

## 障害者自立支援機器等開発促進事業（分担報告書）

### 義足膝継手 NAL-Knee(S)のフレーム、作動リンク部の研究開発（機械設計）

開発分担者 二宮 誠、増田 勝也、宮内 謙太  
開発分担機関 株式会社 長崎かなえ

#### 開発要旨

義足膝継手 NAL-Knee(S)を軽量かつ安価にするためにフレーム、作動リンク部などの小型化と改良を目的とし研究開発を行った。

#### A. 開発目的

従来型の義足膝継手 NAL-Knee（平成 21 年度製）はその重量（膝継手単体）が 1250g であり、現在市販されている高機能膝継手と比較すると 100～40g の差しかなく、より軽量であることが望まれる。

また、従来の動作方法にも改良を行い。より、利用者に使いやすい機構を目指し研究開発を行った。

ここでは、フレーム、作動リンク部について研究開発の報告を行う。

#### B. 研究開発方法

##### 1-1 フレームの改良

フレームは今回の油圧シリンダーの小型化に合わせた小型化を行った（図 1）。フレーム自体は、試作段階での油圧シリンダーサイズが不確定だった為、1、2号機油圧シリンダーでは、従来型のフレームを用い、その後3号機油圧シリンダーでは、小型化に合わせフレームをアルミ合金で試作し、4号機でのサイズが確定してきたことを受け、従来型と同様のカーボン材質にて製作を行った。



図 1 製作したフレーム

## 1-2 作動リンク部の改良

作動リンク部はフレームに接合され、油圧シリンダーのバルブを作動させるために、歩行時の各動作を伝達させる装置である。従来型のリンクは、3モード動作（踵接地、つま先接地、無荷重）を感知し、バルブを作動させていたが、本研究では、2モード動作（踵接地、つま先接地と無荷重は共通動作とする）でのバルブ作動を行わせている（図2）。

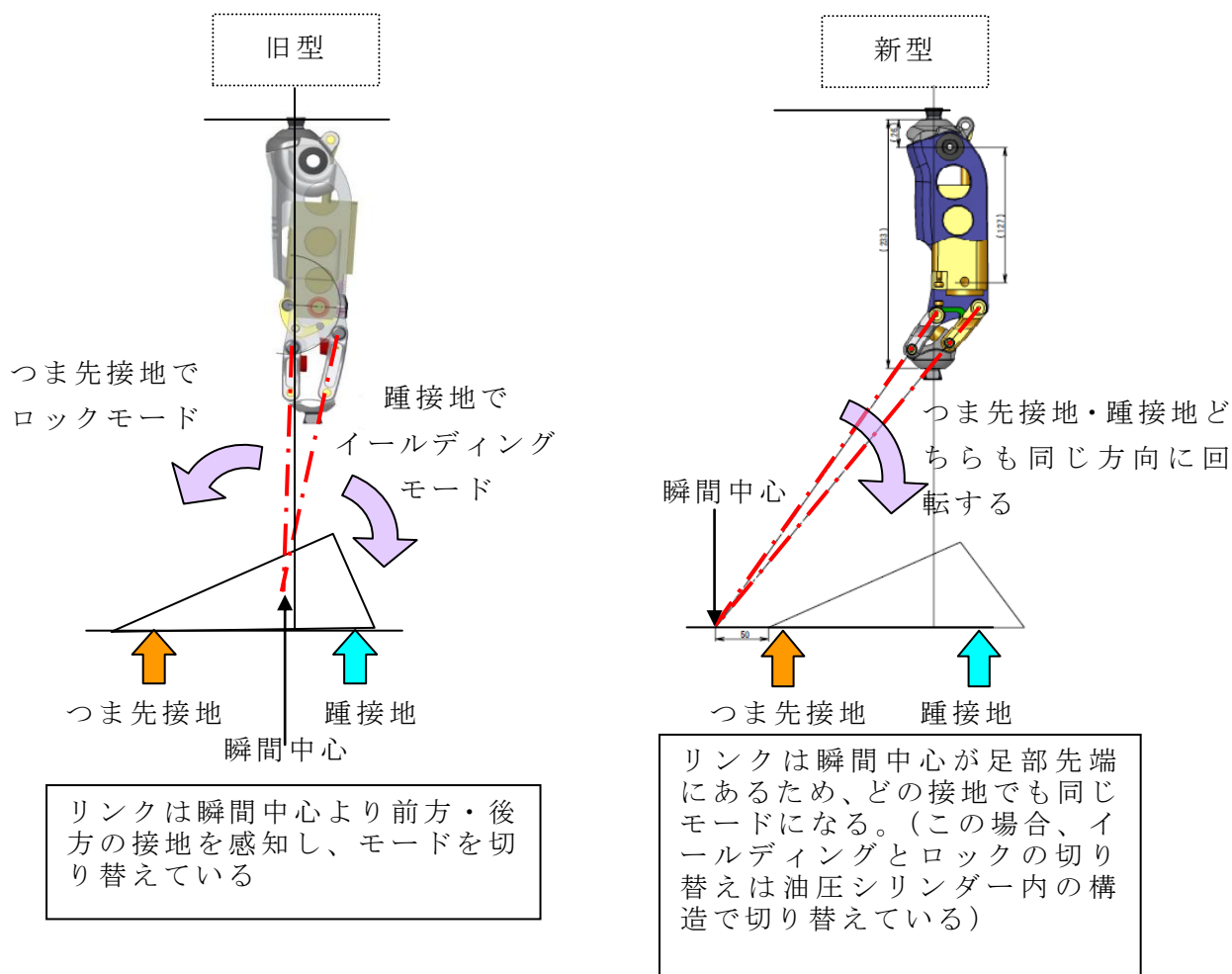


図2 リンク位置による動作の違い

ここで従来型と大きく異なる点として、階段昇降時におけるロックモードの作動を変えたことが挙げられる。

従来は、義足をつま先接地させ膝継手をロックモードにし、階段を昇降するようにしていたが、このとき使用者の健足側はつま先立ちの状態であり、非常に安定性に欠けていた（義足も健足も両方つま先しか着けていない状態）。

このため、今回は、安定性を重視し、義足を全足底接地で階段に乗せロックモードにすることで、安定性を得る構造とし、作動リンク部を設計した（図 3）

また、両方のリンクの、実際の動作と安定性を比較するため、被験者 3 名によるテスト歩行での作動調査による評価を得ることとした。

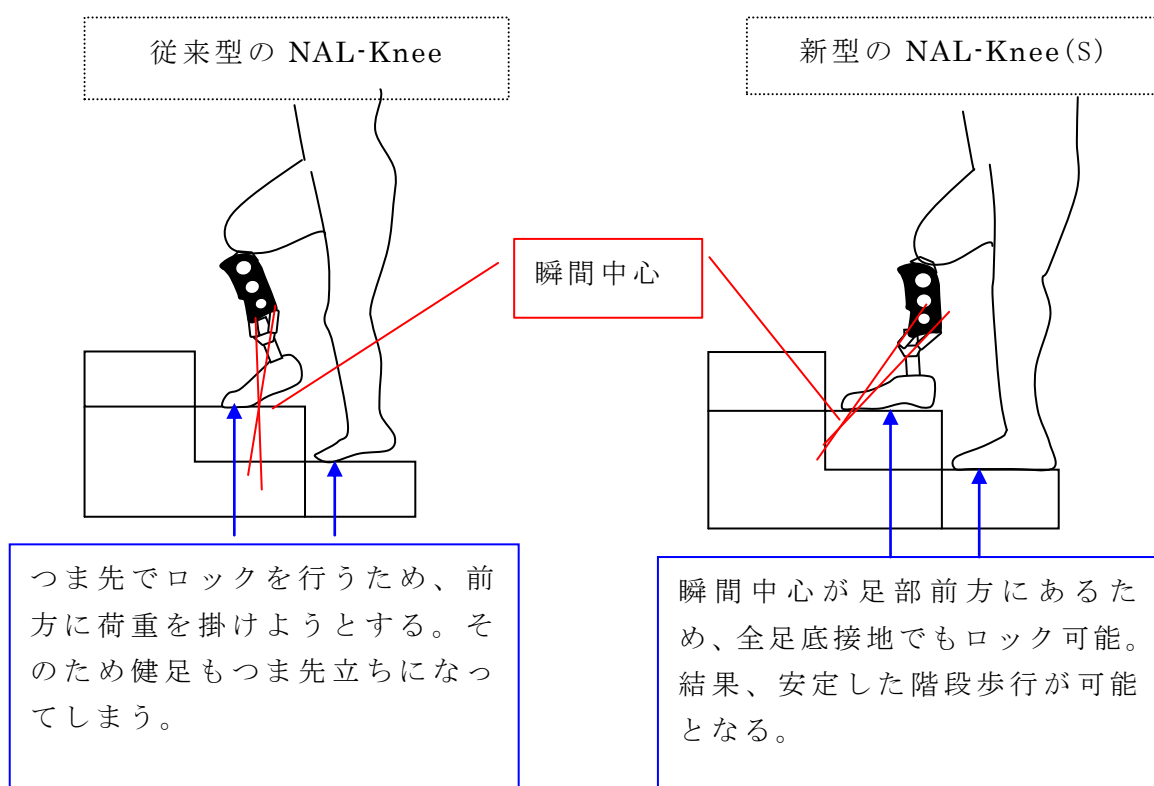


図 3 階段上りでの動作の違い

### 1-3 作動リンク部と油圧シリンダーの接合

新型では、油圧シリンダーの後方の突出を減少させるため、取り付け方向を反対にしている（図 4）。そのためバルブの方向も逆になっており、リンク作動部とバルブの連結を新たに設計改良する必要が生じた。

今回、試作 1 号から 4 号機まで製作し、各試作機での変遷を結果に記す。

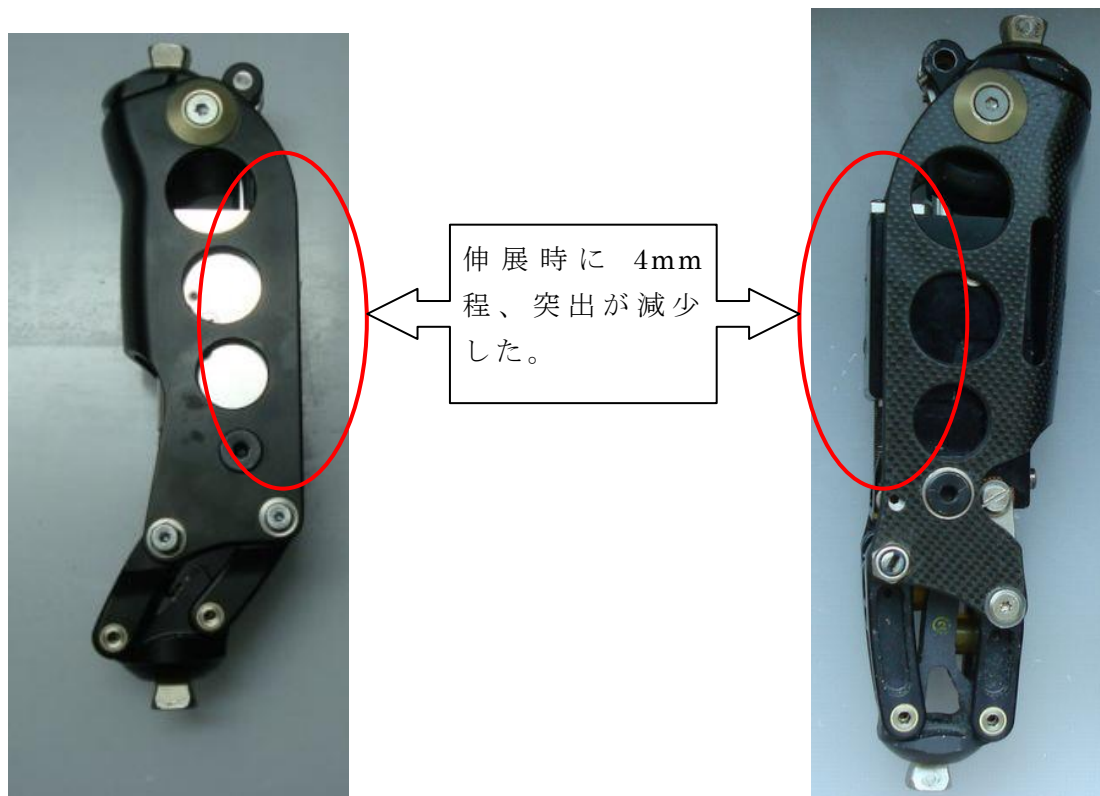


図 4 従来型と新型でのシリンダーの突出の比較

### 1-4 作動リンクの瞬間中心の設計

作動リンクの瞬間中心は、足部のどの位置にあるかにより、バルブを作動させる効率が変わるため、階段昇降や平地歩行での動作の重要な因子の 1 つとなっている。

平地歩行の際、NAL-Knee(S)ではロック機能により、引っ掛かり現象（つま先離床時に膝が曲がらなくなる現象）を引き起こしてしまう。この現象を、従来型の NAL-Knee では油圧シリンダー内のバイパスピストン機能を用いて回避していた。しかし、新型 NAL-Knee(S)ではバイパスピストン機能を用いず、リンクの瞬間中心を、どこに設定することで引っ掛かり現象を回避できるか、検証を行った（図 5）

また、階段昇降時でのロックモードへの移行しやすさも検証を行った。

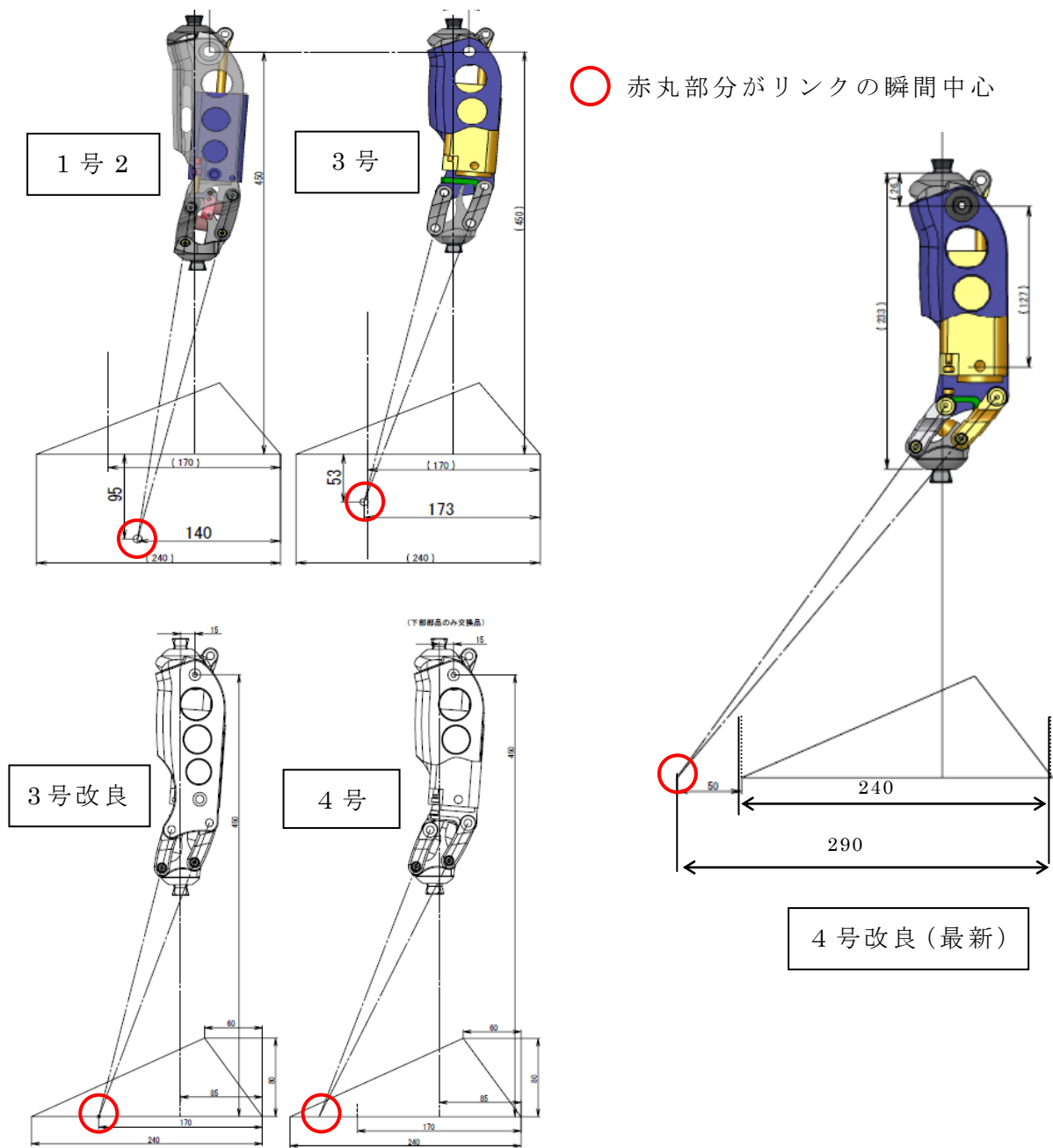


図5 リンクの瞬間中心の変更

## C. 研究結果

### 1-1 フレーム、作動リンク部の軽量化、小型化

今回、製作を行ったフレームは、従来型よりも 20mm 全長を小さくした。材質は、アルミ製とカーボン製で製作を行っている。

- ①従来型フレーム、
- ②新型フレーム（アルミ製）
- ③新型フレーム（カーボン製）

3 種類のフレームの寸法、重量を比較したものが表 1 である。

表 1 フレームの比較

	重量	全長
①	320g	223mm
②	410g	203mm
③	300g	203mm

上記表より、アルミ製のフレームはカーボン製と比較し 110g の軽量化となっている。また、従来型より 20g の軽量化に成功している。

作動リンク部は、油圧シリンダーへの接続部分の設計変更により、部品点数を少なくし、約 30g の軽量化を行った（図 6）。表 2 は従来型との比較である。



図 6 作動リンク部の比較

表 2 作動リンク部の比較

	重量
従来型	290g
新型	260g

## 1-2 作動リンク部の改良による動作の検証

被験者 3 名を対象に、今回設計した新型リンク (1~4 号機) と従来型リンクで階段昇降、平地歩行を行っていただき、次の 2 つについて検証を行った。

- ① 階段昇降動作時でリンクが正常に作動するかを検証
- ② 平地歩行でリンクが正常に作動するかを検証

### 1-2-① リンクの作動検証 (階段昇降時)

結果、3 名ともリンクは作動し、ロックモードによる交互歩行を可能とした。図 7 は、被験者 B 氏による従来型と新型での階段昇降時の写真である。両者を比較すると、従来型では、つま先へ荷重させるため重心を前方移動させるので、健足の踵は伸び上がり、不安定な姿勢になってしまっているのが分かる。

新型は階段に義足を載せ荷重させるだけでロックモードに切り替わるので、前のめりになるような動作を最初に必要としない。健足側の伸び上がりも小さく、これにより階段上での不安定感は従来型よりも抑えられていることが分かった。

また、リンクの瞬間中心を考慮した場合、1~4 号までのリンク機構では、足部先端から瞬間中心が最大遠位となる 4 号改良が、最も上りやすいと評価を受けた。

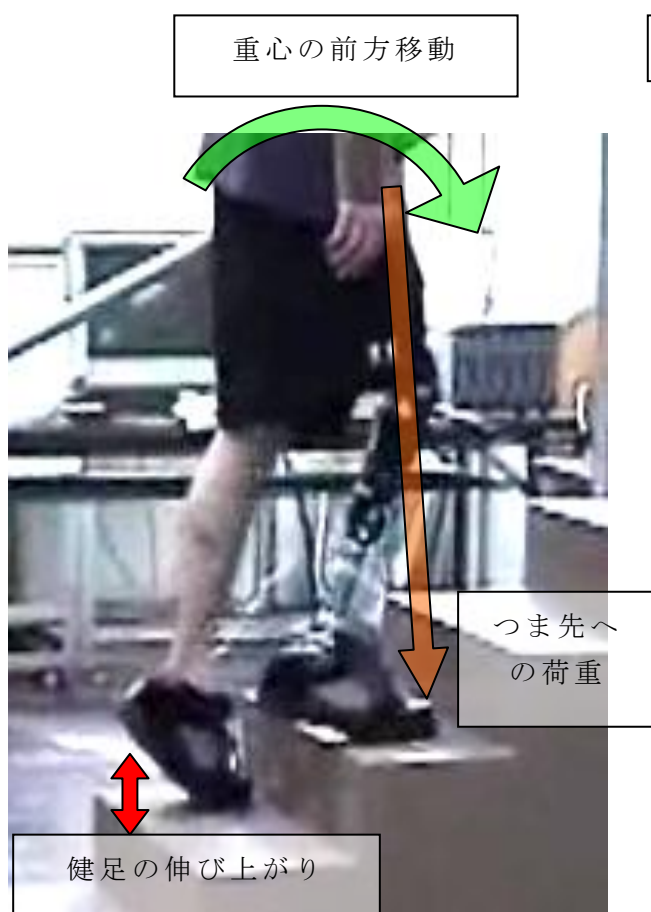


図 7-1 従来型での階段昇降



図 7-2 新型での階段昇降

### 1-2-② リンクの作動検証（平地歩行時）

階段歩行では、作動リンクの4号機で最も高い評価を受けたが、平地歩行では反対に、1号機のように瞬間中心が近位にある方が、引っ掛かり現象がおきないことが分かった。これは、平地歩行時のつま先離床の際、4号機のように遠位に瞬間中心が設定されると、油圧シリンダーのバルブを開放する（下方向にバルブを下げる）動作が伝達しにくいことが分かった。つまり、階段昇降と平地歩行では、その瞬間中心が相反する効率となってしまうため、非常にバランスが難しくなってしまう（図8）。そこで、4号改良型では、階段昇降での効率を重点に置き、瞬間中心を前方に設定し、平地歩行でのバルブの解放は、リンクに内蔵した圧縮バネの復元力により補助させることでバランスの取れた仕様になっている。

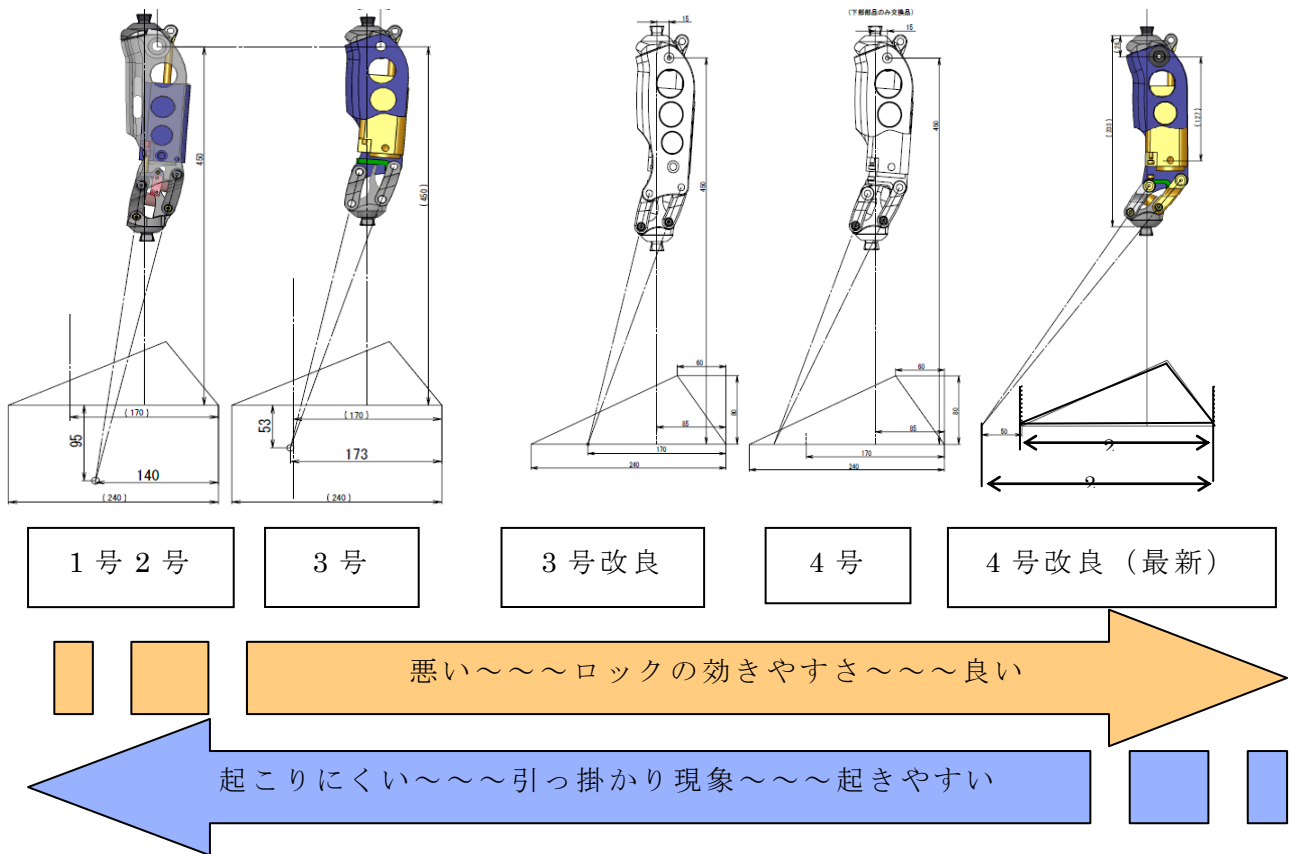


図8 瞬間中心による効率の変化



### 1-3. 作動リンク部と油圧シリンダーの接合

作動リンクを1~4号と設計変更行う過程で、油圧シリンダーとの接合部分の設計も改良を重ねた。

1号機はリンクの動きを硬質ケーブルにて伝達させる方式とした(図9)。しかし外部への突出が大きいこと、押し込む動作が弱く、ロックが効きにくい等の評価を受けた。

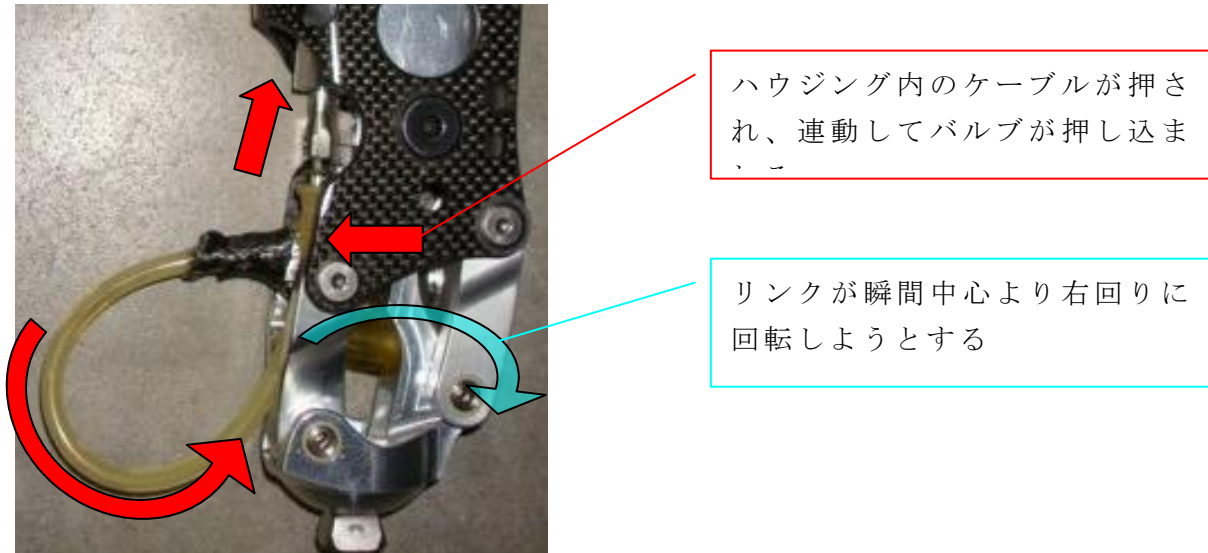


図9 1号機のバルブ接合部

2号機では小型リンクをフレーム内に製作した(図10)。しかし、伝達効率が良くなく、ロックが効きにくい、作動時に大きな機械音がするなどの評価を受けた。

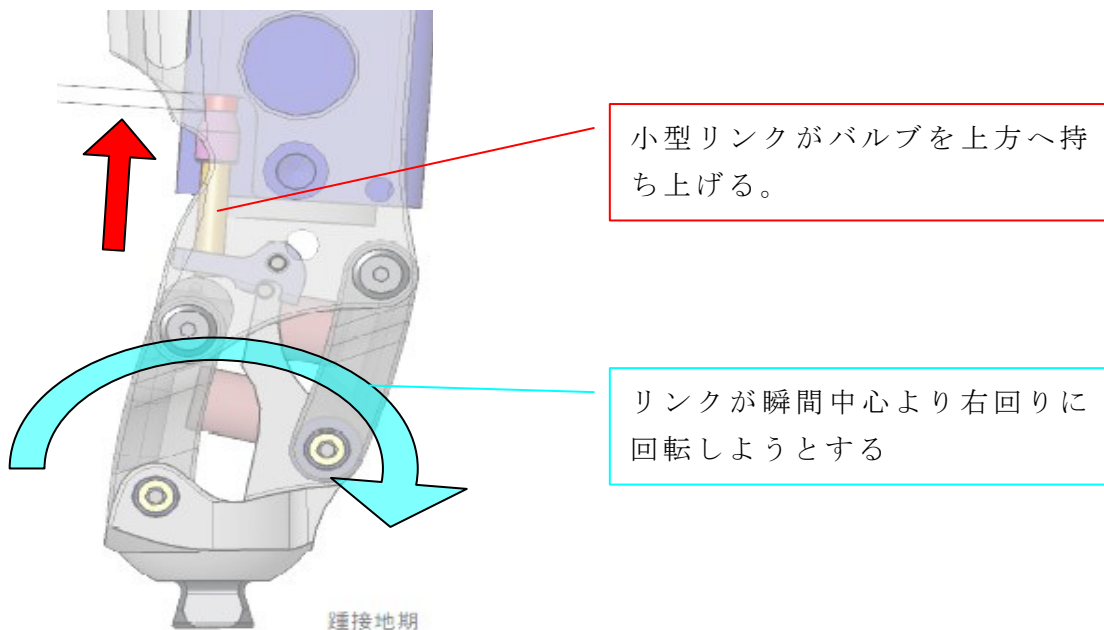


図10 2号機のバルブ接合部

3号機は、リンクの動きを直接バルブに伝達できるように、後方リンクにアームを取り付け、アームの上下動によりバルブを動かす方式とした（図11）。この方式ではバルブへの伝達がよくなり、この方式を今後用いることとした。

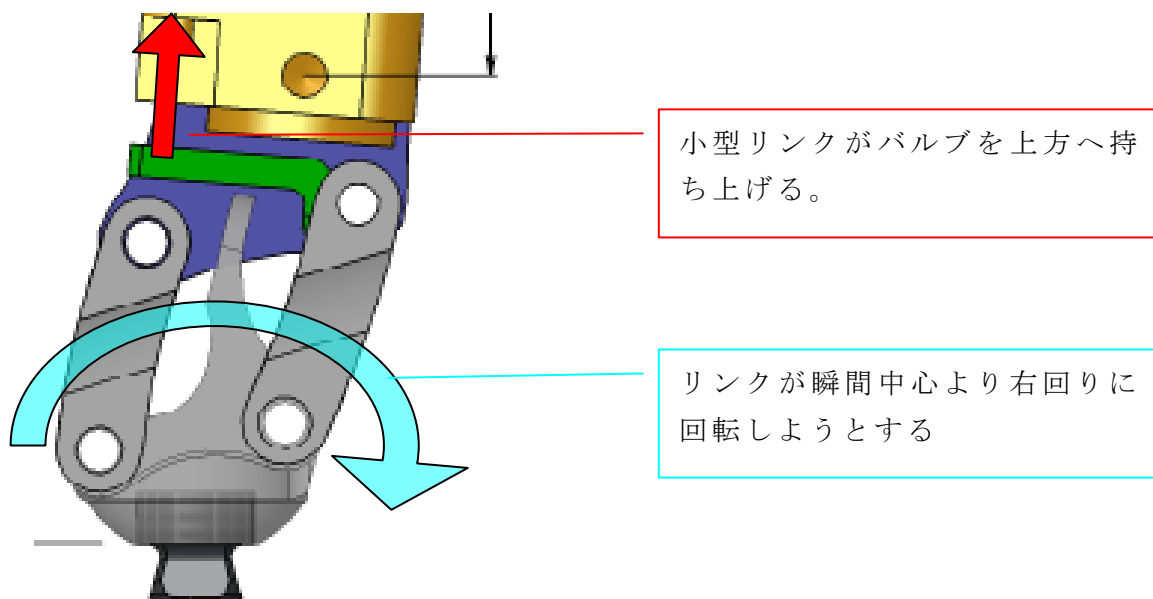


図11 3号機のバルブ接合部

4号機では、3号機のリンクアーム式はそのまま、バルブ開放の補助力として用いていたリンク前方のウレタンゴムをバネに置き換え、より積極的にバルブ解放を行うようにしている（図12）。



図12 4号機のバルブ接合部

#### D. 考察

今回、フレーム、作動リンク部の小型化、軽量化と改良について開発を行い、フレームの軽量化と作動リンクの設計により、実際の歩行で従来機よりも良い評価を受けた。

フレームの軽量化は、材料の見直しも考えた。アルミ合金以外の材料として、スチール、ステンレス、マグネシウム、チタンなども挙げられるが、材料の重量や強度、材料費、製作費を踏まえても CFRP での製作が最も適していると思われる。今後、更なる軽量化を考えると、強度を落とさない部分で、切削を行い、出来上がりの厚みを見直すことが必要になってくる。また、作動リンク部分も強度に影響ない部分で切削処理を行うことで、更に軽量化が可能と思われる。

作動リンク部は、瞬間中心の設定に動作が左右されることから、現状で瞬間中心の設定が可変できず、義足長や歩容、活動度など複雑な条件ではうまく動かない可能性もあり、今後瞬間中心の設定が可能な改良を行う必要があると思われる。しかし、機構が複雑になると強度、重量、コスト等の問題も発生してくるので、簡単な機構が望まれる。

#### E. 結論

フレーム、作動リンク部で約 50g の軽量化を行った。油圧シリンダーの軽量化分を含めると従来型より約 120g の軽量化を行ったことになる。今後の軽量化についても、切削処理を中心に設計を見直すことで、更なる軽量化が期待できる。

小型化に関しては、油圧シリンダーのサイズに左右されるため、今後はフレームの小型化よりも作動リンク部の小型化が重要な部分となる。