

ユビキタスネットワーク社会と技術開発

— 端末系ネットワーク —

中井 敏久

あらゆる場所にはりめぐらされたユビキタスネットワークを利用して、多種多様なモノや人が相互にネットワーク化され「安全」「効率」「快適」な日常生活をサポートするユビキタスネットワーク社会の実現が期待されている。本稿では、ユビキタスネットワークが実現する社会を概観し、そのための技術開発課題を、端末系ネットワークに焦点をあてて解説する。

ユビキタスネットワークが実現する社会

現在実現されているインターネット社会が携帯電話やコンピュータが相互に接続された社会とすると、ユビキタスネットワーク社会は、電話らしくないものや、コンピュータらしくないものが無数にネットワーク化されインターネット社会に融合された社会ととらえることができる。コンピュータらしくないものとは、図1に示すような机、建物、葉、鍵、照明、家電機器など、実際に我々人間が生活する場面で周辺に存在するモノである。

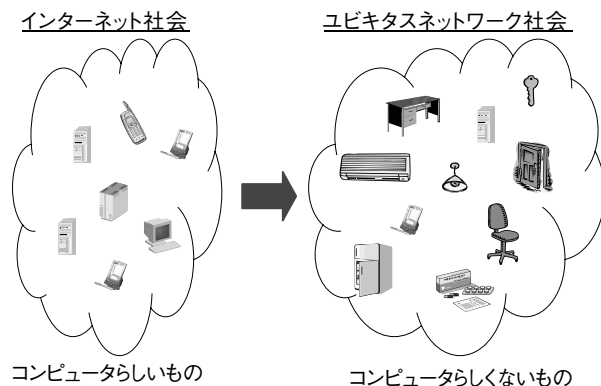


図1 ユビキタスネットワーク社会

インターネット社会では、その恩恵にあずかるためにはコンピュータのディスプレイの前に座ったり、携帯電話の電源を入れたりする必要があるが、ユビキタスネットワーク社会では人間が意識することなく日常生活を営む中で自然にその恩恵を受けることができる。たとえば、目覚まし時計はスケジュール帳と情報交換し自動的にア

ラーム時刻をセットするし、アラーム時刻になればベッドに埋め込まれたセンサと連動し、その人が本当に起き上がるまで5分おきにアラームを鳴らせ続ける。エアコンは目覚まし時計と連動してスイッチが入るし、部屋に人がいなくなると自動的にスイッチが切れる。エアコンや照明機器の、温度センサや人感センサと連動したこまめな制御は利便性だけではなく省エネルギーにも貢献する。

ネットワークにつながるものが電話だけであった時代には、ネットワークがつなぐものは相手側に実在する人間だけであり、実生活にかなり密着したものであった。その後、インターネットが普及し多くのコンピュータが接続され、それらを介して人間がコミュニケーションするようになると、そこには情報だけがあり実態のないものも許される仮想社会と呼ばれる社会が生まれ、その中では実生活とは乖離した活動も繰り広げられるようになった。利便性や快適性の追及による行き過ぎた仮想社会は実生活を脅かす存在にもなりつつある。ユビキタスネットワークは、目に見える実在するものをネットワークに取り込むことにより、ネットワークを実生活に引き戻し、仮想社会で顕在化しはじめた弊害を緩和する役割を果たせる可能性も秘めている。

ユビキタスネットワーク社会ではあらゆるものがネットワーク化され、「安全」「効率」「快適」なサービスが提供されるようになる。その基盤となるユビキタスネットワークは利用者にネットワークやコンピュータなどの特別な機器の存在を意識させない存在となる。

期待されるアプリケーション

モノがネットワークにつながるといっても、外出先から家電機器が個別に遠隔操作できるだけでは利用者は満足しないことは容易に想像できる。多くのモノがただつながるのではなく、ネゴシエーションしたり、連携したり、また連携しなければ気づかなかった埋もれた情報を活用したりする今までにないアプリケーションの出現が期待されている。

ユビキタスネットワーク社会では、図2に示すようにコ

ンピュータが発する情報だけではなく、モノが発する情報も統合し、その場その場の状況を的確に理解した上で、利用者へ最適なサービスを提供したり、ネットワークに最適な制御を施したりするアプリケーションが実現される。

たとえば、「安全」アプリケーションは多くのものからの情報を統合し、その場の状況を理解する機能や、適切なアラーム提示機能との連携により実現できる。「効率」アプリケーションは、多くのセンシング情報を統合し適切な制御機能との連携により実現できる。また、埋もれた情報活用により従来実現できなかったレベルのサービスを実現できる可能性もある。「快適」アプリケーションはパーソナリ化により実現される。個々人に適したきめ細かなサービスが認証機能とサービス提供機能の連携で、日常生活で利用する実際のモノを動作させる。

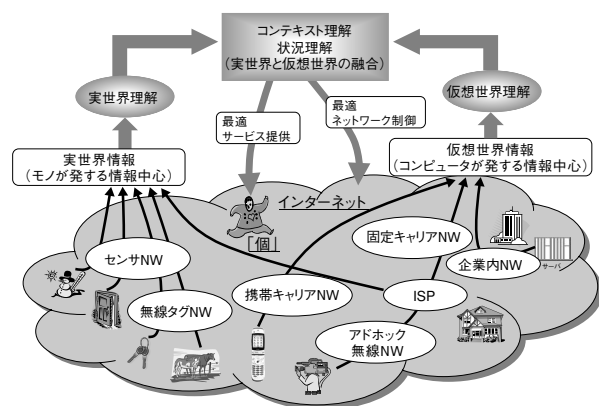


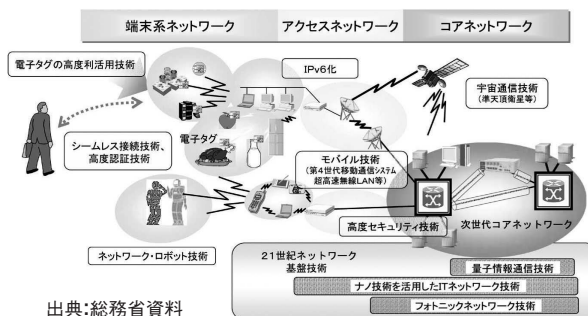
図2 実世界情報と仮想世界情報の融合

ユビキタスネットワークを実現する技術開発

ユビキタスネットワークを実現する技術領域は、図3に示すように大きく

- ① コアネットワーク
 - ② アクセスネットワーク
 - ③ 端末系ネットワーク
- に分類できる。

コアネットワークは「高速化」、アクセスネットワークは「多様化」、端末系ネットワークは「無線化」が、ユビキタスネットワーク社会に向けた技術開発のキーワードであり、各所でさまざまな取り組みが行われている。これらのうちでも特に端末系ネットワークに関する技術開発は、従来のネットワークでは取り扱わなかったモノを考慮する必要があり、新しい技術開発要素を多く含む領域である。以下、本稿では端末系ネットワークに焦点をあてて議論を進める。



出典：総務省資料

図3 ユビキタスネットワークに向けた総務省の取り組み

ユビキタス化による変化

端末系のユビキタスネットワークを検討する上で、特に新しく考慮しなければならない事項は、次の3点に集約できると思われる。

- ① ネットワークに接続する機器の数が膨大である。
- ② ネットワークに接続する機器が実生活に密接に結びついている。
- ③ ネットワークに接続する機器の所有者が専門知識を持たない素人である。

これらは、コンピュータのネットワークであるインターネットではあまり注目されなかった項目である。これらの点に着目すると、ユビキタスネットワークに密接に関わる技術開発領域が表1に示すように抽出できる。

表1 技術開発領域

変化	技術開発領域
膨大な数の機器	近距離無線技術
	アドレス付与技術
	自律分散管理技術
実生活への密着	QoS制御技術
	セキュリティ技術
素人による保有	ゼロアドミニストレーション技術
	ヒューマンインタフェース技術

膨大な数の機器

ネットワークにつながる機器をコンピュータに限定すると、その数は高々人口規模程度のオーダーであるが、その範囲をモノにまで拡張すると2桁から3桁程度大きな規模を想定する必要がある。この規模になると人が個々の機器の面倒を見ることが不可能になる。その結果として、通信手段の無線化、機器特定のためのアドレス付与、機器管理をセンタサーバに依存しない自律分散管理などが問題となる。

配線の手間をかけずモノをネットワークに参加させるためには無線化は有効な手段であるが、無線化にはさら

に周波数資源の有効利用、省電力化によるバッテリーの長寿命化、人体への影響の考慮などが求められる。最近注目されている、近距離無線を利用したセンサネットワーク¹⁾は、これらを考慮して技術開発が進められている。

膨大な数の機器特定のためのアドレス付与に関しては、IPv6による解決のアプローチもあるが、モノが発信する情報はスイッチのON/OFFなど短い情報である場合が多く、その短い情報（ショートパケット）に長いIPアドレス情報を付与することは、通信効率などの観点から必ずしも最適な方法とはいえない。図4に示すような、地理的にまとまった領域の機器間通信には、ローカルに付与した短いアドレスを用い、広域通信はGW（ゲートウェイ）を介してIPv6ネットワークを用いるというような技術の開発が進められている。

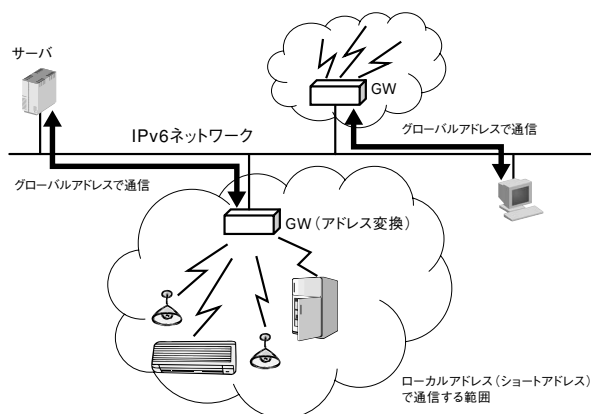


図4 GWによるIPv6ネットワークとの接続

ネットワークにつながる機器の数が膨大になった時、全ての機器を1個のセンタサーバで直接管理することは効率が悪い上に、センタサーバ1箇所の障害が全体のサービス停止に直接つながるため望ましくない。インターネットに接続する機器のアドレス管理では、この問題を解決するために階層的に構成された分散ネームサーバの仕組みが用いられているが、RFID（電子タグ）のIDも同様の仕組みで管理することがユビキタスIDセンタやEPCGLOBALなどの標準化機関で検討されている。また、それぞれの機器の通信タイミング制御に関しても、膨大な数の機器をセンタサーバで制御することは困難であるため、各機器が互いに干渉することなく自律的に動作する手法の技術開発が進んでいる。通信効率の観点から、CSMA/CA（Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance）と呼ばれるキャリアセンスによる通信タイミング制御ではなく、TDMA（Time Division Multiple Access）と同様の通信タイミング制御を各機器

が自律的に行う自律振動子理論を応用した研究もある²⁾。各機器が集中制御装置にコントロールされるのではなく、自律的に動作しながら全体として統率のとれたシステムの実現を目指す自律分散システムは、システムのスケラビリティの観点からも注目されている。

実生活への密着

機器が実生活に密着していることに起因し、ユビキタスネットワークにはより多様化したQoS（Quality of Service）制御と高いレベルのセキュリティが求められる。

高いレベルでのQoSが確保されたネットワークをあらゆる場所にはりめぐらせるためには高いコストがかかるが、一方で、実生活に密着した機器の中には通信の遅延や誤りにより生命にかかわる危険な状態を引き起こすものや、経済・社会を麻痺させるものも多く存在する。アプリケーションが要求する通信のQoSを見極めることが重要であると同時に、アプリケーションからの多様なQoS要求を、それに見合ったコストで提供できるネットワークを構築する技術の開発が求められている。冗長なルートを設定するルーティングアルゴリズムはそのアプローチの一種である。

実生活に密着した機器はプライバシーに関わる情報を発信したり扱ったりする 경우가多く、セキュリティをいかに確保するかも重要な課題となる。従来のセキュリティ方式の検討は以下の前提を暗黙のうちに置いている場合が多い。

- ① 利用者は事前に登録され、認証サーバにより一元管理されている。
- ② 利用者やサーバを取り巻く通信環境が比較的長時間変化しないか、あるいは安定している。
- ③ 機器には複雑な認証演算できる十分な計算能力がある。
- ④ 攻撃者が使える資源は、正当な利用者が使える資源と同等か、それ以下である。

しかし、ユビキタスネットワークでは、これらの前提が満たされない場合の方がむしろ多いと考えられる。身の回りのモノの利用者登録を事前にするのは面倒で考えにくく、それぞれのモノは現在のNotePC以上に移動する機会が多い。機器の追加・削除も頻繁に発生する。現在の多くの認証方式で用いられる公開鍵暗号の演算を実行するには、高価なCPUが必要でありそれらを各機器に備えることを前提にできない。また、計算資源は攻撃者の方が多く持ちあわせている場合も多い。演算量の多い公開鍵暗号を用いずにマルチキャストサーバを認証する方法³⁾や、通信妨害に誤り訂正符号を用いて対処する方法⁴⁾なども検討されているが、まだまだ未解決の課題が多い

技術開発領域である。

素人による保有

現在のネットワークの多くの部分は大手キャリアやISPなど高度な専門知識が豊富なベンダにより保守管理運営されている。しかし、ユビキタスネットワークの特に端末系ネットワーク部分は、それらベンダの管理外となることが多く、専門知識のない利用者自らが管理・運用する状況を想定する必要がある。現在でもホームネットワークやオフィスネットワークにはそのような領域が多く存在するが、接続する機器の数や種類が限定されており、いわゆる有識者とよばれる人々の助けを借りて何とか運用できている状態にある。今後出現する、さらに多くの多様な機器で構成される端末系ネットワークは、その管理・運用を容易にするゼロアドミニストレーション技術が重要になる。

ゼロアドミニストレーション技術は、ユーザや運用者に煩わしい設定を強いることなく、ネットワーク接続やサービス利用制御を容易にする技術である⁵⁾。現在実現されているものは、IPネットワークにおける設定の自動化など、かなり限定的なものであり、専門知識のない素人による管理・運用にはほど遠い状態である。

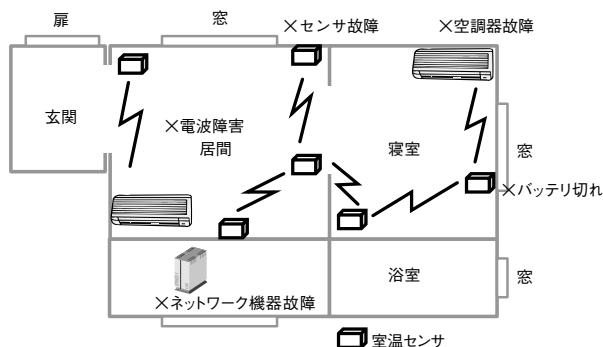


図5 システム故障時の原因特定

たとえば、図5に示すような多くの室温センサと空調器を無線で接続して、最適な温度コントロールをするシステムを想定する。このシステムにおいて温度制御がうまく働かなくなった時、その原因としては、バッテリー切れ、センサの故障、ネットワーク機器の故障、空調器の故障、電波障害などさまざまなものが考えられるが、これらのうちから原因を特定することは容易な作業ではない。さらに、ユビキタス化が進み多様な機器がネットワークに接続されるようになると、故障箇所の特定はさらに難しくなる。故障箇所が直感的に特定でき、その部分を取り替えれば難しい設定をすることなく正常な動作に復旧す

ることは、我々が日常に利用するモノでは、たとえば蛍光灯の交換に代表されるように普通に行われていることであるが、ネットワーク機器は現在ではそれほど簡単ではない。

利用者の利便性を追求するという意味で、ゼロアドミニストレーション技術は有用であるが、それが行き過ぎると所望のセキュリティが満たせなくなる可能性があることにも注意する必要がある。行き過ぎると、利用者が意識しないうちに勝手に設定を変更し、偽のネットワークに自動接続した上、情報を盗んだり悪用したりすることができるシステムを設計してしまう可能性がある。利便性と安全性のバランスには常に注意を払う必要がある。

利便性と安全性のバランスという意味ではヒューマンインタフェース技術の開発も重要な役割を果たす。たとえばバイオメトリクスによる個人認証のヒューマンインタフェースが改善すると、利便性を損なうことなく安全性を保持するための認証機能を一連の手続きに挿入することができ、設定自動化をさらに進めることが可能となる。

まとめ

ユビキタスネットワーク社会を実現する上で新たに発生する技術開発課題を、端末系ネットワークに絞って解説した。まだまだ未解決な課題も多い上に、ユビキタスネットワークは日常生活に密接に結びつくことを指向しているため、技術だけでは解決せず社会的コンセンサスをえながら、使い方、モラル、法整備などもあわせて検討する必要のあるものも多い。今後、実証実験などを通じてそれら課題を解決していく必要がある。◆◆

参考文献

- 1) 福井 他：ZigBeeって何だ？，電子情報通信学会誌，Vol.88 No.1，pp.40-45，2005年
- 2) K. Sekiyama *et al.*: “Phase Diffusion Time Division Method for Wireless Communication Network”，The 30th Annual Conf. of IEEE Ind. Electro. Soc., Nov. 2004
- 3) 八百他：センサネットワークにおける高信頼ブロードキャストメッセージ認証方式，情報処理学会 研究報告，2005-CSEC-28，2005年3月
- 4) A. Wood *et al.*: “Denial of Service in Sensor Networks”，IEEE Comp., pp.54-62, Oct. 2002
- 5) 堀内 他：モバイル／ユビキタスネットワーク管理，電子情報通信学会誌，Vol.87 No.12，pp.1022-1028，2004年

筆者紹介

中井敏久：Toshihisa Nakai. 研究開発本部 ユビキタスシステムラボラトリ