

平成 17 年度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 (代表者氏名)	社団法人 日本ロボット工業会 (会長 稲葉 善治)		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)	
技術分野	ロボット部品分野	技術区分	センサ関連技術	研究開発課題	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. 委託業務の概要

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。

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。

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。

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. 技術目標値

### サブテーマA：超小型軽量2Dレンジセンサ

#### 実施項目A - 1：標準型（当初の目標）エンジニアリングサンプルの製作と改良

- ・ 目標達成済みのため、今年度の研究事項はなし。今後は、事業化に取り組む。

#### 実施項目A - 2：

#### 長距離型（追加目標）警備ロボットのための改良型高性能システムの設計・試作

##### 目標値

- ・ 検出距離：9m
- ・ 光源：クラス1レーザー光
- ・ 測定精度：±30mm（標準白色紙）
- ・ 分解能：50mm / 5m（最小検出体）
- ・ 検出エリア：（水平）270度
- ・ 応答速度：50ms

#### 実施項目A：エンジニアリングサンプルの評価

##### 長距離型（追加目標）

評価用ロボットに搭載し、警備環境における有用性を確認する。標準型よりも効率的な障害物回避が行えること。

### サブテーマB：高速高精度3Dレンジセンサ

#### 実施項目B：3Dレンジセンサの設計・試作

##### 目標値

- ・ 検出距離：30m
- ・ 光源：クラス1レーザー光（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）220度、（垂直）45度
- ・ 分解能：最小検出体（水平）110mm / 20m、（垂直）1度
- ・ 応答速度：50ms（水平走査）
- ・ 外形：100 × 100 × 150mm
- ・ 重量：500gr.

### サブテーマA：超小型軽量2Dレンジセンサ

## 実施項目 B : 3Dレンジセンサの評価

- ・ 2次元走査レベルでの評価用サンプルと欧州製の2Dレンジセンサとの性能比較を行う。

## サブテーマ C : 環境モデル生成システム

### 実施項目 C : 環境モデル生成システムの設計・試作

#### 目標値

- ・ 環境地図作成、経路設定を行う GUI 上で、擬似ランドマークの設定ができる。
- ・ 稼動モードにおいて環境に変化があった場合に地図を自動更新する。

### 実施項目 C : 環境認識システムの評価

#### 目標値

- ・ GUI により作成された地図、設定経路に基づいてロボットを走行させる。地図の自動更新にも対応する。GUI ソフトウェアの操作性について評価する。地図作成、経路設定に要する時間について、人手による方法に比べて優れていること。

### 実施項目 C : 警備ロボットの使用環境における総合評価

#### 目標値

- ・ 実際の警備環境で、指定経路の巡回動作実験を行う。導入期間やメンテナンスの必要性について検証する。また、自律移動に関する研究への貢献を検証する。

### 北陽電機株式の事業化目標

- ・ H19 年度、次世代ロボットの一般社会への普及と共に H18 年度光レンジセンサを販売し新事業とする。

3. 目標値を達成するための解決策と具体的方法

現時点で把握している課題	解決策と具体的方法
<p><b>サブテーマA 超小型軽量 2Dレンジセンサの開発</b></p> <p><b>A 2Dレンジセンサの設計・ 試作</b></p> <p><b>A - 1. 標準型2Dレンジセン サの完成</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 応答速度 (50ms)</li> <li>・ 検出エリア (270°)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 応答速度 (50ms) と検出エリア (270°) の課題を解決できることの確認は、次項の長距離型2Dレンジセンサの開発で実施する。</li> </ul>
<p><b>A - 2. 警備ロボットのため の改良型高性能システムの設計・ 試作</b></p> <p>    ) 長距離型</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 応答速度 (50ms) と検出エリア (270°) の実現</li> <li>・ 検出距離 9m の実現</li> <li>・ 4m ~ 9m までの距離演算の補正アルゴリズムの開発</li> <li>・ 長距離化を実現する光学系の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 応答速度 (50ms) と検出エリア (270°) の課題を解決できることを確認する。</li> <li>・ 受光回路のダイナミックレンジを向上させ、9m の検出距離を実現する。</li> <li>・ 4m ~ 9m までの距離演算の補正アルゴリズムを開発する。</li> <li>・ 長距離化により要求される光学系の高精度化に関して、将来の商品化 (生産性) を考慮した実現方法を開発する。</li> </ul>
<p><b>A 2Dレンジセンサの評価</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ロボットが働く現場での実証</li> </ul>	<p>コンソーシアムのユーザ各社及び大学による実際の警備環境や実用的環境における環境認識や障害物回避について検証を行う。</p>

現時点で把握している課題	解決策と具体的方法
<p><b>サブテーマB 高速高精度3Dレンジセンサの開発</b></p> <p><b>B 3Dレンジセンサの設計・試作</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 投受光回路の小型化</li> <li>・ 応答速度（走査時間）の達成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 昨年度に試作したテクニカルサンプル回路を商品化に向けて小型化する。</li> <li>・ スキャナの制御とタイミングを調整し、応答速度の実現性を検証する。</li> <li>・ 距離データ補正アルゴリズムの研究により、処理時間の短縮を図る。</li> </ul>
<p><b>B 3Dレンジセンサの評価</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 測定精度、角度分解能、応答速度において、欧州製のレンジセンサと同等以上の性能であることを確認する。</li> </ul>
<p><b>サブテーマC 環境モデル作成システムの開発</b></p> <p><b>C 環境モデル生成システムの設計・試作</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>）擬似ランドマークとして用いる対象の選定</li> <li>）環境変化と自己位置認識のずれとの区別</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 環境中で特徴的な形状を有する部分を利用する。</li> <li>・ 周囲全体の環境を見渡し、まず自己位置のずれの影響を取り除いてから、環境変化を抽出する。</li> </ul>
<p><b>C 環境認識システムの評価</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>）地図の自動更新に対応したロボットの自律走行の実現</li> <li>）ユーザインタフェースの操作性の評価</li> </ul>	<p>地図の自動更新のためのソフトウェアと、自律走行のためのソフトウェア間で情報を交換して連携させる。</p> <p>地図作成、経路設定に要する時間について、人手による方法と比較することで、インタフェースの操作性を含めた総合的な有用性を評価する。</p>

現時点で把握している課題	解決策と具体的方法
<p><b>サブテーマC 環境モデル作成システムの開発</b> <b>(続き)</b></p> <p><b>C 警備ロボットの使用環境における総合評価</b></p> <p>)システムの総合評価のために実際の巡回警備動作を行わせるには、それぞれに開発された要素技術を警備ロボットに組み込み、安定して動作させなくてはならない。</p>	<p>ユーザ企業である総合警備保障(株)、(株)テムザック及び筑波大学、大阪電気通信大学、岡山大学における従来のシステム構築の経験を活かして、開発したセンサが有効に働くシステムのインテグレーションを実施する。</p>

#### 4 . 当該年度における技術目標値の達成状況と意義

##### サブテーマA：超小型軽量2Dレンジセンサ

###### 実施項目A - 1：エンジニアリングサンプルの製作と改良

技術目標値の達成の状況

- ・ 目標達成済みのため、今年度の研究事項はなし。今後は、事業化に取り組む。

達成状況の意義

- ・ 目標達成済みのため、今年度の研究事項はなし。今後は、事業化に取り組む。

###### 実施項目A - 2：警備ロボットのための改良型高性能システムの設計・試作

技術目標値の達成の状況

長距離型：

- ・ 検出距離：光学系を開発して、11.2m までの検出距離を達成した。( 1 2 4 % )
- ・ 光源：レーザ安全クラス1相当の放射パワーを実現した。( 1 0 0 % )
- ・ 測定精度：測距演算と補正アルゴリズムの開発により、測定精度 ± 30mm を達成した。( 1 0 0 % )
- ・ 分解能：演算時間の短縮に成功し、0.36 度ステップで実現し、最小検出体 32mm / 5m を達成した。( 1 5 6 % )

- ・検出エリア：1次試作機の構造上の都合により240度で開発を進めた。次期開発試作にて270度の確認を行う。（89%）
- ・応答速度：演算時間の短縮に成功し、0.36度ステップを実現した上で50msの応答速度を達成した。（100%）

#### 達成状況の意義

##### 長距離型：

- ・検出距離に関して、標準型2Dレンジセンサの測距技術の拡張で10m以上の長距離測定を実現できることが証明された。
- ・光源に関して、測距性能を達成した上で、レーザ安全クラス1相当の放射パワーを実現できたことは、センサの用途を制限することなく、事業化企画の可能性を広げる。
- ・測定精度 $\pm 30\text{mm}$ と分解能 $32\text{mm}/5\text{m}$ を達成したことは、サービスロボットが10m先の人体の足も検出できる可能性があることを意味する。
- ・検出エリアに関しては、市場要求を調査した上で、次期開発試作にて270度の確認を行う。
- ・応答速度50msは秒20スキャンであり、サービスロボットや他のシステムにおいて、ビデオカメラのレートと同レベルのレスポンスを発揮することを意味する。

### 実施項目A：エンジニアリングサンプルの評価

#### 技術目標値の達成の状況

- ・走行経路、障害物の環境設定等について具体的な長距離型の評価実験の方法を検討し、実験のための準備を整えた。達成度：50%
- ・実験用のロボットの整備を行い、長手方向20m程度の廊下で、現状の2Dセンサ（URG-X003S）を用いた基本的な走行実験を行い、検証を行う方法を検討した。

#### 担当部分の達成度：100%

- ・標準型2Dレンジセンサ5.5m出力オプション仕様の評価実験を行い、長距離仕様2Dレンジセンサの機能・性能の妥当性を確認した。（100%）

#### 達成状況の意義

- ・走行経路、障害物の環境設定等について、長手方向20m程度の廊下など、長距離型の具体的な評価実験の方法を検討し実験のための準備を整えたことは、北陽電機からセンサが提供され次第、適切な評価実験を行えることを意味する。
- ・標準型2Dレンジセンサ5.5m出力オプション仕様の評価実験により、サービスロボットにおける長距離型2Dレンジセンサの有用性が期待できる。

## サブテーマB：高速高精度3Dレンジセンサ

### 実施項目B：3Dレンジセンサの設計・試作

#### 技術目標値の達成の状況

- ・検出距離：独自の測距方式を確立することに主眼を置き、光学系の工夫により60mの検出距離を確認した。(200%)
- ・光源：レーザ安全クラス1相当の放射パワーで設計、試作した。(100%)
- ・測定精度：独自の測距方式により±10mmの精度を実現した。(100%)
- ・検出エリア：目標の220度に対し240度を達成できた。(109%)
- ・分解能：システムの高速化により、水平方向は目標の110mm/20mに対し、ステップ角0.28度で49mm/20mを達成した。(224%)
- ・応答速度：独自のシステム構成により25msを実現した。(200%)
- ・外形および重量：今年度開発した2Dレベルの高性能センサ試作機の評価により、大幅な小型、軽量化の見通しが立った。今後は3Dスキャナユニットの技術を統合して次期3Dレベル試作機の開発に向けて研究を継続する。(30%)

#### 達成状況の意義

- ・検出距離60mの達成は、実用的な30m仕様を設計するにあたり、光学系の大きさを半分に小型化できる可能性が高い。
- ・光源に関して、測距性能を達成した上で、レーザ安全クラス1相当の放射パワーを実現できたことは、センサの用途を制限することなく、事業化企画の可能性を広げる。
- ・測定精度±10mmの実現は、国内初となる独自の測距方式の確立を意味する。
- ・検出エリアに関して、水平方向は240度を達成し、垂直方向が3Dスキャナユニット開発の実績をベースに、今後は事業化を意識した3Dレベル試作機の研究となる。
- ・分解能に関して、水平方向49mm/20m、垂直方向1度を達成したことで、今後の事業化企画のための基盤技術となる。
- ・応答速度25msの実現は、制御システムにおける3D環境データ計測の最低速度をクリアしたと言える。
- ・3Dレンジセンサの事業化において、外形および重量は重要な要素の一つであり、今年度の研究成果は将来の小型、軽量化に関する商品の競争力強化につながる。



## 実施項目 B : 3Dレンジセンサの評価

技術目標値の達成の状況

- ・ロボットへの実装、計測を行う環境設定等について具体的な評価実験の方法を検討し、実験のための準備を整えた。達成度：50%
- ・URGを回転させる方法による3Dレンジセンサを開発し、回転の効率化や回転軸の取り方などについて検証した。その結果、静止障害物の計測については実現できたが、移動障害物などに適用するには、1回の距離測定に要する時間を短縮する必要が確認できた。  
担当部分の達成度：90%
- ・標準型2Dレンジセンサを垂直方向に回転させる3Dアクチュエータに取り付け、3次元空間をスキャンする実験を行い、3Dレンジセンサの機能・性能の妥当性を確認した。(100%)

達成状況の意義

- ・ロボットへの実装、計測を行う実験のための準備を整えたことは、今後、北陽電機からセンサが提供され次第、適切な評価実験を行える。
- ・URGを回転させる方法による3Dレンジセンサの研究により、独自の測距方式の重要性が確認できたので、今後の開発では特に応答速度を意識する必要がある。
- ・標準型2Dレンジセンサを垂直方向に回転させ3Dレンジセンサの妥当性を確認できたので、事業化を意識した3Dレベル試作機の研究を進める。

## サブテーマC：環境モデル生成システム

### 実施項目C：環境モデル生成システムの設計・試作

技術目標値の達成の状況

- ・生成した環境地図データをGUIの画面上に表示し、その上でランドマークとして利用する特徴の設定を行うソフトウェアを構築した。また、ロボットが動作中に、地図と異なるデータが得られた場合に、地図データを修正するソフトウェアを構築した。  
達成度：100%
- ・「空間スキャナ」で獲得した三次元環境情報を二次元化し、一般化ボロノイグラフを生成する手法を用いて、未知環境の探索を行うアルゴリズムを開発し、実際のロボットで実験を行った。本技術は、地図の自動更新に応用できる。  
担当部分の達成度：100%

達成状況の意義

- ・生成した環境地図データをGUIの画面上に表示し、その上でランドマークとして利用する特徴点の設定を行うソフトウェアと、地図の自動更新ソフトウェアを構築した。これらの成果により2Dおよび3Dレンジセンサの優位性を警備ロボットなどの自動巡回行動に活かすことができる。

- ・「空間スキャナ」で獲得した三次元環境情報を二次元化し、一般化ボロノイグラフを生成する手法を用いて、未知環境の探索を行うアルゴリズムを開発し、実際のロボットで実験を行った結果、走査速度を向上できる3Dレンジセンサの必要性が改めて確認された。

### 実施項目C：環境認識システムの評価

技術目標値の達成の状況

- ・試作した環境認識システムのGUI上で経路を設定し、それに基づいてロボットを自律走行させる実験に成功した。また、予め作成した地図中にある物体が移動した場合でも、地図が自動更新されて、それに適応して目的地まで走行できることを確認した。また、開発したGUIの試用実験を行い、環境モデルの取得と、経路情報の設定作業について、人手で行う際よりも少ない総作業時間で実行可能であることを確認した。

達成度：100%

達成状況の意義

- ・警備ロボットの導入やメンテナンスする際、巡回経路の設定や修正に多くのコストが掛かる問題があるが、今回の成果により大幅な時間短縮が実現でき、警備ロボットシステムのコスト削減と普及が期待できる。

### 実施項目C：警備ロボットの使用環境における総合評価

技術目標値の達成の状況

- ・複数の移動ロボットにセンサを搭載して、さまざまなシチュエーションでのセンサの利用形態の検討と計測実験を行い、センサの有用性を確認した。

達成度：100%

- ・様々なロボットにURGを搭載して、自律移動に関する研究を行った結果、小型軽量で、かつ、距離が直接計測できるため、各ロボットの対象物認識の信頼性が向上した。

担当部分の達成度：100%

- ・自作した3Dアクチュエータを評価用ロボットに搭載し走行実験を行い、2Dレンジセンサが実用的で有用であることを確認した。

達成度：100%

達成状況の意義

- ・環境に応じて自律的な移動機能が求められる警備ロボットや様々なサービスロボットにとって、本研究の成果である2Dおよび3Dレンジセンサとそれを効果的かつ簡便に利用できるソフトウェア環境の開発は、これまでの自律移動の種々の課題を解決し、多くの研究者による新たなロボットの可能性を導くこととなった。

## 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

### 2D レンジセンサ事業化の目標

- ・標準型 2D レンジセンサの基盤技術を用いて、測域センサ URG-04LX の商品化に成功した。
- ・北陽電機(株)の既存ビジネスに向けて、測域センサ URG-05LN-C01、URG-04LN を商品化した。
- ・長距離型 2D レンジセンサの商品化に向けた開発を行う。

### 3D レンジセンサ事業化の目標

- ・他方式の外界センサの動向を考慮し、3D レンジセンサの用途や仕様を検討して、商品化の可能性を検討する。

### 当該年度に把握した事業化を取り巻く環境変化

- ・愛地球博でのロボットの活躍の後も複数の新しいロボットの商品化が発表された。今後は、測域センサ(2D レンジセンサ)の機能・性能を絞り込んだ更なる低価格商品の開発も検討する必要がある。
- ・次世代ロボット以外の業界において、測域センサの大幅な小型化により、これまで考えられなかった応用が生まれつつあり、本研究の成果は、ロボット以外の産業の発展にも貢献できると推測される。

以上