409 パワーアシストスーツの開発 —腰・脚ユニットの改良—

Development of Power Assist Suit - Improvement of waist and leg units -

○正 石井 峰雄 (神奈川工科大)
正 兵頭 和人 (神奈川工科大)

正 山本圭治郎 (神奈川工科大)
若井 良友 (神奈川工科大)

Mineo ISHII, Kanagawa Institute of Technology, Shimo-ogino 1030, Atsugi-shi, Kanagawa 243-0292
Keiji YAMAMOTO, Kanagawa Institute of Technology
Kazuhito HYODO, Kanagawa Institute of Technology
Yoshitomo WAKAI, Kanagawa Institute of Technology

New power assisting suit consisting of shoulders, arms, a back, a waist, a hip and legs units was developed. The hip unit has the direct drive pneumatic actuator assisting the rotation of hip joints and has joints which realize the external rotation of legs. The new suit combined the hip unit transmitted assisting torque directly to each joint, especially independently to the waist joints and to the hip joints of the wearer, so that the wearer could walk easily keeping weight in the hands, and by wearing the suit the weight could be lifted by half or less muscular power.

Key Words: Power Assist Suit, Wearable, Direct Drive Pneumatic Actuator, Embedded Microcomputer, Muscle Hardness Sensor

A1. 緒言

介護者が直接体に装着することによって、簡便に肉体的負担を軽減できる完全に独立したウェアラブルなパワーアシストスーツの開発を進めている。本研究では、スーツ着用者の足の外旋動作を可能にするための脚ユニットの外旋機構と歩行動作を容易にするための腰ユニットの股関節アシスト機構を開発している。試作機の動作実験により、その有効性が実証されたので以下に結果を報告する。

A2. 腰関節および股関節ユニット

Fig. A1 に示すように、従来1つの関節でまかなっていた腰ユニットを腰関節と股関節との2つに分離し、腰関節と股関節それぞれに独立してアシスト力を伝える為のアクチュエータを配置した。腰ユニットを腰関節と股関節との間に脚の外旋を可能にする回転軸を配置した。

腰関節と股関節に独立してアシスト力が働くようにアクチュエータを2つに分けたため、重い物を持ち歩く場合でも荷重を腰関節アクチュエータで支えたままで、脚を引き上げる動作を妨げないよう、股関節のアシスト力を独立に制御することが可能な機構となった。

A3. 結果

開発したユニットを組み込んだパワーアシストスーツを着用して、20Kgの鉄板を持ち、しゃがんだ状態から鉄板を持ち上げ、保持し、再びしゃがんで降ろす状態に戻るまでの、膝関節角度、大腿直筋の筋肉硬さ、膝アクチュエータ内空気圧を測定した結果を Fig. A2 に示す。新機構の効果を見るために、従来のパワーアシストスーツの機構で同様の実験を行った結果を Fig. A3 に示す。これらの結果を比較することにより、従来のパワーアシストスーツの機構の方が、筋肉硬さセンサの出力値が大きく出ており、より大きな力を出していることが明らかとな

った。この結果から新たに開発した腰および脚ユニットの有用性が実証された。

Fig.A1 New waist and hip joint units

Fig.A2 Operation characteristics of new suit with new waist and hip units

Fig.A3 Operation characteristics of suit without hip unit

1. 緒 言

移乗介護支援を目的としたロボットの研究は、1970年代から研究が始められ、メルコング¹⁾はその代表例であり、また、マスタ・スレーブ方式による操作ロボット Nurcy²⁾が開発されたが、いずれも実用の見通しは立っていない。近年、支援機器の開発研究が活発になり、介護者の腰の負担を軽減する移乗介護補助装置³⁾や抱き上げ補助装置⁴⁾が提案されている。いずれもモータを用いている。また、歩行支援を目的としたモータとボールネジを用いた外骨格脚⁵⁾や空気圧アクチュエータを用いた立ち上がり装具⁶⁾が開発されている。

我々は、介護者が体に装着することによって簡便に肉体的負担を大幅に軽減できるパワーアシストスーツを 1991年に提案し⁷⁾、ウェアラブルなアシストスーツを開発した⁸⁾。その後パイプレス化・ワイヤレス化を進め、小型エアポンプと排気バルブ、Ni-Cd 電池、および組み込みマイクロコンピュータを採用することにより、完全ウェアラブル化を実現した⁹⁻¹⁶⁾。

これまでに開発したパワーアシストスーツは脚を開いてしゃがむという動作が構造的に出来なかった。しかし、脚を開いてしゃがむという行為は人が重い物をしゃがんで持ち上げようとする時に自然に行う行動である。

本報は、スーツの機構改良を目的として、足の動作を容易にする為の脚ユニットの外旋機構と歩行動作を容易にする為の腰ユニットの股関節アシスト機構を開発した (Fig. A1)。試作機の機能と特性を実測し、その有効性を実証した結果について報告する。

2. パワーアシストスーツ

Fig.1 に示す様に、アシストスーツは外骨格型で、肩、腕、背骨、腰、股、足部からなり、肘、腰、股、膝関節部に空気圧カフ式アクチュエータが取り付けられている。構造物が介護者の前面を覆うことのない構造で、構造材はアルミ系である。

Fig.1 New power assist suit

3. ウェストユニット

パワーアシストウェストは腰関節の負担を軽減するため上半身を引き上げることによって腰関節の動きを助ける構造を持つ。Fig.2 に新しいウェストユニットの構造を示す。アクチュエータの出力を上半身に有効に伝えるため4節リンクを利用している。胴体部にはベルトにより拘束する方式を採用している。ウェスト部関節の可動範囲は $0^{\circ} \sim 72^{\circ}$ である。

ウェストユニットの出力特性を Fig.3 に示す。ここで、アクチュエータが最も閉じた状態の角度を 0° としている。線形特性を持ち、且つ、肘用や後述の膝用のアクチュエータとは異なり、回転角度により勾配が大きく異なる特性は見られない。これはカフを挟む薄板の一端のみ繋いでいるためである。

Fig.2 New waist unit

Fig. 3 Output torque vs. supply pressure characteristics of new waist unit

Fig. 4 Rotary angle vs. supply pressure characteristics of new waist unit

ウェストユニットの回転角度対供給圧力特性を Fig.4 に示す。負荷トルクが大きいほど勾配が緩くなる特性を示している。

4. ヒップユニット

パワーアシストヒップユニットの構造図を Fig.5 に示す。また、外旋機構構造を Fig. 6 に示す。ヒップユニットには股関節とそのアクチュエータ、および脚を開くための外旋関節からなる。アクチュエータの出力を上半身に有効に伝えるため4節リンクを利用している。ユニットを幅の広いベルトで胴体部に拘束する方式を採用している。股関節の可動角度範囲は $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 、外旋関節の可動範囲は $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$ である。

ヒップユニットの出力特性を Fig.7 に示す。ここで、アクチュエータが最も閉じた状態の角度を 0° としている。同じ構造を持つウェストユニットと同様に線形特性を持ち、回転角度により勾配が大きく異なる特性は見られない。

ヒップユニットの回転角度対供給圧力特性を Fig.8 に示す。ウェストユニットと同様に負荷トルクが大きいかほど勾配が緩くなる特性を示している。

Fig. 5 Hip unit

Fig. 6 Joint for external rotation of leg

Fig. 7 Output torque vs. supply pressure characteristics of hip unit

Fig. 8 Rotary angle vs. supply pressure characteristics of hip unit

5. レッグユニット

パワーアシストレッグの構造を Fig.9 に示す。レッグユニットは抱き上げ時の屈伸動作の補助と歩行動作を行なえる構造を持つ。アクチュエータのすべてのヒンジの間にセパレータを配置することにより、カフの横ずれを防止し、アシスト力の増加を図っている。大腿部、下腿部、足底の足への固定は布ベルトによる方式を採用している。膝関節の可動範囲は $0^{\circ} \sim 95^{\circ}$ としている。

レッグユニットの出力特性を Fig.10 に示。ここで、アクチュエータが最も閉じた状態の角度を 0° としている。レッグユニット用のアクチュエータはウェストユニット用やヒップユニット用のアクチュエータとは異なり、回転角度により勾配が大きく異なる特性を持っている。これはカフを挟む薄板をジグザグに繋いでいるため、回転中心が一点ではないためである。

Fig.9 Leg unit

Fig. 10 Output torque vs. supply pressure characteristics of leg unit

Fig. 11 Rotary angle vs. supply pressure characteristics of leg unit

レッグユニットの回転角度対供給圧力特性を Fig.11 に示す。ウェストユニットやヒップユニットと同様に負荷トルクが大きいほど勾配が緩くなる特性を示している。

6. ユニットの動作特性

新たに開発したユニットを組み込んだパワーアシストスーツを着用して、前腕に 20Kg の鉄板を持ちしゃがんだ状態から重りを持ち上げ、保持し、再びしゃがんだ状態に戻るまでの、膝関節角度、大腿直筋の筋肉硬さ、膝アクチュエータ内空気圧を測定した。結果を Fig.12 に示す。また、従来のスーツと比較する為に外旋の関節と腰関節を固定して擬似的に従来のパワーアシストスーツの機構にして、同様の実験を行った結果を Fig.13 に示す。

両者を比較すると、新たに開発したユニットを組み込んだパワーアシストスーツを着用した場合の方が、筋肉硬さセンサの出力値が小さく出ていることから、より少ない力で動作をしていることが分かる。このことは、新たに開発したウェストユニットとヒップユニットが有効であることを実証するものであると考えられる。

Fig. 12 Operation characteristics of new suit with new waist and hip units

Fig.13 Operation characteristics of suit without hip unit

7. 結 言

従来のウェストユニットを腰関節部と股関節部の2つに分離し、アクチュエータをそれぞれ取り付けしたウェストユニットとヒップユニットを新たに開発した。さらにこれらに間に脚の外旋を可能にする回転軸、外旋関節を設けた。

これにより腰関節と股関節にアシスト力を独立して働かせる事が可能になり、重い物を持ち歩く場合でも荷重を腰関節アクチュエータで支えたままで、股関節のアシスト力を下げることが可能となった。即ち、脚を引き上げる動作を妨げないよう、アシスト力を腰関節に伝えることが出来る機構が実現されたことになる。

これら新しく開発したユニットを組み込んだパワーアシストスーツは、着用者の脚の動きによく追従し、且つ、十分なアシスト力を発揮できた。

引用文献

- (1) 橋野賢、移乗介助ロボットの現状と課題、日本ロボット学会誌、11, 5, 649, 1993
- (2) 岡崎勉、高橋隆、長澤亭、山下安雄、看護介助ロボットの知能化—開放型 Prolog 処理系について、医用電子と生体工学、24, 特別号、443, 1986
- (3) 手嶋敬之、簡易型移乗介助補助装置の開発、1998 年度精密工学会学術講演会講演論文集、612, 1998
- (4) 小山猛、山藤和男、田中孝之、介護用装着型ヒューマン・アシスト装置に関する研究、日本機械学会論文集 (C 編) 66, 651, p. 3679, 2000
- (5) Okamura, J., Tanaka, H. and Sankai, Y., EMG-based Prototype Powered Assistive System for Walking Aid, Proc. ASIA' 99, pp. 229-234, 1999
- (6) Kawamura, S., Yonezawa, T., Fujimoto, K., Hayakawa, Y., Isaka, T. and Pandian, S.R., Development of an active orthosis for knee motion by using pneumatic actuators, Proc. ICMA2000, Osaka, pp. 615-620, 2000
- (7) 山本圭治郎、宮西秀樹、今井政行、パワードアーム用空気圧アクチュエータの開発、平成 3 年秋期油圧空圧講演会 (J H P S)、pp. 85-88, 1991
- (8) 山本圭治郎、兵頭和人、石井峰雄、松尾崇、介護用パワーアシストスーツの開発、日本機械学会論文集 (C 編)、67 巻 657 号、pp. 1499-1506, 2001

- (9) Yamamoto, K., Ishii, M. Hyodo, K., Yoshimitsu, T and Matsuo, T.: Development of Power Assisting Suit for Assisting Nurse Labor -Miniaturization of supply system to realize wearable suit-, JSME International Journal, Series C, Vol.46, No.3, pp.923-930, 2003
- (10) K.Yamamoto, , M.Ishii, K.Hyodo, T. Yoshimitsu and T. Matsuo, Development of Wearable Power Assist Suit, Proc. of the 7th Triennial International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization, CD-ROM, 2003
- (11) 山本圭治郎、石井峰雄、兵頭和人、吉満俊拓、高橋勝美、松尾崇、 “パワーアシストスーツの特性”、日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2003 CD-ROM 講演論文集、555、2003
- (12) Keijiro Yamamoto, Mineo Ishii, Hirokazu Noborisaka and Kazuhito Hyodo, Stand Alone Wearable Power Assisting Suit - Sensing and Control Systems-, Proc. of the 2004 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, 661-666, 2004
- (13) Mineo Ishii, Keijiro Yamamoto, and Kazuhito Hyodo, Stand Alone Wearable Power Assisting Suit - development and availability-, Proc. of the 4th International Conference on Advanced Mechatronics, JSME, 480-486, 2004
- (14) 石井峰雄、山本圭治郎、兵頭和人、松尾崇、高橋勝美、 “介護者用パワーアシストスーツの開発ーセンシングシステムおよびメカニズムの改善ー”、日本機械学会第4回福祉工学シンポジウム講演論文集、123-126、2004
- (15) 石井峰雄、山本圭治郎、兵頭和人、松尾崇、高橋勝美、 “ウェアラブル・パワーアシストスーツのアシスト特性”、日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2004 講演論文集、CD-ROM、Paper No.743、2004
- (16) 高橋勝美、坂元孝子、石井峰雄、山本圭治郎、兵頭和人、松尾崇、 “パワーアシストスーツ着用による身体動作特性”、第25回バイオメカニズム学術講演会論文集、177-180、2004