

# インターネット技術を用いたオープン環境情報共有システムの構築 - Live E! : デジタル百葉箱による自立的な気象データの共有と応用 -

江崎 浩

キーワード：インターネット、オープン、環境情報、デジタル百葉箱

インターネットへの接続性を高めた各種環境情報センサが研究開発され、その低コスト化とともに運用ならびにデータ分析ツールも充実しつつある。さらに、IP技術を基盤としたブロードバンドインターネット環境の整備とユビキタスネットワーク環境の構築は、これら環境情報センサをインターネットに接続可能とし、自立的な環境情報の共有と加工を実現する環境の構築を推進可能としつつある。

本稿では、環境情報の共有に関する社会的な意味と技術的な要件を概観するとともに、デジタル百葉箱の応用に向けた取り組みの1つであるLive E!の活動を紹介する。

## 1. はじめに

頻発する異常気象や震災によって影響を受ける都市活動や市民/経済生活などに関して、近年のセンサデバイスや情報処理技術の発達に伴い、詳しい因果関係の解明や事前予知の可能性が期待されている。一方で、先進国での都市活動の変化と、アジアを中心とした人口集中地域での大都市化の進展は、地球上での気象変化をより一層複雑化しており、COP3(気候変動枠組条約第3回締約国会議)で採択され2005年2月に発効した京都議定書による温暖化対策等の展開も含めて、今後の経済社会活動に対して多くの変革を要請している。こうした中で、インターネットへの接続性を高めた環境情報観測ユニット(「デジタル百葉箱」)が研究開発され、その低コスト化とともに観測や分析ツールも充実しつつある。さらに、IP技術を基盤としたブロードバンドインターネット環境の整備とユビキタスネットワーク環境の構築は、これら環境情報センサをインターネットに接続可能とし、自立的な環境情報の共有と加工を実現する環境の構築を推進可能としつつある。高度な環境情報について、WEBカメラや関連する他のデバイスとの組み合わせによる効果、さらにはバスや鉄道といった移動体が生成する環境情報も含めて、従来の常識を超えた密度と精度、そしてリアルタイム性を伴って地球上に設置することが可能となりつつある。それらを活用した分析や予測が、市民生活に及ぼす効果と貢献の大きさは計り知れず、市民ニーズから派生する新しいビジネスやサービスに対する期待もまた大きい。個人および組織が自律的に設置運営する「デジタル環境情報センサ」が生成する種々の地球環境に関するデジタル情報を流通させ、自由に利用・加工・共有することが可能なインフラ構築を実

現することができれば、そこから教育、公共サービスならびにビジネス分野における新たな活動の展開により、安心安全で効率性の高い活動空間(=環境)の創造が期待される。

インターネットに代表される計算機ネットワークは、電力消費量を増加させた1つの要因とも言われている。事実、計算機は多量の発熱をし、その発熱密度はムーアの法則に従い指数関数的に増大している。インターネットはもともと、計算機が高価であった時代に、ある業務や作業の効率化や支援を行うための計算処理を、遠隔に存在する高価な計算機を用いて実行することを目的として研究開発されたものであった。(デジタル)情報は、生成、収集、流通、加工、共有の5つの過程から、人々や組織の活動の効率化や高機能化を実現することができる。また、ITを用いた、地球環境保全に関する取り組みと貢献は、IT先進国としての、グローバル社会への責任でもあろう。無駄なエネルギー消費への対策、有害物質の生成排出への対策や、諸外国への展開は、我々が生活および企業活動を展開する“地球”を健全な状態に維持するために、必須の施策でもあるはずである。

## 2. インターネットシステムの新たな挑戦

### 2.1 インターネットシステムの再確認

インターネットは、デジタル情報が自由に流通され、利用されるロジカルな(論理的な)アーキテクチャであり、そのように運用されるべきである。ユビキタスネットワーク環境が、徐々に現実性を見出していく中で、このような情報の“流通と加工”に関する「透明性」と「自律性」を提供するシステムアーキテクチャとシステム運用を、どのようにして実現するかは、無駄のない情報空間/活動空間を形成する上で、極めて重要なことである。

「インターネットの父」と呼ばれている CNRI 社 (<http://www.cnri.reston.va.us/>) の Robert Kahn 博士は、「インターネットはロジカルなアーキテクチャである。いろいろなメディアを自由に選択することができ、そのメディアを介してデジタル情報が流通され利用されることが、インターネットアーキテクチャの鍵である。TCP/IPを用いた、いわゆるインターネットは、その1つの実装形態にすぎない。デジタル情報が自由に流通され利用される基盤を作ることは、デジタル情報の属性をグローバル規模で認識可能な基盤を作ることが重要である。」と言っている。インターネットは、計算機を相互接続し、デ

デジタルデータが多様な通信メディアを介して自由に流通する基盤を提供し、その情報を用いて目的の計算処理を行うものである。インターネットは、(a) 利用法 (Application) に依存しない、(b) 利用者 (User) を制限しない、(c) 情報を伝達するインフラの種別に依存しないインフラになることができる。これは、人々が自由に情報とインフラを流通利用可能な、排他性を持たない共有可能なインフラ (= コモンズ[1]) を実現したものととらえることができる。これが、広い意味での「オープンシステム」である。

インターネットは、これまで3つの大きな波を経験してきている。第1の波は、共有言語としてのTCP/IPを用いたクローズドな専用システムからグローバルなオープンシステムへの展開、第2の波は、初期のWEB技術を用いた利用者の一般化と利用者数の増加であった。第3の波は、WEBサービス/ビジネスを核としたTCP/IP技術とWEB技術を用いた、ミッションクリティカルなビジネス領域へのインターネットの導入である。

そして、現在、「第4の波」と言われるブロードバンド化とユビキタス化の波を経験しつつある。ブロードバンド化とは、広帯域の通信容量と常時接続を意味し、ユビキタス化とはセンサやアクチュエータなどを含めたいわゆるノンコンピュータ機器のインターネットシステムへの相互接続を意味している。すなわち、ユビキタス環境では、家庭内の冷蔵庫やガスメータ、屋外の車や自動販売機、さらには販売店で販売される商品、ペットや人間が身につけるデジタル機器、さらにセンサなどの微小デバイスがインターネットに接続される。

インターネットはもともと、ある業務や作業の効率化や支援を行うための計算処理を遠隔に存在する高価な計算機を用いて実行することを目的として研究開発されたものであった。しかし、インターネットは、いくつかの発展段階を経て、すべてのデジタルデバイスを相互接続するユビキタスネットワーク環境へと進展しようとしている。ユビキタスネットワーク環境においては、(デジタル)情報に関する、生成、収集、流通、加工、共有の5つの過程から、人々や組織の活動の効率化や高機能化を目指すなければならない。

## 2.2 ディペンダブルなインターネット基盤の構築

社会生活や産業活動を支えるに資するファシリテイネットワークを構築するためには、システムがディペンダブル (Dependable = (頼ることのできる)) である必要があり、そのためには、システムの独立性、すなわち自律性 (Autonomous) とそれを支えるシステム間での相互接続性の確立が必要となる。システムの自律性は、ユーザに対して利用する機器の

選択性と自由度を提供し、その結果から、システム全体の可用性の向上、サービスの継続性の提供などを実現することができる。情報通信システムのデジタル技術は、情報処理と情報伝達の2つの観点から、異なるオブジェクト間での統一的なインタフェースの提供を可能にするためのさまざまな抽象化を提供することができる (すなわちオープンシステム)。我々は、オブジェクトの自律性 (Autonomous性) と相互接続性を実現するために、システム設計におけるコモンズ (Commons) [1] の概念の導入とその実践を行わなければならない。

近年になって、従来の計算機システム、特に組み込み系のデジタル機器で仮定しなければならなかった以下のような条件・制約が否定されつつある。

- (1) エンドノード/ユーザは低能力である。
- (2) ノードは移動しない。
- (3) クライアントサーバシステムが安定で効率的である。
- (4) 垂直統合システムであるべきである。
- (5) 内部は信用可能で、外部に悪漢が存在する。

“ディペンダブル”を考えると、大きくは、1つのとても頑丈なシステムをデザインする方法と、複数のそれなりに頑丈なシステムを組み合わせる方法とが考えられる。IP技術を用いたインターネットシステムの最大の特徴は、いろいろな選択枝が提供可能なことであり、これを、積極的に考慮したディペンダブルの提供を考えるべきであろう。これにより、継続的なサービス提供を行いながら、異なる技術・製品やインフラにスムーズに移行することが可能となる (シームレス性)。

いくつかの視点で、システムのデザインを行う場合のアーキテクチャ的な選択枝に関する議論を行い、ディペンダブルインターネットに向けた情報制御システムのアーキテクチャデザインを以下の5つの視点から簡潔に議論する。

### (1) オープンシステム

インタフェースを公開することがオープンシステムの本質である。オープンシステムでは、モジュール (ハードウェア/ソフトウェア) の取替えの可能性を提供することで、結果的に複数の選択枝をユーザに提供する。これにより、市場での競争が発生し、コスト削減と品質向上がもたらされるとともに、結果的にはモジュールの継続的供給が実現される。

### (2) ピア・ツー・ピアシステム

経済性の観点からは、サービスの集中化と集約化は、基本的にコストダウンを生み、また、一方で、ビジネスモデルにおけるユーザの囲い込みを可能にする。したがって、多くの場合、ビジネス性を考慮し、基本的にシステムをClient-Server型で設計する

傾向にある。一般的に、Client-Server型のシステムは、Single-Point-of-Failureの構造になり、1つの障害が、システム全体に影響を及ぼすことになってしまう。そのような観点から、ディペンダブルなシステムの構築に向けて、ビジネスモデルとは一見背反するPeer-to-Peerシステムの適切な導入と応用が多くシステム設計において必要となる。

#### (3) エンド-ツー-エンドセキュリティ

既存のファイアウォールモデルでは、もはやシステムのセキュリティを守ることができないことが明らかとなった。すなわち、エンドエンドセキュリティを基本にした新しいセキュリティアーキテクチャと運用の確立が必要となる。

#### (4) プラグアンドプレイ

機器を設置すれば、動作するために必要な情報をすべてネットワークから獲得し、自律的に動作を開始するシステムの提供である。プラグアンドプレイ技術による各機器の設定の容易性は、システムの構築コスト（設置作業に必要なエンジニアの単価と人数の削減という点での貢献）に直接影響するものであり、システムの導入時の効率化とコスト削減にとって重要な技術要素となる。

#### (5) グローバルな接続性

すべてのシステムは、もはや単独で運用されるのではなく、すべてのネットワークやネットワーク内のすべての電子機器が自立的に相互にデジタル情報を交換/加工/共有されることを前提に設計運用されることが重要となりつつある。単独のローカルシステムを設計する時点で、それが、グローバルに相互接続されることを想定して、システムデザインを行わないと、個別に設計構築されたシステムが相互接続される際に大きな設定変更が必要になってしまう。過去に、イントラネット（Intranet）がエクストラネット（Extranet）化した際に、非常に大きな金銭面と時間面でのコスト負担が必要であった経験を無駄にしないようにしなければならない。すなわち、「Think Global, Act Local」の思想にたった、「ローカル」システムの設計と実装が必要である。

### 3. ファシリティシステムへの IP 技術の適用

ビルに代表されるファシリティシステムの設計/構築/運用/改修に関するコストモデルの考え方、およびビルシステムが提供すべき機能は、近年、ファシリティ管理システムのアーキテクチャと運用方法にとって、大きな変革を要求している。ファシリティに関する、改修の容易性、改修によるファシリティの価値の創出が、ファシリティのオーナーにとって、非常に重要な点として認識されるようになってきている。

ファシリティの経営管理におけるエネルギー（電

気/ガス/水道/燃料)に関する支出の比率は極めて大きく（特に我が国においては）、ファシリティのライフサイクルコストという観点での、エネルギー費の比率は、ビルの設計建築を含む全管理の1/3以上となっていることが報告されている。ある報告では、電算機室に多数の温度センサを配置し、空調関連装置の制御の高機能化を行うことで、40%以上の電力消費量の削減を達成している。

さらに、1997年（平成9年）12月に京都で開催されたCOP3（気候変動枠組条約第3回締約国会議）では、先進国が6種類の地球の温室効果ガスを削減する数値目標と目標達成期間が合意された。我が国では、この京都議定書を受け、省エネ対策強化策の1つとして、「エネルギーの使用の合理化に関する法律（省エネ法）」の改正案が1998年5月に成立した。本改正省エネ法では、例えば特定建築物（2,000平方m以上の新設建築物、あるいは改装建築物）の照明設備の消費エネルギーの判断基準を10～20%強化することなどが義務付けられている。

現在の建築物の制御システムは、残念ながら、空調システムや照明システムなど機能ごとに、独立に、言い換えれば縦割り状に構築運用され、それぞれが、独自（Proprietary）の通信プロトコルを用いて制御情報の交換を行っている。ファシリティに導入される機器（センサノードや制御モジュールを含む）が、オープンで共通仕様に準拠していることは、装置の製造会社間での健全な競争に伴うコストダウン、製造会社に依存しない機器のメンテナンス性の確保など、ビルシステムのライフサイクルにわたる低コスト化と安全性向上に大きく寄与するものである。

このような観測制御システムは、単独のファシリティに閉じて独立に運用される形態から、それらが相互に接続され、より高度な計測制御システムへと進化しなければならない。環境情報がインターネット化され、それぞれのファシリティ運用主体は、これらの環境情報を用いて、所有するファシリティの最適化を行うとともに、ファシリティ間での情報の相互交換/共有による、より高度な効率化へと向かわなければならない。環境情報のインターネット化、すなわちユビキタスに存在する環境情報センサが生成する環境情報が自由に流通し、加工され共有/再利用される環境を構築し、この環境情報を用いたファシリティの最適化と効率化を推進しなければならない。このような活動は、各企業活動における利益になるばかりでなく、地球環境の保全という意味での貢献が期待されるものであり、我が国以外の地域における積極的な取り組みを援助・推進することは、我が国の地球に対する責任でもあると言える。

IPv6普及高度化推進協議会では、ファシリティネットワークワーキング分科会（2004年6月にビルディング

オートメーション分科会から名称変更)を2003年1月に発足させ、次世代インターネット基盤プロトコルであるIPv6技術を用いたファシリティネットワークのIP化、オープン化、さらに、マルチベンダー化に向けた調査研究とその普及を推進する活動を開始した。電気設備学会、BAS標準インタフェース仕様推進拡張委員会、LonMark協議会など、関連する組織と協力しながら活動を展開している。本分科会の活動の趣旨は以下の4点である。

- (1) IPv6技術を活用したビルシステムのオープン化と、マルチベンダー化によるビルのライフサイクルコスト(LCC: Life Cycle Cost)の低減に貢献する。
- (2) センサ、アクチュエータ、コントローラ等のビルシステム用機器が、ネットワークに接続することで自律的なデジタル通信環境が提供され、システムとして、安全に協調動作可能となるための(Secured)Place & Play環境を実現する。なお、提案するシステムは、現システムからの移行が、十分低コストで、かつ安全に実現可能なシステム環境を実現しなければならない。
- (3) 前述したシステム仕様を標準化し、国際標準として提案する。なお、提案する仕様は、LonWorksおよびBACnetに対抗するものではなく、むしろ

LonWorksおよびBACnetの後継となるべきシステム仕様としての検討を行い、LonMark協会およびASHRAE(BACnet)への提案を目標とするものである。

- (4) さらに、多くのビルや施設がインターネットで繋がっていく都市や地域におけるエリアマネージメントシステムの構築を目指す。

すでに、IPv6技術をBACnetのシステムに適用して構築されたビルシステムが8月末時点で10例以上にのぼっているとの報告が行われている。一方、LonWorksのIPv6化も精力的に進められているようである。ファシリティネットワーク分科会では、2004年11月に東京で開催されたGlobal IP Business Exchangeおよび、2005年6月に幕張で開催されたNetWorld + Interop東京2005において、マルチベンダー環境でのIPv6技術を用いたBACnetシステムとLonWorksシステムのマルチベンダー環境での相互接続運用のデモンストレーションを行った。特に、NetWorld + Interop東京2005においては、会場外のファシリティをNTT東日本殿のご協力のもと、インターネットにより遠隔接続し、幕張の会場から遠隔監視ならびに遠隔操作のデモンストレーションを行うことに成功した(図1)。

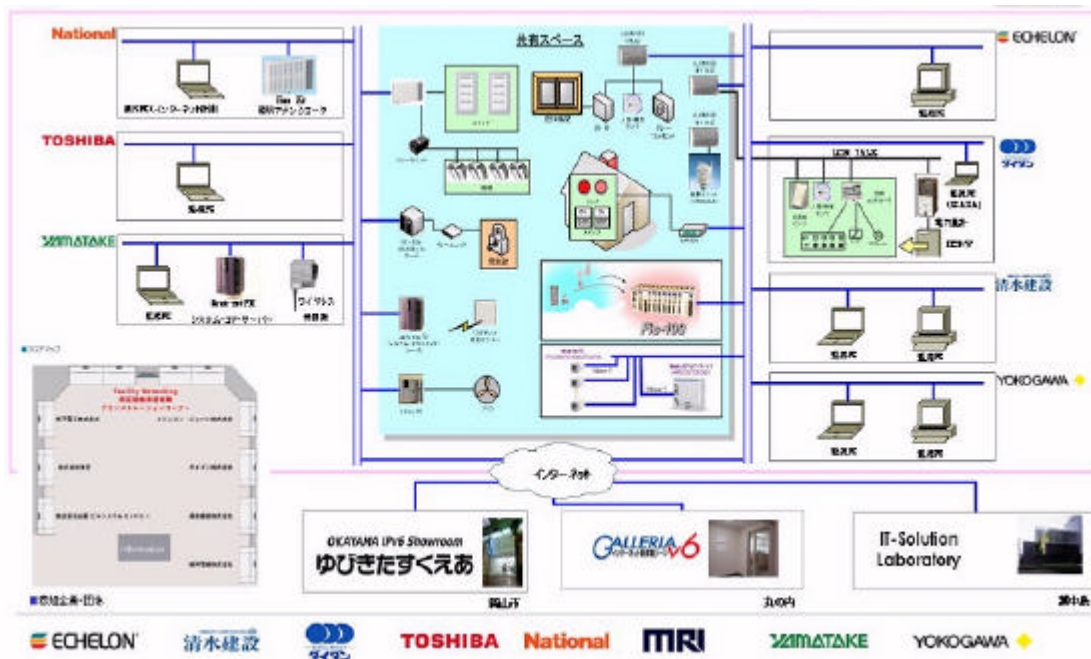


図1. Global IP Business Exchangeにおける相互接続デモンストレーションの概念図

#### 4. Live E! : 環境情報のインターネット化に向けて

##### 4.1 Live E!プロジェクトの活動趣旨

2005年5月、IPv6普及高度化推進協議会とWIDEプロジェクトが主体となって、Live E!プロジェクト(<http://www.live-e.org/>)を発足させた。以下の

4つが本プロジェクトの趣旨である。

- (1) みんなが、いろいろな地球環境に関するデジタルデータを持ちよって、自由に利用できるような情報基盤/情報環境を作り出そう。小さなデータを集めて大きな力にしよう。



- (2) 地球環境情報の生成と利用に、各人が責任を感じ貢献しよう。
- (3) “生”データへの所有権は、公共サービス (Public Service) のために忘れよう。データを自由に利用してもらおう。
- (4) みんなで、若い世代の理科/科学への関心を高めよう。

具体的には、個人や組織により、設置運営される「デジタル百葉箱」等が自律的に生成・取得する、気象情報や都市活動に関する情報など、広義の地球 (Earth) に関する生きた (Live) 環境 (Environment) 情報が自由に流通し共有される電子 (Electronics) 情報基盤を形成発展させ、自律的で自由な環境情報の利用法、安心安全で効率性の高い活動空間 (=環境) の創造を目指す。

地球温暖化対応のような環境保護対策での利用はもちろんのこと、教育、公共サービス、ビジネスアプリケーションなどの分野での自由で自律的な利用法について、積極的な働きかけを促進することを目的としている。本プロジェクトでは、以下の3つの分野における環境情報の利用を推進する予定である。

(1) 教育プログラム

気象情報をはじめとする環境情報は、物理学関連の教育材料としての利用価値が大きい。初等教育から高等教育まで多様な利用が期待される。

(2) 公共サービス

広域災害の発生時における環境情報の提供は、災害状況の正確な把握と対処法の判断にとって有用となる。また、より詳細で多量の環境情報は、例えば都市部におけるヒートアイランド現象の把握と分析など、さまざまな環境状態の分析や解析および対策の検討材料として利用可能であろう。あるいは、環境情報を公開することによって、人々や企業の日常生活において有用な情報となることも期待される。

(3) ビジネス利用

環境情報を加工して有益な情報を顧客に提供するビジネスや、環境情報を用いて所有するファシリティ最適運用を行うなど、多量のデータを利用した精度の高い情報の提供や高度な効率化などが実現される可能性がある。例えば、電力供給会社では、気象情報を用いて、ファシリティ電力消費量を制御することで、必要となる電力供給設備の最適化の可能性も考えられよう。

4.2 デジタル百葉箱を用いた気象情報共有システム

Live E!プロジェクトにご賛同いただいた企業、大学、あるいは個人の方々からの機材のご提供と運用へのご協力により、2005年9月末現在で、既に50式以上のデジタル百葉箱が設置され、これらがインターネット接続されている (図2、3)。

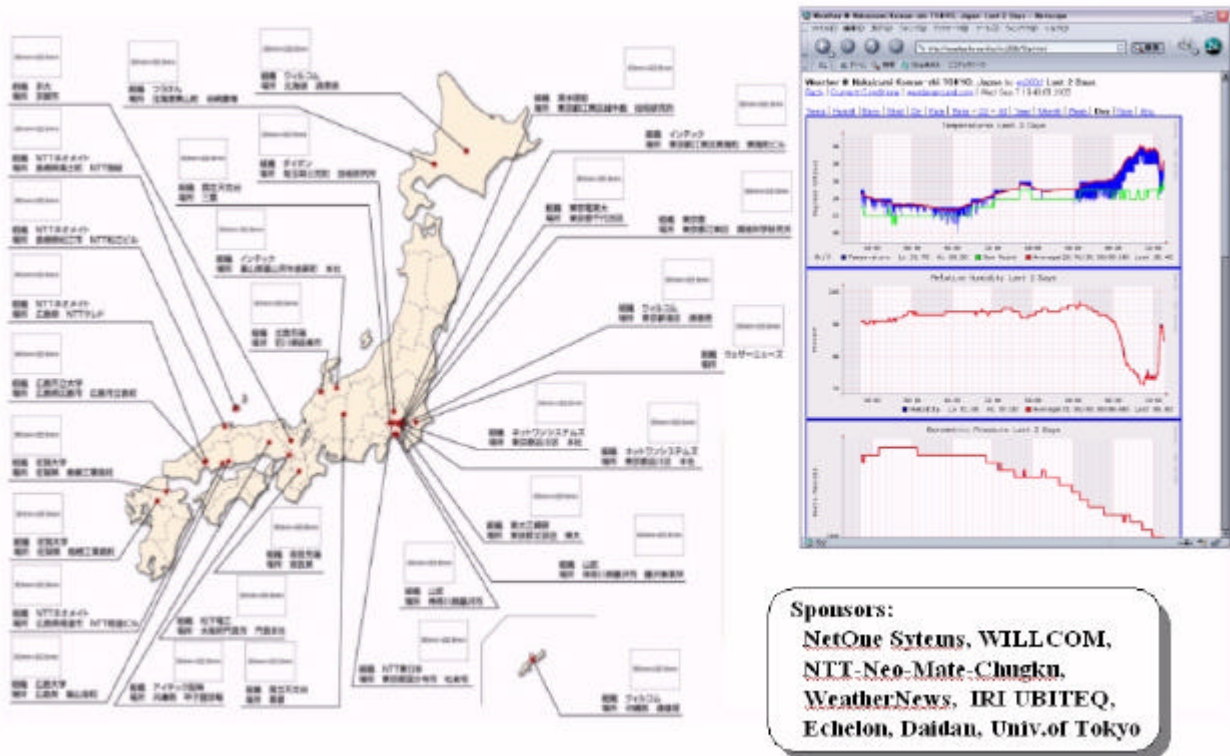


図2. Live E!システムの概要 (2005年9月末時点)

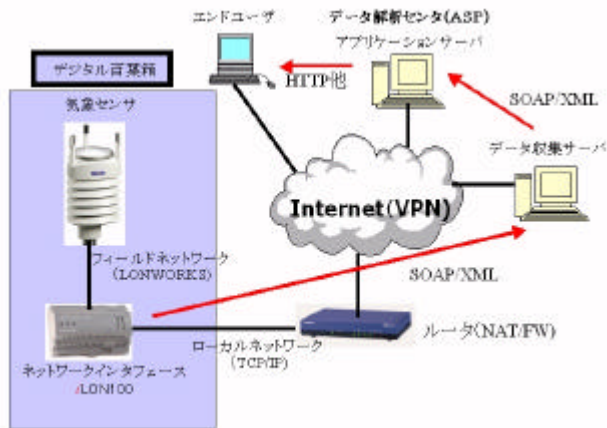


図3. デジタル百葉箱のシステム構成

各デジタル百葉箱には、インターネットに接続された世界中のコンピュータからアクセスすることが可能である。現在のシステムは、データ構造やディレクトリシステム、あるいは認証機能やデータの暗号化あるいはプライバシーにかかわるセキュリティアーキテクチャの研究開発と実証実験を通じた技術検証ならびにシステム検証の段階にあり、インターネットからの自由なアクセスは制限させていただいている。しかし、システムの研究開発と技術ならびにシステムの検証後には、インターネットからの自由なアクセス（セキュリティ機能を導入した上で）を実現させる予定である。

WIDEプロジェクトにおけるインターネット「デジタル百葉箱」の概念とその利用法を探る先駆的な研究開発活動は、2001年のNetWorld + Interop東京に、横河電機（株）殿との共同研究の活動の成果として行った、IPv6の通信機能を組み込んだ温度センサノードである“Hot-Node”を用いたデモンストレーションに遡る（図4）。



HotNode(TM)  
IPv6 enabled Dual Stackマイクロノード  
外部I/F: 10BASE-T × 1, RS232-C × 1 (メンテナンスポート)  
※ "HotNode"は、インターネットノード株式会社の登録商標です。

図4. Hot-Node（IPv6温度センサ）

100個を超える温度センサノードを幕張の国際展示場に分散配置し、会場の温度分布をリアルタイムにインターネット経由で観測するシステムを動態展示した。現在のシステムは、地上に固定設置した気

象センサノードを対象としているが、地上のみならず、海上や空中を移動する乗り物などに搭載された気象センサノード（あるいは、これらが持つ気象情報）も、Live E! システムの中の気象センサノードとして取り込む予定である。

WIDEプロジェクトでは、InternetCARプロジェクトにおいて、自動車の持つ種々の環境に関する情報を収集・加工する活動を過去に推進してきており、この活動の成果との融合も、今後の活動の大きな方向性の1つである。

## 5. むすび

インターネット技術は、通信メディアに依存せずにデジタル情報が流通可能な基盤を構築することができた。ユビキタスインターネットにおいては、さらに、我々の活動環境の効率化と高機能化に寄与することができる「環境情報」が自由に流通・利用されるような「環境情報のインターネット化」を推進しなければならない。気象センサを含む、種々のセンサが生成する環境情報は、非常に貴重なものであり、我々の生活活動環境の改善や保全のために、共有可能なものは、可能な限り共有されるべきものである。個別のセンサ技術の研究開発のみならず、環境情報の正規化や標準化、あるいはネットワーク化に向けた検索技術、認証技術、権限管理技術など、環境情報のインターネット化に向けた研究開発を推進するとともに、これを利用したアプリケーションの研究開発を推進する必要があると考える。

## 謝辞

Live E!プロジェクトの推進にあたり、機材提供ならびに運用にご協力いただきました各社、各組織、ならびに個人の方々に感謝の意を表します。また、機材提供をいただきました、以下の企業の皆様のご厚意に深く感謝の意を表します。ネットワンシステムズ（株）、エシエロンジャパン（株）、（株）ウェザーニューズ、（株）NTT ネオメイト、（株）WILLCOM、（株）IRI ユビテック、（株）三菱総合研究所。

## 参考文献

- [1] Lawrence Lessig, “コモンズ”, 翔泳社, ISBN4-7981-0204-0, 2003年1月
- [2] IPv6普及高度化推進協議会, <http://www.v6pc.jp/>
- [3] IPv6普及高度化推進協議会 ファシリティーネットワークワーキング分科会, <http://www.v6pc.jp/jp/wg/fnSWG/index.html>
- [4] WIDEプロジェクト, <http://www.wide.ad.jp/>
- [5] Live E! Project, <http://www.live-e.org/>