

解説

Live E!プロジェクト：誰もが利活用できる センサネットワークングを目指して

山内 正人 落合 秀也 松浦 知史 江崎 浩 砂原 秀樹

Live E!プロジェクトは 2005 年から広域センサネットワークに関する研究開発を行っている産官学連携研究コンソーシアムである。本稿では Live E!プロジェクトでの活動を例に情報の収集、情報の共有、情報の利活用、社会への展開のこれまでと現状を述べるとともに、今後のセンサネットワークングについて展望する。

Wide area sensor network research consortium, Live E! project has been start in 2005. In this paper, We will discribe sensor networking transition using Live E! project activities. Also we will discribe future prospects of sensor networking.

1 はじめに

インターネットや小型機器の発達やインターネットの普及により、実空間情報の取得や共有が容易に行わ

れるようになってきた。実空間情報は大きく分けると個人情報と公共情報に分けられる。個人情報は実空間に存在する人に関する属性や状態に関する情報である。一方、公共情報は実空間（環境やモノ）に関する情報である。個人情報の共有、活用に関しては、プライバシーの問題や損害に対する補償などの社会的な枠組みが必要であるが、整備が遅れており、社会的にはまだ許容されていない。一方で公共情報は情報の流出によるリスクが少ないこともあり、社会的に活用することを許容されている。そのため公共情報を利用した様々なサービス基盤が登場してきている。

例えば XievelyTM [6] はモノやデバイス、建築、環境などからセンサで読み取った公共情報をリアルタイムに共有可能なサービス基盤である。XievelyTM はデータの基盤へのアップロードや基盤からの読み出しに関する API が公開されており誰でもデータのアップロード、読み出しが可能となっている。XievelyTM へアップロードされたデータの例を図 1 に示す。例ではロンドンの一般家庭において簡易温度計を用いて計測された温度を定期的にアップロードしており、温度の情報をリアルタイムにグラフ化している。

Safecast [5] は 2011 年 3 月 11 日に発生した東日本

Live E! project: A Pervasive Sensor Networking.

Masato Yamanouchi, 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科/情報通信研究機構, Graduate School of Media Design, Keio University/National Institute of Information and Communications Technology.

Hideya Ochiai, 東京大学大規模集積システム設計教育研究センター/情報通信研究機構, VLSI Design and Education Center, The University of Tokyo/National Institute of Information and Communications Technology.

Satoshi Matsuura, 東京工業大学学術国際情報センター/情報通信研究機構, Global Scientific Information and Computing Center, Tokyo Institute of Technology/National Institute of Information and Communications Technology.

Hiroshi Esaki, 東京大学大学院情報理工学系研究科, Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo.

Hideki Sunahara, 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科, Graduate School of Media Design, Keio University.

コンピュータソフトウェア, Vol.31, No.3(2014), pp.32-41.

[解説論文] 2013 年 7 月 19 日受付。

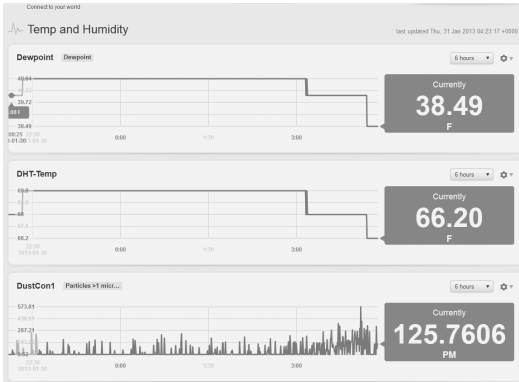


図 1 Xieivly™ へアップロードされたデータの例

大震災で被災した地域を中心とした放射線量情報を収集する基盤を構築し公開している。Safecast のデータは公開されており自由に取得可能であるが、データの収集は訓練されたボランティアが本格的な機器を用いて行っている。Safecast で収集されたデータの表示例を図 2 に示す。例では Safecast で収集されたデータを地図上に放射線の強さに応じて色分けし表示している。

その他にもユーザから交通機関の遅延情報を収集し、共有するジョルダンライブ! [7] がある。ユーザが「A 電鉄 B 線 10 分の遅れ」といった情報を投稿でき、リアルタイムに共有することで即時的に交通機関の遅延情報を共有するサービスである。投稿された交通機関の遅延情報例を図 3 に示す。ジョルダンライブ! では情報の発信時間とともに交通網がどのような状態であるかの詳細を文字情報で表示している。

これまでの実空間情報を対象としたセンサネットワークでは単一の組織や個人で運用されており、独自のデータ形式により特定の用途でしか活用されてこなかった。現在は先の例で述べたように、オープンな情報流通プラットフォームを構築し情報の再利用が可能となりつつある。しかし一方で、これらのプラットフォームで流通している情報を再利用し活用している例は少ない。

Live E! プロジェクトは 2005 年から広域センサネットワークに関する研究開発を行っている産官学連携研究コンソーシアムである。Live E! プロジェクト [4] においても 2005 年よりオープンな情報流通プラット

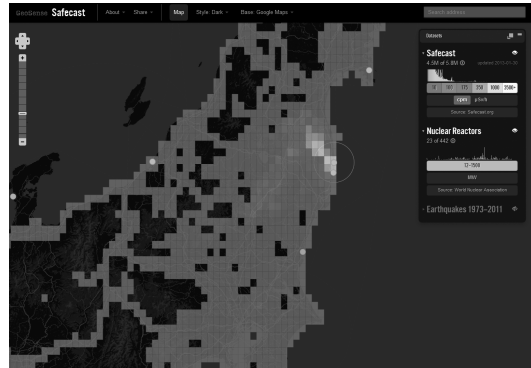


図 2 Safecast で収集されているデータの公開例

時間	路線【駅】-状況	詳細
12:49	東北本線【大宮(埼玉)-小山】遅れ(10分未満)	快速宇都宮行、貨物列車遅れの影響、5分遅れ。
12:42	東北本線【大宮(埼玉)-小山】遅れ(10分未満)	1237快速宇都宮行停止信号の発5分遅れ
12:34	近鉄名古屋線【近鉄藤江-近鉄名古屋】遅れ(10分未満)	36分発の急行が9分遅れとのアナウンス
12:32	湘南新ライン【赤羽-渋谷】遅れ(10分未満)	3分遅れ
12:24	山陽本線【福知山-和田山】遅れ(10分未満)	福知山始発豊岡行普通電車です。福知山を12時11分発が14分に発車、次の上川口も8分遅れで発車しています
11:57	東武伊勢崎線【鬼島-半蔵門】遅れ(10分未満)	4分遅れ。浅草行、半蔵門線直通とも。
11:52	横須賀線【東戸塚-久里浜】遅れ(10分未満)	47分発が51分に発車。
11:07	総武線快速【稲毛-東京】遅れ(10分未満)	11:04発列車が06分発車
11:06	湘南新ライン【恵比寿(東京)-港袋】遅れ(10分未満)	詳細なし

図 3 ジョルダンライブ! で公開されているデータ例

フォームを構築し誰もが情報へアクセスでき再利用・活用可能な基盤技術を研究開発してきている。そこで本稿では Live E! プロジェクトでのシステムや活動を例に、センサネットワークの変遷を述べる。また、誰もが利活用可能なセンサネットワークを実現するための指針を示す。

2 Live E! プロジェクトとは

2.1 Live E! プロジェクト概要

Live E! プロジェクトは 2005 年に発足したセンサネットワークに関する研究開発を行う産官学連携コンソーシアムである。センサによってデジタル化されたあらゆる実空間情報をネットワーク技術を使って共有することにより新しいオープンな情報流通プラットフォームの実現を目指している。また、技術の研究開発のみならず世界の技術者や高校生等の若者に対してワークショップを開催することで技術移転や普及、

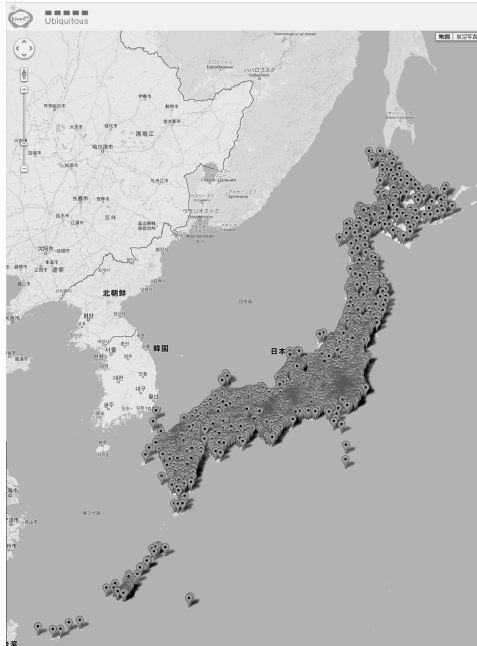


図4 日本でのセンサ配置

興味喚起を行っている。Live E!プロジェクトでは現在世界中から3000か所以上のデータをリアルタイムに収集しており実運用や実データ、様々な屋外環境において検証を行っている。図4に2013年7月時点での日本のセンサ配置状況を示す。

2.2 Live E!システム技術概要

Live E!プロジェクトではセンサネットワークの研究開発を行う上でセンサやアプリケーションの展開及び活用のためのテストベッド(以下、Live E!システム)として実際にセンサネットワーク基盤を構築して運用中である。図5に運用しているLive E!システムのアーキテクチャを示す。センサ、情報管理システム、アプリケーションで構成されており、センサで収集された情報は情報管理システムを通じてアプリケーションへ提供される。現在Live E!システムでは主に気温、湿度、気圧、雨量、風向、風速、CO₂濃度等の情報を収集しアプリケーションへ提供している。図5の中に矢印で記載したセンサからの情報の受け口、アプリケーションへのデータ提供は2011年IEEEにおいて標準化されたIEEE1888[18]というプロトコルを用いている。IEEE1888はLive E!プロジェクトで

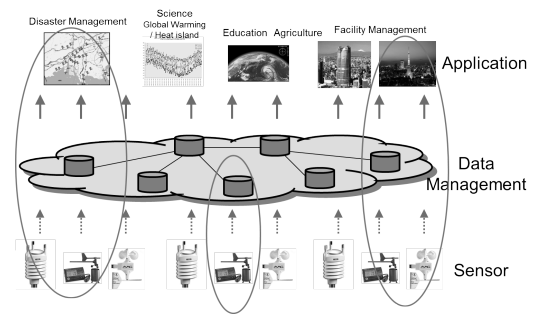


図5 Live E!システムアーキテクチャ

培われた知見をもとに標準化したプロトコルで通信方式やデータ形式について規定している。そのため、センサはどのようなメーカーであってもIEEE1888のプロトコルに従ってデータのアップロードを行えば良く、アプリケーションもIEEE1888のプロトコルに従ってデータの読み出しを行えばLive E!システム上で流通している情報にアクセス出来る。また、情報管理システムも単一の組織で運用されているわけではなく例えば倉敷市が構築しているKAWASEMI Sensor Network[3]や株式会社ウェザーニューズとKDDI株式会社が共同で行っているソラテナ[8]などのセンサネットワークをIEEE1888を用いて連携させることで1つの情報管理システムとしている。図5の中に円で囲ったものが各組織単体で運用しているセンサネットワークを示している。各運用組織は組織の目的に合わせてセンサを設置し、情報を収集しサーバへ格納する。システムによっては情報を利用したアプリケーションを描いたセンサネットワークを運用している。先に述べたKAWASEMI Sensor Networkやソラテナは各システムでセンサを設置し、サーバへ情報を収集・格納し、アプリケーションを通じてデータを利用している。また、サーバがIEEE1888へ対応していることで異なる組織間のサーバとも連携可能となっている。そのためKAWASEMI sensor networkの利用者は従来通りの方法でKAWASEMI sensor networkシステムから情報を取得し利用することも可能である。一方で、Live E!システムを通じてIEEE1888プロトコルで規定された情報の読み出し方法を利用することで、KAWASEMI sensor networkのみならずIEEE1888プロトコルで連携しているソラテナや他の

センサネットワークシステムからの情報も一元的に取得可能となっている。IEEE1888 プロトコルはサーバ間連携、サーバからの情報の読み出し、サーバへの情報の書き込み (アップロード) に関する仕組みやデータ形式について規定している。IEEE1888 の詳細については文献 [17][18] 等を参照されたい。

3 各要素技術の現状

3.1 センサ

オープンな情報流通プラットフォームにおいてはセンサはあらゆる場所に設置されることが想定され、インターネット接続性を持ち、あらゆる実空間情報をデジタル化してデータ管理システムに送る。センサが観測するデータは様々で任意の物理量データを対象とする。現在 Live E!プロジェクトでは気温、湿度、気圧、雨量、風向、風速、CO₂ 濃度などのデータを収集している。元々センサはネットワークに繋がることを考慮されていなかったためデータの出力が無い場合や、出力形式も統一されていなかった。そのため、センサからの出力される情報を Live E!システムへ変換するゲートウェイの開発やセンサとの通信方式を抽象化しゲートウェイの開発を容易にするミドルウェアの開発も行った [14]。近年ではこれらの知見をもとに標準化された IEEE1888 へ対応した製品の登場や Arduino [1] の登場により容易にセンサをネットワークへ繋ぐことが可能となりつつある。またこれらの製品は開発環境やライブラリが多く用意されているため、これまで電子工作やセンサに無縁だった人も容易に扱えるようになっており、爆発的な普及が起こっている [16]。

3.2 情報管理システム

情報管理システムは Live E!の基盤となるシステムであり、インターネット上に分散的に構築されている。センサが収集したデータを受け取り、蓄積するとともにリアルタイムにこれらのデータをアプリケーションへ提供する。情報管理システムは複数のセンサネットワーク運用組織によって自律分散的に展開されている情報流通プラットフォームである。組織間接続にはインターネットが用いられ、システム全体はオー

バレイネットワークとして構築される形態となる。システム全体がオーバレイネットワークで構成されていることで、情報の利用者はその情報がどのセンサネットワーク運用組織で生成されたか、その情報の格納元 IP アドレス等下位層の事を気にすることなく扱える。そのためシステムで定義された各センサ固有の ID を用いるだけで検索を行うことが可能となっている。情報管理システムについては、センサネットワークの核となる機能であるため様々な研究が行われている。IrisNet [11] や GlobalSensorNetwork [10] 等が有名である。これらはセンサの定義や繋がりを抽象化し扱えるようにしたことにより情報の検索を柔軟に行える基盤となっている。

現在情報管理システムではセンサがデジタル化した実空間情報の数値を流通、検索できるようになっている。しかし、情報管理システムで流通している数値の羅列を扱うには専門的な知識が必要不可欠であり、センサネットワークはまだ一般社会に浸透するには敷居が高い状況である。

3.3 アプリケーション

これまでセンサネットワークを構築した場合、目的とするアプリケーションのためだけに該当するセンサデータが利用されてきた。しかし、オープンなプラットフォームの登場でデータや API の公開が行われるようになり再利用が可能となってきている。それによりセンサネットワークの構築者、管理者等とは独立した開発者が登場し様々なアプリケーション開発を行うようになってきている。しかし、前節でも述べた通り数値の羅列を正しく扱うには専門的な知識が必要不可欠でありアプリケーション開発も限定的となっている。1章で述べた COSM, Safecast 等でもデータ、API の公開は行っているものの、その情報を活用して第三者がアプリケーションを開発している事例は少ない。Live E!プロジェクトにおいても API やデータの公開は 2005 年から行っていたが、アプリケーション開発は限定的であった。しかし後述するワークショップやコンテストの開催、プロトコルの標準化を行うことで徐々にアプリケーションは増えてきている。例えば塚原らの開発した frimifrazumi [12]

は、Live E!プロジェクトで収集している環境情報を利用した間接照明である。従来の間接照明は単色や予め設定された色をランダムに変化させるものが多かったが frimifrazumi はリアルタイムで収集されている屋外の環境と連動した照明となっている。例えば雨が降り出すと間接照明も連動し、室内において雨降りを感じることで音と照明を演出する。

この様に第三者のアプリケーション開発者が登場すると当初センサネットワークの構築時には想定されていなかった用途へ情報が再利用され、それによって情報の価値も向上し情報提供者へも利益が還元される可能性が出てくる。そのため、情報を利活用するための障壁をより一層軽減することが求められている。

3.4 既存技術のまとめ

これまでセンサはデジタル化した情報をメモリに蓄積し、定期的に回収する必要があったため、ネットワークに接続することを想定した製品は少なかった。しかし近年では様々なセンサがネットワークに繋がるようになってきており、また送信される情報についても標準化される傾向となってきた。Arduino等のオープンソースハードウェアの登場により容易に自作のセンサが作成でき、ネットワークにも繋がれるようになってきた。これによって、様々な情報の収集が容易に行える環境が整いつつある。

センサによってデジタル化された情報を共有する基盤については、爆発的なセンサの増加に対応するためこれまではスケラビリティや共有されている情報の高速な検索手法等に主眼が置かれた研究が多かった。それによってスケラブルでロバスタなプラットフォームは整備されつつあるが、一方で共有されている情報は数値の羅列である。数値の羅列では専門家ではないと情報の解釈が困難であるため、共有されている情報の再利用はまだ限定的であり誰もが利活用できるセンサネットワークとはなっていない。

4 社会への展開

Live E!プロジェクトではこれらの技術やプラットフォームを社会へ普及・展開するために様々な活動を行ってきた。その一部の活動について紹介する。こ

れらの活動は普及を促すと共に、フィードバックを通して、どこに普及の障壁があるのかを知る上でも有効な場となっている。Live E!プロジェクトではそのフィードバックを基に研究開発をブラッシュアップし、社会へ展開することを繰り返している。

4.1 国際展開

4.1.1 APNG Camp

Asia Pacific Networking Group(APNG)の開催する合宿(APNG Camp)が1998年よりアジア各地で年1回開催されている。アジア各国から60名を超える若手研究者が参加し、インターネットを中心とした技術・文化に関する発表や議論を行っている。Live E!プロジェクトでは2007年よりAPNG Campにおいてワークショップを開催しアジア各国の技術者に対する技術移転や意見交換等を行っている。アジア各国での展開は日本での展開とは大きく違い、コスト意識の違いやネットワークや気候、設置環境の違い、文化の違いがあり日本と同様に展開する事が困難である。そこで我々は2007年から2010年まではハンズオンワークショップとして、実際にセンサ等の機器を持ち込み、参加者に体験してもらうことで理解を深めてもらった。2008年のAPNG Campで開催されたワークショップについては落合ら[19]の論文で述べている。2011年からは各国での活動に関する発表・議論を行うワークショップを開催している。毎年発表枠以上に応募があり各国での活発な活動が窺い知れる。このような活動においては実物を手に取ってみることが重要であると考え、図6,7にワークショップの様子を示す。

4.1.2 Mekong festival

2009年11月19日-23日に東京芸術劇場においてメコンフェスティバル[9]が開催された。メコン川流域の諸国・地域と日本との文化交流イベントで演劇や民族衣装の紹介などが行われた。Live E!プロジェクトでも日本とメコン川流域の諸国・地域との気候の違いを紹介するためにリアルタイムで共有されている環境情報を可視化し展示を行った。展示に先立ち現地の環境情報取得のためセンサの設置を行う必要がある。現地には既設のセンサは無いため新規設置を行う必



図 6 ハンズオンワークショップ



図 8 分散遠隔ワークショップ



図 7 ワークショップでの発表

要があるが、時間や予算の都合上 7 カ国に我々技術者が渡航し設置する事は困難であったため分散遠隔ワークショップを行う事で短時間、低コストで設置を行った。各設置環境によってセンサの配置方法やネットワーク等の各種設定が異なるため現地で行う作業が必要となる。

ワークショップには 7 カ国 7 拠点、10 名程度がワークショップに参加した。ワークショップの開催前にセンサー式を現地に送付した。ワークショップは以下の手順で行った。

- Live E!プロジェクトの概要紹介
- センサの組み立て
- Armadillo のセットアップ
- Live E!システムと連携

設置環境に合わせたセンサの組み立てやセンサで生成された情報をサーバへアップロードを行うコン

ピュータ (Armadillo[2]) の設定を行った。各拠点とはビデオ会議システムを用いて接続されており映像、音声、説明資料を全体で共有し遠隔ワークショップを行った。分散遠隔ワークショップの様子を図 8 に示す。分散遠隔ワークショップでは作業の同期を取る事が難しく、ワークショップ時間中にアップロードの成功まで達成した拠点は無かった。これは事前予習等を課しておらず知識、環境ともにバラつきがあり、レベルを同期させるまでに時間を要したことが考えられる。そのため、事前準備や予習事項について設定し、レベルの同期をはかっておく必要がある。また現在では遠隔ハンズオンワークショップを行うためのツール[20]も多く研究開発されているため、それらを活用することでより平易に行うことが可能と考える。

ワークショップ後もメールでのサポートによりメコンフェスティバルまでには 7 拠点中 5 拠点は成功した。これは分散遠隔ワークショップにおいて相手の顔を見てリアルタイムに直接質問出来る機会を設けたことにより、その後は文字ベースでも情報が伝わりやすかった事が考えられる。図 9 にワークショップ終了後、独力でセンサの設置を完了したカンボジアの設置例を示す。

4.2 若手の育成

海外のみならず国内においても高校生などに対してワークショップを行っている。高等学校の情報理科や情報系専門学校の初学者に対して出張ワークショップを行うことで自然科学や学校での勉強への興味喚



図 9 カンボジアでのセンサ設置例



図 10 APNGCamp での高校生の発表

起を行っている。これまでの学校教育においては、プログラム言語を身につけるためにプログラム言語を学ぶが多かった。また学生にとって身近なプログラミングの結果はゲームであり、ゲーム作成に興味を持ってプログラミングを行う学生も多いが、ゲームの作成にはストーリーや設定、キャラクター等プログラミング以外の要素も重要となっておりハードルが高く挫折する場合が多い。そこで我々は実際にやりたいことの実現のためにプログラム言語を学ぶというコンセプトのもと、ゲーム以外のプログラミングへも視野を拡大するためセンサの制御やネットワークを介してセンサ情報を共有、利活用するアプリケーション開発に関するワークショップを開催した。詳細については滑川らの報告[15]を参照されたい。

ワークショップを開催したところ、ワークショップ終了後も積極的に質問に来る学生も多く、学生によってはその後1年間開発を続け4.1.1節で述べたAPNGCamp等海外において発表を行い評価されている。APNGCampにおける学生の発表を図10に示す。

このことからやりたいことを体験させてあげることでやる気が向上すると考えられる。その教育教材としてのセンサデータを容易に利用できる体制の確立が求められる。一方で、今後増加するであろう個人の情報を教材として利用する場合はその情報を扱うことの危険性なども含めて教育を行う必要がある。

4.3 コンテストの開催

これまで述べてきた活動を盛り上げるイベントとしてLive E!プロジェクトでは2012年よりLive E!プロジェクトサイエンスコンテスト(<http://www.live-e.org/contest/>)を開催している。コンテストは若い技術者が切磋琢磨する場として有用である。一方で、これまでワークショップなどでのフィードバックとしてセンサの設置をして、センサの情報が取得できるようになったが、それをどのように活用すればよいか戸惑う参加者も多いことがわかった。こういった問題に対処し、情報の応用例を多く示しながら利活用のイメージを持って貰うために、コンテストの開催が有効である。

コンテストはセンサ部門、データ解析部門、プログラミング部門の3部門で応募を行い、最優秀賞、各部門賞、アイデア賞を設けている。各部門は以下のとおりである。

- センサ部門：IEEE1888に対応したインタフェースを持ち、データをインターネットを通じてアップロードできるようなセンサを開発
- データ解析部門：Live E!プロジェクトで共有している環境情報を解析し、得られた知見を発表
- プログラミング部門：Live E!プロジェクトで提供しているAPIを用いたアプリケーション開発またコンテストの受賞式の様子を図11に示す。

コンテストでの審査は一次書類審査の上、Live E!シンポジウムでのデモ・ポスター発表を経て審査結果が決まる。今後参加者を増やしていくためには、Live



図 11 Live E!コンテストの受賞風景

E!シンポジウムの会場でデモ・ポスター発表を行いにくい海外や遠方の方々でも審査出来る仕組みを構築していく必要がある。

5 今後の展望

これまでセンサネットワークでは様々な知見の蓄積と技術開発を重ねてきた。しかし、まだ社会一般へオープンな情報流通プラットフォームが浸透し、利用・活用されているとは言い難い状況である。その1つの原因として、これまでのオープンな情報流通プラットフォームは情報の流通に主眼が置かれていたため、数値の羅列が流通している状態である。これらの数値は各専門家が分析すると数値の意味が解釈出来るが、専門的な知識の無い人にとっては情報を解釈することが難しく情報の利活用が阻害されている。

そこでLive E!プロジェクトで開発している情報流通プラットフォームでは、属性付き情報流通プラットフォームを提案している。提案プラットフォームではこれまで数値の羅列であった情報に対して属性を付与する事で、専門家以外でも情報の解釈を可能とする。例えば流通している情報に対して信頼度と呼ばれる情報の信頼性に対する属性を付与する。そうすると、情報の利用者は属性である信頼度を基に利活用するかどうかが決定的となる。これまでは過去の情報や周囲の環境等様々な情報を基に専門家は判断を行っていたが、専門家ではない人にとってはこの様な判断

は困難であった。この様に様々な属性を情報に付与して流通させることで専門家ではない人にも流通している情報の解釈が可能となり、誰もが利活用できるセンサネットワークが可能となると考える。

情報に対して属性を付与する仕組み[13]は出来つつあり、今後数値情報とあわせて属性情報を流通することで利活用しやすい環境となるか等について検証を行っていく。

6 おわりに

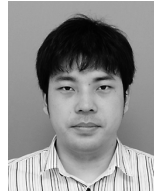
本稿では公共情報に関する現在のセンサネットワークに関する状況を述べた。これまでの公共情報流通プラットフォームでは単一の組織が自己の目的のために利用し、利用された情報が再利用される事は少なかった。しかし近年ではオープンな情報流通プラットフォームが構築されてきており、個々のセンサネットワークを連携させ、大規模なセンサネットワークが形成されている。Live E!プロジェクトにおいても2005年より研究開発を行っており、各国での知見収集や技術の標準化やワークショップの開催を行う事で世界中の人が使える技術としてきている。それにより、誰もが情報のアップロードや取得が可能となり情報の再利用も促進されるようになった。

一方でまだ社会一般へ浸透しているとは言い難い状況である。その1つの原因として数値の羅列が流通している現状を挙げ、専門家以外には情報の解釈が困難であることを述べた。その上でLive E!プロジェクトでは各数値に対して属性を付与して流通させるプラットフォームを提案し、今後その実現に向けて検証を行っていく。これによって専門家以外の人でも情報の解釈が可能となり、誰もが情報を利活用できるセンサネットワークが構築可能となる。

謝辞 本論文で述べた研究・活動はLive E!協議会の様々な支援によって実現された。また、これまでの多くの活動においてご支援頂いた東京大学中山雅哉准教授、共に活動してくれた石塚宏紀氏、杉山哲弘氏、川原貴裕氏など多くの方々にも感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Arduino, <http://www.arduino.cc/>.
- [2] Armadillo, <http://armadillo.atmark-techno.com/>.
- [3] KAWASEMI Sensor Network, <http://es01.city.kurashiki.okayama.jp/>.
- [4] Live E! Project, <http://www.live-e.org/>.
- [5] Safecast, <http://blog.safecast.org/>.
- [6] Xively, <https://xively.com/>.
- [7] ジョルダンライブ, <http://www.jorudan.co.jp/pr/jlive/index.html>.
- [8] ソラテナ, <http://weathernews.jp/door/soratena/>.
- [9] メコンフェスティバル, http://g-edu.kmd.keio.ac.jp/mekong_e/.
- [10] Aberer, K., Hauswirth, M. and Salehi, A.: Global Sensor Networks, Technical report, EPFL, 2006.
- [11] Gibbons, P.B., Karp, B., Ke, Y., Nath, S. and Seshan, S.: IrisNet: An Architecture for a Worldwide Sensor Web, *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 02, No. 4(2003), pp. 22–33.
- [12] Tsukahara, Y., Tomari, Y., Shiotani, T., Yamamoto, Y. and Inakage, M.: furimifurazumi: a lighting device for sensuous media of rainy scene, in *ACM SIGGRAPH ASIA 2009 Sketches*, SIGGRAPH ASIA '09, New York, NY, USA, ACM, 2009, pp. 3:1–3:1.
- [13] Yamanouchi, M., Matsuura, S. and Sunahara, H.: A Fault Detection System for Large Scale Sensor Networks Considering Reliability of Sensor Data, in *2012 IEEE/IPSJ 12th International Symposium on Applications and the Internet*, 2009, pp. 255–258.
- [14] 川原貴裕, 松浦知史, 洞井晋一, 藤川和利, 砂原秀樹: 多様なセンサを考慮した組込機器用ミドルウェアの開発 (OS・ミドルウェア, 組込技術とネットワークに関するワークショップ ETNET2008), 情報処理学会研究報告. EMB, 組込みシステム, Vol. 2008, No. 32(2008), pp. 209–214.
- [15] 滑川敬章, 落合秀也, 山内正人, 高岡詠子, 中山雅哉, 江崎浩, 砂原秀樹: 情報系高校における環境情報を計測・可視化する実用的なプログラミング教育の実践, 情報処理学会研究報告. コンピュータと教育研究会報告, Vol. 2012, No. 16(2012), pp. 1–8.
- [16] 高本孝頼: 世界的旋風を起こしている Arduino の紹介: オープンソースハードウェアによるエレクトロニクス教材, 工業教育資料, No. 343(2012), pp. 5–8.
- [17] 落合秀也: スマートグリッド対応 IEEE1888 プロトコル教科書, インプレスジャパン, 2012.
- [18] 落合秀也: 汎用設備管理向け通信プロトコル IEEE1888, 電気設備学会, Vol. 32(2012), pp. 147–150.
- [19] 落合秀也, 松浦知史, 山内正人: センサネットワークの新たな展開を目指して: Live E! Workshop in APNG Camp 活動報告, 情報処理, Vol. 50, No. 1(2009), pp. 55–63.
- [20] 阪本敦哉, 鈴木直義, 湯瀬裕昭, 渡邊貴之: カメラ及びタッチパネルを有するスマートフォンを用いた遠隔地間作業指示支援, 情報処理学会研究報告. マルチメディア通信と分散処理研究会報告, Vol. 2010, No. 47(2010), pp. 1–7.



山内正人

1990年奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科修士課程了。2011年慶應義塾大学大学院・メディアデザイン研究科博士後期課程満期退学。同年、同大学院同研究科特任助教。2009年から2012年情報通信研究機構特別研究員、2012年より同研究機構協力研究員を兼任。現在に至る。博士(メディアデザイン学) センサネットワーク, システムオペレーションの研究に従事。



落合秀也

1983年生。2006年東京大学工学部電子情報工学科卒。2008年同大学院情報理工学系研究科修士課程了。2011年同大学院同研究科博士課程了。同年同大学大規模集積システム設計教育研究センター助教。現在に至る。博士(情報理工学, 東京大学)。設備ネットワーク, 広域センサネットワーク, 遅延耐性ネットワーク研究の他, IEEE1888, ASHRAEの設備ネットワーク標準化活動に従事。



松浦知史

2008年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。同大学特任助教を経て、2011年より同大学特任准教授。2014年東京工業大学准教授。2008年から2012年情報通信研究機構特別研究員、2012年より同研究機構協力研究員を兼任。また2009年から2011年まで大阪大学大学院招へい研究員を兼任。オーバーレイネットワーク, 広域センサネットワーク, 分散 Publish/Subscribe 等の研究に従事。



江崎浩

1963年生。1987年九州大学工学部電子工学科修士課程了。同年(株)東芝入社。1990年米国ニュージャージー州ベルコア社。1994年コロンビア大学

客員研究員。1998年東京大学大型計算機センター助教授。2001年同大学大学院情報理工学系研究科助教授。2005年同大学大学院同研究科教授，現在に至る。博士(工学，東京大学)。MPLS-JAPAN代表，IPv6普及・高度化推進協議会専務理事，WIDEプロジェクト代表，JPNIC副理事長。

院大学情報科学センター助教授。2001年同大学情報科学センター教授。2005年同大学情報科学研究科教授。2008年慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科教授，現在に至る。工学博士。インターネット，大規模広域分散環境ネットワーク，並列処理，オペレーティングシステム，電子図書館に関する研究に従事。電子情報通信学会，ACM，IEEE各会員。



砂原 秀樹

1983年慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。1988年同大学大学院博士課程修了。同年電気通信大学情報学部助手。1994年奈良先端科学技術大学