

## ユビキタスコンピュータとトロン —どこでもコンピュータを目指して—

東京大学情報基盤センター  
越塚 登

### 1. トロンプロジェクト

21世紀、あらゆるところでマイクロコンピュータが使われることを想定し、我々は1984年からトロンプロジェクト (TRON<sup>\*1</sup> Project) と名付けた、リアルタイム性に優れた基盤ソフトウェアの研究・開発プロジェクトを推進している (プロジェクトリーダー 坂村健・現東京大学大学院情報学環・教授)。プロジェクトの基本的考えかたは、「いつでもどこでも誰でも」が使えるコンピュータ体系を構築することである。そこで、あらゆる機器に計算能力を組み込むためのマイクロカーネルとしてITRON<sup>\*2</sup>、ハイパーメディアや多言語処理、身体障害者支援機能を備えたPC用のOSとしてBTRON<sup>\*3</sup>、またITRONやBTRONをネットワーク接続するOSとしてCTRON<sup>\*4</sup>を研究・開発した。トロンプロジェクトがもつ、誰もが自由にその成果を利用できる「オープンアーキテクチャ」の哲学により、ITRONは我が国の組込機器の多くに採用されている。たとえば、携帯電話をはじめ、自動車のエンジ

ン制御、複写機、ファックス、デジタルカメラなど多くの電子機器で使われている。CTRONはISDN交換機に採用され実働し、高い信頼性をもったメッセージ交換を支えている。また、これらの規格の一部はISO<sup>\*5</sup>やIEC<sup>\*6</sup>の国際標準としても採用されている。コンピュータというとすぐに、パソコン=米国マイクロソフト社、という印象が強いが、搭載されているコンピュータの数で比較すれば、実は、我が国が開発した「トロン」の方がはるかに多いのである。恐らく、各家庭や会社、学校に、必ず1台はトロンプロジェクトの生み出したコンピュータの埋め込まれた電子機器があるのではないだろうか。

### 2. ユビキタスコンピュータ

トロンプロジェクトが当初から目指していた、この「いつでもどこでも誰でも使えるコンピュータ」は、近年、ユビキタスコンピュータ (Ubiquitous Computer) と呼ばれている。“Ubiquitous”とは普通には聞き慣れない英語<sup>\*7</sup>だが、日本語にすると、「遍在する」

※1 TRON: The Real-time Operating system Nucleus, 「リアルタイム性に優れたコンピュータの基盤システムの中核」という意味

※2 ITRON: Industrial TRON

※3 BTRON: Business TRON

※4 CTRON: Central/Communication TRON

※5 ISO: International Standard Organization (国際標準化機構)、非電気分野の国際標準組織

※6 IEC: International Electrotechnical Commission (国際電気標準会議)、電気分野の国際標準組織

※7 “Ubiquitous”はラテン語をベースとした、普通の英米人でも聞き慣れない、インテリ的雰囲気を持つ言葉だそう。

もっと簡単に言えば、「どこにでもある」という意味である。この言葉の後に“Computer”と続け、“Ubiquitous Computer”と呼ぶことによって、我々の生活のあらゆる所にコンピュータを埋め込み、それらが互いに協調動作して、人間生活のあらゆる場面をサポートする、そういったコンピュータのありかたを表す【参考文献1,2】。

たとえば、ユビキタスコンピュータ環境の住宅では、部屋の温度を下げたいと思ったら、屋外の温度センサーの情報を参照して、もしも外気温が十分低ければ窓を開けてくれる。しかし、部屋の中でピアノを弾き始めて騒音が外に漏れることを、音センサーが認識したら、窓を閉めて空調をつけるといった処理を行ってくれる。また、小型コンピュータチップを薬瓶に埋め込んでおき、飲み合わせで事故の起こる可能性がある薬瓶同士を近づけると警告が発せられて、薬の事故を防ぐといったことができる。

こうしたユビキタスコンピュータ、我々のトロンプロジェクトの言葉で言えば、「どこでもコンピュータ」が実現できるようになった最も重要な技術革新は、コンピュータの小型化・安価化である。大型計算機の時代のようにコンピュータが部屋いっぱいになるほどの大きさであったら、「どこでもコンピュータ」は実現できない。現在の半導体の最新の製造技術を駆使すれば、一昔前に使われていた、8ビットや16ビットのマイコンは、5mm角程度の半導体チップで、しかも数十円といった製造コストで実現できると言われている。

こうした「どこでもコンピュータ」は、トロンプロジェクトが1980年代から世界に先駆けて提唱した、日本発のアイデアであり、これが、1990年代に世界を席卷したパーソナルコンピュータとインターネットを超えた、次

世代のコンピュータのあり方として世界的に注目されている。

ユビキタスコンピュータを実現するためには、あらゆる物にコンピュータを埋め込むだけでは不十分である。埋め込まれた膨大な数のコンピュータがネットワークに接続され、互いに通信して協調動作を行うことが技術的には重要である。こうした環境で鍵となることが「セキュリティ」である。悪意を持ったクラッカー\*がユビキタスコンピュータで悪いことをしたら、風呂から熱湯が噴出し、電子レンジから煙が出て、窓が開いたり閉まったりして、大変なことになる。

### 3. インターネットセキュリティ

近年インターネット上で、さまざまな問題が起こっている。インターネットは、もともとは、高い信頼性を実現するための軍事用ネットワークとして設計された。現在のインターネットのように、多数の素人ユーザの利用や、悪意のあるユーザが恒常的に利用することは設計時の想定にはなかった。つまり、自分のコンピュータの管理すらできないユーザや、ネットワーク上で悪意をもって攻撃するユーザに対する防御機構を、インターネットは基本設計の段階で組み込んでいないのである。米国のカーネギーメロン大学の中に設置されている、CERT (Computer Emergency Reaction Team: コンピュータ緊急対応チーム) の調査によると、セキュリティに関わる事件 (security incidents) は、1988年には6件だったものが、2000年で約2万1千件、2001年で約5万2千件、2002年の上半期だけで約4万3千件と、毎年、倍々ゲームで増加

※8 Cracker: コンピュータやネットワークを通じて、悪事を働く人。しばしばハッカー (hacker) と言われることもあるが、ハッカーはコンピュータなどの技術に人並み以上の執着心を持った人を指し、悪い事をする人を指すのではない。

している。これらは、インターネットを通じた攻撃の増大、さらには、コンピュータシステムの増大に従って発見されるセキュリティーホール（安全上の欠陥）も増大していること、また、セキュリティーホールを多く抱えたパソコンの普及が原因と考えられる。また、最近では、地球を回っている人工衛星の通信を破って、衛星を勝手に制御することを試みるようなケースもあるという。確かに、人工衛星の制御は地上から遠隔で行うのであるから、その制御通信方式を何らかの手段で知ることができれば、理屈の上では誰でも操作できてしまう。

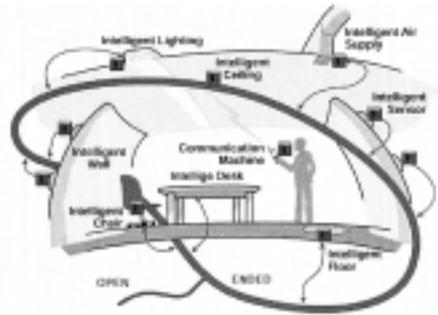


図1 eTRONで守られたどこでもコンピュータ環境（「どこでもコンピュータ」環境）にセキュリティーを実現するシステムとしてeTRONを構築している。

eTRONは、耐タンパーチップ<sup>※9</sup>をベースとして、ネットワーク上を流通する情報を暗号化したり、通信相手の遠隔認証、データや情報の安全な格納を実現する技術である。eTRONが守る「デジタル情報」を、トロンでは「電子実体」と呼び、これを実現するシステムとして「entity：実体」のeを取って「eTRON」としている。前述のように、「どこでもコンピュータ」環境では、ネットワークの通じてのハッキングで家の中の状態を覗かれたり、制御を乗っ取って悪戯される危険性がある。そのため、「どこでもコンピュータ」環境のすべての機器で、どの機器からの指示を受けるかとか、どこへ情報を送っているかといった制限を行う必要がある。このような、アクセス管理情報をeTRONの「電子実体」としてやりとりすることにより、容易にセッティングでき、強固なセキュリティーを実現しようとしている（図1）。

年	事件数
1988	6
1989	132
1990	252
1991	406
1992	773
1993	1,334
1994	2,340
1995	2,412
1996	2,573
1997	2,134
1998	3,734
1999*	9,859
2000	21,756
2001	52,658
2002(Q1~2)	43,136
Total	143,505

表1 事件数(1988~2002年) (出展：CERT, [http://www.cert.org/stats/cert\\_stats.html](http://www.cert.org/stats/cert_stats.html)から引用)

#### 4. セキュアシステムの基盤「eTRON」

トロンプロジェクトでは、「どこでもコン

※9 耐タンパーチップ：タンパー（tamper）とは「いたずら」といった意味で、「耐タンパーチップ」ということで、コンピュータシステム等で、情報取得などを目的とした、システムに対する不正な解析といった行為に耐えられるような特殊な加工が施されたチップをいう。

#### 5. ユビキタス時代の基盤システム「T-Engine」

トロンプロジェクトでは、21世紀にむけて「どこでもコンピュータ」を目指して、T-Engine（ティ・エンジン）と呼ばれる基盤システムを構築している（図2）。「どこでもコ

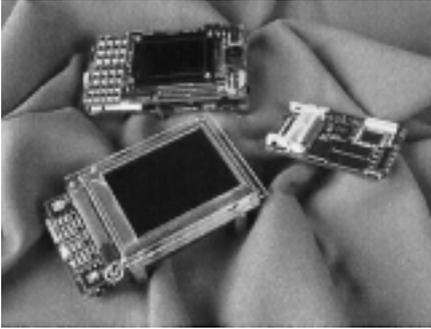


図2 T-Engineと $\mu$ T-Engine

ンピュータ」を実現するハードウェアやソフトウェアの「オープン」な標準規格だ。パーソナルコンピュータの世界だと、いわゆるDOS/Vという規格があり、さまざまな製造メーカーがその仕様に準拠して製品を作るため、さまざまな会社の機器をどのパソコンにも取り付けて拡張し、使うことができる。これと同じことを、組み込み型のコンピュータでも実現した規格である。この規格はエンドユーザーに直接は関係しないが、電子機器を開発する技術者にとっては、機器の開発期間の短縮やコストを圧縮するための、革新的な規格である [参考文献3]。ハードウェアもソフトウェアも標準化されているため、こうした電子機器を製作する技術者の教材システムとしても期待されている。

T-Engineが構成するユビキタス環境におけるセキュリティを実現するために、標準でeTRONを格納する仕様になっている (図3)。

T-Engine規格はシリーズ化されており、電子手帳や携帯電話、コピーやファックスなどのような事務機器、AVなどの家電製品といった機器を対象とした、T-Engine規格や、名刺サイズのよりコンパクトな $\mu$ T-Engine規格がある。より小さく、センサーやアクチュエータの制御として使うための、コイン大

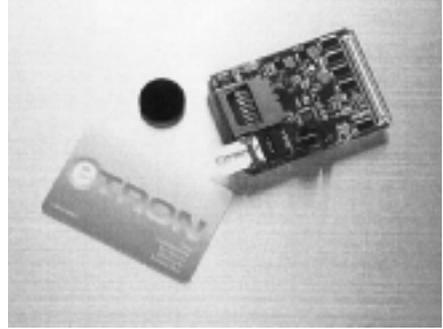


図3 T-EngineとeTRON

のnT-Engine (ナノ・ティエンジン)、数ミリ角のワンチップコンピュータであるpT-Engine (ピコ・ティエンジン) がある。

## 6. おわりに

ユビキタスコンピュータは、我が国における次のコンピュータ産業分野としても大きく期待されている。組込型コンピュータを使い、コンパクトで品質のよいさまざまな機器を開発することは、我が国の電子産業、情報産業において得意な分野である。我々のトロンプロジェクトにおけるどこでもコンピュータ環境への取り組みが、我が国の技術の進展の一翼を担っていれば大変うれしいと思っている。

## 参考文献

- [1] 坂村健, 「ユビキタス・コンピュータ革命」, 角川Oneテーマ21, C-44, 角川書店, 2002年.
- [2] 坂村健, 「情報文明の日本モデル - TRONが拓く次世代IT戦略」, PHP新書173, PHP研究所, 2001年.
- [3] T-Engineフォーラム,  
<http://www.t-engine.forum/>