

異種端末間の協調による高齢者・障害者の移動支援, Robotic Communication Terminals

矢入(江口) 郁子 猪木 誠二

1 はじめに

人間にとって「移動」とは、自立かつ快適に生活するための手段として極めて基本的、かつ必要不可欠な行動である。しかし現在の社会環境下では、視覚・聴覚・下肢駆動機能に障害を持つ高齢者・障害者の場合、移動に不可欠な認知・駆動・情報入手の3つの要素行動に問題が生じるため、自立的な移動が困難となっている。そこで筆者らは、幅広い高齢者・障害者を対象に、障害の種類、レベル、障害歴の違い、重複障害などの多様性を考慮に入れ、認知・駆動・情報入手の3つの要素行動を補助する移動支援システム, Robotic Communication Terminals(以後, RCTと略記)の実現を目指し、研究を行っている[矢入 01]。これまで高齢者・障害者の移動支援の研究では、携帯電話や自律走行ロボットを使った視覚障害者のナビゲーションシステム[東海 99][Kemmerling 98][小谷 97]や、肢体障害者のための知能化車椅子[足達 99]など、高齢者・障害者のうちの一部のユーザを対象に、移動の問題の一部の解決を試みる研究は数多くなされてきた。一方、健常者を主対象にした研究では、認知・情報の入手の補助を行う歩行者用 ITS の実現が国の政策として位置付けられ[国土交通省 01]、産業界では携帯電話や環境に埋め込むビーコンを用いた早期実

現可能なシステムの開発が活発化している。RCTではこれらのシステムの先を見据え、環境やユーザのモニタリング、異種端末間の協調などの技術を用いた、より広い観点での認知・駆動・情報の入手の補助方法を提案し、歩行者用 ITS の高度化に貢献することを目指す。

本稿では、RCTの概要、研究目標を示し、マルチエージェント研究の観点からみた RCT の位置付けを述べる。そして最後に、筆者らのこれまでの成果および今後の展開を紹介する。

2 Robotic Communication Terminals

2.1 RCT による移動支援

RCT は、以下の3つのタイプの端末からなる。
<環境端末> アンテナのような役割を持ち、道路や駅などに設置される端末である。それぞれの環境端末は設置された場所の周辺を監視し、障害物や人・車の有無などの環境に関する情報を検出する。環境端末が検出した情報は、周辺を移動中のユーザに伝えられるだけでなく、遠隔地のユーザにも移動経路を決めるための材料として提供される。

<ユーザ携帯型移動端末> 携帯電話や PDA を進化させた端末である。この端末を持ち歩くユーザはインターネットを通じて目的地への経路案内や交通機関の事故などの情報を入手する。そしてさらに環境端末との通信によって、周辺や遠隔地の障害物や人・車の有無などの情報を入手することも可能である。これらの情報は、ユーザの身体の状態に合わせて加工され、ユーザの身体の状態に合わせて設計された画像・

Robotic Communication Terminals Supporting Mobility of the Elderly and Disabled People by Communications among Heterogeneous Systems

Ikuko Eguchi YAIRI, Seiji IGI, 独立行政法人通信総合研究所, Communications Research Laboratory, Independent Administrative Institution

音声・触覚を利用したインタフェースを介して提示される。

<ユーザ搭乗型移動端末> 高齢者・障害者のための乗り物を進化させた端末である。ユーザ携帯型移動端末の機能に加え、ユーザの操縦通りに運転できる通常の乗り物としての機能、さらにセンサー及び環境端末からの情報を利用した障害物の自動回避などの運転支援機能も装備される。また、この端末にはユーザの身体の状態に合わせて設計されたハンドルやジョイスティックなどの操縦系、電動のスクータや車椅子のボディが用いられる。

これらの役割の異なった端末同士が通信し互いに協力しあうことで、認知・駆動・補助の 3 つの要素行動を補助し、ユーザの市街地での移動を支援する。図 1 に RCT による移動支援のイメージを示す。例えば移動端末は、移動中のユーザから離れた場所をモニタする環境端末の「こっちからは何も来ないよ」というメッセージを近傍の環境端末を通して入手し、ユーザに「前からは何も来ません」という情報を伝えることができる。また、自転車を検出した環境端末は、移動方向や位置から危険と判断した近傍の移動端末に、「自転車きたよ、ぶつかる可能性があるよ。」というメッセージを送る。それを受けた移動端末は、例えばユーザ搭乗型であれば自動停止してやり過ごすなどの補助を行ったり、ユーザに危険情報を伝えることができる。

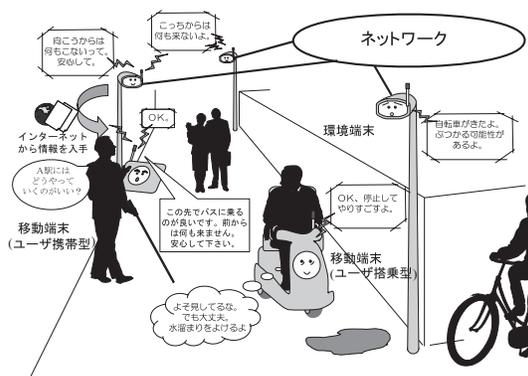


図 1 RCT による移動支援のイメージ

2.2 RCT の目標

RCT では、5 年以内に以下の目標 1~3 の要素技術を実現し、システムの実用化への基礎を築くことを目指している。

<目標 1> ユーザの多様性の適切な分類方法と、その分類に基づいた支援タスクおよび移動端末のハードウェアデザイン、移動端末のソフトウェアのユーザへの適応方法

RCT では高齢者・障害者の多様性を考慮した支援タスクを、個々のユーザに適した方法で実行する移動支援を目指す。具体的には (1) 移動に不可欠な認知・駆動・情報入手の 3 つの要素行動と身体の状態との関係に注目し、ユーザを 20~30 個程度のグループに分類、(2) そのグループ毎に支援タスク、移動端末のハードウェアのデザインの指針を設定、(3) 移動端末のソフトウェアが、入力された身体の状態や嗜好などに合わせて動作したり、使い込むうちにユーザの癖や習慣に合わせて適応する仕組みを実現する。

<目標 2> 環境端末、移動端末およびユーザ間の協調によって、移動支援タスクを場面、状況、ユーザの状態に合わせて実行するためのシステムアーキテクチャ

環境端末、ユーザ搭乗型・ユーザ携帯型移動端末の 3 つのタイプに分類される多様な端末からなる分散協調システムとして全体システムを構成する。また、RCT のサブシステムとしての環境端末および移動端末を、環境やユーザとインタラクションし適応するロボット的なシステム、すなわちロボティックシステムとして構成する。そして、移動端末とユーザとの密なインタラクションによって、RCT の全体システムとユーザ間の協調を実現する。これらのシステムアーキテクチャをプロトタイプシステムの製作を通して示す。

<目標 3> 実世界、ネットワーク世界からの情報の取り込み・加工・蓄積、およびその情報の伝達方式

RCT では、認知・駆動・情報の入手の移動の要素行動の補助のうち、情報の入手の補助に最も注目している。「実世界」「インターネット」の 2 つをユーザに提供する情報のリソースとし、「専用の情報提供用サーバの構築と利用」「既存のインターネット上の多

数のサーバ上の情報の有効利用」の 2 つの方法による情報の入手の補助の具体的なアプリケーションを提案し、プロトタイプを作成する。そして、2 つの情報リソースからユーザに情報を提供するまでの、取り込み・加工・蓄積・伝達の方式を示す。

2.3 マルチエージェント研究としての RCT

RCT は以下の 3 つの種類のエージェントから構成されるマルチエージェントシステムとして捉えることができる。

- (1) 端末内部エージェント: 異なる機能を持ち、群として環境端末、移動端末の単体端末の内部を構成する。
- (2) 端末間通信エージェント: 個々の環境端末、移動端末を代表し、端末間の通信を担い、協調動作を実現する。
- (3) 外部通信エージェント: インターネットなどのネットワーク上に構築された他のシステムとの通信を担い、協調動作を実現する。

認知・駆動・情報の入手の補助タスクがどの種類のエージェントによって実行されるかを表 1 に示す。

表 1 RCT の 3 つの種類のエージェントと補助タスクの
実行 (はユーザ搭乗型移動端末のみ)

補助タスク	(1) 端末内部 エージェント	(2) 端末間通信 エージェント	(3) 外部通信 エージェント
認知			—
駆動		—	—
情報の入手			

認知の補助タスクに関しては、端末内部エージェントが端末の周囲の環境の認識を行い、端末間通信エージェントが認識結果を近傍の端末に送り届けるという役割分担がなされる。また情報の入手の補助タスクに関しては、端末内部エージェントがユーザの要求の解釈および情報の加工・提供を行い、端末間エージェントが個々の端末に蓄積された実世界データを探索・獲得し、外部通信エージェントがインターネットなどのネットワーク上に構築された他のシステムに蓄積されたデータを探索・獲得するという役割分担がなされる。

端末内部エージェントのように、機能の異なったエージェント群で一つの知的システムを構築するアプローチは、古くから AI およびロボットの分野で研究がなされてきた。また端末間通信エージェントのように、複数の端末間の協調によってタスクを実行するアプローチは、群ロボットによるタスク実行の研究や [Balch 94]、端末間を移動するエージェントによる通信の研究 [佐藤 00] などがなされている。そして外部通信エージェントのように、インターネット上のサーバのデータから有効な情報を探索・獲得し提供するアプローチは、サーチアルゴリズムの研究や [Levy 96]、データマイニングの研究 [Cooley 97] などの多数の研究がなされてきた。しかし、これらのアプローチの全てを含む統合的なマルチエージェントシステム研究は例を見ない。RCT は人間の実世界での移動を支援するこれまでにない複雑なマルチエージェントシステムの枠組を示す一つのテストベッドであると言える。

3 筆者らの研究の現状

研究開始から現在までの約 2 年の間の成果と今後の計画を述べ、研究の現状を紹介する。

3.1 ユーザの調査

2.2 の目標 1 のユーザの多様性の分類の課題への取り組みとして、以下の (a) ~ (c) に示す調査を行ってきた。

(a) 高齢者・障害者の身体の状態と移動の問題との関係の予備調査

身体の状態と移動問題の関係を具体化するため、高齢者および視覚・聴覚・下肢駆動機能に障害をもつ障害者、計 13 名を対象にヒアリングを実施した [Yairi 00]。その結果、視覚障害者は未知の環境・人のいない環境・変化が多い環境での移動に、聴覚障害者は視野外から接近する動物体の認識、アナウンス情報の入手に、そして下肢駆動機能障害者は転倒防止のための歩行面の詳細な状態認識、パリアフリー情報の現場での探索による入手に、それぞれ問題が集中することがわかった。また、障害が重く障害者となった年齢が高いほど、問題の危険度や頻度が増すこと、および使用する補助器具や障害の種類に固有の特徴

的な問題の存在も明らかになった。高齢者の場合は、問題点を絞り込むことは困難であったが、前述した障害者の抱える問題のいずれかに分類されることが多かった。また、加齢により情報の入手を面倒と感じるようになり外出の意欲が低下してきた、という訴えが特徴的であった。

(b) 身体の状態と移動の問題との関係からのユーザ分類の可能性の予備調査

(a) の結果をもとに身体の詳細な状態の質問と、移動の問題を 5 段階の数値で回答する質問からなる調査表を設計し、アンケート調査を実施した。調査表は首都圏の高齢者・障害者団体を通じて配布され、計 698 名の回答を得た。障害の種類、レベル、使用する補助器具、性別、障害の先天性/後天性に関する身体の状態の分類ごとに、移動の問題に関する質問の回答の平均を比較したところ、分類項目と回答の間に強い相関関係の認められる質問や、ある分類項目を境に回答に有意差が認められる質問の存在が明らかになった。このことにより、障害の種類、レベル、使用する補助器具、性別、障害の先天性/後天性をパラメータとして、抱える移動の問題の違いからユーザをグループに分類可能であること、およびパラメータからユーザの抱える移動の問題を推定可能であることが確かめられた。

(c) ユーザ分類のための第 1 次調査

(b) の結果を踏まえ、ユーザ全体を大まかに分類するために全員に同一の調査表を用いてアンケートを実施する第 1 次調査と、さらに詳細なグループにユーザを分類するためにグループ毎に異なった調査表を用いてアンケートを実施する第 2 次調査を計画した。現在は第 1 次調査を実施中である。(b) では、身体障害者の約半数が 65 歳以上であるという現状から、障害者の中年層、若年層の回答数が不十分となり、年齢や障害歴による分類の可能性を確認することはできなかった。そこで今回の調査では中年層、若年層も含めた十分な数の回答を得るため、東京、大阪、京都の 3 大都市の高齢者・障害者団体を通して調査表を配布し、2001 年 10 月現在で約 3500 名の回答を得た。現在は、移動の問題の生じるメカニズムを表現するモデルを決定するための共分散構造分析や、グループに分類するための因子分析などを行っている。ユーザ分類

のためのデータ解析はクラスタリング問題の一種とみなすこともでき、従来手法 [Cheeseman 88] [Fisher 87] を適用してみる予定である。

3.2 研究インフラの構築

2.2 の目標 2 および 3 に取り組むための研究インフラとして、以下の (a) - (c) に示すプロトタイプシステムを作成した。

(a) 画像による道路監視システム

環境端末の道路監視機能のプロトタイプとして、画像による道路監視システムを製作した。このシステムは、図 2 に示す屋外に設置するカメラ、デュアル CPU の PC、キャプチャボードと画像処理ライブラリから構成される。そして、動物体の形状、位置、移動速度を検出し、歩行者や自転車、自動車などの動物体の種類や、動物体 静止する障害物 動物体という状態変化の判別を行う [吉水 01]。さらに移動端末の位置情報を通信で受け、検出した動物体との位置関係から、動物体を危険物体と判断し、移動端末へ通知することが出来る。道路監視システムの動作の様子を図 3 に示す。下部右側の GUI では監視すべき道路の部分として自動的に切り出された領域の画像が、下部左側の GUI では道路上の動物体として検出された部分の画像が表示されている。そして上部の GUI では検出された動物体が四角形で囲まれ、人、自動車、自転車などの種類の判別結果が文字で示されている。本システムの現在の処理速度は、1 フレーム中の動物体の数が 10 個以下の状態で毎秒 5 フレームである。また性能は、晴天の日中かつ無風状態であれば、移動端末へ



図 2 道路監視システムの屋外設置カメラ 2 基の外観

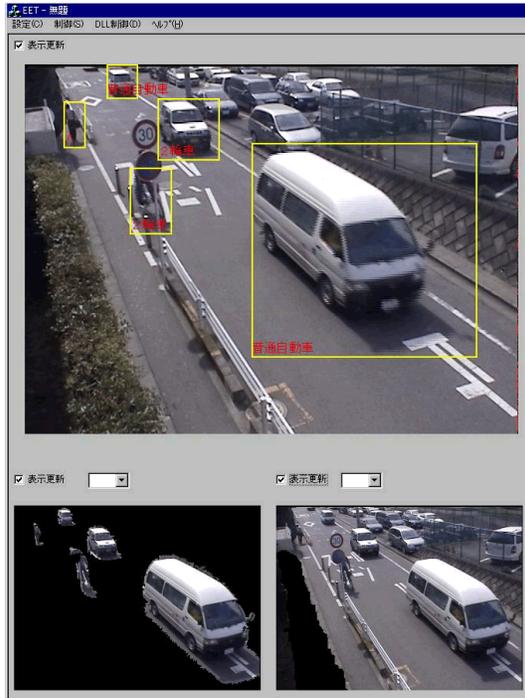


図 3 道路監視システムの動作の様子

の安定した危険物体の通知が可能である [香山 01] .

今後は、処理の高速化と、天候の条件の緩和、夜間への対応などの工夫を重ねながら、画像以外のセンサの導入による環境端末のアーキテクチャの提案、実世界情報の蓄積・ユーザへの伝達方式の実現などの課題に取り組む予定である .

(b) 高齢者向けユーザ搭乗型移動端末

移動端末のプロトタイプの一つとして、足腰が少々弱った高齢者向けユーザ搭乗型移動端末、Intelligent City Walker (以後、ICW と表記) のハードウェアを製作した . 図 4 に全体像を示す . ICW には、障害物を検出するための超音波・赤外線センサ、障害物回避や操縦補助のための制御装置、他の端末との通信やインターネット接続のための無線 LAN、ユーザと端末との対話のための装置としてのタッチパネルが搭載されている [南山 01] . ICW は他の端末との通信機能、ユーザとの対話機能、ユーザの運転補助機能を持つセミオートノマススクータである . 現在は運転補助機能を中心に全機能のインプリメントを行っている . 図 5 に目の前に飛び出してきた障害物 (段ポ-

ル箱) を回避する屋外での実験の様子を示す . 搭乗者は回避動作をより効果的にデモするためにハンドルから手を離している . また、見通しの悪い交差点で環境端末から自動車との衝突の可能性の通知を受け、交差点手前で自動停止し、通知された自動車をやりすごす実験も行なった . さらにこれらの実験に加えて、高齢者の試乗による評価実験 [田中 01] を行い、山口きらら博などの展示会での一般人の反応とあわせて、ユーザインタフェースの設計に活用している .

今後はセンサやユーザとの対話用装置の改良を重ねながら、運転補助機能の性能の向上、対話インタフェースのデザインの向上を行い、移動端末のシステムアーキテクチャの提案の課題に取り組む予定である .

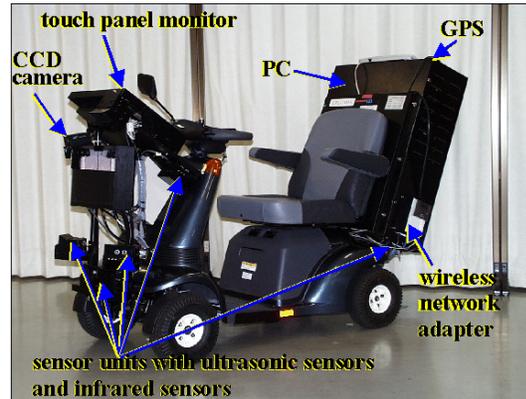


図 4 高齢者向けユーザ搭乗型移動端末 ICW



図 5 屋外での障害物回避実験の様子

(c) バリア・バリアフリー情報地図データベース

実世界の情報を専用のサーバを用いてインターネット経由で発信し、ユーザの情報の入手を補助するための具体的アプリケーションとして、歩行者用道路に関するバリア・バリアフリー情報地図データベースのプロトタイプを製作している。このデータベースは、東京都小金井市(国分寺市の一部を含む)の500分の1の高精度の地図に、これまでに実現されていなかった歩行者用道路ネットワークを付加し、段差などのバリア情報、盲人用信号などのバリアフリー情報を道路ネットワークにリンクさせて埋め込んだものである[桑原 01][吉岡 01]。図6に道路ネットワークの概要を示す。道路ネットワークは歩行者用道路を表すライン、ラインの始点・終点としてのノード、ラインの近傍に存在する停留所などの施設を表しラインにリンクされるポイント、の3種類のオブジェクトから構成される。図7に埋め込む情報の種類、項目をライン、ノード、ポイントの階層構造から示す。これらの埋め込む情報の種類、項目は、視覚・聴覚・下肢駆動機能に障害をもつ障害者・高齢者、および障害者・高齢者支援団体の指導者の計14人に、詳細なヒアリングを実施して決定された。また地図データベースに蓄積した情報は、実際に現地を踏破して収集された。

現在は、2002年中にインターネット上で一般に公開することを目指し、表示やルート検索用インタフェースを製作中である。今後は身体の状態に適したルートの検索やナビゲーション文を自動生成するソフトウェアの実現を試みながら、道路監視システムとのドッキングによって、データベースに実世界情報を蓄積する課題にも取り組む予定である。

4 おわりに

本稿では、異種端末の協調によって高齢者・障害者の自立的移動を支援する Robotic Communication Terminals を紹介した。そして、マルチエージェント研究としての位置付け、筆者らの取り組みの現状や今後の展開を述べた。

RCTによる移動支援は、健常者を対象とした支援にも容易に適用可能であると期待される。それに関わらず高齢者・障害者の支援に限定して研究対象と

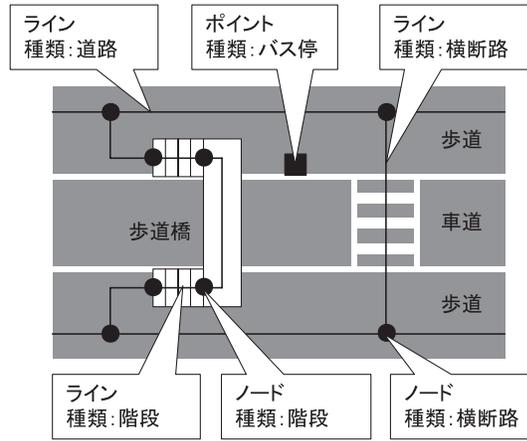


図 6 歩行者用道路ネットワーク概要

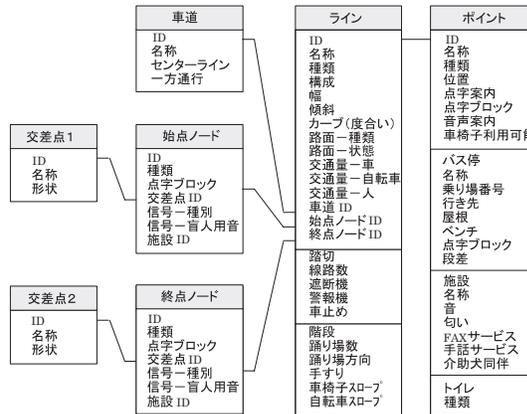


図 7 バリア・バリアフリー情報 DB 概要

する理由には、高齢者・障害者を健常者とは異なるグループとして切捨てて支援システムを実現し、後付けでバリアフリーの実現を目指す従来の手法と異なり、まず高齢者・障害者の立場から網羅的な支援方法を考え、高齢者・障害者の延長線上に健常者が位置すると捉えることこそが、真の意味でのバリアフリーのつながるといふ筆者らの信条が挙げられる。

また RCT は、このような社会的貢献の面だけでなく、画像・音声認識、プランニング、モバイルエージェント、情報検索、データマイニングなど、マルチエージェント以外にも多数の AI 研究のトピックを含む学術的研究対象であるという一面も持つ。筆者らの取り組みは、これらのトピックの研究を行うための一揃いの研究インフラの構築が完了した段階にあると

言える。今後は、製作中のプロトタイプシステムの完成度を高めながら、ソフトウェアの実装を中心に AI 研究のトピックに深く切り込み、学術的な貢献を目指したい。

参考文献

- [足達 99] 足達, 中西, 他: 顔の視覚情報処理を用いた知的車椅子. 日本ロボット学会誌, vol.17, no.3, pp.113-121 (1999).
- [Balch 94] Balch, T. and Arkin, R. C., :Communication in Reactive Multiagent Robotic Systems. Autonomous Robots, 1, pp.1-25(1994).
- [Cheeseman 88] Cheeseman, P., et al. : Autoclass : A bayesian classification system. In Proceedings of the Fifth International Workshop on Machine Learning, pp. 54-64 (1988).
- [Cooley 97] Cooley, R., et. al. : Web Mining: Information and Pattern Discovery on the World Wide Web, Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (IC-TAI'97), November 1997.
- [Fisher 87] Fisher, D., H. : Knowledge Acquisition via Incremental Conceptual Clustering. Machine Learning, 2, pp.139-172(1987).
- [香山 01] 香山, 吉水, 他: 高齢者・障害者の移動を支援するロボティック通信端末のための一般道路監視システム. 第 19 回日本ロボット学会学術講演会, 1M23 (2001).
- [Kemmerling 98] Kemmerling, M., et al. : An Orientation and Information System for Blind People based on RF-Speech-Beacons. TIDE third congress, [http : //www.dinf.org/tide98/tide98.htm](http://www.dinf.org/tide98/tide98.htm), Helsinki, July (1998).
- [国土交通省 01] 国土交通省: ITS [http : //www.its.go.jp/ITS/j-htm/index/indexHBook.html](http://www.its.go.jp/ITS/j-htm/index/indexHBook.html) (2000).
- [小谷 97] 小谷, 清弘, 森: 視覚障害者のための歩行ガイドロボットの開発. 映像情報メディア学会誌, Vol.51, No.6, pp.878-885 (1997).
- [桑原 01] 桑原, 矢入, 他: 高齢者・障害者向け移動支援 GIS. AI 人工知能学会全国大会, 3A1-05 (2001).
- [Levy 96] Levy, A. Y., et. al. : Querying Heterogeneous Information Sources Using Source Descriptions. Proceedings of the Twenty-second International Conference on Very Large Databases, Bombay, India, pp.251-262(1996).
- [南山 01] 南山, 永合, 他: 高齢者移動支援のためのユーザー搭乗型端末 (IWC: Intelligent City Walker). AI 人工知能学会全国大会, 3A1-04 (2001).
- [佐藤 00] 佐藤, : モバイルエージェント. コンピュータソフトウェア, Vol.17, No.2, pp45-54(2000).
- [田中 01] 田中, 矢入, 他: 高齢者移動支援のためのユーザー搭乗型移動端末 (ICW: Intelligent City Walker) - 運転補助機能実装のためのユーザー評価実験. ヒューマンインタフェースシンポジウム 2001, pp.481-484 (2001).
- [東海 99] 地域振興のための電波利用に関する調査研究会: 視覚障害者を支援する情報通信システムに関する調査研究報告書, 東海電気通信監理局電波監理部企画課, March (1999).
- [Yairi 00] Yairi, I. E. and Igi, S.: A Self-sustained Moving Support System for Aged and Disabled Persons. In Proc. The 6th International Conference on Intelligent Autonomous Systems, pp.692-697 (2000).
- [矢入 01] 矢入, 猪木: 高齢者・障害者の自立的移動を支援する Robotic Communication Terminals(RCT). 人工知能学会誌, vol.16, no.1, pp.139-142 (2001).
- [吉水 01] 吉水, 矢入, 猪木: 歩行者支援のための外乱を考慮した道路監視システム. AI 人工知能学会全国大会, 3A1-02 (2001).
- [吉岡 01] 吉岡, 矢入, 他: バリア・バリアフリー情報を蓄積・利用した移動支援 GIS. ヒューマンインタフェースシンポジウム 2001, pp.479-480 (2001).