

既存機器への後付けでシステムのIoT化を可能にするCPSエッジツール

CPS Edge Tool Capable of Connecting Existing Equipment to IoT Networks

日下 翼 KUSAKA Tsubasa 瀧 利和 TAKI Toshikazu 林 家佑 LIN Chiayu

生産現場には、稼働中のロボットやレガシーな自動化機器などが数多くあり、これらフィジカル空間にある既存機器のデータをネットワークで収集してサイバー空間で処理することで、最適なCPS（サイバーフィジカルシステム）を構築することが求められている。そこで、機器に後付けして容易にIoT（Internet of Things）化し、CPSに組み込むための仕組みが必要になる。

東芝は、CPSの構築に向けて、既に稼働中の機器に後付けすることで必要なデータを収集できるCPSエッジツールを開発した。様々なセンサーを容易に追加してデータを収集できる技術や、メーターの表示をカメラで撮像して数値化するメーター読み取り技術など、データ収集の省人化やロボットによる巡回点検などへの活用が期待できる。

The collection of a wide variety of data from robots and legacy automated equipment already in operation at manufacturing sites via networks is essential when converting existing facilities into an optimal cyber-physical system (CPS). Demand has therefore been growing for a mechanism that can be attached to equipment lacking a network function in order to easily connect such equipment to Internet of Things (IoT) networks.

Toshiba Corporation has developed a CPS edge tool as an add-on tool that can easily collect data from equipment already in operation. The CPS edge tool incorporates a method for collecting various types of sensor data by assigning ID numbers to each of the sensors, and a meter recognition method to extract numerical values from images of the displays of non-digitalized meters obtained by cameras. This tool is expected to achieve labor saving and make it possible to introduce inspection systems using mobile robots equipped with cameras.

1. まえがき

我が国では、超高齢化社会の到来に伴う労働力人口の更なる減少が予測されることから、インテリジェントな最新のロボットの導入による合理化に加えて、既に稼働中のロボットや機器に対しても、自動化や、運用保守のスキルレス化・遠隔化が求められている。

東芝グループが推進するCPSは、IoT技術を用い、フィジカル空間の機器からセンサーで収集した稼働状況のデータをサイバー空間で分析し、機器が最適な稼働状態となるようにフィードバック制御する。更に、製造実行システムや施設管理システムと連携することにより、工場レベルの生産管理や運用保守の最適化を目指している⁽¹⁾。

CPSを実現するには、深層学習や最適化技術といったサイバー空間における技術革新だけでなく、フィジカル空間の生産現場にも革新が求められている。そのためには、多様な自動化機器のセンシングや、サイバー空間で計算されたアクションをそれぞれの機器にフィードバックするインターフェースの役割を担うエッジコンピューティング端末を、適切に配置する必要がある。

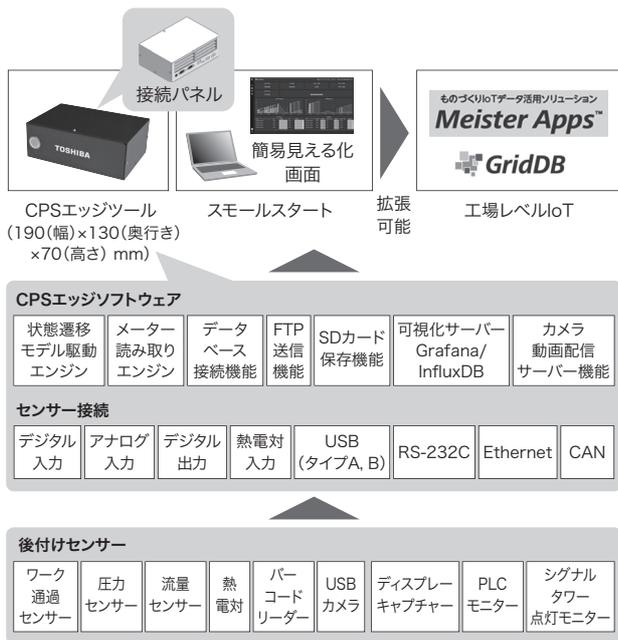
東芝は、CPSの実現を加速するため、多様な機器に対

してセンサーを簡単に後付けしたり、デジタル化されていないメーターをカメラで撮像して数値化したりすることにより、データ収集を手軽に始められるCPSエッジツールを開発した。ここでは、開発したCPSエッジツールの概要を述べる。

2. CPSエッジツールの概要

2.1 多様な設備に対してすぐにデータ収集を開始できる仕組みの構築

多様な設備に対して、短いリードタイムでデータ収集を開始できるようにするため、CPSエッジツールには、アナログ／デジタルのセンサーコネクタに電源線を含め、通信ポートと一緒にオールインワン化した接続パネルを採用し、配線工数を少なくした（図1）。また、オープンソースのIoT用時系列データベースInfluxDBと可視化サーバーソフトウェアGrafanaを組み込み、CPSエッジツール単体で、Webブラウザ経由での簡易的な見える化ができるようにした。FTP（File Transfer Protocol）による送信機能やSDカードへの保存機能も備え、CSV（Comma Separated Values）ファイルを使った簡単な分析をすぐに行えるようにした。メーター読み取りなどで使用するカメラ動画の配信サーバー機能も搭載した。



USB : Universal Serial Bus
 PLC : プログラムプロロジックコントローラー
 CAN : Controller Area Network

図1. CPSエッジツールの概要

既存の自動化機器に容易に後付けて、すぐにデータ収集を開始できる接続性と、工場レベルIoTへの拡張性を両立させた。

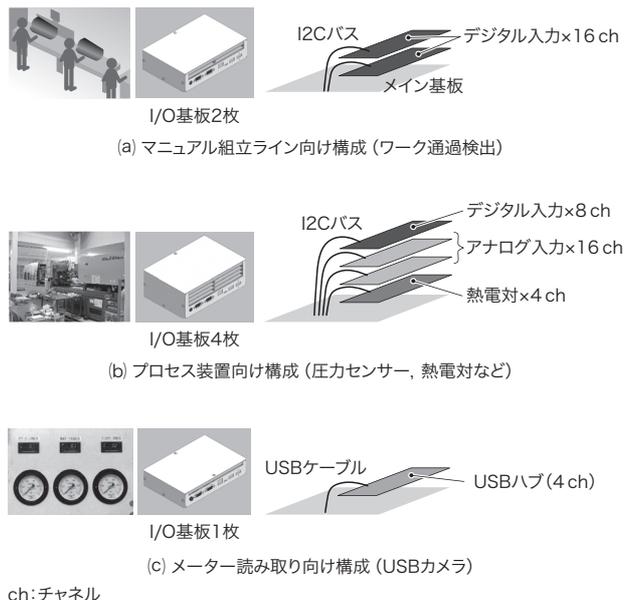
Overview of CPS edge tool

更に、本格的な工場レベルのIoT化にも拡張可能な機能として、東芝デジタルソリューションズ(株)のMeisterシリーズで標準採用されているGridDBや、汎用的なオープンソースデータベース (MariaDB, PostgreSQL) へのデータ送信機能も備えた。

2.2 フレキシビリティと低コスト化を両立させる 基板構成

対象設備によって、必要なセンサーの種類と数は大きく異なる。そこで、設備に合わせて、必要なI/O (Input/Output) 基板を選択し、メイン基板上に最大4枚重ねて使用する構成とした。また、メイン基板とI/O基板をI2C (Inter-Integrated Circuit) バスを用いた共通インターフェースで接続することで、組立配線工数を減らし、低コスト化を実現した(図2)。

メイン基板の仕様を表1に示す。SoC (System on a Chip) にはNXP i.MX6Quad (1.2 GHz, 4コア) を、OS (基本ソフトウェア) には組み込みLinux (Yocto Project Poky) を用い、画像認識など負荷の高い計算処理にも対応できるようにした。また、ストレージには、耐久性の高いSLC (Single Level Cell) タイプのNAND型フラッシュメモリーを採用し、更にOS領域のROM化や、データ保護機能を



ch:チャネル

図2. 対象設備に応じたCPSエッジツールの構成

必要なI/O基板だけを選択し、メイン基板上に重ねる構成とすることで、フレキシビリティと低コスト化を両立させた。

Different configurations of CPS edge tool in various applications

表1. メイン基板の仕様

Specifications of main board

項目	仕様	
SoC	NXP i.MX6Quad	
CPU	ARM Cortex-A9 (32ビット, 1.2 GHz, 4コア)	
RAM	1 Gバイト (DDR3)	
ストレージ	システム	16 Gバイト (e-MMC, SLC-NAND)
	データ	microSDカードスロット×1
インターフェース	Ethernet×1ch, RS-232C×2ch, USB (タイプA)×1ch, USB (タイプB)×1ch	
RTC	スーパーキャパシター 470 mF (typ. 14日)	
OS	Yocto Project Poky	

DDR3 : Double Data Rate 3
 e-MMC : Embedded Multi Media Card
 RTC : Real Time Clock

持つファイルシステムを用いることで、工場で使用できる耐久性を確保した。

次にI/O基板の仕様を表2に示す。デジタル入力基板は、自動化機器において、ワークの通過やアクチュエーターの動作を検出する物体検出センサーなどを接続する。アナログ入力基板と熱電対入力基板は、製品を加工した際の圧力や、流量、温度などのプロセスデータの収集に用いる。

配線に要する時間を短くして、すぐにデータ収集を開始できるようにするため、センサーコネクタには、e-CONコネクタを採用し、工場のセンサーで多く使われている24V電源線を一体化した。

表2. I/O基板の仕様

Specifications of input/output (I/O) board

I/O基板名	仕様
デジタル入力基板	NPNトランジスター オープンコレクター×8 ch*
アナログ入力基板	0~5 V, 4~20 mA入力選択式×8 ch*
デジタル出力基板	NPNトランジスター オープンコレクター×8 ch*
熱電対入力基板	K型熱電対×4 ch
USBハブ基板	USB (タイプA) ×4 ch
CAN通信主局基板	CAN通信線×1 ch*

*e-CONコネクタを使用し、24V電源線を一体化

N: N型半導体

P: P型半導体

2.3 収集したセンサーデータを生産情報にひも付ける ワークトラッキング技術

生産現場では、品質向上や稼働率向上のため、製品の設備への投入、加工、及び払い出しの時間や、そのときの加工条件を示すセンサー値などの詳細な履歴が必要になる。この履歴とワークの出来栄を突き合わせ、サイバー空間で多変量解析を行い、出来栄を左右する装置のパラメータを絞り込む。

この場合、機器の様々なセンサーデータを、ロットID (識別情報) や、ワークID、レシピ、稼働停止理由などの生産情報にひも付けて収集する必要がある。しかし、機器にセンサーを後付けするだけでは、これらの生産情報とひも付けることはできない。また、ワークIDを読み取るセンサーを加工点近くに設置できない場合や、工程によって、そもそもワークにIDが付与されていない場合がある。

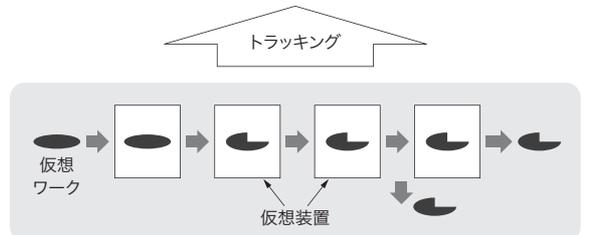
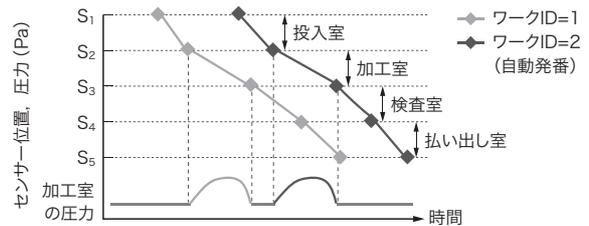
これらに対応するために、状態遷移図 (ステートマシン図) を用いて、収集したセンサーデータにワークIDを自動発番してひも付けるワークトラッキング技術 (図3) を開発した⁽²⁾。CPSエッジツール内で、ステートマシンを用いて、ワークがある場所から別の場所へ移動する様子をモデル化し、機器から収集したセンサーデータをモデルへ入力する。

このモデルは、仮想装置と仮想ワークから構成されている。仮想装置はワークを識別するIDを自動発番することができる。仮想ワークは、機器内のワークの現在位置を自動追跡 (トラッキング) できる。これにより、後付けしたセンサーのデータにワークIDを容易にひも付けできる。

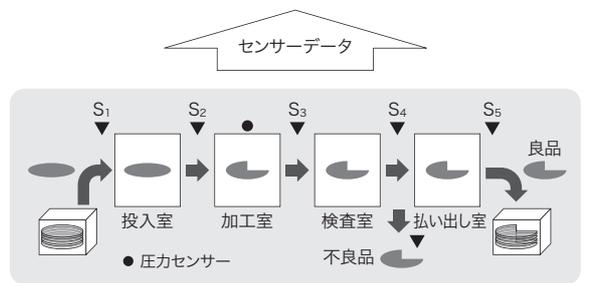
2.4 ブロック図で容易に編集可能なデータ収集 モデリングツール

多様な設備に対しCPSエッジツールを設置して、早期に改善活動に役立てるためには、データ収集を開始するまでのリードタイムを短くする必要がある。そのためには、個別案件のソフトウェア開発を極力減らす必要がある。

そこで、上記の状態遷移図作成と、センサーごとのフィル



ステートマシンで装置内搬送をモデル化



実際の装置 (既設の自動化機器)

S₁~S₅:ワーク通過センサー

図3. ワークトラッキング技術

ステートマシンを用いて装置内搬送をモデル化することにより、自動化機器に後付けしたワーク通過センサーや圧力センサーのデータに、ワークIDをひも付けることができる。

Method for assigning ID numbers corresponding to data obtained by each sensor

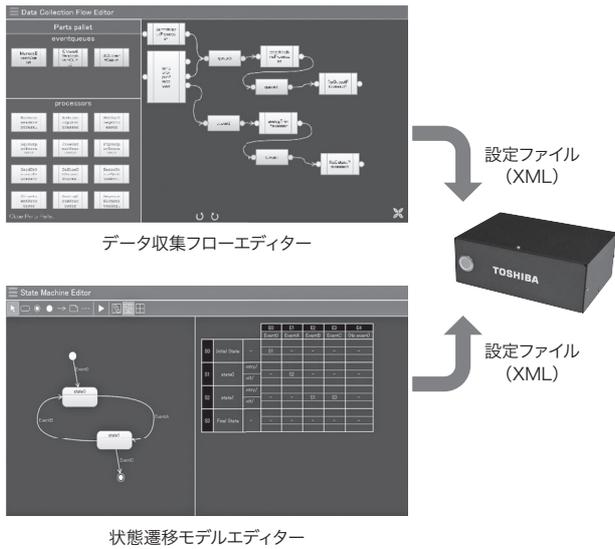
ター設定、データベースの送信設定など、データ収集全体の流れ (データ収集フロー) について、ブロック図で編集可能なデータ収集・モデリングツールを開発した (図4)。

これらのツールは、マウス操作でブロックを配置し、矢印で接続することでモデルを作成する。また、プラグインアーキテクチャーを採用しており、機能拡張にも柔軟に対応できる仕組みとなっている。

3. 既存機器を改造せずにIoT化するメーター読み取り技術

3.1 メーター読み取り技術の概要

工場をはじめ、発電所や、変電所、ビル施設、水処理施設などにある自動化機器には、現在もネットワーク接続されていない圧力計、温度計、電力計などのメーターが多数あり、作業員による巡回点検作業が必要である。この作業を自動化、省力化するため、Webカメラやスマートフォンの



XML : Extensible Markup Language

図4. データ収集・モデリングツール

センサーごとのフィルター設定やデータベースの送信設定などのデータ収集全体の流れを設定する、データ収集フローエディターと、ワークトラッキングなどのデータ収集ロジックを設定する、状態遷移モデルエディターとを開発した。

Data collecting and modeling tools

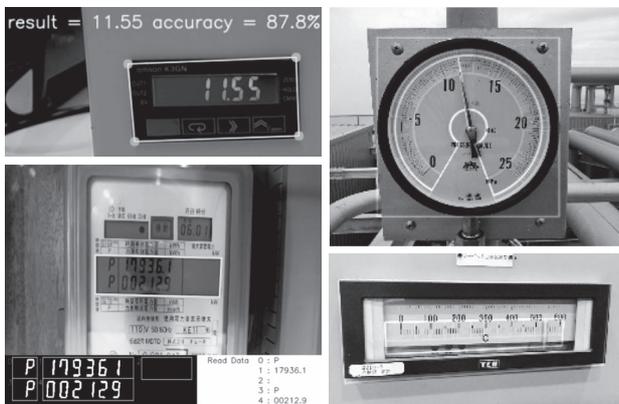


図5. メーター表示からの数値読み取り

デジタルメーターは、自発光タイプ、バックライトなし液晶タイプなどの数値を読み取ることができる。アナログメーターは、指針があるメーターの数値を読み取ることができる。

Examples of recognition of numerical values displayed on different types of meters

カメラでメーター表示を撮像するだけで数値データ化する、メーター読み取り技術を開発した(図5)。

自発光タイプ及びバックライトなし液晶タイプの7セグメントメーターと、指針式のアナログメーターの表示から数値を読み取ることなどができ、CPSエッジツールのセンシング機能の一つとして活用できる。

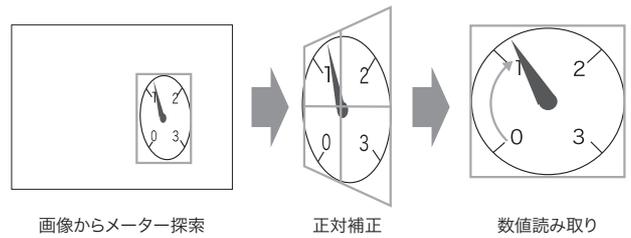
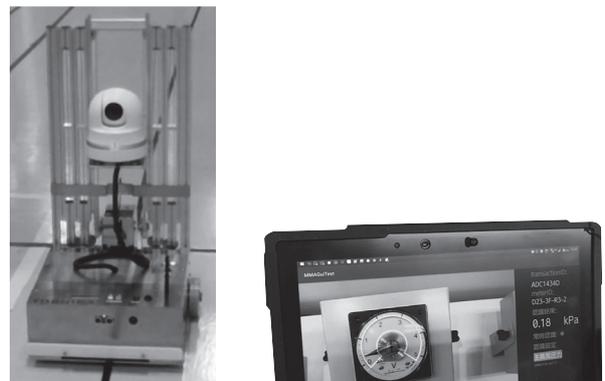


図6. メーターの位置や大きさに対してロバストな読み取り方法

カメラ画像から、外形が丸型や角型のメーターを探索し、正対補正を行ってから数値を読み取る。

Meter recognition method independent of camera position and image size



(a) メーター読み取り機能を搭載した移動ロボット

(b) メーター読み取り用アプリケーションを搭載したタブレット端末

図7. メーター数値読み取り実証実験

カメラを搭載した移動ロボットで工場施設のメーターを自動巡回点検させたり、巡回点検者がタブレット端末でメーターを撮像することによりエビデンス画像を含む帳票を自動作成させたりするなどの活用が期待できる。

Experiment on meter recognition method

図6に示すように、カメラの視野内でメーターの位置、大きさ、傾きが変化した場合でも、正面から見た画像に補正し、表示値を読み取ることができる。メーター読み取りに必要な計算処理をエッジコンピューティング端末内で高速に行う独自アルゴリズムを開発し、メーターに対するカメラの厳密な位置合わせを不要とした。

3.2 メーター読み取り技術の展開例

3.1節で示した技術は、CPSエッジツール以外にも広く活用できる。当社は、省人化や人的負荷の軽減を目的として、移動ロボットの導入を進めており⁽³⁾、この技術と組み合わせることで、移動体に搭載したカメラでメーターの数値を安定に読み取れるようになる。例えば、図7のようなパン・チルト・ズームカメラを搭載した移動ロボットにこの機能を搭載することで、工場内の動力系施設の巡回点検の自動化が実現できる。また、タブレット端末にこの機能を搭載すれば、

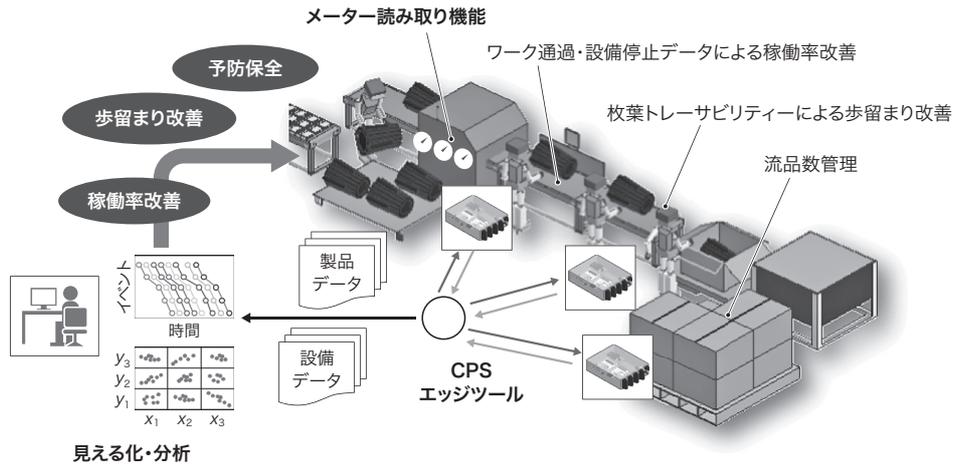


図8. CPSエッジツールの既存設備への適用

ワーク通過や設備停止のデータを用いた稼働率改善、及び加工中の圧力や温度を収集してワークに枚葉でひも付けることによる歩留まり低下の要因分析が行える。また、蓄積したデータを予防保全に活用することも期待できる。データ収集には、メーター読み取りを活用し、設備改造を最小限とする。

Application of CPS edge tool to existing facility

作業による巡回点検時に、エビデンス画像を含む帳票を撮像と同時に自動作成でき、作業効率の向上につながる。

4. あとがき

CPSエッジツールを活用することで、既設の自動化機器のIoT化を加速し、生産現場の効率向上が図れる。生産情報がひも付けられたデータを収集することで、品質向上や稼働率向上のための分析能力が向上する(図8)。

メーター読み取り技術は、工場で自動化機器からデータを収集する手段の一つとして使えるだけでなく、発電所、変電所、ダム、水門、工場施設、ビル管理など、広範囲なインフラ施設の監視を自動化する場合にも適用可能である。屋内外のあらゆるメーター設置環境に対応するために、映り込みや影といった照明や環境光に起因する外乱に対するロバスト化や、読み取り可能なメーターのバリエーションを拡充し、実用化を進めていく。

文献

- (1) 山本 宏, 次世代CPSの実現と東芝IoTリファレンスアーキテクチャー～変身する東芝・世界に挑戦する東芝～, 2018年度技術戦略説明会, 東芝, 2018, 20p. <https://www.toshiba.co.jp/about/ir/jp/pr/pdf/tpr20181122_2.pdf>, (参照 2019-02-01).
- (2) 日下 翼, ほか, “状態遷移モデルを用いた製造IoTエッジ端末の開発”, IIP2018情報・知能・精密部門(IIP部門)講演会講演論文集, 川越, 2018-03, 日本機械学会, 2018, 1B03, (CD-ROM).
- (3) 坂本 慎, ほか, “ロボットアームを搭載した無人搬送車の開発”, IIP2017情報・知能・精密部門(IIP部門)講演会講演論文集, 東京, 2017-03, 日本機械学会, 2017, G-01, (CD-ROM).



日下 翼 KUSAKA Tsubasa
研究開発本部 生産技術センター
メカトロソリューション推進部
日本機械学会会員
Mechatronics Engineering Solution Dept.



瀧 利和 TAKI Toshikazu
研究開発本部 生産技術センター
メカトロソリューション推進部
Mechatronics Engineering Solution Dept.



林 家佑 LIN Chiayu
研究開発本部 生産技術センター
メカトロソリューション推進部
Mechatronics Engineering Solution Dept.