

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業

(第3次補正予算)

「無線センサネットワークを用いた
次世代工場エネルギー管理システムの研究開発」

研究開発成果等報告書

平成25年4月

委託者 北海道経済産業局

委託先 株式会社 iD

目 次

第1章	研究開発の概要	3
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	6
1-1-1	研究開発の背景	6
1-1-2	研究目的及び目標	7
1-2	研究体制	9
1-2-1	研究組織	9
1-2-2	管理体制	9
1-2-3	研究体制	9
1-3	成果概要	10
1-4	当該研究開発の連絡窓口	12
第2章	本論	13
2-1	近距離・低消費電力無線通信機能を備える低コスト型電力センサの開発	13
2-1-1	電力センサ端末ソフトウェアの仕様概要	13
2-1-2	電力センサ端末のフィールド評価設置	14
2-1-3	電力センサ端末のフィールド評価結果	17
2-2	複数無線通信方式を備える中継用無線ゲートウェイの開発	18
2-2-1	中継用無線ゲートウェイの仕様概要	18
2-2-2	フィールド評価における中継用無線ゲートウェイの設置	19
2-2-3	中継用無線ゲートウェイのフィールド評価結果	20
2-3	再生可能エネルギーの連携制御方式の研究開発	22
2-3-1	再生可能エネルギーシステムの仕様概要	22
2-3-2	蓄電量センサ端末のフィールド評価結果	25
2-4	エネルギー可視化アプリケーションの開発	26
2-4-1	エネルギー可視化システムの仕様概要	26
2-4-2	表示画面の仕様概要	29
2-4-3	可視化アプリケーションのフィールド評価結果	37
2-4-4	可視化アプリケーションのクラウド化	37
2-4-5	EMS 間電力過不足情報 可視化アプリケーション	37
2-5	エネルギー管理情報秘匿通信技術の研究	39
2-5-1	調査研究の結果	39
2-5-2	製品化に向けての課題	39
第3章	全体総括	40
3-1	フィールド評価結果	40
3-2	研究発表等の状況	42
3-3	製品化への課題	43
3-3-1	近距離・低消費電力無線通信機能を備える低コスト型電力センサの開発	43
3-3-2	複数無線通信方式を備える中継用無線ゲートウェイの開発	43
3-3-3	再生可能エネルギーの連携制御方式の研究開発	43
3-3-4	エネルギー可視化アプリケーションの開発	43

3-3-5	エネルギー管理情報秘匿通信技術の研究.....	44
3-3-6	市場動向調査結果と今後の課題.....	44
資料	専門用語解説	45

第1章 研究開発の概要

工場でのエネルギー管理の課題は、生産装置単位の詳細なエネルギー管理と、再生可能エネルギーとの連携による新たなエネルギー運用による効率化である。本提案は近距離・低消費電力無線通信機能を具備する小型電力センサによる生産装置単位の詳細なエネルギー管理、再生可能エネルギーの連携管理によるエネルギー運用の更なる効率化、独自の無線中継技術によるエネルギー管理システムの高度化を実現する研究開発である。

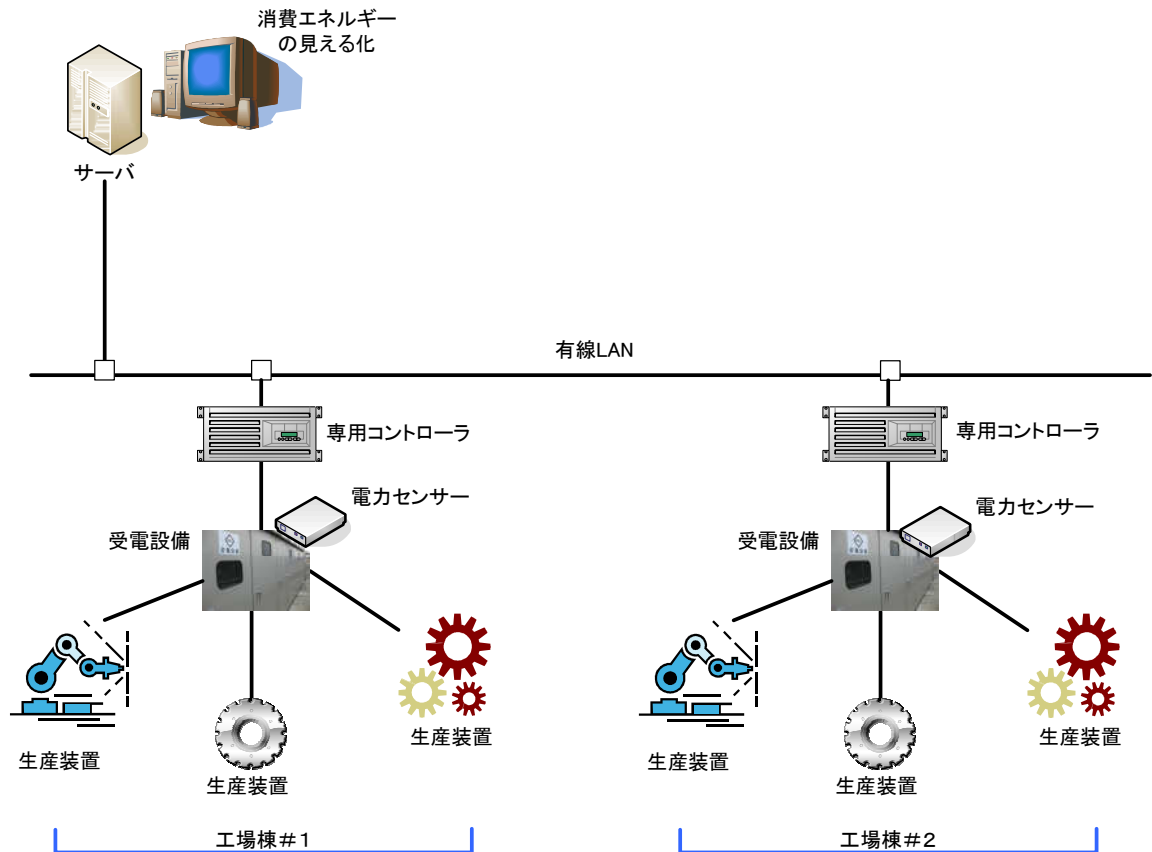
(従来技術)

近年、製造業における省エネルギー化の推進と CO2 排出量削減は経営上不可欠の課題となっており、特に生産過程で大量のエネルギーを消費する大規模工場では、省エネルギーを目的としたエネルギー運用の効率化の必要性は高まっている。

従来の工場におけるエネルギー管理システム（FEMS: Factory Energy Management System）は、工場内の受電設備毎に需要エネルギーを測定する電力センサ、電力センサで測定したエネルギー情報を集約し上位サーバに情報配信を行う専用コントローラと、収集したエネルギー情報をデータベース化し、エネルギーの利用状況を「見える化」することにより、エネルギーの非効率的な利用を識別する管理サーバで構成するのが一般的であった。

しかしながら、従来のエネルギー管理システムは、受電設備では比較的大電力量の消費電力測定が必要となることや、測定情報の制御と管理サーバへの情報転送を行う専用コントローラが必要となるため、ハードウェアが高価となり、工場全体のエネルギーを管理するとすると、投資コストが大きく膨らみ普及が進んでいない現状があった。また、受電設備を対象としたエネルギー管理であるため、受電設備配下にある生産装置単位のきめ細かいエネルギー管理ができないことから、省エネルギーの徹底が不十分であり、詳細な管理システムを構築しようとした際には、工場全体に多数存在する生産装置設備に管理装置を配備するコスト負担と、管理設備間にネットワークケーブルを配線する工事の煩雑性や配置の自由度が課題となっている。

更に、近年の工場では、省エネ法等の関連法規制の強化に対して、省エネルギー推進のための太陽光パネル・風力等の再生可能エネルギー発電設備の導入が進んでいる。しかしながら、この再生可能エネルギーと工場内の需要エネルギーを管理する、従来の管理システムとの連携は実現できておらず、工場内のエネルギー需要の状況に、効果的に連携する新しいエネルギー管理技術が求められている。



(従来技術における問題と課題)

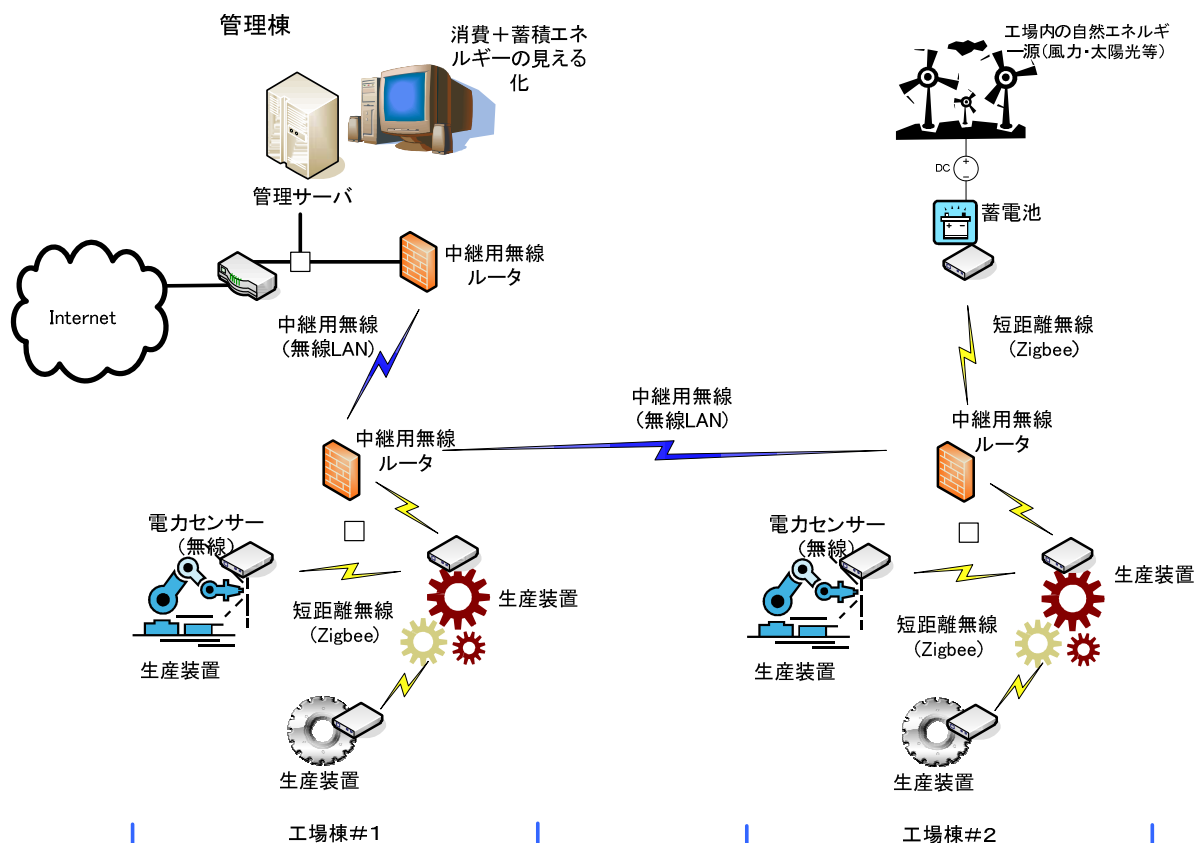
- ① 生産ラインでの電力測定のための設備コストが高額であり、詳細なエネルギー管理による省エネルギー化促進の妨げとなっている。
⇒ 大電力容量の電力センサや専用コントローラからなるハードウェアコストの低減が課題。
- ② エネルギー管理が受電設備を対象としており、配下の生産装置単位に詳細なエネルギー管理ができていない。
⇒ エネルギー管理を装置単位に分解するなど、詳細なエネルギー管理による省エネルギー活動の更なる徹底が課題。
- ③ 工場内全生産装置を対象にしたエネルギー管理実施の場合、多数分散する生産装置にネットワークケーブル配線することは煩雑であり、工事コスト、設置性自由度、利便性が非常に悪い。
⇒ 無線化によるネットワークケーブルの排除が必要。
- ④ 太陽光、風力発電からの再生可能エネルギーと従来エネルギー管理システムとの連携ができていない。
⇒ 再生可能エネルギーの蓄電力と従来のエネルギー管理システムと連動させる、新しいエネルギー管理システムの導入が課題。

(新技術)

工場内全ての生産装置単位にきめ細かいエネルギー管理を実現するための小型電力センサに、近距離・低消費電力無線通信機能（Zigbee）を具備させることで、工場内全生産装置に及ぶ詳細なエネルギー管理をネットワークケーブル無しに、低コストかつ高利便性で提供可能とする。

また、広大な生産エリアに多数の生産装置が移動する大規模工場は、Zigbee の電波到達範囲外の工場棟間・生産フロア間等のエリアがある。それらに対しては Zigbee プロトコルを無線 LAN で中継する機能を具備する中継装置を配備することにより、工場内全てのエリアを完全に無線化することが可能である。

更に、工場内の太陽光・風力発電等再生可能エネルギーの蓄電エネルギーを、上記エネルギー管理システムと連動し集約することで、工場内のエネルギー需要状況と再生可能エネルギーの供給可能状況をリアルタイムに連携表示可能な次世代型のエネルギー管理システムの提供が可能である。



(特徴)

- ① 近距離・低消費電力無線通信機能（Zigbee）を有する電力センサにより、従来の高額な電力センサに係るコストを削減し、更に専用コントローラ無しに情報制御を可能とする技術を採用することで、投資コストを大幅に削減可能。
⇒ システム投資コストの1/2化を目標とする。
- ② 工場内の全生産装置に①の電力センサを適用することで、装置単位の詳細なエネルギー管理が可能。
⇒ 装置個別にリアルタイムな情報収集が可能。
- ③ 大規模工場等で課題となる Zigbee の電波到達範囲外の工場棟、生産フロア間を無線 LAN による中継機能を用いて、ネットワークケーブル無しに工場内全エリアを無線化可能。
⇒ システムの配置自由度と工事性・利便性を大幅に向上。
- ④ 太陽光、風力発電等再生可能エネルギーの蓄電状況を、同一のエネルギー管理システムで集約することが可能。
⇒ 工場内のエネルギー需要状況と再生可能エネルギーの供給状況を、リアルタイムに連携表示可能な次世代型の工場内エネルギーの統合管理が可能。

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究開発の背景

近年の日本においては石油ショックを発端として、各産業分野において省エネ法に基づき、省エネルギー技術の開発と導入が行われてきた。その結果日本は世界でもトップレベルの省エネルギー技術を持ち、世界をリードする役割を担ってきた。しかし昨今の地球環境問題の世界レベルの取り組みから、日本以外の各国との技術レベルが近づいてきていることは事実である。

平成 20 年 4 月の省エネ法改正により、これまでの工場・事業場単位のエネルギー管理から、事業者単位（企業単位）でのエネルギー管理に規制体系が変更され規制対象が増加した。また、エネルギーの使用の合理化の基準が変更になり管理対象設備の区分が増加している。

この状況を考えると今後産業分野においては、更なる詳細なエネルギー管理が求められ、対応していくことが必要になっていくと想定される。さらに新エネルギー（太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギー）の導入は、昨今の地球環境問題への取り組み推進や、化石燃料受給の揺らぎにおいて発生する経済への影響を考慮すると、今後各事業者が対策を行っていくことが必須事項と考えられる。

これらのことから、より一層の省エネルギー活動と新エネルギーの活用を各事業者は求められ、その活動結果を証明しなければならなくなることが容易に予測される。

本提案はこれらの背景を踏まえ大電力を消費する製造工場などのエネルギー管理において、ICT を活用し詳細かつセキュアな管理技術を提案するものである。また本提案の事業化により、我が国の省エネルギー技術の向上が行われ、今後も我が国が世界をリードする役割を担っていくことに貢献できると考える。

1-1-2 研究目的及び目標

1) 「高度化指針」において定める高度化目標

- (1) 産業機械及び産業用ロボットに関する事項
 - ①川下製造業者の抱える課題及び要請（ニーズ）
 - イ. 高品質・短納期・低コスト
- (5) 川下分野横断的な共通の課題・ニーズに関する事項
 - ①川下製造業者等の抱える共通の課題及びニーズ
 - ア. コスト削減
 - イ. 省エネルギー・省資源化

2) 本提案による研究開発の目標

工場内における生産装置単位のきめ細かいエネルギー管理を、低コストかつ省スペースにて実現し、大規模工場における工場棟、生産フロアを跨る広いエリアをネットワークのケーブル配線無しに無線化することで、システムの配置自由度・工事性・利便性を大幅に改善する。また、太陽光・風力発電等再生可能エネルギーの蓄電情報の管理を連携させることにより、工場内エネルギーの需要と供給管理を統合した、次世代型のエネルギー管理システムの研究開発を実施する。

本提案による技術的目標値を、以下に設定する。

- ・ 従来設備に対するシステム設備コスト 1/2 化を目標とする。
- ・ 500 台以上の生産装置のエネルギー管理情報の集約と可視化を実現する。
- ・ 10 以上の Zigbee センサノードを無線 LAN で中継可能とする。
- ・ 工場内再生可能エネルギーの蓄電量と生産装置のエネルギー需要量をリアルタイムに連携した統合管理を実現する。

【1】 近距離・低消費電力無線通信機能を備える低コスト型電力センサの開発

従来、工場におけるエネルギー管理においては、管理の対象が受電盤設備を対象としたものであり、物・人の単位でエネルギー管理を徹底するには、更に受電盤設備配下の生産装置レベルにきめ細かいエネルギー管理を行うことが必要であった。しかしながら、従来のシステムにおいては、大電力量の電力センサや情報制御のための専用コントローラからなる、高価なハードウェアが必要であり、生産装置単位にエネルギー管理を行う構成では、さらに設備コストが大きくなる可能性があるため、電力センサ及び専用コントローラに掛かる設備コストの低減が求められていた。

更に、大規模工場等の工場内に多数の生産装置が存在する環境では、生産装置単位にネットワークケーブルを配線する必要があるため、配置自由度、工事性、利便性の面で課題があり、Zigbee 等近距離・低消費電力無線通信によるネットワークケーブル施設の排除と、センサ

自身の小型化が求められている。

【2】 複数無線通信方式を備える中継用無線ゲートウェイの開発

前述したとおり、大規模工場では、エネルギー管理の対象となる生産装置は工場内で多数稼動し、複数の工場棟や生産フロアに広域に分散しているため、工場棟間、生産フロア間等の環境で Zigbee の近距離無線通信では、電波到達範囲外となるエリアが存在する。

このため、【1】に述べた Zigbee による近距離無線通信機能のみでは、工場内全エリアをネットワークケーブルなしに無線化することは困難であり、近距離無線方式の電波到達範囲外の一部エリアを、無線 LAN 等他の中距離型無線方式等を用いて中継制御する必要がある。

【3】 再生可能エネルギーの連携制御方式の研究開発

先に述べたように、我が国では、平成 20 年 4 月の省エネ法改正により、製造業を中心とした企業に対して、より一層の省エネルギー活動と新エネルギーの活用が求められている。

近年の企業においては、工場内に太陽光・風力発電等再生可能エネルギーの設備導入が進んでいるものの、従来の需要エネルギー管理と連携したシステムは提供されておらず、工場内のエネルギー需要状況と再生可能エネルギーの供給状況を、リアルタイムに制御可能なシステムの導入が求められている。

※我が国では、将来の省エネルギー目標を達成するために、米 NIST (National Institute of Standards and Technology) などで標準化が進むスマートグリッド等の、インフラ整備が議論されている。スマートグリッドにおいても、上記再生可能エネルギーと需要エネルギーの連携制御は必須としている。

【4】 エネルギー可視化アプリケーションの開発

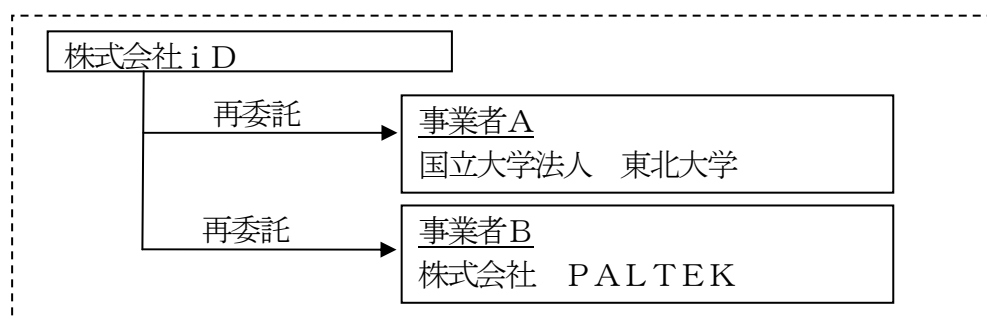
大規模工場等の工場内で稼動する生産装置は多数あり、一つの企業で複数の工場を持つケースを含めれば、生産装置の稼動台数は更に膨大であり、大量のエネルギー情報を生産装置別に統計処理する機能と、太陽光・風力発電設備等、再生可能エネルギー源からの供給エネルギー情報を統合管理し、可視化するサーバ・アプリケーションが求められる。

【5】 エネルギー管理情報秘匿通信技術の研究

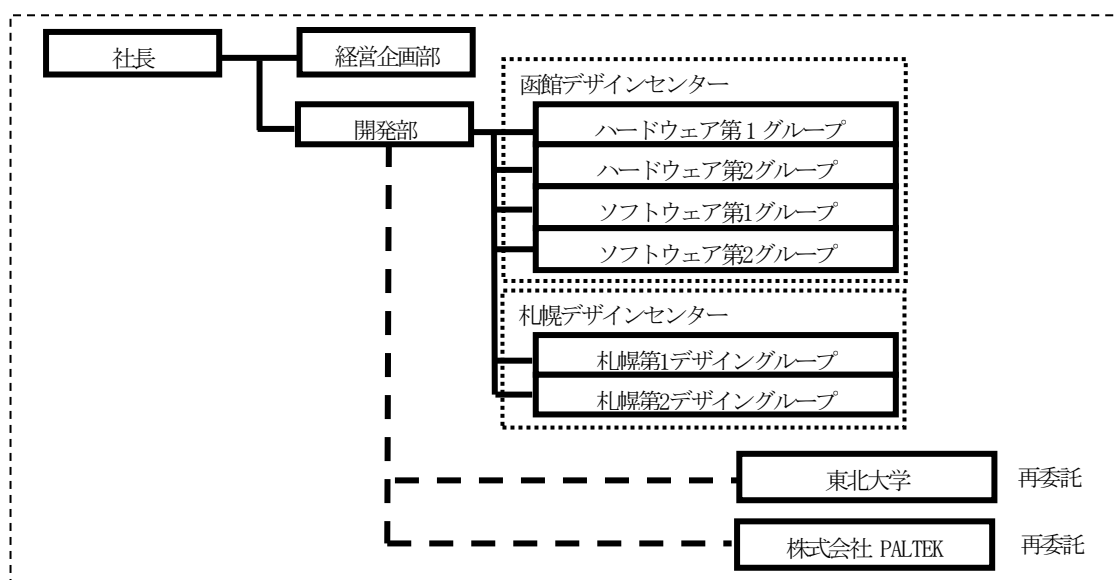
【3】で述べた将来のスマートグリッド等インフラ整備の際には、企業内でのエネルギー管理情報は、電力事業者や付随するサービスプロバイダからの需要制御を目的としたオープン化が求められる。しかしながら、工場などの生産現場の管理情報は企業にとっては、機密情報であり得ることから、将来のインフラ整備に備えてエネルギー管理情報の秘匿化技術の先行研究が必要となる。

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織



1-2-2 管理体制



1-2-3 研究体制

氏名	所属	実施項目
横山 直樹	株式会社 iD 部長	【1】,【2】,【3】,【4】,【5】
大室 孝司	株式会社 iD 執行役員部長	【1】,【2】,【3】,【4】,【5】
鈴木 利一	株式会社 iD 課長	【1】,【2】,【3】,【4】,【5】
中村 孝弘	株式会社 iD 課長	【1】,【2】,【3】,【4】,【5】
前田 克則	株式会社 iD 課長代理	【1】,【2】,【3】,【4】,【5】
今井 適	株式会社 iD	【1】,【2】,【3】,【4】,【5】
沖野 祥平	株式会社 iD	【2】,【3】,【4】,【5】
相原 健治	株式会社 iD	【1】,【2】,【3】
笥 拓朗	株式会社 iD 課長	【1】,【2】,【5】
伊東 仁	株式会社 iD 課長代理	【3】,【4】,【5】

中坂 淳一	株式会社 iD	【1】,【2】,【3】
成澤 孝悦	株式会社 iD 部長	【1】,【2】
沼田 宣宏	株式会社 iD 課長代理	【1】,【2】
長内 継魅	株式会社 iD 課長代理	【1】,【2】
黒澤 陽	株式会社 iD	【4】,【5】
曾根 秀昭	東北大学 サイバーサイエンスセンター 教授	【5】
後藤 英昭	東北大学 サイバーサイエンスセンター 准教授	【5】
水木 敬明	東北大学 サイバーサイエンスセンター 准教授	【5】
江本 純一	株式会社 PALTEK プロジェクトマネージャー	【3】,【4】
前川 大介	株式会社 PALTEK シニアマネージャー	【3】,【4】

※実施項目

- 【1】 近距離・低消費電力無線通信機能を備える低コスト型電力センサの開発
- 【2】 複数無線通信方式を備える中継用無線ゲートウェイの開発
- 【3】 再生可能エネルギーの連携制御方式の研究開発
- 【4】 エネルギー可視化アプリケーションの開発
- 【5】 エネルギー管理情報秘匿通信技術の研究

1－3 成果概要

本研究は平成 22 年度から平成 24 年度までの 3 カ年で開発し、実際に工場の設備を利用してフィールド評価を実施した。

以下に、各サブテーマ毎の成果概要を記す。

1) 近距離・低消費電力無線通信機能を備える低コスト型電力センサの開発

- ・ 本研究では、一般に家庭やオフィスなどで用いられる単相 100V 電源対応の小型電力センサおよび、工場内で主に利用される 3 相 200V 電源対応の小型電力センサを開発した。
- ・ 本研究にて開発した上記の電力センサを用いて、サブテーマ 2) に記載の中継用無線ゲートウェイとサブテーマ 4) に記載の可視化アプリケーションと共に、関東地区の某工場にて 2012 年 9 月から 2013 年 2 月までの間、フィールド評価を実施した。
- ・ フィールド評価において上記 2 種の電力センサを合計で十数台設置したが、これら電力センサと管理サーバーを接続するためのケーブル施設が不要な無線通信による接続であるため、容易に短時間で電力センサが設置できることを実証した。
- ・ また、開発した電力センサ間で情報転送を可能とするマルチホップ通信方式 (SW) の技術を用いて、サブテーマ 2) に記載の中継用無線ゲートウェイとの間で Zigbee ネットワークが構成されることを実証した。
- ・ さらに、電波干渉に関しても情報の圧縮・符号化、情報通信の高効率化 (SW) により、測定した消費電力量データに漏れがなく管理サーバーで収集できていることを実証した。
- ・ 上記の通り、本年度の成果目標は達成することが出来たが、事業化に向けて更なる品質改善及びコスト低減が必要である。

2) 複数無線通信方式を備える中継用無線ゲートウェイの開発

- ・ 本研究では、Zigbee ネットワークと無線 LAN ネットワークとのプロトコル変換をおこなう中継用無線ゲートウェイのハードウェア、ソフトウェアを開発した。
- ・ 本研究にて開発した中継用無線ゲートウェイを、サブテーマ 1) に記載の電力センサとサブテーマ 4) に記載の可視化アプリケーションと共に、関東地区の某工場にて 2012 年 9 月から 2013 年 2 月までの間、フィールド評価を実施した。
- ・ ケーブル施設が不要な無線通信による接続であるため、容易に短時間で中継ゲートウェイが設置できることを実証した。
- ・ また、サブテーマ 1) に記載の電力センサとの間で Zigbee ネットワークが構成されることを実証した。
- ・ さらに、電波干渉に関しても情報の圧縮・符号化、情報通信の高効率化 (SW) により、測定した消費電力量データに漏れがなく管理サーバーで収集できていることを実証した。
- ・ 上記の通り、本年度の成果目標は達成することが出来たが、事業化に向けて更なる品質改善及びコスト低減が必要である。

3) 再生可能エネルギーの連携制御方式の研究開発

- ・ 本研究では、エネルギー供給情報である小型蓄電量センサの試作ハードウェアを開発し、また、このセンサから情報を取得する Zigbee 通信モジュールのソフトウェアを開発した。
- ・ 本研究にて開発したエネルギー供給情報である蓄電量センサの試作ハードウェアと小規模の太陽光発電システムを用いて、動作確認を行ない、サブテーマ 4) に記載の可視化アプリケーションを用いて、蓄電量センサ情報を可視化アプリで表示可能であることを実証した。
- ・ また、サブテーマ 4) に記載の可視化アプリケーションにおいて、エネルギー需要状況と再生可能エネルギーの供給状況を、リアルタイムに表示可能であることを実証した。
- ・ 蓄電量センサ接続のためのケーブル施設が不要な無線通信による接続であるため、容易に短時間で電力センサが設置できることを実証した。
- ・ また、本研究で開発した電力センサとの間で情報転送を可能とするマルチホップ通信方式 (SW) の技術を用いて、サブテーマ 2) に記載の中継用無線ゲートウェイとの間で Zigbee ネットワークが構成されることを実証した。
- ・ さらに、電波干渉に関しても情報の圧縮・符号化、情報通信の高効率化 (SW) により、測定した消費電力量データに漏れがなく管理サーバーで収集できていることを実証した。
- ・ 上記の通り、本年度の成果目標は達成することが出来たが、事業化に向けて更なる品質改善及びコスト低減が必要である。

4) エネルギー可視化アプリケーションの開発

- ・ 本研究では、電力センサから取得したデータを様々な形でグラフ化するエネルギー可視化アプリケーションソフトウェアを開発した。
- ・ 本研究にて開発したエネルギー可視化アプリケーションを用いて、サブテーマ 1) に記載

の電力センサとサブテーマ 2)に記載の中継ゲートウェイ、サブテーマ 3)に記載の再生可能エネルギー用ダミーセンサモジュールと共に、関東地区の某工場にて 2012 年 9 月から 2013 年 2 月までの間、フィールド評価を実施した。

- ・ さらに、これを発展させ、将来の EMS 間の電力融通に向けた監視システムのプラットフォームとなりうるよう、各 EMS の電力過不足情報を共有化して可視化するアプリケーションの開発を行った。

5) エネルギー情報秘匿通信技術の研究

- ・ 本研究にてエネルギー管理情報に対するクラス分けやセキュリティ要件等について大要確立し、より本システムに特化した詳細化を実施した。
- ・ 先行的調査研究を継続的に実施し、情報セキュリティやネットワークに関する最新の研究／技術／運用動向をとりまとめ、本システムの開発へフィードバックした。
- ・ 本提案システムにおいてクラウドサービスの活用を実現する上で必要になる要件項目について、最新の技術動向・運用動向を見据えながら検討した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

会社名 : 株式会社 iD
所属 : 開発部
氏名 : 横山 直樹 (ヨコヤマ ナオキ)
電話 : 011-208-7070
FAX : 011-208-7071
E-mail : yokoyama@intelligent-design.co.jp

第2章 本論

2-1 近距離・低消費電力無線通信機能を備える低コスト型電力センサの開発

平成22年度から平成24年度までの3カ年の間におこなった本研究では、一般に用いられる単相100V電源対応の小型電力センサおよび、工場内で主に利用される3相200V電源対応の小型電力センサのソフトウェアを開発した。

本研究にて開発したこれらの電力センサを用いて、サブテーマ2)に記載の中継用無線ゲートウェイとサブテーマ4)に記載の可視化アプリケーションと共に、関東地区の某工場にて2012年9月から2013年2月までの間、フィールド評価を実施した。フィールド評価において、実稼働している装置類の消費電力量を安定して取得可能であることを実証した。

以降に、電力センサの仕様概要、フィールド評価での機材設置状況と実際にフィールド評価の結果を記す。

2-1-1 電力センサ端末ソフトウェアの仕様概要

以降、本研究成果の特徴的な機能についていくつか記載する。

1) 一般的な生産装置の電源ラインに脱着可能な小型センサ

従来は生産ラインでの電力測定のための設備コストが高額であり、詳細なエネルギー管理による省エネルギー化促進の妨げとなっていた。

上記課題を解決するため、本システムの電力センサ端末ではZigbee通信モジュール、MCUモジュール、電力測定モジュールの最小構成で電力センサ端末を実現している。

2) 情報の圧縮・符号化、情報通信の高効率化

“無線センサネットワークを用いた次世代工場エネルギー管理システム“において無線通信環境が悪化した場合、電力センサ端末で取得したエネルギー情報を管理サーバへ伝達できず、情報の欠如が生じるという問題があった。

上記問題を解決するために、本システムの電力センサ端末は、通信環境の悪化により収集周期の変動があっても収集情報の欠如を防止するための情報の圧縮・符号化、情報通信の高効率化の技術を開発した。

3) 電力センサ間で情報転送を可能とするマルチホップ通信方式

近傍のセンサ端末からの無線信号を次のセンサ端末にマルチホップ伝送機能については、Zigbee仕様に準じて対応可能としている。

4) 無線センサ網通信プロトコル

スマートエネルギー分野での世界標準として標準化が進む Smart Energy Profile 2.0 では、センサ情報の収集に HyperText Transfer Protocol (以降 http と記載) を想定している。しかし、http は ZigBee で構成する無線センサ網、および低処理能力チップで構成されるセンサ端末にはネットワーク負荷、メッセージ処理負荷が大きいと、本システムでは http と互換性の高い独自仕様を開発することで軽量化を実施した。

5) 電力センサ端末の独自省電力通信機能

Smart Energy Profile 2.0 の Meter Device に相当する電力センサ端末は、http サーバとしての動作（クライアントからのリクエストへの応答）が必要なため、SLEEP 機能を動作させることが難しいという課題がある。

上記課題を解決するために、本システムでは独自の省電力方式を開発している。

これまで述べた本研究成果の特徴的な機能 1)～4) に関して、平成 22 年度から平成 24 年度までの 3 カ年の間に、一般に用いられる単相 100V 電源対応の小型電力センサおよび、工場内で主に利用される 3 相 200V 電源対応の小型電力センサを開発した。これらの電力センサを用いて、サブテーマ 2) に記載の中継用無線ゲートウェイとサブテーマ 4) に記載の可視化アプリケーションと共に、関東地区の某工場にて 2012 年 9 月から 2013 年 2 月までの間、フィールド評価を実施している。

2-1-2 電力センサ端末のフィールド評価設置

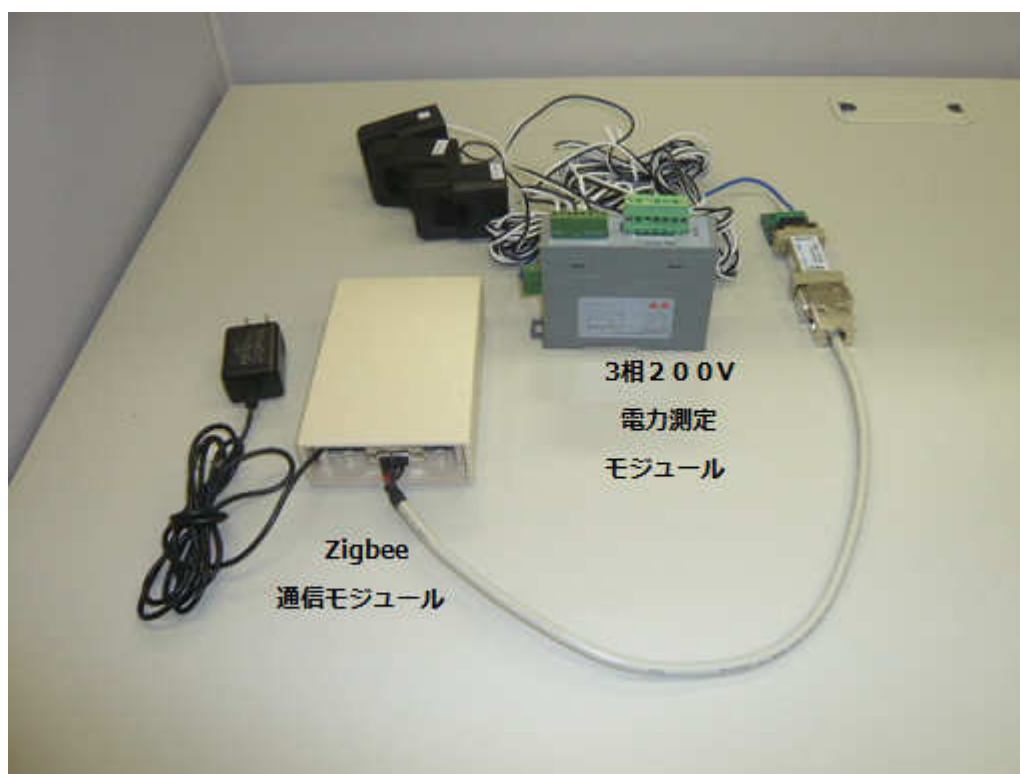
前述のように、工場内で主に利用される 3 相 200V 電源対応の小型電力センサを用いて、関東地区の某工場にて装置 3 台に設置し、実際に稼働している設備装置の消費電力量を取得するフィールド評価を実施している。

また、単相 100V 電源対応の小型電力センサも、疑似的に電力データを送信するようソフトウェアを改造し、同じフロア内に設置している。

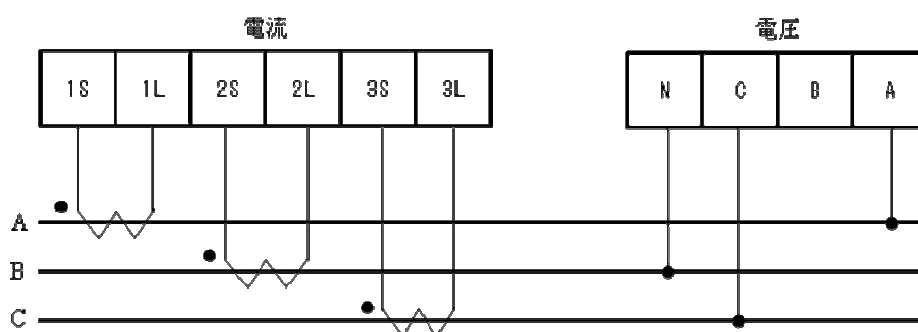
フロア内には 20 台程の装置類が設置されており、これらの機器の電源ケーブルは各機器から分電盤へとフロアの天井部に設置されているケーブルラック（工場の天井から吊り下げられている配線を通す梯子状の器具）を用いて接続されている。

今回開発した 3 相 200V 電源対応の電力センサは、電力量を正確に測定するために 3 相 200V 電源ラインの各電圧と各電流を電力測定モジュールに入力する必要がある。このため、本システムを設置する事前準備として、それぞれの機器の休止時に、3 相 200V 電源電力測定モジュールの設置を行っている。

以下に 3 相 200V 対応電力センサを記す。



以下に 3 相 200V 電力測定モジュールの電力線への結線図を以下に記す。



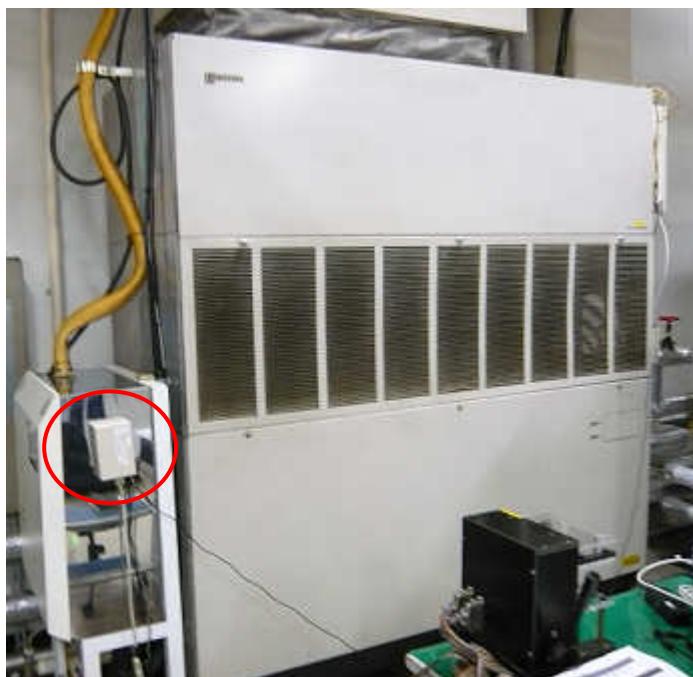
本システムの設置時には、既に設置されている 3 相 200V 電源電力測定モジュールと Zigbee 通信モジュールをシリアルケーブルで接続するだけであり、サーバー側へは無線で接続される。このため、有線ケーブルをケーブルラックなどを用いて施設するような特別な設置工事の必要がないため、非常に短時間で容易に装置の設置が行えることを実証した。

また、何れの装置への電力センサの設置においても電力センサが十分に小型であり、マグネットにより金属部分への接着が可能であるため、設置場所などの障害は全くないことを実証した。

さらに、電波障害や干渉の確認のため、単相 100V 電源対応電力センサを同じフロア内に設置している。こちらも 100V の電源コンセントに差し込むだけであり、容易に設置できることを実証した。

以下に、実際の設置状況を記す。

空調機器と加湿器（加湿器の計測アダプター）



空調機器



設備装置の分電盤



2-1-3 電力センサ端末のフィールド評価結果

これまで述べたように各設備装置に設置した3相200V対応小型電力センサや100V対応のダミー用小型電力センサと、サブテーマ2)に記載の中継用無線ゲートウェイとの間で、今回開発した小型電力センサ間で情報転送を可能とするマルチホップ通信方式(SW)の技術を用いてZigbeeネットワークが構成されることを実証した。

また、電波干渉に関しては時折、周辺の電波状況により通信できていないこともあるが、情報の圧縮・符号化、情報通信の高効率化(SW)により、測定した消費電力量データに漏れがなく管理サーバーで収集できていることを実証した。

電力センサのフィールド評価での動作確認結果は概ね良好であったが、川下分野からのニーズや実際のフィールド評価から今後の製品化に向けてはいくつかの課題が見つかった。これら課題については次章にまとめて記載する。

2-2 複数無線通信方式を備える中継用無線ゲートウェイの開発

平成 22 年度から平成 24 年度までの 3 カ年の間におこなった本研究では、Zigbee ネットワークと無線 LAN ネットワークとのプロトコル変換をおこなう中継用無線ゲートウェイのハードウェア、ソフトウェアを開発した。

この中継用無線ゲートウェイを用いて、サブテーマ 1) に記載の小型電力センサとサブテーマ 4) に記載の可視化アプリケーションと共に、関東地区の某工場にて 2012 年 9 月から 2013 年 2 月までの間、フィールド評価を実施した。実稼働している装置類の消費電力量を安定して取得可能であることを実証した。

以降に、中継用無線ゲートウェイの仕様概要、フィールド評価での機材設置状況とフィールド評価の結果を記す。

2-2-1 中継用無線ゲートウェイの仕様概要

本提案のネットワークの下位層は、センサ端末と中継ゲートウェイが属する無線センサ網を Zigbee、中継ゲートウェイと管理サーバが属する無線中継網を IPv4 on Wifi の既存標準規格で構成する。つまり、中継ゲートウェイにて、Zigbee ネットワークと Wifi IP ネットワーク間のプロトコル変換を行う。

以降、本研究成果の特徴的な機能について記載する。

1) 中継用無線 (ZigBee - Wifi) ゲートウェイ

従来、Zigbee による近距離無線通信機能のみでは通信距離が短いため、工場内全エリアをネットワークケーブルなしに無線化することは困難であった。

上記課題を解決するために本システムでは、有線 LAN/無線 LAN(Wifi) IF と、短距離無線通信規格の ZigBee IF により、Zigbee (IEEE802.15.4) と無線 LAN (IEEE802.11a/b/g/n) 間を中継する Wireless Gateway Board を開発した。

2) 複数無線方式間での情報・経路変換を可能とする通信方式

Smart Energy Profile2.0 (世界標準) との接続性の確保と、汎用規格 (冗長機能) 対応による端末コスト上昇の抑制を両立させるため、本システムでは Smart Energy Profile2.0 プロトコルから無線中継網(管理サーバ-中継ゲートウェイ間)、無線センサ網(電力センサー-中継ゲートウェイ間)と段階的に目的システムに最適化 (軽量化) することで、Smart Energy Profile2.0 との接続性も確保しながらシステムのトータルコストを低減させている。なお、各網の境界に属するノードは両網間のメッセージをプロトコル変換することで、各網を跨いだ端末間の通信を可能としている。中継ゲートウェイはセンサ端末を無線中継網と通信させるため、軽量化された無線センサ網のプロトコルを無線中継網のプロトコルに変換する。

3) 電力センサとのエネルギー情報の収集タイミングと制御

ユーザインターフェース機能を持たない電力センサ端末は、エネルギー情報の収集周期を変更することが困難である。本システムでは独自の技術を用いることで、ユーザに任意のタイミングで電力センサ端末からの情報収集を可能とさせる。

4) 管理サーバでの一元管理による電力センサアドレス管理方式

センサ端末は無線センサ網（Zigbee 網）に属するため、Zigbee 短縮アドレスで管理される。一方中継ゲートウェイと管理サーバ間には URI でアドレス管理される。本開発ではセンサ端末の Zigbee 短縮アドレスを独自の方式で URI に組み込むことで、両アドレス管理を統合する。

5) 管理サーバ、中継ゲートウェイ、電力センサ端末の時刻同期化方式

本研究開発では、独自の方式を用いて、電力センサ端末の SLEEP 機能と併用可能な高精度、低負荷の電力センサ時刻同期を可能としている。

6) 無線中継網通信プロトコル

スマートエネルギー分野での世界標準として標準化が進む Smart Energy Profile 2.0 では、センサ情報の収集には HyperText Transfer Protocol (以降 http と記載) を想定しており、http メッセージのボディに記載する XML schema も規定している。

本システムも Smart Energy Profile 2.0 との接続性を確保するため、同じ XML schema を使用している。

2-2-2 フィールド評価における中継用無線ゲートウェイの設置

前述のように、本研究にて開発した中継用無線ゲートウェイをサブテーマ 1) に記載の電力センサとサブテーマ 4) に記載の可視化アプリケーションと共に、関東地区の某工場にて 2012 年 9 月から 2013 年 2 月までの間、フィールド評価を実施した。

中継用無線ゲートウェイは試験をおこなうフロア内に 2 台設置しており、これらの Zigbee ネットワークによりフロア内は十分カバーされていることを実証した。さらにこれを無線 LAN のプロトコルに変換することで、管理サーバーに各電力センサが測定した消費電力量を漏れなく送信できることを実証している。

また、中継用無線ゲートウェイは小型であるため、設置スペースなどは問題なく設置できている。勿論、Zigbee 通信を無線 LAN に変換しているため、LAN ケーブルの施設工事等は必要なく、容易に設置できることを実証した。

本中継用無線ゲートウェイの設置状況を示す。



2-2-3 中継用無線ゲートウェイのフィールド評価結果

これまで述べたように各設備装置に設置したサブテーマ 1) に記載の 3 相 200V 対応電力センサや 100V 対応のダミー用電力センサと、中継用無線ゲートウェイとの間で情報転送を可能とするマルチホップ通信方式 (SW) の技術を用いて Zigbee ネットワークが構成されることを確認した。

また、電波干渉に関しては時折、周辺の電波状況により通信できていないこともあるが、情報の圧縮・符号化、情報通信の高効率化 (SW) により、測定した消費電力量データに漏れ

がなく管理サーバーで収集できていることを実証した。しかし、工場におけるノイズ状況はそれぞれの工場や設備装置によって異なるため、製品化に向けて今後も継続してデータを取得し、解析していくことが望まれる。

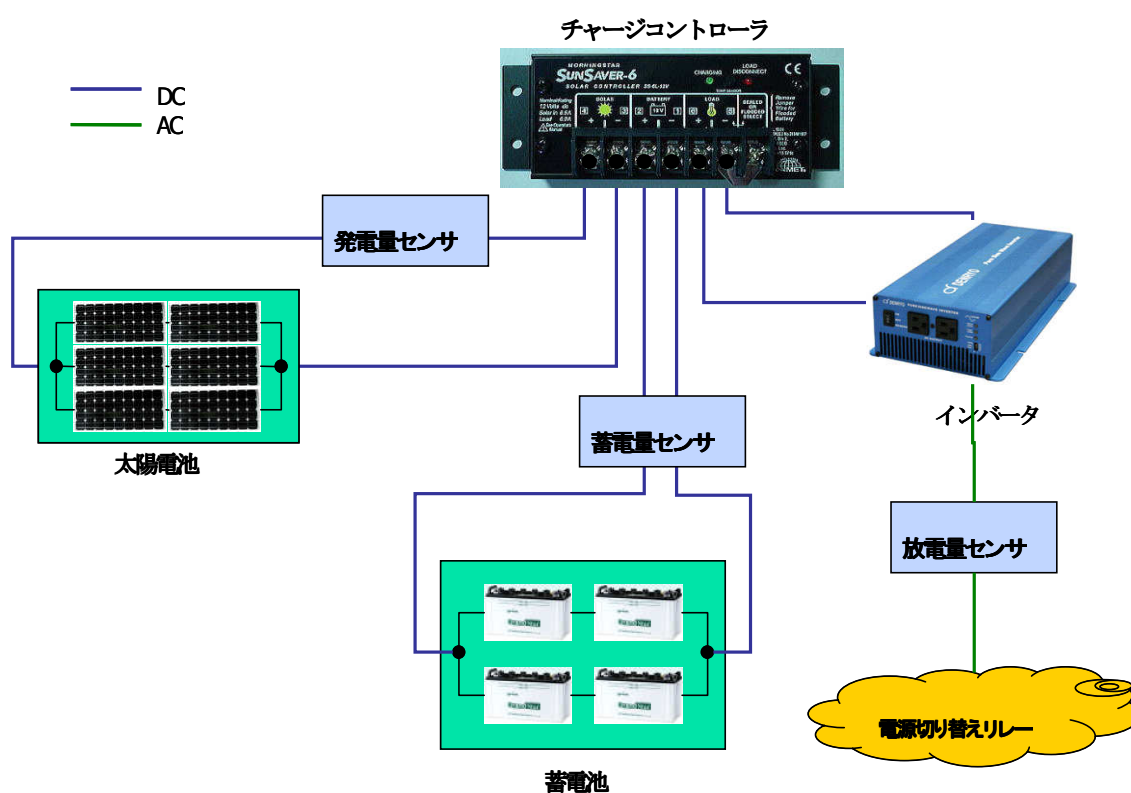
電力センサのフィールド評価での動作確認結果は概ね良好であったが、川下分野からのニーズや実際のフィールド評価から今後の製品化に向けてはいくつかの課題が見つかった。課題については次章にまとめて記載する。

2-3 再生可能エネルギーの連携制御方式の研究開発

本研究では、エネルギー供給情報である蓄電量センサの試作ハードウェアを開発し、このセンサから情報を取得する Zigbee 通信モジュールのソフトウェアを開発した。この蓄電量センサの試作ハードウェアを用いて、再生可能エネルギーシステムの構築を行い、サブテーマ 4) に記載の可視化アプリケーションを用いて、蓄電量センサ情報を可視化アプリで表示可能であることを実証した。以降に再生可能エネルギーシステムの仕様概要、発電量／放電量／蓄電量センサ端末ハードウェアとソフトウェアについて記載する。

2-3-1 再生可能エネルギーシステムの仕様概要

以下に本研究で開発した再生可能エネルギーシステムの構成図を示す。



上図において 太陽電池は単結晶太陽電池であり、光エネルギーを電気エネルギーに変換する。

蓄電池は電気エネルギーを化学エネルギーに変換し、蓄える装置である。必要に応じて化学エネルギーを電気エネルギーに再度変換することが可能である。

蓄電池への充電、放電を制御するチャージコントローラは以下の機能を持つ。

- ・ 充電制御機能：太陽電池などから蓄電池への充電電圧を自動制御することで蓄電池の過充電を防止する。
- ・ 放電制御機能：蓄電池の低電圧による負荷の遮断・自動再接続を行うことで蓄電池の過

放電を防止する。

- ・ 逆流防止機能：夜間・雨天などの低照光時において、蓄電池から太陽電池への電流の逆流を防止する。

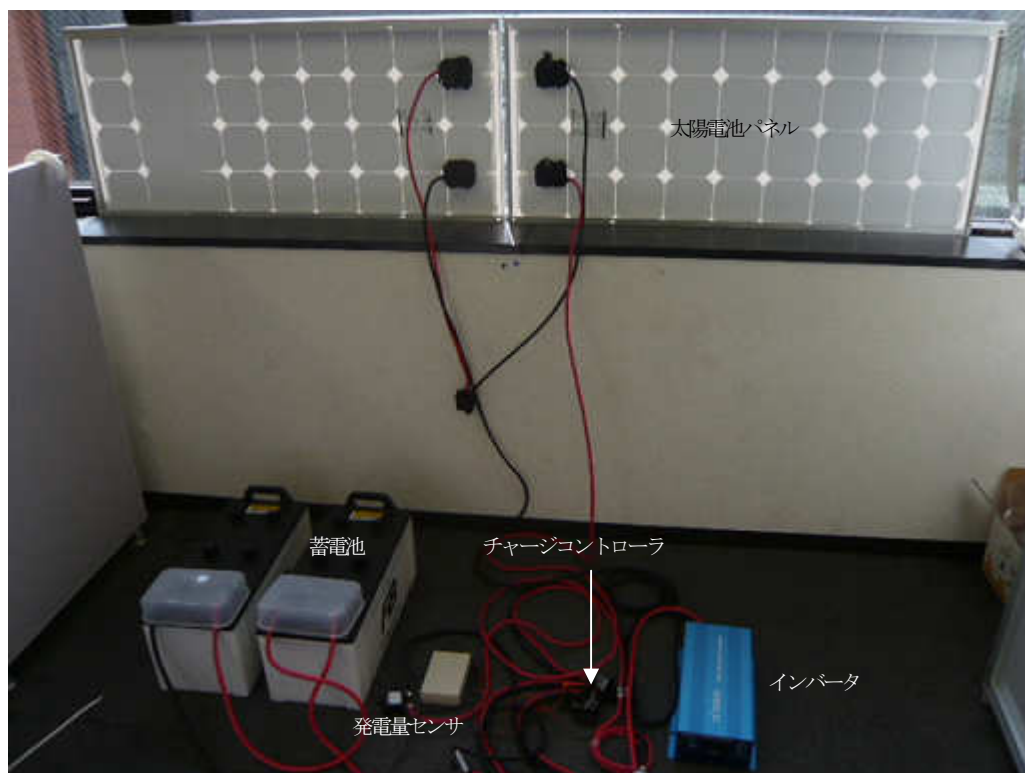
DC-AC 変換を行うインバータは直流電力を交流電力へ電氣的に逆変換を行う装置である。

また、発電量センサ、蓄電量センサ、放電量センサは各情報をセンシングし、電力センサと同様の方式（中継ゲートウェイ経由）で管理サーバへ情報を伝送する。

再生可能エネルギーの連携制御方式の機能一覧を以下に記載する。

- ・ 太陽光発電・風力発電等再生可能エネルギーの発電量を計測する。
- ・ 蓄電池の蓄電量を計測する。
- ・ 需要側で使用する放電量を計測する。
- ・ 発電量・放電量・蓄電量の情報を一定周期で収集し、管理サーバのデータベースに保存する。
- ・ 電池の深放電蓄を防ぐことで蓄電池の長寿命化を行う。
- ・ 再生可能エネルギーの放電タイミングを制御する。

以下に実際の発蓄電システムを示す。



以降、本研究成果の特徴的な機能について記載する。

1) 再生可能エネルギーの識別と収集方式、工場内エネルギー需要情報との連携制御方式

本再生可能エネルギーシステムではシステム情報の取得を発電量/蓄電量/放電量の3種のセンサで行い、取得情報は電力センサと共通のデータ構造と通信プロトコル/シーケンスで管理サーバへ伝達する。

管理サーバは各センサ端末の機能を管理しているため、再生可能エネルギー情報と工場内エネルギー需要情報の識別が可能となり、連携制御を行うことが出来る。

2) 生産装置から発生する大量の需要エネルギー情報と、再生可能エネルギーからのエネルギー供給情報を、装置別に統計処理するためのデータベース

各生産装置、および各再生可能エネルギー装置から定期的に取得する膨大なエネルギー情報の保存/管理及び、可視化のためのフィルタリングを行うため、収集したエネルギー情報に対して装置名称などの関連情報を紐付けし、RDBMS で管理する事で統計処理を効率化する。また保持データサイズの増加を防ぐため、情報圧縮等により情報量の低減を行う。

3) 発電量計測方法

太陽光・風力発電装置による発電量の計測は発電量センサ、もしくは蓄電量・放電量から算出することで可能である。

- ・ 発電量センサを用いる方式

発電量センサはチャージコントローラと太陽光電池等の発電機間に接続することで計測を行う。発電情報には太陽光・風力発電などの紐付けする情報が付与されており、この情報を元に管理サーバはエネルギー供給元を判別し、データベースに格納する。

4) 蓄電量計測方法

蓄電池の蓄電量の計測には蓄電量センサを用いる。蓄電量センサは蓄電池の電圧を測定し、その電圧量と蓄電池の放電特性にて蓄電量を計測する。サーバは蓄電量センサから蓄電情報を取得する。

5) 放電量計測方法

蓄電池の放電量の計測には電力センサを用いる。電力センサはインバータの出力側に接続することで計測を行う。電力センサに対し放電量をサーバが問い合わせすることで放電情報を取得する。

6) 再生可能エネルギーの有効活用アルゴリズム

本システムの研究開発により、装置、ライン、部門毎のエネルギー需要と供給可能な再生

可能エネルギーを統計処理が可能となったが、今後再生可能エネルギーの放電タイミングの適切制御（有効活用）の検討が必要である。

2-3-2 蓄電量センサ端末のフィールド評価結果

本研究にて開発したエネルギー供給情報を取得する蓄電量センサを用いて、小規模の太陽光発電システムを用いて、動作確認を行なった。

ここでは、サブテーマ 4) に記載の可視化アプリケーションを用いて、蓄電量センサ情報を可視化できることを実証し、エネルギー需要状況と再生可能エネルギーの供給状況を、リアルタイムに表示可能であることを実証した。また、この表示を確認することにより、工場内の電力使用量がピークを迎える時に再生可能エネルギーの使用量を制御することで、消費電力のピークカットに有効となるであろう。

2-4 エネルギー可視化アプリケーションの開発

本研究では、電力センサから取得したデータを様々な形でグラフ化するエネルギー可視化アプリケーションソフトウェアを開発した。このエネルギー可視化アプリケーションを用いて、サブテーマ 1)に記載の電力センサとサブテーマ 2)に記載の中継ゲートウェイ、サブテーマ 3)に記載の再生可能エネルギー用ダミーセンサモジュールと共に、関東地区の某工場にて2012年9月から2013年2月までの間、フィールド評価を実施した。

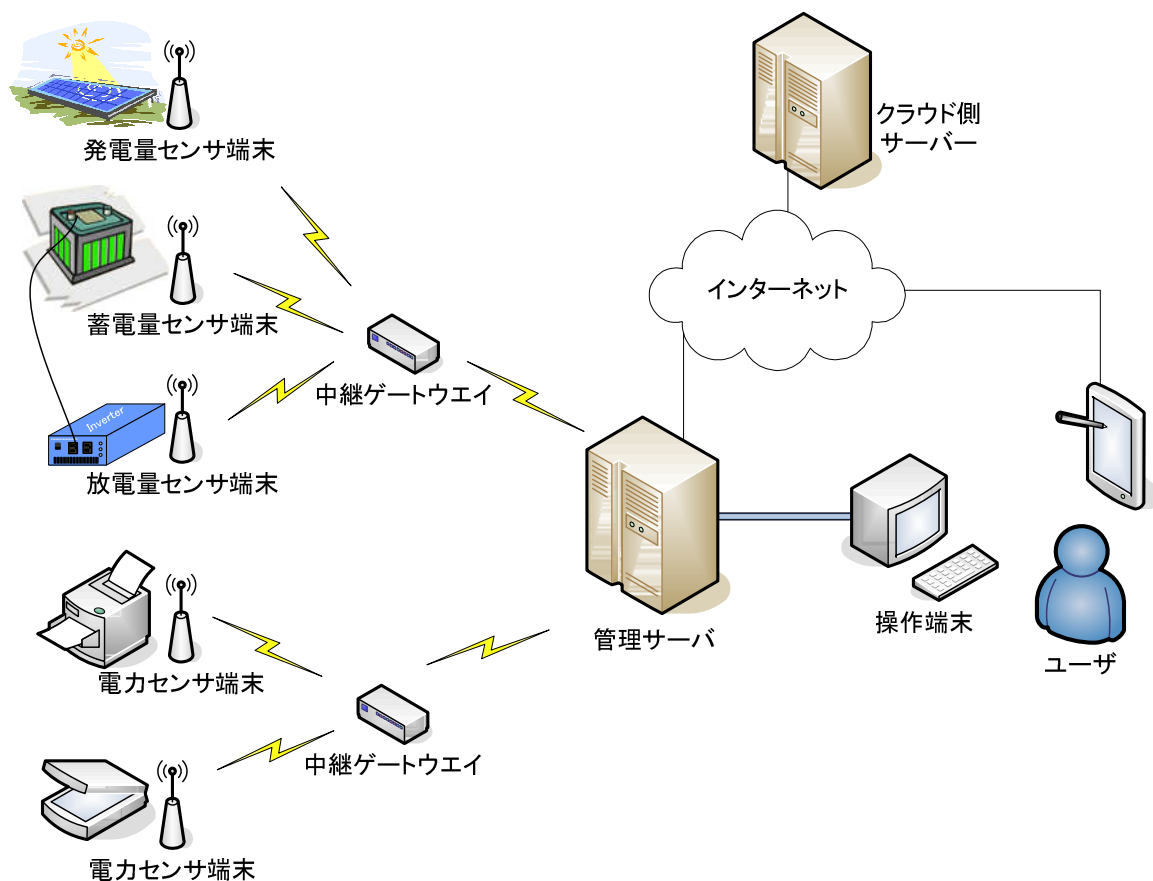
以降に、そのエネルギー可視化システムの表示画面仕様概要、エネルギー情報の収集、管理システムの仕様概要、フィールド評価の結果について述べる。

また、川下分野からのニーズ（要件）を受け、可視化アプリケーションの簡易的なクラウド化を実施した。これにより、これまでは事業所内での電力管理であったものが、クラウド化により外出先などでも容易に電力管理が行えるようになる。

また、これをベースに、点在する各 EMS の電力の発蓄電情報を共有化して可視化する EMS 間の電力過不足情報共有化システムの開発を実施している。これにより将来の EMS 間の電力融通に向けた監視システムのプラットフォームとなる。これらについても記載する。

2-4-1 エネルギー可視化システムの仕様概要

以下に本研究で開発したエネルギー可視化システムの構成図を示す。



この図において、各種センサ端末、中継ゲートウェイは前章までに記載の物であり、可視化アプリケーションは管理サーバ上で動作する。可視化アプリケーションはエネルギー情報の収集・管理とユーザへの可視化コンテンツの提供を行う。ユーザは操作端末から管理サーバへアクセスし、汎用の Web ブラウザでコンテンツの提供を受ける。また、可視化アプリケーションの簡易的なクラウド化を実施しており、ユーザは操作端末の汎用 Web ブラウザを使用してクラウドサーバへアクセスすることにより、コンテンツの提供を受けることが可能である。

可視化システムの機能一覧を以下に記載する。

- ・ 配下のゲートウェイからセンサ端末情報を一定周期で収集し、データベースに蓄積する。
- ・ 部署・ライン・装置毎に過去・現在のエネルギー消費量をグラフ表示する。
- ・ 部署・ライン・装置毎にエネルギー消費量をグラフ化比較する。
- ・ 部署・ライン・装置毎に省エネ目標の設定が可能であり、目標値との差分をグラフ表示する。
- ・ 工場全体の消費電力と再生可能エネルギーの割合をグラフ表示する。
- ・ 再生可能エネルギーの発電量・放電量・蓄電量をグラフ表示する。
- ・ ゲートウェイ、センサ端末の通信状態を表示する。
- ・ 各センサ端末に部署・ライン・装置の設定が可能とする。
- ・ 表示端末に対して、センサ情報を保持する web サーバとして動作する。

なお、センサ端末とは管理サーバが管理する発電量センサ端末、蓄電量センサ端末、放電量センサ端末、電力センサ端末を示す。

以降、本研究成果の特徴的な機能について記載する。

1) 工場内のエネルギー需要と、供給可能な再生可能エネルギーの蓄積状況を、リアルタイムに可視化

500 台以上の生産装置のエネルギー管理情報と、再生可能エネルギー情報をリアルタイムに収集することが困難であった。

上記問題を解決するために、本システムでは生産装置のエネルギー需要情報と再生可能エネルギーの供給情報の収集を効率化し、さらに各装置のセンサと可視化アプリケーション間に中継ゲートウェイを配置する。

これにより、伝送障害の影響を低減するとともに、可視化アプリケーション処理負荷を低減する事で、多種膨大な情報をリアルタイム収集し、可視化することを可能とした。

2) 過去のデータの解析によりエネルギーの無駄利用の識別

収集した膨大なエネルギー管理情報から、無駄利用の識別を行うことが困難であった。

上記問題を解決するために、本可視化アプリケーションでは部署・ライン・装置毎に過去・現在のエネルギー消費量をグラフ表示することで無駄利用の識別を可能とする。また、装置・ライン・部署対比で消費電力量を可視化する事で各間を比較させ無駄の分析を可能とさせる。

これにより、部署、ライン、装置単位の各責任者に対して消費電力量の可視化が可能となり、消費電力量の可視化による省エネ効果 10%を可能とさせる。

3) 再生可能エネルギー源の将来の投入計画に有効なアプリケーション

再生可能エネルギー源の投入メリットの評価が可能になるよう、本可視化アプリケーションでは工場全体の消費電力と再生可能エネルギーの割合をグラフ表示する事で再生可能エネルギーシステムによるコスト削減効果を分析可能とする。

さらに再生可能エネルギーの発電量・放電量・蓄電量をグラフ表示する事で再生可能エネルギーシステム各装置のスペックの過不足を分析可能とする。

4) 部署・ライン・装置毎の省エネ目標の設定と、目標値と実績値の差分をグラフ化

本研究開発における川下分野からのニーズ（要件）の調査結果の中で、各部門への省エネ取り組みの実施、及び成果確認を行うことが消費電力量の削減に有効であることが判明した。

上記ニーズに対応するため、本可視化アプリケーションでは、ユーザに各部門・ライン・装置毎に目標値を設定させ、目標値と実績値の差分を比較表示する事により目標対比で省エネ取り組みの強化を行うことを可能とさせる機能を追加している。

5) 工場内無線通信環境悪化時等障害検出

本研究開発における川下分野からのニーズ（要件）の調査結果の中で、ユーザインターフェース機能を保持しない低コストのセンサ端末、中継ゲートウェイは、電波環境の悪化により通信障害が発生してもユーザにアラーム通知することが出来ず、情報の欠損を生じることが判明した。

上記問題を解決するために、本システムでは電力センサ端末からエネルギー情報を一定周期で収集し、特定電力センサ端末の情報が一定期間を超えて欠如した場合、該当通信環境に障害が発生していると判断してアラーム表示する事で情報の欠損を防止する。

本可視化アプリケーションでは膨大な量のセンサ端末の稼動状況を部署単位、ライン単位、センサ単位の3階層でリアルタイム表示することでセンサ端末通信網の障害発生ポイントの即時検出を可能とさせる。

2-4-2 表示画面の仕様概要

本可視化アプリケーションでは画面上部に表示されているタブボタンをクリックすることで各画面への遷移を行う。画面は消費電力量画面、消費電力比較画面、省エネ目標画面、削減効果画面、再生可能エネルギー画面、センサステータス画面、初期設定画面の7画面が存在する。

以下に消費電力量、消費電力比較、削減効果、再生可能エネルギー、センサステータス、初期設定の各ボタンをクリックした際の画面遷移を示す。

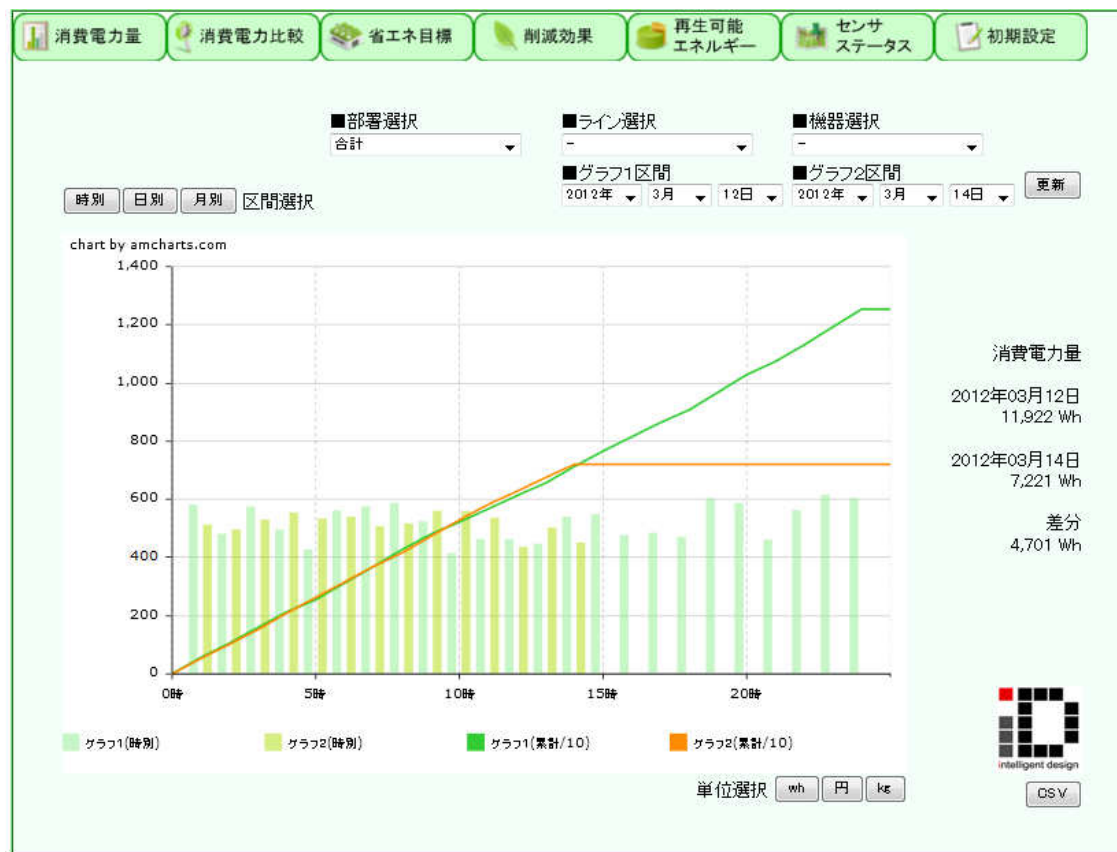


以降、各画面それぞれについての説明を記載していく。

消費電力量画面

本画面は消費電力量ボタンクリック時、もしくはTOP画面としてシステムにアクセスした際に表示される画面である。本画面は電力浪費の検出を目的としており、現在・過去、時間毎の消費量を比較することで無駄の分析が可能となる。

以下に消費電力量画面のイメージを記載する。



本画面にアクセスした場合、部署選択に工場全体、表示単位に時別、左グラフ区間に今日の年月日、右グラフ区間に昨日の年月日、単位選択に wh がデフォルトで指定されている。これらを切り替えることで表示する内容を変更することが可能である。

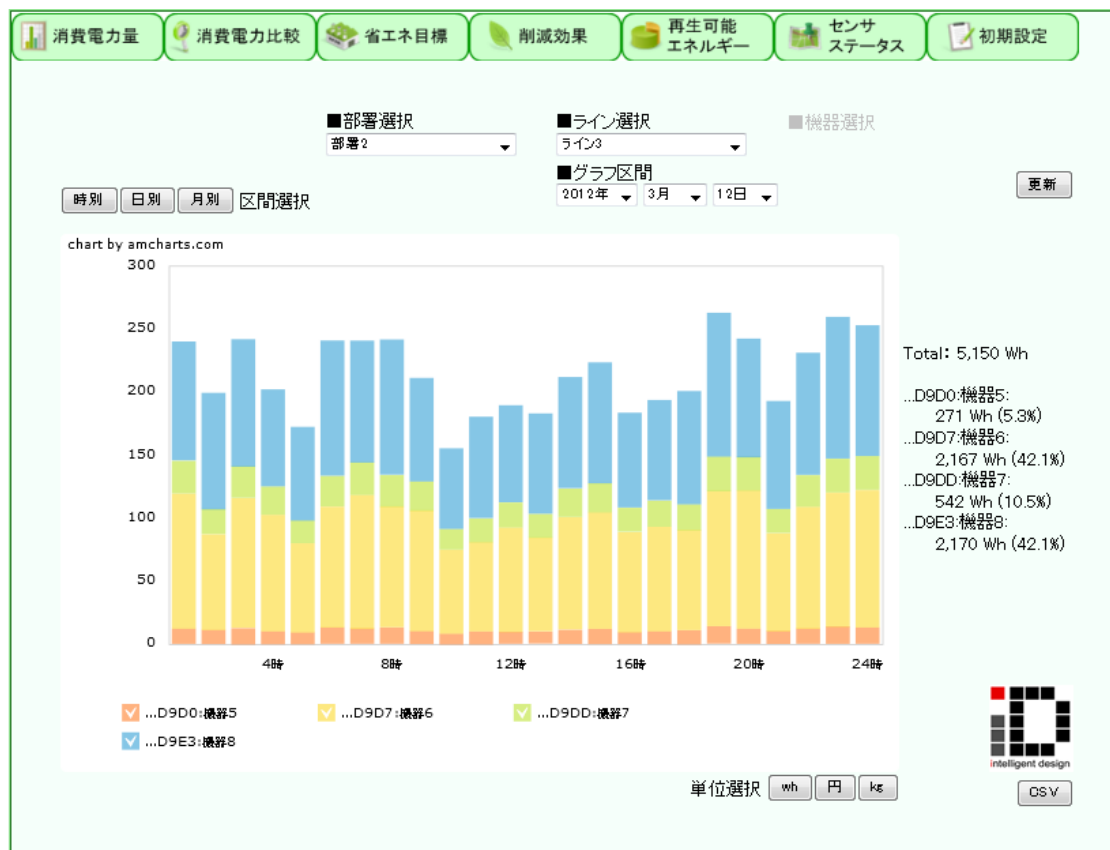
区間毎のデータは棒グラフ、累積データは折れ線グラフで表示する。

また、現在表示されているグラフのデータを CSV 出力ボタンにより CSV ファイルへダンプすることができる。

消費電力比較画面

本画面は消費電力比較ボタンをクリックした際に表示される画面である。本画面は省エネ推進(部門間競争)を目的としており、部門対比で消費電力量を比較する等各間の消費電力量を比較することで無駄の分析が可能となる。

以下に消費電力比較画面のイメージを記載する。



本画面にアクセスした場合、部署選択に工場全体、表示単位に時別、表示区間に今日の年月日、単位選択に wh がデフォルトで指定されている。これらを切り替えることで表示する内容を変更することが可能である。

毎比較データは積み上げ棒グラフで表示する。色分けされたグラフにオンマウスすることでその時間におけるエネルギー消費の割合が表示される。

また、現在表示されているグラフデータを CSV 出力ボタンにより CSV ファイルをダンプすることができる。

省エネ目標画面

本画面は省エネ目標ボタンをクリックした際に表示される画面である。本画面は省エネ推進（目標達成）を目的としており、ユーザが各部門・ライン・装置毎に目標値を設定し、目標対比で省エネ取組みの強化を行うために用いる。

以下に省エネ目標画面のイメージを記載する。



本画面にアクセスした場合、部署選択に工場全体、表示単位に日別、単位選択に wh がデフォルトで指定されている。また、左テーブルに設定された計画値が表示される。これらを切り替えることで表示する内容を変更することが可能である。

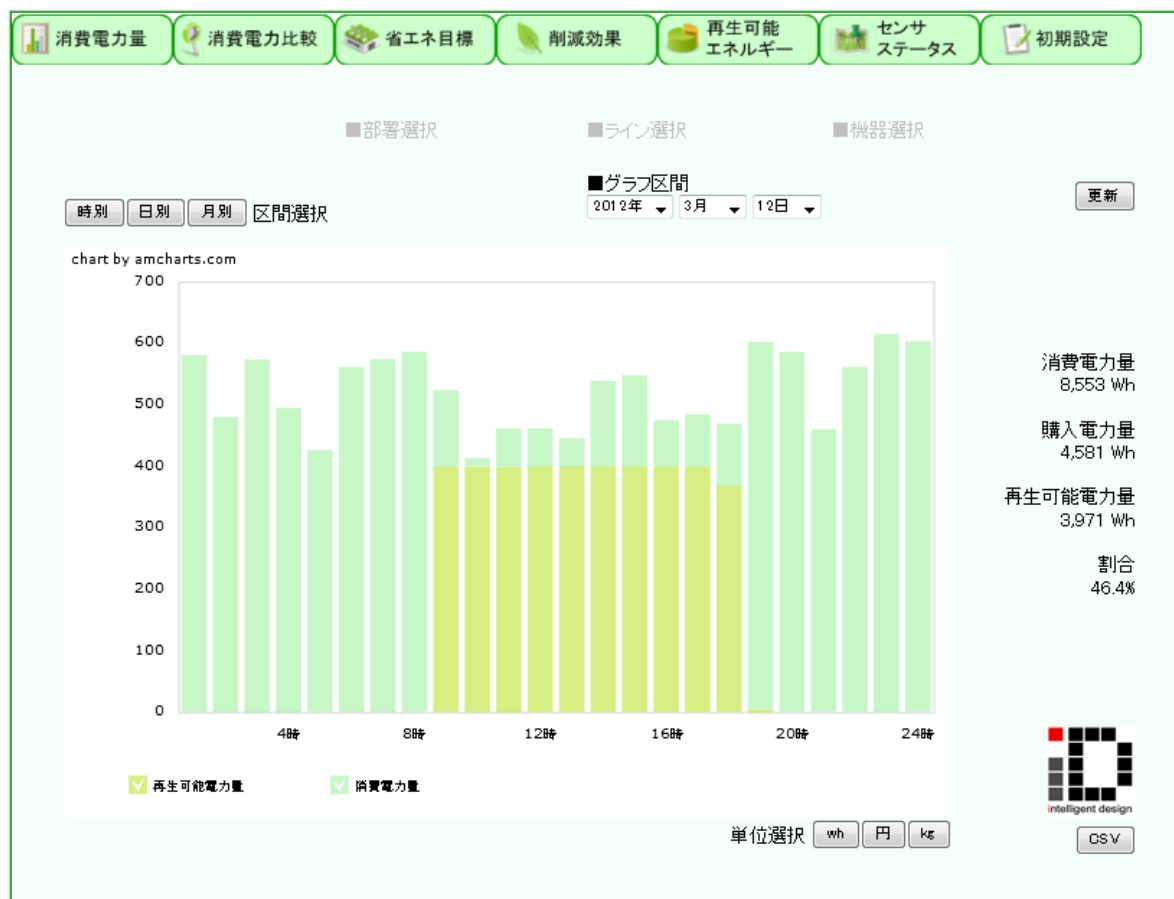
区間毎のデータは棒グラフ、累積データは折れ線グラフで表示する。また、現在の日時以降の実測値は累積予想として表示する。累積予想は計画値から算出することとするが、後々アルゴリズムは変更可能な作りとする。

また、現在表示されているグラフのデータを CSV 出力ボタンにより CSV ファイルへダンプすることができる。

削減効果画面

本画面は削減効果ボタンクリックした際に表示される画面である。本画面はコスト削減効果の提示を目的としており、工場全体の消費電力と再生可能エネルギーを比較することで再生可能エネルギーの削減効果を可視化する。

以下に削減効果画面のイメージを記載する。



本画面にアクセスした場合、表示区間に今日の年月日、表示単位に時別、単位選択に wh がデフォルトで指定されている。これらを切り替えることで表示する内容を変更することが可能である。

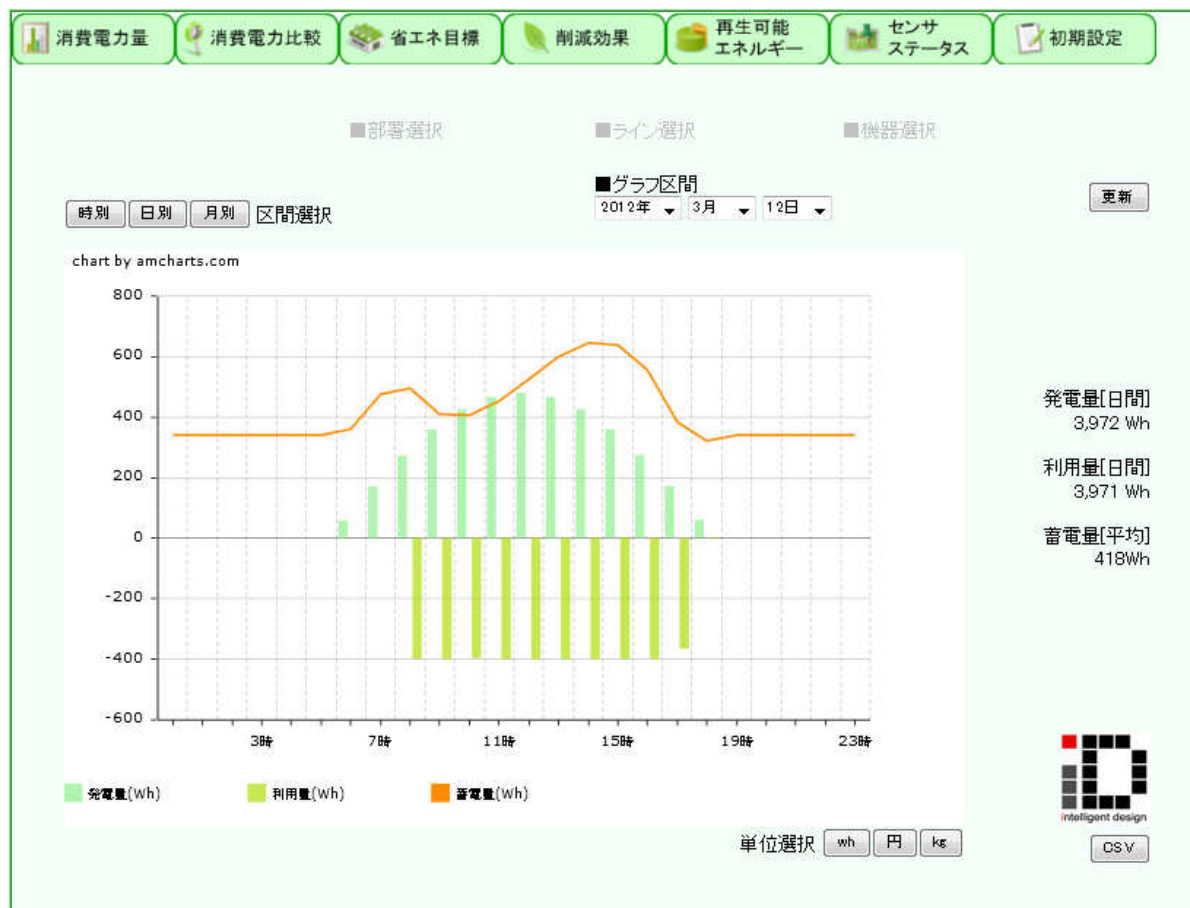
区間毎のデータはエリアグラフで表示する。エリアグラフにオンマウスすることでその時間における消費電力における再生可能エネルギーの比率が表示される。

また、現在表示されているグラフのデータを CSV 出力ボタンにより CSV ファイルへダンプすることができる。

再生可能エネルギー画面

本画面は再生可能エネルギーボタンをクリックした際に表示される画面である。本画面は再生可能エネルギーシステムの有効活用(機器制御)を目的としており、発電量・放電量・蓄電量から蓄電池容量、太陽光パネルなどの発電装置のスペックに過不足がないか分析を行うために用いる。

以下に再生可能エネルギー画面のイメージを記載する。



本画面にアクセスした場合、表示区間に今日の年月日、表示単位に時別、単位選択に wh がデフォルトで指定されている。これらを切り替えることで表示する内容を変更することが可能である。

また、現在表示されているグラフのデータを CSV 出力ボタンにより CSV ファイルへダンプすることができる。

センサステータス画面

本画面はセンサステータスボタンをクリックした際に表示される画面である。本画面はシステム稼働状況の確認を目的としており、各センサの詳細情報を表示することで部門毎システムの稼働状況の確認することができる。また、対象切替ボタンをクリックすることでゲートウェイ毎のシステム稼働状況が確認できる。

以下にセンサステータス画面のイメージを記載する。



本画面にアクセスした場合、登録されている部署毎にグループ化されて各センサが表示される。部署ボタンをクリックすることでその部署のラインが展開され、さらに展開されたラインをクリックすることでラインに所属するセンサの詳細情報を表示することができる。

初期設定画面

本画面は初期設定ボタンをクリックした際に表示される画面である。本画面は各ゲートウェイおよび各センサの設定状況の確認を目的としており、各ゲートウェイの設定情報および、各センサの設定情報をグループ化して表示することで設定情報の把握が可能となる。

以下に初期設定画面のイメージを記載する。

消費電力量

消費電力比較

省エネ目標

削減効果

再生可能エネルギー

センサステータス

初期設定

GW_ID	GW名	GW_URL	削除
1	GW_3	http://192.168.43.33	☐
2	GW_4	http://192.168.43.34	☐
4	dummy	dummy	☐

更新
追加

メータID	メータ名	部署名	ライン名	機器名
00000000000003	Generator	発電部	太陽光発電ライン	太陽パネル
00000000000004	Battery	発電部	太陽光発電ライン	蓄電池
00000000000005	Inverter	発電部	太陽光発電ライン	放電制御機
13A200404743EF	43EF	部署1	ライン1	機器1
13A2004047B62E	B62E	部署1	ライン1	機器2
13A2004047B633	B633	部署1	ライン2	機器3
13A2004066D9CF	D9CF	部署1	ライン2	機器4
13A2004066D9D0	D9D0	部署2	ライン3	機器5
13A2004066D9D7	D9D7	部署2	ライン3	機器6
13A2004066D9DD	D9DD	部署2	ライン3	機器7
13A2004066D9E3	D9E3	部署2	ライン3	機器8

更新
環境設定

本画面にアクセスした場合、センサの数だけ ID、名前、部署名、ライン名、装置名が表示される。

2-4-3 可視化アプリケーションのフィールド評価結果

これまで述べたように、3 相 200V 対応小型電力センサで取得した空調機器、加湿器、設備装置の電力消費量を可視化アプリケーションで可視化し、フィールド評価を実施した。

今回設置した空調機器や加湿器に関しては、フロア内の作業環境を昼夜問わずに一定に保たなければならず、省電力のためにグラフを見ながら空調の ON/OFF や、設定温度の変更などはできなかった。しかし、今回のフィールド評価において、データを可視化して、これと日々の天気・気温などの環境条件から電力消費の傾向を掴むことができた。こうした電力消費量の測定とその検討を継続することで、電力消費量削減の方針を明確なものとするができる。

また、設備装置に関しては、これまでは感覚的に捉えていた電力消費特性を、可視化することにより明確に把握することができた。これにより工場全体での省電力に向けた具体的なアクションを十分に検討することがわかった。例えば、装置の稼働方法や、同じ装置の稼働スケジュールを調整することにより、電力消費量の削減やピークシフトを実施できる可能性がある。フィールド評価の詳細な結果に関しては次章において述べる。

2-4-4 可視化アプリケーションのクラウド化

本研究による可視化アプリケーション開発は、ローカル管理サーバーでの開発を完了した。しかし、川下分野からのニーズ（要件）を受け、この可視化アプリケーションの簡易的なクラウド化を実施している。シングルユーザーで DB をクラウド上に配置する簡易的なクラウド化であるが、これにより、これまでは事業所内での電力管理であったものが、クラウド化により外出先などでも容易に電力管理が行えるようになる。

これは、次節で述べる将来の EMS 間の電力融通に向けた監視システムのプラットフォーム開発のベースとなるものである。

2-4-5 EMS 間電力過不足情報 可視化アプリケーション

本研究では前述の FEMS（「点」）の技術やシステムをネットワーク化し「面」として展開したスマートコミュニティを実現するために、各 EMS の電力過不足情報を共有化して可視化するアプリケーションソフトウェアの開発を行った。これにより、将来の EMS 間の電力融通に向けた監視システムのプラットフォームとなりうる。

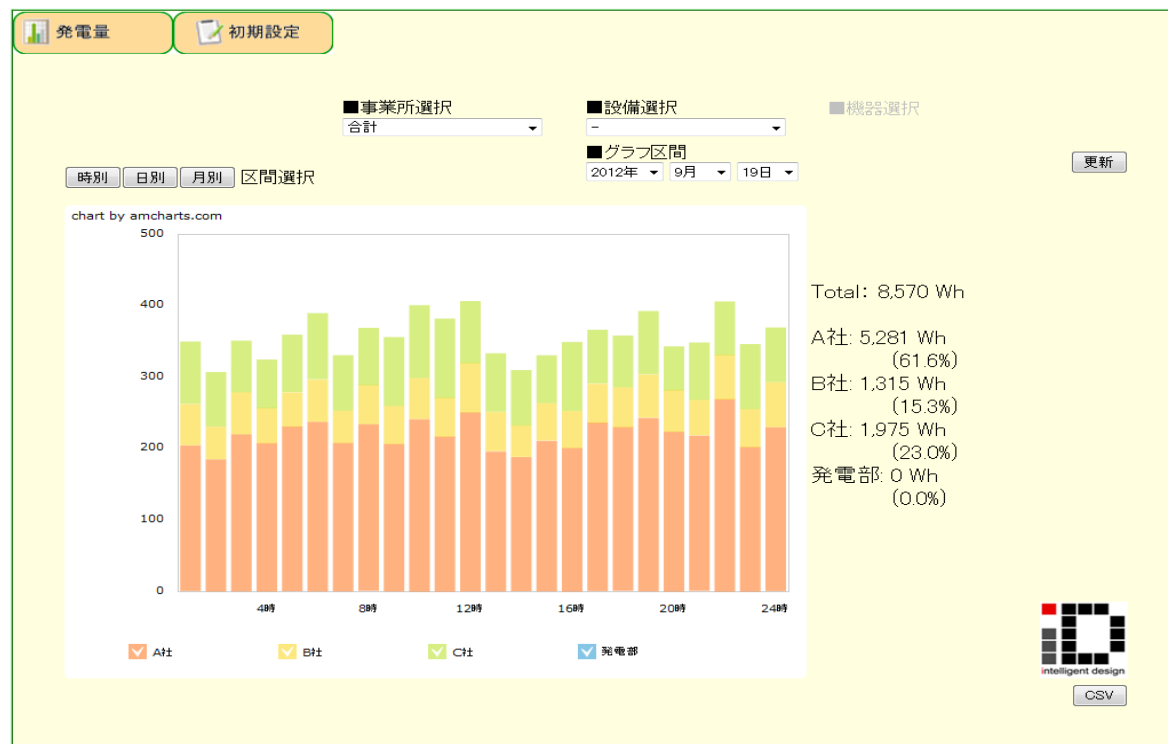
1) 表示画面仕様概要

本 EMS 間電力過不足情報 可視化アプリケーションでは画面上部に表示されている発電量、初期設定の各タブボタンをクリックすることでそれぞれの画面への遷移を行う。画面は発電量画面、初期設定画面の 2 画面が存在する。

発電量画面

本画面は発電量ボタンをクリックした際に表示される画面である。本画面は事業者毎の発電量の管理を目的としており、事業者の比較で現在の電力の発電量を比較して表示する。

以下に発電量画面のイメージを記載する。



本画面にアクセスした場合、事業所選択に事業者全体、表示単位に時別、表示区間に今日の年月日がデフォルトで指定されている。これらを切り替えることで表示する内容を変更することが可能である。また、現在表示されているグラフデータを CSV 出力ボタンにより CSV ファイルをダンプすることができる。毎比較データは積み上げ棒グラフで表示する。色分けされたグラフにオンマウスすることでその時間における発電量の割合が表示される。

電力センサを改造したダミー発電量センサおよび中継ゲートウェイ、管理サーバを用いて結合評価を完了した。結合評価において、エネルギー情報の収集が行なえること、取得したエネルギー情報データベースが動作していること、取得したエネルギー情報を可視化画面で表示できることなどを確認した。

2-5 エネルギー管理情報秘匿通信技術の研究

2-5-1 調査研究の結果

本調査研究において、エネルギー管理情報に対する秘匿化実現のために必要な大枠の構想、すなわち、エネルギー管理情報に対するクラス分けとセキュリティ要件、それを実現するために必要になる暗号技術をはじめとする秘匿化通信方式の検討等については、既に大要とまっており、本システムに特化したブレイクダウンについてもサブテーマ 1)の電力センサ、サブテーマ 2)の中継ゲートウェイ、サブテーマ 3)の充蓄電センサ、サブテーマ 4)の可視化アプリケーションにて実施した。

本システムのエネルギー管理情報秘匿通信技術の研究については、本研究においてモデル化や要件の洗い出し、本システムを指向したブレイクダウンがおおよそ完了している。

2-5-2 製品化に向けての課題

本研究において「エネルギー管理情報秘匿通信技術の研究」を実施し、エネルギー管理情報に対する秘匿化実現のために必要な構想をまとめることができた。しかしながら、情報セキュリティにはゴールがなく、本報告でも繰り返し述べているように、継続的な調査研究や、要件の見直しが欠かせない。特に、製品化された後の情報セキュリティの評価サイクルがきわめて重要であり、運用も含めた一体的な永続的検討が望まれる。加えて、外部のクラウドサービスの活用が急速に注目を集め始め、本システムの応用を検討することが期待されており、すでに検討項目は示しているところであるが、今後は各サービスに特化したブレイクダウンやその際に生じる種々のセキュリティ上の問題について、継続的に調査研究を進めることが必須である。

第3章 全体総括

3-1 フィールド評価結果

これまで述べたように関東地区の某工場において、小型電力センサと中継ゲートウェイ、管理サーバーを設置し、フィールド評価を2012年9月から2013年2月までの間実施した。

機器の設置に関してはこれまで述べたように従来のように管理サーバーと各小型電力センサを有線ケーブルで接続してデータを収集するのではなく、無線通信によりデータを収集するため、有線ケーブルを施設するためのケーブルラックなどを天井に取り付け、ケーブルを配線するといった大掛かりな工事が一切不要であり、短時間で設置できることが確認できた。

実際の機器への設置に関しては空調装置、加湿器、設備装置に取付け、期間中の電力使用量をモニタしている。

空調機器

電力使用量のグラフからは使用量の変動を読み取ることは難しいが、月間のトータル電力使用量としては、気温の低下にあわせて電力の使用量は増加してきていることがわかった。しかし、7月、8月といった真夏のデータが取得できていないため、今回のデータでは夏期と冬期の電力使用量の比較は単純にはできない。ただし、今回の可視化アプリケーションにて継続してデータを取得することができれば前年比や、冷暖房使用時の電力使用量の比較も可能となり、省電力に向けて対策を検討することが可能であることが確認できた。またこのデータは設備入替時などの重要なデータとなりうる。

加湿器

湿度の高い夏期に比べて、空気が乾燥している冬期の方が電力使用量が増加してきていることが、月間のトータル電力使用量から読み取れた。また、その電力使用量は空調機器に迫るもので、意外に大きな値となっていることが可視化グラフからもわかった。これは想定していた値とは全く異なるもので、本システムを設置し、電力使用量を可視化することで明確にすることができた。これにより、省電力を行う機器の対象となることがわかり、こちらも今回の可視化アプリケーションにて継続してデータを取得することができれば前年比や、冷暖房使用時における加湿器の電力使用量の比較も可能となる。

設備装置

設備装置は、これまで実際の電力の使用量が明確になっておらず、使用状況に応じて消費電力の大小を感覚的に捉えているだけであった。そして、この感覚に基づいて装置の設定を変更していた。例えば、空調機器で冷房を使用時に、設定温度が低いと冷房がよく効き、消費電力が増えるだろうといった感覚である。こうした感覚に基づいて消費電力が少なくなるように設備機器の設定をおこなっていた。

ところが、実際に本システムを設置して、設定の違いによる消費電力量の差異を可視化アプリケーションで確認したところ、設定値による想定消費電力量の傾向が全く逆の異なる消費電力特性を持つことがわかった。

これは従来の装置の使用方法を見直すデータとなり得るものである。こうしたデータを元

に設定を見直すことで、装置稼働時の消費電力量を大幅に削減することが可能である。また、先にも述べたように、今回フィールド評価にご協力いただいた関東地区の某工場では多くの同様の設備装置が常時稼働しており、このような見直しを行うことにより、消費電力の削減に大きな効果があることがわかる。

また今回のフィールド試験先では多数の設備装置を使用しており、それぞれ装置のメーカー、性能や大きさなどは異なっている。これらの装置のそれぞれの消費電力特性を可視化することで、それぞれの稼働内容に応じて適正な装置を選択することが可能となる。また、これらの装置の使用方法をスケジューリングすることで、電力使用量のピークシフトを行うことも可能である。今回の電力使用量の可視化により、工場全体での消費電力削減のための具体的な方策を検討することが可能性となった。

上記のように、今回、本システムを導入し、それぞれの装置に小型電力センサを設置し、機器毎に電力使用量を取得し、それを可視化することで、それぞれの機器に応じた電力使用量を削減するため方策が具体的に見えてくることが大きな効果として表れている。そして、その結果から、省電力のための方策を検討し、実施することで、従来のように感覚的な省電力ではなく、確実に目に見える形で電力使用量を削減することが可能である。

3-2 研究発表等の状況

- 1) 北洋銀行ものづくりテクノフェア 2012 出展
日時：2012 年 8 月 7 日
会場：札幌コンベンションセンター
展示物：システム構成パネル、電力センサ（動態展示）、中継ゲートウェイ（動態展示）、及び可視化アプリケーション（動態展示）
説明員：(株) iD 横山、前田、今井、沖野
- 2) Smart Japan Alliance 「Embedded Technology 2012 プライベートカンファレンス」発表と出展
日時：2012 年 11 月 21 日（金）
会場：パシフィコ横浜 会議センター
発表テーマ：FEMS の開発事例と今後の可能性について
発表者：(株) iD 横山 説明員：(株) iD 今井
- 3) ENEX2013/Smart Energy Japan 2013 出展
日時：2013 年 1 月 30 日（水）－2013 年 2 月 1 日（金）
会場：東京ビッグサイト
展示物：システム構成パネル、電力センサ（動態展示）、中継ゲートウェイ（動態展示）、及び可視化アプリケーション（動態展示）
説明員：(株) iD 横山、成澤、沼田、前田
(株) PALTEK 前川、江本 東北大学 曾根、後藤、水木
- 4) 北の IT シーズフェア 2013 発表と出展
日時：2013 年 2 月 21 日（木）
会場：ロイトンホテル札幌
発表テーマ：システム構成パネル、電力センサ（動態展示）、中継ゲートウェイ（動態展示）、及び可視化アプリケーション（動態展示）
発表者：(株) iD 今井 説明員：(株) iD 横山、前田
- 5) 月刊「OHM」（オーム社）4 月号 FEMS 特集 （掲載予定）
執筆者：(株) iD 横山

3-3 製品化への課題

以下に、各開発テーマ毎の製品化へ向けての課題をあげる。

3-3-1 近距離・低消費電力無線通信機能を備える低コスト型電力センサの開発

小型電力センサのフィールド評価での動作確認結果は良好であったが、川下分野からのニーズや実際のフィールド評価から今後の製品化に向けてはいくつかの提案があった。

例えば、今回の3相200V対応の電力測定モジュールは最大で200A程度の電流容量であるが、工場で用いられる大型の工作装置類ではより大きな電流容量を必要とする装置も存在する。このため、より多種多様な工場のニーズに答えるためにも、より大きな電流容量に対応可能な3相200V対応の電力測定モジュールを調査し、製品ラインナップに加えることが望ましい。電力測定モジュールが見つければ、これと無線通信モジュールとをシリアルインターフェースで接続することで容易にラインナップを拡大することが可能である。

3-3-2 複数無線通信方式を備える中継用無線ゲートウェイの開発

中継用無線ゲートウェイのフィールド評価での動作確認結果は良好であったが、川下分野からのニーズや実際のフィールド評価から今後の製品化に向けてはいくつかの提案があった。

今回開発した中継用無線ゲートウェイは、今後の拡張性や開発段階での機能追加等も考慮して、可能な限り様々なインターフェースや内部メモリなどを実装している。本システムとしては当初のコスト目標は達成できる見通しであるが、中継ゲートウェイとしては、今後の製品化に向けてはさらなるコストダウンが可能である。2種類のプロトコルを変換して無線通信を行うという目的に特化し、不要なIFの廃止や、低コストCPUの採用、内部メモリの削減などを検討し、さらなるコストダウンと装置の小型化を検討する余地がある。こうすることでさらに市場競争力を高めることが可能である。

3-3-3 再生可能エネルギーの連携制御方式の研究開発

本研究にて開発したエネルギー供給情報である蓄電センサの試作ハードウェアと小規模の太陽光発電システムを用いた動作確認の結果は良好であったが、川下分野からのニーズなどから、今後の製品化に向けていくつかの提案があった。

現状では、様々な発蓄電システムがあり、その容量も様々である。このため現状のセンサだけではなく、より幅広い電力容量に対応できるようラインナップを拡充することが望ましく、次年度以降、製品化に向けてさらに検討を進めていく。

3-3-4 エネルギー可視化アプリケーションの開発

エネルギー可視化アプリケーションのフィールド評価での動作確認結果は良好であったが、川下分野からのニーズや実際のフィールド評価から今後の製品化に向けてはいくつかの提案があった。

可視化グラフとしては多種多様の表示方法をユーザーに提供できており、機能的に不足する点はなかった。しかし、製品化に向けては多様なユーザーに受け入れられるようデザイン面も洗練する必要があり、検討を続けていく。

また、本可視化アプリケーションだけを既存の電力監視システムへ導入することなども、次年度以降、さらに検討していく。

3-3-5 エネルギー管理情報秘匿通信技術の研究

三年間の調査研究成果に基づき、クラウドサービスに特化したブレイクダウンの検討を行うとともに、製品化後の運用面におけるセキュリティ評価の手法をさらに検討する必要がある。また、継続的な情報セキュリティに関する調査研究が望まれる。

3-3-6 市場動向調査結果と今後の課題

展示会などの川下分野からのニーズ（要件）の調査によると、

- ・ 電力会社より購入する電力のピークカット機能
- ・ 特定装置の使用電力の閾値超えアラーム通知
- ・ 工場内の電波障害による収集データの欠損対応
- ・ 既存の電力監視システムの可視化に本アプリケーションの単品導入
- ・ サーバ側から生産装置側への制御の可能性
- ・ 複数のEMS 間でのエネルギー情報を共有し、可視化する機能

を期待する声が多い。

これらの取り組み検討を次年度以降、製品化に向けて継続して行う予定である。

資料 専門用語解説

FEMS	工場における生産設備のエネルギー使用状況・稼働状況を把握し、エネルギー使用の合理化および工場内設備・機器のトータルライフサイクル管理の最適化を図るためのシステム
http	Web ブラウザと Web サーバの間に HTML などのコンテンツの送受信に用いられる通信プロトコルである。RFC 2616 で規定されている。ハイパーテキスト転送プロトコルとも呼ばれる。
IEEE 802.15.4g	Smart Utility Network のための物理レイヤ MAC レイヤの標準化
IEEE802.15.4	低コスト・低消費電力型の近距離無線通信規格
IEEE 拡張アドレス	LAN カードの MAC アドレスのようなもので、全世界の IEEE 802.15.4 に準拠する RF チップに 1 枚 1 枚に割り当てたユニークな 64 ビットの番号
PAN	一般には個人が使用する機器同士を接続するためのネットワーク範囲。Zigbee PAN は Coordinator が管理するローカルなネットワークを示す。
Smart meter	通信機能やほかの機器の管理機能を持つ高機能型の電力メーターを含んだシステムのこと。
Wifi	無線 LAN の標準規格である「IEEE 802.11a/IEEE 802.11b」等存在
URI	一定の書式によってリソース(資源)を指し示す識別子。 http/https や ftp などのスキームで始まり、コロン (:) による区切りのあとにスキームごとに定義された書式によってリソースを示す
Zigbee	短距離無線通信規格の一つであり、低速で伝送距離も短い、省電力で低コストという利点がある。物理層のインターフェースには IEEE 802.15.4 が使用される
Zigbee Coordinator	ネットワーク内に 1 台存在し、ネットワークの制御を行う端末。 IEEE 802.15.4-2003 では PAN coordinator としての FFD(Full-Function Device)にあたる。
Zigbee EndDevice	データ中継機能を持たない ZigBee 端末。 IEEE 802.15.4-2003 では RFD(Reduced-Function Device)、または FFD にあたる。
Zigbee Router	データ中継機能を含む ZigBee 端末。 IEEE 802.15.4-2003 では Coordinator としての FFD にあたる。
管理サーバ	センサからのエネルギー情報を集約し、生産装置におけるエネルギー需要と再生可能エネルギーの蓄積量を、連携制御・可視化するためのサーバ
中継 GW	Zigbee の電波到達範囲外のエリアを無線 LAN 方式で中継転送するための中継用無線ゲートウェイ
無線センサ端末	生産装置の需要エネルギー量や太陽光・風力発電等再生可能エネルギーの蓄電力量を測定し、近距離・低消費電力無線通信機能(Zigbee)を具備し、エネルギー情報を伝送する電力センサ
無線センサ網	電力センサ端末、中継 GW が属するネットワーク
無線中継網	中継 GW、管理サーバが属するネットワーク。 途中経路に有線(Ethernet:IEEE 802.3)が存在する場合もあり。