終末強制回旋機構を備えた人体模倣膝機構の実装と 筋骨格ヒューマノイドによる環境接触下における動作実現

浅野 悠紀* 溝口 弘悟* 上月 豊隆*
茂木 陽太郎* 白井 拓磨* 浦田 順一*
中西 雄飛* 岡田 慧* 稲葉 雅幸*

Implementation of Human Mimetic Knee Joint with Screw-Home Mechanism and Achievement of Motion under Environment Contact by Musculoskeletal Humanoid

Yuki Asano*, Hironori Mizoguchi*, Toyotaka Kozuki*, Yotaro Motegi*, Takuma Shirai*,
Junichi Urata*, Yuto Nakanishi*, Kei Okada* and Masayuki Inaba*

Human knee joint has a yaw-axis rotational DOF and a locking mechanism called screw-home mechanism(SHM). We focus on this mechanism and implement it to a musculoskeletal humanoid through hardware design. In this paper, we first explained human knee characteristic of SHM and joint range of motion. Next, we explained hardware design and implementation method of the mechanism. As an evaluation of our developed knee joint, we checked the function of SHM from viewpoint of moment arm of the yaw rotational axis and the yaw angle displacement during squat motion. Lastly, as unique and integrated motions that involve the use of yaw DOF derived from SHM, we made several motion achievement including humanlike twisting squat, heel move motion and switch pedals, under a condition of contacting environment. This result demonstrates human mimetic rotational DOF of knee contributes motion achievement.

Key Words: Human Mimetic Knee Joint, Screw-Home Mechanism, Musculoskeletal Humanoid, Environment Contact

1. 研究の背景と目的

人間の膝関節は回旋自由度を有しており、それによって様々な動作が可能である。具体的な動作に着目してみると、膝の回旋は例えば、Fig. 1 に示すような、自動車運転中の着座時におけるペダル踏みかえや、しゃがんだ状態での身体の回旋運動、段差を上る際の足位置の調整に寄与するものと考えられる。そのような人間の膝関節の機能を解明するべく理学療法の分野では膝関節の動態解析研究が進められている [1]。一方で、膝関節は、このような人間らしい動作に寄与するだけでなく、全身の負荷を支えつつ運動を行う関節トルクを備えている必要もある。このように、膝関節は人体にとって非常に重要であるため、人間の膝関節機能を再現した膝関節の開発やそれらのヒューマノイドへの適用など、様々な研究がなされている [2]~[6]。

しかし、大きな負荷を支える必要のある膝関節を回旋自由度

のような機構を組み込むことによって複雑にしてしまうと、駆動筋の冗長度が増し、関節の拘束および全身の駆動・制御が困難になってしまうことから、詳細な“人体機能模倣”と高負荷を伴う“等身大ヒューマノイドへの組み込み”による検証を両

Fig. 1 A situation of using knee's yaw rotational DOF. Musculoskeletal humanoid Kenshiro can switch gas pedal with brake pedal during car driving like human

原稿受付 2013 年 12 月 26 日

* 東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻

* Department of Mechano-Informatics, Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

■ 本論文は学術性で評価されました。

■ J-STAGE では本論文の電子付録として動画が閲覧できます。

Fig. 2 Design concept of SHM

立させているものは少ない。

そこで私たち研究グループは、ヒューマノイドが複雑化し、冗長度が増加したとしても、人間ができていた動作や身体の使用において重要なものであれば、その複雑度や冗長度を与え、それを利用する行動の実現法を明らかにしていくことが重要と考えて、人体の解剖学的な再現を目指した人体模倣筋骨格ヒューマノイド「隼志郎」(Fig. 2, 左図)の開発に取り組んでおり、人体の筋骨格構造を模したロボット機構および構造の開発や人間のような歩行やバランス動作の実現を目指し、多角的に研究に取り組んでいる[7]~[10]。その中でも、隼志郎の膝関節は、人体の膝関節機能の模倣により、膝関節に回旋自由度とそのロック機構からなる終末強制回旋機構 (Screw-Home Mechanism, 以下 SHM) [11] を備えている。本稿においては、SHM を備えた膝関節の開発について述べ、機構に対する評価や膝関節の回旋自由度を利用した動作生成を行うことで、筋骨格ヒューマノイドにおける新しい膝関節機構の提案を行う。また、開発した膝関節の評価を通じて、人間の膝関節構造に対する考察を行い、機構を利用した動作実現をすることで、機構の有用性を示す。

2. 人体における SHM の構造と動作

2.1 人体における SHM の構成

人間の膝関節に着目してみると、屈曲時に回旋自由度を有しているが、伸展するにつれて自動的な回旋運動が生じ、完全伸展位では回旋自由度がロックされ姿勢が安定化する。例えば、脛骨が地面に固定された状態においては、伸展に伴い大腿骨は強制的に内旋し、完全伸展位においてロックされる。この膝関節の完全伸展位 (終末) における強制的な内旋によるロック機構を SHM と呼ぶ [11] (Fig. 3)。一方、屈曲時は、ロックが外れることによって回旋自由度が現れ、外旋 40 [deg]、内旋 30 [deg] の回旋が可能となる [12]。

この機構は、伸展時には骨形状によるロックや大腿骨、

Screw-Home Mechanism(SHM) in human knee

Fig. 3 SHM and rotational DOF in human knee

脛骨を接続する十字靱帯の緊張および大腿四頭筋の牽引力によって回旋ロックが構成されている。また、屈曲時には、骨形状ロックの解放、十字靱帯の緩みによって回旋自由度が現れ、膝関節におけるねじれ負荷軽減や人間らしい動作へ寄与しているとされている。具体的な動作では、しゃがんだ状態での身体の回旋運動、段差を上る際の足位置の調整、自動車運転中の着座時におけるペダル踏みかえ時などに用いられていると考えられる。

2.2 人体の足先可動範囲計測

人間の膝関節回旋の運動への寄与を調べるため、足先の回旋方向への到達可能角度を計測し、膝関節の可動範囲を計測した。対象は、本研究の目的および方法について同意を得た下肢に異常のない成人男子 5 名とし、以下の条件の下、計測を行った。なお、両動作において膝関節の運動を計測するために、被験者へは股関節は運動しないように意識してもらった上で、計測を行った。

- (1) 椅子に座った状態 (膝および股関節 90 [deg] 屈曲) で、膝を回旋
- (2) 床に座った状態 (膝伸展, 股関節 90 [deg] 屈曲) で、足先

Fig. 4 Measurement result of human knee and foot angle range. Upper: Human knee yaw angle in sitting on a chair. Lower: Human foot yaw angle in sitting on floor

を回旋

Fig. 4 の上図は (1) の結果であり、平均で外旋 48.4 [deg]、内旋 -35.4 [deg] となっており、膝関節の回旋自由度を確認することができる。一方、**Fig. 4** の下図は、(2) の結果であるが、(1) に比べ回旋角度が小さく、足首自由度の回旋方向への寄与は少ないことが分かる。これは、足首関節の運動は、厳密には回旋運動ではなく、複合運動である回内、回外によって主に生じる点や、SHM により膝関節に回旋ロックがかかっていることが原因であると推測できる。これによって、膝関節が回旋可能となる膝関節屈曲時の方が足先自由度が増し、運動の自由度が増すことが示唆された。

3. SHM の設計と実装

3.1 SHM を備えた膝関節の構成

人体は SHM によって伸展時の回旋自由度ロック、屈曲時の外旋 40 [deg]、内旋 30 [deg] の回旋自由度が存在するとする文献 [12] や膝関節の回旋角度の計測結果を参考に臆志郎においては、膝関節を約 100 [deg] 屈曲時に、外旋 40 [deg] 内旋 30 [deg] の可動域を達成するように機構設計を行った。機構は、**Fig. 2** に示すように、脛骨断面のロック溝とロックピンによって構成されて

Fig. 5 The behavior of SHM built in humanoid. Left: Rotation is locked (in extension), Center: Outwards rotation (in flexion), Right: Inwards rotation (in flexion)

Fig. 6 Knee angle relationship between pitch and yaw

おり、伸展時はピンが溝に拘束されることで回旋自由度がロックされ、屈曲時はピンが溝から外れることで回旋自由度が現れる構造となっており、溝形状は最大回旋角度および、伸展時の膝ロック状態より決定した。以上より、本論文における SHM の設計仕様は以下の 3 点である。

- (1) 膝伸展時に回旋ロックがかかること (回旋角度 0 [deg])。
- (2) 膝屈曲時に回旋可能となること。
- (3) 最大膝回旋角度は、外旋 40 [deg]、内旋 30 [deg]。

SHM をヒューマノイド実機に組み込み手動で動作させている様子を **Fig. 5** に示す。

3.2 屈曲時の回旋可動範囲変化

Fig. 6 に、開発した膝関節の、屈曲角度 (Pitch angle, X 軸) に対する回旋可能角度 (Yaw angle, Y 軸) の実測値を示す。

これは、それぞれの屈曲角度における回旋角度の最大および最小値であり、回旋の可動範囲を表す。これらは、ロック溝の形状に依存するものであり、この形状を工夫することによって、様々な可動範囲が実現可能である。

3.3 人体解剖学に基づく筋配置設計

筋配置として、人間の膝関節周りの筋配置を模擬した構成とした。主に運動の主動筋を採用し、筋の取付点として人間の筋の起始点、停止点を基に設計を行った。膝関節周りの筋配置を **Fig. 7** に示す。拮抗関係を含めた膝関節を駆動する筋を、これまでの小次郎の 4 本から臆志郎では 9 本へと大幅に増加させていることから、関節トルクおよび速度の面で改善がなされている。

Fig. 7 Muscle arrangement of the developed knee joint

Fig. 8 Bi-articular muscle(hamstrings) that plays knee rotation. Semimembranosus/Semitendinosus is for inwards rotation. Biceps Femoris Longus is for outwards rotation

膝関節の回旋自由度は、主にハムストリングスの大腿二頭筋長頭 (Biceps Femoris Longus)、半膜様筋・半腱様筋 (Semimembranosus・Semitendinosus) によって駆動および拘束されている (Fig. 8)。

3.4 膝関節の回旋モーメントアームと SHM

膝関節における回旋自由度は、外転方向への回旋を担う大腿二頭筋長頭 (Biceps Femoris Longus)、内転方向への回旋を担う半膜様筋/半腱様筋 (Semimembranosus/Semitendinosus) のモーメントアームに依存して関節トルクが変化し、拘束力が決定される。したがって、モーメントアームが小さいと、関節の拘束力が弱まり、関節の拘束が困難となる。膝関節における回旋モーメントアーム検証として、屈曲角度に対する回旋軸周りのモーメントアーム変化を Fig. 9 に示す。縦軸は、膝関節における回旋軸周りのモーメントアーム、横軸は膝関節の屈曲角度を表す。この結果、膝関節を伸展した 0 [deg] の付近では、モーメントアームが最小となり、屈曲した 90 [deg] の付近でモーメントアームが最大となっている。人間の膝関節は、駆動筋の取付点と膝関節回旋軸の構造上、伸展時に回旋軸周りの拘束力がなくなるとされているが、開発した膝関節は回旋モーメントアームの点で同等の性質を有していると言える [13]。この人間の膝

Fig. 9 Moment arm of knee joint around rotational axis. Biceps Femoris Longus and Semimembranosus/Semitendinosus contribute to the rotation

Fig. 10 Knee joint torque of Kenshiro corresponding knee pitch and yaw angle

関節の性質は、直立状態では回旋軸周りの拘束力 (関節トルク) を発生させることは人体の筋構造上困難であり、膝を曲げた屈曲状態ではモーメントアームの増加による安定した関節拘束が可能となることを意味する。したがって、直立状態での不安定な姿勢保持の状態を解決するために、SHM による膝伸展状態での回旋拘束は人体構造の理になかった重要な機構であり、SHM は関節拘束による直立状態での姿勢保持に寄与していると考えられる。

3.5 膝関節トルク解析

開発した膝関節の着座時 (股関節 90 [deg]) における伸展屈曲トルク性能を Fig. 10 に示す。伸展トルクは Fig. 7 における #1, 2, 3, 4 の伸展筋群、屈曲トルクは #5, 6, 7 の屈曲筋群の合計トルクを示すものである。また、膝回旋角度 0 [deg] におけるトルク性能を抽出し、人間の膝関節発揮トルク [14] と比較したものを Fig. 11 に示す。伸展トルクにおいて、最大発揮トルクのオーダーは同程度であるものの、ピークをとる角度に違いが見られる。これは、人間は屈曲時、膝蓋骨によるモーメントアーム増強がなされるが、腱志郎においては膝蓋骨の影響を考えていないことなどが要因として考えられる。屈曲トルクにおいては、同様に最大値のオーダーに関しては同程度であるものの、傾向に違いが見られる。これは、屈曲伸展モーメント

Fig. 11 Knee pitch torque comparison between Kenshiro and human

アームの軌道の違いによるものと推察される。人間と比べ、屈曲時（50–100 [deg]）の伸展トルクが不足していることから、深い屈伸状態からの立ち上がりが困難となる可能性があるが、後述の比較的浅い屈伸動作においては、十分な関節トルクを有していると言える。

4. 動作実験による SHM の評価

4.1 屈伸動作時の回旋変位と SHM の関係

下肢の現実的な負荷状態を考慮すると、接地状態における動作試験が非常に重要である。屈伸動作は膝および足関節を利用した人間の基本動作の一つであるため、屈伸における膝関節の回旋角度変位によって、SHM の効果を検証する。

実験条件として、屈伸における関節角度列は、各筋アクチュエータの筋長と関節角度の対応付けに基づく位置制御に基づいて生成し、それらを連続的にヒューマノイドへ送ることで屈伸の動作指令とした。屈伸の膝最大屈曲角度は 45 [deg] とし、動作回数は 10 回である。動作指令は、屈曲軸に関して能動的に動作させる指令を生成し、回旋軸に関しては能動的な指令は送っておらず、屈伸動作に伴う受動的な動作となる。また、実験中、バランス補助は行っておらず、ヒューマノイドは自立した状態で動作を行っている。これらの条件の下、以下の両パターンで同じ動作指令を送り、そのときの膝関節の回旋角度の変化を計測した。なお、臈志郎の膝関節の回旋方向にはロータリポテン

Fig. 12 Squat motion sequence

Fig. 13 Rotational(yaw) angle displacement in knee joint during squat motions. Upper: WITHOUT SHM, Lower: WITH SHM

ショが組み込まれており、回旋方向のみ角度計測が可能である。

- (1) SHM なし（回旋軸において自由回旋可能）
- (2) SHM あり（回旋軸において拘束有り）

Fig. 12 は、(2) の状態での屈伸動作の様子である。また、その時の回旋軸角度変化は、Fig. 13 の上図が (1) の SHM なし、下図が (2) の SHM 有りのものである。それぞれのグラフにおいて、縦軸は膝関節初期位置を 0 とした膝関節回旋軸の関節角度変位を表し、横軸は時間を表す。(1) の状態では、動作中に 12 [deg] 程度の回旋が起こっており、動作後には初期値との変位が生じている。(2) の状態では、動作中の回旋は 8 [deg] 程度と軽減されており、動作終了時には初期位置へ戻っていることから、機構による関節拘束が働いていることが確認できる。

以上より、SHM による膝の拘束がない状態で運動を行うと、動作後、膝関節の回旋軸角度は初期位置からの変位が生じる結果となった。これらから、人の動作においても膝関節の横断面上ですべりとそれらに起因するねじり負荷が生じていることが

Fig. 14 Motions of the leg using knee's yaw axis rotational DOF. Upper: Open-Close motion. Lower: Right-to-Left motion

示唆される。したがって、SHMは、動作中におこるねじれ負荷を逃す働きと、膝回旋の修正に寄与していると考えられる。

4.2 膝回旋自由度を用いた動作実現

膝の回旋自由度を利用した動作として、膝の開閉動作、膝の左右移動動作といった膝関節の推移動作があげられる。人間においてこれらの動作は、膝屈曲状態によって行われることから回旋自由度が解放された状態で、筋によってその回旋自由度をうまく拘束し駆動する必要がある、もし関節拘束が不十分だった場合、自重により転倒してしまう。したがって、これらの動作によって、SHMを備えた膝関節の回旋自由度を荷重負荷時においても能動的に駆動できるかを確かめる。動作は膝45[deg]屈曲を初期位置とし、両動作ともに最大 ± 25 [deg]の膝および股関節回旋指令を送ることで動作を生成した(**Fig. 14**)。実験中、バランス補助は行っておらず、ヒューマノイドは自立した状態で動作を行っている。上図の開閉動作や、下図の左右推移動作に示すように、荷重負荷時においても回旋自由度を能動的に駆動可能なことを実験的に示した。

5. 環境接触状態での膝回旋を利用した動作実現

5.1 足裏接地状態におけるねじり屈伸動作

人間は全身動作において、脚単独の動作生成だけでなく、全身を複雑に統合することで様々な動作を実現している。また、立位時、足部は地面と接地しているが、前述のような全身自由度を活かすことで、ねじり、曲げ、伸びといった様々な動作実現が可能である。臆志郎の体内には、人間を模した多自由度関節が含まれており、特に背骨、股関節、膝関節における回旋自由度はこれまでのヒューマノイドにはあまり見られない大きな特徴である。そこで接地状態における、人間を模した骨格および関節構造に基づく全身の回旋自由度を利用する運動として、屈

Fig. 15 Twist squat by rotating spine, knee and hip joint at bottom position and angle displacement around rotational(yaw) axis of knee during the motion

伸した状態で背骨、股関節、膝を連動し回旋させるねじり屈伸に着目し、動作実現に取り組む。

膝にはSHMによる回旋拘束を適用し、ヒューマノイドを自立させた状態で転倒防止に人間が前後左右方向にバランスの補助を行い、全身を使ったねじり屈伸を実現した。動作の様子と膝関節における回旋自由度の角度変位を**Fig. 15**に示す。動作時は膝の回旋変位があり、動作開始および終了時は0[deg]に近い値となっていることから、SHMによる動作時の回旋方向への寄与と、動作後の関節拘束が機能していることが確認された。また、床接地状態において、全身の回旋自由度を利用することで、動作実現の幅が広がることが示唆された。

5.2 前足部接地時におけるかかと踏みかえ動作

前足部が接地している状態でのかかと踏みかえ動作も、環境に身体が拘束されている状態で膝回旋自由度を利用する動作の一つであり、これの実現に取り組んだ。踏みかえ動作は、筋長の教示として事前に臆志郎へ与え、動作生成を行った。骨盤を支柱に固定し、上半身をワイヤで吊るし、下半身に影響を与えないような状況で実験を行った。動作開始直後のかかと踏みかえの様子と、そのときの右膝における回旋角度変位を**Fig. 16**に示す。内旋、外旋ともに10[deg]程度の変位が見られ、前足部を支点とし、かかとを回転させるように移動させ、踏みかえ動作を実現していることが確認できる。

5.3 大腿部接触状態におけるペダル踏みかえ動作

人間は着座時のような多点接触によって身体が拘束されている状態においても多様な動作が可能である。これを可能にする要素として、膝の回旋自由度による足先自由度の増加があり、動作例として、アクセルとブレーキペダルの踏みかえを伴う自動車運転があげられる。自動車運転時のペダル踏みかえ動作は、大腿部および臀部が座席に接触し拘束された状態でペダルの踏みかえを行う必要があり、そのためにはそのような状況でも動

Fig. 16 Heel move experiment under forefoot constraint by reciprocating heel from right to left

Fig. 17 Driving experiment by switching gas and brake pedals

作可能な足先の自由度が求められる。そのような身体的环境拘束時に、膝の回旋自由度が用いられていると着目し、ゲーム用ドライブシミュレータを用いた運転動作の実現に取り組んだ。

隼志郎の動作は前節と同様に、筋長の教示でアクセルとブレーキの交互踏みかえ動作を与えた。隼志郎は椅子へ着座させ、上半身をワイヤで吊った状態で実験を行った。Fig. 17に示すように、膝関節における着座時の回旋自由度によりアクセルとブレーキを踏みかえ、シミュレータ上で前進および停止による直進が可能であることを確認した。このことから、身体が座席と接触し拘束される着座時のペダル操作において、膝関節回旋自由度が有効であることが示された。

6. おわりに

本論文では、人体機能を模倣した膝関節としてSHMを備えた膝関節の設計と実装について述べ、筋骨格ヒューマノイド隼志郎への適用と動作実現を行った。膝関節におけるSHMの果たす役割を示すために、人間との比較を交えつつ、膝関節におけるモーメントアームや屈伸動作時の回旋角度変位の点から評価を行い、人体の構造の持つ優れた機能や意味についての考察を行った。これによって、SHMによる膝関節拘束は、筋による関節拘束が弱くなる膝伸展状態に非常に重要であることが示さ

れた。また、膝の回旋自由度を利用した動作として、環境との多様な接触状態における動作実現に着目し、足裏接地状態で膝、背骨、股関節の全身回旋自由度を利用したねじりを伴う屈伸動作や、前足部接地状態でのかかと踏みかえ動作、着座時の膝回旋自由度を利用した足先ペダル操作を実現し、SHMによる膝回旋自由度を有する筋骨格ヒューマノイドにおける動作実現の可能性を示し、環境接触を伴う状態での多自由度関節構成の重要性に言及した。

これからのヒューマノイド研究において、座位のような環境との多点接触を伴い、身体が拘束されているような状況においても動作可能なヒューマノイドシステムが求められており、ハードウェアおよびソフトウェアの両面から開発していく必要がある。人間が当たり前に行っていることをヒューマノイドへ行わせるためには、様々な課題の解決も必要である。そのようなときに、本稿におけるSHMや膝関節の回旋自由度による足先自由度の増加とそれを利用した動作実現のように、人体が環境とどのように接触・対峙しているかの状況検討と、そのような時に用いられる人体が備える機能への着目を今後のヒューマノイド研究で行っていきたいと考えている。

参考文献

- [1] 石井慎一郎, 山本澄子: “非荷重時の膝関節自動伸展運動におけるスクリーホームムーブメントの動態解析”, 理学療法科学, vol.23, no.1, pp.11-16, 2008.
- [2] A.C. Etoundi, R. Vaidyanathan and S.C. Burgess: “A bio-inspired condylar hinge joint for mobile robots,” IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.4042-4047, 2011.
- [3] A. Hamon and Y. Aoustin: “Cross four-bar linkage for the knees of a planar bipedal robot,” IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, pp.379-384, 2010.
- [4] Y. Morita, Y. Kawai, Y. Hayashi, T. Hirano, H. Ukai, K. Sanaka, H. Nakamura and K. Takao: “Development of knee joint robot for students becoming therapist—design of prototype and fundamental experiments,” International Conference on Control Automation and Systems (ICCAS), pp.151-155, 2010.
- [5] 岡田昌史, 後藤達哉, 中村仁彦: “歩行ロボットの従反力運動を実現する膝関節機構”, 日本ロボット学会創立20周年記念学術講演会予稿集, 1C19, 2002.
- [6] G. Cheng, S.-H. Hyon, J. Morimoto, A. Ude, J.G. Hale, G. Colvin, W. Scroggin and S.C. Jacobsen: “Cb: A humanoid research platform for exploring neuroscience,” Advanced Robotics, vol.21, no.10, pp.1097-1114, 2007.
- [7] Y. Nakanishi, Y. Asano, T. Kozuki, H. Mizoguchi, Y. Motegi, M. Osada, T. Shirai, J. Urata, K. Okada and M. Inaba: “Design concept of detail musculoskeletal humanoid “Kenshiro”—toward a real human body musculoskeletal simulator—,” IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, pp.1-6, 2012.
- [8] Y. Asano, H. Mizoguchi, T. Kozuki, Y. Motegi, M. Osada, J. Urata, Y. Nakanishi, K. Okada and M. Inaba: “Lower thigh design of detailed musculoskeletal humanoid “Kenshiro,” IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.4367-4372, 2012.
- [9] 溝口弘悟, 浅野悠紀, 上月豊隆, 茂木陽太郎, 浦田順一, 中西雄飛, 岡田慧, 稲葉雅幸: “人体詳細等身大駆動ヒューマノイド『隼志郎』による対話的フィードバックに基づく動作生成戦略”, 第30回日本ロボット学会学術講演会予稿集 DVD-ROM, 2C3-6, 2012.
- [10] 中島慎介, 浅野悠紀, 白井拓磨, 中西雄飛, 岡田慧, 稲葉雅幸: “等

身大筋骨格ヒューマノイド臆志郎における筋長重心ヤコビアンに基づくバランス動作”, 第14回 SICE システムインテグレーション部門講演会概要集, pp.1501-1504, 2013.

- [11] M. Yomioka, K. Mizota and S. Murata: ESSENTIALS of KINESIOLOGY for the PHYSICAL THERAPIST ASSISTANT.

Nankodo Co., Ltd., 2010.

- [12] I.A. Kapandji: PHYSIOLOGIE ARTICULAIRE vol.2 (5 edition). Ishiyaku Pub, Inc., 1987.
[13] 嶋田智明: 筋骨格系のキネシオロジー. 医歯薬出版株式会社, 2005.
[14] 製品評価技術基盤機構: 人間特性データブック, 2009.

浅野悠紀 (Yuki Asano)

2011 年新潟大学工学部機械システム工学科卒業. 2013 年東京大学大学院学際情報学府修士課程修了. 現在東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻博士課程. 筋骨格ヒューマノイドの設計開発・動作生成・システムに関する研究に従事. 2013 年 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots Best Paper Award 受賞. 2014 年日本機械学会若手優秀講演フェロー賞受賞. 日本機械学会の学生会員.

(日本ロボット学会学生会員)

上月豊隆 (Toyotaka Kozuki)

2011 年慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科卒業. 2013 年東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻修士課程修了. 現在東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻博士後期課程. 人体模倣筋骨格ロボットの設計開発・制御研究に従事. IEEE IROS Japan Chapter Young Awards2013 受賞.

(日本ロボット学会学生会員)

白井拓磨 (Takuma Shirai)

2010 年東京大学工学部機械情報工学科卒業. 2012 年東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻修士課程修了. 現在東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻博士後期課程. 筋骨格ロボットの制御システム研究, ロボット用通信システムの研究に従事. (日本ロボット学会学生会員)

中西雄飛 (Yuto Nakanishi)

2004 年東京大学工学部機械情報工学科卒業. 2007 年日本学術振興会特別研究員 (DC2). 2009 年東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻博士課程修了. 2009 年東京大学大学院情報理工学系研究科助教. 筋骨格ヒューマノイドの開発・システムに関する研究に従事. (日本ロボット学会正会員)

稲葉雅幸 (Masayuki Inaba)

1981 年東京大学工学部機械工学科卒業. 1986 年東京大学大学院情報工学専門課程博士課程修了 (工学博士). 1986 年東京大学講師, 助教授を経て, 2000 年教授. 現在東京大学大学院情報理工学系研究科創造情報学専攻所属. 知能ロボットシステムの研究教育に従事. (日本ロボット学会正会員)

溝口弘悟 (Hironori Mizoguchi)

2011 年東京大学工学部機械情報工学科卒業. 2013 年東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻修士課程修了. 筋骨格ヒューマノイドのシステム・ハードウェア開発に従事. 同年東京エレクトロン入社. システム・メカトロニクス興味を持ち, 2013 年より半導体製造装置のシステム・ハードウェア開発に従事.

(日本ロボット学会正会員)

茂木陽太郎 (Yotaro Motegi)

2012 年東京大学工学部機械情報工学科卒業. 2014 年東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻修士課程修了. 筋骨格ヒューマノイドの脊椎開発, 身体モデル推定の研究に従事.

(日本ロボット学会学生会員)

浦田順一 (Junichi Urata)

2005 年 東京大学工学部機械情報工学科卒業. 2008 年日本学術振興会特別研究員 (DC1). 2011 年東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻博士課程修了. 2011 年東京大学大学院情報理工学系研究科特任助教. 大出力ロボットの開発・制御に関する研究に従事. (日本ロボット学会正会員)

岡田 慧 (Kei Okada)

1997 年京都大学工学部情報工学科卒業. 2002 年東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了. 博士 (工学). 2002 年東京大学大学院情報理工学系研究科科学技術振興特任教員. 2006 年同特任講師. 2009 年同大学准教授となり現在に至る. ヒューマノイド統合システム, ヒューマノイドプランナ, 実時間三次元ビジョンの研究に従事. 1999 年第4回ロボティクスシンポジウム優秀論文賞, 2006 年 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots Best Paper Award 受賞. 情報処理学会, IEEE の各会員.

(日本ロボット学会正会員)