

解説

TRON プロジェクトの現状と展望



1. 未来社会におけるインフラストラクチャとしてのコンピュータと TRON プロジェクト†

坂村 健†

1. はじめに

マイクロプロセッサが誕生して約 10 年——1980 年代の初頭に、社団法人日本電子工業振興協会のマイクロコンピュータソフトウェア・応用専門委員会 OS 分科会では「新しい我国におけるマイクロコンピュータ開発のビジョン」を、独自に提言することを目的として、ユーザの動向や使用時の問題点、そこからのマイクロコンピュータ、パーソナルコンピュータ開発に対しての要求についての調査を始めた。調査は 1980 年から 3 年をかけて行われ、1983 年には一つの答申が出された。それは（その時点で考えられていた以上に）一般の生活環境におけるマイクロプロセッサ応用が今後ますます重要なものになってくるという予測と、そのような新しい応用のための新しい基盤技術を開発する必要があるというものであった。

この要求仕様は、報告書の形で 1984 年にまとめられ¹⁾、この答申を受けた形で、1984 年 6 月、TRON プロジェクトというプロジェクトが、筆者を中心に開始された。

このプロジェクトを始めるにあたって筆者が立てた一つの仮定がある。それは「身の回りのあらゆるモノにマイクロコンピュータが入り込みインテリジェントオブジェクトになる時代が必ずやってくる」という仮定である。コンピュータや純電子式のセンサだけでなく気圧計のようなセンサやバルブやモータといった機械的部品も、コンピュータを小さくしたのと同様のマイクロマシニングなどの技術により小さく安く大量に作れる可能性が出てきている。コンピュータとセンサと動作部品がまとまって 1 チップないしは数チップにな

る。身の回りのあらゆるモノにそういったチップが組み込まれ、自分で周囲の環境を察知し判断して最適の対応ができる賢いモノ——インテリジェントオブジェクトとなるのである。

そのような時代のコンピュータはどうあるべきか、環境を構成する多くのモノにプロセッサパワーが組み込まれれば、そしてそれらがネットワークにより結ばれれば…、どんなことができるのか、モノのデザインはどうなるのか、モノの機能はどう変わるのか、そして前もってどういふことを考えておかなければいけないのか——そのような問題意識から、いわば「どこでもコンピュータ時代」の望ましいインフラストラクチャとしてのコンピュータ体系の確立を目指すのが、TRON プロジェクトの当初よりの目的であった²⁾。

TRON プロジェクトが始まったのは 1984 年であるが、その当時から想定していたこの「どこでもコンピュータ」の環境というのは、今で言う Computer Augmented Environments や Ubiquitous Computing の考え方を先取りしたものである。当時においては非常にユニークで時代を先取りした概念であり、近ごろになってやっと、身の回りのあらゆるところにコンピュータが行き渡るといふ応用イメージが世界的にも注目されるようになってきている³⁾。

「どこでもコンピュータ環境」を想定したときにどういう考え方でモノを作らなければいけないかという哲学を作ることから始めて、未来の応用から、そのための望ましいコンピュータアーキテクチャやオペレーティングシステムなどの内部構造、そして標準データフォーマットからヒューマンインタフェースまで、TRON プロジェクトでの研究は多岐に渡っている。

なかでも実時間制御——いわゆるリアルタイム制御が重要な基礎技術となる。生活の中に深く入

† Computers as Infrastructure in the Future Society and the TRON Project by Ken SAKAMURA (Department of Information Science, University of Tokyo).

†† 東京大学大学院・理学系研究科・情報科学専攻

り込んでくるコンピュータにはどんな応用についても、核レベルでのリアルタイム機能が必須である。そこで、この「The Real-time Operating system Nucleus」の短縮形「TRON」をプロジェクト全体のニックネームとしたのである。

多くのインテリジェントオブジェクトが大規模ネットワークを構成するようなシステムの構築には多くの人々の参加が必要のため、成果をすべてオープンにして、仕様はだれにでも使えることとした。その仕様も、互換性が問題となるインタフェース部分については厳密に決めるもののインプリメントに関してはかなりの自由度を与えたものになっており、適度な競争原理と応用への適応化——チューニングが可能ないように考えられている。このようなアプローチを「弱い標準化」と呼んでいる。

本稿では TRON プロジェクトの概略について述べる。詳細はこの総論に続く各論を参考にさせていただきたい。

2. Computer Augmented Environment

先に述べた Computer Augmented Environment という考え方は、コンピュータの世界とわれわれの住む現実世界を融合させようという思想をもっており、バーチャルリアリティと比してコンピュータの力により現実を強化するという意味で Augmented Reality とも言い、またあらゆるところにコンピュータがあるという意味で Ubiquitous Computing と呼ばれる。

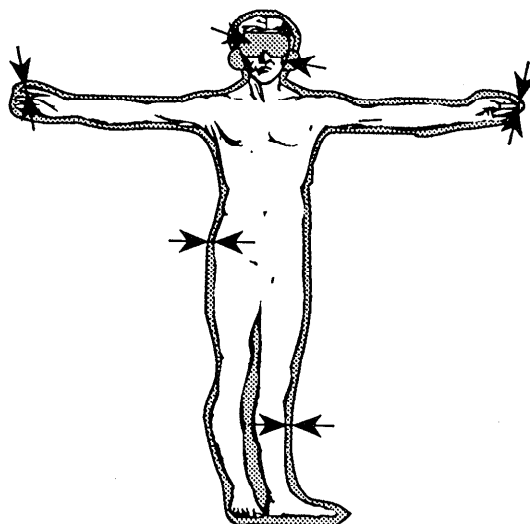
ユーザがコンピュータと接していくうえで今までワークステーション上の画面と身の回りの環境は全く独立していた。バーチャルリアリティ技術はユーザの体の感覚系にディスプレイやセンサなどを貼り付けることによりコンピュータの生み出した仮想空間にユーザが入り込むことを可能としたが、日常空間からは遮断される傾向にある。対する Augmented Reality は人間をとりまく情報環境の中でコンピュータに由来するインタラクションの比率を上げることにつながるという意味では同じ方向性だが、逆にコンピュータとセンサ、ディスプレイ、アクチュエータなどを日常環境にばらまいてより便利になるように環境を強化したものである (図-1)。

センサにより光や音や温度や物の位置などを検

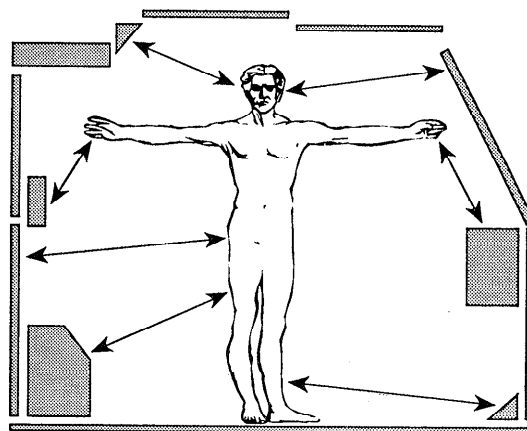
出し、ディスプレイやモータ、アクチュエータなどが動作する。さらに身の回りのモノがその物理的性質に加えて、電子的性質ももつようになる。たとえば、そのモノの履歴や操作方法などを携帯型ディスプレイやレシーバなどの手段により知ることができる。

たとえば、CACM の Computer Augmented Environments 特集号では

- University of Toronto の手のひら大のディスプレイに空間位置センサを装着したデバイスを身の回りのモノに近付けることにより、モノに関する情報をディスプレイに表示させる Chameleon システム。応用としては壁に貼ってある地図と組み合わせて、ある地域のより詳しい



Virtual Reality: 人を包み込むインタラクション



Augmented Reality: 人を囲むインタラクション

図-1 Virtual Reality と Augmented Reality

情報や天気などを表示させる Active Map, あるいは図書館に応用した Active Library システム。

● AT&T Bell 研究所では外界が透けて見える (see-through) ディスプレイと空間位置センサを組み合わせたものを頭に装着して, レーザプリンタの保守を支援する KARMA システムを試作した。レーザプリンタをどのように分解したら良いかなどの情報が線画で実物の上に重ねて表示される。

● Xerox PARC では UbiComp というキーワードのもとに Tab という手のひら大のコンピュータ, Pad というノート大のコンピュータ, Liveboard という黒板大の共同作業用のディスプレイ, 各人が身に付けることによりオフィスでの位置を知ることができる Active Badge といった道具建てで身の回りにさまざまなコンピュータが溶け込んで人々の日常の活動を支援する研究を進めてきた。

などの応用例を取り上げている。

3. 未来社会におけるインフラストラクチャとしての課題

ここでは, TRON プロジェクトが想定している未来社会のインフラストラクチャとしてのコンピュータの実現にあたり, どのような課題が考慮されているかを述べる。

3.1 メディアとしての課題

われわれの TRON プロジェクトでは「どこでもコンピュータ」という応用イメージをテーマとして, 未来のコンピュータはどうあるべきかということの研究をいこうとしている。この応用イメージは多くの分野に適用可能であるが, 特に重要なのが「生活環境としてのコンピュータ」という視点である。そして, この視点に立つとアラン・ケイが 1968 年の時点で提示した「コンピュータはメディアだ」という応用イメージ⁴⁾も, われわれの視点に包含される。

コンピュータのメディア化の研究は完成したのではない。コンピュータのマルチメディア, ハイパメディア化にも多くの解決すべき課題が残されており, 盛んに世界中で研究されている。もちろんこれらも TRON プロジェクトでも重要な研究テーマとしてすすめている分野である。後に

述べるように TRON では標準データフォーマットとしてマルチメディアデータをサポートしているし, また TRON プロジェクトで開発されたパーソナルコンピュータ応用向けのシステム——BTRON では, ファイルシステム自体をハイパメディア化した独創的なデータ管理方式を提案している⁵⁾。

しかし, TRON プロジェクトが特に重点をおいているメディアとしての課題は, メディア変換の機能である。現在のマルチメディア研究における課題は個々のメディアを混在して扱えるかという点が主眼となっているが, 将来的にはそれらのメディア間で情報を相互変換するためのメディア変換の機能をシステムがもつことが重要になるだろう⁶⁾。

もう一つの将来のメディアとして重要な課題は, シームレスな多国語処理である。シームレスというのは, 単に多言語の文字コードを扱えるというだけではなくて, どのような言語でも, またそれが混在していても, 表記のアルゴリズムを含めて適切な表示が行われるようにシステムレベルでサポートするということである。これにより, アプリケーション独立に多国語が利用できるようになる。さらに, 言語における重要なメディア変換として自動翻訳も将来的にはシステムでサポートされるようになるだろう。コミュニケーションを助ける技術としてのマルチメディアは, 異なる言語を使う人間の橋渡しでもあるべきだ。その意味でマルチメディアは同時にマルチリンガルでなければならないというのが本プロジェクトでの考え方である。

3.2 生活環境としての課題

「生活環境としてのコンピュータ」という視点に立つと, 最も重要な課題となってくるのが「だれでも使える」コンピュータの実現である。この場合の「だれもが」というのは「コンピュータに慣れていない人でも」といった程度のものではない。環境に占めるコンピュータの割合が高いということは, コンピュータと対話できなければ何もできないということである。ほんの少しであっても, 「使えない人」とっては, 便利どころか耐え難い環境となってしまう以上, 真に「だれでも使える」コンピュータを目指さなければならない⁷⁾。

また、生活のあらゆるシーンにコンピュータが使われることを考えると、「何にでも使える」——ホームコントロールのような応用にも使うし、または DTP (DeskTop Publishing) のようなビジネス現場での使用まで、広いスペクトラムの応用に適応できる一般性をもったインタフェースをどう作るかという課題になる。

さらに3番目に「どこでも使える」という課題がある。コンピュータが生活そのものに入ってくると、振動がはげしいなど劣悪な環境を含む、非常にコンディションの悪いところでも使えるような、幅広い使用環境下でのアクセサビリティがなければならない。

先に述べたマルチメディア技術によるコミュニケーションの円滑化は、何も人と人の間だけで必要なわけではない。「だれでも使える」ために機械から人間、さらには人間から機械へのコミュニケーションを助けるために、メディア変換を含むマルチメディア機能が生かされなければならない。

一方、このような「～できる」という方向の課題だけでなく、プライバシーの保護や社会的セキュリティなど、人権の基本にかかわる部分には、一見便利そうでもコンピュータで「できなく」するような仕組みが重要である場合もあることに注意し研究を進めるべきだ。TRON プロジェクトは研究を開始する前に以上述べたような課題を掲げることから始めた。

4. TRON における対応

次に、先にあげた課題に対し TRON プロジェクトではどのような対応を行っているかということを示す。

4.1 超機能分散システム

TRON プロジェクトでは生活空間を構成する大量のインテリジェントオブジェクトからなるネットワークを想定しているが、そのようなネットワークのことを、われわれは超機能分散システム (HFDS: Highly Functionally Distributed System) と呼んでいる。後で述べる TRON 電脳住宅や TRON 電脳ビルなどは、この HFDS の具体的な例である。HFDS こそが、TRON の考える未来社会のインフラストラクチャであり、その実現が TRON プロジェクトの最終的なゴールである⁹⁾。

HFDS が既存のほかのネットワークと違うのは、まずネットワークにつながるノードの数が桁違いに多いという点である。一人当たり数十から数百のプロセッサがあるような高密度の「どこでもコンピュータ」環境のなかのコンピュータを結ぶにはどうしなければならないか。さらに、それが何百何千人もの人が活動するビルやさらには都市、最終的には世界までつながっていったときに、環境を構成するコンピュータ群のネットワークはどのように展開されるべきか、といったことが重要な課題となっており、研究が進められている。

また、これらの多くのインテリジェントオブジェクトを協調させて動作させるのに重要なのが、調停動作の実現である。1億個のコンピュータがネットワークにつながった場合、全部のデータを手に入れそれに基づいて中央で方針を決定するという、計画経済的なアルゴリズムで全部の動作を最適化することはもはや不可能である。そのために非決定的なアルゴリズムを見つけなければならない。このようなことを実現してなおかつ矛盾なくネットワークを動かすのは技術的にも非常に難しく、これもわれわれの重要な研究テーマとなっている。

生活の場におけるインテリジェントオブジェクトは個々のエンドユーザの都合で突然追加されたり、ネットワークからはずされたり、次の日には別のところにつながったということが起こる。そのような「開かれたネットワーク」というものを実現しなければならない。無線で結ばれる移動体のインテリジェントオブジェクトでは、非常に多くのリンクがかなり広い帯域幅で結ばれる必要があり、単なる携帯電話などとは異なる移動コンピュータ体の問題も解決しなければならない。モノや人の位置を認識する技術も重要であるが、屋外では GPS (Global Positioning System) が一般的になりつつあるのに対し屋内では一部商品化されているが未完成の技術のままでも本プロジェクトでもいまだ研究中である。

4.2 HMI 技術

(1) HMI の標準化

TRON プロジェクトでは、コンピュータおよびコンピュータ組み込みの機器をだれでも使えるようにすることを主眼として新しくユーザインタフ

ユーエスのガイドラインを策定した。これは TRON 電脳生活 ヒューマンインタフェース仕様と呼ばれ、ユーザインタフェースを設計するときにさまざまな身体特性、利用環境に対応できるガイドラインのコレクションである。実際の物理的スイッチから、画面上の GUI までさまざまなインタフェースのパーツを分類整理し、それらの操作仕様の標準が提示してある。そして、その標準は調整できるパラメータを多く含み、それをチューニングすることにより、最適なパーツにすることができるように設計されている。この TRON 電脳生活ヒューマンインタフェース仕様については本特集の最後に解説があるので詳しくはそれらをごらんいただきたい。

(2) イネーブルウェア

高齢者や障害者をも含めてあらゆる人々をユーザとして想定しなければならないと考えたことから、TRON プロジェクトではイネーブルウェアという技術が生まれた⁹⁾。これは、さまざまな機器をおのおのの人の身体的特性にきめ細かく合わせた方法で操作できるようにする技術である。あらかじめ決まっているユーザインタフェースの標準的なパーツを各人の特性に合わせてチューニングすることにより、その人が最も使いやすいように適応させる。

TRON 電脳生活ヒューマンインタフェース仕様の中には当然イネーブルウェア仕様を取り込まれており、ハンドブックから選んだパーツを組み合わせることで、自然にイネーブルウェア対応のインタフェースができるようになっている。

標準化しそれをチューニングして人間の特性に合わせるというこのイネーブルウェア技術は、高齢者や障害者のためだけの特殊な技術ではなく、振動の激しい環境での操作を助けるなど、多くの人にとっても有効な技術である⁹⁾。

イネーブルウェアの基本的な考え方は多様性を標準仕様の中に取り込むということである。最初から考えてあれば大きなコストアップもなく得られる多様性に、最終的な製品レベルで対応しようとする、多大なコストアップが必要になる。多様性への対応を実現し、なおかつ社会全体のコストを下げようというのが、本メディアでの重要な考え方なのである。

(3) 多国語処理機能

先に述べた多国語処理機能もこのイネーブルウェアの一環ということもできる。言語の問題もユーザの特性の問題であり、コンピュータがユーザに合わせてられるようになっていなければならない。

TRON の多国語対応は単なる多国語コードではなく、入力システムや表現規則を含む言語環境をアプリケーション独立に、システムレベルでサポートするメカニズムである¹⁰⁾。さらに、言語を翻訳してラベルの長さなどが異なったときに自動的に HMI パーツの大きさをそれに合わせて調整するといった機能をすでに実現している。

(4) マルチメディア技術

さらに、マルチメディア技術も TRON プロジェクトでは、イネーブルウェア技術の一環として捉えられている。機械から人間への表現のマルチメディア化は、3D リアルタイムアニメーションを含めたいろいろなグラフィックス表示、音声出力機能であり、逆に人間から機械への指示のマルチメディア化は、自然言語による音声指示であり、また手書文字、シンボルの認識や身振りによる指示の理解といったことである。

(5) 自動チューニング技術

TRON ではイネーブルウェア技術として、どういった情報を得たいのか、与えたいのかといったインタフェースの要求仕様の抽象表現を基に、ユーザ特性に適応させるような、ユーザインタフェース具体仕様を自動生成できるような技術を開発中である。このようなことを実現するためにも、アプリケーション独立にインタフェースをマルチメディア化することが必要となる。

4.3 TAD

TRON では標準データフォーマットとして、TAD: TRON Application Databus を定めている。TAD は実時間軸上にデータを配置できる枠組みをもち、これにより音、動画を含むマルチメディアデータの表現が可能となる。それに加え、TRON の目指す HFDS では環境制御に大きな比重がおかれるため、データ要素として空間中の任意位置の指定や、温湿度などの環境の物理的パラメータといった他には例のないデータフォーマットも TAD に含まれている。

また、TAD ではアルゴリズムをデータの一部として埋め込むことができるため、特殊な表現の

ためのデータフォーマットの拡張が可能であると同時に、そのアルゴリズムもデータに付加して送ることにより、受手の側でも解釈可能とすることができ通信における互換性と拡張性を両立させている¹³⁾。

4.4 プログラマブルインタフェース

HFDS 実現のために、TRON アーキテクチャ系全体に適応される重要なコンセプトとしてプログラマブルインタフェースというコンセプトを提案している¹³⁾。これはインタフェースを介して接する二者間での交信にあたり相手のシステムをプログラミングして、インタフェースの仕様をいつでも書き換えることを可能にするというコンセプトである。

インタフェースの規約の部分がプログラミングできるようにしており、交信のプロトコル・インタプリタを送れるようになっている。しかも、そこで実行中にいつでも変えられるようにする。これによりインタフェースの仕様のバージョンの違いの吸収、負荷の動的な最適分散、応用に適したインタフェース仕様のチューニングが可能になり、HFDS のような巨大でかつ開かれたネットワークでの拡張性と互換性の両立を可能とする。先に述べた TAD もこのコンセプトによっている。

5. プロジェクトの構成

TRON プロジェクトは大きく二つに分けられる。望ましい未来イメージをつかむための「応用プロジェクト」と、その結果得られた成果に基づき、技術開発を行う「基礎プロジェクト」の二つである。

5.1 基礎プロジェクト

基礎プロジェクトについては、本特集の他の稿を参照いただくこととして、ここでは簡単に述べるにとどめる。

基礎プロジェクトでは、それぞれリアルタイム性、マルチタスク性、マルチユーザか、HMI の必要性などにより表-1 に示すように応用を分類しており、それぞれについて、ITRON, BTRON, CTRON のシステム仕様を開発し、オープンにしている。また、ITRON, BTRON, CTRON も細かい適応によりそれぞれシリーズ化がなされていて、たとえば BTRON に関しては MMU (Memory

Management Unit) があるかないかでバリエーションが存在する。ITRON も ITRON GUI などのモジュールを組み合わせることができる。

TRON チップは ISP のレベルで標準化を行い、真の意味でのオープンアーキテクチャを目指したチップ仕様である。このオープンな仕様をベースに、異なる会社がインプリメントを行った。特筆すべきは、異なるインプリメントのチップを組み合わせることにより、きわめて高信頼なシステムを作っていく上での設計分散という概念につながるということである¹⁴⁾。

本特集では、TRON プロジェクトの基礎プロジェクトに焦点を当てており、本稿以降に上に述べた各サブプロジェクトについての現状を概観するとともに、その具体的なインプリメント例について解説する。

まず ITRON の解説では、ITRON に求められた要求事項を背景としてそのカーネル仕様の設計方針について述べ、さらにどのような応用で、どのようなプロセッサ/システムについて実装されているか、またそれらにおける実装技術について概観し、最後に将来の課題についても触れている。

次に BTRON の解説では、TRON プロジェクトの中でも特に間口の広い BTRON サブプロジェクトで取り扱う問題を概観し、特にその中でも他の OS に例のない特徴的なデータ管理モデルである実身/仮身モデルについて解説している。また、コンピュータと人間との接点に関する現在研究開発中の課題についても触れている。

CTRON の解説では、CTRON アーキテクチャとその特徴について概観し、そのインプリメントをもとにしたリアルタイムシステムとしての性能評価結果を述べている。また、個別にインプリメントされた CTRON 仕様 OS の互換性とポータビリティを保障する機構についても解説している。

表-1 TRON のシステム仕様

	タスク	ユーザ	規模	主な応用
ITRON	マルチ	シングル	小	機器組み込み
BTRON	マルチ	シングル	中	コントローラ パソコン
CTRON	マルチ	マルチ	大	ネットワーク構築 電子交換機

TRON 仕様 CHIP の解説では特徴を概観し、個々のインプリメント例をあげるとともに、TRON の各サブプロジェクトとの関係、互換性保障の機構、将来課題といったことについても述べている。

最後には、TRON 電脳生活ヒューマンインタフェース仕様について解説している。

5.2 応用プロジェクト

応用プロジェクトでは「どこでもコンピュータ環境」に対する実際のニーズや問題点を洗い出すために、未来の環境を先取りして実験と検討を行っている¹⁵⁾。応用プロジェクトとして力を注いでいるのが、電脳住宅、電脳ビルといった生活空間そのものの「どこでもコンピュータ」化の検討である。

TRON 電脳住宅では 1988 年から 1993 年まで試験居住を含む各種の実験を行った¹⁶⁾ (図-2)。TRON 電脳住宅では、200 平方メートル程度の家の中に約 1000 個のコンピュータシステムが組み込まれており、各種の協調動作が実現できた^{7,11)}。

この実験の成果を活かして 1993 年からは TRON 電脳ビルの設計を進めている。これも住宅と同じようにビルディングの構成パーツがインテリジェント化されており、それらがネットワークでつながれることによりさまざまな協調動作を行う。インテリジェントオブジェクトの協調動作により、働く人々に快適な仕事の場を提供しようというビルディングである¹¹⁾。

電脳住宅や電脳ビルを作っていけば、次にはそれらを構成要素としたネットワークが上位概念として考えられる。これが電脳都市である。電脳都市はまだ構想段階であり、HFDS を都市スケール

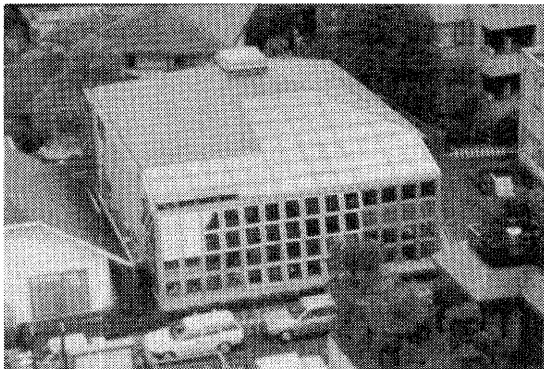


図-2

に広げた場合のさまざまな問題点の抽出と、可能なサービスのイメージの確立を行っている¹¹⁾。

6. おわりに

以上のべてきたように、TRON プロジェクトは非常に間口が広く、また TRON 電脳住宅のようなものを実際に作る応用プロジェクト、その経験をフィードバックをかけながら進めていく基礎プロジェクトからなるという、きわめて野心的なプロジェクトである。と同時に、プロジェクトは常に標準化と適応化のバランスを考え、ひとつの基準をもとに多くの人間がこのプロジェクトに参加できるように、常にオープンに進められてきた。

しかしながら、現状では TRON プロジェクトは学術的問題の解決以上に巨大なプロジェクトの進行上の問題として、多くの反省点を生んでしまっている。これは、コンピュータが産業界において経済的に非常に重要な位置を占めるようになったということであり、コンピュータサイエンスは純然たる科学技術プロジェクトであっても市場の論理から無縁ではありえないということである。今後、コンピュータにおいて規模の大きなプロジェクト——特に影響の大きな仕様に関するプロジェクトを進めるならば、このような状況を計算に入れない限りその成功は覚束ない。本誌にはなじまない論調ではあるが、その点だけは特に指摘しておきたいと思う。

我々のやっている仕事は哲学、コンセプトから始まり、きわめてユニークかつ未来を先取りしていると自負している。解決しなければならぬ問題も大きい、大きなスケールのプロジェクトが我が国でも起こせるということを世界に示したということでも、わたしたちはきわめて強い誇りと自信をもっている。

本特集が TRON プロジェクトを理解していただく上での良い解説となることを祈っている。

参 考 文 献

- 1) マイクロコンピュータに関する調査報告書—高性能マイコンの研究開発と応用ガイドライン—, 社団法人日本電子工業振興協会, pp. 205-268 (1984).
- 2) Sakamura, K.: The Objectives of the TRON Project, *TRON Project 1987* (Proc. of the Third TRON Project Symposium), Springer Verlag (1987).

- 3) Special Issue, Computer Augmented Environments : Back to the Real World, COMMUNICATIONS OF THE ACM, Vol. 36, No. 7 (1993). (邦訳は「*電脳環境*」パーソナルメディア社)
- 4) Kay, A. and Goldberg, A. : Personal Dynamic Media, *Computer*, pp. 31-41 (Mar. 1977).
- 5) Sakamura, K. : BTRON : Human-Machine Interface, *TRON Project 1987* (Proc. of the Third TRON Project Symposium), Springer Verlag (1987).
- 6) Sakamura, K. : TRON Enableware : Empowering Disabled People on the BTRON Environment, *Computers as Our Better Partners* (Proc. of IISF International Symposium) (1994).
- 7) Sakamura, K. : Human Interface with Computers in Everyday Life, *Proc. of the Ninth TRON Project Symposium, IEEE Computer Society Press* (1992).
- 8) 坂村 健 : TRON の思想と今後, *情報処理*, Vol. 30, No. 5 (May 1989).
- 9) 坂村 健 : TRON イネーブルウェアの考え方, *TRON イネーブルウェアシンポジウム '88 予稿集* (1988).
- 10) Sakamura, K. : Multi-language Character Sets Handling in TAD, *TRON Project 1987* (Proc. of the Third TRON Project Symposium), Springer Verlag (1987).
- 11) Sakamura, K. : Infrastructures for an Age of Computerized Environments, *Proc. of the Tenth TRON Project Symposium, IEEE Computer Society Press* (1993).
- 12) Sakamura, K. : TULS : TRON Universal Language System, *TRON Project 1988* (Proc. of the Fifth TRON Project Symposium), Springer Verlag (1988).
- 13) Sakamura, K. : Programmable Interface Design in HFDS, *TRON Project 1990* (Proc. of the Seventh TRON Project Symposium), Springer Verlag (1990).
- 14) Watanabe, A., Takada, H. and Sakamura, K. : The Multi-Layered Design Diversity Architecture : Application of the Design Diversity Approach, *Proc. of the Ninth TRON Project Symposium, IEEE Computer Society Press* (1992).
- 15) Sakamura, K. : TRON Application Projects : Gearing Up for HFDS, *Proc. of the Eighth TRON Project Symposium, IEEE Computer Society Press* (1991).
- 16) Sakamura, K. : TRON-concept Intelligent House, *The Japan Architect*, **65**, 4 (Apr. 1990). (平成6年4月4日受付)



坂村 健 (正会員)

1951年生. 東京大学大学院理学系研究科情報科学専攻助教授. 工学博士. 専攻はコンピュータ・アーキテクチャ. 1984年よりTRONプロジェクトのリーダーとして新概念に基づくコンピュータ体系の構築を行っている. その一環として, コンピュータ技術が社会に与える影響の具体的リサーチとして, 工業製品, 建築物まで含めたコンピュータ利用の現場へと, 広範なデザイン展開も行っている. 米IEEE MICRO誌編集委員. (社)トロン協会プロジェクト推進委員長. 電子情報通信学会, ACM各会員. IEEEシニアメンバー. IEEE等から論文賞受賞. 主著に「TRONからの発想」(岩波書店), 「電脳社会論」(飛鳥新社), 「電脳未来論」(角川書店), 「TRONを創る」(共立出版)など多数.