

目的別テーマ：ハイパーフォーマンス/ハイブリッド繊維材料の解析

15年度研究テーマ

15-5-11 : 染料の繊維固着機構のナノスケール解析

ABSTRACT

Cotton fabrics were dyed with indigo (vat dye) and CI Reactive Red 120 (reactive dye), and then enzymatically decomposed. When dyed with indigo, the cotton fabric was decomposed consistently up to ca. 50% and then further in two steps, showing no dye-concentration dependence. When dyed with reactive dye, the cotton fabric was decomposed up to ca. 50% but no further decomposition was observed within the observed time. Here the decomposition rate seems to depend inversely on the dye concentration. The results indicate that indigo is attached physically to cellulose in an aggregated state and will not suppress the enzyme activity. On the other hand, reactive dye is chemically linked to cellulose molecules near the free edges of the crystallites (fringed micelles), so that the enzymatic reaction is prevented at those sites.

研究目的

染料は水に溶ける必要があるが、布帛に一旦染着すれば水に溶けてはいけないという矛盾した性質を持つことが要求される。これまで経験的に、天然染料に始まり様々な染料が開発されてきたが、一体染料がどのように布帛に染着しているのか、またその状態は染料の種類によりどのように違うのかは分かっていない。効率の良い（言い換えれば環境に優しい）染色法を開発するためには、染色機構をナノスケールレベルで理解することが重要な課題である。染色の分子機構を理解することを本プロジェクトの第1目的とする。

一年間の研究内容と成果

綿布を2種類の染料（バット染料および反応染料）で染め、染色した綿布をセルラーゼにより酵素分解し、その分解の時間依存性から2種の染料の染着状態の違いを考察した。

染料としては、インヂゴ（バット染料）および CI Reactive Red 120（反応染料）を用い、綿布を通常の方法により4段階の濃度に染色した。染色布をセルラーゼで分解し、その重量減少を時間の関数として観察した。インヂゴと反応染料を比べると、インヂゴの場合分解は早く、またインヂゴの濃度にはほとんど依らない。重量減少が50%程度までは比較的単調に重量は減少していく。重量減50%程度で一旦減少は停滞するが、時間の経過と共に再び減少を続ける。反応染料の場合、重量減少速度はインヂゴに比べると遅く、50%以上の減少は観察時間内では見られなかった。この結果から次のような結論が導かれる。①インヂゴは物理的な結合によりセルロース繊維に吸着しているため、酵素分解を妨げない。またインヂゴは繊維表面近くに会合しており、酵素に対して露出しているセルロース面積はインヂゴの濃度によりあまり依存しない。②酵素分解が結晶部分では起こりにくいことを考慮すると、綿布の結晶化度は50%程度であった。③反応染料は化学的にセルロースに結合しているため、その部分は酵素分解されない。結晶と非結晶部分の界面に付近により多く染料が結合しているため、50%以上の分解が阻害される。

展望

酵素分解により染着状態を推察できることが分かった。これまでの研究ではセルロースの結晶化度は40%から70%まで、測定方法により異なった値が報告されている。染色の観点から見た結晶化度が何に相当しているかを見るためには、分解後の綿布の構造解析をする必要がある。セルロースは結晶と非結晶との間で平衡関係があるといわれている。上の結果で述べたように、反応染料の場合酵素分解がある一定値で停止することは、反応染料の化学結合による酵素活性阻害なのか、あるいは結晶固定なのかを明らかにする必要がある。従って、分解後の綿布の構造を广角X線、小角X線により詳しく解析することにより、染料の染着状態およびセルラーゼによるセルロース分解機構をナノスケールレベルで理解することが可能であると考えられる。