

## 研究課題別評価

### 1. 研究課題名 : 人間と共に移動する生活支援ロボット

### 2. 研究者氏名 : 大矢晃久

### 3. 研究の狙い :

本研究の目的は、人間が普通に暮らしている空間内で働き、人間の生活を支援する移動ロボットを開発することである。本研究では、このロボットシステムの開発を通して、人間の生活空間で働くロボットが人間とインタラクションする際に必要な賢さ(知能)について探求することを目標とした。具体的な支援動作としては、以下の実現を目指した。

(1) 人間と共に移動走行し、道案内などの人間の誘導、伴走による精神的補助および情報提供、重量物を運搬して追従することによる肉体的補助などを行う。

(2) 遠隔地にある物体を操作することによって、物理的に離れた実物にアクセスする。

このように、本研究では人間の移動中、あるいは遠隔地の物体へのアクセス中に、人間とのインタラクション(相互作用)を通じて、人間の生活を肉体面、精神面、また情報面で支援できるようなロボットの実現を試みることにした。

来るべき高齢化社会では、高齢者の歩行に際し、重たいものを代わりに持って追走する移動機械があれば便利であろう。また、一人暮らしのお年寄りの外出に一緒についていき、話し相手になったり、危険を察知してそれを回避する同伴者(ロボット)があれば安心して散歩もできる。さらに、歩行ルートのガイドなどの情報提供支援も行えれば、その利用価値はさらに高まると予想される。一方で、実際に現地に行くことなく遠くにある物に希望の操作を加えることが可能となれば、お年寄りや体の不自由な人の手足として非常に有用なものとなるであろう。

移動ロボットの研究分野では、これまでなかなか実現することができなかった自律走行が、やっと実現に近づきつつある状況になり、いよいよ移動ロボットの応用を考える段となってきた。本研究では、「移動ロボットが「移動すること」と「実物に対して操作すること」で貢献ができることを考え、その答えを出そうとしている点に一つの特徴を有する。

### 4. 研究結果 :

本研究では、実際の移動ロボットを構築し、最終的に目的とするシステムのデモンストレーションを行うことを目指した。具体的な研究項目としては、以下の二つのシステムの実現を試みた。一つは、人間と共に移動することによって人間をサポートする「インテリジェント・エスコート・ロボット」、もう一つは、遠隔地にある図書を開いて見るための「図書遠隔閲覧ロボットシステム」である。

#### (1) インテリジェント・エスコート・ロボット

ロボットが人間と共に移動するためには、第一に対象とする人間の位置を認識することが必要である。人間の位置を認識するための方法としては各種考えられるが、本研究では、対象とする人間の識別、ロバスト性(環境変化や外乱などに対する頑強さ)、計測可能範囲などの観点から、人間に発光標識を持たせてそれをロボット上に搭載したカメラで検出する方法を採用した。発光標識には、点滅する赤外線 LED を二つ離して付けた細長い棒状のものを用了。人間は、この標識を地面に対して垂直になるように持つ。ロボットがカメラでその標識の画像を取り込むと、この画

像上での LED の左右方向の位置と二つの LED 間の画素数からロボットからみた標識の位置を求めることができる。

ロボットが人間と共に移動するために第二に必要なことは、人間と共に移動するための走行アルゴリズムの開発である。ロボットが人間と共に移動する形態としては、追従、伴走、誘導という三つの動作モードを考え、それぞれのモードにおける基本動作を実現した。

ロボットは、障害物等との衝突を未然に防ぐためにも、人間の通った軌跡上を追従走行することが望ましい。ロボットは、人間の通過した位置を一定距離間隔で履歴として記録する。この通過履歴を順次読み込み、その点を通るように経路を決定する。また、ロボットの現在位置と人間の間にある通過履歴の数により、ロボットの速度を決定する。このようにして、ロボットは人間の通った軌跡とほぼ同じ経路上を、人間との間隔を一定に保つように走行し、結果としてスムーズな追従動作が実現できた。また、音声等を用いてロボットによる人間の位置認識状態を伝達することにより、先行する人間が非常に安心して歩行できるという実験結果も得られた。

ロボットが人間に伴走するとき、人間に遅れずに走行するには人間の将来行動を予測する必要がある。そこで、ロボットは人間の位置を順次記録し、その情報から人間が次の時間にいる位置と速度を推定する。人間の将来位置を推定したら、ロボットが次の時間にいるべき参照位置と経路を計算する。走行経路は、推定した人間の経路と平行で一定距離だけ離れた直線とし、走行速度はロボットが次の時間までに参照位置に到達できるように設定する。この処理を繰り返すことにより、ロボットは人間の横を並んで走行可能となった。また、障害物が存在する場合についても検討を行い、人間とロボットのインタラクティブな行動による回避アルゴリズムを構築した。

誘導は、目的地までの自律走行に加えて、人間との相対位置関係による加減速と走行経路の微調整を行うことで、その基本動作を実現した。ここでは、誘導すべき人間は一人とし、あらかじめ定めた経路上を、あらかじめ定めたスピードで目的地まで誘導することを目標とした。誘導時に人間が存在して欲しい位置の領域を設定し、この領域よりも人間が近くに存在する場合、ロボットは人間から離れる方向に回避する。この領域よりも人間が遠くに存在する場合は、人間に近づくように走行する。この方式をロボットシステム上に構築し、実験により誘導の基本動作を確認した。

## (2) 図書遠隔閲覧ロボットシステム

人間の日常生活環境内で働く移動ロボットとして、遠隔操作型の移動ロボットを介して、離れた場所の図書館にある任意の本を閲覧するシステムの開発を行った。このシステムは、図書館の中に本を閲覧する機能を備えた自律移動ロボットを配置し、ユーザは他の場所からロボットを遠隔操作することで、ロボットの眼を通して本の内容を見ることができるシステムである。このシステムを使用することで、ユーザはどこにいても、あたかも自分自身が実際に図書館に出向いているかのような感覚で、好みの本を手にとり中身を見て目的の情報を探し出すことができるようになる。

まず、本の位置姿勢を測定するためにレーザ距離センサを使用した。センサで得られた形状から、視野にある本の冊数や位置、幅を測定し、元の画像に本の境界線を重ねた映像をユーザに提示する。次に、様々な種類・条件の本に対応するために、自律移動ロボットに7自由度のマニピュレータを搭載し、先端に本をつかむハンドを取り付けた。また、閲覧に必要な機能は、本を開いてページをめくり映像をユーザに提示することである。そこで、小型で簡単な構造からなる本の開閉装置と、ページめくり装置を開発した。

構築したシステムを使用して、離れた場所に置かれた本を閲覧する実験を行った。ロボットは指示された本を取り出し、その本を開いてページの映像をユーザに提示することが可能となった。こ

の実験では、オペレータはカテゴリの選択と本の選択というわずか2回の指示で、本にアクセスして情報を入手することができた。

#### 5. 自己評価：

そもそも、この研究を開始しようとしたきっかけは、それまで難しいとされていた移動ロボットの自律走行が近年になって実現されつつある背景の中で、果たして移動ロボットは人間にとってどのような役に立つのであろうか？という疑問からであった。ここで、移動ロボットの持つ応用の可能性を示すことができなければ、この研究分野自体が縮退してしまうという危機感もあり、人間の普通に生活している空間の中で役立つ場面を考え、それが実現可能なことを示したいと思った。それまでの研究では移動ロボットの自律行動に主眼をおいていたため、人間との相互作用のある場面については自分にとっての新天地であったが、この点についていえば、ある程度目的は達成できたと言える。

しかし一方で、本研究を通して痛感したのは、「相互作用と賢さ」の難しさである。大学の研究室の学生を交えて週に一度のブレインストーミングを毎週行い、「対象としている動作における相互作用は何か？」、「その相互作用に必要なロボットの賢さは何か？」、「その相互作用から生まれてくる賢さは何か？」、「そもそも賢さとは何か？」といった疑問について議論を重ねた。その結果、賢さに対する定義は人によってさまざま、対象物や想定される環境によっても変化するものであり、一意に決められるものではないことがわかった。そこで、「この研究で対象とする賢さ」=「人間との相互作用を含む目的動作をスムーズに行うことができること」と決めて、その動作自体の実現を目指すこととした。

結果として、各研究項目に関しては、ほぼ目標としたものを実現することができた。人間と共に移動するロボットとしては、人間追従については追従可能なスピードやスムーズさで満足のいくシステムが構築できた。また、伴走、誘導は基本動作の実現にとどまったが、そこから後述するような新しい研究テーマに発展して可能性を広げることができた。図書閲覧ロボットは、ロボットの新たな可能性を探る試みとして動作の実現まで達成でき、いくつかのメディアの取材も受け、社会的にインパクトのあるものが構築できたと自負している。これについても、後述するような新しい研究課題に発展させることができつつある。このように、本研究では人間の生活空間で働き、人間の生活を支援するロボットシステムを開発し、その基本動作を実現してきた。しかし、人間とロボットの相互作用と賢さ(知能)の関係を探る段階までには至っておらず、その点についてはまだまだ検討、考察の余地がある。

なお、本研究で開発してきたシステムに加えて、それらを発展させた以下の3つの新しいテーマについても、すでに研究を開始している。

- (1) 遠隔地間散歩パートナーロボットシステム : 人間に伴走するロボットの発展形として、それぞれ自分の隣にいる移動ロボットを相手の人間だと想定して、遠隔地にいる人間同士と一緒に散歩を楽しむことができるシステム。
- (2) 複数台ロボットによる人間のグループの誘導 : 人間を誘導するロボットの発展形として、複数台の移動ロボットにより数人から十人程度の人間のグループを誘導する。
- (3) 遠隔買物サービスロボット : 図書遠隔閲覧ロボットシステムの技術を応用し、お年寄りや小さな子供を抱えた主婦など、毎日の買物が大変な人達が、品定めが必要な生鮮食料品を自宅に居ながらにして買物できるようにする。

これらの具体的な応用場면을想定したシステムを実現していくことで、移動ロボットの人間生活への普及を促していきたいと考えている。

以上総括すると、三年間という短い期間ではあったが、手探りながらも自分にとって新しい研究テーマを開始し、第一段階としての結果を得ることができた。そして、それらを発展させた形で、それぞれ新しい研究課題を開始することができたことも大きな収穫であった。ただし、「相互作用と賢さ」についての更なる検討が、今後に残された大きな課題である。

#### 6. 研究総括の見解：

本研究の目的は、人間が普通に暮らしている空間内で働き、人間の生活を支援する移動ロボットを開発することである。本研究では人間の移動中、あるいは遠隔地の物体へのアクセス中に、人間とのインタラクション（相互作用）を通じて、人間の生活を肉体面、精神面、また情報面で支援できるようなロボットの実現を試みた。

具体的な研究項目として、一つは、人間と共に移動することによって人間をサポートする「インテリジェント・エスコート・ロボット」、もう一つは、遠隔地にある図書を開いて見るための「図書遠隔閲覧ロボットシステム」を取り上げ、夫々完成度の高いデモンストレーションを実現できたことは評価できる。

将来、遠隔買物サービスロボット、遠隔地間散歩パートナーロボットシステムなど具体的な応用場면을想定したシステムを実現していくことで、移動ロボットの人間生活への普及を促し、社会的にインパクトのあるものが構築できることが期待できる。

#### 7. 主な論文等：

1. Yousuke Nagumo and Akihisa Ohya: "Human Following Behavior of an Autonomous Mobile Robot Using Light-Emitting Device", Proceedings 10th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, pp.225-230 (Sep. 2001)
2. Akihisa Ohya and Takumi Munekata: "Intelligent Escort Robot Moving together with Human -Interaction in Accompanying Behavior-", Proceedings 2002 FIRA Robot World Congress, pp.31-35 (May 2002)
3. Akihisa Ohya, Yousuke Nagumo and Motoki Takahata: "Intelligent Escort Robot Moving together with Human -Human Following Behavior-", 12th International Symposium on Measurement and Control in Robotics (Jun. 2002)
4. Akihisa Ohya: "Human Robot Interaction in Mobile Robot Applications", Proceedings ROMAN2002 11th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp.5-10 (Sep. 2002)
5. Seydou Soumare, Akihisa Ohya and Shin'ichi Yuta: "A Network-based Stationeries Rental Service Performed by an Autonomous Mobile Robot", Proceedings ROMAN2002 11th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp.152-157 (Sep. 2002)
6. Tetsuo Tomizawa, Akihisa Ohya and Shin'ichi Yuta: "Book Browsing System using an Autonomous Mobile Robot Teleoperated via the Internet", Proceedings IROS 2002 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1284-1289 (Oct. 2002)

7. Akihisa Ohya, Yousuke Nagumo and Youhei Gibo: "Intelligent Escort Robot Moving together with Human -Methods for Human Position Recognition-", Joint 1st International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 3rd International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS & ISIS 2002), 24B5-2 (Oct. 2002)
8. Takumi Munekata and Akihisa Ohya: "A Walk Support System for Two Distant Persons using Mobile Robots", Proceedings 2003 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, pp.45-49 (July 2003)
9. Edgar Martinez, Akihisa Ohya and Shin'ichi Yuta: "Recognition of People's Positioning by Cooperative Mobile Robots for Humans' Group Steering", Proceedings 2003 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, pp.758-763 (July 2003)
10. Tetsuo Tomizawa, Akihisa Ohya and Shin'ichi Yuta: "Remote Book Browsing System using a Mobile Manipulator", 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Sep. 2003)
11. Tetsuo Tomizawa, Akihisa Ohya and Shin'ichi Yuta: "Motion Design of Behavior Components in Remote Book Browsing Robot System", FIRA Robot World Congress 2003 (Oct. 2003)
12. Tetsuo Tomizawa, Akihisa Ohya and Shin'ichi Yuta: "Object Posture Recognition for Remote Book Browsing Robot System", 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (Oct. 2003)