

# 環境変化の繰り返しに伴う紙の破壊挙動変化

[研究代表者] 太田英伸 (工学部機械学科)

## 研究成果の概要

環境問題に対する意識が大きく高まる中、プラスチックの代替材料として天然素材が注目されている。その一方で、天然素材は樹脂材料と比較して強度や耐久性に劣るという課題がある。本研究では天然素材の中でも紙の強度と湿度の関係に注目し、紙の湿潤と乾燥を繰り返した際の引張強さ変化とそのメカニズムについて検討を行った。紙の乾燥と湿潤の繰り返しに伴う引張強さ変化および、引張試験によって得られた紙の破断面における繊維状態のSEM観察結果より、強度低下は一度紙が湿潤すると、その後乾燥させたとしても繊維同士の絡みつきが弱まることで引張強さが低下することがわかった。紙の湿潤と乾燥の繰り返しによる繊維状態の変化も認められたが、紙の湿度変化に対する強度変化は、紙の繊維同士の絡みつきが主体的であると考えられる。

**研究分野：**機械的特性、天然素材、機械設計

**キーワード：**紙、引張強さ、物性評価、産業応用、環境変化

## 1. 研究開始当初の背景

海洋資源保護などの観点から、生分解が困難なプラスチック材料の代替材料として、紙をはじめとした天然素材が注目されている。プラスチックストローが紙ストローに置き換えられているのは、身近な代表例である。しかし、紙はプラスチック材料に対して環境変化に伴う機械的性質の変化が大きい。環境変化の繰り返しを伴う使用での強度低下は、今後、天然素材をプラスチックの代替材料として産業応用していく上で大きな課題となる。天然素材の機械的性質変化において、影響が大きいと考えられる湿度変化の繰り返しに注目し、機械的性質の変化とそのメカニズムを明らかにしていく。本研究を通じて得られた知見は、天然素材をプラスチックの代替材料としてより適用範囲を広げていくために必要となる改善点を明確するものである。

## 2. 研究の目的

本研究では、身近な天然素材の一つである紙について、環境の中でも湿度の繰り返し変化に伴う機械的性質の変化とそのメカニズムを明らかにしていくことを目的とした。基本的な機械的性質として、引張強さに注目した。

## 3. 研究の方法

紙の湿度変化に伴う引張強さの変化に関して、湿潤と乾燥を複数回繰り返すことによる引張強さの変化について検討を行った。

(1) 試験片には一般的な中性のコピー用紙(厚さ 90 $\mu\text{m}$ 、坪量 67 g/m<sup>2</sup>)を用いた。試験片は、長さ 100mm、幅 20mmの短冊状に切り出した。試験片の評点距離は 60mmとした。引張試験には、今田製作所製 SVZ-200NBを用いた。紙の湿度調整や引張試験は、図 1 に示す加湿と乾燥が可能な試験ブースにて行った。

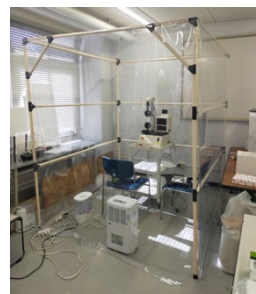


図 2：引張試験に用いた試験ブース

(2) 紙は、製造時の搬送によって繊維に異方性が生じる。製造時における紙の送り方向に沿った繊維方向を MD(Machine Direction)、直角な方向を CD (Cross Direction) とし、それぞれの繊維方向にて引張試験を行なった。

(3) 紙の湿潤(90%環境放置)、乾燥(30%環境放置)の繰り返しによる引張強さを測定した。湿潤と乾燥の繰り返しは、最大 30 回行った。

(4) 引張試験によって得られた紙の破断面を走査型電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope: SEM)にて観察し、繊維の状態から破断のメカニズムを考察した。

#### 4.研究成果

図 2(a)および(b)に、各湿度環境下における引張強さと破断ひずみをそれぞれ示す。引張強さは MD、CD 共に湿度の上昇によって低下し、破断時のひずみは増加した。いずれも線形的な変化を示した。

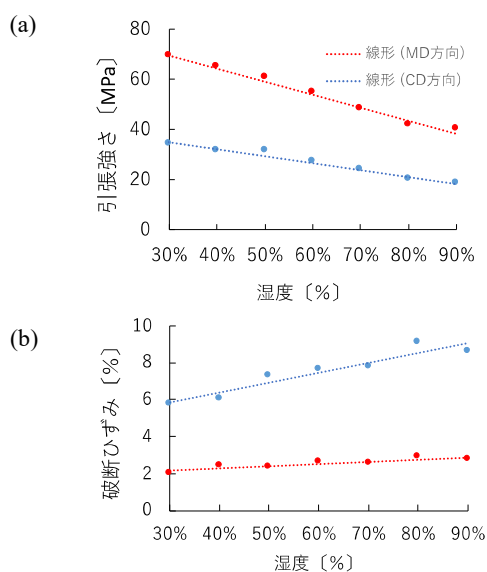


図 2 湿度環境変化に伴う紙の強度変化  
(a) 引張強さ (b) 破断ひずみ

図 3 に、紙に対する湿潤と乾燥を繰り返した際の引張強さ変化を示す。紙の引張強さは初回到湿潤と乾燥を繰り返した際の低下が最も大きく、その後、湿潤と乾燥を繰り返しても強度低下は認められなかった。特に、CD の引張強さ変化はその傾向が顕著であった。

図 4 に、繰り返し無しで湿度 30%、90%環境下にて引張試験を行った紙の破断面における SEM 観察結果を示す。湿度 30%での断面は、各繊維が破断していたのに対して、湿度 90%環境下においては、繊維自体の破断ではなく繊維同士が細長くほどけている様子が確認された。これは、紙の繊維が水素結合で結びついているところに、高湿度環境では水素結合に対して水分子が入り結合が弱くなり、繊維同士がほどけ易くなったためと考えられる。

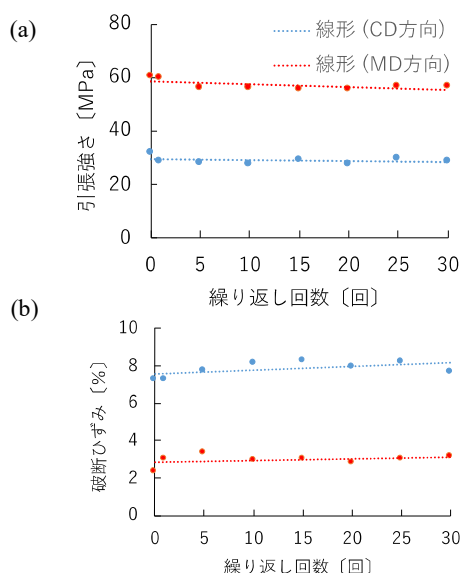


図 3 : 湿潤と乾燥の繰り返しに伴う紙の強度変化  
(a) 引張強さ (b)破断ひずみ

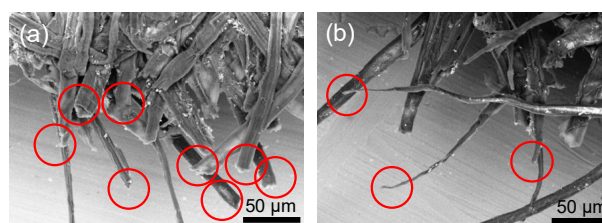


図 4 : 湿度環境(a) 30%, (b) 90%下での破断面

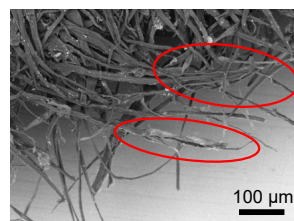


図 5 : 湿潤と乾燥を 30 回繰り返した場合の破断面

図 5 に、湿潤と乾燥を 30 回繰り返した試験片の破断面 SEM 観察結果を示す。図 4(a)に示した湿度 90%環境下での繊維状態と比較し、繊維はより細く捻れている様子が確認でき、湿潤と乾燥の繰り返しによって紙の繊維自体にも変化が生じることがわかった。一方、図 3 で示した乾燥と湿潤の繰り返しによる強度変化より、紙の強度低下は、一度でも紙が湿潤すると、その後乾燥させたとしても繊維同士の絡みつきが弱まることで引張強さが低下する。これらの結果より、紙の湿度変化に伴う強度変化は、紙の繊維同士の絡みつきの強さが主体的であると考えられる。

#### 5.本研究に関する発表

今後、学会発表を行なっていく。