

目 次
CONTENTS

○ 電気浸透脱水機.....	1
Electroosmotic Dehydrator	
○ ロバテル遠心抽出機.....	7
ROBATEL Centrifugal Extractor	
○ グラスダメージ監視装置「新型メゾンデP」.....	13
Glass Damage Monitoring Equipment "New Type Meßsonde P"	
○ 圧力容器関連法規と非破壊検査.....	18
Pressure Vessel's Code and Non-destructive Inspection	
○ 嫌気2段処理.....	27
Two-Step Anaerobic Wastewater Treatment Process	
○ 省エネルギー形エアレーション装置「円盤形SPジェット」.....	34
Energy-Saving Aeration System ["Disk Header Type SP-Jet"]	
○ RO法による海水淡水化装置を用いたボイラ給水処理装置.....	38
Boiler Feed Water Treatment Plant with RO Type Desalination Plant	
○ 工業用冷却塔.....	45
Cooling Tower for Industrial Use	
○ 社内ニュース.....	50
TOPICS	



<表紙写真説明>

本冷却塔は東京都心部、赤坂六本木にあるアークヒルズ熱供給(株)に納入されたものである。アークヒルズはアークタワーズ、東京全日空ホテル、朝日テレビおよびサントリーホールで形成されており、合計9340冷却トンの能力はこの超近代化された設備を誇る最新のインテリジェントビルすべての空調に必要な水冷却に用いられている。

地域冷暖房用冷却塔は厳しい設置面積制限の中で最大の冷却能力を発揮するよう要求されるのみならず、冬季運転時の白煙防止、低騒音化等の環境保全、さらに高度の耐震構造が必要となる。

The picture shows Shinko-Pfaudler cooling towers delivered to Japan's one of the latest "intelligent" building, ARK HILLS amidst metropolitan Tokyo.

Total cooling capacity of 9340 RT manages water cooling necessary for air conditioning of ARK TOWERS, ANA Hotel Tokyo, Asahi TV and Suntory Hall which form ARK HILLS.

Not only for water cooling capability in the limited installation space, but particular design attention was also paid for high structural strength against heavy earthquake and environmental protection such as noise reduction and visible plume abatement during winter time operation for the cells required operation throughout the year.

電気浸透脱水機

Electroosmotic Dehydrator

技術開発本部

近藤 史 朗

Shiro Kondo

佐野 滋

Shigeru Sano

This paper describes our newly developed "Electroosmotic Dehydrator" which is applied to the dewatering of organic compressible sludge such as excess activated sludge, digested sludge and the like.

It also introduces a model of dehydrating mechanism of this Dehydrator. The filtered cake has a moisture content of 55%, or less which is unable to be attained by conventional mechanical methods.

まえがき

下水及び産業廃水処理プロセス等より発生する汚泥は、下水道の普及と処理水質の高度化に伴い年々増大の一途をたどり、汚泥処理処分は、ますます重要な課題となってきた。特に汚泥処理において、脱水処理の占める位置は極めて重要であって、処理処分の経済性、埋立地の制約などの面から、限界脱水技術の開発が急務となっている。そこで従来の機械脱水ではおよばなかったレベルまで脱水するため、界面動電現象の一つである電気浸透現象を、スラッジ脱水に応用し、理論的、実験的検討を踏まえその実用化に成功したのでここに紹介する。

電気浸透脱水において、実用化された例は少ないが、研究は古くから行われており、例えば、1931年には、Schwering 伯が、電気浸透現象を利用し、泥炭の脱水をした例があり、1920年代初頭には独国で2件、英国で1件の特許も出願されている。そして電気浸透と電気泳動に関する定量的な理論は、これよりもさらに40~60年前に Quincke, Helmholtz, Wiedeman らによって与えられている。

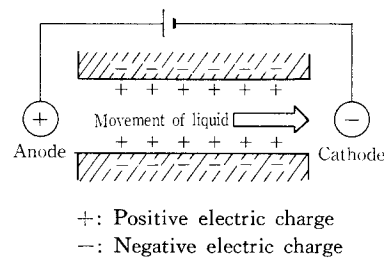
本稿では新しい分野の応用例として、特に余剰汚泥のような圧縮性を持った難沝過性スラッジの脱水における電気浸透メカニズムについて詳しく述べてみたい。

1. 現状脱水技術の壁

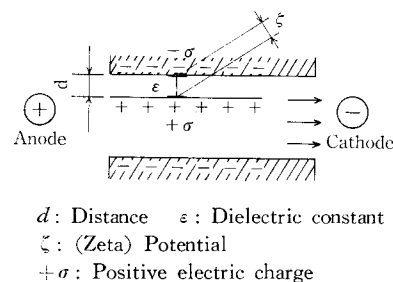
生物処理汚泥やフロックは、固体粒子と比べて結合水、水和水が多く、内部水を保有している。また形状の変形性、圧縮性があり、単に機械的に圧搾圧力を高めても、十分に水分を除去することは難しい。この種の汚泥では、沝過の進行に伴う汚泥の濃縮と、変形による圧密および粒子の集積密度が増すことによって生ずる粒子間の相互作用が、沝液の流出を著しく妨げている。従って沝過圧力を増した場合、含水率が減少するのは、水流出において障害のない、沝材に接するケーキ表面のみであり、ケーキの内部はほとんど沝過が進まない。また沝過圧力を高めれば高めるほど沝過抵抗も増し、ケーキ全体の平均含水率はごくわずかしか減少しない。ここに現状の機械的脱水技術の機構上の「壁」がある。従ってVSSが80%と高く、圧縮、変形性の大きな活性余剰汚泥等を機械脱水してもケーキの含水率が80%以下とすることは困難である。

そこで、汚泥の性質を変えることにより脱水性を高める手段として、凍結融解や熱処理などの方法が行われる。これらの方法は、加熱や、氷結作用を通して汚泥自身を、非

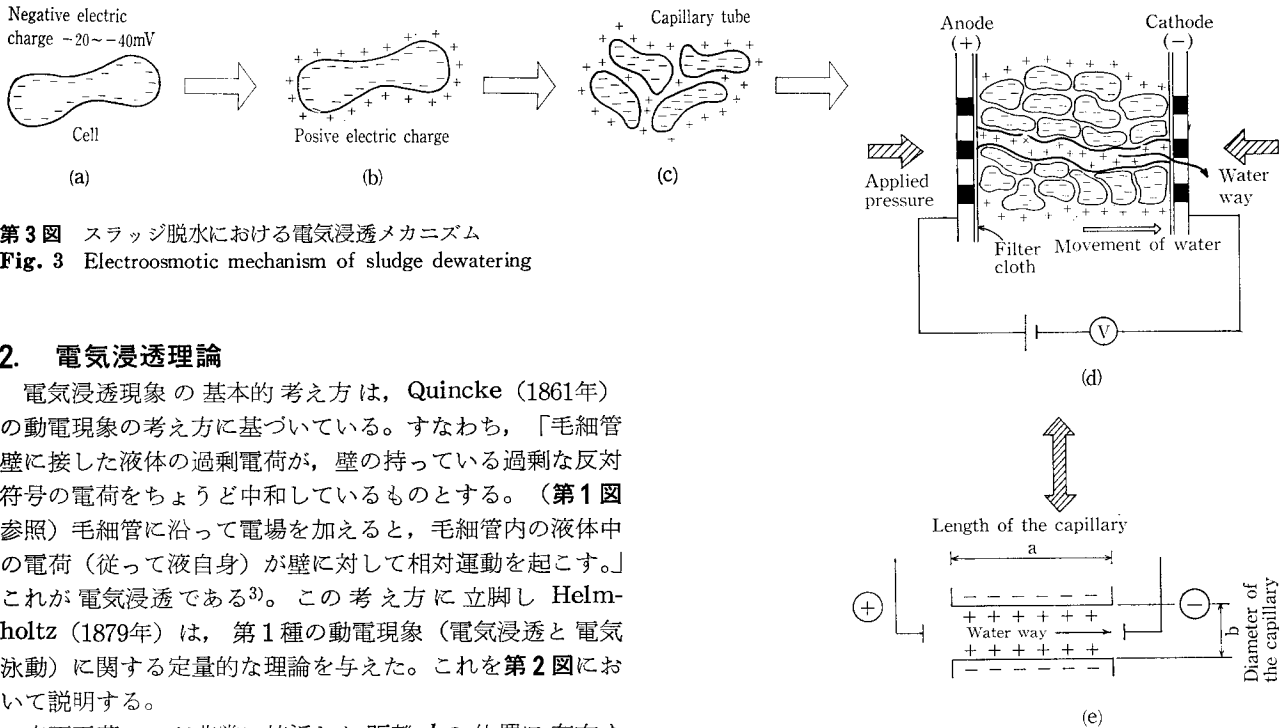
圧縮性にしたり、親水性コロイドを疎水性コロイドに変えたり、ゲル構造を破壊し、その間隙に含まれていた水分を分離したりするものである。これの方法により改質された汚泥をフィルタープレスなどの高圧脱水機で絞ると、活性余剰汚泥においても、脱水ケーキの含水率は40~50%となる。これは現状では最もケーキの含水率を下げることのできる方法である。しかしながら凍結融解法は、凍結時、微生物、細菌等の生物が氷の生長や、汚泥の圧密によって細胞破壊を起こすし、熱処理法においては、熱と圧力によってやはり細胞が破壊され、その分離液は水処理施設にそのまま返送を行った場合、放流水の水質の面から、問題を生じることが各種報告されている²⁾。従って細胞破壊を起こすことなく間隙水はもとより、結合水、水和水までも絞り出す方法が求められることになる。電気浸透脱水法は、この目的にかなった方法であると考えられ、また、その水抜けメカニズムも、定圧沝過と異なり非常に合理的であると考えられるのでここに紹介する。



第1図 毛細管の電気二重層
Fig. 1 Electric double layer in capillary tubes



第2図 毛細管における Helmholtz の電気二重層
Fig. 2 "Helmholtz double layer" in capillary tubes model



第3図 スラッジ脱水における電気浸透メカニズム
 Fig. 3 Electroosmotic mechanism of sludge dewatering

2. 電気浸透理論

電気浸透現象の基本的考え方は、Quincke (1861年)の動電現象の考え方に基づいている。すなわち、「毛細管壁に接した液体の過剰電荷が、壁の持っている過剰な反対符号の電荷をちょうど中和しているものとする。(第1図参照)毛細管に沿って電場を加えると、毛細管内の液体中の電荷(従って液自身)が壁に対して相対運動を起こす。」これが電気浸透である³⁾。この考え方に立脚し Helmholtz (1879年)は、第1種の動電現象(電気浸透と電気泳動)に関する定量的な理論を与えた。これを第2図において説明する。

表面電荷 $-\sigma$ が非常に接近した距離 d の位置に存在する液体の電荷 $+\sigma$ によって中和されているものとする(この状態は、電気的には電荷 σ 、電極間距離 d 、電位差 ζ のコンデンサーに等価である。)

極板間の電位差 ζ は

$$\zeta = \frac{d\sigma}{\epsilon} \quad (1)$$

ζ ; 極板間の電位差 (V)
 d ; 〃 の距離 (m)
 ϵ ; 媒質の誘電率 (F/m)
 σ ; 単位面積当りの電荷 (C/m^2)

界面に平行に強さ E の電界を加えた時、液体に作用する力 f_1 は

$$f_1 = \sigma E \quad (2)$$

f_1 ; 単位面積当りの電荷が電界から受ける力 (N)

E ; 界面に平行に与える電界の強さ (V/m)

この f_1 により液体は壁に沿って運動する。そしてこの f_1 が、液体と壁との摩擦抵抗力に等しくなると毛細管内での液体の流速は一定になる。

ニュートンの法則より、この摩擦力 f_2 は

$$f_2 = \frac{\mu \cdot u}{d} \quad (3)$$

f_2 ; 液体と壁との単位面積当りの摩擦抵抗力 (N)

μ ; 液体の粘度 ($kg/m \cdot s$)

u ; 流速 (m/s)

また半径 r の毛細管を通して、単位時間に輸送される液量 v_0 は

$$v_0 = u \cdot \pi r^2 \quad (4)$$

r ; 毛細管の半径 (m)

v_0 ; 移動する液量 (m^3/sec)

電磁気学の法則より

$$E = \frac{\rho I}{s} \quad (5)$$

(1)~(5)より

$$v_0 = \frac{\epsilon \cdot \zeta \cdot I}{\mu k} \quad (6)$$

ρ ; 抵抗率 ($\Omega \cdot m$)

I ; 電流 (A)

s ; 断面積 (m^2)

k ; 導電率 (s/m)

$$= \left(\frac{1}{\rho} \right)$$

(6)式は v_0 (電気浸透力によって生じる移動液量) が多孔性隔膜の厚さと断面積に依存しないことを表わしており [Wiedemann] の法則と言われる。

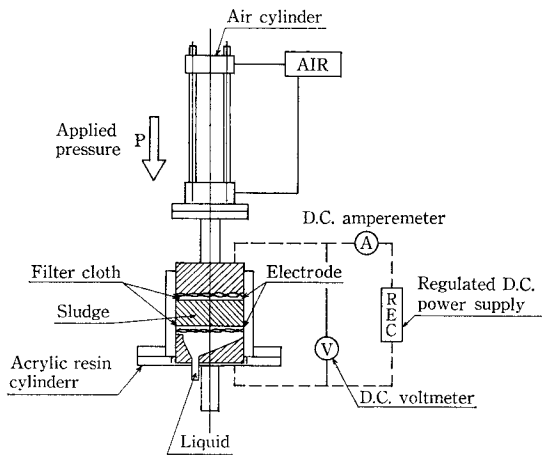
しかし、閉鎖領域における汚泥の脱水を考える時は、各種の境界条件が存在し、液の流れは必ずしも(6)式に一致しないことが判った。

3. 汚泥脱水における電気浸透 Model

各種産業廃水、下水処理より発生する活性余剰汚泥の脱水における電気浸透モデルを次のように考えてみる。そのモデルを第3図に示す。

1) 活性汚泥処理によって発生する余剰汚泥は、その量の約70%が微生物体で占められている。この汚泥の粒子は第3図(a)のように多くの場合 $-10 \sim -39 m \cdot V$ のゼータ電位を持つことが報告されている⁴⁾。(もちろん汚泥の粒子は、この菌体のフロック化した集合体である場合も少なくない。)従って Quincke の考え方によれば、この粒子に接している水は、粒子の持っているマイナスの電荷と釣り合うプラスの電荷を持つことになる。(第3図(b))

2) これらの汚泥粒子の集合体を圧縮すれば第3図(c)のように粒子と粒子の間隙は、水路と考えることがで



第4図 実験装置
Fig. 4 Schematic diagram of experimental apparatus

- き、毛細管でもある。そしてこの管内はプラスに帯電した液体（水）で満たされることになる。
- 3) 第3図(d)のように脱水カラムの中に、汚泥を入れ、2枚の汙布と穴明の金属板でこれを挟み込み、約 1 kg/cm^2 程度の圧力を加えると、このカラム内での粒子の状態は第3図(c)のようになっていると考えられる。この状態で直流電源を印加する。粒子の間隙は第3図(d)に示されるように、1つの水路と見なすことができる。当然のことながらこの水路はプラスに帯電した水で満たされており、電源の印加により、水はマイナス電極側に引っ張られることになる。
- 4) この状態は第3図(e)の毛細管における Helmholtz の電気2重層モデルで考えることができる。
また以上より汚泥の脱水における電気浸透モデルを考える時、注意すべき条件として次のことが推察される。

理論

実際

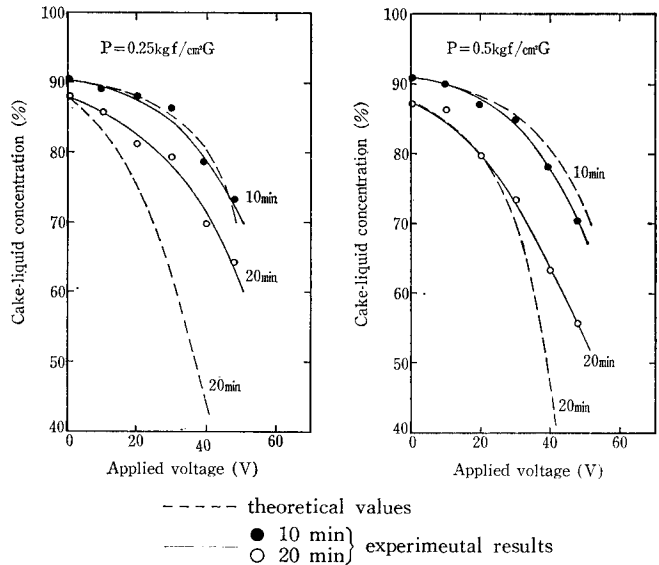
- | | |
|-------------------|----------------|
| (1) 反対電荷の層は平行である。 | 曲りくねっている。 |
| (2) 分岐路はない。 | 多くの分岐路を有する。 |
| (3) aは無限に長い。 | aは有限の長さである。 |
| (4) 管の断面積は一定。 | 毛細管の断面積は一定でない。 |

4. 理論値と実験値

第4図は脱水カラムテスト装置を示す。この装置はカラム内径が95 mmであり、エアシリンダーにより二枚の汉布と電極板に挟まれた汚泥に、機械的圧搾圧力を加えることができる。電極板の材質はSUS 304、汉布はポリプロピレン製、カラムはアクリル樹脂製である。

テストは汚泥に、 $0.25 \sim 4 \text{ kgf/cm}^2\text{G}$ の範囲の圧力を加えながら、電極板を通して、この汚泥に $0 \sim 48 \text{ V}$ の直流電圧(電流)を印加する。

このカラムテスト装置での実験結果と(6)式に従って算出した電気浸透理論による計算値との比較を第5図に示す。第5図は圧搾圧力 $0.25 \text{ kgf/cm}^2\text{G}$, $0.5 \text{ kgf/cm}^2\text{G}$ 印加電圧0, 10, 20, 30, 40, 48 V, 電圧印加時間10, 20 minの時のそれぞれの関係を示したものである。



第5図 理論値と実験値の比較
Fig. 5 Comparison between theoretical values and experimental results

この結果より次のことが判った。

1) 電圧印加時間10 minの時

- 圧搾圧力 $0.25 \text{ kgf/cm}^2\text{G}$
—— 実験値と理論値は比較的よく一致している。
- 圧搾圧力 $0.5 \text{ kgf/cm}^2\text{G}$
—— 実験値と理論値は $0 \sim 20 \text{ V}$ の間はよく一致しているが電圧が30, 40, 48 Vと上がるにつれて一致しにくくなる。

(6)式に従う理論値よりもさらに含水率は低下する。

2) 電圧印加時間20 minの時

- 実テストにより得られる含水率は(6)式によって計算された理論値ほどには下がらない。
- 印加電圧が高いほど実験値と理論値は一致しなくなる。

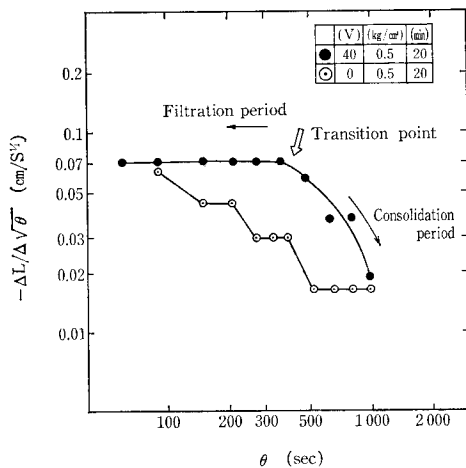
ここで注目したいのは

圧搾時間10 min—圧搾圧力 $0.5 \text{ kgf/cm}^2\text{G}$ のデータである。印加電圧が0の時は、脱水ケーキの含水率は約90%であり、しかも 0.5 kg/cm^2 の圧力のみでは、これ以上汚泥を絞ることは難しく、汉液もほとんど出てこないことが確かめられている。ところがこのデータでは、(6)式に従う理論値よりも多くの水が出ていることが分る。すなわち電圧が印加されていない時には、効果が薄かったと思われる定圧圧搾力が電圧の印加と共に効果を発揮し、電気浸透力と相まって水を移動させたものと思われる。また $0.5 \text{ kgf/cm}^2\text{G}$ で脱水時間が10分の条件において、追加テストをしたすべてのデータとも、これと同様の傾向を示した。また20分と脱水時間が長くなると、定圧圧搾力と電気浸透力を合せても、それ以上に液の流出を妨げる力が働いていると考えられ、ケーキの含水率は理論値ほどには下がらない。これは3.章の電気浸透モデルのところでも述べたような理論と実際との条件の違いによるものと思われる。特に脱水が進行し含水率が低下してくると、毛細管が細くなるため、毛管吸引力も大となり、液移動の駆動力は弱くなるものと思われる。

第 1 表 汚泥性状

Table 1 Nature of sludge

pH	6.4
SS (mg/ℓ)	7 700
TS (mg/ℓ)	8 400
VSS (mg/ℓ)	6 400
ζ-potential of particles (mV)	-20
Specific electric conductivity (1/Ω·cm)	2.27
Viscosity of filtrate (poise)	0.01



第 6 図 沷過期間より圧密期間への移行点の測定

Fig. 6 Determination of transition point between filtration and consolidation period

5. 定圧沷過法と電気浸透法の相違

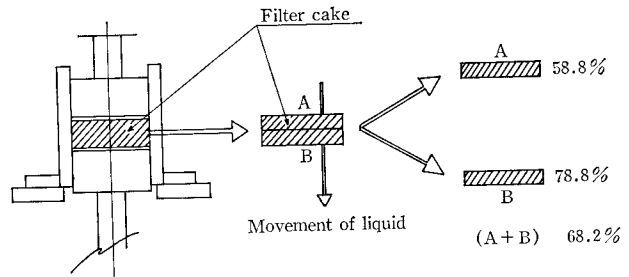
5.1 沷過期間の長さ比較

電気浸透法脱水と従来の定圧圧搾沷過法との相違についてももう少し深く考えてみる。白戸⁵⁾らの方法を使えば、脱水工程は、沷過と圧密の二期間に分けられ、沷過期間より圧密期への移行点をも知ることができる。ここで、できるだけ沷過期間の長いことが、沷過速度が大きく、含水率を効率よく下げ得る条件である。そこで沷過期間から圧密期間への移行点を調べることで、定圧沷過法と電気浸透脱水法（正確には圧力を併用しているので電気浸透+定圧沷過法）を比較した。

テスト装置は第 4 図、テストに使用した汚泥は第 1 表に示す。テストに使用した試料は第 1 表の汚泥に、カチオン系高分子凝集剤を対 D S 比 0.8 % 添加し、これを約 4 ~ 5 % 濃度にしたものである。

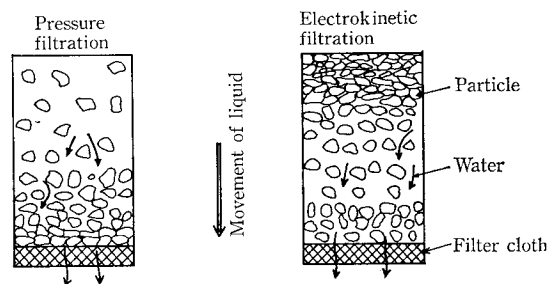
第 6 図より電圧（電流）を印加した場合、沷過期間は約 400 秒。電圧の印加のない定圧沷過法では約 90 秒である。またそれぞれの沷過期間終了時（400 秒、90 秒後）の脱水ケーキ含水率は、別途測定した結果、約 80 %、93 % であった。

これより電気浸透を併用した脱水においては、約 400 秒の間沷過期間が継続したことがわかり、比抵抗の影響を、脱水ケーキの含水率が約 80 % になるまでの長期間にわたり



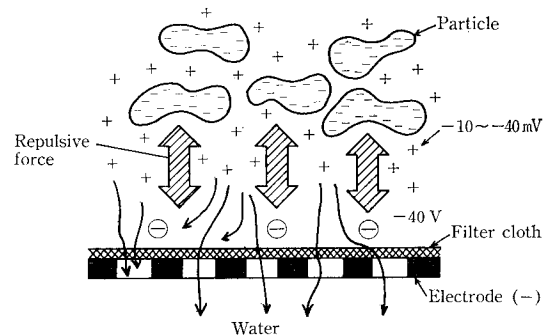
第 7 図 脱水ケーキの水分状態

Fig. 7 Distribution of water in filter cake



第 8 図 脱水メカニズム

Fig. 8 Dewatering mechanism



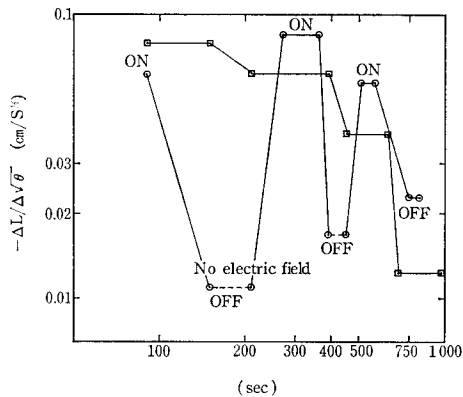
第 9 図 (-) 極付近の反発モデル

Fig. 9 A Model of phenomena on cathode

取除くことができることがわかった。すなわちこの方法は、非常に効率の良い脱水方法と考えられる。

5.2 脱水のメカニズム

次に、なぜこのように沷過期間が長く続くのか、そのメカニズムを考えてみたい。このことを考える上で、一つの示唆を与えてくれると思われる現象がある。それを第 7 図に示す。電気浸透法により脱水した汚泥（条件；P=0.5 kgf/cm²G, V=40 V, t=15 min）を水の移動方向に対し垂直な面で 2 分割し、それぞれの脱水ケーキの含水率を測定した。その結果、水の移動方向側（電極のマイナス極側—第 7 図の B 側）の脱水ケーキ含水率は 78.8 %、反対側（プラス極側—第 7 図の A 側）は 58.8 % であった。他の多くの試料の結果もすべてプラス極側の含水率が低い傾向を示した。ところが第 8 図より、定圧沷過脱水でのケーキ含水率



□ 40 V constant voltage
○ 40 V on, off applied voltage

第10図 電場の影響
Fig. 10 Effect of electric field

は、水の移動方向側の方が低い。このことは従来の定圧沝過脱水法と電気浸透脱水法とでは水抜けのメカニズムが異なっており、定圧沝過脱水を行った時に生じる水抜け側の沝材近辺面での圧密現象が電気浸透脱水法では起っていないことを示している。

この原因は第9図のように考えることができる。沝泥のフロックは、沝過面で沝過による水抜けを通じ、粒子の再配列、崩壊、変形等により、ち密で空隙率の小さい粒子の集まりとなっている。ところが粒子の持つ -20 mV と電極が持つ -40 V の電荷は、沝材を介して反発し合い、この反発力は沝材面付近での沝泥粒子の集積、圧密を妨いでいると考えられる。このメカニズムは従来の機械脱水の最大の難点であるケーキの目づまりを解消している。

6. 電場の効果

上記の反発モデルを検証するため、電場の印加による沝過速度への影響を調べる実験を行った。その一例を第10図に示した。所定の条件下で、圧搾沝過を始めると、時間と共に沝材面付近で圧密が起り、沝過速度が減少する。次にこの状態のまま電場を印加すると(第10図のonの点)沝過速度は急激に上昇し、電場を切ると(offの点)再び沝過速度は減少した。

第10図からわかるように、電場のon, offはまさに沝過速度に即答している。これらにより電場をかけることは沝材面でのケーキ粒子の圧密を抑制し、電気浸透による水の流れを起すと共に、定圧沝過の効率も良くするという効果をもたらしていることがわかった。

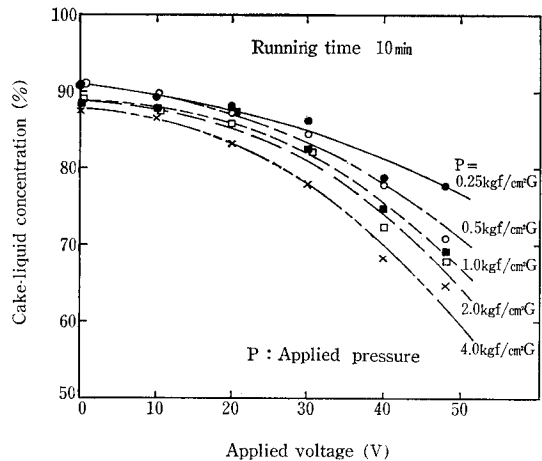
7. テスト結果

カラムテスト機によるテスト結果を簡単にまとめると次のようになる。(テスト機は第4図, テストに使用した沝泥は第1表)

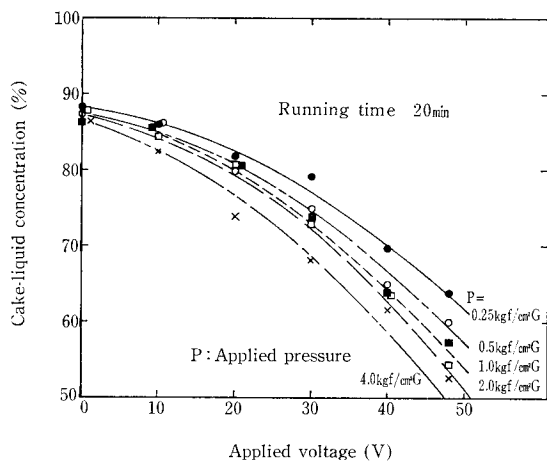
脱水率は電流, 電圧によって調整でき, プロセスに応じた最適な含水率に絞ることができる。

脱水時間を一定とした時の圧力-電圧-含水率の関係を第11図, 第12図に示す。これによると

1) 含水率は50%程度まで下げることができる。しかし



第11図 ケーキ含水率-圧搾圧力-印加電圧の関係
Fig. 11 Cake-liquid concentration, vs. V and P.



第12図 ケーキ含水率-圧搾圧力-印加電圧の関係
Fig. 12 Cake-liquid concentration, vs. V and P.

それ以上は、電圧を上げて、時間を長くしても絞ることはできない。

- 2) 電気浸透と併用する圧搾圧力は高いほど(印加電圧が同じならば)含水率は低下する。もちろん印加電圧の高い方が(圧搾圧力は同じ)含水率は低下する。
- 3) 沝液量と $W \times \theta$ (電力 \times 時間)の関係を第13図に示す。これによると直線の勾配は $\frac{1}{2}$ となる。定圧沝過の場合の沝過期間におけるRUTHの式は沝材の抵抗を無視すれば

$$V = \left(\frac{2A^2 \cdot gc \cdot k}{\alpha \cdot \mu} \cdot P\theta \right)^{\frac{1}{2}} \text{ で}$$

P ; 圧力差 ($\text{kgf}/\text{m}^2\text{G}$)

θ ; 沝過時間 (sec)

V ; 沝液量 (m^3)

α ; ケーキ比抵抗 (m/kg)

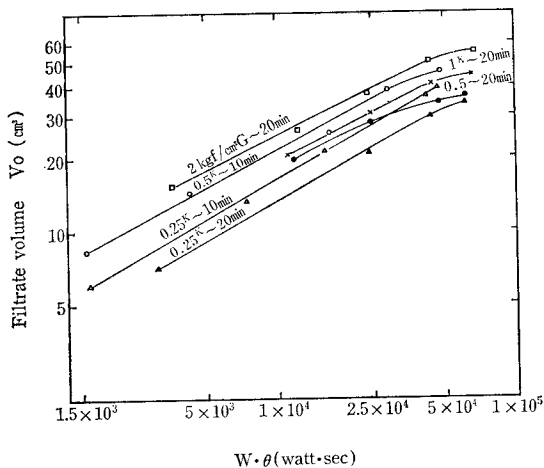
μ ; 沝液粘度 ($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$)

A ; 沝過面積 (m^2)

gc ; 重力換算係数 ($\text{kg}\cdot\text{m}/\text{kgW}\cdot\text{s}^2$)

k ; 乾ケーキ単位質量当りの沝液量 (m/kg)

V (沝液量) と $P \times \theta$ (圧力 \times 時間) を両対数にプロット



第13図 $W \cdot \theta$ (電力×時間) と V_0 (濾液量) との関係
 Fig. 13 Relation between $W \cdot \theta$ and V_0 at constant voltage

すれば直線の勾配はやはり $\frac{1}{2}$ である。

従って、電気浸透脱水の $W \cdot \theta$ は定圧濾過脱水の $P \cdot \theta$ に対応しているものと思われる。

- 4) 電気浸透によるスラッジの脱水は加圧脱水と併用すると効果がある。第9図で示したように電場の効果により粒子が反発されるものと思われる。また加圧力不足だと毛細管の発生が押えられ、電気浸透現象は起こりにくい。
- 5) 濾液の流れの方向は ZETA (ζ) ポテンシャルによって決まり、有機汚泥の場合は粒子自身がマイナス故、粒子に接する水はプラスとなる。従って水は電極のマイナス側に引き寄せられ移動する。
- 6) 脱水に要するエネルギーは、汚泥中の水分量に比例する。従って効率良く脱水するには、できるだけ電気浸透脱水を行う前に濃縮しておくことが肝要である。また電気浸透により移動する液量は、理論的には(6)式より、流れた電流に比例し、電圧には直接関係しないが、ケーキの厚み(抵抗)等により、最低の初期電圧は必要である。電圧はちょうど定圧圧搾脱水時の圧力に対応していると考えられる。
- 7) 一方次のような欠点もあるため、それぞれの対策が必要である。
 - (1) 電気分解によって陽極の溶出が生じる可能性もあり電極の選定には注意が必要
 - (2) 電極の温度が上昇する。(電極表面温度約 70°C)
 - (3) 電気分解により、下記反応が起こり、ガス発生がある。

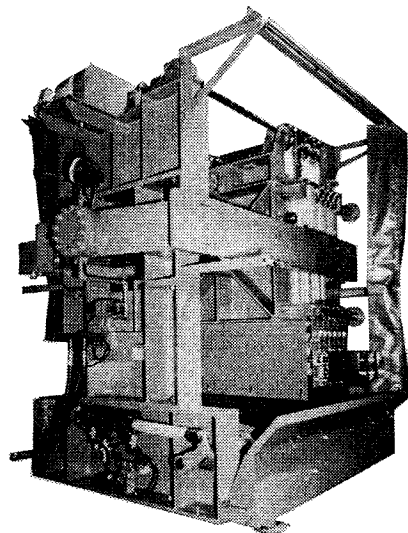
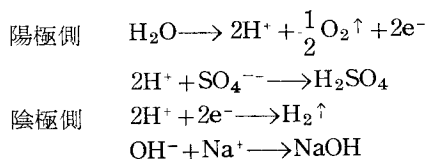


写真1 電気浸透脱水機
 Photo. 1 Electroosmotic dehydrator

むすび

本稿では主として原理、メカニズムを中心に電気浸透法脱水と定圧圧搾濾過法との相違、および電気浸透脱水法の特長、特異性、優位性などをカラムテスト機の実験結果をふまえて述べた。

電気浸透脱水法によれば、活性余剰汚泥等において従来の機械脱水法では達成困難な60%以下の含水率が得られ、新しい脱水法となることが確かめられた。しかし未知の部分も多く、仮定と推測の上に成り立っている部分もあり、本稿についてのご教示、ご指摘等があればいただきたい。

なお現在、当社ではすでに写真1のような実規模大の装置を開発しており、この装置でのテストを行っている。それらの運転結果、特長、経済性などについては次稿で詳述したい。

【参考文献】

- 1) 田島 栄：電気化学通論(1974)第9章 共立出版
- 2) 大宮一夫ほか：試験部報(1979)神戸市における汚泥処理小規模プラントに関する技術調査 日本下水道事業団編 真田和扶：下水道研究発表(1979)分離液性状へ及ぼす熱処理条件の影響について。大友和雄：下水道研究発表(1977)熱処理分離液の処理について。
- 3) A. シェルドコ：コロイド化学(1968) 共立出版
- 4) 佐藤了ほか訳：生体膜と細胞活動(1981) 培風館
- 5) 白戸紋平：化学工学(1980) 機械的操作の基礎 丸善

ロバテル遠心抽出機

ROBATEL Centrifugal Extractor

技術開発本部
川 潤 啓 司
Keiji Kawabuchi

Shinko-Pfaunder Company has started selling ROBATEL centrifugal extractor as the sole agent in Japan of ROBATEL SLPI, France.

ROBATEL centrifugal extractor is a new type centrifugal liquid-liquid extractor. A large number of stages with mixing and settling chambers are assembled vertically in one rotor, and highly efficient extraction is achieved by centrifugal force.

This paper introduces the outline of the equipment.

まえがき

わが国の産業構造は、高付加価値物質を対象とするファッション化の傾向にあり、それに伴い製品及び素材の高純度化を可能とする分離技術が要請されており、これらに応えるべく、多くの新しい抽出プロセスが提唱されている。

当社は、このたびフランスのロバテル社と販売提携を結び、新しいタイプの遠心式液液抽出機の販売を開始した。

本稿では、このロバテル遠心抽出機の概要を紹介する。

1. 抽出

抽出とは、固体混合物または液体混合物から特定の成分を分離するために、その特定成分のみを溶解する抽剤（溶剤）を加えて、溶解分離する操作の総称である。

原料が固体混合物の場合の抽出を固体抽出といい、原料が液体混合物の場合の抽出を液液抽出という。

液液抽出に関しては、第1図に示すように、次のような用語を用いる。

抽 料：抽出する原料 溶質と溶媒との混合物である。
(Extraction feed)

溶 媒：抽料中の溶質以外の成分
(Diluent)

溶 質：抽出する目的の成分
(Solute)

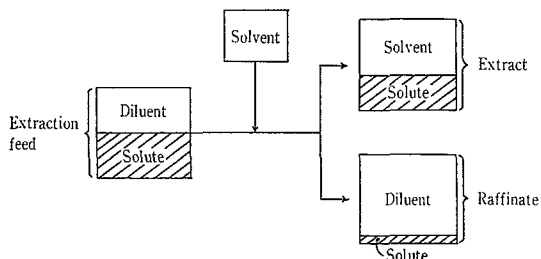
抽 剤：溶質を抽出するための液体
(Solvent)

抽出相：抽料に抽剤を加えて、混合・静置後、2液
(Extract) 相に分離した場合の抽剤側の相

相残相：2液相の溶媒側の相
(Raffinate)

2. 液液抽出機の種類

液液抽出操作を利用する分野は広く、それぞれの目



第1図 抽出の概念図

Fig. 1 Schematic diagram of extraction

的によって各種の抽出装置が開発されている。これらの装置の分類を第2図¹⁾に示す。

遠心抽出機の型式は、次の3つに分類できる。

- (1) 単一段型（ミキサーとセトラーを一体化した遠心分離機タイプ）
- (2) 多段型（複数のミキサーとセトラーを一体化し、同一回転軸で作動させるタイプ）
- (3) 微分向流型（回転ドラムの中心部に重液を、周辺部に軽液を供給し、遠心力により向流接触させるタイプ）

3. ロバテル遠心抽出機

ロバテル遠心抽出機は遠心力を利用した多段型の液液抽出機と定義され、LXタイプとBXPタイプの2種類のタイプがある。LXタイプは、複数のステージを垂直軸方向に一つのローター中に組み込んだ多段タイプであり、BXPタイプは、各ステージを横に並べた多段タイプである。

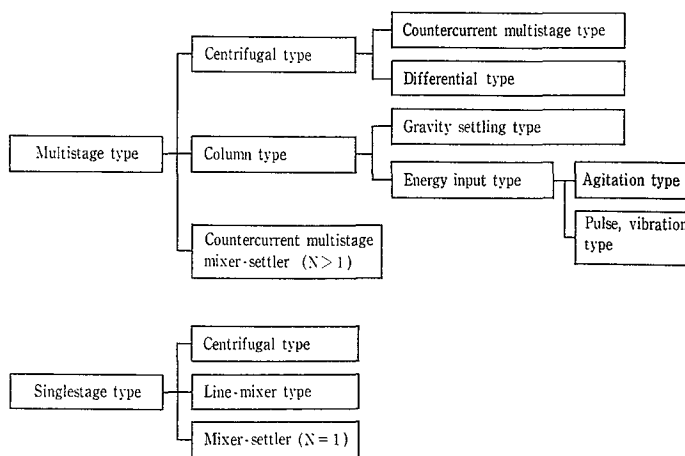
3.1 LXタイプ

LXタイプには、工業用として、LX 320, 360, 520, 570シリーズ、パイロットテスト用として、LX 120, 200シリーズがある。

3.1.1 操作原理

工業用LXタイプ（4段）の断面図を第3図に示す。

溶質を含んだ抽料（重液相）と、溶媒とは溶け合わず異なった比重を持つ抽剤（軽液相）とは、抽出機ローター中



第2図 液々抽出機の種類

Fig. 2 Type of liquid-liquid extractor

流で流れる。混合と分離操作が、それぞれのステージ
われ、連続的に溶質が抽剤中へ移動する。

れぞれのステージは、次のような構成より成っている。
ミキシングチャンパー

定された静止ディスク（第3図のA）による剪断力に
、ミキシングチャンパー内で重液相と軽液相の2相が
される。

セトリングチャンパー

合された2相が、遠心力の作用により分離される。こ
チャンパーには、2つのオーバーフローシュート（第3
BとC）があり、流量とは関係なく界面を安定化させ
る。

液相のオーバーフローシュート(B)は取り外しが可能
ディスクより成っており、2相の比重比に応じて最適の
選ばれる。

相の供給は、ケーシングに固定された2つのパイプま
、中心ドラム内の導液管（パイロットテスト用LX
合）により行われる。

出相と抽残相は、重力またはセントリペタルタービン
り排出される。

ポウル内残液は、ローター停止時に、ケーシング下部の
パイプより排出される。

3.1.2 特長

1) 遠心力を利用した向流多段抽出

ミキシング・セトリングチャンパーを備えた各ステージ
は垂直軸方向に構成されており、遠心力の作用により、
2相の混合・分離が向流多段で行われる機構である。メ
カニカルシールは必要としない。

2) 高い抽出効率

一つの装置内で、混合・分離が多段で繰り返し行われ
るため、高い抽出効率を得られ、段効率は100%に近い。各
装置の段数はLX 120では6段、LX 200では4段、LX
320、360では5段、LX 520では7段、LX 570では6段
まで可能である。

2相の比重比が小さい液液系、エマルジョン化傾向の液
液系も、遠心力の作用により、大きな分離効果を得られる。

3) 短い滞留時間、少ない液保有量

平衡に達する時間が短く、分離に要する時間も短いた
め、滞留時間が短く、不安定物質に対しても効果的に処理
できる。最大処理量の場合の装置滞留時間は約25~40秒程
度である。また、短時間で定常運転に
達し、装置内の液保有量が少ないた
め、運転の開始及び終了時の液損失量
が大変少なく、高付加価値物質の処理
に適している。

4) 大きい処理能力、コンパクトな装置

単位容積当りの負荷流量が大きく、
コンパクトな装置であり、設置面積、
高さとも小さい。

5) 簡単な運転操作

操作は簡単で、短時間で定常運転に
達する。2相の入口、出口の圧力の微
調整は必要としない。

6) 簡単な分解・洗浄・組立

垂直軸構造のため、分解・洗浄・組
立は簡単に短時間で行うことができ
る。

ミキシング・セトリングチャンパー
を備えた各ステージは、ペッセルとロ
ーターの上部を外せば、中心軸とと
もに簡単に取り外すことができる。

3.1.3 装置の構成

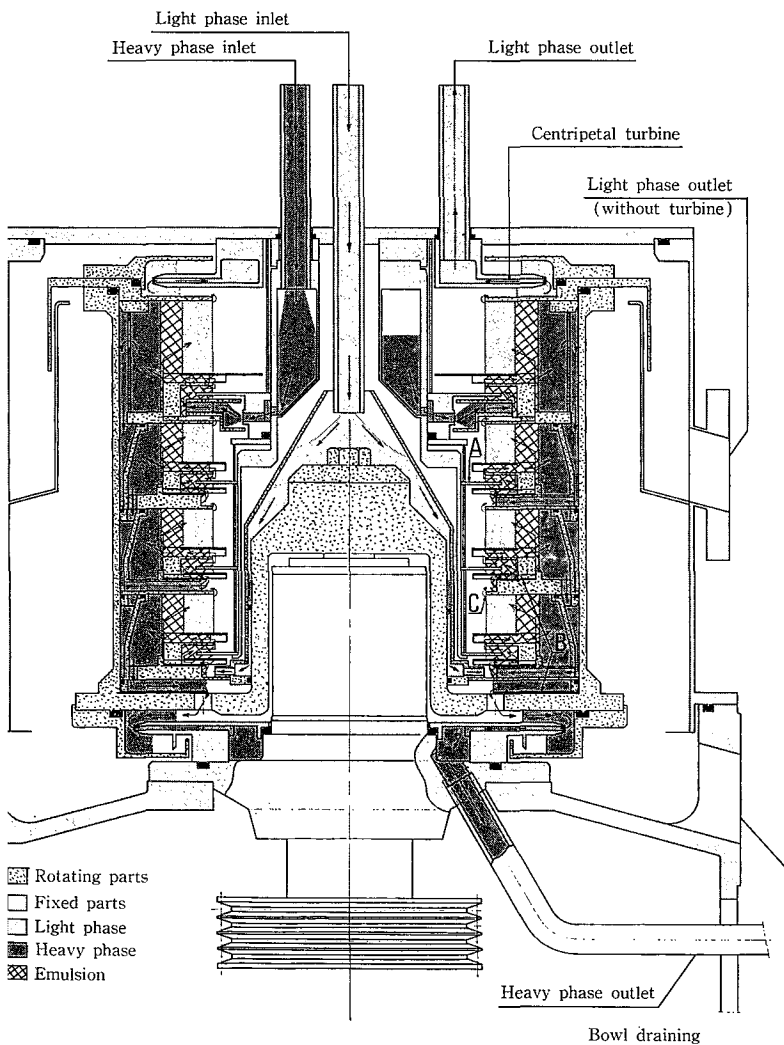
1) ローター

ローターのシャフトの軸封はリップ
シールにより確実に行われている。

ケーシングとローターの間にはス
ペースがあり、必要であれば、酸化防止
等のために塗素によるパージも可能で
ある。

2) セントリペタルタービン

セントリペタルタービンを取り付け
ることにより、抽出相、抽残相は吐出



2 工業用LXタイプ（4段）の断面図

3 Cross section sketch of industrial LX type (4 stage)

圧を持ち、複数の抽出機を連続につなぐこともできる。

3) 駆動装置

工業用LXタイプでは、Vベルトドライブが標準となっている。回転数の調整が必要な場合には、プーリーの交換または、インバーターを取り付ける。

4) 構成材質

接液部は全てSUS 316が標準となっているが、 Hastelloy, チタン等の特殊材質の製作も行う。リップシールはテフロン、Oリングはバイトンのテフロン包み形を使用している。

3.1.4 標準仕様

標準仕様、寸法は第1表に示す。工業用LXタイプの装置外観は写真1に示す。

3.1.5 パイロットテスト用LXタイプ (LX 120, 200)

LX 120, 200シリーズの抽出機、特に4段の装置であるLX 124, LX 204は、抽出プロセスの研究及び工業用抽出機LX 320, 360, 520, 570, BXPの選定に適している。この目的のために、各ステージには液の入口が設けられており、ローターの回転、液の供給を止めることなく種々の条件での抽出実験が可能である。

4段の抽出機の断面図を第4図に示す。駆動はモータ直結となっている。

4段の抽出機では、例として、次のようなフロー(第5図)が可能である。

フローA: 4段の向流段数を持つ通常の使用方法

フローB: 第3段を軽液相入口として、2段の抽出機としての使用方法(第2段を入口とすれば、3段となる。)

フローC: 2つの溶け合う重液相と1つの軽液相の間の

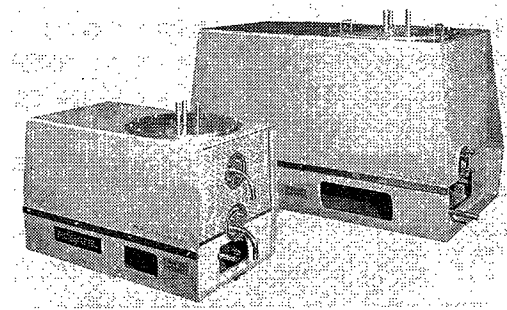


写真1 工業用LXタイプ
Photo. 1 Industrial LX type

第1表 LXタイプ標準仕様・寸法表

Table 1 Standard specifications and dimensions of LX type

Type	Number of stages	Bowl diameter mm	Bowl capacity ℓ	Rotation speed rpm	Motor power kW	Max.* flowrate ℓ/h	Weight kg	Dimensions L×W×H mm	Centripetal turbine		
									Light phase	Heavy phase	
LX 120	LX 122	2	120	0.15	2 900**	0.75	25	180	720×720×970	○	○
	LX 123	3	120	0.225	2 900**	0.75	25	185	720×720×1 025	○	○
	LX 124	4	120	0.300	2 900**	0.75	25	190	720×720×1 080	○	○
	LX 126	6	120	0.38	2 900**	0.75	25	200	720×720×1 140	○	○
LX 200	LX 202	2	200	1	2 900/1 450**	1.5	250/125	220	720×720×1 060	○	○
	LX 203	3	200	1.4	2 900/1 450**	1.5	250/125	230	720×720×1 120	○	○
	LX 204	4	200	1.8	2 900/1 450**	1.5	250/125	240	720×720×1 180	○	○
LX 320	LX 323	3	320	11	3 200	5.5	1 800	280	1 050×590×760	—	—
	LX 324	4	320	10.2	3 200	5.5	1 500	290		—	—
	LX 325	5	320	9.3	3 200	5.5	1 300	300		—	—
LX 360	LX 363	3	360	14.6	3 000	7.5	2 100	300	1 050×590×760	○	—
	LX 364	4	360	13.6	3 000	7.5	1 800	310		○	—
	LX 365	5	360	12.6	3 000	7.5	1 500	320		○	—
LX 520	LX 524	4	517	57	2 000	18.5	6 000	1 020	1 550×840×1 100	—	—
	LX 525	5	517	54	2 000	18.5	5 000	1 040		—	—
	LX 526	6	517	52	2 000	18.5	4 500	1 060		—	—
	LX 527	7	517	49	2 000	18.5	3 500	1 080		—	—
LX 570	LX 574	4	570	74	2 000	18.5	8 000	1 100	1 550×840×1 100	○	—
	LX 575	5	570	70	2 000	18.5	7 000	1 130		○	—
	LX 576	6	570	67	2 000	18.5	6 000	1 160		○	—

* the figures of max. flowrate (total of both phases) correspond to the products whose density ratio is about 1.25 and flowrate ratio around 1.

** with 50 Hz current feeding the directly flanged motor.

接触。たとえば、3段の抽出+1段の軽液相の洗浄という使用法

ローD：1つの重液相と2つの溶け合う軽液相の間の接触。たとえば、3段の抽出+1段の重液相の洗浄

装置の外観を写真2に示す。標準仕様、寸法は第1表の120, 200を参照。

BXPタイプ

原理は、LXタイプと同じであるが、各ステージを横に並べたタイプである。処理量は、LXタイプより大きい。材質の違いにより、金属製とPVDF製の2種類のタイプがある。

1 操作原理

LXタイプの原理図を第6図に示す。

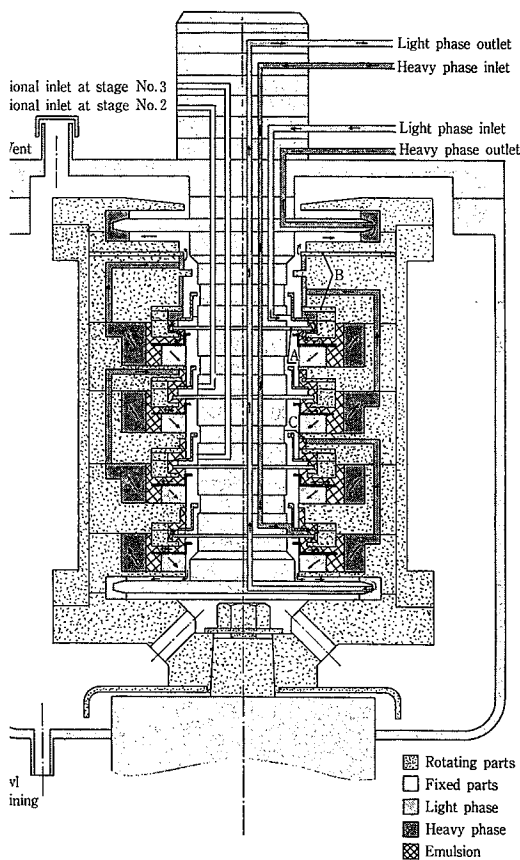


図4 パイロットテスト用LXタイプ(4段)の断面図
Fig. 4 Cross section sketch of pilot testing LX type (4 stage)

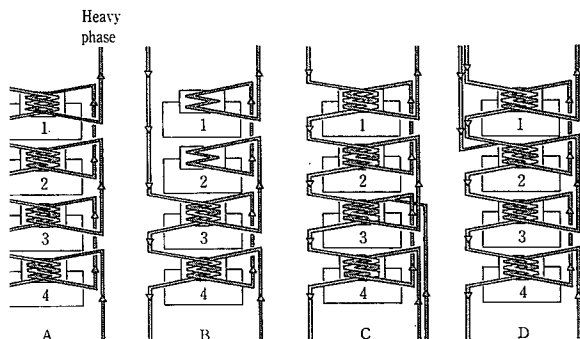


図5 フローパターン
Fig. 5 Flow pattern

2相は、各ステージを向流で流れる。静止したケーシングの下部はミキシングチャンバーとなっており、ボウル下部のタービンにより2相の混合が行われる。タービンは、混合とともにポンプの役目もはたしており、混合した2相をボウルへ送る。ボウル内で、遠心力の作用により、2相は分離される。

各ボウルは、界面の調整・安定化のために、それぞれの相にオーバーフローシュートを持っている。

各段の滞留時間は短く、約15-20秒程度である。

3.2.2 構成材質

金属製BXPタイプは、SUS 316が標準であるが、カーボンスチール、特殊金属の製作も行う。また、各ステージを分離した装置、共通ケーシング内に複数のステージを持った装置の製作も行う。

PVDF製BXPタイプは、高い耐薬品性を持っており、SUSまたは特殊金属が使用できないプロセスで使用される。

3.2.3 標準仕様

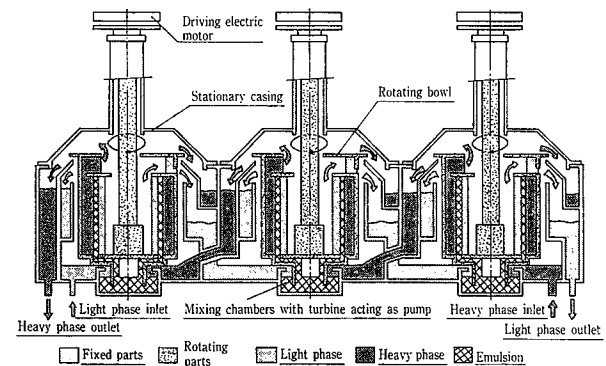
金属性BXPの外観を写真3に、PVDF製BXPの外観を写真4に示す。2種類のBXPタイプの標準仕様、寸法は第2表に示す。

4. ロバテル実験用ミキサーセトラー

この実験用ミキサーセトラーは、液液抽出理論を工業プロセスへ適用する際の実験及びパイロットテストに有効なものである。

4.1 装置の概要

装置の概要を第7図に示す。一つのステージで、次の工程が行われる。



第6図 BXPタイプの原理図
Fig. 6 Principle of BXP type

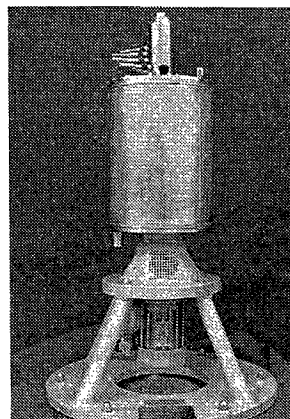
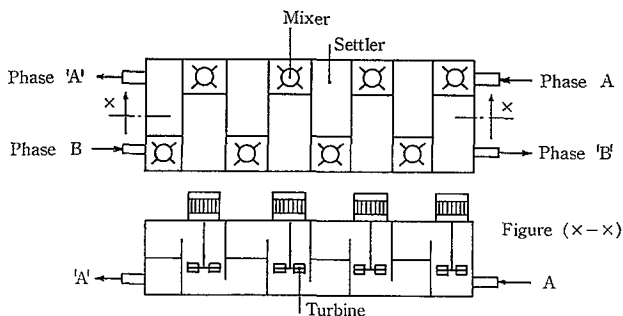


写真2
パイロットテスト用
LXタイプ
Photo. 2
Pilot testing LX type

- 1) 重液相と軽液相は、ミキサー中でタービンにより十分な混合が行われる。
- 2) 混合された液は、セトラー中へ移動し、重力により2相へ分離される。分離した2相は、それぞれオーバーフローにより、隣のステージへ移動する。



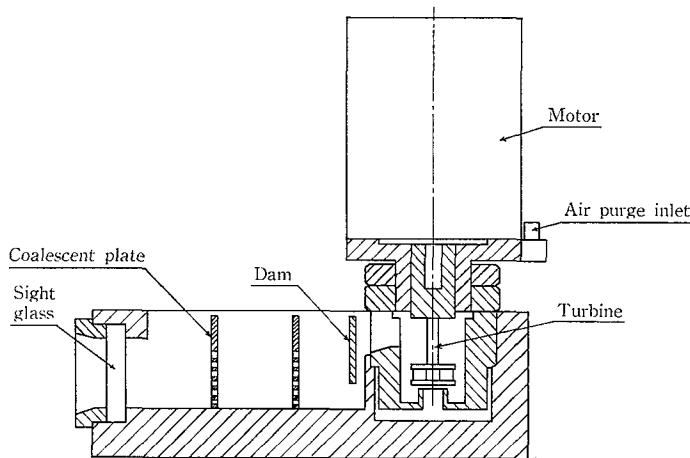
第7図 実験用ミキサーセトラー
Fig. 7 Laboratory mixer-settler

4.2 特長

- 1) ミキサー中のタービンは、前のステージのセトラーからの相を吸引・混合し、セトラーへ送る。タービンの高さは調整可能である。構造図を第8図に示す。
- 2) 重液相のオーバーフローの高さは調整可能であり、2相の比重比に応じて、界面の位置のコントロールを行うことができる。この機構を第9図に示す。
- 3) 各ステージのタービンを回す8個までのモータは、インバーターによりコントロールすることができる。

4.3 構造

- 1) サイズ
4つのサイズの装置があり、それぞれのシリーズでは、任意にミキサーまたはセトラーの選択ができる。
- 2) 相のリサイクリング
同ステージのミキサーとセトラーの間でリサイクルさせることができる。
内部リサイクルタイプとユニバーサルタイプには、相の流路切換器や流量調整器を備えたリサイクルの液路があ



第8図 実験用ミキサーセトラー構造図
Fig. 8 Structure of laboratory mixer-settler

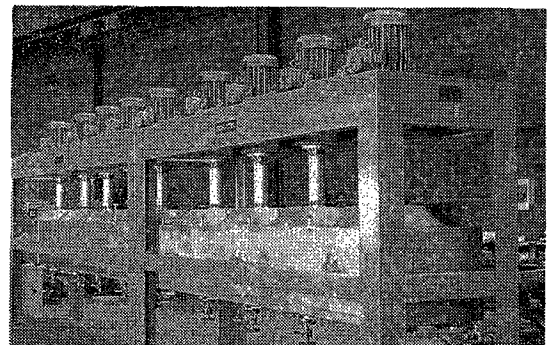


写真3 金属製BXPタイプ
Photo. 3 BXP type with metallic bowls

第2表 BXPタイプの標準仕様・寸法表
Table 2 Standard specifications and dimensions of BXP type

Type	BXP with metallic bowls				BXP made of PVDF					
	BXP 320	BXP 360	BXP 520	BXP 800	BXP 130	BXP 210	BXP 360	BXP 460	BXP 620	
Bowl φ mm	320	360	520	800	135	210	360	460	620	
Bowl capacity ℓ	17	29	110	220	1.3	5.6	31	80	175	
Rotor speed/50 Hz rpm	2900	2900	1450	1000	1450	1450	970	730	580	
Motor power kW	5.5	7.5	11	15	0.4	0.75	1.5	2.2	3.7	
Nominal flowrate*) m ³ /h	6	10	25	50-80	0.6	3	12	25	60	
Dimensions mm	A	610	680	1000	1500	300	700	900	1100	1500
	B	700	700	900	1500					
	C	800	800	1000	1600					
	H	1500	1700	2400	2600	930	1250	1700	2000	2900
	h	500	600	920	1250					

*) Total output of both phases, for phase density ratio 1.3 and flowrate ratio 1.

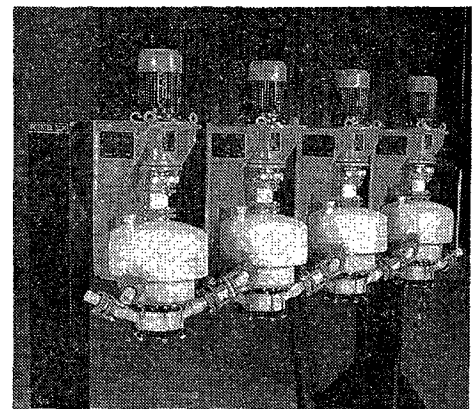
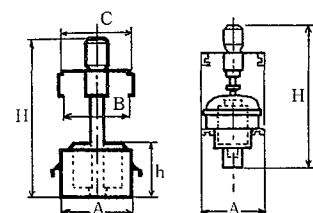


写真4 PVDF製BXPタイプ
Photo. 4 BXP type made of PVDF



$$B = A \times \frac{\text{Heavy phase density}}{\text{Heavy phase density} - \text{Light phase density}}$$

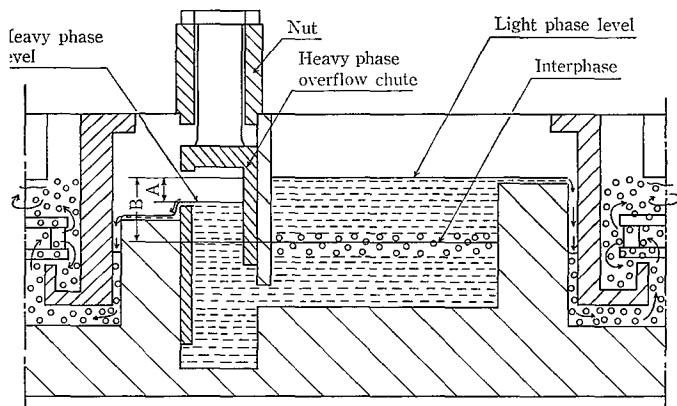


図 9 界面調整の機構
fig. 9 Mechanism of interphase adjustment

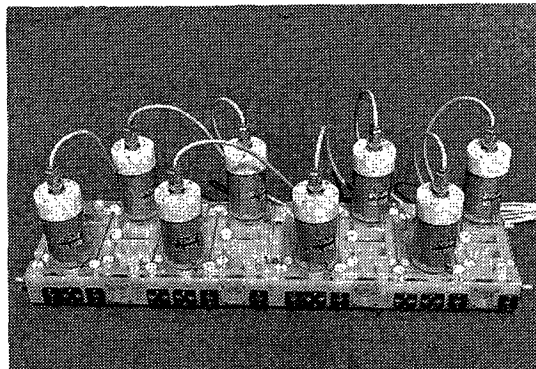


写真 5 ミキサーセトラー
Photo. 5 Laboratory mixer-settler

表 3 ミキサーセトラーの標準仕様・寸法表
Table 3 Standard specifications and dimensions of laboratory mixer-settler

Type	Size 1			Size 2			Size 3	Size 4
	Standard	Internal recycling	Universal	Standard	Internal recycling	Universal	Standard	Standard
Number of stages of basic module	4	4	4	4	4	4	1	1
Length	mm 200-240	200-240	200-240	492	492	492	490-690	950
Width	mm 305	385	470	494	494	675	110	192
Height with standard motor	mm 203-215	203-215	203-215	260	260	260	340	340
Mixer volume	l 0.035-0.050	0.035-0.050	0.035-0.050	0.2	0.2	0.2	0.62-0.86	2.3
Settler volume	l 0.143-0.257	0.143-0.257	0.143-0.257	1.3-1.7	1.3	1.7	3-5	11
Settler area	cm ² 49-71	49-71	49-71	215-285	215	215	270-450	1 000
Overall flowrate	l/h 2-6	2-6	2-6	10-20	10-20	10-20	15-40	40-80
Weight (polyethylene)	kg 13.5-14.6	14.4-16.0	15.5-17.5	25-27	26	30	7.8-9.4	17

、外部ポンプの使用により正確な流量調整も可能である。

3) 中間入口, 出口

ユニバーサルタイプには、さらに各ステージに補助の入口, 出口があり、必要な段数での運転も可能である。また、洗浄, ストリッピングなどのために、いくつかのセクションに分割することもできる。

4) 材質

ポリエチレン, PVDF (サイズ1と2のみ), ポリプロピレン等の材質の製作を行う。

4 標準仕様

装置の外観を写真5に、標準仕様, 寸法を第3表に示す。

む す び

抽出操作は今後共、医薬品, ファインケミカルから各種金属類に至るまでの高付加価値物質の選択的高度分離技術としての適用が増加すると期待され、さらに遠心抽出機が、有機, 無機の合成反応から酵素反応に至るまでの高効率反応機として使用されることも期待される。

本稿が、ユーザ各位が抽出機を選定される際のご参考になれば幸いである。

〔付記〕

なお、当社では貸出し用, 当社内試験用にテスト機 (LX 204, 実験用ミキサーセトラー)を準備しておりますのでご活用下さい。

〔参考文献〕

- 1) 駒沢 勲: ケミカル・エンジニアリング, 1985年5月号, p. 14.

グラスダメージ監視装置「新型メゾンデP」

Glass Damage Monitoring Equipment "New Type Meβsonde P"

(化)技術部 製品開発課
榎本 正
Tadashi Enomoto

Periodical visual inspections or spark tests with pinhole tester have been carried out to check the glass damage of glassteel apparatus. To prevent serious accidents, it's desired to defect glass damages at an early stage. New type "Meβsonde P" is the equipment which can continuously monitor glass damages and it's function is not affected by the characteristic change of contents. The measuring principle is based on current measurement using an external voltage source.

まえがき

グラスチール製機器はその用途に応じて、ガラスの種類、ガラス厚み、ガラス面検査方法を選定して製作されている。使用中の不測の事故などによる原因でガラスが破損した場合、製品中へ母材金属イオンが溶出し、あるいは腐食環境が著しい場合には、短時間で母材金属を貫通し、大事故に直結することがある。

メゾンデPは、グラスチール機器本体のみならず攪拌翼およびバッフル等の缶内挿入物のグラスダメージを連続監視し、警報する装置である。従来、ガラス面の点検は、定期検査時の缶内目視検査あるいはピンホールテスターを用いたスパークテストにより行われてきた。この場合、グラスダメージの発生から発見までの時間遅れにより、大幅な補修が必要となったり、極端な場合には補修が不可能となる。本装置を使用することによりグラスダメージをいち早く検出し、グラス破損に起因する損失を最少限に食い止めることができる。

当社は、1973年にメゾンデPを発表して以来、今日までユーザ各位に多数利用頂いてきたが、今回従来品の欠点を改良し、より使い易く精度の高い製品へとモデルチェンジを実施した。写真1にグラスダメージ監視装置「新型メゾンデP」の変換器(Type PS-8701)を示す。なお、本装置は本質安全防爆構造 i 3n G5 を認可申請中である。

1. メゾンデPの測定原理

メゾンデPの測定原理を第1図に示す。グラスチール製缶体の母材金属(P₂極)と缶内液相中の電極(N極)の間に、外部より直流電圧を印加する。ライニングガラスが健全であれば、その電気絶縁性により、電流はほとんど流

れない。グラスにチップング、クラックなどが発生し、母材金属が液中に露出すれば、缶内液を介して通電することを利用してはいる。

したがって、本装置を使用するためには、缶内液体が電気の導体であること、すなわち、缶内液体の比伝導度が 10^{-3} Ω/cm 以上の電解質溶液であることが条件となる。

上記に示すように、メゾンデPは電流の測定を基本原理としているが、回路抵抗に相当する液体の比伝導度およびガラスの体積固有抵抗は温度変化の影響が大である。すなわち、比伝導度及び体積固有抵抗とも、温度の上昇にとりも、電気抵抗が小となる方向に変化する。例えば、25°Cの温度上昇で、ガラスの体積固有抵抗は1オーダー低下する。

また、液体の比伝導度も、温度変化のみならず、その濃度変化にも影響される。実機レベルにおいては、内容液の温度、濃度とも単一条件であることは皆無であり、温度及び濃度変化に対する補償が必要となる。第1図中、電極P₁と電極Nで構成される交流回路がこの補償回路に相当する。

次に等価回路図(第2図)を用いて、詳細な説明を行う。

1.1 検出回路

電極P₂およびNで構成される直流回路である。グラスダメージを直接測定する回路であるため、以降、本回路を

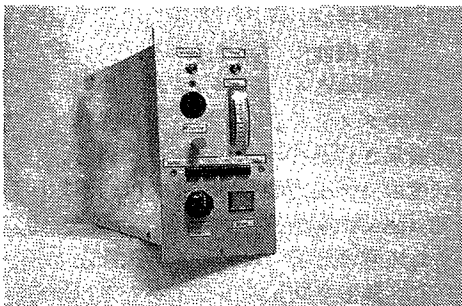
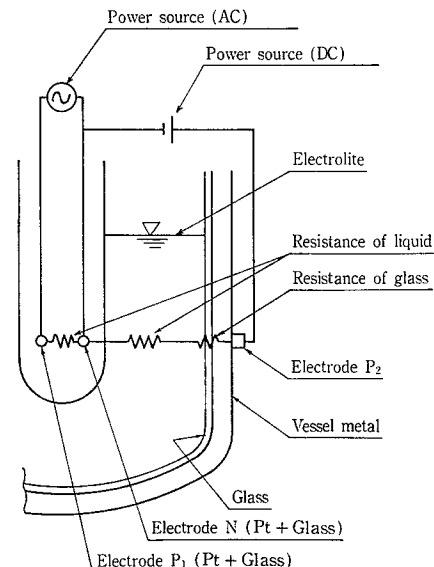
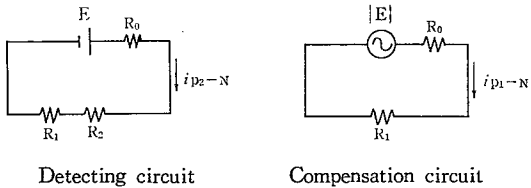


写真1 メゾンデP変換器(型式PS-8701)
Photo.1 Meβsonde P transducer (Type. PS-8701)



第1図
メゾンデPの測定原理図
Fig. 1
Measuring principle of Meβsonde P



第2図 メゾンデPの等価回路
Fig. 2 Equivalent circuit of Meßsonde P

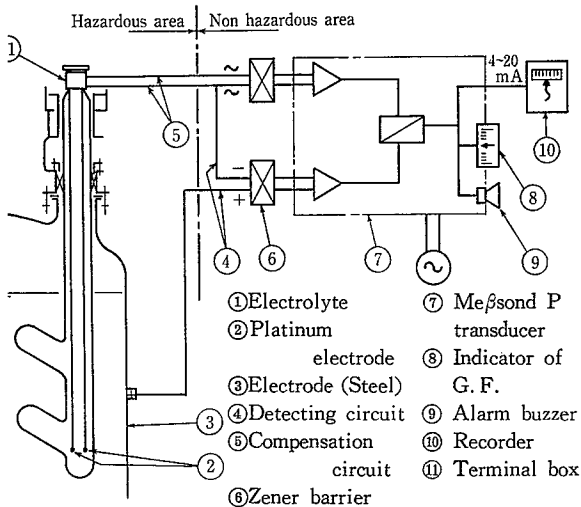


図3 メゾンデP構成図
Fig. 3 Configuration of Meßsonde P

回路, また, その電流値を検出回路電流 i_{P2-N} と称す
 i_{P2-N} は次式で表わされる。

$$i_{P2-N} = \frac{E}{R_0 + R_1 + R_2} \quad (\text{A}) \quad (1)$$

E : 回路電圧 (V)
 R_0 : 回路の内部抵抗 (Ω)
 R_1 : 液の電気抵抗 (Ω)
 R_2 : グラスの電気抵抗 (Ω)

$$R_0 < R_1 \ll R_2$$

ガラスが健全である場合は, グラスの電気抵抗 R_2 が大きい
ため, 検出回路電流 i_{P1-N} はほとんど流れない。グラ
スダメージが生じた場合には, グラスの電気抵抗がほと
んど0となるため, 数 mA の電流が流れる。

基準回路

電極 P_1 および N で構成される交流回路である。上述
温度及び液濃度変化を補償するための回路であり, 以
本回路を基準回路, また, その電流値を基準回路電流
 i_{P1-N} と称する。

i_{P1-N} は次式で表わされる。

$$i_{P1-N} = \frac{|E|}{R_0 + R_1} \quad (\text{A}) \quad (2)$$

$|E|$: 回路電圧実効値 (V)

ガラスダメージ度

新型メゾンデPは, 上記検出回路電流 i_{P2-N} を基準回路
電流 i_{P1-N} で除した値をガラスダメージ度と定義し, グ
ラスダメージの評価基準とした。本項がメゾンデP改良型

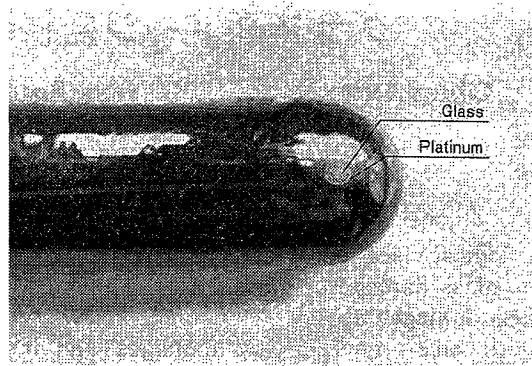


写真2 白金電極
Photo.2 Platinum electrode

の骨子であり, グラスダメージ度を % 表示することによ
り, グラスダメージの判定が容易となった。

ガラスダメージ度 G. F. は(1)式および(2)式より,

$$G.F. = \frac{i_{P2-N}}{i_{P1-N}} \times 100 = \frac{K}{1 + R_2 / (R_0 + R_1)} \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

ここで

$$K = E / |E| \quad (-)$$

ガラスが健全であれば, $R_2 \gg (R_0 + R_1)$ であるから,
G. F. は0となる。ガラスのダメージの進行にしたがっ
て, R_2 が小さくなり, G. F. が大きくなる。

2. メゾンデPの概要

2.1 構成

第3図にメゾンデPの構成図を示す。メゾンデPはグラ
スチール製電極部, 安全保持器(本安バリア)及び変換器
により構成されている。

2.1.1 グラスチール製電極

電極は白金とガラスの混合物よりなり, バッフル等のグ
ラスライニング表面に埋込まれている。この白金電極は1
対計2個あり, グラス層中に埋込まれた導電体により端
子箱に導かれている。

電極部の拡大写真(写真2)にみられるように, 白金と
ガラスは互いにかみ合い機械的に安定な構造となってい
る。

2.1.2 安全保持器

本システムは, センサーと変換器間に安全保持器を設置
することにより, 本質安全防爆構造(i3 nG 5, 申請中)を
構成している。安全保持器は, 検出回路用と基準回路用
それぞれ1個が用意されている。

2.1.3 変換器(P S-8701)

変換器は上述の安全保持器と同様に非危険場所に設置さ
れる。次に, 変換器の各機能について述べる。

1) グラスダメージ度モニター

変換器にはガラスのダメージ度 G. F. (検出回路電流/基
準回路電流) が%表示されたモニターが付いている。さら
に, このダメージ度の外部出力端子(4~20 mA)が設けら
れており, 記録計(注文主準備品)に接続できる。経時変
化の状態を記録として残すことにより, より正確なダメ
ージ判定が可能であり, 誤診を防止することができる。

ガラスが健全であれば, G. F. は0~20%を指示し, グ
ラスのダメージの進行にしたがって, G. F. は増加する。

第1表 各種液体の比伝導度
Table 1 Specific conductivity of liquids

Liquids	Temp. °C	Concentration %	Specific conductivity σ/cm
HCl	15	5	0.4
	15	20	0.77
H ₂ SO ₄	18	5	0.21
	18	99	8.5×10^{-3}
HNO ₃	18	5	0.26
	15	62	0.50
H ₃ PO ₄	15	10	5.6×10^{-2}
	15	87	7.1×10^{-2}
CaCl ₂	18	5	6.4×10^{-2}
	18	35	0.14
KCl	18	5	6.9×10^{-2}
	18	21	0.28
K ₂ CO ₃	15	5	5.6×10^{-2}
	15	30	0.22
KOH	15	4.2	0.15
	15	42	0.42
NaOH	15	2.5	0.11
	15	20	0.34
HBr	15	5	0.19
	15	15	0.50
NaCl	18	5	6.7×10^{-2}
	18	25	0.18
Beer	12	—	5.7×10^{-4}
Sake	12	—	1.2×10^{-3}

2) 警報機構

ガラスダメージ度が設定値に達した時点で、警報ランプ及び警報ブザーが作動する。警報設定値は任意に選定できるが、通常は30~50%に設定する。

3) 警報作動遅れタイマー

液投入、排出操作時の疑似警報(第3章に詳述)に対処するため、警報作動遅れタイマーが内蔵されている。遅れ時間は押しボタンにより選択する。設定した時間以上に、警報状態が継続すれば警報が作動する。

例えば、液投入時間が50分の場合、遅れ時間を60分に設定すれば、疑似警報を防止することができる。ダメージ度モニターは警報作動遅れタイマーの設定とは無関係に連続指示することは出来ない。

2.2 メゾンデPの仕様

防爆構造の種類	本質安全防爆構造
防爆等級	: i 3n G5
本質安全回路	
検出回路	: max. 12 V, max. 24 mA
基準回路	: // //
電源	: AC 100/200 V, 50/60 Hz
消費電力	: 約15 W
伝送出力	: 4~20 mA (負荷抵抗750 Ω 以下)
周囲温度	: 0~40 °C
外形寸法	: $\varnothing 105 \times H200 \times L320$
重量	: 約3 kg
内容物比伝導度	$10^{-3} \sigma/cm$ 以上

2.3 特長

本装置の特長を、当社製旧メゾンデP (Type I C-41P) と対比して説明する。

- (1) 温度変化に起因する、液の比伝導度の変化およびガラスの比抵抗の変化にも影響されず、安定したガラスの監視ができる。(従来は影響される場合があった)
- (2) ガラスのダメージ度が%表示されているため、保守管理が容易である。(従来は表示なし)
- (3) ガラスのダメージ度を外部記録計で連続記録できる。(従来は記録機能なし)
- (4) 警報遅れタイマーの設定時間が広範囲となり(max. 60 min) 液投入、排出時の疑似警報を防止し易くなった。

2.4 使用上の制限

1) 内容液比伝導度

内容液を介して通電するという検出原理上、内容液は電解質溶液であることが条件となる。液の比伝導度が $10^{-3} \sigma/cm$ 以上であれば使用可能である。

第1表に代表的な液体の比伝導度を示す。無機溶液についてはそのほとんどが使用可能であり、有機溶液についてもかなり広範囲のものが使用できる。

2) 気相部の検出は不可

上鏡部等の気相部の検出はできない。気相部は、定期的に液を充満させて検査をする方法がある。

3) タンタル以外の補修材の使用不可

ガラス面補修材として、タンタル以外の金属を使用している場合、これを介して通電するので補修材はタンタルを使用する必要がある。

本装置は、タンタル補修材の表面に電気化学的に絶縁膜を形成することができ、タンタル補修付機器にも使用できる。

4) 金属製排出バルブの使用不可

バルブを介して通電するため、金属製排出バルブは使用できない。当社標準のフラッシュバルブ等、ガラスライニング製バルブを使用する。

5) 導電性の缶内挿入物がある場合

挿入物を介して通電するため、ノズルへの取付は絶縁ボルトを用い、缶体との間を絶縁する。

6) 連続プロセスには使用できない。

第3章に説明するように、液投入および排出が連続するプロセスには使用できない。

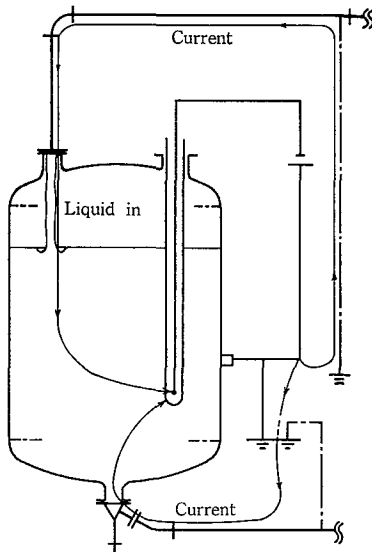
3. 疑似警報について

溶液中の白金電極とガラスライニング母材金属間の通電の有無を検出するという、本システムの測定原理上、ガラスダメージの発生以外にもG.F.値が増加することがある。これを疑似警報と称することとし、下記にその例を示す。

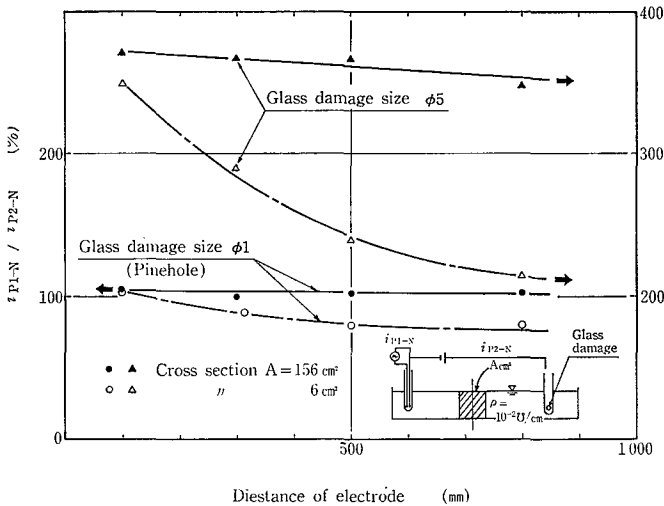
3.1 液投入および排出時

ガラスチール製機器であっても、そのノズル配管には金属材料を使用している場合が多い。通常、配管サポートはガラスチール製機器の支持構造物に直結されている。

したがって、液投入及び排出時には、第4図に示すように、投・排出液→金属配管→支持構造物の順に通電する



第4図
液入・液出時の検出回路電流（疑似警報）
Fig. 4
Measuring circuit current at inlet & outlet (Spurious alarm)



第6図 i_{P2-N}/i_{P1-N} 電極間距離と水路断面積の影響
Fig. 6 i_{P2-N}/i_{P1-N} effect of electrodes distance & channel area

ことになる。この結果、ガラスダメージ度モニターの指示値が一時的に大きくなる。投・排出液量が多い場合には、ガラスダメージ度が警報設定値を越える場合がある。この現象に対しては、警報作動遅れタイマーを設定することにより、警報ランプ及びブザーの作動を防止することができる。

また、この現象は各バッチ毎に繰返されるため、本来のガラスダメージ発生時との区別は明瞭である。

1.2 液層ノズルよりの液洩れ時

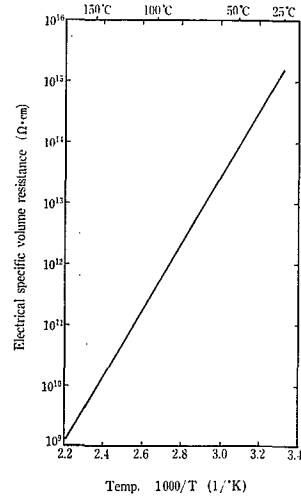
排出口等の液層にあるノズルガasketより液の液洩れにより、ダメージ度モニターの指示値が増加する場合がある。

当社製反応機類のノズルは、その端面までガラスライニングされており、ガasketより液の滲み程度では本装置に対する影響は小さいが、保守管理上、定期的なガasketの増締めが必要である。

本現象はガラスダメージ以外の疑似信号であるが、いい換えれば、ノズルガasketよりの液洩れ検知にも利用できることになる。

1. グラスダメージ検出可能範囲

本装置による検出可能範囲、すなわち、ガラスダメージ



第5図 グラスの体積固有抵抗
Fig. 5 Electrical specific volume resistance of glass

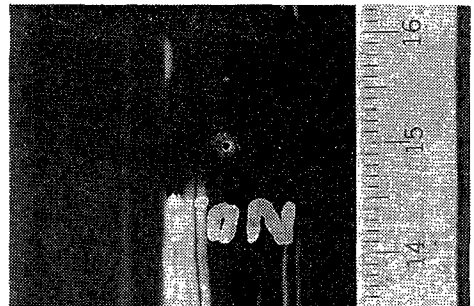


写真3 グラスダメージの一例
Photo. 3 Example of glass damage

発生の如何なる段階で検出が可能かを明確にしておく必要がある。

基本的には、ガラスの固有抵抗が大きい（第5図参照）ため、ガラスの表層剥離程度では検出回路電流は小さく、ガラスダメージ指示値の変化は小さい。さらにガラスダメージが進行するにしたがって、指示値が増加し、ダメージが母材金属にまで達すれば、指示値は急増する。

指示値の変化の割合は、ガラスダメージが深いほど、また面積が大きいほど大きい。

4.1 グラスダメージの大きさ

検出感度はガラスダメージの大きさ、すなわち母材金属の露出面積の大きさに比例する。

写真3は、ガラスダメージの一例である。このφ1.0 mm程度のピンホールに対してもガラスダメージ度は100%近い値を指示する（第6図参照）。

4.2 グラスダメージ部までの距離

メゾンデPを設置するガラスチール製機器のサイズは、小は数10 lから、大は数10 m³にわたる。したがって、検出用白金電極からガラスダメージ部までの距離も数cm～数mの範囲となる。

第6図は、ガラスダメージまでの距離の影響についての実験結果である。白金電極とガラスダメージ部の間の液断面積及びガラスダメージの大きさをパラメータにとった。液断面積が極端に小さい(6 cm²) 場合には、距離の増加にしたがって、ガラスダメージ度(G.F.)は小さくなるが、液断面積がある程度大きくなると、距離の影響はほとんど無視できる。

実機の場合には、白金電極とガラスダメージ部の間に広がる液断面積はさらに大きいため、距離の影響は無視でき、気相部を除く缶体内面のあらゆる場所のガラスダメージを検出できる。また、ガラスダメージ面積が大きいほどガラスダメージ度が大きくなることがわかる。

5. 電気化学的現象

メゾンデP使用時には、内容液の比伝導度に応じて基準回路に電流が流れる。第7図に基本回路電流と内容液の比伝導度の関係を示す。白金電極表面で生じる種々の電気化学現象について次に説明する。

5.1 分極

電解質溶液中の2個の白金電極間に外部より直流電圧を印加すると、各々の電極表面に電解生成物が生じ、外部電圧とは逆の起電力が発生する。

1N HCl を例にとると、最初に流れる電流による電解により、陽極に Cl₂、陰極に H₂ を発生し、これらが電極表面を覆う。その結果、次のような外部電圧とは逆の起電力の電池が形成される。



したがって、外部電圧としてはある値以上を印加しなければ、電流は流れない。この電圧を分解電圧といい、上記HClの場合約1.35 V、その他の多くの酸及びアルカリでは約1.7 Vである。分解電圧の値は溶液の濃度の増加あるいは温度の上昇に伴ってわずかに減少する。

このためメゾンデPの基準回路は、交流電源回路となっており、分極現象の影響を防止している。

5.2 白金電極からのガス発生量

5.1 節に示すように、基準回路では電気分解が行われる。一般的な酸およびアルカリ液では、電解生成物は気体である。

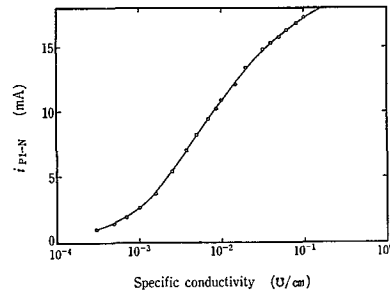
電解生成物の析出量はファラデーの法則により、

$$m = \frac{i \cdot t}{9.65 \times 10^4}$$

m : 析出量(g 当量)

i : 基準回路電流 (A)

t : 通電時間 (sec)



第7図
基本回路電流(液比電
導度の影響)
Fig. 7
Compensation circuit
current (Effect of
specific conductivity)

また、気体の状態方程式より、0 °C、1 atm、n モルの気体の体積は、

$$v = 22.4 n \quad (\ell)$$

比伝導度 10⁻¹ Ω/cm の HCl 液で 24 hr (=86 400sec) メゾンデPを使用した場合の気体の発生量は、次のとおりである。

• Cl₂ の発生量(陽極)

Cl₂ 1g 当量は 1/2 モル

$$v = \frac{22.4}{2} \frac{i \cdot t}{9.65 \times 10^4} \\ = \frac{22.4}{2} \frac{0.017 \cdot 86\,400}{9.65 \times 10^4} = 0.170 \quad (\ell)$$

• H₂ の発生量(陰極)

H₂ 1g 当量は 1/4 モル

$$v = \frac{22.4}{4} \frac{0.015 \cdot 86\,400}{9.65 \times 10^4} = 0.085 \quad (\ell)$$

実際には、本装置でのガス発生量は通電特性上、上記値の 1/10 程度であり、プロセスへの影響は無いものと考えられる。

む す び

メゾンデPはライニングガラスの破損のみならず、フランジガスケット部やタンタル補修部からの液洩れをも検出できるので、プロセス上の主要設備であるガラスチール製機器の保守管理に大いに役立つものと確信している。

ガラスチール製 pH センサー「メゾンデpH」、熱電対温度計「メゾンデT」のメゾンデシリーズの一環として、利用願えれば幸いである。当社では、さらにメゾンデシリーズの充実に努めたい。

〔参考文献〕

- 1) 後藤ほか：新編物理化学、(1967)、廣川書店
- 2) 金属表面技術協会：電気メッキ技術、(1972)、朝倉書店
- 3) 神鋼ファウダー・ニュース：Vol. 17, No. 4 (1973) p.1

圧力容器関連法規と非破壊検査

Pressure Vessel's Code and Non-destructive Inspection

化工機事業部 品質保証室
 小 蘭 利 男
 Toshio Kozono
 (化)生産管理第2課
 青 井 宏 安
 Hiroyasu Aoi

In manufacturing welded metal products such as pressure vessel, etc., examinations/inspections are carried out as a means for quality control and quality assurance, one of the essential items of which will include "Non-destructive examination/non-destructive inspection". The judgement criteria for non-destructive inspection, used for evaluation of quality for the purpose of quality control and quality assurance, will indicate the control limit for quality control. As to the weld, for instance, the non-destructive inspection conducted at the time of manufacturing will not be intended to detect a failure for repair, but to evaluate the quality of weld through the defects detected for control of welding execution so that the weld quality can be controlled properly.

There is another non-destructive inspection which is conducted after starting the operation for evaluation of life, however, the considerations will be made in this paper on the "Non-destructive examination/non-destructive inspection" from the stand point of a pressure vessel manufacturer.

えがき

圧力容器に対しては各国とも古くから特別の法規を定
 それに基づいて検査制度を敷いている。これは圧力容
 が破裂危険性を潜在的にもっているからである。化学工
 などで使用される圧力容器の中には、引火性、可燃性あ
 いは有毒性の蒸気やガスを発生するものもある。このよ
 な場合には、破裂危険性に更に爆

発危険性、有害危険性が付加される
 となる。しかしながらこの爆発
 危険性及び有害危険性については内
 物によるファクターが大きく、圧
 容器的な特性とは若干異なる。

一口に圧力容器といっても蒸
 煮、精練器のたぐいから熱交換器、
 応器さらには原子力容器に至るま
 その種類はきわめて多く、サービ
 条件も区々で1 kg/cm², 120 °C
 いった程度のものであれば、最近
 は1500 kg/cm², 500 °Cのよう
 高圧、高温の使用条件をもつもの
 実用に供されている。

圧力容器は近代産業には欠くこと
 できないものであり、産業の進展
 共にその設置数は増加の傾向をた
 っている。また、容量は漸次大型
 し、構造は複雑化している。使用
 料も新しいものがつぎつぎと開発
 れ、工作方法はリベットから溶接
 , その溶接も最近ではアーク溶接
 ほかにエレクトロスラグ溶接・電
 ビーム溶接などが採用されるに至
 っている。更にバイオテクノロジー
 , ファインケミカル分野での技術
 な模索も積極的に進められてお

り、技術的にも品質的にも安全性の面でもより高度なもの
 が要求されてきている。これらのことからその品質レベル
 を保証し、最も経済的にしかも要求された性能を満足させ
 るための技術として非破壊試験・非破壊検査の果たす役割
 りは非常に大きなものとなってきた。

ここでは当社の圧力容器製造における関連法規とその中

第1表 各国における圧力容器の規制状況

Table 1 Current regulations for pressure vessel in each country

Countries	National regulations		Regulation planning institute	Supervision	
	Names	Scope of application		Institute responsible to execution	Submission of drawings
Germany	Dampfkessel Bestimmungen (W. U. B.) AD Merk- blätter	Boiler Unfired pressure vessel	Technische Überwachungs- Vereine (T. Ü. V.) Technical inspection union	T. Ü. V.	Drawings need to be submitted to T. U. V. for approval prior to installation.
England	Lloyd's rules	Boiler and unfired pressure vessel	Lloyd's register of shipping	Lloyd's register of shipping	Drawings need to be submitted for approval prior to installation.
	British standard B. S. I, 113 B. S. I, 500 B. S. I. 515	Boiler Welded pressure vessel Welded pressure vessel	British Standard Institution	None	Drawings are approved by purchaser of boiler or pres- sure vessel.
U. S. A.	A. S. M. E. code (Standard of American Machine Association) (*1)	Boiler and pressure vessel	American machine association	Inspection institute in state or city employing standard	Drawings need not to be submitted to state or city, but reviewed by authorized inspector.

で規定されている非破壊試験・非破壊検査について特に技術的な面での比較を試みる。

1. 圧力容器関連法規とその適用区分

圧力容器の破裂危険性はその種類によって若干異なる。従って法規上も圧力容器を破裂危険性によっていくつかの範囲に分け規制の態様を変えている。

国内関連法規を見てみると圧力容器に適用される法規としては、ボイラ及び圧力容器安全規則、火力発電設備に関する技術基準、原子力発電設備に関する技術基準、高圧ガス取締法などいろいろある。

2. 圧力容器に適用される構造規格

圧力容器はその使用過程において生ずる応力に対し十分な強度を保有すると共に、過度の変形を生じないよう一定の剛性を備えなければならない。このため各国は圧力容器についての構造規格を定め、強度計算法をはじめ、材料や工作、安全装置などの基準を設定している。第1表に各国における圧力容器関係の規制状況を示す。

これらの構造規格に定める強度計算や許容応力は第2表に示す通りであり、次の2通りの考え方がある。

- (1) 蒸気圧力による応力を算定し、最大主応力（引張強さの1/4または降伏点の3/8）内におさえる。
- (2) 蒸気圧力による薄膜応力のほか、局部応力や曲げ応力、機械的荷重や温度差によって生じる二次応力、さらにはピーク応力をも解析し、疲労破壊を考慮して耐用年数を定める。最大せん断応力説を採用し、（最大主応力－最小主応力）を応力強さと定義し、これを許容応力以下におさえる。この方法によると構

造材の厚さを薄くすることができるが、そのかわり材料、溶接、検査などについて厳しい基準が定められている。

(1)の方法は現在多くの国で採用されており、わが国の圧力容器構造規格もこの方法によっている。(2)の方法を採用した代表的な規格は ASME 規格の Section III (Rules for construction of nuclear vessels) と Section VIII

第2表 各国における胴の強度計算式、許容応力および溶接継手の効率（常温における内圧を受ける場合）
Table 2 Strength calculation formula/allowable stress of shell, and efficiency of welded joint in each country (in case internal pressure is applied under normal temperature)

Countries	Gede names	Calculation formula used for calculation of shell thickness	Allowable stress (σ_a)	
			Tensile strength standard	Yield point standard
Germany	Werkstoff nuch Banvor-schriften (Boiler)	$\frac{PDi}{200 \sigma_a \eta - P}$		2/3
	AD-Merkblätt Bl (Pressure vessel)	$\frac{PDi}{200 \sigma_a \eta}$		2/3
England	Lloyd's standard (Boiler)	$\frac{PDi}{200 \sigma_a \eta} + 0.06 \text{ in.}$	1/4	
	Lloyd's standard (Pressure vessel)	$\frac{PDi}{200 \sigma_a \eta} + 0.06 \text{ in.}$	1/4	
	B. S. standard B. S. 1500	$\frac{PDi}{200 \sigma_a \eta - P}$	1/4	
U. S. A.	A. S. M. E. standard section-I(Boiler)	$\frac{PDi}{200 \sigma_a \eta - (1-y)P} + 0.1 \text{ in}(*3)$	1/4	
	Section-III (Pressure vessel) Division-1	$\frac{PDi}{200 \sigma_a \eta - 1.2 P}$	1/4	

第3表

磁粉探傷試験、浸透探傷試験、電磁誘導試験の比較

Table 3

Comparison of magnetic particle test/Dye penetrant test/Electromagnetic induction test

Principle		Magnetic particle test	Dye penetrant test	Electromagnetic induction test
		Adhesion of magnetic particle to defective leak field	Penetration of liquid to gap	Electromagnetic induction and change in leak current
Intended materials	Metals			
	Ferromagnetic metals	○	○	○
	Non-magnetic metals	×	○	○
	Non-metal materials	×	○	×
Intended defects	Surface defects			
	Opening	◎	◎	◎
	Non-opening	◎	×	◎
	Under-surface defect	○	×	○
Defect data	Defect data			
	Length	○	○	△
	Crack depth	△	△	○
	Discrimination of defect type	○	○	△

Notes: ◎.....Increased detection sensitivity

○.....Applicable

△.....Difficult at present

×.....Impossible

4 表
放射線透過試験と超音波
探傷試験の比較
able 4
Comparison of radiogra-
phic test/Ultrasonic flaw
test

Test procedures		Radiographic test (Direct radiographic method)	Ultrasonic flaw test (Pulse reflection method)
Principle		Difference in density on film due to difference in radiation quantity between sound part and defective part	Reflection of ultrasonic wave due to defect
Intended defects	Volume defect	◎	○
	Plane defect	○ (Having depth to irradiation direction) △ (Having inclination to irradiation direction)	◎ (Having vertical extension in ultrasonic wave) ○ (Having inclination against ultrasonic wave)
Defect information	Type	◎	△ (Flaw test from multiple directions)
	Dimensions	Length	◎ (Volume defect) ○ (Plane defect)
		Height	△ (Method to change irradiation direction/Method by difference in density)
	Position (Depth)	△ (Method to change irradiation direction)	◎

5 表 各規格における溶接部に対する非破壊検査の概要
able 5 Outline of the nondestructive testing of welded joints in each standard

Division of NDE	Structural standard of pressure vessels	Inspection regulation on specific equipment	JIS B8243	ASME sec. VIII, div. 1
RT	(1) Welded joint for pressure vessel which requires air-tightness to keep harmful substance (2) Welded joint for carbon steel shell, end plate, etc. of which thickness exceeds 38 mm	(1) Butt-welded joint for poisoning gas equipment (2) Longitudinal/Circumferential joint for multilayer shell	(1) Welded joint for vessel to keep fatal dosage (2) Welded joint for carbon steel shell, end plate, etc. of which thickness exceeds 38 mm	(1) All butt-welds for shell and end plate of vessel to keep fatal dosage. (2) Butt-welds for shell and end plate of vessel of which thickness exceeds 38 mm
	(20%) Welded joint similar to longitudinal/Circumferential joint other than 100% Rt (Excluding carbon steel welded joint of below 9 mm, designated by the director of the standard bureau)	(20%) Butt welded joint to which 100% RT is not required, except for the following welds (1) Joint designed not to be subjected to RT (2) Weld to be applied with external pressure only	(20%) Same as specific equipment	(One pc. for every 15 m, 150 mm: min.) Same as specific equipment
JT	No regulation	(1) Longitudinal/Circumferential joint for carbon steel vessel of which thickness is more than 75 mm (2) Longitudinal/Circumferential joint for low alloy steel vessel of which thickness is more than 50 mm	(1) Joint which requires 100% RT but of which 100% RT is hard to apply (2) Weld which is proved to require RT, depending upon material, inspection, structure, use condition, etc.	(1) Where satisfactory RT result is not assured, RT may be used in substitute for UT. (2) Welds of ferrite executed by electro-slag welding, electro-beam welding
MT/PT	(1) Aluminum, aluminum alloy and titanium welds where RT is not applicable	(1) Weld or jig trace of material specified in JIS G3115, G3120, G3126, G3127 and other equivalent materials (2) Weld or jig trace of high-tension steel, steel for low-temp. use or low alloy steel (3) Welds of vessel which requires 100%RT, to which opening, reinforcing, material, pipe stand, etc. are mounted	(1) Welds of vessel with its permissible tensile stress designed to yield point or value 0.5 times of 0.2% resistance in accordance with JIS G3115, G3116 or equivalent (2) Accessories (Opening, reinforcing material) fitting welds for pressure vessel which requires 100% RT.	(1) Corner weld of flat plate of which thickness exceeds 1/2" (Before and after welding) (2) All welds around opening, and of mounting equipment to be subjected to barometric pressure test (Throat thickness of over 1/4") (3) All welds of high tension steel, and after removing tack welding

Remarks: RT.....Radiographic testing
MT.....Magnetic particle testing

UT.....Ultrasonic testing
PT.....Penetrant testing

第 6 表 国内における非破壊検査認定技術者の種類と資格の内容
Table 6 Kinds/Qualification contents of domestic authorized NDT engineers

	Special grade	Grade-1	Grade-2	Grade-3
NDI	Special grade non-destructive test engineer	Grade-1 radiographic test engineer Grade-1 ultrasonic test engineer Grade-1 magnetic particle test engineer Grade-1 dye penetrant test engineer Grade-1 electro-magnetic induction test engineer Grade-1 torsion measurement engineer	Grade-2 radiographic test engineer Grade-2 ultrasonic test engineer Grade-2 magnetic particle test engineer Grade-2 dye penetrant test engineer Grade-2 electro-magnetic induction test engineer Grade-2 torsion measurement engineer	Radiographing engineer ultrasonic thickness measurement engineer Inter-pole type magnetic particle flaw test engineer solvent removal dye penetrant test engineer
CIW	Senior inspection engineer	Senior test engineer	Junior test engineer	

(Pressure vessels) の Division 2 (Alternative rules for pressure vessels) である。

ISO (国際標準化機構) の TC11 (第11技術委員会) では目下、圧力容器の国際規格案の検討を行っているが、この案では圧力容器を3つに区分している。このうちA容器に対しては ASME の Section III と同じように応力解析や材料、工作などについての厳しいコントロールを前提として高い許容応力が認められている。

以上のように一次応力や二次応力についての解析が行われ、かつ、材料や工作についても厳しい規制がなされる場合には高い許容応力を認めても安全性が阻害されることはなく、従って、応力解析と非破壊の技術が進み、材料工作の品質管理が徹底すれば、圧力容器をいくつかの範囲に分けて別個の規格を適用することは妥当なことと考えられる。

3. 各種関連法規に見る非破壊検査

3.1 非破壊検査の適用

非破壊検査は「欠陥の検出」と「歪測定」とに大別されるが、ここでは前者の「欠陥の検出」に焦点をあててみる。欠陥の検出には主として表層部の欠陥を対象とする方法と、内部欠陥を対象とする方法がある。表層部の欠陥検出に適した方法としては磁粉探傷試験、浸透探傷試験、電磁誘導試験があり、これらを比較すると第3表に示す通りとなる。また内部欠陥に適した方法には放射線透過試験、超音波探傷試験などがあり、これらを比較すると第4表に示す通りとなる。

3.2 溶接部に対する非破壊検査の要求

圧力容器の溶接部に対する非破壊検査は設計条件や使用材料などによって大いに異なる。ここでは当社においてよく適用される圧力容器構造規格、特定設備検査規則、JIS B 8243, ASME Code Section VIII-Div. 1 について、その概要を第5表にまとめる。ただし、この第5表に示した内容は規格の要求事項を完全に網羅したものではなく、例えば放射線透過試験における100%の要求範囲は使用材料の種類によって板厚範囲などが異なるというように、実際の適用に当たっては各々の規格への適合と製造条件、更には使用条件との兼ね合いで吟味していく必要がある。

3.3 非破壊試験技術者の資格

非破壊試験の目的を達するためには、それを行う技術者が一定水準以上の知識と技術及び人格を有し、試験結果に

対して正しい判断を下す必要がある。また、同一の規格、同一の要領書、または手順書に従って行う非破壊検査であるならば、だれが、いつ、どこで何度行っても、同じ結果が得られなければならない。このためには非破壊検査技術者の技量レベルを一定にしておく必要がある。

この非破壊検査技術者の資格認定については、日本に代表されるように中立的な第三者機関により試験を実施して資格認定を行う場合と、米国の ASME に代表されるように米国非破壊試験協会 (American Society for Nondestructive Testing) によって示されているガイドライン (SNT-TC-1A) に沿って作成された Written Practice に基づき、その企業において経営責任を有している人が非破壊検査を実施していく上での中心的な人物 (レベルⅢ非破壊検査員と呼ばれる。) をまず任命し、そのレベルⅢ非破壊検査員が実際に非破壊検査の実施に当る下位のレベルの者の教育・訓練・資格認定を行うという「社内認定方式」がとられる場合とがあるが、制度としては一長一短がある。

3.3.1 日本国内の場合の資格認定制度

日本国内では(社)日本非破壊検査協会(略称NDI)が中立的な立場で、技量認定試験を実施し資格認定している。

1) 資格の種類

認定された技術者を総称して非破壊検査認定技術者というが、その資格は第6表に示す。

2) 資格の内容

(1) 非破壊検査特級技術者

非破壊検査技術全般について、第6表に示した事項を実施することができる広範な知識と経験を有し、かつ管理者として十分な能力を有する者

(2) 1級技術者

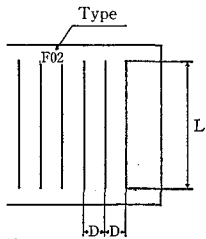
該当する技術部門について、第6表に示した事項を実施することができる高度の知識と経験を有し、かつ指導者としての能力を有する者

(3) 2級技術者

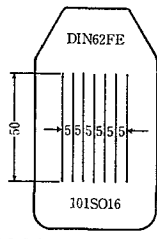
該当する技術部門について、第6表に示した事項を正しく実施できる者

(4) 3級技術者

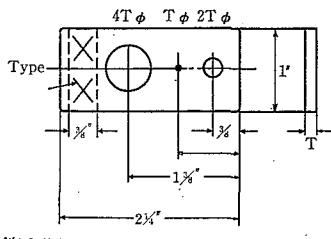
該当する技術部門について、第6表に示した事項を正しく実施できる者



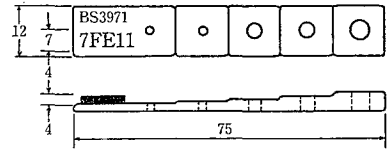
第1図 Z3104における針形透過度計
1 Needle type penetrator (JIS Z3104)



第2図 DIN規格における針形透過度計
Fig. 2 Needle type penetrator (DIN)



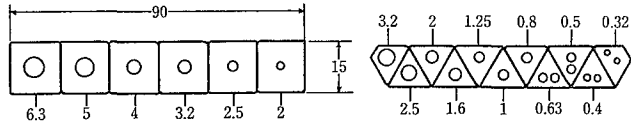
第3図 ASTM規格における有孔形透過度計
Fig. 3 Hole type penetrator (ASTM)



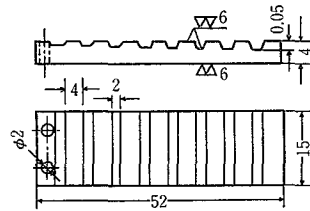
第4図 BS規格における有孔階段形透過度計
Fig. 4 Hole/Stepwedge type penetrator (BS)

表 像質計 (透過度計) の種類
Table 7 Kind of image quality indicator (Penetrator)

Shape	Standard/Code	Material
Needle type	JIS	Steel, Aluminum, Stainless steel
	DIN	Steel, Copper, Aluminum
	BS	Steel, Copper, Aluminum
Needle type	ASTM	Steel, Copper alloy etc.
	MIL Ministry of international trade & industry departmental ordinance No. 81	
Hole/Stepwedge type	BS AFNOR	
Notch	GOST	



第5図 AFNOR規格における有孔階段形透過度計
Fig. 5 Hole/Step-wedge type penetrator (AFNOR)



第6図 GOST規格における有孔形透過度計
Fig. 6 Hole type penetrator (GOST)

内ではこのほか(社)日本溶接協会溶接検査認定委員略称CIWが規格WE S 8701「溶接構造物非破壊検査業者の技術種別基準」に基づいて第6表のように技量を3つに分けて、技術者の技量を認定している。

2 ASMEにおける資格認定制度

国法規,特にASMEに代表されるものではASNT(American Society for Nondestructive Testing)のSNT-TC-1Aの内容による。

資格の種類とその内容

Recommended Practice No. SNT-TC-1Aでは資格のレベルとしては基本的には3段階に分けるように規定しているが、非破壊検査業務を遂行していく上で、必要があれば細かく分類してもよいとしている。

NDTレベルⅠ

NDTレベルⅠ検査員は試験装置の調整,試験,指示書に基づく評価,記録の作成などの非破壊検査業務を適切に行うことができない。NDTレベルⅠ検査員はNDTレベルⅡ検査員またはレベルⅢ検査員の指導,監督の下に作業を行う必要がある。

NDTレベルⅡ

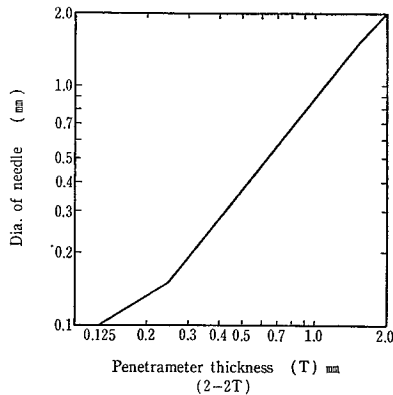
NDTレベルⅡ検査員は試験装置の組み立て及び調整,当該規格における標準,仕様書などに基づいて評価・判定ができなければならない。またレベルⅡ検査員は試験の適用範囲を十分熟知し,訓練を受ける者やNDTレベルⅠ検査員の指導を行う責任がある。このレベルⅡ検査員は非破壊検査における指示書・計画書及び報告書が作成できなければならない。

(3) NDTレベルⅢ

NDTレベルⅢ検査員は試験方法の確立,規格,標準仕様書の翻訳,適用すべき非破壊検査方法の選定ができなければならない。また更にNDTレベルⅢ検査員は非破壊検査業務全般にわたって統括する責任があり,規格,試験,仕様書に基づき試験結果の評価ができるばかりでなく,他に有効な試験方法のない場合に最良の方法とその判定基準を設定する上で必要となる材料,製造及び応用技術に関して十分な知識を有しておく必要がある,非破壊検査方法全般にわたって熟知していることが望ましい。

3.4 放射線透過試験における試験条件と欠陥検出度

圧力容器を製造する場合においては,ほとんどの場合法規の適用を受けて「放射線透過試験」を実施することになる。この放射線透過試験は試験材に欠陥があった場合,欠陥部と健全部の間に放射線吸収の差を生じ,透過した放射線によってフィルム黒化度に差を来す。その2次元的な模様から欠陥の放射線に直角方向の形状情報を受け,欠陥部の濃度から放射線の進行方向における寸法の情報を得るという試験方法である。しかし,試験材の放射線透過厚が大きくなると放射線の吸収が増し,現実には高エネルギーの放射線を使用しなければならない。その結果放射線方向の寸法が同じでも,試験体の厚が大きくなると欠陥部の濃度と健全部の濃度との比が小さくなる。それゆえに我々の肉眼によって識別できる濃度差の絶対値は一定に近い。厚いものを高エネルギー放射線が撮影した場合は,薄いものを低エネルギー放射線で撮影した場合より検出できる欠陥が大きなものではないと検出できない。しかもこれらの状況は放射線のエネルギーの他にフィルムの種類,増感紙その他によって変化する。



第7図 ASTM形透過度計とJIS形透過度計の対応
Fig. 7 Corresponding to ASTM type penetrator and JIS type penetrator

以上のように放射線透過試験においては、各国法規における違いは撮影技術とか撮影テクニックにあるのではなく、欠陥検出度を正しく評価するために、撮影後におけるフィルム評価をどのように行うかというところに考え方の大きな違いがあるように思われる。

でき上がった透過写真のフィルムが、試験体の内部状態をどの程度写し出しているかは極めて重要なことである。そこでこの透過写真の像質を評価するために像質計を用いる。この像質計は日本では透過度計(Penetrator)と呼び、最近の世界の大勢は像質計(Image quality indicator)と呼んでいる。これは透過度計の識別度がいかにも欠陥そのものの識別度であるかのような錯覚をおこし易いため、I I WによりI. Q. Iと変更したものである。従って像質計は写し出された像の良否を判定するだけのものと考えておく必要がある。

3.4.1 像質計(透過度計)の種類とその構造

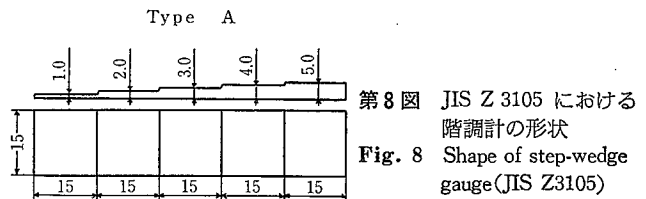
像質計(透過度計)に使用する材料は試験体と同材質または同等の材質で製作することが原則となっている。像質計(透過度計)の種類は試験体と同じ材質の直径の異なる針金群をゴムまたは合成樹脂などの板に埋めこんだものを使用する針金形、直径の異なる穴をあけた板を使用する有孔形、穴をあけた階段状のブロックを使用する有孔階段形及び各種の深さの溝をつけたブロックを使用する有溝形などがある。各国規格における代表的なものを分類の上、第7表及び第1~6図において示しておくことにする。透過度計識別度は、材質で識別できる最小の透過度計の呼び厚さ、または呼び線径を除いた100分率の小数点以下2桁目を切り上げて算出する。大半の規格において透過度計識別度は2.0%を標準としている。

$$\text{透過度計識別度} = \frac{4X}{X} \times 100 \% \quad (1)$$

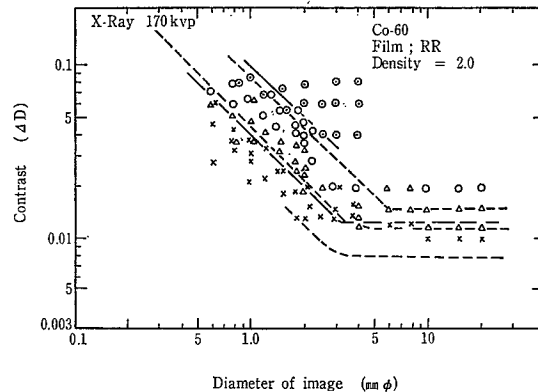
ASTM形の透過度計では板厚の2倍の径(2T)を有する孔を標準として、透過度計板厚が試験の1%の場合を1%(1-2T)、2%の場合を2%(2-2T)、4%の場合を4%(4-2T)と定義している。もし他の孔が識別限界にあるときは識別度を次の式より求める。

$$\frac{S_1}{S_2} = \sqrt{\frac{N_1}{N_2}} \quad (2)$$

ここで S_1 は既知の透過度計識別度、 S_2 は求めようとしている識別度、 N_1 は S_1 に対する倍数で透過度計の厚



第8図 JIS Z 3105 における
階調計の形状
Fig. 8 Shape of step-wedge
gauge (JIS Z3105)



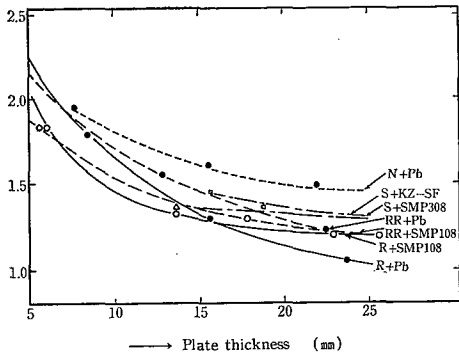
第9図 有孔板形像質計の像の直径と識別限界濃度差の関係
Fig. 9 Relations hole image diameter of hole/Plate type
penetrator and discriminating maximum density
difference

さの何倍の径の穴の像が見えるかを示す数字で、 N_2 は S_2 に対するその倍数である。たとえば2%(2-2T)のとき $S_1=2$ 、 $N_1=2$ とすると、いま $N_2=4$ のとき、すなわち(2-4T)で4Tの穴の像しか見えないとき S_2 は $2\sqrt{2}=2.8\%$ となる。また1%(1-2T)であるが、その1Tの穴が見えたときは何%とするかは $S_1=1$ 、 $N_1=2$ であり、 $N_2=1$ であるから $S_2=1\sqrt{2}=0.7$ となる。しかし、このような表示方法ではいかにも検出し得る欠陥の大きさとの関係があるようにとられるためAFNOR、またはDINなどでは材厚と直接何の関係もない数値で像質を示す方法をとっている。

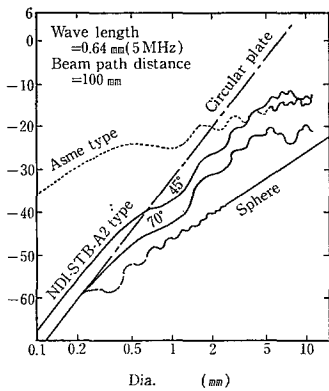
以上のようにいろいろな像質の表示方法があるが、異なった像質計であるので、識別度の数字が同一でもすべて同一像質とはいえない。もしその対応を求めるならば、それらの像質計を同時に入れて撮影してその対応を求める必要がある。一例としてJISとASTM(ASME)とを比較すると第7図のようになる。

3.4.2 階調計(線質計)

JISにおける特色の一つは階調計を使用することにある。これは同一の透過写真を同一の方法で観察しても透過度計の本数に2~3本の個人差が現われる。従って同一の写真でも観察者によって合格となったり不合格となったりすることもある。また普通級の撮影では材厚5 mm以上、特級の撮影においては6.6 mm以下の溶接部では0.1 mmの線が認められればよいことになっている。従って2~3 mmのものであれば、よほど悪い撮影をしても0.1 mmの線影が認められる。割れの検出度は透過度計識別度が同じでも相当異なる。従ってこれらの欠陥検出度をよくするためには、単なる透過度計識別度だけでは欠陥の検出度を規定できない。そのためJISでは撮影する線質を規定するため階調計(線質計)を使用することになっている。すなわち階調計は厚さが1 mm ずつ変化している部分の濃度を



0 図 X線フィルム, 増感紙の組合わせによる透過度計識別度
 . 10 X-Ray film, screens and penetrometer sensitivity



第11図 斜角探傷における反射率
 Fig. 11 Reflection ratio in angle beam method

ましているもので、この濃度差はX線フィルムと増感紙種類、現象条件、フィルム濃度、放射線装置の種類、管E、および散乱線量の変化によって異なる。このため階調を使用することで、できるだけ良好な撮影条件を変え、ようにしている。参考までにJIS Z3105における階調と第8図に示しておく。

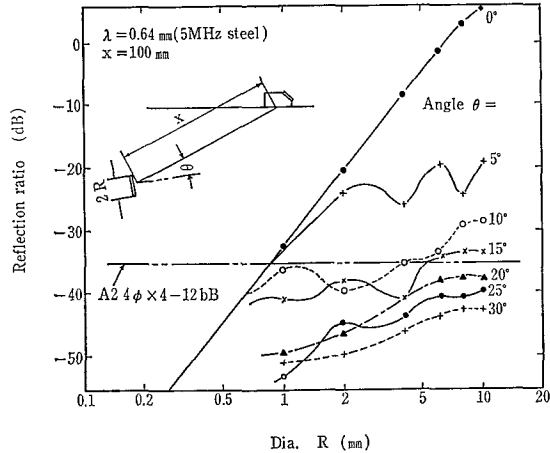
3 像質計(透過度計)の識別度

欠陥の検出度を求めるには像質が一定の水準に達しているフィルムについて論じなければならない。その水準を表すのに透過度計の識別度を考えるが、実際に技術的には何程度までの欠陥が検出できるかということについてある程度知っておく必要がある。

透過写真上で像で識別できるか否かは像のコントラストフィルムの粒状性、ボケなどが関係し、像のフィルムの面積が小さいときにはコントラストが大きくなれば出できない。いま識別限界濃度差 ΔD が像の大きさによってどう変化するかを円孔形透過度計で求めた結果を第9図に示す。この図は幾何学的ボケが問題にならないような半径にして求めたもので、針金や円孔の幅は最高濃度の半径をとったもので、これは透過度計の実寸法にほとんど一致することが確かめられている。

また円孔形では識別できる限界は、円の中心を通る断面が一定のものについては同じである。第7図を見ても分るように、ある程度径が大きくなると、識別できる濃度差一定になる。

以上のように実際に線形の透過度計によって、いろいろフィルム及び増感紙を組み合わせて撮影し、その識別度求めた結果が第10図である。これらによればある厚さに



第12図 円形平面傷の傾きが傷の反射率に及ぼす影響
 Fig. 12 The effects of the slant of circular plane discontinuity

なれば、規格を満足する写真撮影も困難なものではなく、放射線透過試験によって、欠陥を検出する場合、まず写真そのものの質を示す透過度計の識別度がある規定以上のものを撮影してから論じなければならない。

3.5 超音波探傷試験における試験条件と欠陥検出度

超音波によってどの程度の欠陥まで検出できるかというのは、放射線透過試験以上に困難な問題が多い。それは超音波探傷法は音波の欠陥による反射を捕えて欠陥の存在を検出する方法であり、目的はその材料の強さを保証することに使用する場合が多いので、欠陥エコーを捕えると共にそのエコーを発生する欠陥の性状を知り得なければ意味が無く、現在のところ無理なことが多い。しかし、欠陥による音波の反射率、欠陥の拡がり等の問題について明らかにし、超音波探傷試験そのものの特性から欠陥の検出限界についての問題を考えてみることにする。

3.5.1 反射率における評価

欠陥エコーは欠陥による音波の反射によるものであるから、その反射率が大きな因子となる。

第11図は斜角探傷した場合の反射率を、ASME形およびA2の標準試験片の人工欠陥と円板及び球とに比較して示したものである。

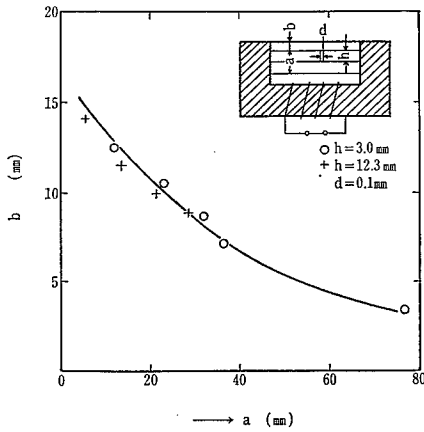
欠陥エコーの高さ(F)は減衰率にも関係するので底面エコーBとの比F/Bで相対的に示す方法も採用されている。このBの値に健全部または欠陥部の値を用いることがある。これをBG, BFで示す。このF/Bとの欠陥の大きさの対比も求められている。Fの値が大きくなるとF/BFとF/BGの値は差が大きくなる。

3.5.2 欠陥の方向性による欠陥

圧力容器の溶接線などに実際に出現する割れなどの欠陥は、超音波の入射方向に対していろいろ傾いているのが普通であり、従って欠陥の法線と θ なる方向から一探触子によって探傷した場合の反射率を求めてみると次のようになる。

$$\gamma = 2 \sin \frac{\pi R^2}{\lambda x} \cos \theta - \frac{2J_1(2kR \sin \theta)}{2kR \sin \theta} \quad (3)$$

ここで $k = (2\pi/\lambda)$



第13図 直流極間法による内部欠陥の検出度
Fig. 13 Sensitivity of internal discontinuities by the direct current electromagnetic yokes technique

Rは円板の半径， λ は波長， x_1 は探触子から欠陥までの距離

第12図は5 MHzで10 cmのところにある円形平面傷を斜角探傷する場合の傷の反射率を(3)式を用いて計算したものである。この図によれば傾きの影響は大きい。すなわちSTB-2Aの $4\phi \times 4$ より12 dB低いところの線より20°も傾けば低くなるので、検出できなくなる。

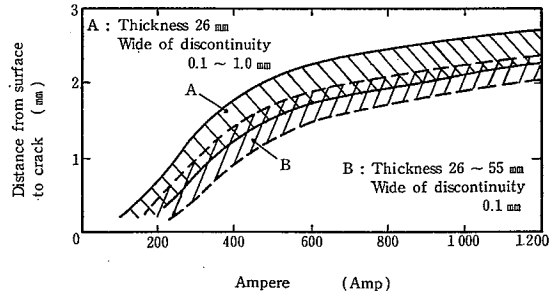
以上のようにビームに対して傾いた平面傷は検出困難であるから、割れの検出は特別に好都合な場合しかできないことになる。そのため一つの屈折角では不十分な場合があり、45°と70°のように2種類の屈折角のものを使用することがよいとも言われている。しかし、割れの場合は直線的な平面でないから角度の割りに検出の可能性もある。

3.5.3 探傷感度の問題と評価の対象とする欠陥とその検出度

探傷感度の調整は超音波探傷における基本となるものであるが、JISでは標準試験片もしくは対比試験片における人工欠陥を利用して行うように規定しているのに対して、ASMEなどの外国法規では板厚、曲率、材質等に応じて対比試験片を作成し、その人工欠陥を用いており、より実際的ということではASMEなどの考え方の方が合理的と思われる。

一方、評価の対象とする欠陥については引用規格あるいは、要領書により定められた検出レベルにより対象とする検出レベルが規定されているが、通常ASMEなどで20% DAC (JIS H線-14 dB相当)以上を対象としており、国内法規を適用する压力容器では、ほとんどの場合M検出レベルを選定するようになってきている。しかし、欠陥とエコー高さの対応は必ずしも良いとは言えず、この選択は難しい。一般に有害な割れや溶け込み不良はエコーが高いとされているが、割れであっても方向によっては3.5.2.項で述べたように反射率が思った以上に小さくなってしまふ場合がある。このことは常に考慮に入れておかねばならない。

現在は規格のほとんどがエコー高さ依存による合否判定を取り入れているが、実際には、妨害エコーと判別できるエコーであれば、ノイズと分解可能な限りほとんどのエコーは何らかの欠陥からの信号であり、球状欠陥以外はエコーの高低にかかわらず、欠陥指示長さに対応して欠陥が存



第14図 交流直接通電法による内部欠陥の検出度
Fig. 14 Sensitivity of internal discontinuities by the alternating current direct contact technique

在すると考える方が順当と思われる。

3.6 磁粉探傷試験における試験条件と欠陥検出度

磁粉探傷試験は鉄鋼材料の表面近傍の欠陥を検出するのに適した方法であり、その原理は磁化された金属の表面近傍に欠陥の存在することにより漏洩磁束が現われ、この磁束を検出して欠陥の存在を推定することにある。

3.6.1 表面割れの検出限界

磁粉探傷試験における欠陥検出限界はいろいろな因子によって左右されるが、磁粉が微細であり、他の因子によって妨げられなければ検出限界は無いとも言われている。すなわち厳密に言えば結晶粒界は結晶学的に言って不連続箇所であり、転位などの多い箇所、広い意味での欠陥ともいえるため、強さの上でも結晶粒より小さい欠陥は現実の欠陥として取り扱ってはいない。従って磁粉によって強磁性体内の結晶中にある磁区模様も検出できるので、欠陥以下のものも検出できることになるからである。

3.6.2 内部欠陥の検出限界

内部欠陥についてどの程度の深さまで検出できるかが問題である。特に当社の場合はグラスチール製機器におけるノズル取付溶接部の品質検査に磁粉探傷試験を適用しているが、表面近傍に存在するブローホールなどの欠陥を見落すことがあれば、焼成工程においてガラスをライニングした時に、ガラスの中に気泡等が発生する原因にもなるからである。従って表面からできるだけ深い位置の欠陥まで検出できることが望ましい。グラスライニング性の問題からいえば表面から5 mm程度までの欠陥検出ができることが望まれる。

これまで内部欠陥の検出度については実際の割れについての実験は試されていないが、人工欠陥についてのものではR. Bertholdの行ったものがある。直流極間法によるものでbの厚さとaの厚さの関係を求めたものがあるが、そのグラフを第13図に示す。欠陥の奥行きについては3 mm及び12.3 mmの2種類で検討しているが、これによると欠陥の奥行きは検出できる表面からの深さには影響が無いことを示している。

交流を用いて直接通電法による実験をした結果を第14図に示す、これによれば欠陥の幅や、材料の厚みを変えても検出できる深さはほとんど変わらないことを示しており、せいぜい2 mm程度の深さまでしか検出できず、直流の場合に比べて非常に浅いことを示している、

同じ交流磁場を用いて探傷する場合、湿式より乾式磁粉

8 表 ASTM E-165-7 による浸透時間と現像時間
 8 表 Penetration time/Development time in accordance with ASTM E-165

Materials	Types	Type of defects	Penetrants for all methods	
			Penetration time	Development time
Aluminum, Magnesium, Iron steel, Brass/Bronze, Titanium/Heat resistant alloys	Forging-casting welding	Cold-shut, Porosity, Melting failure, Crack (All types)	5 min.	7 min.
	Extrusion rod, Forging, Plate	Lap, Crack (All types)	10 min.	7 min.
Tool with carbide tip		Melting failure, Porosity, Crack	5 min.	7 min.
Cast steel	All types	Crack	5 min.	7 min.
Cast brass	All types	Crack	5 min.	7 min.
Cast aluminum	All types	Crack	5 min.	7 min.

用いた方が表面欠陥の検出度は劣るが、内部欠陥については漏洩磁束の拡がりが大きく、磁粉の粒度が大きいので検出度は高い、直流においても乾式磁粉を用いた方が深いところにある欠陥の検出度が高い、従ってグラスライニングの問題に焦点を当てて磁粉探傷試験を行うような場合は表面に開口した欠陥よりも、むしろ表面近傍に近い内部欠陥の検出度が問題になり、その意味では交流よりは直線で、湿式よりは乾式磁粉を用いた方法で試験計画を考へる必要がある。

浸透探傷試験における試験条件と欠陥検出度

浸透探傷試験は表面に開口している欠陥でない欠陥指した模様は得られない。従ってその検出度は表面状況によって大きく左右されることになる。すなわち欠陥部に油が付着し、他物質がつまったり、また開口部がさびてスラッグなどがついていたりすると検出できない。従ってその妨害因子を取り去る作業を十分に行う必要がある。欠陥部に浸透した浸透液はとれず、表面についた不要部分は除去し易い、また素地とは高いコントラストを示すものが検出度も高くなる。

浸透液には染色浸透液と蛍光浸透液とがあるが、染色浸透液は指示模様が拡がる傾向にあり、欠陥の実寸法測定に後者の方がすぐれている。

圧力容器において浸透探傷試験を適用していく上では、腐食割れが特に問題とされるオーステナイト系ステンレス鋼及びニッケル基合金については、探傷材料の選定に十分な注意が必要と思われる。ASME 規格の例では探傷材料の成分について試料 100 g を蒸発乾固させ、残留物重量が 0.005 g 以下であることと規定している。但しそれを越える場合には次のことを満足する必要がある。

- 1) 残留物中の総ハロゲン量が 1 % 以下であること。
- 2) 残留物中の硫黄量が 1 % 以下であること。

探傷条件の決定では特に問題になるのが浸透時間の設定であるが、現実にはいかなる浸透時間が最適かということでは、特に溶接部のようにさまざまな大きさの欠陥があり、表面状態も千差万別である。また理論的にも、実験的にも決定することは困難であり、決定できたとしてもかなり多くの制約条件が必要となる。それゆえ JIS Z2343 (1974) でも試験温度が 15 ~ 40 °C においては、5 ~ 20 分、特に幅の広い割れについては、その 2 倍以上を規定しており、幅の大きな規定となっている。

現在、浸透剤の濡れ性が非常に向上し、浸透時間については 10 分もあれば十分と考えられる。幅を見たとしても 10 ~ 12 分程度で十分である。参考までに第 8 表に ASTM 規格に定められている時間例を示しておく。

浸透探傷試験によって表面状況がよく、正しい処理で行うならばミクロン程度の幅と深さを有するものも検出できるが、実際の欠陥として認識するのはむしろ長さ方向の状況によって欠陥と判定するケースが多い。

む す び

各種の非破壊試験方法にはそれぞれの特色があり、一つの方法で完全にすべてを検出し得る方法は存在しない。例えば溶接部の放射線透過試験で全数検査しても割れの検出度が低く、超音波探傷試験によってこれを補っても表面割れの検出は磁気または浸透探傷試験に頼るしかない。従って各方法の短所を他の方法によって補ない総合的に要求を満たすように非破壊検査方法を適用していかなければならない。

〔参考文献〕

- 1) (社) 非破壊検査振興協会：非破壊検査ハンドブック(1982)、(社) 非破壊検査振興協会
- 2) 石井勇五郎：非破壊検査工学 (1973)、(株) 産報
- 3) 野原石松：圧力容器 (1970)、共立出版株式会社

嫌 気 2 段 処 理

Two-Step Anaerobic Wastewater Treatment Process

(環)技術部 製品開発課
高 村 義 郎
Yoshio Takamura

Up to this time, there haven't been any anaerobic reactor which was able to hold methane producing bacteria at high concentrations.

The methanogenesis has been regarded as the rate-limiting step in an anaerobic treatment. ABC System developed by Shinko-Pfaudler Company, Ltd. is known as the anaerobic filter process where the microorganisms become attached to the contact media in an up-flow column providing long SRT, short HRT and high organic loading rate with high concentrations of methane producing bacteria.

As examination of anaerobic treatment ability on various wastewater, the hydrolysis is the rate-limiting step in ABC system and another process for high suspended solid concentration in wastewater. This paper describes technical consideration of two-step anaerobic wastewater treatment process which separates the hydrolysis step from ABC system.

ま え が き

公害規制が実施されて以来、さまざまな廃水処理装置が考案され環境浄化に寄与してきている。中でも有機系の廃水は生物のもつ浄化能力に期待し、それを最大限にいかすべく進歩してきているといえる。

生物処理は廃水中の有機物を分解除去するのに関与する生物の特性上、好気性処理と嫌気性処理の2つに大別される。好気性処理は、酸素を必要とする好気性のバクテリアや原生動物等の浄化能力を利用するもので、活性汚泥法がその代表格である。これに対して嫌気性の処理は、酸素をまったく必要としない微生物（主にバクテリア）を利用する処理方式で、下水、し尿の処理や高濃度廃水の限定された分野に用いられているにすぎなかった。

二度にわたるオイルショックを経験する中で、生物処理の方法自体も効率アップが進められてきたが、実設備への普及程度の差や研究の容易さから好気性処理にかたよっていた観があり、活性汚泥法以後、接触曝気法、回転円板法、純酸素曝気法、深槽曝気法そして最近の生物膜汚過法へと酸素供給の効率アップと高負荷安定処理へと進歩してきている。

ところが、数年前の省エネルギー・省コストの風が吹きあれた頃より、嫌気性処理方式が見直されはじめ、最近のバイオテクノロジーブームが嫌気性処理に火をつけたといえよう。

当社はこの嫌気性処理の検討に早くから着目し、従来の嫌気性技術が有していた課題を解決し、1983年長田産業(株)に嫌気性廃水処理設備(ABCシステム)の一号機を受注して以来、1987年1月末現在8基の受注実績を数えるに至っている。(ABCシステムの実績を下に示す。)

しかしながら、実績を重ねるに従って嫌気性処理の難しさや、適用分野拡大のために解決しなければならない新たな課題が生まれてきている。

本稿では、ABCシステムの特長を簡単に振り返るとともに、新たな課題の一つである高濃度SS含有廃水の処理について検討した結果を紹介する。

1. ABCシステムの特長

ABCシステムは、当社が開発した固定床方式の嫌気性廃水処理装置で、従来の嫌気性処理装置がもっていた欠点を克服した高効率型の処理装置である。

このABCシステムについては、本誌の紙面を通して過去に紹介してきたが、ここで簡単に特長をふりかえってみる。

1.1 特殊プラスチックメディア(メタパック)の採用

本装置で使用する『メタパック』は、当社がABCシステム用に開発した充填材で、嫌気性菌を高濃度に保持保留できるようなさまざまな工夫をこらしたものである。

1) メタパックの比重は水よりも小さく、槽内で浮遊状態にあるため槽内にサポート類が不要となり、嫌気性状態

納 入 先	廃水の種類	廃 水 量 m ³ /d	廃 水 濃 度 mg/l	リアクター容量 m ³	ガス発生量(A重油) Nm ³ /d l/d	受注年月
長田産業(株)	澱粉廃液	500	COD _{Cr} 16 000	1 000	3 200 (2 300)	1983. 10
H農業協同組合	屠場廃液	100	BOD 4 000	50	150 (120)	1984. 4
T経済連	養豚し尿	20	BOD 5 000	40	40 (32)	1984. 12
F食品工場	煮豆廃液	300	BOD 4 000	300	700 (500)	1985. 8
NK生活協同組合	食品廃液	500	BOD 5 000	500	1 400 (900)	1986. 4
(株)D製麺工場	湯で麵廃液	50	BOD 5 700	62	200 (160)	1986. 7
S食料工業(株)	澱粉廃液	1 500	COD _{Cr} 6 700	1 000	4 000 (2 880)	1986. 11
T染工(株)	糊拔廃液	600	COD _{Mn} 4 000	300	360 (280)	1987. 1

におけるサポート類の腐蝕（例えば硫化水素による腐蝕等）を考慮する必要がなく、反応槽自体も長期間にわたって使用することが可能である。

- 2) メタパックの表面は菌体が付着しやすいような特殊な加工を施している。
- 3) 嫌気性菌を槽内に高濃度に保持できれば高負荷運転が可能となるため、充填材の表面以外のメディアとメディアの空間にも、有効な菌体を保留可能なように特異な形状にしている。したがって、ABCシステムの反応槽（ABリアクター）は固定床型というよりは、固定床型にスラッジブランケット型の特長をも併せもったものであるといえる。

- 4) 有効な嫌気性菌がメディア表面やメディア空間に高濃度に保持・保留されてくると、ついには目詰り状態となり、流入原水中の有機物は槽内をショートパスしたりして菌体との接触効率が低下してくる。メタパックメディアでは、メディアの空隙率を95%と大きくすることで目詰りの頻度を抑制することを特長としている。

このようにして、槽内の菌体濃度を高濃度に維持できることにより、従来よりも高負荷処理が可能となり、反応槽を小さくし、短期間（2日以内）の処理を可能としている。

1.2 処理水のリサイクル

嫌気性処理が普及しなかった原因の一つにメタン菌への阻害物質があることや、固定床方式では目詰りの問題があることがあげられていた。

当社は、処理水の一部をリサイクルすることにより槽内の流速（ABリアクターでは上昇流速）を適正速度に保ち、菌体と有機物の接触効率の向上に努め、あわせて目詰りの防止にも役立っている。また、処理水中には炭酸ガスが溶解しているためpH緩衝効果が期待できるばかりか、メタン菌への阻害要因の一つである有機酸濃度をリアクター流入部で抑制することが可能となる。

1.3 加温エネルギー低減のため処理水の熱回収

ABリアクターの運転水温は、通常36°C前後の中温醗酵域である。メタン醗酵の課題の一つにこの温度コントロ

ールが必要であることがあげられていた。

従来、菌体の保持技術が不十分であったため大容量の反応槽が必要であり、発生ガスの熱エネルギーだけでは反応槽を加温するのに要する熱エネルギーを補うことができなかった。

ABCシステムでは槽容量が小さくなったことにより放散熱量も減少し、加温エネルギー自体減少できるようになったこともあるが、それに加えて、処理水の持ち出す熱量を熱交換器で回収し流入水に熱交換するシステムを組み込んでいるため、加温エネルギー（通常蒸気で加温）が大幅に減少できる。

1.4 バイオマスコントロールの確立

1.1項で述べたように、槽内には高濃度の有効な菌体（バイオマス）が蓄積してくるが、徐々に目詰り状態となり反応効率が低下してくる。したがって、槽内を健全な状態に保つためには、槽内のバイオマス濃度とメディアの空隙率を検知し、適正に維持する必要がある。当社はこのバイオマスコントロールの手法を確立し、ABリアクターの適正な運転を可能としている。

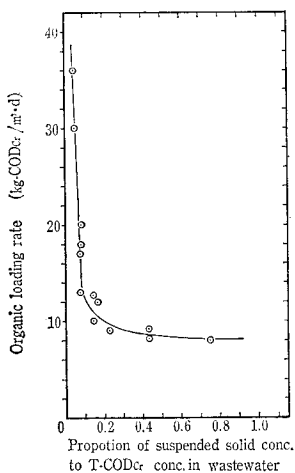
2. ABCシステムの適用分野拡大への課題

1項で紹介したように、ABCシステムは従来の嫌気性処理の課題を解決し、工場廃水の処理設備としての可能性を開き、1983年以来、現在食品分野を中心に化学分野、畜産分野などに8基の受注実績を数えるようになっている。

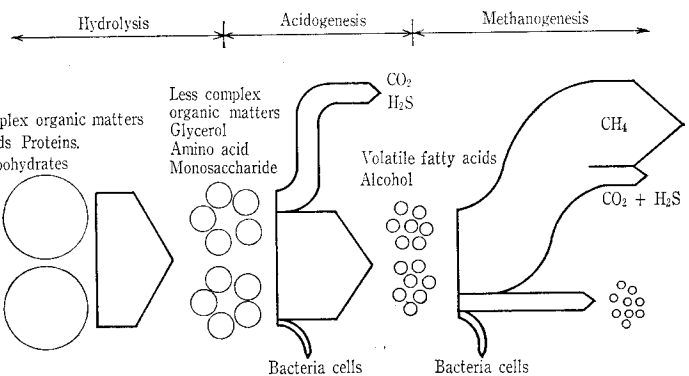
このABCシステムは、工場廃水中に含まれる溶解性有機物の処理を目的として開発したものであり、有機性固形物（例えばSS成分等）は処理の対象としてはあまり考えていなかった。元来嫌気性処理は下水汚泥やし尿処理において、有機性固形物を嫌気消化するために長い滞留時間（約30日）で処理することが可能であった。

最近では嫌気性廃水処理として溶解性有機物を短い滞留時間（約1日）で高効率に処理することができるようになってきた。

しかし、実際には有機性固形物を含む廃水も多く、従来の長時間方式では効率も悪く、有機性固形物を短時間で分解することが特に必要となってきた。



第1図 廃水中のSS濃度と運転有機負荷の関係
Fig. 1 Effect of suspended solid in wastewater on operating organic loading rate in ABC system



第2図 有機物の嫌気分解過程
Fig. 2 Schematic representation of eco-physiological interaction occurring at anaerobic degradation of organics

pH		3~4	第1表 供試原水の水質 Table 1 Physical & chemical characteristics of waste water
SS	mg/l	av. 15 000	
Total COD _{Cr}	mg/l	av. 20 000	
Soluble COD _{Cr} *	mg/l	av. 1 500	
BOD	mg/l	av. 9 500	

*Filtered with No. 5A filter paper

Column size	200 mm ϕ × 1 000 mm ^H	第2表 主要実験装置の仕様 Table 2 Specification of bench scale reactor
Column volume	30 l	
Mixer tank	140 mm ϕ × 100 mm ^H	
Tank volume	1.3 l	

第1図は、種々の工場廃水を対象としたABCシステムのパイロットテストを通じて得られた処理効率に対する有機性固形物の影響を示したものである。

横軸は廃水中の有機性固形物(SS)濃度とCOD_{Cr}で表示した有機物濃度との比を表わし、縦軸はCOD_{Cr}の除去率が80%以上を満足する有機物負荷量をCOD_{Cr}量で表わしたものである。

この図においてCOD_{Cr}は2 000 mg/l以上(最大30 000 mg/l)であり、SS成分が少ないほど、すなわちSS/COD_{Cr}の比が小さければ高負荷処理が可能であるが、SS成分が多くなるに従って運転負荷を抑える必要性が出てくる。この現象を第2図に示した嫌気分解過程からみると、廃水中の有機物はまず細胞外酵素による加水分解作用を受けて低分子化される。例えば脂肪は長鎖脂肪酸やグリセリンに、タンパク質はアミノ酸や短鎖ペプチドに、多糖類は単糖類や二糖類へと低分子化が進行する。有機性の固形物は脂肪、タンパク質、多糖類から構成されることが多く、加水分解作用により低分子化され、溶解性有機物の形にスムーズに変化することが重要である。この低分子化された有機物は、酸生成菌により微細化され、メタンの前駆体である低級脂肪酸(例えば酢酸)やアルコールやアルデヒドなどに変化する。メタン生成菌は生成されたメタン前駆体を急速にメタンガスと炭酸ガスに分解し嫌気分解は終了する。しかしこれらの分解過程は個々独立して進行するというよりは、反応系内で互いにバランスを保ちながら同時的にかつ連続的に進行する。

従来、この嫌気分解過程においては、関与微生物群の菌学的な特性からみて、メタン生成菌の増殖速度が酸生成菌等に比べて遅いため、メタン生成段階が嫌気処理全体の律速段階と思われるが、ABCシステムでは、この問題をメタン菌の保持・保留技術を確立するとともに系内の菌体濃度を常に高濃度に健全な状態に維持することで解決した。一方、嫌気分解の対象有機物質の特性からは、第一段階の加水分解反応が全体の反応速度を律することも知られている。例えば、東北大学の野池らによれば、セルロースの嫌気分解においては加水分解反応が全体の律速段階であり、グルコース等の可溶性有機物の嫌気分解とは顕著な違いがあることを報告している¹⁾。

このように、有機性固形物を含有する廃水の嫌気処理においては、加水分解反応の速度に全体の反応速度をあわせる必要が生じ、第1図に示したように固形物の割合が増えるに従って運転負荷を低下せざるをえなくなってくる。この現象は固定床方式を採用しているABCシステムだけの現象ではなく、むしろ流動床方式や浮遊床方式の嫌気処理においてはより顕著な現象としてあらわれてくる。

嫌気分解反応は第2図に示すように複数の反応系が組みあわさっているため、学術的な研究においては二槽(二相)に分けて別々に検討されることが多く、一部では二相方式で実設備化が進められている。

各反応系が個々に進行するものでなく同時にバランスよく進行する点に着目するとともに、一槽でも処理が可能であるならば複数槽に分ける必要もなく、また、一槽の方が計装面や維持管理が容易であることを重視し、一連の嫌気分解を一つの反応槽(ABリアクター)で行わせるABCシステムを完成させた。ところが、有機性固形物を対象とする処理においては、高負荷短時間処理が難しく、反応律速となる加水分解段階を分離する必要が生じてきた。すなわち、ABリアクターの前段に前処理的な嫌気槽を設け、有機性固形物を生物学的に分解・可溶化し、ABリアクターの能力を最大限に発揮させ、全体としてABリアクター単独処理よりも処理効率が高くなればよいわけである。

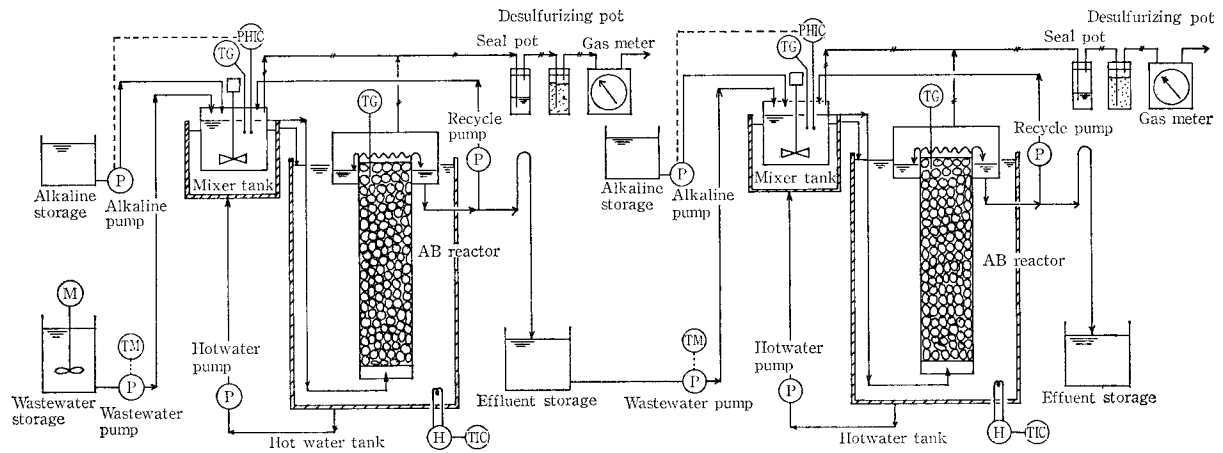
そこで、SS成分に由来する高濃度廃水をモデル廃水として、律速段階の反応、すなわち加水分解反応(SSの可溶化反応)を別の槽に分離した嫌気2段階処理の検討を実施し、ABリアクター単独処理に比べて二倍以上の高負荷安定処理が可能であり、中和剤の使用量も少なく済む可能性を見いだした。詳細については次に示す。

3. 嫌気2段階処理の検討方法

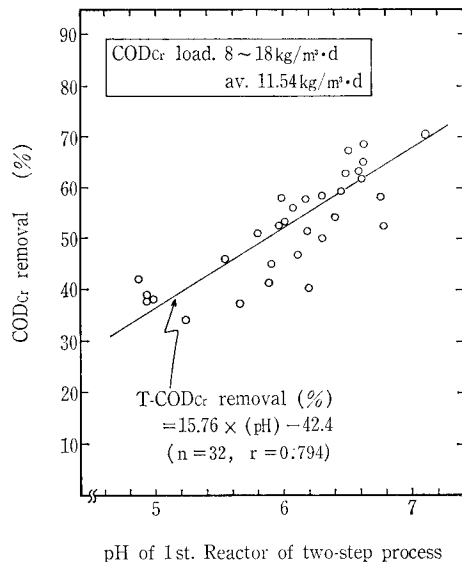
嫌気処理の対象となるSS成分は当然のことながら有機物であることが大前提となる。

検討に用いたモデル廃水は、小麦粉より回収できる小麦デンプンの最下等級のものを水に再溶解して調整したもので、この水質は第1表に示すようにpHは3~4の酸性側であり、Total COD_{Cr}は平均20 000 mg/l、No 5 A 汚紙汚液のCOD_{Cr}(以下S-COD_{Cr}と略す)は平均1 500 mg/lである。廃水のSSはデンプン粒に由来するもので濃度は平均15 000 mg/lと高く、この廃水のCOD_{Cr}成分はいわばSS成分に由来しており、可溶性の有機物は1 500/20 000 = 0.075と約8%にすぎない特異な水質である。この廃水のBODは平均9 500 mg/lで、窒素やリンが不足しているためCOD_{Cr}:N:P = 1 000:5:1の比率になるよう栄養塩を補添したものを検討に供した。

第3図に実験装置のフローシートを示すとともに、第2表に主要装置の仕様を示す。なお、第3図のフローシートは2段階処理用のフローであり、比較用の1段階処理(ABC単独処理)のフローは2段階処理の前半部分に相当する。装置の中心をなすリアクターは、透明塩化ビニル製の円筒型反応槽で、内部に特殊加工をしたメディアを浮遊充填させた密閉型の上向流固液分離槽で、有効容量は30 lである。



第3図 実験フローシート (2段階処理)
Fig. 3 Flow sheet of two-step anaerobic treatment

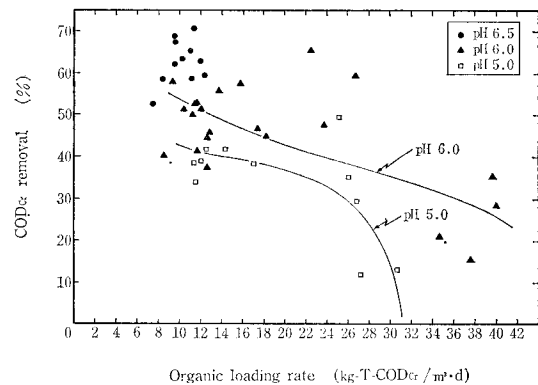


第4図 2段階処理の一段目における pH と COD 除去率の関係
Fig. 4 Effect of pH on COD_{Cr} removal in the first reactor of two-step process under lower loading rate

供試廃水は、電動式パルス駆動のダイヤフラムポンプでミキサータンクに送りこまれるが、送液量は手動セットによるパルス数の調整、およびタイマー制御により調整し、リアクターへの有機物負荷量を調整することが可能で、ガス発生量をみながら送液量を順次高めていく方法で、馴養から本実験に移行した。

ミキサータンクに送られた廃水は、リサイクル水 (返送処理水) と混合され、pH 計に連動したアルカリポンプにより苛性ソーダ液を注入し pH 調整されたのち、水位差によりリアクターの下部から流入し、リアクター内の微生物と接触し、処理されてリアクター上部の越流堰から流出していく。2段階処理は、一段目の処理水をもう一度同じ方法で二段目のリアクターに流入させることにより実験を行った。

発生ガスは、シールポットをへて脱硫処理後、湿式ガス積算流量計で計量したのち系外に放出した。ABC システ



第5図 2段階処理の一段目における pH と負荷と COD 除去率の関係
Fig. 5 Relation between loading rate and COD removal in the first reactor of two-step process under constant pH

ムは、原則として 36 °C 前後の中温醗酵域を採用しているため、本検討においてもリアクターの運転水温は 36 °C 前後となるよう温水浴槽にリアクターを浸漬し温度コントロールを行った。

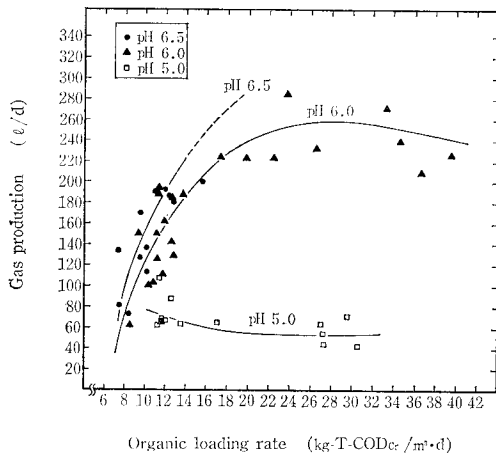
4. 嫌気2段階処理の特長と効果

4.1 2段階処理の一段目

2段階処理は、ABC 単独処理における反応律速段階、すなわち供試原水においては SS の可溶化 (加水分解) 反応を遅滞なく進めることに主目的がある。このため一段目は、主に可溶化反応を促進させ、次いでおこる酸生成反応やメタン生成反応を容易にさせるものであり、pH 条件も中性付近で運転する ABC 単独処理とは異なってくる。

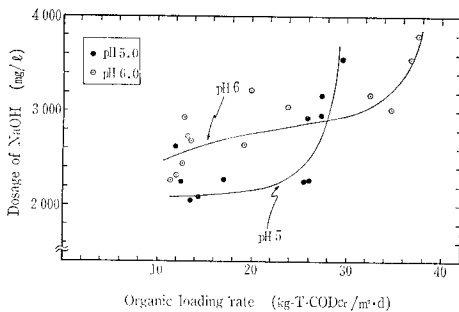
第4図に COD_{Cr} 負荷が比較的低い条件における pH と COD_{Cr} の除去率の関係を示す。また、第5図には、低負荷から高負荷にかけての pH と負荷と除去率の関係を示す。

同一負荷条件においては、反応 pH が低いほど COD_{Cr} の除去率は低くなり、pH を一定とすれば、COD_{Cr} 負荷が高



第6図 2段処理の一段目における負荷とガス発生量の関係

Fig. 6 Relation between organic loading rate and gas production in the first reactor of two-step process under constant pH



第7図 2段処理の一段目におけるNaOHの添加量

Fig. 7 Performance of NaOH dosage in the first reactor of two-step process under increasing organic loading rate

まるにしたがって除去率の低下がみられた。

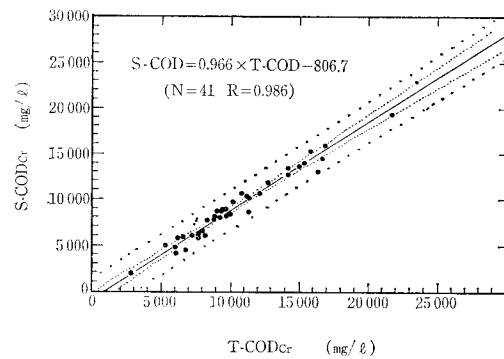
一段目の目的は前にも述べたように、SS成分の可溶化にあるため、固形物が生物分解を受けやすい状態に変わりさえすれば、有機物量としてはかならずしも減少させる必要はなく、この意味では、COD_{Cr}の除去率は高くなくてもよい。

嫌気処理においては、分解除去された有機物は、メタンガスや炭酸ガスに変換される。

第6図は、COD_{Cr}負荷に対する各pH条件におけるガス発生量を表わすが、pH5では負荷の増加にかかわらずガス発生量はほぼ一定していた。これは、pHが5と低いためにメタン生成菌の活性が低いことや、SSの可溶化が進行するとともに酸生成反応がおこり、有機酸が蓄積しメタン生成菌の活性が阻害されたことによる、ガス化反応の停滞が原因と考えられる。一方、pHが6~6.5においては、ガス発生量は負荷の上昇にともなって増加していくが、pH6においてはCOD_{Cr}負荷20 kg/m³·dをこえるあたりから徐々に減少していく傾向がみられた。

このpH6の条件は、pH5の条件に比べればメタン生成菌の活性が一部期待できる状態であり、メタン生成反応がある程度進行するが、高負荷になるにしたがって有機酸の蓄積量が増加するためガス化反応は停滞してくる。

このため可溶化されたSS成分は、有機酸の形で系内に残留しはじめ、見かけ上COD_{Cr}の除去率は低下もしくは



第8図 2段処理における一段目処理水の水质(反応pH5~6)

Fig. 8 Relation between total COD_{Cr} and soluble COD_{Cr} of the first reactor effluent of two-step process at pH 5 to 6.

停滞してくる。この現象は、中和用の苛性ソーダの添加量にも影響してくる。第7図にCOD_{Cr}負荷に対する苛性ソーダの添加量を示すが、負荷の増加に伴って増大していく。この傾向は第5図に示したCOD_{Cr}の除去カーブによく対応しており、除去率の低下に伴って苛性ソーダの注水量が増加し、有機酸がガス化されないで系内に蓄積してきていることがわかる。系内に残留する有機酸は、反応pHや負荷条件によってその濃度は変化するが、酢酸、プロピオン酸、酪酸が主体であり、負荷が高まるに従って吉草酸やカプロン酸の生成がみられた。

第8図にpH5~6で可溶化処理した処理水の水质を示すが、T-COD_{Cr}とS-COD_{Cr}がほぼ近似した水质となっており、原水の水質(T-COD_{Cr} 20000 mg/l, S-COD_{Cr} 1500 mg/l)と比べると可溶化の目的は十分満足できるものであった。

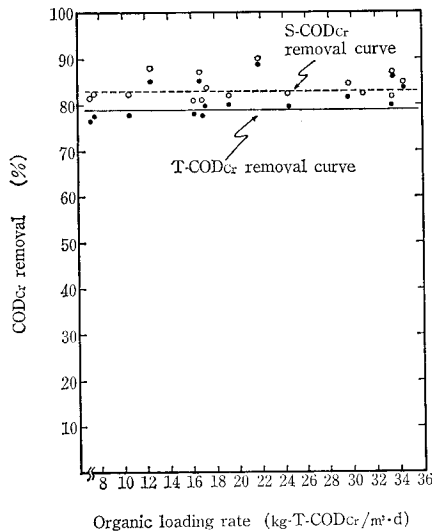
4.2 2段処理の二段目

4.1項で得られた処理水をABリアクターに流入させ、二段目の処理を行った。

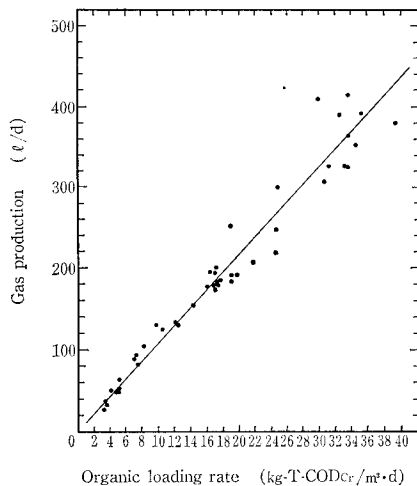
一段目の処理水质、すなわち二段目の流入水质のCOD_{Cr}に基づくCOD_{Cr}負荷量とCOD_{Cr}除去率の関係を第9図に、負荷量とガス発生量の関係を第10図に示す。

第9図に示すように、COD_{Cr}負荷8~36 kg/m³·dと低負荷側から高負荷側において安定した除去率がえられ、T-COD_{Cr}で約80%、S-COD_{Cr}では83%と良好な結果がえられた。ガス発生量も第10図に示すように、負荷の増加に伴って順調に増加していき、負荷の上昇に伴って一段目からもちこまれる種々の有機酸の増大にもかかわらず、スムーズなガス化反応を示した。ただ、COD_{Cr}負荷が30 kg/m³·dを越えるあたりからガス発生量の不安定さがやや見られるようになったが、これは一段目処理水中のn-酪酸の急増や、吉草酸、カプロン酸といったC数の多い有機酸が増加してきたことに起因していると思われる。しかしながら、二段目処理水中にはこのような有機酸が残留することはなかった。

COD_{Cr}負荷30~34 kg/m³·dにおける処理水质は、T-COD_{Cr}約2900 mg/l、S-COD_{Cr}約2400 mg/lで、もともとの原水からみればCOD_{Cr}の85%以上が除去されたことになり、比較のために行ったABリアクター単独処理の負荷8 kg/m³·dの処理水质と比べても遜色のないものであった。



第9図 2段処理の二段目における負荷と除去率の関係
Fig. 9 Relation between loading rate and COD_{Cr} removal in the second reactor of two-step process



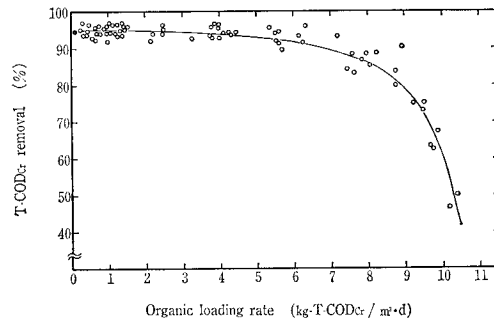
第10図 2段処理の二段目における負荷とガス発生量の関係
Fig. 10 Effect of organic loading rate on gas production in the second reactor of two-step process

4.3 ABC単独処理（1段処理）

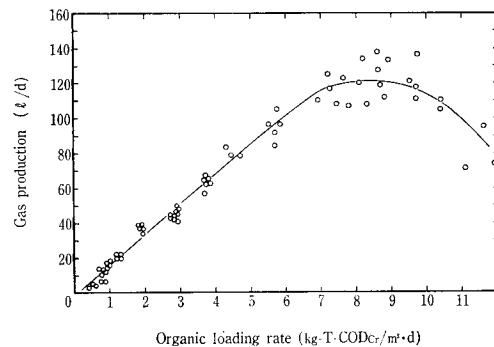
前項と同様、COD_{Cr} 負荷と除去率の関係を第11図に、また、COD_{Cr} 負荷に対するガス発生量の関係を第12図に示す。

COD_{Cr} 負荷が2~7 kg/m³·dにおいてはCOD_{Cr} 除去率は約90%を維持しており、ガス発生量も負荷量の上昇に追従して順調に増加している。ところが、COD_{Cr} 負荷が7 kg/m³·dを越えるあたりから除去率は徐々に低下する傾向がみられ、9 kg/m³·dを越えると急激に悪化する状況がみられた。発生ガスにもこの影響が顕著に表われ、8~9 kg/m³·dをピークとして低下していった。

除去率が悪化した状態の槽内には、供試原水中のSS成分が未分解の状態に蓄積しており、加水分解(可溶性反応)が十分に進行していない状況であった。この加水分解反応の遅れは他の反応系にも悪影響を及ぼし、槽内には有機酸が高濃度に蓄積しメタン生成菌の活性を阻害する状況となっていた。



第11図 ABC単独処理におけるCOD負荷とCOD除去率
Fig. 11 Effect of organic loading rate on COD_{Cr} removal in ABC system



第12図 ABC単独処理におけるCOD負荷と発生ガス量
Fig. 12 Effect of organic loading rate on gas production in ABC system

以上のように、供試原水のように高濃度のSSを含有する廃水をABCシステム(1段処理)で処理するとすれば、COD_{Cr} 負荷として8 kg/m³·dが常用最大条件と考えられる。

4.4 2段処理の効果

第13図に以上述べてきた2段処理と1段処理を比較した模式図を示す。

ABCシステムの前段に可溶化を目的とする前処理槽を設けた2段処理を行うと、後段のABリアクターへの流入基質の低分子化が促進されているため、ABリアクターの能力を最大限に発揮することが可能となる。

今回の検討においては、一段目の負荷35 kg/m³·d、二段目の負荷30~34 kg/m³·dの処理が可能であり、全体としてみれば約18 kg/m³·dの処理が可能であった。この負荷量は、ABC単独の処理の負荷量(8 kg/m³·d)の約2.3倍に相当する極めて高いものであった。また、ランニングコストに関係する中和剤についても、2段処理では苛性ソーダが3000~4000 mg/l必要であったのに対し、ABC単独では約4500 mg/lであり、500 mg/l以上(10~34%)の削減が可能であった。

5. 2段処理の設備コスト

ABCシステムの前段に可溶化槽等を設ける2段処理方式は、ある物質の阻害レベルが高くABC単独処理では嫌気分解できないようなケースを除けば、ABC単独処理の設備コストと同等か安価でなければ適用のメリットは少ない。

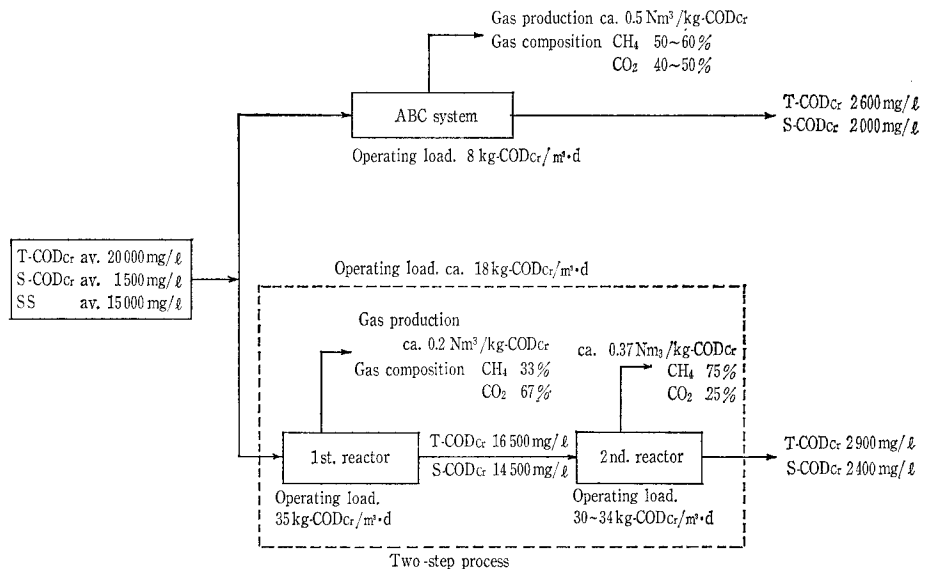
第14図は、ABC単独処理とABCによる2段処理のコ

第 13 図

ABC 単独処理と 2 段階処理の比較
模式図

Fig. 13

Performance of anaerobic treatment by ABC system and two-step process



第 3 表 発生ガスの比較

Table 3 Composition of produced gas from anaerobic reactor in ABC system or two-step process

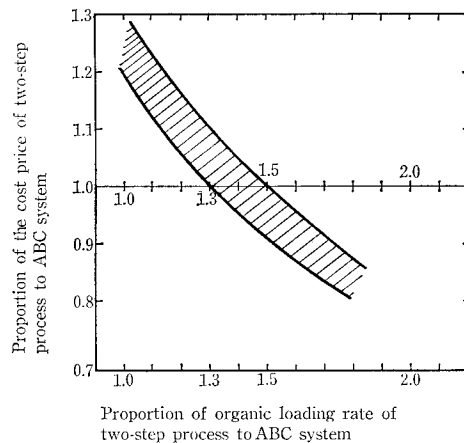
	ABC system	Two-step process	
		1st. reactor	2nd. reactor
COD _{Cr} kg	1 000	1 000	830
Gas production Nm ₃ /kg-COD _{Cr}	0.5	0.2	0.37
CH ₄ conc. %	55	33	75
CO ₂ conc. %	45	67	25
Off gas vol. Nm ³	500	200	307
CH ₄ gas vol. Nm ³	275	66	230
		sun. 296	

ストを比較したもので、横軸はABC単独処理における運転負荷量に対する2段階処理全体として可能な負荷量の比(倍数)を表わし、縦軸は設備コストの比を表わしている。

両者の運転負荷が同じであれば、2段階処理の設備コストは20~30%程度高くなるのは当然のことで、1.5倍以上高い運転負荷がとれば2段階処理方式を採用しても設備コストが安くなる可能性がある。今回の検討においては2倍以上の運転負荷が可能であったことからみれば、高濃度にSSを含有する廃水に対しては2段階処理は有効な処理方式といえる。

嫌気性処理の特長の一つに、発生するガスにメタンが含まれており、燃料価値をもっていることがあげられる。通常、嫌気分解により発生するガスは脱硫処理したのち、ガスホルダーに貯蔵する。メタンガスの割合は対象とする有機物の種類にもよるが、おおむね60~70%のケースが多く、有効利用からみると不要な炭酸ガスも貯蔵せざるをえず、ガスホルダーは結構大きなものになってくる。

今回の検討においては、第3表に示すように除去率が同じであればABC単独処理も2段階処理もほぼ同一量のガスを回収できたが、ABC単独におけるメタンガス濃度は約55%に対し、2段階処理においては一段目からは67%の炭酸ガスを含むガスが発生するが、二段目からはメタン濃度75%のガスが回収でき、二段目のメタン発生量は2段階処理全体の約8割に相当した。このことより、2段階処理においては一段目のガスを回収せずに二段目の発生ガスのみをガスホルダーに貯蔵しても、ABC単独処理で有効利用



第 14 図 ABC システム：1 段階処理と 2 段階処理のコスト比較

Fig. 14 Comparison of the cost price between ABC system and two-step process based on ABC system

できるメタンガス量の約84%に相当するメタンガスを有効利用することが可能で、ガスホルダーの容量も約60%に縮少できそうである。

むすび

嫌気性処理は従来、下水、し尿の固形物処理を中心に採用されており、20~30日という滞留日数で嫌気分解反応における律速段階をカバーしてきた。

当社のABCシステムは、単一の反応槽から成る高負荷短時間処理を可能とした嫌気性廃水処理装置であるが、実績を数えるに従い、有機物自体の分解速度が遅いような廃水、例えば今回紹介した高濃度のSSを含有するような廃水などでは、単一反応槽であるための弱点がみられるようになってきた。

石油価格の低下により、多少省エネルギーのメリットは減少しているが、化石エネルギーの枯渇問題は解決されておらず、今こそ省エネルギー・創エネルギーを以前にも増して積極的に推進していく必要がある。この意味においても嫌気性処理の発展は急務であるといえる。

ここに紹介した嫌気2段階処理方式が嫌気処理の高効率化や適用拡大の一つの道しるべになれば幸甚である。

【参考文献】

- 野池達也ほか：化学工学テクニカルレポート10廃棄物廃水循環利用技術の動向(第2集)(1986)化学工学協会産業部門委員会編 p.1

省エネルギー形エアレーション装置「円盤形SPジェット」

Energy-Saving Aeration System「Disk Header Type SP-Jet」

(環)技術部 技術課

下 島 光 雄

Mitsuo Shimojima

Shinko-Pfaudler has developed an energy-saving aeration system, "SP-Jet", in 1983 and has received many orders on it. It has been called the Linear Header Type SP-Jet which has jet nozzles disposed on a linear header.

This new system introduces low-pressure air and recirculated liquid through a vortex nozzle and jets a fine bubble mixture horizontally at the bottom regions of the basin.

Recently, the Disk Header Type SP-Jet, which has jet nozzles radially disposed around a disk, was developed. This type is designed for easy retrofitting of existing square surface aeration basins, almost always using the current blower system, and for easy applying to lagoon system at cold district.

Comparison study between our SP-Jet and coarse bubble aeration systems shows that jet aeration has 3~4 times greater oxygen absorption efficiency and 2~3 greater oxygen transfer rate per kilowatt hour at standard condition.

ま え が き

当社は省エネルギー形エアレーション装置「SPジェット」を1983年に開発し、既に多くの納入実績を有している。これらは直線状のヘッダーにジェット噴出ノズルを配列した形状であるが、今回この形状に加えて、円盤状のヘッダーにジェット噴出ノズルを放射状に配列した形状の「円盤形SPジェット」(写真1)を新製品として開発した。この「円盤形SPジェット」によって従来形で対応しにくかった正方形平面のエアレーションタンクにおける配置がしやすくなり、あらゆる種類のエアレーション装置に対する省エネルギー面からの見直しへの対応も可能になった。

ここにSPジェットの適用範囲をより広げるために開発された省エネルギー形エアレーション装置「円盤形SPジェット」を紹介する。

1. 「SPジェット」エアレーション装置

本論に先立ちSPジェットの概略について簡単に紹介する。

1.1 「SPジェット」の構成

エアレーション装置は第1図に示すように次の5つの部分から構成されている。

- (1) 循環水用ポンプ
- (2) ブロワー
- (3) SPジェット

- (4) 液体用配管
- (5) 空気用配管

1.2 「SPジェット」のエアレーション機能

- 1) 必要酸素量の供給機能

第2図に示すように次の4つの作用によって必要酸素量の供給機能がはたされる。

- (1) 「SPジェット」の気液混合室内における激しい気液接触作用
- (2) 気液界面のせん断効果による気泡の微細化
- (3) 気液ノズルから水平方向に噴出するジェット流による周辺液の巻き込み作用と同伴作用に起因する気液界面の更新と気液接触
- (4) 微細気泡(2mm以下)のエアリフト効果による気液接触と微細気泡なるがゆえの気液接触面積の増大とエアレーションタンク内の長期滞留

- 2) 攪拌混合機能

第2図に示すように次の2つの作用によってエアレーションタンク内の攪拌混合機能がはたされる。

- (1) 循環水ポンプに起因するジェット流による周辺液の巻き込みと同伴によって起る攪拌混合作用
- (2) 発生気泡のエアリフト効果による攪拌混合作用

2. 「円盤形SPジェット」の特長

SPジェットとしての共通の特長とそれらに加えて「円盤形SPジェット」の特長について述べる。

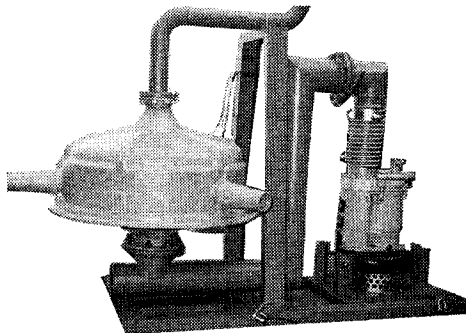
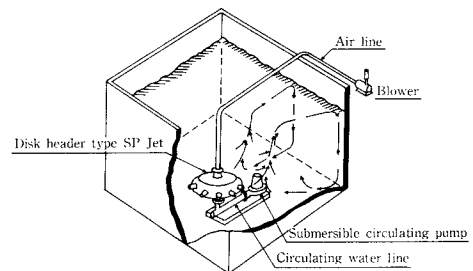


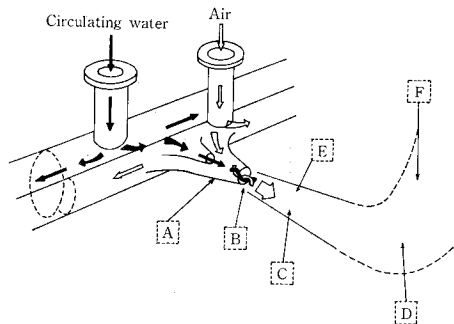
写真1 円盤形SPジェット(試作機)

Photo.1 Disk header Type SP-Jet



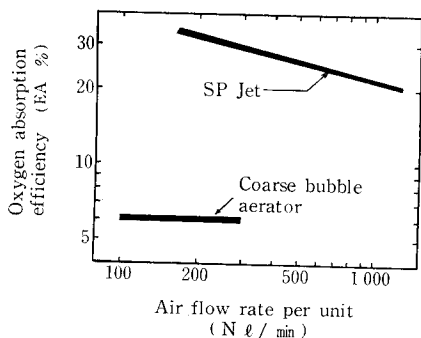
第1図 SPジェットエアレーションシステム

Fig.1 SP Jet aeration system



- A. Severe air-liquid contact occurs in the mixing chamber.
 - B. Fine bubbles are born by the shearing effect of liquid jet stream.
 - C. By the functions that draw the surrounding liquid into the horizontal jet stream and its accompanying effect, the renewal of interface of air-liquid and the contact of air and liquid are caused.
 - D. By the effect of air-lift of fine bubbles, the contact of air and liquid, and the detention of fine bubbles are caused.
 - E. Drawing of the surrounding liquid into the horizontal jet stream and its accompanying effect.
 - F. The air-lift effect of fine bubbles
- A-D: Oxygenation function
E-F: Agitating and mixing function

第2図 SPジェットのエアレーション機能
Fig. 2 Function of SP Jet aerator



Standard conditions in tap water, i.e., 20 °C, water depth 5m, 760 mm barometric pressure, and initial dissolved oxygen equal to 0 mg/ℓ.

第3図 酸素吸収効率
Fig. 3 Oxygen absorption efficiencies

2.1 共通の特長

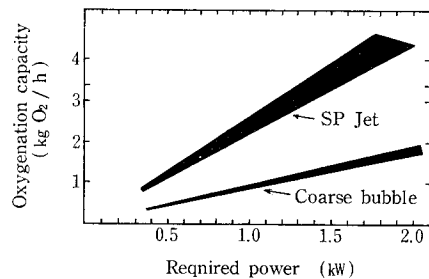
1) 省エネルギー

高い酸素吸収効率(第3図参照)を持っており、高い動力効率(第4図参照)が得られる。従来の散気方式(粗気泡旋回流方式)に比べ30~50%消費電力の削減ができ、1kWh当りの酸素供給量、いわゆる動力効率(kgO₂/kWh)の値は機械式表面曝気機に比べ若干低いものの、それとはほぼ同じになる。

2) 目詰まりの心配がない。

液ノズル及び気液ノズルの口径は数10 mm と大きく、常にジェット流で洗われているため目詰まりの心配は全くない。微細気泡形散気板では必要となるエアフィルタも不要である。

3) 優れた攪拌・混合機能



Standard conditions in tap water, i.e., 20 °C, water depth 5 m, 760 mm barometric pressure, and initial dissolved oxygen equal to 0mg/ℓ.

第4図 動力効率
Fig. 4 Oxygen transfer capabilities

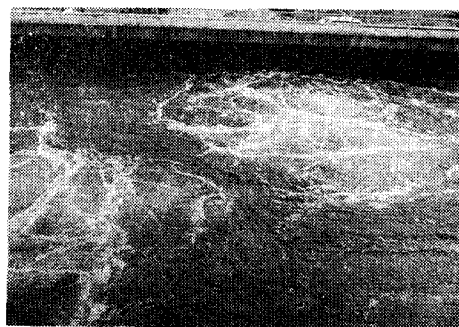


写真2 運転中の円盤形SPジェット
Photo. 2 Disk header Type SP-Jet in operation

循環水ポンプによって生み出される水平ジェット流にエアリフト効果が加わり、エアレーションタンク全体に極めて良好な攪拌・混合状態が得られる。(写真2)

第5図に槽内液の流速測定結果を示す。この測定値は槽内各点において汚泥の滞留を防げるといわれている流速値15 cm/s を越えており、十分な混合・攪拌が得られることを示している。この時の各条件は次のとおりである。

槽寸法: 10 m^W × 9.3 m^L × 4.7 m^H × 4.2 m^D
槽容量: 390 m³

使用SP: 3ノズル円盤形ジェット
(循環水ポンプ 7.5 kW)
(送気ブロー 5.5 kW)

槽内液: 清水

2.2 「円盤形SPジェット」の特長

1) ジェットノズルの大型化

従来のSPジェットよりも更に大きい口径の気液ノズルを採用したことによって、1基当りの酸素供給量を大幅に高めている。

2) 適用範囲の拡大

円盤形ヘッダーに気液ノズルを放射状に配列した形状になっているため、従来の「直線形SPジェット」では対応しにくかった正方形平面のエアレーションタンクへの適用が容易になった。もちろん長方形平面のエアレーションタンク、ラグーンなどへの適用も可能である。

3) コンパクトな構造

循環水ポンプをSPジェット本体と一緒に共通台床上に組み込んだ一体構造としているため、循環水配管が極端に短くなっている。これによって循環水ポンプの揚程を小さ

第1表 エアレーション装置の比較データ
Table 1 Comparative data of aeration system

Type	Mechanical surface aerater	Jet aerater	Fine bubble diffuser (Total floor coverage)	Fine bubble diffuser (Single side aeration)	Coarse bubble diffuser (Single side aeration)	Coarse bubble aerater
Item \ Device	Sigma wave aerater	SP Jet aerater	Porous disk or porous plate	Porous diffuser (Cylinder type)	Disk type diffuser	Static aerater
Oxygen requirement: No kgO ₂ /D	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
Water depth m	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Diffuser depth m	—	4.6	4.8	4.5	4.5	4.8
DO in aeration tank mg/l	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Water temperature °C	20	20	20	20	20	20
Oxygen absorption efficiency at 20 °C %	—	23	20	10	6.0	8.5
Operating condition (Gas volume/circulating water volume)	—	2.8	—	—	—	—
Blower spec.	—	15.7 Nm ³ /min ×0.5 kg/cm ² ×22 kW	20.2 m ³ /min ×0.6 kg/cm ² ×37 kW	40.6 m ³ /min ×0.5 kg/cm ² ×55 kW	63.6 m ³ /min ×0.55 kg/cm ² ×110 kW	44.8 m ³ /min ×0.55 kg/cm ² ×75 kW
Circulating pump spec.	—	5.6 m ³ /min ×5 m×11 kW	—	—	—	—
Installation power kW	37	33	37	55	110	75
Motor shaft power: P _o kW	29.3	26.3	27.8	47.8	81.3	57.3
Oxygenation efficiency: P _o /No kWh/kgO ₂	0.70	0.63	0.67	1.15	1.95	1.38

くすることができ、ポンプの動力を小さく選定できるので設備動力面でも有利である。

4) 寒冷地での凍結防止がはかれる。

送気ブロワーによって断熱圧縮された空気が熱量を持ったまま「SPジェット」を通してエアレーションタンク内に送り込まれるため、エアレーションタンク内の液温を下げることはない。冬期間の低温時や寒冷地においては、このことがエアレーションタンクあるいはラグーン槽の凍結を防止することになり、維持管理上大変有利である。

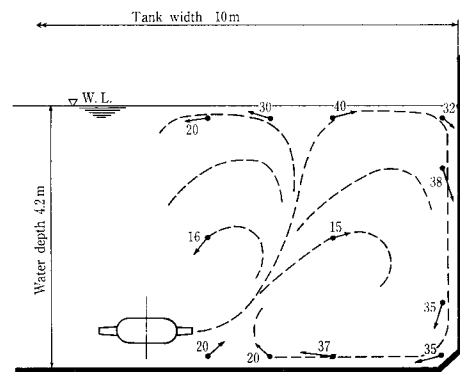
5) 調整槽での攪拌・混合装置としての用途をもつ。

「SPジェット」の気液ノズルは基本的にエゼクター形となっている。そこで「SPジェット」本体の空気口にブロワーによる送気を行わないで、空気口を延長して大気に開放しておけば空気がSPジェット本体に吸引される。このため気液ノズルから噴射されるジェット流は、空気を含んだものとなるからエアリフト効果が期待できる。調整槽では多くの場合、エアレーションタンクのように大量の酸素の供給を必要としないので、とくにブロワーによる送気を行う必要がない。すなわちエゼクターを通して吸引される空気だけでも十分な攪拌・混合能力が得られ、調整槽内での原水の均一化がはかれる。

そこでブロワーとブロワーから水槽までの空気配管の双方とも設備する必要がなくなり、循環水ポンプと一体化されている「円盤形SPジェット」は単体の攪拌・混合装置として調整槽内に設置することができるため、より一層使い易いものになる。

3. 「円盤形SPジェット」の性能

エアレーション装置を決定する際には、対象とする汚水のBOD濃度やエアレーションタンク内のMLSS濃度、さらに汚水中のNH₃-Nの濃度を考慮する必要がある。



Note: Figure means speed (cm/s)

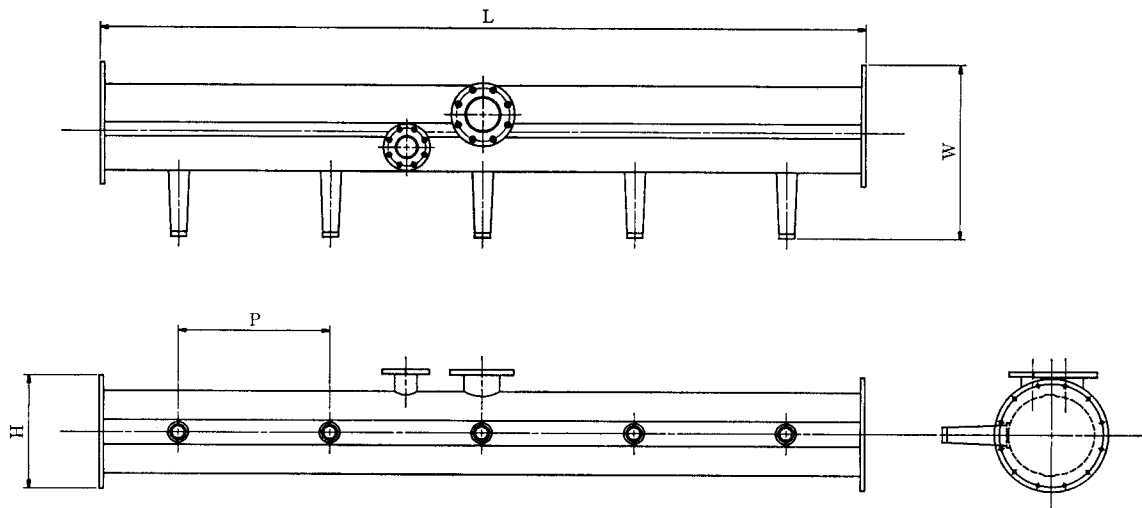
第5図 槽内液の流速分布
Fig. 5 Flow pattern of SP Jet aeration system

ところが、対象汚水の種類は下水、し尿、産業廃水とさまざまであり、各汚水によりBOD濃度や、MLSS濃度が異なるため特定の汚水性状を想定してエアレーション装置を比較することは容易ではない。

しかしながら、エアレーション装置を決定する場合、汚水を処理する上で要求される酸素量を基本とすることは共通している。そこで、特定の汚水性状を想定せずに必要とする酸素量を1000 kgO₂/dと仮定して各種のエアレーション装置を比較した結果を第1表に示す。

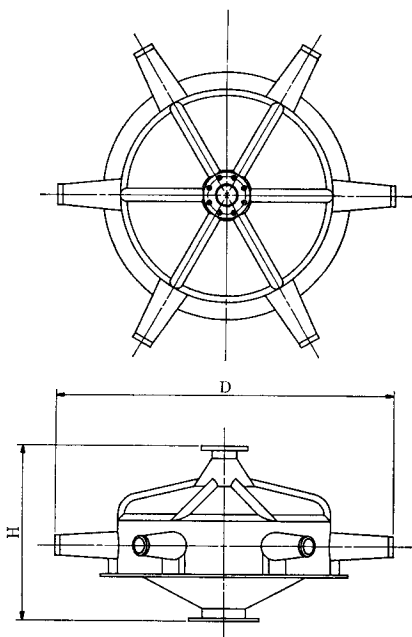
第1表において比較した各種のエアレーション装置は

- (1) 機械式表面曝気機 (シグマウェーブエアレーター)
- (2) 円盤形SPジェット
- (3) 全面曝気 (超微細気泡型ディフューザー)
- (4) 微細気泡型ディフューザー (円筒型旋回流方式)
- (5) 粗大気泡型ディフューザー (ノンクログ型旋回流方式)



Number of nozzle	6 000					3 000				
	4	6	8	10	12	2	3	4	5	6
P	1 800	1 080	770	600	490	1 800	1 080	770	600	490
W	670					670				
H	415					415				
Material	FRP									

第6図 直線形SPジェット
Fig. 6 Linear header type SP-Jet



Number of nozzle	3	4	6	8	12
D	1 350		1 550		
H	700				
Material	FRP				

第7図 円盤形SPジェット
Fig. 7 Disk header type SP-Jet

(6) 粗大気泡型 (スタティックエアレーターの一類) の6種類である。

この表中の値から「SPジェット」の酸素供給能力の高さが他のエアレーション装置と比較して明白であるが、2項で述べた「SPジェット」の特長と併わせ考慮すると「SPジェット」の優位性が浮き彫りになる。

4. 「SPジェット」の標準仕様

「直線形SPジェット」の標準仕様を第6図に、「円盤形SPジェット」の標準仕様を第7図に示す。

むすび

既に開発され、実用化されている「SPジェット」の用途を拡げるために、新たに開発された「円盤形SPジェット」の概要について説明した。

「直線形SPジェット」と併せて省エネルギー型エアレーション装置としての適用範囲はより広がるものと確信する。新規にエアレーション装置を計画される場合はもちろんのこと、現在稼動しているエアレーション装置についてSPジェットのもつ省エネルギー面、その他のSPジェットの利点をとり入れての再検討をされる場合本稿がその一助となれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 新製品省エネルギー型ばっ気装置「SPジェット」神鋼ファウドラ・ニュース Vol. 27, No. 2 (1983), p. 9
- 2) エアレーション装置の経済比較 神鋼ファウドラ・技報 Vol. 28, No. 3 (1984), p. 26

RO法による海水淡水化装置を用いたボイラ給水処理装置

Boiler Feed Water Treatment Plant with RO Type Desalination Plant

(環)超純水グループ

古賀 滋 人
Shigeto Koga
光上 義 道
Yoshimichi Mitsukami
牛越 健 一
Kenichi Ushikoshi

A boiler feed water treatment plant was installed in Chile, consisting of a demineralization plant applied for brackish water and a desalination plant for sea water supply. The demineralization plant consists mainly of a silica reducing equipment, medium pressure RO and ion exchange systems.

The desalination plant with a hollow fiber type cellulose acetate high pressure RO is applied for sea water as a substitution of the unstable brackish water supply.

The permeate of the desalination plant is treated by the following medium pressure RO and ion exchange systems of the demineralization plant.

The operating results for 21 months are quite steady and excellent. The salt rejection rate of the high pressure RO has been maintained by 99.8 % and the final treated water for boiler feed shows by 1.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ or less in conductivity and 10 $\mu\text{g}/\text{l}$ or less in residual silica content.

まえがき

南アメリカ大陸の自然を思うとき、アマゾン川の大ジャングル、南方パタゴニアや雪をいただくアンデスの山々を思い浮べる人は多い。

しかしアンデス山脈の西側チリの北部に大きな砂漠が横たわっていることはあまり知られていない。このチリ北部の砂漠は地下資源として銅や硝石を大量に埋蔵しチリの重要な国富となってきた。

この北部の砂漠の中にあるチュキカマタ市には、国営銅公社コデルコの露天掘の銅山があり、この銅山は露天掘としては世界最大の規模を持っている。当社はかつて同公社向の酸素プラント用に塩濃度の高い河川水をRO法により脱塩し、冷却水に供する処理装置を納入している。

今回はこのチュキカマタ銅山の精錬所に電力を送る海岸のトコピジャ市にある発電所に、RO法による海水淡水化装置とかん水脱塩装置を用いたボイラ給水処理装置を納入したので報告する。

1. ボイラ給水処理装置の経緯

本装置は三菱重工業(株)が受注したコデルコ社トコピジャ発電所の第12、13号発電プラント(78 MW×2基)のボイラ給水用として当社が納入したものである。

当初第12号発電プラント建設時には、内陸のチュキカマタより市水として送られて来るアンデス山脈の雪解け水(かん水)を原水とするボイラ給水プラント(Demineralization plant)を納入した。

この第12号発電プラント用ボイラ給水処理装置は次の第13号発電プラント用にも、併せ使用できる容量を持ち両プラントの共用として設計されてきた。

しかし実際運転に入ってみると、チ

第2表 水量バランス

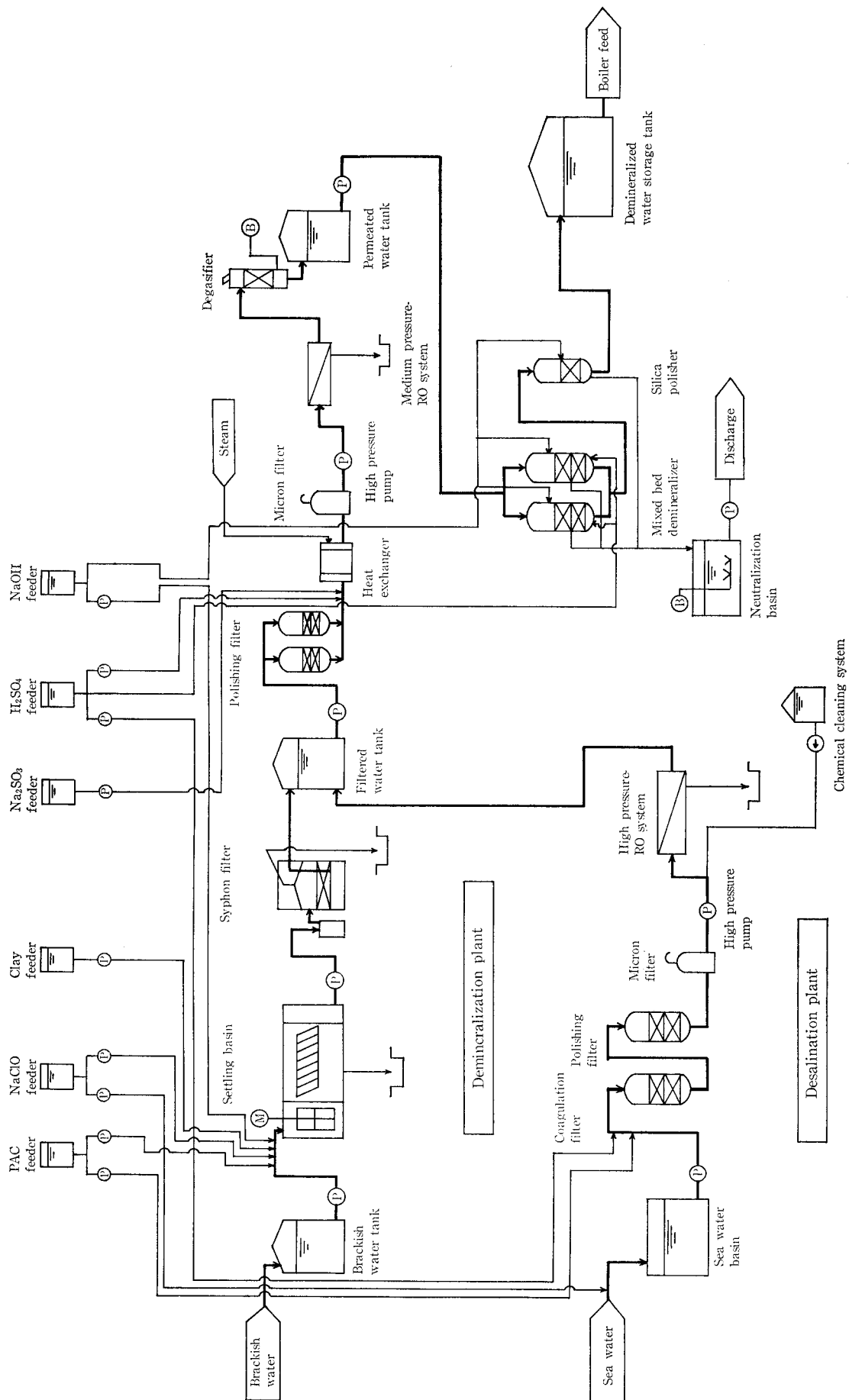
Table 2 Water balance (Unit: m^3/d)

Point	Sea water application	Brackish water application
Inlet of desalination plant	1520	—
Outlet of high pressure RO system	388	—
Brine outlet of high pressure RO system	720	—
Inlet of demineralization plant	—	610
Outlet of medium pressure RO system	330	330
Brine outlet of medium pressure RO system	57.6	178
Treated boiler feed water	300	300

第1表 設計水質一覧表

Table 1 Design water conditions

Item	Unit	Raw water		Treated water (Boiler feed water)
		Desalination plant (Sea water)	Demineralization plant (Brackish water)	
pH	25 °C	7.52	7.8 ~ 8.25	6~7
Temperature	°C	20~30	20	≤30
TDS	mg/l	36 890~40 000	744.0 ~ 916.0	
M-alkalinity	mg/l CaCO_3	143	100 ~ 160.00	
Total hardness	mg/l CaCO_3	6 490	166.80~281.90	ND
Ca-hardness	mg/l CaCO_3	1 052.2	16.60~199.80	
Mg-hardness	mg/l CaCO_3	5 424.3	79.13~128.74	
Chloride	mg/l Cl^-	19 460~21 425	99.00~151.13	ND
Sulfate	mg/l SO_4^{--}	2 720~2 970	45.30~242.40	
Silica	mg/l SiO_2	2.4	31.90~ 86.80	≤0.01
Conductivity	$\mu\text{S}/\text{cm}$	—	520 ~ 1 375	≤1.0
Turbidity	mg/l	—	0.75~ 2.20	
Iron	mg/l Fe	ND	0.13~ 0.30	≤0.01



第1図 ボイラ給水処理装置フローシート
Fig. 1 Flow diagram of desalination and demineralization plant

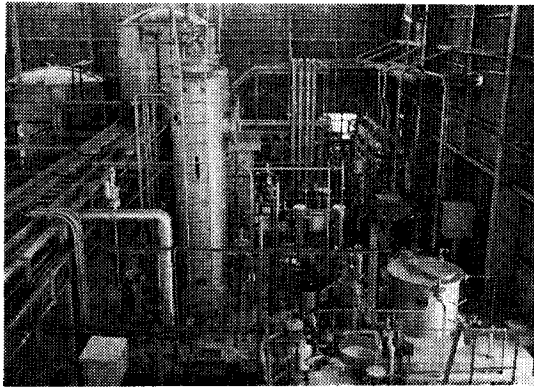


写真1 かん水脱塩装置を用いたボイラ給水処理装置
Photo.1 Demineralization plant

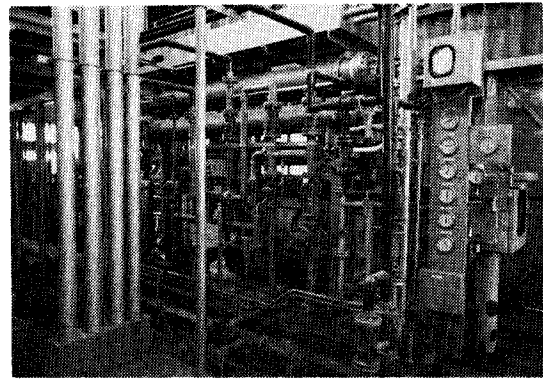


写真2 中圧RO装置
Photo.2 Medium pressure RO system

ユキカマタより供給される原水量が不安定で、特に夏場にはしばしば供給原水量が不足してしまうことが判明した。

このため第13号発電プラント建設時原水量が不足した場合にも問題を生じないようにRO法による海水淡水化装置(Desalination plant)を追加納入することになった。

しかし現地においては海水淡水化装置の方が、かん水脱塩装置に比べてランニングコストが安くなるため現在では海水淡水化装置が常時連続使用されている。

第1図に Demineralization plant と Desalination plant の全体フローを示す。

2. かん水脱塩装置を用いたボイラ 給水処理装置 (Demineralization plant)

2.1 設備

市水は飲料用水として使用されているが、塩類濃度が高く、かつシリカ濃度が高いかん水であり、ボイラ給水用原水としては決して良い水質とはいえない。設計原水々質と処理水々質は第1表に示す通りである。

第2表に装置容量を示す。この設備は610 m³/dの市水を受水し、ボイラ給水として300 m³/dを供給することができる。

原水はまずアルミニウム塩による共沈法により脱珪除濁処理がなされる。これは後続の中圧RO装置においてシリカの析出をおこさないためである。シリカはこの脱珪装置によりRO装置入口にて常に40 mg/l以下に保たれている。原市水は濁質が少ないため、必要な場合重質剤としてクレイを注入する設備が設けられている。また殺菌剤としては次亜塩素酸ソーダを用いる。

脱珪処理された市水は、自動サイフォン・フィルターにより汙過され、汙過水槽に入れられる。

汙過水槽よりポンプアップされた水は、ポリシング汙過器を通り熱交換器で25°Cに加温された後、カートリッジフィルタを経て加圧ポンプにより加圧されて中圧RO装置に送られる。RO装置透過水は余圧により脱ガス塔に送られ炭酸ガスが除かれる。

中圧RO装置に入る手前に硫酸が注入され、中圧RO膜の加水分解とスケリングを防止している。また亜硫酸ソーダを注入してRO膜の酸化劣化に対し配慮をしている。亜硫酸ソーダは1日1回30分程度停止して、原水に含まれる残留塩素により自動的に殺菌が行えるようになっている。

第3表 主要機器材質表

Table 3 Materials of main equipments

Name of plant	Equipment	Material
Desalination plant	Coagulation/Polishing filter	CS/Rubber lining
	Micron filter	FRP
	Pressure pumps (Including sea water pump, high pressure pump and backwash pump)	SCS11/SUS329J1
	Piping	PVC (Low press.) SUS 316L (High press.)
	Valves	PVC (Low press.) SUS 316L (High press.)
Demineralization plant	Settling basin/Syphon filter	CS/Tarepoxy coating
	Polishing filter and mixed bed demineralizer	CS/Rubber lining
	Process pumps	FC 20/SUS 304 SCS 13/SUS 304
	Piping	PVC (Low press.) SUS 304 (High press.)
	Valves	PVC (Low press.) SUS 304 (High press.)

中圧RO膜は酢酸セルロース・スパイラル型(S C 3 200)を採用しており、回収率はシリカ析出を防止するために65%に設定されている。

脱ガスされたRO装置透過水は混床塔に送られ脱イオンされる。今回のプラントは出口シリカ濃度の保証が10 µg/lと低いいため混床塔出口にシリカポリシャを設置した。混床塔出口にてシリカは既に10 µg/l以下であるが、シリカポリシャ設置により運転の安定性を高くしている。

Demineralization plant を写真1に示す。本装置は海岸近くで潮風が強いため、すべて建屋内に設置されている。写真2は中圧RO装置である。

主要部の材質を第3表に示す。RO装置廻り以降は鉄分等の溶出がないようにPVC、SUSなどの耐食性材料が用いられている。

2.2 運転データ

脱珪処理に当っては硫酸ばん土、塩化第2鉄及びポリ塩化アルミニウム等が検討され、硫酸ばん土は一時本装置で使用された。しかしポリ塩化アルミニウムは薬品の純度が高く、pH 7~8と比較的低pHでも脱珪性能が良く、かつ処理水の残留アルミニウムのレベルも低いことから凝集剤としては日本から輸入したポリ塩化アルミニウム (PAC-250 AD) を常用することとした。PAC-250 ADの注入率 250 mg/l、凝集後の pH 7~7.5程度にて脱珪後のシリカ濃度は 40 mg/l 以下を保持できている。

殺菌剤として当初次亜塩素酸ソーダを注入していたが、後に市水に残留塩素が測定されるようになったために、注入を停止した。重質剤としてのクレイは必要時のみ注入することとした。各点における薬品の注入率を第4表に示す。

第5表に各処理ポイントにおける水質分析値を示す。シリカは沈殿槽出口にて 34.2 mg/l と十分に低いレベルまで処理されている。また RO 装置入口におけるアルミニウムの残存量も非常に低い。RO 装置は回収率 65 % であり、RO 装置濃縮水中のシリカ濃度も 84.6 mg/l と溶解度より少く、シリカスケーリングの問題は皆無であった。

また大量のアルミニウム塩の注入にもかかわ

らず、RO装置入口SDI (15 min)は2~3、PN値として50以上と大変良い値を示している。

中圧RO膜は当初酸化劣化と思われる劣化を生じた。しかし亜硫酸ソーダ注入等による諸処置により十分に安定し

第4表 ポイラ給水処理装置の薬注条件

Table 4 Chemical injection rate of desalination and demineralization plant

Name of chemical	Injection point	Injection rate (mg/l AS 100 % Chem.)	
		Sea water application	Brackish water application
Polyaluminum chloride PAC-250 AD	Inlet of coagulation filter	1.8~3.3	—
	Inlet of settling basin	—	247
Sodium hypochlorite NaClO	Inlet of coagulation filter	2.4	—
	Inlet of settling basin	—	—
Sulfuric acid H ₂ SO ₄	Inlet of coagulation filter	25.8	—
	Inlet of medium press. RO	—	76.6
Caustic soda NaOH	Inlet of settling basin	—	65
Clay	Inlet of settling basin	—	(100)
Sodium sulfite Na ₂ SO ₃	Inlet of medium press. RO	16.7	8.1

第5表 かん水脱塩装置を用いたポイラ給水処理装置の水質分析

Table 5 Performance of demineralization plant

Item	Unit	Raw brackish water	Settling basin inlet	Syphon filter inlet	Medium press. RO inlet	Medium press. RO permeate	Medium press. RO brine	Mixed bed demineralizer inlet	Mixed bed demineralizer outlet	Silica polisher outlet
Turbidity	mg/l	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Color	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
pH	(25 °C)	7.4	7.4	7.3	5.8	5.2	6.3	5.9	6.9	6.7
Conductivity	µS/cm 25 °C	850	1 000	950	950	45	2 200	40	0.08	0.08
M-alkalinity	mg/l CaCO ₃	95.6	98.4	84.4	30.9	8.4	68.6	7.2	—	—
P-alkalinity	mg/l CaCO ₃	0	0	0	0	0	0	0	—	—
Total hardness	mg/l CaCO ₃	330	250	280	260	0.3	750	0.3	0	0
Ca-hardness	mg/l CaCO ₃	116	116	115	116	0	420	0	0	0
Mg-hardness	mg/l CaCO ₃	214	134	264	144	0.3	330	0.3	0	0
Total dissolved solids	mg/l	—	—	—	—	—	—	—	—	—
COD _{Mn}	mg/l O	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Carbon dioxide	mg/l CO ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Chloride	mg/l Cl ⁻	135	175	175	170	9.0	99	8.0	0	0
Sulfate	mg/l SO ₄ ²⁻	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Nitrate	mg/l NO ₃ ⁻	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Phosphate	mg/l PO ₄ ³⁻	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ionic silica	mg/l SiO ₂	61.4	34.2	34.5	33.3	2.91	84.6	2.65	<0.01	<0.01
Ammonium	mg/l NH ₄ ⁺	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Manganese	mg/l Mn	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Iron	mg/l Fe	0.05	0.015	—	0.025	<0.01	—	—	—	—
Bromide	mg/l Br ⁻	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Aluminum	mg/l Al	—	0.153	0.048	0.03	—	—	—	—	—

Raw water source : Brackish water
Date : May, 1985

た性能を確保することができている。

シリカポリシヤ出口の処理水々質は電気伝導度 $0.08 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、シリカ $10 \mu\text{g}/\text{l}$ 以下ときわめて良好な水質である。

3. 海水淡水化装置を用いたボイラ給水処理装置 (Desalination plant)

3.1 設備

チリ沖には南極より北上するフンボルト海流が流れており、一般に水温は低い。この地点よりさらに北に昇ったペルー沖は、湧昇による富栄養な海域として世界有数の漁場の一つで現地でアンチョアと呼ばれるカタクチイワシなどが大量にとれる。

海水淡水化装置に供給される海水は、サイフォン方式により海面下数 m より取水され、原水槽に導かれる。殺菌剤として次亜塩素酸ソーダが注入されたのち、原水槽の海水は海水ポンプにてポンプアップされ、この海水に凝集剤としてポリ塩化アルミニウム、pH 調整剤として硫酸が使用され pH 6.6~6.8 に調整され、複層の凝集ろ過器にてろ過される。

ろ過システムとしては凝集ろ過器の次にポリシングろ過器が設置されており、常時はシリーズ運転がなされ凝集ろ過器またはポリシングろ過器が洗浄に入った時には他の一方のろ過器のみで処理される。

ろ過された海水はカートリッジフィルタを経て加圧ポンプに送られ、加圧ポンプにて $55\sim 60 \text{ kg}/\text{cm}^2$ に加圧されて RO 装置に送られる。

RO 装置は酢酸セルロース 中空糸型の RO 膜が用いられ、Hollosep HM 8155の RO モジュールが HM 8255の

容器に各々 2 本ずつ入っている。装置には、HM 8255 の容器が 20 本取り付けられているが、当初より 17 本の通水のみで十分な性能を得ている。この 高圧 RO 装置の回収率は 35 % に設定されている。

海水淡水化装置の原海水は港の近くより取水されているために、事故により石油などの流出がある場合を配慮し、装置入口に油分濃度計を取り付け、油分を含む海水が流入した場合にも RO 膜及び装置を汚染することがないように配慮している。また RO 膜入口に残留塩素計を取り付け、残留塩素濃度を常時測定監視している。

高圧 RO 装置により処理された透過水は既設 Demineralization plant のろ過水槽に供給され、以後既設機器により処理される。ろ過水槽に入った透過水はポンプにて熱交換器、ミクロンフィルタ、加圧ポンプを経て中圧 RO 装置に送られる。かん水脱塩のとき使用されたポリシングろ過器はこの場合バイパスされる。高圧 RO 装置透過水は pH が低いため重亜硫酸ソーダを注入し pH を 5.5 前後に調整する。この重亜硫酸ソーダ注入は pH 調整のみならず残留塩素を中和して中圧 RO 膜の酸化劣化を防止できる。1 日 1 回注入を短時間とめて中圧 RO 膜の殺菌を行うことは、かん水脱塩の場合と同様である。

中圧 RO 装置は既設のアセテート・スパイラル型のものをそのまま使用する。ただし入口水はかん水から海水を淡水化したものに変るため、RO モジュールの配列を変えて回収率を 85.1 % に上げている。この中圧装置の濃縮水は海水よりはるかに塩濃度が低いため原水槽に返送することも有効であるが、現在は高圧 RO 装置透過水々質が非常に良いため返送せずそのまま放流している。

中圧 RO 装置処理水は脱ガス塔を経て混床塔、シリカポリシヤにて処理された後ボイラ給水として純水槽に送水される。

海水を原水として用いた場合の設計海水々質、処理水々質を第 1 表に示す。また高圧 RO 装置出口容量は $388 \text{ m}^3/\text{d}$ 、処理水容量はかん水の場合と同様に $300 \text{ m}^3/\text{d}$ である。装置各点における設計水量は第 2 表に示されている。

海水淡水化装置の材質には特に配慮を払った。主要機器の材質を第 3 表に示す。RO 装置廻りの主要配管及びプロセスポンプは、停止時に海水による腐食を受けないように、停止時には直前に処理した淡水により、装置内に滞留する海水が、置換されるように設計されている。

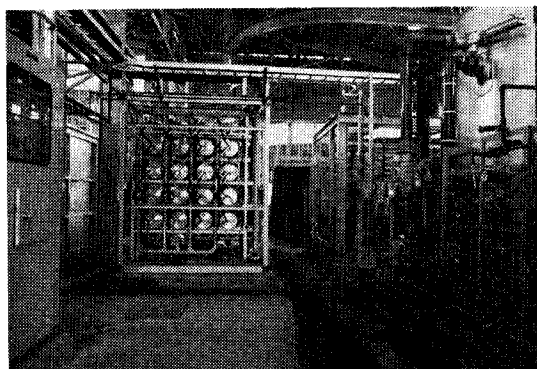


写真 3 海水淡水化装置
Photo. 3 Desalination plant

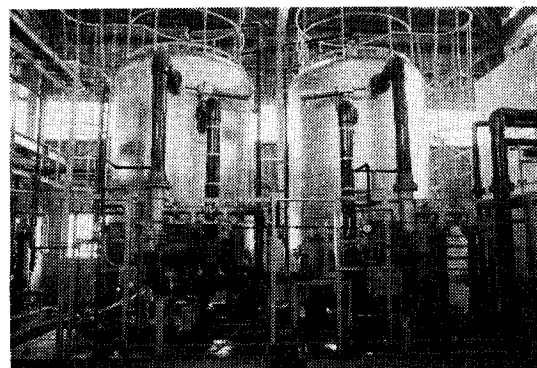


写真 4 前処理ろ過装置
Photo. 4 Coagulation and polishing filters

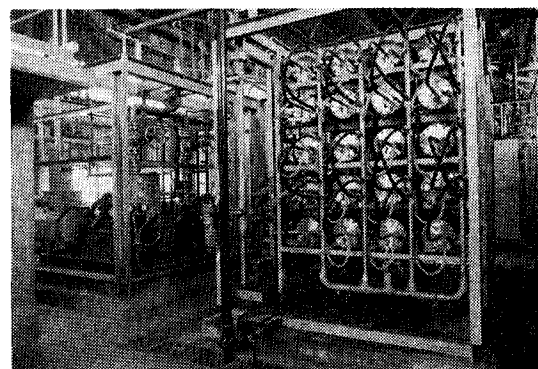
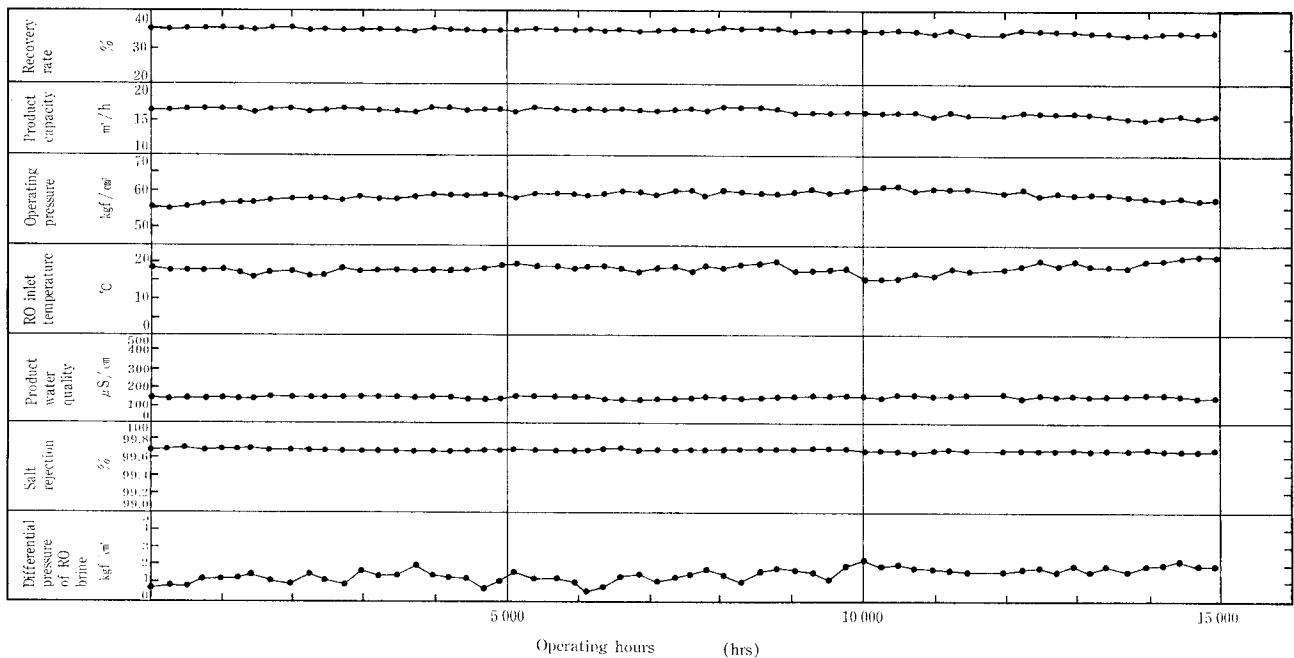


写真 5 高圧 RO 装置と加圧ポンプ
Photo. 5 High pressure pump and high pressure RO system



Date: Jun. '84~Feb. '87
 Rated capacity: 16.2 m³/h
 Rated recovery rate: 35 %
 Sea water conductivity: 52 000 µS/cm

Type of RO module: Hollosep HM 8255
 NO. of RO module: 34 Pcs. of HM 8155
 Mode of operation: Continuous operation
 Salt rejection: $(1 - \frac{C_p}{C_f}) \times 100$ (%)

第3図 海水淡水化装置運転データ

Fig. 3 Operating data of sea water desalination plant

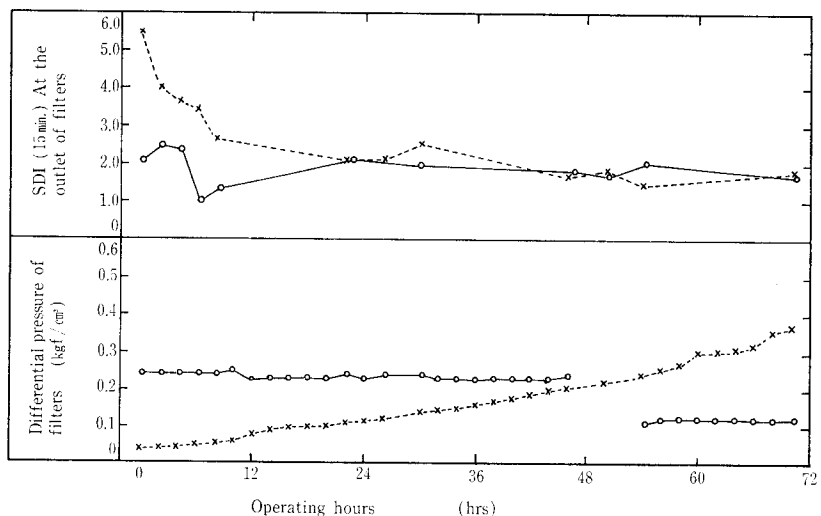
Desalination plant の写真を写真3に示す。写真4は Coagulation filter と Polishing filter である。High pressure pumps と RO modules を写真5に示す。

3.2 運転データ

海水淡水化装置の前処理用凝集剤としてはポリ塩化アルミニウムを使用している。凝集ろ過器及びポリシングろ過器の運転データを第2図に示す。PAC-250 AD 1.82 mg/l と低い注入率にもかかわらず、ポリシングろ過器出口のSDIは1.0~2.5と極めて良好な値が得られた。ろ過器は洗浄後SDIとして3.0以下になるまでに数時間を要する。凝集ろ過器とポリシングろ過器をシリーズに運転するのはこのような洗浄後のろ過器の水質悪化をカバーする意味で有効である。

凝集ろ過器の差圧上昇は0.5 kg/cm²に達するのにPAC注入率1.8~3.3 mg/lとして、1~4日であった。通常運転においては凝集ろ過器は1日1回、ポリシングろ過器はほとんど圧損の上昇がないため1週間に1回逆流洗浄を行っている。

第4表に海水淡水化装置を使用した場合の薬品注入率を示す。このように薬品注入率は、脱珪処理を行っているかん水脱塩の場合に比べて非常に少なく、高価な市水、高価な輸入薬品を大量に使用するかん水脱塩方式に比べて海水



Flow rate: 50~51 m³/h (LV=13.2~13.4 m/h)
 SDI (5min) of sea water: 11.6~15.4 (PN=0.24~0.78)
 Symbols: Coagulation filter ...x... Polishing filter -o-
 Chemical injection rate:
 PAC 1.82 mg/l as 100 % PAC 250 AD
 NaClO 2.42 mg/l as 100 % NaClO
 H₂SO₄ 25.8 mg/l as 100 % H₂SO₄ (Arranged to pH 6.6)

第2図 海水淡水化前処理装置運転データ

Fig. 2 Operating data of pretreatment system of desalination plant

淡水化装置を使用する方がランニングコストが安くなるために、海水淡水化装置の方を常時使用している。

第3図に高圧RO装置の運転データを示す。RO装置の脱塩性能はきわめて優れており原海水が電気伝導度52 000 µS/cm(TDS 35 800 mg/l)に対し透過水質は150 µS/cm

第 6 表 海水淡水化装置を用いたボイラ給水処理装置の水質分析

Table 6 Performance of desalination and demineralization plant

Items	Unit	Raw sea water	High press. RO inlet	High press. RO permeate	High press. RO Brine	Medium press. RO inlet	Medium press. RO permeate	Medium press. RO brine	Mixed bed demineralizer inlet	Mixed bed demineralizer outlet	Silica polisher outlet
Turbidity	mg/l	1.3	≤0.2	≤0.2	≤0.2	—	—	—	—	—	—
Color		≤2	≤2	≤2	≤2	—	—	—	—	—	—
pH	25 °C	7.8	6.8	5.0	7.1	5.5	5.6	5.4	6.6	6.10	6.15
Conductivity	μS/cm 25 °C	52 000	52 000	138	71 700	165	12.2	1 110	11.0	0.07	0.07
M-alkalinity	mg/l CaCO ₃	118	93.9	≤2.0	140	≤2.0	4.0	≤2.0	5.0	—	—
P-alkalinity	mg/l CaCO ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—
Total hardness	mg/l CaCO ₃	8 400	8 310	8.3	12 000	9.1	≤0.3	51.8	≤0.3	0	0
Ca-hardness	mg/l CaCO ₃	1 390	1 340	1.3	2 020	1.3	≤0.3	9.6	≤0.3	0	0
Ma-hardness	mg/l CaCO ₃	7 010	6 970	7.0	9 960	7.8	≤0.3	42.2	≤0.3	0	0
Total dissolved solids	mg/l	35 800	35 850	83.0	60 800	97.0	—	530	—	—	—
COD _{Mn}	mg/l O	≤0.5	0.51	≤0.5	0.85	—	—	—	—	—	—
Carbon dioxide	mg/l CO ₂	3.5	30.2	—	21.9	—	—	—	—	—	—
Chloride	mg/l Cl ⁻	19 800	19 800	38.0	29 200	38.5	0.91	235	0.89	0	0
Sulfate	mg/l SO ₄ ²⁻	2 640	2 660	2.0	3 960	12.8	0.52	85.0	0.55	—	—
Nitrate	mg/l NO ₃ ⁻	1.8	2.4	≤0.1	12.0	≤0.1	≤0.1	0.30	≤0.1	—	—
Phosphate	mg/l PO ₄ ³⁻	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	—	—
Ionic silica	mg/l SiO ₂	1.1	0.98	≤0.01	1.6	0.02	0.01	0.05	0.03	<0.01	<0.01
Ammonium	mg/l NH ₄ ⁺	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	—	—	—	—	—	—
Manganese	mg/l Mn	0.03	≤0.02	≤0.02	≤0.02	—	—	—	—	—	—
Iron	mg/l Fe	0.13	≤0.02	≤0.02	≤0.02	—	—	≤0.02	≤0.02	—	—
Bromide	mg/l Br ⁻	62.0	62.0	0.72	96.0	—	—	—	—	—	—
Aluminum	mg/l Al	0.16	0.10	0.08	0.19	—	—	—	—	—	—

Raw water source : Sea water

Date : July, 1985

(TDS 83 mg/l)である。これは脱塩率として電気伝導度ベースで99.7%, TDSベースで99.8%である。しかもこの透過水質は運転開始以来15000時間余にわたり変化することなく良好な状態が維持されている。運転スタート以来RO膜の洗浄は一度も行われていない。しかも処理水質に変化なく、濃縮側の差圧もほとんど上昇していない。

運転開始以来、回収率は35%に保たれている。処理水量は定格の388 m³/d(16.2 m³/h)が得られている。運転圧力も問題なくRO膜の圧密化係数も正常範囲内にある。

海水淡水化装置を使用した場合のボイラ給水処理装置の各点における水質分析値を第6表に示す。シリカポリシヤ出口の処理水々質は電気伝導度0.07 μS/cm, シリカ10 μg/l以下と、かん水を原水とした場合と同様、非常に良好な結果を得ている。

む す び

RO法による海水淡水化装置を用いたボイラ給水プラントは運転開始以来、1年9カ月余を経過し順調な運転が続けられている。中圧RO膜は当初酸化劣化と思われる劣化を生じたが、その対処策も効を奏し現在は順調に稼動している。

本装置の運転、検収に至るまで、三菱重工業(株)、三菱商事(株)及びコデルコ社のご担当の方々にご多大なご指導、ご支援を賜った。誌上をかりて深甚の謝意を表する次第である。

〔参考文献〕

- 1) 造水技術 造水促進センター 国定勇一他 (1983.5)
- 2) チリ国チユキカマタ銅山向け逆浸透装置を用いた冷却用水処理装置 神鋼ファウドラ・ニュース Vol. 23 No. 3・4 (1979.9)

工業用冷却塔

Cooling Tower for Industrial Use

(冷)生産部 技術課
吉川 洋 征
Hiroyuki Yoshikawa

This paper describes the basic theory and changes of cooling tower and will continue 2 or 3 times in series.

A basic principle of cooling water by ambient air is common to counterflow and crossflow cooling tower. It is possible to calculate tower characteristics of counterflow cooling tower by simple numerical integral method. On the other hand, characteristics of crossflow cooling tower is calculated 2 dimensionally using FEM method and consequently an electronic computer is used.

まえがき

当社が冷却塔の製造販売を開始してから25年になる。この間、石油化学、鉄鋼などを中心としたユーザニーズとも合致して当社の冷却塔は販売を伸ばしてきたが、重厚長大の製造業の例にもれずオイルショック、ドルショックさらには円高と次々とおしよせる荒波にも、もまれてきた。

冷却塔の生命の一つである充填材も、木製からプラスチックシートによる高能率なものへ、さらに騒音対策を施した冷却塔から最近では白煙対策も考慮したものまでと、その要求も多様化し、またこれらに答えるべく当社も経験を重ね、技術を蓄積してきた。

そこで25年の経過を振り返って、もう一度冷却塔の技術を基礎から見つめなおし、今回、冷却塔の発展、現状についてまとめて紹介する。

1. 冷却塔の基礎概念

1.1 水を冷やす原理

冷却塔は冷凍機用冷却水あるいは各種産業プロセス用冷却水を空気により冷却する熱交換器の一種で

- (1) 水の蒸発による潜熱移動 (全体の約75~80%)
- (2) 空気との温度差による顕熱移動 (全体の約20~25%)

により水を冷却する装置で、わかり易く言えば熱いお茶を息を吹きかけて冷やす原理を応用した装置と言える。

この原理は冷却塔の中核をなすもので冷却塔はいかに効率良く水と空気を熱交換させるかに腐心してきたわけである。

1.2 湿球温度

湿球温度は通常第1図に示すような乾球温度と湿球温度を計る2つの温度計のついた計器、乾湿球温度計で測定される。湿球温度計下部の湿球部はその名のごとく水をしみこませた薄いガーゼでくるまれているが、よく見ると常に乾球温度計より低い値を示している。

湿球部の水分が蒸発することにより湿球部は周囲より温度が下り、今度は湿球部より高温の周囲空気より熱供給を受け、この熱授受が釣りあいを保った状態が湿球温度である。(第2図の t' °C)

但し乾湿球温度計預部のゼンマイまたはモータによりファンをまわし湿球部の通過空気の流れを2.5 m/s以上(計

器メーカーにより多少異なる)に保たないと正しい湿球温度を示さないのに注意を要する。

1.3 周囲空気より低い温度まで冷却可能な理由

冷却塔を用い、例えば周囲空気が33°Cの時でも30°Cまで水を冷却できる場合がある。

冷却塔循環水の一部が蒸発すると、蒸発熱によりその温度が下るが、非常に長時間空気と接触を続けると、湿球温度計の湿球部と同じ原理で湿球温度まで冷却され、空気と熱授受の釣りあいを保つ。実際は経済的観点から水と空気の割合、冷却塔の大きさを選び設計するので、接触時間も限られ湿球温度までは冷却されない。

わが国の夏季で周囲空気が33°C、湿度63%の状態は湿球温度が27°Cとなり、この空気に冷却される水は27°C近く30°C程度まで冷却可能なわけである。

1.4 冷却塔熱交換式

$$C_e \cdot L \cdot \Delta T_w = G \Delta i \quad (1)$$

$$G \Delta i = K_a \cdot (i_w - i) \cdot V \quad (2)$$

$$K_a V / L = \int \frac{dT_w}{i_w - i} \quad (3)$$

ここに

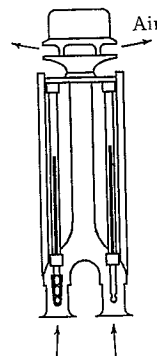
C_e : 水の比熱 kcal/kg °C

L : 水量 kg/h

G : 乾き空気量 kg/h

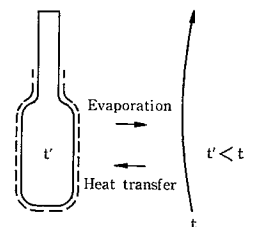
$i, \Delta i$: 空気のエンタルピおよび増加量 kcal/kg

$T_w, \Delta T_w$: 水温および降下度 °C



第1図
アスマン式乾湿球温度計

Fig.1
ASSMANN'S aspirated psychrometer



第2図
湿球周囲の熱平衡

Fig.2
Heat balance between wet bulb and ambient air

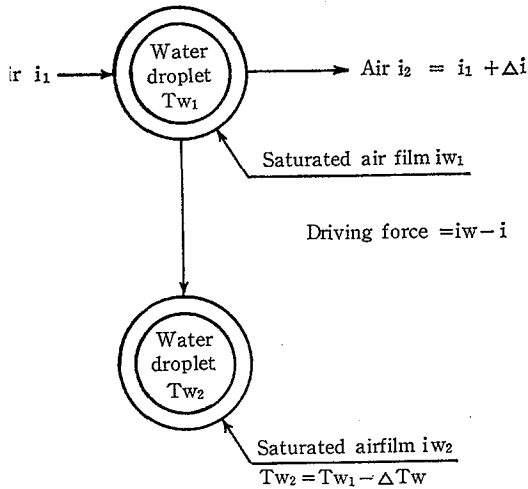


Fig. 3 Driving force for water cooling

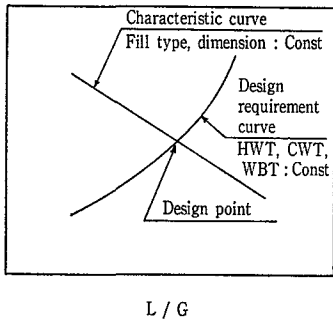


Fig. 5 Decision of design point

i_w : 水温 T_w の水滴周囲の飽和空気
のエンタルピー kcal/kg

V : 充填材容積 m^3

K : エンタルピー基準全熱伝達率
kcal/ $m^2 \cdot h \cdot \Delta i$

Ka : エンタルピー基準総括熱伝達係数
kcal/ $m^3 \cdot h \cdot \Delta i$

KaV/L : 塔特性値

(1)式は水の失う熱量と空気の得る熱量(エンタルピー増加量)が等しいことを示す。

(2)式は物質伝達(水分の交換)を伴う熱伝達における全伝熱量は、比例係数を Ka として水の周りの飽和空気のエントルピーと接する空気のエントルピーとの差 $i_w - i$ に比例することを示す。(第3図参照)

(3)式は、(1)式、(2)式より導かれるが、冷却塔設計上、重要なものである。充填材部の熱交換において Ka を一定と取り扱えることから KaV/L も運転状態が定まれば定値として定まることを示す。

5 向流式冷却塔の塔特性の計算 (CTIの方法)

当社における向流形冷却塔の性能解析においては、広域的にも用いられているCTIの方法によっているので、この方法を簡単に示す。

塔特性値 KaV/L は(3)式の右辺を積分すれば求められる、その数値積分の近似解法の一つがCTIの方法である。計算の具体例を第1表に示す。

1.6 直交流冷却塔の塔特性の計算 (当社開発の方法)

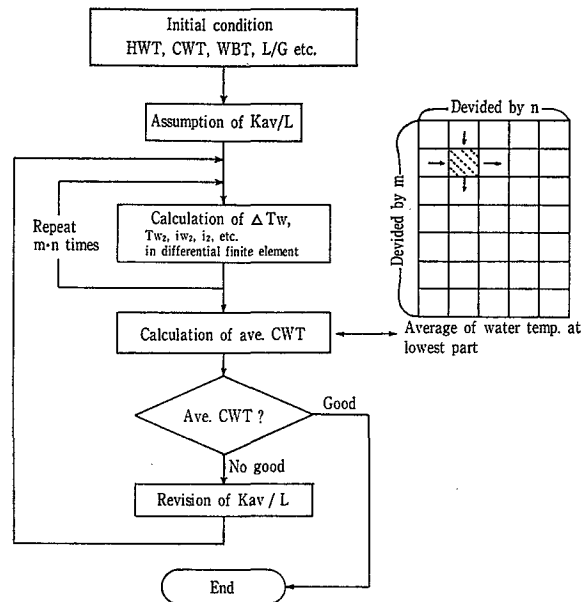


Fig. 4 Calculation method of KaV/L in crossflow cooling tower

第1表 向流形冷却塔における KaV/L の計算法

Table 1 Calculation method of KaV/L in counterflow cooling tower

$T(^{\circ}C)$	i_w	i_a (kcal/kg)	$\Delta i = i_w - i_a$
$T_2 = 32.00$		$i_1 = 20.297$	
$T_2 + 0.1 \cdot R = 33.05$	27.873	$i_1 + 0.1 \cdot R \cdot L/G = 21.452$	$\Delta i_1 = 6.421$
$T_2 + 0.4 \cdot R = 36.20$	32.729	$i_1 + 0.4 \cdot R \cdot L/G = 24.917$	$\Delta i_2 = 7.812$
$T_1 - 0.4 \cdot R = 38.30$	36.391	$i_2 - 0.4 \cdot R \cdot L/G = 27.227$	$\Delta i_3 = 9.164$
$T_1 - 0.1 \cdot R = 41.45$	42.624	$i_2 - 0.1 \cdot R \cdot L/G = 30.692$	$\Delta i_4 = 11.932$
$T_1 = 42.50$		$i_2 = 31.847$	

$$KaV/L = (T_1 - T_2) \cdot (1/\Delta i_1 + 1/\Delta i_2 + 1/\Delta i_3 + 1/\Delta i_4) / 4 = 1.251$$

$$T_1 = 42.50^{\circ}C (HWT) \quad T_2 = 32.00^{\circ}C (CWT)$$

$$R = T_1 - T_2 = 10.50^{\circ}C \quad i_1 = 20.297 \text{ kcal/kg}$$

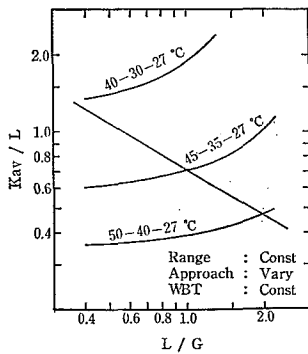
$$T_1 = 27.00^{\circ}C (WBT) \quad i_2 = i_1 + R \cdot L/G = 31.847$$

$$L/G = 1.100$$

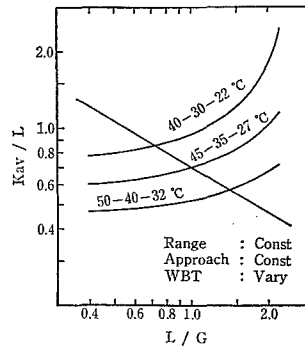
直交流冷却塔の塔特性値は充填材部を微小単位に分割し、各分割単位に基礎式を適用すれば良いが、境界の連続性を保つために二次元的に繰返し計算が必要である。したがって計算は電算機に頼らざるを得ない。電算機の普及以前は直交流熱交換器の設計手法を借用して近似的に計算された時期もあったが、現在は全て第4図に示す方法によっている。

1.7 冷却塔設計法

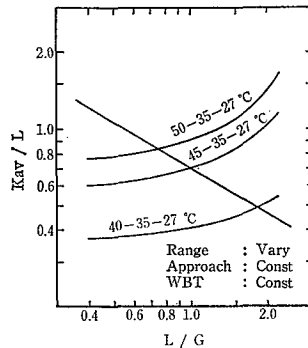
冷却塔を設計する場合、通常、次の4条件、すなわち循環水量、温水温度、冷水温度、湿球温度が基本条件として、客先より与えられ、これを満足する冷却塔の大きさ、送風機仕様等をメーカーが定めるのが一般的である。



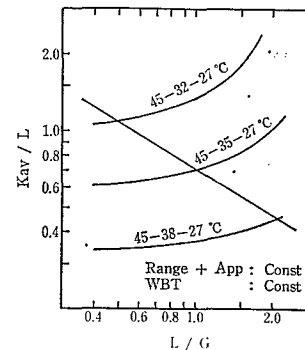
第6-1図
設計温度条件によるL/G変化
例1
Fig. 6-1
Relation-1 between L/G &
design temperature



第6-3図
設計温度条件によるL/G変化
例3
Fig. 6-3
Relation-3 between L/G &
design temperature



第6-2図
設計温度条件によるL/G変化
例2
Fig. 6-2
Relation-2 between L/G &
design temperature



第6-4図
設計温度条件によるL/G変化
例4
Fig. 6-4
Relation-4 between L/G &
design temperature

設計は、まず上の温度条件より水空気比L/Gを種々変化させてKaV/Lを求めると第5図の右上りの曲線が求められる。これを所要性能曲線と称している。一方、充填材の種類、大きさを定めて種々の温度条件、L/Gのもとで実験すると図の右下りの曲線が求められる。これを塔特性曲線と称しており、図の交点は設計条件を満足する水空気比を示す。上述のようにLは与条件として定まっているので、L/Gが求められるとGが決まり送風機仕様が定められる。この時、種々の塔要素の空気抵抗はやはり実験で求められている。

設計結果がほかの設地面積、騒音等の条件を満たさなければ、充填材仕様などを変更しチェックを繰返すことになる。この設計要領は向流形、直交流形とも変わらないが前述のようにKaV/L値の計算法はかなり異っている。

1.8 設計条件選定に際しての留意点

前述の方法で冷却塔が設計されるが、条件の選定に際して留意すべき点を設計温度条件45—35—27°Cを中心に向流形を例にとって説明する。但し以下の傾向は直交流の場合も変わらない。

第6-1~6-4図は、それぞれレンジ、アプローチ、湿球温度などの一部を固定し、一部を変化させた場合の設計点の変化を見るものである。これより経済設計の観点から冷却塔は

- (1) アプローチは大きい程良い。(最小3°C, 通常5°C以上)
- (2) レンジは水量一定ならばもちろん小さい方が良いが、熱負荷一定時も、レンジを小さく水量を大きくとる方がやや有利である。但し実用上は空気抵抗が増すので過度に水量は大きくとれない。
- (3) 湿球温度はアプローチ一定ならばむしろ高い方が良い。これは全体に温度の高い領域ほど、同じレンジに

対してもエンタルピー差、すなわち冷却推進力が大きいためである。

このほか、図には示されていないが、大気圧は低い方が水の蒸発が活発となり冷却性能上有利となるが、その程度は少ない。

以上のような性能上の特長があるので、夏場を考慮して設計した冷却塔は、冬期に余裕が生じる傾向があり(都市ガス用の場合は冬期に高負荷となる)、省エネ対策を施すことも多い。省エネに関しては後述する予定である。

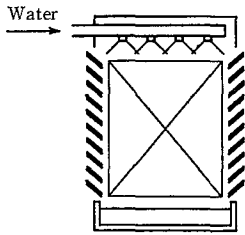
2. 冷却塔の種類と変遷

2.1 冷却塔の分類

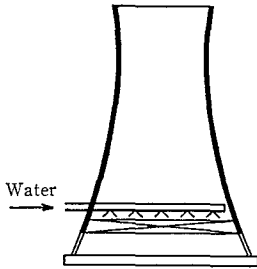
冷却塔を分類する時、種々の観点から分類することができるが、代表的な分類により冷却塔を見てみると

- (1) 通風方式により
 - 自然通風冷却塔
 - 強制通風冷却塔
- (2) 送風機の位置により
 - 吸引通風式冷却塔
 - 押込通風式冷却塔
- (3) 水と空気の流れの方向により
 - 向流冷却塔
 - 直交流冷却塔
 - 斜交流冷却塔
- (4) 水と空気の接触方法により
 - 湿式冷却塔
 - 密閉式または間接冷却塔
 - 空冷熱交換器または乾式冷却塔
- (5) 特殊な併用形冷却塔
 - 乾湿式併用冷却塔

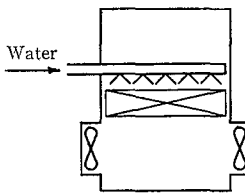
以上のように分類され、その他、構造材料により鋼製、木製、コンクリート製、外観により丸形、角形、大きさに



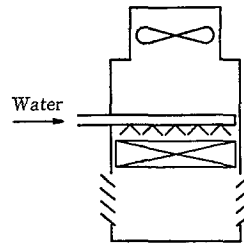
第7-1図
大気式スプレー塔
Fig. 7-1
Atmospheric spray tower



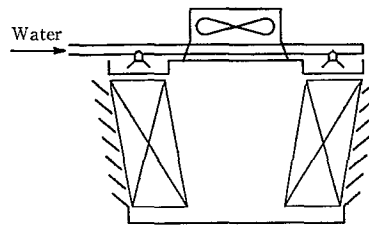
第7-2図
双曲線形自然通風向流形冷却塔
Fig. 7-2
Hyperbolic natural draft counterflow cooling tower



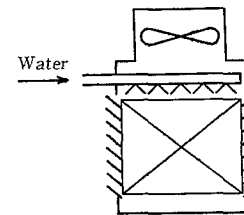
第7-3図
押し込み通風式向流形冷却塔
Fig. 7-3
Forced draft counterflow cooling tower



第7-4図
吸引通風式向流形冷却塔
Fig. 7-4
Induced draft counterflow cooling tower



第7-5図
吸引通風式直交流形冷却塔
Fig. 7-5
Induced draft crossflow cooling tower



第7-6図
吸引通風式混合流形冷却塔
Fig. 7-6
Induced draft mixedflow cooling tower

大形、小形、用途により空調用、工業用のように分類される。
次に代表的な分類の組み合わせ例を模式的に第7-1～7-6に示す。

冷却塔の発展

通常、冷却塔と言えば湿式冷却塔を言い、密閉式冷却塔の場合は“密閉式”と断わるのが普通で、空冷式熱交換器のように称するか“乾式”と断わるのが普通である。ここで、ここでは湿式冷却塔についてその発展を追いながら、主な形状の冷却塔について説明する。

貯水池、冷却噴霧池

冷却塔ではないが工業用冷却水確保のための最も古い方法で、貯水池を設けたり、その一部をスプレーで噴霧、循環することにより冷却効果を得るものである。この方法は効果は少なく大規模な設備となりがちであり、公共用水池を除き私企業用としては冷却塔に替っている。

大気式冷却塔

自然通風冷却塔の一種で第7-1図に示すような構造である。冷却性能は自然風により大きく左右される。最近ではほとんど見かけなくなった形式である。

自然通風冷却塔

通常、第7-2図に示すような双曲線形の大きな煙突状構造のもち、送風機がないので通風効果を得るための動力費は不要であるが、初期費は他の冷却塔に比べ大きなものとなる。

効果は煙突効果すなわち空気出入口の密度差により得る

ため、湿球温度27°C前後で冷却塔を設計するわが国では、19～21°Cの多い欧米に比べ、“煙突”が大きくなりがちである。またわが国では耐震、耐風強度を懸念する声も強く（イギリスにおいて風により倒壊した例もある。）実施例も欧米に比べ小容量、小規模なものが数例にすぎないが、欧米では高さ150 m程度のものまで建設されている。構造材もコンクリートから、鋼製ネット形状（土産品のミカン用ネットに鋼板を取りつけた形状）もあり、現在でも盛んに研究され、設置されている。

また、強制通風冷却塔と同様にヨーロッパでは向流形が多いが、米国では直交流のものも設けられている。

4) 強制通風向流冷却塔、直交流冷却塔

工業用冷却塔では古くは大部分、向流形でコンクリート製のものが多かった。送風機も押し込みのものがあったが現在、一部の小形冷却塔を除き吸引形が一般的である。

押し込み形は電動機、減速機が飽和状態の湿り空気に曝されないとはいふ長所があるが、空気流の偏流を生じやすい欠点があり設計上注意を要する。最近では電動機等の品質向上もあり吸引式が一般であり、当社の向流および直交流冷却塔とも特別に設計、製作する場合を除き吸引形を標準としている。

木製を主とする直交流冷却塔は向流冷却塔の後に出現し、高度成長期のニーズと合致し、わが国においては大勢を占めるようになった。当社も木製直交流冷却塔を主力製品として販売してきたが、最近では向流形、直交流形、木製、鋼製を問わず、その特質を生かして標準製品メニュー

冷却方式		クロスフロー型	カウンターフロー型
項目			
(1) 効 率		<ul style="list-style-type: none"> 理論解析がむづかしい。 水量と熱交換係数が同一であると仮定すればカウンターフロー型より充填物容積を若干大きくする必要がある。 近年実用化されている樹脂製充填物の場合、熱交換係数の極限值が水負荷によって異なり、クロスフローの場合、水負荷を大きく採れるので実際の容積差がほとんどなく、充填物を最高の効率状態で使用できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 理論解析が簡単である。 水量と熱交換係数を同一と仮定するとクロスフロー型より充填物体積が若干小さくてすむ。 飛沫による水損失を少なくするには充填物を通過する空気の色度を低くする必要があり、水負荷を大きく採れない。また同一空気速度では水にさからって空気を吸出するためドリフトロスが大である。
(2) 散 水 装 置		<ul style="list-style-type: none"> 送風機の動力とは関係なく簡単な構造にできる。 温水槽が外部に露出しているため点検、清掃、補修が極めて簡単である。 	<ul style="list-style-type: none"> 温水配管が塔内の気流中にあるため抵抗となり、送風機の馬力が大きくなる。 また保守点検が不便で運転中の点検、補修は全て温水噴霧の中で行わねばならない。
(3) 給 水 圧 力		<ul style="list-style-type: none"> 塔体が低く散水が重力式であるので所要給水圧力が少なくてすむ。 	<ul style="list-style-type: none"> 塔体が高くなるだけにより高い給水圧力を必要とする。特にスプレー式の散水装置では更に噴霧圧力を必要とする。
(4) 塔内気流分布		<ul style="list-style-type: none"> 空気の取入口が塔の全高にわたるため偏流の影響が少い。 	<ul style="list-style-type: none"> 空気の取入口が塔の下部のみであるので取入部の風速が高く、かつ流れの方向をかえる必要があるため気流分布の不均一をまねきやすい。
(5) 送 風 機 馬 力		<ul style="list-style-type: none"> 直交しつつ水と空気が接触するため抵抗が少く所要動力は小さくてすむ。 	<ul style="list-style-type: none"> 水と空気の相対速度が向流であるので大きく、空気の側の抵抗が大きく所要動力が多くなる。
(6) 塔 の 高 さ		<ul style="list-style-type: none"> 充填部の高さがそのまま塔高となり低くてすむ。 	<ul style="list-style-type: none"> 空気取入口、エリミネータ等のために全体的に高くなる。
(7) 床 面 積		<ul style="list-style-type: none"> 塔断面積に送風機の部分が含まれるのでカウンターフロー型に比し大きくなるが、水負荷を大きく採ることによりカウンターフロー型と略同等にすることができる。 	<ul style="list-style-type: none"> 塔の断面積はそのまま充填部の有効断面積となり、せまくてすむ。
(8) 吐 出 空 気 の 再 循 環		<ul style="list-style-type: none"> 空気の取入口での速度が低いので再循環の傾向が少く、かつ再循環をおこしても充填物上部の高温部に限られるため性能低下が少い。 	<ul style="list-style-type: none"> 空気の取入口での速度が大きいため再循環の傾向が大きく、かつ一旦再循環を起すと充填物全高にわたり被害をおよぼす。
(9) ドリフトロス		<ul style="list-style-type: none"> カウンターフロー型に比しドリフトロスが少い。 	<ul style="list-style-type: none"> 水にさからって空気を吸出するため一般的にドリフトロスが多い。

として、市場の国際化、ニーズの多様化に対応している。向流形、直交流形の特長の比較を上記する。

む す び

今回は、水冷却の原理、設計法、冷却塔の種類についてその変遷もまじえ紹介した。

次回以降には、冷却塔の構成要素、設計上の留意事項にも言及したいと考えている。

このシリーズが冷却塔全般の理解に役立てば幸甚と考えている。

社 内 ニ ュ ー ス TOPICS

抗生物質の生産性を数十倍に向上

Thirty times antibiotic productivity can be achieved by culture medium

当社は、理化学研究所（埼玉県和光市広沢2ノ1、理事長 宮島龍興氏、☎（0484）62-1111 の遠藤勲主任研究員と共同で、カビの放線菌から得られる抗生物質の生産性を一挙に従来の数十倍に向上させることに成功した。菌体の固定化と、これによってもたらされる半連続生産によって達成したもので、青カビを用い、ペニシリンを実験的に生産したところ従来法の最高30倍の収量を得た。現代医学にとって抗生物質はなくてはならない存在だけに、今後各方面から注目を集めそうだ。

抗生物質はタンク内で培養した菌体が同物質をつくり出したところをみはからって分離精製する。ところが、この方法は菌体も抗生物質もすべてタンク内から取り出してしまいうため、次に生産にかかる時には初めから同じ操作を繰り返さなければならず、生産性向上のネックとなっていた。

同グループは菌体の固定化により、この工程を連続化することに成功したものである。

実験ではまず、ウレタンフォームに青カビを固定化し、160ℓのバイオリアクター内に充填。培地と菌体のエネルギー源になるラクトース（乳糖）を加えて7日間培養した。ここまでは従来の方法と同じだが、同グループの方法は菌体を固定化しているために、培養液を抜いても菌体はバイオリアクター内に残る。ここに新たに培地と今度は半分の量のラクトースを入れ3日間培養し、再び抗生物質をつくらせる。この操作を4回繰り返し行うことが可能なため、3週間ほどの期間では従来法の2倍の生産が行えることになる。また、菌体を固定化することによって酸素やラクトースの移動が容易となり、非固定化法の15倍の収量が得られることもわかった。この両方の効果により、ペニシリンの場合は従来の最高30倍の収量を得た。

抗生物質は現在、第三世代といわれるセフェム系物質の開発、生産が活発化している。同グループではセフェム系抗生物質を生産する放線菌についてもこの方法を適用しており、今後、薬品メーカーとも共同で研究を進める方針である。（日刊工業新聞）

電解研磨加工受託に本格進出

Electropolishing business starts

当社は1987年度から、電解研磨加工の受託事業に本格的に乗り出すことになった。これは従来大型反応器などステンレス鋼製機器の内面仕上げに用いていた技術を原子力機器、半導体真空装置などの分野にも向けようというのがねらいである。すでに十数人のグループによるプロジェクトチームを結成。工場増設なども行い、1987年度には前年比約2倍の5～6億円の売り上げを見込んでいる。

電解研磨加工は、電解液中にステンレス鋼などの材料を浸し、その陽極反応により表面の微細な凸部を溶解させ、

滑らかで光沢のある表面に仕上げる研磨方法である。

機械的なバフ研磨よりはるかに表面が滑らかで、不動態皮膜の形成により耐食性を大きく向上できる。

とくに最近、機械寿命の向上やチリの付着防止、洗浄性の向上など、電解研磨加工による新たな長所がクローズアップされ、バフ加工よりトータルコストで有利なため原子力機器や半導体の真空装置、薬品・食品など先端産業分野を中心に急速に需要が増えつつある。

このような背景から、当社では、従来、化工機事業部で大型反応器などのステンレス材料の仕上げに用いていた電解研磨加工技術で受託加工を開始、予想外に需要が増えてきたため、本格事業化することにした。

さらに電解研磨工場を従来の2倍強の300平方メートルにまで拡張し、これにより電解槽の増設、電解研磨施工能力の向上・自動化、品質向上を実現するとともに、トータルコスト低減による受注競争力を強化。小型の部品から最長6メートル、最大4トン級に至るまで広範な製品の受注を可能にする。

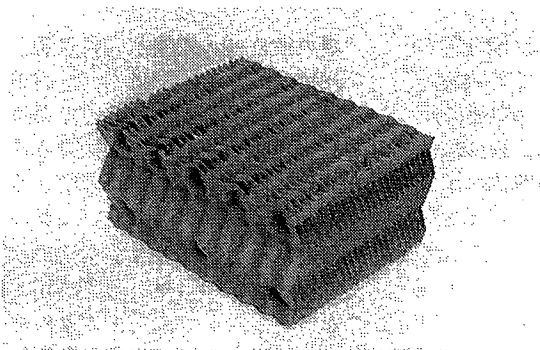
すでに当社では米国の原子力発電所から、毎年定期的に受注しているが、今後は国内市場でも積極的に受注活動を行い、1987年度は前年度の3億円を大きく上回る5～6億円の売上高を見込んでいる。

（日本工業新聞）

アンモニアガスなど処理施設を半分

"Superpack" minimizes ammonia treatment facility in half scale

当社はアンモニアガスなどの処理施設の規模を半分に、また運転圧力を $\frac{1}{2}$ に低減することに成功した。処理施設内に充填する物質を薄板積層型の特殊構造とすることにより実現したもので、インシヤルコスト、ランニングコストの大幅な削減につながる。この成果は'87年4月2日から4日まで名古屋市の名城大学で開催された化学工学協会の名会場で発表した。今後、処理プラントを化学工場や水処理関係に売り込む方針である。



スーパーパック
Superpack

今回、好成績を上げた充填物はスーパーパック（写真）と呼ばれ、波状の薄板をいく重にも重ねた構造を持つ。ガスの処理施設は塔状の建物で、上部から水を流し、下部から濃度の高いガスを入れると、充填物の表面で水とガスが反応し、上部から濃度の低いガスが得られる。今回の充填物は薄板を積層しているため、高能率の処理施設をつくることができる。薄板の素材は塩ビ、ポリプロピレン、ステンレスの3種で、ガス温度によって使い分ける。

当社では直径55センチメートル、高さ4.1メートルの処理塔内に、高さ1メートル分のスーパーパックを詰めた状態で、実験を行った。その結果、50 ppm 濃度のアンモニアガスを1時間1平方メートル当たり1万キログラム注入したところ、出口では約1 ppm にまで濃度が落ちていた。これは従来の充填物の1.5～2倍のガス吸収能力を示すものである。

（日刊工業新聞）

「電気浸透」で汚泥脱水—含水率50%に

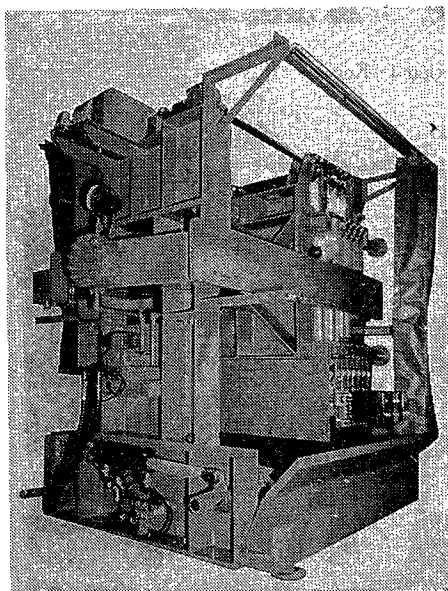
Electroosmosis provides 50 % moisture content sludge cake

当社は電気の働きを利用した電気浸透式の脱水機（商品名スーパーフィルトロン）を開発した。脱水効率が極めて高いため汚泥処理を中心に幅広い需要が見込めるとみている。

電気浸透法は汚材に電気を流して汚泥粒子と同じ電荷による反発を起こさせることで、汚過面の目づまり現象をなくし脱水効率を高める。従来の機械脱水法は汚過面で汚泥粒子が濃縮して目づまりを起こすので含水率80%程度までしか脱水できなかった。

電気浸透法では含水率を50%にまで高めることができる。このため汚泥の量を従来の数分の1にまで減らすことができ、投棄や焼却処分的大幅なコストダウンが可能になる。

汚過面積の大きさが30平方メートルのものから190平方



電気浸透脱水機
Electroosmotic Dehydrator

メートルまで7種類あり、価格は標準システムで3千万～九千万円。上下水道・産業廃棄物処理施設に加え製造工程でも今後需要が増えると期待している。

（日経産業新聞）

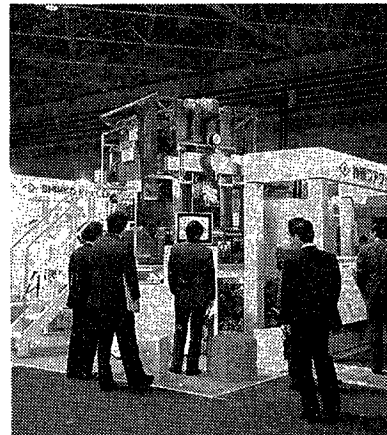
'87下水道展

Sewage works show '87

“大阪下水道フェア”と銘打たれた'87下水道展が4月14日（火）～18（土）まで5日間、下水普及率日本一の大阪市で、開催された。初の地方開催、167社581小間という過去最大の出展規模、下水道研究発表会との初の同時開催など話題豊富な同展に関係者の関心も高く、折からの晴天にも恵まれて、会場の同市住之江区の「インテックス大阪」には、初日から続々と来場者が押しかけ、最新の技術を披露し、5日間の会期で延50464人がご来場し、当社小間にも1143人の来場者があり盛況裡に終了した。

当社は、脱水率の壁（50%脱水率）を破った＜新製品＞電気浸透式脱水機「スーパーフィルトロン」を中心に環境装置事業部の汚泥処理装置の納入写真パネルなどを出品展示した。

なお当社の＜新製品＞電気浸透式脱水機「スーパーフィルトロン」は、会期前の新聞発表による広報効果があったため、連日見学者がたえなかった。



'87下水道展
Sewage works show '87



'87下水道展
Sewage works show '87

小型食品機械に進出—乳化機などを輸入販売

Imported sales of small size equipment such as emulsifier, for foodstuff industries

当社は6月12日に、スイスの粉体機メーカー、フリーマ社（本社・ラインフェルテン市）と全製品を対象とした輸入・販売契約を結んだ。バター、マヨネーズをつくる乳化機など、これまで扱っていなかった製品をラインアップに1えることで、新市場を開拓するのが狙い。特に、当社は本社の乳業メーカーが導入している乳化機の輸入比率が高いことに着目。本場スイスで実績のあるフリーマ社製品の販売により、年間30億円といわれる乳化機に参入する方針がある。

輸入・販売権を取得するのは、乳化機のほか、ジェット流粉砕機、高粘性液体の熱交換機など。

フリーマ社の日本の総代理店は、昨年12月まで、西独リッカーマン社の日本法人であるリッカーマン・ジャパンが担当していたが、今年の7月からは、当社が新たに日本の窓口となる。フリーマ社とは3年前に、微粉砕機「コポール・ミル」一機種についての製販権を、リッカー・ジャパンを通じて取得しており、昨年5月から同機を日本でライセンス生産している。販売を手掛けて以来、「コポール・ミル」の売り上げは、約4億円。こうした実績が評価され、今回の提携となった。期間は3年間。

当社は、食品機器部門として、ビール、ワインなどの大醸造タンクを受注生産しているが、乳化機などの小型食品機械分野への進出は今回がはじめてとなる。

欧米で知られている機械なので、ゆっくりと市場に浸透させていきたい。

（日本工業新聞）

第27回全日本醸造機器用品展示会

The 27th All Japan brewery equipment show

日本醸造機器用品協会及び全国醸造機器工業組合の主催による第27回全日本醸造機器用品展示会が'87年5月14日（木）～16日（土）まで3日間、東京都北区王子（北区産業文化



全日本醸造機器用品展示会
The 27th all Japan brewery equipment show

会館建設予定地）において開催された。

当社は、化工機事業部の生酒用限外濾過装置 Super UF（実演）グラスチール製2段積み酒タンク、3段積みワインタンク、タンク加熱、冷却用のプレートコイル付酒タンク、生酒用限外濾過装置の納入写真パネルを出品展示した。

神戸の水道展

Water supply exhibition in Kobe

神戸市水道局は、'87年6月1日（月）はじまった「水道週間」にちなんで4日（木）～9日（火）まで6日間、神戸・三宮のさんちかホールで神戸の水道展を開催した。会場には、「神戸の水道の歴史、現状、課題」「家庭の水道」などをテーマにした模型やパネル、パソコンゲームや動くロボットなどが展示され、おいしい水づくりのために千苜浄水場に完成したばかりのオゾンによる高度処理実験プラントで作られた水と、淀川や布引などの水との飲みくらべコーナーなどが設けられた。当社ではこのおいしい水づくりの高度処理装置（模型）とわかりやすいイラストで解説したパネルを展示した。



神戸の水道展
Water supply exhibition in Kobe



神戸の水道展
Water supply exhibition in Kobe