

# 綿織物の酵素処理におよぼす 機械的前処理の効果

## *Effect of Needle-Pricker Pretreatments on Cellulase Hydrolysis of Cotton Fabric*

菅井 実夫\*      徳永 一丸\*\*      谷川 味希\*\*\*  
Jitsuo Sugai      Kazumaru Tokunaga      Miki Tanigawa

吉崎 枝織\*\*\*      上甲 恭平\*\*\*\*      荒井 基夫\*\*\*\*\*  
Shiori Yoshizaki      Kyohei Joko      Motoo Arai

(2001年7月16日 受理)

Effect of Needle-pricker pretreatments on cellulase hydrolysis of cotton fabric was examined. Needle-pricker, a new type of needle processing machine, has been developed. Its mechanism is different from that of conventional raising machine. The principle is to pierce fabric by ultra fine needles with barbed tips. The action of the needles put the surface and structure of the fabric into disorder and then the fabric became soft and voluminous. The effects of Needle-pricker treatment and cellulase hydrolysis on cotton fabrics were examined by means of the changes in mechanical properties. At an initial stage of cellulase hydrolysis, Needle-pricker treatment influenced little on the tensile strength of cotton fabrics. It is suggested that cellulase hydrolysis may be occurred mainly at that time on the fluff that has been made by Needle-pricker.

キーワード：綿布，ニードルブリッカー，セルラーゼ，酵素処理，風合い

### 1. 緒言

繊維工業における酵素利用は、織物を製織するときの糸切れや毛羽立ちを防ぐために経糸に糊付されたデンプンを分解除去するために $\alpha$ -アミラーゼが用いられたことに始まる。その後、絹精練においては、繊維表面のセリシンを除去するために従来のセッケンにかわりプロテアーゼが用いられてきた。その他、綿繊維の酵素精練剤として、ペクチナーゼ利用も工業的に検討され始めている。これら繊維工業用酵素の使用量は、洗剤用、デンプン工業用に次ぐ量であったが、1988年度の時点では工業用酵素全体の5%にすぎなかった。その後1990年代初頭からセルラーゼの利用量が飛躍的に増加し、繊維加工における酵素使用量は1994年には全酵素利用の約15%を占めるまでになり、現在に至っ

ている。

セルラーゼを用いた繊維加工法は、1977年に工業技術院から特許出願されたが、1980年代後半から実際にセルラーゼの応用が始まった。今日では綿、レーヨン、麻などのセルロース系繊維に柔軟性を付与する目的や、不要な毛羽を除去することにより生地外観の美化および光沢性を向上させる目的で使用されている。またジーンズ等に着古し感を与える加工法も広く行われている。一方、セルラーゼによる繊維加工はセルロース分子主鎖が加水分解されることにより繊維強度低下を引き起こす問題を抱えている。そのため、酵素処理条件を厳密にコントロールすることで、生地への必要以上の損傷を抑え、毛羽あるいはフィブリルの除去による軽量化と外観美化効果を高める方法が検討されている。

ところが、セルロース繊維へのセルラーゼの反応は、単繊維の微細構造、糸の構造および編織物の組織などの種々の因子に影響を受けるので、酵素反応条件のコントロールは非常に困難である。そのため、これまでにセルラーゼ処理にともなう物性変化に関する基礎的

*	生産技術部	繊維加工グループ
**	丸一技研	
***	京都女子大学	家政学部
****	京都女子大学	短期大学部
*****	大阪府立大学	農学部

研究<sup>1)</sup>や、強度低下を極力抑えた風合いのソフト化、外観・ピリング性の改善をめざした適正条件の検討など多くの研究が行われている。

我々は、以前より特殊ニードルを用いた新規物理加工機（ニードルプリッカー<sup>2)</sup>）の各種繊維製品への適用性について検討している<sup>3)</sup>。本報告では、ニードルプリッカーを綿織物に適用し、この処理によりもたらされた織物構造および繊維構造の変化が、セルラーゼ処理における綿繊維への酵素反応にどのような影響をおよぼすかについて検討した。得られた知見が繊維加工における酵素処理条件をコントロールするための一助となることを目的とした。

## 2. ニードルプリッカーの機構とその特徴

加工試作機の具体的な構成と機構を図1の写真により説明する。特殊形状ニードルを貼りつけた針布(図1中のB)が小径ロールの外周に巻きつけられ[以下ニードルロールと呼ぶ(図1中の1)]、このロールが生地を搬送する駆動力をもった大径回転ドラム(図1中の2)と接するように設置されている。生地加工

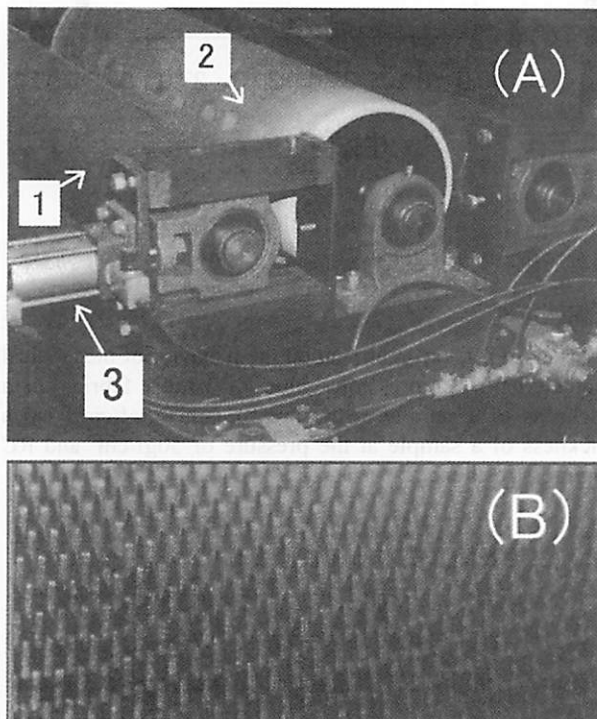


図1 ニードルプリッカー試作機 (A) ニードルロール拡大図。(A)：ニードルロール(1)、メインロール(2)エアジャッキシリンダー (3) (B)：特殊形状ニードル

The picture of (A) a prototype of needle pricker and (B) an enlarged picture of a needle role.  
(A): (1) needle role, (2) main role and (3) air-jack cylinder. (B): its special shape of needles.

はこの両ロールを通過する際にニードルロールによって行われる。生地加工時のニードル深度の制御は、ニードルロールに取り付けられたエアシリンダー(図1中の3)のジャッキ圧を変えることにより行われる。

## 3. 実験

### (1) プリッカー処理

プリッカー処理に用いた試料は精練漂白織物(経糸：綿糸40s, 横糸：綿糸40s, 組織：綾織, クラボー製)で、その生地の両面それぞれに処理を行った。また、ニードルロールの生地への接地圧の調節は、エアージャッキ圧を40Paおよび60Paに調整することで行った。生地への処理回数は、10回(表裏とも10回)から80回とし、表1に○で示した11試料を調製した。

表1 生地へのプリッカー処理条件  
Treatment conditions of samples

シリンダー圧\処理回数	0	10	20	30	40	50	60	80
未処理布	○							
40Pa		○	○	○	○		○	
60Pa		○	○	○		○		○

### (2) 酵素処理と減量率

各試料を105℃の熱風乾燥機中で4時間乾燥し、絶乾重量を求めた。所定pHの酢酸あるいはリン酸緩衝液を用い、表2に示したノボ社製市販セルラーゼ(セルソフトL, セルソフトUL, デニマックスBT, デニマックス501S)による酵素溶液を調製した。各試料は、90℃の熱水で30分膨潤させたのち手で絞り、所定の酵素溶液に浸漬した。酵素処理はターゴトメーターを用い、回転数50rpm, 浴比1:50で1時間まで行った。酵素処理後、直ちに布と糸くずを取り出し90℃の熱水で15分処理して酵素を失活させた後、水洗して、ろ紙に挟んで風乾した。液中に浮遊する毛羽は、ろ過して取り出し、同じく風乾した。その後、風乾した各試料と毛羽の絶乾重量を求めた。酵素処理に伴う減量率は、処理前後の試料の絶乾重量より求めた。

表2 酵素処理条件  
The properties of enzymes used

酵素名	濃度	pH	処理温度(℃)
セルソフト L	2 g/l	5	50
セルソフトUL	6 g/l	5	60
デニマックス BT	6 g/l	6	60
デニマックス501S	6 g/l	6	60

### (3) 物性評価方法

#### (A) KES測定

風合いについて、KES試験機（カトーテック㈱製）を用い、標準条件にて、圧縮特性、表面特性、曲げ特性ならびにせん断特性を調べた<sup>4) 5)</sup>。

#### (B) 引裂強度測定

引裂強さは、エレメント型引裂試験機を用いて、JIS L 1018で規定されたペンジュラム法で測定した。

## 4. 結果と考察

### (1) プリッカー処理による特性変化

#### (A) 形態変化

綿織物にニードルプリッカー処理を行ったことで、どのような形態変化が生じたのか実体顕微鏡を用いて観察した。その結果、原布と比べ「毛羽立ち」が増加し、糸が押しつぶされたような「ほぐれ」が観察されたが、針が貫通した形跡は認められなかった。また、この「毛羽立ち」や「ほぐれ」は、プリッカー処理回数が増加により多く見られた。（図2参照）

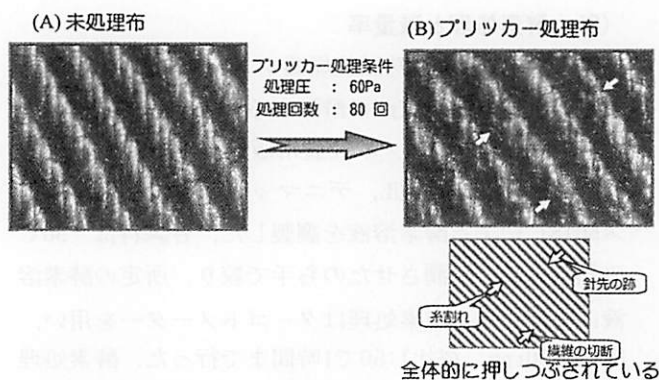


図2 プリッカー処理した綿布の生地表面  
(A) 未処理布, (B) 両面各80回処理布

The surface picture of pricker-treated cotton fabric.  
(A): untreated sample, (B): sample pricker-treated 80 times on each side.

#### (B) KESによる物理的特性変化

##### (a) 圧縮に関する特性値変化

KES試験機により測定した圧縮特性値の変化を図3に示した。横軸には圧縮回復性 (RC: 大きい値を示すほど、回復性が高い)、縦軸には  $(T_0 - T_m)$  をとり、この値を毛羽による膨らみと仮定した (KES試験での通常の「フクラミ」とは異なる)。物理加工は、原布

に対し、圧縮に関する回復性を低下させる方向に作用し、毛羽による膨らみを増す方向に作用していることがわかる。

40Paのニードル圧で処理した試料で見ると、処理回数が10から20, 30と増加するにつれ毛羽による膨らみが増している。そこから40回への変化では毛羽による膨らみは低下するものの、圧縮からの回復性が増す方向へ作用しているが、60回への変化は、再度圧縮が回復しにくい方向へ作用しているようである。この動きは弱いプリッカー処理での毛羽立ちと、さらに引き続くプリッカー処理での生地本体への毛羽の押し込めが生じたためと考えられる。一方60Paの処理布では、この動きが加速されるようである。

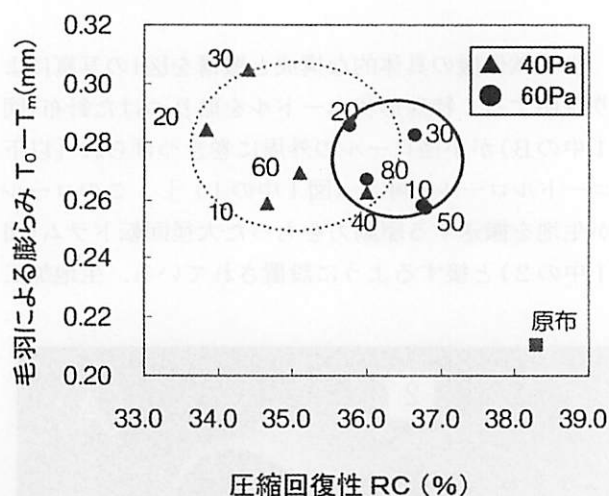


図3 圧縮特性に及ぼす綿布へのプリッカー処理効果。  
 $T_0$ :  $0.5\text{gf/cm}^2$ での厚み,  $T_m$ :  $50\text{gf/cm}^2$ での厚み, RC: 圧縮回復性

Effect of pricker-treatment on the behavior of mechanical characteristic compression value of cotton fabric;  $T_0$  a thickness of a sample at the pressure of  $0.5\text{gf/cm}^2$ ,  $T_m$  a thickness of a sample at the pressure of  $50\text{gf/cm}^2$  and RC compress resilience.

##### (b) 生地表面に関する特性値変化

KES試験機により測定した生地表面特性値の変化を図4に示した。横軸に摩擦係数MIU (値が大きいほど滑り難い)、縦軸に表面粗さSMD (値が大きいほど表面がざらついている) で表した。ニードル圧40Paならびに60Pa処理の生地への接圧の違いに係わらず、試料の全体的な動きとしては、この物理処理が「滑りにくく、表面の凹凸を増す」方向へ生地の変性作用を及ぼしていることがわかる。この作用については、ニードル圧40Paよりも60Pa処理のほうが効果が強く現れるが、処理回数の増減には、はっきりとした傾向が現

れていない。いずれにせよ、このニードルプリッカーによる物理処理が生地表面を“荒している”ことがわかる。

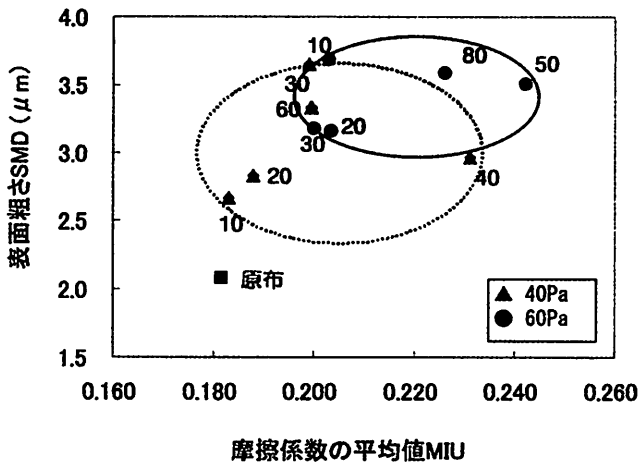


図4 綿布へのプリッカー処理が表面特性におよぼす効果, SMD; 表面粗さ, MIU; 摩擦係数の平均値

Effect of pricker-treatment on the behavior of geometrical roughness (SMD), mean deviation of frictional coefficient (MIU) of cotton fabric.

(c) その他の特性値変化

KES試験機での物性測定値より、曲げ特性に関しては、プリッカー処理は全体的には「曲げ易いが、曲げ戻りが悪い」方向へ生地特性を変化させたこと、また、せん断特性に関しては、「せん断され易いが、せん断回復性が悪い」方向へ生地の特性が変化することがわかった。

これらの現象から推察すると、綿布へのプリッカー処理の効果は、生地に膨らみを持たせ、生地表面を荒し、生地の繊維交差点付近では間隙が広がるなど糸および織物構造に大きな変化を生じさせることがわかった。

(C) 引裂強度変化

図5は、横軸にプリッカー処理回数、縦軸に引裂強度保持率を表している。いずれのニードル圧試料もプリッカー処理回数が少ない場合に、一旦、強度が増加している。これは、試料がニードルロールを通過した際、押しつぶされて糸密度が小さくなり、引裂力が分散したためと考えられる。その後、処理回数が増加するにしたがい順次低下している。これは、プリッカー処理により布全体が損傷を受け、糸そのものの強度が低下したためと考えられる。

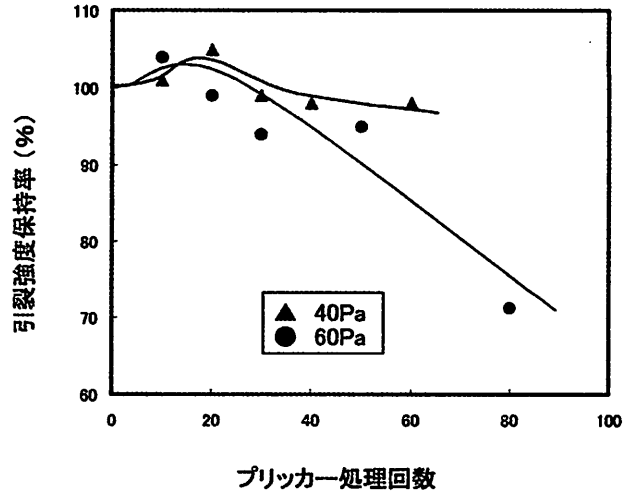


図5 綿布へのプリッカー処理が生地の引裂き強さにおよぼす効果

Effect of pricker-treatment on the behavior of tearing strength and numbers of pricker-treatment of cotton fabric.

(2) 酵素処理による特性変化

(A) 各種セルラーゼ処理に伴う形態変化

各プリッカー処理布にセルソフトL, セルソフトUL, デニマックスBT, デニマックス501Sを用いて1時間の酵素処理を行った試料について、実体顕微鏡により形態変化を観察した。その結果、原布にセルソフトLで処理した試料では毛羽がなくなりすっきりとした状態に見えた。ニードル圧40Paで20回処理した試料、および60Paで80回処理した試料に関しては、毛羽はほとんど除去されておらず、プリッカー処理で広がった繊維交差点の間隙も元に回復した。セルソフトULに関しては、試料表面の毛羽はほとんど除去されなかったものの、プリッカー処理により生じた間隙の広がり元の状態近くに回復した。

デニマックスBTおよび501S処理した試料については、毛羽は全く除去されなかった。

(B) 各種セルラーゼ処理に伴う減量率と引裂強度変化

各試料にセルソフトL, セルソフトUL, デニマックスBT, デニマックス501Sを用いて1時間の酵素処理を行った結果、セルソフトULは、セルソフトLに比べ全く減量は見られず、引裂強度もほとんど低下していない。デニマックスBTに関しては、デニマックス501Sと比べて、さほど減量しておらず、引裂強度も保っていた。すなわち減量率の程度はセルソフトL>デニマックス501S>デニマックスBT>セルソフトULの順で、こ

れら4種類の酵素の中で、減量率・引裂強度保持率ともに最も大きな変化が見られたのは、セルソフトLであった。そこで、セルソフトLに対して詳細な実験を行った。

セルソフトL処理による酵素処理時間と減量率の関係について図6に示した。プリッカー処理布の減量率は未処理布の減量率に比べ、初期段階における反応は低く、1時間処理後ではほぼ同程度の減量率を示した。

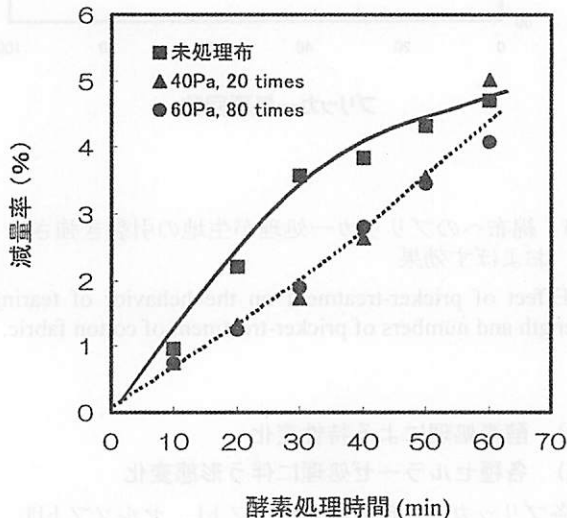


図6 プリッカー処理綿布の酵素処理による生地  
の減量挙動

Weight loss of cotton fabric after enzymatic treatment.

また、酵素処理時間と引裂強度保持率との関係については図7に示した。プリッカー未処理布は処理時間とともに低下し40分後はほぼ一定となる関係が得られた。それに対し、プリッカー処理布では初期段階の反応で高い引裂強度を保つ傾向が認められたが、1時間処理後にはプリッカー未処理布に比べ激しい強度保持率の低下を示した。これらの結果から、その初期段階の反応では反応部位が主に強度に関与しない部分、すなわちプリッカー処理により新たに毛羽立ちした布表面付近の毛羽状繊維に制限され、主としてここに酵素が作用していることがわかった。しかし酵素溶液中での処理により、プリッカー処理で生じた糸と糸および繊維と繊維の間隙の広がり元に戻るが、さらに酵素反応がそれ以上進むにつれ、プリッカー処理で傷められた繊維強度に関与する部位への酵素反応が進行し、プリッカー処理を行っていない織物に比べ、大きな強度低下を引き起こさせるように作用していることがわかった。

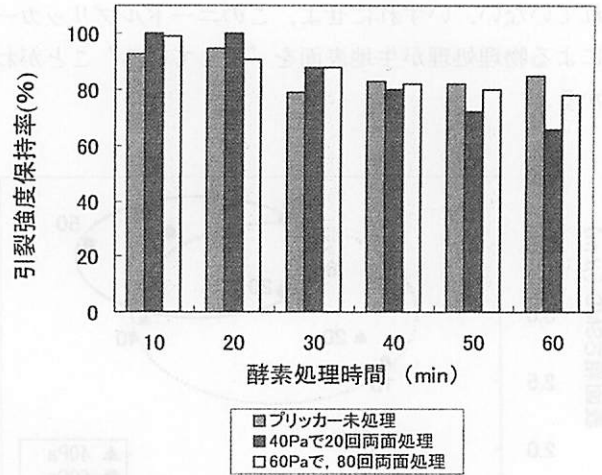


図7 プリッカー処理綿布への酵素処理による引張り  
強さ保持率への影響

Effect of cellulase treatment time and pricker-treatment conditions of cotton fabric on the behavior of retention of tearing strength.

## 5. 結論

プリッカー処理は布表面の糸をほぐし「毛羽立ち」状態にし、さらに糸を押し広げ「ほぐす」状態に作用し、綿織物に形態および力学特性変化をもたらす。特に、引裂強度の低下を引き起こしていることがわかった。またプリッカー処理により、生地は圧縮回復性が低下し、曲げ・せん断されやすく、せん断から回復し難い特性に変化することがわかった。すなわち生地本体は扁平化し、糸と糸の間隙が広げられたことがわかった。

プリッカー処理後の綿織物に酵素処理を行った場合、一般的に引裂強度の低下を促すが、処理布に対して、初期段階における酵素反応は、引裂強度を低下させる部位には働いていないことが推察できる。これらの成果により、プリッカー処理条件の制御により、酵素処理効果を変えることができる可能性を見いだした。

## 参考文献

- 1) 上甲恭平, 菅井実夫, 木村和臣, 林 壽郎, 荒井基夫, 繊維学会誌, 56, 473 (2000)
- 2) 徳永一丸, 公開特許公報, 平 11-302965 (1999)
- 3) 菅井実夫, 徳永一丸, 上甲恭平, 荒井基夫, 日本繊維機械学会誌投稿中.
- 4) 原田隆司, 斎藤実, 繊維学会誌, 46, P259 (1990)
- 5) 松平光男, 宮川まり子, 日本繊維機械学会誌, 43, T120 (1990)