

# 走査型 X 線位相差顕微鏡を用いたヒト毛髪内部構造の観察

課題番号：2006B0133

実験責任者：ラインハルト(株) 岩本佳倫

共同研究者：(財) 高輝度光科学研究センター 竹内晃久、上杉健太郎、鈴木芳生

使用ビームライン：BL20XU

## 1. はじめに

化粧品市場の中で、シャンプーやリンスで代表される毛髪用のヘアケア市場は、国内で年間約 2,000 億円の売上のある大きな市場である。その中でも、ブリーチ、ヘアカラー、パーマなどの毛髪化粧処理を実施する消費者が増加したことから、ヘアケア製品のダメージケア効果に対する期待は年々高まっている。一般的に上記の化粧処理や紫外線、ドライヤーの熱などにより損傷した毛髪は、内部構造が破壊されて空洞化するといわれている。このような空洞化という微細な構造変化を捉える手法としては、透過型又は走査型電子顕微鏡や走査型プローブ顕微鏡などが使われているが、これらは試料の固定化・薄膜切片作製・染色等の煩雑な前処理をする必要があり、生体にある毛髪の真の姿を捉えているかは疑問であった。従って、非破壊により毛髪内部の微細構造を観察する手法の開発は、種々の刺激により生じる損傷毛髪の実像を把握する事で、毛髪損傷のメカニズムや損傷によって生ずる毛髪物性変化を解明し、消費者が望む効果の高い毛髪ダメージケア商材を開発する上で重要な技術である。

一方、一般的な非破壊観察手法としては、X 線撮影や X 線 CT 等があるが、たんぱく質を主体としたソフトマテリアルである毛髪では、微細構造を把握するだけの吸収 X 線による十分なコントラストを得る事は困難であると考えられる。

そこで本研究では、構造間の密度差が非常に小さい試料でも、その位相変化を捉える事で明瞭なコントラストを得て、内部微細構造を推定する事が出来る走査型 X 線位相差顕微鏡の利用を検討し、非破壊による毛髪内部微細構造の観察の可能性が示唆された。更に、損傷モデル毛髪を測定する事で、損傷による空洞化等の微細構造変化を非破壊で捉える事ができた。

## 2. 材料

ヘアカラーやパーマなどの化学処理をしていない日本人女性の毛髪を入手し、何も処理をしていない毛髪を正常毛髪、パーマ処理又はブリーチ処理を施した毛髪を損傷モデル毛髪として試料とした。

## 3. 実験方法

走査型 X 線位相差顕微鏡は、SPring-8 の BL20XU にて光学系を組み立て測定した (Fig. 1)。測定方法は、材質 Ta、直径  $155\mu$ 、最外幅  $0.1\mu\text{m}$  のフレネルゾーンプレート (FZP) を利用して得られたスポット径約  $120\text{nm}$  のマイクロビーム X 線 ( $8\text{keV}$ ) を、露光時間  $80\text{msec}$  で照射しながら毛軸に対し赤道方向に  $0.2\mu$  間隔で走査し、照射部の

位相像を CCD カメラにより得た。更に、毛軸を中心に毛髪を回転させ、半周 180 度を 300 投影し、得られた投影位相像を再構成して毛髪断面像を得た。

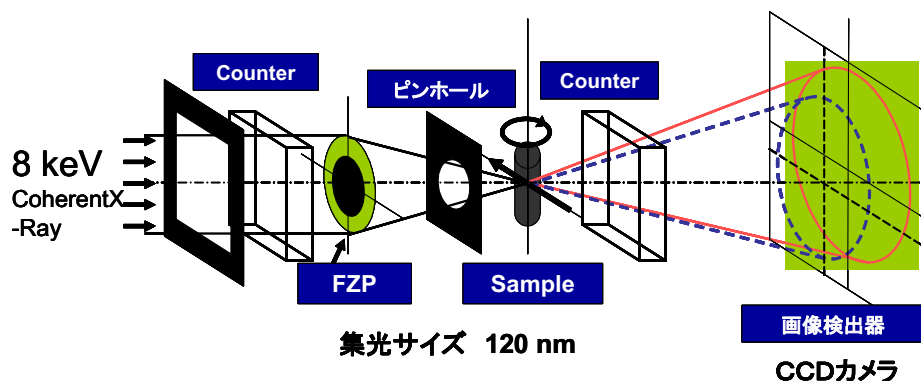


Fig. 1 走査型 X 線位相差顕微鏡光学系装置図 (BL20XU)

#### 4. 結果

Fig. 2 にはパーマやブリーチなどの処理をしていない正常毛髪の結果を示した。外側のキューティクル部位と内側のコルテックス部位 (Co) を明確に捉えている。又、キューティクル領域内の層構造 (Cu) 及び細胞膜複合体と思われるコルテックス細胞間の境界 (CM) も明瞭に捉えている。更に、メラニン (Me) と思われる顆粒状の高密度領域も捉えている。Fig. 3 に損傷毛髪としてパーマ処理した毛髪 (a)、ブリーチ処理した毛髪 (b) の結果を示した。共にコルテックス細胞間の境界 (CM) が正常毛髪に比し不明瞭になっており、損傷によって生ずる空洞化 (Po) と思われる低密度領域が点在しているのがわかる。又、ブリーチ処理毛髪では、メラニンと思われる顆粒上の領域が低密度化しているのがわかる。

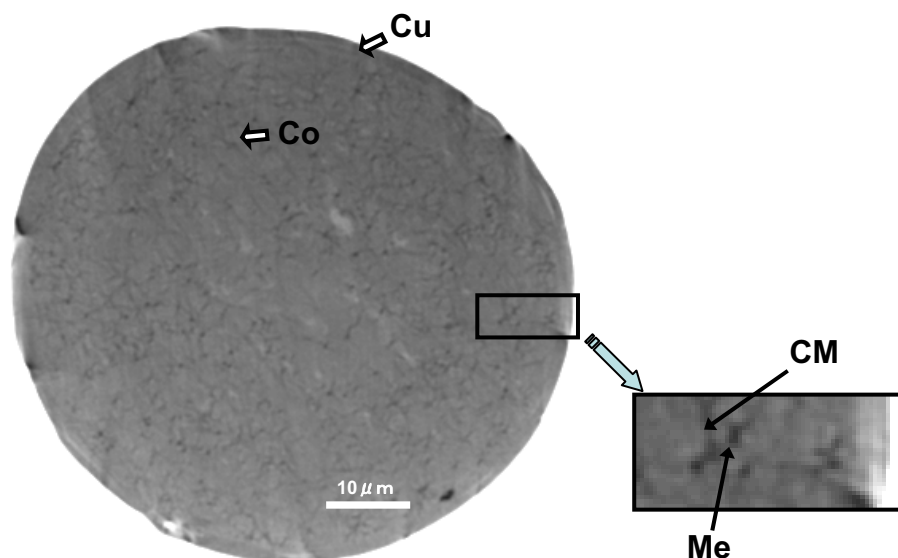


Fig. 2 正常毛髪断面再構成画像

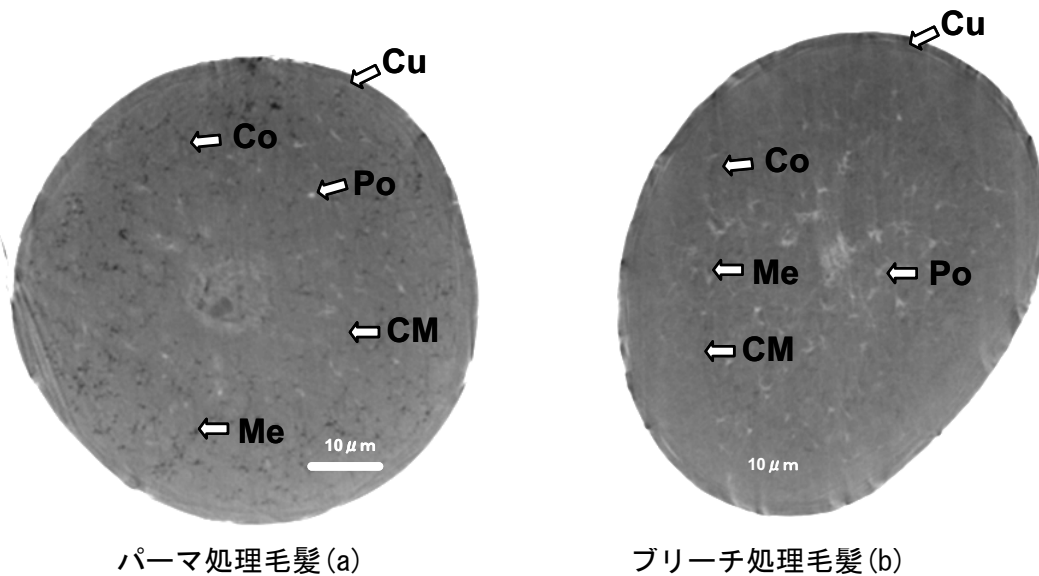


Fig. 3 損傷モデル毛髪断面再構成画像

## 5. 考察

今回、非破壊による毛髪内部の真の姿を観察する手法として走査型X線位相差顕微鏡の応用の可能性を検討した。これは、フレネルゾーンプレートにより得られたマイクロビームX線を、毛髪上を走査しながら照射し、試料の構造由来のX線の屈折等により得られる位相変化像から、内部構造画像を得るものである。今回の実験により得られた画像からは、コルテックス細胞間の境界やメラニンにと思われる部位が捉えられた。又、コルテックス細胞境界の不明瞭化や空洞化現象と推察されるような領域の存在など、損傷による様々な微細構造変化を捉える事ができ、本手法が非破壊による毛髪内部の真の姿を捉える手法として有効である事が示唆された。又、今回は $0.2\mu$ ステップで一面のみを測定して二次元画像を得たが、ステップ幅を小さくする事で更に高い空間分解能（理論的にはマイクロビームのスポット径）で観察が可能である。更に、測定面を増やす事で3次元画像を取得して、微細構造の立体形状も捉える事が可能と考えられる。但し、今回の測定でも直径 $70\mu$ の毛髪を測定するのに約15時間を要しており、X線に対する試料の耐久性を考慮すると測定時間の短縮化が課題である。