空調システムの循環動力の省エネルギー実証実験

Proof experiment of energy saving for air-conditioning system with drag-reducing additive (LSP-01)

○徳原 慶二 ((財) 周南地場産センター)

Keiji Tokuhara

Shunan Regional Industries Promotion Center, 2-118-24 Kokai, Shunan, Yamaguchi, 745-0814 Japan

We have developed a suitable drag reduction additive(LSP-01) and applied the additive for more than 120 practical distinct heating and cooling systems. As an example, the proof verification of the Sapporo city office is reported in this paper and the approach for the energy saving technology with LSP-01 is presented.

Drag Reduction, Surfactant, Energy Saving, Air Conditioning System, Pipe Flow

1. はじめに

(財)周南地域地場産業振興センターは、産業振興の立場から1991年に産学公から構成する研究会グループ(LSP研究会山口県内の企業と山口大学)を発足させた。本グループは抵抗低減効果の実用化技術の開発を目的とし、界面活性剤を用いた抵抗低減剤(LSP-01)を全国に先駆けて製品化した。また、冷温水空調等の冷温水ポンプの循環動力の省エネルギー技術としての導入を行ってきた。開発当初は、山口県内の公共施設での適用試験¹⁾を行い、その知見をもとに全国展開を進めてきたが、近年では(独)産業技術総合研究所の共同研究事業(於札幌市役所本庁舎)において実証実験²⁾を行っている。本稿ではこれら抵抗低減技術を用いた省エネルギーの取り組みについて報告する。

2. 界面活性剤について

抵抗低減(DR; Drag Reduction)効果が起きる界面活性剤としては複数のものが研究されている。いずれも図1に示すような棒状ミセルの形成がDR効果の発現に起因するといわれている。このうち、カチオン系(四級アンモニウム塩)で炭素数が16のCTAC(塩化セチルトリメチルアンモニウム)や炭素数が18のSTAC(塩化セチルトリメチルアンモニウム)については、1990年代から広く研究に使用されてきているが、我々の結果では冷暖房設備に適用するには温度条件に問題があることが指摘された。すなわち、CTACは常温範囲ではDR効果を示すものの、低温域で効果が失われる。一方、STACはより高温域(70℃近辺)までDR効果を示す利点があるが、低温域ではCTAC同様、析出が起こる。これに対し、STACと親水基の構造が異なるオレイルビスヒドロキシエチルメチルクロライド($C_{18}H_{37}N^+(C_2H_4OH)_2CH_2Cl^-$)は、一般的な空調用冷暖房設備に利用できる温度特性を示すことが判った。そこで、これを主成とし、対イオンとしてサリチル酸ナトリウム($C_6H_4(OH)COONa$)を配合した添加剤を開発した。これは現在、空調設備等の循環系で一番多く使用されているものである。一方、実設備に導入する場合は、配管の防食も重要である。そこで、LSP-01にはDR効果を阻害しない防食剤を含ませている。

図1 濃度変化に伴うミセルの形状変化 (独)産総研より

3. 適用条件

空調システムは熱源、循環ポンプ、空調機(AHU:エアーハンドリングユニット、FCU:ファンコイルユニット)、およびこれらをつなぐ配管系で構成されている。しかし、その詳細は設備によって様々である。たとえば、熱源としては、吸収式冷温水発生機、ヒートポンプ、熱交換式(高温蒸気)、ボイラー&チラーが挙げられ、設備の運転、制御についても、負荷の状況により温度を関知して風量を制御するものや、熱源を制御するもの、弁の開閉により循環水を熱源に戻すもの、また循環水流量を変化させるものなどある。このように、配管抵抗低減剤を導入する場合、事前に調査すべき項目は少なくなく、一般的には下記のようなものが挙げられる。

- ① 密閉系の冷温水系であること。(クーリングタワー、冷却水等では使用できない。)
- ② 配管系統、管径や管付属物を図面や現場で確認する。
- ③ 配管長が極端に短いことを確認する。(一般空調設備ではまず問題になることはないが、例えば、熱源のそばに空調機設置してある場合などは大きな効果は期待できない。)
- ④ 運転方法や管内流速、冷温水温度を調査・計測する。(LSP-01の場合、冷温水温度が5℃～65℃で有効である。一般冷水は10℃前後、高温は50～60℃が多い。)
- ⑤ 水質分析を行う。抵抗低減効果は油分があると効果が減少また消滅することもある。また、防食剤を使用している設備は、保有水の希釈、排出が必要な場合もある。
- ⑥ 抵抗低減剤の濃度管理は重要である。定期的にサンプリングして濃度分析を行う体制を検討しておく。

4. 札幌本庁舎での実証実験

4-1 経緯

周南地場産センターは、(独)産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門、札幌市、東京理科大学理工学部、(株)藤原環境科学研究所と共同で、札幌本庁舎の空調設備において、抵抗低減剤の実証実験を行った²⁾。寒冷地での本格的な実証はこの取り組みが初めてであり、寒冷地で暖房運転を長期行った場合の影響や冬期の早朝に設備を起動する際の影響など、有用な知見が多く得られた。民間施設での試験の場合、データ公開に限度があるが、本試験は公的機関による実証研究を介して、データ蓄積と公表を行い、抵抗低減技術の一般化、普及を行うことが目的とされた。このため、札幌市及び管理会社の協力のもと、実験を行うことができた。

4-2 導入設備概要

対象設備は冷温水空調システムであり、その概要を図2に示す。暖房は外部より熱源水が供給され、熱交換器に

札幌市役所冷暖房システム循環水系統図

図2 空調システム循環水系統

よって熱交換する。冷房は単効用吸収式冷凍機(熱交換機チューブ長さ約 6m、外形 19mm) が使用されている。設備の稼働時間は 1 日約 10 時間であり、ポンプは地階の主要循環ポンプが 37kw×2 台、8F 機械室にはブースターポンプ 5.5kw×4 台、3.7kw×1 台がある。ポンプの仕様は以下の通りである。

- 高層部用ポンプ 定格 6, 610 (l/min)
- AHU 系ポンプ
 - ・基準階事務室東系統空調機用冷温水ポンプ 定格 1, 600 (l/min)
 - ・19F 空調機冷温水ポンプ 定格 1, 300 (l/min)
 - ・基準階事務室西系統空調機用冷温水ポンプ 定格 1, 420 (l/min)
 - 合計 4, 320 (l/min)
- FCU 系ポンプ
 - ・高層部 FCU NE 系統冷温水ポンプ 定格 713 (l/min)
 - ・高層部 FCU SW 系統冷温水ポンプ 定格 1, 037 (l/min)
 - 合計 1, 750 (l/min)

4-3 配管抵抗低減剤とその投入

配管抵抗低減剤は LSP-01A (エルエスピー協同組合) を使用した。図 3 は内径 10.7mm の直管を使用し、6.2~70℃ の温度範囲で LSP-01A を 5000ppm 添加した水道水について抵抗低減率を測定した結果である(東京理科大川口研究室で実施)。

図3 LSP-01A(5000ppm)添加水の流速とDRの関係の温度依存性(管内径=10.7mm)

これより 40℃近辺で抵抗低減率が最大値を示しており、さらに広範囲の流速域でも効果があることが確認できる。本庁舎の循環水の温度も 40℃付近で運転されており、DR 効果を示す最適な条件であったことが指摘された。

本実証試験はまず、暖房時から実施した。LSP-01 の添加は全量を一日で入れるのではなく、少量ずつ添加をしていき、途中、サンプリングや濃度チェックをしながら作業や測定を行った。図 4 は注入ポンプを使用した LSP-01 の添加を示した写真である。まず LSP-01 を 40kg 投入し、翌日に 60kg を追加投入した。この時、LSP-01 の濃度は 3000ppm となる。約 1 週間をかけて 80kg を追加投入し、合計 180kg を投入した。これにより、最終的な濃度は 5900ppm となった。この濃度は、規定量 (5000ppm) よりやや多めとなったが、これは市販の防食剤と併用したことに対する配慮と、配管内壁への剤の吸着などを考慮した結果である。冷房試験では、暖房から冷房から切り替える際に系内の水が排水されるため、60kg の LSP-01 を追加投入した。投入直後は、5900ppm であり、この条件で試験を行った。

図4 注入ポンプの外観(圧力計部より注入)

循環水量の測定のため、AHU 系、および FCU 系にそれぞれ超音波流量計を設置した。測定値はデータロガーに蓄積し、解析した。LSP-01 を添加していき、循環水量の増加が確認されると、循環ポンプのインバーターで周波数を落としながら流量を測定し、最終的な省エネ運転周波数を決定した。

4-4 測定結果とその分析

LSP-01 の添加途中で循環ポンプの周波数を変化させ、流量を測定した(表 1、図 5~8)。最終的には予定した添加量を全量入れた場合に最高の流量増加が得られ、その結果を元にインバーターの設定周波数を決定した。これより、暖房は 35Hz の運転で各系統において定格流量が得られた。このとき、電力量は 65% の削減となり、同様に冷房時は 40Hz で 50% の省エネルギーを達成することができた。現在もこの運転条件が維持されているが、各システムの不具合は全く確認されず、省エネ効果も持続している。

札幌本庁舎での結果はこれまでの実績例^{3),4)}と比較するとかなり省エネ効果が大きいといえる。その理由は色々考えられる。配管系の総延長が比較的長く、流速条件や暖房時の循環水温度も LSP-01 にとって最適条件であった。また、注目すべき項目として配管の材質も安定的な運転に大きく寄与していると考えている。この設備ではステンレス(SUS)管が施されており、かつ、防食剤が使用されていることから、管内抵抗が腐食により増加することも少ない上、LSP-01 の吸着も少ないことが予想される。

今回の実証実験では、主要ポンプの高層部用ポンプ 37kw にインバーターを設置して周波数を変化させる実験を行ったが、ブースターポンプの AHU 系および FCU 系ポンプには設置しておらず定格での運転を行っている。今後、この系列のポンプもインバーター制御すれば、さらに省エネ化が図れる可能性を持っているといえる。

表1 各周波数の流量結果(暖房)

周波数 Hz	暖房					
	3700ppm 流量(L/min)			5500ppm 流量(L/min)		
	全系統選り	AHU往き	FCU選り	全系統選り	AHU往き	FCU選り
30	5830	3950	1870	6144	3941	1840
35	6450	4360	1930	6610	4342	1902
40	6960	4790	2000	6820	4760	1963
45	7470	5170	2080	7290	5143	2048
50	7960	5630	2160	7800	5560	2130
定格				6,610	4,320	1,750

図5 各濃度の周波数と流量の関係(AHU冷房)

表1に暖房時の各周波数の流量結果を示し、図5～7には冷房時の結果を示す。冷房の場合、高層部用ポンプは定格6,610 l/minなので、周波数40Hz運転でほぼ一致する。トータルAHU系ポンプは、4,320/minであり、FCU系は、1,750/minであり、LSP5500ppmを添加した場合、いずれも流量に余裕があるのも確認された。これらのデータにより、暖房運転は、35Hz運転で冷房運転は40Hz運転に決定した。高層部用ポンプの循環動力は暖房65%削減、冷房50%削減効果が得られた。

図6 各濃度の周波数と流量の関係(FCU冷房)

図7 各濃度の周波数と流量の関係(AHU冷房)

4-5 運転の管理について

札幌市役所本庁舎での実証実験後も(独)産総研、札幌市、本庁管理会社と連携して循環水のサンプリングを行い、水質の分析を定期的に行っている。冷房・暖房時の切り替え時には系内の水が排水されるため、分析結果を見て追加投入を行っているが、これまでの結果から、年に2回の冷暖房の切り替え時には最低行うことが良いと考えている。ただし、この設備はポンプ周りからの漏れがほとんどなく、漏水とブローによるLSP-01の濃度低下は少ない。しかし、一般的には漏れが多い設備は多々見受けられ、このような場合は、サンプリング回数を増やすなどして、管理する必要があるといえる。

本庁舎導入後、2009年8月時点で1000日目が経過しているが、現在も流量も維持、濃度も安定していることが確認できている。現場での簡易的な管理方法としては、導電率による急激な濃度低下のチェック(図8)及びマグネットスターラーによる渦試験がある。後者はワイゼンベルク効果を利用して、スターラーの攪拌で発生する渦の大きさから粘弾性を簡易的に確認するものである。また、比色法による防食剤主成分の亜硝酸イオン濃度での確認も行っている。

図8 LSP-01Aの各濃度の導電率

表2 LSP投入後の濃度分析とその経過

日付	日数 (日)	添加量 (kg)	界面活性 (mg/l)	対イオン剤 (mg/l)	電気伝導度 (ms/m)
2006	0	0	0	0	134
2006 11月28日	1	40			
2006 11月29日	2	80	300	160	210
2006 12月3日	6	20			
2006 12月4日	7	60			
2006 12月15日	18		530	300	260
2007 1月19日	53		580	300	250
2007 2月19日	84		390	270	250
2007 2月27日	92	30	610	320	270
2007 4月18日	142		580	300	250
2007 5月21日	175		360	220	200
2007 6月19日	204		370	220	190
2007 7月17日	232		370	220	190
2007 8月7日	253	30	220	200	
2007 8月8日	254	30	500	270	
2007 8月9日	255		630	330	
2007 8月17日	263		580	320	230
2007 9月18日	295		580	330	230
2007 10月26日	333		480	260	210
2007 12月11日	379		320	310	190
2008 2月21日	451		440	330	190
2008 3月25日	483	20	480	390	200
2008 5月8日	527		470	300	180
2008 5月29日	548		460	280	190
2008 10月8日	680		480	280	190
2008 11月26日	729		380	230	170
2009 1月27日	791	30	520	280	180
2009 7月3日	949		390	230	170
2009 8月23日	1000				
2009 11月7日	1076				

界面活性剤濃度、対イオン剤濃度、pH、鉄、亜鉛、銅、亜硝酸イオンは循環水をサンプリングして、定量分析を実施している。本庁舎では実証実験後も超音波流量計の計測も引き続き行っており、流量変動がないか、チェックしている。試験開始から、現在までの濃度測定結果を表1に示した。この間、年2回以上(冷・暖房切り替え)の追加投入も実施しており、2009年8月に1000日目を過ぎても現在も流量も維持、濃度も安定していることが確認できる。

4-6 最終評価

省エネルギーセンターの試算によると、空調設備全体に占める空調水搬送の割合は2.6%であり、表3には(独)産総研調査による札幌市役所本庁舎の各エネルギー項目の定格容量を示す。この半分以上が削減できた本実証試験の結果はインパクトの高いものである。

表3 札幌市役所本庁舎の各機器のエネルギー消費

エネルギー消費先区分		主なエネルギー消費機器	kW(定格)
項目	細目		
熱源	熱源本体	冷凍機	12.0kW
	補機動力	冷却水ポンプ、冷温水ポンプ、高温水ポンプ他	141.0kW
熱搬送	水搬送	空調機冷温水ポンプ、FCポンプ	102.5kW
	空気搬送	空調機、ファンコイルユニット	547.0kW
給湯	熱源本体	熱交換器、給湯循環ポンプ、電気温水器他	57.0kW
照明・コンセント	照明	照明器具	450.0kW(推定)
	コンセント	事務機器他	400.0kW(推定)
動力	換気	倉庫換気ファン、便所換気ファン他	84.7kW
	給排水	市水、井水揚水ポンプ、汚水揚水ポンプ他	229.3kW
	昇降機	エレベータ、エスカレータ	356.0kW
その他	その他	トランス損失、店舗動力他	不明

資料提供 (独)産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門

50Hz運転を35Hz運転にすると約65%の省エネになる。
37kwのポンプ10時間/日、240日/年運転され、電力単価11円/kWhとすると58,000kWhの節電、630,000節約 32ton-CO₂削減となる。

抵抗低減剤を用いた省エネルギー技術の確立、普及に向けて活動をしてきて、今回札幌市役所での実証実験で得られた

経験とデータの蓄積の成果は大きい。初の寒冷地での実績も得られた。実証試験の場合、施設側の協力関係が重要である。空調機器への悪影響もなく、省エネ運転が今も行われていることは、今後の展開に期待ができる。

5. LSP-01の導入実績

本稿で示した札幌本庁舎の他、我々のグループがLSP-01を使用して行ってきた省エネルギープロジェクトは、試験導入を含めて120施設での実績がある。詳細なデータのすべては開示されていないが、近年では、東京都内のオフィスビル、自動車工場、空港関係、病院、半導体工場に導入をしている。表3に導入実績の概要を示した。

表4 LSP-01の実績

	導入数
公共施設関係	26
病院関係	7
ホテル関係	8
オフィスビル	17
工場関係	34
商業施設関係	13
研究機関関係	6

資料提供 エルエステー(協)

6. 最後に

冒頭に書いたように、(財)地場産業振興センターは1991年に産学公から構成する研究会グループを発足させた。その後、周南市の中小企業によってエルエステー協同組合を設立し、さらに山口大学との共同研究を継続しながら省エネルギー技術の確立と普及を行ってきた。この業績に対し、平成21年3月にグリーン・サステイナブルケミストリー(GSC)ネットワークよりGSC賞が贈られ、さらに環境大臣賞を授与された(佐伯准教授(山口大学)、徳原、松村理事長(エルエステー協同組合))。今後ともこの技術の普及を図っていくとともに、他の省エネ技術との組み合わせも考えた総合的な省エネ提案を進めて行きたいと考えている。

引用文献

- 1) 薄井、徳原：“界面活性剤を用いた省エネルギー冷暖房システムの開発”：化学工学会年会要旨集，L101，206(1994)
- 2) 川口、藤原、武内、徳原：“トムズ効果によるビル空調システムの省エネルギー”，日本機械学会論文集，10-111，1079(2008)
- 3) 佐伯、徳原、松村ら：“界面活性剤による抗力減少効果の空調設備への応用”：日本機械学会論文集(B)，68，669，1482-1488(2002)
- 4) 徳原、松村、佐伯：“抗力減少剤の空調システムの応用”，日本機械学会流体部門講演論文集，1007，(2000)