

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「人間共存空間における移動台車の高度安全誘導機構及びシステムの開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 経済産業省 関東経済産業局

委託先 JFEテクノリサーチ株式会社

## 目 次

### 第 1 章 研究開発の概要

|     |                  |    |
|-----|------------------|----|
| 1-1 | 研究開発の背景・研究目的及び目標 | 1  |
| 1-2 | 研究体制             | 3  |
| 1-3 | 成果概要             | 8  |
| 1-4 | 当該プロジェクトの連絡窓口    | 10 |

### 第 2 章 本論

|     |                                   |    |
|-----|-----------------------------------|----|
| 2-1 | 機構（メカ）部分の開発における基本的な安全誘導機構の開発      | 11 |
| 2-2 | 機構（メカ）部分の開発における低振動化               | 13 |
| 2-3 | 制御システムの開発における空間側情報の活用による操作方式の開発   | 14 |
| 2-4 | 制御システムの開発における加速度センサとの連動制御による機能向上  | 15 |
| 2-5 | ソフトウェアによる安全性向上における駆動モータ制御ソフト作成    | 17 |
| 2-6 | ソフトウェアによる安全性向上における方向操縦用モータ制御ソフト作成 | 18 |
| 2-7 | ソフトウェアによる安全性向上におけるセンサ及び通信ソフト作成    | 19 |
| 2-8 | 実証実験における振動・EMC 試験の実施              | 20 |
| 2-9 | 実証実験における実証評価                      | 24 |

### 第 3 章 全体総括

26

## 第1章 研究開発の概要

### 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

我が国では今後大幅な労働人口の減少が予想されている。こうした中、ものづくりの国際競争力を維持し、生活水準を保っていくには、生産性と作業効率の向上を図っていくことが不可欠であり、その方策のひとつとして、ロボット等により人の作業を代替することが、多方面で研究開発されている。

しかし、現実には、ロボット分野においては、産業用ロボットや工場内等での無人搬送台車（AGV）など、人間との接触が限定されるケースを除き、普及は進んでいない。その背景には、安全性についての評価が不十分であるということがある。

一方、ロボットの要素が比較的少なく、より人間による操作への依存度の高い機械機構及びシステムについても、なかなか現場への導入が進んでいないという状況にあるが、その背後には大きな市場の可能性を秘めている。例えば、本研究開発で取り組んだ移動台車において、有力な導入先として期待される介護保険施設（介護老人福祉施設、介護老人保健施設、介護療養型医療施設）は、国内に約10千箇所あり（厚生労働省「平成19年介護サービス施設・事業所調査」）、仮に各施設に15万円の台車が1台ずつ導入された場合の市場規模は15億円にのぼるものと試算される。さらに、医療・リハビリ施設など使用環境が類似する施設も加えた場合は、その数倍の市場規模を潜在的に有している。

ただ、こうした分野において、人の作業軽減に貢献できるような高度な移動台車等の導入普及が進んでいない背景には、そもそも、“作業を軽減する”という一般的なユーザーの期待に従来の移動台車等が十分に答えられていないという点がある。こうした“作業の軽減”については、物を運ぶという本来の機能に付加される部分が重要となる。例えばその一つには操作性の向上によるバリアフリー化がある。今後導入が図られる分野は幅広く、操作者は、訓練を受けたオペレーターとは限らない。障がい者など、多様なオペレーターに対応する必要がある。さらに、低振動、軽量化及び省エネルギーへの対応も求められる。

つまり、こうした高度化への対応においては、ある程度のロボットの要素（自動・自律的な制御等）が加わることは避けられず、安全性の向上を強く求められるということに直結するが、加えて、介護施設や病院・リハビリ施設等の特定施設での屋内搬送作業のように、具体的な用途を想定した場合には、必要とされる基盤技術は安全性の向上だけでなく、人間と移動体（台車）が共存する上で導入メリットとなり得る複数の要素が加わり、研究開発においては複合的な対応が有効となる。

よって、本研究開発においては、川下製造事業者にとってのニーズである、ユーザーとの間を繋ぐ技術としての機器の制御技術（位置決め）を開発するにあたり、安全、低振動、省エネルギー性の向上といった分野での高度化に取り組む必要があった。

障がい者や高齢者、痴呆性のある患者でも、自分の力で、安全に目的地まで移動でき、荷物などを運ぶことで、体力の維持や機能の低下を防止することができ、病院や施設のスタッフの負荷を軽減するシステムが必要とされている。これまでに得られた成果を用いて、信頼性が高く安全に移動できる装置、人間共存空間で利用するための低振動・低騒音かつ高効率で省エネルギーである制御アルゴリズムや機構部の基礎技術の開発を行い、開発された基盤技術を活用して、人を支援する機器を製造していくことが、今後の高齢者や障がい者を支える社会を築くことになると考えられる。

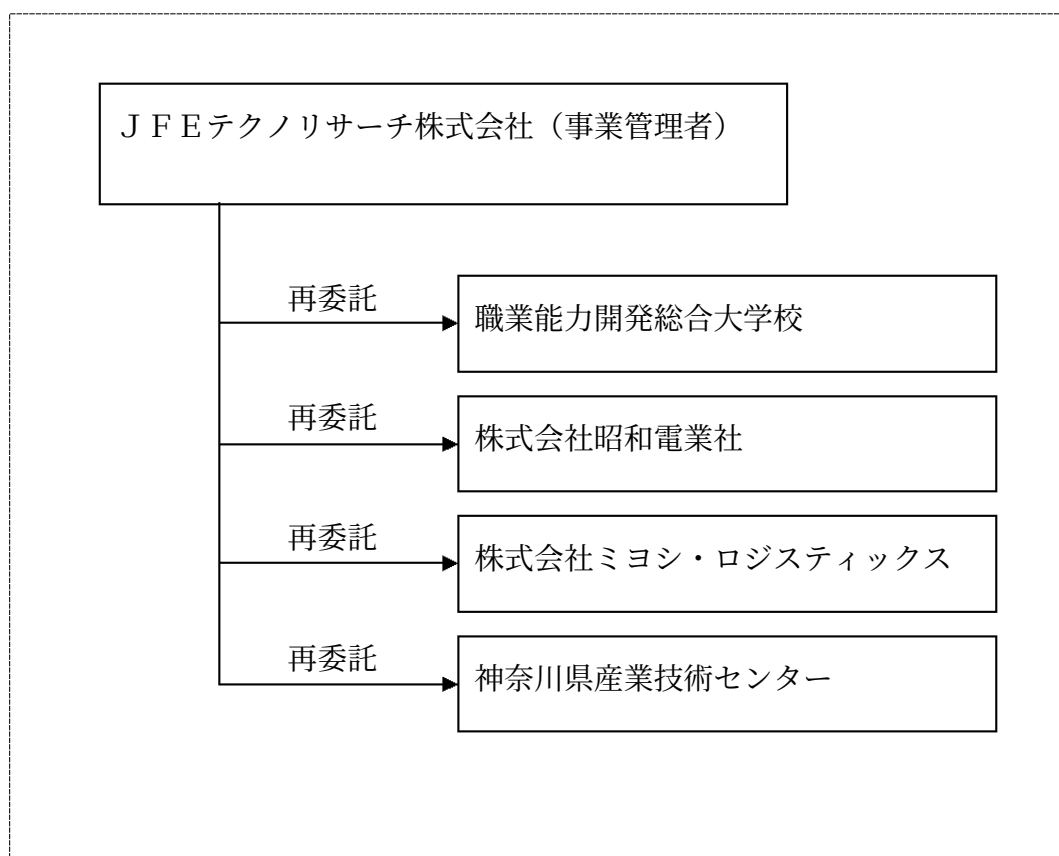
### 1-1-2 研究目的及び目標

福祉施設や病院などでは、障がい者、高齢者、認知症の患者等、何らかのハンデキャップを持つ人でも、自力で安全に目的地まで移動でき、また、荷物などを運ぶことで体力の維持や機能低下の防止ができ、ひいてはサポートするスタッフの負荷を軽減できるシステムが必要とされている。本研究開発では、この要求に応えるため、これまでに得られた成果も用いて、信頼性が高く低振動・低騒音で安全に移動できる装置の機構及び人間共存空間での利用に適した高効率で省エネルギー性の高い制御アルゴリズムの開発を行うことを目的とした。

## 1-2 研究体制

### (1) 研究組織及び管理体制

#### 1) 研究組織（全体）



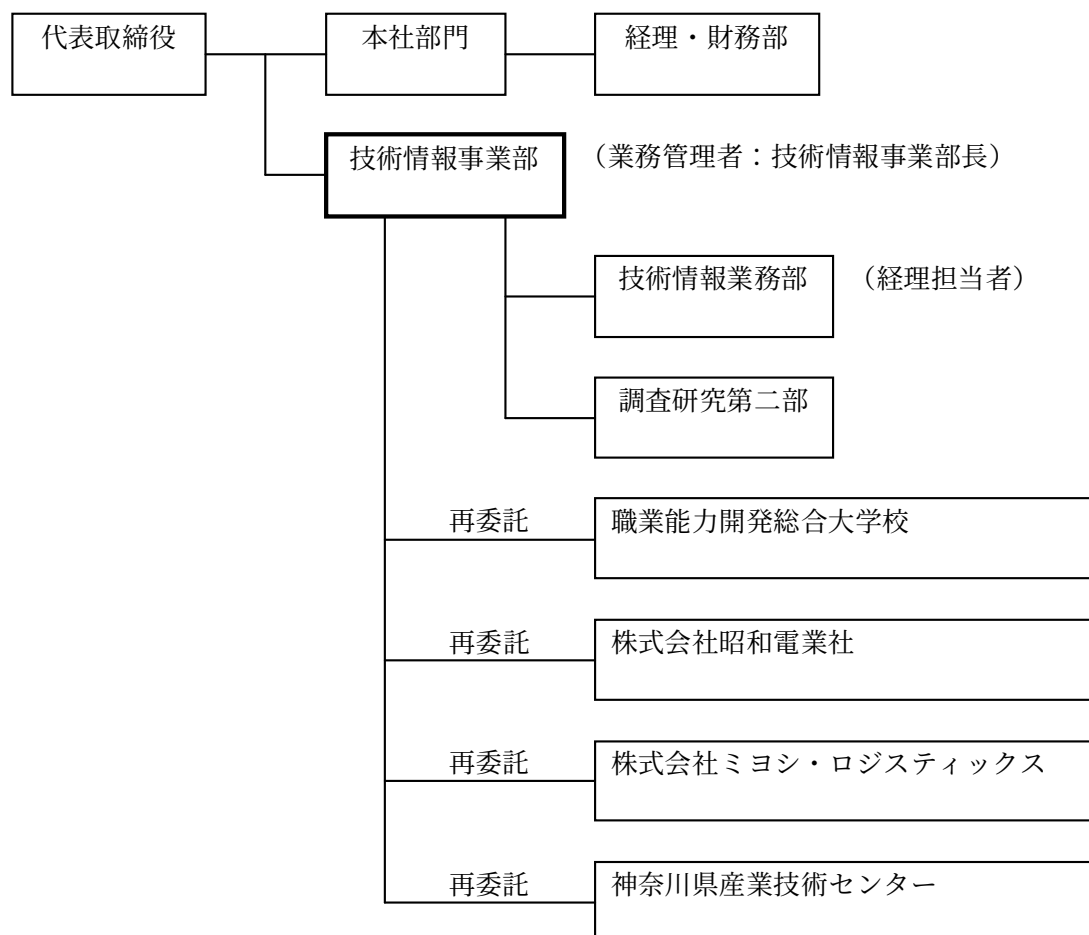
総括研究代表者（PL）  
職業能力開発総合大学校  
長期課程部 電気システム工学科  
准教授 高橋 久

副総括研究代表者（SL）  
株式会社昭和電業社  
本社工場 電子制御部  
副主任研究員 高橋 文行

## 2) 管理体制

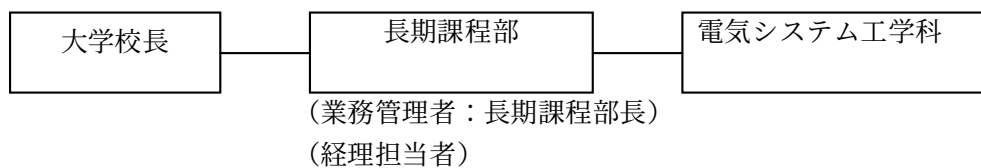
### ①事業管理者

[J F E テクノリサーチ株式会社]



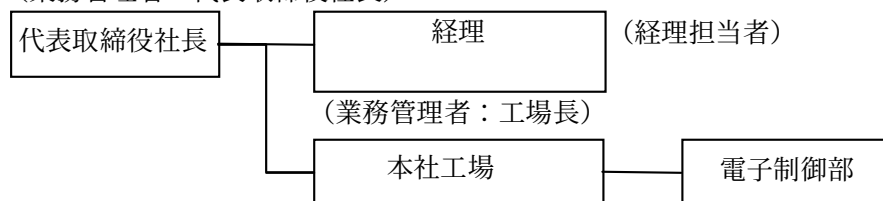
### ②再委託先

[職業能力開発総合大学校]

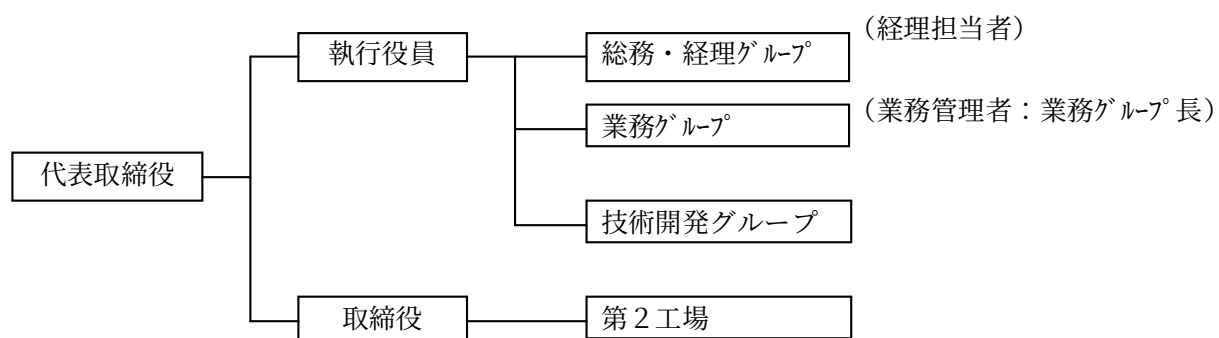


[株式会社昭和電業社]

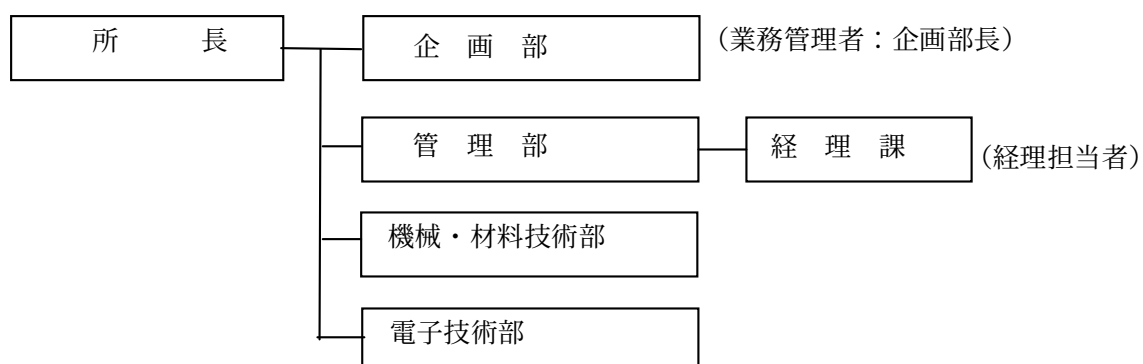
(業務管理者：代表取締役社長)



[株式会社ミヨシ・ロジスティックス]



[神奈川県産業技術センター]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 J F E テクノリサーチ株式会社

①管理員

| 氏名    | 所属・役職               | 実施内容（番号） |
|-------|---------------------|----------|
| 大村 雅紀 | 常務取締役 技術情報事業部長      | ⑩        |
| 松下 利幸 | 技術情報事業部 調査研究第二部 副部長 | ⑩        |
| 猪川 修郎 | 技術情報事業部 調査研究第二部 部長  | ⑩        |
| 中山 寿夫 | 技術情報事業部 技術情報業務部 主査  | ⑩        |
| 斉藤 志保 | 技術情報事業部 技術情報業務部     | ⑩        |
| 田代 真紀 | 技術情報事業部 技術情報業務部     | ⑩        |

②研究員

| 氏名       | 所属・役職                 | 実施内容（番号） |
|----------|-----------------------|----------|
| 松下 利幸（再） | 技術情報事業部 調査研究第二部 副部長   | ⑨        |
| 猪川 修郎（再） | 技術情報事業部 調査研究第二部 部長    | ⑨        |
| 杉田 進一    | 技術情報事業部 調査研究第二部 主幹研究員 | ⑨        |

【再委託先】

（研究員）

職業能力開発総合大学校

| 氏名   | 所属・役職               | 実施内容（番号）  |
|------|---------------------|-----------|
| 高橋 久 | 長期課程部 電気システム工学科 准教授 | ①②③④⑤⑥⑦⑧⑨ |

株式会社昭和電業社

| 氏名    | 所属・役職             | 実施内容（番号） |
|-------|-------------------|----------|
| 深野 英希 | 本社工場 工場長          | ④⑦       |
| 岩田 悠紀 | 本社工場 電子制御部 部長     | ④⑦       |
| 長井 鉄也 | 本社工場 電子制御部 係長     | ③④⑤⑥⑦⑧⑨  |
| 兜森 輝生 | 本社工場 電子制御部        | ④⑤⑥⑦⑧⑨   |
| 高橋 文行 | 本社工場 電子制御部 副主任研究員 | ③④⑤⑥⑦⑧⑨  |
| 五十嵐武友 | 本社工場 電子制御部        | ⑤⑥       |
| 鈴木 幹夫 | 本社工場 電子制御部        | ④        |
| 吉原 英夫 | 本社工場 電子制御部        | ⑤⑥⑦⑨     |

株式会社ミヨシ・ロジスティックス

| 氏名    | 所属・役職          | 実施内容（番号） |
|-------|----------------|----------|
| 長澤 均  | 技術開発グループ グループ長 | ①②⑨      |
| 白石 信人 | 技術開発グループ 調査役   | ①②⑨      |
| 古本 淳  | 第2工場 リーダー      | ①⑨       |
| 大島 昭彦 | 技術開発グループ 主任    | ②⑨       |

神奈川県産業技術センター

| 氏名    | 所属・役職          | 実施内容（番号） |
|-------|----------------|----------|
| 櫻井 正己 | 電子技術部 主任研究員    | ⑧⑨       |
| 臼井 亮  | 電子技術部 主任研究員    | ⑧⑨       |
| 土屋 明久 | 電子技術部 技師       | ⑧⑨       |
| 小島 真路 | 機械・材料技術部 主任研究員 | ⑧⑨       |



(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

J F E テクノリサーチ株式会社

(経理担当者) 技術情報事業部 技術情報業務部 主査 中山 寿夫

(業務管理者) 常務取締役 技術情報事業部長 大村 雅紀

(再委託先)

職業能力開発総合大学校

(経理担当者) 長期課程部 寺内 美奈

(業務管理者) 長期課程部長 塩田 泰仁

株式会社昭和電業社

(経理担当者) 経理 皆川 友香

(業務管理者) 代表取締役社長 井上 博、工場長 深野 英希

株式会社ミヨシ・ロジスティックス

(経理担当者) 総務・経理グループ 原 千春

(業務管理者) 業務グループ長 泉谷 高広

神奈川県産業技術センター

(経理担当者) 管理部経理課 副主幹 田島 憲彦

(業務管理者) 副所長兼企画部長 大塚 康男

(4) 他からの指導・協力者

開発推進委員会 委員

| 氏名    | 所属・役職                                    | 備考     |
|-------|------------------------------------------|--------|
| 高橋 久  | 職業能力開発総合大学校<br>長期課程部 電気システム工学科 准教授       | PL     |
| 高橋 文行 | 株式会社昭和電業社 本社工場 電子制御部 副主任研究員              | SL     |
| 吉原 英夫 | 株式会社昭和電業社 本社工場 電子制御部                     |        |
| 長澤 均  | 株式会社ミヨシ・ロジスティックス 技術開発グループ グループ長          |        |
| 白石 信人 | 株式会社ミヨシ・ロジスティックス 技術開発グループ 調査役            |        |
| 櫻井 正己 | 神奈川県産業技術センター 電子技術部 主任研究員                 |        |
| 小島 真路 | 神奈川県産業技術センター 機械・材料技術部 主任研究員              |        |
| 松下 利幸 | J F E テクノリサーチ株式会社<br>技術情報事業部 調査研究第二部 副部長 |        |
| 今福 健一 | 神奈川県 商工労働部 工業振興課 主査                      | アドバイザー |
| 伊東 圭昌 | 神奈川県 商工労働部 工業振興課 主査                      | アドバイザー |
| 池田 雅春 | アナロジィ & アーツ 福祉機器研究開発・技術アドバイザー            | アドバイザー |

### 1-3 成果概要

本研究開発では、病院や養護施設などで、従業員、患者や入居者が自らの力で操作して、目的地に正しく導き、安全に食材を搬送できる台車に関する研究開発を行ってきた。今回の研究開発では、基本的な技術の確立と、実証実験が可能な試作機の製作までを達成できたが、製品に近い実用機の製作を行うには、今後さらなる研究開発が必要である。

本研究で開発した部分は、食材配送用の台車で、目的とする場所まで安全に正確に誘導する電動アシスト型の台車である。ここでは、台車の機構部、誘導制御システム、アシスト制御システム、安全性を考慮したモータ制御システム、自動操舵システム、安全対応システムについて研究開発を行った。また、開発した台車を介護施設に持ち込み、実証実験を行い、操作性、安全性、誘導制御の性能など、介護施設の従業員、入居者等によって実際に食材配送の操作をしていただき、様々なご意見、評価を得ることができた。

さらに、介護施設や病院においては、電子制御される医療機器が多数利用されており、安全性の観点から、既存の電子機器に影響を与えてはならず、さらに振動・騒音も小さくなくてはならない。このため、他の機器からの電磁ノイズの影響によって誤動作しない、またノイズを他の機器に伝達しない、振動・騒音を発生しない手法の確立を行い、EMC 試験をあわせて行うことで機構の信頼性を高めることが必要である。本研究開発では振動、EMC について実システムを用いた評価を行った。また、試作した実機を研究機関に持ち込み、振動評価試験と EMC 評価試験を行い、今回研究開発した台車が振動、EMC 共に問題ないことを確認した。

本研究開発で得られた成果概要は、以下の通りである。

#### (1) 誘導機構の開発

車輪の操舵角をモータによって行うための機構部の開発を行い、指定されたルートを正しく横行させることができた。しかし、従業員などの健常者に対する操作性を向上させる機構を開発するまでには到らなかった。

#### (2) 低振動化

台車の回転半径を小さくするために、3 輪タイプとし、1 輪を操舵用とした。また、操舵時に車輪が滑らかに回転するようにラジアルベアリングとスラストベアリングを併用する構造にすることによって、滑らかな操舵を実現した。また、樹脂型の車輪を採用することで、走行時や旋回時の騒音を低減することができた。

#### (3) 誤った操作の伝達機構

誤った操作を行ったときに、操作者に誤りを気づかせるために、とって部を振動させる機能を付加する予定であったが、開発期間中に適切な振動発生装置の入手ができず、今回は断念した。

#### (4) 2 つの操作モードを持つ操舵制御アルゴリズムの開発

本開発では、以下に示す 2 つのモードを切り替えて実行できる操舵アルゴリズムの開発

を行った。モード1は、介護施設や病院などの従業員や健常者が操作することを目的とし、可能なかぎり操作者の意志に基づいて移動ができるシステム、モード2は、指定されたルートに沿ってのみ移動ができ、エレベータ前や障害物が見つかりと自動的にブレーキをかけて停止するシステムである。いずれのモードも完全ではないものの、期待する機能を開発し実機に搭載することができた。これらのモードは使用場所によって自動的に切り替える予定であったが、本開発期間内に自動化まで行うことはできなかった。しかしながら、自動化に対する基本的な考え方は整理できた。

#### (5) 高効率な制御アルゴリズム

走行速度が4km/hを超えた場合や走行時から停止させるときに、運動エネルギーをバッテリーに蓄えるエネルギー回生システムを開発し搭載した。しかし、機構部の損失が大きく、エネルギーをバッテリーに戻すところまでは行かず、今後効率の高い駆動システムの開発を行う必要がある。

#### (6) アシスト制御システムの開発

職業能力開発総合大学校の高橋久・准教授の研究室で開発された加速度センサを用いて人が台車に加えた力の方向と大きさを推定する手法を利用し、この制御アルゴリズムを台車制御に組み込むことを行い、台車の任意の部位に力を加えても、小さな力で違和感なく滑らかに操作できるシステムを構築した。

しかし、実証実験を行った結果、台車システムの駆動部の損失が大きいため、停止状態から動き始めるときに、急発進するような感覚があり、操作者に違和感を与える結果になった。これはソフトウェアの調整不足と思われる、今後駆動部の損失の低減化と制御アルゴリズムで使用するパラメータ調整を行うことで、違和感のないスムーズな動きが実現できるとされる。

#### (7) 誘導システムの開発

台車を指定された走行ルートに沿って移動するための制御アルゴリズムと制御システムを開発し、台車に搭載して実証実験を行った。その結果、安全に指定された場所に台車を誘導することができた。しかし、移動時に、台車前部が左右にふらつきながら走行し、操作者に違和感を与えた。さらなる安定性の向上と施設や病院で利用するための走行ルートの設定法を再度検討する必要があると思われる。

#### (8) 安全対策

台車が正しく移動中に走行面に荷物等の障害物があったり、人がいたりした場合に、安全に停止するシステムを搭載した。今回は開発時間の短縮のため、障害物の検出には市販のレーザを用いた障害物検出センサを使用した。この装置は高価で応答速度が遅いため、安価で応答速度の速い障害物センサの開発が課題として残されている。

また、今回の実証実験では、磁気テープを走行ルートに敷設して実験を行った。磁気センサを用いて磁気テープの位置を検出し、磁気テープに記録されている情報を読み込み、制御システムが台車の位置を認識し、これに対して移動方向を制御するなど、本研究開発

が目的とする制御を実現することができた。しかし、敷設したテープが美観を損ねたり、テープが誤ってはがされたりという問題もあり、走行ルートを決める手法のさらなる検討が必要であることが判明した。

#### (9) 振動評価

機械的振動の大きさを専門の機関で計測し、移動時の振動は小さく、実用上問題がないことが証明された。しかし、台車の荷物を搭載する部分の中央部で振動が発生していることがわかり、機構部の改善が必要であることが判明した。

#### (10) EMC 評価

移動台車から輻射される電磁ノイズについて、他の電子機器へ悪影響を与えないことを確認するために VCCI（情報処理装置等電波障害自主規制協議会）の技術基準に基づいた測定を実施した。今回の測定では、限度値が厳しい classB で評価を行った。その結果、放射妨害電界強度測定、静電気放電イミュニティ試験、放射電磁界イミュニティ試験共に、すべて異常がなく、開発した台車の安全性が確認できた。

### 1-4 当該プロジェクトの連絡窓口

J F E テクノリサーチ株式会社  
技術情報事業部 調査研究第二部  
主査 副部長 松下 利幸  
〒103-0027  
東京都中央区日本橋 2-1-10  
T E L : 03-3510-3443  
F A X : 03-3510-3476  
E-mail : matsushita@jfe-tec.co.jp

## 第2章 本論

### 2-1 機構（メカ）部分の開発における基本的な安全誘導機構の開発

#### 【実施計画】

不安定・不確定な入力に対する安定した挙動（位置決め）技術の開発。その代表例として、認知症の患者等が利用することを考慮し、軽量であると共に、目的としていない方向に移動しようとしたときに、違和感なく指定された移動方向に移動できるための機構部を開発する。特にモータによって車輪の方向が滑らかに制御できる機構部の開発と、減速あるいは停止しなければならない状況になったときに、制動するための機構の開発を行う。また、食材の移動にも使用するため、台車が洗浄できる構造とし、衛生を保つことのできる構造とする。これは、車輪を制御するために機構部に取り付けられたモータや電気配線が洗浄時に被水しないような機械的構造で、かつ整備性、保守性を損なわない構造を開発する。

#### 【研究内容及び成果】

当初より、最終的な台車の仕様を考慮して、ソフトウェアの開発に必要な動作が可能な台車を設計・製作した。後述する実証実験においては、その性能の一部を検証することができた。以下に、本開発における試作機の設計・製作を通じて判明したことを述べる。

##### ①軽量化の必要性：

ギアードモータが重いこともあるが、本体もさらなる軽量化を図る必要がある。今回は全ての部品が金属製であったが、軽量化や安全性向上の観点から、樹脂製の部品の採用を検討する必要がある。

##### ②防水性の考慮：

今回試作した台車は、防水性を考慮できなかった。開発台車の使用目的は食材の移動であるため、衛生状態を保つために洗浄可能であることが望ましいが、丸洗いできるまでの防水性は必要ないと思われる。しかしながら、給食室等の水周りで使用されることが多いため、最低限の生活防水を考慮する必要がある。

##### ③台車の大きさ：

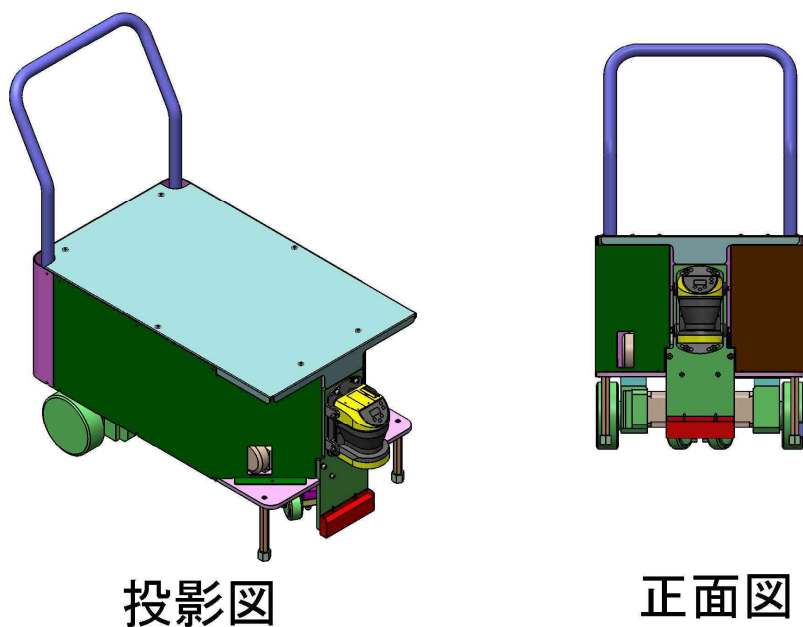
取っ手の高さは既存の台車の取っ手を参考に若干低めに設定し、荷台の高さや大きさは、現在介護施設で使用されている台車を基に決定した。いずれの寸法も実証実験では不具合が指摘されておらず、問題ないと判断している。但し、積荷（保温ボックス）がずり落ちる危険性があるため、対策が必要である。

##### ④台車の構造：

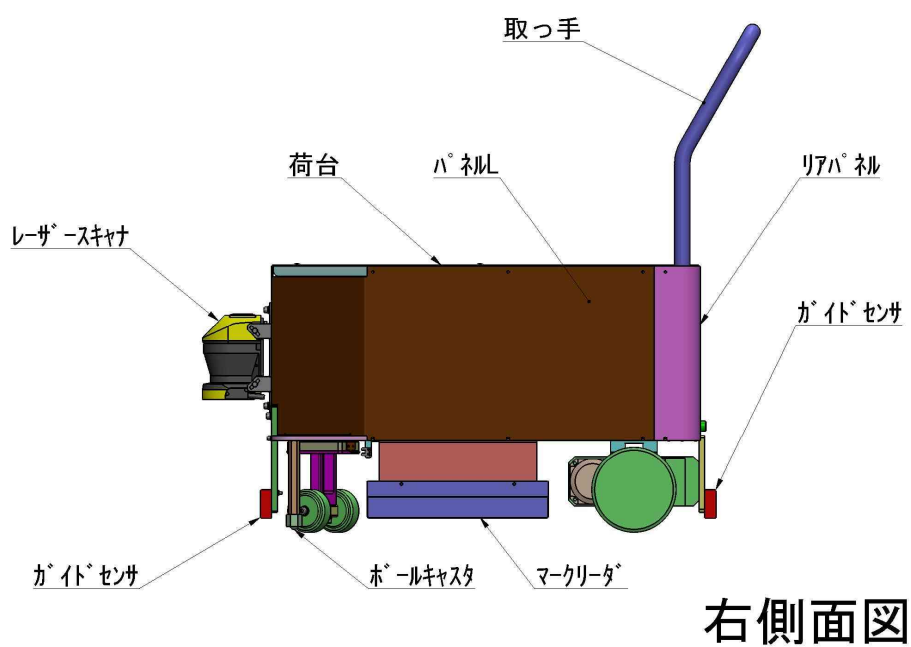
振動試験の結果などから、基本的な構造には問題がないと判断するが、メンテナンス性なども含めて、全体的に見直す必要がある。

なお、本開発において設計・製作した試作機の投影図及び正面図を図表 2.1.1 に、右側面図を図表 2.1.2 に、それぞれ示す。

図表 2.1.1 投影図及び正面図



図表 2.1.2 右側面図



## 2-2 機構（メカ）部分の開発における低振動化

### 【実施計画】

人が操作する機器であるため、台車自身が共振し、振動を強調しないように、共振周波数を設定する。一方、操作者が誤った方向に移動しようとしたり、停止あるいは減速しなければならない時、それを無視して操作しようとしたときには、警告を他の人に気づかれないように操作者に伝えることが必要である。本開発では、振動を用いて操作者に警告を伝えることのできる振動発生メカニズムと構造の開発もあわせて行う。

### 【研究内容及び成果】

方向操舵用キャスターにホイールが樹脂製（ナイロン）のものを採用することにより、金属製のキャスターと比較して走行時や旋回時の騒音や振動を低減させることができた。

また、台車の回転半径を極力小さくするために方向操舵用キャスターを一軸とし、その回転部にラジアルベアリングとスラストベアリングを併用することにより、キャスター全体がスムーズに回転するようになり、騒音や振動をより低減させることができた。

一方、操作者が誤った操作をした場合に警告として発する振動については、振動発生メカニズムとして、携帯電話のバイブレーション機能の発生メカニズムと同様に振動モータ（偏心モータ）を取っ手のグリップ内に取付け、振動させる構想とした。しかしながら、振動モータの入手性の悪さ（大手メーカーでは最低受注ロットが一万個以上）からこの方式は断念せざるを得なかった。

## 2-3 制御システムの開発における空間側情報の活用による操作方式の開発

### 【実施計画】

空間・操作者側からの情報が台車の駆動系に影響を与える制御システムを開発する。関与の度合いは段階的に切り替え可能とする。

モード1による動作では、施設や病院の従業員や健常者が使用するモードであるため、可能なかぎり操作者の意志に沿って動くシステムとする。

モード2による動作では、路面に貼付されたラインをトレースして移動するだけでなく、エレベータ前や障害物があるなど停止すべき位置に来たとき、自動的にブレーキをかけ、操作者に違和感を与えずに、安全に停止する技術を搭載する。

施設や病院の従業員や健常者が操作するモード1と患者が操作するモード2の切り替えは手動又は従業員が操作するエリアと患者が使用するエリアが変更となった情報を検出し、自動判別する機能を持たせることで、操作性の向上をはかる。

システムとして、操作者に違和感を与えずに、指定されたところまで安全に導くための制御手法と制御システムの開発を行い、高効率なエネルギー回生技術、電氣的な知識のない人でも簡易に充電を行えるようにする。

### 【研究内容及び成果】

操作者側によるコントローラのモード切替え操作によって、手動で台車の行き先を制御するか、あらかじめ設定した行き先までライントレースによって誘導する制御とするかの選択を切り替え可能とするシステム開発が実現できた。

図表 2.3.1 モード2による給食搬送



磁気テープ上をライントレース



## 2-4 制御システムの開発における加速度センサとの連動制御による機能向上

### 【実施計画】

本研究開発は、認知症の患者でも、台車を押すことで、正しく目的の場所へ荷物を移動することができる機能を実現する基盤技術の開発である。

台車は、路面に貼付されたラインをトレースして移動していくが、ラインから逸れようとする場合は、自動的に車輪の向きが変わり正しい方向に移動するように動作する。さらに、違和感のない操作性は、台車が指定されたラインを逸れて移動する前に、人が台車に加えた力の方向と大きさを検出し、その情報に基づいて台車の動きを制御することによって実現できる。台車に加えられた力の方向と大きさは、台車の操作用取っ手に力センサを取り付けることで検出できるが、この場合は人が力を加える部位が指定されることになる。台車の任意の部位に加えられた力を検出する手法の開発が必要である。職業能力開発総合大学校の高橋久・准教授の研究室ではすでに、人が台車に加えた力の方向と大きさを加速度センサを用いて実現する手法を開発し、特許を取得している。この技術をさらに発展させ、フィードフォワード制御する制御技術を開発することで、違和感のない操作性を実現できる。

加速度センサを利用することで、特定の部位でなくても、台車に加えられた力の大きさと方向が検出でき、違和感のない操作性の実現ができれば、その応用範囲は格段に広い。たとえば、人を移動させる車いすや人を持ち上げるときに使用するリフトなど、人が操作する装置へ適用することで、違和感のない操作性が実現できるようになる。

また、モード2で健常者や従業員が操作するときは発電するシステムに切替え、力を加えて移動する状態にし、その力を電気エネルギーに変換してコンデンサやバッテリーに蓄えることが可能になり、システム効率を高めることができ、省エネルギー製品が実現できる。この基盤技術を利用することで、移動体をはじめ、人が操作する機器の操作性を高めると共に、高効率な制御を実現できることから、その波及効果は大きいと考えられる。また、施設や病院内で、患者が一人で指定された場所へ違和感なく移動するためのナビゲーションシステムにも応用でき、開発した基盤技術の利用範囲は大きいと考えられる。

また、台車に使用するモータを試験測定することでモータの特性を解析し、モータのトルク、モータ・ドライバ効率を最適化する為の制御定数をもとめ、移動台車の最適な制御を行う。

### 【研究内容及び成果】

開発成果の結果、施設作業や利用者の方が、台車を押すことで正しく目的の場所へ荷物を移動する機能を実現でき、基盤技術の開発は実現できたといえる。

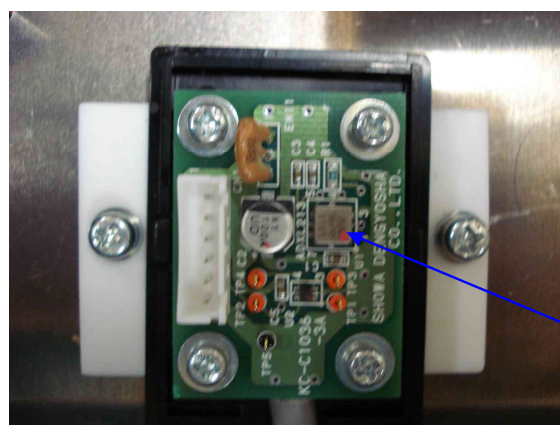
台車は、路面に貼付されたラインをトレースして移動し、ラインから逸れようとする場合は、自動的に車輪の向きが変わり正しい方向に移動し、直線部も分岐部も円弧部も実用的に問題のないブレの範囲内で動作できた。万一ラインから外れた場合や、前方の障害物を検知した場合、またエレベータの前などでは自動的にブレーキをかけ安全に停止するシステムとした。

図表 2.4.1 エレベータ前で安全に停止



加速度センサを利用し特定の部位でなくても、台車に加えられた力の大きさと方向を検出することにより、台車全体の自重による転がり摩擦とモータ減速器等による摩擦を軽減し、押す力は体感的に軽く感じられる状態となった。またアシスト量は調整でき、リハビリ用として使用することも可能となった。

図表2.4.2 加速度センサ基板



加速度センサ

## 2-5 ソフトウェアによる安全性向上における駆動モータ制御ソフト作成

### 【実施計画】

ブラシレスモータ 2 軸の駆動制御プログラムを作成する。具体的にはベースとなる既存マイコン（RENESAS\_\_SH2A 程度）に、モータ 2 軸各々のブレーキ制御、発電制御、トルク制御、速度制限、通信等を行うプログラムを作成する。

モータロータ位置を検出するセンサーは、走行時に振動を受け、埃を受けやすい場所に取付けられるため、光学式のエンコーダなどが利用できないので、レゾルバを使用する。このレゾルバのアナログ信号をマイコンで扱うデジタル信号に変換するためにマイコン(RENESAS\_\_SH2A 程度)を使用し、プログラムを作成する。

### 【研究内容及び成果】

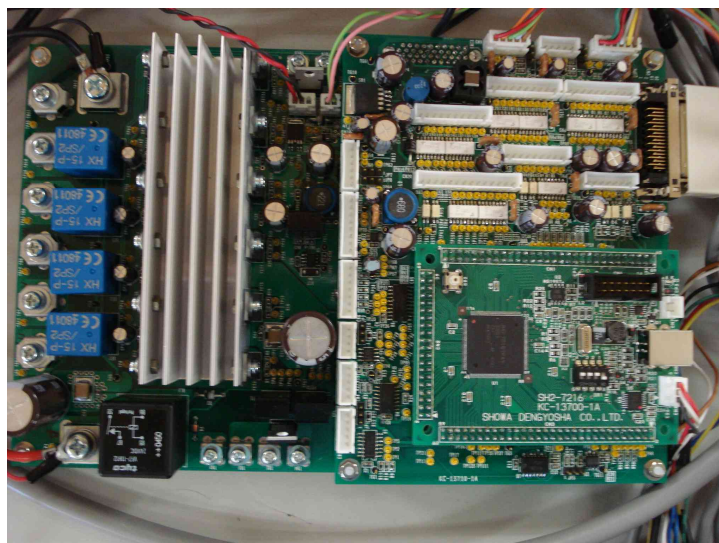
ブラシレスモータ 2 軸の駆動制御プログラムを作成。

具体的にはメイン CPU となる SH2A\_7216 マイコン(ルネサス製)をベースとした、ブラシレスモータ 2 軸駆動する制御基板を作成し、駆動モータ 2 軸各々のブレーキ制御、トルク制御、速度制限、通信等を行うプログラムを作成した。

発電制御のプログラムは作成できなかった。

また、減速比を小さくしたモータも製作したが、実証試験直前になって出来上がった為移動台車に減速比を小さくしたモータを搭載してのシステム開発は今回行えなかった。

図表 2.5.1 モータ 2 軸駆動制御基板(メイン CPU SH2A\_7216 ベース)



## 2-6 ソフトウェアによる安全性向上における方向操縦用モータ制御ソフト作成

### 【実施計画】

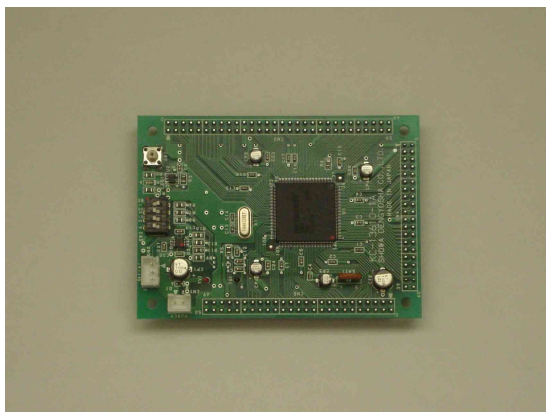
ブラシレスモータ 1 軸の駆動制御プログラムを作成する。具体的にはベースとなる既存マイコン（RENESAS SH2 程度）に、モータ 1 軸の回転角度制御を行うプログラムを作成する。

### 【研究内容及び成果】

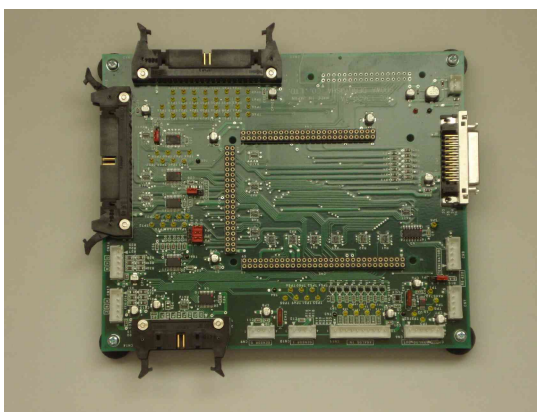
ブラシレスモータ 1 軸の駆動制御プログラムを作成した。

具体的にはサブ CPU となる SH2\_7085 マイコン(ルネサス製)をベースとした、ブラシレスモータ 1 軸駆動する制御基板を作成し、方向操舵モータ 1 軸の回転角度制御を行うプログラムを作成した。

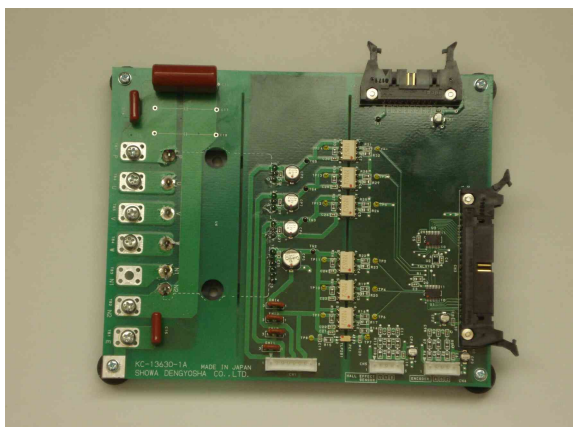
図表 2.6.1 SH2\_7085 マイコンボード



図表 2.6.2 IO ボード



図表 2.6.3 モータ 1 軸駆動制御基板



## 2-7 ソフトウェアによる安全性向上におけるセンサ及び通信ソフト作成

### 【実施計画】

各センサの入力による制御及び CPU 間の情報伝達ソフト作成。具体的にはサブ CPU を使用し、方向判別センサ、前方障害センサ、分岐判別センサ、加速度センサ等の情報から台車の制御方法を判断し、方向用モータを制御するプログラムを作成する。

また、メインとサブの CPU 間の通信によって、2 軸駆動用モータ制御を行うプログラムを作成する。

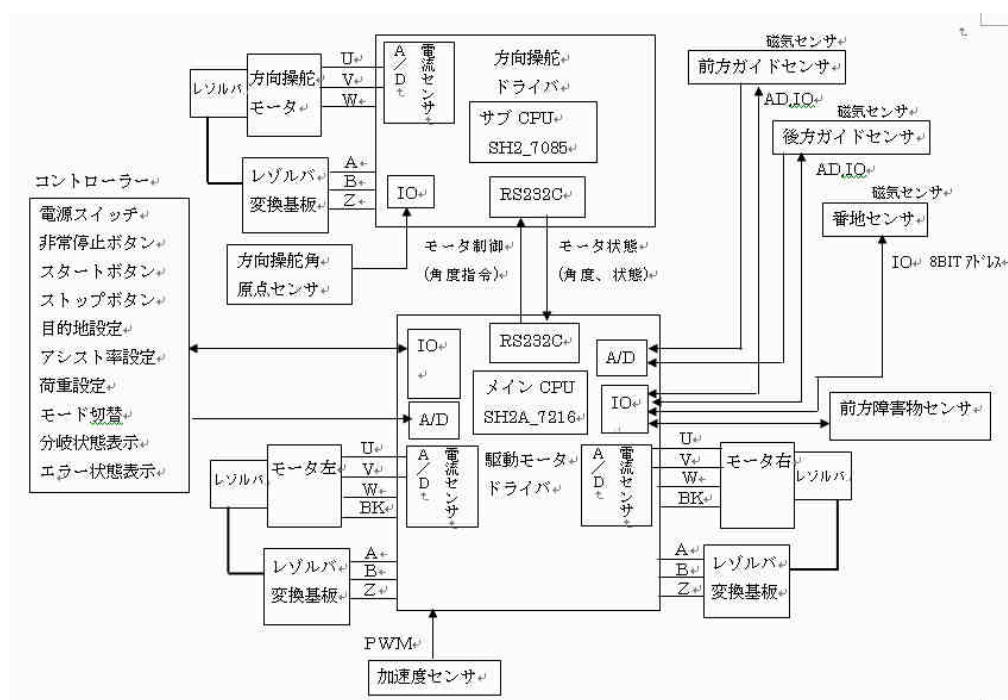
また、設定値等の入出力用にマイコン（RENESAS\_H8 程度）を使用し、プログラムを作成する。

### 【研究内容及び成果】

メイン CPU に磁気センサ、前方障害物センサ、番地読取りセンサ、加速度センサ、コントローラ等からの情報を集中管理し、分岐の方向や停止等、台車の制御方法を判断し、方向用モータを制御するプログラムを作成した。

また、メイン CPU とサブ CPU それぞれに RS232C による通信プログラムを作成し、メインとサブの CPU 間の通信によって、1 軸方向操舵モータ制御、2 軸駆動モータ制御を行うプログラムを作成した。

図表 2.7.1 制御仕様ブロック図



## 2-8 実証実験における振動・EMC試験の実施

### 【実施計画】

介護施設や病院をはじめ、様々な施設において使用される給食配膳用台車は、食材や汁物等を運ぶという性格上、移動時の振動は少ないことが望ましい。通常の使用環境は、施設内の廊下等であり、大きな振動が加わることは多いとは言えない。しかしながら、点字ブロックやエレベータとの境界などで生じる振動が台車に加わることも想定される。さらに、台車そのものの共振等により、思わぬ振動が生じる可能性も否定できない。

また、介護施設や病院においても医療機器等の電子機器が数多く利用されており、安全性の観点から開発する移動台車は、他の電子機器に影響を与える電磁ノイズを出さない、また他の機器による電磁ノイズの影響を受けて誤動作しないという電磁両立性（EMC）の基準を満たす必要がある。

そこで振動試験により低振動化を図るとともに、EMC試験をあわせて行うことで機構の信頼性を高める。

### 【研究内容及び成果】

#### 2-8-1 振動試験

##### 【試験方法】

今回は、第一段階として、特別な段差のない通常使用時の環境（廊下）において走行時の振動計測を行った。以下に試験の概要を示す。

##### 1. 試験対象

移動台車（給食用台車）

##### 2. 試験実施日

平成22年3月16日（火）

##### 3. 試験実施場所

神奈川県産業技術センター 実験棟 3F 廊下

##### 4. 測定内容

測定対象を当センターの廊下で直進走行させた場合に生じる振動を測定した。

備考：(1)測定対象を図表 2.8.1.1 に示す。

(2)測定器は、三軸振動ピックアップ 356B21（PCB）を使用した。

(3)センサ取付け位置は、荷台中央、荷台前方、ハンドル、土台の4ヶ所(図表 2.8.1.2)とした。

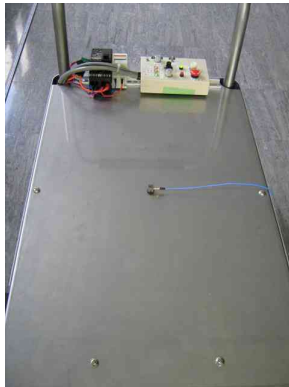
(4)走行速度は約 2.8km/h とした。



図表 2.8.1.1 試作した移動台車



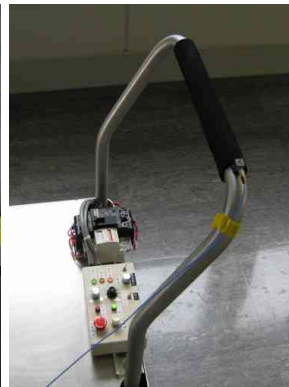
図表 2.8.1.2 センサ取付け位置



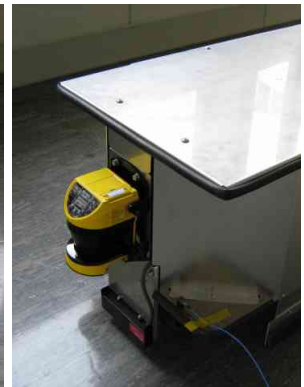
(a)荷台中央



(b)荷台前方



(c)ハンドル



(d)土台

#### 【まとめと今後の課題】

本振動試験によって、次のことが明らかになった。

- (1) 配膳時の支障をきたすほどの、振動は発生していないと思われる。
- (2) 荷台中央においては、土台や荷台前方に比べ上下方向の振動が大きい。
- (3) ハンドルにおいては、土台や荷台前方に比べ3方向すべての振動が大きい。

荷台中央およびハンドルの振動は、適切な構造変更によって、低減可能と考えられるが、そこまでの対策が必要か否かの判断は今後の検討課題である。また、今回実施していない、点字ブロックやエレベータの段差通過時の振動の影響に関する検討も行うべきである。

## 2-8-2 EMC試験

### 【試験方法】

以下に試験の概要を示す。

#### 1. 試験対象

移動台車（給食用台車）

#### 2. 試験実施日

平成22年3月19日（金）

#### 3. 試験実施場所

神奈川県産業技術センター 電波暗室、電磁波シールド室

#### 4. 試験項目

##### （1）放射妨害電界強度測定

移動台車から輻射される電磁ノイズについて、他の電子機器へ悪影響を与えないことを確認するため、VCCI（情報処理装置等電波障害自主規制協議会）の技術基準に基づいた測定を実施した。技術基準では、限度値について、住宅環境で使用される機器に対するものと、住宅環境以外で使用される機器に対するものの2種類が規定されているが、今回の測定では、限度値がより厳しい住宅環境の限度値（classB）で評価した。

参考規格 VCCI classB

周波数範囲 30MHz から 1GHz

測定距離 3m

移動台車の停止状態と動作状態について測定を行った。

##### （2）静電気放電イミュニティ試験

移動台車が静電気放電に曝された場合でも、誤動作・故障などの異常が発生しないかを確認するため、IEC61000-4-2（国際電気標準会議）、IEC61000-6-2の技術基準に基づいた試験を実施した。IEC61000-6-2では、住宅環境と工業環境で使用される機器、両者に対して、同じレベルの電圧を印可することが要求されている。

参考規格 IEC61000-4-2、IEC61000-6-2

電圧 ±4kV（接触放電）

±8kV（気中放電）

±4kV（間接放電）

移動台車の停止状態について試験を行った。



### （３） 放射電磁界イミュニティ試験

移動台車が放射電磁界（無線電波）に曝された場合でも、誤動作・故障などの異常が発生しないかを確認するため、IEC61000-4-3（国際電気標準会議）、IEC61000-6-2 の技術基準に基づいた試験を実施した。IEC61000-6-3 では、被試験器に印可する電界強度のレベルについて、住宅環境で使用される機器に対するものと、工業環境で使用される機器に対するものの２種類が規定されているが、今回の試験では、レベルがより厳しい工業環境の基準で評価した。

参考規格 IEC61000-4-3、IEC61000-6-2

周波数範囲 80MHz から 2.5GHz

電界強度 10V/m (80MHz～1GHz)

3V/m (1GHz～2GHz)

1V/m (2GHz～2.5GHz)

変調 AM 変調、80%、1kHz

移動台車の停止状態について試験を行った。

#### 【試験結果】

放射妨害電界強度測定では、動作状態の 78MHz における測定結果が、限度値に対して最も余裕がない点であったが、それでも十分な余裕（5.2dB）があった。静電気放電イミュニティ試験と放射電磁界イミュニティ試験では、いずれも、動作について異常は見られなかった。これらのバッテリー使用を想定した EMC 試験の結果より、移動台車を使用するにあたり、EMC に関しては問題がないことが分かった。

ただし、今後の製品化に向けて、筐体の材質、構造、電子回路の変更などを行った場合は、試験結果が変化するので、変更した場合は、再度、EMC 試験を実施し、安全性を確認する必要がある。

## 2-9 実証実験における実証評価

### 【実施計画】

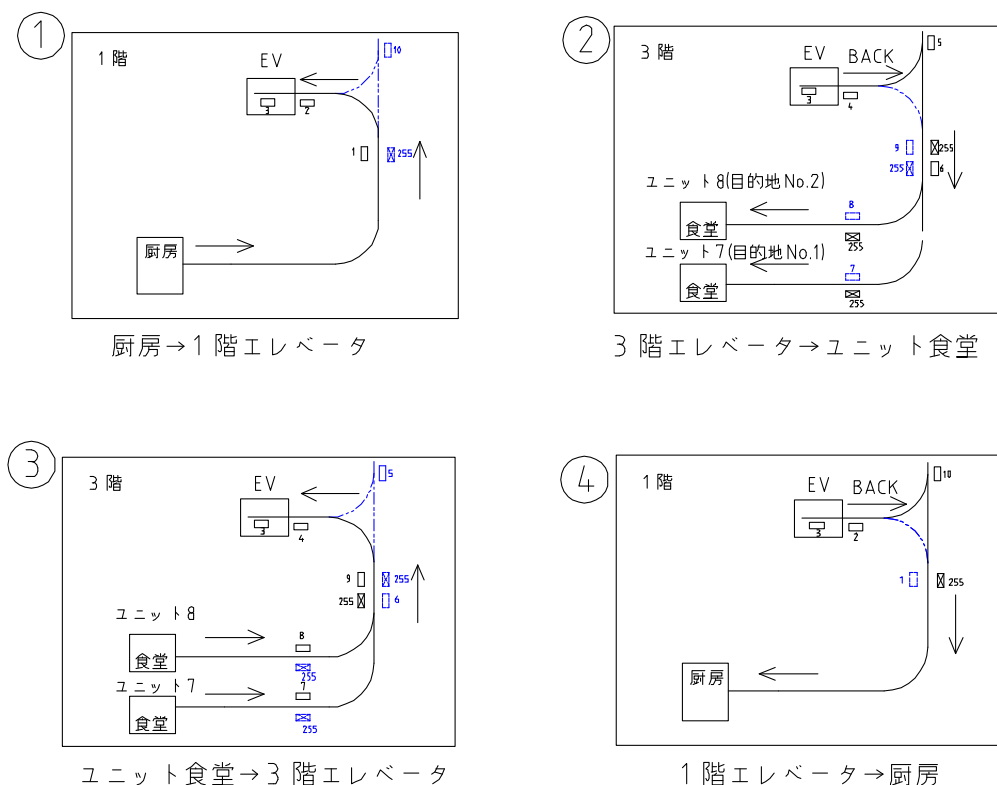
開発成果を実装した試作台車により実環境で実証走行試験を実施し、安全性等、各研究開発項目について検証を行い、必要な改良項目について検討する。

### 【研究内容及び成果】

移動台車試作機を用いた実証実験については、社会福祉法人いきいき福祉会 特別養護老人ホーム ラポール三ツ沢殿のご協力を頂き、施設内の給食台車運搬と同様のルートを想定し、実環境での検証を行った。

運搬経路としては、以下に添付したルート概要図の様に長距離ルート【1Fの厨房（始点）→廊下→EV→廊下→3Fのユニット7、ユニット8の食堂キッチン(始点時にどちらかの行先設定)→廊下→EV→廊下→1Fの厨房（終点）】で往復し、ユニット7とユニット8までのルートを交互に選択しながら、何度も検証した。

図表 2.9.1 ルート概要図



＊尚、1  255  などの四角は番地磁石板を表し、横の数値は番地の値を表す。

＊①～④までの状態で、黒が現在の状態で使うルートと磁石板を表す、青の点線ルートと磁石板は別の状態の時に使うものを表す。

実証実験の状況例を、図表 2.9.2、図表 2.9.3 に示す。

図表 2.9.2 廊下でのガイド走行



図表 2.9.3 エレベータ周辺でのガイド走行



本実証実験によって、安全性などの開発項目が概ね達成されていることが確認できた。

### 第3章 全体総括

本研究開発では、病院や養護施設などで、従業員、患者や入居者が自らの力で操作して、目的地に正しく導き、安全に食材を搬送できる台車に関する研究開発を行ってきた。今回の研究開発では、基本的な技術の確立と、実証実験が可能な試作機の製作までを達成できたが、製品に近い実用機の製作を行うには、今後さらなる研究開発が必要である。

本研究で開発した部分は、食材配送用の台車で、目的とする場所まで安全に正確に誘導する電動アシスト型の台車である。ここでは、台車の機構部、誘導制御システム、アシスト制御システム、安全性を考慮したモータ制御システム、自動操舵システム、安全対応システムについて研究開発を行った。また、開発した台車を介護施設に持ち込み、実証実験を行い、操作性、安全性、誘導制御の性能など、介護施設の従業員、入居者等によって実際に食材配送の操作をしていただき、様々なご意見、評価を得ることができた。

さらに、介護施設や病院においては、電子制御される医療機器が多数利用されており、安全性の観点から、既存の電子機器に影響を与えてはならず、さらに振動・騒音も小さくなくてはならない。このため、他の機器からの電磁ノイズの影響によって誤動作しない、またノイズを他の機器に伝達しない、振動・騒音を発生しない手法の確立を行い、EMC 試験をあわせて行うことで機構の信頼性を高めることが必要である。本研究開発では振動、EMC について実システムを用いた評価を行った。また、試作した実機を研究機関に持ち込み、振動評価試験と EMC 評価試験を行い、今回研究開発した台車が振動、EMC 共に問題ないことを確認した。

以上のように、本研究開発によって、基本的な仕様を満足する台車を開発することができた。しかし、安全なバッテリー充電システムや水洗いができる機構・構造など、実用面での安全性、衛生性、操作性など多くの残された課題がある。今回は製品化のプロトタイプまでを設計製作することはできなかった。しかし、第一次試作台車を用いて、介護施設での実証実験を行うことができ、研究開発した台車の評価を行うことができた。

以下に実証実験で得られた確認事項を示す。

- (1) 移動時に台車前頭部が左右にぶれ、走行に違和感がある。
- (2) 今回開発したシステムでは、台車の位置情報は、台車が走行ラインに対して平行になったときでなければ読み込めないため、曲線ラインを走行したあと台車がラインに対して平行になるまで動かす必要があり、無駄な走行経路が必要となった。短い走行距離で位置検出が可能な構造にする必要がある。
- (3) エレベータの乗り降りをスムーズにするための対策が必要である。つまり、エレベータを呼び、目的とする階へ移動指示を自動で行えるシステム作りが必要である。
- (4) 台車の質量が大きく動きが悪い、モータと車輪間のギヤの騒音が感じられる、といった操作性、環境性の問題があった。
- (5) 試作機では、移動時も停止時も音楽が流れ少しうるさく感じられた。移動時、あるいは

は人を検出したときに、軽やかな音を出すシステムが必要である。

(6) 走行ラインが居住空間の美観を損ねたり、患者がテープをはがすこともあるため、走行ラインを仮想的に作成したり、画像認識で動作するなど、走行ラインを検出するための磁気テープを使用しない手法の開発が今後必要である。

(7) 誤った操作を行ったときに、操作者に誤りであることを伝えるための振動発生メカニズムの開発が必要である。

(8) 移動時に台車のハンドル部の振動が大きい。振動を低減する機構の開発が必要である。

実証実験において概ね当初計画していた機能・動作を実現でき、基本的な基盤技術を開発することができた。しかし、上記に示すように製品化に向けた場合の問題点も実証実験を行うことで分かった。今後は製品化のために、実証実験で得られた問題点を解決すると共に、実用化、低価格化のための研究開発を行うことで、製品化が可能になると思われる。

また、今回研究開発されたシステムを通じて、食材の配送・運搬という目的だけでなく、人が操作する機器の操作性を高めると共に、高効率な制御を実現できる基盤技術が構築できた。構築した基盤技術の波及効果は大きいと考えられる。このため介護施設や病院内で、患者が一人で指定された場所へ違和感なく移動するための移動ナビゲーションシステムにも応用でき、開発した基盤技術の利用範囲は広いと考えられる。