

肩甲骨を有する筋骨格型ヒューマノイドの肩構造

◎袖山 慶直（東京大学大学院学際情報学府）
水内 郁夫（東京大学大学院情報理工学系研究科）
吉海 智晃（東京大学大学院情報理工学系研究科）
中西 雄飛（東京大学大学院情報理工学系研究科）
稲葉 雅幸（東京大学大学院情報理工学系研究科）

1. はじめに

本研究が目指すのは、多様な作業への対応が可能な汎用性と安全性を有し、アクチュエータの追加・再配置が容易な、筋骨格型ヒューマノイドにおける新しい肩構造を開発することである。人間の肩構造を参考にすることで、①広い可動域と柔軟性、②モータや基板を胸郭内に十分に格納可能、③モーメントアームを稼げる最適な筋配置を持つ、という3つの利点があると考えられる。そこで人間の肩構造に倣い、肩甲骨を有する肩構造をヒューマノイドに搭載することを試みた。本稿では、この肩甲骨の有効性を議論し、試作機”Blade”を製作して実際に可動範囲に関する実験を行い、この方針の優位性に関する検証を行った。

2. 試作機の開発目的・設計コンセプト

2.1 ヒューマノイドの肩構造

日常生活の環境内で、身の周りの生活介助、道具の使用・受け渡しなど、ヒューマノイドが人に対して物理的に優しくサポートをする必要がある状況は数多い。このときヒューマノイドの身体は、しなやかで高い安全性を持つこと¹⁾が強く要求される。特に人との直接的なインタラクションにおいて、腕および肩構造のしなやかさは、相手である人間にダイレクトに伝わる非常に重要な部分であり、ヒューマノイドの肩構造は人間らしい肩の運動を生成することが必要とされる。

これまでに冗長多自由度と柔軟性可変な身体構造を持つ、筋骨格脊椎ヒューマノイド 隼太・隼次^{2)~4)}(図1)を開発し研究を行ってきた。隼太・隼次の肩構造を見ると、球体関節を直列に2つ繋いだワイヤ駆動構造となっている。人に近い可動域を満たしてはいるが、上腕部の重量化に伴い腕を挙げる等の運動に支障がある、首を支持する肩から頭部にかけての筋配置が不十

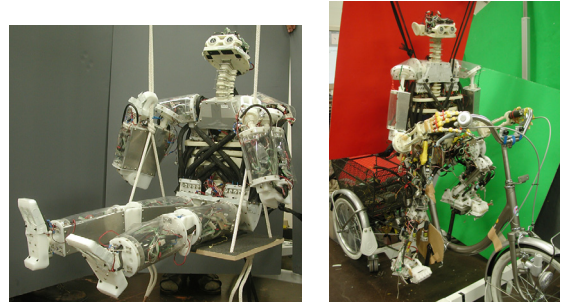


図1 左) 全身型筋骨格脊椎ヒューマノイド 隼太
右) 筋駆動腰部部に改良を施した 隼次

分であるという問題を抱えている。既存の肩と胸郭の構造ではモータ及び基板を追加するための十分な空間が確保できず、駆動力の増強は困難である。モータや基板・センサを十分に格納でき、大きな力を出せる最適な筋配置を持つ、肩構造と胸郭部の新しい構成を設計する必要が生じている。

従来のヒューマノイドの肩構造を見てみると、関節の回転中心が1点で交わるような3自由度機構のものが多く、体幹と肩機構が固定されており人に近い動きをすることはできない。これまでも柔軟な人間らしさを考慮に入れたロボットの肩構造を考案した研究がいくつかある^{5),6)}が、筋骨格型のヒューマノイドに搭載した、柔軟な肩構造の例はない。

2.2 肩甲骨を搭載することの有効性

肩構造は肩甲骨・鎖骨・胸骨・上腕骨の4つの骨により、肩甲-上腕機構と、肩甲-胸郭機構の2大機構を構成する関節の複合体である。前者は、上腕骨頭と肩甲骨関節窩による球体関節であり、後者は胸骨と肩甲骨との間の鎖骨によるクランク機構である。肩甲骨は体幹とは筋肉のみで接合しているため柔軟性を有する。そして図2,3のように肩甲骨が胸郭上を運動することにより、肩甲-上腕機構が胸郭上を移動し、広い可動範

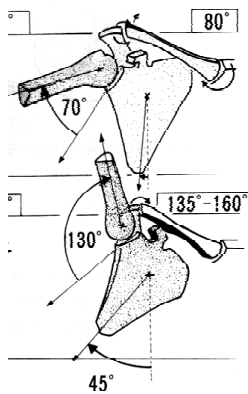


図2 自動外転運動⁸⁾

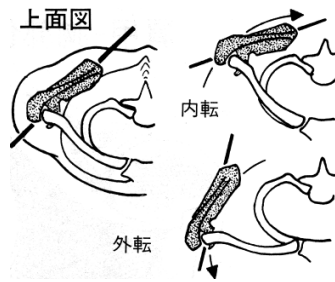


図3 運動機構⁸⁾



図4 試作機“Blade”



図5 石粉粘土・部品構成

囲を実現している。ヒューマノイドにおいて人間の肩甲骨を手本とすることで、このしなやかで広い可動範囲を得ることができると期待される。そして肩構造の回転中心を身体を中心である脊椎付近における⁷⁾とともに、肩構造を胸郭の外側に構成することができる。このことから胸郭内部に大きな空間が生まれ、モータや基板・センサなど重要な精密部品を十分に格納し保護することができる。

さらに肩甲骨は筋肉のプラットホームのように、上半身を支える筋肉がほとんど全て、筋力の効率が最適となるよう配置され集約している。この形状はアクチュエータから繋がるワイヤを張り巡らせることに適しており、複数の筋肉を協調させた、しなやかな人間らしい運動を行うことを可能とする。以上より、肩甲骨を模倣することは筋骨格型ヒューマノイドの肩構造として有効であると考えられる。

3. 肩甲骨を有するヒューマノイドの開発

3.1 石粉粘土により造形した骨格部

骨格部品構成(図5)は肩甲骨・鎖骨・胸郭部・頭部・椎骨となっており各部品を石粉粘土を用いて造形した。胸郭部は内部にDCモータ(3W10個)と基板を格納できるブロックとして製作を行った。肩甲骨につながる筋肉の多くは腕や背中から首にかけて幅広く分布しており、首から鎖骨、肩甲骨に走る筋肉が、肩と首とを連動した動き(首をすくめる、振り向くなど)を行う時に、協調して作用を及ぼすことが考えられるため頭部及び椎骨も製作した。椎骨はしなやかな動きができるよう5節とした。天然ゴムを用いて各部品をつなぐ筋肉とし、肩甲骨を固定しかつ可動範囲の大きな運動を行えるように設計を行った。

3.2 バネ特性を有するアクチュエータ

ネオプレン(クロロプレンラバーの両面にナイロン100%のジャージをラミネートした素材。ウェットスーツ等に用いられる)を用いた面状引張り機構により、前鋸筋の平面的な力の作用を再現した。人間の肩甲骨は胸郭に対して前鋸筋が間に挟まるようにして、胸郭上の滑り運動を可能としている。伸縮性の高い素材のネオプレンを用いることで、骨格部品の面同士が擦れあうことなく、クッションとしての衝撃吸収能力も併せ持ち、胸郭上を運動できる。肩甲骨の胸郭に対する上下・内外転・回転運動が可能である(図6)。三角筋・大胸筋に関してはモーメントを稼ぐため体幹からできるだけ遠くの点が筋肉の付着点となるよう設計を行った。これらの筋は人間では束上になっているのであるが、これらは1本のワイヤとして簡略化して再現した。

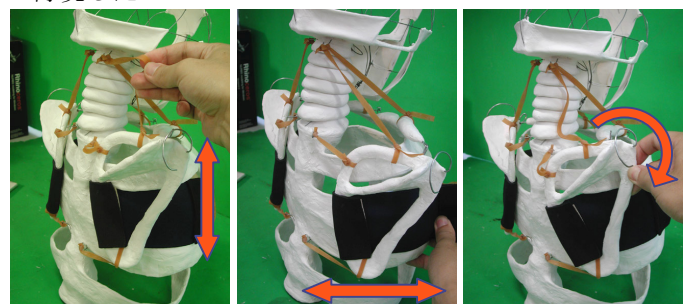


図6 肩甲骨の上下・内外転・回転運動(左から)

3.3 光造形による腕の試作

今回新たに開発を行った腕は、コンセプトのひとつである安全性も考慮し、身体的なインタラクションを今後展開する上で適した、やわらかい印象を抱かせるデザインとした。腕を構成する部品は鎖骨・肩甲骨・上腕・前腕・ハンドであり、各関節の自由度配置、完成イメージを図7に示した。左腕の総自由度数は24である。これらは3D-CADを用いて設計を行い、ラピッドプロトタイピングの光造形により試作を行った。素材は引張り強度、曲げ強さの優れたTSR820と類似の特性を持つ樹脂を使用した。

設計・製作した肩甲骨(図8左)は、肩甲-上腕関節と肩鎖関節を構成するための2つのボールジョイントが配置されている。前鋸筋・三角筋・僧帽筋・肩甲挙筋に相当するアクチュエータが取り付けられるよう、布素材ネオプレーンを固定するための機構、ワイヤを通すための穴とプーリを設計した。肩甲骨の肩甲棘・肩峰・内側縁・外側縁に相当する形状を施し、モーメントアームが大きく稼ぐことのできるよう設計を行った。三角筋・大胸筋にあたる肩を駆動するためのモータ・基板は胸部内に搭載される。

腕の軽量化のため、上腕と前腕パーツは肉厚3mm程の薄肉構造になっており、内部にモータと基板とが格納される。駆動力の増強の必要があれば、骨格の外側にモータのフローティングユニット³⁾を配置するこ

とを可能とした。上腕の上部は三角筋・大胸筋に相当するアクチュエータが付着するため、モーメントを稼ぐように凸部を設けた。肘関節は1自由度で上腕に搭載した2個のモータで駆動する。手首は3自由度の球体関節としモータ4個を要する。これと指の開閉を考慮した1.5Wモータ3個の合計7個を前腕に搭載する。ハンドは全部で11自由度を持ち、ジャンケンやグー・チョキ・パーと指差し等の動作が可能である。完成した鎖骨・肩甲骨・上腕・前腕・ハンドを取付けた試作機を図9に示す。

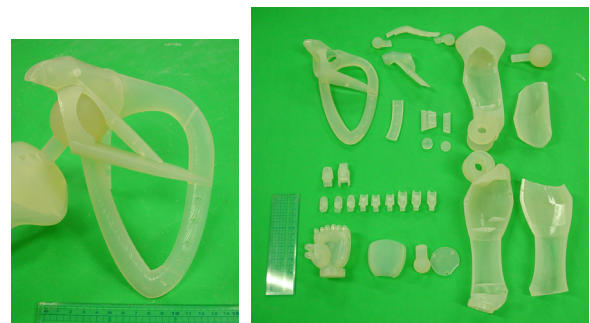


図8 左) 肩甲骨 右) 左腕構成部品



図9 光造形の腕を搭載した試作機

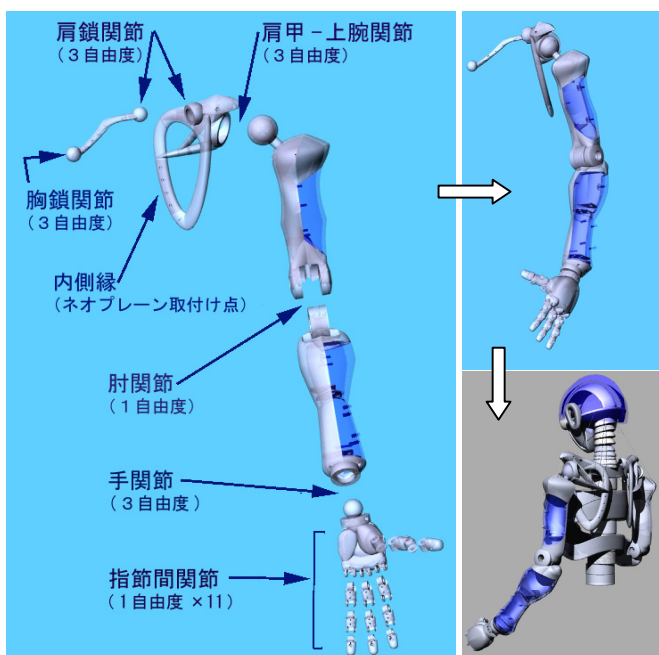


図7 3D-CADによる設計 部品構成

4. 3次元位置センサを用いた可動範囲の検証実験

製作した肩甲骨を有する試作機を用いて、その可動範囲の検証を行った。3次元位置センサとしてポヒマスセンサを用い、肩甲-上腕関節の球体部分と上腕骨の外側中央部の2点に配置した。X・Z軸方向と上腕の外転角0度の位置は図10左)の状態とする。腕の自動外転運動時のX・Z平面におけるポヒマスセンサの位置変化を図11に示す。肩甲骨を点B1で固定したとき、点A1~点A2まで上腕は可動する(Arm1, 最大外転角70度)。肩甲骨を用いて外転を行うとき、点B1はB2まで回転し、上腕はA1~A3まで可動することができた(Arm2, 最大外転角110度)。肩甲骨が動き上腕の回転

中心が点B1から点B2まで回転することによって、上腕の可動域が外転角 70 度から 110 度まで拡大されている事がわかる。

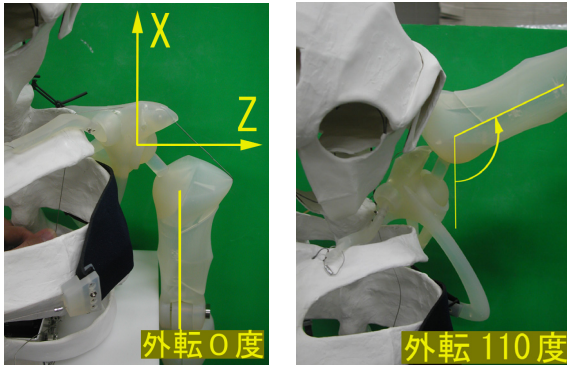


図 10 左) 可動域・最小 右) 可動域・最大

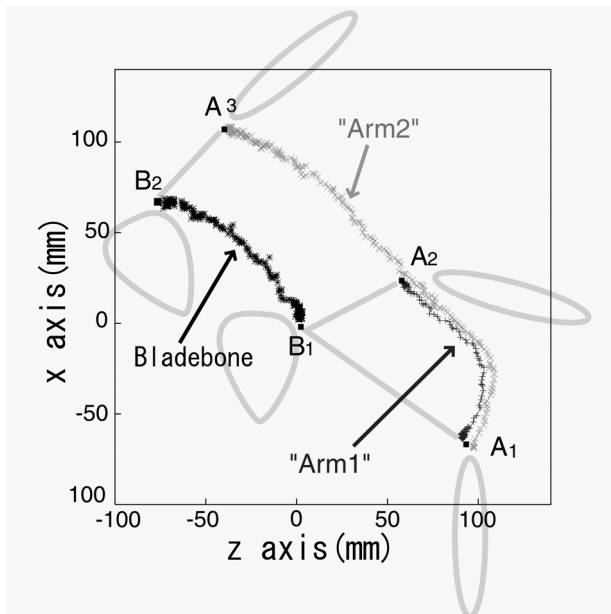


図 11 肩甲骨の有無による外転時の可動域の変化

5. まとめ

人間の身体構造に倣い肩甲骨を搭載したヒューマノイド試作機“Blade”の開発に関して述べた。

人体の肩構造から示唆を得て、筋骨格型ヒューマノイドに搭載するための最適な肩構造の筋配置を考察し、肩甲骨を設計製作、そしてネオプレーンを用いたアクチュエータを開発することによって、今までにはないしなやかな肩構造を持つヒューマノイドの構成法を提案した。そしてそれが人と近い可動範囲を有し、人間らしい動作を生成することを示した(図 12)。また肩甲骨を搭載することで胸部内の空間が十分に確保できること、モーメントアームを稼ぐことのできるような設計が行えることも示した。今後は脊椎に自由度を持つ胸部部を用意し、腕・肩・脊椎とを協調することにより

生み出される柔軟性を活かした動作実験を構成していく。そして、このような複雑な身体構造を扱うためのシステムの開発を行っていく。



図 12 背中に手をあてる人間らしい姿勢

参考文献

- 1) 生田,野方,石井. 福祉ロボットの制御に関する危険性評価法の提案. 日本ロボット学会誌 Vol.19 No.1, pp81-90,2001.
- 2) 水内,和井田,吉海,中西,稲葉,井上. 筋骨格脊椎ヒューマノイドとその筋駆動腰脚部の構成法に関する研究. 第 24 回バイオメカニズム学術講演会講演予稿集,pp21-24,2003
- 3) 吉海,西田,大竹,水内,稲葉,井上. 冗長干渉駆動系の制御戦略模索のための筋配置可変型ハンドの開発. 第 24 回バイオメカニズム学術講演会講演予稿集,pp29-32,2003.
- 4) M.Inaba, I.Mizuuchi, R.Tajima, T.Yoshikai, D.Sato, K.Nagashima, and H.Inoue. Building Spined Muscle-Tendon Humanoid, in Robotics Research: The Tenth International Symposium, pp. 113-130, Springer Verlag, 2003.
- 5) 岡田,中村. サイバネティック・ショルダの開発ー人間の肩の動きを模倣した 3 自由度機構ー. 日本ロボット学会誌 Vol.18 No.5, pp.690-698, 2000.
- 6) 坂井,村上,澤江. ヒト肩関節を規範としたロボットアーム関節機構の開発. バイオメカニズム 17,pp143-154,2004.
- 7) 山本,中野,岡田,中村. 二重球面肩関節を持つヒューマノイドロボット. 第 22 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1L27, 2004.
- 8) J.Castaigne, J.J.Santini. 図解関節・運動器の機能解剖 上肢・脊柱編. 協同医書出版社,1986

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

東京大学大学院 学際情報学府 学際理数情報学専攻
情報システム工学研究室(稲葉・稲邑研) 袖山慶直

Tel: 03-5841-7416

E-mail: sodeyama@jsk.t.u-tokyo.ac.jp