

走査型 X 線微分位相顕微鏡を用いたトリートメント毛髪構造解析 Structural analysis of beauty conditioned hair using differential phase scanning X-ray microscopy

井上 敬文^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, Kouji Takehara^a, Akihisa Takeuchi^b, Kentaro Uesugi^b, Yoshio Suzuki^b

^a(株)カネボウ化粧品, ^b(財)高輝度光科学研究センター
^aKANEBO COSMETICS INC., ^bJASRI

我々は、結像型の X 線マイクロ CT を用いてヒト毛髪の 3 次元微細構造を観察し、パーマやブリーチなどの化学処理により毛髪コルテックス部位で毛軸方向にサブミクロンからミクロンオーダーの径を持った空隙と思われる円柱状の構造体が生じることを見出している。今回、高い空間分解能と密度分解能を併せ持つ走査型 X 線微分位相顕微鏡を用いてパーマ処理毛髪を観察し、円柱状の構造体が空隙であることを支持する結果を得た。また、結像型 CT では観察できなかったキューティクル内部あるいはキューティクルとコルテックス間の板状の密度の低い構造が、パーマ処理毛髪で観察された。

キーワード： 毛髪、走査型 X 線微分位相顕微鏡、構造解析

背景と研究目的：

近年パーマ、ブリーチ、ヘアカラーなどの化学処理を実施する消費者が増えたことから、ヘアケア市場においてダメージケアは大きなニーズが生まれている。従来、毛髪損傷の研究は、引っ張り強度や曲げ合成など毛髪全体での変化や、アミノ酸などの毛髪を構成する成分の変化として把握されているが、毛髪のどこがどのように変化したといった構造面での情報が不十分であった。我々は、毛髪微細構造の変化という毛髪損傷の新しい側面を検討し、有効なトリートメント剤開発に繋げることを目標とし検討を行っている。

我々は、結像型の X 線マイクロ CT を用いてヒト毛髪の 3 次元微細構造を観察し、パーマやブリーチなどの化学処理により毛髪コルテックス部位で毛軸方向にサブミクロンからミクロンオーダーの径を持った空隙と思われる円柱状の構造体が生じることを見出した[1]。また、毛髪トリートメント処理により、これらの円柱状の構造体が少なくなる傾向があった[2]。

しかしながら、観察に屈折コントラスト法を用いたことから、毛髪内部の密度分布を示すような高精度の観察には至らなかった。走査型 X 線微分位相顕微鏡では、測定時間の都合上 3 次元での測定は現時点で不可能であるが、毛髪内部の構造を高い空間分解能と高い密度分解能で測定することができる。そこで、本研究では円柱状構造が空隙であることの確認、トリートメントの効果を確認する目的で、走査型 X 線微分位相顕微鏡を用いて種々の毛髪を観察した。

実験：

走査型 X 線微分位相顕微鏡は微小 X 線プローブで試料上を走査し、試料を透過したことによる位相変化量を測定する手法である。通常吸収コントラスト法が試料を透過したプローブの強度をプロットするのに対し、この手法では透過したプローブの位置変化をプロットする。毛髪を 180 度回転させながら、毛軸に対して赤道方向に繰り返し走査を行い、任意の断面の CT 像を測定した。

結果および考察：

パーマ処理毛髪の断面の全体像を Fig.1 に示す。走査型 X 線微分位相顕微鏡を用いると、これまで実施した結像型マイクロ CT と比較して、高い密度分解能を持った画像を得ることができた。まず、毛髪中央部に存在するメデュラ構造がコルテックス部位と比較して低密度の構造体として

検出された。コルテックス部位ではサブミクロンからミクロンサイズの円形低密度の構造が見られ、これは結像型マイクロCTで3次元観察した円柱状構造体の断面と考えられる。この断面の密度は、毛髪中央部の空隙のある構造体として知られるメデュラの密度とほぼ等しいことから、パーマ処理でコルテックス部位に形成される円柱状構造が空隙であることを支持するものと考えられる。

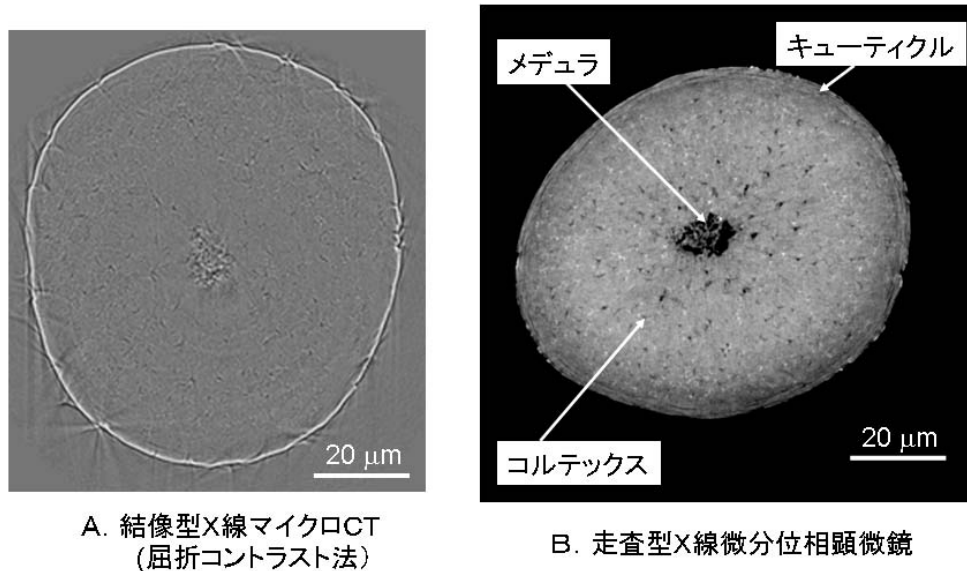


Fig. 1. 結像型X線マイクロCTでの画像と走査型X線微分位相顕微鏡での画像
パーマ処理毛髪から得たCT像を比較した。

パーマ処理毛髪の断面拡大像を Fig.2 に示す。コルテックスの円柱状の空隙構造以外に、コルテックスとキューティクルの間、あるいはキューティクル層とキューティクル層の間に板状の空隙が生じている様子が見て取れた。また、未処理毛髪とパーマ処理毛髪いずれにも、コルテックスにサブミクロンサイズで密度高いメラニン顆粒と思われる構造体が多数存在した。

パーマ処理毛髪と未処理毛髪の画像から、空隙率（コルテックス部位の空隙の割合）を求めた (Fig.3 参照)。今回の場合は、個々の毛髪試料間のばらつきが大きく、パーマ処理では空隙率が多くなる傾向が見られたが、統計学的には有意なものではなかった (t 検定での危険率：0.059)。また、トリートメントの効果も統計学的に有意な形で示すことができなかった。

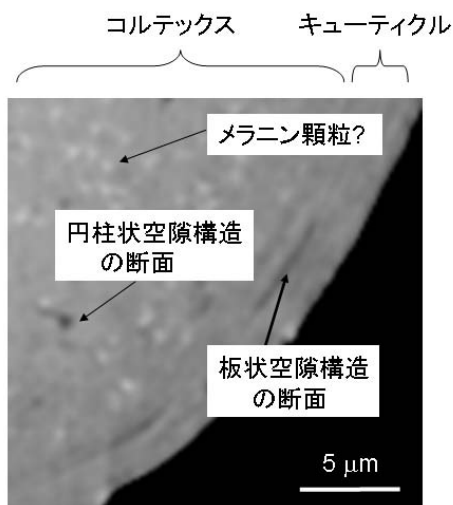


Fig. 2. 走査型微分位相X線顕微鏡での画像 (部分拡大像)
低密度の部分が黒、高密度の部分が白に対応する。

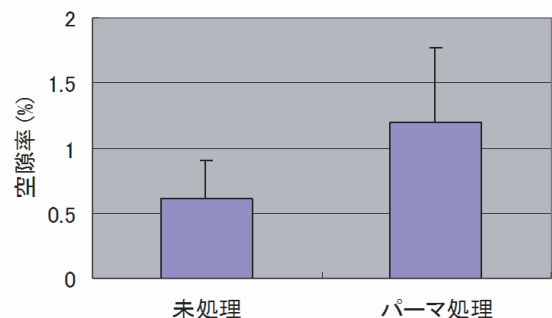


Fig. 3. コルテックス部位の空隙率
平均値と標準偏差 (エラーバーで表示) を示した。
例数は 未処理 5、パーマ処理 6 である。

走査型 X 線微分位相顕微鏡は、毛髪内部の密度分布を高い解像度と高い密度分解能で示すことができ、毛髪微細構造の観察に有用なツールである。従来結像型 CT で認められたコルテックス部位の空隙構造を明確に捉えることができたことに加え、結像型 CT では観察できなかったキューティクル内部あるいはキューティクルとコルテックス間の空隙構造が観察された。また、メラニン顆粒と思われる密度の高い構造体も観察された。空隙だけでなく密度の異なる構造体も観察されたことから、パーマやブリーチなどの毛髪美容処理が毛髪微細構造に及ぼす影響を従来の結像型 CT と比較してより詳細に把握できるものと期待できる。

今後の課題：

走査型 X 線微分位相顕微鏡を用いて、パーマやブリーチなどの毛髪美容処理が毛髪微細構造に及ぼす影響をより詳細かつ明確に把握することが当面の課題として上げられる。今回の観察では毛髪試料間のばらつきが大きかったことから、パーマ処理の効果を統計学的な有意差を持って捉えることができなかった。毛髪美容処理の効果を明らかにするためには、試料がより均一となるような選別を行うなど試料調製のステップが重要であると考えられる。

参考文献：

- [1] 井上敬文ら、平成 18 年度先端大型研究施設戦略活用プログラム報告書(2006A)、2006A0109、X 線マイクロトモグラフィーを用いたヒト毛髪の 3 次元観察。
- [2] 竹原孝二ら、平成 18 年度先端大型研究施設戦略活用プログラム報告書(2006B)、2006B0111、X 線マイクロ CT による毛髪微細構造の可視化、一毛髪損傷の修復効果について。