

# 紙の摩擦挙動における試験片形状の影響

[研究代表者] 太田英伸 (工学部機械学科)

## 研究成果の概要

近年の環境問題に対する取り組みとして脱プラスチックが進められている。その代替材料として天然素材が注目を集めている。工業応用を見据え、最も身近な天然素材である紙に着眼し、機械的特性の中でもトライボロジー特性の解明に取り組んでいる。ball-on-disc方式とpin-on-disc方式の摩擦試験によって、同種の紙同士にて試験片形状が異なることによる摩擦メカニズムへの影響について検討を行った。試験片形状を点接触のballとした場合には、摩擦距離の増大と共に動摩擦係数が減少傾向となり、面接触のpinとした場合は、動摩擦係数が増加傾向を示した。摩擦痕の観察によって、ball試験片にて摩擦させた場合には摩擦粉の発生がほぼ認められず、摩擦痕表面は、摩擦距離の増大に伴い滑らかになっていく様子が確認された。ball試験片では、点接触による高い面圧によって紙の繊維が潰れるのと同時に、発生した摩擦粉が紙の繊維に入り込むことによって表面が滑らかになったものと考えられる。

研究分野：トライボロジー，機械設計

キーワード：トライボロジー，紙，物性評価，産業応用

## 1. 研究開始当初の背景

近年，世界的にSDGs (Sustainable Development Goals; 世界的な持続可能な開発目標)に対する取り組みが進められている。温暖化防止など地球環境変化の観点から石油を原料とするプラスチック依存からの脱却は，その代表である。プラスチックの代替材料として，天然材料が注目を集めており，活発な研究開発および実用化が進められている。有史以来，我々の日常生活における最も身近な天然素材として紙が挙げられる。紙は，わずかな環境変化で特性を大きく変化させることから，その機械的性質や要因について未解明な部分も多い。天然材料の代表格でもある紙の機械的性質をより深く理解することは，今後，天然材料を工業応用していく上で有効となる知見の獲得に繋がると考えられる。

## 2. 研究の目的

紙の機械的性質の中でもトライボロジー特性に注目している。試験片形状の違いが，紙同士の摩擦挙動にどのような影響を及ぼすか検討を行った。一般的な普通紙を切り出したdisc形状の試験片に対して，同じ普通紙を原材料として成形したball形状およびpin形状の試験片を相手材とした摩擦試験を行う。摩擦係数の変化や摩擦痕の

表面観察によって，紙特有のトライボロジー特性現象を見出し，メカニズムの解明を行うこと目的としている。

## 3. 研究の方法

(1) 図1に示す独自に作製したball/pin-on-disc式摩擦・摩擦試験機を用いた。摩擦力は，アーム先端に試験片を取り付け，試験中に得られるアームの歪み量を，歪みゲージにより測定し，予め校正した歪みと荷重の関係式より算出した。

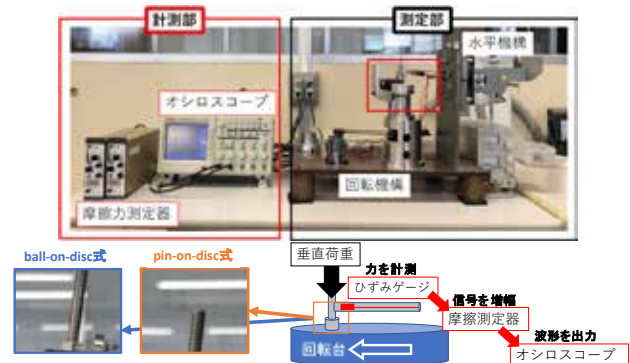


図 1：本研究に用いた摩擦・摩擦試験

(2) 摩擦試験を行うにあたり，ballおよびpin形状の試験片を成形した。試験片は，一般的な普通紙と純水を混合し，ミキサーで解繊，溶解した後に，溶解液を試験片形状の型に流し込み，加圧，乾燥して作製した。ball形状試験

片の作製にはφ5.0 mm のベアリング鋼球をプラスチック粘度に転写した型を用いた。pin 形状試験片はφ5.0 mm、高さ 5.0 mm の円筒状とし、SUS304 製の型を用いて作製した。

(3) 摩擦条件は摩擦速度 52.0 mm/s、摩擦距離を最大 15 m とした。垂直荷重は 200g から 1000g の間で均等に 5 水準変化させた。試験雰囲気は大気とし、温度 24℃、相対湿度 65%の管理下にて行った。各条件 3 回の試験を行った。

(4) 摩擦試験によって得られた試験片の表面状態は、レーザー顕微鏡および走査型電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope: SEM)にて観察した。

#### 4. 研究成果

図 2 に、pin-on-disc 方式および ball-on-disc 方式の摩擦試験によって得られた紙の摩擦距離増大に伴う動摩擦係数変化(垂直荷重 600 g)を示す。動摩擦係数は、pin-on-disc 方式では増加し、ball-on-disc 方式では減少する傾向が認められた。各試験のばらつきは小さく、いずれの垂直荷重においても同様の傾向であった。紙のトライボロジー特性は、試験片の形状によって異なることが確認された。

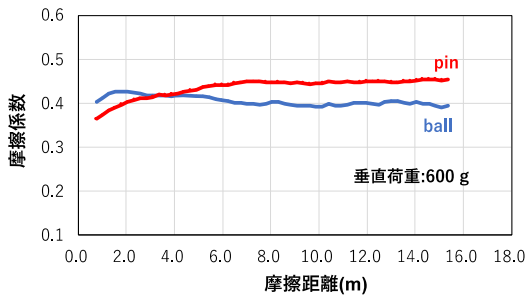


図 2：試験片形状の違いによる動摩擦係数変化

試験片形状の違いで摩擦挙動が変化する要因を明らかにするため、摩擦距離毎の摩耗痕表面状態を SEM によって観察した。

図 3 に、ball 試験片と pin 試験片の摩擦距離増大に伴う摩擦面の表面状態変化を示す。いずれの試験片においても、摩擦距離の増大に伴い、表面の繊維が徐々に潰れて滑らかになっていく様子が確認できた。

図 4 に、disc 試験片の摩擦距離増大に伴う摩擦面の表面状態変化を示す。相手材を ball 試験片とした場合は、繊維が潰れ、滑らかになっていく様子が確認できた。pin 試験片とした場合は、摩擦を進めることで摩擦面が粗くなっていった。disc 試験片の摩耗痕周辺を顕微鏡観察

したところ、ball 試験片とした場合には、摩耗粉はほとんど確認されず、pin 試験片とした場合には明確な摩耗粉が発生していた。

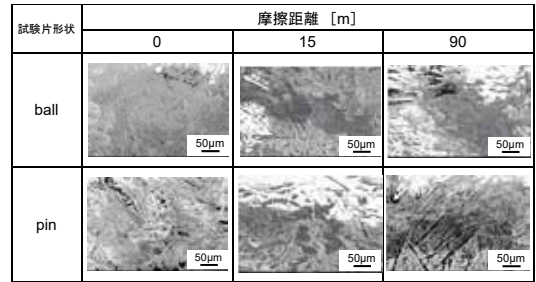


図 3：ball および pin 試験片の摩擦試験後の表面状態

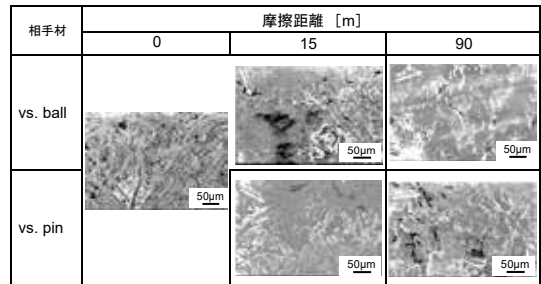


図 4：disc 試験片の摩擦試験後の表面状態

上記の結果を踏まえて、試験片形状の違いに伴う紙の摩擦挙動変化についてメカニズムを考察した。図 5 に、ball-on-disc 方式と pin-on-disc 方式それぞれにおける摩擦進行状態での概略図を示す。点接触である ball-on-disc では、高い接触圧力によって、摩擦によって発生した摩耗粉が disc 側の繊維間に押し込まれ、接触面の繊維密度が高く、かつ、滑らかになることで、動摩擦係数が低くなったものと考えられる。面接触である pin-on-disc では、摩耗粉が pin 試験片の外周に押し出され摩耗が進行し、摩擦面の表面粗さが増すため、摩擦距離の増大に伴い動摩擦係数が高くなったものと考えられる。

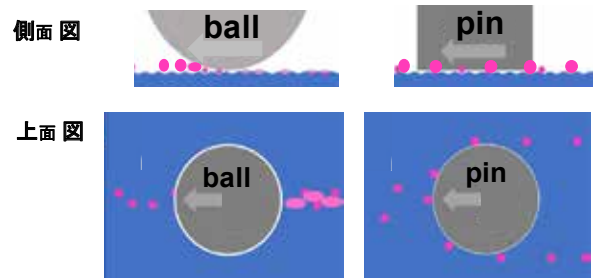


図 5：ball-on-disc と pin-on-disc の摩擦メカニズム

#### 5. 本研究に関する発表

太田優也, 太田英伸「試験方式の違いによる、紙のトライボロジー特性変化」, 日本機械学会 2020 年度年次大会, 名古屋大学東山キャンパス