

湿度変化に伴う紙のトライボロジー特性変化

[研究代表者] 太田英伸 (工学部機械学科)

研究成果の概要

天然素材を機械材料の分野にも応用していく上で、天然素材特有の機械的特性とメカニズムの把握は必須である。本研究では紙の湿度変化に対するトライボロジー特性変化とメカニズムの解明に取り組んだ。試験時の温湿度環境制御を可能とするチャンバーを作製し、ball-on-disc方式により紙 vs. 紙の摩擦試験を行った。温度 25°C および 40°C、湿度 40% および 80% の環境下にて摩擦係数を比較したところ、温度 40%、湿度 80% での摩擦係数が最も高くなった。同時に、本研究の摩擦条件においては、湿度よりも温度の方が摩擦係数の上昇に寄与していることが確認された。チャンバー内の湿度制御に伴う湿度変化に対して、摩擦係数がほぼ同期して変動した。摩擦中の紙表面は、湿度変化に対して敏感に吸水と乾燥を繰り返していることがわかった。

研究分野： 機械的特性、天然素材、機械設計

キーワード： 紙、物性評価、トライボロジー特性、産業応用、環境変化

1. 研究開始当初の背景

天然素材は成形や再生時のエネルギー負荷も小さく、廃棄した際にも生分解性を有することから、これまでのプラスチック材料に対して環境負荷を大きく低減することが期待できる。機械工業の分野においても天然素材の利用が注目されており、現在使用されているプラスチック材料の天然材料への置き換えは、優れた循環型社会を実現できる。一方、天然素材はエンジニアリングプラスチックと比較して、強度や耐久性といった機械的性質に劣り、環境変化に対する特性変化も生じやすい。今後、天然素材を機械分野で適用していくためには、機械的性質の向上が望まれる。天然素材の機械的性質とメカニズムを詳細に検討し、天然素材特有の優れた特性と今後の応用範囲拡大に向けて必要となる改善点を明確にする必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、最も身近な天然素材の一つである紙に注目し、機械的特性の中でもトライボロジー特性について、湿度環境変化による影響およびメカニズムを解明してことを目的とした。湿度調整を可能とするチャンバーを有した摩擦試験機の作製も行った。

3. 研究の方法

紙の湿度変化に伴うトライボロジー特性変化の検討にあたり、試験時の温湿度環境を調整可能な摩擦試験機の作製を行った。作製した摩擦試験機を用いて、紙のトライボロジー特性の評価を行った。

(1) 図 1 に本試験にて作製した試験機の外観を示す。摩擦試験方式には、連続して安定した摩擦係数の測定が可能な ball-on-disc 式を採用した。摩擦試験部をアクリル製のチャンバーで覆い、温湿度計の計測値より超音波式加湿器の on-off により湿度を制御した。チャンバー内の温度は、ラバーヒーターによって行う構成となっている。



図 1：温湿度調整機構付き摩擦試験機の外観

(2) disc 試験片には一般的な中性のコピー用紙（厚さ 90 μm 、坪量 67 g/m²）を用いた。ball 試験片には、disc 試験片と同種のコピー用紙を原料としたものを溶解し、直径 5 mm のベアリング鋼球を型として、ball 形状に成形したものをを用いた。

(3) 摩擦試験は、荷重 4 N、摩擦速度 65 mm/s の条件下で 10 min 行った。試験時の温度は 25 $^{\circ}\text{C}$ および 50 $^{\circ}\text{C}$ 、設定湿度は 40%および 80%とした。

4. 研究成果

図 2 に、摩擦試験機用に作製した湿度調整チャンバーの湿度変化を示す。25 $^{\circ}\text{C}$ の環境下で、設定湿度 40%に対して、36.8~40.9%と $\pm 3.2\%$ 、設定湿度 80%に対して 75.1~86.2%と $\pm 6.2\%$ の精度を実現できた。

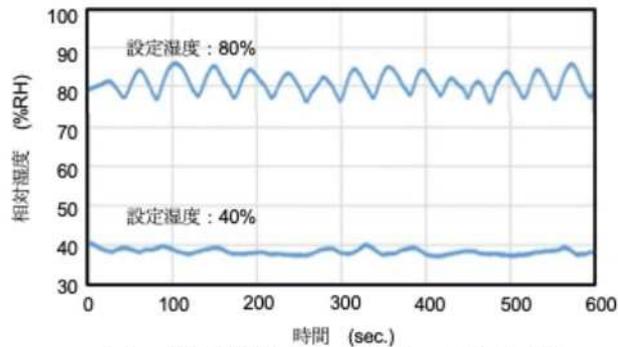


図2 摩擦試験機チャンバー内の湿度安定性

図 3 に、温湿度の違いによる紙の摩擦係数変化を示す。各条件において摩擦係数は 0.4~0.5 であった。同一温度環境下においては、湿度が高い方が摩擦係数は大きくなった。同一の湿度で比較した場合、40%および 80%いずれの湿度においても温度 25 $^{\circ}\text{C}$ よりも 50 $^{\circ}\text{C}$ の環境下の方が摩擦係数は大きくなる傾向が認められた。一般的に、紙の摩擦係数は湿度変化による影響を受けやすいとされているが、本研究においては温度変化による影響も大きい

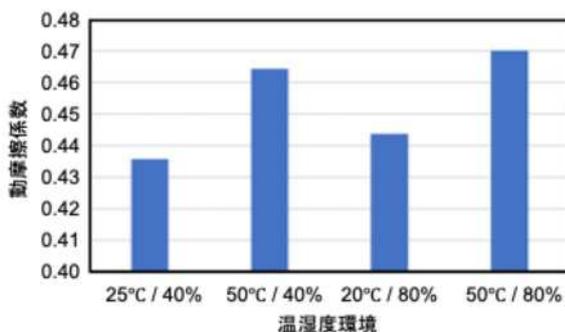


図3 温湿度環境の違いによる紙の摩擦係数変化

ことが確認された。

図 4 に、温度 25 $^{\circ}\text{C}$ 、湿度 80%における摩擦試験中の摩擦係数変化とチャンバー内湿度変化を示す。制御による加湿開始のタイミング直後に、摩擦係数が上昇しており、紙の摩擦係数は加湿によって敏感に変化していることがわかった。いずれの温湿度環境においても同様の傾向が認められた。

図 5 に、加湿による摩擦係数上昇メカニズムのモデルを示す。加湿を行うと紙は水分を吸収し、繊維が膨張し

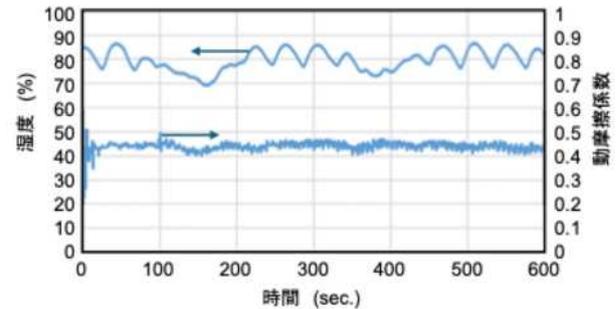


図4 摩擦試験中の湿度変化と摩擦係数変化

て柔らかくなることで弾性的な接触状態となり、摩擦係数が上昇するものと考えられる。本研究では、安定した湿度環境下における紙のトライボロジー特性変化を目指しているが、現状の加湿と乾燥を繰り返す最大 $\pm 6.2\%$ の湿度制御範囲では、紙の吸水と乾燥速度に対して不足しているものと考えられる。

紙のトライボロジー特性の解明に向けて、より高精度な湿度調整制御を実現させていく必要がある。同時に、

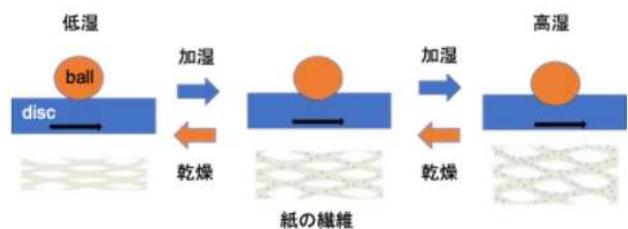


図5 湿度変化による紙の摩擦変化メカニズム

紙に代表される天然素材を工業応用していくにあたり、湿度変化に対する紙の吸水および乾燥速度のメカニズム解明についても検討を進めていく。

5. 本研究に関する発表

今後、発表を行なっていく。