

Fig2 歩行支援機の制御システム

歩行支援機の制御システムは、Fig 2 に示すとおりである。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、駆動・制動デバイスに送られる。

また、ERF クラッチの制御は、PWM 信号を用いる。PWM 信号を用いることによって、一定の電圧をかけるときに比べて流体の劣化を遅らせることができる。

4. 駆動・制動デバイスについて

駆動・制動デバイスは、能動部と受動部が一体となったものである。駆動・制動デバイスの構造は、Fig3 に示す。

歩行支援機によるアシスト時には、ギヤドモータを駆動し、それによって発生した動力をベルトにより ERF クラッチに伝達する。ER 流体に加える電圧を制御することにより、適切な回転数でタイヤに動力を伝達する。

歩行支援機のブレーキ作用としては、ギヤドモータを停止させ、ERF クラッチとホイールとが一体になった受動部より延びている円盤軸を固定する。さらに、ERF クラッチに内蔵された円盤は、その周りを覆っている ER 流体に高電圧を掛けることにより、タイヤと直結しているホイールが固定される。その結果、歩行支援機に制動力を与える。

ERF クラッチの構造の概略は、Fig4 に示すとおりであり、左右の軸は同軸になっていない構造になっている。ER 流体が封入されている電極間の間隔は、0.5mm である。

ERF デバイスに用いる ER 流体とは、電場の印加によりその粘性が著しく増大し、電場を取り去ると元の粘性に戻る流体である。本研究では、粒子系 ER 流体と均一系 ER 流体を用いる。Tab1 に ER 流体について述べ、Fig5 に電圧印加時の ER 流体の状態を示す。

5. 駆動・制動デバイスの受動装置クラッチ部の特性

歩行支援機を制御するためには、ERF クラッチを制御する必要がある。そこで、ERF クラッチを制御する時に必要な、ERF クラッチの特性試験を行った。ERF クラッチの特性試験の実験装置のシステム構成は、Fig6 に示す。

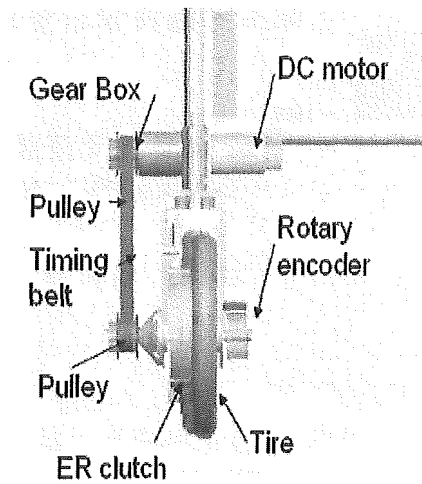


Fig3 駆動・制動デバイス

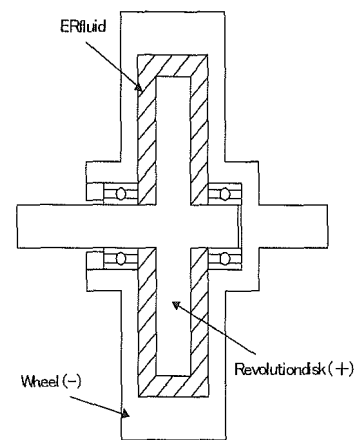


Fig4 ERF クラッチの断面図

Tab1:ER 流体の特徴

	粒子系 ER 流体	均一系 ER 流体
成分	・スルホン化ポリスチレン系樹脂	・側鎖型液晶ポリシロキサ
特徴	・ビンガム流動を現す。 ・電圧に対する応答速度は 1[msec]	・ニュートン流動を現す。 ・電圧に対する応答速度は 10[msec]
特性	・剪断速度の増加に対し、剪断応力は一定	・剪断速度の増に対し、剪断応力が増加

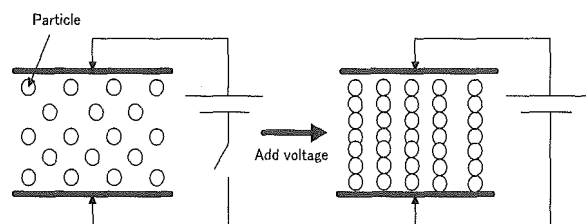


Fig5 電圧印加時の ER 流体の状態

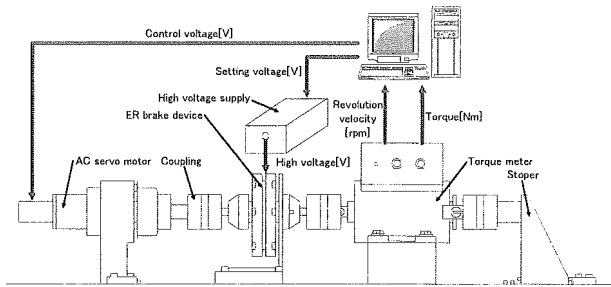


Fig6 実験装置のシステム構成

ERF クラッチに一定電圧を掛け、一定速度で回転させたときのモータからの伝達トルクの特性を、粒子系 ER クラッチでは Fig 7 に、均一系 ERF クラッチでは Fig 8 に示す。

粒子系 ERF クラッチは、回転速度が増加しても、伝達トルクは一定であるが、低速回転においては高速回転において発生する伝達トルクよりも大きくなる。

一方、均一系 ERF クラッチは、回転速度が増加すると伝達トルクも増加する。均一系 ERF クラッチは、粒子系 ERF クラッチの約 5 倍のトルクの伝達を行うことができる。回転速度が 100[rpm]を越えると、回転速度の増加による伝達トルクの増加が観られない。

印加電圧が 0[V]と 100[V]の時は、粒子系、均一系のどちらのクラッチでもトルク伝達は 0 に近い。

PWM 制御を行う上で必要な、パルス信号の電圧を掛け、一定速度で回転させたときのモータからの伝達トルク特性を測定した。印加電圧を 500[V]とし、パルス信号は、周波数 10[Hz]、パルス幅 90%とした。

Fig9 に示すように、一定の電圧印加と、パルス信号による電圧印加において、ほとんど同じ特性を得ることができた。ただ、粒子系において、低回転速度の時に一定電圧を印加した時よりも伝達トルクが弱くなるという特性が観られた。

6. おわりに

歩行支援装置に搭載する ERF デバイスの開発を行い、制御を行うためのクラッチ特性を調べるために、特性試験機を構築し、特性試験を実施した。粒子系、均一系のクラッチに一定電圧とパルス信号の電圧を印加した時における、回転速度に対するトルク特性を知ることができた。この実験結果を用いて、歩行支援機の最適な制御を行うプログラムの構築が実現できる。

7. 健康危険情報

特にありません。

8. 研究発表

総括研究報告書にまとめて記載する。

9. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

総括研究報告書にまとめて記載する。

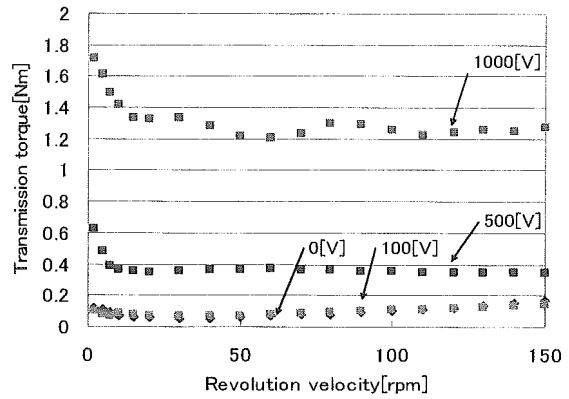


Fig7 粒子系 ERF クラッチの回転速度に対するトルク特性

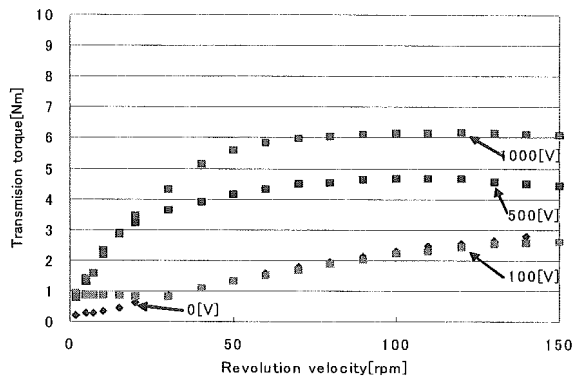


Fig8 均一系 ERF クラッチの回転速度に対するトルク特性

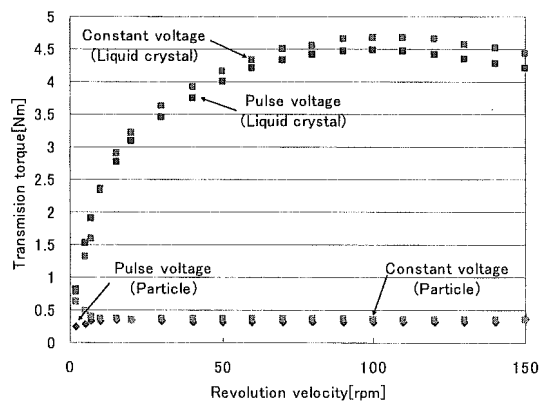


Fig9 パルス信号を用いた回転速度に対するトルク特性

「広域歩行支援装置の柔軟な操作性に関する研究」

目次

第1章 緒言

1.1 研究背景	140
1.2 研究目的	141

第2章 歩行支援装置について

2.1 はじめに	142
2.2 基本コンセプトの検証	142
2.2.1 走行時に必要なトルクの計算	142
2.2.2 段差乗り越しモデルを用いた検証	142
2.2.3 段差乗り越し時の最適条件の検討	143
2.2.4 段差を乗り越すために必要な事柄	144
2.3 歩行支援機の構成	146
2.4 歩行支援機の制御システム	147
2.5 歩行支援装置の走行パターン	147
2.5.1 段差乗り上がりモード	147
2.5.2 段差乗り下がりモード	149
2.5.3 上り坂モード	150
2.5.4 下り坂モード	151
2.5.5 平地モード	152
2.5.6 傾斜路モード	153
2.6 歩行支援アルゴリズム	154

第3章 駆動・制動デバイスについて

3.1 駆動・制動デバイスの構成要素	155
3.2 駆動・制動デバイスの駆動方法	157
3.3 駆動・制動デバイスの制動方法	159
3.4 ERクラッチに用いるER流体	161

第4章 駆動・制動デバイスの受動装置の特性実験

4.1 実験目的	163
4.2 実験内容	163
4.3 駆動・制動デバイスの受動装置の特性試験装置のシステム構成	163
4.4 ERクラッチの静特性実験結果	164
4.5 ERクラッチの動特性実験結果	166
4.6 ERクラッチのPWM制御について	169
4.6.1 粒子系ERクラッチ特性試験結果（パルス信号）	169
4.6.2 均一系ERクラッチ特性試験結果（パルス信号）	183
4.7 ERクラッチ特性試験結果のまとめ	185

第5章 歩行支援装置の次世代の駆動・制動デバイスの提案

5.1 ホイルインモータによる駆動・制動デバイスの構築	186
-----------------------------	-----

第6章 結言

6.1 結論	188
--------	-----

第1章 緒言

1.1 研究背景

高齢者や障害者を寝たきりにさせない対策や高齢者の残存機能を維持することの重要性が医学的見地から報告されており、最近ではできる限り車椅子依存とならないような対策をとることが奨励されてきている。このような状況から歩行支援装置の効果的な利用が期待されている。

Fig.1.1 は現行の歩行支援装置の一例であり、一般的によく用いられている歩行支援装置の一つである。しかし、これらの歩行支援装置は、杖とともに歩行機能の低下している人が使用する歩行補助具の一つでしかなく、機動性に乏しく、段差や障害物などの乗り越えが困難であり、高齢者や障害者のリハビリ装置として用いる時や自立を積極的にサポートする点では十分とは言えない。一方、病院内やリハビリテーションの現場などで用いられている歩行支援装置も数多く存在している。これらの中にはアクチュエータを搭載して動力のアシストが可能なものや転倒防止用の自動ブレーキを搭載したものなどが少数ながら登場してきている。

来るべき高齢化社会を考えると、現行の歩行補助具の一つでしかない歩行支援装置だけでは不十分であり、老具合や障害度に応じて多様な対応がとれる歩行支援装置を提供できる必要がある。例えば、数センチの段差乗り越えや登坂時に動力補助が可能となるようにアクチュエータを搭載したもの、転倒防止や降坂時に安全な制動が可能となる自動ブレーキを搭載したもの等が想定できる。そして同時に、ここで対象としているようなインテリジェントな歩行支援装置を利用するための社会的インフラを整備し、高齢者や障害者が意識せずに街中を問題なく歩行できるような環境を創設していくことも要請されていると言える。



Fig.1.1 従来型の歩行支援装置

1.2 研究目的

筆者らのグループは寝たきり者や車椅子利用者の軽減を目的として新型の歩行支援装置の開発に取り組んでいる。具体的には機能性流体の1つである ER 流体を応用した駆動・制動デバイスを支援装置の後輪に取り付けることにより、既存の歩行支援装置の問題点となる段差やガタ路における動力のアシストを可能とするだけでなく、走行時の安定性および停止時の安全性を確保しつつスムーズな機動性を実現させることを目指している。

本報において開発を進めている歩行支援装置のコンセプトについて言及し、後輪に取り付ける駆動・制動デバイスの構造および設計方針について解説を加える。さらに、並行して駆動・制動デバイスを制御するために必要な特性試験を進めているのでその結果についても紹介する。

第2章 歩行支援装置について

2.1 はじめに

自立サポートを必要としている高齢者や障害者の多くが新たな歩行機能を持った機器を望んでおり、機器に関してニーズ調査を行った結果より、新たに開発を行う歩行支援装置の開発基本コンセプトを以下のように設定した。

- (1) 高齢者や障害者に対する歩行モードの設定を行う。
- (2) 旋回時の方向転換半径をできるだけ小さくし、容易に旋回できるようにする。
- (3) 歩行支援時に歩行支援装置が時速 4[km]で走行できるように動力アシストを行う。
- (4) 凸凹路に対応可能とし、最大段差乗り越し高さは 50mm、登坂能力を 15[deg]とする。
- (5) 制御系は信頼性を重視し、バックアップ機能を装備する。
- (6) 質量は最大で 20kg とし、できるだけ軽量化を計る。

2.2 基本コンセプトの検証

2.2.1 走行時に必要なトルクの計算

基本コンセプトで示した走行を実現するために必要トルクの計算を行う。

歩行支援のためのアシスト機能として、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構成する。制動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。

コンセプトでは最大登坂能力は 15[deg]となっている。また、実験では、歩行器に 200[N]の力が加わっていた。コンセプトより、歩行補助機の自重 15[kg]、車輪径 200[mm]であるから、タイヤの駆動・制動トルクは、

$$\frac{(20+15)\sin 15^\circ}{0.2/2} = 8.9 \quad [\text{Nm}]$$

以上あればよいことになる。これは左右の合計であるから、片側につき約 5 [Nm]あれば十分である。

2.2.2 段差乗り越しモデルを用いた検証

Fig.2.1 に段差乗り越えモデルを示す。タイヤ半径： r [m]、ボディー重量： M [kg]、摩擦係数： μ とすると、段差乗り越しの条件では次のよう関係が成り立つ。

$$r \sin \theta (F \cos \delta + Mg) > r \cos \theta (F \sin \delta - \mu Mg) \quad (2.1)$$

$$r \cos \theta + 0.05 = r \quad (2.2)$$

(2.1), (2.2)より

$$F > -Mg(\sin \theta + \mu \cos \theta) / (\cos \delta \sin \theta - \sin \delta \cos \theta)$$

となり、段差を乗り越えるための条件が導出される。ここではタイヤ・道の摩擦係数 $\mu = 0.2$ と仮定して計算を行うものとする。

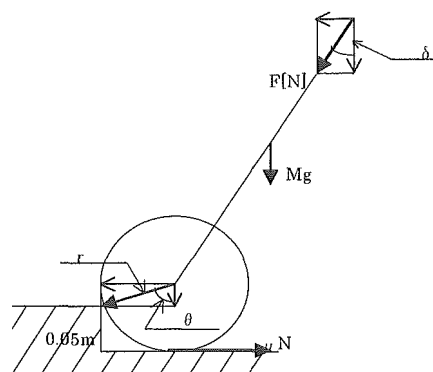


Fig.2.1 段差乗り越えモデル

2.2.3 段差乗り越し時の最適条件の検討

Tab.2.1に示す要因と水準を直交表によって組み合わせた計算結果から得た最適結果を Tab.2.4に示す。

Tab.2.1 要因と水準の組み合わせ表

Factor name / Level	①	②	③	④
Tire radius [m]	0.06	0.08	0.10	0.12
Weight [kg]	5	10	15	20
Direction of load [deg]	90	120	150	180

Tab.2.2 組み合わせごとの最適結果

	Tire radius[m]	Weight[kg]	Direction of load[deg]	Force [N]
NO.1	0.06	5	90	291
NO.2	0.06	10	120	152
NO.3	0.06	15	150	155
NO.4	0.06	20	180	197
NO.5	0.08	5	120	58.1
NO.6	0.08	10	90	244
NO.7	0.08	15	180	148
NO.8	0.08	20	150	185
NO.9	0.1	5	150	43.0
NO.10	0.1	10	180	99.1
NO.11	0.1	15	90	258
NO.12	0.1	20	120	1983
NO.13	0.12	5	180	50.0
NO.14	0.12	10	150	81.1
NO.15	0.12	15	120	133
NO.16	0.12	20	90	277

Tab.2.3 属性と水準の最適な組合わせに関する分析結果

	次数	自由度	変動	分散	分散比	危険率	純変動	寄与率
タイヤ 半径[m]	1次	1	8.01E+03	8.01E+03	1.16E+01	*	7.32E+03	7.47%
	2次	1	6.55E+02	6.55E+02	9.52E-01		0.00E+00	0.00%
	3次	1	2.51E+02	2.51E+02	3.65E-01		0.00E+00	0.00%
重量[kg]	1次	1	2.32E+04	2.32E+04	3.37E+01	**	2.25E+04	22.98%
	2次	1	4.92E+01	4.92E+01	7.15E-02		0.00E+00	0.00%
	3次	1	5.00E+01	5.00E+01	7.27E-02		0.00E+00	0.00%
荷重角 [deg]	1次	1	4.07E+04	4.07E+04	5.92E+01	**	4.00E+04	40.86%
	2次	1	1.94E+04	1.94E+04	2.83E+01	**	1.87E+04	19.14%
	3次	1	1.48E+03	1.48E+03	2.15E+00		7.93E+02	0.81%
誤差		6	4.13E+03	6.88E+02			8.57E+03	8.75%
合計		15	9.80E+04				9.80E+04	100.00%

F(0.05) = 5.987378

F(0.01) = 13.74502

Tab.2.3 は最適（最低限の力）な段差乗り越しを行うためにどの属性が影響し、どの水準の組合わせが最適であるかを評価している分析結果である。

2.2.4 段差を乗り越すために必要な事柄

以上の解析結果より、段差を乗り越すのに必要な事柄について整理しておく。

<重量について>

重量が軽ければ軽いほど段差乗り越しが容易にできる。ここでは一輪にかかる重量分配を5[kg]とする。

<荷重方向について>

段差に対し、斜め上方向に引き上げる力を必要とする。ここでは引き上げる力（荷重方向）を143[deg]とする。

<タイヤ半径について>

半径が大きければ大きいほど段差乗り越しにかかる力は小さくなる。しかし、タイヤ径を大きくしすぎると、重量がその分だけ重くなる。さらに、操舵に関しても余分な力を必要とされる。そこで、重量、荷重方向は一定値とし、タイヤ半径の値のみを0.08~0.12[m]の間にとり、計算した。その結果はTab.2.4に示すとおりである。

Tab.2.4 タイヤ半径の違いによる最適値の変化（その1）

Tire radius [m]	Body weight [kg]	Direction of load [deg]	Force [N]
0.08	5	143	47.40
0.10	5	143	43.25
0.12	5	143	40.38

また、段差を乗り越すのに必要なトルクを計算するとは Tab.2.5 のようになる。

Tab.2.5 タイヤ半径の違いによる最適値の変化（その2）

Tire radius [m]	Force [N]	Torque[Nm]
0.08	47.40	3.79
0.10	43.25	4.33
0.12	40.38	4.85

以上より、50[mm]の段差を乗り越すための条件は Tab.2.6 のようになり、モータによるアシストが 5[Nm]あればよいことになる。

Tab.2.6 50[mm]の段差を乗り越すための諸条件

Tire radius [m]	Body weight [kg]	Direction of load [deg]	Force [N]
0.12	5	143	40.38

2.3 歩行支援装置の構成

開発基本コンセプトをもとにして検討を進めた結果、Fig.2.2 に示す歩行支援装置の基本レイアウトを構築し、実際に歩行支援装置を作成した。全体のサイズは幅 550mm，奥行き 700mm であるのに対し、支持部の高さは使用者の体形に応じて 800~900mm で調節可能となっている。フレームは中空の軽量部材を用い、制御装置とバッテリーをフレーム中空スペースに内蔵し、小型化を計る。駆動・制動デバイスは両後輪に装着し、モータよりベルトを介して ER クラッチに動力が伝達される。モータと ER クラッチを制御することによりタイヤに動力と制動力の両方の伝達が可能となる。

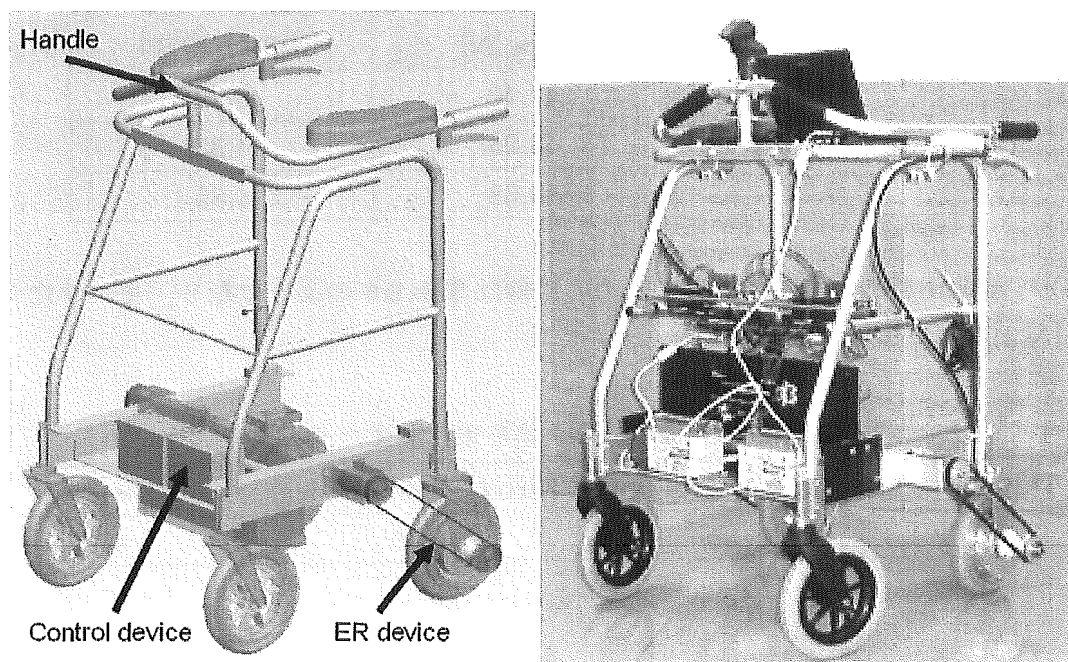


Fig.2.2 歩行支援装置

歩行支援装置の構成要素は、Tab.2.7 のとおりである。

Tab.2.7 歩行支援装置の構成要素

構成機器	内容
ハンドル	ユニバーサルデザインより、利用者が使いやすい形状を導く。
前輪	旋回を行うときに、旋回半径を小さくすることができる機構を選択する。
後輪	駆動・制動デバイスを搭載し、受動と能動が1つのデバイスで行うことができる。
バッテリー	容量が 4.0[AH/10HR]で、重量が 1.5[kg]のものを使用する。

2.4 歩行支援装置の制御システム

歩行支援装置の制御システムについて Fig.2.3 に示すとおりである。

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、駆動・制動デバイスに送られる。

また、ER クラッチの制御は、PWM 信号を用いる。PWM 信号を用いることによって、一定の電圧をかけるときに比べて流体の劣化を遅らせることができる。

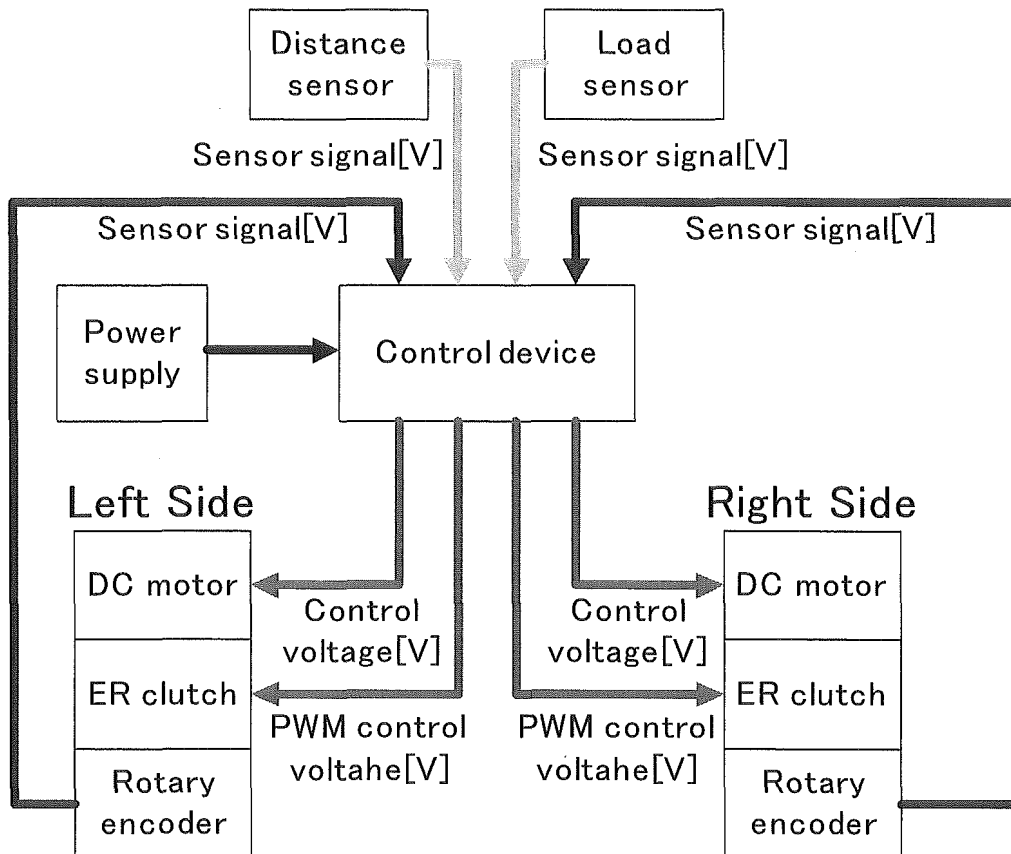


Fig.2.3 歩行支援装置の制御システム

2.5 歩行支援装置の走行パターン

ここでは、歩行支援装置の走行パターンの制御方法について述べていく。

2.5.1 段差乗り越えりモード

段差乗り越えりモードのシステム概要について Fig.2.4~5 に示す。

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。

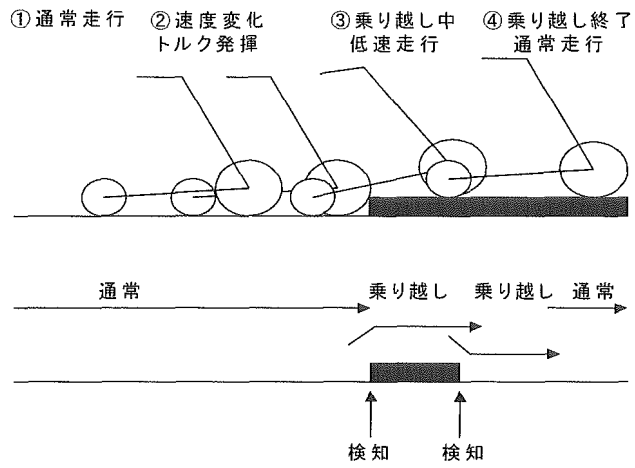


Fig.2.4 段差乗り上がり時の歩行支援装置の動作説明

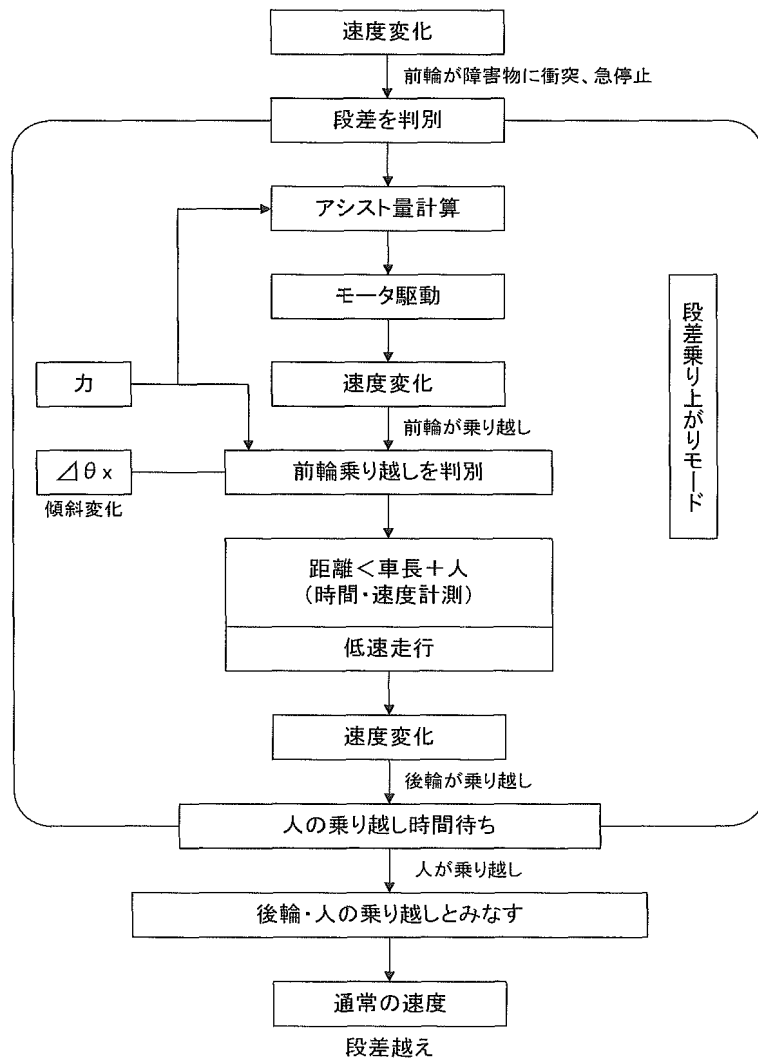


Fig.2.5 段差乗り上がりモードのアルゴリズム

2.5.2 段差乗り下がりモード

段差乗り下がりモードのシステム概要について Fig.2.6～7 に示す。

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。

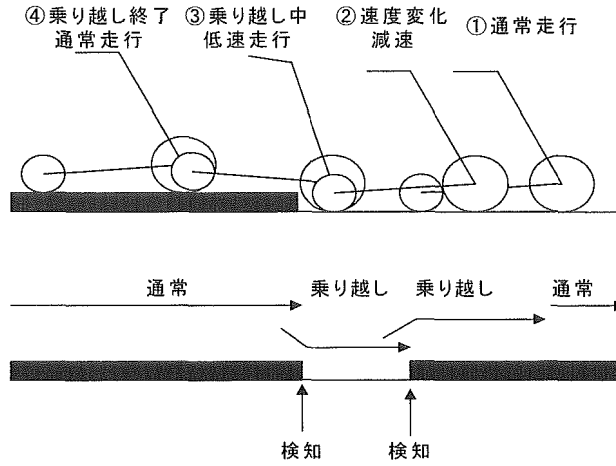


Fig.2.6 段差乗り下がり時の歩行支援装置の動作説明

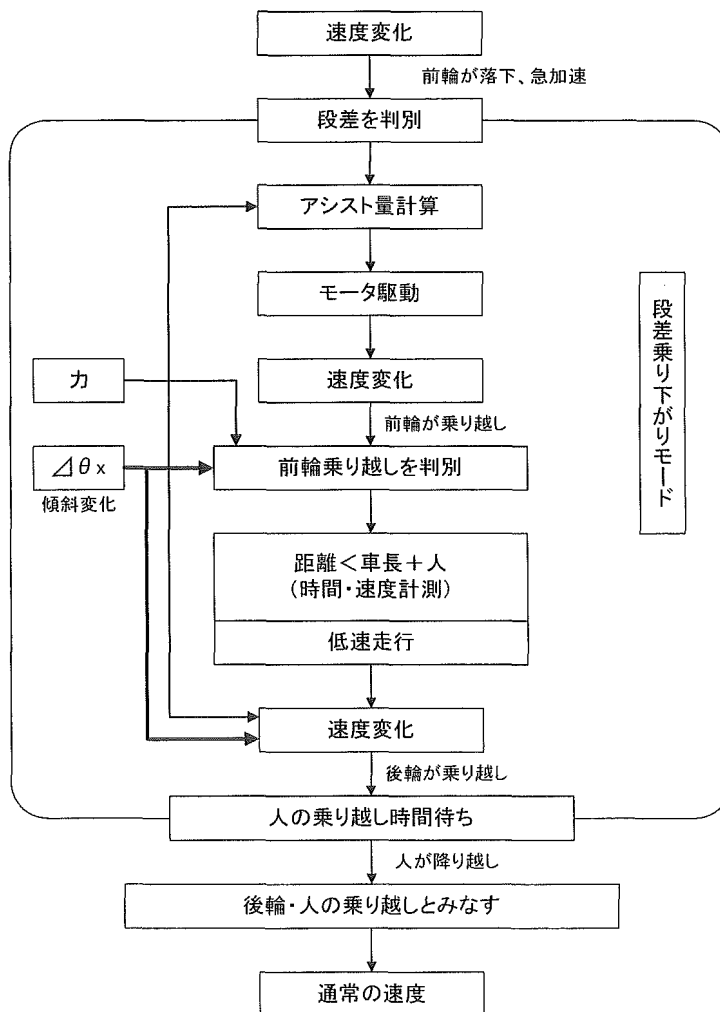


Fig.2.7 段差乗り下がりモードのアルゴリズム

2.5.3 上り坂モード

上り坂モードのシステム概要について Fig.2.8～9 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。

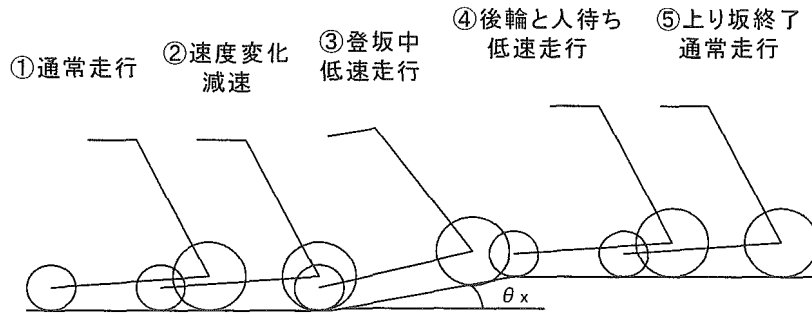


Fig.2.8 上り坂時の歩行支援装置の動作説明

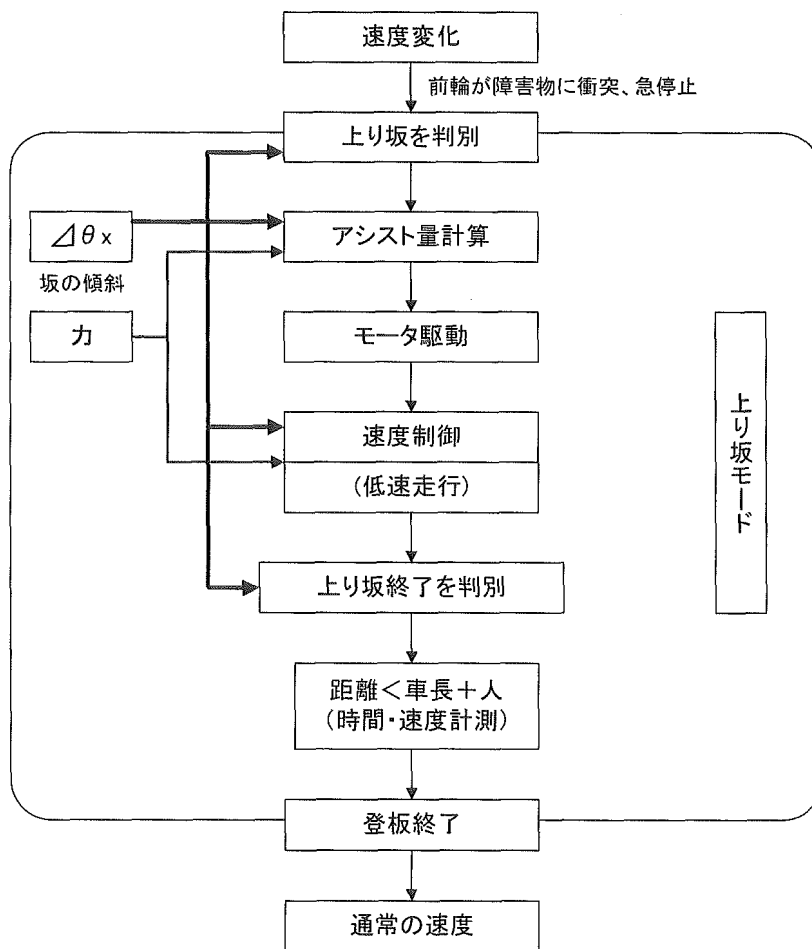


Fig.2.9 上り坂モードのアルゴリズム

2.5.4 下り坂モード

下り坂モードのシステム概要について Fig.2.10～11 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。

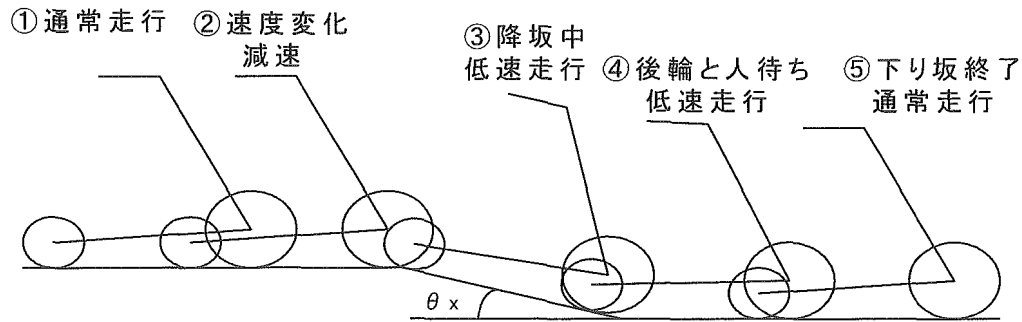


Fig.2.9 下り坂時の歩行支援装置の動作説明

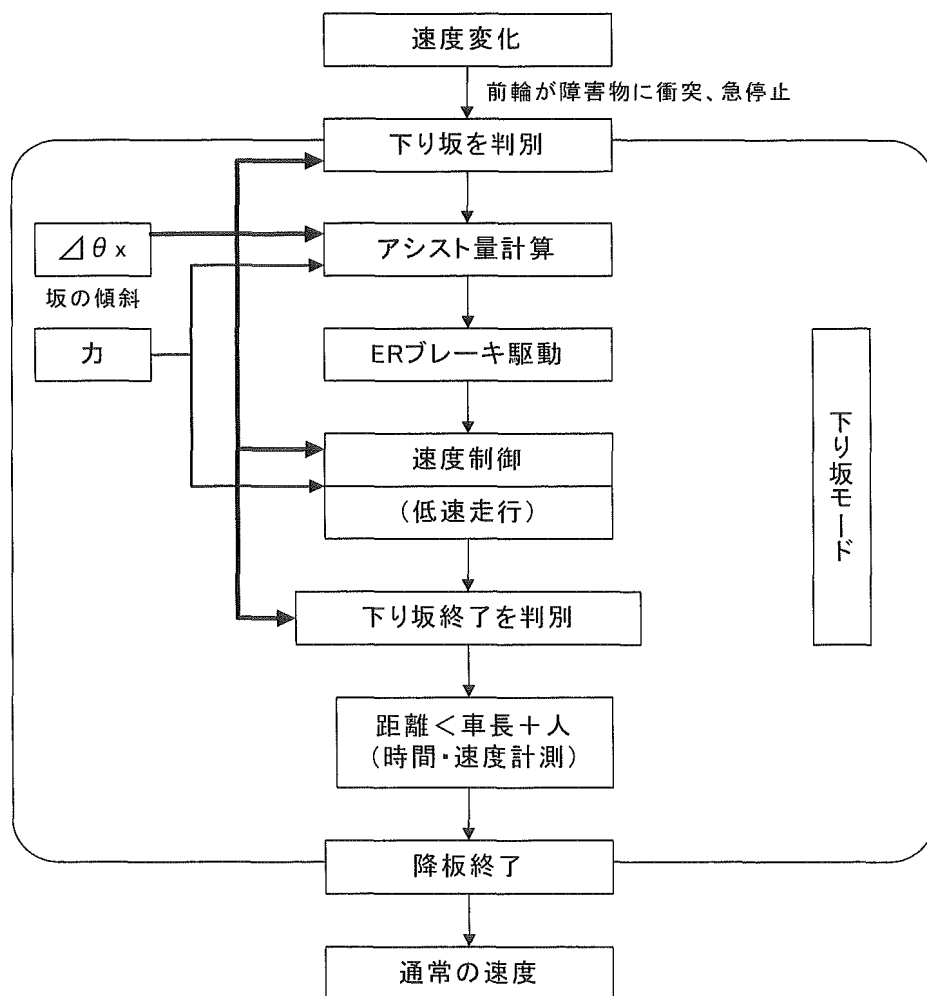


Fig.2.11 下り坂モードのアルゴリズム

2.5.5 平地モード

平地モードのシステムを Fig.2.12 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.

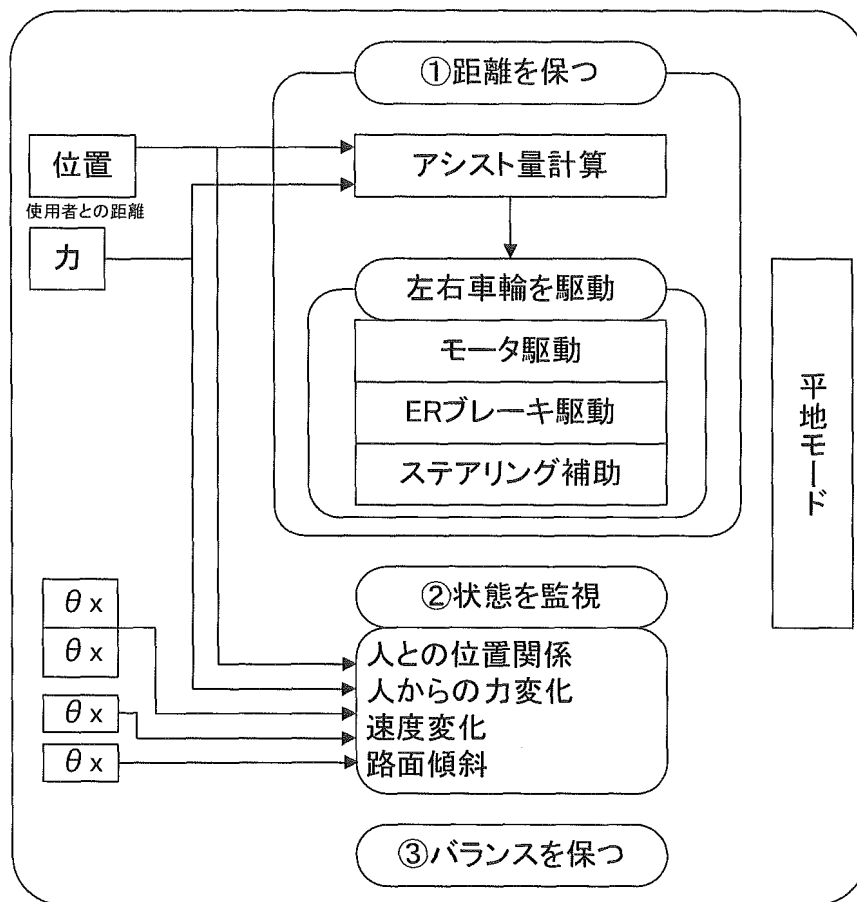


Fig.2.12 平地モードのアルゴリズム

2.5.6 傾斜路モード

傾斜路モードのシステムを Fig.2.13 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.

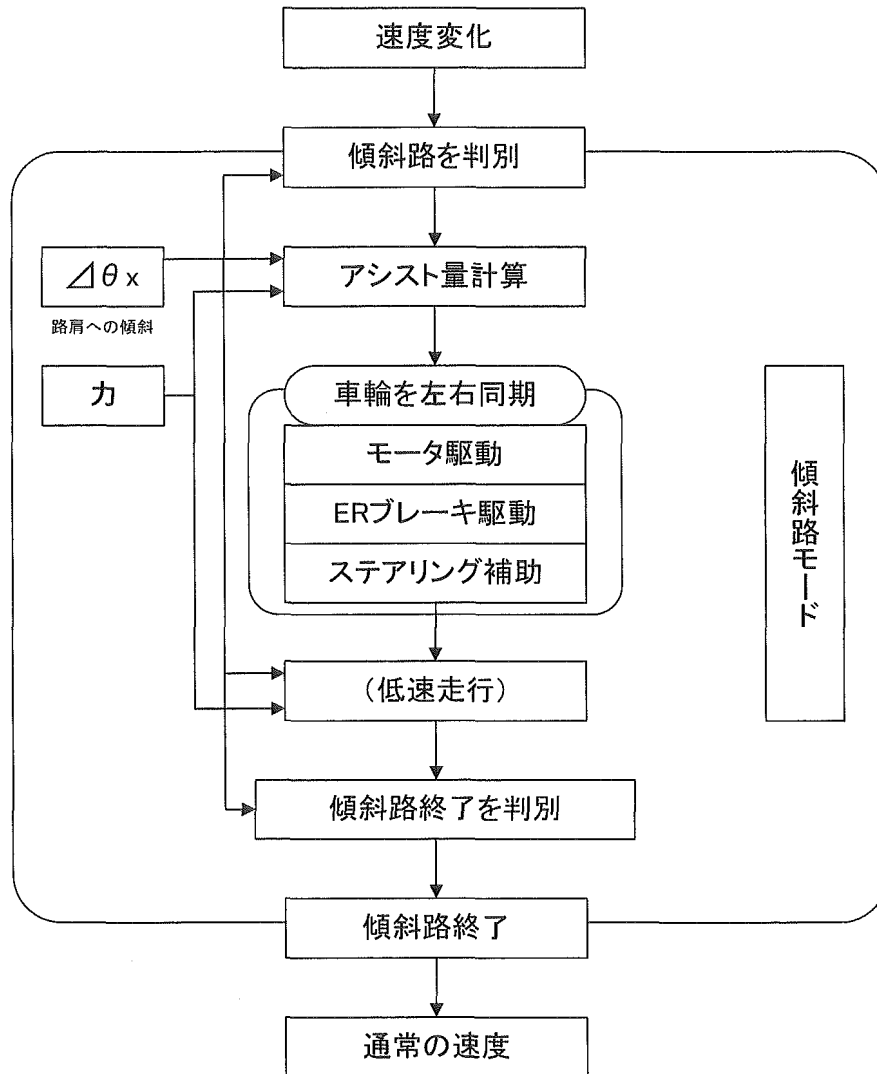


Fig.2.13 傾斜路モードのアルゴリズム

2.6 歩行支援アルゴリズム

歩行支援装置に駆動・制動デバイスを用いた動力アシスト機能を搭載するにあたって、本研究では Fig.2.14 のようなアルゴリズムを構築した。

上り坂のように歩行支援装置に能動機能が必要なときは、モータを駆動させ、歩行支援装置の能動アシストを行う。下り坂のように歩行支援装置に受動機能が必要なときは、駆動・制動デバイスのクラッチ部を使用し、歩行支援装置の受動アシストを行う。また、段差乗り越え時には、前輪がバランスよく段差を登るように、後輪の駆動部を制御する。

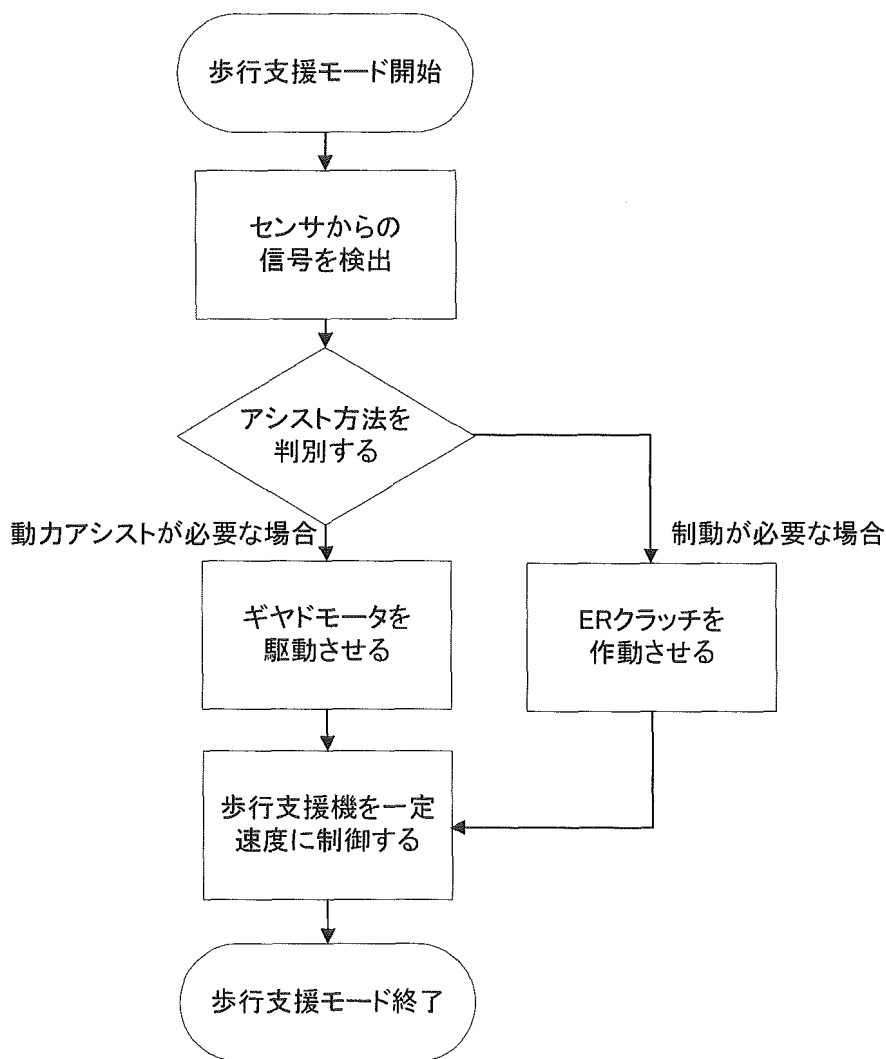


Fig.2.14 歩行支援モードのアルゴリズム

第3章 駆動・制動デバイスについて

3.1 駆動・制動デバイスの構成要素

駆動・制動デバイスは、能動部と受動部が一体となったものである。駆動・制動デバイスの構造は、Fig.3.1 に示し、Fig.3.2 に実際の駆動・制動デバイスの写真を示す。

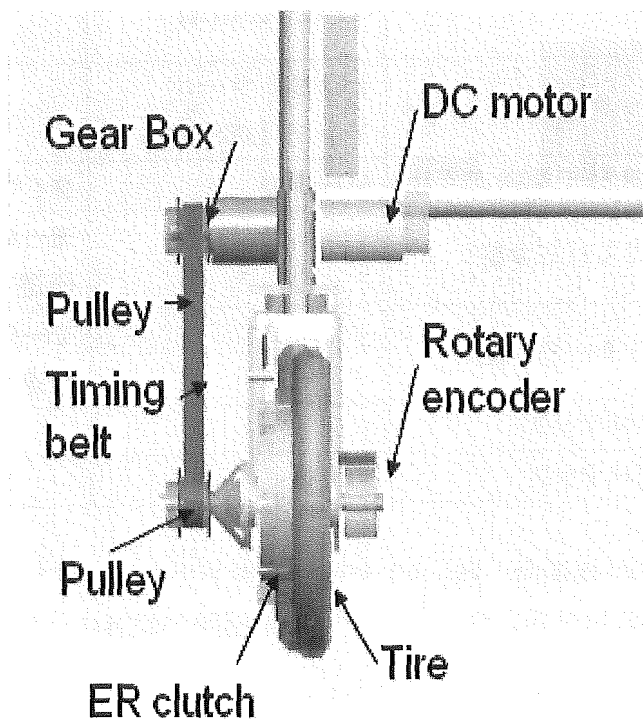


Fig.3.1 駆動・制動デバイスの構造

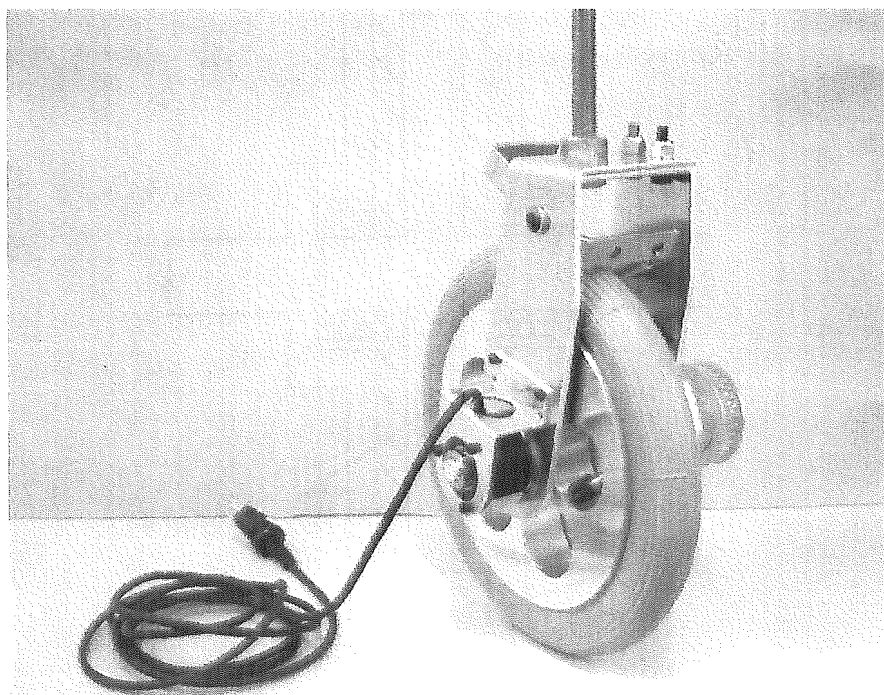


Fig.3.2 駆動・制動デバイスの外観