

# スマートコミュニティ向け ゲートウェイ装置

## Small Intelligent Gateway Devices for Smart Communities and Industrial Systems

中里 淳一

泉 泰一郎

松澤 克哉

■ NAKAZATO Junichi

■ IZUMI Yasuichiro

■ MATSUZAWA Katsuya

社会インフラや産業の分野における監視・制御システムでは、システムの主たる部分を現場<sup>(注1)</sup>で処理するオンプレミス システムから、現場で処理していた機能をSaaS (Software as a Service) やスケールアウト型<sup>(注2)</sup>アーキテクチャを特徴とするデータセンターに配置し、収集したデータをデータセンター側で処理するクラウドシステムへの移行が進んでいる。このクラウドシステム化により、データセンター側でのシステムの集中運用による導入・運用コストの低減や、データセンター内の他のシステムとの連携、及び収集したデータ(ビッグデータ)の活用による新たな価値とサービスの提供などが実現できる。

東芝ソリューション(株)は、このようなクラウドシステムを実現するために、現場とデータセンターをつなぐゲートウェイ装置及び現場のデータを収集するIO (Input/Output) 装置を開発した。また、スケールアウト型アーキテクチャ、ソフトウェアのリモート アップデート機能、データセンターとの通信が切断された場合の自立運転機能、及びこの分散システムのアプリケーション開発を容易にするミドルウェアも開発した。今回開発した装置は、東芝グループ内の技術を結集したもので、社会インフラや産業の分野で要求される堅牢(けんろう)性及び長期にわたる安定供給とサポートを提供できる。

A recent trend in supervisory and control systems in the social infrastructure and industrial fields has been an acceleration in the transition from conventional on-premises systems, whose main functions are processed at the site, to cloud systems, whose main functions are processed at a data center featuring software as a service (SaaS) and scaleout architecture. A cloud system contributes to the reduction of system introduction and operating costs due to centralized administration in the data center, and offers high-value-added services due to cooperation with other systems and big-data mining in the data center.

Toshiba Solutions Corporation has developed the following equipment optimized for cloud systems: (1) a gateway device for linking a data center with sites, and (2) an input and output (IO) device for gathering data on sites. These devices are equipped with scaleout architecture, a remote software update function, and an intelligent function to resist disconnection from the data center. We have also developed a middleware for the development of applications for a distributed system at sites consisting of this gateway and IO equipment. This advanced equipment developed using the comprehensive technologies of the Toshiba Group for the social infrastructure and industrial fields including smart communities offers environmental robustness and long-term supply and support.

## 1 まえがき

現在、電気、上下水道、交通、通信、ビル、及び工場やプラントなど、社会インフラや産業の分野における監視・制御システムは、システムの主たる部分を現場で処理するオンプレミス システムである。一方、スマートコミュニティを実現するソリューションでは、現場で処理していた機能をSaaS (Software as a Service) やスケールアウト型アーキテクチャを特徴とするデータセンターに配置し、即時性やリアルタイム性を必要としないデータの処理をデータセンター側で行う、クラウドシステムへ移行しようとしている。

このクラウドシステム化により、現場側システムの簡素化、及びデータセンター側でのシステムの集中運用ができ、システム

の導入・運用コストの低減が実現できる。また、これまではそれぞれの現場で独立して構築していた同種・異種システムとの連携や、収集データ(ビッグデータ)の活用がデータセンター内ででき、新たな価値を生むサービスを実現できる。

東芝ソリューション(株)は、このようなクラウドシステムを実現するために、現場とデータセンターをつなぐゲートウェイ装置及び現場のデータを収集するIO (Input/Output) 装置を開発した。

ここでは、最初に、クラウドシステムの特長、クラウドシステム化にあたってゲートウェイ装置やIO装置に求められる要件、及び今回ゲートウェイ装置として開発した機能について述べる。次に、このシステムの特徴的な機能である、分散システムのアプリケーション開発を容易にする通信ミドルウェアについて述べ、最後に、この製品を適用したシステム例について述べる。

(注1) 監視・制御対象の機器群が配置される場所、又は監視・制御対象の機器群を指す。

(注2) サーバを追加していくことでシステムの処理能力などを増強する方式。

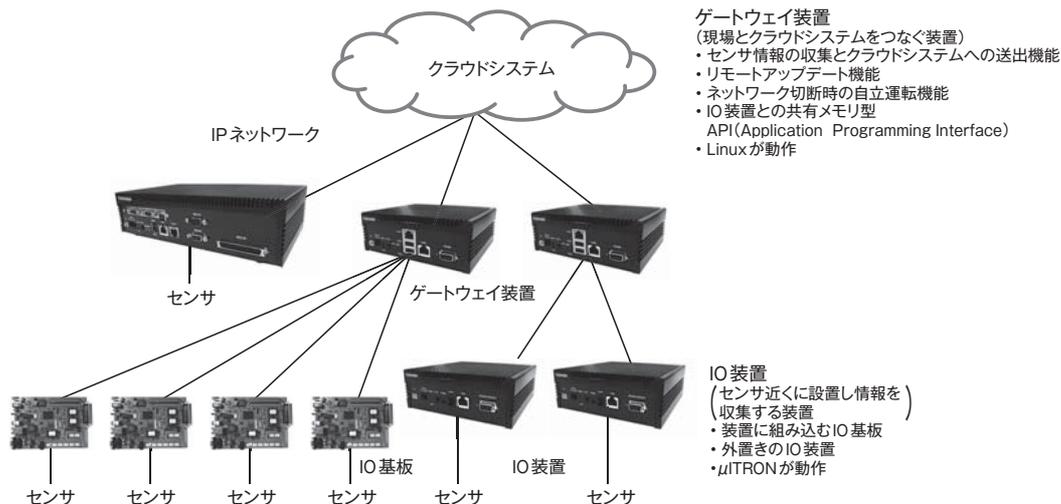


図1. 広域分散対応と階層構造によるスケールアウトできるシステム構成 — 現場の機器群のセンサ情報をIO装置で収集し、ゲートウェイ装置でクラウドシステムへ送る。ゲートウェイ装置は広域のIPネットワークに対応している。  
Scaleout architecture for smart communities and industrial systems

## 2 クラウドシステム化のために装置に求められる要件と対応

クラウドシステム化を実現しその特長を最大限生かすために、現場とデータセンターをつなぐゲートウェイ装置と現場のデータを収集するIO装置に求められる要件とその対応について、以下に述べる。

### 2.1 広域分散対応とスケールアウト機能

広域に分散して設置される多数のシステムへの対応、及びそれぞれのシステムが拡大していくことへの対応が求められる。これらを実現するために、広域のIP (Internet Protocol) ネットワークに接続できるゲートウェイ装置と、システムの拡大によって増えるIOに応じて追加可能なIO装置による階層型アーキテクチャでシステムを構成した(図1)。

### 2.2 OSとアプリケーションのリモートアップデート機能

クラウドシステムの要件の一つに、データセンター側アプリケーションの機能を追加するだけで、現場の装置を更新することなくシームレスに新たな価値やサービスを提供できることが挙げられる。それを実現するために、データセンターからゲートウェイ装置内のOS(基本ソフトウェア)とアプリケーションをネットワーク経由でアップデートする、リモートアップデート機能を開発した。この機能により、OSやアプリケーションをいつでも更新することができる。

一方、リモートアップデート中のデータセンターやネットワークの障害なども考慮した。OSを格納する不揮発性記憶領域を2面持たせることで、障害発生によりアップデート対象の面に問題が生じて、もう一方の正常な面で運用が継続でき、耐障害性に優れたソフトウェアアップデート機能を実現した(図2)。

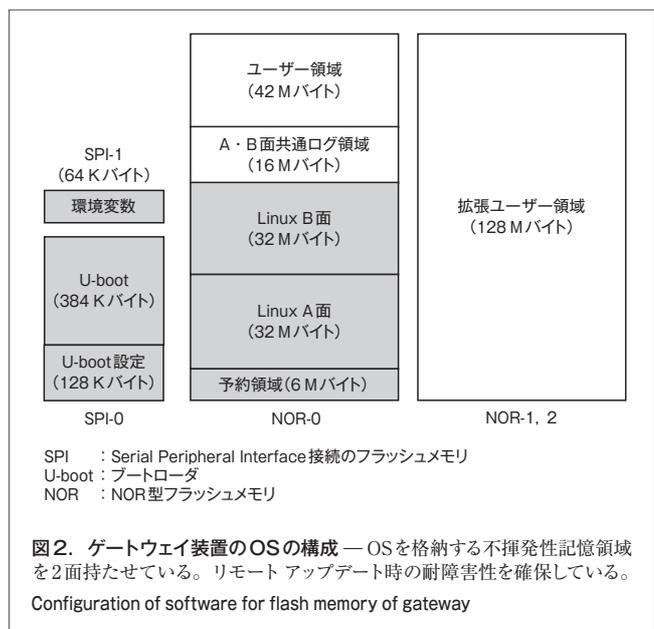


図2. ゲートウェイ装置のOSの構成 — OSを格納する不揮発性記憶領域を2面持たせている。リモートアップデート時の耐障害性を確保している。  
Configuration of software for flash memory of gateway

### 2.3 自立運転機能

クラウドシステム化により現場側システムとデータセンターがネットワークで接続されることになる。よって、現場とデータセンターのネットワークが切断された場合や、ネットワーク帯域の制限に対処するための機能が必要となる。今回開発したゲートウェイ装置は、高性能MPU(マイクロプロセッサ)と大容量メモリを搭載し、Linux®(注3)を稼働させることで、インテリジェントなアプリケーションを搭載できるようにした。これを活用

(注3) Linuxは、Linus Torvalds氏の日本及びその他の国における登録商標又は商標。

し、データセンターと現場が切断された場合の自立運転（フェイルセーフ機能）を実現した。

また、今後の適用範囲の拡大を想定し、即時性などが求められる監視及び制御や、データの蓄積、分析、及び変換などを現場で実現できる性能も確保した。データセンター側に配置されるサーバなどとの役割分担による機能の最適配置や、ネットワーク帯域を有効に利用することを見越したものである。

### 2.4 セキュリティとリアルタイム性

ミッションクリティカルなシステムのクラウドシステム化にあたっては、装置や通信路などのセキュリティ及び監視・制御処理のリアルタイム性が求められる。今回の開発においては、オープンソースソフトウェアのセキュリティとリアルタイム性の機能を組み込んだ。

### 2.5 信頼性

社会インフラや産業の分野におけるシステムでは、耐環境性能、堅牢性、及び長寿命が求められる。このため、耐環境性に優れる長寿命の部品選定などを考慮したハードウェアの設計とともに、RAS (Reliability, Availability and Serviceability) ソフトウェア機能を実装した。RASソフトウェアの機能として、機器の構成情報、各種イベント情報、及び障害発生時の情報などを、ネットワーク経由でデータセンター上のサーバにアップロードする保守・障害情報通知機能や、システムの重要プロセスの動作監視機能、ゲートウェイ装置のハングアップを防止するためのWDT (Watch Dog Timer) 機能、及び温度監視機能を開発した。

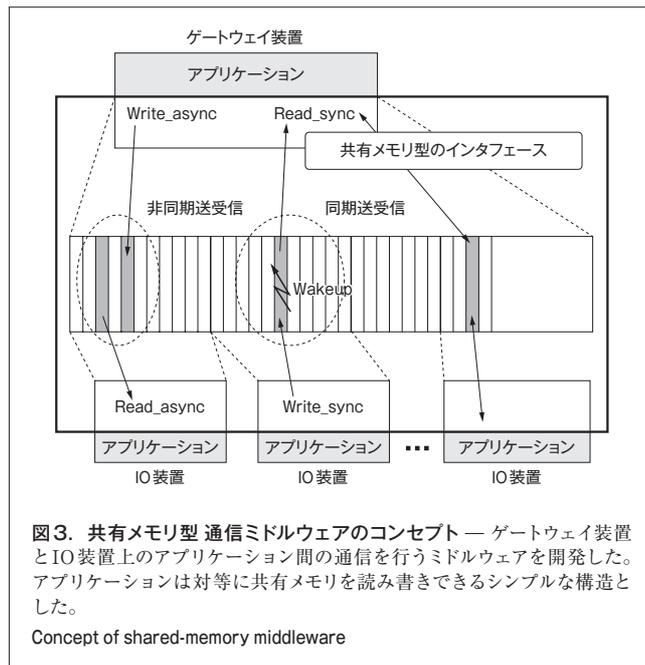
今回の開発では、ARM社Cortex™(注4)を搭載した東芝製プロセッサ、オープンソースソフトウェアであるLinux、μITRON、及びオープンなネットワークプロトコルを採用し、ハードウェアとミドルウェアを東芝グループで開発することで、技術的ブラックボックスを排除している。その結果、社会インフラや産業の分野では必須となる、長期安定供給と長期サポートを実現した。

## 3 通信ミドルウェア

ゲートウェイ装置とIO装置による階層型アーキテクチャにおいて、アプリケーションの開発を容易にするためのミドルウェアを開発した。そのコンセプトを図3に示す。

このミドルウェアは、共有メモリ型のシンプルなアプリケーション間通信インタフェースであり、各装置（アプリケーション）群は、シメトリックな関係で通信を行うことができる。アプリケーション開発者は通信の詳細を意識することなく、アプリケーションのロジック開発に専念できる。

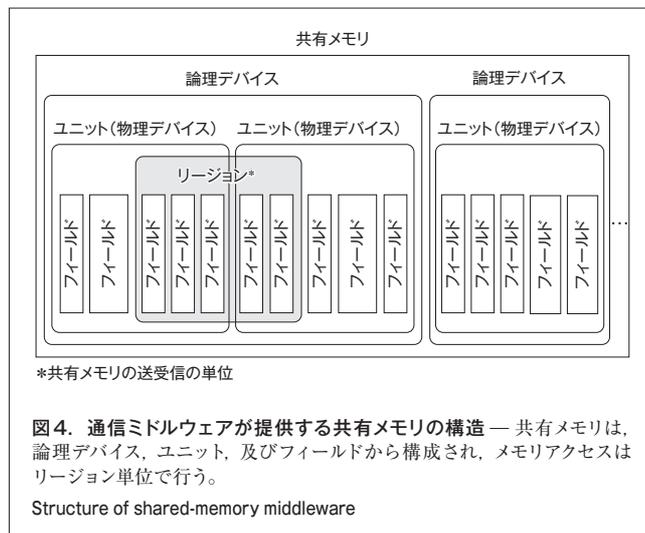
今回の階層型アーキテクチャのシステム構成により、センサ



などの機器群を収容するIO装置とゲートウェイ装置間のデータのやり取りを、共有メモリイメージで行うことができる。大規模なシステムにおいてもシンプルなプログラミングができるため、生産性の向上や開発コストの削減が可能になる。

### 3.1 共有メモリのアーキテクチャ

通信ミドルウェアが提供する共有メモリの構造を図4に示す。ユニット（物理デバイス）は、分散システムを構成する各装置と1対1に対応し、ユニット単位でアクセスの有効と無効の管理を行う。例えば、ある装置の電源のオンとオフが、その装置に対応するユニットの有効と無効になる。論理デバイスは、取り扱うデータの最上位の単位で、複数のユニットを含むことができる。フィールドは、ユニットの構成要素で取り扱うデータの最小の単位であり、センサの計測値などが格納されるこ



(注4) ARM, Cortexは、英国ARM Limitedの商標。

となる。リージョンは、共有メモリの読み書きの単位であり、連続した複数のフィールドを含むことができる。リージョンはユニット境界の制約を受けない。

前記のコンセプトを採用することで、アプリケーション開発者は、装置群（ゲートウェイ装置、IO装置）の管理やデータの送受信を柔軟に行うことができる。

### 3.2 通信方法

この通信ミドルウェアでは、アプリケーション間の通信において、同期通信又は非同期通信及び通信の信頼性の有無<sup>(注5)</sup>を選択できる。同期通信は、各装置上のアプリケーションが同期的に制御を行うような場合に使用する。非同期通信は、送信側アプリケーションと受信側アプリケーションが、それぞれ任意のタイミングでステータスを通知したり、参照したりするなど、非同期にデータを送受信する場合に使用する。また、信頼性のある通信は、重要な制御データなどアプリケーション間でデータの欠落などが許容できない場合に使用し、信頼性のない通信は、ブロードキャスト又は周期データ伝送などでデータの欠落が許容可能な場合に使用する。

性能及びメモリリソースの節約から、通信にはUDP (User Datagram Protocol) を使用しており、信頼性の実現には独自の再送機構を用いている。

### 3.3 性能に対する考察

今回開発したゲートウェイ装置及びIO装置の主な仕様を表1に示す。これらの装置は、10 ms オーダの周期で監視及び制御を行うシステムでの使用を想定しており、この要件を満

足することを評価するため、ゲートウェイ装置とIO装置間のデータ送受信の性能測定及び検証を行った。

ゲートウェイ装置とIO装置を100 Mビット/sのEthernetで接続し、ゲートウェイ装置とIO装置間の通信に要する時間を計測した。その結果、ゲートウェイ装置からIO装置へは約2.9 ms、IO装置からゲートウェイ装置へは約1 msであった。通信路を除く所要時間の内訳は、ゲートウェイ装置内の送信処理が約2.6 ms、受信処理が約18 μs、IO装置内の送信処理が約60 μs、受信処理が約0.6 msという結果<sup>(注6)</sup>であった。

これらの計測時間には性能測定のためのソフトウェア処理のオーバーヘッドが含まれており、実際に通信に要した時間はそれより短いと推測される。同様に、これらの計測時間には後述の理由によるジッタ<sup>(注7)</sup>が含まれているが、今回の測定結果は、ターゲット性能（10 ms オーダの周期）を十分に満たす妥当なものであると考える。

ジッタの要因としては、ARP (Address Resolution Protocol) 解決やDHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) によるコンフィグレーション、IO装置内ソフトウェアの排他制御、及びスレッド優先度などの影響が考えられる。これら要因に対しては、例えば、ARPテーブルの静的設定、固定IPアドレスの使用、及びスレッドの構成や優先度の調整などのチューニングが可能で、更なる性能向上が見込めると考える。

## 4 適用システム例

開発したゲートウェイ装置及びIO装置は、社会インフラや産業の分野における監視・制御システムに広く適用できると考えている。ここでは、その適用例の一部を述べる。

### 4.1 クラウド型 太陽光発電 監視・制御システム

太陽光発電パネル他のデータを収集し、これらの監視及び制御を行うシステムの一例を図5に示す。IO装置は、太陽光発電パネルに取り付けたセンサ群の情報を収集し、ゲートウェイ装置は、IO装置からのそれらの情報とインバータからの発電情報を、VPN (Virtual Private Network) の通信回線を使ってデータセンター側の監視・制御アプリケーションに送る。太陽光発電パネルの増設に対しても、IO装置やゲートウェイ装置の追加で容易に対応できる。これら装置間の通信には今回開発したミドルウェアを採用した。

このようなシステム構成においては、監視・制御システムの設備を顧客側サイトに持つ必要がないため、顧客の初期投資コストや運用コストを最小限に抑えることができる。

### 4.2 エネルギー マネジメントシステム

点在する集合住宅の電力消費データを収集するシステムの

表1. ゲートウェイ装置とIO装置の主な仕様  
Main specifications of gateway and IO equipment

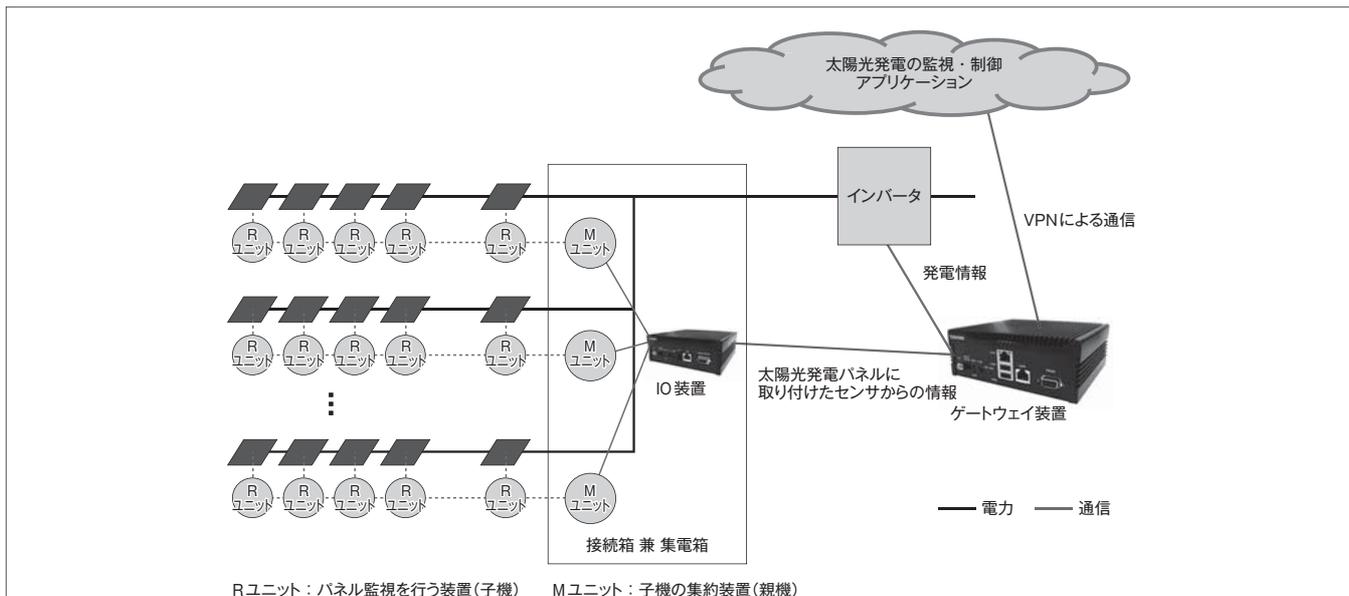
項目	仕様		
		ゲートウェイ装置	IO装置
CPU	プロセッサ	東芝 TC90430XBG	東芝 TMPM369 FDFG
	コア	ARM Cortex™-A9 MPCore	ARM Cortex™-M3
	周波数/コア数	528 MHz / 3コア	80 MHz / 1コア
メモリ	DRAM	512 Mバイト	128 Kバイト (内蔵)
	フラッシュ	256 Mバイト	512 Kバイト (内蔵)
イーサネット		2	1
USB		2	-
Ethernet	RS232	-	1 (切替え)
	RS485 (RS422)	1	
CAN		-	1
接点		-	DI : 16, DO : 8 AI : 電圧4, 電流4
OS		Linux	μITRON
環境条件 (動作時)	温度	-10 ~ 60 °C	-20 ~ 70 °C
	湿度	10 ~ 90 %	10 ~ 90 %

USB : Universal Serial Bus  
CAN : Controller Area Network  
DI : Digital Input  
DO : Digital Output  
AI : Analog Input

(注5) 信頼性の有無とは、再送や順序保証などの有無を指す。

(注6) UDPのデータサイズを32バイトとし、1対1で接続した場合。

(注7) 信号などの時間軸方向の揺らぎ。



Rユニット：パネル監視を行う装置(子機) Mユニット：子機の集約装置(親機)

図5. クラウド型太陽光発電監視・制御システムの例 — インバータからの発電情報と太陽光発電パネルに取り付けたセンサからの異常診断用の情報を、ゲートウェイ装置を通じてクラウドシステムの監視・制御アプリケーションへ送る。

Example of supervisory control and data acquisition (SCADA) system for cloud type photovoltaic power system

一例を図6に示す。IO装置は、宅内の電力消費を分電盤に接続した電力レコーダで計測し、ゲートウェイ装置は、そのデータを無線LAN（インターネット）を使ってデータセンター側のエネルギー・マネジメント・アプリケーションに送る。

ゲートウェイ装置は、一般に広く普及しているインターネットに接続できる仕様となっているため、広域に点在したシステムへ対応できている。

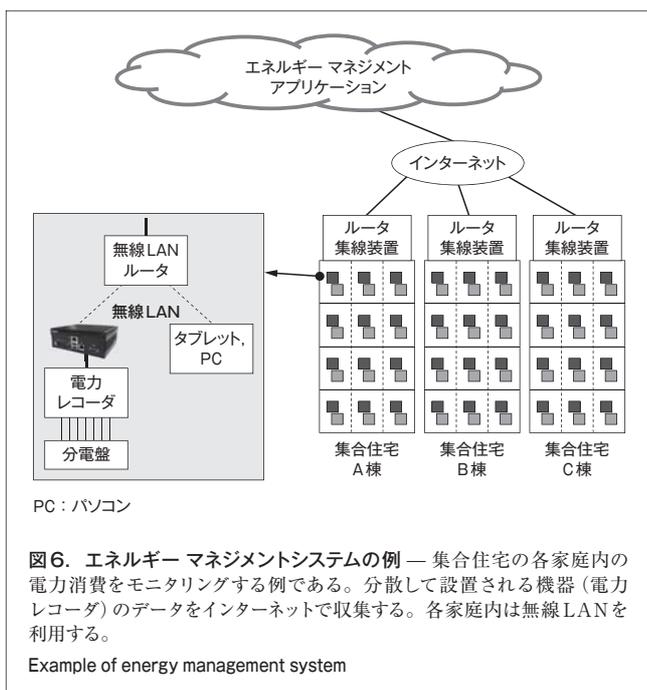


図6. エネルギー・マネジメントシステムの例 — 集合住宅の各家庭内の電力消費をモニタリングする例である。分散して設置される機器（電力レコーダ）のデータをインターネットで収集する。各家庭内は無線LANを利用する。

Example of energy management system

## 5 あとがき

社会インフラ分野や産業分野の様々な監視・制御システムに適用できる、スマートコミュニティ向けゲートウェイ装置を開発した。

今後は、より広範なシステムの要求に応えるため、920 MHz 近距離無線への対応、画像処理機能の取込み、及び環境に配慮した低消費電力化などを進めていく。また、よりミッションクリティカルなシステムへの適用を視野に、セキュリティやリアルタイム性の強化も図っていく。



中里 淳一 NAKAZATO Junichi

東芝ソリューション(株) プラットフォームソリューション事業部 コンピュータ開発部グループ長。産業用コンピュータのファームウェアの設計・開発に従事。

Toshiba Solutions Corp.



泉 泰一郎 IZUMI Yasuichiro

東芝ソリューション(株) プラットフォームソリューション事業部 コンピュータ開発部長。産業用コンピュータ、OSや仮想化、HAソフトウェア、車載ソフトウェアなどの研究・開発に従事。

Toshiba Solutions Corp.



松澤 克哉 MATSUZAWA Katsuya

東芝ソリューション(株) プラットフォームソリューション事業部 プラットフォームソリューション技術部参事。プラットフォームソリューションのエンジニアリング業務に従事。

Toshiba Solutions Corp.