

独楽研究会 1 月定例会報告

報告者 須藤 敏機、松崎 隆哲

今月は再度セラミックタイルの上で大名独楽を回したときの様子を測定しました。また、第三日曜日に独楽資料館でも大名独楽の測定を行いました。

1. セラミックタイルについての調査

セラミックタイルで大名独楽を回したとき、回転数が急激に低下したため、原因を調査しました。セラミックタイルにワックスを塗った場合と塗っていない場合で大名独楽を回し、回転計を用いて回転数と回転時間の測定を行いました。平井さんにワックスを塗ってもらい、笹原さんと藤木さんに独楽を回して貰いました。また、独楽が回転している際、普段の測定では観測したことがない異様な音を確認しました。そこで、笹原さんに、独楽の軸先が何かの影響を受けて鳴っている音を聴診器で確認して貰いました。測定した結果、ワックスを塗った場合、塗らなかった場合とも音を聴診器で確認しました。

セラミックタイルの表面には細孔（ポーラス）と呼ばれる微細な孔があり、それに独楽の軸先が嵌まったものと考えられます。細孔はセラミックタイルの製造工程中のプレスをする際や焼成の間にできる孔で、細孔の大きさは直径 200 [nm]~0.5 [mm]と大きさは不均一です。大名独楽の軸先は直径 1.0 [mm]のボールペンの芯を使用しています。独楽の軸先が実際、どのくらいの面積で接地しているのかを調べました。

独楽の軸先のボールは平面に接触していない場合、図 1 のように球体となっていますが、球体が平面に接触する場合、図 2 のように独楽の重さでボールが変形します。ボールが変形して接触しているとき、平面との接触面が円となっており、この円の半径をヘルツの公式より求めることができます。

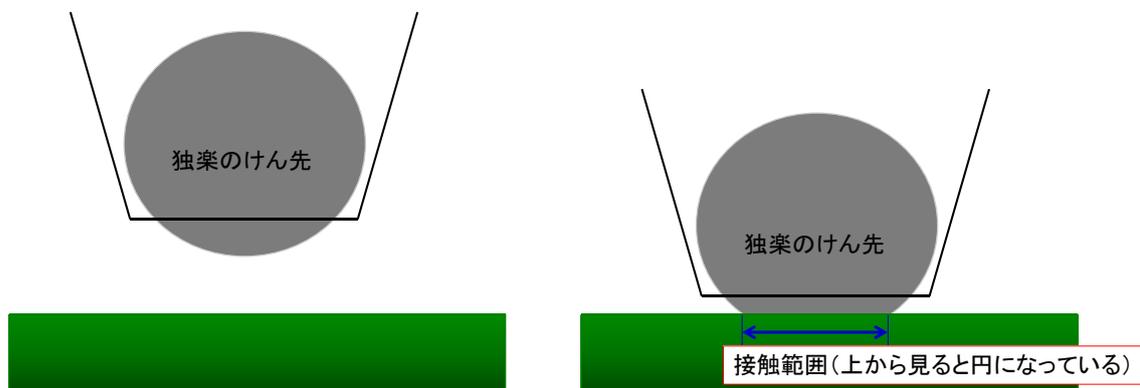


図 1 接触していない場合

図 2 接触している場合

ヘルツの公式について

$$a = \sqrt[3]{\frac{3P \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}}$$

a :接触半径 [mm]
 P :集中荷重 [N]
 ν :ポアソン比
 E :縦弾性係数 [MPa]
 R :曲率半径 [mm]

球と平面の場合
 $R_1 = \infty$

ヘルツの公式

集中荷重とは、部材のある一点に集中して作用する荷重です。荷重 P を計算式 $P = \text{物体の重量} \times \text{重力加速度}$ より求めました。使用した大名独楽の重さが 161 [g]、重力加速度は 9.8 [m/s²] から計算した結果、荷重 P は 1.5778 [N] でした。ポアソン比とは、物体に力を加えると物体は横方向と縦方向に変形し、この横方向と縦方向に変化した値の比がポアソン比です。縦弾性係数とはヤング率ともよばれ、弾性をもつ物体に存在する硬さの値がヤング率です。 E_1, E_2 はそれぞれセラミックタイル、ボールペンのボールの材質である炭化タングステンの縦弾性係数 [MPa] で、 ν_1, ν_2 はポアソン比です。縦弾性係数とポアソン比はセラミックタイル、炭化タングステンの一般的な値を使用しました。(表 1) R_1, R_2 はそれぞれ、セラミックタイル、炭化タングステンの半径 [mm] です。セラミックタイルは平面なため、半径を ∞ とします。

材質	縦弾性係数 [MPa]	ポアソン比	半径 [mm]
セラミックタイル	31000	0.2	-
炭化タングステン	500000	0.28	0.5

表 1 材質特性

これらの値からヘルツの公式を計算した結果、平面との接触半径は約 0.033 [mm] でした。

なので、大名独楽の軸先がセラミックタイルの表面に接触している円の直径は約 0.066 [mm] です。実際に軸先が細孔に嵌まったかはわからないが、軸先が細孔の影響を受けて回転数が急激に低下したと推測されます。接触面がガラスの場合でも計算しました。結果は接触半径が約 0.025 [mm] で、円の直径は約 0.05 [mm] でした。

2. 大名独楽の比較

1月の第三日曜日に日本の独楽資料館で、三種類の大名独楽の回転様子の測定を

行いました。独楽資料館にある20分近く回る大名独楽、No.1、No.A、No.Bの独楽を使用しました。回転計を用いて回転時間と回転数の測定、カメラを使って動画の撮影を行いました。笹原さんにカルバナワックスを塗って貰い、花元館長に大名独楽を回して貰いました。

No.1、No.A、No.Bの独楽ごとの回転傾向を12月に測定したデータと比較しました。結果は、初期回転数が低いときより、高いときの方が回転時間は短いことがわかりました。No.1の独楽は12月の初期回転数が約1700[rpm]、1月が約1500[rpm]でした。回転時間12分で回転数の差はなくなり、以降はほとんど同じ回転傾向でしたが、12月の方が回転を終えるのが早いです。No.Aの独楽は12月の初期回転数約1750[rpm]、1月が約1700[rpm]でした。回転数の差は6分辺りでほとんどなくなり、6分以降回転が止まるまで同じ回転傾向でしたが、1月の方が早くに回転を終えました。No.Bの独楽については、12月の1回目の初期回転数が約1600[rpm]、2回目が約1650[rpm]、1月が約1800[rpm]でした。9分辺りで回転数の差はなくなりましたが、10分辺りでそれぞれ回転数に差が生じ始めました。10分以降は12月1回目、2回目、1月の順に回転数を高く維持しており、1月が最も早くに回転を終えました。

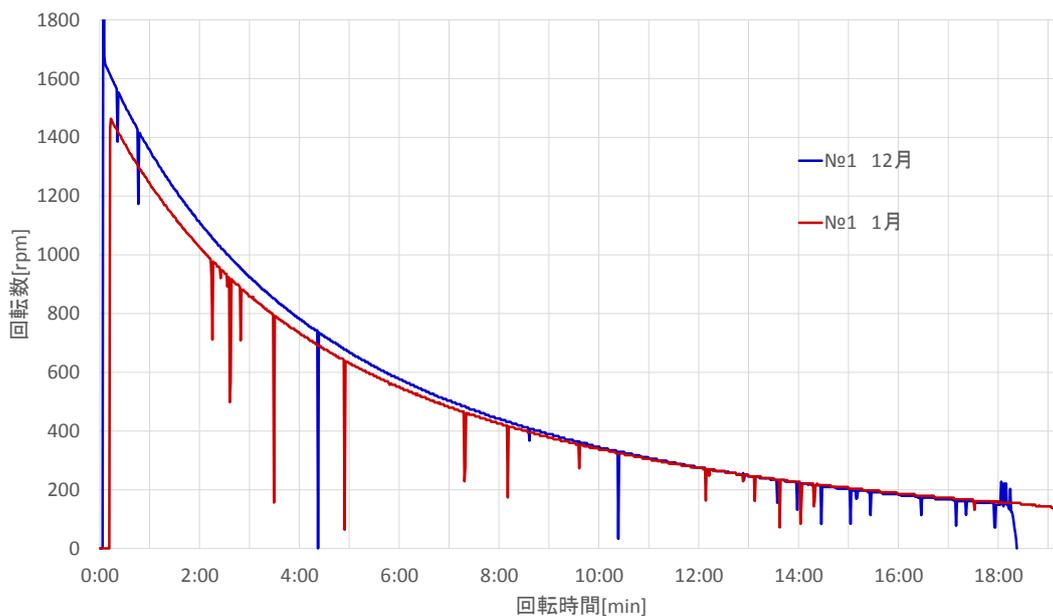


図2 独楽 No. 1 の比較

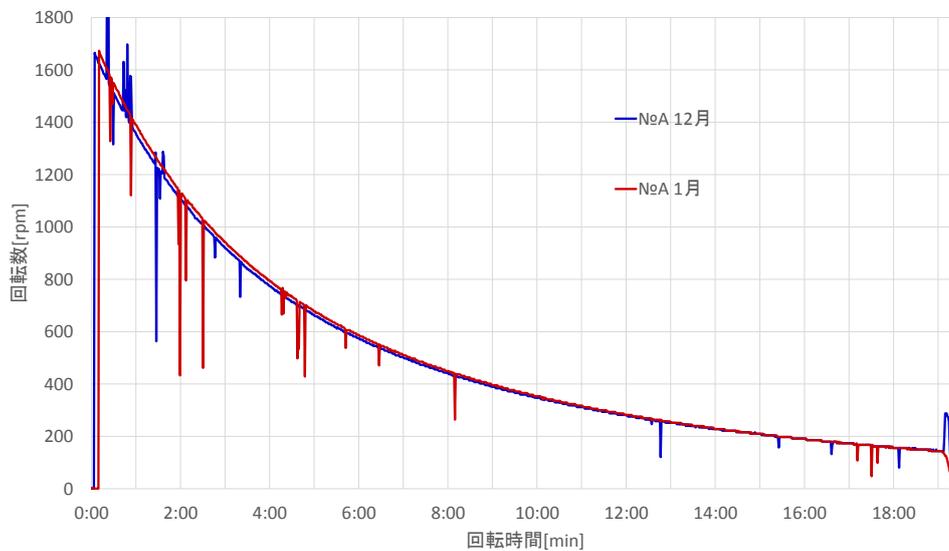


図 3 独楽 No. A の比較

独楽No. Bの比較

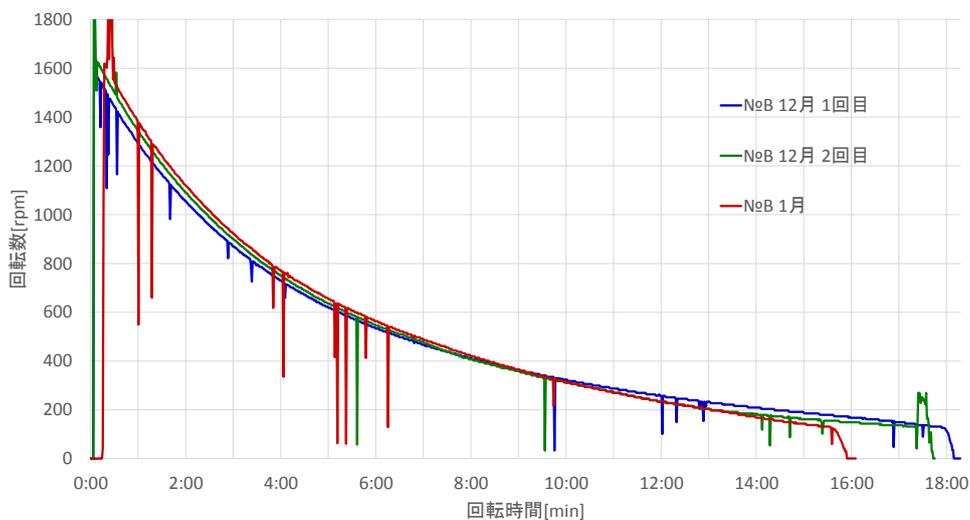


図 4 独楽 No. B の比較

笹原さんより、初期回転数が高い時は、力がいっており、独楽をきれいに回せて(軸を安定させて)ないため、独楽が大きくふらついたり、滑ったりした際に回転エネルギーを消費しているのではという意見がでました。

そこで、撮影した動画を確認したところ、初期回転数が高いものは回転当初に独楽が大きくふらついており、初期回転数が低いときは高いときに比べて、小さくふらついて独楽が回っていました。また、No.1 の独楽はきれいに回っていた 1 月の方は起き上がり現象を回転時間 18 分 28 秒ほどに確認でき、12 月に比べて 1 分以上長く回っていました。