

足部連動式義足の開発研究（その2）

Development of a New Functional Prosthetic Knee Joint System Using Prosthetic Foot Movement Part II

—義足の開発—

—Development of Prosthetic System—

北山 一郎、小西 克浩

KITAYAMA Ichiro, KONISHI Katuhiro

前川 了一、菊池 陽、西原 一嘉（大阪電気通信大学工学部）

MAEKAWA Ryoichi, KIKUCHI Akira, NISHIHARA Kazuyoshi (Osaka Electro-communication University)

キーワード：大腿義足、立脚相制御、リンク機構、イールディング

Keywords: Transfemoral prosthesis, Stance phase control, Linkage mechanism, Yielding

Abstract:

We aim to develop some new prosthetic systems which prevent amputees from buckling of their prosthetic knee and provide a comfortable walking.

First of all, we make some experiments in order to get basic data to develop prosthetic systems. The results of them are shown in this report part I. Through analysis of these results, we develop some new prosthetic systems which have stabilizing mechanism of stance phase.

The basic concepts are below.

- (1) We use pneumatic system for swing phase.
- (2) We put the trigger axis at the lower and a little bit front of below knee to control stance phase.

New systems are,

- (1) Knee stabilizing mechanism and foot connecting system,
- (2) 4-bar linkage system with a weight activated knee braking system,
- (3) Yielding system with a sensitive stabilizing mechanism and Intelligent system.

1 はじめに

当研究所で開発したインテリジェント大腿義足により、大腿切断者の快適な歩行はある程度実現されてきたが、同義足においては、体重を支える際の義足の安定性、快適性には問題が残されている。

本研究では、現状のインテリジェント大腿義足の高機能化を目指し、同義足の優れた遊脚相制御機能を生かしながら、体重負荷時に高い安定性が得られる膝継手の開発を目標とする。このために、足部と膝継手を連動させた機構を基本に、新しい膝継手の開発を行い、実用化を目指す。

昨年度までの研究で、義足歩行での遊脚相制御、および立脚相制御について、分析を行い、これらに基づき、荷重ブレーキ内蔵四節リンク式インテリジェント大腿義足、イールディング（体重をかけてゆっくり膝が曲がる）機能を有する義足などの開発を進めてきた。

本年度は、最初に、これらの機構と機能をまとめ、残された課題等について検討を行う。ついで、この結果から得た有用性が高いと考えられる機能を生かした義足モデルを試作する。本システムでは、膝の急激な屈曲を高感度に防止するため、足部上部に設置した小型シリンダとロータリー油圧機構を組み合わせた立脚相制御機構を有する。さらに、インテリジェント義足の遊脚相制御機構も組み込まれている。

2 義足の開発

2.1 概要

本研究の最終年度として、昨年度までに実施した実験をまとめるとともに開発を行ってきた義足について利点と課題等について分析、検討を行った。

前年度までに、試作した義足は、下記の3点である。

- (1) 足部連動式膝ブレーキシステム
- (2) 荷重ブレーキ内蔵4節リンク機構
- (3) 荷重ブレーキ連動イールディングシステム

以下では、これらの機構と特徴を述べる。

2.2 足部連動式膝ブレーキシステム

本システムは、義足足部に立脚相初期に膝にブレーキかけるためのトリガとなる機構を組み込んだものである。自転車でのブレーキハンドルと同じような機能である。

足部にブレーキを組み込むことで、歩行中に踵接地すれば、膝ブレーキがかかる。また、膝が30度以上に大きく屈曲した状態であっても、ブレーキはかかる。また、ブレーキがかかった後に、膝が軽度屈曲するというバウンス(bouncing)機構も有している。また、以下のすべての試作モデルも同様であるが遊脚相制御はインテリジェント大腿義足のシステムを用いている。

システムと装着中のスナップを図1、図2に示す。

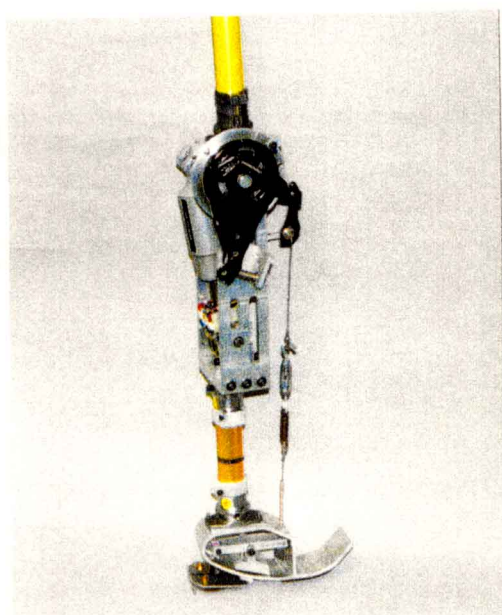


図1 足部連動式膝ブレーキシステム

Fig.1 Knee stabilizing mechanism and foot connecting system



図2 装着テスト

Fig.2 A prosthetic user with a new system

当機構は、ブレーキの効きの感度がよく、ブレーキが効いたあとの安定性も優れている。さらに、バウンス機構は、立脚相初期の衝撃を吸収するのに役立つものである。当機構の欠点は、試作であることによる完成度に問題がある点と機能的な点の2種類ある。前者の点では、①ブレーキ機構が大きいこと、②ケーブルを用いた連結機構が弱いことである。しかし、これらの点は、専用の機構として設計することと、ケーブルではなく金属製ロッドを用いるなどの改良で解決することが可能と考えられる。しかし、後者の点は、このシステムの基本的な課題であるので、今後の改良に生かす必要がある。これは、足部内部にブレーキのスイッチ機構を組み込んでいる点、である。このことは、足部選択の幅を狭めるものであり、足部上部の足継手かそれより上部にこの機構を内蔵することが望ましいと考える。

2.3 荷重ブレーキ内蔵4節リンク機構

上記のシステムは、いわゆる単軸膝継手の制御機構であるが、膝の安定性を得るための代表的な機構としては4節リンク機構がある。

この機構は、前年度の報告書にもあるように瞬間中心(ICR)の位置の関係で、安全に義足に体重をかけることができるものである¹⁾。この機構の欠点は、膝が完全に伸展していない状態では、ICRの関係で単軸膝継手よりもむしろ不安定な状態になる場面があることである。

そこで、この機構に荷重ブレーキを組み込むことを

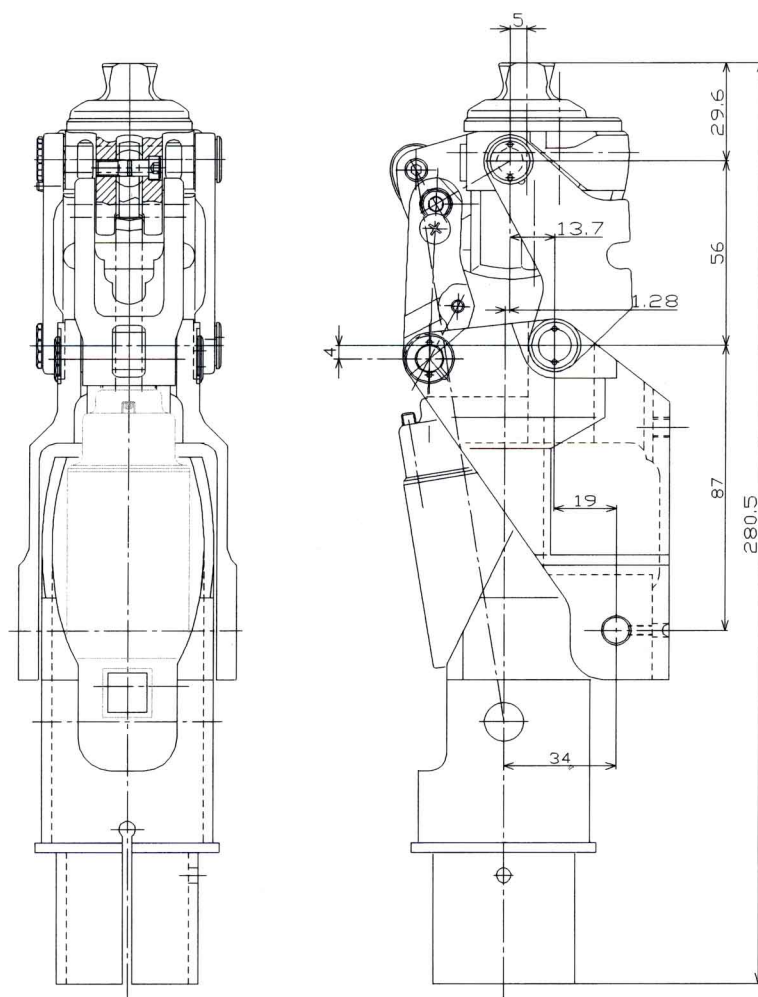


図3 荷重ブレーキ内蔵4節リンク機構の図面

Fig.3 Outline of 4-bar linkage system with a weight activated knee braking system

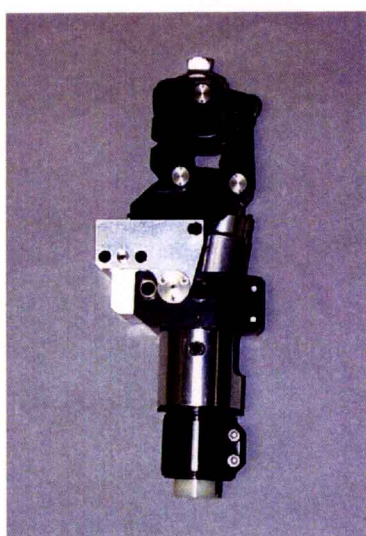


図4 荷重ブレーキ内蔵4節リンク機構

Fig.4 4-bar linkage system with a weight activated knee braking system



図5 機能評価のための装着テスト

Fig.5 Trial walking with a new prosthesis

試みた。これにより、膝が完全伸展していない状態で体重を負荷しても膝折れの心配がない機構が得られる。システムの概要図面と本体を図3、図4に、使用者による試用テストのスナップを図5、図6に示す。図6は、荷重ブレーキの効きを試しているところである。上の図は、後方荷重でブレーキを効かせた状態、下の図は、前方荷重から、ブレーキの効きをなくした状態である。この義足においてもインテリジェント大腿義足の空圧シリンダが内蔵されている。



図6 荷重ブレーキのテスト
Fig.6 Test to weight-activated brake system

同義足は、4節リンク機構に荷重ブレーキを内蔵したものであるが、著者が知るかぎりでは、このような機構の文献での記載例はなく、先進的なものであろうと思われる。

本機構でも、実用化には重量を含めて詳細な部品の製作を必要し、より安定性を増すための設計変更を要すると考えられるが、基本的な機能の有効性は高いので、実用化を目指して進めていきたい。

2.4 荷重ブレーキ連動イールディングシステム

立脚相の制御のためのトリガ軸を膝の下方に設置することを生かして、立脚相の安定性を向上させる機構を開発した。ここでは、2.2の機構での課題である足部に機構を組み込まないように工夫した。

この機構の特徴は、①ブレーキをかけるトリガ軸の位置を最も有効な場所に設置できる、②ブレーキと膝の回転が連動しているため膝にはブレーキ機構を必要としない、③ブレーキとイールディング機構が連動しているためブレーキをかけた後ゆっくり膝を折ることができるイールディング機能を有する。

試作した膝継手と試用中のスナップを図7、図8に示す。

同義足のイールディング機構は機能が残されている高齢者のための義足のためのシステムのキーワードであると考ええる。

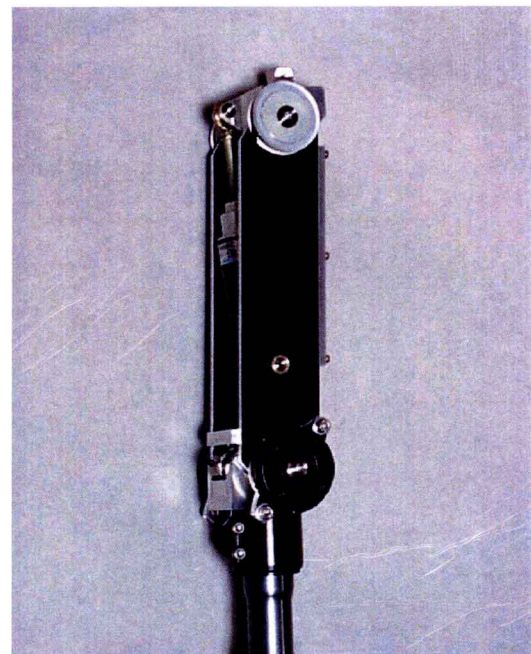


図7 荷重ブレーキ連動イールディングシステム
Fig.6 Yielding system with a brake mechanism



図7 試用テスト
Fig.7 Field test

2.5 立脚相制御について

このように3種類の新しい膝継手の開発を進めてきた。これらは非常に異なる形式であるように見えるが、インテリジェント大腿義足の遊脚相制御を組み込むこと、立脚相制御のための軸の位置を、膝継手付近ではなく足部あるいは足部に近い位置に設置することは、すべての機構に共通するものである。そそれに、多軸リンク機構、バウンシングやイールディングなどの比較的新しい立脚相制御機構を組み込み有用性を調べた。

ここでは、これら3種類の機構の利点と欠点をまとめ、さらにそれらの有効な機構をまとめた足部運動式の最終モデルともいべき機構の設計へと研究を進める(表1)。同表では、特に重要と思われる項目は斜体字で記した。

表1 開発した義足の特徴等

Tab.1 Characteristics of prosthetic systems

	足部運動式膝ブレーキシステム	荷重ブレーキ内蔵4節リンク機構	荷重ブレーキ運動イールディングシステム
特徴	インテリジェント空圧シリンダ 下方設置トリガ機構 ブレーキ機構 足部膝継手運動機構	インテリジェント空圧シリンダ 下方設置トリガ機構 荷重ブレーキ機構	インテリジェント空圧シリンダ 下方設置トリガ機構 荷重ブレーキ機構 イールディング機構
利点	遊脚相制御 膝折れ防止機能 <i>バウンシング機能</i>	遊脚相制御 膝折れ防止機能 <i>多軸リンク機構</i>	<i>遊脚相制御</i> 膝折れ防止機能 <i>イールディング機能</i>
課題	軽量化 ブレーキ機構が大きい	軽量化	連結方式
欠点(大きな課題)	足部が限定される	バウンシング組込み イールディング組込み 階段交互下り	重量

3 足部運動式義足の開発

上記の研究で、①遊脚相制御としてはインテリジェントの空圧機構の有用性が高く、これに油圧式立脚相制御機構を組み込むことが有効であること、②安全に歩行するためには立脚相制御が感度良く働くこと、また、③階段や坂道での突っかかりを防止するためにもイールディング機構が有効であることなどが予想された。この結果から、足部運動式義足の最終モデルとして、高感度に機能するロータリー油圧機構とインテリジェント大腿義足を組み合わせた機構を考案し、試作を行った。

義足は、歩行中膝の安定性を必要とする時、膝部分に設置した油圧膝ユニットが働き膝の急激な屈曲転倒を防止し、足が床から離れて前方に振り出される場面(遊脚相)においてはインテリジェント大腿義足の機能が働く機構となっている。

また、油圧膝ユニットは、わずかな体重負荷を行うことで、膝折れ防止機構が働くように考案した。

図8に機構の概要を、図9に義足を示す。

システムが目標とした主な仕様は、

(1) 油圧膝ユニットの組み込み

○弁を制御することで回転抵抗を変えることができる油圧ユニットを内蔵している。

○このユニットは、弁を閉じれば急激な膝折れが起きない能力を有している。

(2) インテリジェント大腿義足の機構内蔵

○油圧膝ユニットの回転に連動してインテリジェント大腿義足のシリンダのピストンロッドが動く機構である。

○インテリジェント大腿義足の遊脚相制御機能を有する。

(3) 油圧膝ユニットの制御システム

○義足下腿部の荷重程度の負荷により、ブレーキのメカニズムが作動する。

○これと回転式油圧膝ユニットの弁が制御できる。

機能の有効性は確認できたが、重量や、膝の屈曲角度の制限などの幾つかの課題は残されている。これらを解決し、実用化を進めていきたいと考えている。

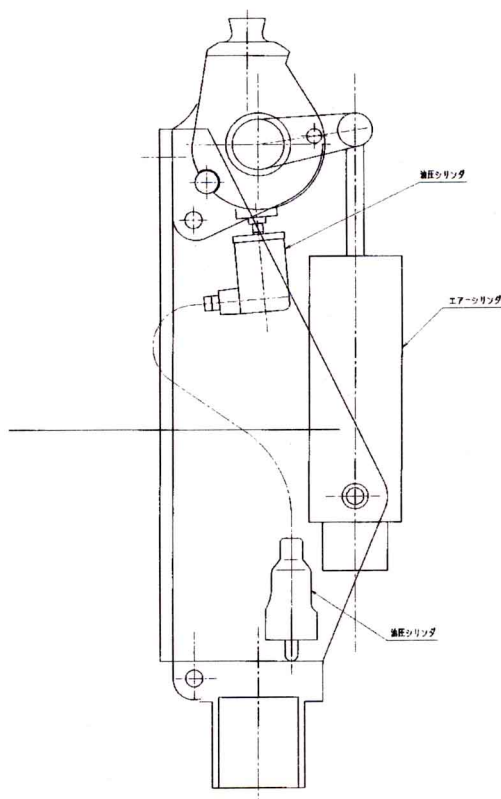


図8 油圧膝ユニット内蔵義足の概要図

Fig. 8 Outline of hydraulic-vane-type knee joint



図9 油圧膝ユニット内蔵義足

Fig. 9 Hydraulic-vane-type knee joint

4 おわりに

本研究では、義足の立脚相制御を目的に、インテリジェント大腿義足の機能内蔵した新たな義足膝継手の開発を実施した。

開発要素としては、

- (1) 荷重ブレーキをいわゆる“効きやすく”“抜けやすい”ものとする。
- (2) 4節リンク膝継手に荷重ブレーキを組み込む。
- (3) イールディング機構を組み込む。
- (4) バウンス機構を組み込む。
- (5) 高感度のブレーキ機構の実現。

などであり、いずれも有用性が高いものである。

使用者の身体機能は様々であり、それに対応した種々の機能が要求される。上記の機能を必要とする義足使用者もそれぞれ多数あると考えられる。

今後は、これらの機構の実用化を進めていきたい。

参考文献

- 1) 北山一郎ほか、足部連動式義足の開発研究、平成12年度福祉のまちづくり工学研究所報告集、175-184(2001)
- 2) 北山一郎ほか、主な多軸膝継手の動きの分析と膝継手の提案、第17回日本義肢装具学会学術大会講演集、110-111(2001)