

1. 4. 3 歩行支援機基本コンセプト

現状の歩行支援機器の段差やガタ路での進行不能状態を改善し、高齢者または歩行障害者に対して屋外での積極的な移動をサポートするものとする。開発コンセプトを以下に示す。

- (1) 本機器は屋外での利用を前提とする
- (2) 方向転換半径はほぼゼロとする
- (3) 50mm までの段差乗り越しに対応できる
- (4) 登坂能力 15° とする
- (5) 駆動・制動機能を持つ
- (6) 駆動軸は後輪 2 軸個別の電動モータ装着
- (7) 制御系は信頼性を重視するため多重化する
- (8) スイッチ操作は極力避ける
- (9) 空気入りタイヤ、サスペンション機構を持つ
- (10) 軽量 (~15kg) とする
- (11) ハンドル位置 (上下、前後位置) は調整可能なお、基本的なレイアウトに関しては、三次元 CAD でバーチャルモデルを作成し、バーチャルなレベルでも UD 手法を適用し検討をおこなっている。

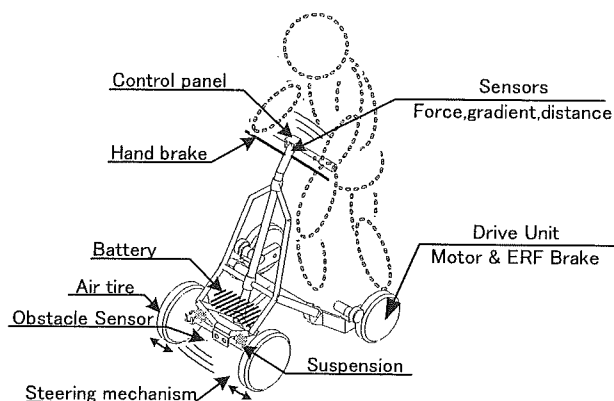


Fig.1.6 Concept Model

1. 5. まとめ

以上、歩行支援機の基本コンセプトとそこで用いる各種手法につき取りまとめた。アプローチ方として、多面的なアプローチが必要であり、分野を超えた多分野多目的最適化の手法である。また、開発目標として固定した開発仕様を見出すのではなく、いくつかの変化する対象や使用条件に柔軟に対応するシステムとしての開発を念頭に開発手法を考案し、提案している。なお、本研究において、長寿科学センターより適切なるアドバイスをいただき、またいくつかの企業とは研究委託の形でご協力いただいたこと、ソフトウェアではエムエスシーソフトウェア社よりご支援いただいたことに感謝いたします。最後に、本研究は厚生労働科学研究費補助金により行っているものである。

2. 歩行支援機のニーズと品質機能展開

2. 1. 歩行支援機のニーズ

(1) 構造に対するニーズ

- ① ハンドル等のパーツを「モジュール化」し、各個人に最適な寸法になるようにすること
- ② 安定性を保ちつつ、可能な限り使いやすい大きさや広さが確保できること
- ③ 利用者のバランスを崩さずに、極力旋回半径を小さくすること
- ④ 利用者に誤作動などの危険が及ばないようにセンサの位置には十分配慮すること
- ⑤ 安全性が保てる範囲内で極力軽量化すること
- ⑥ 男女を問わず誰もが違和感なしで使えるデザインを配慮すること
- ⑦ 使用する際、肉体疲労を最小限に抑えられること
- ⑧ 経験、集中力に無関係で安心して使いやすくすること
- ⑨ 使用に係る知識、言語知識、操作ボタン、図記号、発信音等を識別・判別しやすく容易にすること
- ⑩ 使う上で高齢者・対象者とする利用者の様々な状況を配慮すること。高齢者の障害を考慮に入れた上で、高齢者に残されている残存機能をうまく活かすことを考える
- ⑪ 現行の歩行器の実用的な部分は損なわないように配慮すること
- ⑫ 高齢者が利用する製品及び環境については、使いやすさだけでなく、高齢者の身体機能、理解力等を考慮し、人に対して傷害をもたらさないような安全確保に取り組む。(誤使用を想定した上、視覚、聴覚等の認識機能や移動機能)
- ⑬ 道路環境に適合できることを配慮したもの

(2) 機能に対するニーズ

Tab2.2.1 List of Function Needs for Walking Support Device

1次機能	2次機能	3次機能	要求性能
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
		操作力機能	ハンドル操作が軽いこと

		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	
	駆動機能	登坂機能	きつい坂道でも軽い力で走行できること	
		加速機能	加速が軽くできること	
		利用者年齢配慮機能	押しやすいこと	
	制動機能	停止機能	弱い力でも走行中急停止できること	
		短距離停止機能	全力走行時短い距離で停止できること	
		横滑り防止機能	全力走行中急停止しても横滑りしないこと	
		保持機能	軽い力でも坂道で動き出さないこと	
	走行安定性機能	転倒防止機能	走行中倒れにくいこと	
		安定性確保機能	走行中片手でも容易に安定を取れる	
		疲労防止機能	搭乗者が長時間走行しても疲労しにくい	
		走行中の押し心地機能	悪路走行でも押し心地が良いこと	
搭載機能	荷物搭載機能	耐重量機能	荷台へ重い物を搭載できること	
		荷物保持機能	荷台へ大きな荷物でも搭載できること	
		荷物固定機能	荷物を1人で容易に固定できること	
		小物入れ機能	小物入れカゴが取り付けられている	
安全機能	走行中の安全確保	走行中の怪我防止機能	走行中足や手をタイヤに巻き込まれないこと	
		駐車中の怪我防止機能	どの部分へ触れても容易に怪我をしないこと	
		警報機能	前方の離れた人へ警報を鳴らして存在を知らせる	
		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	
		前方照明機能	夜雨の中でも離れた場所の確認できる明るさがある	
		後方確認機能	走行中振り向かずにも後方の確認が出来ること	
	駐車中の安全確保	自己転倒防止機能	風や突風で容易に転倒しないこと	
		駐車機能	坂道でも動き出さないこと	
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	
			転倒しても容易に破損しないこと	
			相撲取りが利用しても破損しないこと	
			重い荷物を載せても破損しないこと	
			長期間使用しても容易に損傷しない	
	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		
	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	
			酸性雨にさらされても容易にさびない	
			自動車の排気ガスにさらされても容易にさびない	
			工場地帯の排気ガスにさらされても容易にさびない	
		耐アルカリ性機能	弱アルカリ成分を含む水が付着しても容易にさびない	
快適機能	意匠機能	美観機能	長時間使用しても見飽きがこないこと	
		調和機能	町並みに違和感がないこと	
	取り扱い容易性機能	取り扱い容易機能	誰でも簡単に使えること	
		走行容易機能	容易に走行できること	
		持ち運び容易機能	軽く持ち運びができること	
	変速機能	切り替え容易機能	坂道と平地走行の切り替えが容易なこと	
		選択容易機能	坂道の傾斜に応じて速度変更ができること	
	汚れ防止機能	汚れ防止機能	汚れ防止機能	雨の中を走行しても利用者や荷物へ泥水が跳ね飛ばない
			本体の汚れ防止機能	デバイスそのものへ汚れがつきにくいこと
汚れ洗浄機能			水を掛けて容易に汚れを落とせること	
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
	分解・組立て機能	分解・組立て機能	必要部分の分解・組立てが容易に出来ること
		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
	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
	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

2. 2. 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.

3. 本体フレーム

3. 1 本体フレームの機能

本体フレームと歩行支援機から、ハンドルとタイヤ部分を除いた部位を指し、歩行支援機の本体構造のほとんどを占めるものである。そのためフレーム構造は歩行支援機の機能に大きく影響を及ぼす。

3. 2 フレーム寸法

フレーム寸法は歩行支援機の寸法に直接かかわってくるため、被支援者の身長、体格（横幅）、上肢長および下肢長、下肢機能、上肢筋力、姿勢などを考慮し適切な寸法とする。こうしたフレームの適切な寸法を決定する要素には、次の3点が挙げられる。

- (1) フレームの横幅：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
- (2) フレームの前後幅：使用者の立つ位置、および身体の前後幅、上肢長
- (3) フレームの高さ：使用者の身長、上肢長、姿勢、下肢の筋力

本研究の代表的な設計対象としては

- ①日本人成人男性 70歳以上
- ②日本人成人女性 70歳以上

の二つが考えられるが、現行の支援機を利用している割合は女性の方が圧倒的に多いため、②を中心に機器の寸法を選定する必要がある。

フレーム寸法を考える際にははじめに考慮すべきは、フレームの高さである。歩行支援機の高さ（ハンドル高さ）が変わると、ある程度の高さまでは Fig4-2-1 のように前腕で姿勢の調節を行い、それ以下になると Fig4-2-2 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。

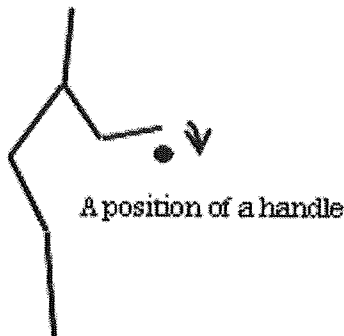


Fig.3-2-1 An upper arm angle

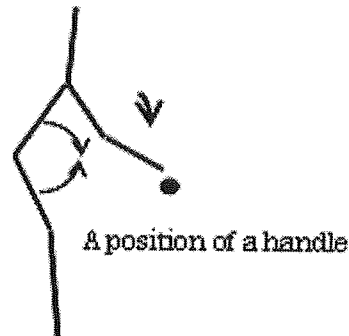


Fig.3-2-2 Waist angle

(1) 握りハンドルのハンドル高さ

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

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

上式に年齢別の成人女性の人体標寸法をあてはめ比較したものが Tab4-2-1, Fig4-2-3 である。Tab3-2-1, Fig3-2-3 より、握りハンドルの最適なハンドル高さは、平均値から考えると約 850mm となり、5%、95%のタイル値を考慮すると 760～915mm の範囲であることが望ましいといえる。ハンドル高さにはフレーム高さ以外にハンドル部分の高さ（約 50mm）と、タイヤ高さ（約 230mm）が含まれるため、フレームの最適高さは、それらを除いた約 580mm 付近が好ましいといえる。

Tab3-2-1 The Best Height of Grasp Steering Wheel (Female) [mm]

	年齢	肩峰高さ	上腕長さ	前腕長さ	最適高さ
5%タイル値	60-69	1134	256.9	189.5	827.13
	70-79	1103	257.3	185.7	797.25
	80-99	1070	258.9	182.6	764.01
平均値	60-69	1211	283.8	217.1	868.96
	70-79	1181	282.5	212.1	842.09
	80-99	1159	286.3	211	817.08
95%タイル値	60-69	1294	311.9	244.4	915.83
	70-79	1261	310.3	239.1	886.35
	80-99	1240	313.1	235.9	864.06

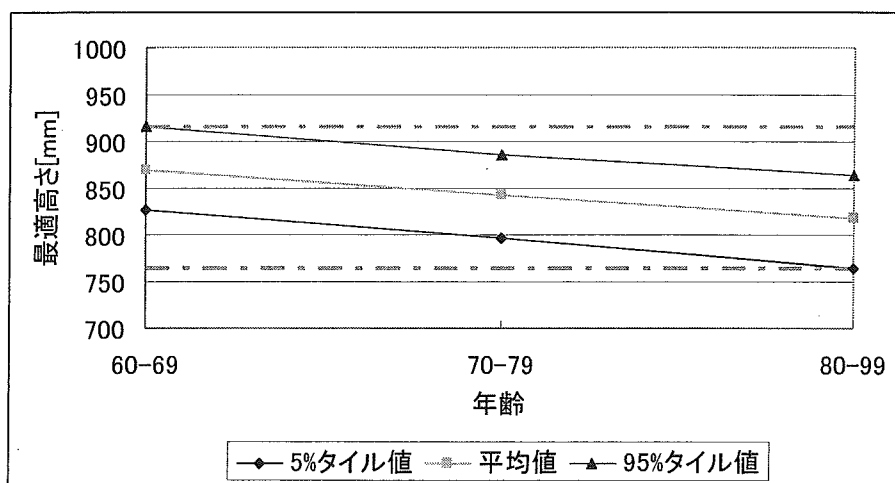


Fig3-2-3 The Best Height of Grasp Steering Wheel (Female)

(2) 肘掛ハンドルのハンドル高さ

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

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

上式に年齢別の成人女性の人体標準寸法をあてはめ比較したものが Tab3-2-2、結果のグラフが Fig3-2-4 である。

Tab3-2-2 The Best Height of Armchair Steering Wheel (Female) [mm]

	年齢	肩峰高さ	上腕長さ	最適高さ
5%タイル値	60-69	1134	256.9	901.17
	70-79	1103	257.3	869.81
	80-99	1070	258.9	835.36
平均値	60-69	1211	283.8	953.79
	70-79	1181	282.5	924.97
	80-99	1159	286.3	899.52
95%タイル値	60-69	1294	311.9	1011.32
	70-79	1261	310.3	979.77
	80-99	1240	313.1	956.24

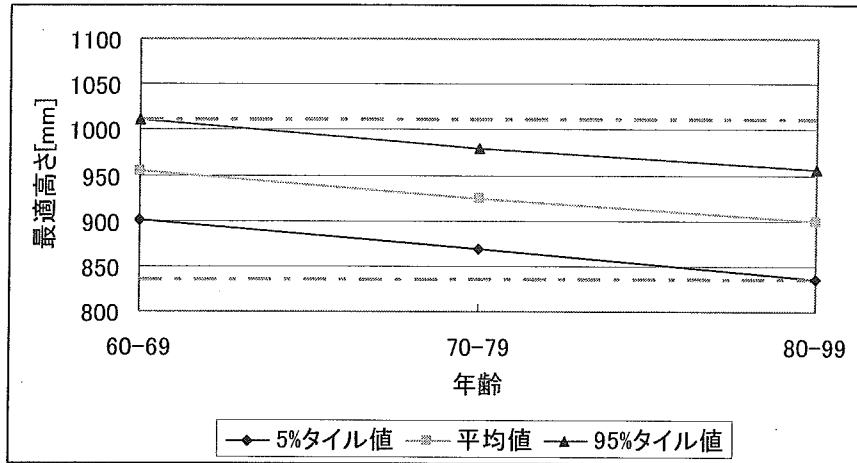


Fig3-2-4 The Best Height of Armchair Steering Wheel (Female)

Tab3-2-2, Fig3-2-4 より, 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 が好ましいといえる.

(3) フレーム寸法まとめ

以上の結果から, フレームの高さ, フレームの横幅, フレームの上下幅を握りハンドル, 肘掛ハンドルの両方において決定する. Fig4-2-5 に握りハンドルの寸法表, Fig4-2-6 に肘掛ハンドルの寸法概略図をそれぞれ示す.

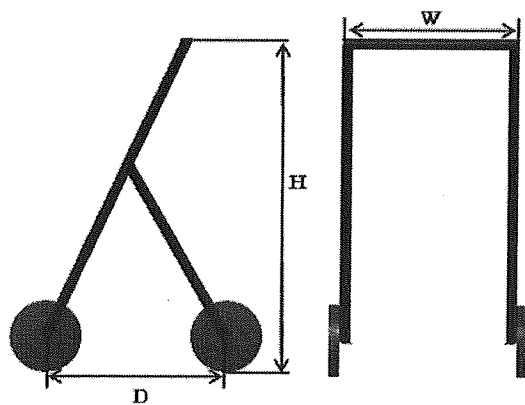
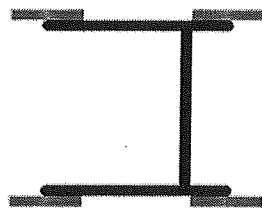


Fig3-2-5 Size of grasp steering wheel

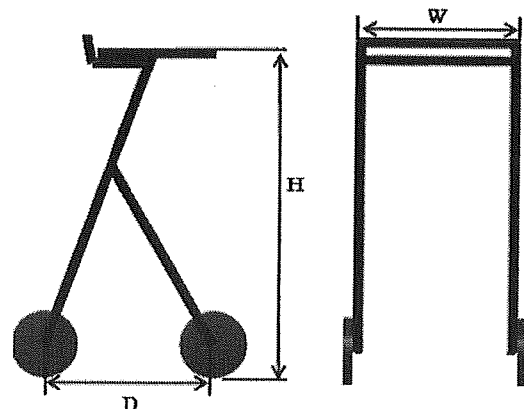
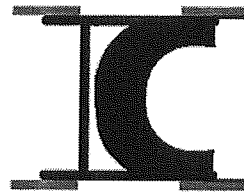


Fig3-2-6 Size of armchair steering wheel

Fig3-2-5, Fig3-2-6 より, H=機器の高さ, W=機器の横幅, D=機器の前後幅として各寸法の最適値を握りハンドル, 肘掛ハンドルの両方で機器とフレームにわけて表にしたものが Tab4-2-3 となる.

Tab4-2-3 では最適寸法を求めたが, 幅広い使用者, 使用環境に対応するためには寸法の調節機能についても考慮する必要があると思われる.

Tab3-2-3 The best size of walking support machine

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 [mm]	850	580	920	650
横幅 [mm]	520	500	520	500
前後幅 [mm]	560	520	560	520

3.3 フレーム形状

フレーム形状は歩行支援機の形状のほぼ全てであるため、歩行支援機の強度は、ほぼフレーム形状によって決定される。また、形状が機能に直結するパターンもある。ここでは形状によって見込める機能について述べていく。

3.3.1 折り畳み機能

歩行支援機の折り畳み機能は第三章の品質機能展開表 (Fig3-3-1) でも重要度 5 に指定されている機能である。歩行支援機の折り畳み機能にはいくつかのパターンがあるが、本研究で開発する歩行支援機にはモーターやセンサ、PC など多くの機器を内部に搭載する必要があるため、前後のスペースを確保できない折り畳み機能を搭載することが難しい。そのため、ここでは左右両端を折り畳むヘルシーワンの折り畳み機能を紹介する (Fig3-3-1)。

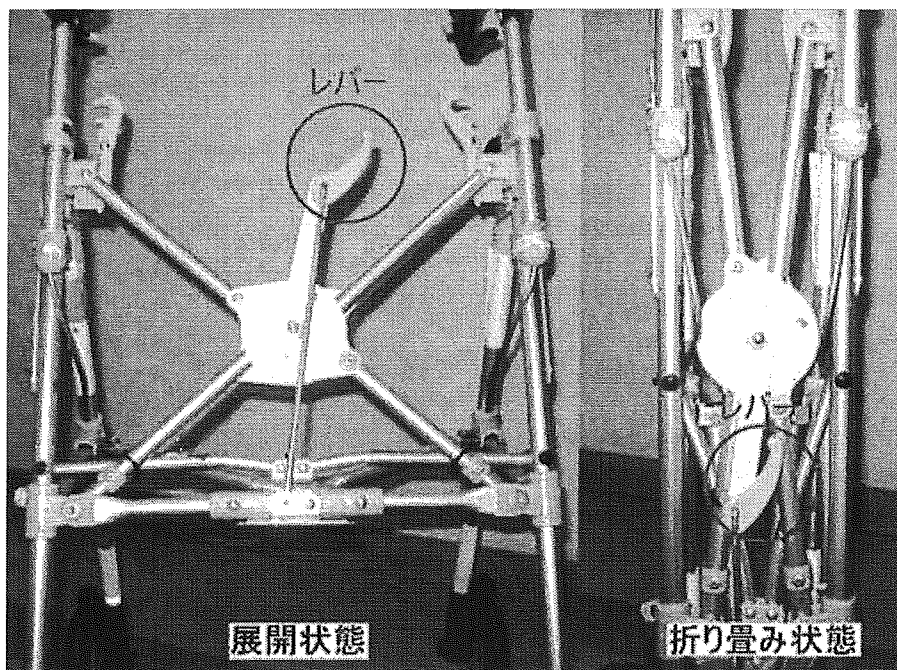


Fig3-3-1 Fold function

Fig3-3-1 では左側が展開状態で、右側が折り畳み状態になっており、中央のレバーを上下させることで、内部のリンク機構が動き折り畳みが可能となっている。このように両端を折り畳む形式の場合、中央のスペースが空くため、内部の機器を外に出して折り畳むことができるほか、両端の部位に機器を集中させることで内部を使わず折り畳む方法も考えられる。

3.3.2 高さ調節機能

高さ調節機能は使用者の能力、環境への幅広い対応を考えると必須ともいえる項目だが、本研究で開発する歩行支援機は 3-3-1 でも述べたように内部に機器を搭載する必要があるため、内部のスペースを確保したままハンドル高さを調節する機能が必要となってくる。ここでは、内部のスペースを確保したままハンドル高さを調節する方法として、ハンドル位

置付近での高さ調節機能について紹介する

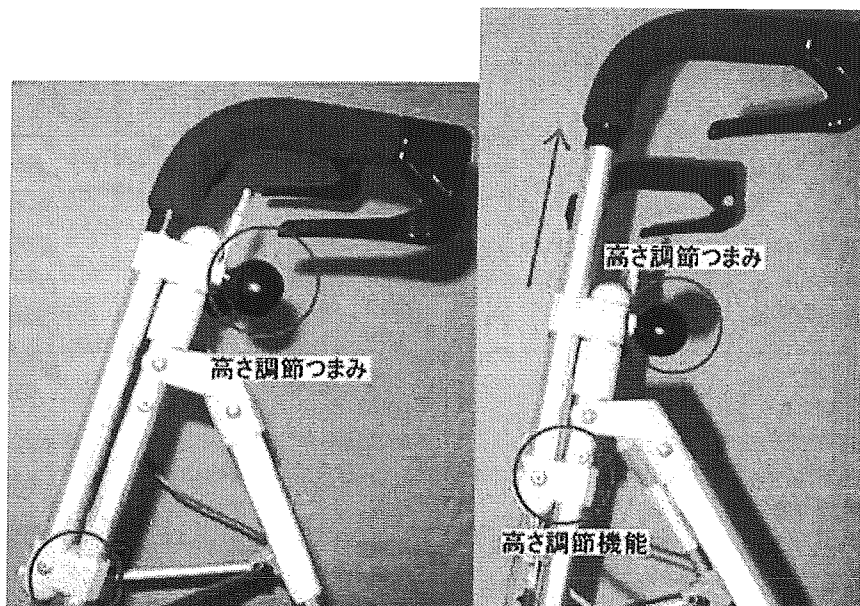


Fig3-3-2 Height adjustment function

Fig3-3-2 では左側はハンドル高さが低い状態、右側がハンドル高さが高い状態を表しており、高さ調節つまみを緩め、ハンドル部位を上下に移動させることでハンドル高さの変更が可能になっている。見ての通り高さ調節に使用するスペースがコンパクトで歩行支援機の内側スペースをまったく使用しないため、本研究で開発する歩行支援機にも使用が可能であるといえる。

3. 3. 3 フレーム形状まとめ

折り畳み機能、高さ調節機能のどちらも、問題になるのは機能をとるスペースであるといえる。特に本研究で開発するようなバッテリーやセンサなどを内部に収納するタイプの歩行支援機では十分なスペースを確保しにくく、どちらの機能も取り付けにくい。しかし、今回紹介したヘルシーワンの折り畳み機能と高さ調節機能はどちらも中央のスペースをあまり損なわずに取り付けが可能であるため、今後検討していく必要があるといえる。

3. 4 ハンドル位置

ハンドル位置（ハンドル高さについては前述したので、ここでは横方向の位置とする）は、歩行支援機のフレーム形状を考えるに当たって特に重要な項目である。ここではハンドル位置による昨日の違いについて述べていく。

3. 4. 1 ハンドル位置による段差乗り越えと荷重配分

ガタ路走行や段差乗り越えを支援するために、本研究の歩行支援機では後輪パワーステアリングによる駆動力の支援を行うものとしている。パワーステアリングによる後輪駆動前進力の大きさは、歩行支援機の重心とハンドル位置によって変わってくる。ここでは握りハンドル形式の歩行支援機のパラメータを Fig4-4-1 のように与え、ハンドル位置による段差乗り越えと荷重配分の関係について検証する。

(1) 前後輪荷重配分

上下方向の力の釣り合いから

$$mg + w = R_1 + R_2 \quad \therefore R_1 = mg + w - R_2$$

重心Gまわりのモーメントのつりあいから $R_1 a_1 + lw = a_2 R_2$ R_1 を消去して

$$(mg + w - R_2) a_1 + lw = a_2 R_2 \quad (a_1 + a_2) R_2 = lw + (mg + w) a_1$$

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

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

以上より、前輪荷重： R_1 と後輪荷重： R_2 は

$$R_1 = \frac{(mg + w)a_2 - lw}{a_1 + a_2} \quad \dots\dots (1)$$

$$R_2 = \frac{(mg + w)a_1 + lw}{a_1 + a_2} \quad \dots\dots (2)$$

となり、前輪荷重： R_1 と後輪荷重： R_2 は重心からの前輪位置： a_1 と後輪位置： a_2 、そしてハンドル位置： l によって変化することがわかる。

(2) 後輪駆動前進力

$$\text{後輪駆動前進力を後輪荷重の式にすると } F_{2\max} = \mu R_2 + \Delta F \quad \text{から} \quad T_{2\max} = rF_{2\max} = r\mu R_2$$

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) ハンドル位置と段差乗り越え高さ

段差乗り越え可能な高さを h とすると、 h はタイヤ半径 r と、タイヤと段差の成す角度 θ で表される。

$$h = (1 - \cos\theta)r \quad \text{また、} \theta \text{ については次の式が成り立つ} \quad \tan\theta = \frac{\mu R_2 + \Delta F}{R_1}$$

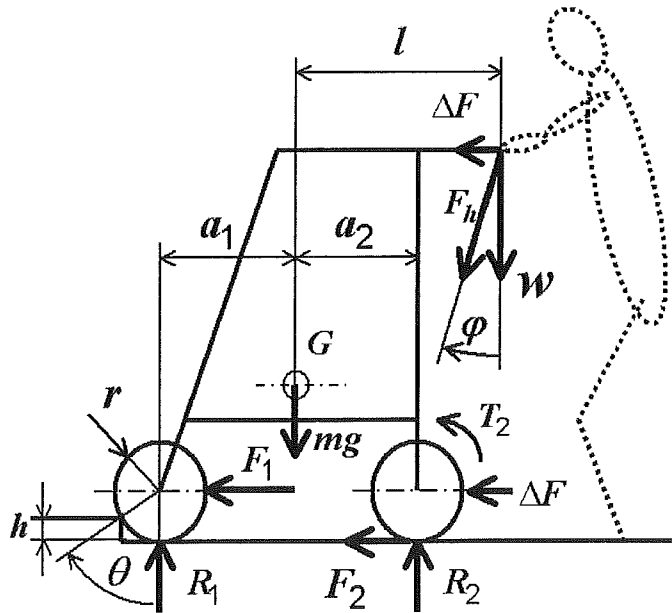


Fig3-4-1 Parameter of walking support machine

前述の式 (1)、式 (2) を代入すると
$$\tan\theta = \mu \frac{(mg + w)a_1 + lw + \frac{\Delta F}{\mu}}{(mg + w)a_2 - lw} \quad \text{となる}$$

ここで、Tab4-2-3 の寸法表より、歩行支援機の前後幅を $a_1 + a_2 = 520$ [mm]

重心を歩行支援機の中心としたときの重心からの前輪後輪の位置 $a_1 = a_2 = 260$ [mm]

歩行支援機の重量 m とタイヤの半径 r , ハンドルにかかる前進力 ΔF , 摩擦係数 μ をそれぞれ

$$m = 20 \text{ [kg]} \quad r = 100 \text{ [mm]} \quad \Delta F = 20 \text{ [N]} \quad \mu = 0.3 \quad \text{とする}$$

重心からのハンドル位置 l [mm] を 100~300mm の間で変動させたときのハンドル支持力 w [N] と段差乗り越え高さ h [mm] の関係を表したものが Fig3-4-2 のグラフである。
Fig3-4-2 より, ハンドル位置は重心から遠ければ遠いほど少ないハンドル支持力で段差乗り越えができることがわかる。設定した段差乗り越えの目標である 20mm の段差乗り越えはハンドル位置が歩行支援機の重心から 200mm 以上はなれていないと厳しいといえる。

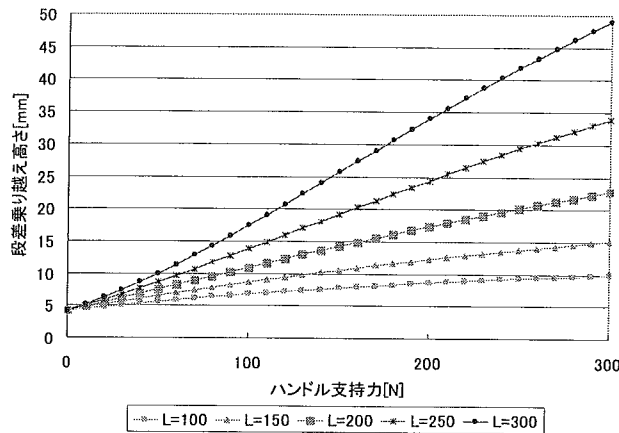


Fig3-4-2 Handle position and height of difference getting over

(4) ハンドル支持力によって転倒する限界のハンドル位置

前述のように段差乗り越えをするには, ハンドル位置が重心から遠ければ遠いほうが有効であるが, ハンドル位置を遠くに設定しすぎるとハンドル支持力を掛けた際に歩行支援機が転倒してしまう可能性がある。歩行支援機が転倒してしまう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を l_{\max} とすると, 以下の式が成り立つ

$$l_{\max} = \frac{(mg + w)a_2}{w} \quad \text{歩行支援機の重量 } m = 20 \text{ [kg]}, \text{ 重心から後輪までの距離 } a_2 = 260 \text{ [mm]} \text{ としたとき}$$

の l_{\max} と w の関係を表したグラフが Fig3-4-3 である。

Fig3-4-3 より, 2000N 掛けた場合でもハンドル位置が 285mm 以下ならば転倒の危険性はないことがわかった。これは, 歩行支援機の本体重量が 20 kg と重く安定性が高いためと考えられる。

3. 4. 2 ハンドル位置と足位置

歩行支援機では左右後輪の中間が機器の回転中心があり, ハンドル位置によって使用者の足位置が決まってくる。ハンドル位置が機器の重心から近すぎたり, 遠すぎたりした際,

機器の回転中心と足位置にズレができると旋回の際に使用者が余分に移

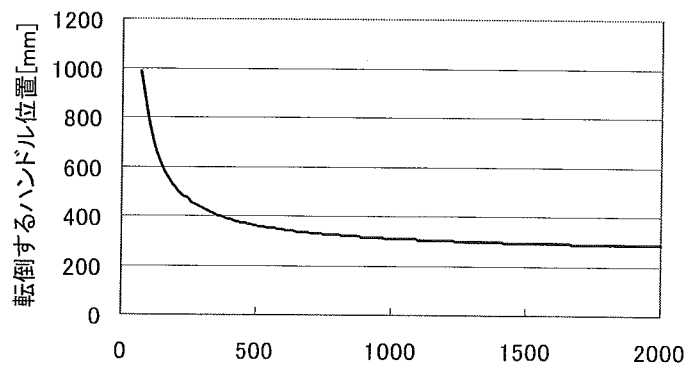
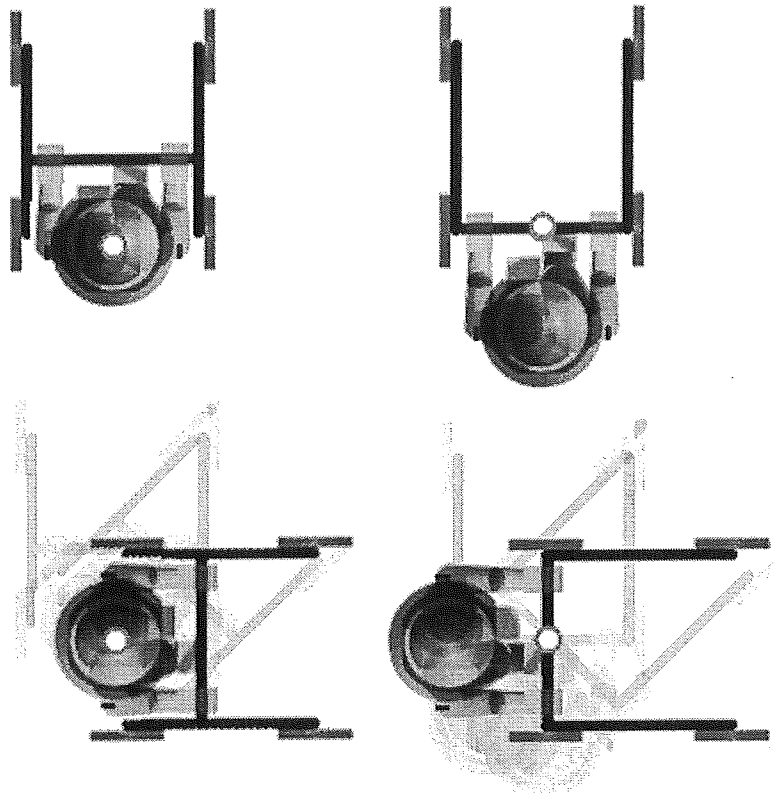


Fig3-4-3 Steering wheel support force and falling handle position

動する必要がある取り回しにくくなってしまふ (Fig3-4-4). このため、前述の段差乗り越しはハンドル位置が重心から遠ければ遠いほど有効だが、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が一致するハンドル位置が好ましい。



○ 機器の回転中心

Fig3-4-4 Handle position and foot position

3. 4. 3 ハンドル位置まとめ

段差乗り越しに関してはハンドル位置が重心から遠いほど乗り越しやすくなるが、遠くしすぎると転倒の危険性が増し、快適な取り回しが困難になってしまう。特に足位置の問題はハンドル位置でのみ決まってくる要素のため、フレーム構造を考える上ではなるべく足位置と機器の回転中心をそろえるべきだといえる。よって、ハンドル位置を使用者の足位置と機器の回転中心をそろえるように設定し、段差乗り越しに弱い部分は前輪部に段差乗り越し機能を取り付けることで解消するのが最も効率よいハンドル位置であると考えられる。

4. 開発された試作機

4. 1 試作機の構成

前年度までの研究で、実際に開発された試作機の構成を Fig6-1-1 に表す。Fig5-1-1 の試作機はバッテリーを電源としてモータよりベルトを介して後輪のパワーアシストを行うアシスト型支援機である。前進、後退、旋回のためのアシスト力を発揮するためのモータドライブユニットが左右の後輪に取り付けられている。制御方法は被支援者の操作力、被支援者と機器の相対距離、路面の傾斜によって行われる。試作機の特徴を以下に示す。

- (1)前輪にキャスタを用い、屋内外で小回りが利き、120W のモータを二つ使用するパワーアシストで上り坂 (10° 以下) を楽に歩行できる
- (2)悪路歩行時には振動に強い握りハンドル、平坦路歩行時には、負担の少ない肘掛けハンドルを使用できる複合ハンドルを採用
- (3)ER 流体ブレーキを両後輪に用い、下り坂 (12° 以下) を制止可能

(4)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が可能
試作機の基本的な寸法と仕様を Tab6-1-1 に示す。

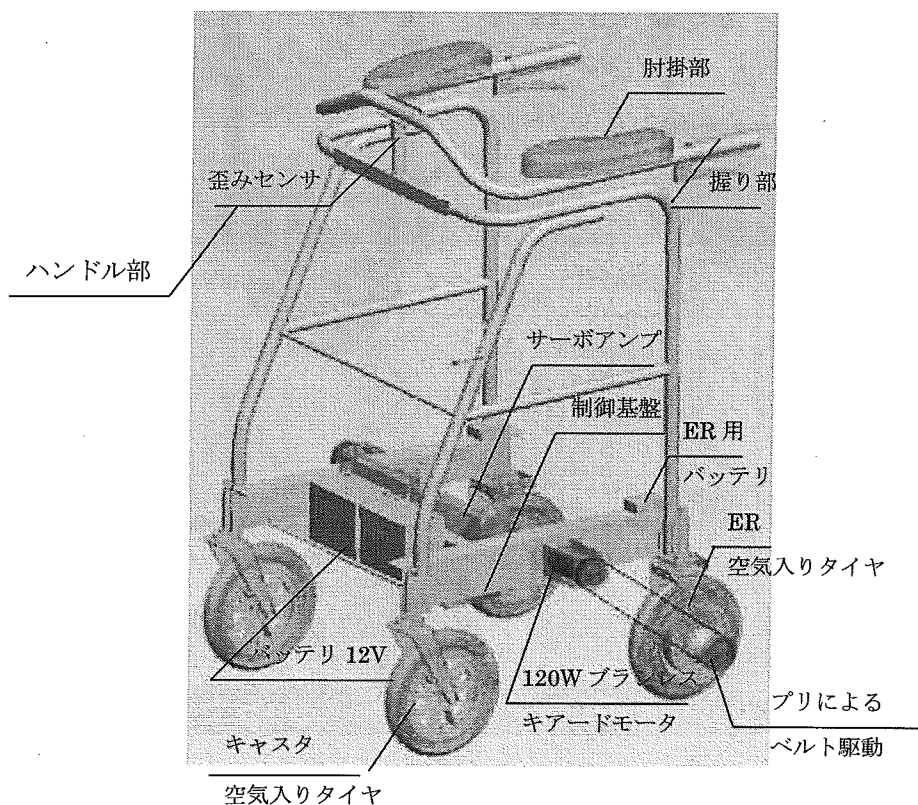


Fig5-1-1 Structure of prototype

Tab4.1-1 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 (プリーによるベルト駆動)
	制動方式		手動操作ブレーキ・ER 流体ブレーキ
	操舵方式		キャスト
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 試作機フレームの問題点

4. 2. 1 ハンドル位置と足位置

試作機のハンドル位置は Fig5-2-1 に示すように、後輪よりも後ろ側に配置されているため、機器の回転中心と使用者の足位置にかなりの距離がある。そのため、方向転換や自転などの取り回しをする際に使用者自身が動く必要があり、使いづらくなっている。

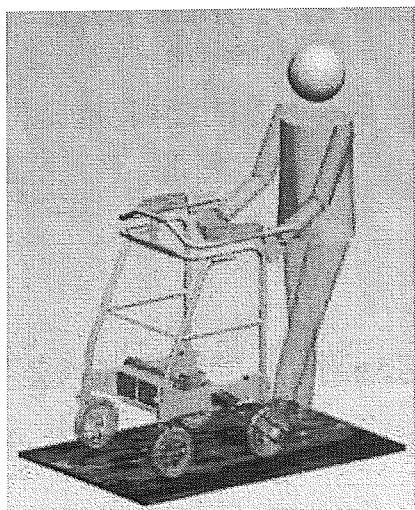


Fig4-2-1 Handle position and foot position of prototype

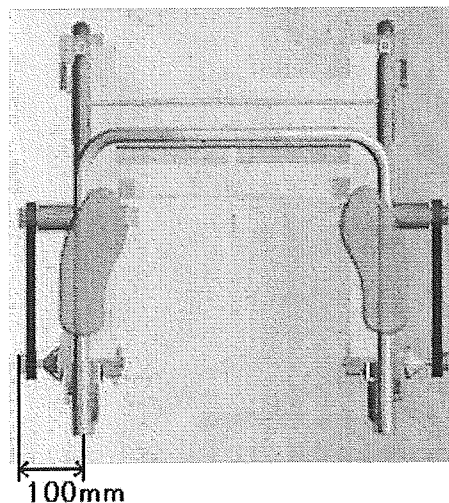


Fig4-2-2 Width of steering wheel and width of equipment

4. 2. 2 ハンドル幅と機器の幅

開発された試作機には外側にモータドライバが設置されているため、ハンドル幅と機器の幅に Fig6-2-2 で示すように、約 100mm の差がある。この差によって、使用者は機器の幅を把握しづらいため、狭い通路やドア付近を走行する際にモータドライバの端が引っかかってしまうことが頻繁に起きた。ハンドル幅と機器の幅はできる限りそろえる必要があるといえる。

4. 2. 3 折り畳み機能、高さ調節機能

試作機では、Fig4-2-3 のようにバッテリーやセンサ類の收容スペースが中央に取られており、設置にある程度のスペースを必要とする、折り畳み機能、高さ調節機能に関してまったく考慮されていない。そのため、搬送が不便で、使用者に合わせた最適なハンドル高さの調節を行うことができないものとなっている。

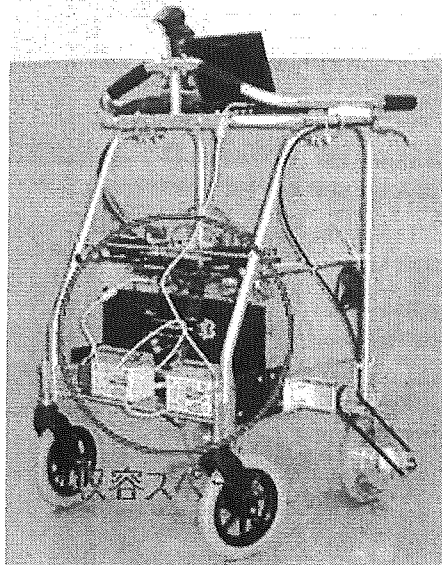


Fig4-2-3 Accommodation space

4. 2. 4 ハンドル方式の評価

歩行動作実験と自己版 PPP によるフィーリング的评价より、ハンドル形状による歩行のしやすさを評価したものが Tab4-2-1 である。

Tab4-2-1 Evaluation of Handle

ハンドル形状	握りハンドル	肘掛ハンドル
安定性	高い	不安
使いやすさ	自由に動かせる	動かしにくい
身体負担	負担が多い	負担が少ない
後輪荷重	体重をかけにくい	体重をかけやすい

4. 2. 5 ハンドル形状

Tab4-2-4 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使用者や状況に幅広く対応するためには、握りハンドルと肘掛ハンドルの両方を使い分けられる複合ハンドル形状 (Fig4-2-4) が好ましいといえる。

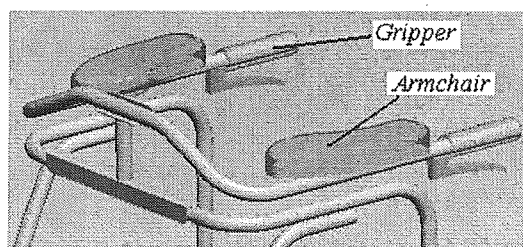


Fig4-2-4 Structure of the Twin Functional Handle

Fig4-2-4 の複合型ハンドルは「握り部」、「肘掛け部」および「ハンド支援部」からなり、ガタ路と舗装道路への使用、そして身体的負担の軽減を最大の前提とする形状である。また、本体寸法で求めた握りハンドルと肘掛ハンドルの最適高さの差である 70[mm]を複合ハンドルの肘掛部を握り部より高めに設定することによって、どちらのハンドルを使っても最適高さで使用できるように考慮する必要がある。

このハンドルを用いて歩行するイメージとしては Fig4-4-2 に示す。

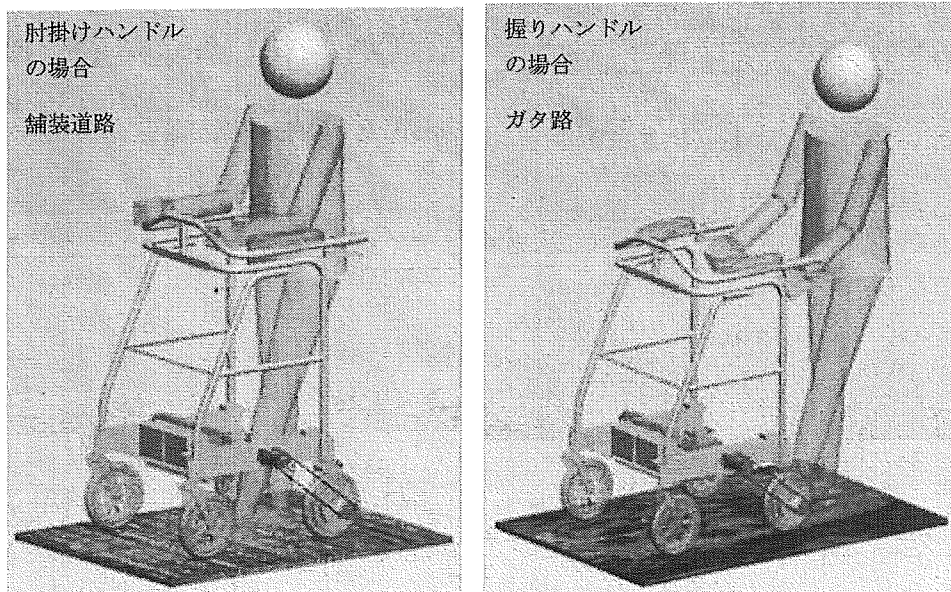


Fig4-2-5 Image of Using Twin Functional Handle

Fig4-2-5 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。

5. フレーム解析

5. 1 新規フレーム設計条件

これまでの章で述べてきたフレーム設計に際しての留意点と現行機の問題点を踏まえ、新規フレームの設計を行う。新規フレーム設計にあたって考慮する条件を Tab5-1-1 に示す。

Tab5-1-1 Element and strategy of new frame

要素		方策
フレーム	フレーム高さ	握りハンドルを基本として、対象者を日本人成人女性 70 歳以上としたときの最適寸法 580[mm]
	フレーム横幅	握りハンドルを基本として、対象者を日本人成人女性 70 歳以上としたときの最適寸法 500[mm]
	フレーム上下幅	握りハンドルを基本として、対象者を日本人成人女性 70 歳以上としたときの最適寸法 520[mm]
	フレーム形状	歩行支援機の折り畳み機能、高さ調節機能を可能な範囲で考慮する
	フレーム強度	試作機より強度的に強くなるよう解析を使って最適設計を行う
ハンドル部	ハンドル位置	使用者の足位置と機器の回転中心のずれを少なくするため、段差乗り越えに対応できる範囲で後輪より前方に設置する
	ハンドル形状	握りハンドル、肘掛ハンドルの両方の利点を活かせる複合ハンドル形状を採用する
	ハンドル幅	ハンドル幅と機器の幅に差が出ないように設計する

Tab5-1-1 の方策を元に、新規フレームを設計するにあたって、効率よく設計を行うために以下ではフレームの構造最適化と構造解析を行い新規フレームの最適形状を求める。

5. 2 構造最適化

Quint.OPTISHAPE-TS による構造最適化を行い新規フレームの指針とする。OPTISHAPE-TS は Nastran で設計したソリッドモデルを設計領域とし、荷重条件、拘束条件から最適な形状を算出するソフトウェアである。

5. 2. 1 構造最適化の設計条件

構造最適化を行うために使用した設計条件モデルは第3章で述べた本体寸法とハンドル位置を元に以下のFig6-2-1のように設定した。

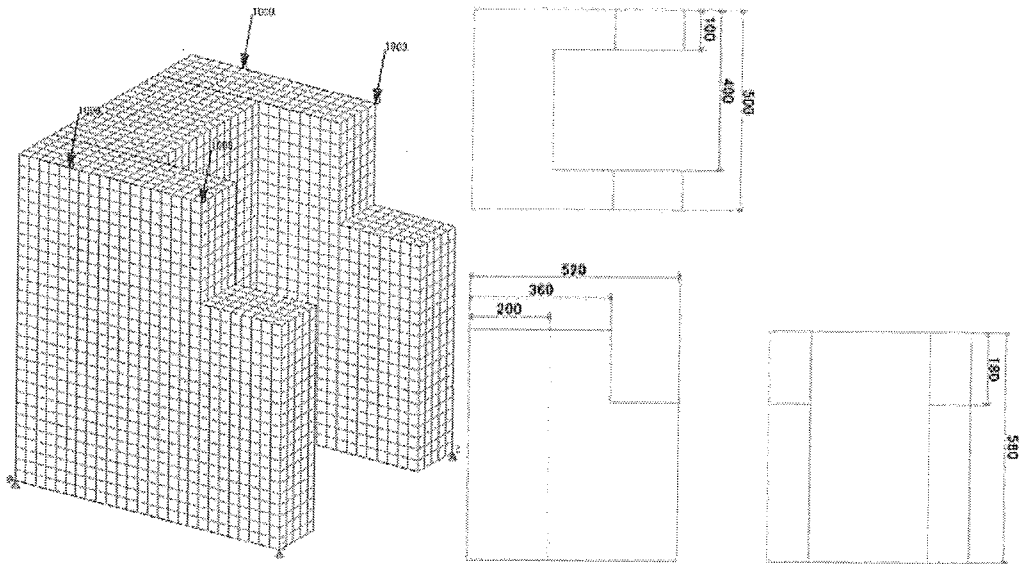


Fig 5-2-1 Design condition model

Fig5-2-1 のモデルではソリッドモデルを使用し、メッシュは一辺 20[mm]の hex で作成した。拘束条件と荷重条件は以下に示す

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であるモデル上部両端の 100[mm]と 360[mm]の 4 ポイントに前方下向きに角度 80[deg]で 1000[N]の力をそれぞれ掛けた

以上の解析条件で、逐次外表面位相最適化を行う。

5. 2. 2 構造最適化結果

以上の条件で構造最適化を行った結果得られた形状を Fig6-2-2 に示す。

構造最適化によって得られた Fig7-2-2 の最適形状モデルは形状を作成する際に参考にすることで、フレーム設計を効率よく行うことができる。ただし、本研究の歩行支援機は、主にパイプの曲げ加工とボルト締めによって製作されるため、Fig6-2-2 の形状をそのまま使用すると製作する際に問題がでてくるため、全面的にこの形状を採用することは難しいといえる。そのため、この形状を基に、加工可能な形状に絞り込む必要がある。

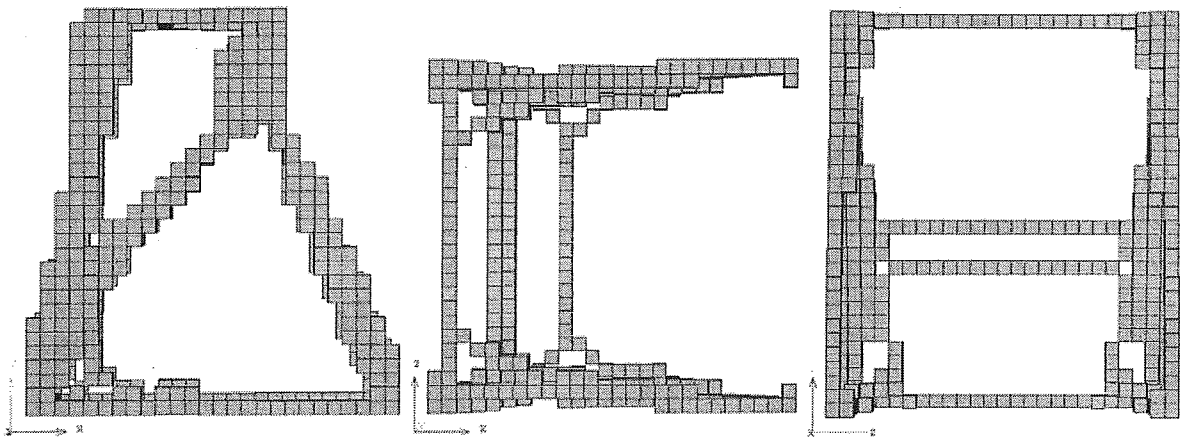
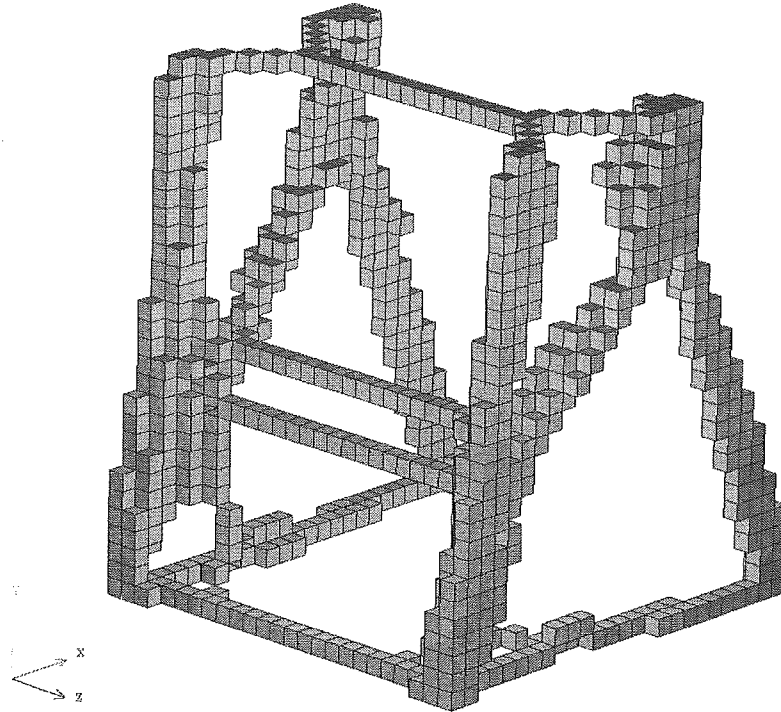


Fig 5 -2-2 Structural optimization result

5. 3 構造解析

5. 3. 1 Nastran 簡易モデル

第 5 章で述べた試作機フレームと、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。

(1) 試作機フレームの簡易モデル (Fig 5-3-1)

試作機フレームを MSC.Nastran で作成したモデル。

(2) フレームモデル A (Fig5-3-2)

第 4 章で述べたハンドル取り付け位置を参考にして後輪から 160mm 前方にハンドル位置を設定し、前述の OPTISHAPE-TS による構造最適化で得られた形状から、簡易モデルとして作成しやすい形状、トラス形状を意識して作成したモデル。

(3) フレームモデル B (Fig5-3-3)

モデル A で一見して不安なフレーム上部からの荷重を支えるため、モデル A の中心軸を下部に延長して補強したモ

デル.

(4) フレームモデル C (Fig5-3-4)

モデル A と同様にハンドル取り付け位置を設定し, OPTISHAPE-TS による構造最適化で得られた形状から, 簡易モデルとして作成しやすい形状, トラス形状を意識し, モデル A とは別の方向で作成したモデル.

(5) フレームモデル D (Fig5-3-5)

OPTISHAPE-TS による構造最適化で得られた形状を加工しやすいように改定したモデル.

(6) フレームモデル E (Fig5-3-6)

モデル B と同様に, モデル D の中心軸を下部に延長して増強したモデル.

試作機モデル, フレームモデル A~E の 6 つのモデルは基本寸法が共通で, 部材はアルミである. 以下の Tab6-3-1 に寸法を, Tab5-3-2 に部材であるアルミの特性を示す.

Tab5-3-1 Analytical model size

Tab5-3-1 Analytical model size	580
高さ [mm]	
横幅 [mm]	500
前後幅 [mm]	520
パイプ径 [mm]	22
肉厚 [mm]	1.4

Tab5-3-2 Characteristic of aluminum

部材	アルミニウム 5052
耐力 [N/mm ²]	1.75×10^2
密度 [Mg/m ³]	2.7
縦弾性係数 [N/mm ²]	70600
横弾性係数 [N/mm ²]	26000
ポアソン比	0.33

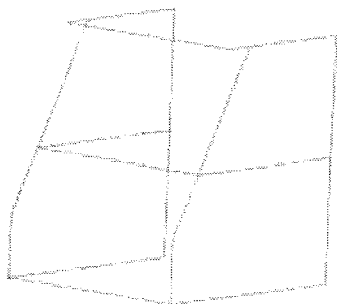


Fig5-3-1 Prototype frame

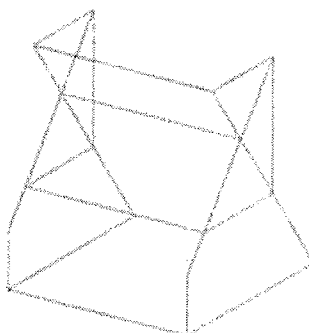


Fig5-3-2 Frame model A

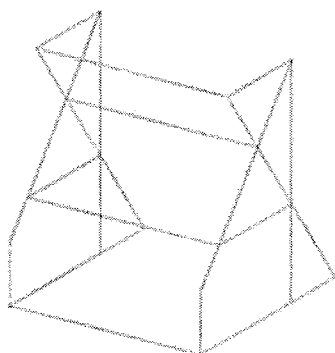


Fig5-3-3 Frame model B

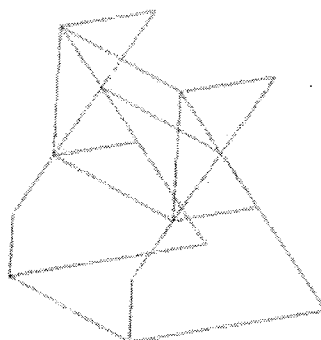


Fig5-3-4 Frame model C

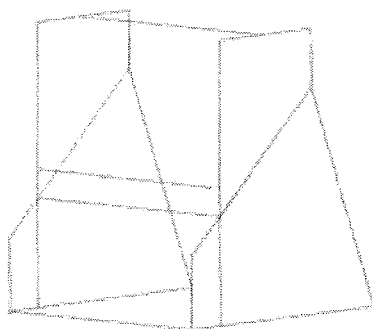


Fig5-3-5 Frame model D

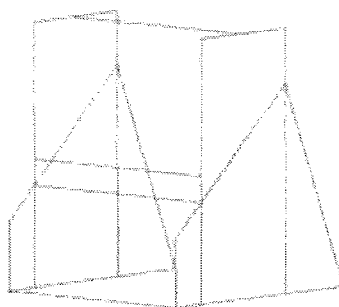


Fig5-3-6 Frame model E

5. 3. 2 簡易モデルの構造解析

歩行支援機の使用状況を考慮して拘束条件、荷重条件を3種類設定し構造解析を行う。今回は最大応力をみるため、軸方向応力ではなく曲げ応力で結果を表示するものとする。解析条件を以下に示す。

(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 $80[\text{deg}]$ に $2000[\text{N}]$ の力を掛ける

構造解析の結果を Fig5-3-7 に示す