

# 物理シミュレーションエンジンを用いた振動フィーダの部品搬送シミュレーション

北海道大学 ○村上雅亮, 金井理, 北海道立工業試験場 多田達実

生産ラインにおける自動組立システムの部品整列機構設計において、部品の動作の安定性の検証は未だに試作機に頼っているのが現状である。本研究では3DCADを用いた機構部品モデルに、物理シミュレーションエンジンを組み合わせることにより、部品の挙動をシミュレーションにより予測し、機構設計試作レス化を目標とする。本報では搬送、ならびに整列動作により影響を与えると思われるフィーダの楕円振動をシミュレーションで表現する方法を開発し、振動輸送の実験検証について報告する。

## 1. はじめに

製品寿命の短縮に伴い、生産ラインにおける自動組立システムの開発期間短縮と品質向上に対する要求が高まっている。しかし、システムの重要な構成要素であるフィーダなどの部品整列機構の開発では、搬送部の振動や機構部の寸法・形状のわずかな違いが部品の整列動作の性能に大きな影響を与え、また機構内での部品の位置・姿勢も確率的に変動するため、安定な動作を行えるようになるまで、試作機上での調整を数週間～数か月に渡って繰り返すことが行なわれている。

そこで本研究では、3次元CADと物理シミュレーションエンジンを組み合わせ、振動フィーダ内での部品の整列動作を予測でき、安定な供給動作を実現する機構設計を試作レスで行なえるソフトウェアを開発を目的とする。前報ではフィーダ内の部品の安定姿勢確率と確率動作シミュレーションについて報告した[1]。本報ではさらに、振動による部品の搬送シミュレーション機能を開発したので報告する。

## 2. 振動フィーダの設計

各種フィーダの中で、現在多用されているのが図1(a)に示す振動フィーダである。図2に、この振動フィーダの機能と設計方法を示す。フィーダ内では、ボウル内にランダムな姿勢で貯蔵された供給部品が、機械的振動によりランダムな姿勢のまま順送りにトラック上を搬送され、図1(b)に示すようなワイバーなどの確率整列機構部で重複部品や所定の姿勢以外の部品が除去され、さらに図1(b)のような姿穴・姿溝などの全数整列機構部で部品が要求姿勢に整列される。

フィーダの設計では、設計仕様として①供給部品形状、②フィーダ出口での部品の最低供給速度、③フィーダ出口での要求供給姿勢、の3者が指定される。このうち②の部品の最低供給速度を満たす部品供給速度は、確率整列機構入口での部品の安定姿勢確率と、搬送の振動パターン（振動数・振幅）の両者で決定される。

## 3. シミュレーションシステムの概要

図3に、開発したシミュレーションシステムの構造図を示す。部品及び整列機構の形状は、予め3次元CADでモデリングされシステムに入力される。本シミュレーションシステムは以下の機能をもつ。

- I. 部品CADデータの初期位置・初期姿勢を確率的に変化させながら落下させ、安定となる姿勢の確率を物理シミュレーションエンジン(ODE:Open Dynamics Engine)で予測する安定姿勢確率シミュレーション機能。
- II. 整列機構と部品のCADデータ、及びIから得られた安定姿勢を入力し、確率整列や全数整列機構内の部品挙動をシミュレーションする整列動作シミュレーション。
- III. 供給部品形状と搬送用の振動パターンを与えた場合の推定供給速度を出力する搬送シミュレーション。

本報では上記IIIの供給部品形状のCADモデルと搬送用の振動パターンを与えた場合、振動フィーダの搬送速度を推定する搬送シミュレーションの開発した。

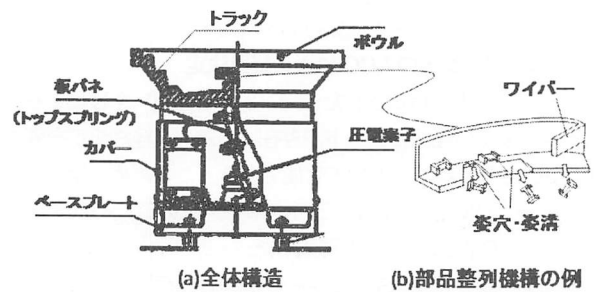


図1 振動パーツフィーダ

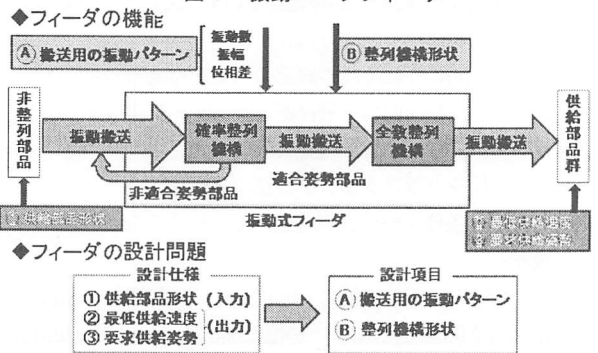


図2 振動フィーダの機能と設計方法

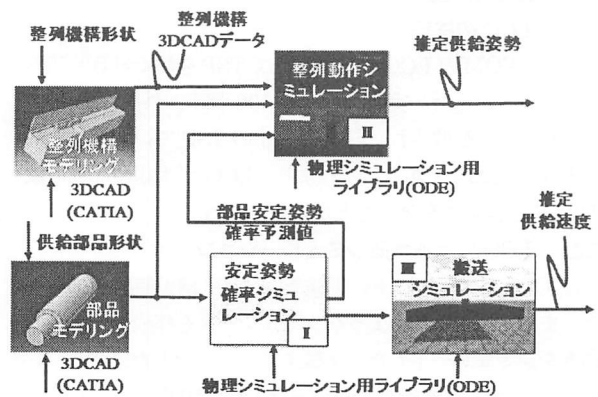


図3 シミュレーションシステム構造

## 4. 搬送シミュレーション

### 4.1 振動搬送の理論

図4のように傾斜角 $\theta$ のフィーダトラック上の斜面に置かれた物体に対し、斜面垂直方向にとったZ軸から振動角 $\gamma$ なる方向に振幅A、角振動数 $\omega$ なる振動を作用させる。物体が跳躍

せずすべり運動のみを行う場合の条件は文献[2]より下式(1)

$$\frac{A\omega^2}{g} \leq \frac{\cos\theta}{\cos\gamma} \quad (1)$$

となる。  $A, \omega, \gamma, \theta$  がこの条件を満たすとき、物体は  $X$  軸の正の向きに進むことが知られている。但し搬送速度は、積分を含み理論的に算出することが困難である[2]。そこで、この搬送速度を以下のシミュレーションモデルで推定した。

#### 4.2 物理シミュレーションにおける振動フィーダモデル

振動フィーダの部品搬送トラックを模擬した振動フィーダモデルを ODE[4,5]により構築した。ODE の API が提供する図 5 に示す軸方向に直線運動するスライダジョイントを用い、図 6 に示すようにベースプレートと部品搬送トラックを各々表す 2 つの body 同士をこのジョイントで結合する。

ODE 内でこの振動フィーダモデルの搬送トラック body 側 (body2) に振動を与える。質量  $m$  のトラックの body に  $F_0 \sin \omega t$  なる力をスライダジョイントの方向に加える場合、 $X$  軸方向の body 変位を  $x$  とすると、その運動方程式は

$$m\ddot{x} = F_0 \sin \omega t \quad (2)$$

となり、これより  $x$  は

$$x = A \sin \omega t \quad (3)$$

なる振幅  $A$  の定常正弦振動となる[3]。(2)(3)式より

$$F_0 = Am\omega^2 \quad (4)$$

となるため、ODE 内で搬送トラック body を振幅  $A$ 、振動数  $\omega$  で振動させるためには、スライダジョイント軸方向に(4)式の力  $F_0$  を作用させれば良い。

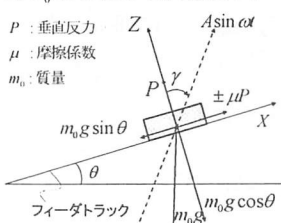


図 4 振動の方向と物体に作用する力

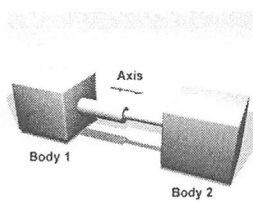


図 5 スライダジョイント (参考文献[5]より引用)

#### 4.3 シミュレーション結果

図 6 の body1, body2 を各々直方体 body1(0.2m, ×0.2m×0.02m)、body2(0.1m×0.1m×0.005m)としてモデリングした。また実際の市販振動フィーダに合わせて傾斜角  $\theta=1$ 、振動角  $\gamma=75^\circ$ 、振動数  $\omega=70\text{Hz}$ 、振幅  $A=0.0018\text{m}$ 、また  $m=10\text{kg}$  と設定し、搬送シミュレーションを行った。また式(4)よりこの  $A$  の値を実現するため  $F_0=88.2\text{N}$  と設定した。ただし摩擦係数はプラスチック-鋼間の乾燥状態における標準値 0.5 を利用した。

図 7 (a)は図 8 (a)に示される半径  $10^{-2}\text{m}$ 、厚さが  $10^{-2}\text{m}$  で質量が  $1.5 \times 10^{-3}\text{kg}$  のプラスチック円柱を振動搬送したシミュレーション結果である。この結果では、フィーダトラック上をワークが上りながら搬送される現象が再現できた。また理論式では推定困難である搬送速度をシミュレーションで求めたところ、 $v=35.23\text{mm/s}$  となった。また図 7 (b)のようにトラックの側壁面をモデルし同様のシミュレーションを行ってみたところ  $v=38.15\text{mm/s}$  となった。図 8 (b)の実機フィーダ内に図 8 (a)の部品を入れて実際に搬送し速度を計測したところ平均  $53\text{mm/s}$  であった。この速度の差は実機の振幅を標準値として過小評価する等の原因と思われるため、今後計測による高精度化が必要である。

#### 5. まとめと今後の課題

振動フィーダ内での搬送、動作において重要な役割を持つ振動搬送現象のシミュレーションを CAD モデルと物理シミュレーションエンジンを組みあわせて開発した。今後は搬送速度予測値の高精度化と、振動下におけるフィーダ上での部品の安定姿勢確率シミュレーション機能を実装する。

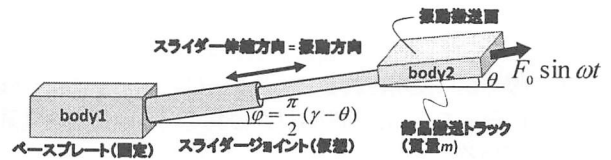


図 6 ODE を用いた振動フィーダモデルの構築

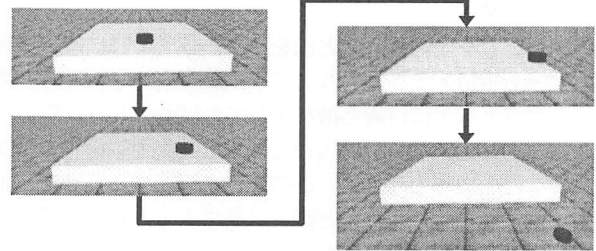
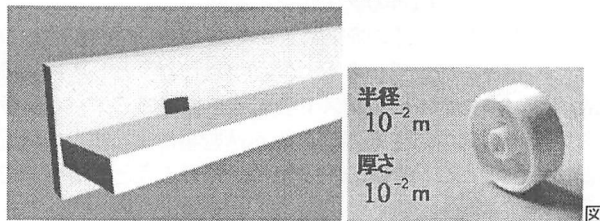


図 7 (a) 振動搬送



7 (b) トラック側面のモデル化

図 8 (a) プラスチック円柱

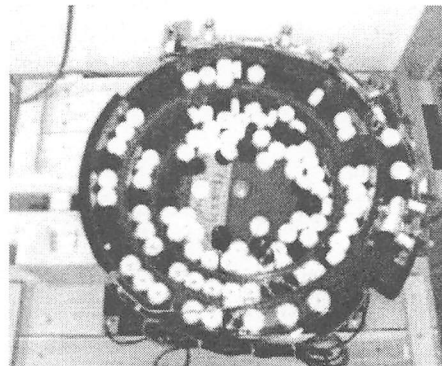


図 8 (b) 実機振動フィーダ

#### 参考文献

- [1]村上雅亮 金井理 他：「物理シミュレーションを用いた部品動作の安定性の予測 (第 1 報)」2007 年度精密工学会春季大会学術講演会公演論文集, pp.1045~1046
- [2]横山恭男 岡部佐規一 石川憲一 小泉邦雄 共著：「振動応用技術 材料加工から部品供給まで」工業調査会 (1992)
- [3]入江敏博 著：「機械振動学通論」朝倉書店 (1969) p.32~33
- [4]出村公成 著：「ロボットシミュレーション」森北出版株式会社 (2007)
- [5]Russell Smith : Open Dynamics Engine v0.5 User Guide, <http://ode.org/ode-0.5-userguide.html> (2004)