

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・行政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が、歩行に関し工学的機能を追いかけると足場の悪いリスクの高い方へ被支援者を連込むことになる。工学面の支援機能と医学面の歩行能力と地域・環境面のバリアレベルとのバランスを考慮したユニバーサルデザイン（以下UDと称す）手法の導入を行った。定量的な評価目標だけでなく、多面的な調査・検討からの評価法を設定し、被支援者の側から見た人間中心設計手法を取り入れた。

本年度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取り組みされた。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とした。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ることとした。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うこととした。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。

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と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50mm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200mm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。

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%を越えると予想されている⁽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。

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。

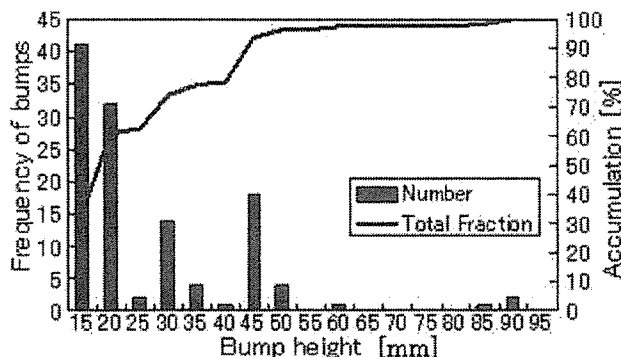


Fig.3.1 The bumps distribution investigation result

上図は神奈川県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い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。

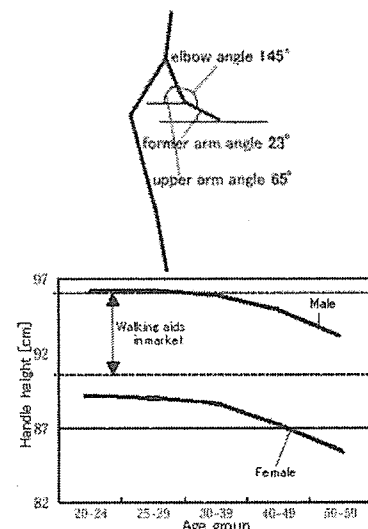


Fig.3.2 Optimum support angle Fig.5 Optimum grip height

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 53.0 kg) 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。

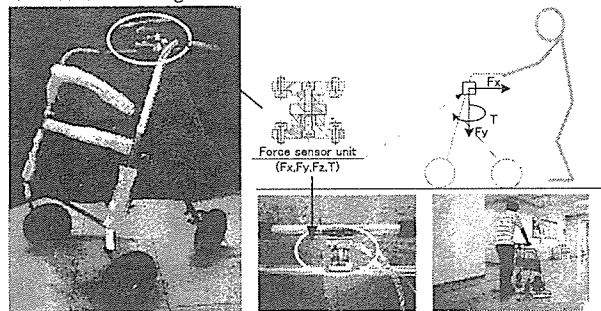


Fig.4.1 Experimental equipment

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。

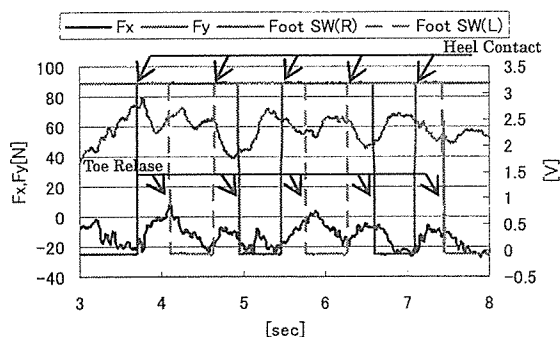


Fig.4.2 Case_Student A

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。

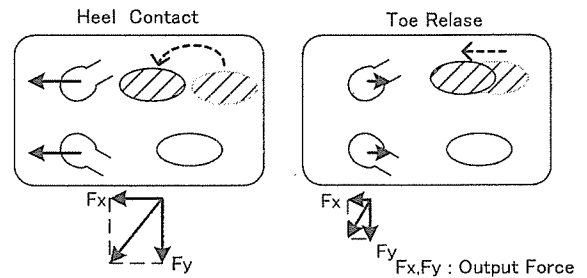


Fig.4.3 The move operation

5. 歩行支援機におけるハンドル機能付加に関する基本概念の検討と開発設計

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られられる。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ードバック的の評価をしてもらう。

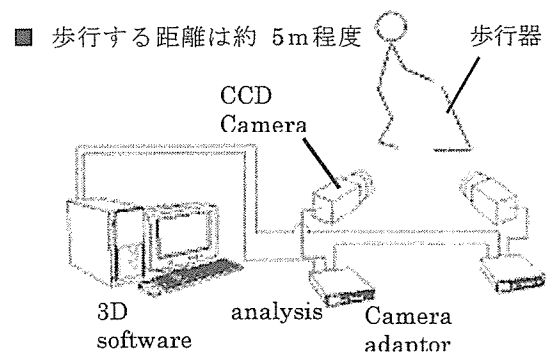


Fig.5.1 Configuration of [Dipp-Motion XD] Operating System

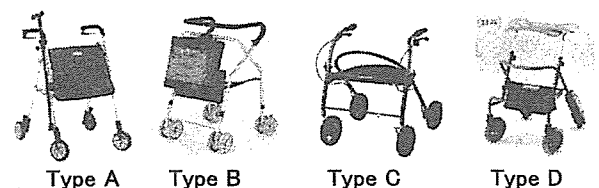


Fig.5.2 The Walk Auxiliary Car used in the Experiment

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。

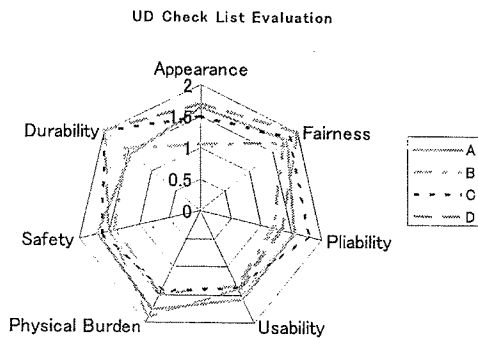


Fig.5.3 PPP Evaluation to Each Walk Auxiliary Car

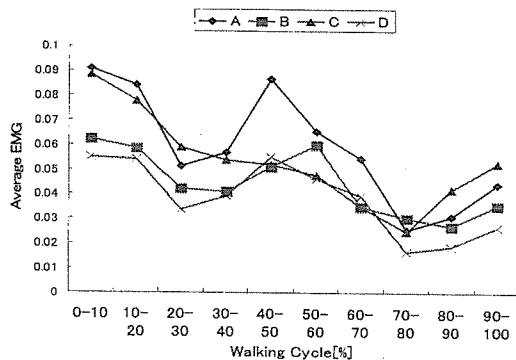


Fig.5.4 Musculus Rectus Femoris's average Activity

5.2 被支援者との力関係に関する実験

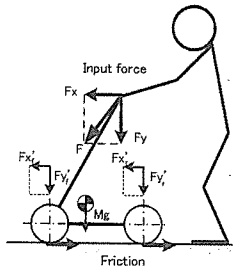


Fig.5.5 は被支援者と機器との力関係を示す。この実験では歩行時の姿勢とハンドルに加わられている F の変化の関係から F の変動パターンについて考察し、アシストパラメータとしての有効性を確認する。

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

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

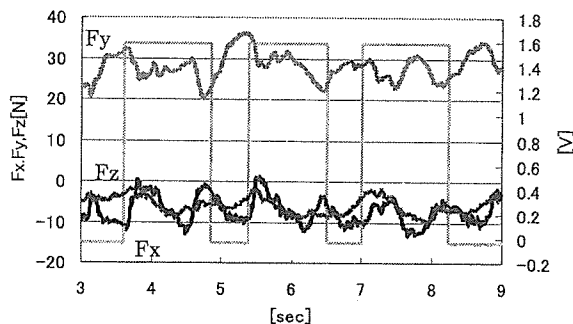


Fig.5.6 The Experiment Result (On the Flat Road)

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。

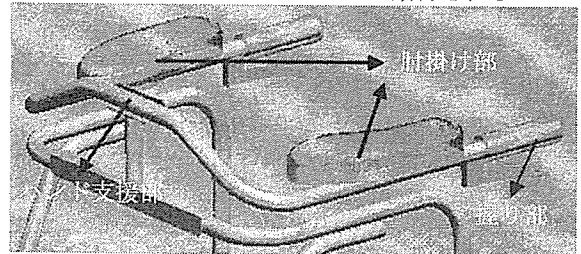


Fig.5.7 Handle Structure of the Walk Support Device

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.5 のようなモデルを設計した。

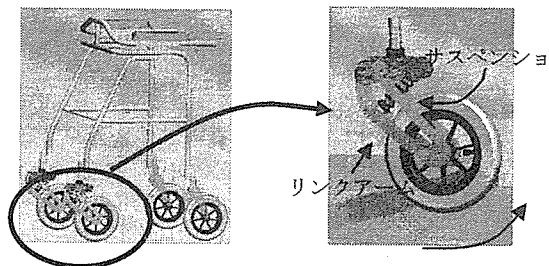


Fig.6.1 試作モデル

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、リンクアーム上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と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。

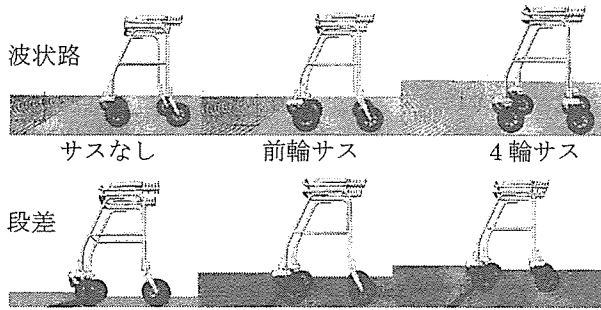


Fig.6.2 シミュレーションモデル

(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。

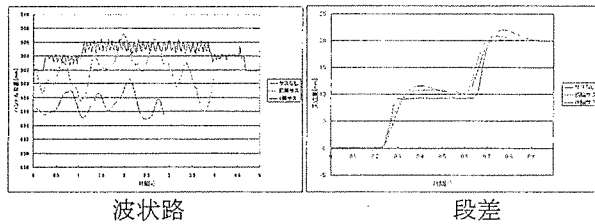


Fig.6.3 シミュレーション結果

(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. 段差乗越え機構の開発

7.1 段差乗越えの前輪に及ぼす力

まず、段差50mmを乗越える上で、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。

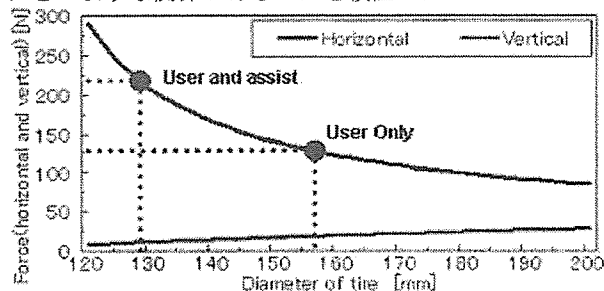


Fig.7.1 Required forces to override a 50mm bump

前輪径は、人力のみで押す時はφ157、アシスト力を加えてφ129以上に設定することで理論的には乗越えられる結果を得た。(人力:130N, 駆動力:100N)

7.2 段差乗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j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。

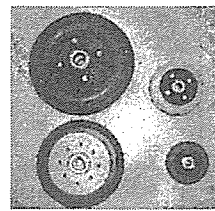


Fig.7.2 Solid tires

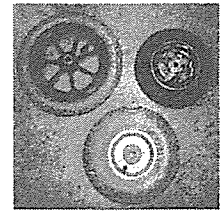


Fig.7.3 Pneumatic tires

Tab.7.1 Permissible bump height of each tires

No.	Specification	Bumps height [mm]				
		5	10	15	20	25
1	φ200 solid tire	○	○	○	○	×
2	φ150 solid tire	○	○	×	×	×
3	φ100 solid tire	○	×	×	×	×
4	φ75 solid tire	○	×	×	×	×
5	φ200 pneumatic tire	○	○	○	○	×
6	φ165 pneumatic tire	○	○	○	×	×
7	φ150 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段差乗越えにはφ500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ョンば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	φ75 solid tire
Front normal wheel for running	φ200 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-E052)
Bracket	Steel (SS400)

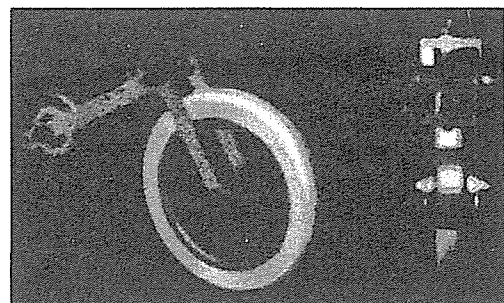


Fig.7.4 3D-CAD model of front wheel link mechanism

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。

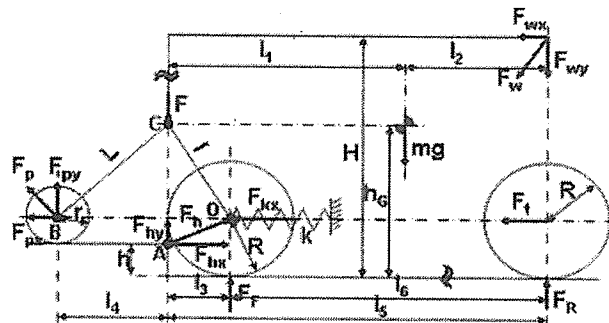


Fig.7.5 Dynamical model for dive stability horizontal grip force

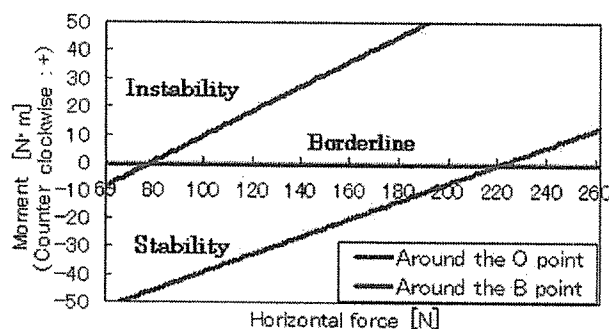


Fig.7.6 Comparison of dive stability(O and B position)

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、段差乗越え運動の時系列解析を行ない、機構の干涉、最大荷重、加速度などの問題の有無を調べた。

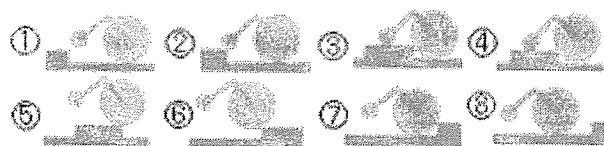


Fig.7.7 Animated bump override simulation

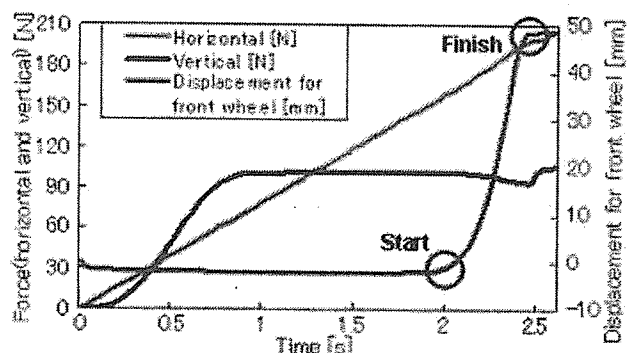


Fig.7.8 Front axle displacement(green) under given grip forces

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。

7.6 段差乗越え時に作用する力の測定実験

計算では 50mm 段差を乗越えられたので、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。

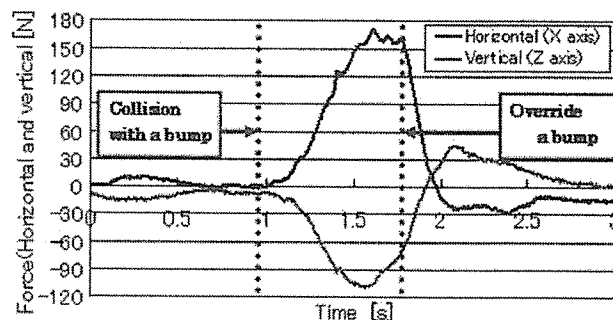


Fig.7.9 Measured grip forces at a 50mm bump

50mm 段差を乗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小であるが 1000V 程度の高電圧が必要になる。

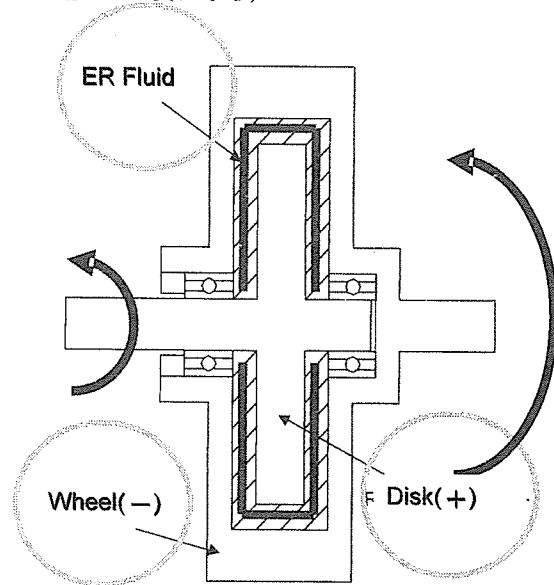
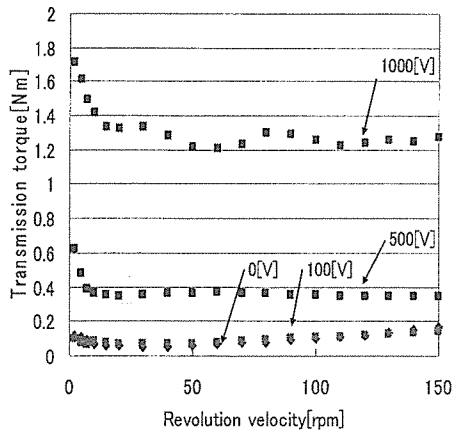


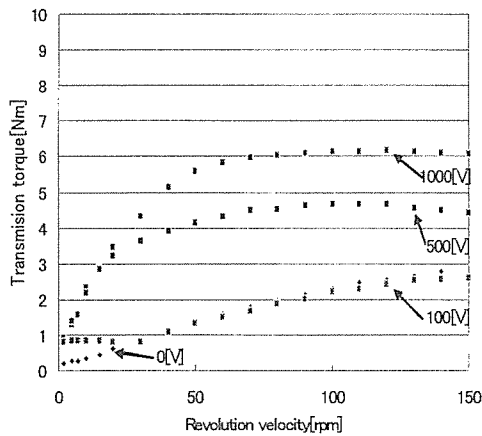
Fig. 8.1 ER fluid disk device

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。

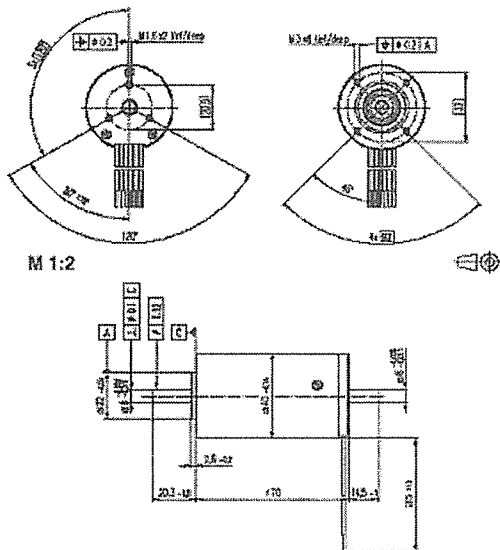


Fig.8.3 Draft of DC motor manufactured

by MAXON

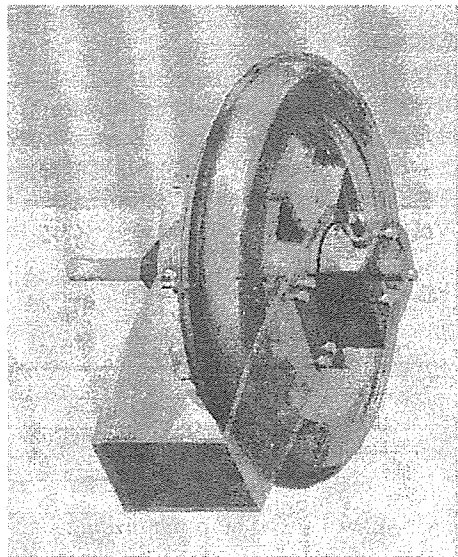
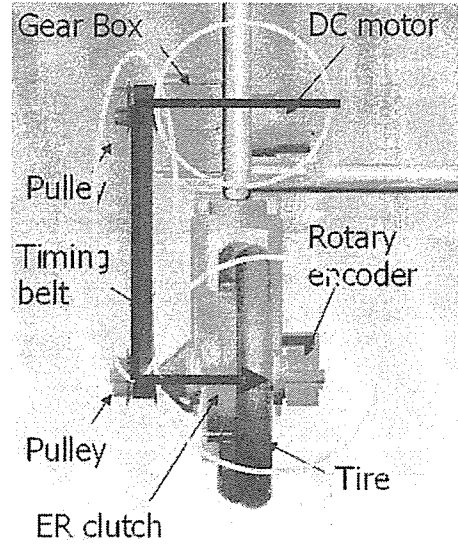


Fig.8.4 Driving and Braking System

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。

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

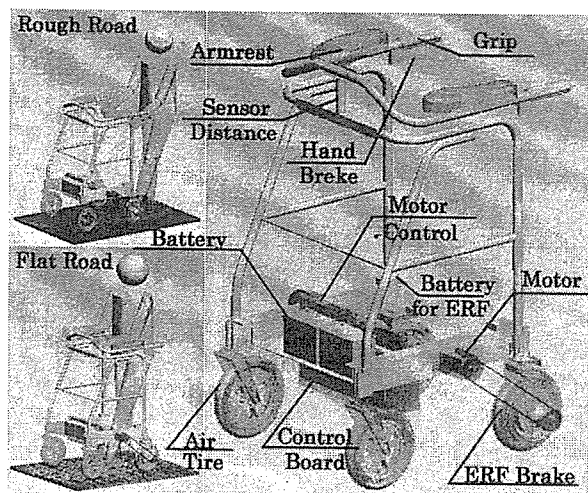
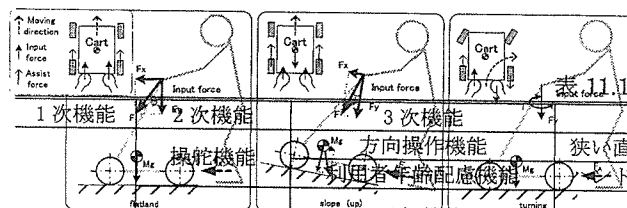


Fig. 9.1 Construction

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)。



1次機能		2次機能		3次機能		表 11.1 要求機能と性能比較	
走行機能	駆動機能	操舵機能	方向操作機能	狭い直角構造の認識曲線操作	ユーザー年齢配慮機能	トルクが握りやすき調整を支援機の改良を進めトルク握り部寸法と形状 ⁽³⁾	最後に高齢社会での生活充実と拡大利用を考慮せざるに必要モータトルク 5[N.m]
	制動機能	停止機能	保持機能	急停止できること	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
	安定性機能	転倒防止機能	歩行中の押し心地機能	悪路でも押し心地が良いこと	平坦歩行時の押しやすさ ⁽³⁾	外部との衝突防止	必要ブレーキ力 3[N.m]
		必要ブレーキ力 6[N.m]					
快適機能	意匠機能	美観機能	調和機能	長時間使用しても見飽きがこないこと	デザイン、カラーに富む		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	持ち運び容易性機能	誰でも簡単に使えること	アンケート調査		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			
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			

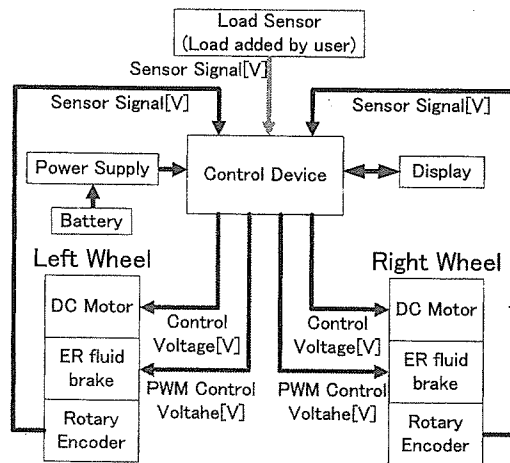


Fig. 10.2 The system architecture

10.2 制御システム

支援機は、『力を入力値とする力制御』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)。

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。

11. まとめ

歩行動作の検討から支援機の仕様・構成を決定した。今後は試作機を用いて、被支援者の筋電図計測、標点の空間座標を計測、歩行床面に加わる力の測定を行い、足関節、膝関節、股関節に発生するモーメントが現用の要求値と比較し、下肢の筋消費エネルギーがどのくらい低減しているかを検証する必要がある。また、専用特

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)このような福祉モビリティとの相乗効果があがるようなシステムの研究のため地域のタウンモビリティに注目して調査を行った。いくつかの興味ある事例を見いだすことができた。次に今年度でもっとも力を入れたのは、今まで調査研究を行ってきた各コンポーネント技術の開発研究の成果を受けて、歩行支援機を作り上げて、全体から見た支援のポテンシャルを調べる事であった。その結果、操作レバーレスや歩行速度制御システムのめどがつき、かなりスリムな形で支援システムが構成することができそうとの見通しを得た。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、前年度に引き続き、開発研究に関する企業との連携を積極的に行った。今後は、モニターができるレベルまで歩行支援機をレベルアップするのが主たる目標となる。

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%を越えると予想されている⁽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。

本年度は、個別の装置の開発研究に加え、歩行支援機のベースモデルの開発研究がしゅたいとなる。

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)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し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。
- (6)軽量（～20kg）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。

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

開発研究の全体の流れとしては、前年度と同様に、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。中心となるのは、個別の研究開発したコンポーネントを組み合わせたベースモデルの作成と歩行支援機としての要求仕様を確認することである。ヘー素モデルは一つに絞らず、芝浦工業大学と神奈川工科大学の二箇所を検討し、一箇所で行い独善に陥ることを避ける。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も、昨年同様に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。同時に、その完成度によ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福祉モビリティの考え方と歩行支援機が喜んで使用してもらえる動機付けの準備の必要性を調査研究する。これらをタウンモビリティの活動を拡大し、電動カーから歩行支援機によるより自立的な活動につなげることをめざす。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. 歩行支援装置全体計画に関する研究

- ・ 広域での歩行支援を可能とする基盤技術抽出の研究より、シミュレーションとプロトタイプ試作による評価を行い、ベースモデルの歩行支援機の研究開発を行った。その結果、芝浦工大および神工大にて各々2号機を製作し、要求仕様の内予定していたものはほぼ達成することができた。両者は、同じコンセプトに基づくが、具体的な仕様に関しては、独自のアイデアを採用し、多面的なアプローチを行っている。

3. 1 芝浦工大での試作機について

芝浦工大での試作機では、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、電動モータから後軸への駆動方式は、歯車列によるものでコンパクトで、信頼性の高い構造を採用した。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。

車いす用に普及している20mm段差を許容するバリアフリー基準に対して、平坦路と同じ歩行モードで問題なく通過可能な能力を第一の目標としていたが、十分に達成している。また標準的な市街地でのバリアの97%を走破できるものと

して、50mm段差に関しても、一度速度を低減しゆっくりと乗越える方式の段差乗越えモードで問題なくバリアをクリアできることを確認した。大きな段差に関しては、一度設定速度を落とすことで、段差での躓きなどのアクシデントを防止する効果があり、このような二段階での段差バリアへの対応が優れていることが分かった。



Fig. 1 The Prototype No.2 of Shibaura-IT Team

3. 2 神奈川工科大学での試作機について

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。

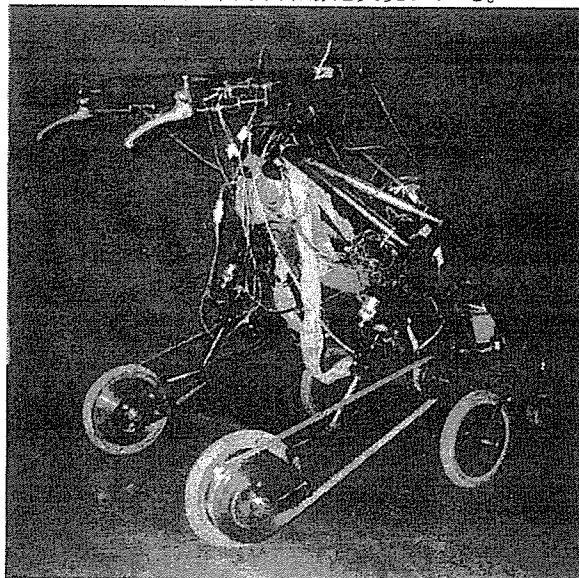


Fig. 2 The Prototype No.2 of Kanagawa IT Team
後軸への駆動は、幅広の歯付きベルトを利用し、後軸のアームスイング方式サスペンションと統合に成功している。今回は、アクセルレバー付きであるが制御は速度制御方式として、被支援者とのマンマシンインターフェイスを考慮している。

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、特に後輪にス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。

3. 3 歩行支援機 2号試作機の仕様について

ここでは、今年度の試作機のほぼ達成している仕様とその機能レベルにつき取りまとめる。

(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。

(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。

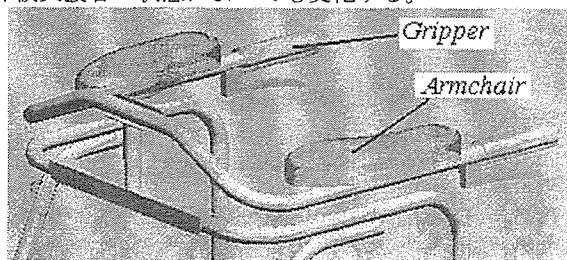
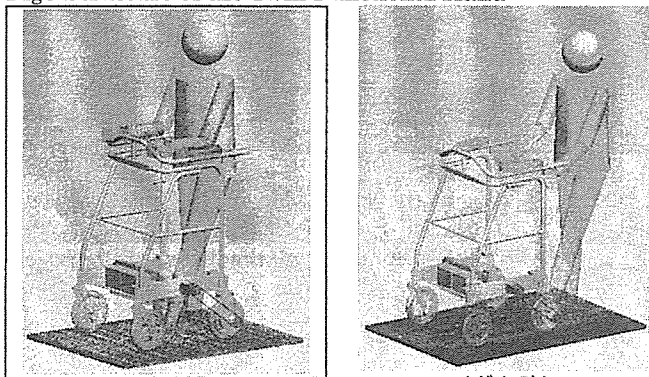


Fig3 Structure of the Twin Functional Hand



(舗装道路を歩行時)

(ガタ路)

Fig4 Image of Using Twin Functional Handle

(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。

(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 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、必要な力を関知して、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。

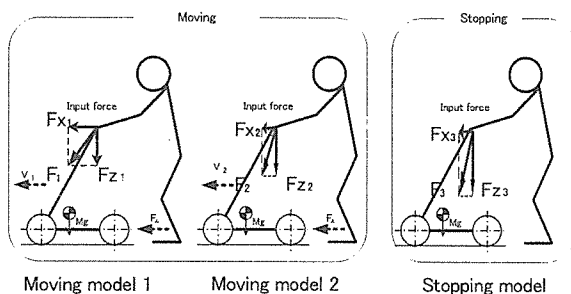


Fig5 Moving and stopping mode model

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) 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った垂直力を比較し、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。

また図 6 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。

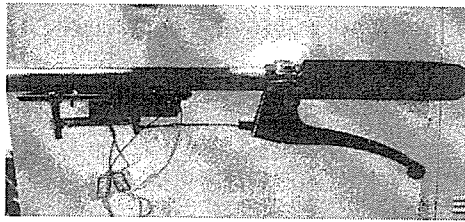


Fig. 6 Accelerator lever for walking support device

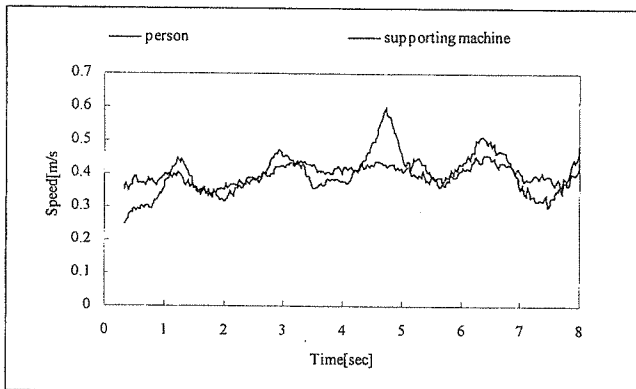


Fig.7 Person A1

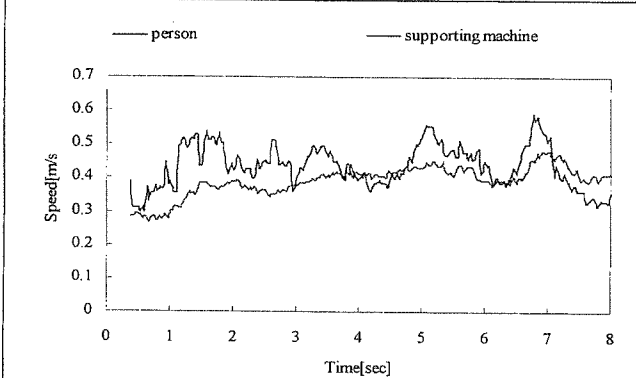


Fig.8 Person A2

(7) 歩行リズムと多重センサー

その人独特な歩行リズム、リズムが乱れると、その人の状態が判ると考えられる。基本的には、図6によると一定の速度で支援機が移動しても問題は少ないが、ある程度の揺らぎは観察できる。多くの場合はまだ調査が終わっていないが、注目はしておくべきであると考え。これらの揺らぎは、個人差やその人の心身の状況により変化する。従って、学習機能の導入が好ましい。

(8) 切り替えスイッチ/操作レバー不要システム

ここでは、センサーの多重化も考慮して下記のようなセンサーを用意した。

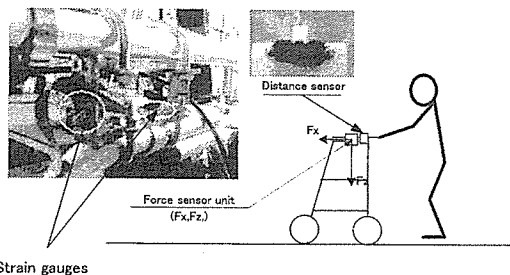


Fig.9 Configuration of Operating System

- ・ハンドル部負荷センサー

- ・傾斜センサー
- ・衝撃加速度センサー(含む速度)
- ・距離センサー(歩行器と被支援者間)

各種センサーシステムを検討し、雨かぜ[®]にも強く、信頼性の高いものを選定中である。感度と強度の相反性をうまく解決することが求められている。

(9) 歩行に関するリスク管理

- ・歩くことが脚力を維持し、転びにくくする。
- ・距離センサー

基本的に、自立的に歩くパターンを維持することが脚力を維持し、転倒や躓き時にふんばることができるとの報告があり、歩行支援機での支援で歩くことはその降下は大きい。

(10) 前輪の段差乗越しデバイス

目標として、下記の通りの設定とする。

① 20mm 段差は、平坦路前進モードと異差がないように通過できること。

② 50mm 段差は、段差乗越しモードで、極低速でクリアする。これは、車いすで普及したバリアフリー基準に適合させるためである。

図10は、大輪軌跡トレース式で大きな円弧のスライド方式で、大きな段差をクリアできます。

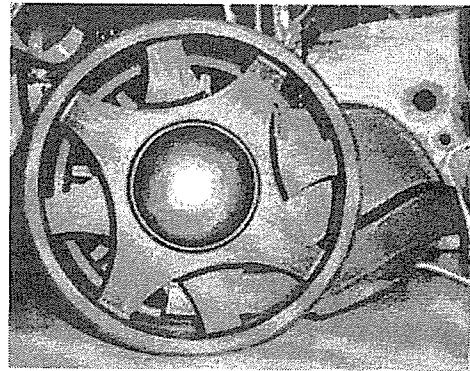


Fig.10 Caster for beyond the bump

次に、神奈川工大のオリジナル段差乗り越え装置を示す。大輪軌跡トレース方式スイング方式である。段差に前輪が押しつけられるとへ型のアームがスイングして、先端部の小径輪が下方に移動し、その結果、前輪が情報に持ち上げられて段差を乗り越える方式である。

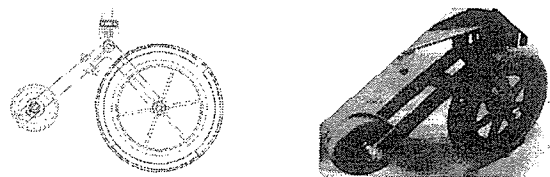


Fig.11 The unit of the front wheel over the barrier

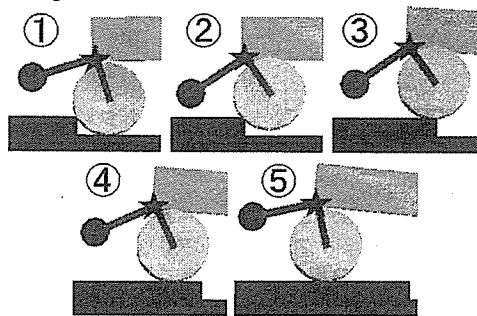


Fig.12 The mechanism front wheel

(11) キャスター/ステアリング機能

キャスターの回転制御不安定の抑制のためキャスターの回転角度領域の制限がよく使われるようになった。方式としては、回転角度リミッターをスライドさせる方式とキャスターの回転軸を斜め傾斜とする方式がある。

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。

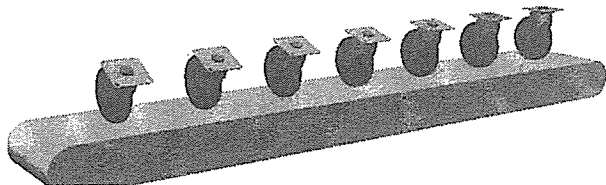


Fig. 12 Chaster

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。

図 13、14 は、ステアリング構造である。路面の凹凸による外乱や左右傾斜等に対しても走行安定性確保するため、段差乗越えユニットを継承した多リンクによる操舵機構の設計を行った。小回りが出来るように大きな操舵角が切れるようにリンク比をとり、板とロッドの構造とすることで機構の垂直高さを極力抑えた。また、操舵軸からグリップ部を長く伸ばしてハンドルを切るときの負担の軽減を図った。

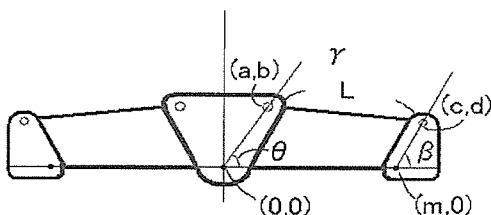


Fig. 13 操舵機構リンク比パラメータ

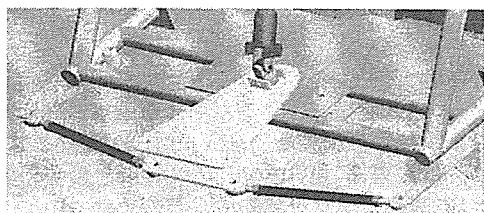


Fig. 14 操舵機構 CAD 図

4. 歩行社姿勢の認識および評価システム

ここでは、“広域歩行支援装置の柔軟な操作性に関する研究”において、新しい歩行支援機の開発を目指すにあたり、“柔軟な操作性”に関して必要とされるマンマシンインターフェイスの必要事項をバイオメカニクスの観点から明らかにするための分担研究である。現在、以下の2つの課題が進行中である。

- 1) 歩行支援機の生体力学的評価,
- 2) 歩行支援機の基本機能に関する考察である。

1) では、実際に歩行支援機が使用可能になったときを念頭において、既存の歩行支援機を用いたときの生体

力学的な評価を行っている。ベーシックな歩行支援機を用いて、評価した結果、キネマティクスやキネティックなデータが、歩行支援機を使用することによって、著しく変化することが明らかになった。また、歩行支援機のタイプ（手持ちタイプ、肘掛けタイプ）によっても、大きく異なることが示唆された。

4. 1 歩行器の基本機能と歩行姿勢

歩行器使用時の歩行動作解析を行った結果、歩行支援機の自走制御には歩行支援機と被支援者との唯一のインターフェース部であるハンドルへ印加される力 F の前進成分 F_x およびその向き θ が最適である。

被支援者の積極的な歩行支援機の使用が得られない限り、健康の保持・増進が達成されることはない。しかしながら、歩行支援機は工学的支援のみならず医学的見地や地域・環境面への適応、あるいは被支援者自身へのカスタマイズも必要となる。この点については、ユニバーサルデザイン手法⁽⁴⁾を取り入れることで支援システムの完成を目指す。

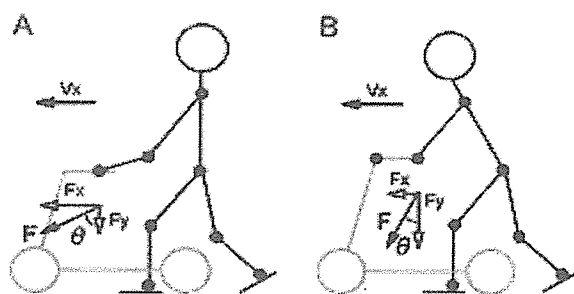


Figure 15 (A) Gait appearance with walker A (fig.1), (B) with B.

次に、この結果、歩行1周期中に身体の移動速度は歩行器の使用に関わらずほぼ同様に bi-phasic なパターンを示すことがわかった (図 16)。

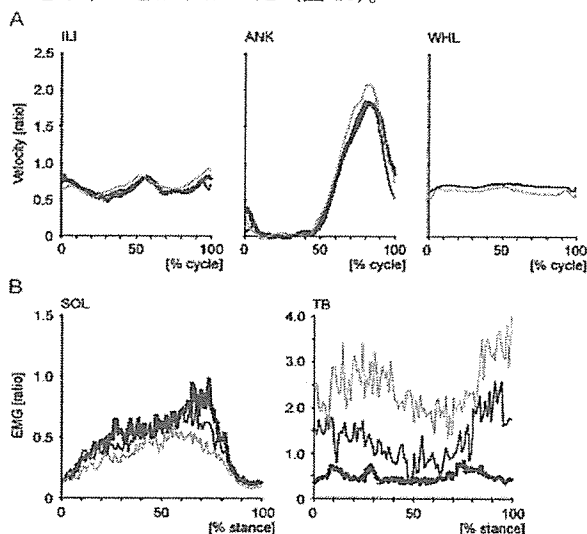


Figure 16 Averaged velocity (A) and electromyographic activity (B) profiles in each condition. Black thick lines : control, black thin lines : walker (A), gray lines : walker (B). ILI : top of the iliac wing, ANK : lateral malleolus, WHL : front wheel, SOL : soleus muscle, TB : triceps brachii muscle.

一方、歩行器は身体移動速度のピーク値に対して約75%程度で一定値を示したが、立脚中期および遊脚期（対側脚の立脚中期）では身体移動速度より速い速度で移動していた。筋活動では肘掛ハンドル形状タイプの歩行器である歩行器(B)を使用した際に、ヒラメ筋の筋活動は減少し、同時に上腕三頭筋の筋活動レベルは顕著に増大した(図3.2B)。また、歩行器(A)使用時についても、上腕三頭筋の筋活動は増大していた。これらのことから、歩行器(A)では身体荷重は足関節で支えつつ、上腕三頭筋は歩行器を推進させる力を発揮していたと考えられる。一方、歩行器(B)では、足関節で賄う荷重負荷が減少し、これを上腕三頭筋によって補償していることがわかる。

5. 登坂・ガタ路走破性の向上

支援機が段差を乗り越えるための条件について力学的に考察する。Fig.7.4に前輪が段差を乗り越えるときに支援機にかかる力の構成を示す。

$$\therefore R_2 = \frac{lW + (mg + W)a_1 - l_h \Delta F}{a_1 + a_2}$$

$$R_1 = \frac{(mg + W)(a_1 + a_2) - lW - (mg + W)a_1 + l_h \Delta F}{a_1 + a_2}$$

後輪の軸中心にかかる力の最大値は、
 $F_{2max} = \mu R_2 + \Delta F$

このとき、 $\Delta F = 0$ (人が押す力がゼロ)として、後輪にかかるトルクの最大値は、

$$T_{2max} = rF_{2max} = r\mu R_2$$

なお、摩擦係数 μ は路面状態により変化する。路面状態における μ の値を以下に示す。

- $\mu = 0.2$: リノリウム床
- $= 0.4$: 路面(アスファルト)
- $= 0.6$: ギザギザ面
- $= 0.8$: 段差の角

前輪方向にかかる力

$$F_1 = F_2 + \Delta F$$

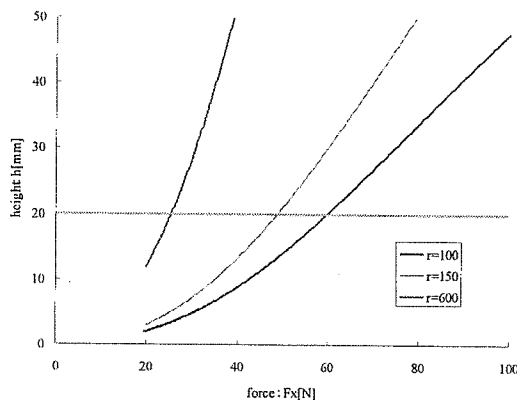


Fig.17 Force for beyond the bump ($\mu=0.2$)

$$T_{max} = r(mg + W) \sin \theta$$

T_{max} : 最大負荷トルク [Nm]

r : 後輪半径 [mm] F_2 : 後輪にかかる力 [N]

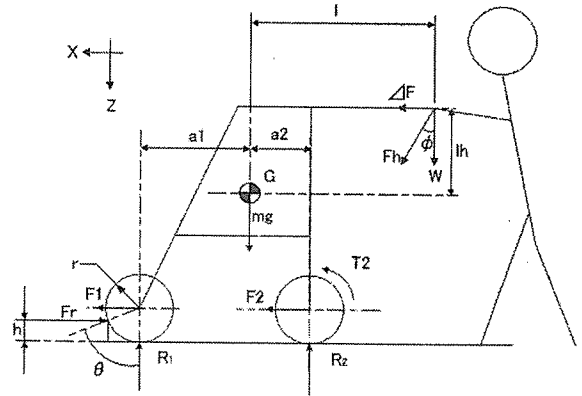


Fig.18 Walk-Supporting Device mechanics model

m : 歩行支援機の重さ [kg] W : 使用者の荷重 [N]
 式(7.1.1)から、登坂時の最大負荷トルクを求め、そのときに車輪がスリップしない限界トルクとの関係を Fig.17 に示す。

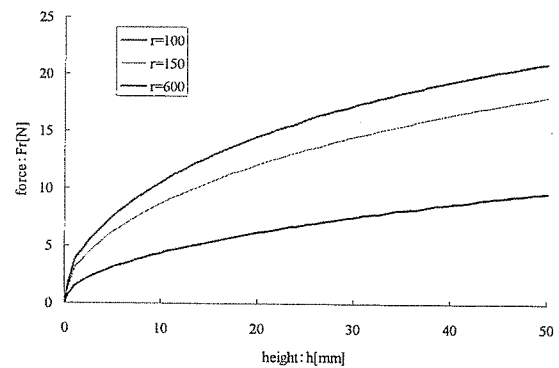


Fig.19 Reaction force of front tire ($\mu=0.2$)

Fig.8.2から登坂角度が10.2[deg]において、床面がリノリウム($\mu=0.2$)のときに最大負荷トルクが限界トルクを上回り車輪がスリップしてしまう。アスファルト($\mu=0.4$)よりも摩擦係数が高い床面であれば開発コンセプトの登坂可能最大斜度15[deg]をクリアできる。そのときに必要なトルク T_{max} は

$$T_{max} > 10.4 \text{ [Nm]}$$

最大乗越し可能段差での必要トルク

当面の目標である乗越し可能段差高さは20[mm]であるが、段差乗越しモードを搭載したときの将来的な目標では乗越し可能段差高さは50[mm]である。よって、ここでは段差高さ50[mm]までを想定して必要トルクを求めていく。段差乗越しに必要な力については6章ですでに述べているので、それを用いて、車輪径($r=600$ [mm])から必要トルクを求める

$$T = 0.1 F_2 F_2 > \frac{(mg + W)a_2 - lW}{a_1 + a_2} \times \frac{\sqrt{2rh - h^2}}{r - h}$$

$$T > 0.1 \times \frac{(mg + W)a_2 - lW}{a_1 + a_2} \times \frac{\sqrt{2rh - h^2}}{r - h}$$

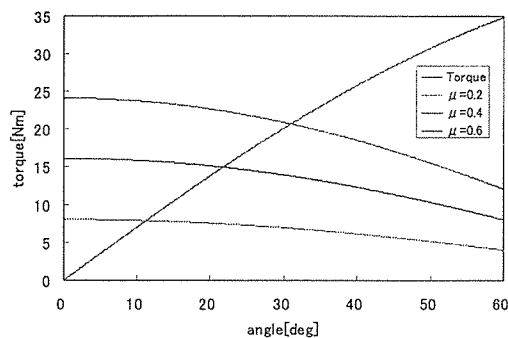


Fig.20 Maximum torque

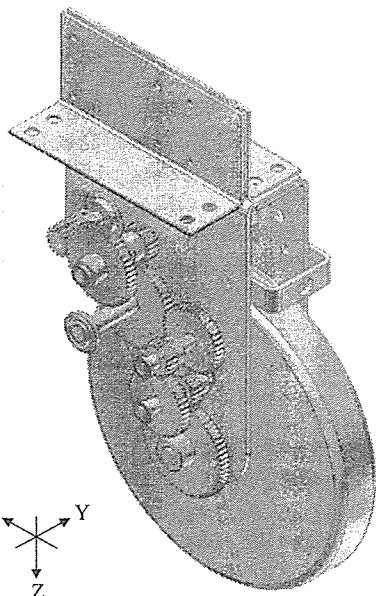


Fig21 Power unit model

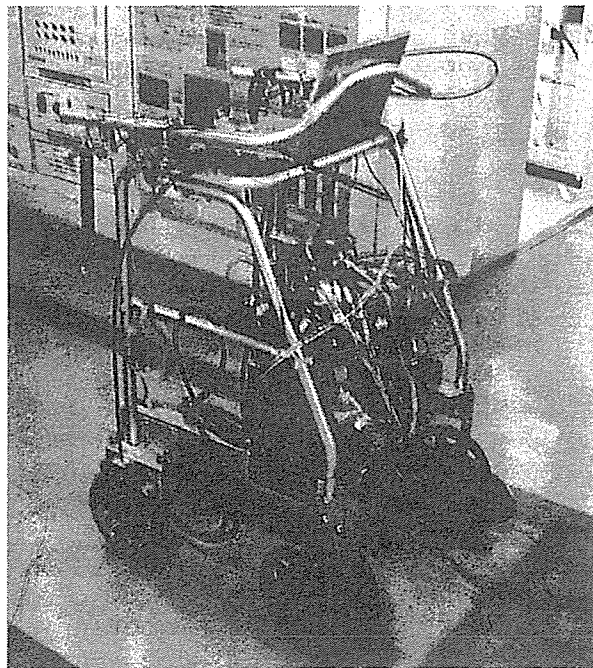


Fig.22 Walk-Supporting Device Ver. 2

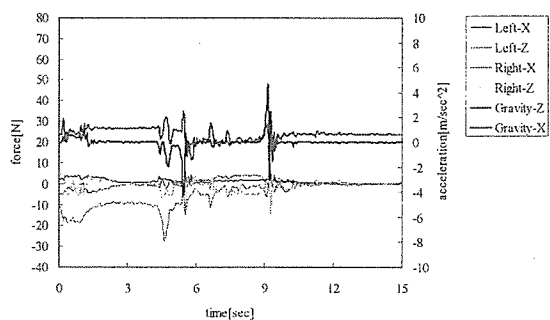


Fig.23 Result of experiment without subject No.2-A

6. 本体構造の検討

試作機フレームと、前述の OPTISHAPE-TS による構造最適化によって得られた形状を参考にして、新規フレーム案を数パターン作成し MSC.Nastran によって構造解析の比較を行う。解析は簡略化のため Beam を使用した 1D の簡易モデルによって行う。以下に試作機の簡易モデルと作成したフレームモデルを示す。

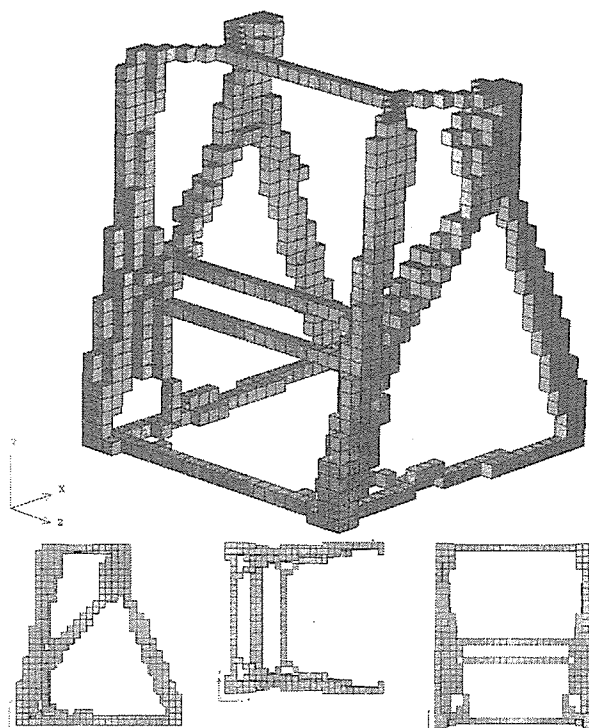


Fig24 Structural optimization result

(1) 解析 1

拘束条件：右前輪の変位を三方向固定，左前輪の上下方向と左右方向の変位を固定，後輪は上下方向の変位のみ固定し，そのほかは自由

荷重条件：ハンドル取り付け部にモデルの後方上部から，角度 80[deg]に 2000[N]の力を掛ける

(2) 解析 2

拘束条件：右前輪の変位を三方向固定，左前輪の上下方向と左右方向の変位を固定，後輪は上下方向の変位のみ固定し，そのほかは自由

荷重条件:ハンドル取り付け部にモデルの後方上部から、角度 60[deg]に 2000[N]の力を掛ける

(3) 解析 3

拘束条件:右前輪の変位を三方向固定、左前輪の上下方向と左右方向の変位を固定、後輪は上下方向の変位のみ固定し、そのほかは自由

荷重条件:ハンドル取り付け部にモデルの中央上部から、角度 60[deg]に 2000[N]の力を掛ける

これらの条件から、3条件を満たす設計案として検討した結果、パイプ材の設計を行った例を図 24 に示す。さらに、パイプ材の生産性を考慮し、最終リコメンド案は、図 26 となった。

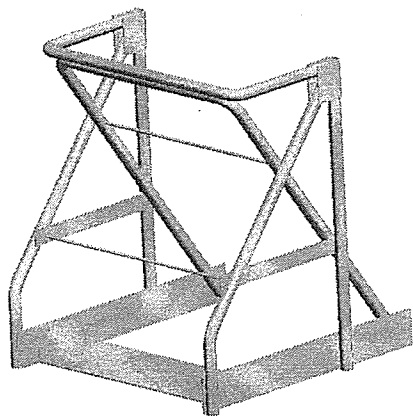


Fig25 New frame 1

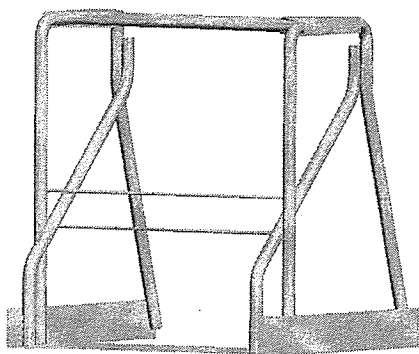


Fig26 New frame 2

また、別の観点からの本体構造へのアプローチとして、

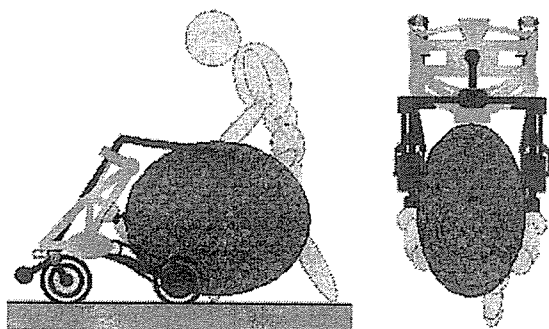


Fig 27 使用者動作空間の確保

歩行機的设计にあたって、使用者の歩行運動に干渉しないよう、歩行機を構成する部分は平面図で「コの字空間」内に収納した。その中に高剛性な骨格でモーター駆動部分、モーター制御部分、バッテリー、操舵機構および懸架系を支持した。

7. 駆動・制動について

7. 1 ER クラッチ単体試験

(1) 静特性実験装置について

静特性実験装置の構成を Fig.3 に示す。本実験ではクラッチの片方を固定し、回転数、トルクを電圧毎に測定した。これにより、ER クラッチのせん断応力がわかる。

(2) トルク特性試験

クラッチに電圧を印加し、モータを定速で回転させ、トルクの伝達力を測定した。結果を Fig.4 に示す。

トルクの伝達力は均一系の方が高いという結果が得られた。しかし、均一系にて試験の経過と共に ER 効果が低下し再現性が失われる現象が見られた。その再現性実験を行ったところ、均一系において連続使用による発熱が原因と思われる ER 効果の減少が確認できた。このことより、ER クラッチにおけるトルク伝達の安定性は分散系のほうが優れていると考えられる。また、応答性確認実験においても分散系が優れていることが確認された。以上のことから分散系のほうが歩行支援機に適していると考え、以下の実験は分散系にて行なった。

7. 2 ER クラッチ負荷試験

(1) 動特性実験装置について

静特性実験装置の固定台をモータに組み替えて実験を行った。本実験では、Fig.5 のモータ①を入力、モータ②を擬似的にタイヤ側とし検討を行った。

(2) 回転数 - トルク特性試験

タイヤ側モータが発揮するトルクで負荷を設定し、20秒後から ER クラッチの印加電圧を徐々に増加させていった。この時の実験データの一例として、Fig.6 に示す。

各実験データから①、②、③の3点のデータを読み取った。尚、①は、無電圧時における ER 流体の粘性のみの回転数(タイヤ側)、②は、入力回転数をほぼ 100% 伝達される時(※以下、連結時とする)の回転数(タイヤ側)、③は、連結時の印加電圧である。この実験をモータ①のトルクを変えて行った結果を負荷トルクと ER クラッチが伝達される回転数の関係として Fig.7 に示す。

この結果より、ER クラッチの電圧印加前と印加後の伝達する回転数と負荷トルクの関係が示された。このことより、伝達される回転数と負荷トルクは線形の関係はないといえる。また、電圧印加後については実験を行った範囲では、線形域だが負荷トルクが大きくなった場合に非線形になることが予想される。

(3) 負荷と有効印加電圧

4.2の実験結果を用いて、連結時の印加電圧と抵抗の関係を図 8 に示す。

式は、次のように線形近似できると考えられる。

$$F = 0.0024V \quad (F: \text{負荷}, V: \text{印加電圧}) \quad \dots (1)$$

この式について、負荷を設定し、関係式(1)から必要な印加電圧を求め確認を行った所、連結後の回転数が Fig.8 とほぼ一致したことより、関係式(1)から求めた印加電圧の値で ER クラッチが連結することが確認できた。

7. 3 結論

実験結果から安定性、応答性の良い分散系 ER 流体が、歩行支援機には適していると考えられる。しかし、分散系 ER クラッチは伝達力が小さいので、それを増加させるための設計が必要である。また、負荷と印加電圧の関係について確認した。

本研究で使用した ER クラッチは歩行支援機にて回転数制御を考慮しており、回転数と印加電圧の関係を今後検討する必要がある。

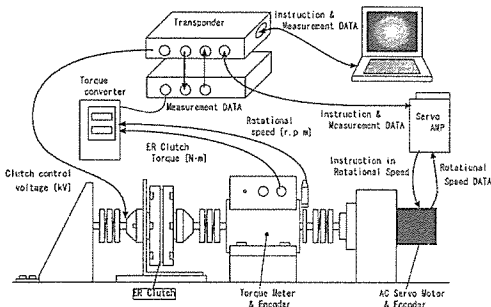
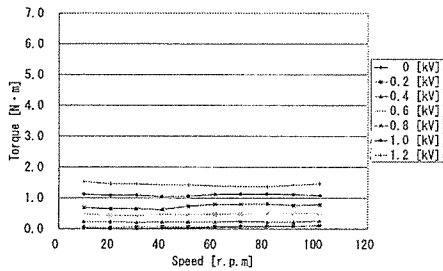
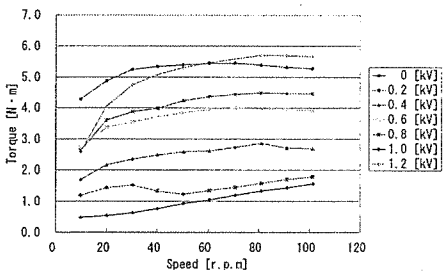


Fig. 28 静特性実験装置

Fig. 29 Test Bench



(a) 分散系 ER 流体



(b) 均一系 ER 流体

Fig. 4 回転数 - 伝達トルク

Fig. 29 The Results

D. 考察

8. 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。

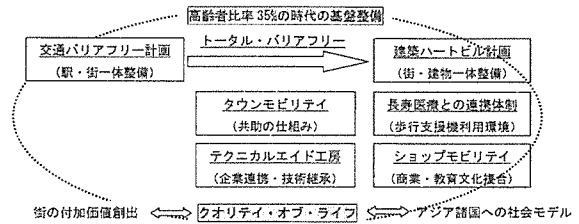


Fig. 30 Welfare Mobility and Town Mobility

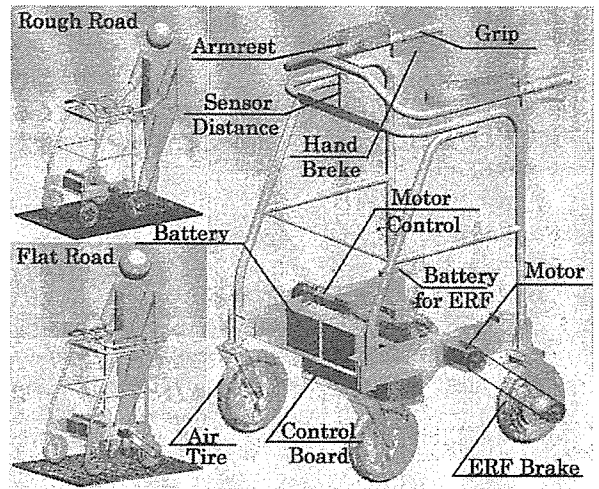


Fig. 31 Construction

9. 制御系の考え方

9. 1 操作レバーレスシステム

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して基本的に問題なく、歩行支援ができることが確認された。しかし、歩行にはいろいろなパターンがあり、いくつかの事例としては、さらに木目の細かい制御を必要とする可能性は残っている。登り降り、横傾斜路などに対しては、傾斜センサーを取り付けることにより制御が可能であった。これも上記と同様、いろいろな使用上での調査研究が必要となる。

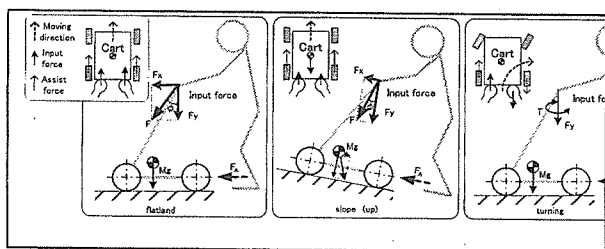


Fig.32 The movement image

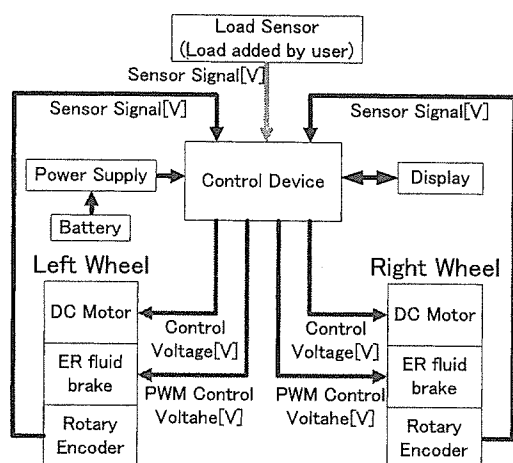


Fig.33 The system architecture

9. 2 制御システム

図7, 8でも示された通り、歩行支援機の移動速度は一定で基本的に良いことがわかった。前述の通り、速度制御方式で違和感なく歩行支援を受けることができることにめどがついた。よって、制御系がその分簡素化することが可能となり、支援機としての信頼性が向上できる。これからは、そのさらなる実用化への検討が必要となる。また、個別には、学習機能を用いたカスタマイズしたオプションが必要な場合が出てくるものと考えている。たとえば、片手しか使えない人への支援方法などである。

E. 結論

10. 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50mm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200mm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方法で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み合わ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) 岡村 宏、松下 潤、川上 幸男、山本 紳一郎、三好 扶：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 Dynamics and Design Conference 2005 論文集, No. 401, 2005
- (2) 那須 洋介、桜井 南平、岡本 俊輔、岡村 宏、古川 修：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 Dynamics and Design Conference 2005 論文集, No. 404, 2005
- (3) 佐藤 克司、川上 幸男、岡村 宏：歩行支援機用ER流体クラッチ機構について、日本機械学会

Dynamics and Design Conference 2005 論文集, No. 406, 2005

(4) 橋場 裕介、岡本 俊輔、那須 洋介、桜井 南平、岡村 宏：歩行支援機のステアリング機能について、日本機械学会Dynamics and Design Conference 2005 論文集, No. 405, 2005

(5) 宮地 崇文、岡村 宏、三好 扶、那須 洋介：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Dynamics and Design Conference 2005 論文集, No. 406, No. 402, 2005

(6) 岡村 宏、川上 幸男、松下 潤、山本 紳一郎、三好 扶：歩行支援機の基本コンセプトに関する研究、制振工学会、2005 技術交流会, SDT05009, 2005

(7) 岡村 宏、川上 幸男、佐藤 克司：歩行支援機のER流体クラッチ機構の開発、制振工学会、2005 技術交流会, SDT05010, 2005

(8) 石濱 正男、有竹 貴司、坂本 一之中越 敏弘：凹凸路を走破する歩行支援機の動力学設計、日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2005 論文集, No. 403, 2005

(9) 那須 洋介、岡本 俊輔、岡村 宏：歩行支援機のハンドル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

(10) 佐藤 克司、川上 幸男、岡村 宏：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

(11) 岡村 宏、川上 幸男、石濱 正男：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

(12) 古川 修、櫻井 隆太、和田 卓士：倒立伸子制御を応用した超コンパクトモビリティの研究、関東支部ブロック講演会前刷集、日本機械学会, 2005

(13) 戸井田 直行、古川 修：倒立振子制御を応用した超コンパクト荷物運搬支援カートの研究、第13回交通・物流部門大会前刷集、日本機械学会, 2005

(14) 那須 洋介、脇川真太郎、岡村 宏：歩行支援機のキャスター輪の挙動について、日本機械学会Dynamics and Design Conference 2006 論文集, 2006

(15) 渡辺 徹、那須 洋介、宮地 崇文、岡村 宏：歩行支援機の移動・回転へのアシスト

機能について、日本機械学会通常総会講演論文集 No. 303, 2004 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2006 論文集, 2006.

(16) 岡村 宏、松下 潤、佐藤 克司、川上幸男、石濱 正男：歩行支援機の有効な利用形態に関する考察、日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2006 論文集, 2006

(17) 坂本 拓磨、桜井 南平、岡村 宏：歩行支援機の段差乗り越し能力について、日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2006 論文集, 2006

(18) 岡村 宏、松下 潤、石濱 正男：タウンモビリティにおける歩行支援機の活用について、日本機械学会 2006 年度年次大会論文集, 2006

(19) 那須 洋介、岡村 宏：歩行支援機の本体構造のレイアウトについて、日本機械学会 2006 年度年次大会論文集, 2006

H. 知的所有権の出願・取得状況（予定を含む）

1. 特許出願

(1) 特願2005-311886

(予定・準備中)

(1) 歩行支援機の制御法…1件

(2) 操舵装置…1件

(3) 駆動・制動…1件

(4) 段差乗越し装置…1件

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

以上

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観点が持ち込まれ、適用範囲の広い、バ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砕する必要がある。

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つかずの状況である。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し、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^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)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し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。