

室外機の噴霧冷却時における フィン表面のスケール付着抑制

石井秀一^{*1}・佐藤峰彦

Suppressing Scale Adhesion of Outdoor Units' Fin Surfaces That Was Caused by Spray Cooling

Shuichi Ishii・Minehiko Sato

空冷パッケージエアコンで冷房する際、夏季の高圧カット防止や運転効率向上を目的として、室外機を噴霧冷却する場合がある。通常噴霧水には水道水が用いられるが、カルシウムやシリカなどのスケール成分が室外機フィン等に付着する問題があった。我々は噴霧水を間欠的に水道水から純水に切り替える方式を考案し、そのスケール付着抑制効果を確認した。

1. はじめに

空冷パッケージエアコンでサーバ室を冷房する都心型データセンターでは、限られた屋上スペースに室外機を密集配置することが多い。騒音抑制や目隠しのため、屋上周囲に遮音壁を設置することもある。このような設置環境では、夏季に室外機の吸排気がショートサーキットして室外機吸込空気温度が上昇しやすく、高圧カットによる冷房停止が起きるケースがある。これを防止するため、室外機に水を噴霧して凝縮温度を低下させる対策を採ることがある¹⁾。

しかし、噴霧水に水道水を使用した場合に室外機フィンのスケール付着や腐食が生じるという課題があった。スケールは炭酸カルシウム (CaCO_3) とシリカ (SiO_2) を主成分とし、水道水がフィン表面で蒸発する際に析出する。アルミフィンを傷めずにスケールだけを溶解する洗浄剤が少ない上、フィンが薄く柔らかく物理的な洗浄が難しいことから、一度フィン表面に固着したスケールを除去するのは容易でない。噴霧水に純水 (RO水) を使用するシステムもある²⁾、高価な純水を大量に使うとともに、純水製造時に排水 (濃縮水) を捨てるため水使用量が倍程度になり、ランニングコストが高い。軟水を使用すると硬度成分 (カルシウム・マグネシウム) は除去できるがシリカ成分が残るため、スケール防止対策として十分ではない。

そこで我々は、水道水をベースとした噴霧に間欠的に純水噴霧を行うシステムを考案し、そのスケール付着抑制効果をサンプル板による試験で検証した。本報にてその結果を報告する。

2. 検証の概要

2.1 試験方法

室外機に水を噴霧すると、ノズルに近いフィン表面では水滴が凝集し濡れ面を形成する。噴霧が継続すると濡れ面では水滴中の不純物が濃縮し、飽和濃度を超えるとフィン表面に析出する。この現象を試験で再現するため、室外機フィンを模擬したサンプル板 (10cm×30cm) に対して、水道水で濡らしては乾燥させるという操作を繰り返し、人為的にスケール成分を付着させた。同時に、乾燥させる途中で純水 (RO水) を掛けて水道水を希釈・洗浄する操作 (以

*1 東京本店設計部

降「リンス」を行い、間欠的に純水噴霧する操作を模擬した。水道水で濡らしてからリンス開始までの時間を「リンス間隔」、リンスを継続する時間を「リンス時間」と、以降表現する。ワンサイクルの時間は3時間である。

スケール付着速度は、1日8回の濡らし／乾燥によって、1[m²]の濡れ面に付着するスケールの重量で評価した。スケールの重量は週に一度程度、サンプル板ごと電子天秤で測定した。濡れ面積は目視による概算で、サンプル板投影面積の7割とした。スケール付着速度はサンプル板表面の水が蒸発しやすいほど増加するので、サンプル板廻りの絶対湿度差とスケール付着速度の相関を求めた。式(1)にスケール付着速度、式(2)に絶対湿度差の算出式を示す。

$$V_n = \frac{(W_b - W_a)/(b - a) + (W_c - W_b)/(c - b)}{2S} \quad \dots \text{式(1)}$$

$$\Delta x = x_w - x_\infty \quad \dots \text{式(2)}$$

$$V_n : \text{試験開始開始後}n\text{日目のスケール付着速度} \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^2 \text{日}} \right]$$

W_n : 試験開始開始後 n 日目のサンプル板の重量[mg]

a, b, c : 試験開始開始後の経過日数 [日]

S : サンプル板の濡れ面積[m²]=0.1×0.3×0.7

Δx : サンプル板廻りの絶対湿度差 $\left[\frac{\text{g}}{\text{kg}'} \right]$

x_w : 周辺空気湿球温度と等温の飽和空気の絶対湿度 $\left[\frac{\text{g}}{\text{kg}'} \right]$

x_∞ : 周辺空気の絶対湿度 $\left[\frac{\text{g}}{\text{kg}'} \right]$

2.2 試験条件

サンプル板の材質は室外機フィンと同じアルミとし、一部の試験で銅とステンレスを加えた。サンプル板は30°程度傾け、上方の端部に濡らし用とリンス用の配管を設け、2箇所(φ2mm)から各サンプル板に散水した。試験装置の外形図と散水状況の写真を図1、試験で使用した水のICP発光分光分析装置(バリアン720-ES)による水質分析結果を表1、試験条件を表2に示す。

試験装置を設置した部屋は常時換気し、エアコンにて夏季は冷房、梅雨時はドライ運転、冬季は暖房した。また試験装置近くの床上にサーキュレータを設置し、試験装置廻りの空気を攪拌した。

新品のサンプル板は水を弾き表面に水膜が広がらないため、試験開始前に#1500紙やすりで表面を研磨し、「飽和炭酸カルシウム水溶液を30ml滴下して乾燥させる」という操作を5回繰り返す前処理を行なっている。またサンプル板上のスケール成分は、試験の経過とともにサンプル板の下部に集中して固着したため、10~15週間(濡らし／乾燥560~840回)ごとにサンプル板を交換した。図2に試験開始前と試験終了時のサンプル板の写真を示す。

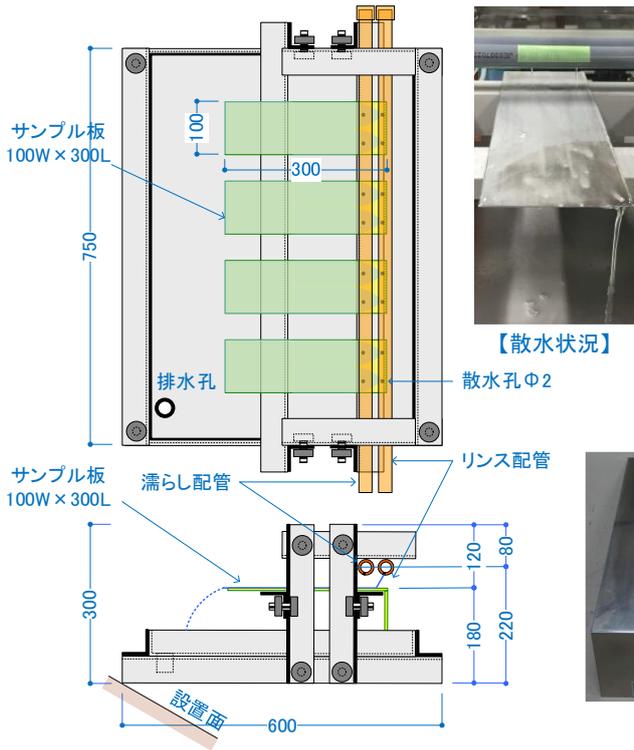


図1 試験装置

表1 ICP 発光分光分析装置による水質分析結果
(2019年12/20)

元素名	水道水 (※1)	軟水 (※2)	純水 (※3)
	mg/L	mg/L	mg/L
Si	11.44	11.63	0.23
Ca	10.34	0.03	0.25
Na	6.17	18.20	0.37
Mg	4.18	0.02	0.09
K	1.33	0.34	0.06

※1: 神奈川県厚木市の市水

※2: ディスボタイプ のイオン交換フィルタ (オルカノ製 DCPS-002) で処理

※3: ポリアミド系RO膜 (LANXESS 製 B085 FR4040) で処理



【散水状況】

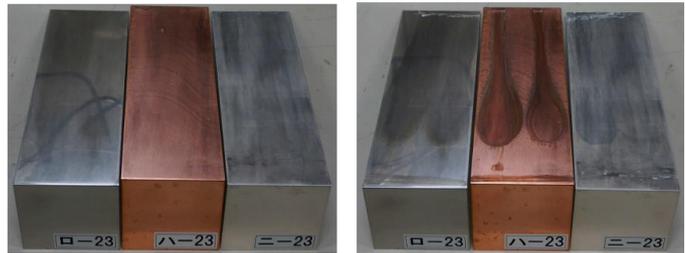


図2 サンプル板の写真 (SUS, Cu, Al)

左: 試験開始前、右: 試験終了後

表2 試験条件

試験条件のパラメータ				リンス間隔	リンス時間	水質, リンスの有無, サンプル板材質			
試験期間	開始日	-	2018/10/26	2018/7/30	2019/1/8	2019/6/7	2019/8/27	2019/12/6	
	終了日	-	2018/12/27	2018/10/25	2019/3/26	2019/8/23	2019/12/3	2020/2/7	
	サンプル板重量の測定回数	回	10	13	11	10	15	10	
周囲条件	気温	°C	21.0~24.0	20.9~23.8	21.0~23.0	21.1~23.8	22.5~25.0	20.6~24.9	
	相対湿度	%RH	26~49	50~76	12~29	67~93	33~70	12~35	
	サンプル板廻りの絶対湿度差	g/kg'	2.41~4.36	1.16~2.62	3.89~5.20	0.89~1.78	1.42~4.08	3.67~5.26	
サンプル板材質 (Al: アルミニウムA5052, Cu: リン脱酸銅, SUS: SUS304)				Al	Al	Al, Cu, SUS	同左	同左	同左
運転方法 ①	濡らし方	水質	-	水道水	水道水	水道水	同左	同左	同左
		時間	min	1	1	1	同左	同左	同左
	リンス前の乾かし方	時間 (=リンス間隔)	min	10	30	-	同左	同左	同左
		水質	-	純水	純水	-	同左	同左	同左
リンスのやり方	時間 (=リンス時間)	min	1	1	-	同左	同左	同左	
	水質	-	水道水	水道水	軟水	同左	同左	同左	
運転方法 ②	濡らし方	時間	min	1	1	1	同左	同左	同左
		時間 (=リンス間隔)	min	20	30	-	同左	同左	同左
	リンス前の乾かし方	水質	-	純水	純水	-	同左	同左	同左
		時間 (=リンス時間)	min	1	2	-	同左	同左	同左
運転方法 ③	濡らし方	水質	-	水道水	水道水	水道水	同左	同左	同左
		時間	min	1	1	1	同左	同左	同左
	リンス前の乾かし方	時間 (=リンス間隔)	min	30	30	20	同左	同左	同左
		水質	-	純水	純水	純水	同左	同左	同左
リンスのやり方	時間 (=リンス時間)	min	1	3	1	同左	同左	同左	

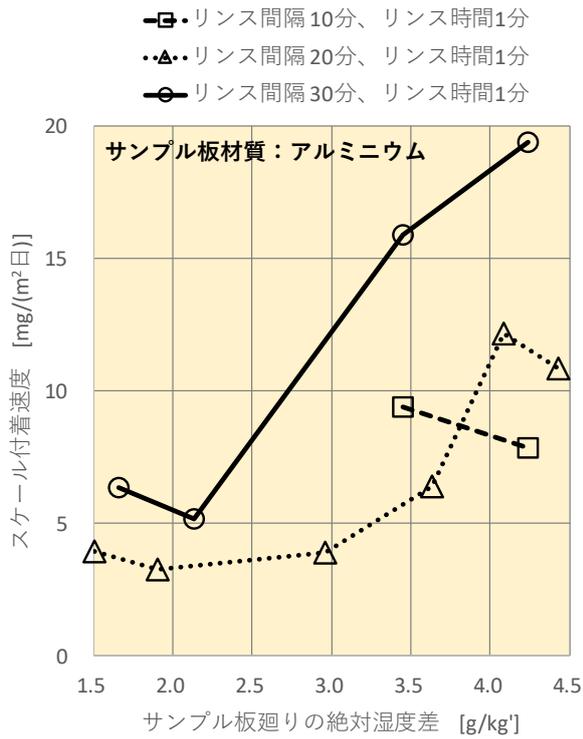


図3 リンス間隔とスケール付着速度の関係

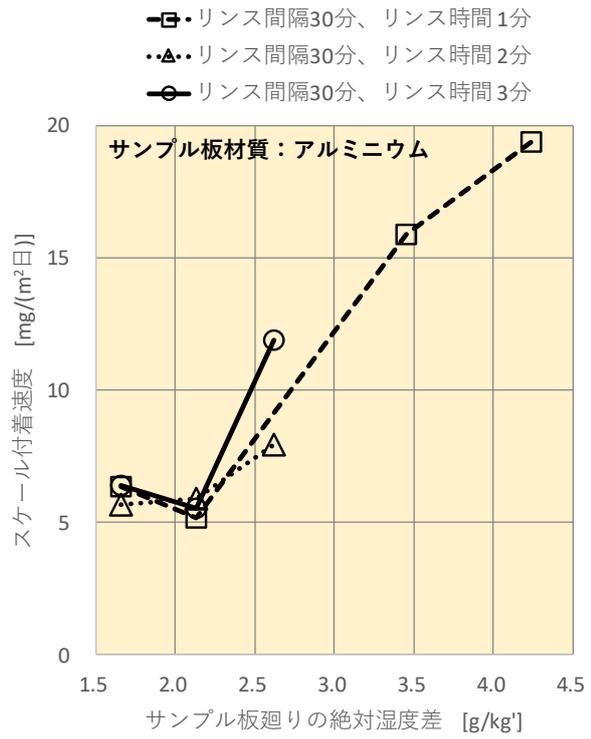


図4 リンス時間とスケール付着速度の関係

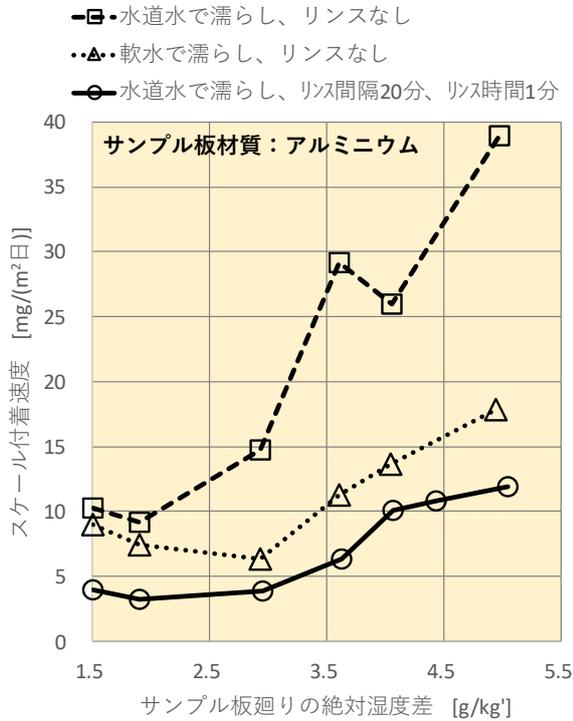


図5 水質とスケール付着速度の関係

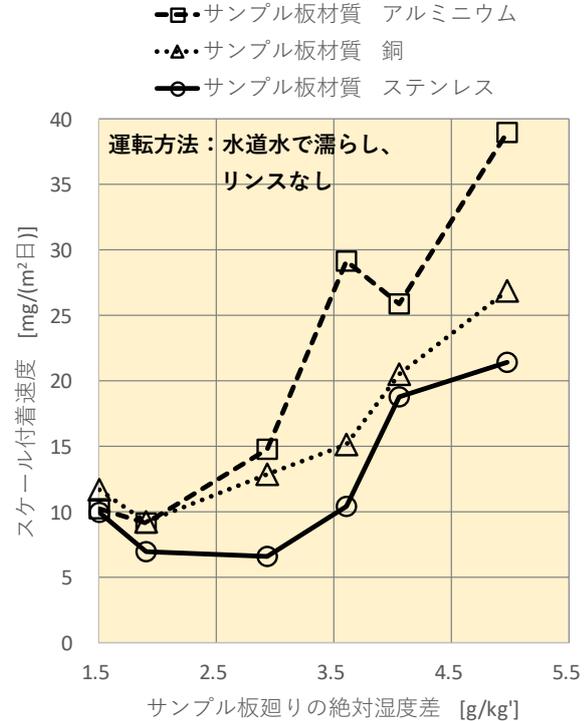


図6 サンプル板材質とスケール付着速度の関係

3. 検証結果

検証にて得られた最適なリンス運転条件と、その効果について述べる。なお本検証に用いた水道水の硬度は表1より約43mg/Lであるが、日本全国の浄水量から計算した水道水の平均硬度が約51mg/Lである³⁾ので、ややスケール成分が少なめの水道水と言える。

3.1 最適なリンス間隔

リンス時間を1分、リンス間隔を10分・20分・30分とした場合の、スケール付着速度とサンプル板廻りの絶対湿度差の相関を図3に示す。リンス間隔が10分と20分では、スケール付着速度に大きな差は無い。しかしリンス間隔を30分とすると、スケール付着速度は20分の時の1.5~2.5倍となる。リンス間隔が20分を超えると、水道水からスケール成分がサンプル板の表面に析出して固着し、リンスによって希釈・洗浄できない可能性が大幅に高まる。このことから、リンス間隔の最適値は20分と判断した。

3.2 最適なリンス時間

リンス間隔を30分、リンス時間を1分・2分・3分とした場合の、スケール付着速度とサンプル板廻りの絶対湿度差の相関を図4に示す。リンス時間によるスケール付着速度の有意な差はみられなかった。サンプル板表面に1分を超えて純水を流しても、スケール成分の希釈・洗浄効果は向上しない。リンス時間が短いほど純水使用量が減り濃縮排水のロスが抑えられるが、室外機に噴霧する純水は純水製造装置からノズルに至る配管を通過するのに一定の時間を要することから、リンス時間の最適値は1分と判断した。

3.3 リンスの効果

水道水で濡らしてリンスしない場合、軟水で濡らしてリンスしない場合、水道水で濡らしてリンスする場合のスケール付着速度とサンプル板廻りの絶対湿度差の相関を図5に示す。リンス間隔は20分、リンス時間は1分とした。軟水で濡らしてリンスしない場合のスケール付着速度は、水道水で濡らしてリンスしない場合の約1/2であった。この結果から、室外機に噴霧する場合、噴霧水を水道水から軟水に変更することでスケール付着を約半分を抑えられると考えられる。

水道水で濡らしてリンスをした場合のスケール付着速度は、水道水で濡らしてリンスしない場合の約1/3、軟水で濡らしてリンスしない場合の約2/3になった。噴霧水を水道水から間欠的に純水に切り替える手法は、水道水のみを噴霧する場合に比べてスケール付着を約1/3に抑える効果があり、軟水のみを噴霧する場合に比べて約2/3に抑える効果があると言える。

3.4 サンプル板の材質の影響

水道水で濡らしてリンスしない条件で、サンプル板の材質をアルミ・銅・ステンレスとした場合の、スケール付着速度とサンプル板廻りの絶対湿度差の相関を図6に示す。銅とステンレスの場合もアルミ同様、サンプル板廻りの絶対湿度差が大きくなるほどスケール付着速度は大きくなる。しかしその速度はアルミ>銅>ステンレスの順となり、軟らかい金属ほど大きかった。本試験ではサンプル板表面を研磨しているが、軟らかい金属ほど表面が凸凹になり、表面に水分が留まりやすかったためではないかと推測される。

4. まとめ

空冷パッケージエアコン室外機を噴霧冷却する際、室外機フィンのスケール付着を抑制するため、噴霧水のベースを水道水とし間欠的に純水（RO水）に切り替えるシステムを考案した。そのスケール付着抑制効果をサンプル板による試験で検証した結果、下記の知見を得た。

- ①噴霧水を水道水から純水に切り替えるまでの時間（リンス間隔）は、20分が最適値。
- ②純水噴霧を継続する時間（リンス時間）は、1分が最適値。
- ③本システムはスケール付着を、水道水噴霧した場合の約1/3、軟水噴霧した場合の約2/3に減らせる。
- ④本システムの純水使用量は、純水噴霧した場合の約1/20になる。

文 献

- 1) 石井秀一, 鈴木俊一郎, 涌田有紀: 電算PAC室外機の省エネ対策とその検証, 平成 30 年度冷空講論, 13, 東京 (2018).
- 2) 石井秀: 空調室外機 RO 純水散水システム, 建築設備と配管工事 Vol.48, No.14, p.51-54 (2010).
- 3) <http://softwater.jp/what/000052.html>

ABSTRACT

Outdoor units of air-cooled packaged air conditioners are often densely installed on the top of buildings and so on. In such environment, especially in summer, the air conditioners may be automatically shut down to avoid excessive refrigeration pressure. Spray cooling on outdoor units is a solution of this phenomenon, but it causes scale adhesion of the outdoor units' fin surfaces if you use city water. Our spray cooling system mainly uses city water and intermittently uses pure water. We verified the effect of suppressing scale adhesion in this system and revealed the best operating method.
