

## 冷却塔の微生物汚れの問題とその対策

The solution of biofouling in the cooling water systems.

栗田工業株式会社 技術サービス一部 冷却水技術課 中野 肇

KURITA WATER INDUSTRIES LTD. Tadashi Nakano

キーワード: 冷却塔、レジオネラ属菌、省エネルギー

Keyword: cooling tower, Legionella, energy-saving

### 1. はじめに

多くの工場やビルでは、空調用冷凍機の冷却に開放冷却塔が用いられている。開放式冷却塔は水の潜熱を利用し、効率的な冷却をおこなうことができる。しかし、開放式冷却塔において、規定の能力が発揮できないケースや、機器の耐用年数が極端に短くなるケースがしばしば見られる。原因の一つとして冷却水系の微生物汚れによるものが知られている。微生物汚れによる問題はエネルギー効率の低下や材料の劣化、衛生に関するものなど、多岐にわたっている。

本稿では開放冷却塔で起こりうる微生物汚れの問題を概説するとともに、レジオネラ属菌にスポットを当てて問題と対策を紹介する。

### 2. 開放冷却塔での微生物汚れについて

#### 1) 循環水の微生物汚れ

開放冷却塔とは循環冷却水と外気を接触させることで、循環水の一部を冷却塔で蒸発させ、蒸発潜熱として熱を奪うことで残りの大部分の水を冷却する装置である。

冷却水は微生物や藻類の増殖に好適な環境となっている。冷却水の水温は一般的に 10～40℃程度で推移しており、微生物の生育至適温度の 30～37℃の範囲と重なっている。特に 5～9 月にかけては冷却水の温度が微生物の増殖に好適になる。また、開放冷却塔はその機能上、大気中の土ぼこりなどを取り込む。また、濃縮による栄養塩類の高濃度化、高い溶存酸素濃度、散水板や充填材への日射など微生物の生育に好適な条件が揃っている。



写真－1 冷却塔外観

#### 2) 冷却塔壁面での微生物汚れ

増殖した微生物は冷却水系壁面に付着し、微生物汚れを形成する。水系内の微生物濃度が高かったり、系内が貧栄養な条件では、微生物は固体表面に付着し、粘質物を体外に分泌する。粘質物により微生物は強固に固体表面に付着するようになる。粘質物の内部で微生物は増殖し、粘質物、微生物、水系の懸濁物質などを巻き込んだ微生物汚れが形成される。

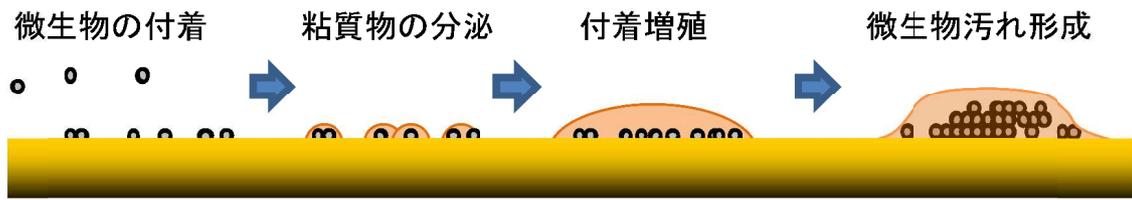


図-2 微生物汚れ発生プロセス

3. 冷却水系で起こりうる生物による障害

1) 伝熱効率低下

冷凍機において、冷却水系で発生する微生物汚れは金属に比べて熱伝導率が非常に小さい。そのため、微生物汚れが凝縮器に付着すると、凝縮器の熱効率が低下する。熱効率が低下すると冷媒であるフロンの凝縮温度が上昇し、それに比例して高圧側吐出圧力も上昇する。高圧側吐出圧力が上昇すると圧縮機にかかる仕事量が多くなり、電力費が上昇する。

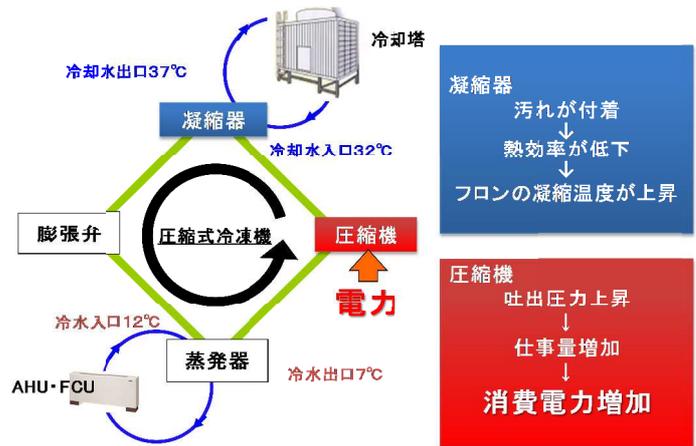


図-3 圧縮式冷凍機の消費電力増加

電力費の上昇は簡易的にLTDで判断できる。LTDとは冷却水の出口温度と冷媒温度との差であり、LTDが1°Cアップすると約3%のエネルギーロスとなる。

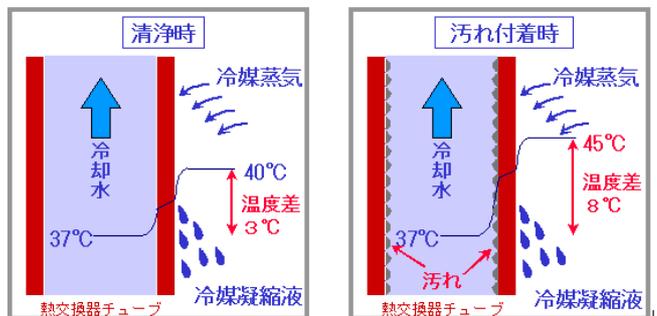


図-4 LTD 模式図

2) 腐食

冷却水の熱交換器に微生物汚れが発生した場合、熱交換部の腐食が発生するケースが見られる。この現象は、微生物腐食とも呼ばれ、微生物が直接腐食の原因となる場合と、微生物およびその代謝物が腐食の原因となる場合がある。

微生物が直接の原因となる腐食としては、硫酸塩還元菌 (SRB) などの嫌気性細菌によるものが知られている。冷却水系の壁面に付着物

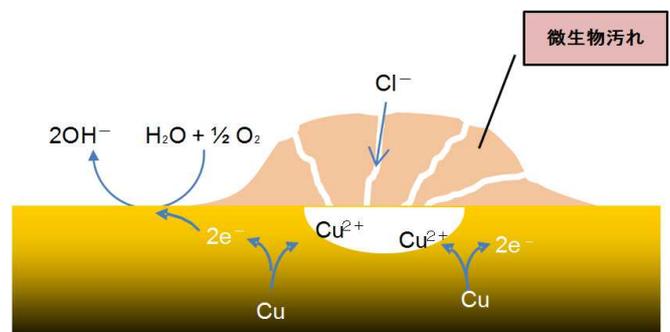


図-5 微生物腐食模式図

が存在した場合、その下部が嫌気性状態となり、SRBなどの嫌気性細菌が生育する。SRBが硫酸イオンを硫化物イオンに変換する反応が金属の溶出反応を促進し、腐食が促進される。

また、嫌気性細菌が発生しなくとも、微生物汚れが付着するとその下部では嫌気状態となり酸素濃淡電池が形成されることで汚れ下部での腐食が促進される。また、汚れの下部ではアニオンの濃縮が起きるため、腐食が促進されることもある。

### 3) レジオネラ症

レジオネラ症はレジオネラ属菌が原因で起きる感染症で、肺炎症状を呈し、死亡例も報告されている「レジオネラ肺炎」とインフルエンザに似た熱性疾患で自然治癒型の「ポンティアック熱」がある。レジオネラ属菌は、自然界の土、河川水、井戸水、湖水に広く分布しているが、通常自然界での検出率、菌数レベルは高いものではない。それに対して、浴場や冷却塔などの人工的環境ではレジオネラ属菌が増殖して高レベルになることがある。

自然界に存在するレジオネラ属菌は、補給水や土埃などを介して冷却塔に混入する。特に開放冷却塔は冷却水と空気が直接接触するため、土埃などに含まれるレジオネラ属菌が冷却水に入り込みやすい。

循環冷却水は、水温がレジオネラ属菌の発育至適温度の36°C前後に近く、自然界と比べてレジオネラ属菌の増殖速度が速くなる。また、冷却水系の壁面に付着した微生物汚れの内部では細菌、原生動物等が高密度で生育している。レジオネラ属菌は各種の原生動物に寄生し、細菌などの生成物を利用して増殖する。また、微生物汚れの内部には除菌剤の接触が困難になり、除菌率が低下する。このように冷却塔はレジオネラ属菌の増殖に適した環境になる。

冷却塔は構造上、エアロゾルを発生しやすく、増殖したレジオネラ属菌を内包するエアロゾルが周囲に飛散する。飛散したエアロゾルが人体の肺胞に到達することで、レジオネラ症に感染する。レジオネラ症が人から人への感染した事例はない。



写真-2 冷却塔内部の汚れ



写真-3 通風用ファン

## 4. レジオネラ症防止に関わるガイドライン

図-6 レジオネラ症感染模式図

## 1) レジオネラ症発生防止の考え方

レジオネラ症の感染について、日本での報告数は年々増加しており、2013年には1,100名程度が報告された。冷却塔は通常、屋外に設置されることが多く、周囲の不特定多数にエアロゾルを吸い込む恐れがある。そのため、冷却塔におけるレジオネラ属菌対策は非常に重要な課題である。

レジオネラ症の発生を防止する対策の基本的な考え方は以下のとおりである。

- ①レジオネラ属菌が繁殖しやすい状況をできるだけ無くす
  - i) 微生物の繁殖および生物膜などの生成を抑制する
  - ii) 設備内に定着する生物膜などを除去する
- ②レジオネラ属菌を含むエアロゾルの飛散を抑制する措置を講ずる

## 2) レジオネラ症を防止するためのガイドライン

冷却塔運用するうえで、レジオネラ症を防止するためのガイドラインとして、以下の三つがあげられる。

- ①「レジオネラ症防止指針 第三版」  
(2009/3 財団法人 ビル管理教育センター)
- ②「事務所衛生基準規則及び労働安全衛生規則の一部を改正する省令」  
(2004/3/30 施行)
- ③「レジオネラ症を予防するために必要な措置に関する技術上の指針」  
(2003/7/25 厚生労働省告示第 264 号)

それぞれのガイドラインを総合して考えると、以下の表に示した冷却塔の運用が推奨される。

表一1 レジオネラ症対策冷却塔運用方法

		対応
1	設置	・エアロゾルの飛散量が少ない構造のものを採用する ・風向きを考慮し、外気の取り入れ口、居室の窓などから十分距離を置いて設置する
2	補給水	・水道水水質基準を満たす
3	清掃・換水	・冷却塔、冷却水の水管の清掃を1年以内ごとに定期的に行う ・1年に1回以上清掃および完全換水を行う
4	点検	・汚れの点検を1ヶ月に1回以上行う ・必要に応じて清掃、換水などを行う
5	分析・除菌	・レジオネラ属菌の分析を1年に1回以上行う ・レジオネラ属菌が検出された場合は、除菌処理を行い、レジオネラ属菌が検出下限値(10 CFU/100mL)未満であることを確認する。

※『CFU/100mL』は循環水 100mLあたりの、レジオネラ属菌の生菌数

## 5. レジオネラ属菌への除菌剤処理

### 1) 従来の除菌剤処理

冷却水系でのレジオネラ属菌を抑制するため、冷却塔使用期間中は除菌剤の添加が推奨される。除菌剤の添加方法は①連続添加、②間欠添加がある。①連続添加は冷却水中の殺菌剤濃度を常時一定に維持し、レジオネラ属菌を抑制する。②間欠添加は除菌剤を2-7日の間隔で薬剤を一度に添加し、レジオネラ属菌数を減少させる。減少した菌数が再び検出されるまでの期間を殺菌効果持続期間としている。

レジオネラ属菌が補給水由来で持ち込まれたり、汚れが多い冷却塔では連続添加と間欠添加を組み合わせる。連続添加を継続していてもレジオネラ属菌数が増加してきた場合は、除菌剤を間欠で添加し、菌数を低減させる。

抗レジオネラ用空調水処理剤協議会の報告では、水処理薬品無処理の冷却塔において、61%の系でレジオネラ属菌が検出されている。水処理薬品が使用されている系では、レジオネラ属菌が検出されている系は12%まで低下している。

このように、水処理薬品の有効性は示されているものの、レジオネラ症の予防のためさらなる処理の向上を求めた。

### 2) 当社の新規レジオネラ症対策処理

当社はレジオネラ属菌をターゲットとした新規冷却水処理として、レジ//エンド®処理を開発した。レジ//エンド®は、異なる機能を持つ二種類のスライムコントロール剤を、同時に連続添加することを特徴としている。

「剥離タイプ」と「除菌タイプ」の二種類の薬剤を併用することにより、以下にあげるシナジー効果が得られる。

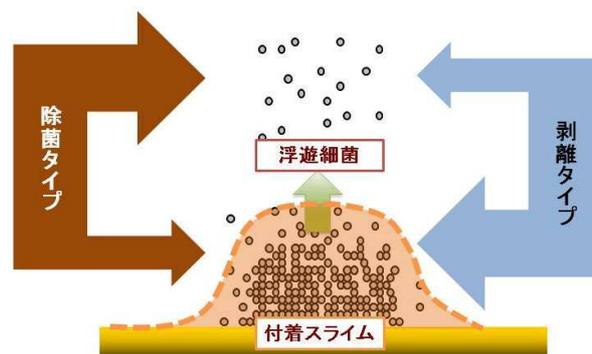


図-7 微生物腐食模式図

#### ①高い除菌効果

レジ//エンド®に用いている「剥離タイプ」と「除菌タイプ」の二種類のスライムコントロール剤は共に除菌効果を有しているが、それぞれ単独で用いた場合と比べ、併用した場合は非常に高い除菌効果が見られた。

#### ②高い付着抑制効果

レジ//エンド®処理で用いられている剥離タイプのスライムコントロール剤はスライム

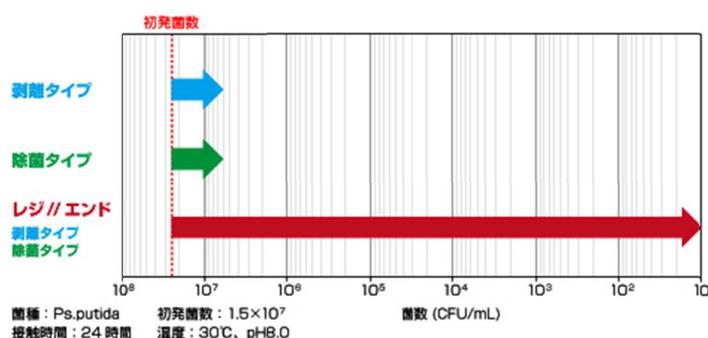
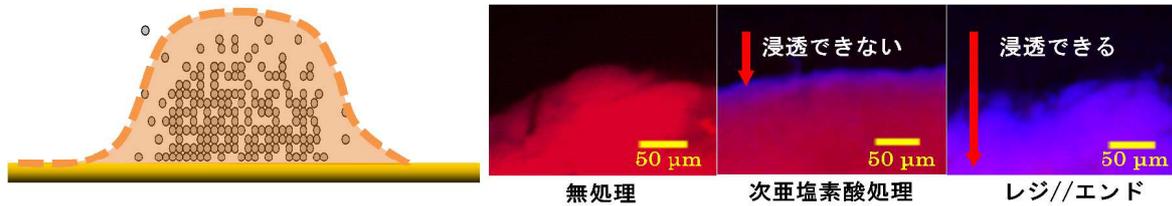


図-8 レジ//エンド除菌効果

内部への浸透性が高く、スライムを剥離分散させる効果が高いという特長がある。スライムを剥離分散することで、レジオネラ属菌の温床を低減することができる。更に、除菌タイプのスライムコントロール剤を併用することにより、付着抑制効果を向上させることができる。



青色：活性の有無関わらず、微生物の存在する場所  
 赤色：呼吸活性を持つ微生物が存在する場所

図-9 レジ//エンド浸透効果

図に剥離タイプ剤のみの当社従来処理とレジ//エンド®処理の付着抑制効果の比較を示す。

従来処理と比べてレジ//エンド®処理では微生物汚れの付着量を 1/10 に抑えることができた。

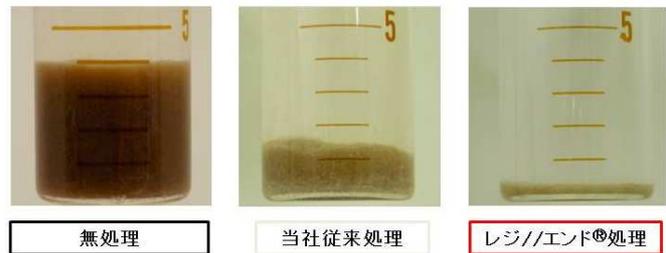


写真-4 レジ//エンド汚れ付着防止効果

#### 4. レジ//エンド®の適用事例

##### 1)事例1

レジ//エンド®を適用した現場で、微生物汚りを低減することにより、レジオネラ属菌数を低減した事例を紹介する。

この現場は、冷却塔脇に排気ダクトが設置されており、排気ダクトから排出された有機物が冷却水系内に入り込み、それを栄養源とした微生物汚りが多く見られていた。従来処理ではレジオネラ属菌が検出されており、微生物汚りがレジオネラ属菌の温床となると予想された。レジオネラ属菌数の低減のため、除菌剤の間欠添加が必要であった。

レジ//エンド®処理後、冷却塔の充填材に付着していた微生物汚りが減少し、処理開始後8週間で清浄な状態を達成した。

##### 従来処理

##### レジ//エンド® (8週後)

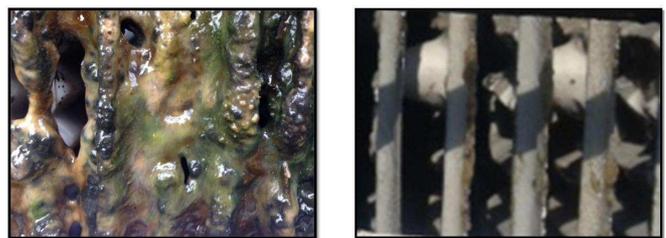


写真-5 レジ//エンド汚れ改善効果

表-2 レジオネラ属菌数推移

	従来処理	レジ//エンド®	
		4 週後	8 週後
No. 1	640	下限値未満	下限値未満
No. 2	196,000	300	下限値未満

レジオネラ属菌数も、レジ//エンド®処理に変更後に低下傾向を示し、処理開始後 4~8 週間でレジオネラ属菌が検出下限値未満（10 CFU/100mL 未満）となった。

## 2) 事例 2

連続添加と間欠添加を組み合わせる処理していたにもかかわらず、レジオネラ属菌が検出していた冷却塔で、レジ//エンド処理により常時不検出が達成できた事例を示す。

この現場ではレジオネラ属菌の増加が非常に早く、従来処理では連続添加と間欠添加を組み合わせる処理を実施していた。しかし、殺菌効果持続期間が短く、間欠添加処理後 2~4 週程度でレジオネラ属菌が検出されており、高頻度で間欠処理を行う

必要があった。間欠的な除菌処理後はレジオネラ属菌数を抑制できているものの、常時不検出はできていなかった。

レジ//エンド®適用後はレジオネラ属菌数が低下し、4 週後以降は不検出を維持することができた。

## 3) 事例 3

レジ//エンド®処理を実施し、汚れ低減および省エネ効果が得られた事例も紹介する。

この現場でも冷却塔の近傍に排気ダクトがあり、系内に有機物が持ち込まれることによる微生物汚れが多々みられた。

レジ//エンド®処理実施後、充填材に付着した微生物汚れが減少した。

■ レジオネラ属菌の増殖が激しい現場での適用事例



図-10 レジオネラ属菌数推移

試験前(無処理)



高度汚染

4週間後



汚染なし

写真-6 レジ//エンド汚れ改善効果

LTD を指標とし、電力費の低減効果を調べた。図-5 の通り、LTD の低下傾向が見られ、約 2 ヶ月

で6℃低下した。100RTのターボ冷凍機の場合、LTDが6℃低下すると約20%の省エネ効果が得られ、約470千円／月のコスト削減が見込まれる。

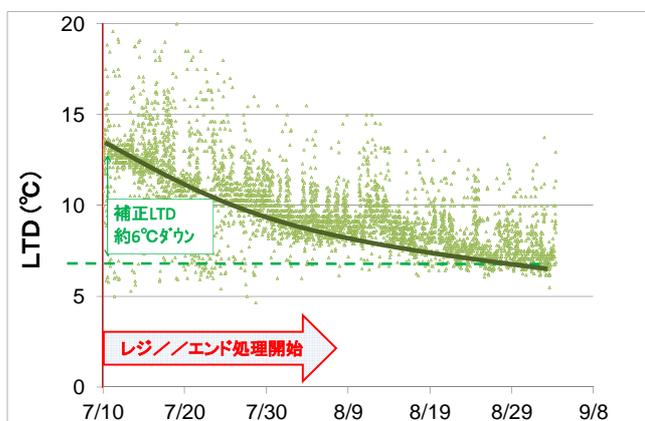


図- 1 1 LTD 推移

## 5. おわりに

ここでは、冷却塔の微生物汚れの障害に関する対策を紹介した。

微生物汚れはエネルギー消費量の増加、腐食、衛生面など多くの問題を引き起こす。微生物汚れによる障害の中でも、レジオネラ属菌が増加することの衛生面の問題は今後大きくなると考えている。当社のレジ//エンド®処理はレジオネラ属菌を抑制するための効果的な手段である。

当社の技術が安全で健康な社会をつくる一助となれば幸いである。