

ユビキタスインタフェースにおけるリアルタイム性と対話距離

(株) 東芝 研究開発センター

土井 美和子 miwako.doi@toshiba.co.jp

◆ネットワークを意識したヒューマンインタフェース

本特集で紹介されている研究は「人間支援」のための「分散リアルタイムネットワーク基盤技術」⁴⁾に関する技術である。「人間支援」にかかわる大きな分野にヒューマンインタフェースがある。ヒューマンインタフェース (Human Interface) という言葉は、1980 年はじめごろから使われたのだが、人間と機械、あるいは人間とコンピュータとの界面 (Interface) を意味する。

最近、情報家電、ブロードバンドなど、いろいろなところで、ヒューマンインタフェースの重要性が謳われているのを耳にする。ヒューマンインタフェースは縁の下の力持ちであり、設計がうまくいっているときには、ユーザからは不満がでない。うまく使えているときには、ヒューマンインタフェースは空気のような存在であり、存在自身が意識されない。うまく使えないとき、ユーザが眼にし、触るのはヒューマンインタフェースである。前面に立って、お叱りをうけることになる。情報家電やブロードバンドなどで、ヒューマンインタフェースの重要性が叫ばれるようになった背景には、とにかく使いにくくて困るという切実な現状があるからに他なら

ない。

このように最近、お叱りをうけ、注目を浴びているヒューマンインタフェースの変遷を振り返ってみると、表-1 のようにまとめられる。

1960 年代のバッチ型 (Batch Job)、1970 年代のコマンドベースの CUI (Character User Interface) ^{☆1}、GUI (Graphical User Interface)、そしてユビキタスインタフェース (Ubiquitous Interface) へと変遷を遂げてきている。情報家電やブロードバンドなど遍く存在するコンピュータをユビキタスコンピュータ (Ubiquitous Computing) と命名したのは、故 Mark Weiser (<http://www.ubiq.com/weiser/>) である。Alan Kay はこれを「コンピュータの第 3 のパラダイム」と呼んでいる。このユビキタスコンピュータとのインタフェースがユビキタスインタフェースである。この変遷の中では、GUI となり、画面に表示されているメニューやアイコンの選択だけで済み、ユーザがコマンドを覚える負荷から解放されたこと、インタフェースデザインが GUI 設計と同義語的に扱われるようになったことが重要視されてきた。しかし、どんなに優れた画面設計をしても、システム、あるいは

☆1 GUI 以前のユーザがコマンドを入力する方式のインタフェースを総称するのに使われる。

年代	名称	場所	ユーザ	プラットフォーム	ネットワークとの関係	リアルタイム性	設計対話距離
1960	Batch Job	工場、現場	専門家	プロセスコントローラ	スタンドアロン	制御 (ハードリアルタイム)	NA
1970	CUI (Character User Interface)	工場、現場	専門家	プロセスコントローラ 大型計算機	スタンドアロン	制御 (ハードリアルタイム)	NA
1980	GUI (Graphical User Interface)	オフィス	オフィス ワーカー	PC	LAN, ナローバンド	ナビゲーション, ヘルプ (ソフトリアルタイム)	固定 (ディスプレイ前)
2000	Ubiquitous Interface	街角、家庭	生活者	PC, 携帯電話, 情報家電	無線 LAN, 移動網, ブロードバンド	制御 (ハードリアルタイム), ナビゲーション, ヘルプ, コミュニケーション (ソフト リアルタイム)	不定

表-1 ヒューマンインタフェースの変遷

アプリケーションサービスが要求する応答時間を満たさなければ、ヒューマンインタフェース設計としては、失敗である。遠隔制御や遠隔手術では、時間制約を守れなければ、人命にかかわるので、絶対に時間制約を守る必要がある。さらに、どのような状況にいるユーザを想定した対話であるかも、ヒューマンインタフェース設計において重要である。ヒューマンインタフェースでは、画面設計という狭義のヒューマンインタフェース設計以外に、対話のリアルタイム性と対話距離も重要な要素である。

バッチ型やCUIでは、現場のシステムや機器の制御や操作が中心であり、対話というよりは、リアルタイムでの制御指示であった。現場でのリアルタイム制御では、応答が遅れると、システムに大損害が及ぶので、応答遅れは許されない。このように時間制約を少しでも破ると価値がなくなるどころか、大損害となるのがハードリアルタイムである。

これに対し、GUIの対象は、文書作成やメールが中心である。GUIでの作業の中心はオフィスであり、工場や現場と違ってリアルタイム性への要求は弱い。ただし、対話が成立するには最低限の応答性（100ミリ秒）を満たす必要がある。しかし100ミリ秒の壁を超えても、一気に対話が成り立たなくなるわけではない。このように時間制約が守れないとき、価値が少しずつ減少するのがソフトリアルタイムである。バッチ型やCUIでは主としてハードリアルタイム性が要求されたのに対し、GUIでは、ソフトリアルタイム性でよかった。

ユビキタスインタフェースでは、携帯電話の画面のような従来のGUIでのインタフェースも存在している。しかし、期待されているのは、ブロードバンドでの遠隔医療、遠隔制御、ストリーミング配信などであり、再度、ハードリアルタイム性が要求されるようになった。また、電子商取引や電子的手続きの普及に伴い、ネットワークを介した標準時配信（<http://www.jst.mfeed.ad.jp/>）や時刻認証など、「タイムビジネス」も生まれつつある。

さらに、ユビキタスインタフェースでは、ユーザ（生活者）がいる場所は、家庭であったり、街角であったりする。使うプラットフォームも、PCだけでなく、PDAや携帯電話、情報家電など、さまざまな形態がある。GUIでは、ユーザはPCのディスプレイの前に座っている状態を想定して、設計を行ってれば、問題なかった。これに対し、ユビキタスインタフェースでは、ユーザの状況は種々である。このため、作業中、歩行中、走行中、

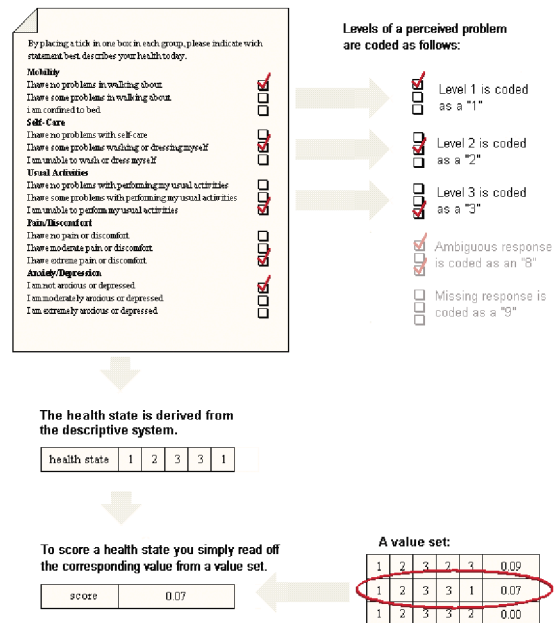


図-1 QOLの算出方法の一例（EuroQOLのアンケート例）

運転中、買い物中、掃除中といった種々の状況を考慮した設計を行わねばならない。つまり、GUIでは、対話距離が固定であったのに、ユビキタスインタフェースでは、対話距離が不定となってきた。

つまり、ユビキタスインタフェースでは、GUIとは違って、ハードリアルタイム性とソフトリアルタイム性、さらに距離不定な対話の実現が要求されている。

本稿では、まず、人間支援に向けた課題を明らかにする。次に、この課題に沿って、上述のリアルタイム性と対話距離について検討する。

◆人間支援に向けた課題

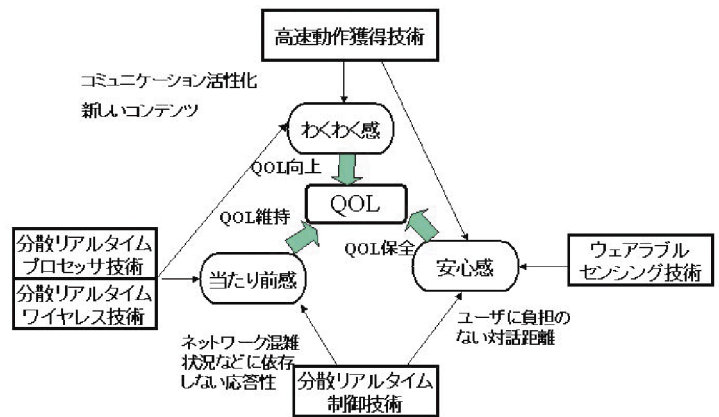
「人間支援のための分散リアルタイムネットワーク基盤技術」の目標は、従来情報伝達が中心であった分散リアルタイムネットワークを、QOL（Quality of Life）の向上に結びつけることである。健康日本21フォーラム（http://www.kenkounippon21.gr.jp/kenkounippon21/souron/sankou/p_1.html）によるとQOLをはかる指標が国際的にいくつか存在している。代表的なものに、EuroQOL（<http://www.euroqol.org/>）やSF-36がある。SF-36は、保険医療の結果を評価するもので、物

理的機能 (Physical functioning), 社会的機能 (Social function), 身体の痛み (Bodily pain) などの 8 軸について 36 項目の設問に解答すると, 指標が算出される. EuroQOL では, 移動性 (Mobility), 痛み (Pain/Discomfort) などの 5 項目について, 外観観察 (visual analogue scale) により評価するものである. たとえば, 移動性については, 図-1 にあるように歩行に問題あるかないか, 寝たきりかのどれに該当するかを回答する. その該当項目によってレベルが決まっています, 最終的に指標が算出できる.

上述のように, これらの指標の算出はアンケート調査や外観観察に依存しており, 主観的であり, 人手がかかる. これが, ウェアラブルの生体情報センシングシステム¹⁰⁾ を, 腕時計代わりにはめると, EuroQOL や SF-36 に該当する数値をセンシングすることが可能になる. ウェアラブル生体情報センシングシステムを使えば, 人手をかけずに, 加速度データにより身体的な指標である移動性や痛みなどの指標を収集できる. 客観的かつ定量的に計測し, 大量に収集したデータをデータマイニングすることで, QOL 指標のうち外観観察できる指標が算出できることが, 実証されつつある.

QOL 指標のうち外観観察できない社会的機能などの項目に対しては, どのように評価すればよいのだろうか. これらは, 知的, 社会的な特性であり, すでに指摘した社会とのかかわり方でのリアルタイム性や対話距離と深くかかわる. 適切なリアルタイム性や対話距離を実現できれば, 外観観察ができない社会的機能などの指標の向上が可能になる.

総務省ネットワーク・ヒューマンインタフェース研究会¹⁾ では, ネットワークとヒューマンインタフェースを「当たり前感」「安心感」「わくわく感」という 3 つの基本要素に分解している. 「当たり前感」は, ここでは, スムーズな対話を保障するリアルタイム性が該当する. 「当たり前感」は QOL にとっては, 必須であるので, これにより QOL は向上しない. しかし「当たり前感」が得られなければ, ユーザは QOL が低下したと感じる. 安心して対話を行える対話距離が「安心感」を提供する. 「安心感」は安心でないという「負の QOL」を「ゼロの QOL」に変える. 最後の「わくわく感」はユーザにとっての魅力であり, 「ゼロの QOL」を「正の QOL」に変え, ユーザの得る QOL を大きく向上させる鍵である. QOL と分散リアルタイムネットワーク技術との関係をまとめると図-2 によるになる. 以降, その詳細を述べる.



TOSHIBA All Rights Reserved

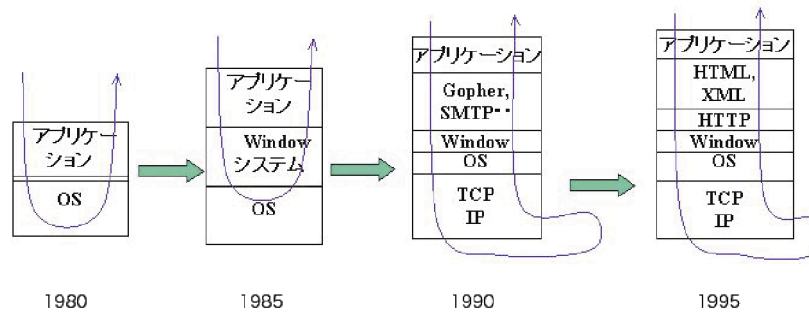
図-2 分散リアルタイムネットワーク技術と QOL との関係

◆リアルタイム性が提供する当たり前感

人間が生体として処理している信号としては心電, 眼振, 脳波, 誘発電位, 筋電がある. これらは複数の異なる周波数から構成されている. 心電は 0.5 ~ 200Hz, 眼振は 0.5 ~ 30Hz, 脳波は 0.5 ~ 60Hz, 誘発電位は 1 ~ 1kHz, 筋電は DC ~ 2kHz である. つまり, 人間の体内では, 最長で 2 秒, 最短で 0.5 ミリ秒の応答時間が存在している.

一方, 対話におけるリアルタイム性を論じるときには, Card ら²⁾ の知覚プロセッサの処理時間 100 (50 ~ 200) ミリ秒が基準データとして参照される. 生理的には, 上肢に加えられた刺激は 18.39 ± 0.91 ミリ秒で大脳知覚野に, 下肢に加えられた刺激は 38 ± 3.2 ミリ秒で大脳知覚野に到達する. つまり, 上肢-大脳知覚野間は往復で 36.8 ミリ秒, 下肢-大脳知覚野間は往復で 76 ミリ秒となっている. したがって, 応答時間として 100 ミリ秒を基準とすることは妥当である.

応答時間 100 ミリ秒を実現するとき, ヒューマンインタフェース設計者が考慮すべき階層は, この 20 年で図-3 のように大きく変化してきている. 図-3 の下に記入した年代はおおよそのものである. ヒューマンインタフェースという言葉の初出は 1980 年ごろ³⁾ といわれているが, 当時, ワープロやその他オフィスコンピュータを対象に, アプリケーションとしての設計が中心であった. 応答時間 100 ミリ秒の設計で考慮すべきは, アプリケーションと OS であった. それが, Window システ



特定の OS に係らない概念である

TOSHIBA All Rights Reserved

図-3 応答時間設計で考慮すべき階層の変遷（概念図）

ムの登場により、OSとWindow、その上のアプリケーションという階層になった。1990年代にはいると、OSとWindowがほぼ一体化したのも現れ、ネットワークを介したアプリケーションが対象となる。応答時間がネットワークの混み具合に依存するために、100ミリ秒が守れるかどうか保証できないという、ヒューマンインタフェース屋にとり由々しき事態となった。そして、さらに1995年以降は、ブラウザ上のアプリケーションが主となってきている。TCP/IPの上にHTTP、HTML/XML、そしてアプリケーションという階層である。

つまり図-3の一番右の1995年以降では、応答時間としては、ユーザがブラウザに入力した時点から、HTTP、TCP/IP、ネットワーク物理層を通過し、さらに、その先の通信相手に届いて、再度ネットワーク物理層、TCP/IP、HTTP、HTMLを通過し、ブラウザに戻ってきて表示されるまでが含まれる。

このネットワーク物理層まで含めて、100ミリ秒以下を実現することが求められてきている。遠隔のロボット制御の場合には、視覚も含め、1ミリ秒での応答が求められる。現状は、ベストエフォートであるので、VOD (Video On Demand) のように大量の映像データがネットワーク上に流れると1ミリ秒はおろか、100ミリ秒での応答を保障することも難しい。ブロードバンドでの映像配信でも512kbpsの回線速度でさえ、せいぜい2,000人への配信ができるかどうかという、応答速度である。このようなベストエフォート型でなく、ハードリアルタイムとソフトリアルタイムを共存させるのが、本特集の

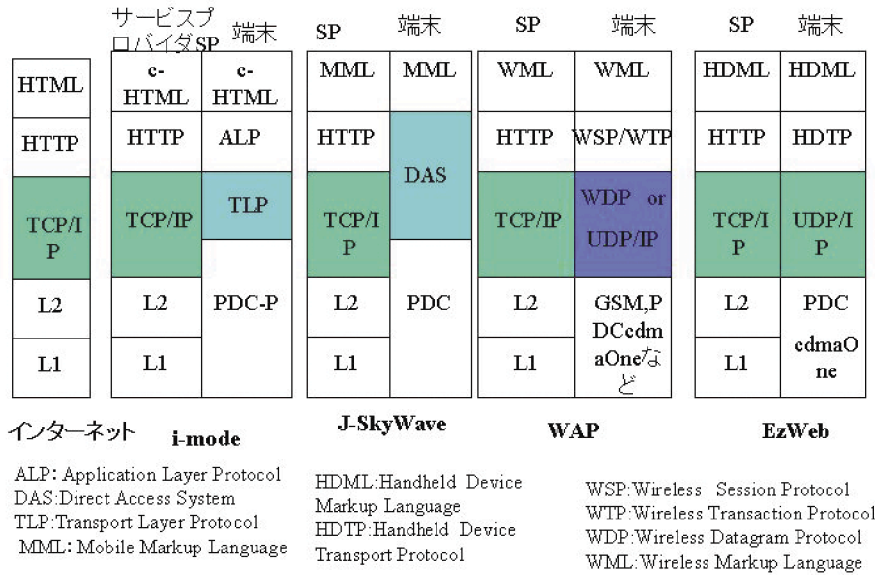
分散リアルタイムネットワーク用プロセッサ⁵⁾であり、分散リアルタイム・ワイヤレス⁶⁾、分散リアルタイム制御⁷⁾である

煩雑になるので、図-3では省略したが、MPEG2、MPEG4などの動画のトランスコーディングなどメディアごとに階層が異なってくる。端末の画面サイズにあわせた変換、言語の音声への変換などの変換層も考慮対象である。また、携帯電話端末などでは、図-4のようにキャリアごとに、サービスプロバイダ側も端末側もそれぞれ異なるプロトコルスタック構成になっているので、言語レベルの変換や、画面サイズに合わせた変換も行わねばならない。しかも携帯電話端末に使われているCPUはPCなどに比べるとはるかに非力である。種々の変換を1台の非力な携帯電話端末で処理しようとする、応答速度の保障どころではない。このような問題を解決するのが、本特集の分散リアルタイムOS⁸⁾である。

◆対話距離が提供する安心感

スキンシップにより慰めを与えるペットロボットなどが開発されているが、表-2に示すように、Hall⁹⁾が対話を行うときの距離とその特徴を分析している。

距離が遠い順に公衆距離、社会距離、个体距離、密接距離となっている。公衆距離は脅威を感じたら逃げられる距離である。社会距離はフォーマルな議論を行う距離であり、个体距離は相手の表情を見ながらより突っ込んだ議論を行う距離である。従来のGUIの設計はこの个体距離で、設計されている。これに対し、ペットロボッ



TOSHIBA All Rights Reserved

図-4 プロトコルスタックと記述言語

		距離 (cm)	特徴
密接距離	近接相	<15	愛撫・格闘・慰め・保護の距離。嗅覚と放射熱の感覚が鋭敏。
	遠方相	15 ~ 45	手を握ったり、身体に触れたりできる距離。親密な盾柄の距離。
個体距離	近接相	45 ~ 75	自分の手足で他人に何かを仕掛けることができる距離。
	遠方相	75 ~ 120	個人的関心や関係を議論でき、相手の表情は細部まで見て取れる距離。
社会距離	近接相	120 ~ 210	フォーマルな会話、個人的でない事柄のやりとりが行われる距離。
	遠方相	210 ~ 360	互いを隔絶して遮蔽する距離。他人のいるところで仕事をしても礼を逸しない。
公衆距離	近接相	360 ~ 750	相手に脅されたときに逃げる距離。
	遠方相	<750	講演や演説に使われる距離。

表-2 Hallの対人距離4分類

トや携帯電話などは相手の体温を感じ取れる密接距離という、非常に密着した対話距離になっている。相手を信用しきっていないと近づくことができない距離である。逆に近づいているので、相手から逃れることはできないので、違和感があるときは、相手に精神的に負荷を与えることとなる。本特集のウェアラブル機器によるリアルタイムセンシング技術¹⁰⁾は、密接して安心感を与えつつ、ユーザに負担をかけず、センシングすることが重要な要素となっている。

一方、ある1つの住居を中心にした消防署や警察署、病院までの平均距離を総務省が調べている。これによると、生命にかかわる安心感を与える病院は4.4km、救急車を持つ消防署は2.3km、警察署や交番は1.4kmのところと位置している。心停止の場合、60秒以内に蘇生をすれば間にあう。救急車が2.3kmをやってくるの

に時間がかかるのも事実だが、多くの場合は、救急車を呼び出すまでに時間を費やしてしまう。ウェアラブルセンシング技術によれば、異常を検出し、リアルタイムに通報するので、呼び出し時間を短縮できる。

◆ビジネスの鍵となるわくわく感

分散リアルタイムネットワーク技術によるリアルタイム性と対話距離により、当たり前感と安心感を提供できることを上に述べた。あとは、わくわくさせるキラーコンテンツがあれば、ビジネス成功は間違いないはずである。しかし、このキラーコンテンツ作成が難しく、かついつでもわくわくさせられるようなコンテンツ作成には莫大なコストがかかる。コストをかけずにいかにわくわくできるコンテンツを提供できるかが鍵となる。

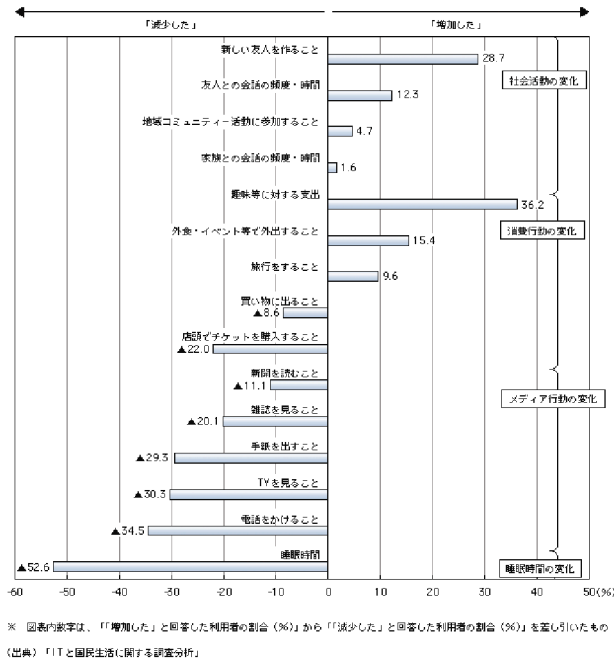


図-5 携帯電話の使用による生活の変化

図-5は携帯電話による社会生活のアンケート結果である。おもしろいのは、新しい友人ができたり、外出や旅行が増えるなど、非常に人とのかかわりが増えていることであり、人とのコミュニケーション自体がワクワク感をあたえていると想像される。さらにコミュニケーションを円滑にし、新しい話題、新しい視点を提供していくことで、ワクワク感を提供できる可能性がある。

図-6は従来の秒30枚で取得した動画をもとに、ストロボ写真を作成したものである¹²⁾。人間の動きは追えるがボールのような高速な物体を切り出すことは難しい。しかし、本特集の分散リアルタイムセンシングによる高速動作獲得技術¹¹⁾は、従来にない秒1,000枚と高速な動作の獲得が可能となるので、今まできちんとみることができなかった中田やベッカムのシュートをきちんと把握することも可能である。人間の視覚を超えた視覚が与える映像はまさにワクワクできるコンテンツとなることができる。

◆今後の展開

ネットワークと一般のユーザとの“ほっと”な関係はまだ緒についたばかりである。今後ネットワークを介した個人対個人(P2P)のコミュニケーションがますます



TOSHIBA All Rights Reserved

図-6 オブジェクト切り出しによるFlashMotion

活発になることが予想される。

本稿で述べたリアルタイム性や対話距離の他に、個人が意図して発信する情報、あるいは街角のカメラなど撮影されたような意図しない情報のプライバシー保護や著作権保護という問題も顕在化するであろう。

ネットワーク、デジタル情報とのかかわりによって、生活スタイルがどのように変遷していくか、日本国内だけでなく、グローバルな視点での、見直しを行っていく必要がある。そのためには、ヒューマンインタフェース技術者が、ネットワーク技術などの要素技術と社会科学や人文科学との仲介役となり、システム全体を包括して課題を洗い直していくことが期待されている。

参考文献

- 1) ネットワーク・ヒューマン・インタフェース研究会報告書、人とネットの“ほっと”な関係、総務省(2002)。
- 2) Card, S. K., Moran, T. P. and Newell, A.: The Psychology of Human Computer Interaction, Lawrence Erlbaum Associates (1983)。
- 3) 田村 博編:ヒューマンインタフェース、オーム社(1998)。
- 4) 特集「人間支援のための分散リアルタイムネットワーク」、情報処理, Vol.44, No.1 (Jan. 2003)。
- 5) 山崎信行, 堀 俊夫:分散リアルタイムネットワーク用プロセッサとその応用, 情報処理, Vol.44, No.1, pp.6-13 (Jan. 2003)。
- 6) 中川正雄:分散リアルタイム・ワイヤレス技術, 情報処理, Vol.44, No.1, pp.14-18 (Jan. 2003)。
- 7) 矢向高弘, 内村 裕, 森澤光晴:分散リアルタイム制御技術の研究, 情報処理, Vol.44, No.1, pp.27-33 (Jan. 2003)。
- 8) 徳田英幸, 西尾信彦, 永田智大, 岡 博人:分散リアルタイム OS 技術, 情報処理, Vol.44, No.1, pp.19-26 (Jan. 2003)。
- 9) ホール, E. T. (日高敏隆・佐藤信行訳), かくれた次元, みすず書房, 1970 (Hall, E. T.: The Hidden Dimension, Doubleday & Company, 1966)。
- 10) 蔵田武志, 鈴木琢治:ウェアラブル機器によるリアルタイムセンシング技術, 情報処理, Vol.44, No.1, pp.40-45 (Jan. 2003)。
- 11) 鏡 慎吾, 石川正俊:分散リアルタイムセンシングによる高速動作獲得技術, 情報処理, Vol.44, No.1, pp.34-39 (Jan. 2003)。
- 12) 「動き」切り出すソフト, 日本経済新聞 2002.4.19 版 (2002)。(平成 14 年 10 月 31 日受付)