

# TRON

ユビキタス・コンピューティングのための  
オープン・リアルタイム・プラットフォーム

坂村 健

東京大学大学院 教授

YRPユビキタス・ネットワークング研究所 所長

1

## 何のために

「すべてのものにコンピュータが組み込まれる未来」を最初  
から想定

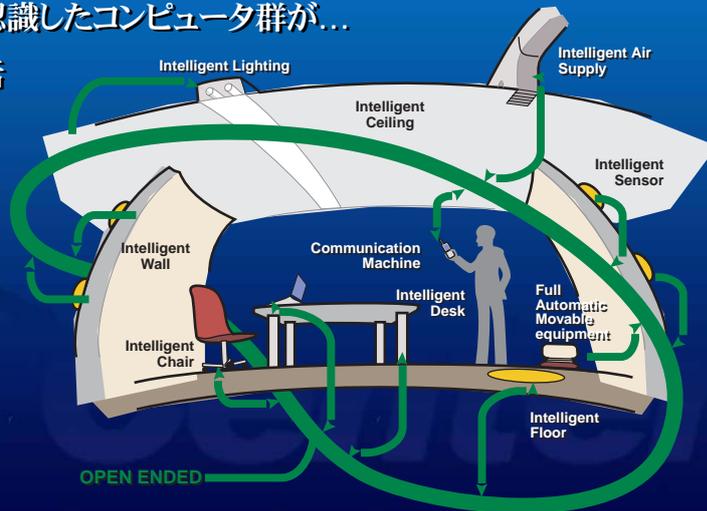


「そのためにはどうすればいいか」から  
プロジェクトを進めてきた

2

## TRONの未来ビジョン

- ネットワーク交信能力を持った超小型チップをあらゆるものに入れて...
- 実世界の状況を認識したコンピュータ群が...
- 共同して人間生活をサポートする



3

## どこでもコンピュータ

- 1984: 東京大学のTRONプロジェクト開始
  - 「あらゆるモノにコンピュータを」
- TRONプロジェクトでのネーミング
  - コンセプト的には「どこでもコンピュータ」、「Computing Everywhere」
  - システム的には「超機能分散システム」などと呼んでいた

4

## 「ユビキタス・コンピューティング」

### ■ 先端の研究分野であり、呼び方はいろいろ

- Ubiquitous Computing
- Pervasive Computing
- Calm Computing
- Invisible Computing
- Smart Environment
- Ambient Intelligence



### ■ “Ubiquitous Computing”の呼び方が日本では定着

- “Ubiquitous” は「遍在：どこにでもある」
  - 「(神は) あまねくしろしめす」という意味のラテン語由来の英語
- “Ubiquitous Computing” で「どこでもコンピュータ」

5

## トップダウンとボトムアップ

### ■ 「どこでもコンピュータ」という将来ビジョンを トップダウンに目指しながら、

### ■ ボトムアップ的**第一歩**として...



### ■ 日本の産業界で当時必要になり始めていた**リアルタイムOS**の標準仕様提供からプロジェクトを開始

- 組み込み機器が普及し、どんどん日常に入ってくる形で「どこでもコンピュータ」が実現するというシナリオ

6

## TRON Project

### ■ 組み込み用リアルタイムOS仕様の名前をプロジェクト名に

- The Real-time Operating system Nucleus



### ■ “TRON” は私のデザインブランド

- 「どこでもコンピュータ」環境実現を目指したさまざまな活動の総称
- 「どこでもコンピュータ」環境の最も基本的な部品が「組み込み用リアルタイム・オペレーティングシステム」

7

## リアルタイムOSとは

### ■ 最近の機械の中には制御用のマイコン

- 車のエンジン制御、
- 携帯電話の無線機制御、
- カメラの露出制御...

### ■ コストを抑えるために一個のコンピュータでいくつもの仕事(タスク)を同時並行的に行わせる

### ■ そのためにタスクの交通整理をするものが必要



リアルタイムOS

8

## 制御はリアルタイム

### ■ 制御は待ってくれない

- エンジンの爆発のように待たなしのリアルな物理現象を対象としている
- 締め切りを守るために優先度に応じて多重割り込み実行
- タスク切り替えもマイクロ秒以下と高速



### ■ UNIXやWindowsと違うタイプのOS

- UNIXやWindowsはタイムシェアリングOS
- 基本的に人間相手なので、待たせられるので優先度制御なし
- タスク切り替えも遅くミリ秒程度でいい

9

## マイクロプロセッサの生産量

■ 全世界で年間約83億個のマイクロプロセッサが生産され...

■ そのうちPCやWSなど使われているのは1.5億個で2%が「**情報処理用**」で

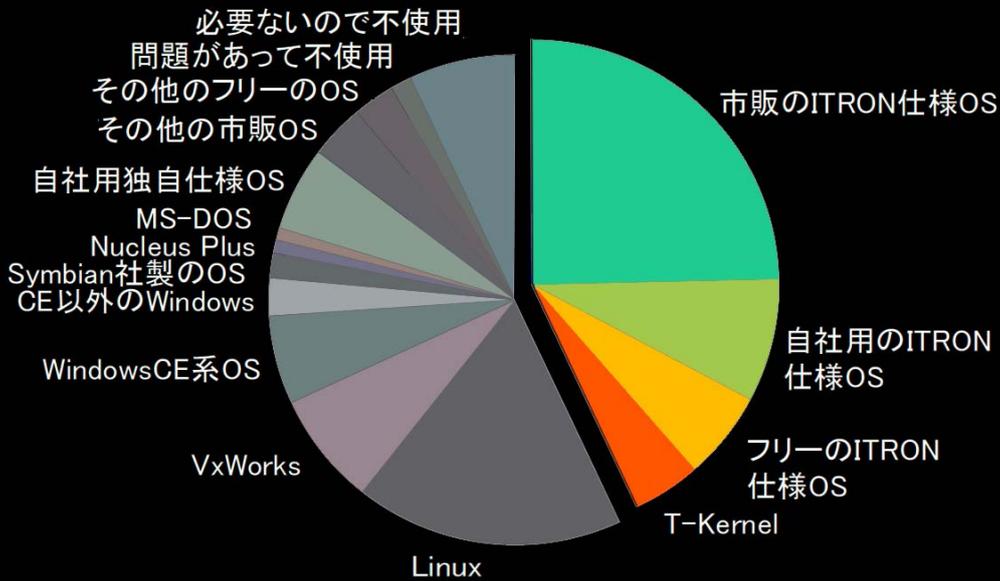


■ 残りの98%は「**組込み用**」

- 「小さく、見えなく、軽く」を目指して進化
- 「速く、大きく」のPC用マイクロプロセッサとはまったく別の流れ

10

## 現在までずっと組み込みシステム使用実績No.1 (2005年調査)



## 技術プロジェクト

- ITRON
  - 組み込み機器用リアルタイムOS開発
- BTRON
  - コミュニケーション・マシン用OS開発
- CTRON
  - サーバー用リアルタイムOS開発
- TRON Chip
  - 32bit CPUための独自標準の開発
- MTRON
  - 「どこでもコンピュータ」全体のためのシステム開発
- ユーザインタフェース標準化
  - 「誰でも使える」を重視
  - 画面上のGUIだけでなく物理的なスイッチまでを対象

# 多くの**応用**プロジェクト を同時進行

技術プロジェクトへのフィードバックのために...

TRON HOUSE  
TRON 電脳自動車  
TRON 電脳ビル  
TRON 電脳都市

13

## IPRへの基本的な考え

- 基本的には、技術的研究開発で努力した人が報われる知的所有権制度が望ましい
  - 本来は、そのはずなのだが...
  - 現行の知的所有権制度は、研究・開発で努力していない人でも、報われることが大いにありうる制度
- インフラとなるべき基本メカニズムは...
  - オープンで無償であるべき
    - OSの仕様、言語の仕様、通信プロトコルの仕様など...
    - ※例えば、「日本語」に特許があって、「日本語」を話す度に、特許料を取られてはたまらない。
  - その上で競争をすることで、業界全体が活性化

14

## TRONのオープンアーキテクチャ

### ■ オープン部分とクローズ部分、共有部と競争部を以下のように分離

- 外部インタフェース仕様はオープン、フリー、無料
  - － (例)
  - － プログラム言語や、OSのシステムコールセットやCPUの命令セット
  - － 通信規約
  - － 操作方法(ヒューマンインタフェース)
  - － 文字コードやフォント
- インタフェースの実装は競争、有料
  - － (例)
  - － チップそのもの
  - － オペレーティングシステムの実装
  - － コンパイラやインタプリタ
  - － いわゆる「システム」

15

## ビジョンは変わらず

組込みの未来は「どこでもコンピュータ社会」の実現



ユビキタス・コンピューティング

少子高齢化に向けて多様性を阻害しない、社会の効率化を

16

## ユビキタス・コンピューティング

### ■ あらゆる人のための、多様性を阻害しない...

- 生活密着型ユニバーサル・デザイン
- 自律移動支援プロジェクト
- イネーブルウェア
  - Enableware: できないことを可能にするコンピュータ技術

### ■ 安全・安心のための...

- 薬の誤飲、飲み合わせの副作用、アレルギーなどの自動警告
- 食品／薬品トレーサビリティ
  - Traceability: 製品に対して、どこで、だれが、何をしたか記録し追跡可能にする技術

### ■ 現実世界と仮想世界をつなげるためのコンピュータ基盤

17

## 哲学も変わらず

オープンアーキテクチャによる  
ユニバーサルデザインの  
インフラ・イノベーションを  
技術設計と制度設計の両面から実現する

18

# 戦略は時代に合わせる

弱い標準化から強い標準化へ  
産学体制から産学官民体制へ  
より多くの実証実験を行い実用化へ

19

## T-Engineは強い標準化へ

- 下を固定するのはよくない
- アーキテクチャは規定する
- ITRONはミドルウェアの流通ができていない
- なぜミドルウェア流通か
  - 組み込みシステムの高度化
  - HMIの部分など

20

# T-Engineとは

ミドルウェア流通を可能にする

An Open Standard **Development Platform**

すべての組込み向けマイクロプロセッサに対応

21

## 特徴-1

# CPU-agnostic design

組込みマイクロプロセッサは状況に応じて  
最適なものを選びたい  
しかしOSは一つ

22

## 特徴-2

# 標準開発ボードの規定

基板サイズと周辺コネクタを規定  
ターゲット規模により二種の基板サイズ  
豊富な周辺  
多層基板による省スペースで高信頼の実装

23

## 特徴-3

# 標準実行OSを規定

# ||

# T-Kernel

T-Engineボードの標準リアルタイムOS

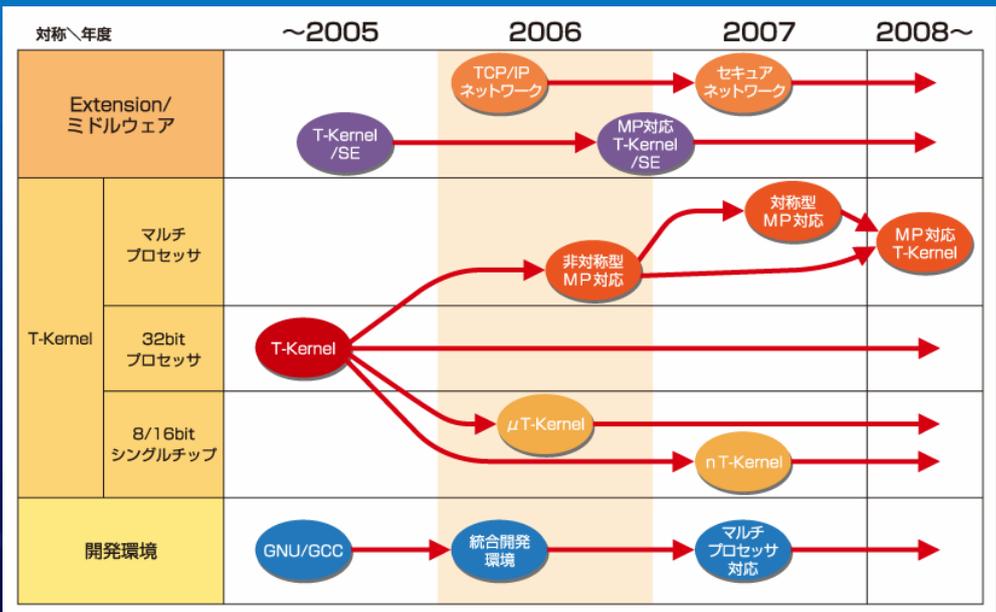
24

# T-Kernelの展開方針

32ビット動的メモリ管理が行えるハードウェアを前提としたリアルタイムOSをメインラインとして...

マルチコア対応から  
8,16ビットなどのワンチップマイコンまで対応

## T-Kernel ロードマップ



# T-Kernelの**機能的**特徴

タスクの動的メモリ割付機能を持つMMU対応RTOS  
強力な省電力機能

:

豊富な同期機構をはじめRTOSが持つべき機能を  
すべて持つ

27

# 豊富な標準ミドルウェア

||

## T-Kernel **Standard Extension**

TCP/IPをはじめとするネットワーク対応  
組込み向けファイルシステム  
セキュリティ対応機能  
ユビキタス・コンピューティング対応機能

28

## T-Licenseに関する基本的な考え方

- 前提 → 組み込み向け
- 目的 → ミドルウェア流通
- 利用料 → 無償

29

## T-Licenseの方針

- 組み込みの特性を考慮
  - 製品に組み込んだ利用＝バイナリ配布可能でなければ
  - ハードウェアの秘密も守りたい
- ミドルウェアの流通の確保
  - T-Kernelのシングルソース化を堅持
- 知的財産権の所在を明確に

30

## 「ユビキタスコンピューティング」の本質

- コンピュータ／ネットワークが...
- 人間の生活空間の「状況」を認識すること
  - モノや人の位置と空間情報
  - モノや人の属性情報
  - 各種センサーのリードアウト

31

## ユビキタス・コンピューティングの応用

- ロケータチップ付き日用品
  - 無くしてもどこにあるかわかる
- あらゆるモノの中にセンサーチップを組み込み、製品寿命までのモニタリング
  - インテリジェント薬ビン
  - 細菌センサー付き絆創膏
  - 温度、湿度、腐敗センサー付き食料品
- チップをあらゆる製品につけて、会社や業界を超えたバリューチェーンの形成
  - インテリジェントゴミとインテリジェントゴミ箱
  - 原材料、生産、流通、利用、廃棄、リユース、リサイクルまで

32

## ユビキタス・コンピューティング社会へ

### ■ センサーネットワークで状況を高精度に把握することによる最適制御

- 身につけていると室温を調節できるスマートシャツ
- 利用言語、知識レベル、身体状況など  
利用する人に環境が合わせるパーソナライズ

### ■ 社会全体をサステナブルに

- 省エネルギーと快適性の両立

33

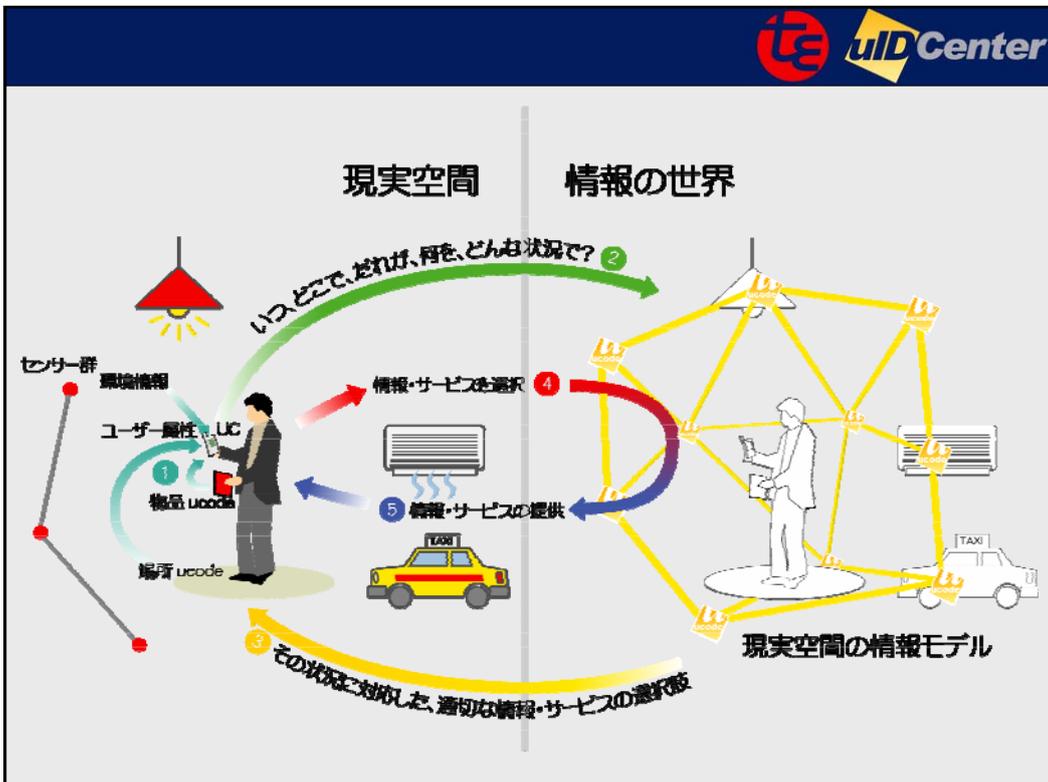
## 「ユビキタス」とは どのようなインフラ

現実の環境に大量のコンピュータを埋め込み  
それにより状況を可能な限り自動的に認識し  
その時、その場で、その人にとって  
最適の個別化された情報やサービスを  
ユーザに意識的な操作の負担をかけることなく  
提供できる基盤の確立された社会

34

# 仮想世界と 現実世界をつなぐ インフラ

「世界」の情報構造化



# 仮想と現実をつなぐこと で多くのイノベーションの 可能性

トレーサビリティ／自律移動支援／バーチャル・カン  
パニー／マルチモード輸送／ロボット誘導...

37

# 状況の 自動認識のための インフラ

現実と情報の世界をつなぐ何かが必要

38

# 識別すべきすべての モノ・場所・概念に 個体識別番号を

プライバシー問題を重視し人には番号をつけない  
各自が持つ端末が持ち主の属性を保持し  
環境とネゴシエーションするモデル

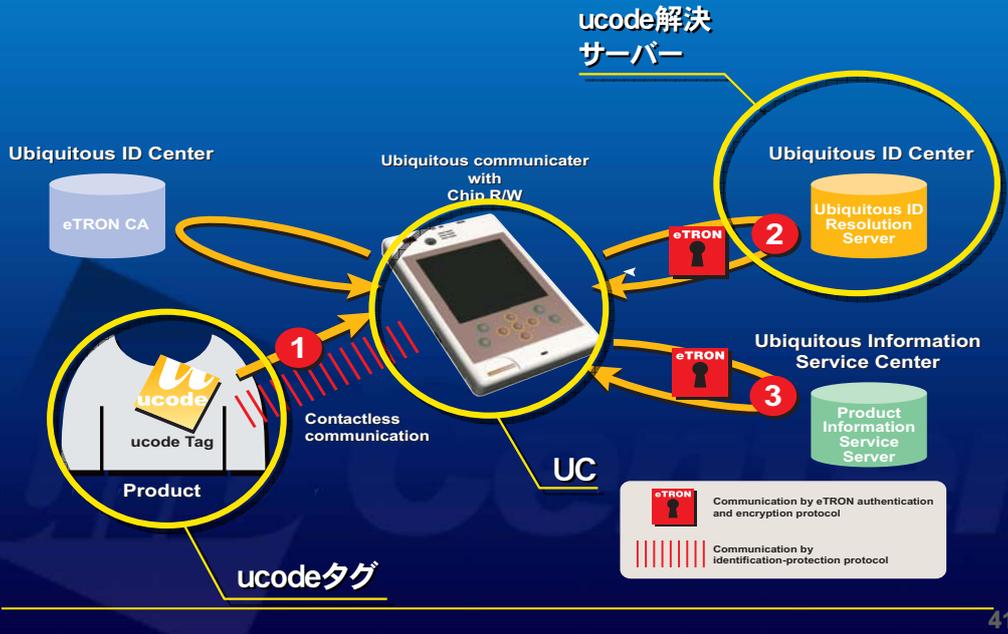
39

# 意味は ネットワーク外部化

注)ここでは経済の分野の「ネットワーク外部性」とは別の意味で使っている

40

# ucode基本アーキテクチャ



# 多様なタグ

タグの一本化は不可能  
 読み取る側でマルチ対応しucodeに一本化  
 バーコードでもRFIDでも135KHzでも2.45GHzでもパッシブでもアクティブでも

# 多様なタグを読み取り りネットにつなぐ

## UC (ユビキタスコミュニケーター)

TRONプロジェクトの最初の図にある  
コミュニケーション・マシンの具体化

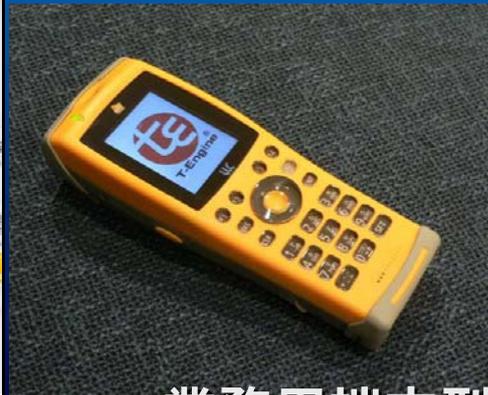
43

## Ubiquitous Communicator: 腕時計型



44

# 電話型



# 業務用端末型

45

# Ubiquitous Communicator: PDA型



46

# 発生するさまざまな 問題

IPR問題/電子的不当表示の禁止問題/個人情報の  
保護/責任分界点/緊急時の情報収集/  
関係法令整備...

47

# 制度設計が重要

ユビキタスコンピューティング自体が  
プロダクト(製品)イノベーション  
プロセス(方式・運用)イノベーション  
ソーシャル(制度・構造)イノベーション  
などの集まりで実現されるものだから

48

# そのための 多様な**実証実験**

運用上の問題点の洗い出し  
多くの人に知ってもらい議論に加わってもらう

49

## T-Engineフォーラム

### ■ T-Engineフォーラム／ユビキタスIDセンター

発足当初(2002年6月)

22組織



現在(2006年)

約**500**組織

### ■ 世界最大の「組込み」、「リアルタイム」、 「ユビキタス」の企業フォーラムに

50

## 国際展開

韓国・中国・シンガポール・タイ・ベトナム・台湾・オーストラリア



51

## URLs

■ もっと詳しい情報は下記をアクセス



<http://www.ubin.jp>

<http://www.t-engine.org>

<http://uidcenter.org>

52

# 次世代リアルタイム システム技術展

最先端の組込みシステム技術



未来が見えるTRONSHOW

[www.tronshow.org](http://www.tronshow.org)

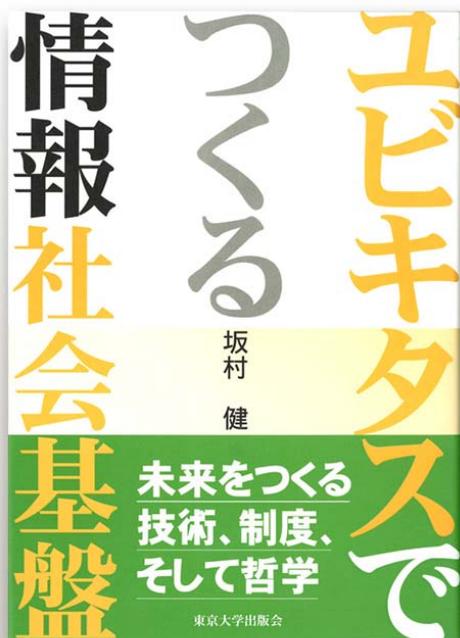
## ユビキタスコンピューティング 国際シンポジウム

応用拡大ユビキタス



2006年12月5日(火)~7日(木) 東京国際フォーラム

●主催：T-Engine フォーラム / 社団法人トロン協会 ●入場料：1,000 円(税込) ※公式ホームページからの事前登録により無料



東京大学出版会  
定価：本体2800円