The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	東大グリーンICTプロジェクトとIEEE1888標準化　参照コード/参照機の開発にかける思い
Author(s)	落合, 秀也
Citation	サイバーメディア・フォーラム. 2011, 12, p. 11-18
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/70313
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

東大グリーン ICT プロジェクトと IEEE1888 標準化

参照コード／参照機の開発にかける思い

落合 秀也（東京大学 大規模集積システム設計教育研究センター）

1．はじめに

地球温暖化や、エネルギー資源の枯渇などの地球規模の課題は、広く認識されるようになりつつある。新興国の急速な発展に伴い、化石燃料をはじめとするエネルギー源は慢性的な不足状態にある。また、大気中の CO2 濃度は増加の一途をたどっている。一方、近年同様に発展してきた ICT 技術は、この課題に対して一つの解を与えるのではないかと期待する声がある。都市単位のエネルギー管理を ICT 技術によって行い、地球環境をグリーンに（自然を豊かに）しようとする、グリーン ICT と呼ばれる試みである。

東大グリーン ICT プロジェクト(GUTP)は、この試みを研究し、その成果を事業に結びつけ、社会に広く還元することを目的に、江崎浩教授を中心に設立された。グリーン ICT の普及のためには、ベンダーに依存しない通信インフラの整備が重要であると位置づけており、実地に基づいた技術研究とプロトコル標準化を一つの活動の柱としている。最近の大きな成果としては、IEEE1888 標準化がある。この標準化は、2011 年 2 月に、中国での国際的な標準化活動 IEEE1888 Ubiquitous Green Community Control Network (UGCCNet) に、大きく貢献する形で達成された（IEEE1888 活動の母体は GUTP メンバと昔から親交があったメンバを含んでいる）。

上述したように、グリーン ICT には多くの期待が寄せられているが、課題を抱えているのも事実である。本来、グリーン ICT は技術的には適用可能な対象は幅広く、高圧受電設備や大型空調のあるような大規模な施設から、小規模オフィスや工場のような床面積の小さな施設、あるいは家庭にまで多岐にわたる。しかし現在、実用化レベルで主流となっている対象は、大規模施設がほとんどであり、小規模施設はその恩恵を受けることができていない。小規模施設や家庭で節電しても、節約できる電気代はわずかであり、導入する製品のコストや工事費の方が高くなってしまうためである。

現代は、グリーン ICT の聡明期であり、ベンダーごとに独自の規格が設けられ、システムが設計されている。もちろん、グリーン ICT と呼ばれる以前から BACnet[1]や Lonworks[2]のようなフィールドバス技術は存在し、これらは比較的大規模な施設向けの標準的な技術として認知されてきた。しかし、インターネットが中心となったグリーン ICT 時代においては、データ中心型のシステム・アーキテクチャを採用するなど、新たな標準技術が必要となってきている。

GUTP が目指したのは、第一に実際に使える（便利な）システムの技術を標準化すること。次に、この技術が幅広いターゲット層に導入可能であることを示すこと、である。

そのようなコンセプトのもと GUTP では通信規格を設計し、参照コードおよび参照機を作りつつ（第 4 章）、IEEE1888 標準化を進めてきた。参照コードや参照機は、IEEE1888 の上に立つ技術の開発を誰にでも可能にするという特徴を持ち、オープンな技術としては不可欠な存在である。また、これを利用し、いま現在我々は、IEEE1888 が実際に使えるシステムであること、を実用化によって証明した状況にある（第 5 章）。これからは、これまではターゲットになりえなかった層にまで導入が現実的になったということを、ハードウェアレベルの実証と共に、証明していく予定である（第 6 章）。これが実際に事業と化し、グリーン

ICT の普及の貢献につながっていくことが願いである。

２．東大グリーン ICT プロジェクト

東大グリーン ICT プロジェクトは、2008 年に設立された（発足当初の名称はグリーン東大工学部プロジェクトであった）。東京大学の工学部 2 号館を拠点におき、その建物を実験テストベッドとしながら、通信プロトコルの標準化、グリーン ICT 技術の事業化を進めてきている。

試行錯誤を重ねながら、これまでに数多くの実験が行われてきた。様々な見える化方式の実験、会議室の監視・制御（会議室予約システムとの連携）、サーバルームの空調フロー効率向上による省エネ、人間の動態把握、個別照明の制御、サーバ仮想化、LED 照明の導入などがそれらの一例である。

プロジェクト発足当初は、既存技術による実験が大半を占めていたが、2 年目から通信規格の統一化を行うための設計が本格化した。通信規格の設計においては、2005 年から研究開発が行われた気象センサ通信プラットフォーム(Live E!プロジェクト[3])での実地開発・運用経験も大きく活かされている。そして、2009 年 11 月に、統一通信規格候補として FIAP (Facility Information Access Protocol)[4]が誕生する。2010 年 3 月から、中国で議論が行われていた IEEE P1888 標準化活動との連携が進み、GUTP が大きく貢献する形で、2011 年 2 月に IEEE1888-2011 が誕生した。

現在は、IEEE1888 を使った事業化への動きが活発化してきている。東京大学キャンパス電力消費のリアルタイム見える化、個別空調の利点を生かした電力デマンド制御、サーバ仮想化効果の見える化、装置そのものの小型化、などがある。特にベンチャー企業による製品化は進行が早い。

３．IEEE1888 の技術概要

３．１．システム・アーキテクチャ

IEEE1888 は、図 1 のシステム・アーキテクチャを採用し、その上の通信プロトコルを規定している。BEMS や HEMS などへ拡張されたファシリティ・ネットワーク・システムでは、GW, Storage, APP という 3 種類の構成要素(コンポーネント)が存在しうるが、IEEE1888 はこれらのコンポーネント間の通信方式を統一化している。コンポーネント間は、センサが観測したデータや、アクチュエータに設定する値などの、“データ”がやりとりされる(すなわち、データプレーンとして働く)。一方、Registry は、各コンポーネントの役割を管理し、それらの自動的な連携を可能にするための役割を担う(すなわち、マネージメントプレーンとして働く)。

以下、各コンポーネントの役割と、それらの連携の様子を述べる。

３．１．１．ゲートウェイ(GW)

ゲートウェイ(GW)は、物理的にセンサやアクチュエータを配下に持ち、IEEE1888 の通信方式でアクセスできるようにする。GW は、これらの INPUT/OUTPUT デバイスを、ポイントとして抽象化し、固有のフィールドレベルのバス通信プロトコルを隠蔽(あるいは翻訳)する。他のコンポーネント(e.g., APP)から書き込まれた値によって、アクチュエータの制御を行うと同時に、センサが観測した値を他のコンポーネント(e.g., Storage や APP)に提供する。

３．１．２．Storage

Storage は、ポイント値の時系列を履歴として管理(蓄積/再読出し)する機能を持つ。 他のコンポーネントから値が書き込まれた値は、すべて裏側に接続されたディスクに保存される。他のコンポーネントからの読み出しリクエストに対しては、ディスクに保存された値(読み出し条件=クエリに合致する内容のみ)を応答する。

３．１．３．アプリケーション(APP)

アプリケーション(APP)は、ポイントの値に対して、固有の処理を行うものである。最新の環境状態を表示するようなユーザ・インタフェースを備えていたり、アクチュエータの動作スケジュールを設定したりする。センサデータを分析し、結果

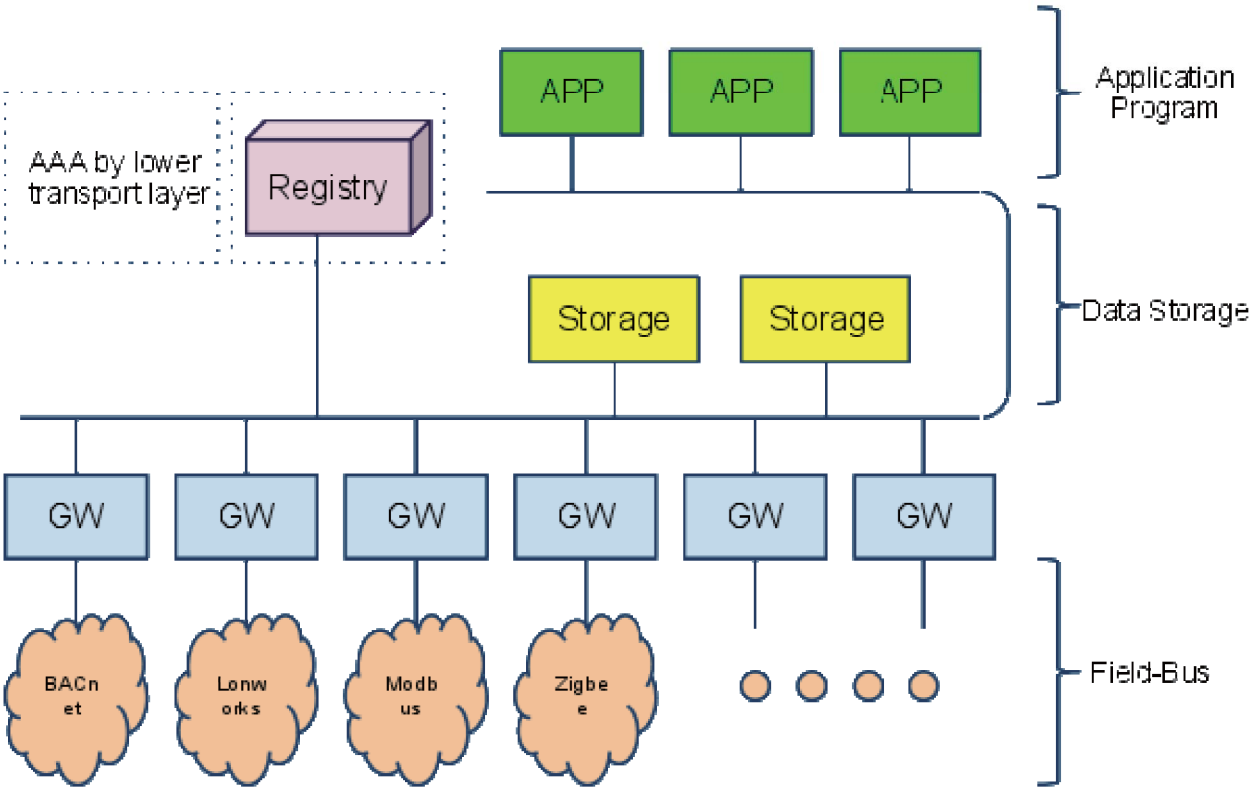

図 1: IEEE1888 システム・アーキテクチャ

を別のポイント(仮想的なセンサ)として見せることもある。

３．１．４．Registry

各コンポーネント(i.e., GW, Storage, APP)の連携をつかさどるブローカであり、コンポーネントの分類からは除外される。コンポーネントの役割を管理し、それらの適切でかつ自動的な連携を担う。センサやアクチュエータのデータには直接触れることはない。

３．１．５．多様なコンポーネント実装

GW, Storage, APP は、コンポーネント(部品)という形に抽象化されているため、上記では、これらは別々の部品として提示されているが、GW と Storage が一体化した部品、GW と APP が一体化した部品、Storage と APP が一体化した部品といった実装も現実的に可能であるし、むしろ積極的にそのような部品も製造されるべきである。

３．２．通信シーケンス

IEEE1888 では、コンポーネント間の通信として、FETCH 手順、WRITE 手順、TRAP 手順を規定し、コンポーネントと Registry 間の通信として、REGISTRATION 手順と LOOKUP 手順を規定している。ここでは、コンポーネント間のデータ交換のユースケースと、その通信手順の概略、ならびにコンポーネントと Registry 間の通信の概略について図 2 をベースに解説する。図 2 において、破線はコンポーネントと Registry 間の通信、太線はコンポーネント間の通信を表す。

以下、ケース A からケース H までの解説を記載する。

ケース A : REGISTRATION 手順）GW や Storage 等のコンポーネントの登録をする（「この GW は、○○なポイント ID を持っています」や、「この Storage は、○○のポイント ID のデータを管理します」等の情報の登録)

ケース B : LOOKUP 手順）あるポイント ID に対する Storage コンポーネントを探すための検索。対応するコンポーネントの End Point Reference (i.e., URI)を返す。

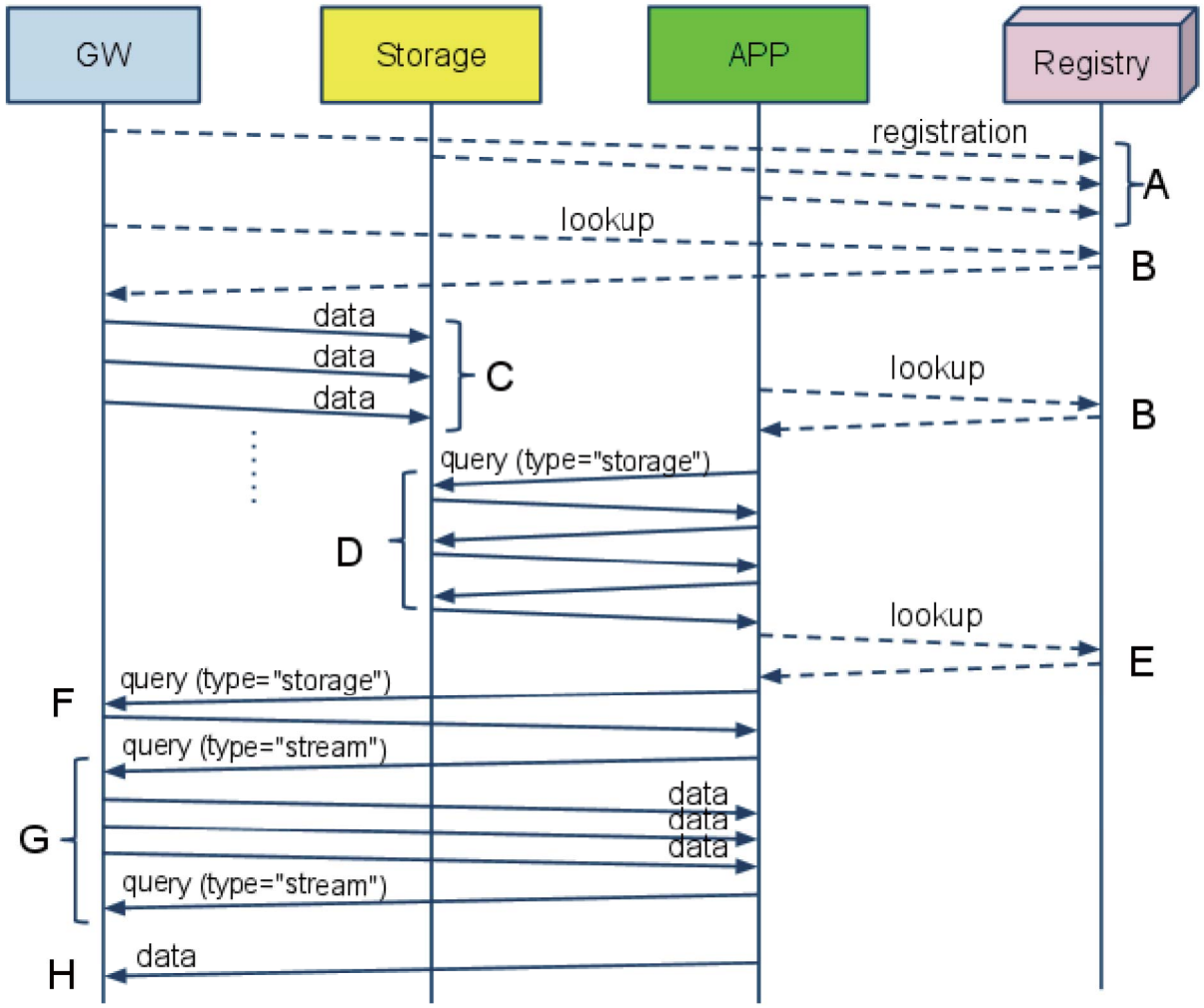

図 2: IEEE1888 での通信シーケンス

ケース C : WRITE 手順）データの送信 (GW による Storage に対して、定期的な観測値の送信)。

ケース D : FETCH 手順）APP による Storage からのデータ読出し。 データ量が多い場合は、APP と Storage の間にセッションが確立され、データは分割して読み出される。

ケース E : LOOKUP 手順）あるポイント ID に対して GW の役割をするコンポーネントを探す操作。該当するコンポーネントの End Point Reference (i.e., URI) を返す。

ケース F : FETCH 手順）APP による GW からのデータ読出し。データ量が少ない場合は、単一の RPC だけで読出しは完了する。

ケース G : TRAP 手順）APP による定期的なイベント条件登録と、GW から APP へのイベント配信。

ケース H : WRITE 手順）APP による GW への値設定。

３．３．ポイントの概念

IEEE1888 では、コンポーネント間で交換されるデータ系列の最小単位を“ポイント”と定義している 。この定義は従来の設備ネットワークでの定義を拡張したものとなっており、現在の運用形態によく適合している。センサデータの系列、アクチュエータに設定される値の系列、その他の系列 (e.g., 仮想センサが生成した値の系列、メタ信号の系列など)は、ポイントに結び付けられるものとして扱われる。これらの系列のそれぞれの値を “value” と呼び、“value”は任意のオブジェクトタイプ (e.g., 数値型、文字列型、論理型など)を格納することができる。

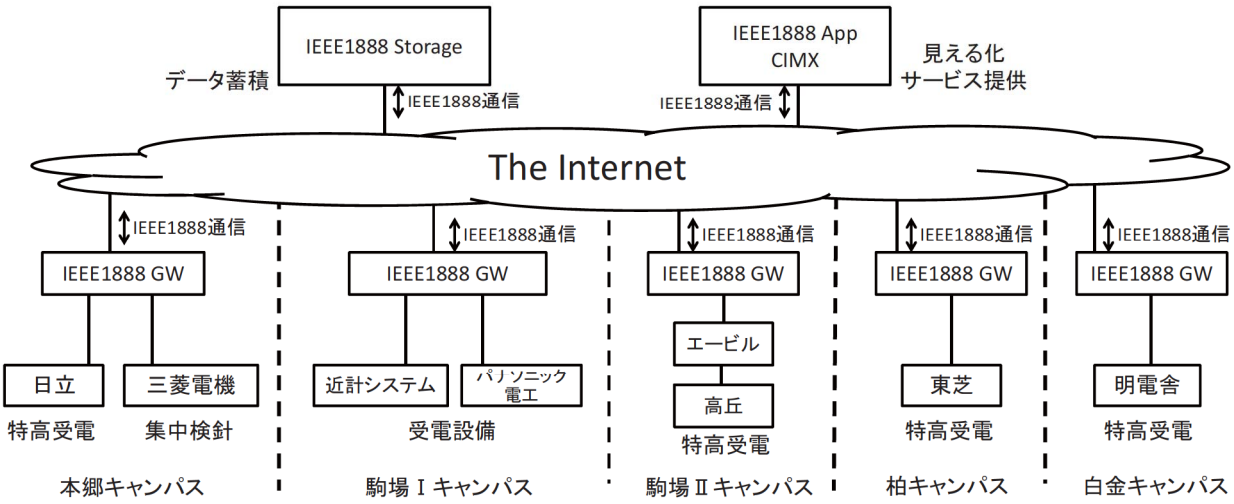

図 3: 東京大学 ５キャンパスの電力消費「見える化」システム全体構成

コンポーネント間の値(value)の配送は、対向となるコンポーネントのメソッドを呼ぶことで、実現される。具体的には、query と data と定義された 2 種類のメソッドが IEEE1888 の通信インタフェースとして用意されており、これらを利用することで、値(value)の配送を実現することができる。

４．参照機の開発と SDK の整備

新しい技術の開発において、参照機はとても重要な役割を果たす。規格書（仕様）は、システムを実現する上でもちろん必要であるが、規格書だけからシステムを作成するのは、実際には難しいことも多い。実際の開発には、何らかの参照となる機器が用いられ、それを使いながら、新たな機器の開発が行われる。そのため、参照機は普及にとって、とても重要な意味を持っている。

GUTP では、2009 年に参照機の開発に着手し、その原型は、2010 年の初頭には完了している。IEEE1888 の中心となる Storage 部分はもちろんのこと、これまでに BACnet との変換 GW、oBIX との変換 GW など各種 GW が開発された。参照機の中心となる言語は Java でプログラムされているが、個別の実装機としては、C#、PHP、Python、C 言語の実装もある。なお、表示 Web アプリケーション、分析アプリケーション、ヘルスチェックアプリケーション、電力デマンド制御アプリケーションなども作成されており、今後、これらの数は、さらに増大される計画である。

参照機の開発と同時に、現在、開発 SDK（Software Development Kit）の整備も進めており、これは 2011 年 10 月に公開予定である。SDK は、参照機と同様、オープンな開発を促進する上で、とても重要な役割を果たす。IEEE1888 の製品開発は、SDK と共にある。SDK があれば、アイデアと技術力次第で、売れる製品をみんなで開発することができるようになる。逆に言えば、これが無くては実際に普及につなげることは難しい。そういった意味で、特別な思いを込めて、これらの開発や整備に力を注いでいる。

５．ベンチャー企業による実用化第一号

東日本大震災に端を発した 2011 年夏の電力逼迫危機に対応するため、東京大学では建物（もしくはエリア）ごとのリアルタイムな電力消費量を「見える化」し、電力使用抑制対応を実施している。この際に IEEE1888 を使ったシステム構築が行われた (図 3)。

それぞれのキャンパスには、異なるベンダーによる特高受電設備が導入されており、データの提供方法も、ベンダーごとに様々であった。これを IEEE1888 との通信 GW によって規格の差異を吸収し、IEEE1888 Storage（参照機）にデータを蓄積させている。見える化アプリケーションが、

図 4: 東京大学の電力消費量の「見える化」ユーザ・インタフェース（IEEE1888 アプリ）

この Storage からデータを読出し、図 4 のような形で表示する。キャンパスごとの電力消費量は http://www.u-tokyo.ac.jp/ のページからたどれる場所で一般に公開され（図 4 はこのスナップショットである）、キャンパス内のエリアや棟単位の詳細な消費量は学内ネットワークから閲覧できるようになっている。「見える化」を実施することで、ピークが目標値を超えないように行動計画が組まれたり、極端な節電我慢をせずに済んだりしている。

6．事業化へ向けたさらなる発展形

IEEE1888 の本格的な普及を後押しするのは、半導体をはじめとするハードウェア部分が大きいと考えている。IEEE1888 の通信プロトコルスタックは、ソフトウェアとしてプログラムされるケースが大半を占めると考えられるが、計測機器や GW 機器は信頼性の高い形態で小型化され、大量生産・大量販売も可能でなければならない。これらのことを考えた場合、組込み PC レベルあるいはチップレベルにまでその実装形態を落とす必要がどうしても出てくる。このような実装形態にまで落ち着くことで、ようやく IEEE1888 の真の強さが表面化することになる。

落合は、その可能性を実証するため、現在、ハードウェアの設計も含めた小型化に力を注いでいる。価格や製造に関することは、メーカの事業部が行うことではあるが、落合の試行結果は下記の通りである。図 5 にある電力メータ試作品は、シャント抵抗型の有効電力計測 IC を用いた物で、部品代は 1500 円程度に抑えられた。これに、図 6 のような 200 円程度のワンチップマイコンによる計数器を組み合わせれば、2000 円程度の ZigBee 通信モジュールを乗せることで無線化が可能になる。これらは最終的に一つの基板上に実装され、パッケージ化することができる。ZigBee と IEEE1888 の変換 GW（こちらは組込み PC で実装）を介せば、計測情報を IEEE1888 のフレームワークに取り込むことができる。

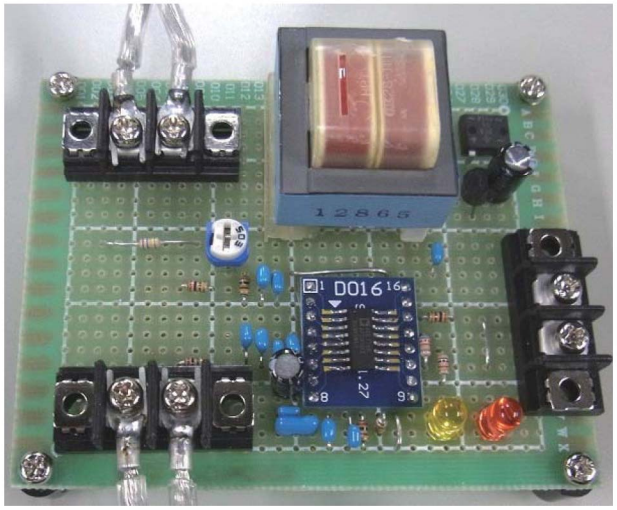

図 5: 電力メータ試作品（ADE7768 使用）トランスは IC チップへの電源供給用

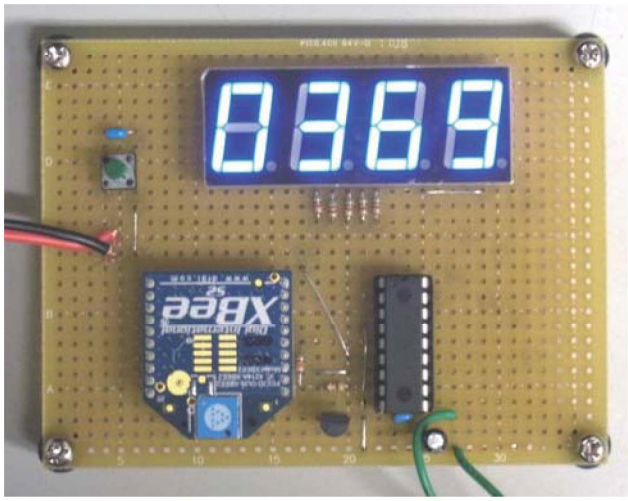

図 6: パルス計数器(PIC16F648A 使用)と ZigBee 通信モジュール(XBee)による試作品
表示は有効電力値(W)

このような試作品は、実際に製品化することも不可能ではない。すなわち、事業化への道はすでに開かれているのである。

7. おわりに

新興国の急速な発展は、先進国の我々を取り巻く環境にも大きな影響を与えている。このような世界情勢や時代背景の中で、グリーン ICT が果たすべき役割は、日に日に重みを増していくことであろう。一方で、グリーン ICT の歴史はまだまだ浅く、これから大きく開拓をしていかなければならない。皆さんの豊富なアイデアと、それを形にしていく技術が、今まさに求められているのである。

参考文献

[1] BACnet, http://www.bacnet.org/

[2] Lonworks, http://www.lonmark.org/

[3] Live E!, http://www.live-e.org/

[4] H. Ochiai, et. al., “FIAP: Facility information access protocol for data-centric building automation systems”, IEEE INFOCOM M2M workshop, 2011.