

車椅子における、キャンバー角変更機構の研究・開発

金山 岳央 池上 慶祐 萩原 沙耶

指導教員 宮谷 定行

抄録

現在多くの車椅子が販売・レンタルされているが、簡便にキャンバー角設定の変更可能な車椅子はその構造上一般的に使用されていない。本着脱機構は屋外走行や長時間の走行での操作性を向上させ、屋内ではキャンバー角を減じ全幅を小さくすることで屋内における ADL も従来通り確保することを目的とする。生活用とスポーツ用車椅子を各々購入・レンタルする必要がなくなり、普段使用する車椅子でも気軽にスポーツやレクリエーションに参加できることで人生を楽しむ後押しとなり、社会参加につながると考え車椅子利用者が容易にキャンバー角を変更できる機構を開発した。製作後、機構説明動画を配信したうえで、車椅子利用者アンケート調査を実施し、実用性の調査を行った。調査結果ではいくつか課題が残ったものの、本研究に肯定的な意見が多く得られた。

Keyword : キャンバー角, 操作性, 社会参加

1. はじめに

車椅子には、標準型車椅子で約0から-3度、スポーツ用車椅子で約-20~-30度のキャンバー角がついている。小谷ら¹⁾の研究ではキャンバー角をつけることで車椅子の回旋性能等の操作性や加速性が向上すると述べられている。キャンバー角をつけることで回旋性能が向上するということは二村²⁾の研究でも証明されている。また、屋外で歩道を走行する際、歩道には約2%の水勾配³⁾という傾斜が設けられている。これは雨天時の雨水の排水に用いられているが、傾斜があることで車椅子の操作に悪影響を及ぼす。斜面上における車椅子の操作性を研究した宮崎ら⁴⁾の研究によると、キャンバー角をつけた車椅子のほうが、つけていない車椅子と比べて斜面における直進性能等の操作性に優れており、被験者の疲労感も少なかったと述べられている。

このような利点がある一方、キャンバー角をつける、駆動輪が傾くことにより車幅が増大するという欠点もある。数値で表すと、キャンバー角を1度つけると、つけない時と比べて片側に約1cm幅が広くなり、左右で2cm広がることになる。この数値は角度をつけるほど大きくなり、通路が通りにくい等の室内での車椅子使用に障害となる。車椅子利用者に現在販売されている車椅子は購入後のキャンバー角の変更ができないものが多く、また角度の変更ができるものでも車椅子の部品を取り外して交換する等の大掛かりな操作が必要となる。屋外に出るときはキャンバー角をつけて操作性を向上させ、室内では角度を減じて通路を通りやすいようにするということが1台の車椅子で、容易に行うことができれば車椅子利用者のQOLを向上させることができると考え、本研究に至った。

2. 先行研究

柳川らによる車椅子のキャンバー角を調整することを可能にするキャンバー角調整装置⁵⁾(図1)についての先行研究がある。この機構は、キャンバー角調整装置を介して本体フレームと駆動輪が連結されている。車軸を貫通孔に挿入してナットで締めることにより、車軸を本体フレームに固定しつつ、駆動輪を回転させることが可能である。キャンバー角を変更する手順は、まず駆動輪を本体フレームから取り外し、所定のボルトを貫通孔に挿入してナットで締めることにより第1固定部を本体フレームに固定する。最後に、車軸を貫通孔に挿入してナットで締めることにより第2固定部に駆動輪を固定する。その結果、キャンバー角を変更することができるというものである。この先行研究の問題点として、キャストの駆動率が低下することが挙げられる。キャンバー角をつけると駆動輪が傾き、床から車軸までの距離が短くなる。つまり後座高が低くなり、キャストが床面に対して垂直ではなくなる。キャストが床面に垂直であるときは、方向転換の際にキャストのある一点を軸として回転するため、スムーズに方向転換を行うことができる。しかし、キャストが床面に対して垂直でなくなると方向転換の際に回転の軸が定まらず、駆動率の低下や、車体が上下に揺れる問題が生じる。

また、前述の機構⁵⁾では、車椅子に備え付けられているシャフトの長さが足りなくなるため、キャンバー角をつけると駆動輪の上端が利用者の身体に接触する恐れがある。

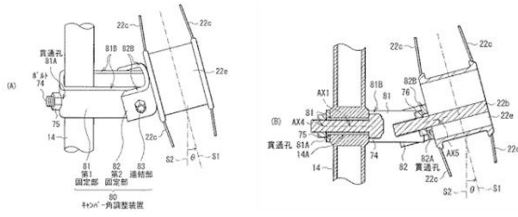


図1 キャンバー角調整装置

3. 仮説

先に述べた先行研究とその問題点から、本研究はキャンバー角をつける際に車軸が下方へ移動し、相対的に車椅子本体を上方へ移動させることで後座高を変えない、なおかつシャフトの長さを延長することが可能な機構の開発を行う。駆動輪の車軸と車椅子フレームの車軸取り付け軸の間に角度変更機構を持つ部品を組み込むことで、普通型車椅子のキャンバー角の変更が可能となる。

4. 研究方法

4-1. 文献調査

様々な学会で発表されている先行研究を調査し、問題点を抽出しまとめた。並行して車椅子利用者に対してアンケートを配布し、車椅子スポーツやレクリエーションへ関心があるか等の調査をした。さらに、車椅子企業に対してキャンバー角変更機構の現状についての聞き取り調査を実施し、その調査の結果を踏まえ、キャンバー角変更機構に必要な構造・材料等を複数検討した。また、バリアフリー展等のイベントにも積極的に参加し、情報を集めた。

4-2. 仮設計・仮製作

文献調査で得た情報や先行研究の問題点等を踏まえ提案した、歯車式キャンバー角変更機構、差し込み式キャンバー角変更機構①、②の機構図の設計をした。設計には三田校の機械製図学の授業で使用されているAUTOCAD¹¹⁾を用いる。AUTOCADとは、オートデスク株式会社が開発する汎用のアメリカ製CADソフトウェアのことをいい、建築・土木・機械分野をはじめとして、汎用CADとして多く利用されているものである。その後CADの設計図をもとにテルモリン、PE500を使用し仮製作をした。今回は製作した角度が目視しやすい様、キャンバー角は-10度にて製作をする。

本キャンバー角変更機構を使用したキャンバー角変更の大まかな手順としては、キャンバー角変更機構を取り付けた車椅子から椅子に移乗した後、駆動輪を外してキャンバー角を変更し、駆動輪をはめ込むこととする。

歯車式キャンバー角変更機構は図2のような扇歯車を用いた機構を考えた。図2は機構を前顔面から見たときの断面図である。パイプAはワンタッチシャフト(図3)を

使用し、取り外し可能な駆動輪の車軸部分について駆動輪と車椅子を連結する役割を果たす。ワンタッチシャフトは扇歯車Aと溶接されており、その扇歯車Aと隣接するようにパイプBと連結された扇歯車Bが存在する。パイプBは駆動輪側のシャフトを挿入することのできる太さのパイプを用いる。パイプBと扇歯車Bは溶接せず、軸を持ち、可動するようになっている。この機構は溝の切られた箱に入っており、パイプAおよび扇歯車Aは箱に溶接し固定されている。パイプBおよび扇歯車Bは箱には固定されておらず、自由に動くようになっている。箱の溝にはパイプBと扇歯車Bをつなぐ軸がはまる構造になっており、スライドさせることができる。図2の状態からパイプBと扇歯車Bをつなぐ軸を溝に合わせてスライドさせると扇歯車Bが扇歯車Aの形状に沿うように回転し、駆動輪の車軸が下がる。所定の位置までパイプBと扇歯車Bをつなぐ軸をスライドさせると、パイプが箱の開口部の下方に当たりパイプBの端が上を向く状態となる。これにより駆動輪にキャンバー角をつけることができる。この機構を用いれば、キャンバー角をつける際に駆動輪の車軸が車椅子フレームの車軸取り付け軸よりも低くなるため、キャストの駆動率にも問題はない。キャンバー角を戻す際は、パイプBと扇歯車Bをつなぐ軸を上をスライドするとパイプが箱の開口部の上方に当たるため、0度に戻すことができる。

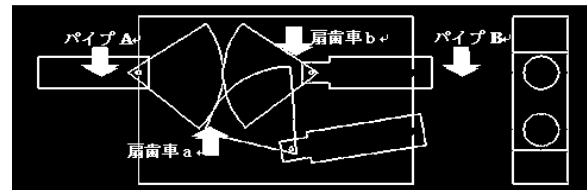


図2 歯車式キャンバー角変更機構案

この機構の利点はキャンバー角をつける際に駆動輪の車軸が車椅子フレームの車軸取り付け軸よりも低くなるため、キャストの駆動率に問題が生じないこと、軸をスライドさせるだけでキャンバー角を変更できる簡単な構造だということである。今回の機構はキャンバー角を無段階で変更するものではなく、0度と、設定された角度の2段階で変更できるものを提案した。その機構を可能とするためラチェット機構(図4)を組み込む。ラチェット機構とは機械工学で用いられる機構の名称で、動作方向を一方に制限するために用いられる。通常の歯車と異なり、歯を傾けてある歯車と歯止め(爪)を組み合わせることで方向性をもたらしている機構である。この機構を組み込むことで、0度からキャンバー角を変更する際はスムーズに軸をスライドさせることができるが、キャンバー角を変更した状態で車椅子を操作する場合は角度を固定できる。

今回のキャンバー角変更機構に使用する材料としては強度や溶接加工の容易さ等から鉄を選択したが、実際は

値段や重量等の面で優れている A7075 が適しているのではないかと考えた。



図3 ワンタッチシャフト⁷⁾

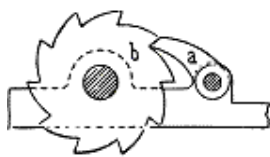


図4 ラチェット機構⁸⁾

前述の歯車式キャンバー角変更機構は 2 点欠点がある。

1 点目は車椅子フレームの車軸取り付け軸と駆動輪の車軸の間にこの機構を取り付けるため、車椅子から駆動輪までの距離が開き、操作性に影響する可能性がある。キャンバー角をつけた際は駆動輪が傾く分車椅子と駆動輪との間に適切なクリアランスが必要だが、キャンバー角を元に戻した際は広いクリアランスは必要ないため考慮する必要がある。また 2 点目はキャンバー角をつけた際にその角度で固定するための機構が組み込まれていないということである。その 2 点を改善したのが歯車式キャンバー角変更機構② (図 5) である。キャンバー角をつけた時は駆動輪が傾く分、身体へ食い込むような状態になるため、車椅子本体と駆動輪との間に適度なクリアランスが必要となる。しかし、キャンバー角がついていない時は、車椅子本体から駆動輪までの距離が開くと上肢が体幹から遠くなり操作性が低下するため、キャンバー角がついている時のような大きなクリアランスは必要ない。以上のことから、キャンバー角をつけないときはパイプが短く、つける際にはパイプが伸びるような機構が必要だと考えた。図 5 は図 2 に改良を加えたもので、以前は扇歯車を 2 個使用していたのに対し、今回はラックとピニオンを模した構造になっている。このような構造にすることでキャンバー角をつける前は機構内にパイプが収納されているため、本体から駆動輪までの距離が開くことを防ぎ、キャンバー角をつける際は機構内に収納されていたパイプが外へ押し出されるため、車椅子本体と駆動輪との間に適度なクリアランスを確保することが可能となる。

次にキャンバー角を変更した際に任意の角度を保持するための固定はプランジャ (図 6) とベアリングユニット (図 7) を用いることで可能となる。プランジャは内蔵されたスプリングにより先端のボールが稼働し、機構の位置決めや固定が行える部品である。この部品を、パイプと扇歯車をつなぐ軸として使用することで位置決めと固定が同時に行える。車椅子使用时、機構には大きなトルクが発生する。開口部にベアリングユニットをはめ込み、プランジャとベアリングユニットの 2 か所で十分な固定ができると考える。ベアリングユニットとはベアリングの軸受けと他の軸受けを

取り付けるボルト穴がついた軸受け箱からなる部品で、中央部に玉軸受けユニットが内蔵されている。この玉軸受けユニットは義手手継手のユニバーサル式と似た機構で、360 度自在に可動させることができる部品である。玉軸受けユニットの中に駆動輪のシャフトを差し込むためのパイプを通すことでキャンバー角の変更角度に合わせて固定ができる。また、キャンバー角を変更する前後ではキャスターの駆動率を低下させないように、車軸の高さが変わるため、ベアリングユニットの両側にスライドさせることができる機構を組み込む必要がある。

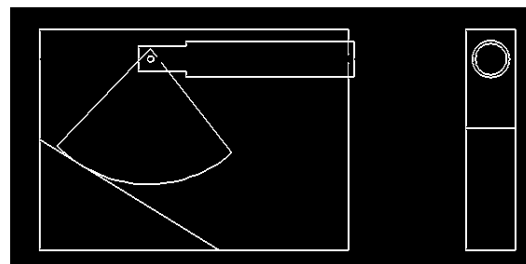


図5 歯車式キャンバー角変更機構②



図6 プランジャ 図7 ベアリングユニット

差し込み式キャンバー角変更機構①は図 8 のような機構とした。本来駆動輪を差し込む軸受けに変更機構の本体を差し込む (ここは回転しないものとする)。変更機構部品にはあらかじめキャンバー角がつくように軸受けが開けられており、そこに駆動輪を差し込むとキャンバー角を変更できる。

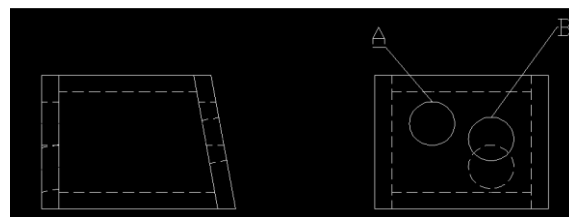


図8 差し込み式キャンバー角変更機構案①

機構を間に入れているためキャンバー角をつけても駆動輪は車椅子本体には接触しない設計とした。

スポーツ等をするためには体重を前にかけやすいことが望ましく、あわせて本体の軸も前方に移動させることで解消できる。この機構を所持しているだけでキャンバー角の変更が可能であり、車椅子本体の調整は不必要なため、車椅子利用者のキャンバー角変更における負担は非常に少ない。また車椅子本体に新しく穴をあける等の加工が必要ないことは車椅子本体の耐久度を下げることがなく安全である。

差し込み式キャンバー角変更機構②は図9のような機構とした。材料はA7075⁹⁾を使用し、耐食性の改善のためA7072を表面に貼る。この機構は車椅子本来の差込口に機構の上部を差し込み固定する。これだけでは回転方向への応力に弱いため、ティッピングレバーのあるフレームに本機構の下部を取り付ける。下部の固定方法はスキーブーツのバックルの様に本機構から出たフックをフレームに引っ掛けて固定する。本機構にはフレームに沿うように溝が掘っており、それがはまることにより固定力の向上を図った。差込口は斜めにする事でキャンバー角を付ける。

利点としては、車椅子本来の差込口を利用し固定しているため、車椅子使用時に想定される負荷に耐えることが可能である。また、差込口に差しバックルを二つ留めるだけなので脱着にかかる時間は少ないことも挙げられる。欠点としては、大きい物になるため重くなる。

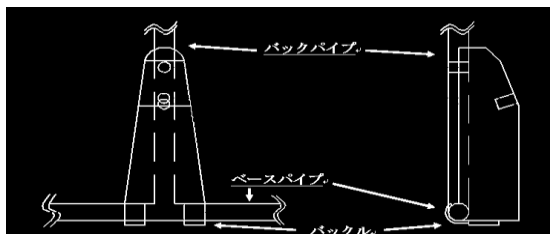


図9 差し込み式キャンバー角変更機構案②

4-3. 本製作

仮製作から得られた情報を基に再設計し本製作した。本製作は溶接等が必要なため、川村義肢株式会社様に行った。また車椅子は川村義肢株式会社様から提供して頂いたTIG社の車椅子を使用した。

仮製作の結果より、歯車式キャンバー角変更機構は既成の歯車が高価であるため、本製作はしないこととする。また本製作では仮製作での反省を活かし、差し込み式キャンバー角変更機構案①と②の利点を合わせた差し込み式キャンバー角変更機構③を製作した。

差し込み式キャンバー角変更機構③(図10)は車椅子にベースプレートを取り付け、予めキャンバー角をつけた機構本体をベースプレートに前方からスライドさせて取り付ける。また、ベースプレートの裏側にはブランジヤをとりつけ、本体とベースプレートを固定する。キャンバー角をつけない際は、元々ある車軸受けを利用し、キャンバー角をつける際は機構を用いる駆動輪差替方式とした。

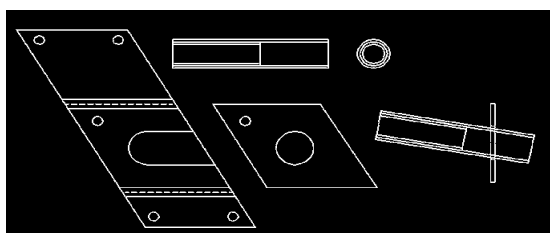


図10: 差し込み式キャンバー角変更機構案③

4-4. 本製作使用材料

本製作には、以下の材料を用いた。

- ・鉄板 (3.2mm)
- ・ジュラルミンパイプ (φ16×t1.6, φ19×t1.6)
- ・位置決めブランジヤ
- ・溶接機

4-5. ヒアリング調査

本製作で製作した機構の説明や装着方法の動画を製作し、動画投稿サイト Youtube にて公開した。動画を視聴後、三田校の卒業生や企業の方、車椅子利用者に機構についての意見や助言を頂いた。また日常生活を車椅子で行っている9歳から70歳の男女16名(平均20.5歳、標準偏差16.0歳、男性5名、女性11名)に動画とアンケートを送付し、機構について理解できたか、実際に使用してみたいか等、機構の有用性についてアンケートを実施した。

5. 結果

ヒアリング調査の結果、専用で2台持たなくてもよい、体育の授業で使えそう、変更が簡単そう等、本機構に肯定的な意見が多く得られ、実際に使用してみたいと感じている車椅子利用者が多くいることが証明された。容易にキャンバー角を変更可能な機構を製作することができたが、後座高が低下するという問題や、耐久性、キャンバー角・トウ角の精度に不安が残る結果となり、実用化には課題が多く残った。

6. 考察

6-1. 機構に対する考察

製作した機構はキャンバー角・トウ角の精度に不安が残る結果となった。これはパイプ圧入時に生じたひずみ、軸受けの遊び、軸受けのパイプロの平面が出ていない等が原因で左右のキャンバー角・トウ角にばらつきが出た可能性がある。

後座高が低下したという問題については、本来は後座高が変わらないよう設計していたのだが、初めての溶接作業であったため精度が低くなった。また今回提供して頂いた車椅子の精度によって後座高に誤差が生じた可能性がある。

6-2. 今後の課題

今回の製作は仮留めの溶接で製作した部分もあるため、耐久性が保証できない。また加工精度が均一ではなく、商品化には耐久性と加工精度が足りない。今回は耐久性に保証がなかったため、実際に車椅子利用者に機構を使用して頂くことができなかったが、モニタリングを行えばさらに良いものができる可能性がある。

また、今回は角度がわかりやすいよう、-10 度にて製作したが、将来商品化することを視野に入れると、他にも-5 度等、角度を選択できれば幅広いニーズに対応できるといえる。

キャンバー角をつけることで筋力の弱い小児でもエネルギー消費を抑えた走行が可能であるが、小児用車椅子でキャンバー角がついているものは少なく、小児用の競技用車椅子も少ない。また小児は成長に合わせた車椅子の乗り換え頻度が大人よりも多いため、子供にレクリエーション車椅子を導入する親はほとんどいない。本機構を用いることで小児の車椅子利用者が気軽に学校の体育の授業やスポーツレクリエーションに参加することができ、様々な場面において社会参加につながると可能性がある。

7. まとめ

本研究では車椅子におけるキャンバー角を容易に変更可能な機構の開発をした。製作前後に車椅子利用者、企業にアンケートを実施し、ニーズ調査とヒアリング調査した結果、車椅子におけるキャンバー角変更機構にはニーズがあることが判明した。

本機構は車椅子利用者の QOL の向上はもとより、生活や人生の可能性を拡大し、社会参加の一步を手助けするツールとなりうる可能性があり、本研究には有用性が見込まれるといえる。

8. 文献

小谷泰広, 徳弘昭博他: 車いすのキャンバー角と走行性の研究. 吉備高原医療リハセンター.

Yoshitaka Futamura: Basic Analysis of 2S System in To-heel Vehicles - Effects of the Camber Angle on the Steering Performance -

大阪市建設局: 歩道における段差及び勾配等に関する基準. <http://www.city.osaka.lg.jp/kensetsu/cmsfiles/contents/0000024/.../01.10.pdf>, 参照(2016-3-20).

宮崎恵子, 平田宏一他: 斜面上における車いすの操作限界と負担感に関する調査

柳川洋, 辻毅一他: キャンバー角調節装置および車椅子. BME 株式会社, <http://tokkyoj.com/dAtA/tk2010-166975.shtml>, 参照(2016-3-20).

自動車キャンバー角変更機構

: <http://www3.wind.ne.jp/miniyA/motto/negA/negA.htm>, 参照(2016-3-20).

ワンタッチシャフト

<http://www.hAndreAmworks.com/?pid=5674012>, 参照(2016-3-20).

ラチェット機構

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%A9%E3%83%81%E3>

%82%A7%E3%83%83%E3%83%88, 参照(2016-3-20).

A7075 超超ジュラルミン

<http://www.toishi.info/sozAi/Al/A7075.html>. 参照(2016-4-6).

スキーブーツ

<http://www.rexxAm.com/FUNCTION/14shell.html>. 参照(2016-3-28).

AUTOCAD ホームページ

<http://www.Autodesk.co.jp/products/AutocAd/overview>. 参照(2016-3-20).

JIS T 9201:2006 手動車いす.

<http://kikAkurui.com/t9/T9201-2006-01.html>. 参照(2016-3-20).

座位保持装置部品の認定基準及び基準確認方法, 改訂 2 版: <http://mhlw.go.jp>. 参照(2016-4-6).

藤本幹也: 車いす操作に必要な幅員寸法について, 大手前短期大学研究集録, 第 29 号, pp. 41-5, 2009

澤村誠志, 伊藤利之: 車いす・シーティングの理論と実践, 株式会社はる書房, 2014