

# 3 アプリケーションIP化の 進展とIPバージョン6

Evolution of Network Applications with IP and IP version 6

砂原秀樹 (奈良先端科学技術大学院大学)

江崎 浩 (東京大学)

## はじめに

インターネットの普及に伴いさまざまな分野でIP上にアプリケーションが構築されるようになってきている。最も顕著な例は「電話」であるが、それ以外にもIP化が進展している分野は多数ある。同時にこうした新しい分野での応用はIPバージョン6 (IPv6, RFC2460) を前提としているケースが多い。これは、そのアドレス空間の広さだけでなく、IPv6で導入された新しい機能によるところが大きい。ここでは、アプリケーションから見たIPv6の機能とその可能性について検討するとともに、現在展開しているさまざまなアプリケーションの状況を紹介する。

## アプリケーションの要求から見たIPv6の特徴

IPv6と聞くと128bitのアドレス空間を意識することが多いが、IPv6が目指すのはIPv4が目指した世界を今のグローバルなスケールで再構成することにある。これは、IPという自律・分散・協調という原理の上に成り立つ共通基盤の上にすべてのアプリケーションを載せるということを意味する。つまり、多くの情報が共有され集積されることで、アプリケーションが個別に存在していたのでは考えも及ばなかった応用と価値を生み出す可能性を示唆している。このような視点から以下のIPv6の特徴について考察してみる。

- 広大なアドレス空間
- モビリティやマルチキャストといった新しい通信機能の提供
- セキュリティ
- 自動設定機能
- 各インタフェースに複数のアドレスを割り当て可能

## ▲モビリティとアドレス空間

1980年代後半のノートPCの登場によりモビリティの実現は早くからの要求であった。さまざまな検討が行われてきたが、その中からノードの識別を行うIdentifierとノードの位置を表すLocatorを分離しそれらの対応を管理することでモビリティを実現する方式Mobile IPが採用されている。しかし、この方式ではノードが移動した先々でLocatorとしてのIPアドレスを消費していくこととなる。Mobile IPv4 (RFC3344) では、消費するLocatorを節約するためForeign Agent (FA) と呼ばれる機構を導入し、移動してきたノードの対応を行うことでIPアドレスの消費を抑えている。しかし、仕組みが複雑化するとともにFAのないネットワークへのノードの移動はできなくなるためLocatorとしてIPアドレスを動的に割り当てる方法も残されている。このように考えると、Mobile IPは広大なアドレス空間を利用可能であることが前提となっており、Mobile IPv6 (RFC3775)こそその威力を発揮する機能であるといえる。

ネットワークに接続される機器の小型化は進んでおり、携帯電話だけでなく各種組込み機器にまでネットワーク機能は必要なものとなってきている。特に自動車といった移動する装置へのネットワーク接続は必須のものとなりつつあり、モビリティを基本機能として持つIPv6の活躍の場の1つである。そのため自動車との通信の標準アーキテクチャISO TC 204 WG 16のCommunications access for land mobiles (CALM) (ISO/DIS 21217)ではIPv6 (Mobile IPv6)を基本通信機能に据えている。これは、移動する自動車というノードの通信を共通基盤化することでサービス相互の情報共有を深化させ新たなサービスの創造を目指したものである。

## ▲マルチキャスト

マルチキャストも比較的早い段階から検討が進められてきた機能でありIPv4でも利用可能であるが、その本領を発揮するのはIPv6であろう。放送の代替あるいは補完としてIPマルチキャストを活用するというこ

その応用の1つであるが、それ以上にアプリケーションの強靭性を確保するための機能として重要な役割を担うと考えられる。これは、共通基盤の作り方に関する議論でもあるが、ユニキャストではなくマルチキャスト通信を基礎とした共通基盤とすることで、アプリケーションの作り方に大きな影響を与えられよう。

### ▲自動設定

ネットワークに接続されるノードの種類が増えるに従って、小型で単機能のノードが多数登場するようになってきている。こうしたノードは個数も多くそれらをいちいち人手で設定していたのでは大変である。同時にこれらのノードを管理運用することも重要であり、IPv6の自動設定機能はこうした局面においても重要な役割を果たす。小型機器が生成するデータは、1つ1つではあまり大きな意味を持たないが、これらが共通基盤に載って自律したノード同士の通信によって集積され処理されることで重要な「知」となることを示唆している。

### ▲複数アドレス割り当てとセキュリティ

現代のインターネットにおいてセキュリティは必須不可欠の機能である。しかし、これをどのように利用していくかはアプリケーションからの要求に基づくこととなる。IPv6ではその基本機能としてIPレベルでのセキュリティ機能IPsec(RFC4301)を有しているが、これによって内容の保証および秘匿だけでなく、ソースIPアドレスの認証ができるようになる。

また、IPv6がIPv4と大きく異なる点として各インタフェースに複数のIPアドレスを割り当てることができるという点がある。こうしたことから、ソースIPアドレスの認証と複数アドレス割り当てを活用することで、用途に応じてアドレスを変えオーバーレイネットワークを構成する方法を考えることができる。この特徴は、今後サーバ・クライアント型のアプリケーションからオーバーレイ型のアプリケーションに移行する際に重要な機能となると考えられる。情報の価値付けを行う際に、そもそもの情報源が信頼できる物であるということを保証するためにセキュリティは重要な機能であり、これを基本的な機能として持つことが大きな意味を持っている。

## IPv6時代のアプリケーション

ここでは、前章の議論を元にIPv6の特徴を活用したアプリケーションを紹介する。これらは、これまでWIDEプロジェクトを中心に行われてきた実証実験等を通して構築された物を中心としており、一部の応用は国際的な展開に発展してきている。いずれの事例も、イン

ターネットという共通基盤の上に存在する一見価値のないような情報を集積し処理することで、高い価値を持つ「知」に仕上げることが可能となる事例である。

### ▲モビリティと自動車

WIDEプロジェクトでは、移動するノードの実例として自動車へのインターネット接続実験を1996年より行っている。これは、Mobile IPまたはNetwork Mobility(NEMO, RFC3963)、Mobile Ad-hoc NetworkといったLayer 3モビリティの有効性検証のためにスタートしたものである。

自動車とのコミュニケーションは単に搭乗者にメールやWebアクセスの機能を提供するだけでなく、車両が持つセンサ情報を収集することで、有益な情報を構成することが目的とされている。こうした自動車から情報を収集する仕組みをプローブカーまたはフローティングカーと呼ぶが、従来はこうした情報は車内に保存され車両基地等で収集されていた。そのため、道路計画等特定の応用に限定されてきたものである。

しかし、インターネット技術を用いることで、リアルタイムに収集することが可能となるとともに、処理された情報をリアルタイムに車両に提供することが可能となった。たとえば、車両の位置情報と速度情報を組み合わせることで渋滞情報を生成したり、位置情報とワイパーの稼働情報を組み合わせることで降雨情報を生成したりすることが可能となる。こうした実証実験を横浜(2001年2月約270台)と名古屋(2001年12月～2002年2月約1,600台)<sup>1)</sup>で行っている(図-1参照)。現在ではこうした実験を進めてABS(Antilock Brake System)、車両速度、車輪速度から路面凍結情報を構成する実証実験が進められている<sup>2)</sup>(図-2参照)。

こうしたアプリケーションがインターネット上に構築されるメリットは、共通基盤上でアプリケーションが動作していることにより情報を相互に活用することが可能となる点である。たとえば、名古屋の実証実験では単にプローブカーシステムを構成するだけでなく、設置されたタクシーの管理運用(配車等)を行う業務システムとしても機能するようになっている点である。一方で、収集される情報には高いプライバシー情報(たとえば、自宅の位置など)が含まれる可能性があり、これらの情報をどのような条件の下で利用するかというコンセンサス形成も重要な課題である。現在我々はISO TC 204 WG 16.3においてプローブ情報におけるプライバシーの取り扱いに関する合意形成を進めている(ISO/WD 24100)。

もう1つプローブカーに関して新しい試みとして、車両同士が直接コミュニケーションして情報を集めてゆき、有益な情報へと組み立てていくセンタレスプローブとい

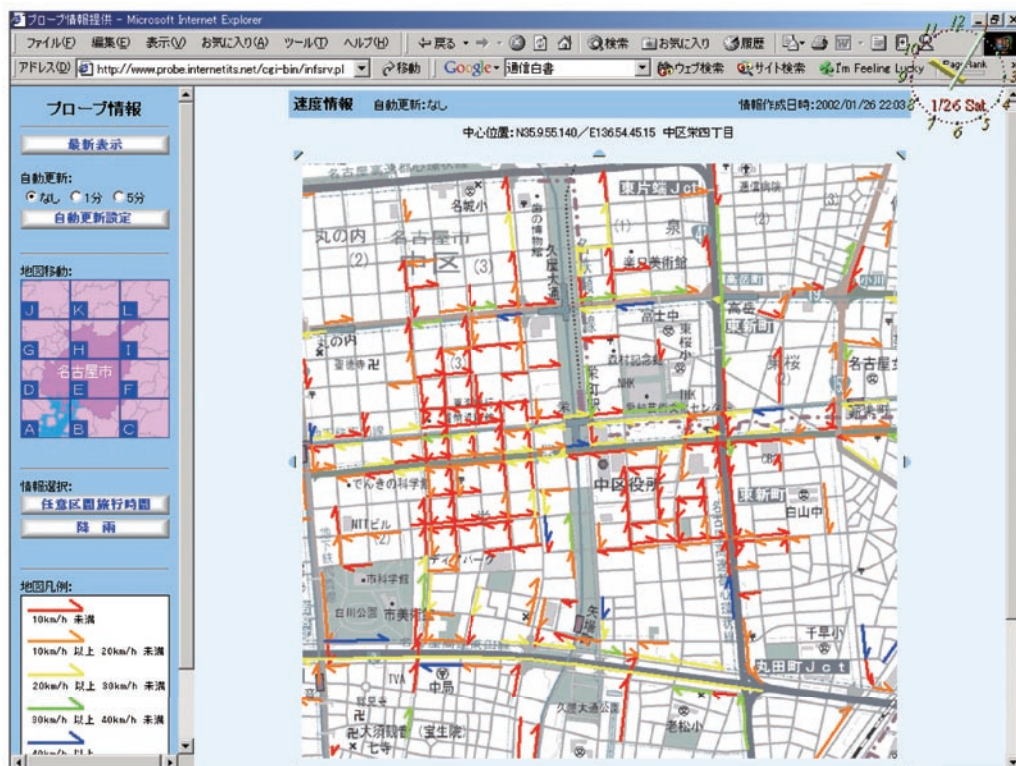


図-1 InternetITSによるプローブ情報システム(渋滞情報)

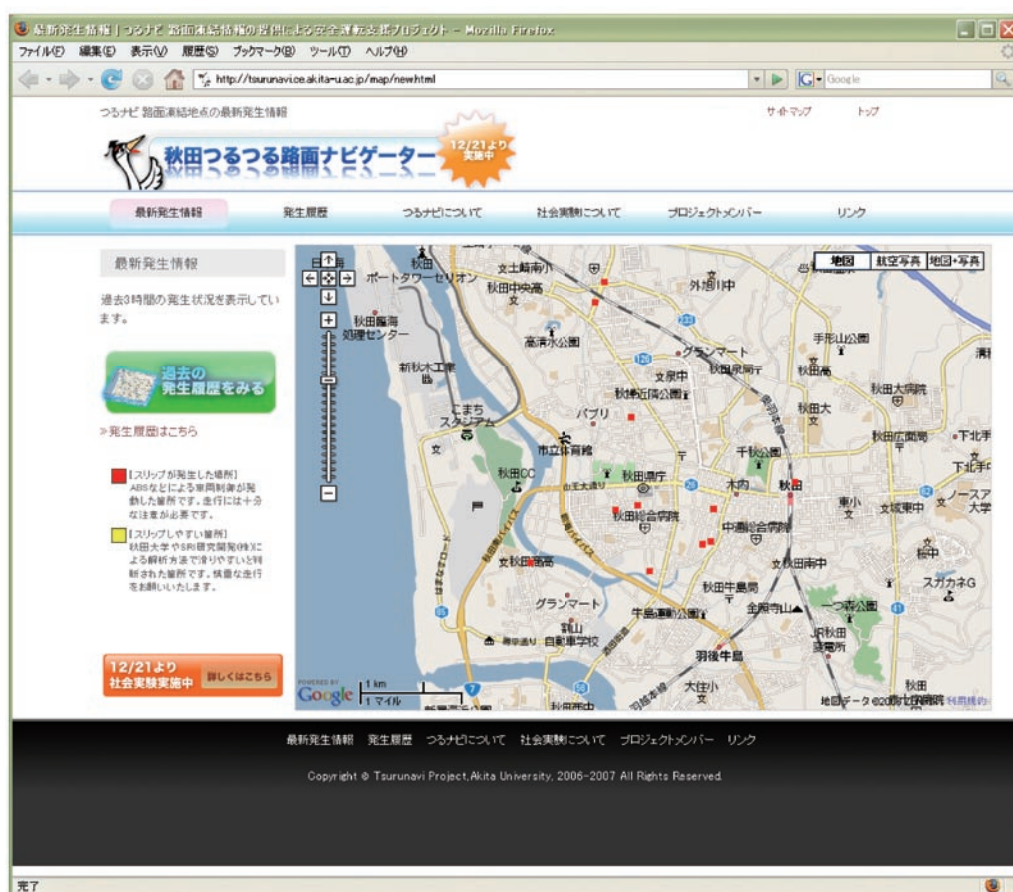


図-2 つるナビによる路面凍結情報

う実験を行っている<sup>3)</sup>。これはたとえば、渋滞情報を伝達する際に、対向車線の車両にそれを搬送してもらい後方の車両に情報を伝えるものである。つまり、渋滞地点の車両が対向車に渋滞情報を伝達し、伝達された車両が

移動して渋滞地点へ向かう車両に渋滞情報を伝達するという方式である。このような応用の検証を比較的容易に行えるのは、通信をインターネット技術という共通基盤に頼っているためであり、情報生成や情報伝搬のアルゴ

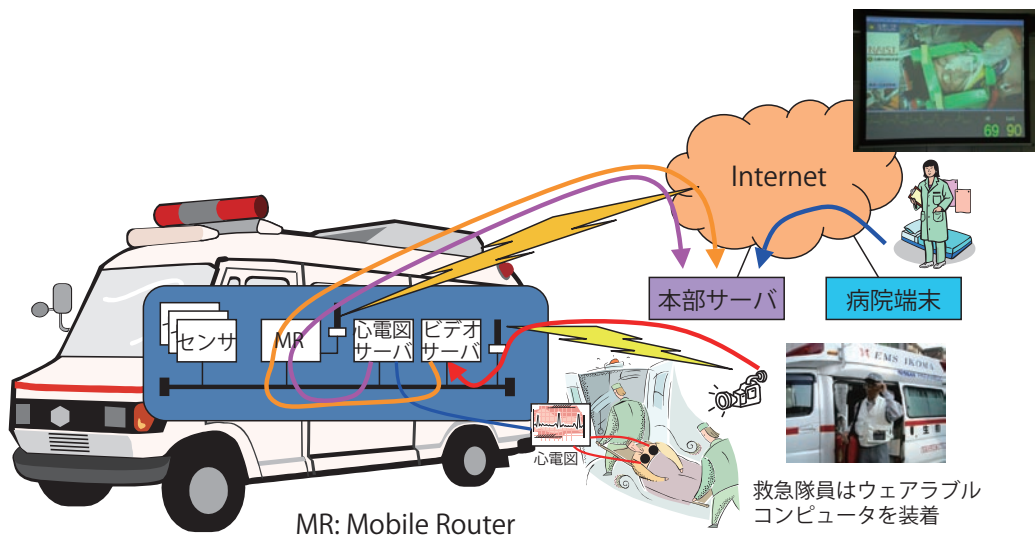


図-3 MobileERのシステム構成

リズムに集中して検証を進めることができている。

インターネット自動車のもう1つの応用として、生駒市消防本部と共同でインターネット救急車の実証実験を進めている<sup>4)</sup>。救急車には、心電図等のさまざまな機器が設置されておりこれらの情報をインターネットを経由して受け入れ先の医師に提示することで、傷病者の状況を的確に判断し救命率を高めることが期待される。この実証実験では、救急隊員にウェアラブルシステムを装着させ、傷病者の画像情報、医師からの指示情報の提示、隊員—医師間の音声コミュニケーションを実現している。同時に、心電図等の医療情報機器の情報を伝達するシステムを用意しており、医師は的確に傷病者の状況を判断し指示を与えることができるようになっている(図-3参照)。こうしたシステムは、傷病者の状況を的確に捉えることができるようになるとともに、受け入れ先候補となる病院の状況もリアルタイムに得ることで、受け入れ先病院の迅速な決定を行えるようになることも期待される。同時に、インターネット機器という一般的な装置を用いることで、こうしたシステムは安価に構成することができ迅速な普及も可能と考えている。

#### ▲ センサネットワーク

インターネットの普及は、さまざまな機器をインターネットに接続させる可能性を示唆した。特に、センサ等の小型装置をインターネットに接続することを可能とし、現在の状況を即座に知ることが可能となってきている。特に、建物において従来個別に管理されてきた温度センサや人感センサ、照明灯のスイッチ、ブラインド操作のためのアクチュエータ、空調の制御装置等をインターネットで接続することで配線コスト等を軽減するとともに、より有機的な制御が可能となった。こうした技術は、ビ

ルディングオートメーションまたはファシリティネットワークと呼ばれるが、これらを地球全体に展開することにより単一のビルだけでなく、世界中を対象としたシステムの構築が可能となる。こうしたプロジェクトの一環としてLive E!プロジェクト<sup>5)</sup>では、気象センサを多数設置し地球の今の状況を知ること为目标としている。すでに、国内に数百のセンサが設置されており、海外への展開も進んでいる(図-4参照)。

センサ情報の活用も多岐にわたり、地球温暖化の研究に用いられるとともに、地方自治体では災害情報配信のために利用することが検討されている。ここでは、センサからの情報が失われないようにするため、マルチキャストによって複数個所に集められており、一部の装置が故障またはネットワークから切り離されても重要な情報が得られるように構成されている。

また、今後インターネットには膨大な数のセンサ機器が接続されることが想定される。そのため一部のセンサが故障し停止したり・間違った情報を配信したりする可能性を持つ。そのためこうしたシステムでは、センサ同士が相互に監視を行い故障した機器を早期に発見する機構を必要としている。Live E!プロジェクトでは、こうした機器管理の機構についての検証も行っている。

さらに、これだけ膨大な情報の管理は従来のサーバークライアント型のアプリケーションでは困難である。そこで、情報はセンサノード群を活用したオーバーレイネットワークで管理することを想定している。情報は位置情報および時刻情報で管理されオーバーレイネットワークを構成するようになっている。さまざまな方式が検討されているが、こうした実験とLive E!サービスの運用を両立するための基盤技術の確立も行っている。

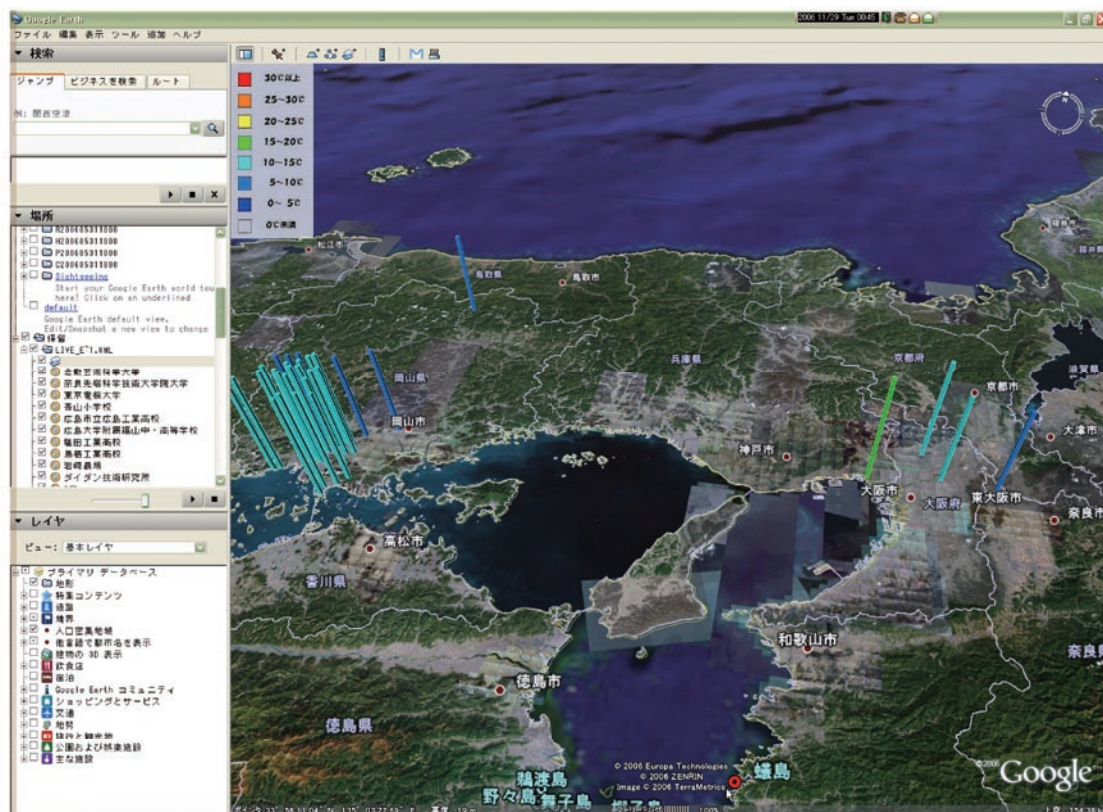


図-4 Live E! プロジェクトアプリケーション例

### ▲実空間と位置情報基盤

インターネット自動車の例でも、Live E! プロジェクトの例でも明らかのように、インターネット上の情報は実空間に密接に結びついている。したがって、現実の世界でその情報がどの「位置」と関連づけられているかは重要な要素となる。GPS等の位置計測のメカニズムは多数あるが、室内での利用が困難であるなど制約も多い。一方で、無線LAN技術の普及に伴いこれらの基地局の位置と基地局ID(BSSID)を結びつけることで位置情報を得ることが可能となってきた<sup>6)</sup>。このような位置情報基盤を実現するためには基地局の位置を計測し収集する必然性がある。こうした情報収集にも移動するノードを有効に活用する手段が用いられている。これは移動するモバイルノードで基地局ID(BSSID)を収集しながらその情報にGPS等で位置情報を付与しデータベースの作成を進めている。このような情報収集の仕組みも、共通基盤上で多数の情報を収集することで有益な情報を構成する技術の1つといえるであろう。

### おわりに

IPv6の広大なアドレス空間によって、従来は接続されてこなかったような多種多様のノードがインターネットに接続されるようになってきている。しかしこれは、

単に接続されるノードの数が増えることを意味するだけでなく、質の異なるネットワークを構成することも意味している。サービス等によってノードのアドレスを変更することにより、よりセキュアなサービスネットワークを構成することができる。

たとえば、センサネットワークに接続される各センサノードの処理能力は非常に低いと考えられるため、不必要な通信への対応やフィルタリング等をセンサノード自身で行うことは避けるべきである。そこで、実通信に用いるアドレスと、ノードのIDであるアドレスを分離し、存在を知らないノードからはセンサノードにアクセスができないようにするステルス化技術の開発を行っている<sup>7)</sup>。これらは、2つのアドレスを動的に対応付けするMobile IPv6を拡張し、NEMOの仕組みを用いて実現される。ノードのステルス化の様子を図-5に示す。センサノード(SN<sub>1</sub>…SN<sub>n</sub>)は、Mobile IPv6のモバイルノードと同様の機能を持ちHome Agentに相当するNMRで管理されている。ARR<sub>1</sub>およびARR<sub>2</sub>はそれぞれARA<sub>1</sub>、ARA<sub>2</sub>をHome AgentとするNEMOのモバイルルータであり、ARR<sub>1</sub>およびARR<sub>2</sub>のモバイルネットワークのプレフィックスを用いセンサノードのCare of Addressを生成しそれをセンサノードのソースアドレスとする。このようにすることでセンサノードは仮想的に移動したように見えるため定期的にソースアドレスを変更すること

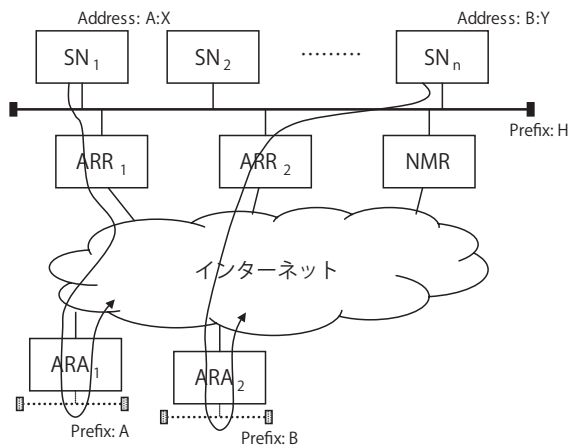


図-5 センサノードストレス化機構の概要

によりノードの存在を分かりにくくすることが可能となる。

このようにIPv6という通信技術は、アドレス不足やセキュリティなどの基本的な機能を持たないために複雑化しているIPv4のインターネットで失われてしまったインターネットの「原点」を復権させることであると同時に、新しい形態のネットワークアプリケーションの構築原理となる可能性を示唆している。ここで再度インターネットの自律・分散・協調に基づく共通基盤という原理を再認識するとともに、今後行われるさまざまな挑戦から生まれる新しい可能性に期待したい。

**謝辞** 本稿で紹介した研究開発活動は、WIDEプロジェクト、InternetITS協議会、Live E!プロジェクトをはじめとする非常に多くの組織と個人のご理解とご尽力によ

って推進されたものである。ここに、関係者の方々への敬意と感謝の意を表させていただきたい。

**参考文献**

- 1) 和泉順子, 湧川隆次, 川喜田佑介, 秋山由和: 4. インターネット ITS プロジェクトの概要, 情報処理学会誌, Vol.43, No.4, pp.369-375 (Apr. 2002).
- 2) つるナビ (Dec. 2007), <http://tsurunavi.ce.akita-u.ac.jp/>
- 3) (財) 日本自動車研究所: センタレスプローブ情報システムの開発に関するフィージビリティスタディ報告書 (2007).
- 4) 砂原秀樹, 森島直人, 神原誠之, 石橋賢一, 今西正巳: Mobile ER: 救急活動支援画像配信システム, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2007) シンポジウム, pp.1287-1292 (July 2007).
- 5) Esaki, H. and Sunahara, H.: Live E! Project ; Sensing the Earth with Internet Weather Stations, The International Symposium on Applications and the Internet (SAINT 2007) (Jan. 2007).
- 6) 伊藤誠悟, 吉田廣志, 河口信夫: locky.jp: 無線 LAN を用いた位置情報・測位ポータル, 情報処理学会研究報告. MBL, モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会研究報告, Vol.2005, No.90, 2005-MBL-34-(4), pp.25-31 (Sep. 2005).
- 7) 砂原秀樹, 藤川和利, 河合栄治, 森島直人, 垣内正年, 和泉順子, 島田秀輝: センサネットワークを中心としたエンドツーエンドセキュリティ技術の開発, 文部科学省科学研究費補助金「特定領域研究」情報爆発時代に向けた新しいIT基盤技術の研究, 平成18年度報告書 (Jan. 2007).

(平成20年1月30日受付)

**砂原秀樹 (正会員)**

[suna@wide.ad.jp](mailto:suna@wide.ad.jp)

1988年慶應義塾大学理工学部博士課程修了。工学博士。電気通信大情報工学科助手、奈良先端大情報科学センター助教授を経て、2001年から現職。日本におけるインターネットの構築とその研究に従事。

**江崎 浩**

[hiroshi@wide.ad.jp](mailto:hiroshi@wide.ad.jp)

1987年九州大学電子工学専攻修士課程修了、(株)東芝入社。ATM技術に関する研究開発に従事。1990年米国ベルコア社駐在研究員、1994年コロンビア大学客員研究員。MPLS技術のもとになったCSR技術をIETFおよびATM Forumに提案。1998年東京大学大型計算機センター助教授、2001年同大学院情報理工学系研究科助教授。2005年より現職(東京大学大学院情報理工学系研究科教授。WIDEプロジェクトボードメンバ、ISOC (Internet Society) 理事、JPNIC 副理事長、IPv6普及高度化推進協議会専務理事、MPLS JAPAN 代表など。工学博士(東京大学)。

