

# 多様なエネルギー管理ニーズに対応する分散サービスプラットフォームPDSPの開発

Distributed Service Platform Applied to Energy Management to Rapidly Respond to Customer Needs

石井友規 Tomoki Ishii ブライアンイーストハム Bryant Eastham	五島雪絵 Yukie Gotoh 村上宗司 Shuji Murakami	ジェイムズシミスター James Simister 畑中智行 Tomoyuki Hatanaka
---	---	---

## 要 旨

EMS (Energy Management System) の構築と運用にあたっては、システム規模の拡張やハードウェア構成の変更にも柔軟に対応できること、悪意をもった攻撃者からシステムを保護するセキュリティ機構を有することが求められる。また、これらの機能要件は、他用途のシステムにおいても重要となる共通機能であり、個別の案件ごとに対応することは、システム開発において設計と検証工数を増加させる要因となる。筆者らは、これらの共通機能を実現するサービス構築プラットフォームPDSP (Panasonic Distributed Service Platform) を開発することで、システム開発効率を向上させ、多様な顧客ニーズへの迅速な対応を図った。本稿では、PDSPの技術的特徴について述べるとともに、EMS用途への適用を考え、1000台規模の電力モニタリングを想定したエミュレーション評価を行った。評価の結果、スループットの不足や偏りが発生せず、PDSPのスケラビリティ性能が確認された。

## Abstract

Important requirements for constructing and operating an Energy Management System (EMS) are ensuring that the system is capable of easily responding to changes in hardware configuration and scale, and including a security mechanism that protects against attack. These functional requirements, common to all networked systems, increase development cost and system verification time if built specifically for each system. We have developed the Panasonic Distributed Service Platform (PDSP) to provide these functional requirements for a variety of networked systems. In this paper we describe some of the technical features of the PDSP and discuss how it can be used as part of an EMS. We evaluated PDSP scalability in a power monitoring system consisting of 1000 nodes. The results indicate that throughput and fairness requirements are met. We also verified performance at scale.

## 1. はじめに

環境問題への関心の高まりや原子力発電への不安を背景に、省エネ型社会への転換が進みつつある。そのなかで、電力消費の削減や再生可能エネルギーの効率的運用を行うための、EMS (Energy Management System) への関心が高まると同時に、EMSを導入する店舗や住宅などの顧客ごとのニーズも多様化してきている。このような多様化したニーズをくみ、顧客の求めるサービスを迅速に構築し提供するためのプラットフォームとして、パナソニック分散サービスプラットフォーム (Panasonic Distributed Service Platform, 以下、PDSPと記す) を開発した。PDSPは、広範囲なシステムに適合する汎用機能全般を提供し、EMSなどの用途に応じた機能部分を、ミドルウェアとして容易に拡張可能な構造とした。PDSPを用いることにより、開発効率の向上が期待できる。本稿では、PDSPについて、そのアーキテクチャを解説し、スケラビリティやセキュリティなどの観点から技術的優位性を示す。

## 2. EMSの課題とPDSP適用の有効性

EMSの構築と運用における主要な技術課題および開発プロセス上の課題として、(1)~(4)が挙げられる。

### (1) 多様なシステム構成下での効率的なサービス運用

電力使用状況の自動監視や需要予測に基づく機器制御など、顧客がEMSに求めるサービスは多様であり、また、各サービスでも、監視対象機器や需要予測方法の違いもあり、それらを実現するためのシステムの構成要件も複雑である。システムを構成するハードウェアの特性や処理能力に応じて、サービスコンポーネントを適切に配置するとともに、新たなサービスの追加や設備のリプレースに備えた効率的な運用維持を行える仕組みが必要である。

### (2) システム規模変更への柔軟な対応

太陽光やリチウムイオン電池などの発電・蓄電設備を利用して、ピークカットなどの効率的なエネルギー使用量の削減を行うためには、多数の店舗や施設間で電力需給を相互に補完することが効果的である。また、EMSの今後の見通しとしても、店舗や集

合住宅などから街や地域レベルへの広がりが期待されており、EMSの構築にあたっては、システム規模を柔軟に拡張していきけるスケーラビリティを担保する仕組みが必要である。

(3) セキュリティの確保

EMSの導入コストやサービス運用コストを低減するためには、クラウド技術やインターネットの利用が有効であるが、店舗設備の稼働状況や個人の生活状況が反映される消費電力データをインターネットで転送するためには、暗号化によりプライバシーを保護する必要がある。また、悪意のある攻撃者から電力システムを不正にコントロールされないよう強固なメッセージ認証を行うなど、セキュリティを担保する仕組みが必要である。

(4) システム開発効率の向上

EMSの機能を、受注案件ごとにスクラッチ開発しては、設計・検証などの開発にかかるコストが膨大となるうえ、顧客の要望である迅速なサービスインも実現できない。

以上のような技術課題および開発プロセス上の課題を解決するため、筆者らは、EMSに適用可能な分散サービスプラットフォームPDSPを開発した。PDSPを用いることで、サービスコンポーネントの配置の柔軟性、スケーラビリティ性能、堅ろうなセキュリティなどの技術的な問題の解決と、それらの検証に要する工数の大幅な削減が期待できる。これにより、案件固有部分の差分開発に注力でき、開発の加速も期待できる。次章以降で詳細について述べ、検証する。

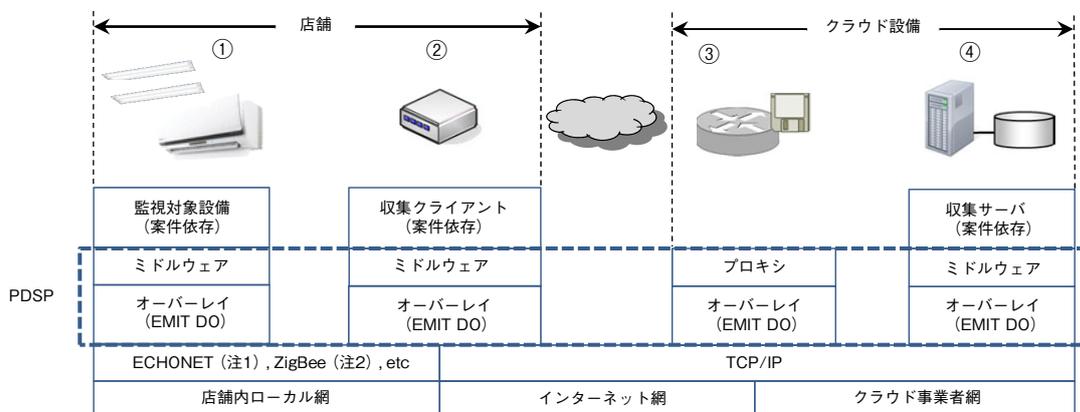
### 3. PDSPの概要

PDSPは、ミドルウェアによるサービス機能の拡張、多様なシステム構成におけるスケーラビリティや求められるセキュリティ要件の違いに柔軟に対応できるアーキテクチャ設計である。さらに、当社グループが開発した分散オブジェクト技術であるEMIT DO (Embedded Micro Internetworking Technology for Distributed Objects) を用いることにより、機能、性能の異なる機器が混在するシステム構成下においても、自由度の高いサービスコンポーネントの配置と運用を実現できる。

PDSPの技術的な特徴について、以下に述べる。

#### 3.1 EMIT DOの分散オブジェクト技術

第1図に、PDSPを用いて構築した店舗向け電力監視サービスの構成例を示す。各店舗では、照明や空調などの店内設備 (①) の電力消費量を店舗内に設置した収集クライアント (②) で収集し、インターネットを介してクラウド側に送信する。クラウド側の接続ポイントであるプロキシ (③) は、電力データを受信すると、経路情報に従って、適切な収集サーバ (④) に配送し、収集サーバは、受信した電力データをデータベースに格納する。このように、組込み機器やパソコン (以下、PCと記す)、サーバといった処理能力やリソースに著しい違いがある構成機器の混在下で、分散オブジェクトを実現するための共通のAPI (Application Programming Interface) とメッセージングを提供する技術として、EMIT DOを開発した。EMIT DOは、プロトコルスタックのトランスポート層の上に、オーバーレイネットワークを形成し、オブジェク



第1図 PDSPの適用例  
Fig. 1 PDSP example

(注1) ECHONET コンソーシアムの登録商標

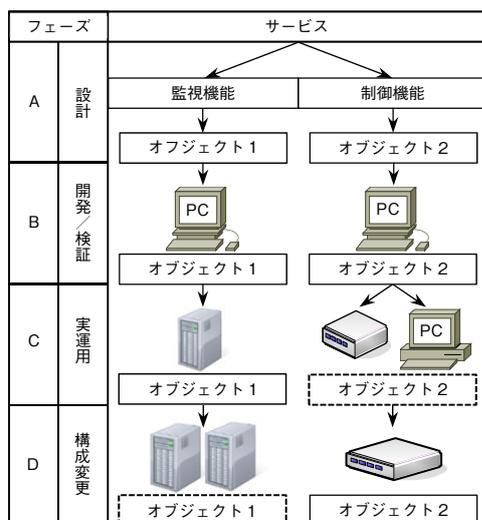
(注2) ZigBee Alliance, Inc.の登録商標

トの分散配置を可能にすることにより、サービスが提供する機能をハードウェア構成から分離する。EMIT DOは、PDSPの汎用機能部分として動作し、電力データの収集や管理などのEMS用途向けの追加機能は、EMIT DOの分散オブジェクト技術を利用するミドルウェアとして拡張する。また、EMIT DOは、既存の分散オブジェクト技術と異なり、高度な構文解析などの処理性能や特定のトランスポート層を仮定していない点で、EMSなどの多様な機器が混在動作するシステムへの適合性が高い。

第2図に、システムのライフサイクルにおけるサービス配置とオブジェクトの関係について示す。

設計フェーズ（図中A）では、実現すべきEMSサービスと必要な機能要件を決定する。監視機能は、店舗内で収集された電力消費量のデータをクラウド上のデータベースに蓄積する機能であり、制御機能は、クラウド上の制御サーバから店舗内の空調設備などをコントロールする機能である。これらの2つの機能は、それぞれEMIT DOのオブジェクト1とオブジェクト2に対応づける。

開発フェーズ（図中B）では、通常PCベースで開発と検証が行われるが、EMIT DOのフレームワークを利用する各機能のオブジェクトは、ハードウェア構成に依存しないため、実運用時（図中C）には、組み込み機器やクラウドサーバ上にも配置可能である。またオブジェクト2を店舗内の組み込み機器とPCに分散配置するなど、機能や性能の異なる複数の機器で役割を分担してサービス機能を提供することも可能であり、EMIT DOの分散オブジェクト・フレームワークが透過的に処理を行うため、収集



第2図 分散オブジェクトとサービス配置

Fig. 2 Distributed object model and service mapping

サーバや収集クライアントなどのアプリケーションは、ハードウェア構成を意識する必要はない。

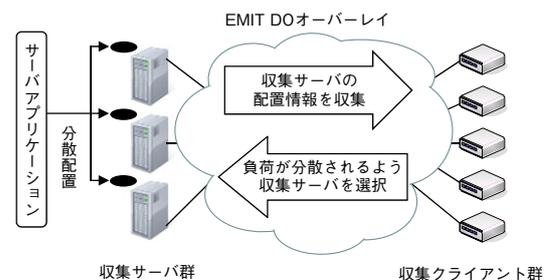
また、店舗側設備のリプレースのタイミング（図中D）では、新しく導入される機器に、PC上に分散配置したオブジェクト2を統合することも容易である。さらに、監視対象店舗の増加によりサーバ能力が不足するような場合には、増設したサーバにオブジェクト1を分散配置することで、スケーラビリティを確保することができる。このように、PDSPでは、システムのライフサイクルに応じた柔軟なサービスの再配置が可能となる。

### 3.2 PDSPのスケーラビリティ性能の向上

PDSPが提供するスケーラビリティは、小規模運用から数万店舗を対象とする大規模運用に至るまで、システム上の大きな設計変更や実装の見直しを必要とせず、シームレスにサービス拡充を図れるよう設計した。

第3図に、EMIT DOの分散オブジェクトを利用した負荷分散を可能とするシステム構成を示す。サービスを記述したEMIT DOのサーバアプリケーションが、単一のオブジェクトとして複数の収集サーバ上に分散配置されると、収集サーバ間の負荷分散構成に関する情報は、すべてEMIT DOが形成するオーバーレイネットワーク上で共有される。このため、収集クライアントは、収集サーバの分散構成を意識する必要はなく、サービス機能を提供するオブジェクト宛てに電力使用量のデータを送信することで、最も低負荷な収集サーバと通信することができる。PDSPでは、各収集サーバの負荷を監視し、適切なタイミングで、収集サーバ数の調節を行う。このような負荷の水平分散の仕組みにより、標準的な処理能力のサーバを並列化することで、ハイエンドなサーバを用いることなく、システムのスケーラビリティを確保できる。

また、PDSP上のメッセージングは、バイナリ形式のEMIT DOプロトコルによって行われるため、複雑な構文



第3図 オブジェクトの分散配置による負荷分散

Fig. 3 Load balancing of EMIT DO distributed objects

解析を要求するXML (eXtensible Markup Language) などのテキスト形式と比して、メッセージの解析処理が軽い。このため、収集クライアント数が増加した場合に、多数のメッセージが集中するサーバやプロキシにおいても、短時間にメッセージング処理を行うことが可能となり、PDSPのスケーラビリティを高めることができる。

### 3.3 PDSPのセキュリティのプラットフォーム化

PDSPでは、認証、暗号化、アクセス制御といったセキュリティ機構を、プラットフォームに統合することで、通信レベルの安全性について、システム開発時における再検証を不要とした。このため、セキュリティ機構の設計と検証にかかる高度な専門性は必要とせず、開発時の負担を削減できる。また、さまざまなシステム形態に適合するように、柔軟なセキュリティ設定が可能である。具体的には、認証機能、もしくは、暗号化機能に限定した利用や、アクセス制御の種類に応じた細かい粒度での設定が可能である。暗号化については、鍵長256ビットのAES (Advanced Encryption Standard) がサポートされているが、他の暗号化方式への対応も可能である。暗号化と復号化の処理は、すべてオーバーレイネットワーク内で行われるため、IPsec (Security Architecture for Internet Protocol) などの通信路の暗号化技術やVPN (Virtual Private Network) ルータなどの専用設備を必要とせず、低コストでスケーラビリティの高いシステムを構築できる。

## 4. 大規模環境下でのスループット性能の評価

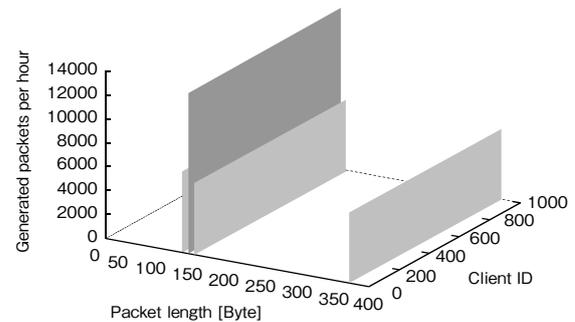
北陸先端科学技術大学院大学との共同研究により、エミュレーション環境StarBED [1] (注3) を用いて、大規模環境下でのPDSPのスループット性能を検証した。1000個の収集クライアントを動作させ、要求帯域と取得帯域 (スループット) の関係および収集クライアント間の平均取得帯域の公平性について評価した。

### 4.1 評価条件

1000個の収集クライアント間で、平均取得帯域に偏りが無いことを検証するため、各収集クライアントの平均要求帯域は同一の値とし、具体的なEMSの要求仕様を参考に、11 kbit/sに設定した。収集を行うタイミングは、リアルタイム処理のための短周期での収集と、プロファイ

(注3) NICT ( (独) 情報通信研究機構) が所有し、北陸StarBED技術センターが管理運営する大規模エミュレーション設備 (<http://starbed.nict.go.jp/>) 。

リングのための長周期での収集の2種類を想定し、5秒周期と1時間周期の2種類の周期での収集とした。第4図に、各収集クライアントが送受信するオーバーレイネットワーク上のパケットのサイズの分布を示す。Client IDは、0~999の値をとり、収集クライアント間で一意の識別番号である。パケット数は、計測期間内の累積値を示す。



第4図 パケット長の分布

Fig. 4 Distribution of packet length

### 4.2 評価システム構成

第5図に、StarBED上に構成したオーバーレイネットワークのトポロジーモデルを示す。0から50の番号が付されたラックマウントサーバ (以下、RSと記す) は、通信速度1 Gbit/sのイーサネット (注4) インターフェースを備えたCisco UCS (注5) C200 M2 (CPU Xeon (注6) X5670 x2, Memory 48 GByte) であり、各RSはイーサネットスイッチ (Brocade (注7) MLXe-32) に接続し、単一のVLANに収容する構成とした。また、今回の評価は、ネットワーク上での伝送性能に着目するため、実際のシステムにおける収集サーバや収集クライアントの内部処理やデータベースシステムの制御処理を含まない評価用のサービスアプリケーションを用いて行った。

RS-0は、PDSPのセキュリティを管理する認証ノードであり、暗号鍵やアクセス制御設定の管理を行う。RS-1からRS-10には、1個の収集サーバのオブジェクトを分散配置する。RS-11からRS-20はプロキシとする。RS-21からRS-50で、1000個の収集クライアントのプロセスを動作させる。このため、3台の収集クライアント用のRSが1台のプロキシに接続する物理構成とした。また収集サーバ

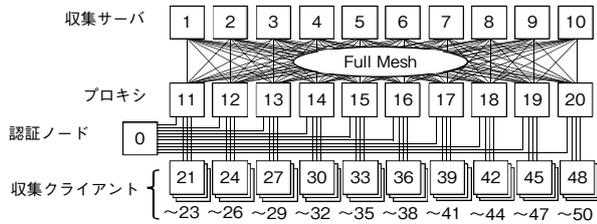
(注4) 富士ゼロックス (株) の登録商標

(注5) Cisco Systems, Inc.の米国およびその他の国における登録商標または商標

(注6) Intel Corp.の米国およびその他の国における登録商標または商標

(注7) Brocade Communications Systems, Inc.の米国またはその他の国における登録商標または商標

を構成する10台のRS (RS-1~RS-10) と、プロキシが動作する10台のRS (RS-11~RS-20) の間はフルメッシュで接続し、各収集クライアントが収集サーバ用RSの負荷状況に応じて、RS-1からRS-10を任意に選択できる構成とした。

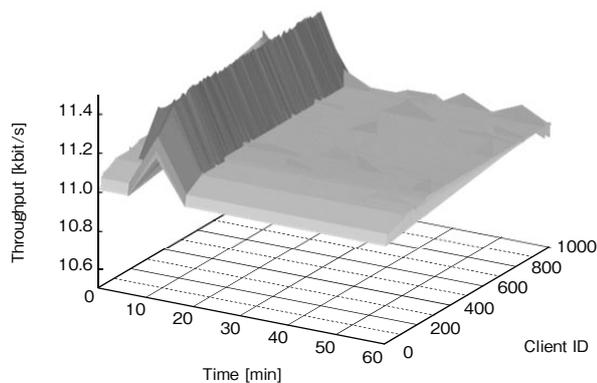


第5図 評価システムの構成  
(矩形はラックマウントサーバを表す)

Fig. 5 Evaluation model  
(Square represents physical rack mount server)

### 4.3 取得帯域の評価結果

1000個の収集クライアントを一斉に起動し、通信状態が安定した後の1時間の平均取得帯域を計測した。第6図に各収集クライアントの平均取得帯域の時間変化を示す。短周期収集の平均要求帯域と同じ11 kbit/sの取得帯域が定常的に確保されていることを確認した。また、時間軸上の10分付近で発生した長周期収集による一時的な要求帯域の増加についても遅延なく処理されており、帯域取得の公平性についても、短周期収集、長周期収集ともに偏りなく処理されていることを確認した。また評価区間内で、パケットのロスがないこともログの解析により確認した。評価の結果、1000台の収集クライアントを同時に実行した場合でも、収集クライアント間で偏りなく、要求帯域を取得できることを確認した。



第6図 平均取得帯域の公平性  
Fig. 6 Fairness of throughput

## 5. まとめ

本稿では、EMSを含む多様なネットワークシステムに適用可能な分散サービスプラットフォームであるPDSPについて、開発の目的と技術的特徴について述べた。また、1000個の収集クライアントを収容したPDSPの評価システムを構築し、大規模環境下でも所望のスループット性能が得られることを示した。PDSPは、EMSに必要となる共通機能を集約したプラットフォームであるため、PDSPの利用により、案件固有部分の差分開発に注力でき、システム全体としての開発効率の向上が見込まれる。PDSPの具体的なシステム開発案件への適用事例をもとに、スクラッチ開発した場合に想定される開発工数と比較すると、約半分程度の期間でシステムが稼働した事例もある。

今後の課題としては、

- (1) 大規模店舗向けシステムとして想定される、数万オーダーの収集クライアントを用いたスケーラビリティ性能の評価。
  - (2) PDSPのクラウド構築方法や運用形態に基づいたサービス運用コストの精査。
  - (3) さまざまな開発案件への展開実績による開発効率向上度合いの精査。
  - (4) ミドルウェアの充実によるプラットフォーム機能の向上。
- などが挙げられる。

大規模環境下におけるPDSPの性能評価は、北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科 丹康雄教授のご指導の下、StarBED設備を用いて行ったものであり、深く感謝の意を表します

## 参考文献

- [1] 宮地利幸 他, "StarBED: 大規模ネットワーク実証環境," 情報処理, vol.49, no.1, pp.57-70, 2008.

## 執筆者紹介



石井 友規 Tomoki Ishii  
R&D本部 エネルギーソリューションセンター  
Energy Solutions Center, R&D Div.



五島 雪絵 Yukie Gotoh  
R&D本部 エネルギーソリューションセンター  
Energy Solutions Center, R&D Div.



ジェイムズシミスター James Simister  
パナソニックソルトレイクシティ研究所  
Panasonic Salt Lake City Lab.



ブライアンイーストハム Bryant Eastham  
パナソニックソルトレイクシティ研究所  
Panasonic Salt Lake City Lab.



村上 宗司 Shuji Murakami  
R&D本部 エネルギーソリューションセンター  
Energy Solutions Center, R&D Div.



畑中 智行 Tomoyuki Hatanaka  
R&D本部 エネルギーソリューションセンター  
Energy Solutions Center, R&D Div.