

さかむら けん

## 坂村 健

(TRON プロジェクトリーダー、東京大学大学院情報学環教授)  
コンピュータ・アーキテクトから情報化社会のアーキテクトへ



坂村健は、秀でたコンピュータ・アーキテクトである。世界で初めて開発されたマイクロコンピュータ 4004 を見て、将来のコンピュータはこの方向に行くと確信し、「どこでもコンピュータ」という考えを持つようになった。この考えに基づいて TRON プロジェクトを開始し、内外のメーカーがこれに参加した。プロジェクトの成果を公開し続け、携帯電話の爆発的な普及とともに TRON は大きく発展した。現在は、情報化社会のアーキテクトとしてユビキタスネットワークを提唱し、産業界を動かすとともに、これからの情報化社会のあり方を訴え続けている。

### コンピュータ・アーキテクト坂村健

坂村健は、秀でたコンピュータ・アーキテクトである。まず、アーキテクトを説明しよう。コンピュータやシステムソフトウェアの核である OS (オペレーティングシステム) を開発するときに、基本設計として、アーキテクチャというものを決める。コンピュータや OS は、いろいろな応用に使われる。このいろいろな応用がなるべくうまく実行できるように、コンピュータや OS の基本設計をしなければならない。この基本設計がアーキテクチャと言われるものであり、こういう設計をする人をアーキテクトと呼ぶ。オーケストラで言えば指揮者のようなものである。あらゆるパートに精通し、それらをどのように組み立てるかを決める。

だれでも努力すれば、オーケストラの指揮者になれるわけではないのと同じように、だれでもアーキテクトになれるわけではない。能力と環境が必要である。坂村がその能力を持っている

たことは自明である。さらに、慶応義塾大学の相磯秀夫のもとでコンピュータを学んだことが、アーキテクトへの道を開いた。相磯は、電子技術総合研究所(以下、電総研)でコンピュータの研究をしたのち、慶応義塾大学の教授となった。電総研は、日本のコンピュータ研究の中心的な研究機関の一つであり、相磯自身はイリノイ大学の初期の大型コンピュータイリアックの設計にも参加した第一級のコンピュータ研究者であった。相磯研究室は、当時の日本の大学には珍しく実用的な研究を行っており、外国の学会にも積極的に参加し論文発表をしていた。研究室には、何台ものコンピュータが並び、それに手作りのハードウェアがたくさん接続され、その上でいろいろなプログラムを動かしながら、研究をしていた。現在では珍しくない光景だが、当時としては衝撃を受ける光景だった。「相磯秀夫先生の下でコンピュータを学ぶことができたのは、大変幸運だった。コンピュータを一から設計することを学ぶことができた。」と坂村は語っている。

## マイクロコンピュータの未来を確信

坂村は、中学生のころから秋葉原の電気街に足しげく通っていた。真空管や部品を買ってきては、ラジオやアマチュア無線機を作った。高校時代はアマチュア無線に熱中していた。

人間を初めて月に送り出したアポロ11号の打ち上げを見ていた坂村は、打ち上げに大きな役割を果たしているコンピュータというものに興味を持った。コンピュータに触れる事はなかなかできなかったのも、コンピュータに関する本を片端から読んだ。当時は、コンピュータに関する本はそれほど多くはなかったから、ほとんどの本を読むことができた。慶応義塾高校 3年生の時に、同じ敷地内にある大学の大型コンピュータを使うことができた。プログラムというものを書いて、コンピュータを動かした。自分の指示通りにコンピュータが動く。初めてコンピュータに触れた感想は、「思ったとおりだった」と語っている。あらかじめ勉強したとおりのものであった、ということである。

大学に進んだ坂村は、アルバイトで建築物の構造解析のコンピュータプログラムを書き、それを発展させて CAD(Computer Aided Design)のシステムなどを作った。

1971年にマイクロコンピュータ 4004 が発表された。坂村が大学 2年の時だった。小さな半導体のチップでコンピュータができてしまう。一部にトランジスタを使ったコンピュータもまだ動いていた時代だったから、それが小さなチップになってしまうということは衝撃的だった。半導体の技術はどんどん進歩するから、将来のコンピュータはこの方向に行くという確信を持った。しかも、計算をする機械として使われるよりも、様々なものの中に組み込まれた制御用としてたくさん使われると思った。コンピュータをどこでも使うようになれば、人間の生活を豊かにすることができる。これが、坂村の「どこでもコンピュータ」の発想の原点となった。また、大学生の頃である。

大学院に進んだ坂村は、1977年4月に第1回西海岸コンピュータ博覧会<sup>1</sup>に参加した。初めて開かれたマイクロコンピュータの展示会で会場は熱気に溢れていた。頭ではわかっていたつもりのマイクロコンピュータの将来性だが、現実には多くの人間が集まった熱気を感じて、「どこでもコンピュータ」の考えに確信をもった。

同じころに訪問したゼロックス社のパロアルト研究所で「子どもも使える簡単で楽しいコンピュータ」を開発の基本コンセプトとして開発された「アルト」を見た坂村の衝撃は大きかった。人間とのインターフェイスを本当に考えた研究がどんどん行われ、「新しい時代」への動きが生まれていたからである。「使われていたコンピュータの回路そのものには驚かなかったが、ビットマップディスプレイをうまく使い、トータルなシステムとして考えられている点に感心した。」と坂村は言っている。

また、今のインターネットの原型であるARPAネットも、米国で使う機会があった。米国に出張した時に、西海岸の大学でしばらく滞在していた。東海岸の人に会おうとしたら、これを使って連絡ができるよ、と言われて使った。電子メールを使うのは、初めてだったからびっくりした。

## TRON プロジェクトを開始

1981年ごろから相磯秀夫の紹介で、日本電子工業振興協会(電子協)の仕事もするようになり、マイクロコンピュータ応用専門委員会の主査を務めた。そのころは、ミニコンピュータが全盛の時代で、マイクロコンピュータは出始めたばかりだった。そんな中で、マイクロコンピュータの未来の応用イメージを描く活動をした。マイクロコンピュータの能力は、いずれ今の大型計算機を凌ぐようになるだろう。そういう能力の高いマイクロコンピュータがたくさん使われる。家電機器や車や様々なものの中に組み込まれるようになるだろうと坂村は考えた。大学生の時に考えた「どこでもコンピュータ」を実現しよう。そのためには、人間とコンピュータの付き合い方のルールを標準化し、人間のことを考えた作り方をしなければならない。また、オープンで標準的なアーキテクチャと効率的なソフトウェア開発が必要になるとも考えた。未来を見通して、それを実現する大きな絵を描く、まさにアーキテクトが考えることである。だが、現実には米国のメーカーのマイクロコンピュータを使い、ソフトも米国のものに日本語機能をつけて使うのが一般的で、自前の基本ソフトを開発する動きも、自前のマイクロコンピュータを開発する話もなかった。

---

<sup>1</sup> 1977年の4月サンフランシスコで最初の West Coast Computer Faire が開催され1万3千人の入場者が集まった。この会場で Commodore Business Machines Inc.が PET コンピュータを公開した。また、Apple 社もこの会場で Apple II コンピュータを発表、世界初のカラーグラフィックスパーソナルコンピュータとして注目を集める。(PSPINC内倉賢一著、マイクロコンピュータの歴史第2回より、<http://www.technetjapan.com/JP/History/index2.htm>)

坂村は、電子協の委員会を動かし、独自のリアルタイム OS を設計することになった。ここでコンピュータ・アーキテクトとしての坂村の能力が発揮された。ゼロからリアルタイム OS である TRON の設計をしたのである。1984 年、電子協主催のマイクロコンピュータ応用国際会議で TRON を発表した。心ならずも、海外の技術がつくった土俵の上で開発を進めていた半導体メーカーの人間には、これが新鮮な魅力と感じられた。NEC の門田浩、松下の真弓和昭などの技術者が坂村の試みに賛同し、多くのメーカーの人の輪ができた。これらの人々は電子協の下で活動していたが、1988 年には社団法人 TRON 協会となった。マイクロプロセッサを開発していた企業が、コンピュータ・アーキテクトを求め、坂村がそれに答えた、ということである。昼も夜も、リアルタイム OS の仕様を書きまくった、と坂村は言っている。大きな絵を頭に入れて全体のバランスをとりながら、細部が矛盾なく動くように、しかも良い性能を出せ効率的に動くように仕様を決めていく、大変な知的作業である。机上ですべてができるわけではない。むしろ、仕様を決め、それを公開し、実際に使ってみて問題点を直す、この繰り返しが大事である。複雑なソフトウェアを開発する場合、アーキテクチャを考えながら、このサイクルをまわさないと、良いものができない。アーキテクトの役割が重要である。

## 組み込み機器用 OS の ITRON を開発

TRON の発表をきいて、NEC の門田が坂村の下を訪れた。マイクロコンピュータを組み込んだ家電機器やオフィス機器の OS の開発をしていた門田は、自分のプロジェクトを中止し、TRON の開発に加わった。組み込み器機用の OS のマーケットはまだ小さかったが、電気メーカー各社の半導体の人たちが積極的に参加した。アメリカ発のものではなくて独自のものを作ろうと考えた。Industry TRON ということで、ITRON と名づけられた。NEC は、1984 年 11 月に TRON を使った最初の OS である RX116 を情報処理学会で発表した。さらに、1986 年に TRON を組み込んだマイクロコンピュータを開発し、1987 年春をめでに商品化すると発表した。ITRON は、その後も発展を続け、現在の T-エンジンにつながっている。

1996 年から、社団法人トロン協会が組み込みシステムにおけるリアルタイム OS の利用動向に関するアンケート調査を行っている<sup>2</sup>。1996 年から 2004 年までの調査結果をグラフにしたものが図 1 である。Embedded Technology 2004 などの組み込みシステムの展示会に参加した設計・開発・研究者が主な調査対象である。2000 年以降約 4 割の組み込みシステムで ITRON が使われていることがわかる。

---

<sup>2</sup> <http://www.assoc.tron.org/jpn/research/index.html>

2002 年からは社団法人日本システムハウス協会と共同で調査をしている。

組み込みシステムにおけるITRONの使用率

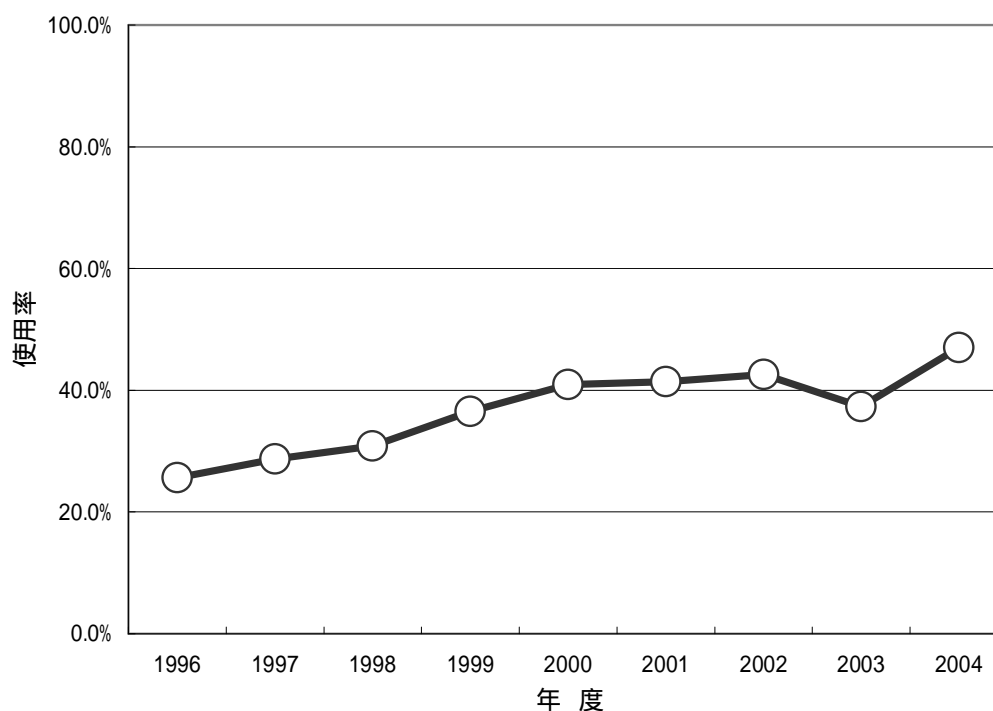


図 1 組み込みシステムにおける ITRON の使用率

(社団法人トロン協会調査より)

### 普通の人役に立つパーソナルコンピュータを作ろう

坂村の発表を聞いて、TRON の使いやすさ、わかりやすさに感動した松下の真弓は、TRON を使えば、普通の人役に立つコンピュータ、パーソナルコンピュータが作れると思った。Business TRON ということ、BTRON と名づけられた。OS を開発した経験のある技術者は少なく開発メンバーを集めることには苦労したが、若い技術者が積極的に参加し 40 人の開発チームを編成しプロジェクトをスタートさせた。坂村と同じ相磯研究室の出身者がいたパーソナルメディア社の OS 開発経験者も、坂村の紹介でこのプロジェクトに加わった。

1987 年には、松下は BTRON を搭載したパソコンを開発したと発表した。いくつものウィンドウを画面上で開いて、アイコンを使って複数の仕事を同時に実行できる非常に強力なマルチタスク・マルチウィンドウの OS だった<sup>3</sup>。その頃のパソコンのソフトは、MS/DOS が主流で、コマンドを打ち込んで操作しなければならなかった。そのほかには、少数の MacOS がある程度だった。アイコンでプログラムを動かしていたのは MacOS だけだったが、OS は MS/DOS

<sup>3</sup> 松為彰 (パーソナルメディア株式会社開発本部取締役本部長) インタビューより

と同様にシングルタスクだった。また、日本語がちゃんと動かなかったので、特殊な用途でだけ使われていた。ミニコンでは、UNIX の上で X-Window を動かしていたが、何百万円もするワークステーションで動くもので、個人が買えるものではなかった。Windows はまだ出ていなかった。Windows 3 が出たのが、1991 年だったから、これよりも数年早くマルチタスク・マルチウィンドウで動くパソコン用 OS とソフトウェアシステム BTRON が開発されていたことになる。

そのころ、全国の小中学校に大量のパソコンを導入する計画が持ち上がった。通産省と文部省がコンピュータを使った教育の普及を目指して財団法人コンピュータ教育開発センターを設立したのである。BTRON の機能は評価されたが、実績がなく、これまで導入されている MS-DOS ベースのパソコンとの互換性がないので、今までに開発されたプログラムや教材が使えないことが難点だった。パソコンのマーケットの大半を占めており、日本のパソコンの事実上の標準機を販売していた NEC と文部省などからは、反対があった。一方、この教育用パソコンの標準が BTRON となれば、その他のパソコンマーケットでのビジネスにとっても良いチャンスとなるとも考えられた。結論としては、BTRON に基づいた標準が有力になりつつあった。

## NTT も TRON を採用

1986 年に NTT は、大型コンピュータ、局用交換機、PBX などの OS の開発を計画し、TRON 仕様に基づいた CTRON の開発に着手した。NTT、日本電気、富士通、日立製作所、沖電気工業、東芝、三菱電機の 7 社は、CTRON 標準化案をまとめ、1987 年 11 月の TRON プロジェクト国際シンポジウムで公開した。これから ISDN 時代に突入し、通信回線を利用してデータをやりとりする機会が増える。そうすると、ネットワークにつながる端末機器の種類が大幅に増える。今までのようなソフト開発のやり方では、開発者が何人いても足りなくなる。それで CTRON によって OS とアプリケーションの間のやり取りを標準化し、OS やアプリケーションを転用できるようにしようという考え方である。CTRON は ISDN 用交換機を中心として NTT で広く使われた。

## 半導体メーカーが共同で組み込み用マイクロプロセッサを開発

1986 年に、日立と富士通が TRON アーキテクチャに基づいた、32 ビットマイクロプロセッサ TRON チップを共同開発することになった。ソフトウェアだけでなく、マイクロプロセッサのハードウェアも坂村が設計した基本仕様(アーキテクチャ)で開発することになったわけである。後に、三菱電機もこれに参加した。

それまでは、日立はモトローラの 16 ビットマイクロプロセッサのセカンドソースを製造しており、

富士通は、インテルの 80286 のセカンドソースを製造していた。このようなセカンドソースのライセンスに対しては、モトローラもインテルも消極的な姿勢をとるようになってきており、これからは、独自のアーキテクチャに基づいたマイクロプロセッサを開発することが必須であった。

富士通がミニコン用の F32/300 を、日立がエンジニアリングワークステーション用の H32/200 を、三菱が制御用の M32/100 を開発することになった。それぞれの会社の開発は、1989 年に順次行われ、1990 年に富士通が G マイクロ F32/300 の発売を開始し、TRON チップのシリーズのすべてが出揃うことになった。

3 社とは、別に TRON チップの開発を進めていた東芝は、1993 年に M32/100 と互換性がある、TX2 を開発した。

マイクロプロセッサを開発するためには、マイクロプロセッサチップそのものを開発するだけでなく、その上で動くソフトウェアを開発するためのプラットフォームやマイクロプロセッサを組み込んだシステムのデバッグを行う評価機システムも開発しなければならない。また入出力機器と接続するインターフェイスチップの開発も必要である。TRON チップを開発したことにより、マイクロプロセッサ開発に必要なこれらの周辺技術も含めて開発する経験を蓄積することができ、日本の半導体各社は自力でマイクロプロセッサを開発する力をつけていった。

## 人間の足りないところを補う

坂村は、IT 技術は人間の足りないところを補い、能力を引き出す道具であると考えている。障害者や高齢者が IT 技術を使うことによって、身体の不自由さをカバーしてより快適な生活を送ったり、より高度な仕事をこなしたりできるはずだ。障害者は、“Disabled People”と呼ばれることがある。“Disabled”とは、「無力にされた」という意味だ。そうした身体上の障害によって様々なことに対して無力にされている状態を、コンピュータや電子機器の技術によって「可能に(enable)」したい、という願いをこめてイネーブルウェアの研究を始めた。坂村の研究室ではイネーブルウェアを研究の一つの柱にしている。

1987 年に、障害者の人々を含む TRON イネーブルウェア研究会が設立され、そこで検討された結果が、イネーブルウェア仕様というヒューマンインターフェイス仕様となっている。障害者でもできるだけ健常者と同じようにコンピュータや電子機器を操作できるようにと、多くの工夫がなされている。イネーブルウェア仕様は、TRON 仕様 OS に標準装備され、一般に市販されている。

## どこでもコンピュータを電腦住宅で実験

どこでもコンピュータを住宅で具体的に実現したらどうなるかを実験するのが電腦住宅である。坂村は、1988 年 10 月末に六本木に「TRON 住宅」と呼ぶ実験棟の建設に着手した。竹

中工務店、三協アルミニウム工業、日本板硝子、東京電力、ヤマハ、三菱電機、日本ホームズなど 16 社が参加する TRON 電腦住宅協会が、約 10 億円を投じて、TRON のコンセプトを延長した快適な 21 世紀住宅のパイロットを建設しようという計画であった。家庭の空調から安全設備、音響機器、トイレ、台所、庭の草花管理まであらゆる場面にコンピュータの力を活用する住宅を作ろうとした。5 年前からは、トヨタ自動車と一緒に、第 2 次電腦住宅の実験を行っている。建物の設計そのものも坂村が行った。ユビキタスネットワーキングを実際の住宅で実験しているところだ。

## 晴天のへきれき、スーパー301 条

TRON プロジェクトは、ITRON、BTRON、CTRON、TRON チップと広がりを見せ、電子協の下部組織であった TRON 協議会は、1988 年 3 月社団法人 TRON 協会となった。日の丸コンピュータになれるのではないかという期待を持つ人も現れてきたが、坂村はそのような意図を持ってはおらず、「どこでもコンピュータ」を実現していくためにプロジェクトを推進していた。また、そのためにはオープンであることが非常に重要であると考えており、GNU や Linux などにより「オープン」の重要性が語られるようになるはるか前に「オープン・アーキテクチャ」を唱え、推進組織である TRON 協会には、IBM などの外国の会社も参加していた。

1989 年のゴールデンウィークのことだった。坂村は長野の山の中でゴールデンウィークを過ごしていた。休み中でも外からの情報が欲しい。そこで、そのころ出始めていたパラボラアンテナをたてて、初めての衛星放送を見ていた。そのワールドニュースから、TRON の名前が聞こえてきた。米通商代表部 (USTR) が発表したスーパー301 条対象候補の中に TRON が挙げられていたのである。まさに晴天のへきれきであった。

TRON は、大学を中心に開発され、仕様をオープンにしており、国内外を問わずすべての企業、団体が自由に使えるものだ。米国の IBM 社が TRON パソコンの試作をやっていた事実からも、貿易障害というのはまったくの濡れ衣だった。坂村は、ヒルズ米通商代表部 (USTR) 代表宛に「米国が外国貿易障害年次報告で TRON を名指して批判をしたのは、事実誤認に基づいている。計画は開放的だ」という抗議文書を郵送した。

半導体や電子機器、通信機器などの主要な分野で日本がアメリカを追い越していったことに危機感を覚えた米国が TRON にも同じような脅威を感じて、このような措置を取ろうとしたという説がある。実はアメリカのメーカはこの件に関係しておらず、日本の一部からの働きかけであったという説もある。最終的には坂村の主張が認められ、TRON はスーパー301 条の貿易障害の品目にはならなかった。しかし、日本の各メーカは、TRON から身を引いてしまい、坂村にとっても TRON にとっても逆風を受けることとなってしまった。



## TRON が自動車でも使われる

1994年、トヨタ自動車の佐藤浩司がTRONプロジェクトにコンタクトしてきた。車のエンジンを制御するマイクロコンピュータ用のOSを探していたのであった。エンジンの燃料の噴射量と点火のタイミングを制御するためのOSである。車のエンジンの場合、噴射のタイミングや点火のタイミングを正確に制御しなければならない。そのため、コンピュータに無駄な動きをさせないように専用のプログラムを使うことが多かった。これではエンジンをちょっと変えるたびにプログラムを最初から書き直さなければならない。もし、OSという土台が使えるれば、プログラムの開発期間も短くなり、開発費も圧縮できる。しかし、正確にタイミングを制御できるOSはなかなか無かった。米国にはエンジン制御システムのOSを商品化している会社は何社かあった。けれども、それを使ってしまうと、中身がわからないブラックボックスにエンジン制御の肝心な部分を任せてしまうことになってしまう。それは避けなければならない。TRONは使えるだろうか。それを調べるために佐藤は、コンタクトしてきたのであった。すでに、日本の半導体メーカーのほとんどが、TRONの製品をもっており、仕様もきちんと管理されていることを知った佐藤は、自動車用TRONを開発しようとした。TRONで定義されている最小の構成よりも、さらに小さく超高速で動くものが必要だった。坂村がどう反応するかを佐藤は心配していた。坂村はあっさり、それで使えるのだったらそうしてくださいと言い、それを標準にしてしまったらどうですか、とも言った。佐藤は、1997年に他の自動車メーカーや半導体メーカーに呼びかけて、リアルタイムOS自動車技術委員会を設立し、自動車用TRONの標準化についての研究も行った。トヨタはその後、TRONをエンジンの制御に積極的に使い始める。これを最初に使った車が1999年に発売されたプラドである。

## 仮想博物館で会いましょう

1996年、東京大学は総合研究資料館が所蔵する約240万点に上る資料をデジタル画像化し展示する電子博物館を設置することになった。これが総合研究博物館となり、坂村は一時その仕事に専任する。

この仮想博物館では、インターネット技術を使った仮想博物館ソフトを開発し、画面上の分身を動かして仮想博物館の展示物を鑑賞できるだけでなく、画面上で居合わせた隣の人と話も交わすことができるようにした。このソフトは仮想の集いや電子会議などにも使え、応用分野は広く、「マルチメディア・マルチユーザー・ダンジョン」と呼ばれ、利用者がパソコン画面上の分身を操作して仮想博物館などの展示物を鑑賞できた。画面の中には同時に仮想博物館を楽しむ他人の分身も表示され、音声で話し掛けるとその操作をしている人と会話できた。東京とニューヨークの友人同士が、フランスの仮想美術館で落ち合い、作品の感想を語り合うといった使い方も可能である。

ところで、美術品の高精細な映像を利用者が楽しめるようにすればするほど、画像データベースが大きくなり過ぎるという問題もあった。坂村らは、巨大なデータベースを複数のサーバに分割しながらも、あたかも一つのデータベースとして扱う技術を開発した。伝送速度が小さい回線でも実用になるよう、展示品の画像を最初は速く粗く送り、立ち止まって眺めると徐々に高精細になっていく仕組みも導入した。

古書や考古品の公開には、それらの保護の問題が常につきまとう。デジタル化することによって、保護の問題を心配することなく公開できるようになった。

## コンピュータの都合で漢字文化を壊してはならない

日本語の文字をコンピュータで使うためには、それぞれの文字にコードを割り付けなければならない。そのための JIS 規格が制定されている。しかし、JIS 第一、第二水準では、約 7 千字種の漢字しか定義していない。また、世界の文字をコンピュータで扱うためにユニコードというものが定義されている。ところが、漢字文化に疎い米国の大手コンピュータ企業連合が開発したため問題が多い。例えば、日本、中国、台湾、韓国で実際には違う漢字が、単に「字形が似ている」という理由で同じ漢字として扱われてしまった。収録している漢字数も 2 万 1 千字と少なく、今後増やすための余地もほとんどない。

これでは漢字を使う文化がコンピュータの都合で壊されてしまう、そう考えた坂村は、漢字のコード化プロジェクトを開始した。まず、日本語の全漢字を収集。中国、台湾、韓国とも連携を取って、すべての漢字にコードを与える。それを電子文字化し、TRON システムを通じてだれでも自由に使えるようにする。ゆくゆくは世界の諸言語のあらゆる文字をコンピュータで使えるようにする計画である。

情報革命のおかげで世界の直接コミュニケーション可能となったが、その結果、多様な文化を破壊することになってはならない。むしろ固有文化を充実し、情報発信のためのツールを強化することこそ豊かな地球につながる、と坂村は考えている。

1999 年 11 月に、ソフト開発会社のパーソナルメディア社は日本製のパソコン用 OS 「BTRON」を使い、全世界の文字約 13 万字を扱えるソフト「超漢字」を発売した。旧字体など従来使えなかった漢字をすべて網羅し、日本語や中国語の歴史的文献も電子化できるようにした。

このソフトは「TRON プロジェクト」の一環として 5 年がかりで開発した。多言語対応の「BTRON」は、最大で 148 万字を扱うことが可能で、その中に「大漢和辞典」や中国の漢字コードなどに掲載されている漢字や、中近東などの特殊な文字を登録した。

2004 年には、パソコン上で日本語を表記する際に課題だった漢字の問題を解決する外字管理システム「トロン・フォント・トレーサビリティ・システム」を開発した。個別の文字に番号を

振り、異なるシステム間で文章を交換した場合も文字化けなどの問題が起きないようにした。主に印刷業界向けで、システムは無償で利用できる。トロンで利用可能な約 17 万字の漢字を「ウィンドウズ」や「マック OS」などトロン以外のシステムでも利用できるようにした。

## TRON が i-モード携帯電話で大躍進

TRON は、携帯電話の OS として広く使われている。そのきっかけは i-モード携帯電話である。NEC は、i-モード用の携帯電話の OS を探していた。i-モードでは、インターネットのホームページを見たり、メールをやり取りしたりという、インターネットの機能を携帯電話に取り込まなければならない。携帯電話で使える電力はパソコンに比べたら格段に少ない。パソコンの OS は電力を消費しすぎるので使えない。米国のソフトで使えそうなものはあったが、心臓部を他の会社に握られるわけにはいかない。そうしているうちに TRON のことを知り、先輩の門田たちが世界初の家電用 OS である RX116 を開発していることを知った。NEC では、TRON を i-モード携帯電話の OS とした。それを見て他社も TRON を使うようになった。

2000 年に、ソフト開発のアプリックスが TRON をネットワーク向けプログラミング言語 Java と融合させて携帯電話に搭載可能にした。携帯電話から家電を遠隔操作するなどのサービスが提供可能になった。

## 未来はユビキタスネットワークだ

坂村は、TRON のころから唱えていた「どこでもコンピュータ」を発展させて、ユビキタスネットワークに取り組んでいる。

まず、身の回りにあるものを識別することが必要になる。そのためには、ものに識別コードを付ければよい。今までも、ものを識別するいろいろなコードが作られている。本には、ISBN コードというものが付けられている。ただし、同じ本には同じ ISBN コードが付けられているので、自分が買った本と書店にある本は識別できない。ユビキタスネットワークのためには、一つ一つのを識別できるコードが必要になる。このために、坂村はユビキタス ID センターという組織を立ち上げている。ユビキタス ID センターは、一つ一つのを識別できる uID (ユビキタス ID) を提供している。

uID は、基本コードが 128 ビットで、必要に応じて 128 ビット単位で拡張し、256 ビット、384 ビット、512 ビットとする枠組みを用意している。128 ビットを使うと、約 340,000, 000, 000, 000, 000, 000, 000, 000, 000, 000, 000, 000, 000, 000 個、約 340 潤(かん)個、の番号を付けることができる。潤(かん)というのは、万、億、兆、京、垓、 、 、 と続く大きな数の単位で、1 兆 x 1 兆 x 1 兆を表すのが潤である。読み方も数え方も難しいが、とても大きな数である。これだけあれば、地球上にある人間が作るすべてのものにコードを割り振っても、事実上ほぼ

無限で、コードが足りなくなる事はない、と坂村は言っている。

## 鍵はユビキタス ID コード

これまでも、様々なコードが作られている。例えばバーコードで使われている JAN コード、UPC コード、EAN コードや、電話機や携帯電話に割り付けられる電話番号や、書籍の ISBN や ISSN などがある。uID は、これらのコードと違った概念で作られている。これまでのコードは、最初の何ビットかは、メーカー名に使い、その後は商品名に使うというように、コードの意味を定義していた。uID は、このようなコードの意味付けはしない。ユニークなコードを割り付けることだけを行い、意味付けはネットワークの先で行う。128 ビットのコードなので、上述のようなとても大きな数のコードを作ることができる。この世の中にたった一つしかないコードであることを、ユビキタス ID センターは保証している。この世に一つしかないコードを割り付けることができることによってユビキタスネットワーキングが可能になる。

「世の中に一つしかないことが保証されているコードを、好きなだけ無限に使うことができる」、というところが「みそ」である。コンピュータとネットワークを使えば、このコードに対応する情報を入力して結びつけることができる。例えば、ワインのボトルに uID を付けておいて、産地や醸造年や解説をコンピュータに入れておけば、uID を読み取ってコンピュータに入れたおいたそのワインについての情報を読み出すことが可能になる。さらに、仕入れ価格を入れておいて、お客さんに売るときに仕入れ価格のデータを消去する、ということができる。そのボトルを買った人が、購入した日を入れるということも可能である。図 2 を使ってもう少し詳しく説明する。

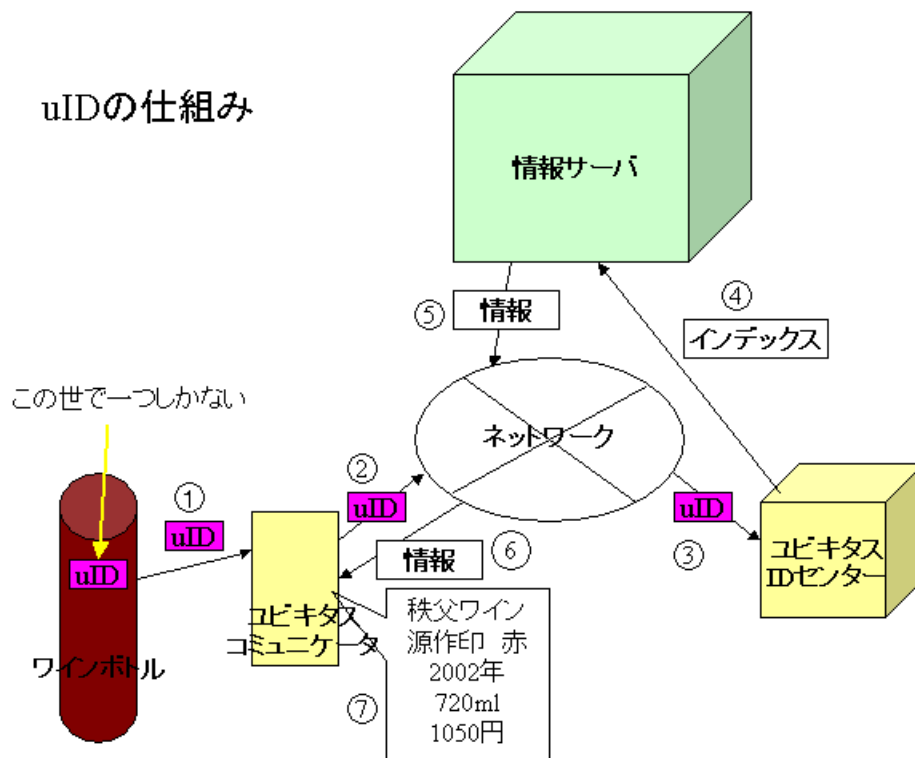


図 2 ユビキタス ID の仕組み

図 2 のように、ワインボトルに uID をつけておく。ユビキタスコミュニケーターというものを使って uID を読み出し、uID センターにネットワークを通して送る。uID センターでは、この uID に結び付けられている情報が入っているネットワーク上の場所の情報を送り出す。この情報を使ってこのワインの情報を取り出してユビキタスコミュニケーターで読み取る。情報をコンピュータに入れるといったが、正確にはネットワーク上のコンピュータに入れておくということである。複雑な動きのようだが、インターネットが発達しているのでこれらの動作は瞬時に行われる。

uID は同じものがないので、必要なだけ uID を取って情報を結び付けることができる。物に貼り付けるだけでなく、場所などにも貼り付けることもできる。バリアフリーの実証実験では、場所に uID をつけて、これに道路がどういう状態になっているかという情報を結び付けてバリアフリーを助けようとしている。

同じ uID がなく、無限に uID を割り付けられる、これだけを保証しているのが、坂村の uID である。コードの意味付けには踏み込んでいない。これは、情報化社会の一つのアーキテクチャとしてまず必要な条件である。

uID は、他のコードのようにビットの意味付けに入り込んでいないのだから、他のコード体系とは競合しない、競合しようがない。ただ、この uID を実際のものに付ける時に、次に説明

する RFID や 2 次元バーコードのようなタグを使う。このタグに流通コードのような意味付けを持ったコードを書き込んで使っていることがある。uID と流通コードが競合しているように言われるのは、このためである。この問題は、コンテキストにより、どのコード体系として解釈するかを自動的に見分けるようにすれば解決できるが、ロゴマークの制定やメタコードヘッダなどの調整が今後必要であろう。

このようにして決めた uID を、実際のものにつける必要がある。そのためには、ゴマ粒大の半導体を使った無線で読み書きができる RFID チップというものを使おうとしている。さらに、今使われているバーコードや最近使われ始めた 2 次元バーコードなども使えるようにタグの体系を決めている。タグは、クラス1からクラス8までを定義している。

また、ものの uID を読み取り、そのものの情報を大きなサーバから取り出す、ユビキタスコミュニケーターというものも開発している。uID を読み込んでそれをサーバに送り、そのものの情報を取り出して表示するのがユビキタスコミュニケーターである。RFID が読める携帯電話のような形状のものである。

## 社会で定着するには、10 年必要

この uID 体系の構築に加えて、uID を利用するための基盤技術、RFID などのタグの技術、ユビキタスコミュニケーターの技術、ある uID に関連する情報を検索する情報通信基盤、プライバシーの保護やセキュリティの確保などの研究開発が必要である。坂村は、RFID のような技術を使った IC タグが広く社会で定着するには、10 年ぐらいの時間が必要であると、考えている。技術的な開発よりも、それぞれの応用分野で制度や仕組みを作ったりすることに時間がかかる。また、実際に使って見なければわからない問題点もたくさんあるはずだから、実証実験をそれぞれの応用について行うことが重要である。また、制度作りには、国の関与が必須である。同時に、仕様をオープンにして、だれでも自分の応用に利用できるようにすることが重要である、と考えている。

坂村はその基本的な技術を研究するために、ユビキタスネットワークング研究所を創設した。ユビキタスネットワークング研究所は、次のような項目を研究課題としている。

1. リアルタイム通信プロトコル
2. セキュリティ
3. 超小型コンピュータ
4. エフォートレスオペレーション
5. ユーザとの高い親和性
6. 省リソース
7. 高度な協調・調停動作による人間生活の支援機能の実現

## 未来の社会を描き実現する電腦アーキテクト

坂村は何を実現したいと思って TRON プロジェクトを始めたのであろうか。ITRON、BTRON、CTRON、TRON チップ、電腦住宅、イネーブルウェア、超漢字、電子博物館、T-Engine、ユビキタスネットワーキングなどなど、坂村のプロジェクトは多岐にわたる。個別のプロジェクトを追いかけても、坂村が何を実現しようとしているかの全体像は、浮び上がって来ない。

世界に貢献する技術を生み出すには、技術の新しい概念を作ることが重要だ。製品の開発やビジネスも重要だが、それだけではだめだ、坂村はそう考えているようである。コンピュータの機能を半導体のチップで実現したマイクロコンピュータを見たときに、これからのコンピュータはこうなる。どこでもコンピュータを使うようになる。その数は人間の数よりもずっと多くなる。しかも、コンピュータの役割は人間の代わりをすることではなく、人間ができないことをやってくれて人間生活を豊かなものにすることだと考えた。そのことを明確にするために、コンピュータではなく、電腦という言い方を使っている。大脳、小脳、と並んで人間の身体の外にあるが、人間の活動を助ける脳ということである。そう考えて、マイクロコンピュータを見たときに、それが広く使われる未来の社会を思い描き、その未来につながるプロジェクトを開始した。しかも足元を固める ITRON のような活動もしながら、そこにとどまることなく、未来につながるプロジェクトをいくつも手がけた。そう考えると、TRON チップから、電腦住宅やエネーブルウェアまでの広がりを持っている坂村の活動が理解できそうである。まさに電腦アーキテクトである。

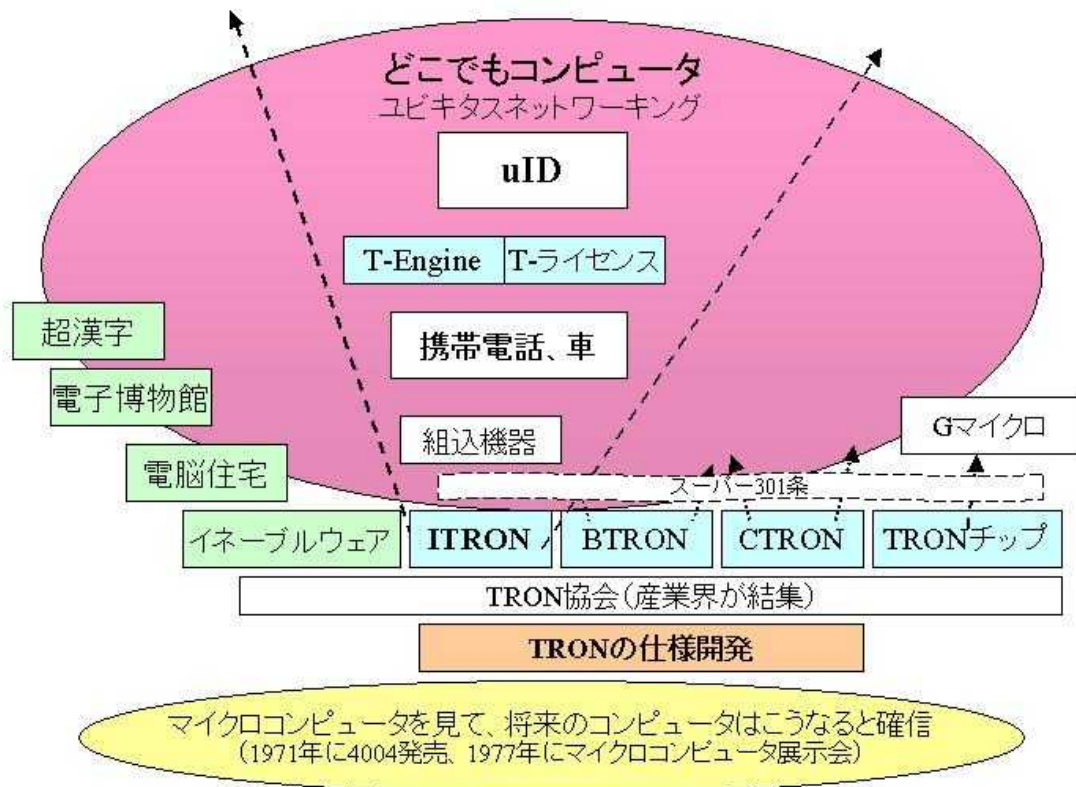


図 3 電腦アーキテクト坂村の活動

コンピュータが人間生活をどのように豊かにできるかを考え、そのために基本的に決めておかなければならないことを見つけ出し、決めていくのがアーキテクトである。しかし、コンピュータを電腦といい、幅広く使われる社会を描くだけでは、アーキテクトではない。ゼロからリアルタイム OS を設計し、それを公開してしまったところに、コンピュータ・アーキテクトとしての坂村のすごさがある。これによって、企業の技術者が TRON の周りに集まり、プロジェクトが日の目を見ることになった。

オープンである事は、企業や国の枠を超え、人類の共有財産として長く通用する技術を作り上げたい、という念願を持っていた坂村にとっては自明のことだった。TRON の情報を使って何をしても良い、企業が TRON の情報を使ってビジネスをするのはまったく自由であるという立場をとった。大学の役割と企業の役割は異なるわけだから、これも坂村にとっては自明のことであった。

ユビキタスネットワーキングで、坂村が作りようとしている情報化社会のアーキテクチャは、uID から始まると言えるのではないだろうか。世の中にある、ものをコンピュータが識別できるためには、コードが必要で、それが uID である。コードの意味付けは、コードそのものに対して定義するのではなくて、必要ならばコードと対応させれば良い、というのが坂村の考え方で



ある。自分の周りにはあるものに uID が割り付けられていれば、何が周りにあるかを小さなコンピュータを組み込んだ機械が認識できる。これが、コンテキストウェアネスという概念である。uID というコードを使って認識するのだから、人間が自分の周りにあるものを認識するメカニズムとは、異なるメカニズムによる認識である。部屋が暗くても何があるかがわかるとか、人間が認識するよりも優れた認識もできる反面、uID と対応付けられた情報しか認識できない、という短所もある。当然のことといえば当然であるが、ユビキタスネットワークングによって多くの機能が実現できる事は確かである。情報化社会のアーキテクトとしての坂村の益々の活躍が期待される。

## 略歴

1951年 東京生まれ

1974年 慶應義塾大学工学部卒業

1979年 同大学大学院工学研究科修了。工学博士。専攻はコンピュータ・アーキテクチャ

1979年 東京大学助手

1984年からTRONプロジェクトのリーダー

1996年 東京大学教授

1999年から2003年までIEEE Micro Editor In Chief

2000年 東京大学大学院情報学環教授

情報処理学会、電子情報通信学会、IEEEなどから論文賞受賞

2001年 第33回市村学術賞特別賞受賞

2001年 武田賞受賞

2003年 紫綬褒章受賞