

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：42674

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300249

研究課題名(和文) マイクロ・ナノバブルを応用した低環境負荷型洗浄システムの開発

研究課題名(英文) Developing a Low Environmental Load Washing System Based on Micro/Nanobubble Technologies

研究代表者

山口 庸子 (Yamaguchi, Yoko)

共立女子短期大学・生活科学科・教授

研究者番号：20201832

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,100,000円

研究成果の概要(和文)：アデノシン三リン酸(ATP)を指標としたマイクロ・ナノバブル(MNB)の洗浄力の評価法を提案した。更に、モデル汚れの選定から汚染試料を作製しMNBの洗浄効果を検証した。その結果、スライドガラスを用いたゼラチン汚染試料の洗浄力評価から、残液中のATP量を示すRLU値が上昇し、MNB水の洗浄効果を確認することができた。オゾンNB水で洗浄した残液のRLU値および血液汚染布のRLU値は、イオン交換水に比べて非常に低い値を示した。RLU値が低いものほどATP量は少なく清浄度が高いことから、オゾンの酸化によるATP除去効果(清浄度)を明らかにすることができた。

研究成果の概要(英文)：We propose a method for evaluating the detergency effects of micro/nanobubbles that uses adenosine triphosphate (ATP) as an index. We also examined a procedure for generating soiled materials (i.e., soiled fabrics) by selecting the model contaminant needed to verify the detergency effects of micro/nanobubbles. For evaluations of the detergency of gelatin soiled materials such as slide glasses, we found that micro/nanobubble water increased the RLU that reflects the quantity of ATP in the residual liquid, indicating the detergency effects of micro/nanobubble water. Significantly lower RLU values for the residual solution and blood soiled fabric after washing with ozone nanobubble water than with ion-exchanged water. Since lower RLU values indicate smaller amounts of ATP and superior cleanliness, the results demonstrate the effectiveness of ozone oxidation in ATP removal (cleanliness).

研究分野：総合領域 生活科学

キーワード：洗浄 環境 マイクロ・ナノバブル LCA ATP オゾン 家庭洗濯 リネンサプライ

### 1. 研究開始当初の背景

マイクロ・ナノバブル (MNB) の微小気泡は環境負荷が非常に小さいことから、実用化を目指す多くの試みが検討されていた。MB は直径が 50  $\mu\text{m}$  以下の気泡であり、水中で縮小して消滅時にフリーラジカルを発生することから、洗浄処理への応用が期待されていた。NB は直径 1  $\mu\text{m}$  以下の極微小気泡であり、長期安定化した酸素 NB やオゾン NB が開発され、生物に対する活性効果や殺菌効果が報告されていた。衣類洗浄への MNB の利用もみられたが、その洗浄効果は明確にされていない状況にあった。

一方、超高齢化社会にあつて、介護施設や病院等で利用される貸おむつやレンタル衣類等の洗濯は、清潔・安全・安心を担保する上で重要な役割を担っている。しかし、衛生管理上の問題から高温洗浄や漂白剤等の使用を余儀なくされ、リネンサプライ等の商業洗濯は、家庭洗濯に比べて環境負荷の高い洗濯が行われていた。MNB の水系洗浄処理への応用は、細菌の死滅を必要とするリネンサプライ (貸おむつなどを含めたレンタル衣類) の洗浄工程において、洗剤や漂白剤の使用量の削減に加えて使用水量や消費電力の削減が期待できることから本研究を行った。

### 2. 研究の目的

MNB を水系洗浄に導入して環境負荷を削減できる新洗浄システムの開発に向けて、MNB の水系洗浄に関わる基本性能を明らかにする。更に、汚れモデルにゼラチンを用い、アデノシン三リン酸 (ATP) を指標とした洗浄力評価法を提案して、MNB の洗浄効果、被洗物の違いによる影響、界面活性剤の併用による影響などの系統的なモデル実験を行い解明する。同様に、オゾン NB や酸素 NB について、洗浄効果や殺菌・抗菌効果を明らかにすると共に界面活性剤や漂白剤との比較からその実用性を検証する。

貸しおむつ業は、病院、保育園、家庭などの利用者から直接使用後のおむつを回収し、洗濯を行って再度利用者へ届けるおむつのリネンサプライである。貸おむつを事例に、洗濯工程別のライフサイクルアセスメント (LCA) を行い、温室効果ガス (GHG) 排出量の削減が行える洗濯条件を明らかにする。更に、MNB を応用した洗浄システムの提案に活用する。

### 3. 研究の方法

#### (1) MNB 水の洗浄に関わる基本性能評価

MNB の発生は、微細気泡発生装置 (ASK3 型、アスプ製) を用いて、90 の水道水に酸素および大気 (10/min) を曝気させた。比較気体として窒素を用い、バブル消失までの時間や溶解酸素量 (DO) の測定から発生を間接的に評価し、MNB 水の安定な生成条件を検討した。

高速表面張力計 (キプロン社製・AquaPi) を用いて表面張力を測定した。

#### (2) MNB 水の洗浄力評価

##### ATP を指標とした洗浄力評価

ATP の測定に適したモデル汚れの選定から、基質の異なる汚染試料を作製した。基質には、基準にスライドガラス (2.5  $\times$  7.5 cm)、比較に平織りの綿布 (5  $\times$  5 cm, JIS 添付白布カナキン 3 号) とポリエステル布 (5  $\times$  5 cm, JIS 添付白布) を用いた。湿式人工汚染布の作製方法に準じて、固着剤としてゼラチンを用い、マイクロピペットで基質の片面に均一に付着させ、十分に風乾してから熱処理を行った。ゼラチン濃度と熱処理温度、時間は、汚れと基質に適した処理条件とした。

図 1 にスターラを用いた洗浄装置を示す。25 の MNB 水 200 ml に、スライドガラスの汚れの付着面を下側に固定した状態で 10 分間攪拌した。MNB 水は、微細気泡発生装置 (MA3, アスプ製) を用いて、イオン交換水中に空気 MNB を約 10 分間発生させたものを使用した。比較にイオン交換水のみ、界面活性剤 AE 及び LAS 併用系の洗浄を行った。同様の条件にて、綿汚染布及びポリエステル汚染布を固定しない状態で洗浄した。洗浄力は、洗浄後の残液中の ATP の測定を行い評価した。

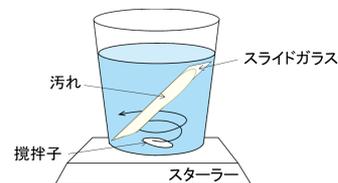


図 1 スターラを用いた洗浄装置

##### ターゴトメーターを用いた洗浄力評価

湿式人工汚染布 (洗濯科学協会, JISC9606) 10 枚を、Targ-0-Tometer (大栄科学精器製) を用いて洗浄した。イオン性の異なる界面活性剤、比較に衣料用市販粉末洗剤 (2 種)、JIS 指標洗剤を用いて、MNB 水との併用効果を評価した。界面活性剤は、アニオン系の直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩 (LAS)、脂肪酸ナトリウム (市販粉末洗剤、純石けん分 98% を使用)、非イオン系のポリオキシエチレンアルキルエーテル (AE)、カチオン系の塩化ベンゼトニウム (BC) を用いた。AE は、エチレンオキシド (EO) 鎖長 (C6 ~ C15) の異なる 4 種類である。洗浄率は、洗浄前後の汚染布の 550 nm の反射率を測定し、K/S 値を用いて算出した。

#### (3) オゾン NB 水の洗浄力評価

##### オゾン NB 水の洗浄力評価

血液汚染布 1 枚 (綿・CFT-1) を用いて、洗浄温度 25、オゾン NB 水、比較に MNB 水、イオン交換数を用いて、図 1 に示した洗浄装置で洗浄した。洗浄率は、洗浄前後の 530 nm の反射率を測定し、K/S 値を用いて算出した。なお、使用したオゾン NB 水 (REO 研究所製) のオゾン濃度は、オゾン濃度計 (紫外線吸収式・オキトロテック製) を用いて測定した。

### オゾン NB 水の清浄度評価

洗浄後の血液汚染布の ATP, 洗浄残液中の ATP の測定から洗浄度を評価した。測定には, ルシパック Pen (拭き取り用・キッコーマンバイオケミファ製) を用い, 相対発行量 (RLU 値) を求めた。ルシフェラーゼによる発酵反応は, 反応が進むと ATP は AMP に変換される。ATP+AMP の測定をここでは ATP とした。

#### (4) 貸おむつの LCA

評価対象とした貸しおむつの洗濯プロセスとシステム境界を **図 2** に示す。なお, 明確なデータの入手が困難な貸おむつの素材, 製造は含まないものとした。工場内の作業は, 洗濯, 乾燥, 仕上げ, 空調等, 工程別に細分化し, おむつの洗濯を行う連続洗濯機 (12 連洗機) とおむつカバーの洗濯を行うバッチ式全自動洗濯機に分けてライフサイクルインベントリ (LCI) 分析を行った。12 連洗機では, ドビー織の大人用おむつ 1 トンを機能単位とし, バッチ式全自動洗濯機ではおむつカバー 40kg を機能単位とした。

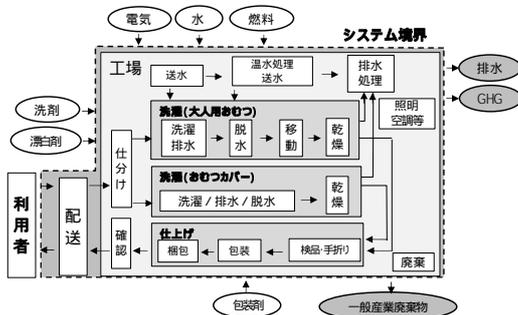


図 2 貸おむつの洗濯プロセスとシステム境界

## 4. 研究成果

### (1) MNB 水の洗浄に関わる基本性能

気体の発生時間と装置停止後の表面張力の経時変化を **図 3** に示す。曝気時間の長いものほど表面張力は低下する傾向がみられ, 回復に時間がかかったことから, バブル発生の量的関係を明示できた。この要因として, 水中で微細気泡となった気体が見かけ上, 表面張力を低下させたものとする。

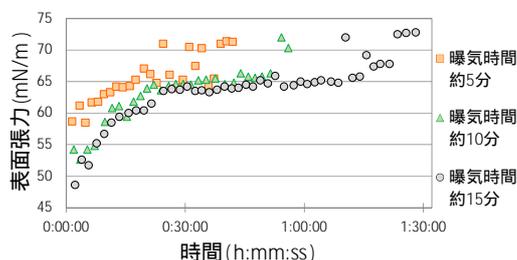


図 3 MNB 水の表面張力 (曝気時間の影響)

### (2) MNB 水の洗浄効果

ゼラチン汚染布を用いて MNB 水の洗浄力を評価した結果, **図 4** に示すようにスライドガラスのように表面が平滑で固定された汚れモデルの洗浄では, MNB 水, 界面活性剤 AE お

よび LAS を加えた MNB 水いずれにおいても残液中の ATP 量を示す RLU 値が増加傾向を示した。このことから, MNB 水の洗浄効果を確認することができた。しかし, 綿やポリエステルを基質とした汚れモデルでは, MNB 水の明らかな洗浄効果を確認することはできなかった。

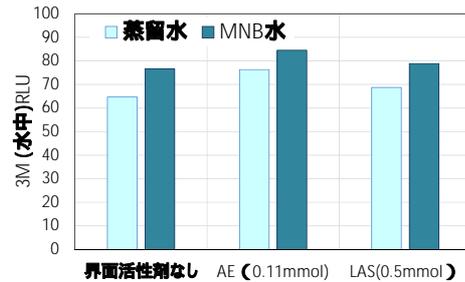


図 4 MNB 水の洗浄効果 (スライドガラス・ゼラチン)

一方, 半実用試験としてターゲットメーターを用いて湿式人工汚染布を洗浄した結果, イオン性の異なる界面活性剤, E0 鎖長 (C6~C15) の異なる界面活性剤, 市販粉末洗剤を併用したいずれの場合においても, MNB 水と水道水の間には明らかな洗浄力の違いはみられなかった。

### (3) オゾン NB 水の洗浄効果及び清浄度

血液汚染布を用いて, イオン交換水, MNB, オゾン NB を比較して, 洗浄前後の汚染布の反射率 (K/S 値) から求めた洗浄率 (%) は, オゾン NB 水 > イオン交換水・MNB 水の関係を示した。また, 清浄度を示す洗浄後の血液汚染布の ATP 量は, オゾン NB < MNB 水・イオン交換水の関係を, 洗浄残液中の ATP 量はオゾン NB < MNB 水・イオン交換水の関係 (**図 5**) を示した。これらのことから, オゾンの酸化作用による ATP の除去・分解効果を確認することができた。

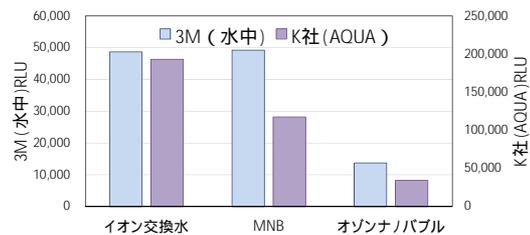


図 5 洗浄残液中の ATP (血液汚染布)

### (4) 貸おむつの LCA

大人用おむつ 1 トン当たりの GHG 排出量を工程別に **図 6** に示す。節水化が効率的に図られた 12 槽の連続洗濯機を使用しても, 水温を上昇するために消費するガス由来の GHG 排出量は全体の約 50% と非常に大きいことが判明した。また, 乾燥工程の GHG 排出量も, 全体の 25% を占めるなど, ボイラー効率を高めると同時に節水や脱水力の強化が GHG 排出量の削減に役立つことを指摘した。

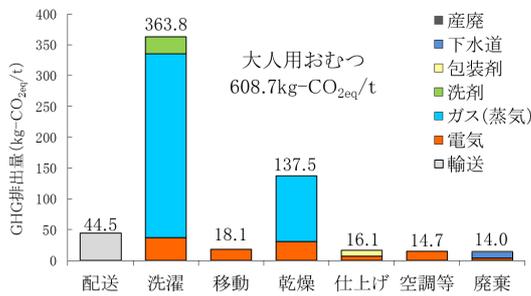


図 6 大人用おむつの GHG 排出量

洗剤は全体の 5%未満であるが、約 50%が漂白剤（次亜塩素酸ナトリウム）の使用によるものであった（図 7）。安全の担保と洗浄温度の低下に有効に働く次亜塩素酸ナトリウムの利用は不可欠であるが、その一方で残留塩素や作業環境の問題から、次亜塩素酸ナトリウムの使用量を軽減できる技術開発の必要性を示した。また、サイト調査から、空気清浄・除菌にオゾンの活用が開始されている状況を把握した。

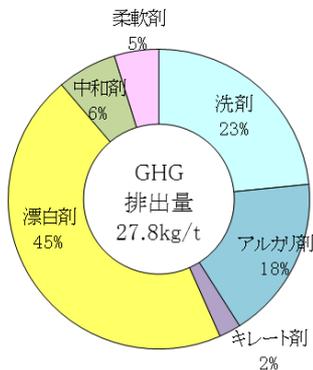


図 7 洗剤の GHG 排出量

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

山口庸子, 中村弥生, ATP 測定法を用いたマイクロ・ナノバブルの洗浄力評価, 共立女子短期大学生活科学科紀要, 査読無, Vol. 58, 2015, pp.57-65

山口庸子, 洗濯に関する LCA の評価事例 - 衣類の使用・消費段階 -, 日本繊維機会学会誌月刊せんい, 査読無, Vol.67, No.3, 2014, pp. 171-178

山口庸子, 中村弥生, マイクロ・ナノバブル水の洗浄に関わる基本性能, 共立女子短期大学紀要, 査読無, Vol. 57, 2014, pp.15-21

山口庸子, 田原聖隆, 小関康雄, 永山升三, 貸おむつの GHG 排出量の算定, 日本 LCA 学会誌, 査読有, Vol.9, No.4, 2013, pp.306-314

〔学会発表〕(計 11 件)

山口庸子, 中村弥生, ATP を指標としたオゾン・ナノバブル水の洗浄力評価, 日本家政学会第 66 回大会, 2015 年 5 月 23 日~24 日, アイーナ岩手(岩手)

山口庸子, 貸しおむつの LCA と温室効果ガスの削減対策について, 日本ダイアパー振興会平成 26 年度技術研修会, 2015 年 2 月 27 日, ホテルグランドヒル市ヶ谷(東京)

山口庸子, 中村弥生, マイクロ・ナノバブルの水系洗浄への応用について, 第 46 回洗浄に関するシンポジウム, 2014 年 10 月 21 日~22 日, 江戸川区総合区民ホール(東京)

中村弥生, 山口庸子, 風呂の残り湯を利用した家庭洗濯のソーシャル LCA, 日本繊維製品消費科学会 2014 年年次大会, 2014 年 6 月 28 日~29 日, 京都工芸繊維大学(京都)

土屋みさと, 山口庸子, 中村弥生, 永山升三, 貸しおむつ(レンタルおむつ)に関する実態調査, 日本家政学会第 66 回大会, 2014 年 5 月 24 日~25 日, 北九州国際会議場(福岡)

山口庸子, 田原聖隆, 小関康雄, 永山升三, 貸おむつ業の GHG 排出量の算定, 第 9 回日本 LCA 学会研究発表会, 2014 年 3 月 5 日, 芝浦工業大学 豊洲キャンパス(東京)

山口庸子, 中村弥生, マイクロ・ナノバブルの洗浄に関わる諸性能, 第 45 回洗浄に関するシンポジウム 2013 年 10 月 13~14 日, 江戸川区総合区民ホール(東京)

山口庸子, 田原聖隆, 小関康雄, 永山升三, レンタル布おむつの洗浄工程に関する LCA, 日本油化学会主催 第 45 回洗浄に関するシンポジウム 2013 年 10 月 13 日~14 日, 江戸川区総合区民ホール(東京)

山口庸子, 洗濯に関する LCA の評価事例, 日本繊維機会学会講演会, 繊維工業における LCA の現状と課題, 平成 2013 年 9 月 17 日, 大阪科学技術センター(大阪)

山口庸子, 布おむつと環境問題, 日本ダイアパー振興会平成 24 年度技術研修会 2013 年 2 月 19 日, ホテルグランドヒル市ヶ谷(東京)

Yoko Yamaguchi, Eriko Seii, Yayoi Nakamura, Masuzo Nagayama, Life cycle assessment of the laundering process in Japan as a case study of wool sweater, World Conference on Fabric and Home Care: Singapore 2012, 29-31 October 2012, Shangri-La Hotel, Singapore

〔図書〕(計 1 件)

山口庸子, 生野晴美, 他 5 名, アイ・ケイコーポレーション, 新版 衣生活論 - 持続可能な消費に向けて - 2012 年 pp.1-4, pp. 90-115

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 庸子 (YAMAGUCHI YOKO)

共立女子短期大学・生活科学科・教授  
研究者番号: 20201832