

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 3日現在

機関番号：32616  
 研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2011年度～2012年度  
 課題番号：23760213  
 研究課題名（和文） 歴史的環境に対する低侵襲性を持つロボティック移動バリアフリー技術の確立  
 研究課題名（英文） Establishment of the robotic mobility aid technology having minimal invasiveness in historical environments  
 研究代表者  
 菅原 雄介（SUGAHARA YUSUKE）  
 国士舘大学・理工学部・講師  
 研究者番号：60373031

## 研究成果の概要（和文）：

環境を改変することなく、環境に対して人間が通行する程度のダメージしか与えずに、階段や斜面を含む歴史的に本来の移動経路を自立して通行することのできる移動支援機器の開発を最終目標とし、これに向けて、これまでに開発した複数車輪式形状可変型階段昇降機構の改良、階段昇降中の滑落・転落防止のための手すり把持機構の開発、人間の運動を動力源として用いる関節駆動機構の開発を行った。また歴史的建造物の階段寸法を調査し、そこから歴史的建造物への適応が可能な移動機構の機能的な要求を考察した。

## 研究成果の概要（英文）：

The final target of this study involves realizing a smooth and hospitable means of locomotion for wheelchair users in environments having a cultural meaning, such as historical Japanese wooden buildings and castle ruins, without tampering with the authenticity of the environment. With this goal in mind, improvement of the stair-climbing wheelchair, development of the handrail gripper for fall prevention, and development of the joint control mechanism by directly using a power of human's motion as its power source, has been achieved. Furthermore, consideration on the functional requirements of the mobility aid system having minimal invasiveness in historical environments has been done through the investigation of the Japanese historical buildings.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：ロボティクス，バリアフリー，車いす，移動支援，文化財

## 1. 研究開始当初の背景

近年、超高齢社会を迎えるわが国において、バリアフリーやユニバーサルデザインの考え方が広く認識されるようになり、法整備も進んで車いす利用者の行動範囲は広がってきている。しかしながら、文化財である建造物や史跡など歴史的・文化的環境を考えると、エレベータの設置などインフラの整備によりバリアを除去することは、オーセンティシ

ティの面からは望ましくない。特に多くの歴史的建造物が木造である日本ではこういった設備を建造物にダメージを与えないよう追加することは難しく、城郭など高層の国宝建築物においては車いす利用者のアクセスは現在まったく不可能である。歴史的・文化的に意味のある環境に対する、オーセンティシティを損なわないBF手法の構築については、近年これを問題と指摘する研究例が建築・街づくりの分野で散見されるようになって

たが、技術的な研究開発を含む研究が行われた例はない。

## 2. 研究の目的

本研究では、古い木造建築や石畳の古道・国指定史跡内の遊歩道など、歴史的・文化的に価値を有する環境において、車いす利用者が環境を改変することなく環境に対して人間が通行する程度のダメージしか与えずに階段や斜面を含む歴史的に本来の移動経路を自立して通行することのできる移動支援機器の実現のための研究開発を行う。

## 3. 研究の方法

本研究は、(1) 複数車輪式形状可変型階段昇降機構における重心制御機構の開発、(2) 階段昇降中の滑落・転落防止のための手すり把持機構の開発、(3) 人間の運動を動力源として用いる関節駆動機構の提案と評価、(4) 歴史的建造物の階段寸法の調査、の順に遂行した。

## 4. 研究成果

(1) 複数車輪式形状可変型階段昇降機構の重心制御機構の開発

申請者がこれまでに開発した複数車輪式形状可変型階段昇降車いす TBW-1 は、車輪を4個備え能動的に形状変化が可能な4節リンク機構を左右に備え、これらを交互に階段に接地させることで階段を昇降する機構であり、階段の端部に局所荷重をかけることがなく、また昇降中の全期間において広い支持多角形を確保することができ、静的安定性に優れた機構である。しかしながらその際の重心移動のために長い脚部アームの先に搭乗用シートが取り付けられており、昇降中の座面が高く安全性に問題があった。

そこで本研究では、搭乗時の座面高さを低く抑えるため、重心位置の可動範囲を十分確保しながら座面の最大高さを低く抑える脚機構を開発した。

具体的には、並列駆動型平面2自由度マニピュレータの機構を応用した機構を提案し、昇降性能と自己干渉を制約条件として、座面の最大高さを目的関数としてそれぞれ定式化し、最急降下法を用いた最適化計算により設計変数を求めた。またこの設計変数に基づき脚部の再設計を行い、これを搭載した階段昇降車いす TBW-1R (図1) を開発した。

これまでに開発した TBW-1 と本研究で開発した TBW-1R の昇降中の座面高さの推移を図2に示す。昇降中の座面の高さが低いまま推移していることがわかる。

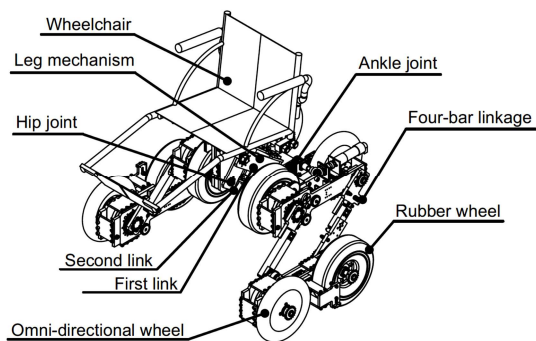


図1. TBW-1R の概要。

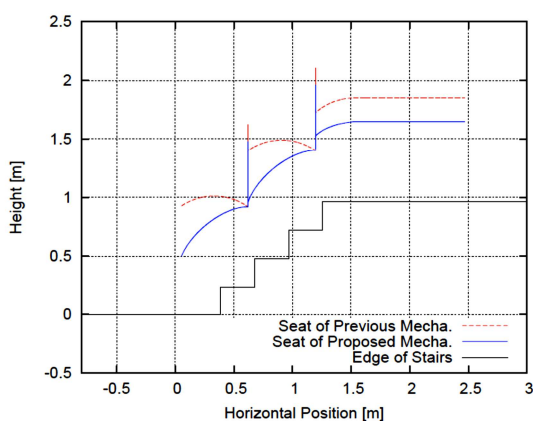


図2. 昇降中の座面高さの推移。

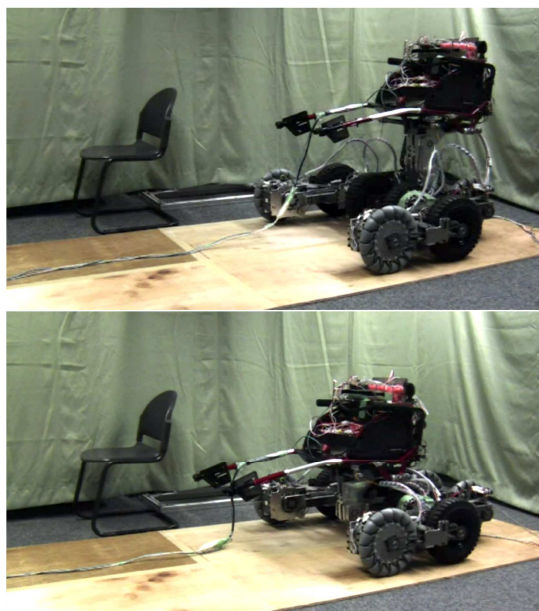


図3. 乗降時の座面の高さ。

また、図3に示すように、乗降時の座面高さが通常のいすと同程度まで低くなっていることがわかる。

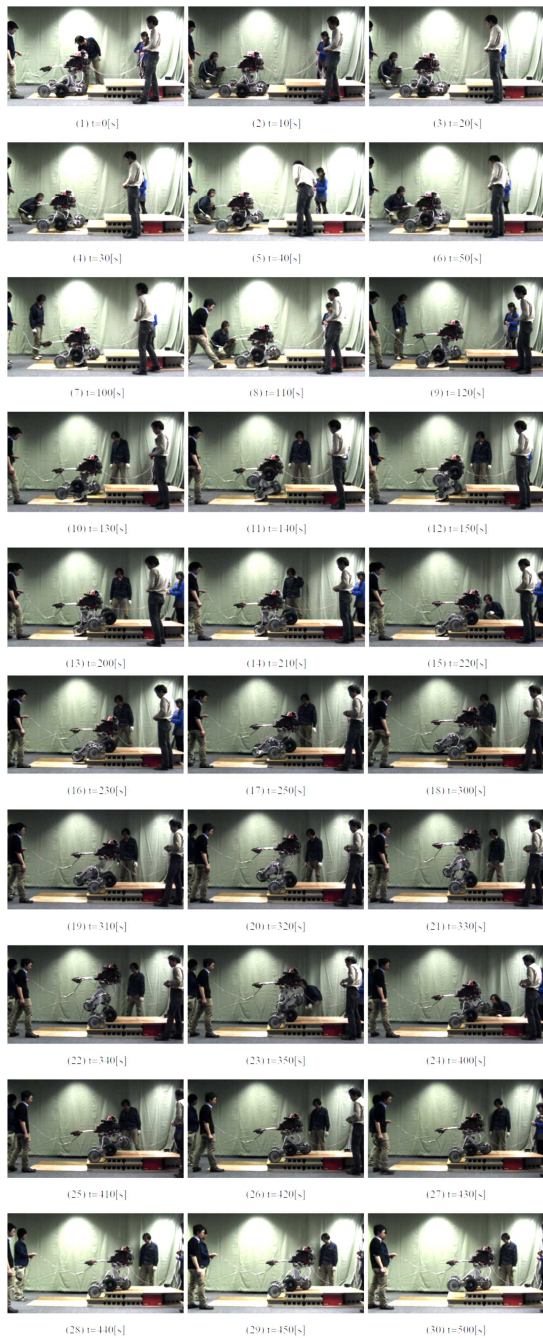


図 4. TBW-1R の階段昇降動作.

評価実験(図 4)により、開発した TBW-1R は安定して階段昇降を行うことができることを確認した。

(2) 階段昇降中の滑落・転落防止のための手すり把持機構の開発

階段や斜面において、人間は手すりを把持することにより安定性を保つことが多く、急な階段や歩きにくい斜面の多い古建築や史跡においても、把持できる(利用による多少の磨耗が許容される)手すりが設置されていることは多い。階段昇降車いすにおいてもこれを把持しながら昇降することができれば、

環境に対する低侵襲性を損なうことなく静的安定性や転倒回避性の確保に大きく役立つことが期待できる。

そこで本研究では、自走式階段昇降機構の補助的な転倒防止機構として、簡便な機構で人間と同様に手すりを把持する汎用転倒防止システムを検討し、手すりを把持する機構を開発した。

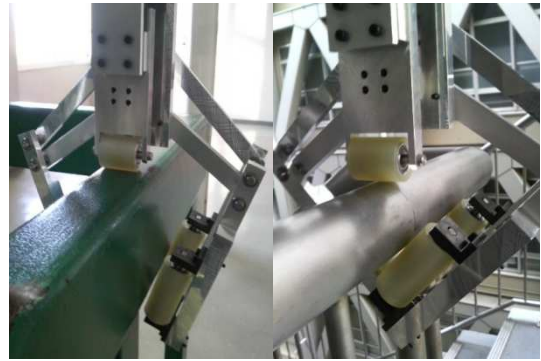


図 5. KHG72 による手すりの把持.

開発した手すり把持機構 KHG72 による手すりの把持の様子を図 5 に示す。安定して手すりの把持が可能であり、また指先のローラにより、把持したまま手すりの長手方向に受動的に移動することができる。

(3) 人間の運動を動力源として用いる関節駆動機構の提案と評価

階段昇降動作のうち階段を下りる動作については、位置エネルギーを運動エネルギーに変換することで原理的には無動力での実現が可能と考えられる。しかしながら実際にはロボットシステムはすべての関節部をサーボ制御しており、ロボットは止まってもエネルギーは熱として散逸する。もし動力源にモータを用いることなく受動的に動作するシステムで関節のサーボ制御が可能であれば、より効率の良い動作が可能となり、より軽量のシステムで階段昇降動作の実現が可能となると考えられる。

そこで本研究では、人間がハンドルを回す運動を動力源として用い、パウダクラッチとトルクセンサを用いたシステムにより、正転・逆転を含む出力軸のトルクを制御できる 1 自由度の関節機構を試作した。またこれにロータリーエンコーダを付加し、角速度・角度制御を可能にする制御系を設計し評価を行った。

開発した人力駆動関節機構の構造を図 6 に示す。2 つのパウダクラッチを用い、これらの伝達トルクを制御することで正転・逆転と出力トルクの制御が可能な構造となっている。

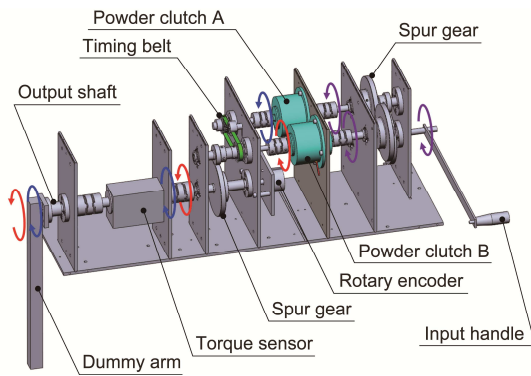


図 6. 人力駆動関節機構 KMR72 の構造。

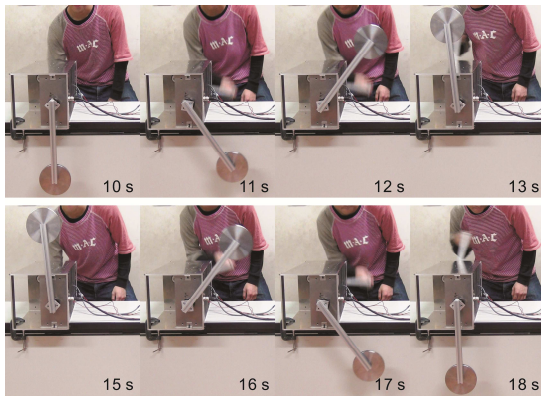


図 7. KMR72 による関節角度制御の様子。

関節角度制御実験の様子を図 7 に示す。実験結果により、関節角度のサーボ制御が可能であることを確認した。

#### (4) 歴史的建造物の階段寸法の調査

本研究の目的である、歴史的環境に対する低侵襲性を持つ移動バリアフリーの実現に向けた階段昇降機構の開発要件と要求仕様の決定には、実際の歴史的環境における代表的バリアである階段がどのような寸法であるかの知見が必須である。しかしながらこれまで、多くの歴史的建造物や史跡における階段寸法の調査と考察が行われた例は数少ない。

そこで本研究では、歴史的環境に対する低侵襲性を持つ階段昇降機構の開発要件と要求仕様を調べるために、歴史的建造物や史跡の実地調査を行った。具体的には、城跡 4 か所、寺院 19 か所、神社 10 か所、その他 2 か所の歴史的建造物・史跡・歴史的観光地において、見学ルート上に存在する階段や段差の寸法を測定し考察した。

その結果、得られた知見は下記の通りであった：

##### ① 寺社等の屋外階段について

- ・ 建築基準法における寸法基準を参考として施工されたものと、基準と比べ蹴上が高く踏面が短い急なものの 2 つのクラスに分けられる
- ・ 屋外階段ではスロープの設置がされている箇所もある
- ・ 階段そのものが文化財となっている例は少ない

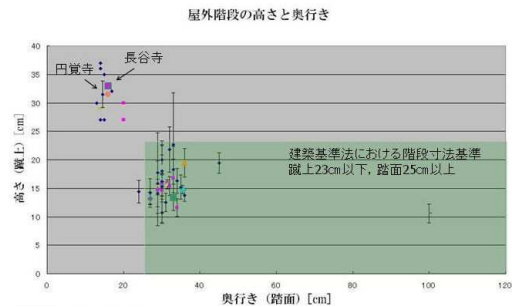


図 8. 屋外階段の高さと奥行き。

##### ② 城郭における屋内階段について

- ・ ほとんどの階段が建築基準法を満たしていない
- ・ 急な階段が多く、踊り場がない場合も多い
- ・ 会津若松城は天守が後世の復元であり、他の城に比べて階段一段の高さが低い
- ・ 復元であるが本来の工法で木造復元された掛川城も非常に急な階段が多い

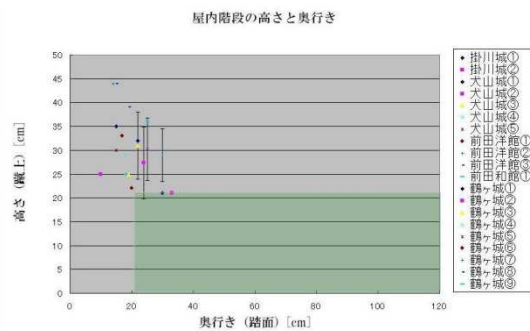


図 9. 屋内階段の高さと奥行き。

##### ③ 国指定史跡である城郭の階段について

- ・ 福岡城（すべて屋外階段）は、1 つの階段につき 1 段ごとの蹴上の誤差が大きく、急な階段が多い
- ・ 会津若松城では、見学ルート中の階段はすべて近年整備されたものであり、に往時のままの階段がないため、ばらつきが少なく緩やかである

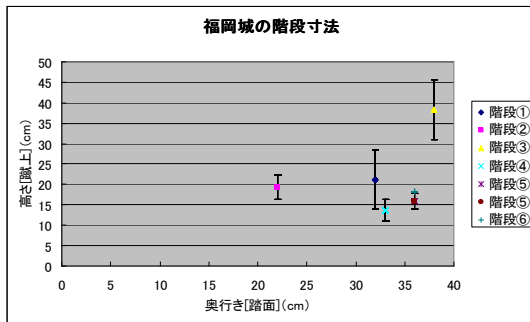


図 10. 福岡城の階段寸法.

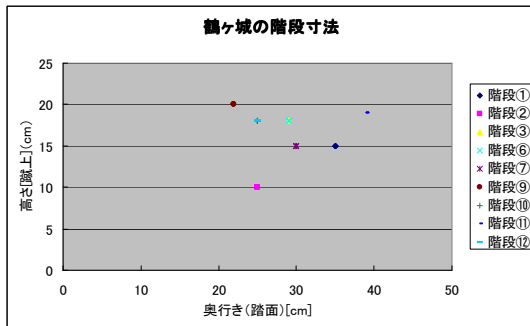


図 11. 会津若松城の階段寸法.

④ 階段昇降車いすの開発要件について

- ・最も昇降が困難なものは、蹴上が高く踏面が短い城郭建造物の階段である。天守が現存する城は国内に 12 箇所のみであり、城郭用とそのほかの環境を分離して検討すべきである
- ・城郭用に関しては、最大蹴上は 400mm, 最小踏面は 150mm, 横幅は 700mm 以下とするのが妥当であると考えられる
- ・城郭を除いた歴史的環境の場合、建築基準法における寸法基準を大きく逸脱したものは少ない。この場合、最大蹴上は 300mm, 最小踏面は 200mm とするのが妥当であると考えられる。横幅は城郭用と同様に 700mm 以下とする

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)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Kenji Hashimoto, Teppei Asano, Yuki Yoshimura, Yusuke Sugahara, Hun-ok Lim and Atsuo Takanishi, Overload Protection Mechanism for 6-axis Force/Torque Sensor, Romansy 19 - Robot Design, Dynamics and Control, Volume 544, pp. 383-390, 2013. (査読有)  
[http://dx.doi.org/10.1007/978-3-7091-1379-0\\_47](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-7091-1379-0_47)

[学会発表] (計 2 件)

- ① 菅原雄介, 小林了, 人形ロボティクスに関する研究 (第 1 報, 1 自由度関節機構の試作), 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013, 2013 年 05 月 24 日, 茨城県.
- ② 米澤直晃, 田中和彦, 菅原雄介, 小菅一弘, 車輪付形状可変型 4 節リンク機構を有する階段昇降機構 (第 3 報, 必要トルクとアクチュエータ・減速機の選定), 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, 2012 年 05 月 27 日, 静岡県.

[その他]

ホームページ:

<http://www.eg.kokushikan.ac.jp/eng/sugahara/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菅原 雄介 (SUGAHARA YUSUKE)

国士舘大学・理工学部・講師

研究者番号: 60373031