現在の厚み計には、100項目以上の自己診断アイテムが用意され、それらのアイテムから設計的に故障と明確な因果関係がある状態は異常として検出されるが、自己診断アイテムにない故障には対応できない。また、徐々に劣化してきているという“傾向異常”を検出することは想定していないため、傾向異常にも対応できない。

そこで、傾向異常に対応するための予兆診断を、以下に示す2種類のアプローチで検証している。

- (1) 設計的なアプローチ：因果関係が明確な場合
- (2) 統計的なアプローチ：通常状態からの逸脱を検出

一般に、現実社会では設計的なアプローチでの対応が行われ、サイバー空間ではビッグデータによる解析など統計的なアプローチでの対応が行われる。

図4に示す厚み計の検出部において、三つの主要なコンポーネントであるA/D（アナログ/デジタル）変換基板、スタンダードチェンジャー、及びX線発生器に対し、予兆診断の検討を進めている。

まず、A/D変換基板には、設計的なアプローチとして、温度湿度センサーを追加した。

スタンダードチェンジャーには、厚みが異なる複数枚の基準板が実装されており、この基準板をX線ビーム中に挿入し、その組み合わせを変えて板厚演算に使用する検量線式を作成している。基準板の動作状態を監視することは不可欠であり、基準板の位置や駆動時間の監視結果に基づいて自己診断による故障の判定を行っている。しかし、部品の摩耗や経年劣化によって次第に動きが遅くなるなどの予兆は、規定値を超えるまで従来の自己診断では検出できない。このため、設計的

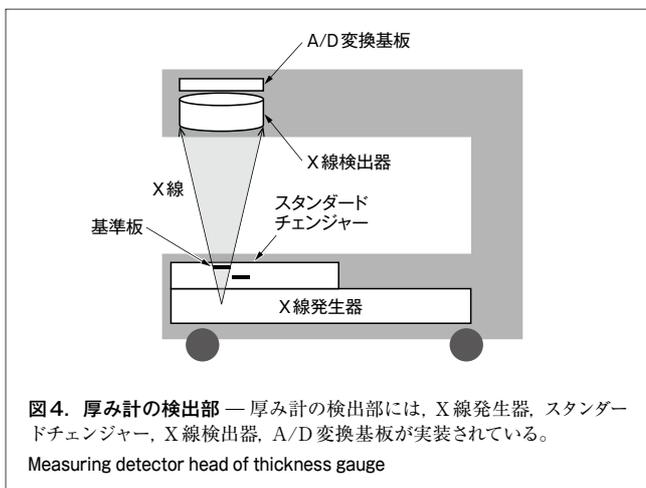


図4. 厚み計の検出部 — 厚み計の検出部には、X線発生器、スタンダードチェンジャー、X線検出器、A/D変換基板が実装されている。

Measuring detector head of thickness gauge

なアプローチを取る場合は、精密な位置センサーや駆動トルクセンサーを用いた測定を追加する必要がある。追加したセンサーの精度と信頼性も考慮した判定アルゴリズムを構築しないと、かえって故障が増えてしまう。

X線発生器は、交換に時間を要する消耗品なので、予兆診断は特に重要である。この制御パターンや故障パターンは多様であり、かつ各部品の駆動電圧・電流は互いに相関しているため、故障と完全に同期しているとは言い切れない。

これらを踏まえて、様々な予兆診断に対して設計的なアプローチと統計的なアプローチのどちらを適用するか、評価・判定方法も含めて検討している。

5 センサー機器の今後の展開

ドイツのIndustrie 4.0を推進する団体であるPlattform Industrie 4.0によるIIoT アーキテクチャーを、図5に示す。センサー機器は、ベース部分の現実社会に存在し、この部分は物体層（アセットレイヤー）と呼ばれている。この物体層は、情報（仮想）世界でCPSを構成する統合層、通信層、情報層、及び機能層によって事業層につながり、更にインターネットを介してIIoTシステムを形成している。

センサー機器をIIoTに対応させるには、図5に示すCPSの各階層で国際規格に対応していく必要がある。それぞれの代表的な国際規格は、以下のとおりである。

- 機能層 SIL (Safety Integrity Level) のIEC 61508や、EMC (Electro Magnetic Compatibility) のIEC 61010
- 通信層 無線を含む各種通信のIEC 61158など
- 統合層 FDT (Field Device Tool) のIEC 62453や、FDI (Field Device Integration) のIEC 62769
- 物体層 LOPs (List of Properties) のIEC 61987

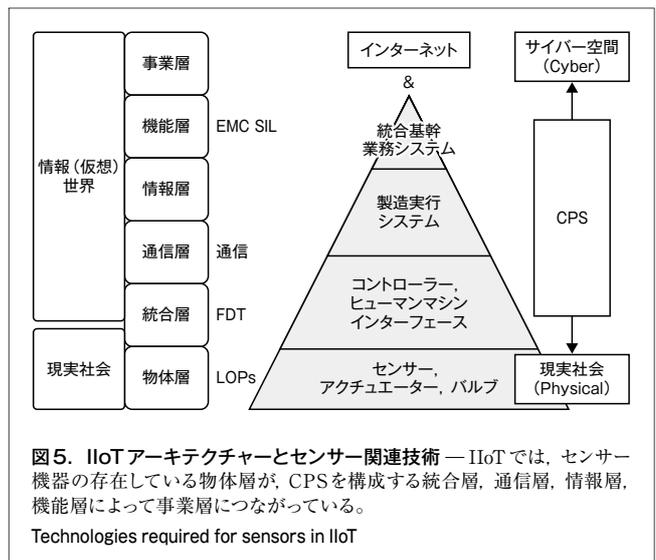
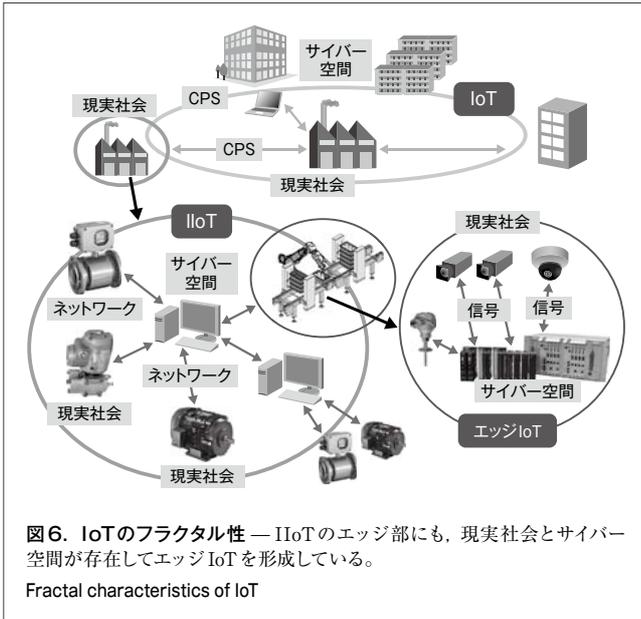


図5. IIoTアーキテクチャーとセンサー関連技術 — IIoTでは、センサー機器の存在している物体層が、CPSを構成する統合層、通信層、情報層、機能層によって事業層につながっている。

Technologies required for sensors in IIoT



一般に、図5のような関係を持ったIIoTシステムが幾つかつながって工場を形成し、更にこの工場が幾つかつながってIoTを形成する。この関係は、IoTのどの部分を取り出しても現実社会とサイバー空間がCPSでつながっている状態が存在するというIoTのフラクタル性（自己相似性）を示しており、これを“フラクタルIoT”と名付けた（図6）。

また、IIoTシステムのエッジ部に位置する装置の中にも、図6でエッジIoTと示すように、現実社会とサイバー空間が存在してIoTを形成している。

現実社会の中に置かれているフィールド機器のセンサーは、その性状により以下の2種類に分けられる。

- (1) トランスミッター コントローラーや現場の制御PC（パソコン）につながり、測定した物理量を制御信号として送り出す。一般的なセンサーを指すことが多い。
- (2) エLEMENT 制御信号ではなく、単純に状態を示す信号を出しており、熱電対や、フロースイッチ、圧力スイッチ、振動ピックアップ、赤外線スイッチなどがある。図6のエッジIoTに位置している。

ELEMENTのデータは、状態監視やトラブル分析において重要な情報として扱われるが、ELEMENTのデータをいかにしてサイバー空間へ送るかが重要になると考えられる。

今後のセンサーの展望として、トランスミッターだけでなく、ELEMENTのデータもCPSに送る機能が追加されてくると予想される。

6 あとがき

当社が開発した、フィールドでの長期安定性を向上させた投げ込み式水位伝送器AP3393、及び省スペース・高機能化を実現した鉄鋼圧延ライン向け幅計 TOSGAGE-LWCの特長について述べた。また、鉄鋼圧延ライン向け厚み計において、予兆診断機能の搭載も進めている。

今後も、インフラシステムのCPS/IoTを支えるセンサー機器を開発し、安心・安全な社会や産業の実現に貢献していく。

文献

- (1) 久間和生. “Society 5.0 実現に向けて”. 内閣府 総合科学技術・イノベーション会議, 2016, 5p. <http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/juyoukadai/infra_fukkou/12kai/sanko2.pdf>, (参照 2017-10-03).
- (2) 経済産業省 製造産業局. “Connected Industries” ～我が国産業が目指す姿（コンセプト）～. 経済産業省, 2017, 1p. <<http://www.meti.go.jp/press/2016/03/20170320001/20170320001-1.pdf>>, (参照 2017-10-03).
- (3) 経済産業省 商務情報政策局 情報通信機器課. 平成27年度我が国経済社会の情報化・サービス化に係る基盤整備（水道事業におけるCPS（サイバーフィジカルシステム）実装のための調査研究）報告書. 2016, 153p. <http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2016fy/280662.pdf>, (参照 2017-10-03).



飯島 拓也 IIJIMA Takuya

東芝インフラシステムズ（株）
府中事業所 パワーエレクトロニクス・計測制御機器部
技術士（機械部門） 日本技術士会・日本機械学会・計測自動制御学会会員
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



賀川 武 KAGAWA Takeshi

東芝インフラシステムズ（株）
府中事業所 パワーエレクトロニクス・計測制御機器部
日本鉄鋼協会会員
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



深井 亘 FUKAI Wataru

東芝インフラシステムズ（株）
府中事業所 パワーエレクトロニクス・計測制御機器部
日本機械学会会員
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.