

「ユビキタス・コンピューティング社会の建築・都市」

Architecture and cities in a ubiquitous computing society

坂村健（東京大学、2004年度特別研究委員会ユビキタス・コンピューティング社会の建築・都市）

Ken Sakamura (Tokyo University, Special research committee on architecture and cities in a ubiquitous computing society)

■ユビキタス・コンピューティングが目指すもの

ユビキタス・コンピューティングは、日本語に直すと「どこでもコンピュータ」となります。ユビキタスの意味は、近代ラテン語からきた英語「遍在」という意味で、「どこにでもある」ということです。ユビキタス・コンピューティングが目指しているのは、コンテキスト・アウェアネス (Context Awareness) の実現、コンテキストというのは日本語に直しにくく、複合的な意味があり「その時その場の状況」というようなことです。この空間には、人間がいて、モノがあって、風が吹いていて、光がある、といった空間の状況がありますが、それらを3つ合わせて、コンテキスト「状況」と呼んでいます。現在、非常に小さいコンピュータが実用化されるようになってきています。それらの小さいコンピュータを使って「状況」を自動認識することにより、人間と協調するコンピュータ・モデルをつくらせていこうというのが、ユビキタス・コンピューティングの大きな目標になっています。コンピューティング・モデルが一般的になり、コンピュータを誰でもが使えるようになった社会の都市や生活、そして様子がどうなっているか、どうあるべきなのかを考えたいと思います。コンピュータは、私たちの社会生活に非常に大きな影響を与えていますから、建築・都市の構成の仕方、そしてライフスタイルなど、あらゆるものが影響をうけるのは至極当たり前のことです。「状況」認識が自動的にできる時代になると、より多くの事柄を実現することが可能になり、そういう場合の建築や都市がどうなるのかを考えようというのが、「ユビキタス・コンピューティング社会の建築・都市特別研究委員会」の目的の1つです。

■モノとの協調を考える

建築というのは、総合科学です。建築デザインや構造計算もありますが、建物のなかには設備、電気など、様々なモノが入っています。そういうモノとモノとの協調をどう考えるか、ということが大きなテーマになってくると思います。また、ユビキタス・コンピューティング技術が建築にどのような影響を及ぼすかを考える場合、もう少しマクロ的に見て、単体の1戸の建築に及ぼす影響と、群として影響を及ぼす場合というように整理していかなければならないと考えています。

■場所の認識とは

コンテキスト・アウェアネスは、モノ、人、場所のような空間、環境の認識です。現在、コンピュータはどんどん小さくなってきています。小さなチップをボールペンにつけ「ユビキタス・コミュニケーター(略:UC)」(※1)という装置をペンに近づけると、その名称、製作会社名、値段などをUCが画像と音声で伝えてくれます。これはボールペンについているチップをUCが認識して、このモノは、なにかということをお私たちに教えてくれるのです。例えば、こういう小さなチップを生鮮食品や、モノにつけてやると、生産したところからユーザーの手元に来たとき、どういう経路をとってきたかなどが分かります。そして、記憶させる場所は、モノについているチップでもよいし、情報が大量ならサーバーに入れてネットワーク経由で読み出せるようにしてやれば、そのモノにつけたチップの容量によらずに記憶することができます。特に薬品など取り扱いに注意を要するものには、この技術は極めて有効な機能を果たします。チップを菓子のビンにつけた場合、菓自身が情報を教えてくれます。例えば、2種類の菓を一緒に飲もうとしているとき、その人の携帯電話に菓ビンから電話がかかってきて「私たちと一緒に飲むと、事故が起きる可能性があります」などの警告を発することも可能です。

もうひとつは、「場所情報システム」です。場所情報を提供する「電子タグ」(※2)を道路に入れ込んだり、建築の場合は、壁や天井などに入れ込むことにより様々な応用が考えられます。この場所情報システムを使えば、今自分が建物の7階のどこにいるか、ということまでわかります。最近話題になっているGPS(Global Positioning System)は、屋外の空間での話で、しかも人間対象というよりも、カーナビでわかるように、車対象のようになっています。それに比して、ユビキタス・コンピューティングの場所情報システムは、いわばマン(人)ナビというべき人間中心のシステムです。このような特徴も建築に関係してくるのではないのでしょうか。

「自律的移動支援プロジェクト」という、国土交通省とYRPユビキタス・ネットワーク研究所(※3)の共同プロジェクトなどが良い例だと思います。(後記)

■本の絵が動き出すと…

ユビキタス・コンピューティング技術は、非常に応用範囲が広い。チップを印刷時に付けてしまうこともできま

す。例えば「ガラバゴス諸島の海イグアナ」という紙でできた本にチップをつけ、UCを近づけると、絵の海イグアナが動き出し、自分自身の説明を始める。こんな新しいタイプの電子本を作りました。こういう技術を使うと、複雑なマニュアルや取り扱い説明書の作り方も変わってきます。紙と電子情報と組み合わせることによって、全部電子化するのとはまた違うイメージのものが出来上がります。

さらにこんなこともできます。あなたのUCがボールペンを認識した後、その替芯をオーダーするために、eコマースというコンピュータを使った電子商取引のサイトにつなげると替芯が注文できるシステムなども、すでに試作しました。建築のメンテナンスというなら、たとえば、電球などがきれたとき、電球にタッチするだけで補充注文サイトにつながり、UCで「オーダー」と指示すれば、電球が宅急便で届きます。

また、ユニバーサル・サービスも可能になります。UCで受け取る情報はデジタル化されていますから、その場所からとった情報を英語や日本語にしたりするのは楽にできます。

■バック・トゥ・リアルワールド

私のバックグラウンドは、20年前から「組み込みコンピュータ」という、機械のなかに入れるコンピュータの研究です。今では、私のつくっているトロン（※4）というコンピュータは、世界中で使われるようになりました。トロンは、携帯電話のなかや自動車のなかに入っていたり、いろいろなモノのなかに入るコンピュータとしては最も多く使われています。

コンピュータというと、多くの方はパーソナル・コンピュータをイメージすると思いますが、実は、世界で生産されているコンピュータは83億個位あり、そのうちパソコンやサーバーは2%位で、残りはみな「組み込みコンピュータ」です。その組み込みの世界が、最近非常に発達してきて、小さなコンピュータが数多く生産されるようになってきました。ごま粒大のものだと、まったく存在感がないので、情報認識というようなことをやる時、モノ自身にチップをつけて、それをUCで認識するようなことが現実に行えるようになってきました。

当たり前のことですが、コンセプトが良くても、実現できなければ誰も興味をもちません。私は20年前から「未来はあらゆるモノの中にコンピュータが入り、それらがネットワークで結ばれる」と言い続けてきたのですが、本当に小さなコンピュータや小さなメモリーができるようになったのは、ここ1年位のことです。最近急速に関心が高まってきました。それまでは、インプリメンテーションが追いつかずなかなか実現できませんでした。

■地中からの声？「ここに土管が埋まっています」

天井から壁から床までに、ごく小さいコンピュータを入

れておき、壁にUCを近づけると、素材はなにで、いつ施工したのかなどを答えます。土木工事などでもそうですが、現場で現物から設計図を引っ張り出すこともできます。チップをモノに埋めておけば、モノ自身をきっかけとして情報がくるのです。無限にチップが使えるという想定にすると、地中のなかの埋蔵物全部につけることができます。この場合、電波を使って情報を読みます。エネルギーは外から供給するパッシブタイプと、自分で電池などの電源を持っているアクティブタイプというものの2タイプがあります。パッシブタイプですと、電池の取替えなどが不要ですので、地中深くに埋めておいたものに電波を送ることによって電源供給を行い、その反射波に情報をのせ「ここに土管が埋まっています。」という信号が返ってくるなど、様々なことに応用が可能です。ビルの場合は、配管全部にチップをつけて、どこに何本あるかなど、図面を見なくても、現実のモノでわかる。これは、重要なことです。図面と現実のモノとがずれていることが往々にしてありますから、現実のモノにつけたものから直接情報を得るということは、間違いが減るということです。図面でそうなっているといっても、現物を変えてしまえば、変わってしまうわけですから、施工するときから全部にチップをつけておけば、なにがどうなっているかというのが正確にわかります。

在庫管理などのロジスティックスでは、この技術が注目されています。コンピュータがあれば、部屋に椅子が何個あるかということを入れておき、データベースで管理することができます。しかし、現実のモノとコンピュータのなかの空間は必ずしも一致していませんから、コンピュータに入力する人がいないときに、誰かが部屋から椅子を持っていったら、コンピュータのなかのデータと数が合わなくなります。そこでコンピュータで管理をしているといっても、棚卸しをしないということはありません。ところが、全部にチップをつけておき、読み取り装置の強力なものを入口のところに付けてやると、部屋からモノを持ち出されたら、現実の状況認識ができるわけで、その情報を全部サーバーに送ってやると、そこから情報をとるようになります。必ずこの部屋にあるということがわかり数える必要がなくなります。こういったことが、この技術のバックにあり、現実の空間を自動認識するというのを、もっと積極的に役立てようとしています。

■第2弾トロン電脳住宅

ユビキタス・コンピューティング社会は、私が20年前から想定していたイメージです。未来のコンピュータは、どんどん小さくなってあらゆるモノに入り、ネットワークで協調的に結ばれて動作し、私たち人間の生活をサポートするようになるだろう、ということを主張し、論文を書き、世界中に発表してきました。そのための研究として、「組み込みコンピュータ」の研究や、1989年に、

自ら設計したトロン電脳住宅(※5)などのプロジェクトを行ってきたので、住宅や都市への応用は、私にとってたいへん興味のあるところです。

現在、2004年暮れに立ち上がる、第二弾をつくっています。第一代のときは、1000個のコンピュータを持ち込むと、地下はすべてコンピュータ・ルームになりました。今はコンピュータが本当に小さくなったので、同じものをつくってもたいへん楽になりました。ネットワーク技術もコンピュータも非常に進歩していますから、89年に使われていたパソコンなどより、現在は携帯電話の方が強力なのですから、どの程度進歩したかがよくわかります。コンピュータのサイズが小さくなる、というのは非常に重要なことで、今まで思いもつかなかったような応用にもどんどん想像が広がり、実現も可能になってきています。

■ 各分野で応用システムをつくる

住宅にこの技術を使うと、協調動作ということができません。例えば、窓にセンサーが入ることにより、窓の開け閉めやエアコンの操作などが、アクチュエータを入れておけば自動的に行え、どこに誰がいるか、ということなども全部わかるような家ができます。それは、あたかも有能なバトラー(執事)がいるような家になり、外に心地よい風が吹いていると、窓が自動的に開き、雨が降ってくると、そのときになにが大事かということを即座に判断して、家の中が水で濡れるのはいやなので窓が閉まり、エアコンがつく。音楽を聞いているときに電話がかかってくると、ボリュームが自動的に下がる。そういったことを協調動作といい、これは一種のプログラムです。状況判断をして、何かを起こす、何かをやるという、そのときのプライオリティが決まっていて、どちらを優先するのかなどを判断します。バトラーの例も応用ですが、人間の生活の状況を認識して、何かをする、人間に意識させないで、細かく最適な制御を行っていくという、ユビキタス・コンピューティングといっているもののベースになっている考え方です。これは汎用的な技術ですから、様々なものに使えるわけですが、それぞれの分野で考えなければいけないことは、当然あって、各分野で応用システムをつくっていく、つまりよく考えるということが重要です。

■ コンピュータは無色透明の道具

コンピュータは、50年前に誕生したときから基本的原理はあまり変わっていません。しかしその応用システムをよく研究して、どうやって私たちの社会にそれを導入するのか、という研究が進んだため、現在、コンピュータは私たちにとって大変役に立つ道具となりました。ユビキタス・コンピューティングもまったく同じで、食品のトレーシングに使うという分野なら食品分野で、また、薬につける場合は薬の分野で研究しなければいけません。だか

ら、建築の場合なら、建築の分野で研究しなければならない。それぞれが持っている問題をよく理解されているそれぞれの分野で突き詰める必要があります。コンピュータは無色透明の道具ですから、どういうことをやらせるのかに関しては、それぞれの分野で考えなければわからないことなのです。

■ どこでもコンピュータ

ユビキタス・コンピューティングというのは、いろいろな呼び方があり、パーベイシブ・コンピューティング[Pervasive Computing](浸透する)、インビジブル[Invisible](見えない)、そしてカーム[Calm](静穏な)などです。ユビキタス[Ubiquitous]というのは(遍在)で、これらはコンピュータがでしゃばってこないで、静かになんか見えないのだけれど助けてくれる、というような意味合いで、コンピュータ・サイエンスの方ではいろいろな呼び方で呼ばれています。

私は「どこでもコンピュータ」の分野で、元祖的に初期の段階から研究を続けてきました。英語で「コンピュータ・エブリホエア[Computer Everywhere]」と自分では使っていたのですが、1991年に米国の研究者マーク・ワイザーが、ユビキタス・コンピューティングという英語表記を最初に用いました。ただアメリカでは、ユビキタスというよりパーヴェイシヴ・コンピューティングの方がよく使われています。しかし日本人にとっては、ユビキタスの方が発音もしやすいし、日本で広めるのであれば、ユビキタスの方が良いなと思ったので私はこの言葉を広めてきました。

タグの技術やUCのようなリーダー/ライター(無線通信装置)(※6)も小型化でき、さらに無線技術もこのあとウルトラワイドバンド(UWB)など、非常に小電力で遠くに飛ぶような技術も進歩しています。この分野では、モノにチップをつけてモノの認識をすることから研究がスタートしました。場所につけようとか、空間にたくさんつけておこうというのは、これからです。考え方としては同じようなものですから、これから多くの技術開発が行われていく、というように私は考えています。

■ 業界を超えたバリューチェーン

応用に関しては、多くの事例があります。消費者サポート、常時監視、トレーサビリティ、製品モニタリングなどですが、大事なことは会社や業界を超えたバリューチェーンをつくれるということです。これも重要なことです。そして、原材料生産流通利用から廃棄物利用までに活用できます。建築の場合は、完成後のビルなどにこの技術をどう使うかということもあるのですが、建築は山のように部材を管理しないといけない、そこですべての建築部材にチップをつけると、特にプレファブリケーション工法の場合などに、この技術は威力を発揮すると考えます。工場で建築部材をつくったときに、全部にチッ

ブをつけてしまう。これは建築に限らず、大きな機械をつくる場合にも有効です。ジャンボジェット機の場合、パーツが何十万、何百万になると当然ミスということもできます。そこでリーダー／ライターが現場にあれば、「何かつけ忘れていない？」ということもわかるわけです。

■社会全体をサステナブルにするために
ユビキタス・コンピューティング社会が最終的に目指すのは、社会全体をサステナブル（持続可能）にする、ということです。センサーネットやユビキタス・コンピューティングなどで、状況が高精度に把握できることになると、最適制御ということに近づいてきます。それができるようになってくれば、社会全体がサステナブルになる。これは省エネルギーと快適性と機能向上を同時に得る、ということをも唯一可能にする技術です。先進国では、環境のためにエネルギーを減らすことは必須で、昔のようにエネルギーをふんだんに使って機能を向上させるということはもはやできません。エネルギーを減らすと、通常常識で言えば快適性は失われるのですが、それを両方得るためには最適制御しか方法がありません。その場合、非常に細かに制御してやらなければいけない、ということです。

現在、産学官協同で様々な研究開発を、YRP ユビキタスネットワークング研究所で行っています。ユビキタス・コンピューティング社会を実現しようとする、コンピュータの開発も同時に行なわなければならないので、そういう意味でいうと敷居は高いといえます。建築に応用した最適のものをつくる場合、建築の知識が必要で、且つコンピュータの開発も同時に行なわなければなりません。もちろんどちらから先にやってもよいのですが、たとえばアメリカだと、MIT（マサチューセッツ工科大学）のメディア・ラボは、建築を専攻している人たちがつくったコンピュータ研究所ですが、YRP ユビキタスネットワークング研究所は、コンピュータをベースとして建築に進出しようという所です。

■21世紀は、トータルテクノロジーの時代

これからの時代は、レオナルド・ダヴィンチのように多くの分野に精通していることが重要になる、と私は考えています。今までは専門化し、細分化していったのですが、トータルに考えていかないとあらゆることのできない時代になってきています。専用のコンピュータをつくるという技術も日進月歩で進んでいます。21世紀は、トータルテクノロジーにより、高度な機能性と多様性を持ち、最適制御により極限まで環境負荷を抑えた、人間にとって快適で楽しく暮らせる世界を実現するときです。このような学際的思考が重要であるということで1999年に設置されたのが東京大学大学院情報学環・学際情報学府です。「学際」というと、すぐ理系と文系の融合

のようなことだけを考えがちですが、私が、今重要だと考えるのは、理系のなかの学際です。今まで関係がなかったような科学技術の組み合わせを使ったモノづくりの時代に、現在入ってきていると私は考えています。ユビキタス・コンピューティングは、正にそれを象徴する、全分野の技術を投入し実現する、新しい分野です。既存の学問も、この新しい分野の、新しいテクノロジーの影響を受けて、緩やかに変貌していくのではないのでしょうか。

.....

「自律的移動支援プロジェクト」

（同推進委員会委員長 坂村 健）

国土交通省が中心となり、産官学民の共同で進めるプロジェクトである。プロジェクトの目的は『すべての人が持てる力を発揮し、支え合って構築する「ユニバーサル社会」の実現に向けた取り組みの一環として、社会参画や就労などにあたって必要となる「移動経路」、「交通手段」、「目的地」などの情報について、「いつでも、どこでも、だれでも」がアクセスできる環境をつくっていくための検討を行うことを目的とする。』となっており、YRP ユビキタス・ネットワーク研究所が全面的なバックアップを行う。

実験例として、場所情報を提供するICタグを、道路に敷かれた誘導ブロックやビル、レストランや小売店、住所表示板、自動販売機、工事現場の三角コーンなどに埋め込むことにより、視覚障害者は、白杖（センサー）とUC（無線LAN、近接無線、携帯電話機能も内蔵）から様々な情報を手に入れることができる。レストランの入り口では、メニューや値段、店内の様子を知らせてくれる。自動販売機では、音声メニューで買い物ができるようになり、住所表示板は住所を音声で伝えてくれる。健常者の場合も、UCで周辺地図情報を得て、場所を確認できる。また、工事現場では、警告音声ガイドが流れて注意を促したり、工事期間、迂回路情報を教えてくれる。将来は、これらの機能が携帯電話に搭載され、危険地帯に入ったときに、警告のための電話がかかってくる可能性も考えられる。

このプロジェクトは、障害者支援という特別なものではなく、ユニバーサルデザインのコンセプトの下、汎用的なものとして確立することを目指している。

2005年から、神戸市で実証実験を実施。その結果をもとに2006年度以降、全国展開する計画。

[関連サイト]

<http://www.jiritsu-project.jp/project/index.html>

※1 ユビキタス・コミュニケーター

将来のコンピュータが大量に組み込まれた生活環境において、それらのコンピュータと人間の橋渡しをするものとして考えられた汎用通信端末。多様な通信モードを持

ちそれらを組み合わせて利用できる。



【図1：ユビキタス・コミュニケーター】

※ 2 電子タグ

モノや場所を識別するためにモノに添付したり、個人のプライバシー情報を格納したりするための各種の電子タグ。0.4mm 角の砂粒のようなものから、機器に挿入するための薄片状のもの、持ち歩くためのカード状のものなどがある。



【図2：様々な電子タグ】

※ 3 YRP ユビキタス・ネットワーク研究所

身の周りのあらゆるモノに、通信能力を有するマイクロコンピュータやセンサー、アクチュエータ等 が埋め込まれ、それらが相互に情報交換を行いながら協調動作し、人間生活をより高度にサポートする、ユビキタス・コンピューティング環境を構築すること、更にその基盤となる次世代通信プロトコルを確立することを目的として設立された研究所。

※ 4 トロン

トロン (TRON: The Real-time Operating system Nucleus) は、理想的なコンピュータアーキテクチャの構築を目的として、1984年に坂村健によって提案された新しいコンピュータアーキテクチャ体系であり、産業界と大学の協力のもとで、まったく新しいコンピュータの体系の実現

を目指す。

※ 5 トロン電腦住宅

将来のコンピュータ応用を先取りして技術開発にフィードバックするためのトロンの応用プロジェクトの一つ。民間企業18社からなる研究会により1989年、東京・西麻布に建設された。1990年には公開、実験居住なども行われた。

※ 6 リーダー/ライター

データの読み書きを行う装置。通信距離は数 cm から 2m 位 (国内)。

□2004年度特別研究委員会 ユビキタス・コンピューティング社会の建築・都市 第1回委員会記録

(2004年4月8日)

編集：同委員会幹事 松永直美 (レモン画翠)