

四国大学附属経営情報研究所における TRON プロジェクト —ユビキタスキャンパスの構築を目指して—

村井 礼・尾崎圭司・細川康輝・戸川 聡

TRON Project on RIMIS
—For Realization of Ubiquitous Campus—

Hiroshi MURAI, Keiji OZAKI, Yasuteru HOSOKAWA, Satoshi TOGAWA

ABSTRACT

We will experience a real ubiquitous networking in 2005. The ubiquitous network will provide us with a convenient service for education. We should develop an original system and introduce it as soon as possible, because the system has an important role in university management. We started to develop the original ubiquitous campus system in 2004. The proposed system consists of three sub-systems based on the T-Engine technique: 1) a database management system named T3 that works on the T-Kernel, 2) a human interface system built by microscript on the BTRON operating system, and 3) an optical ID system using printing devices intended to decrease production costs.

KEYWORDS: TRON, T-Engine, Ubiquitous, Database, Micro-script

1. はじめに

1984年に東京大学の坂村健博士により、文部省（当時）の産学協同プロジェクトとして日本発の基本ソフトである TRON (The Real-time Operating system Nucleus) を開発するプロジェクトが立ち上げられた。^{1),2)} TRON プロジェクトでは、電腦社会の到来を想定したまったく新しいコンピュータ体系の実現を目指している。2005年をユビキタス元年とする我が国政府の政策に見られるとおり、近年はユビキタス・コンピューティングの実用化が徐々に進展している。この流れに先立ち、TRON プロジェクトではオープンなリアルタイムシステム標準開発環境を提供するために T-Engine プロジェクトを発足させている。TRON プロジェクトの精神である「オープン性」および「弱い標準化」に見られるとおり、開発には産学

官を問わず広い分野からの参加が実現し、T-Engine フォーラムとして成立している。

本研究所では学会会員として我が国の大学で初めて T-Engine フォーラムに参加しており、主にユビキタスキャンパスにおけるアプリケーションやユーザ認証システムの構築を目指している。さらに、本研究における成果を公開することにより、地域社会を始めとする産業界の発展に寄与することを目指している。本論文では、その開発の一部を紹介する。

2. TRON プロジェクトへの取り組み

2.1 TRON プロジェクトと T-Engine フォーラム

TRON プロジェクトは図1に示されるいくつかのサブプロジェクトから構成されている。T-

受理日：平成16年9月16日

Engine フォーラムでは2002年第二四半期よりマーケットに T-Engine プラットフォームならびに応用システムの具体的な製品を投入し始めている。³⁾⁷⁾本論文で取り扱っている分野は、BTRON および eTRON にあたる。

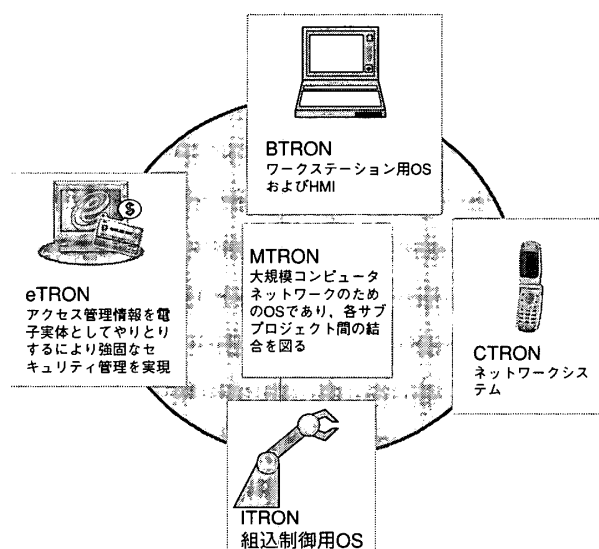


図1 TRON プロジェクトを構成する各サブプロジェクト

T-Engine フォーラムには、2004年10月4日現在で461団体が会員として登録されている。各会員は活動内容により4種類に区別され、それぞれ、A 会員、B 会員、e 会員、および学会会員と呼ばれている。これらのうち、本研究所が所属している学会会員とは T-Engine、T-Kernel、ユビキタス ID、および eTRON に関する学術研究を行うことを目的としており、他の会員と異なり年会費は無料となっている。

2. 2 ユビキタスキャンパスへの取り組み

本研究では、我々4名の本学教員がワーキンググループを組織し、本研究所における研究開発を先導している。研究は3期に分かれた達成目標を掲げ、最終的には本学での実用化を目指している。今年度は第一期にあたり、開発に必要な機器および資材の整備と共に、ワーキンググループ内でのディスカッションや共同研究を定期的に進めている。

図2に本研究課題の概念図を示す。本研究の目

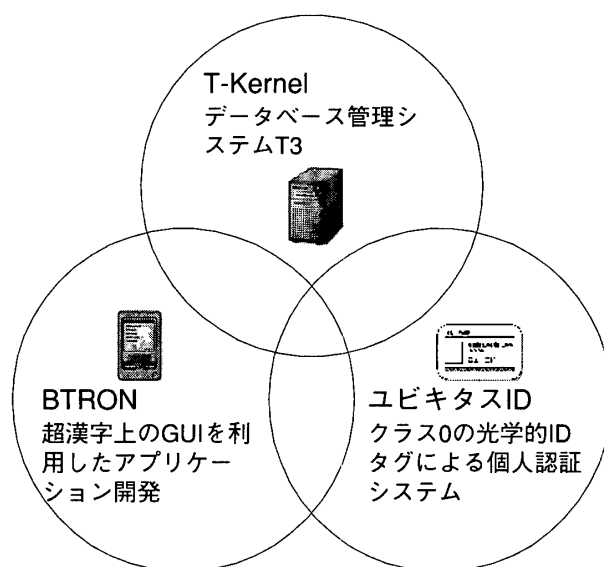


図2 研究の概念図

的は、BTRON も含めた T-Kernel 上で動作するアプリケーションの開発および eTRON を利用した個人認証システムによるユビキタスキャンパスの実現である。開発したシステムを既存のポータルシステムおよび e ラーニングサーバと連結し、教育利用を目的とするユビキタスシステムの実現を図る。本システムでは教材や成績などの各種重要データを T3 で管理し、PDA や携帯電話などのモバイル端末からの利用を可能とする。従来の固定式端末によるアクセスに比べてユーザの利便性は格段に高まり、データ利用の即時性も実現する。モバイル利用で課題となるセキュリティには、専用の ID カードを利用することにより解決を図る。提案する光学的 ID システムは印刷および光学的スキャニングによるデータの入出力を行うものであり、任意の時系列においてデータの更新を容易に行うことが可能である。さらに、磁気媒体に比べてコストが大幅に削減されることや、デザイン上のメリットもあり、短期利用の ID システムとしての利点は高いと言える。

2. 3 印刷ベースのユビキタス ID

本研究で開発する ID は、ユビキタス ID センターの提唱する uID 技術の中でクラス 0 と呼ば

れる比較的セキュリティの低い ID である。クラス 0 の ID として、普段よく利用されているのが 1 次元や 2 次元のバーコードであり、これらは商品の販売管理や流通管理ようとしての短期利用に適している。本研究での ID は各ユーザの個人情報（例えば、所属する学科、入学年度、氏名、各登録科目の成績など）を個人認証用データとしてコード化したものである。したがって、成績データなどは逐次変更され得るものであるため、更新の容易性が求められる。このコードをシールなどに印刷し、別途配布している学生カードなどに貼り付けることにより、個人情報の更新を安価に行うことができる。

3. T-Kernel Standard Extension 上で動作するデータベース管理システム T3

3. 1 特長

我々は e-Learning 等の Web システムの基盤として T-Kernel 上で動作するデータベース管理システム T3 を開発中である。⁸⁾本システムはデータベースサーバとして T-Kernel が動作するサーバマシン上で動作させるだけでなく、T-Kernel が組み込まれた携帯電話・PDA 等の携帯端末で動作させることを目的としている。これは、携帯端末を利用したモバイル e-Learning 等の応用を想定しているからである。

T3 は T-Kernel Standard Extension（以下、T-Kernel/SE）のファイルシステムおよびネットワークプロトコルを利用して動作するデータベース管理システムである。我々は従来より、仮想美術館 ArtFinder の開発を通して、その基盤となるデータベース管理システムシステム TRIAS-II を開発してきた。^{9),10)}TRIAS-II は、現在、Unix 系の OS (Solaris, Linux) および Windows 上で動作している。TRIAS-II は以下の特長がある。

- ① 3 項組データモデルに基づいておりネットワーク構造でデータを表現する、これによって、
- ② ハイパーテキスト/ハイパーメディアのようにテキストやメディアがリンクによって緩く構造

化されたデータの表現に適している、さらに、

- ③ スキーマの変更等のデータ構造の変化に柔軟に対応できる。

今回開発する T3 は、以上の特長を継承するとともに、

- ④ Web システムで多く利用される HTML 文書/XML 文書等の半構造データの保存・検索機能を強化すること、

- ⑤ ユーザインタフェース、アプリケーションインタフェースを改善すること、

- ⑥ T-Kernel のリアルタイム OS 機能、実身-仮身モデルの基づくファイルシステムの特徴を生かしてリアルタイム性能を向上させること、を目標としている。

以上の機能によって、Web システムにおけるデータベース層をより効果的・効率的に構築することが可能となる。

3. 2 データモデル

T3 ではすべてのデータを

(e, a, v)

の 3 つの値の順序対、すなわち 3 項組の集合で表現する。以下に、最も基本的なオブジェクト、およびオブジェクト間の関連の表現法を示す。

① オブジェクトの表現

オブジェクトは、オブジェクト ID、属性名、属性値の 3 つの値から成る 3 項組の集合で表す。これらの 3 項組には以下の 2 通りの形式がある。

(o, a, v)

(o, a, o')

ここで、 o および o' はオブジェクト ID、 a は属性名、 v はスカラー値（数値や文字列などの内部構造を持たない単なる値）を表す。すなわち、オブジェクトは属性（属性名と属性値の組）の集合として表現され、属性値として単なるスカラー値をとる場合と、他のオブジェクトをとる場合がある。

② オブジェクト間の関連

オブジェクト間の関連は、オブジェクト ID、関連名、オブジェクト ID の 3 つの値から成る 3 項組の集合で表す。これを以下に示す。

(o, r, o')

ここで、o および o' はオブジェクト ID, r は関連名を表す。

1つのデータベースは、複数のオブジェクト、および複数の関連の集合である。したがって、T3では1つのデータベースは3項組の集合で表現される。ここで、3項組 (e, a, v) において、e を始点 v を終点とする辺に a を対応させると、T3の1つのデータベースは1つの有向グラフと考えることができる。この特性により、T3はハイパーテキスト/ハイパーメディアのようにテキストやメディアがリンクによって緩く構造化されたデータの表現に適するとともに、データの構造変化に柔軟に対応できる。

3. 3 半構造データの表現

半構造データはスキーマレス、あるいは自己記述的なデータである。¹¹⁾これはデータそのものとその構造が分離されることなく記述されることを意味する。このような半構造データは、ラベルと値の対から成る連想リストで表現できる。例を次に示す。

```
{ name : "Ozaki", tel : 2628, email : "ozaki@keiei.shikoku-u. ac. jp" }
```

これは図3のようなグラフ表現も可能である。

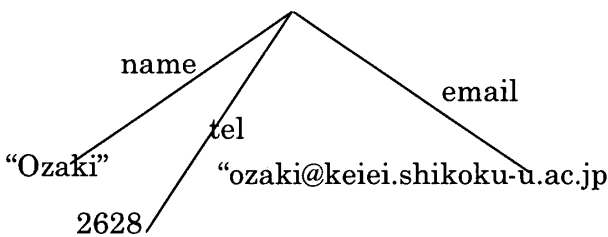


図3 半構造データのグラフ表現

半構造データの例としては、Webシステムで用いられるHTMLやXMLなどのようなマークアップ言語で記述された文書が挙げられる。例えば、ラベルをタグ名に対応させて上記のデータをXMLで表現すると次のようになる。

```
<root>
  <name>Ozaki</name>
  <tel>2628</tel>
  <email>ozaki@keiei.shikoku-u.ac.jp</email>
</root>
```

このような構造を持つデータ表現の主たる特長は、構造変化に柔軟に対応できる点にある。

ところで、容易に分かるように、上記の3つの表現は以下の3項組の集合と等価である。

```
{(root,name,"Ozaki"),(root,tel,2628),(root,email,"ozaki@keiei.shikoku-u.ac.jp")}
```

以上のように、3項組データモデルは、HTML文書やXML文書を含む半構造データの表現にも適している。

3. 4 システム構成

T3はT-Kernel/SE上で動作するので、ソフトウェア構成上、図4に示す位置に存在する。

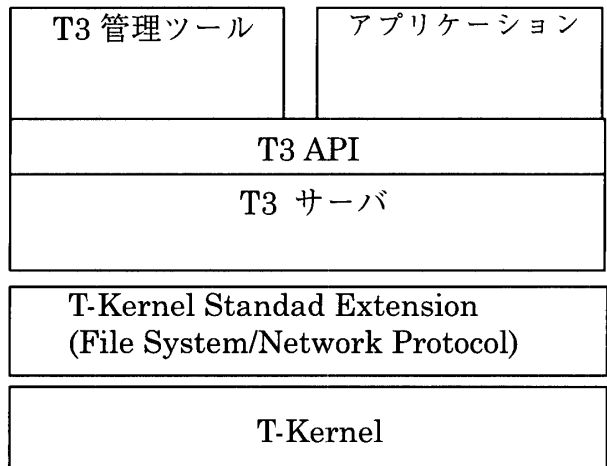


図4 T3とT-Kernelの関係

T3サーバはT-Kernel/SEのシステムコールを利用して、データベースの更新やクライアントとの通信を行なう。データベースの保存・更新・検索にはT-Kernel/SEのファイルシステムを利用し、サーバ・クライアント間の通信にはT-Kernel/SEのネットワークプロトコルを利用す

る。

T3 API は T3 を利用したアプリケーションプログラムを作成するためのプログラミングインタフェースである。これを使って、ユーザアプリケーションや T3 管理ツールが作成される。

T3 管理ツールはデータベース管理者が T3 を使ってデータベースを管理するためのコマンドである。

本システムは、(1) T3 サーバのスレッド管理に T-Kernel のリアルタイム OS としてのタスク管理機能を利用し、(2) データベース中の 3 項組のオブジェクト ID として仮身を埋め込むことによって性能向上させることを目標に現在開発中である。

以上、本章では、T-Kernel/SE 上のデータベース管理システム T3 の特長とシステム構成について述べた。

4. マイクロスクリプトを用いた BTRON 上でのアプリケーション開発

本章では、T-Engine の開発のベースにある TRON とそのサブプロジェクトである BTRON について、さらに、BTRON 仕様の OS である超漢字と BTRON 上で T-Engine の開発が可能なプログラミング環境マイクロスクリプトについて述べる。

4. 1 TRON と BTRON

TRON (The Real-time Operating system Nucleus) はプロジェクトリーダーである現東京大学教授・坂村健博士により1984年に開始されたプロジェクトである。^{1),2)}このプロジェクトでは、あらゆる物、場所にコンピュータを組込み、それらを互いにネットワークで接続し、協調動作するといった高度な情報化社会の実現を目指している。このプロジェクトの描く社会を分かりやすく身近な例で考えてみよう。

例えば、日常的に持ち歩く貴重品や必需品である携帯電話、手帳、現金、キャッシュカードやク

レジットカードなどは、携帯電話だけで済むようになる。もうすでに携帯電話を使ってコンビニエンスストアで商品を買うなど携帯電話を財布代わりにすることは実現しつつあるが、さらに、買い物をしたデータをネットワーク経由で自分の家計簿に自動的に書き加え、その家計簿はいつでもどこでも携帯電話やその他情報端末で確認できる。また、打ち合わせの時間や場所を、その場で入力しておけば、自動的にオンライン上の自分のデータバンクに書き加え、職場の予定表に自動的に表示されるといったことも可能になる。

さらに、海外旅行に行く場合を考えてみると、情報端末で航空券、ホテル、レンタカーなどを予約し、個人情報などの入った IC タグのついたパスポートと着替えだけで出発。空港までの交通費は、パスポートで済ませ、出国、搭乗もパスポートだけで行い、現地では、パスポートで食事し、レジャーを楽しみ、お土産も買う。このようなことも実現するかもしれない。

実際には、技術的問題に加え、個人認証や情報の保護、法律や行政の対応などの多くの問題があり、本当にこのような社会が近い将来に現実になるとは限らない。しかし、実現する可能性も十分にある。このように TRON プロジェクトは、生活を一変させるような研究・開発を行っているが、そのために必要な技術的問題も広範囲に及ぶ。そこで、具体的にそれら問題を解決するため、いくつかのサブプロジェクトがある。その1つが BTRON である。BTRON は TRON(The Real-Time Operating System Nucleus) に Business の B が付いたもので、ヒューマンインターフェイスをつかさどるサブプロジェクトである。¹²⁾⁻¹⁴⁾主に、パソコンや PDA などの携帯情報端末用 OS 用の仕様とその周辺機器の仕様を策定している。したがって、TRON プロジェクトの発展により、一般の人がみる TRON と言えば、BTRON という事になる。

4. 2 超漢字

超漢字は、BTRON 仕様の OS で携帯電話やその他機器組込み用 OS として多数採用されている ITRON 仕様 OS と同じ技術を利用したリアルタイム OS である。^{15),16)} OS 開発の出発点という面で考えると、Windows, Mac OS, そして Linux などの PC-UNIX など PC で利用できる多くの OS は、スーパーコンピュータなどのより上位のコンピュータの OS をモデルに開発されたものであるが、BTRON は、高機能ではないコンピュータをターゲットとして開発されている点が大きく異なる。以下に、超漢字に触れてみて感じた特徴を紹介する。

表 1：超漢字 4 の動作条件

CPU	Intel Pentium プロセッサ (486DX および互換 CPU を含む)
メインメモリ	最低16MB, 推奨32MB 以上
HDD	550MB 以上 (IDE タイプ)
グラフィック	640×480ドット16色 VGA 仕様以上
キーボード	日本語または英語
ポインティングデバイス	マウス等
インストール用機器	CD-ROM または フロッピーディスクドライブ

表 1 は超漢字 4 の動作条件である。このように 10 年近く前の PC でも動作可能であることが分かる。実際に身近にあった旧型の PC (CPU: Pentium MMX 400MHz, WindowsNT 4 プレインストール) に超漢字 4 をインストールしてみたところ、起動時間が NT 4 の起動には数分掛かるのに比べ、超漢字 4 は十数秒ほどであった。我々は PC-UNIX のユーザでもあるが、それと比較しても通常のインストールではここまで速くなく非常に驚かされた。さらに、実際の使用感では NT 4 では多少もたつき感があったが、超漢字 4 では、非常に軽快に動作し、旧型の PC であることを感じさせることはなかった。Windows にはさまざまなアプリケーションが初めからインストールされており、また、ドライバーの対応、周辺機器の充実など、一概に比較するわけには行かないが、GUI 環境を持つ一般の PC ユーザ向けの OS として、超漢字 4 の起動時間の短さは、重要な特徴で

あると考えられる。

次に挙げられる特徴として「実身、仮身」というファイル管理の概念がある。この「実身」と「仮身」は Windows の「ファイル」と「ショートカット」に対応するもので、超漢字ではファイル管理を仮身で行うことに特徴がある。具体的には、ファイルを整理する場合、Windows などの OS では、ファイル自体を移動させたり、コピーしたりするが、超漢字では、それらの操作はすべて仮身で行う。実身は OS が管理し、ユーザは実身の保存場所を意識することがない。さらに、Windows ではファイル名を変更した場合、そのショートカットは意味を成さなくなるが、超漢字では実身のファイル名を変更した場合、仮身のデータも書き換えられ、変更前と同様に利用できるなどの違いがある。さらに、文書ファイルに用いられる画像データなどのファイルのリンクを仮身で行うなど、ファイル同士のリンクでファイル管理をすることができ、これまでの OS で利用されているツリー構造を考える必要もない。このように、Windows に慣れたユーザには、多少理解しづらいものかも知れないが、慣れてしまえば直感的に利用できる使い勝手のよいものと思われる。

他にもいくつかの特徴が挙げられるが、最後に多くの文字が利用できる点を挙げておく。日本で利用されている漢字だけでも、人名や異字体、旧字体など他の OS ではうまく扱えていない文字が多数ある。超漢字では、TRON コードと呼ばれるメタコード体系を用いることにより、JIS, Unicode だけでなく、中国簡体字などすべてを収録し、利用できるようにしている。このため、同じ文字の重複も見られるが、これらをデータベースで管理することで、異字体などの区別と同一視をフレキシブルに実現できるシステムになっている。

4. 3 マイクロスクリプト

マイクロスクリプトは BTRON 仕様の OS 上で動作するビジュアルプログラミング言語で、BTRON を組込み機器用に用いた場合のプログラ

ミングを非常に簡単にする言語である。

特徴としては、プログラミング言語として、変数、条件判定などの多くのプログラミング言語にある命令は一通りあり、変数などは漢字、ひらがな等も利用できる。また、入出力制御機能も備えており、家電製品などの制御も可能である。また中間コードを使ったコンパイラ・インタプリタ方式であるため、開発・デバッグが容易かつ、高い実行性能を持つ。さらに、図形エディタを利用して、非常に簡単にビジュアルなプログラミングが可能である。

実際に簡単なプログラミングを行ってみたので、そのプログラミングを例として、マイクロスクリプトのプログラミングの容易さを紹介する。

作成したプログラムはネコの顔を時計回りに上下左右と順に動かせるプログラムである。まず、図5のようにネコの顔を上下左右別に描き@upなど変数名をつける。この図は、超漢字付属のツール基本図形エディタで作成したが、Windowsのペイントに対応する簡単なお絵描きソフトである。但し、図に変数名をつけることができる点がペイントとは異なっている。また、左を向いた絵の下にある「SCRIPT」はソースファイルの仮身で、このように図上におく。図6はその仮身を表示させたものである。ソースファイルはプログラミング経験のある人なら、初めてマイクロスクリプトを見ても理解できそうなくらい簡単な言語で、この場合 REPEAT から ENDREPEAT の間でループさせており、SETSEG で face を left,up,right,down と順に切り替えている。実行すると、図7のようなウィンドウが現れ、猫の顔が時計回りに変わる。

このように、非常に簡単にグラフィカルなプログラムを作成できるが、PC上で利用できるだけでなく T-Engine や各種組込み機器でも BTRON は実装されていることから、少しのプログラミング知識で、それらの開発を行うことが可能である。

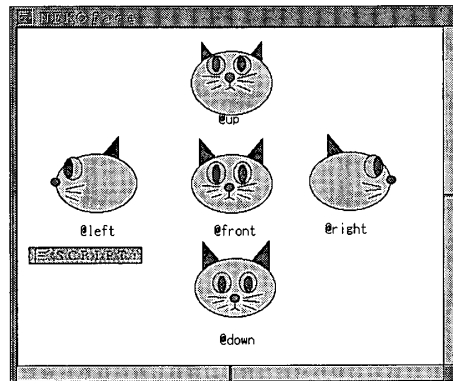


図5 マイクロスクリプトのプログラム (基本画像エディタ画面)

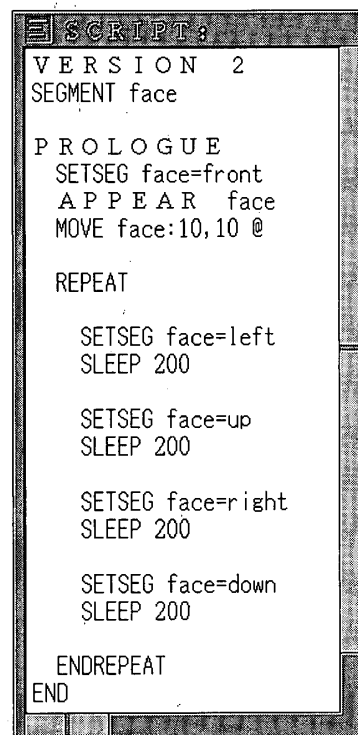


図6 マイクロスクリプトのプログラム (ソースファイル)

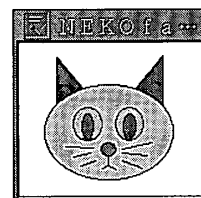


図7 プログラム実行画面

5. おわりに

本論文では、経営情報研究所内のワーキンググループにおける TRON を用いたユビキタスキャンパスの構築に向けた開発の概要を紹介した。現

段階では基礎技術の修得を主な活動内容としており、本格的なプログラミングや実装実験は次年度以降の予定である。近年の TRON プロジェクト周辺環境の整備により、特にプログラミング環境が大幅に改善され、初心者でも十分に大型システムの構築が可能となっている。敷居の低下は資金力の弱い企業からの参入も可能であることを示しており、TRON プロジェクトの今後の発展を期待するものである。本学でも早期にユビキタスキャンパスの実現を目指し、教育機関におけるビジネスモデルの構築を図る予定である。

参考文献

- [1] TRONWARE 編集部, 別冊 TRONWARE T-Engine 2, パーソナルメディア株式会社, 2004.
- [2] TRONWARE 編集部, 別冊 TRONWARE T-Engine, パーソナルメディア株式会社, 2003.
- [3] TRONWARE 編集部, TRONWARE Vol. 85, パーソナルメディア株式会社, 2004.
- [4] TRONWARE 編集部, TRONWARE Vol. 86, パーソナルメディア株式会社, 2004.
- [5] TRONWARE 編集部, TRONWARE Vol. 87, パーソナルメディア株式会社, 2004.
- [6] TRONWARE 編集部, TRONWARE Vol. 88, パーソナルメディア株式会社, 2004.
- [7] TRONWARE 編集部, TRONWARE Vol. 89, パーソナルメディア株式会社, 2004.
- [8] 坂村健監修, T-Kernel 標準ハンドブック, パーソナルメディア株式会社, 2003.
- [9] 尾崎圭司, 矢野米雄, “3 項組に基づく美術館データベースシステム ArtFinder の開発”, 情報処理学会論文誌, Vol. 36, No. 11, pp. 2690-2701, 1995.
- [10] 尾崎圭司, 大倉隆司, 野口達毅, 大川人資, 矢野米雄, “観点の共有と可視化が可能な仮想美術館システム”, 人工知能学会論文誌, Vol. 18, No. 6, pp. 333-344, 2003.
- [11] S. Abiteboul, P. Buneman and D. Suciu, “Data on the Web”, Morgan Kaufmann Publishers, 2000.
- [12] 坂村健, BTRON マイクロスクリプト, パーソナルメディア株式会社, 1997.
- [13] 坂村健, マイクロスクリプト入門, パーソナルメディア株式会社, 1999.
- [14] PMC 研究所編, はじめてみよう BTRON, パーソナルメディア株式会社, 1999.
- [15] 坂村健, μITRON4.0標準ガイドブック, パーソナルメディア株式会社, 2001.
- [16] 超漢字 Web ページ, <http://www.chokanji.com>, パーソナルメディア株式会社.
(村井 礼: 四国大学 情報ビジネス研究室)
(尾崎 圭司: 四国大学 計算機科学研究室)
(細川 康輝: 四国大学 計算機科学研究室)
(戸川 聡: 四国大学 経営情報学部情報学科 四国大学 情報処理教育センター)