

平成 15 年 戦略的基盤技術力強化事業
研究開発成果報告概要

事業管 理法人 名	社団法人 日本ロボッ ト工業会	代表者名	田崎 雅元	所在地	〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 機械振興会館 213 号室 Tel : 03-3434-2919
-----------------	-----------------------	------	-------	-----	--

管理番号 15R-7 技術分野 ロボット部品分野
技術区分 センサ関連技術
技術開発課題 高速・高精度化、小型軽量化および低価格化技術
テーマ名 移動ロボットの環境認識用レンジセンサシステムの開発
研究開発期間 3年

1. 委託事業実施の背景と委託事業の概要

(1) 委託事業実施の背景と委託事業の概要

・実施の背景

近年、犯罪増加の社会背景により施設や家屋における警備システムの拡充が益々期待されている。警備ロボットは現状の警備体制の種々問題点を解決する警備システムとして早期の普及が望まれている。それらを導入する上では環境モデルの作成と走行調整の時間短縮が最も重要な普及の課題となっている。

この課題を解決するためには外界センサとそれを利用した環境認識の技術が極めて重要となっている。本委託事業では、他の外界センサに比べ最も環境認識に有効な光レンジセンサを警備ロボットのような自律移動ロボットに特化した仕様で開発する。加えて、その光レンジセンサが容易に搭載できるように組み込み環境を整備する。

・事業の概要

警備ロボットが必要とする仕様の 2D 及び 3D レンジセンサを開発する。また、警備ロボットがこれら光レンジセンサを効果的に利用でき、警備ロボットシステムの普及を促進させるための環境を整備する。

① 超小型軽量 2D レンジセンサ

ホーム警備ロボット用に向けた超小型軽量で低価格な 2D のレンジセンサを開発する。

② 3D 高性能レンジセンサ

施設警備ロボット用に長距離検出可能な高性能 3D のレンジセンサを開発する。

③ 環境モデル作成システム

実際の警備ロボットの運用に実装できる環境モデル作成システムを開発し、さらに、実用的な有効性を確認する。

(2) 委託事業の国が提示した技術課題との整合性

本委託事業は、警備ロボットの環境認識のための光レンジセンサを開発し、また、ロボットがセンサデータを有効に利用できる環境も整備することにより、次世代ロボットのビジネス化への貢献を図るものである。

また本委託事業で解決を図る技術課題は、ロボット部品分野の技術区分センサ関連技術に該当し、センサの高精度化技術、小型軽量化技術、低価格化技術及びセンサと信号処理系の一体化技術の高度化を推進するものであり、まさしく本制度に整合している。

2. 委託事業全体の内容と目標

(1) 技術の内容と新規性、独創性、改善性又は技術基盤強化性

① 技術の内容

ホーム警備ロボットと施設警備ロボットには、各々に適した走行時にリアルタイムで障害物を回避するためのレンジセンサと環境認識用のレンジセンサが必要とされている。本研究では、その中で汎用性の高い超小型・低価格を重視したローエンドのホーム警備ロボットの障害物回避用 2D レンジセンサと、ハイエンドとなる施設警備ロボットの環境認識用 3D レンジセンサを開発し、さらにこれらのセンサを警備ロボットに適用させる際に必要な環境地図作成や経路計画システムを開発し、このセンサを直接的に警備ロボットに利用するための環境を整備する。

- ・ 2D レンジセンサは光強度を AM 変調して反射波の位相を検出して、距離を測定する方式を採用した 360° 方向に対する 1.5m の測距範囲を有する超小型低価格のセンサである。
- ・ 3D レンジセンサは、屋外でも利用し、また 30m の測距範囲を実現するためレーザ安全基準クラス 1 を保ちつつ高出力のレーザを利用できるパルス方式を採用したセンサである。また、ロボットの環境認識方法に自由度を提供するため垂直方向へもスキャンでき、水平スキャンを 20msec で行うという特徴を有する。
- ・ 環境モデル作成システムは、ロボットの初期導入時に簡単にモデルを与えて経路設定が出来ると同時に、ロボット稼動時にセンサで得た情報に基づいて環境モデルを更新し、さらにそれを用いてロボットを誘導できることを特徴とする。

② 技術の新規性、独創性、改善性又は技術基盤強化性

新規性又は独創性

1) 既存技術の保有者、技術水準

現在、移動ロボットが周辺環境を認識するために、用いているセンサには主に超音波式と光学式のものがある。超音波式距離センサや光学三角測距式距離センサは、一軸方向の距離しか測定できないので、ロボットの周囲に隙間ができないようにセンサを配置する必要がある。また、CCD カメラを 2 台使用したステレオカメラ方式を 3 次元センサとして利用する方法は、特徴点の少ない壁や天井等の認識ができない欠点があり、また受動型センサなので外乱光の影響を受けやすく、様々な環境を渡り歩く自律移動ロボットの環境認識には不向きである。これらの環境認識センサは、方式としては一般的であるが、特に独立したセンサシステムとして市販されているものは少なく、一般にはロボットをシステムとして作り上げる時にシステムインテグレータが適宜部品から組立てているのが普通である。

一方、自らスキャニング光を発し対象物までの距離を測定する光レンジセンサは、商品として開発され、北陽電機(株)の他に独 Sick 社などの外国製品が市販されている。これは、据え置きや大型の車両に搭載するために開発されたため、形状が大きくて重量も重く、消費電力も大きい上に実勢価格が 30～50 万円と高価であり、実用化ロボットには採用が困難である。

警備ロボットの環境モデル作成法として、総合警備保障(株)により人手を用いて作成する方式が開発され実用に供されている。一方、学会においては、筑波大学等により移動ロボットが自分の持つセンサで自ら環境モデルを作成する方法がいくつか提案されている。しかし、これらはほとんど実用的なロボットには適用されていない。

2) 如何なる点で新規性・独創性があるか、従来技術との違い。

本事業では、従来の光レンジセンサを大きく改良し、家庭内等の狭い屋内で働く低価格のローエンドの 2D 光レンジセンサと屋外環境にも対応するハイエンドの 3D 光レンジセンサに分けて

各々に適した仕様と方式に基づいて実現を図る。特に 2D レンジセンサとしては従来このような小型レンジセンサとして考えられなかったレーザによる測距方式を採用し、高精度化を図ると同時にデジタル信号処理を導入して信号処理系の LSI 化による低価格化を実現する。

また、3D レンジセンサについては、従来マイクロ波で用いられていた電子回路技術を適用すると共に光学系や信号処理系に新規の方式を導入し、2次元の機械的スキャンを行うことにより従来の高精度レンジセンサ以上の性能を有しながら大幅な小型軽量化と低価格化を実現する。

これら本事業で開発される光レンジセンサの機能を前提とすると、環境モデルの作成においても、新規で実用的な方式の実現が可能である。本事業においては、開発される光レンジセンサが 10mm の精度を有することを利用し、従来より学会等で提案されながら実用的には使われていなかった確率論的環境モデル作成手法を適用して、警備ロボットや移動ロボットが、人手で作られた大雑把な初期モデルを自らのセンサで更新して、高精度化していくシステムを開発する。この方式は、ロボットの初期導入の手間を大幅に軽減し、しかも運用時の信頼性を大幅に向上するものである。

3) その新規性、独創性はいかなる場所で認知されたか。

北陽電機(株)では、従来より光センサをはじめとする各種の FA 用センサや安全用センサの開発を行ってきた。その中で 4 年程前に AGV の衝突防止用に赤外線 LED を用いたスキャニング式距離センサを開発した。このセンサは AGV の安全用のものであったが、その機能が警備ロボットや移動ロボットのナビゲーションにも利用できることが総合警備保障(株)や筑波大学等から**発案**された。それをきっかけとして、北陽電機(株)において移動ロボット用センサ開発の可能性とそれに必要な機能、さらにその機能を実現するための 2D 及び 3D レンジセンサについて技術的課題が検討され、本技術の柱が考案された。

尚、レーザを用いた光レンジセンサには国内外で多くの特許が出願されている。代表的なものに、独 Sick 社の AM 変調の位相差方式による測距方式や飛行時間計測による測距方式の特許がある。しかし、光やレーザを用いて距離を測定する原理は、昔から知られた公知のものである。従って、これらの特許はいずれも精度の向上や計測値の検証方法に関するものであって基本特許ではなく、本提案における新規な方式はいずれもこれらの特許に抵触しない。

また、筑波大学や総合警備保障(株)では、これに必要なセンサの機能について、とりまとめを行い、そのセンサの性能が達成された場合に実現可能な環境モデル作成システムについて検討を行った。この中で、開発する環境モデル作成システムについての仕様の骨格が定まり、そのためのアルゴリズムの基礎が考案された。

(2) 技術目標値

① 技術目標値

本プロジェクトで開発するのは、

- ・ホーム警備ロボットが自己位置推定と障害物回避に利用する 2D レンジセンサシステム
- ・施設警備ロボットが経路計画と自己位置推定を目的とした環境認識に利用する 3D レンジセンサシステム
- ・警備ロボットがこれらセンサシステムを用いて環境モデルを作成し、自分の動作計画に利用するための走行経路設定・計画システムである。

これら各々の具体的技術目標値は次の通りである。

i) 超小型軽量 2D レンジセンサ

- ・検出距離 : 1.5m
- ・光源 : クラス 1 レーザ光 (ソフトウェアの指示による発光及びその停止の機能付き)
- ・測定精度 : ±10mm (標準白色紙)
- ・検出エリア : (水平) 360 度
- ・分解能 : 最小検出体 5mm / 0.5m

- ・ 応答速度 : 50ms 以下。
- ・ 外形 : $\phi 30 \times 70\text{mm}$
- ・ 重量 : 200gr.
- ・ 価格 : 数千円

ii) 環境モデル作成システム

- ・ GUI による警備する環境の地図の作成と巡回経路の設定
- ・ 2D および 3D センサのデータと警備ロボットのオドメトリとの組み合わせによる環境モデルの自動更新
- ・ 設定モードでの擬似ランドマーク設定と地図データへの登録
- ・ 稼動モードでの自動更新された地図データによる自己位置認識

②技術目標値の妥当性

・ 超小型軽量 2D レンジセンサ

ホーム警備ロボットが一般家庭に普及するためには、必要最小限に抑えた性能と徹底した低価格化がセンサに要求される。一般家庭の警備ロボットは、小型でゆっくり進むので、障害物を回避したり、環境認識を行うための必要範囲は 1.5 m 程度とされている。家庭内には大小さまざまな物体が存在するが、警備ロボットがそれらの大多数を避けて、広い行動範囲を得るためには、測定精度が $\pm 10\text{mm}$ 程度、分解能が $5\text{mm}/0.5\text{m}$ 程度必要となる。また、検出エリアを 360° とすることにより、センサの必要数低減と制御の簡略化が可能となつて、更なるコストメリットをロボットに提供する。

・ 環境モデル作成システム

本システムは本事業で開発される 2D 及び 3D レンジセンサを警備ロボットが有効に利用することにより、このセンサを用いた警備ロボットの普及を図るための標準的ソフトウェアである。本ソフトウェアの開発により、ロボットの初期導入時における GUI を用いた人手による容易な環境地図の作成と経路設定が可能となり、さらにロボットが稼動時にセンサデータを有効に利用して自己位置を認識し、環境モデルを自動的に更新することが可能となる。これらの各項目は、警備ロボットを家庭内や業務用の環境下で利用するための最低機能として、必要十分なものであり、本ソフトウェアの開発によりセンサを利用した警備ロボットが事業化される。

3. 委託事業全体における技術目標値を達成するための課題と解決方法

【現時点で把握している課題 1】

- ・ 小型化、省電力化、低価格化

【課題と認識した根拠】

普及型ロボットに搭載するためには小型化、省電力化、低価格化が不可欠であるため。

【解決方法】

高性能スキャナの開発と部品点数削減のための専用 L S I の開発

【解決方法であると認識した根拠】

大胆な小型化を実現するためには市販のモータの使用やディスクリット部品による電子回路の構成では実現できないため。

4. 当該年度における技術目標値の達成の状況と意義（実績）

1. 2D センサ（小型化、省電力化、低価格化）

① 技術目標値の達成の状況

2D センサ研究開発の進捗状況は、テクニカルサンプルを設計試作して、実験と改善による各技術目標値達成の見極めを行い、ユーザ評価用エンジニアリングサンプル（20 台）の設計と部品発注を行った。

② 達成状況の意義

日程的には、ユーザ評価用エンジニアリングサンプル（20 台）の設計と部品発注を完了できたので、次年度におけるロボットに搭載した実機レベルでの評価の計画が可能になった。標準型 2D センサに加え、高感度型 2D センサを提供することで、より多くの分野のロボットの普及に貢献できる。またセンサ稼動時の静音化に成功したので、医療施設や図書館などの公共施設で利用されるロボットへの搭載も可能になった。

2. 距離計測精度を 10 倍に上げるための高精度化技術および 3D に伴う高速応答化

① 技術目標値の達成の状況

3D センサ開発の進捗状況は、受光信号を直接デジタル化して取り込むためのハードウェアの基盤技術的な研究に留まった。

② 達成状況の意義

技術目標値を満足するための投受光回路の見通しが立った。次年度への残課題と開発の方向性が明確になった。

3. 警備ロボットシステム等に適用するためのセンサシステムとして使い易いデータ通信方法の開発

① 技術目標値の達成の状況

2D センサから出力する距離データを有効かつ簡便に利用できることを目的として、通信仕様を策定した。

② 達成状況の意義

ロボットが使い易いことを目的として仕様を策定したので、これまでの外界センサとは異なりロボットは 2D センサの出力データを有効に活用できる。

4. センサデータに基づいた地図作成システムとその自動補正方法の開発

①技術目標値の達成の状況

本年度は、計画通り環境モデル作成のアルゴリズムについて既存の研究の調査を行い、また、現存のセンサを用いて、その評価実験と問題の洗い出しを行った。

②達成状況の意義

次年度以降のシステム開発のための準備ができた。

5. 事業化の目標と当該年度に把握した事業化を取り巻く環境変化

①2Dセンサ事業化の目標

将来のポテンシャルユーザに研究内容をアピールするために、6月のROBOMEC04のセッションで研究成果を公開する方針を固めた。また2Dセンサを搭載できるロボットの種類と分野を拡大するために、2004年度下期に試作する商品としてのバリエーションを増やす計画について検討した。

②当該年度に把握した事業化を取り巻く環境変化

近い将来実用化を目指していると思われる複数のサービス分野RTの研究部門から、画像センサよりも信号処理が簡単で、超音波センサよりも精度良く環境を認識でき、従来の産業用レーザレンジファインダやレーザ距離計よりも超小型軽量かつ低消費電力な2Dレンジセンサ開発の必要性が寄せられている。