

課題情報シート

課題名：	画像認識走行機能を有する多目的警備ロボットの開発		
施設名：	北陸職業能力開発大学校		
課程名：	応用課程	訓練科名：	生産システム技術系
課題の区分：	開発課題	課題の形態：	製作

課題の制作・開発目的

(1) 課題実習の前提となる科目または知識、技能・技術

共通：安全衛生、生産管理、品質管理

機械：設計・製図、CAD/CAM、機械加工、材料、力学、機構学

電子：電子回路設計製作、センサー応用、マイコンシステム設計、アクチュエーター

情報：画像処理、プログラミング、計測制御

(2) 課題に取り組む推奨段階

機械：機械設計製図及び精密機器製作課題実習・自動化機器製作課題実習終了後

電子：電子装置設計製作実習終了後

情報：インターフェース設計製作実習・計測制御システム構築課題終了後

(3) 課題によって養成する知識、技能・技術

機械：設計、CAD/CAM 技術、機械加工、組立・調整・検査

電子：マイクロコンピュータ応用技術、電子回路設計製作技術、センサー応用

情報：計算機システムの設計、実装、テスト、運用

(4) 課題実習の時間と人数

人数：12名（生産機械システム技術科4名、生産電子システム技術科4名、
生産情報システム技術科4名）

時間：972時間

警備ロボットは、凶悪犯罪の増加や犯罪検挙率の低下に伴う治安の悪化や労働人口減少に伴う警備員確保の難しさから、以前より警備会社で開発が行われており、最近では少しずつ運用がなされてきています。

しかしながら、普及には至っていません。その理由として、非常事態の認識やエレベーターによる移動などの技術的問題、また、運用する施設の大幅な改修工事が必要であること、夜間のみの業務では費用対効果が小さいことが挙げられます。

本稿はこれらの課題に取り組み、夜間のビル巡回警備業務と、昼間の来客ガイド業務を兼用する画像認識機能を有する多目的警備ロボットの開発について報告したものです。

課題の成果概要

今回製作した画像認識走行機能を有する多目的警備ロボット（図1）は、外形寸法が幅600[mm]、奥行き600[mm]、高さは1300[mm]で、重量が58[kgf]です。走行部は駆動方式に2輪独立駆動と従動輪を採用し、ステアリングは2輪速度差による信地旋回とし、駆動モーターにDCサーボモーターを用いて、平均移動速度として1.0[km/h]のスペックを持っています。また、エレベーターのボタンに近づくために、ロボットを横移動させるので、駆動輪にリンク機構（図2）を設けてステッピングモーターで駆動輪を90度回転させます。アーム部（図3）は、ボタンを押しやすくするために、平行リンク機構を使っています。その動力として、肩部にDCサーボモーターを、指部にDCモーターをそれぞれ採用しています。ロボットが外界を認識するセンサーとして、走行用にWebカメラ、光測距センサー、超音波センサーを、旋回用に光測距センサー、地磁気センサーを、人体検知用に焦電センサーを、ボタンの認識用にWebカメラをそれぞれ搭載しています。周りの状況を察知、判断することで行動を自ら決める自律型警備ロボットとして、前方の画像から次の動作に必要な情報量を取得できた（図4、図5）ことやそれらに応じて適切に動作する電子回路とメカニズムがシステムの完成へと導きました。



図1 ロボットの外観

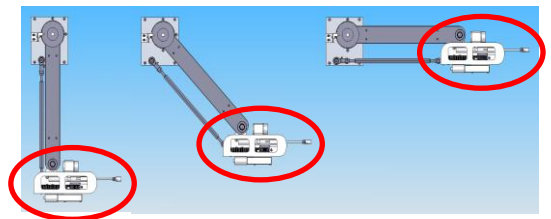


図3 腕部の平行リンク機構

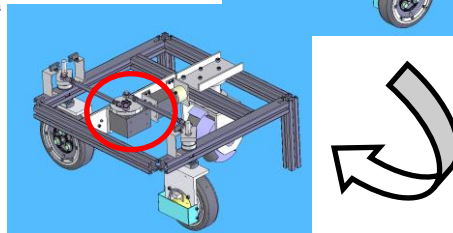
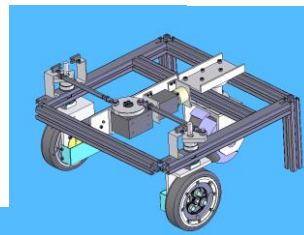


図2 旋回用リンク機構



図4 エレベーターのボタン探索



図5 画像認識による進行方向の決定

課題制作・開発の訓練ポイントおよび所見

〈訓練ポイント〉

〈メカニズムについて〉

(1) 作業体制

本体を走行部、アーム部、指部、本体フレーム部に分類し、各学生がそれぞれの部分を構想設計、詳細設計、製作、組立・調整の各段階を一貫して担当する体制をとりました。この独立一貫作業体制は、それぞれのパートでの責任は取りやすい一方、他のパートとの連携が不足しやすいので、この点に関しては、頻繁にミーティングを重ねて情報の共有化を図りました。

(2) 設計コンセプト

開発課題のような比較的大きなシステムでは、設計段階の出来具合が重要になることは言うまでもありません。設計コンセプトとして、①高機能設計（高付加価値設計） ②高信頼性設計 ③軽量・高剛性設計 ④高精度設計 ⑤メンテナンス設計 ⑥高 CP（コストパフォーマンス）設計 ⑦機能美設計 の7点を掲げ、各段階の検証の基準にしました。

(3) 構想設計

昨年の開発課題を参考に機能上の問題点を抽出し、走行部に横移動の1自由度を付加することでアーム部の自由度を昨年の4から1に減少させる構想は②の信頼性、③の軽量・高剛性、その他、⑤のメンテナンス性、さらに⑥の高 CP 化にも好影響が期待されるという結論のもと、構想設計を展開しました。各部の構想は以下のように決定しました。

1) 走行部

- ・駆動方式：独立2輪駆動（サーボモーターによる速度制御、位置決め制御）
- ・車輪配置：3輪（1輪自在キャスター）
- ・駆動輪旋回：エレベーター操作時のみ90度旋回、通常走行時は旋回軸をロック
- ・駆動輪：遊星歯車減速機内臓のホイールインモーター方式

2) アーム部

- ・アーム軸旋回：サーボモーターによる位置決め制御
- ・高精度減速機の採用
- ・平行リンクの採用（アーム旋回時に常に指部の伸縮軸を水平にする）

3) 指部

- ・伸縮軸：ラックピニオン機構の採用
- ・指先端緩衝機能：引込型単動シリンダの採用

4) 本体部

- ・外形の形状の素案作成
- ・全体サイズの小型化（特に幅寸法）と軽量化
- ・本体：アルミフレーム材構造

- ・外装：アクリル材

これらの構想は学生のみで決定された訳ではありません。学生にとってはこれらの機構や名称を仮に知っていても、その応用技術については、経験がないため、十分に活用ができません。一方、システム開発において構想設計は最も重要なステップで、ここで道を誤ると全体の致命傷になりかねず、上記の仕様を、ミーティングの中で薄く描かれた下書きのように提示しながら、学生自らによって判断させるような配慮を行いました。指導側の提案を強行するのは開発の成功率は高まるとしても、学生にとっては受動的な作業者にしかならず、学生自身のモチベーションも上がりません。これでは教育効果は半減してしまいます。一方、すべてを学生の自由な発想に任せ、白紙から描かせるのは一見、独創性を引き出し良さそうに思われますが、開発としては失敗する可能性が高くなります。それは、学生の知らない知識や技術を取り入れることができないため、陳腐で幼稚なものに成りかねません。

この段階で指導者側が最も注意すべき点は、いろいろな情報を提供しながら、学生が納得して最後は学生に判断させることにあります。そのために必要なのは、学生と徹底的に論議することです。また、大筋のシナリオを描きながら議論をする中で、方針を修正し得る指導の柔軟性も必要です。

(4) 詳細設計

基本構想ができて、詳細設計が十分でなければ、期待する性能は発揮されません。詳細設計で下記の項目を決定しながら3次元CADで図面化しました。

1) 走行部

- ・駆動モーターの選定：扁平サーボモーターの選定
- ・ホイールインモーター：遊星歯車減速機構の設計
- ・自在キャスター：オムニホイールの選定
- ・駆動輪旋回機構の設計：ステッピングモーターと無励磁作動電磁ブレーキの選定

特に遊星歯車減速部は、インホイールのためのコンパクト化と、高精度設計に最も時間を要しました。学生は公差の概念は理解していても、適用基準を理解しておらず、検図では、特に公差を中心に綿密に行いました。

2) アーム部

- ・サーボモーターの選定
- ・高精度減速機としてハーモニックドライブの採用

アームの旋回では、アームの長さが位置決め精度に大きく影響するため、減速機としてバックラッシュが極小のハーモニックドライブを採用しました。本ロボットでは最も高コストの部品となりましたが、ロボット設計の定石として試みました。

3) 指部

- ・伸縮軸のラックピニオンの設計
- ・モーター／減速機の小型化設計

指部はいかにコンパクトにするかがカギとなりました。

4) 本体部

- ・外形形状の決定
- ・曲面化設計の具体化：アクリル板の曲げ

本課題で取り扱うロボットは、直接人間と対峙する性格上、形状も人型で3次元曲面が望まれます。この点でFRP成形なども検討しましたが、型製作の技法の習得にかなりの時間を必要とすることから、本体外形は曲面平板と頭部のドームを組み合わせたデザインのものを採用しました。

(5) 製作／組立／調整

製作で最も注意を払ったのは、大口径の公差（h7、H7）加工を必要とする遊星歯車減速用部品で、小口径のものは練習の意味も含めて自由に加工を行わせました。製作品は失敗したものを含めて、すべて仕上がりのチェックを行った。全部品について詳細な検図を行っていたので不良品は予想外に少なく済みました。

組立もスムーズで、再加工に至ったものはほとんどありませんでした。

<制御部について>

機能はモーター制御、センサー制御、電力系制御の3つに分け、ノートPCからの通信で各制御が実行されようにしました。（図6）

図6に示すような構成を作り上げるために、機械系や情報系の学生との連絡を緊密に行い、システムのイメージを作り上げ、同時に使われる各種センサーやドライバーの実験を並行して行わせました。こうすることで、各制御に搭載する機能が下記のように決定されました。

○モーター制御

- ・脚回り動作の制御
- ・ホールセンサーによる走行距離測定
- ・駆動輪の旋回
- ・腕位置の制御
- ・ボタン押し動作

○センサー制御

- ・光測距離センサーによる四方向の距離測定
- ・超音波センサーによる障害物の検知
- ・地磁気センサーによる本体角度測定
- ・焦電センサーによる不審者の検知
- ・パトライト点灯による不審者への威嚇行動
- ・バンパーセンサーによる衝突の検知
- ・状態遷移ランプ点灯制御

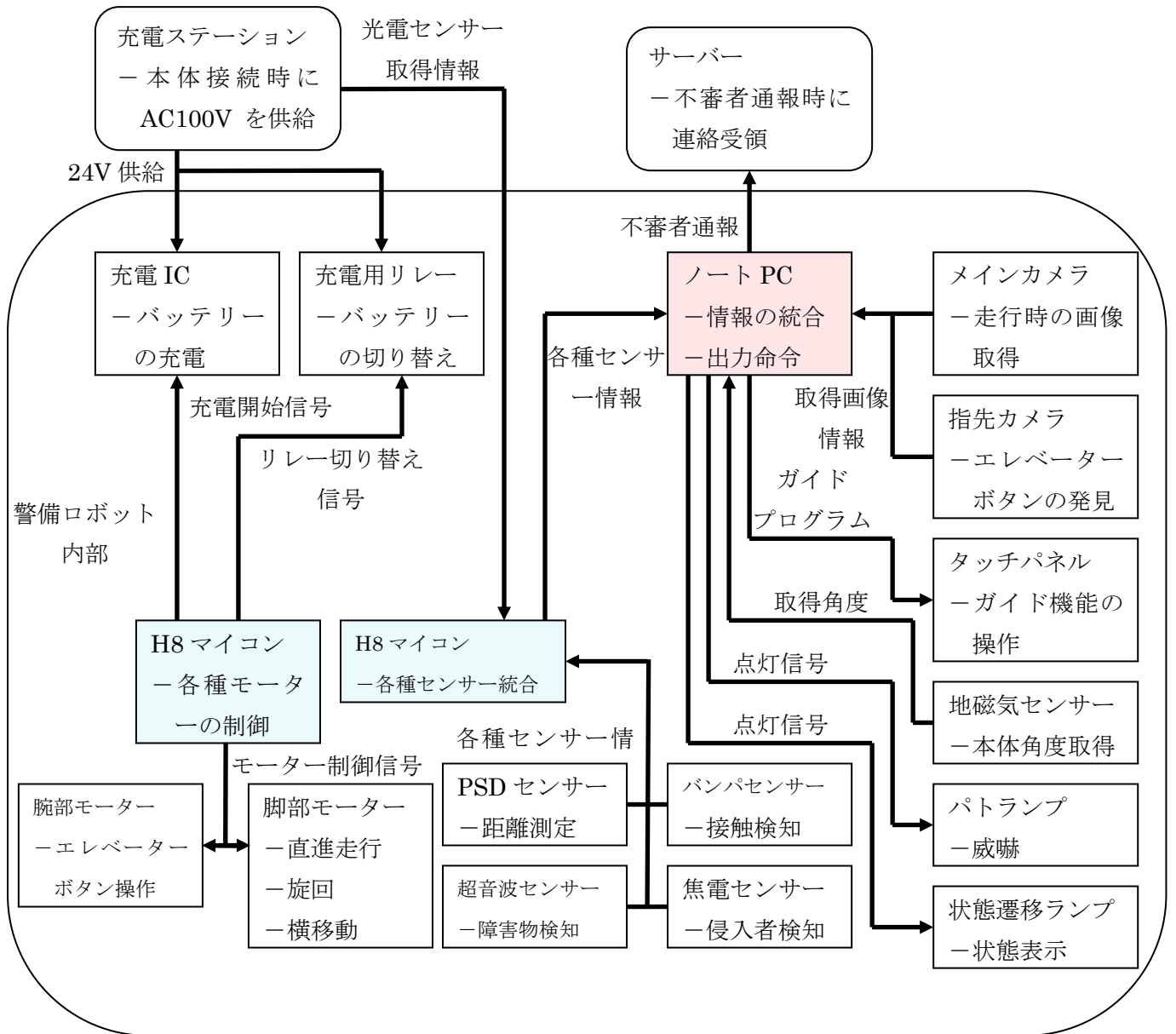


図6 制御部の構成図

○電力系制御

- ・電力供給／充電の切り替え
- ・充電機能
- ・バッテリー残量測定
- ・光電センサーによる充電ステーション検知
- ・タッチパネルへの電力供給

このようにして、構成を確立させ実際の作業工程に遅れが出ないように調整を進めてきました。これにより、製作した各制御部の問題点と改善案を学生自らが対応することができました。余裕を持って製作課題を完成に導くことで、次のステップに進むためには、何をどうすればいいのかを考えさせる機会が取れたので、学生の向上心を高めることができ

ました。

<ソフトウェアについて>

自律型ロボットを開発するにあたり、取得した外界の情報から状況判断を行い、次にとるべき行動をどのようにして決定するのかを考えるとところが面白みの一つです。今回は無人の構内を警備するというシチュエーションの中で、ロボットを計算機システムとしてイメージし、状況に応じて負荷装置を適切に操作するというコンセプトを学生に持たせました。昨年度は、外界の情報を取得するために、ロボットと通路の壁の距離を測ることで制御量を算出することを試みましたが、結果として完成には至りませんでした。

そこで、今回はロボット前方に取り付けたカメラ画像を主体に、センサー情報から状態を認識して、次の行動に必要なとされる制御量を算出する方法に取り組みました。また、昨年度の走行部を活かし、早い段階から実験を伴った構想を練ることができたので、画像データから如何にして情報量を獲得し、認識を行うかを学生に理解させたことが、完成に導いた要因です。情報系の担当として、「警備機能」と「ガイド機能」の二つがあり、その他にガイド中に充電を行うために、「充電機能」を備えています。各機能を必要とされるものを、三科の話し合いから意見をもらい決定した。

● 警備機能

・直線走行機能

ー廊下の中心を走るための機能、画像処理によって廊下の中心を見つけ、走行する

・移動体検知

ー不審物発見時に常にカメラ中心に捉えるために不審物を検知する

・エレベーター搭乗機能

ー他の階へ移動するためにエレベーターを見つけ、搭乗し、他の階へ移動する

・障害物回避

ー走行経路上に障害物がある場合、大きさを判断し回避等の行動をとる

・仮想 MAP

ーロボット内に搭載された地図を元に自分の現在地を把握する

● ガイド機能

・案内機能

ー部屋、または人物から目的である部屋への経路を案内する

・掲示板機能

ーお知らせ、または予定といった情報を閲覧することができる

● 充電機能

・ドッキング機能

ー充電ステーションからプラグを通じてロボットへ電力を供給するために自ら接続する

● その他

- ・ガイド←→警備機能の切り替えは警備員が手で切り替える（誤作動防止の為）

次に、これらの詳細な機能について、各自の意見を出し合い決定を行いました。情報系はセンサーから得られる情報量に関して、電子系とインターフェースの取り決めを行ってから、ソフトウェアの仕様・設計に移行することになっていましたが、画像情報をダイレクトに取得できたことで、数量的な実験が早期に行え、工程の進捗に好影響をもたらしました。

ガイド機能に関しては、データベースを主体にした標準課題をもとに、学生が創意あふれる提案をして実現することができました。

最後に、警備機能に関する情報システムには、4人の学生がほぼ均等に関わることができ、画像認識を通じ、いろいろなアイデアについて学生と討議を有意義に行える時間が取れ、設計にも余裕が生まれました。

〈所見〉

今年度の課題は機械、電子、情報の各系の学生の連携がスムーズに行われ、成果としては、ほぼ満足できるものとなりました。その要因として次の6点を挙げます。

- ① 2年目の継続課題で、初年度の問題点を整理できたこと
- ② チームワークがよかったこと
- ③ 適当な難解さで、学生に考えさせることでモチベーションを継続できたこと
- ④ 工程管理が順調だったこと
- ⑤ 構想設計を綿密に行ったこと
- ⑥ 詳細設計で時間をかけ、製作部品にほとんど不良がなかったこと

教育的効果という見地から開発課題をとらえれば、前述したように白紙の状態から学生のもつ創造力、その時点の技術を結集して開発させてみたいと思っています。そして、あえて様々な失敗を経験させることにより、理論を背景にした成功への道を学ばせたいと思います。

養成する能力 (知識、技能・技術)	課題制作・開発のポイント	訓練（指導）ポイント
<ul style="list-style-type: none"> ○機械設計技術（機構、精度） ○機械加工技術 ○センシング技術 ○モーター制御技術 ○マイコン制御技術 ○画像処理技術 ○無線通信技術 ○制御回路設計技術 	<ul style="list-style-type: none"> ◇コンパクト駆動メカニズム ◇腕部の自由度の削減（リンク機構の採用による軽量化） ◇画像による位置認識 ◇仕様を満たすセンサーの選定 	<ul style="list-style-type: none"> ●チームワークの強化 ●モチベーションの継続 ●工程管理の維持 ●綿密な構想設計

課題に関する問い合わせ先

施設名 : 北陸職業能力開発大学校
住所 : 〒937-0856
富山県魚津市川縁 1289-1
電話番号 : 0765-24-5552 (代表)
施設 Web アドレス : <http://www.ehdo.go.jp/toyama/college/>