

バリアフリー住宅設計支援システムの開発

立川 英治* 田中 泰斗* 安藤 敏弘**

Development of a Barrier-Free House Design Support System

Eiji Tachikawa*, Taito Tanaka* and Toshihiro Andou**

あらまし VR 技術を用いた手動車いす用住宅設計支援システムの開発を目的として、本年度は手動車いすの基礎的運動について考察し、平坦路及び傾斜路を直線的に移動するときの運動方程式を導出した。その結果、平坦路走行時における車いすの走行抵抗を床材と操作者体重から求めることが可能になった。また、段差高さ及び操作者体重から車いすの段差乗り越えに必要な力を求めることが可能になった。さらに、ハンドリム操作量を基に車いすの位置と姿勢を求める関係式を導出し実際の運動と比較を行った結果、計算結果と実際の位置および姿勢の間には誤差が生じることが確認された。

キーワード 車いす, バリアフリー住宅, 設計CAD, VR

1. まえがき

近年福祉・医療分野への関心の高まり、高齢者や身障者に配慮した都市設計、住宅設計が注目をあびている。また、障害者の移動支援機器として代表される車いすに対するニーズも多様化しており、障害者個々の体格や障害度にあわせて設計された車いすも多く利用されるようになってきている。車いす利用者の居住空間に対する要求は様々であり、健常者には気にならない段差やスロープが車いす利用者にとっては大きな障害となることが多々ある。また、間取り、家具の設置場所・機能など細かな点についても配慮が必要であり、車いすの多様化と相まって住宅設計の際の大きな問題になっている。

居住空間の検討手法として大手ハウジングメーカを中心にバーチャルリアリティ技術(以下VR技術)を用いたシミュレーションシステムが開発されているが、車いす利用者を対象としたシステムの開発は少ないのが現状である。そこで本研究では、VR技術を用いた手動車いす用住宅シミュレーションシステムを開発し、車いす利用者の住宅の利便性を設計段階で体感検討を可能にする。

車いすには大きく分けて手動、電動、パワーアシスト型の3つの種類があるが、最も利用者が多い手動車いすについて検討を行う。体験者に住宅の利便性を検討する

ための十分な情報を提供するためには、車いすの揺動、ハンドリム操作時の反力を表現する必要がある。そこで、本年度は手動車いすの基礎的運動を考察し、導出した方程式を元に車いすの運動について検討する。

2. 車いすの運動方程式

車いすが傾斜路を直線的に移動する際の運動について考える。図1に車いすの運動方程式を導出する際に利用するパラメータを示す。車いすの左右両輪には均等に力 F が加えられ、斜面に対して垂直に移動するものとする。また、自在輪(前輪)には転がり摩擦などの抵抗力が生じないものと仮定し、床と車輪の間には滑りがないものとする。この時の系全体の運動方程式は

$$M \frac{dv}{dt} = 2F_f - Mg \sin \theta \quad \dots\dots\dots(1)$$

となる。 g は重力加速度、 M は系全体の重量、 F_f は床と駆動輪の間に働く力、 θ は斜面の角度である[1]。また、駆動輪一輪の回転運動方程式は

$$I \frac{d\omega}{dt} = Fr - F_f r - r \frac{1}{2} Mg \cos \theta \quad \dots\dots\dots(2)$$

となる。 I は駆動輪一輪の慣性モーメント、 F はハンドリムに加えた力、 r は駆動輪の半径、 μ はタイヤの転がり摩擦係数、 ρ は後輪にかかる質量比率、 R は転がり摩擦抵抗で $R = (\mu g \cos \theta) / 2r$ とおく。ここで、駆動輪を円環と見なすと、 $I = M_w r^2$ とおける。 M_w は駆動輪1輪の重量である。床と車輪の間には滑りがないので、車軸の移

* 応用担当, 高山駐在
Application division, Takayama

** 岐阜県生活技術研究所
Gifu Prefectural Human Life Technology Research Institute

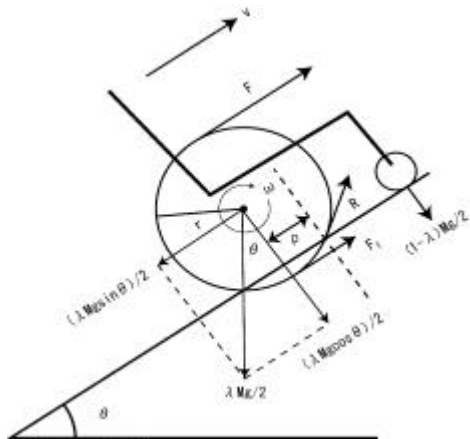


図1 車いすの運動方程式に使用する記号

Fig.1 Systematic definition

動量と系全体の移動量は等しくなり、移動量 x と駆動輪の回転角 θ の関係は $x=r\theta$ となる。式(1)、式(2)から F_f を消去し、 $\tan \theta = r\theta$ の関係[2]を利用すると、式(3)の結果が得られる。このときの θ はこの円環が斜面を等速で転がり落ちるのに必要な角度である。

$$(M + 2M_w) \frac{dv}{dt} = 2F - \lambda Mg \tan \alpha \cos \theta - Mg \sin \theta \quad \dots\dots\dots(3)$$

3. 手動車いすの駆動特性

本研究では力覚提示機能を有した VR シミュレータの開発を目的としており、そのためには手動車いすの駆動特性を把握する必要がある。式(3)より明らかなように車いすが移動するときにはタイヤの転がり摩擦による抵抗が発生する。その他にも段差乗り越え時や斜面走行時など様々な走行抵抗が発生する。これらの値のうち平坦路における走行抵抗と段差乗り越えに必要な駆動力について実験を行った。また、ハンドリム操作量をから車いすの位置・姿勢を推測し、実際の車いすの移動軌跡との比較を行った。

車いすの駆動特性を把握するため、計測用車いすを作成した。計測用車いすは、左右駆動輪の車軸にポテンシオメータを取り付け、駆動輪の回転量を検出するものである。車いすには、後輪駆動式標準規格手動車いすを利用した。(駆動輪：径 61cm(24 インチ)、一般タイヤ、空気圧 196kPa(2.0kgf/cm²) 自在輪：径 15.2cm(6 インチ)、中太タイヤ、空気圧 147kPa(1.5kgf/cm²))ポテンシオメータの抵抗変化を動ひずみ計測器((株)共和電業製 PCD-100A)で取得することにより駆動輪の回転量を測定する。

3.1 車いすの走行抵抗

車いすに働く走行抵抗としては転がり摩擦以外にベアリング回りで発生する動摩擦などの要因が考えられる。また、式(3)では自在輪の転がり摩擦やモーメント、キャストの首振り角を無視している。実際にはこれらの値が

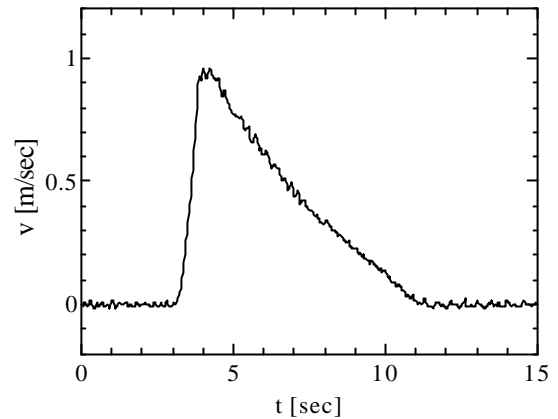


図2 車いすの速度変化

Fig.2 The velocity in the motion of inertia

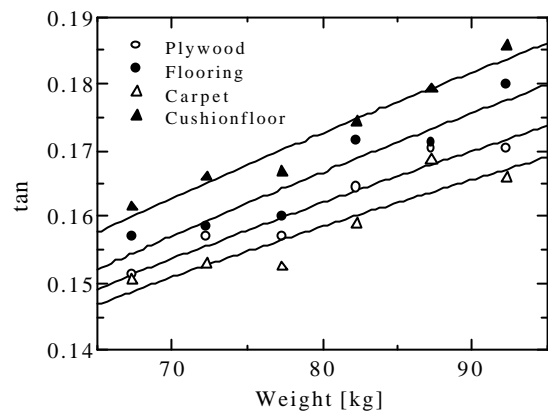


図3 車いすの走行抵抗係数

Fig.3 The coefficient of moving resistance in wheelchair 走行抵抗に影響を及ぼすと考えられるが、自在輪に発生する走行抵抗はキャストの首振り角によって変動し、一概には決定できない。したがって、ここでは駆動輪2輪に車いすの総重量が加えられるものとし、式(3)の \tan を走行抵抗係数として扱う。これは摩擦の法則(クーロンの法則)の摩擦係数と同じ次元の値となって、走行抵抗は走行抵抗係数に垂直抗力を掛け合わせた値で表現できる。

3.1.1 車いすの走行抵抗の計測

走行抵抗係数は、慣性走行時の車いすの速度変化から求めた。車いすには 45~70kg のおもりを載せ、後方から押し出すことにより初速を与えた。また、床材として、カーペット(業務用)、フローリング、ベニヤ板、クッションフロア(肉厚 1.8mm)の 4 種類を準備した。

3.1.2 結果と考察

図2は車いすの速度変化を表しており、速度が直線的に減少していることがわかる。この傾向は、いずれの実験においても同様であり、車いすがほぼ一定の走行抵抗を受けて減速していると考えられる。

図3は車いすの総重量と走行抵抗係数の関係である。

走行抵抗係数は、車いすの速度が最高速度の90～10%に至るまでの変化を直線近似し、その傾きから求めた。走行抵抗係数は車いすの総重量の増加に伴い増加しており、いずれの床材においても同様の傾きを示している。総重量の変化による走行抵抗係数の増加は、タイヤの変形によるものと考えられる。また、床材に関わらず走行抵抗が一定の割合で増加する理由は、タイヤの変形度合いが、タイヤ自身の特性と加えられる垂直抗力によって決定されるためと考えられる。実験の結果カーペット、ベニヤ、フローリング、クッションフロアの順で走行抵抗係数が大きくなった。カーペットでの走行抵抗が最も小さくなった理由は定かでないが、カーペットの毛足による凹凸のため、車輪と床材の接触面積が小さくなった事が考えられる。逆に、クッションフロアの走行抵抗が最も大きくなった理由は、タイヤの変形に加え、クッションフロア自体が変形したためと考えられる。

これらのことから、車いすの走行抵抗は床材の材質および車いすの総重量により予測できることが分かった。

3.2 ハンドリム操作による移動軌跡の推測

シミュレータ内での位置・姿勢を決定するためハンドリム操作量からこれらの値を推測する必要がある。ハンドリムの回転量とタイヤの半径から左右駆動輪の移動量を求める。車いすの姿勢および移動距離は、その幾何学的形状と駆動輪の移動量から次のように表される[3]。

$$q_i = \frac{hr_i - hl_i}{W} \dots\dots\dots(4)$$

$$N_i = \frac{hr_i + hl_i}{2} \dots\dots\dots(5)$$

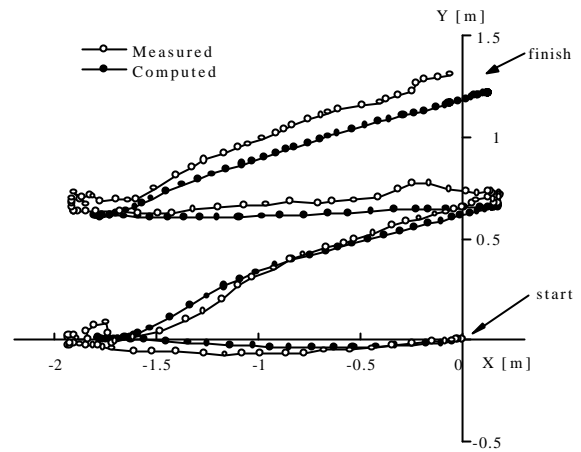
左駆動輪の移動量	hl_i
右駆動輪の移動量	hr_i
車いす旋回量	i
車いす移動距離	N_i
車いすの駆動輪間の距離	W

添え字 i はサンプリング番号である。

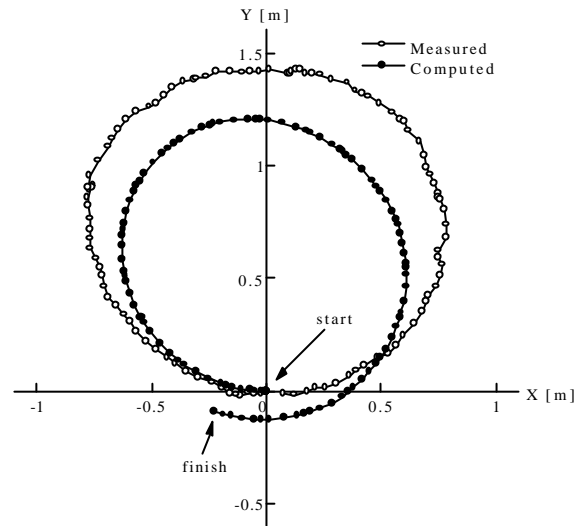
式(4)式(5)により得られた値を加算すれば車いすの位置と姿勢が決定できる。

3.2.1 移動軌跡比較実験

式(4)および式(5)の妥当性を検討するため、駆動輪の回転量から求めた移動軌跡と実際の移動軌跡の比較を行った。実際の移動軌跡の取得には、2次元動画計測装置(株式会社ライブラリ製 Move-Tr32/2d)を使用した。この装置はビデオ画像内のポイントの動きを解析し、移動軌跡を検出するものである。解析画像には、頭部にポイントを取り付けた被験者を4mの高さから撮影したものを利用し、毎秒3フレームの解析を行った。移動軌跡の計算には、3.1.1で使用した車いすを利用した。また、車輪の移動量は、得られた左右駆動輪の回転量に駆動輪の半径を掛ける事で求められる。この値を式(4)、式(5)に代入し、



(a)前進後退ジグザグ運動



(b)右回り旋回運動

図4 車いすの移動軌跡

Fig.4 Result of moving centre in wheelchair
車いすの旋回量および移動距離を求めた。

3.2.2 結果と考察

図4は2次元動画解析結果と駆動輪の回転量から求めた移動軌跡であり、(a)は車いすを前進させ、停止したあと左斜め方向に向きを変え、そのまま右斜め後ろ方向に後退するジグザグ運動、(b)は左右ハンドリムを前進方向に回転させることで右回り旋回を行ったときの結果である。それぞれの点は解析および計算された点であり1/3秒単位の車いすの位置を示している。

図4(a)では解析結果と計算結果の移動軌跡はほぼ一致した。一方、図4(b)では解析結果の移動軌跡よりも計算結果の移動軌跡による旋回半径の方が小さくなった。これは、右駆動輪の回転量は左駆動輪の回転量に比べ、床との滑りが大きくなったと考えられる。これにより計算結果の旋回半径は解析結果に比べ小さくなったと考えられる。また実験開始時と実験終了時を比較すると徐々に

に誤差が増加している様子が分かる。このことから、移動軌跡のずれは移動距離の増加に伴い累積していくと考えられる。

3.3 車いす段差乗り越え運動

車いすシミュレータの開発において、段差乗り越え時の反力を表現するためには、段差高さや操作者の体重から乗り越えに必要な力を導く必要がある。そこで、平坦路に設けた段差を垂直に乗り越えるときに必要な力を測定した。

3.3.1 車いす段差乗り越え実験

車いすの自在輪または駆動輪の前方に段差を設け、段差乗り越えに必要な力を計測した。段差乗り越えに必要な力は、ハンドリム円周方向に働く力とし、左右ハンドリムの円周に巻き付けたチェーンを万能試験機((株)島津製作所製 AG5000-B)で引っ張ることにより測定した。引っ張り速度は60mm/min一定とし、段差高さは3~21mm、操作者体重は45~70kgで実験を行った。また、車いすの移動量は両輪の回転量から算出した。これは、チェーン

のあそびの影響を除去するためである。

3.3.2 結果と考察

図5,図6は、段差乗り越え時における段差高さや乗り越えに必要な力の関係であり、それぞれ自在輪、駆動輪の特性である。また、図中の線は実験結果を基に導出した近似式によるものであり、近似式は式(6)で表される。

$$F = f(w) \cdot h + c \dots \dots \dots (6)$$

Fは乗り越えに必要な力、hは段差高さ、f(w)は操作者体重wにより決定される値、またf(w)およびcは実験結果より求めた近似式および定数である。図から明らかのように実測値と近似式の結果はよく一致している。この結果から段差高さ及び操作者体重をもとに段差乗り越えに必要な力を求めることが可能であることが分かった。

4. まとめ

VR技術を用いた手動車いす用住宅設計支援システムの開発を目的として、本年度は手動車いすの基礎的運動について考察した。以下に得られた結果をまとめる。

- (1)平坦路及び傾斜路を直線的に移動するときの運動方程式を導出した。
- (2)段差高さ及び操作者体重をもとに、車いすの段差乗り越えに必要な力を求めることが可能になった。
- (3)平坦路走行時における車いすの速度変化を計測し、床材と走行抵抗の関係について知見を得た。
- (4)ハンドリム操作量を基に車いすの位置と姿勢を求める関係式を導出した。計算結果と実際の位置および姿勢の間には誤差が認められた。

今回考えた車いすの運動は直線運動に限られており、傾斜路での3次元的な運動についての考察は行っていない。また、開発するシミュレーションシステムを有意義なものにするためには、持ち込まれた2D住宅図面を即座にVR環境に導入できるようなシステム構成を考えていく必要がある。これらの課題については今後検討していきたい。

謝辞 本研究の推進にあたってご指導、ご助言を頂いた岐阜大学 武藤高義教授、山田宏尚助教授に深く感謝します。

文献

- [1] 藤本英雄, 佐野明人, 陳連寺怡, 桜井陽一 “力覚呈示機能を持つ車いす仮想体験システムの試作と空間認知実験”, 日本機械学会論文集(c編)64巻 628pp4687-4693,1998
- [2] 機械工学便覧第改訂5版”, (社)日本機械学会, 1979
- [3] 鈴木康雄, 太田一重, 中村恵一, “車いすマウスの試作と住環境表示”, 第13回工学カワアルシ, 1998

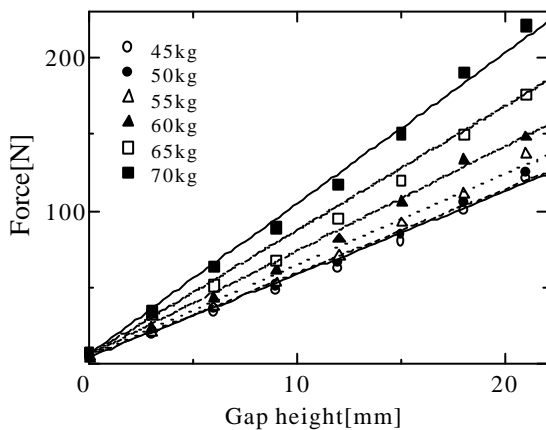


図5 車いす段差乗り越えに必要な力(自在輪)
Fig.5 Result of the force to climb over the gap (Front)

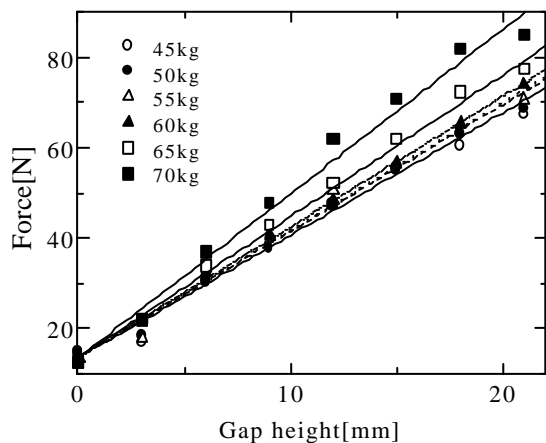


図6 車いす段差乗り越えに必要な力(駆動輪)
Fig.6 Result of the force to climb over the gap (Rear)

