

サッカーのプレスキックを行う装置のシミュレーション

Simulation of a place-kick machine for football.

○一橋直人, 山野光裕, 水戸部和久, 南後淳

○Naoto ICHIHASHI, Mitsuhiro YAMANO, Kazuhisa MITOBE, Jun NANGO

山形大学大学院理工学研究科

キーワード: プレスキック装置 (Place-kick machine), パラメータの変更 (Parameter change), シミュレーション (simulation), ボール速度 (Ball velocity)

1. はじめに

現在, サッカーは最も競技人口の多いスポーツの一つと言われており, 多くのスポーツ用品メーカーが関連商品の研究開発を行っている. 研究開発における製品の性能試験では実際の使用環境でのデータが必要だが, プロのサッカー選手にシューズを履いてもらい, ボールを蹴ってもらうテストはスケジュールや金銭的な制約があり, 気軽に行えることではない. しかし, サッカー選手のキックと同じ物理現象 (衝突) によってボールを蹴ることができる機械があれば, サッカー選手に依存する性能試験を減らし, 都合のよいときに性能試験を行うことができる. また, 機械による性能試験ならばテスト条件の再現性が高い. これらのことから, 機械によるサッカー用品の性能試験が実現すれば, 製品開発の効率を向上させることが可能であると考えられる.

そこで, 本研究ではサッカーのプレスキックを行う装置 (以下, プレスキック装置と呼ぶ) のモデルを構築する. プレスキックとは, 地面に置いた静止状態のボールを蹴る動作である. プレスキック装置に求められる条件としては, 次の 5 点が考えられる.

- (1) プロのサッカー選手のプレスキックによるボール速度 (30 [m/s] ~ 35 [m/s]) を生み出せる

こと [1]

- (2) 小型で軽量であること
- (3) 目標とする方向にボールを蹴ることができること
- (4) ボールに回転をかけることができること
- (5) サッカーシューズの装着が可能であること

これらの条件を満たすプレスキック装置のモデルを構築し, サッカーシューズおよびサッカーボールの性能試験を行う機械の設計に貢献することが本研究の目的である. 本稿では (1) のプロのサッカー選手のプレスキックによるボール速度を生み出せること, (2) の小型で軽量であることの 2 点を目標とし, プレスキック装置のモデル化およびモデルのパラメータがボール速度に与える影響を調査するためのシミュレーションについて述べる.

2. シミュレーション環境

シミュレーションには Cyberbotics 社の 3 次元の動力学シミュレーションソフト Webots Ver 5.1.0 を使用する. Webots は C/C++用の動力学シミュレーションライブラリである ODE (Open Dynamics Engine) を搭載しており, 剛体同士の摩擦や衝突など様々な物理計算ができる. また, サーボモーターやタッチセンサ, GPS センサなど様々な装置をシミュレーションの中に導入することができ, それらを

C/C++言語およびJAVA言語によるプログラムを用いて動作させることが可能である．

3. シミュレーションモデルの作成

ここでは，ブレースキック装置の試作機とそのモデル化，サッカーボールのモデル化について述べる．

3.1 ブレースキック装置の試作機

南後らはサッカー選手のキック動作の再現を目指して，人体の脚を模したブレースキック装置の試作機を製作した [2]．Fig. 1 にこの試作機の写真を，Table. 1 に主な寸法と質量を示す．



Fig. 1 Place-kick machine.

Table. 1 Specifications of experiment of place-kick machine.

	Length	Mass
Thigh	400 [mm]	9.3 [kg]
Lower thigh	470 [mm]	6.1 [kg]
Total	870 [mm]	15.4 [kg]

このブレースキック装置の試作機は，三つのリンクから構成されており，上から大腿部，下腿部，足部と呼ぶ．また，Table. 1 に示されている大腿部および下腿部の数値は人体の脚に近い値となっている．各リンクの上端には関節があり，それぞれ腰関節，膝関節，足関節である．腰関節と膝関節は回転対偶

となっており，バネ，ワイヤー，プーリを利用することで，角度に応じたトルクを生み出すことができる．使用しているバネのバネ定数は 7.94 [N/mm]，102 [N/mm]，42.1 [N/mm]の 3 種類で，場合に応じて使い分けている．足関節は任意の角度で固定できるようになっている．

3.2 ブレースキック装置のモデルの作成

Fig. 1 のブレースキック装置の試作機を元に作成した，ブレースキック装置のモデル図を Fig. 2 に示す．足部については，キックしたボールの方向をコントロールする役割は大きい，本稿で目標としているボール速度の大きさには影響が少ないと考えて省略した．

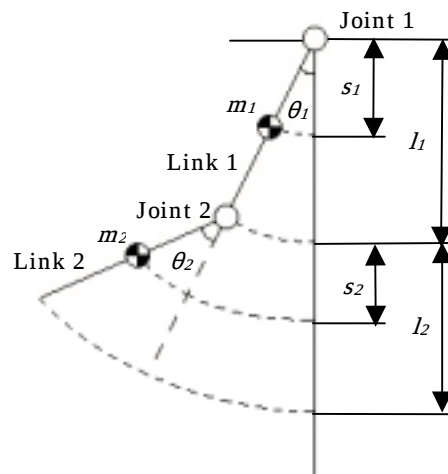


Fig. 1 Model of place-kick machine.

Fig. 2 において， l_1 は大腿部の長さ， l_2 は股関節から大腿部の重心までの距離， m_1 は大腿部の質量， l_2 は下腿部の長さ， s_2 は膝関節から下腿部の重心までの距離， m_2 は下腿部の質量， θ_1 は股関節の角度， θ_2 は膝関節の角度である．また，Joint 1 を股関節，Joint 2 を膝関節，Link 1 を大腿部，Link 2 を下腿部と呼ぶことにする．ここで L を脚全体の長さ， M を脚全体の質量とし， L を 870 [mm]， M を 15.4 [kg] とする．

股関節と膝関節にはサーボモーターを導入した．そして，各サーボモーターではブレースキック装置の試作機におけるバネによるトルクを再現するため，

Fig. 2 に示した θ_1 と θ_2 が 0° のときを平衡点とし、股関節と膝関節に角変位に応じたトルクを作用させることができるように設定した。次の Fig. 3 に、構築したプレスキック装置のモデルを示す。



Fig. 3 Model of place-kick machine in the simulation.

3.3 サッカーボールのモデル化

ボールは JFA（日本サッカー協会）が定める競技規則に従い、半径を 110 [mm]、質量を 0.43 [kg] とした [3]。ボールの反発係数は市販のサッカーボールをコンクリートの床に自由落下させて測定し、0.7 とした。

4. シミュレーション例

ここでは、Fig. 3 のように作成したプレスキック装置のモデルを用いて行ったシミュレーションについて述べる。

4.1 リンクの長さ比による影響

プレスキック装置の脚の長さや質量、大腿部および下腿部の重心位置に次のような条件を与える。

$$l_1 + l_2 = L \quad \dots (1)$$

$$m_1 = m_2 = \frac{M}{2} \quad \dots (2)$$

$$s_1 = \frac{l_1}{2} \quad \dots (3)$$

$$s_2 = \frac{l_2}{2} \quad \dots (4)$$

上記の条件の下で l_1 を 100 ~ 600 [mm] まで変化させてプレスキックを行う。長さを変更する幅は 20 [mm] にする。このような大腿部の長さの変更が、ボール速度にどのような影響を与えるかを検証する。この検証をシミュレーション 1 とする。

プレスキックの方法については、最初に Fig. 2 における股関節および膝関節の角度を 60° まで曲げ、その状態で各関節を固定する。その後、股関節の拘束を解き、それから 0.1 [s] 後に膝関節の拘束を解いた。このように膝関節を股関節より遅らせて動作させることで、膝関節の角速度の向上が見込まれるからである [2]。ボールについては、重心の位置を Fig. 4 のように設置した。シミュレーション 1 の結果については Fig. 5 に示す。

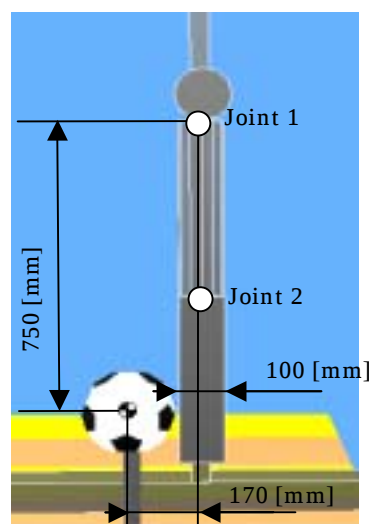


Fig. 4 Initial position of the ball.

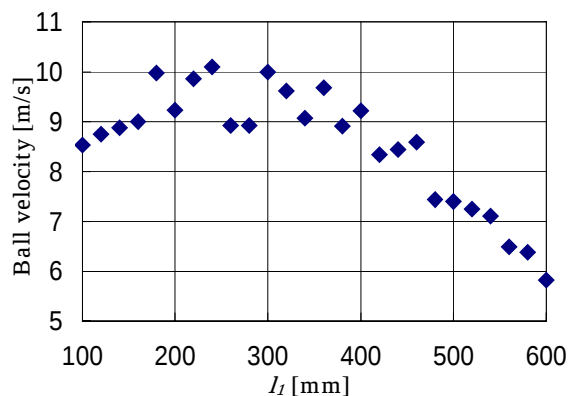


Fig. 5 Results of simulation 1.

Fig. 5 において、縦軸はブレスキック後、ボールが脚から離れた直後のボール速度を示している。横軸は大腿部の長さを示している。Fig.5 を見ると、 l_1 が 200 [mm] ~ 400 [mm] 付近のときにボール速度が大きくなっていることがわかる。また、 l_1 が 200 [mm] ~ 480 [mm] 付近において、ボール速度の値が振動的に変化していることがわかる。

4.2 リンクの質量比による影響

ブレスキック装置の脚の長さや質量に次のような条件を与える。

$$l_1 = l_2 = \frac{L}{2} \quad \cdots(5)$$

$$m_1 + m_2 = M \quad \cdots(6)$$

s_1 および s_2 は、(3) 式と (4) 式のようにする。上記の条件で大腿部の質量を 5 ~ 15.2 [kg] まで変化させてブレスキックを行う。質量を変更する幅は 200 [g] とした。このような質量の変更が、ボール速度にどのような影響を与えるかを検証する。この検証をシミュレーション 2 とする。ブレスキックの方法およびボールの位置についてはシミュレーション 1 と同様の条件にした。シミュレーション 2 の結果について Fig. 6 に示す。

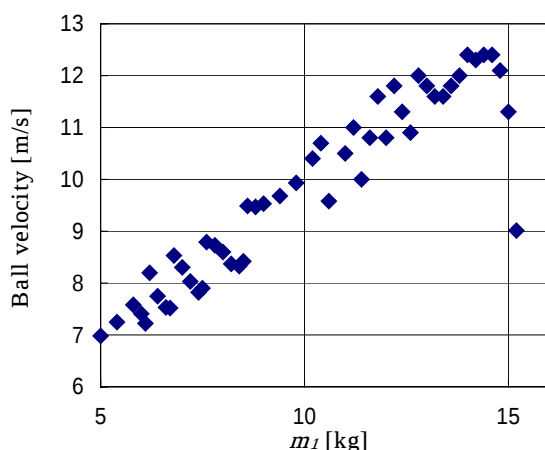


Fig. 6 Results of simulation 2.

Fig. 6 において、縦軸はブレスキック後、ボールが脚から離れた直後のボール速度を示している。

横軸は大腿部の質量を示している。Fig. 6 を見ると、 m_1 が大きくなるほどボール速度が大きくなる傾向にあるが、 m_1 が 14.8 [kg] になる付近から急激にボール速度が落ちていることがわかる。また、 m_1 が 6 [kg] ~ 8 [kg], 11 [kg] ~ 13 [kg] 付近のときにボールの速度が振動的に変化していることがわかる。

5. おわりに

本稿では、サッカー選手のブレスキックを行う装置のモデルにおいて、パラメータの変更がボール速度に与える影響を検証するシミュレーションについて述べ、シミュレーションの例を示した。シミュレーション例から、制約のある条件の下ではあるが、ブレスキック装置の脚の長さおよび質量のバランスの変更が、ボール速度に与える影響の傾向を知ることができた。しかし、大腿部および下腿部の重心位置、膝関節を解放するタイミング、初期角度など、まだ検証できていないパラメータは多数あるので、今後はそれらがボール速度に与える影響を検証する。

参考文献

- [1] 浅井武・布目寛幸；見方が変わるサッカーサイエンス，岩波書店（2002）
- [2] 及川翔太；リンクを応用したサッカーのキック動作シミュレーション，日本機械学会 [No.6-6]，第6回機素潤滑設計部門講演会後援論文集 1315（2006）
- [3] JFA（日本サッカー協会）；サッカー競技規則，（2006 / 2007）