

200619009A

別添1

厚生労働科学研究費補助金

長寿科学総合研究事業

広域歩行支援装置の柔軟な操作性に関する研究

平成18年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 岡村 宏

平成19（2007）年 4月

目 次

I . 総括研究報告	
広域歩行支援装置の柔軟な操作性に関する研究-----	1-1
岡村 宏	
(資料) 総括研究報告詳細 ー岡村 宏 (芝浦工業大学教授) ー	
II . 分担研究報告	
1 . 歩行支援機における動力サポート駆動部の制御に関する研究-----	2-1
川上 幸男	
(資料) 分担研究報告詳細 ー川上 幸男 (芝浦工業大学教授) ー	
2 . 地域社会での活用環境面から見た歩行支援機の研究-----	3-1
松下 潤	
(資料) 分担研究報告詳細 ー松下 潤 (芝浦工業大学教授) ー	
3 . 歩行時の姿勢モニターおよび歩行支援マンマシンシステムの研究-----	4-1
山本 紳一郎	
(資料) 分担研究報告詳細 ー山本 紳一郎 (芝浦工業大学助教授) ー	
4 . 歩行支援機の動的性能向上に関する研究-----	5-1
石濱 正男	
(資料) 分担研究報告詳細 ー石濱 正男 (神奈川工科大学教授) ー	
III . 研究成果の刊行に関する一覧表-----	6-1
IV . 研究成果の刊行物・別刷-----	7-1

1 厚生労働科学研究費補助金（長寿科学総合研究事業）  
総括研究報告書

## I 広域歩行支援装置の柔軟な操作性に関する研究

(主任) 研究者 岡村 宏 芝浦工業大学教授

## 研究要旨

市街等の市街地を含む屋外の広域における歩行支援機は従来そのリスクの大きさから積極的な開発研究はおこなわれていない。歩行支援システムとしては、屋内の歩行支援環境の整ったエリアが対象であったが、積極的な駆動を伴う支援は少なく、暴走しないための制動機能を主としたものが多かった。この研究は、高齢者社会を想定し、生活の基盤として歩行を中心とする行動パターンを積極的に支援することが、個人生活の質の向上や福祉社会面からも好ましいとの考えに基づいている。

当初設定した開発目標は、現状の標準的な都会生活環境を想定し歩行を可能とする歩行支援機の開発であった。しかし歩行に関し、単に工学的に高機能を追いかけると足場の悪いリスクの高いエリアへ被支援者を連込む矛盾に陥ってしまう。よりアクティブな考え方によりその壁を打破する必要がある。すなわち、福祉モビリティと称する「工学面の支援機能」、「医学面の歩行能力」及び「地域・環境面のバリアレベル」とのバランスを考慮した福祉工学の新しいアプローチ法である。この研究のプロセスから提案しているものである。それを推進する有力な手法の一つとしてこのバランスを考慮した広義のユニバーサルデザイン（以下UDと称す）手法の開発と導入を行っている。

本年度の個別の実施項目は、(1)福祉モビリティとタウンモビリティに注目して調査を行った。その結果、垂直展開に関しては、施設の整備などが進み相対的に良好なレベルにある事例が数多く見いだされている。それに対して、水平展開に関しては、ほとんど手つかずのところが多く、もっとも進んでいるところで小規模に始まったところである。これからは、この水平展開として地域の福祉環境の整備が重要であり、ダウンモビリティおよびそこでのツールとしての歩行支援機の位置づけを明確にしてゆく必要がある。(2)歩行支援機の各コンポーネントの柔軟な機能開発に関しては、基本的な機能の整備に加えて、色々な状況下での有効な利用法としての機能の拡大を本年度実施成果として上げることができた。(3)また、個別の要素を組み合わせた総合的な機能の検討も重要であるが、今年度は、3研究室のグループで、歩行支援機の試作を個別に独立して制作した。お互いの歩行支援への考え方の詳細部分では色々な考え方や視点が持ち込まれ、適用範囲の広い、パラエティーに富んだ試作群が提案できている。

今後の課題としては、研究室レベルでの歩行支援機ではなく、実際技術的なノウハウの無い使用者が用いて、問題無く動くためのモニター機としての機能を確保することが重要である。歩行動作やその動機は、人にとって大きく変化しており、違和感が無く、積極的に歩行支援機を活用してもらえるレベルまで玉姓する必要がある。

## A. 研究目的

## 1. はじめに

日本の高齢化社会に適合し、高齢者や脚部にハンディを持つ多くの方が自らの脚部で歩いて生活を過ごす年代を可能な限り延長できる歩行支援機の実現を目的とする。今までは歩行器で少しでも不安定な歩行状態となると、すぐに車椅子に座らせる傾向が強く、生活環境広域で使用可能な歩行支援機の研究はほとんど手付かずの状況である。自ら歩くことは、単に歩行能力の維持だけでなく常に身体の内臓や筋肉等各部への刺激による体力の維持と共に足が脳への刺激をもたらす、寝たきりの防止や認知症の抑制にも効果があると言われている。すなわち、医療・介護に必要な経費抑制を推進し、その分長寿社会の楽しい、生きがいのある生活の構築への提案をおこなうことを目的としている。

更に、単に歩行支援機の機能の向上だけでは足の悪い人を悪路で歩かせることになり、非支援者の歩行能力をその人の生活環境の中で生かしていくことが求められる。対象装置の機能と使用路面環境・被支援者の歩行能力との相互適合も検討し、その実用性も検討する。前年度までの基本的機能の開発研究を受けて、本年度はその実用化を視野に入れたモニターによる実証実験を可能とする水準に近づけることを目的としている。

## 2. 開発の狙いとコンセプト

## 2. 1 開発コンセプト

現用の歩行補助車での車いす用のバリアフリー許容の段差やガタ路の進行不能状態を改善し、対象ユーザに対して屋外での積極的な歩行移動をサポートする支援機とする。開発コンセプトは、UDの概念を前提として、そのコンセプトを以下に示す<sup>②</sup>。

- (1)被支援者の脚力を最大限、引き出すものとし、被支援者の意思に合わせた歩行モードを設定する
- (2)方向転換半径はほぼゼロ取り回し易さを重視する
- (3)50mm までの段差乗り越し、登坂能力 15°とする
- (4)特に、20mm までの段差乗り越しは平坦路の歩行モードとほぼ同等なフィーリングで通過できることをねらいとする。
- (5)違和感のない操作感性が得られることを優先する。  
特に、駆動車輪によるパワーアシストの制御方法とて負荷制御と速度制御を比較検討する。
- (6)制御系は信頼性重視し多重化する。開発する制御系デバイスとして、メカニカル、加速度計系、オプティカル、超音波系、ストローク系、ロードセンサー系など異なる制御媒体を開発研究し多重化への対応とする。
- (7)スイッチ操作は極力さける方式とし、歩行支援機と被支援者間のマンマシンインターフェイスはハンドル部へ加わる荷重を主体的に操作方法を模索する。

(8)軽量（～25kg）とする

## 2. 2 対象ユーザ

主たる支援対象者は、

- ・現用の歩行補助車を使用している外出に不安を持ち
- ・介助者の支援や車椅子の使用が必要と感じており
- ・外出が億劫になり、家に閉じこもりがちなる方

すなわち、次のような条件をもつ対象者である。

- (a)自分の足で歩くことが可能である
- (b)周囲の環境に現用の歩行器を用いても歩くには不向きな箇所が多いことから、歩く自信を失っている
- (c)やや脚力に障害が出始めている

方を対象とする。

本年度は、そのうち、ベースモデルとして、比較的歩行機能が残っている方をまず主目標とし、使い勝手がよく、使うことで安心感・安定感を与えること主体とし開発研究を行うこととする。

## B. 研究方法

前年度まで行った歩行支援の基本的機能の開発研究成果を受けて、本年度はその実用化を視野に入れたモニター実証実験が可能となる水準に近づけることを念頭に取り組んだ。以下に、本年度にて取り組んだ具体的な項目について述べる。

①第3次試作のためのベースとなる本体および各コンポーネントの改良研究（含、委託先での開発研究）

歩行支援機の本体構造と被支援者の相対的位置関係を見直し、4輪の荷重分担の安定性、ハンドル部への体重のかけ方、自転モードにおける被支援者の移動量、歩行パターンの個人差の吸収とロバスト性等を中心に研究を行った。

②統合制御システムの構築と段差バリア対応デバイスの開発研究

従来は50mmの高さの段差乗越えを標準としていたが、現在一般的に市街地の目標とされている20mmを平坦路歩行と同様な歩行モードで通過できることを目指した。特に、通過時の衝撃や安定性の向上を研究する。また、統合制御システムもぎりぎり無理をして悪路の突破を図るのではなく、ある程度整備された市街路を被支援者との歩行に関するコミュニケーションを重要視しながら、楽しんで使用してもらうことに重点を移すこととする。

③被支援者側および使用生活環境から見たユニバーサルデザイン適合の研究

以上の検討を踏まえて、第3次試作を行う。このレベルではより実用化に向けた機能の確認と評価を中心とする。更に、被支援者のモニター用として一般に提供できるレベルへの向上を目指す。また、歩行能力の高低に適合できるように各種支援デバイスの開発を推進すると同時に、歩行支援機への互換性を高め、バリエーションへの対応を柔軟とする努力も行う。

以上より、最終年度である当該年度にはコスト、量産性、軽量化などの要素を検討し、より実用化への糸口を手繰るものとした。

### （倫理面への配慮）

福祉移動支援に関するモニター試験での被支援者には、親族などの第三者も立会い、その趣旨を説明し、プライバシー保護、試験により想定される危険性および有害事象への対処法を理解（インフォームドコンセント）い

ただき、参加の同意を得ている。更に、評価する支援装置は、開発組織のレビューの承認を受けて事前評価で試験装置に十分安全性が付加されていることを確認した後のみ評価に供する規則を遵守している。その際必要またその際得られた個人情報には符号化し、データは研究目的以外には使用しない。以上の研究活動は、芝浦工業大学の倫理審査委員会へ申請し承認されたものの倫理規定等を遵守し、執り行っている。以上、個別の当該の試験ではここで定めた倫理規定等を遵守し、承認、届け出、確認等が必要な場合は、研究開始前に所定の手続きを行っている。

## C. 研究結果

### 3. 歩行支援装置全体計画に関する研究

1本年度の研究結果は、歩行支援機の実用化への可能性を明らかにする当初の目的をほぼ計画通り達成することができた。第1、2年度での試作歩行支援機は必要な基本的な機能をどのように組み込んでゆくかが主題であった。最終年度での第3次試作歩行支援機は、実用化の可能性を検討することを中心として開発研究を行った。歩行はその状況や歩行能力、個性によって大きな変化があるため、それに適合する歩行支援機の仕様は、機能の柔軟性が要求される。また、違和感なく、積極的に使用していただく感性を考慮すると、多くのバリエーションやカスタマイズが必要となる。本年度は、本研究に参加している研究グループにより、ちがった構成による試作歩行支援機を作成し、評価を行った。個々に、歩行への支援に関するアプローチができ、上述の機能の柔軟性を提案できている。

(1)動力支援機能：車軸ベースでは、低速高トルクが要求されるため、高速低トルクの小型電動モーターに大きい減速比を組み合わせ、ベルトや歯車の多段構造を必要としていた。しかし、減速のためのスペース・レイアウトや歯車列のバックラッシュによる騒音・振動などを解消のため、専用の車輪廻りにマウントできる電動モーターの検討を行った。小型電動モーターに減速度の大きいウォームギアを組み合わせたものとアウターローターのインホイールモーターである。前者は車輪側からの空転ができないためクラッチを必要とし、後者は外径をタイヤホイール収まるようにすると駆動トルクに若干不満が残る。現状は、開発コストや時間の問題もあり現存のもの改良であるが、新規の設計開発はいずれ必要となる。

(2)題点を検討している。いずれも、バリアフリー路の20mm高さの段差や一般市街地の50mm高さの段差もクリアできることが確認されている。また、今回は段差通過時の衝撃力の大きさを緩和することを検討し、空気入りタイヤやショックアブソーバー付きサスペンションなどの効果を確認した。

(3)前輪キャスター作動安定機能：歩行支援機では、直進安定性と小回り性が両立する必要がある。直進性に関しては、段差への進入角度の調整や横斜め斜面・砂利道・凸凹路での直進性が求められ、屋内、店内やエレベータ内での小回り、自転能力が生活圏で求められる。この相反する機能を一種の切り替え装置を用いて行うが、その方策として、カムプロファイル型、ピン挿入型や開店制約スリーブ型などがあり、その作動は、自律方式、自動方式、手動方式、ハンドルは固定式とステア式と組合せは色々存在する。その中で、扱い易い方策をいくとおりか検討している。

(4) 操作レバー:基本とすれば、歩行動作に集中することを重視することから操作レバーレスの検討をした。それを実現するため歩行への動力支援をフィーリングの良い速度制御を用いる。ここでは、ハンドルに加わる前進力と垂直方向の支持荷重の組合せを代用特性としている。グリップ方式で、手首の動きを操作レバーの切替えに用いる方式も検討された。

(5) 各種センサーの活用:距離センサーを前方に設け、その高さにより乗り越えるべき段差か避けるべき障害物かを判断する。また歩行支援者と使用者の距離センサーで両者が離れると停止する。また傾斜計により、上り坂・下り坂・カント路を判断し、動力支援を行い平坦路相当に調整する。

その結果として、基本的な歩行支援機の要件はほぼ達成した。しかし、一部のコンポーネント、たとえば電動モータやハンドルセンサーなどでは、使用感や色々な使用条件を満たすものを更に検討すべきである。その開発研究では、個々の部位のコンポーネントとはお互いに互換性を保つように留意しているため、いろいろな機能の組合せを構成することは難しいことではない。

#### 4. 福祉モビリティの住いづくり・街づくり(調査)

本研究では、介護・医療費に伴う社会や個人の負担の増加を抑制するため、歩行支援機の研究開発を基軸として、高齢者の自立促進を誘導するうえで「福祉モビリティ」の視点から、これからの住いづくり・街づくりはいかなる要素から構成されるべきか、あるいはそのために何が課題となるかということについて、先端的な事例分析や実態分析に基づいて検討する。

本研究で対象とした住いづくり・街づくりの事例は、多世代居住型(コレクティブ住宅)や健康高齢者共同居住型(グループリビング)のほか、英国の Shop Mobility の流れを汲む電動カート利用を前提としたタウンモビリティ事業(医療機関が主体となるものを含む)、行政による交通・建築物のバリアフリー計画などに区分できる。

研究の視点としては、これらの住いづくり・街づくりを「福祉モビリティ」の要件から見て、図 4.1 に示すように交通インフラと建物を繋ぐ総合的なバリアフリー計画に基づき『機械工学—長寿医療・予防介護—都市工学』とを一体化させたコンパクトな都市設計を前提として、今年度は現状の分析・評価を行い、次年度以降、このような要件を備えた地区を抽出して、歩行支援機の実用化と利活用条件の整備を含めて総合的な計画の構築可能性について検討することを想定する。(図-4.1 参照)

高齢者の自立促進に向けた住いづくり・街づくりの事例分析では、首都圏に立地している2つのコレクティブ住宅(多世代居住・グループリビング)と1つの有料老人ホーム、そして有料老人ホームを含む住宅団地を事例にとりあげた。

調査は現地視察や文献調査に加え、ヒアリング調査、アンケート調査、行動観察調査等によることとし、住いづくり・街づくりの現状を「自立を促進する要素」の水準に焦点を当て、垂直展開要素(建物内に自立を促進する要素を持つ)と水平展開要素(建物外に自立を促進する要素を持つ)に大きく類型化し、さらに垂直展開要素を住環境と住コミュニティ、水平展開要素を地域コミュニティと地域モビリティに区分して、4つの事例の現状を横並びにして分析・評価できるように整理を試みる

こととした。(表-4.1 参照)

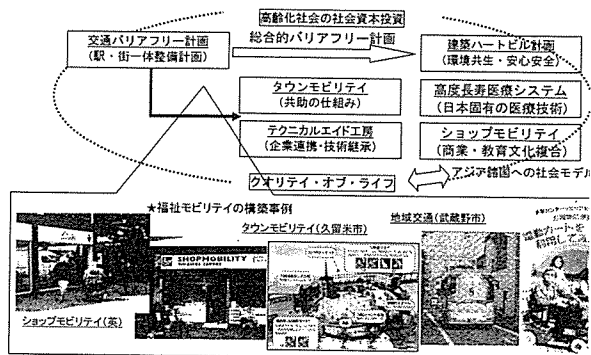


図 4.1 福祉モビリティへのコンパクト都市の設計イメージ

計画の目的から見ると、コレクティブ住宅は「住まい」よりも「住み方」に重点を置いた住宅であり、有料老人ホームは「安心安全」に重点を置いた住宅である。これに対して、住宅団地は団地一体としての街づくりにも重点が置かれている。このように各々狙いが違うものを適確に評価する方法として、自立を促進する要素ごとにできる限り客観的な基準を採用することとした。

表-4.1 垂直展開要素・水平展開要素の基本概念

垂直展開要素	<ul style="list-style-type: none"> <li>●建物内に高齢者の自立を促進する要素を組み込むことにより事業展開を図るタイプのこと</li> <li>コレクティブ住宅など的高齢者住宅にバリアフリー設計や共用施設、介護施設等を組み込み住環境面の展開を図る方法</li> <li>さらに高齢者住宅内における居住者参加活動を促進、支援するソフトを組み込み、住コミュニティ面の展開を図る方法が取り入れられている。</li> </ul>
水平展開要素	<ul style="list-style-type: none"> <li>●建物外に高齢者の自立を促進する要素を組み込むことにより事業展開を図るタイプのこと</li> <li>街や地域を高齢者の生活圏域単位に区切り、高齢者を中心とする地域参加活動を組み込み、地域コミュニティ面の展開を図る方法</li> <li>さらに街や地域における行政のバリアフリー計画と連携し、地域モビリティ面の展開を図る方法が取り入れられている。</li> </ul>

I の事例研究では事例を評価する考え方として、高齢者の自立を促進する要素を垂直展開要素と水平展開要素に分類し、更に前者は住環境と住コミュニティ、後者は地域コミュニティと地域モビリティに分類して各々の構成要素毎にその働きに対して3段階の評価を行った。評価の結果は各事例とも垂直展開要素の働きは十分であるが、水平展開要素の働きが十分でないことがわかった。

垂直展開と水平展開によるまちづくり論はこの評価の考え方を逆にして、「垂直展開」と「水平展開」によってまちづくりを行うという考え方である。

これからのまちづくりは2つバランスよい展開が必要であるという仮説を立てて、重要なのは水平展開であり、モビリティとネットワークおよびその環境の整備

が大切であると考える。

イメージ図とまちづくりの考え方を示す。

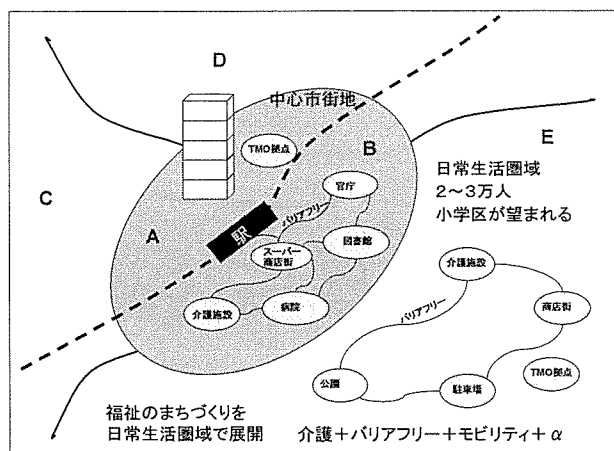


図 4.2 イメージ図

垂直展開のまちづくり：

A 地域は駅から半径 500m の中心市街地である。

A 地域では高層ビルが建てられ、その上層部に高齢者住宅が入居する。下層部には高齢者の生活に便利な介護医療関連施設、商業、行政施設も入居する。

B 地域には官庁、図書館、病院、商店街等の施設があり、駅との間はバリアフリーである。TMO 拠点が配置される。

水平展開のまちづくり：

C、D、E 地域は小学校区の大きさの日常生活圏域である。高齢者は転居することなく同じ地域で生活を行うことができる共助の仕組みをつくる。

そのために、小規模多機能介護サービス拠点、健康センター、宅老所を設置し、

地域のシンボル、身近な社寺、公園等を見直し、お祭り、町内会行事等を復活することにより、地域コミュニティづくりを行う。

バリアフリー新法の考え方に沿って、生活圏域の拠点を中心としたバリアフリーを行い、高齢者向け福祉モビリティの開発を行う。

## 5. 人に優しいユニバーサルデザイン手法の活用

ここでは、試作機取り入れられている仕様とその機能につき取りまとめる。

### 5.1 歩行支援レベル…ユニバーサルデザイン

前述の通り、歩行困難者よりは、軽度の歩行障害者を支援の中心に考える。今回の試作機をベースモデルとして、想定し、いわゆるユニバーサルスタンダード設計を目指し、さらに歩行への支援をより多く必要となる場合についてカスタマイズとしてゆく方針である。具体的には、

- ・歩行機能 …躓き、よろけ、ふらつき
- ・歩行距離 …歩行持続力

の両面からの検討が必要である。歩行というかなり複雑な動作を支援するには、十分に被支援者の要求を把握し、その共通項としてのユニバーサルデザインと個別の歩行能力のばらつきや歩行能力の時系列としての変化に対応するためのカスタマイズの手話得が必要となる。

## 5. 2 複合的なユニバーサルデザインハンドル

前者に関しては、支持をする機能を受け持つハンドル部のレイアウトによって大きく影響される。後述の複合型ハンドルが提案されている。また、一度に歩行できる距離を長くする方策が必要となる。この観点は、すべて歩行支援機の仕様だけに課されるのではなく、社会システムや被支援者の状態によっても変化する。

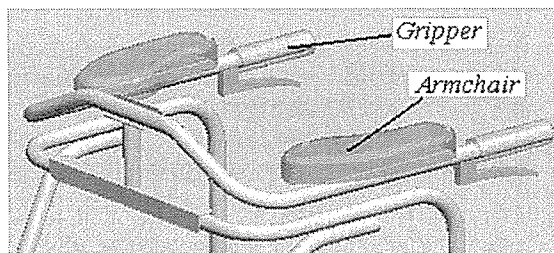
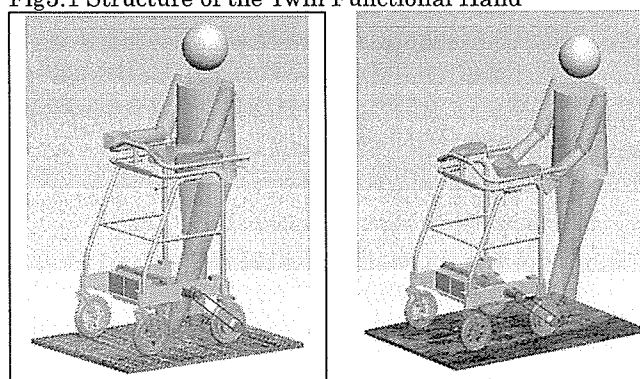


Fig5.1 Structure of the Twin Functional Hand



(舗装道路を歩行時)

(ガタ路)

Fig5.2 Image of Using Twin Functional Handle

## 5. 3 操作レバーレス/操作性のやりやすさ

マンマシンインターフェイス、人間工学から見て、歩行支援機が被歩行支援者の歩行に合わせて移動するために、歩行者から「どのように歩きたい」という信号が必要になる。一般に、自分自身が歩く機能とは別に歩行支援機をどのように動かすための操作レバーがついている場合が多い。電動カートにも必ずついている。しかし、歩行に困難な人が、この両者を同時に制御することは難しく、特別な訓練を必要とし、二つのことを一緒にこなす作業にはすぐ疲れてしまい持続的な使用が難しいことが多い。人間にとって歩行はかなり複雑でリスクを伴う動作である。従って、本歩行支援機では、ハンドルに支持されて歩行する時の被支援者のハンドルに対する荷重負荷を検知して、歩行者に意識させることなく歩行支援機の移動を制御することとする。そのため、歩行者は、歩行支援機を制御する意識を持つことは要求されず、歩行動作に集中することができる。

## 5. 4 速度制御方式の採用/制御しやすさ

移動体の移動を制御する方法として、

- ① 負荷制御
- ② ②速度制御

がある。一般には、負荷制御がよく用いられる。移動のため加えられた力により、ものは動きだす。加速するためにその分だけ多く力を与え続け、坂道は重力に対抗する分余計な力が必要となる。力学的には極当たり前であるが、必要な力を感知して、必要な駆動力を出すよう制

御することは、自らが移動したいという意志とは、かなり次元が異なる。一度頭脳の中でトランスレートする必要がある。

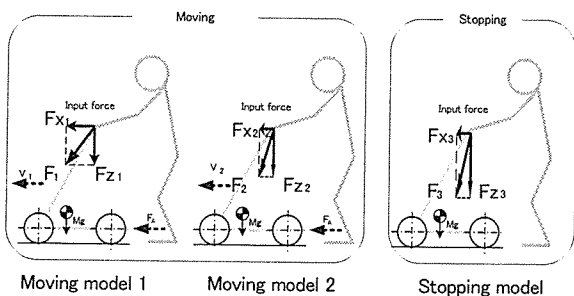


Fig.5.3 Moving and stopping mode model

それに対して、人間が移動している時は、ビジュアルな情報をもっともよく利用している。目的地までの距離をどのくらい時間をかけてゆこうかと考える。すなわち、速度を制御する方式を常に考えている。この方が人間の移動本能に直接働きかける。

### 5. 5 速度制御のための手法

ここでは、人間工学的に優れた速度制御を採用することとする。今までのこの種の支援機はほとんどが負荷制御であり、被支援者が押す力の方向にその大きさに比例した駆動力を提供するものである。今回、歩行支援機に適用する場合、歩行者からの設定速度への意識をどのような形で取り出し制御するかが問われることになる。ここで速度の設定については、前進力と荷重支持力の比率によって目標とする歩行速度が決まる方式を採用している。前進しようとする力(水平方向)および歩行動作のために自らの体重を支持してもらう垂直力を比較し、比較的に入力力が多い方が歩行速度を高く、逆に体重を支える力が大きい場合はゆっくりとした歩行速度を設定することになる。

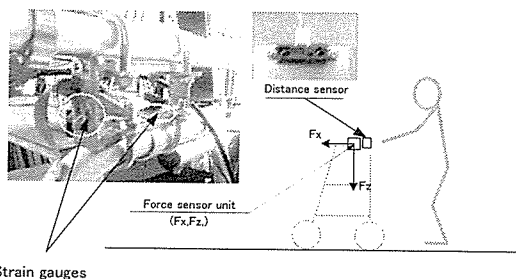


Fig.5.4 Configuration of Operating System

また図5.5に示すような速度制御式のアクセルレバーを開発してアクセルレバーの握り混み深さによって電動モーターへの指令回転数を設定できるものとした。

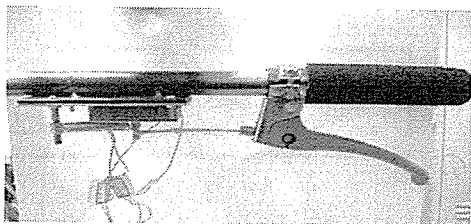


Fig. 5.5 Accelerator lever for walking support device

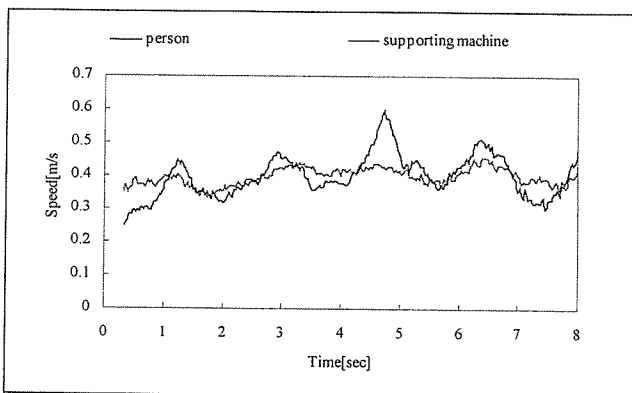


Fig.5.6 Person A1

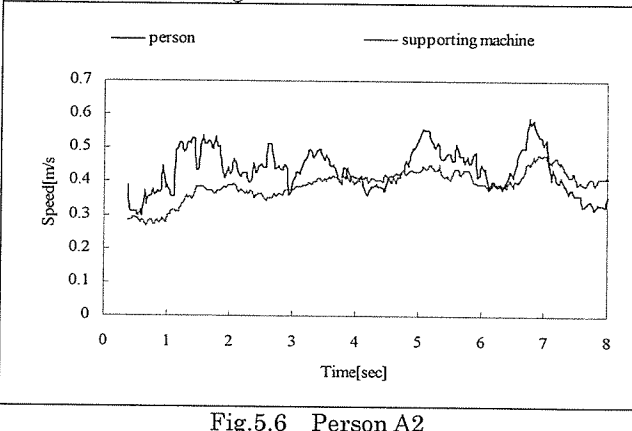


Fig.5.6 Person A2

次に、ハンドル部でのセンサーとしてグリップの有無を荷重計とは独立して設置し、その神聖性を向上させることを検討している。

ハンドルにc d sセルを搭載することで、歩行機に人が掴まっているかどうかを判断する。つかまっていれば歩行機は動き、放していれば歩行機は止まるようになっている。

Fig5.7 にハンドルを上から見た図を示す。ハンドルにc d sセルがついていて掴まっているか判断する。

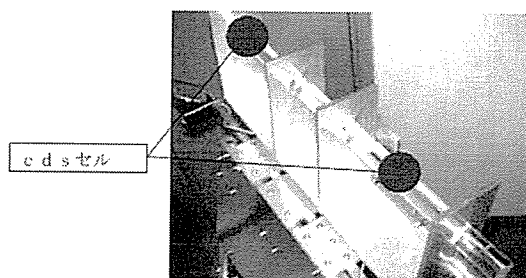


図 5.7 CDE セル付ハンドルグリップ

また、ハンドルと本体構造の間に装着し、両者間の荷重の測定と共に両者の支持・結合の役割も兼ねる方式として、アルミブロック型3分力ロードセルの開発を行っている。

3分力ロードセルは、起歪体と呼ばれる弾性体(ロードセル本体)に対して、図5.8のようにひずみゲージを接着している。

また、図5.9に示すように、Fx, Fy, Fzの3方向の荷重は、独立した回路で干渉のない正確な力の計測が可能で

あ  
る。本体側のパイプとハンドル側のパイプを挟むように  
締め付けて、両者を結合すると同時に各方向へ感度への  
重み係数を考慮した変形を可能としている。

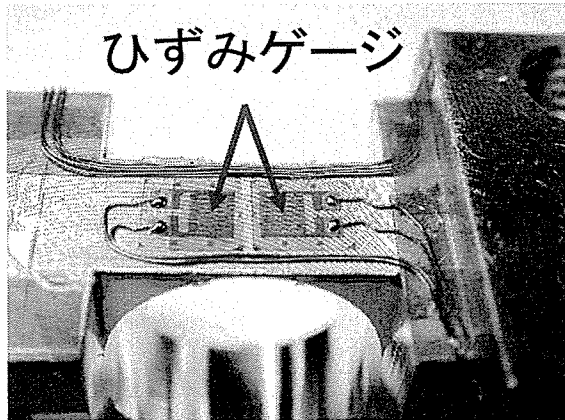


図 5.8 ひずみゲージ

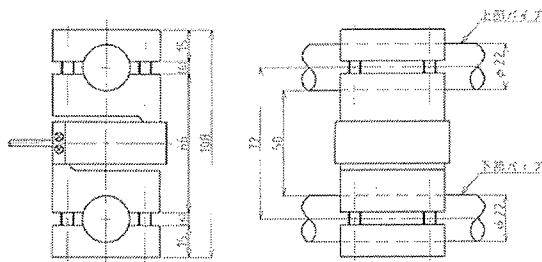


図 5.9 3分カロードセル

### 5. 6 歩行リズムと歩行速度の関係

トレッドミル上に実機同様のハンドルを設け、ハンドル下部に6軸(XYZ軸と各軸周りのトルク)の力センサを取り付ける。軸の方向は、ハンドルを正面進行方向に握ったとき、X軸が左右(右向き正)、Y軸が前後方向(前向き正)、Z軸が上下方向(上向き正)となる(Fig.5.10, 5.11)。

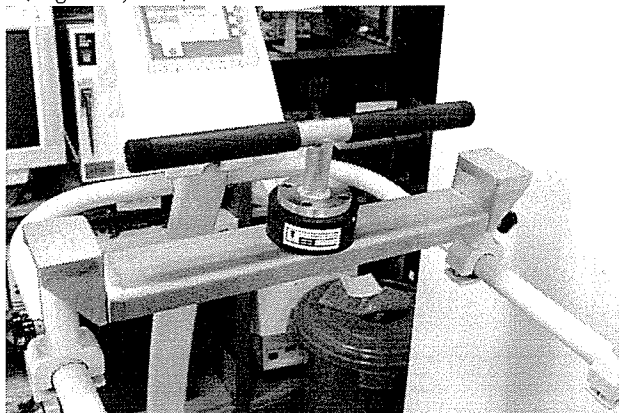


Fig.5.10 ハンドル部取り付け

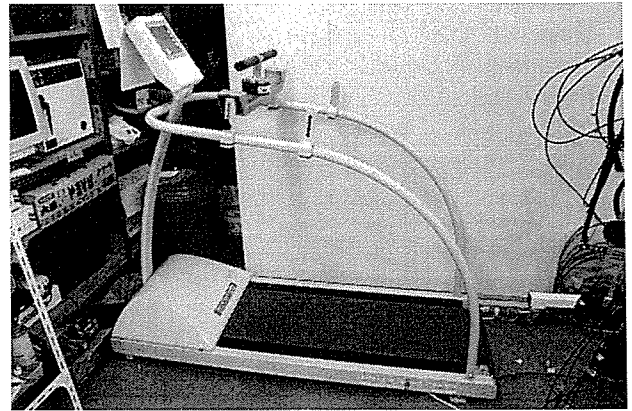
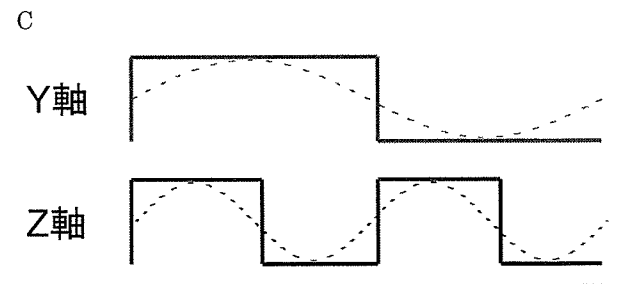
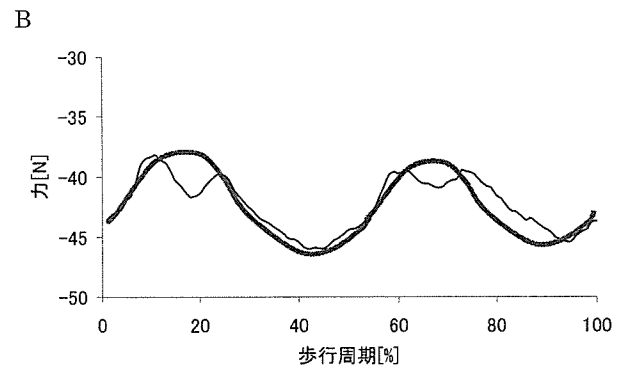
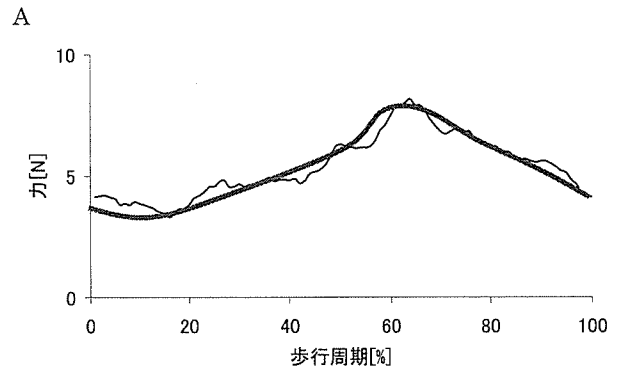


Fig.5.11 仮想歩行支援機実験環境概観

前後方向および垂直方向の力がそれぞれ単峰性、2峰性のパターンに収束した。これを図示すると、Fig.5.12となる。つまり、1歩行周期中の前後方向(A)および垂直方向(B)の力波形はそれぞれ周期関数として表現できることになる。周期関数で記述できるとは、Fig.5.12 Cに示すように、閾値を設けることでより単純な矩形波に置換できることを意味しており、この2軸の組み合わせから歩行フェーズの推定が可



Y軸	1	1	0	0
Z軸	1	0	1	0

Fig.5.12 各力が収束したパターンの模式図



能であるとわかる。本実験の結果、この2軸の組み合わせにより、1歩行周期中の4フェーズが推定可能となった。実際に推定可能な歩行フェーズは Fig.9 に示すように、前後方向からは片足立脚期、また垂直方向から対側の遊脚期をそれぞれ推定可能であるとわかる。

次に周波数解析の結果であるが、それぞれのピーク周波数の関係性は次式となる。

$$\text{Peak freq. Z} / \text{Peak freq. Y} \approx 2 \quad (1)$$

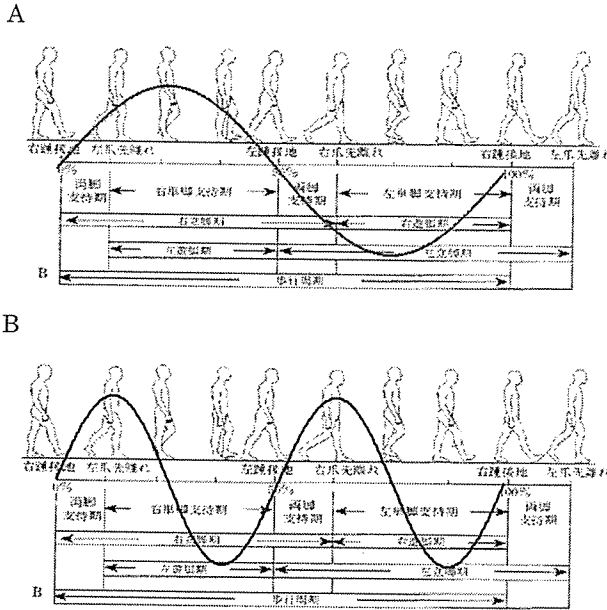


Fig.5.13 推定可能な歩行フェーズ

また、この関係性は歩行速度に依存しなかった。(1)式の物理的意味は、歩行速度に代表される時間領域での関係性が一様であるということである。つまり、歩行支援機を使用する際に想定される歩行速度は高々時速4km/h(健康な成人の一般的な歩行速度)であり、この領域内であれば前後方向および垂直方向の力さえ計測されれば、歩行フェーズが推定できるということである。換言すると、このパターンからの逸脱は、歩行支援機を使用している使用者が定常歩行を行えていないということである。制御工学的には過渡応答における定常状態からの逸脱であることから、この関係性にさえ注意を払えば、歩行支援機の制御系としてその歩行時の安全性を確保する指標の1つとなりうることになる。技術的な課題としては、この2軸の出力をどの時点でフィルタリングすべきか?となり、対処法は(A)制御系におけるHi-Cut フィルタリング、(B)電気回路の2点となるが、これらは些細な問題にすぎない。

以上のことから、歩行支援機から得られるパラメータから一様なパターンと周期性を抽出することにより、歩行フェーズが推定できることが示唆された。

## 6. 前車輪廻りの新機構の検討

### 6.1 キャスタ方式/ステアリング機能—その1

キャスタ方式とステアリング方式の欠点を克服するための方策案を示す。

#### 6.1.1 第3輪方式

キャスタは旋回時に最も利点が活かされる。そして旋回時以外の直進時などはむしろステアリングによる操舵を行った方が凹凸路や段差進入時に対しても有利である。以上のことから、キャスタを狭い場所での旋回が必要な時のみ使用する方法として、前輪以外に第3の車輪により前輪を持ち上げ、旋回する方式である。(図6.1)

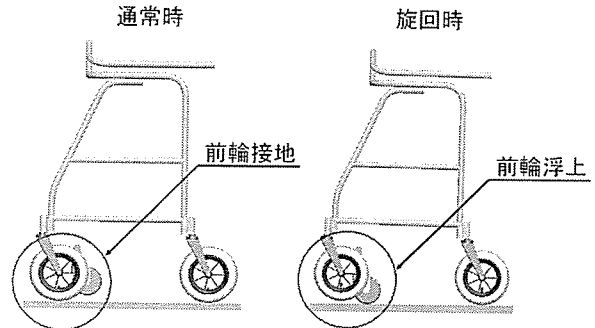


図6.1 第3輪方式

この方式は回転半径の小さな旋回をできるだけでなく、前輪を持ち上げるにより段差乗り越しにおいても非常に有利であるといえる。尚、第3輪を配置する場所については検討が必要である。第3輪を前輪より前側に配置する場合、旋回の半径は大きくなるが、段差乗り越しなどの際に有利である。一方、第3輪を前輪より後方へ配置すれば旋回半径を小さくでき、歩行支援機から余計な出っ張りをなくすることができるという利点もある。

#### 6.1.2 段階的作動角切替装置

旋回時にはある程度操舵角が必要となるが、常に操舵角が大きいと、直進性の高さや悪路走行の強さというハンドル操舵方式本来の利点が損なわれる。そこで、図6.2のストッパーを使い、前輪の最大操舵角度を通常走行時]と旋回時で切り替える方式である。

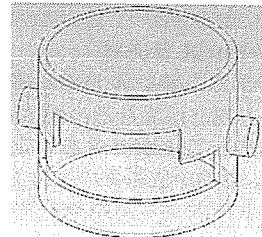


図6.2 舵角ストッパー

取り付けと切り替えのイメージを図6.3に示す。

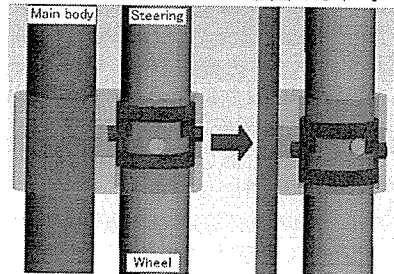


図6.3 取り付けイメージ

上記の操舵角切り替え機構では、通常の走行時には安定する操舵角 35[deg] を使い、自転時のみ操舵角 63[deg] と後輪のパワーステアリングを使用することで、ハンドル操舵方式の利点を活かしたまま、スムーズな自転を行うことができる。様々な使用条件に対応するため、自動で操舵角を切り替える機構や、操舵角以外の切り替え機構についても検討している。

### 6.1.3 カム式作動角制限装置

後輪によるパワーステアリングによる自転を考えた場合、前輪の角度は  $63[\text{deg}]$ 程であるとよいことがわかったが、実際の使用を考えると、常に  $63[\text{deg}]$ 切れてしまうと直進安定性が損なわれるなど、本来のステアリングの長所を損なってしまう恐れがある。そこで、その場での旋回が必要なときのみ  $63[\text{deg}]$ 程ステアリングが切れ、通常使用時は  $35[\text{deg}]$ 程度の切れ角になるようにする装置を図 6.4 に示す。

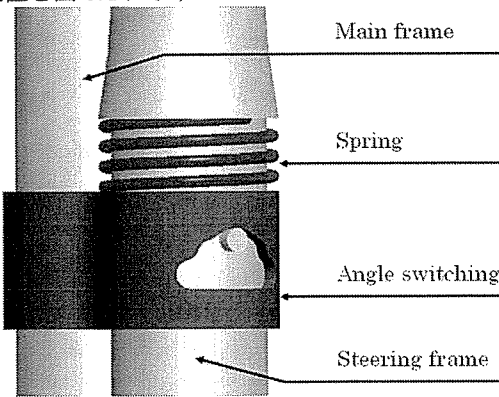


図 6.4 カム作動角制限装置

これは、通常  $35[\text{deg}]$ のハンドル切れ角となっているが、使用者がその場での旋回をしようと、ステアリングを強くきくと、ガイドに沿ってスプリングが縮められ、 $65[\text{deg}]$ まで操舵角が広がるというものである。そして、スイッチレスの概念により、それにあわせ後輪のモーターを左右それぞれ逆方向に回転させることにより、その場での旋回を自動的にアシストできるようにするというものである。

操舵角制限装置はステアリング方式に限らず、キャスト方式にも使用可能である。カム部の傾斜とバネ定数を変えることにより、あるタイヤ角度のときの求心トルクを自由に設定することが可能である。

### 6.1.4 傾斜キャスト方式

通常のキャストでは特に段差乗り越しの際に車輪が被支援者の進行方向とは異なる方向に向いてしまい、段差をうまく乗り越すことができないという問題が発生することがある。車輪が使用者の進行方向とは異なる方向に向いてしまう原因としてキャストの重心位置がある。重心位置が常に進行方向に対して後方であれば、車輪はロードノイズを受けても被支援者の意図しない方向を向くことはないはずである。そこで重心を常に後方に置いておく装置としてキャスト旋回軸を傾斜させること（以下傾斜キャスト）を提案した。傾斜キャストでは車輪の切れ角はキャスト旋回軸の傾斜角度に依存する。キャスト旋回軸の傾斜角度を制御することにより従来の自在キャストと同様に高い旋回性能を維持しつつ、直進性に特化した操舵装置になりうる。

### 6.1.5 パワーステアリング

パワーステアリングはモーターにより後輪の左右輪を逆回転させることでその場での旋回をアシストするものである。この方式は単体での採用も可能な上、操縦装置との併用が可能であるという利点がある。

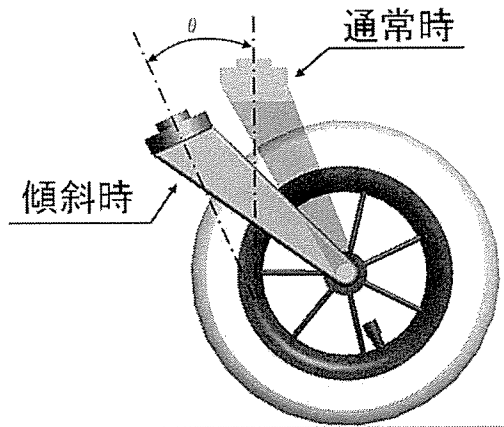


図 6.5 傾斜キャスト

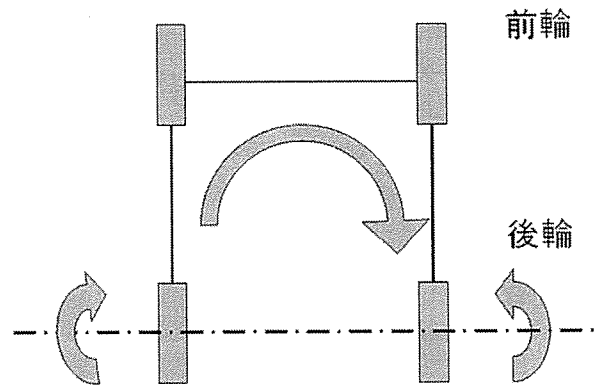


図 6.6 パワーステアリング

### 6.1.6 各方式の比較と決定

6.1.3,6.1.4項で述べてきた各方式の比較を表 6.2 に示す。

表 6.1 各方式の比較

新方式	方式		特徴
	キャスト	ステアリング	
第3輪方式	△	○	悪路対応可能なステアリング方式。前輪を浮上させるため、アクチュエータにより装置が大掛かりになる。
段階的作動角切替え装置	—	○	シンプルな機構で操舵角を制限できる。反面切替が不連続であるため、使用上のフィーリングに問題が残る。
カム式作動角制限装置	○	○	アクチュエータ不要で操舵角の連続的な制限が可能である。
傾斜キャスト	○	—	連続的な操舵角の制限が可能であるが、左右輪のリンク、アクチュエータ・機構等問題が多々残る。
パワーステアリング	○	○	唯一後輪によるアシストであるため、すべての方式と組み合わせ可能である。

以上、比較した結果、アクチュエータが不要で連続的に制限が可能なカム式作動角制限装置を採用するのが最適と判断した。また、カム方式との組合せにはできるだけシンプル・軽量にするためにキャストとの組合せがよいと判断した。以下、このカムキャスト方式について述べる。

## 6.2 カムキャスト方式

### 6.2.1 構造

カムキャスト方式は、前輪部に用いたにキャストの旋回軸の回転によりカムを押し上げ、スプリングが伸縮することでキャストの作動角を制限する装置である。カム傾斜のつけ方、スプリングのばね定数を変えることでキャストがある角度を向いている時の、中心に戻そうとする力（以後求心力とする）のセッティングを無段階に変える事が可能である。図 6.7 にイメージを示したが、図 6.8 に具体的な構造を示す。

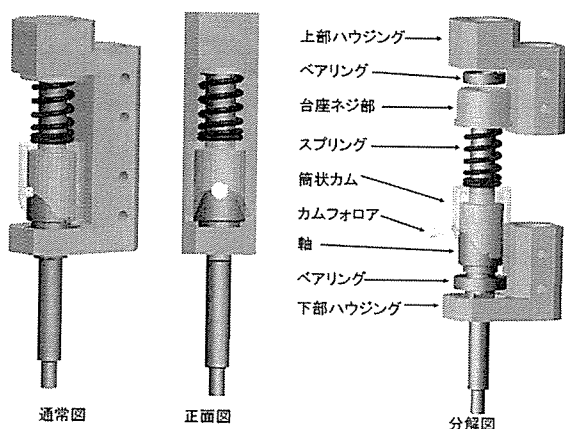


図 6.7 カムキャストの構造

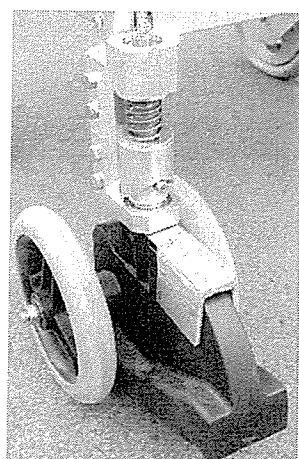


図 6.8 カム式キャスト

図 6.9、6.10 に実験結果を示す。横軸が時間、縦軸が左右のキャスト切れ角である。カムプロファイルによるキャスト回転角制限システムの有無による比較を見るとカム式がよく制御されているのが分かる。

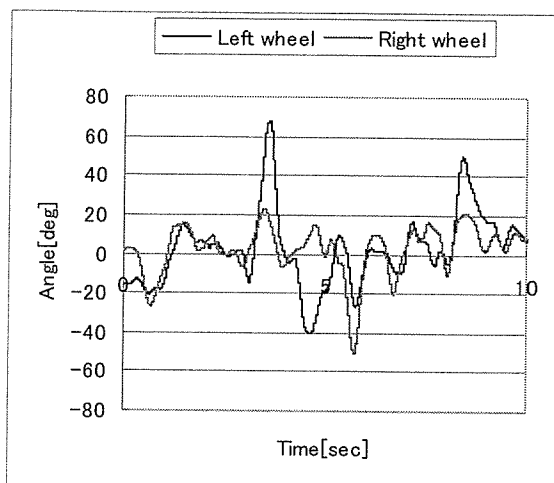


図 6.9 カムなしキャスト：砂利路

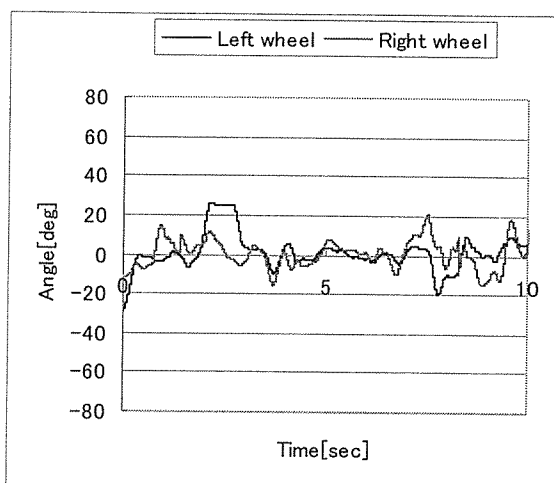


図 6.10 カム式キャスト：砂利路

## 6.3 操舵機構の開発

### 6.3.1 操舵方式の選定

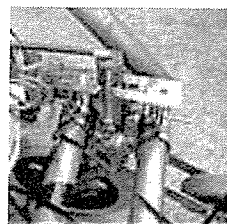


図 6.11. A 案

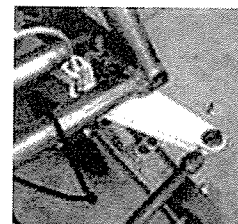


図 6.12. B 案

表 6.2. 操舵方式の選定

場面	機構A案	機構B案
横方向の傾斜路	キャストロック状態	ステアリング操舵
エレベーター内での旋回	キャスト	キャスト
狭い通路での小回り旋回	キャスト	ステアリング or キャスター
傾斜路での旋回	キャスト	ステアリング操舵

エレベーター内で自転ができ狭い通路での小回り性能を向上させる。この性能とハンドル操舵による安定性能を両立させる為、キャストを必要に応じてロックして

操舵する方式を選定した。(図 6.11, 図 6.12)キャストロックでは横流れ防止が困難。

### 6.3.2 キャスターロック機構設計

ロック機構のピンを受ける円筒部分の輪郭線形状を一部が窪んだスロープ形状にすることでロック動作がスムーズに行われるようにする。(図 6.13, 6.14)

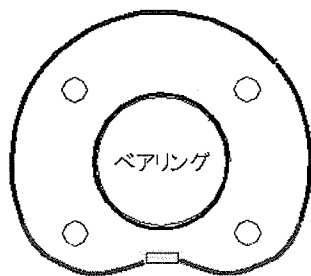


図 6.13. ピン受け部の輪郭線形状

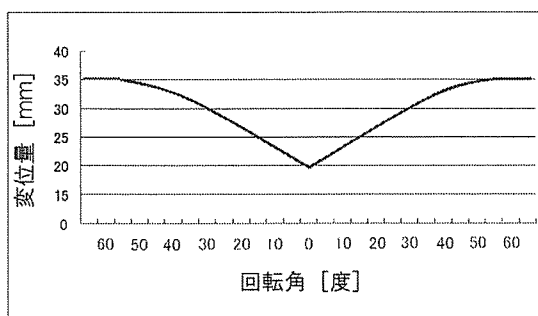


図 6.14. ピン受け部の窪み部の変位量

ピンはピン受け部との摩擦特性や対磨耗性を考慮して鉄鋼製とした。また先端部を球状にしてピン受け部と均一に接触するように図った。ピンケースはアルミニウムの削り出しで、ピンが入る穴にスプリングを入れることでピンを押す。(図 6.15)

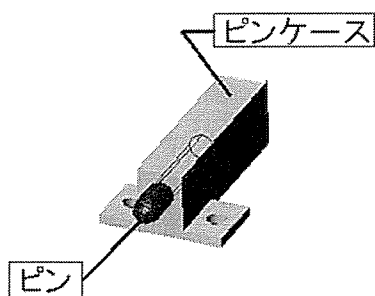


図 6.15. ピン部の CAD モデル

ピンをピン受け部に押し当てることで、ロック穴の位置に向かう回転力が発生する。この回転力によりキャストをロックする際に、キャストが直進方向から多少ずれていてもキャストを直進方向に誘導する補助の役割を果たしロックがスムーズに行える。(図 6.16)

ピンの出入りは、ステアリングコラム上にあるレバーで行う。(図 6.18)

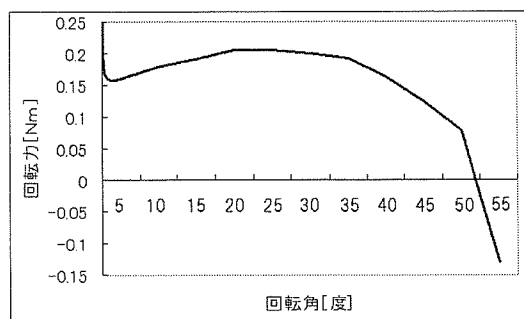


図 6.16. ロック部分の回転力

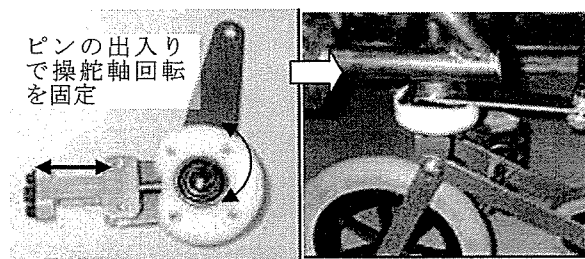


図 6.18. キャスターロック機構

### 6.3.3 性能評価実験

開発した機構を搭載した歩行支援機で、小回り旋回のテスト、および横傾斜路における走行試験を行い横流れの量を測定した。

その結果、ステアリングによる小修正を行ないながら進むことが不可欠と判断された。

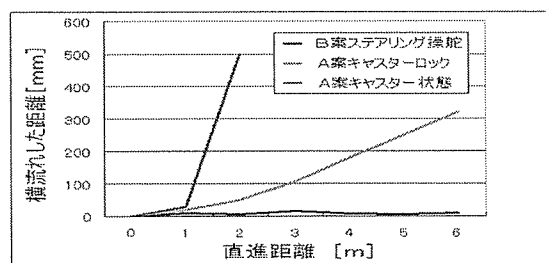


図 6.19. 横傾斜路( $\theta=4^\circ$ )における横流れ量

また、キャストからハンドル操舵に切替えた時のロックされるまでに進む距離を計測した。

タイヤの初期向きを進行方向と逆の向きとした。

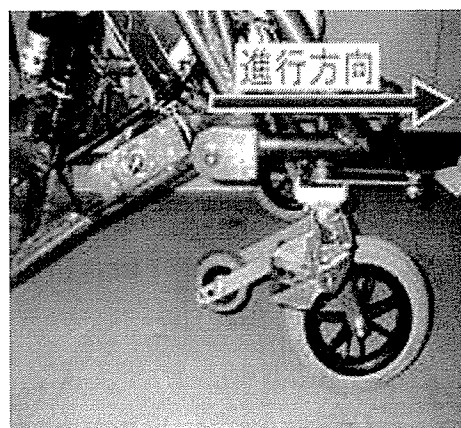


図 6.20. 操舵への切替時のキャスト初期位置

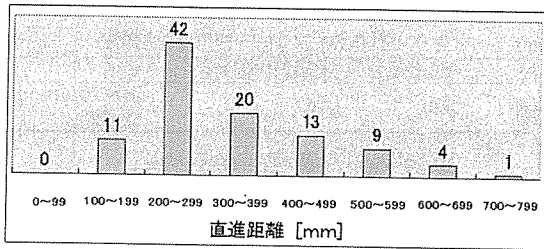


図 6.21. ロックまでに進む必要距離

ハンドル操作により横傾斜路でも横流れがほとんどゼロの安定走行を達成。(図 6.19)

走行距離 600mm以内で 95%の確率でロックができることも確認された。(図 6.21)

### 6.3. 前輪の段差乗り越え時の衝撃力

計測結果から特徴的なグラフ形状を示しているものを抜き出して以下に示す。

Fig.6.22 は、歩行支援機が段差を乗り越える際に片方のハンドルにかかる垂直荷重と Z 方向の加速度のグラフである。Z 方向加速度より 6sec 前後の前輪の降下などが起こっていてハンドル部垂直荷重も変動しているが概ね 100N 前後を行き来している。

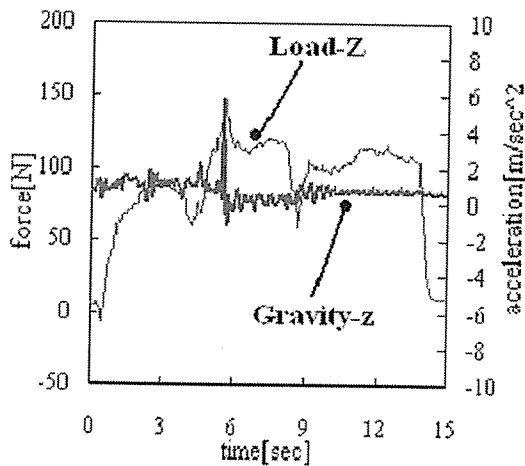


Fig. 6.22 . Result of experiment subject B with weight

次に歩行支援機使用時の左右ハンドル部の垂直荷重合計の平均値を求める。計測開始時や終了時に急激な荷重の減少が見られるが、計測機器の操作などでハンドルから手を離れた為に減少したと考えられるので計測開始と最後の 3 秒間は除外して計算する。

Tab. 6.3 Steering wheel load Unit: N

Test	First	Second	Third	Mean
Person ①	254	194	177	208
Person ②	204	209	219	205
Person ③	155	132	146	145

Tab. 6.3 より被験者により差があるものの、何れも 3 章で求められた 20mm 段差を乗り越えるのに必要なハンドル部荷重, 50mm 段差を乗り越えるのに必要なハンド

ル部の荷重ともに大幅に上回っている。よって段差乗り越しに必要なハンドル部垂直荷重条件は容易に満たすことができる条件だと言え、歩行支援機は 20mm 段差や 50mm 段差を乗り越える際にも特に力を加える必要がなく通常の使用方法で乗り越えることができると考えられる。

### 6.4 前輪ゴムタイヤの効果

従来の歩行支援機ではソリッドタイヤを使用していた。ソリッドタイヤでは、凹凸路を走行したときのガタつきや段差を降りた際の衝撃が大きく、かねてから、その問題が懸念されていた。

そこで、今回の歩行支援機では直進安定性や段差の衝撃緩衝, 安心感のある見た目により使用者の不安を軽減する目的で、サイズは前回同様 8 インチで、両輪空気入りゴムタイヤ, アルミホイールを採用した。



図 6.23 前輪取り付け図

#### (1) 実験目的

カムと空気入りゴムタイヤをつけた歩行支援機が段差に出くわしたときの衝撃を調べて、使用者の体の負担が減少していて、その結果、問題のない使用感が得られているのかを検証する。

#### (2) 実験方法

使用感を評価するにあたって、実機に加速度センサを取り付け、段差の昇降時の加速度を進行方向 (X 軸) で計測することによって横揺れを調べた。

また、初速度 0 の状態からの段差乗り越え能力を検証するので図 6.23 のように前輪を 20mm 段差に接触させた状態からの段差乗り越えを行う。

上に挙げた条件で、ソリッドタイヤとゴムタイヤを、その都度付け替えることにより比較実験を行った。

#### (3) 実験結果

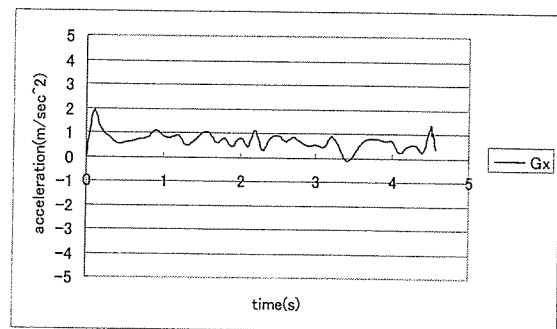


図 6.24 ソリッドタイヤ装着時の段差乗り越え横揺れ加速度

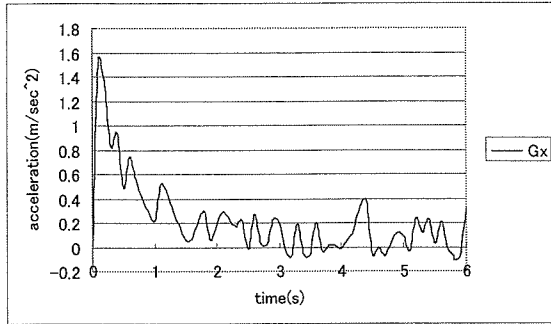


図 6.25 空気入りタイヤ装着時の段差乗越え横揺れ加速度

	20mm	50mm		20mm	50mm
前輪	4.82	8.05	前輪	2.42	4.51
後輪	1.43	3.42	後輪	6.01	4.01

測定された上下加速度[m/sec<sup>2</sup>]      測定された前後加速度[m/sec<sup>2</sup>]

図 6.26 段差通過時の歩行支援機に加わる加速度

	20mm	50mm
前輪	2.84	4.35
後輪	6.01	10.4

測定された電流量[A]

図 6.27 段差通過時の消費電流値

#### (4) 考察

実験の結果、ゴムタイヤ装着時の方が段差に出くわした時の横揺れが少なく、直進安定性が向上し、使用する際のフィーリングの向上をはかることができた。

また前輪接触時の衝撃は使用者に段差の存在を知らせるシグナルになり、段差を跨ぐ際の躓き事故の防止に効果があると考えられる。

- ・ 上下方向加速度は 20mm より 50mm の方が加速度が大きい
- ・ 段差を乗越えるのに必要な時間は 20mm の方が短いですが、50mm と極端な差もないので上った距離の差が上下加速度の差の原因と考えられる。
- ・ 前後方向の加速度で最も高い値を記録したのは、上下方向とは違い 20mm 段差であった。

### 6.5 前輪減衰機構設計

減衰機を選定するにあたり、減衰調整機構付と片方向のみに減衰が生じるヒンジダンパーを候補としてあげた。減衰調整機構により、さまざまな状況に応じた、減衰能力を得ることが出来るが、段差を昇る際、ダンパーの反力が使用者への付加となることが考慮され、コストも高くなってしまふ。

以上より、ヒンジダンパーを採用した。段差を昇る時はダンパー反力が負荷にならずに高い減衰比を設定することが可能となり、ばねの反力から発生する加速度を解消する。図 6.28 に前輪減衰機構 CAD モデル及び実物、図 6.29 に段差乗越え時の力学モデル、図 6.30 に段差降下時の力学モデルを示す。

表 6.3. ダンパー選定の比較表

項目	ヒンジダンパー	減衰調整機構付きダンパー	備考
重量	410g	320g	ヒンジダンパーの方が重量増
取付方法	全長が短いため、現在の前輪機構への取付が容易に可能	全長が長いので現在の前輪機構に搭載するためには、フレームやステアリング機構などの大幅な変更が必要	ヒンジダンパーの方が取付が容易
価格	6200円	16100円	ヒンジダンパーの方が安価
機能	片方向のみに反力が発生するため、段差を昇降時の抵抗にならず、ダンパーによる使用者への負荷が生じない	両方向にダンパーの反力が生じるため、段差昇降時の抵抗になり、ダンパーによる使用者への負荷が生じる	ヒンジダンパーの方が、使用者の負担を軽減する、歩行支援機の目的に一致する
減衰調整	調整が不可能。そのため、様々な高さの段差に適した減衰を得ることが出来ない	調整が可能。その為、様々な高さの段差に合った減衰を設定することが可能	ヒンジダンパーは様々な段差に対して適切な設定が出来ない
メンテナンス	メンテナンスフリー	減衰調整のセッティングが必要	ヒンジダンパーの方が高齢者向け

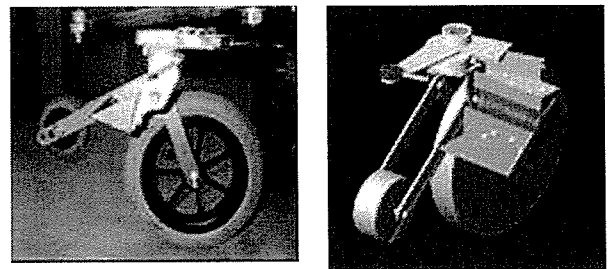


図 6.28. 前輪振動減衰機構

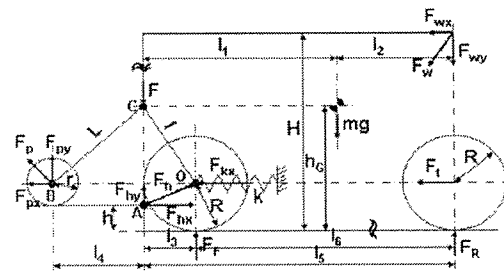


図 6.29. 段差乗越え時の力学モデル

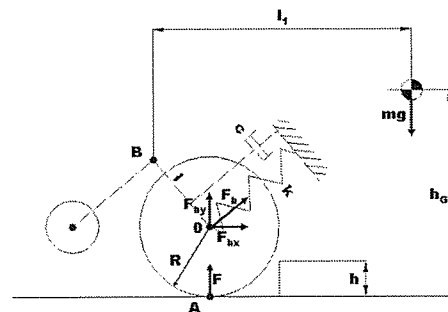


図 6.30. 段差降下時の力学モデル

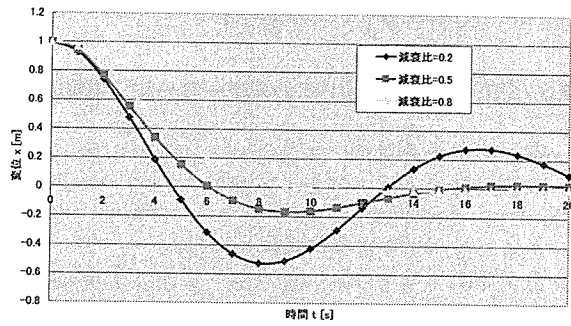


図 6.31. 段差降下時の振動へのダンパーの影響

計算の結果を用いて、減衰比 0.8 を採用した。これにより、段差乗り上げ時はヒンジダンパーの特性から使用者への負荷が生じず、段差降下時は早期振動緩和を実現し、使用者への不安感の低減を達成する。

(性能評価実験)

使用者が不安に感じず安心して使える振動加速度は図 6.32 の限界線の下になる。加速度センサーによる実測結果として、ダンパー有無による車軸部前後方向加速度比較、ハンドル部の上下加速度比較を以下に示す。

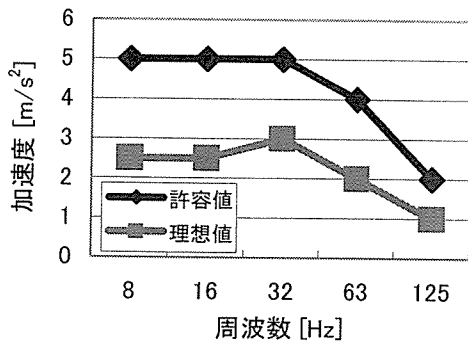


図 6.32. 使用者が不安に感じる振動限界

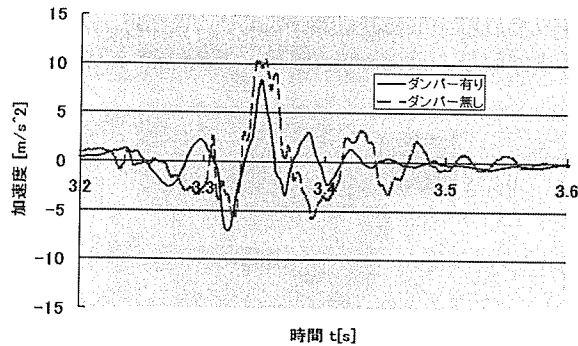


図 6.33. 車軸部前後加速度比較 (実測値)

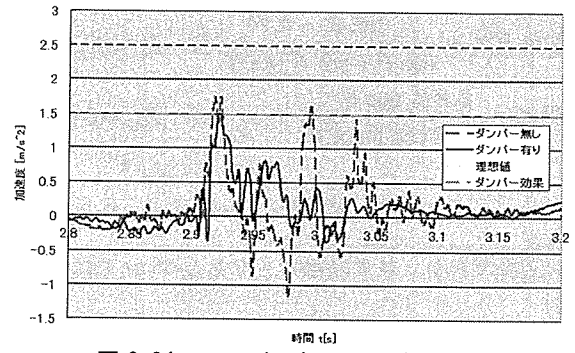


図 6.34. ハンドル部上下加速度比較

図 6.34 より、ハンドル部上下加速度は以前の官能実験で立てた目標の  $1.5 \text{ m/s}^2$  以下に低減できた。

7. 後輪・駆動輪と電動モーター

7.1 後輪乗越え時の必要トルク

後輪は、基本的に段差乗越え装置を装着しない。これは、後輪が駆動軸であるので、段差に空気入りタイヤが食い込み

車軸に加わる電動モーターからのトルクが大きく、摩擦係数  $\mu=0.8$  を想定することができるためである。この時に必要な軸トルクを算出する。

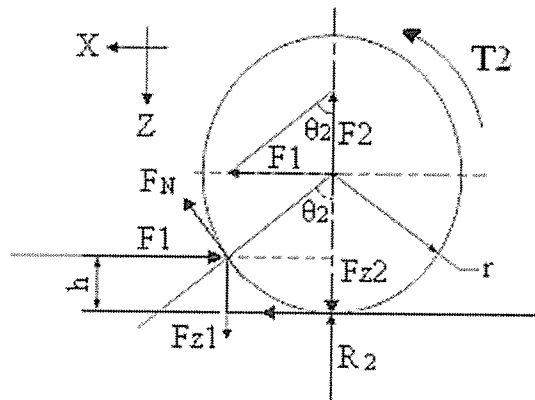
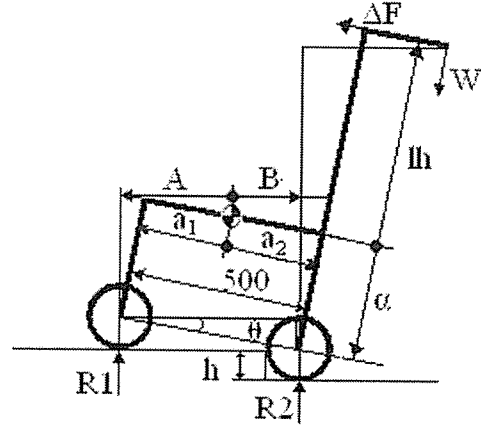


図 7.1 後輪駆動軸の段差乗り越え



$$T_z = F_v r_z = \frac{R_z \tan \theta_z - \Delta F}{\cos \theta + \sin \theta \tan \theta} \quad R_z = F_{z1} + F_{z2}$$

$$F_v \leq \frac{0.8 R_z \cos \theta}{1 - 0.8 \cos \theta \sin \theta} \quad F_{z1} = 0$$

バリアフリー路面の段差高さ 20mm では、6.5Nm の軸トルクが必要であり、最大段差高さである 50mm では、10.5Nm の軸トルクが必要となる。

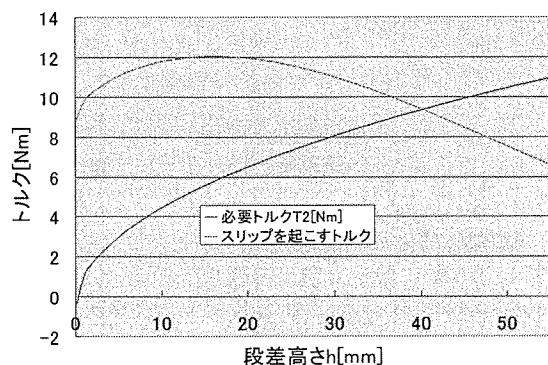


図 7.2 段差高さと必要駆動トルク

## 7.2 電動モータの要求性能・必要トルクの決定

上記から支援機に必要なトルク  $T$  を決定すると、登り坂や 50mm 段差乗越え(後軸)より、最大トルクは、

$$T_{MAX} \cong 10.5 \text{ [Nm]} \quad (8.10)$$

となる。このトルクは、車輪軸ベースで、極低速から 80rpm(登り坂 3km/h の歩行)で要求される仕様である。

快足レベルとして、5km/h の歩行を想定すると、車輪軸ベースで 133rpm の回転速度となる。一般に、快足で歩く時は、路面がなめらかで、歩きやすい状況が考えられ、必要トルクは数 Nm と考える。路面抵抗の大きい砂利路などここでは、想定しないが、上記の最大トルクであれば、ほぼクリアは可能と考える。従って、電動モータの出力は、10.5Nm/80rpm とすると、約 14wat の仕事率であり、効率なども考慮して、20wat 弱の出力を必要とする。

現存の電動モータでは、これらの要求仕様を満足するものは無い。数千 rpm で、小数点以下の Nm トルクの小型モータを用いて、減速し、その分トルクを稼ぐやり方が現実的である。しかし、多段のギヤ列やベルト列を必要として、騒音やメンテナンス、干渉などに加え、バックラッシュなどのがた系の影響が出てしまい、問題点が多い。

できれば、コンパクトで車輪部およびその近傍で構成される駆動力部を形成し、互換性や足回りのスペースを確保するものが求められる。今までのものも含め、以下の電動モータの検討を行った。電圧は、高い方が良いが、電源装置との関係もあり、12 または 24V を使用する。

- (1) TS4603DC サーボモータ+多段ギヤ列・バックラッシュ大、騒音大
- (2) 自動車用ドア自動開閉用電動モータ・ウォームギヤと電磁クラッチのセット  
電源断の時、車輪がウォームギヤでロックされてしまう。
- (3) ソーラーカー用アウターロータ電動モータを用

いたインホイール方式・まだやや回転数が高い  
・コギングトルクが若干大きい。

## 7.3 パワーウィンド用ギアードモーターによる駆動部

現在の歩行支援機に搭載されているサーボモータ一式駆動部はトルク不足が不足していると考えられる為、ミツバ製自動車のパワーウィンド用ギアードモータを用いた歩行支援機用駆動部を製作する。パワーウィンド用ギアードモータはウォームギヤと電磁クラッチを備えており、その特徴について以下に示す。

- (1) ギヤ部にウォームギヤを採用したことで低速回転・高トルクを発揮でき、手押しで回転しない。
- (2) 電磁クラッチを採用しているため、ウォームギヤ付きでもクラッチを切ることで手回しで回転できる。
- (3) 回転数を検知することのできるセンサーを搭載している。

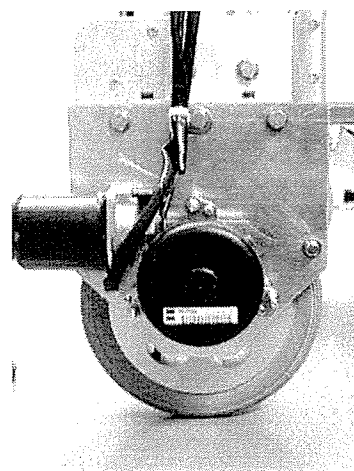
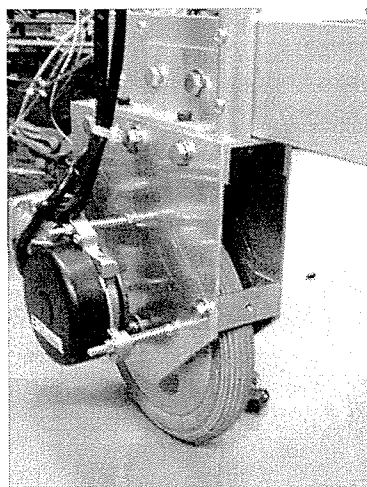


図 7.3 パワーウィンド用ギアードモーター

表 7.1. Geared Motor

仕様	DC ブラシレスモーター
動作電圧(V)	12
ギヤ構成	ウォームギヤ一段のみ
クラッチ	電磁クラッチ(非通電時クラッチ off)
制御系	回転数検知機能有



表 7.2 Geared Motor Unit

	歯車 1	歯車 2
モジュール	1.25	1.25
歯数	30	26
基準円直径 (mm)	37.5	32.5
歯幅(mm)	8	8

駆動部のスペックについて

上記ギアードモーターを下記に記す一組の歯車を用いて動力を伝達する。採用されているタイヤは直径 200mmの空気入りゴムタイヤである。

7.4 インホイールモーターによる駆動部について

段差乗り越え時や前進速度の調整など細かい制御を従来の歩行支援機で行う場合、駆動部のバックラッシュの解決が課題となっていた。そこでダイレクトドライブのできるインホイールモーターを用いて細かい動作に入力に機敏に反応できる足回りを製作する。インホイールモーターの特徴として、

- (1) 小径高トルク、DCダイレクトドライブモーター
- (2) エコランレス用モーターで実績のある低損失ケイ素鋼板と高占積率巻線

とであり、これをベースに改良をしたものである。巻き線や高磁気密度磁石などの採用で、高トルク化を図ったが、ややコギング現象が目立っている。最大トルクが約 7Nm であり、要求仕様には達していないが、バリアフリー路面では問題なく稼働ができる。

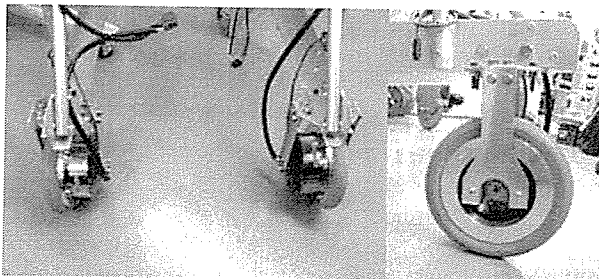


図 7.4 インホイール電動モーターの装着状態

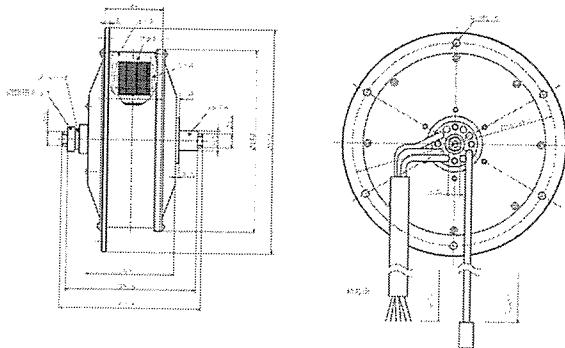


図 7.5 アウターローター式インホイール電動モーター

導入したインホイールモーターのスペックについて以下に記す。

インホイールモーターの逆転と正転を交互に繰り返して反応速度を見たところ、時間的ロスがほとんど無く機敏に反応してくれたので、細かい制御を実現することができる見込みが立った。ダイレクトドライブの特徴が出ており、段差乗り越え時など無駄時間が無く、フィーリ

ングの良い制御が可能である。しかし、コギング現象がかなり目立っている。使い方によっては、節度感がでて、必ずしもマイナス点とはならない。

表 7.3 In Wheel Motor

仕様	DCブラシレスインホイールモーター
動作電圧(V)	24
定格出力(W)	40
最大出力(W)	70
最大効率(%)	85
定格負荷回転数(rpm)	135

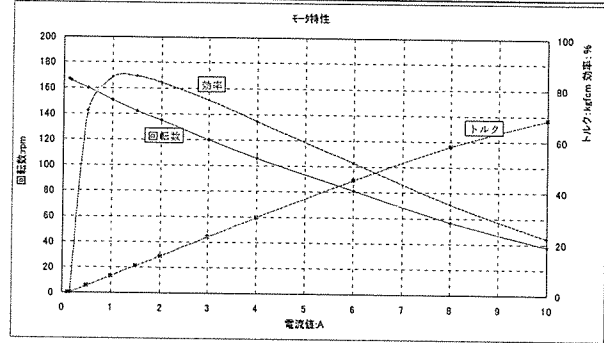


Fig. 7.6 In Wheel Motor Spec

8. 本体構造・ハンドル高さ調整の検討

フレーム寸法を考える際にはじめに考慮すべきは、フレームの高さである。歩行支援機の高さ（ハンドル高さ）が変わると、ある程度の高さまでは Fig8.13 のように前腕で姿勢の調節を行い、それ以下になると Fig8.2 のように腰で姿勢の調節をしている様子が見られ、前腕、上腕、腰の角度に変化があらわれる。そのため最適な歩行支援機の高さとは、使用者の前腕、腰の角度が自然な最適角度のときに無理なく使用できる高さが求められる。以下では握りハンドル、肘掛ハンドルの二種類で最適なハンドル高さを検討する。

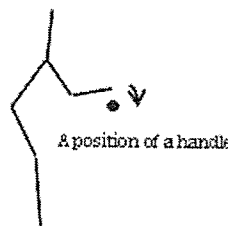


Fig.8.1 An upper arm angle

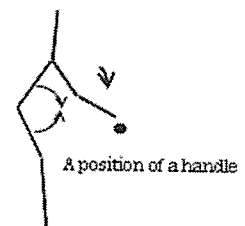


Fig8.2 Waist angle

(1) 握りハンドルのハンドル高さ

握りハンドルの場合、最適なハンドル高さは、肩峰高さから最適角度をとった腕が、どれだけ下がるかによって決まるため、以下のように求められる。

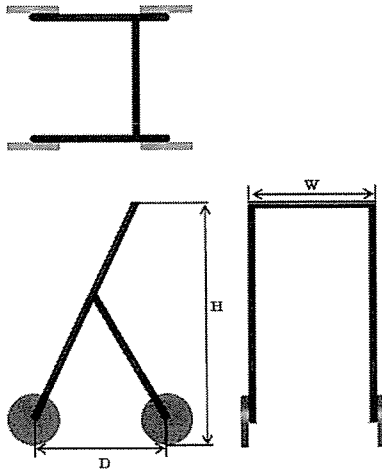
最適高さ = 肩峰高さ - 上腕長  $\sin 65^\circ$  + 前腕長  $\sin 23^\circ$   
 上式に年齢別の成人女性の人体標寸法をあてはめ比較すると、握りハンドルの最適なハンドル高さは、平均値から考えると約 850mm となり、5%、95%のタイル値を考慮すると 760~915mm の範囲であることが望ましいといえる。ハンドル高さにはフレーム高さ以外にハンドル部分の高さ(約 50mm)と、タイヤ高さ(約 230mm)が含まれるため、フレームの最適高さは、それらを除いた約 580mm 付近が好ましいといえる。

(2) 肘掛ハンドルのハンドル高さ

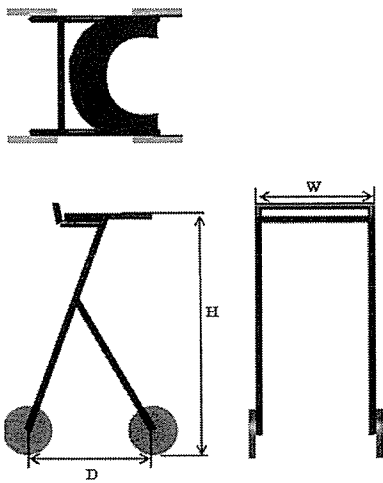
肘掛ハンドルの場合、最適なハンドル高さは、肩峰高さと上腕長さから、以下のように求められる。

$$\text{最適高さ} = \text{肩峰高さ} - \text{上腕長} \sin 65^\circ$$

上式に年齢別の成人女性の人体標寸法をあてはめ比較すると、肘掛ハンドルの最適なハンドル高さは、平均値から考えると約 920mm となり、5%、95%のタイル値を考慮すると 835~1011mm の範囲であることが望ましいといえ、握りハンドルよりも最適高さが 70mm ほど高くなっている。握りハンドルと同様に考えると、フレームの最適高さは、ハンドル部分の高さとタイヤ高さを除いた約 650mm が望ましいといえる。



(1) 握りハンドル形式



(2) 肘掛けハンドル形式

ハンドル形式	握りハンドル		肘掛ハンドル	
	機器	フレーム	機器	フレーム
高さ:H [mm]	850	580	920	650
横幅:W [mm]	520	500	520	500
前後幅:D [mm]	560	520	560	520

図 8.3 歩行支援機の主要寸法

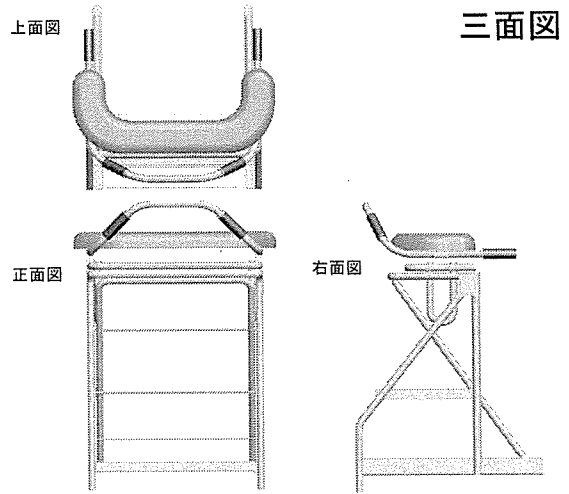


図 8.4 高さ調整付きハンドル部のレイアウト

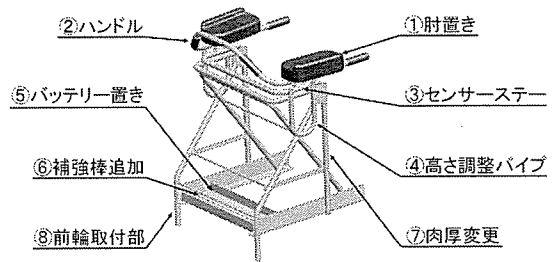


図 8.5 本体構造まとめ

D. 考察

9. 各研究室での試作機

9.1 試作 3-1号

芝浦工大岡村研究室での試作機を図 9.1 に示す。この前輪は大輪トレース・スライド式の段差乗越え装置を自在キャスターに装着したものを採用し、バリア走破性ととも小回り性も実現している。後輪は空気入りタイヤのみでサスペンションなし。また、電動モーターから後軸への駆動方式は、2種類の電動モーターを装着した。一つは、ウォームギアによる一段での大きな減速比を持つもので、車輪側からの空転ができないため、電磁クラッチを装着している。もう一つはアウトロータ方式でインホイールモーター型である。(こちらは後で詳細を述べる) また、ハンドル部は前進・下方・回転方向の荷重を測定するセンサーを備え、ハンドルに加わる荷重を測定することにより、駆動力または速度を設定することができる方式とアクセルレバー方式(左右独立)いずれも可能とした。従来よく使われる荷重制御方式に対して、速度制御方式の方がスムーズな操作感があることが確認された。まだ小人数のある限定された人を対象としており、今後さらに表が試験を継続する。また、前輪はキャスター方式で小回り性は実現しているが、複雑な方向転換や砂利道などではキャスターの動きが不規則になり、前進や段差乗り越え時に問題が生じている。この対策として、カムプロフィールを用いたキャスター回転角制御を自立的に行う装置を採用した。これにより歩行支援機の小回り性と直進性を両立させることを実現している。

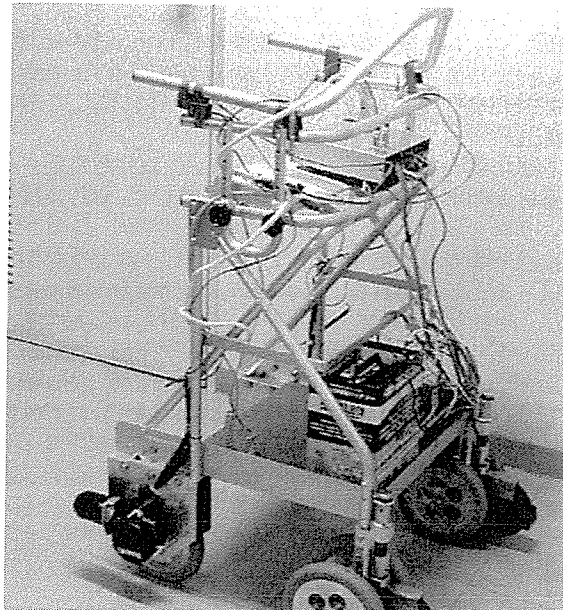


図 9.1 歩行支援機 試作 3-1 号 外観

### 9. 2 試作 3-2 号

芝浦工大川上研究室での試作機を図 9. 2 に示す。できる限りコンパクトで、単純な構造を持ち、特に、外界の障害物や歩行支援機と被支援者とのハンドルとのやりとりを色々なセンサーを用いて、制御することを中心に検討を行っている。前方の障害物があれば、その前方で接触しないように電動モーターに逆トルクをかけて停止するシステムである。前方の称外を乗り越えられる段差か、障害物かを判断するセンサーの工夫も採用している。また、歩行支援機と被支援者の距離が変化するとそれに従い動力アシストを変化させ、ある閾値を越えると歩行支援機は停止する方式としている。また、路面の傾斜角の検出を動力アシストにフィードバックさせる。万が一、大きな衝撃を加速度センサーで感知し、直ちに停止モードに入る方式を備えている。また、ハンドルは、ユニバーサルデザインではなく、歩行前進方向に対して水平直角方向の左右独立のグリップに限定した方式である。方式を限定することにより、握っている手の手首の自由度を利用して、いくつかの操作レバーの代用とする方式を試みている。原則としては、操作レバーレスで被支援者が歩行に集中する方式を採用しているが、これらの操作機能の併用を伴うグリップによるがどの程度受け入れられるかの提案である。初期評価では、良好との判断がでていますが、更に評価を続ける予定である。

### 9. 3 試作 3-3 号

図 9. 3 に神奈川工大石濱研究室の試作 3-3 号を示す。神奈川工大の試作機では、前輪は大輪トレース・スイング式の段差乗越え装置をステアーに直結した方式を採用した。ステアー(操舵機構)は多リンク方式を採用し、小回り性確保のため操舵角をできるだけ大きくとれるような配慮がなされている。後軸も電動モーターと組合せたアームスイング方式のサスペンションを採用し衝撃力低減を実現している。後軸への駆動は、幅広の歯付きベルトを利用し、後軸のアームスイング方式サスペンションと統合に成功している。今回は、アクセルレバー付きであるが制御は速度制御方式として、被支援者とのマンマシンインターフェイスを考慮している。特に、独自の段差乗り越え装置を考案している。大輪軌跡トレース方式を採用したスイング方式は、スイングリングのサスペンションとしてのスイング角のバランスを決めるスプリングをチューニングして、最適化が行われている。また、段差の乗り越え時の下方への衝撃については、特に後輪にイン

グ式のサスペンションを装着させて、仕様劇力の伝達を防止している。

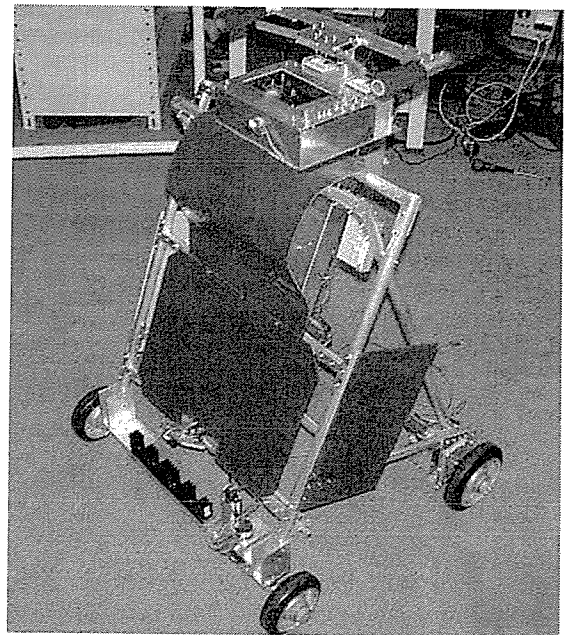


図 9. 2 歩行支援機 試作 3-2 号 外観

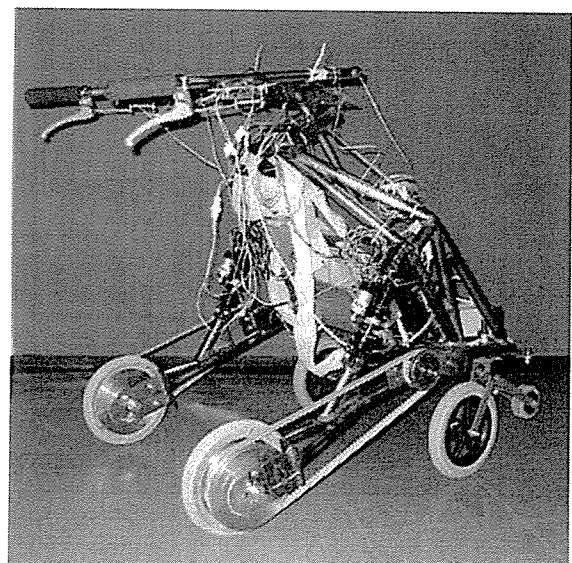


図 9.3 歩行支援機 試作 3-3 号 外観

## 10 福祉モビリティでの歩行機能効果の評価

歩行に不安を持つまだ歩ける人の歩行機能を、できる限り維持・増進させるための支援システムとして、歩行支援機の開発研究に取り組んできた。現在普及している簡易歩行器は限定的にしか用いられておらず、総合的に歩行を支援するシステムは見あたらない。車いすは、明らかに歩行困難な人にとって優れた福祉機器であり、現在では福祉モビリティの主役をなしている。従って、公共の交通機関や市街地・ビルの開発におけるバリアフリーは車いすを前提として考えられている。しかし、このバリアフリーは現状の歩行支援デバイスにとってはバリアとなってしまう場合がほとんどである。車いす用のバリアフリーを満足する地域は限定的である。その普及・整備だけでも大変であり、より高度なバリアフリー

の整備は経費も増大し現実的ではない。

従って、その代わりに、現状の車いす用のバリアフリー地域でも十分にその機能を活用できる歩行支援機が求められる。しかし、世の中では、歩行に関する支援の価値を十分認識されていないのが現状である。車いすに関しては、それなりの付加価値と購入コストのマッチングが定着し始めているが、より簡易で我々の身近な道具としてしか認知されていない歩行支援機は普及には多くの努力と時間が必要となる。しかし、上述のような高齢社会は待つてはくれない。歩行に関する意識の向上と歩行支援機の具体的な効果を、いかに効果的に示してゆかが課題となる。

### 10.1 有効な利用形態へのアプローチ

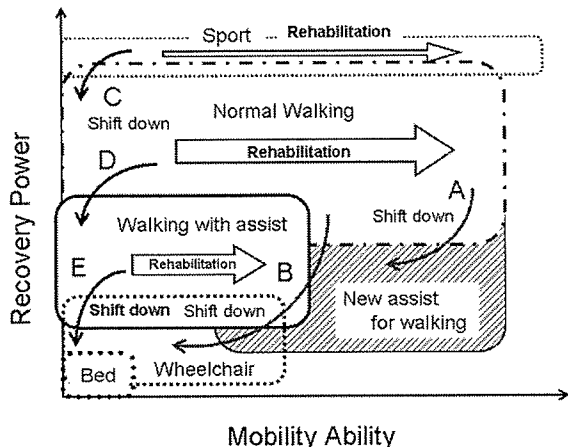


図 10.1 Welfare Mobility Chart

図 10.1 において、C, D, E は骨折などのダメージで移動能力が低下するが、ほとんどはその回復力によりリハビリテーションに成功する場合が多い。しかし、同時に、加齢により、ダメージからの回復力の低減と共に、徐々にではあるが A, B のプロセスで移動能力がシフトダウンする。歩行支援機としては、斜線で示す領域で、大きなダメージがなくても移動能力が低下するのを防止するのが役割である。本論では、A, B での移動能力減少への対応として、単にデバイスの開発だけではなく、多面的なユニバーサルデザイン手法による統合的システムが必要である。歩行支援機の開発研究の次のステップとして、いろいろなレベルの歩行支援機を提供できる体制を作り、モニターを通じて福祉社会への浸透をはかってゆく必要がある。

### 10.2 福祉モビリティとタウンモビリティについて

広域歩行者支援装置の実用化に向けた研究と併行して、本研究は、高齢者が歩いて楽しいまちに必要な「タウンモビリティ」（高齢者の移動機能を支える仕組みの通称）に関する現状について、全国の事例をもとに分析した。このようなタウンモビリティの概念は、英国で 1970 年代から始まり、全英約 300 箇所において展開が図られ、歩行支援のために電動カートが取り入れられている。わが国でも、1990 年代以降、全国各地で事業化が試みられてきた。この研究では、全国 88 箇所の事例を対象として概括的な調査を行い、先進事例について精査した。そのほか、タウンモビリティの要素を必ずしも含まないが、高齢者の健全な生活を支援することをまちづくりの目標に掲げた地方自治体及び健康効用型観光

についても同様の視点から調査を行った。その結果、タウンモビリティの成立条件を明らかにし、今後の歩行支援機の社会実験調査の実施の必要条件に関して示唆を得た。

上述のように、ショッピングモビリティにおける電動カートと付添のボランティアの組合せに対して、歩行支援機によるショッピング、文化的活動、リクリエーションさらにワーキングなどタウンでの活動をどのような形で支援するかが問われる。基本的に、歩行能力支援の段階では、自立的な移動能力を有することがもっとも大きな特徴であり、身体的支援よりは、会話や交流などのソフト面での支援が重要となる。当然、ハード面でも、連続して歩ける距離が配慮されなければならない。この距離毎に設置されるべき休憩ベンチなどの整備、まとまった移動には、タウン交通輸送手段として、バスの歩行支援機との適合性や電動カートとの複合活用など検討されるべきである。現在の歩行支援機の開発研究では、前輪装置にて、車椅子ベースのバリアフリーエリアでのバリアフリーはほぼ達成している。

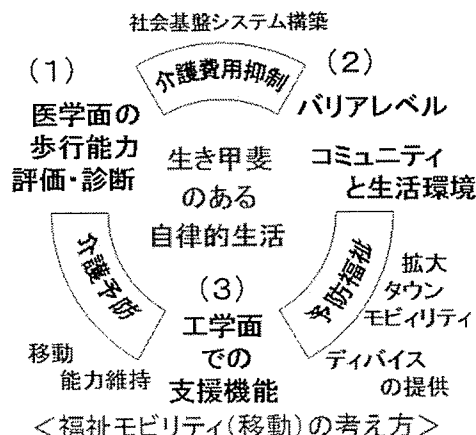


図 10.2 福祉モビリティ

### 11.1 制御系の考え方

#### 11.1.1 制御方法

歩行支援機の制御には、図 11.1 のように人が歩行器を押す力  $F$  を利用する。

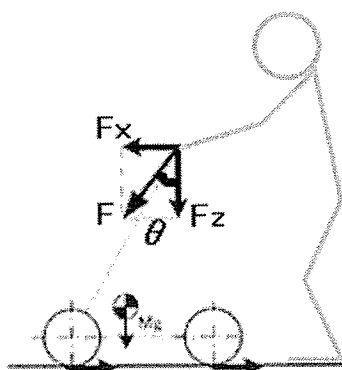


図 11.1 制御に用いる力