

令和元年6月19日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00776

研究課題名(和文) 高効率、低環境負荷を目的としたファインバブル水の染色への活用

研究課題名(英文) Application to Dyeing of Fine-bubble Water for High Efficiency and Low Environmental Impact

研究代表者

天木 桂子 (AMAKI, KEIKO)

岩手大学・教育学部・教授

研究者番号：80193019

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：染色にファインバブル水を活用することを目的とし、天然染料および合成染料を対象に様々な条件下で実験を行ってファインバブルの有無と染色特性の関係を明らかにした。用いた水は、イオン交換水および電解水(酸性、アルカリ性)と、それぞれにファインバブルを含包させた水とし、天然染料として天然ハーブ(ローズマリー、丁子)とキハダを、各種合成染料に加え、キハダの主染料であるベルベリンを用いた。

その結果、電解水の利用は染色液のpHを試薬フリーで得られ、環境負荷を低減に有効であると判断された。またファインバブルの利用は、特定の条件下ではあるが、バブルなし染色液に比べてくすみのない鮮明な色を得るのに有効であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

機能水の一つであるファインバブル水は、微細気泡を水中に含包させたものである。本研究では染色にファインバブル水を利用し、その染色性能を通常の水染色と比較して染色における優位性を明らかにした。実験の結果、特定の条件下ではあるが、同一条件で染色した場合、通常の水に比べてファインバブル水が濃色であったり鮮明な色が得られるなど様々な点で違いがあることが分かった。ファインバブル水は、環境への排出時にほとんど負荷を与えることがないため、試薬などを利用せず効率的に染色できる可能性がある。さらに効率化による染色回数の低減で残液排出量が減るなど新たな染色工程の構築が期待できると考えており、現在特許出願中である。

研究成果の概要(英文)：With the aim of utilizing fine bubble waters for dyeing, experiments were conducted under various conditions for natural dyes and synthetic dyes to clarify the relationship between the presence of fine bubbles and the dyeing characteristics. The water used are ion-exchanged water and electrolyzed water (acidic and alkaline), and water containing fine bubbles respectively. The dyes used are natural herbs (rosemary, clove) and amur-corktree ("kihada" in Japanese) as natural dyes are added to various synthetic dyes and berberine, which is the main dye of amur-corktree.

As a result, it was judged that the use of electrolyzed waters were effective in reducing the environmental load because the pH of the dye solutions were obtained without using any reagents. In addition, the use of the fine bubble waters, under certain conditions, resulted in a clearer color than the dye solutions without the bubbles.

研究分野：被服管理学

キーワード：ファインバブル水 染色 低環境負荷 繊維

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

ファインバブルへの関心は近年急激に高まっており、関連する研究は非常に多い。例えば、農学分野では植物にファインバブル水を与えることで成長を促す効果が、水産学分野ではファインバブル水中で魚類などを育てると短期間で大きく成長するなど、動植物の生育への有益性が報告されている。また、工学分野では、金属加工場面の冷却水としてファインバブル水を利用することで金属刃の摩耗が減り長持ちするといった報告もある。生活学分野では、殺菌力に着目した野菜洗浄や、各種基質上の汚れ除去機能も報告されており、2017年にはファインバブルを利用した家庭用電気洗濯機が上市された。これらはいずれも、ファインバブルの効果とともに自然環境への負荷軽減の面からも評価している。

本研究は、こうした流れを受けながら、主に生活分野へのファインバブルの活用を目的とし、洗浄や染色に用いる大量の水に着目したものである。水不足が昨今盛んに叫ばれる中、様々な場面で使用される洗浄液や染色液に関しても節約しなければならない時代に来ている。筆者はこれまでも環境負荷低減に向けてこうした水をより効率的に利用する手段を探ってきた。その結果、これまで用いていた各種液体に代わるものとの観点からファインバブル水に着目したのが本研究につながるきっかけである。まず取り組んだのは、ファインバブル水の物理的特性を特に流動性から明らかにすることで、実験の結果、通常の水との流れ挙動における違いを見出した。本研究は、次の段階としてファインバブル水の物理的特性を生かす場面の一つとして「染色」に着目したものである。

2. 研究の目的

近年、衣服を中心とするファッション品はますますカラー化が進んでおり、鮮やかな色彩にあふれている。こうした鮮やかな色彩は多種多様な合成染料の開発によってもたらされたもので、今後もこうした傾向は、世界規模で進んでいくと予想される。一方、こうした鮮やかな色彩を支えているのが染色工業である。糸や布地を対象にした染色には捺染と浸染があり、捺染に比べて浸染は多量の水を使用する特徴がある。さらに合成繊維などの疎水性繊維は染色が難しいため、多量の水に加えて、高温、高圧下で時間をかけて行われることが多く、相当多量なエネルギーを消費している。本研究は、こうした背景を受けて、エコロジーの観点からより省エネルギー環境下で行う染色をめざすものである。

その可能性を探る対象として筆者は、ファインバブル水に着目した。これは、様々な気体の微細気泡を水中に含ませたもので、マイクロサイズ（約 $50\mu\text{m}$ 以下）の気泡を含むものをファインバブル水、ナノサイズ（約 100nm 以下）の気泡を含むものをウルトラファインバブル水として区別している（本研究では、両方をまとめてファインバブル水と記載するが、実験条件によってマイクロバブル、ナノバブルとする場合もある）。含包する気体も、大気のみならず、酸素、オゾン、窒素、二酸化炭素など様々である。今から 10 数年前に誕生したファインバブル水は、様々な分野で研究が行われ、洗浄作用、殺菌作用、動植物の良好な生育、食品の長期保存を可能にするなど、ある程度の有益性をもたらす結果が得られており、その一部はすでに実用化されている。

本研究は、このファインバブル水の染色への活用を試みるものである。特に、繊維や糸、布などの被服材料への染色を対象として研究を進める。染色には多量の水とエネルギーが使われることは前述したが、それと同時に、染色後の残液処理の問題も見逃せない。染色後の残液は、繊維に染着しなかった余剰の染料分子、pH 調整剤、媒染金属など様々な物質を含んでおり、そのままでは環境中に廃棄することができない。そのため、染色残液は染色工場側で適切な処理が施され、一部は回収して再利用し、その他は廃棄される。実際にはこうした処理にも多大なエネルギーを要し、処理後に環境へと廃棄される物質もある程度の環境負荷をかけていることを考慮すると、残液の排出量そのものを減らすことを考える必要がある。

以上のように、染色には、染色前後の一連の工程で非常に多くのエネルギーを必要とし、その結果として環境にも多大な負荷をかけていることは否定できない。今後の地球環境を考慮しても、一刻でも早くさらに少しでも省エネルギー、低環境負荷を考えた染色工程を構築する必要があると感じているのが現状である。

本研究は、ファインバブル水の活用により、こうした問題を解決する可能性を見出すことを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 使用水

染色（染料抽出を含む）に使用した水は、イオン交換水、ファインバブル水、酸性電解水、ファインバブル酸性電解水、アルカリ電解水、ファインバブルアルカリ電解水の 6 種類である。ファインバブル水は、ナノバブル発生装置（(株) テックコーポレーション社製ファインアクア MN-20）を用い、イオン交換水、電解水から調製した。得られたナノバブルの気泡径は、 $50\text{-}200\text{nm}$ （粒度分布ピークは 80nm ）である。酸性およびアルカリ電解水は、電解水製造装置（(株) テックコーポレーション社製電解水衛生環境システム守る水 ESS-ZERO）を用い、イオン交換水から調製した。実験の一部には、マイクロバブル水を用いた。

(2) 染料、染色材料

天然染色材料として、2 種の天然乾燥ハーブ（ローズマリー、丁子）および乾燥キハダ（い

いずれも染色用市販品、藍熊染料株式会社)を用いた。合成染料として、直接染料系3種(ベンゾパーリン, ダイレクトスカイブルー5B, シリヤスプラグリーンBB), 酸性染料系3種(アシドオレンジ2, ミーリングブルーB, アシドバイオレット5B), 分散染料系3種(ダイアセリトンファストピンクB, ダイアセリトンファストオレンジR, ダイアセリトンファストグリーンB)(いずれも田中直染料店市販品)を用いた。さらに、キハダの主色素であるベルベリン(ベルベリン塩酸塩水和物, 関東化学株式会社)を用いた。

(3) 媒染剤

硫酸ナトリウム, 酢酸アルミニウム(塩基性), 塩化鉄(III)六水和物, 酢酸銅(II)一水和物(いずれも関東化学株式会社)の4種を用いた。

(4) 試料布

試料布は綿(金巾, 洗濯科学協会), 毛(モスリン, 色染社), 絹(羽二重14匁, 色染社), ポリエステル(タフタ, 色染社), アクリル(モスリン, 色染社)の5種を用い, いずれも1枚が1.0gになるように裁断した。

(5) 実験方法

① (1年目) 天然ハーブ(ローズマリー, 丁子)の染色

(染料抽出)ローズマリーまたは丁子を試料布1枚につき1g計り, 炭酸ナトリウム0.1mol/L水溶液を加えてアルカリ性にした所定の水で浴比1:50, 40°Cおよび80°C, 60分+一昼夜放置の条件下で抽出した。

(染色)ローズマリーまたは丁子の抽出液を, くえん酸一水和物水溶液でpH4, 7, 10に調整し, 綿, 毛, 絹に対して浴比1:50, 40°Cおよび80°C, 60分+一昼夜の条件下で, 1~5回染色した。また, オートクレーブを用い130°C, 60分で同様に染色した。

② (2年目) 合成染料の染色

(染色)イオン交換水およびファインバブル水のみを用い, 綿(直接染料3種), 毛(酸性染料3種), ポリエステル(分散染料3種)に対し, 浴比1:50, 濃度2%owf, 20°C~80°C, 15分~60分の条件下で, ウォーターバス内またはマグネチックスターラー上のビーカー内で一定の機械力をかけながら染色した。さらに, ポリエステルのみオートクレーブで130°C, 30分間染色した。また, 染料助剤として硫酸ナトリウムまたはくえん酸一水和物を用い, 綿とポリエステルは20%owf, 毛は10%owfを加えた染色を行い, 助剤の効果を比較した。

③ (3年目最終年度) 天然色素キハダおよび合成染料ベルベリンの染色

(抽出)乾燥キハダを試料布1枚につき1gまたは5g(通常の5倍量)計り, 所定の水(pH調整はしない)で浴比1:50, 80°C, 60分+一昼夜放置の条件下で抽出した。

(染色)キハダ抽出液を用い, 綿, 毛, 絹, アクリルに対して浴比1:50, 80°C, 60分の条件下で1~5回染色した。ベルベリンは, 濃度2%owfとし, 毛, アクリルに対して同一条件下で染色した。また, 媒染剤を用い, 濃度5%owfで先媒染, 後媒染処理を行い, 無媒染と比較した。

(6) 評価(測色)

評価には, CIE(1976)L*a*b*表色系を採用した。色彩色差計(MINOLTA CR-200)を用い, 同一環境下で試料布1枚につき表裏4か所測色し, 平均した。

4. 研究成果

(1) 天然ハーブの染色

(抽出)図1は, 各種水を用いてローズマリーから抽出した染料液の明度(L*値)である, これを見ると, イオン交換水, 電解水とも, バブルなしとバブル(マイクロバブル, ナノバブル)あり間ではL*値に差がほとんど現れず, ほぼ同様の抽出液が得られた。また, a*b*値もバブルのありなしではほぼ同じ値を示し, 染色液の視感判定でも差は見られなかった。さらに丁子でもほぼ同様の結果が得られ, 差は認められなかった。このことから, ファインバブルの効果は抽出時にはほぼないと推察された。

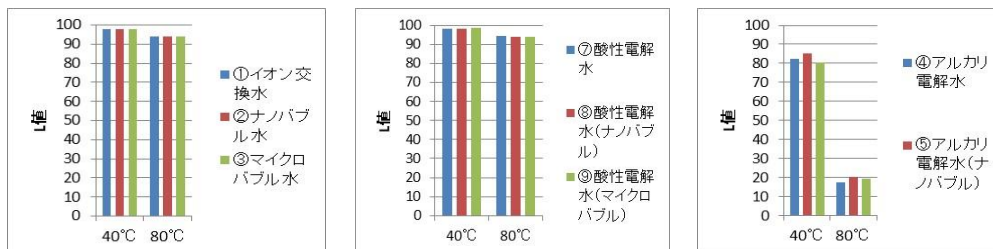


図1. ローズマリー抽出液の明度(40°C, 80°C, 60分+一昼夜)

(染色)図2は, 各種の水を用いた丁子抽出液で染色した布の明度(L*値)を, 綿, 毛, 絹について示したものである。これを見ると, イオン交換水と酸性電解水がアルカリ電解水に比べてL*値が低く濃色に染まることわかる。また, イオン交換水と酸性電解水は, バブルあり(特にナノバブル水)がなしに比べて3種の繊維ともL*値が低い。これは, ローズマリーでも同様に認められ, ファインバブル水が濃色化に影響を与えていると判断された。

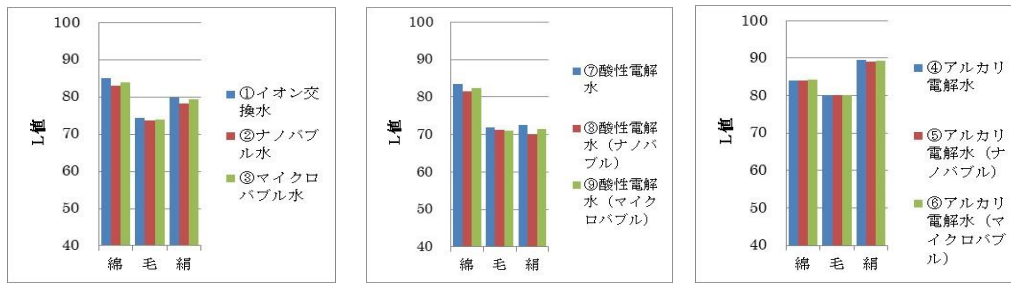


図 2. 丁子染色布の明度 L*値 (80°C, 60 分+一昼夜, 1 回染め)

(2) 合成染料の染色

3 種類の繊維に対し、それぞれ 3 種類の染料 (全 9 種) で染色した結果、イオン交換水とファインバブル水間で最も差が認められたのは、マグネチックスターラーを用いた常圧染色であった。図 3 は、直接染料ベンゾパープリン 4B の綿に対する染色結果である。

これを見ると、イオン交換水とファインバブル水では、60°C 以上の高温下では差が認められないが、20°C, 40°C ではわずかにファインバブル水が濃色に染まっていると判断できる。また、助剤 (硫酸 Na) の添加により、すべての条件下で助剤なしに比べて明らかに濃色に

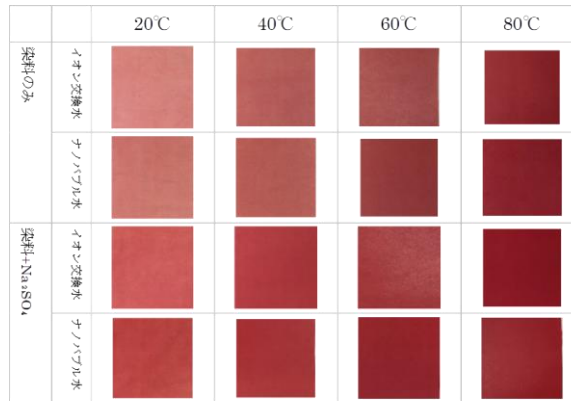


図 3. ベンゾパープリン 4B 染色布 (綿, 60 分, 1 回染め)

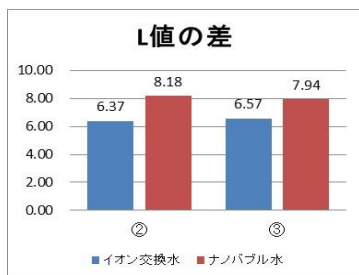


図 4. ベンゾパープリン 4B 染色布の助剤添加効果 (綿, 10 分, 1 回染め, 助剤 20%owf, ②と③は回転子の種類)

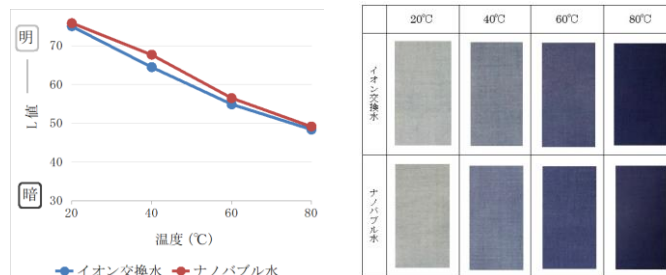


図 5. ミーリングブルー B の染色布および明度 (毛, 15 分, 1 回染め)

染まっており、助剤の効果も改めて確認された。さらに、同一条件下での助剤がもたらした効果 ((助剤なしの L*) - (助剤ありの L*)) を算出したところ、図 4 に示すように、ほぼすべての条件下でファインバブル水染色の値が高くなった。このことは、ファインバブルが何らかの形で助剤の効果を引き出す性質を有すると推察でき、通常のイオン交換水染色に比べてファインバブル水の有効性を示唆する結果となった。

図 5 は、酸性染料ミーリングブルー B の毛に対する染色結果である。これを見ると、40°C, 60°C でファインバブル水の明度が高いが、その差はわずかで、染色布もほぼ同じ色となり、ベンゾパープリン 4B ほどの違いは認められなかった。

このことから、ファインバブル水の効果が表れるのは、ある特定の条件下のみである可能性が高く、合成染料の染色全体に有効性が認められるわけではないことが明らかとなった。今後、ファインバブル水が有効に働く条件を解明する必要が感じられた。

(3) キハダおよびベルベリンの染色

染色時 (染色液) の pH 調整に、炭酸ナトリウムやくん酸を用いた場合と、酸性電解水やアルカリ電解水をそのまま用いた場合を比較すると、染色布の濃さや色彩に関して両者にほとんど差が見られなかった。このことから、電解水の利用により試薬フリーで適切な染色液が得られ、非常に有効であると判断された。

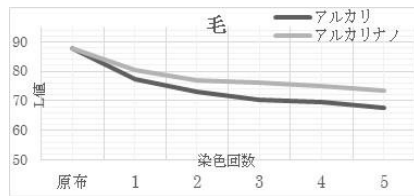


図 6 キハダの染色回数と L*a*b*および染色布 (毛 80°C60分)

図 6 は、アルカリ電解水を用いたキハダの毛に対する染色結果で、それぞれ L*値, a*b*値である。ファインバブルありとなし間で差が表れたのはこの条件下のみで、他はほとんど両者で同一の値を示し、違いが認められなかった。明度を見ると、染色回数とともに L*値が低下して濃色になるとともに、アルカリ電解水に比べてファインバブルアルカリ電解水の値が高い。一方、a*b*値で染色後のプロット位置と原布間の距離を見ると、バブルなしに比べてバブル電解水の距離が長い。このことは、バブルありの方が濃度は低いながらもはっきりとした色合いに染まっていると解釈でき、ファインバブルがくすみのない鮮やかな色彩をもたらすと判断できる。染色布を見ても、右側のファインバブル水の黄色みが鮮やかである。

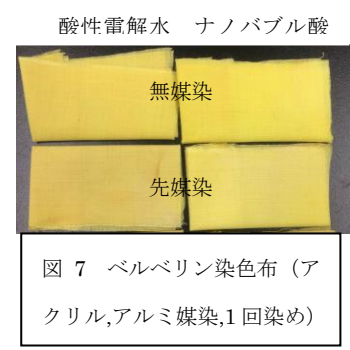
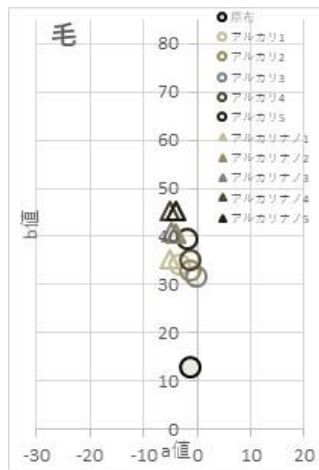


図 7 ベルベリン染色布 (アクリル,アルミ媒染,1回染め)

図 7 にベルベリンの染色布 (アクリル) を示す。ベルベリンは天然染料としては珍しい塩基性染料で、アクリルに対して大きな親和性を有しており、本実験でも良好な染色性を示した。また、布を見るとバブルありがバブルなしに比べてやや淡色であるものの、くすみがなく鮮やかな色彩を有しており、キハダの結果と一致した。L*a*b*を比較すると、バブルありの L*値はなしより高いものの、a*b*値の原布からの距離が長く、色彩の変化は大きかった。

全体的に、ファインバブル水で染色することにより、バブルなしに比べてよく (濃色に) 染まるとは言えないが、色彩的にクリアで鮮やかな色が得られると判断された。しかし、こうした結果はすべての条件下で確認されたわけではなく、ある限られた条件下での発現であることから、今後は、ファインバブル水の効果が発揮されやすい環境の特定を行う必要性が感じられた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 天木桂子, 汚れ除去を中心とする洗浄, 日本油化学会洗浄に関するシンポジウム 50 回記念論文集, 査読なし, 23 - 27 (2018)
冊子体のみ web 未公開
- ② 天木桂子, ファインバブル水の流動特性と染色への応用, 日本油化学会オレオサイエンス, 査読なし, 第 17 巻, 第 9 号, 433-441 (2017)
DOI : ISSN1345-8949

[学会発表] (計 3 件)

- ① 天木桂子, 機能水としてのファインバブルについてー繊維への染色性を例にしてー, 鹿児島県工業技術センター第 1 回繊維染色研究会および講演会 (2017)
- ② 安川あけみ, 天木桂子, 種々の繊維ー染料系での鮮色化, 濃色化の試み, 日本家政学会東北・北海道支部第 61 回研究発表会 (2017)
- ③ 天木桂子, ファインバブル水を用いた乾燥ハーブからの染料抽出および各種繊維に対する染色性, 第 48 回洗浄に関するシンポジウム (2016)

[図書] (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計 1 件）

名称： 染物の製造方法，染色方法及び染色装置

発明者： 天木桂子

権利者： (株)テックコーポレーション

種類： 特許

番号： 特願 2016-219159 (P2016-219159)

出願年： 2016 年

国内外の別： 国内

○取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。