

# トロンプロジェクトにおける ヒューマンマシンインタフェース (HMI) 研究

□ 東京大学 越塚 登

## はじめに

近年、家庭内やオフィス内のインテリジェント化された電子機器をネットワーク接続し、単体では実現し得なかったサービスを提供することに関心が高まっている。トロンプロジェクトでは当初よりこうした環境を超機能分散システム (HFDS: Highly Functionally Distributed System) と呼び、必要な要素技術の開発を主たるテーマとして取り組んできた<sup>1)~3)</sup>。こうした環境の実現には、個々のインテリジェントな電子機器の構築技術や、機器間を接続するネットワーク技術と並んで、ヒューマンマシンインタフェース (以下、HMIと呼ぶ) 技術が重要である<sup>4), 5)</sup>。いくらシステムが高い機能を提供できたとしても、人間がそれを使えなければそれらの機能は意味をなさないからである。

トロンプロジェクトでは、HMIに対して2通りのアプローチで研究を進めてきた。1つは、斬新なHMIを作り出すことである。もう1つは、トロンHMI専門委員会を中心としたHMIの標準化作業である。これは、既存のインタラクションを分類整理し、実世界の機器への適用方法に一貫した規則を与えることである。本稿では、まずトロンプロジェクトにおけるHMIの標準化について述べ、次にトロンプロジェクトが作り出した代表的なHMI技術を述べる。

## トロンHMIデザインガイドライン

HFDSを構成する機器の中で、一般ユーザが直接接する機器は、いわゆるコンピュータらしいコンピュータであるワークステーションやパーソナルコンピュータと呼ばれるものと、コンピュータが組み込まれた電子機器に分類できる。トロンプロジェクトの中で前者に対応するコンピュータ体系がBTRON (Business TRON) であり、そのHMIを規定しているのはBTRON HMI仕様である。後者の組み込み機器に対応するものがITRON (Industrial TRON) であり、そのHMIを規定しているのはトロンヒューマンインタフェース仕様である。また、両者に共通して、身体障害を持ったユーザを支援するた

めのHMI仕様、イネーブルウェア仕様、がある (表-1)。

## トロンヒューマンインタフェース仕様

トロンヒューマンインタフェース仕様<sup>6)</sup>は、主にコンピュータ組み込み電子機器を対象としたHMIのデザインガイドラインである。本仕様には、物理的なパーツ類を組み合わせたSUI (Solid User Interface) と、小型液晶モニタ程度の表示画面を持つGUI (Graphical User Interface) の仕様が含まれており、このSUIとGUIとの間には操作互換が保たれている。本仕様誕生の経緯は、文献7) をご参照いただきたい。次に、トロンヒューマンインタフェース仕様の特徴を述べる。

**一貫性:** 本仕様では、身のまわりのあらゆる機器がインテリジェント化した、HFDS環境におけるHMIの問題に焦点を絞っている。身の周りに電子機器があふれる状況では、操作の一貫性が特に重要である。個々の機器の応用に最適なHMIが、他の機器とのHMIと矛盾する場合は、他の機器との一貫性を重要視した。

**ゆるやかな標準化:** 我々は、この一貫性の実現に対して、「ゆるやかな標準化」をコンセプトとした。HMIにおける「ゆるやかな標準化」とは、「操作の標準化は行わがスタイルの標準化は行わない」ことである。つまり、ボリュームのノブを上にはスライドさせれば設定値は大きくなり、下なら小さくなるといった操作方向と意味の対応は仕様として規定した。一方、ノブのデザインや色といった、いわゆるルック&フィールは、たとえば「文字と背景の色彩のコントラストは強いことが望ましい」といった、一般的な指針を示すにとどめた。これによって、設計者が創意工夫できる余地を残しつつ、ユーザの利便

	WS, PC	組み込み機器	
HMI仕様	BTRON HMI仕様	トロンヒューマンインタフェース仕様	トロンHMI専門委員会
	イネーブルウェア仕様		トロンEW研究会
実装仕様	BTRON	ITRON TRON-GUI	
	BTRON 専門委員会	ITRON 専門委員会	

表-1 HMI関連の仕様体系

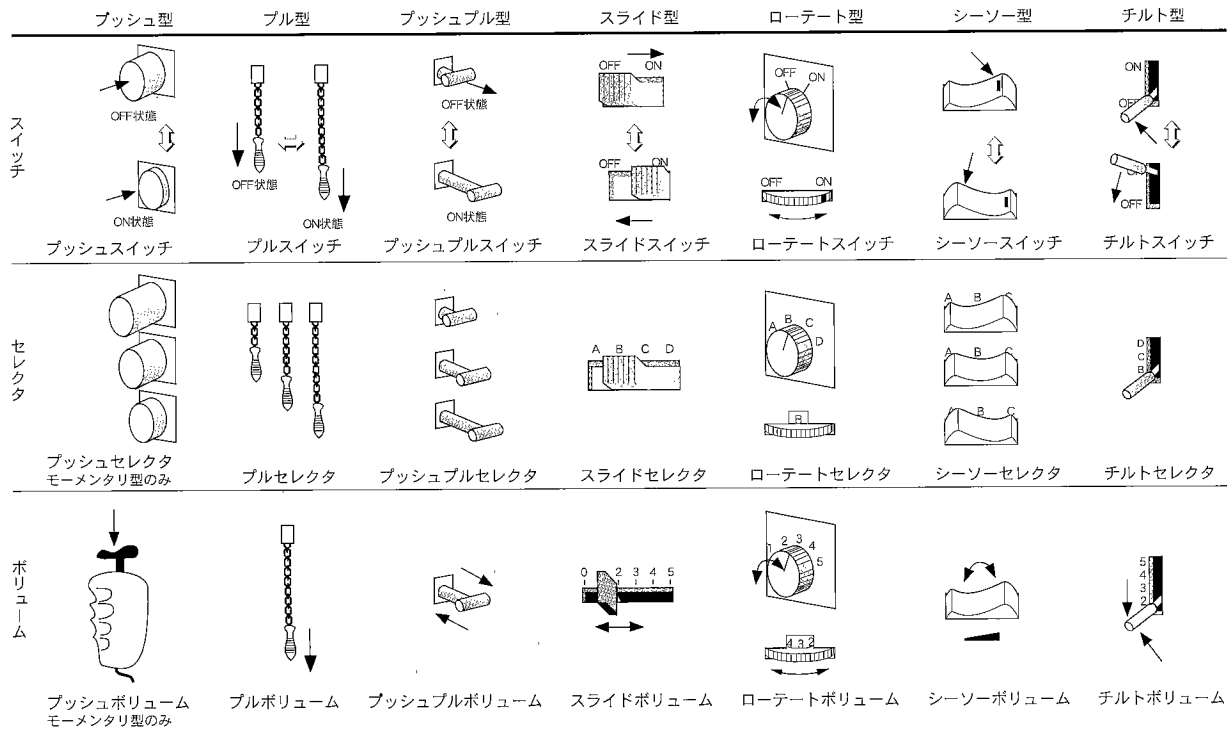


図-1 代表的な基本入力パーツ例

操作	積極方向	消極方向
押す	先方	手前
引く	手前	先方
スライド	上・右・手前	下・左・手前
回転	下→上, 左→右, 時計方向	上→下, 右→左, 反時計方向
シーソー	上・右・手前	下・左・手前
押倒	上・右・手前	下・左・手前

表-2 積極方向と消極方向

	積極概念	消極概念
状態	明・温・騒・加 (+) 加速・増大	暗・寒・静・減 (-) 減速・減少
動作	スイッチオン・電気回路開・始動・開始・締・点火・充滿・押す	スイッチオフ・電気回路閉・停止・中止・暖・消火・排出・引く

表-3 トロンヒューマンインタフェース仕様による積極概念と消極概念の例

性につながる一貫性を確保した。

**アクセスの平等性:**次に重要なことが、機器へのアクセスの平等性、つまり「誰もが」機器にアクセスできることである。あらゆる生活環境との間のインタフェースに電子機器が介在するという事は、いわばその機器を使うことができなければ生活できないということである。どのような身体条件や文化を持つ人々でも、電子機器を通して生活環境に対して、できる限り平等にアクセスできることが重要である。この考え方に従って、イネーブルウェア仕様やBTRONの多国語機能が生まれた。

■基本構成

本仕様の内容は、パーツの色や形状から、パネルのレイアウト、操作手順など、物理的でプリミティブなことから抽象度の高い内容まで多岐に渡る。これらの内容を、整理された仕様で提供するために、我々はHMIの参照モデルを設定した。そこでは、HMIを、①基本操作階

層 (Lexical Layer)、②操作手順階層 (Syntax Layer)、③機能呼出階層 (Semantics Layer) の3階層として表現した。

**基本操作階層:**基本操作階層では、HMIを構成する最小要素である入出力パーツを扱う。具体的には、系統的に分類された入出力パーツ体系 (図-1) の提供、後述する操作方向と設定内容の関連、色、表示、音フィードバックなどのパーツの物理特性の指針がある。

**操作手順階層:**操作手順階層は、基本操作階層で規定されたパーツの組合せを扱う層で、大きく2つの項目から成り立つ。第1は、物理的な組合せとして、パーツのレイアウト方式の仕様、指針である。たとえば、レイアウトの指針には、確認、中止などの標準スイッチの配置場所の指針、パーツ位置とそのパーツが制御する対象物との相対的位置関係の指針などが含まれる。第2は、論理的な組合せとして、パーツ群の操作手順に関する仕様、指針である。この中には、たとえば、タイマー予約手順のように、1つの操作パネル内の操作手順を標準化

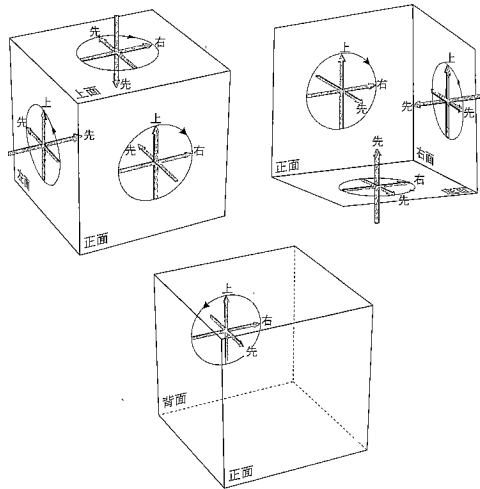


図-2 据置型機器座標モデル

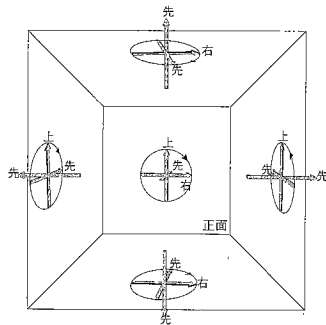


図-3 埋込型機器座標モデル

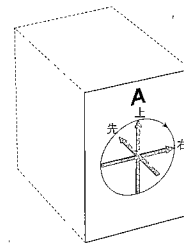


図-4 携帯型機器座標モデル

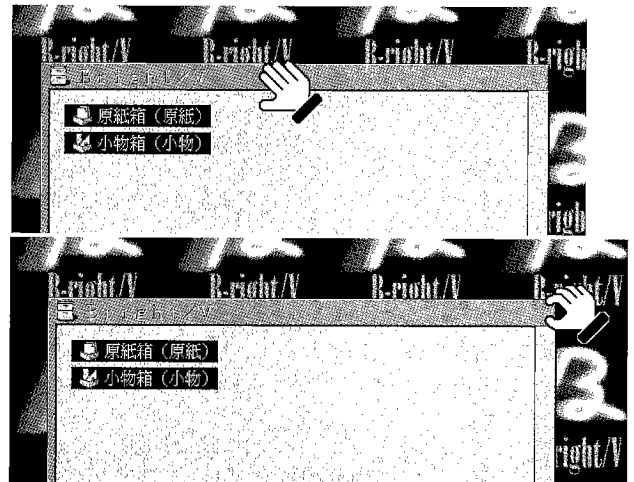


図-5 操作内容を示すポインタ (手) 形状  
(上: ドラッグ移動可能, 下: 変形可能)

した指針と、パネル間の遷移の方法を定めた指針が含まれる。

**機能呼出階層：**機能呼出階層は、アプリケーションの機能に依存した部分を扱う。たとえば、緊急時に必要なスイッチや危険に関するスイッチは、物理的スイッチにすることなどが決められている。これは、非常時に停電という事態になった場合でも、操作できなければならないためである。

#### ■仕様の具体例—パーツの操作方向と設定内容

ユーザの操作方向とその操作による設定内容の関係の標準化は、本仕様の基本的な点である。基本操作階層におけるユーザの操作方向とそれによる設定内容の関係は、次のように定められている。まず、操作方向を直線操作と回転操作に大別し、直線操作の方向は、上/下・左/右・奥/手前とx・y・z軸それぞれの方向に対して各2種類ずつ計6種類を定義する。回転操作の方向として時計方向・反時計方向の2種類を定義する。そして操作の種類ごとに、これらの方向を積極方向/消極方向とに分類する(表-2)。一方、設定される意味も積極概念と消極概念に分類し、オン・増・高といった内容は積極概念、オフ・減・低といった内容は消極概念と定義する(表-3)。パーツを積極方向に動作させると積極概念

の値、消極方向に動作させると消極概念の値が設定される。なお、この積極概念と消極概念は、他の標準の互換性を保つために、JIS Z 8907-1987<sup>3)</sup>をほぼそのまま採用した。

これが基本であるが、実はこれだけではうまくいかない。操作方向にしても、ユーザが機器に接する方向に応じて、同一の方向が積極方向であったり消極方向であったりする。たとえば左側面のパネル上の水平方向にスライドするスイッチなどは、なかなか難しい。つまり、「向こう側」へスライドさせると、正面を向いたユーザから見れば「奥」方向、つまり積極方向へスライドさせたことになる。ところが、その左側面のパネルの正面を向いて操作すると、「左」方向、つまり消極方向へスライドさせたことになる。

そこでトロンヒューマンインタフェース仕様では、操作方向をより厳密に定義するために、基本座標系を3種類定義した。機器に正面が定義できユーザが機器を取り囲む位置に存在する据置型機器座標モデル(図-2)、機器に正面が定義でき機器がユーザを取り囲む位置に存在する埋込型機器座標モデル(図-3)、正面が定義できない携帯型機器座標モデル(図-4)である。一方で、左側面のスライドスイッチであれば、水平方向にスライドさ

<b>肢体障害を支援する機能</b> デバイスの各種パラメータ調整機能（入力デバイスの有効時間／無効時間，キーリピート開始時間／間隔，ダブルクリック間隔／距離），一時シフト／シフトロック，PDシミュレーション，GUIオブジェクトサイズの可変化，キーボードパネル，スキャンキーボード，等
<b>聴覚障害を支援する機能</b> 警告音・クリック確認音の周波数／音量調節機能，等
<b>視覚障害を支援する機能</b> GUIオブジェクトサイズの可変化，音声読み上げ機能，点字キーボード，点滅周波数調節機能，等

表-4 BTRONイネーブルウェアの機能概要

せる時には曖昧性が生じるが，垂直方向にスライドさせる時は曖昧性が生じない。このように，どの座標モデルで解釈しても積極方向と消極方向の曖昧性が生じない方向に設計することも推奨している。

### BTRON HMI仕様

BTRON HMI仕様<sup>9), 10)</sup>は，BTRONのGUIのデザインガイドラインである。トロンヒューマンインタフェース仕様と比べて，BTRON HMIを最も特徴づける点は，情報やデータを扱う機能を持ち，その基本構造として実身／仮身と呼ぶハイパーテキストを採用している点である。実身／仮身は，情報構造だけでなく，それを扱うHMI部分の仕様も含んでいる。詳細は，本特集のBTRONサブプロジェクトの解説を参照していただきたい。さらに近年，このBTRON HMI仕様に，マルチユーザインタフェースやスクリプト等の高度な対話技法を導入する研究も行った<sup>11), 12)</sup>。

また，BTRON HMI仕様は，他のGUIシステム<sup>13) ~ 15)</sup>と多くの共通点を持つものの，デザイン面から特に際立っているのは，画面デザインが簡素なことである。それは，BTRONが開発当初より，ローエンドのコンピュータにも適用可能な仕様を目指し，画面が高解像度やフルカラーでない場合でも有効に適用可能なデザインを迫ったからである。この性質は，後述するTRON-GUIのベースとしてもBTRONのGUIが適していることを示している。

たとえば，他のGUIシステムでは，画面上に表示されているグラフィックオブジェクトに対してポインタから加えることが可能な操作は，ボタンなどのオブジェクトによって表現される。そのため近年のGUIシステムのウィンドウには，所狭しとボタンが配列されることになった。BTRONでは，操作が可能なウィンドウの場所は決まっているが，その場所を正確に示すマークは置かず，その場所に移動したポインタの形状を変化させる。たとえば，ウィンドウの変形ができる場所では，ポインタ形状がものをつかむ手に変化する。タイトルバーでは，これから握ろうとしている手に変化する（図-5）。こうしたセマンティックフィードバックの採用によって，画

面デザインをシンプルに保ったまま機能を増やすことに成功している。

### イネーブルウェア

イネーブルウェア（Enableware）は，トロンプロジェクトにおいて身体障害を支援するHMIの体系である<sup>16)</sup>。この名称は何らかの条件によって不可能にされている（Disable）状態を，コンピュータの力によって可能にする（Enable）にするためのソフトウェア／ハードウェアという考え方に由来する。

イネーブルウェアの考え方の特徴は，イネーブルウェアを身体障害者だけが利用する機能ではなく，あらゆるユーザが利用し得る機能と位置づけて，コンピュータや電子機器に標準で組み込んでおくべきであると主張していることである。たとえば，目が見えないユーザのための機能は，健常者が暗やみで操作する場合にも有効である。同様に，肢体に痙性を伴うユーザのための機能とは，健常者が振動の激しい場所で操作する場合にも有効である。身体条件や利用環境条件が機器とミスマッチを起こした時に，その間を補完する技術がイネーブルウェアなのである<sup>18)</sup>。不可能（Disable）になる原因は必ずしも身体条件だけではない。特に近年，ウェアラブルやユビキタスへとコンピュータが流れている現在，必ずしも机上という平静な環境で機器を使うことばかりではなくなっている。イネーブルウェアの機能は身体障害者だけでなく，より広範なユーザにも有用な機能になるはずである。

こういったイネーブルウェア機能には特殊なハードウェア（音声合成装置など）を必要とするものもある。OSのソフトウェアのみで対応できる機能については，PC向けのBTRON仕様OSにおいて標準実装する方針となっている<sup>17)</sup>。具体的には，肢体障害を支援するための入力デバイスの各種パラメータ調整機能や一時シフト／シフトロック機能，聴覚障害を支援するための出力音声の調整機能，視覚障害を支援するための画面の拡大機能や音声読み上げ機能が提供された（表-4）。一方，通常の電子機器向けのイネーブルウェア機能としては，たとえば視覚障害者がスイッチの状態を識別できるよう

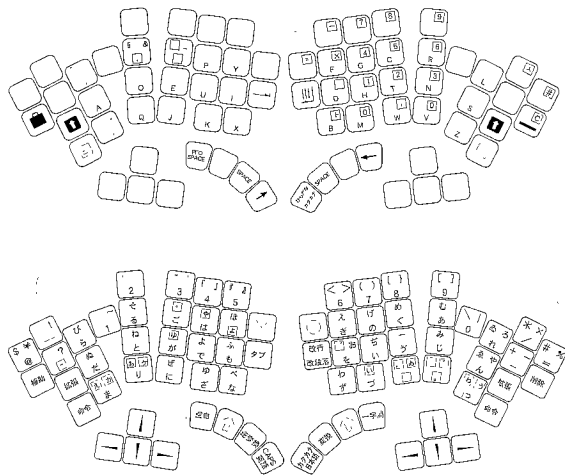


図6 トロンキーボードのキー配列

に、スイッチのオンの方向にポッチをつけることなどを規定している。

## 新しいヒューマンインタフェースの実験

### トロンキーボード

トロンキーボード(図-6)は、トロンプロジェクトで開発されたエルゴノミクスキーボードである<sup>19)</sup>。トロンキーボードには以下の特徴がある。まず、日本人の手を計測し、それに基づいて各種の大きさを設計した。手の大きさは人により多様なので、洋服等と同様にキーボードもS、M、Lのようにサイズを設けることも提案した。英語文字のキー配列にはDVORAK方式を採用し、日本語文字のキー配列は新しくトロン配列を作成した。左右対称な形状にしており、イネーブルウェアの観点等からも需要があると思われる、片手キーボードにソフトウェアで対応できる余地を残している。押す頻度の高いメタキーなどは、一番強い親指に配列することで指の負担を軽減した。両手の間には電子ペンのためのデジタイザを用意した。

### ブングウェア/電子文房具

トロンプロジェクトでは、ブングウェア、または電子文房具、と呼ばれるHMIを提案し、開発した。既存のいわゆるWIMP(Windows-Icons-Mice-Pointing)型のHMIでは、マウスを万能操作器とするために、画面上的操作によってマウスの機能を「モード」として切り替えている。たとえば、図形エディタで直線を描画する時は、マウスで直線アイコンをクリックし、「直線描画モード」で描画する。描画されたオブジェクトを消去する時は、消しゴムアイコンをクリックして、「消しゴムモード」で消去する。この方法は、コンピュータ上での

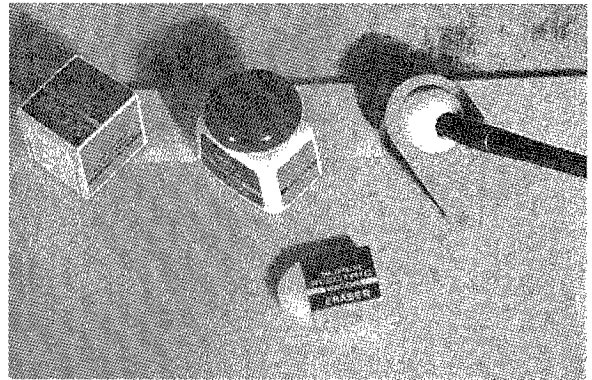


図-7 ブングウェア

モードの概念を体得していないような初心者ユーザにとって分かりやすいという利点、またパレットパネルを画面に出さなくてよいため、画面を有効に使えるといった特徴がある。

ブングウェアや電子文房具はこの対極にある。モノ指向インタフェースで、コンピュータ上の操作モードの切替えを、入力デバイスという「モノ」の切替えによって行おうとするものである。描画する時は「電子ペン」を使い、消去する時は「電子消しゴム」を使う。さらに、トロンの電子文房具では、描画色を変えるための「電子インク壺」も用意した(図-7)。これらは形状こそさまざまであるが、すべてスイッチを持ったポインティングデバイスで実装されている。このデバイスの違いをユーザは物理形状から判断し、コンピュータはデバイスから読み取れる識別子から判断する。

## ヒューマンインタフェース研究の今後

トロンプロジェクトにおけるHMI研究として、現在以下の2つのことに取り組んでいる。

### TRON-GUI

従来は、いわゆるパーソナルコンピュータのようなGUIを実現するOSとしてBTRON、家電製品のようなSUIを持った機器を実現するOSとしてITRONが存在した。現在、これを発展させ、GUIを持つ電子機器を実現するためのOSとして、TRON-GUIの開発に取り組んでいる。TRON-GUIは現在発展している情報家電機器や車載機器等を主たるターゲットとして、GUIを持つ組込みシステム用のリアルタイムOSとなる。設計の基本方針は以下の通りである。

- 1) 他のTRON OSのAPI(Application Programming Interface)仕様との整合性を考慮する
- 2) 組込み機器応用に必要な対話技法を採用する
- 3) 仕様にはレベルを設け、機能の豊富さと実装のコン

パクトさのトレードオフに対応する

- 4) イネーブルウェア・多国語機能など、TRONのHMIの特長を継承する

現在(社)トロン協会内に、TRON-GUI WGを設置し、TRON-GUIの具体的な仕様の検討を開始した。従来から組込み機器のGUIは各製品ごとに独自に開発されてきたが、このWGがゆるやかに標準化されたGUIのプラットフォームを構築することで、こうしたGUIの開発効率の向上、機器間のHMIの一貫性を構築できるようになることを期待している。

### HMI開発環境の開発

残念ながら、家電製品やパーソナルコンピュータの商業的成功や失敗の事例をみると、HMIの善し悪しがあり関与していないように見える。こういう状況では製品の設計側は、HMIを軽視はしなくともコストをかけないで開発せざるを得ない。分厚いHMIの仕様をすべて熟読した上で機器設計を行うことは大変難しいことも指摘されている<sup>20)</sup>、<sup>21)</sup>。こういった点を解決するには、仕様に則ったHMIが低コストで実装できることが必要である。そのために、現在トロンHMI専門委員会では、HMIの設計開発のための支援環境を開発している。これはHMIに対するCADのようなものであり、この中にはHMIシミュレータまで含まれている。この支援環境には、トロンHMIデザインガイドラインによる設計規則が反映されており、このツールで設計する限り、必ずこの規則に則ったGUIプログラムが生成される。このような設計ツールとそのシミュレータの利用により、開発したGUIプログラムがトロンHMIデザインガイドラインに準拠していることを低コストで保証できるだけでなく、HMI部分と機器本体の開発を並行して行い、全体の開発期間を短縮することができる。

### おわりに

今後のトロンプロジェクトでは、電子技術の新たな応用分野を想定した斬新なHMIの可能性という視点と、それを一般社会に普及させる際の課題の解決といった視点の、両方のバランスを常に考慮しながらHMI研究を進めていこうと考えている。

**謝辞** トロンヒューマンインタフェース仕様の策定には、以下の多くの方々への献身的な策定作業によって成し遂げることができました。トロン電子機器HMI研究会・トロンHMI専門委員会(委員長:坂村健教授)委員であった、パーソナルメディア(株)の武藤敏央様、加藤芳夫様、ヤマハ(株)の曾根卓朗様、角田重雄様、村上道広様、三菱電機(株)の池田宏司様、(株)ランドコンピュータの田形彰様、(株)日立製作所の田沢健一様、山田哲也様、(株)東芝の田村宏様、山口正博様、

沖電気工業(株)の丹下栄二様、坪井憲緒様、樋口聡様、シャープ(株)の中家崇巖様、松下電工(株)の安田晃様、藤井寿隆様、松下電器産業(株)の増田克彦様、またトロン電脳自動車研究委員会・HMI分科会(委員長:坂村健教授)委員であった、(株)本田技研の飯星明様、マツダ(株)の岡田厚信様、坂井信也様、武居啓一郎様、土井重紀様、西森高義様、三谷稔様、渡辺剛三様、日産自動車(株)の谷口正明様、山口泰幸様、トヨタ自動車(株)の西川保幸様、メルセデス・ベンツ日本(株)のフリーマン・ブリュール様、など、その他多くの方々への深い情熱とご尽力に感謝いたします。

### 参考文献

- 1) Sakamura, K.: The Computerized Society, TRON Project 1989, Springer-Verlag, pp.3-14 (1989).
- 2) Sakamura, K.: TRON Application Projects: Gearing Up for HFDS, Proc. 8th TRON Project Symposium, IEEE CS Press, pp.2-14 (1991).
- 3) Sakamura, K.: Toward a World Filled with Computers (Guest Editor's Introduction), MICRO, IEEE, Vol.13, No.5, pp.6-11 (1993).
- 4) Sakamura, K.: Human Interface with Computers in Everyday Life, In Proc. 9th TRON Project Symposium, IEEE CS Press, pp.2-12 (1992).
- 5) Koshizuka, N. et al.: Human-Machine Interface Specifications in the "Computer Everywhere" Age, In Proc. 12th TRON Project International Symposium, IEEE CS Press, pp.87-96 (1995).
- 6) 坂村 健監修: トロン電脳生活ヒューマンインタフェース標準ハンドブック, パーソナルメディア (1993).
- 7) 越塚 登他: トロン電脳生活ヒューマンインタフェース仕様, 情報処理, Vol.35, No.10, pp.934-939 (Oct. 1994).
- 8) JIS Z8907-1987「方向性及び運動法則通則」, 日本規格協会 (1987).
- 9) 坂村 健監修: BTRON仕様ソフトウェア仕様書, トロン協会 (1989).
- 10) 坂村 健監修: BTRON1プログラミング標準ハンドブック, パーソナルメディア (1992).
- 11) 越塚 登, 坂村 健: 共有対話オブジェクト方式によるマルチユーザインタフェースシステムの設計の実装, 情報処理学会論文誌, Vol.35, No.10, pp.1779-1794 (Oct. 1994).
- 12) Koshizuka, N. and Sakamura, K.: Implementation of Label Metaphor Using Shared Interaction Object Architecture, in Proc. 11th TRON Project International Symposium, IEEE CS Press, pp.52-62 (1994).
- 13) Apple Computer Inc.: Macintosh Human Interface Guidelines, Addison-Wesley (1992).
- 14) Open Software Foundation: OSF/Motif Style Guide, Prentice-Hall (1990).
- 15) SUN Microsystems: OPEN LOOK Graphical User Interface Functional Specification, Release 1.0, Addison-Wesley (1989).
- 16) Koshizuka, N. et al.: Design and Implementation of the EnableWare Specification - A Human-Machine Interface for Physically Challenged People, Proc. 9th TRON Project Symposium, IEEE CS Press, pp.23-39 (1992).
- 17) 坂村 健編: BTRON MMI外部仕様書基本操作編-イネーブルウェア関連部分抜粋, トロン協会 (1988).
- 18) 坂村 健: イネーブルウェア: BTRON環境における障害者対応機能, コンピュータと人間の共生-コンピュータによる障害者支援の展望-, コロナ社, pp.18-28 (1994).
- 19) Tachibana, S. and Sakamura, K.: An Implementation of the TRON Keyboard, TRON Project 1987, Springer-Verlag, pp.139-150 (1987).
- 20) Thovstrup, H. and Nielsen, J.: Assessing the Usability of a User Interface Standard, Proc. ACM CHI '91, pp.335-341 (1991).
- 21) Tetzlaff, L. and Schwartz, D. R.: The Use of Guidelines in Interface Design, Proc. ACM CHI '91, pp.329-333 (1991).

(平成11年2月9日受付)