

## 巻頭言

## Powering Mobility for All : ロボット義足の開発

孫 小 軍\*



## 1. はじめに

この度、「カヤバ技報69号」の巻頭言執筆の機会を頂き、大変光栄です。私たちBionicM株式会社はロボット義足の研究開発を行っているベンチャー企業です。2023年よりカヤバ株式会社技術本部基盤技術研究所様と共同研究を実施させていただいております。この巻頭言をお読み頂いている方は、義足についてご存じない方も多いと思われるので、弊社の紹介に加え、ロボット義足とその開発について、簡単にご紹介させていただきます。

## 2. BionicM株式会社の使命

私が義足の開発を志したのは、私自身が義足との出会いによって人生を大きく変えることができたからでした。私は元々健常者として中国・貴州省の農家に生まれましたが、骨肉腫が原因で、9歳の時に右膝から上を切断しました。切断してからは、松葉杖を使う生活が始まり、それまでの生活から大きく変化しました。例えば、雨天時に学校へ登校することですら、通学時に何度も滑って転んでしまいました。また、松葉杖は両手が拘束されるため非常に不便で、かつて日常生活をおくる際に一人で出来ていたことが出来なくなりました。中国で15年間松葉杖生活を送った後、初めて義足に出会ったのは、日本に留学していた大学院生の時でした。1年近いリハビリ等の期間を経て、初めて義足で街に出た時の喜びは今でも忘れられません。雨天時には傘をさして外出ができ、また食堂では自分でトレーを持ち運びできるようになりました。15年ぶりに松葉杖から両手が解放され、文字通り、人生が変わった瞬間でした。

モビリティと申しますと、自動車や電車といった移動手段を思い浮かべる方も多いかと思いますが、私は「足」こそが人類の根源的な移動手段、モビリティであると考えております。これまで様々な経済活動において、ヒトやモノを長距離でも迅速に移動

させるモビリティが求められてきました。機械工業の発展に伴い、その要求に応えるように開発された自動車や電車等のモビリティは、天候や地形等の環境に左右されにくく、効率的な時間管理を可能にして経済発展に大きく貢献してきました。他方、足というモビリティは、体力に依存するため、移動距離や速度に限界があり、長距離かつ迅速な移動には適していません。健常者にとって二足歩行による移動は自明であるため、欠点にばかり焦点が当たりやすいですが、足は非常に細かい運動制御に基づき、狭路や坂道といった様々な環境に逐次適応してくれています。足は他のモビリティと比較したときに、経済発展に対する貢献度は明示的には小さいかもしれませんが、しかし、足によって実現される二足歩行は人類の根源的な運動であり、人間の活動の土台となる身体的な健康はもちろん、精神的な健康にも大きく寄与すると、私はこれまでの経験から確信しています。自分の足で行きたい場所に歩いていける、その支えとなる技術を提供したい、それが弊社の使命“Powering Mobility for All”にかける私の想いです。

## 3. 義足とその変遷について

義足は、ご存知の通り下肢切断者の欠損部位を代替する器具です。義足は主に「大腿義足（膝上切断用の義足）」、「下腿義足（膝下切断用の義足）」に大別され、大腿義足は一般的に図1に示すようなソケット、膝継手、足部の3つの部品を組み合わせることによって構成されます。弊社が開発したロボット膝継手Bio Leg<sup>®</sup>は膝継手に相当し、膝関節の機能を代替します。

市販されている多くの膝継手は、バネや油圧ダンパといった機械要素を活用することにより、歩行時の膝の屈曲・伸展運動を支援します<sup>1)</sup>。これらの機械要素は受動部品であり、主に制動装置とし利用者の歩行に寄与するため、利用者は体幹や股関節の運動によって「(膝継手を含む)義足を振る」必要があります。歩行におけるこのような代償動作は腰痛

\*BionicM株式会社 代表取締役CEO



図1 大腿義足

の一因となることが知られています<sup>2)</sup>。他の運動においても代償動作は利用者への身体的な負担となることが確認されており<sup>3),4)</sup>、大腿義足利用時の大きな課題の一つとなっています。

大学等の研究機関では、電動モータを内蔵した動力付膝継手を開発することで、従来の市販膝継手で生じる問題の解決が試みられてきました。弊社製品であるBio Leg<sup>®</sup>も動力付膝継手に相当し、私の博士後期課程における研究が起点となっています。動力付膝継手は、電動モータに代表される能動部品により駆動装置としても活用されるようになりました(生理学的には遠心性・等尺性収縮に加えて求心性収縮も可能となり、人体の筋肉の基本機能がようやく膝継手に付与されたと概ね言えるかと思います)。その結果、階段上り動作支援といった従来の膝継手では困難であった動作支援が実現されるようになりました。直近の共同研究では、動力付膝継手が椅子からの立ち上がりにおける膝の伸展運動を支援することで、利用者の両足荷重対称性が向上するという実験結果が得られております<sup>5)</sup>。このように動力付膝継手は利用者の身体的な負担を軽減する可能性が示唆されており、将来的には健常者と同程度まで下肢切断者の機能が回復されると信じております。

#### 4. 動力付膝継手の開発

動力付膝継手の利用者へのメリットが示唆される一方で、動力付膝継手は未だ人体の膝関節とは大きな隔たりが存在し、動力付膝継手の設計開発には様々な課題が残っています。例えば、動力付膝継手の重量の問題です。人体は大腿と下腿が様々な靭帯

により強固に接続されていますが、大腿義足の場合、ソケットの内部を陰圧に保つことで断端(下肢切断における残存部位)と接続されます。したがって、利用者は膝継手の重さを断端部で受けることから、膝継手は可能な限り軽量であることが求められます。一方で、動力付膝継手は膝関節周りにおいて比較的大きな出力が求められます。動力付膝継手は、立脚時(義足側に荷重した状態)には利用者の体重を支える程の関節トルクが必要であり、遊脚時(義足側を懸垂した状態)には早歩きに対応できるほど比較的高い関節角速度での駆動を実現しなければなりません。電動モータと減速機の組み合わせにより駆動する市販の膝継手で、動力付膝継手の重量および出力の要求仕様を両方満たす製品は、私が把握している限りでは存在しません。私の博士研究において、この出力重量比を改善するために膝継手に特化した可変減速機の研究開発を行ってきましたが<sup>6)</sup>、まだ改善の余地があると感じており、筋肉や関節の機構といった人体のすごさを感じつつ、人体にいかにか近づけられるかが動力付膝継手開発の面白さであり、やりがいを感じるどころです。

#### 5. 企業連携への期待

私のこれまでの経験から、ベンチャー企業の強みは、柔軟に製品開発を行えることだと感じております。上述の通り、動力付膝継手を設計するには、機械や電気といったメカトロニクスだけでなく、バイオメカニクスといった異分野を横断した総合的な知見が必要となります。そのため、弊社では製品開発において様々な視点が必須だと考え、エンジニアはもちろん、義肢装具士や理学療法士といった医療関係者の方々からも助言をいただきながら設計開発を進めてきました。約5年間(研究期間を含めると約8年間)の試行錯誤の結果、ようやく製品を上市する準備が整いました。

経営的な視点から振り返ってみますと、製品の開発期間が長いことは今後の課題だと感じております。近年、大学や企業から新たな膝継手が続々と発表されております。膝継手も以前と比べて競争が激しくなっているように感じており、製品開発期間を短縮することが求められます。一方で、膝継手は欧米では医療機器扱いであり、毎日使用されるものであるため、性能以上に安全性が求められます。開発期間の短縮と高い安全性というトレードオフを解決する手段として、私は企業連携に期待しております。Bio Leg<sup>®</sup>の開発を進める中で、利用者は膝継手の動作の感覚を重要視していることがわかってきました。これは、歩行の際に膝継手が利用者の思い通りにつ

いてきているか、感触が良いかなどに代表される主観的な感覚であり、自動車の乗り心地に非常に近いものであるという知見が得られました。日本は高い安全性が要求される自動車という工業製品の輸出大国であると理解しています。自動車の製造で培われた技術や安全性に関する知識を、二足歩行という異なる「モビリティ」に応用できれば、より安心・安全かつ高性能な膝継手の開発を短縮された開発期間で実現できると考えております。

2022年に日本政府は第二の創業ブームを実現するため「スタートアップ育成5カ年計画」を策定したこともあり、スタートアップやベンチャーという単語は耳慣れた言葉となってきました。しかし、ブームで終わらせることなく、新たなモビリティの市場を開拓するには、市場に合わせて動くことのできるベンチャー企業の柔軟さと大企業のロバストなハードウェア技術の融合が必要だと考えております。弊社の使命である“Powering Mobility for All”のもと、新たなモビリティ市場開拓のために尽力致しますので、引き続きご協力いただけましたら大変嬉しく思います。

最後に、本稿執筆におきまして、弊社技術部金石・小牟田ならびに技術部の社員の皆様に多大な協力をいただいたことに感謝します。

## 参 考 文 献

- 1) 奥田正彦, “膝継手の歴史の変遷と今後の課題”, 日本義肢装具学会誌, 27(1), 2011.
- 2) Devan H, *et al.*, “Physical activity and lower-back pain in persons with traumatic transfemoral amputation: a national cross-sectional survey”, *The Journal of Rehabilitation Research and Development*, 49(10), pp. 1457-1466, 2012.
- 3) Highsmith M.J., *et al.*, “Kinetic asymmetry in transfemoral amputees while performing sit to stand and stand to sit movements”, *Gait & Posture*, 34(1), pp. 86-91, 2011.
- 4) Wolf E.J., *et al.*, “Comparison of the Power Knee and C-Leg during step-up and sit-to-stand tasks”, *Gait & Posture*, 38(3), pp. 397-402, 2013.
- 5) Hobara H, *et al.*, “IMPROVED LOADING ASYMMETRY DURING SIT-TO-STAND MOVEMENT IN UNILATERAL TRANSFEMORAL AMPUTEES USING POWERED-PROSTHETIC KNEES”, *American Academy of Orthotists and Prosthetists (AAOP) 50th Annual Meeting and Scientific Symposium*, Chicago, Illinois, USA, 2024.
- 6) Sun X, *et al.*, “Variable Transmission Series Elastic Actuator for Robotic Prosthesis”, *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Brisbane, QLD, Australia, 2018, pp. 2796-2803.