

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 (第2報)

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 (2nd report)

HANDA Takashi*1, KOZAI Yoshihiko*1, TOCHIKI Kunihiro*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。計測およびシミュレーションにより、「車椅子のフレーム構造の違いが、旋回性能を左右するメカニズム」の一部を明らかにするとともに、フレームの設計指針案を開発した。また、「選手と車椅子の適合性」にも着目し、この適合性の差がパフォーマンスに与える影響を、トップクラス選手3名を対象とした計測により定量化するとともに、適合性向上のための設計指針案も開発した。

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²⁾」である。そして、そのトップクラスの選手が活躍することは、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考えられる。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言える。

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^{3)~8)}。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^{9)~11)}。しかし、「トップクラスの選手が使用する、車椅子バスケットボール用車椅子（以下「バスケ車」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

研究目標2：座面に着目した、選手とバスケ車

*1電気・電子技術・戦略プロジェクト担当

*2機械技術担当

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。

本研究は、令和 3 年度および 4 年度の、2 年間で実施した。そのため、本稿では、この 2 年分を総括する形で記載した。

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、一般的に、旋回性能の高いバスケット車が求められる。一方で、「旋回性能が高い」とは具体的にどのようなことを指すのか、その詳細は必ずしも明らかになっていない。旋回性能に着目した研究⁸⁾も散見されるものの、特に、バスケット車に対して工学的見地から詳細かつ包括的に検討され、かつコンセンサスの得られた「旋回性能についての定義」は、調査した限りにおいて存在しなかった。

我々は、車椅子のキャンパ角等の静的な構造のみならず、旋回時に動的に変化する「フレーム各部の歪み」が旋回性能を左右しているとの仮説を立てた。具体的には、以下のメカニズムが生じている可能性があると考えた。

1. 旋回時、主に遠心力に対抗することを目的として、選手が上体を内輪側に傾ける
2. 選手の体重心（以下「重心」）が内輪側に移動するとともに、バスケット車のフレームが歪む
3. 「旋回性能が高いバスケット車」は、②で生じた歪みが、バスケット車の内輪のグリップ力を上昇させる方向に働く

この仮説を検証し、ひいては最適なフレーム形状等を明らかにするとともに、その設計指針を開

発するため、以下の手順で実験・研究を実施した。

- ①選手の乗車および体重移動による、バスケット車フレームの歪み発生の、有無と程度の確認¹⁾
 - ②旋回時の、バスケット車フレーム各部の、歪みの方向と大きさの計測
 - ③簡易シミュレーションによる、旋回性能の向上策の検証
 - ④車椅子フレームの設計指針の開発
- 以下で、①から④の内容を詳述する。

①では、計測対象のバスケット車を、松永製作所社製「B-MAX DT (旋回性能が良いとされている)」とし、これに、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。) を乗せた前後での、フレームが歪むことによるキャンパ角の変化を計測することとした。計測には、スタインベクラー社製非接触形状測定機「COMET5-11M」を使用した。また、体重移動によるフレーム歪みの変化は、簡易シミュレーションにより推定した。この簡易シミュレーションの実施にあたっては、まず、上記のバスケット車「B-MAX DT」を参考に、Dassault Systems 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。シミュレーションの条件は、「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(旋回時を模擬)」とし、相互のフレーム各部の、歪みの方向と大きさを比較することとした。

②では、上記のバスケット車のフレーム各部21箇所、に、先行研究¹²⁾と同様に歪ゲージ (共和電業社製「KFGS-2-120-Ca-23L1M2R」) を貼付し、旋回時の歪みの方向と大きさを計測した。被験者 (車椅子を漕ぐ者) は、車椅子バスケットボールのトップクラス選手1名とし、全力で約15mを走行した後、できるだけスピードを維持したまま約90度の旋回を実施するよう依頼した。

③では、旋回性能を向上させる具体例として、

「フレーム剛性を変化させることで、回転時の内輪のグリップ力を、より上昇させる」ことの効果を、簡易シミュレーションにより検証した。以上で得られた知見を、④において「車椅子フレームの設計指針」としてまとめた。

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設計指針開発

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、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⁾。本研究では、トップクラスの男子選手3名を対象として、同様の計測を実施した。具体的には、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、それぞれに乗車した際のパフォーマンス（以下に記載の3種目）を計測・評価した。

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

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」または NORAXON 社製ポータブル3次元動作解析装置「ウルティウムモーション」を使用した。以上で得られた知見を、「座面設定の設計指針」としてまとめた。

3 結果及び考察

3.1 車椅子フレームの設計指針開発

キャンバ角の計測結果を表1に、簡易シミュレーションの結果を図1に示した¹⁾ (2.1の①に該当)。これらの結果より、「バスケット車のフレーム

表1 ダミーの有無によるキャンバ角の変化¹⁾

	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]

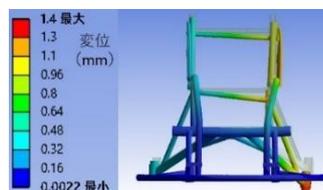


図1 簡易シミュレーションの結果¹⁾



図2 回転時のフレーム歪みの計測の様子



図3 回転時のフレーム歪みの計測結果

は、選手の乗車および体重移動により歪む」ことが、定量的に明らかになった。

「回転時の、バスケット車フレーム各部の、歪みの方向と大きさの計測 (2.1の②)」の様子を図2に、実験結果の一例を図3の左図に示した。この結果から、回転性能が良いとされている当該バスケット車のフレームは、回転時に、内輪のグリップ力を上昇させる方向に歪んでいたことがわかった(図3の右図において橙色矢印の方向に歪んでいた)。これは、我々の仮説を裏付ける結果であった。

「簡易シミュレーションによる、回転性能の向上策の検証 (2.1の③)」では、座面下部の支柱の剛性を変化させた場合 (例えば、ボルトの締結力を変化させた場合) の、回転時のフレームの最大歪み量の変化を、シミュレーションにより推定し

た(図4)。これにより、車椅子フレームの剛性を変化させることにより、歪み量を増大させ、ひいては内輪のグリップ力を上昇させられることが推察された。

以上を踏まえ、車椅子の設計指針案として、以下のとおりにまとめた(2.1の④)。

- ・ 旋回時、車椅子のフレーム各部は動的に歪み、内輪のグリップ力が変化するため、歪みに着目すべき
- ・ 旋回時の重心変化(選手の姿勢変化)が、内輪のグリップ力に影響するため、選手の旋回時の姿勢変化にも着目すべき
- ・ バスケ車の座面下部の、支柱の剛性を変化させることで、旋回性能を変化させることができる

3.2 選手とバスケ車の適合性について

対象の選手が所有する新旧2台のバスケ車の、主な座面設定を、表2および表3に示した。また、パフォーマンスを計測している様子を図5に、結果を表4および表5に示した。これらの結果から、主に以下の知見が得られた(=座面設定の設計指針案)。

- ・ 座面設定は、選手のパフォーマンスに影響を与える(座面設定を変更するだけで、パフォーマンスは10~20%程度変化する)
- ・ 経験的に、「シート幅は、狭いほどよい」とされているが、本実験の結果は、これを裏付けるものだった(ただし、さらなる精査は必要)
- ・ パフォーマンスの良否は、選手の体感と実測結果で、差異が生じることがあるため、実測したうえで判断することが望ましい

4 まとめ

本研究では、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て、「車椅子フレームの設計指針案」および「座面設定の設計指針案」を開発した。今後は、これらの設計指針案を、車椅子メーカー等に技術移転していく予定である。

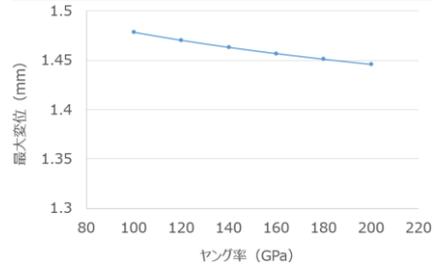


図4 フレームの剛性と変位のシミュレーション結果

表2 旧バスケ車の座面設定

	選手 A ¹⁾	選手 B	選手 C
シート幅 [cm]	29.0	32.0	33.5
シート角 [deg]	15	18	3
車軸位置 [cm]	15.0	8.0	20.0

表3 新バスケ車の座面設定

	選手 A ¹⁾	選手 B	選手 C
シート幅 [cm]	31.0	28.0	33.5
シート角 [deg]	16	7	0
車軸位置 [cm]	12.0	16.0	15.0



図5 計測の様子

表4 パフォーマンスの計測結果(旧バスケ車)

	選手 A ¹⁾	選手 B	選手 C
反復移動 [回]	15.5	7.0	9.0
牽引力 [N]	1151.0	547.5	651.5
初動速度 [m/s]	1.98	1.20	1.85

表5 パフォーマンスの計測結果(新バスケ車)

	選手 A ¹⁾	選手 B	選手 C
反復移動 [回]	15.5	8.0	9.5
牽引力 [N]	908.5	732.5	594.5
初動速度 [m/s]	1.79	1.21	1.78

謝 辞

本研究を進めるにあたり、御指導・ご助言・御協力をいただきました東京都立大学の信太准教授、東京保健医療専門職大学の杉山講師、神奈川リハビリテーション病院の森田先生、埼玉大学の小林教授、鈴木助教、久野名誉教授、群馬大学の福田准教授に感謝致します。

参考文献

- 1) 半田隆志, 香西良彦, 都知木邦裕, “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”, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, vol. 20, pp. 36-40 (2022).
- 2) 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>, (Mar. 8, 2022).
- 3) 沖川悦三 他, “車椅子の走行性能に関する研究 (第二報)”, 日本義肢装具学会誌, vol. 1, no. 4, pp. 167-170 (1985).
- 4) C. E. Brubaker, “Wheelchair prescription: an analysis of factors that affect mobility and performance”, *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol. 23, no. 4, pp. 19-26 (1986).
- 5) G. Trudel et.al., “Mechanical Effects of Rear-Wheel Camber on Wheelchairs”, *Assistive Technology*, vol. 7, no. 2, pp. 79-86 (1995).
- 6) 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, vol. 74, no. 1, pp. 344-345 (1997).
- 7) J. D. Tomlinson, “Managing Maneuverability and Rear Stability of Adjustable Manual Wheelchairs: An Update”, *Physical Therapy & Rehabilitation Journal*, vol. 80, no. 9, pp. 904-911 (2000).
- 8) 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*, vol. 44, no. 1, pp. 32-37 (2020).
- 9) 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*, vol. 10, no. 3, pp. 223-232 (1999).
- 10) Y. Vanlandewijck et.al., “Wheelchair Propulsion Biomechanics: implications for wheelchair sports”, *Sports Medicine*, vol. 31, no. 5, pp. 339-367 (2001).
- 11) 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).
- 12) 半田隆志, 香西良彦, 都知木邦裕 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, vol. 121, no. 52, pp. 1-6 (2021).
- 13) N. Shida, T. Handa, M. Sugiyama, and T. Morita, “Effects of Seat Position on the Performance of a Basketball Player in Wheelchairs”, *European Seating Symposium 2022*, (2022).