

スゴイ湿気でもセットした髪が乱れないヘアスタイリング材料

～湿気を取り込むことで形状記憶効果が呼び起こされるポリマー材料の開発～

配布日時：2023年11月8日14時

国立研究開発法人物質・材料研究機構（NIMS）

日本ロレアル株式会社

概要

1. NIMS は、日本ロレアル株式会社と共同で、湿度に応答して形状記憶効果を発動するポリマー材料を開発しました。この研究成果は、髪に塗って乾かすだけで高湿度環境でも望みのヘアスタイルをキープできるスタイリング材料へと応用できます。

2. ヘアスタイルは個人の自己表現や自信に大きな影響を与えるので、効果的で機能的なヘアスタイリング製品の需要が高まっています。一方で、毛髪は水分の影響を受けやすいため、多くの人が雨の日や発汗時などのヘアスタイルの崩れに悩みを抱えています。湿度への耐性を与えるヘアスタイリング製品として、一般にヘアスプレーやジェルが知られていますが、これらのほとんどは髪に直接コーティングを施すことで髪を湿気から保護することを目的としており、湿度の影響を軽減するに留まっています。そこで、高湿度環境下でもヘアスタイルを維持できる新たなスタイリング用材料の開発が望まれていました。

3. 研究チームは、髪を湿気から保護するのではなく、湿度に晒された時に形状記憶効果を発動する新たなスタイリング用ポリマーコンポジット材料を開発しました。この効果は、ポリビニルアルコール（PVA）と天然由来のセルロース微結晶（CM）との水素結合を介したネットワーク形成によって発現するのですが、この水素結合が水分子を取り込んでも両者の結びつきを保持できる性質を利用しています。何もコーティングしていない髪と比べて（図最下、左端）、PVA/CM コンポジットはCM量依存的に高いスタイリング効果を示すことが分かりました（同右4つ）。また80%湿度条件下に6時間晒されると髪束は広がりますが、PVA/CM コンポジットをコートした髪束は形状回復が誘起され、もとのスタイリング形状へと近づくことが明らかとなりました。以上の結果から、今回開発したPVA/CM スタイリング材料は、湿度に晒される髪を抑制するとともに、湿度を利用してスタイリング維持を向上させるという興味深い性能を示しました。さらに、コートしたPVA/CM コンポジットは、温水（42℃）やシャンプーで簡単に洗い流すことができました。

4. 今回の研究より、湿度が誘起する形状記憶現象のメカニズムが明らかになったことで、湿度に対してより効果の高いヘアスタイリング方法を提案できる可能性があると考えています。

5. 本研究は、NIMS 高分子・バイオ材料研究センタースマートポリマーグループの宇都甲一郎（独立研究者）、荏原充宏（グループリーダー）と、日本ロレアル株式会社リサーチアンドイノベーションセンターの研究チームによって行われました。

6. 本研究成果は、Advanced Materials Interfaces 誌の2023年11月1日にオンライン掲載されました。

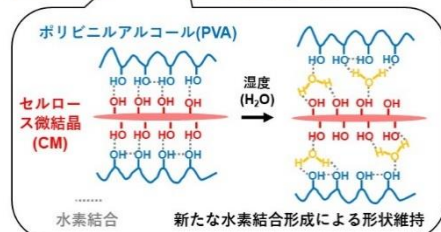


図. ポリビニルアルコール/セルロース微結晶 (PVA/CM) コンポジット材料による湿度応答性形状記憶ヘアスタイリング効果

* 物質・材料研究機構は、その略称を NIMS（National Institute for Materials Science）に統一しております。

研究の背景

毛髪はタンパク質から構成されており、水分や熱、化学物質の影響を受けやすく、特に雨の日や発汗など湿度の高い環境では、髪の毛が広がったりうねったり、ヘアスタイルが崩れやすくなります。ヘアスタイルは、個人の自己表現や自信に大きな影響を与えることがあるため、効果的で機能的なヘアスタイリング製品の需要が高まっています。一般に、湿度に耐性を与えるヘアスタイリング製品として、ヘアスプレーやジェルが知られていますが、これらのほとんどは髪の毛に直接コーティングを施すことによって髪の毛を湿気から保護することで、湿度による影響を軽減する効果となっています。また近年では、消費者の意識の変化や環境への配慮もヘアスタイリング製品の開発に影響を与えています。そのため、持続可能性や環境負荷の低減に焦点を当てた製品の需要が高まっており、天然由来成分や生分解可能な成分の使用など、より環境に優しいスタイリング用材料の開発が求められています。

研究内容と成果

今回、研究チームは、髪の毛を湿気から保護するのではなく、湿度に応答して動的に形状記憶変化する新たなスタイリング用ポリマーコンポジット^{*1}材料を開発しました。天然由来のセルロース微結晶 (CM) の強固な「分子内・分子間水素結合」^{*2}ネットワーク形成能と、ポリビニルアルコール (PVA) が有する湿度に応答して発現する「形状記憶効果」^{*3}をうまく融合することで、湿度応答性形状記憶コンポジットを実現しました (図1)。

まず、材料の評価のため PVA と CM を溶媒キャスト法^{*4}により製膜しました。示差走査熱量測定 (DSC)、フーリエ変換赤外分光法 (FT-IR)、走査型電子顕微鏡 (SEM) などの解析により、PVA マトリックス中に CM が均一分散していること、PVA と CM 間で新たな水素結合が形成されていることを確認しました。この際に、CM 含量が最大 33wt% のコンポジットフィルムの作製が可能でした。次に、100% 相対湿度条件下でフィルムの特性変化を観察したところ、PVA 単独フィルムでは水分吸着に伴う膨潤変化が確認されたのに対し、PVA/CM ではその膨潤が顕著に抑制され、吸湿時の力学強度 (弾性率) が 6-18 倍向上することが明らかとなりました。PVA と CM への水吸着はそれらが有する水酸 (ヒドロキシ) 基を起点とする分子内と分子間での水素結合が水分子と置き換わることにより生じます。PVA と比較して PVA-CM 間および CM 自身がより強固な水素結合を形成していることが確認されており、コンポジット中に存在する

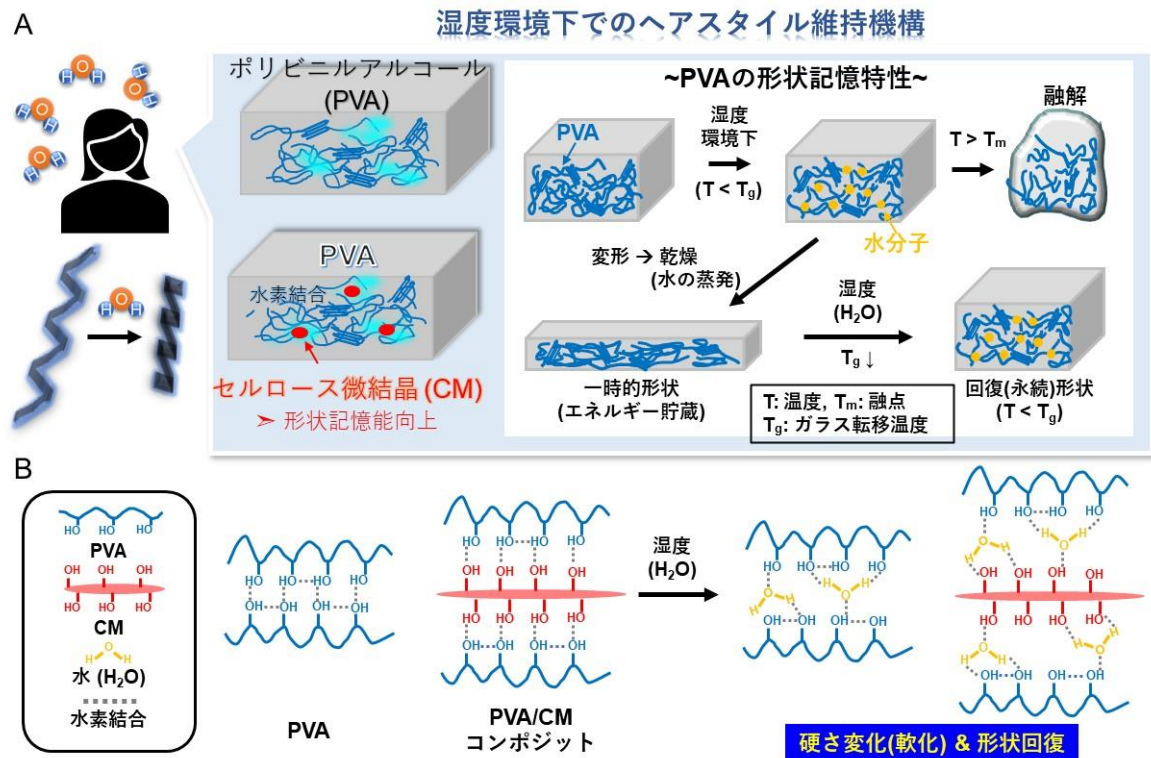


図1. ポリビニルアルコール/セルロース微結晶 (PVA/CM) コンポジット材料の湿度環境下でのヘアスタイル維持機構: (A) 湿度応答性形状記憶特性の発現メカニズムと (B) PVA/CM コンポジット材料の水素結合を介した分子間相互作用および湿度 (水分子) に対する分子構造変化のイメージ図。

CM が水分子の侵入および吸着を阻害することで膨潤度を抑制し、力学特性を向上させていることが分かりました。その結果、PVA 単独では吸湿量が多くなると形状記憶特性が完全に消失しましたが、PVA/CM コンポジットフィルムでは、PVA をはるかに凌ぐ形状回復が確認され、少なくとも6時間まではその回復形状を維持可能でした。以上の結果から、PVA と CM のコンポジット化は、PVA-CM 間に形成される付加的な水素結合形成により、PVA フィルムの耐湿性や吸湿時の力学特性を向上させること、より高い湿度環境下で形状を維持することができることを明らかにしました。

次に、PVA/CM コンポジットの性能を実際の髪の毛を用いて評価しました(図2)。一般的に使われているヘアワックスの適用量に合わせて、PVA/CM コンポジットを髪の毛にコーティングしました。その後、ヘアアイロンでカール状に髪の毛をスタイリングしたところ、CM 含有量に伴ってスタイリング性能(ヘアスタイル維持能)が向上しました。次に、80%相対湿度条件下で湿度に応答した形状記憶特性を評価しました。何もコーティングしていない髪の毛は、80%湿度条件下に晒されると形状変化はほとんど示さず髪束が広がるのに対し(図2A、左端)、PVA/CM コーティングは髪束の広がりを顕著に抑制しました(同右4つの写真)。さらにPVA/CM コーティングした髪の毛は、湿度に晒されるとむしろ形状回復が誘起され、最初にスタイリングしたヘア形状へと近づくことが明らかとなりました(図2B)。最後に、髪の毛にコートしたPVA/CM を温水(42°C)やシャンプーで洗浄したところ、容易に洗い流すことができました。

以上の結果から、PVA/CM コートを施すことで髪の毛のスタイリング性能を顕著に向上させ、湿度に晒される髪の毛の広がりを抑制するとともに、もとのスタイリングしたヘア形状に戻るといった従来材料(品)とは明らかに異なる興味深い性能を有することを見出しました。

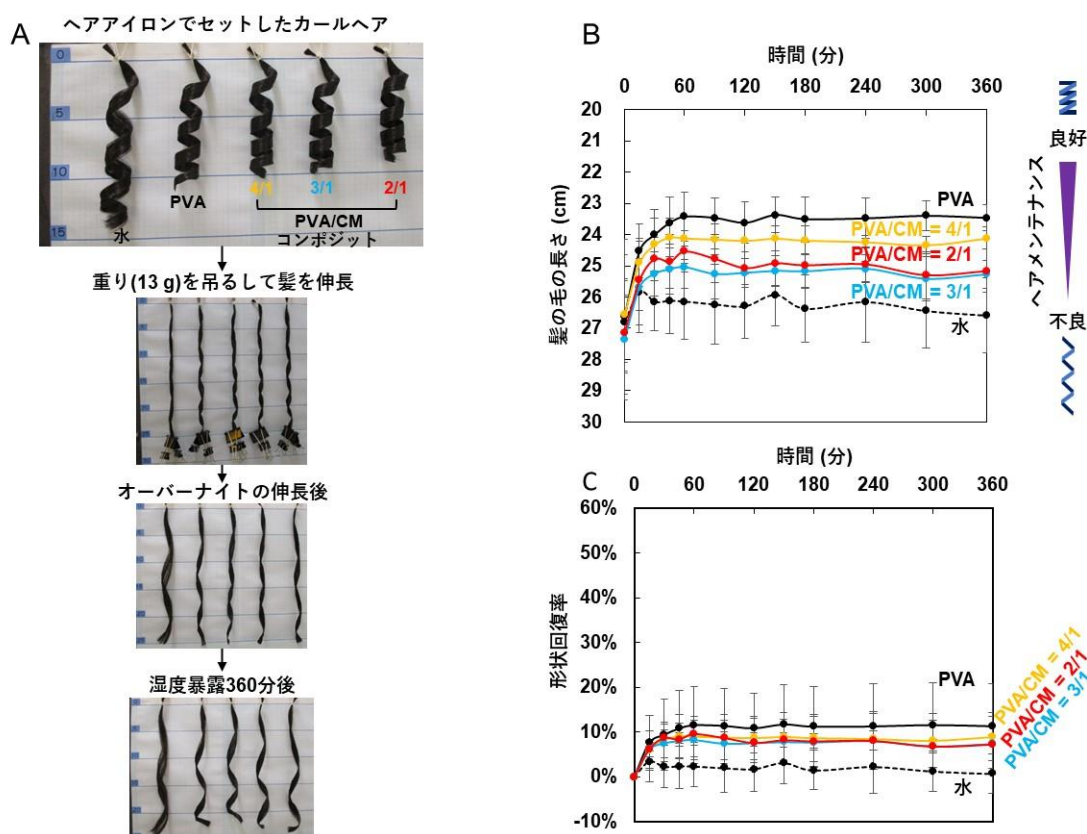


図2. 髪の毛を用いたPVA/CMコンポジットの性能評価: (A) ヘアアイロンを用いたスタイリング直後の髪束および湿度に応答してカールヘアが回復する様子 (B) 相対湿度80%環境下での毛髪の本長さ変化と (C) スタイリングしたカールヘアに対する形状の回復率の経時変化(髪の本長さが短くなる、形状回復率が高くなるほど形状記憶特性やヘアメンテナンス能が高いことを意味します)。

今後の展開

今回の材料で確認された特性は、スタイリングを乱す因子である空気中の水分を使用してヘアスタイルを維持する方法に結び付くことから、特に高温多湿環境下で感じる多くの消費者の悩みを解決する方法につながる可能性があります。

湿度に応答して形状記憶特性を発現するという新たな動作原理と、分子内・分子間水素結合のメカニズ

ムに関する知見を材料および処方設計に活かすことで、より湿度に対して効果の高いスタイリング方法を提案できる可能性があると考えています。

掲載論文

題目 : Humidity-Responsive Polyvinyl Alcohol/Microcrystalline Cellulose Composites with Shape Memory Features for Hair-Styling Applications

著者 : Koichiro Uto, Yihua Liu, Mingwei Mu, Rie Yamamoto, Chinami Azechi, Mizuki Tenjimbayashi, Adrien Kaeser, Marie-Adeline Marliac, Mohammad Mydul Alam, Jun Sasai, Mitsuhiro Ebara

雑誌 : Advanced Materials Interfaces

掲載日時 : 2023年11月1日 オンライン掲載

用語解説

(1) コンポジット

2つ以上の異なる材料を一体的に組み合わせた複合材料のことです。一般的には、複数の性質の異なる素材を組み合わせ、それぞれ単独では得られたい特性を発現させるなど、材料の特性を向上させることを目的とします。

(2) 水素結合

水素結合とは電気陰性度の大きなフッ素(F)、酸素(O)、窒素(N)原子と水素(H)原子間の電荷の偏りにより生じる極性引力のことです。通常の共有結合より結合エネルギーが小さく、弱い結合に分類されますが、材料や物質の特性に大きな影響を及ぼします。

(3) 形状記憶効果

形状記憶効果とは、成型後にその形状を変化させても、温度や湿度などの刺激に応答して変形前の元の形状へと戻る効果のことです。

(4) 溶媒キャスト法

溶媒キャスト法とは、高分子等の目的物質を溶解させた溶液を基材上に流し込み（または塗布し）、乾燥することで材料をフィルムへと成型する方法のことです。

本件に関するお問い合わせ先

(研究内容に関すること)

NIMS 高分子・バイオ材料研究センタースマートポリマーグループ

独立研究者 宇都甲一郎 (うとこういちろう)

E-mail: UTO.Koichiro@nims.go.jp

TEL: 029-860-4179

NIMS 高分子・バイオ材料研究センタースマートポリマーグループ

グループリーダー 荻原充宏 (えばらみつひろ)

E-mail: EBARA.Mitsuhiro@nims.go.jp

TEL: 029-860-4775

URL: <https://www.nims.go.jp/bmc/group/smartbiomaterials/>

(報道・広報に関すること)

NIMS 国際・広報部門 広報室

〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1

TEL: 029-859-2026, FAX: 029-859-2017

E-mail: pressrelease@ml.nims.go.jp

日本ロレアル広報事務局 (株式会社電通 PR コンサルティング内)

担当: 英

E-Mail : yoshinobu.hanabusa@dentsuprc.co.jp