



界面活性剤を用いる抵抗低減系における熱交換器内伝熱低減の回避策に関する研究

岸本, 章

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2002-03-31

(Date of Publication)

2010-02-09

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲2575

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1002575>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



【319】

氏名・(本籍) 岸本章(兵庫県)

博士の専攻分野の名称 博士(工学)

学位記番号 博い第256号

学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当

学位授与の日付 平成14年3月31日

【学位論文題目】

界面活性剤を用いる抵抗低減系における
熱交換器内伝熱低減の回避策に関する研究

審査委員

主査 教授 薄井 洋基

教授 片岡 邦夫

教授 中山 昭彦

水に特殊な分子構造を持つ陽イオン性界面活性剤と対イオンを微量添加すると、界面活性剤分子は棒状ミセルを形成し、それらの高次構造により、流動抵抗が著しく低減することが知られている。本技術をビル空調システムや地域冷暖房システムの熱媒として使用されている冷温水に適用すると、搬送ポンプ動力を削減させることができ、システムの省エネルギーを図ることが可能となる。ヨーロッパでは、地域冷暖房システムの効率化を目的に界面活性剤を使用する試みがなされている。地域冷暖房システムは一カ所または数カ所の熱発生施設から、周辺地域のビルや住宅等の建物に配管を通して熱媒をポンプ輸送することで集中的に冷暖房を実施するものである。ヨーロッパでは、主として暖房で盛んに取り入れられているシステムであり、日本においても大都市を中心に大小併せて二百数十件程度の地域冷暖房システムが存在している。これまで主に陽イオン系界面活性剤が使用され、ドイツ、デンマーク、チェコ等で実証試験が行われた。実ビルでの暖房時では約40%、また直管部分が大部分を占める地域導管では約70%の抵抗低減効果がそれぞれ確認されている。日本でも陽イオン系界面活性剤をベースとする抵抗低減剤が1995年より市販され、ベンチャービジネス的にビル空調システムへ導入を推進していく動きがある。このように、界面活性剤を用いた抵抗低減技術は、省エネルギーに対して実績を挙げており、実用化の段階まで至っている。

前述のように界面活性剤による抵抗低減技術の空調システムでの効果は実証されてきたが、本格的な実用化に未だ至っていない。実用化の際の最も大きい障害は、熱交換器での性能低下である。つまり、抵抗低減効果は配管系においては、ポンプ動力の削減が図れ、望ましい省エネルギー技術であるが、その反面、通常の水を熱媒として使用する場合と比較して、熱伝達が大幅に低下してしまう。この現象は伝熱低減効果 (Heat Transfer Reduction Effect) と呼ばれているが、システムを構成する熱交換器の部分では致命的な問題であり、実際に多くの研究者が実験室レベルの段階で指摘していた。

本研究の目的は、界面活性剤による抵抗低減系において発生する熱交換器での伝熱低減を回避するために、棒状ミセルの高次構造を一時的に崩壊させる新規な手法の有効性を流動および伝熱特性の観点から検討し、熱交換器の最適設計に寄与する指針を得ることである。

本研究では界面活性剤として、空調システムの冷房および暖房のいずれの温度域においても顕著な抵抗低減効果を発現することで知られている Oleyldi(hydroxyethyl)methylammoniumchloride (商品名：Ethoquad O/12) とサリチル酸ナトリウムを、それぞれ第四級アンモニウム塩 (陽イオン系界面活性剤) および対イオン形成化合物として選定し、その伝熱低減効果を回避する3種類の手法に関する基礎検討とそれに基づいた熱交換器設計のための指針提案を行った。

初めに、界面活性剤溶液の伝熱特性に与える熱交換器内伝熱管の内部形状の影響を解明するため、平滑管と管内面に螺旋状のリブレットが施された2種類の管を用いて界面活性剤溶液の伝熱および流動特性の評価を行った。その結果、平滑管を用いた場合、顕著な抵抗低減効果および伝熱減少効果が確認され、冷凍機での使用を想定すると、界面活性剤水溶液を熱媒とするとかなりの冷凍機能力低下が予想されることが分かった。管内螺旋溝管を用いた場合、平滑管に比べ、抵抗低減効果および伝熱減少効果が発現する流速範囲は小さくなり、溝のピッチが小さいほど、その影響が大きいことが分かった。今回供試した最も溝ピッチが小さい伝熱管では、実際にシステムで使用されている流速範囲で、従来の水を熱媒とした時とほぼ同じ伝熱特性が得られることが明らかになった。また、管内螺旋溝管における伝熱低減効果は管壁面上の剪断速度と相関があることを明らかにした。

次に、熱交換器の入口に狭路構造を有する「プラグ型ミセルスクリーナー」を装着し、界面活性剤溶液に剪断を印加することで伝熱低下を回避する可能性を検討した。その結果、界面活性剤水溶液をプラグに通過させることによって、熱交換器内の伝熱低減を回避できることが分かった。また、プラグを用いた場合の伝熱低減効果はプラグ部分での縮小拡大

(氏名：岸本 章 NO. 3)

流れのエネルギー損失と相関することを明らかにした。

最後に、工業および産業分野において、混合、攪拌および伝熱促進の用途で実用化されている、捻り平板（スタティックミキサー）を熱交換器入口に装着し、界面活性剤溶液に旋回による剪断を印加することで伝熱低下を回避する可能性を検討すると共に、前述のプラグ型との効果の比較を行った。180°捻り当たりの長さ（捻りピッチ）の異なる2種類のミキサーを供試した結果、界面活性剤溶液の抵抗低減効果は削減し、捻りピッチによりその効果が変化することが分かった。しかし、伝熱低減効果に対しては捻りピッチによる差異は観察されなかった。また、プラグの場合と同様にミキサーを用いる場合においても、抵抗低減効果および伝熱低減効果はミキサーでのエネルギー損失と相関することを見出した。

これらの指針に基づくと、伝熱低下を回避するためには、界面活性剤溶液に10 J/kg以上のエネルギー損失を印加するミセルスクィーザーの装着が有効であることを見出した。一例として、一般的な冷凍機の伝熱管（内径14 mm）にプラグ型を適用するとした場合は、伝熱管の管径の0.6倍以下、つまり8.4 mm以下の穴径を有するものを用いると伝熱低減を回避できるものと試算される。本研究による成果は、今後界面活性剤を用いる抵抗低減系における熱交換器の設計において、有用な指針と成るものと考えられる。

氏名	岸 本 章		
論文 題目	界面活性剤を用いる抵抗低減系における熱交換器内伝熱低減の回避策に関する研究		
審査 委員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	教 授	薄 井 洋 基
	副 査	教 授	片 岡 邦 夫
	副 査	教 授	中 山 昭 彦
	副 査		
要 旨			
<p>水に特殊な分子構造を持つ陽イオン界面活性剤と対オンを微量添加すると、界面活性剤分子は棒状ミセルを形成し、それらの高次構造により流動抵抗が著しく低減することが知られている。本技術をビル空調システムや地域冷暖房システムの熱媒として使用されている冷・温水に適用すると搬送ポンプ動力を低減させることができ、システムの省エネルギー化を実現することが可能となる。従来基礎研究より、本技術の有効性が確認されているが、本格的な実用化の段階に至っていない。</p> <p>実用化の際の最も大きい障害は、熱交換器における伝熱係数の低下である。即ち、抵抗低減効果は配管輸送系においてはポンプの所要動力が低減され、省エネルギー効果を発揮するが、熱と運動量輸送のアナロジーにより熱交換器においては熱伝達が大幅に低下してしまう。この現象はシステムを構成する熱交換器の部分では致命的な問題であり、伝熱低減を回避する技術の開発が、急務であることが指摘されてきた。</p> <p>この論文の目的は、界面活性剤による抵抗低減系において発生する熱交換器での伝熱低減を回避するために、ミセルの高次構造を一時的に崩壊させる新規な手法の開発と、得られた結果を用いて熱交換器の最適設計手法を提案することである。</p> <p>本論文は第1章から第5章で構成されており、その要旨は以下の通りである。</p> <p>第1章では広く界面活性剤系の抵抗低減技術の歴史的発展を要約し、その中で抵抗低減および伝熱低減の現象の問題点を指摘し、本研究の目的が何か、またそれを如何にして達成するかについてまとめた。</p> <p>第2章では各種の内部溝付き管による伝熱促進と、抵抗低減効果に付随しておこる伝熱低減との関係を実験的に検討している。その結果、伝熱低減を回避できる溝の形状と適用流速範囲を明らかにした。ただし、内部溝付き管による方式は、完全に伝熱低減を回避できる方式ではなく、限定された流速範囲内での伝熱低減回避策である。</p> <p>第3章ではオリフィス型のミセル破壊装置を考案し、これをミセルスクィーザーと命名した。本方式は地域冷暖房用の熱交換器（冷水発生用の吸気式冷凍機）の伝熱管入り口部に管路の急縮小・急拡大を可能とするオリフィス型挿入物を設置し、管入り口においてミセルの高次構造を一時的に破壊するものである。実機と同じサイズの伝熱管を用いて、オリフィス型のミセルスクィーザーの効果を実験的に確かめたところ、適当なミセルスクィーザーの形状を設計することにより、実用範囲の流速（管内平均流速 = 1 ~ 3 m/s）で伝熱低減効果を回避できることが明らかになった。また、単位質量流量当りのミセルスクィーザーにより生じる拡大縮小流れのエネルギー損失を評価関数とすることにより、異なる形状のミセルスクィーザーに対して同一の伝熱低減回避効果を予測できることを明らかにし、ミセルスクィーザーの設計指針を与えた。</p>			

氏名

岸本 章

第4章ではスタティックミキサーによる伝熱低減回避策の検討を行った。スタティックミキサーは混合・攪拌・伝熱促進を目的として種々の工業分野で実用化されている。実験結果よりスタティックミキサーはオリフィス型のミセルスクィーザーよりもミセルの高次構造破壊効果は少ないものの使用条件によっては伝熱低減の回避策として有効であることが確認された。また、スタティックミキサーによる伝熱低減回避効果はオリフィス型のミセルスクィーザーと同様に、単位質量流量当りのエネルギー損失により評価できることを明らかにした。

第5章では本論文で得られた結論として、界面活性剤による抵抗低減系において発生する熱交換器での伝熱低減を回避するために、ミセルの高次構造を一時的に崩壊させる新規な手法を開発し、得られた結果を用いて熱交換器の最適設計手法を提案した。

以上のように、本論文は地域冷暖房システムにおける熱媒搬送動力の低減を、ごく微量の界面活性剤添加物を使用することにより実現し、その際に発生する熱交換器内の伝熱低減を内部溝付き粗面管、オリフィス型ミセルスクィーザー、スタティックミキサー等を使用することにより実用上問題のない範囲で回避できることを示している。この技術の開発は抵抗低減効果の実用化に大きく貢献するものであり、工学的な面において価値ある集積であると認める。

よって学位申請者 岸本 章 は、博士（工学）の学位を得る資格があると認める。