

**X線小角散乱による、縮毛矯正（ストレートパーマ）施術による
クセ毛の中間径フィラメント（IF）の構造変化の研究**
**Structural analysis of intermediate-filament in human frizzy hair by
straight perm treatment using small and wide angle X-ray scattering**

細谷 佳一, 亀ヶ森 統, 粉川 千絵美
Keiichi Hosoya, Osamu Kamegamori, Chiemi Konakawa

(株)ヌースフィット
NOUSFIT CORPORATION

厳しい美容室経営において収益の大きな柱のひとつとなっているメニューは、縮毛矯正（ストレートパーマ）である。その縮毛矯正にて、毛髪の内部構造の変化を明らかにすることを目的とし、本研究を行った。その結果、還元剤の種類により IF の配向性のバラツキに差が生じることが分かった。

キーワード： 毛髪、化粧品、パーマ、縮毛矯正

背景と研究目的

美容室における主なメニューの中で、縮毛矯正（ストレートパーマ）がある。縮毛矯正は、クセ毛に悩む人にとって、ストレートヘア（直毛）を実現する最も有効な手段であるため、ニーズはきわめて高い。そのため、美容室にとっても通常のパーマ（ウェーブをつける）に比べ倍近くの料金設定ができ、厳しい美容室経営において収益の大きな柱となっている。しかし、縮毛矯正は通常のパーマに比べ施術の失敗が目立ち、かつ断毛など毛髪損傷のリスクが高いという問題がある。技術者の技術レベルをあげることでこのリスクを低くすることは重要であるが、リスクの少ない安全なストレートパーマを市場に提供することは、パーマ液を造るメーカーとしての課題である。

縮毛矯正の原理は通常パーマと同じで、チオグリコール酸をはじめとする還元剤を含む第1剤で毛髪を還元（ジスルフィド結合を切断）し、所望の形状にした後、臭素酸塩もしくは過酸化水素などの酸化剤を含む第2剤で固定（ジスルフィド結合再結合）するものである。しかし、通常のパーマと異なる点は、塩基性で強く還元を行い、還元後の毛髪を高温（100～180℃）のアイロンやドライヤーによるブロー処理した後、酸化を行うところにある。また、[直毛を曲げる]パーマと[クセ毛を直毛にする]縮毛矯正、見た目の違いから、通常のパーマと縮毛矯正とは内部構造でも単純に正反対のことが行われていると信じられてきたが、近年 SPring-8 をはじめとした研究機関で、クセ毛と直毛では IF（中間径フィラメント）の配列がかなり異なっていることが明らかにされている [1]。

パーマに使用される還元剤としては、従来チオグリコール酸塩、システイン類が利用され、近年さらにいくつかの還元剤が開発された。当グループは前回の SPring-8 BL40XU での実験にて、各主還元剤パーマを繰り返して施術した毛髪の X 線小角散乱像を撮り解析を行った。その結果、近年開発された還元剤の中で唯一酸性条件でウェーブをかけられる新還元剤 2-メルカプト-4-ブタノリドを繰り返して施術した毛髪は、他還元剤を繰り返して施術した毛髪より、IF（中間径フィラメント）の配向性のばらつきの変化が少ないことが分かっている [2]。しかし、この還元剤は、毛髪を殆ど膨潤させないためパーマはかけられても縮毛矯正は不可能と言われているが、内部構造の違いを更に明らかにし縮毛矯正への可能性を見出したいと考えた。

本課題では上記の旨を目的とし、各主還元剤にて繰り返してストレートパーマを行った毛髪の X 線小角散乱像を撮り、毛髪の内部構造の変化を調べた。

実験

パーマ、カラーリングを行っていない毛髪を採取し、この未処理毛（以下「黒毛」と明記）と 14

トーンにブリーチした毛髪（以下「ブリーチ毛」を表記）を基準毛髪とした。

基準毛髪に各種還元剤を用いて縮毛矯正処理を1回～7回と繰返し行った。縮毛矯正処理は、第1剤40分/40℃処理後水洗し、ドライした。その後180℃のアイロンで施術し、第2剤20分/25℃処理を行った。第1剤の還元剤には、①チオグリコール酸アンモニウム塩（以下「TG」と略す）、②2-メルカプト-4-ブタノリド（以下「ブチロラクトンチオール」 図中では「SP」と略す）を使用し、パーマ第2剤の酸化剤としては過酸化水素を用いた。

上記毛髪をBL40XU施設に用意されている水中測定用セルにセットし、水を抜いた状態（ドライ）と水中に浸漬した状態（水中）で毛髪の毛軸に対し垂直方向から5 μm マイクロビームX線を照射し、小角散乱実験を行った。前回2007Bの測定で、水中での測定はX線が毛髪へ与える影響が非常に大きいため、照射位置を斜めに移動させて測定した（図1）。

得られた小角散乱像を解析し [1] [3]、毛髪のIF（中間径フィラメント）由来の散乱ピークの方角方向の散乱強度プロファイルから求めた配向性の指標となるIF由来のピーク半値幅（FWHM）、IF由来の散乱ピークの赤道方向のピーク位置から求めた面間隔（IF-IF間隔、単位 /nm）を調べた。

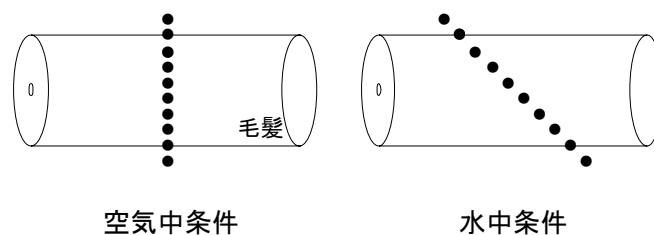


図1 ●…X線照射位置

空気中の測定では、毛髪の縦軸に対し垂直になるようX線をあて、下方向に2 μm ずつずらし照射した。水中の測定では、上図のように、右方向に7 μm 下方向に2 μm ずらし、X線を照射した。

結果および考察

未処理、ドライ状態の黒毛の小角散乱像の解析結果（IF由来の散乱ピークの方角方向の半値幅FWHM: 20.83（度）、IF由来の散乱ピークの赤道方向のピーク位置から求めた面間隔 d : 8.9218/nm）を100%とし、これに対する増減率を図2～5に示す。

- 1) IF由来の散乱ピークの方角方向について、縮毛矯正処理の回数を増やすと、FWHMが増大しているため、IFの傾きが広がっていると考えられる。これは、空気中での測定で顕著に現れていた。また、水中条件での測定では、その増減の差が少ない。しかし、図6に示すようにピーク強度を比較すると明らかに7回処理したものは強度が低くなり、規則的な構造が大幅に壊れていることが考えられる。
- 2) IF由来の散乱ピークの赤道方向についても、施術回数を増やすと d/nm の値が大きくなり、IF-IF間隔が広がっていることが分かった。
- 3) 現在一般的に縮毛矯正に使用されている還元剤TGに比べ、ブチロラクトンチオールを用いると毛髪のマイクロ構造に与える影響は少なかった。
- 4) 縮毛矯正において繰返し施術によりIFの配向性のバラツキが多くなった。今回用意した毛髪の感触は、施術回数が多いほど悪く、傷んだ髪ほどIFの配向性のバラツキは多くなると言える。よって、IFの配向性のバラツキを抑えた縮毛矯正剤の開発が求められている。
- 5) 今回用意した毛髪に通常のパーマをかけると、TG処理毛ではウェーブがかからないが、ブチロラクトンチオール処理毛ではウェーブをかけることができた。よって、IFの配向性がパーマのかかりに影響し、IFのバラツキが少ないほどパーマのかかりが良くなることが考えられる。

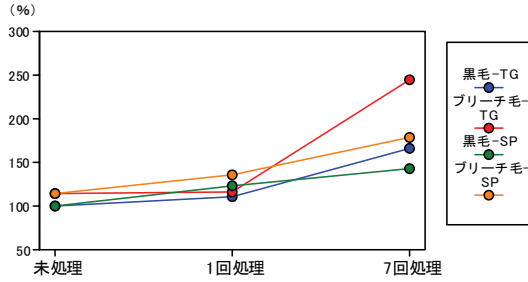


図2 IF由来の散乱ピークの方位角方の半値幅 FWHM 増減率 (%) (測定条件: ドライ)

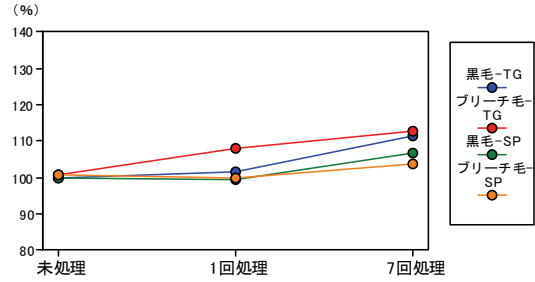


図4 IF由来の散乱ピークの赤道方向のピーク位置から求めた d 増減率 (%) (測定条件: ドライ)

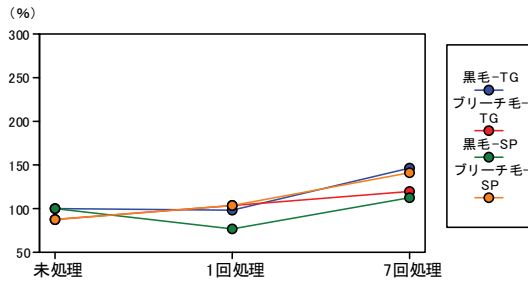


図3 IF由来の散乱ピークの方位角方の半値幅 FWHM 増減率 (%) (測定条件: 水中)

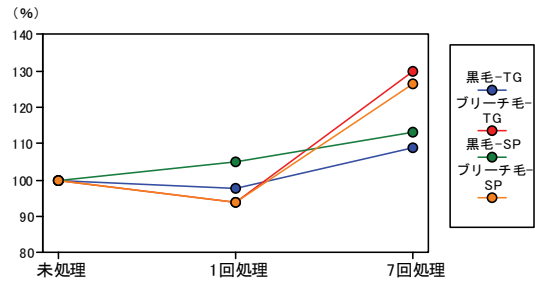


図5 IF由来の散乱ピークの赤道方向のピーク位置から求めた d 増減率 (%) (測定条件: 水中)

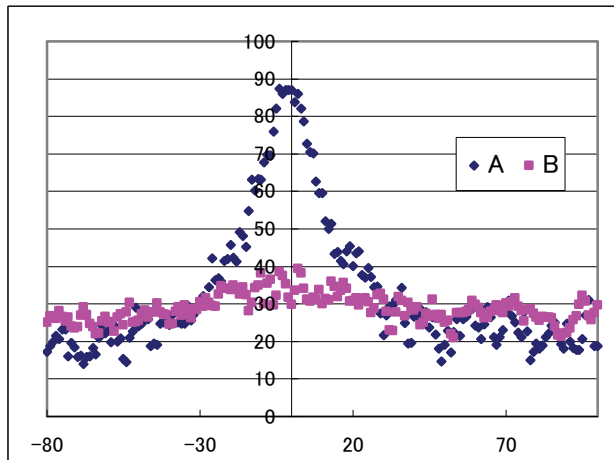


図6 IF由来の散乱ピークの方位角方向の散乱強度プロファイル (測定条件: 水中)
A: 未処理毛, B: プリーチ毛 TG7 回処理

今後の課題

当グループは前回の SPring-8 BL40XU (2007B) での実験にて、還元剤の影響は、IF 由来の散乱ピークの方位角方向の半値幅増減率に大きく現れることが分かっており [3]、IF 由来の散乱ピークの方位角方向の半値幅、IF 由来の散乱ピークの赤道方向のピーク位置から求めた IF の面間隔について重点的に解析を行った。今後、キューティクル部分のピークから CMC の面間隔を解析していく予定である。

また、2007B、2008A の 2 回の実験より、各種還元剤が毛髪の内構造に及ぼす影響が見えてきた。今後更なる詳細な実験を行い、マイクロ構造から見たパーマ及び縮毛矯正の作用を明確にしていきたい。

引用・参照文献等

- [1] 梶浦嘉夫：2007-04-10_11 SPring-8 研修会<マイクロビーム X 線を用いた毛髪X線の構造>「くせ毛とコルテックスの構造」 p-4
- [2] 梶浦嘉夫, 伊藤隆司, 篠原佑也, 雨宮慶幸：放射光 vol19, No.6, 371-377 (2006)
- [3] 粉川千絵美：X 線小角散乱による、酸性還元剤でパーマ処理した毛髪X線中間径フィラメント分子及びキューティクル CMC の構造変化の研究 (SPring-8 重点産業利用課題成果報告書 2007B1846)

謝辞

今回の SPring-8 での測定では、(財)高輝度光科学研究センター八田一郎氏、太田昇氏にご指導いただいた。また、データの解析には古舘祥氏にご協力いただいた。ここに深く感謝申し上げます。