

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：51303

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500666

研究課題名(和文) 4アーム構造による小段差乗り越え機能を備えた電動車いすの開発

研究課題名(英文) Development of Electric Wheelchair 2nd Trial Model with Single-step Climbing Mechanism Using 4 arms structure

研究代表者

熊谷 和志 (Kumagai, Kazushi)

仙台高等専門学校・情報システム工学科・教授

研究者番号：40270201

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円、(間接経費) 1,290,000円

研究成果の概要(和文)：電動車いすの段差対策に関し、4アーム構造による小段差乗り越え機能の実現を目指した。交付期間前にメインフレームなどの開発を行っている。機構部に関しては、アーム部の再設計、関節部の詳細設計・製作、根元アーム部の組立、中央輪部の開発、先端アーム部・駆動輪部・ステアリング部の詳細設計・部品製作・組立を行った。制御システムでは、デジタルI/Oの拡張、メインCPU直接制御モータ用ドライブ回路の開発、サブシステムおよび駆動輪モータドライブ回路のプリント基板化と全数製作、USBによる1対多通信の確立を行った。当初計画から遅れてしまったため、引き続き取り組み、試走実現に尽力したい。

研究成果の概要(英文)：We aimed at realization of single-step climbing mechanism using 4 arms structure about the measure against a level difference barrier of an electric wheelchair.

We are developing the mainframe etc. before the grant period. About the mechanical section, we re-designed arm parts, designed in detail and manufactured joint parts, assembled root arm parts, developed the central wheel part, designed in detail tip arm parts, driving wheel parts and steering parts, manufactured their parts, and assembled. About the control system, we extended digital I/O, developed the drive circuit for main CPU direct control motors, performed printed-circuit-board-izing and total manufacture of the subsystem and the driving wheel motor drive circuit, and established the one-pair many communications by USB.

Since the mechanical section and the control system have been late for a plan at the beginning, the following fiscal year also tackles succeedingly and we aim at realization of test driving.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：医療・福祉 知能機械 電動車いす バリアフリー

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、日本は急速に高齢社会となり、十数年後には国民の4人に1人は65歳以上になるといわれている。このような中で福祉の充実はますます重要な課題となっている。現在の福祉政策は、積極的な社会参加促進へと変化してきている。ここで、高齢者が外出する上で問題となるのが、屋外での移動を困難にする段差などのバリアである。加齢によりどうしても足腰が衰えてしまうため、電動車いすを利用する動きが広まってきているが、段差によって逆に移動が制約を受けるのである。

バリアフリー化を図る方策として、バリアそのものを無くすものと、バリアを無効化するものがある。バリアそのものを無くす方策は、スロープやエレベータの設置など、社会政策として実施されている。他方、バリアを無効化する試みには、階段昇降機構を備えた車いすの開発や、車いすのまま乗降できる福祉車両の開発などが挙げられる。

階段などの段差を昇降できる装置や、昇降機構を備えた電動車いすの開発は、いくつかの企業や研究機関でなされている。固定式の階段昇降装置は比較的普及しているものの、昇降機構を備えた電動車いすはほとんど実用例がなく、あっても非常に高価であるために普及が進んでいない。本研究課題における電動車いすは、1段のみの小段差の昇降に限定していることから、低コスト化、高信頼性、軽量化を図ることができる。

また、電動車いすでは、転倒の危険性を何とかして欲しいとの要望をよく耳にする。本研究課題における車いすは、4本のアーム構造を採用することにより、転倒の危険性を低減することが可能である。

(2) 電動車いすはジョイスティックを操作するだけで移動できるため、腕の力を必要とせず、高齢者や身体障害者に適した移動手段であるといえる。しかし他方で、50mmを越える段差を乗り越えることができない、他の人の手を借りるにも重量が重いために頼みにくいなどの問題も生じている。いくつかの企業や研究機関でも階段などを昇降できる電動車いすの開発がなされているが、価格などの面で普及には至っていない。

仙台市内の主な公共施設の段差を実態調査した結果から、階段等の多段段差では歩道橋を除いたすべてにスロープが設置されているなど、公共的な施設においてはバリアフリー化がかなり進んでいることが分かった。他方で歩道と車道の段差など1段程度の段差はまだ数多く残っていることも分かった。これらのことから、1段のみの小段差を乗り越えることができれば、電動車いす利用者の行動範囲が広がるであろうことが予測された。

そこで申請者らは、これまで、小段差乗り越え機構を備えた電動車いすの開発を行ってきた。

平成16年度までに開発した試作1号機で、1段のみの小段差乗り越えでも行動範囲が拡大できるか検証を行い、その結果、ある程度の行動範囲拡大を確認できた。

なお、電動車いす自体の行動範囲がごく近距離に限られることから、行動範囲拡大を図るには、さらなる工夫が必要であると思われる。

(3) そこで本研究課題では、小段差乗り越え機能と移動時の安定性向上を図った、試作機(試作2号機)を開発することを目的としている。

これまでに、①基本構造の検討、②操舵・駆動方法の検討、③変形機構の検討、④主要諸元の検討、⑤概略設計、⑥詳細設計、⑦フレームの製作、⑧制御システムの検討と設計、⑨モータドライブ回路の開発、⑩サブシステムの開発、を行っている。

試作2号機では4本アーム構造を採用することにより、図1に示すように小段差を乗り越えることができる。また、4本アーム構造は通常姿勢時に接地する4輪の高さを独立に制御できるため、傾斜路面や凹凸のある路面などでも安定した姿勢を維持することが可能である。

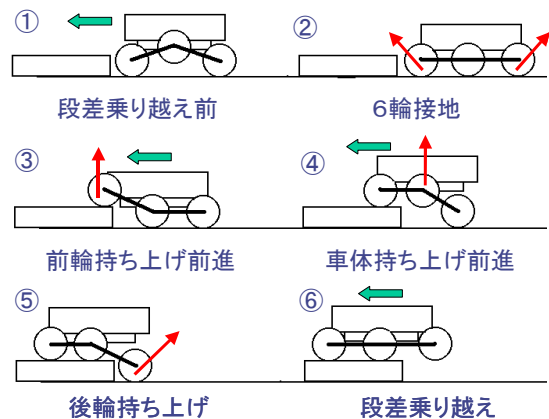


図1 4本アームによる小段差乗り越え

2. 研究の目的

交付希望期間では、現在開発中の試作2号機を完成させる予定である。試作機では、①機構部の製作、②制御システムの構築、③ボディ等の製作、④試作機評価、を行いたい。

3. 研究の方法

(1) 本研究課題は、平成16年度までに開発した試作1号機に引き続き、平成17年度よりすでに開発に着手している。

本研究課題で開発予定の試作2号機では、小段差乗り越え機能を発展させ、移動時の姿勢安定性向上も目指す。

試作2号機の開発では、これまでに、①基本構造の検討、②操舵・駆動方法の検討、③変形機構の検討、④主要諸元の検討、⑤概略設計、⑥詳細設計、⑦フレームの製作、⑧制御システムの検討と設計、⑨モータドライブ

回路の開発，⑩サブ制御システムの開発，を行っている。

基本構造の検討では，6輪構造とすることにより小段差を越えられることを，概略解析および模型による実験で確認した。操舵方法は前後輪による4輪操舵方式を，駆動方法は6輪駆動を採用している。

変形機構には，適正なキャスタ角を実現できる2軸アーム方式を採用することとした。サスペンション機構については必須機能ではないと判断し，試作2号機ではサスペンション機構を搭載しないこととした。

続いて概略設計，詳細設計(図2)を行い，機構部ではメインフレームの製作までを行っている。

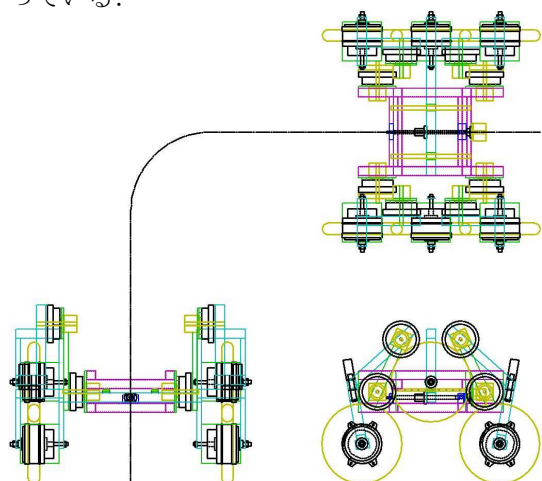


図2 詳細設計

試作2号機では駆動輪用モータ，アーム駆動用モータ，中央輪スライド用モータ，ステアリング用モータ，座席用シリノイドで合計21個のモータ制御が必要である。メインCPU1個ですべてを直接制御するのは難しいため，アナログ電圧による速度指令型となる14個についてはUSB通信を介したサブ制御システムで制御することとした(図3)。

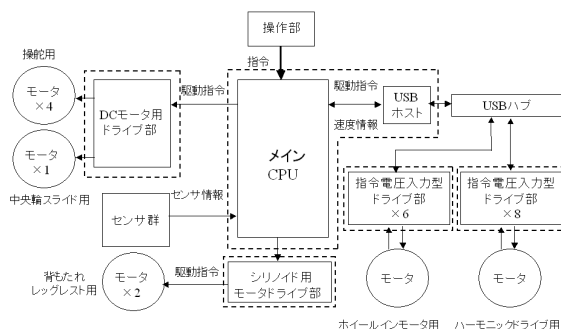


図3 制御システム

(2) 以上の成果を踏まえ，以下の課題に取り組む。

①構造部品の製作(担当:熊谷,大泉)

カバー(ボディ)などとメインフレームを除いた部分である，スイングアーム，駆動部など，主要部分の製作を開始する。軽量化を図るため，アルミ材と溶接を多用する。

②制御システムの開発(担当:熊谷)

サブ制御システムの開発はほぼ目途が立ったものの，メインCPU周りは手つかずの状態であるため，回路や制御ソフトウェアの開発に着手する。

③ボディなどの製作(担当:熊谷,大泉)

各部カバーやキャノピーなど，試作2号機のボディを製作する。材料にはCFRPを考えているが，材料の検討も併せて行いたい。

図4に完成目標モデルを示す。



図4 完成目標モデル

④試作2号機の評価(担当:熊谷,大泉)

各項目の作業ごとに動作試験は行うが，改めて最終形状での評価を行う。

小段差乗り越えや変形にかかる時間の測定と評価，研究施設敷地内での走行テストなど，必要な性能評価を行い，それらのデータをもとに，行動範囲拡大に期待される効果をシミュレーションする。

⑤研究とりまとめ(担当:熊谷)

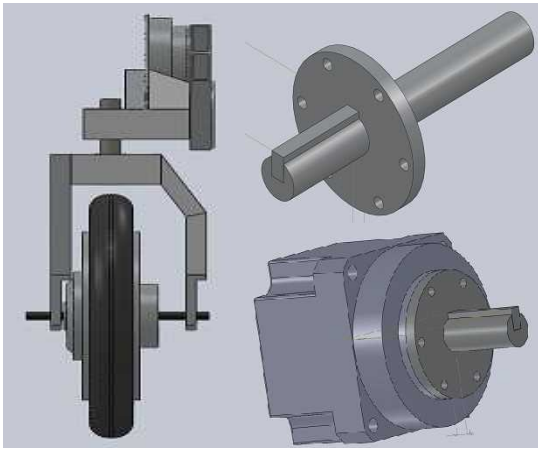
4. 研究成果

(1) アーム部の再設計

駆動輪周りの具体的な検討を行った。

インホイールモータは既に購入済みであったので，ホイールとタイヤを選定した。ホイールには武川製KSR用12X2.5アルミホイールキット，タイヤにはダンロップTT93RGP100/90-12 49Jを選定した。別々ではこれより小さいサイズのものは見つけれなかった。また，選定した12インチタイヤとホイールでは先端アーム部に干渉が生じるため，先端アーム部の再設計を行った。次にアーム関節部分の再設計を行った。

これまでの設計において，ハーモニックドライブとモータの結合部は設計されていなかった。そのため，使用するモータとハーモニックドライブのアダプタを設計した。



(a) 駆動輪部 (b) 関節用アダプタ
図 4 再設計した駆動輪部と関節用アダプタ

また、これまでのアーム部の 3D モデルは簡易的なものであったため、部品を組み立てる上で必要な詳細な組み方を設計した。先端アーム部と根元アーム部との関節部分の 3D モデルを図 5 に記す。

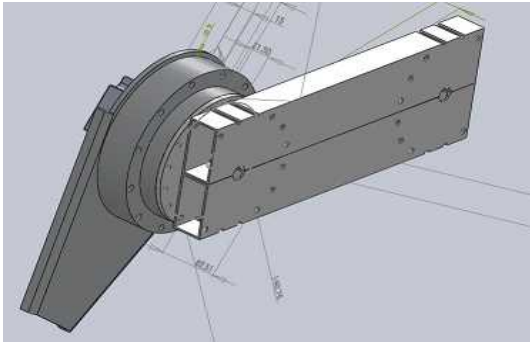


図 5 関節部の 3D モデル

(2) 駆動輪の組み立て

購入したホイールの追加加工を行った。ホイールの追加加工はセンターホールの拡張と取り付け穴の加工である。センターホールの拡張にはワイヤカット放電加工機を用いた。図 6 に組み立て後の駆動輪を示す。



図 6 組み立てた駆動輪

(3) 根元アーム部の組み立て

アーム部の再設計と関節部の詳細設計を元に部品を製作し、根元アーム部を組み立てた。

(4) 中央輪部の開発

試作 2 号機では、段差乗り越し時に前後の

アームを交互に持ち上げるため、重心が常に接地範囲内に入るように中央輪部を前後移動させる必要がある。

なるべくコンパクトにするため、中央輪の必要移動範囲を求めることにした。

重心計算には 3D CAD を用いた。3D CAD で本体フレーム・アームのみ、さらに座席や人体モデルを加えて重心計算を行った。座席・人体モデルを加えた重心計算の結果を図 7 に示す。中央輪は必ず接地するため、図では省略している。

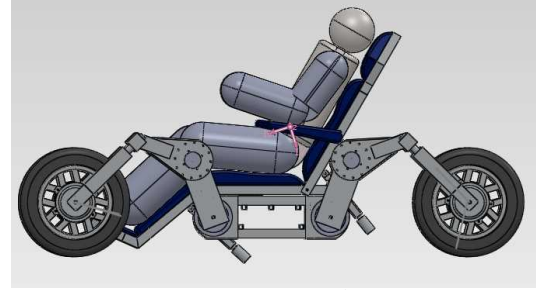


図 7 重心計算

図より、乗車時には全体の重心が車いす中央よりも後方にあることがわかる。当初の設計ではメインフレーム内に中央輪のシャフトを通す予定であったが、移動範囲をカバーできないため、メインフレーム下部に中央輪シャフトを移動させた。また、中央輪の移動範囲が全体的に後方に位置するので、空いた前方部にモータを配置することにした。

中央輪は、これまでの設計では前後輪と同じ仕様の駆動輪であった。すなわち、6 輪接地の安定走行形態では 6 輪駆動となり、これはオーバーパワーである。通常形態は前後輪のみの 4 輪接地であること、小段差乗り越え時は駆動輪である前輪か後輪のどちらかが必ず接地すること、中央輪のシャフトをメインフレーム下に移動したことなどから、中央輪を小径化し、駆動輪から自由輪に変更することにした。

中央輪の小径化により、アームを折りたたむ通常形態での前後輪との干渉も小さくなるという福次効果も得られた。

新しいタイヤとして、ミニモト モンキーアルミタイヤ 90/65-8 を選定した。

開発した中央輪部と根元アーム部をメインフレームに組み付けた様子を図 8 に示す。なお、図 8 は天地が逆になっている。



図 8 中央輪部と根元アームの取り付け

(5) 先端アーム部・駆動輪部・ステアリング部の詳細設計・部品製作・組立

ステアリングシャフトを組み付ける関係で、先端アーム部、駆動輪部ともに、アルミ中空角パイプとアルミ中実角材の接合が必要であるが、熱容量がかなり違うことから、角材が溶ける前に角パイプが溶け落ちてしまい、ロボット溶接での接合ができなかった。そこで、アングル材を介し、角パイプとは溶接、角材とはボルト止めとすることで、角パイプと角材の接合を図った。仮組の様子を図9に示す。

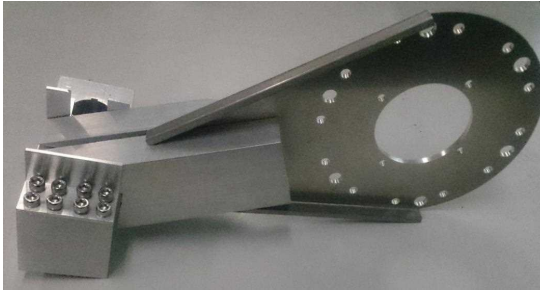


図9 先端アーム部仮組

(6) デジタル I/O の拡張

使用しているメイン CPU ボード HT1040 は、組み込み用途のボードであるにも関わらずパラレル入出力のビット数が大幅に不足していた。そこで、プログラム可能な CPLD(XC95144XL)を備えた、HT1040 の拡張ボード HT3070 を使用してデジタル I/O を作成し、新たにシステムに組み込んだ。

システムに合わせてダウンロードケーブルも製作し、CPLD のプログラムを開発することができた。

(7) メイン CPU 直接制御モータ用ドライブ回路の開発

ステアリング用モータなどの、メイン CPU で直接制御するモータ用ドライブ回路を開発した。開発した回路を図10に示す。

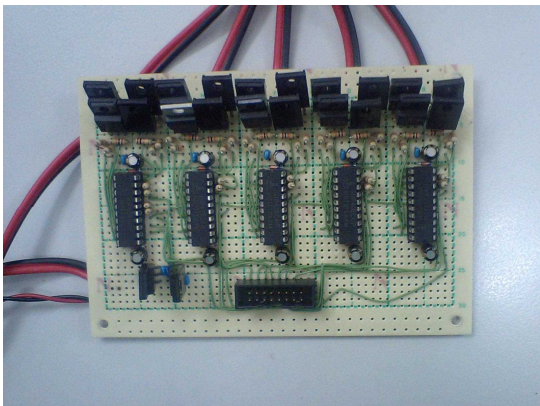


図10 メイン CPU 直接制御モータ用ドライブ回路

(8) サブシステムおよび駆動輪モータドライブ回路のプリント基板化と全数製作

サブシステムは駆動輪用に4個、関節駆動モータ用に8個必要であり、両方に対応した

サブシステム回路をプリント基板で開発した。

プリント基板化にあたって、両方のモータドライブ回路に対応できるように、試作したサブシステムの入出力に修正を加えて再設計を行った。

駆動輪モータドライブ回路についても、プリント基板化に際して細部を見直した。大電流が流れる Hブリッジ部分は、プリント基板の銅箔が保たないため、別基板に分けるなどしている。

全数製作したサブシステムと駆動輪モータドライブ回路を図11および図12に示す。

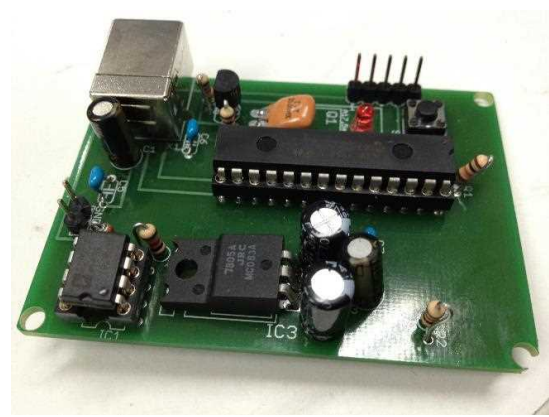


図11 サブシステム

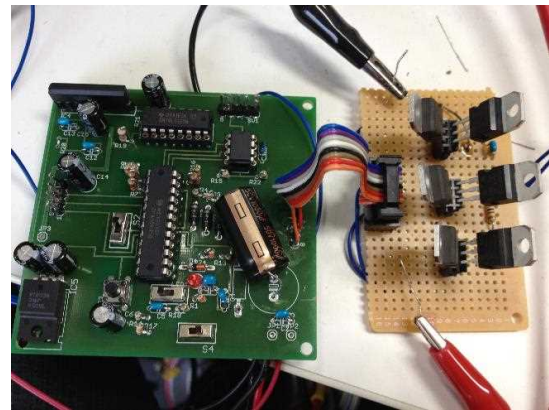


図12 駆動輪モータドライブ回路

(9) USB による1対多通信の確立

サブシステムは、メイン CPU からの信号に応じてモータ制御と速度フィードバックを行う。なお、ハンドシェイク信号を除いて、サブ CPU からメイン CPU に信号が送信されるのは、メイン CPU から速度フィードバックの要求があった時のみである。

メイン CPU 1 個に対してサブ CPU (USB デバイス) は12個と多く、USB を用いた1対多通信を実現するまでにいくつかの段階を経ることにした。

まずはサブ CPU 1 個から始め、1対1通信について動作を実現した。ここまでは CPU ボード HT1040 のユーティリティライブラリで対応可能であった。

次に、1対多通信について検討した。HT1040 のユーティリティライブラリは1対多通信には対応していないため、PC システ

ムの通信プロトコルを解析し、HT1040 のライブラリに手を加えることで対応できるようにした。これにより、本制御システムで USB による 1 対多通信が可能となった。

(10) 今後の課題

機構部、制御システムともに当初計画から遅れてしまったため、課題を残したままとなっている。次年度も引き続き課題に取り組み、試走実現に尽力したい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 6 件)

- ① 奥田剛貴, 高橋颯, 熊谷和志, 大泉哲哉, 小段差乗り越え機能を備えた電動車いす試作 2 号機の開発 (第 5 報), 機械学会東北支部総会講演会, 2014-1, 2014.03.14, 東北大学工学部
- ② 熊谷和志, 4 アーム構造による小段差乗り越え機能を備えた電動車いすの開発, 2013 年度福祉情報教育フォーラム in おきなわ, 2013.08.25, 沖縄国際大学
- ③ 伊藤大, 佐藤創太, 熊谷和志, 大泉哲哉, 小段差乗り越え機能を備えた電動車いす試作 2 号機の開発 (第 4 報), 機械学会東北支部総会講演会, 2013-1, 2013.03.15, 東北大学工学部
- ④ 村岡良祐, 熊谷和志, 大泉哲哉, 小段差乗り越え機能を備えた電動車いす試作 2 号機の制御システムの開発, 機械学会東北支部総会講演会, 2013-1, 2013.03.15, 東北大学工学部
- ⑤ 佐藤創太, 阿部充庸, 熊谷和志, 大泉哲哉, 小段差乗り越え機能を備えた電動車いす試作 2 号機の開発 (第 3 報), 設計工学会東北支部講演会, 2012.11.03, 八戸工業大学
- ⑥ 熊谷和志, 小段差乗り越え機能を備えた電動車いすの開発, 第 2 回おおた研究・開発フェア, 2012.10.04-05, 大田区産業プラザ PiO

[その他]

ホームページ等

<http://hirose.sendai-nct.ac.jp/~ckuma/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

熊谷 和志 (KUMAGAI KAZUSHI)
仙台高等専門学校・情報システム工学科・教授
研究者番号 : 40270201

(2) 研究分担者

大泉 哲哉 (OIZUMI TETSUYA)

仙台高等専門学校・知能エレクトロニクス
工学科・教授
研究者番号 : 70152048

(3) 連携研究者

なし