

スライディングロータリアクチュエータと 筋肉センサを用いたパワーアシストスーツの開発

山本 圭治郎¹ 兵頭 和人¹ 石井 峰雄²

1. 機械工学科
2. 大学院機械工学専攻

Power assist suit using sliding rotary actuator and muscle sensor

Keihiro Yamamoto, Kazuhito Hyoudo, Mineo Ishii

Abstract: In order to realize a powered suit for assisting a nurse caring a patient in her arm, a pneumatic hardness sensor of muscle and a pneumatic rotary actuator utilizing sliding boxes have been developed. The powered suit consists of shoulders, arms, waist and legs made of aluminum, and is fitted on the nurse. The powered suit was originated with the concept of a master and slave system in one body. The arms, waist and legs have the pneumatic rotary actuators. The pneumatic actuator consists of concentric round boxes sliding each other with infinitesimal clearance. The action of the arms, waist and legs of the nurse were sensed with a pneumatic muscle hardness sensor utilizing a cavity. The dent of pressure signal corresponding to the hardness of the muscle i.e., exerting force muscle.

This paper gives design and characteristics of the powered arms, waist and legs using the slide box type pneumatic rotary actuator and the muscle sensor verifying its practicability.

Key Word: Power assisting suit, Pneumatic rotary actuator, Master and slave system in one body, Pneumatic muscle hardness sensor

1. 緒言

近年、我が国においては、欧米諸国も経験したことのない急激なテンポでの高齢化が進み、2010年頃には65歳以上の高齢者の数が現在の2倍の5人に1人になると予想されている。これの伴い、高齢者のニーズに合った福祉機器の開発が重要な課題となっている。

特に、寝たきりの患者をはじめとする、日常生活に必要な基本動作ができない人々の介護を自立型ロボットに任せることは危険だけでなく、患者に不快感、警戒感を与え適当ではない。従って、将来も看護婦

や家族、あるいは介護士など、やさしく老人・患者に接する人々による介護が求められるものと考えられる。しかしこれを可能にするには、現在既に問題となっている、抱き起こし・移動・抱き下ろしの一連の介護動作に伴う介護者に加わる肉体的負担の軽減対策を早期に実現する必要がある。

これを実現するために我々は、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装置として、マスタとスレーブが一体となったパワーアシストスーツを提案し開発を進めてきている^{1~5)}。一連の開発において重要

な課題は、介護される人の感性を損なわない構造を持つスーツのデザイン、人体の滑らかな動作を損なうことなく、柔らかくに力を添えることのできるアクチュエータの開発、介護者の手、足、腰の微妙な動きを検出し、これに応じた操作量をアクチュエータに供給するセンシングシステムの開発である。

一連の開発研究により、パワーアシストスーツの実現可能性を証明するに足る、基本的な概念設計とそれに基づく試作実験結果を得たので報告する。

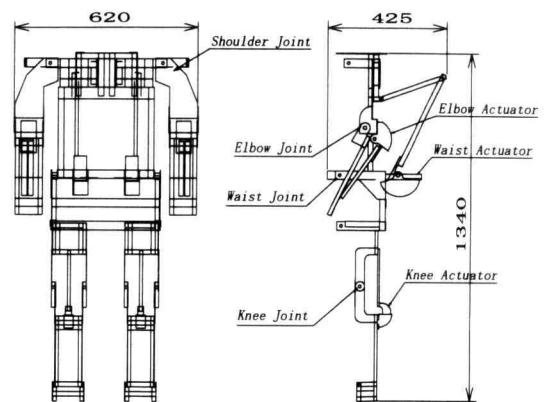


Fig.1 Powered suit

2. パワーアシストスーツシステム

開発したパワーアシストスーツは、Fig. 1に示す様に、アーム部、ウエスト部、レッグ部からなる。被介護者に威圧感を与えないこと及び脱着の容易さを考慮し、更に被介護者の感性を満たすために、介護者の体が被介護者に直接触れることが可能な様に、構造物が介護者の前面を覆うことのない構造とした。特に看護婦など、介護する機会が多い女性を意識し軽量化に努め、また介護者の動きに対する高い追従性を求めた。

パワードスーツの制御システムを Fig. 2に示す。介護者の体の動きを検出するために開発した筋肉の硬さセンサの出力電圧信号により電空比例弁を制御し各関節用のロータリーアクチュエータを駆動している。

介護者の介護動作に伴い、肘、膝、腰関節を動かす上腕二頭筋、半膜様筋、大円筋に設置したセンサの電圧が変化し、これに応じて肘、膝、腰の各部に取り付けられたアクチュエータに供給される空気圧が変化し、介護者の動作を補助する力を調整する。

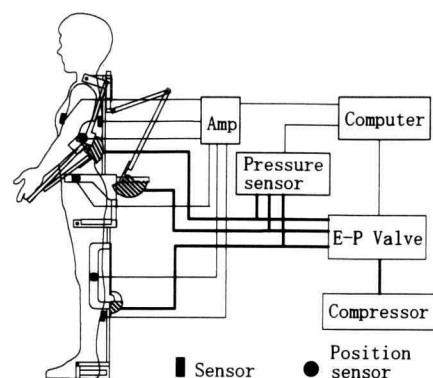


Fig.2 Sensing and control system of powered suit

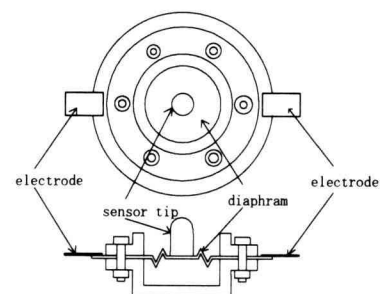


Fig.3 Structure of sensor

3. 筋肉硬さセンサ

これまで開発した筋肉硬さセンサは、筋肉の硬さをセンサ内圧の変化として測定しており、かなり大きな接触子の変位が必要であった。そのため、筋肉の太い介護者では良好な結果が得られたが、筋肉の細い介護者では筋肉の硬さの変化を検出することが困難であった。

新たに開発したセンサは、Fig.3のような形状をしており、Fig.4のように導電性塗料を塗ったゴム

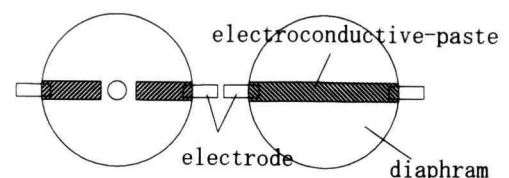


Fig.4 Diaphragm of sensor

膜をしている。導電性塗料の抵抗値をセンサを組み込んだブリッジ回路の出力電圧値として測定することにより、より小さな変位での検出を可能にしている。

4. 空気圧式ロータリアクチュエータ

Fig.5 に示すような、肘、腰及び膝関節用の空気圧式ロータリアクチュエータを開発した。これらのアクチュエータはわずかな隙間を持つような寸法の扇型の2つの箱よりなる。内部に空気圧を供給することにより、固定側ボックスに対し、回転側ボックスが回転運動をし、回転力を発生し、回転側ボックスに接続された関節ユニットを駆動する。線形性を実現するために、固定側の内径と回転側の外形の寸法差(クリアランス)は摩擦が少なく、かつ空気漏れが少なくなるように製作した。

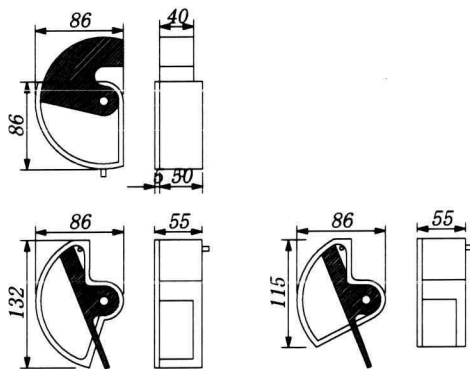


Fig.5 Pneumatic Rotary actuator

5. パワードアーム

パワードアームは、介護者の腕に装着し、介護者の腕の動きに従って、腕の力のサポートを行う。

パワードアームの構造及びサイズは Fig.6 に示す通りである。肩部は前後方向と横方向の2つの関節を備えている。また、片持ち構造を補うために、扇状のガイドレールを設けたプレートを片部に取り付けてある。肘関節の可動範囲は、 60° である。

パワードアームのセンシング・制御システムは Fig.7 に示す通りである。介護者の前腕の動きは筋肉硬さセンサーによって検出される。センサー出力は前腕の上げ/下げによって増減する。センサー出力によって電空比例弁の開閉が制御され、アクチュエー

タへの供給圧が制御される。よって、このセンシング・制御システムによってパワードアームによる介護者の腕動作の補助が行われる。

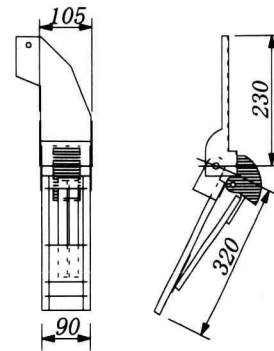


Fig.6 Powered arm

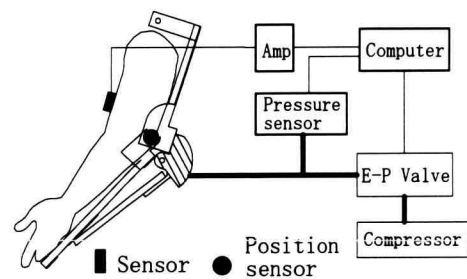


Fig.7 Sensing and control system of powered arm

6. パワードウエスト

パワードウエストの構造を Fig.8 に示す。パワードウエストは介護者が肩で担ぐ様に着込む構造となっている。アクチュエータの出力は図中の4節リンク機構によって本体に伝えられる。可動範囲は 60° である。

Fig.9 はパワードウエストのセンシング・制御システムである。筋肉硬さセンサーは介護者の背中に配置されている。腰を伸ばす際に筋肉が硬くなり、センサーの出力が増加し、アクチュエータの出力を増加させ、腰の伸長運動をパワードウエストによるサポートが行われる。

7. パワードレッグ

Fig.10 に、パワードレッグの構造を示す。レッグ部は患者の抱き上げ動作と、歩行動作との観点から設計を行った。股関節は前後方向と横方向に可動である。足首部も前後方向に可動である。膝関節部の可

動範囲は 60° である。

パワードレッグのセンシング・制御システムは Fig.11 の様になっている。介護者が膝を伸ばすような動作を行うと筋肉方センサの出力が増加し、アクチュエータの出力が増加し、抱き上げ動作時の膝の動きをパワードレッグによって補助される。

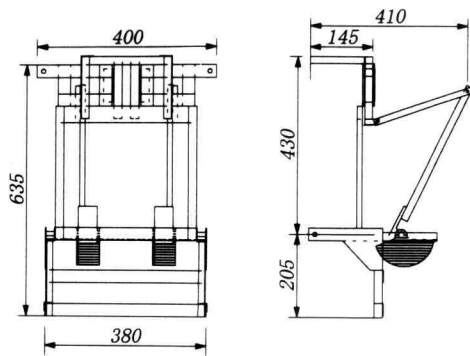


Fig.8 Powered waist

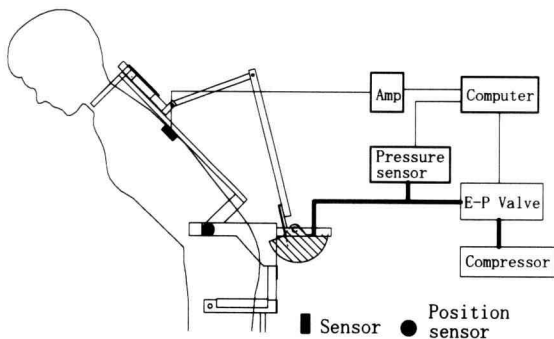


Fig.9 Sensing and control system of powered waist

8. 実験結果

8. 1 筋肉硬さセンサ

Fig.12 に肘, 腰及び膝関節の角度を固定した状態での, 荷重とセンサ出力の関係を示す。ほぼ直線的なセンサ特性が得られた。

8. 2 アクチュエータ

肘,腰及び膝部のアクチュエータの, 供給圧力に対する出力の変化を Fig.13 に示す。若干のヒステリシスはあるものの線形性の良い特性が得られた。

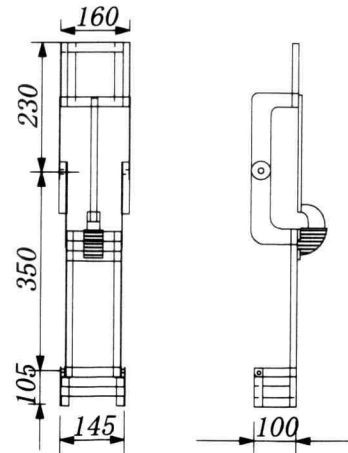


Fig.10 Powered leg

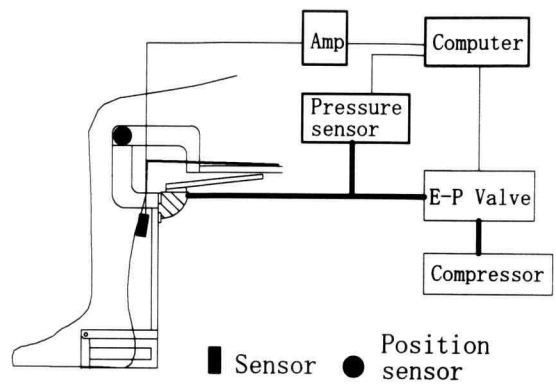


Fig.11 Sensing and control system of powered leg

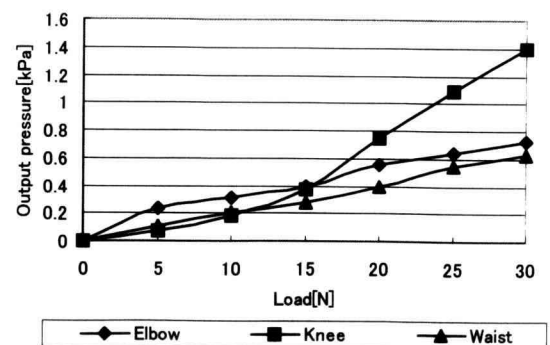
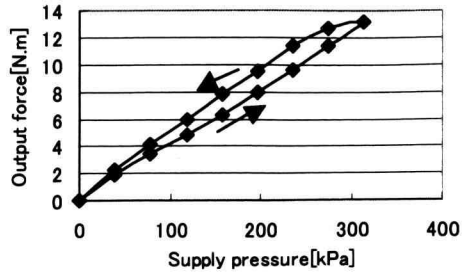
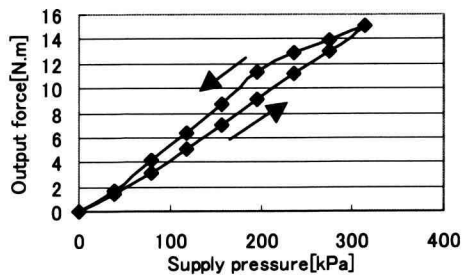


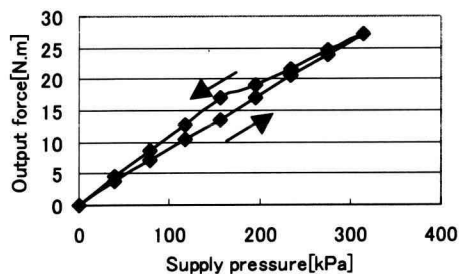
Fig.12 Conversion characteristics of muscle sensor



Elbow joint actuator



Waist joint actuator



Knee joint actuator

Fig.13 Characteristics of actuators

8. 3 動作特性

8. 3. 1 パワードアームの動作特性

パワードスーツの一連の動作におけるアクチュエータへの供給圧力及びパワードアームの回転角度の経時変化を Fig.14 に示す。腕の上げ動作時は、センサの電圧が増加することによりアクチュエータへの供給圧力が高まり、関節を駆動し、関節の回転角度が増加し、動作を終了している。腕の下げ動作時には、センサの電圧が減少しアクチュエータへの供

給圧力が下り、角度が減少を始め0°に戻るまでスムーズに動き、一連の動作を終了している。

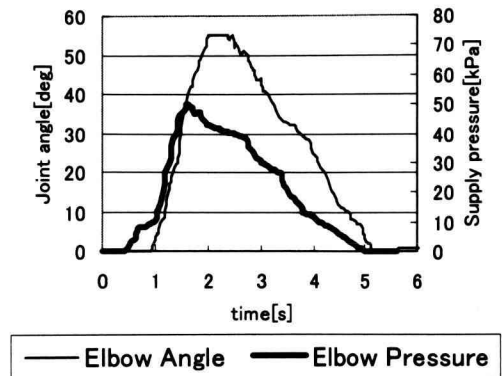


Fig.14 Operation characteristics of powered arm

8. 3. 2 パワードウエストの動作特性

パワードスーツの一連の動作におけるアクチュエータへの供給圧力及びパワードウエストの回転角度の経時変化を Fig.15 に示す。腰の曲げ動作は、センサの電圧が増加することによりアクチュエータへの供給圧力が高まり、関節を駆動し、関節の回転角度が増加し、動作を終了している。腰の伸ばす動作には、センサの電圧が減少しアクチュエータへの供給圧力が下り、角度が減少を始め0°に戻るまでスムーズに動き、一連の動作を終了している。

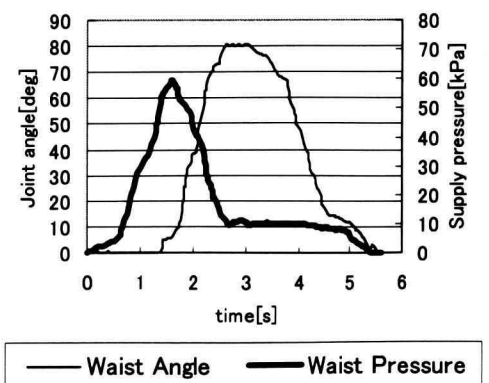


Fig.15 Operation characteristics of powered waist

8. 3. 3 パワードレッグの動作特性

パワードスーツの一連の動作におけるアクチュエータへの供給圧力及びパワードレッグの回転角度の経時変化を Fig.16 に示す。膝の曲げ動作時は、センサの電圧が増加することによりアクチュエータへの供給圧力が高まり、関節を駆動し、関節の回転角度が増加し、動作を終了している。脚の伸ばす動作時には、センサの電圧が減少しアクチュエータへの供給圧力が下り、角度が減少を始め 0° に戻るまでスムーズに動き、一連の動作を終了している。

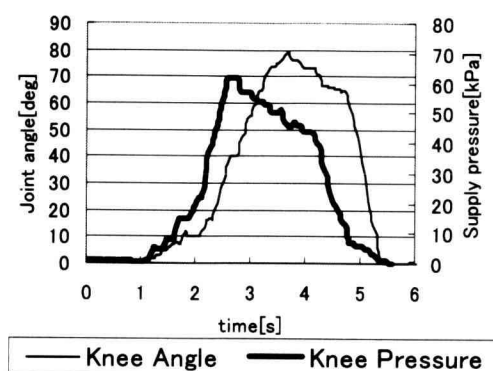


Fig.16 Operation characteristics of powered leg

8. 3. 4 パワーアシストスーツの動作特性

一連の抱き上げ・抱き下ろし動作中における、筋肉センサが検出した圧力信号に比例したロータリアクチュエータへの供給圧力と、各関節の回転角度の経時変化を Fig. 17 に示す。一連の動作中、各センサが各部の動きを検出し、それに応じて各関節のロータリアクチュエータに圧力が供給され各関節が回転することによって、一連の抱き上げ・抱き下ろし動作が行われた。

9. おわりに

スライドボックス式ロータリアクチュエータを用いた介護用パワーアシストスーツを開発し、介護動作における動作特性試験を行い、その実現性を確認した。

本システムは、不意のシステム誤動作の場合にも、介護者の腕力に頼れることが特徴である。また、マスター（人）とスレーブ（ユニット）を一体構造としたことに加え、将来、空気圧供給源に小型電動ポ

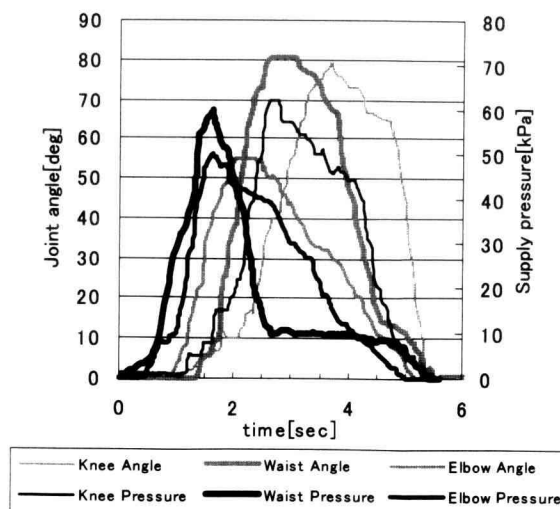


Fig.17 Operation characteristics of powered suit

ンプを用いる事が可能であるので、本システムの小型・軽量化が期待される。

今後解決すべき問題としては、ロータリアクチュエータの空気漏れ及び摩擦の低減、及び、より小型の筋肉センサの開発が挙げられ、現在引き続き研究を進めている。

参考文献

1. 山本圭治郎他：パワードアーム用空気圧アクチュエータの開発、平成3年秋期油空圧講演会（J H P S）、1991
2. 山本圭治郎他：介護用パワードアームの開発—空気圧アクチュエータ、J S M E, D & D '92, 1992
3. 山本圭治郎他：介護用パワードアーム、第8回流体制御シンポジウム（S I C E）、1994
4. Yamamoto, K : Powered Arm and Leg for Assisting Nurse Labor, Proc. 1st Asian Control Conference (SICE), 1994
5. 山本圭治郎他：介護用パワードスーツの開発、第9回流体制御シンポジウム（S I C E）、1994
6. 山本圭治郎他：介護用パワードスーツの試作、日本機械学会第72期通常総会講演会、1995
7. 山本圭治郎他：介護用パワードスーツの開発、第10回流体制御シンポジウム（S I C E）、1995

8. 山本圭治郎他：介護用パワードスーツの開発、平成8年度春季油空圧講演会（JHP S & J S M E）、1996
9. 山本圭治郎他：ゴム式アクチュエータを用いたパワードスーツの開発、神奈川工科大学研究報告B理工編、20号、29-43、1996
10. 山本圭治郎他：介護用パワードスーツ-スライドボックス式ロータリアクチュエータと筋肉センサの開発-、第11回流体制御シンポジウム（S I C E）、1996
11. 山本圭治郎他：介護用パワードスーツの開発-空気圧式筋肉センサとアクチュエータの開発、J S M E, D&D '96, 1996
12. 山本圭治郎他：介護用パワードスーツの筋肉硬さセンサの開発、計測自動制御学会学術講演会 S I C E '97、1997
13. K.Yamamoto, K.Hyodo and T.Matsuo : Powered Suit for Assisting Nurse Labor Employing Muscle Sensor and Sliding Rotary Actuator, Proc. 5st International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization, SICE, J.,1 巻、497-501, 1997
14. 山本圭治郎他：スライドボックス式アクチュエータを用いたパワードスーツの開発、神奈川工科大学研究報告B理工編、21号、27-31、1997