

車椅子バスケットボールの競技成績向上に資する車椅子の開発

半田隆志* 香西良彦*

Development of a Wheelchair for Wheelchair Basketball that has superior performance

HANDA Takashi*¹, KOZAI Yoshihiko*¹

抄録

本研究では、車椅子バスケットボールトップ選手の競技成績向上に貢献することを目的として、車椅子の旋回性を分析した。歪ゲージを車椅子フレーム各部に貼付して、旋回時のフレームの歪みを計測したところ、計測対象の車椅子においては、「左右の後輪のうち、内輪には浮き上がる方向に力が加わっており、それ故、旋回性は高いとはいえないだろうこと」が推察された。また、共同研究先の埼玉大学が、開発された画像分析システム（動画像から対象選手の上肢関節角度等を推定できるシステム）の改良を実施した。その結果、任意の角度で撮影された動画像についても、車椅子の位置等の検出が可能となった。

キーワード：車椅子バスケットボール，車椅子，旋回性，歪み，画像分析

1 はじめに

近年、障害者本人および社会全体の、「障害者のQOL（生活の質）向上」への意識は高まってきている。そして、これに伴って、障害者がスポーツに取り組む雰囲気・環境は整備されつつある。

障害者スポーツの中でも、車椅子バスケットボールは、人気が高い競技である。そのため、そのトップチームである「車椅子バスケットボール日本代表チーム」は特に注目されている。

スポーツにおける選手のパフォーマンスは、一般に、「選手的能力」、「用具の性能」、「選手と用具の適合性」に左右されるが、車椅子バスケットボールは、特に「用具の性能」および「選手と用具の適合性」の影響が大きいと考えられる。そして、これらに関する研究はいくつか実施されてきているものの^{1)~3)}、十分であるとは言い難い。

この、社会的に関心の高い車椅子バスケットボールについて、用具（車椅子）の性能や適合性を

研究し、ひいてはトップ選手の競技成績向上を支援することは、公益に適うと言える。また、県内外車椅子関連産業の支援にもつながる。そこで、本研究では、車椅子バスケットボールトップ選手の競技成績向上に貢献するため、選手の能力を最大限に発揮する車椅子の形状等を明らかにすることを主な目的とした。そして、得られた知見を車椅子製造企業等に展開することで、車椅子関連産業を支援することも、研究目的の一つとした。

2 方法

2.1 概要

本研究の目的を達成するためには、「用具（車椅子）の性能を向上させること」および「選手と用具（車椅子）の適合性を向上させること」が有効であると考えられた。ここで、前者は主に機械力学や材料力学が関係してくる一方で、後者は、人間工学やシーティング等が主に関係してくる。そのため、主となる技術分野毎に以下のとおりサブテーマを設定し、それぞれを平行して遂行する

* 電気・電子技術・戦略プロジェクト担当

こととした。なお、便宜上、前者をサブテーマIとし、後者をサブテーマIIとした。

I. 車椅子の性能の、分析と向上

II-a. 実測による適合性の分析と向上

II-b. 画像分析システムの開発

ここで、サブテーマII-aでは、具体的には、車椅子座面に着目し、これの地上高や傾斜角度等を各選手の身体に適合したものに変更することで、パフォーマンスの向上（瞬発力、車椅子コントロール能力等を評価するスキルテスト結果の向上）を図ることとした。これまでに、女子日本代表クラスの選手1名を対象として、当該選手が所有する新旧2台の車椅子について、座面等の適合性を向上させた新車椅子に乗った場合には、旧車椅子に乗った場合と比較して、パフォーマンスが向上したことを示した⁴⁾。本年度は、引き続き、別の日本代表クラスの選手複数名に対して同様の実験を実施する予定であったが、感染症が蔓延する社会情勢の中、安全を最優先とするため、これの実施は見合わせた。そこで、本稿では、サブテーマIおよびII-bについて、以下のとおり報告した。

2.2 車椅子の性能の、分析と向上

車椅子スポーツで良好なパフォーマンスを発揮するためには、一般に、車椅子それ自体が良好な直進性や旋回性を有している必要がある。そして、車椅子バスケットボールにおいては、「相手選手を巧みにかわす必要がある」という競技の性質上、特に車椅子の旋回性が重要であると考えられる。

車椅子の旋回性に影響すると考えられる要因のうち、例えば「キャンバの角度（車椅子を正面から見た際の、車輪の垂直軸と、車椅子本体の垂直軸の角度）」は比較的良好に知られており、いくつかの研究⁵⁾が実施されている。一方、「フレームの構造・剛性」も、車椅子の旋回性能に影響すると考えられるが、これについては、十分に研究し尽されているとは言い難い。そこで、サブテーマIでは、特にリジッドタイプ車椅子（車椅子を構成するパイプがすべて溶接されているタイプ）と、セミアジャストタイプ車椅子（パイプの一部が溶

接されておらず、その構造を変更できるタイプ）に着目し、この両車椅子のフレーム構造・剛性が異なることによる旋回性の違いを定量化するとともに、最適な構造を明らかにすることとした。研究は、以下の手順で実施した。

手順1：普通型車椅子を用いた実行可能性調査

手順2：リジッドタイプのスポーツ用車椅子を用いた予備実験

手順3：リジッドタイプおよびセミアジャストタイプのバスケットボール用車椅子を用いた本実験

なお、手順1および2の被験者（車椅子を漕ぐ人）は、当センター職員とし、手順3の被験者は車椅子バスケットボール日本代表クラスの選手とした。また、旋回性の高低は、「旋回時のフレーム各部の歪みの方向」から推察した。すなわち、旋回時に、「内側の車輪が地面に強くグリップする方向に、フレームが歪む」ほど、旋回性が高いと判断した。

フレームの歪みは、車椅子フレーム各部に歪ゲージ（共和電業社製 KFGS-2-120-Ca-23L1M2R）を貼付して計測した（図1、2および次頁図3、4）。そして、この歪ゲージと計測ユニット（キーエン

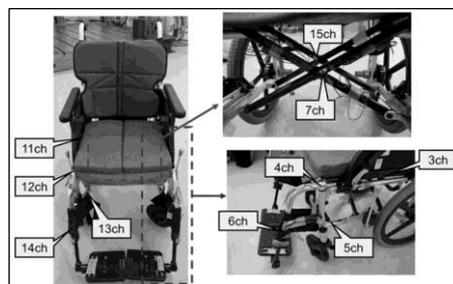


図1 手順1で貼付した歪ゲージ（前面と側面）

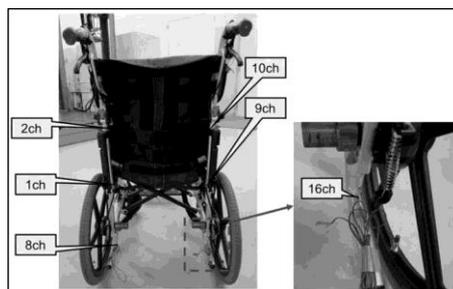


図2 手順1で貼付した歪ゲージ（背面）

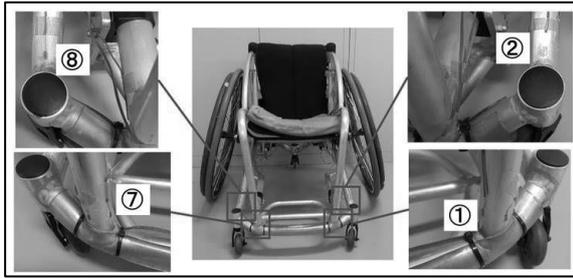


図3 手順2で貼付した歪ゲージ（前面）

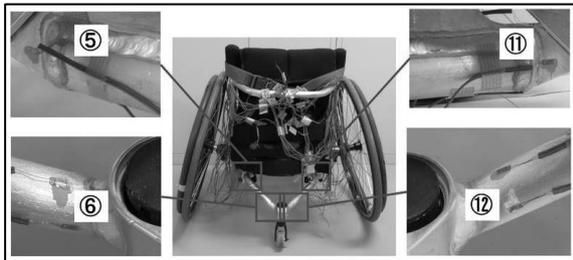


図4 手順2で貼付した歪ゲージ（背面）



図5 実験の様子

ス社製 NR-ST04) は有線で接続し、計測のサンプリングレートは 100Hz とした。

実験は、被験者が車椅子に搭乗していない状態でキャリブレーションを実施した後、被験者に、「直線を約 20m 走行して最大限に加速した後、約 90 度の右急旋回」を実施するよう指示した。なお、所有している機材では、一度に 8 チャンネル分しか計測できないことから、実験は、複数回に分けて順次実施した。この実験の様子は図 5 に示した。

なお、上記の手順 1~3 のうち、感染症蔓延下における安全性確保（外部来訪者の制限）等の観点から、本年度は手順 1 および手順 2 を実施した。

2.3 画像分析システムの開発

「選手と用具の適合性を向上させること」は、

すなわち「選手が最も能力を発揮できる身体状態（例えば上肢関節の角度）や動作を実現可能にすること」であるとも言える。そして、その「選手が最も能力を発揮できる身体状態等」については、国内外の有力選手のそれを分析して参考にすることが有効である。そのため、インターネット上にあつて入手が容易な動画像（例えば、国際大会の試合動画像等）から、出場している選手の身体状態等を分析することができれば有用である。そこで、共同研究先である、埼玉大学の小林貴訓教授、福田悠人助教、久野義徳名誉教授、福江啓太氏が、AI を応用した画像解析により、既存の動画像から漕ぎ出し動作における特徴量を抽出できるシステムの開発を進めてきた。これまでに、理想的な撮影条件下（車椅子の進行方向に対して真横から撮影できた場合等）においては、動画像から、車椅子操作者の上肢関節角度や車椅子の速度が推定可能なシステム⁶⁾を構築された。今年度は、サブテーマ II-a として、特に、任意の方向から撮影された動画像に対しても、同様の推定を可能とするよう、システムの改良を実施された。

3 結果及び考察

3.1 車椅子の性能の分析について

手順 1 の実験結果の一例を図 6 に示した。手順 1 では、実行可能性調査として、「車椅子走行時の、フレーム各部の歪みの大きさと方向の、歪ゲージによる検出可否の検討」を目的とした。図 1 に示したとおり、被験者が停止状態の車椅子に乗車したことによる歪みの大きさと方向（およそ 6 秒～15 秒経過後）、車椅子を漕ぐことによる歪み

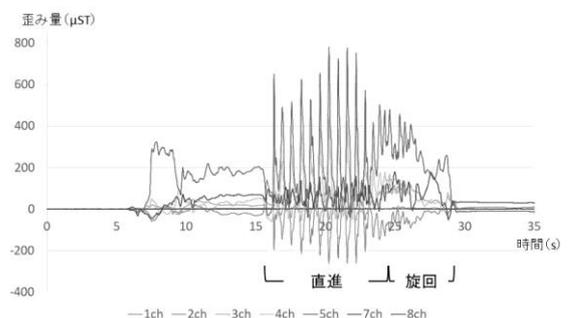


図6 手順1の実験結果の一例

の大きさと方向（およそ 15 秒～23 秒経過後）、そして旋回時の歪みの大きさと方向（およそ 23 秒～29 秒経過後）が検出可能であることが明らかとなった。なお、普通型車椅子では、その構造上、加速した後に急旋回をすることは困難であったことから、スポーツ用車椅子を用いた予備実験（手順 2）の実施の必要性が、あらためて確認された。

次に、手順 2 の実験結果を、図 7～9 に示した。各図の左には実測値のグラフを示し、右には、実測値が示した歪みの方向を、矢印で図示した。なお、ここでは、「旋回時の」フレームの歪みの大きさと方向を定量化することを目的としたことから、旋回時の計測結果のみを示した。

図 7 からは、車椅子の前方部分は、左右とも内側方向に歪んでいたことが明らかとなった。これは、車椅子のフットサポート部分を、被験者が強く踏み込んだことが原因であると推察された。ここから、前方車輪（キャスト）のグリップ力が増加していたことも推察された。また、図 8 からは、

車椅子の後方部分は、旋回時はほとんど歪んでいない（＝あまり力が加わっていない）ことがわかった。これは、図 7 の結果と両立するものであるが、併せて、旋回時には、後方転倒防止用車輪については考慮する必要性が低いことが明らかとなった。図 9 からは、車椅子の背パイプ部分は、左右ともに、旋回の外側方向に歪んでいたことが明らかとなった。これは、旋回時には車椅子の外輪に大きな力が加わっていたこと、および内側の車輪のグリップ力が小さくなっていることを示唆していると考えられた。以上より、予備実験である手順 2 からは、リジッドタイプの車椅子においては、「前方と後方で比較すると、相対的に、前方車輪のグリップ力が大きくなっていること」および「後輪については、内輪が浮き上がる方向に力が加わっており、それ故、旋回性は高いとは言えないだろうこと」が推察された。

今後は、引き続き、日本代表クラスの選手を被験者とした手順 3（本実験）を実施し、リジッドタイプおよびセミアジャストタイプの両バスケットボール用車椅子の旋回性を定量的に比較するとともに、その最適な構造を明らかにする予定である。

3.2 画像分析システムについて⁷⁾

動画像から有力選手の身体状態等を分析するためには、まずは、その対象選手を切り出す必要がある。これまでのシステムでは、「車椅子の後輪が円であること」を利用して対象を切り出していた。しかし、任意の方向から撮影された動画像では、後輪は必ずしも「円」として表示されないことから、そのままでは、対象の切り出しが困難だった。そこで、機械学習を用いた物体検出アルゴリズムである Single Shot Multibox Detector (SSD) を用いて、後輪のおおよその位置を推定した。これらの工夫により、任意の方向から撮影された動画像に対しても、車椅子の位置や、移動の速度および方向が、推定可能となった。今後は、この改良された画像分析システムを用いて、インターネット上にある国内外の有力選手の動画像から、そ

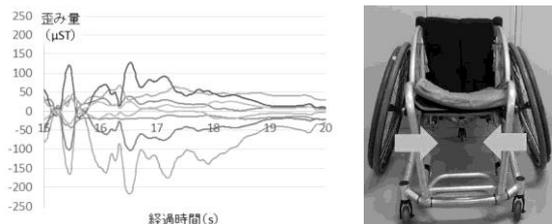


図 7 手順 2 の実験結果（前方部分）

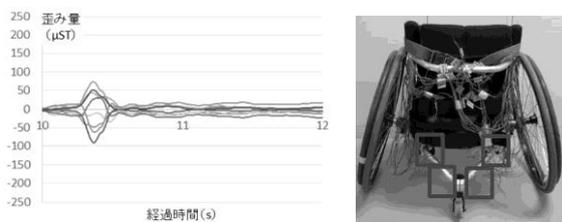


図 8 手順 2 の実験結果（後方部分）

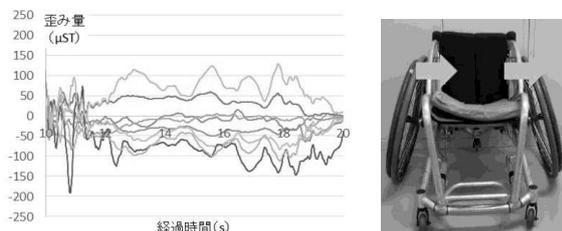


図 9 手順 2 の実験結果（背パイプ部分）

れら選手の身体状態や動作を分析される予定である。

4 まとめ

本研究では、車椅子バスケットボールトップ選手の競技成績向上に貢献するため、車椅子の旋回性を分析した。特に、旋回時のフレーム各部の歪みを計測したところ、使用した車椅子においては、「左右の後輪のうち、内輪には浮き上がる方向に力が加わっており、それ故、旋回性は高いとはいえないこと」が推察された。また、共同研究先である埼玉大学が、「選手が最も能力を発揮できる身体状態等」を明らかにするため、インターネット上であって入手が容易な試合等の動画像から、国内外の有力選手の身体状態等を分析できるシステムを開発した。来年度も、引き続き、これらの研究開発を実施していく予定である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、御指導・御助言・御協力をいただきました東京都立大学の信太奈美准教授、東京保健医療専門職大学の杉山真理講師、神奈川リハビリテーション病院の森田智之先生、埼玉大学の小林貴訓教授、福田悠人助教、久野義徳名誉教授、福江啓太氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Garcia, J., Garner, T., and Wilson, J. R., : Factors Influencing Speed of Collegiate Wheelchair Basketball Players, Sports and exercise medicine open journal, **4**, 3(2018)66
- 2) Wilson, J. R., Liegey-Dougall, A. and Garner, D. : Relationship between Elite Women's Wheelchair Basketball Skills Testing and Future Success in the Sport, Sports and exercise medicine open journal, **4**, 1(2018)3
- 3) Kozomara, G., Petrovic, P. Nikolic, G., Jorgic, B., Kocic, M. and Aleksandrovic, M.: The Effects of Preparation Period on Motor Skills of Wheelchair Basketball Players: A Pilot Study, Journal of

anthropology of sport and physical education, **3**, 4(2019)11

- 4) Shida, N., Handa, T. Sugiyama, M. and Morita, T. : Effects of Seat Position on the Performance of a Basketball Player in Wheelchairs, 7th European Seating Symposium 2020 (2020)→2022年へ延期(ただし演題採択済)
- 5) 塩野谷明：アスリートを支えるスポーツ競技用車いす，バイオメカニズム学会誌，**44**, 1(2020)32
- 6) 福江啓太，福田悠人，小林貴訓，久野義徳，信太奈美，杉山真理，半田隆志，森田智之：車椅子バスケットボールにおける漕ぎ出し動作の画像解析，電子情報通信学会総合大会講演論文集，(2020)97
- 7) Fukue, K., Fukuda, H. Kobayashi, Y. Kuno, Y. Shida, N. Sugiyama, M. Handa, T. and Morita, T. : Video Analysis of Wheel Pushing Actions for Wheelchair Basketball Players, 27th International Workshop on Frontiers of Computer Vision (2021)