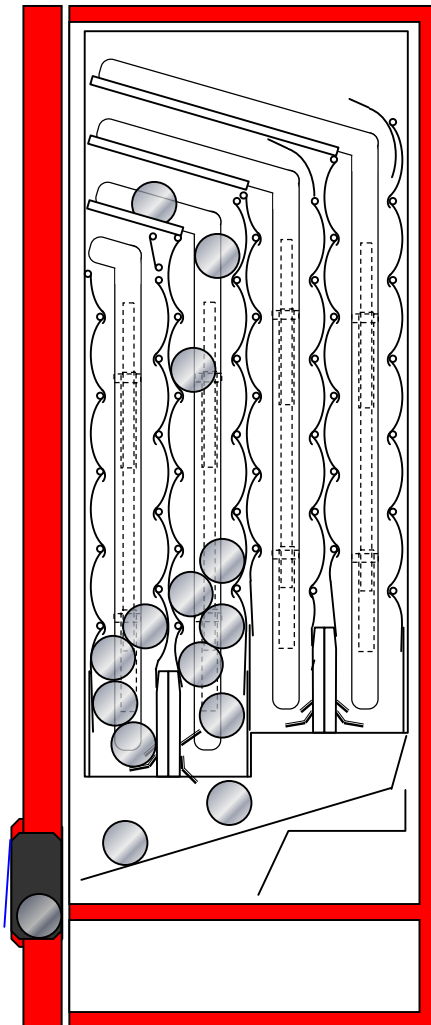


---

# 液体を封入した中空物体の挙動解析

- ・ 背景
- ・ 狙いと今回の検討課題
- ・ 飲料商品のモデリング
- ・ 3Dコンタクトの適用方法
- ・ 商品落下シミュレーション
- ・ 今後の検討課題
- ・ まとめ

(株)富士電機総合研究所 山田隆典



自動販売機の概略構造

## 自動販売機的设计課題

### 商品収納庫への要求

薄型化

低コスト化

高機能化

新商品対応

### 飲料商品の動向

容器の薄肉化

飲料物性値の変化

容器形状の多様化

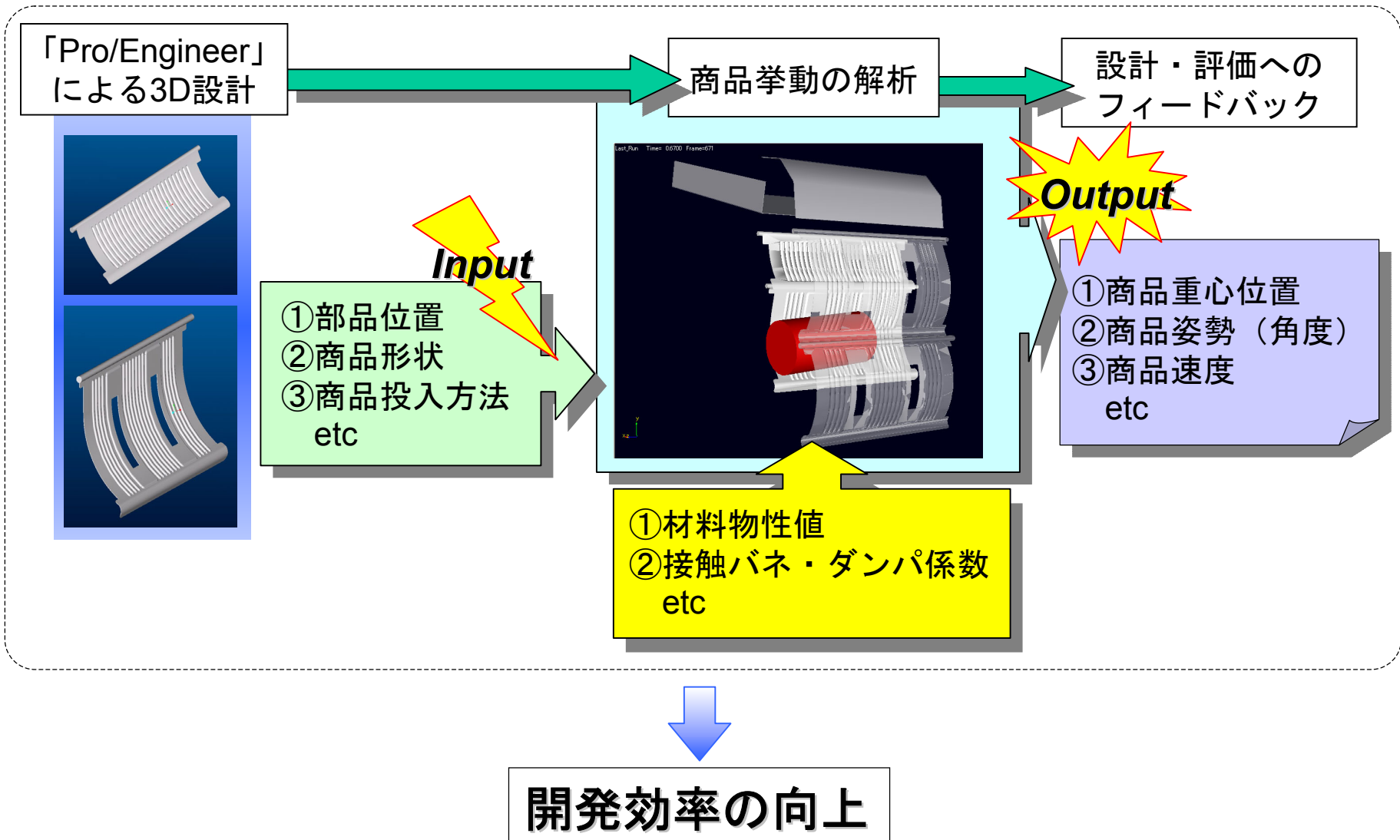
容器材質の多様化

各部品形状・配置の最適化作業

飲料商品の挙動を机上で  
定量的に予測するのは困難

試作・評価の繰り返し → 時間・費用が増大

## 高精度な商品挙動解析ツールの確立が急務



# 狙いと今回の検討課題

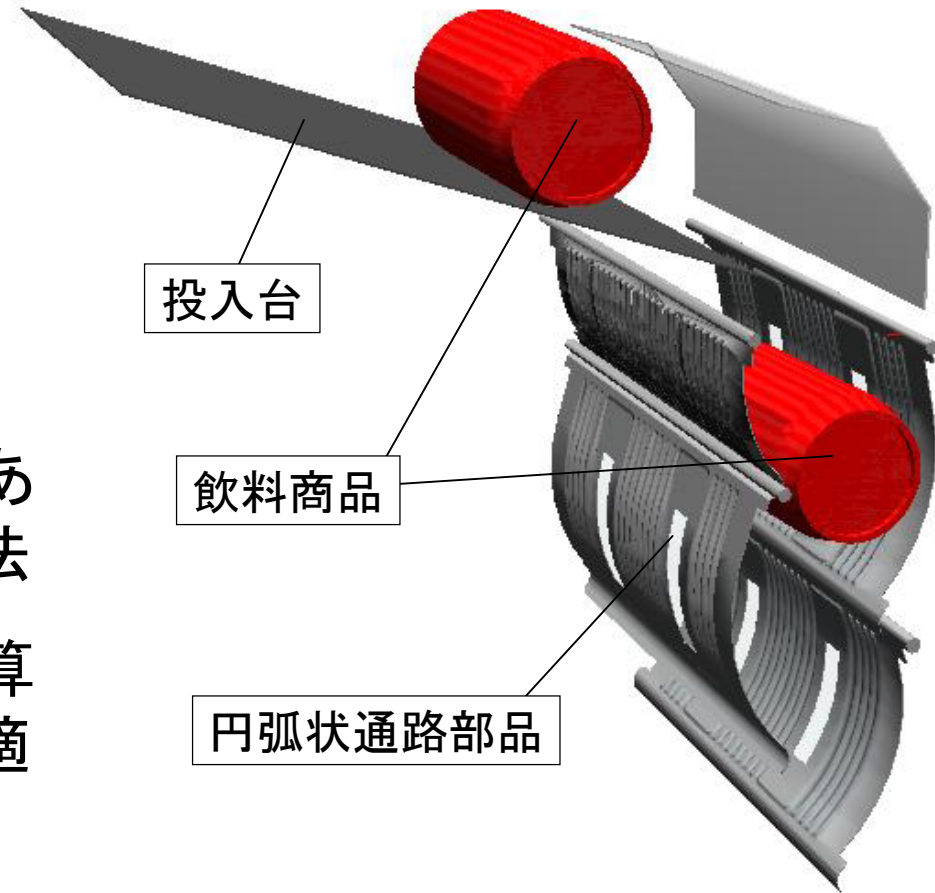
## 狙い

商品収納庫内における飲料商品の落下挙動解析へのADAMSの適用。

## 今回の検討課題

- ①液体を封入した中空物体である飲料商品のモデリング方法
- ②商品と通路部品間の接触計算における3Dコンタクトの適用方法

Last\_Run Time= 0.3740 Frame=375



商品収納庫モデル

## ①内部液体のモデリング方法



350ml太型缶烏龍茶



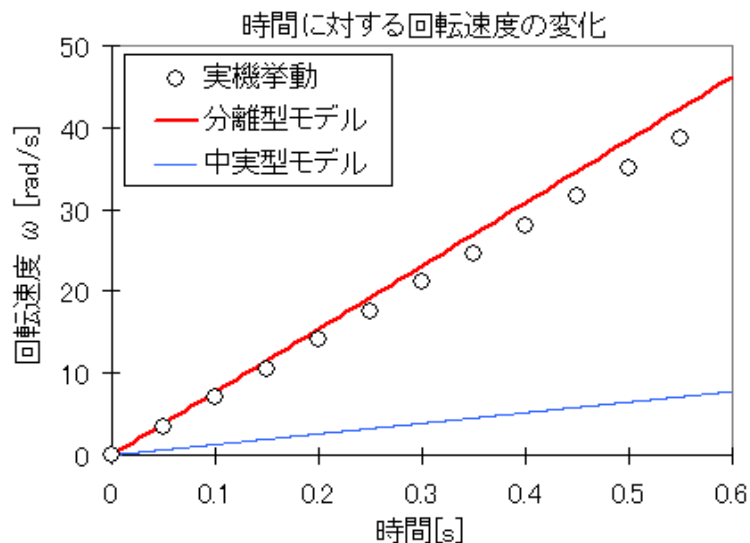
高速度カメラによる実機の回転挙動撮影

比較

全体が回転する  
中実型モデル

容器のみ回転する  
分離型モデル

2種類のモデルによる計算



実機挙動は、容器のみが回転する分離型モデルの計算値に近い

容器パーツ（中空物体）と  
内部液体パーツ（中実物体）  
に分離してモデリング

## ②回転減衰力の付与方法

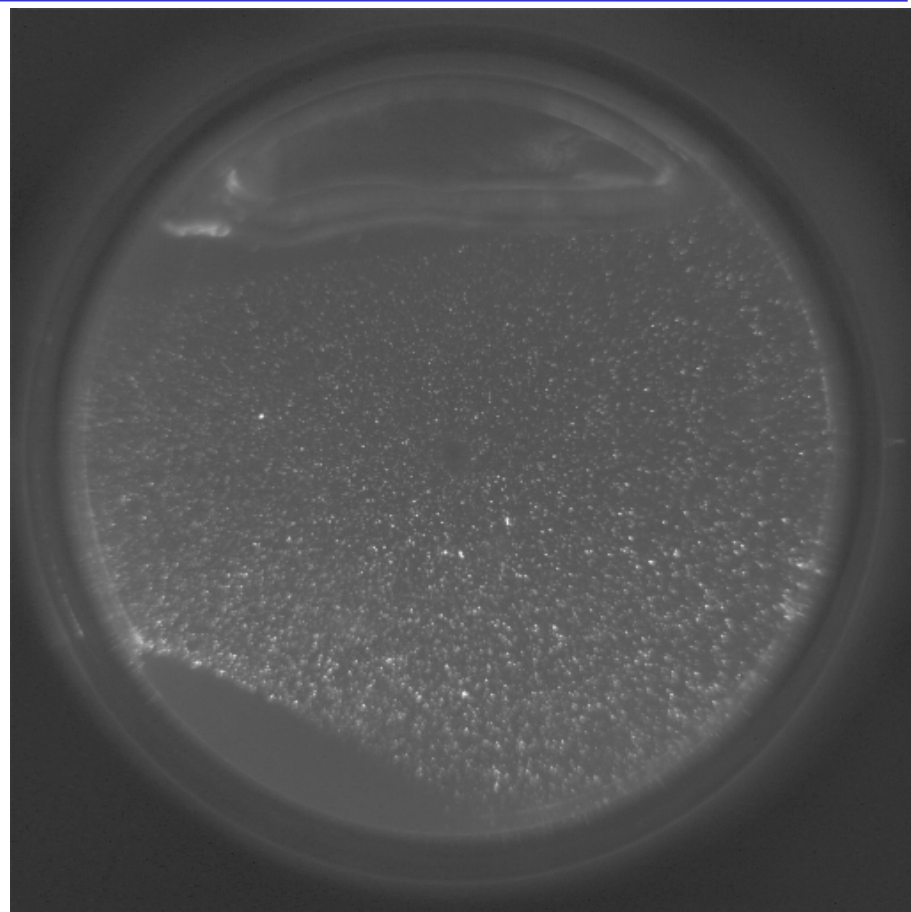
実機挙動は、分離型モデルよりも若干遅いため、減速要素が必要



容器と内部液体の接触面における速度差に比例した減衰力が、容器に加わっていると仮定



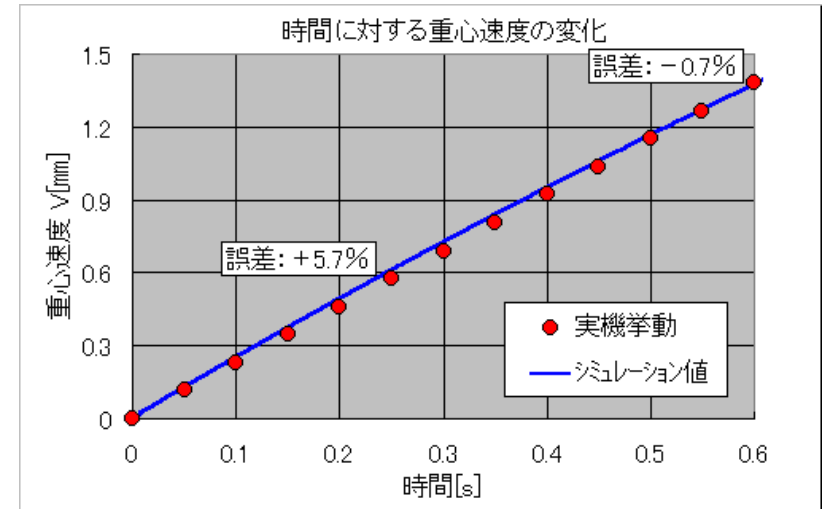
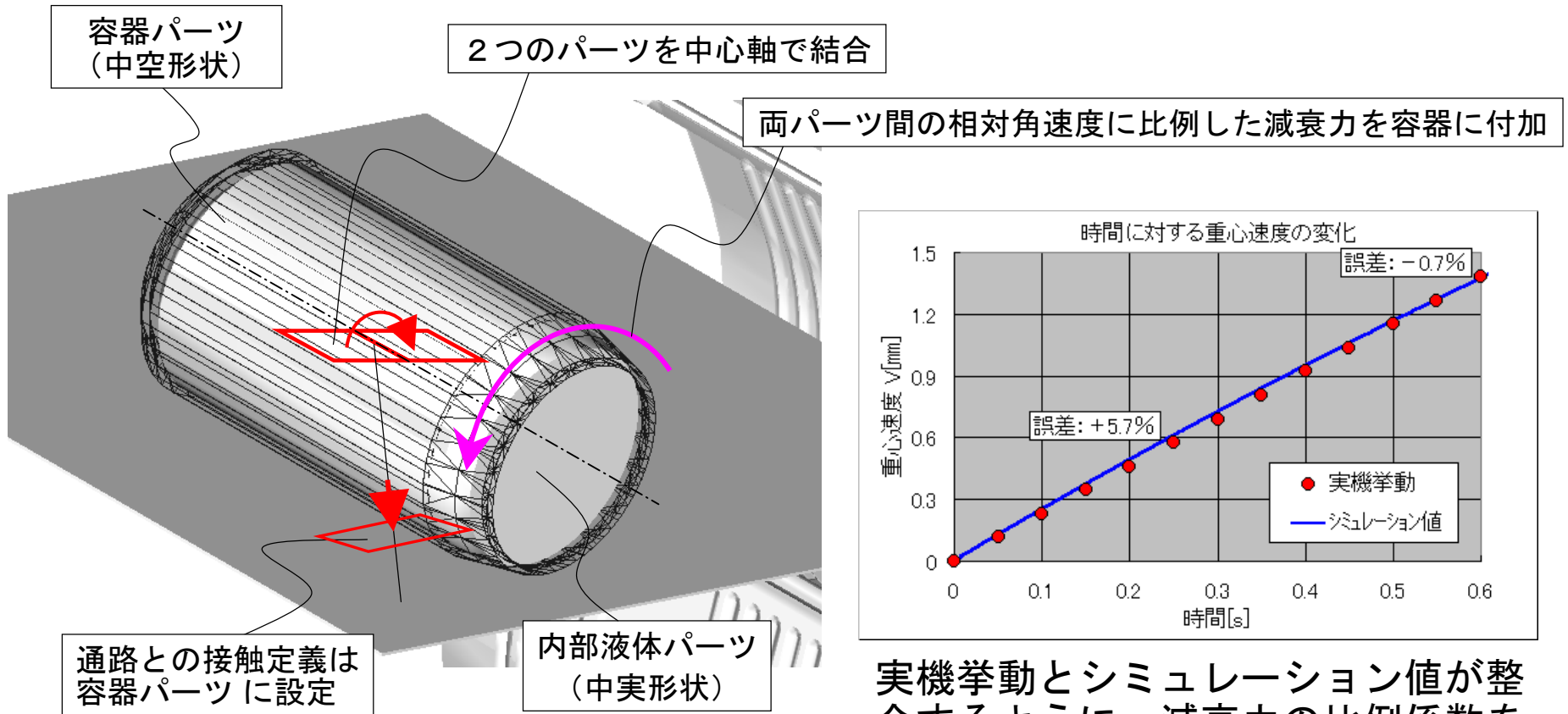
実際の挙動を観察した結果、内部液体は、容器近傍のみが動き、全体的にはほとんど回転していない



200rpm(21rad/s) 時の内部液体の様子

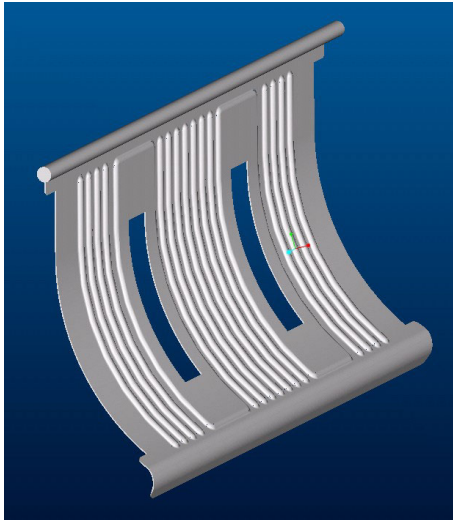
**速度差に比例した減衰力を容器パーツのみに付加  
(=内部液体パーツは回転しない)**

## ③実機整合結果



実機挙動とシミュレーション値が整合するように、減衰力の比例係数を算出

斜面転動モデルによる実機挙動との誤差：±6%

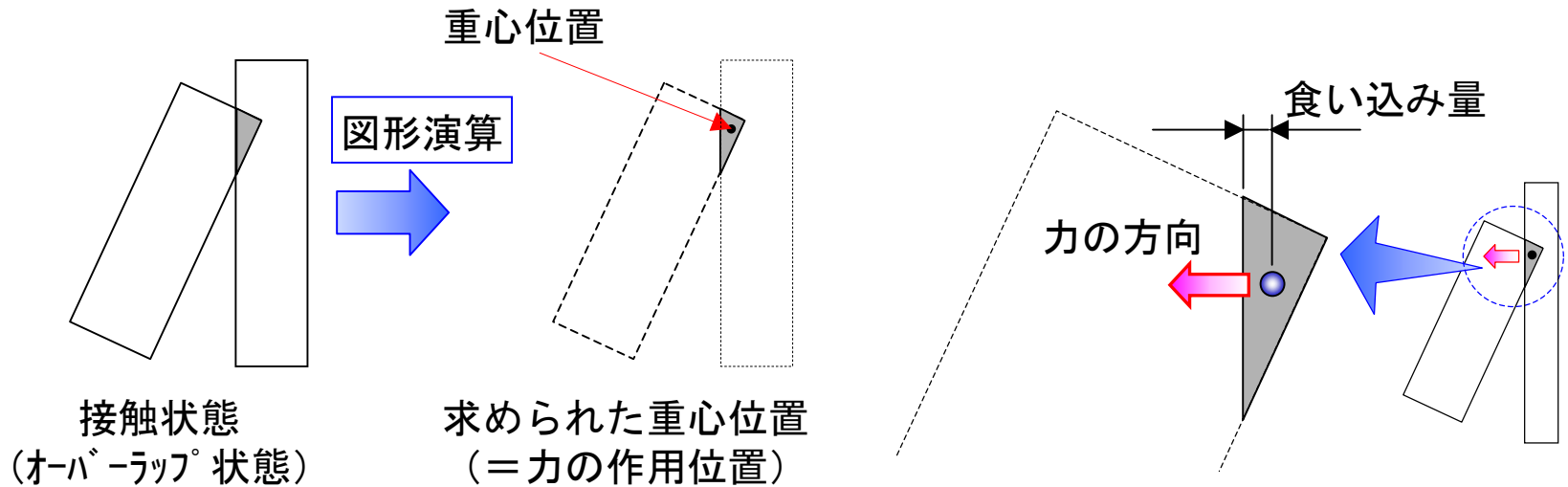


通路部品の例

飲料商品は商品収納庫内で3次元的な挙動を示すため、3Dコンタクトの適用が必須



接触物性値の入力方法の検討が必要

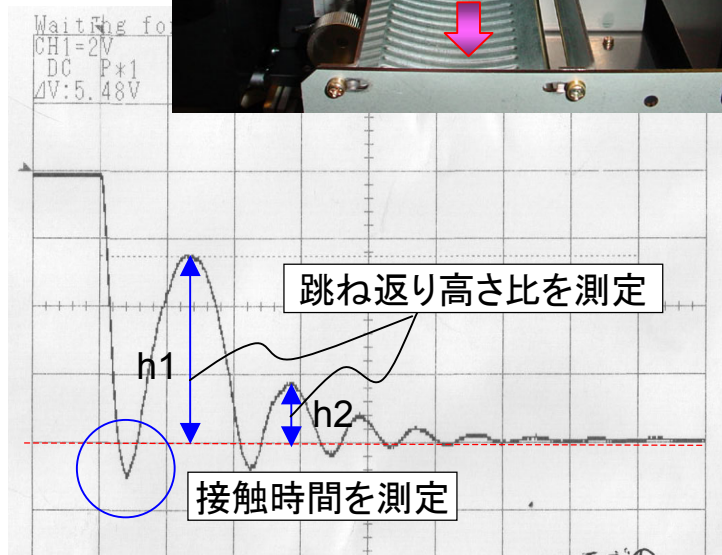
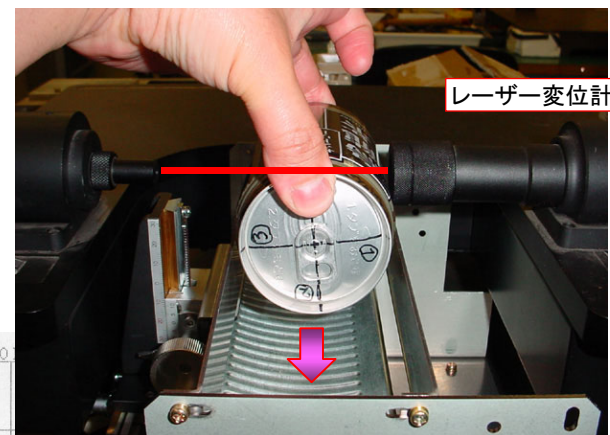
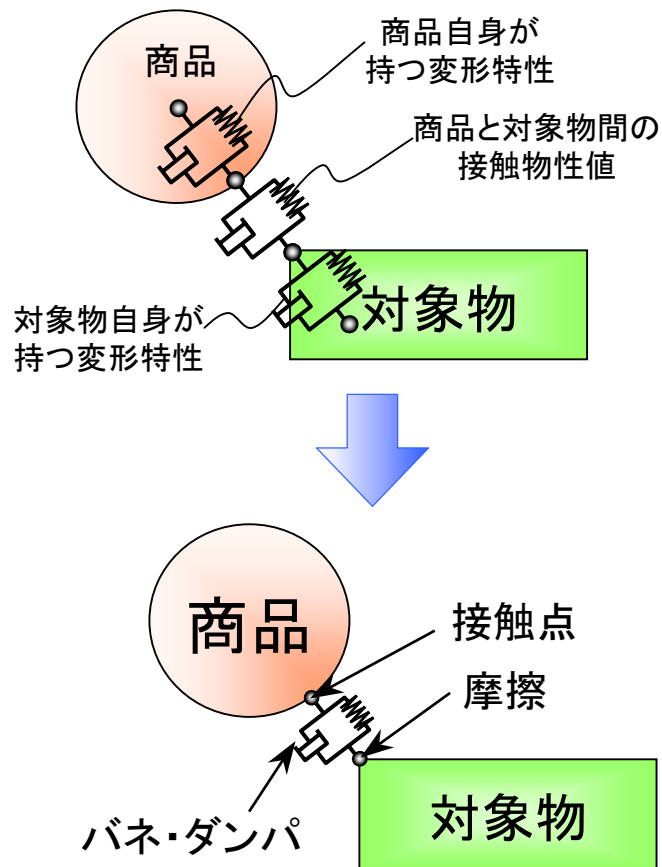


3Dコンタクトにおける接触計算処理の流れ



## ①接触物性値の測定

商品と対象物間に存在する複数のバネ・ダンパを一つの線形バネ・ダンパで近似



商品～通路部品の衝突実験の応答波形から同定

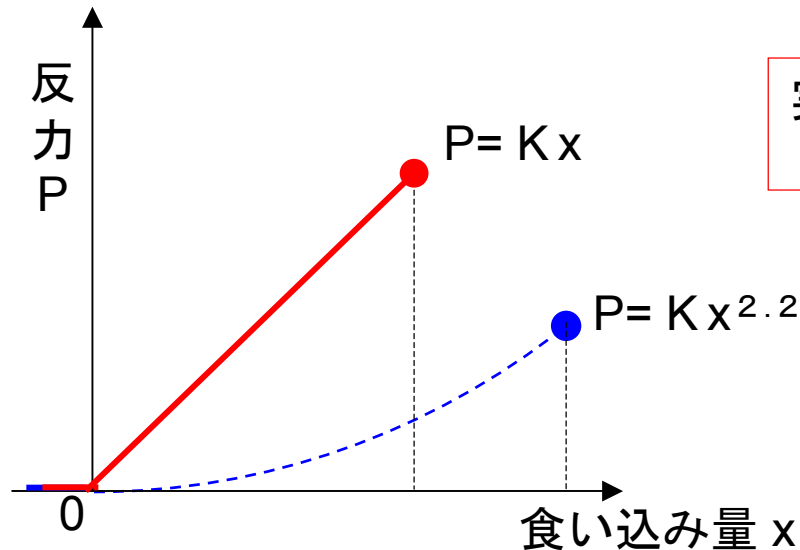
- ・バネ定数：接触時間  $T/2 \approx \pi/\omega$  より算出
- ・ダンピング係数：反発係数  $\varepsilon = \sqrt{h2/h1}$  より算出

## ②実機物性値の入力

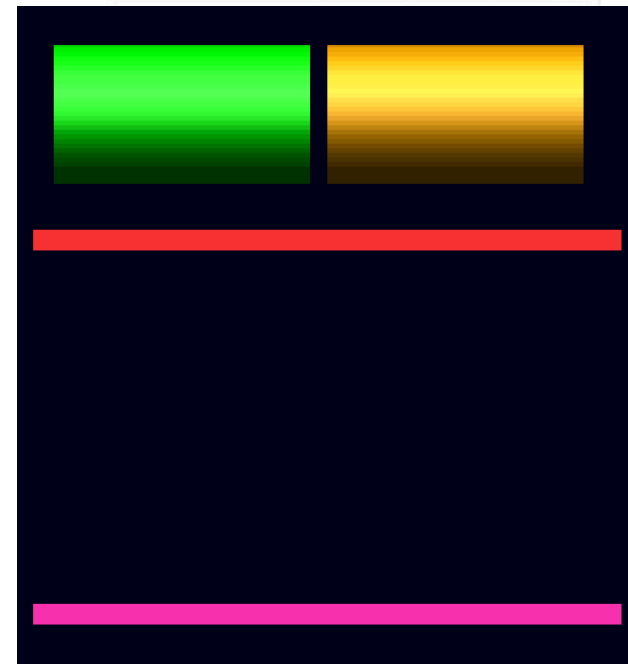
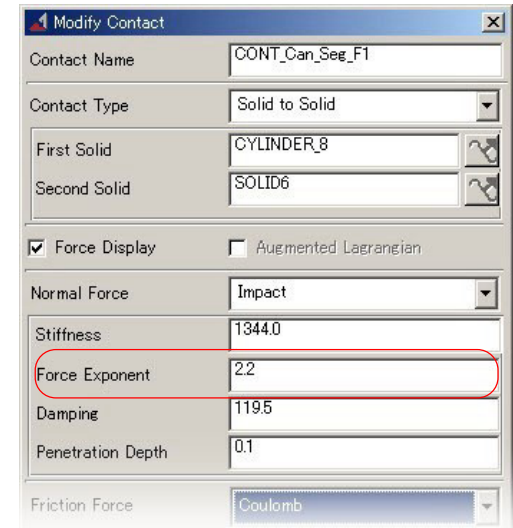
3Dコンタクトでは計算の安定性のため、  
食い込み量の2.2乗に比例してバネ力を発生



実機物性値は線形バネで近似しているため、  
物性値をそのまま入力すると、食い込み量  
が大きくなり、余分な減衰力を受ける。  
→反発係数が再現しない。

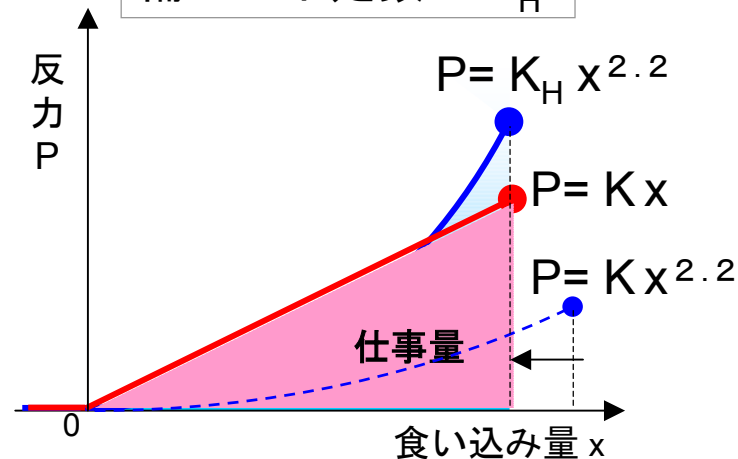


実機における  
反発高さ



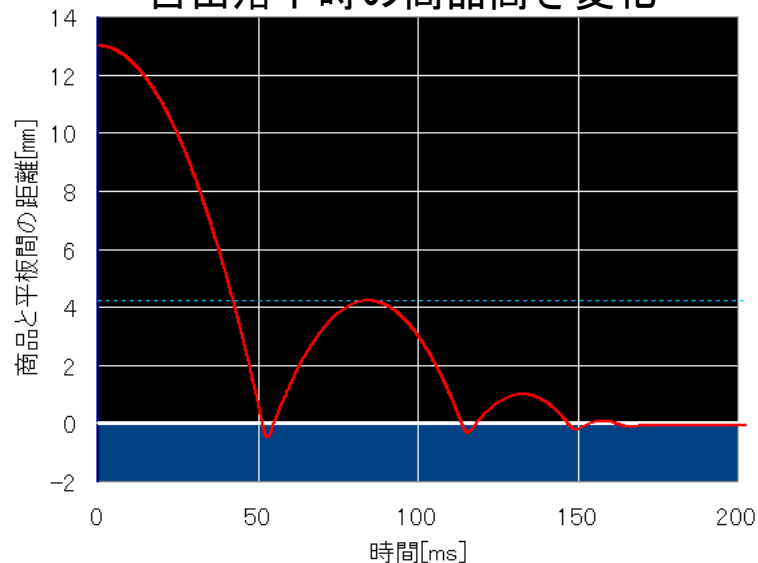
接触時間中における商品の仕事量が等しくなるようにバネ定数を補正

実機バネ定数 :  $K$   
補正バネ定数 :  $K_H$



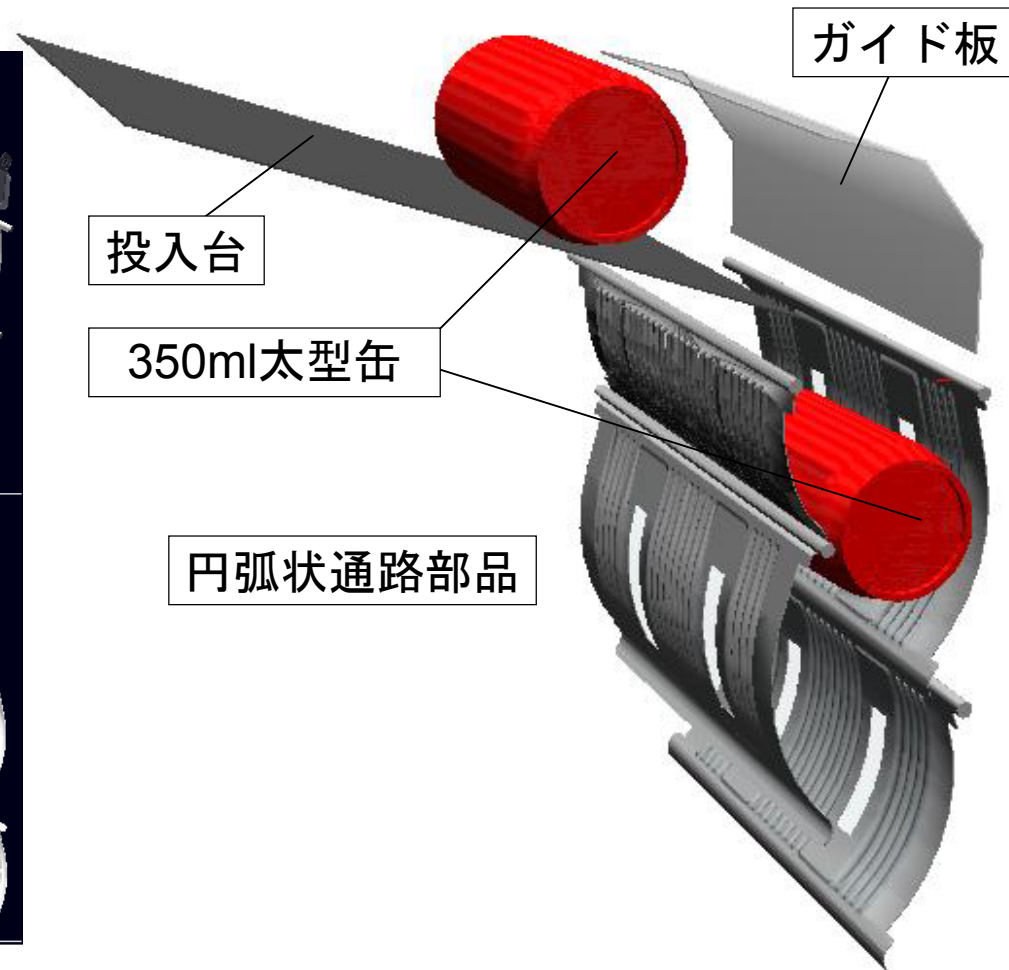
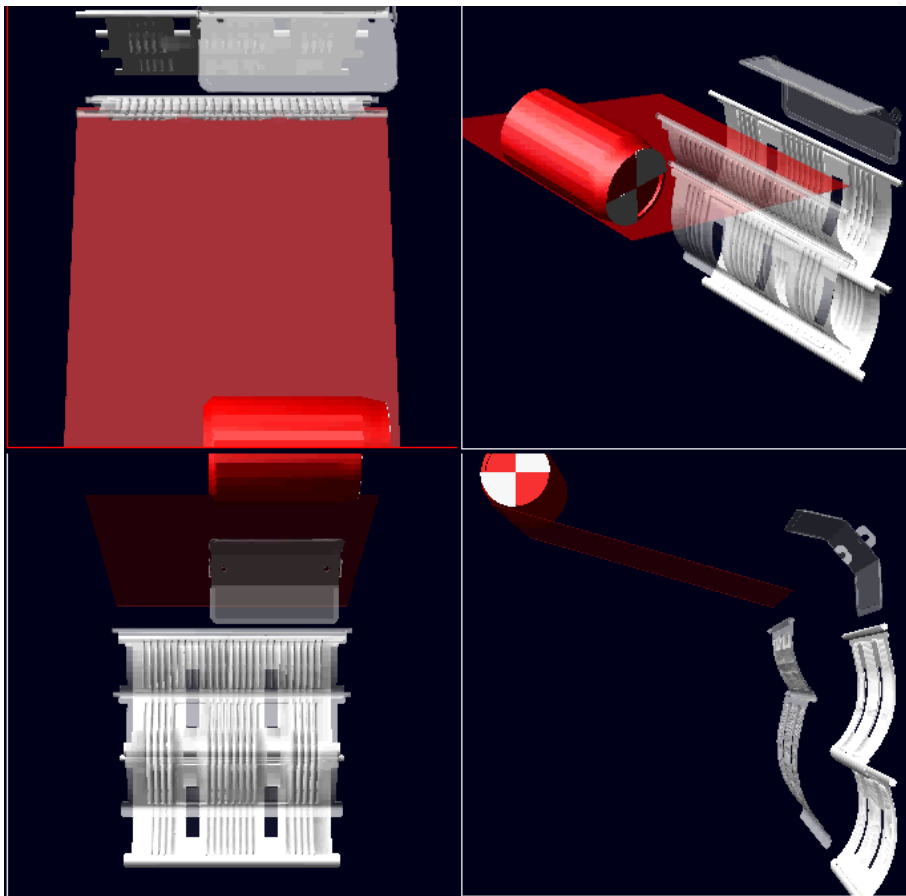
## ③実機整合結果

自由落下時の商品高さ変化



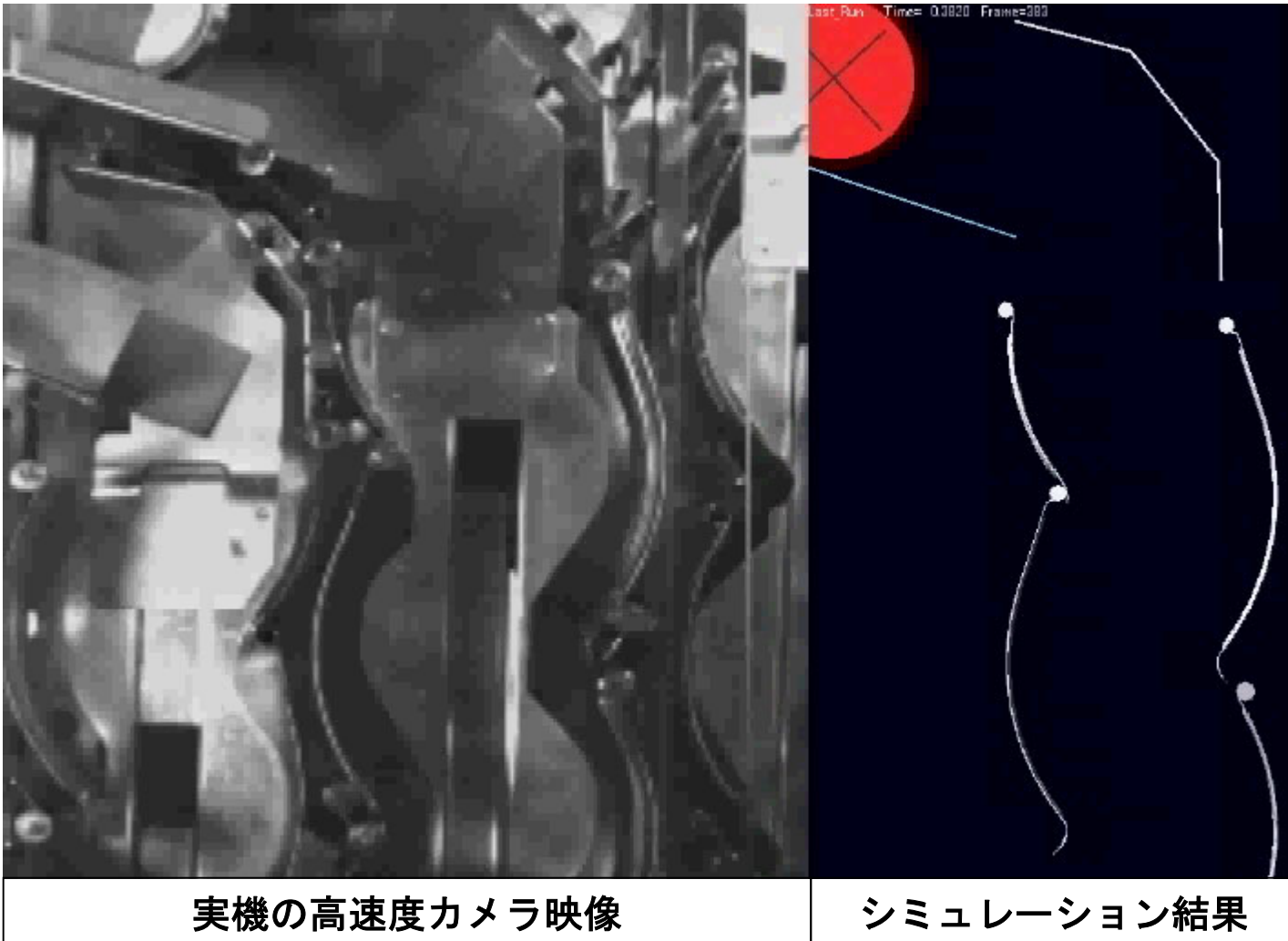
自由落下モデルによる  
実機挙動との誤差 :  $\pm 5\%$

## 商品収納庫における飲料商品の落下挙動を解析



計算時間：約 1 時間 (Intel Xeon2.2GHz)

## 商品収納庫側面からの比較映像



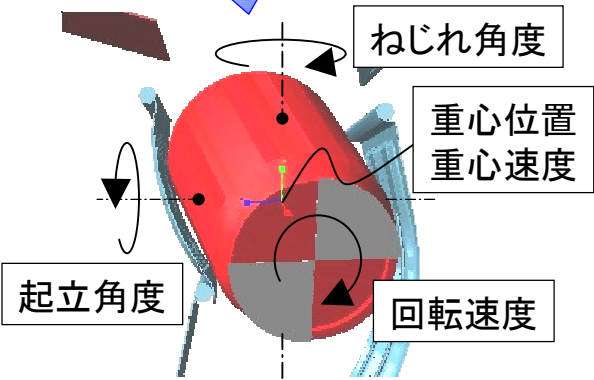
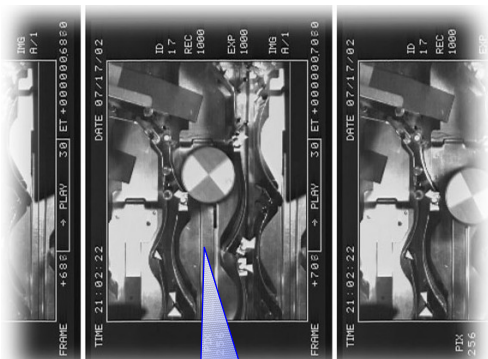
## 結果

〈解析精度〉 □速度, 回転速度変化 :  $\pm 20\%$

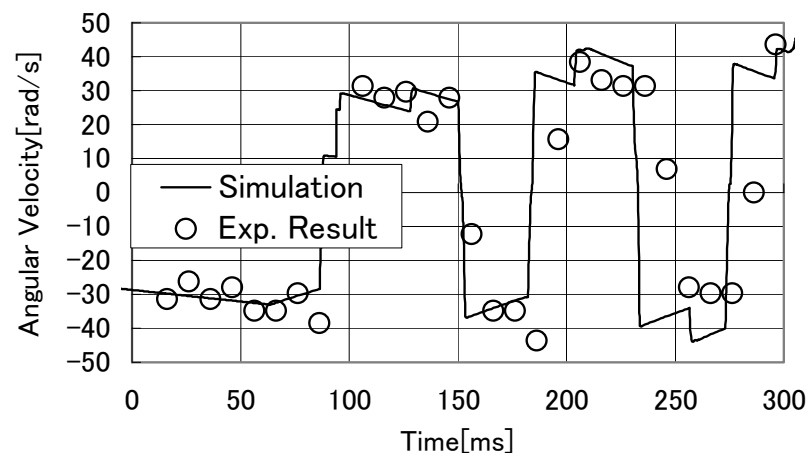
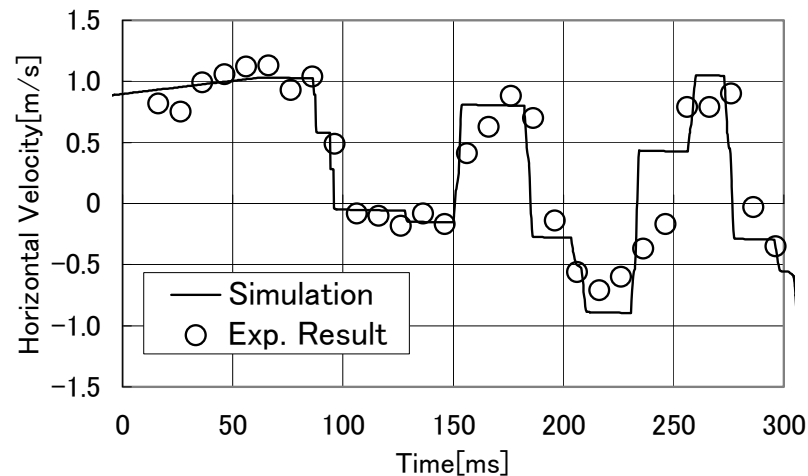
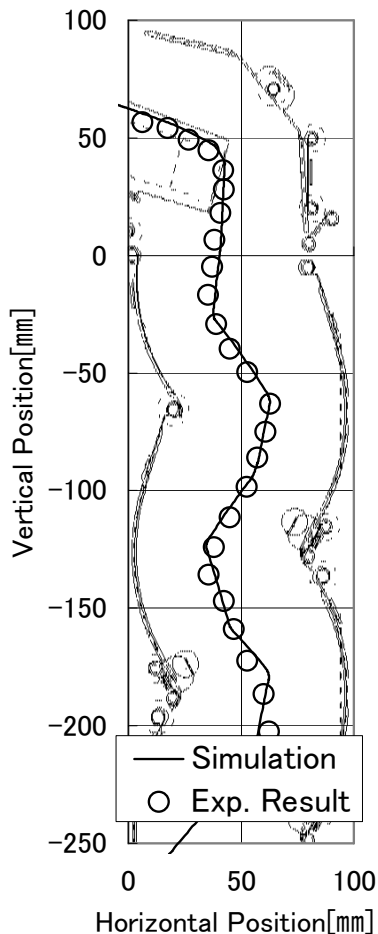
□重心軌跡:  $\pm 18\%$

→実機挙動と解析値が定量的に一致

→本モデリング手法の妥当性を確認



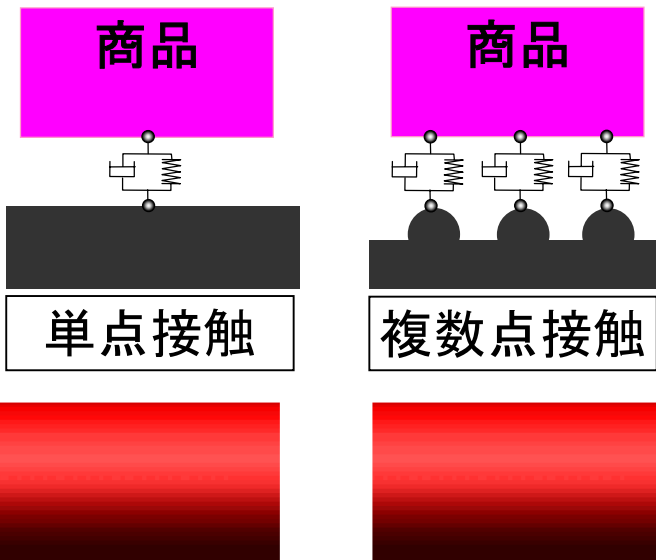
実機の挙動は、高速度ビデオにて測定(10ms間隔)



# 今後の検討課題

## 多点接触計算の対応

接触物体間が複数点で接触すると、接触点数分のバネとダンパが並列に並んだように計算され、過剰な減衰力が発生



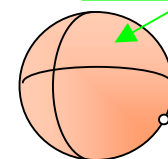
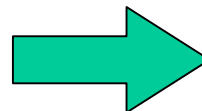
## ビン・ペット商品のモデリング

ペット商品



外力により  
容易に変形する

柔軟物体



バネ・マス・ダンパで  
連結された集合モデル

対象物

# まとめ

## 商品収納庫内における飲料商品の落下挙動解析へのADAMSの適用

- 液体を封入した中空物体（飲料商品）のモデリング
  - 容器と内部液体の別モデル化
  - 液体の粘性による回転減衰力の付加
- 3Dコンタクトの適用方法
  - 実機測定による線形バネ・ダンパの算出
  - 接触計算式に合わせて補正した実機測定値の入力

自動販売機における商品収納庫内における  
商品落下挙動シミュレーションを実施

商品の速度，回転速度，重心軌跡の変化が  
定量的に一致

本モデリング手法の妥当性を確認