

# 3D CADと3Dプリンタを用いた鉄道車両の輪軸モデルの設計製作

Design and manufacture of wheel axle model of railway car using 3D CAD and 3D printer

○ 捧勇氣 石澤光 照井駿磨 (秋田県立大学 システム科学技術学部 機械知能システム学科)  
 指導教員 教授 富岡隆弘 (秋田県立大学 システム科学技術学部 機械工学科)

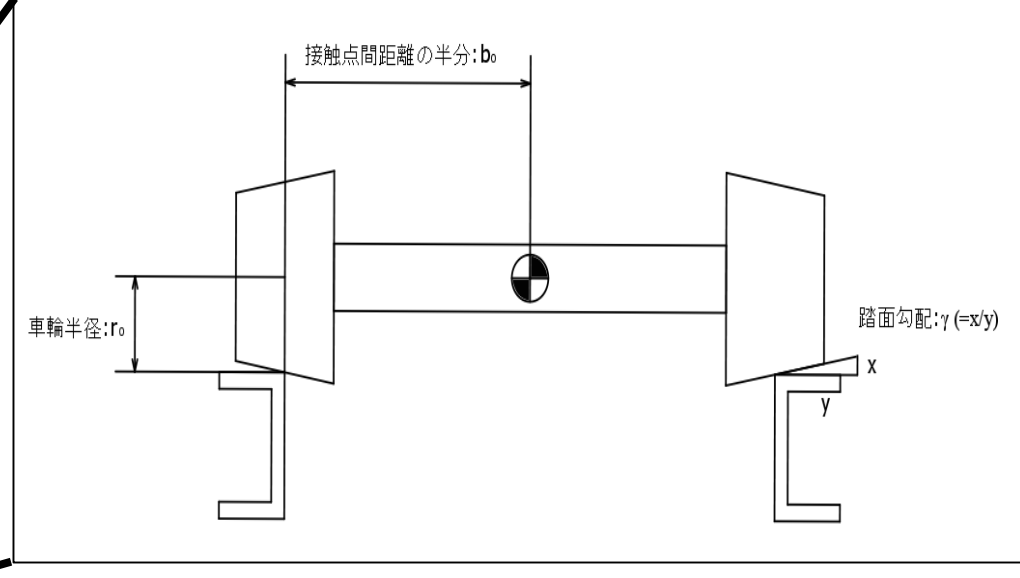
## はじめに

なぜハンドルのない列車は曲がることのできるのか？

車輪の踏面(レール頭部に接触している車輪の面)が傾斜しているからである

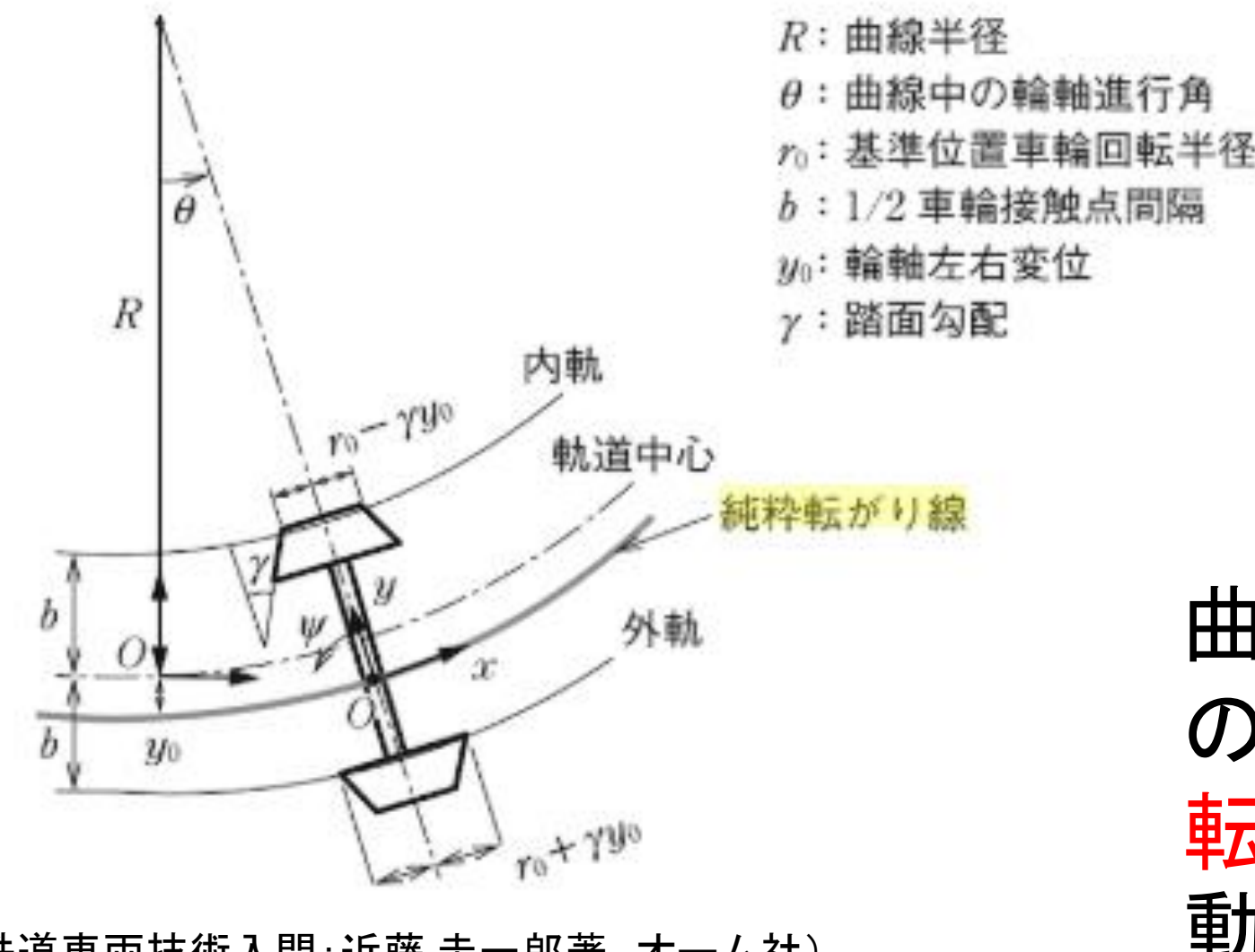


(https://www.jreast.co.jp/train/local/img/e235\_img01.jpg)



ハンドルがあるかのように綺麗に曲線を通ることができるこの働きを“自己操舵機能”と呼ぶ

## 純粋転がり変位



曲線通過時輪軸の中心は軌道中心を通っていない!

曲線を通る輪軸は左右の車輪で速度が違い、純粋転がり変位は輪軸の左右運動の平行点である

純粋転がり変位(1)の軌跡を純粋転がり線という

(鉄道車両技術入門:近藤 圭一郎著, オーム社)

$$v_L = (R - b)\dot{\psi} = (r_0 - \gamma y_0)\Omega$$

$$v_R = (R + b)\dot{\psi} = (r_0 + \gamma y_0)\Omega$$

$$v_L : v_R = (R - b) : (R + b)$$

$$v_L(R + b) = v_R(R - b)$$

$$(r_0 - \gamma y_0)\Omega \times (R + b) = (r_0 + \gamma y_0)\Omega \times (R - b)$$

$$-2R\gamma y_0 = -2r_0 b$$

$$\therefore y_0 = \frac{br_0}{R\gamma} \dots (1)$$

## 幾何学的蛇行動波長

$$y_w = A \sin\left(\sqrt{\frac{\gamma}{br_0}} vt\right)$$

$y_w$ [m]: 輪軸重心の左右変位  
 時間 $t$ で1回微分

$$\dot{y}_w = A \cos\left(\sqrt{\frac{\gamma}{br_0}} vt\right) \left(\sqrt{\frac{\gamma}{br_0}} v\right)$$

時間 $t$ で2回微分

$$\ddot{y}_w = -A \sin\left(\sqrt{\frac{\gamma}{br_0}} vt\right) \left(\sqrt{\frac{\gamma}{br_0}} v\right)^2$$

$a = -\omega^2 A \sin(\omega t + \phi)$ : 単振動の加速度

$y = A \sin(\omega t + \phi)$ : 正弦波の一般式  
 正弦波の一般式と比べると

$$y_w = A \sin\left(\sqrt{\frac{\gamma}{br_0}} vt\right) \text{ における}$$

$\sqrt{\frac{\gamma}{br_0}} v$ は $\omega$ になる。  
 よって、周期 $T$ は

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{\gamma}{br_0}} v}$$

$$v = f\lambda \quad \lambda = S_1$$

$$S_1 = \frac{1}{f} v \quad S_1 = T v$$

$$\therefore S_1 = T v = 2\pi \sqrt{\frac{br_0}{\gamma}} \dots (2)$$

踏面が傾斜していると...

**メリット**

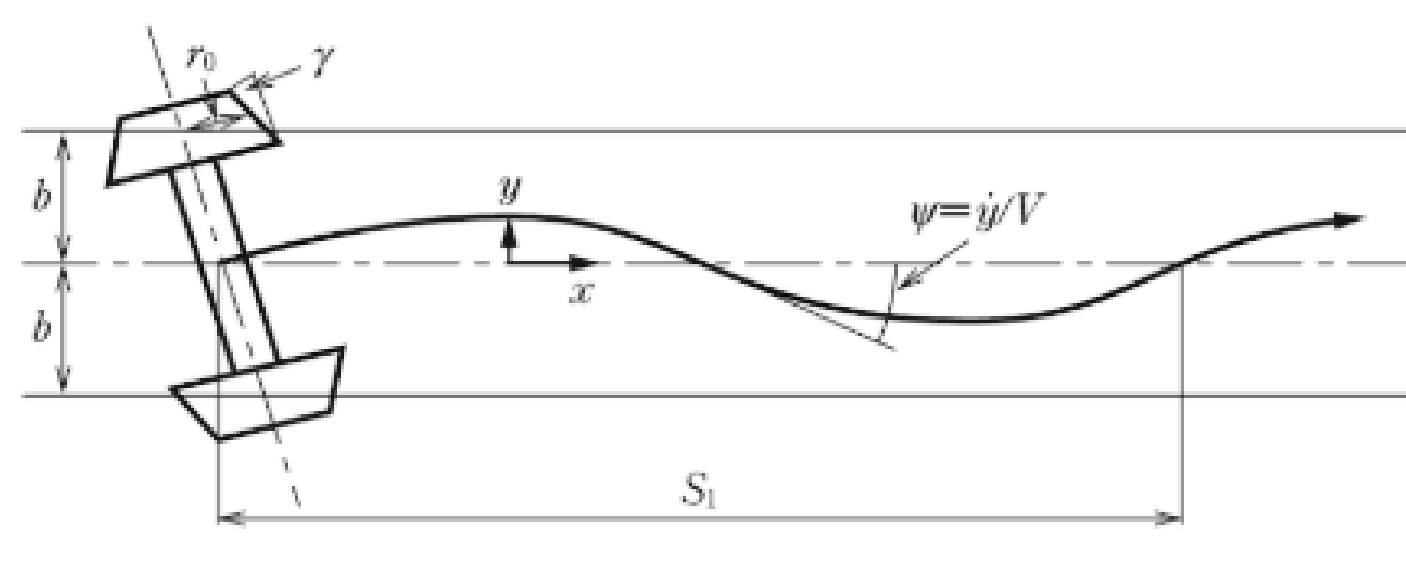
曲線を脱線することなく通過できる

**デメリット**

直線区間で蛇行してしまう

この波長 $S_1$ を幾何学的蛇行動波長という

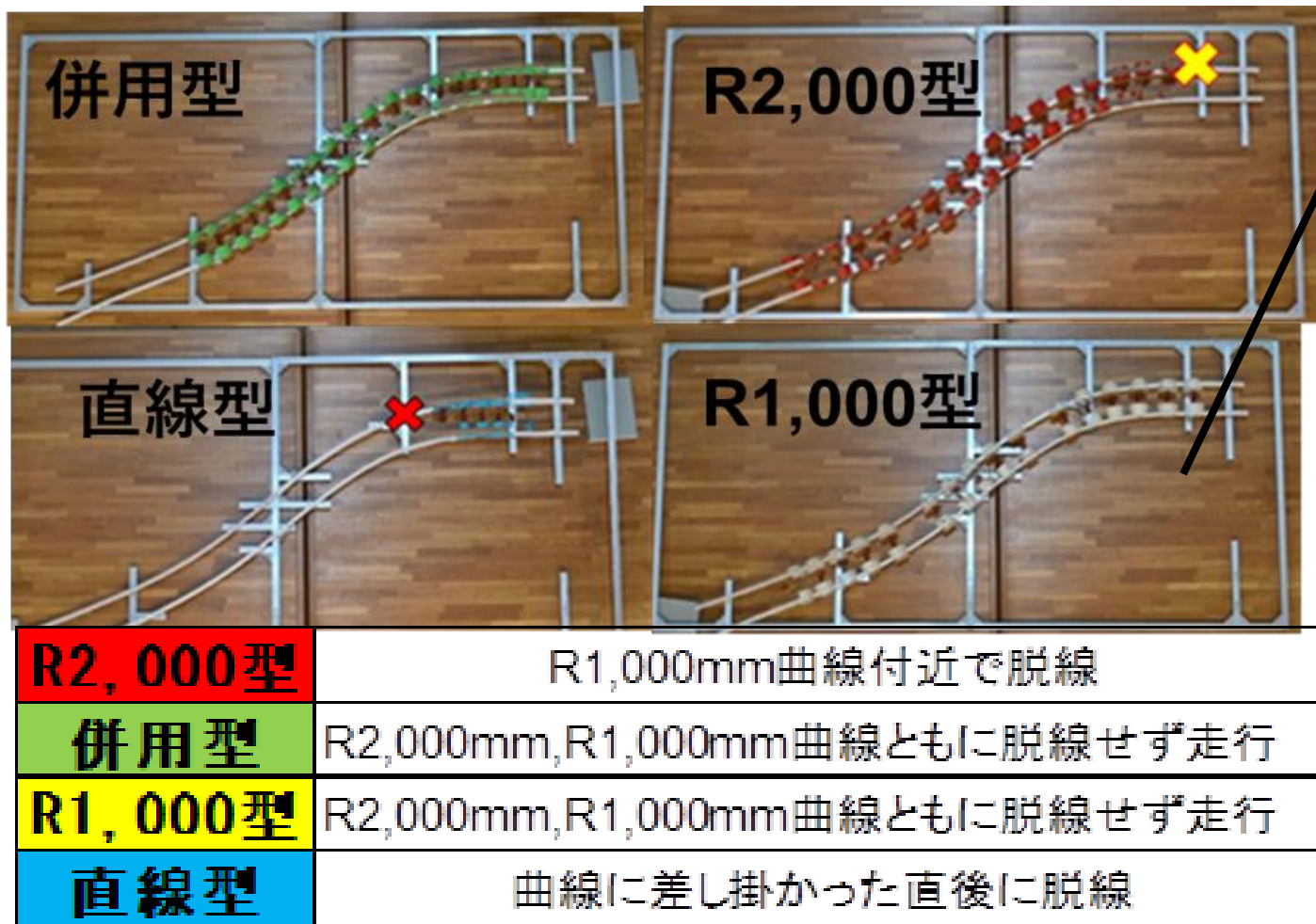
$v$ は走行速度を表し、踏面勾配 $\gamma$ の値が大きいほど波長が短くなり、高い振動数のだ行動となる



(鉄道車両技術入門:近藤 圭一郎著, オーム社)

## 実験結果

### 実験1. 輪軸の曲線通過

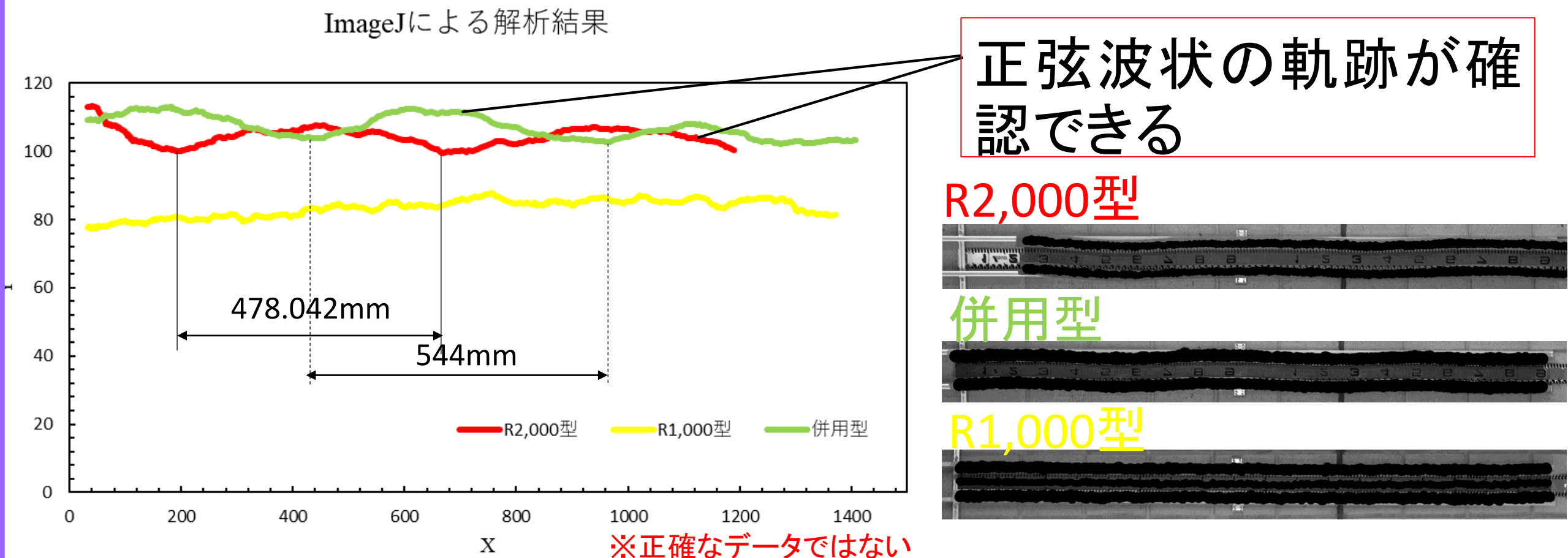


◎Point

R1,000型は曲線R2,000を通過できないと仮定していた

純粋転がり変位が想定より小さく走行可能な範囲であったか

### 実験2. 幾何学的蛇行動波長の測定



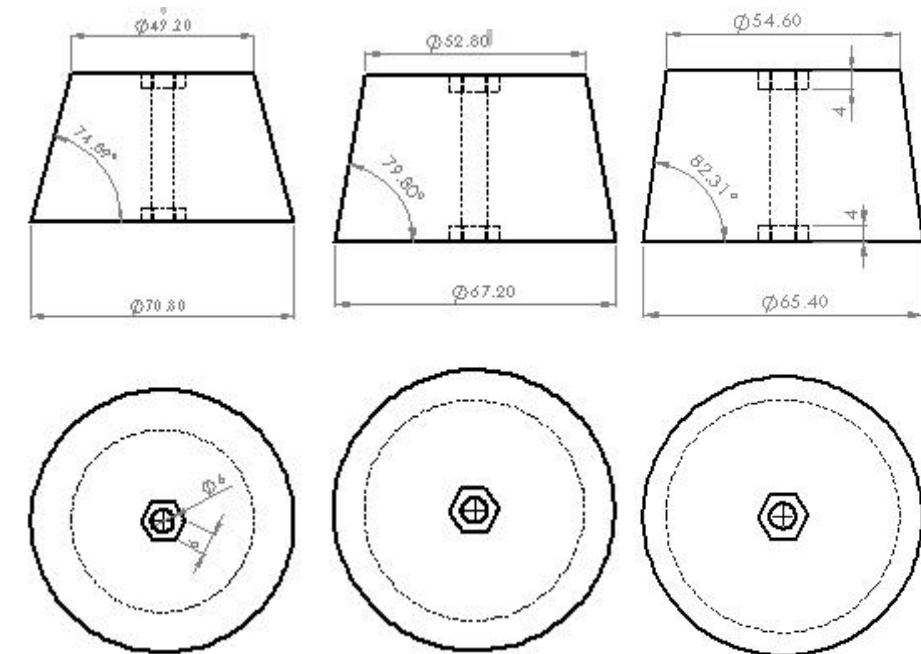
画像解析での測定方法を確立するまでに多大な時間を要してしまい、各型1つしかデータが得られなかったため正確な幾何学的蛇行動波長を求めることができなかった  
 なお、グラフにする際、滑らかな曲線データを得るために7点で移動平均をとった

今回の1つのデータからはR1,000型の波長を観測することができなかった原因として積層型3Dプリンタ出力したため車輪表面に微小な溝ができたためと考えられる

## 輪軸の設計

純粋転がり変位の式(1)と幾何学的蛇行動波長の式(2)より各パラメータを設定

3次元・CADソフトウェア(SOLIDWORKS)を用いて図面及び3次元モデルを設計



各パラメータ

R2,000型:  $r_0 = 54.60\text{mm}$ ,  $\gamma = 0.27$   
 併用型 (R1,500mm):  $r_0 = 52.80\text{mm}$ ,  $\gamma = 0.36$   
 R1,000型:  $r_0 = 49.20\text{mm}$ ,  $\gamma = 0.54$ .  
 ( $\gamma$ : 踏面勾配,  $r_0$ : 車輪半径)

軸の部分には硬鋼(S45C相当), ステンレス鋼(SUS304)を使用

## まとめ

- ・R1,000型の設計時に設定した各パラメータが誤差範囲内だった→曲線通過できた
- ・測定方法を確立するまでに多大な時間を要した→幾何学的蛇行動波長が正確に求めることができなかった
- ・車輪をPLAで作製したため摩擦問題などによる脱線も生じた→輪軸とレールの材料による相性が走行性能の変化を生む