

厚生科学研究費補助金

長寿科学総合研究事業

移動・移乗支援システム

平成13年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 土肥 健純

東京大学大学院情報理工学系研究科 教授

平成14（2002）年 4月

目次

I. 総括研究報告

移動・移乗支援システム	1
土肥健純（東京大学大学院情報理工学系研究科 教授）	

II. 分担研究報告

1. 移動介助用ロボットアームによる日常生活用品搬送システムの開発	5
土肥健純（東京大学大学院情報理工学系研究科 教授）	

2. 電動車椅子に取付ける段差昇降機構に関する研究	8
－自動制御による段差昇降機構の構築－	
鷹野昭士（東京都リハビリテーション病院 院長）	

3. 操作能力を補助する自立移動支援装置の開発	17
数藤康雄（国立リハセンタ研究所 福祉機器開発部長）	

4. 携帯用移乗用具の開発	23
田中 理（横浜市総合リハビリテーションセンター 企画研究室長）	

III. 研究成果の刊行に関する一覧表	27
---------------------	----

# 厚生科学研究費補助金長寿科学総合研究事業

## 移動・移乗システム

### 総括研究報告書

研究統括 土肥健純

東京大学大学院情報理工学系研究科 教授

#### 要 旨

高齢者の日常生活において「移動」は他の日常生活動作の基礎ともなる重要なものであり、そのため彼らに対する屋内や屋外の移動、および排泄や入浴における移乗動作の工学的支援は極めて重要な課題である。本研究では、移動・移乗機器の高機能化・多機能化、使用性の向上を目的に(1)移動介助ロボットアームの高機能化、および本アームを基礎にした日常生活用品搬送システム(2)通常の電動車椅子への装着が可能なモジュール型階段昇降機構の開発(3)操作能力を補助する自立支援装置の開発(4)携帯型移乗介助用具の開発、の4テーマを取り上げ、これらについて高齢者にとって使いやすく、かつ自立を促進するための支援機器の研究開発を行った。

土肥健純(東京大学大学院情報理工学系研究科、教授)

鷹野昭士(東京都リハ病院・リハビリテーション科)

数藤康雄(国立身体障害者リハセンター・リハ工学)

田中 理(横浜市総合リハセンター企画室・リハ工学)

#### A. 研究目的

本研究は、高齢者の日常生活における基本動作である「移動」の工学的支援を目的とし、4つのテーマを設けて移動・移乗機器の高機能化・多機能化・使用性の向上に取り組む。

(1)土肥らは昨年度までに、日常生活搬送ロボットアームの一次試作および、テレビ電話による遠隔操作インタフェースの検討を行った。また、介護者による遠隔モニタ媒体として、通信機能を持ち介助者、高齢者双方が使用可能な、携帯端末を用いたインタフェースの開発を行った。今年度はこれまでの研究成果を受けて、日常生活搬送ロボットアームの第二次試作とテレビ電話と遠

隔操作を併用した遠隔通信ソフトウェアの開発を行う。(2)電動車椅子利用者が、180mm程度の段差があるために屋外移動に制約があるという訴えも多く聞かれる。そこで、鷹野らは電動車椅子に装着可能な新型段差昇降機構を製作し、180mm以下の段差であれば簡便なスイッチ操作などで電動車椅子全体が自動制御されて、電動車椅子の座面が水平を保ち、安全に乗車者が安心感を持って段差昇降ができるか検討する。(3)数藤らは、重度の障害を持った人でも電動車いすを活用し、自立移動を獲得できるような方策の構築を目指し、衝突を回避するシステムに着目し、その開発を進める。(4)田中らは在宅で

手軽に使用でき、外出や旅行のときにも車等に簡単に積み込むことのできる携帯型移乗介助用具を開発することにより、高齢障害者の社会参加を促進し、生活の質の向上を図る。

## B. 研究方法

各テーマの今年度の研究方法は以下の通りであった。

(1)天井走行型ロボットアーム 2 次試作機を開発し、上下動駆動機構の再設計を行って操作性の向上と、軽量化に取り組んだ。具体的には、1 次試作機で用いたボールねじ式の上下駆動機構を却下し、4 本ベルト式動滑車機構を採用した。生活用品搬送機能については 2 節リング方式のアームを新たに開発し、ワイヤ駆動で把持駆動部を操作する方法を採用した。遠隔通信ソフトウェアは、音声通信、画像通信、ロボット指令を行うための各モジュールと、ユーザが直接操作する情報を管理しユーザインターフェースを提供するインターフェースマネージャとで構成した。

(2)新型段差昇降機構は、電動車椅子の昇降を自動制御するために、各種センサーを使用した。超音波センサーは電動車椅子段差昇降時の前方の段を感知、光電センサーは段差昇降時の後輪部分にきた段を感知、傾斜角センサーは電動車椅子の座面が水平に保ちかつ段の高さに 50mm 程度高くした状態で段差昇降することを検出する。段差昇降は、180mm 以下の段差であれば一度のスイッチ操作で、全自動制御されて電動車椅子全体が段差昇降できるようにする。(3)超音波センサの製作、回避アルゴリズムの単純化、ソフトウェアの開発を行い、電動車いすに組み込み、その性能評価を行った。性能評価として、壁面に対して 30°、45°、60° の角度で

電動車いすを接近させ、その時の衝突回避動作の確認および最接近距離の計測を行った。(4) 昨年度に製作した 2 次試作機と市販の「こまわりさん」を用いて、A. 外傷性頸髄損傷・四肢麻痺、164cm、55kg、36 歳、女性、B. 前脊髄動脈症候群・両下肢不全麻痺、157m、48kg、29 歳、女性の 2 名を被験者(被介護者)として介護者の操作力(踏力)の比較を行った。また、被験者の意見を基に膝パッドの試用評価を行った。さらに 2 次試作機を元に、本体強度の改善を行い、市販モデルのプロトタイプを製作した。

## C. 研究結果と考察

(1)開発した移動支援装置が 3 自由度を持つ、歩行に関連する一連の動作群:起立、歩行、回転、着席の支援ができた。遠隔操作生活用品搬送ロボットアームは移動支援装置との共通部分を利用し、ハンドを取り付けにより、生活用品搬送の機能を果たせた。

遠隔通信ソフトウェアは性能評価のため、LAN 内部(Ethernet 100Base-TX)と CATV 回線(上り 128kbps,下り 2Mbps)上で稼働させ画像更新速度、通信容量、ロボット指令の遅延時間の測定をおこなうとともにタスクの実行をおこなった。一般的なブロードバンド接続環境(毎秒 2MB)においても、ロボット指令遅延時間が 136 ミリ秒程度であった。

(2)電動車椅子が段を上がる、下がる場合共に、マニュアルで電動車椅子が段に近づくと昇降可ランプが点灯し、次に昇降開始スイッチを押すことで自動制御されて前輪部のアームと昇降装置で電動車椅子を段の高さに 50mm 程度上げた状態で浮かせて前進する。続いて電動車椅子が段上に上がった状態、または段下に下がっ

た状態になったらアームと昇降装置が自動的に収納されて段差昇降が完了する。段差昇降は、一度のスイッチ操作および電動車椅子の座面を水平に保った状態で行われるために、乗車者は安心感があり、時間的にもおよそ 40 秒間という短時間であり、実用的であると考えられた。さらに副次的な効果としては、電動車椅子を 180mm 垂直に浮かせるために、高いところにも手が届いたり、視認することができることが確認できた。今後電動車椅子利用者の使用からさらに改良して実用性を目指す予定である。

(3) 基本的に回避行動を1つのセンサで行うよう、アルゴリズムの単純化を図った。そのために、前側方センサの衝突予測時間のみをパラメータとして回避行動を決定することとした。但し、側方センサを一つ残し、距離をパラメータとした停止機能は残した。システムは他に、制御ボックス、シーケンサ、タッチパネルより構成した。衝突回避装の性能評価実験の結果、衝突回避パラメータが小さくなるにつれて、接近距離は小さくなり、2 秒の時には接触してしまった。これより、設定は 3 秒程度することが妥当であるという結果が得られた。また、30° から 60° の接近角度ではほぼ同じ最接近距離となった。本研究で開発した衝突回避システムは、障害物までの距離ではなく、障害物に衝突するまでの衝突時間をパラメータとしていることに特徴がある。これにより、以下の点が実現されたと考えている。障害物を回避しつつ、ぎりぎりまで接近することが可能である。障害物が動いている場合でも衝突を予測して回避することが可能である。高精度を要求しないため、安価なセンサを用いて実現可能である。単純なアルゴリズムによる衝突回避が可能である。

(4)操作力の比較の結果、被験者 A の場合、2 次試作機は市販品の約 50~60%、被験者 B の場合、約 40%であった。被験者 B に対して被験者 A の市販品に対する試作機の操作力が大きい原因としては、試作機は揚程が小さいため、膝関節の屈曲が大きくなり、下肢完全麻痺の被験者 A の場合、下肢で体重を支えることがほとんど不可能であったのに対し、被験者 B は下肢不全麻痺のため、揚程が低くても多少は下肢で荷重を受けることが可能であったためと思われる。また、被験者 A のような下肢完全麻痺者の場合、下肢で体重を支えることができないために腹部への圧迫が大きくなる。そのため、膝関節を固定し、下肢で体重を受けることができるように、膝パッド(オプション)を検討した。その結果、腹部の圧迫感を軽減できることが確認された。本体強度の改善については、これまで、サドルと本体を接続する部分にアルミ合金のパイプを使用した場合に強度的な問題があったが、これをトラス構造とすることで強度を確保できるように構成した。

## D. 結論

(1)今年度は軽量化、使いやすさの向上、外観の親和感を持つ天井走行型歩行支援ロボットアーム及び、シンプルで直観感が優れる生活用品搬送用ハンドを試作した。またアプリケーション間の通信方法にそれぞれ特性に合った手法を用いることでそれぞれが干渉することなく複数の機器を統合できることを確認した。さらに通信容量を 1Mbps 以下に抑えることができ、今後発展すると思われるブロードバンド上でこのシステムを稼働させることが可能になると思われる。

(2) 新型段差昇降装置を製作した。その結果、180mm 以下の段差ならば一度のスイッチ操作で、電動車椅子の座面を水平に保った状態で、乗車者が安心感を持ったまま、段差昇降が短時間で可能であった。

(3) アルゴリズムの改良の結果、2 つの安価な超音波センサを用いて、単純なアルゴリズムで回避行動を行うことが可能となった。本システムを電動車いすに組み込み、その性能評価を行った結果、最適な衝突回避パラメータ設定値を見出すことができた。また、その回避特性は、壁へ

の接近角度によらず一定であることが明らかになり、その有効性が示された。

(4) 2 次試作機において、これまでの試用から感覚的には市販品よりも操作力(踏力)が大幅に軽減されたことが予想されていたが、実際に 2 名の被験者で操作力の比較を行った結果、2 次試作機は市販品の約 40~60%の操作力となり、操作力の軽減が裏付けられた。また、本体部分に関しては強度を向上させ、ほぼ完成形に近づいたと思われる。今後は、さらにフィールドテストを行いながら改良を進め、市販化する予定である。

# 厚生科学研究費補助金長寿科学総合研究事業

## 移動・移乗システム

### 移動介助用ロボットアームによる日常生活用品搬送システムの開発

#### 分担研究報告書

土肥健純

東京大学大学院情報理工学系研究科 教授

#### 要 旨

歩行支援と生活用品搬送機能を併用できる天井走行型ロボットアームを提案し、研究開発を行ってきた。今年度は、歩行支援装置の軽量化、使いやすさの向上、動作安定化を目指して機構と構造の改良及び生活用品搬送用ハンドの二次試作と、また遠隔操作のソフトウェアの開発を行った。具体的には、歩行支援装置の上下動駆動機構に、ボールねじ式ではなく、4本ベルト式動滑車機構を採用して機器の軽量化を目指した。また、生活用品搬送用ハンドについては2節リング方式のアームを新たに開発し、ワイヤ駆動で把持駆動部を操作する方法を採用した。遠隔操作ソフトウェアは音声通信、画像通信、ロボット指令を行うための各モジュールと、ユーザが直接操作する情報を管理しユーザインターフェースを提供するインターフェースマネージャを開発した。

#### A. 研究目的

移動は日常生活の中でも重要な活動で、これが在宅で自立できることで、高齢者のQOL(生活の質)は大きく向上する。この移動を支援するために現状で用いられている機器・用具としては、杖・歩行器・車椅子・リフトなどがあるが、一般の日本家屋では段差が多く、通路も入り組んでいるために、機器の使用に不適な場合が多い。

そのため、我々は高齢者が在宅で有効に活用できる自立支援機器として、天井走行レールによる移動介助用ロボットアームの開発を行ってきた。組み立て式天井走行レールは、既存の家屋の大幅な改造をすることなく導入できるため、コストを抑えることができる。介助用ロボットアームは高齢者を支持する介助アームを天井走行レール部より下げることにより、部屋間の移動をパワー

シスト的に支援し、使用者が進もうとする方向に力を加えることによって走行制御を行う機器である。これにより、生活する際に必要不可欠な家屋エリア間の移動を容易に行うことが可能となり、排泄性症候群の予防にも役立つことが期待される。

本研究では、これまでに開発した天井走行型以上介助アームの使用対象者の拡充、すなわち移動介助だけでなく、寝たきりの人の生活を支援する機器の開発を目的として、日常生活品搬送システム開発を行う。これは、介助用ロボットアームの支持アーム部を、把持機構を有するロボットアームに交換することにより、非介護者が移動することなく食事や嗜好品などの日常生活用品を手元まで搬送することができるシステムである。

昨年度までは、日常生活搬送ロボットアームの一次試作および、テレビ電話による遠隔操作インターフェースの検討を行った。また、介護者による

遠隔モニタ媒体として、通信機能を持ち介助者、高齢者双方が使用可能な、携帯端末を用いたインタフェースの開発を行った。

今年度はこれまでの研究成果を受けて、日常生活搬送ロボットアームの第二次試作とテレビ電話と遠隔操作を併用した遠隔通信ソフトウェアの開発を行った。

## B. 研究方法

### 天井走行型ロボットアーム

走行型ロボットアームに要求される基本的機能は、装置全体がレールに沿って走行し、装置最下部に取り付けられた使用者の支持部を上下、回転する事である。機械動作としては「U」字形のような開放型支持部の中心を回転軸として、この回転中心軸に対称的に上下動することが要求されている。研究初年度の一時試作品は、装置の軽量化とこれらの要求を全て満たすことができなかったため、今年度開発した2次試作機では、上下動駆動機構の再設計を行ってこの問題に取り組んだ。具体的には、1次試作機で用いたボールねじ式の上下駆動機構を却下し、4本ベルト式動滑車機構を採用した。

生活用品搬送機能については2節リング方式のアームを新たに開発し、ワイヤ駆動で把持駆動部を操作する方法を採用した。

### 遠隔通信ソフトウェア

遠隔通信ソフトウェアは音声通信、画像通信、ロボット指令を行うための各モジュールと、ユーザが直接操作する情報を管理しユーザインターフェースを提供するインターフェースマネージャとで構成した。

特に本研究ではアプリケーション間における通信方法に注目し、音声通信には H323 規格による通信手段をとり、画像通信にはソケット通信、ロボッ

ト制御には分散オブジェクトシステムである CORBA を用いて通信を行った。さらに通信容量を可能な限り抑えるために画像の圧縮方法に MPEG-4 コーデックを採用した。

## C. 評価実験

### 移動支援装置

開発した移動支援装置が3自由度を持つ、歩行に関連する一連の動作群:起立、歩行、回転、着席の支援ができた。

### 遠隔操作生活用品搬送ロボットアーム

移動支援装置との共通部分を利用し、ハンドを取り付けにより、生活用品搬送の機能を果たせた。

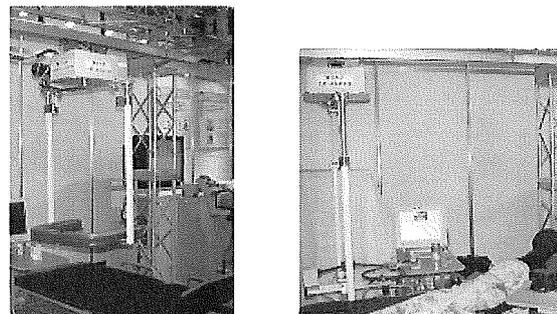


図1 開発した天井走行ロボットアーム。歩行支援装置としての活用(左図)とよび生活用品搬送機器としての活用(右図)。いずれもロボフェスタ神奈川展示会場にて撮影。

### 遠隔通信ソフトウェア

本システムの性能を評価するため LAN 内部 (Ethernet 100Base-TX) と CATV 回線(上り 128kbps, 下り 2Mbps) から稼働させ画像更新速度、通信容量、ロボット指令の遅延時間の測定をおこなうとともにタスクの実行をおこなった。表1に結果を示す。

表1:遠隔通信ソフトウェアパフォーマンス評価

通信環境 (kbps)	ロボット指令遅延時間 (ms)		画像更新速度 fps	
	平均	最大	平均	標準偏差

LAN	759	987	1.87	15.4	1.77	8.83
CATV	282	359	136	1716	206	3.41

#### D. 考察

天井走行型ロボットアームの2次試作においては、従来の要求機能を満たしながら、機器の軽量化に成功した。また、遠隔操作ソフトウェアに関しては、一般的なブロードバンド接続環境(毎秒 2MB)においても、ロボット指令遅延時間が 136 ミリ秒程度であった。遠隔ロボット分野においては 250 ミリ秒が操作をスムーズに行える最大遅延時間とも言われており、本研究の結果 136 ミリ秒は必要十分な操作性を保證できるといえる。

#### E. 結論

本研究では軽量化、使いやすさの向上、外観の親和感を持つ天井走行型歩行支援ロボットアーム及び、シンプルで直観感が優れる生活用品搬送用ハンドを試作した。

またアプリケーション間の通信方法にそれぞれ特性に合った手法を用いることでそれぞれが干渉することなく複数の機器を統合できることを確認した。さらに通信容量を 1Mbps 以下に抑えることができ、今後発展すると思われるブロードバンド上でこのシステムを稼働させることが可能になると思われる。

#### F. 研究発表

林丘、波多伸彦、季 林紅、佐久間一郎、土肥健純、天井走行型ロボットアームによる高齢者の自立移動支援及び遠隔支援システムの研究、2001 年度精密工学会秋季大会学術講演論文集

八木昭彦、林丘、大杉伸也、波多伸彦、土肥健純、季 林紅、天井走行型ロボットアーム及びテレビ電話を用いた遠隔介護システムの開発、2002 年度エムイー学会発表予定

八木昭彦、林 丘、横山恵一郎、波多伸彦、季 林紅、土肥健純、天井走行型ロボットアームによる高齢者の在宅自立生活における工学的支援に関する研究、2002 年度エムイー学会発表予定

# 厚生科学研究費補助金長寿科学総合研究事業

## 移動・移乗システム 電動車椅子に取付ける段差昇降機構に関する研究 — 自動制御による段差昇降機構の構築 —

### 分担研究報告書

鷹野昭士(東京都リハビリテーション病院院長)

#### 要旨

今年度は、180mmの段差を簡便なスイッチ操作をすることで電動車椅子に装着した新型段差昇降機構の自動制御系を介して電動車椅子全体が安全に段差を昇降することが可能かどうかを研究した。その結果、180mm以下の段差では、乗車者が簡便なスイッチ操作を行うことで、電動車椅子の座面が水平のまま、しかも段の高さに5cm程度上げた状態で、安全に段差昇降が可能であった。超音波センサー、傾斜角センサー、光電センサーなどを用いることで、電動車椅子の位置、座面の角度、段差昇降の状態などを感知して、自動的に制御されて電動車椅子が段差昇降できることを確認できた。今後、実用性を追及する予定である。

キーワード：電動車椅子、段差昇降機構、自動制御

#### A. 研究目的

電動車椅子は、四肢麻痺、進行性麻痺に罹患している障害者において、屋内・屋外移動用に使用されている<sup>1)</sup>。しかし、屋外移動では、100～180mmの段差を乗り越えることが出来ないため、行動範囲が制約されるという声も聞かれる。

JIS規格<sup>2)</sup>による電動車椅子の段差乗越えの高さは25mmであり、市販化モデルの電動車椅子で段差乗り越え高さを計測したところ、50～60mm以下の段差であれば昇降可能であった。しかし、実際の屋外で車道と歩道の段差は160～180mm、60mm以上の段差はあらゆる所に存在し、電動車椅子を用いる障害者の行動範囲に支障をきたしていることが裏付けられる。このよう

なことから、180mm程度の段差昇降が可能となれば、電動車椅子使用者の屋外移動での範囲拡大が図れると考えられた。

また、今日的な問題である高齢社会において、高齢・病弱である介護者が、障害者を乗せて標準型介護車椅子を押して屋外移動を行わなければならないことも多い。そのため、段差を登れないなど標準型介護車椅子の操作に難渋する介護者も見受けられる。高齢病弱な介護者が前述の問題などから、介護用の電動車椅子に変更して使用する際<sup>3)</sup>にも、段差昇降機構付き電動車椅子は有用であると考えられる。

これまで筆者らは、障害者が使用している市販化モデルの電動車椅子に対して180mm程度

の段差昇降が可能となるように段差昇降機構を開発してきた。これまで開発した段差昇降機構は、電動油圧ポンプの使用、なすび型の仮想タイヤを回転させるクランク機構の利用および電動モータを用いた3種類である。その3種類の内、最も実用性があると考えられたのは、電動モータを利用した段差昇降機構である。その理由としては、段差昇降機構が電動車椅子の座面を水平に保った状態で段差昇降が可能であり、段を降り際の衝撃も認められなかった。これは、電動車椅子に乗車した人が段差昇降を行った場合、恐怖心などが少ないことを意味している。しかも前輪を上げるアームが、フットプレートの後方に収まっており、操作性や安全性に優れていた。しかし、この電動モータを利用した段差昇降機構では、180mm以下の段差でも電動車椅子を180mm上げなければならないため効率が悪く、電動車椅子の座面を水平に保持するには、段差昇降機構のスイッチ操作を微妙に調整する必要があり難しいものであった。

昨年度は、電動モータを利用した新型段差昇降機能の内、電動車椅子の前輪が180mmの段差を自動制御によって昇降できるかを調査した。その結果、180mmの段差ならば電動車椅子の前輪は、段を上がることができ、さらに下がることを確認することができた。

そこで本研究事業では、昨年度までに検討した新型段差昇降機構の全体を製作し、電動車椅子の後輪を含めた電動車椅子全体が自動制御されて安全に段差昇降ができるかどうかを確認することである。

## B. 研究方法

今年度は、後輪部の自動制御による昇降装置を製作し、昨年度の前輪の昇降装置と組み合わせ

せて、電動車椅子全体が昇降可能かどうかを動作確認をすることである。新型段差昇降機構の条件としては、①既存の電動車椅子に装着可能、②段差昇降中は電動車椅子の座面を水平に維持、③180mmまでの段に対応した高さで段差昇降可能、④スイッチ操作は1～2動作程度で段差昇降機構が働き①～③の条件を保った状態で自動制御されて段差昇降が完結することとした。

なお、電動車椅子は、走行性・旋回性に優れている後輪直接駆動方式(ウイングチェア、EMC-210型、今仙技術研究所社製)を用いた。

1. 電動車椅子の段差昇降に使用したセンサーについて(図1、図2)

### ① 超音波距離センサーについて

段差昇降時に前輪部の段を検出するために、超音波距離センサー(PS1L-D1M、富士電機社製)を2個使用した。

取り付け位置は、前輪の前のフットレストのアームとバッテリーの下部である。

### ② 光電センサーについて

上る時に電動車椅子の後輪が段上に乗っている、または下る時に段の角より後輪が出ていることを検出するために、後輪軸の前と後輪の後ろに光電センサー(PZ-M31 キーエンス社製)2個を取りつけた。

### ③ 傾斜角センサーについて

アームと床のなす角度を検出するためアームの根元に傾斜角センサー(UV-1w、緑測器社製)を取りつけた。これは、電動車椅子が段上の床から50mm程度浮いたことを検出するためである。また、電動車椅子の座面が水平に制御するために同一傾斜角センサーを座面下部のフレームに取りつけた。

### ④ フォトマイクロセンサについて

前輪を昇降するためのアームが最大伸縮を検出するために、しゃ光式のフォトマイクロセンサ (EE-SX671、オムロン社製) を取り付けた。

## C. 結果

電動車椅子全体の段差昇降における動作確認

### ① 電動車椅子が段を上がる場合 (図3)

段を上がる場合、段に対して電動車椅子が垂直に接近させて超音波センサーの働きで段差までの距離を感知する。アーム先端が段の上に届く距離まで接近したことを超音波距離センサーが感知することで LED の昇降可ランプ (図4) が点灯する。ランプが点灯したことを確認した乗車者が昇降開始スイッチを押す。その後は、自動制御されてまずアームが完全に伸びたことをフォトマイクロセンサーが感知すると、電動車椅子を浮かせるためにアームおよび昇降装置をさげる動作に移る。このとき、電動車椅子の座面を水平に保つために座面下部のフレームに取り付けた傾斜角センサーが働き、座面が水平になるように制御される。さらに、アームの根元に取り付けられた傾斜角センサーによりアームと床とのなす角度から、ちょうど車椅子が段に乗り上げる程度の高さまで浮いたところで電動車椅子を浮かせる動作が止まり (図5)、電動車椅子は昇降装置の下端部に取り付けた駆動輪を回すことで前進させる。後輪軸より後方に取り付けた光電センサーにより後輪が段上に移動した、すなわち電動車椅子が段の上に来たことを検知する (図6) と、アームと昇降装置を上げて電動車椅子を段の上におろすことで電動車椅子が段の上に上った。その後アームを縮め、昇降装置を上げて開始位置のホームポジションまで戻して、段を上る動作が完了とな

る (図7)。電動車椅子が段を上り完了する時間はおよそ 40 秒である。

### ② 電動車椅子が段を下りる場合 (図8)

電動車椅子の前輪が段の端まで接近し、前輪前のフットレストの支柱に取り付けた超音波距離センサーにより前輪が段の角まで前進したことを検出する。このセンサーは、床までの距離の違いを計測し、段があれば床までの距離が遠くなったことを検出して段の有無を判断する。前輪が段の端まできたら LED の昇降可ランプが点灯する。ランプが点灯したことを確認した乗車者が昇降開始スイッチを押すことで段を下がる動作が自動制御で開始される。アームが伸びアームが伸びきったところでフォトマイクロセンサーが働き、完全に伸びたことを検出するとアームと昇降装置を下げる動作に移る (図9)。アームの先端が段の下の床につくことで段の上の電動車椅子の前輪を浮かせ、昇降装置を下げることで後輪も浮かせ、フォトインタラプターにより電動車椅子が段の上から 50mm 程度浮いた状態で昇降装置を停止させる。電動車椅子の座面を水平に保ちつつ、昇降装置の下端部に取り付けた駆動輪を回して段の上で前進させ、後輪の後ろに取り付けた光電センサーにより後輪が段の角より出た状態を感知する (図10)。その後、アームと昇降装置をホームポジションに戻す動作により電動車椅子の座面が水平のまま床に下りて、段を下がる動作が完了する (図11)。電動車椅子が段を下り完了する時間はおよそ 40 秒である。

## D. 考察

本年度は、電動車椅子に装着する新型の段差昇降機構を製作して段差昇降機構について動作確認することである。

新型の段差昇降機構の特徴としては、既存の電動車椅子に装着可能、180mm以下の段の高さに応じて電動車椅子の座面を水平に保った状態で段差昇降が可能、簡便なスイッチ操作により段差昇降を自動制御する方式を採用したことである。

各種センサー、スイッチは、それぞれの目的や条件で使用した種類が異なっている。超音波距離センサーは、ややサイズが大きい段差の材質、形状、色などの環境条件に影響を受けにくい。光電センサーはやや感度が落ちるが、小型であり取り付けスペースに利点がある。傾斜角センサーは、座面を水平に保持するためと段の高さに応じて電動車椅子の高さを調節するために使用した。フォトセンサーは、アームの伸縮の感知などに使用した。それぞれのセンサーは段差昇降において十分機能を発揮していた。

電動車椅子が段を上る場合、段までの距離を測定する超音波距離センサーは、段に対して電動車椅子が垂直に接近していなければ音波を検出することができない。このことは、段差昇降で電動車椅子が段と垂直でない場合は、前輪または後輪の片側のタイヤが落ちる状態となり転倒などの危険性が伴うことをあらかじめ予防することができるなど副次的な効果があった。

十分段に近づいて昇降可ランプが点灯した後、乗車者が段差昇降の動作開始スイッチを押すことが必要である。これは、乗車者の最終的な意思を決定することができるのみならず、50～60mm以下の段であれば段差昇降機構なしでも通常走行で段差昇降が可能であり、そのような判断を乗車者が行うことができる利点がある。このことは、段差昇降機構が必要か否かを判断して効率的に使用することができると考えられた。但し、昇降

可ランプが点灯するまでに電動車椅子を段に対して垂直に近づくための操作は、やや難しいと思われたが数回の練習で電動車椅子の操作に慣れるようである。

昇降開始スイッチを押して段上に電動車椅子が乗るまでの時間はおよそ40秒、段上から床に下りるまでの時間もおよそ40秒であり、両者ともにほぼ実用的に使用できる範囲であると考えられた。

LEDの昇降可ランプの問題としては、ランプ自体が小さく、目が悪い利用者では見にくくやや光度が不足しているように思われた。

安全機能としては、段差昇降途中で緊急に停止させる事態も考えられ、緊急停止のストップスイッチを新設した。このスイッチは、動作異常などの緊急事態に動作を停止させることができる。また、ストップスイッチは、マニュアル操作に切り替えるスイッチとしても機能し、アームの伸縮、アームの上下、昇降機構の上下がスイッチ操作で可能となっている。また、電動車椅子が持ち上がった状態でストップスイッチを押して昇降動作を止めた場合は、マニュアルスイッチの中のモータースイッチをフリー側に倒すことで、電動車椅子を押すことができる。

段差昇降機構付き電動車椅子の重量は140kgであったが、電動車椅子の重量は70～80kgで段差昇降機構の重量は60～70kgであり、この程度の重量は妥当な重さとも考えられるが、今後の検討課題と思われた。

副次的な効果としては、車椅子利用者は、日常生活で高いところに手が届かないという不便を訴えることも多い。段差昇降機構は、車椅子全体を180mm程度持ち上げることで乗車者の目線を

高くすることができ、高いところにも手が届くという効果をもたらすことが期待できた。

今後は、段差昇降機構付き電動車椅子を利用する障害者にあつたスイッチの形状などを考慮することで、自動的な段差昇降が確立されれば、実用性も十分あるものと考えられた。

## E. 結論

新型の段差昇降機構は、簡便なスイッチ操作をすることで、電動車椅子の段差昇降が自動制御されて、電動車椅子の座面を水平に保ったまま180mmまでの段差、および段の高さに応じて人が乗車した状態で段差昇降が可能となった。

安全に配慮したマニュアル装置も装着され、実用的な状態となった。

## F. 引用文献

- 1) 山澤清：車いすの使用者からみた車いすの利便性，第8回リハ工カンファレンス講演論文集：275－276，1993.
- 2) 日本工業規格：電動車いす(JIST9 203)，日本規格協会，1987.
- 3) 米田郁夫他：介助用電動車いすの開発，第5回リハ工カンファレンス講演論文集：95－98，1990.

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

- ① 吉村茂和、林泰史他，段差昇降機構付き電動車椅子の試作と段差昇降試験の結果，理学療法ジャーナル29:567-570,1995.
- ② 吉村茂和、原徹也他，電動車椅子に装着する段差昇降機構の試作－後輪の段を昇る機構とショックアブソーバの開発及び試乗結果，進歩と展望24:34－39,1999.

### 2. 学会発表

- ① 吉村茂和、林泰史他，段差昇降機構付き電動車椅子，第13回関東甲信越ブロック理学療法士学会，1994.
- ② 吉村茂和、吉田耕志郎他，段差昇降降・ショックアブソーバ機構付き電動車椅子，第15回関東甲信越ブロック理学療法士学会，1996.
- ③ 吉村茂和、原徹也他，電動車椅子に装着する段差昇降機構の試作－後輪の段を昇る機構とショックアブソーバの開発及び試乗結果，第18回東京都理学療法学会，1999.
- ④ 吉村茂和、原徹也他，電動車椅子に装着する段差昇降機構の試作第103回東京都衛生局学会，1999

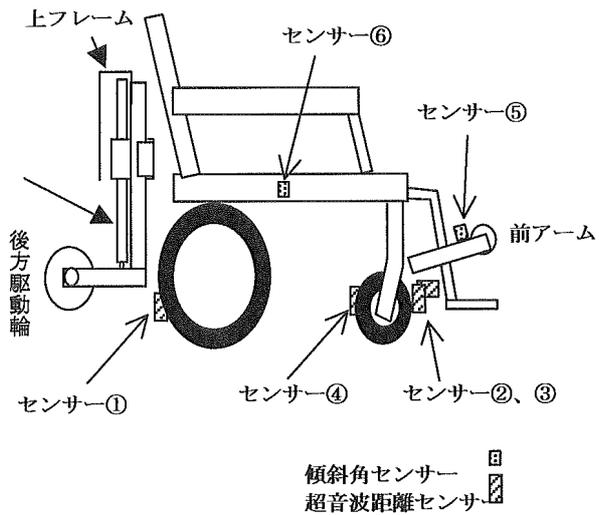


図1. センサの取付け部位の略図

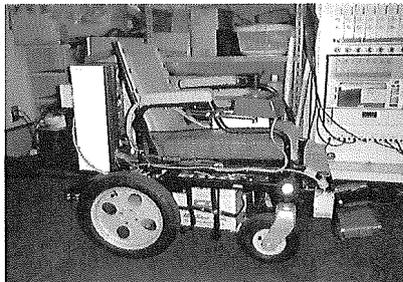


図2: 各種センサーを取付けて完成した新型段差昇降機構付き電動車椅子

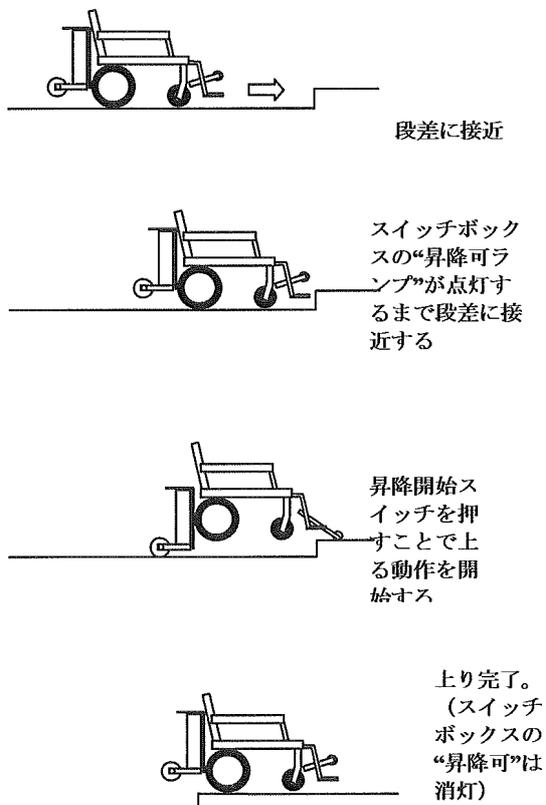


図3. 上がる方法

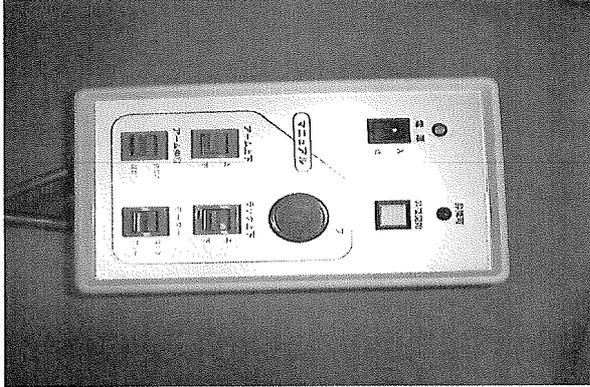


図4. スイッチボックスの外形



図5. 段を感知してノズルと昇降機構が働き電動車椅子が浮いた状態

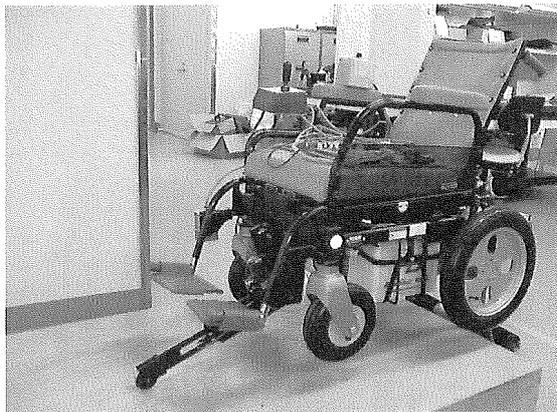


図6. 昇降機構下端の駆動輪が回転して前進し、電動車椅子全体を台の上に乗せる



図7. アームと昇降機構をホームポジションまで引っ込めることで段を上る動作が完了

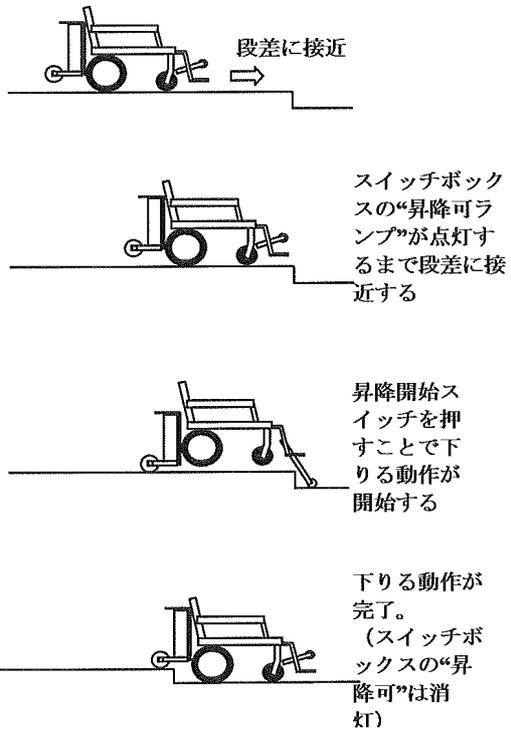


図8. 下りる方法



図9. 段差をキャッチした後、下段の床面に接地するまでアームを伸ばす



図10. 段上で電動車椅子を浮かせて昇降機構下端の駆動輪を回転させて前進し、段の外側に電動車椅子が出た状態



図11. アームとノズルと段差昇降機構をホームポジションへ収納して段を下ることが完了

# 厚生科学研究費補助金長寿科学総合研究事業

## 移動・移乗システム 操作能力を補助する自立移動支援装置の開発

### 分担研究報告書

数藤康雄 国立リハセンタ研究所福祉機器開発部長

#### 要旨

自立移動は非常に重要な生活の要素である。本研究では重度の障害を持った高齢障害者を対象として、その自立移動を支援するための装置の開発を行うことを目的としている。本年度は、超音波センサ回路の製作およびシーケンサを用いた回避行動のソフトウェア開発、実際の電動車いすへの組み込みおよび性能評価を行った。性能評価の結果、壁面衝突回避が可能であり、接近角度にあまり依存しない最接近距離が得られることが明らかになった。これにより、衝突時間をパラメータとした衝突回避アルゴリズムの有効性が示された。

#### A. 研究目的

自立移動は人の生活にとって非常に重要である。単に身体の移動をするというだけではなく、移動によって獲得される精神的充足や種々の経験はとても大切なものである。高齢者・障害者について考えると、その重要性は健常者以上に大きいものとなる。電動車いすは重度の障害をもつ人でも、自立移動を可能にするものであり、その意義は非常に大きい。

本研究では、さらに重度の障害を持った人でも電動車いすを活用し、自立移動を獲得できるような方策を構築することを目的とした。そのために、衝突を回避するシステムに着目し、その開発を進めてきた。

昨年度までに、衝突回避装置のコンセプトを決定し、距離センサとして超音波センサを選定するとともに、衝突回避のアルゴリズムを決定した。

本年度は、超音波センサの製作、回避アルゴリズムの改良、ソフトウェアの開発を行い、電動車いすに組み込み、その性能評価を行った。

#### B. 研究方法

##### 1. 衝突回避装置のコンセプト

衝突回避装置開発にあたり、次のようなコンセプトを実現するものとした。

- 1) 障害物を検出したときに停止するのではなく、回避行動をとる。
- 2) 実用場面では、ベッド等へ寄せたり、ぎりぎりの幅の所を通り抜ける場面が見られる。したがって、従来の障害物との距離のみで判断するのではなく、速度も考慮に入れた回避の判断・動作を行う。
- 3) センサは非接触式の距離計とする。

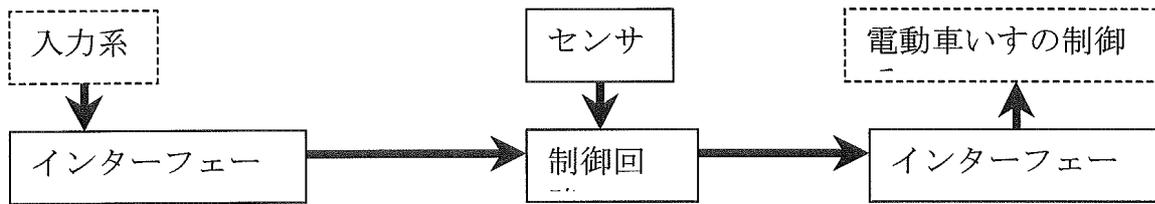


図1 装置のコンセプト

- 4) 回避行動は操作者の意図を最大限くみ取るようなアルゴリズムを考慮する。すなわち、回避行動中でも自動走行にはせず、操作者からの入力によって動作を変更する。
- 5) 汎用性を考慮して、衝突回避装置は市販のモジュール型電動車いすの操作入力系と電動車いす本体の制御系の間に挿入するものとする(図1)。

## 2. 衝突回避アルゴリズムの改良

昨年までに、壁面を対象とした衝突回避アルゴリズムを開発してきた。しかし、このアルゴリズムでは、センサが片側で3つ必要になるため構成が複雑になる。さらに、超音波センサからの発信は1つずつ行う必要があるため、時間遅れが問題となった。そこで、センサの数を少なくすることおよびアルゴリズムの単純化を行った。

## 3. 衝突回避システムの製作

まず、超音波センサの低価格化を目指して、超音波センサキットを利用したセンサの製作を行った。製作したセンサおよびシーケンサにより衝突回避システムを構築し、電動車いす(Action Power Tiger)に組み込んだ。

## 4. 衝突回避装置の性能評価

製作した衝突回避システムの性能評価として、壁面への接近実験を行った。図2に示すように、壁面に対して $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ の角度で電動車いすを接近させ、その時の衝突回避動作の確認および最接近距離(L)の計測を行った。衝突

回避パラメータは5.0s、4.0s、3.0s、2.0sの各条件で計測した。回避行動を行う際の速度は、実測値で1.2km/hであった。

## C. 研究結果

### 1. 衝突回避アルゴリズム

基本的に回避行動を1つのセンサで行うよう、アルゴリズムの単純化を図った。昨年度は、前側方センサの衝突予測時間をパラメータとして回避行動の開始を決定し、2つの側方センサの距離をパラメータとして回避行動の終了を決定していた。本年度は前側方センサの衝突予測時間のみをパラメータとして回避行動の開始および終了を決定することとした。すなわち、衝突予測時間に設定値を設け、それよりもパラメータ値が小さければ回避行動を行い、大きければ通常の走行を行うこととした。

ここで、回避行動のON/OFFによる振動動作が懸念されたが、予備実験の結果、特にそれはみられなかった。その原因として、電動車いすの操作系から駆動系までの時間遅れ要因による、

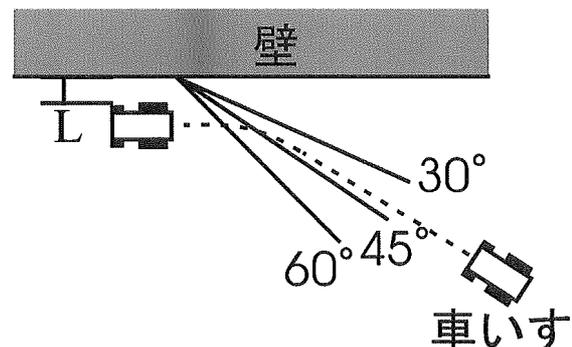


図2 衝突回避装置性能評価