

理学療法基礎系専門領域研究部会

生活支援に向けた工学的技術の応用*

—パワーアシストスーツの開発—

諸 麦 俊 司**

はじめに

パワーアシストスーツと聞いて皆さんはどのようなものを思い浮かべるだろうか。身に付けることで人間の身体能力を拡張する機械はSF映画やアニメーションには数多く登場する。特殊な衣服を身に着けるだけでほら、あなたも力持ち。小さい子供が夢見るような、シンプルで素朴な夢。そんな夢のような技術が近年、高齢者福祉や障害者の自立支援等の分野において近い将来に実用化されるであろう技術として急速に注目を集めつつある。そんなパワーアシストスーツおよびその周辺技術の開発について、筆者がこれまでカリフォルニア大学アーバイン校、また長崎大学の機械制御学研究室において、理学療法学研究者をはじめとして医学関係者、ならびに義肢装具士等、多くの方々の協力を得て行ってきた取り組みを中心にここで紹介させていただくことにする。

パワーアシスト技術の歩み

物語や小説の中に数多く登場する装着型のパワーアシスト装置だが、実際に人間の身体能力を拡張すること目的として行われた工学的研究の最初の例は1960年代半ば、アメリカでGE社と軍の協力により開発された「ハーディマン」であるとされている¹⁾²⁾。パワーショベルに用いられるような強力な油圧動力と電気モータを用いており、操作者が大きな機械に全身を覆われた物々しい写真が残されているが、その当時の技術では満足するものは実現できなかったようである。また1990年代初頭、カリフォルニア大学パークレー校において「ヒューマンエクステンダー」と呼ばれる据付型の片手用増力ロボットが開発された³⁾。これも軍からの支援を受け、主に戦闘機にミサイルを積み込む作業の効率化を目的として開発されたものだった。最近のものではアメリカ国防省高等研究計画局(DARPA)がExoskeleton Projectと称するプロジェクトの中で取り組んでいる装着型ロボットがある⁴⁾。歩兵の下肢機能の増幅による機動力向上を目的として、2005年の実用化を目処に研究が進め

られている。

日常生活の支援を目的として

そんなに強力でなくとも、人間と同等の力。あるいはその半分でもいい。コンパクトで衣服のように軽く、取り付け取り外しが簡単なものが出来れば日常生活の支援に役立つのではないか。そんな考えから、今から5年前にカリフォルニア大学アーバイン校(UC Irvine)に研究員として在籍していた筆者は介護や重労働の支援を目的としてパワーアシストスーツの研究に取り組み始めた。出力を抑えることで軽量化を図り、必要な部分に必要なだけのアシストを施すことでコンパクトなスーツを実現しようというものである。快適なアシストを実現するためには使用者の動作意図を的確に抽出しなくてはならない。着脱が容易で安定性の高い筋活動量検出センサを独自に開発し、自在な操作を可能にするマンーマシンインターフェースとして利用した。

このとき開発したセンサに更に改良を加えたものを利用して、帰国後も幾つかの種類のパワーアシストスーツの開発に取り組んだ。実験を通して、パワーアシストスーツによる体力補強、疲労軽減ならびに障害者の機能代替等への効果や有効性を定量的に確認している。近年、同様な装着型パワーアシスト装置に関する研究は特に日本国内において、これからの福祉を支える重要な技術として急速に注目を集めており、神奈川工科大学の山本圭治郎教授や筑波大学の山海嘉之教授をはじめ、多くの工学研究者がその開発に取り組んでいる⁵⁾⁶⁾。

使いやすいパワーアシスト技術の確立を目指して

それでは筆者がこれまで開発に取り組んできたパワーアシストスーツおよびその周辺技術に関するものを幾つか紹介させていただく。

1. 下肢アシストスーツ

介護支援やリハビリ、肉体労働者の疲労軽減等を目的として下肢アシストスーツの研究を行っている。従来に見られた重くて動きづらい全身装着型のパワーアシスト装置とは異なり、スポーツ選手が利用するサポーターのような感覚で気軽に必要な部位に装着しての利用を想定している。独自に開発した体表から筋肉の硬さの変化を検出するセンサを用いて各筋肉の活動量を推定し、運動中にスーツ利用者の体にかかる負担の方向や

* Mechanical Engineering Applied to Livelihood Support
—Development of Power-Assistive Suit—

** 長崎大学工学部機械制御学研究室
(〒852-8521 長崎県長崎市文教町1-14)
Shunji Moromugi, PhD: Department of Mechanical Systems
Engineering, Nagasaki University
キーワード: パワーアシストスーツ, 生活支援, 医工連携

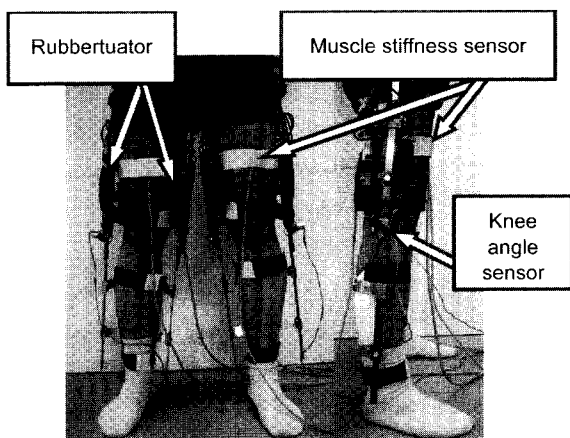


図1 下肢アシストスーツ試作機

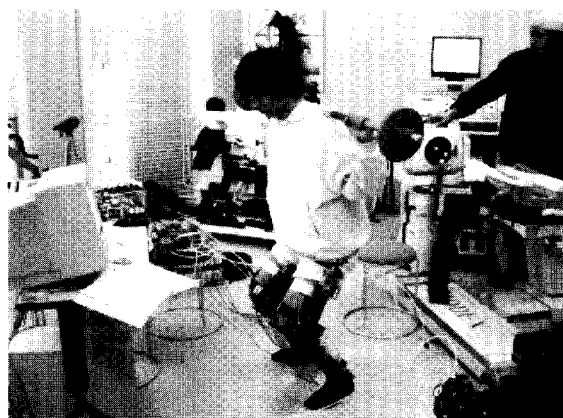


図3 下肢アシストスーツの疲労軽減効果に関する実験



図2 下肢アシストスーツの脚力補強効果に関する実験

大きさを算出することができる。この情報を元に利用者の体への負担を軽減するようにスーツを駆動することで、利用者の快適な労働や日常動作の補助を実現する。金属フレームと医療用熱変形樹脂とからなる必要最低限の骨格と、動力源としてラバチュエータと呼ばれる、空気圧で駆動する軽量な人工筋肉を有する。図1に製作した下肢アシストスーツ実験機の写真を示す。これらは今後より軽量、コンパクトに改良され、センサ類とともに柔らかな生地に埋め込まれる予定である。

スポーツ選手の体力評価用具を用いて実験機の評価を行った。図2に脚力補強に関する評価実験の様子を示す。その結果、本パワーアシストスーツの利用により、男性で約23%、女性で約20%の脚力補強が確認できた。またこれとは別にパワーアシストスーツの疲労軽減効果を検証する実験として、一定時間の繰り返し運動負荷の前後における心拍数と血中乳酸値の計測をパワーアシストスーツを着けた場合とそうでない場合とで行った。図3に疲労軽減実験の様子を示す。その結果、パワーアシストスーツの大きな疲労軽減への効果が確認された⁷⁾。実験機によりその効果を確認することができたので、今後改良を重ね、より効果的で使いやすい下肢アシストスーツの実現を目指す。

長崎大学医学部、カリフォルニア大学工学部、北海道大学情報科学研究科、義肢装具製作会社との協力のもと、開発が進められている。

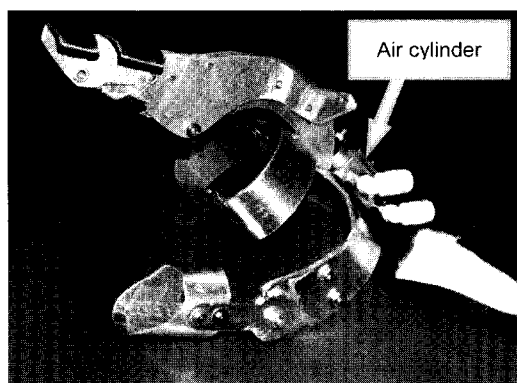


図4 小型エアシリンダにより駆動するパワーグローブ装着部

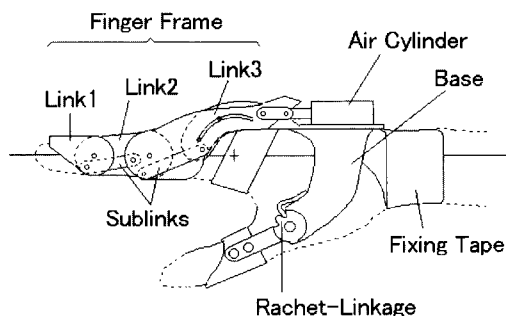


図5 パワーグローブ、装着部の構造

2. パワーグローブ

クラブ活動中の不慮の事故により下半身と両手の指に麻痺を負ったある医学生に対し、学業復帰および生活のサポートを目的として、筆者らは一昨年、長崎大学医学部と協力チームを結成した。その活動の中でこれまで様々な道具や装置を開発して提供している。その取組みの中のひとつとして、小型エアシリンダを用いて把持機能を実現するパワーグローブの開発を行っている。図4、図5および図6に試作したエアシリンダ内蔵のグローブの写真、およびその構造図、そしてシステム全体図をそれぞれ示す。まだ実験用であるため駆動される指は人示指のみとなっている。利用者の麻痺の無い正常な筋肉の上にセンサを取り付けることで、その筋肉の活動レベルを検出する。その値に応じてエアシリンダを駆動することで、利用者は常に望

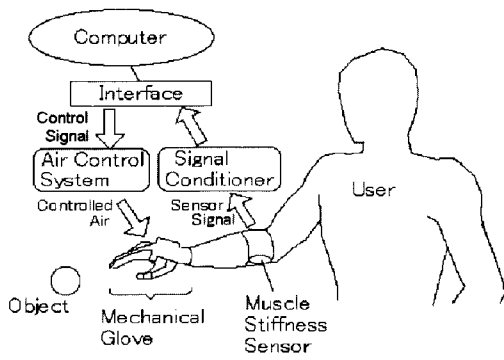


図6 パワーグローブのシステム全体図



図7 パワーグローブを操る利用者

む力で自分の指を開閉することができるという仕組みである。このパワーグローブを使うことにより、利用者は健常者に遜色の無い器用さをもって把持力の調整が可能であることが実験により確認されている⁸⁾。図7に実際にパワーグローブを扱う利用者の様子を示す。モデルガン用小型ガスカートリッジをエアシリンダ駆動のための高圧源として用い、マイクロコンピュータによる小型コントローラの実現により、車椅子に搭載して持ち運びできる完全形態型システムとなっている。今後更なる軽量化を施すとともに、駆動される指の数を順次増やしてゆく予定である。長崎大学医学部、義肢装具製作会社の協力を得ている。

3. センサスーツ

上記の下肢アシストスーツおよびパワーグローブのような装着型の動作支援装置の自在なコントロールのために必要な生体情報計測を目的として、センサ内蔵下着とも言うべきセンサスーツの開発を行っている。生地に内蔵された筋肉の硬さを計るセンサ、超音波センサおよび筋電位センサにより筋肉の活動量を、また光ファイバや加速度センサにより身体の形状や動きの変化を計測できる。図8にその概念図を示す。本センサスーツでは利用者に負担を掛けないために、非侵襲での計測手段のみを採用している。そのため、運動時における体表の筋肉や組織の分布およびその変化の具合を解明する必要がある。そこで、

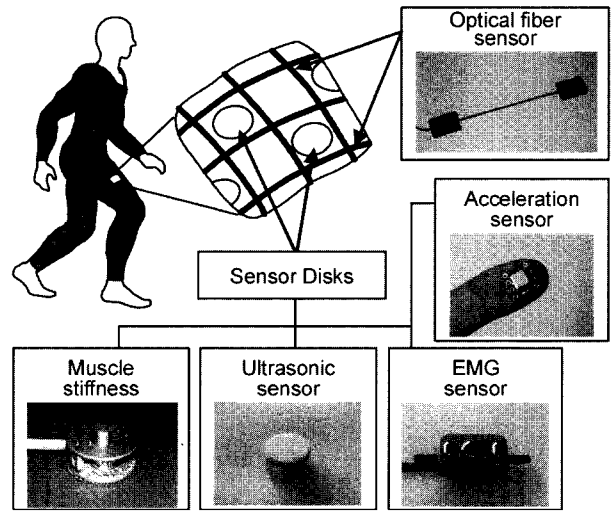


図8 センサスーツの概略図



図9 触察の専門家による筋肉の体表分布計測

体表解剖の専門家の協力を仰いで、運動時における体表筋の動きを計測し、3Dデータとして蓄積することでセンサスーツ設計に反映するためのデータベースの作成を行っている。図9に計測の様子を示す。個々のセンサの性能向上はもとより、センサの位置や数が最適化された、高い信頼性、利便性を兼ね備えたセンサスーツの開発を目指している。名古屋大学医学部、カリフォルニア大学工学部、北海道大学情報科学研究科との協力のもとに進められている。

4. 高齢者用トレーニング装置

長崎県からの要請に基づいて介護予防を目的とした新しい高齢者用トレーニング装置の開発を行っている。パワーアシストスーツとは異なるが、利用者の体から筋活動等の各種情報を得て最適な負荷を随時判断し、効果的で安全な力を利用者に加えるという点においてパワーアシストスーツの開発と技術的に重なる部分が多い。負荷の生成にエアシリンダを用いることで無段階の調節を可能とし、体に優しい柔らかな負荷を実現している⁹⁾。図10に脚力のトレーニングを目的とした試作機を示

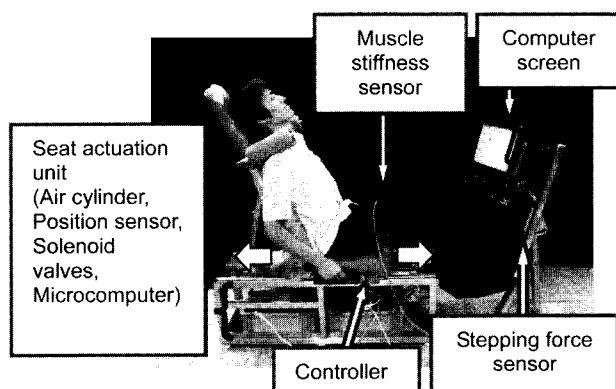


図10 筋活動量に基づいて負荷制御を行う
パワーリハビリ装置試作機

す。特徴としては、センサ技術を生かして利用者に負担を掛けない簡易な生体情報計測を行い、筋活動量、発汗、体温、心拍、血流量など得られた各種生体情報から総合的に最適な負荷量を判断し、リアルタイムでの負荷量を自動調節する機能が挙げられる。生体情報のフィードバックだけでなく、今後テレビゲームに見られるようなエンターテインメント性の導入も考えられ、これにより安全で効果的かつ快適なトレーニングを実現し、受動的なトレーニングでなく、利用者自らの積極的な参加を引き出すようなトレーニング装置の開発を目指す。長崎県、長崎大学医学部、老人施設、機械製造会社の協力を得る。

以上、筆者のパワーアシストスーツおよびそれに関連する研究について紹介させて戴いた。ここに紹介した研究すべてに共通するキーワードは、的確な生体情報計測、快適な使用感そして高い安全性である。これらは工学の領域外の多くの要素を含んでおり、医学関係者をはじめ多くの方々の協力を得てはじめて実現可能なものであり、今後も彼らとのより強固な連携のもとに、高齢者や障害者の方々にとって、より使い易く、快適なパワーアシストスーツを実現できるよう開発に取り組んでゆきたいと考えている。

最後に

日本はロボット技術の分野で世界をリードしている。その

ロボット技術を応用し、多くの研究者が開発に従事することでパワーアシスト技術においても日本は世界の先頭を行こうとしている。ロボット技術とパワーアシスト技術。どちらも人を助けることを目的とする技術であるが、このふたつの大きな違いは、ロボットは人の代わりに仕事をして人を助けるものであるのに対して、パワーアシスト装置は人の体と一体化することで人の活動を支援するものであるという点である。より人に近いところにある技術であると言えよう。散歩やひとりでの食事など、出来ないと諦めていたことが再び可能になる。日常生活の中での不可能を可能にする技術。そんなパワーアシスト技術が今後より進歩して、人間の体の一部に、そして生活の一部になるような、そんな技術となることを望んでやまない。筆者もその一助になれるよう、これからも協力者と共に研究を続けてゆきたいと考えている。

文 献

- 1) General Electric Co.: Hardiman I Prototype Project. Special Interim Study. In: General Electric Report, S-68-1060. Schenectady, NY, 1968.
- 2) Groshaw PF: Hardiman I Arm Test, Hardiman I Prototype. In: General Electric Report, S-70-1019, Schenectady, NY, 1969.
- 3) Kazerooni H, Jenhwa G: Human extenders. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control* 115: 281-290, 1993.
- 4) Wearable machines. *Popular Science*: 40, July 2004.
- 5) Yamamoto K, Hyodo K, *et al.*: Powered suit for assisting nurse labor employing muscle sensor and sliding rotary actuator. *Proc. 5th International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization*, Hayama, Japan, vol.1, pp.497-501, Sep.1997.
- 6) Lee S, Sankai Y: The natural frequency-based power assist control for lower body with HAL-3. *Proc. of 2003 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Washington D.C., 2003.
- 7) Moromugi S, Koujina Y, *et al.*: Soft Power Suit for Knee Motion Assistance. *Int J Human-friendly Welfare Robotic Systems* 4(4): 13-19, 2003.
- 8) Moromugi S, Okamoto A, *et al.*: Device for assisting grasping function (2nd Report: Maneuverability evaluation). *Proc. of International Conference on Control, Automation and Systems*, Gyeongju, Korea, pp.2665-2669, Oct. 2003.
- 9) Moromugi S, Koujitani T, *et al.*: Training machine for active rehabilitation/training of elderly people. *Proc. of International Conference on Control, Automation and Systems*, Bangkok, Thailand, pp.1648-1652, Aug. 2004.