

	溝乗り越え幅	120mm 以下
--	--------	----------

表 3.3 搭載予定機能

構造部	特性
本体フレーム	<ul style="list-style-type: none"> (1) 前進と自転とし後進は行わない (2) 動力と制動力の使い分け→あまり複雑にしないこと (3) アシストとブレーキの方法には握りハンドルと肘掛ハンドルを考慮する (4) 軽量でコンパクトな形状を考えたものとする (5) 意匠デザインは、それを使った歩行に意欲を沸き立たせるような感性を重視 (6) 最終的には、身体的フィッティングまたはカスタマイズが容易に可能となる方式を目指す (7) 持ち運びの楽な軽い素材を用いる（アルミ等）
ハンドル	<ul style="list-style-type: none"> (1) 形状には握りハンドルと肘掛ハンドルを考慮したものとする (2) 転倒防止が有効なデザインの上で、操作しやすい形状とする (3) 転びそうなときに自然にブレーキがかかる (4) 握力が弱い人でも十分なブレーキがかけられる (5) 高さ調節を楽にできる機構とする (シャフト長さ調節...ワンタッチ可能な方法 ネジによる調節など)
足回り	<ul style="list-style-type: none"> (1) タイヤには路面、障害物による衝撃の緩和に優れている空気入りタイヤを使用する。 (2) キャスタにはタイヤの挙動を安定させる装置を取り付ける。 (3) ステアリングを操舵方法として用いる場合は、その場での旋回、つまり小回りがきくステアリングの機構を考慮すること
モータ	<ul style="list-style-type: none"> (1) 電動化による段差、坂道、縦断傾斜路、横断傾斜路、凸凹道、砂利道等の悪路直進走行可能とする
ブレーキ	<ul style="list-style-type: none"> (1) 歩行者からの信号で自動的に駆動・ブレーキ制御するシステムとする (2) ブレーキコントロールが容易なもの。（下り坂などで急にブレーキを掛けても応答性がよいもの）

3.3 品質展開機能 (QFD: Quality Function Deployment)

本研究の最大の狙いとしては被支援者中心とした設計の開発、つまりその被支援者又はユーザーに対し、カスタマイズされたデザインのシステムの提供でもある。歩行支援機には、複雑な歩行機能への対応と様々な歩行能力や特徴を持った被支援者へ適合する必要がある、その多面性を統合的に把握することが必要である。前年度と同様にQFDを見直しておく。

4. 試作機

4.1 付与された基本的な機能

(1) 動力支援機能

後輪の左右に独立して電動モータを取付け、駆動・制動および旋回・自転への動力支援を行なう。モータを歩行機本体に設置するベルト駆動、歯車駆動の方式と車輪と一体化するインホイールモータ方式を検討している。最終的には後者を採用の予定。電動モータは、小型軽量で低速高トルク型が要求される。既存の電動モータには存在しない特殊な仕様が要求されるため、既存のモータの流用が難しい状況にある。通常使われない領域のモータが求められ、今得られているものの更なる新開発が必要である。今回では、既存のものでもっとも仕様が近い自動車用ワイパーやドア開閉用のウォームギアを用いた電動モータに電動クラッチを装着したものを検討の対象としている。クラッチが無いと、車輪側からの回転ができずロック状態となってしまう。電力がダウン時は動かないこととなり不具合が生じるため、クラッチ付きが不可欠である。検討を行ったもう一つの電動モータがアウトロータ型のインホイールモータである。ソーラーカー競争用に開発されたものをベースに低回転、高トルクかを開発研究したものである。いずれも、後輪部にモータ部を含めてマウントされており、後輪廻り設計レイアウトに良い影響を与えている。

(2) 段差乗越え補助機能とキャストの作動安定機能

車いす並の大径車輪に相当する仮想大径軌跡原理に基づく各種の方式を検討採用し、当初の50mm高さの段差乗越えを可能としている。また、安定したバリア通過には、段差乗越え時の段差へのキャストの姿勢制御が必要となる。キャストの回転角の制御システムと後輪左右逆転によるパワーステアリングを組合せている。段差乗越え補助機能は、原則、前輪のみに就いており、後輪には無い。これは、段差乗越え時に必要な前進力アシスト力が後輪の駆動力のスリップ限界で規制されるため、特に平坦路面で摩擦係数の小さい場合は問題となる。従って、必要な前進力アシスト力を低減する何らかの段差乗越え補助装置を前輪に装着する必要がある。後輪の場合は、後輪を空気入り体やとすることで、自らの駆動力で段差を上ることができる。この際、前輪で問題となる摩擦係数の問題は、後輪の体やが段差角部に食い込むことで見かけ上の摩擦係数が増大することで解消が可能である。

(3) マルチハンドル

ハンドルは被支援者と歩行支援機を結ぶ唯一の接触部位である。その接点は、グリップ方式、肘付き方式、脇支持方式がある。手首、肘、肩と手腕の自由度の利用度と体重の保持力とは反比例する。ここでは前者2方式のマルチハンドルをユニバーサルデザイン方式を導入して開発した。歩行者の意志を確実に伝達できる複合型の荷重センサーを設定し、前後進、旋回・自転と歩行能力との組合せの制御を可能としている。従って、ハンドルはステアのため左右に回転するタイプではなく、固定式であり、回転方向のトルクまたは左右方向への荷重を検知して作動する。また、U字型のハンドル高さ調整装置を設置している。

(4) 操作レバー無しシステム

歩行動作は複雑な運動操作を伴うため、操作レバー無しで歩行に集中できる環境を提供する必要がある。特に、動力支援の方式として、一般にはどのぐらい力が必要か手腕に加わる反力を感じ取る負荷制御方式であるが、どこへどのぐらいの速さで歩きたいという視覚に直接つながる速度制御方式を採用している。しかし操作レバーが無いため歩行者の望んでいる速度の代用特性として前進押し力と下方支持力の比率を用いることで、違和感のない柔軟な操作性を得ることができた。特に、マルチハンドルでは、操作する手の位置が使用状況により変化するため、極力操作レバーの存在が無い方が良い。手動ブレーキ用のレバーは、安全面で設置するが、マルチハンドルに適合するようにその配置は工夫されている。これも、緊急時に使用するものとして、ハンドルへの荷重が停止の方向に作用する場合は、自動的に電動トルクは制動するように作動するものとする。

(5) 車輪懸架サスペンション機能

凸凹・タイル路や段差通過時にハンドルを介して手腕に伝達する衝撃力の低減が必要である。歩行能力の程度により体重保持が異なり衝撃の影響も変化する。車輪は空気入りタイヤを標準にし、前輪、後輪に段差乗越え装置と複合するサスペンションを開発している。

(6) バッテリーと充電装置

リチウム電池または、密封型の鉛電池を用い、12Vおよび24Vの電圧を用いる。作動能力からは高電圧の方が優れているが、歩行支援機の軽量コンパクト化の要求も強くあるため、使い分けることになるものとする。また、充電装置は、信頼性の高い、電動自転車や電動バイク用のものを流用することを想定している。

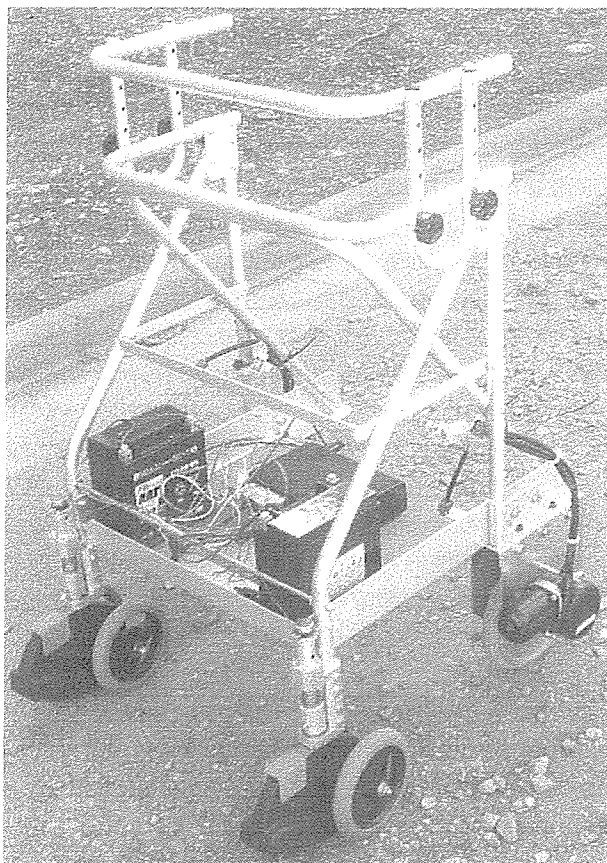


図 4.1 第3次歩行支援機試作機の概要

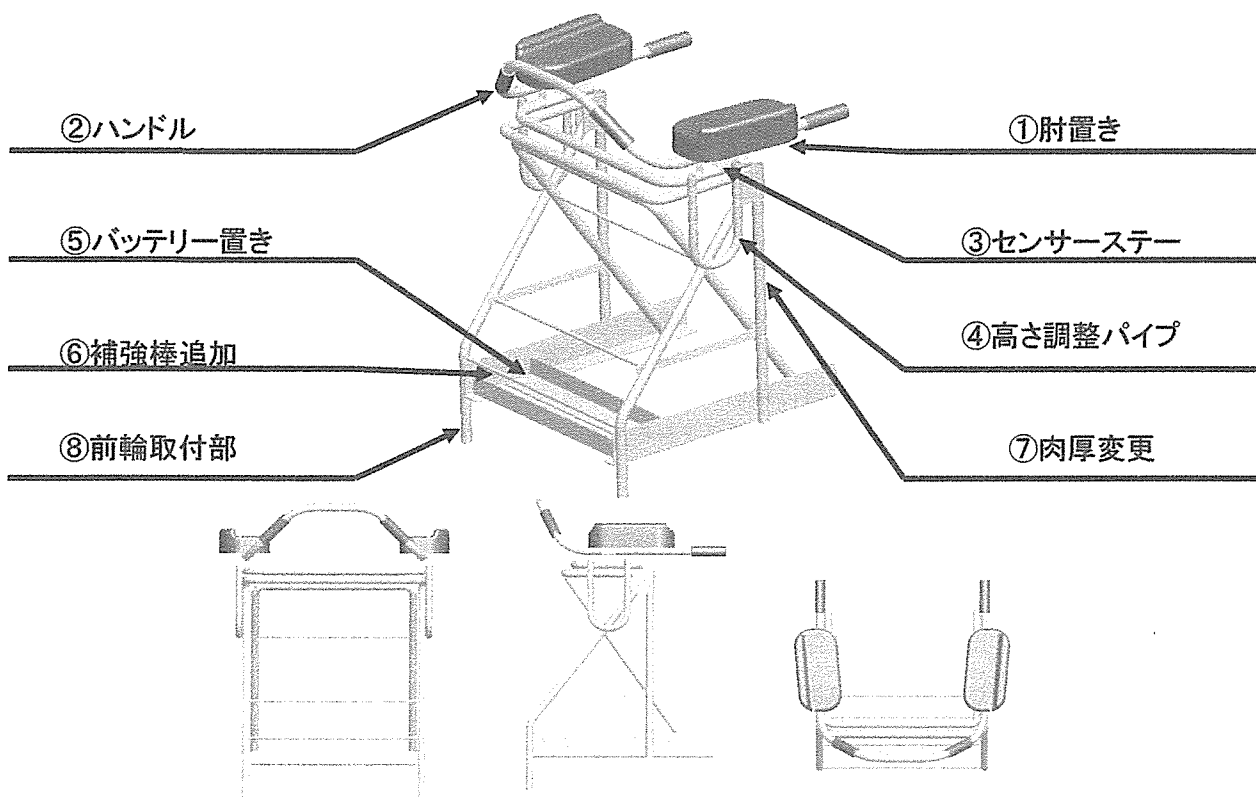
表 4.1 Size and specification of prototype

諸元	本体寸法 (全長×全幅×全高)	[mm]	645×670×950	
	ホイールベース	[mm]	450	
	トレッド (前輪/後輪)	[mm]	478/478	
	重量	[kg]	17kg (14kg) () 内はバッテリーを除く	
	駆動モータ		DC12V/120W×2 個	
	バッテリー (10 時間率容量)		シールドバッテリー/12V4Ah×2 個	
	充電器		AC100V, DC12V1.2A 全自動式充電器 (別体式)	
	タイヤ	前輪		8×1.1/4 空気入りタイヤ
		後輪		8×1.1/4 空気入りタイヤ
	ホイール		アルミ製	
	駆動方式		後 2 輪直接駆動方式 (プーリによるベルト駆動)	
	制動方式		手動操作ブレーキ・電動モータの逆トルク	
	操舵方式		キャスタ	
	制御方式		無段階速度調節式 (変位センサによるアクセル操作)	
走行性能	最高速度	[km/h]	4.0	
	実用登坂角度		10°	
	連続走行時間	[h]	2	
	段差乗り越え高さ		20mm	
	溝乗り越え幅		120mm	

4.2 第3次試作の概要



(1)



(2)

図 4.2 第3次試作機

4.3 基本コンセプトの絞り込み

上述までの議論の中で、歩行支援機の開発研究となる基本機能はすでに報告している⁽²⁾。基本的な歩行解析と違和感のない支援を目指して、多くのバリア克服の機能の研究が行われた。しかし、この歩行支援機がどれだけ普及し、その効果をどこまで発揮できるかは、具体的な実証モニター実験の実施を待たなければならない。本研究の最終段階として、次のステップにつながる戦略の方向性を勘案し、その絞り込みを検討することとする。

(1) 歩行支援機の質量は、当初から 15~20kg 程度であり、さらなる軽量化も努力中である。現用の歩行器はバリアのクリアーのために歩行器自身を使用者が持ち上げて回避する方法が用いられている。歩行支援機でも、より広い行動範囲を確保するためにも、一部(例えば、階段)では持ち運びが必要になる。一方、より高度の支援機能のための装置、連続使用可能な供給電源、より強力な駆動力や制動力を確保するためには、逆に質量増となる。ユニバーサルデザイン(以下、UD と称す)の観点から、実際の実証モニターで検証を進める必要がある。質量の大きさは基本構造に関わる要件であり、開発全体に対する影響が大きいため、できる限り早い時点で把握しておく必要がある。

(2) バリア乗越し能力には、当初舗装された比較的良好な歩道から散歩が可能な公園などの非舗装路や砂利道などもその対象に入れていた。また、段差などバリアの高さもできるだけ高いものも通過できる設定をしていた。しかし、足場の悪いところを歩行することは、その分、躓きや転倒の危険性が包含される。工学的にがんばればがんばる程被支援者を危険なところに誘導する可能性がある。従って、工学的立場だけでの最適化はあり得ず、歩行環境や歩行能力を考慮した多元的 UD 手法を用いる統合的な最適化が必要である。前報⁽²⁾で、述べた福祉モビリティの考え方をこの歩行支援機に導入している。従って、当面の目標は、車いす用のバリアフリーの基準クリアーであり、更に生活モビリティとして重要な項目で車いすより優れた自律性を目指すこととする。

(3) 具体的なバリアーへの乗越し能力は、当初 50mm の高さの段差バリアのクリアーを目標としていたが、車いす用としてバリアフリーに見なされる 20mm 高さの段差は、通常の前進歩行モードでクリアーできるとする。20~50mm までの高さのバリアは、その高さによる躓きの危険性が高いことも考慮し、歩行速度を低減し、ゆっくりと通過する段差モードを自動的に行うこととし、バリア通過の歩行のリスクの低減を図ることとした。

(4) (2)項で述べた車いすとの差別化として、人混みの中や店内の買い物通路の通過更にエレベータ室内での動きなどを想定した小回り性(自転モード)を強化することとした。後輪の駆動軸の左右逆転によるパワーステアリング機能を採用し、それと適合する前輪の挙動制御を行う。

(5) ハンドル部は、歩行を支援する機能がすべてこの部位を通じて行われるため、UD 手法を用いて、既存の歩行器のハンドルの機能に関する UD 評価などのプロセスを経て図 5 に示すハンドルの基本デザインを決定している。ここでは、比較的歩行能力のある人はハンドルのグリップを握るスタイルとし、歩行能力が不安な人には肘をつくスタイルを推奨している。このハンドルデザインでは両者の機能を持つものとしている。また、使用時に疲れてくるなどの経時変化にも、また大きなバリアで躓き等の危険性がある場合は極力肘付きスタイルを推奨している。ただし、肘付きスタイルは、腕部をハンドルに固定するため、手によるグリップスタイルに比べ上肢全体の自由度が少なく、若干窮屈である。このように、移動支援のコンセプトは、人間に適合するだけでなく、人間が支援機に合わせて訓練を行うことも重要である。

(6) 操作レバーやスイッチ類に関しては一切付けないことが方針である。これは、車いすや電動車のように完全に身体をモビリティデバイスにゆだねる場合は、操縦に専念することが可能である。自ら複雑な動作である歩行をしながら、操縦にも集中しながら歩行を行うことは避けようとの考えである。従って、歩行中は、スイッチ・レバーレスである。歩行支援機の支援に関する情報は、ハンドルに対する負荷荷重をセンサすることですべて行うものとする。前述のようにハンドルはいろいろなスタイルで使用するため、広いハンドル部のいろいろな箇所に負荷が加わるが、それらに左右されず必要な情報が取り出せる様にセンサは設定されている。なお、路面からの情報は、タイヤ稼働時の情報から読み取ることは可能であるが、タイヤのスリップなどの複雑な複合現象の処理が難しい。信頼性をあげる方策として、路面の傾斜(前後方向の坂路、左右傾斜面の前進など)の情報やタイヤ、本体に加わる衝撃加速度やタッチセンサーを多重として使用するものとする。

(7) 機能部品の開発については、既存の技術ですでに商品化されてコスト的にもリーズナブルなものまたは現在は試作レベルで購入費は高いが将来製品化のスケジュールを持っているものは極力メーカーとタイアップして利用し、開発研究の効率化をはかってきた。モータ、蓄電池、CPU 制御ボード、センサー類、タイヤはその対象となる。しかし、次のステップとして、インホイールモータや ER,MR クラッチ・ブレーキなどの高機能化、コンパクト化、軽量化、コストダウンなどにつなげてゆく。

4.4 利用形態に対する柔軟性について

(1) 歩行支援機の機能仕様は、固定すること無く、各機能毎のコンポーネント開発とそれらを組み合わせたアッセンブル

としての開発を組合せて行っている。その理由の一つは、いくつかの部位を平行して開発研究することで効率的に推進することをねらっている。もう一つの考えは、対象となる被歩行支援者像を特定することが非常に難しいことにある。人によって、その人の生活の中での歩行の位置づけが大きく異なり、極端な場合は、歩行能力があるが閉じこもり傾向の人は、単なる歩行支援の提供では何の意味もない場合も生じる。ここでは、図4に示した福祉モビリティの考えに基づき、いくつかの可能性を想定した幅の広い対象を想定している。すなわち、各部位が分担している歩行支援機能をいくつかのレベルで用意し、それらの得失を考慮して、組合せていろいろな適用事例に対応できる様にする。

(2) 従って、歩行支援は、その人に合ったカスタマイズと基本構造の共通化により、全体のコストや信頼性を確保する。そのために、各部位の「互換性」には個々の部品開発レベルで最も気を配っているところである。図6には、段差乗越しデバイスの対象としているものを示す。いずれも段差を乗り越す性能を大輪径による乗越え能力を利用しようとするものである。また、全くこれらとも違った方式もいくつか検討中である。図6の(B)は市販品として最も優れたものの一つであり、検討の対象としている。また、(C)は大学チームが自己開発したものである。当初は、より高いバリアをクリアできるものが開発研究の対象であったが、バリアへの考え方は前述のように変化しており、歩行支援機の利用の形態により色々と変化することが分かる。

5. 本体構造

5.1 本体構造のコンセプト

本研究では歩行運動機能が低下した高齢者又は歩行機能に軽度障害をもつ人を対象に開発研究をおこなっている歩行支援機の本体構造を構築することを目的とする。その中で、本体構造の大部分を占めるフレームに特に着目し、さまざまな使用環境による歩行条件の変化、ユーザの特性や個々の状態に適合したニーズを検討し、本体構造のレイアウトを構築する。

歩行支援機の本体構造は被支援者を支える機能と身体サイズとの適合と共に、支援に必要な部位を装着し機能させ、全体の大きさを決めるものである。歩行支援機の本体構造として考えるべき要件としては、

- (1) 軽量化
- (2) 形状コンパクト化, 小回り性向上
- (3) 被支援者の身体寸度との適合
- (4) 身体支持に関する剛性および振動特性の適正化
- (5) 前後輪への荷重配分
- (6) 姿勢安定性, 転倒防止
- (7) 組立性および機能部位の取付け互換性の拡大
- (8) ハンドル機能の多様性への対応
- (9) 歩行支援機全体の意匠デザイン

などがある。

軽量化に関しては、アルミパイプ材を使用し、そのバリエーションへの柔軟な対応のため、溶接構造と共にぼると等の締結部品による組立も多用する構造としている。特に、機能部品の互換性に関しては、各種締結部品を用いて交換のしやすい形状を採用している。また、本体構造の主要寸法は、高齢者の標準身体寸度を考慮し高さとおよび前後車輪のホイールベースや前後のオーバーハングを決定している。と同時にこれらの寸法の調整可能な機構も考慮する。安定性や身体支持剛性に関しては、3または4車輪とし、後輪は左右輪を有して独立した電動アシストシステムを装着するものとする。また、前後車輪の重量配分は、バリアーや段差の乗越え能力に関連し、後輪の荷重は車輪による回転駆動力の大きさを決定するタイヤと路面間の摩擦力を決めている。更に、歩行支援機自身の回転転倒への安全性にも寄与がある。ハンドルは、歩行支援機と被支援者をつなぐ唯一の部位であり、ここから歩行支援機の歩行速度や回転に関する支援を決定する情報を得ることになる。またハンドルの使用方法には主として手のひらによるグリップ方式と肘をハンドル部に支持させる肘付き方式および脇の下を支持する松葉杖方式がある。

通常は前者の2方式を交互に使用する場合が多く、被支援者はこれらの方式を状況に従い使い分けている。良路、脚力がある場合はグリップ方式、凸凹路や段差乗越しの場合疲れたときなどは肘付き方式といった使い分けを提案している。松葉杖方式は主として、非常時に使用する方式である。これらの方式は順番に、ハンドルと被支援者の身体との間の稼働自由度が多く、姿勢を柔軟に変更できる。逆に、身体の支持力は後半に示した方式ほど優れている。また、欧米とちがいで、日本では歩行器の使用はほとんど女性に限定されている。もともと買い物用カートや乳母車と類似しており、その使用が主婦などの女性に集中する傾向にあるためと考えられる。しかし歩行の支援としては、杖よりは優れており、男性も使ってもらえるように、意匠デザインを検討し、そのイメージを払拭する必要がある。

5.2 本体構造の機能

5.2.1 フレーム寸法

(1) 機器の横幅

使用者の体格、ことに骨盤の横幅および横幅と廊下や出入り口の幅との関係などを考慮

(2) 機器の前後幅

使用者の立つ位置、身体の前後幅、上肢長を考慮

(3) 機器の高さ

使用者の身長、上肢長、姿勢、下肢の筋力を考慮

これらの寸法は、歩行支援機を使用する率が最も多い「日本人成人女性 70 歳以上」を対象者として決定する⁽³⁾。

5.2.2 ハンドル位置と前後車輪荷重配分

ハンドル位置はフレーム形状において特に重要な要素である。ハンドル位置による違いの検証を行う。ハンドル位置による段差乗り越えと荷重配分は、上述のように色々な役割を果たしている。ガタ路歩行や段差乗越しを支援するためには後輪パワーステアリングによる駆動力の支援が必要となるが、後輪駆動前進力の大きさは後輪への荷重に比例する。図 5.1 に示すように、車輪への荷重配分は、被支援者を上下方向で支持する力の配分で変化する。すなわち、ハンドル位置によって変わってくる。

歩行の主要寸度を図 5.1 に示し、ハンドル位置による段差乗り越えと荷重配分の関係を検証する。

(1) 前後輪荷重配分：

上下方向の力の釣り合いと、重心まわりのモーメントの釣り合いは

$$mg + w = R_1 + R_2$$

$$R_1 a_1 + lw = R_2 a_2$$

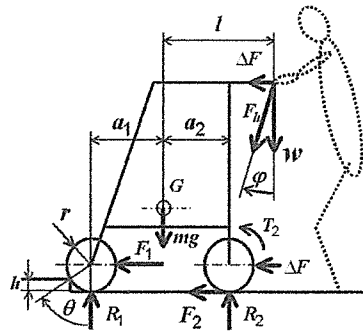


図 5.1 Parameter

上式より、前輪荷重 R_1 と後輪荷重 R_2 は

$$R_1 = \frac{(mg + w)a_2 - lw}{a_1 + a_2}$$

$$R_2 = \frac{(mg + w)a_1 + lw}{a_1 + a_2}$$

となる

(2) 後輪駆動前進力： T_2

後輪駆動前進力を後輪荷重の式にすると

$$T_2 = rF_2 = r\mu R_2$$

となり、後輪駆動前進力： T_2 は後輪荷重の大きさによって変化することがわかる

(3) 転倒する限界のハンドル位置： l_{\max}

歩行機が体重支持力により転倒するのは後輪まわりのモーメントの釣り合いが以下の式になった時である

$$a_2 mg > (l - a_2) w$$

よって転倒する限界のハンドル位置 l_{\max} は

$$l_{\max} = \frac{(mg + w)a_2}{w}$$

となる

以上より、段差乗り越えのために必要な後輪駆動前進力は後輪加重に依存していることがわかる。また、後輪荷重はハンドルと重心の距離 l が大きいほど増加する傾向にあるが、 l を大きくしすぎると体重支持力によって転倒の危険があるため、フレーム形状を決定する上でハンドル位置は慎重に設定する必要がある。

(4) ハンドル位置と足位置

フレーム形状におけるハンドル位置によって、使用者の足位置が変わってくる(図 5.2)。

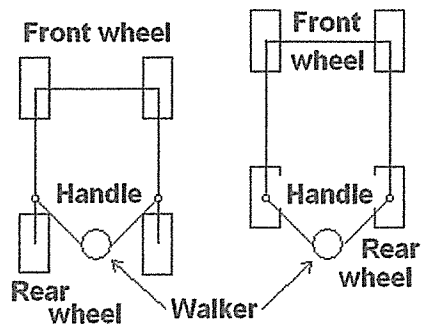


図 5.2 Handle position and foot position

快適な取り回しを行うためには、使用者の足位置と歩行機の回転中心（左右後輪の中間地点）が一致するのが好ましい。前述の後輪荷重を考えると歩行機の重心とハンドル間の距離が短すぎると後輪荷重が小さくなるため段差乗り越しの点で問題がでてくる。

5.3 ハンドル

5.3.1 ハンドル形状

歩行動作実験とユニバーサルデザインチェックによるフィーリング的評価より、ハンドル形状による歩行のしやすさを評価したものが表 5.1 である。

表 5.1 Evaluation of Handle

Layout	For Grip	For Armrest
Stability	normal	good
Easy of use	flexible	stationary
Physical strength	heavy	light
Support of body load	normal	easy

表 5.1 より、握りハンドルと肘掛ハンドルの利点と欠点がそれぞれ異なっているため、歩行支援機のハンドル形状は状況や使用者によって使い分けられる複合ハンドル形状（図 5.3）が好ましいといえる。

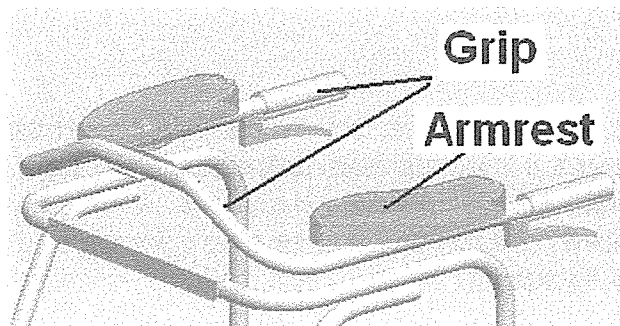


図 5.3 Structure of the Twin Functional Handle

5.3.2 使用方法でのちがい

Fig5.4 に示すように、舗装道路など路面からの抵抗が少ない環境では、身体負担の少ない肘掛ハンドルを活用し、ガタ路など路面からの抵抗が多い環境では、路面からの抵抗を吸収しやすく直進性の高い握りハンドルを活用することができる。また、第 3 章でのべたように段差乗り越しの際には後輪荷重が重要になってくるが、後輪に荷重を掛ける場合は握りハンドルよりも肘掛ハンドルのほうが効率よく体重を乗せることができるため、段差乗り越し時にも肘掛ハンドルを使用することが好ましい。

歩行支援機を使用するときには、ハンドル部を握る場合や肘を付く場合、肘を付いてハンドル前方を持つ場合など多くの使用方法があげられる。支援機は、使用者が使いやすい方法で使えなければ意味がないので、どの場合でも荷重をしつかりと検知して判断しなければならない。表 2.1 に機器を使用する方法とそれぞれの特徴を記す。

表 2.1 使用方法と機能の違い

使用方法	歩行機能	安定性	柔軟性
肘着く	△	◎	△
握る	△'	○	○

歩行機能とは使用者の歩行レベル，安定性とは使用者が機器を使っているときの姿勢の安定性，柔軟性とは地面や障害物で受ける衝撃の振動の吸収性を示している．それが可能となるセンサを歩行支援機に取り付け，力を検知してモータの制御ができるようになることによって，難しい操作をする必要がなくなりスイッチレスにすることができるようになる．

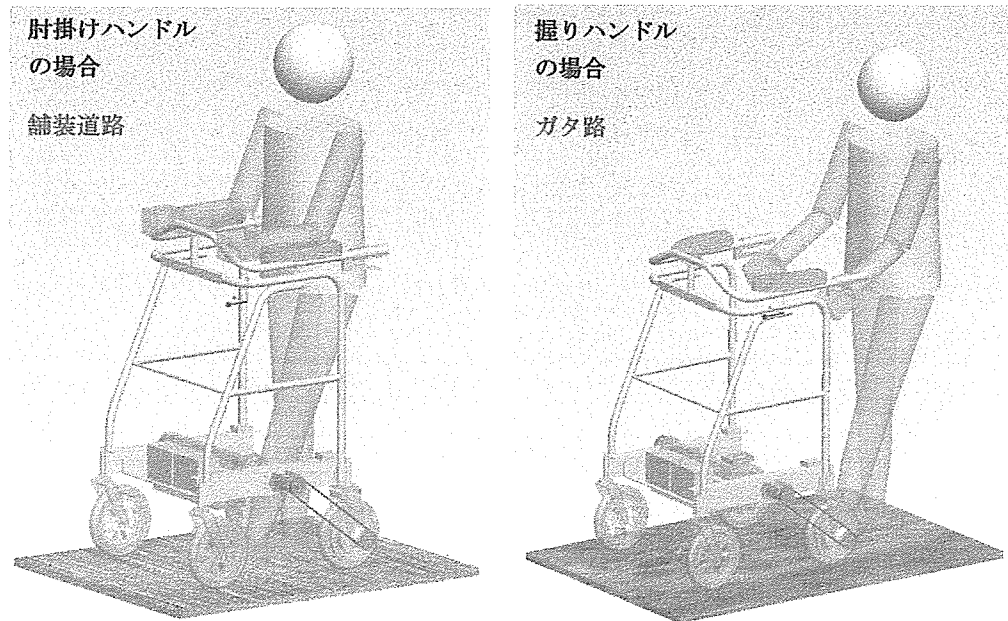


Fig5.4 Image of Using Twin Functional Handle

5.3.3 ハンドル高さ調整

フレーム寸法を考える際にはじめに考慮するべきは，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 Fig5.3 のように前腕で姿勢の調節を行い，それ以下になると Fig5.4 のように腰で姿勢の調整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．

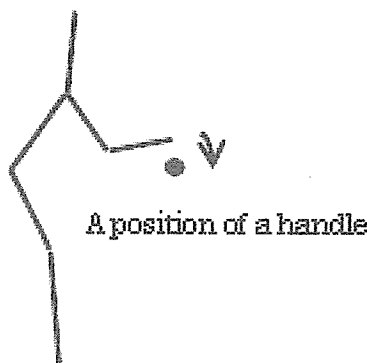


Fig. 5.3 An upper arm angle

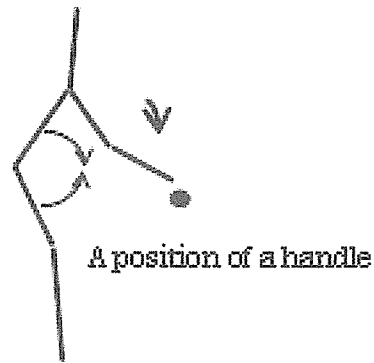


Fig. 5.4 Waist angle

(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。

$$\text{最適高さ} = \text{肩峰高さ} - \text{上腕長} \sin 65^\circ + \text{前腕長} \sin 23^\circ$$

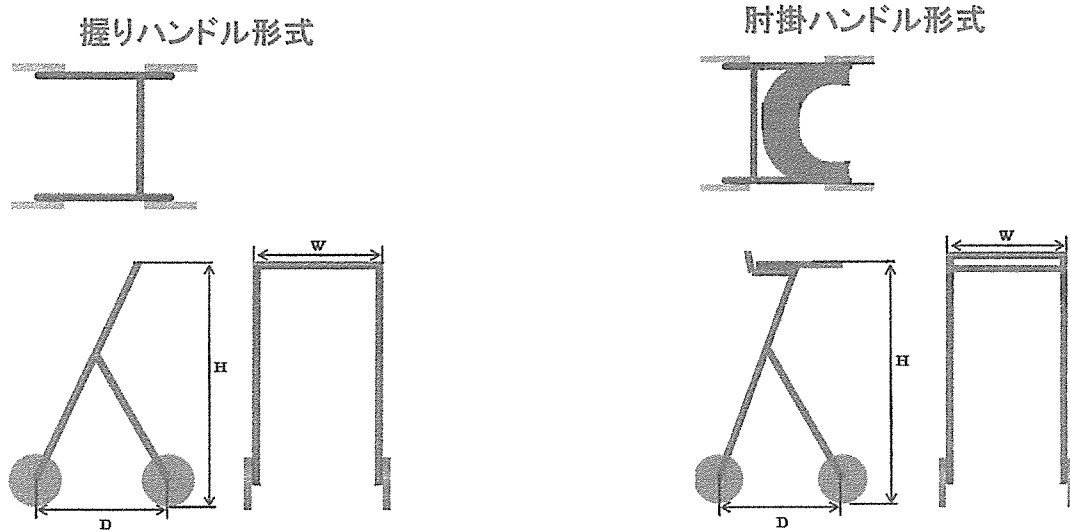
上式に年齢別の成人女性の人体標寸法をあてはめ比較すると、握りハンドルの最適なハンドル高さは、平均値から考えると約 850mm となり、5%、95%のタイル値を考慮すると 760~915mm の範囲であることが望ましいといえる。ハンドル高さにはフレーム高さ以外にハンドル部分の高さ(約 50mm)と、タイヤ高さ(約 230mm)が含まれるため、フレームの最適高さは、それらを除いた約 580mm 付近が望ましいといえる。

(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、肩峰高さから上腕長さから、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。



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 5.5 歩行支援機の主要寸法

5.3.4 ハンドル形状と調整機構

図 5.5 にハンドル形状の三面図を示す。

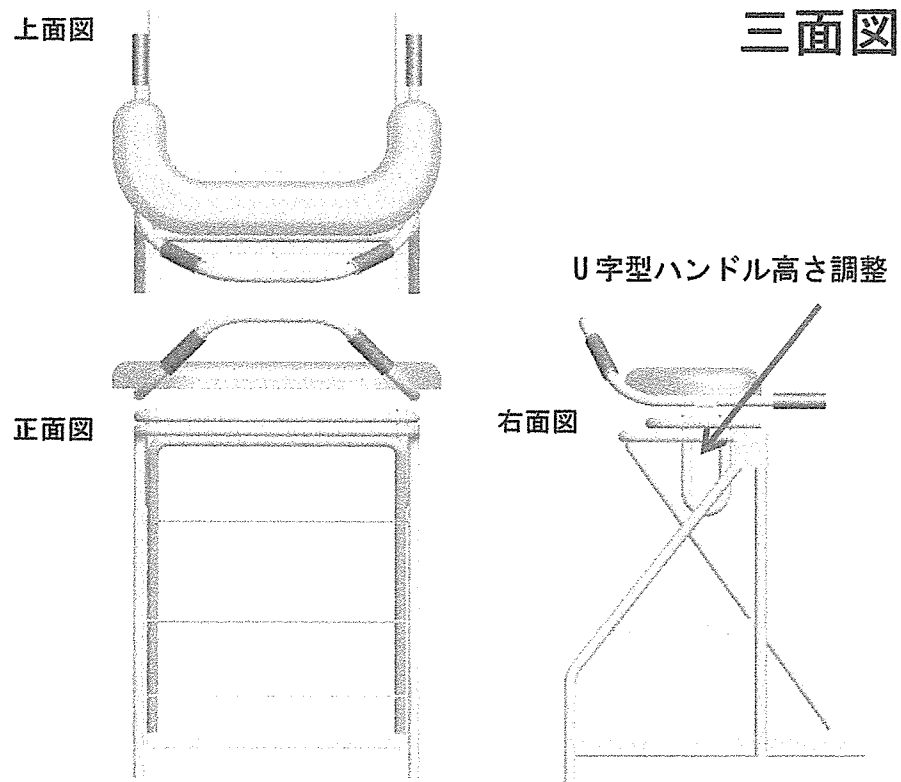


図 5.6 本体構造と高さ調整付きハンドル部のレイアウト

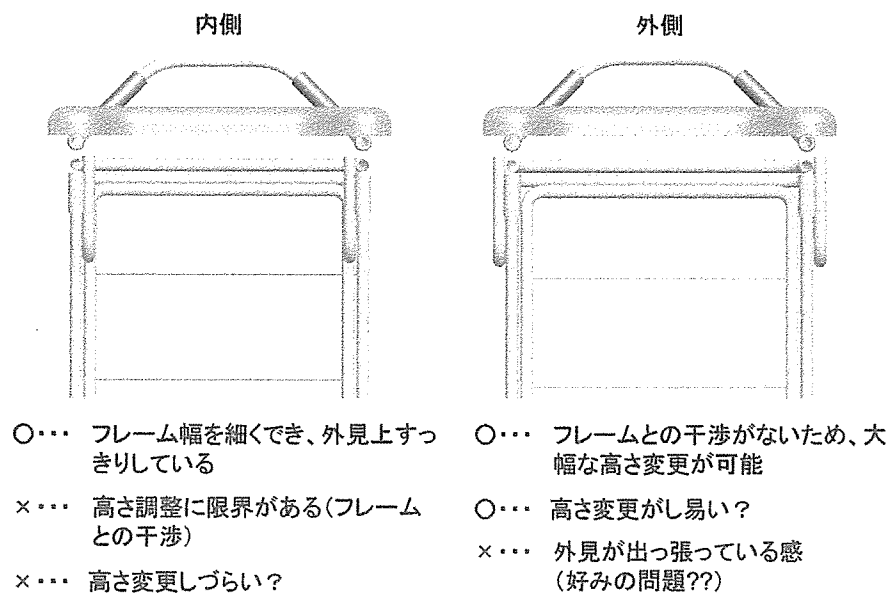


図 5.7 U字型高さ調整ステーの配置の検討

5.4 歩行支援機フレーム

5.4.1 新規フレーム案1

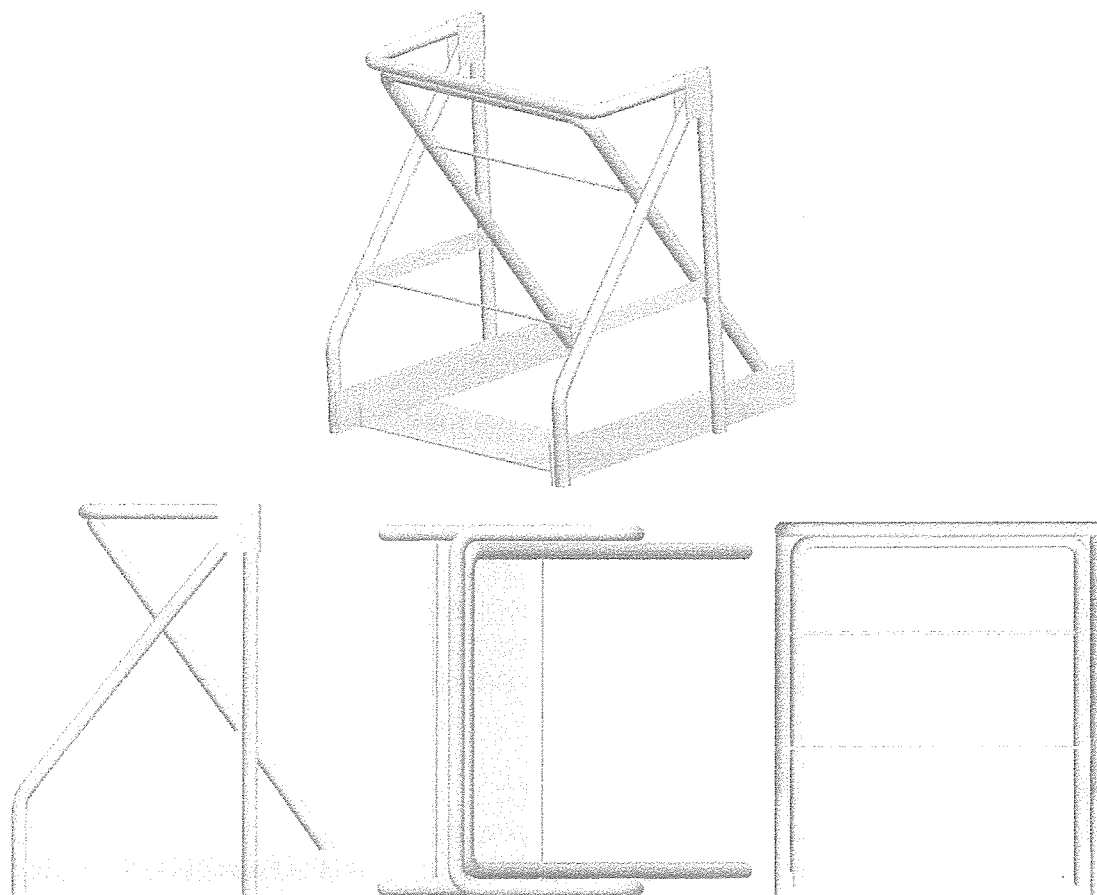
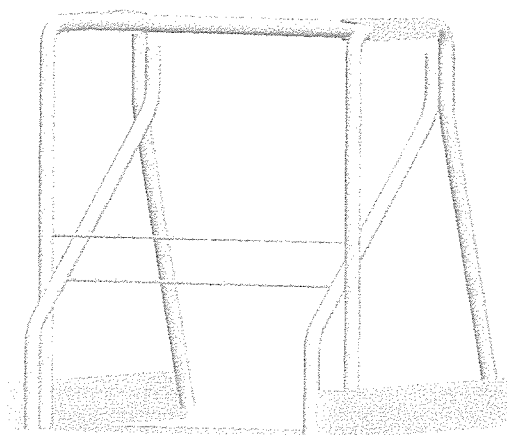


図 5-8 New frame 1

昨年度までのフレームの最適化解析結果より、歩行支援機のフレーム形状としてはモデル B とモデル D の二つが優秀であるといえる。最終的には、生産性なども考慮して、前述のモデル B を元に、パイプの曲げ加工による製作が容易に行えるよう形状を整理して作成したものが Fig5.8 のフレーム案 1 である。

5.4.2 新規フレーム案2

Quint.OPTISHAPE-TS の形状最適化結果を元に製作したモデル D をパイプの曲げ加工による製作が容易に行えるよう形状を整理して作成したものが Fig6-4-2 のフレーム案 2 である。



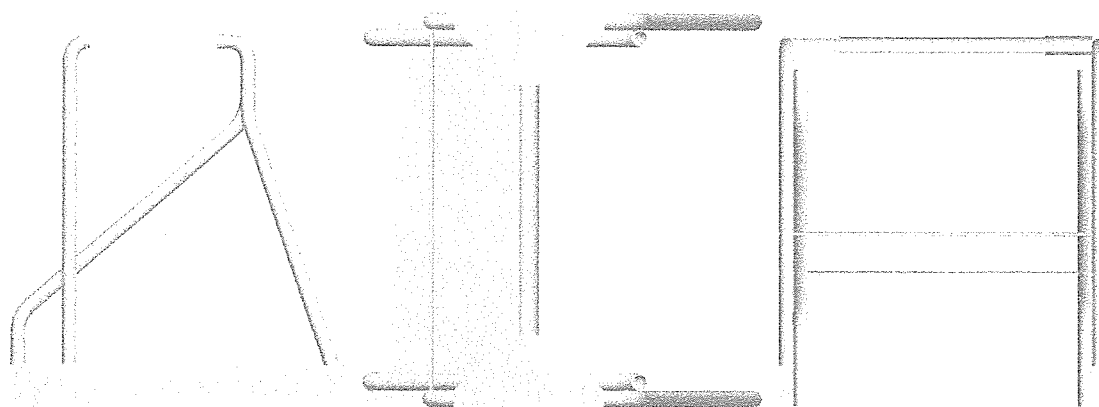


Fig5-4-2 New frame 2

5.5 本体構造まとめ

5-3 で提案した Fig5-4-1, Fig5-4-2 の新規フレーム案は、どちらも複数のパイプを交差する形状によってフレーム強度を高めており、ハンドル位置を後輪より手前にするために、ハンドル取り付け位置を前方に設定している。これらのフレームを採用することで、旋回時の取り回しやすさと安定性、強度の問題をクリアできるため、フレーム形状として最適な形といえる。

以上の解析結果より、歩行支援機のフレーム形状としてはモデル B (図 3.11) とモデル D (3.12) の二つが優秀であるといえる。ここでは製作のし易さからモデル B の形状をベースにフレームモデルを製作した。モデル B をパイプの曲げ加工による製作が容易に行えるよう形状を整理して作成したものが図 3.19 のフレーム案である。

これまで歩行支援機のフレームに関して述べてきたが、本体構造としてこのフレームにハンドルと高さ調整機能を付与する。高さを調整する機能を付与することにより、使用者に適合した高さで歩行支援機を使用することができる。実際に製作を依頼した会社のアドバイスを受け、フレーム原案を各部変更し、ハンドルや高さ調整機能を設計した。図 3.20 に各部の変更点や設計されたハンドル・高さ調整機能を示す。

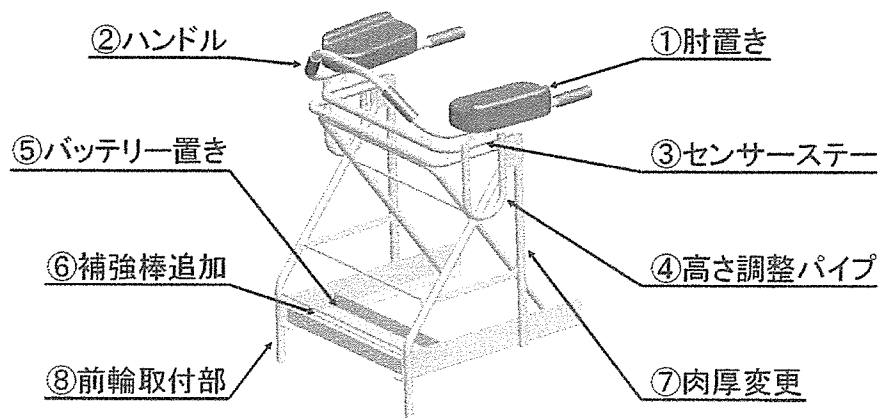


図 3.20 本体構造まとめ

- ①…肘置き 肘を置きやすい形状と、肘置き時自然に体勢になるよう配置を工夫した。
- ②…ハンドル 握りハンドルと肘置きスタイルに対応。肘置き時のグリップを前方へ傾斜させることにより、自然な姿勢での肘置きを可能とした。
- ③…センサーステー パイプ間でこのステーを歪ませる事により、センサーが力感知する
- ④…高さ調整パイプ U字状のパイプでハンドルとボルト止めし、穴位置を変えることで高さ変更可能となった。
- ⑤…バッテリー置き バッテリーを置く為と、左右方向のねじり剛性向上の効果がある。

- ⑥…補強棒追加 解析では問題ないとされたが、安全率の意味でも、現場技術者のアドバイスにより、補強棒を追加した。
- ⑦…肉厚変更 同上の理由により、一番荷重がかかるパイプの系を太くした。
- ⑧…前輪取付部 前輪系ユニットを接続するためにパイプを伸ばした。

6. 前輪と操舵系

6.1 操舵系の基本コンセプト

歩行安定性の確保の為、旋回・段差乗り越え時において以下のように操作系の基本コンセプトを定めた。

- ・操作系のレバーレス：歩行に集中できるシステムとする。被支援者の状態のセンスと CPU による歩行支援制御を行う。
- ・段差乗り越え時の前輪キャストの姿勢制御を行う。
- ・狭い場所での小回り性確保と荒れた路面での直進安定性を確保する。

歩行支援機の操作性に関して検討する上で、現在のバリアフリーの問題点を考察する必要がある。現在のバリアフリーは車椅子向けの設定となっているため、20mm 程度の段差は許容値とされている。しかし、歩行支援機は車椅子と比較し車輪径が小さいため、その程度の段差も乗り越えることができない。段差乗り越し装置も検討しているが、段差乗り越しを安定して行うためには車輪が段差に対して垂直である必要がある。したがって操作フィーリング向上の為にも、段差乗り越し装置と合わせ、車輪の動作を安定化させる装置が必要となってくる。

本章では、操作性に大きな影響を与える前輪系に関して、既存の方式を比較した上で新たな方式の提案を行っている。

6.2 既存の操舵に関わる装置

既存の操作に影響を与える装置として前輪系に自在キャストを用いた方式と、ハンドルの操作により前輪の舵各を決定するステアリング方式が存在する。表 6.1 にそれぞれの方式の比較を示す。

表 6.1 キャスタ方式とステアリング方式の比較

	キャスト方式	ステアリング方式
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・平坦な場所での使用に優れている ・自転が自由 ・操作が簡単で、慣れを必要としない ・構造が簡単 	<ul style="list-style-type: none"> ・直進安定性が高い ・確実な操縦が可能
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・凹凸路での直進動作が不安定 ・段差に差し掛かった際に乗り越しできなくなる場合がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・ある程度筋力が必要 ・小回りが利かない ・操作に慣れが必要

6.3, 6.4 項にそれぞれ方式の力学的関係を示す。

6.3 キャスターの力学的関係

まず簡易的モデルとしてキャスト単体の旋回について考えた。

自在キャストを用いて旋回することを力学的に捉えてみると図 6.1 のように見ることができる。パラメータの設定は

F：使用者が進もうとする力

W：車体と使用者の荷重

μ ：路面とタイヤ間の静止摩擦係数

μ' ：旋回軸周りの静止摩擦係数

R：タイヤの変形量の半径

r：旋回軸の半径

θ ：タイヤの進行方向と使用者からの力 F とのなす角

F_y ：F の内キャストの旋回動作に関係する使用者からの力の成分

T_{tire} ：タイヤ回りの抵抗トルク

T_{ax} ：回転時軸回りの抵抗トルク

とした。

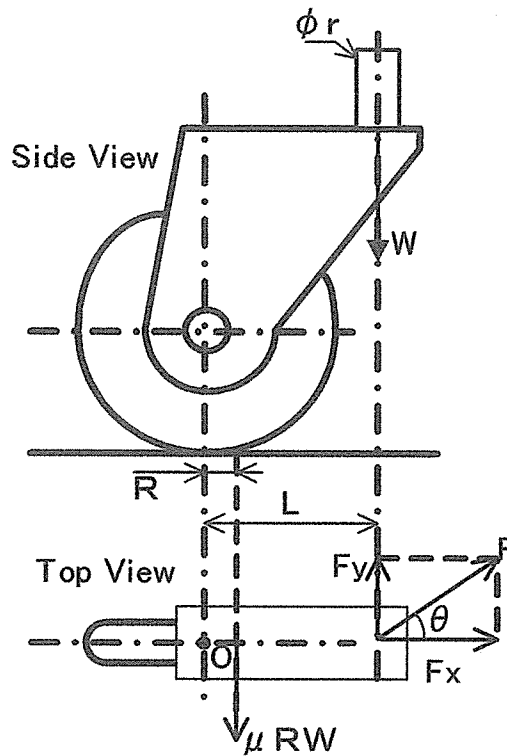


図 6.1 自在キャスタにおけるパラメータ

○点周りの力のつりあいより

$$T_c = F_y L = T_{tire} + T_{ax} \quad (6.1)$$

ここでキャスタはゆっくりと回転するので粘性による抵抗は無視した。

また、タイヤは変形し、地面に対して面接触をする (図 6.2)。よって、タイヤから地面に働く力はその面に働いていることとなり、摩擦力が発生する。T_{tire} はその摩擦力によるトルクであり、T_{tire} のモーメントアームはタイヤの変形量に由来する。モーメントアームを R とする。また T_{ax} は旋回軸部での摩擦力による抵抗トルクなので、

$$F_y L = \mu R W + \mu r F \quad (6.2)$$

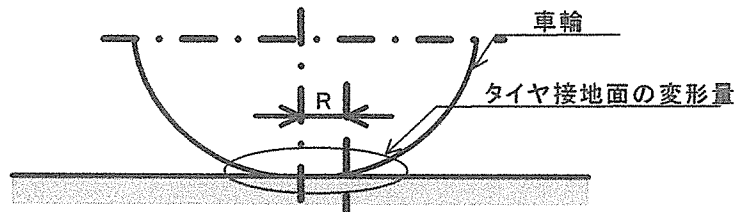


図 6.2 タイヤの変形量

旋回軸にはボールベアリングがついているものとする (6.2) 式右辺第 2 項は極めて小さいものとなり、

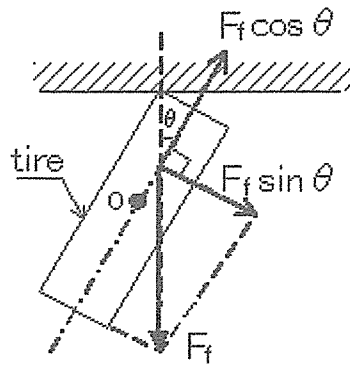
$$F_y L = \mu R W \quad (6.3)$$

と見ることができる。

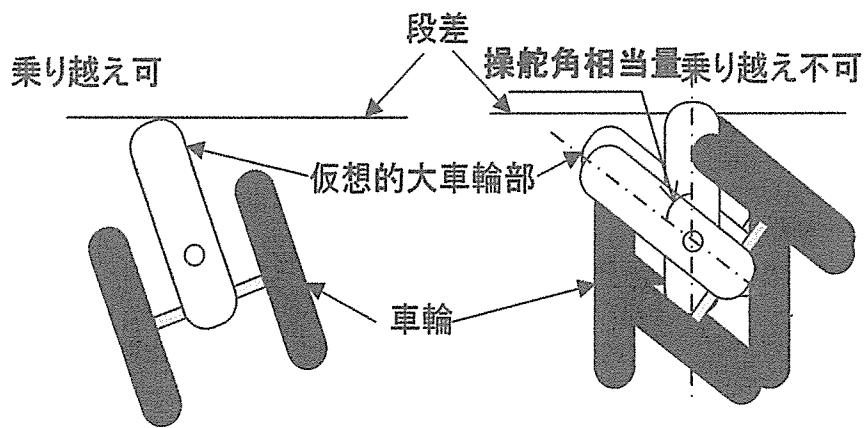
・自在キャスタの段差突入

自在キャスタが段差に対して斜め方向から差し掛かったとき (図 6.3)、段に沿って進む場合がある。特に、図 6.3(C) に示すように、自在キャスタの段差への突入に際し、前輪のタイヤ部より先に仮想的な大車輪部が段差の角部に接触する必要がある。そうすることにより大径理論が適用でき、小さな前進力で段差を乗り越えられる。従って、図 6.3 (b) のようにキャスタの段差への進入角 θ には一定以上の大きさより小さくする制約が存在する。また、前輪または段差乗り越え装置による段差乗り越えに必要な前進力 $F \cos \theta$ は、段差への進入角度 θ によって直角の進入時よりも小さくなり、乗り越えのための前進力 F_f が更に大きくする必要が生じる。以上より、段差乗り越えをスムーズに行うためには、段差へのキャスタの衝

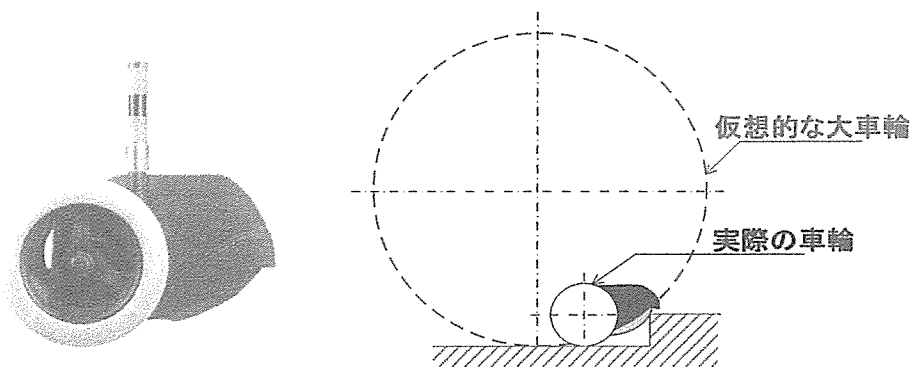
突突入角度をある程度制限する必要がある。一般にその値は、左右振り分けで ± 35 度といわれている。



(a) 段差へのタイヤの突入角度



(b) スライダー方式の大車輪部円弧と前輪タイヤと段差との位置関係



(c) スライダー方式の段差乗越え装置の仮想的な大車輪と段差との接触

図 6.3 自在キャスタの段差突入

・ 旋回半径

歩行補助車のホイールベース長を L [m], 操舵角を θ [deg] として一般的に旋回半径 R は

$$R = L / \sin \theta \tag{6.5}$$

で求まる。ホイールベース長 L を市場にある約 90 種類の歩行補助機の平均値である 0.65[m] とし(6.5)式に代入した結果を図 6.4 に示す。

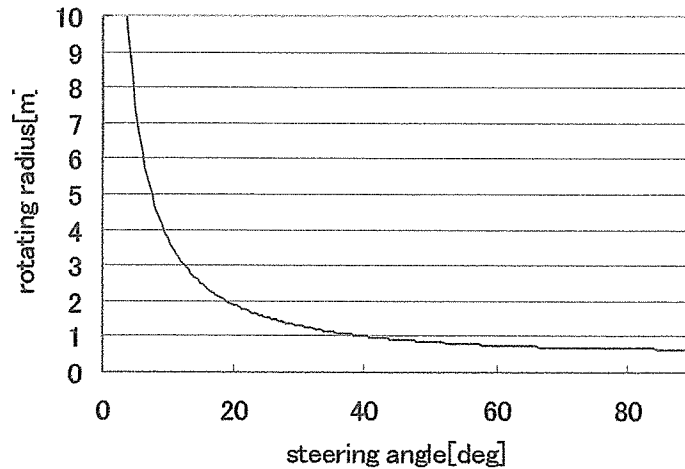


図 6.4 旋回半径

上図より 35[deg]付近で変化率が安定していることもわかる。このことから最大操舵角が 35[deg]程度であれば旋回性への影響を小さくできると考えられる。

6.4 ステアリング方式の力学的関係

ステアリング方式には直進性が高く悪路走行に強いという利点があるが、自転が行いにくいという欠点がある。また、ステアリング方式では操舵角が大きくなればなるほど、周りと干渉することや、体重を支えにくくなる等の問題がでてくるため、十分な旋回性さえあれば操舵角は小さいほうが良い。市販されているステアリング方式の歩行機の操舵角である約 35[deg]は通常の走行においてはバランスが良いが、自転には向いていない。そこで、効率の良いハンドル操舵方式を考えるために、前輪の操舵と後輪のパワーステアリングによる自転時の前輪最適角度について考える。

まず、前輪の操舵と後輪のパワーステアリングによる自転が可能な前輪角度を考えるために、自転時の回転中心周りのモーメントのつりあいから、前輪角度と後輪の発揮する力の関係を算出する。その際のパラメータは以下のように設定する。

- F : 後輪が発揮する力
- La : 後輪と回転中心までの距離
- Lb : 前輪と回転中心までの距離
- θ : 前輪の傾き角
- θa : 右の前輪進行方向と回転中心の成す角
- θb : 左の前輪進行方向と回転中心の成す角
- μa : 床とタイヤの回転方向に垂直な摩擦係数
- μb : 床とタイヤの回転方向の摩擦係数
- m : 機体重量
- g : 重力加速度

歩行機の寸法とパラメータを図示したものが図 6.5 である。

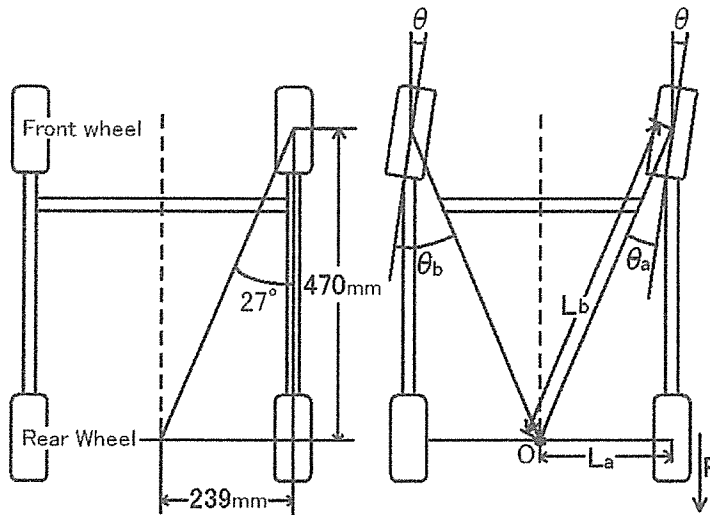


図 6.5 ハンドル操舵方式におけるパラメータ

図 6.5 より, θ と θ_a , θ_b の関係として以下の式が成り立つ

$$\theta_a = |27 - \theta| \quad (6.6)$$

$$\theta_a = |27 + \theta| \quad (6.7)$$

摩擦係数 $\mu_b = 0$, 前輪後輪に均等に重量がかかっていると仮定すると, 回転中心 O の周りのモーメントのつりあいは

$$L_a F = L_b \left(\frac{m}{4} \cos \theta_a + \frac{m}{4} \cos \theta_b \right) \mu_a g \quad (6.8)$$

となる

上式を F に関しての式に整理すると

$$F = \frac{L_b \left(\frac{m}{4} \cos \theta_a + \frac{m}{4} \cos \theta_b \right) \mu_a}{L_a} g \quad (6.9)$$

となる

上記の式から機体重量 $m = 20\text{kg}$, 摩擦係数 μ_a を路面や砂利道でのサイドフォースを考えたときに発生する値として, $\mu_a = 0.3, 0.5, 0.7, 1$ としたときの前輪の傾き角 θ と後輪の力 F の関係をあらわしたグラフが図 6.6 である。

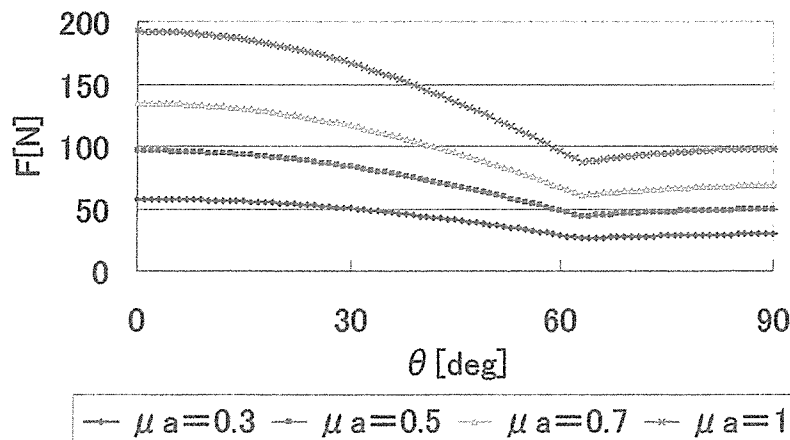


図 6.6 操舵角と旋回に必要な力の関係

図 6.6 のグラフから, すべての摩擦係数において前輪角度が $0[\text{deg}]$ の時, 必要な力が最も大きく, 約 $63[\text{deg}]$ の時, 小さいことがわかる。

後輪にかかる荷重を R とすると、後輪が発揮する力 F には式(3.10)が当てはまる。

$$F \leq \mu_a R \tag{6.10}$$

一つの事例として実際の計測結果から $R=120[\text{N}]$ と仮定すると、後輪の発揮できる力 F は $\mu_a=0.5$ の時、 $F \leq 60[\text{N}]$ となる。 $\mu_a=0.5$ の時、市販されている歩行機の前輪角度 $35[\text{deg}]$ での自転に必要な力 F は図 6.5 より $F=79[\text{N}]$ となり、 $60[\text{N}]$ を大きく上回るため、回転中心が点 O にならず、自転が不可能であることがわかる。このことから前輪角度 $35[\text{deg}]$ は直進性が高く通常走行のバランスが良いが、自転にはまったく向かないといえる。

また、図 6.6 より $\mu_a=0.5$ の時、パワーステアリングによる自転に必要な力 F が $F \leq 60[\text{N}]$ の条件を満たすのは前輪角度 $51[\text{deg}]$ 以上であり、使用条件により R の値が変動することを考えると自転時の前輪角度は $63[\text{deg}]$ 付近であることが望ましいといえる。

6.5 新方式の提案

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。

6.5.1 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式として、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 6.7)

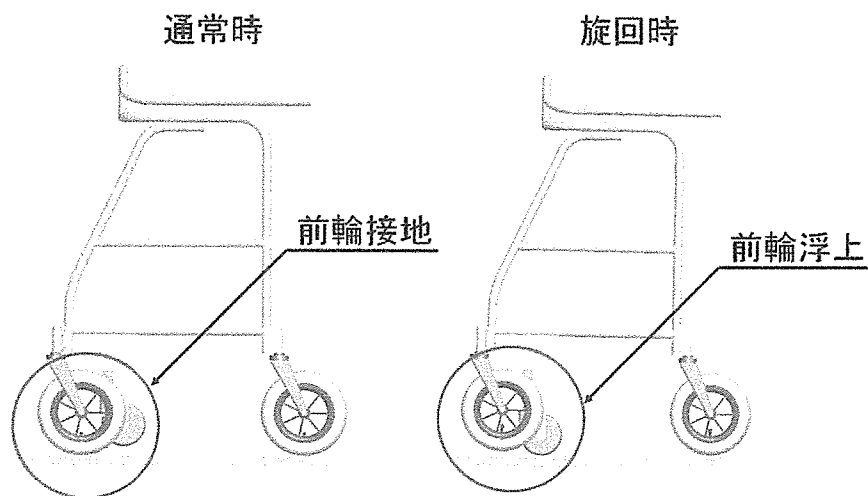


図 6.7 第3輪方式

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回転半径を小さくでき、歩行支援機から余計な出っ張りをなくすことができるという利点もある。

6.5.2 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 6.8 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。

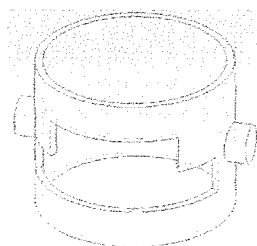


図 6.8 舵角ストッパー

取り付けと切り替えのイメージを図 6.9 に示す。