

冬期凍結路面でも歩ける高安定性 義足膝継手の開発

ナブテスコ株式会社

代表取締役社長 小谷和朗

ナブテスコ(株) 福祉事業推進部 奥田正彦

ナブテスコ(株) 福祉事業推進部 中矢賀章

はじめに

大腿部で切断した場合、人間の膝の代わりをはたす義足膝継手を使用される。使用者は、義足に体重をかけたときに、意図に反して膝が曲がり転倒する（以後、「膝折れ」と呼ぶ）心配のない義足を望んでいる。最近では膝折れが起こりにくい立位安定性に優れた多軸リンク式の製品が市販されている。しかし、これらは平坦な路面や緩やかな傾斜面での使用に限られており、冬期の積雪や凍結した路面では膝折れが起こりやすく、転倒の危険性がきわめて高い。

この問題を解決するために、独自の6軸リンク機構と油圧を組み合わせた義足膝継手を開発した。その結果、冬期に凍結した路面でも滑らずに安心して歩け、夏期や屋内などの非凍結路面では一般用義足として使用できる両用の義足を提供できた。

開発のねらい

図1は大腿義足の例を示しており、ソケット、膝継手、足部からなっている。義足使用者は、図2のようにソケットに残存した大腿部を挿入し、立位時には残存する筋力で大腿部を伸展させる（図中a）ことにより意図的に膝を延ばし、膝折れを防止する。遊動時には、同じく大腿部の残存筋力を使って義足を揺動させる（図中b）。

しかし、残存筋力が小さい使用者は、膝折れを防ぐことができず、転倒してしまう可能性が高い。遊動時には義足の揺動をコントロールできず、意図する速さで歩けない。したがって、義足膝継手には使用者が行う膝折れ防止の負担を減らし、義足の遊動をコントロールしやすくする機能が重要である。冬期凍結路面で使用する場合は、その機能をさらに高める必要がある。

そこで、本開発は高い立位安定性をもたせることにより、冬期凍結路面でも安心して歩ける義足膝継手を開発することをねらいとした。



図1 大腿義足の例

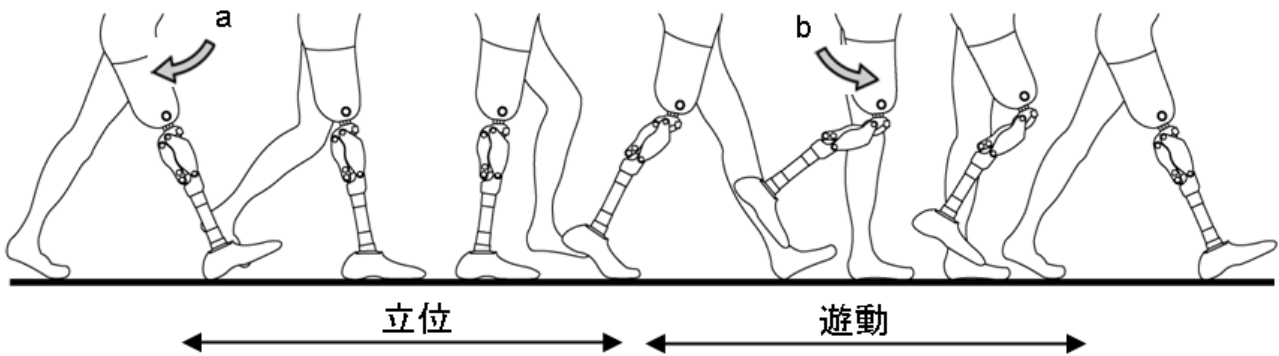


図2 大腿義足使用者の歩行

装置の概要

図3に開発した義足膝継手の外観および構成を示す。6軸リンク機構、油圧シリンダ、バンパ、手動ロック機構からなっている。膝関節は従来の4軸リンク機構に2つの中間リンクを加えた6軸リンク機構とした。この機構は中間リンクの運動方向により変形の仕方が異なる。立位姿勢では、このうち一方向の変形が制限された状態で体重をかける。バンパはゴムでできており、かかと接地時の衝撃をやわらげる。この時の変形は後述する軽度屈曲を実現する。他方向の変形は自由であり、義足の遊動に用いられる。油圧シリンダの抗力は、膝屈曲の角速度に応じて変化するので、歩く速さを変えると義足の揺動速度が自動的に調節される。手動ロックは、機械的に膝屈曲を禁止するので、完全ロック、いわゆる“棒足”の状態をつくる。



図3 開発した義足膝継手の外観および構成

技術上の特徴

開発した義足膝継手には、3つの特徴がある：

①独自6軸リンク機構

立位時の膝を軽度（ $\sim 10^\circ$ ）に屈曲でき、安定性が高い

②油圧特性の最適化

蹴りだし時に滑りにくく、前に進みやすい

③膝完全ロックの選択機構

雪を蹴散らせ、路肩などの凹凸面でも安心

<6軸リンク機構>

先行研究では、健常者は凍結路面で「小さい歩幅で膝関節を $10\sim 15^\circ$ に軽度屈曲させながら、万一の滑りや転倒を気遣いながら歩く」ことが明らかにされていた。本開発にあたっても、ビデオ観察や模擬的につくった滑りやすい路面での歩行分析により、凍結路面の歩行を調査した。

一方、従来の大腿義足では、膝を完全に伸ばしたまま歩かないと膝折れが起こった。しかし、完全伸展（ 0° ）だと、かかとを接地したとき、靴底が点で接地するので滑りやすかった（図4a）。そこで、膝関節構造を独自に考案した6軸リンク機構にすることより、かかと接地時に最大 10° の軽度屈曲を可能とした。これにより、かかと接地した瞬間に靴底が面で接地し、接触面積が増大するので滑りにくくなると考えた（図4b）。

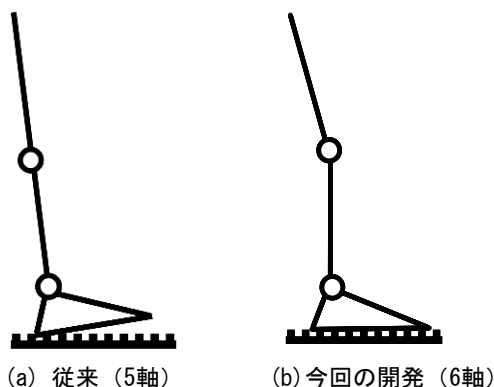


図4 かかとと接地時の滑り対策（膝構造）

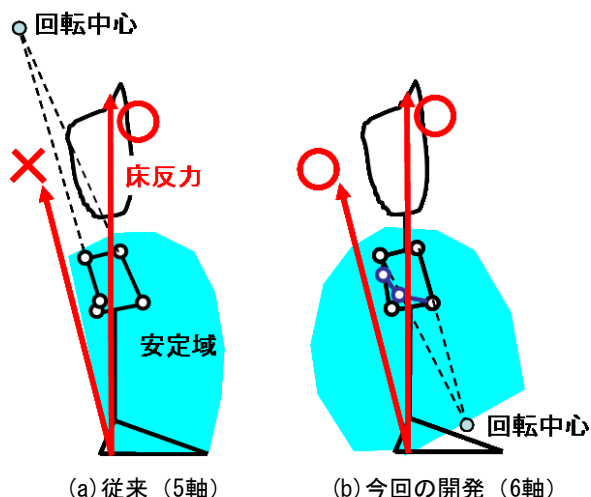


図6 開発した6軸リンク機構



図5 義足膝継手の軽度屈曲

図5に開発した義足膝継手の軽度屈曲の様子を示す。ゴムバンパの弾性により、かかとに体重を掛けた時に膝が軽度（最大 10° ）に屈曲する。同時に機構の働きにより、かかとが接地した瞬間に自動的にロックがかかる。これらの効果により足底の接地面積が増大した。また、膝が軽度屈曲すると体重が後方に移動し、膝折れが起りやすくなるが、開発品は自動ロックがはたらくので、膝折れを防止できるようになった。

図6に開発した6軸リンク機構を示す。従来の5軸リンク機構では、回転中心は膝の後方上部にあったが、6軸にしたことにより、回転中心をつま先近傍に配置できるようになったので、自動ロックの作動範囲（安定域）が広くな

り、従来品より膝折れがしにくくなった。

<油圧特性の最適化>

一般に義足膝継手は遊動制御に油圧シリンダが使われるが、冬期凍結路面では遊動開始時（蹴りだし時）の油圧特性が滑りやすさにつながるという問題があった。すなわち、図7のように蹴りだし時には、油圧抵抗に抗して強い力で蹴りだすことにより膝を曲げ、遊動期に入る必要があった。それに対して、今回は小型の油圧シリンダを開発し、義足使用者の感覚に合わせて油圧特性を調整することにより、小さい蹴りだし力で遊動に移行できるようにした。その結果、蹴りだし時に滑らず前方に移動しやすくなった。

<膝完全ロックの選択機構>

試作品を用いた装着評価を進めると、踏みならされた凍結路面だけでなく、路肩など凹凸面を越える時に使用者は膝折れの不安を感じるようになった。また、アンケート調査によると、農作業のときなどは雪を蹴散らして歩きたいとの要望があった。そこで、使用者自身が、レバー操作により膝を機械的にロックできる機能を付加した（図8）。なお、この完全ロック状態でも立位時の軽度屈曲は実現され、滑りにくい機能は継続される。

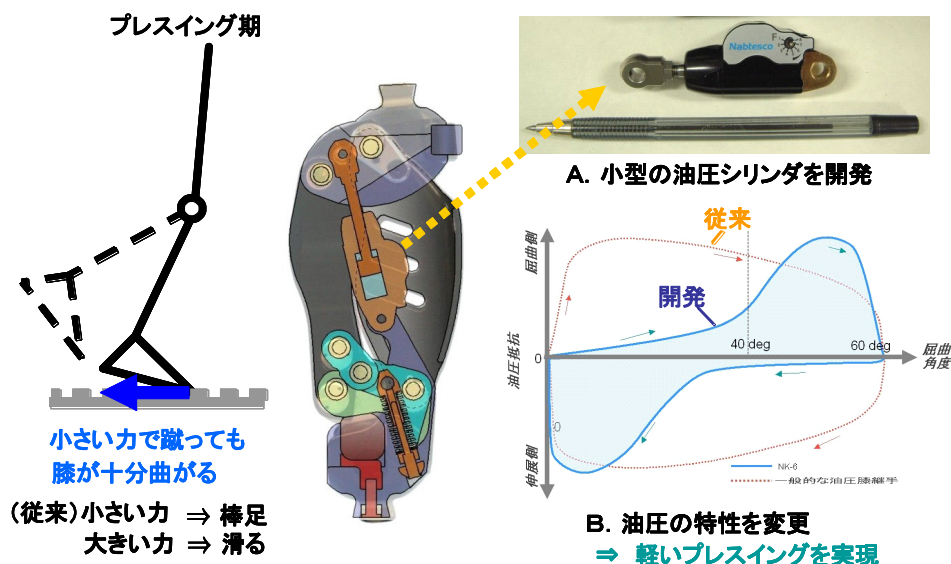


図7 油圧特性の最適化



図8 手動ロック機構および使用例

実用上の効果

- 1) 冬期凍結路面に対して優れた特性を有しており、凍結凹凸路面での安全確保、雪を蹴散らしながらの歩行・靴底の滑り防止など、今までになかった冬用義足を提供できた。
- 2) 立位安定性重視の一般用義足、特に切断初期訓練用、高齢者用義足としても実用化できた。

3) 産業分野向け製品で培った先端技術（3次元CAD/CAM、精密加工技術、複雑形状成形技術、油圧技術）を応用した。

知的財産権の状況

特許登録は下記の通りである：

- ① 日本国特許 第登録-0419415号
名称：多節リンクの膝関節を備える義足
- ② 日本国特許 第登録-04911542号
名称：屈曲初期のトルクを低減した義足
- ③ 日本国特許 第登録-04906013号
名称：手動ロック機構を備える膝継手

むすび

本開発は、札幌医科大学と(有)野坂義肢製作所が行った先行研究を基にした。商品化にあたっては、寒冷地に住む使用者のニーズを再調査し、新しい機能を加えた。2010年から販売を開始し、現在は高安定性義足膝継手として海外20ヶ国にも輸出している。今後も、様々な生活場面で使用できる義足を開発してゆく所存である。