

『計算・通信・制御機能の融合とユビキタス社会』

Fusion of Calculation & Communication & Control in Ubiquitous Society

神尾博 (Hiroshi KAMIO)・クボタシステム開発株式会社 (Kubota Systems Inc.)

安本哲之助 (Tetsunosuke YASUMOTO)・鳥取環境大学 (Tottori University of Environmental Studies)

概要

「ユビキタス」という言葉が、専門家向けの場に限らず、新聞やテレビ放送等のマスメディアでも頻繁に取り上げられ、一般にも普及してきた。ところが「ユビキタス」の範囲は、無線LANやウェアラブル等の「どこでもコンピューティング」、ICカードやRFID (Radio Frequency Identification) を利用した少額決済やあらゆる生活財の情報管理、IT家電やITS (Intelligent Transport Systems) 等の家庭や公共での製品やサービス拡大等、その捉え方が幅広いため、過不足無く体系的に整理し切れていない傾向にある。

そうした中で、コンピュータの持つ計算・通信・制御の各機能に着目し、それぞれの技術進歩、機能の融合、利用分野の拡大、コンピュータ犯罪といった歴史を総括的に展望する事により、ユビキタスとはこれら3機能の融合したシステムやアプライアンスが、戦場からビジネス分野、公共分野、家庭、人体にまで広く普及する事であると定義・解釈する事が出来る。

またロボットや家電、計測等の、日本の得意とする制御系をユビキタスに結びつけ、重点的に研究開発を進める事は、ユビキタス社会の到来を契機に、国際社会での技術的・経済的イニシアチブを握るといった、国策として極めて有益であるばかりでなく、こうした技術を通じて、国際貢献を果たす原動力ともなり得る。

キーワード

ユビキタスコンピューティング, ユビキタス社会, 制御系, RT (Robot Technology), 情報通信

1. はじめに ～RFID, 携帯端末だけではない「ユビキタス」～

「ユビキタス」という言葉が、学会やIT専門誌といった専門家向けの場に限らず、新聞やテレビ放送等のマスメディアでも頻繁に取り上げられるようになったのは、今世紀に入ってからである。総務省の「ユビキタスネットワーク社会の国民生活に関する調査 (2004年3月)」によると、朝日、産経、日経、毎日、読売の主要5紙における登場回数も、2003年には「インターネット」を越えた。それから数年、まだまだ各人の持つイメージに隔たりがあるせいか、この「ユビキタス」は捉え方も幅広く、様々な意味で用いられる傾向にある。

たとえば、携帯電話、PDA (Personal Data Assistant)、ウェアラブル等の「どこでもコンピューティング」や、これらを実現する技術要素であるところの無線系インフラやQVGA (Quarter Video Graphics Array) 等をイメージされる方々も多いだろう。またICカードやRFID (Radio Frequency

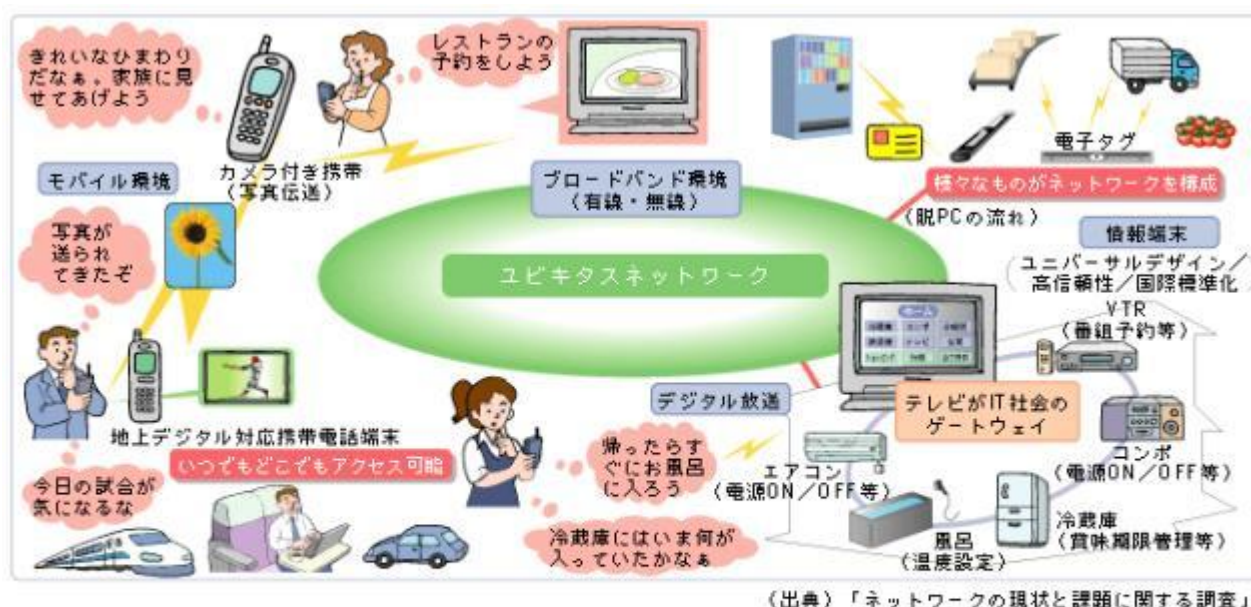


図1 ユビキタスネットワークの実現イメージ
 出典：総務省サイト (<http://www.soumu.go.jp>) 平成16年版・情報通信白書

IDentification) を利用した少額決済やあらゆる生活財の情報管理こそ、ユビキタスの本命であるかのような主張も金融・流通業界を中心に散見される。さらにはブログやSNS (Social Network Service) といったWeb 2. 0や、IT家電、ITS (Intelligent Transport Systems) 等が、ユビキタスの事例として紹介されている場合も少なくない。

そして日本電気計測器工業会(JEMIMA)主催の「計測展 2004 OSAKA」のサブキャッチとして、「ユビキタスもナノテックも計測と制御から」が使われた様に、計装・計測制御業界においても、「ユビキタス」という表現が使われ始めている。この場合は、様々な場所から発信される信号(温度や流量、画像等)を入力としてセンサで検出・処理し、デジタル信号に変換しLANへ出力するといった、DCS (Distributed Control System) やFA (Factory Automation)、遠隔制御等のシステムを指し、いわゆる「センサネットワークの産業分野版」といった概念で用いられている。

このように、ユビキタスの切り口が多種多様であることについては、過不足無く、かつ的確に整理・体系化された形で記述されていけば問題はない。ところが、たとえば先に述べた計装の世界については、まだまだ認知が広がっていないせいか、記述から欠落している場合も多い。またRFID等の要素技術と、IT家電等のアプライアンスを同列に論じているケースも散見され、その背景にはユーザメリットやセキュリティ等を見無視して、製品やサービスの普及そのものを目的化する論理も垣間見える。

そこで本稿において、ユビキタスを計算・通信・制御といったコンピュータが実現する「機能の融合」と、ビジネス分野だけではなく公共の場や一般家庭にも普及するといった「利用分野の拡大」の観点から考察することにより、改めてその位置付けを整理し、意義や今後の動向、課題についての検討を加えてみたい。

2. 様々な意味で使われる「ユビキタス」

「用語」及び出典	内 容	摘 要
「ユビキタス」 アスキーデジタル用語辞典 (http://yougo.ascii24.com/gh/)	ラテン語の「ubique」に由来する言葉で、「神のように 遍く存在する」という意味。IT 業界では、Ubiquitous Computing を略してこう呼ぶことが多い。	・遍在
「ユビキタスコンピューティング」 IT 用語辞典 e-Words (http://e-words.jp/)	生活や社会の至る所にコンピュータが存在し、コン ピュータ同士が自律的に連携して動作することによ り、人間の生活を強力にバックアップする情報環 境。(以下略)	・遍在, 無意識, コンピュータの連携 ・カーナビ, ウェアラブルコンピュータの 記述あり。
「ユビキタスコンピューティング」 goo辞書 (http://dictionary.goo.ne.jp/) ＝三省堂提供・「デイリー 新語辞 典」より	いつでもどこでも, 利用者が意識せずとも, 情報通 信技術を活用できる環境のこと。情報通信機器が現 実生活の至る所に埋め込まれ, 複雑な操作がなくと もそれらが有機的に活用できる環境をいう。「買った 商品を持って店を出ると, 自動的に代金が引き落 とされる」など。	・遍在, 情報通信機器の連携 ・後半はRFIDの説明である。
「ユビキタスネットワーク」 情報通信白書平成19年度版(総 務省)	「いつでも、どこでも、何でも、誰でも」アクセスが可 能なネットワーク環境。	平成16年度以降の各年度版において ・遍在, 無意識, パソコンとそれ以外の事 物との連携 ・情報家電, 電子タグ, ウェアラブル, 3G 携帯電話等の記述あり。
「ユビキタスコンピューティング」 21世紀のコンピュータ(M・ワイ ザー)	有線と無線でつながれた数百台ものコンピューター は, 私たちがその存在を意識しないような形で生活 の中にとけ込んでいこう。 (日経ブックダイレクトサイト http://www.nikkei-bookdirect.com/ の「日経サイエン ス1991年11月号」への掲載論文の抜粋)	・遍在, 無意識, コンピュータの連携

表1 各種資料・文献等によるユビキタスの定義

表1に「ユビキタス」という言葉の定義や説明について、いくつかの文献や公的文書、ネット上の用語辞典によるものを整理してみた。まず「アスキーデジタル用語辞典」、「IT用語辞典 e-Words」等の用語解説系のサイトでは、手短な説明という要求に応えながらも、ユビキタスにおける、コンピュータの「遍在」や「連携」については堅実に押さえている。

一方、総務省の情報通信白書によると、平成16年(2004年)度版では、「いつでも、どこでも、何でも、誰でもネットワークにつながる」という定義を、従来のパソコンや携帯電話以外の機器の情報端末化、高速通信回線、無線系通信インフラ、電子タグ等のデジタル情報活用等、と具体的な製品やサービスの形に展開して詳説している。平成17年版からは「ユニバーサル」等を加えた u-Japan に発展し、平成18年からはユビキタスエコノミーという概念が追加されたが、基本的な考え方は継承されている。

さらにはユビキタスを最初に提唱したM・ワイザーは、一人が多数のコンピュータに囲まれる、全てのコンピュータ同士がネットワークで結ばれる、コンピュータの存在を意識しなくなる、コンピュータの側から人間の環境に適合するアプローチ等といったコンセプトを主張している。

以上を整理してみると、ユビキタス（～ネットワーク，～コンピューティング含む）に対する認識、そして定義としては、少なくとも「偏在」，「連携」，「無意識」が共通のキーワードになっている事が窺える。

ところで表1では、「ユビキタスコンピューティング」，「ユビキタスネットワーク」についてあえて厳格に区別せずに列記している。その理由を述べると、たとえば平成16年度版の情報通信白書では「ワイザーのユビキタスコンピューティングはインターネット普及以前の概念であり、ユビキタスネットワーク社会は、その後の概念」となっているが、参考文献6では「(ワイザーの言う)ユビキタスコンピューティングの前段階としてユビキタスネットワークを位置付けるのが、実のある話」とあり、他の出典でもこうした見解の相違がいくつか見られる。そして本稿ではそうした差異自体を比較することが主目的ではなく、IT分野で言われる「ユビキタス」についての総括的な考察を優先課題としたからである。

さらには、公表された時期が現在に近いもの、あるいは字数が多いものの方が有利である事は明らかであり、これもまた本稿の主旨ではないので、それぞれの「ユビキタス」の定義の優劣についてもここでは取り扱わない。ただし「情報通信白書」については、社会に対して、影響が大きくかつ責任を持つべき公的文書である事からも、その妥当性・有効性について多少評価を加えることになる。

3. 技術・機能面から見た融合の変遷

前章「2.」によると、ユビキタスはコンピュータ間、あるいはコンピュータとそれ以外の機器との「連携」といった特徴がひとつの要素・条件となっている。一方、現代の情報システムに目を移してみると、サーバやPC等の汎用コンピュータ類と通信機器・制御機器の、有機的な結合体・融合体と言っても過言ではない。したがってこの章では、これらがどういった歴史的変遷を経て結合・融合して来たかを、総括的に展望することにより、現在の情報システムとユビキタスとの関係について、改めて確認してみることにする。

3-1. C=C

コンピュータの歴史は、第2次世界大戦中、米国の技術者フォン・ノイマンによる大陸弾道弾の軌道計算目的にまで遡るが、その後も長期間に渡り、コンピュータの主目的・主機能は計算にあった。そして現在のコンピュータの中核をなすマイクロプロセッサが、1971年にインテルによって開発・商品化されたが、その用途も当初は、まさに電卓専用と言えるものであった。後述するが、このマイクロプロセッサは処理能力の向上に伴い、産業用制御機器や家電製品、通信機器にも組み込まれるようになる。

その後、マイクロプロセッサは「電子計算機」と呼ばれたメインフレームにも採用され、1980年代半ば頃までは「情報(処理)システム」といえば、メインフレームやオフコンを用いた、金融オンラインや企業内勘定システムとほとんど同義で用いられた。1980年代後半には、ワープロ専用機やCAD専用機が台頭、またパソコンもワープロソフトや表計算ソフトを搭載し、ようやくビジネスユースに何とか耐えられるレベルのものが普及し始めた。もっとも、ワープロやCADにおいても、数値データではなく文字、図形とデータ形式が異なるものの、本質的には計算機能に他ならない。そういった意味においては、電卓も電子手帳や電子辞書に進化し、これらもまた計算機能の強化であると言える。

一方、同時期において通信 (Communication) は、従来の黒電話等のダイヤルホンからプッシュホン、自動車電話、ポケベルといったように、情報システムとは相互にほとんど関係を持たず、独自の進歩を遂げた。また、制御 (Control) にしても、素子の能力や集積度の向上、回路実装等のマイクロエレクトロニクス技術の進歩に伴い、産業用ロボットやPLC (Programmable Logic Controller)、ワンループコントローラといったFA (Factory Automation)、PA (Process Automation) 分野や、「マイコン内蔵」を謳った炊飯器やエアコン等の家電製品等、通信と同様、情報システムとは互いに独立した形で発展した。

そして当時のコンピュータ犯罪は、利息の小数点以下の端数を指定口座へ入金するといったデータの不正操作や、高額なプロセッサ使用料を免れるためのマシンタイム盗用等、計算機能を悪用したものが目に付いた。(参考文献7) 通信においては偽造テレカが登場したが、公衆電話そのものを盗み、内部のプログラムをdec→incに書き換え、使用済みのテレカを通すといった手口であり、これもまたまさに計算機能を利用したものであることは注目に値する。(参考文献13)

したがって1990年代半ば頃までは、Computerは通信、制御においてもマイコンを内蔵するも、ある場面では計算機 (Calculator) そのものであり、また別の場面では通信機能、制御機能というように、各機能それぞれが独立的に使用されるケースが大半であった。

したがって、言い換えれば「C=C」(Computer=Calculator or Communicator or Controller) の時代ということになる。

3-2. C=C*C

C=Cからパラダイムシフトを引き起こしたのは、デジタル通信技術、そしてこれを応用したLAN/WANである。1980年代に普及した音楽用CD等のデジタルオーディオの基盤技術となったデータの符号化、圧縮、エラー復元等の考え方 (これらも計算機能である) は、デジタル通信でも用いられ、無線電話やWAN等のサービスを実現した。

まず情報システムに目を向けると、1990年代の初頭より、従来のメインフレームやオフコン中心から、UNIXワークステーションやパソコンを組み合わせた、クライアント/サーバ型の分散システムへの移行が始まった。こうした形態のシステムは、各マシンにおける機能分散のため、データの透過的なやりとり、すなわちデータ通信といった仕組みを必要とした。このLAN/WANは、企業を中心としてビジネス分野に始まり、1990年代後半にはインターネットの普及等、学内や一般家庭等の産業分野以外にも展開された。

一方、従来は通信機能のみを担っていた電話においても、第2世代携帯電話ではiモードやEZ-WEBに代表される電子メールや専用サイト閲覧等、IPベースの機能が搭載されるようになり、市場への爆発的な普及を下支えした。

この頃から「ハッキング」という言葉が流行し始め、コンピュータ犯罪はネットワークを経由しての不正アクセスや、電子メールを使ったコンピュータウイルスの配布といった技術的なものに始まり、MLM (Multi Level Marketing) やネット詐欺等、通信機能を利用したものが激増した。

したがってこうした状況を端的に表す言葉は「情報システム (Computer) は計算機能 (Calculation) と通信機能 (Communication) との融合 (Complex)」であり、本稿ではこれを「C=C*C」と略すことにする。なお、「* (アスタリスク) は「X」すなわち掛け算の意味であり、さらには「Complex」の「x」も兼ねてこう呼びたい。

3-3. C=C*C*C

「Calculation」, 「Communication」に続く次の「C」との融合は、製造業を中心に既に1990年代前半から始まっていた。この時期、FAやPAの領域においても、計算機能と通信機能の融合が浸透し始めた。生産計画に則った生産設備の稼働や、進捗状況・生産実績の自動収集を目的として、コンピュータは工場の生産現場において、NC (Numeric Control) 工作機械, DCS等のメカトロ制御やプロセス制御と通信が行われる様になった。当初はLANではなく、SIO (Serial Input Output) やPIO (Parallel Input Output) 等が用いられたが、やがてLAN対応の制御機器も増加していく。さらには部門を超えた情報の統合や、迅速な情報の伝達による顧客ニーズへの素早い対応の実現のため、CIM (Computer Integrated Manufacturing) やSCM (Supply Chain Management) に発展していった。

ソフトウェアにおいても、完全オーダーメイドから、ミドルウェアにSCADA (Supervisory Control & Data Acquisition) ソフトを用いるものが増え、制御機器は情報システムの一部として組み込まれていった。このようにコンピュータと制御機器がデータ通信によって互いに連携することは、すなわち「計算・通信機能」に加え、「制御機能」をも含めた結合・融合を意味する。

さらに注目すべきは、この時期に工場内での部品や半製品のトレーサに利用されたIDデータキャリアや、耐環境性や現場作業での操作性を考慮したパネル表示器・パネルコンピュータ等のHMI (Human Machine Interface) といった応用技術がFA分野で培われ、これらの技術の延長線上に、一般にユビキタスを構成する一部として取り扱われているところの、RFIDや携帯端末, スマートディスプレイがある。

話を戻すと、工業分野で育まれた制御技術は、企業や教育機関のみならず家庭・個人にも爆発的に普及したインターネットと結びついていく。1990年代の半ば頃からは、一般社会においても、広域での下水道設備の監視運転や、地上での降水量や気圧等の気象データの集積等、遠隔地のメカニズムやセンサの制御をおこなう情報システムまでもが実用化し始めた。そして最近、国内外で被害が相次いでいる地震等の災害において、その通報システムは各種センサによる災害発生の検知から、メールやWeb画面等へのネットへの配信までの間は、もはや人間が介在しないケースも数多い。

したがってこうした状況は「情報システム (Computer) は、計算機能 (Calculation) と通信機能 (Communication) と制御機能 (Control) の融合」といった言葉で表現するのがふさわしいと考える。これは前節と同様、「C=C*C*C」と表すことが出来る。

そしてこれら3機能の融合は、いくつかの文献や資料においても、ユビキタスの事例としてセンサネットワーク, IT家電等といった形で紹介され、また既に具現化・普及を始めている。

また、「3-2.」で述べたように、計算機能と通信機能の融合がネット犯罪増加の引き金になったという事実からも、さらに制御機能を融合した場合には、新たな形態の犯罪の誘発も予想される。たとえば、LAN機能を有するPLC等の制御機器への不正アクセスによる生産設備の暴走や、盗んだ携帯電話からのIT家電の不正操作等のリスクは十二分にある(参考文献3)。そういった意味では平成19年度版までの情報通信白書には、ユビキタス社会のリスクとして、情報系及び通信系の個人情報保護、不正アクセス、ウイルスといったありきたりのITセキュリティ対策しか記載されていない点でやや物足りない。

3-4. さらなる融合の行方

先に述べたように情報システムは当初の計算機能のみから、通信・制御機能を融合しながら、処理速度

や信頼性等といった、単なる性能向上に留まらない進化を続け、パラダイムシフトを引き起こしてきた。したがって次に融合する機能が予測できれば、今後の情報システムの行方を知る、貴重な手がかりとなるに違いない。

この次の融合機能を決定するのは、ひとつは科学技術の進歩状況、もうひとつは人間の欲望・市場ニーズである事は明白であるが、「人間の命令 (Command) の認識機能」、「自律判断機能=人間の相棒 (Companion)」, 「生体機能 (Clone)」ではないかと考えている。

本稿の主旨であるユビキタスの考察から外れるので、詳細には触れないが、参考文献1, 5, 12等のロボット関係の文献から、現在、コンピュータ周辺技術で実用化に近付きつつあるものを拾い上げると、まずRT (Robot Technology) の中で、AI (Artificial Intelligence) 機能が挙げられよう。順序としては、人間の命令を認識して動く、すなわち命令認識機能 (Command)、そして人間並みに自らの意志を持ち判断力まで実装され、ただ操縦されるだけの存在を飛び越え、友人やペットの様な人間の相棒 (Companion) といった形で発展していくものと考えられる。

そしてロボットの形状自体を人型に近づけようとする中で、金属・無機材料から有機材料へ、すなわち機械式ロボットから生物学的ロボットへの展開が始まる可能性がある (参考文献5)。これの実現には、パーツ製造ではiPS細胞技術、量産ではクローニング (Clone) 技術が有用であり、すなわち生体機能までもが融合されるということを示している。

4. 利用分野・市場面から見た融合拡大の変遷

前章「3.」では、前々章「2.」の、ユビキタスの条件・要素である「連携」について、機能の融合の観点から検討を加えてきたが、本章では「遍在」に焦点を当て、利用分野・市場面の拡大の変遷を再確認したい。

機能(縦)／応用分野 (横)	Combat	Company	Commerce	Community	Consumer	Cyborg
Calculatoion	大陸弾道弾の軌道計算	勘定システム	金融オンライン, ATM	アーケードゲーム	ワープロ, ゲーム機	電子手帳
Calculatoion * Communication	ARPAnet	企業内LAN	EDI, CALS	Web, BBS, E-MAIL	SOHO, ホビー等家庭でのPC利用	第2／第3世代携帯電話, PDA
Calculatoion * Communication * Control	統合防衛システム	FA(CIM), LA	SCM(ECと結びついたFA・物流)	上水道等のDCS, 地震観測通報	IT家電(エアコン等), ホームセキュリティ	ウェアラブルコンピュータ

表2 コンピュータの機能融合と利用分野拡大

表2に概略をまとめてみたが、計算機能のみの形態、計算機能と通信機能の融合形態、計算機能と通信機能と制御機能の融合形態のいずれにおいても、多少の前後やゆらぎはあるものの、おおむね軍事

(Combat) → 企業内 (Company) → 企業間 (Commerce) → 社会空間 (Community) → 家庭 (Consumer) → 個人 = 体の一部として (Cyborg) の順に普及していく傾向が見られる。「Cyborg」と言うと人体改造を連想される方々も多いだろうが、米軍が開発中の「エクソスケルトン」と呼ばれるコンバットスーツのような、人体に装着し人間の意志と協調して動くアプライアンスも、広義の「Cyborg」であるといった考えも広まってきている。

ITに限らず、技術は軍事から民生へと行った流れは当たり前過ぎて、改めて本稿で強調する程の事でもないが、こうしてIT分野について一覧表にしてみると、市場・利用分野の拡大の様子がよく理解できよう。

また、ユビキタスを代表するいくつかの技術要素やアプライアンスに関しても同様に、元々は軍事用途であり、最終的にはまるで人体の一部の機能を担うかのような「Cyborg」的な使用方法へ向かっている。

たとえば、RFIDにおいても、米軍が航空機の敵味方を遠方からでも即座に区別するための軍事技術に端を発している。その後、「3-3.」で述べたように、一部の製造業者でワークのトレース目的等で導入された。現在ではICOCAを初めとする駅の自動改札や、Edy等のプリペイド型の電子マネーといったICカードの形で利用され、さらには小売・流通業種における製品札としての活用が始まっている。また「どこでもコンピューティング」を支える次世代無線通信として有力視されているUWB (Ultra Wide Band=超広帯域) に目を移してみても、壁の向こうの敵を検知するといったレーダー機能の利用から、米軍で開発を始めたものである。

ウェアラブルについてもコンピュータを内蔵した衣服として、前述のコンバットスーツ、そして2004年11月に発表された、ラジオを内蔵した子供用のフリースジャケットと市場は幅広い。さらには腕や腰に小型コンピュータを装着し、HMD (Head Mounted Display) と組み合わせた形態で、工業労働者、航空整備士、医療関係者等向けに実用化されている。また腕時計型PHSやSPOT (Smart Personal Object Technology) 内蔵の腕時計も開発されている。(参考文献10) ただこのウェアラブル分野に関しては、軍事から産業、民生における製品の開発や利用の、時間的な差異が少ないという傾向がある。このようにユビキタスを構成する技術は、まさに戦場から人体まで遍く存在しているのである。

なお、現在、実験あるいはせいぜい実用開始段階にあるものは別として、普及済み、もしくは本格的に普及を始めているケースに限定すると、計算機能と通信機能が融合したものにおいては「6C」の分野に、さらに制御機能をも融合したものにおいては「5C」の分野にまで、広がりを見せていると言えるだろう。

(表2の着色部分)

5. 連携, 遍在, 無意識とユビキタス

ここで改めてユビキタスの定義に戻り、キーワードと目される「連携」, 「遍在」, 「無意識」に関して、機能融合及び利用分野拡大の両方の観点から、考察をおこないたい。

(1) 遍在

まず、ユビキタスとは呼べないC=Cの状況下においても、結合はされていないにしろ、既にマイコン回路は家電製品や通信機器、産業用制御機器等の形態で、パソコンに先駆けて様々な分野において利用されていた。したがってユビキタスの定義のうちで、「遍在」は単に量的なものに限れば、敢えて声高に主張する必要はないと考える。もちろん当時と比べての数量増加は否めないが、マイコン回路を広義のコンピュータと解釈すれば、ユビキタス以前からも十分に我々の生活に浸透していたと言える。むしろ「4.」で述

べたように「遍在」を単なるコンピュータの量的な増加ではなく、家庭への浸透や人体と連動・連携するまで「遍在」するようになるといった質の変化を「ユビキタス」の特徴と見なす方が、適切であると考えられる。

(2) 無意識

また現在・過去を問わず、回路技術者やメカトロエンジニア以外の一般人が、家電製品等に組み込まれたマイクロコンピュータを意識するのは、もはや陳腐化した「マイコン内蔵」のキャッチフレーズを聞いた時くらいであり、操作中は思いを巡らす事はほとんどなかった。したがって「無意識」についてもまた、ユビキタス特有であると思なすのは疑問である。振り返ってみると、IT専門家以外の一般人にコンピュータというものを意識させてしまったのは、マイコン内蔵機器のボタン操作中心のHMIに割り込んできた、キーボード配列やWIMP (Windows/Icon/Menu/Pointing device) を利用したパソコンに限られている。

(3) 連携

一方、「連携」に関して言えば、ユビキタスの製品やサービスにおいても、3G携帯電話等の「どこでもコンピューティング」のような「C=C*C」の形態もさることながら、「3-3.」で述べたような「C=C*C*C」、すなわち計算・通信・制御機能が融合した形態もまた存在する。そして後者のような、パソコンを初めとする狭義のコンピュータ以外やその周辺機器以外であるところの、家電製品やセンサ類等と「連携」する事こそ、「遍在」、「無意識」よりもむしろ、従来のITになかった、ユビキタスの最大の特徴であると言える。また、ワイザーの主張する「コンピュータの側から人間の環境に適合するアプローチ」を実現するには、サイバー空間の電子データに止まらず、実世界でのセンシングや物の動き・変化につなげる方がより効果的であり、これは制御の得意とする分野である。

さらには、ワイザーは「一台のコンピュータを多数の人間が使うメインフレーム」、「一人が一台のコンピュータを使うパソコン」、「一人が複数のコンピュータを使うユビキタス」といった3つの波でという秀逸な捉え方をしており、勿論これについて異論はないが、こうした外部から見える形の一方で、その内側では、3つの機能の融合が3つの波を下支えしていたという見方も十分可能である。

こうしてみると「コンピュータ」は決して「電子計算機」ではなく、中国語の「電腦」の方が当を得ており、マイクロプロセッサを中心とした電子回路にて、どのような機能を実現するかといった本質に目を向けることが肝要であると言えよう。

そしてここまでの結論として、以上の「連携」と「遍在」に関する考察から、ユビキタスの範囲は表2において、縦軸にはC*CとC*C*Cの部分両方を指し、横軸には1Cから6C迄の全部へ行き渡る(1C~5Cに留まるのはユビキタスではない) 事と解釈できる。

6. 究極のユビキタス構想「アールキューブ」と日本の課題

実は我が国には、ユビキタスが各方面で取り沙汰される前から、計算・通信・制御機能の融合を実現するアーキテクチャの構想があった。「R³ (アールキューブ=Realtime Remote Robotics)」と呼ばれるもので、既に10年以上前から提唱されていた(12)。R³とは、視覚や聴覚のみならず触覚も加えた体感機能を持ち、自律的に移動するロボットを、高速無線通信ネットワークを介して遠隔操作し、人間が実世界の中で実体験する(「テレグジスタンス」と呼ぶ)というロボットアーキテクチャであり、(財)国際ロボットFA技術センター(=当時、現・製造科学技術センター)を中心として、産官学が取り組んでき

たワークショップである。HMDを装備したコックピットでの操作、ヒューマノイド型の二足歩行のアクチュエータ、高度な知能は持たないものの最低限の自己安全確保レベルの自律性といった機能を持ち、遠隔操作での登山、スポーツ、レスキュー等の応用事例（あくまでフィクション）が紹介されている。また、当時の『産業用ロボット研究報告書』によると、要素技術の過半数が、実用化時期が2010年以降に持ち込まれるとされており、現在でもまだまだ構想・実験段階の域を出ていない。

「テレグジスタンス」、「体感機能」、「人間との協調・共存」といった要素は、先に述べたユビキタスという「連携」、あるいはそれ以上の有機的な結合・融合を示すものである。

まずテレグジスタンスであるが、遠隔操作には通信や制御機能は不可欠であり、コンピュータ本体との精巧な連携が求められる。また体感機能においては、画像や音声は当然の事ながら、R³では触感も想定されており、感圧センサや反力を伝導するマニピュレータ等との融合が必要となる。そしてこれらの実装によって、普及が始まったユビキタスを含めた現在の情報システム以上の「人間との協調・共存」が実現できるのである。

したがって、コンセプトにおいては、R³はユビキタスの発展型、いや究極の形態であるとも言っても良いだろう。その後、R³はHRP（Humanoid Robot Project＝人間協調・共存型ロボットシステム）に引き継がれ現在に至っている。

このようにR³とユビキタスの「計算・通信・制御機能の融合」という共通点を認識し、どちらかと言えば単なる「計算・通信機能」の応用のみといった捉え方をしている米国流の「ユビキタス」に迎合することなく、それを凌駕するユビキタス観を世界に発信し、実現していくことこそ現在の日本にとって重要であると考えられる。

たとえばこの「融合」は、製品やサービスといった観点からだけでなく、OSや言語からも同様の傾向が窺える。たとえば、IT家電や携帯電話ではLinuxやJavaをベースにするものが増加しており、また最近では、タイムクリティカルな制御部分はTRON、表示や入力等のユーザインタフェース部分はWindows Embeddedといった役割分担をする、いわば「OSの融合」の構想もある。この事は、エンベデッド（組込）システムにおいてシェアの高いTRON等の国産OSの、更なる利用分野拡大のチャンスであると言える。

また「3-3.」で述べたネットを経由した制御機能への攻撃に対処するため、制御系のリスクアセスメントを進め、その技術やノウハウを高めておくこと事もまた、品質や信頼性における国際競争力の礎となり得るはずである。

以上のように、ロボットや家電、計測といった日本の得意とする制御系を、ユビキタスの重要な構成要素として捉え、重点的に研究開発を進める事は、CPUやOS等、パソコン技術では欧米に席卷された日本が、ユビキタス社会の到来を契機に、国際社会での技術的・経済的イニシアチブを握る事を可能にし、国策として極めて有益であると考えられる。またそれとともに、この制御を融合させたユビキタス技術を通じて、「3-3.」で述べたような自然災害の検知や警報、レスキューを初めとする分野等での国際貢献を果たすことも十分可能であり、もうひとつの重要課題であると確信する。

7. おわりに ～まとめと今後の課題～

最近、国際的に通りがよいため、国内でも「IT」ではなく「ICT（Information Communication Technology）」と呼ぶ風潮がある。しかし、ここまで述べたように「CCT（Calculation & Communication

Technology)」、あるいは「CCCT (Calculation & Communication & Control Technology)」と呼ぶことが、より適切であると考え。もっともR³やHRPといったロボットが具現化し普及が始まれば、もはやRTとなりCCCT等は死語になるに違いない。

以上のように「機能の融合」、「利用分野の拡大」といった視点からユビキタスについて考察してきたが、改めて整理すると本稿の結論は下記3点に集約される。

(1) 計算・通信・制御機能の融合は、ユビキタスの実現を支える重要な要素であり、この3機能の融合の、利用分野・市場面での社会・家庭・個人に至るまでの拡大・普及がユビキタスであると解釈出来る。

(2) 計算・通信・制御機能の融合と捉えたユビキタス観を、従来から日本の得意とする分野である制御技術の強化と結びつける事は国策としてのみならず、国際貢献といった点からも有益である。

(3) 次の融合機能を模索する事で、社会やビジネス動向の予測できる可能性は十分ある。その際、コンピュータを機能面からどうとらえるか、そしてその機能の技術進歩の状況を把握する事が肝要となる。

なお、今後の研究テーマとしては、字数の関係等により本稿で詳細に触れることが出来なかった「制御系を融合したユビキタス社会の脆弱性」等について更に深く探求し、何らかの形で公表できればと考えている。

【参考文献】

- (1) 別冊宝島編集部 (2000.1) 『今こそ知リタイ！ロボットの未来』 宝島社
- (2) 情報処理推進機構 (2007.4) 『情報セキュリティ教本』 実教出版
- (3) 神尾博・安本哲之助 (2004.9) 「制御システムに対する不正アクセスの危惧」『日本セキュリティ・マネジメント学会誌 No.17』
- (4) 黒目哲児 (2003.3) 「ユビキタス社会における個別マーケティングと必要なシステム監査」『システム監査学会誌 No.16』
- (5) 松崎吉信 (1981.7) 『ロボットの話』 日刊工業新聞社
- (6) 美崎薫 (2004.4) 『なるほどナットク！ユビキタスがわかる本』 オーム社
- (7) 室伏哲郎 (1990.8) 『コンピュータ犯罪戦争』 集英社文庫
- (8) 中野宗・安藤直紀 (2006.7) 『Web屋の本 ～Web2.0,ビジネスサイト2.0,Web屋2.0～』 技術評論社
- (9) 太田雅晴 (1994.7) 『生産情報システム』 日科技連
- (10) 志賀嘉津士 (2004.1) 『[入門] ユビキタス・コンピューティング』 NHK出版
- (11) 総務省 (2004.7～2007.7) 『情報通信白書 (平成16年度版～平成19年度版)』 ぎょうせい
- (12) 通産省R³研究会 (1996.1) 『アールキューブ』 日刊工業新聞社
- (13) ワニマガジン社編集部 (1999.4) 『電脳ギャング』 P126～130 ワニマガジン社

<注記>

本稿は2008年7月12日の「SAAJK20周年記念シンポジウム記念誌」に収録予定でありましたが、収録漏れで一部の方々への公開に留まったため、改めて2011年度研究大会の資料に掲載いたします。

研究大会編集責任者 林裕正