フロンティア分野における
ミッション遂行型ロボットに関する調査研究

山崎　栄一[*1]　相田　収平[*1]　天城　和哉[*1]　杉井　伸吾[*2]　大野　宏[*3]
石川　淳[*2]　須貝　裕之[*4]　平石　誠[*2]　牧野　斉[*3]　石井　啓貴[*5]

A Study on Robotics Trends and Technologies

YAMAZAKI Eiichi , AIDA Shuhei , AMAKI Kazuya , SUGII Shingo , OHNO Hiroshi ,
ISHIKAWA Atsushi , SUGAI Hiroyuki , HIRAISHI Makoto , MAKINO Hitoshi and ISHII Hirotaka

抄　録

ロボットの市場、開発動向、関連技術などについてシーズ・ニーズの調査を行った。また、ロボットの要素技術として自律制御に関連するステレオビジョンシステムの試作と、日常生活とは異なるフロンティア分野（極限環境）における潤滑技術について調査を行い、今後産学官で取り組むべき研究開発課題の検討を行った。

１．緒言

昨今、二足歩行ロボットがTVで紹介されたり、家庭内で使う掃除ロボットが大手家電メーカから販売されたりと、ロボットは我々の日常生活に身近なものになりつつある。

こうした中で、本調査研究では、今後の発展が期待される民生用ロボットや、日常生活とは異なる極限環境においてミッションを遂行するロボットについて、ニーズと開発が必要な要素技術を調査し、新潟県におけるロボット産業の育成に係る研究開発テーマやその方向性、および関連要素技術の県内企業への応用の可能性について調査、検討を行った。

[*1] 研究開発センター
[*2] 下越技術支援センター
[*3] 素材応用技術支援センター
[*4] 県央技術支援センター
[*5] 上越技術支援センター

２．ロボット産業の現状（関連産業・市場の動向と将来展望）

日本のロボット産業は総出荷額で4,000億円（2002年)、そのうち5割以上が輸出されている状況である。また、日本の産業用ロボット生産台数は世界の約半分のシェアを持っている。

日本のロボットメーカは､国内で150社あまり、関連従業員は約12000名となっているが、ロボット専業メーカは非常に少なく、企業における複数の事業のうちの一つとした位置付けになっている場合が多い。[1)]

日本のロボット技術は、その普及状況、技術開発力、世界市場における競争力ともに世界のトップクラスと言っても過言ではない。その要素技術からみると、コントローラの小型化・高性能化（高速、高精度）が飛躍的に発展するとともに、制御理論面でも、力、振動、視覚応用、協調などの動作制御については、ほぼ理論体系が確立されている。

民生用分野におけるロボットの需要は、既に発表されているエンターテイメントロボットや癒し系のロボットに代表されるように、個人ユ

ースや一般家庭向けを対象としたもので、今後の社会環境の変化に伴って、ゆとりと豊かさの追求、少子高齢化社会の到来、ハンディキャップを負った人達の積極的な社会参加といった要因などから、大きな潜在的市場があるものと予測されており、2010年には産業用ロボットをしのぐ市場規模に拡大するとの予測もある。また、同様の理由から、今後非製造業ロボットでは、医療・福祉、農林水産・畜産、運輸・倉庫などの分野で需要が拡大すると予測されている。[2)]

３．県内企業の動向

県内企業で純粋にロボット関連の開発を行っている企業は少なく、非製造業分野では、教育用ロボットの製造販売、特殊環境での作業ロボット設計製造、またはロボットの要素技術研究を行っているところなど数社にとどまる。また、産業用ロボットの分野では、自動機メーカと自社用に既存ロボットの改造を行っている企業がある。

これらの企業を見ても、今後成長が期待される民生用ロボットに直結した開発を行っている県内企業は少ない状況である。

４．ロボットの開発動向と要素技術

４．１ 民生用ロボット

民生用ロボットはペット型やヒューマノイド型が製品化されているが、現状では企業イメージアップに活用されているのみで、収益を上げるまでには至っていない。今後、一般家庭に浸透していくためには、ヒューマンインターフェースや安全性の向上と価格の低減が課題であり、こうした分野の技術開発が必要である。

４．２ その他のロボット

極限環境においてミッションを遂行するロボットとして、惑星探査ローバ、レスキューロボット、原子力発電関連ロボット、水中ロボット、農業用ロボットなど、日常環境以外で用いるロボットについて、開発の動向および必要な要素技術について調査を行った。

（１）惑星探査ローバ

《 開発主体（調査対象)》

（独）宇宙航空研究開発機構

《 開発の動向 》

民間企業の技術を採用する動きあり。広範な要素技術が必要。ミッションの具体化は未定(2010 年以降)。

《 必要な要素技術 》

航法誘導制御系（カメラ、画像処理装置、レーザ測距計、傾斜計)、走行系（車輪、サスペンション、電動モータ、操舵機構)、熱制御系（ヒータ制御ラジエータ、断熱材)、電源系（太陽電池、パドル駆動、バッテリ、電力制御器)、通信系（アンテナ、通信回路、トランスポンダ)、データ処理系（コマンドデコーダ、データハンドリングユニット)、構造系（主構体、機械計装)、ミッション系（観測機器、分析装置、サンプル採取機構)、電気計装系。

（２）レスキューロボット

《 開発主体（調査対象)》

文部科学省（大都市大震災軽減化特別プロジェクト）

《 開発の動向 》

H14～19まで文部科学省でプロジェクトを実施。研究テーマ数47。

《 必要な要素技術 》

センシング、移動機構、空中移動、情報収集、環境モデリング、ヒューマンインターフェース。

（３）原子力発電関連ロボット

《 開発主体（調査対象)》

東京電力柏崎刈羽原子力発電所

《 開発の動向 》

原発は管理運転は電力会社、保守・点検・修理はメーカが担当。現在は原発メーカが検査用ロボットを電力会社に提案して共同開発。東京電力は県内大学や企業と共同研究を実施中。

《 必要な要素技術 》

耐高温、多湿、放射能性、高信頼性。

（4）水中ロボット

《 開発主体（調査対象)》

大手造船メーカ

《 開発の動向 》

目的とする作業を実現するオーダーメイド型の開発。開発実験に多額の経費を要する。

《 必要な要素技術 》

通信手段、電源系、自律制御、防水、耐圧。

（5）農業用ロボット

《 開発主体（調査対象)》

農業機械メーカ

《 開発の動向 》

実用化されているロボットはほとんど無い。安全面、コストなどで課題が多い。

《 必要な要素技術 》

センサ、自律制御、安全性。

5．ロボット要素技術

5．1 自律制御

5．1．1 概要

ロボットが自律的に動作するためには、最初に周囲の状況を正確に把握し、これに応じてどう動作するかを決定する必要がある。進みたい方向に障害物があれば、この障害物の位置や大きさを把握して回避しなければならない。これは知的な生物が有する性質で、人間のように完全に自律して移動するようなロボットは現状では存在しないが、研究室内などの限られた範囲内を自律して移動するものは実現されつつある。自律制御は、ロボットの特徴的な機能の一つであり、これについて現状の調査を行った。

自律制御を行うには、周囲の状況を把握する必要があり、現在最も一般的な方法はレンジセンサを用いる方法である。本調査研究では、レンジセンサの一つであるステレオビジョンを移動ロボットに取り付け、廊下を走行する実験を行うために、ステレオビジョンシステムと移動ロボットを試作した。

5．1．2 ステレオビジョンシステム

ステレオビジョンでは距離画像を求めることができるため、周囲の障害物の有無や位置を把握することが可能であり、移動ロボットの眼として使用できる。我々人間も、三次元世界を左右2つの眼の二次元網膜に射影し、その像に基づいて三次元の環境を判断している。

左右2台のカメラ画像において画像の対応点を求めるためには、左画像のある 1 点を中心に窓（n×m）を設け、右画像の同じ窓の大きさを切り出して相関値を計算し、最も相関の大きい点を対応点とする。対応点の探索は、2台のカメラモデルの幾何から求められる直線上（エピポーラ線）のみを行えばよい。ステレオビジョンはこの相関計算の計算量が非常に多く、処理時間が問題となっていたが、前の計算結果を利用して計算回数を劇的に減らす方法が提案され、また半導体技術にささえられた演算処理装置の高速化により、近年有効な距離情報センサとして注目されている。[3)]

試作したステレオビジョンシステムは、2台のカメラ画像をキャプチャーボードとMicrosoft社

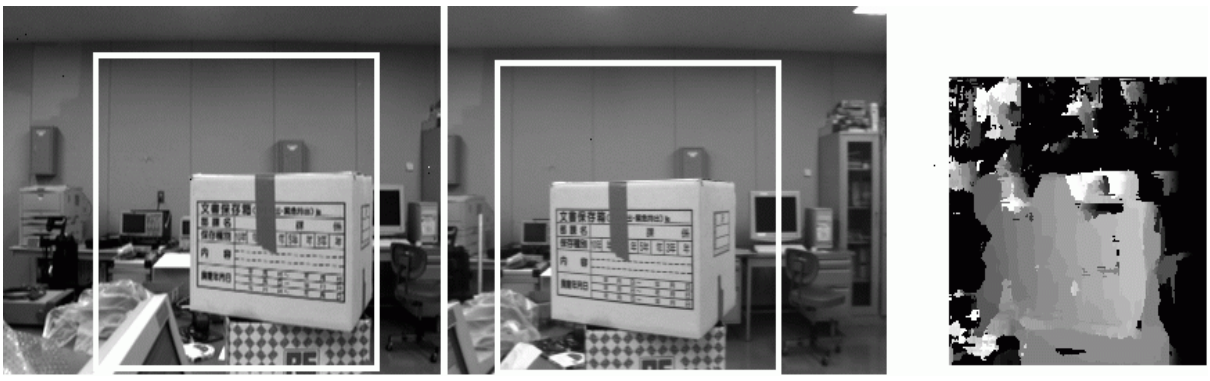

図1　2台のカメラによる左右画像と計算された距離画像（白が手前で黒が奥）

のDirectXでパソコンに取り込み、13×13画素の領域の相関計算で対応点を求め32段階の距離画像を計算するものである。図1に2台のカメラによる左右画像と計算された距離画像の例を示す。この図の左右のカメラ画像からわかるように、手前にあるものは、左右画像の対応点位置の差（視差）が大きく、奥にあるほどその差は小さくなる。ステレオビジョンでは複数台のカメラを使用しているが、カメラの特性や位置の違いによる画像の輝度変化を補正するため、LOG（Laplacian of Gaussian）フィルタ処理を行う。このフィルタ処理は画像のノイズを平滑化するとともに特徴を強調する働きがある。LOGフィルタ処理や相関計算にMMX命令を利用し、PentiumIVプロセッサ（1.7GHz）のパソコンを用い、200×200画素の大きさで毎秒10フレームの距離画像が得られた。

５．１．３ 自己位置算出

自律走行するロボットは自分が今どこにいるかを正確に把握しなければならず、ロボット研究の大きな課題になっている。人間も目的地に移動するためには現在の位置を正確に把握する必要があり、それがわからなければ迷子になってしまい目的地に達することができない。

屋外自律走行するロボットでは、GPSを使い自己位置を把握する方法が一般的である。近年、SAが解除されGPSの精度も上がり、DGPSを使うことでさらに誤差を少なくすることができる。ただし、建物の陰などのため補足するGPSの数が少ないと誤差が大きくなる欠点がある。特徴となる画像をGPSと併用する方法もある。

屋内では、画像を使う方法が一般的である。自律走行する範囲をあらかじめ走行してカメラから得られる画像を取り込み、その画像と比較しながら自分の位置を推定するもので、取り込む画像を固有空間法などで圧縮し、基準となる画像の情報量を減らす方法がある。また、全方位カメラで周囲360度の画像を使って精度を高める方法もある。

５．１．４ 実験用移動ロボット

ステレオビジョンを使用したロボットの自律制御の実験を行うため移動ロボットを試作した。図2に外観を示す。

2相ステッピングモータを2個使用して駆動し、全体の制御はH8マイコンで行う。この実験用移動ロボットにステレオビジョンを搭載し、障害物を避けながら廊下を走行する実験を行った。

図2　実験用移動ロボットの外観

５．２ 極限環境における潤滑技術

極限環境として真空、高圧、低温、高温のそれぞれの環境について現状の潤滑方法と問題点の調査を行った。

（１）真空環境

圧力10^{-3}Pa 程度までの潤滑には真空グリースが使用可能、これ以上の真空度になるとMoS_2等の固体潤滑剤を用いる。問題点はグリースの蒸発や固体潤滑剤の発塵による真空環境の汚染である。

（２）高圧環境

圧力発生装置の可動ピストンの潤滑では、MoS_2 粉末を塗布した鉛箔を摺動面に用いたり、超硬基材に種々の表面処理を施したものが使われている。問題点は摺動部の物理的または電気化学的な摩耗があげられる。

（３）低温環境

低温可動部のシールにはPTFEなどの高分子系材料と金属材料を組み合わせたものが用いられており、問題点は発塵などによる耐久性である。

（４）高温環境

高温環境での潤滑では温度が高くなるにつれてPTFEなどの高分子系材料から複合材、固体潤滑、非鉄合金、セラミックスなどが用いられる。温度領域と面圧、滑りスピードにより潤滑方法が異なってくることから、経験によって潤滑方法を選定している状況である。

６．今後の展開

今後産学官で取り組むべき研究課題として以下のテーマを検討、提案を行った。

（１）『人間型ロボットの視覚機構の高度化と高機能ハンドの開発に関する研究』

《 概要 》

高精度の視覚情報処理を行うシステムと、小型で高機能な多指・多関節ロボットハンドの開発を行い、人間のような高度な作業が可能なロボットに関する開発テーマ。この視覚情報処理部分は『ステレオビジョン画像処理技術の実用化研究』としてH16年度共同研究事業に採択。

（２）『無潤滑プレス加工技術および金型技術に関する研究』

《 概要 》

DLC膜およびセラミックスなどの利用による無潤滑プレス加工技術の開発、およびセラミックスなど、難加工型材料の加工技術の開発テーマ。今後、無潤滑加工に対するニーズ、効果についてさらに調査が必要である。

（３）（財）にいがた産業創造機構（NICO)と連携し、（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO)『21世紀ロボットチャレンジプログラム』へ応募。

テーマ名：『雪国の生活を支援する自律運行型除雪ロボットの研究開発』

《 概要 》

2005年愛知県で開催される「愛・地球博」で運用デモンストレーションを行うロボットの開発に対するNEDOの助成事業に応募するための技術的検討を行い、採択となった。

７．結言

（１）ロボットの市場と開発動向について調査を行い、今後民生用分野のロボットで高い伸びが期待されているものの、県内でこれに直結する開発を行っている企業は少数であることがわかった。

（２）ロボットのセンサとして注目されているステレオビジョンのシステムを試作し、MMX命令を利用したプログラムにより、200×200画素の大きさで毎秒10フレーム（Pentium Ⅳ 1.7GHz）の距離画像が得られた。さらにこのシステムを実験用移動ロボットに取り付け、障害物回避走行実験を行い、センサの有効性を確認した。

（３）ロボット関連要素技術の調査に基づき、研究開発テーマの検討を行った結果、H16年度の共同研究に1テーマ、NEDOの助成事業に1テーマ採択となった。

参考文献

1)（社）日本ロボット工業会：ロボットハンドブック，(2001)，16

2)（社）日本ロボット工業会：ロボットハンドブック，(2001)，23

3)岡田ほか：日本ロボット学会誌，Vol．18，No．6(2002)，138