

冷却塔の管理方法¹⁾

あがた くに お
縣 邦 雄

アクアス株式会社 つくば総合研究所 技術顧問

1. はじめに

1980年代、日本でレジオネラ症が知られるようになった当初、感染源は主に冷却塔・空調設備とされていた。これは当時、外国のレジオネラ症集団発生の多くが、冷却塔・空調設備を感染源としていたことによる。また、外国では現在まで冷却塔を感染源とする集団発生が多く報告されている。ところが日本では、冷却塔を感染源とする報告は少なく、感染源の多くは浴槽水である。この要因として、日本における冷却塔の感染源調査の困難さが考えられる。冷却水のレジオネラ属菌調査²⁾では、2017年度、東京都内の冷却塔の5台中1台に、100CFU/100mL以上のレジオネラ属菌が存在していた。また、日本のレジオネラ症月別発生数は、冷却塔の稼働が増える夏季に多い傾向がみられる。

現在、日本では冷却塔を感染源とするレジオネラ症の報告は少ないものの、レジオネラ症の重要な感染源と認識して、レジオネラ症防止対策を講じる必要がある。

2. 冷却塔と空調設備

2.1 冷却水と冷却塔

ビルや病院等の建築物では冷房のために、冷凍機と循環冷却水が使用される。冷却水は、濃縮・酸素・水温・日射の要因でスケール、金属腐食、及び微生物増殖によるスライム（バイオフィルム）、レジオネラ属菌の問題が生じる。

冷却塔（クーリングタワー）には開放式と密閉式がある。開放式冷却塔（図1a¹⁾）は、冷凍機の熱交換器を通る冷却水が、直接空気に接触して蒸発する構造である。密閉式冷却塔（図1b¹⁾）は、冷凍機の熱交換器を通る冷却水（密閉循環水）は、冷却塔の密閉された配管内を通る。配管の周囲には充填材があり、散布水が循環して、配管内の密閉循環水を冷却する。開放式の循環水と、密閉式の散布水は微生物対策が必要であり、レジオネラ属菌の存在リスクは同じである³⁾。

2.2 冷却塔が原因の感染経路

建築物における冷却塔と空調設備のモデルを図2¹⁾に示す。冷却塔を感染源とするレジオネラ症の集団発生は、以下の感染経

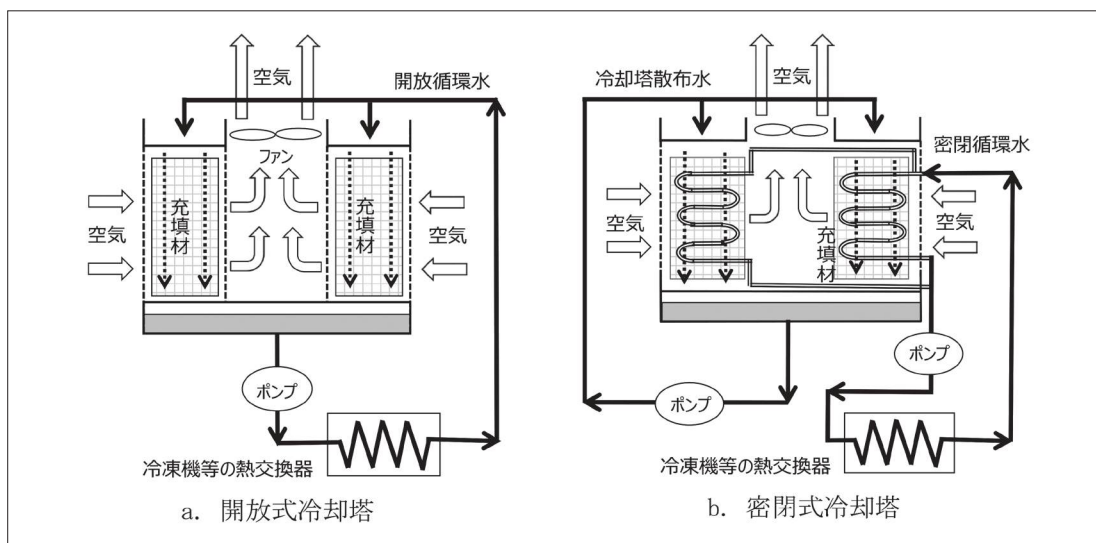


図1 冷却塔の仕組み

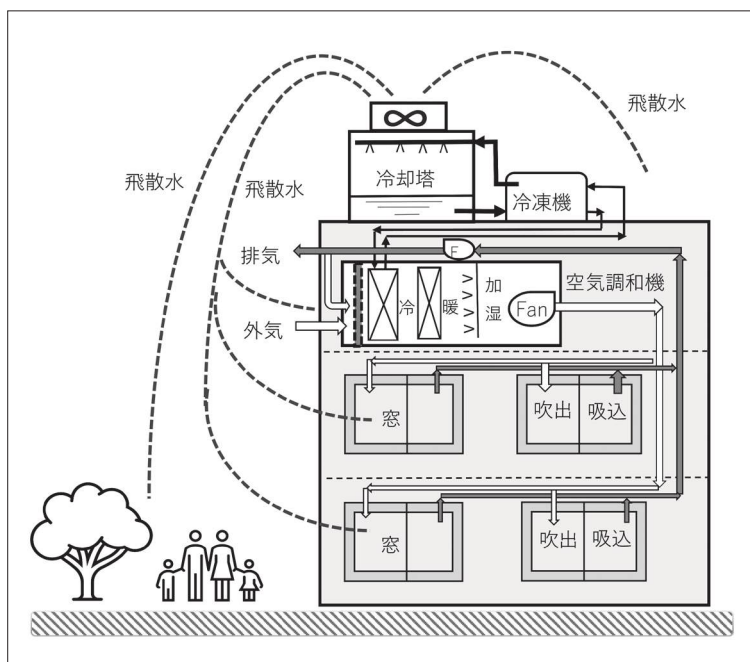


図2 建築物の冷却塔と空調設備

路によるとされる。①冷却塔から飛散したレジオネラ属菌を含むエアロゾルが、外気取入口から空気調和機を通じて建物に入り、内部の人に感染する。②冷却塔からのエアロゾルが、周囲の道路に届き通行人に感染する。③エアロゾルが、開放した窓か

ら室内に入り感染する。

3. 冷却塔のレジオネラ症防止対策

冷却塔を感染源とするレジオネラ症防止対策は、冷却塔からの飛散水が人と接触しないようにすること、及び冷却水のレジオネラ属菌を抑制することである。

3.1 冷却塔からの飛散水対策

3.1.1 冷却塔、外気取入口の対策

『レジオネラ症防止指針 第4版⁴⁾』等に、冷却塔、外気取入口の設備

構造上の対策が示されている。

- ・冷却塔は、冷却水、噴霧水（エアロゾル）の飛散を極力抑えた構造とする
- ・直交流型（角形）冷却塔は、向流型（丸形）より飛散水量が少なく好適である
- ・冷却塔のエリミネータ（除滴板）を強化

- する、点検し破損があれば補修する
- ・充填材・上部水槽の詰まりを清掃し、冷却塔側面や上部水槽からの溢水を防ぐ
- ・冷却塔は外気取入口、居室の窓や人の活動場所から10m以上離して設置する
- ・冷却塔、外気取入口は、地上10m以上の出来るだけ高い位置に設置する
- ・外気取入口と排気口との間に十分な距離を取り、取入外気の汚染を防止する

3.1.2 空冷式空調設備の採用

最近では比較的規模の大きい建築物でも、空冷式ヒートポンプ冷熱源を使用した分散型空調システムが採用されている。冷却水（冷却塔）を使用しない空冷式の空調システムでは、冷却塔に起因するレジオネラ問題は発生しない。

ただし、空冷式は水冷式に比べて効率が低いため、省エネルギー的には不利である。

3.2 冷却水のレジオネラ属菌抑制対策

3.2.1 レジオネラ属菌数目標と検査頻度

冷却水のレジオネラ属菌数目標は、『レジオネラ症防止指針 第4版⁴⁾』の記載を適用し、100CFU/100mL未満とする。100CFU/100mL以上検出された場合は、直ちに菌数を減少させる対策を実施し、対策後は不検出（10CFU/100mL未満）を確認する。

検査の頻度は、『防止指針』によれば感染危険度により、必要に応じてから1年に2回以上である。ただし冷却水のレジオネラ属菌数は変動が大きいので、抑制対策を確立するまでは頻繁（例えば毎月）に検査を行い、菌数の実態を把握して改善することが望ましい。対策確立後は、1年に2回（夏季を含む）等として、レジオネラ属菌の抑制状態を確認する。

3.2.2 年間計画の作成と運用

冷却水のレジオネラ属菌対策は、年間計画を作成し作業項目と内容、実施時期、担当者を明確にして運用する。作業項目は、

冷却塔の点検・清掃、水管の化学洗浄、水処理剤の注入管理、レジオネラ属菌検査、水処理設備メンテナンス等がある。緊急対応として、レジオネラ属菌が検出された時の化学洗浄を含む手順を明確にしておく。冷却水処理は水処理剤や化学洗浄剤の供給、水質検査・レジオネラ属菌検査を水処理メーカーに委託することが多いので、水処理メーカーとの役割分担を明確にする。

3.2.3 冷却水の処理方法

冷却水のレジオネラ属菌抑制対策は、通常の水処理である「スケール防止、腐食防止、スライム（バイオフィーム）防止」に加えて行う。具体的な処理技術は、冷却水の塩類濃度調整と冷却水処理剤（抗レジオネラ薬剤含む）の継続的添加、及び化学洗浄である。また、冷却水の運転方法の対策も実施する。

1) 冷却水の塩類濃度調整

冷却水は冷却塔で潜熱を放出する時に蒸発するので、運転とともに濃縮する。冷却水が濃縮するとカルシウム、シリカ、炭酸水素、塩化物等の塩類濃度が高くなり、スケール生成（炭酸カルシウム、シリカ）、腐食（炭素鋼、銅）が起きる。これら障害を防止するために、冷却水の塩類濃度調整及び水処理剤の添加を行う。冷却水自動ブロー装置は、冷却水の電気伝導率を連続測定し、塩類濃度を一定に保つ。自動ブロー装置と薬注装置を含む、自動化した冷却水管理システムを図3⁵⁾に示す。自動化したシステムで冷却水を管理することで、各種障害と過剰ブローを防止するので、トラブルのない節水運転が可能となる。

2) 冷却水処理剤の種類

冷却水処理剤として使用する化学物質は、スケール防止剤はホスホン酸やポリカルボン酸、腐食防止剤は亜鉛やリン化合物、ベンゾトリアゾール等である。スライム防止とレジオネラ属菌抑制には、バイオサイド（殺生物剤）が使用される。

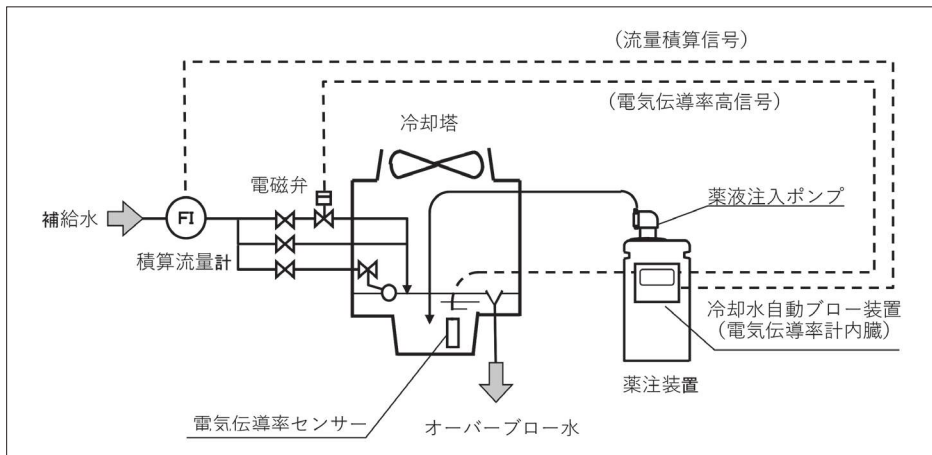


図3 冷却水自動ブロー装置と薬注装置

表1 冷却水処理剤の種類、機能と添加方法

種類 機能	一液処理用	二液処理用	
	多機能型薬剤	防食・防スケール剤	単一機能型薬剤（バイオサイド）
スケール防止	○	○	
腐食防止（軟鋼）	○	○	
腐食防止（銅）	○	○	
スライム防止	○		○
レジオネラ抑制	○		○
添加方法	補給水量に比例して、所定濃度を連続的に添加。冷却水中の濃度は一定となる		週間タイマーで間欠（衝撃的）添加

冷却水のレジオネラ属菌対策に使用するバイオサイドには、各種の化学物質があり、レジオネラ属菌に対する有効濃度、接触時間は様々である。また複数の化学物質を併用して、相乗効果を発揮させることもある。

冷却水処理剤のタイプには、一液処理用（多機能型薬剤）と二液処理用（単一機能型薬剤：バイオサイドと防食・防スケール剤）があり、機能と添加方法を表1¹⁾に示す。冷却水処理剤はメーカーが提示する添加方法、使用濃度で薬注装置を使用して冷却水に自動的に添加する。

3) 抗レジオネラ用空調水処理剤

冷却水処理剤は使用者が、スケール・腐食防止剤やバイオサイドの化学物質原料を直接購入して使用することは殆どなく、水

処理メーカーが独自の組成を調製した製品として販売し、使用方法を提供している。レジオネラ属菌対策に使用する水処理剤は、「抗レジオネラ用空調水処理剤協議会」の登録薬剤であることが望ましい。同協議会は、空調用冷却水処理剤のメーカー16社で構成され、有効かつ安全な抗レジオネラ薬剤の供給とレジオネラに関する知識の普及を目的としている。水処理剤の自主基準（薬剤の有効性、安全性の確認等）を制定、合致する製品の登録制度を運用し、ホームページ（<https://www.legikyo.gr.jp/>）にリストを公表している。

4) 化学洗浄

冷却水では、バイオサイドを使用しているも徐々にバイオフィルムが付着する。バ

表2 化学洗浄の使用薬品と使用方法

使用薬品	使用方法	薬品使用量*と特徴
過酸化水素 (35%品)	冷凍設備の運転を停止し、1～3%で数時間循環後、中和・全換水 バイオフィームが厚い場合の洗浄に適する	35%過酸化水素水を600kg発泡して厚いバイオフィームを剥離 使用量が多く手間がかかる
塩素剤 (12%次亜塩素酸Na)	設備運転時、残留塩素5～10mg/L添加数時間循環、必要に応じブロー バイオフィームが軽微な時の洗浄に適する	12%次亜塩素酸Naを1kg×数回 残留濃度低下時は補充添加 使用量が少なく済む
グルタルアルデヒド製剤品 ビス型第4アンモニウム製剤品	設備運転時、製剤品100～500mg/Lを添加数時間循環、必要に応じブロー バイオフィームが厚くなる前に使用する	メーカーの製剤品を5kg 殺菌効果が強い、使用量は少なめであり、手間がかからない

*薬品使用量は、冷却水の保有水量が10m³の時の計算値

イオフィームはレジオネラ属菌増殖の場となり、またバイオサイドの有効成分を消費するので、定期的及び必要に応じて洗浄除去する。

物理洗浄は、人手によるブラシや高圧ジェットによる除去と換水である。冷却塔や熱交換器のメンテナンス上は有用だが、手が届かない箇所を洗浄できないこととバイオフィーム残渣を殺菌しないので、レジオネラ属菌対策としては不十分である。

化学洗浄は、冷却水全体のバイオフィームを除菌洗浄するので、レジオネラ属菌対策として有効である。使用する化学薬品は、過酸化水素、塩素剤、有機系殺菌剤等があり、使用方法を表2¹⁾に示す。

化学洗浄は、少なくとも1年に一度の水管清掃が建築物環境衛生管理基準で示されているが、実際はそれに加えて適切なタイミングで行う。冷却水の使用開始時と終了時、運転が高負荷になる夏季、設備休止後の運転再開時、及びレジオネラ属菌が100CFU/100mL以上検出された時である。

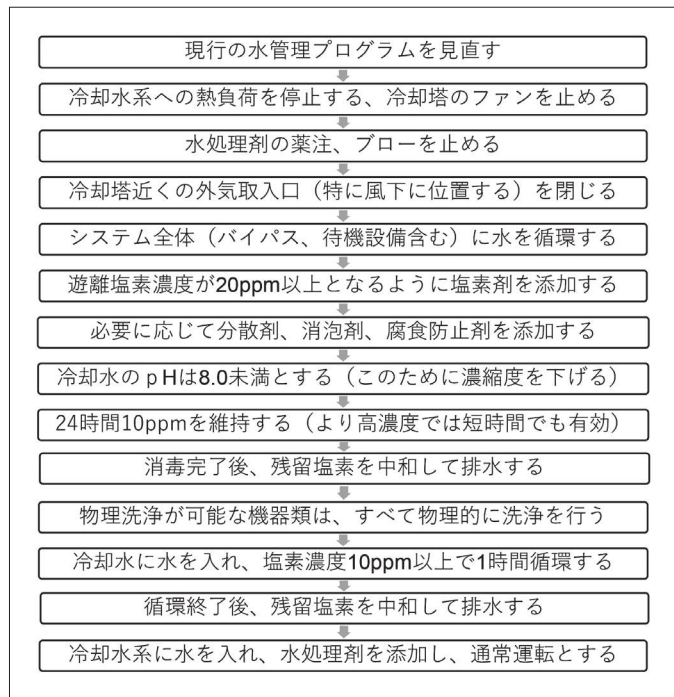


図4 冷却塔のオフライン緊急消毒洗浄の手順（文献3より作成）

CDCは、レジオネラ症発生の疑いがある時、対象冷却塔のオフライン緊急消毒洗浄の手順を示している（図4^{1,3)}）。

5) 冷却水の運転方法

前述のレジオネラ属菌抑制対策を効果的にするために、以下の運転方法が推奨されている³⁾。

- ・水温を可能な限り低く、レジオネラ増殖の好適範囲（25～45℃）外で運転する
- ・低流量の配管、行き止まり配管は、週に一度フラッシングする
- ・冷却塔が複数ある時は、水の停滞を避けるため順次切り替えて運転する
- ・運転停止の期間中は、週に3回は冷却水を循環させる

上記に加えて、建築物環境衛生管理基準では、以下の対応が示されている。

- ・冷却塔に供給する水は、水道水並みの水質とする
- ・使用開始時、及び1月に一回以上汚れを点検し、必要に応じて清掃する
- ・1年以内ごとに一回、冷却塔と水管の清掃を行う

3.3 処理効果の評価と改善

レジオネラ属菌抑制対策の結果、レジオネラ属菌数が目標を満たしているかどうかは、レジオネラ属菌検査を行わなければわからない。冷却水のレジオネラ属菌数は様々な要因（季節、運転条件では休日後の運転再開、設備の切替え、水処理剤の添加前／後等）により変動する。従ってレジオネラ属菌検査は、処理効果が不十分になりやすい時に高頻度に行うことで、年間を通じての効果評価ができる。

抗レジオネラ用水処理剤を使用してもレジオネラ属菌が検出されることがあり、主な原因を示す。

- ・薬剤の添加量や濃度が不足：薬注装置の管理不良、添加濃度の設定ミス、冷却水の換水量（ブロー）が多い
- ・バイオサイドの有効成分濃度が低下：バイオフィームにより消費される、冷却水滞留時間が長く分解する
- ・レジオネラの増殖環境が存在：スライム（バイオフィーム）がある、土砂等の堆積物がある

これら原因に対して改善策を実施後、再度

レジオネラ属菌検査を行い評価する。この過程を繰り返すことにより、レジオネラ属菌抑制対策を確立する。

4. まとめ：水処理メーカーとの連携

冷却塔はレジオネラ症の感染源として重要である。防止対策として冷却水のレジオネラ属菌抑制は有効であり、本稿に記載の対策を実施する。

レジオネラ属菌抑制対策を含む冷却水処理は通常、冷却塔設備の所有者・管理者が、水処理メーカーに水処理剤、化学洗浄剤と処理技術、及びレジオネラ属菌検査の提供を委託する。レジオネラ属菌抑制対策の成否は、水処理メーカーに依存する割合が高いと言える。このため水処理メーカーの選定には、抗レジオネラ用空調水処理剤協議会の構成会社であり、登録薬剤を有することを参考にする。

冷却塔設備の所有者・管理者は、適切な水処理メーカーと連携することにより、冷却水のレジオネラ属菌抑制対策を確実に実施することが望ましい。

文 献

- 1) 縣邦雄（2023）第10章、レジオネラ研究者の会編著、レジオネラ属菌を知る 第4版、pp151-169、(株)M's クリエイト、神奈川
- 2) 田部井由紀子、武藤千恵子、梅津萌子、他(2020) 東京都内の冷却塔水におけるレジオネラ属菌検出状況.防菌防黴, 48, 293-298
- 3) CDC (2021) Toolkit for Controlling *Legionella* in Common Sources of Exposure (*Legionella* Control Toolkit), U.S. Department of Health and Human Services
- 4) 館田一博、小瀬博之、古畑勝則、他 (2017) レジオネラ症防止指針 第4版、(公財)日本建築衛生管理教育センター
- 5) 縣邦雄 (2014) 空調設備におけるレジオネラ対策, ビルと環境, 2014.3.1, 33-40