

離散値 PID 制御では取得する偏差は制御しているシステムの現時点の偏差とその一つ前の偏差が必要になる。この場合の演算式は(3-2)式で表される。

$$y = K_p \left( e + K_i e_i + K_d \frac{e - e_1}{dt} \right) \quad (3-2)$$

ただし  $e, e_i, e_1$  はそれぞれ偏差，偏差の累積地，一つ前の偏差である。

この演算式によりコンピュータにより PID 制御が可能となる。

## 駆動システム

駆動システムを図 6.1 に示す．人の関節角度とモータの変位角度を同時に検出し，それをホスト側のコンピュータで取り込み，演算処理の後，位相差をドライバへ送る．

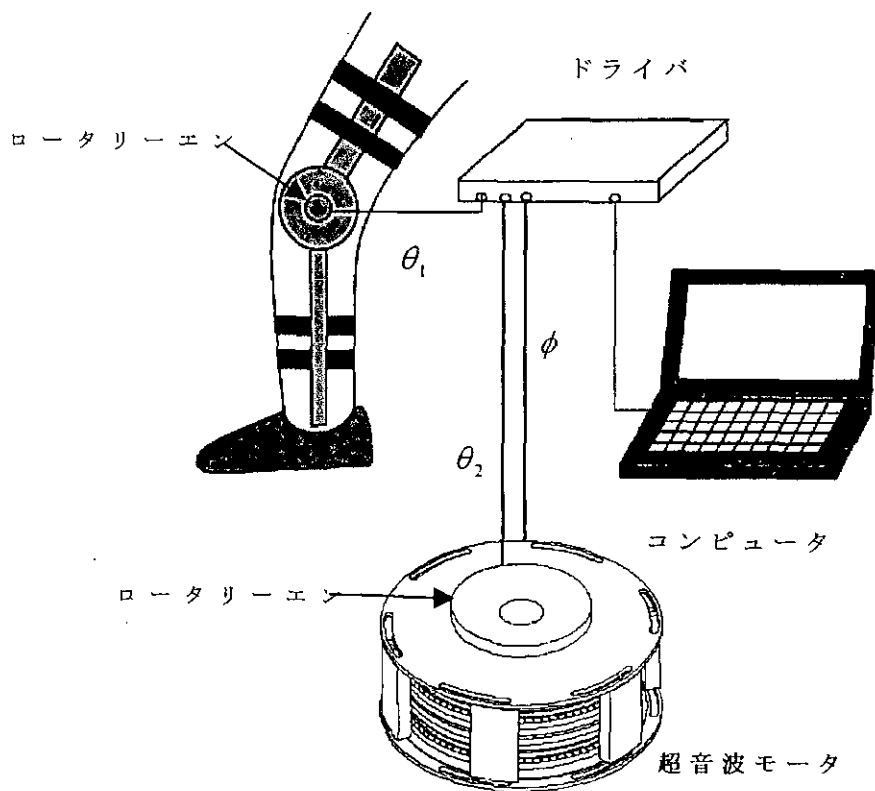


図 3.14 システム構成

### 角度追従法

PAS を装着し、関節角度と超音波モータの角度の偏差に応じて位相差を決定し、モータへ入力する。この位相差の決定に古典制御である PID 制御を用いる。

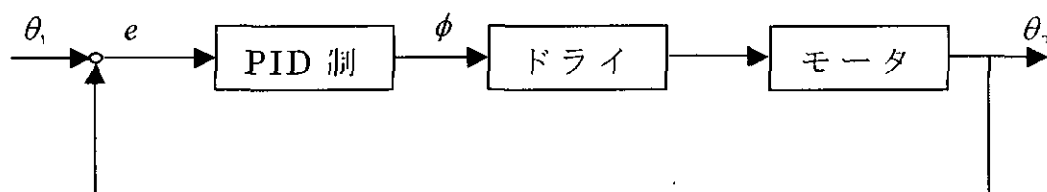


図 3.15 角度追従法 (PI 制御)

## C. 研究結果

### アシストスーツ設計

製作したアシストスーツに関し、リフトタイプ、サポータタイプについて以下に説明する。リフトタイプの設計においてはフレーム強度を必要とするため、今回は装着者のモデルを限定し寸法を固定した。また、今回はモータの装備は行っていない。サポータタイプは装着者に密着させる必要があるため、装着者に応じて微調整ができるフレーム構造をとっている。モータは両軸とし、モータとフレームを同時に回転する構造をしている。

### 3.1 リフトタイプ

リフトタイプは前年度製作したものに、動作を検討し改良を加えてある。一次試作時には考えられる自由度はスーツに取り入れたが、それにより動作に不具合が出る場合もあり、改良後はスーツの回転部を少なくしてある。

強度の確保、軽量化のためアルミをメインの材料に使用しているが、重量を支える間接部(特に肩、腰、背中、足首部)には SUS を用いている。スーツ重量(モータなし)は約 40[kg]である。リフトタイプはフレーム強度があり、装着者と密着させることが出来ない。その為フレームと装着者の間に装着部を設けた。以降各部について説明を加える。

### 3.1.1 背中部

図 3.1 にリフトタイプの背中部の構造を示す。人体と接する部分にはスポンジ，密着させるために肩，おなか辺りをベルトで固定する。また上半身の自重を下半身部に逃がすため背中部で完全に固定されている。また腰部の動作を再現するために脚部との接合部にスライド機構を設けてある。歩行の際これが左右に触れることで人が片足を前に出した際のひねりがある程度再現できる。今回は上下運動のみの再現が目標であるため，腰のひねりを含む運動は構造に付加していない。

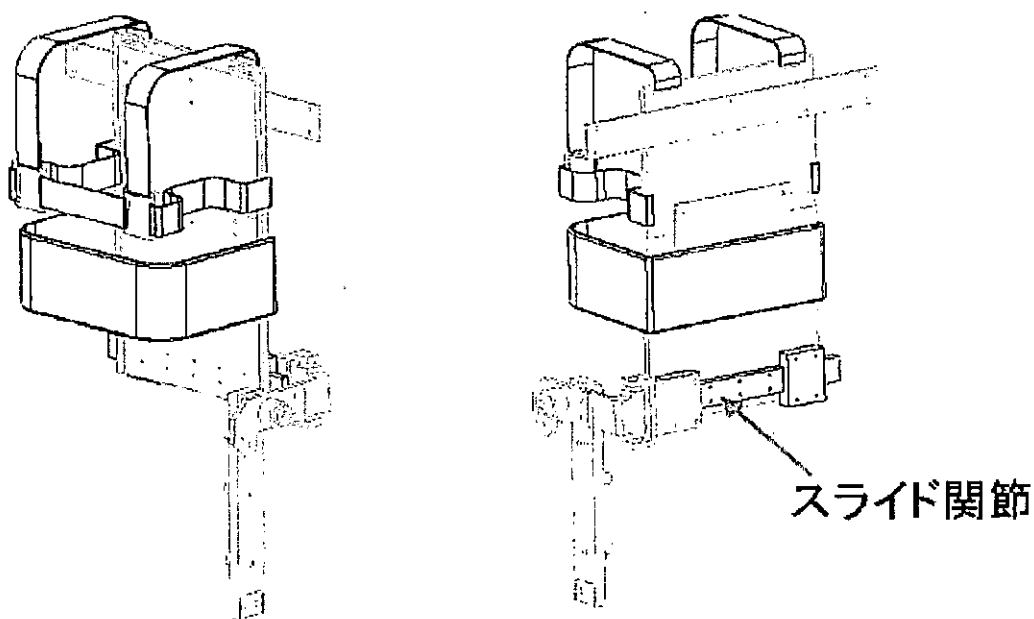


図 3.1 リフトタイプ背中部

### 3.1.2 腕部

リフトタイプは構造の強度が必要であるため構造フレームを装着者に密着させることができない。そのためフレームに装着者との装着部を設ける。しかし実際人が動作する際にフレームが完全に密着していない場合、装着部との間にずれが生じる。そこでこの装着部とフレームの間にコンプライアンスをつけることでずれに対応し、動作しやすくする。さらに、腕部は直接スーツ自重を地面に逃がすことが出来ないため関節部にフレーム重量、モータ重量をキャンセルするためのばねを装備する。この復元力を用いモータ出力を動作のサポートのみに利用することができる。

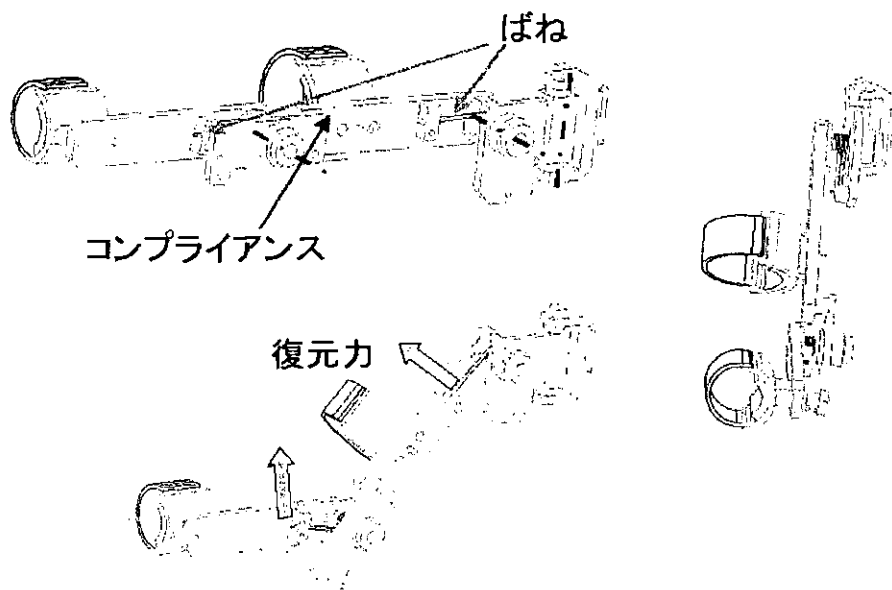


図 3.2 リフトタイプ腕部

### 3.1.3 脚部

脚部はすべての重量を受けるためより強度が必要である。その為特に接地する足首付近は SUS を使用している。装着部に関しては腕部のものと同様の理由でコンプライアンスを設けてある。また脚部では脚を屈曲させた際にスーツ重量を構造で支えることができない。そこで腕部と同様に間接部にばねを配置し、脚を屈曲から伸脚させた際に重量をキャンセルする。このようにスーツ設計において、ばねはモータ出力をすべてサポートに使うために重要である。

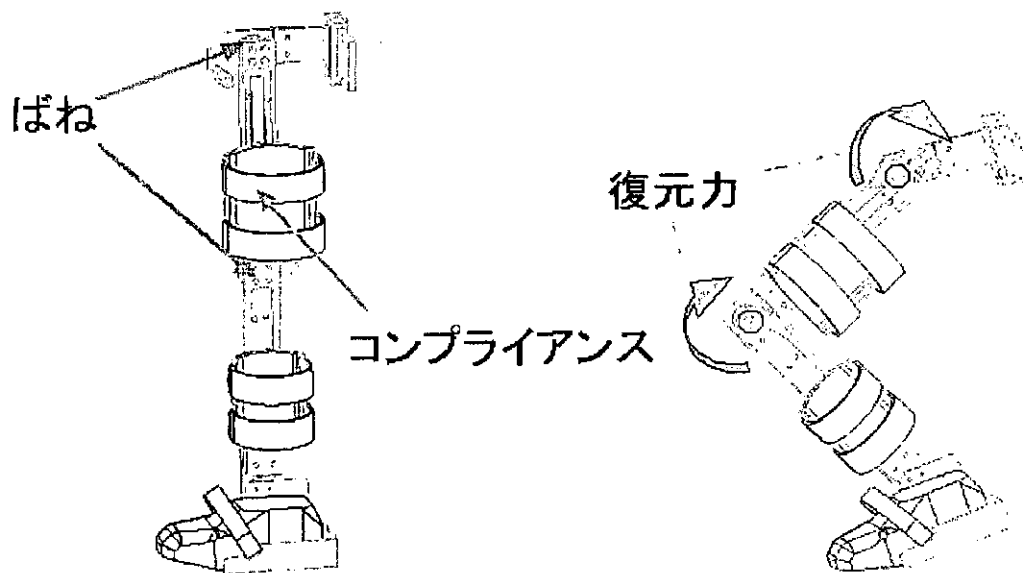


図 3.3 リフトタイプ脚部

## 3.2 サポータタイプ

自由度の確保およびスーツ軽量化のためエンジニアプラスチックを多く使用している。

今回製作したものはモータケースの改良により，更なる省スペース化が可能であるが，モータを状況に応じて交換するといったものには不向きである．このタイプはフレームと装着者を完全に密着させる必要があるため，装着部を別に設けておらず，ベルトで完全に固定する．またフレームに弾性率の高いポリカーボネードを使用したことで，ねじりの動作にも対応でき，その場での方向転換なども容易である．こちらのタイプはモータの装備がなされているため，モータの保持トルクによりスーツが固定されてしまう．そのため，モータとの接続，切断を切り替えるストッパーを設ける．

特に肩周りの動作のをサポートする際スーツが人間の動きに干渉しないためにはスーツの回転関節の数は人体の関節の数以上あり，それを適切な位置に配置する必要がある．下肢と上半身との接続は背部に比べ骨格の構造が複雑で動きの少ない脇腹部を介しているため，脇部よりスーツ肩部が構成されている．人体の肩の骨格構造を図 3.4(a)に示す，この骨格の機能をモデル化したものを図 3.4 (b)に示す．これらを考慮しスーツの機構設計を行った．体幹をグラウンドとしスーツの機構を胸鎖関節のために 2 回転関節を，球関節である肩関節関節のために 3 回転関節をスーツに配置し，それをモデル化したものを図 3.5 に示す．しかしこのモデルではスーツ自体の自由度が 1 となってしまう，モータが駆動すると腕の動きをアシストするのではなくスーツ自体が動いてしまう．このため図 3.6 示す様に回転関節



を 1 減らしスーツ自体の自由度は 0 とし，実際に製作し装着して動作を行った．実際に作製したスーツを図 3.7、図 3.8 に示す．胸鎖関節の回旋機能に相当するスーツの回転関節がないので，特に抱え込み動作に不具合を感じてしまう結果となった．この問題に対し，モータがアシストする時のみスーツのある 1 回転関節を固定することで解決できると考える

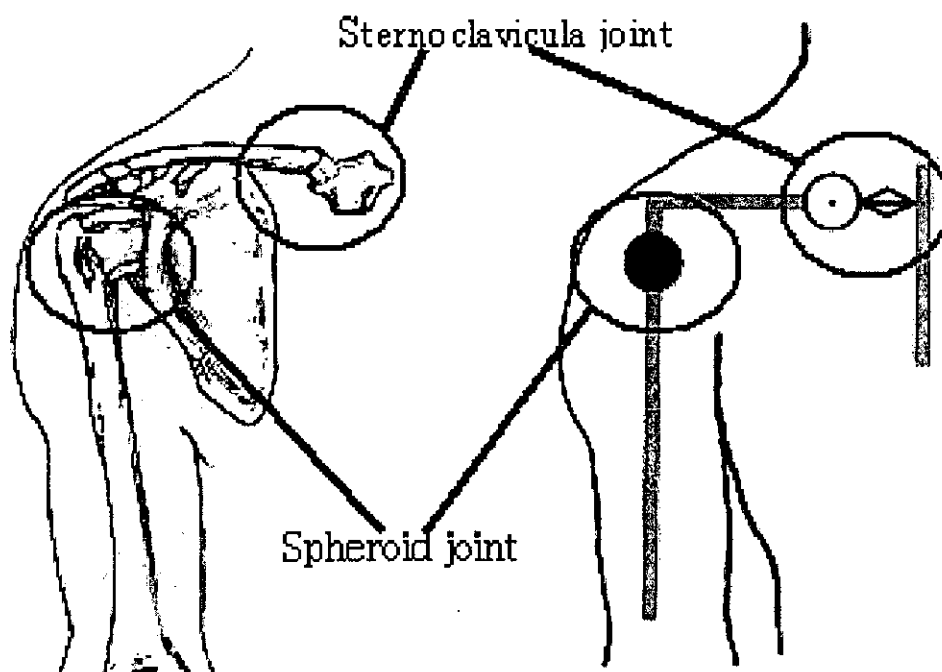


図 3.4 (a) 人間の肩関節

(b)モデル化した肩関節

節

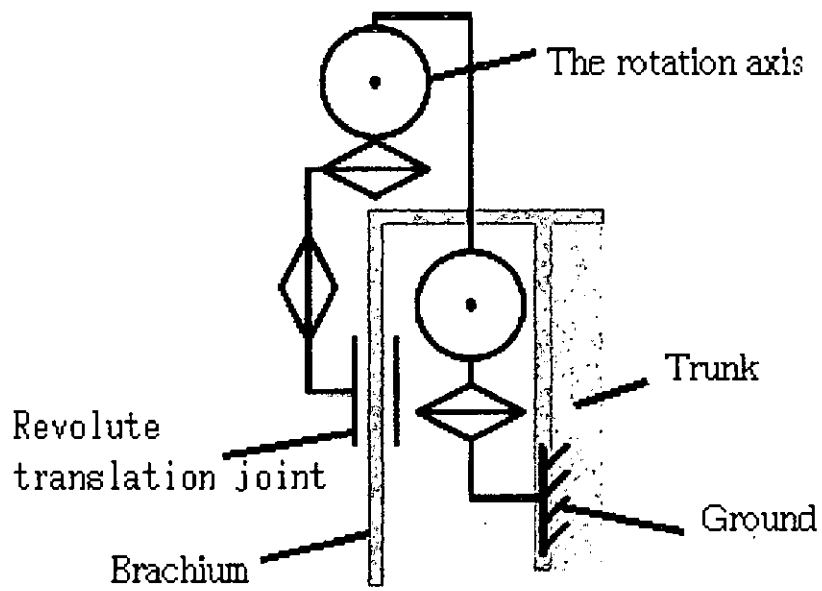


図 3.5 リンクモデル(1DOF)

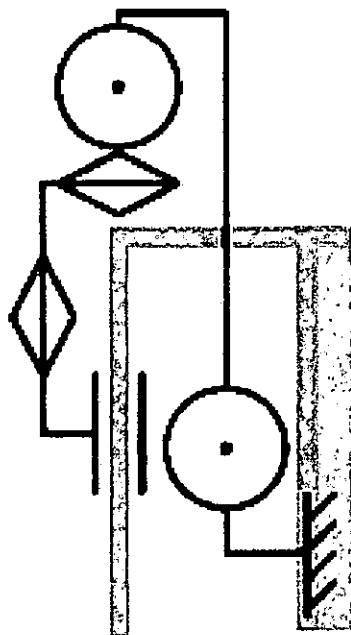


図 3.6 リンクモデル(0DOF)

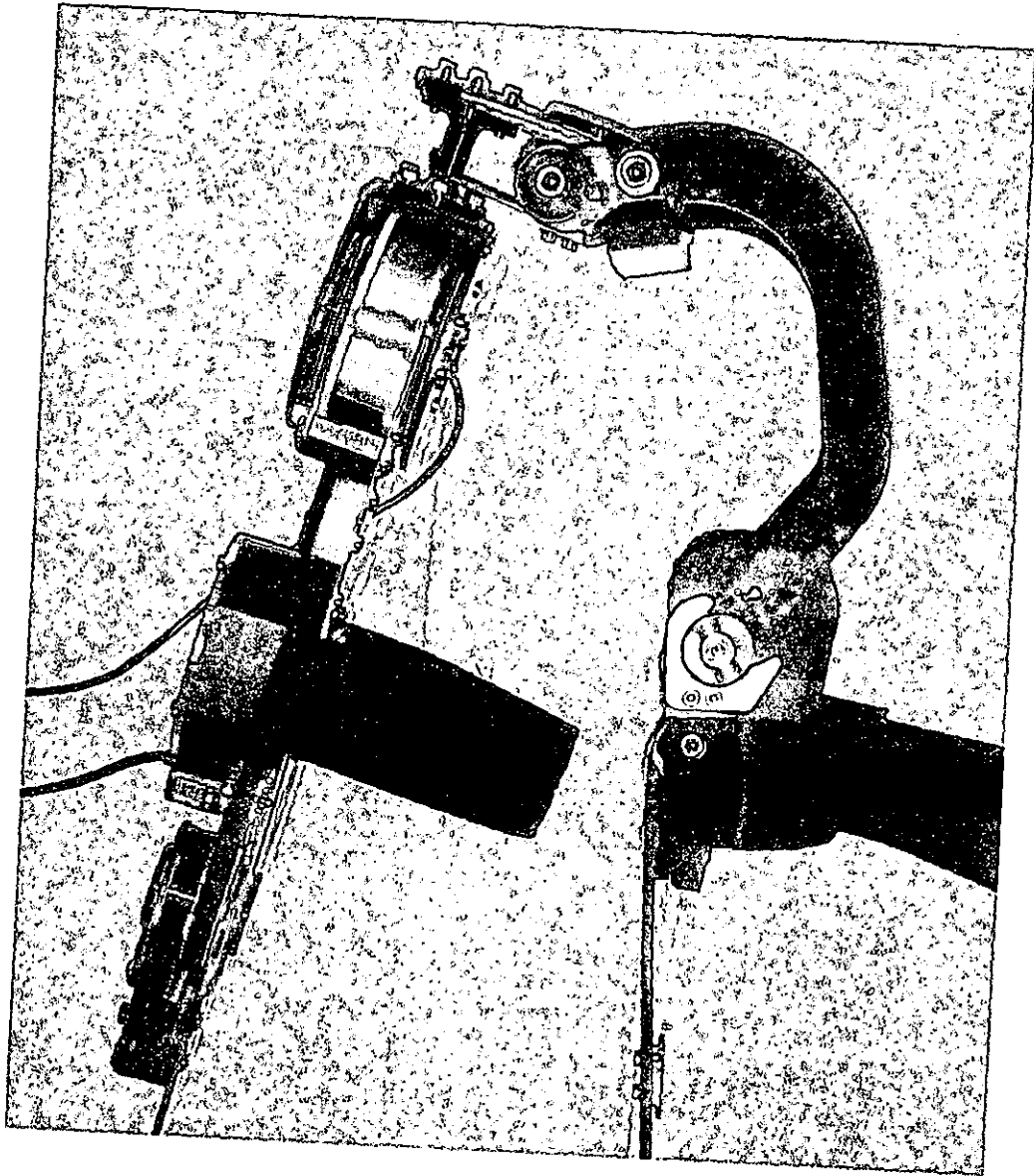


図 3.7 スーツ肩部



図 3.8 サポータタイプスーツ上半身

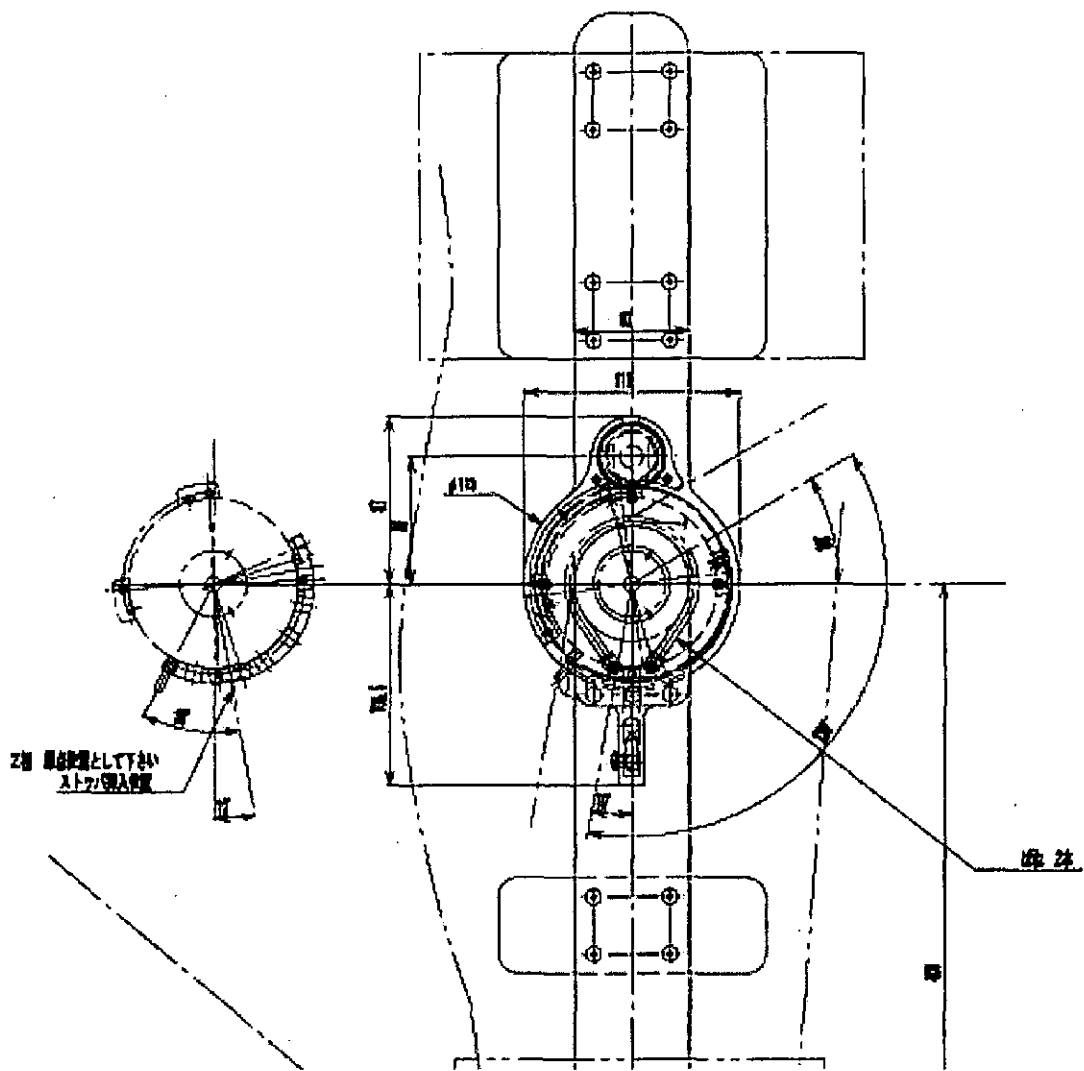


図 3.9 サポータタイプ腰部側面

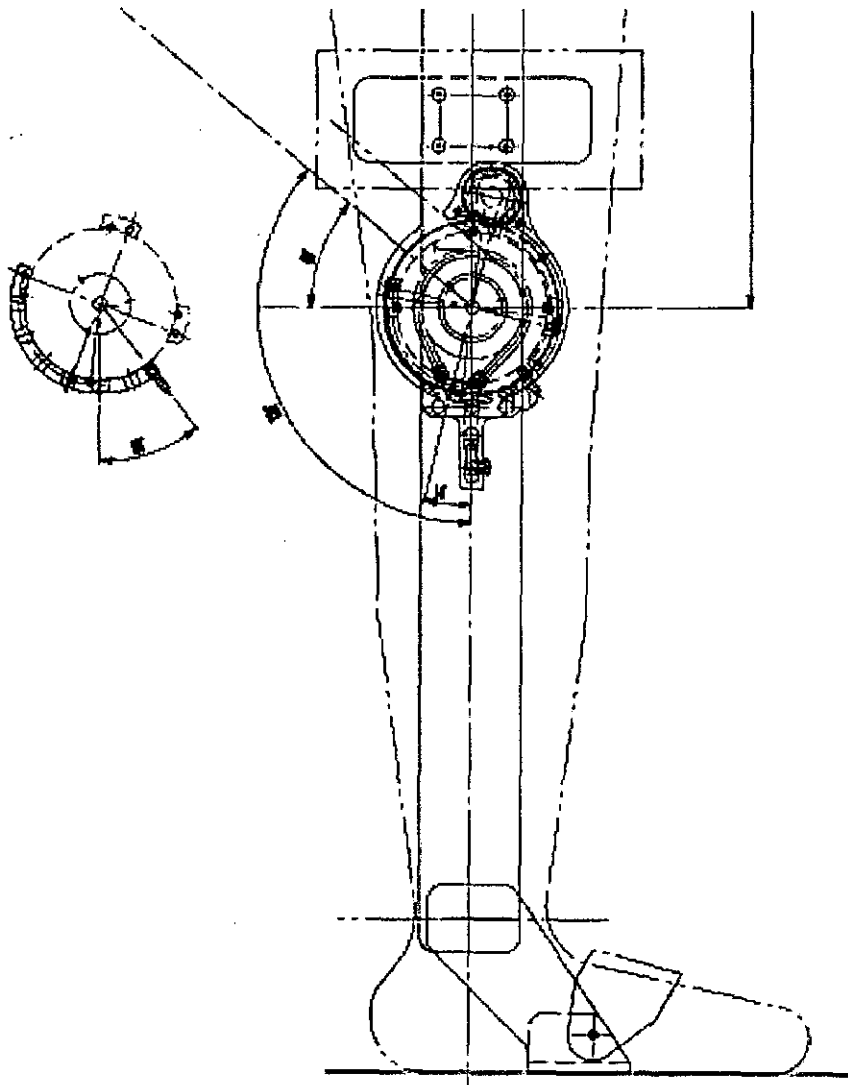


図 3.10 サポータタイプ膝部側面

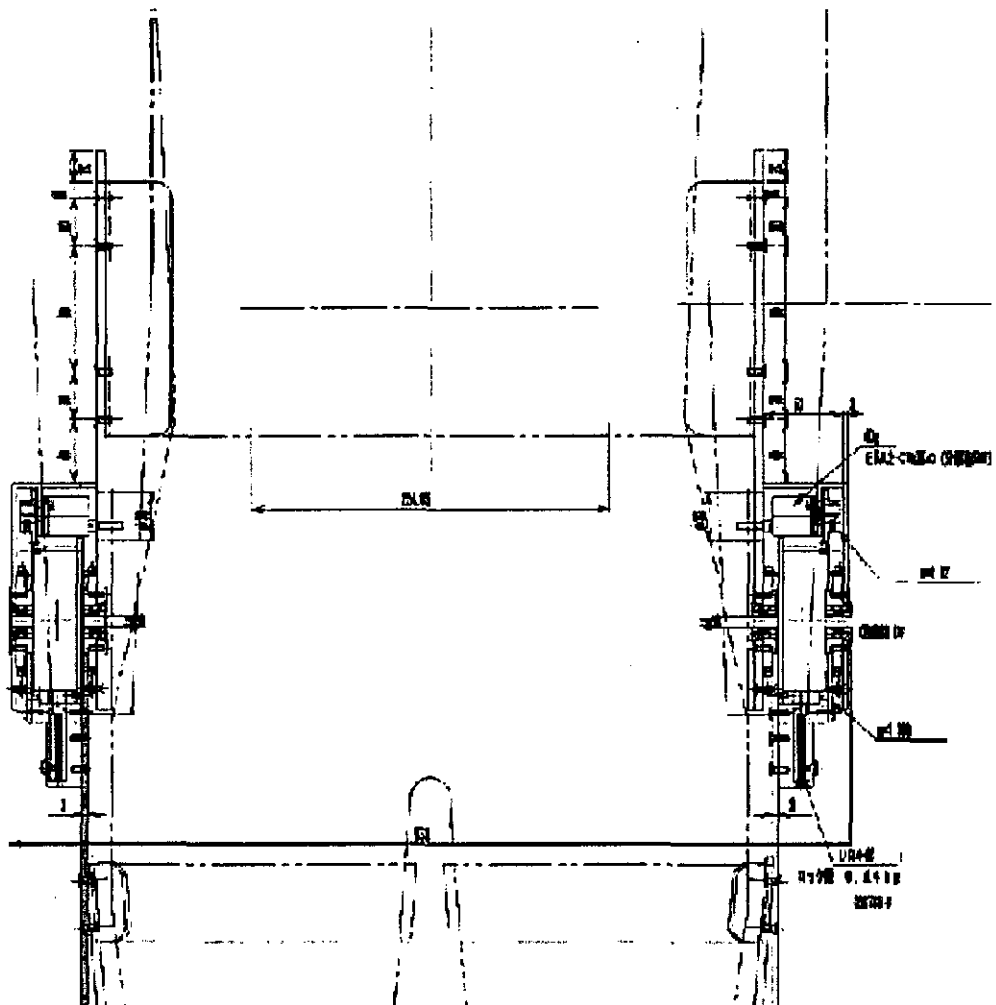


図 3.11 サポータタイプ腰部正面

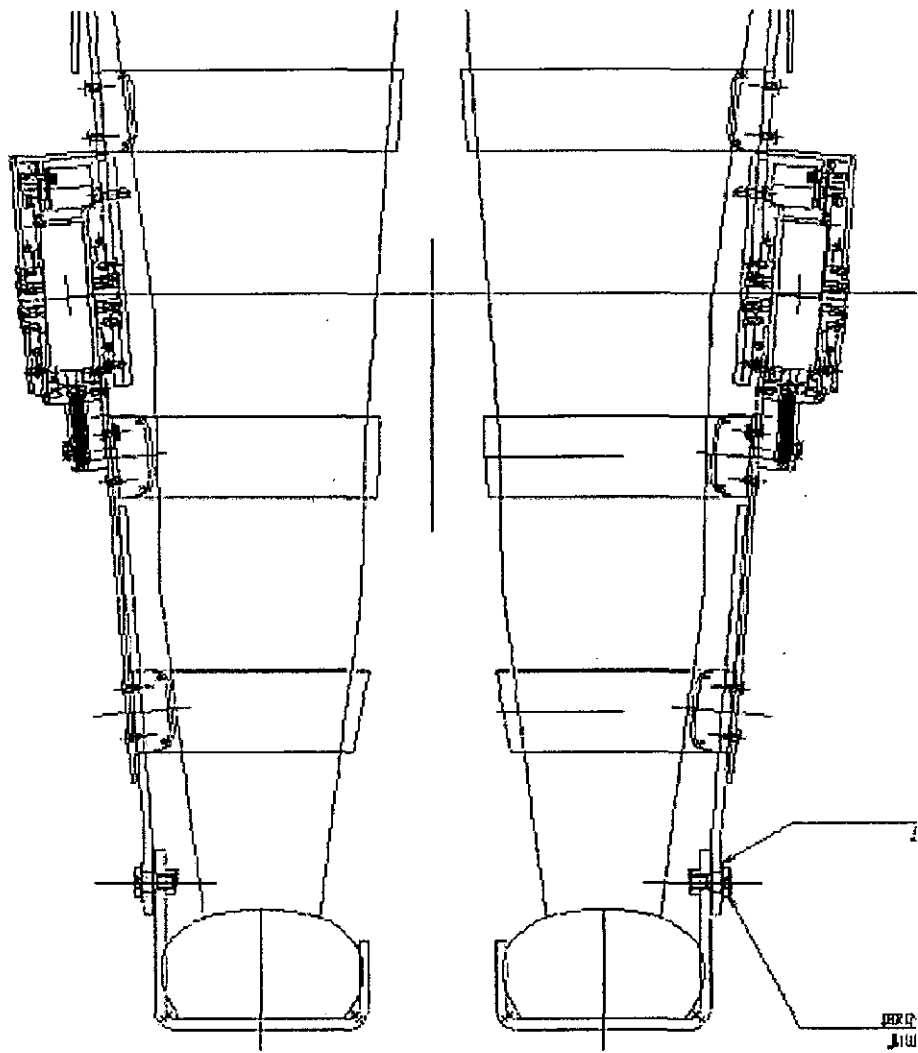


図 3.12 サポータタイプ膝部正面





図 3.13 サポータタイプ全身

## 3.3 モータ動作

### 3.3.1 スーツ動作

今回の実験は評価関数として正弦波を用い、追従性能を確認した。

動作実験は通常 PID 制御、モータの特性に応じた補正を導入した動作、補正済みの状態での膝と腰の同期動作、負荷をかけた状態での同期動作、連続同期動作負荷あり、負荷なしについて行った。

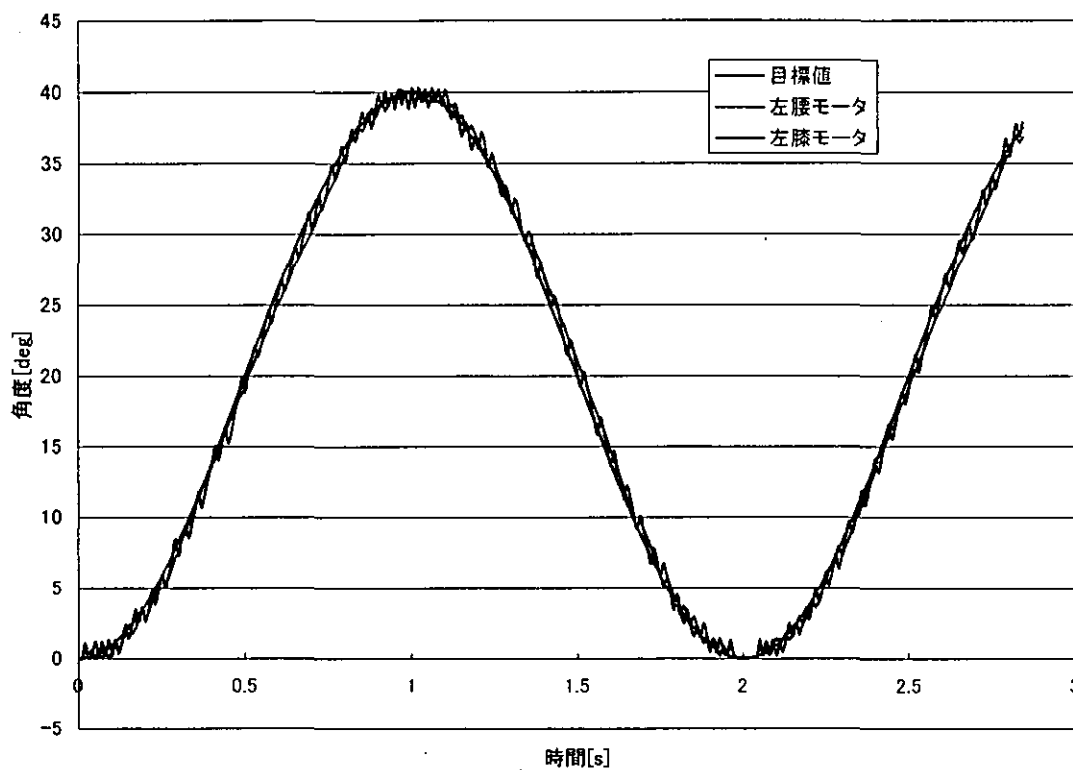


図 3.14 モータ追従性能試験(補正なし)

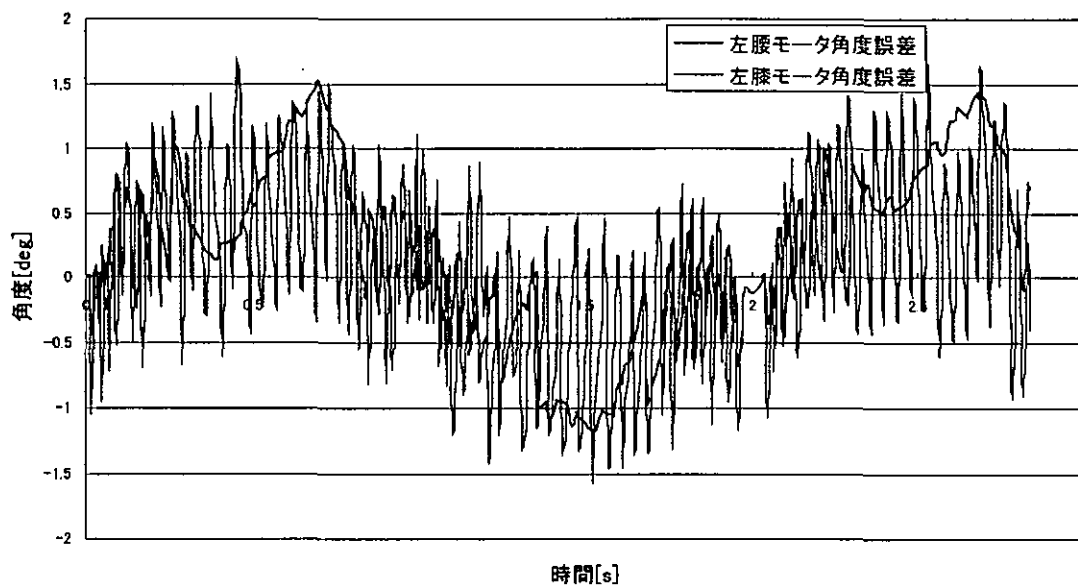


図 3.15 モータ追従性能試験(補正なし)誤差角度

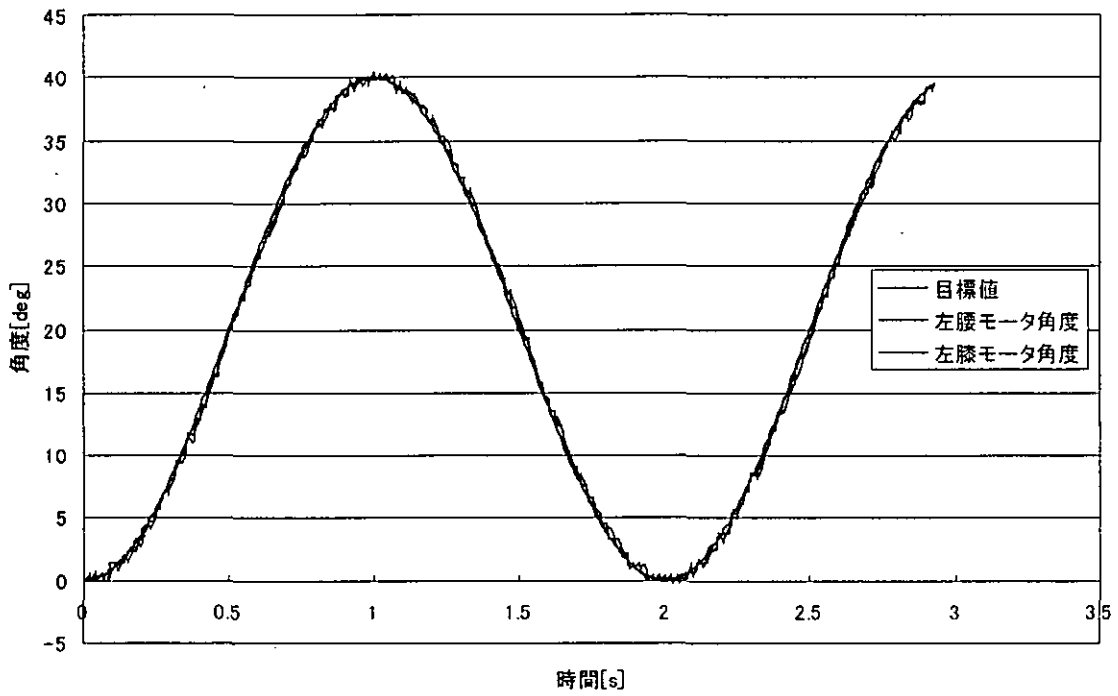


図 3.16 モータ追従性能試験(補正あり)

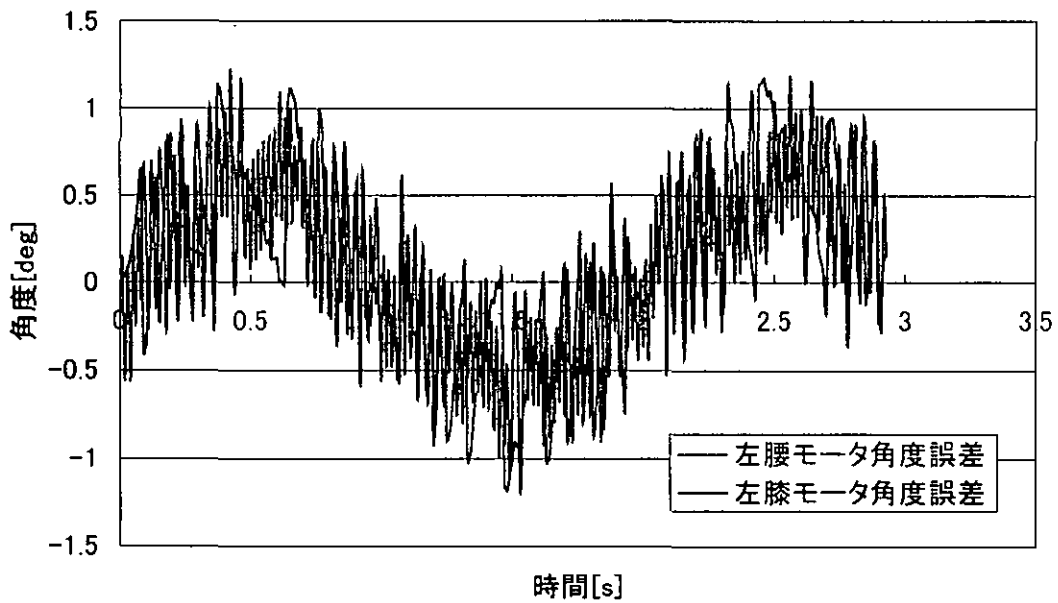


図 3.17 モータ追従性能試験(補正あり)角度誤差