

# 全身型ヒューマノイドに用いる股関節機構の開発

○篠原徹也(東大) 岡田昌史(東大) 中村仁彦(東大, CREST)

## Development of hip joint mechanism for humanoid robot

○ Tetsuya SHINOHARA (Univ. of Tokyo), Masafumi OKADA (Univ. of Tokyo)  
and Yoshihiko NAKAMURA (Univ. of Tokyo, CREST)

**Abstract**— We developed a new hip joint mechanism. Double spherical hip joint consists of two spherical joints whose center of rotations agree at one point and can realize two functions. One function is as the hip joint and the other function is as the waist joint. It is expected that we can control the balance of the humanoid easily by taking advantage of this mechanism.

### 1. はじめに

これまでに多くのヒューマノイドが開発されてきたが<sup>1)2)3)4)5)</sup>, これらのヒューマノイドの全身自由度数はおよそ 30 自由度程度となっている。ヒューマノイドを設計するには小型かつ軽量であることが要求されるため一般的には自由度数は制限される。しかし同じ自由度数で多様な運動を生成できる機構であればそれをヒューマノイドに用いることは有効であり, このような機構を開発することは今後ヒューマノイドを設計する上で重要になると考えられる。

またこれまでに開発されたヒューマノイドの歩行動作を見てみると常に膝を曲げ腰を落とした状態を保っているためその動きは機械的でぎこちないものを感じる。これは上半身を使って重心を前後, 左右方向に変化させバランスを取るための自由度を確保するには膝を曲げておく必要があるためである。

本研究ではこのようなヒューマノイドの歩行動作に注目し自由度数を増加させることなく上半身を使って重心を変化させ容易にバランス制御が可能となる股関節機構を開発した。以下では開発した二重球面ジョイントを用いた股関節機構について述べる。

### 2. 二重球面ジョイント

従来のヒューマノイドの股関節機構は Fig.1 左図のように左右それぞれの足にヨー, ロール, ピッチの回転軸が一点で交わるよう 3 自由度を配置した球面ジョイントにより構成され合計 6 自由度となっている。人間の股関節が持つ自由度も左右それぞれの足について 3 自由度の球面ジョイントであり合計 6 自由度であるがこの他に腰関節として別に 3 自由度を持つ。それに対し多くのヒューマノイドはアクチュエータ数を減らし軽量化を図るため腰関節の自由度を持っておらず左右それぞれに球面ジョイントを配置しているのみである。この自由度配置により以下のような問題が生ずる。

- 上体を左右に傾けるまたは鉛直軸周りに回転させるためには Fig.2 のように膝, 足首を協調して動かす必要がある。
- 歩行動作の際に上体を使ってバランス制御を行う必要があるため常に膝を曲げたまま歩行しなければならない。
- 常に膝を曲げた姿勢を保つには膝に高トルク出力

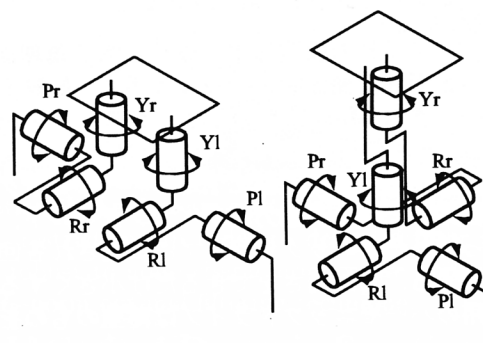


Fig.1 DOFs arrangement of hip joint

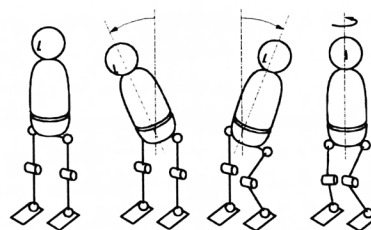


Fig.2 Bending motion of the upper half body with normal hip joint

が要求され膝のアクチュエータに大きな負担がかかる。

- 腰関節の自由度を新たに増やすことで解決するが重量, 体積がともに増加しその上制御が複雑化してしまう。

そこでアクチュエータ数を増加させずに上記の問題を解決するための股関節の機構として Fig.1 右図に示す二重球面ジョイントを開発した。これは 2 つの球面ジョイントで構成されそれぞれの回転中心を一致させた機構である。この機構により Fig.3 のように膝などを曲げることなく上体を左右に傾ける, 回転させるという動作が可能となるため歩行時においても常に腰を落とした状態を保つ必要がなくなり膝を伸ばした自然な歩行が実現でき膝のアクチュエータへの負担軽減にもつながると考えられる。このように二重球面ジョイントは自由度数は従来の股関節と同じ 6 自由度であるが, 股関節としての機能を果たすだけでなく腰関節としての機能も併せ持つことができるためヒューマノイドの股関節機構として有効であると考えられる。

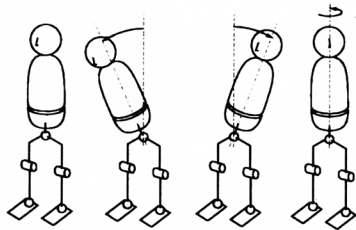


Fig.3 Bending motion of the upper half body with double spherical hip joint

### 3. 二重球面ジョイントの設計

ヒューマノイドの股関節用に設計した二重球面ジョイントの正面図、側面図を Fig.4 に示す。駆動系についてはモータは Maxon 製 DC サーボモータを使用しヨー軸、ロール軸用は 90[W]、ピッチ軸用は 150[W] とした。減速器には全て減速比 100 のハーモニックドライブを使用し、モータ動力はタイミングベルト、プーリによってハーモニックドライブに伝達され各回転関節を駆動する。また高さをできるだけ小さくするためヨー軸用のハーモニックドライブは薄型のものを利用した。

設計は三次元 CAD ソフト Solid Works を用いて行い、可動範囲、強度、サイズの 3 点に留意した。強度が必要とされる部品はマグネシウム合金を切削加工することで剛性が高く軽量なものとなっている。可動範囲はできるだけ人間のもの<sup>6)</sup>と同程度になるようにした。可動範囲の比較を Table 1 に示す。可動範囲を広げるためにリンク同士の干渉が少なくなるようにリンク、モータ、ギアを配置し、ピッチ軸については片持ち支持とした。なお角度の定義は Fig.4 に示す通りでありここでの可動範囲は左足を直立に保った状態で右足を各軸回りに動かした時のものである。また両足を直立に保った状態で上半身のみを動かした場合はヨー軸回りが  $\pm 90[\text{deg}]$ 、ロール軸回りが  $\pm 35[\text{deg}]$ 、ピッチ軸回りが  $-135[\text{deg}] \sim +90[\text{deg}]$  である。サイズと可動範囲の間にはトレードオフの関係があるためサイズをできるだけ小さくした結果人間の可動範囲を完全にカバーすることはできていないが、上半身の可動範囲はバランス制御をする上で十分であると考えられる。

Fig.5 に二重球面ジョイントを用いて上半身を動かした様子を示す。左から順に中立状態、ヨー軸、ロール軸、ピッチ軸周りの回転の運動である。二重球面ジョイントの利点により下半身の姿勢を固定したまま上半身の姿勢を変更可能であることが分かる。

Table 1 Comparison of motion range

	Human	Double spherical joint
Yaw	$-35 \sim +50 [\text{deg}]$	$-35 \sim +35 [\text{deg}]$
Roll	$-50 \sim +50 [\text{deg}]$	$-20 \sim +35 [\text{deg}]$
Pitch	$-120 \sim +30 [\text{deg}]$	$-135 \sim +90 [\text{deg}]$

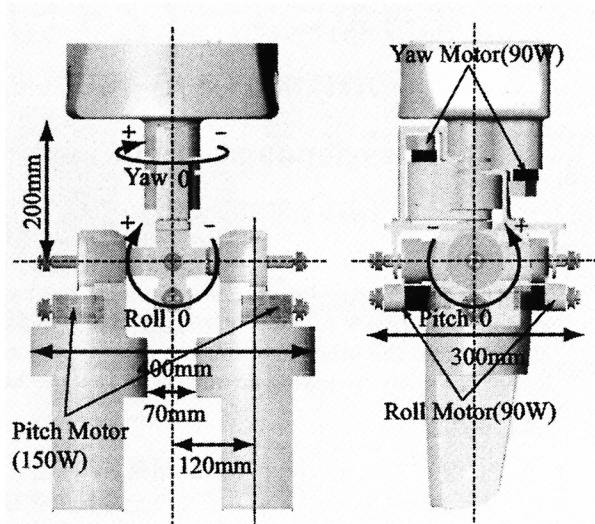


Fig.4 Drawing of double spherical joint

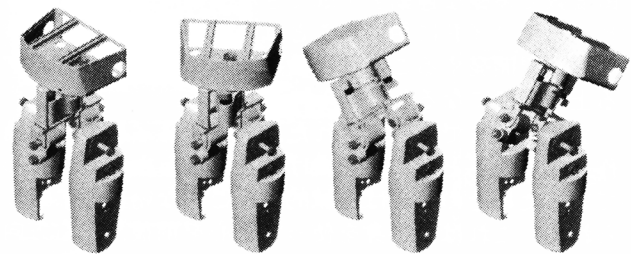


Fig.5 Trunk motion with double spherical joint

### 4. おわりに

本稿では新たに開発した二重球面ジョイントを用いた股関節機構について概説した。この機構により上半身を積極的に利用したバランス制御を容易に行うことができるかと期待される。今後は全身型ヒューマノイドの開発を進め特徴的な機構を活かした歩行動作制御を行う予定である。

なお、本研究は科学技術振興事業団戦略的基礎研究推進事業 (CREST) 領域「脳を創る」の支援を受けた。

#### 参考文献

- 1) 山口 他: "2 足歩行型ヒューマノイドロボットの開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会'97 講演論文集, pp.849-850, 1997
- 2) Kazuo Hirai et al: "The Development of Honda Humanoid Robot", Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1321-1326, 1998
- 3) 西脇 他: "全身行動型ヒューマノイド「H6」の開発", ロボティクス・メカトロニクス講演会'00 講演論文集, 2000
- 4) 黒木, 石田, 長阪, 山口: "高度統合運動制御機能を有する小型二足歩行エンターテインメントロボット SDR-4X", 第 20 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2002
- 5) 金子 他: "HRP-2 プロトタイプの開発", 第 20 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2002
- 6) Mark E. Rosheim: ROBOT EVOLUTION the development of anthropotics, John Wiley & Sons, Inc. pp.229-231, 1994