

走査型 X 線微分位相顕微鏡を用いたヒトまつ毛の構造解析 Structural Analysis of Human Eyelash using Differential Phase Scanning X-ray Microscopy

井上 敬文^a, 深見 健一^a, 坂田 宗徳^a, 永野 正蔵^a, 竹原 孝二^a,
竹内 晃久^b, 上杉 健太郎^b, 鈴木 芳生^b

Takafumi Inoue^a, Ken-ichi Fukami^a, Muneki Sakata^a, Masahiro Nagano^a, Kouji Takehara^a,
Akihisa Takeuchi^b, Kentaro Uesugi^b, Yoshio Suzuki^b

^a(株)カネボウ化粧品, ^b(公財)高輝度光科学研究センター
^aKanebo Cosmetics Inc., ^bJASRI

マスカラやビューラーなどアイメイクがまつ毛の内部構造にどのような影響を及ぼしているのかを走査型 X 線微分位相顕微鏡/CT を用いて調べた。アイメイク常用者および非常用者おのおの 18 名の日本人女性より提供いただいたまつ毛を比較したところ、アイメイク常用者ではキューティクルの剥離が進展しており、コルテックスでは空洞化が生じていることが示唆された。

キーワード： アイメイク、まつ毛、X 線 CT、マイクロ CT、位相 CT、走査型 CT

背景と研究目的：

まつ毛を対象としたアイメイクは、マスカラを用いたボリュームアップ、クレンジングによるマスカラの除去、まつ毛パーマなど種々の化学的な手法が用いられる。またビューラーを用いたスタイリングなどの物理的手法が施される。このようにまつ毛はきびしい環境にさらされており、その状況は種々のダメージケア製品が発売されている頭髪と比較しても劣るものではない。しかしながら、まつ毛はヘアサイクルが頭髪の約 1/10 と短く数ヶ月で抜け変わる[1]ことから損傷は少ないと考えられており、まつ毛に対しては頭髪のようにダメージケア目的とした商品展開がほとんどなされていないのが現状である。本課題では、まつ毛のダメージを内部微細構造の変化という構造的側面で把握することを目的とする。

実験：

日本人成人女性よりアイメイクの習慣をアンケート調査するとともに、まつ毛を採取し測定試料とした。走査型 X 線微分位相顕微鏡は、毛髪の内部構造を高精度かつ非破壊的に測定することができる[2]。本装置を用い、BL20XU にてマイクロビーム X 線をまつ毛に照射し、CT を実施した。本実験の測定においては、まつ毛の任意の断面を横切る方向に X 線集光ビームを走査し、さらに毛軸を回転軸とする方向にまつ毛を回転させながら、回転角が 180 度に達するまで一定の回転角(0.3 度)ごとにこの走査を繰り返し行った。測定において利用した X 線のエネルギーは 8.0 keV で、光量はフルパワーの約 1/8、X 線集光ビームの直径は約 0.1 μm である。走査点一点あたりの露光時間は 700 μsec とし、走査間隔は 0.1 μm とした。この条件では例えば直径 100 μm の領域を走査する場合、1,000 点の走査点(100 $\mu\text{m}/0.1 \mu\text{m}$)を 0.3 度ごとに 600 回(=180 度/0.3 度)、計 600,000 点の屈折率分布の情報を計測する。一回の CT 測定に要する時間は 30 分間程度であった。

測定時の試料ホルダーへの毛髪のセットアップを図 1 に示す。まつ毛試料は毛軸が上下となる方向で試料ホルダーに設置し、試料ホルダーを精密回転ステージに取り付けた後、測定前に予めステージの回転中心と毛軸が一致するように位置調整を行った。また、測定は室温、大気圧下の条件で実施した。

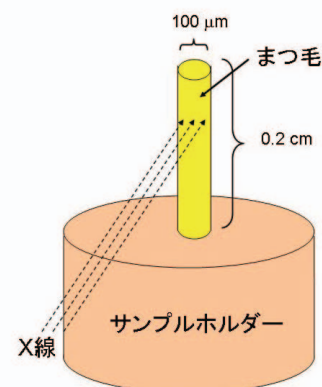


図 1. 試料のセッティング

測定で得られた生データから、数値計算による再構成演算を行うことで、試料を走査した断面の屈折率分布(近似的に密度分布を表す)像を取得した。再構成演算は、使用したビームラインで提供されているソフトウェアを用いた。

結果および考察：

アイメイク常用者 18 名、非常用者 18 名から採取したまつげの内部構造を、走査型 X 線微分位相顕微鏡を用いて観察した。観察部位は、根元と先端の中間部位である。まつ毛は頭髪と比較して中心部にある空隙構造(メデュラ)が大きく、毛髪繊維が充填されているコルテックス部位でも空隙の多い特徴を有していた(図 2)。キューティクルは細胞(スケール)が重なりあった構造体であるが、まつ毛ではキューティクルの厚さが厚い(スケールの枚数が多い)傾向を有していた。

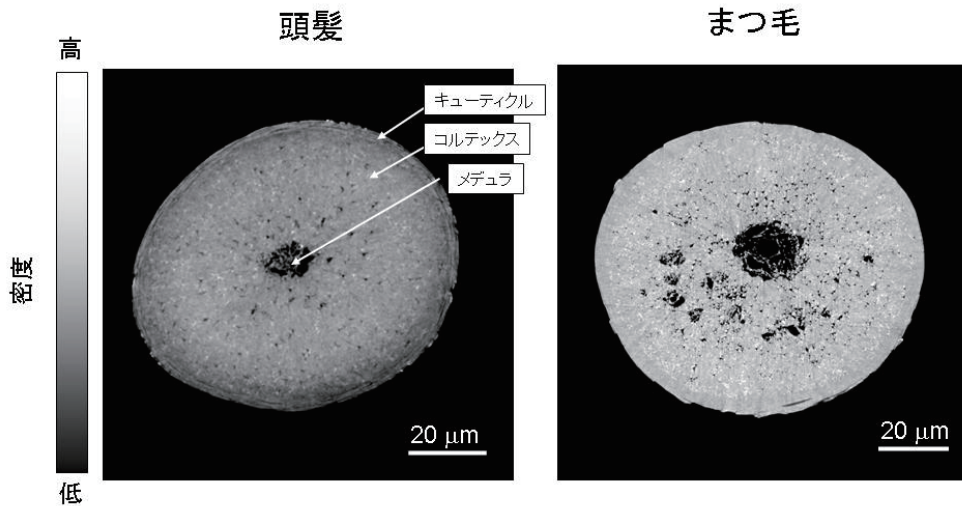


図 2. 頭髪とまつ毛の比較

興味深いことに、キューティクルではスケールの間が裂ける損傷が観察された。この損傷の程度を 5 段階にランク付けし(図 3)、アイメイク常用者、非常用者の間で比較したところ、アイメイク常用者が損傷の度合いが高かった(図 4)。また、アンケートで得たマスカラの頻度と損傷(キューティクルの剥離)の程度の間で正の相関が認められた。

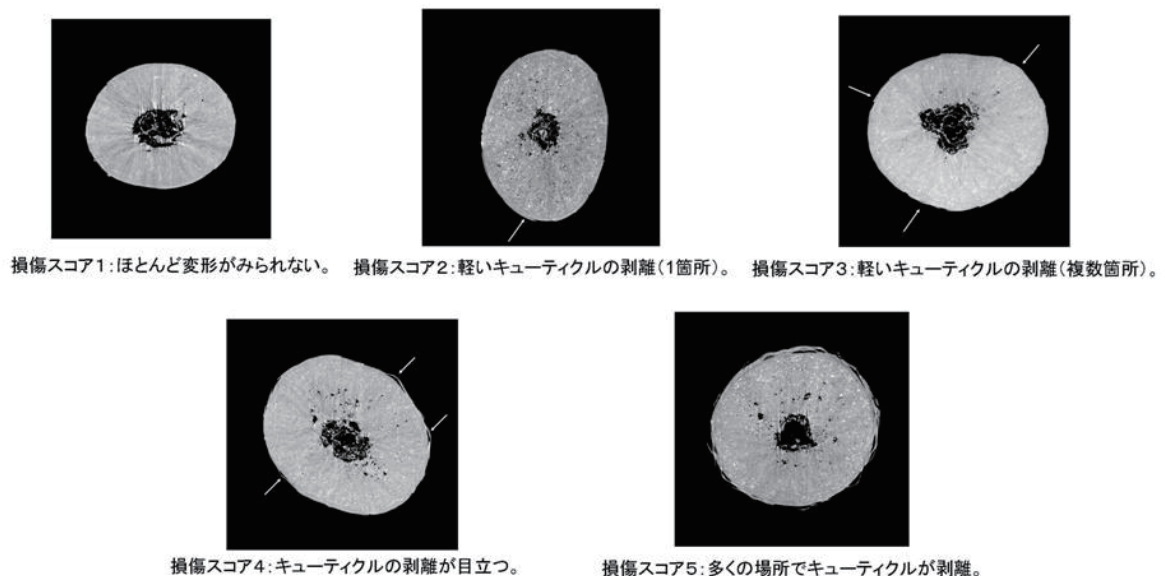


図 3. キューティクルの剥離 (損傷スコア) 例

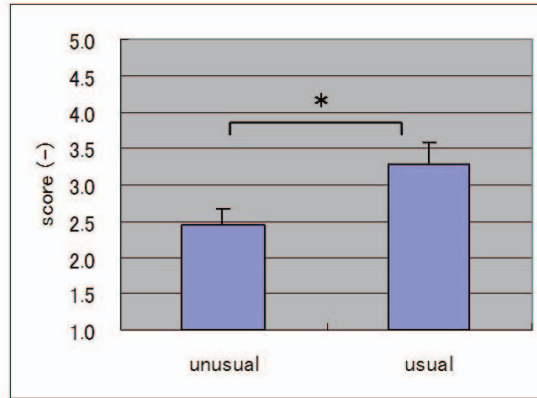


図4. キューティクル損傷スコアとアイメイク
まつ毛中央部の断層像を観察して損傷の程度を5段階にスコアリングした。アイメイク非常用者(n=18)、アイメイク常用者(n=18)、平均値±標準誤差 *p<0.05, Wilconxin 法(連続修正なし)にて解析。

まつ毛のコルテックス部位では、空隙が多いことが特徴である。この空隙の量を調べた。図5に示すようにまつ毛断層画像を2値化し、コルテックス部位の4箇所空隙の割合を求め、その平均値を対象としたまつ毛試料の空隙率とした。空隙率を比較すると有意ではないが、アイメイク常用者の値が高かった(図6)。さらに、アンケートで得たマスカラの頻度と空隙率の関係を調べたところ、マスカラの頻度が高いほど空隙率が高いという正の相関が認められた。

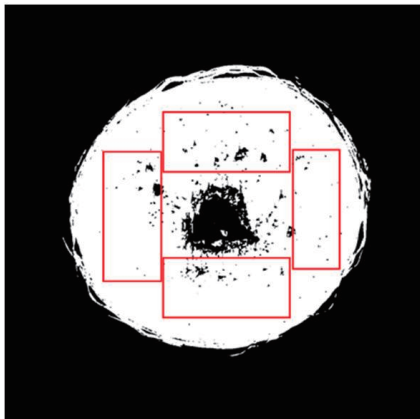


図5. メデュラ空隙率の測定例

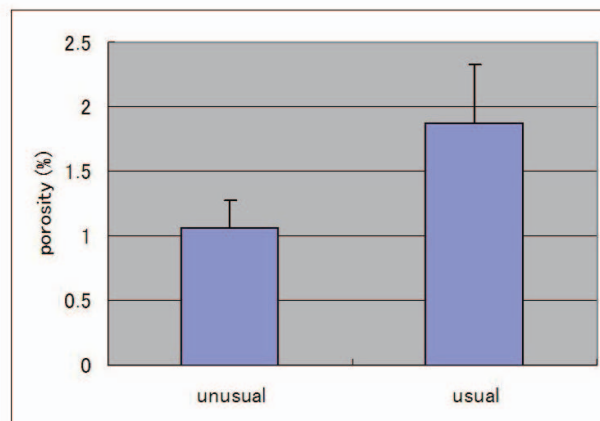


図6. コルテックスの空隙率とアイメイク
アイメイク非常用者(n=18)、アイメイク常用者(n=18)、平均値±標準誤差。

以上の結果は、まつ毛のキューティクルやコルテックスが日常のアイメイクで損傷を受け内部構造が変化していることを裏付けるものである。まつ毛は頭髪と比較して研究例が少なく、まつ毛の内部構造を調べた報告は少ない。CTを用い内部構造の詳細をその場観察したのは、われわれの知る限り本研究が初めてである。また本研究で、頭髪と異なりヘアサイクルの短いまつ毛においても日常のアイメイクで損傷を受けていることを支持する結果を得た。今後、損傷の予防や修復の観点から、アイメイク方法・アイメイク製品の開発につなげていきたいと考えている。

参考文献：

- [1] S. Thibaut, et. al., *Br. J. Dermatol.* **162**, 304 (2010).
- [2] T. Inoue, et. al., *J. Soc. Cosmet. Chem. Jpn.* **46**, 101 (2012).