

SPM による毛髪損傷評価の試み

**高知工科大学
知能機械システム工学科
学籍番号 1010197
提出者 原 将太**

指導教員 竹内 彰敏 助教授

目次

1. 緒言	—1—
2. これまでの毛髪評価方法と SPM	—3—
2.1 電子顕微鏡	— 3 —
2.2 ESCA	— 4 —
2.3 動摩擦係数, コーミングフォース	— 4 —
2.4 引っ張り特性	— 5 —
2.5 ねじれ特性	— 6 —
2.6 曲げ特性	— 6 —
3. 実験装置ならびに試験片	—8—
3.1 実験に必要とするもの	— 8 —
3.2 SPM とは	— 10 —
3.3 AFM	— 11 —
3.3.1 AFM の原理	— 11 —
3.3.2 AFM の測定モード	— 12 —
3.4 LFM	— 13 —
3.4.1 LFM の原理	— 13 —
3.4.2 LFM の装置構成	— 13 —
3.5 カンチレバー	— 14 —
3.5.1 カンチレバーとは	— 14 —
3.5.2 SiN マイクロカンチレバーの作成プロセス	— 15 —
3.6 毛髪	— 16 —
3.6.1 毛髪の構造と性質	— 16 —
3.6.2 毛根の構造	— 17 —
3.6.3 毛髪の成長サイクル	— 18 —
3.6.4 毛髪の成分	— 19 —
3.6.5 ブリーチのしくみ	— 20 —
3.6.6 ブリーチ剤の成分	— 21 —
4. 実験方法	—22—

4.1 操作方法	— 23 —
4.2 SPM 測定設定条件	— 24 —
4.2.1 SPM 測定パラメータ	— 24 —
4.2.2 本研究 SPM 設定	— 26 —
4.3 粗さパラメータ	— 27 —
5. 実験結果	— 28 —
5.1 AFM 測定画像	— 28 —
5.2 20 μm 四方測定結果	— 30 —
5.3 5 μm 四方測定結果	— 31 —
5.4 LFM 電圧平均	— 32 —
6. 結言	— 33 —
7. 今後の課題	— 33 —
参考文献	— 34 —
 付録 A	 — 35 —
A-1 毛髪表面観察結果と SRRz 及び Rkr の変化	— 35 —
A-2 年齢による毛髪損傷の差	— 39 —
付録 B 日常生活における毛髪	— 41 —
付録 C もう一つの櫛どうりの良さ測定法	— 45 —
付録 D 原子間力顕微鏡への期待	— 47 —
付録 E これまでの研究データ	— 49 —
付録 F LFM 信号	— 55 —
付録 G 発表用前刷り	— 57 —
付録に用いた参考文献	— 59 —

1. 緒言

本来人間の毛髪は頭部を保護する為にあるものである。しかし今日ではそのように考える事もほとんどなく、ファッション、おしゃれの一部として考えられ、毛髪の奇麗さが重要視されている。そのため、人は皆トリートメントなどを用いて髪の健康に気を遣い、髪をいたわっている。一方ではブリーチや、カラーリング等で毛髪を傷つけている。

これまで、毛髪の損傷について様々な研究がなされており、評価方法は物理的手法と化学的手法の2つに大別される。主な物理的手法として、電子顕微鏡による毛髪表面状態の観察、ESCA（X線光電子分光分析装置）による数十Åの深さの毛髪表面における化学剛性および結合状態の観察、動摩擦係数やコーミングフォースによる毛髪の櫛どおり性の測定、毛髪の機械的性質の評価法として引っ張り特性、ヒステリシス特性、応力緩和、ねじれ特性、曲げ特性などがあげられる。

また、化学的手法としては、損傷毛のCu吸着量の定量（Weber法）、毛髪のアミノ酸組成の分析などが知られており、これらの測定方法については総説¹⁾としてまとめられている。

このように、今まで多くの毛髪損傷診断技術が報告されているが、これらの評価方法は毛髪表面の状態と毛髪全体の静的弾性に関するものが多く、毛髪の微細構造と損傷に関する研究は少ない。²⁾

毛髪の表面損傷に関しては、大きな視点で見れば、毛髪表面全体の損傷である。しかし、その損傷の元となるものはキューティクル1枚1枚の表面損傷、つまり微細構造の変化であり、それらの集まりが毛髪表面全体の損傷となっていると言える。よってキューティクル表面の損傷を評価する事が、毛髪表面全体の損傷評価に繋がると考えた。

キューティクルのような微小な物の表面損傷を評価するには、SPM（走査型プローブ顕微鏡）が適していると考ええる。

その理由として、SPMの一種であるAFM（原子間力顕微鏡）は、SEMと同様、毛髪表面状態の観察が可能で、更にSEMよりも分解能が高い為、より細かな形状まで観察する事ができる。

また、AFMと同時測定が可能なLFM（摩擦顕微鏡）により、これま

での毛髪損傷状態を定量化する目的に使用されていた摩擦力の測定ができる。

その他に AFM により観測した表面形状を SPM のコンピュータにより表面粗さ解析ができ、微細構造の変化を粗さパラメータによる数値として表示することができる。

これらの表面形状、摩擦力、粗さパラメータを用いる事により、微細構造の変化を定量的に評価できるのではないかと考えた。

よって、本研究では損傷に伴う毛髪表面の微小範囲での構造の変化を SPM により解析し新たな評価基準による損傷評価を試み、微小領域を評価領域とし、全体の損傷を定量的に評価する事を目的とする。

SPM において毛髪の損傷を評価し、その損傷度合いを見た目ではなく、確かな数値として定量的に示す事ができれば、ブリーチ剤等による損傷の具合、ブリーチ剤などの効き具合等が人それぞれに分かるようになるのではと考える。人それぞれに損傷具合が分かるという事は、人それぞれの毛髪に対するケアができ、今後の毛髪損傷回復技術の発展にも微力ながら役立つのではないかと考える。

2 これまでの毛髪評価方法

2.1 電子顕微鏡

毛髪表面状態の観察をするために用いられる。

SEM を使用し、毛髪表面状態の観察する事が多い。

SEM とは、セットした試料に大量の電子ビームを浴びせ、試料から発生する 2 次電子をセンサーによって読み取り、その量の大小を画面に白黒の濃淡で試料の表面形状を表示する仕組みとなっている。

また、毛髪が液体や気体（空気中の水分を含む）中で反応する際の寸法変化を測定するのにも適している。

顕微鏡法と呼ばれる手法により毛髪の直径を測定する事が可能で、直径 D が明らかになる事により、半径 r 、断面積 A 、体積 V 、表面積 S_u が以下の式によって計算できる。

$$A=0.7854D^2, V=0.7854D^2L, S_u=D\pi L$$

この顕微鏡法により測定した様々な相対湿度での人毛の長さ、直径、断面積、体積の変化を計算した表 2.1 を下に示す。

表 2.1 人毛の寸法変化と相対湿度(RH)

RH (%)	吸収			
	直径の増加率(%)	長さの増加率(%)	断面積の増加率(%)	体積の増加率(%)
0	0	0	0	0
10	2.3	0.56	4.7	5.7
40	5.1	1.29	10.5	12.2
60	6.9	1.53	14.3	16.3
90	10.6	1.72	22.3	24.6
100	13.9	1.86	29.7	32.1

表 2.1 より相対湿度 RH が増加するにつれ、長さよりも直径の増加率が大きく、それに伴い断面積、体積が増加していることが分かる。つまり、毛髪は水分を吸収することによって長くなるのではなく、太くなるということである。

2.2 ESCA

ESCAとはElectron Spectroscopy for Chemical Analysisの略で固体表面の数nm（数十原子層）の表面分析法である。

真空中で固体表面にX線を照射すると、X線によってエネルギーをもらった表面原子から電子が飛び出す。この電子は、X線などの光の照射によって発生するので、光電子と呼ばれており、この光電子は、元素に固有のエネルギー値を有しているので、そのエネルギー分布を測定することによって組成を調べることができる。表面から深いところで発生した光電子は、表面に出てくるまでに吸収されるため、この方法による分析深さは、平均的な表面層の数十原子層（3～5 nm）の領域になる。

毛髪においては数十Åの深さの毛髪表面における化学剛性及び元素の結合状態の変化を観察し損傷を推定する事が可能である。

元素の結合状態を観察することから ESCA は、化学的な毛髪評価方法に近いと考えられる。

2.3 動摩擦係数，コーミングフォース

毛髪の櫛どうり性を評価する為の方法である。

櫛どうりやすさに関係する毛髪の性質は、摩擦係数、毛髪の硬さ、静電気、曲率半径、直径、長さなどが挙げられる。

ブリーチ処理によって櫛どうりは悪くなるが、ブリーチ処理による曲率の変化、硬さ、直径、帯電性の変化はほとんど無いことから、表2.2からも分かるように、その最大の要因は摩擦の増加である。

表2.2 櫛どうりに関わる性質

櫛どうりを良くする性質	櫛どうりを悪くする性質
硬さ	曲率
直径	静電気
	摩擦

毛髪の摩擦係数測定にはドラム回転法が用いられており、測定対象は毛髪1本で、毛髪の両端に等しい錘をつけ円筒（ドラム）上をかけ、一方の錘をねじり秤の上に置き、円筒の回転により生ずる摩擦力を測定するという手法である。

この円筒を櫛とみなし、円筒の材質を変えることにより様々な櫛による櫛どうりの良し悪しが明らかとなる。

また、櫛どうりのよさ（ヘアケア）を考えた場合、毛髪表面の摩擦係数は大きなファクターとなり、毛髪の湿潤状態における摩擦係数は乾燥状態の摩擦係数よりも大きい。（表 2.3－a）また、特に摩擦を考えた場合、毛髪には方向性がある。逆方向の摩擦係数は、順方向の摩擦係数よりも大きくなり、この傾向は乾燥状態よりも顕著である。（表 2.3－b）³⁾

表 2.3－a: 摩擦面材質（櫛の材質）と毛髪の摩擦係数

	動摩擦係数 μ_k		
	硬質ゴム	ナイロン	アルミニウム
乾燥毛	0.19	0.14	0.12
湿潤毛	0.38	0.22	0.18

表 2.3－b: 毛髪の方角と摩擦係数

	動摩擦係数 μ_k	
	順方向	逆方向
乾燥毛	0.12	0.14
湿潤毛	0.19	0.25

2.4 引っ張り特性

人毛の引っ張り特性を評価する一般的な方法は、荷重－伸長法である。すなわち既知の長さ（通常 5cm）の毛髪を一定速度（0.25cm/min が適当）で、水中、緩衝液中、あるいは一定湿度（約 60%RH）でインストロンテスターのような自動装置によって延伸する方法である。

引っ張り特性は、表面特性とは異なり、毛髪全体の特性であり、毛小皮に関係の無い毛皮質の特性である。Scott は一定条件下で毛小皮を削り落とした毛髪の引っ張り特性を調べ、毛小皮が特性に寄与していないと結論している。すなわち、毛髪の引っ張り特性を左右するのは、毛髪の構造において大部分を占める毛皮質である。

ブリーチ等、毛皮質に影響を与える処理を施した場合、毛髪の引っ張り特性は表 2.4 の様に低下する。

表 2.4 未処理毛、脱色毛の引っ張り特性の変化

	20%伸長にかかる力(g)		
	未処理毛	脱色毛	
湿潤時	16.67	7.01	58
乾燥時(55%RH)	36.71	33.80	8

また、応力緩和とは毛髪を一定の長さに延伸し、処理し、そして延伸された長さに保ち、時間による応力の減衰を追跡する方法である。これ

も人毛の引っ張り特性を測定する方法の一つである。

2.5 ねじれ特性

毛髪は普通、コーミング、ブラッシング、セットする際にねじられている。

ねじりに対する抵抗はねじり剛性率といわれ、1cm 当り 1 回転のねじりを生ずるのに必要なトルクで表される。

ねじり剛性及びねじり係数を求めるには幾つか方法があるが、全てねじり振子法に基づいており、1 本の毛髪の端に小さな振子をつるし自由回転させる方法である。

ねじり係数 E_t は、振動時間(P) (通常 10~20 回の振動をとる)、毛髪の長さ(L)、毛髪の半径 (r)、振子の慣性モーメント(I)により計算できる。

パーマ処理毛と未処理毛のねじり特性についての Bogaty の結果を表 2.5 に要約してあるが、処理毛の剛性率は低相対湿度で未処理毛より大きく、そして 90%以上の相対湿度でより小さくなることが分かる。

表 2.5 Bogaty のデータによるウェーブ毛と未処理毛のねじり係数

RH (%)	未処理毛 $E_t \cdot 10^{-10} \text{dyn/cm}^2$	ウェーブ毛 $E_t \cdot 10^{-10} \text{dyn/cm}^2$
41	1.19	1.25
58	1.06	1.13
65	0.89	0.99
81	0.73	0.76
93	0.42	0.40
100	0.22	0.14

E_t : ねじり係数

$$E_t = 8 \pi I L / r^4 P$$

2.6 曲げ特性

毛髪の曲げ係数を測定する為、種々の方法が考えられている。なかでも平衡繊維法は、他の方法よりもばらつきが少なく最も扱い易い試験法である。

測定対象は毛髪 1 本で、毛髪両端に小さな同じ荷重を与える。毛髪を細いワイヤーフックにつるし、垂直に垂れた 2 本の毛髪間の距離 d を測

定しその距離が毛髪の硬さの指数、硬さ係数 G となり、下記の式より計算できる。⁴⁾

$$G = Td^2/8$$

T はそれぞれ毛髪両端にかかる力で、 $\text{dyn}(g \times 980.6\text{cm/sec}^2)$ と表される。また、曲げ弾性係数 E_B も d より計算できる。

$$E_B = \pi Td^2/2A^2 \quad A: \text{毛髪の断面積}$$

これら、電子顕微鏡、動摩擦係数、コーミングフォース、引っ張り特性、ねじれ特性、曲げ特性といった物理的手法による毛髪評価方法は、評価対象が、毛髪 5cm～1 本といった大きな視点による毛髪の評価であり、物理的手法による毛髪評価方法において評価領域がキューティクル 1 枚といった様なミクロな範囲の毛髪評価が可能なのは、SEM による表面構造観察だけであるが、観察だけでは微小な領域を数値により定量的に評価することはできない。

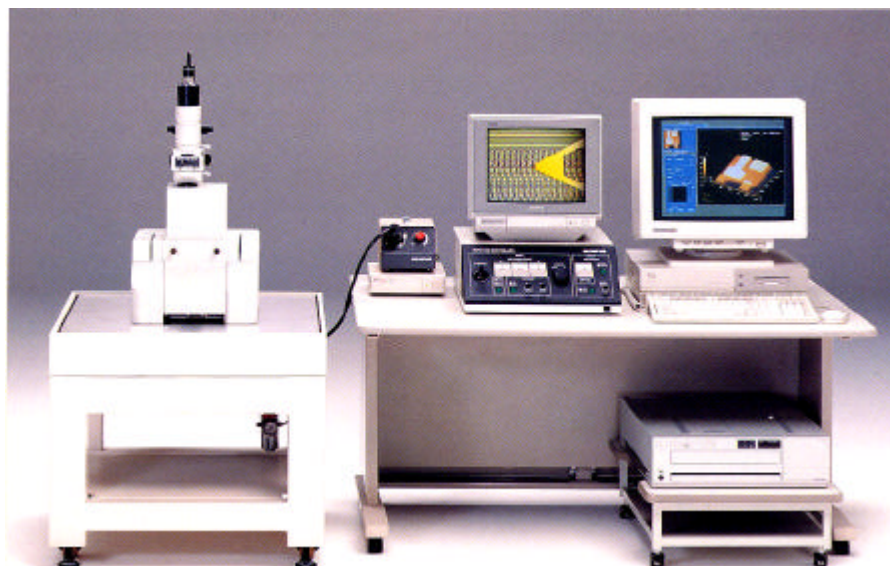
また、毛髪表面の硬さ、摩擦等の変化に直接関わっているのは、毛髪表面に存在するキューティクルである。それを考慮すると、そのキューティクル表面を数値によって定量的に評価することにより毛髪の表面構造の変化、すなわち損傷を評価することに繋がると考える。

このことから、キューティクル 1 枚の範囲（ミクロな範囲）の表面構造の変化を評価する意義があると考ええる。

3. 実験装置ならびに試験片

3.1 実験に必要とするもの

- SPM



型番：NV2000

特徴：カンチレバー真上より光学顕微鏡観察ができる為、サンプルの位置決めやカンチレバーの調整を素早く正確に行う事ができる。

ユニットの交換により AC-AFM 等の各種測定が行える。

光学リニア補正機構によるデータ補正により、歪みの少ない測定結果が得られる。

ホストコンピュータにワークステーションを使用する事で、多彩な画像解析やデータ処理が行える。

*光学リニア補正原理

ピエゾスキャナは、非直線的な印加電圧・変位特性を示し、1 辺が $10\mu\text{m}$ を超える走査範囲の際は SPM 像が歪む。そこで XY 方向の変位を小型の光学式変位センサで検出し、圧電体の XY 走査をフィードバック制御して歪みを補正しているものである。

カンチレバー(2ch-SPM 用探針)仕様：長さ $100\mu\text{m}$ ，幅 $20\mu\text{m}$ ，厚さ $0.8\mu\text{m}$ ，探針形状 ピラミダル（四角錐），探針長 $2.9\mu\text{m}$ ，ばね定数 0.37N/m ，先端径 20nm 以下

- ・ 毛髪（サンプル）：20 代男性、20 代女性、30 代女性
- ・ 超音波洗浄機
- ・ ブリーチ剤

成分：エデト酸塩、パラベン、香料、ステアリルアルコール、ポリ
エチレングリコール、ラウリル硫酸塩

- ・ 試料台
- ・ 両面テープ
- ・ カッター
- ・ ピンセット

3. 2 SPM とは

SPM とは Scanning Probe Microscope の略で走査型プローブ顕微鏡である。SPM は最初、トンネル電流を検出する走査型トンネル顕微鏡（Scanning Tunneling Microscope、以下「STM」という。）として 1981 年に Binig らによって発明された。この装置は、大気中で原子を観察できる画期的なもので、ノーベル賞を受賞した。

しかし、STM は検出する物理量がトンネル電流のため、観察する試料には良好な導電体が要求される。一般には導電体である試料でも表面は絶縁体の酸化膜に覆われている場合が多く、この制限は意外に厳しい。導電性が良くない場合は、表面に金や白金のコーティングを施すが、本来の表面状態を損うおそれがある。

STM のこのような欠点を解消するため、AFM が考案された。AFM は観察したい試料とプローブとの間に働く力を検出する装置である。このため、原理的には試料材質の制限はなく、適用分野は飛躍的に増大し、現在 SPM の主流になっている。その仕組みは、物理量（例えば、力、電流、磁気など）を検出するプローブ（探針）を観察したい表面に極めて近接させたとき、その物理量が表面との距離により鋭敏に変化することを利用し面像化する装置である。本研究に用いた AFM, LFM はその一種である。⁵⁾

これまでに AFM によって観測された毛髪画像を下に示す。（図 3.1.(a),(b) ）⁶⁾

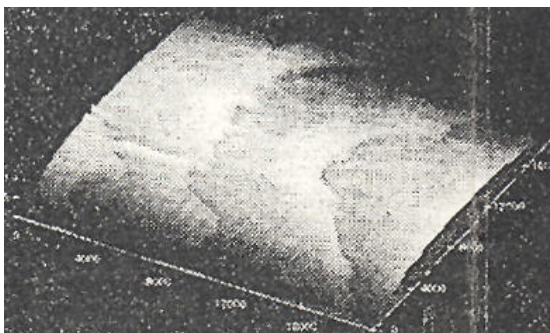


図 3.1.(a)10 台女性 AFM 像



図 3.1.(b)40 代男性 AFM 像

3.3 AFM

3.3.1 AFM の原理

AFM とは Atomic Force Microscope の略で原子間力顕微鏡である。その仕組みは、探針として非常にたわみやすいカンチレバーを用いている。カンチレバーには先端半径約 20nm 以下の探針があり、これが試料表面と接触する。反対側にはレーザーが当たっており、反射光をフォトディテクターで検出する機構となっている。

この状態で資料を走査すると資料の凹凸に応じてカンチレバーのたわみが増減し、反射光の位置が変化する。これを一定に保つ為に資料側の Z 微動を上下させ、その上下量を画像化している。

下にその図を示す。(図 3.2)

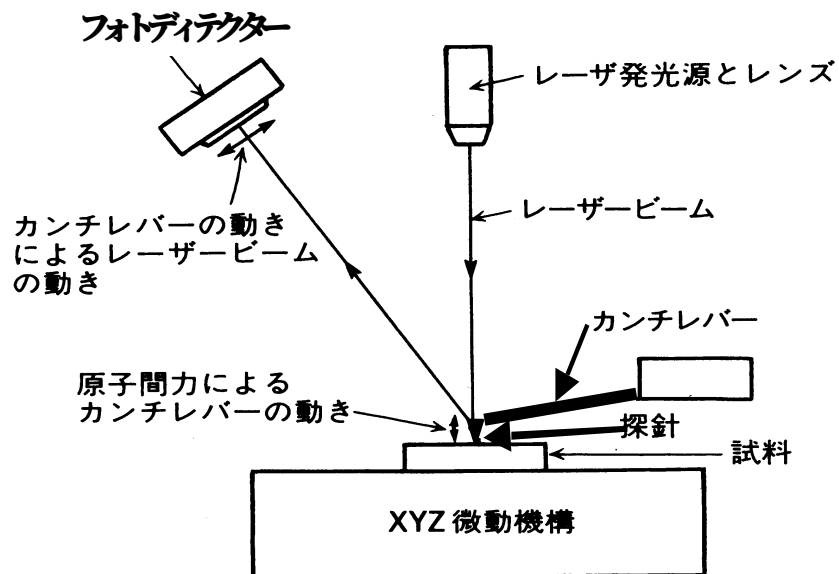


図3.2: AFM の原理

3.3.2 AFM の測定モード

・コンタクトモード

短針と試料面に 10^{-8}N 以下の力で押し付けて探針から試料間の斥力を測定する。

しかし、装置の設定荷重が 0N （ゼロニュートン）であっても大気中測定では探針が試料に触れているだけで試料には荷重がかかっていると言われている。その荷重をメニスカスフォースといい、 10^{-7}N 程度の力がかかっているとされている。測定環境（湿度、温度）等により、大気中の水蒸気が試料表面に吸着し、試料表面に形成されたコンタミ層の厚さが変化し、それに伴いメニスカスフォースも変化するので、 10^{-7}N というのはあくまでもおおよその値とされている。

メニスカスフォースはおおよその値と言われているだけで、装置が認識することはできない為である。

よって実際に試料にかかる荷重というのはメニスカスフォースに装置により設定した荷重が加わったものと考えてるのが良いとされている。

・ノンコンタクトモード

探針を試料から 50nm 程度離して探針から試料間の引力を検出する。引力の検出には、AC 検出方式を用いており、非接触の為、柔らかい試料の検出に適している。（AC 検出方式：カンチレバーを共振周波数付近で振動させ、引力による振幅の変化を検出する。）

・サイクリックコンタクトモード

ノンコンタクトモードと同様に探針を試料間に接触する程度に近接させ、試料表面との間歇的な接触による振幅の変化量を検出する。柔らかい試料、探針との相互作用が大きい試料の測定に適している。

なお、本研究の測定は、コンタクトモードで装置設定荷重は、 5nN にて行った。

3. 4 LFM

3. 4. 1 LFM の原理

LFM (Lateral Force Microscopy) 又は FFM (Frictional Force Microscopy) は摩擦顕微鏡と呼ばれている。LFMではプローブの横方向 (Lateral) にかかる力を映像化しており、摩擦力の違いをとらえると共に段差エッジを強調した画像が得ることが出来る。

LFM は試料表面の凹凸に応じてカンチレバーが動き、その動きに従ってカンチレバーに当てられたレーザー光が反射してフォトディテクターに入る光量が変わり電流値の変化としてとらえられる。AFM プローブが横方向の力を受け、カンチレバーがねじれるので、フォトディテクターに入るレーザー光の光量が相対的に左右で差が出てくる。それを LFM 信号として映像化している。実際、4 分割されたフォトディテクターに入る信号は同時に検知されているので、試料表面の凹凸像と LFM 像も同時に得ることができる。

LFMは、摩擦力顕微鏡と言われているが、実際のところ、「LFMがいかなる物理量を測定しているのか」という問題を理論的観点から解決する必要があると考えている。

3. 4. 2 LFM の装置構成 (図 3.3)

試料を発振機により Y 方向に振動させる。この時のカンチレバーのねじれ振動は、AFM の 4 分割ディテクターで横方向の変位として検出する。カンチレバーのねじれ振動信号はマルチモジュレーションコントローラ (ロックイン検出器) により、振幅 A または $A\sin\theta$ 、 $A\cos\theta$ のデータに変換される。XY スキャナにより資料面内を走査する事により、摩擦力分布を得ることができる。表面形状 (AFM 像) はディテクターの縦方向変位の DC 成分を利用して同時測定する。⁷⁾

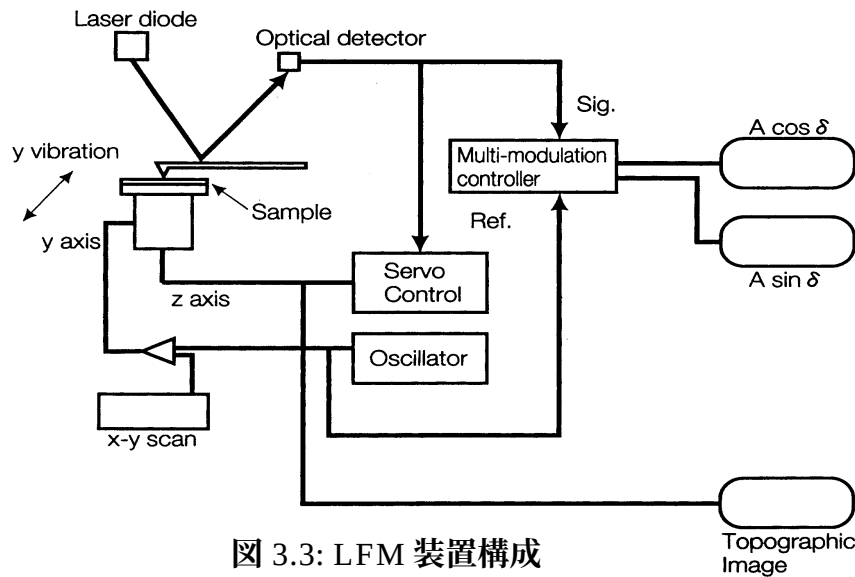


図 3.3: LFM 装置構成

3.5 カンチレバー

3.5.1 カンチレバーとは

SPM において測定する際に走査させる部分で、AFM や LFM に用いるカンチレバーとしては Albrecht らにより提案された窒化シリコン (SiN) 製のマイクロカンチレバーが広く使われている。短冊形状のカンチレバーの自由先端には、四角すい形状の探針が形成されている。

実際の AFM/LFM 測定に関しては、四角すい形状の探針の先端が試料に接するように配置し使用される。

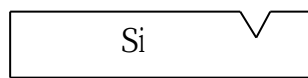
・カンチレバー材料として求められる事

データの再現性を考える際に再現性を落とす原因として測定中の摩擦による探針形状の変化が挙げられる。接触面積や探針の変形状態が変化するため、探針の磨耗の度合いによりレバー部のねじれが変化する。この為カンチレバーの探針は磨耗の少ない材料であることが望ましい。また、今後の探針材料として有望視されている DLC (Diamond Like Carbon) は、SiN と同等かまたはそれ以上の良好な磨耗特性を持つため期待されている。DLC 探針を持つカンチレバーを作製するには、膜質の安定化の他、プロセス上の課題を解決する必要があるとされている。⁸⁾

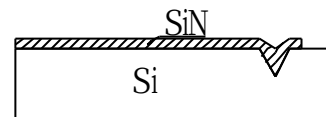
3.5.2 SiN マイクロカンチレバーの作製プロセス

- ・ シリコンウェーハ上に短針の型（凹部）を形成する。（下図 3.4-a）
- ・ この型にカンチレバーの材料となる SiN を堆積し、フォトリソグラフィによりカンチレバーのレバー形状を形成する。（下図 3.4-b）
- ・ 一方でカンチレバーの支持部となるガラスを加工し、カンチレバーが形成してあるシリコンウェーハと接合する。（下図 3.4-c）
- ・ 最後に探針の型であるシリコンウェーハを溶かし、SiN 製のカンチレバーをガラスの支持部に転写して完成する。（下図 3.4-d）

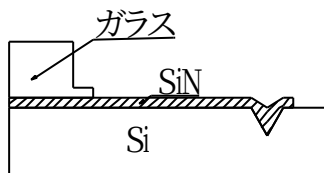
このような作製法はシリコンウェーハを型材として微細な三次元構造物を作成することからマイクロキャスト法と呼ばれている。



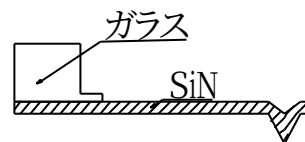
(図 3.4-a)



(図 3.4-b)



(図 3.4-c)



(図 3.4-d)

図3.4: マイクロキャスト法による SiN マイクロカンチレバーの作製プロセス

3.6 毛髪

3.6.1 毛髪の構造と性質

毛髪は、 $\phi 50 \sim 120 \mu\text{m}$ で、ケラチン蛋白の死んだ単細胞からなり、損傷に対する自己修復機能は無く、正常な人間では約8～10万本存在する。成長速度は約1cm/1ヶ月である。

毛髪の構造は図 3.5 のように、大きく分けて三つの部分からなり、最外側をうろこ状あるいは屋根瓦状に覆っている毛小皮（キューティクル）その内側に毛髪の大部分を占める毛皮質（コルテックス）そして中心部には毛髄質（メデュラ）からなる。毛髪の断面の形状はほとんどの場合、真円ではなく楕円形をしている。

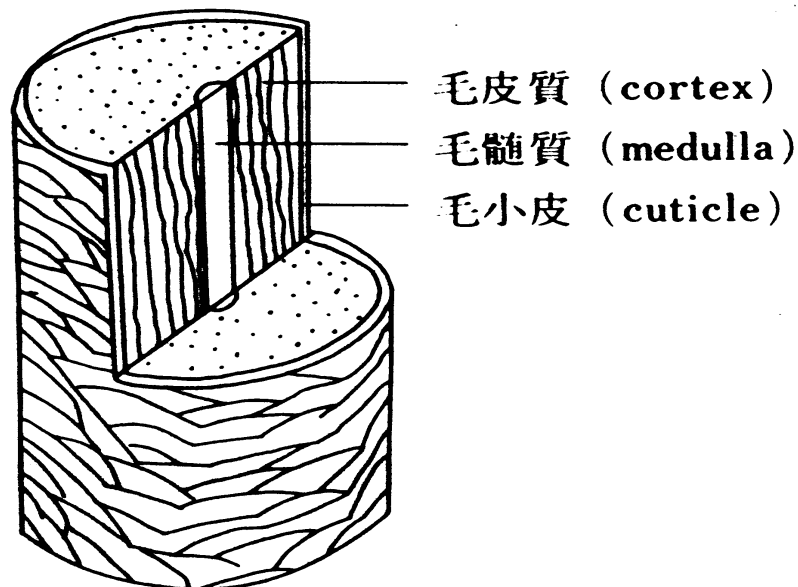


図 3.5: 毛髪の構造

毛小皮

毛小皮は、動物の毛髪内部の毛皮質を囲む化学的抵抗性の強い層である。上記にもあるように毛小皮は板状になったうろこ状の細胞からなり厚さ約 $0.5 \sim 1.0 \mu\text{m}$ 、長さ約 $45 \mu\text{m}$ で、各々の毛小皮細胞は厚さ $50 \sim 250 \text{\AA}$ の薄い細胞外膜（上表皮、エピキューティクル）に囲まれている。一般に人毛の毛小皮は5～10層あり、まれには20層のものもある。また、毛小皮細胞の内部は3つの主要な層に分かれており、外側から、シスチン含量の多いA層、外小皮（exocuticle）、内小皮（endcuticle）である。

毛皮質

毛皮質は人毛繊維の大部分を占めており皮質細胞と細胞間結合物質から構成されている。皮質細胞の大きさは一般に約 $1\sim6\mu\text{m}$ 、長さ約 $100\mu\text{m}$ である。また、皮質細胞は、マイクロフィラメントと呼ばれる紡錐型をした繊維状構造をしたものや、核の残渣、色素顆粒から構成されている。

毛髓質

人毛の毛髓質は一般に毛髪全体の数%にすぎない。毛髓質はまったく存在しないか、毛軸に沿って連続的、または不連続に存在する。

毛髓質細胞には隙間があり、脱水和の過程で収縮し、毛髪に沿って一連の空洞を残す。毛髓質は人毛繊維の化学的および機械的性質にほとんど寄与しないと考えられている。⁹⁾

3.6.2 毛根の構造

皮膚表面の下部は毛根であり、それは毛包の中に包まれている。毛包の基部には毛乳頭がある。毛乳頭は、新しい毛髪を生み出すための栄養を運ぶ血流によってそれらを与えられている。毛乳頭は毛髪成長のためには非常に重要な構造である。なぜならそれは男性ホルモン、つまりアンドロゲンの受容体を内に含んでいるからである。アンドロゲンは毛髪成長を規制し、頭髪においてアンドロゲンは、この種の脱毛を遺伝的にこうむりやすい個々人において、毛包が次第に小さくなり毛髪がより細くなるような変化を引き起こすのである。(図 3.6)¹⁰⁾

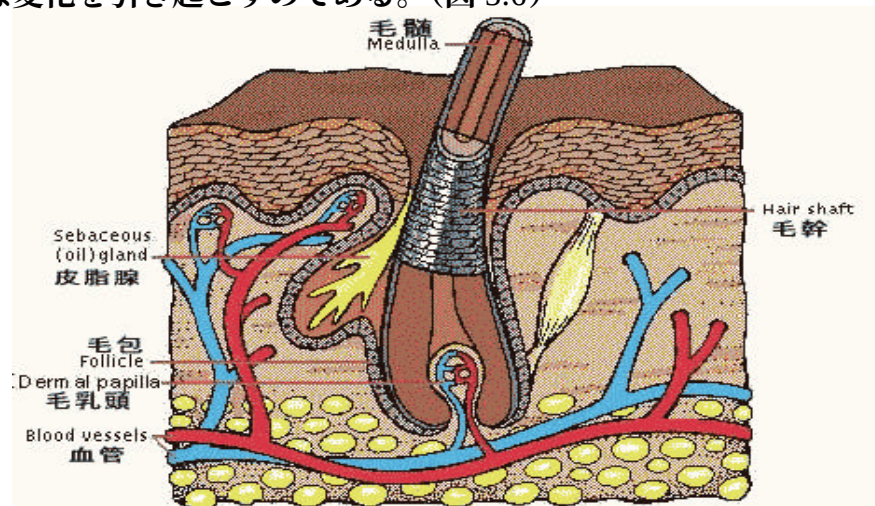


図 3.6: 毛根の構造

3. 6. 3 毛髪の成長サイクル

毛包は繰り返すサイクルをもって成長する。一つのサイクルは3つの局面に分けられる。

- 1) 活動期 anagen――成長局面。
- 2) 移行期 catagen――移行の局面。
- 3) 休止期 telogen――休止の局面。

それぞれの毛髪は近くに生えている他の毛髪とは独立にこれらの局面を通過する。

活動期――成長局面

どんな時期でも、全ての毛髪の約 85%が成長局面にある。活動期、もしくは成長局面は2年から6年と差がある。毛髪は1年間に約 10cm 成長し、そしてどんな個々の毛髪も1メートル以上の長さに成長する事はないようである。

移行期――移行の局面

活動期の終わりにになると、毛髪は一週間から二週間続く移行期に入る。移行期の間に、毛包は通常の高さの約 1/6 まで短くなる。下の部分は破壊されて、毛乳頭は毛包からはなれて下部に残る。

休止期――休止の局面

休止期は移行期に続いてやってきて、通常それは5～6週間続く。この時期の間、毛髪は成長せず、毛乳頭が休止期にとどまっている間、毛髪は毛包にくっついたままである。全ての毛髪の約 10～15%がどんな時期でも休止期のもとにある。

休止期の終わりには、毛包は再び活動期に入る。毛乳頭と毛包の基部はいっしょになり、新しい毛髪が形成され始める。もし古い毛髪がまだ抜け落ちていなかったならば、新しい毛髪が古い毛髪を押し出す。そして成長サイクルが再び全般にわたって繰り返される。

3.6.4 毛髪成分

毛髪構成成分はほとんどがケラチンというたんぱく質でできている。たんぱく質は下図3.7に見るとおり約20種類のアミノ酸でできている。その中で特に含有率の多いシスチンというアミノ酸がケラチンをつくりあげているということがわかる。その他はメラニン色素、水分、脂質、微量元素などがある。また、毛髪主成分のケラチンたんぱく質は、20種類のアミノ酸がポリペプチド結合した高分子化合物である。

シスチンは硫黄(S)を含んでいるのが特徴で、毛を焼くといやな臭いがするのはシスチンが分解して生じた硫黄酸化物の臭いである。

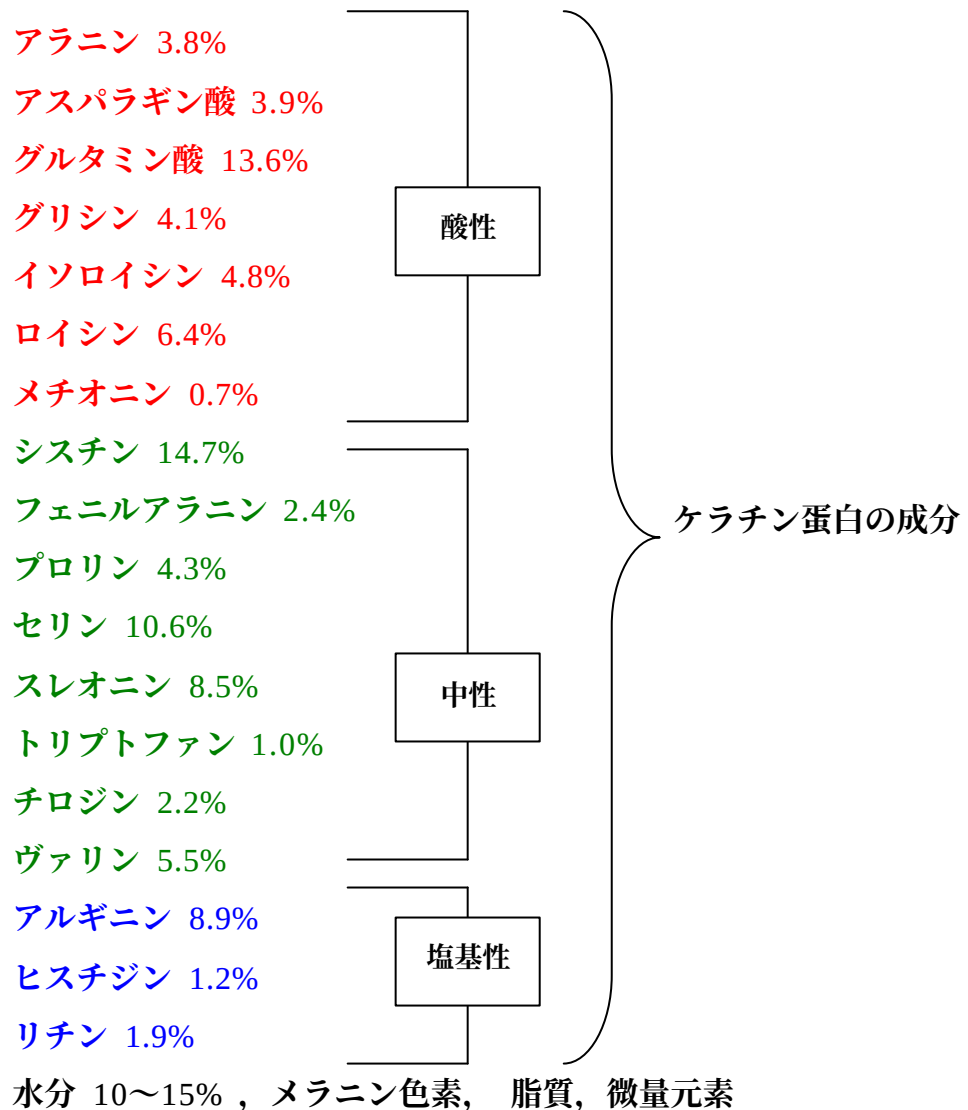


図 3.7: 毛髪成分¹¹⁾

3.6.5 ブリーチのしくみ (図 3.8)

一般にブリーチ剤はアルカリ性酸化染毛剤を指し、このタイプの染毛剤はほとんどが、パラフェニレンジアミンのような酸化染料（染料中間体）やアルカリを配合した 1 剤と過酸化水素水を配合した 2 剤がひとつのパッケージに入っており、この 2 つを混ぜ合わせ、毛髪に塗布し使用する。

アンモニア等のアルカリ剤は、まず毛髪を軟らかく膨らませ、過酸化水素の分解を促進させる。過酸化水素の分解によって発生した酸素が、毛髪の中にあるメラニン色素を酸化分解する。

毛皮質（コルテックス）内部に存在するメラニン色素はもともと、分子量が大きく黒色から暗褐色であるが、分解されると分子量が小さくなり、茶褐色に脱色される。これがブリーチ作用である。アルカリ性酸化染毛剤はこのブリーチ作用の強さを調節する事により元の髪よりも明るい色に変える事が出来る。

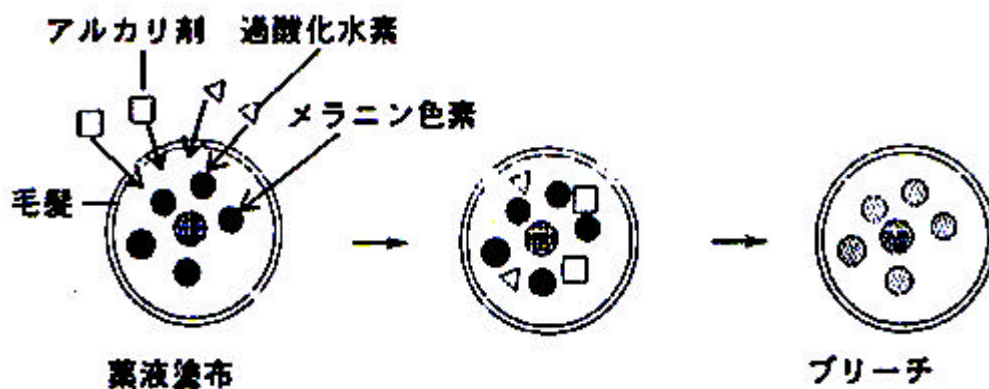


図 3.8: ブリーチ作用

3. 6. 6 ブリーチ剤の成分

エデト酸塩（変質防止剤）

皮膚や粘膜、目への刺激性、ぜんそく、発疹などのアレルギーの原因となる。口から入ればカルシウム欠乏症を招き、血圧降下、腎臓障害を起こす。¹²⁾

パラベン（殺菌防腐剤）

皮膚障害等のアレルギーの原因になっている。¹³⁾

ステアリルアルコール（乳化安定剤）

アルコールの一種（固形）で炭素数18が主である。また、界面活性の作用は無いが、界面活性剤と用いると、水にも油にも親しみやすくなるので、製品の安定性を増す効果が期待できる。クリーム、乳液やリンスなど幅広い製品に使用されているが、皮膚に弱い刺激がある。¹⁴⁾

ポリエチレングリコール（溶剤・湿潤剤）

皮膚毒性は弱いですが、飲みくだと肝臓、腎臓障害を起こす。発ガン促進作用がある。¹⁵⁾

ラウリル硫酸塩（界面活性剤）

脂肪を除去するため皮膚が乾燥し荒れる¹⁶⁾

4. 実験方法

3つの資料をそれぞれ普通の状態（未処理毛）、市販のブリーチ剤（毛髪を脱色させるもの）にてブリーチさせた（ブリーチ処理毛）の2種類を作り計6つの資料にする。

6つの毛髪を傷つけない程度の出力で水中において5分間超音波洗浄にかけ、洗浄し毛髪表面についたごみや油分を取り除く。

サンプルの水気を十分取り、約20分自然乾燥させた後、試料台に載せ20 μm 四方（ある程度毛髪形状を把握できる範囲）をAFMで観測する。その後測定画像中のキューティクル1枚に注目し、その中の5 μm 四方（およそ毛髪表面に露出しているキューティクルの長さ）の部分について観測を行う。

なお一連の、測定は、室温約26°C、湿度約20%の下で行った。

測定後20 μm 四方、5 μm 四方双方の画像にフィッティング処理を施し、毛髪の曲率を除いて平面化させ、面粗さ解析を行い、AFM像での損傷具合をよく表すパラメータを抽出する。

注意点：・測定では、マイクロ単位での傷が測定される為、サンプルに傷を付けないように、毛髪をピンセットで挟む際には測定では測らない個所を挟む事。

・超音波洗浄は出力を強くするとそれにより毛髪を傷める恐れがあるので注意する事。

・毛髪が水分を吸収する事でキューティクルが開き、表面形状が乾燥時と異なる。また、毛髪が水分を吸収する事によって表面の摩擦も異なってくる為、毛髪を超音波洗浄した後は、十分に毛髪を乾燥させる事。

・室温や湿度によって毛髪の状態が変化するので、一定条件の下に行う事。

・SPMは精密機械なので、取り扱いには慎重におこなう。

・カンチレバーは特に壊れやすいので、特に注意が必要。

4. 1 SPM 操作方法

SPM 操作方法を表 4.1 に示す。

表 4.1: SPM 操作方法¹⁷⁾

2ch-SPM(AFM&LFM)	
1.除振台の調整	除振台の四隅が均等に浮いているか確認する。
2.装置の電源ON	コンピュータを除くすべての装置の電源をONにする。
3.コンピュータの起動	コンピュータの電源をONし、Console Loginが表示されたのを確認しspmと入力する。次にシステム管理のプルダウンメニューから2ch-SPMを選択するとソフトウェアが立ち上がる。
4.サンプルの確認	カンチレバー調整ユニットを引き抜きサンプルをセットする。
5.カンチレバーの位置調整	カンチレバー調整ユニットを差し込む。前後水平調整つまみによりカンチレバー背面にレーザのスポットが当たるようにカンチレバーを移動させる。変位出力モニターの値が0 mAになるように上下移動つまみを調整する。このときレバーポジションつまみは中間値にしておく。
6.サンプルの位置決め	レバーポジションつまみをゆっくり時計回りに回しカンチレバーを退避させる。ジョグシャトルによりサンプルを上下させ光学顕微鏡のピントを合わせ、ジョイスティックにより位置決めを行う。サンプルを少し下げレバーポジションつまみをゆっくり回し変位出力モニタの値を-0.2mAに合わせる。
7.カバーのセット	外乱が問題になる場合には測定カバーユニットを装着する。再度レバーポジションで変位出力モニタの値を-0.2mAに合わせる。
8.条件の設定	コンピュータ画面により測定条件を設定する。
9.アプローチ	コンピュータ画面によりサンプルのアプローチを行う。
10.スキャン	コンピュータ画面により測定を開始しデータを取り込む。
11.サンプルの取り外し	コンピュータ画面によりサンプルをリリースしジョグダイヤルによりサンプルを充分下げサンプルを取り外す。
12.データの解析	取り込んだデータをコンピュータにより解析する。
13.データの保存	データをハードディスクまたはMO等に保存する。
15.コンピュータの終了	ソフトをEXITで終了しConsole Loginが表示されたのを確認した後shutと入力し処理が終了したらコンピュータの電源をOFFにする。
16.装置電源のOFF	すべての装置の電源をOFFにする。

4. 2 SPM 測定設定条件

4..2.1 SPM 測定パラメータ

測定の際の設定について解説する。

- Scanner type：現在取り付いているスキャナユニット名を表示する。
- Area range：現在設定されている走査領域を表示する。Wide（広範囲走査）と Narrow（狭範囲走査）の2つがある。
- XY servo：リニア補正を行うか否かを設定・表示する。
ON 時は 0.1～10.0（秒/1 ライン）の走査速度で使用する事。
- Scan rate：1 ライン往復する走査時間を設定・表示する。
走査速度により、1 ラインの長さ（ドット数）が変化する。
0.01～0.1（秒/1 ライン）未満の場合：1 ラインのドット数 64
0.1～10.0（秒/1 ライン）の場合：1 ラインのドット数 512
但し、2-chSPM 測定時は 0.1～10.0（秒/1 ライン）に設定し 1 ラインのドット数は、512 固定である。
- Scan line：走査ライン数（ライン/1 画面）を設定・表示する。
- Scan size：走査範囲を設定・表示する。
- Scan rotation：走査方向の回転を設定・表示する。90 度毎の回転が可能。ドロップダウンリスト（0,90,180,270）が表示されるので使用する走査方向を選択する。
- P-gain：走査時のサーボゲイン（比例定数）を設定・表示する。
微細な箇所を見る場合には感度をよくする為にゲインを上げる。

- ・ I-gain：走査時のサーボゲイン（積分定数）を設定・表示する。
 サンプルにより断面形状がエッジの部分などで発進する事があるので、その際はゲインを下げる。
 サーボ積分定数を 0 に設定すると、自動的にサーボ比例定数も 0 となり、サーボ OFF となる。
- ・ Input：走査時の信号取り込みモードを設定・表示する。ドロップダウンリストより使用する入力信号を選択する。
 - ・ Topography：スキヤナの Z 方向の変位を読み込む。
 通常この変位信号が AFM 像となる。
 - ・ Torsion：カンチレバーのねじれ測定モード。LFM 測定時に使用する。
 ＊LFM 測定時には、走査方向を 90° に設定し、かつ LFM 用カンチレバーを使用する事。
- ・ Data acquisition：走査時の信号取り込みの方向を設定・表示する。通常の測定は、行きのデータ（Forward）でデータを取り込むが、帰り（Reverse）で取り込む事により方向の違いによるデータの変化を測定できる。
- ・ L.P.F.：取り込みデータのローパスフィルタの ON/OFF を設定・表示する。マウスにより 10,20,100,200,1K,2K,OFF に設定する。
- ・ H.P.F.：取り込みデータのハイパスフィルタの ON/OFF を設定・表示する。ON にすると、約 1.6Hz のハイパスフィルタが作用する。
- ・ Spring constant：カンチレバーのバネ定数を示す。
- ・ Load：測定サンプルに対するカンチレバーの荷重値を設定・表示する。
- ・ Thickness：サンプルの厚さを設定・表示する。

4.2.2 本研究 SPM 設定

測定は以下の設定条件、表 4.2 にて行った。

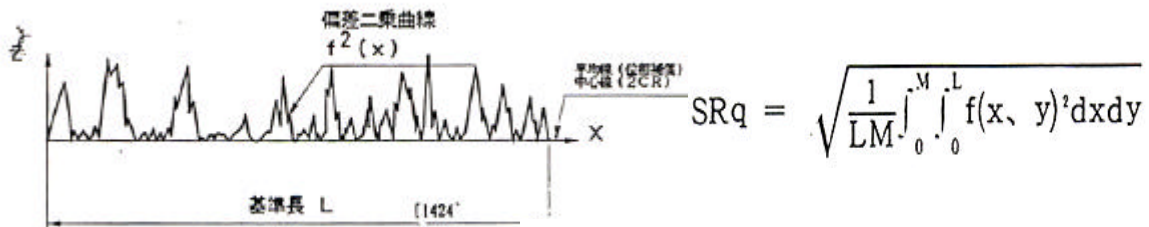
表 4.2: 本研究 SPM 設定

測定条件	2ch-SPM	
	ch-1 AFM	ch-2 LFM
Scanner type	S100C	
Area range	Wide	
XY servo	On	
Scan rate	1.0sec/line	
Scan line	128	
Scan size	20000nm	
Scan rotation	90	
P-gain	30	
I-gain	35	
Input	Topography	Torsion
Data acquisition	Forward	Forward
L..P.F.	Off	Off
H.P.F.	Off	Off
Spring const.	0.37N/m	
Load	5.0nN	
Thickness	0.5mm	

4.3 粗さパラメータ

以下の 3 つのパラメータ特性より、毛髪損傷を評価できる可能性があると考え解析を行った。

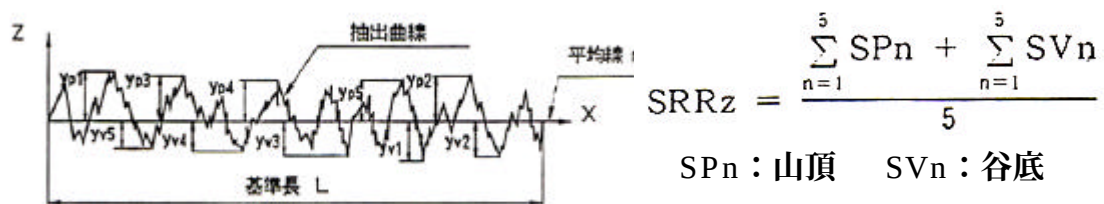
- ・SRq：粗さ曲面の二乗平均値



但し、粗さ曲面の X 方向長さを L、Y 方向長さを M、粗さ曲面を $y=f(x,y)$ とする。

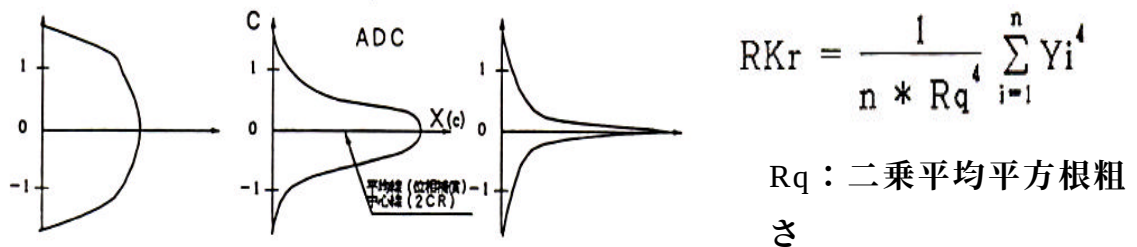
2 乗平均により毛髪表面の少しの尖りや凹みも強調されると考えられる。

- ・SRRz：粗さ曲面の十点平均値



粗さ曲面の上位 5 点と下位 5 点の平均間隔の値であり、目立った尖り、凹みについて明らかになると考えられる。

- ・Rkr：クルトシス（尖り度）



$0 < Rku < 3$ ：分布がつぶれている $Rku = 3$ ：正規分布 $Rku > 3$ ：分布がとんがっている

振幅分布曲線が尖っているか潰れているか等の特徴をしめすパラメータである。すなわち、毛髪表面がざらついているか、滑らかであるかをしめすパラメータになると考えられる。

5. 実験結果

5.1 AFM 測定画像

20 μm 四方の形状データに、フィッティング処理を施し、毛髪の曲率を除いて平面化した AFM 測定画像を図 に示す。

- ・ 図 5.1 - a : 30 代女性未処理毛
- ・ 図 5.1 - b : 30 代女性ブリーチ処理毛
- ・ 図 5.1 - c : 20 代女性未処理毛
- ・ 図 5.1 - d : 20 代女性ブリーチ処理毛
- ・ 図 5.1 - e : 20 代男性未処理毛
- ・ 図 5.1 - f : 20 代男性ブリーチ処理毛

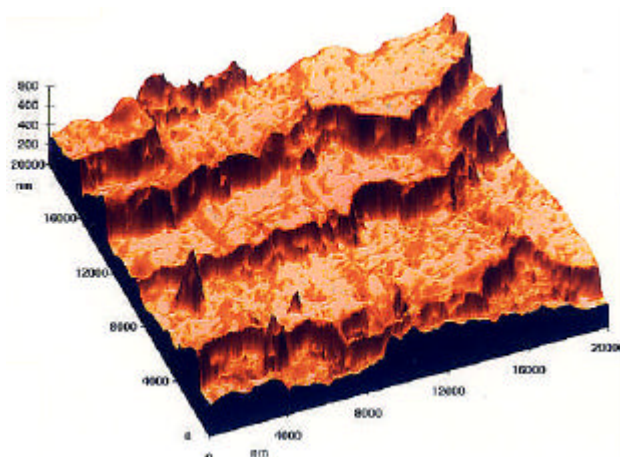
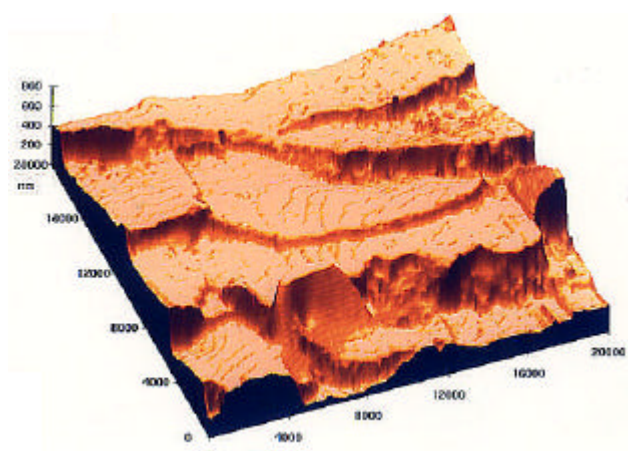


図 5.1-a: 30 代女性未処理毛

試料 1

図 5.1-b: 30 代女性ブリーチ処理毛

図 5.1-a と図 5.1-b を比較すると、ブリーチの影響が大きく現れ、キューティクル表面が荒れているのがみてとれる。

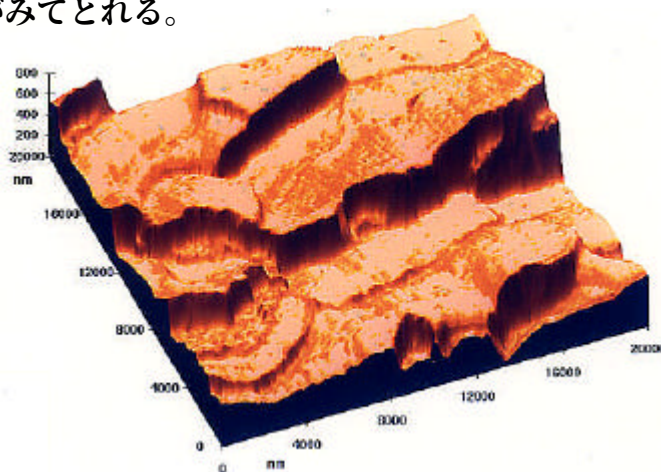
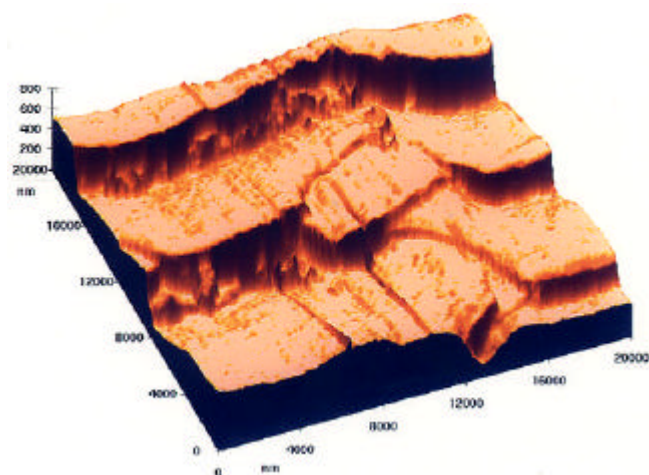


図 5.1-c: 20 代女性未処理毛

試料 2

図 5.1-d: 20 代女性ブリーチ処理毛

図 5.1-c と図 5.1-d を比較すると、試料 1 ほどではないがブリーチの影響が現れ、キューティクル表面が荒れているのがみてとれる。

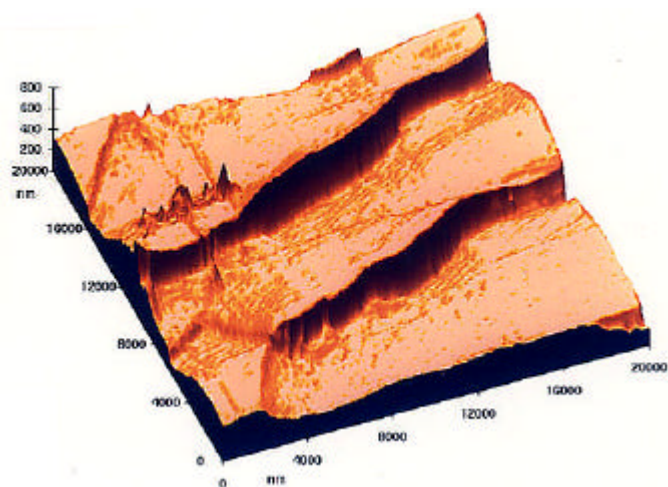


図 5.1-e: 20 代男性未処理毛

試料 3

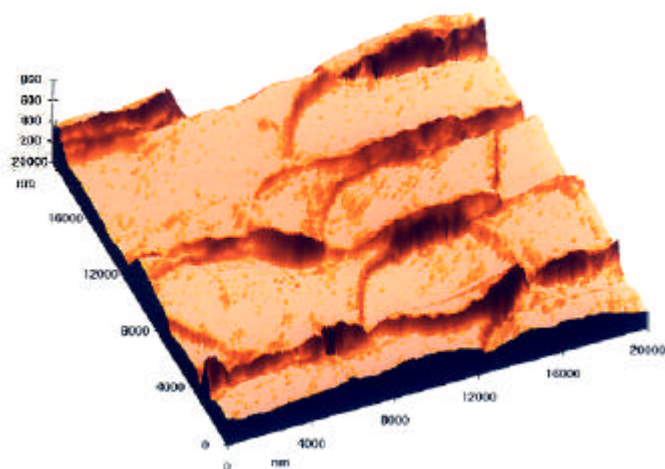


図 5.1-f: 20 代男性ブリーチ処理毛

図 5.1-e と図 5.1-f を比較すると、一見、ブリーチ処理後のキューティクルの角がガタガタしており試料 1, 試料 2 と同様にブリーチ処理後の方が傷んでいるようにも見えるが、キューティクル表面に注目すると、ブリーチ処理を施した方がなめらかになっているようにみとれる。

以上のような毛髪表面の微細形状の相違、つまり損傷具合を評価する為に $20\mu\text{m}$ 四方（測定面全体）と $5\mu\text{m}$ 四方（キューティクル 1 枚）の各データのパラメータ解析を行った。結果を次に示す。

図 5.2-(a),(b)

5. 2 20 μm 四方 AFM 測定結果

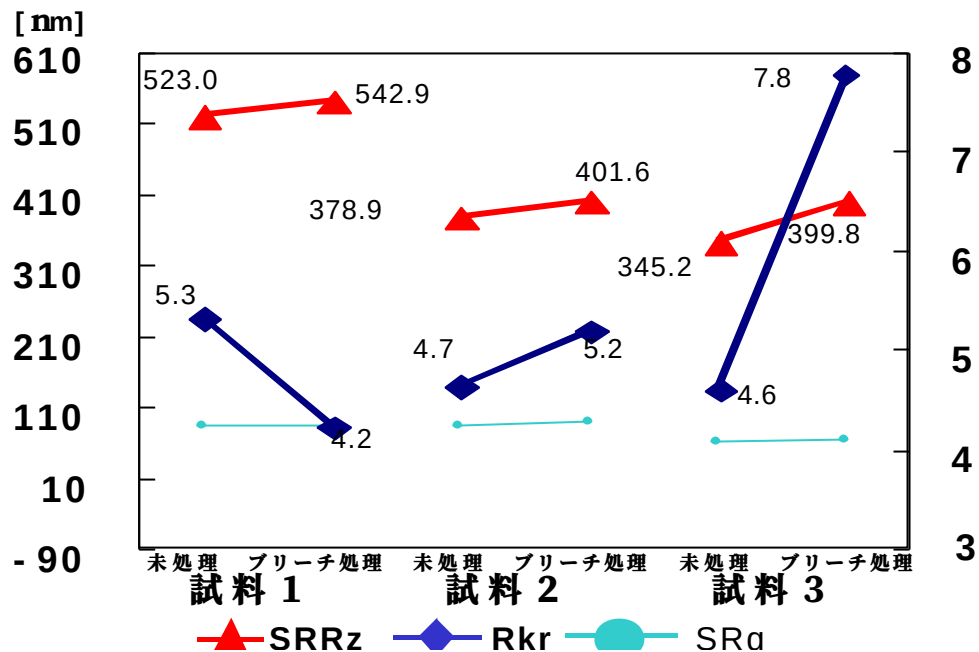


図 5.2-(a): 20 μm 四方 AFM パラメータ解析結果

この結果と、図 5.1 (a)～(f)の観察結果と対応させてみる。

・ 試料 1

観察結果では明らかにブリーチ処理後の方が、キューティクル表面が荒れていた。解析結果では、SRRz（粗さ曲面の十点平均値）は比較的对応がとれているものの、Rkr（クルトシス）はブリーチ後、値が小さくなっており実際の観察結果と矛盾しているように思われる。

・ 試料 2

観察結果では試料 1 ほど明確ではないが、ブリーチ処理後の方が、キューティクル表面が荒れているのが分かった。解析結果でも SRRz, Rkr 共にブリーチ処理後、数値が上昇しており観察結果と比較的对応がとれているように思われる。

・ 試料 3

観察結果では、試料 1, 2 とは異なり、ブリーチ処理後のキューティクル表面がなめらかになっていた。しかし解析結果では SRRz, Rkr 共にブリーチ処理後、数値が上昇しており実際の観察結果と矛盾しているように思われる。

5.3 5 μm 四方 AFM 測定結果

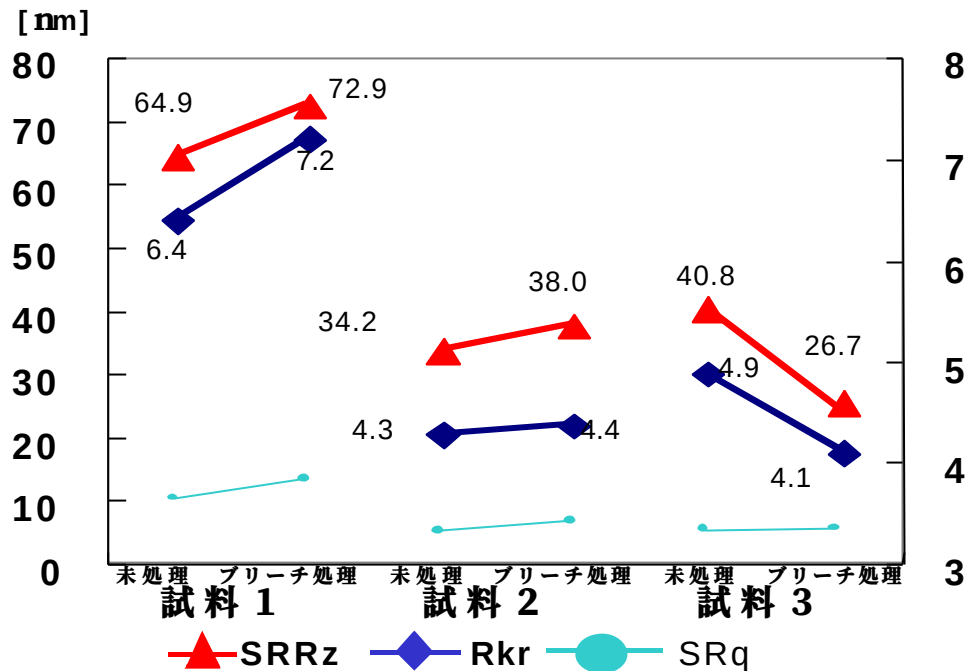


図 5.2－(b): 5 μm 四方 AFM パラメータ解析結果

この結果と、図 (a)～(f)の観察結果と対応させてみる。

20 μm 四方 AFM 測定結果とは異なり、試料 1～3 の表面観察による表面粗さの違い

(試料 1 はブリーチ処理後、キューティクル表面が非常に荒れていた。試料 2 は試料 1 ほどではないがブリーチ処理後、キューティクル表面が荒れていた。試料 3 は試料 1, 2 とは異なりブリーチ処理後、キューティクル表面が滑らかになっているようであった。)

が SRRz (粗さ曲面の十点平均値), Rkr (クルトシス) の変化量に明瞭に現れている他、ブリーチにより受けた影響の程度も定量的に把握できる結果となっている。

5. 4 LFM 電圧平均

また、5 μm 四方を LFM で測定し、平均値をグラフ化させた LFM 電圧平均値を図 5.3 に示す。

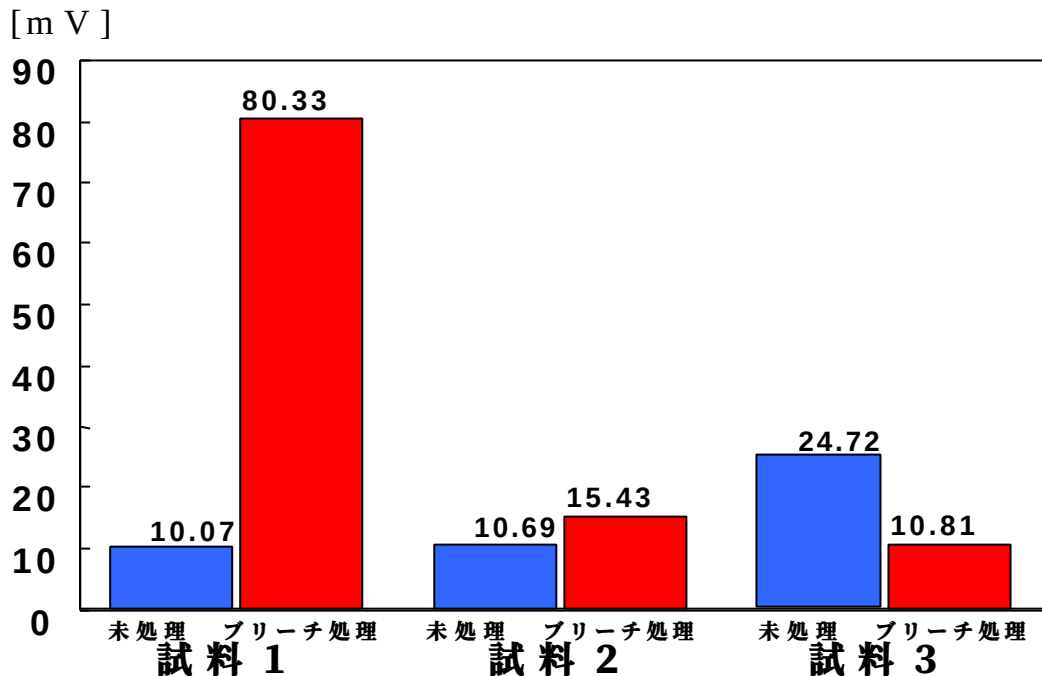


図 5.3: LFM 電圧平均値

LFM は、摩擦力を測定していると言われており、縦軸の mV が大きくなるほど、摩擦力が大きいとされている。

図 5.3 を見ても分かるように試料 1 はブリーチ後、表面の摩擦力は非常に大きくなり、試料 2 は試料 1 ほどではないがブリーチ処理後の表面の摩擦力が大きくなっている。また、試料 3 は試料 1, 2 とは異なりブリーチ処理後の表面の摩擦力が小さくなり、ブリーチ処理後の表面摩擦力が小さくなっている。

すなわちキューティクル表面が滑らかになっている事を示している。

5 μm 四方 AFM 測定結果(図 5.2-(b))同様試料 1~3 の表面粗さの違いが明瞭に分かる他、ブリーチにより受けた影響の程度も定量的に把握できる結果となっている。

6. 結言

以上の結果より、粗さパラメータにより表面の微細な形状の違い、すなわち損傷を評価する場合、 $20\mu\text{m}$ 四方においては毛髪全体の損傷の程度を定量的に評価できないが、キューティクル 1 枚 ($5\mu\text{m}$ 四方) の微小領域を評価領域とし、SRRz (粗さ曲面の十点平均値) や、Rkr (クルトシス) というパラメータを用いる事により、全体の損傷の程度を定量的に評価できる可能性がある事が明らかとなった。

また、LFM によっても表面の変化を定量的に評価できる可能性があると考ええる。

7. 今後の課題

本研究において SRRz や Rkr というパラメータを用いる事により、全体の損傷の程度を定量的に評価できる可能性がある事が明らかになった。この結果を用いて、今後はその定量性を明らかにさせる事が必要となると考える。

例えば、1 人の毛髪を用いブリーチの程度を変え、その損傷具合の違いを数値により定量化させる。など、サンプルを限定し、その毛髪に与える損傷を変化させる事によって、毛髪損傷の程度の定量性が明らかとなると考える。

LFM によっても表面の変化を定量的に評価できる可能性がある事から、LFM 測定によって表示される数値の単位 mV を N (ニュートン) 換算する方法を考える事も今後、必要であると考ええる。

毛髪損傷の程度が数値により、定量的に評価できるようになるという事は、損傷だけでなく毛髪のケアにも用いる事が可能となり、損傷回復技術の一助となり得ると考える。

参考文献

- [1]：日本化粧品技術者会誌 No.11 p. 15 (1997)
- [2]：FRAGRANCE JOURNAL 臨時増刊号 No.13 p.152 (1994)
- [3]：トライボロジスト第39巻 1994 年第6号 P.32
- [4]：クラレンス・R・ロビンス；毛髪科学 (1982) ,フレグランスジャーナル社
- [5]：佐藤 豊 ；愛知県工業技術センターニュース (1995) 11 月号機械電子部, <http://www.airi.aichi-iic.or.jp/news/news95/95113.html>
- [6]：朝日新聞；科学・今&未来 (1994. 1. 6)
- [7]：セイコー電子工業走査型プローブ顕微鏡セミナー, セイコー電子工業
- [8]：トライボロジスト第42巻第11号 P.1 (1997) ,日本トライボロジー学会
- [9]：クラレンス・R・ロビンス；毛髪科学 (1982) P.1～P.17,フレグランスジャーナル社
- [10]：ヘアケアについてのページ
http://members.tripod.co.jp/ginji_2/haircare.html
- [11]：毛髪研究のページ
<http://home3.highway.ne.jp/concep/mouhatu.html>
- [12]：<http://pretty.coara.or.jp/~wadasho/kiken.html>
- [13]：<http://pretty.coara.or.jp/~wadasho/kiken.html>
- [14]：<http://rabitt.hoops.ne.jp/説、ステアリングルール.htm>
- [15]：<http://www2u.biglobe.ne.jp/~shcsn/kikenbusitu.html>
- [16]：<http://www.page.sannet.ne.jp/iten/sitei.htm>
- [17]：オリンパス NV2000 走査型プローブ顕微鏡取扱説明書 P.5－1

付録 A

A-1. 毛髪表面観察結果と SRRz 及び Rkr の変化

本研究結果より、毛髪の損傷評価はキューティクル 1 枚 (5 μ m 四方) を評価領域とし、SRRz (粗さ曲面の十点平均値) や、Rkr (クルトシス) により全体の損傷の程度を定量的に評価できる可能性が明らかとなった。

よってその結果をより確かなものにする為、10 代男性毛髪 7 つを光学顕微鏡にて観察し、損傷の度合いにより順位をつけ、それぞれについて 20 μ m 四方の AFM 観測を行い、5 μ m 四方において粗さ表面解析を行い SRRz 及び Rkr を測定した。本研究の結果が正しいものであれば、損傷の程度に従い、SRRz 及び Rkr の値が変化するはずである。

結果を以下の表 A.1 及び図 A.1-(a)~(g) , 図 A.2 にて示す。

表 A.1 光学顕微鏡による観察結果

順位	サンプル名	光学顕微鏡による観察結果
1	a	非常にきれい
2	b	所々にガサつきやキューティクルの剥離はあるがきれい。
3	c	全体的にキューティクルの端が剥離している
4	d	キューティクルが所々剥離し全体的にややガサついている。
5	e	キューティクルが所々剥離し全体的にややガサつき損傷している。
6	f	キューティクルが剥離し、損傷している。
7	g	ひどく損傷している。

光学顕微鏡による毛髪の表面観察において、サンプル a が最も奇麗でサンプル g が最も損傷していると判断し、上記のような順位をつけた。

図 A.1-(a)~(g)は 20 μm 四方 AFM 像であり、高さスケールは 1.6 μm である。

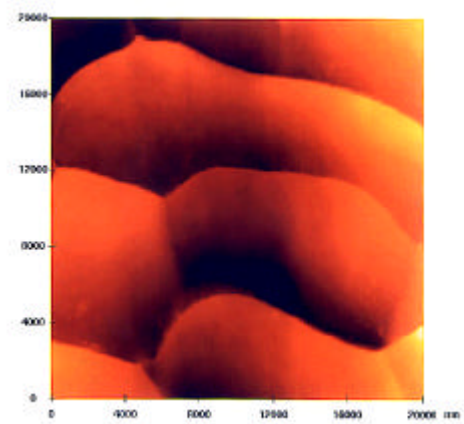
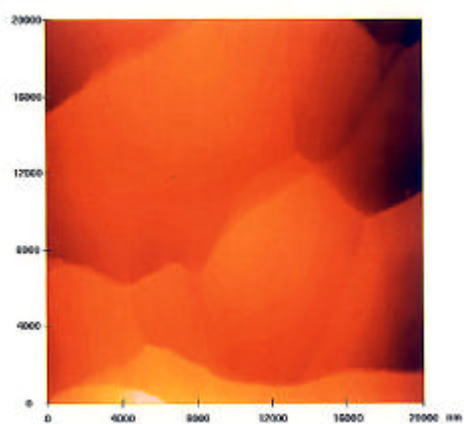


図 A.1-(a). サンプル a, 20 μm 四方 AFM 画像 図 A.1-(b). サンプル b, 20 μm 四方 AFM 画像

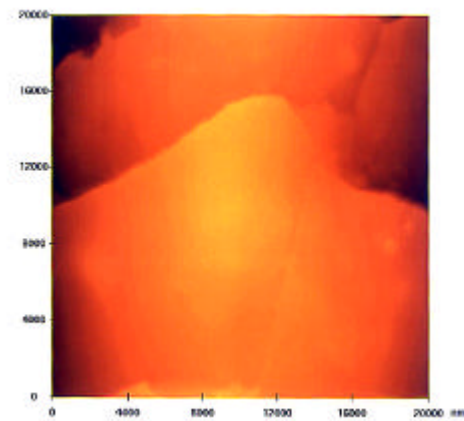
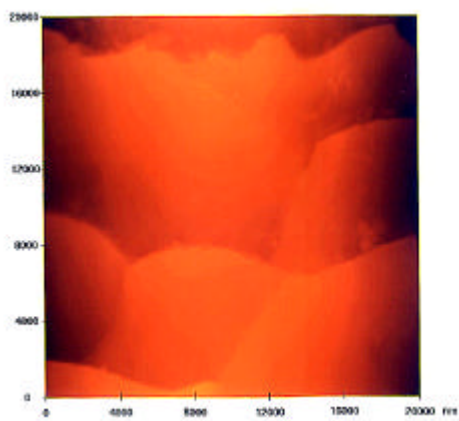


図 A.1-(c). サンプル c, 20 μm 四方 AFM 画像 図 A.1-(d). サンプル d, 20 μm 四方 AFM 画像

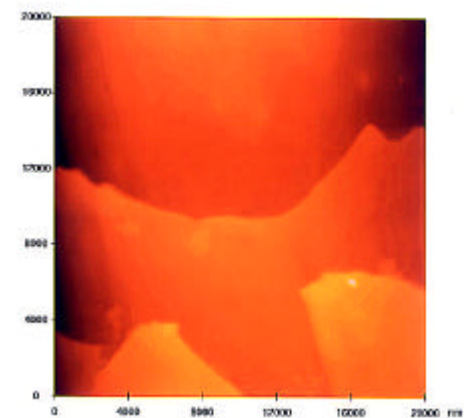
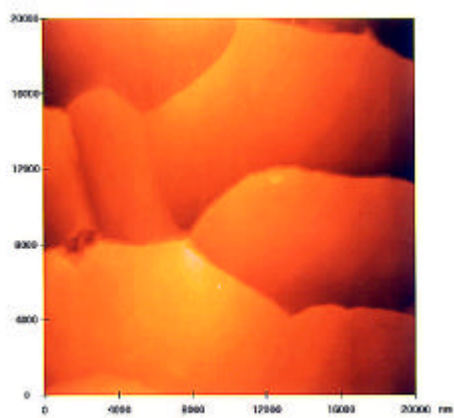


図 A.1-(e). サンプル e, 20 μm 四方 AFM 画像 図 A.1-(f). サンプル f, 20 μm 四方 AFM 画像

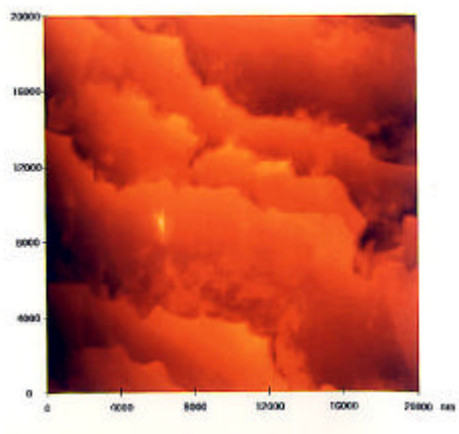


図 A.1-(g). サンプル g, 20 μm 四方 AFM 画像

表 A.1（光学顕微鏡による観察結果）と図 A.1-(a)~(g)を比較すると、それぞれ、比較的对応がとれているように思われる。

すなわち、光学顕微鏡による観察と、20 μm 四方の AFM による毛髪表面構造観察は、同じような役目（マクロな視点からの毛髪損傷評価）を果たしていると考えられる。

これらの観察結果と次に示す、サンプル a~g 5 μm 四方パラメータ解析結果（図 A.2）によって測定された SRRz 及び Rkr が対応していれば、研究結果と一致する事になる。

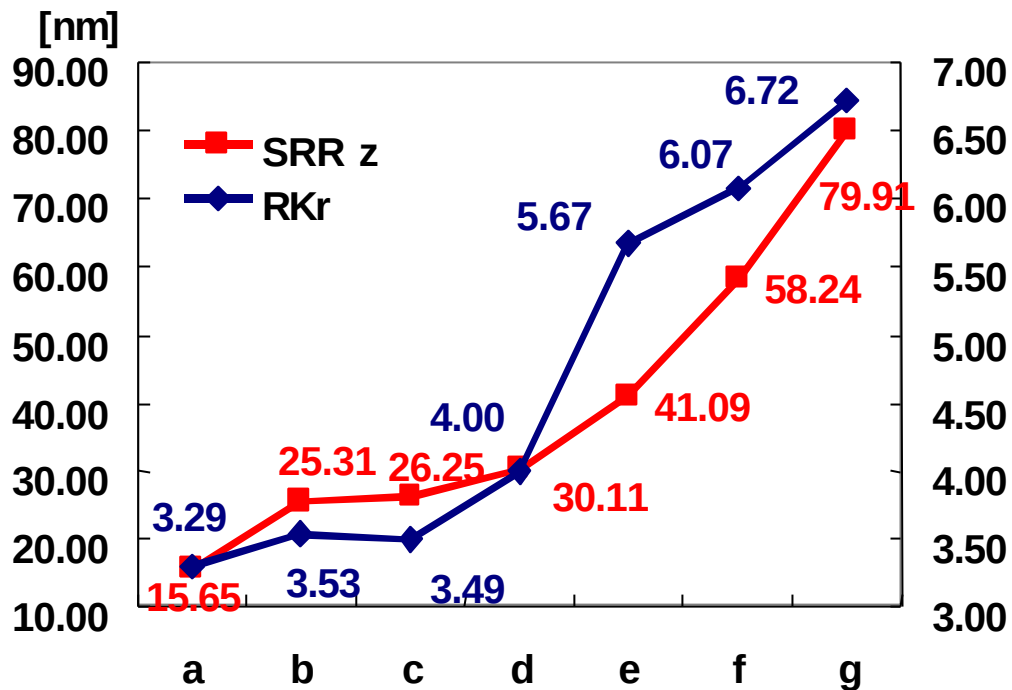


図 A.2：サンプル a~g 5 μm 四方パラメータ解析結果

観察結果ではサンプル a からサンプル g に移るにつれ、損傷がひどくなっていた。

一方、上記の図 A.2 の SRRz 及び Rkr はサンプル b から c にかけて Rkr が少し減少しているものの、その他はすべてサンプル g に向うにつれ、SRRz 及び Rkr 共に数値が増加しておりキューティクル表面がざらついている。すなわち、損傷している事が分かる。

これらの結果からも、見た目による表面損傷の程度を 5 μm 四方、すなわちキューティクル 1 枚の微小領域を評価領域とし、SRRz 及び Rkr によって定量的に評価できる事が明らかであると考ええる。

A-2. 年齢による毛髪損傷の差

研究結果により得られた毛髪損傷評価方法を用い、年を重ねるにつれ、損傷のは大きくなるのか検証を行った。

男性のサンプルは10代7人、40代3人、50代2人のサンプルを用い、女性のサンプルは10代3人、30代3人、40代2人のサンプルを用い、それぞれのサンプルについて、5 μ m 四方における SRRz および Rkr を測定する。(表 A.1(a),(b))

その後、それぞれの年代別に平均値をとり比較を行った。結果を図 A.3 に示す。

表 A.1(a): 男性の粗さ解析値及び年代別平均

男性		
サンプル名	SRR z	RKr
10代-1	26.25	3.49
10代-2	41.09	5.67
10代-3	25.31	3.53
10代-4	79.91	6.72
10代-5	58.24	6.07
10代-6	15.65	3.29
10代-7	30.11	4.00
10代平均	39.51	4.68
40代-1	49.39	4.81
40代-2	54.76	3.66
40代-3	27.76	9.75
40代平均	43.97	6.07
50代-1	52.82	4.18
50代-2	17.52	5.18
50代平均	35.17	4.68

表 A.1(b): 女性の粗さ解析値及び年代別平均

女性		
サンプル名	SRR z	RKr
10代-A	19.61	5.84
10代-B	24.09	3.13
10代-C	28.01	3.75
10代平均	23.9	4.24
30代-A	49.75	6.84
30代-B	31.23	5.05
30代-C	38.24	4.49
30代平均	39.74	5.46
40代-A	60.49	3.73
40代-B	37.96	4.32
40代平均	49.23	4.03

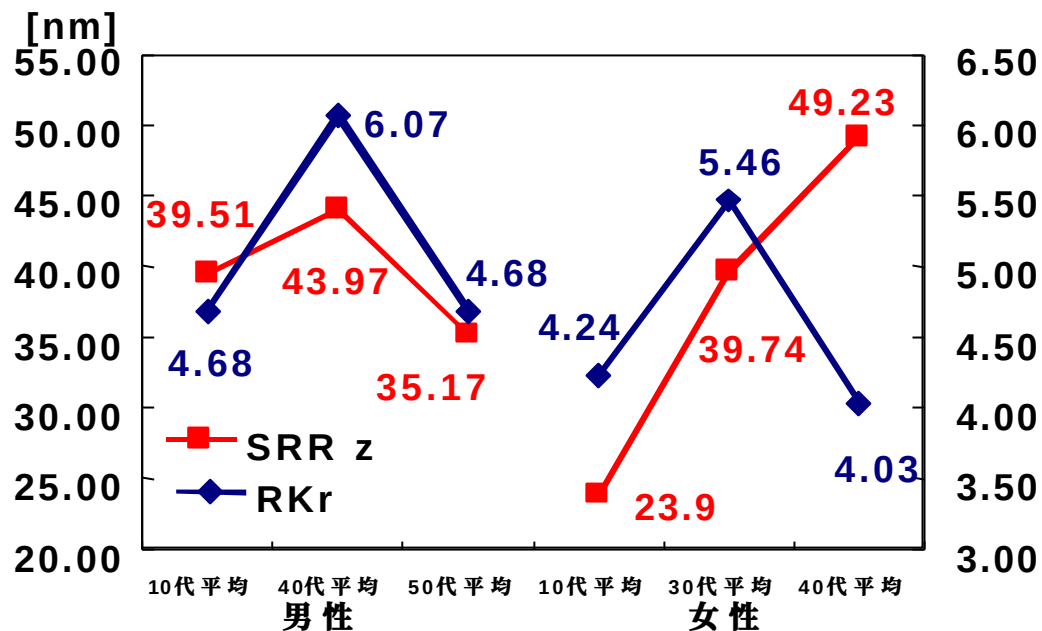


図 A.3: 年代別平均

上記のグラフを見る限り、年を重ねるにつれ毛髪の損傷がひどくなるという事は言えない。

その原因としてあげられる事は3点ある。

- それぞれのサンプル数が少なすぎる為、正確な平均値とは言えない。
- 同年代であっても、付録 A-1 に示したように損傷の違いが生じており、その平均をとり、年代別の平均として表す事が正しい手法であるのか。
- 毛髪にはサイクルがあり、毛髪は、常に生え変わっている。よって、年代に関わらず新しい毛髪が生まれてきている。その事を考慮すると、毛髪は、年を重ねるにつれ損傷具合がひどくなるという事は考えられないと思われる。

付録 B

日常生活における毛髪

髪汚れ

髪汚れには、大きく分けて外からつく汚れと私たちの身体の中から出る汚れがある。

外からの汚れはほこりで自動車の排気ガスや微細な土ボコリ、綿ボコリ、油煙などいろいろなものがある。ヘアスプレーやフォーム剤などの頭髪化粧品も、時間が経って性質が変わってしまうと外因性の汚れの一種となりうる。ベタベタしたジェルやフォーム剤は空気中のほこりを髪の毛にくっつけてしまう、ありがたくない役目もしている。

私たちの身体から出る内因性の汚れには、皮脂や汗、フケなどがある。私たちの皮膚には皮脂腺と呼ばれる、皮脂を分泌する器官があるが、頭皮には、この皮脂腺が身体他の場所よりも多く存在している。皮脂の分泌量も多く、髪の毛が密生しているため、頭皮はあぶらっぽくなりやすい場所である。皮脂の中にはトリグセライドと呼ばれる成分があり、特にこのトリグリセイドが髪の毛のべたつきの原因のひとつになっている。皮脂の分泌には男性ホルモンが関係しており、一般的に男性のほうが女性よりも皮脂量が多くなっている。また、新陳代謝の盛んな思春期は皮脂の分泌量も多く、それだけ髪の毛や頭皮があぶらっぽくなりやすい。

もう一つの内因性の汚れは汗で、汗を分泌する汗腺には、エクリン汗腺とアポクリン汗腺があり、一般に汗と呼ばれているものは、エクリン汗腺から分泌される。エクリン汗腺は全身にあり、もちろん頭皮にもたくさん存在している。汗は、その99パーセント以上が水分だが、頭部は髪の毛が密生しているので汗が蒸発しにくく、むれたような感じになり、汗の成分である塩分が残ったりする。

フケも内因性の汚れの一つで、これは身体のあかと同じで、皮膚の新陳代謝によって一番外側の皮膚の細胞がはがれ落ちたものである。皮膚の表面には、わずか0.2ミリくらいの薄い表皮があり、表皮の一番下の基底層と呼ばれる部分では、たえず新しい細胞が作られている。細

胞は次々と上の層に向かって押し出され、やがて寿命を終え、一番表面の角質層からあかとなって身体からはがれ落ちていく。頭皮では髪の毛が密集していて細胞が固まってはがれ落ちることが多く、目にとまるくらいの大きさになったものがフケと呼ばれるものである。

皮脂や皮膚の角質層は本来、頭皮や髪の毛を保護する役割があり、私たちの身体にとって必要なものであるが、老化したり古くなって変質したものは、トラブルの原因になるのでとり除く必要がある。

髪の毛が汚れていると、髪の毛がベタつくだけでなく、頭皮のかゆみや炎症を起こしてしまう。光や微生物によって変質した皮脂が頭皮を刺激して、時には抜け毛の原因となることもある。

シャンプー

髪の毛が汚れていると、べたついてヘアスタイルがくずれやすくなり、頭皮のかゆみや炎症も起こす。洗髪の目的は、髪の毛や頭皮の汚れを落とすことにある。洗いたての髪の毛は美しくツヤがあり、ヘアスタイルも作りやすいが、髪の毛が汚れてくるとツヤが失われ、ヘアスタイルもまとまりにくくなるだけでなく、いろいろなトラブルや傷みを発生させる原因となる。

シャンプーの良い条件は適度な洗浄性、きめ細かな泡立ち、洗髪後の仕上がり、低刺激性。シャンプーは頭皮や髪の毛の汚れを落とし、清潔に保つことが基本性能なので、適度な洗浄性は良いシャンプーの大切な条件である。しかし洗浄力の強すぎるシャンプーや、頭皮などに対する刺激の強いシャンプーは良くない。髪の毛に必要な皮脂をとりすぎると、髪の毛のパサつきや乾燥性のフケ発生の原因となる。

自然の状態の髪の毛には、油分が含まれている。この油分は湿り気や柔軟性を与える、外部からの有害物質や細菌の侵入を防ぐ、体内からの水分の放出を防ぐなどの機能があり、髪を保護する大切なものである。したがって、油分がなくなると、枝毛、抜け毛、切れ毛の原因になり、ツヤや弾力もなくなってしまう。そして、歳をとるにしたがい、はげたり、薄くなっていくことになる。ところが、シャンプーには合成洗剤に使わ

れている界面活性剤が含まれており、界面活性剤は、その強力な洗浄力で頭皮や毛髪の油分を取り、キューティクルを破壊してしまう。

キューティクルは数層からなっている非常に薄い膜で、その大切な役割は髪の毛の内部の保護である。正常な髪ではきちんとそろっている、界面活性剤入りのシャンプーを使っている人の場合はボロボロになっているケースが見られる。大切な油分を汚れとして取り除いているためである。

シャンプーには、泡立ちを作る増泡剤、増粘剤、紫外線吸収剤、殺菌防腐剤、香料、着色剤などが加えられている。容器に表示されているアレルギーを起こす可能性のある成分は、殺菌防腐剤、香料、タール色素などだが、どのような化学物質がどれほど配合されているかは分からない。

リンス

リンスは髪毛にはいいが、頭皮にはよくない、リンスの成分が頭皮の炎症を起こすことがあるからである。リンスは、シャンプー後の髪になめらかさを与え、しっとりさせるためのものである。

カチオン界面活性剤と高級アルコールが形成するゲルのなかに油分を配合している。カチオン界面活性剤は毛髪に吸着し、摩擦を少なくし、いったん吸着したカチオン界面活性剤や油分は、単なる水洗いでは落ちない。つまり、界面活性剤や油分がずっとついたままである。

油分は、毛髪になめらかさを与える効果が高いシリコン油が用いられている。シリコンはケイ素を含む高分子化合物。化学反応を起こしにくいため、医療品や電線の絶縁剤などに使われてきた。しかし、胸を豊かにする手術でシリコンを埋め込んだあと皮膚や関節が硬くなり、痛みが起きた女性が増え、ガンや免疫異常を引き起こす恐れも指摘されている。アメリカでは、食品医薬品局が92年に臨床試験以外の使用は認めないと決定し、製造中止となった。

整髪料

ヘアスタイルを整え、セットしたヘアスタイルを長持ちさせるのが本来の目的であるが、同時に毛髪に油分、水分を与えて健やかに保つことができるようにしている。そのための整髪料にはセット力を高めるためポリビニルピロニドンなどの水溶性高分子化合物が、油分としてエステル油などが、また、水分を保つためにグリセリンなどが配合されている。

整髪料には油性整髪料のヘアオイル、ポマード乳化整髪料のヘアクリーム、液体整髪料のヘアリキッドなど多くの種類があるが、実際にはヘアクリームなどの乳化された油脂類で十分といわれている。女性が主に使用している整髪料には泡状のムースタイプ、霧状のミストタイプなどがある。¹⁸⁾

付録 C

もう一つの櫛どうりの良さ測定法

櫛どうりが良いということは、毛髪の表面のいろいろな条件によって決められる。

キューティクルがきちんと並んでいて損傷が無ければ健康であるということで、損傷が大きいほど傷んで摩擦抵抗が大きくなる。このような状態は毛髪表面のキューティクルが粗くなっている。

1枚のキューティクルの長さは80～100 μ 、厚さは0.5～1 μ で毛幹の外周の1/2～1/3を包み、1枚のキューティクルはさらに三層に分かれており、外側から親油性でアルカリに強い厚さ約25Åのエピキューティクル（上小皮）、中間的な性質のエキソキューティクル（外小皮）、一番内側の親水性でアルカリに溶けやすいエンドキューティクル（内小皮）に分かれている。

外から見える部分は約20%前後で、水やアルカリを作用させると、内側のエンドキューティクルの方が水やアルカリに親しみやすいのでよく膨れ、バイメタルのように外側に向かってせり出し、キューティクルが開く。

残りの80%前後は順次重なり合っている。このため毛の横断面を見ると、軟らかい毛は2～3枚、普通は4～8枚、硬い毛になると20～25枚も重なっている。

この表面のキューティクルが重なり合った蛇の腹のような紋様は指紋のように一人一人違っているが、2cmの間にある紋様の間隔を調べると、健康な毛髪は細かくて数が多く、損傷していると大きなものが多くて数が少なくなっていたり、剥がれてしまい、皮質（コルテックス）がむき出しになっている。

この毛表皮が剥離すると皮質の損傷を招き、毛髪の状態が悪くなる。

櫛どうりは毛髪の損傷だけで決まるのではなく、毛髪の横断面の形状は、真円に近いもの、楕円形のもの、扁平のものなどがあり、この横断面の最小直径を最大直径で割って100倍した数値を毛径指数（トロッ

ター係数)と言い、この指数が100であれば毛髪の横断面の形状は真円であり、指数が小さいと楕円から扁平と変化する。

日本人の場合の毛径指数は、75～85で比較的円形に近く、ニグロの場合は、50～60で扁平となっている。人種によって毛径指数に特徴があり、ホッテントット 40～50、エスキモー 77、チベット 80、欧米人 62～72 のようになっている。

当然櫛どおりは真円に近い直毛の方が良く、縮毛、球状毛になるに従って摩擦抵抗が増すため悪くなっていく。この摩擦抵抗を調べるためにはある一定の数の毛髪をモーターで回転させるブラシでブラッシングし、ブラシにかかる力を測定する。バネ計りの原理を応用し、洗って自然乾燥した毛髪を一定の回数ブラッシングをし、(その時にかかる力×ブラッシング回数) で出し、少ない方が、摩擦抵抗が少ないということになる。一般に抵抗は毛先側が大きくなる。また、ブラシのブリッスルの材質によっても抵抗は違ってくる。

また、毛髪は湿度によって変化するので、毛髪中の水分量や空気中の湿度、損傷の程度などにより、キューティクルの開き方が変化するので、これらの条件を一定にして測定しなければならない。そのほか毛髪の太さ、パーマメントや染毛などの化学処理の有無や、整髪料や汚れなどの条件、ブラシの材質などによっても変化するので、これらも一定にしなければならない。¹⁹⁾

付録 D

原子間力顕微鏡への期待

1986 年に発明された A FM は、1995 年に非接触領域での微弱な引力測定を超高感度な周波数変調 (Frequency Modulation: FM) 検出法を用いて超高真空中で行うことにより、真の原子分解能を達成した。現在、原子の間に働く相互作用そのものである力 (原子間力や分子間力) を原子レベルで計測する事 (原子間力分光) と、原子間力や分子間力を制御する方法を開発することが次の課題となってきた。平成 11 年度から発足した特定領域研究「原子分子のナノ力学」の研究目的は、(1) 原子間力や分子間力を原子レベルで計測する方法 (原子間力分光法) の研究、(2) A FM テコの探針先端の原子を置換したり分子を化学修飾したりして探針と試料表面の間に働く原子間力や分子間力を制御する方法の研究、(3) 上記の二つの方法を用いて原子間力や分子間力の同定や原子や分子の判別を行う方法の研究、(4) 上記三つの方法を原子や分子や生体高分子へ応用する方法の研究等の「力学的方法に基づいた原子・分子技術を開拓」する事である。

A FM では、まだ個々の原子や分子を動かしたり組み立てたりする事には成功していない。しかし、A FM には、絶縁体も見える・扱える、原子間力が測定できる等のデバイス作製・評価上重要な利点があり、産業的にも今後の更なる発展が強く期待されている。つまり、A FM は「第二世代」の《原子分解能顕微鏡》であり、原子間力が測れる「第二世代」の《原子分解能計測装置》でもあり、将来「次世代」の《原子・分子マニピュレータ》に発展する事が期待されている。特に、特定領域研究の推進により、原子間力や分子間力の分光や制御が可能となれば、将来、A FM により絶縁体も含めた様々な原子や分子の操作・組立が再現性良くかつ定量的に行えるようになる可能性がある。

「原子・分子の科学と技術の時代」に必要な微細組立方式の実現には、多様な原子や分子を扱う様々な機能を持つ多種類の工具が必要となる。現時点の『原子・分子用工具箱』には、ほぼ完成された走査型トンネル

顕微鏡（STM）と黎明期を脱した原子間力顕微鏡（AFM）が入っているが、今後の更なる研究・開発が必要となっている。特定領域研究の研究目的は、原子・分子用工具としてのAFMに原子間力や分子間力の分光や制御の機能を持たせることである。²⁰⁾

付録 E

これまでの研究データ

AFM										
	WIDE(20000nm*20000nm)									
サンプル名	SR a	SR q	SR y	SR p	SR v	SRR z	SR pc	SR vc	Rsk	RKr
1	84.87	110.90	817.20	329.20	488.00	350.60	9	6	-1.18	11.93
2	92.59	120.80	897.00	336.30	560.60	442.20	11	11	-0.59	8.75
3	82.92	103.30	674.70	307.80	366.90	401.10	7	10	-0.13	7.40
4	98.96	131.30	977.20	322.90	654.20	464.80	20	26	-0.65	5.87
5	85.46	114.20	844.90	283.10	561.80	382.60	13	23	-1.39	13.21
6	87.74	117.60	1162.00	735.40	426.90	466.00	14	12	-0.72	8.07
7	108.90	147.20	1158.00	423.00	734.50	474.70	14	22	-0.86	7.18
8	73.31	97.63	786.80	311.00	475.80	372.60	9	10	-0.57	7.24
9	71.27	87.99	628.40	308.60	319.80	474.50	11	8	0.52	5.94
10	68.70	89.76	877.50	511.80	365.60	520.00	38	24	-0.17	6.06
11	85.68	119.00	952.00	400.70	551.40	325.70	5	14	-0.61	9.28
12	77.13	105.40	875.60	366.20	509.30	428.00	34	14	-1.13	9.50
13	79.38	107.90	758.90	307.30	451.60	345.10	5	7	-1.21	9.94
14	104.60	129.70	940.50	374.70	565.80	498.20	7	18	-1.06	8.20
15	109.20	140.80	1077.00	539.60	537.60	421.70	9	12	-0.47	5.25
16	76.12	98.84	743.30	371.80	371.50	528.10	16	21	-0.03	4.73
17	62.36	83.00	672.90	219.80	453.10	468.20	18	24	0.26	5.65
18	118.00	154.00	1047.00	362.80	683.90	485.00	22	17	-0.42	6.52
19	76.76	98.83	734.80	292.90	441.90	406.00	9	11	-0.59	8.05
20	96.55	128.60	955.70	436.00	519.70	493.70	28	16	0.04	6.88
21	119.20	156.30	1126.00	412.90	713.00	566.60	13	14	-0.26	7.36
22	99.75	127.90	941.70	360.20	581.50	525.10	10	23	-0.15	6.34
23	81.11	107.80	868.50	366.30	502.20	-	4	15	-0.78	8.95
24	138.00	178.70	1329.00	469.10	859.90	571.00	15	33	-0.19	5.04
25	101.70	136.20	1013.00	458.80	554.60	496.50	9	25	-0.89	8.88
26	143.70	193.40	1336.00	683.70	652.10	606.50	6	15	-0.94	7.33
27	103.60	139.80	1607.00	998.30	608.90	667.30	17	37	1.37	13.57
28	122.20	163.70	1175.00	397.70	777.30	535.00	20	30	-0.84	7.02
29	87.97	118.50	874.30	286.10	588.20	-	2	9	-1.57	11.57
30	89.05	117.20	943.30	317.70	625.60	438.60	6	8	-0.61	9.28
31	80.66	109.20	868.80	339.50	529.20	427.80	8	19	-0.92	9.66
32	86.04	110.20	77.07	368.60	402.10	532.30	29	22	0.84	12.43
33	79.33	105.20	108.30	632.80	450.10	563.60	67	53	0.17	5.17
平均	93.12	122.75	904.53	413.11	541.96	473.52	15.30	18.45	-0.48	8.13

	ZOOM(5000nm*5000nm)									
サンプル名	SR a	SR q	SR y	SR p	SR v	SRR z	SR pc	SR vc	Rsk	RKr
1	6.79	9.18	71.89	17.74	54.16	18.30	9	9	-0.90	6.32
2	5.58	7.55	65.47	15.83	49.64	25.53	11	26	-1.31	8.66
3	4.19	5.97	72.50	19.59	52.91	27.25	21	35	-0.26	4.34
4	8.76	11.87	105.90	45.58	60.31	64.92	10	10	-0.18	4.37
5	8.66	13.02	134.90	69.59	65.28	62.09	21	25	-0.2	6.88
6	7.40	10.87	103.37	23.14	80.51	41.52	15	40	-0.48	4.75
7	7.86	10.42	84.90	26.86	58.04	33.13	5	9	-0.16	3.63
8	6.87	9.82	126.10	53.22	72.91	65.96	5	18	-0.46	8.47
9	4.66	6.48	159.70	32.06	127.70	56.97	14	20	-0.49	7.03
10	8.68	13.52	226.00	175.70	50.37	84.89	30	20	0.74	6.91
11	11.31	15.05	105.30	38.38	66.96	38.79	12	11	-0.79	6.91
12	6.10	8.35	129.50	79.78	49.75	69.03	18	20	0.13	6.14
13	5.60	7.87	55.41	14.31	41.10	26.48	15	35	-1.21	8.00
14	8.32	11.99	170.50	78.28	92.25	77.43	10	12	-0.85	9.55
15	11.00	15.13	113.00	44.00	69.01	47.08	7	15	-0.56	7.21
16	9.04	13.08	166.40	114.70	51.61	50.27	21	27	-0.38	6.11
17	7.24	10.11	111.00	28.38	82.64	41.57	9	13	-0.58	7.09
18	8.65	12.37	113.00	54.99	58.02	43.60	10	11	-0.31	5.32
19	4.79	6.51	76.34	25.90	50.44	31.17	19	33	-0.47	6.05
20	6.44	8.44	78.92	43.22	35.71	41.84	9	13	-0.01	4.55
21	12.43	17.54	159.70	57.10	102.60	-	3	16	-0.53	6.39
22	8.31	11.60	152.90	44.66	108.20	67.97	5	13	-0.30	4.95
23	6.04	8.92	99.17	27.34	71.83	38.87	8	17	-0.36	9.72
24	10.42	14.13	126.60	66.60	60.03	62.99	37	50	-0.68	6.21
25	6.96	9.62	97.82	47.21	50.61	43.23	20	24	-0.14	4.30
26	9.21	12.08	85.47	27.80	57.67	-	5	11	-0.81	5.70
27	13.48	20.16	274.30	176.30	98.06	129.50	9	10	-0.09	6.49
28	11.99	15.83	149.10	59.03	90.10	-	2	11	-0.93	8.05
29	4.14	6.53	77.75	32.83	44.91	45.96	47	33	-1.49	8.41
30	7.11	9.27	65.97	26.78	39.18	47.22	5	15	-0.25	7.46
31	9.86	13.59	119.60	29.38	90.18	-	3	18	-1.12	7.66
32	11.88	15.70	153.30	76.10	77.17	60.78	7	7	-0.45	8.63
33	15.11	20.37	289.70	175.80	113.90	142.30	8	13	0.28	10.17
平均	8.33	11.60	124.89	56.01	68.90	54.71	13.03	19.39	-0.47	6.74

LFM										
	WIDE(20000nm*20000nm)									
サンプル名	SR a	SR q	SR y	SR p	SR v	SRR z	SR pc	SR vc	Rsk	RKr
1	13.71	23.95	308.90	234.10	74.82	260.30	353	196	0.87	8.83
2	2.87	4.46	77.90	64.94	12.96	41.93	1047	789	0.45	6.58
3	33.80	61.64	810.30	550.90	259.30	613.90	628	246	1.30	9.34
4	5.52	6.77	68.63	38.03	30.59	48.38	323	262	-0.14	4.14
5	24.42	32.04	332.20	204.70	127.50	236.90	189	193	0.04	4.67
6	24.43	40.99	600.80	417.10	183.70	474.60	645	370	0.44	5.71
7	10.83	19.83	335.50	255.80	79.72	248.70	984	430	6.83	15.19
8	5.14	10.82	193.90	146.60	47.34	151.70	1399	375	1.72	12.79
9	6.50	13.08	170.30	137.30	32.95	155.40	1036	440	1.87	14.08
10	6.85	9.99	141.70	102.20	39.51	118.80	663	535	0.62	5.37
11	21.54	29.83	376.60	234.40	142.20	248.80	184	115	0.43	5.35
12	5.95	12.08	206.80	167.20	39.61	181.10	1237	456	1.34	10.47
13	0.04	0.09	6.27	5.86	0.42	2.10	530	363	2.05	18.75
14	9.13	17.36	298.10	246.40	51.71	236.90	903	203	2.24	14.55
15	27.24	45.72	74.11	59.94	141.60	496.70	423	254	0.53	6.07
16	7.00	11.29	184.60	148.20	36.36	165.30	361	297	0.92	7.14
17	23.83	37.14	814.70	557.50	257.20	694.70	626	410	0.56	6.97
18	0.04	0.07	1.37	0.72	0.64	1.13	474	271	0.97	6.99
19	4.72	8.88	147.20	117.70	29.46	120.20	477	255	1.37	11.66
20	31.47	55.53	675.40	512.40	163.00	597.00	693	252	0.71	10.05
21	0.07	0.12	2.28	0.72	1.56	1.48	302	645	-0.74	7.87
22	0.05	0.08	1.17	0.74	0.04	1.02	574	216	1.18	8.81
23	13.60	24.50	392.60	297.40	95.13	334.50	860	575	2.40	19.95
24	0.07	0.09	0.97	0.50	0.47	0.80	1850	839	0.04	2.49
25	5.50	10.59	323.30	294.10	29.13	228.20	1099	823	1.62	11.13
26	24.60	39.15	551.10	435.30	115.80	433.20	585	325	0.57	5.85
27	4.25	5.71	117.10	94.85	22.26	68.12	897	677	0.55	7.21
28	9.24	16.15	300.90	198.40	102.60	253.60	1170	362	0.97	8.04
29	23.07	34.20	680.00	370.70	309.30	497.60	295	291	0.66	6.85
30	15.78	24.68	323.90	204.60	119.30	270.70	318	200	0.48	5.77
31	13.75	20.79	309.10	208.30	100.80	277.80	1572	1209	0.59	6.53
32	16.44	28.74	444.20	105.60	338.50	381.80	256	856	-0.81	9.87
33	0.07	0.11	1.61	0.82	0.79	1.47	1313	454	0.01	7.36
平均	11.86	19.59	281.02	194.36	90.49	237.72	735.33	429.82	0.99	8.86

	ZOOM(5000nm*5000nm)									
サンプル名	SR a	SR q	SR y	SR p	SR v	SRR z	SR pc	SR vc	Rsk	RKr
1	2.91	3.86	37.96	21.26	16.69	21.15	71	62	-0.38	3.89
2	1.10	1.38	12.25	5.85	6.40	10.53	196	190	-0.30	3.49
3	7.83	9.83	77.72	44.64	33.08	68.66	73	80	-0.09	3.01
4	1.35	1.838	23.45	13.32	10.13	15.34	51	70	-0.65	3.95
5	5.377	7.022	133.6	77.15	56.44	73.79	35	45	-0.05	5.5
6	6.313	8.263	78.9	34.41	44.5	64.78	63	60	0.13	4.2
7	2.69	3.40	48.41	23.25	25.16	30.14	136	119	-0.09	3.33
8	1.47	1.95	44.97	26.75	18.22	23.65	149	154	0	3.83
9	1.71	2.70	83.72	72.21	11.51	32.02	161	136	-0.19	3.85
10	2.40	3.15	41.82	21.90	19.92	26.95	149	131	-0.37	5.58
11	7.477	9.151	66.71	34.63	32.08	41.05	23	20	-0.13	4.92
12	2.24	3.16	76.73	52.91	23.82	41.76	137	83	0.09	4.43
13	0.01	0.01	0.08	0.04	0.04	0.07	116	85	-0.03	3.10
14	1.67	3.75	114.70	104.70	9.99	39.05	194	165	-0.29	3.36
15	8.273	10.6	114.8	53.36	61.46	87.21	42	38	-0.16	4.12
16	1.831	2.385	44.52	34.39	10.13	21.31	45	61	-0.06	7.14
17	14.45	17.44	127.10	73.53	53.61	93.47	67	34	0.01	2.58
18	0.01	0.02	0.31	0.13	0.18	0.18	105	57	-0.24	3.98
19	0.9541	1.316	30.8	25.51	5.292	13.74	69	70	-0.49	4.24
20	7.179	10.23	159.3	66.45	92.82	108.1	49	37	0.33	6.11
21	0.02	0.02	0.44	0.18	0.26	0.26	89	77	-0.80	9.92
22	0.01	0.02	0.49	0.38	0.11	0.20	97	68	0.10	4.98
23	3.15	3.96	36.60	20.11	16.50	30.35	115	111	-0.11	2.99
24	0.06	0.07	0.42	0.23	0.19	0.36	119	122	-0.04	2.83
25	1.71	22.26	32.37	19.46	12.91	21.65	188	168	-0.01	3.28
26	7.19	9.30	74.22	41.23	32.99	60.87	127	100	-0.10	3.86
27	2.05	2.68	31.85	20.21	11.64	25.39	179	108	-0.07	3.99
28	3.24	5.42	134.80	67.54	67.24	68.26	171	115	0.04	6.06
29	6.47	8.52	76.38	39.13	37.24	59.80	71	104	0.18	4.86
30	2.84	3.772	43.02	22.91	20.12	29.95	66	54	-0.4	3.92
31	7.55	9.14	71.18	32.38	38.80	60.77	78	65	-0.04	3.31
32	6.67	9.68	113.00	60.54	52.51	86.64	117	110	0.23	5.17
33	0.02	0.05	1.22	0.60	0.62	0.80	192	166	0.49	6.36
平均	3.58	5.34	58.60	33.68	24.93	38.13	107.27	92.88	-0.11	4.43

サンプル名	性別	年齢	毛髪の硬さ	ドライヤー使用時間	直射日光にあたるか	ブリーチ、パーマ
1	女	10歳未満	柔らかい	0～5	あたる	なし
2	女	10代	普通	0～5	あたらない	なし
3	女	10代	柔らかい	0～5	あたる	なし
4	女	10代	普通	0～5	あたらない	なし
5	女	10代	普通	0～5	あたる	ブリーチ
6	女	10代	柔らかい	0～5	あたる	なし
7	男	10代	硬い	0～5	あたらない	なし
8	男	10代	普通	0～5	あたる	なし
9	男	10代	硬い	0～5	あたる	なし
10	男	10代	柔らかい	0～5	あたらない	なし
11	男	10代	普通	0～5	あたらない	なし
12	男	10代	硬い	0～5	あたる	なし
13	男	10代	硬い	0～5	あたる	なし
14	女	20代	硬い	15～20	あたらない	カラーリング
15	女	20代	硬い	5～10	あたらない	縮毛矯正
16	女	20代	柔らかい	0～5	あたる	パーマ
17	女	30代	柔らかい	0～5	あたる	なし
18	男	30代	普通	0～5	あたらない	なし
19	女	30代	普通	0～5	あたらない	なし
20	女	30代	普通	0～5	あたる	なし
21	男	40代	硬い	0～5	あたらない	なし
22	男	40代	普通	0～5	あたる	なし
23	男	40代	普通	0～5	あたらない	なし
24	女	40代	柔らかい	0～5	あたらない	なし
25	女	40代	硬い	15～20	あたる	なし
26	女	40代	柔らかい	0～5	あたらない	パーマ
27	女	40代	柔らかい	6～10	あたる	毛染め
28	男	50代	柔らかい	0～5	あたらない	なし
29	男	50代	普通	0～5	あたる	なし
30	女	60代	普通	0～5	あたる	毛染め
31	男	70代	硬い	0～5	あたる	なし
32	女	70代	普通	0～5	あたる	パーマ
33	女	70代	普通	0～5	あたる	パーマ

サンプル名	いたわっているか	整髪料	見た目
1	いない	なし	非常にきれい
2	いない	なし	非常にきれい
3	いない	なし	毛髪全体がガサガサしている。
4	いない	なし	キューティクルの端が剥離しガタガタになっている。
5	いない	ワックス	キューティクルの端が剥離しているがそれ以外はきれい。
6	いない	なし	毛髪全体がガサガサしている。
7	いない	ジェル、ワックス	全体的にキューティクルの端が剥離している
8	いる	なし	キューティクルが所々剥離し全体的にややガサつき損傷している。
9	いる	なし	所々にガサつきやキューティクルの剥離はあるがきれい。
10	いない	なし	ひどく損傷している。
11	いない	なし	キューティクルが所々剥離し全体的にややガサついている。
12	いない	なし	キューティクルが剥離し、損傷している。
13	いない	なし	非常にきれい
14	いる	ワックス	キューティクルが剥離し、損傷している。
15	いる	なし	キューティクルの端が剥離しガタガタになっている。
16	いない	ワックス	ひどく損傷している。
17	いない	ムース、ワックス	キューティクルの端が剥離しガタガタになっている。
18	いない	なし	キューティクルが剥離し、損傷している。
19	いない	なし	キューティクルの端が剥離しガタガタになっている。
20	いない	なし	キューティクルの端が剥離し、少し損傷している。
21	いる	ジェル	キューティクルの端が剥離しガタガタになっている。
22	いない	なし	キューティクルの端が剥離しガタガタになっている。
23	いない	ジェル	表面がざらついている。キューティクルの剥離はそれほどない。
24	いる	その他	キューティクルの端が剥離しているがそれ以外はきれい。
25	いる	なし	ひどく損傷している。
26	いる	なし	キューティクルの端が剥離し、少し損傷している。
27	いない	ミスト	キューティクルの端が剥離しガタガタになっている。
28	いない	リキッド	キューティクルが所々剥離し全体的にややガサついている。
29	いない	なし	キューティクルが所々剥離し全体的にややガサついている。
30	いない	なし	キューティクルの端が剥離しているがそれ以外はきれい。
31	いない	なし	白髪 キューティクルの端が剥離しているがそれ以外はきれい。
32	いない	カラスプレー	白髪 キューティクルの端が剥離しているがそれ以外はきれい。
33	いる	なし	ひどく損傷している。

これらのデータは、サンプルにばらつきがありすぎ、一貫性が無く、本研究に使用できなかったものである。今後の研究の一助となればと思い、付録として掲載したものである。

付録 F

LFM 信号

LFM 測定では一定の荷重値の元でカンチレバーの張り出し方向 (X 方向) と垂直な方向 (Y 方向) に試料を走査する。この時試料と探針の間に働く摩擦力によってカンチレバーがねじれる。このカンチレバーのねじれ傾き角に比例する信号を LFM 信号あるいは Torsion 信号と呼んでいる。この LFM 信号を測定する事で、摩擦力を測定する事が可能となる。

ここで摩擦力の定量化には2つの段階がある。第 1 段階は摩擦力の大きさとカンチレバーの傾く角度の変換 (N/rad) である。第 2 段階として傾き角と検出信号の変換 (V/rad) である。

第 1 段階の摩擦力 vs 角度変換はカンチレバーの構造、探針形状、センサービームの位置などによって異なる為、シュミレーションなどによりモデル化が必要である。

一方、第 2 段階の信号 vs 角度については、NV2000 の変位センサーは臨界角合焦検出方式を用いた ZP センサーを用いている。このためカンチレバーの Z 方向の変位量と独立に、カンチレバーの LFM 方向の傾き角を検出できる。

LFM の校正方法

LFM 信号の校正には図 F.1 のような曲率半径 R_f の円筒型ミラーが用いられる。

このミラーは例えば光ファイバーのガラス部分を抜き取り洗浄した上で、金属コートをして作成する事が可能である。

円筒型ミラーの中心軸をカンチレバーの張り出し方向に一致させておき、センサービームを円筒型ミラーの最上部にあわせる。この後 ZP センサーの出力信号が 0 V となるようにサーボ動作を行いながら、円筒形ミラーを Y 方向に走査する。円筒形ミラーは連続的に Y 方向の角度が変化していくために走査距離から反射面の角度を見積もる事が可能となる。

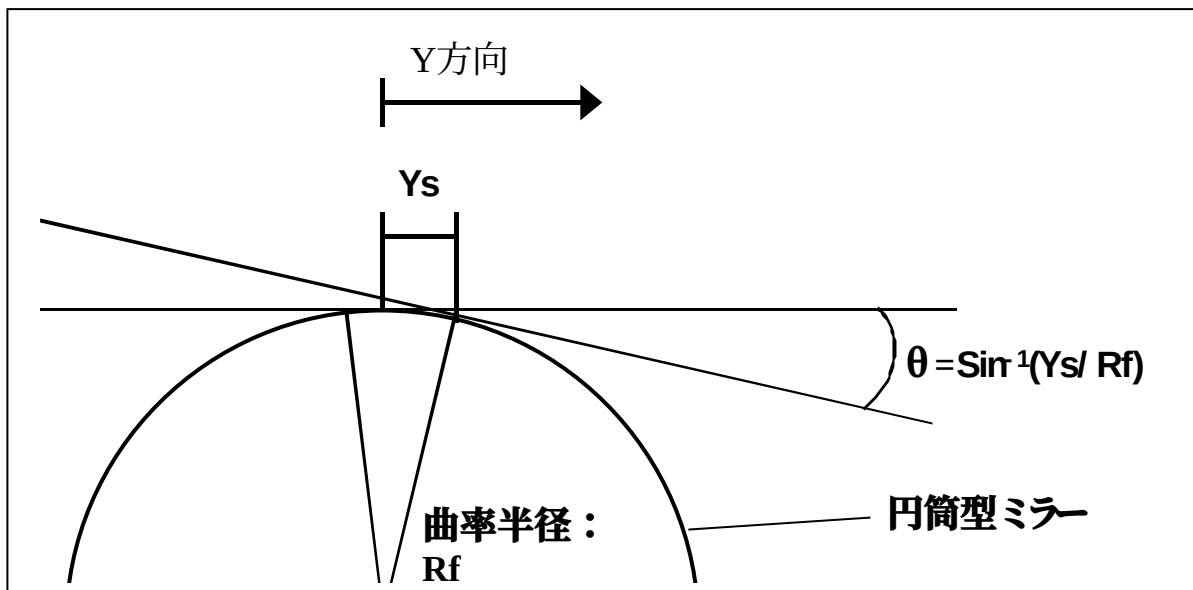


図 F.1 校正用円筒型ミラー

例えば図 F.1 のような円筒型ミラーで走査距離が $0.6 \mu\text{m}$ だったときに LFM 信号の変化量が 2.65V だったとすると LFM 信号ゲインは以下のようにして換算される。

円筒型ミラーの曲率半径を R_f 、走査の距離を Y_s とするとそのビーム位置での角度 θ は、

$$\theta = \sin^{-1}(Y_s/R_f) = \sin^{-1}(0.6/62.5) = 0.55[\text{degree}] = 0.0096[\text{rad}]$$

となる。この時の電圧変動が 2.65V であるから LFM ゲインにすれば
 $\text{LFM ゲイン} = V_{\text{LFM}}/\theta = 4.82[\text{V/degree}] = 276[\text{V/rad}]$
 となる。

LFM 信号の角度換算

ここで LFM 信号は現在電圧で表示されており、摩擦力見積をするためには角度の換算が必要になる。これには LFM ゲインの逆数を用いた方が便利である。

$$\begin{aligned} \text{たとえば上述したセンサーゲインでは } 1/\text{LFM ゲイン} &= 0.208[\text{degree/V}] \\ &= 0.0036[\text{rad/V}] \end{aligned}$$

になる。²¹⁾

付録 G

発表用前刷りを次ページに掲載する。

SPM による毛髪損傷評価の試み

1010197 原 将太

1. 緒言

本来人間の毛髪は頭部を保護する為にあるものである。しかし今日ではそのように考える事もほとんど無く、ファッション、おしゃれの一部として考えられ、毛髪の奇麗さが重要視されている。その為、人は皆トリートメント等を用いて髪に健康に気を遣い、髪をいたわっている一方で、ブリーチやカラーリング等で毛髪を傷つけている。

これまで、毛髪の損傷について様々な研究がなされており、評価方法は物理的手法と化学的手法の 2 つに大別される。主な物理的手法として、電子顕微鏡による毛髪表面状態の観察、ESCA(Electron Spectroscopy for Chemical Analysis)による数十Åの深さの毛髪表面における化学剛性および結合状態の観察、動摩擦係数やコーミングフォースによる毛髪の櫛どおり性の測定、毛髪の機械的性質の評価法として引っ張り特性、ヒステリシス特性、応力緩和、ねじれ特性、曲げ特性などがあげられる。

また、化学的手法としては、損傷毛の Cu 吸着量の定量(Weber 法)、毛髪のアミノ酸組成の分析などが知られており、これらの測定方法については総説¹⁾としてまとめられている。

このように、今まで多くの毛髪損傷診断技術が報告されているが、これらの評価方法は毛髪表面の状態と毛髪全体の静的弾性に関するものが多く、毛髪の微細構造と損傷に関する研究は少ない。²⁾ここでは損傷に伴う毛髪表面の微小範囲での表面構造の変化をSPM(Scanning Probe Microscope)により解析し新たな評価基準による損傷評価を試みる。

2. 実験装置および方法

AFMとは、原子間力を利用し試料表面の凹凸画像を検出する原子間力顕微鏡である。そのしくみは、試料と探針とをnmオーダーで近づけると、両者の間に原子間力が働き、探針試料間距離に応じて薄い板状のカンチレバーがたわむ。このカンチレバーのたわみが一定になるように試料側のZ微動を動かすことにより、探針試料間距離を一定に保つことができる。その後はXYスキャンにより試料間表面の凹凸像が得られる。ここでカンチレバーのたわみは光でこの方式と呼ばれる方法で検出している。レンズで絞ったレーザービームをカンチレバー先端に当て、その反射光を二分割光検出器で受ける。受光部でのレーザービームの動きはカンチレバーの変位の千倍以上に拡大されているのでカンチレバーの動きを高感度で検出できる。

実験方法

サンプル(毛髪)を傷つけない程度の出力で水中において5分間超音波洗浄し、サンプルの水気を十分取り、約20分自然乾燥させた後、試料台に載せ20μm四方をAFMで観測する。その後測定画像中のキューティクル1枚に注目し、その中の5μm四方の部分について観測を行う。なお一連の、測定は、室温約26℃、湿度約20%の下で行った。

測定後20μm四方、5μm四方の双方の面の粗さ解析を行い、AFM像での損傷具合をよく表すパラメータを抽出する。

3. 実験結果および考察

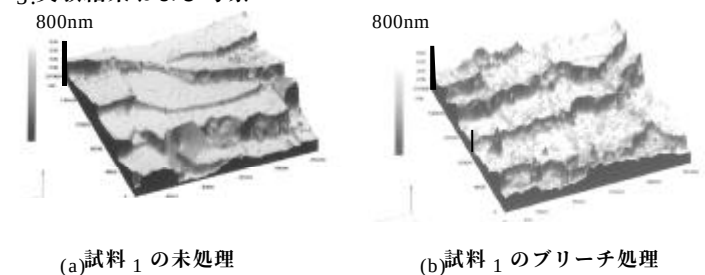


図1 試料1,2のAFM像

図1には20μm四方の形状データに、フィッティング処理を施し、髪曲率を除いて平面化したAFM像を示してある。試料1と試料2のブリーチ前後の像の比較から、試料1の方にブリーチの影響が強く現れ、キューティクル表面が荒れているのが分かる。

この様な面の微細形状の相違(したがって損傷具合)を評価するパラメータを決める為に、20μm四方(測定面全体)と5μm四方(キューティクル1枚)の各データの粗さパラメータの解析を行った。結果を図2に示してある。

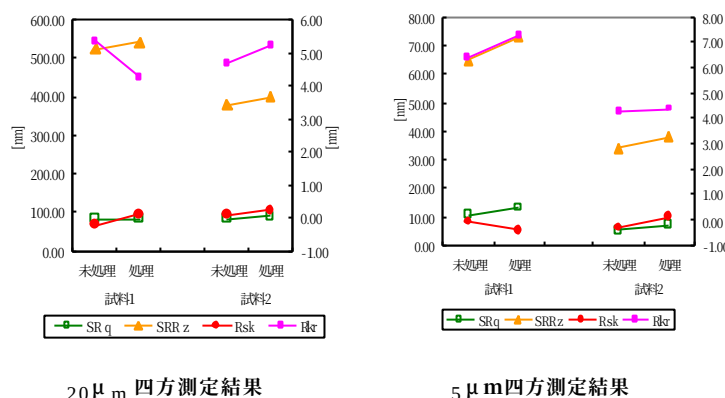


図2 パラメータ解析結果

ここでSRqは粗さ曲面の二乗平均平均平方根値、SRRzは十点平均粗さ、Rskは相対性、Rkrはクルトシス(ゆがみ度)である。

20μm四方のデータでは十点平均粗さが面の状態に比較的対応が取れていると思われるものの、クルトシスは試料1の場合、ブリーチ処理後小さくなり、実際の観察結果と矛盾しているように見える。

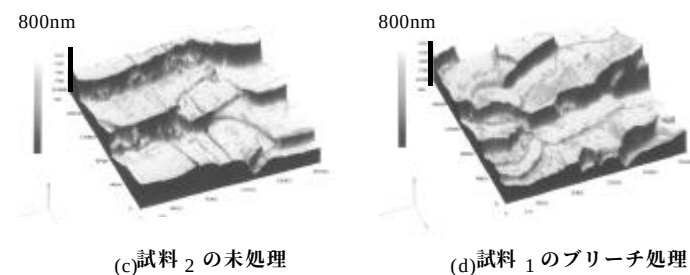
一方、5μm四方での十点平均粗さとクルトシスには試料(1)、(2)の表面粗さの違いが明瞭に現れている他、ブリーチにより受けた表面損傷の程度も定量的に把握できる結果となっている。

4. 結言

SPM(AFM)毛髪の損傷評価を試みた結果、粗さパラメータにより表面の微細な形状の違い(損傷)を評価する場合、キューティクル1枚の微小領域を評価領域とし、十点平均粗さやクルトシスを用いる事により全体の損傷の程度を定量的に評価できる可能性がある事が明らかになった。

文献: 1) 日本化粧品技術者会誌、11、15(1997)

2) FRAGRANCE JOURNAL 臨時増刊 13、152(1994)



付録に用いた参考文献

[18]：毛髪と頭皮についてのページ

<http://www.amy.hi-ho.ne.jp/~world/ikuriron-a.htm>

[19]：板羽忠徳，全理連毛髪相談室相談員

[20]：フォースプローブ法による原子分子の力学的分光と制御，森田清三，

http://www-e2.ele.eng.osaka-u.ac.jp/NanoDynamics/kaisetu_h12_4.html

[21]：オリンパス光学（株）；NV2000 技術ノート