

# センサネットワーク技術 Live E! アーキテクチャから 2 IEEE 1888 へ

落合秀也 (東京大学) 山内正人 (慶應義塾大学)

Live E! では、「インターネット上に自律分散的な環境情報プラットフォームを作る」という技術目標の下、数々の基礎的な研究、ディスカッション、プロトタイプング、運用、実証を重ね、2007 年頃には、Live E! システムアーキテクチャを確立した。その後、これが IEEE の標準規格である IEEE 1888 の設計に引き継がれ、最終的に ISO/IEC 国際標準 (ISO/IEC/IEEE 18880:2015) につながる事となった。本稿では、これらの技術的な背景について紹介するとともに、運用事例による評価および今後についても述べる。

Live E! では、運用のオープン性を確保するために、アーキテクチャの設計段階から、サーバの分散性 (組織ごとにサーバを立ち上げられる) が要件となった。そして、他組織の管理するデータも、自組織へのサーバにアクセスするかのよう利用できる仕組みが求められた。そこで、インターネット上に散在する複数のサーバの中からユーザが求めるデータのあるサーバを探索し、そこから読み出してデータを統合する方針をとった。具体的には、図-1、図-2 に示すように、2008 年の段階で、複数の組織で環境データ収集サーバを立ち上げ、それらをインターネット上の仮想的なリンクで接続し、いわゆるオーバーレイ・ネットワークを構築した。このリンク上ではセンサのプロファイル情報セ

ンサの ID や種類などの情報) が常時交換されており、検索リクエストを受けると担当するサーバを発見して、そこからデータを取り出すことができた (図-3)。

このようにして運用にオープン性を持たせた Live E! システムは拡大していったが、システム規模の拡大、および、センサ種類の増加に伴い、新たな課題が生まれてきた。それは“データ相互運用性”の問題であった。

データ相互運用性があるとは、データの提供者と利用者との間で、そのデータの意味解釈が同一になっていることを意味する。たとえば、ある温度センサの値が 25℃である場合に、部屋の温度が 25℃であると解釈するか、部屋にある冷蔵庫の近くの温度が 25℃であると解釈するか、両者の間で解釈にブレが生じるようではデータ相互運用性がない、となる。ここで、そのデータ相互運用性を確保することは、特に運用組織が違えば大変に難しいことであった。挑戦としては、センサデータの値の意味をプロファイルとしてメタ的に記述し、それらを共有する方法を考えた。しかし、そもそもの計測方法が何らかの形で標準的に規定されていないものに対しては、そのようなプロファイリングは困難である、との結論に行きついた。

このような背景の下、2009 年から始まった IEEE 1888 の設計時に、そのような意味的情報は、セン

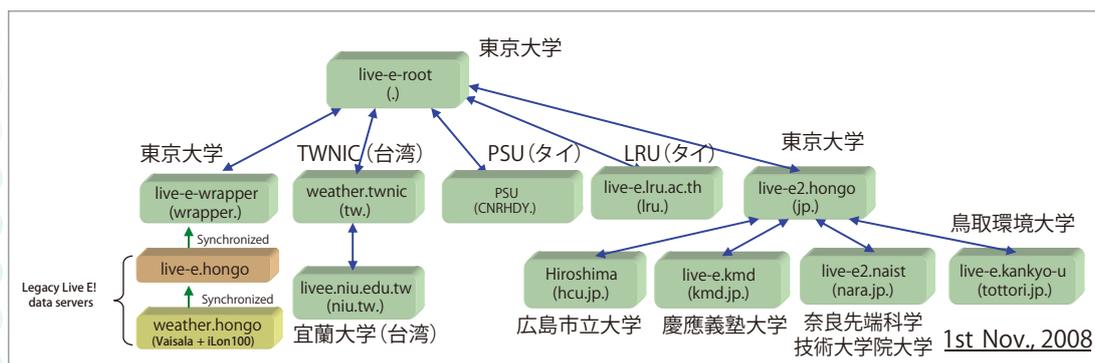


図-1 Live E! システム運用の構成図 (2008 年 11 月)

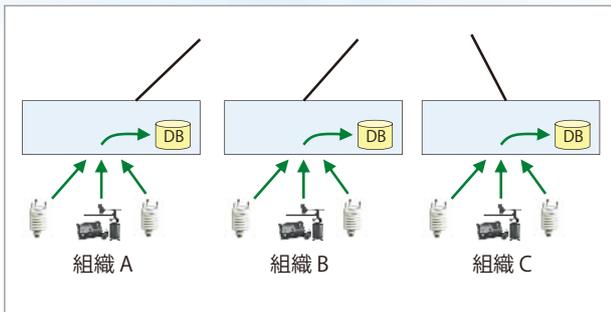


図-2 各組織による環境センサデータ収集の運用

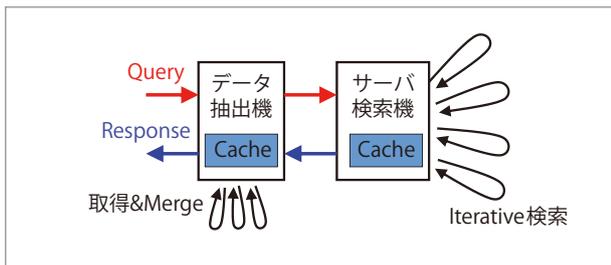


図-3 検索エンジンの構成。サーバを探索した後、該当するサーバからデータを抽出して統合して提供する。

サが生成したデータとは明確に分離することになった(図-4)。つまり、IEEE 1888 では「データ交換」に仕様の主眼をおき、センサに付随する情報(温度センサであるとか、冷蔵庫の隣を計測しているかとか)のフォーマットは自由に定義可能とし、その情報交換自体もオプションとした。

これにより、IEEE 1888 のシステムは、組織間のつながりが Live E! システムと比べてさらに疎結合な自律分散システムとなった。プロフィールでセンサ情報を検索することはやや大変となり、ほかの組織のサーバに作られた新しいデータが自動的に見えるようになるということも簡単にはできなくなった。しかし、これにより、データの意味解釈の齟齬がなくなり、実運用で正しくデータが使われるようになった。また意味記述から解き放たれたことによって、アプリケーションが数々花開くことになった。具体的には、Live E! を超えて、数々の計測制御システム(ビルや広域施設のエネルギー監視制御、設備監視制御、生産ライン)の中核として利用されるようになっていったのである。そして、2015年に ISO/IEC 国際標準規格 (ISO/IEC/IEEE 18880:2015) として認められることになった。

上記で少し述べたように、Live E! では国内外で IEEE 1888 プロトコルを用いた疎結合な自律分散シ

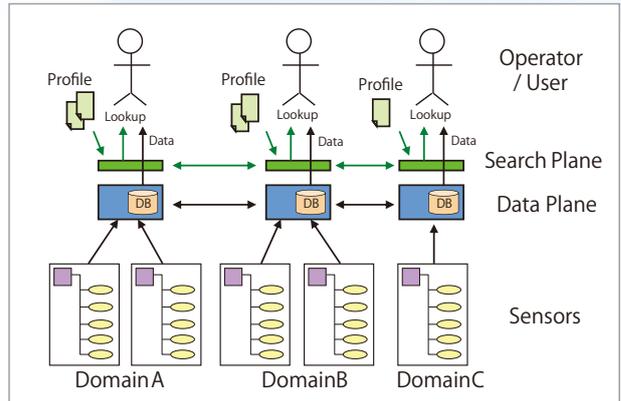


図-4 プロファイルとデータを明確に分離することを議論した資料(2009年6月)

ステムの構築運用に携わってきた。たとえば、科学技術振興機構(JST)と国際協力機構(JICA)による SATREPS(地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム)で実施された DISANET プロジェクトではインド Hyderabad 市内に約 30 式のデジタル百葉箱を設置・運用し停電等が頻発する劣悪な環境でも動作することを確認した(図-5)。

DISANET プロジェクトでは IIT Hyderabad 校と IMD (India Meteorological Department) と共に実施したが、IIT Hyderabad 校では研究用途として密度の高いデータ、政府機関である IMD では精度の高いデータが要求としてあった。そこで WMO (World Meteorological Organization) の基準に準拠したデジタル百葉箱と簡易型のデジタル百葉箱の2種類を設置し双方の要求を満たす気象観測網を構築した。2種類の百葉箱から取得できるデータの精度が異なることは関係者間で共有することでデータ相互運用性を確保した。それにより IMD は WMO の基準に準拠したデータのみを、IIT Hyderabad 校は WMO の基準に準拠したデータも含めた全データを意味解釈の齟齬なく利用することが可能となった。

また、インドでは停電や通信障害が多く発生するが、疎結合な自律分散システムとなっていることで、日本等で動作しているほかのサーバへの影響はなかった。旧来の Live E! システムではそれぞれのサーバが仮想的なリンクで接続されていたため、1つのサーバで障害が発生するとほかのサーバへも影響が及びシステム全体が不安定となっていた。

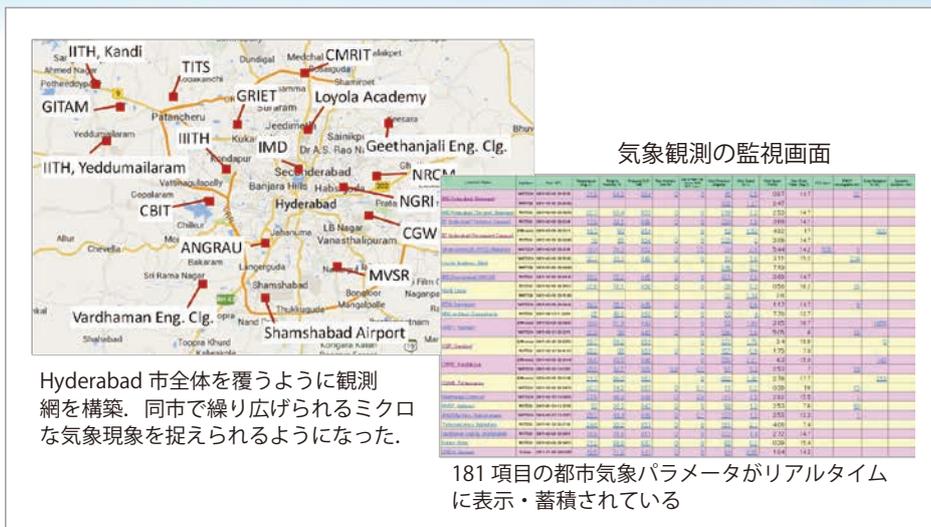


図-5 Hyderabad 市内のデジタル百葉箱設置場所とそのデータ

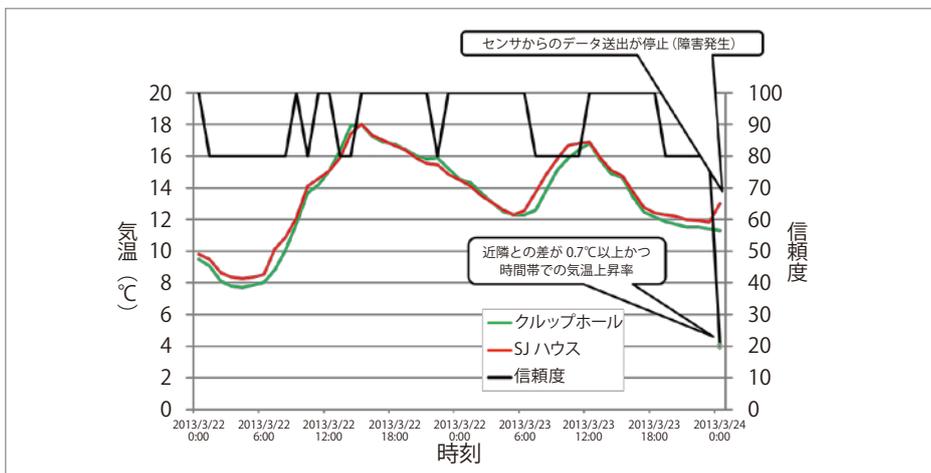


図-6 障害の発生によりデータの「信頼度」が大きく低下している様子

このように、IEEE 1888 のシステムではさまざまな環境下でほかのサーバへ影響なくデータ交換が可能となっており、またプロファイル情報に関しても関係者間で取り決めて交換することでさまざまな用途に活用できることを確認した。

データ量やセンサの種類爆発的な増加が考えられているが、Live E! では国際標準化したデータ交換以外の部分でもそれらに対応できる技術開発を実施してきた。たとえばデータを利活用する上でデータ相互運用性が重要となるが、規模の拡大やセンサの種類増大によりその定義や交換が課題となる。そこで Live E! では「信頼度」というデータの確からしさを表す指標をデータに自動的に付与する機構を開発し、Live E! のデータを用いてその仕組みの有用性・有効性を確認した。開発した機構では過去の障害事

例を基に障害発生前後に起こるデータの挙動を4種類に分類し、4種類の挙動の組合せと過去のその組合せにおける障害の発生確率を基に信頼度を出している。たとえば図-6では「近隣との気温差が閾値(0.7℃)以上」という挙動が発生しただけで実際に障害が発生していたことは過去の事例では少なく、信頼度の低下は少ない。一方「近隣との気温差が閾値以上」および「一定時間で気温が大きく変化」という2つの挙動が併せて発生した場合は過去の事例より障害が発生している可能性が高く、信頼度が大きく低下している。実際にその後当該センサがサーバに送った気温データの値

が上昇したのちそのセンサからのデータの送出手は停止した。今後この仕組みを参考にデータ相互運用性を高めるさまざまなプロファイル情報を自走生成する仕組みが開発されることで、規模性の拡大やセンサの種類増大等へ対応できるシステムとなる。

(2016年11月14日受付)

Live E!での技術開発は東京工業大学 松浦知史准教授, KDDI (株) 石塚宏紀氏ら多くの方々のご協力・ご支援で実現された。

落合秀也 (正会員) ochiai@elab.ic.u-tokyo.ac.jp

1983年生。2006年東京大学・工・電子情報工学科卒業。2011年同大学院・情報理工学系研究科・博士課程修了。同年、同大・大規模集積システム設計教育研究センター・助教。2014年同大学院・情報理工学系研究科・講師、現在に至る。博士(情報理工学, 東京大学)。

山内正人 masato-y@kmd.keio.ac.jp

1984年生。2008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修了。2011年慶應義塾大学大学院・メディアデザイン研究科博士課程満期退学。同年、同大学院同研究科 特任助教、現在に至る。博士(メディアデザイン学, 慶應義塾大学)。