

車いすの段差・隙間乗り越え性能に関する一考察

大津山澄明[†], 浅田 晴香^{††}

A Study on Performance of Wheelchair Traveling over Steps and Gaps

OHTSUYAMA Sumiaki[†], ASADA Haruka^{††}

Abstract

Currently, there are competing barriers between steps and gaps when wheelchair users get on and off railcars and other vehicles while moving around town or on public transportation. It is conceivable that many wheelchair users will continue to travel using various means of transportation. In another our study, geometric theoretical formulas were derived using wheel diameters, step and gap dimensions and step equivalent gradient angles of a self-propelled manual wheelchair. It is shown in this study that there is a limit in the performance of stepping and crevice clearance. In addition, it was shown that by using various techniques, it was possible to enhance riding performance and prevent wheelchairs from getting stuck. The front wheel manual wheelchair has been also upgraded to greatly enhance its ability to climb over steps and gaps, and developed a wheelchair with a new type of drive mechanism that makes it easier to get on and off railway vehicles. The wheelchair, it should be noted, is beyond the capabilities of ordinary electric wheelchairs and has been patented.

Key Words: steps and gaps, step equivalent gradient angles, wheelchair, wheelchair drive mechanism, rotating block phenomenon

キーワード：段差・隙間，段差等価勾配角度，前輪駆動車いす，新機構車いす，
回転ブロック現象

[†]大阪産業大学 工学部 交通機械工学科 非常勤講師

^{††}大阪産業大学 工学部 交通機械工学科 特任講師

草稿提出日 10月14日

最終原稿提出日 11月11日

1. 緒言

1.1 研究背景

近年、日本における高齢化を背景にして¹⁾ 街なかを移動する手段としてさまざまな車いすを利用する人の数が増えている。その際、移動時などに存在する段差・隙間や道路の傾斜・凹凸や公共交通機関が利用しにくいなどのバリアが高齢者の外出時の障害となっている¹⁾。また、日本在宅障害者数は約358万人、そのうち肢体不自由者は181万人である²⁾。車いすのJIS規格（JIS T9201: 2016（手動車椅子）および同 T9203: 2016（電動車椅子））における分類名称は、まず手動車いすと電動車いすに分かれ、手動車いすは自走用と介助用に、また電動車いすは自操用と介助用に分類される。これらの仕様や性能はさまざまで、それぞれに特徴がある。ハンドル形電動車いす（例えばH社のハンドル形電動車いす）の性能は、ジョイスティック形に比べ高く、段差乗り越え高さ90mm、溝乗り越え幅120mmとなっており、屋外移動を想定している³⁾。

しかしながら、街なかでの移動中に鉄道踏切のレール隙間に手動車いす前輪キャスタが落ち込み、脱出できず事故となった事例がある⁴⁾。また、電動車いすの死亡事故は毎年のように発生しており、2016年から2020年までの5年間で11件が発生した。そのうち5件は踏切で発生しており原因は車輪が線路の溝にはまり込む事例が多く、脱輪やバッテリー切れなどもある⁴⁾。2021年には同様な踏切死亡事故が2件発生している⁵⁾。電動車いすの出荷台数は2000年度を境に減少傾向だったが、2016年度からは増加に転じている⁶⁾。

車いすは手動車いすと電動車いすに大きく2分されるが、軽量で安価なため手動車いすの出荷台数は年間40～50万台で推移している⁷⁾。一方、電動車いすは増加傾向にあるが近年は年間2万台程度の出荷⁶⁾に止まっており、手動車いすを中心に以下検証する。

1.2 研究目的

手動車いすと電動車いすの使用拡大の状況を踏まえ、本研究では車いすの中でも単独移動手段であり公共交通機関に乗降可能で、使用台数も多い自走用手動車いす（以下、車いす）を対象とする。車いすによる街なかでの移動時に特に大きな問題となる段差と隙間乗り越え性能を定量的かつ客観的に評価できる指標を示す。その上で、電動車いすと比較しても遜色のない性能が発揮できるような改良提案することを目的とする。なお、「段差・隙間」は段差と隙間が共存している場合で、「隙間、段差」は隙間と段差が別々の場合とする。

前方大車輪手動車いすを改良し段差・隙間乗り越え性能などを向上した新機構車いすを開発した。この車いすは鉄道駅ホームにおける車両への乗降が容易で、日常生活での使用にも有効と思われ、特許を取得したので以下に報告する。

2. 車いす実験

2.1 後輪車いすの段差・隙間乗り越え

研究室内に駅ホームと車両を模擬した乾燥条件の段差・隙間試験コースにおいて被験者は11名で段差乗り越え実験を行った(図1)。また、被験者は年齢が20代から30代の健常な男女でほぼ体格に偏りはない。なお、実験前に被験者からインフォームドコンセントを得たうえで、大阪産業大学研究倫理審査委員会より承認を得ている(2019-人倫-005)。

使用した車いすは通常広く使われている市販の後輪大車輪手動車いす(以下、後輪車いす)で、車輪径610mm(24in)である。なお、前輪の自在輪(以下、キャスト)直径は152mm(6in)である。諸元を表1に示す⁸⁾。キャストの車軸は、キャストブラケットに対して約30°後方に位置し、約60mmのキャストレールがあることで直進性を保ちつつ、全方向に回転できる^{9) 10)}。

被験者は、健常者のため車いすを日常的に使用している訳ではなく過去に1度でも車いすの使用経験がある者は3割程度であった。そのため実験前に体験練習を実施した。

実験は、段差前方約1mで静止状態からのスタートであり勢いはつけず、段差は10mm刻みとした。実験結果は晴天と雨天をまとめて、段差20mm、30mmでは90%以上の成功となったが、50mmでは成功率は40%以下であった⁸⁾。

2.2 前輪車いすの段差・隙間乗り越え

市販の前輪大車輪手動車いす(以下、前輪車いす)を用いて最大5名の被験者(健常学生A~E)による段差と隙間の乗り越え実験を行った。本前輪車いすの車輪直径は610mm(24in)である。諸元を図2と表2に示す。実験は、2.1節と同様に駅ホームからの乗車を想定して、段差前方約1mで静止状態からのスタートである。国土交通省が車いすの単独乗車の目安としている段差30mm、隙間70mm¹¹⁾からスタートし、段差は10mm刻み、隙間は5mm刻みとした。試験装置の関係で段差が100mm、隙間は220mmが上限である。なお、実験前に被験者にはインフォームドコンセントを得たうえで、大阪産業大学研究倫理審査委員会より承認を得ている(2019-人倫-012)。

実験結果のうち段差乗り越え成功率を表3に示す。段差40mmまでは100%の成功となったが、50mm、60mmでの成功率はそれぞれ60%、40%である¹²⁾。実験条件は段差のみ、隙間みの2パターンとした。また、隙間乗り越え成功率の結果を表4に、被験者別の段差、隙間最大乗り越え量を表5示す¹²⁾。

2.3 改良前輪車いす

前輪車いすによる段差・隙間乗り越え実験では、被験者は段差や隙間を越えるために前車輪に取り付けられているハンドリムに腕の力を入れ、体を前傾して自分の体重をかけながら前進

する。それでも、後部キャストが段差や隙間を越えることができず失敗するケースがある。そのため、段差・隙間乗り越え性能向上に特化して、後部キャストの影響を無くす目的でキャストを固定し、補助キャストを1輪追加して改良前輪車いすとした(図3)。その結果質量は約1.2kg増加した。改良車いすを用いて2.2節と同じ条件で実験を実施した。改良した前輪車いすを用いた段差実験を「改良段差」として実験結果を表6～8に示す、なお「改良隙間」も同様である。改良段差では段差と比較して100%成功は30mm向上した(表3, 表6)。改良隙間では35mmの向上となった(表4, 表7)。また、5人の被験者の平均を見ると改良段差で30mm, 改良隙間で55mm向上している(表5, 表8)。これらの結果は、H社のハンドル形電動車いす(前輪直径260mm)の性能(段差70mm, 隙間120mm)³⁾とほぼ同じであり、改良前輪車いすは従来の前輪車いすと比べ段差, 隙間の乗り越え100%成功率ではそれぞれ75%, 35%向上した(表3, 表4, 表6, 表7)。また段差と隙間の最大値もそれぞれ43%, 47%向上した(表5, 表8)。

この性能向上の要因は、前輪が段差や隙間を乗り越えられても後部キャストが回転し段差などに引っかかり乗り越え不可となる現象をキャストの固定で改善できたことである。さらに追加した後部中央の1輪によりスムーズに乗り越えられたことである。ただし、車いす旋回時には後部キャスト固定装置を手動で解除する必要がある、今後の課題となった。



図1 模擬駅ホームからの乗車実験(通常の後輪車いす)

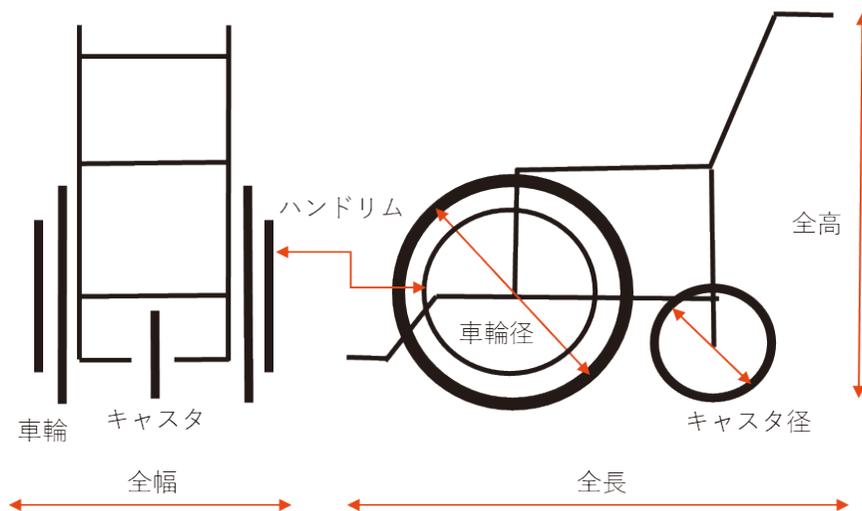


図2 前輪車いす諸元寸法（正面図，側面図）



図3 改良前輪車いす
従来キャスタ固定（）および補助キャスタ1輪追加と固定（）

表1 後輪車いす諸元

| 全長 (mm) | 全高 (mm) | 全幅 (mm) | 車輪径 (mm) | キャスタ径 (mm) | 質量 (kg) |
|---------|---------|---------|----------|------------|---------|
| 1040 | 880 | 630 | 610 | 152 | 16.0 |

表2 前輪車いす諸元

| 全長 (mm) | 全高 (mm) | 全幅 (mm) | 車輪径 (mm) | キャスタ径 (mm) | 質量 (kg) |
|---------|---------|---------|----------|------------|---------|
| 1060 | 890 | 600 | 610 | 178 | 18.5 |

表3 前輪車いす段差乗り越え成功率

| 段差 | 30mm | 40mm | 50mm | 60mm |
|---------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| 成功率 (%) | 100 (5/5) | 100 (5/5) | 60 (3/5) | 40 (2/5) |

表4 前輪車いす隙間乗り越え成功率

| 隙間 | 100mm | 120mm | 140mm | 160mm |
|---------|--------------|-------------|-------------|------------|
| 成功率 (%) | 100 (5/5) | 80 (4/5) | 20 (1/5) | 0 (0/5) |

表5 前輪車いす被験者別段差, 隙間最大乗り越え量 (mm)

| 被験者 | A | B | C | D | E | 平均 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 段差 | 50 | 40 | 40 | 70 | 70 | 54 |
| 隙間 | 120 | 135 | 110 | 150 | 135 | 130 |

表6 改良段差乗り越え成功率

| 改良段差 | 70mm | 80mm | 90mm | 100mm |
|---------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 成功率 (%) | 100 (5/5) | 80 (4/5) | 40 (2/5) | 20 (1/5) |

表7 改良隙間乗り越え成功率

| 改良隙間 | 135mm | 180mm | 200mm | 220mm |
|---------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 成功率 (%) | 100 (5/5) | 60 (3/5) | 60 (3/5) | 20 (1/5) |

表8 被験者別改良段差, 改良隙間最大乗り越え量 (mm)

| 被験者 | A | B | C | D | E | 平均 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 改良段差 | 80 | 70 | 80 | 100 | 90 | 84 |
| 改良隙間 | 200 | 170 | 135 | 200 | 220 | 185 |

3. 車いす実験の考察

3.1 回転ブロック現象

後輪手動車いすで段差や隙間を乗り越える場合は、前輪キャストが乗り越えに成功すると後輪は容易に越えることが多い。そのため段差や隙間をうまく乗り越えるには前輪が重要となる。キャストトレールにより、キャストは進行方向に真っ直ぐ向く性質がある。通常この性質により、車いすはスムーズに段差等を乗り越えが可能となる。しかし、乗り越え失敗の原因はキャストによるものが多い。

キャストは車いすの回旋性能向上のため自由に回転する。しかし、実際にはキャストが段差などに当たることで進行方向に対して90°回転して進行をブロックし、まっすぐに進むことができず段差、隙間などの乗り越えが不可能となることが多い。この現象をキャストの「回転ブロック現象」と定義する。前輪の大車輪が段差などを乗り越えても後輪キャストのこの回転ブロック現象により乗り越えることができないこともある。

車いすを使い慣れた上級レベルの利用者は重心を後ろに移動させ、ウイリー走行により前輪キャストを上げて段差を越えている。つまり、ウイリー走行でキャストを進行方向に向かせ、キャストを段差に接触させることなく後輪の接地により車いすを安定させ、回転ブロック現象を回避して段差や隙間を乗り越えている。

本実験では本学学生（20代）を被験者としているため、ウイリー走行などの高度な操作技術は無く通常の操作レベルを想定している。そのため本実験結果は車いす本来の性能に即していると考えられる。

3.2 段差等価勾配角度の導入

回転ブロック現象を除外すると、前輪が段差、隙間などを乗り越えることができるかどうか重要な要素である。図4に示すように車輪半径を R 、段差高さを h とした場合に車輪が段差を乗り越える際、段差等価勾配角度（以下、勾配角度） θ の仮想的な斜面ができあがる。この R 、 h 、 θ の関係を式（1）に示す¹³⁾。

また、図5に示すように段差と隙間の両方がある場合、段差高さ h 、はまり込み量 h' 、隙間長さ l 、勾配角度を θ_2 、段差の低い方と車輪中心でなす角度を θ' として、幾何学的条件より式（2）のような関係式が成り立つ¹⁴⁾。ただし、この場合の条件は $R < l < 2R$ であり、 $l \leq R$ では式（1）を用いる。なお、付録に式（2）と θ_2 の求め方を示している。

さらに、図6のように隙間のみの場合には、隙間長さ l 、勾配角度 θ_3 として、式（3）となる¹⁴⁾。ただし、この場合の条件は $l < 2R$ である。なお、式（2）で $h=0$ と置くと式（3）と同じになる。

$$\cos\theta = (R-h)/R \quad (1)$$

$$\sin\theta_2 = (h/l)\cos\theta_2 + h^2/2(Rl) + l/(2R) \quad (2)$$

$$l = 2R\sin\theta_3 \quad (3)$$

3.3 勾配角度による乗り越え性能評価

キャストの回転ブロック現象の影響を除いて、純粹に車いす車輪の乗り越え性能を勾配角度から検討する。改良前輪車いすにおける表6および表7で成功率100%は改良段差では70mm、改良隙間では135mmである。また成功率50%は同様に改良段差では85mm、改良隙間では210mmとする。この条件では隙間長さが車輪半径より小さいため式(1)の段差の勾配角度となり、結果は表9に示すように成功率100%では39.6°、成功率50%では43.8°である。また、表5、表8の段差、隙間の乗り越え結果も同様に式(1)で求めた勾配角度は表10に示すように被験者5人の平均で9.1°向上した。また、表10より改良段差では39.6°以上なら100%の成功率である。しかし、平均値の43.5°では50%の成功率である。つまり、上腕健全成人であれば勾配角度40°以下なら概ね問題なく乗り越えられる。

ただし、勾配角度の算出は幾何学的条件のみに依存し、タイヤの凹みなどは考慮していない。なお、タイヤ空気圧は350kPa一定としており⁸⁾、段差、段差・隙間の場合のタイヤ凹み量は小さいため無視できる。

次に、表7より改良隙間成功率100%は隙間135mm、50%は210mmとして式(3)より勾配角度を算出して表11にまとめる。表11の100%と50%成功時の隙間勾配角度は表9の段差勾配角度と比べると、100%成功では12.8/39.6=32.3%、また50%成功では20.2/43.8=46.1%となり、32~46%である。これは隙間のみの場合、段差の場合と比べて被験者と車いすの全質量が溝の角にかかるため、タイヤは大きく凹むことになる(図7)。そのため隙間における実際の勾配角は、タイヤの空気圧にも影響されるが、上述したように隙間の成功勾配角度は段差の勾配角度の半分以下になっている。このことから、実際には幾何学的に求めた理論式(3)の結果の2倍程度の勾配角になると推定される。

隙間のみにおける実際の勾配角度が式(3)で計算した結果より大きくなることは、タイヤに黒い絵の具を塗り紙に接地時の状況を写し取る接地面描写結果でも明らかとなった(図7)。前輪車いすを用いて、タイヤ空気圧350kPa、荷重条件(90kg)で隙間200mmと段差80mmのタイヤの水平接地面積を比較すると前者は後者の4.9倍となり、大きく凹んでいることが確認できた(表12)。このため、隙間のみの場合の乗り越え性能評価には、段差、段差・隙間のケースと同じ扱いは難しく、タイヤ空気圧やタイヤ変形量・接地箇所形状などについてのさらなる検討をする必要がある。

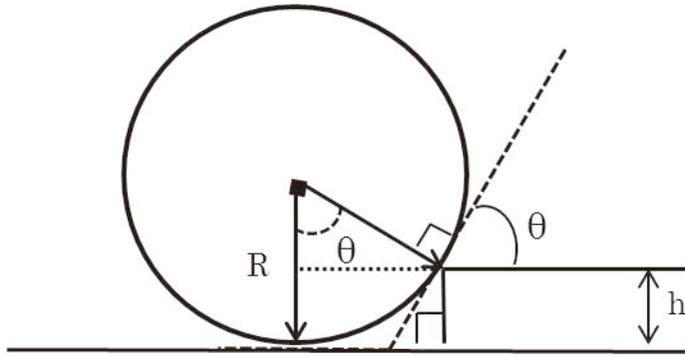


图4 勾配角度 (θ) (段差)

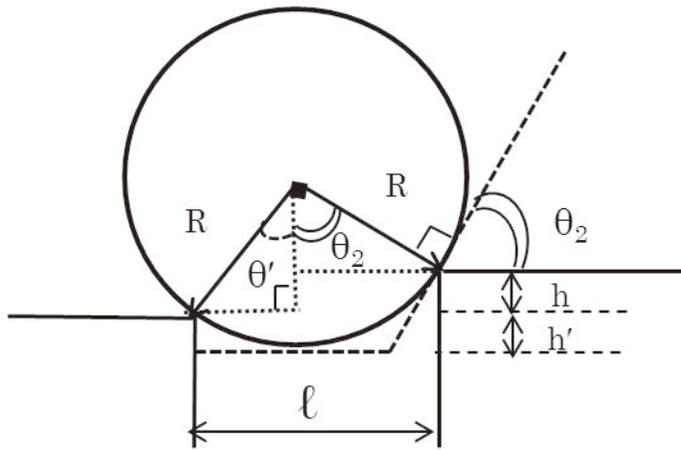


图5 勾配角度 (θ_2) (段差・隙間)

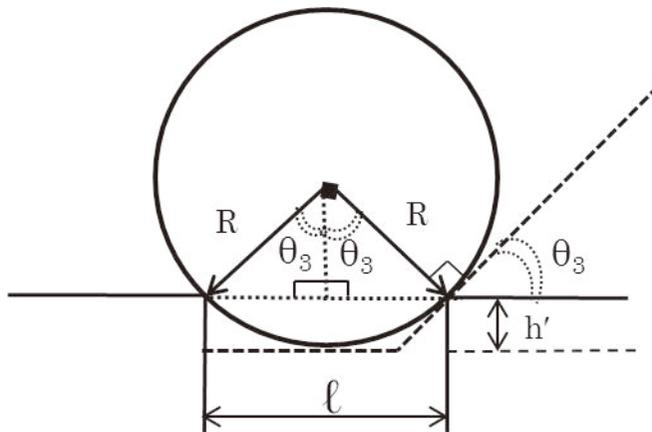


图6 勾配角度 (θ_3) (隙間)

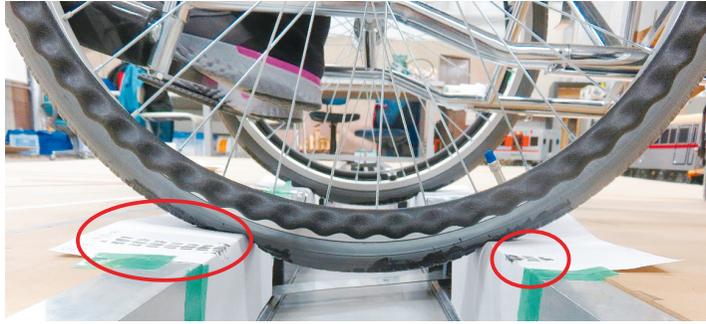


図7 隙間通過と接地面描写（○）の様子

表9 段差50・100%成功時勾配角度

| 成功率 (%) | 段差 (mm) | 勾配角度 (°) |
|---------|---------|----------|
| 100 | 70 | 39.6 |
| 50 | 85 | 43.8 |

表10 通常および改良車いす段差最大乗り越え勾配角度

| 被験者 | A | B | C | D | E | 平均 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|
| 「通常」最大段差 (mm) | 50 | 40 | 40 | 70 | 70 | 54 |
| 勾配角度 (°) | 33.3 | 29.7 | 29.7 | 39.6 | 39.6 | 34.4 |
| 「改良」最大段差 (mm) | 80 | 70 | 80 | 100 | 90 | 84 |
| 勾配角度 (°) | 42.5 | 39.6 | 42.5 | 47.8 | 45.2 | 43.5 |

表11 隙間50・100%成功時勾配角度

| 成功率 (%) | 隙間 (mm) | 勾配角度 (°) |
|---------|---------|----------|
| 100 | 135 | 12.8 |
| 50 | 210 | 20.2 |

表12 タイヤの接地面描写面積

| | 幅 (mm) | 長さ (mm) | 面積 (mm ²) |
|----|--------|---------|-----------------------|
| 隙間 | 22 | 80 | 1760 |
| 段差 | 18 | 20 | 360 |

4. 新機構車いすの開発

4.1 前輪車いすの選定と開発目標

車いす利用者の立場で考えた場合、日常生活の場でよく目にする20～30mmの段差でも大きなバリアになる。大阪産業大学近隣の鉄道駅ホームと車両出入口の段差・隙間を調査したところ、最大100mm（平均50mm）の段差と220mm（平均130mm）の隙間が存在した¹²⁾。そのため日常生活や自然災害発生を想定した場合、平均値の段差50mm、隙間130mmを体力的負荷が少ない状態で乗り越え可能な車いすが必要である。この段差50mm・隙間130mmの勾配角度は式（1）より33.3°である。近隣駅等の調査結果最大値である段差100mm・隙間220mmを新機構車いす開発の目標条件に設定した。なお、この条件の勾配角度は式（1）より47.8°となる。なお、国土交通省は2021年のオリンピック・パラリンピック開催に関連して検討を行い、車いす使用者が駅員等の介助なしに列車に単独で乗降できる当面の目安は段差30mm、隙間70mmであれば可能であるとした¹¹⁾。以上の段差・隙間と勾配角度の関係を表13にまとめて示す。

通常、一般的な前輪車いすをそのまま鉄道車両乗降時に使用するのは非常に危険であるため、駅員の介助でスロープを設置してもらうことになる。鉄道車両乗車時の段差・隙間により前輪キャストに回転ブロック現象が生じて、走行不可となることがある。また、後輪タイヤから後ろ向けに乗り込む場合も後輪が通過した後に前輪キャストが隙間にはまり込み走行不可となることもあった。そのため段差および隙間に対応するには、前輪手動式で前輪直径を大きくすることと回転ブロック現象を防止することが有効であることが分かった¹⁴⁾。

なお、本車いすのような前輪車いすは旧箱根療養所などで使用され、「箱根式車いす」とも呼ばれ1970年頃まではよく使われていた。小回りがきく長所もあるが最近ではあまり見かけない。その理由は、前輪が大きいと乗降しにくく、テーブルや洗面台・台所の流しに近づきにくいことが考えられる¹²⁾。

4.2 新機構車いす

後輪車いすの前輪キャストは、回転ブロック現象により段差・隙間にはまり込むことがあるが、前輪キャストが乗り越えに成功すると後輪ははまり込むことなく通過できる。そこで、自在に回転するキャストとは異なり前輪の直進安定性が確保できる前輪車いすを選択し、表14に示すような諸元の新しい車いすを製作した（図8）。

前輪は式（1）を用いて、なるべく大きいサイズのものを選定する。市販車いす用大型車輪である508mm（20in）から610mm（24in）までの車輪の勾配角度を算出し、前輪直径が大きく勾配角度の最も小さい24インチ径の車輪を使用した。

また、後輪部に大型自在キャストを1輪使用し3輪式の車いすとした。また、図8に示すように新機構として後部の大型自在キャスト前後に小型キャストを取り付けた¹⁴⁾。実験の結果、

乗車・降車時の両方で、段差・隙間を通過する際に小型キャストで支えられスムーズに乗降することができた。段差・隙間の乗降では、乗車ができると降りることは特に問題はない。

段差100mm・隙間220mmの目標には届かなかったが、段差80mm・隙間220mmまでの本車いすの成功率は100%であった¹⁵⁾ (表13)。なお、表13の勾配角度を見るとやはり40° まではほぼ100%乗降可能であるが、40° を超えると難しい。このことから、回転ブロック現象を防止しても勾配角度43° 程度が限界である。また、本車いすは片前輪を中心にして半径約900mmでの回転が可能であり、旋回性能と左右方向の安定性にも問題ないため、通常の鉄道車両とホームの段差や街なかでの移動に十分な性能を持っている。なお、本実験は20代から30代の男女3名の被験者（健常者）で行った（2019-人倫-012）。

一方、前輪を大型にするとテーブルなどで作業や食事などをする際に接近しにくいことがある。そのため本機構車いすは座面を前後にスライドできるようにしており、移乗やテーブル等への接近を容易にするとともに、使用者の力の入れやすい座面位置を選択できる。また、クッションなどでの高さ調整と乗り心地の改善も可能である。

本車いすは手動式車いすだが目標段差・隙間をほぼクリアし、通常の駅ホームからの列車への乗車など街なかのバリアにも十分対応可能である。なお、本車いすは特許登録をしている（特許第6664808号「車椅子」2020.2.21）。

4.3 新機構車いすの考察

本新機構車いすは、前輪の直進安定性が確保できる前輪車いすを選択することで前輪の回転ブロック現象を防止し、後輪部についても車輪幅と車輪直径を大きくした大型自在キャストを1輪使用した3輪式の車いすにすることにより後輪の回転ブロック現象も防止している。その結果、前輪が乗り越えると後輪は段差や隙間を容易に乗り越えることができる。本車いすの段差・隙間乗り越え性能は、式（1）より算出してまとめた結果より、100%成功では勾配角度約43° であることが確認できた（表13）。手動車いすであっても電動車いすの性能³⁾ とほぼ同等の段差80mm・隙間220mmまでは100%成功することが確認でき、本新機構車いすの卓越した性能が示された（表13）。開発目標である段差100mm・隙間220mmには届かなかったものの、ほぼ目標達成ができたと考える。

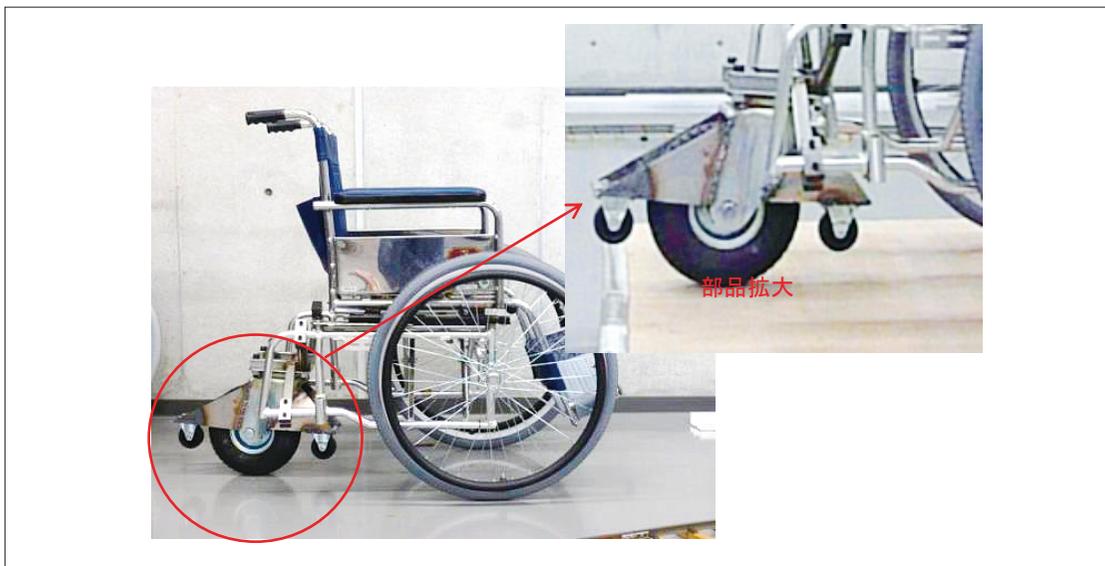


図8 新機構車いす

表13 開発目標・電動車いす性能および
改良前輪車いす・新機構車いす成功率・勾配角度

| | 段差 (mm) | 隙間 (mm) | 勾配角度 (°) |
|------------------|---------|---------|----------|
| 国土交通省目安 | 30 | 70 | 25.6 |
| 近隣駅平均値 | 50 | 130 | 33.3 |
| 開発目標 (近隣駅最大値) | 100 | 220 | 47.8 |
| H社ハンドル形電動車いす | 90 | 120 | 72.1 |
| 改良前輪車いす (100%成功) | 70 | 135 | 39.6 |
| 改良前輪車いす (50%成功) | 85 | 220 | 43.8 |
| 新機構車いす (100%成功) | 80 | 220 | 42.5 |

表14 新機構車いす諸元

| 全長 (mm) | 全高 (mm) | 全幅 (mm) | 車輪径 (mm) | キャスト径 (mm) | 質量 (kg) |
|---------|---------|---------|----------|------------|---------|
| 1126 | 890 | 600 | 610 | 251 | 29.0 |

5. 結言

段差、段差・隙間、隙間の3つのパターンにおける車いすの乗り越え性能について勾配角度を算出して、理論式の妥当性を検討した。

前輪車いすで回転ブロック現象を防止すれば、勾配角度を導入することで段差については勾配角度43°以下を乗り越え可能な指標とすることができる。この角度以下なら前輪を持ち上げるウイリー走行をしなくても上腕健全者であれば成功率100%で乗降可能であることが確認で

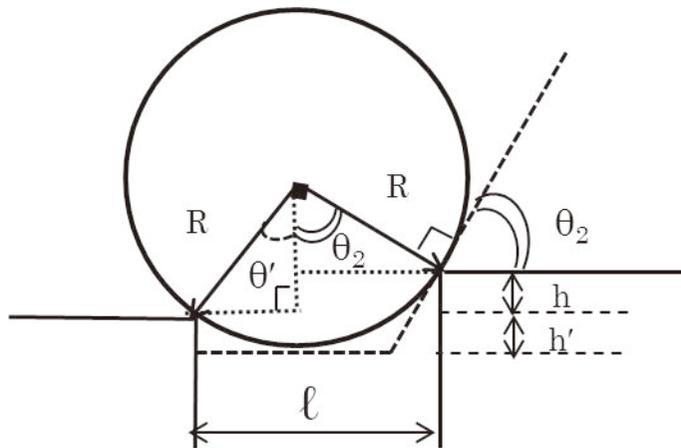
きた。この限界を前提にすると大きな段差を乗り越えるには、十分な操作性を前提に前輪の車輪径を大きくすることが有効となる。

特に、隙間のみ場合はタイヤに大きな凹みが生じるため、段差の場合と比べて勾配角度の評価を半分程度に下げることがあり、勾配角度は 20° 以下まで乗り越え可能であることを確認した。

通常の前輪・後輪キャストでは回転ブロック現象が発生しやすく、段差、隙間などにはまり込み、乗り越え不可となることが多い。その対策としてキャストの幅や直径を大きくし、不要な回転を抑制することでこれらを防止することができる。勾配角度と回転ブロック現象を考慮して、前輪手動式の新機構車いすとすることで、表13に示すように開発目標をほぼ達成することができた。

これからの車いすには段差・隙間乗り越え性能のみならず、軽量化、乗り心地改善、疲労軽減や安全・安定走行などの性能向上が求められる。また、障害者による実際操作のやり方、タイヤの凹みや駆動トルクの計測等による検証も必要と考える。今後は駅などでの実証実験により有効性を確認し、車いすを新たな小型モビリティとして普及させ、車いす利用者の生活向上を目指したい。

付録
段差・隙間の関係式と θ_2 の求め方



ただし $R < l < 2R$

図9 勾配角度 (θ_2) (段差・隙間)

$$\sin\theta_2 = (h/l)\cos\theta_2 + h^2/2(Rl) + l/(2R) \quad (2) \text{ を証明する.}$$

図9より, 水平および垂直方向の関係より, 以下の2式がなりたつ.

$$\begin{cases} l = R\sin\theta' + R\sin\theta_2 & \text{①} \\ h = R\cos\theta' - R\cos\theta_2 & \text{②} \end{cases}$$

$$\text{①より } \sin\theta' = l/R - \sin\theta_2 \quad \text{①}'$$

$$\text{②より } \cos\theta' = h/R + \cos\theta_2 \quad \text{②}'$$

①', ②' より, 以下の関係がなりたち,

$$(l/R - \sin\theta_2)^2 + (h/R + \cos\theta_2)^2 = 1 \text{ を展開して}$$

$$(l/R)^2 - (2l/R)\sin\theta_2 + \sin^2\theta_2 + (h/R)^2 + (2h/R)\cos\theta_2 + \cos^2\theta_2 = 1 \text{ より}$$

$$(l/R)^2 - (2l/R)\sin\theta_2 + (h/R)^2 + (2h/R)\cos\theta_2 = 0 \text{ である}$$

$$(2l/R)\sin\theta_2 = (l/R)^2 + (h/R)^2 + (2h/R)\cos\theta_2 \text{ となり}$$

$$\sin\theta_2 = (h/l)\cos\theta_2 + h^2/2(Rl) + l/(2R) \quad (2) \text{ または}$$

$$\cos\theta_2 = (l/h)\sin\theta_2 - h/(2R) - l^2/(2Rh)$$

さらに, θ_2 を求めるために $\cos\theta_2 = X$ とおくと (2) 式は

$$(1 - X^2)^{1/2} = (h/l)X + h^2/(2Rl) + l/(2R) = (h/l)X + (h^2 + l^2)/(2Rl) \text{ となり両辺を二乗して,}$$

$$1 - X^2 = [(h/l)X + \{(h^2 + l^2)/(2Rl)\}]^2 = (h/l)^2 X^2 + \{(h/l)(h^2 + l^2)/(Rl)\}X + (h^2 + l^2)^2/(2Rl)^2$$

$$\text{移項して, } (h/l)^2 X^2 + X^2 + \{(h/l)(h^2 + l^2)/(Rl)\}X + \{(h^2 + l^2)/(2Rl)\}^2 - 1 = 0$$

$$\{(h/l)^2 + 1\}X^2 + \{(h/l)(h^2 + l^2)/(Rl)\}X + \{(h^2 + l^2)/(2Rl)\}^2 - 1 = 0 \text{ より}$$

$$\frac{\{(h^2 + l^2)/l^2\}X^2 + \{h(h^2 + l^2)/Rl^2\}X + \{(h^2 + l^2)/(2Rl)\}^2 - 1 = 0$$

$$\begin{array}{cccc} = a & = b & = c & \text{とおくと} \end{array}$$

$aX^2 + bX + c = 0$ の2次方程式となる.

なお, b と c を a で表すと $b = ah/R$, $c = \{al/(2R)\}^2 - 1$ である.

この2次方程式の解, $X = \{-b \pm (b^2 - 4ac)^{1/2}\}/(2a)$ では $X > 0$ で, $a > 0$, $b > 0$, $c < 0$ なので,

$$X = \{-b + (b^2 - 4ac)^{1/2}\}/(2a) \text{ となり, } b \text{と} c \text{を} a \text{で表し,}$$

$$X = [-ah/R + \{a^2h^2/R^2 - 4a(a^2l^2/4R^2 - 1)\}^{1/2}]/(2a) \text{ より}$$

$$X = \{-ah/R + (a^2h^2/R^2 - a^3l^2/R^2 + 4a)^{1/2}\}/(2a)$$

$$X = \{-ah/R + (a^2h^2 - a^3l^2 + 4aR^2)^{1/2}/R\}/(2a) \text{ となり,}$$

$$X = \cos\theta_2 = \{(a^2h^2 - a^3l^2 + 4aR^2)^{1/2} - ah\}/(2aR) \text{ である.}$$

参考文献

- 1) (社)日本福祉車両未来研究会, 高齢化の推移と将来推移 (<http://www.294mirai.com/toukei.html>) (参照日2022.11.3).
- 2) 国土交通省総合政策局安心生活政策課, 車椅子使用者用便房等の利用者に関する統計データの整理 (2020), p5.
- 3) 安心院朗子, 高齢者の外出を支える移動支援機器に関する研究, (株)文化書房博文社 (2014), pp70-77.
- 4) (独)製品評価技術基盤機構 (NITE), ニュースリリース (高齢者の事故防止～電動車いすの利用で気を付けたいこと～), 2021.9.17.
- 5) 毎日新聞朝刊 (2021.12.10) 14版 (社会面).
- 6) 電動車いす安全普及協会, 出荷台数の推移 (<https://www.den-ankyo.org/>) (参照日2022.10.27).
- 7) (一財)自転車産業振興協会技術研究所, 車いす技術課題調査報告書 (2016), pp1-2.
- 8) 浅田晴香, 大津山澄明, 自然災害を想定した車椅子利用者の移動負荷軽減に関する提案 (基礎研究及び実験評価), 日本機械学会論文集, Vol.84, No.866 (2018), DOI: 10.1299/transjsme.18-00053.
- 9) 松澤正 (監修), 松原勝美 (著), [第2版] 移動補助具・杖・松葉杖・歩行器・車椅子, 金原出版 (株) (2009), pp184-187, pp205-208, p227.
- 10) 竹原伸, はじめての自動車運動学, 森北出版 (株) (2014), pp51-52.
- 11) 国土交通省, 公共交通機関の旅客施設・車両等・役務の提供に関する移動等円滑化整備ガイドライン (バリアフリー整備ガイドライン) (2022), pp216-220.
- 12) 上中泰郎, 鈴木航, 廣田佑樹, 磯部拓也, 岡崎一起, 段差隙間解消車いすの開発と比較, 踏切内の隙間転落防止装置の開発, 令和元年度卒業研究論文概要集, 大阪産業大学工学部交通機械工学科, Vol.43, No.114, 115 (2020), pp27-30.
- 13) 糟谷佐紀, 米田郁夫, 坂東美智子, 末田純, 藤澤正一郎, 手動車いす操作における段差抵抗尺度化に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No.602 (2006), pp7-11.
- 14) 大津山澄明, 浅田晴香, 鉄道車両への乗降容易な車いすの開発, JREA, (一社)日本鉄道技術協会, Vol.62, No.3 (2019), pp57-60.
- 15) 浅田晴香, 大津山澄明, 鉄道車両乗降時における安全性と利便性を備えた新機構車椅子 (車椅子試作車の段差・隙間試験評価), (一社)日本機械学会, 第24回交通・物流部門大会 (TRANSLOG2015) 講演発表 (東京: 2015.12.9) 1416.