

## 競技用車椅子へのマルチボディダイナミクス解析の適用に関する基礎的検討

都知木邦裕\*<sup>1</sup> 南部洋平\*<sup>1</sup> 半田隆志\*<sup>2</sup> 香西良彦\*<sup>2</sup>

## Fundamental Study on Multibody Dynamics Analysis for Sports Wheelchairs

TOCHIKI Kunihiko\*<sup>1</sup>, NAMBU Yohei\*<sup>1</sup>, HANDA Takashi\*<sup>2</sup>, KOZAI Yoshihiko\*<sup>2</sup>

## 抄録

競技用車椅子は、選手のパフォーマンスを向上させるため高い運動性能が求められる。車椅子バスケットボールでは、旋回動作の機動性が競技パフォーマンスに直結し、フレーム剛性等の構造特性がその性能に影響を与える。本研究では、マルチボディダイナミクス (MBD) 解析を用いて、旋回中のフレームひずみを算出し、実験結果と比較することで解析手法の妥当性を検討した。結果として、解析により得られたひずみ値は実験値よりも小さく、解析の精度に課題があることが分かった。

キーワード：マルチボディダイナミクス解析，競技用車椅子，旋回性能

## 1 はじめに

車椅子バスケットボールは、高い機動性と俊敏な旋回動作が求められる競技であり、競技用車椅子の設計は選手のパフォーマンスに大きな影響を与える<sup>1)2)</sup>。特に、旋回性能は試合中の素早い方向転換やポジショニングに直結し、車椅子のフレーム構造や剛性がその特性を左右する重要な要素となる。

これまで競技用車椅子の設計検討は、選手の使用感や開発者の経験に基づく試作・実験を中心に進められてきており、旋回動作のような動的挙動とフレーム構造との関係を力学的に検討する手法は十分に確立されていない。

近年、マルチボディダイナミクス (MBD: Multibody Dynamics) 解析は、車両やロボットの運動性能の評価に広く用いられており、剛体運動と関節の力学的作用を精密に解析できる手法として発展している。しかし、車椅子の設計にMBD解析を適用した例は少ない。

\*<sup>1</sup> 機械技術担当\*<sup>2</sup> 電気・電子技術・戦略プロジェクト担当

本研究では、バスケットボール用車椅子の旋回動作におけるフレームひずみをMBD解析と実験によって比較評価し、MBD解析の適用における技術課題を明らかにすることを目的とする。

## 2 実験及び解析方法

## 2.1 実験方法

バスケットボール用車椅子の旋回動作中のフレームのひずみを評価するため、実際の競技用車椅子を用いた計測実験を実施した。競技用車椅子には松永製作所製のセミリジッド型バスケットボール用車椅子を用いた。旋回動作によるフレームの動的な変形を把握するため、フレームの主要部位にひずみゲージを取り付け、ひずみの変化を測定した。実験に用いた車椅子を図1に示す。計測には共和電業製ひずみゲージ (KFGS-2-120-C1-23) を使用し、データ収集にはキーエンス製データロガー (NR-500)、ひずみ計測ユニット (NR-ST04) を用いた。

また、選手の運動を記録するためにモーションキャプチャシステムの NORAXON 製ウルティウムモーションを用いた。

実験は体育館のコートで実施し、20m 直進後に 90 度の急旋回を行う条件で行った。被験者は健常者の競技経験者 1 名（身長 175cm、体重 80kg）とした。実験状況を図 2 に示す。

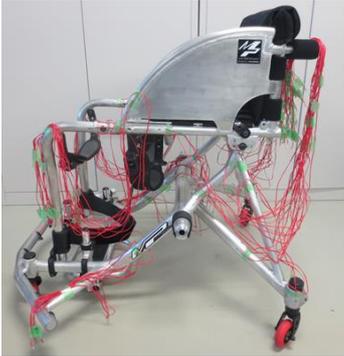


図 1 実験用車椅子



図 2 実験状況

## 2.2 解析方法

本研究では Altair Engineering 社の Motion View 及び Motion Solve を使用して MBD 解析を行った。車椅子のモデルは、フレームのひずみを評価するため、フレームを弾性体、車輪を剛体とするモデルを作成した。フレームのうち、ひずみの評価対象とした曲げ管部分表面のひずみを直接評価可能なシェル要素でモデル化し、その他のフレーム部材はビーム要素でモデル化した。タイヤと床の摩擦係数は静摩擦係数を 0.65、動摩擦係数を 0.45 とした。人体モデルは Motion View の人体モデルを使用した。解析モデルを図 3 に示す。

解析条件として、実験で計測した車椅子の旋回直前の速度を与えて直進走行させ、実際の選手の旋回時の車椅子操作に合わせ、片側の車輪を急停止させて旋回を模擬した。

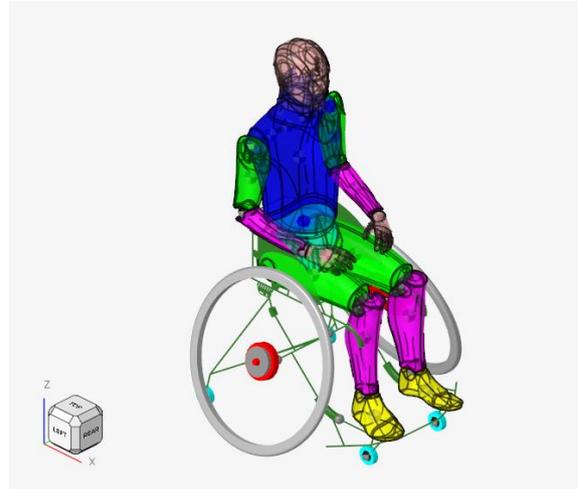


図 3 解析モデル

## 3 結果及び考察

バスケットボール用車椅子の旋回動作中のフレームひずみを測定し、主要部位における最大ひずみ値を求めた。ひずみは静止時のひずみをゼロとして計測した。測定位置は座面下の主フレームの側面とし、その位置を図 4 に示す。また、旋回中のひずみの時刻歴を図 5 に示す。

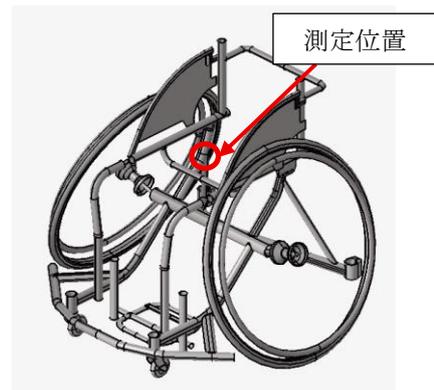


図 4 ひずみ計測位置

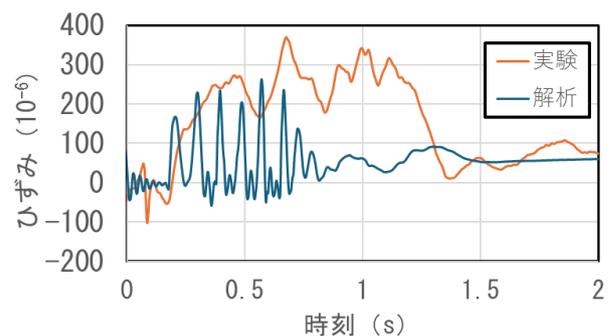


図 5 旋回時のひずみ時刻歴（旋回中）

座面下のフレームの最大ひずみは実験では  $370 \times 10^{-6}$ 、解析では  $263 \times 10^{-6}$  となり、実験結果は解析結果を大きく上回った。

解析に比べて実験のひずみが大幅に大きい点については、タイヤが遠心力により旋回外側に断続的に滑る (stick-slip) 現象が発生しており、解析ではその現象を十分に再現できていないことが要因と考えられる。

#### 4 まとめ

本研究では、車椅子の設計に MBD 解析を適用する際の技術課題を明らかにすることを目的に、バスケットボール用車椅子を対象として、旋回動作中のフレームに生じるひずみを実験と解析で比較した。

実験結果は解析結果を大きく上回ることが確認された。誤差が大きい要因としては、実験で発生したタイヤの断続的な滑り現象を解析では再現できていないためと考えられる。このことから、誤差低減のための手段として、タイヤや床との接触条件のモデル化精度を向上させる必要があると考える。

#### 謝 辞

本研究を進めるにあたり、貴重な助言をいただきました東京都立大学 信太奈美准教授に感謝の意を表します。

#### 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 (第1報)”, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, vol. 20, no. 5, pp.36-40(2022).
- 2) 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 (第2報)”, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, vol. 21, no. 5, pp.17-21(2023).