

課題番号	Q19S-01
課題名 (和文)	健常者と同等の移動能力を有する電動車いすの実現 —CYBATHLON: Powered Wheelchair Race を目指して
課題名 (英文)	Development of Electrical Wheelchair with Harmony in Welfare for Human-Life and Performance toward CHYBATHLON
研究代表者	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科 教授 氏名 岩瀬 将美
共同研究者	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科 教授 氏名 釜道 紀浩
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 工学部 機械工学科 准教授 氏名 井上 淳
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科 准教授 氏名 藤川 太郎
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科 准教授 氏名 遠藤 信綱

研究成果の概要 (和文)

本研究は、社会的背景を動機として、メカトロニクス技術を結集し、CYBATHLON 競技の一つである Powered Wheelchair Race を目指した電動車いすの実現を開発課題に据え、ユーザーが健常者と同等の移動能力を有する電動車いすの研究開発を目的とする。肢体不自由者の活動範囲を拡大するべく、CYBATHLON 競技内で与えられるスラローム、階段昇降、不整地走行、斜面走行などに対応できる移動機構と、搭乗者の身体能力になるべく依存せずに操縦可能なロボットチェア機構について考究し、反映した実機を開発するに至った。

研究成果の概要 (英文)

Motivated by the social background, this study aims to develop an electric wheelchair with the same mobility capability as an able-bodied person by concentrating on mechatronics technology and aiming to realize an electric wheelchair for the Powered Wheelchair Race, one of the CYBATHLON competitions. In order to expand the range of activities of the physically challenged, we have studied a mobility mechanism that can handle the slalom, stair climbing, uneven terrain, and slope running given in the competition, and a robot chair mechanism controlled without depending on the physical abilities of the passenger.

1. 研究開始当初の背景

日本では超高齢化社会を迎え 2025 年には高齢者率が 30%を超えると予測され、高齢者や障害者のためのバリアフリー対策が進められている。弱者に対する社会の障害を現実的に取り除くテクノロジーの進歩は、結果的に、怪我人や妊婦、大荷物を持つ人など一般人にとっても有益であり、バリアフリーを追求することは、障害の有無や年齢を問わず、皆にとって優しく安心・安全な社会形成につながる。近年、IT や AI 技術を駆使した Google 翻訳によって言語間バリアがかなり薄れたように、弱者の気持ちを慮っていたわろ、というよりも技術を駆使して高齢者や障害者に対する社会の障害を現実的に取り除き、社会参画を可能とする広義の意味でのバリアフリー化への重要性が強く認識されてきている。

ロボットに代表されるメカトロニクス技術は、日本が世界に向けて発信した技術である。近年では、Cyber-Physical という coin word が意味するように、現実世界の問題を情報化空間とリンクさせ、ビッグデータ・AI といった知識・知能を利用しながら問題解決は試み、有益な結果を現実世界に戻して反映させる手法に注目が集まっている。旧来の意味における機械-電気電子の融合体としてのメカトロニクスから発展させ、現実世界と情報空間をリンクさせる有望な媒体の意味を兼ね備えることが囑望されている。Google や Amazon など AGFA は、自動運転やドローンなど Cyber から Physical な世界へリンクを伸ばし、テクノロジーの幅を驚異的なスピードで膨らませている。

これらの社会的背景や要請から、広義の意味におけるバリアフリー化に資するロボット・メカトロニクス技術を、障害者や高齢者といった弱者に対する社会的な障害を取り除くことのできる実用性のあるテクノロジーへと昇華させることができるのか、が問われていると考える。同じ問いを發

端として、ETH の NCCR Robotics 教授 Rober

Riner 博士は、エンジニアが、障害を持つ人、医療関係者、一般の人々と対話を続けながら、障害者の社会参加をより可能にし、日常生活の動作の質にこだわる技術を求める CYBATHLON の開催を提案した。本研究も「進化するロボット・メカトロニクス技術を結集・再統合することによって、弱者が社会参加を果たそうとするときに現れる障害を現実的に取り除く技術へと昇華できるか」という問いが背景にあった。

2. 研究の目的

本研究は、急速に進化するロボット・メカトロニクステクノロジーに AI・機械学習といった制御・情報系技術を融合させた Information-Robot-Technology (IRT)によって、障害者や高齢者といった弱者の社会参画に対する障害を現実的に取り除くというより一般的な意味でのバリアフリー化を目指す。この目的達成のために、ロボット・メカトロニクス学科の研究代表者と共同研究者がこれまでに培ってきた研究力・技術力を結集し、CYBATHLON 競技の一つである Powered Wheelchair Race を具体的な開発課題に据え、障害者（ユーザー）が健常者と同等の移動能力を有する電動車いすを研究開発する。

CYBATHLON 競技の一つである Powered Wheelchair Race(PWR)を具体的な開発課題に据え、障害者・高齢者（ユーザー）が健常者と同等の移動能力を有する電動車いすを研究開発する。PWR は図 1 のように 6 つのステージがあり、①デスクに着いて椅子として利用可能であること、②テーブル間をスラローム走行できること、③傾斜地を流れずに直進できること、④丸太材などの悪路を走行できること、⑤スロープを登り、扉を開け、閉め、スロープを下れること、⑥階段昇降できること、が求められる。

このような用途に関する先行研究としては、階段や不整地の走行ができる電動車椅子 Caterwil や B-FREE HK という機体がある。これらの機体は駆動機構にタイヤとホイールが使われており、平地ではタイヤ、階段や凸凹不整地などではクロ

ーラで走行する。しかし、クローラ機構は移動速度の面で車輪より劣り、かつ路面を傷つけてしまうことから室内利用に不向きである。このような視点から移動機構はタイヤを活用することが好ましい。

階段や不整地が走行でき、クローラではなくタイヤのみを利用している電動車椅子として、中嶋らが開発した RT-Mover や Independence Technology 社の iBOT4000 がある。RT-Mover は 4 本の脚の先にタイヤが取り付けられている。平地などでは 4 輪で走行し、段差や階段では多脚ロボットの様に脚を順番に乗せることで昇降可能である。しかし、1 段昇るのに 10 秒以上かかり遅い。一方、iBOT4000 は機体の両側にホイールが二輪一組となった機構とキャスターの計 6 輪が取り付けられている。二輪一組の機構を回転させることで倒立状態となり、この状態での走行や段差・階段昇降が可能である。しかし、iBOT4000 は補助者がいない状況下での階段昇降で、搭乗者自身が手すりなどにつかまり重心移動をしなければならない。そのため iBOT の利用者は上半身が動かせる者に限定される。

これらの背景を踏まえ、本研究では、肢体不自由者の活動範囲を拡大するために、クローラを用いずとも階段昇降や段差を走破でき、かつ、なるべく使用者の身体能力に依存しない電動車いすの開発を目指した。

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために、求められる機体の仕様を検討し、機体のコンセプトを決定したのち、それに基づいた設計開発を行った。

まず、製作する機体の仕様について述べる。機体の全長、全高、全幅などの寸法は JIS 規格に準じて設計する。JIS 規格で定められている寸法を図 1 に示す。図 1 より、全長、全高、全幅はそれぞれ 1200mm, 1200mm, 700mm に収めるようにする必要がある。さらに室内利用を考慮して、移動機構にはクローラは使わずタイヤのみを使い、介助者が居なくても搭乗者のみで段差や階段昇

降ができるように設計する。利用者が上半身付随の場合でも、必要に応じて椅子を操作するロボットチェア機構も導入する。椅子として電動車いすのまま机に着くことや、使用者の手の届く範囲を広げるために健常者と同じ目線の高さにできる座面昇降機能も必要となる。

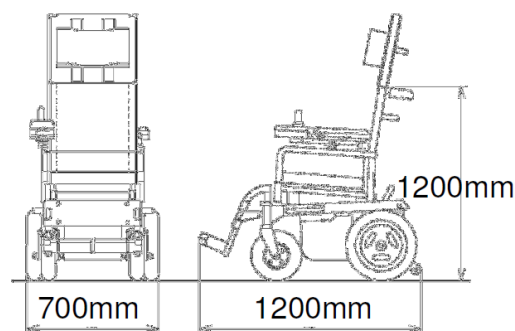


図 1. 電動車椅子の JIS 規格

4. 研究成果

検討した本研究で製作する機体のコンセプトについて述べる。

CYBATHLON に対応できる想定機体を図 2 に示す。図 2 より、駆動部分は 3 輪のタイヤを一組とした機構を両側に取り付け、これを回転させることで段差や階段を走破する。さらに走行モードの切り替えも可能となる。走行モードを図 3 に示す。図 3 より、駆動部分を回転させることで 4 輪状態から 2 輪の倒立状態に変形できる。倒立状態での走行によって小回りや座面の高さを調整すること可能となる。また重心移動や座面の高さ、傾きを調整するべく、座面を動かすロボットチェア機構を座面の下に取り付ける。座面の高さを調整できるようにすることで高さの異なる机に着くことや、使用者が車椅子に乗った状態で手が届く範囲を広げられる。

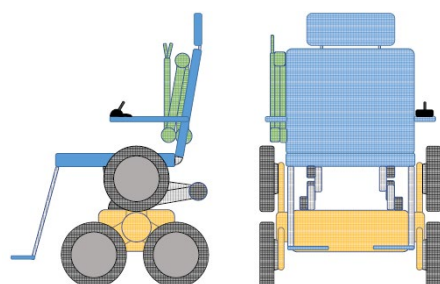


図 2. 車椅子の想定機体

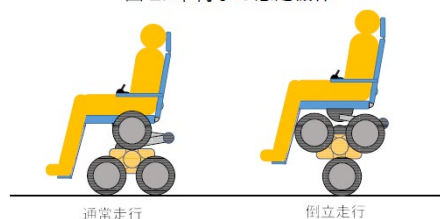


図 3. 走行モード

図 1 やサイバスロンの課題などを参考に決定した機体の想定寸法を図 4 に示す。階段は建物の種類によりサイズが大きく変わってくるため、建築基準法で決められているサイズを参考にした。建築基準法で定められている階段の寸法を表 1 に示す。

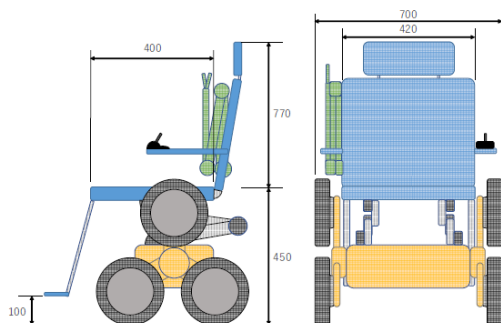


図 4. 車椅子の想定寸法

表 1. 階段の寸法

種類	蹴上 (mm)	踏面 (mm)
小学校	160 以下	260 以上
中学・高校	180 以下	260 以上
住居	230 以下	150 以上
東京電機大学	180	280
Cyathlon	170	280

表 1 より、住居における階段の寸法が最も厳しいため、本研究では蹴上 230 mm、踏面 150 mm の階段も昇降できるように設計する。これにより、他の寸法の階段にも対応することが可能となる。さらに段差や机は Cyathlon での課題を参考にする。Cyathlon における最大の段差は 60 mm である。駆動部分の回転を使用せずに乗り越えることが出来るタイヤのサイズにする。また机では

高さが 670 mm なので、人の大腿部を考慮し、座面の高さは 450 mm 以内の高さに収める。また使用者の手が届く範囲を健常者と同等にするために座面を持ち上げる必要がある。日本人の平均座高の高さが 921 mm であり、平均身長が 1707 mm である。そのため、座面を座高と身長との差である 336 mm 持ち上げる必要がある。さらに座面の前後方向の移動については、段差や階段を乗り越える際に重心をタイヤの中心軸上に持ってくることで必要となるトルクを抑えられると考える。

次に、駆動部分について述べる。駆動部分の幾何学図を図 5 に示す。図より、タイヤの半径を s 、軸の長さを R とするとタイヤの中心間の距離が与えられる。階段の寸法を蹴上 230 mm、踏面 150 mm として考えると軸間距離は $R=158.5\text{mm}$ となる。さらに軸間距離とタイヤ半径の関係から半径 $s < 137.2\text{mm}$ とする必要がある。タイヤ半径は駆動機構の回転を利用せずにある程度の段差を越えられないといけないので、Cyathlon では最大 60 mm の高さのステップが存在することを考慮する。タイヤは通常直径の四分の一の高さまで乗り越えられるので、(2) と合わせタイヤの半径の条件は $120 < s < 137.2$ となる。以上の検討と、階段にタイヤを載せた際に少しでも踏面のスペースに余裕を持たせるべく、タイヤ半径を 120 mm とした。これらより決まった駆動部の設計寸法を図 6 に示す。

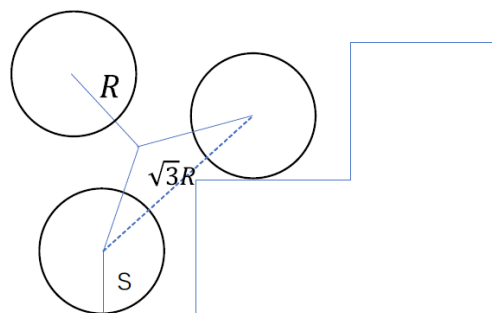


図 5. 駆動部分の幾何学

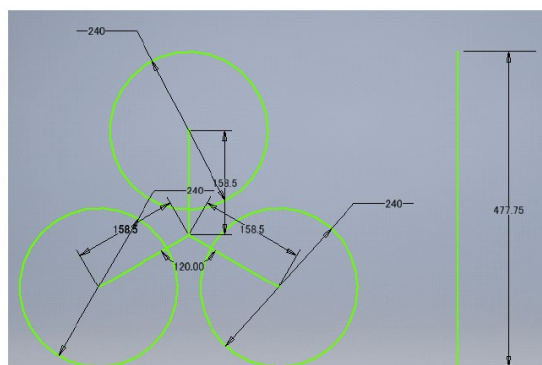


図 6. 駆動部分の設計寸法

次に座面下のロボットチェア機構について述べる。重心移動のために座面を前後方向へ動かす状況がある。そのため、座面の前後への可動範囲を図 7 に示す。座面の前後方向への移動は、図のようにタイヤの軸上までは最低限移動できる必要がある。タイヤの軸間距離は、駆動部分の設計から 275 mm となっている。また座面の高さは Cybathlon で使用される机の高さと平均座高の高さを参考に考える。まず、高さ 670 mm の机に着く際の座面の高さは大腿部などを考慮すると、およそ 450 mm であると考えられる。また平均身長の高さまで座面を持ち上げた際の座面の高さはおよそ 778 mm であると考えられる。また駆動部分の制御機器が座面移動機構の下に配置されるので、座面と制御機器のクリアランスは 128mm 程度必要となる。平均身長の高さまで持ち上げる際に座面の高さはおよそ 338 mm 持ち上げる必要があるが、4 輪走行から倒立状態に変形した際に座面の高さは、駆動部分の設計から 79.25 mm 高くなることわかる。そのため、実際に座面下の機構を使って持ち上げる高さは 260 mm 程度である。これらから機構のモデルを作成した。これを図 8 に示す。座面下を支える軸を二つの平行リンク機構を持たせる。これにより、座面を前後に動かした際でも座面を平行に保つことが出来る。さらに図 8 の機構では座面を安定的に支えることが出来る。またこのリンク機構において、下側のリンク機構の回転動作を生み出すモータと、上側のリンク機構の一つのリンク長を可変とする直

動アクチュエータを取り付け、さらに上側のリンク機構の回転運動を実現するモータ、合計 3 つのアクチュエータによってリンク機構を操作する。この機構により座面を前後、上下、ピッチ方向の 3 自由度が制御できる。

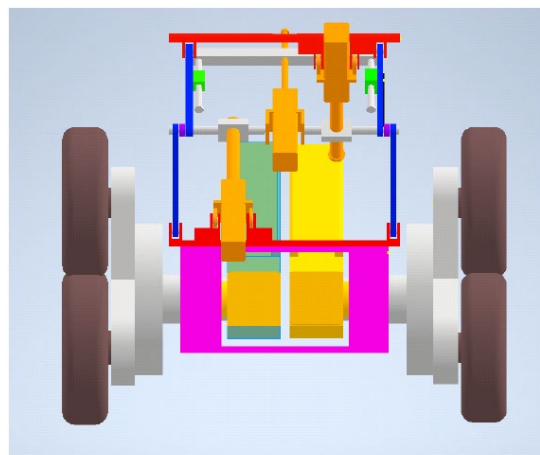


図 8 ロボットチェア機構

これらの機構を統合し、最終的な電動車いすの機体設計について述べる。これまでの寸法や機構を基に設計した電動車いすの駆動部分の機構を図 9 に示す。図より、タイヤを回転させる軸と 3 輪機構全体を回転させる軸を別軸とし、動力伝達に遊星歯車機構を用いた。図の A のパーツはギアボックスとなっており、内部に遊星歯車機構を内蔵する。この遊星歯車機構は B と C の内歯車用モータと太陽歯車用モータの回転差を利用することで、車輪と A のギアボックス全体を回転させる。また、C のモータは階段昇降時に接触しないよう 45 度の角度をつけて取り付ける。座面下部分の機構を図 10 に示す。図 10 より、D の直動アクチュエータをそれぞれ上下に一つずつ取り付ける。D の直動アクチュエータによってリンク機構を制御できる。これより座面を前後に動かすことが可能となる。さらに E の直動アクチュエータを図 10 のように取り付けることで座面のチルトも調節できる。また E の直動アクチュエータに合わせて F のパーツが伸縮する。これらの機構を組み合わせた電動車いすが完成した。二つの機構を組み合わせる結果、当初の想定寸法内に収まることも確認された。開発された実機を図 11 に示

す。

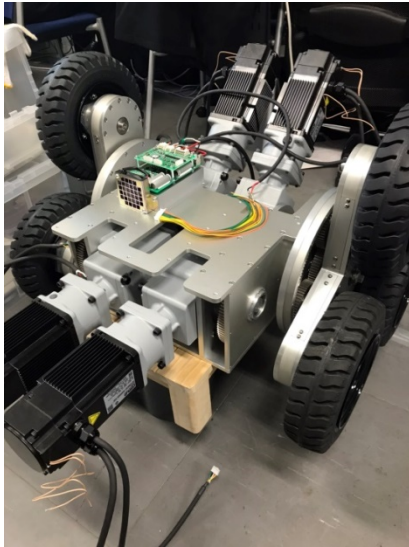


図 11 完成した実機

5. 主な発表論文等

(研究代表者、共同研究者には下線)

[学会発表] (計 2 件)

- ① K. Kaneta, M. Iwase, N. Endo,
“Development of Powered Wheelchair
Expanding Range of Independent Activities
of Physically-handicapped Person”,
ICAMechS2020, pp. 65-68 (2020)
- ② A. Suyama, M. Iwase, N. Endo,
“Development of Powered Wheelchair
Expanding Reach of User”, ICAMechS2020,
pp. 74-77 (2020)