

札幌市庁舎ビルの空調システムの省エネルギー化実証実験

— 界面活性剤を用いた流動抵抗低減によるポンプ動力の低減 —

武内 洋

近年、二酸化炭素の排出量が民生業務部門でも増加している。この実験ではビルの冷暖房用循環水の搬送動力を低減させることを目的として、循環水に高分子や界面活性剤を混ぜると発現する流動抵抗低減効果、いわゆるToms効果を利用し、その有効性を検証した。この効果については、多くの基礎研究やビルへの適用例もいくつかあるが、複雑な配管路から構成される実際のビルの循環水に界面活性剤をどのように注入するか、注入後管内の流動や伝熱の性能はどのように変化するか、さらにこの効果を長期にわたり維持継続する方法等について明確にした報告がなく、この技術の普及の妨げとなっている。この論文では札幌市役所本庁舎の冷暖房システムを使用して行った実証実験で得られた知見を示し、それを一般化してこの技術の普及につなげたい。

キーワード: 界面活性剤、流動抵抗低減、ビル空調システム、省エネルギー、実証実験

Demonstration test of energy conservation of central air conditioning system at the Sapporo City Office Building

– Reduction of pump power by flow drag reduction using surfactant –

Hiromi TAKEUCHI

In recent years, the amount of carbon dioxide emission in the civilian sector has been increasing. In this experiment, the so-called Toms effect, i.e. the effect of flow drag reduction when surfactant is injected to circulating water, has been verified to reduce the transfer power of circulating water for air conditioning systems of buildings. Concerning this effect, much basic research and a few applications to buildings have been reported. There is no clear report, however, on how to add the surfactant to the circulating water in buildings constructed with complicated pipework, how the flow and heat transfer performance change after the injection of the surfactant, and how to maintain the effect for a long time. Consequently, the technology using this effect has not yet been put to practical use. This paper presents the findings of the demonstration test using the air conditioning system at the Sapporo City Office Building. Generalization of the results will hopefully lead to the spread of this technology.

Keywords: Surfactant, drag reduction, central heating/cooling system, energy conservation, demonstration test

1 研究目的

民生業務部門では、エネルギー消費量が徐々に増加している。つまり、民生部門ではトップランナー方式の導入で個別機器の省エネ化が図られる一方で、生活の利便性・快適性追求の流れや世帯数の増加等が原因となって、エネルギー消費は右肩上がりである。特に、業務部門ではオフィスのOA化等が進み、エネルギー消費は増大している。表1は業務用ビルのエネルギー消費構造を統計的に調べた結果^[1]である。これによると、照明・コンセントが42.4%と最も高く、熱源が31.2%で続いている。前者についてはOA機器の省エネ化やLED照明の導入で対策が取られつつある。後者については、20年以上前に設置導入された効率の悪い冷凍機やボイラ等が、エスコ事業等によってCOP(成績係数)の高い機器と入れ替えられ、徐々に改善

が進んでいる。このようなハードの入れ替えによる省エネ促進は効果的ではあるが、初期投資に大きな予算が必要となる点は否めない。この研究ではビルの空調には欠かせない熱搬送、その中でも循環水を用いた冷温水搬送の動力削減に焦点を当てた。

表1の中で冷温水1次ポンプおよび2次ポンプ動力の占める割合は2.6%以上と推測され、エネルギー消費の絶対値は少ない。しかし、界面活性剤を利用した流動抵抗低減技術を導入すると、既存の熱搬送システムを改造する必要なく使用電力を低減させることができる。この技術は1949年Tomsが界面活性剤の存在下で流動抵抗が数十%低減できると指摘^[2]した現象に基づいており、日本でも基礎研究やビル空調システムに導入する実用化がなされている。しかし、導入したデータの公表がほとんどなく、界

次世代化学材料評価技術研究組合 〒305-8565 つくば市東1-1-1 産総研つくば中央第5-2
Chemical Materials Evaluation and Research Base AIST Tsukuba Central 5-2, 1-1-1 Higashi, Tsukuba 305-8565, Japan E-mail:
h-takeuchi@cereba.or.jp

Original manuscript received October 29, 2010, Revisions received August 22, 2011, Accepted August 24, 2011

表1 業務用ビルのエネルギー消費構造¹⁾

エネルギー用途区分			主たるエネルギー消費機器
項目	細目	割合 (%)	
熱源	熱源本体	26.0	冷凍機、冷水機、ボイラ、他
	補機動力	5.2	冷却水ポンプ、冷却塔、温水1次ポンプ、他
熱搬送	水搬送	2.6	温水2次ポンプ
	空気搬送	9.4	空調機、ファンコイルユニット、他
給湯	熱源本体	0.8	ボイラ、循環ポンプ、電気温水器、他
	照明・コンセント	21.3	照明器具
照明・コンセント	照明	21.1	事務機器、他
	コンセント	21.1	事務機器、他
動力	換気	5.0	駐車場ファン、他
	給排水	0.8	揚水ポンプ、他
	昇降機	2.8	エレベータ、エスカレータ、他
その他	その他	5.1	トランス損失、店舗動力、他

面活性剤注入方法、それにより起こりうる現象、達成された省エネ効果および界面活性剤の寿命も含めた日常管理方法等が明らかにされていないため、一般に普及するには至っていない。

この研究の目的は、流動抵抗低減効果を活用した技術の省エネ効果を実測し、ビル空調システムの省エネルギーにどれ程貢献できるかを明らかにすることである。そのため、札幌市と協力してこの技術を市庁舎の冷暖房水循環システムに適用し、省エネルギーの検証実験を行い、成果を公表することでこの技術の普及拡大を図る。

この論文では、研究が基礎的な段階でとどまり、あるいは実証されてもデータが公開されないため限られた施設にしか導入されていなかった技術を、技術の構成要素をなす分野の専門家を集め、技術統合のシナリオのもとで役割を分担し、実際に使用されている札幌市庁舎で実施した実証実験とその結果について述べる。

2 シナリオ

はじめに簡単に Toms 効果について説明する。1949 年、Toms は管内を流れる水に長鎖の高分子を 5 から 10 ppm 少量添加することによって、管内乱流の圧力損失を低減できることを示した²⁾。高分子は、流れのせん断力で構造が破壊され再生しないため、その効果は一時的である。一方

高分子に代えて界面活性剤を用いると、形成されるミセル構造が普遍的に再生されるため、この効果が持続する。すなわち、図1に示すように、界面活性剤の濃度の増加に伴い、単分子同士が接合し球状のミセル、さらには棒状のミセルが形成され、この棒状ミセルが三次元的なミセルネットワーク構造を呈することで流れの乱れが抑制され、流動抵抗が低減される。水路流れの速度ベクトルの分布を図2³⁾に示す。図2aが水のみの場合、図2bが界面活性剤を添加した場合である。界面活性剤の添加により、流れの中のたくさんの不規則な渦が消失し、規則正しい流れに変化することがわかる。この構造は、ポンプ、バルブあるいはエルボ部分等流路が大きく変化する箇所では破壊され、その効果は消失するが、比較的長い直管部で再び形成され流動抵抗低減に寄与する。冷水あるいは温水を循環し大規模なビルの冷暖房を行う際、水循環ポンプの動力に大きな電力が使われている。このエネルギーの大幅な削減を図るために、循環水に界面活性剤を注入し、流動抵抗の低減を図る上述の Toms 効果の適用が有効である。この方式による省エネルギーの原理は、界面活性剤の添加により流動抵抗が低減すると定格流量を超える循環水が流れるようになり、これを定格流量に戻すために循環ポンプの回転数をインバータを用いて下げ、その結果ポンプでの消費電力量が減少して省エネルギーが図れるというものである。

図3に示すようにどのような界面活性剤がこの目的に合致しているか、薬剤を設計して創製する技術が構成要素の一つとなる。さらにこの薬剤を注入した水が、循環水路内でどのような流体挙動および熱挙動を示すかを解明し、その省エネルギー効果を明確にすることも、もう一つの構成要素である。さらに、省エネルギー技術として継続的に運用・維持していくためには、添加した界面活性剤の長期的な安定性、省エネルギー効果の持続性、メンテナンスの手順を明らかにする必要がある。

日本では流動抵抗低減技術に関してこれまで多くの基礎研究がなされ、いろいろな薬剤が開発され、その流体力

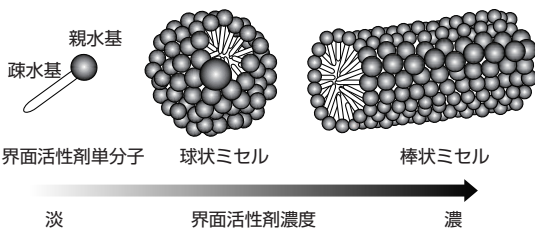


図1 濃度変化に伴うミセルの形状変化

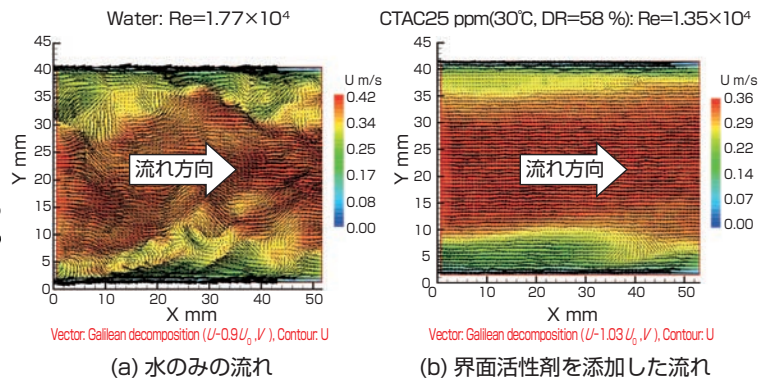


図2 ミセルネットワークによる流れの変化

学的特性が調べられてきた。実際のビルの循環水に注入された120件余りの実績もある。しかし、民間企業で実施されたために技術的情報が公表されず、省エネ効果のみならず流動、伝熱および長期安定性に関する技術の蓄積が欠落し、技術の普及につながっていない。この研究では、これら要素技術の統合化を図るため、薬剤添加による流動性能の発現、省エネルギー効果の評価、伝熱性能の維持および薬剤の長期安定性確保について、それぞれの専門家が役割を担い、公共施設で実証実験を行ってその成果の一般化を図り、ビル空調の省エネルギー化に貢献することを目標とした。

3 要素技術の開発

流動抵抗低減剤の開発は1992年、山口大学、(財)周南地域地場産業振興センター、企業4社が産学官共同研究の一環として着手し、1995年商品化に成功した。界面活性剤である塩化オレイルビスヒドロキシエチルメチルアンモニウムと3次元ミセルネットワーク構造形成を促進する対イオン剤であるサリチル酸ナトリウムを主成分とし、さらに防錆剤等が含まれている^[4]（以後これを薬剤と表す）。また、通産省のエコエネルギー都市プロジェクトにおいても1997年から3年間、界面活性剤の開発を中心とする研究が産学官共同研究として進められ、工業技術院傘下の二つの研究所がメンバーとして参画している。また、1998年からはNEDOプロジェクトとして地域冷暖房システムに適用することを前提としたプロジェクトが1年半の間行われた。これらの動きの中で、研究機関での詳細な実験や企業を中心とした実際の建物への導入が行われるようになってきた。

商品化された山口県発の薬剤を用いたビル空調への導入もある程度行われているが、普及には程遠い状況である。2002年には「スムーズウォータ」実用化研究会が発足し、この技術に関連する産学官の専門家が集まり、技術シ-

ズをいかに実用化につなげていくかが検討され、その中で実証実験の必要性も指摘された^[5]。

流動性能の発現に及ぼす因子としては、配管径、配管直管部分の長さ、流速、水温、薬剤濃度、水質等が挙げられる。一般に現場の配管はとて複雑で、幾度か行われている修理・改修等により竣工当時の配管図面と異なることが稀ではない。また、古い現場ほど流量計や温度計等の計測器が設置されておらず、実験実施はおろか省エネ運転等の大きな阻害要因となっている。手元に研究機関で得られた流動性能データがあっても現場では活用し難い場合が多い。伝熱性能の維持については、実験室規模の研究結果として、薬剤が流動抵抗低減のみならず伝熱性能も低下させるという報告があるが^[6]、規模の大きい実機ではそのような報告は無く、その相違は解決しなければならない問題である。加えて、薬剤の長期安定性、すなわち寿命については公表されたデータは無く、現場での濃度管理の問題の上位にある課題として位置づけられる。

4 札幌市庁舎の空調システム

このシナリオに基づき、実際の水循環システムに薬剤を注入し、流動抵抗低減がどれ程発現するか、また、その際に伝熱性能の低下は見られないか、さらに長期間安定して効果が維持されるか等について要素技術を統合した検証が必要である。実施対象としては、検証後のデータ公表が必須となることから、民間の施設ではなく公的な施設として札幌市役所本庁舎の冷暖房水循環システムを用いて実証実験を行うこととした。背景には、産業技術総合研究所（以下、産総研）と札幌市がエネルギーの有効利用を目的として締結した基本協定と覚書があり、札幌市は無償で実験サイトを産総研に提供し、産総研はそこに実験装置類を持ち込んで実験を実施し、得られた成果を共有することが謳われている。図4に本庁舎の外観写真を示す。建物は

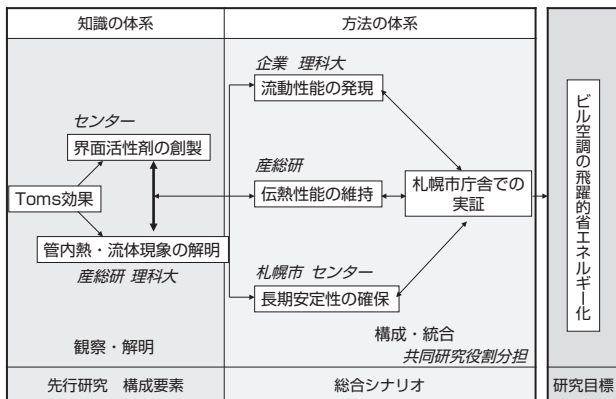


図3 界面活性剤を用いたビル空調の省エネシナリオ



- 庁舎
- ・1971年建設
 - ・地下2階、地上19階
 - ・2001年ステンレス配管
 - ・循環水量約32トン

図4 札幌市役所本庁舎外観

1971年に竣工し、その規模は、地下2階、地上19階、総床面積42,000 m²であり、第二種エネルギー管理指定工場^{注1)}として登録されている。図5に市庁舎の冷暖房用水循環システムの系統を示す。循環水は、地下2階機械室に設置されている夏、冬用それぞれ37 kWの循環ポンプから吐出され、8階空調機室にある5.5 kW4台、3.7 kW1台の計5台のプースターポンプを経由して19階の膨張タンクに至り、地下二階に戻る循環流路を形成しており、32 tonの水が循環している。

各部屋には個別空調が併設されておらず、日々稼動している庁舎内共通のシステムを使用する実験となることから、実験を優先してこのシステムを運転・停止することは不可能である。このような状況のため、研究室での実験と異なり、パラメータを自由に変えたりすることが困難であるばかりか、緊急時には実験を速やかに中止し原状復帰しなければならない。そこで実証実験に当たっては、薬剤の開発に当初から関与し、その性質を熟知していると同時に、これまで幾つかの施設での注入作業に実際に携わり種々の事例を経験している(財)周南地域地場産業振興センター、基礎研究のみならず薬剤注入後に起きる循環水の流動および伝熱現象の過渡的な変化を予測あるいは解明することのできる総合力を有する産総研および東京理科大学、複雑な配管群からなる冷暖房システムでの流量、温度、電力量測定が得意な(株)藤原環境科学研究所、システム全体に詳しく注入完了後もその安定的な維持・管理を行う電気系および機械系の技術系職員を中心とする札幌市役所の5者がそれぞれの役割を担うことにした。

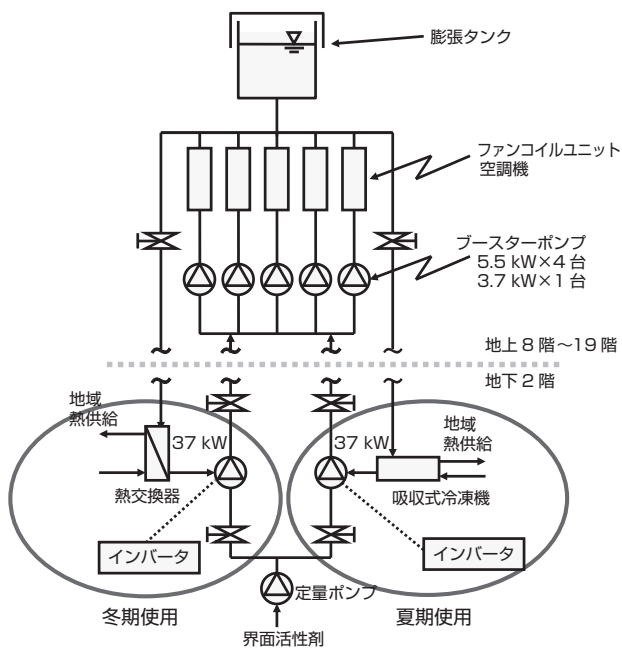


図5 札幌市役所冷暖房システム循環水系統図

5 実証実験の準備

5.1 流動特性の基礎的把握

使用する薬剤は5～65℃で流動低減効果を発揮するので、冷水を循環する夏期、温水を循環する冬期ともに継続して使用できる。ただし、流動抵抗低減効果には温度依存性があり、あらかじめ実使用範囲の7℃から45℃までの値を調べておく必要があった。また、既存の防錆剤が低減効果に及ぼす影響についても把握しておくことが有用である。これらについては、東京理科大の流路長1 m、内径10.7 mmのテストセクションを有する水循環実験装置で実測した。薬剤の濃度は3000～6000 ppmの間で変化させ、流動抵抗低減効果の流速依存性を測定した^[7]。

現場での界面活性剤使用に当たっては、発泡が原因で薬剤を使用できなくなる場合も考えられる。例えば、大気開放型の膨張タンクや空気を定常的に吸引してしまう箇所があげられる。それらを含め、複雑な流路特定については、日々システムのメンテナンスにあたっている市役所監視盤室スタッフが、事前に問題箇所がないことを確認した。

薬剤注入前には、それぞれのポンプ流路での流量ならびにポンプの消費電力量を測定した。流量計測にはトランジットタイム方式のポータブル型超音波流量計を、電力計測にはフィーダー電力レコーダーを用いた。

5.2 インバータ設置

薬剤注入により流動抵抗が低減し、その結果定格流量を超える循環水が流れるようになる。これを循環ポンプの回転数をインバータを用いて下げることにより、定格流量まで戻す。その結果ポンプでの消費電力量が減少し、省エネルギーが図れる。したがって、この技術導入にはインバータの設置が必須である。事前の流動特性実験および流量測定の結果から、薬剤注入後は8階のプースターポンプ5台の運転を停止しても十分な循環が得られると判断できたので、インバータは37 kWの冬期および夏期用循環ポンプそれぞれに1台ずつ設置した。なお、他の機器に影響を及ぼす可能性のある高調波流出電流を計算したが、対策は不要と判明した。

5.3 水質調整

サンプリングした循環水に、使用予定の薬剤を1000 ppm添加し攪拌したところ、綿状の沈殿物が生成した。これは今回使用する薬剤がカチオン系であり、循環水中に含まれていたアニオン系の防錆剤との反応で生じた水和物と推定された。したがって、循環水にこのままこの薬剤を注入すると水和物が生成し、配管の細部を閉塞させてしまう。これを回避するためカチオン系の防錆剤を用いることにし、休日等を利用して循環水を合計4回入れ替えアニオン系防錆剤の濃度を数十 ppmにまで下げ、カチオン系防錆

剤を所定量注入した。このように調整し直した循環水と薬剤を混ぜても水和物は生成しなかった。

薬剤の注入は地下2階循環ポンプ吐出部付近とした。注入には薬剤タンク内に投入された一定量の薬剤を併設したブランチポンプを用いて循環水に圧入する方式をとった。

採取した循環水に対して、予め薬剤濃度と導電率の検量線を作成し、注入後循環水の薬剤濃度を求めた。また、実証実験中は地下2階、8階空調機室および19階膨張タンクで循環水のサンプリングを行い、薬剤濃度からビル全体での薬剤の混合状態を推測した。

6 実証実験

6.1 流動性能の発現

冬期の注入実証実験は、2006年11月に実施した。詳細は文献^[8]にもある。本庁舎暖房システムは早朝に稼働し始め、夕方17時30分に停止される。したがって、循環水路全体が熱的に定常になったと考えられる9時に実際の循環水をサンプルし、それを用いて導電率と薬剤濃度の検量線を作成した。薬剤は粘度が高いため、一度に注入するとシステム内で濃度むらが発生し、極端な場合は高濃度の薬剤で細い流路に閉塞が生じてしまう可能性も考えられる。このため、はじめは10 kg/hの低速で薬剤を注入し、8階および19階での温水サンプリング、濃度測定および異常検出等に当たった。19階の膨張タンク内で少量の発泡を観察したが、問題にするほどの量でもなく、また増加傾向も認められなかった。3日間かけて合計100 kgの薬剤を注入した。この時点での推計薬剤濃度は3000 ppmである。

システム全体での薬剤濃度をより均一にするため、第2回の注入作業は1週間あけてから行った。2日間で80 kgの薬剤を注入し、推定薬剤濃度が流動抵抗低減効果の発現に十分な5400 ppmとなったため、注入作業を終了させた。

上記一連の作業中、薬剤濃度が0 ppm、3000 ppmおよび5000 ppmで、インバータ周波数を変化させて、流量およびポンプ消費電力量の値を測定した。この結果から、冬期間は薬剤濃度5000 ppm、インバータを35 Hzに設定し、定格流量に合わせると、65%の省エネルギーが達成できることが明らかとなった。

冷房期についても同様に流動抵抗低減効果を調べたところ、薬剤濃度3500 ppm、インバータ周波数40 Hzで47%の省エネルギーとなることが分かった。冷暖房期の実証実験結果をまとめて表2に示す。冷暖房期を合わせた通年での省エネルギー量を試算すると52,000 kWhとなり、本庁舎全体の電力使用量の1%強の節約に相当する。

表2 実証した夏期および冬期の運転条件と省エネ率

空調モード	薬剤濃度 (ppm)	設定周波数 (Hz)	定格流量 (L/min)	省エネ率 (%)
冷房	約 3500	40	6600	47
暖房	約 5000	35	6600	65

6.2 伝熱特性の維持

図5にある、冬期に使用する熱交換器内での伝熱性能の低下については、地域熱供給からの高温水蒸気が熱交換器チューブ内を、循環水が欠円型の邪魔板で仕切られている胴側を流れるため、循環水の流路は複雑で流れが大きく乱れており、流動抵抗低減も伝熱性能の低下も起こりえないと考えてよい。

夏期に使用する吸収式冷凍機蒸発部の熱交換器は、長さ6 m、内径16 mmのUチューブ型の銅管414本で構成されている。このヘアピン状の管内を循環水が流れており、直管部では流動抵抗低減が起きていると予想される。また、ここで伝熱性能の低下も起きていれば、循環水が十分に冷却されずにビル内を循環することになり、ビル全体の冷房能力低下をもたらす。この熱交換器管内の伝熱係数について、経験式^[9]から求めた値と熱交換器入口と出口の実測の温度差から求めた値を比較すると、実測値は13%程低い値を示す。一般に伝熱性能の低下は流動抵抗低減より大きいとされている。建物全体での流動抵抗低減が47%であった今回、約13%の伝熱係数の減少は熱交換器管内の伝熱性能の低下がそこまでは大きくないことを示している。また、冷凍機出口温度は夏期稼働中設定値の11℃を維持し続けており、流動抵抗低減による省エネルギー化が空調機の運用上問題ないことが明らかとなった。

6.3 長期安定性の確保

薬剤の注入後、薬剤濃度を適正に保つことが重要である。濃度が低下する一番の理由は、薬剤を含んだ循環水の系外への漏れである。パッキン等のつなぎから少量ではあるが定常的に漏出することもあれば、夏と冬の流路切り替えて比較的大量に一時的に流出してしまうこともある。いずれも真水を追加して流路内に空気が溜まらないようにするが、この作業により薬剤濃度が低下し流動抵抗低減効果も小さくなってしまふ。いずれの場合も追加した真水の積算量を測定し、極端に薬剤濃度低下が起きているようであれば不足分の薬剤追加注入を行わなければならない。札幌市役所の場合、前者、すなわちつなぎ目からの漏れは皆無であったが、夏の吸収式冷凍機から冬の熱交換器に流路を切り替える際には数トンの流出があったため、切り替え後、界面活性剤の濃度測定を実施し、その結果を基に追加注入を行っていた。さらに、何度か経験を積むうちに、切り替え作業に工夫を施し流出がほとんど無いように

表3 産総研への問い合わせと回答例

問合せ元	内容	回答
中央省庁	庁舎ビルに導入できないか。	配管の経年劣化がかなり進んでおり、管内壁の錆が問題である。界面活性剤が錆と結びつき効果が現れない可能性がある。
地方自治体	設備担当が図面を持参し、建設中の新庁舎で実験したいと問合せ。	クーリングタワー部が大気開放系であり、この箇所での発泡が起きるため使用できない。
大手飲料メーカー	工場で冷水循環に大きなエネルギーを必要としているので省エネ化を図りたい。また、食品添加物として認められている界面活性剤で流動抵抗低減効果のあるものはないか。	札幌市役所の現場見学をしながら原理およびMSDSを説明。食品添加物で流動抵抗低減の基礎実験をしたことはない。
個人宅	15年前から屋根裏に熱交換器を設置し、春から秋まで温水を得ている。小さなポンプでも同様な効果は得られるのか。また、熱媒体には凍結防止のため不凍液が入っている。界面活性剤入りの水は不凍液と同様の機能もあるのか。	どんな小さなポンプでも効果はある。例えば、Toms効果のデモンストレーションに用いている可搬型実験装置は、内径12mmのビニールチューブ18mを直径約30cmの輪状に束ねた流路であるが、約30%の省エネ効果を示す。ポンプは150Wを使用。この界面活性剤5000ppm程度では凝固点降下はあまり期待できない。不凍液の混在下での流動抵抗低減効果については小型の実験装置で確かめる必要がある。

作業できるようになった。その結果薬剤の追加投入は年に一度有るか無いかという現状である。界面活性剤の濃度測定は冷暖房切り換え後の年2回行っている。濃度は校正曲線を用いてサンプル水の導電率から現場でも間接的に推定できるが、最終的には依頼分析により、鉄、銅等の濃度と共に薬剤の濃度を求めている。

配管は、老朽化による錆の発生のため2001年に鉄からステンレスに変えられているが、熱交換器は鉄製そして各部屋のファンコイルは銅製であり、電食が起こる可能性がある。今回の薬剤に変えてからすでに1600日余りが経つが、循環水中の鉄および銅の濃度は安定しており系内に腐食は発生していないと判断される。

薬剤の長期安定性については、循環水中にすでに混入していた物質と薬剤との相互作用、温度履歴からくる失効、薬剤そのものの寿命等が影響すると考えられる。短時間で起こる不安定性は注入前に把握できることもあるが、長期的なものは実施例から判断せざるを得ない。しかし、これまで実施してきた注入で追跡調査は公開されておらず、1600日余り効果が持続しているこの例は、この観点からも貴重な実証である。

なお、薬剤の毒性については製品安全データシート（MSDS）が作成されており、河川に直接放流せずに廃水処理場を経由して処分すれば問題はない。

7 技術普及促進の効果

これまで3度の報道発表後の、流動抵抗低減剤の開発元であるL社への問い合わせ件数の推移を図6に示す。

2007年2月の暖房期の実験結果を5月に産総研でプレス発表^[10]したところ、その後の問い合わせ件数は増加している。また、翌年の冷房期の実験結果発表を札幌市役所で行ったが、発表が地方紙中心であったためか件数の顕著な増加は見られなかった。翌年の1月にNHKで全国

放送^[11]されると、件数は急増した。

図6に示した2年間で実際に導入が行われた箇所としては、民間の工場が最も多い9件、空港施設4件、公共施設3件そして民間ビル2件の合計18件であり、L社によれば明らかに産総研の実証実験の公表後導入件数が増加したとのことである。これまではL社が民間施設に導入しその省エネ効果について公表しても、民間会社が自社技術の宣伝を行っているとしか受け取られなかった面が強かった。しかし、今回のように産総研という公的研究機関が公共施設でその技術の有効性を実証したという報道は、客観的であり、省エネ導入を加速したい事業所に実現可能な情報を与え、その結果問い合わせ件数の増加とそのうちのいくつかは導入につながったと考えられる。また、問い合わせ内容は技術の概要を聞くこれまでのものとは明らかに異なり、導入対象と考えている建物の設備概要を示し、経費も含め導入を前提とした質問が多かったとのことである。

表3には2007年5月のプレス発表後、産総研に寄せられた約150件の問い合わせの中で典型的な例とそれへの回答を紹介する。問い合わせでは、より低温すなわち不凍液との共存下での流動抵抗低減について、さらには氷蓄

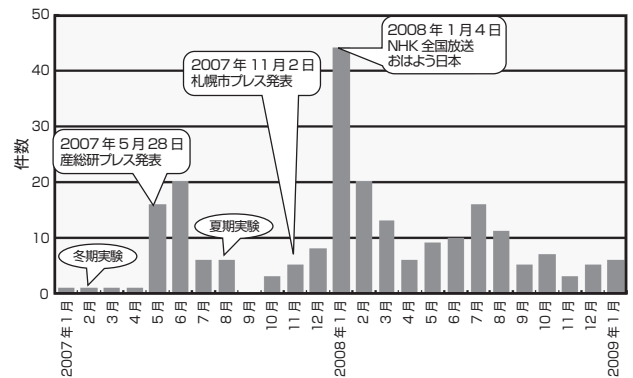


図6 L社への問い合わせ件数の推移

熱との併用について等、低温側での質問も多く、これらに対しては新規薬剤の開発等、基礎研究からのフィードバックが必要である。また、食品や飲料を扱う工場の冷房システムに導入したいとの問い合わせも多かったが、万が一循環水が漏れて食品等に混入してしまう可能性も皆無ではないので導入を見合わせた例もあった。東南アジアに展開している日本企業から、工場の冷房システムに使用できないかという問い合わせもあったが、現地での濃度管理体制に問題があり見送らざるを得なかった。

8 今後の展望

これまででは、薬剤を開発した会社が製造および販売はもちろんのこと、ビルへの導入検討、注入作業そして保守点検を一貫して行ってきた。今後は、ビルメンテナンス会社、ビル管理会社や設計事務所等が、水質や配管系等の事前チェック、薬剤注入および濃度管理を中心とした保守管理を適切に行えば、この技術の加速的普及につながるものと確信する。そのような視点から、この技術に詳しい講師による技術体験セミナーをメンテナンス会社等の技術者を対象に、年に一度程度定期的に開催することも有効かもしれない。

また、地域冷暖房システムへの適用も省エネ化を大きく促進するものであるが、伝熱性能の問題については残念ながら明確な結論が出ていないため、実証実験を前提とし、システムを構成する要素技術の専門家が集結して速やかに解決すべき問題と考えられる。

謝辞

実証実験はエネルギーの有効利用を目的とした産総研と札幌市との基本協定に基づき、札幌市総務局および環境局、東京理科大学理工学部機械工学科、(財)周南地域地場産業振興センターおよび(株)藤原環境科学研究所が共同研究契約を結び実施した。各機関の担当者に多大なご尽力をいただいたことを感謝する。また、薬剤使用にあたり技術的な指導をいただいたエルスピー協同組合および、現場での実験実施およびシステム維持管理に積極的な技術支援をしていただき、現在でもその維持管理に当たっている札幌市役所および(株)キタデンの皆様には謝意を表す。

注1) 第二種エネルギー管理指定工場：年度におけるエネルギーの使用量の基準値が燃料(熱)については原油換算で1,500 kL以上3,000 kL未満、電気については600 kWh以上1,200 kWh未満の施設が指定される。そして、エネルギー消費原単位を年平均1%以上の低減を図るという目標が課せられている。

参考文献

- [1] (財)省エネルギーセンター:「オフィスビルの省エネルギー」パンフレット(2009).
- [2] B.A.Toms: Some observation on the flow of linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds numbers, *Proc First Int. Congr. on Rheology*, North Holland, Amsterdam, 2, 135-141 (1949).
- [3] Y.Kawaguchi, et al.: Experimental study on drag-reducing channel flow with structure of surfactant additives—Spatial structure of turbulence investigation by PIV system, *Int. J. Heat and Fluid Flow*, 23 (5), 700-709 (2002).
- [4] 特許 第3671450 (2005).
- [5] 産業技術総合研究所産学官連携部門:「スームスウォータ」実用化研究会報告書(2003).
- [6] 例えば, H. Usui and T. Saeki: Drag reduction and heat transfer reduction by cationic surfactants, *J. Chem. Eng. Japan*, 26 (1), 103-106 (1993).
- [7] 中川浩哉: 抵抗低減用界面活性剤の実物大建物空調システムへの適用実験, 東京理科大学理工学部機械工学科卒業論文(2007).
- [8] H.Takeuchi, Y.Kawaguchi, K.Tokuhara and Y.Fujiwara: Actual proof test of energy conservation in central heating/cooling system adapting surfactant drug reduction, *Proc. of 8th International Conference on Sustainable Energy Technologies*, 218, 1-4, Aachen (2009).
- [9] 化学工学便覧(1999).
- [10] 例えば, 朝日新聞(2007.5.29).
- [11] NHKニュース(2008.1.4).

執筆者略歴

武内 洋(たけうち ひろみ)

次世代化学材料評価技術研究組合専務理事。1980年京都大学大学院博士後期過程化学工学専攻退学、同学部助手。工業技術院北海道工業技術研究所研究企画官、産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門副研究部門長等を経て定年退職後、現職。流動と伝熱が専門。この実験はエネルギー技術研究部門所属中に行った。同時に同研究部門の10余名と札幌市内で過冷却蓄熱を利用したコジェネレーション実証研究も実施した。



査読者との議論

議論1 全般

コメント(小野 晃: 産業技術総合研究所)

この研究は基礎的な研究の成果を社会に展開するために、自治体という普段研究者があまり付き合いのない相手とうまく共同研究を組んだ例であり、また実験中のビルを実験対象にするという難しい課題でもあったと思います。第2種基礎研究あるいは製品化研究の方法論を示す良い事例として、広く読者に参考にしてもらえるものと期待します。

議論2 公的研究機関で行う実証研究の意義

コメント(長谷川 裕夫: 産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門)

新しい省エネルギー技術が現場に導入され、普及していく過程ではそれを妨げるさまざまな要因があり、長い期間を要します。この論文は、公共の施設を対象として公的研究機関が導入手順と省エネルギー効果を実証してみせ、その後の普及促進に貢献したところに大きな価値があると思われます。

本実証研究の結果が、導入例の増加等に結びついた例があれば紹介し、その結果をもとに、公的研究機関における実証研究のもつ意味についてさらに考察を加えていただくと良いと思われます。

回答（武内 洋）

この実証研究の結果を紹介した報道発表の後に問い合わせ件数が増加し、その後の導入につながっています。その概要を第7章で紹介し、公的機関で行う実証研究の意義についての考察を加えました。

議論3 自治体との共同研究

コメント（小野 晃）

自治体を共同研究者とした場合に特有のいろいろな工夫とか、実稼働しているビルを実験対象にする難しさを、どう解決したか等にも言及していただけたらと思います。

回答（武内 洋）

実稼働中のビルでは実験にともなう失敗が許されないので、水循環システム全体および構成機器の場所・性能等を入念に調べ上げました。また、休日の有効活用もしました。

技術的な観点ばかりではないので本文には直接記載しておりませんが、調整で一番大変だったのは、実証実験の大切さを自治体の方々に理解してもらい、その方々が日々仕事をしている建物で実施することを承諾していただくことでした。