

# WIDE 報告書 Live E!WG

Live E!技術 WG Members

## 1. はじめに

2011年のLive E! WGは、これまでのLive E!での運用やグリーン東大での知見を基にしたセンサとの通信規格を国際標準化し2011年2月にIEEE1888として承認された。今年度の研究開発成果として、IEEE1888に対応したデバイスやライブラリの開発、センサデータの障害検知・可視化システム、データ処理機構を持つpub/sub配信システムのプロトタイプ実装等を行った。またLive E!の取り組みを社会に展開するためにAPNG CampでのWorkShop開催や高大連携、インターンシップ等の取り組みを活用した教育活動を行った。最後に今年度の成果論文をまとめる。

## 2. 研究開発

### 2.1 IEEE1888 開発キットとその展開

#### 2.1.1 IEEE1888 開発キット

IEEE1888はビルなどにおける設備や電力の利用状況をインターネットを使って遠方で管理する用途向けに、2011年2月にIEEEによって承認された国際的な規格である。IEEE1888はあらゆるセンサ情報（電力メータ、空調、照明の動作状態、人感センサ、環境センサなど）のインターネット接続に適用でき、キャンパスやコミュニティのような広範囲の情報を集約的に管理することを可能にしている。IEEE1888の展開と実装リファレンスとして、手軽に利用できるマイコンボードを使用してIEEE1888ネットワークへの接続機能を搭載した開発キットを作成した。

IEEE1888のシステムアーキテクチャを図2.1.1に示す。開発キットで実現できる機能は図中のGW（ゲートウェイ）と呼ばれる、センサや計測インタフェースから得た情報をStorageに送信する部分に相当している。

開発キットは文献[1]のWebサイトを通じて、ソフトウェアや技術資料を無料で配布を行っている。また、文献[2]に、開発キットとその応用例の紹介記事が掲載された。

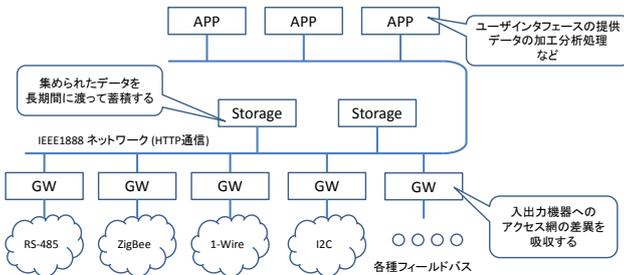


図 2.1.1 IEEE1888 システムアーキテクチャ

#### 2.1.2 ネットワーク対応データ収集ノード

Arduino というマイコンボード (<http://www.arduino.cc/>) を利用し、IEEE1888 ネットワーク対応データ収集ノード (以下、FIAP センサノード) を開発し、これを開発キットのリファレンスハードウェアとした。また、その応用例として、オフィスと自宅の温度を管理するシステムを構築した。

図 2.1.2 に FIAP センサノードの外観を示す。3層構造となっており、上層より、(a)センサや表示器を搭載した独自センサシールドボード、(b)Arduino の Ethernet シールド、(c)Arduino 本体ボードとなっている。センサシールドには温度センサ、照度センサ、トグルスイッチ、DIP スイッチを搭載し、それらから得られる測定値をインターネット上にあるデータ蓄積サーバ (Storage) に定期的に報告する。実際に室内に FIAP センサノードを設置し、インターネットを経由してデータ蓄積サーバにアップロードされたデータを可視化した例を図 2.1.3 に示す。

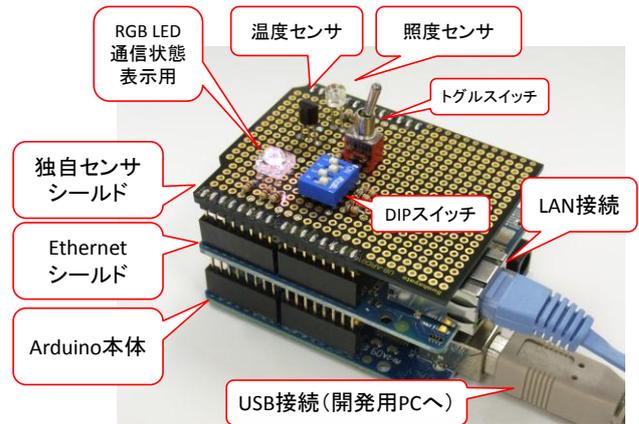


図 2.1.2 FIAP センサノードの外観

## 自宅 温度(°C)

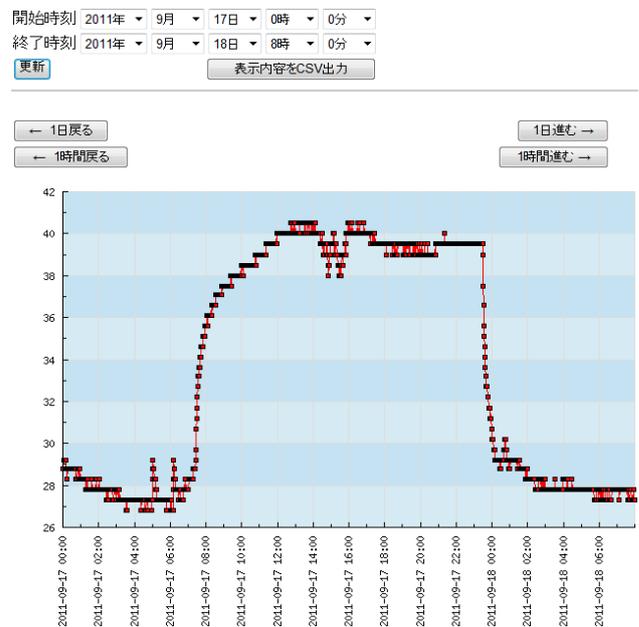


図 2.1.3 収集データの例

#### 2.1.3 IEEE1888 通信ライブラリ

FIAP センサノードで IEEE1888 に準拠した通信を行わせるために、IEEE1888 通信ライブラリ (FIAPUploadAgent) を開発した。Arduino マイコンのわずか 2kbyte という RAM 領域で動作できるようになっており、ライブラリ自体は C++ 言語で記述している。

#### 2.1.4 開発キットを使った展開

開発キットの実装では Arduino というアマチュアレベルで開発が可能なマイコンボードを使用することで、様々な機器への組み込みやプロトタイピングを容易にしている。また、Arduino の SDK 用の IEEE1888 ライブラリを開発し配布することで、利用者のソフトウェア開発の敷居を下げている。後述の CO2 センサユニットもこの IEEE1888 ライブラリを組み込むことで、IEEE1888 対応の GW として動作させることができ、単体で CO2 濃度、温度、湿度、気圧を測定し、データ蓄積サーバにデータを送信することができる。

## 2.2 CO2 センサユニットの開発と応用

### 2.2.1 環境情報と CO2

従来、市町村単位で行われていたような気象情報を地理的な測定単位の粒度を小さくすることで、従来の観測粒度では困難であった都市部でのゲリラ豪雨やダウンバーストのような局所的な気象現象の観測や、特定の駅周辺や繁華街のような狭いエリアでの気象情報の提供も可能となる。同時に長期的な観測を行うことで、建造物や産業活動や人口分布の変化との関連した情報が得られる可能性もあり、将来の都市計画等への応用が期待できる。環境情報を広域に展開したセンサで計測する場合、温度、湿度、気圧、風向、風速、雨量の値を計測するのが一般的となっている。地球温暖化という一般の人たちの関心が高い情報である大気中の CO2 濃度も同様に広域で測定したいというニーズがあった。そこで、既存の Live E!システムに追加できる低コストな CO2 センサを開発し、2009 年より広域での運用を行っている。

### 2.2.2 CO2 センサユニットの開発

CO2 センサユニットは、単に既存の Live E!センサノードに接続するだけでなく、単体で PC やインターネットに接続することも考慮し、基本的な環境情報も計測可能なものとなっている。具体的には、温度、湿度、気圧、照度の各センサを搭載しており、CO2 を含めて 5 つの環境情報を計測可能である。照度を除く全てのセンサはデジタルインタフェースを備えたものとなっており、製造時の校正や調整を不要としている。

図 2.2.1 に、CO2 センサユニットの構成を示す。全体を制御するマイコンには Arduino を使用し、また状態を表示するための LED や LCD を備える。図 2.2.2 にセンサユニットの外観を示す。Arduino マイコンボードのシールドとして設計されており、Arduino 本体の上に装着して動作する。

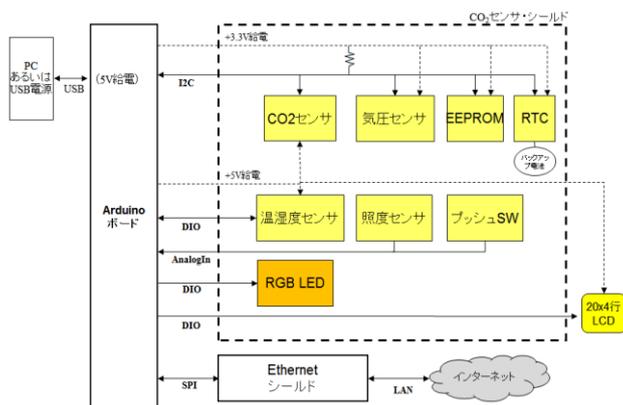


図 2.2.1 CO2 センサユニットの構成

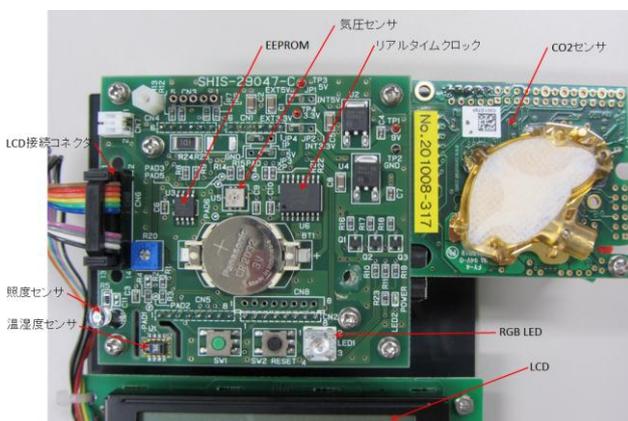


図 2.2.2 CO2 センサユニットの外観

### 2.2.3 IEEE1888 プロトコルの実装と応用

CO2 センサユニットに、前述の IEEE1888 プロトコルを組み込むことで、単体でのネットワーク接続とデータ収集サーバへのアップロードを可能とした。図 2.2.3 に IEEE1888 対応センサユニットの外観を示す。Arduino ボ

ードと CO2 センサシールドの間に Ethernet シールドを追加し、IEEE1888 ライブラリをソフトウェアに組み込んでいる。

IEEE1888 対応にした CO2 センサユニットを大学の一室に設置し、実際に運用した結果を図 2.2.4 に示す。これらの Web 画面は IEEE1888 の Storage 上の APP をそのまま使用しており、このように IEEE1888 対応とすることで、データの取り出しや加工は既存のアプリケーションが利用でき展開も容易となる。

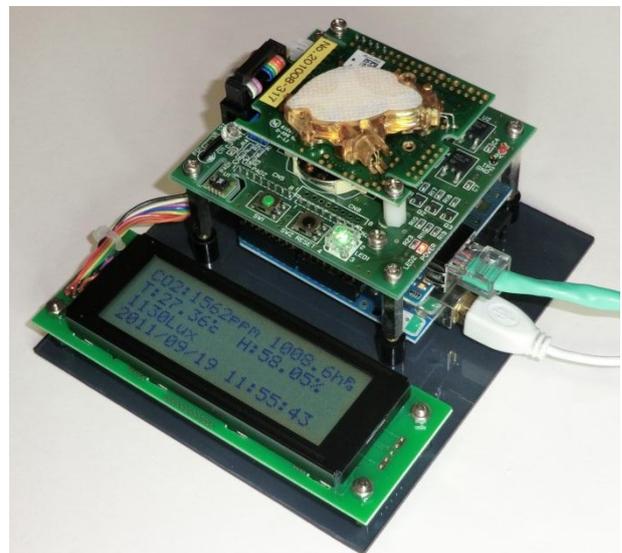


図 2.2.3 IEEE1888 対応 CO2 センサユニット

## 環境

取得時刻: 2012-01-09 04:24:55

場所詳細	センサタイプ	温度(°C)	湿度(%)	CO2濃度(ppm)	照度(Lux)	気圧(hPa)
サーバルーム	HCUCO2	23.29	38.47	464.00	181.36	994.01
学生部屋	HCUCO2	22.89	25.86	436.00	181.36	999.33

## 広島市立大学 学生室 CO2濃度(HCUCO2)

開始時刻: 2012年 1月 1日 0時 0分  
 終了時刻: 2012年 1月 8日 0時 0分  
 更新: 表示内容をCSV出力

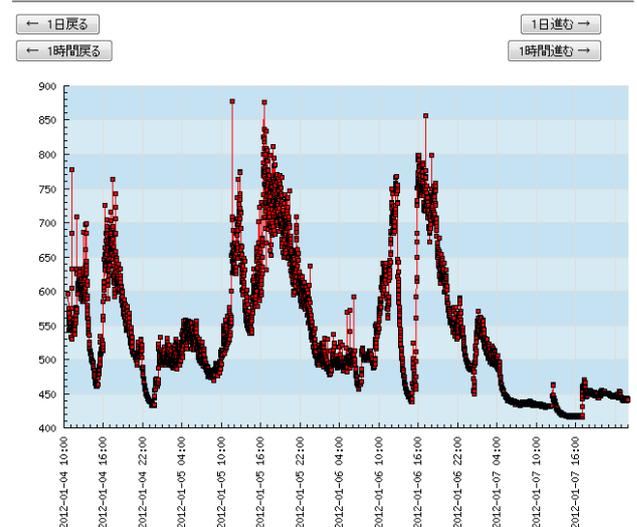


図 2.2.4 IEEE1888 での測定例展開活動

## 2.3 環境情報サーバの運用とデータ可視化

### 2.3.1 データ収集サーバへのアップロード

広島市立大学に設置した Live E!サーバには、PHS データ通信カード経由で接続された環境センサが約 15 台あり、1 分おきにサーバへ測定データをアップロードしている。約 40 万件のアップロードが行われた時刻の記録から、実際のアップロード間隔を分析したところ図 2.3.1 のような分布となった。1 分前後の部分が全体の 69% を占めており、同じく 2 分が 23%、3 分

が 3%であった。この結果から、環境センサからサーバへのアップロードは約 3 割の確率で失敗していることがわかる。同様に、連続して 2 回失敗する確率は約 9%となる。

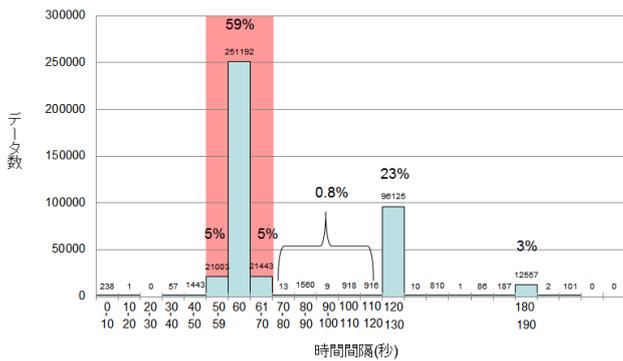


図 2.3.1 環境情報サーバへのアップロード間隔分布

### 2.3.2 サーバ側からの異常検出

データ収集サーバからの観察により、環境センサノードやネットワークの異常を検出することができる。例えば、複数のセンサノードからのデータが同一の時期に欠損した場合は、サーバやネットワークの異常の可能性が高い。以下に運用から得られた、異常状態とサーバから見た現象についてまとめた。

- (1) サーバの異常
  - 全てのノードのデータが記録されない。
- (2) センサノードとサーバ間の網の異常
  - 全てのノードのデータが記録されない。また、サーバからノードへの IP 到達性も失われる。
- (3) センサノードの異常
  - 特定のノードのデータが記録されない。
- (4) センサの異常 (データ取得不可)
  - あるセンサの測定値のみが記録されない。
- (5) センサの異常 (値の異常)
  - あるセンサの測定値が他と比べて異常な値を示す。
- (6) センサ設置環境の問題 (値の異常)
  - あるセンサノードの測定値が他と比べて異常な値を示す。

実際の測定データに当てはめてみる。図 2.3.2 は、同一サーバでの別のセンサノードの情報を比較したものである。破線の区間は全ての測定データが欠損しており、サーバあるいは網の異常の可能性がある。この区間は、新年度になり PHS の契約更新に 2ヶ月強を要したため、センサノードを接続していたネットワークが失われていた時期であり(2)のケースとなる。また、一点鎖線の区間は上段のセンサノードがトラブルにより停止してしまっていた期間で、(3)のケースとなる。このように、サーバから観測したデータによりセンサノードやセンサの異常を検出することが可能であり、早期の警報を出したり、修復方法を指示したりということができる。

(5)のような異常については、リファレンスとなる測定値と比較するか、近隣のセンサノードでの測定値と比較することで検出が可能となる。図 2.3.3 では、上段に市街地での CO2 濃度の計測値を、下段に気象庁が公開している市街地での CO2 濃度の計測値を示した。2つを比較すると変動の範囲はおおむね同一の値となっており、センサや設置環境の異常を検出できる可能性がある。なお、上段の測定値に大きく欠損した 2つの時期があるのは、それぞれ(2)と(1)の原因によるものである。

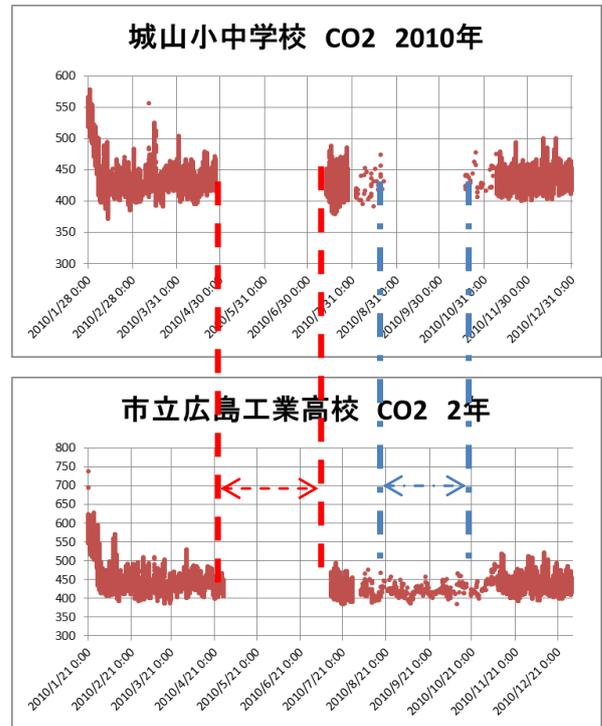


図 2.3.2 同一サーバでの別のセンサ情報

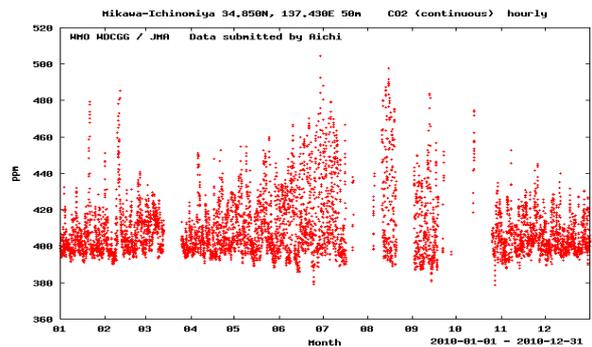


図 2.3.3 気象庁観測の CO2 データとの比較

### 2.3.3 環境情報の可視化とデジタルサイネージ

従来のグラフを中心とした測定データの可視化に加えて、一般の人にわかり易い形で環境情報を可視化するために街角に設置されたデジタルサイネージ装置に、測定した環境情報を表示する試みを行った。図 2.3.4 と図 2.3.5 にその表示例を示す。このような形で提示することで、専門家以外でも理解しやすくなり環境センサへの意識を高めることができた。



図 2.3.4 CO2 濃度の表示例

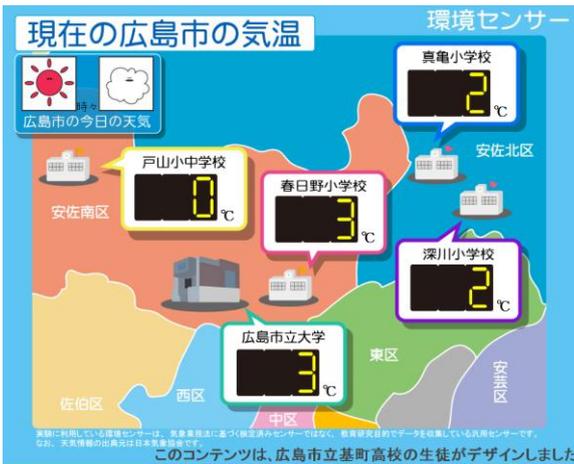


図 2.3.5 気温の表示例

## 2.4 PIAX と Live E! を連携した障害検知システム

大規模なセンサネットワークを運用し、安心・安全にセンサデータを活用するためにはセンサデータの異常検知が重要となる。これまで開発してきた大規模なセンサネットワークにおいて障害検知を行うフレームワークを分散環境(PIAX)上に実装した。障害検知結果を表示する障害通知アプリケーションの試作も行った。また、障害検知に際して行う通信等を X-Sensor 2.0 を用いて可視化も行った。それぞれのシステムが適切に連携し、障害検知フレームワークが動作することを確認した。詳細については[4]を参照されたい。システムでの障害検知処理及び可視化アプリケーションを図 2.4.1、図 2.4.2 に示す。

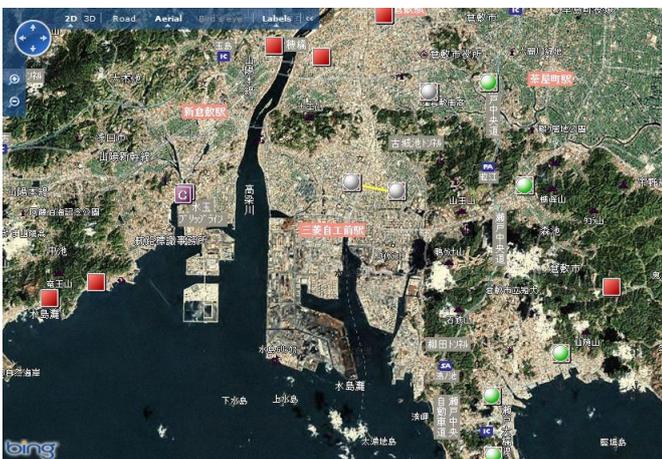


図 2.4.1 障害検知処理の表示

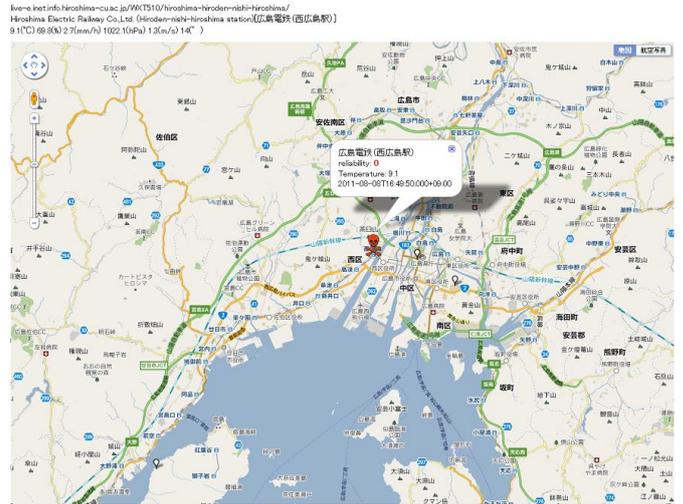


図 2.4.2 障害検知結果可視化アプリケーション

## 2.5 データ処理機構を持つ publish/subscribe 配信システムのプロトタイプ実装

センサと無線ネットワーク技術が開発されて、地球上の様々なセンサからたくさんのセンサデータを集めることができると予想される。これらのセンサデータを結合/集計等の処理を行うことで、多くのアプリケーションで有用なデータとなる。しかし、大規模な環境では特定のノードに処理が集中する等スケラビリティの確保が困難である。そこで content-based network 上にデータ処理コンポーネントを配置し、負荷に応じてデータ処理コンポーネントの分割や再配置を行う。データ処理コンポーネントの分割や再配置機構を持った publish/subscribe 配信システムのプロトタイプを作成し、分割や再配置によって処理がスケール可能である評価実験を行った。詳細については[5]を参照されたい。データ処理コンポーネントを分割なし、2分割、4分割を行った際のクエリ数に対する応答時間を図 2.5.1 に示す。分割数を増やすことでスケールしていくことを確認した。

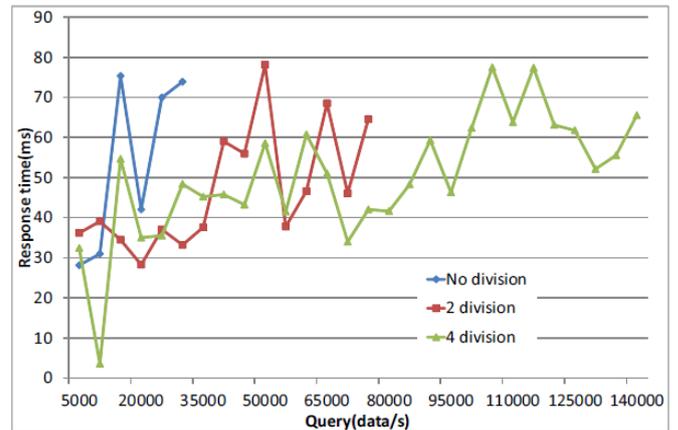


図 2.5.1 分割時の応答時間

## 3. 展開・教育活動

### 3.1 APNG Camp

2011年2月21日から25日まで香港において13th APNG Campが開催された。13th APNG Camp 内において Live E! workshop を開催した。Live E!workshop では7件の発表を行った。参加者は50名ほどで熱心な意見交換が行われた。これまで APNG Camp において継続的に6回 Live E! workshop を開催しており、メインの会議でも以前の Live E!workshop で紹介したセンサや技術を使った発表もありアジア地域において我々の活動が着実に展開されていると考える。Live E! workshop での発表の様子を図 3.1.1 に示す。



図 3.1.1 workshop での発表の様子

### 3.2 サイエンスパートナーシッププロジェクト

3年前より Live E!を題材とした高校と大学連携事業を行っている。今年 は千葉県立柏の葉高等学校と東京大学、慶應義塾大学とでサイエンスパートナーシッププロジェクトに採択され、その枠組みを利用して高校生を対象とした課外活動を開催した。7月から9月にかけて計3回柏の葉高校においてワークショップを開催した。参加者は高校1-3年生までの40名ほどが参加した。グループAとBの2つにわけ、グループAはセンサデータをtwitterへつぶやく、グループBはPICNICを用いたセンサ作成をおこなった。プログラムやハンダ付け等初めての人もいたが、3回のワークショップを通じてほぼすべての人が目標まで達成した。ワークショップ終了後も熱心に質問したり、後日メールで質問が来る等興味を持った生徒も多くいた。ワークショップの様子を図3.2.1に示す。



図 3.2.1 ワークショップの様子

### 3.3 インターンシップ

慶應義塾大学メディアデザイン研究科において夏季インターンシップを開催し、東京工業高等専門学校電子工学科の生徒が参加した。簡易複合センサの施策とデータの検証を目的とし、行った内容は以下のとおりである。

1. センサの作成
2. センサデータ取得プログラムの作成
3. 計測実験
4. 計測データの分析

センサは Arduino のシールドとして動作する Weatherduino を使用した。Weatherduino はオプションパーツも用いることで、気温、気圧、湿度、風向、風速、紫外線量、照度の計測が可能となっている。作成した Weatherduino を図 3.3.1 に示す。

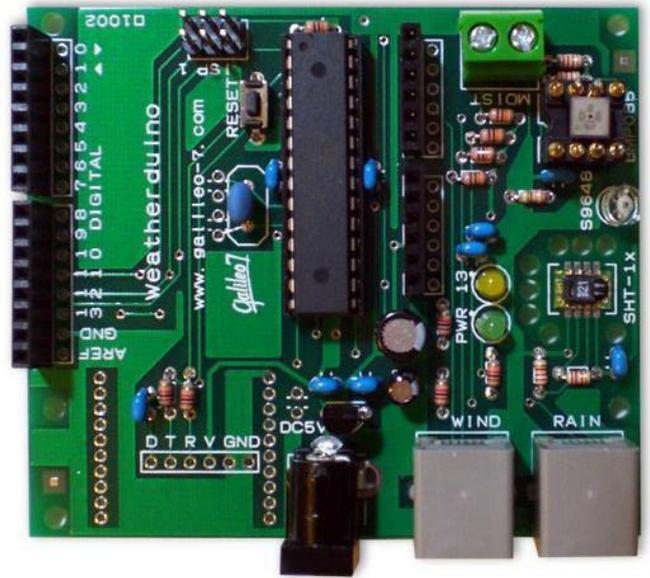


図 3.3.1 Weatherduino

ArduinoIDE を用いてセンサからのデータ取得プログラムを作成し、Live E!サーバへデータをアップロード可能とした。インターンシップの期間が1か月であったため、計測を行える日数は少なかったが、2011/9/3-9/6の3日間計測を行った。計測期間中に台風が関東地方に接近したため、台風時の気圧の変化等の計測が行えた。今回作成したセンサデータと最寄の AMeDAS センサデータとの比較を図 3.3.2 に示す。また、台風接近時の気圧変化を図 3.3.3 に示す。

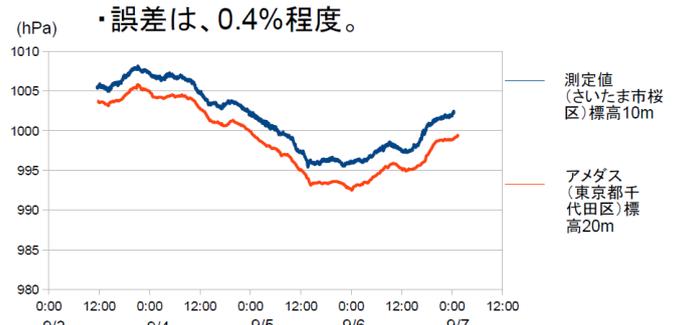


図 3.3.2 作成したセンサのデータ精度比較

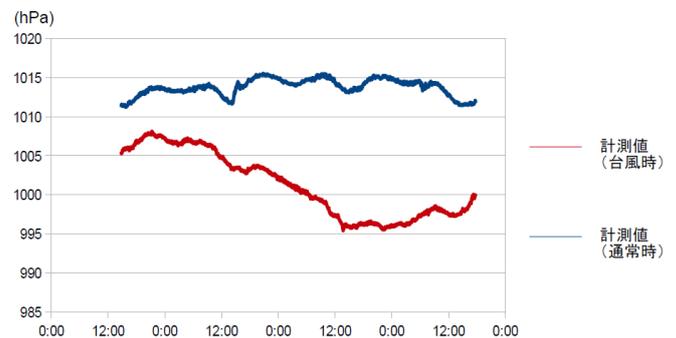


図 3.3.3 9月5日の台風接近時の気圧変化

最後にインターンシップでの成果をまとめ、Live E!プロジェクトで毎年開催している Live E!シンポジウムにて成果報告を行った。Live E!シンポジウムでの成果報告の様子を図 3.3.4 に示す。シンポジウムは高校生なども多く参加しており、非常に興味を持って聞いていた。インターンシップ参加者は、センサ作成以外は初めての体験であったが、自分の勉強していることが社会にどのように繋がるのかを体験でき、非常に熱心に取り組んでいた。また東京工業高等専門学校でのインターンシップ報告会でも他の生徒から非常に興味を持ってもらい、次年度以降も継続的な交流が行えることを期待している。



図 3.3.4 Live E!シンポジウムでの成果報告

## 研究成果

### 論文誌

山内正人, 藤枝慶, 芝原隼人, 安澤太郎, 西條鉄太郎, 廣井慧, and 砂原秀樹, "Aroots:個人間での野菜育成を促進させる コミュニケーションシステムの提案," 情報処理学会論文誌: コンシューマ・デバイス&システム, 2012. (掲載予定)

坂田浩二, 井上博之, 前田香織, "コンテンツ表示のディペンダビリティを向上したデジタルサイネージ監視システムの開発", 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.3 (Mar. 2012).. (掲載予定)

### 解説論文

落合秀也, 井上博之, 「ネットワーク温度&照度計 前編 国際規格 IEEE1888 誕生」、トランジスタ技術, CQ 出版社, vol.49, no.1, pp.184-188, 2012年1月号.

落合秀也, 井上博之, 「ネットワーク温度&照度計 後編 Ethernet シールド付き Arduino にアップロードのためのライブラリを搭載」、トランジスタ技術, CQ 出版社, vol.49, no.2, pp.189-195, 2012年2月号.

### 著書

Masato Yamanouchi, Ryota Miyagi, Satoshi Matsuura, Kazutoshi Fujikawa and Hideki Sunahara. "A Distributed Publish/Subscribe System for Large Scale Sensor Networks." Springer (F. Borko et al. (Eds.): Handbook of Data Intensive Computing), Chapter 30, pages 753-776, Dec. 2011.

### 国際会議

H. Inoue, K. Suzuki, K. Sakata, K. Maeda, "Development of a Digital Signage System for Automatic Collection and Distribution of its Content from the Existing Digital Contents and its Field Trials", Proc. the 10th Annual International Symposium on Applications and the Internet (SAINT 2011 / C3NET WS), pp.463-468 (Jul. 2011).

Hideya Ochiai, Masaya Nakayama and Hiroshi Esaki, "Hop-by-Hop Reliable, Parallel Message Propagation for Intermittently-Connected Mesh Networks", IEEE WoWMoM, June, 2011.

Hideya Ochiai, Kenji Matsuo, Satoshi Matsuura, Hiroshi Esaki. "A Case Study of UTMesh: Design and Impact of Real World Experiments with Wi-Fi and Bluetooth Devices" Eleventh Annual International Symposium on Applications and the Internet (SAINT-W 2011), pages 433-438, Jul. 2011.

Satoshi Matsuura, Ryota Miyagi, Satoru Noguchi, Hideya Ochiai, Kazutoshi Fujikawa, Hideki Sunahara. "A method of sensor data processing on large scale publish/subscribe systems" The 5th International Conference on Engineering and Technology (ICET-2011), pages 348-352, May, 2011.

Kanae Matsui, Masato Yamanouchi, Hideki Sunahara, "A Proposal of Framework for Information Visualization in Developing of Web Application," SAINT 2011, 2011.

### 国内研究会

神田景太・松浦知史・猪俣敦夫・藤川和利

"データストリームマネジメントシステムにおける映像ストリーム分割手法の提案と評価"

電子情報通信学会, インターネットアーキテクチャ研究会, Feb. 2012

松高聡史・松浦知史・猪俣敦夫・藤川和利

"DTN 環境を考慮した高密度センサネットワークにおける収集率に応じたセンサデータ収集手法の提案と評価"

電子情報通信学会, インターネットアーキテクチャ研究会, Feb. 2012

和田倫和・松浦知史・猪俣敦夫・藤川和利

"コンテンツ人気遷移に追従する地理情報を用いた P2P クエリ処理最適化手法の提案"

電子情報通信学会, インターネットアーキテクチャ研究会, Feb. 2012

須田 真実, 廣井 慧, 山内 正人, 砂原 秀樹, "歴史体験のためのオーラルアーカイブに関する一考察", 電子情報通信学会 IA 研究会, 2011.

徳山 真実, 廣井 慧, 山内 正人, 砂原 秀樹, "家庭内における情報配信プラットフォーム構築の為の鏡型情報受信端末の試作と考察", 電子情報通信学会 IA 研究会, 2011.

山内 正人, 松浦 知史, 石 芳正, 寺西 裕一, 砂原 秀樹, "広域センサネットワーク統合環境におけるデータの障害検知システム", 情報処理学会, DICOMO2011, pp1658-1663, 2011.

藤枝 慶, 芝原 隼人, 西條 鉄太郎, 安澤 太郎, 廣井 慧, 山内 正人, 砂原 秀樹, "aroots:野菜育成を促進させるコミュニケーションシステムの提案," 情報処理学会 DICOMO2011, pp1682-1689, 2011.

佐脇 風里, 廣井 慧, 山内 正人, 砂原 秀樹, "安全・安心な社会を作るためのマイクロブログを活用したセンサーデータ利用方法について," in 日本ソフトウェア科学会 第28回大会, 2011.

中村 心哉, 根本 貴弘, 山内 正人, 杉浦一徳, "施設内における位置情報認識システムの設計と実装," in 日本ソフトウェア科学会 第28回大会, 2011.

芝原 隼人, 廣井 慧, 山内 正人, 砂原 秀樹, "センサデータと動画による家庭菜園のための知識共有システムの提案," in 日本ソフトウェア科学会 第28回大会, 2011.

太田 智美, 岩熊 美希子, 吉牟田 陽平, 松井 加奈絵, 山内 正人, 加藤 朗 砂原 秀樹, "おとこりん: ソーシャルネットワークにおける偶然性を用いた音楽生成" 電子情報通信学会技術研究報告, 110 巻 430 号, pp. 175-180, 2011.

福田将大, 井上博之, 前田香織, "広島市の環境情報のリアルタイム可視化システムの開発", The 13th IEEE Hiroshima Student Symposium (HISS2011), pp.104-107 (Nov. 2011).

## 参考文献

- [1] 東大グリーン ICT プロジェクト, <http://gutp.jp/>
- [2] APNG Camp, <http://www.apng.org/>
- [3] 落合秀也, 井上博之, “国際規格準拠の無料ライブラリと手軽なマイコン・ボードで作るネットワーク温度&照度計”, CQ 出版, トランジスタ技術, 2012 年 1 月号および 2 月号
- [4] 山内 正人, 松浦 知史, 石 芳正, 寺西 裕一, 砂原 秀樹, “広域センサネットワーク統合環境におけるデータの障害検知システム”, 情報処理学会, DICOMO2011, pp1658-1663, 2011
- [5] Masato Yamanouchi, Ryota Miyagi, Satoshi Matsuura, Kazutoshi Fujikawa and Hideki Sunahara. “A Distributed Publish/Subscribe System for Large Scale Sensor Networks.” Springer (F. Borko et al. (Eds.): Handbook of Data Intensive Computing), Chapter 30, pages 753-776, Dec. 2011.