

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月30日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500585

研究課題名（和文） バリスティックな跳躍運動における二関節筋と一関節筋を含む筋系の協調制御

研究課題名（英文） Coordination control of the muscles including the bi-articular and mono-articular muscles in the ballistic jump movement.

研究代表者

鳥海 清司（TORIUMI KIYOSHI）

富山大学・人間発達科学部・教授

研究者番号：60227676

研究成果の概要（和文）：人の下肢関節筋群を二関節筋を含む 3 対の拮抗筋でモデル化した機能別実効筋理論を用いた、下腿部の二関節筋である腓腹筋が跳躍に関する力発揮の制御をするという仮説に基づき、垂直跳びと立幅跳びを行うときの下肢関節筋群の筋活動と跳躍方向の関係を筋電図とコンピュータシミュレーションを用いて検討した。その結果、腓腹筋の活動のタイミングを変化させることで、跳躍方向の制御が可能なが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：The hypothesis that the bi-articular muscle gastrocnemius controls the ground reaction force direction in jumping was constructed by means of the functionally effective muscle model including bi-articular muscle. The relationship between the activities of lower limb muscles and the jump direction was examined by means of electromyogram and computer simulation during the vertical and broad jump. In the result, it was clarified that jump direction was controlled by changing the timing of gastrocnemius muscle activation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学、スポーツ科学

キーワード：生物・生体工学、機械力学・制御、制御工学、協調制御、二関節筋

## 1. 研究開始当初の背景

2 リンク 3 関節のリンク系において、二関節筋を含む 3 対の拮抗筋からなる機能別実効筋モデルにおける系先端での力発揮分布が明らかにされている。このモデルは静的状態での力発揮における理論である。人が運動を行う際には動的条件において発揮される力を検討する必要がある。中でも跳躍動作のような素早い動作は、筋の力発揮についてフィ

ードバック制御ではなく、フィードフォワード制御で運動が行われる。その際、機能別実効筋理論の示す、身体における筋肉の配置そのものによる機構的制御に負うところが大きいと考えられる。そこで、跳躍距離、跳躍方向、動作のタイミングを変化させた場合の機能別実効筋の協調制御を検討することには人の動き、さらには、人を模したヒューマノイドロボットの制御を考える上において

も有意義であると考える。

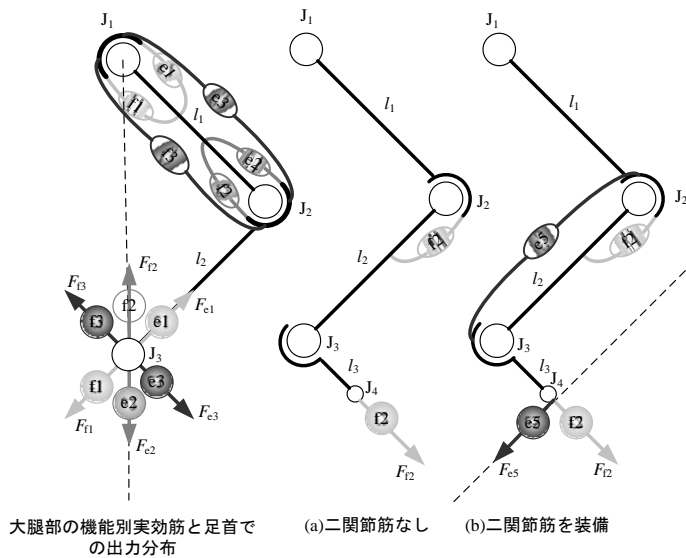


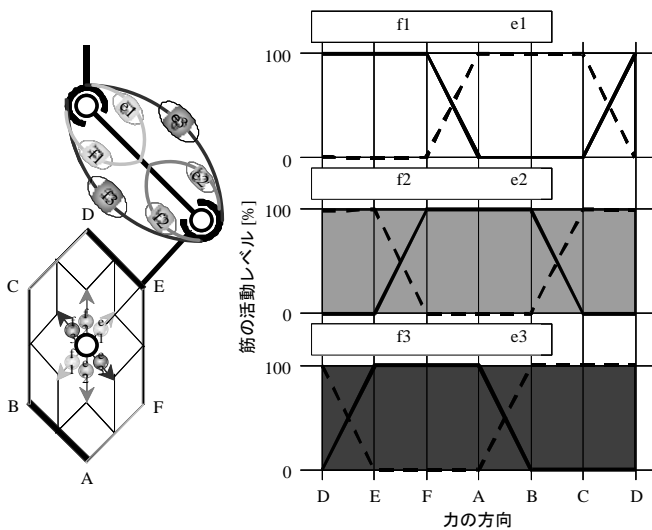
図1. 2リンク3関節のリンク系における3対の拮抗筋からなる機能別実効筋モデル

## 2. 研究の目的

素早い動作である跳躍運動について、踏切時の筋の長さ、筋活動の変化と跳躍距離、跳躍方向、動作のタイミングとの関係を検討し、二関節筋と一関節筋を含む筋系による協調制御を明らかにすることを目的とする。

## 3. 研究の方法

(1) 人の行う跳躍動作において、筋活動の状況を把握するために、筋電図を用いて跳躍動作中の下肢筋電図を導出した。筋電図を導



出した筋は、大臀筋、大腿直筋、内側広筋、

図2. 機能別実効筋モデルと筋活動の関係

大腿二頭筋長頭、前脛骨筋、腓腹筋、ヒラメ筋であった。これらの筋は図2に示した機能別実効筋モデルと筋活動の関係を基に決定した。筋電図取得の対象動作として、垂直跳びと立幅跳びを用い、跳躍高や跳躍距離を最大とその80%、60%、40%、20%で跳躍させた。筋電図の導出と同時に被験者の踏切動作をビデオ撮影し、大腿部、下腿部、足部の角度から腓腹筋の筋長を算出した。

(2) 筋電図及び動作分析から得た筋長のデータと3対の拮抗筋群からなる機能別実効筋モデルから跳躍方向と二関節筋である腓腹筋の活動タイミングとの間の関係性が予測された。そこで、図3に示すような、大腿部、下腿部、足部の3リンクに膝関節伸展アクチュエータと腓腹筋を模した膝関節と足関節に同時に作用する直動アクチュエータを配置したモデルを用いて、腓腹筋を模した直動アクチュエータの活動開始のタイミングを

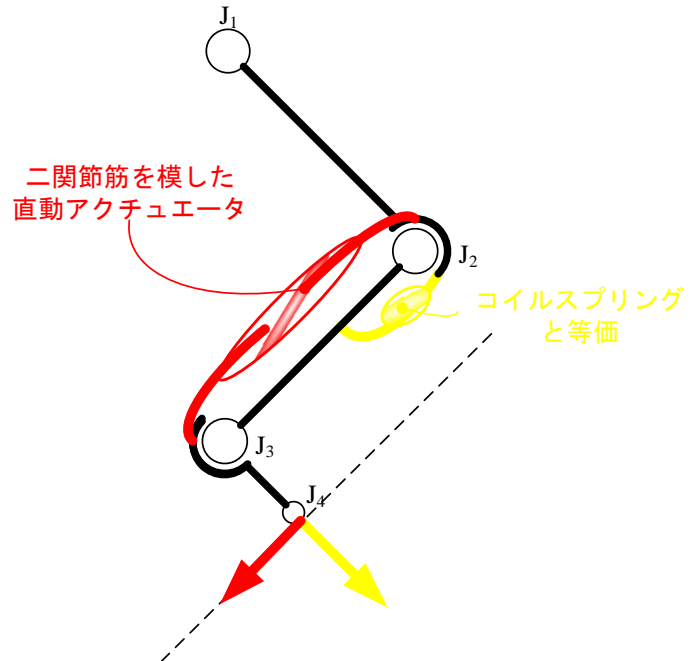


図3. コンピュータシミュレーションに用いた跳躍のためのモデル

変数としてコンピューシミュレーションを行った。

## 4. 研究成果

図4～6に示すように、下腿部の二関節筋である腓腹筋の活動するタイミングを垂直跳びのときのタイミングに比べて遅くすることで、離地時の身体重心速度の方向を示す水平方向からの角度が次第に小さくなり、身体重心の水平方向速度が増大し、垂直方向速

度が 20ms までの短い時間の遅延では維持されたのち、時代に速度手化が起きることが異となった。このことは、腓腹筋の活動のタイミングを遅延させることで、跳躍方向が前方向に変わることの意味しており、腓腹筋の活動タイミングで跳躍方向を成業できるかの制を示している。

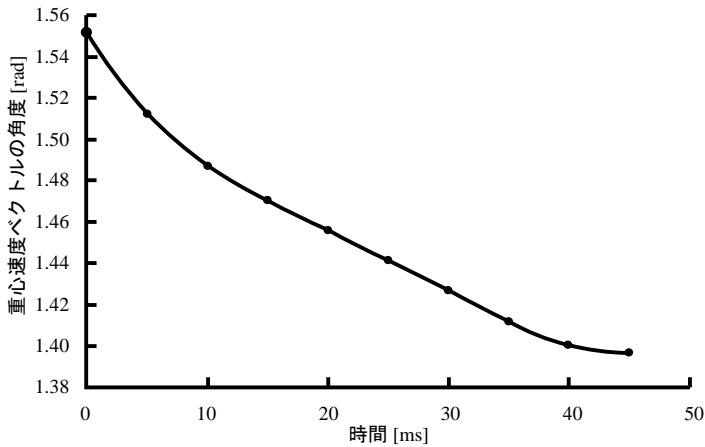


図 4. 腓腹筋活動開始までの遅延時間と離地時の身体重心速度の水平からの角度

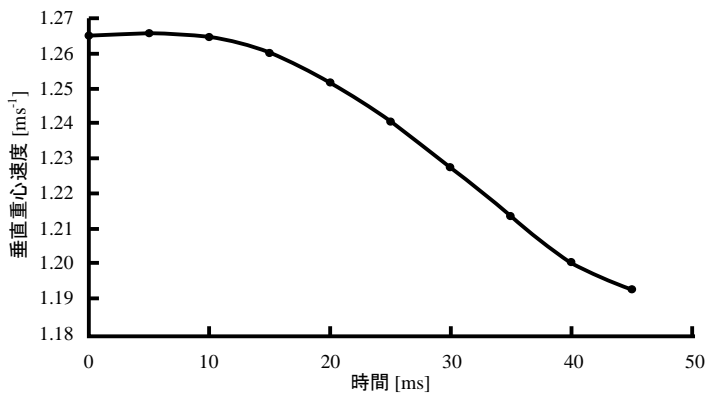


図 5. 腓腹筋活動開始までの遅延時間と離地時の垂直方向の身体重心速度

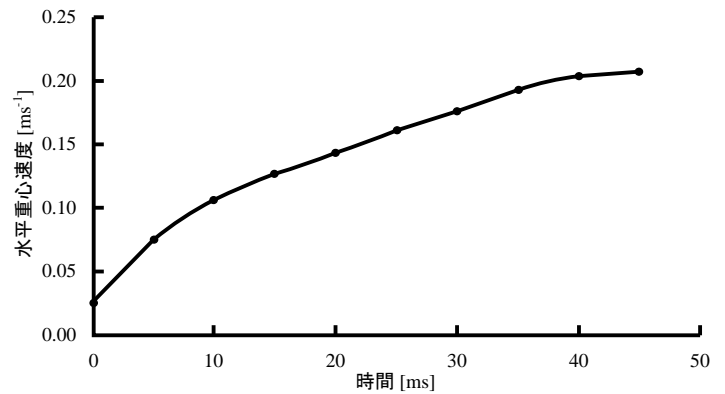


図 6. 腓腹筋活動開始までの遅延時間と離地時の水平方向の身体重心速度

この成果によって、1 関節に 1 アクチュエータを配置する駆動では、複数の関節に配置されたアクチュエータそれぞれについて、他の関節のアクチュエータ出力の影響を考慮しながら計算し、制御しなければならないが、同時に複数の関節作用する二関節筋をアクチュエータとすることで、動作開始のタイミングという 1 変数を制御することで、動作方向を制御する可能性が示された。制御するための変数が減少することは、ヒューマノイドのような複雑な制御を必要とするロボットにおける、中枢制御の負担軽減につながるという。

また、人の運動学習を考える場合、垂直跳びよりも高度な運動課題と位置づけられている水平方向の跳躍が、腓腹筋の活動のタイミングによって制御されている可能性があり、単純な制御仕組みを持っている可能性があるといえる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

鳥海 清司 (TORIUMI KIYOSHI)  
富山大学・人間発達科学部・教授  
研究者番号：60227676

(2) 研究分担者 ( )

研究者番号 :

(3) 連携研究者 ( )

研究者番号 :