

人間の脚を模した 2 リンクサッカープレースキック装置の 力学解析とシミュレーション

Dynamics Analysis and Simulation of a Two-Link Football-Place-Kick Machine That Mimics Human Leg.

○吉川和弘, 山野光裕, 水戸部和久, 南後淳

○Kazuhiro KIKKAWA, Mitsuhiro YAMANO, Kazuhisa MITOBE, Jun NANGO

山形大学大学院理工学研究科

Yamagata University

キーワード: プレースキック装置 (Place-kick machine), 力学解析 (Dynamics analysis),
シミュレーション (simulation)

連絡先: 〒992-8510 山形県米沢市城南 4 丁目 3-16 山形大学工学部機械システム工学科山野研究室

吉川和弘. Tel : 090-5354-1385 . Mail : orbital_period_1219@yahoo.co.jp.

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である. サッカーシューズやサッカーボールといったサッカー製品の開発において, それらの性能試験では実際の使用環境でのデータが必要である. しかし, 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場合, 製品の性能試験のために, 力の制御が難しくデータの採取が困難である. しかし, サッカー選手のキックと同じ衝突によってボールを蹴ることができる機械があれば, テスト条件の再現性も高く, データを採取することが容易である.

本研究では装置にボールを蹴らせた場合, 衝突後のボールが希望通りの速度を生み出せるよう, ボールと装置の衝突の力学解析ができるシミュレータを開発することを目的とする

本稿では, シミュレータ開発のための力学解析と

基礎的なシミュレーションについて報告する.

2. プレースキック装置のモデルの作成

南後等は人間のキックフォームを研究し, 人間と同じキックフォームを実現できる装置の開発を行っている^[1]. 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. プレースキック装置を作成している.



(a) front view (b) side view

Fig. 1 Place-kick machine.

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

Length of thigh L_1	400 [mm]
Length of lower leg L_2	470 [mm]
Inertia moment of thigh I_{G1}	0.308 [kgm ²]
Inertia moment of thigh leg I_{G2}	0.243 [kgm ²]
Mass of thigh m_1	22.0[kg]
Mass of lower leg m_2	6.6[kg]
Center of gravity position of thigh L_{G1}	40[mm]
Center of gravity position of lower thigh L_{G2}	140[mm]

このプ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。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、プーリにワイヤを介し、圧縮ばねの復元力を動力とし、角度に応じたトルクを生み出すことができる。各関節を初期角度まで曲げる場合、ウォームギアに取り付けたハンドルを回し、ディスクブレーキで固定する。各関節にはポテンシヨメータを取り付けてあり、角変位を測定することが可能である。また足関節は一定角度で固定しており、足部でボールを蹴る。

Fig. 1 のプレースキック装置の試作機を元に、作成したプレースキック装置のモデル図を Fig. 2 に示す。南後等のプレースキック装置は、上述したように三つの関節から構成されている。しかし、人間がボールを蹴る場合、足関節は固定していることから、簡略化のために 2 関節のモデルとした。Fig. 2 において、各名称は Table.1 で示したプレースキック装置と同じにする。また θ_1 は股関節の角度、 θ_2 は膝関節の角度である。

2 リンクのロボットアームの動的モデルは 2 自由度のロボットアームの運動方程式^[2]をもとに次式で求められる。

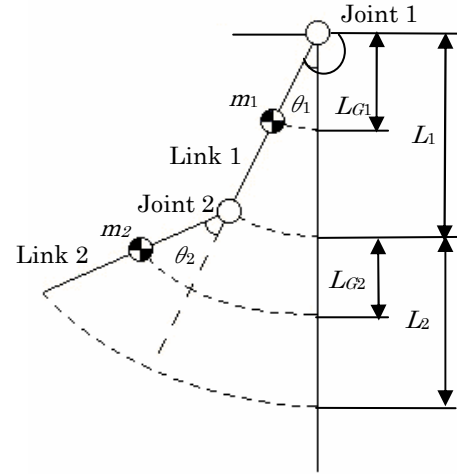


Fig. 2 Model of place-kick machine.

$$\mathbf{M}(\boldsymbol{\theta})\ddot{\boldsymbol{\theta}} + \mathbf{c}(\boldsymbol{\theta}, \dot{\boldsymbol{\theta}}) + \mathbf{g}(\boldsymbol{\theta}) + \mathbf{J}^T \mathbf{f} = \boldsymbol{\tau} \quad (1)$$

ここで $\mathbf{M}(\boldsymbol{\theta})$ は慣性力、 $\mathbf{c}(\boldsymbol{\theta}, \dot{\boldsymbol{\theta}})$ は遠心力・コリオリ力、 $\mathbf{g}(\boldsymbol{\theta})$ は重力を表す講である。 \mathbf{J} はヤコビ行列、 \mathbf{f} は衝突で発生する力である。

$$\mathbf{M}(\boldsymbol{\theta}) = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{c}(\boldsymbol{\theta}, \dot{\boldsymbol{\theta}}) = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{g}(\boldsymbol{\theta}) = \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\boldsymbol{\tau} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} \quad (6)$$

ボールと装置の衝突は、弾性衝突とし、ボールが装置からエネルギーを受け、縮みが生じ、復元力が作用し飛ぶものとする。ボールの質量を m_b 、中心座標を x_b, y_b とし、これらの各要素は次式で表現される。ここで I_{G1}, I_{G2} は各リンクの慣性モーメント、 L_b は下腿部の膝関節からボールの接触点までの距離である。

$$M_{11} = m_1 L_{G1}^2 + I_{G1} + m_2 (L_1^2 + L_{G2}^2 + 2L_1 L_{G2} \cos \theta_2) + I_{G2} \quad (7)$$

$$M_{12} = m_2 (L_{G2}^2 + L_1 L_{G2} \cos \theta_2) + I_{G2} \quad (8)$$

$$M_{21} = M_{12} \quad (9)$$

$$M_{22} = m_2 L_{G2}^2 + I_{G2} \quad (10)$$

$$c_1 = -m_2 L_1 L_{G2} \sin \theta_2 (\dot{\theta}_2^2 + 2\dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2) \quad (11)$$

$$c_2 = m_2 L_1 L_{G2} \dot{\theta}_1^2 \sin \theta_2 \quad (12)$$

$$g_1 = m_1 g L_{G1} \cos \theta_1 + m_2 g (L_1 \cos \theta_1 + L_{G2} \cos(\theta_1 + \theta_2)) \quad (13)$$

$$g_2 = m_2 g L_{G2} \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (14)$$

$$J_{11} = -L_1 \sin \theta_1 - L_b \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (15)$$

$$J_{12} = -L_b \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (16)$$

$$J_{21} = L_1 \cos \theta_1 + L_b \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (17)$$

$$J_{22} = L_b \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (18)$$

$$L_b = \frac{y_b - L_1 \sin \theta_1 - q_y}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \quad (19)$$

これより各関節の角加速度は

$$\ddot{\theta} = \mathbf{M}^{-1}(-\mathbf{c} - \mathbf{g} - \mathbf{J}^T \mathbf{f} + \boldsymbol{\tau}) \quad (20)$$

となる。

衝突時のプレスキック装置とボールの位置関係を Fig. 3 に示す。

ボールの中心から、Link 2 の中央までの距離を s とすると、ボールと Link 2 の接触判定は次の式で判別できる。

$$s = \frac{|\tan(\theta_1 + \theta_2)x_b - y_b - L_1 \cos \theta_1 \tan(\theta_1 + \theta_2) - L_1 \sin \theta_1|}{\sqrt{1 + \tan^2(\theta_1 + \theta_2)}} \quad (21)$$

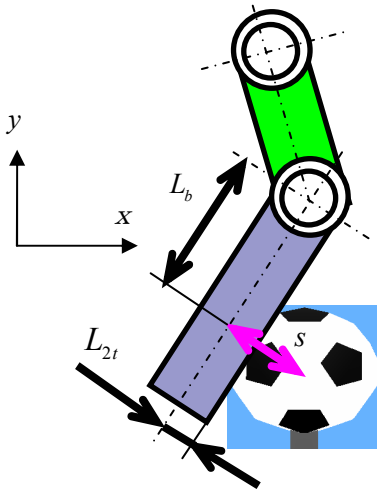


Fig. 3 Collision between lower thigh and ball.

Link 2 の前方の厚みを L_{2t} とすると $s \leq r_b + L_{2t}$ の時、ボールと Link 2 が接触している。ボールの縮み q_x , q_y は

$$q_x = r_b + (s - L_{2t}) \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (22)$$

$$q_y = r_b - (s - L_{2t}) \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (23)$$

となり、ボールが弾性衝突を起こすとするとボールの加速度は次式で求められる。ここで k は弾性係数を示す。

$$\begin{bmatrix} \ddot{x}_b \\ \ddot{y}_b \end{bmatrix} = \frac{k}{m_b} \begin{bmatrix} q_x \\ q_y \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ g \end{bmatrix} \quad (24)$$

3. シミュレーション

シミュレーションには Scilab ver 4.1.2 を使用する。Scilab はフリーソフトウェアで、計算分野は線形代数、制御系設計、最適化など多岐にわたる^[2]。また 2D, 3D グラフィックスを表すことができる。また Scicos という GUI (Graphical User Interface) を用いたシミュレータも備わっている。

ボールは日本サッカー協会 JFA が定める協議規則に従い、半径を 110 [mm]、質量を 0.43 [kg] とした^[3]。プレスキック装置のパラメータは Table.1 と同じにした。各関節のトルクは、将来的には、ばねの復元力を与える予定であるが、本シミュレーションでは 0 と設定した。

Fig. 4 に Scicos で描いたシミュレーションのブロック線図を示す。また Fig. 5 で dynamics を示すブロックの中には、別のブロック線図を組み込んであり、その中身を Fig. 4 として示す。

Fig. 5 の Scifunc に、式(20)、式(24)の運動方程式を入れ、各関節の角度とボールの座標を出力する。

ボールの初期位置は股関節を原点として [0.17, -0.64] [m] に設置した。関節の初期角度は θ_1 を -136.17 [deg]、 θ_2 を -41.96 [deg] とした。弾性係数は 25000 [N/m]、またシミュレーションの刻み時間は 0.5 [ms] とした。

シミュレーション結果として各関節角度の変位を Fig. 6 に示す。また関節角速度の変位を Fig. 7 に示す。

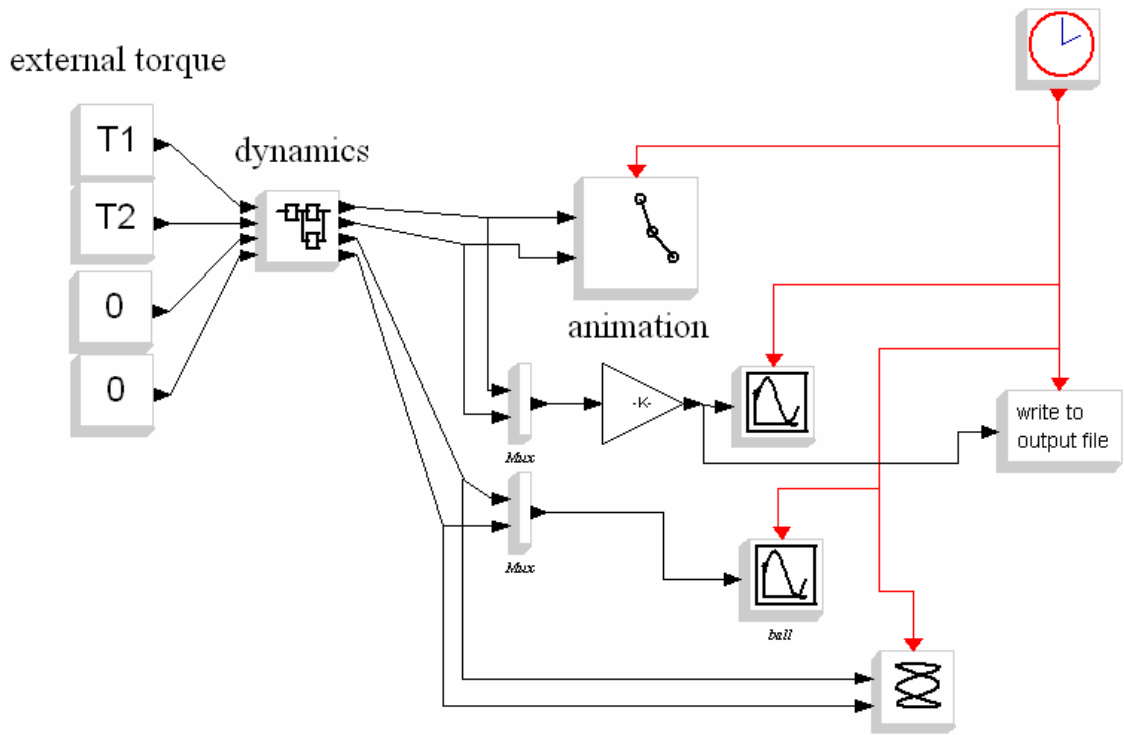


Fig. 4 Simulation block line chart.

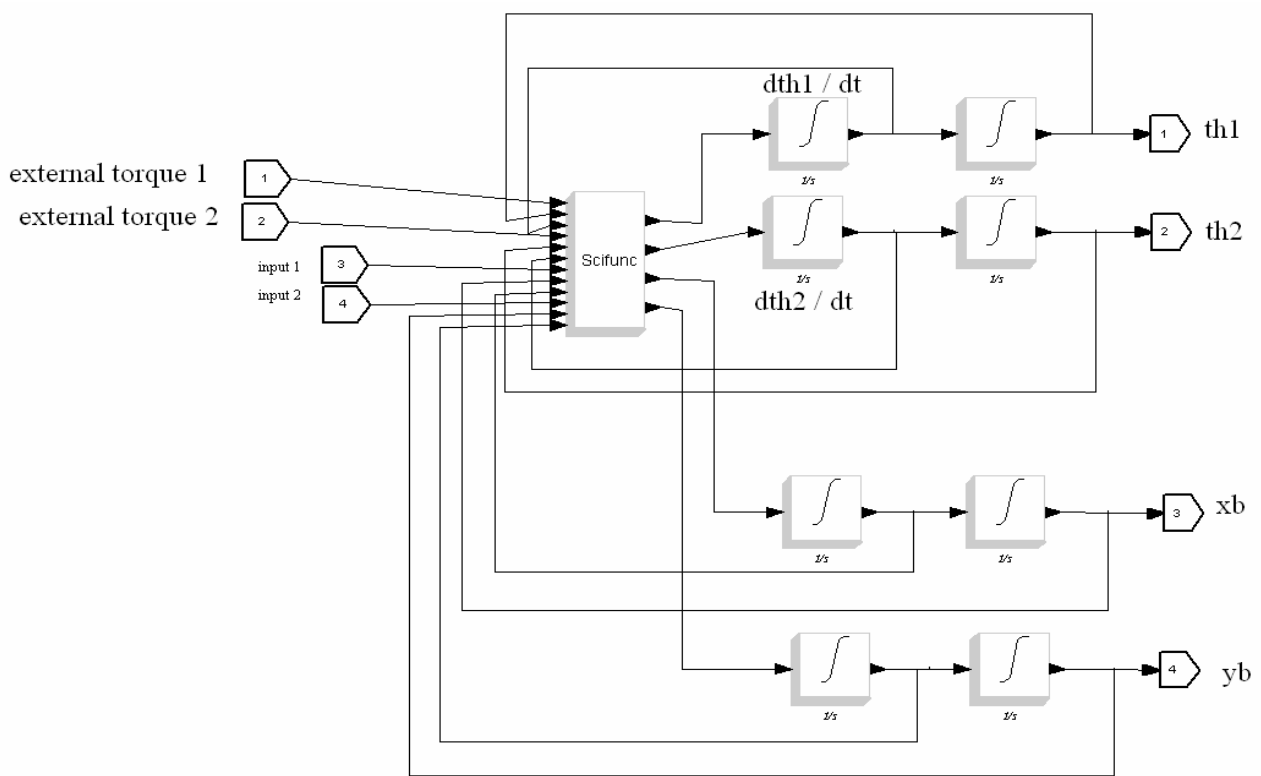


Fig. 5 dynamics block line chart.

[3] JFA（日本サッカー協会）；サッカー競技規則，
(2006 / 2007)

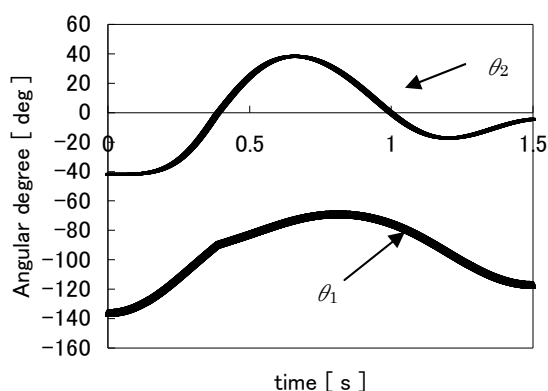


Fig. 6 Angular degree-time curve

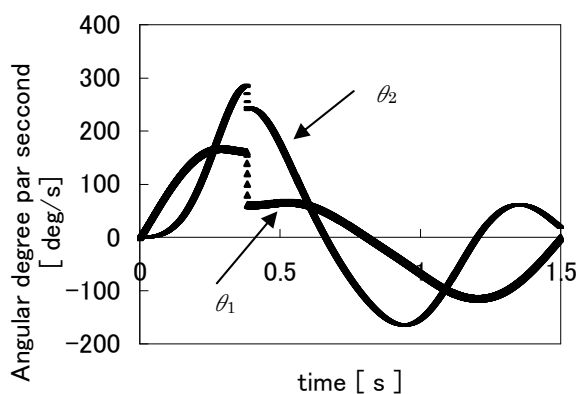


Fig. 7 Angular par second - time curve

Fig. 7 より約 0.4 [s] 装置とボールの衝突がおき、関節角速度が遅くなっていることがわかる。

5. おわりに

本稿では、サッカーボール蹴る装置とボールの衝突についての力学モデルを作成し、シミュレーションを行った。これによりパラメータを変更することにより、希望するボール速度を出せる装置の設計に役立つと考えられる。

また本稿では弾性のみの衝突について説明したが、今後は粘性も含めたシミュレーションが必要になる。

参考文献

- [1] 中澤高矢；閉ループ機構によるサッカーキック動作の実験解析，第 8 回機素潤滑設計部門講演会
- [2] 橋本洋志・石井千春；Scilab/Scicos で学ぶシミュレーション，オーム社（2008）