N-013

ペーパークラフトおもちゃの CAD モデル試作実験

3-D CAD Modeling of Paper Craft Toys

大浦 麻衣†　　棚橋 純一‡
Mai Ohura　　Jun-ichi Tanahashi

１．はじめに

ペーパーオートマタという、からくり仕掛けのペーパークラフトおもちゃがある。[1][2]　これは図１に示すように、基本的な動きを与える基本機構部分と、その動きに基づいてからくり人形が面白い振る舞いをする人形部とで構成される。機構部分のハンドルを回すとカムやクランクなどの機構がはたらき、ロッドやリンク装置を通じて人形部の鳥などを動かせる。

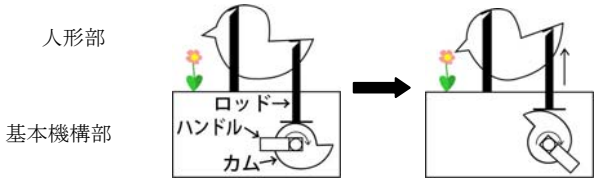


図１　ペーパーオートマタの構成

このペーパーオートマタは型紙があれば誰でも簡単に作れ、動きを楽しむことができる。しかし何か新しいものを考えようとすると、からくりの構造や動きを正しくイメージするのが困難で、型紙の作成も大変である。

そこで、最近普及し始めている 3 次元 CAD を活用すれば、手軽に新しいモデルが試作でき、動きもパソコン上ですぐにシミュレーション検証できるのではと考えた。

この考えの有効性を確かめるため、3 次元 CAD として SolidWorks を用い、まず基本機構の CAD モデル化を検討した。次に、からくり人形部分を含めたペーパーオートマタ全体の CAD モデル化について検討した。以下それらの検討結果を述べる。

２．基本機構部の CAD モデル化

ペーパーオートマタが動くための基本的な機構として、カム機構で 3 種、クランク機構で２種、ギア機構で２種、その他２種の機構を提案されている。[1]　今回は利用機会が多いカム機構、クランク機構、ギア機構について CAD モデル化の検討を行った。

2.1 カム機構の CAD モデル化

ペーパークラフトのカム機構には、カムの回転に従ってロッドが上下の直線運動をするもの（カム A）、ハンドル部分のシャフトに上下逆向きについている２つのカムでロッドを左右交互に動かすもの（カム B）、カムの回転を前後の直線運動に変換するもの（カム C）が用意されている。これらが CAD モデルとして素直に実現できるか検討した。

カムＡでは、ロッドの底面とカムとが接する部分にカム合致をかけるのだが、採用した CAD ではカムに鋭角の角があると合致できない制約があった。そこでカム A のカムはスプラインでスケッチし、鋭角を含まない形状で対応することとした。

カム B では、上下逆向きのカムをロッドと同時に接することが採用 CAD ではできないため、今回はモデル化を諦めた。

カム C では、カムの前後にあるロッド面とカムとでカム合致をかけることが採用 CAD ではできなかったため、一方のみに合致をかけることで対応することとした。

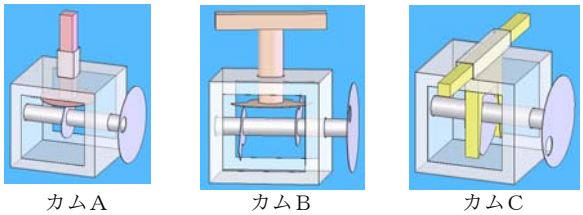


図２　ペーパークラフト・カム機構

2.2 クランク機構の CAD モデル化

ペーパークラフトのクランク機構では、ロッドが楕円運動を繰り返すもの（クランク A）、リンク装置によって水平ロッドの後端が上下に揺れ動くもの（クランク B）が用意されている。

クランク A では、ロッドがあちこちに動かないようにするため、箱とロッドの軸受け部分に四角柱型の筒（スライダー・チューブ）を取り付け、これとロッドに平行拘束をかけることで、安定した楕円運動をさせる CAD モデルが完成できた。

クランク B では、水平ロッドの後端とクランクシャフトの上端とで一致拘束をかけることにより、リンク装置がはたらくようにし、CAD モデルを完成させた。

なお、CAD モデルでは各パーツが剛体というのが前提であり、ペーパークラフト・クランク機構で使用される紙の折り曲げやのりしろ（継ぎ目）などのしなやかに曲がる性質をそのままモデル化できない。この対策として、ペーパーの折り曲げ部分には蝶番ジョイントで代用することにした。

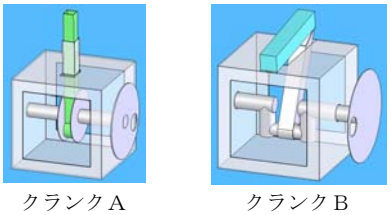


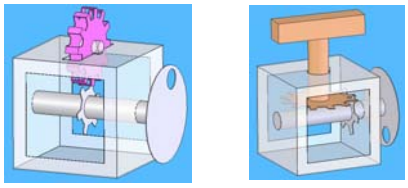
図３　ペーパークラフト・ギア機構

† 中京大学情報科学部メディア科学科
‡ 中京大学情報理工学部情報メディア工学科

2.3 ギア機構の CAD モデル化

ペーパークラフトのギア機構には、ハンドルの回転と平行して歯車が回転するもの（ギアＡ）と、直交して回転するもの（ギアＢ）とがある。

ギアＡ、ギアＢ共に回転軸と歯車の中心軸とでギア合致をかけ、シャフトと歯車が連動して動くように CAD モデルを実現した。



ギアＡ　　ギアＢ

図４　ペーパークラフト・ギア機構

３．人形部を含めた全体の CAD モデル化

3.1 市販ペーパーオートマタの CAD モデル化

2 章で実現したペーパークラフト機構の CAD モデルを用いながら、市販のペーパーオートマタ全体の CAD モデル化を検討した。具体的には、「Flying Pig」と呼ばれるものを取り上げた。[2]

このオートマタの基本機構はクランク A であり、翼と足の部分にはリンク機構が使われている。このリンク機構部分は、体が楕円運動する本体ロッドと、スライダー・チューブとを平行拘束で平行に動かし、本体と翼・足をそれぞれ蝶番で繋ぐ。そしてスライダー・チューブと翼・足を細長いロッド（プッシュ・ロッド）で繋ぐことにより、クランク運動に従って翼と足もパタパタ上下に動くようにし、リンク機構を実現した。（図５）

そしてクランク機構とリンク機構を組み合わせて完成させたものが図６で、顔は省き、翼も本来のものより単純な形にして、機構がよく見えるようにした。

このモデルを動作シミュレーションした結果が図７で、目標通りの振る舞いをすることが確認できた。

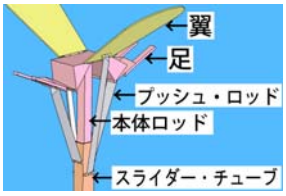


図５　Flying Pig
リンク部分の CAD モデル

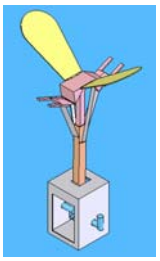


図６　Flying Pig
全体の CAD モデル

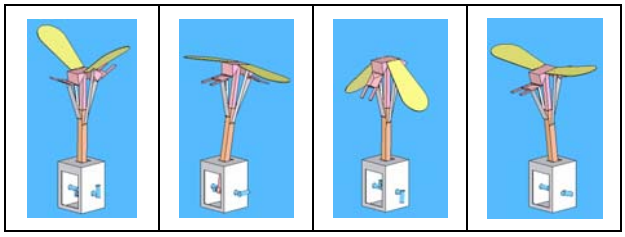


図７　Flying Pig CAD モデルの動作シミュレーション

3.2 新規ペーパーオートマタの CAD モデル化

次にオリジナルなペーパーオートマタを考案し、その CAD モデル化を試みることにした。基本機構を組み合わせながら、楽しめるものということで、メリーゴーランドを取り上げた。

メリーゴーランドは、人形部全体が回転するためのギア機構と、その回転に従って馬などを上下に動かすクランク機構とで構成される。

基本機構部では、ギア B を用い、ハンドルの回転に対し直交の回転に変換し、人形部を回転させるようにした。

人形部では、回転運動に従って馬の軸が共に動き、それに連動した馬側ギアと中心部にある上ギアとが噛み合いながらクランクを楕円運動させ、馬が上下に動くようにしようと考えた。

この動きを実現させるため、当初、上・下のギアが共に回るように設計したが、採用 CAD の制約で馬の軸部分のクランクが上手く回らなかった。その対策として、上ギアを下ギアに貫通させ、箱の底面とで固定し、上・下のギアを分割することとした。それに伴い、ハンドル部分のシャフトを少しずらして配置した。

以上までの考えで構築した CAD モデルが図８で、機構部分がよく見えるように一部透明にしてある。現在、この CAD モデルの動作について、シミュレーション検討中である。

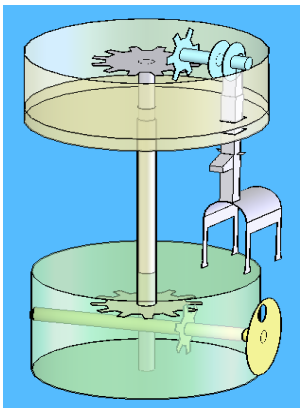


図８　メリーゴーランド 試作 CAD モデル

４．まとめ

ペーパーオートマタに興味を持ち、CAD を用いればいろいろなものが簡単に設計できるのではと考え、研究に着手した。まず基本機構の CAD モデル化を検討し、大半のものはモデル化ができる見通しを得た。

次に、ペーパーオートマタ全体のモデル化を検討した。市販オートマタについては、ほぼ実現の見通しを得た。

オリジナルのペーパーオートマタについては CAD モデル化はできたが、動作については現在検討中である。

将来的には作成 CAD モデルから自動的に型紙が作成できるよう研究を発展させたい。

参考文献

[１]坂 啓典：からくりの素，集文社，2007 年 5 月
[２]Rob Ives：Card Board Engineering Source Book，Flying Pig Limited，2002 年