

平成19年度シーズ発掘試験研究報告書

報告日：平成20年4月28日

技術分野	3 1
------	-----

課題名： ナノ磁性微粒子を用いた毛髪駆動機構の開発

研究期間：契約締結日 ～ 平成20年3月31日

1. 担当コーディネータ

氏名（役職）	清水 信孟（テクノコーディネータ）	印
所属機関名	財団法人 長野県テクノ財団	

2. 代表研究者（代表研究者のみ記入してください。）

氏名（役職）	藤井 敏弘（教授）	印
所属機関名	信州大学繊維学部	

3. 共同研究者

氏名（役職）	小林俊一（准教授）	印
所属機関名	信州大学繊維学部	

4. 試験研究の結果報告

(1) 試験内容

高分子材料から作られたソフトアクチュエータが多く開発されてきているが、生体組織を使用したアクチュエータの例は少ない。本課題では、ヒト由来の毛髪組織に注目し、新しいタイプのアクチュエータの試作を行う。毛髪の外側にはキューティクルと呼ばれる方向性と強度をもつ鱗状の構造体が層状に重ねられている（図1 参照）。このキューティクル構造の強度と方向性の特性を利用して圧電素子による直動と毛髪内に導入したナノ磁性微粒子による方向制御のアクチュエータを実現するものである（図2 参照）。

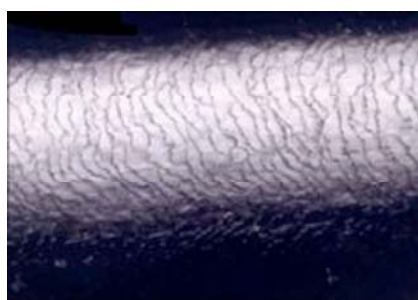


図1 ヒト毛髪表面の顕微鏡写真

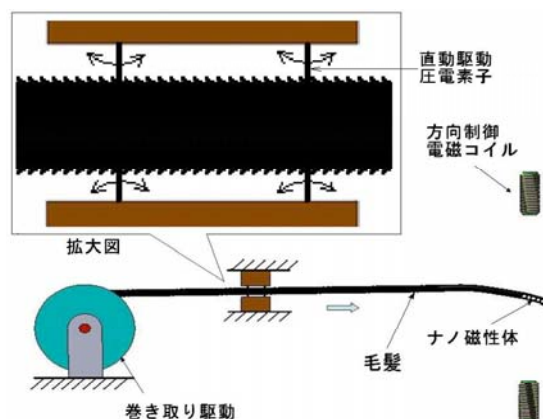


図2 ナノ磁性微粒子を用いた毛髪駆動機構概要図

研究代表者が中心で人工磁性毛髪アクチュエータの試作：

- (1) フェライト微粒子の磁力の評価方法の確立
- (2) 2価と3価鉄の割合・濃度設定とフェライト微粒子の磁力、粒径、回収率の関係把握
- (3) 毛髪から内部タンパク質線維の除去率と毛髪の機械的強度との相関性検討
- (4) 毛髪内部での磁性フェライト粒子の合成と機械的強度、磁力の評価と形態観察
- (5) 磁力による反応速度、駆動性、サイクル寿命の評価
- (6) 磁性毛髪ファイバーを使用したモータの試作と性能評価

共同研究者が中心で人工磁性毛髪アクチュエータの駆動と制御：

- (1) 毛髪の弾性と表面摩擦に関する測定
- (2) 圧電素子による駆動法の確立
- (3) 人工磁性毛髪を用いたリニア弾性アクチュエータの開発と制御方法の確立
- (4) 上記アクチュエータを用いたマイクロマニピュレータの開発

(2) 得られた成果

① 研究データ、試作物、論文／発表、特許等、成果

人工磁性毛髪アクチュエータの試作に関して：

- (1)と(2)

2価と3価の塩化鉄溶液を混合し攪拌しながら、アンモニア溶液を加えてpHを上昇させることにより、茶褐色の粒子が形成された。得られた粒子は磁性を帯びており、事務用の磁石にも反応した。磁性フェライト粒子は、塩化鉄溶液の濃度、2価と3価の比率変化に対して幅広い範囲で形成が見られた。ゼータサイザーを使用して測定したところ、ナノ～マイクロの平均粒

子サイズを示した。本研究においては、より小さいサイズの粒子を必要とするため、購入した超音波ホモジナイザーを使用して超音波処理を行ったところ、マイクロサイズのフェライト粒子を1/5程度に比較的均一に微細化できることが明らかとなった（図3 参照）。

(3)～(6)

毛髪全量の70～80%はタンパク質が占めている。外側のキューティクルの形状は残したままで、中味のコレックス部位から効率よくタンパク質を抽出できる信大法（藤井研究室で開発）を利用して中空の毛髪の作製を行った。この方法を適用すると、毛髪重量

を最大約40%まで低下させることができる。この中空の毛髪へ磁性粒子を導入することを試みた。この時に、タンパク質の抽出・除去に伴い、機械的強度が著しく低下するためアクチュエータとしての利用範囲が狭くなる問題が明らかとなった。これへの対応として：

(a) この段階でもフェライト粒子入り毛髪を作製して可動性の有無を調べた。この結果、予測したほど毛髪内への磁性粒子の導入はされていないため、粒子導入毛髪の磁力への感受性はほとんど見られなかった。

(b) 信大法の代わりに既存のブリーチ処理を毛髪に施してフェライト微粒子の導入をはかることを考えた。ブリーチ処理は毛髪の機械的な強度を下げることなく、薬品を導入することである。しかしながら、キューティクル層を通り抜けられる物質の分子量は数千～1万程度であることが判明した。この分子量のフェライト粒子の作製は困難であるため、ブリーチ法は中止した。

(c) 毛髪を信大法で処理した後、機械的に中味を絞り出して内部タンパク質線維を取り除き、その中に細いワイヤを通して補強してアクチュエータ材料として使用する。強度的には可能であるが、顕微鏡下での作業となるため装置などを準備中である。

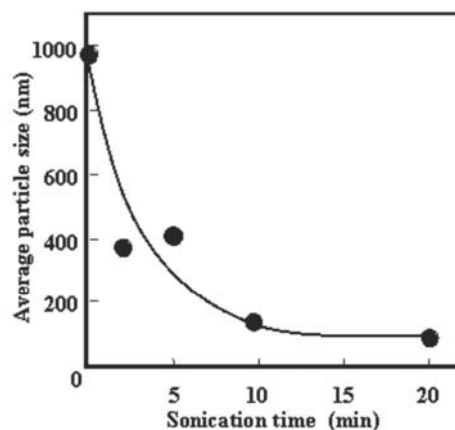


図3 超音波処理と粒子サイズの関係

人工磁性毛髪アクチュエータの駆動と制御に関して：

(1)

毛髪は屈曲させた後、元の位置に戻る弾性を持つことについては、今回の駆動に関しては直接必要が無かった。SEMで毛髪表面状態を観察するまでにとどまった。摩擦とは、今後の研究の進展のために必要となると考える

(2)

図2に示した駆動機構の駆動部分に相当する装置を電素子の先端に毛髪のキューティクルを接触させ、圧電素子の振動によって毛髪を駆動させる。駆動条件として、非接触レーザ変位計による圧電素子の振動測定を行い、圧電素子の共振周波数（今回使用した圧電素子では500 Hz）で振動振幅が増大した。ブリーチやパーマ処理していない健康な成人男性の

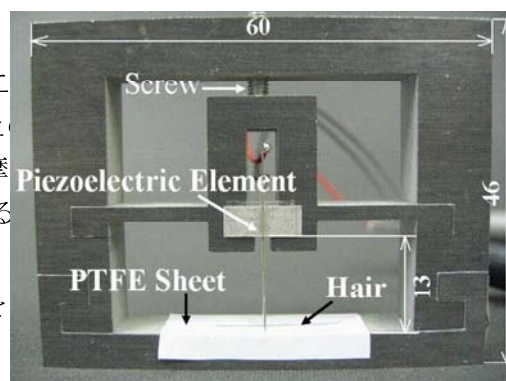


図4 毛髪駆動装置（寸法の単位 [mm]）

毛髪)では、圧電素子の最大振幅時に最高の毛髪駆動速度 30-40 mm/s が得られた。動作環境が高湿度になると駆動しない頻度が多くなり不安定となるが、湿度 35%以下であれば駆動は確実にすることが明らかとなった。

(3)

人工磁性毛髪に対して圧電素子による駆動は行わなかったが、速度の制御に関しては圧電素子の振動周波数を変化させることで可能であることが分かった。ただし、その速度と振動周波数に関しては線形の関係ではないので、その特性を考慮した制御が必要となる。なお、駆動速度のばらつきについては毛髪の個体や部位・毛髪の化学的処置などによる差も影響し、正確な速度制御をするアクチュエータとして用いるためには重要な課題と考えられる。対策としては、事前に毛髪の個体や部位・毛髪の化学的処置などによる駆動速度の影響を実験的に把握してデータベースとして用意し、個々の毛髪に最適な圧電素子(異なる共振周波数の圧電素子を多く用意)を選定することが考えられる。また、毛髪と圧電素子の接触状態も重要であり、圧電素子の位置決め制御が必要となる。これについては微動の電子制御と位置検出(デジタルマイクロスコープと画像処理システム)を導入することにより可能となると考えられる。

駆動方向の制御として、研究予定では図 2 に示す通り、逆方向の移動についてはモータ駆動による粗動としていたが、毛髪 2 本を一体化してそれぞれの毛髪のキューティクルの方向を逆に配置することにより、どちらかの毛髪を圧電素子で駆動させれば往復運動が可能となる。

(4)

上記アクチュエータを用いたマイクロマニピュレータの実現までは至らなかったが、実際のマイクロマニピュレータの耐久性を考慮した、毛髪の駆動回数の限界の検討を行い、約 300 回程度までは問題なく駆動可能で、駆動速度についてはばらつきが大きい、駆動回数によって低下することはなかった。毛髪の採取のしやすさから考慮すれば、十分な駆動回数と考えられる。なお、駆動不能となった毛髪の表面を SEM で観察した結果、一部で大きな磨耗が見られ、その磨耗によって隆起した部分が毛髪の移動を阻害していることがわかった(図 5 参照)。

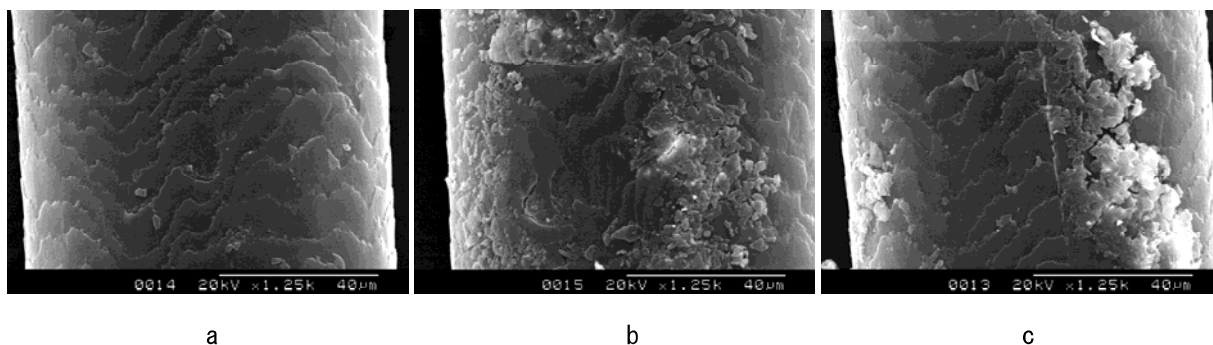


図 5 駆動不能となった毛髪の SEM 写真 (a では損傷がないが、b と c では磨耗と隆起が見られる)

上記(1)～(4)に関し、共同研究者が中心となり成果をまとめ、人工磁性毛髪アクチュエータの駆動と制御について、第 6 回日本生体医工学会長野地区シンポジウム(2008 年 3 月 4 日開催)で成果発表を行った。

② 当初掲げた目標(値)との比較、達成状況

- ・予想通りにキューティクルを利用した方向性をもつアクチュエータとして動作することが実証できた。また、曲げ性も示すことができた。さらに、磁性フェライト粒子を導入した毛髪にお

いては磁力による制御が可能であることが判明した。毛髪の直径と比べて、1/500～1/1,000の粒径をもつ磁性フェライト粒子の合成はできたが、機械的な強度を保った状態での磁性粒子入りの毛髪駆動体の作製には及んでいない。課題として、可動自体に熟練性を必要とするため再現性に乏しい点も挙げられる。これらには、生体適合性と強度に優れたコーティング剤による補強などの改善の余地があるが、研究テーマの大筋では達成できたことと判断している。

- ・毛髪の圧電素子による駆動については確実に実現され、300回程度までの駆動に耐えることがわかり、限界があるが、毛髪の入手のしやすさを考慮すると、毛髪を用いた駆動方法は実用に適すると考えている。駆動の速度や方向の制御については大きな課題が多くあるものの、①における人工磁性毛髪アクチュエータの駆動と制御に関しての(3)において述べた対策で解決すればマニピュレータへの発展が可能であると考えている。

③ 得られた研究成果から実用化への見通し

- ・アクチュエータとしては再現性をもった3次元に動作できる工夫を今後も続けていく。圧電素子と毛髪アクチュエータとの関係は櫛によるブラッシングと髪の毛との関係に相当する。そこで、逆転の発想をおこない、毛髪の駆動よりもキューティクル側に注目した。つまり、圧電素子による往復運動により髪の毛を損傷させているため、毛髪損傷の評価システムに利用できることが考えられ、現在化粧品関連企業と交渉中である。

(3) 今後の展開

- ① (2)の③で記述したように、アクチュエータとしては再現性をもった3次元に動作できる工夫を今後も続けていく。
- ② 今後の実用化に向けた長期的な展望として、(2)の③で記述したように、アクチュエータとしての応用よりも毛髪損傷評価としての利用が実用面において早く到達できることを予想している。

(4) 知的財産権について

「磁性体と組み合わせた毛髪アクチュエータ」と「新規毛髪評価法」の2つの観点から実用面を見据えた特許性の有無と展開に関して、コーディネータと相談して知的財産権の検討を行う。

(5) 今後のフォローアップ等について（コーディネータ記載）

本研究で、生体組織である毛髪を用い、圧電素子による直動と毛髪内に導入したナノ磁性微粒子による方向制御のアクチュエータを開発することであった。

上記報告にあるように、毛髪アクチュエータに関する、いくつかの新しい成果が得られ、当初目標への見通し、今後の課題対応への提起が出来る状況となった。しかし、今回の期間では、当初目標とした機械的物性強度が得られない、マニピュレータの開発に関する研究課題が残ってしまった。この課題に対する提起されているが、解決されると、人工磁性毛髪アクチュエータや毛髪損傷の評価システムに応用することが期待出来る。

今後については、課題の解決と、実用化に向けた研究継続、新たな応用が見出されたテーマについての企業との共同研究、提案公募制度等への申請等支援を行うこととする。