

D-03

統治型アーキテクチャーを用いた消費電力計測システムにおける 管理サーバと計測サーバの負荷軽減に関する検討

A Study on Concerning Load Reduction of Management Server and Measurement Server in Electric Power Consumption Measurement System using Governance Architecture

日室 聡仁† 井口 信和‡
Akihito Himuro Nobukazu Iguchi

1. はじめに

現在、地球温暖化防止のためにエコカーや太陽光発電など、さまざまな温室効果ガスの削減が行われている。現在の部門別エネルギー消費の動向を見ると、産業部門・運輸部門は、省エネルギーに積極的に取り組んでいるため、減少傾向にある。一方、民生部門のエネルギー消費量は、1970年代から右肩上がりに上昇し2000年からは横這いになっている。民生部門は家庭部門と業務部門の2つの部門から構成される。家庭部門では、年々、家庭用機器のエネルギー消費量が増加傾向にある。また、家庭では近年、オール電化住宅の普及に伴い、電気が家庭で最も多く利用されるエネルギーとなった。業務部門は、2004年以降、ほぼ横這いで推移している¹⁾。このことより、国内の消費エネルギーの34パーセントを占める民生部門における電気の消費量の軽減が省エネルギーに有効である。電気の消費量の軽減する場合、各箇所の各機器がどれだけ電力を消費しているかを把握する必要がある。現在、ビル管理システムなどにより、空調や照明などの消費電力の把握はできる。しかし、コンセントから電力供給される電気機器の消費電力を部屋別や機器別に把握することは難しい。

このような背景の下、家庭、大学及びオフィスにおける、コンセントから電力供給される電気機器を対象とし、電気機器の消費電力情報の収集、消費電力の見える化、省電力化ポリシーによる消費電力の軽減を目的とした、統治型アーキテクチャーを用いた消費電力計測システムが提案されている^{2),3)}。このシステムは、管理サーバと計測サーバで構成される。管理サーバは、各計測サーバが測定した電気機器の消費電力などの情報を一元管理する。計測サーバは、コンセントから電力供給される電気機器の消費電力などの情報を定期的に取得し、その情報を管理サーバに送信する。また、計測サーバは管理サーバから省電力ポリシーを受信し、管理する電気機器を操作し省電力化する。

本研究は、統治型アーキテクチャーを用いた消費電力計測システムにおける管理サーバと計測サーバにかかる負荷、管理サーバと計測サーバ間の通信量、管理サーバにおけるデータの管理方法について検討する。

†近畿大学 大学院 総合理工学研究科
Interdisciplinary Graduate School of Science and
Technology, Kinki University

‡近畿大学 理工学部 情報学科
Department of Informatics, School of Science and
Engineering, Kinki University

以下、2章では統治型アーキテクチャーについて述べる。3章では民生部門の消費電力の軽減を目的とした研究やシステム開発について述べる。4章では統治型アーキテクチャーを用いた消費電力計測システムについて述べる。5章では管理サーバと計測サーバの負荷軽減方法の検討について述べ、6章では負荷軽減方法の提案について、7章では結論を述べる。

2. 統治型アーキテクチャー

統治型アーキテクチャーとは、稲垣らによって提案された、統一規格の双方向型統治モデルを実現するアーキテクチャーである^{2),3)}。双方向型統治モデルの仕組みをアーキテクチャーの要素として組込むことにより、各アプリケーションは機能を呼び出すことで、統一規格の双方向型統治モデルを比較的容易に実現する。

双方向型統治モデルは、サーバコンピュータから各種端末によるクライアントコンピュータに対して、統治の支持(ポリシー)が送信され、クライアントコンピュータは、ポリシーを実行した結果である状態情報をサーバに返信する。サーバはそれらを集約し、必要に応じて新たなポリシーを送信することを続けていくモデルである。

3. 関連研究

民生部門の消費電力の軽減を目的とした研究やシステム開発が行われている。^{4),7)}

消費電力の見える化をする仕組みがある。省エネナビは電気やガスや水道などの使用情報を表示するシステムである⁴⁾。分電盤にセンサーを取り付けることにより電気使用量を計測し、専用デバイスで消費電力を表示する。このシステムは家庭や企業の全体の電力使用量を把握できる。しかし、部屋単位の電力消費量、電気機器単位の電力消費量はわからない。

エネルギー使用量を基に二酸化炭素排出量などの表示やエネルギー使用量の前年度との比較、エネルギー使用量の同世帯との比較を可能とする仕組みがある。東京電力の暮らしのCO₂ダイエットは電気使用量やガス使用量などの情報を入力することにより、二酸化炭素排出量を計算しユーザーに表示するウェブシステムである⁵⁾。前年との比較やその他の世帯の二酸化炭素量と比較することでユーザーのエネルギー消費量を把握させエネルギー消費量を軽減させる。家庭用省エネ支援プログラムは電気使用量やガス使用量などの情報を入力することにより、他の会員との比較を可能とする⁶⁾。また、継続的にユーザーが省電力化をする仕組みを備えている。これらのシステムは、電気使用量やガス使用量などの情報を入力する

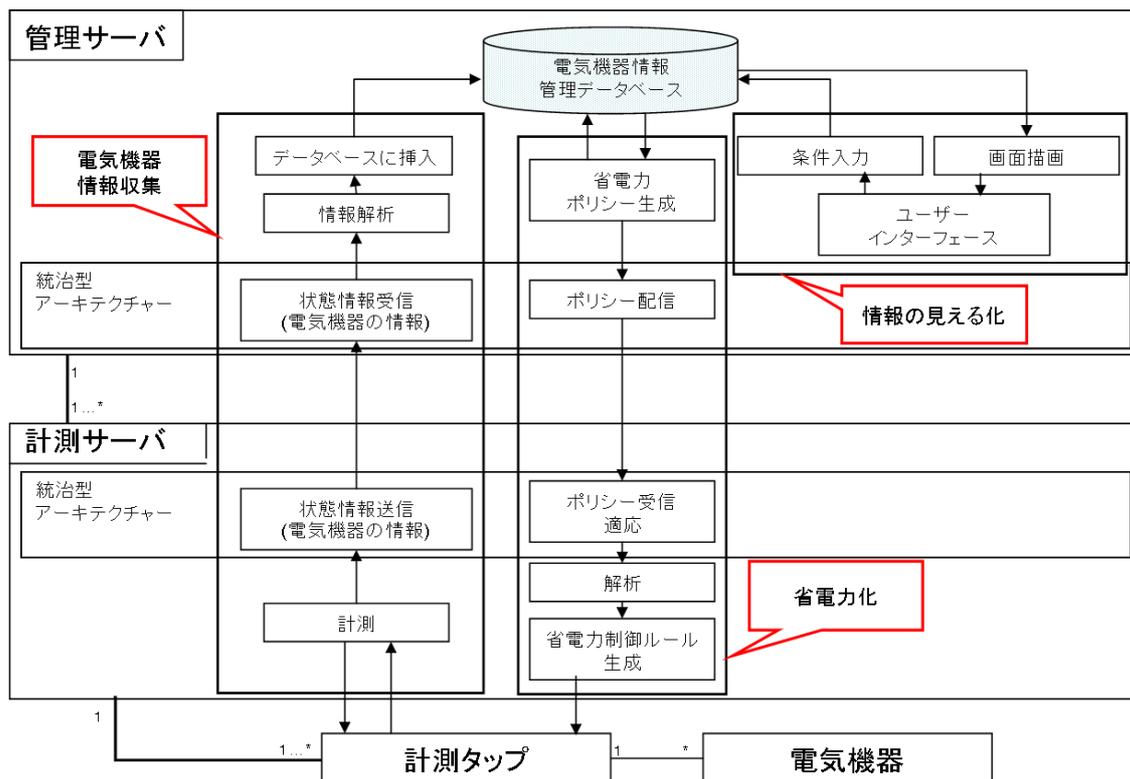


図 1: システム構成図

必要がある為、ユーザーへの負担が多い。また、電気消費量が多いことが判明しても、改善箇所はわからない。

パーソナルコンピュータの消費電力を軽減する仕組みとしてエネパル PC がある⁷⁾。このシステムはパーソナルコンピュータを対象としている。ユーザーの行動と CPU 使用率などの情報を定期的に収集し利用者個々の行動パターンを学習して自動的に電力制御する。このシステムはパーソナルコンピュータを対象としているので統治型アーキテクチャーを用いた消費電力計測システムとは電気機器の対象が異なる。

4. 消費電力計測システム

4.1 システムの概要

統治型アーキテクチャーを用いた消費電力計測システムの構成図を図 1 に示す。定期的に測定される消費電力などの情報を一元管理する管理サーバ、管理する電気機器の定期的な計測と省電力化ポリシーを実行する計測サーバ、電気機器の消費電力などの情報収集と電気機器の制御する計測タップから構成される。本システムは、消費電力の情報を見える化をすることにより、電気機器の消費電力の現状を把握することが可能となる。収集した電気機器の情報を利用し、省電力化ポリシーを作成することで、電気機器の制御を行い、省電力化する。

4.2 システムの構成要素

本システムは電気機器の消費電力などの情報を一元管理する管理サーバ、電気機器の消費電力などの情報を定期的に収集し管理サーバへ送信する計測サーバ、電気機

器の消費電力などの情報の計測と制御を可能とする計測タップから構成される。以下に構成要素の詳細を述べる。

・管理サーバ

管理サーバは各計測サーバが計測する情報を受信する。受信した情報はデータベースを用い管理する。管理サーバでデータをグラフィカルに表示することにより、消費電力などの把握を促す。収集したデータをマイニングすることにより、省電力化ポリシーを作成し、電気機器の消費電力を軽減する。

・計測サーバ

計測サーバは部屋単位での省電力化ポリシー制御を可能とするため、部屋単位での設置をする。計測サーバは、電気機器の消費電力などを計測デバイスから定期的に収集し管理サーバに送信する。計測サーバは設置されている部屋の情報などを属性情報として管理サーバに送信する。管理サーバから受信した省電力化ポリシーを適応する。

・計測タップ

計測タップは、タップに接続する電気機器の消費電力やその他の情報(電気機器周辺の温度や湿度など)の計測、接続されている電気機器の電力供給の ON/OFF などの制御が可能な電源タップである。この計測タップの例として NEC システムテクノロジー株式会社のグリーントップ⁸⁾¹¹⁾やジリオン・ネットワークス株式会社の NetMoni.One¹²⁾などがある。

グリーントップは NEC システムテクノロジー株式会社が提案する小型省電力無線環境センサーと CPU 内蔵電源タップからなる簡易型 HEMS(Home Energy Management System)である。グリーントップは電源タップをコンセ

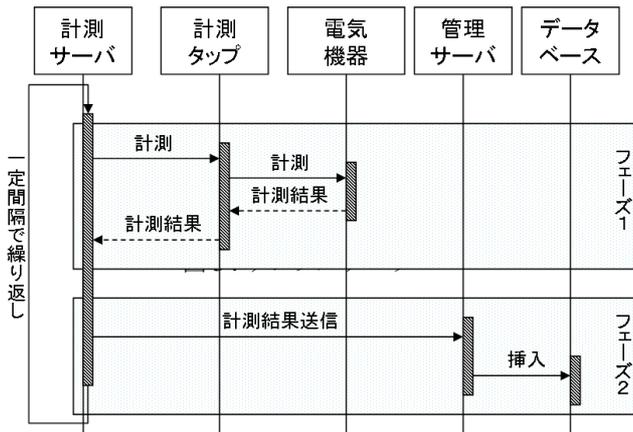


図 2 : 電気機器情報収集のシーケンス図

トに接続し、小型センサーノードを配置するだけで容易な設置が可能である。コンセントから電力を供給する電気機器の消費電力や機器周辺の属性情報を取得できる。グリーンタップに家電制御のための省電力化ルールを設定することにより、電気機器の ON/OFF などの家電制御が可能である。グリーンタップの計測することのできる情報は、消費電力、電気機器の種類、温度、湿度、照度、人感、風速、加速度である。

NetMoni.One はジリオン・ネットワークス株式会社が販売している、ルータなどネットワーク機器の運転状態を監視する管理システムである。NetMoni.One に接続されている電気機器の消費電力の計測とネットワークを利用し遠隔での電源制御が可能である。本来はネットワーク機器のために開発されたが、電気機器の電源制御と消費電力の計測が可能であるため、計測タップとして利用することができる。

4.3 システムの動作の流れ

システムの動作の主な流れは電気機器情報収集、省電力化、収集情報の見える化である。各処理の流れについてシステムの構成図(図 1)を用い詳細を述べる。

・ 電気機器情報収集

電気機器情報収集の流れをシステムの構成図(図 1)、電気機器情報収集のシーケンス図(図 2)を用い詳細を述べる。図 2 に示すようにフェーズ 1、フェーズ 2 がある。

フェーズ 1 では、計測サーバは計測タップを利用し電気機器の情報を収集する。

フェーズ 2 では、収集した電気機器の情報を管理サーバに送信し、管理サーバはデータベースで情報を管理する。フェーズ 2 の流れについて図 1 を用い詳細に述べる。計測サーバは計測したデータにどこで計測されたかを付加し、統治型アーキテクチャーの提供する状態情報送信機能を利用して管理サーバに計測情報を送信する。管理サーバは統治型アーキテクチャーが受信した状態情報を受け取る。受け取ったデータを解析しデータベースにデータを挿入する。

フェーズ 1、2 を一定間隔ですることにより電気機器の情報を収集する。

・ 省電力化

管理サーバはデータベースに蓄積されている電気機器の情報を元に省電力化ポリシーを生成する。生成し

```
<data>
<entry label="measurement_server_id">99ccf868051a5c9bf7fd5cbd05013dcf17307074</entry>
<entry label="device_id">8f0dbbf8154133ef4a5cb75787366b6834b21cc</entry>
<entry label="Timestamp">2010-06-09T08:32:05</entry>
<entry label="electric_equipment">electric_fan</entry>
<entry label="consumed_power">40.7</entry>
<entry label="temperature">23.5</entry>
<entry label="humidity">52.6</entry>
<entry label="illuminance">10200</entry>
<entry label="person_sensor">1</entry>
<entry label="wind_velocity">3.0</entry>
<entry label="acceleration">2.1</entry>
</data>
```

たポリシーは統治型アーキテクチャーが提供するポリシー配信機能を利用して省電力化ポリシーを送信する。計測サーバは統治型アーキテクチャーが受信したポリシーを受け取り、ポリシーを解析する。解析結果を元に計測タップを制御するための計測タップの種類に応じた省電力制御ルールを生成し、計測タップに適用する。

・ 収集情報の見える化

管理サーバはユーザーインターフェースで電気機器の消費電力などの情報を表示できる。表示する情報の条件を入力することにより、データベースから必要な情報を抽出し、その情報をグラフなどに加工し描写する。

定期的にデータを収集し、そのデータを利用し省電力化ポリシーを作成することにより、省電力化する。省電力化ポリシーを適用した前後のデータを比較し、省電力化ポリシーの効果が出ているかなどを検討する。省電力化ポリシーを修正していくことにより、省電力化効率を向上、日々変化する環境に対応する。情報の見える化では、計測サーバで付加される位置情報などを元に、各部屋がどれだけ消費電力を消費しているか、各部屋のどの電気機器の消費電力が多いかなど、詳細な情報を表示する。

5. 管理サーバと計測サーバの負荷軽減方法の検討

5.1 システムの負荷予想

本システムは家庭や大学、オフィスを対象としている。大学やオフィスの場合、計測する電気機器の数が多いたことが予想される。電気機器の消費電力などの情報を計測する間隔も 3 秒~10 秒を予定している。したがって、電気機器が多い大学やオフィスの場合、情報を一元管理する管理サーバや大量のデータを送信する計測サーバへの負荷が考えられる。

5.2 負荷検証

負荷検証するために、以下の環境における管理サーバ・計測サーバ間の通信量、管理サーバで管理するデータ量などについてシミュレーションを行い、考察した。

5.2.1 検証環境

・ 電気機器の台数

管理する電気機器の台数を 10 台、30 台、500 台、1000 台、3000 台とした。一般的な家庭は電気機器の数は 10 台~30 台、大学や大規模なオフィスの場合は 1000 台~3000 台と想定した。

・ 計測サーバが情報を計測する間隔

計測サーバが電気機器の情報を計測する間隔を 3 秒、10 秒、30 秒とした。消費電力などの情報はリアルタイムで

表 1: データベース

フィールド名	タイプ	Null	コメント
measurement_server_id	char(40)	No	計測サーバID
tap_id	char(40)	No	計測タップID
Timestamp	timestamp	No	計測時間
electric_equipment	tinytext	yes	電気機器
consumed_power	float	yes	消費電力
temperature	float	yes	温度
humidity	float	yes	湿度
illuminance	float	yes	照度
person_senser	int	yes	人感
wind_velocity	float	yes	風速
acceleration	float	yes	加速度

変わっていくので短い間隔での計測が必要となる。よって、間隔を 3 秒, 10 秒, 30 秒とした。

・計測したデータ量

すべての計測サーバは計測タップであるグリーンタップを利用して電気機器の情報を収集するとした。1 回の計測で管理サーバに送信するデータ量を 615 バイトとした。このデータ量はグリーンタップが計測できる情報・計測サーバの ID・計測に利用したデバイスの ID を xml にしたサンプルデータ(図 3)の容量である。

・管理サーバの電気機器の情報の管理方法

管理サーバの電気機器の情報の管理方法として、データベースで一般的なりレーションシップを用いて管理をする。テーブルの構成を表 1 に示す。表 1 のテーブルのフィールドはグリーンタップが計測することのできる情報と計測サーバを一意に識別する ID・計測タップの ID である。

5.2.2 検証結果

上記の環境で管理サーバ・計測サーバ間の通信量、管理サーバで管理するデータ量、管理サーバの処理量について算出した結果を表 2 に示す。

1 秒当たりの情報量をみると、電気機器数が 500 台で計測間隔が 3 秒、電気機器数が 1000 台で計測間隔が 3 秒、電気機器数が 3000 台で計測間隔が 3 秒と 10 秒のとき 1 秒当たりの管理サーバが受け取る情報量が 100 キロバイトを越えている。電気機器数が 3000 台で計測間隔が 3 秒の場合 601 キロバイトと大きな数値を示している。このことより、電気機器数が多い環境では、管理サーバ周辺のネットワークの負荷が高いことがわかる。

管理サーバが 1 秒あたりに受け取る計測情報数を見ると、電気機器数が 500 台で計測間隔が 3 秒、電気機器数が 1000 台で計測間隔が 3 秒と 10 秒、電気機器数が 500 台で計測間隔が 3 秒と 10 秒と 30 秒のとき管理サーバが 1 秒あたりに受け取る情報数が 100 を越えている。管理サーバは受け取った情報を解析しデータベースに挿入する必要がある。1 秒あたり 100 件以上の情報を解析、データベースに挿入するのは難しいと考えられる。したがって、電気機器が増えると管理サーバの処理量が多くなる問題があることがわかる。

1 ヶ月間データを収集した場合の管理サーバのデータベースのレコード数を見ると、電気機器数が 30 台と少ない場合でも 2592 万レコードと多くなる。この結果から、データを長期間蓄積するとレコード数が問題になることがわかる。

表 2: 検証結果

機器数(台)	計測間隔(秒)	1秒当たりの情報量(kB)	1秒間の情報数	1ヶ月のレコード数(万)
10	3	2	3	864
10	10	1	1	259
10	30	0	0	86
30	3	6	10	2592
30	10	2	3	778
30	30	1	1	259
500	3	100	167	43200
500	10	30	50	12960
500	30	10	17	4320
1000	3	200	333	86400
1000	10	60	100	25920
1000	30	20	33	8640
3000	3	601	1000	259200
3000	10	180	300	77760
3000	30	60	100	25920

5.2.3 考察

上記の検証結果より、計測サーバから管理サーバへの情報送信量の削減、管理サーバの負荷軽減、管理サーバにおけるデータの管理方法について検討する必要があることがわかる。

5.3 従来の負荷軽減方法

負荷軽減方法として以下の方法が考えられる。

・管理サーバの複数配置

管理サーバを複数配置し、ロードバランサーを用い処理を分散する。これにより管理サーバ負荷は軽減されるがデータの送信量の問題や管理するデータ量の問題は解決できない。また、管理サーバを複数設置することにより、本システムを動作させるために必要な電力量が増える問題もある。

・分散データベース

分散データベースを構築することによりデータ量の問題を解決する。これにより、管理サーバにおけるデータの管理方法は解決できる。しかし、データの送信量の問題が残る。また、管理サーバの複数配置と同様に本システムを動作させるために必要な電力量が増える問題もある。

・計測サーバで情報を一部保持

管理サーバで全ての情報を一元管理するのではなく、計測サーバで一部データを保持する。考え方としては分散データベースと同じである。デバイスの増加がないので本システムを動作させるために必要な電力量が増える問題は起こらない。しかし、データの見える化や省電力化ポリシー作成する場合に計測サーバと管理サーバの間で大量の通信をする必要がありネットワークへの負荷が考えられる。

・差分がある場合のみ情報を送信する¹³⁾

計測サーバは電気機器の消費電力などの計測を行った後、前回の計測値との差分を調べ差分がある場合は情報を送信し、差分がない場合は送信しない方法である。この方法により管理サーバと計測サーバ間の送信回数を減らすことができる。だが、管理サーバへの負荷やデータ量の問題は解決できない。

6. 負荷軽減方法の提案

・計測サーバ・管理サーバ間の通信量軽減

提案手法では、計測タップで計測した電気機器の情報を計測後すぐに管理サーバに送信するのではなく一定期間自身で蓄積する。一定期間蓄積すると計測サーバは管理サーバに一度に蓄積した情報を送る。そのとき、計測

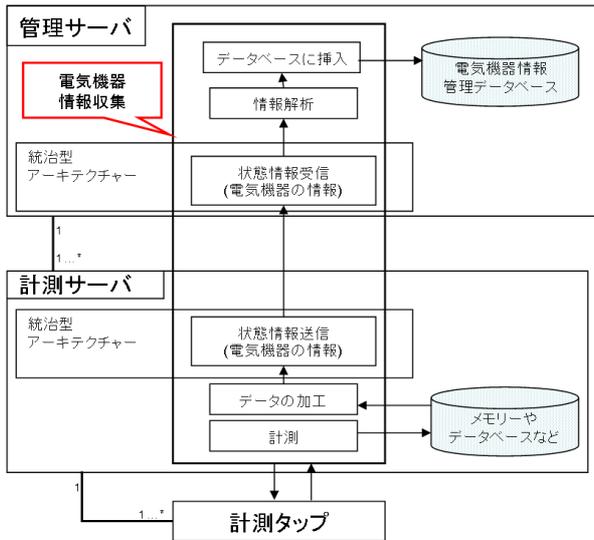


図 5: 提案手法のシステム構成図
(電気機器情報収集の処理部分)

した情報をすべて一つにまとめて送信するのではなく、電気機器の情報の消費電力や温度などの個々の項目が何時から何時まで続いたかを列挙して送信する。

提案方法のシステムの構成図(図 5)、提案手法のシーケンス図(図 6)を利用し処理の詳細を述べる。既存方法における電気機器情報収集のシーケンス(図 3)では電気機器の情報を計測後すぐに管理サーバに計測情報を送信するが、提案手法における電気機器情報収集のシーケンス(図 6)は、電気機器の情報を計測後すぐに管理サーバに計測情報を送信するのではなく、自身のメモリーやデータベースなどをを用いデータを蓄積する。一定期間フェーズ 1 を繰り返すと、フェーズ 2 に入る。フェーズ 2 では、蓄積されている計測情報を取り出し、管理サーバに送信する。図 6 のフェーズ 2 について図 5 を用い詳細に説明する。フェーズ 2 では、計測したデータをそのまま送信するのではなく、電気機器の情報の個々の項目が何時から何時まで続いたかを列挙して送信する、たとえば、1 分間、ある電気機器の消費電力を計測した場合、消費電力の推移を図 7 とする。図 7 では、計測する時間によって微妙な差が出るが、ここまで詳しい情報は情報の見える化や省電力ポリシーを作成する際に必要となる可能性は低いと考えられる。したがって、データを補正することにより計測する時間によって生じる微妙な差をなくす。補正した結果が図 8 となる。そして、消費電力が何時から何時まで続いたかを列挙し、情報を送信する。XML で送信する場合の例が図 9 になる。提案手法を利用することにより、消費電力など情報の変化が少ない場合、通信量を大幅に削減することができる。

・管理サーバの電気機器の情報の管理方法

上記の方法により、データの受信量は減少するが、データベースへの挿入する回数は変わらないので、管理サーバの負荷は軽減されていない。そこで、リレーションデータベースでデータを管理する場合、負荷検証環境では、ひとつのテーブルにデータを格納していたが、項目ごとにテーブルを作成し、そのテーブルにはデバイス ID、何時から、何時まで、計測値のフィールドを用意する。

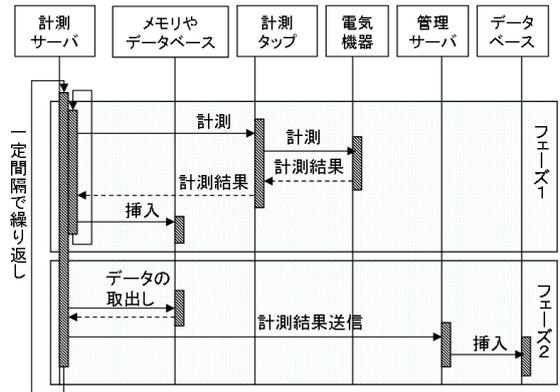


図 6: 提案手法の電気機器情報収集のシーケンス図

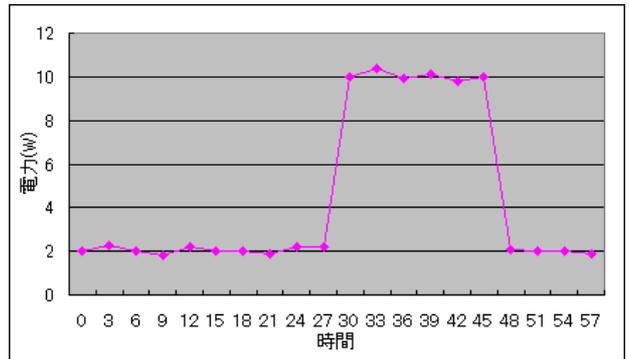


図 7: 1 分間、消費電力を計測した例

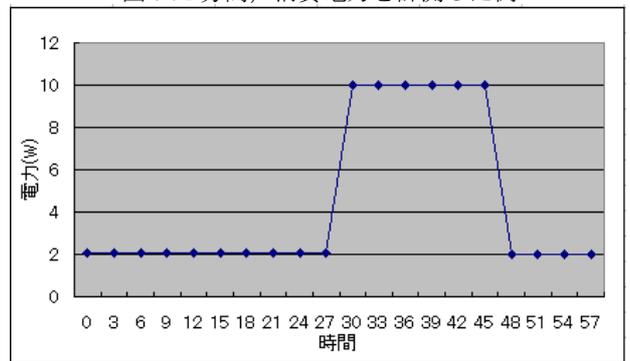


図 8: 補正後のデータ

```
<datalist>
-<data measurement_server_id="99c**" tap_id="8f0**">
  <entry label="consumed_power" start="0" end="27">2</entry>
  <entry label="consumed_power" start="30" end="45">10</entry>
  <entry label="consumed_power" start="48" end="57">2</entry>
</data>
</datalist>
```

図 9: 補正後のデータを XML 化した例

提案手法では、環境変化が少ない環境の場合レコード数を大幅に軽減できる。

7. 結論

本研究では、まず、統治型アーキテクチャーを用いた消費電力計測システムにおける管理サーバと計測サーバ間の通信量、管理サーバで管理するデータ量についてシミュレーションした。その結果、管理サーバと計測サーバ間の通信量や管理サーバで管理するデータ量が多いことが判明した。したがって、計測サーバ・管理サーバ間の通信量軽減方法、管理サーバの電気機器の情報の管理方法について提案を行った。

今後の課題としては、提案手法がどれぐらいの通信量の軽減ができるか、提案する管理サーバの電気機器の情報の管理方法でどれぐらいの情報量を削減できるかについて検証するなどが挙げられる。

謝辞

本研究にあたり、情報の提供と助言を頂いた島津秀雄氏、坂本久氏、稲垣嘉信氏(NEC システムテクノロジー株)に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 経済産業省 資源エネルギー省:平成 21 年度 エネルギーに関する年次報告書 (エネルギー白書)
<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2010/index.htm>
- 2) 稲垣嘉信, 坂本久, 島津秀雄: 統治型アーキテクチャーの提案-システム全体の整合性維持を自動化する仕組, 情報処理学会第 72 回全国大会 6E-1 (2010)
- 3) 坂本久, 稲垣嘉信, 島津秀雄: ユビキタスシステムを統治するシステムアーキテクチャ, NEC 技報 Vol.62 No.04 (2009/12)
- 4) 省エネルギーセンター:省エネナビ:
<http://www.eccj.or.jp/navi/index.html>
- 5) 東京電力:暮らしの CO2 ダイエット:
<http://www.tepco.co.jp/eco/kurashi/index-j.html>
- 6) 下川美代子, 手塚哲央: 家庭用省エネ支援プログラム: エネルギー・資源学会論文誌 Vol.31 No.3 (2010/05)
- 7) NEC: エネパル PC
<http://www.nec.co.jp/ecosol/solution/minimization/enepalpc.html>
- 8) 岩田真琴, 甲斐正義, 島津秀雄: 省電力プラットフォーム「グリーントップ」の提案(1): 情報処理学会第 71 回全国大会 6D-3 (2010)
- 9) 山村幸太郎, 石田和生, 岩田真琴他: 省電力プラットフォーム「グリーントップ」の提案(2): 情報処理学会第 71 回全国大会 6D-4 (2010)
- 10) 宮崎徹, 石田和生, 岩田真琴他: 省電力プラットフォーム「グリーントップ」の提案(3): 情報処理学会第 71 回全国大会 6D-5 (2010)
- 11) 岩佐淳史, 岩田真琴, 甲斐正義他: 省電力プラットフォーム「グリーントップ」の提案(4): 情報処理学会第 71 回全国大会 6D-6 (2010)
- 12) ジリオン・ネットワークス株式会社: NetMoni.One
<http://www.zirion.co.jp/Product/netmonione/index.html>
- 13) 塩見他: ZigBee による人の位置情報管理システムの無線化