

B-71 界面活性剤を用いた空調設備の省エネルギー

佐伯 隆^{1*}・○内山 裕介¹・吉田 知世²

¹ 山口大学大学院理工学研究科環境共生系専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

² 山口大学工学部応用化学科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

E-mail:saecki@yamaguchi-u.ac.jp

1. 緒言

流体輸送において、流体中に高分子を添加することによって、流れの抵抗が減少することが 1949 年に Toms[1] によって報告された。この現象は抵抗低減効果 (drag reduction) として広く知られている。Nash[2] は 1956 年にカチオン系界面活性剤の CTAB が対イオンの存在下で特異なレオロジー挙動を示すことを指摘し、Gadd[3] はその溶液が抵抗低減剤としての利用できることを提案した。界面活性剤による抵抗低減効果は形成されるミセル構造が密接に関係しており、図 1 に示すような棒状ミセルの aggregate が流れに作用すると考えられる[4]。この構造はせん断力によって構造破壊されても電気化学的に再生されるため、循環系 (空調設備、工場設備、地域冷暖房設備) の流体輸送の省エネルギー技術として実用化されている。

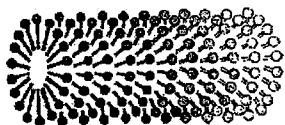


図 1 界面活性剤の棒状ミセルの概念図

水循環方式の空調設備では、機械室等で夏は冷水 (7~15℃)、冬は温水 (45℃~) を製造する。この冷温水は目的の施設の各部屋にポンプで輸送され、空調機で室内の空気と熱交換され、再び機械室に戻る。循環水に抵抗低減効果を示す界面活性剤を添加すると、流れの抵抗が減少し、循環水量が増加する。ここでポンプにインバーターを設置し、その周波数を下げることで、抵抗低減剤を添加する前の流量にする。これにより、同流量の冷温水を少ないポンプ消費電力で輸送することができる。

研究者らのグループ (山口大学、(財) 周南地域地場産

業振興センター、エルエスピー協同組合) はカチオン系界面活性剤 (エソカード 0/12) をベースとし、配管の防錆効果も持たせた抵抗低減剤 (LSP-01) を開発し、空調設備に導入してきた[5]。2006 年下期までで、国内約 100 カ所の設備に対して使用実績があり、ここではポンプ動力は最低でも 20% 削減され、設備によっては 50% を超える省エネルギー化が達成できている。

当初、抵抗低減効果については、移動現象に関する流動と伝熱のアナロジー論より、伝熱特性も低減することが予想され、抵抗低減剤を用いた伝熱特性の評価実験が報告されている。これによれば、抵抗低減効果が 70% 起きている場合に、伝熱減少は 75~80% に達しており、アナロジー論の推定よりさらに熱伝達特性は悪くなるという実験結果が示された[6, 7]。ところが、実設備における抵抗低減効果の適用では、冷房時に冷えない、暖房時に温まらないという問題は全くみられなかった。設備によっては冷温水の温度を測定できる場合があり、抵抗低減剤を添加する前後で温度変化を観察したが、実験室で観察されたような伝熱低下を反映したような挙動は見られていない。しかし、一般の空調設備の計装品だけでは伝熱特性を評価するには不十分であり、さらに空調機の負荷変動や気候変動の影響から、抵抗低減剤を添加した前後の比較が簡単ではない等の問題がある。

本研究では山口大学医学部付属図書館をフィールドとし、その水循環空調設備に抵抗低減効果を適用した際の伝熱特性を評価することを目的とした。

2. 実験方法

山口大学医学部図書館は地上 2 階建てのコンクリート建造物である。館内の空調は 1 階と 2 階が別系統になっ

ている(図2)。屋上にそれぞれの階専用のヒートポンプチラー(50 RT)があり、この熱源で製造された冷温水を1階の機械室にある空気調和機に送り、空気と熱交換する。冷温水の循環ポンプは220V、3相電源で、1階は2.2 kW、2階は1.5 kWである。各階の室温はセンサーで計測され、これに基づいて空気調和機へ流す冷温水量が三方弁で制御される(図3)。

本実験では図2に示すように1階系統の循環流量と外気温を含めて8点の温度、また外気の湿度と三方弁開度(後述)を一定時間ごとに計測、記録できるシステムを構築した。平成19年夏の冷房運転時に実験を行った。まず、抵抗低減剤(LSP-01、エルエスピー協同組合)を添加する前の冷房運転の状況を計測した。その後、1階系統にのみ抵抗低減剤を5000 mg/lの濃度で添加した。流動状況と伝熱特性の評価は1階の抵抗低減剤を添加する前後、および、添加後の1階と2階の比較により行った。

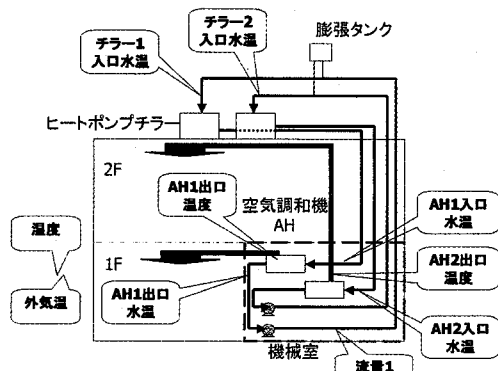


図2 医学部図書館の空調設備

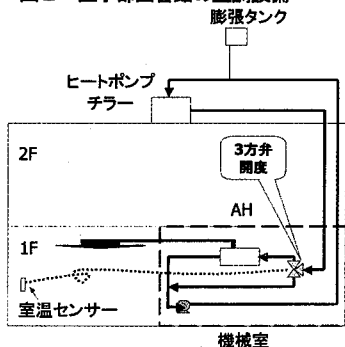


図3 空調設備の三方弁制御

3. 結果と考察

図4は8月8日における1階系統の運転状況を計測したものである。7時25分に空調設備の電源が手動でONとなり、設備が稼働した。チラーの運転により循環水は42分で22.5℃から11.3℃まで低下し、チラーは自動停止した。この間、三方弁の開度は100%(全開)であり、循環水は全量が空気調和機で熱交換された。循環水温度が

18℃に上昇すると再びチラーが自動起動し、以後、このパターンを繰り返す運転が観察された。さらに、室内温度の低下に伴い、三方弁が徐々に閉まっていき、稼働から3時間経過すると開度が約50%の状態での運転が行われた。循環水量はほぼ一定($5.7 \times 10^{-3} \text{ m}^3$)で、三方弁の開度の影響は見られなかった。外気温は朝方には30℃で、日中は35℃まで上昇したが、空気調和機から供給される冷気はほぼ18℃で一定していた。

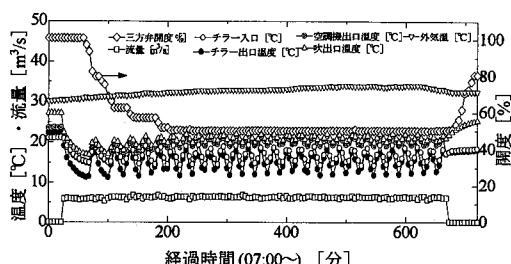
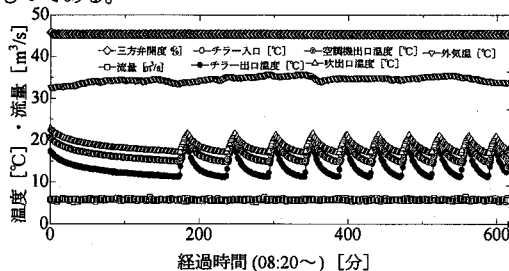


図4 1F系統の通常運転の状況

2階系統についても同様の運転パターンが観察されたが、チラーの運転時間や頻度は1階系統と同じではなかった。これはチラーの特性の違い、階の立地条件、温度を測定する部屋の状況の違いに影響すると考えられる。よって、1階系統に抵抗低減剤を添加した後に、単純に1階と2階を比較することで添加の効果を評価できず、各階の添加前後の状況の比較が必要であることが分かる。

ここで、三方弁の制御については1階と2階の温度を測定する部屋の状況(何人の閲覧者がどこにいるか)に大きく依存するので、本来の循環水の伝熱特性とは無関係の因子が影響することになる。よって、三方弁制御を強制的に解除し、常に全開の条件で運転されるように設定した実験も併せて行った。図5はそのときの状況を示したものである。



8月20日運転データ1階

図5 1F系統の三方弁全開時の運転状況

三方弁が常に全開であるため、冷水の全量が空気調和機で熱交換される。このため、図4に比べて初期のチラーの稼働時間が長くなった傾向が観察できる。

8月20日にLSP-01を1階系統に添加した。これにより流量は $6.01 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ となり、添加前に比べ5.1%増加した。ここで、循環ポンプに設置したインバーターの周波数を60Hzから57Hzに変更することで、添加前の流量に

した。これにより、ポンプの消費電流は 5.4A から 4.5A となり、16.7%のポンプ動力の低減が図れた。

図6は8月31日の1階系統の運転状況である。

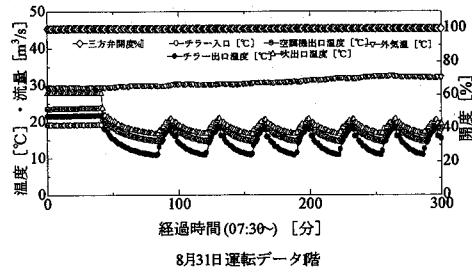


図6 1F系統の運転状況（抵抗低減剤添加後）

抵抗低減剤の添加前と同様に、チラーの間欠運転パターンが観察された。ここで、抵抗低減剤により伝熱阻害が起きるとすると、1回の間欠運転の時間が長くなることが予想される。特に、初回の間欠運転では、循環水が20℃以上になっているので、運転時間への影響が顕著に出るものと予想される。

表1は初回と2回以降の間欠運転の時間を示したものである。抵抗低減剤を添加した8月20日以前のデータを見ても、外気温や部屋の状況に大差が無い場合でも、間欠運転の時間は異なっている。また21日以降で、1階系統の間欠運転の時間が長くなったとは確認できない。

表1 チラーの間欠運転の時間 単位: [min]

	初回		2回以降	
	1F	2F	1F	2F
7月28日	52	21	14	13
8月8日	42	31	12	13
8月10日	68	20	26	13
8月20日	173	35	27	18
8月21日	-	-	14	17
8月22日	74	26	-	-
8月29日	-	-	21	15
8月30日	-	-	24	13
8月31日	41	20	21	13

ここで、チラーの運転は設定温度を下回るまで継続するが、これはチラーの内部センサーの感度や応答性、また流体温度の不均一性に左右されることが考えられる。すなわち、運転時間よりも、チラーが起動して温度が急激に低下する区間の挙動観察が重要であると考えられる。

図7はチラー運転初期の循環水のチラー出口温度(y)と運転時間(t)の関係を示したもので、この関係を次式のような指数関数で表記して、緩和時間(T)を求めた結果を表2に示す。

$$y = y_0 \exp\left(\frac{-t}{T}\right) \quad (1)$$

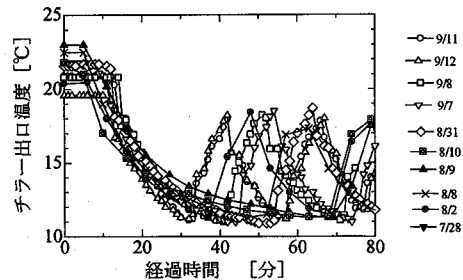


図7 チラー運転初期の循環水の出口温度と運転時間の関係

表2 チラー初回運転のyとtの関係から求めたT

	y_0	$1/T$	T [min]
7月28日	20.0	0.0117	85.5
8月8日	20.0	0.0155	64.5
8月9日	19.6	0.0103	97.1
8月10日	18.9	0.0093	107.5
8月31日	18.0	0.0142	70.4
9月7日	19.6	0.0189	52.9
9月8日	18.1	0.0209	47.8
9月11日	19.3	0.0317	31.5
9月12日	17.4	0.0249	40.2

Tは循環水の温度が運転開始時の1/eになるまでの時間を意味するが、抵抗低減剤の添加前後でこれが増加しているとはいえない。すなわち、抵抗低減剤の添加によりチラーの運転時間が長くなることはなく、伝熱阻害が起こらないといえる。また、空気調和機の出口空気温度は抵抗低減剤の添加前後や1階、2階系統の比較からも、伝熱阻害が観察されるデータでは無かった。

4. 結言

本実験より、実験室で観察された抵抗低減流れの伝熱阻害は実際の空調設備では観察されなかった。その理由は実設備の空調機や熱源設備の特性、循環水の流速と配管径が界面活性剤ミセルの存在形態や挙動に及ぼす効果が異なることが考えられる。今後より詳しい解析と冬季の暖房運転時の計測を行い、伝熱特性を明らかにしていく。

参考文献

- [1]Toms, B. A., Proc. 1st Int. Rheol. Cong., North Holland Pub. Co. (1949) 135. [2]Nash, T., Nature, 177, 948 (1956).
- [3]Gadd, G. E., Nature, 212, 874 (1966). [4] Ohlendorf, D. et al., Rheol. Acta, 25, 468 (1986). [5] 佐伯 隆, 徳原 慶二, 松村敏男, 山本修一, “界面活性剤による抵抗低減効果の空調設備への応用”, 日本機械学会論文集, 68, 669, 1482-1488 (2002) [6]Usui, H. and Saeki, T., J. Chem. Eng. Japan, 26, 1, 103-106 (1993). [7] Aguilar, G., et al., Int. J. Heat and Mass Transfer, 44, 2835-2843 (2001).