

ホバークラフト機構付き車いすの開発

田中 小百合・林 加代子・松下 尚史*・堂田 周治郎*

赤木 徹也*

岡山理科大学大学院工学研究科福祉システム工学専攻

*岡山理科大学工学部知能機械工学科

(2008年9月30日受付、2008年11月7日受理)

1. 序論

現在、下肢しょうがい者や高齢者の福祉機器として車いすが広く利用されているが、今後は少子・高齢化の進行にともなう高齢者の増加、また医療技術の進歩による車いす生活者の増加が予想される。そのような状況下において車いすは、使用者にとって2足歩行に代わる移動手段となり、健常者が意識することなく歩行を行うように車いす走行も行われなければならない。近年、役所や病院、スーパーマーケットなどといった公共性の高い建物では、屋内、屋外を問わずバリアフリーの整備がなされてきており、車いす使用者の社会参加がしやすい環境が整ってきている。しかし、バリアフリーの整備が行われていない場所では健常者と車いす使用者の間には大きなギャップが存在する。

車いすで走行できない場所の代表例として不整地がある。芝生や砂利道といった不整地は神社や公園、庭園に多く存在する。これらの場所は公共性や行楽性が高いにも関わらず、文化的価値や伝統、景観を保つためにバリアフリー化は困難であり、環境の整備は望めない。このような現状から、車いす使用者は健常者との公共の場の共有、行楽や観光による喜びや楽しみが制限される。しかし、車いす使用者にとって余暇を過ごすことは健康的な社会生活を営むうえで必要不可欠であり、日常生活のストレスを発散させ心身をリフレッシュさせることができる。また、グループで行動することで協調性を養い対人関係を発展させることができる。

車いすが不整地での走行に適していない理由として、車輪と路面が点接触であるため軟弱な路面では轍がはいてしまうこと、車輪が転がり運動のため路面の凹凸の影響を受けてしまうことなどが考えられる。したがって、車いすが不整地での走行を行えるようにするためには、新しい機構による走行を車いすで実現させる必要がある。

本研究では車いすの新しい走行機構としてホバークラフト機構に着目する。また、この他にも不整地での走行に適している機構として、クローラ機構や脚機構などがある。クローラ機構は車輪で履帯を回転させて走行するため、車いすに使用すると車輪駆動と比較して質量が増加する。また、直進性は優れているが方向転換をする際には左右の履帯の回転速度を変えなくてはならないという欠点がある。脚機構は2足歩行ロボットを中心に研究が行われているが、安定性が低いことやコストが高すぎるなど実用的ではない。ホバークラフト機構はこれらの機構と比較して構造が簡単でコストが低く、軽量で走行が容易な機構にすることができ、車いす自体が浮上するので介助者の負担が軽減されるなどの利点がある。

ホバークラフトは災害救助用、レジャー用、軍事用など様々な分野で実用化され、不整地での走破性が優れていることは周知である。このホバークラフト機構を車いすの第2の走行機構として応用し、ホバークラフト機構付き車いすを開発する。開発のコンセプトは「必要なときに車輪からホバークラフト機構に切り換えられる車いす」である。すなわち、車いすが平坦な路面を走行するときには車輪を使用し、不整地ではホバークラフト機構を使用する。

本論文の構成は以下のとおりである。第2章でホバークラフト機構の構造と浮上原理、不整地での走行の特徴と有効性について述べる。第3章では設計指標を設定し、ホバークラフト機構およびスカート昇降機構の設計し、その構造と動作原理について説明する。第4章では姿勢制御システムの構成と制御の流れ、スカートの浮上実験と座面の姿勢制御実験について述べる。最後に第5章で本論文の結論を述べる。

2. ホバークラフト機構⁽¹⁾

2・1 構造と浮上原理

図1にシングルエンジン式小型ホバークラフトの構造を示す。これは、1基のエンジンで浮上ユニットと推進ユニットを駆動させる1人乗り用のホバークラフトに多い型式である。ホバークラフトの浮上に必要な構成要素はエンジン、ファン、スカート（フレキシブルスカート）である。ファンはエンジンと共にボディの後方に設置され、推進力と浮上力を得るために進行方向に対して逆方向に送風する。スカートはボディの下部に取り付けられ、ホバークラフトを浮上させるための空気を地面とボディの間に送り、そこから空気の流出をせき止める。また、路面の凹凸を吸収させるためスカートの材質として柔軟な布地やゴムが使用される場合が多い。

ホバークラフトの浮上原理は以下のとおりである。ファンによって送風された空気の一部がベンディングダクトによって浮上エアとしてボディへ取り入れられる。浮上エアはスカート内部を膨らませ、スカートの内面に設けられたエア流出孔を通してボディ底面と地面との間に囲まれた空気溜めに送り込まれる。空気溜めの圧力によってスカートと地面の間にエアクッションと呼ばれる厚さ数ミリ程度の空気の膜が形成され浮上する。ホバークラフトは強力な風圧の反発によって浮上しているのではなく、エアクッションによる流体潤滑によって浮上している。したがって、ホバークラフトの浮上に必要となるのは強力な出力（高流量、高静圧）を得られるファンではなく、効率的にエアクッションが形成できるスカートである。なお、浮上力は推進力の4分の1程度の小さな力で十分である。

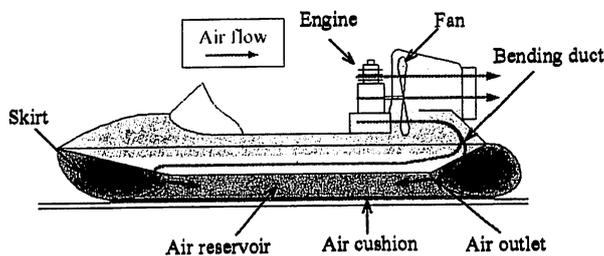


図1 シングルエンジン式小型ホバークラフトの構造

2・2 特徴と有効性

ホバークラフトの最大の特徴は浮上性と路面への追従性である。本節では車いすにとって不整地での走行が困難である原因を検証した後、ホバークラフトの特徴が不整地での走行に対してどのように有効であるかについて述べる。

車いすにとって不整地での走行が困難な理由は第1章で述べたように、車輪による転がり運動が原因である。転がり運動が困難になるという現象は力学的に考えると、転がり抵抗が大きくなっているということであり、転がり抵抗の発生要因は以下のとおりである。

- ① 転動時の変形によりタイヤ内部に発生するヒステリシスロスによる損失エネルギー
- ② 路面のひずみによる抵抗
- ③ 路面が平滑でないために生じる衝撃抵抗
- ④ タイヤと路面の摩擦抵抗
- ⑤ 車輪を支える軸受部の摩擦抵抗
- ⑥ 空気中で車輪やホイールが回転するために生じる空気抵抗

車いすにとって不整地での走行が困難な理由は上述の②と③による転がり抵抗の発生が原因であると考えられる。車いすの後輪は一般的に24-1 3/8インチのタイヤを使用している。要因②を軽減させる簡単な方法として車輪の幅を拡くすることが考えられる。車輪の幅を拡くすることは車いす全体の質量が増えてしまうことと、「JIS T9201-1998 手動車いす」および「JIS T9203-1999 電動車いす」によって全幅（左右ハンドリムの距離）が定められているため不可能である。要因③は後輪よりも前輪の影響が大きいと考えられる。車いすの前輪は自走用で4~5インチ、介助用で6~7インチの樹脂製キャスターが使用されている場合が多く、サイズ、材質共に路面の衝撃を受けやすくなっている。

ホバークラフトが不整地での走行に適している理由は、直感的に考えると浮上しているためにすべり摩擦がないためである。しかし、実際にホバークラフトのスカートと路面の間を観察すると、完全に非接触になっているわけではないことがわかる。前節でホバークラフトの浮上原理はエアクッションによる流体潤滑であると述べたが、実際は流体潤滑と乾燥摩擦の間である境界潤滑である。したがってホバークラフトにはすべり摩擦が発生している。不整地でのすべり摩擦はころがり抵抗と同じく要因②と③により大きくなると考えられる。ホバークラフトの浮上性は、路面に集中荷重を与えないこととスカートと路面を境界潤滑にすることで要因②の影響を軽減し、スカートが路面の凹凸を吸収することで要因③の影響を軽減していると考えられる。すなわち、ホバークラフトは浮上性と路面に対する追従性により路面の影響によるすべり摩擦を低減することができるため、不整地での走行が可能であると考えられる。

3. 試作機の構造と制御系の構成

3・1 設計指標

ホバークラフト機構付き車いすを試作するにあたって以下のような設計指標を設定する。

(1) 自走用標準型車いすを使用する

自走用標準型車いす（株）ミキ製）を使用する理由は、現在最も普及している車いすで、自走用だけでなく介助用としても使用されているためである。

(2) 介助者が押して進む（自走しない）

自走させる場合、ホバークラフト機構は劣駆動システムとなるため操縦には熟練した技術が必要となる。福祉機器としての走行機能（走る、曲がる、止まる）や安全性（衝突、転倒）の面から実用的ではないと考えられるため、操縦は介助者が行うものとし推進力は設けない。

(3) 搭乗者の標準体重を70kgに設定する

日本人成人男性の平均体重は表1に示すように最も重い30代で66.8kgである。また、「JIS A4301-1983 エレベータのかごおよび昇降路の寸法」によるエレベータの積載荷重は6人乗り以外はどれも60kg後半であるということ参考にして、搭乗者の標準体重を70kgに設定する。

(4) 乗り越えられる段差の高さ目標を20mmとする

坂東、米田、田中らの研究⁽²⁾より、車いすが段差を乗り越えるときに必要な運動量は、段差が20mm以上になると急激に増大することが指摘されている。電動車いすも乗り越えられる段差高さは20～30mmであることから20mmに設定する。また近年はバリアフリー化の法律や条例によってインフラストラクチャー（略称・インフラ）学校、病院、道路、橋梁、鉄道路線など社会的経済基盤と社会的生産基盤を形成するものの総称である）が整備され、屋外の動線にある段差は20mm以下のものが多くなっている。

(5) 車輪とホバークラフト機構を常に車いすに装着し、切換えられるシステムとする

車輪とホバークラフト機構の切換えは、搭乗者が車いすに座った状態で行えることを必須とする。したがって、本研究ではホバークラフト機構は常に車いす底部に装着され、スカートの昇降を行うことで車輪走行とホバークラフト走行の切換えを行う。スカート昇降機構は誤操作を起こさず子どもから高齢者まで誰でも簡単に操作できる方法とする。

構成要素を大きく分類すると、車いす、ホバークラフト機構、スカート昇降機構となる。本研究ではホバークラフト機構とスカート昇降機構の設計、試作を行う。その外観を写真1に示す。

3・2 ホバークラフト機構の構成

写真2にホバークラフト機構の概観を示す。ボディの寸法は全長660mm、全幅370mm、高さ50mmである。高さを50mmとしているのは、車いす底部のフレームから前輪までの距離が50mmであるため、ボディの高さが50mm以上になると方向転換の際に前輪と干渉してしまうためである。また、ボディの高さと浮上高さ（浮上時の路面からボディ底面までの高さ）は同じとなるため、浮上高さも50mmとなる。

スカートの姿勢制御を行うために前部、後部、左右側部の4つのセグメントに分割し、それぞれ均等にエアを送るためにコンテナと制御用ブローをつなぐダクトホースが水平になるように設計する。また、前後左右のスカートのパーツをそれぞれ製作し接続することでスカートごとの各セグメントの機密性を図っている。

スカート素材は厚さ約1mmのビニールシートを使用する。各セグメントパーツをそれぞれ袋状にしたものを組み合わせている。これによりセグメント同士の接続部がはがれる可能性を低下させることができる。また、

スカートの継ぎ目にシリコンゴム（セメダイン（株） バスコークN）を塗布して空気漏れを防いでいる。ボディの素材はカーツ株式会社の協力により繊維強化プラスチック（Fiber Reinforced Plastics, FRP）で作製しており、これにより軽量化と強度を増加させている。

ホバークラフト機構の支持面（空気溜め）の面積は $244.2 \times 10^3 \text{mm}^2$ （660mm×370mm（ボディの縦×横））であり、車いすにかかる荷重（搭乗者70kgと車いす12.9kg、その他装置）を90kgと想定すると882Nになる。このことより、空気溜めの圧力は $882\text{N}/244200\text{mm}^2 = 3.62\text{kPa}$ となり、浮上するためには4kPaほどの静圧で十分である。このとき静圧が高すぎると以下のようなデメリットが発生する。

①平坦な路面以外では浮上できなくなる。

②空気溜めから周期的に空気が流出しスカートが上下に振動する。

①は段差や障害物を乗り越えたときにスカートの一部が変形し、空気溜めから大量の空気が流出してしまうためである。スカートの内部圧力が上昇するとスカートの柔軟性が低下してしまうため、路面の凹凸への追従が不可能になることも原因である。②はつぎの現象を繰り返すためである。空気溜めの静圧が高くなるとエアクッションが厚く（路面とスカートの隙間が広く）なるために、空気溜めから大量の空気が大気中に流出する。スカートが浮上するために必要な静圧を失い沈み込むと、路面とスカートの隙間がなくなるため再び静圧が上昇しエアクッションを形成するためである。

図2にスカートの姿勢制御システムのコントローラの回路図を示す。この回路はスカートが傾いたとき、その傾きを二軸加速度センサ（アナログデバイス社製 ADXL-202E）を用いて検出し、傾いた側にある制御用プロアをONにし、空気の流量を増やすことでスカートを復元させ、姿勢制御を行うシステムである。マイクロコンピュータからの出力電圧をMOS型電界効果トランジスタ（MOS-FET）（（株）東芝製 MP4401）を介して増幅し、制御用プロア駆動させる。マイクロコンピュータの入力ポートへは加速度センサを接続する。スカートの傾斜は、加速度センサから出力される一周期 $850 \mu\text{s}$ のパルス波の周期をマイクロコンピュータで測定し検出する。パルス波のデューティ比は加速度センサに加えられる加速度に比例して変化する。例えば水平状態の場合、センサからの出力はデューティ比が50%となるが、センサが θ 傾くと重力加速度の水平成分 $g \sin \theta$ が加わるためデューティ比が変化する。この変化をマイクロコンピュータのカウント機能を用いて計測することで、ピッチ角とロール角を検出することができる。

制御用プロアは24Vで駆動されるが、加速度センサとマイクロコンピュータは5Vで駆動されるので、コンデンサと三端子レギュレータ7805、リレー回路によって24Vから5Vに変換し、加速度センサとマイクロコンピュータに電圧を供給している。

3・3 スカート昇降機構の構成

昇降機構用アクチュエータとしてシリンダ内径32mm、最大ストローク300mmの複動式空気圧シリンダ（（株）SMC CM2BZ32-300）を4本使用する。車輪走行からホバークラフト走行への切換えは4本の空気圧シリンダを同時に伸ばすことでスカートを地面に接触させ、車いすを持ち上げて車輪と地面を非接触にすることで実現させる。また、ホバークラフト走行から車輪走行への切換えは4本の空気圧シリンダを同時に縮めることで車輪を地面に接触させ、スカートを車いす底部に収納することで実現させる。これらの操作は子どもから高齢者まで誰でも簡単に操作できるようにするために、標準的なトグルスイッチを用いる。空気圧シリンダを使用する利点は以下のようなものが挙げられる。

(1)軽量である。

(2)骨格とガイドを兼ねることができる。

(3)介助者の操作性が優れている。

(4)斜面に差しかかった場合、座面を水平に保つように制御することも可能である。

図3に座面の姿勢制御システムのコントローラ回路図を示す。スカート姿勢制御用コントローラと同じようにマイクロコンピュータを用いて制御する。

制御弁として小型ON/OFF弁（（株）コガネイ製 G010HE1）を使用する。制御弁として空気圧サーボ弁の使用も考えられるが、代表的な電気空気圧サーボ弁（FESTO社MPYE5-1/8-HF-010B）と比較するとサーボ弁の寸法は $149.3 \times 45 \times 26\text{mm}$ 、質量が330gであるのに対し、小型ON/OFF弁の寸法は $35 \times 19.6 \times 10\text{mm}$ 、質量は15.3gと小型かつ軽量である。制御弁は常時閉の3ポート弁であり、ポート1が供給口、ポート3が排気口である。ONにするとアクチュエータを加圧し、OFFにするとアクチュエータを減圧することができる。ポート2はマニホ

ールドで閉じられている。小型ON/OFF弁は供給と排気しか行えないためにシリンダを伸ばした状態で保持するためには、給気し続ける必要があるため電力を消費し続けるばかりでなく、エンドストロークでの保持しかできないという問題がある。この問題を解決するために2個の小型ON/OFF弁の配管ポートを接続し、給気も排気も行わない状態ができるようにする。ここで上部空気室側の空気圧供給源に接続する小型ON/OFF弁を弁A、空気圧シリンダ側に接続する小型ON/OFF弁を弁Bと呼ぶことにする。弁AをON、弁BをOFFにすることで給気となり、弁AをOFF、弁BをONにすることで排気となる。弁Aと弁Bを共にOFFにすることで空気圧シリンダ内の圧力を保持ができる。これにより電力消費がなくなり、シリンダの状態を任意の位置で保持することができる。

図4に制御弁とシリンダの動作を示す。カップリング弁をシリンダの上部空気室側に、単体の小型ON/OFF弁（弁Cとする）をシリンダの下部空気室側に接続する。以下に制御弁とシリンダの動作パターンを示す。

シリンダを伸ばす時	弁A：ON， 弁B：OFF， 弁C：OFF
シリンダを保持する時	弁A：OFF， 弁B：OFF， 弁C：OFF
シリンダを縮める時	弁A：OFF， 弁B：ON， 弁C：ON

小型ON/OFF弁はシリンダ1本につき3個必要であるためシステム全体で12個必要となる。制御弁としてサーボ弁を使用すると8個になるが、システム全体の小型ON/OFF弁の合計質量は183.6gであるのに対してサーボ弁の合計質量は2640gと16倍になる。したがって小型ON/OFF弁を使用すると個数は多くなるが、システムの軽量化は図られることになる。

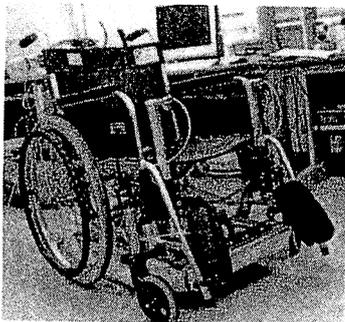


写真1 試作機の外観

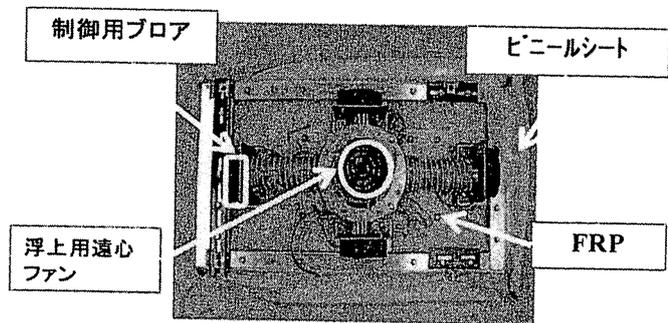


写真2 ホバークラフト機構の概観

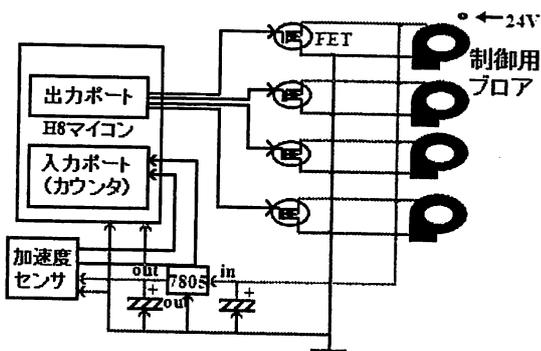


図2 スカートの姿勢制御系の回路図

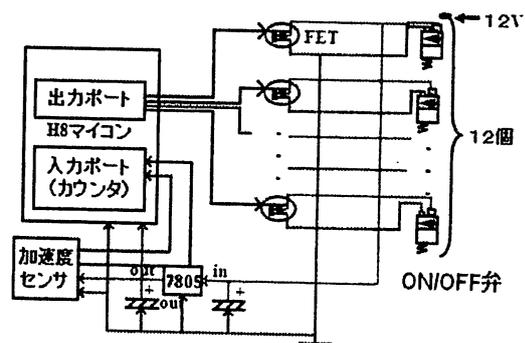


図3 座面の姿勢制御系の回路図

表1 日本人成人男性の平均体重

年齢	体重 [kg]
18-24	64.5
25-29	65.6
30-39	66.8
40-49	65.8
50-59	64.1
60-	57.8

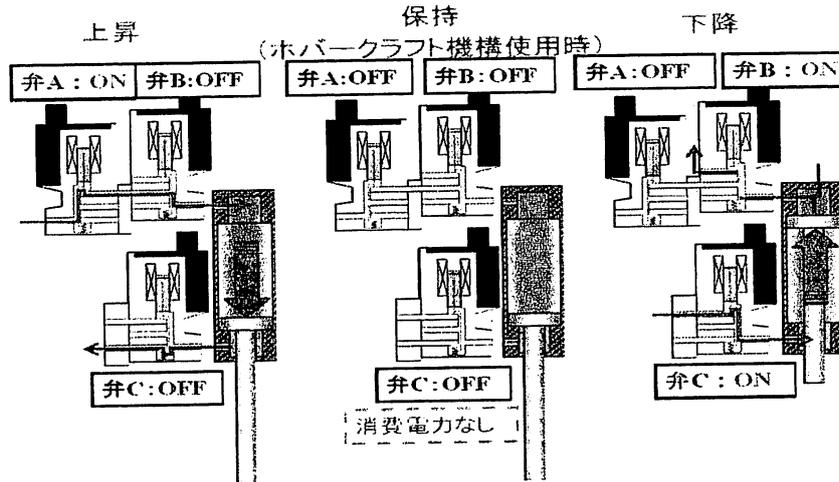


図4 制御弁と空気圧シリンダの動作方法

4. 制御実験の結果

4・1 ホバークラフト部の浮上実験

スカート傾きの復元方法として、つぶれたセグメントへ供給する浮上エアの流量を増加させ、膨らみを復元する方法を実行する。

制御の流れは以下のとおりである。スカートに取り付けた二軸加速度センサでピッチ角とロール角を検出し、それぞれの出力値をマイクロコンピュータへ入力する。マイクロコンピュータは検出したデータを基に各セグメントに取り付けられている4つ(前後左右)の制御用ブローに独立にON/OFF信号を送信し、浮上エアの流量を調節する。図5にスカートの3次元モデルを示す。進行方向をX軸、進行方向に対して左右方向をY軸、鉛直方向をZ軸とし、X軸まわりの回転角、すなわちロール角を θ_s 、Y軸まわりの回転角、すなわちピッチ角を ϕ_s とする。セグメントは前部をA、右側部をB、後部をC、左側部をDとし、制御用ブローも各々A、B、C、Dとする。制御パターンを以下に示す。

制御則	制御用ブロー
$\theta_s=0, \phi_s=0$	A:OFF, B:OFF, C:OFF, D:OFF
$\theta_s=0, \phi_s>0$	A:ON, B:OFF, C:OFF, D:OFF
$\theta_s<0, \phi_s=0$	A:OFF, B:ON, C:OFF, D:OFF
$\theta_s=0, \phi_s<0$	A:OFF, B:OFF, C:ON, D:OFF
$\theta_s>0, \phi_s=0$	A:OFF, B:OFF, C:OFF, D:ON
$\theta_s<0, \phi_s>0$	A:ON, B:ON, C:OFF, D:OFF
$\theta_s<0, \phi_s<0$	A:OFF, B:ON, C:ON, D:OFF
$\theta_s>0, \phi_s<0$	A:OFF, B:OFF, C:ON, D:ON
$\theta_s>0, \phi_s>0$	A:ON, B:OFF, C:OFF, D:ON

スカートの浮上は、90kg重を目標としていたが実際には32kg重までしか浮上しなかった。考えられる原因としてエアクッションの形成がある。浮上用遠心ファンの静圧は4kPaあればよいとされていたため、4kPaのものを使用した。しかし、スカート面積を小さくしたこと、スカート素材の特性から形状維持が難しいことによりスカート内部の流量を一定とすることが困難であったと考えられる。さらに、スカート部の凹凸、スカートパーツの接合部や縫い目などからのわずかな空気漏れによりエアクッションがうまく形成できていないことも考えられる。

また、静圧が高くなると、第3章で述べたようなデメリットが発生し浮上しない。このため、90kg重を浮上させるためにはスカート底面の凹凸をなくし、浮上用遠心ファンとして静圧が4kPa以上のものの使用を検討する必要もあると考える。

4・2 座面の姿勢制御実験

図6に斜度に対する座面の姿勢制御システムの構成を示す。ホバークラフト機構で走行しているときに斜面にさしかかった場合、4本の空気圧シリンダのストロークを調節することで座面を水平に保つ姿勢制御を行う。ホバークラフト機構で走行する場合、車輪と路面の最長距離は100mmであるため、最大23度の斜度まで対応することができる。

制御を開始する角度は後傾のときは10度、前傾と左右の傾きのときは5度とする。これらの角度は実際に搭乗者が乗った状態で車いすを強制的に傾け、適切な値を試行錯誤的に求めたものである。また、後傾の場合は後から介助者に支えられるため比較的安心感があるが、15度以上傾くと介助者の負担が大きくなる。前傾は搭乗者が転落の恐れがあるので10度以上になると極度に危険を感じる。これらの結果を基に安全を考慮して設定している。左右の傾きの場合、スカートの全幅は全長に対して短いため、重心移動による転倒の危険が高いため5度に設定している。

制御の流れは以下のとおりである。車いすの肘掛け（座面と平行）に取り付けられた二軸加速度センサでピッチ角とロール角を検出し、それぞれの出力値をマイクロコンピュータへ入力する。マイクロコンピュータは検出したデータを基に各空気圧シリンダへ取り付けられている12個の制御弁に独立にON/OFF信号を送信し、4本の空気圧シリンダのストロークを調節する。

図7に試作機の3次元モデルを示す。進行方向をX軸、進行方向に対して左右方向をY軸、鉛直方向をZ軸とし、ロール角を θ_w 、ピッチ角を ϕ_w とする。空気圧シリンダは左前を①、左後を②、右前を③、右後を④とする。空気圧シリンダ1本当たり3個の制御弁に対して、図4に従いA、B、Cとし、制御パターンをつぎに示す。

制御則	制御弁のON/OFFの状態	
$\theta_w = 0, \phi_w = 0$	①A:OFF, B:OFF, C:OFF	②A:OFF, B:OFF, C:OFF
	③A:OFF, B:OFF, C:OFF	④A:OFF, B:OFF, C:OFF
$\theta_w = 0, \phi_w > -5$	①A:ON, B:OFF, C:OFF	②A:OFF, B:ON, C:ON
	③A:ON, B:OFF, C:OFF	④A:OFF, B:ON, C:ON
$\theta_w = 0, \phi_w < 10$	①A:OFF, B:ON, C:ON	②A:ON, B:OFF, C:OFF
	③A:OFF, B:ON, C:ON	④A:ON, B:OFF, C:OFF
$\theta_w > 5, \phi_w = 0$	①A:OFF, B:ON, C:ON	②A:OFF, B:ON, C:ON
	③A:ON, B:OFF, C:OFF	④A:ON, B:OFF, C:OFF
$\theta_w < -5, \phi_w = 0$	②A:ON, B:OFF, C:OFF	②A:ON, B:OFF, C:OFF
	③A:OFF, B:ON, C:ON	④A:OFF, B:ON, C:ON

車いすの肘掛けに制御システムを取り付け、座面の姿勢制御実験を行う。実験方法は空気圧シリンダを伸ばし、荷重約60kgを搭載した車いすを水平にした状態から前方、後方、右側、左側に傾けたときの車いすの肘掛けとスカートの傾斜角を測定する。実験結果を図8, 9に示す。図8の(a)に前傾させた場合、(b)に後傾させた場合の肘掛けとスカートのピッチ角の変化を示し、図9の(c)に右に傾けたとき、(d)に左に傾けたときの肘掛けとロール角の変化を示す。

縦軸が角度、横軸が時間を表し、青い実線が肘掛け、ピンクの実線がスカートを表す。どちらの場合も制御開始角度に達してから約5秒後に制御を開始し、オーバーシュートもなく目標角0度に収束していることがわかる。

しかし、設定した角度(前傾,左傾,右傾は5度,後傾は10度)以上になると制御するというプログラムを作成していたので座面が水平付近(0度付近)になるとエアシリンダの伸縮により車いす座面が前→後→前→後というように微妙な振動が残ることになる。しかし、傾斜センサを車いすに固定せず、傾斜ステージに固定して制御を行うと目標どおりに座面の姿勢制御を実現することができた。

これらの結果より座面の姿勢制御は何秒間か傾いた状態が続くと姿勢を回復するというプログラムに変更することで座面の微小な振動が抑制され、設定した角度内で座面を保つことができると考える。

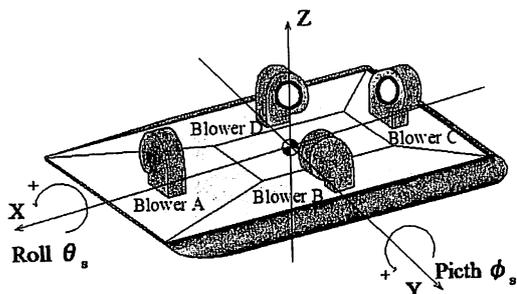


図5 スカートの3次元モデル

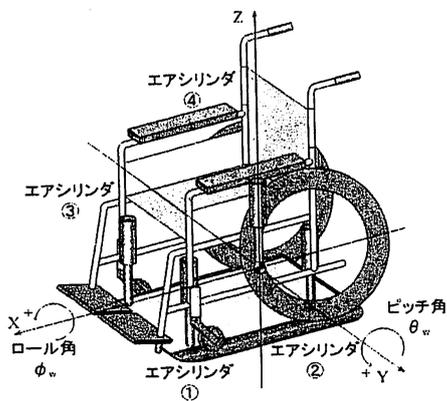


図7 試作機の3次元モデル

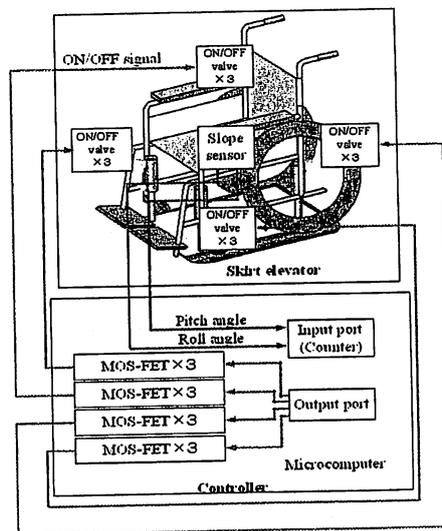


図6 座面の姿勢制御システムの構成

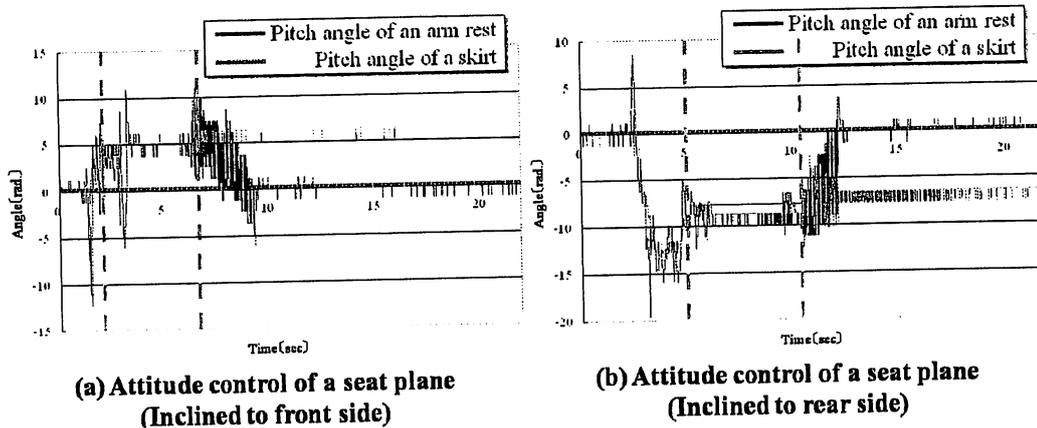


図8 肘掛けとスカートにおけるピッチ角の変位

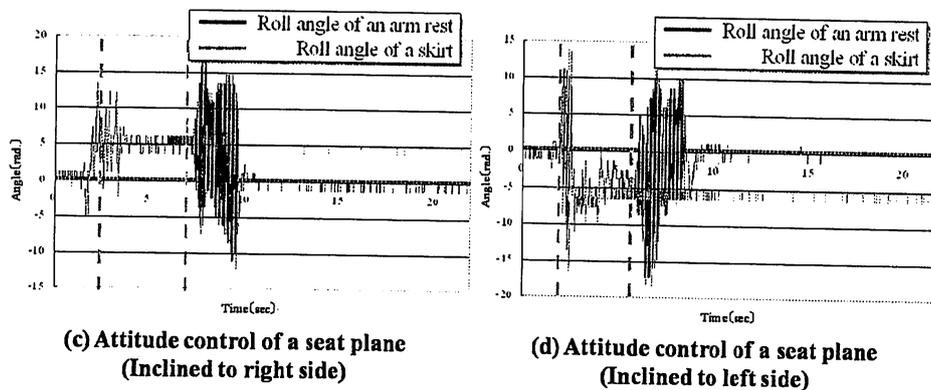


図9 肘掛とスカートにおけるロール角の変位

5. 結論

本研究は車いす使用者のQOL (Quality Of Life: 生活の質) の向上を目的として、従来の車いすでは実現できなかった不整地での走行を可能にする車いすの開発を目指した。不整地での走行に適した機構としてホバークラフト機構に着目し、「必要ときに車輪駆動とホバークラフト機構の切換えを行える車いす」をコンセプトとしてホバークラフト機構付き車いすを開発し、スカートの浮上実験と座面の姿勢制御実験を行った。本研究の成果は以下のようにまとめられる。

1. ホバークラフト機構部については、本体素材をFRP(強化繊維プラスチック)で製作し、強度・耐久性の増加および軽量化を図った。また、スカートは前後左右4つのパーツで構成し、セグメントごとに袋状に製作した。これらを接続することで各セグメントの気密性が高められ、スカートの形状維持が実現され、底面を水平に保つことを可能とした。各パーツに取り付ける制御用ブローは、流入口における空気抵抗を低減させ、エアクッションを形成させるために、ファンとの接続に使用するダクトホースを水平になるように設計した。このホバークラフト機構部で使用されるファン、ブローの供給電源にDCバッテリーを用いることで屋外での走行を可能とした。

2. 車輪とホバークラフト機構を切換える方法として、4本エアシリンダと12個の小型ON/OFF弁を用いた昇降機構を提案し、設計および製作した。さらに、斜度に対して座面を水平に保つ方法として、マイクロコンピュータと加速度センサを用いて空気圧シリンダの調節を行うシステムを提案し、コントローラの設計および製作とプログラムの作成を行った。

3. スカートの浮上実験を行い、320Nまで浮上することを確認した。これは、目標負荷重量900Nの36%である。また、芝生、砂地、アスファルトで走行実験を行ったが、路面との摩擦により滑らかに動かすことはできなかった。そこで、摩擦の問題対策としてスカートの底面に表面の滑らかな素材を貼り、スカートの形状維持および芝生との接地面積の増加を図った結果、芝生での走行において改善がみられた。座面の姿勢制御に関しては、前傾、後傾、右傾、左傾とも傾斜センサからの出力に基づいて座面を水平状態へと回復できることを確認した。

今後はホバークラフト機構の走行性能に関する評価を行う必要がある。実際に不整地での走行を行い、走行抵抗による介助者への負担や搭乗者の乗り心地を調べる必要がある。自動車の乗り心地を評価する方法などを参考に数値目標を設定し評価する客観的方法と、実際に走行を行ったときの介助者と搭乗者の感覚や官能を段階的に評価する主観的方法の2通りを行うことで優れた評価ができると考えている。

謝辞

本研究の遂行にあたり多大なご協力をいただきました清照幸様、長谷川貴士様をはじめとするカーツ株式会社の皆様に心より謝意を表す。

また、本研究の一部は、文部科学省私立大学学術研究高度化推進事業(社会連携研究推進事業)「地域社会とのコラボレーションによるQOL向上の一体的アプローチ」の助成により実施した。

参考文献

- 1) 三野正洋: ホバークラフト・トータルガイド, (株) パワー社, (1997)
- 2) 坂東美智子, 米田郁夫, 田中大, 西岡基夫, 杠典秀, 山崎敏夫, 坊岡正行: 高齢社会対応型住宅のあり方に関する研究(その1), ASSISTECH Report (1999)

Development of a wheelchair with a hovercraft mechanism

Sayuri TANAKA, Kayoko HAYASHI, Hisashi MATSUSHITA*

Shujiro DOHTA* and Tetsuya AKAGI*

*Graduate School of Engineering,
Department of Intelligent Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
Okayama University of Science.
1-1 Ridai-cho, Okayama, 700-0005, Japan*

(Received September 30, 2008; accepted November 7, 2008)

The purpose of this study is to develop a new type wheelchair with a hovercraft mechanism. On a normal road, the wheelchair users are able to travel using a wheelchair with wheels by themselves. On the other hand, assistant person helps to use a wheelchair with hovercraft mechanism in unlevelled place such as the lawn, the gravel path and the stone pavement. Therefore, the hovercraft mechanism and skirt elevator mechanism were designed and produced in order to realize two kinds of travels. Moreover, the attitude control system of skirt and the seat of a wheelchair were constructed.

Keywords: wheelchair; hovercraft mechanism; skirt elevator mechanism; attitude control system.