

義足膝継手 NAL-Knee(S)の油圧シリンダーの研究開発（機械設計）

開発分担者 古木 泰徳  
開発分担機関 サイエンスリサーチ(株)

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、油圧シリンダー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、油圧シリンダーについて研究開発の報告を行う。

B. 研究開発方法

1-1 油圧シリンダーの改良

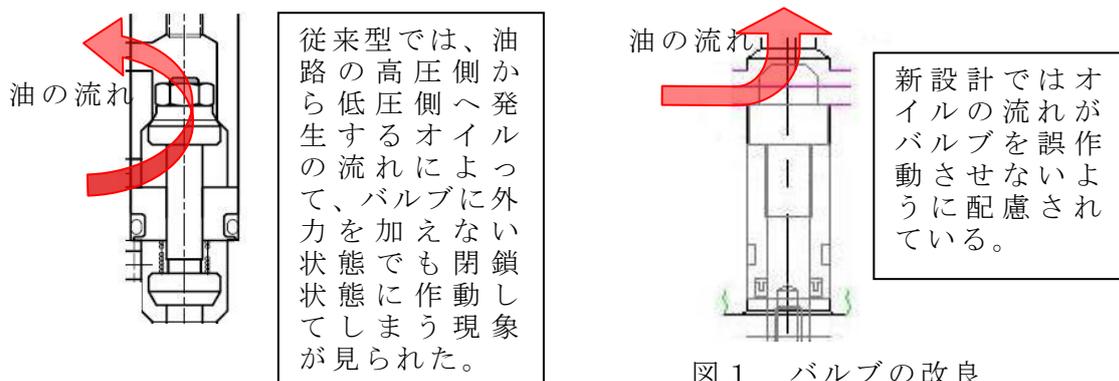
従来型 NAL-Knee の油圧シリンダーは 3 モード動作（踵接地、つま先接地、無荷重）でバルブ開閉を行い、膝の動きを制御している。しかし、この 3 モードを感知させるバルブが、構造上誤作動しやすく改善を要していた。

このため、今回の研究開発ではバルブ機構を変更し、それに準じて油圧シリンダー内部を改良させ、軽量化も実現するため全体の設計改良も行った。

1-2 従来型からの改良点

①バルブの改良

従来型でのバルブの構造では、油圧の不均衡によりバルブが閉じる現象が起こる場合があった。今回油路の経路と、バルブ形状を見直すことで誤作動を解消した（図 1）。



また、従来型のバルブの 3 モード制御型から、2 モード制御型にすることで、より誤作動を起こしにくくしている。これは、3 モードでの中間位（無荷重時）の設定にどうしても揺らぎが出てしまうため、2 モードにすることで作動の確実性が保たれ、さらにストローク量も従来型の 5mm から 3mm に減少し、作動時の振動が抑えられることにもなる（図 2）。

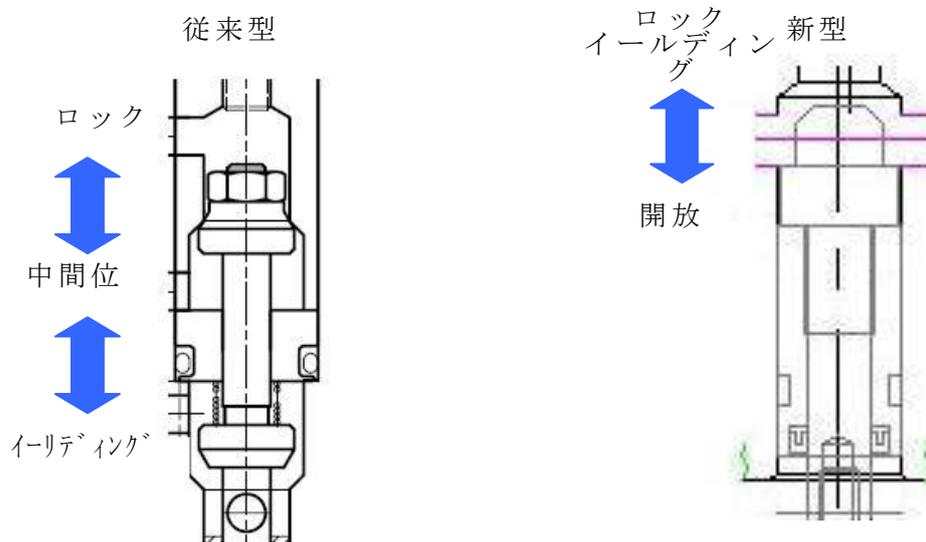


図 2 バルブのモードの変更

## ②オイルタンクの改良

従来型のオイルタンクは単にピストンロッドの上下動によるオイルの容量差を埋めるためのもの（ダイヤフラム式（図 3））だったため、ピストンが高速で動いた場合は、供給が間に合わずキャビテーションを起こし、雑音の原因となり、ピストン動作の抵抗を生み、スムーズな動作を妨げるものとなっていた。

本研究では、オイルタンクの構造をフリーピストン式（図 4）に変え、積極的なオイル供給を行うことで、雑音の軽減とスムーズな動作を行えるようにした。

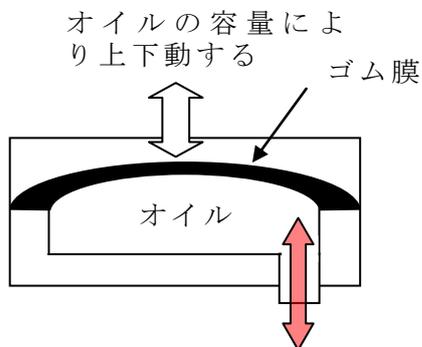


図 3 ダイヤフラム式

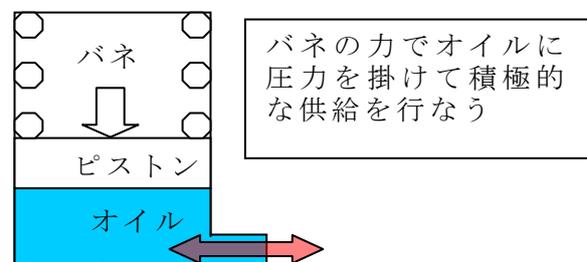


図 4 フリーピストン式

### ③ バイパスピストンの改良

従来型のバイパスピストンは、歩行時のつま先離床時による膝継手のロック動作の解除（図 5）に用いられていた。本研究では、バルブを 2 モード制御に変更したため、つま先離床時でのバイパスピストンを必要としなくなった。しかし、2 モード制御で切り替わる動作が、ロックモードとフリーモードの 2 つしか制御できないため、このロックモードを膝角度により 2 分割で制御する機構として、バイパスピストンを用いることとした（図 6）。

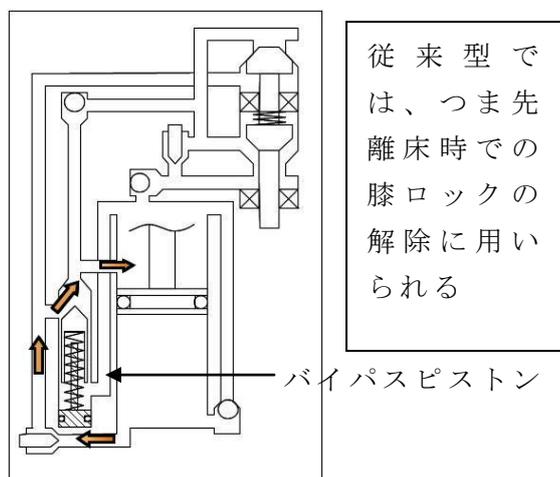


図 5 従来型でのバイパスピストン

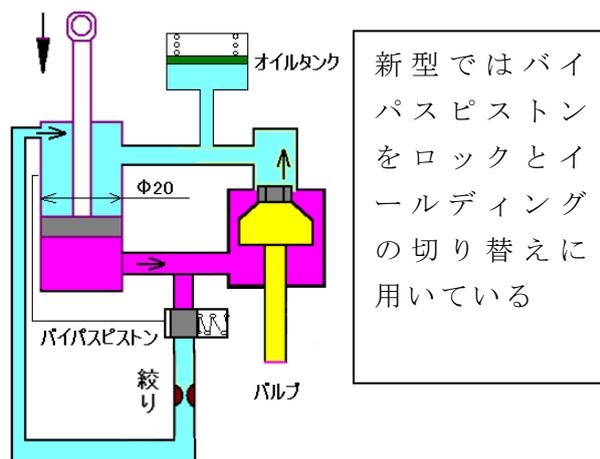


図 6 新型でのバイパスピストン

### ④ シリンダの軽量化に対する改良

従来型の油圧シリンダーはシリンダー単体での重量が 595g であり、総重量の約 1/2 を占めていた。本研究では、設計により従来型より軽量小型化が可能であると判断し、改良案を各試作機に登用し、約 50g の軽量化、小型化を行った。

## C. 開発結果

### 1. 軽量化、小型化について

油圧シリンダーは 1～4 号機まで、計 6 台製作を行った（1 号機、4 号機は各 2 台製作）。軽量化については 1～4 号機までには 25g 軽量化し、従来機より 50g 軽量化が出来た。また、小型化に関しては、組立後の寸法として、全長で約 9.5mm（ねじ部の突出は無視する）、奥行 6.5mm の小型化に至った（幅はフレームに納めるため変更していない）。表 1 は油圧シリンダー組立後の乾燥重量である。

表 1 油圧シリンダー重量（組立）

	乾燥重量（組立後）
試作 1 号	570 g
試作 2 号	500 g
試作 3 号	515 g
試作 4 号	545 g
従来機	595 g

従来型から 1 号機製作では約 25g 軽量化を行った。

1 号機では軽量小型化を行うため、メインピストンの径を  $\phi 22$  から  $\phi 18$  に変更した。このため

油路を詰める事が出来たため、従来型に比べ全長を 6mm、奥行きを 4.5mm 小さくし、全体として 25g の軽量化となった。

2号機では更に軽量小型化を行うため、油路の径を  $\phi 3.3 \sim 2$  に狭小化し、油路を詰め、1号機より、奥行きを 2mm 小さくした。更に全体の不要な金属部分を細かく削り込み、1号機より 70g の軽量化となった。しかし、油路徑を狭くしたことにより、オイルの流れに抵抗が生まれ、動作時の抵抗増加や、キャビテーションによる雑音の拡大に至った。

3号機では油路徑を 1号機と同様に戻し、油路全体の配置を見直した。全体の寸法は 2号機と同様だが、不要金属部分の削りこみが 2号機よりも少なくなったため、15g 重量が増加至った。

4号機では、3号機の油路配置は大きく変更せず、油路抵抗を抑えるための、油路徑の拡大を行った。全体の寸法には変化はなかった。しかし、3号機に比べ、不要金属部の切削を最小限に抑えたため、3号機より 30g の重量増加に至った。

また、従来型よりパーツ点数を少なくし、パーツの材質変更を行った。それに伴う軽量化は、本体そのものよりも大きな効果となった。

表 2 にパーツの総合重量とシリンダー本体の重量を示す。

表 2 油圧シリンダーの重量(分割)

	乾燥重量	
	シリンダー本体	パーツ総合
試作 1 号	435g	135g
試作 2 号	390g	110g
試作 3 号	390g	125g
試作 4 号	420g	125g
従来機	390g	205g

## 2. 油圧シリンダーの改良について

油圧シリンダーの改良は、別紙 1 にその履歴と図面を記載する。

#### D. 考察

今回、従来型よりも油圧シリンダーの軽量、小型化に成功した。その要因として、油路、デザインの設計見直しによるサイズの小型化が成功した。バルブの設計変更に伴い、各パーツも形状や材質を変更し、従来型よりも 50g の軽量化が成功した。

しかし、シリンダー本体のみで見ると、その重量は従来型よりも 30g 増加に至っている。その要因として、

- ・ 新型は、従来型に比べ、なるべく本体に各機構（バルブ、オイルタンクなど）を内蔵する形状になっており、パーツ類の重量が本体に加わっているため。
- ・ 4号機では不要金属部分の切削処理を充分に行っていないため（複雑な切削処理はコストが上がるため最低限に留めた）軽量化できなかった。

などが考えられる。

#### E. 結論

今後も油路やデザインの見直し、パーツの一元化などによる軽量小型化は可能である。また、十分な不要金属部分の切削処理が行うことで、更に軽量となることも期待できるが、その重量を軽減するための費用対効果も今後十分に考慮していかねばならないと考える。

## 別紙1 油圧シリンダーの変更履歴

### (1) 1号機（既存機から1号機の更新）＜図番10207＞

#### ①油路の見直し

全体的に油路を見直す事により本体の形状もコンパクト化を目指す。

#### ②シリンダーのボア径見直し

φ22mmからφ18mmに変更し稼働時の流量を少なくする。

#### ③オイルタンク形状変更

ダイヤフラム式では必要油量の確保が困難な為にシリンダーをタンクとしピストンが油量に合わせて移動するフリーピストン式とした。場所も考え2個配置。

#### ④バルブ形状見直し

バルブ先端のテーパ部でシールを行っていたのをバルブ側面にてシールする様に変更し切り替わりのスムーズさとバルブ閉時に圧力バランスにてロック出来る構造にした。

#### ⑤エキスパンダープラグ見直し

加工にて出来た調整に必要としない油路穴を塞ぐのに使用していたエキスパンダープラグは打ち込み式であって打ち込みミスにより抜け出る可能性が有り、加工自体も段差を設けて2段穴にしないと施工できず、加工費削減及び抜け軽減の為に一部の穴を引き抜き式に変更した。

#### ⑥2段ピストン形状変更

2段ピストンスペースをコンパクト化しバルブ自身も13mmに小さくした。

### (2) 1号機（1号機試験後の更新）＜図番10207＞

#### ①J穴位置変更

2段ピストンの利き（シリンダーロック）を早くするために既存のJ穴を塞ぎ2mm上げた位置を狙った形状で斜めより新規J穴を加工した。

#### ② ⑩番の穴を新規L穴（チェックボール）に

2段ピストンの利きを確実にするために⑩穴を追加しチェックボール（L）が入る構造とし2段ピストン使用時はタンク側の流れるのを防ぐ構造とした。

#### ③バルブ形状見直し

側面シール式では確実に密閉出来ず、テーパ部を押しつけて確実に密閉出来る構造に変更した。また差圧を使用しロック時に外れ難い構造にした。

④ピストンシール変更

既存のピストンシール+ウェアリングでは途中の油路通過時に引っかかる現象が起きスムーズな動きが出来なかった、ウェアリングを外してピストンシールをダブルにし引っかかりを無くした。また、上記構造にする事で2段ピストンの動きを早く動く構造とした。

(3) 2号機(1号機から2号機) <図番10213>

①油路の見直し

全体的に油路を見直す事により本体の形状もコンパクト化を目指す。

②シリンダーボア見直し

受圧面積不良によりφ18mmからφ20mmにボアを変更した。

③オイルタンク数量変更

油路見直しによりオイルタンクスペースを広く取り加工費の削減の為1個に集約した。

(4) 2号機(製作前図面内変更) <図番10213>

① ⑮の穴径をφ3.3mmからφ2.3mmに縮小し2段ピストンの動きを良くした。

②ロック位置を変更

E穴位置を2mm下げロック位置を変更した。

(5) 3号機(2号機から3号機) <図番10214>

①油路見直し

全体的に油路を見直す事により本体形状もコンパクト化を目指す。

②エキスパンダープラグ見直し

油路見直しにより、加工後調整を必要としない油路の穴入り口を塞ぐのに使用していた打ち込み式のエキスパンダープラグを全て引き抜き式に変更。

③リリーフバルブバネ変更

微調整を行いやすくするために、バネ仕様を変更し本体設計も見直した。

④各部の調整用ねじ込みバルブ統一化

シールが先にネジ部を通過して入りシール切れをしていたのを防止するのを目的としネジ部を奥側に変更した。また、調整の行いやすさ及び面圧を上げて抜けに

くくするためにネジピッチを小さくピッチ 0.5mm に変更した。  
上記を行うと共にシール部及びネジ径等を統一化した。

⑤ピストンシール変更

ダブルシールでは摺動抵抗が大きくスムーズに動かない為に、各油路を見直すと共にシングルシール+ウェアリング構造に戻した。引っかかり部も油路徑を必要最低限に小さく変更した。

⑥シリンダーロッド材質変更

既存旧品のロッドに曲がりが発生しているので、現状の材質 SUS304 の材質を強度UPの目的で SUJ2 に変更し錆び等の防止も含めて硬質クロームメッキを施した。

⑦ 2 段ピストン形状変更

現状の 13mm では径に対して全長が短いと判断し、既存の 18mm に戻す構造とした。

(6) 3 号機 (製作前図面内変更) <図番 10214>

E の油路のシリンダーからの取り込み後をスムーズに流す為に  $\phi 1.5\text{mm}$  取り込み後  $\phi 3\text{mm}$  に拡張し 2 段穴構造に変更した。

② F 穴部形状変更

先端形状を他の部分と同形状としていたが、閉めきりが出来る様に 2 段構造に変更した。

(7) 3 号機 (試験後の加工) <図番 10214>

①バルブからの油路変更

バルブ先端の油路がリリーフバルブを抜けて流れていたのを、流れをスムーズにする為に

② ⑩の穴を追加しその先の I の穴へ直接流れる事が出来る様にした。

(8) 4 号機 (3 号機から 4 号機) <図番 10215>

①一部油路見直し

エキスパンダーにて封止する穴は  $\phi 4\text{mm}$  ストレートとして加工低減を計り一部の穴を微調整にて位置関係を調整した。

② E 穴位置変更

ピストンに通じる穴 E を 2mm 上に上げ間接停止の位置を変更した。

③タンク用フリーピストン変更

フリーピストンが内部で引っかかる現象が3号機で発生し、引っかかり防止の為にボア径に対して全長を長くし、引っかかり防止を行った。

④ A穴形状変更

前回3号機時にチェック用のボールを押す事により絞りも出来る構造としていたがオイル通過時に音泣きが発生したので、泣きを止める為に個々の働きを分割後他の構造と同一形状に変更した。

⑤ FC3 & CK3 → FC3・CK3 (別々に加工)