

平成 23 ～ 24 年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「自動隊列走行を実現するマルチホップ無線通信を用いた
搬送システムの開発」

研究開発成果等報告書

平成 25 年 3 月

委託者 九州経済産業局

委託先 財団法人福岡県産業・科学技術振興財団

目 次

第 1 章 研究開発の概要	1
1－1 研究開発の背景・研究目的及び目標	2
1－1－1 研究開発の背景	2
1－1－2 研究目的及び目標	3
1－2 研究体制	4
1－2－1 研究組織及び管理体制	4
1－3 成果概要	6
1－3－1 研究項目「1. 組込みソフトウェアの開発」	6
1－3－2 研究項目「2. 走行管理システムの開発」	9
1－3－3 研究項目「3. ハードウェアの開発」	9
1－4 当該プロジェクト連絡窓口	11
第 2 章 組込みソフトウェアの開発	12
2－1 マルチホップ無線通信制御アルゴリズムの高度化	12
2－1－1 序論	12
2－1－2 実施内容	12
2－2 走行制御アルゴリズムの開発	12
2－2－1 序論	12
2－2－2 搬送ルート認識技術	12
2－2－3 速度管理技術	14
2－2－4 衝突防止技術	15
2－2－5 隊列走行技術	17
2－2－6 同期動作技術	17
2－3 走行試験及び試験	18
2－3－1 序論	18
2－3－2 単体走行試験	18
2－3－3 隊列走行試験	19
2－3－4 バンパー停止確認	19
2－3－5 メロディホーン確認	19
2－3－6 ウィンカー確認	20
第 3 章 走行管理システム開発	21
3－1 地図データ作成機能の開発	21
3－1－1 序論	21
3－1－2 実施内容	21

3-2	運行状況モニタリング機能の開発	24
3-2-1	序論	24
3-2-2	実施内容	24
第4章	ハードウェアの開発	26
4-1	搬送台車の設計製作	26
4-1-1	序論	26
4-1-2	実施内容	26
4-2	電気系統の設計・作成	31
4-2-1	序論	31
4-2-2	実施内容	31
第5章	全体総括	33
5-1	組込みソフトウェアの開発について	33
5-2	走行管理システムの開発について	33
5-3	ハードウェアの開発について	33
5-4	事業化展開	33

第 1 章 研究開発の概要

既存の無人搬送台車は、走行ガイドとして専用の誘導線等が必要であるため汎用性
が無く、荷物の形状や重量の変更が生じると対応できないという課題がある。そこで、
小型の搬送台車が複数で隊列を組み、マルチホップ無線通信による台車間の相互通信に
より、様々な形状の荷物を搬送することを実現する組込みソフトウェアを用いた汎用性
のある搬送システムを開発する。

（従来技術とその問題点および課題）

図 1－1 に従来技術とその問題点および課題を示す。

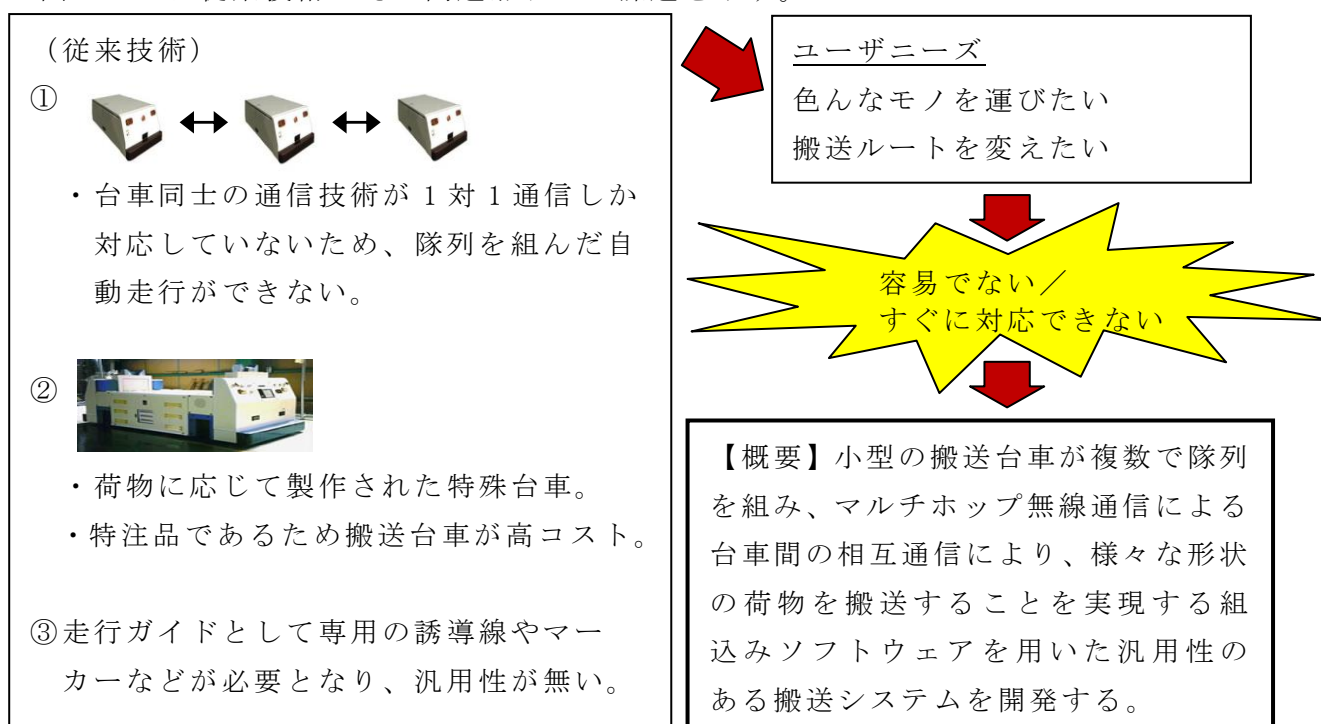


図 1－1 従来技術とその問題点および課題

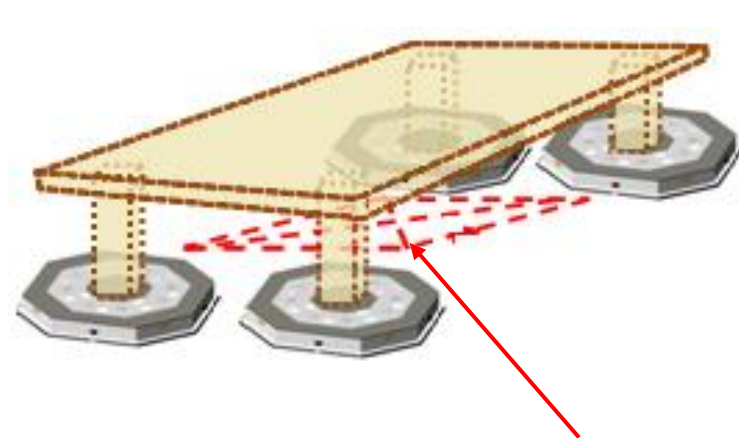
（核となる新技術）

（株）ジー・イー・エヌが保有する次の 2 つの特許により隊列走行を実現する。表 1－1 に
（株）ジー・イー・エヌが保有する次の 2 つの特許を示す。また、図 1－2 に核となる新技術
を示す。

表 1－1 （株）ジー・イー・エヌが保有する次の 2 つの特許

特願 2 0 1 0 － 0 9 5 9 4 7	ネットワークに接続する線が無く、ルータを介さずにネットワークを構築する無線通信機器により、ローカルエリア内で情報共有する通信技術。ルータが自動学習して、ネットワーク内の不特定多数のユーザへブロードキャストする仕組みは、処理プロセスが複雑になり、リアルタイム性が無いという問題点を解決するものである。
-----------------------------	---

特願 2 0 1 0 - 0 8 5 2 1 8	隊列走行する台車の中で、1 台をマスター（親）、他をスレーブ（子）として位置付ける。マスターは進行方向や速度を決定し、スレーブは台車間通信の技術を用いてマスターとの距離を一定に保ちながら運搬する技術。
-----------------------------	---



組込みソフトウェア (特願 2010-085218)	
複数台がシンクロ走行可能 (マルチホップ無線通信)	台車の相対位置を保持 (相互協調制御)
それぞれの台車が互いに 通信可能なマルチホップ 無線通信技術	台車のタイヤ回転数、 速度、重量、位置情報を 通信により相互共有

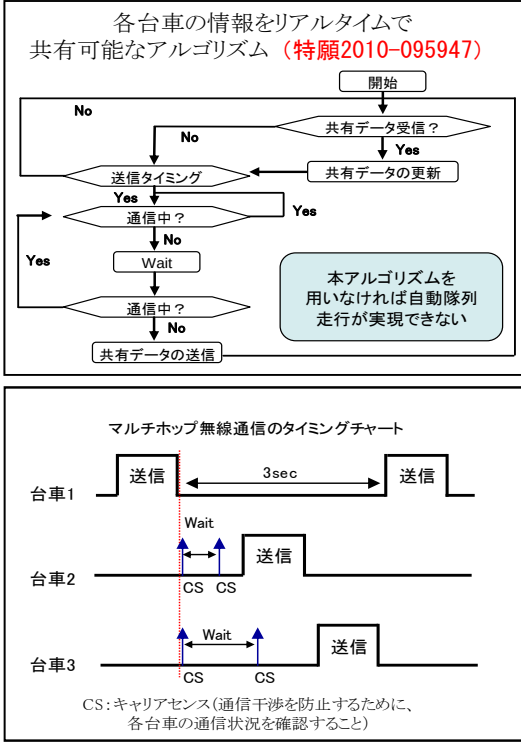


図 1 - 2 核となる新技術

1 - 1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1 - 1 - 1 研究開発の背景

国内製造業が国際競争力を維持するためには、製造時の低コスト化が急務な課題である。この課題を解決するための手段として低コストな搬送システムを導入したいという非常に高いニーズがある。

自動車産業や家電産業の工場における部品や製品の搬送システムを効率化し、国際競争力のある生産システムを構築するため、川下企業と一体となって、以下に述べる研究開発を推進する。

搬送台車メーカーが「標準品」として定める無人搬送台車 (AGV: Automatic Guided Vehicle) は、搬送対象となる荷物・重量や使用できる環境が限定される。実際の現場 (工場等) では、特別に設計・製作された専用の搬送台車 (特殊車両) が必要となり、必然的に高コストとなる。また、走行ガイドとして専用の誘導線やマーカーなどが必要となり、搬送荷物や搬送ルートを変更したい場合、対応できず汎用性がない。

これらの課題を解決するために、マルチホップ無線通信による車車間通信がリアルタイムで可能となる組込みソフトウェアを用いた汎用性のある搬送システムの確立を目指す。

1-1-2 研究目的及び目標

1-1-2-1 研究の目的

既存の無人搬送台車は、走行ガイドとして専用の誘導線等が必要であるため汎用性が高く、荷物の形状や重量の変更が生じると対応できないという課題がある。そこで、小型の搬送台車が複数で隊列を組み、マルチホップ無線通信による台車間の相互通信により、様々な形状の荷物を搬送することを実現する組込みソフトウェア及び汎用性のある搬送システムを開発する。

1-1-2-2 研究の目標

汎用性のある搬送システムを開発するには、表 1-2 の目標値（スペック）を有するサブテーマ（1～3）の課題への対応を行った。

1. 組込みソフトウェアの開発
2. 走行管理システムの開発
3. ハードウェアの開発

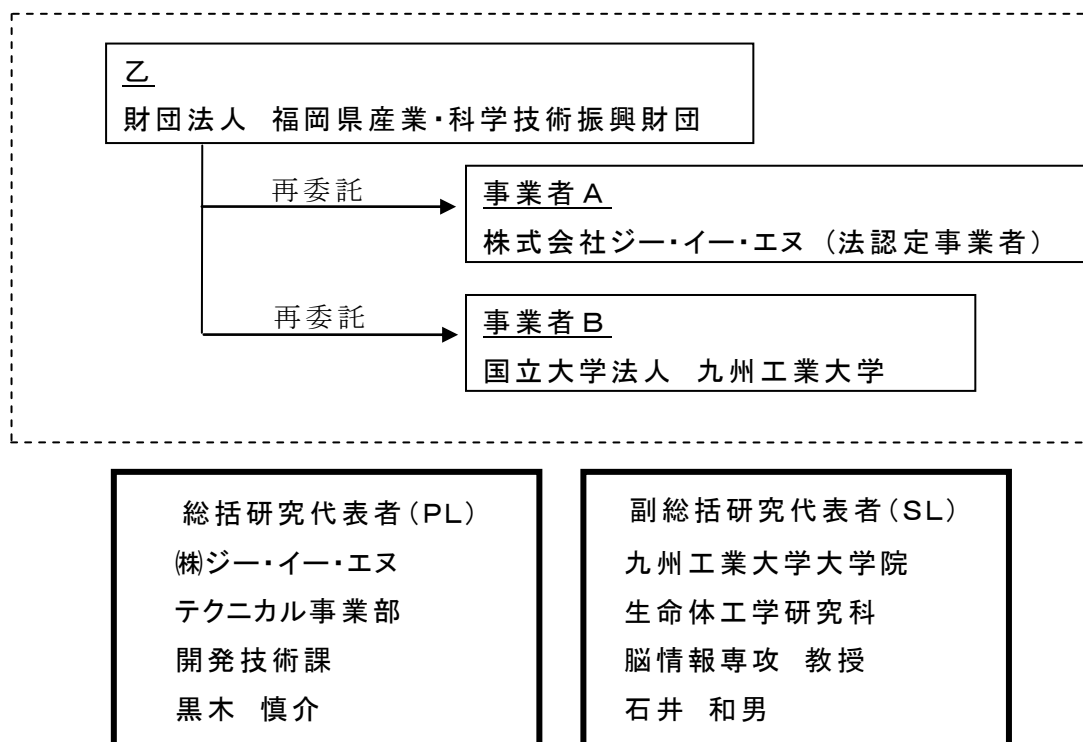
表 1-2 目標値（スペック）

項目	目標値	現状の自社試作品
動作形態	複数台の隊列走行の全方向移動 （前後進、横進、斜行、旋回）	1台のみの全方向移動 （前後進、横進、斜行、旋回）
定格速度	60m/min（3.6km/h）	60m/min（3.6km/h）
定格荷重	500kg、1000kgの2タイプ	50kgの1タイプ
誘導方式	無軌道方式（自動走行）	無軌道方式（リモコン走行）
エリアセンサー 検出範囲	設置位置：前後左右 検出範囲：270度 最大検知距離：3m	なし
光学式モーションセンサー	設置位置：床面から30～40mm 計測内容：XY軸移動距離／移送速度 測定間隔：40mm 測定誤差：1%未満（1mm未満）	なし
マルチホップ無線通信の送信間隔	3秒	5秒
自己位置座標検出誤差	±10mm	±50mm
連続稼働時間	8時間	6時間

1－2 研究体制

1－2－1 研究組織及び管理体制

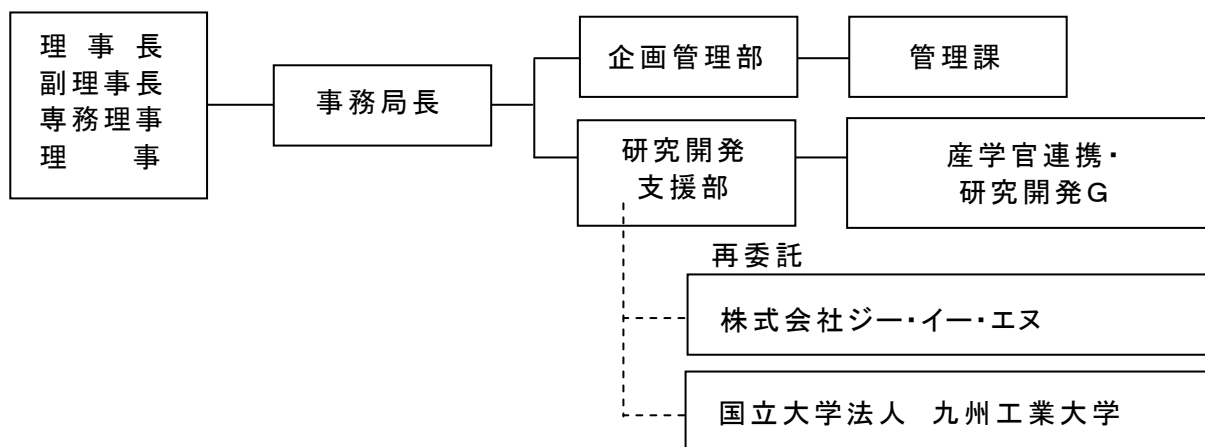
1－2－1－1 研究組織（全体）



1-2-1-2 管理体制

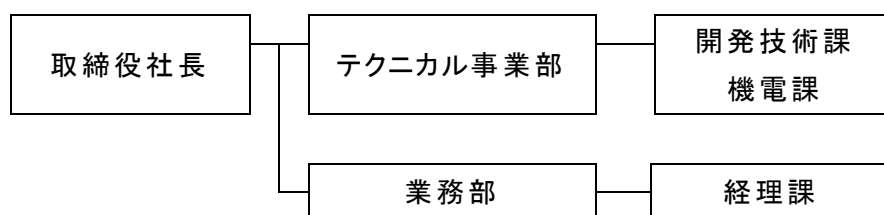
①事業管理者

[財団法人福岡県産業・科学技術振興財団]

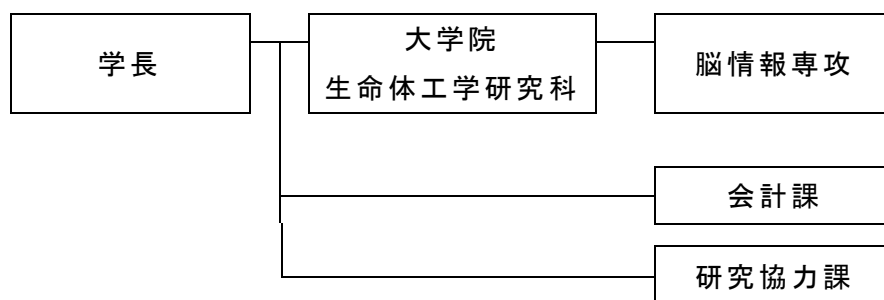


②（再委託先）

[株式会社ジー・イー・エヌ]



[国立大学法人 九州工業大学]



1-3 成果概要

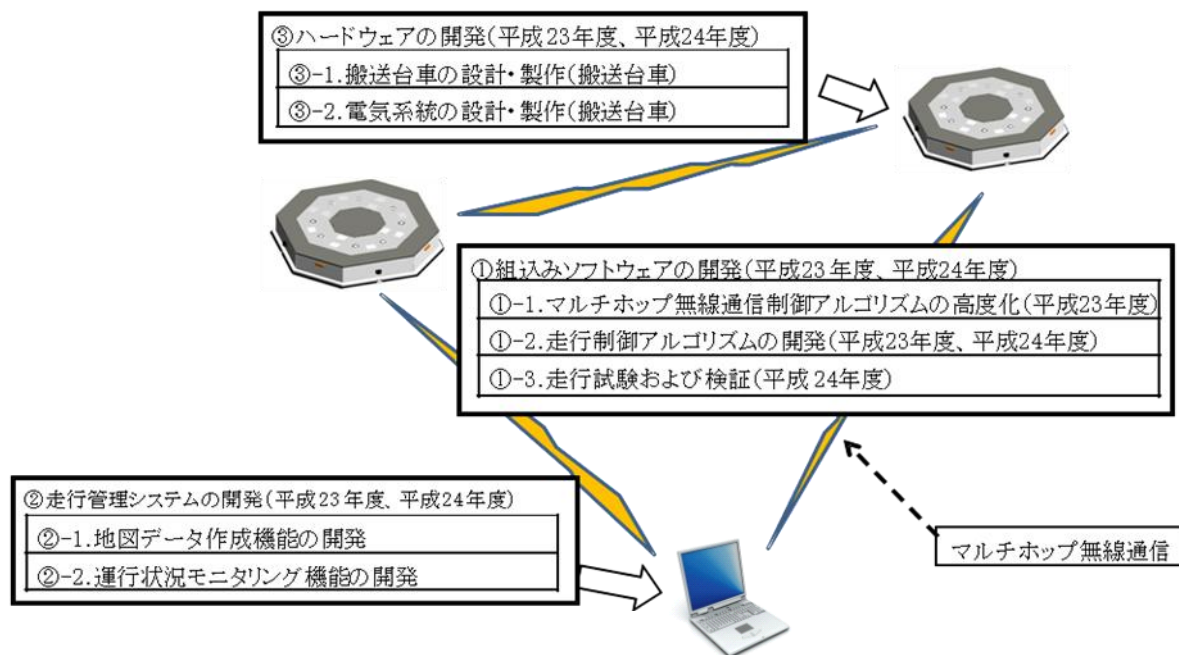


図1-3 全体システム構成

平成24年度は、研究項目「1. 組み込みソフトウェアの開発」「2. 走行管理システムの開発」「3. ハードウェアの開発」の研究開発を実施した。図1-3に全体システムの構成を示す。

1-3-1 研究項目「1. 組み込みソフトウェアの開発」

マルチホップ無線通信制御アルゴリズムの高度化及び走行制御アルゴリズムの研究開発を実施した。各研究項目の成果の概要を以下に示す。

1) 研究項目1-1 マルチホップ無線通信制御アルゴリズムの高度化

安全な複数台車走行を実現するために、マルチホップ無線通信（特願2010-095947）の特許を活用し、本製品の要素技術であるマルチホップ無線通信の性能強化への研究開発を実施した。

アルゴリズムの最適化により無線通信のデータ送信間隔を従来5秒の周期から目標値の3秒周期へ短縮することができた。

上記の通り、平成23年度の成果目標は達成することが出来たため、平成24年度は、走行試験での再確認を行った。

2) 研究項目1-2 走行制御アルゴリズムの開発

安全に自立走行するために必要な車線保持、速度保持、衝突防止の基本走行制御プログラムの研究開発を実施した。具体的には、以下のような走行制御アルゴリズムの研究開発を実施した。

（１）搬送ルート認識技術

搬送台車に搭載する光学式モーションセンサーと地図情報により、予め決定された開始地点から終了地点までの基本走行を可能とするアルゴリズムを開発する。光学式モーションセンサーによる移動距離を測定し、走行中の位置と地図情報による走行位置の誤差を補正する。

平成 24 年度は、光学式モーションセンサーに AD 変換回路によるフィードバック制御の改良を行い、上記のソフトウェアを搬送台車に組み込み、走行試験及びソフトウェアの改良を行った。

（２）速度管理技術

直線からの進路変更を行う際の速度保持と加減速処理を自動で行い、定格速度が 60m/min（人の歩く早さ）の範囲内で速度管理を行うアルゴリズムを開発する。

平成 24 年度は、上記のソフトウェアを台車に組み込み、走行試験を行い、ソフトウェアの改良を行う。

走行管理システムより受け取ったルート情報を搬送台車側で保持し、自動走行時の残距離計算に用いる。残距離を基に目的地に遠い場合は速度を上げ、目的地に近い場合は速度を下げて走行する速度指令を行った。

（３）衝突防止技術

光学式エリアセンサーにより、前方車両、後方車両、隊列車両、作業員（人）、静止障害物（敷地内障害物）への接近防止及び衝突防止の自動認識を行うアルゴリズムを開発する。

平成 24 年度は、光学式エリアセンサーからのフィードバック制御の改良を行い、上記のソフトウェアを台車に組み込み、走行試験及びソフトウェアの改良を行った。

走行時の光学式エリアセンサーの検出範囲は、進行方向に対して 270 度の角度で障害物検知の設定を行うこととしていたが、安全性を高めるため 360 度の角度とし、3m の距離で障害検知を行い、搬送台車から 1m 以内を緊急停止範囲とし、搬送台車から 1m 以上 3m 以内を停止範囲として滑らか停止を行った。（実施計画より変更）

（４）隊列走行技術

隊列走行に必要な制御として、車車間距離を一定距離に維持する制御と、目標速度や車間距離、車群全体の安定性を保つ制御を行う隊列走行補正アルゴリズムの研究開発を実施する。

隊列走行時はマスター／スレーブ制御による走行を行い、先行車（マスター）は地図情報上の走行経路座標により目的地までの操舵を行う。そして後方車（スレーブ）は目標車間距離と計測距離の偏差に応じて速度を制御し、

先行車（マスター）と隊列の目標の角度と計測角度の偏差に応じて方位を制御する。更に地図情報上の走行経路座標とマルチホップ無線通信による共有データ（各搬送台車の走行位置、速度）により、距離・方位を検出し、直線走行や進路変更（直角カーブ）を行う必要がある。

平成 24 年度は、上記のソフトウェアを台車に組み込み、走行試験を行い、ソフトウェアの改良を行った。

（５）同期動作技術

基本走行制御プログラムと隊列走行補正アルゴリズムを実装した隊列走行制御に於いて、発進や停止など各々の搬送台車の挙動の同期動作が非常に重要である。

隊列走行している全ての搬送台車へ一斉に動作要求するためには、マルチホップ無線通信を利用する全ての無線ユニットが認識するまでに時間を要するという問題点がある。これを解決するために同期コマンドを一斉に発信し、一斉に受信する必要がある。

平成 24 年度は、上記のソフトウェアを台車に組み込み、走行試験を行い、ソフトウェアの改良を行った。

走行開始を行う際に走行管理システムから各搬送台車へ一斉に発信命令を行うことにより、走行開始の同期動作を行った。また、搬送台車が障害を検知して緊急停止する際に、搬送台車から他の搬送台車及び走行管理システムへ一斉に停止命令を行うことにより、走行停止の同期動作を行った。

３）研究項目 1－3 走行試験及び検証

平成 24 年度に、基本走行制御プログラムを実装した搬送台車の単体走行試験を実施した。また、基本走行制御プログラムと隊列走行制御プログラムを実装した複数の搬送台車を用いた隊列走行試験を実施した。これらの走行試験結果を基に、①－②で行う各種走行制御アルゴリズムの改良を行った。具体的には、発進や停止時の加減速制御プログラムや最適に走行するための制御プログラム、および補正制御プログラムを再調整した。また、隊列走行は距離やセンサーからの情報を基に処理されるため、センサー情報やサンプリング周期、補正条件を組み合わせた試験を実施し、隊列走行による位置補正が最適となる制御アルゴリズムの改良を行った。

走行に関する安全性基準として整備している、非常停止、バンパー、メロディホーン、ウィンカについて、走行試験時に動作確認を行った。定格速度が 60m/min（人の歩く早さ）の範囲内で速度管理を行うと示したが、1000kg の台車重量が約 600kg であるため、障害物センサーや非常停止ボタン、バンパーによる非常停止を行ったとしても人間と接触した場合の安全性が考慮されていない。大人の歩く速度は時速 4km と言われているため、搬送台車の移動速度は半分の時速 2km を安全とし、通常稼働時の最高速度を 3 速（1.8km/h）

に設定した。但し、人が介入しないエリア（安全柵が設置している場合）は、5 速（3.6km/h）走行を可能とした。

1-3-2 研究項目「2. 走行管理システムの開発」

地図データ作成機能の開発及び運行状況モニタリング機能の開発を実施した。各研究項目の成果の概要を以下に示す。

1) 研究項目2-1 地図データ作成機能の開発

現場のレイアウトから「地図データ作成」を行い、走行開始位置や中継点、目的地の各座標を搬送台車へダウンロードする機能を開発する。

具体的には、PC 端末に現場のレイアウトを読み込み、走行経路周辺の電子地図を作成する。作成した電子地図を基に走行経路情報（開始地点、目標地点、中継点）を設定する。また、経路情報（直線やカーブ、傾斜、中継点など）を組合せて設定を行い、走行に必要な条件を確立する。これらの走行経路情報を無線を通じて、各搬送台車へダウンロードさせて、地図情報を共有させる。

平成 24 年度は、上記の技術を用いて走行試験を行った。画面の表示レイアウトや操作性改善のためのソフトウェアの改良を行った。

2) 研究項目2-2 運行状況モニタリング機能の開発

光モーションセンサーで自己位置を自動認識し、マルチホップ無線通信を用いて走行管理システムへ転送することにより、地図データ上を走行する走行経路をモニタリングする機能を開発する。

モニタリングを行う上で、電波の途中に遮蔽物がある場合、通り抜けられるものは突き抜け、通り抜けできない金属は回り込んだり反射したりする問題点があり、リアルタイムな情報を走行管理システムへ送信することができない。この対策として、マルチホップ無線通信を行う無線ユニットを中継器として利用する技術を開発する。

平成 24 年度は、遮蔽物があることを想定して、マルチホップ無線通信を行う無線ユニットを中継器として利用した走行試験を行った。通信処理の速度向上、状態表示のリアルタイム性の改善のためのソフトウェアの改良を行った。

1-3-3 研究項目「3. ハードウェアの開発」

平成 23 年度の研究開発において抽出した課題を基に、搬送台車の設計・製作及び電気系統の設計・製作を実施した。

（平成 23 年度の研究開発において抽出した課題）

課題①緊急停止ハード対応

課題②オムニホイールを両軸受けへの変更

課題③ モータエンコーダ取付

課題④ スプリング強化

課題⑤ 方位センサー取付

各研究項目の成果の概要を以下に示す。

1) 研究項目 3-1 搬送台車の設計・製作

平成 24 年度は、平成 23 年度の研究開発において抽出した課題(課題②、課題③、課題④)についての改良を行った。

(株)ジー・イー・エヌは、抽出した課題(課題②、課題③、課題④)を基に、搬送台車のオムニホイールを両軸受け構造に変更するための設計、走行中の各種路面を考慮して滑りが発生した場合に、直進性能を向上させるためのモータエンコーダ、積載時の重心のズレ及び隊列搬送を過程した場合の負荷変動を抑制するための強化スプリングの選定及び設計を行った。

九州工業大学は、フレーム構造、駆動部やサスペンション機構、車輪(オムニホイール)に掛かる構造解析を(株)ジー・イー・エヌと行い、課題抽出や改良項目の検討を進めた。解析の結果から、設計したフレーム構造が車体重量と積荷を想定した荷重を加えても十分な強度を持つことが分かった。

平成 24 年度は、平成 23 年度の結果を基にして、前半に平成 23 年度試作した 500kg タイプ 2 台を使用して、開発したソフトを組み込み、PC 画面の動作確認及び搬送台車単体での走行の確認をする単体結合試験を完了した。後半に平成 23 年度試作した 1000kg タイプ 1 台の搬送台車に、前半の結果を反映させて、機械性能向上を目的とする改良を行った。また、平成 24 年度版として 1000kg タイプ 2 台の搬送台車を試作し、隊列走行試験を行った。

2) 研究項目 3-2 電気系統の設計・製作

平成 24 年度は、平成 23 年度の研究開発において抽出した課題(課題①、課題③、課題⑤)についての改良を行った。

(株)ジー・イー・エヌは、抽出した課題(課題①、課題③、課題⑤)を基に、搬送台車の緊急停止させるためのフェイルセーフ設計、直進性能を向上させるためのモータエンコーダ、開始地点から目的地まで走行する際の誤差を比較し、蓄積をなくすための方位センサーの選定及び設計を行った。

九州工業大学は、平成 24 年度で新たにオムニホイールを利用した駆動機構の制御、エンコーダや方位センサーなどの I/O を備えた制御基板および制御用ソフトウェアの開発を行った。AGV の運動を制御するためのセンサー群はすべてこの基板で接続され、正確な軌道制御のための情報処理に用いられている。また、制御用ソフトウェアには、リアルタイムに複数の情報処理を同時に実行可能にするためにリアルタイム OS を導入し、マルチタスクに対応させた制御システムを開発した。

平成 23 年度の結果を基にして、前半に平成 23 年度試作した 1000kg タイプ 1 台の搬送台車に、抽出した課題を反映させ、安全性、走行性能向上、搬送ルート認識技術の向上を目的とする改良を行った。後半に、平成 24 年度版として 1000kg タイプ 2 台の搬送台車を基に、緊急停止同期試験、位置補正試験、隊列走行試験を行った。

1－4 当該プロジェクト連絡窓口

財団法人 福岡県産業・科学技術振興財団 研究開発支援部

TEL：092-725-2781 FAX：092-725-2786

第2章 組込みソフトウェアの開発

2-1 マルチホップ無線通信制御アルゴリズムの高度化

2-1-1 序論

安全な複数台車走行を実現するために、マルチホップ無線通信（特願 2010-095947）の特許を活用し、本製品の要素技術であるマルチホップ無線通信の通信速度と位置認識精度の向上を目的とする性能強化（データ通信間隔を従来の 5 秒周期から 3 秒周期へ短縮するアルゴリズムを開発）への研究開発を実施した。マルチホップ無線通信の技術を用いた情報の相互共有について図 2-1 に示す。マルチホップ無線通信を用いて各々の搬送台車の情報を保持して協調制御を行う。

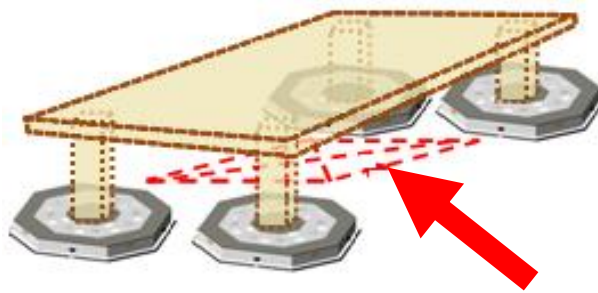


図 2-1 マルチホップ無線通信による情報の相互共有

2-1-2 実施内容

マルチホップ無線通信制御アルゴリズムの高度化については平成 23 年度で開発が終了しているため、省略する。

2-2 走行制御アルゴリズムの開発

2-2-1 序論

安全に自立走行するために必要な車線保持、速度保持、衝突防止の基本走行制御プログラムの研究開発を実施する。具体的には、搬送ルート認識技術、速度管理技術、衝突防止技術、隊列走行技術、同期動作技術の走行制御アルゴリズム（技術）を開発する。

2-2-2 搬送ルート認識技術

搬送台車に搭載する光学式モーションセンサーと地図情報により、予め決定された開始地点から終了地点までの基本走行を可能とするアルゴリズムの開発を実施する。搬送台車の底面に設置した光学式モーションセンサーを用いた搬送ルート認識技術を図 2-2 に示す。光学式モーションセンサーによる移動距離を測定し、走行中の位置と地図情報による走行位置の誤差を補正する。

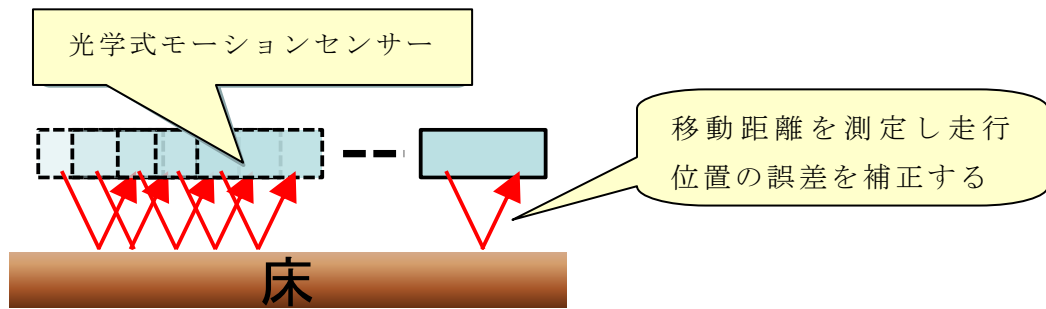


図 2 - 2 光学式モーショセンサーを用いた搬送ルート認識技術

平成 24 年度は、光学式モーショセンサーに AD 変換回路によるフィードバック制御の改良を行い、昨年度作成したソフトウェアを搬送台車に組み込み、走行試験およびソフトウェアの改良を行った。

具体的には、各搬送台車は光学式モーショセンサーにより、フィードバック制御の調整により最大誤差の短縮へ向けた改良を行った。

光学式モーショセンサーを図 2 - 3 に示す。搬送台車の底面に設置した光学式モーショセンサーを用いて移動距離を測定し、走行中の位置と地図情報による走行位置の誤差を補正する。

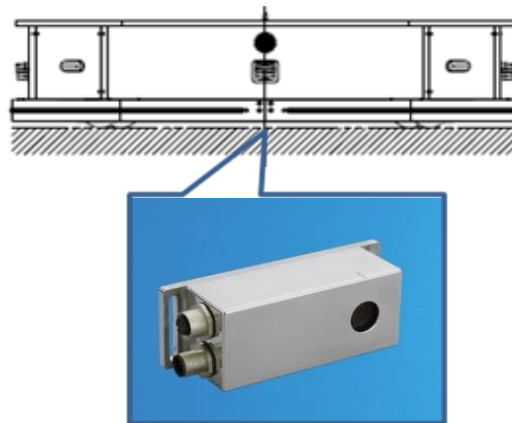


図 2 - 3 光学式モーショセンサー

搬送台車は、地図情報として受け取ったルート情報を保持し、光学式モーショセンサーで得た速度を自動走行時の残距離計算として用いる。残距離計算による自動運転方法を図 2 - 4 を以下に示す。

平成 23 年度、平成 24 年度に作成したソフトウェアを台車に組み込み、走行試験を行い、ソフトウェアの改良を行う。

平成 23 年度、速度管理技術として、光学式モーションセンサーにより搬送台車の移動距離の測定を行い、開始地点と中継点間、中継点と中継点間、中継点と目的地間などの残距離に応じた速度の加減速を自動制御するアルゴリズムを構築した。目的地までの残距離により、台車速度をあらかじめ決めておくこととし、設定速度を表 2－1 の設定速度とし、減速条件を図 2－6 とした。

表 2－1 設定速度

残距離(mm)	指令速度
1～1000	1速
1001～3000	2速
3001～6000	3速
6001～20000	4速
20001～	5速

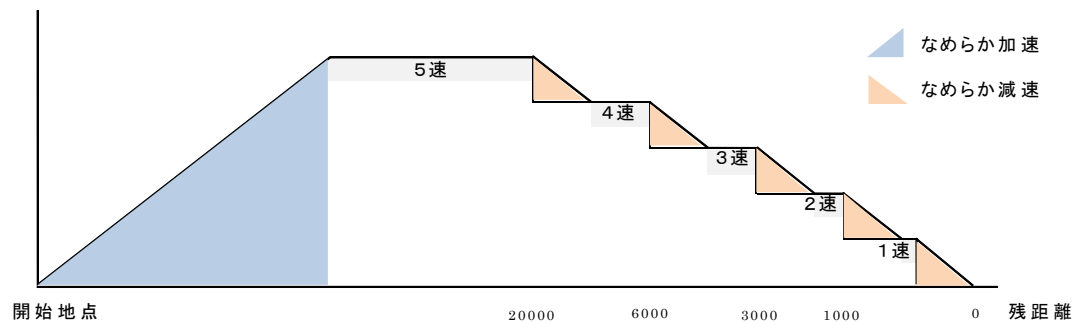


図 2－6 加減速制御を自動認識する速度管理技術の改良内容

2－2－4 衝突防止技術

光学式エリアセンサーにより、前方車両、後方車両、隊列車両、作業員（人）、静止障害物（敷地内障害物）への接近防止および衝突防止の自動認識を行うアルゴリズムを開発する。搬送台車の側面（前後左右）に設置した光学式エリアセンサーを用いた衝突防止技術を図 2－7 に示す。光学式エリアセンサーにより進行方向に対して 270 度の範囲で 3m の障害物検知を行う。

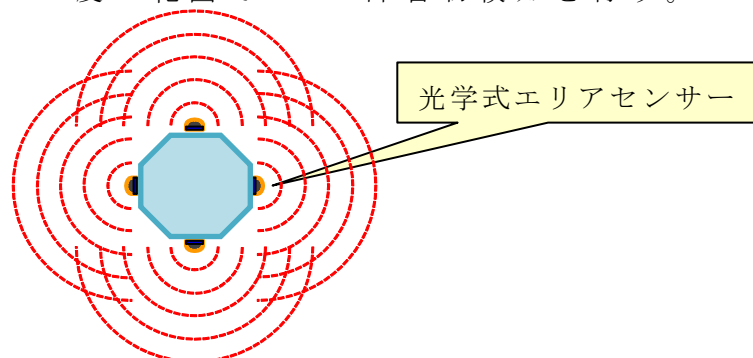


図 2－7 光学式エリアセンサーを用いた衝突防止技術

平成 24 年度は、光学式エリアセンサーからのフィードバック制御の改良を行い、昨年度作成したソフトウェアを台車に組み込み、走行試験およびソフトウェアの改良を行った。

具体的には検知距離、検知エリアの設定、エリアセンサーの設定の改良を行った。光学式エリアセンサーを図 2－8 に示す。平成 24 年度は、フィードバック値から検知距離 3m 付近はセンサーの検知が不安定となることがわかったため、検知距離を表 2－2 の通り、2.5m に変更した。

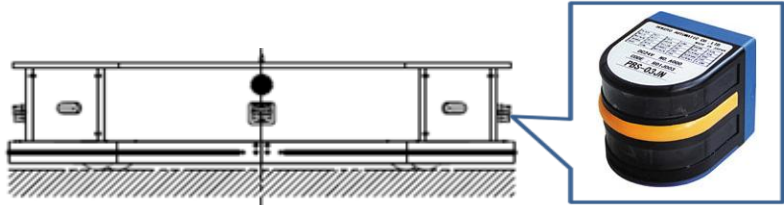


図 2－8 光学式エリアセンサー

表 2－2 光学式エリアセンサーの検知距離と走行指示

	出力エリア	検知距離	走行指示
	出力エリア 2	2.5m	なめらか停止
	出力エリア 1	1m	緊急停止



図 2－9 に単体走行時の衝突防止時の検知エリアの検討内容を示す。平成 23 年度は、単独走行の場合、搬送台車の後方に緊急停止ボタンがあるために、進行方向を基準に 270 度の角度で障害物検知の設定を行うこととしていたが、本年度は 360 度の角度で障害物検知の設定を行った。



図 2－9 単独走行時の衝突防止技術の実施内容

隊列走行も単体走行と同様、進行方向を基準に 270 度の角度で障害物検知の設定を行うこととしていたが、平成 24 年度は、安全性を高めるため図 2－10 の様に 360 度の角度で障害物検知の設定を行った。

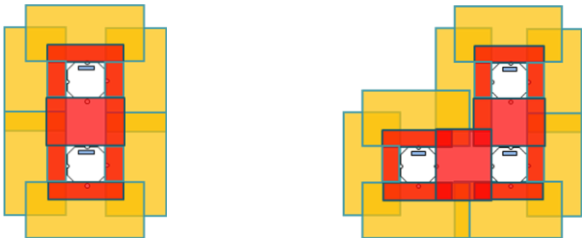


図 2－10 隊列走行時の衝突防止技術の実施内容

2-2-5 隊列走行技術

隊列走行に必要な制御として、車車間距離を逸脱しないようにする制御と、目標速度や車間距離、車群全体の安定性を保つ制御を行う隊列走行補正アルゴリズムの研究開発を実施する。マスター／スレーブ制御による隊列走行技術を図2-11に示す。

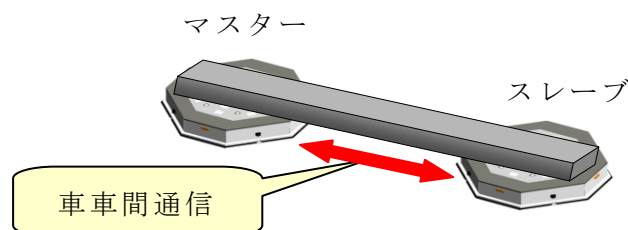


図2-11 マスター／スレーブ制御による隊列走行技術

隊列走行時はマスター／スレーブ制御による走行を行い、先行車（マスター）は地図情報上の走行経路座標により目的地までの操舵を行う。そして後方車（スレーブ）は目標車間距離と計測距離の偏差に応じて速度を制御する。更に地図情報上の走行経路座標とマルチホップ無線通信による共有データ（各搬送台車の走行位置、速度）により、距離を高精度に検出し、直線走行や進路変更（直角カーブ）を行う必要がある。平成24年度は、平成23年度に作成したソフトウェアを組み込み、走行試験を行い、ソフトウェアの改良を行った。

2-2-6 同期動作技術

同期動作技術についてを図2-12に示す。

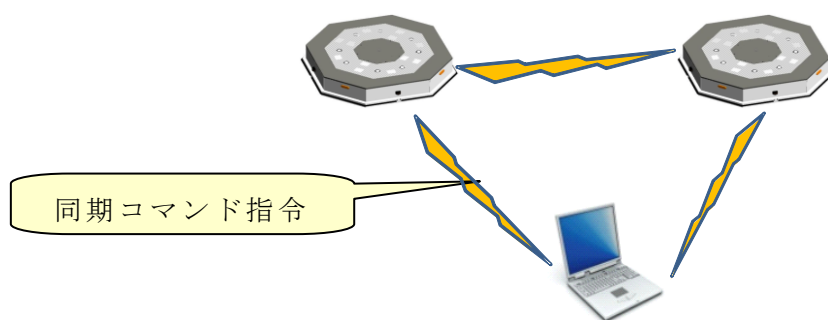


図2-12 一斉発進・一斉停止の同期動作技術

平成24年度は、平成23年度に作成したソフトウェアを台車に組み込み、走行試験を行い、ソフトウェアの改良を行った。

その結果、初期設定時にかかる時間が、最大7分程度から最大1分程度に短縮され、走行管理システム側でエリアセンサーの設定が自由に行えるよう、初期設定時の搬送台車とやり取りするメッセージの変更を行った。また、定周期で走行指令を送信させ、搬送台車は一定時間走行指令が送信されなかった場合を通信異常とし、緊急停止させる処理の追加を行った。

同期通信での複数台車走行時の緊急停止の際、同期通信の通信処理の見直しを行い、データ数分まとめてチェックするよう変更した。その結果、図 2-13 の様に停止距離が最低で 1cm となり改善された。

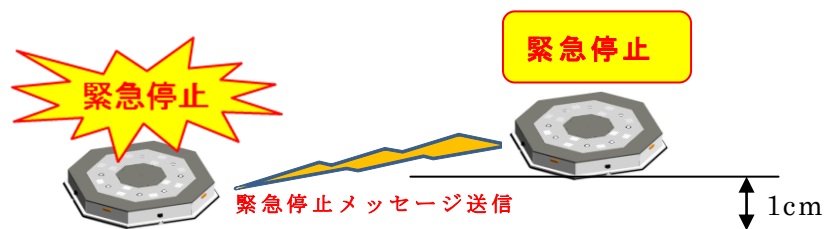


図 2-13 同期通信での緊急停止（改善後）

2-3 走行試験及び試験

2-3-1 序論

基本走行制御プログラムを実装した搬送台車の単体走行試験、基本走行制御プログラムと隊列走行制御プログラムを実装した複数の搬送台車を用いた隊列走行試験を実施する。また、走行に関する安全基準として整備している緊急停止、バンパー、メロディホーン、ウィンカーについても走行試験時に動作確認を実施する。

2-3-2 単体走行試験

単体走行試験では、図 2-14 の様にリモコン操作及び自動走行での走行テストを行った。リモコン操作では 1 速 (6m/min) ~ 5 速 (60m/min) を実施し、問題なく走行できることを確認した。また、自動走行では 1 速 (6m/min) ~ 5 速 (60m/min) で走行テストを行い、各速度の際の自己位置誤差を確認した。

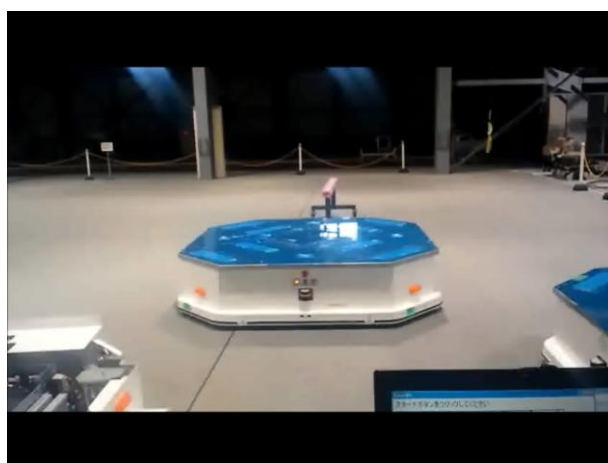


図 2-14 単体走行テスト

2-3-3 隊列走行試験

隊列走行試験では、図 2-15 の様に自動走行での走行テストを行った。
1 速 (6m/min) ~ 5 速 (60m/min) で走行テストを行い、各速度の際の自己位置
誤差を確認した。



図 2-15 隊列走行テスト

2-3-4 バンパー停止確認

図 2-16 のように各速度でのバンパー停止時の停止距離の確認を行った。
その結果、1 速 (6m/min) では 0mm、2 速 (15m/min) では 5mm、3 速 (30m/min) では
200mm、4 速 (45m/min) では 250mm、5 速 (60m/min) では 370mm という結果となっ
た。



図 2-16 バンパー停止確認

2-3-5 メロディホーン確認

図 2-17 の様に、停止時は無音、走行時はメロディ音、異常時はビーブ
音に設定し、メロディホーンの動作確認を行い、正常動作していることを確
認した。

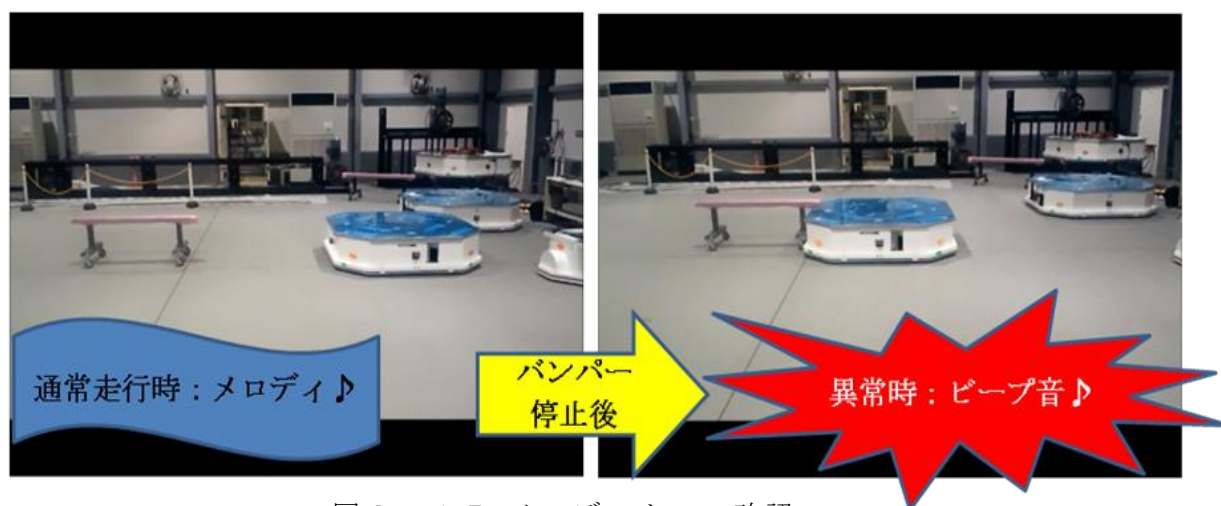


図 2 - 1 7 メロディホーン確認

2 - 3 - 6 ウィンカー確認

直進走行時は進行方向の 2 つのウィンカーが 0.5 秒毎で点滅するか、斜め走行時は進行方向の 1 つのウィンカーが 0.5 秒毎で点滅するか、回転時は全てのウィンカーが 1 秒毎で点滅するか、異常停止時は全てのウィンカーが 0.1 秒毎で点滅するか動作確認を行った。その結果、正常動作することが確認できた。

第3章 走行管理システム開発

3-1 地図データ作成機能の開発

3-1-1 序論

現場のレイアウトから「地図データ作成」を行い、走行開始位置や中継点、目的地の各座標を搬送台車へダウンロードする機能の研究開発を実施した。地図データ作成機能について図3-1に示す。

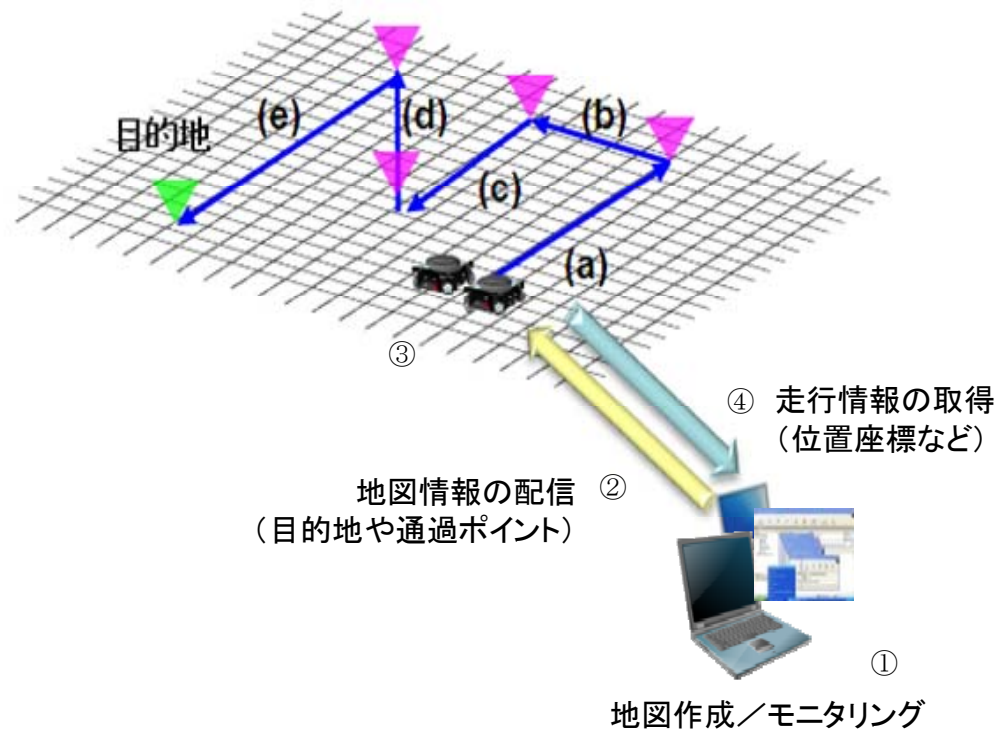


図3-1 地図データ作成機能の実施計画

上記図3-1の説明を以下に示す。

- ① 現場（工場等）のレイアウト図面をパソコン（PC）に取り込み、電子地図を作成する。取り込んだ電子地図を基に走行経路情報（開始地点、目標地点、中継点）を設定する。
- ② マルチホップ無線通信を使用して全搬送台車へデータ転送する。
- ③ これにより、搬送台車は地図情報による走行経路の(a)～(e)を認識して走行する。
- ④ 走行中はマルチホップ無線通信を使用してモニタリングを行う。

3-1-2 実施内容

PC端末に現場レイアウト（CAD図面）を読み込み、走行経路周辺の電子地図を作成する。作成した電子地図を基に走行経路情報（開始地点、目標地点、

中継点)を設定する。また、経路情報(直線やカーブ、中継点など)を組合せて設定を行い、走行に必要な条件を確立する。これらの走行経路情報はマルチホップ無線通信を通じて各搬送台車へ転送することにより、地図情報を共有させる。平成24年度は、上記の技術を基に走行試験を行い、問題点を検証し、ソフトウェアの改良を行った。

走行ルートの設定を行うルート情報設定画面を図3-2に示す。設定した電子地図上で、走行経路情報(開始地点、目標地点、中継点)として設定したい箇所を選択する。走行ルートの確定後、マルチホップ無線機を使用して搬送台車にルート情報を送信する。上記の走行ルート作成機能の開発を実施した。ルート設定画面を図3-2に示す。

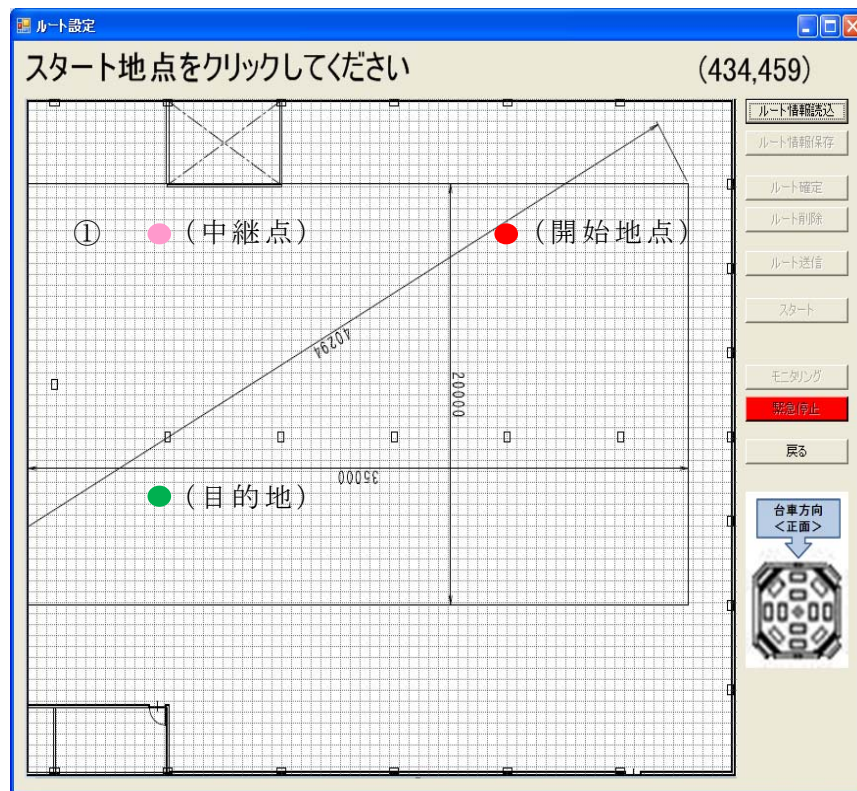
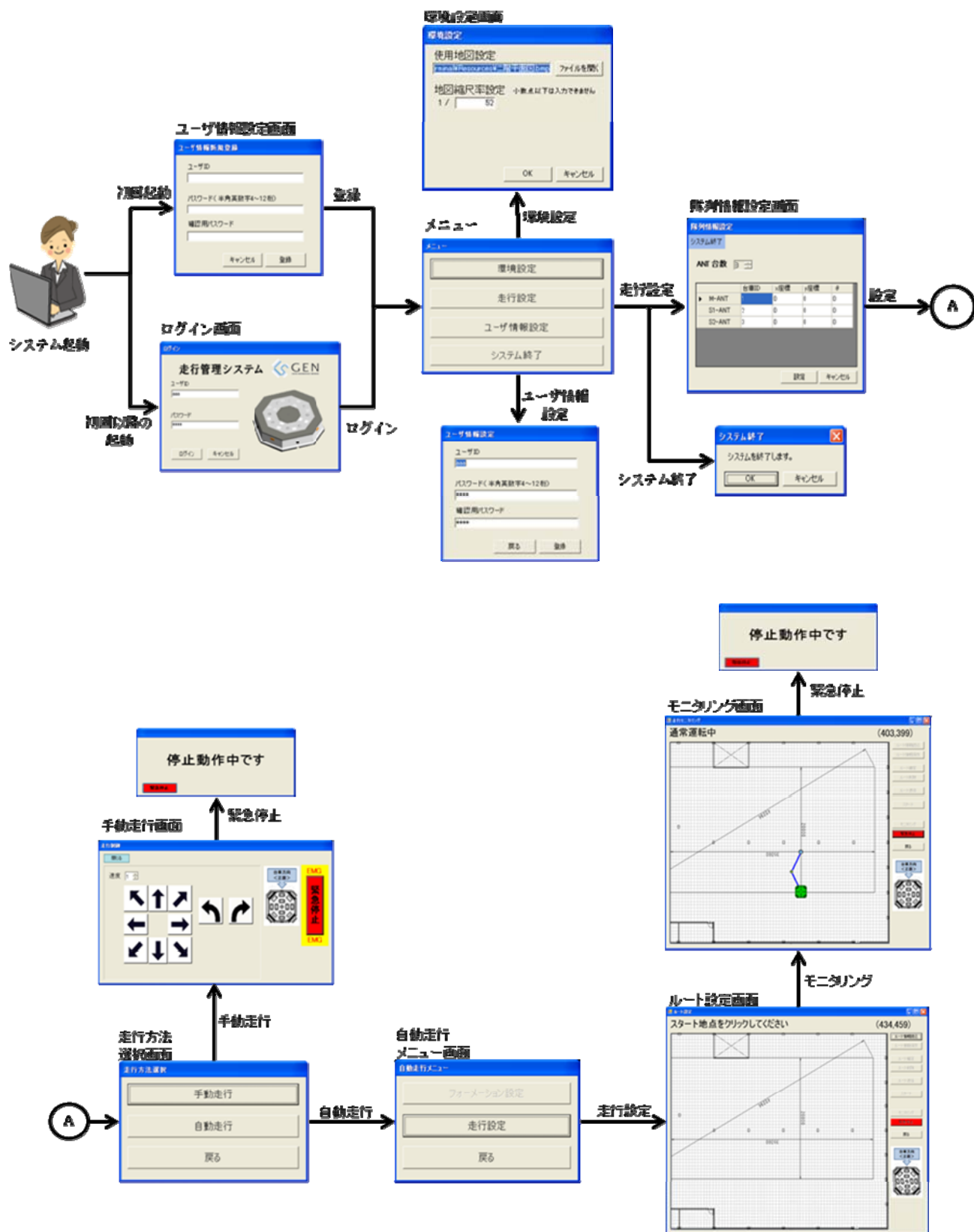


図3-2 走行ルート設定画面

走行管理システムの画面遷移図を図3-3に示す。操作性を向上させるために、マウス故障時、操作性を考慮して、キーボードによるカーソル移動、Enterキーを利用する事により画面遷移の短縮を行った。



3-2 運行状況モニタリング機能の開発

3-2-1 序論

運行状況モニタリング機能の実施概要を図3-4に示す。光モーションセンサーで自己位置を自動認識し、マルチホップ無線通信を用いて走行管理システムへ転送することにより、地図データ上を走行する走行経路をモニタリングする機能の研究開発を実施した。

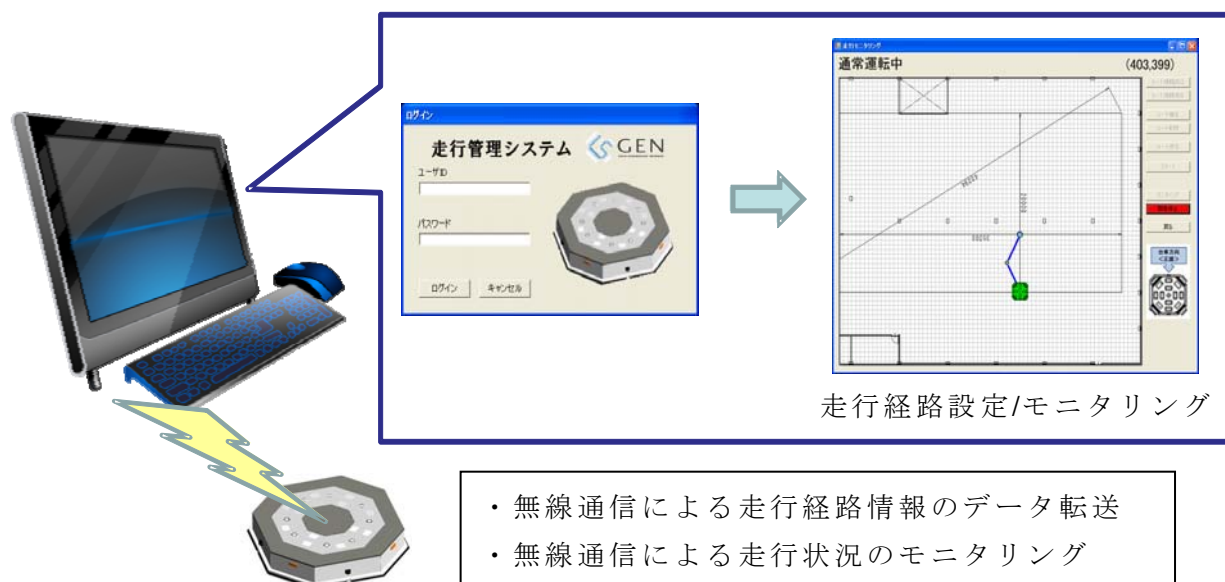


図3-4 運行状況モニタリング機能の実施概要

3-2-2 実施内容

平成24年度は、マルチホップ無線機を利用して搬送台車の現在地情報および搬送台車の状態を1秒周期で取得し、モニタリングを行う機能を基に遮蔽物があることを想定して、マルチホップ無線通信を行う無線ユニットを中継器として利用した走行試験を行い、ソフトウェアの改良を行った。モニタリング画面を図3-5に示す。

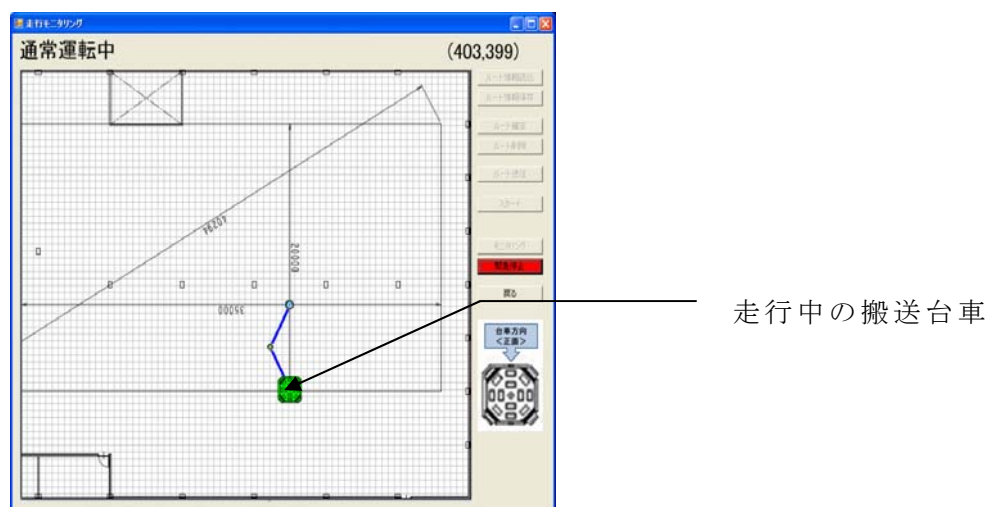


図3-5 モニタリング画面

①搬送台車の通信情報

表 3 - 1 にマルチホップ無線通信にて取得する受信情報を示す。受信した搬送台車の位置座標は、環境設定画面で設定した縮尺率や建物幅を基に電子地図情報の座標に変換して、走行している搬送台車の現在位置をモニタリングする。

表 3 - 1 モニタリング時の受信情報

受信するデータ	
搬送状態	現在の台車の状態
X 座標	現在の台車の X 座標の値
Y 座標	現在の台車の Y 座標の値

②搬送台車の状態監視

マルチホップ無線機にて1秒周期で受信した搬送台車の状態について、受信した現在の状態に合わせて5色に色別して表示し、状態監視を行っていたが異常時の判断が分かりにくいため、信号色で通常、警告、異常の3色に色別するよう改良を行った。表 3 - 2 に状態別の搬送台車の表示画像を示す。

表 3 - 2 状態別の搬送台車の表示画像

状態	台車表示画像
正常	
バッテリー残量少 障害物検出	
緊急停止 バンパー検出 センサ異常 ドライブコントロール異常 マルチホップ無線異常 テレコントロール異常	

③ラベルによる状態表示

バンパー検出、緊急停止などのエラーメッセージは、画面上部のラベルに点滅して出力する。

④エラーメッセージ表示

マルチホップ無線機にて 1 秒周期で受信した台車状態が異常だった場合、メッセージを出力する。

⑤搬送台車情報の表示

モニタリング中の搬送台車の画像を選択すると選択した搬送台車の状態表示を行う。

第4章 ハードウェアの開発

4-1 搬送台車の設計製作

4-1-1 序論

平成23年度の研究開発において抽出した課題を基に、搬送台車の設計・製作及び電気系統の設計・製作を実施した。

(平成23年度の研究開発において抽出した課題)

- 課題①緊急停止ハード対応
- 課題②オムニホイールを両軸受けへの変更
- 課題③モータエンコーダ取付
- 課題④スプリング強化
- 課題⑤方位センサー取付

抽出した課題を基に設計した搬送台車を図4-1に示す。



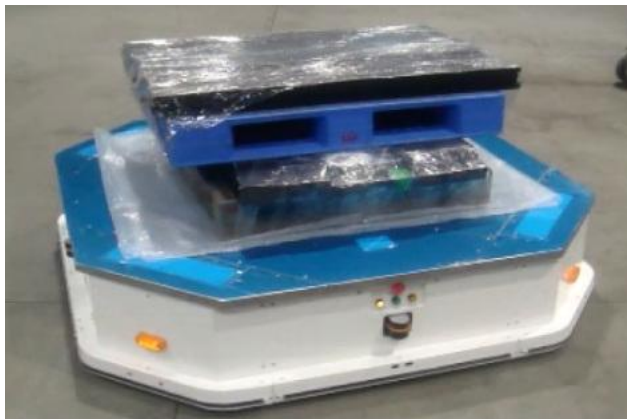
図4-1 抽出した課題を基に設計した搬送台車

4-1-2 実施内容

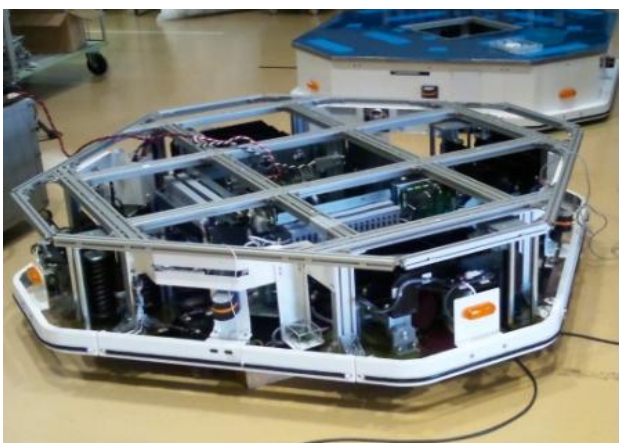
(株)ジー・イー・エヌは、抽出した課題（課題②、課題③、課題④）を基に、搬送台車のオムニホイールを両軸受け構造に変更するための設計、走行中の各種路面を考慮して滑りが発生した場合に直進性能を向上させるためのモータエンコーダ、積載時の重心のズレ及び隊列搬送を過程した場合の負荷変動を抑制するための強化スプリングの選定及び設計を行い、平成23年度試作した1000kgタイプ1台の搬送台車に、その結果を反映させて、機械性能向上を目的とする改良を行った。また、平成24年度版として1000kgタイプ2台の搬送台車を試作した。図4-2に製作した搬送台車を示す。また、表4-1に走行路（うねりや段差等）、耐環境（湿気、気温等）、基本性能（速度等）における環境緒言を示す。



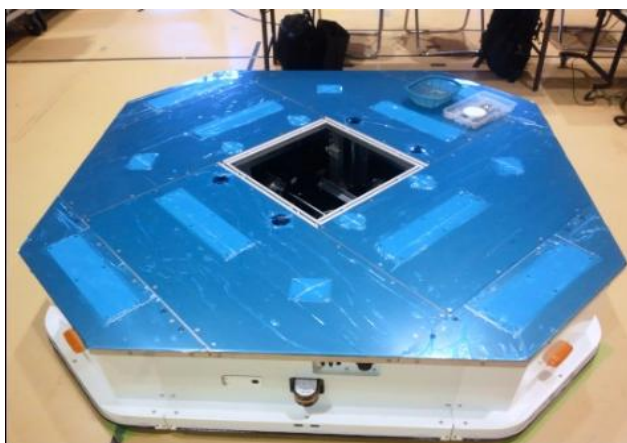
奥：荷重 1000kg タイプ 1 号車
中：荷重 1000kg タイプ 2 号車
前：荷重 1000kg タイプ 3 号車



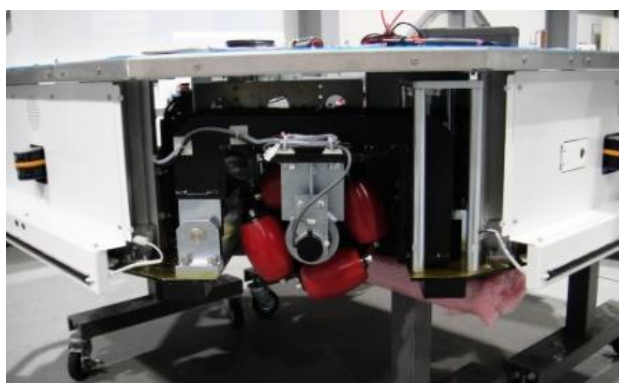
荷重 1000kg タイプの 1000kg 積載時の様子



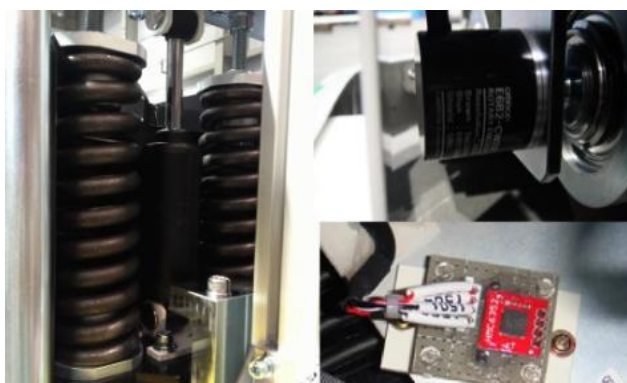
天板と側面カバーを外した内部の様子



天板蓋を外した内部の様子



車輪前の側面カバーを外した内部の様子
(オムニホイール)



左：ダンパーと圧縮スプリング
右：エンコーダと方位センサー

図 4 - 2 製作した搬送台車

表 4-1 環境緒言 (1000kg 共通仕様)

走行路	うねり		±7.5mm未満	
	段差	空荷	25mm以下	
		実荷 (可搬最大時)	10mm以下	
	溝幅		20mm以下	
	勾配		3%(1.7度)以下	
	床構造	耐床荷重	20kg/cm ² 以上	
表面仕上げ		スリップ無きこと	・コンクリート(打ちっ放し、防塵塗装塗り) ・アスファルト ・Pタイル	
耐環境性	水		無きこと	
	汚れ		泥、油等の無きこと	
	湿気		35～85%(結露無きこと)	
	気温		0～40℃(凍結無きこと)	
	ガス		雰囲気中に腐食性及び爆発性ガス無きこと	
基本性能	速度 (定格荷重積載時)	微速	0.36 (km/h)	10%FS(位置決め走行)
		低速	0.9 (km/h)	25%FS
		中速	1.8 (km/h)	50%FS(段差/傾斜走行時の最大速度)
		高速	2.7 (km/h)	75%FS(旋回時のTOP、旋回スピードMax.3.6km/h)
		最高速	3.6 (km/h)	FS(モーター能力の100%)
	直進性		±10mm	
	停止精度 (微速停止時)		±5mm	※非常停止は、この限りでは無い。

九州工業大学は、1000kg タイプのフレーム構造、駆動部やサスペンション機構、車輪（オムニホイール）に掛かる構造解析を㈱ジー・イー・エヌと行い、課題抽出や改良項目の検討を進めた。筑波大学の磯部准教授の協力を得ながら構造解析（FEM 解析）用ソフトウェアを用いた応力解析を行った。

有限要素法解析ソフト ANSYS を用い、全方位 AGV に対して車体重量を加えて積荷の荷重が加わった場合の応力及び変位について検証した。

ロボットの自重および荷重が加わる車体フレーム構造に対し、駆動部車輪保持穴部への負荷を想定した解析を行った。解析条件として、図 4-3 に示すように車輪固定部を想定した固定穴を変位しないよう拘束し、荷重による外力として 4 点に 625N を加えている。その結果、相当応力は固定穴部に最大 106.4MPa の応力が発生することが判明した。車輪部を保持する固定穴付近が最も安全率が低くなるが、最小でも 2.5 以上の倍率を持つためフレームについては問題ない機械強度を持っていることが確認できた。

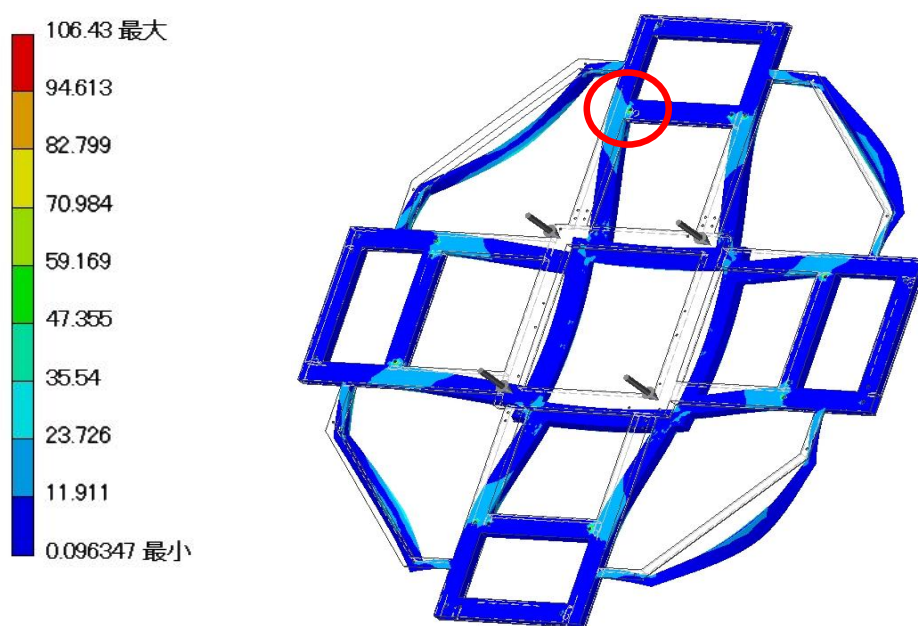
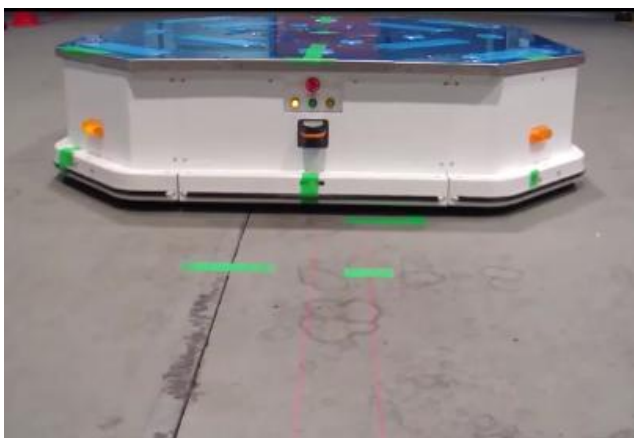
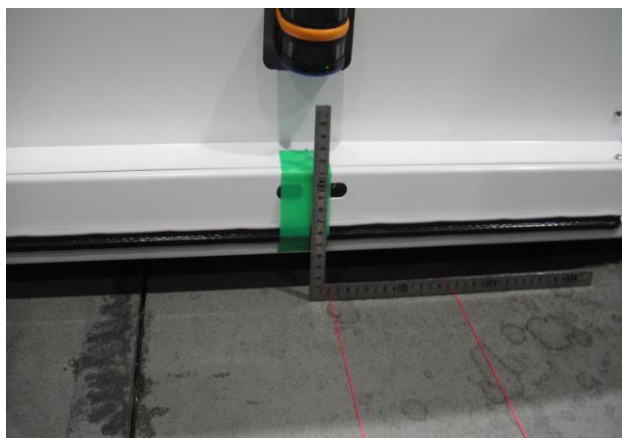


図 4-3 拘束条件と相当応力

抽出した課題を反映した事による改善確認として 1000kg タイプを用いた走行試験を川下企業にて行った。図 4-4 に走行確認試験の風景を示す。走行確認試験ではパソコンからのマニュアル操作による走行試験を実施した。



直進走行時の様子



直進精度計測時の様子



1000kg 積載時の様子



1000kg 積載時の走行試験の様子

図 4 - 4 走行確認試験の風景

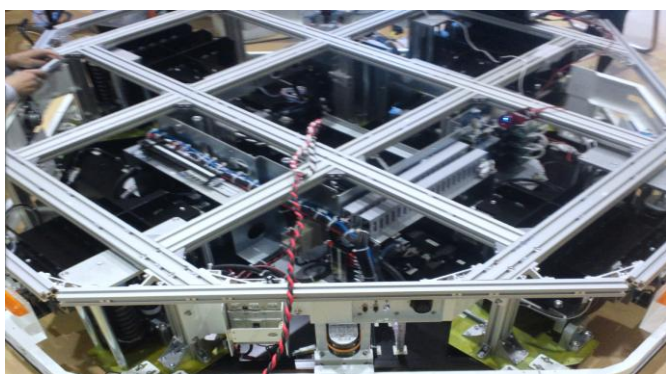
4-2 電気系統の設計・作成

4-2-1 序論

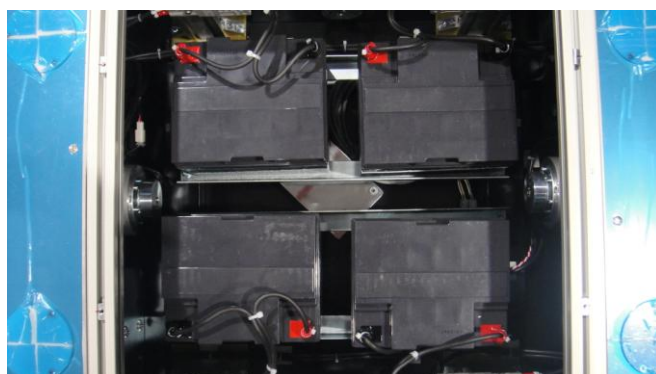
平成 23 年度の研究開発において抽出した課題を基に、電源（バッテリー）、制御ユニット（マザーボード）、センサー等を考慮した電気系統の再設計を実施した。

4-2-2 実施内容

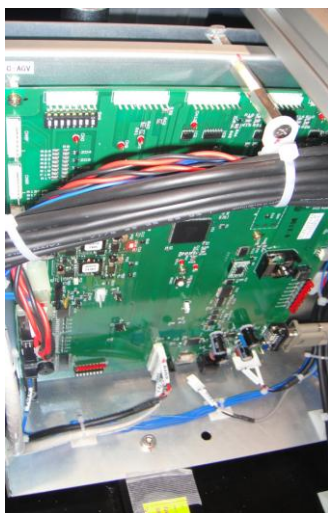
㈱ジー・イー・エヌは、抽出した課題（課題①、課題③、課題⑤）を基に、搬送台車の緊急停止させるためのフェイルセーフ設計、直進性能を向上させるためのモータエンコーダ、開始地点から目的地まで走行する際の誤差を比較し蓄積をなくするため方位センサーの選定及び設計を行った。電装部品を図 4-5 に示す。



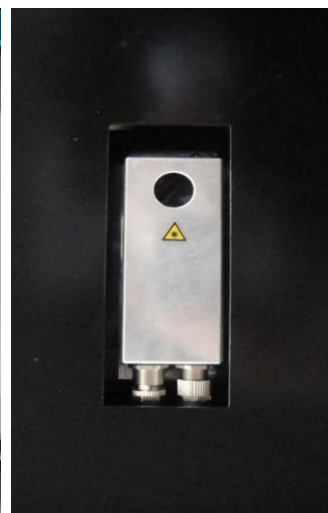
天板、側面カバーを外した電装部品の様子



バッテリーと光学式モーションセンサー（中央）の様子



左：メイン制御基盤
右：メインブレーカー



左：光学式エリアセンサー
右：光学式モーションセンサー

図 4-5 電装部品

九州工業大学は、オムニホイールを利用した駆動機構を制御するためのモータ制御基板および制御ソフトウェアの開発を行った。モータ制御基板では、AGV の姿勢や運動を検出センサーとの接続を行い、それらの情報は AGV の運動制御に利用される。接続されるセンサーは、角度検出用に方位センサー、位置・速度検出用に光学式モーションセンサーおよびオムニホイールの回転速度検出用にロータリーエンコーダとなっている。モータ制御基板上で、オムニホイールの位置、速度、回転角、モータ速度およびモータのフィードバック制御を行っている。AGV 制御基板とは複数コマンドによる AGV の動作指令、運動情報の伝達を可能な通信インタフェースを備える。AGV を正確に動作させるための運動学計算やセンサー情報のフィルタリングや統合処理を担う。制御基板に組み込まれた制御ソフトウェアでは、通信コマンドの解析、4 つのモータの同時制御、4 つのエンコーダ、2 軸のモーションセンサーおよび 1 チャンネルの方位センサーのサンプリングを効率よく行うために、リアルタイム OS を導入した。リアルタイム OS 化に伴い、リアルタイム性を要求される I/O の処理のマルチタスクによる並列化を実施している。その結果、多数のセンサー情報やモータ制御の入出力処理をしつつ、行列計算などを含む AGV の運動学計算および姿勢推定や命令コマンドによる動作モードの切り替えを行えるようになった。

第5章 全体総括

5-1 組込みソフトウェアの開発について

マルチホップ無線通信の性能強化への研究開発を行った。

→マルチホップ無線通信の通信速度と位置認識精度の向上を目的とする性能強化（データ通信間隔を従来の5秒周期から3秒周期へ短縮するアルゴリズムを開発）を実現する事が出来た。

→進行方向を基準に270度の角度で障害物検知の設定を行うこととしていたが、安全性を高めるため360度の角度で障害物検知の設定を行うことで、安全性を向上させる事が出来た。

→初期設定時にかかる時間が、最大7分程度から最大1分程度に短縮を実現する事が出来た。

→走行に関する安全基準として整備している緊急停止、バンパー、メロディホーン、ウィンカーについても実現することが出来た。

5-2 走行管理システムの開発について

走行管理システムを用いて台車の位置をモニタリングする機能の研究開発を行った。

→光モーションセンサーで自己位置を自動認識し、マルチホップ無線通信を用いて走行管理システムへ転送することにより、地図データ上を走行する走行経路をモニタリングする機能を実現する事が出来た。

→ユーザーが使いやすい方法として、キーボードによるカーソル移動、Enterキーを利用する事により画面遷移の短縮を実現することが出来た。

5-3 ハードウェアの開発について

平成 23 年度の研究開発において抽出した課題を基に、搬送台車の設計・製作及び電気系統の設計・製作を行った。

→図面を作成後、構造解析として、有限要素法解析ソフト ANSYS を使い、全方位 AGV に対して車体重量を加えて積荷の荷重が加わった場合の応力及び変位について検証し、強度的にも問題のない搬送台車を製作することが出来た。

→直進性能を向上させるためのモータエンコーダ、積載時の重心のズレ及び隊列搬送を過程し、負荷変動を抑制するための強化スプリングの選定及び設計を行い、ハードにおいて直進性能の高いガタつきのない搬送台車を製作することが出来た。

5-4 事業化展開

本事業の目標は達成できたものの、事業化に向けて、今後はオプション設定として、顧客のニーズにあわせた防水機能や、路面状況にあわせてオムニ

ホイール選択ができるようにするための素材を検討する必要があると思われる。
また、走行管理システムの操作性の向上として、持ち運び可能なタブレット
P C の採用や、4 台以上の同時走行を実現させるための無線機のバージョン
アップを考慮し、幅広いニーズにこたえられる搬送台車を目指す。