

## 研究課題別評価

1 研究課題名: 人間行動を補助するマッスルスーツの開発

2 研究者氏名: 小林 宏

3 研究の狙い:

### (1) 背景

超高齢化社会を間近に控え、労働力不足を補い、生活を支援し、医療福祉に寄与する技術としてロボット技術が注目を集めている。それに伴い、人間の生活環境内で動作できるロボットの開発が進んでいるが、「人間の動作を支援する技術」はほとんどない。

このような背景のもと、本研究では、「動けない人を動けるようにする」ことを目的に、(基本的に非金属の)「マッスルスーツ」の概念を提案した。これは、新しいロボット分野であるウェアラブルロボットの一種である。産業用ロボットは、人間がその作業領域に立ち入らないことが前提であった。時代が進み、アミューズメント、エンターテインメントロボットでは、触れることはできないがすぐ側でロボットを見ることができるようになり、最近のパーソナルロボットでは、人間の生活空間にロボットが入ってくるようになった。ウェアラブルロボットは、その名が示すように人間が装着するロボット技術で、人間との距離は0となり、時代の流れを考えると必然的に思える。ウェアラブルロボットは、装着している人間に情報を与えるだけでなく、機動力・駆動力・制動力を与えることができ、パーソナルロボットの問題点であった難しい判断や環境認識は装着している人間が行えば良いという意味で、それほど高度な知能を必要としない。この観点から、ウェアラブルロボットの実用化の可能性は高い。さらに、安全性は問題になるものの、人間の行動を直接補助できるため、超高齢化社会に有用な技術であると考えられる。

開発を進めたマッスルスーツは、日常生活での使用を考え、金属をほとんど使用しないため軽量で脱着が容易であり、着用により原理的にはあらゆる動きが可能となり、筋力の補助や反力の発生ができる。そのため、要介護者、動きが困難な身体障害者、肉体労働者、リハビリテーションなどに適用できる。特に、将来的には、動きが困難な要介護者/高齢者や身体障害者がマッスルスーツにより自分の意志で動けるようになり、自立を助ける肉体的・精神的補助が可能となるであろう。

### (2) 目標

マッスルスーツにより、上肢の全動作を実現し、着用者が意のままに制御できるシステムの目処をつける。

### (3) 解決すべき問題点

上肢の動作は全部で7動作(屈曲、伸転、外転、内転、外旋、内旋、肘曲げ)あり、それを全て実現するための構造、機構について、十分な検討が必要である。

また、着用者が意のままにマッスルスーツを制御するためには、マッスルスーツの姿勢の計測・計算、着用者の意志(動作方向指示)の伝達、意志通りに動かすための人工筋肉の制御、の3つの問題を解決する必要がある。

### (4) 問題解決へのアプローチ

上肢全7動作実現のためには、マッスルスーツのコンセプトの修正が必要である。また、マッスルスーツの姿勢の計測・計算のためには、マッスルスーツへのセンサの埋め込みが必要、着用者の意志(動作方向指示)伝達のためには、着用者に適切なセンサを取り付けることが必要、また、意志通りにマッスルスーツを動かすための人工筋肉の制御には、非線形の入力・出力関係を結びつける神経回路網のような変換則が必要となる。

#### 4 研究成果:

研究の開始時点では、研究期間中に、上肢の全動作を実現し、その上で着用者が意のままに制御できるマッスルスーツを実現する予定であった。しかしながら、人間の上肢の筋 骨格構造は非常に複雑なため、マッスルスーツにより上肢の全動作を実現するところまでで研究期間を終えることになった。しかしながら、5. 自己評価の項で述べるように、様々な新たな研究へとつながったことは、この研究の最も意義のある成果であると考えている。以下、上肢の全動作を実現するまでの研究開発の流れを説明する。

##### 4.1 マッスルスーツのコンセプト

物理的に人間を支援する介護福祉機器のほとんどは、現在のところ「介護者用」に開発され、金属フレームを用いている。結果としてこれらは、コスト、安全性、総重量、出力、人間との親和性の面から実用的な利用には限界があり、「要介護者」の立場や精神面の考慮はほとんどされておらず、要介護者の自立にはつながらない。

これに対してマッスルスーツは、アクチュエータとして安価・軽量で出力質量比が非常に大きい McKibben 型人工筋(後述)を用い、それを服に取り付けた構造となっている。図1に示すように、人工筋を加圧することで人工筋が収縮し、人工筋両端が引っ張られることで、着用者の対応部位が動くという仕組みになっている。基本的に服なので軽量であり、着用により要介護者自らが動けるようになるため、要介護者が生きる活力を生み出すという精神的なサポートにもつながり、介護者の肉体的な負担も軽減されと考えられる。また、反力を発生することも可能であり、リハビリテーションにも利用できる。さらに、肉体労働者などの姿勢保持や筋力補助にも利用できる。

##### 4.2 マッスルスーツの構成

###### 4.2.1 McKibben 型人工筋

McKibben 型人工筋は、同じ空気圧式のピストンシリンダに比べて駆動のための摩擦がほとんどなく、直線運動だけでなく形状を柔軟に変化させることが可能で、非常に軽量である。マッスルスーツでは、この柔軟性を有効に利用している。つまり、McKibben 型人工筋を人間の体表面に沿って配置している。

図2に、McKibben 型人工筋の構造と動作メカニズムを示す。ナイロン製の繊維コードを格子状に編んだスリーブでゴムチューブを覆い、スリーブの両端を固定する。チューブ内の圧力を上げるとチューブは半径方向に膨張し、このとき生じる円周方向の張力が繊維コードにより軸方向の強力な収縮力に変換される。例えば、直径 18mm、長さ 400mm の人工筋の重さは約 40g で、無負荷では 35%程度の収縮率、20kg の負荷でも 20%以上の収縮率が得られる。

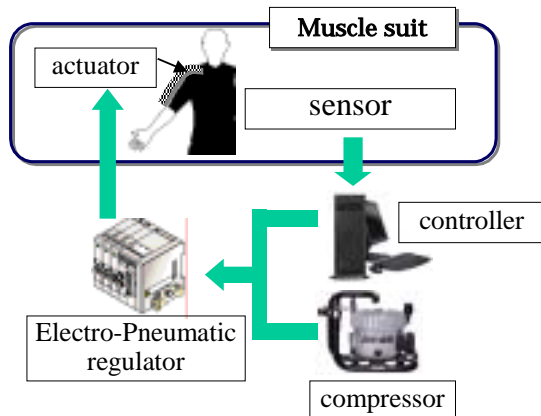


図3 マッスルスーツのシステム構成.



図4 人間サイズの人形を用いた動作実験例

###### 4.2.2 マッスルスーツのシステム構成

マッスルスーツの基本的なシステム構成を図3に示す。図のように、マッスルスーツ、人工筋への空

気圧を調整する電空レギュレータ、コンプレッサ、制御装置、センサからなる。センサ部分を除き、制御装置からのパターン指令でマッスルスーツを動かすことが可能となる、

#### 4.2.3 マッスルスーツプロトタイプによる動作実験

人間サイズの人形を用い、マッスルスーツにより人間を動作させることが可能であるか、問題点は何かを検証した。図4に、人形に服を着せ、そこに人工筋を取り付けて外転、及び肘曲げを行った例を示す。この図には、試行錯誤により、最も大きな回転角度が得られた場合を示してある。これより、例えば外転は、約40度程度しか実現できていないことが分かる。これは、単純に服に人工筋を取り付けて引っ張るというコンセプトの限界を示したものであり、次章以降でこの原因と解決方法を議論する。なお、本研究では、外転動作の実現をまず目指すことにする。外転は腕全体を持ち上げるために負荷が大きく、人間の場合、肩周辺の10種類以上の多くの筋肉と骨を様々に用いるため、腕の動きの中では最も難しいものといえる。

### 4.3 鎧構造マッスルスーツの提案

#### 4.3.1 単純構造マッスルスーツの問題点

筋肉は骨に直接ついており、関節の軸中心近くが始点や終点となっているため、四肢の可動範囲は非常に広い。一方、マッスルスーツは、服の上に人工筋を取り付けるため、その取り付け位置は、筋肉と比べて必然的に関節の回転軸から遠い場所となり、広い可動範囲を確保するには限界がある。また、服に人工筋をとりつけるだけの単純構造のマッスルスーツでは服のズレやたるみが発生し、人工筋の収縮が十分に反映されない。そして、これを解消するには服の体への密着が必要となるが、この場合は着心地・脱着に問題が起きるというジレンマに陥る。さらに、単純構造のマッスルスーツでは、人間の骨や関節を支柱として利用するためそれらに負担がかかり、それらの強度が衰えた高齢者や身体障害者は使用できないという問題がある。

このように単純構造のマッスルスーツでは、

1. 服のズレやたるみによる可動範囲のロスがある。
2. 可動範囲に限界がある。
3. 体への密着が必要であり、着心地、脱着が問題となる。
4. 骨や関節に負担がかかる。

などの問題点が明らかとなった。

#### 4.3.2 鎧構造マッスルスーツの提案

これらの問題点を解決するため、新たに鎧構造を提案する。基本的には、人間の各部分に対応した筒状の非金属構造物に人工筋を取り付け、それを動かすことで中に入っている人間を動かすというもので、非金属の鎧のようなものである(図5)。筒状の非金属構造物は、5mmの厚さのウレタンボードを布で覆う(ソフトフレームと呼ぶことにする)ことである程度の剛性を持たせており、軽量であるが、中の人間が動いても形状が保たれる。これにより、上記の問題点が次のように解決できる。

まず、ソフトフレームにより、服のようなズレやたるみが無くなることが挙げられる(問題点1)。これにより、人工筋の収縮が直接マッスルスーツに反映されるようになるため、鎧の構造、動作メカニズムを考えることで、人間の可動範囲をある程度満足させることが可能になると思われる(問題点2)。また、鎧構造マッスルスーツでは、着用者に密着させる必要がなく、脱着も容易となる(問題点3)。さらに、ソフトフレームが支柱となって着用者を動かすため、着用者の骨や関節に負担をかけず、ソフトフレームの面で着用者に力を加えるため、着用者に局所的な負荷がかからない(問題点4)。

#### 4.3.3 鎧構造マッスルスーツの試作と外転の実現

本研究では、手先が頭部に届けばほぼ日常生活に問題がないと考え、ひとまず外転として90°

を目指す。これができれば、肘を曲げるにより手先が頭部に届くからである。

ところで、人間の筋肉は骨に直接とりついている。一方、マッスルスーツは、筋肉の上にある皮膚のさらに上にある構造物(マッスルスーツのフレーム)に人工筋肉を取り付ける。骨や関節に対し、人間の筋肉配置と同じように人工筋肉を配置することは不可能であり、骨や関節に対して筋肉と比べて遠い位置に人工筋肉を取り付けることになるため、必然的に人間の筋肉配置とは異なってくる。さらに人工筋肉間の干渉も考慮しなければならない。そのため、本研究ではひとまず、必要な動作が得られるように試行錯誤により人工筋の配置を決定した。この状態で1.9kgと皮のコートと同程度であり、十分服といえる重さであると考えられる。図6に示すように、人工筋 A、B、Cを順番にアクチュエートすることで、外転の実現に成功した。

鎧構造のマッスルスーツは、着用者に密着させる必要がないため、似たような体格の被験者に試着させてみた。その結果を図7に示す。被験者(Subject)番号に続く括弧内の数値は、順番に身長、胸囲、上腕の直径を示している。これより、被験者5人中4人は、外転が実現できていることが分かる。被験者Vに関しては、上腕の直径が大きいと、マッスルスーツのサイズが合わず、正しい動作が行われていないと推測される。しかしながら、この結果から、鎧構造のマッスルスーツは、ある程度の体格差を吸収することができ、既製の服のように S、M、L といったサイズを用意すれば、多くの人に適用できそうであることが示唆された。

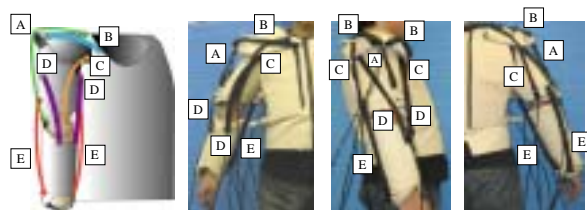


図5 鎧構造マッスルスーツ

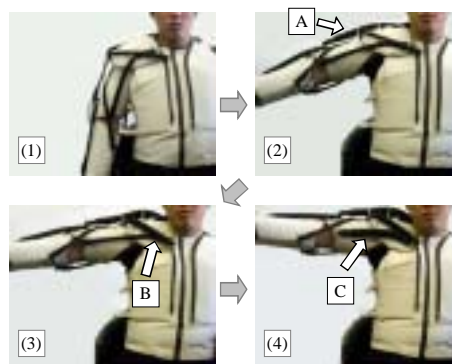


図6 外転の実現

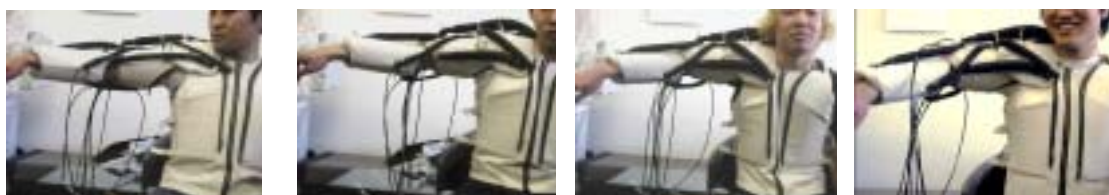


図7 複数被験者への適用

#### 4.3.4 鎧構造マッスルスーツの問題点

外転と同様にして他の動作を実現できないか検討したところ、上肢全7動作(屈曲、伸転、外転、内転、外旋、内旋、肘曲げ)のうち、外転と内転(腕の骨に沿った軸周りに回転)は実現できなかった。また、実現できたものも、その可動範囲は人間と比べて非常に小さかった。さらに、ソフトフレーム間は基本的に糸で縫いつけてあるだけのため、着用者の関節には依然として負担がかかる構造となっていた。そこで、金属の関節を使用することにした。完全非金属化は最終目標であるが、動作が全て実現できることがまず重要であると考え、金属の関節を用いて上肢の全動作の実現を目指すことにした。

#### 4.4 金属関節を有する新構造マッスルスーツの開発と上肢7動作の実現

##### 4.4.1 新構造の概要

着用者の骨、及び関節への負担を無くすため、本研究では金属関節とそれにより接合される塩化ビニール製の筒状フレームにより新しいマッスルスーツを構成することにした。図8に、開発した新構造マッスルスーツの概略図を示す。この状態で 3kg であり、必ずしも軽いとは言えないが、着用できるレベルであると思われる。塩化ビニールは FRP に置き換え、軽量化を図る予定である。各部の詳細は、以下の節で述べる。なお、このプロトタイプは、身長 170cm、体重 60kg 程度の平均的な成人男性用である。

日常生活での使用を考えると、マッスルスーツの脱着は容易でなければならない。本研究では、図9のように、両手を挙げて簡単に脱着できるようにした。

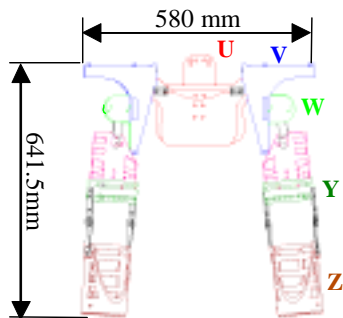


図8 金属関節を有する新構造マッスルスーツ

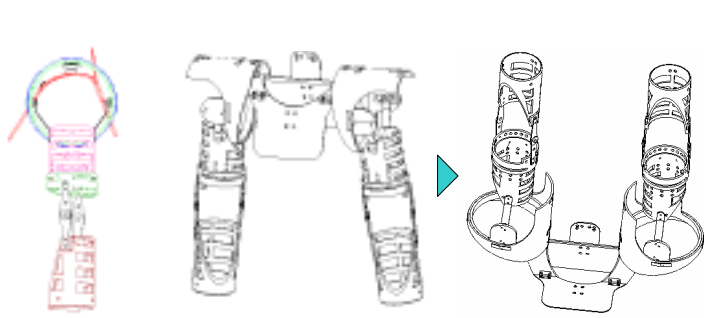


図9 脱着の方法

##### 4.4.2 各部の詳細

図8に示すように、新構造マッスルスーツは6種類、12部品からなる。すなわち、 $U \times 1$ 、 $V \times 2$ 、 $W \times 2$ 、 $X \times 2$ 、 $Y \times 2$ 、and  $Z \times 2$ 、である。これらは、一部を除き基本的に塩化ビニール製であり、接続部、及び回転部のみ金属を使用している。それぞれの構造を順次説明する。

“U”は厚さ 3mm のジュラルミンでできている。これは試作が容易だったためであり、現在、RFPで制作中である。図10に示すように、前面が開くようになっている。これは、脱着を容易にするためである。また後頭部が盛り上がっているが、これは、アクチュエータ配置を容易にすると共に、腕を上引っ張り上げ易くするための工夫である。



図10 部位Uの構造

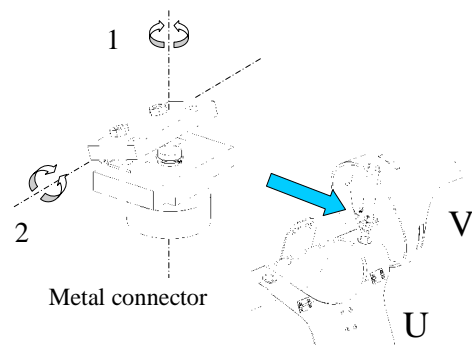


図12 部位VとUの接続方法

“V”と“W”は、図11に示すように、回転4を実現する軸と、それに続く2つの金属フレームが金属部分である。回転3は、“V”と“W”の接続部分に溝を掘り、滑らせて回転させることで実現する。図12に示すように、“U”と“V”は2自由度のコネクタにより接続し、回転1と2を実現する。肘曲げを行う回転6は、図13に示すように回転の1自由度を有する金属フレームを2つ用いて実現する。“Z”は、この金属フレームにより接続されている2つの塩化ビニール要素からなる。回転5は、回転3と同じように“W”と“Z”の接続部分に溝を掘り、滑らせて回転させることで実現する。



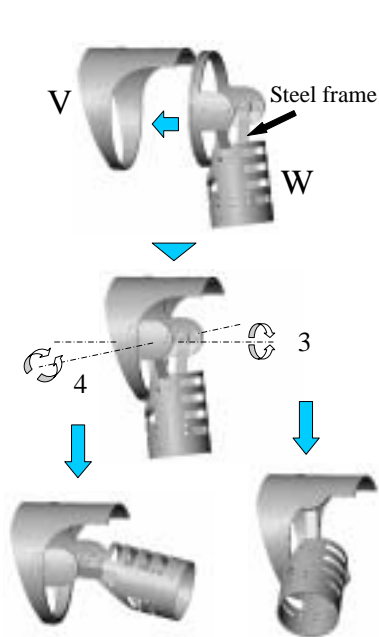


図11 部位VとWの構造

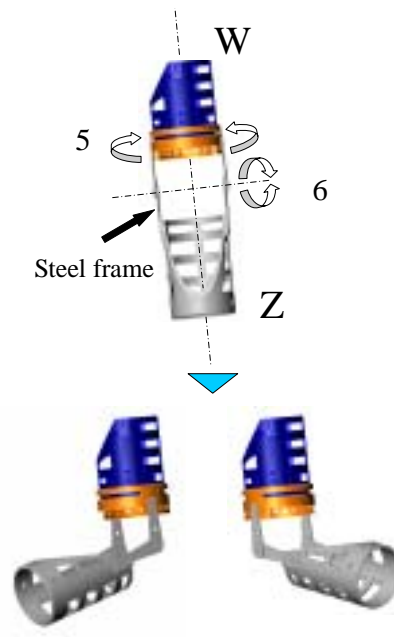
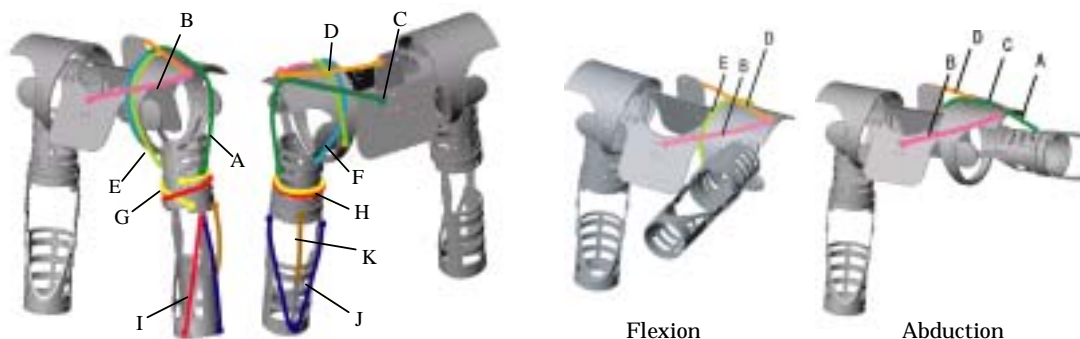


図13 部位WとZの構造

#### 4.4.3 アクチュエータ配置

図14に McKibben 型人工筋の配置を示す。図に示すように、片腕で 11 本を使用している。この配置は、試行錯誤により経験的に決定したものである。上肢の 7 動作を実現するために使用するアクチュエータ番号を表1に、それぞれの長さを表2に示す。



A: Abducting Brachial Armor  
B: Rotating Shoulder Armor 1  
C: Rotating Shoulder Armor 2  
D: Rotating Shoulder Armor 3  
E: Flexing Brachial Armor  
K: Extending Anconal Armor

F: Extending Brachial Armor  
G: Inner Rotating Brachial Armor  
H: Outer Rotating Brachial Armor  
I: Flexing Anconal Armor 1  
J: Flexing Anconal Armor 2

図14 アクチュエータの配置と「肩の伸展」、「外転」の実現例

表1 各動作を実現するアクチュエータの組み合わせ

	Motion	Actuator
Shoulder Joint	Flexion	B, D, E
	Extension	C, D, F
	Abduction	A, B, C, D
	Adduction	B, D, E
	Inner rotation	G
	Outer rotation	H
Cubital Joint	Flexion	I, J

表2 各アクチュエータの長さ

Actuator	Length(mm)	Actuator	Length(mm)
A	460	G	320
B	320	H	320
C	320	I	200
D	210	J	200
E	560	K	350
F	600		



図15 上肢7動作の実現例

#### 4.4.4 上肢7動作の実現

図15に、試作した新型マッスルスーツを実際に試着して実現した動作結果を示す。試着している被験者は、身長178cm、体重68kgの男子学生である。体格にもよるが、165cm～180cm程度の男性であれば、着用し、上肢7動作全てを実現できた。

#### 5 自己評価:

マッスルスーツ着用により、上肢の全動作は実現できたものの、開発当初の目標であった、着用户が意のままに制御できるマッスルスーツの開発には至らなかった。これは、人間の上肢の筋

骨格構造が非常に複雑で、マッスルスーツの構造設計に思った以上に手間取ったからである。そのため、現在も引き続き、研究を推進している。一方で、学内の教員等と共同で、次に示す様々な新たな研究へと発展してゆく予定である。

- 上肢+腰用マッスルスーツの開発
- どこでも使えるアクティブ歩行器の開発
- ウェアラブル空調システムの開発
- 小型遠心圧縮機の開発の開発
- McKibben 人工筋肉の解析と開発
- 制御機器: 電空レギュレータの小型化

このように、開発が予定通りに進んだとは必ずしも言えないものの、マッスルスーツの要素技術、応用技術に関する新規研究へと発展していることは特筆すべきことである。「さきがけ」研究として、今後の展開、発展のための地盤固めができたものと考えている。また、7. に示すように、メディアなどを通じて学術関係だけでなく社会へ様々なアピールができたことも、大きな成果であると考えている。

#### 6 研究総括の見解:

本研究では、「動けない人を動けるようにする」ことを目的に、(基本的に非金属の)「マッスルスーツ」の概念を提案した。

本研究で開発したウェアラブルロボット: マッスルスーツは、基本的には非金属で構成し、空気圧で駆動する人工筋を使用した軽量で実用的な筋力補助装置であり、国内外を問わず他に類をみない活気的な装置である。服のように着るだけで動作の補助が可能となり、着用者はある程度内部で動けるため、体格差や動作に伴う関節中心位置変化を吸収でき、さらに、上肢の全7動作(屈曲、伸転、外転、内転、外旋、内旋、肘曲げ)を着用により実現したことは著しい業績であり、高く評価できる。

マッスルスーツは、筋力の衰えた高齢者や身体障害者、リハビリテーション、肉体労働者の筋力補助や姿勢保持、スポーツにおけるフォーム矯正や筋力トレーニングなどに適用可能であり、関連する様々な新産業や新製品の創出が期待でき、産業・経済・社会に大きなインパクトを与えるものと考えられる。

#### 7 主な論文等:

##### 発表論文

1. Hiroshi Kobayashi, Taisuke Matushita, Yusuke Ishida And Kohki Kikuchi "New Robot Technology Concept Applicable to Human Physical Support - The Concept and Possibility of the Muscle Suit (Wearable Muscular Support Apparatus) - " Journal of Robotics and Mechatronics, vol.14 No.1, pp.46-53, (2002.2)
2. 小林宏: "着るロボット(Wearable robot)の有用性", 病院設備, vol.45 No.1(251号), pp.37-44, (2003-1)
3. 小林 宏: "柔らかいウェアラブルシステム: マッスルスーツの可能性 ", フルードパワーシステム, P112 ~ p116 (2003-09)
4. Hiroshi KOBAYASHI, Akitaka UCHIMURA, Yujiro ISHIDA, Taichi SHIIBA, Kazuaki HIRAMATSU, Makoto KONAMI, Taisuke MATSUSHITA, and Yutaka SATO: "Development of Muscle Suit for Upper Body - Realization of Abduction Motion - ", Advanced Robotics, vol.18 No.5, pp.497-513, (2004).
5. H.Kobayashi, Taichi Shiiba and Yujiro Ishida: "Realization of All 7 Motions for the Upper Limb by a Muscle Suit" Journal of Robotics and Mechatronics, vol.16 No.5, pp.504-512, (2004)



#### 国際会議発表論文

1. H.Kobayashi, J.Aoki, H.Hosono, T.Matsushita, Y.Ishida, K.Kikuchi and M.Koseki: " Concept of Wear-type Muscular Support Apparatus (Muscle Suit)", Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp.3236-3241, Washington,DC, (2002.5)
2. H.Kobayashi,and T.Shiiba: "Basic Study on Human Robot Interaction for Motion Support by Muscle Suit ", Proceedings of the 2002 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp.17-22, Berlin, Germany, Sept.25-27, (2002-09)
3. H.Kobayashi, Y.Ishida and T.Shiiba: "Human Robot Interaction via Wearable Robot ", Proceedings of the 2002 International Conference on Control, Automation and Systems, pp.534-539, Jeonbuk, Korea, Oct.16-19, 2002
4. H.Kobayashi : "Development on Wearable Robot for Human Power Support ", Proceedings of the 28th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Sevilla, Spain, Nov.5-8, 2002, SF007816
5. H. Kobayashi, A. Uchimura, and T. Shiiba: "Development on Muscle Suit - Realization of Abduction motion", Proceedings of the 2003 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 2003), pp.429-434, Kobe, Japan, July 23-24 (2003-07)
6. H. Kobayashi, A.Uchiumura ,and T. Shiiba: "Development of Muscle Suit for Upper Body", Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems Oct.27-31 Las Vegas, Nevada,U.S.A, pp.3624-3629,(2003-10)
7. H. Kobayashi, A.Uchiumura, and T. Shiiba: "Development of Muscle Suit for Upper Body - Realization of Abduction Motion", The Second International Conference onComputational Intelligence,Robotics and Autonomous Systems CIRAS 2003,PS01-1-03,Singapore, (2003-12)
8. H. Kobayashi,K. Hiramatsu:"Development of Muscle Suit for Upper Limb" The 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)Apr.27-May.2 The New Orleans,U.S.A, Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp.2480-2485,(2004-4)
9. H. Kobayashi, Y. Ishida, H. Suzuki:"Realization of All Motion for the Upper Limb by a Muscle Suit" RO-MAN 2004 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication Sep.20-22 Kurasiki, Okayama, Japan, pp..631-pp..636,(2004-9)
10. H. Kobayashi: "Development of a Muscle Suit for Realizing All Motion of the Upper Limb" 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)Sep.28-Oct.2 Sendai, Japan, pp.1630-1635,(2004-10)

#### 国内会議発表論文

1. 小林宏,石田 佑輔,松下 泰介,小関 光弘: "動けない人を動けるようにするマッスルスーツの開発 ", 電子情報通信学会技術研究報告 HCS2001-25, pp.55-61 (2001-08)
2. 小林 宏,石田 佑輔,松下 泰介,小関 光弘: "軽量安価なウェア型筋力補助スーツ(マッスルスーツ)の開発 ", 第6回「知能メカトロニクスワークショップ」, pp.59-64 (2001-08)
3. 小林,菊池,青木,細野,松下,石田,小関:"実用的で安価なウェア型筋力補助装置(マッスルスーツ)のコンセプトの実現可能性",第19回日本ロボット学会学術講演会 RSJ2001,2j 12,pp.163-164(2001-9)
4. 小林 宏,石田 祐輔,松下 泰介,小関 光弘: "筋力補助スーツ(マッスルスーツ)の開発",ヒューマンインタフェースシンポジウム2001論文集,pp.495-498, (2001-10)
5. 小林 宏,石田 佑輔,松下 泰介,小関 光弘:"人間行動を補助するマッスルスーツの開発", (社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会 2001 講演論文集,pp.179-180(2001-12)
6. 石田,松下,小林: "マッスルスーツを用いたマスタースレーブシステムの開発", 日本機械学

- 会ロボティクス・メカトロニクス講演会'02, 1P1-F07(2002-06)
7. 小林, 真鍋, 宮島: "空気圧アクチュエータを用いたマスタースレーブシステムの開発", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'02, 1P1-H04, (2002-06)
  8. 石田, 内村, 椎葉, 小林: "マッスルスーツの開発 - マスタースレーブ式動作実験 - ", ヒューマンインタフェースシンポジウム 2002 対話発表, P515-517(2002-09)
  9. 小林, 内村, 椎葉, 石田: "マッスルスーツの開発 - マスタースレーブ式動作実験 - ", 日本ロボット学会創立 20 周年記念学術講演会, 1F33(2002-10)
  10. 室町, 内村, 小林: "人間行動を支援するマッスルスーツの開発(直立補助に関する検討)", 計測自動制御学会主催第 3 回システムインテグレーション部門講演会, 1A22-03(2002-12)
  11. 石田雄二郎, 椎葉太一, 内村明高, 小林宏, 佐藤裕, 平松万明, 小浪信, 松下泰介: "マッスルスーツの開発(外転動作の実現)", 日本ロボット学会第 21 回学術講演会, 2F24 (2003-09)
  12. 内村明高, 小林宏, 椎葉太一, 石田雄二郎, 佐藤裕, 平松万明, 小浪信, 松下泰介: "マッスルスーツによる上肢動作の実現", ヒューマンインタフェースシンポジウム 2003 論文集, pp. 511-514 (2003-10)
  13. 小林宏: "上半身用マッスルスーツの開発", 第 46 回自動制御連合講演会講演概要集, FP2 06-1, pp.82 (2003-11)
  14. 小林宏, 平松万明: "上肢動作を補助するマッスルスーツの開発", ジェロンテクノロジー研究フォーラム 2003 - 健康維持増進とジェロンテクノロジー -, (2003-12)
  15. 小林宏, 椎葉太一, 平松万明, 小浪信, 松下泰介, 佐藤裕: "McKibben 型人工筋アクチュエータの開発", (社)計測自動制御学会(SICE) 第 4 回 SICE システムインテグレーション部門講演会, 3H3-6, (2003-12)
  16. 小林宏, 石田雄二郎, 椎葉太一, 内村明高, 平松万明, 小波信, 松下泰介, 佐藤裕: "マッスルスーツによる上肢動作の実現と解析", 第 9 回ロボティクスシンポジア, pp. 254-259, (2004-3)
  17. 奥野 太嗣, 藤原 誠, 道免 和久, 小林 宏, 畠中 輝昭, 宮越 浩一, 玉置 由子, 後藤 健: "マッスルスーツの臨床応用のための予備的検討", 第 41 回日本リハビリテーション医学会学術集会 抄録集, VOL.41 SUPPL 2004, pp.S403(2004-6/5)
  18. 小林 宏, 真鍋 健太郎, 椎葉 太一: "空気圧アクチュエータを用いたマスタースレーブシステムの開発, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会'04 講演論文集, 2P1-L1-55(1)-(4), 2004.6.18-20
  19. 小林 宏, 椎葉 太一, 石田 雄二郎, 内村 明高, 佐藤 裕, 平松 万明, 小波 信, 松下 泰介: "マッスルスーツの開発(上肢 7 動作の実現), 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会'04 講演論文集, 2P2-H-58(1)-(3), 2004.6.18-20
  20. 鈴木 秀俊, 小林 宏: "マッスルスーツによる上肢全 7 動作の実現, 日本ロボット学会 第 22 回学術講演会'04 講演概要集, 3K11, p.205, 2004.9.15-17.

#### 総説・解説

1. 小林宏: "[解説]ウェアラブルロボットの福祉機器への応用", 日本ロボット学会誌, Vol.20, No.8, pp.805-808, (2002-11)

#### 特許出願

1. 着用形姿勢調節装置(特願 2001-117697)

#### 受賞

1. 優秀プレゼンテーション賞(ヒューマンインタフェースシンポジウム 2002, 平成 14 年 9 月 1 日 3 日)
2. BEST PAPER AWARD(2002 International Conference on Control, Automation and Systems,

平成 14 年 10 月 16 日 19 日)

## 新聞

1. Changing the paradigm (THE DAILY YOMIURI 2002 年 3 月 28 日(木))
2. Inflatable muscle suits for elderly (BBC News 2002 年 5 月 23 日(木))
3. 福祉ロボ研究最前線 - 動作を補助するスーツ - (日刊工業新聞 2002 年 10 月 23 日(水))
4. ウェア型の筋肉補助装置 (化学工業日報 2002 年 11 月 18 日(月))
5. 産学連携の現場 - シーズ開拓へ転換 (日経産業新聞 2003 年 3 月 3 日(月))
6. 脱着しやすいパワードスーツ: 人工筋肉使い腕力補助 (日経産業新聞 2003 年 10 月 6 日(月))
7. 21 世紀の気鋭 (日経産業新聞 2003 年 11 月 13 日(木))
8. 愛知万博 来年 3 月開幕 ロボット・プロジェクト「マッスルスーツ」 (産経新聞 2004 年 9 月 30 日(木))

## 雑誌

1. ROBODEX で見えてきたロボットデザインの重要性 (NIKKEI DESIGN 新年号 2001, 1 p.26-27)
2. ロボットの世紀 (エンジニア type 2001-2-1 p.125)
3. 「"アトム"はいつできる?」 (週間宝石 2001 1.25)
4. 感情表現, 筋肉補完, マッスルスーツ (HOT・DOG PRESS 2001 2/12 p.18, p.19, p.60)
5. 高齢者や障害者の行動をサポートするマッスルスーツ (ばんぶう 2001 3 pp.6-7) P.6, P.7
6. ロボットの正体を知る (Newtype.com 2001 May p.102)
7. ロボットの世紀: ロボットは「顔が命」 (エンジニア type 2001 7-1 pp.110-111) P.110 P.111
8. 本当にやってくるロボット時代 (Newton 2001 10 p.85)
9. 人に役立つシステムを研究しています (ROBODEX2002 OFFICIAL GUIDE BOOK p.36)
10. ロボットの世紀 - エピローグ/ROBODEX2002 リポート - (エンジニア type vol.6 p.48)
11. Tech Watch: Strength in Bubbles (TIME Europe Magazine 2002 6-3)
12. コミュニケーションロボット/人の動きをトレースするマスタースレーブシステム (ascii24.com 2002 6-23)
13. Walk tall with an airpowered suit - Power dressing - (NewScientist 2002 5-25 p.23) Top cover and Contents Article
14. 人生劇場「驚異のマッスルスーツ! ?」 (駿台予備校 ADVANCE 2002 年度 Vol.3 pp.32-37)
15. ODE AAN HET MUSCLE SUIT (De Ingenieur: the Dutch technology magazine, 21 March, 2003)
16. 役に立つロボットマッスルスーツ開発と研究室改革に燃える (ポジティブ 2003 年 4 月 1 日(火)) P.4 P.5 P.6 P.7
17. 3 年以内に実用化できる収穫目前の研究 マッスルスーツ (日経バイオビジネス 6 月号 p.64, 2003)
18. 身障者に夢の補助具 (JST 基礎研究最前線 No.2 6 月号, 2003) P.14 P.15
19. 自力で動けない人も活動できるスーツ 上アブラルロボット (日経トレンドイ 9 月号 p.60, 2003)
20. DRAAGBAAR ROBOTPAK Muscle Suit (De Ingenieur p.30,31, 2003)
21. 今週のロボット: マッスルスーツの紹介 (週間アスキー 2004, 4/27 号(4 月 13 日発行) p.13)
22. 「介護支援向けに空圧アクチュエータ駆動「マッスルスーツ」開発」 (2004 年 8 月 18 日「日経 B P 産学連携ビジネス(WEBのみ)」)
23. 技術&イノベーション: 人力補助ロボット (日経ビジネス 2004 年 09 月 13 日号 p.86)

## テレビ

1. テレビ東京「ワールドビジネスニュース」でマッスルスーツが紹介 (2002 年 1 月 7 日(月))
2. NHK「おはよう日本」でマッスルスーツが紹介 (2003 年 3 月 19 日(水))
3. 韓国 SBS テレビ 顔ロボット SAYA と共に出演、マッスルスーツの紹介 (2003 年 8 月 3 日(日))

## 研究課題別評価

1 研究課題名: 人とロボットの共生と学習に関する研究

2 研究者氏名: 柴田崇徳

3 研究の狙い:

人と共存・共生するロボットは、作業を目的としない場合には、楽しみや安らぎなど精神的な効果を期待され、その価値を主に人の主観によって評価される。これまでに筆者は、心理実験の結果から人との身体的な触れ合いを重視し、人への精神的な効果を目的とする動物型のメンタルコミットロボットを研究開発した。これは、メカ的ロボットより高い主観評価を得、また、小児病棟や高齢者施設における約2ヶ月のロボット・セラピーを目的とする共生実験により、ロボットから人への心理的、生理的、社会的効果を確認した。

長期間の人とロボットの相互作用においては、ロボットには学習機能などによって行動の生成に変化がある。しかし、人の慣れや飽きなど、人の主観を考慮した学習方法は確立されてない。つまり、これらの要素が、人のロボットに対する主観評価に及ぼす影響が明らかではないため、ロボットの学習や成長の有効な手法が明らかではない。

本研究では、短期的な相互作用における主観評価実験や、長期間の相互作用の実験等により人の慣れと飽きについて研究し、さらにロボットの視覚、聴覚、触覚情報を統合して、飼い主(人)との関係に関する学習を行い、人に依存した価値に基づく学習を行うことにより、人がロボットに対して愛着を醸成し、長期間に渡り相互作用を継続させるための人とロボットの共生型学習法の研究開発を行う。そして、相互作用を通して、人にロボットに対する主観的価値を創造させる手法を確立する。

4 研究成果:

4.1. 人とロボットの短期的相互作用

4.1.1. 国内外における展示でのロボットに対する評価

人とロボットの相互作用において、短期間の場合に人がロボットに対して、どのように評価を行うのかについて研究を行った。

これまでに、日本国内において、パロを展示し、ロボットの機能やセラピーへの応用などの目的について説明した後、実際にパロにふれあっていただいた被験者に、アンケート形式で、パロに対する評価と被験者に関する情報を回答してもらった。

同様のアンケート内容を、海外では、現地の言語に訳し、一般の人々に回答しやすい形式とした。また、パロの説明に当たっては、現地の言語で説明員が行った。

02年には、英国・ロンドンの科学博物館、03年には、スウェーデン・ストックホルムの国立科学技術博物館、イタリア・ローマの日本文化会館、韓国・慶州市のロボット展示会、04年には、ブルネイ・国際交易見本市において、それぞれパロの展示、説明、アンケート調査を実施した。

それぞれの実験で、アンケート用紙に対象となる質問項目のすべてに回答があったものを有効とした。日本では641件、英国では320件、スウェーデンでは111件、イタリアでは76件、韓国では120件、ブルネイでは83件の有効な回答があった。