

補助事業番号 2021M-189

補助事業名 2021年度 ファインバブルによる熱交換器性能とスケール除去性能の

同時向上手法の開発 補助事業

補助事業者名 東京都立大学 システムデザイン学部 機械システム工学科・小方 聡

## 1 研究の概要

既存の熱媒輸送流体にファインバブルを添加した場合の熱交換器の性能に直結する圧力損失および熱伝達性能を循環系装置を用い実験的に明らかにする。さらに、ファインバブルの洗浄効果を利用することで、熱交換器の時間経過に伴う性能低下要因の一つである内部に付着するスケールの除去性能の評価も行う。これら性能向上と洗浄効果の相乗効果により、長期間持続可能な熱交換器性能向上を実現させる。

## 2 研究の目的と背景

省エネルギー化の要望は年々大きくなり、特に様々な工業製品に利用されている熱交換器の効率向上は必須の課題である。自動車産業で言えば電気自動車の普及に伴いバッテリーの冷却技術のさらなる進化が必須であり、各自動車メーカーは、その性能向上に必死である。しかしながら、環境負荷抵抗がゼロで性能向上を達成する画期的な手法は未だ得られていない。また、熱交換器の長期利用に伴い内部に付着するスケールは性能低下の要因となるが、性能向上とスケール除去を同時に達成するような物質は存在しない。

本研究で着目したファインバブルは空気原料のため、熱交換器に利用しても環境負荷抵抗ゼロであり、本技術により熱交換器性能を向上させることが可能であれば、環境問題の点からも積極利用に向いていると言える。さらに、ファインバブルの有する汚れ落とし効果により、熱交換器性能向上とともに内部に付着するスケールを除去出来れば画期的であり、熱交換器の寿命の延命効果も期待でき省エネルギー効果は計り知れない。

従来の研究では、層流域・遷移域でマイクロバブル注入により熱伝達率が増加すること、マイクロバブルによりレイノルズ数が約4000程度まで疑似層流状態を維持し抵抗減少効果を示すこと、ファインバブル水で洗浄後の固着塩除去率が蒸留水と比べ洗浄時間が短くなることなどが示されたが、現時点ではファインバブルの熱伝達特性だけでなく、圧力損失特性や洗浄特性に関するデータは不足しており、これらの複合効果に関する研究は行われていない。

よって、本研究は熱媒輸送流体にファインバブルを添加した場合の熱伝達性能および洗浄効果を実験的に明らかにすることを目的とする。

## 3 研究内容 <https://www.comp.tmu.ac.jp/ogatalab/sub3.html>

ファインバブル(FB)は純水(PW)を原料としてファインバブル発生装置を用いて発生させた。このFBを含む溶液をFB-Sと呼ぶ。FBのサイズと数密度の測定にはナノ粒子解析システムNanoSightを使用した。

本研究では、まず FB の粘度、熱伝達性能、圧力損失といった基本物性を測定した。熱伝達性能については二重管型熱交換器を用い、評価を行った。配管洗浄実験の概略図を図 1 に示す。アクリル管内壁に赤に着色した水あめを塗り、 $Re=1500$ 、 $7000$  の条件で作動流体を一定時間循環させた。その際、ビデオカメラを用いて洗浄の様子を撮影した。



図1 洗浄実験イメージ図

粘度測定の結果、FB 添加は粘度に影響を及ぼさないことが分かった。図 4 から明らかのように、圧力損失については乱流への遷移  $Re$  数が若干早まるものの、値自体に明確な変化は見られなかった。さらに、図 5 で示されるように、熱伝達率についても明確な変化は確認できなかった。

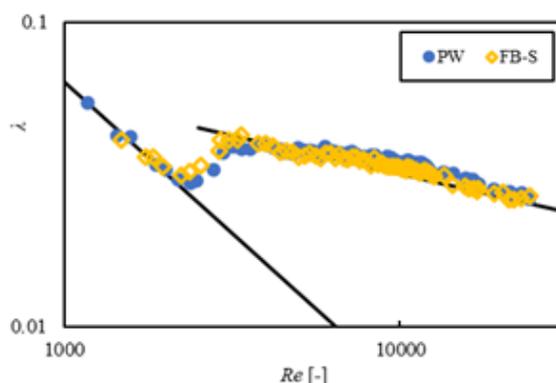


図 2 FB の管摩擦係数

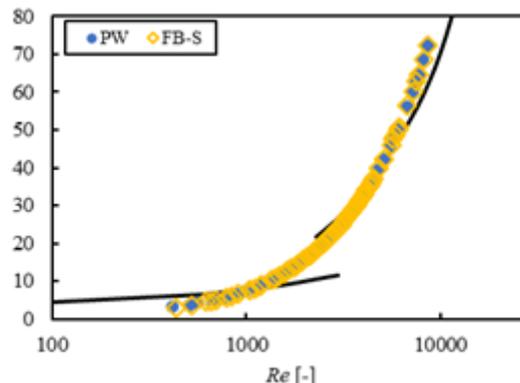


図 3 FB の熱伝達性能

図4に洗浄の様子の時間経過を示す。MB はマイクロバブルを、UFB はウルトラファインバブルを示す。図4より、MB および UFB の両方とも洗浄開始後 1 分程で汚れがほとんど除去されており、5 分経過後にはほぼすべての汚れが除去された。図5に洗浄率を示す。乱流域より層流域の方が洗浄能力が高いことが分かる。汚れがよく落ちた理由として、バブルが壁面近傍に集まったこと、壁面近傍のせん断応力の増加が考えられるが不明な点が多い。今後、管内速度分布を測定することで洗浄のメカニズムなどが議論ができると考えられる。

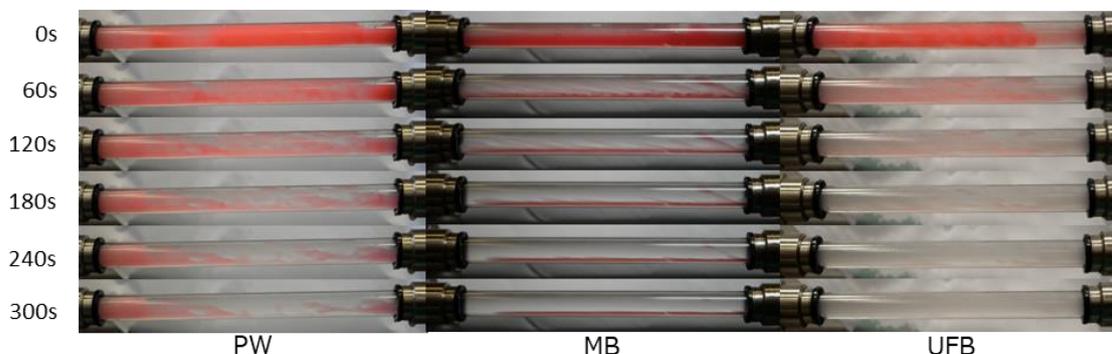


図 4 洗浄の時間変化の様子

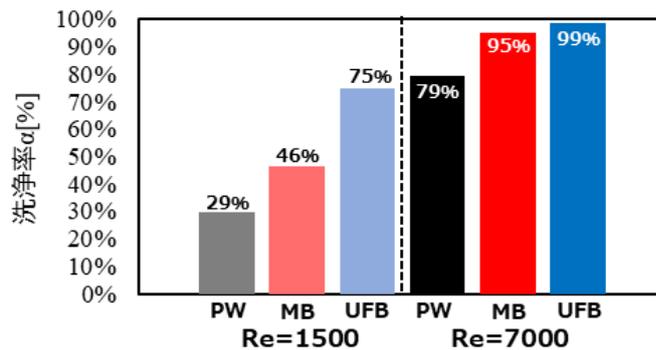


図 5 FB の洗浄率の比較

本研究では、ファインバブルの基本物性を測定し、熱交換器への実用化を考慮した様々な実験を行った結果、以下のことが明らかになった。

- ・ファインバブルの添加によって、粘度、管摩擦係数、熱伝達率には明確な変化は生じない。
- ・ファインバブルを含む溶液は汚れをよく落とし、乱流域よりも層流域で洗浄効果が高い。

これらの結果からファインバブルの洗浄効果で熱交換器の長期間の性能維持が期待できることが示された。

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

サイズが小さい気泡は水産物の成長促進作用、汚染物質吸着効果による土壌浄化・水質改善作用、副作用のない超音波造影剤への利用などに利用され、社会的にも有用な特異現象を有する。本研究ではファインバブルの基本物性を明らかにすることが出来たため、産業に応用するための第一段階はクリアできたものと考えられる。また、流れの状態により洗浄性能が異なることが示されたため、今後配管内汚れを除去の指針が定まり、実機への応用が期待できる。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまでの研究では主にナノ粒子を用いた抵抗低減の研究を行ってきた。ファインバブルはサイズの観点から言えばナノ粒子であり、そのファインバブルで変化が生じなかったことは非常に興味深く、新たな知見を得ることが出来た。さらに、ナノ粒子の実験中に壁面にナノ粒子が付着し実験が進まないことが多く発生した。これまでは環境負荷の大きい界面活性剤などで洗浄していたが、本研究で得られたファインバブルを用いることで、環境負荷を増大させることなく洗浄出来るため、この発見も非常に有意義であった。また、ファインバブルが負に帯電していることを考慮すれば正に帯電させたナノ粒子に付着させることで、ナノ粒子に新たな機能を付加することも可能であると考えられ、新しい機能を有したナノ粒子を生み出す可能性もある。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

・ファインバブルが冷却性能および圧力損失に及ぼす影響、後藤貴史、宮本航太、小方聡、駒澤心、日本機械学会第99期流体工学部門講演会、2021年9月

・ファインバブルの洗浄特性に関する研究、松下風知、小方聡、駒澤心、可視化情報シンポジウム2021、2021年9月

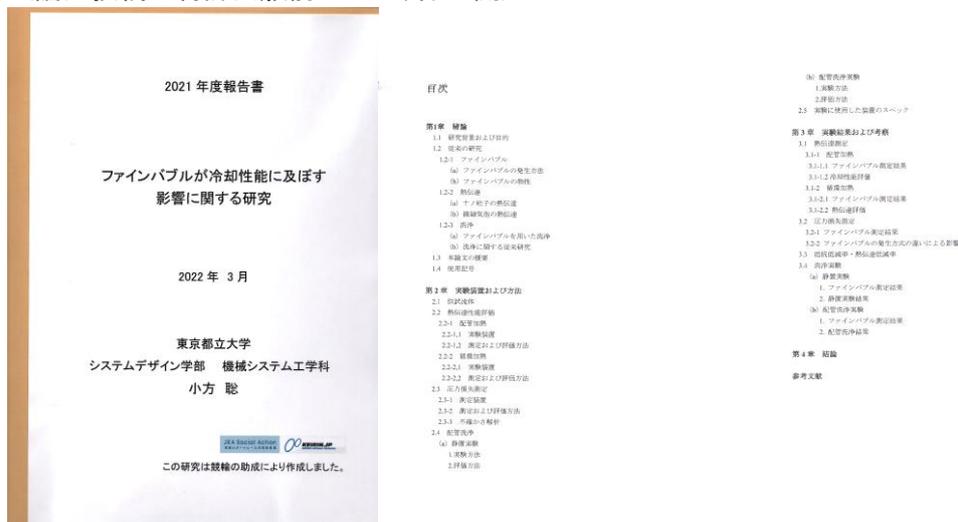
・オゾン寿命に及ぼすファインバブルの影響、宮崎 敦広、小方 聡、駒澤 心、関東学生会第 61 回学生員卒業研究発表講演会、2022年3月

## 7 補助事業に係る成果物

### (1)補助事業により作成したもの

ファインバブルが冷却性能に及ぼす影響に関する研究

(論文投稿や特許出願前のため、非公開)



(2)(1)以外で当事業において作成したもの  
なし

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 東京都立大学 システムデザイン学部機械システム工学科

(トウキョウトリツダイガク システムデザインガクブ キカイシステムコウガクカ)

住 所： 〒192-0397

東京都八王子市南大沢1-1

担 当 者： 准教授・小方聡(ジュンキョウジュ・オガタサトシ)

E - m a i l: ogata-satoshi@tmu.ac.jp

U R L: <https://www.comp.tmu.ac.jp/ogatalab/index.html>