

## 1. はじめに

メーカーにとって、高品質の製品を消費者が期待する適切な価格で供給することは最も重要な課題である。しかし、近年、それに加え、社会への貢献や環境問題に対する取り組み姿勢も大きな社会的要請となっている。すなわち、製造工程の合理化や品質管理の高度化だけでなく、環境負荷の少ない工場運営を行うことが大きな課題となってきた。このような状況から、多くの企業が環境調和型製造技術の開発、導入に積極的に取り組んでいる。環境調和型製造技術が目指すものは、省エネルギーおよび環境保全（作業環境保全、環境汚染防止、産業廃棄物低減、炭酸ガス放出削減）である。もちろん、この工程で得られる製品の安全性、品質、性能が基準以上であることは当然である。この省エネルギーおよび環境保全においてバイオテクノロジーは一つの有力な手段と考えられる。著者は繊維の技術者とともに、綿製品の製造におけるバイオテクノロジーの応用、特に酵素精練に取り組み、その結果いくつかの課題は残るものの実用化に成功した。以下、その概要について述べる。

## 2. 綿における精練の現状と酵素精練

綿はセルロース系繊維であるが、原綿は約6%の不純物を含んでいる（表1）。

表1. 綿繊維（原綿）の組成

成分	繊維全体	一次壁（繊維表面）
セルロース	94.0%	54%
タンパク質	1.3	14
ペクチン質	0.9	9
ワックス	0.6	8
灰分	1.2	3
その他	—	4

不純物の主なものはペクチン、ワックス、タンパク質である。これらの不純物が存在すると、染色・加工に支障をきたす。特にペクチンやワックスによって染色むらなどが起こる。そこで、染色・加工の前に精練・漂白という工程が行われている。この精練は、現在、苛性ソーダを使った高温処理によって行われ、上記不純物、特にペクチン、ワックスが除かれる。漂白では、やはりアルカリ・高温の条件で過酸化水素処理などが行われ、綿繊維に含まれる黄色～褐色の色素成分が除去される。これらの工程は高温というエネルギー消費型の工程であると同時に、高濃度の苛性ソーダを用いるので作業環境、排水処理の面で必ずしも好ましいものとは言えない。

精練は、上記のように綿の不純物を除く工程であるが、これら不純物を分解する酵素を使用すれば、穏やかな条件で精練・漂白が実施できる可能性がある。ペクチン分解酵素（ペクチナーゼ）はこの目的に適した酵素であり、多くの微生物によって生産されることが広く知られてい

る。著者らは、繊維メーカー、繊維加工剤メーカー、酵素メーカーをメンバーとするバイオ精練研究会を組織し、また、公的資金の援助を得てペクチナーゼを用いる酵素精練の実用化を行った。

ペクチナーゼによる精練では、ペクチンが分解され綿繊維表面から除かれる。ペクチンは綿繊維表面に局在してマトリックスを形成しており、ペクチンが分解されると同時に、タンパク質その他の不純物も除かれる（図1）。

ペクチナーゼとしてはバクテリア（*Bacillus* sp.）およびカビ（*Aspergillus* sp.）由来の酵素が使用できる。カビ由来の酵素は、果汁やワインの製造に使われてきたものであり、ペクチナーゼに加えてヘミセルラーゼ、キシラナーゼ、エキソ型セルラーゼなどが含まれている。反応の至適pHは3から5である。ペクチナーゼ、ヘミセルラーゼなどの酵素名で市販されており、ペクチナーゼに混在する他の酵素がペクチナーゼによる精練効果を上げている。

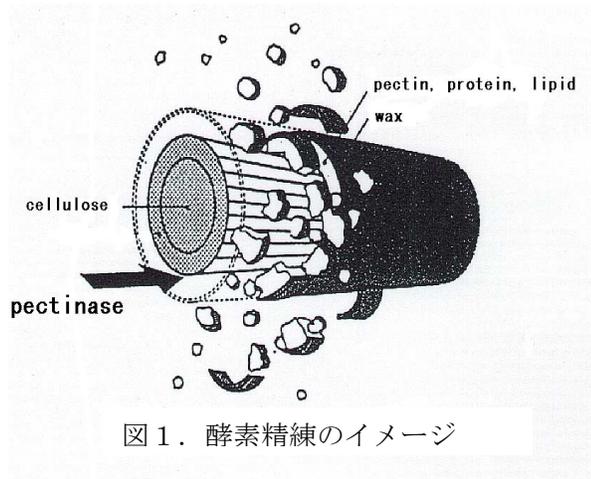


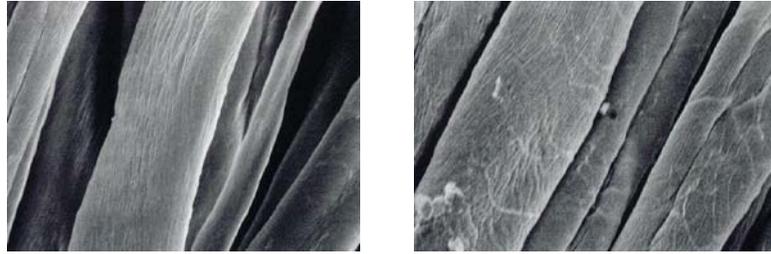
図1. 酵素精練のイメージ

精練前の綿はワックスを含むため吸水性が悪い。そこで、処理に際しては界面活性剤を使用する必要がある。

使用される界面活性剤は中性界面活性剤であるが、ペクチナーゼの作用を妨害しないことが必要である。通常の繊維加工に用いられている中性界面活性剤が使用できるが、酵素精練のコンセプトを考えれば、生分解性のものを選ぶべきであろう。同時に内分泌攪乱物質として疑われているノニルフェノールなどを含まない界面活性剤を使用することは当然である。

温度は酵素の作用に直接影響する因子である。酵素は温度が高いほど活性が強くなるが、反対に安定性は悪くなる。従って、活性の強さと安定性のバランスによって最適温度が決まり、この最適温度はペクチナーゼの種類や処理時間によって変わる。酵素精練では通常55°Cから65°Cの間が最も効率が良い。

酵素精練した綿繊維の表面を電子顕微鏡で見ると精練前よりはっきりした縦縞が現れており、これは綿繊維の表面からペクチン層が除去され精練されたことを示している（図2）。酵素で精練した場合、吸水性はアルカリ精練と同等であり、一方ペクチン除去率はアルカリ精練の約80%である。ペクチン除去率がやや低いものの、実用上は問題ないと考えられる。ここで得られる綿織物や綿ニットは、アルカリ精練したものに比べ、柔らかい風合いと厚み感があるのが特徴である。これは、主に強アルカリに曝されないことに起因するものと考えられる。



精練前

精練後

図2. 酵素精練した綿繊維の電子顕微鏡写真

### 3. 酵素精練と環境

一方環境調和型製造工程という観点からバッチ処理による酵素精練をアルカリ精練と比較すると、精練に要するエネルギーは、アルカリ精練の半分以下であり、また排水処理時に中和処理をする必要もない。酵素はタンパク質であるから、排水中で微生物によって容易に分解され環境に蓄積する心配もない。すなわち、酵素精練は、省エネルギー・環境調和型のプロセスと言えるであろう。

現在、酵素メーカーの努力により、精練に用いるペクチナーゼのコストは問題ないレベルに達しており、少なくともバッチ処理は問題なく実施できる。現実には、一部の繊維加工メーカーでは酵素精練が実施されている。2000年に開催されたエコプロダクツ2000（東京ビックサイト、2000年）では酵素精練を応用した製品も展示された。



#### 4. 酵素精練の今後の課題

酵素精練を普及させるには2つの課題がある。第一は連続処理工程の開発である。バッチ法については技術がほぼ確立され、一部では実用化されている。しかし、酵素精練を主流の工程とするためには連続法の確立がどうしても必要である。綿織物の連続処理工程では、100m/分、あるいはそれ以上の高速処理が行われている。酵素を使っていかにこの速度を達成するかが問題である。現在、スチーマーなどを使用する方法が検討されている。

第二の課題は、アパレルメーカーや消費者にいかにか酵素精練を認知してもらえるかである。酵素精練で製造された綿製品は風合いがソフトであるというような特徴はあるが、今までの綿製品に比べて一目で分かる特徴はない。また、特に安価であるということもない。環境を考えたエコロジー製品であるという、言葉だけのアピールでどこまで浸透するかという問題がある。メーカー側にとっても現状では酵素精練によって大幅なコストダウンが達成されるといったメリットはない。従って、従来のアルカリ精練が適用できない製品、あるいは、酵素精練の特徴を活かせる製品からスタートするというのが現実的な方策である。

従来のアルカリ精練が適用できない、あるいはアルカリ処理はしたくないというケースが実際にある。例えば、綿ウール混紡品の精練である。綿ウール混紡品では、ウールを含むためアルカリでは精練できない。一方、酵素精練では、穏和なpHでの処理が可能であり、ウールに何ら影響をおよぼすことなく綿の精練ができる。

上記以外に、漂白工程の問題もある。酵素精練品の性質そのものを活かすものとしては、その柔らかい風合いを活かした下着、タオルが考えられる。この風合いを活かすためには現状のアルカリ条件での漂白法は実施できない(アルカリ処理により繊維が固くなる)。これに対応するため、中性pHで漂白する技術が一部で実施されており、これと酵素精練を組み合わせた製品が製造されているが、まだ主流にはなっていない。

酵素精練は、もともと省エネルギー・環境保全ということを大きな目的として開発されたものであり、繊維・衣料業界全体が定番の商品に用いるのが理想である。企業単位で見た場合、現状では酵素精練に大きなメリットはない。しかし、環境調和型の製造というものは、環境汚染の修復などに要する費用も含めた社会的なトータルコストを前提に考えるべきものである。消費者も含め社会全体に対してこうした考え方を定着させることが重要である。