

物理モデリングに関する基礎研究 -Balance Metal Balls のモデリング-

北見工業大学 ○中野達彦, 渡辺美知子

要旨

本研究では, PhysX の物理エンジンを用いて Balance metal balls のモデリングと数値シミュレーション実験を行う. また, シミュレーション結果と実際の Balance metal balls との比較検討を行い, 有効性を確認する.

1. はじめに

近年, 視覚的にリアルな生物, 無機物, ロボット, 機械などの行動や振る舞いの獲得を目指して, 水や空気環境化における物体の自律的な行動の振る舞いに関する物理モデリング「Anibot」の研究が積極的に進められている¹⁾.

物理モデリングでは, 重力や摩擦などの物理現象を考慮した三次元仮想空間を構築し, その環境下で物体の運動をシミュレートする. この物理モデリングによるシミュレーションでは, 物体の形・位置・大きさなどを容易に変更できるため, 実機のシミュレーションを行うよりも, 時間や費用などのコストを削減する利点が挙げられる.

本研究では, 物理エンジン PhysX を用いて仮想空間内での Balance metal balls のモデリングと数値シミュレーション実験を行う. また, モデリングした Balance metal balls と実機の Balance metal balls との比較検討して考察する.

2. 物理エンジン

物理法則に基づく Balance metal balls をモデル化してシミュレーション実験を行うために, 問題を出来る限り簡略化せずに, 衝突・摩擦などの物理現象も含めたモデル化をする必要がある. 本研究では, モデリングの方法として NVIDIA 社の物理エンジン PhysX を用いて, 衝突・摩擦の物理現象を考慮し, Balance metal balls のモデリングを行った.

3. 流体の性質

通常, 物質の状態は固体, 液体, 気体に分類されており, これらの状態は圧力と温度により決定される. また, この 3 つの状態をまとめて, 物質の三態と呼ばれ, そのうち液体, 気体の状態の物質が「流体」と呼ばれている.

流体には, 粘性と圧縮性という二つの物性がある. 粘性とは流体が粘りを持つ性質であり, 粘性により流体の抵抗が生まれる. また, 圧縮性とは圧力変化により流体の体積や密度が変化する物質であり, 圧縮性を持つ流体は振動を伝え, 流体の振動である音を伝える.

4. 従来研究

従来研究としては, 空気環境と水環境のモデリングに関する以下の代表的な研究がある.

4.1 空気環境のモデリング

空気環境のモデリングとしては, 森長ら²⁾の空気の抗力をモデル化し, 紙モデルの落下や滑空などの挙動をシミュ

レートし, 現実世界と同様の挙動を得ることを検証した研究が挙げられる. その結果, この研究ではモデル化した空気の抗力が現実世界と同様の挙動を示すことが報告されている.

4.2 水環境のモデリング

水環境のモデリングとしては, 中村ら³⁾の水中環境を実装するため, 水中で物体(剛体モデル)に働く浮力と抗力の影響のモデル化を行った研究が挙げられる. この研究では, その環境内で物体のシミュレーションを行い, 遊泳などの振る舞いを獲得したことが報告されている.

5. Balance metal balls のモデリング

5.1 Balance metal balls とは?

Balance metal balls とは, 衝突の原理が使われている連成振り子の 1 つである. 一番左の球が持つエネルギーが隣の鉄球に伝わり, それがまた隣へと伝播する. このとき, 反作用がないので最初のエネルギーがそっくりそのまま隣の鉄球に伝わり, そのエネルギーは保存されるため, 動く鉄球の数は変わらない.

5.2 球の衝突

今, 球が衝突したときの撃力をパルスとして考える. 図 1 に示すように孤立して進む波や力をソリトンという. 衝突のとき, 作用反作用により二つのソリトンが発生する. 図 2 に示すように, 実線に沿って一方のソリトンが左へ一個, 他方のソリトンが点線に沿って右へ一個進んでいく. そのまま右端の球一個を往復した瞬間二つのソリトンが衝突し, 運動量保存則により右端の一個が跳ね返る仕組みになっている. 同時に二個, 三個持ち上げたときも同様である.

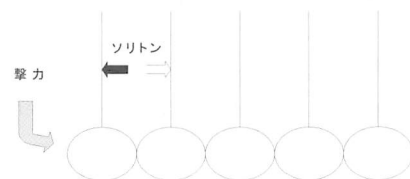


図 1. 撃力を加えた直後のソリトン

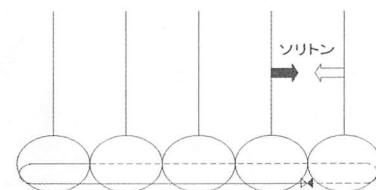


図 2. ソリトンの伝播

5.3 空気環境の構築

仮想空気環境の構築方法を以下に述べる。本実験では、流体が物体の与える力として浮力と抗力を実装する。静止流体中の物体に作用する浮力の大きさは、その物体が排除した流体の重量に等しいというアルキメデスの式(1)で定式化される。

$$F = \rho g V \quad (1)$$

(ρ : 流体の密度, g : 重力加速度, V : 物体の体積)

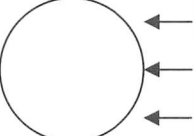
式(1)から浮力の大きさを求め、物体の重心に作用点を置き、鉛直上向きに作用させる。空気の密度は浮力、抗力の計算とともに常温常圧 20℃, 1atm 時の密度 $\rho = 1.205 [kg / m^3]$ であるとする。

$$D = \frac{1}{2} C_d \rho V^2 S \quad (2)$$

(C_d : 抗力係数, ρ : 流体の密度, V : 物体と流体の相対速度, S : 投影面積)

抗力は一般的な抗力の式(2)を用いて計算する。

表 1. The drag coefficient of a representative object

物体		レイノルズ数 R	抗力係数 C_d
球		$R < 3 \times 10^5$	0.47
		$R > 3 \times 10^5$	0.1

6. シミュレーション実験

6.1 実験条件

実験条件を以下に示す。

[球体] 直径 2[m], 密度 7874[kg / m^3], 抗力係数 $C_d = 0.47$ (表 1 参照), 材料は鉄を使用する。

[紐] 全長 3.5 [m], 縦幅 0.05 [m], 横幅 0.05 [m] の長方形を使用。密度 1550 [kg / m^3] とする。

球と紐は共に 5 つとし、それぞれ同条件とする。

動摩擦係数, 静止摩擦係数は表 2 に示す。また、今実験では重力が働いていると考慮し、重力加速度 $g = 9.8 [m / s^2]$ とする。

図 3 は、モデリングした Balance metal balls の正面を示している。また、図 4 は図 3 の左側面を示している。

表 2. 摩擦係数

静止摩擦係数	0.1
動摩擦係数	0.1

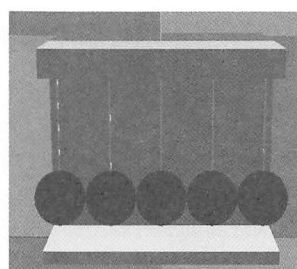


図 3. Balance metal balls (正面図)

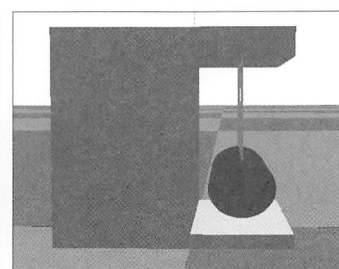


図 4. Balance metal balls (左側面図)

6.2 考察

本研究では、物理エンジン PhysX を用いて仮想空間内での Balance metal balls のシミュレーション実験を行い、実際の Balance metal balls と比較し、有効性を検証した。結果、左端の球に任意の力を加え、球同士を衝突させたところ、中央 3 つの球が衝突を繰り返すと若干の細かい振動が生じた。これは、衝突する際に球と球が中心で衝突せず、それにより運動量が保存されないため、右端の球に到達する前にぶれてしまうと思われる。

更に、球は紐一本でつながれていることにより、動きが固定されず不安定なため、若干ではあるが y, z 方向からの力も加わっていると考えられる。

7. おわりに

本研究では浮力、抗力を実装した仮想空気環境を構築し、その環境下で Balance metal balls のモデリングと数値シミュレーションを行い、実際の Balance metal balls と比較検討した結果、提案したモデリングの有効性を少し確認できた。しかし、若干の細かい振動等、実物ではありえない動きが見られたことより、完璧でスムーズな動きを得ることが出来なかった。

今後は球に生じた細かい振動の改良と、今回の研究を基礎とし球に学習能力を持たせ、よりリアルな振る舞いを獲得した物体のモデリングを行う予定である。

参考文献

- 1) 岩館健司, 米陀佳祐, 鈴木育男, 山本雅人, 古川正志, Animated Robot の研究—複合環境における行動獲得—, 2008 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp887-888, (2008)
- 2) 森長誠, 鈴木育男, 山本雅人, 古川正志, 物理法則に基づく物体の空気環境の構築, 2008 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp1003-1004, (2008)
- 3) 中村啓太, 鈴木育男, 山本雅人, 古川正志, 物理法則に基づく物体の水中環境の構築, 2008 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp1001-1002, (2008)
- 4) 大川義邦, 物理エンジン「PhysX」プログラミング, 工学社(2009)