

200400269A

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16年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 岡村 宏

平成17（2005）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
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衝撃絶縁・姿勢安定性に関する研究-----	103
古川 修	
(資料) 分担研究報告詳細 ー古川 修 (芝浦工業大学教授) ー	
2. 歩行支援機における駆動・制動デバイスに関する研究-----	135
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	
3. 広域歩行支援装置の柔軟な操作性に関する研究-----	189
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-----	308
IV. 研究成果の刊行物・別刷-----	308

別添 3

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

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

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おらず、屋内の歩行支援環境の整ったエリアが対象であった。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ことになる。「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」とのバランスをどこに置くかを考慮した開発研究が重要であると考えに到った。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。と同時に、定量的な評価目標だけでなく、多面的な調査・検討からの評価を組合わせて被支援者の側から見た人間中心設計手法が可能となる。

本年度の個別の実施項目は、地域のバリアレベルの把握、現状の歩行支援デバイスの調査とその代表的なものについての支援機能評価、歩行機能の特徴・歩行動作の特徴の把握が最初に行われた。次に、支援の対象となる被支援者の歩行能力を設定し、具体的な全体開発設計研究と各コンポーネントの開発設計研究を同時進行で推進した。更に独善に陥らないように、グループ内に芝浦工業大学チームと神奈川工科大学チームで全体開発設計研究を併進させた。また、3年間で実用化の目途をつけることを目標としているため、開発研究に関する企業との連携を積極的に行った。多くのセンサー信号を取り込むCPUユニット、ER流体デバイス、傾斜計、アルミ合金パイプ製車体などは既存の企業の中から開発スピリットの豊かな中小企業を選択し、協力を要請した。

主要なコンポーネントが検討、試作が行われ、最終的に歩行支援機として組立てられ、センサーに反応する自律的な運動が可能なレベルとなった。当初計画した基本的な機能は実現している。しかし、問題点としてクラッチ機能を受け持つER流体デバイスが所望のトルク性能が出ていない点やハンドル部のセンサーの改善などいくつかの問題点を解決する必要がある。これらの点を解決し広域での使用条件の厳しい状態での評価を実施し、実用域のモニターが可能なレベルまで持ってゆくのが今後の課題である。

A. 研究目的

1. はじめに

現在、65歳以上の高齢者の総人口に占める割合は19%を越え、2050年には35%を越える予想されている⁽¹⁾。また高齢者のみの世帯は増加傾向にあり、自立支援を必要としている高齢者の多くが新たな歩行機能を持った機器のニーズが高まってきている。

そこで、これらの問題点を改善するために、本研究は歩行動作実験のデータを基に、ユニバーサルデザイン（以下、UD）の観点から誰もが扱いやすい車体形状・電動アシスト機能を設けた歩行支援機（以下、支援機）の基本全体設計について取りまとめる。

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⁽²⁾。

- (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)制御系は信頼性重視し多重化する
- (5)スイッチ操作は極力さける
- (6)軽量（～15kg）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の外出に不安を持ち

- ・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。

B. 研究方法

開発研究の全体の流れとしては、全体基本計画及び基本構造（車体・レイアウト）開発設計に関する研究と各々のコンポーネントに関する研究を各研究者が分担して担当し推進する方式である。また、前者の研究は芝浦工業大学と神奈川工科大学の二箇所で行い、後者は一箇所で行い独善に陥ることを避けることとした。更に、歩行支援機は多岐にわたる技術を利用するため、幾つかのコンポーネントについては、専門の企業などに委託し総合効率を上げた。個別には、基礎試験などで設定した開発目標を達成できるように推進し、それらを持ち寄り歩行支援機としての総合評価を定量的な評価とUD手法を用いた評価法を用いて実施している。最終的には、その完成度に従ってモニターに供し、工学、医学、地域環境の面からどのような形で社会に提供できるかを探ることになる。これらの一連の開発研究の中で柔軟な操作性についてその向上の研究を推進する、

（倫理面への配慮）

ユニバーサルデザイン手法は常にユーザ層へのフィードバックを開発研究プロセスで行う必要がある。高齢者の方々へのモニターに当たっては、協力いただける施設側とご本人との事前の詳細な打ち合わせと同意書を作成し、且つそのモニターに立ち会う研究者（学生を含む）にはホームヘルパー資格の取得を行った。これらの開発研究への取り組みについて芝浦工業大学倫理委員会に書類を提出した。

C. 研究結果

3. 現状の認識と基本的なコンセプト

3.1 路面の調査

バリアフリー法の歩道の基準によると、車道と歩道の標準段差は50mmと設定されている。さらに車道歩道間を歩くための歩車道境界部の段差は20mmつけることを基準としている。また歩道の勾配は5% (MAX 8%) まで許容され、車幅は2m以上、平坦路であることとしている。しかし現状では生活空間の歩行経路を見渡すとこの基準を満たしていないところも見受けられる。

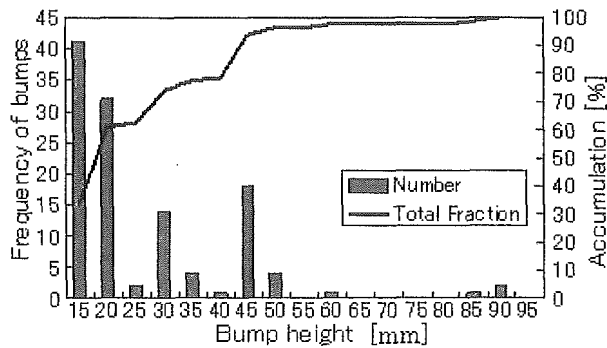


Fig.3.1 The bumps distribution investigation result

上図は神奈川工科大学周辺の住宅と商店街約5kmを歩行車で走行し、問題となる路面・段差調査を行ったものである。ここで信頼区間95%とすると50mm段差をクリアできれば支障はなくなる。また、点字タイルやグレーチング上でフレームの弾性共振を伴う不快な振動を感じた。通路幅の狭いところも多かった。

3.2 歩行器の現状

現状の歩行器類を調べると、ショッピングカー、シルバーカー、歩行器、歩行車など様々な呼び名のものが存在する。そのらのタイヤ径は大半が100mm前後であり、20mmの段差を乗り越えるには、前輪を浮かす方法や速度をつけて段差に入る方法のアシストが必要である。したがって、現状の歩行器は特定の条件の良いエリアでのみ使用可能であり、障害にぶつかると歩行器を持ち上げて障害を避ける必要がある。また、現状では車輪にサスペンションは付いておらず、典型的な凹凸路での車軸振動の計測結果は約15m/s²であり、前述のように不快である。

また、日本ではこれらの歩行器は女性の使用例が多く、男性にはほとんど使用されていない。ショッピングカーとしてのイメージが強いこともその一因と考えるが、イメージを一新する意匠デザインが必要である。

3.3 ヒューマンインタフェースの位置

ハンドルの高さが高齢の女性が対象として低めに設定してあるものが多く、より背が高い人には苦痛である。調整式が必要でありこの機能はまだまだ発展していない。機器の寸法決定には、被支援者の身長・横幅・上肢長及び下肢長、下肢機能、上肢筋力、姿勢を考慮する必要がある。ここではハンドル高さの設定

の考え方を示した。これらを基にハンドル高の調整可能範囲を設定できる。最適ハンドル高 = 肩峰高 - [(上腕長)sin65 + (前腕長)sin23] とした検討結果を下図に示す。

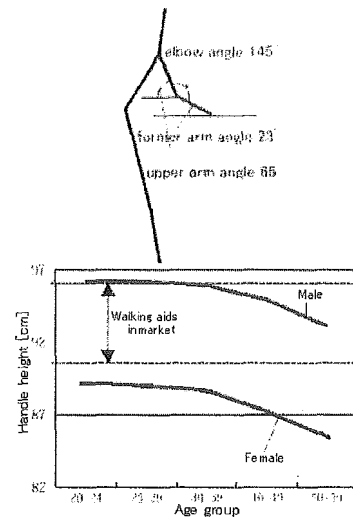


Fig.3.2 Optimum support angle & Optimum grip height

3.4 小回り性と直進安定性の相反

歩行器の方向転換には前輪に自在輪・キャスター方式がよく用いられる。このタイプは小回り性に優れており、自転も可能である。しかしキャスターの方向が進行方向と直角に近い場合や路面に大きな凹凸があると、キャスターの挙動が不安定となる欠点を持っている。それを解消し使用上の安定感を得るために車輪自身を操舵する方式の製品も見られるようになった。しかしこのタイプは自転ができず、公転による方向転換でも回転半径が大きく、小回り性は大幅に後退する。

3.5 基本的なコンセプト

以上の調査を通じて下記の3項目のバランス点をどこにもってゆくべきであるかを考える必要がある。

- ・ 工学的：デバイスの歩行支援機能
 - ・ 医学的：被支援者の歩行能力
 - ・ 地域・環境：バリアフリー度と地域コミュニティ
- 工学的により高度の歩行支援機能を付加してもそれ以上のバリアがあれば無力である。逆に支援機能が高いとそれだけ歩行困難な危険なエリアに歩行能力の低い人を引き込むことになる。したがって、本研究開発では常にこれらの総合的な見地からの最適解を求めなければならない。工学的アプローチとしては、広義のユニバーサルデザイン・人間中心設計手法が有力な手法となる。この手法を福祉工学の中に積極的に取り込むこととしている。

4. 歩行支援機の支援メカニズムの解明

4.1 実験方法

歩行支援機と被支援者との力関係を定量的に把握するために、図1に示すKISTLER製3分力センサ9251とトルクセンサ9048で構成された装置を制作し、3m区間の平坦な歩行路を5回づつ歩行していただき、ハンドルに加わる力を計測する。

被験者は、学生4名(男性2名・女性2名：平均身長163.5cm, 平均体重53.0kg)と65歳から84歳までの健常高齢者10名(男性1名, 女性9名：平均身長147.9cm, 平均体重46.2kg)である。

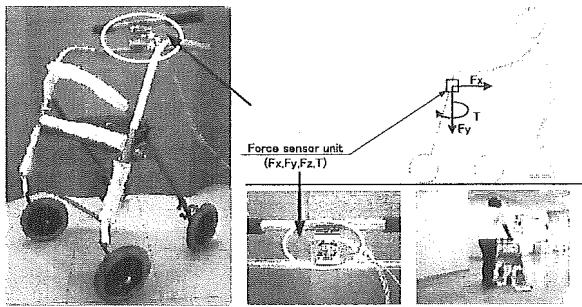


Fig.4.1 Experimental equipment

3.2 実験結果

支援機を前方に押す場合、 F_x は負の値を取り、下方に力を加える場合、 F_y は正の値をとる。また、図2のステップ関数の上がりは踵接地、下がり爪先離地を示している。

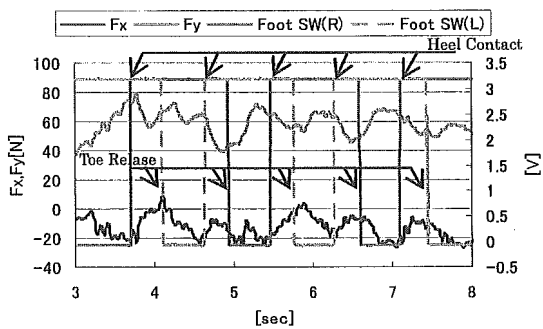


Fig.4.2 Case_Student A

3.3 考察

本実験において、被験者の人数分のデータが出たが、ここでは主に、基本となる学生の歩行パターンについて述べることにする。

踵接地した場合に、押す力が加わり F_x , F_y は最大値をとる。これは、機器に体重の一部を預けるため、遊脚が接地する際に支持脚が蹴りだし動作に入る。そのため、接地した際に接地点を軸に前傾するトルクが発生すると考えられる。逆に爪先離地した場合には、引く力が加わり F_x , F_y は最小値をとっている(図3)。これらの特徴は制御パラメータとして有用であると考えられる。

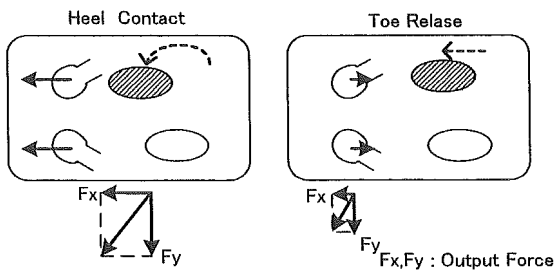


Fig.4.3 The move operation

5. 歩行支援機におけるハンドル機能付加に関する基本コンセプトの検討と開発設計

ハンドルの持つ機能は支援機器と人間を直接つないでいるインタフェースの部位である。その役割は、体重を上肢を用いて負担し前後への移動荷重を受け止め、方

向転換の意思表示も受け持つことである。しかし、使用環境が屋内か屋外かによってその考え方が変化し、また、ハンドルの形状自体も大きな影響を与えると考えられる。そこで、ハンドル形状の違いによってどれだけ体への負担・歩行の姿勢に変化をもたらすのかについて検証するため、次の実験を行った。

5.1 ハンドル形状に関する歩行動作実験

実験のシステム構成は Fig.5.1 に示す。この実験では、身体的負担の大きさ・疲労を筋電図により測り、動かしやすさ及び機器と身体姿勢との合致については Motion Capture により調べた。被験者には、Fig.5.2 に示す4つの異なるハンドル形状の歩行器を用いて歩行してもらい、自己版 PPP により歩行する際に対するフィリング的の評価をしてもらう。

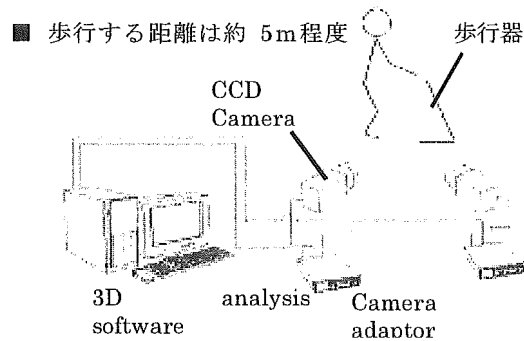


Fig.5.1 Configuration of [Dipp-Motion XD] Operating System

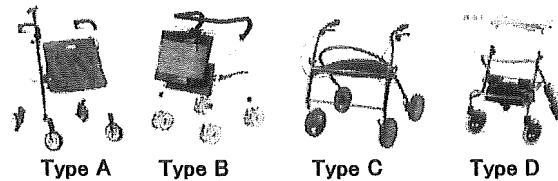


Fig.5.2 The Walk Auxiliary Car used in the Experiment

この実験で得られた筋電図や PPP による結果は Fig.5.3 と Fig.5.4 に示す。肘掛けハンドル形状である TypeD の歩行器は両方において総合的に高い評価を表し、また、Fig.5.4 においては平均筋活動・筋電位(BMG)が最も低いことから、TypeD は身体への負担が最少であるハンドル形状となった。

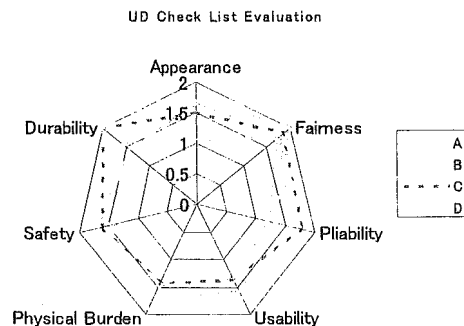


Fig.5.3 PPP Evaluation to Each Walk Auxiliary Car

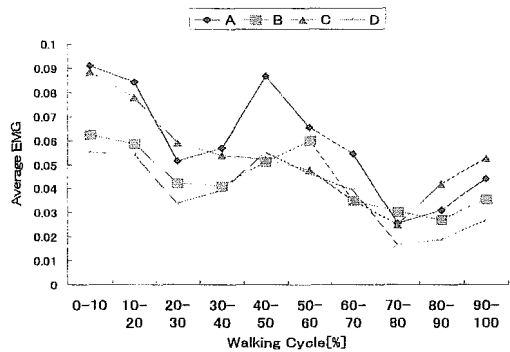


Fig.5.4 Musculus Rectus Femoris' s average Activity

5.2 被支援者との力関係に関する実験

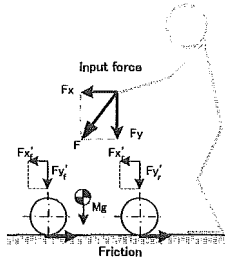


Fig.5.5 Relation of Force between a Device and a User

Fig.5.5 は被支援者と機器との力関係を示す。この実験では歩行時の姿勢とハンドルに加わられている F の変化の関係から F の変動パターンについて考察し、アシストパラメータとしての有効性を確認する。

この実験の結果により、歩行する際に、ハンドルに加わっている最大の力は進行方向と垂直に働く F_y であり、その大きさは約 20[N]~35[N]である (Fig.5.6)。 F_y は歩行支援機器を接地させる力になり、摩擦力にも影響を与える。 F_y に関しては、ハンドル位置が後輪よりも後ろにきた場合には Fig.5.5 に示すように時計回り方向に転倒させる力となることがわかる。また、 F_x は足の接

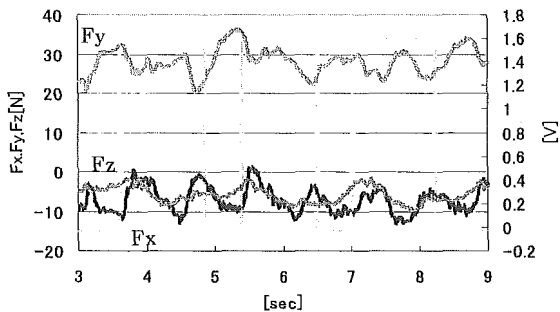


Fig.5.6 The Experiment Result (On the Flat Road)

地と同時に前方向に働き、6 歩分のピークが出ている。これは遊脚が接地する際に支持脚が蹴りだし動作に入るためと、接地した際に接地点を軸に前傾するトルクが発生し、ハンドルに力が加わるためであることを表す。

5.3 歩行支援機におけるハンドルの構成と構造の設計

上記の実験結果に加わって一般的な調査の結果をまとめると大きな結論としては次のことがわかった。肘掛けハンドル形状は握り力が鈍っている人にとって最適であるが、屋外での使用は危険につながる可能性が高い。逆に、握り方式のハンドル形状は足や手に十分力があり、屋外での移動を積極的に行える高齢者にとって最適な形状である。従って、本研究では第一歩として Fig.9 に示している複合型ハンドル形状を設計した。ハンドルの構成としては、手持ち部、肘掛け部とハンド支援部からなる。この形状により、ユーザの意図を尊敬し、変化する

る歩行条件に対応できることが期待される。

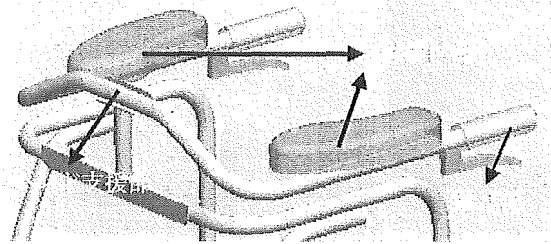


Fig.5.7 Handle Structure of the Walk Support Device

6. 車輪部のサスペンションの検討

6.1 基本構造

振動・衝撃吸収機構の試作モデルを設計するにあたり、①小型・軽量、②前後上下方向の振動・衝撃吸収、③セッティングの自由度、この3つの条件を満たすものとして Fig.6.1 のようなモデルを設計した。

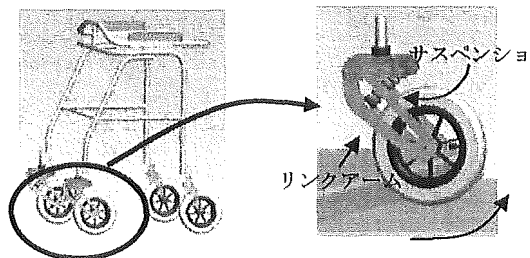


Fig. 6.1 試作モデル

このモデルではリンク方式の採用と、リンクアーム上にサスペンションを内蔵することにより①と②を、自転車から車まで広く使われている油圧減衰式サスペンションを採用することにより③の条件を満たそうとしたモデルである。段差やがた路を歩行時に、衝撃が前方向もしくは下方向から伝わるとリンクアームが回転し、リンクアームに取り付けたサスペンションで衝撃を吸収する構造になっている。

6.2. シミュレーション

(1)シミュレーション方法

設計したフレーム・振動吸収機構を取り付けたモデルを用いて、段差・波状路を通過したときの歩行支援機本体の挙動を調べる、モデルは機構がまったくついていない場合・前輪のみについている場合・4輪すべてについている場合について、それぞれ段差乗り越しがた路の単純モデルとして波状路通過についてシミュレーションする。

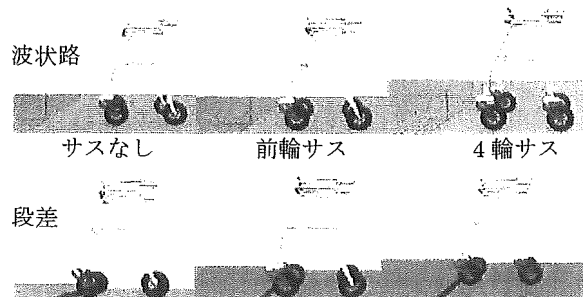
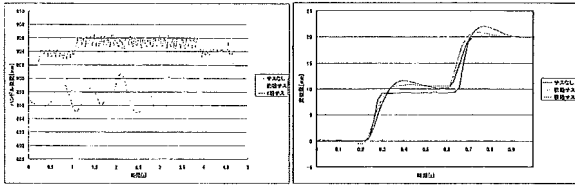


Fig. 6.2 シミュレーションモデル

(2) 結果

シミュレーションを行った結果を fig.6.3 に示す. 波状路は高さ 5mm の連続した波状路を歩行したときのフレーム肘置き部の上下変化量を示し, 段差に関しては高さ 20mm の段差を乗り越えたときのハンドル肘置き部の位置を示す.



波状路 段差
Fig. 6.3 シミュレーション結果

(3) 考察

波状路に関しては, サスペンションがついていない場合, 突起に差し掛かるたびに細かい上下をしていることが分かる. 前輪のみサスペンションがついている場合は, 細かい変動は緩和されているが, 大きなうねりとなっている. 4 輪サスペンションがついている場合は 2 輪で残っていた小さな上下変動も消え, 同じ荷重, 条件で行ったにもかかわらず, 波状路を歩行し終わるまでの時間が短くなっている. これは 4 輪すべてにサスペンションがついていたほうが波状路歩行には適していると言える.

7. 段差乗り越え機構の開発

7.1 段差乗り越えの前輪に及ぼす力

まず, 段差 50mm を乗り越える上で, 車輪径と必要な力にどのような関係があるのかを検証した.

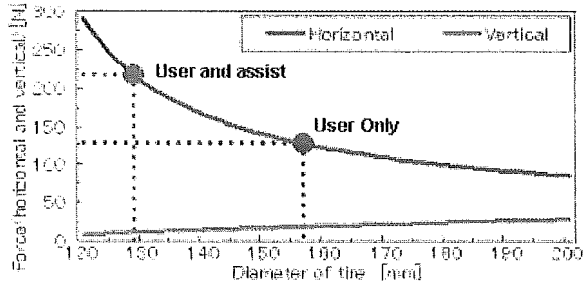


Fig.7.1 Required forces to override a 50mm bump

前輪径は, 人力のみで押す時は $\phi 157$, アシスト力を加えて $\phi 129$ 以上に設定することで理論的には乗り越えられる結果を得た. (人力: 130N, 駆動力: 100N)

7.2 段差乗り越えに必要なタイヤ径確認実験

タイヤ径と乗り越え可能段差高の関係を知るため, 既存歩行車 NW-1 に 7 種のタイヤを装着し, 5mm ピッチで段差を変化させ, 手押しにより評価した. タイヤ径の約 1/10 の段差高が限界であった.

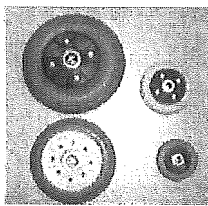


Fig.7.2 Solid tires

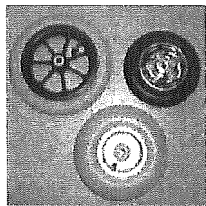


Fig.7.3 Pneumatic tires

Tab.7.1 Permissible bump height of each tires

No.	Specification	Bumps height [mm]				
		5	10	15	20	25
1	$\phi 200$ solid tire	○	○	○	○	×
2	$\phi 150$ solid tire	○	○	×	×	×
3	$\phi 100$ solid tire	○	×	×	×	×
4	$\phi 75$ solid tire	○	×	×	×	×
5	$\phi 200$ pneumatic tire	○	○	○	○	×
6	$\phi 165$ pneumatic tire	○	○	○	×	×
7	$\phi 150$ pneumatic tire	○	○	○	×	×

7.3 多輪包絡線による仮想大径輪設計

前述の実験結果から, 50mm 段差乗り越えには $\phi 500$ タイヤが必要であるが, レイアウト上現実的でない. そこで, 揺動リンクの末端に小径輪を配置することで仮想的な大径輪とする, 「多輪包絡線」という設計概念を創出した (Fig. 13).

前輪リンク式仮想大径輪の仕様 :

小径誘導輪と中径走行用輪の 2 輪リンク機構とした. リンクの揺動は, 予荷重を与えたトーシヨンはねで反力を与えている. 軽量・コンパクトながらも仮想直径 740mm を実現している. 旋回性はキャスト方式で確保した.

Tab. 7.2 The main parts of link mechanism

Parts list	Specification
Caster for bearing	Single row bearing (6000ZZ)
Front small wheel for induction	$\phi 75$ solid tire
Front normal wheel for running	$\phi 200$ pneumatic tire
Mechanism for link parts	Torsion spring (0.7N·m/deg)
Connecting with frame	M10×P1.5×30mm Bolt
Material for link parts	Aluminum (Al-5052)
Bracket	Steel (SS400)

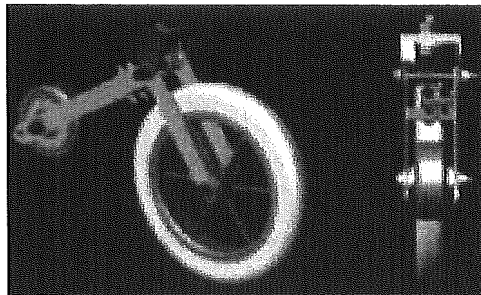


Fig.7.4 3D-CAD model of front wheel link mechanism

7.4 前輪リンク方式の前方転倒安定性検討

段差で前輪を支点に後輪が浮き上がる現象検討には, 各種作用力ベクトルが 2 つの前輪軸まわりに作る 合モーメントを計算する下記力学モデルを使用した.

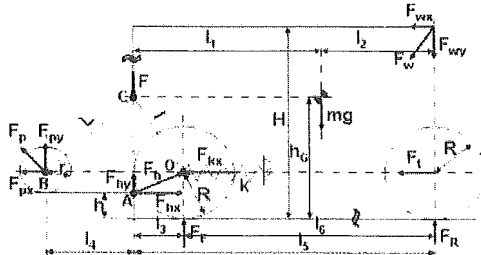


Fig.7.5 Dynamical model for dive stability horizontal grip force

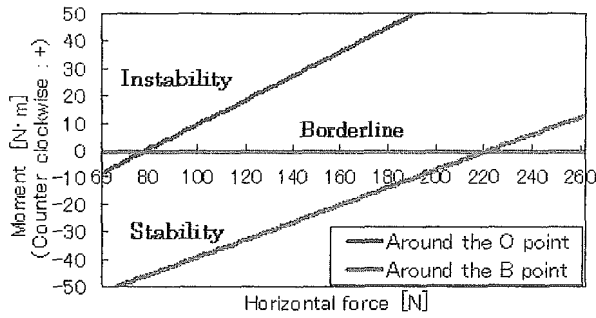


Fig. 7.6 Comparison of dive stability(O and B position)

重心 300mm 時で、既存歩行車での前方への転倒安定限界値が 80N に対し、開発案は 220N という結果を得た。高齢者の押す力は、最大で 130N であることから、信頼性を確保できていると考えた。

7.5 50mm 段差乗り越え運動シミュレーション

機構解析ソフトを活用し、段差乗り越え運動の時系列解析を行ない、機構の干渉、最大荷重、加速度などの問題の有無を調べた。



Fig. 7.7 Animated bump override simulation

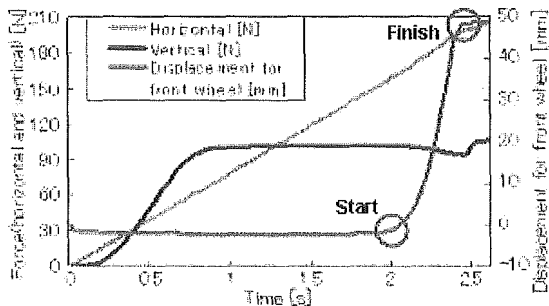


Fig. 7.8 Front axle displacement (green) under given grip forces

リンク機構に搭載されているトーションばねの定数を低い値にすると段差を乗り越え易い一方、前輪がフワフワするため、支援性に劣る。段差乗り越え性・支援性の確保のため、ハンドル位置を後輪軸上に配置することで支援時の車体沈み込みを抑えた。

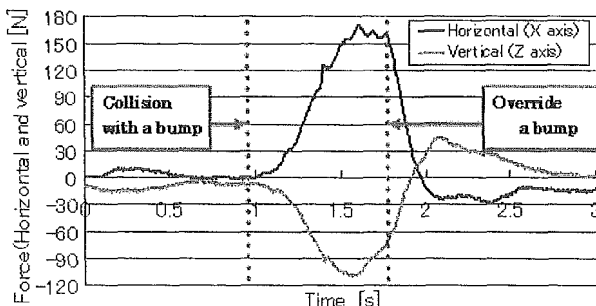


Fig. 7.9 Measured grip forces at a 50mm bump

7.6 段差乗り越え時に作用する力の測定実験

計算では 50mm 段差を乗り越えられたので、試作機で実験した。ここではグリップ・フレーム間の力センサで被験者が押す前向き及び下向きにかかる力を評価した。

50mm 段差を乗り越える事に成功した。また、歩行支援機を押す力は 170[N]、支援した荷重は 110[N]であった。高齢者の 95%tile が 50mm 段差を乗り越えられるようにするためには、128[N]以内に収めなければならないので、差の 42[N]を後輪モーター駆動で補助することになる。

8. 駆動・制動系の検討

8.1 ER ディバイス

ER 流体は電場がかかると流体の中にある粒子などが整列し流体の見かけ上の粘度を向上させる機能性流体である。この場合は電流値は微少であるが 1000V 程度の高電圧が必要になる。

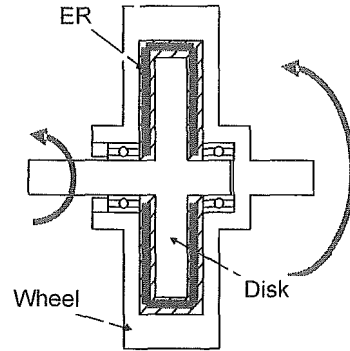
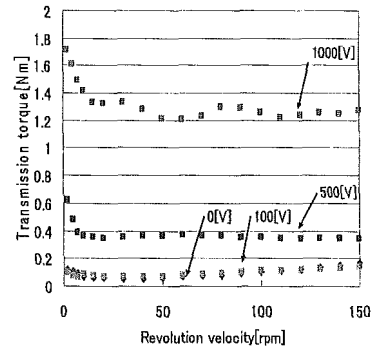


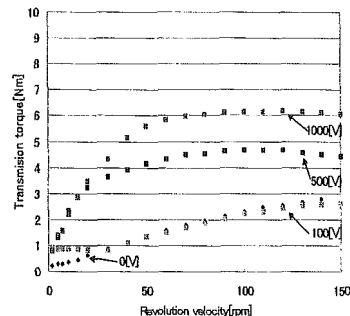
Fig. 8.1 ER fluid disk device

8.2 ER ディバイス静特性試験結果

ER 流体には種類があり、ここでは粒子系と均一系について粘度によりディスク (Fig. 8.1) に発生するトルクを測定した結果を Fig. 8.2 に示す。これらによると、粒子系は相対速度にかかわらず一定のトルクを発生させるビンガム流体の特徴を持ち、均一系では速度に比例したトルクが比例関係にある粘性の特徴を持っている。



(a) 粒子系 ER クラッチ



(b) 均一系 ER クラッチ

Fig. 8.2 Static characteristics of ER clutch

8.3 DC モーター

DC モーターは、MAXON 製のモーターを使用することにした。MAXON モーターの形状を示す。

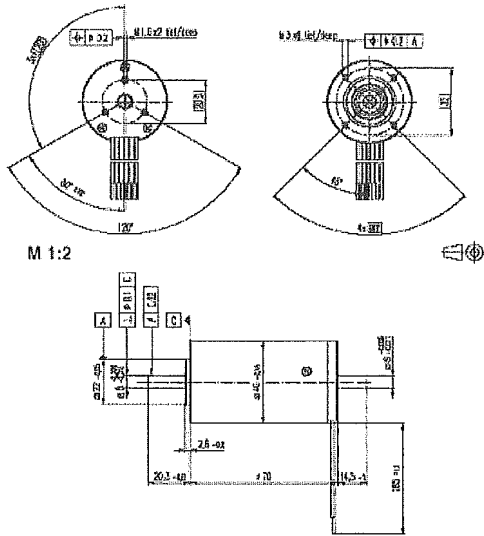


Fig.8.3 Draft of DC motor manufactured by MAXON

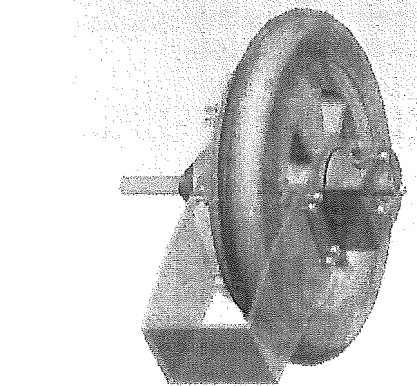
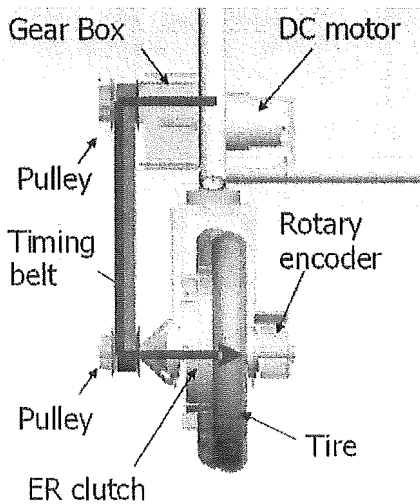


Fig.8.4 Driving and Braking System

試作した駆動・制動システムを Fig.8.4 に示す。今回は ER デバイスをインホイール型としたが、電動モーターはコンパクトなディスク型が手に入らなかったためベルト駆動による横引き方式を採用している。

D. 考察

9. 開発基本計画構想

以上の検討から要求機能展開を表 1 に、モデルを図 4 に示す。主な構成はバッテリーを電源としてモーターよりベルトを介して後輪のホイールイン ER 流体ブレーキを駆動する電動 4 輪支援機である。

フレーム部品、駆動部品、電装部品で構成されており、その特徴は以下の通りである。

- (1) 屋内外での取り扱いやすさを向上させた。本体全長 645mm、幅 670mm、重量 17kg (バッテリー含む)
- (2) キャスタを用いることで屋内外で小回りが利き、120W のモーターを二つ使用することにより、上り坂 (10° 以下) を楽に歩行アシスト可能
- (3) 悪路歩行時には握りハンドル、平坦路歩行時には、肘掛けハンドルを使用できる 2way ハンドル
- (4) ER 流体ブレーキを両後輪に用いることにより、下り坂 (12° 以下) を楽に制止可能
- (5) 停止状態から時速 4km/h までの被験者に合わせた無段階速度調節など、簡単な操作で歩行できる構造

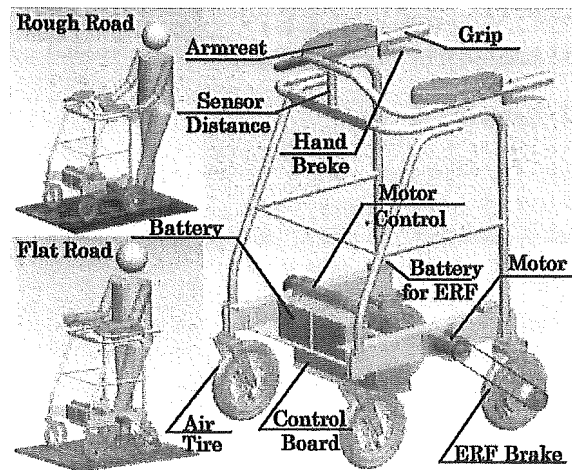


Fig.9.1 Construction

10. 制御系の考え方

10.1 操作イメージの把握

支援機を意識しない使用感とするため、スイッチは原則取り付けないものとする。基本動作の制御は構造の知能化によるパッシブ制御とし、アクティブ制御は、フィーリング向上に使用する。センサとアクチュエータが敏感にならないような操作イメージを考えている (下図)。

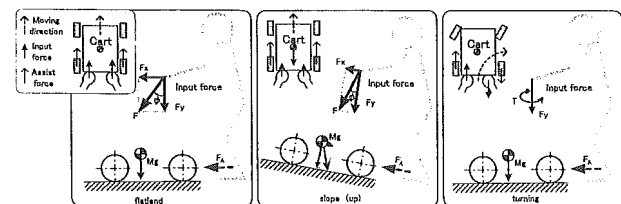


Fig.10.1 The movement image

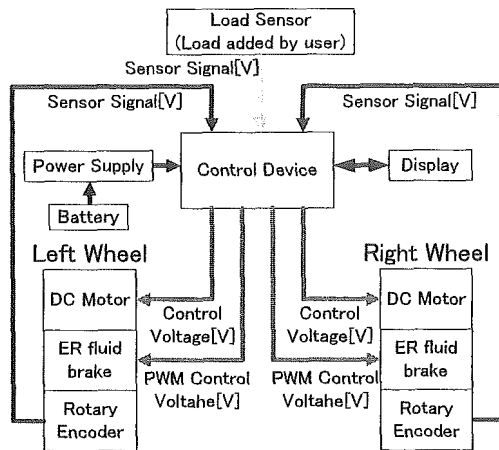


Fig.10.2 The system architecture

10.2 制御システム

支援機は、『ハンドルに加わる状態量の制御』と『いくつかの閾値を決めた上で、被支援者のフィーリングに適合したファジー制御』で構成される (Fig.10.2)。また、歩行挙動はほぼ決まったパターンの繰り返しであり、そのパターンはある程度個人差があるため学習機能を組み込む予定である。

被支援者への反力変化を抑えるようにアシスト量を決めるために、各センサからの信号は、制御装置に集められ、そこから制御信号として、モータと ER 流体ブレーキに送られる。これら 2 つのデバイスを制御することによりタイヤに駆動力と制動力の両方の伝達が可能となる。

10.3 柔軟な操作性

コンピュータ上でのシミュレーションにより、操作性の確認はある程度可能であるが、やはり原点に戻る必要性がある。多くの被支援者からのフィードバック情報を大切に、同時計測の各種信号、状態量との相関を調べ、柔軟性のデータベースを構築する。

E. 結論

1.1. まとめ

以下に主たる開発研究の内容を示す。

(1) 既存の歩行器ベースに各種センサーを装着し、また被支援者の挙動を調査した。左右足の運びのサイクルには規則性があり、踵接地時に前進力と下方への支持力が最大となり爪先離地時に最小となる。そのサイクルに違和感のないようにプレ制御を行い制御量の最小化を目指すこととした。移動速度はパターン化され、そのパターンの個人差は学習機能で修正し、平均速度は前方と下方へのハンドル荷重の合成ベクトル方向により設定することとする。

(2) ハンドルへの被支援者からの入力のうち、前進力と下方支持力の合成ベクトルの方向角度およびハンドル水平回転トルクまたは回転角を検知する方式を採用している。現在は歪ゲージ方式のセンサーを利用しているが、より信頼性・耐久性の高い微小変位の測定法への変更を検討中である。

(3) 一般市街地の調査から 50 mm の段差をクリアできれば良いとの開発目標が設定されその条件を最小限満たすタイヤ径 200 mm を選択した。ここではこれ以上大きなタイヤ径では大きさや質量の面で問題が生じる点も考慮されている。十分な前進力があれば幾何学的には乗り越えが可能である。しかし車輪の最大駆動能力は車輪荷重に依存しており、厳しい条件では何らかの乗り越えデバイスの付与が必要となる。いくつかの方

法が検討され、本年度では多輪包絡線による仮想大径輪設計の考えによるデバイスの一つが開発された。このデバイスの必要性は、被支援者の歩行能力や歩道路面のバリアフリー度に相対的に依存するものである。

(4) インホイール型の動力電動モーターと ER 流体要素を装備した車輪の研究開発は、電動モーターに既存の流用できるものがなく、別置きベルト駆動方式であるがその組み合わせの検討を行った。ER デバイスをクラッチ代わりに利用し駆動・制動の制御を行う方式の基礎的な試作評価を行った。更にサーボモーターや ER ブレーキ機能などを組合せた方式の検討に入っている。これらの検討から、高度の信頼性、安全性と低コストをも含めた総合評価を今後行う予定である。

(5) 現試作機で想定していた基本的な機能はほぼ達成できた。これからはより変化のある路面状況や我々が想定した歩行能力の上下限付近での検討に入る予定である。

(6) これら一連の歩行支援機に関する開発研究には

- ・ 工学的：デバイスの歩行支援機能
- ・ 医学的：被支援者の歩行能力
- ・ 地域・環境：バリアフリー度と地域コミュニティのバランス点をどこに持ってゆくかを考慮することが重要である。工学面からのアプローチとしては広義のユニバーサルデザイン手法を新たに導入してその評価法も開発し活用してきた。

歩行動作の検討から支援機の仕様・構成を決定した Fig. 11.1 に広域歩行支援機への要求機能展開を示す。

(今後の進め方)

今後は上記要求仕様で未達の部分を完成させ、具体的なモニターが可能なレベルまで持ってゆく。その後前述のように、工学・医学・地域環境面でのバランス点がどこにあるべきかの命題との検討の中で広域での歩行支援機の柔軟な操作性を目指す。最終的には、高齢化社会における楽しい生活の基盤技術の一つとして社会に貢献してゆくことを目指す。

F. 健康危険情報

特にありません。

G. 研究発表

(1) 宮地、宗安、杉田、川上、岡村：歩行支援機器における支援機能の検討、日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2004 論文集,2004

(2) 宗安、R. Sahin、岡村、山本：歩行支援機におけるハンドル機能の検討～第 1 報～、日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2004 論文集,2004

(3) 浅付、松崎、中西、川上、岡村：MR 流体ダンパーを用いたサスペンションシステムの検討、日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2004 論文集,2004

(4) 馬淵、佐藤、川上、岡村：歩行支援機用 ER デバイスの開発、流体工学会 SICE 講演会 2004 年度産業応用部門大会第 5 回流体計測制御シンポジウム講演論文集, 2004, p 70-73

(5) 馬淵、川上：歩行支援用 ER デバイス、制振工学研究会 2004 技術交流会, SDT04009,2004

(6) 浅付、岡村:MRダンパーを用いたサスペンション, 制振工学研究会, 2004 技術交流会, SDT04010,2004

(7) 桜井、岡本、那須、岡村: 歩行支援機のハンドルの機能に関する開発研究, 日本機械学会 2005 年度年次大会論文集, 2005

(8) 岡村、川上、石濱: 歩行支援機の基本機能に関する考察, 日本機械学会 2005 年度年次大会論文集, 2005

(9) 佐藤、川上、岡村: 歩行支援機の駆動・制動システムの検討, 日本機械学会 2005 年度年次大会論文集, 2005

(10) 岡村、石濱、松下、宗安: 歩行支援機の基本コンセプトに関する研究, 日本機械学会 D&D2005/9th, 2005/04/05MOVIC 論文集,2005

(11) 宮地、岡村、水川、佐藤: 歩行支援機の基本的歩行支援制御について, 日本機械学会 D&D2005/9th MOVIC 論文集,2005

(12) 那須、岡本、桜井、古川、岡村: 歩行支援機の段差乗り越し機能に関する研究, 日本機械学会 D&D2005/9th MOVIC 論文集,2005

(13) 橋場、桜井、岡本、那須、岡村: 歩行支援機のステアリング機能について, 日本機械学会 D&D2005/9th MOVIC 論文集,2005

(14) M. Ishihama, T. Watanabe, H. Ikehira, A. Watana-be: A SIMPLE KNEE INJURY DIAGNOSING TECHNIQUE USING SOUND SIGNALS GENERATED BY KNEE MOTION, Proceedings of the 7th International Conference on Motion and Vibration Control Paper No.38, 2004

(15) 石濱 正男, 彦根 貴司: 不整路でも使える歩行支援機の動力学的研究, 日本機械学会通常総会講演論文集 No.303,2004

(16) 石濱, 彦根, 坂元, 中越: 歩行支援機の動力学的設計, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2005,2005

H. 知的所有権の出願・取得状況(予定を含む)

1. 特許出願
(予定・準備中)
(1) 歩行支援機の制御法… 2件
(2) 操舵装置… 2件
(3) 駆動・制動… 1件
(4) 段差乗り越し装置… 1件
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

以上

表 11.1 要求機能展開

1次機能	2次機能	3次機能	要求性能	要求特性または代用特性
走行機能	操舵機能	方向操作機能	狭い直角道でも容易に曲がれること	最小回転半径 R≒0
		利用者年齢配慮機能	ハンドルが握りやすく違和感がないこと	ハンドル握り部寸法と形状 ⁽³⁾
	駆動機能	登坂機能	きつい坂道でも軽い力で歩行できること	実用登坂角度 10° 必要モータトルク 5[N.m]
		利用者年齢配慮機能	押しやすいこと	平地歩行時の押しやすさ ⁽³⁾ 外部との衝突防止
	制動機能	停止機能	急停止できること	必要ブレーキ力 3[N.m]
		保持機能	坂道で動き出さないこと	必要ブレーキ力 6[N.m]
	安定性機能	転倒防止機能	歩行中倒れにくいこと	車体のバランスを確保
		歩行中の押し心地機能	悪路でも押し心地が良いこと	段差乗り越し 50[mm] サスペンション機能
快適機能	意匠機能	美観機能	長時間使用しても見飽きがないこと	デザイン, カラーに富む
		調和機能	町並みに違和感がないこと	デザイン, カラーに富む
	取り扱い容易性機能	取り扱い容易性機能	誰でも簡単に使えること	アンケート調査
		持ち運び容易性機能	軽く持ち運びができること	重量 15[kg]以下
	変速機能	選択容易性機能	利用者の歩行に合わせて速度の調節ができること	センサとアクチュエータの組み合わせ
安全機能	安全確保	怪我防止機能	どの部分へ触れても怪我をしないこと	露出部品の鋭角部の面取り
耐久機能	物理的耐久機能	力学的耐久機能	ぶつけても容易に破損しないこと	構成部品の塑性変形抵抗力
			転倒しても容易に破損しないこと	構成部品の塑性変形抵抗力
			荷重を載せても破損しないこと	許容最大荷重 100[kg]
			長期間使用しても容易に損傷しない	使用可能耐用年数 5年

「広域歩行支援装置の柔軟な操作性に関する研究」

目 次

第1章	序論	13
1.1	ビジョン	13
1.1.1	はじめに	13
1.1.2	新しい時代のモノづくり	13
1.2	歩行支援機	14
1.3	研究目的	14
第2章	開発の狙いとコンセプト	15
2.1	システムの把握	15
2.1.1	目的の明確化	15
2.1.2	要求機能の明確化	15
2.1.3	ユーザの明確化	18
2.1.4	人間と機械との役割分担の明確化	18
2.2	コンセプトの創出	20
第3章	歩行支援機の支援メカニズムの解明	24
3.1	歩行支援に要求されるハンドル形状	24
3.1.1	目的	24
3.1.2	実験装置	24
3.1.3	実験方法	24
3.1.4	筋電図による筋の疲労評価	26
3.1.5	考察	29
3.2	被支援者との力関係	30
3.2.1	被支援者との力関係	30
3.2.2	力 F の変化	30
3.3	力関係の把握	30
3.3.1	目的	30
3.3.2	実験装置	30
3.3.3	実験方法	33

3.3.4	実験結果(学生の場合)	33
3.3.5	考察	36
3.3.6	実験結果(高齢者の場合)	37
3.3.7	考察	42
3.3.8	まとめ	43
第4章	駆動・制動ユニットの設計	44
4.1	歩行支援機に必要なアシスト力	44
4.1.1	はじめに	44
4.1.2	段差乗越しにおける歩行支援機の運動	44
4.1.3	横断傾斜路における歩行支援機の運動	46
4.1.4	縦断傾斜路における歩行支援機の運動	48
4.1.5	平坦路における歩行支援機の運動	50
4.1.6	まとめ	51
4.2	歩行支援機に必要なブレーキ力	53
4.2.1	平坦路における歩行支援機の運動	53
4.2.2	ブレーキ力の最適条件の検証	55
4.2.3	まとめ	57
4.3	駆動・制動ユニットの設計	58
4.3.1	設計目標	58
4.3.2	ブレーキ装置	58
4.3.3	伝動方式	58
4.3.4	駆動方式	59
4.3.5	駆動・制動ユニットの構成	60
第5章	開発基本計画構想	61
5.1	機器の寸法	61
5.2	構造解析の検証	61
5.2.1	はじめに	61
5.2.2	解析条件・結果	61
5.2.3	まとめ	68
5.3	静的特性の検証	68
5.3.1	目的	68
5.3.2	解析条件・結果	68
5.3.3	考察	71
5.4	試作機の構成	72

第6章 操作系の考え方	74
6.1 操作イメージの把握	74
6.2 路面状況における制御システムの検証	74
6.3 制御システムの構築	76
第7章 結論	77
参考文献	78
付録	79
1. 通行帯について	79
2. 高齢者の転倒事故	81
3. 機器と操作環境のデザイン	82
4. 参考文献	102

1 章 序論

1.1 ビジョン

1.1.1 はじめに

高齢化の進展に伴い、要介護者が増加する一方で少子化が進み介護力が減少していることから、高齢者の自立に寄与する福祉機器の開発実用化が期待されている。特に、身体機能の低下を速やかに検知し維持・回復に努めることは、寝たきりや要介護者を減らすのはもちろんのこと、高齢者の社会参加促進に重要である。さらに、高齢や疾患により筋力等が低下すると、運動機会が減少すると共に体力と脳機能にも影響を受け悪循環に陥りやすい。これを解決するには、歩行をはじめとする適切な上下肢の訓練が重要であり、現用の歩行支援機（以下、支援機）の路線を安易に進めば、いかに性能が優れ、種類が豊富でもこれからの利用者にとっては魅力のない支援機となり、需要も伸び悩むと思われる。本研究では、支援機の新しい考え方を示し、新しい時代の支援機づくりのイニシアチブをとることを考えている。

1.1.2 新しい時代のモノづくり

(1) 循環型社会

「大量生産・大量消費・大量廃棄」型の経済社会から脱却し、生産から流通、消費、廃棄に至るまで物質の効率的な利用やリサイクルを進めることにより、資源の消費が抑制され、環境への負荷が少ない「循環型社会」を形成することが可能となる。

(2) 安全性

予防安全という見地から快適性の向上、操作性の向上、情報量の向上などがあげられる。操作性の向上は、レバーなどの機器の配置・形状・操作方法が、扱いやすく、誤操作の危険が少なく、識別しやすいこと、視認性がよく必要な情報を提供してくれる。

そして、最も基本的なことであるが、支援機自体が扱いやすいこと、すなわち、操縦性、安定性、走行性能、運動性能に優れていること。

(3) 社会傾向

(a) 高齢化社会

現在、日本は社会の高齢化という深刻な問題を抱えており、1970年には65歳以上の人口は735万人で、総人口に占める割合は7.1%であったのが2000年には2187万人、17.2%にまで増加していることが分かる（図1.1）。つまりこの30年で急速に高齢化が進んでいるのである。一方で少子化も進んでおり、既に、65歳以上の人口は0歳から14歳までの年少人口を上回っている。今後更に、この傾向は顕著になっていくと予想される。

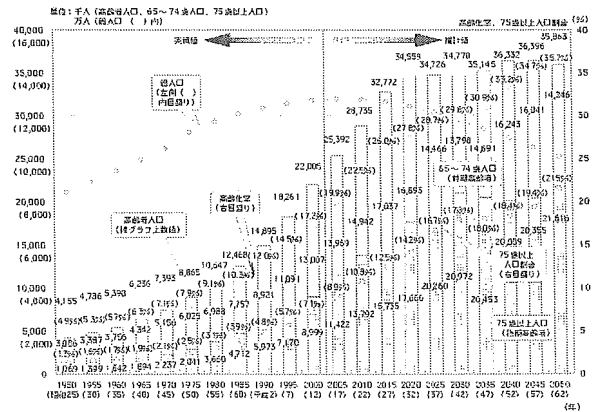


Fig.1.1 Transition of Population of Senior Citizen (1)

(b)利用者の意識革命

男性・女性を比較すると、体格の面でも体力でも、運動神経の面でも差がある。現用の支援機の多くが女性の体格を基準に平均された設計であり、デザインやカラーについても男性には扱いにくいものとなっている。こうした面を解決するために、ユニバーサルデザイン（以下、UD）の観点から誰もが使いやすい車体形状を提案する必要がある。

(c)新しい価値観による生活意識革命

それぞれの価値観に基づくライフスタイルに合わせて支援機が選択されるので、今までのように機器の大量生産・販売することがなりたたなくなり、利用者のニーズに合わせたカスタマイズの方角に向かわざるをえない。そこで、多様化と共通化を同時に推進することになる。

1.2 歩行支援機の問題

支援機は杖、松葉杖とともに、歩行機能の低下している人が使用する歩行補助具の一つである。その歩行補助機能は杖、松葉杖よりも安定している。しかし従来の支援機は、一部のものを除いて機動性に乏しく、段差や障害物などを乗り越えるには不便であり、また床面の影響も受けやすく、使用範囲も病院や施設、あるいはごく一部の家庭内外で、高齢者などの歩行補助に供するにとどまっていた。

本研究の支援機は、機能面の改善により、単に屋内の使用にとどまらず、屋外で使用できることを念頭に置いている。

1.3 研究目的

現状問題として、街の道路だけでなく公民館など公共の施設の入口などにさえも坂道は存在し高齢者や障害者には転倒の危険性は日常的につきまとい、そういった理由で近年、高齢者や障害者が住み良いバリアフリーな街作りの必要性が訴えられている。しかし、十分なバリアフリーが実現されているとは言えず、高齢者や障害者の自由な移動が妨げられるケースが依然として多いため、車いすに頼らざるを得ない現状がある（付録 P68 を参照）。

車いすに頼っていると、障害のない方の足の筋肉は衰え、身体の活動性が低下し、廃用症候群が進んで全身の諸臓器・器官の機能が低下し、全く歩けなくなってしまう。そこで、「寝たきりのベッドから車いすへ」ではなく、「車いすから歩行へ」というのが本研究の目的である。

さらに、歩くという運動には手足を使う。これは脳の運動領域が行っていることであるから、脳を活性化させる。これが痴呆症の予防になり、早期に発見された痴呆症も回復が期待できる⁽²⁾。歩くことが、高齢者の健康維持とリハビリの根幹にある。

ところが、元気な高齢者も転倒するという歩道は、リハビリに心がけている高齢者にとっては危険そのものである。転倒してしまったら、もう怖くて外に出なくなってしまうかもしれない（付録 P70 を参照）。日常生活の中でのリハビリ、つまり、生活リハビリのサポートを行う支援機が必要になる。

本研究では運動機能が低下した高齢者、あるいは歩行機能に軽度の障害をもつ歩行障害者を対象とした、歩行を支援する機器の開発を目指す。

2章 開発の狙いとコンセプト

2.1 システムの把握

2.1.1 目的の明確化

運動機能が低下した高齢者、あるいは歩行機能に軽度の障害をもつ歩行障害者を対象とした歩行機能を補助する目的で使用する。

使用目的として次のようなことが挙げられる。

(1) 機能訓練の一時期の使用

この目的で使用する場合は、歩行機能が残存していることを前提とし、支援機の支持性をよりどころとして、

- ①安定した立位の獲得と保持.
- ②転倒の防止.
- ③自信の獲得.

などに主眼をおき、歩行機能の獲得または改善を目的とする。

(2) 日常生活の中での使用

この目的で使用する場合は、歩行機能が残存あるいは獲得できていることを前提とし、支援機の支持機能と車輪の機動性をよりどころにして、ADLや生活圏の拡大に主眼を置き、

- ①杖歩行の不安定性を解消し、積極的な歩行機能の向上あるいは改善.
- ②日常的な使用、主に外出時の登降・ガタ路などの生活圏の拡大.

を目的とする。

2.1.2 要求機能の明確化

表 2.1 に要求機能展開の概要を示す。ここではユーザインタフェースにかかわるシステムや使用を主に検討対象にしている。

Tab.2.1 Demand Function Development⁽³⁾

1次機能	2次機能	3次機能	要求性能	要求特性または代用特性
走行機能	操舵機能	方向操作機能	狭い直角道でも容易に曲がれること	最小回転半径 $R \approx 0$
		操作力機能	ハンドル操作が軽いこと	ハンドル抵抗
		利用者年齢配慮機能	ハンドルが握りやすく違和感がないこと	ハンドル握り部寸法と形状
	駆動機能	登坂機能	きつい坂道でも軽い力で歩行できること	登坂角度と利用者が押す力（トルク）の関係
		加速機能	加速が軽くできること	加速時の押す力（トルク）
		利用者年齢配慮機能	押しやすいこと	平地歩行時の押しやすさ
	制動機能	停止機能	歩行中急停止できること	全力歩行時急制動した場合の手（体）にかかる所要ブレーキ力

		短距離停止機能	短い距離で停止できること	速度と停止距離の関係
		保持機能	坂道で動き出さないこと	坂道で動き出さないために必要な手(体)にかかるブレーキ力
	歩行安定性機能	転倒防止機能	歩行中倒れにくいこと	アンケート調査
		安定性確保機能	歩行中容易に安定を取れる	アンケート調査
		疲労防止機能	利用者が長時間歩行しても疲労しにくい	アンケート調査
		歩行中の押し心地機能	悪路歩行でも押し心地が良いこと	アンケート調査
搭載機能	荷物搭載機能	耐重量機能	荷物を搭載できること	許容積載重量
		荷物保持機能	大きな荷物でも搭載できること	許容積載寸法
		荷物固定機能	荷物を容易に固定できること	荷物固定用フックの数と位置
		小物入れ機能	小物入れカゴが取り付けられている	カゴの大きさと寸法と許容積載重量
安全機能	歩行中の安全確保	歩行中の怪我防止機能	歩行中足がタイヤに巻き込まれないこと	立ち位置から足が届く範囲に設置する安全カバーの大きさと網目の寸法
		停止中の怪我防止機能	どの部分へ触れても容易に怪我をしないこと	露出部品類の角・隅・鋭角部の最小面取り寸法
		警報機能	前方の人へ警報を鳴らして存在を知らせられる	所定距離における警報機器の音量
		後方反射機能	夜雨の中でも後方の離れた自動車に存在が判ること	所定距離における反射光量
		前方照明機能	夜雨の中でも離れた場所の確認ができる明るさがある	所定距離における明るさ
	停止中の安全確保	自己転倒防止機能	風や突風で容易に転倒しないこと	自立状態時の倒すに必要な力
		停止機能	坂道でも動き出さないこと	坂道で自然に動き出さない保持力
耐久機能	物理的耐久機能	力学的耐久機能	ぶつけても容易に破損しないこと	構成部品類の塑性変形抵抗力
			転倒しても容易に破損しないこと	構成部品類の塑性変形抵抗力
		利用しても破損しないこと	許容最大利用者重量	
		重い荷物を載せても破損しないこと	許容最大積載重量	
		長期間使用しても容易に損傷しない	使用可能耐用年数	

		紫外線・日光耐久機能	長時間直射日光にさらされても表面の塗装が容易に劣化しにくいこと	耐用年数
化学的耐久機能	耐酸性機能		潮風にさらされても容易にさびない	海岸地域での耐用年数
			酸性雨にさらされても容易にさびない	酸性雨環境下での耐用年数
			自動車の排気ガスにさらされても容易にさびない	Nox・Sox 環境下での耐用年数
			工場地帯の排気ガスにさらされても容易にさびないこと	Nox・Sox 環境下での耐用年数
	耐アルカリ性機能		弱アルカリ成分を含んだ水が付着しても容易にさびない	アルカリ成分環境下での耐用年数
快適機能	意匠機能	美観機能	長時間使用しても見飽きがないこと	アンケート調査
		調和機能	町並みに違和感がないこと	アンケート調査
	取り扱い容易性機能	取り扱い容易性機能	誰でも簡単に使えること	アンケート調査
		歩行容易性機能	容易に歩行できること	アンケート調査
		持ち運び容易性機能	軽く持ち運びができること	アンケート調査
		選択容易性機能	利用者の歩行に合わせて速度の調節ができること	アンケート調査
	汚れ防止機能	汚れ防止機能	雨の中を歩行しても利用者や荷物へ泥水が跳ね飛ばない	アンケート調査
		本体の汚れ防止性機能	デバイスそのものへ汚れが付きにくいこと	アンケート調査
		汚れ洗浄容易性機能	水を掛けて容易に汚れを落とせること	アンケート調査
	保安機能	盗難防止機能	施錠容易性機能	鍵がつけやすいこと
保全機能	修理容易性機能	パンク修理容易性機能	パンクを素人でも容易に修理ができること	アンケート調査
	分解・組立て性機能	分解・組立て容易性機能	必要部分を分解・組立てが素人でも容易にできること	アンケート調査
		汎用工具適応性機能	分解組立てに市販の工具が使用できること	アンケート調査
	空気補充機能	ポンプ機能	いつでもタイヤチューブへ空気を補充できること	空気ポンプ設置
	メンテナンスフリー機能	無給油対応性機能	グリスや潤滑油を補給しなくても良いこと	無給油耐用年数