

車椅子バスケットボール用車椅子の最適化と設計指針開発

半田隆志*¹ 香西良彦*¹ 都知木邦裕*²

Development of Design Guide and Optimization for Wheelchairs for Wheelchair Basketball

HANDA Takashi*¹, KOZAI Yoshihiko*¹, TOCHIKI Kunihiko*²

抄録

本研究は、車椅子バスケットボールのトップクラス選手が使用する車椅子について、競技成績向上に資する最適な形状を科学的に明らかにすること、およびその設計指針を開発することを目的とした。そして、「旋回性能を向上させる車椅子フレームの設計指針」を開発するため、予備実験の結果を踏まえ、本実験に向けた実験系を構築した。また、フレームの構造解析シミュレーションを実施した。加えて、「選手と車椅子の適合性の指針開発」に向けて、選手とバスケット車の適合性の違いがもたらすパフォーマンスの違いを実測した。その結果、次年度以降の設計指針開発に向けた示唆が得られた。

キーワード：車椅子バスケットボール，旋回性能，適合性，設計指針

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・環境も整備されつつある。

障害者スポーツの中でも、車椅子バスケットボールは、「屈指の人気を誇る競技¹⁾」である。そして、そのトップクラスの選手がパラリンピック等の重要な試合で活躍することは、一般の車椅子使用者に勇気と感動を与え、ひいては、車椅子バスケットボールの競技人口の増加を促し、もって車椅子産業の発展につながると期待される。そのため、研究開発を通じてトップクラスの選手の競技成績向上を支援することは、車椅子関連産業の支援につながると考えられる。

車椅子バスケットボールにおける競技成績は、

「選手の身体能力・技能」、「車椅子の性能」、「選手と車椅子の適合性」に左右される。ここで、「（一般用も含む）車椅子の性能」については、主に機械力学や材料力学等の立場から、多くの研究が実施されてきた^{2)~6)}。また、「ヒトと車椅子の適合性」については、バイオメカニクスや人間工学およびシーティング等の立場から、いくつかの研究が実施されてきている^{7)~10)}。しかし、「トップクラスの選手用の、車椅子バスケットボール用車椅子（以下「バスケット車」とする）」については、その構造等が特殊であることも相まって、十分に研究し尽くされているとは言い難い。

そこで、本研究では、トップクラスの選手が使用するバスケット車について、競技成績向上に資する最適な形状を科学的に明らかにすることを目指すとともに、その設計指針を開発することを目的とした。そして、次の3つの研究目標を設定した。

研究目標 1：旋回性能を向上させる車椅子フレームの設計指針開発

*¹ 電気・電子技術・戦略プロジェクト担当

*² 機械技術担当

研究目標 2 : 座面に着目した、選手とバスケット車の適合性の改善と指針開発

研究目標 3 : 車椅子バスケットボール動作解析システムの開発

ここで、先述の「競技成績を左右する3つの要素」のうち、研究目標 1 は、「車椅子の性能」に関係する。また、研究目標 2 および 3 は、「選手と車椅子の適合性」に関係する。なお、研究目標 3 は、共同研究先である埼玉大学が実施したため、本稿では言及しないこととした。

2 実験方法

2.1 旋回性能を向上させる車椅子フレームの設計指針開発

車椅子バスケットボールでは、相手選手を巧みにかかわす必要があることから、旋回性能の高いバスケット車が求められる。この旋回性能に影響を与える要因はいくつか考えられるが、我々は、バスケット車の「フレーム構造」に着目し、まずは「フレーム各部の、旋回時の、歪みの方向と大きさ」が、旋回性能に与える影響を検証することとした。

2.1.1 旋回時のフレームの歪みの方向と大きさの実測

我々はこれまでに、予備実験としてバスケット車のフレーム各部に歪ゲージを貼付し、旋回時の歪みの方向と大きさを実測してきた^{11)~12)}。本年度は、次年度に実施を予定している本実験（イメージを図 1 に示した）に向けて、実験系を構築した。具体的には、以下の各計測システムを開発・準備し、動作確認実験を実施した。

- ・バスケット車フレームの歪み計測システム
- ・バスケット車の旋回速度計測システム
- ・乗車者の座位姿勢計測システム
- ・乗車者の重心移動計測システム



図1 本実験の実施イメージ

2.1.2 乗車によるフレームの歪みの実測

バスケット車のフレームは、ヒトが乗車することで、その体重によって多少なりとも歪むと考えられる。そして、この歪みと、2.1.1 で実測する「旋回時の歪み」は、分けて考える必要がある。そこで、「ヒトが乗車することによるバスケット車フレーム（特にキャンパ角）の歪み」を実測することとした。計測対象のバスケット車は、松永製作所社製「B-MAX DT」とした。そして、このバスケット車に、ヒトを模した試験ダミー（ISO 7176-11:1992 に準拠して作製されたもの。質量 95kg。）を乗せることとし、その前後での、フレームが歪むことによるキャンパ角の変化を、スタインペクラー社製非接触形状測定機「COMET5-11M」により実測した。

2.1.3 旋回時の体重移動を模した簡易シミュレーションの実施

2.1.1 で実施する実験は、時間的・経済的観点から、実施可能回数が限定される。一方、バスケット車の解析モデルを作成し、旋回時を模したフレームの構造解析シミュレーションを実施できれば、時間的・経済的コストを削減できるため有用である。そこで、上記のバスケット車「B-MAX DT」を参考に、Dassault Systemes SolidWorks 社製 CAD モデル作成ソフトウェア「SolidWorks 2021」を使用して、バスケット車の 3D CAD モデルを作成した。そして、ANSYS 社製シミュレーションソフトウェア「ANSYS 2019R1」により、構造解析シミュレーションを実施した。今回のシミュレーションは、「旋回時に、車椅子乗車者が、自身の重心を内輪側に移動させる状況」を模すこととし、具体的には、「体重 60kg の車椅子乗車者が、座面の中心に座っている場合」と、「座面の左側フレームに体重を 100%加重させた場合」における、フレーム各部の歪みの大きさを比較することとした。

2.2 座面に着目した、選手とバスケット車の適合性の改善と指針開発

車椅子バスケットボールで良好な競技成績を得るためには、先述のとおり、「選手と車椅子の適

合性」を高めることも重要である。すなわち、バスケット車の座面設定（座面の地上高や傾斜角度等）が、各選手が「最も効果的に力を発揮して車輪を駆動できるような上肢の関節角度」等を達成できるものになっている必要がある。

我々は、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台のバスケット車について、座面設定の適合性を向上させた新しいバスケット車に乗った場合には、旧バスケット車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てきた¹³⁾。

本年度は、トップクラスの男子選手1名（26歳、持ち点1.0）を対象として、同様の計測を実施することとした。具体的には、まず、対象者である選手が所有する新旧2台のバスケット車について、差異を生じた主な座面設定を抽出した。次に、それぞれのバスケット車に乗車した際のパフォーマンスの違いを明らかにするために、次の計測・評価を実施した。なお、「初動速度の計測と、上肢動作分析」には、システムフレンド社製関節可動域測定装置「AKIRA」を使用した。

- ・反復横移動回数
- ・牽引力の測定
- ・初動速度の計測と、上肢動作分析

3 結果及び考察

3.1 フレームの歪みの実測に向けた、計測システムの開発・準備

開発・準備した各計測システムを以下に示した。なお、いずれのシステムも、動作確認実験の結果、概ね良好に動作した。

- ・フレームの歪み計測システム：バスケット車のフレーム各部21か所に歪ゲージ（共和電業社製「KFGS-2-120-Ca-23L1M2R」）を貼付した。歪ゲージと計測ユニット（キーエンス社製「NR-ST04」）は有線で接続した。これを図2に示した。なお、歪ゲージは、1か所あたり前後左右（または上下左右）に4枚貼付することで、「圧縮」と、「屈曲・伸展」の判別もできるようにした。

- ・旋回速度計測システム：多摩川精機社製3軸慣性センサ「TAG250」を、バスケット車に貼付することで、旋回速度（角速度）を計測できるようにした。なお、演算プログラムは、National Instruments社製のグラフィカルプログラミング開発環境「LabVIEWベースパッケージ」を用いて自作し、センサとプログラムは、Bluetoothで接続できるようにした。これを図2に示した。
- ・乗車者の座位姿勢計測システムおよび重心移動計測システム：車椅子バスケットボールのクラブチームの練習を観察したところ、選手は、旋回時に、能動的に重心をバスケット車の内輪側に移動させていることがわかった。そこで、旋回時の選手の座位姿勢および重心の変化を実測することとした。座位姿勢は、先述の関節可動域測定装置「AKIRA」を使用することとした。また、重心の変化は、タカノ株式会社の協力を得て、同社のワイヤレス圧力分布測定装置「BodiTrak2 Pro」を使用することとした。これらの動作確認実験を実施している様子を、図3に示した。

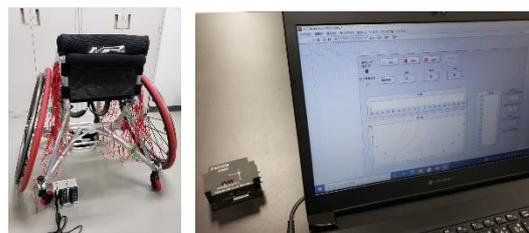


図2 歪み計測システム（左）および旋回速度計測システム（右）



図3 座位姿勢計測システム（左）および重心計測システム（右）の、動作確認実験の一例

3.2 乗車によるフレーム歪みの実測結果

実測の様子を図4に、結果の一例を図5に示した。また、分析した結果を表1に示した。



図4 実測の様子

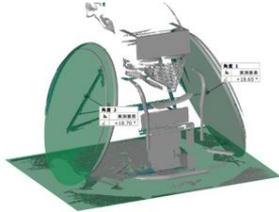


図5 実測結果の一例



図7 牽引力の実測

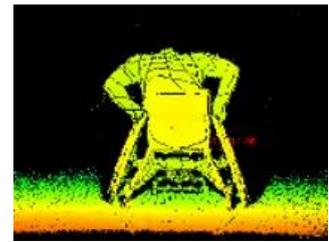


図8 上肢動作の実測

表1 ダミーの有無によるキャンバ角の変化

| | キャンバ角 (右) | キャンバ角 (左) |
|------|-------------|-------------|
| ダミー無 | 18.15 [deg] | 18.37 [deg] |
| ダミー有 | 18.70 [deg] | 18.65 [deg] |

3.3 簡易シミュレーションの結果

作成した3D CADモデルと、シミュレーション結果(視認性の観点から、変形倍率を48倍に拡大)を、図6に示した。

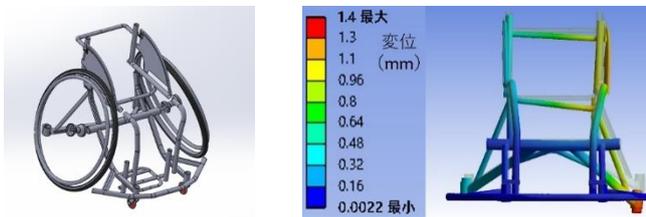


図6 作成したモデル(左)と、シミュレーション結果(右)

3.4 選手とバスケット車の適合性の実測

対象者であるトップクラスの男子選手が所有する新旧2台のバスケット車の、差異を生じた主な座面設定を、表2に示した。また、実測の様子を図7、8に、結果を表3および図9に示した。なお、実験の実施にあたり、当該選手にインタビューを実施したところ、「新バスケット車の方が、身体にフィットし、操作しやすい」との回答を得た。

表2 新旧2台のバスケット車の差異を生じた座面設定

| | 旧バスケット車 | 新バスケット車 |
|--------|-----------|-----------|
| シート 幅 | 29.0 [cm] | 31.0 [cm] |
| シート 角度 | 15 [deg] | 16 [deg] |
| 車軸水平位置 | 15.0 [cm] | 12.0 [cm] |

表3 パフォーマンスの実測結果の平均値 (N=2)

| | 旧バスケット車 | 新バスケット車 |
|---------|------------|------------|
| 反復横移動 | 15.5 [回] | 15.5 [回] |
| 牽引力 | 1151.0 [N] | 908.5 [N] |
| 初動速度1* | 1.98 [m/s] | 1.79 [m/s] |
| 初動速度2** | 2.34 [m/s] | 2.38 [m/s] |

* 静止状態からバスケット車を1回漕いだ際の実測速度

** 静止状態からバスケット車を2回漕いだ際の実測速度

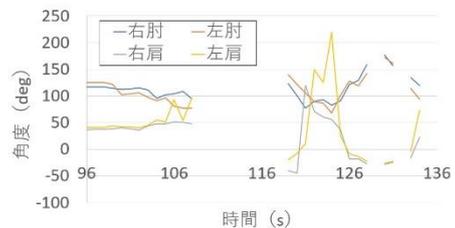


図9 上肢関節角度の時間変化の実測結果例

3.5 考察

これまでに実施した予備実験および2.1.3で実施したシミュレーションにより、「選手が旋回時に能動的に重心を内輪側に移動させることにより、バスケット車のフレームが歪む」ことが示唆された。そして、この歪みの程度が、旋回性能に影響しているだろうことが推察された。今後は、2.1.1で準備した計測システムを用いて本実験を実施することで、このことを定量的に明らかにする予定である。また、2.2で実施した、「座面設定の適合性と、パフォーマンスの関係」の実測により、座面設定の違いにより、パフォーマンスは変化することを定量的に明らかにした。特に、「良好なパフォーマンスを発揮する座面設定」は、選手の体感とは、必ずしも一致しないこと、それ故、定量評価が重

要であることが示唆された。なお、上肢関節角度の計測については、選手の動作が想定以上に大きかったことから、データの欠損が生じ、十分に分析できなかった。今後は、この計測を再度実施するとともに、さらに被験者数を増やすことで、座面設定とパフォーマンスの関係を明らかにしていく予定である。

4 まとめ

本研究では、トップクラスの選手が使用するバスケット車について、競技成績向上に資する最適な形状を科学的に明らかにすることを目指し、「旋回時のフレームの歪みの実測に向けた準備」および「簡易シミュレーション」を実施した。また、「選手とバスケット車の適合性」の違いをもたらすパフォーマンスの違いを実測した。来年度は、引き続き各種実験を実施するとともに、得られた知見を統合して、バスケット車に関する指針を開発していく。

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、久野義徳名誉教授、福江啓太氏、群馬大学の福田悠人准教授、(株)松永製作所の榎本和浩氏、タカノ(株)の赤羽加奈子氏、鷹野裕代氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本財団パラリンピックサポートセンター、ウェブサイト、
<https://www.parasapo.tokyo/topics/17452>, 2022.3.8
- 2) 沖川悦三他:車椅子の走行性能に関する研究(第二報), 日本義肢装具学会第1回大会講演集, no.2-1-2, (1985), 167
- 3) C. E. Brubaker: Wheelchair prescription: an analysis of factors that affect mobility and performance, Journal of Rehabilitation Research and Development, 23, 4(1986), 19
- 4) G. Trudel et.al.: Mechanical Effects of Rear-Wheel Camber on Wheelchairs, Assistive Technology, 7, 2(1995), 79
- 5) 米田郁夫他: 車いす走行特性に関する研究, 日本機械学会通常総会講演会講演論文集, 74, 1(1997), 344
- 6) J. D. Tomlinson: Managing Maneuverability and Rear Stability of Adjustable Manual Wheelchairs: An Update, Physical Therapy & Rehabilitation Journal, 80, 9(2000), 904
- 7) 塩野谷明: 車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
- 8) C. J. Newsam et.al.: Three dimensional upper extremity motion during manual wheelchair propulsion in men with different levels of spinal cord injury, Gait Posture, 10, 3(1999), 223
- 9) Y. Vanlandewijck et.al.: Wheelchair Propulsion Biomechanics: implications for wheelchair sports, Sports Medicine, 31, 5(2001), 339
- 10) b. Wiczorek and M. Kukla: Effects of the performance parameters of a wheelchair on the changes in the position of the centre of gravity of the human body in dynamic condition, PLOS ONE, (2019)
- 11) 半田隆志他: 車椅子バスケットボール用車椅子における旋回時フレーム挙動の分析と最適化に向けた予備的検討, 電子情報通信学会技術研究報告, 121, 52(2021), 1 (電子情報通信学会 2021年度ヒューマンコミュニケーション賞受賞)
- 12) 半田隆志、香西良彦: 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, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, 19, (2021), 6
- 13) 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 2022