

図 4.22 排出空気の再循環例

冬期運転されるクーリングタワーでは貯水槽（下部水槽）内にサーモ付きヒータを取り付けて対策とする場合が多い。また、不凍液を循環水系に投入して凍結対策とすることもあがるが、この場合は配管系の容量（保有水量）によっては不凍液の使用量が多くなり、費用がかさむ。また、開放式クーリングタワーの場合はもちろん、密閉式でも循環水の不凍液濃度の管理を十分に行うことが肝心である。図 4.19 および図 4.20 は不凍液濃度と凍結点および比重の関係をグラフで示したものである。また、特殊な対策例としては(3)(4)(5)にあげた方法がある。図 4.21 は豪雪、厳寒の地に実施するような場合であり、図 4.22 はクーリングタワーからの排気空気の一部の再循環でルーバ面における氷結による障害を防止する例を示したものである。

4.7 ブローダウン

ブローダウンとは循環水中に含まれる塩分、その他の不純物の含有量を一定の値以下に保つため循環水の一部を系外に排出することである。源水（補給水）中に含まれる水に不溶解の化学物質、鉱物質は循環水中に蓄積されるので、ブローダウンが必要になる。ブローダウン量は循環水系でスケール腐食などの発生がないように定められた水質基準を満足するため、水に含まれる上述の不純物などの許容量によって決まる。

開放式クーリングタワーの循環水系の水の収支を図 4.23 に示す。ここに示した蒸発損失量 E [m³/h]、飛散損失量 W [m³/h]、強制ブロー量 B [m³/h] および補給水量 M [m³/h] は計算によって求めることができる。

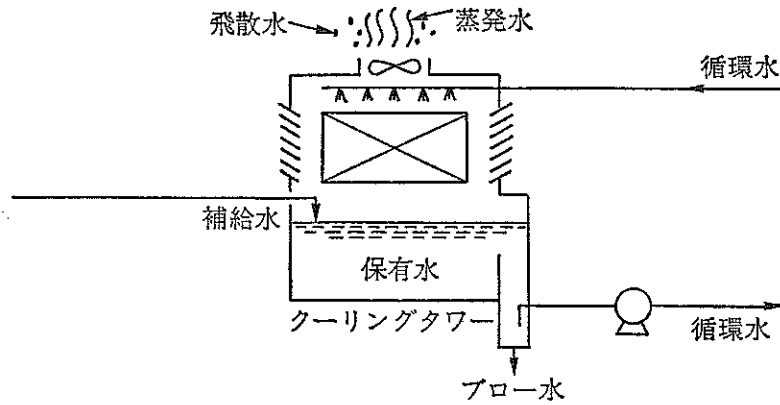


図 4.23 開放式循環水系の水の出入⁶⁾

(1) 蒸発損失量 E [m³/h]

プロセスから循環水が受けとる全熱量と、クーリングタワーで蒸発によって奪われる全熱量が等しいものとする、次式が成立する。

$$\gamma R \cdot 10^3 \cdot \Delta t_w \cdot c_{pw} = \gamma E \cdot 10^3 \cdot r \quad (4.4)$$

R : 循環水量 [m³/h]

γ : 密度 (水温 40°C のとき 992.3 kg/m³)

c_{pw} : 水の定圧比熱 (水温 40°C のとき 4.18 kJ/kg·K)

r : 水の蒸発潜熱 (水温 40°C のとき約 2,407 kJ/kg)

Δt_w : 温度差 (入口水温 - 出口水温) [°C]

$$\begin{aligned} \frac{E}{R} &= \frac{c_{pw} \Delta t_w}{r} \\ &= \frac{\Delta t_w}{576} \quad [-] \end{aligned} \quad (4.5)$$

したがって、5.76°C の温度差で循環水量の約 1% が蒸発する。

ただし、気温の高い夏期などでは Δt_w から計算した蒸発損失量と実際の損失量とはほぼ一致するが、冬期のように外気温度の低い場合は計算による蒸発損失量と実際の蒸発損失量とは異なる。冬期は夏期の約 1/2 程度となる。

(2) 飛散損失量 : W [m³/h]

クーリングタワーから排出される空気によって同伴される飛散水滴のことで、損失水量はクーリングタワーの設計条件によって異なる。一般的に強制通風式のクーリングタワーの場合の飛散損失量は循環水量の 0.05~0.2% である。

(3) 強制ブロー量 : B [m³/h]

強制ブロー量は、腐食障害、スケール障害の防止や供給可能な補給水量などによって決められる。算出方法については(5)の濃縮倍数の項で説明する。

(4) 補給水量： M [m^3/h]

循環水系は系内の全保有水量を一定に保った状態で運転される。したがって、補給水量は、蒸発、飛散、ブローにより系が失う単位時間当たりの全水量に相当する。

$$M = E + B + W \quad (4.6)$$

(5) 濃縮倍数： N

濃縮倍数は、循環水中での塩類濃度が補給水に比較して何倍になっているかを示す指標で式(4.4)で表される。

$$N = C_R / C_M \quad (4.7)$$

C_R ：循環水中の塩類濃度

C_M ：補給水中の塩類濃度

系が定常状態で運転されている場合は、補給水とともに系内に流入してくる溶存塩類の量と、ブロー水および飛散水に含まれて系外に排出される溶存塩類の量は等しくなる。故に式(4.8)がなりたつ。

$$C_M \cdot M = C_R (B + W) \quad (4.8)$$

上記式(4.6)、式(4.7)、式(4.8)から次式が導き出される。

$$B = \left(\frac{E}{N-1} \right) - W \quad (4.9)$$

$$M = E \left(\frac{N}{N-1} \right) \quad (4.10)$$

これらの式で、蒸発損失量と飛散損失量は循環水系の運転条件が一定ならば系固有の値であるため、強制ブロー量を調整することによって循環水系の濃縮管理を行うことができる。

これらの式から求めた濃縮倍数と補給水量の関係の一例を図4.24に示す。循環水の濃縮倍数を上げることは大幅なブロー量の減少（薬剤使用量の減少に係する）と補給水量の減少（水の使用量の減少）となる。また、この図であきらかなように、高濃縮化による補給水量の減少の程度は、濃縮倍数5倍程度までが著しく、それ以上は濃縮を上げても顕著な減少はない。一方、高濃縮倍数での運転は循環水の水質悪化をまねき種々の障害を生じやすくするばかりでな

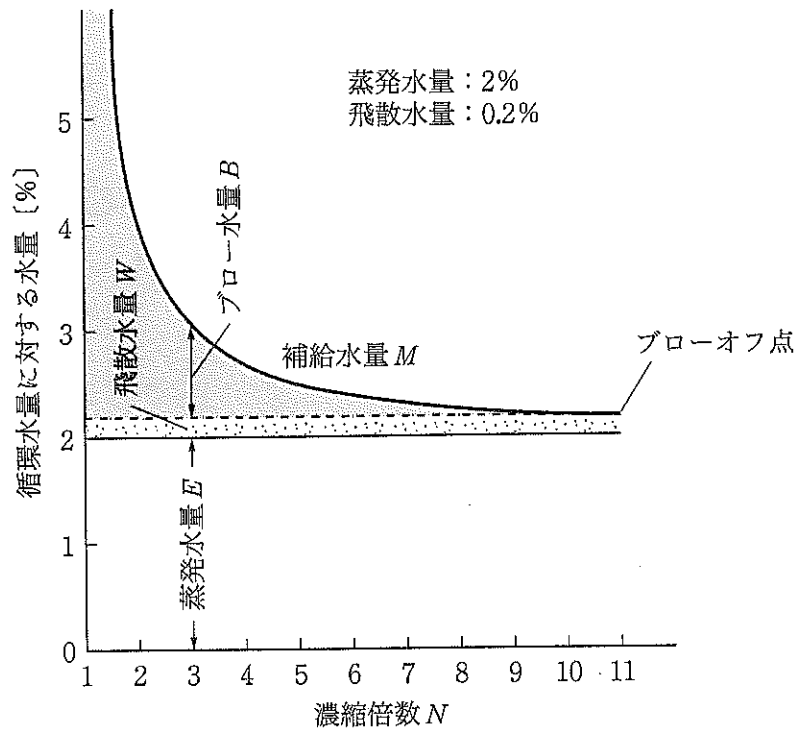


図 4.24 補給水量

く、添加した水処理薬剤の効果の持続性にも限度があるため、適度な濃縮倍数を選定する必要がある。通常循環水系の運転は5倍濃縮以下で行われている。

(6) 滞留時間: T_R (h)

循環水系の水の入れかわりの度合を示す指標として滞留時間がある。計算式を式(4.11)に示す。

$$T_R = H/M \quad (4.11)$$

H : 配管など含め循環水系全体で保有している水量 [m^3]

この T_R は、循環水系において水が入れかわるのに要する算術平均的な時間を意味しており、ブロー水量が減少(高濃縮運転化)すると滞留時間は長くなる。また、完全混合系において、薬剤の添加を中止したのち、一定時間(t)を経過したときの循環水中の薬剤濃度(x)は式(4.12)より求まる。

$$x = x_0 \cdot e^{-t/T_R} \quad (4.12)$$

x_0 : 薬剤の添加を中止したときの薬剤濃度 [ppm]

初期の薬剤濃度が1/2になる時間(半減時間: T_H)を式(4.12)を用いて計算すると式(4.13)のようになる。

$$T_H = 0.7 T_R \quad (4.13)$$