

4.3 駆動・制動ユニットの設計

4.3.1 設計目標

コンセプトに従い、歩行支援のための駆動系として、運動エネルギーを付加するモータと、吸収するブレーキ装置を組み合わせる構成とする。制御の際にエネルギー吸収を行うことにより、安全性と信頼性の向上が図れる。

段差乗り越し、傾斜路（横断傾斜路 5° 、縦断傾斜路 15° ）に必要なトルクは、4.1 に述べたように片側につき約 $5[\text{N}\cdot\text{m}]$ あれば十分である。

駆動系のコンセプトを Fig.4.16 に示す。駆動系としては小型・軽量を条件とし、ホイール内臓を目指す。アシスト力を片輪 $\pm 50[\text{N}]$ として検討する。また、屋外での環境に耐える耐久性と信頼性を持たせる。非駆動時には被支援者が押すことになるため、空転抵抗を低く抑えることが必要である。

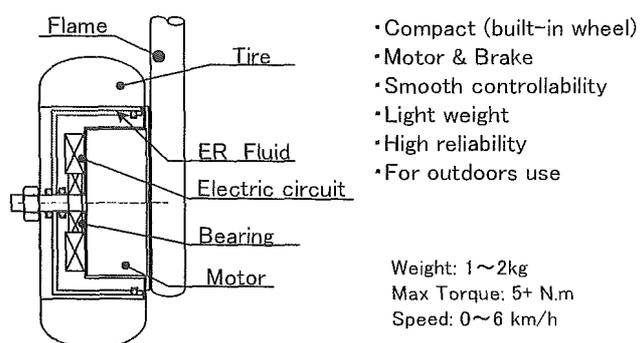


Fig.4.16 Concept of drive unit

4.3.2 ブレーキ装置

ブレーキ装置については、トルク制御性と消費電力、重量を考慮して ER(Electro Rheological)流体ブレーキを用いる。Fig.4.17 に旭化成より提供された ER 流体ブレーキを示す。これは、電圧をかけると（見せかけの）粘度が変化する電気粘度流体を利用したもので、消費電力が小さく応答が速いという特徴を持っている。種類としては、粒子系と液晶系がある。主な特性などについては、馬淵太朗、歩行支援機用 ER デバイスの開発、修士論文、2004 を参考にされたい。

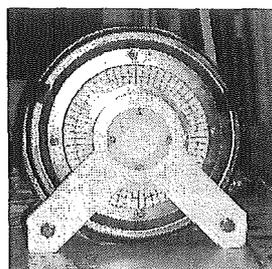


Fig.4.17 ER Fluid brake

4.3.3 伝動方式

支援機の試作機では、従来の既製品を組み合わせる駆動ユニットを構成することにした。モータから車輪への伝動方式として、摩擦車、ベルト、平歯車、かさ歯車、遊星歯車が挙げられる。重量とコスト、軸心の精度がラフですむことから、ベルト方式を選択した。摩擦車伝動は、屋外での使用の際に車輪に巻き込まれる異物によって異常をきたす可能性があるため避けた。

(1) 直交配置

タイヤ軸とモータ軸を直交させ、支援機の使用urerとの干渉を避けることができ、支援機自体のコンパクト化にもつながる。

ER ブレーキは既存のものを部品変更し、特性はそのままにして軸の延長とタイヤの交換を行う。延長した軸にハイポイドギアを取り付け、モータからの動力伝達を行う。

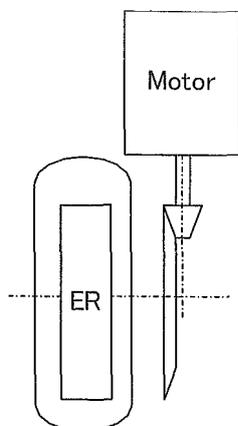


Fig.4.18 Orthogonalization Arrangement

(2) 平行配置

タイヤ軸とモータ軸を平行にし、摩擦車またはタイミングベルトまたはギアを用いて駆動する。支援機の使用urerとの干渉を避けるため、モータの配置は外側にしておく。

ER ブレーキは既存のものを部品変更し、特性はそのままにして軸の延長とタイヤの交換を行う。延長した軸に動力伝達機構を取り付け、モータからの動力伝達を行う。

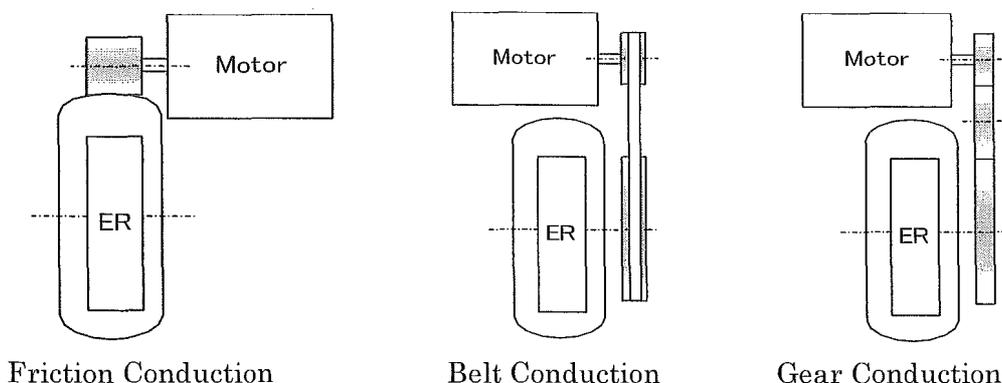


Fig.4.19 Parallel Arrangement

4.3.4 駆動方式

ブレーキとモータの組合せには、接続の違いによりブレーキ方式とクラッチ方式がある。(1)の長所はブレーキが優先されるため信頼性が高い点がある。しかし、エネルギー効率が悪いという欠点を持つ。(2)の長所は(1)と比較して損失が小さく効率が良いことである。しかし、ブレーキをモータの空転抵抗に頼るため、ギアなどのガタが残ることが考えられ、制動の信頼性と安定性という意味では(1)に劣るため、(2)の方式を採用することにする。

(1)ブレーキ方式

Fig.4.20 にブレーキ方式の駆動ユニット構成を示す。車体にモータとブレーキが固定されており、タイヤを駆動・制動させる。この方式は常時ブレーキが接続されており、ブレーキの空転抵抗が常にかかった状態になる。そのため、駆動力の損失が起こる。

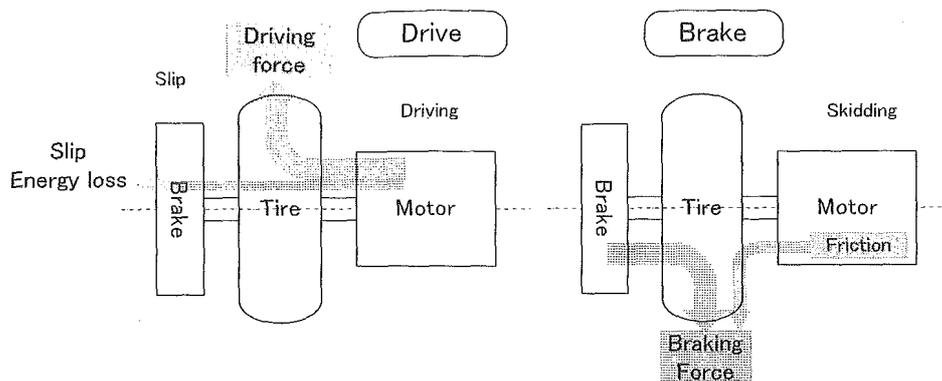


Fig.4.20 Brake system

(2)クラッチ方式

Fig.4.21 にクラッチ方式の駆動ユニット構成を示す. 車体に固定されたモータの出力軸にブレーキが取り付けられ, 回転するタイヤとの間で動力の伝達を行う. 駆動時にはこのブレーキをロックして動力の伝達を行う. 制動時にはモータを停止させ, ブレーキを制御して制動力を発揮する. そのため, 使用するモータの空転抵抗はブレーキトルク以上である必要がある.

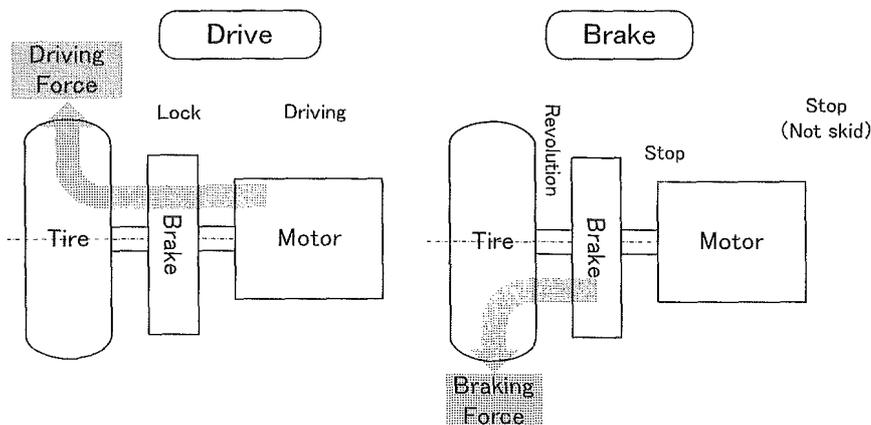


Fig.4.21 Clutch system

4.3.5 駆動・制動ユニットの構成

図 4.22 に設計したブレーキユニットを示す. ブレーキには旭化成から提供された ER 流体ブレーキ (粒子系と液晶系) とリンク機構によるブレーキを使用している. 2 種類の液体の特性をうまく生かしたブレーキ構成を考えている. また, ブレーキユニットの総重量は 2.0[kg]である.

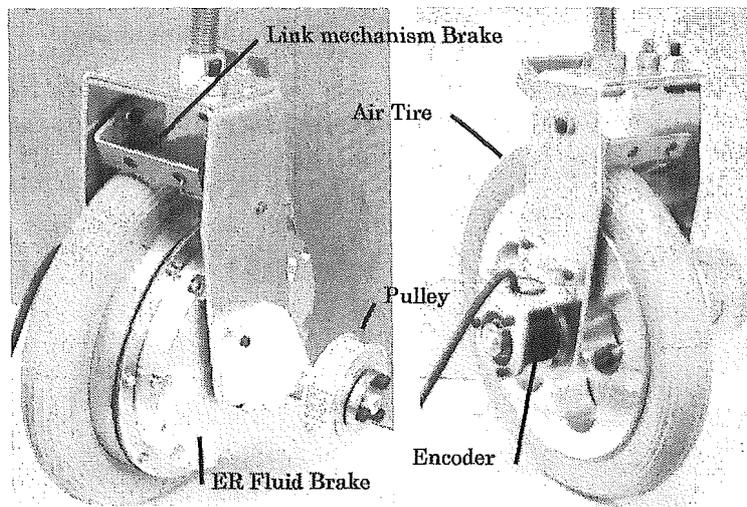


Fig.4.22 Brake

Unit

5 章 開発基本計画構想

5.1 機器の寸法

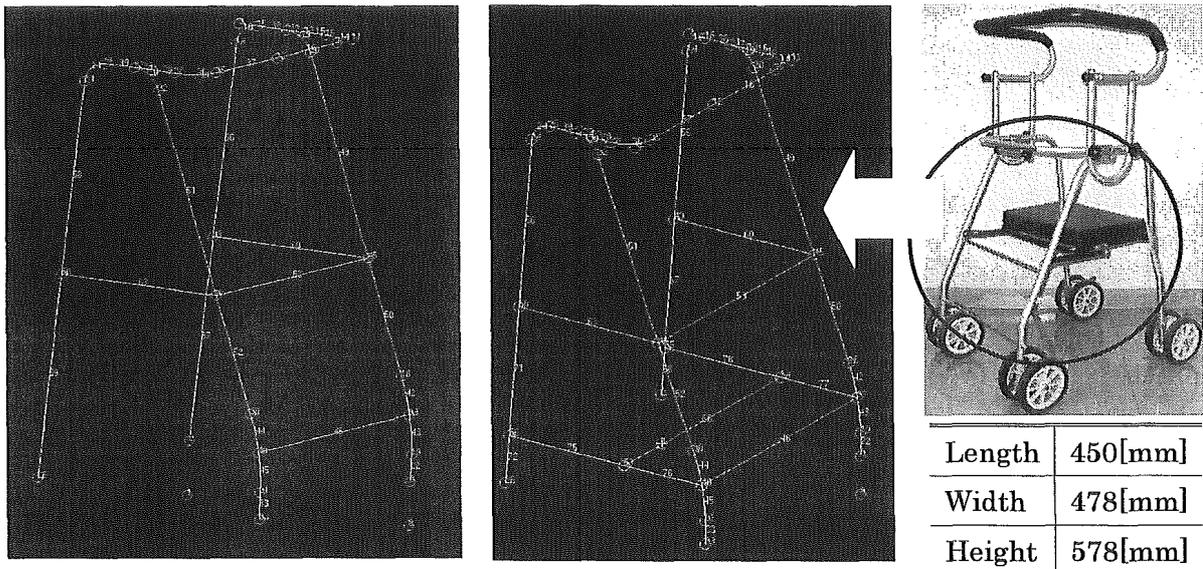
本研究では代表的な設計対象としては①日本人成人男性 70 歳以上, ②日本人成人女性 70 歳以上が考えられるが, ニーズの調査⁽¹⁰⁾から現用の支援機が利用されている割合は女性の方が圧倒的に多いため, ②を中心に機器の寸法を決定した。その寸法とは被支援者の身長, 体格(横幅), 上肢長および下肢長, 下肢機能, 上肢筋力, 姿勢などを考慮して, 適切な寸法とする。こうした機器の適切な寸法を決定する要素には, 次の3点が挙げられる。また, 開発する支援機の寸法を付録 P71 に示す。

- (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
- (2)機器の前後幅=使用者の立つ位置, および身体の前後幅, 上肢長など
- (3)機器の高さ=使用者の身長, 上肢長, 姿勢, 下肢の筋力

5.2 構造解析の検証

5.2.1 はじめに

開発時間を短縮するために, 5.1 で算出した寸法値に近いモデルを用いて, 車体の振動・衝撃に耐えられるための剛性向上を図るために, パイプ径 $\phi 19\text{mm}$, $t:2\text{mm}$ とパイプ径 $\phi 22\text{mm}$, $t:2\text{mm}$ そして, この二つにH型に補強をしたモデル(図 5.1)に対して(1)~(6)の拘束条件下で解析を行う。



Prototype Model

H Type Reinforcement Model

Length	450[mm]
Width	478[mm]
Height	578[mm]

Fig.5.1 Analytical Model

5.2.2 解析条件・結果

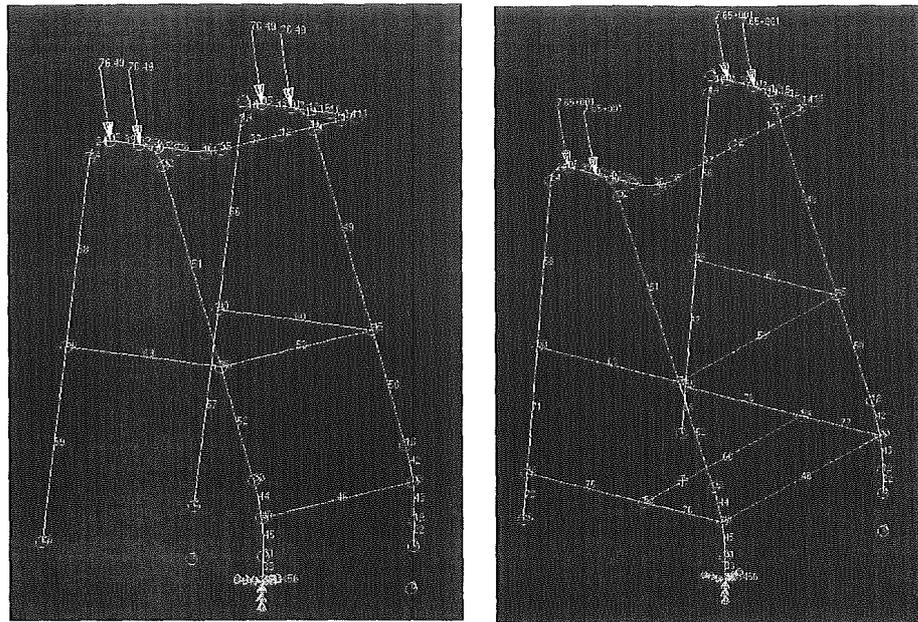
MSC Nastran を使用して解析を行い, 解析を容易にするために Beam モデルで行う。拘束条件, 荷重条件については, (1)~(6)に示し, その解析結果を a)~f)に示す。使用した材料はアルミである。これは, 軽量化を図るために使用しており, アルミについての特性は表 5.1 に示す。

Tab.5.1 Materials Characteristics

部材	アルミニウム 5052
耐力 $[\text{N}/\text{mm}^2]$	1.75×10^2
密度 $[\text{Mg}/\text{m}^3]$	2.7
縦弾性係数 $[\text{kN}/\text{mm}^2]$	70
横(せん断)弾性係数 $[\text{kN}/\text{mm}^2]$	26
ポアソン比	0.33

(1)解析条件：前固定（前進モデル）

ここでは、前輪右側を固定した時にフレーム上部に加わる荷重の静止状態について解析した。

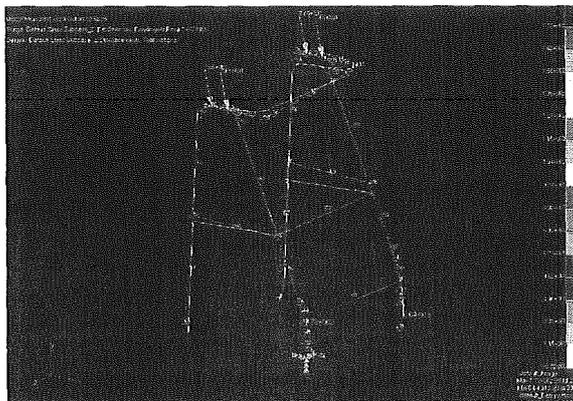


Prototype Model

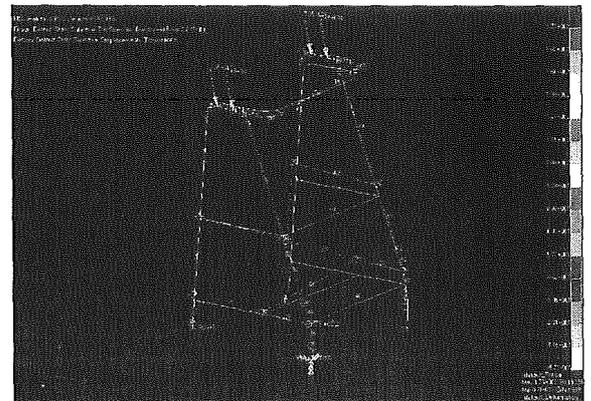
H Type Reinforcement Model

Fig.5.2 Analytical Condition

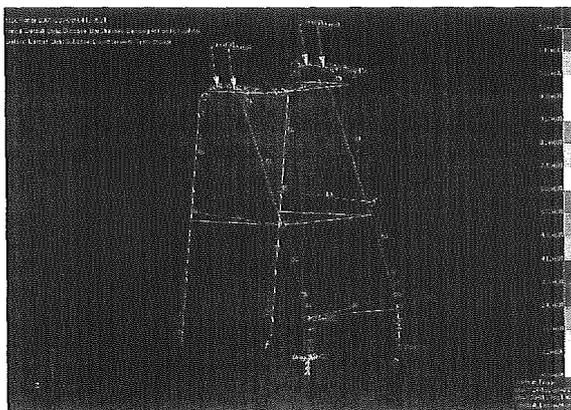
a)解析結果



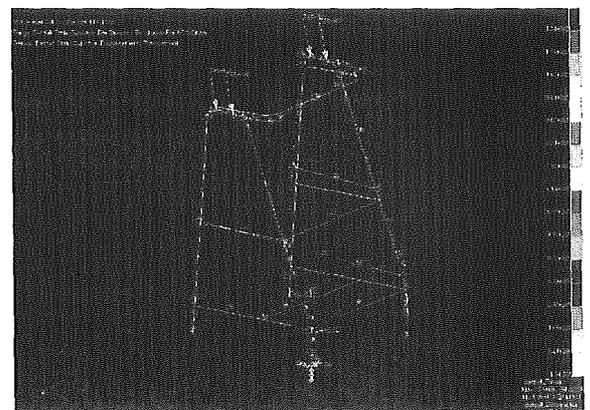
$\phi 19$, t2mm, Prototype Model



$\phi 19$, t2mm, H Type Reinforcement Model



$\phi 22$, t2mm, Prototype Model

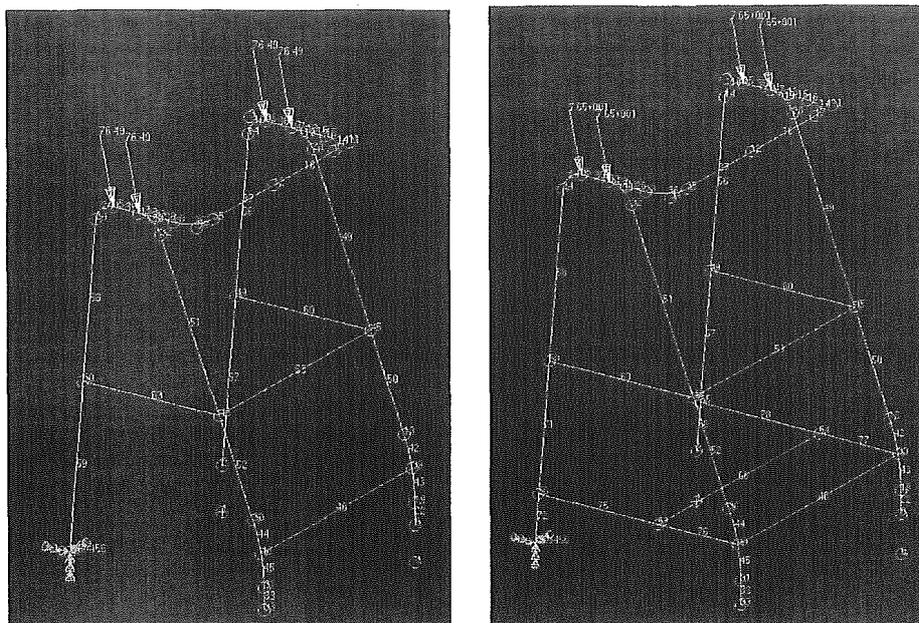


$\phi 22$, t2mm, H Type Reinforcement Model

Fig.5.3 Analytical Result

(2) 解析条件：後ろ固定（前進モデル）

ここでは、後輪右側を固定した時にフレーム上部に加わる荷重の静止状態について解析した。

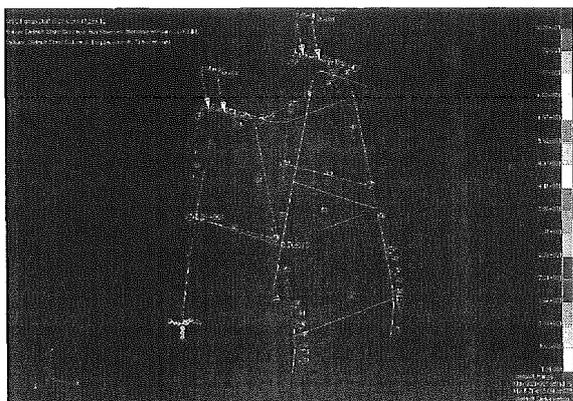


Prototype Model

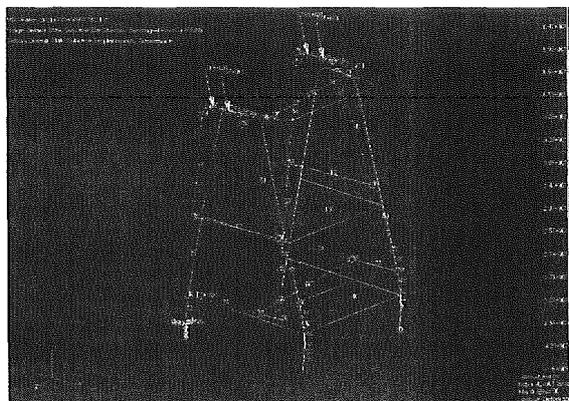
H Type Reinforcement Model

Fig.5.4 Analytical Condition

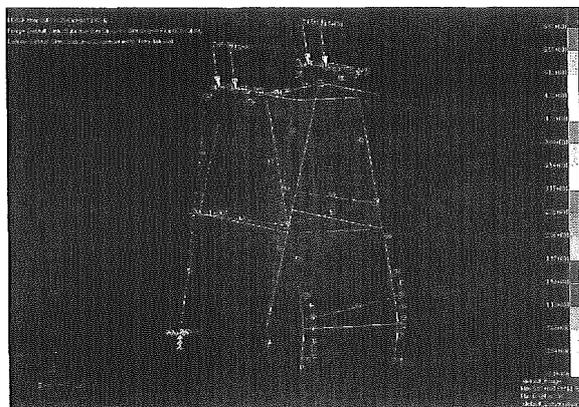
b)解析結果



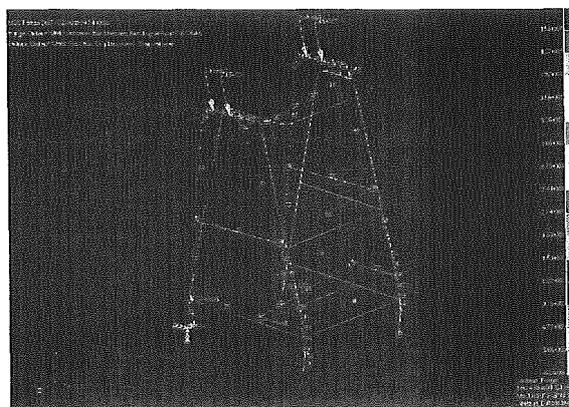
$\phi 19$, t2mm, Prototype Model



$\phi 19$, t2mm, H Type Reinforcement Model



$\phi 22$, t2mm, Prototype Model

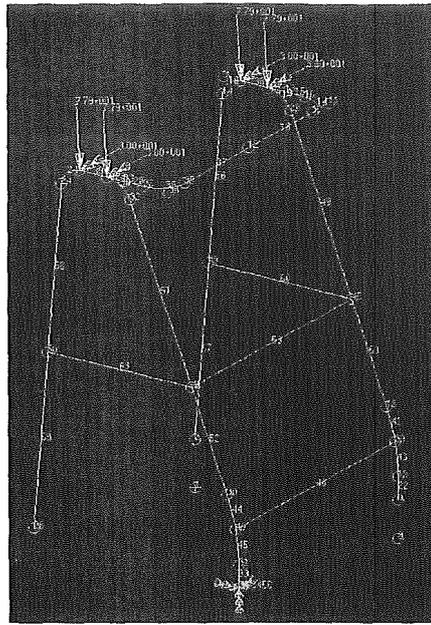


$\phi 22$, t2mm, H Type Reinforcement Mode

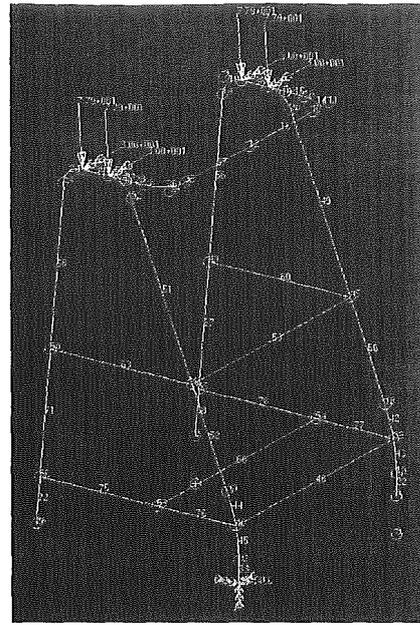
Fig.5.5 Analytical Result

(3)解析条件：前固定（旋回モデル）

ここでは、前輪右側を固定した時にフレーム上部に加わる荷重の静止状態について解析した。



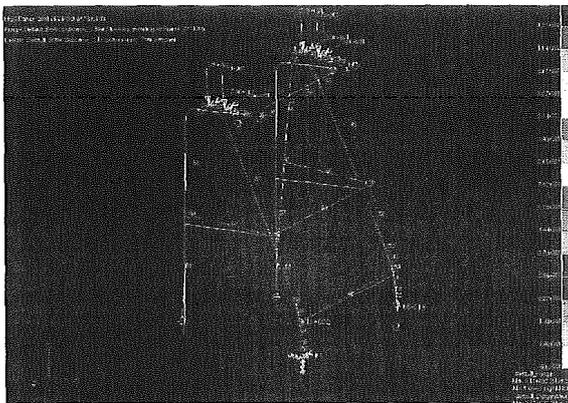
Prototype Model



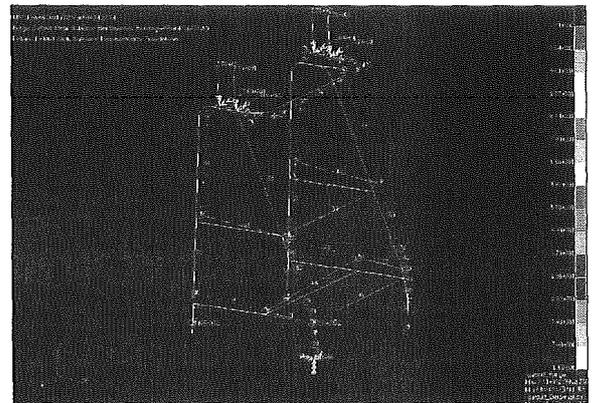
H Type Reinforcement Model

Fig.5.6 Analytical Condition

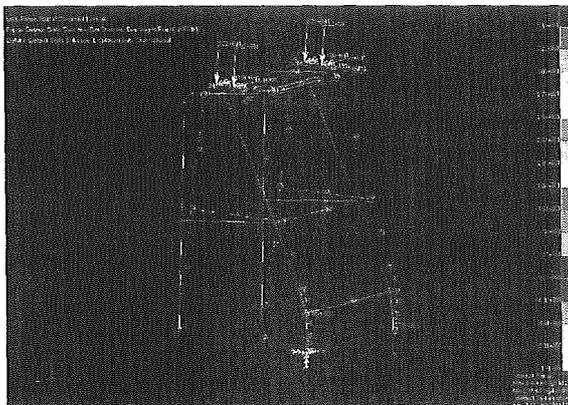
c)解析結果



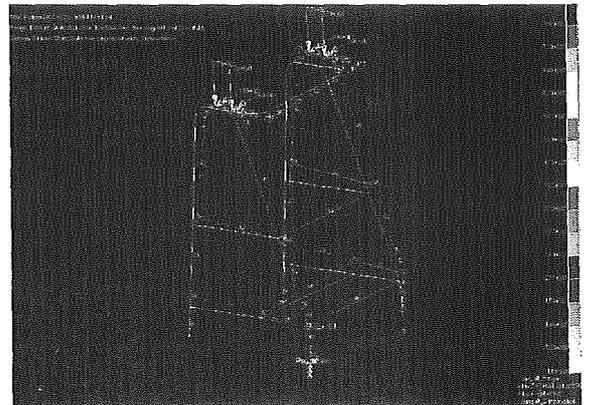
$\phi 19, t2\text{mm}$, Prototype Model



$\phi 19, t2\text{mm}$, H Type Reinforcement Model



$\phi 22, t2\text{mm}$, Prototype Model

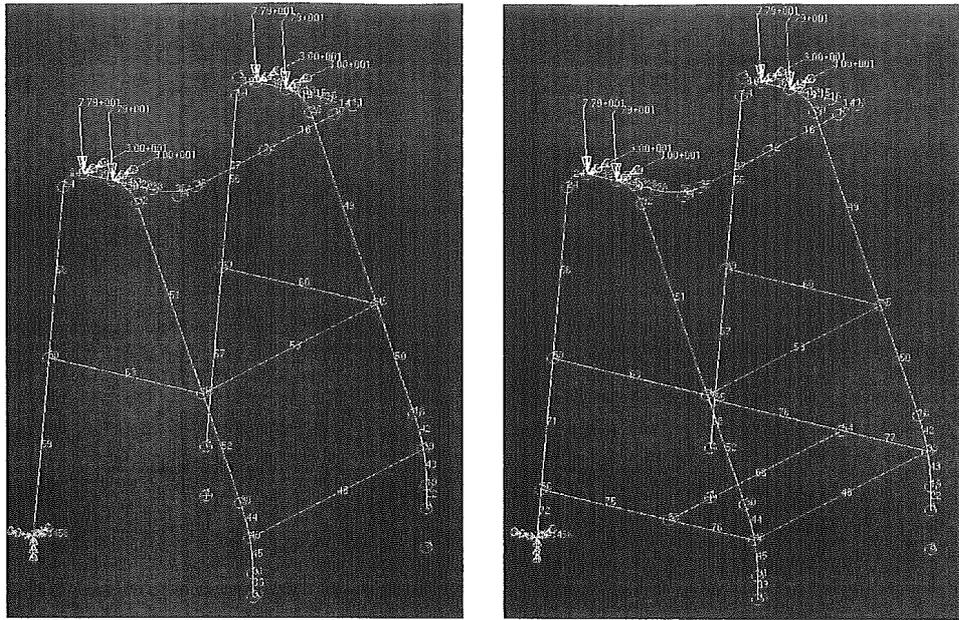


$\phi 22, t2\text{mm}$, H Type Reinforcement Model

Fig.5.7 Analytical Result

(4)解析条件：後ろ固定（旋回）

ここでは、後輪右側を固定した時にフレーム上部に加わる荷重の静止状態について解析した。

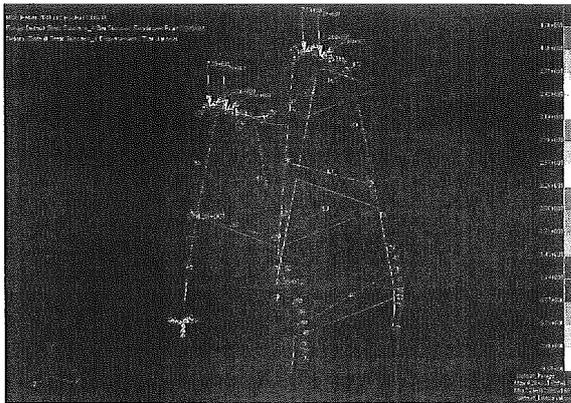


Prototype Model

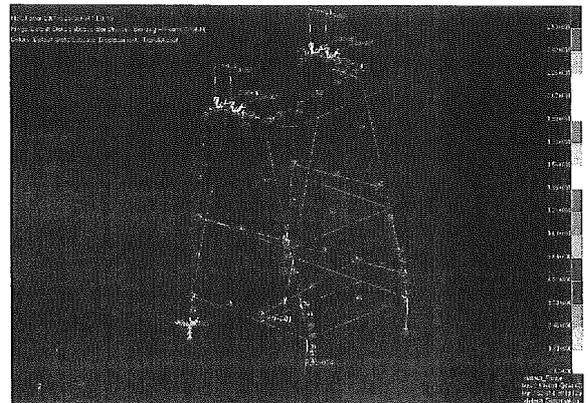
H Type Reinforcement Model

Fig.5.8 Analytical Condition

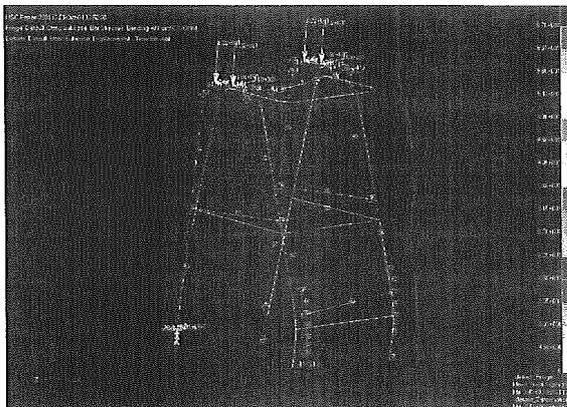
d)解析結果



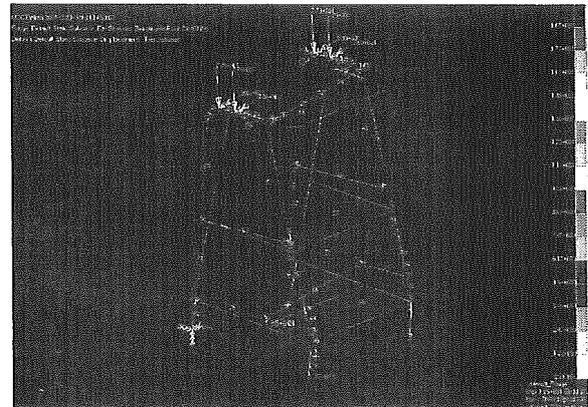
$\phi 19$, t2mm, Prototype Model



$\phi 19$, t2mm, H Type Reinforcement Model



$\phi 22$, t2mm, Prototype Model

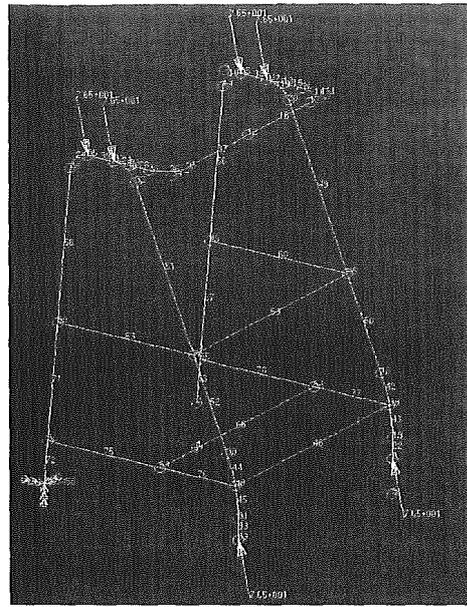
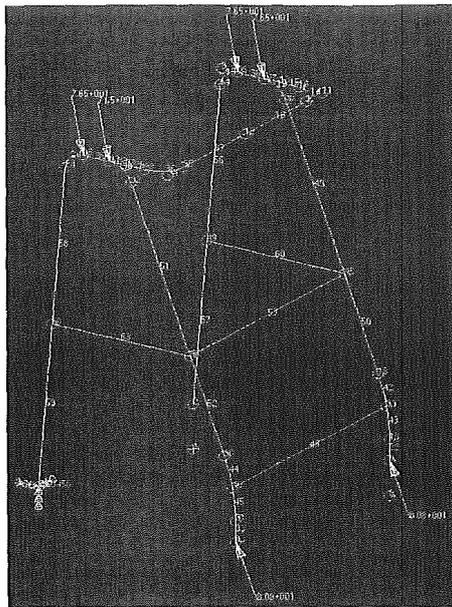


$\phi 22$, t2mm, H Type Reinforcement Model

Fig.5.9 Analytical Result

(5)解析条件：後ろ固定（前進衝突）

ここでは、後輪右側を固定した時にフレーム上部、前輪に加わる荷重の静止状態について解析した。

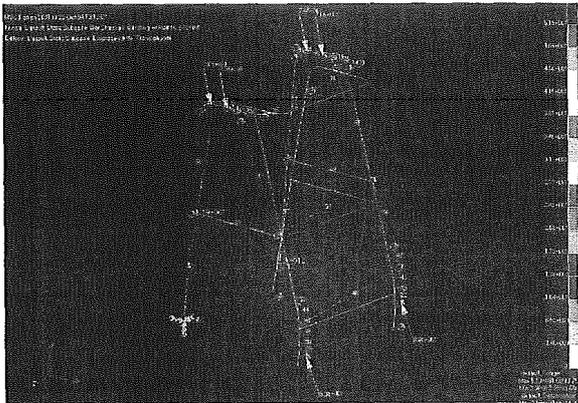


Prototype Model

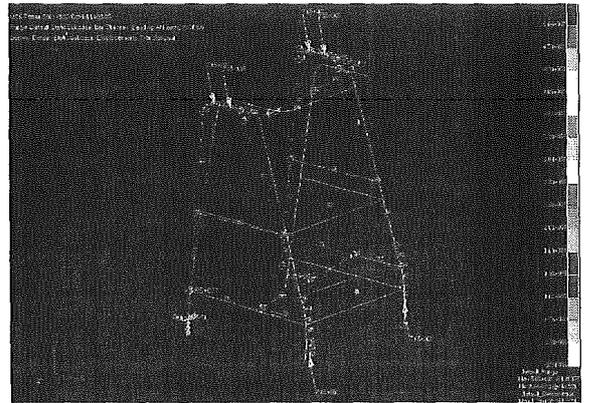
H Type Reinforcement Model

Fig.5.10 Analytical Condition

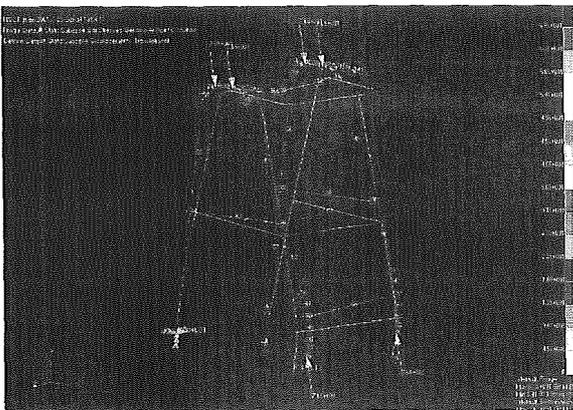
e)解析結果



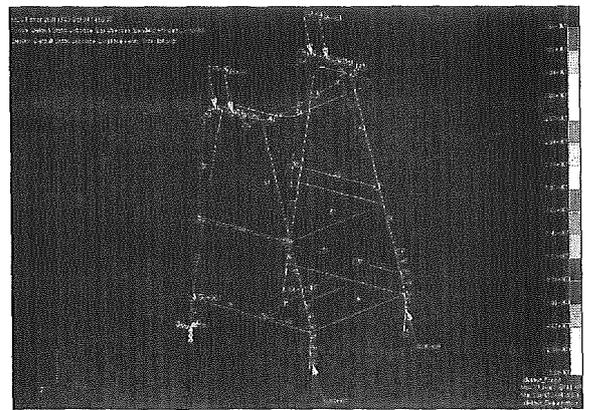
$\phi 19, t2\text{mm}$, Prototype Model



$\phi 19, t2\text{mm}$, H Type Reinforcement Model



$\phi 22, t2\text{mm}$, Prototype Model

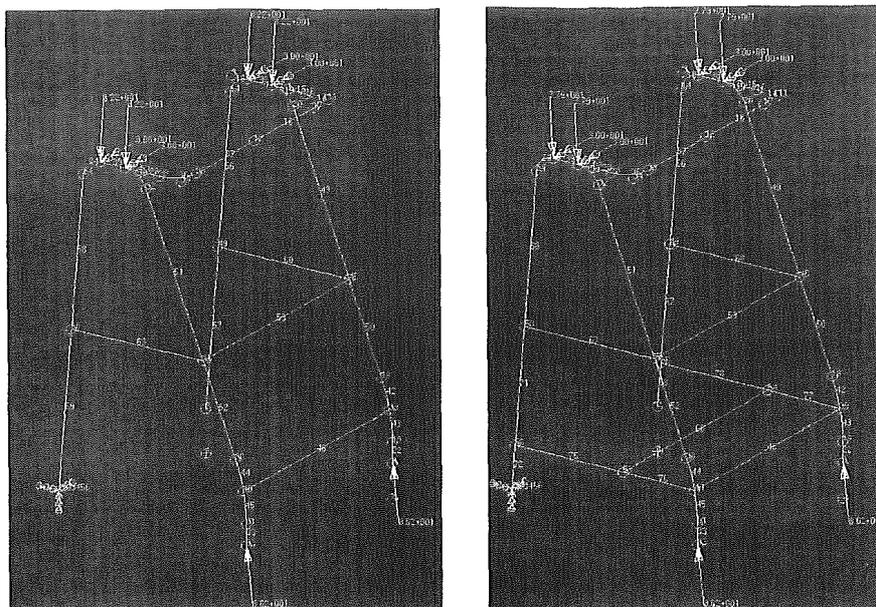


$\phi 22, t2\text{mm}$, H Type Reinforcement Model

Fig.5.11 Analytical Result

(6)解析条件：後ろ固定（旋回衝突）

ここでは、後輪右側を固定した時にフレーム上部、前輪に加わる荷重の静止状態について解析した。

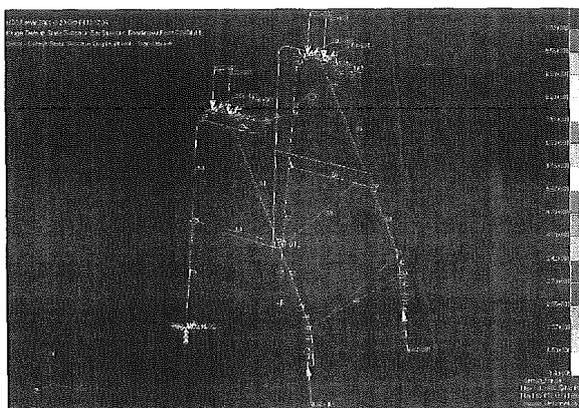


Prototype Model

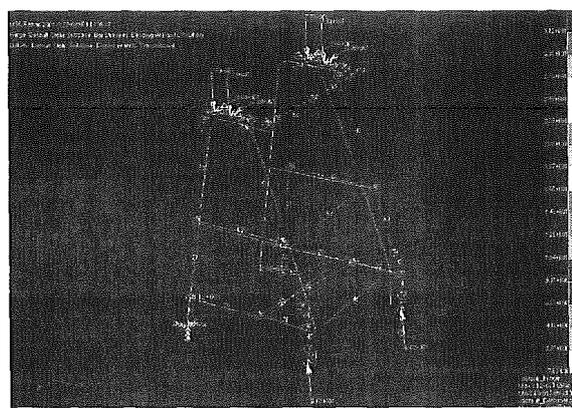
H Type Reinforcement Model

Fig.5.12 Analytical Condition

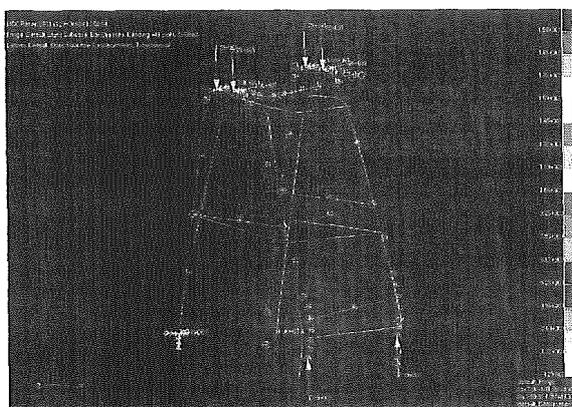
解析結果



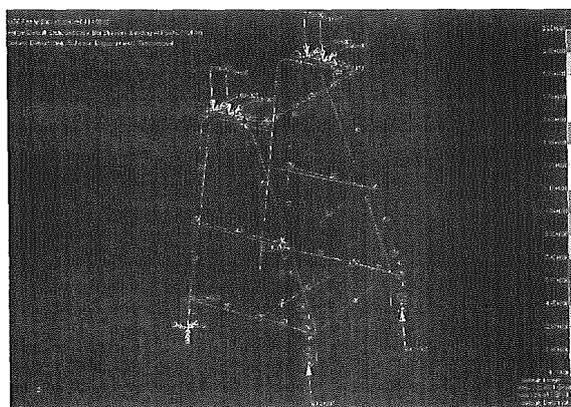
$\phi 19, t2\text{mm}, \text{Prototype Model}$



$\phi 19, t2\text{mm}, \text{H Type Reinforcement Model}$



$\phi 22, t2\text{mm}, \text{Prototype Model}$



$\phi 22, t2\text{mm}, \text{H Type Reinforcement Model}$

Fig.5.13 Analytical Result

5.2.3 まとめ

以上のことをまとめ、図 5.14 に示す。これは、(1)~(6)までの解析条件の結果を示したものである。この結果から見ても分かるように、応力に対してバランスの良い形状は、パイプ径： $\phi 22[\text{mm}]$ ，肉厚： $t2[\text{mm}]$ ，H型補強モデルである。次にこのH型補強モデルに対し静的特性の検証を行う。

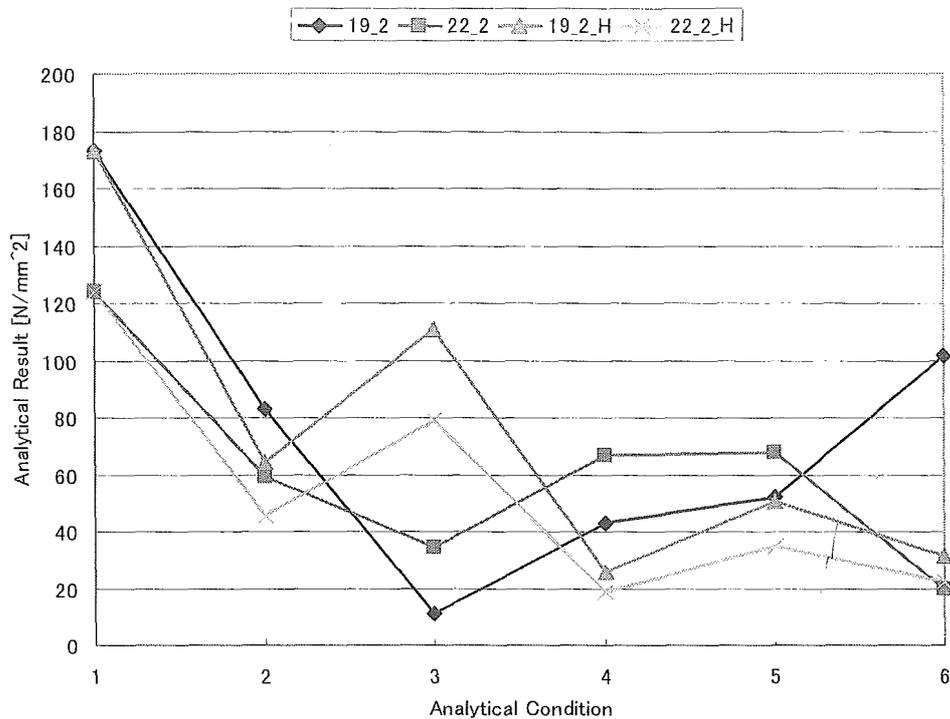


Fig.5.14 Summary

5.3 静的特性の検証

5.3.1 目的

5.2 で出てきたモデルに対して、バッテリーなどを搭載した際に、どれほど通用するものなのか、またどの部分に補強が必要なのかを調べることにする。モデルに関しては図 5.1 の H 型補強モデル、パイプ径： $\phi 22[\text{mm}]$ ，肉厚： $t2[\text{mm}]$ ，バッテリー，モータ，制御基盤等の重さを搭載した条件下で計算をする。

5.3.2 解析条件・結果

MSC Nastran を使用して解析を行い、解析を容易にするために Beam モデルで行う。拘束条件，荷重条件については、(1)~(6)であり、その解析結果を示す。使用した材料はアルミである。これは、軽量化を図るために使用しており、アルミについての特性は表 5.2 に示す。

Tab.5.2 Materials Characteristics

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 [kN/mm ²]	70
横(せん断)弾性係数 [kN/mm ²]	26
ポアソン比	0.33

(3)解析条件：前固定（旋回モデル）

前輪右側を固定した時にフレーム上部に加わる荷重の静止状態について解析した。

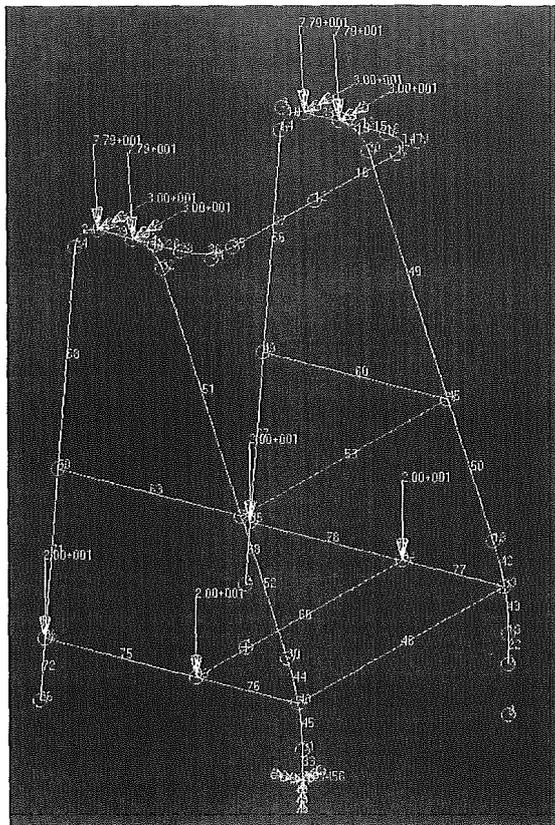


Fig.5.19 Analytical Condition

(4)解析条件：後ろ固定（旋回モデル）

後輪右側を固定した時にフレーム上部に加わる荷重の静止状態について解析した。

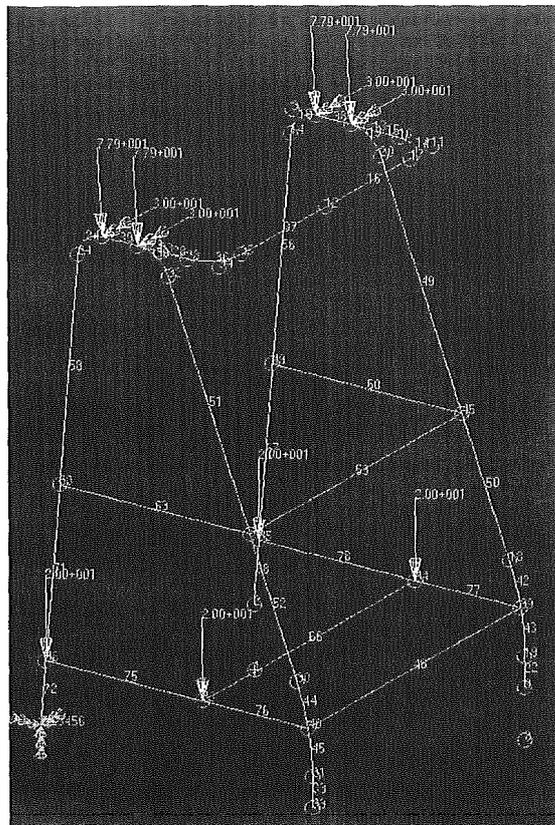


Fig.5.21 Analytical Condition

解析結果

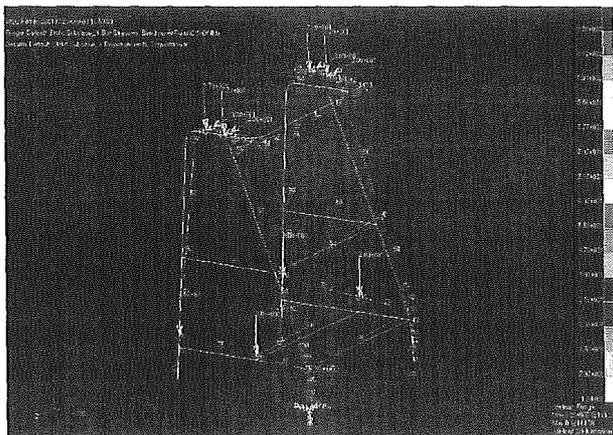


Fig.5.20 Analytical Result

解析結果

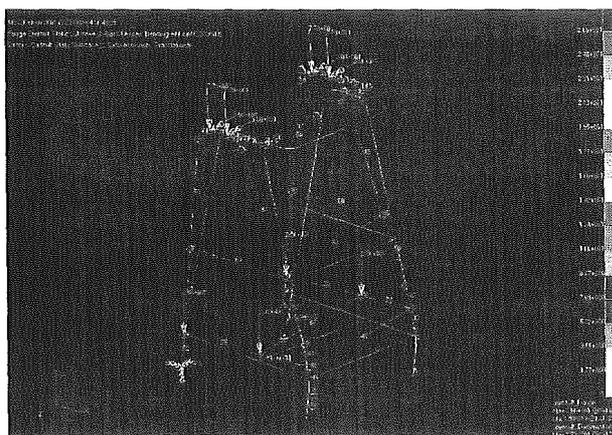


Fig.5.22 Analytical Result

(5)解析モデル：後ろ固定（前進衝突）

後輪右側を固定した時にフレーム上部，前輪に加わる荷重の静止状態について解析した。

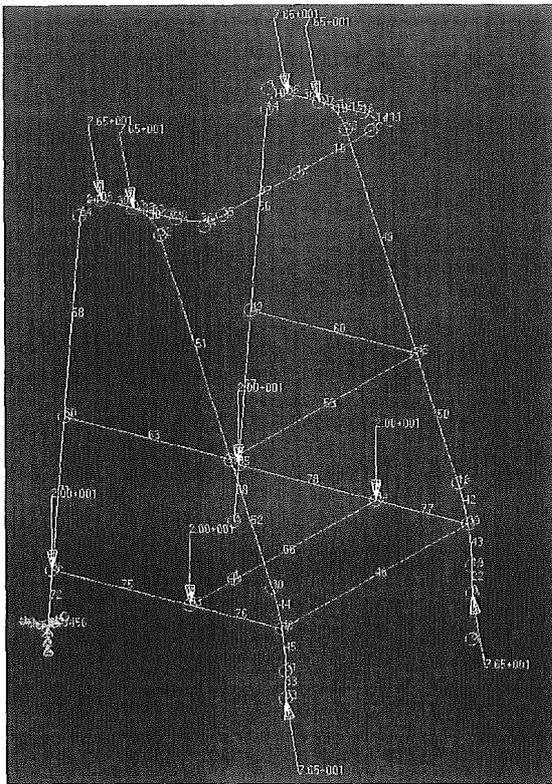


Fig.5.23 Analytical Condition

(6)解析条件：後ろ固定（旋回衝突）

後輪右側を固定した時にフレーム上部，前輪に加わる荷重の静止状態について解析した。

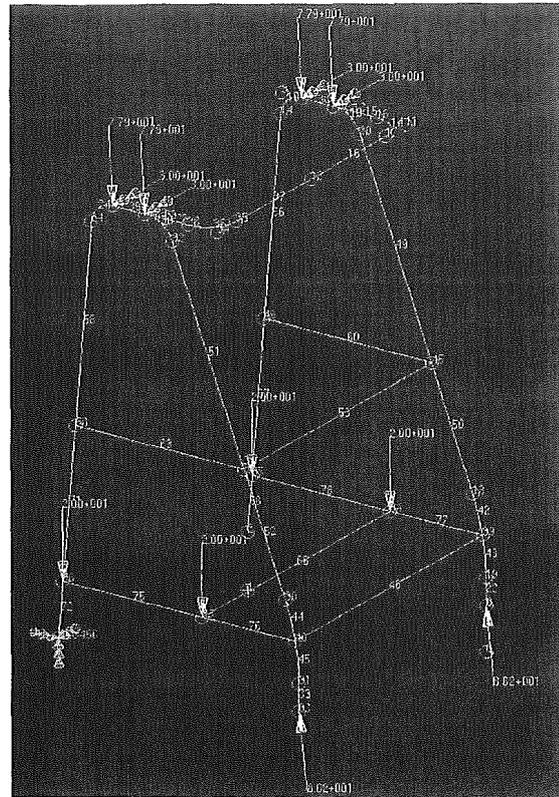


Fig.5.25 Analytical Condition

解析結果

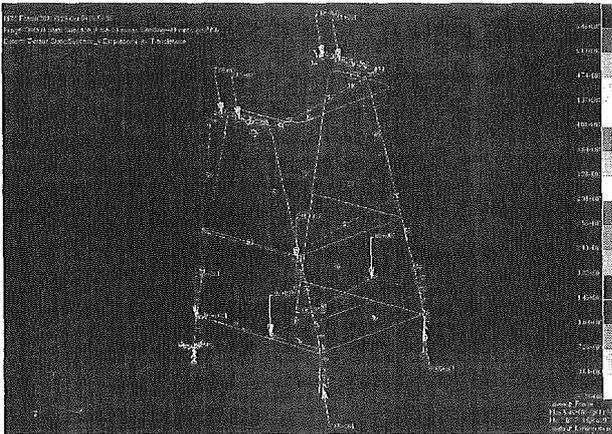


Fig.5.24 Analytical Result

解析結果

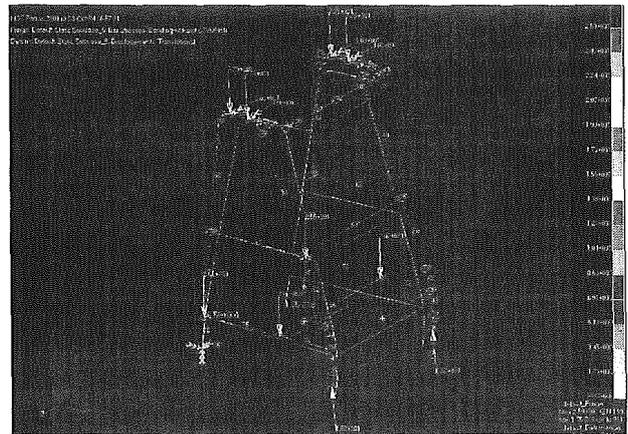


Fig.5.26 Analytical Result

5.3.3 考察

各解析条件において解析を行った結果，最も変位の大きい部分でさえ，アルミ材の耐力値よりも少なく，非常に良い値を取っている。つまり，オリジナルフレームにH型の補強を足すことによって，これらの静荷重にも耐え得ることができることが分かった。よって，このモデル形状で試作機を組み上げることにする。

5.4 試作機の構成

主な構成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ホイールイン ER 流体ブレーキを駆動するアシスト型支援機である (図 5.27)。被支援者が押す格好で使用し、前後進または旋回のためのアシスト力発揮するためのドライブユニットが左右後輪に取り付けられている。その制御は被支援者の操作力、被支援者と機器の相対距離、路面の傾斜などによって行われる。タイヤは空気入りタイヤを使用し、将来的にはサスペンションとの併用により使用感と接地性を高める。駆動源としては 2 次電池を使用する。重量物を低い位置に配置し低重心化し、安定性の向上を図り、その特徴は以下の通りである。また、表 5.3 に主要諸元を示す。

- (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

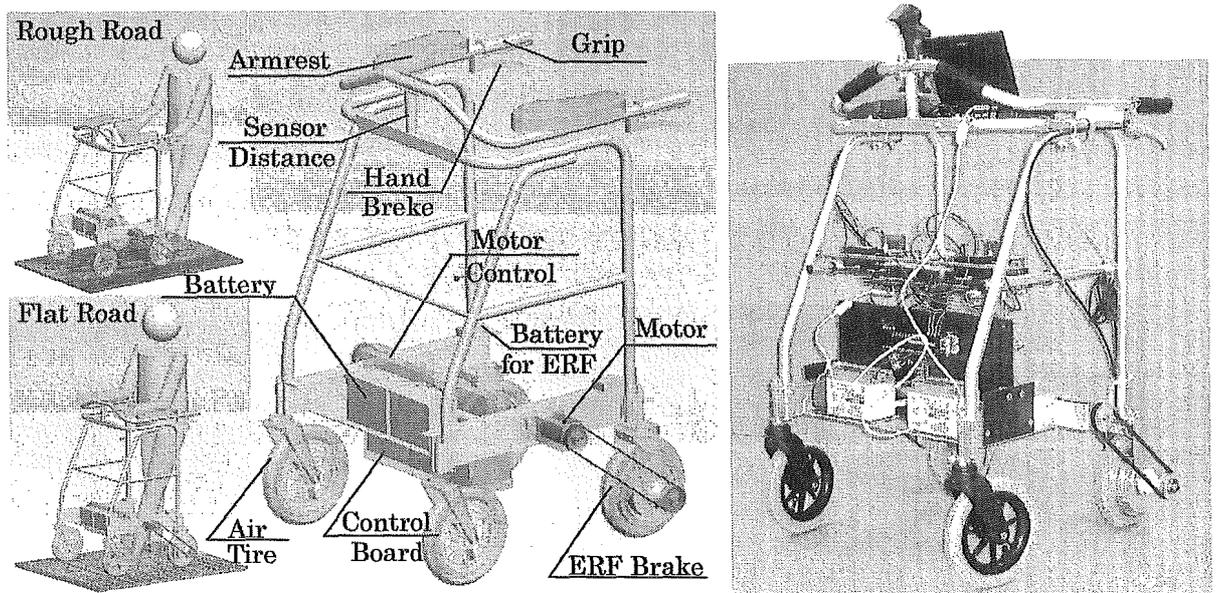


Fig.5.27 Construction

また、支援機の基本機能は

- (1) 筋消費エネルギー低減による移動範囲の拡大

1-1 平地の歩行と同様に坂道の歩行においても、電動支援機に体重の一部を預けるため、足関節、膝関節、股関節に発生するモーメントが小さくなり下肢の筋消費エネルギーが低減する

1-2 ハンドルによる上肢姿勢の支援

- (2) ブレーキによる被支援者の転倒防止
- (3) ガタ路、段差通過時の振動絶縁機構の向上 (利用者のハンドルへの反力低減)
- (4) 利用者の歩行意思に合わせた車輪駆動・制動力制御

である。

Tab.5.3 Specifications

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・ER 流体ブレーキ	
	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		50mm	
	溝乗り越え幅		120mm	

6章 操作系の考え方

6.1 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 (図 6.1)。

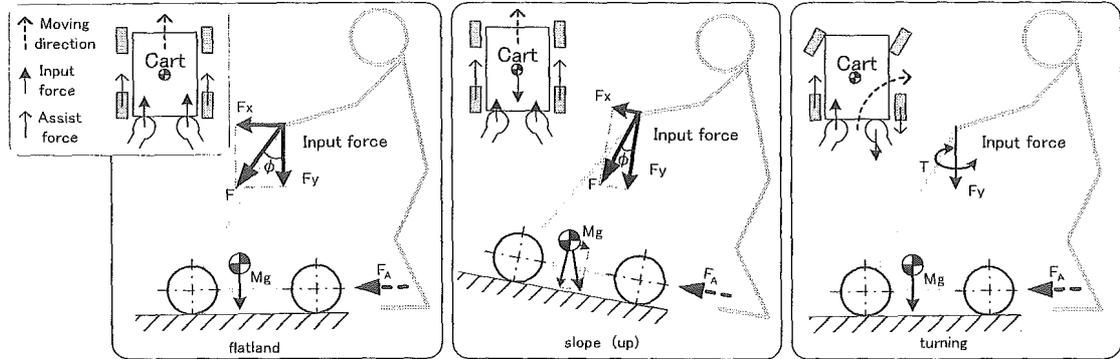


Fig.6.1 The movement image⁽⁴⁾

6.2 路面状況における制御システムの検証

a) 段差越えモード

段差越えモードのシステムを図 6.2 に示す。段差越えモードは段差高さによる区別はせずに障害の探知と乗り越えのみを行っている。

そのため、小さい段差に関しては特に処理を行わず、衝撃が発生する恐れがある。ただし、上の処理を段差の関数で調整しておけば、多少減速する程度の反応は可能になる。

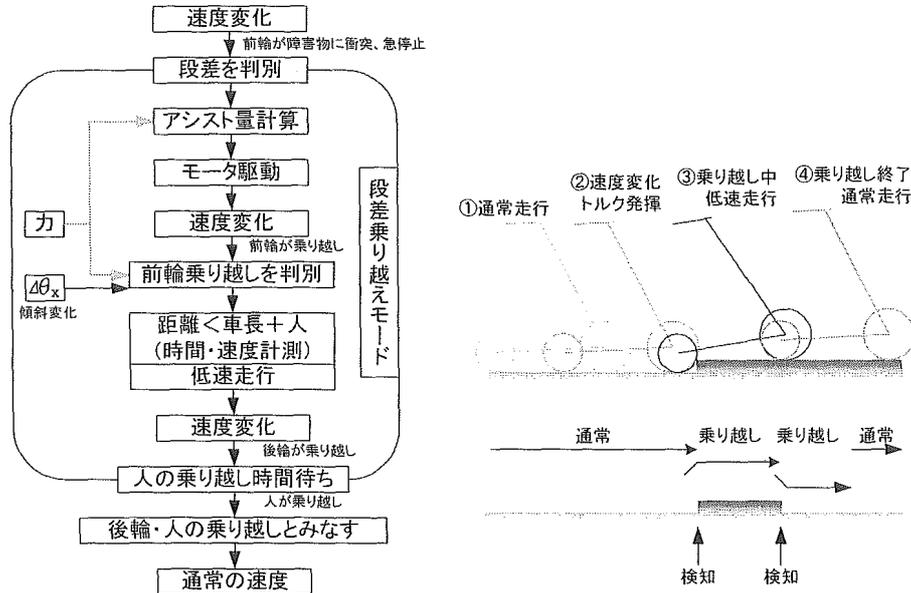


Fig.6.2 Bump Getting Over Mode

b) 傾斜路モード

傾斜路モードのシステムを図 6.3 に示す。傾斜路モードでは路肩への傾斜に応じて設定速度を下げる。人に合わせた速度で進むようにし、手元のアクセル操作により範囲内の増速を行う。

上り坂の終了後本人が登りきるまでは通常速度に戻らないようにしている。

設定速度に関しては、実測値を元に設定する。

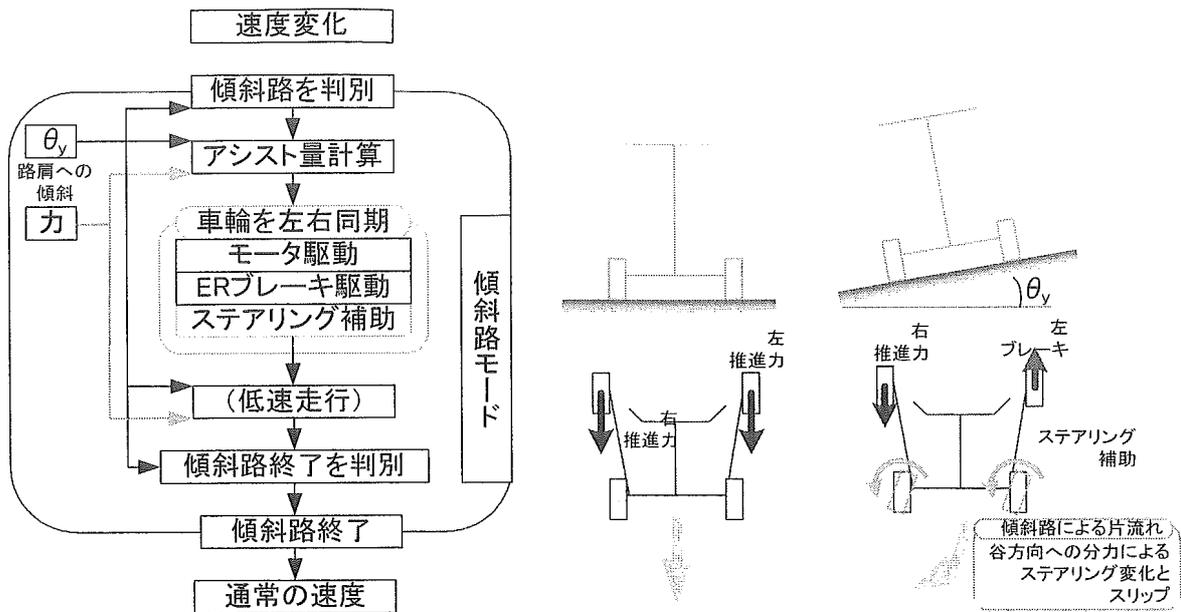


Fig.6.3 Inclination Road Mode

c) 上り坂モード

上り坂モードのシステムを図 6.4 に示す。上り坂モードでは上り坂の傾斜に応じて設定速度を下げる。人に合わせた速度で進むようにし、手元のアクセル操作により範囲内の増速を行う。

上り坂の終了後本人が登りきるまでは通常速度に戻らないようにする。

設定速度に関しては、実測値を元に設定する。

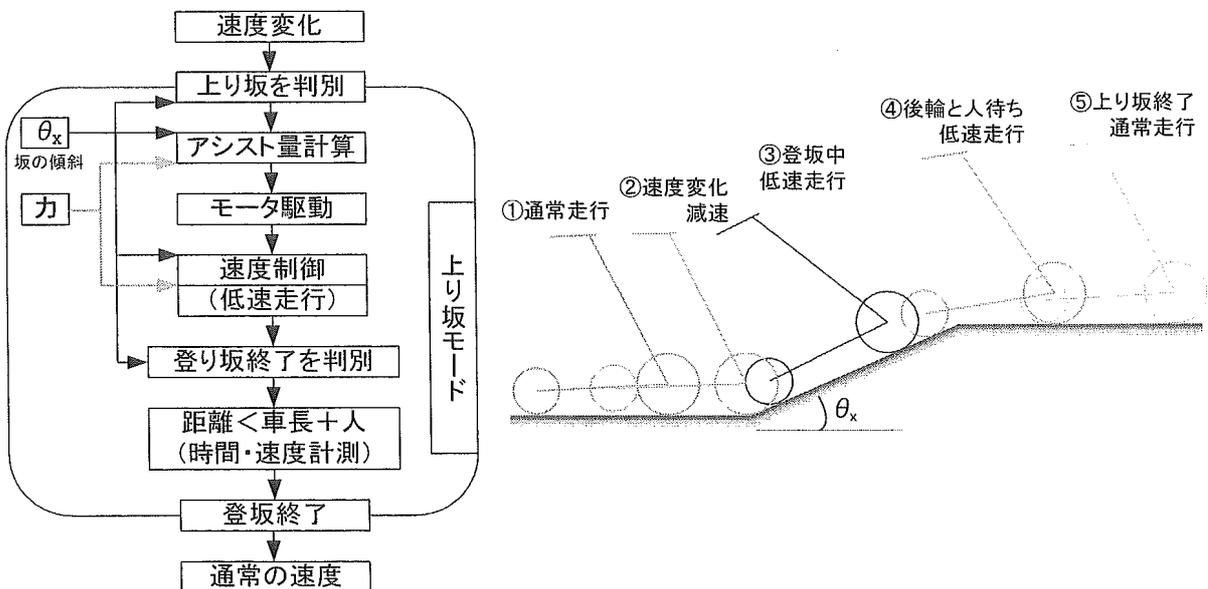


Fig.6.4 Acclivity Mode

d) 下り坂モード

下り坂モードのシステムを図 6.5 に示す。下り坂モードでは下り坂の傾斜に応じて設定速度を下げる。減速はブレーキ力アシストで行う。坂に応じた速度になるようブレーキをかける。

下り坂の終了後本人が降りきるまでは通常速度に戻らないようにしている。

設定速度に関しては、実測値を元に設定する。

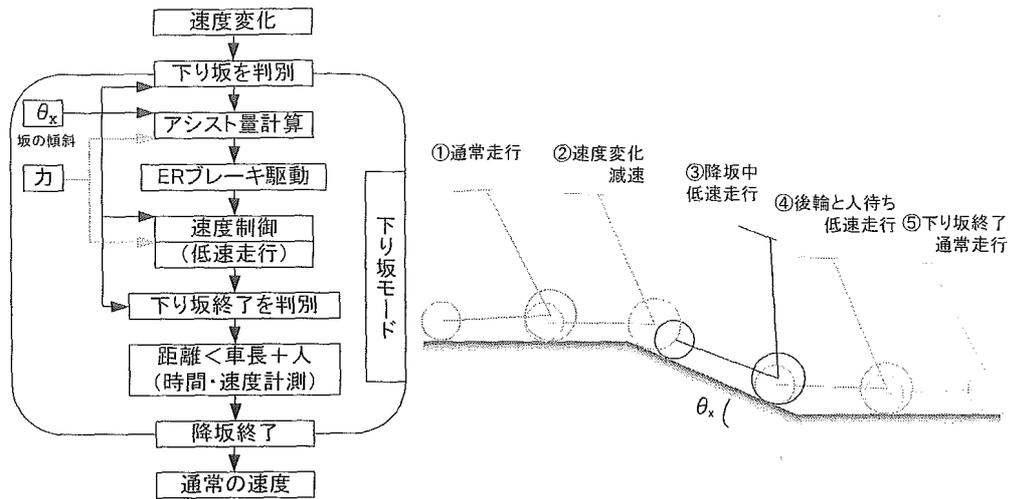


Fig.6.5 Downward Slope Mode

e) 平地モード

平地モードのシステムを図 6.6 に示します. 基本動作としては, ①距離を保つ②状態を監視③バランスを保つ, の3つを行う.

直進の維持を基本とし, 操作に従うよう両輪を制御する. 速度に関しては, 実験を元にした値を中心に人に合わせるようにする (加速パターンなど). 状態を監視し, それに応じた処理をする.

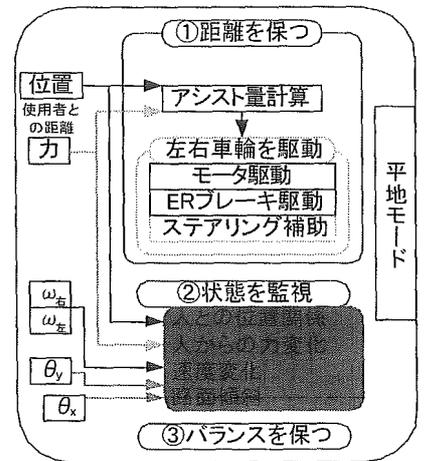


Fig.6.6 Plain Mode

6.3 制御システムの構築

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 (図 6.7).

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 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.

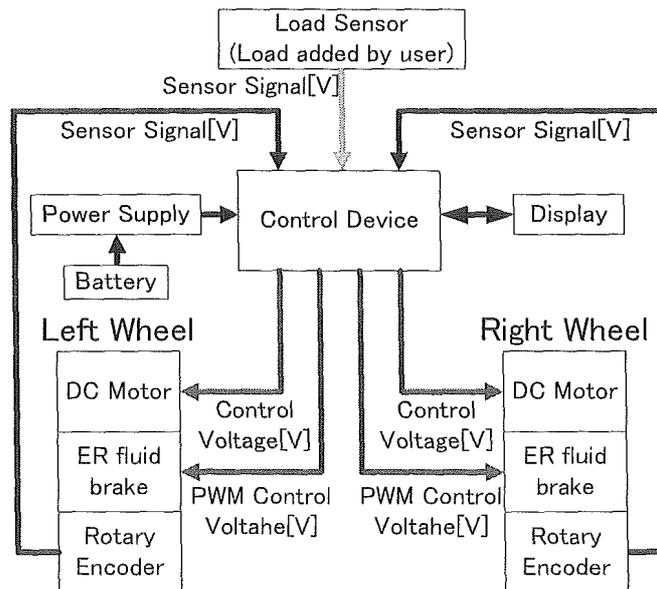


Fig.6.7 The system architecture⁽¹¹⁾

7章 結論

本研究では、ニーズ調査からコンセプトの抽出、そして歩行動作実験の基礎的なデータの検討から支援機の仕様を決定し、本体設計と制御システムの基本全体設計について取りまとめた。また、下記に本研究の成果をまとめる。

- 1) 高齢者らの現状把握と日常行動の特徴（行動パターン）を把握することができた（第1章）。
- 2) 開発の狙いとコンセプトについて、初年度の研究成果に補足を加えて整理した。その結果、今まで想定した幅広いターゲット層から、地域⇄医学⇄支援機の視点から対象者の歩行能力レベルと支援機の支援レベルのマッチングを図る必要性があることが分かった（第2章）。
- 3) 支援機の支援メカニズムの解明として、はじめに寸法が同じで異なるハンドル形状（握りタイプ・肘掛タイプ）の支援機を用いて被験者の歩行動作から、筋力に起因する負担評価、姿勢に起因する機器との関係とフィーリングに起因する使いやすさの総合評価を行い、負担軽減度、体幹の安定効果、使いやすさの関係を評価した。その結果、被支援者の歩行条件や使用環境（ガタ路、平坦路、登降路）によって使い分けられるハンドル形状（握りタイプ・肘掛タイプ）が有用であることが分かった（第3章）。
- 4) 次に健常な高齢者と学生の歩行パターンについて比較検討するために、支援機のハンドル部に力センサを取り付けて、被支援者から支援機に加える力を計測した結果、被支援者からの力の変動と手足の動きについて、表 3.21 のような特徴を表すことができる（第3章）。
- 5) 駆動・制動ユニットを設計するにあたり、段差乗越し、登降の悪路に対して必要なアシスト（片輪 5[N.m]）・ブレーキ力（片輪 6[N.m]）を求めた。次に、伝動方式（表 4.18, 19）や駆動方式（表 4.20, 21）についてまとめ、そのアイデアを整理し設計に生かした（図 4.22）（第4章）。
- 6) 開発基本計画構想では、支援機に必要な寸法値から各コンポーネントのレイアウトを検討し、静的特性の検証としてフレームの強度計算を行った。これらの結果を用いて、試作機の基本構成と機能を決定した（図 5.27, 表 5.3）。パワーアシスト・ブレーキ機能や 2WAY 方式のハンドルなどの分野では他に類を見ない斬新なデザインを考案することができた（第5章）。
- 7) 操作系の考え方として、制御を行う電気系と制御フローについて検討し、路面状況における制御システムについて検証を行い試作機における制御システムの構築をした（第6章）。

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支援機と比較し、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確認する必要性がある。その上で、構造の評価と操作フィーリング向上のための制御パラメータの調整と試作機の改良を進めていく。

本研究開発プロジェクトでは、高齢社会での生活充実と拡大を目指し、寝たきり状況回避への支援に着目し、歩行を支援する機器の開発をすることにより、高齢者らが安全かつ安心して負担なく歩くことを楽しむことができる生活環境づくりに寄与したいと考えている。そのためにも、モニターとの対話を常に前面に出して行い、色々な使用条件を満たすような調整機能を考慮するものとし、被支援者の身体レベルに合わせてカスタマイズすることを基準と考えている。また、一定のバリアレベルの地域と支援機との機能をマッチングするために、地域ごとのコミュニティとタイアップし、使用トレーニングやメンテナンス管理、地域との適合を図りたい。

最後に、本研究開発の成果普及や技術移転を通じて、新たな福祉介護機器産業の形成と地域経済の活性化に繋がることを期待する。