

車輪付き回転アームを用いた階段昇降可能な電動車椅子

玉川大学工学部 柳原 直人 菅沢 深 鈴木 夏夫
(株)ミツバ 池田 隆之

1. はじめに

わが国においては、国民の高齢化や交通事故の増加により車椅子の生活を余儀なくされている人々が年々増加している。これらの方々が単独で屋外に出て活動しようとする場合に大きな問題となるのが階段昇降である。公共施設においては、エレベータおよび、階段昇降機の設置が進められているが、まだまだ十分ではなく、階段が車椅子利用者の社会参加の妨げにもなっている。

階段昇降できる車椅子の機構については、クローラ、脚、脚と車輪、などによるいくつかの方式が報告されている。クローラによって平地走行と階段昇降を行う方式は、駆動機構やその制御が簡単であるため、すでに実用化されている。しかし、クローラは走行抵抗が大きいため高速走行が困難であり、また階段の角を傷めるなど、使用できる場所や状況に制約がある。

本研究で用いられている車輪付き回転アームアーム形とは、図1に示すように、先端に自転する車輪のついた回転可能なアームを用い、平地では車輪の回転によって走行し、段差によって車輪の回転が妨げられると自律的にアームの回転に切り替えられて段差を乗り越える

方式である。この車輪付き回転アームを利用した移動ロボットは、他の方式に比べ、平地での高速移動が可能で、モータ制御も容易であるという利点がある。車輪付き回転アームの駆動方式としては、図1とは異なり遊星歯車などを用いる方式が報告されているが、それぞれ機構が複雑、重量が大きいなど、実用化には検討課題が残っている。

本研究は、車輪付き回転アームによる階段昇降可能な車椅子の実用化を目的とし、機構の軽量化と簡略化を可能にする歯付きベルトによる駆動方式と、この方式を用いて製作した電動車椅子の性能について示す。

2. 歯付きベルトによる駆動機構

2.1 駆動原理

歯付きベルトを利用した車輪とアームの駆動状態を図1に示す。4本のアームの先端にはタイヤを回転させるプーリが取り付けられている。図1(a)は平地走行時であり、モータによって駆動プーリが回転するとベルトが回り、各プーリを介して4個の車輪が回転し、接地しているタイヤとの回転によって車椅子は走行する。車輪が階段などの段差に接触すると車輪の回転が停止する。こ

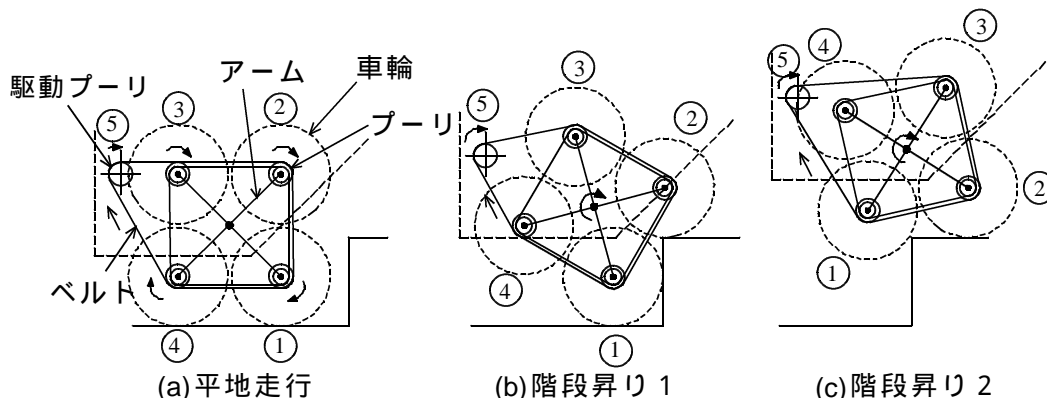


図1 歯付きベルトを利用した車輪付き回転アームの動作

の状態では駆動プーリがさらに回転するとベルトに大きな張力が作用し、図1 (b)のように駆動プーリとプーリの間のベルト長さが徐々に短くなり、プーリが押し上げられることによりタイヤの車軸を中心にアームが回転し、アームの中心軸が上昇することによって車椅子が上方に押し上げられる。アームの回転が進んでタイヤが上の段に接触すると、車重はタイヤによって支えられるようになり、図1 (c)のようにタイヤが上の段に持ち上がるまでアームはタイヤの車軸を中心に回転しながら徐々に前進する。このような行程を繰り返しながら階段を乗り越えて行く。

階段降下時には、上昇時とは逆の動作によって降下する。図1 (c)において、タイヤが先頭になり、このタイヤが段差から落ち始めるとアームが回転する。この回転は重力の影響によって加速されるので、モータに逆方向の電圧を加えてアームの回転速度を調整しながら降下する。

これらの行程において、図1にも示されるように駆動プーリに最も近づいた車輪のプーリはいったん歯付きベルトから離れた後に、再びベルトと噛み合わなくてはならない。そのため、各車輪のプーリには細いタイミングベルトを掛けて同期させている。

この駆動機構は、タイヤを回転させる時にはモータの駆動プーリとタイヤのプーリの直径の比によって速度比が決まり、アーム回転時には駆動プーリでアーム先端の4個のプーリのピッチ円を結んだ4角形の大型プーリを

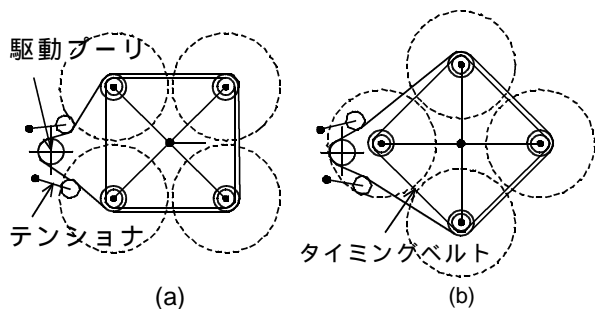


図2 テンショナの動作図

回転させるのと同様になり、簡単な機構でアームに大きな回転トルクを与えることができるのが特徴となっている。

2.2 適正ベルト長さの算出

この機構では、アームの角度によって接触するプーリの位置や数が変化するため、アームの回転時にベルトの必要長さが変化する。また、動力を確実に伝えるためには、図2のようにベルトに常に適当な張力を与えるテンショナを駆動プーリの近くに取り付ける必要がある。この場合、ベルトに張力を加えた時にはベルトの力によって図2 (a)のように片方のテンショナが開き、もう片方が閉まった状態でベルトが緩まないようにしなくてはならない。この状態でアームが回転する場合に計算されるベルト長さよりベルトが長いときにはベルトに緩みが生じる。ベルトが短いときにはテンショナは図2 (b)のように両方のテンショナが開いた状態なり、この状態で計算されるベルト長さより短いときはベルトに無理な力が作用することになる。したがって、使用するベルトは図2 (a)の条件で計算される長さより短く、図2 (b)の条件で計算される長さより長くなくてはならない。

図3に示すようにアーム回転時のベルト長さは、ベルトがプーリに接触している弧の長さ、直線部の長さの総和によって求めることができる。プーリ、テンショナの位置と大

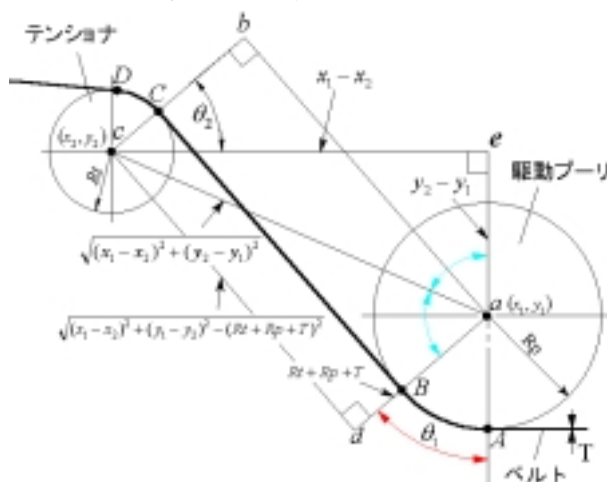


図3 ベルト長さの計算モデル

きを $(x_1, y_1), (x_2, y_2), R_p, R_t$ およびベルトの厚さを T と設定した場合のプーリとテンシヨナの間の直線部の長さ BC と、弧の長さ AB の計算式は次式のようになる。

$$BC = cd = \sqrt{ac^2 - ad^2}$$

$$= \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 - (R_t + R_p + T)^2}$$

$$AB = r \cdot Rp = (-\angle cae - \angle cad) \cdot Rp$$

$$= \left(-\tan^{-1} \frac{ce}{ae} - \tan^{-1} \frac{cd}{ad} \right) \cdot Rp$$

$$= \left(-\tan^{-1} \frac{x_1 - x_2}{y_2 - y_1} - \tan^{-1} \frac{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 - (R_t + R_p + T)^2}}{R_t + R_p + T} \right) \cdot Rp$$

試作した駆動機構においてアーム回転時に必要となるベルト長さの計算結果を図4に示す。図4の上側の曲線が(a)の条件の計算結果であり、使用するベルトの長さは、この曲線のどの値よりも小さくなくては弛んでしまう。図4の下側の曲線が(b)の条件の計算結果であり、ベルトの最小必要長さを示している。この曲線のどの値よりもベルトは長くなくてはならない。したがって、適用可能なベルト長さは図4の斜線の部分となる。実際にはベルト長さは規格で制限されるため、ベルト長さに合わせてアーム中心と動力プーリ、テンシヨナの相対位置を調整する。本研究の試作機においては、ベルトの規格より、長さ 1244.6mm の歯付きベルトを使用した。

3.1 車椅子の構造と使用法

車椅子は図5に示すように、片側4個づつ

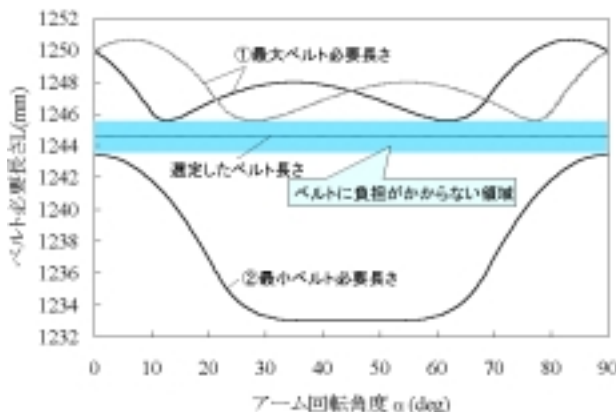


図4 ベルト長さの計算結果

8個の車輪を持つ駆動輪および従動輪、前後に移動可能な座席、先端に従動輪を持つ姿勢制御アーム、本体、前方左右2個のキャスターによって構成されている。

平地走行時は図5(a)の様に、駆動輪とキャスターで本体を支え、従動輪は姿勢制御アームを持ち上げることで座席上部後方へ収納して移動する。一方、階段昇降時は図5(b)の様に、姿勢制御アームを倒して従動輪を接地させ、座席を後方に移動し、姿勢制御アームによって従動輪を少し持ち上げることで座席を後方に一定角度だけ倒して支持し、重心の位置を駆動輪と従動輪の間に移動させる。階段上昇時は駆動輪を後方に駆動し従動輪を前にして後向きに上がっていく。下降時はやはり駆動輪を駆動するが、従動輪を後にして前向きに降りる。階段昇降時には段差によって駆動輪と従動輪が昇降するタイミングが異なるため座席が前後に傾いて不安定になるため、座席の角度は水平面に対して常に一

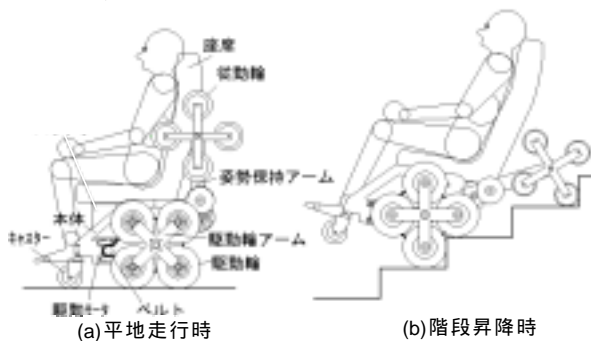


図5 車椅子の構造

定角度を保つように姿勢制御アームによって従動輪の高さが調整される。

3.2 試作した車椅子

試作した車椅子の写真を図6に示す。また、主要寸法および、諸元を表1に示す。

車椅子の制御はマイクロコントローラを用い、左右駆動モータの速度制御および姿勢保持アームの位置制御を行っている。



図6 試作した車椅子

表1 主要寸法および諸元

車幅	724mm
平地走行時全長	952mm
平地走行時高さ	1200mm
駆動輪直径	225mm
駆動輪アーム長さ	165mm
従動輪直径	150mm
従動輪アーム直径	160mm
姿勢制御アーム長さ	422mm
駆動用ギア付きモータ	125W
バッテリー	12V35Ah

4 走行試験結果

平地走行時 この車椅子は、従来の車椅子と同様に左右の駆動輪の回転数の差により向きを変える。しかし、平地走行時には、前後2個の駆動輪が床に接しているため旋回時にはタイヤが横方向に滑らなくてはならなかったため、小さな半径での回転が困難であった。また、図7に示すように直進走行では、前方向に急激な加速をすると座席が後方へ傾く問題が発生した。これらの問題の解決策としては図8に示すように前方の車輪を少し浮かした状態で駆動輪アームを固定し、後方の駆動輪



図7 平地走行時の問題

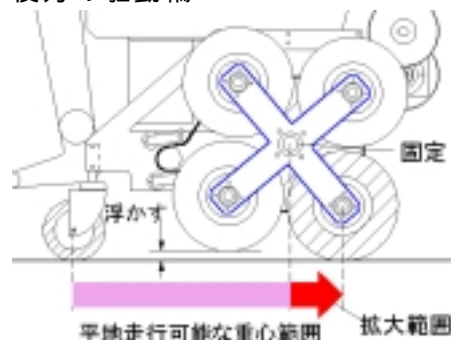


図8 駆動アームの固定

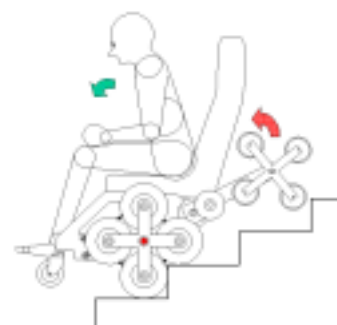


図9 階段昇降時の問題

のみを床に接触させれば従来の電動車椅子と同様となる。また、駆動輪アームが固定されたことにより、車椅子の荷重支持点がアームの中心点から後方車輪の接地点に移動するため、平地走行可能な重心位置の範囲が図8のように拡大し、加速時の車椅子の後方への傾きは防止させる。

階段昇降時 踏み面高さ370mm、けあげ高さ180mm、段の角度30°の階段で走行試験を行った結果、この車椅子は安定した昇降が可能であることが確かめられた。上昇時には一段あたり2秒程度で安定した走行が可能である。降下時には一段あたり5秒程度かけ、アームをゆっくりと回転させながら一段ずつ降下することによって安定した走行が可能であった。しかし、階段昇降時には図9に示すように乗車する人間が体を前に起こすと、重心が前方に移動するために従動輪が浮き上がり、不安定になる場合があった。したがって、階段昇降時には利用者の胸元を安全ベルトで座席に固定し重心位置に移動を防止する必要がある。

5. まとめ

本研究において、車輪付き回転アームを用いた階段昇降可能な車椅子の実用化に向けて次のような成果と結論を得た。

歯付きベルトによる駆動方式が、装置の軽量化および簡略化に有効であることを示した。

階段昇降実験の結果、安定した階段昇降が可能であることが確かめられた。