

技術レポート25

# 空調設備用水の水質管理

平成19年3月

社団法人  
大阪ビルメンテナンス協会  
設備保全部会

## 目次

1. はじめに	1
2. 空調設備用水の水質管理	2
3. 冷却水について	2
3. 1 水質管理を行う理由	2
3. 2 冷却水の障害について	5
3. 3 障害の抑制	15
3. 4 冷却水の水質管理	19
4. 冷温水について	26
4. 1 冷温水の障害について	26
4. 2 冷温水に用いる薬剤	27
4. 3 冷温水の水質管理	29
5. 引用参考文献	32
6. 参考事例	33
資料	34

## 1. はじめに

ビルにおいて空調設備は最重要設備の一つである。近年、その空調設備は個別型の空冷式が主流を占めているが、大型のビルにおいては室外機の設置場所の問題や、省エネ・省コストの面から水冷式も多く存在する。その水冷式の空調機の冷却水や冷温水に問題が起こることが多々あることから、ここではその問題の原因や解決法の説明、その上で総合的に水質管理を行なう方法等について解説しました。

環境問題が重視される昨今、安全と衛生、省エネ、省コストにも考慮して水質管理を行なっていく上で、本資料が少しでも役に立つことが出来れば幸いです。

## 2. 空調設備用水の水質管理

空調設備用水は主には次の2つがあげられます。

1. 冷却水
2. 冷温水

日本冷凍空調工業会（JRA）の水質ガイドラインでは別紙（1）（2）のように区分してそれぞれの水質基準値を定めています。

### 3. 冷却水について

#### 3. 1 水質管理を行う理由

##### （1）トラブル（障害）回避の為

###### ①腐食障害

因子；溶存酸素、pH、溶存塩類（Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>等）、温度、流速等

###### ②スケール障害

因子；カルシウム、シリカ、鉄さび、亜鉛

###### ③スライム障害

因子；水温、酸素、日光、栄養源（COD、BOD、窒素、シリカ等）

###### ④レジオネラ属菌による障害

因子；水温、酸素、栄養源

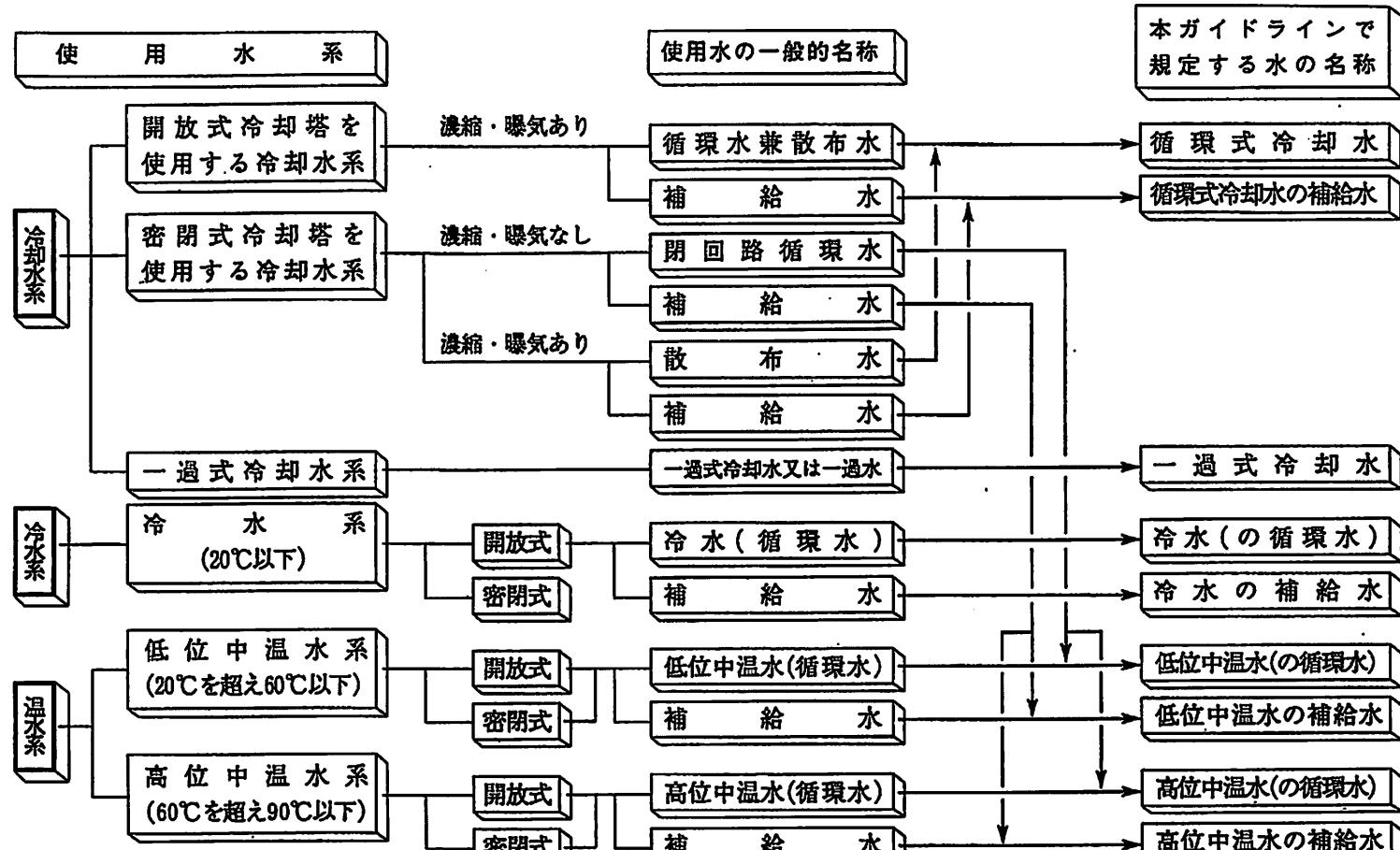
##### （2）省コストの為

###### ①水道代

###### ②電気またはガス代

###### ③機械の延命

###### ④掃除代（洗浄）



注)冷水系・温水系の開放式と密閉式は水質規定の上では同一の扱いとする。

対象水の詳細と本ガイドラインで規定する水との関係

# 冷却水・冷水・温水・補給水の水質基準値

平成5年11月改訂  
社団法人 日本冷凍空調工業会

項目	冷却水系			冷水系		温水系				傾向	
	循環水		一過式			低位中温水系		高位中温水系			
	循環水	補給水	一過式	循環水 (20°C以下)	補給水	循環水 (20~60°C)	補給水	循環水 (60~90°C)	補給水	腐食	スケール 生成
基準値項目	pH(25.0°C)	6.5~8.2	6.0~8.0	6.8~8.0	6.8~8.0	7.0~8.0	7.0~8.0	7.0~8.0	7.0~8.0	○	○
	電気伝導率(mS/m)	80 以下	30 以下	40 以下	40 以下	30 以下	30 以下	30 以下	30 以下	○	○
	塩素イオン(mg/l)	200 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	30 以下	30 以下	○	
	硫酸イオン(mg/l)	200 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	30 以下	30 以下	○	
	Mアルカリ度(mg/l)	100 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	○	
	全硬度(mg/l)	200 以下	70 以下	70 以下	70 以下	70 以下	70 以下	70 以下	70 以下	○	
	カルシウム硬度(mg/l)	150 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	50 以下	○	
	イオン状シリカ(mg/l)	50 以下	30 以下	30 以下	30 以下	30 以下	30 以下	30 以下	30 以下	○	
参考項目	鉄(mg/l)	1.0 以下	0.3 以下	1.0 以下	1.0 以下	0.3 以下	1.0 以下	0.3 以下	1.0 以下	○	○
	銅(mg/l)	0.3 以下	0.1 以下	1.0 以下	1.0 以下	0.1 以下	1.0 以下	0.1 以下	1.0 以下	○	
	硫化物イオン(mg/l)	検出されないこと	検出されないこと	検出されないこと	検出されないこと	検出されないこと	検出されないこと	検出されないこと	検出されないこと	○	
	アンモニウムイオン(mg/l)	1.0 以下	0.1 以下	1.0 以下	1.0 以下	0.1 以下	0.3 以下	0.1 以下	0.1 以下	○	
	残留塩素(mg/l)	0.3 以下	0.3 以下	0.3 以下	0.3 以下	0.3 以下	0.25 以下	0.3 以下	0.1 以下	○	
	遊離炭酸(mg/l)	4.0 以下	4.0 以下	4.0 以下	4.0 以下	4.0 以下	0.4 以下	4.0 以下	0.4 以下	○	
	安定度指数	6.0~7.0	—	—	—	—	—	—	—	○	○

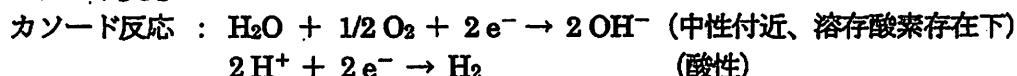
- 1)項目の名称とその用語の定義及び単位はJIS K 0101による。
- 2)欄内の○印は腐食又はスケール生成傾向に関する因子であることを示す。
- 3)温度が高い場合(40°C以上)には一般的に腐食性が著しく、特に鉄鋼材料が何の保護被膜もなしに水と直接触れるようになっている時は防食薬剤の添加、脱気処理など有効な防食対策を施すことが望ましい。
- 4)密閉冷却塔を使用する冷却水系において、閉回路循環水及びその補給水は温水系の、散布水及びその補給水は循環式冷却水系の、それぞれの水質基準による。
- 5)供給・補給される源水は、水道水(上水)、工業用水及び地下水とし、純水、中水、軟水処理水などは除く。
- 6)上記15項目は腐食及びスケール障害の代表的な因子を示したものである。

### 3. 2 冷却水の障害について

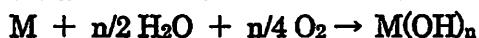
#### 3. 2. 1 腐食障害

冷却水の循環配管に使用されている金属の腐食機構は、金属の種類や環境によっても異なります。電気化学的な金属腐食の進行過程の代表例を以下に示します。

金属が腐食する場合、金属の表面に局部電池が形成され、アノード（陽極）とカソード（陰極）では、それぞれ次式に示す化学反応が進行します。式中、Mは金属、 $M^{n+}$ は金属イオン、nは価数、 $e^-$ は電子を表します。



カソード反応の機構は液のpH等によって異なりますが、冷却水系のpHは一般に中性付近ですので、総体としての腐食反応は主に次の形となり金属の水酸化物が生成します。



すなわち、水中の金属の表面には種々の原因によって電位が異なる部分が存在し、それが局部的に短絡電池を形成し、アノード部に相当する金属表面から金属がイオンとして液中に溶出して腐食が進行すると考えられています。

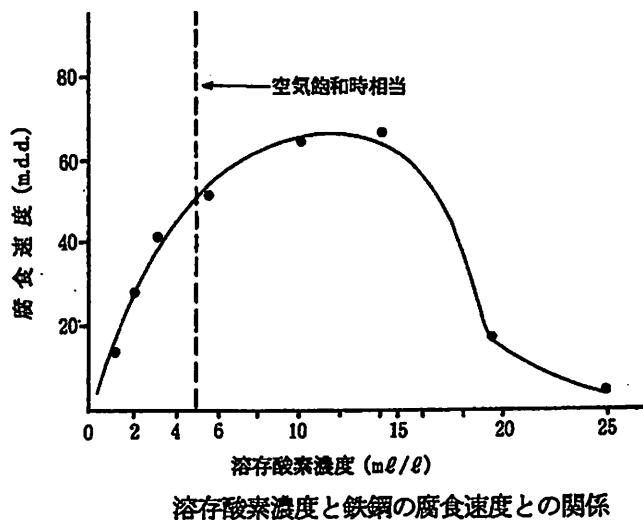
金属の表面が腐食生成物（金属の水酸化物や酸化物等）の皮膜で覆われると、腐食が抑制される場合があります。しかし、一般には腐食生成物のみによる皮膜は不安定であり、そのままでは腐食の進行を抑えることは困難です。腐食を抑制するためには、冷却水等に防食剤を添加して、皮膜を安定化させる（皮膜の不動態化）、あるいは、新たな防食皮膜を形成させる（不動態化皮膜・沈殿皮膜の形成）ことが有効です。

### 3. 2. 2 腐食を促進させる要因

腐食に影響する種々の要因について、前記の腐食反応機構と関連付けて以下に示します。

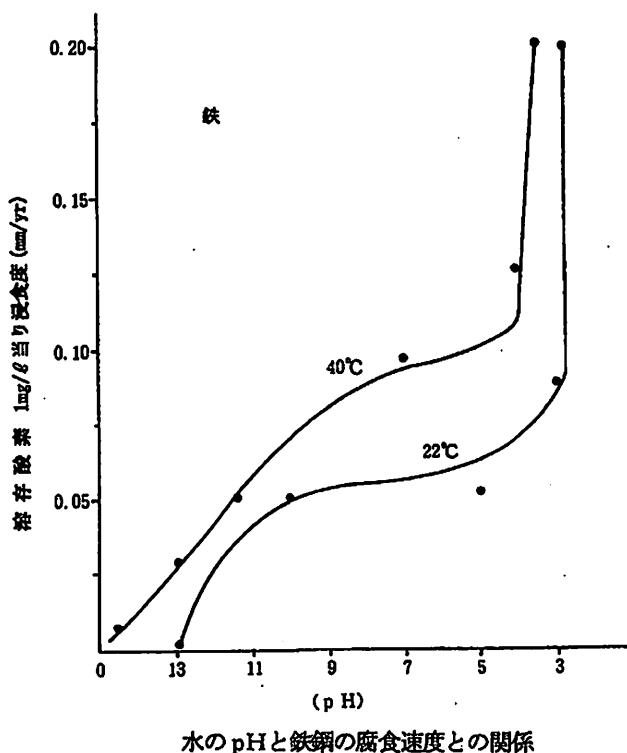
#### ① 溶存酸素

水中の溶存酸素濃度が高くなると、カソード反応が促進され腐食が進行します。但し、下図に示すように、溶存酸素濃度を極端に増加させると、安定な防食皮膜（不動態皮膜）が生成して腐食が抑えられる場合もあります。

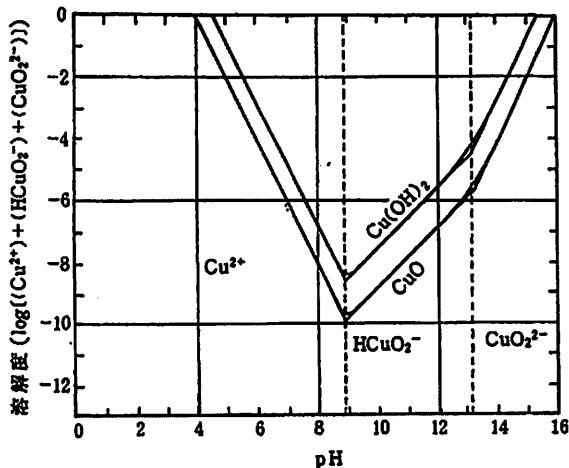


#### ② pH

特にpHが低い場合（一般的にはpH<4）には、水素( $H_2$ )が発生するカソード反応が起こり、下図に示すように腐食速度が著しく増大します。



また、pHは防食皮膜の溶解度にも影響を与えます。下図に示すように、銅の腐食生成物である $\text{Cu}(\text{OH})_2$ や $\text{Cu}_2\text{O}$ の溶解度はpHが約9のときに最小となるので、pH=9付近で最も安定な防食皮膜ができやすいといえます。

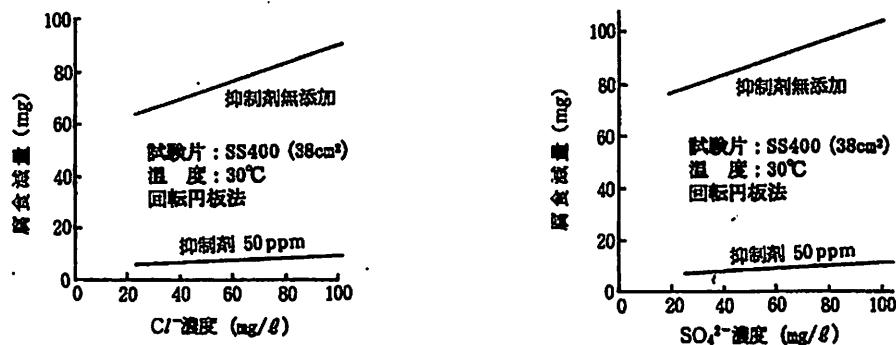


水のpHと銅の腐食速度との関係

### ③ 溶存塩類

溶存塩類が少ない場合、カソード反応で生成した水酸化物イオン( $\text{OH}^-$ )はアノード反応で生成した金属イオン( $\text{M}^{n+}$ )と直ちに反応するので、反応生成物( $\text{M}(\text{OH})_n$ )の皮膜が金属表面直近にできて腐食進行を妨げやすい状態となります。

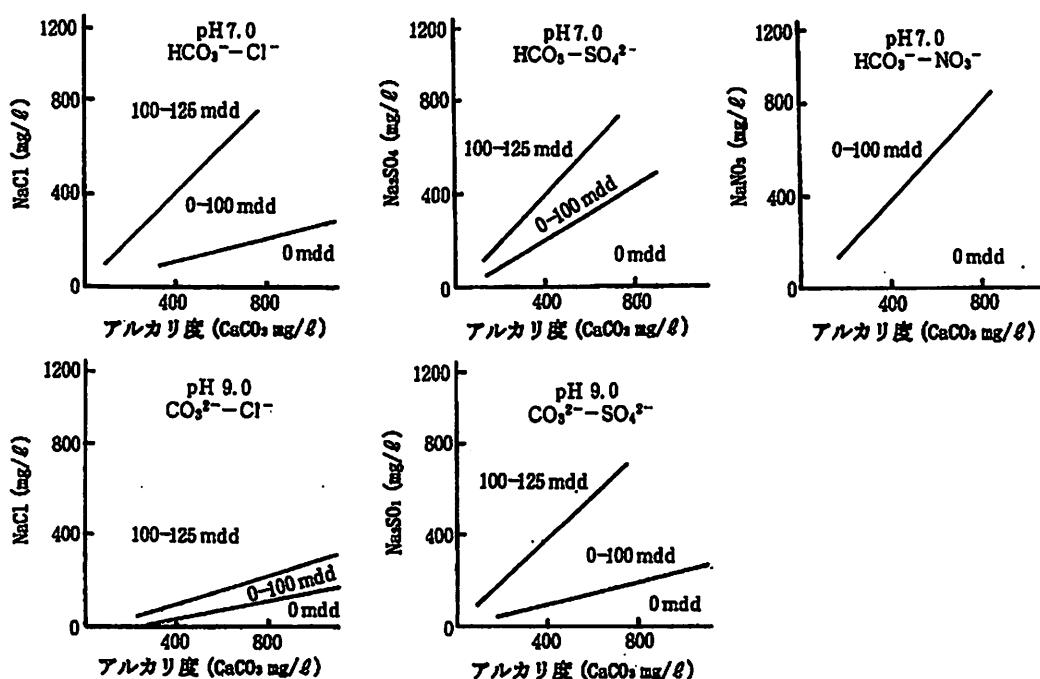
これに対して、例えば水中の食塩( $\text{NaCl}$ )濃度が高くなると、 $\text{OH}^-$ は $\text{NaOH}$ の形で、 $\text{M}^{n+}$ は $\text{MCl}_n$ の形で水中に拡散しやすくなるので、 $\text{M}(\text{OH})_n$ は金属表面から離れた場所で生成するようになります。したがって、強固な皮膜ができにくくなり、結果として腐食が進行しやすくなると考えられます。 $\text{NaCl}$ 濃度・ $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 濃度と腐食量との関係を、それぞれ、下図に示します。



塩化物イオン・硫酸イオンと鉄腐食量との関係

また、特にハロゲンイオン ( $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Br}^-$ ) は、防食皮膜を攻撃して局部腐食（孔食・隙間腐食）を引き起こしやすい性質があります。

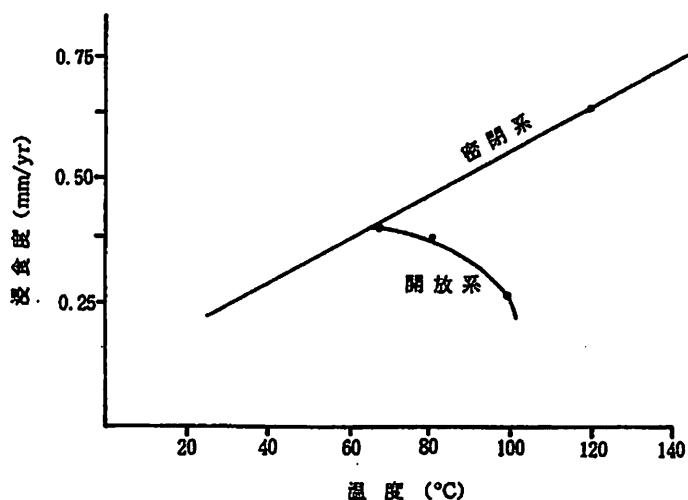
一方、リン酸塩、亜硝酸塩、炭酸塩、ケイ酸塩等の弱酸の塩は、水中でのイオンへの解離度が小さいので、強酸の塩（塩酸塩、硫酸塩等）の場合のようなイオンの拡散が起こりにくく、腐食の進行を促進することは少ないといえます。むしろ、弱酸の塩には、それ自身が鉄等と反応したり、鉄の酸化を助けたりして、強固な防食皮膜（不動態皮膜）の形成を促進する働きを示すものが多いのが特徴です。更に、リン酸塩・炭酸塩等には、水中のカルシウム ( $\text{Ca}$ ) と反応することで不溶性の皮膜（沈殿皮膜）を形成して腐食を防止する作用もあります。 $\text{CaCO}_3$  と強酸一強塩基の塩 ( $\text{NaCl}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaNO}_3$ ) とが共存する場合の腐食速度の傾向を下図に示します。



M-アルカリ度と鉄の腐食速度との関係

#### ④ 温度

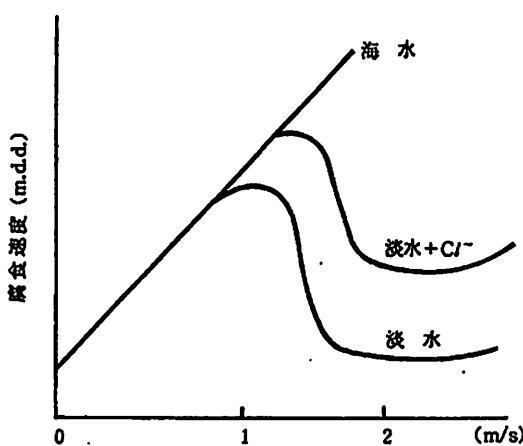
水温が上昇すると、溶存酸素の拡散速度が大きくなることにより腐食速度も増大します。但し、温度が上昇すると水中での酸素の溶解度が低下するので、下図に示すように、開放系においては60~70°C程度で腐食速度が最大になるといわれています。



温度と鉄腐食速度との関係

#### ⑤ 流速

下図に水の流速と腐食速度との関係を示します。一般には、流速が増すと、金属表面に供給される溶存酸素量が増えカソード反応が促進されるので、腐食速度は増加します。しかし、流速が更に増大すると、酸素が鉄の不動態化する効果の方が上回ることにより、腐食速度が低下します。尚、海水のように溶存塩類濃度が高い場合には、流速を増しても不動態化は促進されず腐食速度は増加しつづけます。



流速と鉄腐食速度との関係

また、流速が極端に高速になると、防食皮膜や金属表面そのものが物理的に損傷を受けることにより、腐食が急激に起こることがあります。

### 3. 2. 3スケール障害

水中の不溶解成分が配管内に付着・堆積したものをスケールと呼びます。スケールには主にカルシウム、マグネシウム、シリカ、鉄さび等からなる無機物があり、これを放置すると閉塞障害・局部腐食を引き起こすほか、熱交換器内のパイプの伝熱面に付着すると熱交換率の低下による運転コストの増加にもつながります。

#### ① カルシウムスケール

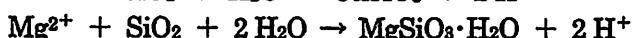
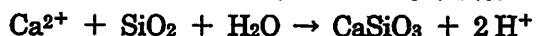
冷却用水中には、一般に重炭酸カルシウム  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  が含まれています。この  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  が熱交換器中などで加熱されると、炭酸カルシウム  $\text{CaCO}_3$  の沈殿が生じます。



また、カルシウムイオン  $\text{Ca}^{2+}$  は、種々の陰イオンと結合して塩を生成します。特に硫酸イオン  $\text{SO}_4^{2-}$  が多く存在する系や高温になる系では硫酸カルシウム  $\text{CaSO}_4$  のスケールが生成する可能性があります。

#### ② シリカスケール

シリカ  $\text{SiO}_2$  はそれ自体がガラス状スケールになりうるとともに、カルシウムやマグネシウムと反応して不溶性の珪酸カルシウム  $\text{CaSiO}_3$  や珪酸マグネシウム  $\text{MgSiO}_3$  を生成します。



これらのシリカスケールは、 $\text{CaCO}_3$  や  $\text{CaSO}_4$  よりも溶解度が低く且つ硬いスケールとなりやすいので、いったん生成させると取り除くのが非常に困難です。

#### ③ 鉄さび

$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  や  $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  等の鉄さびもスケールとなって障害を引き起こすことがあります。

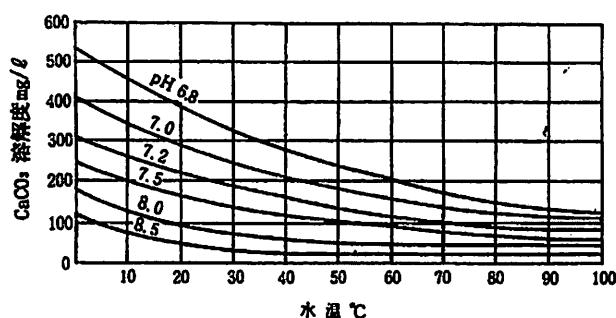
### 3. 2. 4スケール生成を促進させる要因

#### ① カルシウムスケールの場合

スケールの金属面への付着は、伝熱効率の低下等の障害を引き起こす反面、金属面を保護して腐食を防止する効果を持っています。冷却水系で最も一般的なスケール成分である  $\text{CaCO}_3$  が析出する状態にあるかどうかに注目して、水がスケールを生成させやすい状態にあるのか、腐食を起こしやすい状態にあるのかを推定する指標として、炭酸カルシウム飽和指数が提案されています。

$\text{CaCO}_3$  が析出する状態にあるかどうかは、 $\text{CaCO}_3$  の溶解度に影響する pH・温度、 $\text{Ca}^{2+}$ 濃度（カルシウム硬度）、 $\text{CO}_3^{2-}$ 濃度（Mアルカリ度）等によって決まります。

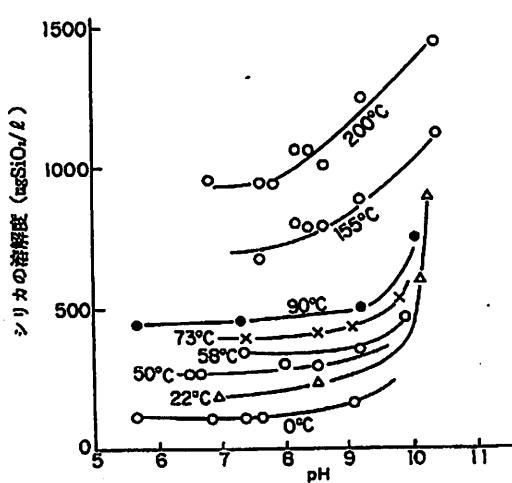
下図に示すように、pH が高くなるほど、温度が高くなるほど、 $\text{CaCO}_3$  の溶解度は小さくなるので、スケールが生成しやすくなります。



炭酸カルシウムの pH・温度と溶解度の関係

#### ② シリカスケールの場合

下図に、温度・pH と  $\text{SiO}_2$  溶解度との関係を示します。水温が低くなるほど、pH が低くなるほど、 $\text{SiO}_2$  の析出が起こりやすくなることがわかります。



シリカの溶解度と pH の関係

一方、pH が高く水温が高いほうが、珪酸マグネシウムの析出が起こりやすいというデータもあることから、シリカスケールの析出防止にはシリカ濃度の管理が最も重要といえます。

### 3. 2. 5 スライム障害

微生物の生育に適した環境がそろうと、水中に藻類・細菌（バクテリア）・真菌（カビ）等が繁殖します。また、これらの微生物及び分泌される粘性有機質が軟質泥状物（スライム）を形成します。藻やスライムが閉塞トラブルを起こすとともに、悪臭や健康障害の原因となる可能性もあることから、微生物の繁殖を防止することは非常に重要です。

#### ① 藻類

水中で繁殖する植物の大部分は藻類であり、細胞内の葉緑素により光合成を行い、炭酸ガスから酸素を生成します。持っている色素の種類や細胞の数・形状等により非常に多くの種に分類され、代表的なものとしては緑藻類、藍藻類、珪藻類があります。

#### ② 細菌類（バクテリア）

特に水中で集落を形成しやすい細菌類として代表的なものには、ズーグレア属細菌、鉄バクテリア、硫黄バクテリアがあります。

ズーグレア属細菌は、スライムを形成する代表的なものであり、有機物で汚染された水中で生育速度が速く樹枝状に広がって集合体を形成します。

鉄バクテリアはミズワタともいわれ、鉄の多い水中で第1鉄イオン  $Fe^{2+}$  を第2鉄イオン  $Fe^{3+}$  に酸化する性質を持っています。鉄があると褐色を呈し、赤水・臭い水の原因にもなります。

硫黄バクテリアは、酸素の少ないところで発育し、硫黄・硫化物を酸化して硫酸を生成するので装置の腐食が促進されます。

硫酸塩還元菌は、嫌気性下で硫酸塩を還元して硫化物を生成し、腐食や悪臭の原因となります。

#### ③ 真菌類（カビ）

特に有機物で汚染された水中でミズカビ・糸状菌が見られます。菌糸や遊走子を有するのが特徴です。

### 3. 2. 6 藻・スライムの増殖を促進させる要因

藻・スライムの増殖に関する因子としては、水温、pH、栄養源、日当たり、酸素などがありますが、増殖に適した環境は微生物の種類によって大きく異なります。また、抗菌性の成分に対しても次第に耐性を持つようになることもあります。

冷却水系で増殖しやすい主な微生物について、代表的な生育条件を下表に示します。

微生物の種類と生育条件

微 生 物	pH	温 度
藻 類	緑 藻	5~9
	藍 藻	6~9
	珪 藻	5~9
バクテリア	ズーグレア	4~8
	鉄バクテリア	7~10
	硫黄バクテリア	0.6~6
	硫酸塩還元菌	4~8
真 菌 類	2~8	20~30°C

### 3. 2. 7 レジオネラ属菌による障害

建物の冷却水は、空調用冷凍機の冷却に用いられます。6月から9月末までの冷却水の水温は本州中部で15°Cから34°Cであるといわれています。補給水には主として水道水が用いられます。節水のために濃縮倍率を上げて運転すると有機物質などが濃縮されるので、レジオネラ属菌を含めて微生物の増殖に好適となります。冷却塔は増殖した菌を空中へ飛散させて、レジオネラ症防止のために最も注意を払わねばなりません。

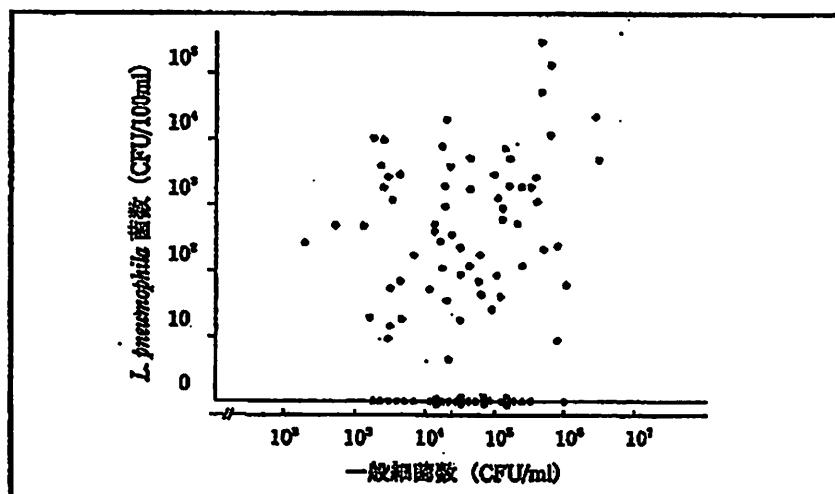
### 3. 2. 8 レジオネラ属菌を増殖させる要因

#### ①温度

レジオネラ属菌の発育至適温度は36℃前後(発育可能温度は25~43℃)で、60℃までは生存可能です。冷却水の温度は5月から9月にかけて最適温度に近づきます。水温が制御されない冷却水では、冬季にはかなり低い温度の冷却水が循環しますが、ファン発停・回転数制御・流量制御によって水温を調節している場合には、その設定温度に応じて、外気温の低い季節でも水温が低くならないので、レジオネラ属菌の増殖を助けることがあります。

#### ②共存微生物

レジオネラ属菌は各種の原生動物に寄生したり、藻類や他の細菌の代謝産物を利用します。冷却水には藻類や原生動物、各種の細菌が生息しているので、レジオネラ属菌の増殖に適しています。冷却塔の構造上、これらの微生物はレジオネラ属菌を含めて、大気中の砂塵や補給水とともに冷却水中に入れます。補給水が水道水の場合は一定量の塩素を含んでいますが、補給水量は循環水量の1%に過ぎないため有効塩素濃度は維持できません。井水等の天然水には塩素は含まれません。水道水も曝気によって塩素活性は消失します。なお、冷却水中に一般細菌数とレジオネラ属菌数には一定の相関関係は認められていません。



冷却塔水中の *L. pneumophila* とその他の一般細菌数の相関

### 3. 3 障害の抑制

#### 3. 3. 1 薬剤による抑制

##### ①腐食抑制剤

水中で用いる防食剤を、その防食皮膜の特性より分類すると 下表に示すように、酸化皮膜型(不動態皮膜型)、沈殿皮膜型、吸着皮膜型の3種に分けることができます。このうち沈殿皮膜型は、更に水中イオン型と金属イオン型に分けられます。

防食皮膜の特性による防食剤の分類

防食剤の分類	代表的な防食剤名	防食皮膜の模式図	防食皮膜の特徴
不動態皮膜型 (酸化皮膜型)	クロム酸塩 亜硝酸塩 モリブデン酸塩 ポリマー	酸化皮膜 (ex. $\gamma\text{-Fe}_3\text{O}_4$ ) 素地金属	緻密 薄膜(30~200Å) 素地金属との密着性大 防食性良好
沈殿皮膜型	水中イオン型 [水中のカルシウムイオンなどと不溶性の塩を生成するもの]	重合りん酸塩 正りん酸塩 ホスホン酸塩 ポリマー	沈殿皮膜 (ex. 正りん酸カルシウム +重合りん酸カルシウム) 素地金属
	金属イオン型 [防食対象となる金属のイオンと不溶性の塩を生成するもの]	メルカプトベンゾチアゾール ベンゾトリアゾール トリルトリアゾール	沈殿皮膜(ex. 鋼-ベンゾトリアゾール錆塩) 素地金属
吸着皮膜型	アミン類 界面活性剤類	ex. アミノ基 吸着皮膜 炭化水素類 素地金属	疏水・非水溶液中など、金属表面が清浄な状態において、良好な吸着層が形成される。淡水中の炭素鋼表面のような非清浄面では吸着層は形成されにくい。

##### a. 不動態皮膜型防食剤

亜硝酸塩、モリブデン酸塩、クロム酸塩などにより金属表面に均一な酸化皮膜(防食皮膜)を形成させ、この酸化皮膜が水中の溶存酸素に対する拡散障壁として作用するものです。

ここで形成される酸化皮膜は薄く緻密で素地金属との密着性も大きく、極めて防食性は優れています。しかし、低濃度(所定濃度以下)で長期間使用すると局部腐食(孔食)が生じやすくなるため濃度管理が重要です。また、コストや排水の問題から通常は開放系の冷却水に用いられることはありません。更に、クロム酸塩はその毒性や排水の問題から現在は殆ど使用されることはありません。

##### b. 沈殿皮膜型

###### ア. 水中イオン型

水中イオン型は、重合リン酸塩、ホスホン酸塩、有機ポリマーを用い、これらと水中に予め存在するカルシウム等の二価イオンと不溶性の塩を生成させ、この不溶性塩を管壁に沈殿皮膜として吸着させ、溶存酸素障壁とするものです。従って、水中に適当量の二価イオンが存在しなければ満足な防食効果は得られません。そのため、硬度成分の低い水を使用しているところや、冷却水の濃縮がなされない系(低濃縮系)では、同じ二価イオンである「硝酸亜鉛などの亜鉛塩」を同時に添加して沈殿皮膜を形成せたりします。

水中イオン型は、重合リン酸塩と亜鉛塩を組み合わせたものが代表的な薬剤ですが、添加濃度を必要以上に増加させると生成する不溶塩が多量になりすぎリン酸カルシウムやリン酸亜鉛が“スケール化”するため、濃度管理に細心の注意が必要です。また、重合リン酸塩は水中に長期間滞留する系や熱負荷の高い系では、加水分解や熱分解を起こし単なるオルトリリン酸化してスケール化することも知られています。

これらのことから近年では、冷却水系の防食剤として水中で極めて安定でリン濃度も低い“ホスホン酸塩”、“ポリカルボン酸”あるいはこれらの共重合物などの有機ポリマーが広く使用されるようになりました。

#### イ. 金属イオン型

金属イオン型沈殿皮膜型防食剤は、防食対象金属のイオンと不溶性の塩を生成するもので、銅及び銅合金に対し優れた防食効果を示す、ベンゾトリアゾールやメルカプトベンゾチアゾールなどがあります。この種の防食剤は少量の添加で優れた防食能を示し、形成される皮膜は緻密で薄く(30Å程度)、過剰に薬剤を添加しても防食皮膜が形成された時点で皮膜の成長が停止することから、水中イオン型のようにスケール化することはありません。

但し、残念ながら鉄材に対して有効なこの種の防食剤は実用化されていないのが現状です。

#### c. 吸着皮膜型

水中で用いるため、金属に吸着し得る極性基と疎水性基を持つ必要があり、この種の防食剤としてはアミン類が代表されますが、金属表面が清浄な状態に保たれている場合のみ有効です。しかし冷却水が通水する系内を清浄な状態に保つことは不可能であり、冷却水系で使用されることはありません。

### ②スケール防止剤

薬剤でスケール防止は可能ですが、薬剤は性能的に限界があり、それを超えると効力が発揮されません。したがって有効範囲内に水質を抑える必要があります。これが冷却水の濃縮管理というものでスケール防止の大重要な要素となります。濃縮管理については又、後ほど説明致します。

1930年代にトリポリリン酸ソーダやヘキサメタリン酸ソーダといった重合リン酸塩が、金属の防食作用に付随して、水中の炭酸カルシウムなどのスケール防止にも有効であることが見いだされて以来、冷却水系や冷水・温水系で広く使用されてきました。しかし、重合リン酸塩は前項でも述べたように、滞留時間の長い系や熱負荷の高い系では分解しスケール化するため、使用範囲が限られるなどの難点がありました。

近年、ポリカルボン酸や、ポリカルボン酸とホスホン酸の共重合物といった合成有機物が、先の重合リン酸塩以上に、防食作用と共に炭酸カルシウムやリン酸カルシウムのスケール防止に有効に作用することが明らかになり、これらの薬剤が広く用いられるようになりました。

代表的なものとして、

- ホスホン酸塩
- マレイン酸ホモポリマー、マレイン酸コポリマー
- アクリル酸ホモポリマー、アクリル酸ターポリマー

などがあり、それぞれ特徴があります。

### ③藻・スライム防止剤

藻・スライム防止剤（スライムコントロール剤）には様々な種類があり、その機能も殺菌、殺藻、細菌増殖抑制、付着防止、剥離・分散などがあり、各々その作用機構に特徴があります。従って、発生したスライム障害の状況を把握し、それにあつた薬剤を選定する必要があります。一般に藻・スライムの防止や抑制に用いられる薬剤は、毒性や皮膚刺激性を有するものが多く、その取り扱いには十分な注意が必要です。以下に現在、冷却水系で使用されている代表的薬剤とその特徴を示します。

#### a.塩素系薬剤

次亜塩素酸ソーダに代表されるもので、冷却水系に存在する微生物や細菌類を殺滅するもので、安価であることから古くから使用されています。しかし、十分な効果がでる pH の範囲が狭い（pH7.3 付近が最も効果が高く、それ以上 pH が高いと殺菌効果が低下する）、藻類に対し効果が劣る、残余効果が小さい、金属に対しての腐食性が強いため高濃度での使用ができない（腐食性をなくすには残留塩素濃度 1mg/l 以下の管理が必要）、酸との反応で有毒ガスを発生するため取り扱いに細心の注意を払わなければならないなどの欠点を有しています。

また、最近では、トリハロメタンなどの生成による発ガン性の問題も提起されており、冷却水系でのスライム抑制としては使用されることが少なくなっています。

#### b.四級アンモニウム塩

スライムを形成する原因である微生物が分泌する粘質物に作用し、付着性を低下させることからスライム抑制に有効であり、また藻類の発育抑制にも効果があることは古くから知られていますが、発泡性がある（近年では、発泡性のないものもあるが）ことや、水中のシリカイオンと反応し不溶性の塩を作り、白濁やスケール化することから冷却水系での使用には制限があり、あまり用いられていないのが実情です。

#### c.臭素系薬剤

塩素系薬剤同様の殺菌効果に加え殺藻効果や付着防止効果もありますが、細菌類に耐性がつきやすいこと、高価であるなどの欠点があります。最近では、総合水処理剤中の一成分として用いている場合もあります。

#### d.イソチアゾリン系

これまでメチルイソチアゾリンに塩素が付加した、5-クロロ-2-メチル-イソチアゾリン-3-オノン（CMT）が主に用いられてきましたが、皮膚刺激（腐食）性が強く、作業者が皮膚に付け薬傷を負う事故が後を絶たないなど、その取り扱いには細心の注意を払わなければなりません。

#### e.水加ヒドラジン

古くからボイラーの清缶剤に使用してきたもので、冷却水系で発生する藻やスライムの生育・繁殖抑制に極めて有効であることが見いだされて以来、総合水処理剤中の配合成分として広く用いられてきました。水加ヒドラジンは金属に対する腐食性が無いだけでなく、循環水中で水と窒素に分解するため毒性が低いなど、冷却水系で使用される薬剤としては優れた薬剤です。

#### ④レジオネラ属菌の抑制

冷却水系に添加する殺菌剤は、レジオネラ属菌に対する殺菌効果とともに安全に使用できることが必要な条件です。冷却水系での水処理剤は、薬事法の規制対象外です。レジオネラ属菌を殺菌するための水処理剤の有効性と安全性については、抗レジオネラ用空調水処理剤協議会が自主基準を定めています。

冷却水中の殺菌剤濃度を一定に維持してレジオネラ属菌を抑制します。殺菌剤濃度を適正に維持することで冷却水は常に殺菌され、確実な効果が得ることができます。

しかし、処理を継続していても耐性菌の出現等の為冷却水中にレジオネラ属菌数が増加する場合もあります。その様な場合は、専門家に相談するとともに、使用薬剤の変更、高濃度の衝撃添加、化学洗浄の実施等を行います。

以下に抗レジオネラ用空調水処理剤協議会が有効性、安全性、環境汚染等を考慮した登録薬剤の一覧を掲げておきます。

#### 登録薬剤原料名一覧

#### 抗レジオネラ用空調水処理剤協議会

成 分
5-クロロ-2-メチル-4-イソチアゾリン-3-オン
2-プロモ-2-ニトロ-1,3-プロパンジオール
2,2-ジプロモ-3-ニトリロプロピオニアミド
1-プロモ-3-クロロ-5,5-ジメチルヒダントイン
N-デシル-N-イソノニル-N,N-ジメチルアンモニウムクロライド
ヒドラジン-水和物
2,2-ジプロモ-2-ニトロ-1-エタノール
過酸化水素
2-ビリジルチオ-1-オキシドナトリウム
ジンクビリチオン
アメトリン
1,3-ジプロモ-5,5-ジメチルヒダントイン
メチレンビスチオシアネット
炭酸ナトリウム・過酸化水素化物
次亜塩素酸ナトリウム
1,5-ペンタンジアール
3-(3,4ジクロロフェニル)-1,1ジメチルウレア
2-(4-チアゾリル)-ベンズイミダゾール
1-ヒドロキシエチリデン-1,1-ジホスホン酸
1,2-ベンズイソチアゾリン-3-オン
2,3,3-トリヨードアリルアルコール
ポリ[オキシエチレン(ジメチルイミノ)エチレン(ジメチルイミノ)エチレンクロライド]
アルキルアンモニウムクロライド

1998年12月

### 3. 4 冷却水の水質管理

前章までに冷却水系での障害及びその抑制等について説明しましたが、では冷却水の水質管理はどの様に行なっていけば良いかを考えていきます。

冷凍機などで吸収した「熱」を冷却塔で水の「蒸発潜熱」を利用して放熱しますが、この時、水だけが蒸発し水の中の溶存物質が揮発することはありません。つまり冷却水に濃縮が起こり、濃縮が進行するほど溶存塩類の濃度が増加します。

冷却水中の 溶存塩類 が増加すると、塩化物イオン ( $\text{Cl}^-$ ) や硫酸イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) などは“腐食”を促進し、水に対して溶解度の小さい硬度成分 ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) やイオン状シリカ ( $\text{SiO}_2$ ) などは析出し“スケール”として系内に付着します。また、冷却水は通常 30~40°C の間で使用されますが、この温度は一般の微生物にとって増殖するのに最も都合の良い温度であるため、藻や各種の細菌の繁殖が盛んになり、いわゆる “スライム” が発生します。

更には、近年問題になっている“レジオネラ症”的原因であるレジオネラ属菌は、藻やスライムが発生している汚れた冷却水中で生育・増殖することが確認されています。

このように冷却塔を循環する冷却水系では、冷却水の濃縮に伴う汚れにより様々なトラブルが発生し、冷凍機をはじめとする機器や設備に多大な悪影響を及ぼします。

例えば、腐食トラブルはコンデンサー銅チューブのパンク（穴あき）事故としてよく知られています。銅チューブがパンクした場合、チューブの入れ替えが必要となり、莫大な費用負担となります。

更には、スケールやスライムがコンデンサー銅チューブや冷却塔に付着すると、熱交換率が極度に低下するため、冷凍能力が低下します。また、スケールやスライムが付着した状態で一定の冷凍能力を得ようとすれば、それだけ余分のエネルギー（電力や燃料ガスなど）を必要とするだけでなく、無理な運転をすることになり冷凍機の寿命を縮めます。

冷却水系内にスケールやスライムが生成・付着した場合、酸洗浄などの「化学洗浄」により取り除かなければなりませんが、これにも莫大な費用がかかるだけでなく機器の寿命短縮を伴います。更にスケールやスライム付着は系内の部分腐食の要因でもあります。

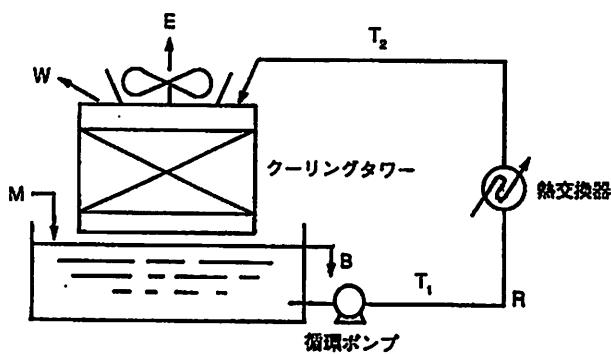
冷却水は管理をしないと濃縮が起こり、上記の様に水質が徐々に悪化します。また冷却塔においては水と空気が常時接触しているため、大気中の亜硫酸ガスやほこり、土砂等が冷却水に侵入し、水質を更に悪化させることになります。

これらの水質の悪化を防止するため、冷却水の濃縮を低いレベル（例えば、JRA=日本冷凍空調工業会 の水質基準値内）に抑えたり、トラブル防止のため抑制剤等の使用がなされますが、濃縮を抑えるためむやみにブローをしたり、現状のまま対処療法的に薬品投入で処理することは多量の水を消費し、無駄な薬品の使用等につながります。

水や薬品等々の経費を抑え、かつトラブルを起こさないようにするのが、冷却水の水質管理というものです。

### 3. 4. 1 冷却塔循環冷却水系の水バランス

冷却塔を使用する開放循環冷却水系の水バランスは次の様になります。



R	: 循環水量 (m³/Hr)
M	: 補給水量 (m³/Hr)
E	: 蒸発水量 (m³/Hr)
W	: 飛散水量 (m³/Hr)
B	: ブロー水量 (m³/Hr)
$\Delta T$	: $T_2 - T_1$ , クーリングタワーの冷却水出口 ・入口温度差 (°C)
V	: 全保有水量 (m³)
$C_M$	: 補給水中の塩類濃度 (mg/L)
$C_R$	: 循環水中の塩類濃度 (mg/L)
$\alpha$	: 飛散率

冷却塔の水バランス

$$① \text{ 補給水量 } M = E + B + W \quad (\text{m}^3/\text{Hr})$$

$$② \text{ 蒸発水量 } E = \frac{R}{575} \times (T_2 - T_1) \quad (\text{m}^3/\text{Hr})$$

(575 : 38°Cにおける水の蒸発潜熱 (kcal/kg))

$$③ \text{ 飛散水量 } W = R \times \alpha \quad (\alpha : 0.0005 \sim 0.001)$$

$$④ \text{ ブロー水量 } B = \frac{E}{N-1} - W \quad (\text{m}^3/\text{Hr})$$

$$⑤ \text{ 補給水量 } M = \frac{N}{N-1} \times E \quad (\text{m}^3/\text{Hr})$$

$$⑥ \text{ 濃度倍数 } N = \frac{E + W + B}{W + B} = \frac{M}{W + B} = \frac{C_R}{C_M}$$

( $C_R/C_M$  : 循環水と補給水中の溶存塩類濃度比、通常塩化物イオン濃度基準)

### 3. 4. 2 濃縮管理について

冷却塔で冷却水を循環使用する理由は水の節約のためです。一過式に比べて循環使用すれば大幅に水の使用量を減らすことが出来ます（下の表の補給水量の変化を見ればよく分かります）。冷却水は冷却塔で水の蒸発があり、水に溶けている溶存塩類の濃縮が起ります。したがって濃縮管理が必要となってくるのです。

例えば、冷却水において、冷却塔出入口の温度差が8°Cの場合、

前ページの式

$$E = \frac{R}{575} \times (T_2 - T_1) \quad (\text{m}^3/\text{Hr}) \quad \text{より}$$

$T_2 - T_1 = 8^\circ\text{C}$  であるから、

$$E = 0.014R$$

循環水量の約1.4%が蒸発するということになります。

濃縮倍数N	一過式	2	3	5	7	10
蒸発水量E	—	14	14	14	14	14
飛散水量W	—	1	1	1	1	1
ブロー水量B	1000	13	6	2.5	1.3	0.5
補給水量M	1000	28	21	17.5	16.3	15.5
減少率(節約率)%		97.2	97.9	98.3	98.4	98.5

(注)  $R = 1000 \text{ m}^3/\text{Hr}$ 、 $E = 14 \text{ m}^3/\text{Hr}$  ( $\Delta T = 8^\circ\text{C}$ )、 $W = 1 \text{ m}^3/\text{Hr}$  ( $R \times 0.1\%$ )

上記の表の様に、冷却塔においてある程度の冷却のための蒸発があるため、ブローウォーターで濃縮を調節しなければ濃縮はかなりの値まで上昇します。

### 3. 4. 3 濃縮倍数の決定

冷却水の濃縮倍数をいくらにするかの決定は、補給水の水質によります。そして基準となる水質は、日本冷凍空調工業会（JRA）の冷却水の水質基準を採用するのが一般的です。

例えば、次頁の左の表のような水質（N調査機関が調査した大阪市水の一般的な水質）の水が冷却水の補給水である場合、次頁中のJRAの冷却水の基準値と比較するとカルシウム硬度の項目で倍数的に一番小さく ( $150 \div 40 = 3.75$ )、この補給水は最大で3.75倍の濃縮に抑える必要があるということになり、そのような濃縮管理が必要となるということです。

項目	単位	値
pH		7.0
電気伝導度	ms/m	20
塩化物イオン	mg/l	18
硫酸イオン	mg/l	20
Mアルカリ度	mg/l	22
全硬度	mg/l	50
カルシウム硬度	mg/l	40
イオン状シリカ	mg/l	7

〔N検査機関が調査した  
大阪市水の一般的水質〕

値
6.5~8.2
80 以下
200 以下
200 以下
100 以下
200 以下
150 以下
50 以下

〔日本冷凍空調工業会の  
冷却水の基準値〕

倍数
—
4
11
10
4.5
4
3.75
7.1

地域によっては、補給水の水質においてイオン状シリカが 40~50 mg/l ということもあります。通常では濃縮不可ということもあります。また、補給水に井戸水を使用の場合、その水質はさまざまで十分な水質検査を行なうことが基本となります。

### 3. 4. 4 節水

冷却水系統において、水処理薬品や水処理機器の使用により補給水の節約ができることが説明してあるものがあります。これは前で説明しました冷却水の濃縮をその薬品、機器の効力により日本冷凍空調工業会の冷却水の水質基準値を超えて使用可能にするためか、補給水中で濃縮の障害となる物質を除くため等のおおよそ 2通りがありますが、ここでは水処理薬品や機器の使用により JRA の冷却水の水質基準を超えて使用可能にする方法に関して説明することにします。

濃縮を基準値以上に上げるわけですから、さまざまな対処をしなければトラブルが起こってきます。問題としては一番には、先程の濃縮の決定の項目で説明しましたカルシウム硬度等のスケール生成物質の問題があります。水中のカルシウムは、基準（溶解度）を超えると不溶物質として水中に析出します。析出したカルシウムは熱交換器等に付着し、冷凍機の熱交換の障害を起こします。また、塩化物イオンや硫酸イオンの腐食促進物質の増加は熱交換器や配管等の腐食を促進することになります。それに加えて濃縮が異常に進んでくると、溶存塩類の関係で藻類や微生物の発生にもつながってくることになります。

したがって、水処理薬品や機器は、それらのトラブルに対応できる効能をもった商品でなければ価値がないことになります。また、水処理剤や機器でどの程度までの水質に対応できるのか、はっきり保証できるものでなければ、使用してもトラブルにつながることが往々にしてあります。薬品ではなく機器による処理においてはこの範囲がはっきりしないものが多いので、使用に際しては注意が必要と考えます。

また、薬品や機器を使用するということはそれにかかる経費以上のメリットがないと意味がないということになりますから、以下にそれを考えてみることにします。

この章の(2)の濃縮管理についての表「冷却塔の循環水の濃縮と水バランス (mg/H r)」をもとにそれを考えますと、前項で一般の大坂市水において水処理無しでは濃縮は 3.75 倍まで濃縮を上げることが可能と計算上出ていましたが、濃縮を監視するシステムは一般的に導電率による導電率計で監視を行なうため、濃縮過度にならないよう余裕が必要ですから、濃縮は 3.0 倍として考えるとしますと、薬品または機器により水処理を行なうことで、例えば 10 倍まで濃縮を上げることが可能になれば、その節水メリットは、表より濃縮倍数 3 倍での補給水量 (M) は  $21 \text{ m}^3/\text{H r}$  で、濃縮倍数 10 倍での補給水量 (M) は  $15.5 \text{ m}^3/\text{H r}$  となり、差の  $5.5 \text{ m}^3/\text{H r}$  のメリットが出るということになります。そして、この冷凍機が  $10\text{H r}/\text{日}$  の運転で  $25 \text{ 日}/\text{月}$ 稼動するものであれば、1ヶ月あたり

$$5.5 \times 10 \times 25 = 1375 \text{ (m}^3)$$

の節水メリットになるということになります。この節水メリットを金額にし、使用する薬品コストまたは機器の償却費を比較すれば金額的なメリットがあるかどうかの判断が出来ます。ただし、はじめに濃縮を 10 倍ということにしましたので、薬品または機器が濃縮を 10 倍にした水質に対して保証の範囲でなければなりません。

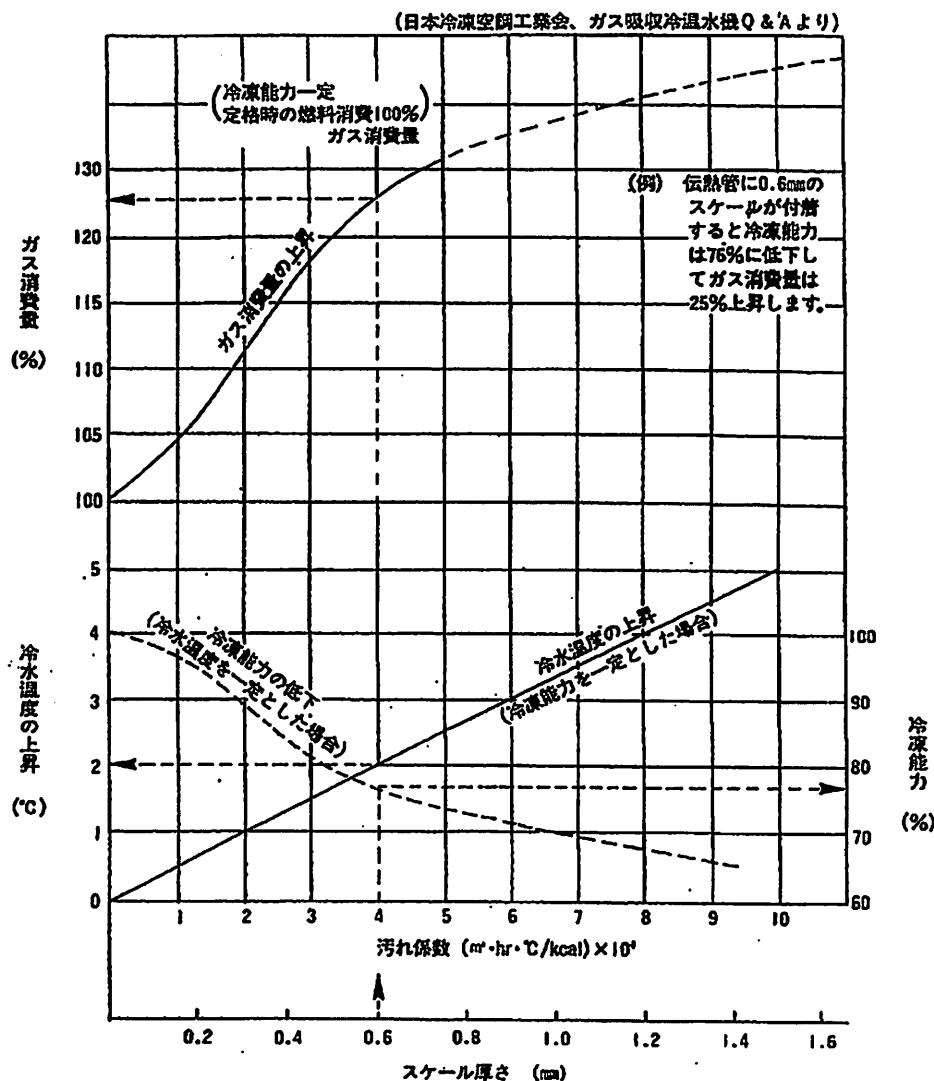
この節水メリットを金額にすると、

$$1375 \text{ (m}^3) \times 600 \text{ 円 (1 m}^3\text{あたりの上下水道料金)} = 825,000 \text{ 円}$$

となり、水処理薬品の 1ヶ月のランニングコストまたは機器の償却費がこの料金を超えるければ、この冷凍機の水処理をする意味があるということが言えると考えます。

### 3. 4. 5 消費電力（ガス）の節約

冷凍機等の熱交換器に汚れ、スケール等が付着しますと、冷凍能力の低下が起ります。電気及びガス消費量の増加が起ります。例えば、吸式冷凍機の熱交換器のチューブに0.6mmのスケールが付着すると、冷凍能力は76%に低下し、ガス消費量は25%も増加します。



吸式冷凍機のスケール付着と冷凍能力の低下・ガス消費量の増加

熱交換器を絶えず清浄な状態に保つことは無駄なエネルギーを省くことになり、水処理の目的の一つでもあります。また、冷却塔内に藻類を繁殖させないことも冷却水の水温上昇を防ぎ、省エネにつながります。水処理薬品、機器はこのような面においても本当に効果があるか確認が必要です。

### 3. 4. 6 総合的な考え方

冷却水管理を何もしないで放置し、熱交換器等にスケールが付着したために対処療法的に洗浄を繰り返すやり方は、エネルギーのロスを生むばかりではなく洗浄費等もかかり、経費面から見てもロスが多いことは一目瞭然だと思います。

また、水のプローチ管理だけより水道代で充分採算がとれれば水処理薬品や機器の使用をする方が、藻やレジオネラ属菌による障害もなくなり、はるかに良い方法ではないかと考えます。総合的にコスト計算を充分行なってどの方法が良いかを判断するようにして下さい。

## 4. 冷温水について

### 4. 1 冷温水の障害について

密閉系と開放系とは冷温水の障害において若干違う状況が現れる事があるようですが、そのほとんどは腐食による障害です。

金属材料が使用される環境の中で金属表面が全体にわたって破損した状態になる全面腐食や、付着物の下部が局部的に減肉する孔食、2つの材料の隙間にある溶液に濃度差が生じ腐食が起こる隙間腐食などがあります。

このように腐食現象には色々な形態があり、また様々な要因によって起こるため、一律に分類する事ができません。ここでは機械的因素の腐食を除き、化学的または電気化学的に起こる腐食の形態を簡単に説明します。

#### ① 全面腐食

一般によく知られている鉄の赤さびや銀の変色がこの種の腐食です。また、酸などで金属が溶解するような場合も、多くは全面腐食の形態をとります。新設配管に真水を張り込んだ際などはこの腐食が発生します。

#### ② 局部腐食 → 孔食

さびた鉄を酸洗浄しさびを落とすと、大抵その表面は凸凹になっています。これは腐食が均一に進まず、局部的に起こっていることを物語っています。よく観察すると、周りに比べて非常に深い穴ができることがあります。これは、さびこぶの下で酸化させやすい（さびさせやすい）物質である塩化物イオンや硫酸イオンが局所的に濃縮して腐食を促進しているために生じます。このようなさびかたを孔食と呼びます。

孔食の問題は腐食速度が大きいことだけでなく、その一点に応力が集中するため割れや漏水といった重大な障害をもたらしやすいことです。そのため予想した耐用年数よりもずっと短い期間で破損することもあります。また、孔食は些細な原因で起こることが多いので、予想しにくい腐食といえます。

#### ③ 局部腐食 → すきま腐食

装置や機器の構造上の「すきま」部分は、その他の部分と異なり酸素の供給の不足や溶液中のイオンの濃縮によって局部電池を形成し、隙間部では不動態皮膜が破壊されやすく、局部的な腐食を生じます。特に塩素イオンを含む水溶液の場合には、このすきま部分が選択的に腐食される場合がしばしばあります。

#### ④ 局部腐食 → 潰食

潰食は高速のガス、粉体など流体の流速が速いときに発生する衝撃的な外力によって金属が損耗を受ける現象で、孔食と違って損傷面に腐生成物が見られないのが特徴です。潰食は流速と関係のあることが知られていますが、定量的には完全に把握されていません。潰食の発生部位は、水の流れが急激に変化する曲がり部、縦手部、弁の下流側、管径の変化する下流側です。

エロージョンで特に腐食の作用が伴う場合を、エロージョンーコロージョンと呼びます。

## 4. 2 冷温水に用いる薬剤

冷水・温水・冷温水に用いられる薬剤は金属の腐食を効果的に減少させることを目的にしたもので、腐食抑制剤あるいは防食剤と呼ばれます（以下防食剤と総称）。

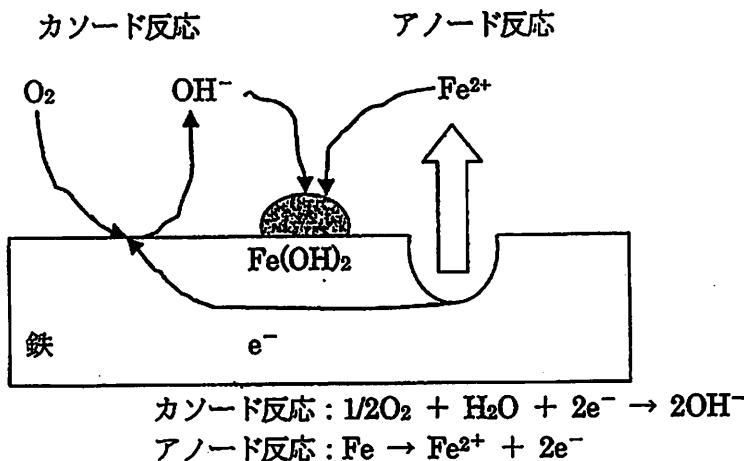
防食剤の作用機構は金属表面に保護皮膜を作ることを特徴としており、この保護皮膜の生成原理や物理的性状によって下表のように分類されます。

各防食剤成分の効果と特徴

防食成分	効 果	皮 膜 の 特 徴
亜硝酸塩	速効性があり初期防食の効果が大きい	薄く緻密で、素地金属との密着性良好
モリブデン酸塩	亜硝酸酸化細菌対策で使われるケースが多い	比較的厚膜で、素地金属との密着性やや良好
リン酸塩	カルシウム等と不溶性の塩を形成し皮膜を作る	かなり薄膜で、緻密な皮膜が銅及び銅合金に効果大
亜鉛塩	リン酸塩の助剤として作用	
アゾール化合物	銅イオンと錯塩を形成し皮膜を作る	

### 防食効果

- ① 亜硝酸塩は金属表面のアノード部において速やかに不動態酸化皮膜を形成して金属の腐食を防止。
- ② 銅・銅合金表面のアノード部において銅イオンと反応して不溶性の防食皮膜を形成し銅・銅合金表面の腐食を防止。



水中の鉄の電気化学的腐食モデル

腐食はカソード反応とアノード反応が同時に起こることで発生します。防食皮膜がこれらの反応を抑制することで腐食を防止することができます。

#### 4. 2. 1 防食効果

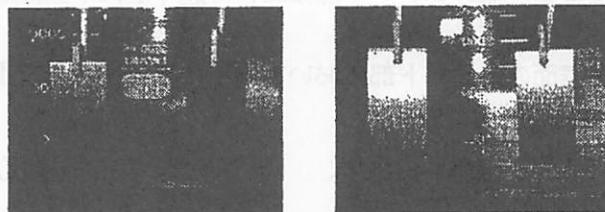
防食剤の効果を測るために防食効果の確認テストを行うことがあります。また、実際にその系の水が金属に対してどの程度の腐食を示すのか測るのにも用いることができます。

##### 試験方法

重量を測定したテストピースを試験水中に一定期間浸漬する。試験後に再度テストピースを脱錆して重量測定を行い、試験前後の重量差（減量）より次の式で算出する。  
結果は腐食速度=mdd (mg/dm<sup>2</sup>·day) で表す。

テスト水温：50°C  
テスト期間：6日

$$mdd = \frac{\text{試験前後の重量差(減量)} \text{ mg} \times 100 \text{ (1dm}^2=100\text{cm}^2\text{)}}{\text{テストピースの表面積} 20\text{cm}^2 \times \text{試験期間} 6\text{day}}$$



日本冷凍空調工業会（JRA）で示している設計段階での耐食性評価の目安

		鉄材腐食速度	銅材腐食速度
		mdd	mdd
①	実用上十分な耐食性がある	22未満	2.5未満
②	侵食程度はわずかでも運転時間が短い場合は問題ないときもある	22~75	2.5~7.5
③	侵食により装置の寿命が短くなる	75~215	7.5~25
④	侵食が激しく使用に耐えない	215以上	25以上

#### 4. 3 冷温水の水質管理

冷水・温水・冷温水は殆ど濃縮しない密閉回路や蓄熱槽等の半密閉回路であるため、冷却水のように外的要因で水質悪化することはありません。しかし、何らかの原因により腐食することがあり得るのです。そのため、常に冷水・温水の色や汚濁の状況変化に注意するとともに、適時水質分析を行なうことによって異常を早期発見できるような管理が必要です。また、機器の予防保全のためには、防食剤を使用するのが一般的です。

冷温水は冷水時と温水時でそれぞれの条件に応じた管理が必要です。通常は高温での腐食抑制の観点から、温水では防食剤濃度を高めにします。防食剤濃度を高めに維持していれば冷水時もカバー出来ますので、年間を通して同じ管理を行なうことも可能です。

下記は(社)日本冷凍空調工業会が示す冷温水系の水質基準値です。基本的にはこれに基づいて管理をされるのが普通ですが、防食剤等を使用の場合は、薬剤添加により項目によって値が変わることがありますので、薬剤メーカーまたはメンテナンス会社に相談の上、管理を行なうようにして下さい。

冷温水系の水質基準値

項 目 <sup>(1)(2)</sup>	冷水系		温 水 系 <sup>(3)</sup>			傾 向 <sup>(4)</sup>		
			低位中温水系		高位中温水系			
	補給水	循環水 [20°C以下]	補給水	循環水 [20°Cを超え 60°C以下]	補給水	循環水 [60°Cを超え 90°C以下]	腐食	スケール 生成
基 塙 项 目	pH(25°C)	6.8~8.0	6.8~8.0	7.0~8.0	7.0~8.0	7.0~8.0	○	○
	電気伝導率 (mS/m) (25°C) (μS/cm) (25°C) <sup>(1)</sup>	30以下 (300以下)	40以下 (400以下)	30以下 (300以下)	30以下 (300以下)	30以下 (300以下)	○	○
	塩化物イオン (mgCl <sup>-</sup> /L)	50以下	50以下	50以下	50以下	30以下	○	
	硫酸イオン (mgSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L)	50以下	50以下	50以下	50以下	30以下	○	
	吸消費量 (pH4.8) (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	50以下	50以下	50以下	50以下	50以下		○
	全硬度 (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	70以下	70以下	70以下	70以下	70以下		○
	カルシウム硬度 (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	50以下	50以下	50以下	50以下	50以下		○
	イオン状シリカ (mgSiO <sub>2</sub> /L)	30以下	30以下	30以下	30以下	30以下		○
参 考 项 目	鉄 (mgFe/L)	0.3以下	1.0以下	0.3以下	1.0以下	0.3以下	1.0以下	○
	銅 (mgCu/L)	0.1以下	1.0以下	0.1以下	1.0以下	0.1以下	1.0以下	○
	硫化物イオン (mgS <sup>2-</sup> /L)	検出されないと 検出されないと 検出されないと 検出されないと 検出されないと 検出されないと 検出されないと	検出されないと 検出されないと 検出されないと 検出されないと 検出されないと 検出されないと 検出されないと	検出されないと 検出されないと 検出されないと 検出されないと 検出されないと 検出されないと 検出されないと	検出されないと 検出されないと 検出されないと 検出されないと 検出されないと 検出されないと 検出されないと	○		
	アンモニウムイオン (mgNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L)	0.1以下	1.0以下	0.1以下	0.3以下	0.1以下	0.1以下	○
	残留塩素 (mgCl/L)	0.3以下	0.3以下	0.3以下	0.25以下	0.3以下	0.1以下	○
	遊離炭酸 (mgCO <sub>2</sub> /L)	4.0以下	4.0以下	4.0以下	0.4以下	4.0以下	0.4以下	○
	安定度指数	—	—	—	—	—	—	○

注) (1) 項目の名称とその用語の定義及び単位はJIS K 0101による。なお、( )内の単位及び数値は、従来単位によるもので、参考として併記した。

(2) 案内印は腐食又はスケール生成傾向に関する因子であることを示す。

(3) 温度が高い場合 (40°C以上) には、一般に腐食性が著しく、特に鉄鋼材料が何の保護皮膜もなしに水と直接触れるようになっている時は、防食薬剤の添加、脱気処理など有効な防食対策を施すことが望ましい。

(4) 供給・補給される源水は、水道水(上水)、工業用水及び地下水とし、純水、中水、軟化処理水などは除く。

(5) 上記 15 項目は腐食及びスケール障害の代表的な因子を示したものである。

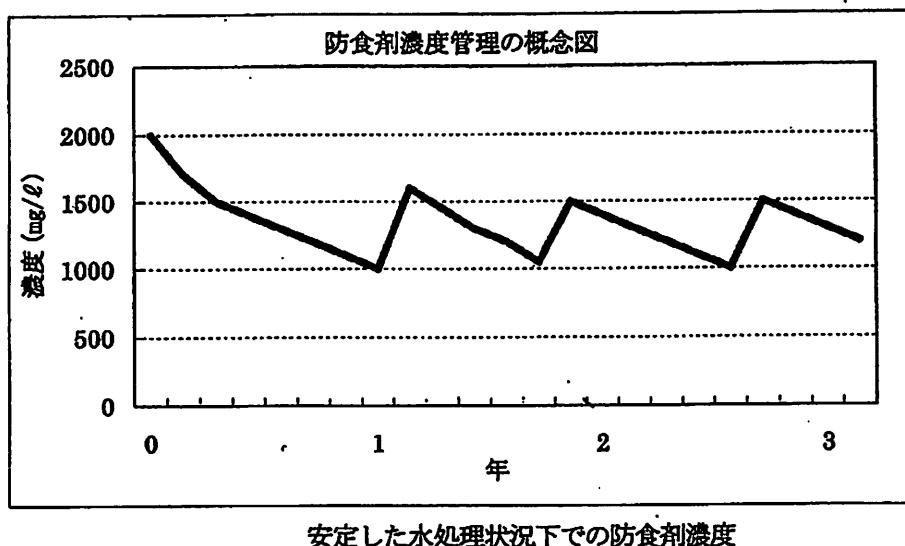
(6) 出典：日本冷凍空調工業会発行 冷凍空調機器用水質ガイドライン JRA-GL-02-1994

#### 4. 3. 1 水処理事例

##### ① 安定した水処理の事例

冷水・温水が安定して管理されている場合、防食剤濃度も安定し水質変化も殆ど起こりません。

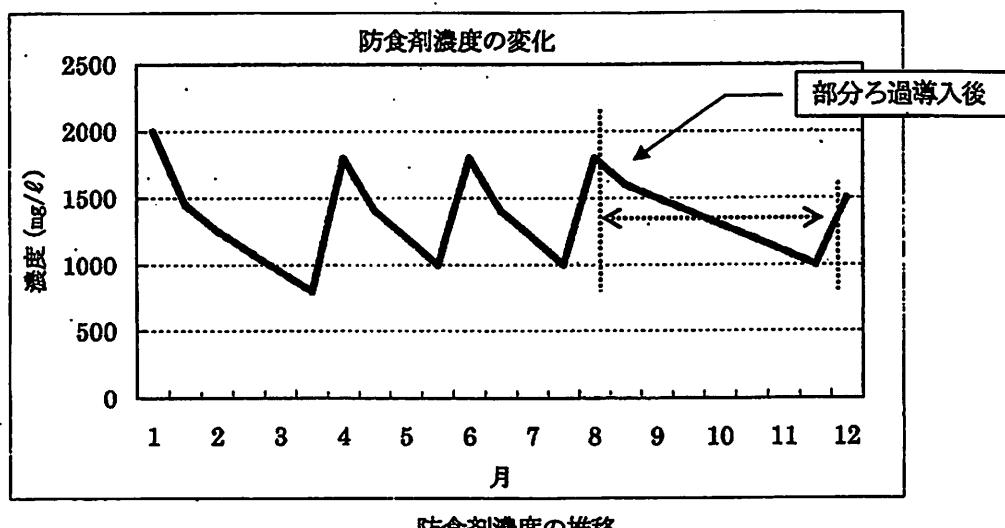
例えば亜硝酸タイプの防食剤は冷水系が良好に管理されている場合、1日あたり2～3mg/lしか低下しません。



##### ② 赤水が続く事例

冷水・温水で赤水が続くケースでは濁度が非常に高いことが多く見られます。濁度は配管のさびの影響によることが多く、エロージョンが起こることにより防食皮膜が破壊されるため、防食剤消費が大きくなり 1日あたり10mg/lというように濃度低下が大きくなります。また、沈殿した濁度成分の下部でカソード反応が起こり、更に赤水化を助長します。

このようなケースでは水の入れ替えが必要ですが、部分ろ過処理の併用で濃度低下がゆるやかになり効果を上げているケースもあります。



### ③白ガス管の亜鉛析出トラブル

現状は施工の容易さと初期耐食性に優れるため、亜鉛めっき鋼管（以下白ガス管）が広く使用されています。しかし、経年使用されるうちに亜鉛めっきが欠落して初期耐食性が発揮されなくなると、腐食による赤水、さびこぶによる配管閉塞、漏水などのトラブルが見られるようになります。亜鉛めっきは溶存酸素と温度の影響を強く受けます。そのため、温水や冷却水では比較的早期に初期耐食性が失われます。

白ガス管で施工された温水配管から溶出した亜鉛がバルブに付着し閉止不良を起こしたため膨張タンクを確認したところ、写真のように大量の亜鉛が堆積していました。

この状況改善のためまず水抜きを行い、ついで水張りと同時に防食剤を添加しました。しかし、亜鉛の溶出が多く著しい改善は見られておらず、毎シーズンオフに同様の処理を繰り返す必要が生じています。



温水膨張タンクに溜まった亜鉛析出物の排出

#### 4. 3. 2まとめ

一旦腐食が進んだ配管を防食することは、事例でも述べましたように、鋸により防食剤が消費される等し、手間及び経費が非常にかかることになります。新設時からの予防をされる方が良いと考えます。また、冷温水系は基本的に水の入替がないため、白ガス管の場合、亜鉛が犠牲陽極になって溶出してしまい、上記事例のようにトラブルとなることが多く、黒ガス管の方が処理が容易となる場合が多いように思えます。いずれにせよ放置しておくのではなく、定期的に水質検査を行ない状態を見ていくことが重要です。

## 5. 引用参考文献

- 1) 社団法人 日本冷凍空調工業会発行「冷凍空調機器用水質ガイドライン」
- 2) 財団法人 ビル管理教育センター発行「新版レジオネラ症防止指針」
- 3) 三菱ガス化学㈱、ダイヤ水処理サービス㈱発行「冷凍・空調機の水質管理と保守管理」「冷却水系の水処理とその管理」
- 4) ダイヤアクアソリューションズ㈱発行「水処理技術資料」

## 6. 参考事例

最後に、実際に行なわれた冷却水の水質管理事例を2例、参考として記すこととします。

### 【事例1】

- ・ 冷却水系水質管理
- ・ 奈良県Aビル
- ・ 热源 吸収式冷温水発生機 300RT
- ・ 冷却塔 300RT 角型開放式冷却塔

当初、奈良県下にあるこのビルでは冷却水は導電率計によるブロー管理だけで行なっていたが、補給水（市水）の水質が大阪市水と比べてイオン状シリカの数値が高く（約20mg/l）、冷却水の濃縮を上げてもせいぜい2.5倍までしか上げることが出来ない。それ以上に上げると熱交換器にシリカスケールが付着してしまう状況であった（日本冷凍空調工業会の冷却水のイオン状シリカの基準値は50mg/l）。

そこで、総合水処理剤を採用することとした。それにより濃縮は8倍まで上昇可となり、それで管理を行なった。また、レジオネラ属菌の心配もなくなった。補給水量はブロー管理だけの時は年間約5700m<sup>3</sup>になっていたが、水処理剤採用後は約3,900m<sup>3</sup>になり、1,800m<sup>3</sup>の節水になった。薬品費用と水道代の差額は約20万円になり、経費面でもメリットが出た。

### 【事例2】

- ・ 冷却水系水質管理
- ・ 大阪市内Sビル
- ・ 热源 吸収式冷凍機
- ・ 冷却塔 4300RT 開放式冷却塔

当初、Aメーカーの総合水処理剤を使用して、日本冷凍空調工業会の冷却水の基準を上回る水質で水質管理をされていたが、その冷却水の濃縮率は約7倍（導電率130ms/m）の設定であった。しかし、他メーカーの薬剤は10倍の濃縮を行なっても問題ないことがわかり、その薬剤で管理を行なうこととされた。結果は下記の通り、補給水を低減させることができた。また、濃縮を上げることで、使用薬剤の量も減らすことが出来た。

	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	合計
130ms/m時の 補給水量(m <sup>3</sup> )	5217	6226	6412	7278	8051	7039	6063	5263	4199	3023	2277	4280	65,328
200ms/m時の 補給水量(m <sup>3</sup> )	3741	4678	5899	9903	6881	6003	4305	3263	3142	2734	2813	3485	56,847

$$\begin{aligned} \text{補給水量 } & 65,328 - 56,847 = 8481 \text{ (m}^3\text{)} \\ & 8481 \text{ (m}^3\text{)} \times \text{約 } 40 \text{ ppm} \approx 339 \text{ (kg) の薬品量の節約} \end{aligned}$$

# 資料

## 機器による水処理装置一覧表

今回調査した機器による水処理装置は主体は電磁場水処理装置である。特徴としては、防食、防スケール効果を殆んど唱えているが、レジオネラ属菌や藻類の抑制についてまで説明しているものは少ない。  
大別すると電場(電子場)式と磁場式になるが、電場を生ずれば磁場が生じ、電場と磁場は同時に存在するため区別するのは困難である。  
水に微弱な電流を与える方法としては、次の様な方法がある。

- (1)外部電源から直接電流を与える
- (2)磁石による電流の誘導による
- (3)直接に電流を与えず外部電源によって静電場を与え、静電場によって引き起こせれる変位電流効果を与える
- (4)異種金属を両極にして、その電位差を利用して自然の起電力を引き起こして微弱電流を与える
- (5)セラミックを衝突させてその時起こる電流、磁場を利用する

電磁場水処理の主な効果は「冷却水のスケール抑制」及び「給水の腐食(赤水)防止」である。

その原理には種々の文献があるが主なものは次の通りである。

- ・固液界面吸着厚さの増加、表面電位の低下によりコロイド粒子の安定化
  - ・固体表面の吸着分子層に影響を与え粒径の小さい粒子、例えば結晶核等に影響を与え、結晶の析出個数の抑制、結晶サイズの増大がおこる
  - ・ローレンツ磁場により「イオン流分離」が起り、イオンの濃縮と衝突の増加が起り結晶析出(スケール抑制)
  - ・磁気により水の分子間結合が切断され小さくなる(クラスター数の低下)
  - ・強磁性体のコロイド粒子が磁界の影響で成長、磁化し凝集、沈殿し赤水を防止(赤錆から黒錆への変化)
  - ・溶存酸素の低下
- また、電磁場の影響により
- ・植物(藻)の成長が促進される
  - ・マウス体内の白血球の減少や生育の遅れ、ハエの死亡率の増加
- など、生態への影響も報告されている。
- ・商品の紹介は性能検査も出来ないことから、カタログからの原理・効果・特徴・使用方法にとどめ、メーカー名、商品名は省略した。

## 抗レジオネラ用空調水処理剤協議会登録薬剤一覧表

2006年3月31日

社名	複合型冷却水処理剤商品名
アクアス株式会社	ハイパーレジオ HL-800 ハイパーレジオ HL-910 レジオクラッシュ L-230 レジオクラッシュ L-233 レジオクラッシュ L-235 レジオクラッシュ L-238 レジオクラッシュ L-240 レジオクラッシュ L-250 レジオクラッシュ L-222 レジオクラッシュ L-450 レジオムニック 400 アクアスダイナ OG-778
荏原エンジニアリング サービス株式会社	レジオパンチ 300 レジオパンチ 305 レジオパンチ 310 レジオパンチ 320 レジオパンチ 360 レジオパンチ 700
オルガノ株式会社	オルガビート SP-91 オルガビート EX-91 オルガビート FK-41
株式会社 片山化学工業研究所	ファスコン A ファスコン B ファスコン D
栗田工業株式会社	クリサワーマルチ NR タワークリン NP660 クリサワーマルチ NP クリサワー LM-780 クリサワー LM-800 タワークリン NP-580 タワークリン LM-780 タワークリン LM-880 タワークリン V-100 タワークリン V-150 タワークリン V-300 タワークリン V-500 クリサワーマルチ V-200 クリサワーマルチ V-250 クリサワーマルチ V-400 クリサワーマルチ V-600 タワークリン NT-562 タワークリン NT-673 クリサワーマルチ NT-567 クリサワーマルチ NT-678
晃栄化学工業株式会社	トリオブロック 3060
三葉化工株式会社	サンクリーン M サンクリーン MH サンクリーン MB サンクリーン MP

ショーワ株式会社	タワーリル P-220 サンヨー S-300 S タワーリル M-910 タワーリル M-920 タワーリル NM-900
東西化学産業株式会社	ハイクリーン M-53 ハイクリーン MH-110 ハイクリーン MH-115 ハイクリーン MH-210 ハイクリーン MH-410 ハイクリーン MH-510 ハイクリーン MH-518 ハイクリーン MR-110 ハイクリーン MR-112 ハイクリーン MR-115
内外化学製品株式会社	R C C-505 R C C-507
日本滌化化学株式会社	レジオブロック
日本農薬株式会社	ナウトップA ナウトップC NT-501
芙蓉化学工業株式会社	レジコロリ V レジコロリ W アフロン HX80 アフロン DM80 アフロン HX0 アフロン PF20L アフロン PF40L アフロン SA-97
三菱ガス化学株式会社	コントライムM-600

## 機器による水処理装置（その1）

種類	製品名	原理	用途と効果	特長	使用方法	備考
磁気式	A	6,000ガウス以上のコア付永久磁石の磁場に水を流す事により微弱な電流が誘導され ・水中における固体粒子の界面電位変化 ・極微少付不純物の凝集・沈殿作用促進 ・水質の安定と浄化 ・イオ化(溶解)の促進を行う。	冷却水・冷温水系統 ボイラー系統等 ・スケール防止 ・腐食防止 ・藻・スライム抑制	・取付けが簡単 ・動力不要 ・維持管理が簡単 ・寿命が長い ・価格が安い ・安全・無公害	冷却水・冷温水系統 ボイラー系統の循環配管に設置	・2~3m/sの流速が効果的 ・冷却水は総流量の15~20%以上を処理 ・密閉循環の場合は循環水量の5~7%以上処理
磁気式	B	被処理水を磁化する事により、酸化第一鉄が抗酸化性を帯びた酸化第二鉄に成り難くなり、2倍と3倍鉄イオンが化合したウルタイトが赤錆の内部から生成。また、磁場の作用は水の構造変化と水和能力に影響を与え、カルボン酸を安定化すると共に結晶化の動特性に影響を与え、結晶構造が丸形となり結合が阻害される。	給水・給湯 ・赤水防止 冷却水系統 ・腐食防止 ・防・除スケール	・配管内面の赤錆を黒錆(ウルタイト)に変化 ・ノーリング力ト多極磁場により防・除スケール ・電源不要 ・効果は半永久的 ・薬品等の消耗品不要	給水・給湯の配管に設置 冷却水は循環配管に設置	・4,000ガウスの永久磁石使用 ・耐熱 150°C ・PDC-300型(15A~40A) 298千円
磁気式	C	永久磁石の効果によりスケールの生成を防止・除去すると共にサイクロンの作用により浮遊固体物を系外に除去	冷却水・冷温水系統 ・スケール防止 ・泥、砂塵、藻等の浮遊物除去	・電源不要 ・動く部分が無く、構造が簡単 ・80μ迄の浮遊固体物を95%分離除去 ・薬品等の消耗品不要 ・効果は半永久的	冷却水配管にパイプアスを設け1/10を本体を通過処理	・管理水質目安 全硬度:300mg/L以下 シリカ:150mg/L以下 導電率:1,000μs/cm 以下 ・定期的なスラッジのプローが必要
永久磁石+自然電場(異種金属)	D	永久磁石と異種金属 ・電場・磁場によりスケール成分の結晶化を促し、結晶をスラッジ化させ系外に除去 ・防錆皮膜(黒錆)形成	非飲料水系の ・スケール付着防止 ・既存スケール除去 ・腐食防止	・無公害・安全 ・経費削減 ・メンテナンスフリー ・ノーリングコスト ・省スペース ・設備寿命延長	冷却水配管等の循環配管に設置	・定期的にスラッジをプロー ・管理水質目安 全硬度:600mg/L以下 シリカ:120mg/L以下
? (異種金属による自然電場)	E	本体の鋼パイン°の中に詰められた約10種類の物質によって、長期間均一にエロギー波だし、その波が水中の対象物質に当たるとその物質の結晶に緩みを生じ、その物質は一荷電となり、お互いに引き合う事が無くなり微粒子に分裂。	冷却水・冷温水系統 ボイラー系統 給水・給湯系統等 ・スケール防止 ・腐食防止	・工事不要 ・電源不要 ・効果は半永久的 ・薬品等の消耗品不要	水槽部に完全に沈めておく (本体同志や本体と他の金属と接触禁止)	・給水1トン水槽(4~5回転/時)の場合36パイプ長1本 ・100RT.CTの場合36パイプ長4本 ・定期的なスラッジのプローが必要 ・定期的な布拭きが必要 ・耐用年数10年

## 機器による水処理装置（その2）

種類	製品名	原理	用途と効果	特長	使用方法	備考
電子場式	F	装置内を通過する水との摩擦で静電気が発生、1次静電子場ができる。炭素電極は静電場より自由電子を吸収し高濃度の電子雲を電極周辺に分布 アルミ電極は自由電子を静電場に放出。これにより両極間に高電位差が発生、 $\pm 17^\circ$ を直角に横切る薄膜状の2次静電場が形成。水が静電場を通る際に活性化する。	冷却水・冷温水系統 ボイラー系統 給水・給湯系統 ・スケール防止 ・スライム抑制 ・腐食防止 (赤水防止)	・高硬度、高シリカのスケール防止効果 ・メンテナンスが簡単で寿命は半永久的 ・外部電源不要 ・廃水に有害物質を含まず	冷却水・冷温水系統 ボイラー系統 給水・給湯系統の循環配管に設置	・口径は10mmから450mm ・水のクラスター数を小さくし、溶解力や浸透力を増加 ・価格 1B: 15万円 2B: 85万円 3B: 150万円 4B: 150万円 5B: 260万円 6B: 260万円
動電磁場式	G	水を旋回流として時間的に変化する電界・磁界発生装置に通し、磁界・近赤外効果を与える。特に、ケイ酸は共振によりシザウ結合の形で重合し、水中のCaイオンや鉄イオンと結合しコロイド粒子となり、防食皮膜を形成。コロイド粒子は成長すると個々に分散し、粘土化し、アモリにより系外に排出	冷却水・冷温水系統 ボイラー系統等 ・スケール防止 ・腐食防止	・高シリカ成分の水でもスケールを防止 ・既存スケールも除去 ・温熱・冷熱にも効果 ・無薬品で無公害	ボイラーの場合は補給水配管に設置 冷却水の場合は循環配管に設置	・100Vの電源が必要 ・スラッジのプローが必要
電子場式	H	微弱な電流を直接水に与え、水の分子とミネラルイオンの電性を変える事によって、スケールや錆の発生を抑制			冷却水・冷温水系統 ボイラー系統 給水・給湯系統の循環配管に設置 給水系統では高置水槽に循環ライン設置 本体は縦向きが原則	・処理能力 0.85t/H～300t/H ・腐食抑制率は70% ・冷却水やボイラー水でのスケール抑制は濃縮管理が必要 ・100Vの電源が必要 ・電極は7～10年で交換
電子場式	I	水の電気分解電圧以下の電圧を通水管中の両電極間に印加する事により電界が形成。カル生成分が電場の作用によりカート・極面に向かい、極面に析出し、カル成分が除去	冷却水系統 ・スケール防止 ・スライム抑制	・スケール障害解消 ・節水 ・機器や配管の腐食抑制 ・スライム抑制 ・経済的	冷却水循環配管に設置	・100Vの電源が必要 ・定期的なスラッジのプローが必要
セラミック式	J	高温で焼結させたセラミックを水の流れの中で流动、衝突させその過程で発生する電気エネルギーと磁場によって水を活性化させる。活性化された水は 1)水のカルマ数を小さくする 2)水の表面張力を低下する 3)水のイオン化が進む 4)水のPHが若干ながら側に移行 5)優れた磁気特性を持つ	冷却水・冷温水系統 ボイラー系統 ・スケール防止 給水・給湯系統等 ・腐食防止 ・脱臭、殺菌	・電源不要 ・動く部分が無く、構造が簡単、小型 ・薬品等の消耗品不要 ・効果は半永久的		・従来のセラミック処理に比べ回転流にし、セラミックの目詰まりを解消、小型化

### 機器による水処理装置（その3）

種類	製品名	原 理	用 途 と 効 果	特 長	使 用 方 法	備 者
	K	銅による殺菌・殺藻 ・電極より銅イオンを発生させ殺菌・殺藻	冷却水系統等 殺菌・殺藻		冷却水配管等の循環 配管に設置 (銅イオン濃度を0.3 ~0.5mg/Lに保つ)	・定期的な電極の清掃 (1回/月) ・定期的な電極の交換 (8時間/日で6ヶ月)

本レポートは、下記の設備保全部会の各委員によって作成しました。  
許可なく本レポートを複製・転載することを禁じます。

部会長	岸 本 隆 司
副部会長	高 橋 教 夫
部会委員(リーダー)	田 中 富 雄
部会委員(サブリーダー)	足 立 秀 俊
部会委員	茨 木 真
部会委員	高 木 章
部会委員	富 田 伊知郎

平成19年3月 発行  
社団法人 大阪ビルメンテナンス協会  
〒531-0071 大阪市北区中津1丁目2番9号  
(新清風ビル)  
Tel(06) 6372-9120 Fax(06) 6372-9145  
E-mail:info@obm.or.jp