

## 第4回JICE研究開発助成成果報告会 記念講演

# 「ユビキタスコンピューティング社会に向けて」

### 講演者

東京大学大学院情報学環副学環長／教授

## 坂村 健 氏

1951年東京生まれ。東京大学大学院情報学環副学環長／教授。工学博士。

1984年から新しいコンピュータ体系TRONを構築。現在、TRONはユビキタス環境を実現する重要な組込OSとして世界でもっとも使われている。2002年1月よりYRPユビキタス・ネットワークング研究所長を兼任。第33回市村学術賞特別賞受賞。2001年武田賞受賞。2003年紫綬褒章。

主な著書に

『ユビキタス、TRONに出会う』（NTT出版）

『21世紀日本の情報戦略』（岩波書店）

『ユビキタスコンピュータ革命』（角川書店） など多数。



### 圧倒的に多いのは 組み込みコンピュータ

どのくらいのコンピュータが作られているかと言うと、年間で83億個ぐらいのコンピュータ、正確に言うとマイクロプロセッサが作られております。コンピュータというとパソコンを思い浮かべる方も多いと思いますが、数的にはパソコンは大体1億5,000万個強ぐらい。従ってパソコンは全コンピュータの生産量のうちの2%ぐらいしかなく、残りが組み込みと言われているものです。組み込みというのは、いろいろな機械の中にコンピュータが組み込まれているものです。代表的なものでは、携帯電話、デジタルカメラ、自動車のエンジンの制御、工作機械、エアコンディショナーなどで、ビルや家の中やいろいろなところにあります。これが大体98%を占めております。このように、何十億個というコンピュータは単体で使うのではなくて、組み込みといういろいろな機械の中に組み込まれて使われているわけです。

組み込みコンピュータは土木の世界とも非常に深く関係しています。地下の深いところにトンネルを掘るシールドマシンなどはコンピュータがないとほとんど動きません。例えば作業する場合に、有毒ガスや水などいろいろなものが出てきますが、それらをサーチするのにセンサがないととてもじゃないができない。センサは、物理的な現象をコンピュータがわかるデジタル信号に変える素子ですが、それらをコントロールして、いろいろなことが可能になってきたわけです。

もともと土木、建築分野では、早くからコンピュータが使われてきました。構造計算関係で、例えば有限要素法とか、浸透圧の計算とか、高層ビルの構造計算や、CADにもたくさん使われてきました。最近は生産量の圧倒的多数から組み込みコンピュータの方に注目が集まっています。ちなみに携帯電話だけでも全世界の生産量が10億台を超えるぐらいになってきて、パソコンの何倍に

なっています。1人が1台持つようになりますと、ますます組み込みコンピュータが非常に重要になる。そういう分野で、TRONとは世界で最も大きなシェアを持つ、一番使われているコンピュータであり、この世界ではナンバー1になっています。

### 「どこでもコンピュータ」 コンセプト

私は20年以上前から「どこでもコンピュータ」というコンセプトを発表しております。

どういうことかと言うと、いろいろなモノの中に入っていったコンピュータが人間に代ってモノとモノ同士のコミュニケーションをとり、情報交換をしながらいろいろなサービスをするようなシステムです。コンピュータが機械に入ることによって、例えばカメラに入れば、焦点距離を合わせて露出を決めるなどの人間がやっていたことをコンピュータがやってくれるというように、調整的作業をコンピュータが代替してくれる

# the Content of a Lecture

システム、ということです。

1,000個のコンピュータを100坪ぐらいの住宅に組み込んで、相互動作をさせて、外に風がどう吹いているのか、雨が降ってきているのか、そういう状況をコンピュータが知ることによって、住宅のコントロールをする。そういう住宅をつくる研究を20年前、TRONプロジェクトを始めるときから進めてきました。

こういうものが最近特に注目を浴びるようになってきたのは、20年前に比べると組み込みコンピュータが小さくなってきたためです。

組み込みコンピュータに分類されるものは、世界的に注目されるに伴って名前がつけられるようになりました。その一つがユビキタス。日本語に直すと「遍在」するということです。遍在というのは要するにたくさんある、どこにでもあるということです。「パーヴェイシヴ」という単語もよく使われます。これは「浸透する」という意味。利用者から見た場合にコンピュータがたくさん空間に配置されることにより、コンピュータを意識しないで使えるようになるという意味から「インビジブル」という見えないコンピューティングとか、「カーム・コンピューティング」という静かなコンピュータとも言います。このような研究分野が育ってきました。

## ユビキタスコンピューティングのしくみ

最近注目されているのがRFID、



RFというのはRadio Frequencyです。要するに電波を使ってIDする、Identification、区別することができるという名前のついている非常に小さなチップです。そういうものがどんどんつくれるようになってきました。直径0.4ミリの粒状のものがコンピュータのメモリとなっています。これは128ビット程度のメモリと同じぐらいの能力を持っていますが、電波を使うところに特徴があります。あまりに小さいので電池が入らないため電波で電源を供給してこのチップを動かします。

これらを空間に張りつけたり、ものにつけることによりどういうことができるかという研究が、ここところ急激に世界的に注目されるようになりました。

例えば薬や食品のパッケージに付るとどうことができるか。この薬とこの薬は一緒に飲んでいいのかわからないのかを自動チェックしてくれる。

農作物につけると、生産してから消費者の手に届くまでにどういう過程をとって来たのかがわかる。例えば牛肉につけた場合、万が一回収しないといけなくなったときに、チップの中には区別する番号だけをつけておいて、もっと大きなコンピュータに番号を飛ばしてやると、その番号に相当する最新の情報が来る、そういうシステムをつくることできる。

そうすると、常に最新のものの情報を知らせることができるようになります。例えば、私は今薬の瓶を持っていますが、ここにICチップが埋め込まれている。ある情報はチップの中に入れておいてリアルタイムでIC即ち「ユビキタスコミュニケーター」で読めるのですが、さらにこれが通信設備を持っていて、読みとった情報を別のコンピュータに無線設備を使って送ってやる。すると、最新の情報が来るということができるようになります。それにより、ネットを駆使して、ある

情報を区別できるような番号だけ入れておいたものから、最新の情報をとることによって、例えばこの薬を製造したときにはわからなかったようなことが起こってしまって、どうしても回収したいときには、この薬を飲む段階で最新の情報を知ることができる、そういうことができるようになってきました。注1) 参照

今これが注目されているのは、応用が非常に広くて、消費者サポートとか、常時監視とか、トレーサビリティとか、いろいろなことができるからなのです。いろいろなものにチップをつけることによって、そのもの一つ一つを全部区別して、その情報をリアルタイムに得るというシステムがこのユビキタスコンピューティングのシステムです。チップの中にどのぐらい記憶できるかというと、大きなものは2キロバイトとか、4キロバイトです。しかも書いたり、読んだりすることができる。つまり普通のコンピュータがそういう粒になってしまうということなのです。

## ネットワークインフラ

もう一つ重要なことにネットワークインフラがあります。例えばここに、UC即ち「ユビキタスコミュニケーター」というものがあります。またこのボールペンにチップがついています。それをこの装置に近づけると例えばシェーファアのボールペンだということはこのUC即ち「ユビキタスコミュニケーター」が自動的に認識

します。さらに、ユビキタスコミュニケーター自身がネットワークの機能を持っているので、これを別のコンピュータに送るとこの芯が注文できる。こういう応用はたくさん考えられます。

ものの管理にも当然使えます。研究所と私の大学にあるもの全部の固定資産の管理にこのチップをつけています。本にもチップをつけておきます。字を読むときは本で読んだ方がいい。コンピュータの画面で読むと目がちらつきますし、コンパクト性にも欠けまです。第一本は電池がなくても読めます。ただ、最新の情報を知ろうとしたり、困ったことがあったときにこのユビキタスコミュニケーターは非常に役に立ちます。回路図とか設計図などの最新のものを引っ張ってくるということが出来ます。

## ユビキタス場所情報システム

国土交通省と一緒にユビキタス場所情報システムというプロジェクトを進めています。これはユビキタスコンピュータを場所につける応用です。そうしますと、場所に関する情報がいろいろ出てくるようになります。空間にチップをつけることにより、その空間がどういう意味を持っているのか、単に東経や緯度といった物理的な位置の情報がわかるだけではなくて、コンテキストを持った、ここはどういうところなのか、こちらに行くところに行くのかなどがわかります。例えば道路にチップタグ

をつけた場合、地下に埋まっているガス管、電気、水道管といったインフラの情報を引き出すこともできるようになります。

これはGPSとは別のものです。GPSというのは建物の中では使えません。このシステムは場所の意味というものを管理する方法なので、GPSなどと組み合わせることによりもっと強力な場所情報システム、空間情報システムになるだろうと思います。

基本コンテキストは、場所に情報をくくりつけるというものです。そのためにulDという、ucode、ユビキタスでユニバーサルなコードを使います。ユビキタスでユニバーサルでユニークなもの。要するに場所というのは世界じゅうで1個しかないわけですから、1個しかないものがこのユビキタスコンピュータで区別できないとだめなのです。1個しかないというものを区別する。そのためにそれぞれの場所、モノ、すべてを統一的概念でユニークな一つのオブジェクトと考えて、そこに場所だろうと、モノだろうと、区別できるように番号を振る、そういう技術がこのulD技術です。

当然ですが、数としてはすごい量になりますので、それは当然コンピュータを使わないと管理ができない。世界中で、しかもこれから数百年、数千年にわたって製造されるもの全部に重なり合わない番号を付けるというプロジェクトですから、かなり先を見たプロジェクトでもあるので



# the Content of a Lecture

す。とにかくこれから製造されるもの、これから誕生する場所に関しては、すべてユニークな番号を振り、モノとコンテンツ、場所というふうに、いろいろなものを区別するという、今までなかったような情報システムです。

## ユビキタスコンピューティングを使った自律移動支援プロジェクト

場所の意味がわかるのであれば場所の意味を利用することによって、障害をお持ちの方や高齢の方が自由に自分だけの力でいろいろなところに移動してもらうようなシステムができないかということで、現在、国土交通省と一緒に「自律移動支援プロジェクト」というプロジェクトを展開しております。インテリジェント基準点といいます、道路に埋めたユビキタスマーカーと言う装置や、小さなチップタグと交信することができます。微弱無線、赤外線などの信号を受信できる装置になっており、街灯の上についている装置から大体半径1メートル、5メートル、10メートル、30メートル、100メートルと幾つかのものが選べるようになっています。そのエリアの中に入ってくると、この装置にいろいろ情報が出てきます。

これも場所にユニークな番号をつけるので、街灯など全部違う番号がついていて、そこからいろいろ情報が出ます。そういう情報をもとに、例えば目の不自由な方が白杖で情報をとると、今自分はどこにいるかわ

かる。装置の中には方向センサやジャイロセンサが入っていますので、どちらの方向から来ているのか、これからまっすぐに進んでいくとどこに行くのかをガイドします。車いすの方にも同じようなガイドをする。

装置同士でトランシーバのように通信ができますから、たまたましゃがんでいる方が気分が悪くなりボタンを押しますと、周辺で、5メートルの方、または10メートルの方に、「あなたの近くで困っている人がいる」ということを知らせる信号を出します。困っている人がいると聞いても、1,000キロメートル先に困っている人がいると言われてもすぐに飛んでいくことはできませんが、5メートル先に困っている人がいると言ったら何とかならないだろうか。こんなことを実現するようなシステムです。

また、これらを必要としない人のためには、例えば観光ガイドに使うということも当然できます。さらにGISシステムと連動させることによって、その場所に立つとその3次元の地図が出てくるような、まさにマンナビとでもいうか、人間のためのガイドとして利用しようとか、さらにITSと結びつけ、自動車からも電波を発信することによって、障害を持っている方が道を歩いていると車が来たと警告してくれるシステムとか、いろいろなことができます。注2) 参照

## インフラ構築とトリガーとしての国家の役割

今や技術的にはいろいろなことが

できるようになってきています。例えば先ほどのRFIDチップとか、コミュニケーションも、何も私のところだけではなくて、世界的にそういうことをやっている方はたくさんいます。ここで一番難しいのは、どうやってこれをインフラにしていくかということなのです。インフラというのは国家インフラかもしれない、世界インフラかもしれません。

インターネットは今世界的に使われるようになっていますが、実はコンピュータ同士を結ぶという研究はもう30年ほど前からインターネットだけではなくいろいろなものがあつたのです。なぜインターネット、もう少し正確に言いますとTCP/IPというコンピュータのプロトコルは生き延びたのか。プロトコルというのはコンピュータ同士がお話をするときの通信の手順みたいなものなのです。ここが非常に重要なことです。

それは、技術開発だけではなくて、どうやってそれを広めていくか、そういうシステムをどう作っていくのかということが重要なのです。この部分は、日本ははっきり言うと弱い。世界インフラになるようなものを生み出すような力はない。いい例が、パーソナルコンピュータは負けてしまいましたし、インターネットのような世界中のコンピュータをつなぐというようなシステムを日本から提案することもできなかった。けれども、技術的に全然だめだったかということそんなことはなくて、いろいろなところでそういう単体研究は

いろいろやっていたのです。気がついていなければならないことはできなかった。そういうことです。

こういう自律移動支援プロジェクト推進をどうやっていくか。RFIDチップとか、組み込みコンピュータというのは、今の段階では、実は日本は最高に強い分野なのです。ですから、うまくやれば世界に貢献できるようなインフラを私たちの力でつくることは不可能ではありません。しかも、インターネットをつくることによって米国がどれだけ産業的利益を上げているかということを考えると、そういうインフラを国家がつくるということはむだなことではありません。

ということで、私が最近言っているのは、自律移動支援プロジェクトを推進する場合にトリガーとしての国家の役割、要するにきっかけをつくるという国家の役割は非常に大きいし、官の力を使わないとこういう

ものはうまく立ち上がらないということです。

最近よく産官学と言いながら産学ばかりで、官を少し軽く見る風潮があります。それはおかしい、官にしかできないことを無視してはいけないと思うのです。

先ほど言いましたように、インターネットがなぜ成功したかということ、技術的にもよかったということもあるのですが、トリガーをかけたのは官の米軍であり米国政府だったので。30年前から研究していて、今から14年ぐらい前に民間に開放されました。最初の基礎研究をやったのは米国政府なのです。初期整備は米国政府、軍隊です。軍事研究費が相当かかっています。システム設計はかなり大学が貢献して、商業的利用にした場合、公開後の展開は産業界が行い、運用は今、民間がやっているという、そういうようなシステムにインターネットはなったのです。

これは非常に重要だと思います。自律移動支援プロジェクトにはハイテクノロジーがかかわってきます。道路にチップを埋め込むといっても、技術的にはかなり高度なことなのです。道路から見たら今までの道路ではない超インテリジェント道路をつくらうという話になります。ですからある程度国家の支援がないとできないのです。単発の研究だけだったら大学だけでもできるのですが、それを広めてインフラにするということです。そういうことになると、米国のインターネット例のようにたくさん企業を生みます。私はそういうきっかけをつくることこそ国家がすべきであろうと思います。

## オープンアーキテクチャの重要性

もう一つ重要なのがオープンアーキテクチャということです。例えば視覚障害の方にしてみたら、今までメニューを読むことができなかったのに、デジタル化された情報が音になってメニューが出てきたりするのです。それは非常に便利です。健常者の人にして、ブティックの前に行くと、今一番ここでお勧めはどれとか、商品情報が出てきたら便利ですが、いくら国家がトリガーをかけるといっても、そこまで国家に整備をしろといってもこれは無理です。

そこで、国が最初に国道や、公共施設に場所情報システムをつけたことをきっかけとして、その技術情報を全部公開することにより、民間が



# the Content of a Lecture

すぐに同じレベルで使えるようにすべきです。要するに、それが産官学民共同ということで、技術を囲み込んでしまうと本当は広まったのにと惜しいことになります。例えば車のITSがあって、高速道路の料金を収集しているシステムがあります。最近はどうぞん公開しようという話になったのですが、私が残念に思うのはもっと早く、設置したと同時に技術基準を公開して、例えば駐車場の料金をとるのにもあれを使ったらどうかということといえば、もっと広まったのではないかと、普及スピードが早まったのではないかと、思うのです。

インターネットはまさにそういうことをやって、国も情報を出すけれども、民間も情報を出すのに使っているわけです。ですからこの自律移動支援プロジェクトに関しては、国家がまずきっかけをつくるということで、国の道路とか、公共物につける、また地方自治体を初めとする方々の協力を得て多角的に展開し、最初の目的は障害を持った方を自律的に移動するのを助けるにしても、その技術を全部公開することにし、自律移動に使わなくても、それを観光に使うにしても、レストランの案内をするにしても、何をしてもいいとする。また公開技術基準をつくるのが公平な入札にもつながりますから、どこか一定の会社にだけお金が入るようなメカニズムではなくて、技術資料、技術公開、入札基準をすべて公開する。しかもだれでもがそ

こに参加できるという雰囲気をつくる。そういうものを最近オープンシステムと言ってます。技術基準を公開し、いろいろなものを作っていくことが大事ではないかと思えます。

私はTRONをやってきて、常に思っていたのですが、日本は問題を世界に情報発信して、世界でだれもやっていないことを最初にやり、それにより貢献ができるということです。やっていないことをやるわけですから、失敗することもあるし、いろいろなことが起こる。こういうことをやればこういうことがうまくいくよと日本から発信するということです。

来年、世界で初めてだと思いますが、神戸に4万個のチップタグをつけて、実際の町中で自律移動支援システムを強力にバックアップしていこうとしています。態勢も今十分とられて、ITサポーターという多くの方がたとともにこれを進めております。ここにいらっしゃる方にも御支援をいただけたらと思って私の話を終わらせていただきます。

(了)

(文責 研究第2部 田中救人)

注1)

今後、多くのものにRFIDタグがつくようになると、プライバシーの保護が問題となってくる。セキュリティ機構はこれからのユビキタス社会の実現に重要となる。YRPユビキタス・ネットワーク研究所では、セキュリティ関連の研究も最高の優先度で行われている。

注2)

都市全体をユビキタスコンピューティング環境にするという自律移動支援プロジェクトでは、道、ガードレール、点字ブロック、コーン、そのほか道路を取り巻くさまざまなものにRFIDチップを埋め込んでいる。道を歩く人はRFIDチップを読みとることのできるユビキタスコミュニケーター、

UCを持つ。視覚障害者にはセンサつきの白い杖を持ってもらうとそれにUC端末をつなげて都市空間情報を得ることができる。都市全体をユビキタスコンピューティング環境にすることで場所にucodeを割り当て、それをユビキタスIDセンターに送り、コンテンツサーバにつなげることで、UCにより多様な情報を得ることができ、いろいろな応用に役立てることができる。