

オゾンによる冷却水および熱交換器の浄化試験（その2）

松井 鐘司*
Shōji Matsui

萩谷 宏三*
Kōzō Hagiya

芦川 正行*
Masayuki Ashikawa

片野 彦一**
Hikoichi Katano

1. はじめに

「オゾンによる冷却水の浄化試験(その1)」(技報 Vol. 12) では、冷却水系におけるオゾンの浄化効果の有効性について述べた。

しかし、将来、当該システムを実用化するためには、経済性、材料の耐オゾン性および排オゾン対策について具体的検討を重ねなければならない。

本論では、特に冷却水系へのオゾン適用の経済性に焦点を当て、無処理系（濃縮管理）および薬剤処理系（薬剤+濃縮管理）と経済比較を試みた。

なお、その判定因子には温度効率を採用し、温度センサーを熱電対から測温抵抗体に換えることにより、さらに信頼性の高い結果を得たのでその概要について報告する。

2. 試験概要

2-1 試験目的

同一回路を3組（オゾン処理回路、無処理回路、薬剤処理回路）設置し、下記の項目について処理別相違点を明らかにすることである。

- ・温度効率
- ・経済性
- ・冷却水の水質
- ・冷却水系の汚染状況

特に、オゾン利用の課題とされている経済性について、明確な判断を下すことを目的とした。

2-2 試験装置

試験装置の概要図を Fig. 1 に示し、以下に各回路の要点を述べる。

① No.1 回路

オゾン処理系とした。冷却塔出口側配管系にオゾン溶解用インジェクターを組入れ、オゾンを間欠的に注入した。なお原料ガスには酸素を用い、濃縮管理は行わない。

② No.2 回路

無処理系とし、電気伝導率による濃縮管理を行った。

③ No.3 回路

薬剤処理系（連続注入）とし、電気伝導率による濃縮管理も行った。

なお各冷却塔に同一の模擬負荷を与えるために、負荷タンクを設けた。その中に各回路の熱交換器を挿入し、これに均等な熱負荷を与えるために、ヒーターと攪拌機を設置した。また No.2 と No.3 回路には、ブロー水量を把握するために積算流量計を取り付けた。

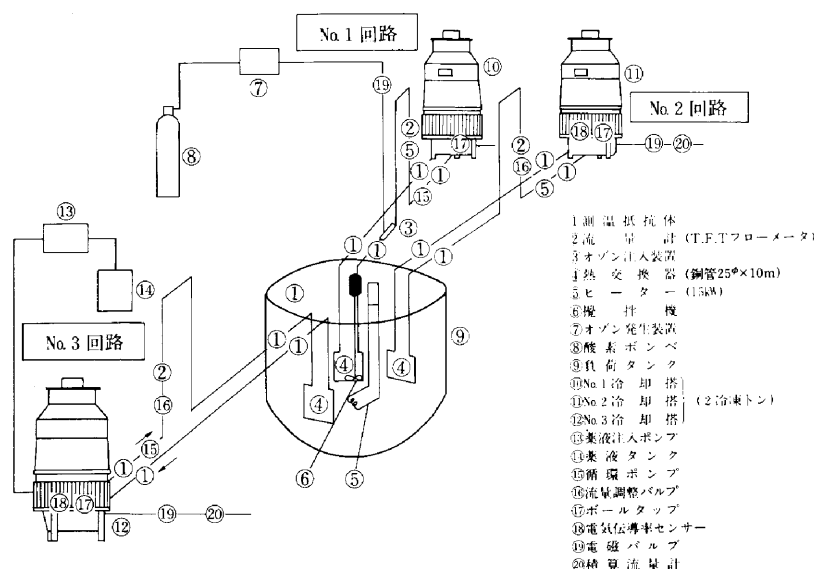


Fig.1 試験装置概要図

*技術研究技術研究所機電課
**技術研究所機電課長

Table 1 回路別試験条件

項目	No.1 回路 (オゾン処理系)	No.2 回路 (無処理系)	No.3 回路 (薬剤処理系)
循環水量(ℓ/min)	26	26	26
濃縮管理	—	電気伝導率 800 μ S/cm以下 (日本冷凍空調工業会基準)	電気伝導率 1500 μ S/cm以下 (メーカー管理基準)
注入方式	インジェクター	—	マイクロポンプ
注入サイクル	25分 (1分注入24分停止)	—	連続
注入量	1ℓ/min (オゾン濃度20000~30000ppm)	—	0.57ml/hr (メーカー指定)

2-3 試験条件

回路別試験条件を Table 1 に示す。装置は終日運転とし、試験期間中はノーメンテナンスとした。

また、冷却水の電気伝導率と熱交換器出入口等の水温は、連続してモニタリングした。さらに溶存オゾン濃度、循環水量および一般細菌数は毎週、その他の分析項目については試験期間中4回測定した。

3. 結果および考察

3-1 温度効率

各処理方法の効果の相違を定量的に把握するために、次に示す温度効率を導入した。

$$\text{温度効率(\%)} = \frac{\text{熱交換器出口水温(}^\circ\text{C)} - \text{熱交換器入口水温(}^\circ\text{C)}}{\text{負荷タンク内水温(}^\circ\text{C)} - \text{熱交換器入口水温(}^\circ\text{C)}} \times 100$$

すなわち熱交換器に入った冷却水が、高温側の負荷タンク内水温まで熱交換された時、100%の温度効率とするものである。

9月から約3ヶ月にわたる各回路の温度効率と負荷タンク内水温の経時変化を Fig. 2 に示す。No.1 回路は初期状態を維持し、No.2 回路では10%/月、No.3 回路では4%/月の温度効率の低下が見られる。なお「3-4 経済評価」では、これらの値にもとづき、オゾン利用の経済性について検討する。

3-2 水質分析およびスケール分析

分析項目は日本冷凍空調工業会基準に従い、基準6項目と参考2項目および濁度とした。また水質基準値については、No.1 および No.2 回路は当該工業会基準値、そして No.3 回路はメーカー管理基準値を採用した。

Table 2 は、試験期間中4回にわたる各回路の水質分析結果と基準値を整理したものである。No.3

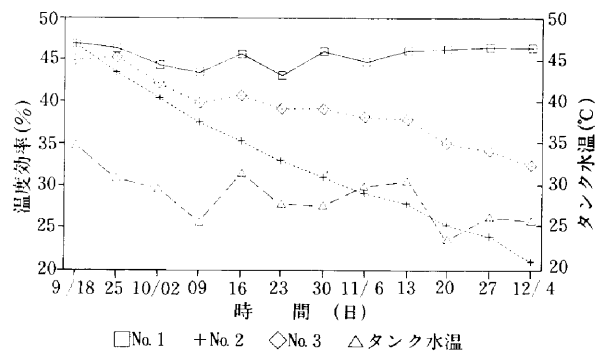


Fig.2 温度効率およびタンク水温の経時変化 (オゾン注入サイクル25分)

回路の水質は、薬剤処理に加え約0.03ℓ/minのブローを行っているにもかかわらず、No.1 回路とほぼ等しい。pH と全鉄については回路別相違はなく、No.3 回路の濁度が高いのは薬剤投入によるものと考えられる。

Table 3 は、冷却水および補給水のランゲリア指数を示したものである。ランゲリア指数とは、冷却水系においてもっとも一般的なスケールである炭酸カルシウム (CaCO₃) のスケール化傾向を判定する指数である。表から程度の差はあるが、3回路とも非スケール傾向であることがわかる。なお補給水は地下水を利用していることもあり、基準項目の半数がすでに基準値を越えている。

ところで冷却水系の本来の目的は、いかに熱交換器 (たとえば冷凍機における凝縮器など) で高い温度効率を維持するかである。その点、オゾン間欠注入方式は他に比べ水質では劣るが、濃縮管理の必要もなく高い温度効率を維持することができ理想的と考えられる。

Table 2 冷却水および補給水の水質分析

分析項目	No.1 回路				No.2 回路				冷却水基準値 JRA 9001-1980	No.3 回路				冷却水基準値 メーカー 管理基準	補給水				補給水基準値 JRA 9001-1980
	9/7	10/25	11/21	12/5	9/7	10/25	11/21	12/5		9/7	10/25	11/21	12/5		9/7	10/25	11/21	12/5	
pH (水温℃)	8.5 (21)	8.7 (17)	8.5 (18)	8.1 (17)	8.5 (21)	8.6 (17)	8.4 (18)	8.4 (17)	6.5~8.0	8.6 (21)	8.8 (17)	8.7 (18)	8.7 (18)	6.5~8.0	7.1 (20)	7.3 (17)	7.2 (18)	7.0 (18)	6.0~8.0
塩化物イオン mg/l	31	77	100	210	26	55	48	59	200以下	31	130	94	180	300以下	19	19	20	20	50以下
硫酸イオン mg/l	23	65	75	160	25	45	35	65	200以下	31	120	69	170	300以下	13	13	12	14	50以下
全硬度 mgCaCO ₃ /l	200	630	520	970	210	380	370	400	200以下	230	770	580	960	500以下	140	240	140	150	50以下
酸消費量(pH) kgCaCO ₃ /l	120	290	180	330	120	200	180	180	100以下	130	400	110	450	500以下	85	87	91	64	50以下
電気伝導率 μS/cm	480	560	1400	2100	510	770	660	800	800以下	540	1600	1400	1400	1500以下	360	340	340	340	200以下
全鉄 mg Fe/l	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0以下	0.1	0.1	0.0	0.1	1.0以下	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3以下
イオン状シリカ mg SiO ₂ /l	64	130	120	180	65	110	92	110	50以下	76	160	130	200	150以下	40	42	41	41	30以下
濁度	2	9	3	3	5	1	4	2	—	10	9	10	7	—	3	0	1	1	—

Table 3 冷却水および補給水のランゲリア指数

日時 \ 回路	No.1 冷却水	No.2 冷却水	No.3 冷却水	補給水
平成元年9月7日 (スタート時)	-283.1	-360.1	-380.9	-256.4
平成元年12月5日 (終了時)	-1,472.9	-563.1	-982.8	-242.4

また Fig. 3 は、各冷却塔充てん材表面から析出したスケールの X 線回折結果である。No.2 と No.3 冷却塔のスケールは、ともに CaCO₃ であるが ASTM カード番号、すなわち結晶構造が異なる。なお No.1 冷却塔のスケールには、両者が共存しており、興味深い。

3-3 冷却水系の汚染状況

Table 4 は、冷却水系の汚染状況を回路別に整理したものである。

No.1 回路からは、オゾンのスライムコントロール特性が良くわかる。また流量の減少 (26→23 l/min) は、スケールの形成がその一因と考えられる。従って今後オゾンが、冷却水中におけるスケールの形成を助長するか否かを究明する必要がある。

No.2 回路からは、スライムの発生が多く、流量の減少 (26→23 l/min) や温度効率の大巾な低下がみられ、濃縮管理の限界が伺い知れる。

No.3 回路からは、薬剤が多少スケール化しているように見えるが、流量の変動はなく、スライムやスケールも適当にコントロールされているのがわかる。ただ熱交換器内部では、部分的にスライムが付着しており、それが温度効率を多少下げている原因であると判断できる。

3-4 経済評価

Fig. 4 は、回路別経済比較を行ったものである。各直線の「切片」はイニシャルコストであり、「傾き」はランニングコストと熱交換器の温度効率低下に伴う交換エネルギーの損失料を合計した値である。すなわち縦軸は各回路への投資金額の合計であり、年利 5% の複利で計算している。

No.2 回路 (△-△) を基準に考えると、No.1 回路 (○-○) は約 5 年 (A 点)、No.3 回路 (□-□) は約 2 年 (B 点) でイニシャルコストの差を回収している。また 10 年間で見る限り、No.1 回路の No.3 回路

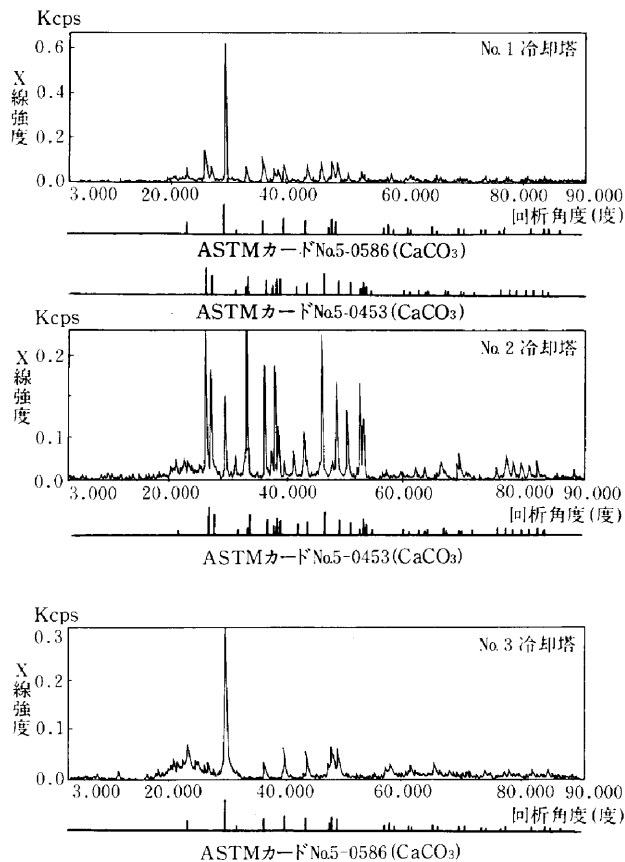


Fig.3 スケールの回析スペクトログラム

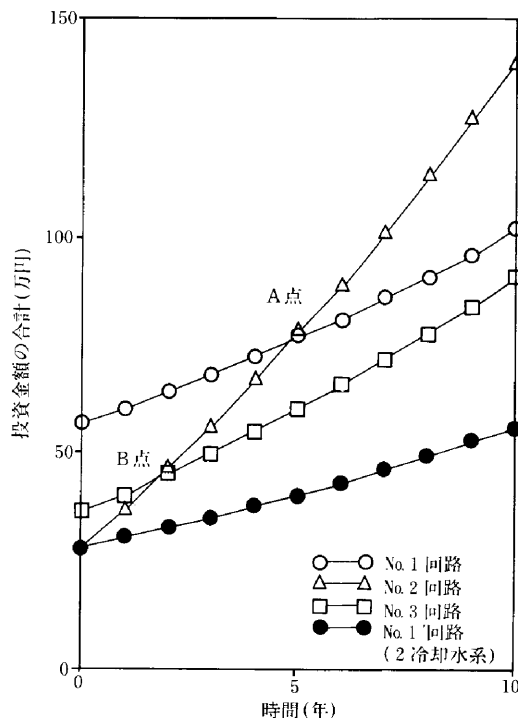


Fig.4 回路別経済比較

Table 4 冷却水系の汚染状況

回路 項目	No.1 回路	No.2 回路	No.3 回路
スプレーパイプ	内部は清浄であるが、表面にスケールが付着	内・外部ともスライムが付着し、その量は多い	内・外部ともスケール（薬剤含む）が付着
充てん材 消音マット	表面にスケールが付着	表面にスライムが付着し、その量は多い	表面にスケール（薬剤含む）が付着
水 槽	堆積物が少なく、無機質系	堆積物が多く、有機質系	堆積物が多く、無機質系
熱交換器内部	清浄状態	スライムが付着	部分的にスライムが付着
流 量 計	ガラス面は清浄であるが、金属部（フロートの芯棒）にスケールが付着（流量1割減少）	スライムにより流量計機能果さず（流量1割減少）	ガラス面、金属部（フロートの芯棒）にスケール（薬剤含む）が付着（流量変動なし）
そ の 他	テストピース(銅)に腐食なし	テストピース(銅)に腐食なし	テストピース(銅)に腐食なし

に対する経済的メリットはない。しかし当該オゾンユニットで2つの冷却水系に交互に注入すると仮定すれば(●●), イニシャルコストでさえ No.3 回路より小さくなりその経済的優位性は大きくなる。

4. おわりに

冷却水系における省エネルギー、すなわちブロー

水量の節減と熱交換器温度効率の維持という立場からオゾンを取り上げてきた。この考え方は決して新しいものではないが、経済的評価まで検討を加えた報告は少ない。

本論のように、温度効率低下に伴う交換エネルギーが全て損失料に計上されるとは考えがたいが、従来の濃縮管理方式に対して約5年で先行投資分(イ

ニシャルコストの差)を回収できたことは意義深い。また環境保護の立場からすれば、オゾンはその効能を発揮した後短時間に酸素に分解するため安全である。現在、引き続き注入サイクル50分を試験中であり、今後注入率の低減化を目標にさらなる経済性を追究したい。

また金属材料の耐オゾン性については、銅片を管内に挿入しその経時変化を調べたが、腐食による有意な重量変化はなかった。排オゾン対策については、冷却塔排気口にセカードの充てん層を設け対応した。圧力損失の問題は残ったものの、充てん層下流側ではバックグラウンドまでオゾン濃度を低減できた。

最後にオゾンは、卓越した酸化力を持つがゆえにオールマイティと考えられがちだが、その適用に当っては入念な基本特性の把握が必要であることを付け加える。

参考文献

- 1)高田秋一他：クーリングタワー，(財)省エネルギーセンター，1986
- 2)鹿島建設他：配管防食マニュアル，日本工業出版(株)，1988
- 3)尾花英朗：熱交換器設計ハンドブック，工学図書(株)，1986
- 4)日本化学会編：化学便覧 基礎編Ⅰ，丸善(株)