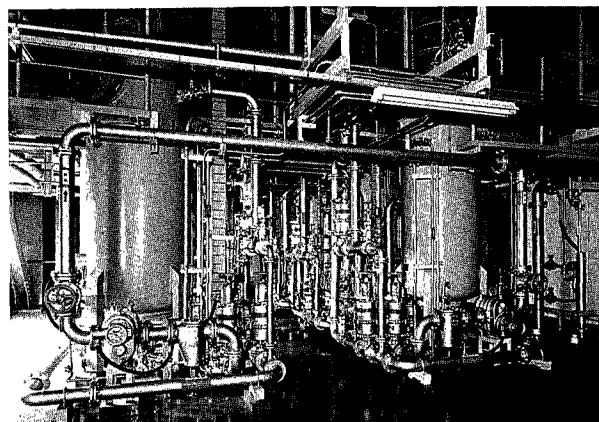


目 次
CONTENTS

◦ 放射能蓄積抑制対策としての表面処理.....	1
Surface Treatment for Controlling the Accumulation of Radioactivity	
◦ 高圧用メカニカルシール.....	8
High Pressure Mechanical Seal	
◦ ライニンググラス.....	14
Lining Glass	
◦ クライオロックアジテータ.....	21
“Cryo-lock” Agitator	
◦ 低騒音乾湿併用形冷却塔に関する白煙観測結果報告.....	24
Report of Visible Plume Observation for W/D and Low Noise Cooling Tower	
◦ 創エネルギーの実証：A B C システム.....	27
ABC system has Demonstrated the Profit of Energy Production through Wastewater Treatment	
◦ “ベルトプレス脱水機” 運転報告	35
Operating Report of “BELTPRESS DEHYDRATOR”	
◦ ニューグラス #9000.....	40
New Glass #9000	
◦ 社内ニュース.....	42
TOPICS	



＜表紙写真説明＞

凝集沈殿・重力ろ過(2基), 2床3塔式全塩脱塩装置(2系列)および混床式ポリシャ(2基)からなるボイラー次給水処理装置を関西電力御坊発電所殿に納入した。

写真は装置の一部であるイオン交換装置で、600 MW 発電機(3基)用の超臨界圧ボイラ(3基)に対して、超高純度の純水を1系列当り 50 m³/h供給している。

A boiler feed water treatment system consisting of a coagulator, two gravity filters, two train primary demineralizers with two mixed bed polishers has been installed at Gobo power station of the Kansai Electric Company. This is a photo of ion exchange units of the demineralizer which has feed 50m³/h per train of highly pure water to super critical boilers for 3 units 600 MW Generator.

放射能蓄積抑制対策としての表面処理

Surface Treatment for Controlling the Accumulation of Radioactivity

技術開発本部

和田 耕 一
Koichi Wada

In the nuclear power plant, it is necessary to develop techniques to reduce the accumulation of radioactivity for saving man-rem and cost of fixed inspection. Surface treatment for equipment materials, especially electropolishing and glasteel® are very effective to reduce the accumulation of radioactivity.

ま え が き

原子力発電所においては、一次系機器、配管へのクラッドの付着がそれらの表面線量を上昇させている。そのためほぼ年1回の割に実施されている発電所の定期検査時の作業員の個人被ばく量を増加させることになる。それに対し、発電所では、作業員を増員し通常1人で済む作業を2～3人で交代で実施するなど、個人被ばく量の低減を計っている。このため、作業時間が増加し、それに伴って定期検査期間の増加とコストの増大をまねいている。現在110万KW級の原子力発電所を1日休ませると約1億円の損失になるといわれており、原子力発電所にとって、1次系機器、配管のクラッド蓄積抑制対策はきわめて重大な課題となっている。

1. 放射能抑制対策の現状

1.1 一次系の放射能抑制対策

1.1.1 クラッドの発生機構

原子炉の一次冷却系で発生する不溶性の懸濁物をクラッド(CRUD)という。カナダのAECL所属のChalk River研究所で発見され、Chalk River Unidentified Depositと呼ばれていた略称である。

炉水化学上の専門用語として、0.45ミクロンのミリポアフィルタを通過するものをイオン、通過しないものをクラッドと呼んでいる。クラッドの主成分はヘマタイト($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)またはマグネタイト(Fe_3O_4)型の鉄系酸化物である。

る。

クラッドの発生と移行について数多くの研究があり、メカニズムが次第に明らかになりつつある。そのメカニズムはおおよそ次の5つの過程からなると考えられている。

- 1) 炉水による機器材料の腐食(腐食生成物の発生)
- 2) 腐食生成物の機器表面からの放出
- 3) 腐食生成物の燃料棒表面への付着(腐食生成物の放射化)
- 4) 燃料棒表面からの放射性腐食生成物の離脱
- 5) 放射性腐食生成物の機器表面への付着

この状況を模式的に表わすと第1図¹⁾のようになる。

1.1.2 クラッド低減対策

現在、原子力発電所ではさまざまな低減対策がとられている。BWRとPWRとでは、炉の形式が異なるため、対策も異なる方法がとられる。

・BWR(沸騰水型)

- 1) 給水系への O_2 の注入
- 2) 低コバルト材の使用
- 3) 復水脱塩器の性能向上
- 4) 原子炉浄化系の容量アップ

・PWR(加圧水型)

- 1) 高耐食材料の使用
- 2) 低コバルト材の使用
- 3) 冷却水のpH調整($^7\text{LiOH}$ の添加)

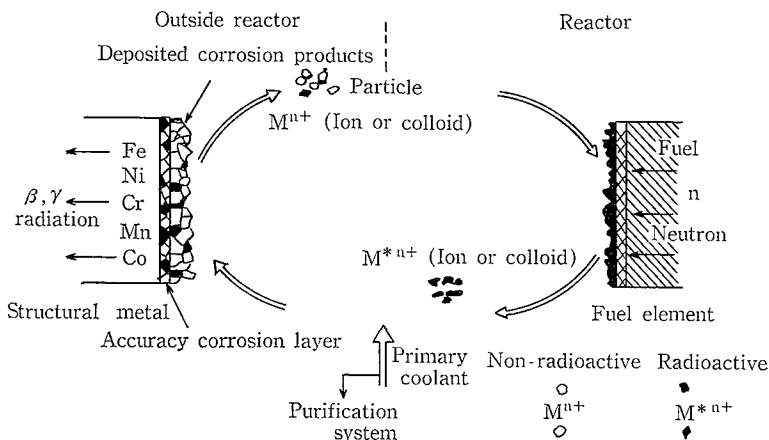
4) 冷却水中の溶存酸素量の抑制

- a) プラント起動時の冷却水中の溶存酸素除去操作
- b) 補給水中の溶存酸素量の制限
- c) 水素ガスの注入

BWR, PWRに共通する低減対策の考え方は、材料の腐食を抑制すること(ステンレス鋼などの使用と冷却水水質の管理)、材料が腐食しても主要放射線源である ^{60}Co が少なくなるようにすること(材料中のコバルト含有量の抑制)、および発生したクラッドの除去(除染)である。

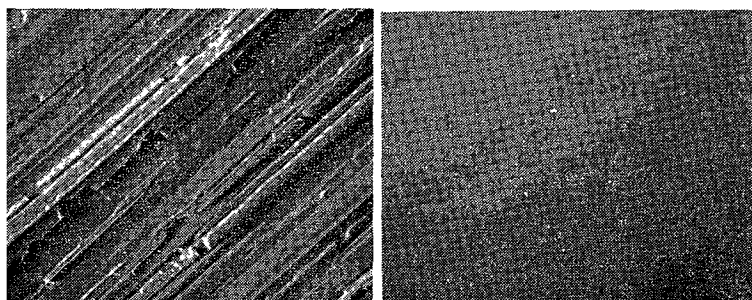
1.2 放射性廃棄物処理系の抑制対策

一次系の稼動中あるいは定検時にさまざまな性状形態の放射性廃棄物が発生する。これらは廃棄物処理系をへて処分が行なわれる。



第1図 腐食生成物の移行および堆積モデル

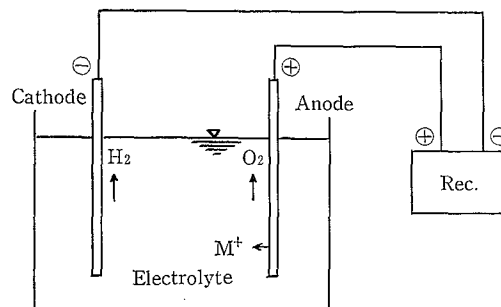
Fig. 1 Schematic diagram of translation and deposition of corrosion products



×500(SEM)
(a) Mechanically polished (b) Electropolished

写真1 SUS304表面の走査型電子顕微鏡観察

Photo.1 Observation of SUS304 surface by SEM



第2図 電解研磨の基本概念図

Fig. 2 Schematic diagram of electropolishing

一次系から持込まれた放射性核種（主として ^{60}Co ）は、処理系の機器内に付着沈積し機器を汚染する。これに対し除染を実施することで被ばくの低減を計っている。除染技術としては

- 1) 物理的手法：高圧水、超音波など
- 2) 化学的手法：酸洗など
- 3) 電気化学的手法：電解研磨

などさまざまな技術が開発されている。

3. 放射能抑制対策の中での表面処理効果

前節において述べたように、放射能抑制対策が種々実施されている。一次系においては主として水質管理に重点が置かれ、一方廃棄物処理系では汚染は仕方がないとして、さっぱり除染技術の方に重点が置かれているのが現状のようである。一次系において材料を高耐食性のもの例えばチタンやNi基合金（但しNi中に不純物として多く含まれるのを除く必要あり）などへの変更は、効果はあるものの経費性の面で対応出来ない方策である。

しかし、通常のステンレス鋼に電解研磨施工すると、放射能蓄積に対し効果のあることが最近の研究で報告されている。また電解研磨施工した表面は種々の優れた特性をもち、耐汚染性や洗浄性に優れていることが明らかになりつつある。さらにガラスのように化学的にきわめて安定な材料を鋼板表面にコーティングしたグラスチールなども汚染蓄積抑制と除染に効果を発揮すると考えられている。そこで以下に電解研磨とグラスチールの概要を述べるとともに、それらの汚染特性についての報告も紹介する。

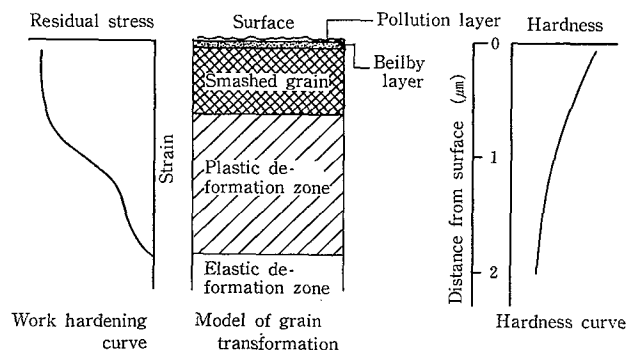
1. 電解研磨処理の特性

1.1 電解研磨の原理

電解研磨とは、電気化学的反応に基づき、外部電流によって金属表面を平滑および光沢化させる方法である。その基本的概念図を第2図に示す。

被研磨物を直流電源の陽極に接続し、それを電解液中にて陰極と相対させ、所定の外部電圧をかけることにより電気化学反応を強制的に生じさせる。その結果被研磨物表面の微小凹凸（数ミクロン高さの凹凸）を除去し光沢化させる。写真1に機械研磨面と電解研磨面の走査型電子顕微鏡（SEM）による観察結果を示す。

上述のように電解研磨は金属表面を無応力状態で数十ミクロンの厚みを除去するため、処理された表面の諸特性は他の表面処理法とは異なる特色を持つことが予測される。



第3図 金属加工表面の構造

Fig. 3 Structure of worked surface of metal (cross section)

2. 加工表面の構造

機械研磨面²⁾は表面が大気中で削られたり、つぶされたり、ならされたりして平面化するため、表面層は酸化を受けることはもちろんのこと、加えられた応力により変形を受け、母材とはまったく異なる性質を持つ変形層が表面下数百オングストロームから数ミクロンにわたって存在している。第3図は金属の表面変形層の状態をモデル的に図示したものである。表面から母材内部方向に向かって、順次、流動層、破碎結晶、塑性変形、弾性変形という領域が存在している。機械研磨面の表面層は、結晶が激しい加工変形によって極端に微細化され、かつ結晶格子に歪を受けた状態になっている。

電解研磨は、一般的に前処理として機械研磨を施工した後の最終仕上げ処理として施工される。電解研磨により除去される表面層の厚みは、通常数十ミクロンであるため、前述の機械研磨の結果生ずる表面変形層が完全に除かれることになる。また電解研磨は陽極での均一溶解反応であるので、被研磨面での酸素の発生と相まって、研磨面は均一な酸化皮膜でおおわれると予想される。

2.3 表面の残留応力³⁾

機械研磨により表面層に生じた残留応力が、その後に施工される電解研磨によりどのように変化するかを調べた。

SUS 304に対し種々の表面加工を行なった表面の残留応力をX線応力測定法により調べた。X線応力測定法は、Braggの回折条件に基づきX線回折により結晶面間隔を測定し、その間隔の無応力状態からの変化量から、表面に存在する応力（表面から10ミクロン程度の深さまでに存在す

第 1 表 X線による残留応力測定

Table 1 Results of measured residual stress by X ray

Surface treatment	Residual stress (kg/mm ²)	
	Parallel in line with buffing	At 90° to buffing
#150	29.6	-40.6
#150+A C ¹⁾	9.6	-43.7
#150+E P ²⁾	-10.5	-19.5
#320	11.8	-39.1
#320+A C	-6.8	-63.5
#320+E P	-7.5	-22.5

[NOTES] 1) Pickling 2) Electro polishing

る応力の平均値)を求めるものである。測定結果を第1表に示す、#150と#300のバフ研磨とその上に酸洗または電解研磨施工したものとを比較した。バフ研磨のバフ目に平行な方向とそれに直角な方向とを測定した。

バフ研磨では、バフ目に平行な方向で引張の残留応力を示し、バフ砥粒の粒度が小さくなるにつれその値は小さくなる傾向を示す。

バフ研磨の前処理後酸洗あるいは電解研磨施工したものは、表面層を無応力状態で除去するため測定された残留応力は内部の応力状態を示すことになる。酸洗の場合除去量はたかだか1~2ミクロンであるため、#150バフ研磨のように大きな引張残留応力が存在する場合には圧縮応力に変化している領域まで除去することは出来ず、わずかに引張残留応力を示すことになる。一方電解研磨では数十ミクロンという厚みを除去してしまうため、内部に存在していた圧縮応力領域が現出する。

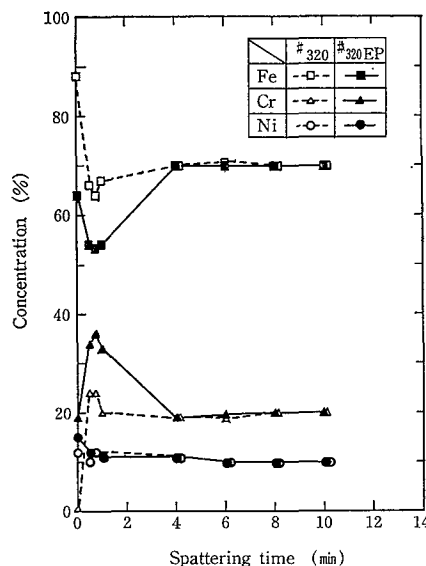
2.4 不動態皮膜の組成

ステンレス鋼の腐食特性は表面に形成されている不動態皮膜の性状に左右される。機械研磨と電解研磨とでは、不動態皮膜の形成過程が異なっており、その性状もおのずと異なるものと考えられる。

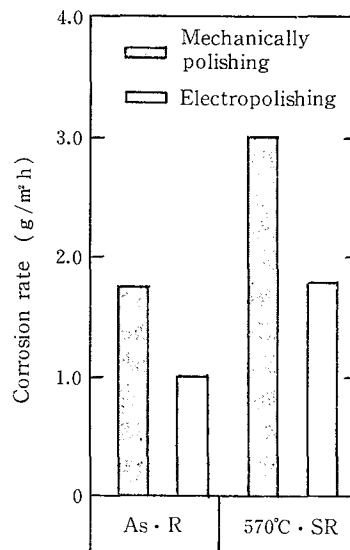
不動態皮膜の厚みは通常数十オングストロームといわれているが、最近になって表面から10~100オングストローム程度の深さまでの層を直接分析出来る手段がいくつか開発された。その中で特にオージェ電子分光法(AES)は迅速な分析が可能でイオンスパッタリング法(表面をごくわずかに除去するもの)を併用することで、厚さ方向の組成分布を定量的に把握することが出来る。

AESによってSUS 316の表面から内部方向への各組成の分布を測定した結果を第4図に示す。スパッタリング時間が0~4分の間では各組成が変化し、4分以上では各組成が一定値を示していることから、0~4分の間は不動態皮膜の領域で、それ以上は母材の領域と考えられる。

不動態皮膜中の各組成をみると、#320バフ研磨のものは表面部(0分)でFeが異状に濃縮しCrがほとんど無くなっている。それより内部層では母材組成濃度に対し、わずかにFeの減少とCrの濃縮が見られた。一方電解研磨では、不動態皮膜中において著しいFeの減少とそれに対応したCrの濃縮が見られた。



第4図 AESによるSUS316の不動態皮膜の組成分析
Fig. 4 Results of surface analysis of SUS316 by AES



第5図 SUS 304における0.1%硫酸腐食試験
Fig. 5 Result of corrosion test of SUS304 in boiling 0.1% H₂SO₄

Treatment	Weight loss (g/m ²)
#320 buff	0.825
Electropolishing	0.130

Test condition: 180°C(Air free)
×250hr.

第2表 高温純水中でのSUS 316の腐食減量
Table 2 Corrosion of SUS 316 in high temperature pure water

一般に、ステンレス鋼の耐食性はCr量が増加するにつれ向上することが知られており、それはとりもなおさず表面に形成される不動態皮膜中のCr量が増加するためと理解されている。以上のことから、電解研磨されたステンレス鋼は機械研磨されたものに比較して耐食性の向上が期待される。

2.5 耐食性

当社において、SUS 304を0.1%硫酸の沸騰条件下で腐食試験した結果を第5図に示す³⁾。入手ままの材料と、570°Cの熱処理を施したものとに機械研磨(エメリー#300)と電解研磨(機械研磨後に施工)を施工し、耐食性を比較した。入手まま及び熱処理材共に電解研磨施工したものが耐食性に優れていることが判る。また高温純水に対する腐

食量を試験した結果を第2表に示す。#320パフに較べて電解研磨処理された SUS 316 は約6 倍の耐食性を示している。

Jackson⁴⁾らは、SUS 304の各種表面処理試料について耐孔食性を検討し、第3表のような結果を得ている。不動態皮膜の破壊に必要な塩素イオン濃度は、電解研磨したものが最も高く、耐孔食性に優れていることを示している。

1.6 応力腐食割れ特性

原子力分野において一般的な構造材料であるステンレス鋼は、ある特定の環境条件下において応力腐食割れを生ずることが知られている。特に一次系の配管や機器において応力腐食割れを生ずると即放射能漏れ事故につながり、操業停止で受けるダメージは大きい。

ステンレス鋼を電解研磨処理すると、前述のように表面の引張残留応力の緩和と不動態皮膜中のCrの濃縮による耐食性の向上が認められた。このことはすなわち、耐応力腐食割れ性の向上も期待出来ることを示している。

SUS 304に機械研磨（旋盤加工）したものとその上にさらに電解研磨したものとを定荷重応力腐食割れ試験法で試験した。³⁾ 試験液は42%塩化マグネシウムを用い沸騰条件下で試験した。結果を第6図に示す。電解研磨施工することにより応力腐食割れ感受性が低下することがわかる。特に20 kg/mm²以下の低負荷応力では機械研磨と電解研磨とでは破断時間に著しい差を生ずることが明らかとなった。

Kohl⁵⁾はSUS 304について機械研磨後不動態化したものと機械研磨後電解研磨したものとを42%塩化マグネシウムの沸騰溶液中で試験を行い第4表の結果を得ている。電解研磨試料は機械研磨試料の約4 倍の寿命を持っていることが示されている。これは最初に割れが認められるまでの誘導時間が電解研磨ではきわめて長いためである。その理由は、前述したように、電解研磨により①表面の引張残留応力が緩和し、②不動態皮膜が強化されたためであろうと考えられる。

1. グラスチールについて

1.1 グラスチールとは

グラスチールとは鋼板にガラスを塗布し約900°Cの高温で焼成し、鋼板とガラスとが化学的に結合したいわゆる複合材料である。使用するガラスはその施工上、一般に下引用ガラスと上引用ガラスの2種に分けられる。下引用ガラスは素地金属とガラスとを化学的に十分結合させる役目をもち、上引用ガラスは耐薬品性のすぐれたガラスでこれにより機器の耐食性が決まる。

上引用ガラスは一般にケイ酸塩ガラスで、その目的用途に応じてさまざまな種類のガラスが開発されている。例えば非晶質中に結晶を析出分散させて耐衝撃性を強化ガラスの何倍も改善した結晶化ガラス⁶⁾（商品名：ヌーセライト）（写真2）や、オーステナイト系ステンレス鋼に施工出来るガラス⁷⁾などである。これらのガラスは、従来のライニング用ガラスの耐食性と同等の耐食性を持っている。

1.2 グラスチール機器の製造工程

第7図にグラスチール機器の製造工程の概要を示す。素地金属の表面を清浄にするとともに活性化させ、下引用ガラスと素地との密着を向上させるため、前処理が必要であ

第3表 SUS 304 ステンレス鋼の表面条件と不動態皮膜破壊の限界塩素濃度

Table 3 Effect of surface condition on performance of SUS 304

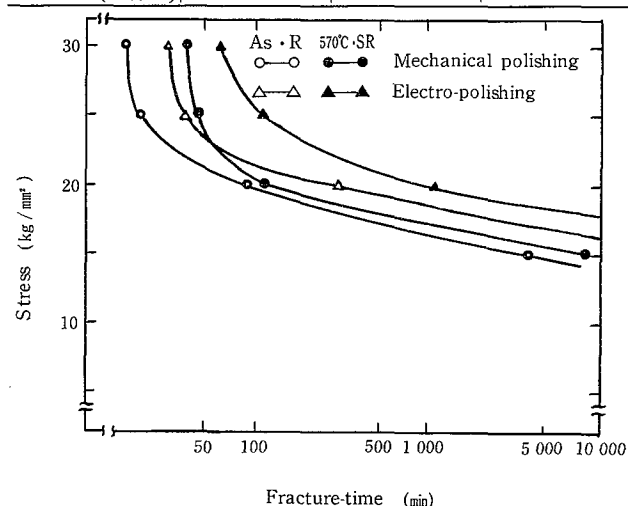
Surface condition	NaCl (%)
Electropolished (H ₂ SO ₄ +H ₃ PO ₄)	0.61
Fine (hand) ground (240 grit)	0.50
Fine (belt) ground (240 grit)	0.32
Sandblasted	0.37
Coarse (wheel) ground	0.38

Tests: Done starting with specimens passive at 0.645 volt (H₂ scale) in 0.3NH₂SO₄ at 40°C

第4表 SUS 304 ステンレス鋼の表面条件と応力腐食割れ時間の変化

Table 4 Variation of time-to-fracture, induction time and crack propagation time with specimen surface condition.

Surface condition of specimens.	Time to fracture (min)	Induction period (min)	Crack propagation period (min)
Machined surface (8 tests)	25.7	4.5	21.2
Electropolished surface. (19tests)	104.0	87.0	17.0



第6図 SUS 304 材における負荷応力-破断時間曲線（測定値は3～5 点の平均）

Fig. 6 Curve of stress-fracture time

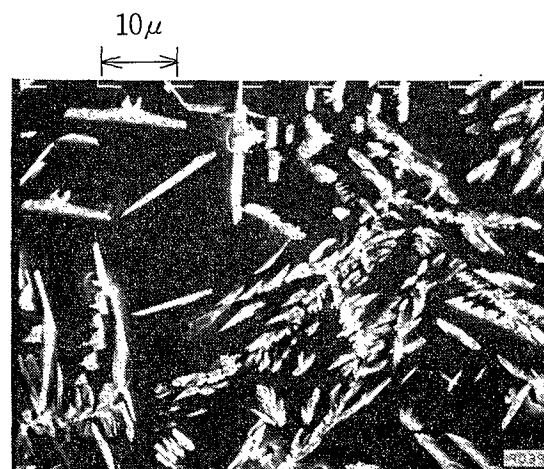
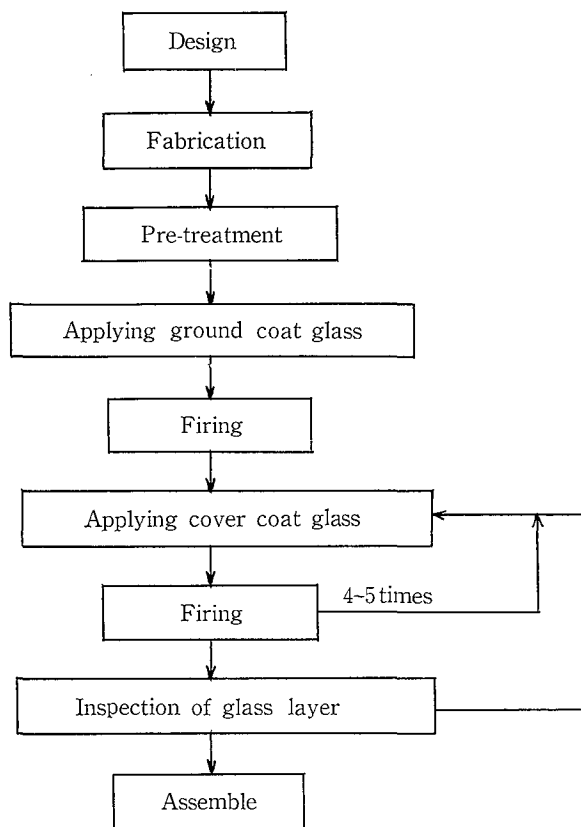


写真2 ヌーセライト
Photo. 2 Nucelite



第7図 グラスチール機器の製造工程
Fig. 7 Manufacturing diagram of glasteel® equipment

る。下引用ガラスは湿式スプレーにより素地金属表面に施釉される。温風乾燥にて水分を除去した後 900~850°C の温度で焼成が行なわれる。冷却後こんどは上引用ガラスを施釉し下引用ガラスよりはやや低い温度で焼成される。上引ガラスの施工は欠陥が皆無になるまで何回も繰返して実施され、平均約1.5mm程度のガラス厚みが得られる。

当社ではグラスチール機器の焼成のため世界最大級の能力(焼成可能最大容量約250m³)をもつ電気炉を保有している。この電気炉は、炉内雰囲気コンピューターにより全自動で制御するシステムをそなえているので高品質のグラスチール機器を製造することが可能になっている。

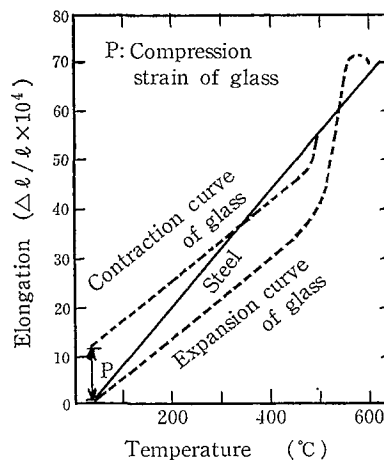
3.3 グラスチールの機械的性質

第5表にガラス及び鋼の物理的性質を示す。グラスチールの機械的特性に最も重要な影響を与える要素は線膨張係数である。一般にガラスは圧縮に強く引張りに弱いため、施工後のガラスに圧縮応力が作用するよう素材金属とガラスとの組合せが決められている。第8図に示すガラス—鋼熱膨張収縮曲線で示すように、ガラスに対しPの大きさの圧縮歪を加えておくことで引張強さを高めている。この結果、グラスチールの引張強さ、すなわちガラス面にクラックが入る時の応力は 25~30kg/cm²と、ほぼ鋼の降伏応力に等しくなる。

グラスチールは過大な衝撃を受けると破壊することがある。衝撃には工具類を落下させた場合のような機械的衝撃と、高温もしくは低温の液体をガラス面に急激に吹きかけた場合のような熱衝撃とがある。

1) 機械的衝撃

200gの鋼球をある高さから落下させた時ガラス面を破損



第8図 ガラス—鋼熱膨張収縮曲線

Fig. 8 Thermal contraction and expansion curve of glass and steel

第5表 ガラス及び鋼の物理的性質

Table 5 Physical property of glass and steel

Item	Basic material	
	Glass	Steel
Tensile strength (kg/mm²)	7	41~50
Compression strength (kg/mm²)	80	—
Young's modulus (kg/mm²)	7,000	21,000
Hardness (Hv)	600	110
Linear expansion coefficient (50~400°C) (10⁻⁵mm/°C)	0.9~1.0	1.4

する時の高さは、通常のガラス単体(厚み約1.5mm)では約10cmであるのに対し、グラスチール面は1mの高さから何度落下させても破損しない。ヌーセライト(結晶化ガラス)の場合は通常のグラスチールと比較して4倍以上の衝撃エネルギーに耐える。

2) 熱衝撃

グラスチール試料を所定の温度に加熱後、冷液中に投入した時ガラス表面にクラックを生じる時の試料加熱温度と冷水温度との差(ΔT°C)でグラスチールの熱衝撃特性を調べる。通常このΔTはその時の機器の温度に左右されるがmax約150°Cで、グラスチールはかなりの熱衝撃に耐える。

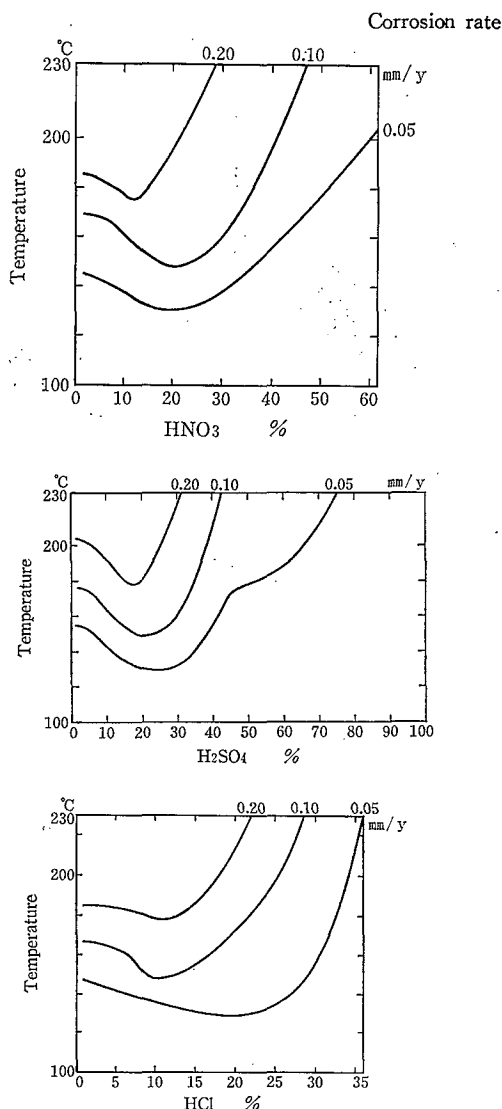
3.4 グラスチールの耐食性

グラスチールは、フッ酸を除くすべての有機・無機酸に対し100°Cまでの温度で常に安定である。また大部分の酸に対しその沸点以上の温度でも十分使用することができる。第9図にその一例を示す。

4. 放射能汚染に対する表面処理の影響

§1で述べたように、溶液中の放射能はイオン状あるいはコロイド状で存在する。機器に放射能が蓄積するためには、機器表面との物理化学的反応が生じなければならない。従って機器表面がイオン状またはコロイド状で存在する放射能に対し、物理化学的に不活性であれば放射能の蓄積は生じないか、もしくは汚染を生じて洗浄により容易に除去できると考えられる。

また、放射能の発生は一次冷却系における冷却水と機器配管材料との腐食反応によるものであり、機器配管材料の



第9図 各種酸に対するグラスチールの耐食性
Fig. 9 Corrosion data of glasteel® for various acids

耐食性を向上させることは発生する放射能を低減することにつながる。

近年以上の観点に基づき表面状況と放射能蓄積あるいは除染効果といったデータが発表されているので、ここに紹介する。

4.1 電解研磨処理面と放射能汚染

バテル研究所の Allen⁸⁾らは、SUS304Lを用いてさまざまな表面処理面に対する放射能汚染とその後の除染効果を調べ第6表のような結果を得ている。

第6表中の入手ままの素材(HRAP)は、我が国においては6mm以上の板厚のステンレス鋼の表面状態と同等と考えられる。当社での表面粗さの測定例ではHRAP材はRmaxで20~30 μ mの値を示し、それを電解研磨した後のRmaxは10~15 μ m程度であった。#80 gritのFlapper Wheel(バフ研磨)は我が国のバフ研磨では、#100~120番に相当し、その表面粗さは7~10 μ m程度である。

この結果から推測すると表面粗さは汚染に大きく影響するが、それ以外に表面の物理化学的特性も大きな要因であると考えられる。電解研磨面は機械研磨面に比べ約3倍の耐汚染性を示し、入手ままの素材に比べると約10倍もの耐

第6表 放射能汚染と除染に及ぼす表面処理の効果

Table 6 Comparison of Contamination Levels for Samples Exposed in a BWR Fuel Transfer Channel During Refueling

Surface Finish	Relative Contamination Level	
	As-Exposed	Decontaminated
As-Received #1 (HRAP) ¹⁾	100	68
#1+80-Grit Wheel	76	51
#1+#12 Glass Beads	32	11
#1+80-Grit Flapper Wheel	32	15
#1+Flapper Wheel+#10 Glass Beads	27	10
#1+Electropolishing	11	3

[NOTES]¹⁾ Hotroll+Anneal+Pickling

第7表 接触角測定結果(測定時の温度28°C)

Table 7 Result of measured contact angle (28°C) (Unit=Degree)

Surface treatment	Contact angle							
	SUS 304				SUS 316			
	Rmax (μ)	Pure water	Glycerin	Styrene monomer	Rmax (μ)	Pure water	Glycerin	Styrene monomer
#150	3.8	115.5	104.5	33.3	3.3	109.5	105.5	32.2
#150 + E P	2.0	74.1	68.2	11.0	1.9	48.3	46.0	15.5
#320	1.8	112.2	102.8	43.3	1.3	90.0	91.5	34.7
#320 + E P	1.0	80.2	75.7	16.5	0.9	55.0	52.5	13.0
#400	0.9	91.6	93.8	32.5	0.8	79.0	78.1	27.3
#400 + E P	0.8	80.6	63.7	13.2	0.8	67.0	61.7	12.8
Grasteel®	0.9	7.0	15.0	Unable to measure 1)	—	—	—	—

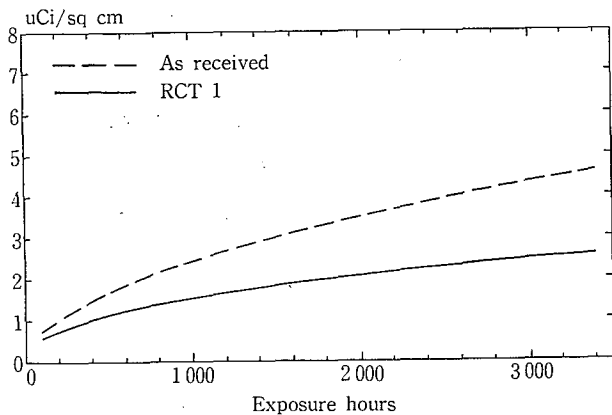
[NOTES]¹⁾ Unable to measure because solvents diffused too quickly on surface of glass.

汚染性を示している。一般に配管材料やポンプなどはバフ研磨のような表面加工を行わず、そのままの状態で使用することが多いが、それに電解研磨を施工することで耐汚染性が10倍も向上するということは注目に値する。

さらに注目すべきことは、電解研磨された表面は除染においても高い除染係数を示すことである。第6表の試験はWater sprayを用いているが、この場合、水の表面に対する衝撃力は同一であるため除染係数に差を生ずる要因は、水滴の表面に衝突した後の表面に対して広がる時の力と考えられる。この力のパラメータとしては、表面粗さがありさらに水の表面に対してのぬれ易さなどがある。

第7表⁹⁾に水および他の溶媒のステンレス鋼に対する接触角の測定結果を示すが、電解研磨面はバフ研磨面に比べ接触角が小さく水などに対してぬれ易いことを示している。

近年米国の原発では一次冷却系配管の応力腐食割れが問題となっており配管取替工事が行なわれている。それに先立ち、各原発において電解研磨処理の評価試験を実施している。¹⁰⁾ ナインマイルポイント1号機ではステンレス鋼に機械研磨、電解研磨などの表面処理を実施したものを試験片として実際の原子炉ループ内に設け、⁶⁰Coの付着量を調



第10図 前処理試験片上の放射能蓄積(Co-60)
Fig. 10 Accumulation of Co-60 to the various surface conditions

べた。その結果電解研磨処理の付着量が最も少なかった。またクーパー原発では炉水浄化系の再生熱交換器の上流側に各種表面処理を行なった2インチの試験用SUS配管を取付けて放射能の蓄積状況を観察している。結果を第10図に示すが電解研磨+空気飽和蒸気酸化(600°F×150 hr)(RCT 1)の処理は汚染の蓄積が少ない結果となっている。RCT社の空気飽和蒸気酸化処理は、ステンレス表面を酸化する際に酸素の供給を抑制し、ち密な酸化皮膜を形成しようとするものと考えられる。そのための電解研磨処理面の特性をそこのことなくより厚い皮膜の形成ができ、結果として放射能蓄積が抑制されるのであろう。

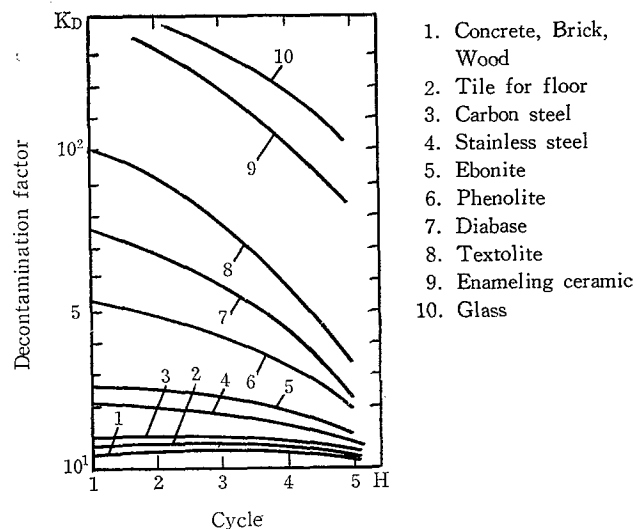
当社では1984年にクーパー原発向けの一次系配管のRCT処理における電解研磨施工を実施した。本年度もバーモントヤンキー向けの一次冷却系配管の電解研磨施工を受注し現在施工中である。

電解研磨処理面は第2表に示したように高温純水中においてきわめて耐食性が良い。このことは一次冷却系機器表面を電解研磨施工しておくことでクラッドの発生をかなり抑制しうることを示唆している。また前述のように表面への蓄積も抑制されかつ除染効果も高いことから、電解研磨処理はきわめて安価できわめて効果の高い放射能低減対策であるといえよう。

4.2 グラスチールと放射能汚染

ジモン¹¹⁾はさまざまな材料について放射能除染係数を調べ第11図に示す結果を得ている。汚染-除染サイクルを5回繰返してもガラス及び施釉セラミック板の除染係数は100を下廻らずきわめて除染しやすいことを示している。これに対しステンレス鋼(おそらく入手ままの状態と推測される)などは5回の汚染-除染の繰返して除染係数は20程度にとどまっている。この結果において、ガラスはきわめて化学的に安定で、また表面も滑らかであること、さらに第7表で示されるように、水に対する接触角が7度ときわめてぬれ易いことなどが除染係数を高く維持している原因であろうと推測される。

当社の施工しているグラスチールは前述したように機械的強度がきわめて大きく、素地金属の降伏応力以下では破



第11図 5サイクルの汚染-除染の後の除染係数
Fig. 11 DF for various materials

壊しない。また衝撃に対してもきわめて強いことが実証されている。このような特長をもつグラスチールを放射性廃液などの貯槽等に使用すれば汚染の蓄積も少なくまた除染作業も容易となり、作業者の被ばく低減に大きく貢献するものと考えられる。

むすび

放射能抑制対策の1つとして、機器材料の表面処理効果について述べた。当社は電解研磨施工に対し10年以上の経験を持ち、10~100m³の压力容器内面を施工した実績は100台以上にのぼる。またグラスチール機器の製造には30年の経験をもち、施工実績は数知れない。グラスチール機器は高圧ガス特定設備に該当する压力容器として製造されるなど、化学工業界において広く使用され、その安全性は高く評価されている。原子力分野においても、放射性廃液貯槽として十数年の使用実績があり、また最近では化学的再処理プロセスのプロセス機器として使用されたり、放射性廃液処理プロセスの耐酸機器として計画されたりしている。

以上放射能抑制にきわめて効果的な電解研磨とグラスチールについてその特性等を述べた。拙著がユーザにおける放射能蓄積抑制対策の一助になれば幸いである。

【参考文献】

- 1) ISU編 放射能蓄積抑制対策と除染
- 2) 高橋：材料加工，(1973)，8月，P.80
- 3) 神鋼ファウドラ-ニュース：Vol. 20, No. 3.4 (1976)
- 4) R.P.JACKSON ほか：Corrosion, Vol.27, No.5(1971), P.203
- 5) H. KOHL：Corrosion, Vol. 23, No. 2 (1967), P. 39
- 6) 神鋼ファウドラ-ニュース：Vol. 26, No. 3 (1982)
- 7) 神鋼ファウドラ-技報：Vol. 28, No. 1 (1984)
- 8) R.P.Allen ほか：Transaction of ANS, Vol. 38 (1981), P.621
- 9) 神鋼ファウドラ-ニュース：Vol. 24, No. 2 (1980)
- 10) 日本原子力産業会議：「除染・廃棄物管理調査団」報告書
- 11) A. D. ジモン：放射能汚染と除染の物理化学，現代工学社

高 圧 用 メ カ ニ カ ル シ ー ル

High Pressure Mechanical Seal

化工機事業部 技術部 化工機設計課
山 本 元
Hajime Yamamoto

A mechanical seal is one of the most effective shaft seal instruments applicable to high pressure operations.

In these days, this type of seal is being developed for larger shaft sizes, for higher pressure operations, and for better performance.

Accordingly, the design and choice of this seal requires greater consideration. In this paper, the fundamental features which must be considered in the design and use of the mechanical seal attached to a high pressure reactor, are discussed with our field experiences and experimental studies.

メカニカルシールは、高圧軸封装置の中で最も信頼性の高い有用なものである。最近はいより大型化、高圧化、高性能化の一途を歩んでおり、その選定にあたっては、充分な検討が必要である。

ここでは、攪拌機付高圧反応槽用メカニカルシールの設計及び取扱の上で考慮しなければならない基本事項について、当社の経験、実験結果より一部紹介する。

ま え が き

当社が取扱う反応機又は重合機の使用圧力範囲は、低圧のものから $100 \text{ kgf/cm}^2\text{G}$ を超える高圧のものまで種々多様であるが、反応の高度化に伴い、高圧高温下で操作されるケースが増加している。

攪拌機付反応槽の軸封に使用するメカニカルシールについても、高圧高温仕様に対して所定の機能を発揮し信頼性の高いものであることはもとより、洩れ許容値、寿命等についてユーザーからの要求もより厳しいものになってきている。

このニーズに応えるべく、数々の研究、開発を行い、より信頼性の高い、安心して御使用願えるメカニカルシールの開発、供給に心がけている。第1図に当社高圧($100 \text{ kgf/cm}^2\text{G}$)用メカニカルシール構造図の一例を示す。

一般にメカニカルシールを選定するための判断基準の最初のステップとして、圧力P、周速V、温度Tがある。攪拌機付反応槽用メカニカルシールの場合、低い回転数のダブルメカニカルシールが使用され、シール摺動面の潤滑に使用するシール液は、強制循環又はジャケット機構等により充分冷却される。このことから、メカニカルシールの構造、材質の選定に際しては、V、Tの影響は小さく、Pによる所が大きくなり、高圧用になるにしたがって、構造、材質等について種々の検討、配慮がより必要となってくる。

1. 摺 動 材 料

1.1 摺動材料の必要条件

メカニカルシールは摺動面の摩耗に従い軸方向に動くことの出来る回転環（シールリング）とシート受座に固定される固定環（フローティングシート）とからなり、それぞれは軸に直角な面で接触し相対摺動している。この二つの平面を構成する材料を摺動材料と呼び相互に摺動特性のよい材料の組合せで使用される。

この材料の組合せは

- 1) 槽内内溶液及びシール液の種類
- 2) 使用圧力および温度
- 3) 攪拌軸回転数

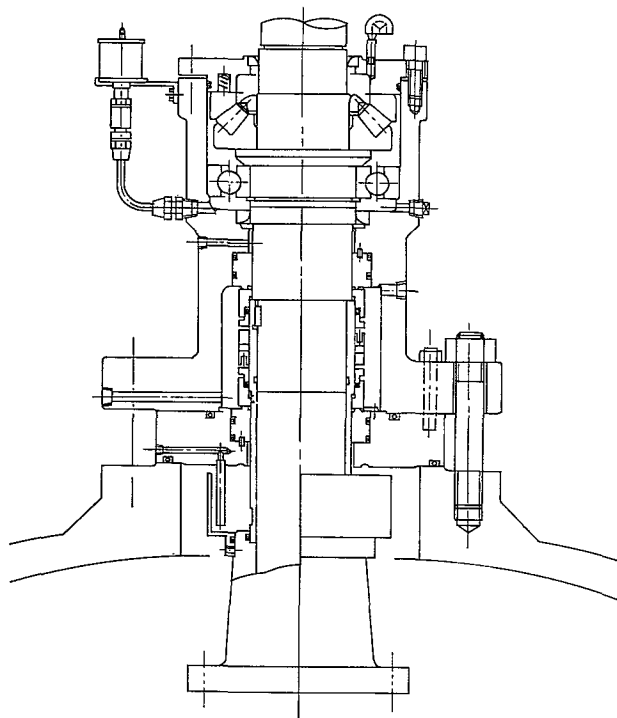
等によって決定されるが、摺動材料には次の諸条件を持っていることが必要である。

- 1) 耐食性があること

当社が製作している反応機、重合機はたえず耐食性が要求されており、ステンレスの他にグラスチール、ハステロイ、ニッケル、モネル、チタン等の耐食材料がベースとなっている。従って槽内液又はガスに接する部分には槽材料なみの耐食性のある材料が必要である。

- 2) 耐摩耗性があること

メカニカルシールは長時間の連続運転に対しても常に安定したシール性能を発揮させなければならない。従って耐摩耗性の良否がメカニカルシール性能の決定的要因となる。



第1図 高圧用メカニカルシール

Fig. 1 Mechanical seal for high pressure operation

る。

3) 耐熱性がよく熱放散がよいこと

摺動面では相対摺動することにより摺動熱が発生する。例えばサイズφ200, ΔP100 kgf/cm², 回転数 100 rpm の条件で摩擦係数を0.3とすると約 2100 kcal/hr の発生熱となる。この熱をすみやかに摺動部近傍から取り去ってやらないと潤滑性が悪化して焼付, 熱割れの原因となる。この除熱はシール液の強制循環又はジャケットに通水して行いが, まず摺動材そのものが熱放散に優れていることが要求される。

4) 機械的強度が強く変形しにくい材料であること

摺動材料には圧力による応力, 摺動発熱による応力, 回転トルクによる応力等各種の応力が作用するが, これらの応力によって摺動面にひずみが生じにくい材料でなければならない。

5) 気密性があること

コーティング材, 鋳造材では極くまれに浸透洩れを経験するが, シールという目的から摺動部以外からの洩れは絶対に許されない。

6) 加工性, 成形性がよいこと

加工精度によってメカニカルシールの性能が左右されると言っても過言ではない。従って要求された精度に加工するためには, 加工性のよい材料が必要となる。

7) 自己潤滑性がよく相手材を傷つけないこと

今まで挙げた諸条件を全てかねそらえていても, 相対摺動することにより相手材をかじったり傷をつけたりするような相性の悪い材料では摺動材料としては適さない。

1.2 摺動材料の種類とその性質

攪拌機付高圧反応槽に使用されるもののうち代表的なものについて紹介する。

1.2.1 カーボン

摺動材料でもっともよく使用されているのが, カーボンである。その理由として, 耐食性, 自己潤滑性が優れ熱伝導率のよいことが挙げられる。但し強酸化性流体(硝酸, 濃硫酸, 発煙硫酸, 次亜塩素酸, 臭素等)には耐食的に使用出来ない。

カーボンは原材料の種類, 焼成上の工程, 含浸樹脂の種類等でその性質は大きく異り, その種類も数多くあるが, 高圧反応槽用メカニカルシールには通常焼結カーボンを使

用する。

焼結カーボンは, 石油コークス, カーボンブラック, 黒鉛等を混合し, タールピッチ等をバインダーとして成形, 焼成して作られるが, 焼結の際にバインダー中に含有される揮発物がガス化し多孔質となるため, フェノール樹脂, フラン樹脂等を含有させ不浸透にして使用する。

このカーボンの問題点の一つは, プリスター現象である。この原因は, 含浸した樹脂の熱分解とか, カーボンと含浸した樹脂の熱膨張差によるものであるとされており, このプリスター現象は, シール液が水の場合には発生しにくく, 粘度の高い油, 高温の油又はPV値の高いものに発生しやすい。このような場合は樹脂を含浸しないで密度の高い等方性材料を用いるか, あるいは高圧でプレス成形した高密度の材料を焼結して無含浸で使えば防止出来るので高圧用シールには, この無含浸カーボンが使用される。

もう一つの問題点は, 他の金属材料に比べ機械的強度が $\frac{1}{10}$ 以下であるという点である。このため高圧用に使用する場合, 形状, 大きさの配慮及びカーボン材質の選定が大きなポイントとなる。第1表に代表的なカーボン材料の物性及び機械的性質を示す。

1.2.2 超硬合金

超硬合金は硬度が高く耐摩耗性に優れ, 熱伝導性が良いため, 高圧用メカニカルシールの摺動材として, カーボンとの組合せ又は超硬合金同志の組合せで使用される。

超硬合金とは一般に金属の炭化物をニッケル, クロム, コバルト等の金属と共に焼結した複合金のことでその種類は数多くある。

メカニカルシールに使用する超硬合金は強靱性があり硬く熱伝導性のよいタングステンカーバイト(WC)にコバルトをバインダーとしたWC-Co系の合金が使用される。しかしWC-Co系超硬合金は, バインダーのコバルトが酸に対して耐食性が劣るためアルカリには耐えるが強酸には使用出来ない。又シール液が水の場合でも相手材との摺動部に軽微な, すき間腐食の発生する事が確認されている。これら強酸性液及び水に対してはバインダーを使用しない耐酸超硬と呼ばれる超硬合金を使用する。

この耐酸超硬は, WC-Co系よりも硬さ, 熱伝導性が大きく, より高圧高温域での使用に有効な材料である。第2表に超硬合金の特性を示す。

第1表 カーボンの物理的および機械的性質

Table 1 Physical and mechanical properties of carbon and graphite

Material	Specific gravity	Shore hardness	Flexural strength (kgf/cm ²)	Compressive strength (kgf/cm ²)	Tensile strength (kgf/cm ²)	Modulus of elasticity (10 ⁶ kgf/cm ²)	Thermal expansion (10 ⁻⁶ /°C)	Thermal conductivity (kcal/m·hr·°C)	Max. working temperature (°C)
Graphite	1.8-1.9	40-60	350-500	600-800	180-250		28-35	120-130	400
Carbon	1.65	75	550	1500	150		4	20	350
Phenolic resin impregnated carbon	1.74	78	690	1300		0.13	4.4		300
Furan resin impregnated carbon	1.78 1.8	100 70	850 700	2300 1700	250 230	0.18 0.15	6		200
Acrylic resin impregnated carbon	1.75	85-90	700	2500			5		280

超硬合金は他の摺動材料と比べ高価であるため単体で使用する以外に金属母材へのコーティング又は金属リテーナに保持して使用する場合が多い。これらの代表的な形状を第2図に示す。

コーティングは超硬の使用量が少ないため最も経済的であるが、金属母材がSUSのため熱伝導性が若干劣る。

焼ばめ方式は熱歪が摺動面に生じやすい事に注意が必要である。金属リテーナ材は超硬合金の熱膨張係数に近ハ、チタン材等を使用する。

Oリングマウント式は焼ばめの欠点である熱歪は防止出来るが構造的にやや複雑となる。

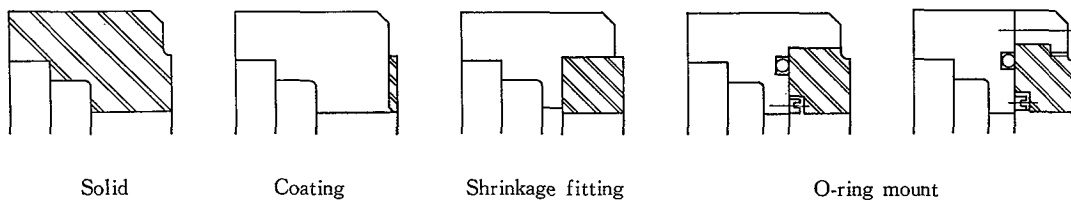
1.2.3 セラミック

セラミックは単体又は金属にコーティングして使用する

が、前者はアルミナ(Al_2O_3)、後者はコーティング組織が緻密で表面荒さが良好な酸化クロム(Cr_2O_3)がその代表である。

セラミックは耐食性、耐摩耗性に優れているが熱伝導率が他の金属に比較して低く耐熱衝撃性が悪いため高圧高温用には不向きである。

しかし近年の製造技術の発達により従来セラミックの欠点であった熱伝導率、耐熱衝撃性が大きく改善された炭化けい素(SiC)、窒化けい素(Si_3N_4)等ニューセラミックが注目されている。特にメカニカルシール用としては、耐熱性、耐食性及び耐摩耗性が高く摩擦係数が低くかつPV値が高い炭化けい素(SiC)が高圧用摺動材として使用され実績も増えてきている。第3表にSiCと他の摺動材料の特性



第2図 シールに使用される超硬合金の形状

Fig. 2 Shape of sealring using cemented carbide alloy

第2表 超硬合金の特性

Table 2 Properties of cemented carbide alloy

Composition (%)			Physical properties				Mechanical properties	
WC	Co	TiC TaC	Spacific gravity	Hardness HRA	Thermal expansion ($10^{-6}/^{\circ}C$)	Thermal conductivity ($kcal/m \cdot hr \cdot ^{\circ}C$)	Compressive strength (kgf/cm^2)	Deflective strength (kgf/cm^2)
93-95	5-7	0	14.8-15	90.3-91.5	5	68-72	540	160-250
90-92	8-10	0	14.6-14.8	89.5-90.5	5.3	60-65	520	180-270
93-97	0	3-7	14.5-15.5	92.5-94	4.9	80-89	400	>70

第3表 摺動材料の耐熱衝撃性

Table 3 Thermal spalling resistance of rubbing material

Material		Silicon carbide	Alumina	Cemented carbide alloy Ni 16%	Cemented carbide alloy Co 7%	Silicon nitride	Graphite
Vickers' hardness		2570	1000-2000	1600	1600	2500	—
Deflective strength	kgf/mm^2	45	38	42	70-77	—	—
Tensile strength σ_t	kgf/mm^2	28	24	42	77	24	2.95
Young's modulus E	kgf/mm^2	4.2×10^4	3.8×10^4	6.0×10^4	6.1×10^4	3.2×10^4	843.6
Thermal expansion α	$10^{-6}/^{\circ}C$	4.3	7.0	6.0	6.0	3.2	2.2
Thermal conductivity K	$cal/cm \cdot s \cdot ^{\circ}C$	0.30	0.06	0.2	0.2	0.033	0.358
$\alpha/K \times 10^{-6}$	$cm \cdot s / cal$	14.3	116	30.0	30.0	96.0	0.6
Thermal spalling resistance	$cal/cm \cdot s$	46.6	5.4	23.3	42.0	7.8	530

$$\text{Thermal spalling resistance} = \frac{\sigma_t}{E} \cdot \frac{K}{\alpha}$$

と耐熱衝撃値の比較を示す。

2.2.4 その他の摺動材料

上述以外のものでは、ステライト、ニレジスト、銅合金が使用されている。これらの中で銅合金は、超硬合金との組合せでの高圧 (200 kgf/cm²G) 回転テストにて良好な結果を得ている。

2. 軸 シ ー ル

メカニカルシールには摺動部材間でのシールと、回転環及び固定環をそれぞれ軸及びシート受座に弾性支持し、洩れを防ぐと共に振動を緩衝する働きをもつ軸シールとがある。

この軸シールには、通常、フッ素ゴム、ニトリルゴム等のOリングを使うが、シール液及び槽内液質、温度により、デュポン社製のカルレッツあるいはフッ素樹脂を使用する場合もある。

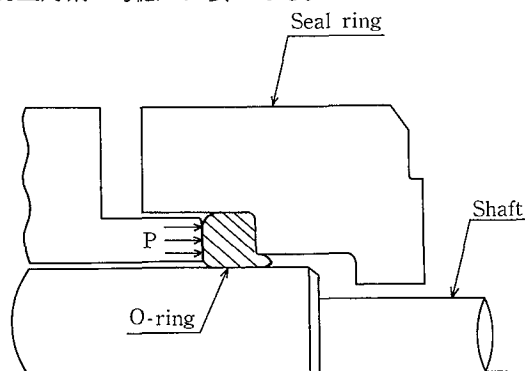
高圧の場合、回転環の軸シール用Oリングのはみ出しについて注意しなければならない。

回転環は適正な摺動面圧を維持するため軸方向への動きが可能な構造となっており、回転環のスムーズな軸方向への動きを得るためには、回転環と軸との間に適当なすき間が必要であるが、このすき間が必要以上に大きすぎると、第3図に示すようにOリングがこのすき間部へ入り込み、かみ込み現象を起こし回転環の軸方向作動不良の原因となる。従ってこのすき間はOリングがはみ出さないものでなければならない。

第4図にOリングのはみ出しに対するクリアランスの限界値を示す。これによると圧力が高くなるに従ってすき間を小さくしなければならないが、回転環の構造上必要以上に小さくする事が出来ない。したがって高圧用には、Oリング硬度を上げたり、バックアップリングを使用する等の方法を取り、軸とのすき間を確保する。尚バックアップリング材質は熱変形の大きい樹脂よりも金属の方がよい。

3. 構 造

ダブルメカニカルシールの場合、缶内側及大気側シール共シール液圧による外圧を受ける。回転環、固定環共この外圧の影響で摺動面は第5図に示すように通常は外周当り傾向となる。この状態で運転すると、摺動面部の油膜が形成されにくくなるため、異常摩耗、焼付等の原因となりやすい。特に固定環にカーボンを使用する場合は、カーボンの弾性係数は金属の1/10程度であるため、圧力によって生じる歪防止対策の考慮が必要である。

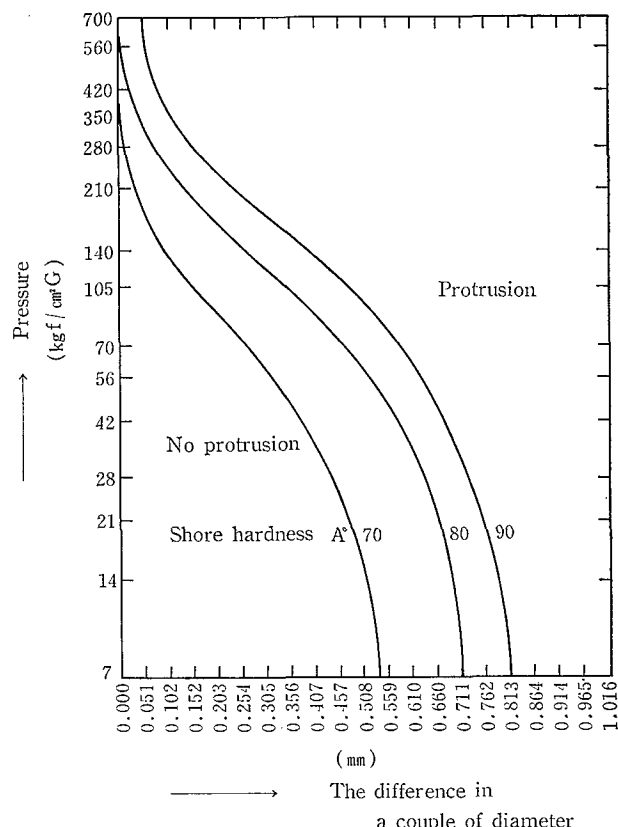


第3図 Oリングのはみ出し
Fig. 3 Protrusion of O-ring

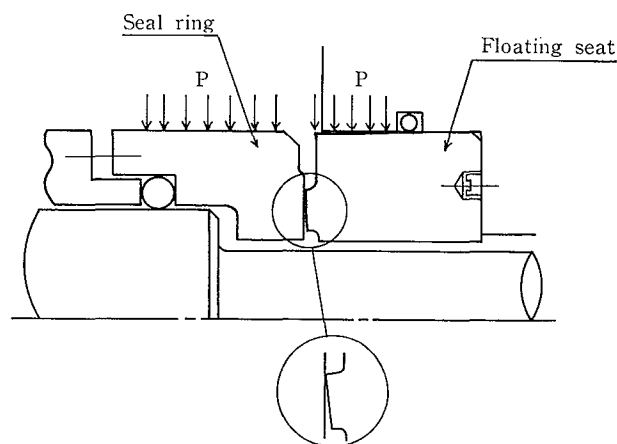
高圧用の場合はこの歪を最小限におさえるよう形状、大きさ、Oリングの取付位置等に特に注意が払われている。

第6図に形状による耐圧の差を示すが、中でも特にOリング取付位置の影響が大きく、外圧による受圧面積をより小さくするため、Oリングを摺動面近くに取り付ける事が、歪防止に対して効果がある。

又、固定環は特殊形状のものを除いて、シート受座に固定され、その背面はシート受座に密着している。このため固定環の背面及びこれが当るシート受座フランジ部の仕上精度が重要なポイントとなり、面状態が悪ければ、その影響が即摺動面部に波及する。納入時、両者の面状態が完全



第4図 Oリングのはみ出しに対するすき間の限界値
Fig. 4 Limit of clearance for protruded O-ring



第5図 圧力による摺動面の歪
Fig. 5 Deformation of sealing face due to pressure difference

Factor	Material thickness	Position of O-ring	Shape of sealing face	Flange size
Shape easy to deform				
Shape hard to deform				

第6図 形状による耐圧の差

Fig. 6 Shape factors affecting on pressure resistance of floating seat

で問題なく運転されていたものが、定期点検で、新品のメカニカルシールと組み替えたが、面の調整、仕上げが不十分であったり、行われていなかったことによる密着不良が原因でのトラブルの例もある。したがって、定期点検等でメカニカルシールを取り替えた時には、両者の面の調整、仕上げが確実に行われている事の確認が必要である。

4. シール液

ダブルメカニカルシールの摺動部発熱の除去と潤滑及び圧力保持を目的として、シール箱内にシール液が供給される。供給方法には、加圧筒による封入式とプレッシャーユニットによる強制循環方式とがあるが、高圧用の場合は、摺動面圧が高く発熱量が大きいため、冷却能力の高い、プレッシャーユニットでの強制循環方式を用いる。

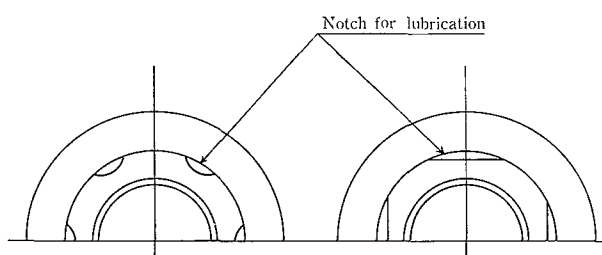
シール液には潤滑性のよい油 (ISO. VG 32～68 相当) がよく使用されるが、他に共液、水、溶剤、グリセリン、流動パラフィン等が使われることもある。

このシール液の選定に際しては、潤滑性が良い事というまでもないが、槽内液 (ガス) と反応し熱を発生したり、腐食性が增大したり、固形物が生成されたり、あるいは摺動面での粘度が高くなったりしないものであることと、槽内液体へのわずかな混入が許容されるものでなければならない。又、最近、共液、溶剤等特殊な液をシール液として使用するケースが増加しているが、上述の検討はもとより、その液のシール液としての摺動特性についても、テストを行う等によって把握しておく必要がある。

高圧用の場合は特にシール液の粘度及び温度管理も重要である。粘度が高すぎると、面圧が高いために摺動部へシール液が入りにくく、そのため潤滑性が悪くなり、異常発熱、摩耗、熱割れ等の原因となる。従って粘度の管理は、タービン油の場合、低圧用で使用する粘度より、250～300 Cst 低くする必要がある。又第7図に示すように、摺動面に潤滑溝を設け摺動部の回転を利用して、シール液を強制的に摺動端面部へ導入させるハイドロダイナミックシールも高圧用にはよく使用される。

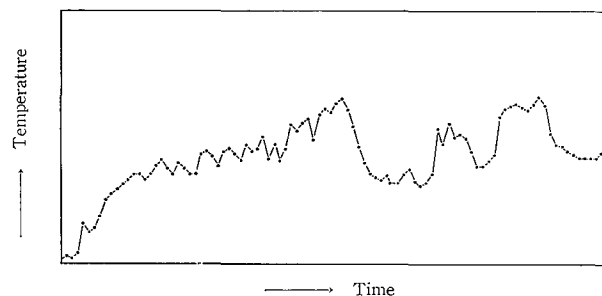
シール液温度は、密封状態の完全さと耐久を維持し、熱歪はもちろん熱膨張による嵌合部及び回転環と軸とのすき間の変化を出来るだけ小さくする意味でも極力低い値に保つ様にした方がよい。

この温度管理の上限値は、油のような高沸点液では 60°C、溶剤・水等沸点の低い液では大気圧下での沸点より30



第7図 ハイドロダイナミックシール

Fig. 7 Hydrodynamic seal



第8図 立上り時の摺動面近傍温度

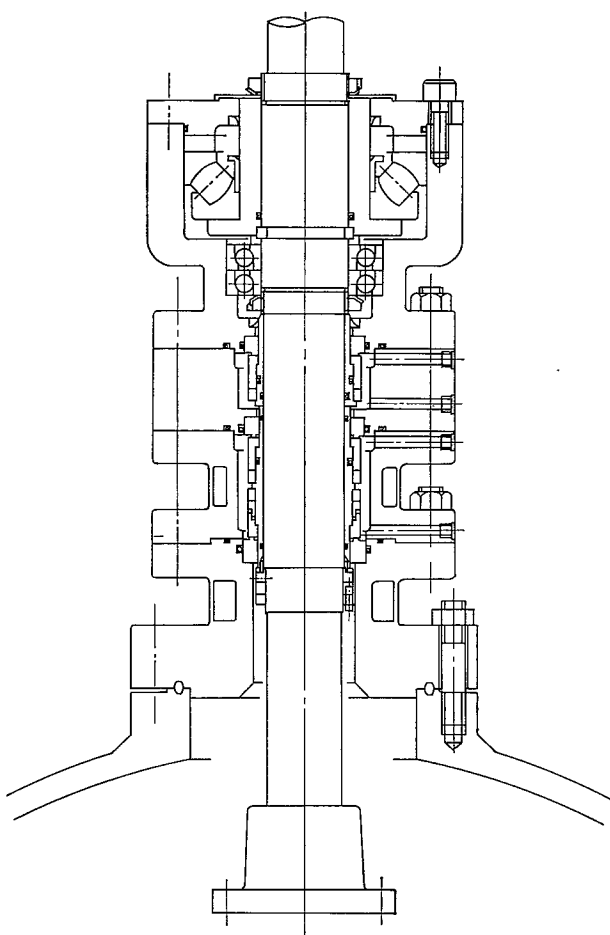
Fig. 8 Temperature under the sealing face at start up

～40°C 低い温度で管理するようにする。又、シール液の循環流量の決定は、シール箱のシール液出入口部との温度差を油の場合10°C、水の場合3°C程度として計画する。

5. ならし運転及び再起動運転

高圧シールでしばしば問題となるものに、運転開始前のならし運転によるトラブルがあり、ならし運転の良否が、メカニカルシールの性能、寿命に大きく影響している。

このならし運転の必要性は、メカニカルシールの構造的な面と、摺動材のなじみとからきている。第8図に立上り時の摺動面近傍温度を測定した一例を示すが、定常状態では摺動面温度は、ほぼ一定値になるが、立上り時は図の如く非常にバラツキが目立ち不安定である。このような状態の時に急激な圧力、回転数の増加を行うと、洩れ、焼付き、熱割れの原因となり易い。ならし運転は、摺動面をなじませ理想的な摺動状態が得られる様に行うためのものであり、その方法は、シール液圧を一度に設定値まで昇圧させず、低圧 (5 kgf/cm²G 程度) から段階的に時間をかけ昇圧させ、変速が可能な場合は最低回転数からスタートさせる。又シール液の温度コントロールも必要であり、特に冬



第9図 3段シール
Fig. 9 Triple mechanical seal

場では、シール液温度が下がり粘度が高くなっている
ので、運転前に所定の粘度となるよう加温する方がよい。

又、バッチ運転等で運転を停止後長時間経過したのち再
起動させる場合があるが、このような場合でも運転停止時
間により適当な、ならし運転が必要である。

再起動時のならし運転は、シール液の種類、圧力等によ
って異なるが、一般的に24時間以内の停止であれば、ならし
運転は新しく組み込んだ場合に行うステップ的なならし
運転を省略してもよいが手廻しで数回廻した後再起動を行
う。停止時間が30日を超えた場合は前述と同要領のならし
運転が必要である。

む す び

以上高压シールに関するごく一部を述べたが、当社 200
kgf/cm²G 回転テストでは、ダブル型シールで、洩れ、摩
耗、摺動面近傍温度、摺動特性等、満足のいく結果が得ら
れており、この圧力クラスまでは、ダブルメカニカルシー
ルの使用が可能であると判断している。又これ以上の圧力
範囲では、第9図に示す3段シールタイプを採用すること
になるが、プレッシャーユニットの圧力コントロールが複
雑であるため、現在は槽内圧力と連動させ自動制御出来る
プレッシャーユニットを開発し試作中である。

〔参考文献〕

- 鷲田：新メカニカルシール 日刊工業新聞社
- E. マイヤー：メカニカルシール 科学新聞社
- 宗：シールのこくい 技術評論社
- 川口ほか：メインテナンス (July 1984)
- 大越：潤滑 24.5 (1979) P 25
- 藤田：潤滑 24.5 (1979) P 31. 32
- 古賀：潤滑 27.11 (1982) P 42

ライニングガラス

Lining Glass

化工機事業部 製品開発室

沢田 雅光
Masamitsu Sawada

This report outlines the history of our lining glass being used for the standard glass of chemical equipment, and also outlines the characteristics of our newly developed #9000 glass.

This new glass is the standard instead of the usual standard glass #3100, #5000 and this glass provides the best corrosion resistance against all acids, water and alkali.

当社設立以来、グラスライニング機器に用いられてきた、標準ガラスの変遷とそのもつ諸性能、そして、この度開発した新しいガラス#9000について紹介する。

この新しいガラス#9000は、従来の当社標準ガラス#3100, #5000に代わる、標準ガラスであり、高耐酸性、高耐水性、高耐アルカリ性を有す全域高耐食性ガラスである。

1. ま え が き

約30年前、グラスライニング機器として1号機を製作して以来、現在に至るまで数多くのグラスライニング機器を製作納入してきている。その間メーカーとして、グラスライニング機器の中核部であるガラスの研究に絶え間ない努力をしてきた。

ライニングガラスは、ピーカ、試験管などの一般高耐食性ガラスと異なり、耐食性はもとより、母材である鋼との接合性も具備したものでなくてはならない。加えてユーザー・ニーズに極力応えていくためには、優れた機械的強度、その他様々な性能をもったガラスが必要となった。そうなるという種類のガラスで全ての機能を持たせることは非常に困難であり、自然にガラスの種類も増えざるを得なくなった。

本稿では、これらライニングガラスを当社設立当時まで溯昇り、整理すると同時に、改めてガラスの特性について説明しておきたい。そして最近開発した新しい化工機用標準ガラス#9000を紹介する。

2. 当社の化工機用ガラス

2.1 標準ガラス

化学機器用耐食性ライニング材としてのガラスは、珪酸や硼酸のような酸性成分を主としており、高度の耐酸性、

耐水性を有しているため、石油化学、医薬、染料、食品等あらゆる分野で使用されてきた。

当社は、グラスライニング業界のリーダー的存在であり、化工機用標準ガラスの耐酸性、耐水性において、極限ともいえるような性能をもたせた。ところが最近では、耐アルカリ性をも向上させたガラスに対する要望が増えてきた。そして、今では、酸からアルカリまで全域に十分耐え得る標準ガラスでなければならず、新しい時代の標準ガラスとして#9000を開発した。詳細については後述する。

2.2 標準ガラスの変遷

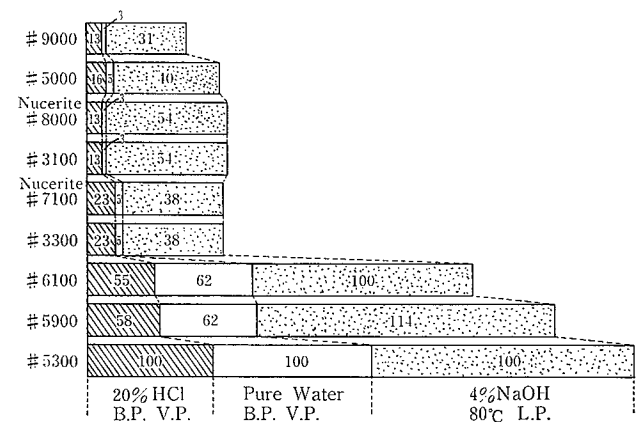
当社が現在まで、標準として使用してきたガラスを、第1表に示す。

設立時の標準ガラス #5300は、 $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ 系ガラスで、トータルアルカリ成分15%の常識的なガラスであった。特に大きな特長はないが、熔融軟化性に優れ、スムーズできれいな表面状況を示した。

#5900は、#5300を改良して、耐熱衝撃性、耐酸性、耐水性を大幅に向上させ、別名耐酸珪瑯といわれていたグラスライニングの位置付けを明確化したガラスであったといえる。

#6100は、#5300, #5900の耐食性を改善した当時としては画期的なニューガラスであった。

この頃までは、 B_2O_3 成分のリッチな硼珪酸塩ガラスが



B.P.: Boiling point V.P.: Vapor phase L.P.: Liquid phase

第1図 標準ガラスの腐食比

Fig. 1 Corrosion rates of standard glasses

第1表 標準ガラスの使用変遷
Table 1 Transition of standard glass

	'55	'60	'65	'70	'75	'80	'85
Glass	#5300	#5900	#6100	#3300	#3100	#5000	#9000
Nucerite			#7000	#7100	#8000	#8100	

主流であったが、より厳しい腐食条件に耐え得るガラスとして、 ZrO_2 を含む珪酸塩ガラスを、コンピュータを用いて成分設計を行い、#3300を完成させた。このガラスは、耐食性が全体にわたり非常に大きく向上しただけでなく、ライニングの作業性も優れたバランスの良いものとなった。

#3100は、日増しに強くなった耐酸性、耐水性への要求に応えるため、特に耐酸、耐水性の向上を狙って研究した結果、生まれたガラスであり、 SiO_2 成分を最大限に含んでおり、ライニング出来るガラスとして限界ともいえる性能をもたすことが出来た。

一方では、酸、アルカリ両方の腐食条件にガラスライニングが用いられるようになり、耐アルカリ性も具備したガラスが必要となった。そこで開発されたものが#5000であった。このガラスは、耐アルカリ用成分として良く知られている ZrO_2 を、ライニング作業性を損なわない範囲で最大量加えたものであり、耐酸性から耐アルカリ性まで、広範囲の腐食環境に耐えることができる。

しかし、#3100並の耐酸性、耐水性を維持して耐アルカリ性も向上させるために、 SiO_2 や ZrO_2 の添加量を増すことは、作業温度が著しく上昇するのみならず、熱膨張係数が小さくなり、作業性の悪さによる、機器としての性能低下、例えば、R部のガラス剥離のし易さというような問題が残る。

新しい標準ガラス#9000は、 ZrO_2 の他に特殊な成分を加えることによって、これらの問題を全て解決し、耐食性は、#3100の耐酸性、耐水性をもち、かつ耐アルカリ性は#5000より優れた、今後標準として使用していくのにふさわしいガラスとなった。

以上述べたガラスの他に、当社では、耐機械的強度に優れたセラミックライニングとして“ヌーセライト”という結晶化ガラスを、攪拌翼、パッフル等のアクセサリー類に標準としてライニングしてきた。

#7000は別名「SA-12」、「SA-40」、「SA-72」という名称のヌーセライトで、1962年から使われ始めた。その後、ヌーセライトに標準ガラス並の耐食性を付与させた、万能ヌーセライトが#7100であり、現在に至っては#8000である。これらの詳細については、次項で説明する。

尚これら標準ガラスの耐食性の比較を、第1図に示す。JIS及びISO規格に準じた耐食試験を行ない、それから得られたデータを#5300を100として、比に換算し直して表わしている。棒グラフ中の数値が小さいほど、棒グラフが短い程、耐食性が優れているということである。

2.3 ヌーセライト

ガラスライニングは通常のガラスに比べ、強化されているため、数倍割れ難くなっており、割れた時のダメージもはるかに小さいが、それでもガラスは割れるというイメージが強い。そこで“割れないガラスを”というニーズに応じて開発したものがヌーセライトである。「ヌーセライト(Nucerite)」という語は、当社の登録商号であって、ライニング可能な結晶化ガラスを意味している。

結晶化ガラスは、約28年前、アメリカのコーニング社が“パイロセラム”という“割れ難い”窯業材料として発表したものであり、一般的にはガラス中に目的に応じた結晶



写真1 結晶化ガラスの走査型電子顕微鏡写真
Photo.1 SEM of crystallized glass

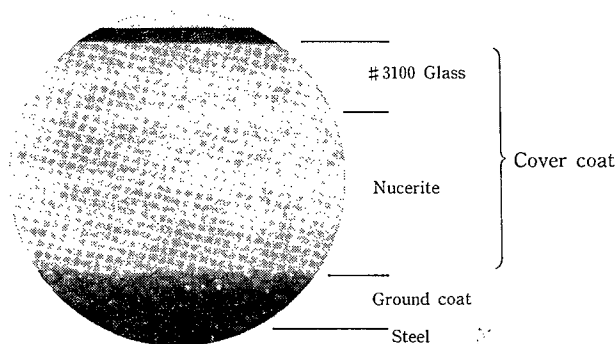


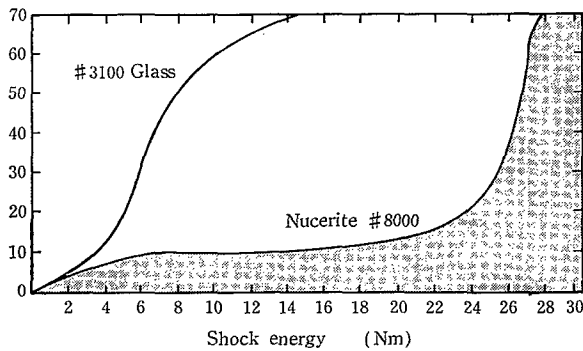
写真2 ヌーセライト#8000の断面写真
Photo.2 Cross section of nucerite #8000

核形成剤を添加し、それが熱処理されることによって、結晶が生成される。ガラスマトリックス中に、 Li_2O-SiO_2 や $Li_2O-Al_2O_3-4SiO_4$ などの、多数の微細な結晶が存在した状態のものである。

言いかえれば、ガラスとセラミックスの中間体であり、特長として、一般に耐衝撃性、耐磨耗性、熱伝導率が通常のガラスに比べて非常に優れている。

当社はこれに遅れることわずかにして、ライニング用結晶化ガラスを開発し、実績を積み重ねてきて、現在の標準ヌーセライト#8000に至っている。ヌーセライト#8000は写真1のような結晶を含む結晶化ガラスを写真2に示すようなシステムに採用している。すなわち、上引層が結晶化ガラスのヌーセライトと、高耐食性ガラスの2種類によって構成されている。従ってガラス面への機械的衝撃は、ヌーセライトの層で食い止め、腐食に対しては、最上層の高耐食性ガラスによって保護されるわけである。このヌーセライト#8000の主な特長は次の通りである。

- 1) 耐衝撃性は一般耐食ガラスの約4.5倍
- 2) 万が一破損した場合でも、破損面積が通常ガラスに比べて小さいので、補修し易い。
- 3) 耐食性は当社標準高耐食ガラスと同等
- 4) 耐熱衝撃性は当社標準高耐食ガラスと同等
- 5) 従来のヌーセライトに比べ、ライニング施行性が大幅に改良されたので、品質が向上するだけでなく、攪拌翼やパッフル以外の本体への施行も可能になった。



第2図 衝撃エネルギーとガラス剥離部径との関係
Fig. 2 Relation between shock energy and chipped diameter of glass

ヌーセライト#8000とガラス#3100の落球衝撃試験の比較データを第2図に表わす。

試験方法は、一定の重量、大きさの鋼球を、一定の大きさのテストピースのガラス側に落下させるものであり、落高さの変位を衝撃エネルギーの大きさに換算した。その結果、第1図で明らかなように、#3100は6 Nm (3の鋼球を20 cmの高さから落下させたとき) より、ガラスの剥離部の径が急に大きくなるのに対し、ヌーセライト#8000は27 Nm (90cmの高さ) となり、#8000の方が衝撃に対して優れていることが分かる。

4 最近の特殊用途ガラス

4.1 超低温用高耐食ガラス

これまで当社は、医薬品製造分野の低温使用向けガラスライニング機器として、使用温度 -80°C までの要望に対しては、ガラスライニング用素地金属に、SLA33A及び5%Ni鋼等の低温圧力容器用鋼板を用いて対処納入してきた。

しかし近年、これまでの使用温度 -80°C より、さらに低温で使用できるガラスライニング機器の必要性が高ってきている。そこで素地金属に、オーステナイト系ステンレス鋼を用いたガラスライニング機器を開発することによって、約 -200°C 迄の使用を可能とした。

このステンレス用高耐食性ガラスは素地金属として、熱膨張係数が普通のガラスライニング用鋼に比べて、大きいオーステナイト系ステンレス鋼を用いているため、今迄のような、ライニングガラス並の熱膨張係数では、特に低温での機械的、熱的強度が保持できない。そのために、熱膨張係数を大きくするようなガラス組成になっている点がある。

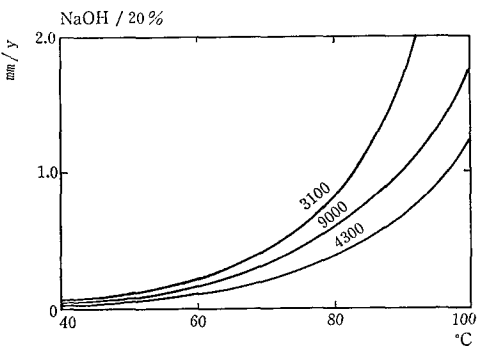
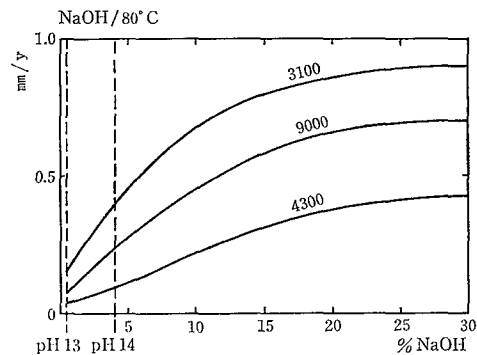
以下にガラス及びガラスライニング機器としての主な性を記す。

1) オーステナイト系ステンレス鋼の前処理方法と、専用の下引ガラスの開発によって、従来のガラスライニングと同等の密着度が確認された。

2) 耐食性は、旧当社標準ガラス#6100相当であってJIS規格の、化学工業用ガラス「1種」として十分使用できるものである。

3) 使用可能温度は、約 -200°C ~ 200°C であり、耐熱衝撃性は、当社標準ガラスと同じである。

4) ガラスの機械的衝撃強度は、当社標準ガラスより優れ



第3図 #4300の耐食性
Fig. 3 Corrosion resistance of #4300

ている。特に低温になるほど向上する傾向がある。

2.4.2 耐アルカリ用ガラス「#4300」

前述したように、主に酸性成分より成るガラスは、アルカリ溶液に対しては、酸に対するほど耐食性は強くなく、特に温度、濃度の上昇には加速度的に腐食が顕著になるため、一般に高温、高濃度のアルカリ性雰囲気中においては、金属材料が多用される。

しかしながら金属を嫌う内容物では、ガラスの必要性が出てくる。

当社の#4300は、このような要求に応じて、特に耐アルカリ性を向上させたガラスである。その性能を第3図に示す。上のグラフは年間腐食率と濃度、下のグラフは温度との関係を表わしている。

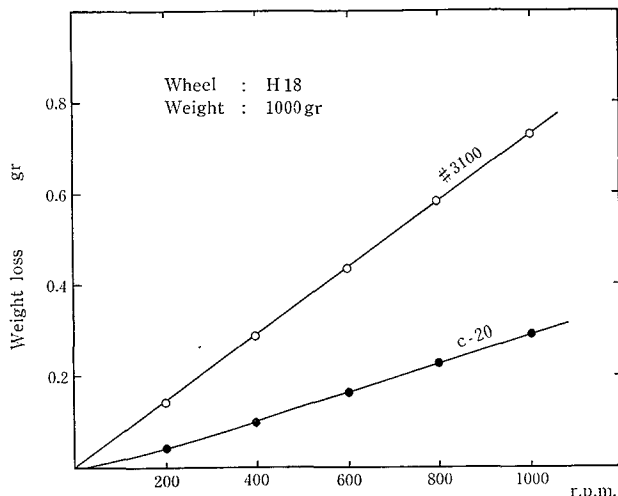
#4300の主な用途としては以下の通りである。

- 1) 金属イオンによる汚染を嫌うアルカリ物質
- 2) 金属との接触によって起る変色を嫌うアルカリ物質
- 3) 金属との接触で敏感に影響する高分子のアルカリ物質
- 4) アルカリ域では、缶体金属の酸化、還元が不安定になる場合

2.4.3 耐磨耗性ヌーセライト「C20」

前述したように、ヌーセライトの構成成分は、ガラスと無数の微細な結晶であり、これらの結晶はガラスマトリックス中に適当に分布している。結晶にはいろいろなものがあり、それぞれによって、ヌーセライトとしての機械的、物理的、化学的性質が異なるものである。

ヌーセライトC20は、通常のガラスに比べて、耐熱衝撃



第4図 スーセライトC20の耐磨耗性
Fig. 4 Abrasion resistance of nucerite C20

性も優れているが、特に耐磨耗性に富んでいるので、耐磨耗性を要求される部分に使用している。標準ガラスとの耐磨耗性の比較を第4図に示す。この試験はテーバーの磨耗試験機により、回転しているテストピースのガラス側に砥石を当てて、ガラスを強制的に磨耗させる方法である。縦軸が磨耗によって減少したガラスの重量で、横軸はテストピースの回転数を示している。

スーセライトC20の方が、#3100より約2倍優れていることが理解できる。

但し施行性、耐食性は標準耐食ガラスより劣っているので、使用出来る範囲が狭い。当社では、ノースリーブタイプの攪拌翼の軸頭部にのみ、標準仕様として使っている。

2.4.4 トリーターロール用ガラス「T-31」

近年プラスチックフィルム、紙、金属箔などの印刷性、接着性を改良するために、電気処理法の一つとして、コロナ放電処理が広く採用されている。ガラスライニング製トリーターロールは、このコロナ放電用受ロールとして、多くの長所を有しているので、従来の樹脂製、ゴム製のロールに変わるものとして、非常に脚光を浴びている製品の一つである。

トリーターロールに要求される主な性能としては

- 1) 精密な寸法精度
- 2) 高い硬度で傷が付かない。
- 3) 高温に耐え得る。
- 4) 放電時に発生するオゾンに侵されない。
- 5) 常温から高温まで、安定した高い誘電定数を示す。
- 6) 高い耐電圧強度を有する。
- 7) 平滑な表面で製品を傷つけない。

これらの要求事項に対して、ガラスライニングはほとんど満足できるものであるが、なかでも特に、電気的特性、表面の平滑度を改良したガラスがT-31である。

各種のロールカバー材の誘電定数を第2表に示す。

2.4.5 メゾンデ pH 電極用ガラス

化学工業において、反応の制御等には、一般に pH 計が用いられるが、運転中の反応釜中の pH 値を直接測定することは、熱的、圧力的、機械的にも非常に厳しい条件となり、不可能な場合が多い。メゾンデ pH は、これらの諸問

第2表 ロールカバー材の誘電定数

Table. 2 Dielectric constant of roll cover material

Material	Dielectric constant
Natural gum SBR	2.5~4
Silicon gum	3~5
Epoxy resin	3.5~5
Hyperon	4~6
Chloroprene gum	5~8
Standard glass	6~7
「T-31」	8

題を解決したガラスライニング製 pH 計であり、従来のガラス膜電極では不可能とされていた条件下においても、pH 値の測定を可能にした。

pH 計は、被測定溶液中の水素イオン活量の大きさに比して、電極部に発生する電位を測定するものであり、電極部のガラスは、必然的に抵抗値の小さなものが要求される。メゾンデ pH は構造のみならず、pH 測定に必要なすべての電気的特性と、耐食性を備えた電極用ライニングガラスに大きな特長をもっている。

3. ライニングガラスの評価

今迄述べてきたガラスは、全てライニングガラスであり、常に素地金属との接合性、化学的性能、機械的性能が考慮されている。このことはガラスライニングの基本原則であって30年経過しても変わっていない。但し、それらの評価の方法、精度は年々向上してきている。以下に現在のライニングガラスの評価について記述する。

3.1 残留圧縮応力

ガラスライニングや琺瑯の、基本原理である、金属とガラスの結合のメカニズムというのは2種類ある。1つは機械的結合であり、もう1つは化学的結合である。

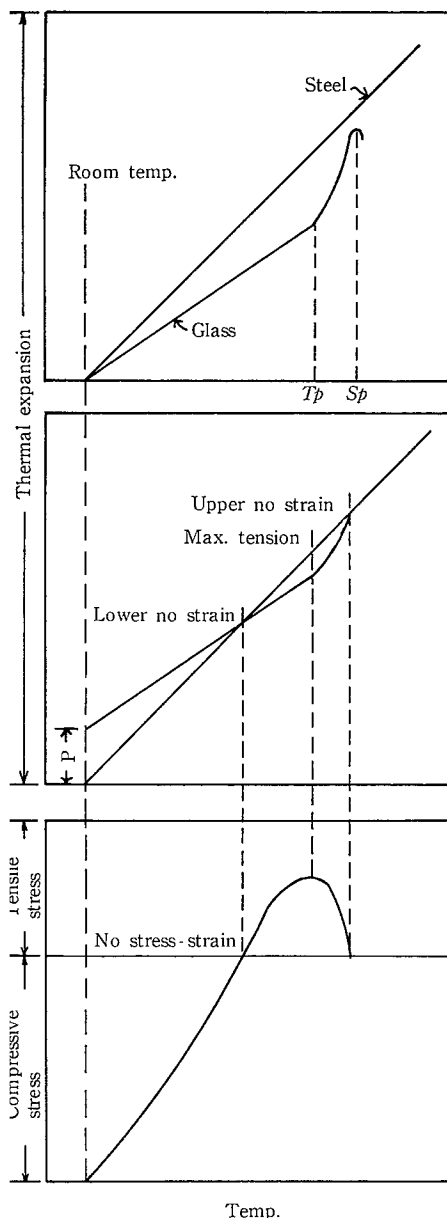
前者は素地金属の前処理として、酸洗、サンドブラストを行なって素地に凹凸を形成するために、その表面で溶融したガラスが凹部に入り込み、冷却固化することによって、くさび状の結合をするというものである。

後者については、素地の Fe イオンが、ガラス中に含まれている CoO, NiO, MnO 等と高温中で $\text{Fe} + \text{CoO} \rightarrow \text{FeO} + \text{Co}$ なる反応を起こし、鉄珪酸塩の中間体を形成し結合することを意味している。

このように結合されたガラス自体が、一般のガラス単体に比べて、はるかに高強度である理由は、熱膨張特性の異なる2種類の物体が、結合、固化したことによってガラス側に内在された残留圧縮応力による。すなわち、急冷操作によって得られる、一般の強化ガラスと同じである。

ライニングされたガラスが、機械的応力に対して、素地金属の降伏点まで割れずに耐えるのは、この残留圧縮応力に起因する。

最近のライニングガラスは、平均約20 kg/mm²の残留圧縮応力を有するように設計されている。そして、この値を支配する要素としては、ガラスのライニング厚み、ライニング部の形状もあるが、主として、素地金属とガラスそれぞれの熱膨張特性であることは前述した通りである。



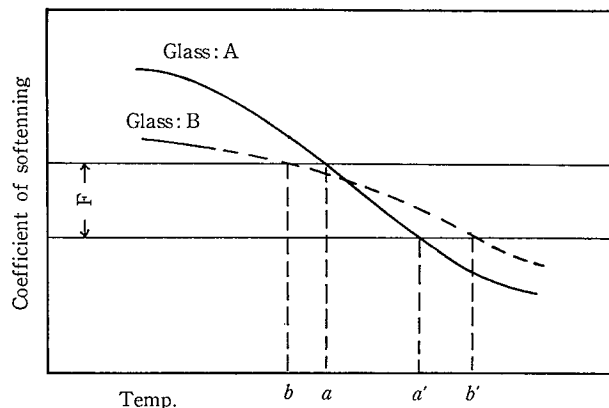
第5図 ライニングガラスと素地金属の熱的特性
Fig. 5 Thermal property of lining glass and steel

2 Stress-Strain

それでは、その残留圧縮応力が内在されるプロセスと、その状態でのライニングガラスの熱的特性について説明する。

第5図の上段のグラフは素地金属(Steel)とライニングガラス(Glass)の、常温から500°C付近までの熱膨張曲線を示している。

一般にGlassはSteelより熱膨張係数が小さく、転移点(T_p)、軟化点(S_p)が存在することが特長である。このような特性をもつGlassの粉末がSteel上において、軟化点以上の800~900°Cの高温で焼成された後、冷却され、急に粘性が高くなり、著しく高くなる軟化点付近からはSteelと異なったGlass特有の収縮が始まる。(第5図中段のグラフ)この点が高無歪温度(Upper no strain temp.)であり、この温度から転移点まで、急激に収縮が起こるた



第6図 ライニングガラスの熔融軟化曲線
Fig. 6 Softening curve of lining glass

めに、Glassに引張応力(Tensile stress)が働く。そして、転移点付近において引張応力が最大となる(Max. tension)。転移点以下常温までは、ほぼ直線的に、Steelより小さな収縮率で冷却されていく。この時、Glassに働いている応力が、引張から圧縮に変化する温度が低無歪温度(Lower no strain temp.)である。

このような変化を経て、最終的に常温迄冷却されたGlass中にはPなる量の圧縮歪が残ることになるわけである。第5図下段のグラフは、残留応力と温度の関係を示したものである。

それでは、ガラスライニングにとって、これらの熱的特性がどのような影響を及ぼすかを考察してみる。

まずPの値が小さすぎると、ライニングガラス中の残留圧縮応力が小さくなり、機械的、熱的衝撃に対して弱くなる。一方大きすぎると、ガラスとしての強度は向上するが、凸部にライニングされた場合、剥離し易くなる。

Max. tensionが大きくなると、焼成を繰り返す際の昇温、冷却の過程で、一旦ライニングされたガラスが、引張応力によって割れることになる。特に昇温時に割れたライニングガラスが、焼成され、その割れた部分が、再度溶けてふさがり、線状の跡になって残った状態を「ヘヤーライン」と呼んでいる。ヘヤーラインはガラスライニングによく見られるものであって、最終的には欠陥とならない場合が多いが、作業性という点からみれば問題である。Max. tensionは小さいほど良い訳である。同時にあまり高温側にならないほうが良い。この理由は、第5図には図示されていないが、Steelは冷却過程の約700°C付近において、結晶構造の変化による異常膨張が起こる。この膨張とライニングガラスの急激な収縮が重なり合うと、高い確率で割れて、そのまま常温まで冷却されてしまうからである。

3.3 熔融軟化性

ライニングガラスを焼成する温度は、下引ガラスの場合は、素地金属との密着率が最高になるような、上引ガラスであれば、焼成後のガラス表面が滑らかになり、かつ一定時間ホールドしても垂れ落ちてしまわないような、熔融軟化率によって決定される。特に上引ガラスの場合は、何回も繰り返し、施釉、焼成されるので、初回に焼成された上引ガラスが、流動しない様に毎回少しずつ温度を下げて焼成

される。従って、広い焼成温度範囲であることが望ましい。

当社の上引ガラスの溶融軟化率は、そのガラス粉末を、プレスでブロック状に押しかためて成形したものを、各種温度で焼成し、(ブロックの幅)/(ブロックの高さ)で表わし評価している。

第6図は、ライニングガラスの溶融軟化率(縦軸)と温度(横軸)の関係の一例を示したグラフである。

一般に焼成温度での、ライニングガラスの粘度は、常温中の水あめ程度で、 $10^5 \sim 10^6$ CPであり、溶融軟化率としてFで示される範囲とする。このときの Glass: Aの焼成温度a—a', Glass: Bの場合では b—b' という範囲となる。

すなわち、Glass: Bの方がGlass: Aより焼成温度範囲が広く、作業性に優れていることが判る。

これらの違いは、主にライニングガラスの酸化物成分の組成によって支配されるものであり、熱膨張特性、耐食性以外にガラスの成分設計をする際の、重要な条件になる。

3.4 耐食性

ガラスライニングは琺瑯と異なり、優れた耐食性を有していなければならない。このことはJIS R4201において規格されている。それによると、化学工業用として使用されるライニングガラスは、「1種」に属するものであり、耐食性としては、塩酸と水酸化ナトリウムの試験を義務づけている。耐塩酸性は $3.4 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{d}$ ($\approx 0.5 \text{ mm/y}$)、耐水酸化ナトリウム性は、 $7.2 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{d}$ ($\approx 1.1 \text{ mm/y}$) 以下の腐食率のガラスでなければならないとしている。()内の数字はISO規格の場合の表示方法で、年間腐食率を示す。当社では、カタログ等において、この年間腐食率で表わす場合が多い。勿論当社の化工機用ライニングガラスは1種に属するものであり、ISO規格にある耐水性をも十分満足している。そして、特にある腐食液に対し年間腐食率が 0.1 mm/y 以下になるような使用条件下においては「Aランク」と称し、1年365日を毎日24時間フル運転をして、5年以上耐え得ると判断している。 $0.1 \sim 0.2 \text{ mm/y}$ の条件では、「Bランク」と称し、2～5年の寿命であろうと推測している。これ以上の厳しい条件では耐食用ライニングガラスとしての使用は「不適」と考えられる。

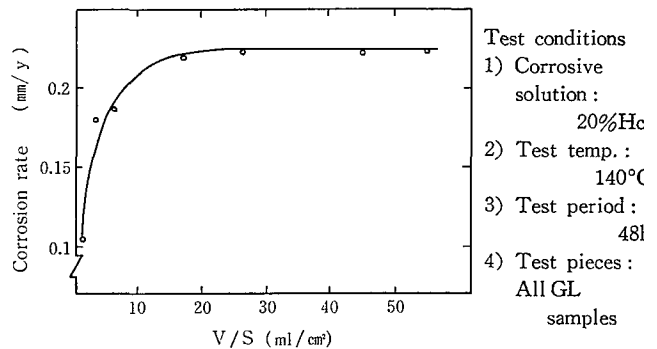
耐食性に有効なガラス厚みは、以上のことから、最小値 0.5 mm が必要である。

一般的には、 $1.2 \sim 1.5 \text{ mm}$ の厚みにライニングしており、Aランクの使用条件であれば、十分に5年以上耐え得るものである。

3.5 耐食データに及ぼす溶出シリカの影響

ライニングガラスの耐食性を評価する場合、JIS等の規格に準じて行なうことは当然であるが、それ以上に実際の使用条件に少しでも近い条件下で試験しておくことが重要なことである。事実、薬液の種類、濃度、温度などによって、腐食の形態もずいぶん違うものである。少なくとも、ライニングガラスとして使用の可否を決定し易くするためには、高温耐食試験は欠かせないものの1つである。

高温耐食試験については、何ら定められた方法がある訳



第7図 腐食率とV/Sの関係

Fig. 7 Relation between corrosion rate and V/S

ではなく、当社においても独自に開発した装置を用いて、試験を行なっている。この試験法を検討した時に、多くの知見を得た。その1つがV/S値と腐食量の関係である。Vは腐食液の量であり、Sは腐食されるライニングガラスの面積である。

酸性溶液の液相部のガラスが、腐食によってミクロンオーダーの深さまで浸食されると、腐食液中には、ガラス中の各成分が、ガラス組成比で、溶出されてくる。つまり主成分である SiO_2 が多量に溶出され、腐食液の量次第では、飽和状態になってしまう。そうすると、時間に関係なく腐食が進行しなくなり、得られるデータに信頼性がなくなる。一例を第7図に示す。

このグラフから明らかなように、48 hrの試験の場合、V/Sが約20以下においては、溶出した SiO_2 によって腐食が緩和され、年間腐食率が小さくなっている。酸性溶液の液相部のガラスの耐食試験を行なう時は、V/Sを20以上になるような条件を設定する必要があるということを示している。

V/Sが20以下であっても腐食時間が短かければ、溶出シリカの影響の無いことも確認できたが、この方法においては、腐食減量が少なく、他の要因による誤差が大きくなり、適当な試験条件とはいえない。

4. 新しい標準ガラス #9000

4.1 #9000の特長

近年、化学工業界にもファイン化指向が高まるに伴い、酸性の腐食条件中に中和・洗浄などの為、アルカリ性物質を使用することが増えてきた。また、1つの機器で種類かの反応を行なうマルチパーパスの機器の要求などがあり、アルカリ性に対しても強いライニングガラスの開発が必要となった。

この場合、ライニングガラスの耐アルカリ性を向上させるために、最も簡単に考え出される方法は、ガラス中のアルカリ成分を増すことである。ところがアルカリ成分を増すと、相対的に酸性成分が減少し、耐アルカリ性は向上するが、逆に耐酸性が劣る結果になる。耐酸、耐アルカリ両方を向上させることは原理に反し非常に困難なことである。しかしながら、高耐酸性を維持しつつ耐アルカリ性をも向上させることがライニングガラスにとって不可欠な条件となってきた。

第 3 表 耐食データ
Table. 3 Corrosion data

	Unit : mm/y		
	20% HCl B.P. V.P.	Pure water B.P. V.P.	4%-NaOH 80°C L.P.
#3100	0.04	0.01	0.35
#5000	0.05	0.02	0.25
#9000	0.04	0.01	0.20

そこで考えられる成分が ZrO_2 である。 ZrO_2 について、コンクリート補強用耐アルカリガラス繊維の、中核をす成分としてよく知られており、実績も多い。ライニングガラス組成にも、この ZrO_2 を増せば、耐酸性を維持しながら、耐アルカリ性を向上することができる。最近の耐アルカリ用ガラスというのは、この種のガラスに属するものである。 ZrO_2 は耐食性向上には、非常に効果的であるが、面、ガラス溶解温度、焼成温度の上昇、熱膨張係数が小さくなることによって、残留圧縮応力が大きくなり過ぎ、などの問題がある。そのためにガラスとしては、必然に増加量が制約され、ひいては耐食性の向上にも限界がくる。無理に増加したものでは、作業性の低下により機として使用中にガラスが剥離するなど、トラブルが発生の可能性が高く、装置としての品質面に問題が残る。これら諸問題を全て解決し、作業性は従来の標準ガラスに良好で、かつ耐食性は酸から水、アルカリに至るまで域において、更に一段と優れたガラスが、新しい標準ガラス#9000である。以下に主な特長をまとめる。

- ）耐酸、耐水性は最も優れている #3100 同等以上で、耐アルカリ性は約 2 倍上回る。
- ）ライニング中に有害な分相、結晶化が起こらず、ガラスとしての安定性に富む。
- ）ヘーライン、毛穴等が少なく、作業性が良い。
- ）これらの結果、化学的にも物理的にも優れたガラスライニング機器が製作でき、寿命の延長につながる。

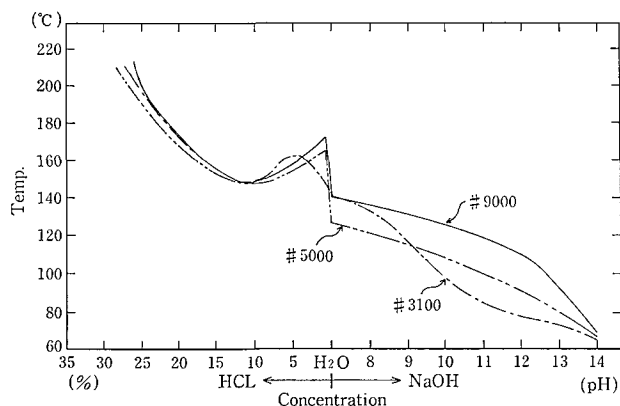
2 耐 食 性

J I S 及び I S O の規格に準じて、行なった試験結果を 3 表にまとめる。

この結果より、耐酸性（耐塩酸性）、耐水性は #3100 と共に維持して、耐アルカリ性が大きく向上していることが分かる。 ZrO_2 を耐アルカリの主成分として成し得た用ガラス #5000 よりも、全体に優れていることも理解できる。

これらの性能を、更に実用的に表現したグラフを第 8 図示す。

このグラフは、各ガラスが「A ランク」として使用出来



第 8 図 使用限界温度曲線(≤0.1mm/y)

Fig. 8 Temp. curve of utilization limit (≤0.1mm/y)

る温度と、塩酸濃度、あるいはアルカリの pH 値との関係で示したものである。耐酸、耐水性を追求した #3100 は耐アルカリ性が若干劣っているが、#9000 は、全域において、最高の耐食性を有している。

4.3 その他の性能

4.3.1 Stress-Strain

#9000 は Max. tension が小さくなっている。このことは前述したように、焼成作業時の昇温、冷却過程でのガラスに加わる引張応力が、小さくなったということであり、ヘーラインの発生が減少する。そのため、作業性の向上により、機器としての品質の向上にもつながるものである。

4.3.2 耐熱衝撃性

#3100、#5000 と同等である。

4.3.3 その他

機械的衝撃性、物理的性能等は従来のガラスと同一である。

4.4 用途

#9000 は、#3100、#5000 同様、全ての機器への適用も可能であるが、顧客の要望に応えるべく主に、高耐食性を必要とする分野へ利用していく予定である。

ソーセライト #8000 の最表層の高耐食性ガラスも白色の #3100 から白色の #9000 (#9000 P F) に代えることが可能で、この場合は「#8100」と呼称される。

5. む す び

ライニングガラスは耐食性のみならず、作業性を向上させて、最高の状態で仕上げ、機器としての性能を 100 % 発揮させなければならない。#9000 は、このような観点に立って開発したガラスであり、ユーザー・ニーズを完全に満足させるものであると確信する。

クライオロックアジテータ

“Cryo-lock” Agitator

化工機事業部 製品開発室

山崎 忠成

Tadashige Yamasaki

化工機事業部 技術部 設計企画課

松原 喜一

Kiichi Matsubara

神鋼フアウドラ・サービス株式会社

桑原 晴彦

Haruhiko Kuwabara

The “Cryo-lock” agitator has been developed to make it possible to remove the impeller from the shaft. Therefore, the impeller can be assembled to the shaft inside the vessel by means of its unique “shrink fit joint”, although the shaft and impeller used to be of one-piece construction for glasslined vessels.

This report describes the features, assembly and disassembly procedures of the cryo-lock agitator and torque capacity of cryo-lock joints, etc.

グラスチール製攪拌機において、従来一体構造であった攪拌軸と攪拌翼を「冷しばめ」で結合することによって、両者は分離可能な構造となり、缶内で攪拌翼のみの組立分解が行なえるクライオロックアジテータを開発した。

本稿では、クライオロックアジテータの特長、組立分解、結合力等について説明する。

まえがき

グラスチールは、ガラスと鋼（スチール）の複合材料として“はば広い耐食性”，“非付着性”，“不活性”，“洗浄性”，“電気絶縁性”などですぐれた特性を持っているが、その材料の特殊性ゆえに用途が限定されていた。

当社では、急速に展開するユーザ・ニーズの多様化に対応するため、材料による制約条件を少しでも取除き、グラスライニングの用途拡大をはかるべく、日々研究を続けている。

従来グラスチール攪拌機の攪拌軸と攪拌翼は、一体構造でしか製作できなかったが、クライオロックアジテータの開発によりグラスチールにおいても金属材料の攪拌機と同様に、攪拌軸と攪拌翼を分離できる構造とすることができた。（写真1）また、クライオロックアジテータは、全面ガラスで被覆された部品同士を「冷しばめ」によって、機械的に強固に結合させる新しい接合技術としても評価することができると考えている。

1. クライオロックの特長

1.1 缶内で組立・分離が可能

クライオロックアジテータは、缶内で攪拌翼の取り付け取り外しができ、第1図に示すように攪拌翼は、マンホールから出し入れすることができる。それゆえ、軸封、減速機などの伝動装置部を取り外すことなく“容易”に攪拌翼の交換ができる。このことにより次の利点を挙げることができる。

- 1) 1台のグラスチール攪拌機で数種の攪拌翼を準備しておき、内容物等により攪拌翼を取り換えることによって、より最適な攪拌を行なうことができる。
 - 2) また、万一攪拌翼または攪拌軸が損傷した場合は、攪拌翼か、攪拌軸のどちらか一方のみの交換で済む。
- 1) については、従来のグラスチール製攪拌機でも対応

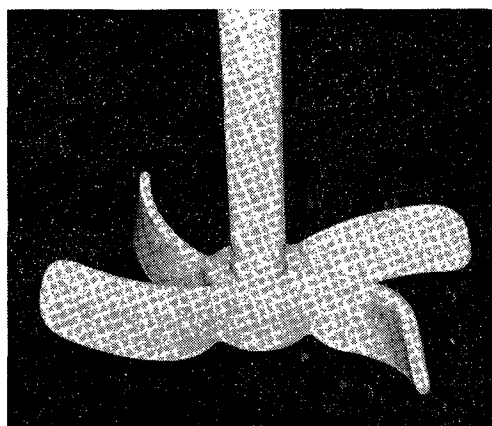
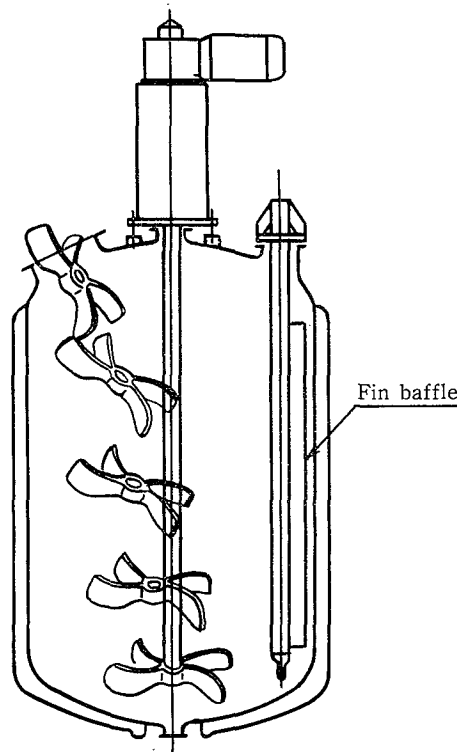


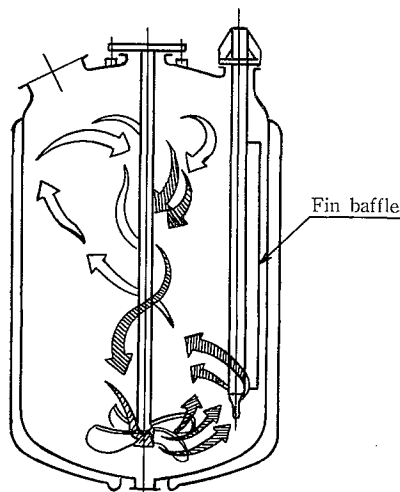
写真1 クライオロックアジテータ

Photo.1 Cryo-lock agitator

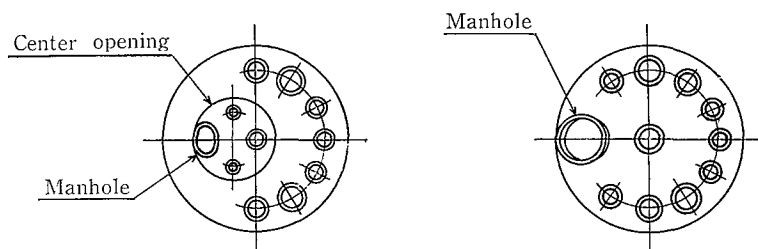


第1図 クライオロック攪拌翼の組立

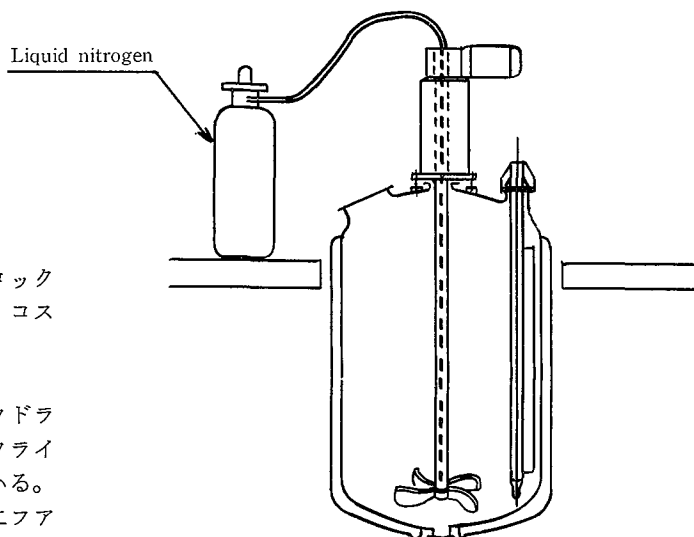
Fig.1 The cryo-lock agitator assembly



第2図 クライオロックアジテータのフローパターン
Fig. 2 Flow pattern by cryo-lock agitator



第3図 小さい攪拌口と大きなマンホール
Fig. 3 Smaller agitator opening and larger manhole



第4図 攪拌軸に液体窒素を送入
Fig. 4 Liquid nitrogen fed into hollow shaft

とせようと思えばできないことはないが、クライオロックは、上記1)、2)共に攪拌翼の交換に要する時間、コストを大幅に減少させることができる。

2. 強力な攪拌が可能

当社のグラスチール製攪拌翼の大半を占めるファウドラ-翼は、翼断面がオーバル形3枚後退翼であるが、クライオロックアジテータは平板4枚後退翼を標準としている。このクライオロックアジテータは、次に示すようにファウドラ-翼より、より強力な攪拌を行なうことができる。例として3000ℓ攪拌機で攪拌動力を測定した結果より、攪拌動力数 N_p によって比較すると、

ファウドラ-翼 $N_p=0.2$
(但し、 $d/D=0.73$, $b/d=0.09$)

クライオロックアジテータ $N_p=1.1$
(但し、 $d/D=0.49$, $b/d=0.19$)

ここで、 d :翼スパン b :翼幅 D :槽径となる。但し、回転数(100R/M)、液深($H/D=1.25$)、バッフル条件(フィンバッフル1本)は同条件である。 N_p 値は槽と翼寸法比、即ち、 d/D , b/d 等によって異なるが、標準寸法にあっては、クライオロックアジテータの N_p 値は、ファウドラ-翼の N_p 値の約5倍である。攪拌動力係数 N_p 値の大小のみによって攪拌翼特性を比較することはできないが、クライオロックアジテータ、ファウドラ-翼は共に同じ後退翼で、吐出剪断型翼といえるので、クライオロックアジテータは、ファウドラ-翼より剪断作用が強く、かつ吐出流量を多く必要とする攪拌系——例えば、ガス分散、乳化重合、懸濁重合等——に最適であると与えられる。第2図にクライオロックアジテータとフィンバッフルとの組合せによるフローパターンを示す。

従来の攪拌翼では、焼成条件等により翼形状において多くの制約条件があった。しかし、クライオロックアジテータの攪拌翼では、多様な形状の攪拌翼の製作が可能になるため、ステンレス製攪拌機で蓄積してきた攪拌翼ノウハウがグラスチール製攪拌機にも応用することが可能である。

3. 大きなマンホール、多数のノズル取付けが可能

クライオロックアジテータでは、従来一体構造の攪拌

翼、軸の出し入れに必要な、大きなセンターオープニングが不要となるので、上鏡のスペースが広がるため第3図に示すようにマンホールのサイズを大きくすることができ、また、配管用ノズル数を増すことができる。

1.4 高耐食性

クライオロックは、攪拌軸、攪拌翼とも「冷しばめ」部を含めて全面に、今回当社で開発された高耐食性グラス#8100がライニングされているので、従来のグラスライニングに増して厳しい腐食環境でも使用できる。

以上がクライオロックの特長であるが、そのグラスライニングとしての機械的強度、熱的性質(耐熱性、耐熱衝撃性)などは従来のグラスチール機器と全く同等である。

2. クライオロックの分解・組立

クライオロックの主な特長は、缶内で攪拌翼の組立、分解が可能なことであり、更にその作業が短時間でしかも簡単に施行することができることも大きな利点である。

次に、缶体にセットされた攪拌軸から攪拌翼の取外し(分解)及び、取付け(組立)の手順を示す。

2.1 分解

- 1) 第4図に示すように減速機の中空軸にパイプを攪拌軸の先端まで挿入し、液体窒素を送入する。
- 2) 液体窒素によって攪拌軸は収縮し攪拌軸と翼ボスの接合部がゆるんでくる。
- 3) 攪拌翼が攪拌軸からすべり、缶底のクッション材に落下する。

4) 攪拌翼をマンホールから取り出す。

2.2 組立

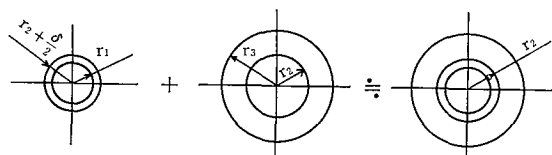
- 1) 新しい攪拌翼をマンホールから入れ、缶底におかれたタイヤチューブの上におろす。
- 2) 攪拌翼を攪拌軸の真下にセットし、攪拌軸に結露防止等の養生を行なう。
- 3) 再び液体窒素を送入後、5分位で攪拌翼ボスが挿入できる軸径まで攪拌軸が収縮する。
- 4) 液体窒素の送入を止め養生を取り外す。
- 5) タイヤチューブに空気を送入すると、膨らんだタイヤチューブが攪拌翼を持ち上げる。
- 6) 攪拌翼を攪拌軸にセットしてその状態を保持する。
- 7) 攪拌軸内の液体窒素が蒸発し、攪拌軸が元の寸法に戻ると攪拌翼はしっかりと固定される。

組立に要する時間は約1時間であるが、上記3～7までは約15分位で終了する。このように容易に攪拌翼の組立、分解ができ、しかも缶内での作業に金属工具を使用する必要がないので、グラスライニング部への損傷の可能性を最小にしている。

3. クライオロックアジテータの接合部の圧縮力と結合力

クライオロックアジテータにおいて攪拌軸と攪拌翼とを冷しばめで結合する時、接合部に発生する圧縮力と結合力について述べる。

いま、外半径 r_2 、内半径が r_1 である軸に 外半径が r_3 であるボスをしまりばめ代 δ で冷しばめ時に P_m なる冷しばめ圧力が生じるとする。攪拌軸、ボスのガラス部も鋼と仮定しヤング率を E とすると



$$\delta = \frac{2}{E} \left(\frac{r_2^2 + r_1^2}{r_3^2 - r_1^2} + \frac{r_3^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \right) P_m r_2$$

が成立する。 r_1 、 r_2 、 r_3 及び E が一定とすると $P_m \propto \delta$

となり、圧力 P_m はしまりばめ代 δ に比例する。ゆえに冷しばめ時において、接合部のガラスに発生する応力値は、攪拌軸外径と攪拌翼ボス内径のしまり代 δ を一定範囲内にとどめていれば一定値(許容値)を越えることはない。

従って、攪拌軸外径と攪拌翼ボス内径のガラス面寸法を一定公差範囲内に仕上げる必要がある。

当社では、ガラス面に外径、内径のホーニング加工を行なうことによって寸法精度を向上させ表面を滑らかにしているので、接合時の応力によるガラス破損の心配はない。また、ボス部を厚肉円筒とすることにより、ボス外面のガラスに生じる引張力をも小さくしている。

攪拌トルクによって、攪拌軸と翼ボス接合部で、すべりが生じるかどうかは接合部の結合力から判断できる。その結合力は、軸外面のガラスとボス内面のガラスの摩擦力 F から成り立っている。摩擦力 F は、ガラス面に生じているしまりばめ圧力 P_m をガラス同士の摩擦係数 μ 、接合部面積 S により

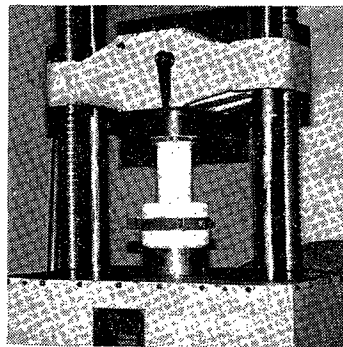
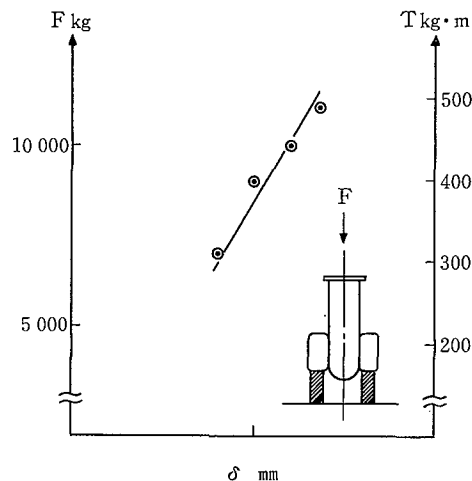


写真 2 結合力テスト
Photo.2 Amsler type universal tester for frictional force



第5図 冷しばめに対する摩擦力と結合トルク
Fig. 5 Interference vs Frictional force and Frictional torque

$$F = \mu P_m S$$

と表わせる。

接合部の摩擦力 F は、写真2に示すようにアムスラー型万能試験機に攪拌翼ボスを固定させ、攪拌軸に荷重を加え、攪拌軸とボスにすべりが生じた時の荷重を測定することにより求めた。

第5図に冷しばめ δ に対する摩擦力 F をプロットした結果を示す。

攪拌トルク T は、 $T = 2r_2 F$

となる。

第5図右側の座標軸は攪拌トルクを示す。

第5図より、攪拌軸と翼ボスの結合部での伝達トルク $T = 320 \text{ kg} \cdot \text{m}$ は、攪拌軸の最大攪拌トルクの約8倍以上であるが、この結合を保証するためには、しまりばめ代 δ を一定範囲内に仕上げねばならない。このことから前記と同様にガラス面の精密なホーニング加工が必要である。

むすび

以上、従来のグラスチール反応機のイメージより一段と進んだクライオロックアジテータについて概説したが、これは、高度の焼成技術とガラスの機械加工技術とがあいまって初めて開発できたものである。現在、当社ではクライオロックアジテータ適用機種を2000ℓ～10000ℓまで標準化しており、また、アンカー翼のクライオロックをも製作している。今後、ユーザ各位のニーズに対応するためにも、クライオロックアジテータのパリエーションとして種々の攪拌翼形式を提供していきたいと考えている。

低騒音乾湿併用形冷却塔に関する白煙観測結果報告

Report of Visible Plume Observation for W/D and Low Noise Cooling Tower

冷却塔事業部 技術課

原 田 征 一

Seiichi Harada

Since the first delivery of wet/dry cooling tower in 1974 and the low noise cooling tower in 1977, more than 70 cooling towers of both type have been delivered to our customers.

The effectiveness of visible plume abatement was tested, by installing three different attachments, onto a low noise cooling tower combined with wet/dry hybrid system.

ま え が き

当社の乾湿併用形冷却塔と低騒音型冷却塔の各1号機は、1974年と1977年に納入されて以来、これら2種の納入実績総数は既に70基に達している。

上記の冷却塔の中から、排出空気の影響効果を高めるために、乾湿併用形と低騒音型を融合した低騒音乾湿併用形冷却塔に対して付加ユニットを取り付けた状況で実施した白煙観測の結果を報告する。

構 造

乾湿併用形冷却塔は、冷却塔からの排出空気が過飽和域で白煙となる可視ブルームを減少させるために採用されるのが一般的であるが、ここで紹介する冷却塔の場合、騒音直についても厳しく規制されているために、外観は写真1のように低騒音型冷却塔と同じになっている。内部は第1図に示すように片側に湿式部と、反対側に乾式部を設け、両方を別個に通過してきた空気を混合させながらファンによって排出する、いわゆる対向流式になっている。乾式部の後部には湿式運転時における乾式部からの空気の遮断、及び乾湿併用運転時における乾式部からの空気量の調節を行うために、ダンパーを設置している。循環水は乾式部を経由して湿式部に流入する方式である。なお、本冷却塔は某用塔の約1/3にスケール・ダウンしたものである。

1. 白煙観測結果

第1図は原形の内部構造を示しているが、この状態にお

ける排出空気の流れは、完全に混合するには至らず、湿式部と乾式部を通過した後各部に近い経路をとり分離したまままで放出される傾向がある。

そこで、上述のような混合傾向を改良するための付加ユニットとして第2、3、4図に示すものを考案し、その効果を確認するために白煙観測試験を実施した。

3. 付加ユニットの特長

3.1 気流変更板

気流変更板は第2図に示すように背面（充填材側）から流入する気流を、角度を持たせたブレードに衝突させて気流を分散させ、上昇過程での混合効果を向上させることを目的に、設計したものである。角度を適当に組み合わせることによって、気流の方向に対する変更度合いの強弱を調整できる。ブレードをリンクバーにより結合して、ワンタッチの可変ピッチにして、取り扱いを簡便にすることができる。

3.2 案内羽根付ファンスタック

案内羽根付ファンスタックは、第3図に示すようにファンにより排出される空気流の旋回方向と同じ方向に、下部から上部へ傾斜した案内羽根を取り付けた円筒で、流入気

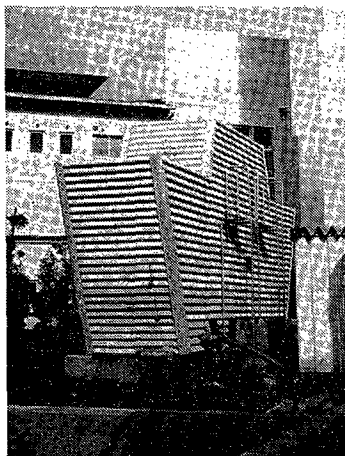
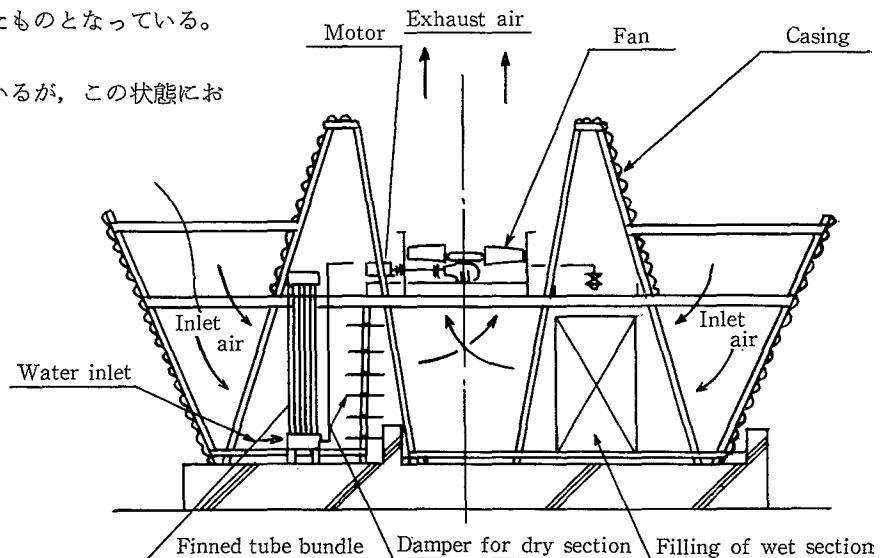


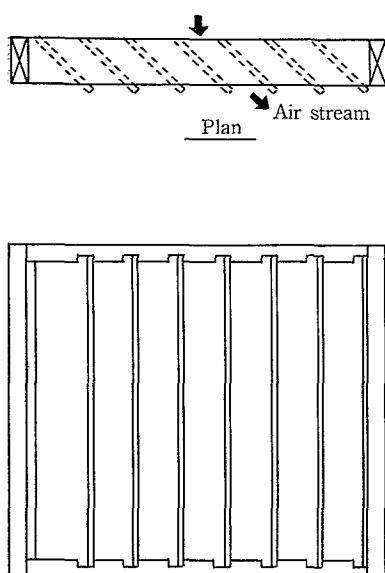
写真1 冷却塔の外観

Photo.1 A view of test tower

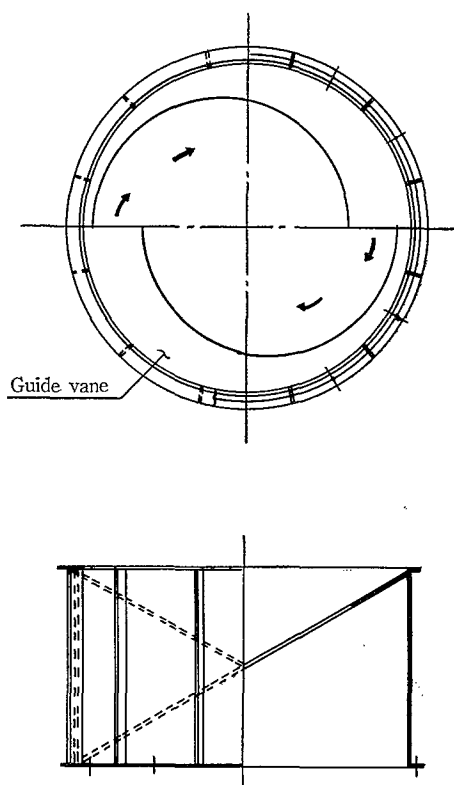


第1図 内部構造

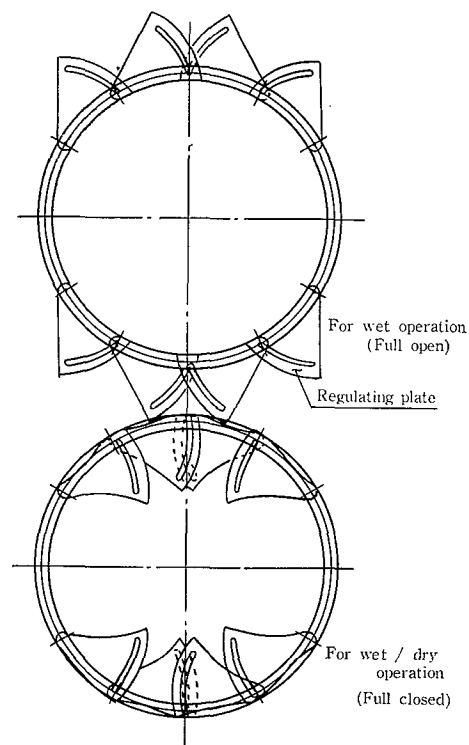
Fig.1 Cross section of test tower



第2図 気流変更板
Fig. 2 Damper unit



第3図 案内羽根付スタック
Fig. 3 Stack with guide vane



第4図 吐出口調整板
Fig. 4 Regulating plates for outlet area

流の上昇側の羽根巾を広くして気流を抑圧して乱れを助長させることにより混合効果を高めるよう設計したものである。

3.3 吐出口調整板

吐出口調整板は第4図に示すようにファースタックの上部に扇形の板を取り付けて、内側への突出した寸法を変化させることにより吐出口からの上昇気流を部分的に抑圧して混合を向上させるよう設計したものである。この扇形板は、湿式運転時には全てを外側に向けることにより通常と変わらぬ状態で運転することが可能な構造となっている。

4. 白煙観測時のケース分類

原形状態の湿式運転及び乾湿併用運転時の観測と併せて上記各ユニットを取り付けた場合についての白煙観測を実施した。観測ケースは冷却塔の運転状態により次のように分類した。

- | |
|-------------------------|
| ケース1：原形湿式運転 |
| ケース2：原形乾湿併用運転 |
| ケース3：気流変更板付乾湿併用運転 |
| ケース4：吐出口調整板付乾湿併用運転 |
| ケース5：案内羽根付スタック付乾湿併用運転 |
| ケース6：気流変更板及び案内羽根付乾湿併用運転 |

5. 白煙観測要領及び結果

各ケースにおける白煙発生状態を、目視及び写真撮影により観測することとした。

白煙観測時は、循環水量を設計値(35m³/h)にセットして実施したが、その他の条件は、入口水温30℃～40℃、外気温度5℃～12℃、外気湿球温度-0.5℃～8℃および自然風速0～3.5m/sec.であった。

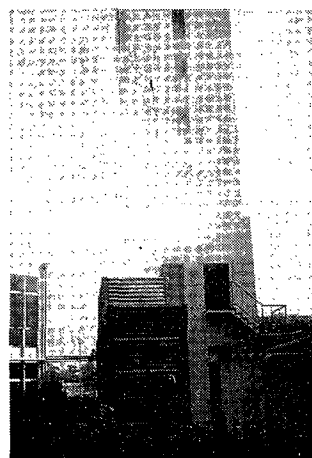


写真2 ケース1での白煙状態
Photo.2 Plume length
(case 1—13.0m)

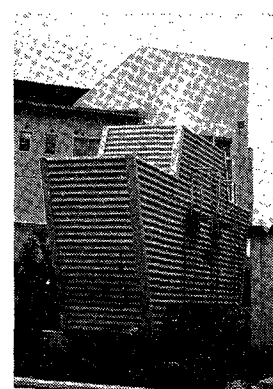


写真3 ケース2での白煙状態
Photo.3 Plume length
(case 2—1.4m)

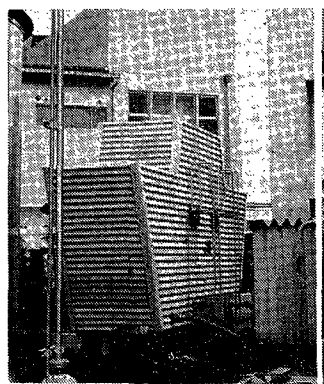


写真4 ケース3での白煙状態
Photo.4 Plume length
(case 3—0.5m)

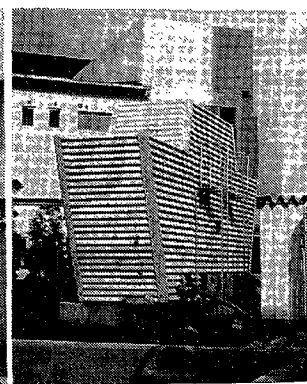


写真5 ケース4での白煙状態
Photo.5 Plume length
(case 4—4.0m)

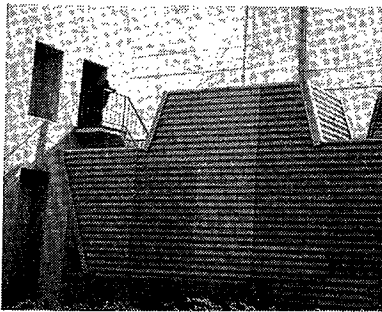


写真 6 ケース 5 での白煙状態
Photo. 6 Plume length
(case 5—1.0m)

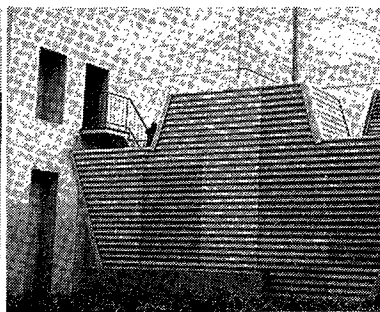


写真 7 ケース 6 での白煙状態
Photo. 7 Plume length
(case 6—0m)



写真 8 気流変更板取付状態
Photo. 8 A view of damper unit



写真 9 吐出口調整板取付状態
Photo. 9 A view of regulating
plates

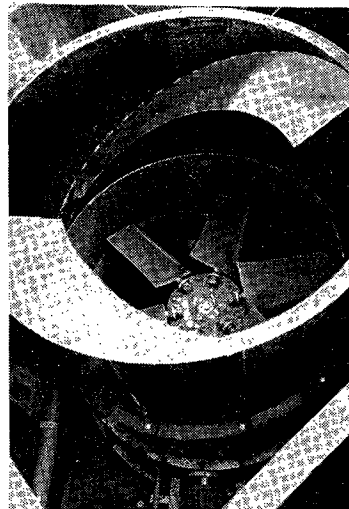


写真 10 室内羽根付スタック取付
状態
Photo. 10 A view of stack with
guidevane

第 1 表 白煙観測結果の評価

Table 1 Evaluation of plume observation results

Case No.	Mean length observed (m)	Corrected length based on design base (m)	Decrease rate of plume (%)
1	13.0	20.0	—
2	1.4	7.5	91
3	0.5	1.0	99
4	4.0	5.8	92
5	1.0	1.5	98
6	0	0	100

各ケースにおける白煙発生状態は写真 2～7 の如くで、この時の目視記録は写真に併記した通りである。これらの写真によっても付加ユニットの混合改良効果は十分確認できるが、各ケースにおいて温度条件に差があるためベースを設けて補正する必要がある。付加ユニットの取付状態は写真 8～10 の通りである。

6. 結果の評価

6.1 白煙観測結果の評価

5 項のデータ及び写真を利用して各ケースにおける発生白煙量（長さ）を求め、設計値をベースとして他のケースにおける温度条件の相違について弊社独自の解析手法を用いて評価することにした。これにより得られた各ユニットの白煙低減効果に対する評価はおおよそ第 1 表の如くであり、原形湿式運転時（ケース 1）の発生白煙を 100 % として他のケースにおける発生白煙を対比したものである。

但し、この評価はあくまでも平均的なものであり、外気条件、特に湿度が極端に高い場合については十分な検討を行うことが必要である。

7. 混合向上ユニットの冷却性能への影響

白煙観測と併行して実施した冷却性能に関する計測データについて検討し、原形乾湿併用運転時（ケース 2）における冷却性能をベースにして対比したのが第 2 表である。

第 2 表 付加ユニットの冷却性能への影響

Table 2 Effect of additional units on Cooling capacity

Case No.	Cooling Capacity	Remark
2	±0	Values with plus mark mean temp. rise of cold water
3	+0.1°C	
4	+1.0°C	
5	+0.4°C	
6	+1.3°C	

むすび

この一連の試験で得た結果について白煙対策用として限定して評価するならば、その効果は大きいと言える。その反面冷却性能への悪影響もまた大きく、これを改良してより実用的なものにすることが今後の課題である。

創エネルギーの実証：ABCシステム

ABC system has Demonstrated the Profit of Energy Production through Wastewater Treatment

環境装置事業部 製品開発室
東 野 宏 昭
Hiroaki Higashino

Anaerobic biological treatment is a process in which organics of wastewater are converted to methane. Conversion of organic pollutants to methane offers more significant advantages than aerobic treatment:

- (1) No energy consumption for oxygen transfer,
- (2) Energy is produced in the form of methane,
- (3) Much less excess biological sludge is produced,
- (4) Nutrient requirements are substantially reduced,
- (5) A higher degree of stabilization in treatment is possible.

ABC system is an anaerobic wastewater treatment process which has been developed by Shinko Pfaunder Company Ltd.

ABC system proved these advantages by full-scale wastewater treatment unit which has been operating at Nagata Sangyo Co. since 1984.

This paper will discuss technical and economic considerations for anaerobic treatment and review briefly the operating data of full-scale ABC system.

ま え が き

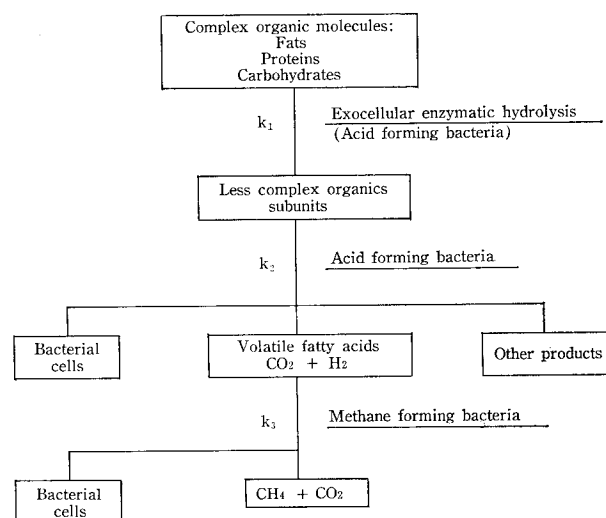
嫌気性処理技術は古くより、下水汚泥やし尿の処理，すなわち「嫌気性消化」として採用されてはいたが，有機性廃水（特に産業廃水）への適用は極めて少なく，生物処理といえば，活性汚泥法に代表される好気性処理のことをいうのが一般的であった。

しかし，嫌気性処理は好気性処理と比べて省エネルギー的であり，構成する微生物相も単純で維持管理の操作パラメーターもたてやすく，さらに発生するメタンガスが燃料として利用できることから，最近，内外で大きな注目をあびてきている。嫌気性処理技術をその中心技術とした「新しい夢の水総合再生利用システムを開発する」という国家的大型プロジェクトの構想も具体化しつつある。

当社は，この嫌気性処理に早くから着目し研究開発を進めるとともに，米国においてバイオニアとして多数の実績を有するセラニース社（Celanese Chemical Company Inc.）と技術提携を結び，固定床式嫌気性処理装置ABCシステム（Anaerobic Bio Contact System）を開発した。

本稿では

- 1) 嫌気性菌の増殖特性を示し，好気性菌と対比して，嫌気性処理が本質的にエネルギー節約型の方法であること。
- 2) 嫌気性菌の長所を最大限に生かして工夫された装置であるABCシステムは，メタンガスを有効に利用することにより，エネルギーを創造する設備であること。
- 3) ABCシステムの実装置（澱粉製造廃液）でのスタートアップから本運転までのデータを示し，馴養運転も非常にスムーズに進行し，維持管理も簡単で，安定した廃水処理とガス発生が実施されていること。



第1図 有機物の嫌気分解過程

Fig. 1 Sequential anaerobic biodegradation of a complex wastewater

などを中心にABCシステムの概要を述べることにする。

1. 有機物の嫌気分解過程

通常の好気性処理では酸素の存在下で，好気性微生物が有機物を，炭酸ガスと水までの無機物に分解するが，この過程で廃水中の有機物の40～60%は余剰の汚泥に転化する。また酸素供給（ばっ気）のため膨大な動力を必要とする。

これに対して，嫌気性処理は，酸素の無い環境で有機物を微生物が分解し，最終の生成物としてメタンガスと炭

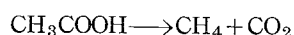
第1表 嫌気処理の可能な物質

Table 1 Compounds metabolized by acclimatized anaerobic cultures

Acetaldehyde	Ethanol	Oleic acid	Peat
Acrolein	Ethylene glycol	Pentaerythritol	Wood
Acetic anhydride	Ethyl acetate	Pentanol	Corn stover
Acetone	Ethyl acrylate	Phenol	Straw
Acrylic acid	Ferulic acid	Phthalic acid	Water hyacinths
Adipic acid	Formaldehyde	Propanal	Giant kelp
Aniline	Formic acid	Propanol	Animal wastes
1-amino-2-propanol	Furfural	Isopropyl alcohol	Cheese whey
4-amino butyric acid	Fumaric acid	Propionate	Pear wastes
2-Amino benzoic acid	Furan	Propylene glycol	Pectin wastes
Benzoic acid	Glucose	Protocatechuic acid	Meat packing
Benzyl alcohol	Glutamic acid	Resorcinol	Corn milling
Butanol	Glutaric acid	Sec-butanol	Dairy
Butyraldehyde	Glycerol	Sec-butylamine	Brewery
Butyl acetate	Hexanoic acid	Sorbic acid	Rum distillery wastes
Butyric acid	Hydroquinone	Syngaldehyde	Wine distillery wastes
Butylene glycerol	Isobutyric acid	Syringic acid	Guar gum wastes
Catechol	Isopropanol	Sucrose	Water-soluble polymers
Citric acid	Lactic acid	Succinic acid	Bean blanching
Cresol	Maleic acid	Tert-butanol	Pulp mill evaporate
Crotonaldehyde	Methanol	Vanillic acid	Coking mill
Crotonic acid	Methyl acetate	Vinyl acetate	H ₂ -CO pyrolysis
Diacetone gulusonic acid	Methyl acrylate	Corn	Wool scouring
Dimethoxy benzoic acid	Methyl ethyl ketone	Potato	Tannery wastes
Diethylene glycol	Methyl formate	Sugar cane	Yeast
Dimethylsulfoxide	Nitrobenzene	Bagasse	Heat-treated activated sludge

酸ガスに転化する方法である。嫌気分解の過程を第1図に示す。すなわち、酸生成過程において高分子有機物が加水分解を受けて低分子化され、低級脂肪酸などの中間体（メタンの前駆体）になる。メタン生成過程ではこれらの中間体は、メタン生成菌（以下メタン菌という）によって、メタンと炭酸ガスに分解される。酸生成とメタン生成過程は、個々の独立した過程ではなく（加水分解の反応が極めて遅い場合を除いて）同時的かつ連続的に進行する。

メタン生成の主たる反応経路は、酢酸からの転化、すなわち



であるが、炭酸ガスと水素の反応、あるいはアルコールのメタン転化などの経路も存在することが明らかにされている。

嫌気性処理技術の研究、開発が進む中で、個々の有機物の分解性が明確になって来ている。第1表に嫌気性処理可能な物質のリストを示す。

2. 嫌気性菌の増殖特性

嫌気性菌とくにメタン菌は増殖（生育）速度が遅いため嫌気性処理は、その処理に長時間（ときには数週間）を要するということが、従来は敬遠されていたが、嫌気性菌の増殖に関するパラメータが測定されるにつれ嫌気性菌は効率の高い増殖特性を有することが、あきらかになってきた。これらの知見は嫌気性処理を効果的にすすめるのに重要である。

基質（有機物）の分解および菌体の増殖は、一般にMonodの式で示される。

基質除去速度：

$$\frac{ds}{dt} = -\frac{1}{Y} \mu x = -\frac{1}{Y} \cdot \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} \cdot x \quad (1)$$

菌体増減：

$$\frac{dx}{dt} = (\mu - b)x = Y \cdot \frac{ds}{dt} - bx \quad (2)$$

ここに

S：基質濃度 COD_{Cr}(mg/ℓ)

t：時間 [日]

Y：収率係数 [kg-VSS/kg-除去 COD_{Cr}]

$$Y = \frac{dx}{ds}$$

μ：増殖速度定数 [1/日]

$$\mu = \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S}$$

μ_{max}：最大増殖速度定数 [1/日]

x：菌体濃度 [mg/ℓ]

K_s：飽和定数 [mg/ℓ]

b：菌体減衰速度定数 [1/日]

②式はまた

$$\Delta x = a \cdot S_r - b \cdot x \quad (3)$$

として示されることも多い。

Δx：余剰汚泥発生量 [kg/日]

S_r：除去 COD_{Cr} 量 [kg/日]

a：除去 COD_{Cr} の汚泥転換率

b：汚泥自己分解率 [1/日]

x：リアクター中の汚泥量 [kg]

Henze と Harremoës は多数の文献よりデータを整理・

総合して嫌気性菌の増殖定数を提案している。この結果を第2表に示す。

この表中の r_x は最大 COD_{Cr} 除去速度 (バイオマス当りの COD_{Cr} 除去速度) である。

$$r_x = \frac{\mu_{\text{max}}}{Y_{\text{max}}}$$

存在するバイオマス (汚泥) の100%が活性を有するした場合の最大 COD_{Cr} 除去速度 r_x は酸生成, メタン生成のいずれにおいても10~15 kg-除去 COD_{Cr} /kg-VSS・dである。菌体当りで見れば, メタン菌の酢酸分解速度は決して遅くはない。酸生成とメタン生成の混合系では, ①メタン生成が反応律速となること, ②かつ酸生成菌とメタン菌の収率は, 各々0.15, 0.03 kg-VSS/kg-除去 COD_{Cr} であることより酸生成菌とメタン菌の菌体量の割合は0.15/0.03の比率となる。したがって全体 (overall) の最大 COD_{Cr} 除去速度は

$$13 \text{ kg-除去 } \text{COD}_{\text{Cr}}/\text{kg-VSS} \cdot \text{d} \times \frac{0.03}{0.15 + 0.03} = 2.2 \text{ kg-除去 } \text{COD}_{\text{Cr}}/\text{kg-VSS} \cdot \text{d}$$

となるが, 実用的には, VSS 中の約50%が活性を有した菌体であると考えてよいので, 一般的には, 除去速度は1kg-除去 COD_{Cr} /kg-VSS・d 程度である。この速度は好気性菌と較べて低くはない。

また好気性の場合では高負荷条件では酸素供給が分解速度に追いつかず, 全体の反応が酸素供給速度で律速されてしまうことになる。嫌気性では酸素の供給の必要がないので, 高い有機物負荷をかけることができ, 実際的には COD_{Cr} 除去速度は嫌気処理の方が速い。

次に菌体収率であるが, 好気性処理では一般的に0.4~0.6kg-VSS/kg-除去 COD_{Cr} であるのに対し, 嫌気性菌では, 特にメタン菌において最大値でも0.03 kg-VSS/kg-除去 COD_{Cr} と低い収率である。酸生成・メタン生成全体では第2図で示すように, 高負荷条件 (1~1.5 kg-COD_{Cr}/kg-VSS・d) では0.18 kg-VSS/kg-除去 COD_{Cr} であるが, 低負荷では0.03~0.05kg-VSS/kg-除去 COD_{Cr} とより一層低くなる。

収率が低いということは, すなわち

- 1) バイオマス (余剰汚泥) の発生量が少なく汚泥処分費用が好気性処理より大幅に軽減できること。
- 2) バイオマス生体のエネルギー運搬体であるアデノシン3 磷酸 (ATP) の生産が少なく, したがって栄養塩の窒素やリンの添加量 (必要量) が少なくてよい。

ということを意味する。(しかし反面, スタートアップ (馴養) に長時間を要するという欠点にもなる。)

エネルギーの観点からみると, 菌体当りの COD_{Cr} 分解速度が速く, かつ菌体収率が低いということは, 基質 (有機成分) の有するエネルギーの大部分が, メタンという有機体に急速に転換され, ガスとして放出されることであり, この過程では, ばっ気動力も不要ということから非常に効率のよいエネルギー変換がおこなわれていることになる。

さらに菌体減衰速度は (表には示していないが)

酸生成菌: 0.1~0.9[1/d]

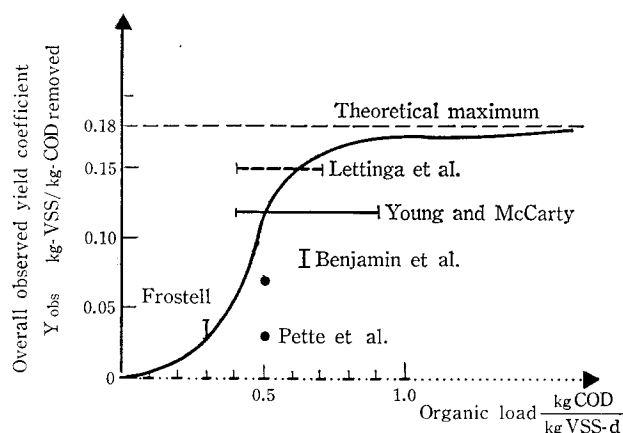
メタン菌: 0.01~0.04[1/d]

第2表 嫌気性菌の増殖定数

Table 2 Growth constants, anaerobic cultures

Parameter Culture	μ_{max} Maximum specific growth rate 35°C d ⁻¹	Y_{max} Maximum yield coeff. kg VSS/kg COD	$r_x = \frac{\mu_{\text{max}}}{Y_{\text{max}}}$ Maximum substrate removal rate, 35°C kg COD/(kg VSS・d)		K_s Half velocity constant kg COD/m ³
			100% active VSS	50% active VSS	
Acetic acid producing bacteria	2.0	0.15	13	7	0.2
Methane producing bacteria	0.4	0.03	13	7	0.05
Combined culture	0.4	0.18	2	1	—

Note) COD: Dichromate reflux method



第2図 菌体収率

Fig. 2 Observed yield coefficients in anaerobic processes

の範囲であり, 特にメタン菌の減衰速度は遅い。このことは嫌気性処理の利点の一つでもある。すなわち, 原水量が減少あるいは中断したときには, 好気性処理では菌体量 (MLSS) が急激に減少し, 通水再開時の負荷ショックなどのために MLSS の維持・管理が非常にむずかしい。これに対して, 嫌気性処理ではスタートアップが好気性よりも若干難しいかも知れないが, 一度立上がってしまえば, 負荷変動や中断などに強く, 保守・維持管理は容易となる。特に固定床で菌体量を多く保持している ABC システムでは安定した処理ができる。

以上の考察により嫌気性処理の長所を次のようにまとめることができる。

- 1) 嫌気性菌の菌体当りの COD_{Cr} 除去速度は好気性菌の除去速度と同等であり, 嫌気性では酸素供給の制限を受けないことにより, より高い有機物負荷をとることができる。
- 2) ばっ気の動力が不要である。
- 3) 燃料として利用価値の高いメタンガスを効率よく生産するため, 経済性にすぐれる。
- 4) 汚泥発生量が少なく, 汚泥処分費用がやすい。
- 5) 栄養塩 (窒素・リン) の添加量が少なくてすむ。

このように, 嫌気性処理は好気性処理よりも本質的 (かつ潜在的に) にエネルギー効率の良い, 経済性にすぐれた方法であるといえる。

3. ABC システムの経済効果

以上のような長所を本質的に有する嫌気性処理法であるが、①メタン醗酵を進めるために 35°C 前後（中温処理）に廃水を加温しなければならない点②馴養期間が長くかかるという点③メタン菌に対する毒性物質が存在する点など、解決すべき課題が存在しているために実用化が遅れていた。

この嫌気性処理を好気性の活性汚泥法に対抗できるものとして、さらに創エネルギーの面で一層有利な方法に発展させる基礎を築いたのが、1960年代の McCarty や Young らの固定床法“Anaerobic filter”であった。この Anaerobic filter は第3図に示すように、バイオマスを充てん物に付着させ高濃度に保つことによって、菌体収率が低い嫌気性菌の欠点を取り除き、短時間で嫌気処理が可能であることを実証した。

しかし、この McCarty らの Anaerobic filter は空げき率が45%の石英やざくろ石を使用し、かつ一過式通水であったため、過剰バイオマス（汚泥）による目づまりやチャネリングがおこり、処理効率の低下をきたすという欠点を有していた。

ABC システム（第4図）は、この Anaerobic filter の欠点を次のような方法でもって克服し、文字通り、嫌気性処理を創エネルギー設備として飛躍的に発展させたものであり、米国において、食品、化学工場など4施設、国内においても、殿粉工場、食肉センター、養豚し尿などの実績を有するに至っている。

ABC システムの概要は別途資料にゆづるが、その特長は、

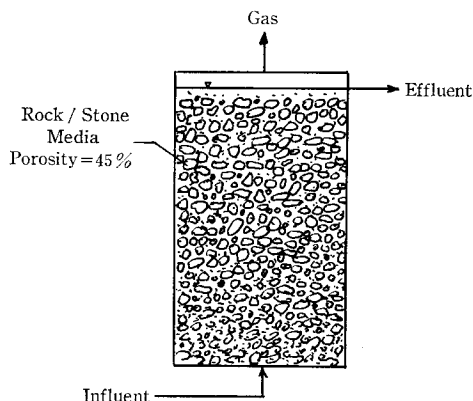
- 1) 空げき率95%の特殊プラスチックメディアの使用
- 2) 「逆混合効果」をはかるための処理水リサイクルの採用によって、目づまり防止、pH 緩衝効果の増大、リアクター流入部での有機酸濃度の上昇抑制、毒性レベルの低下、接触かく拌効果の増大などをはかると同時に、
- 3) 加温エネルギー低減のため、処理水熱量の回収
- 4) リアクター内バイオマス濃度と空げき率を検知し、その適正量を維持する方法（バイオマス・コントロール）の確立

によって、処理費用を一層低廉化し、かつ安定した能力を発揮できるようにしたものである。

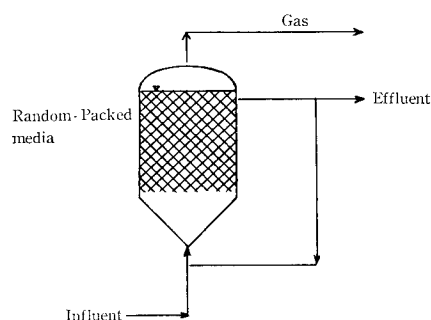
従来、廃水処理施設は廃水中の汚濁物質を分解・除去するのみであり、そのための動力・エネルギーを単に消費するだけであった。これは環境保全、浄化という点で大きな役割をはたしているものの、資源・エネルギーの面ではエネルギーの浪費となり不経済的といわざるを得ない。

ABC システムは、廃水を単に処理することにとどまらず、廃水中の有機物をメタンガスに転化してエネルギーを回収し有効に利用するという意味において、創エネルギー施設といえることができる。

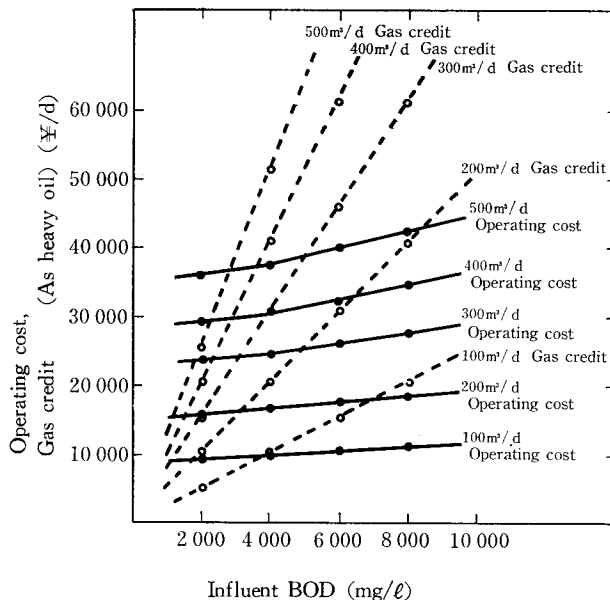
ここでは右のような条件での試算結果を示し、ABC システムが、いかに効率的でありエネルギー生産設備であるかを説明する。原水濃度は活性汚泥法との比較のため、BOD とした。なお、運転費としてポンプ等の動力費（電気）、蒸気費、脱硫剤、中和剤で計算し、人件費、汚泥処理・処分費、栄養塩費および償却費用は含んでいない。



第3図 嫌気フィルター
Fig. 3 Anaerobic filter



第4図 ABCシステムの基本フロー
Fig. 4 ABC system



第5図 ABCシステム運転費ケーススタディ
Fig. 5 A case study of operating cost

<試算条件>

廃水BOD濃度(mg/l)	BOD負荷(kg/m³・d)	平均滞留時間(h)	BOD除去率(%)	ガス発生量(CH₄=70%) Nm³/kg除去BOD
2 000	6	8	80	0.5
4 000	8	12	80	0.5
6 000	8	18	80	0.5
8 000	8	24	80	0.5

原水: COD_{Cr} = 1.3 × BOD

第5図に、廃水量と原水濃度別のABCシステム運転費および発生するメタンガスの燃料価値をA重油換算額（脱硫していることより）として図示する。運転費は、水量が同じ場合、BOD（有機物）濃度が高くなっても、それほど大きな増加はない。これは動力費・蒸気費などは水量によって主として決まってくるからであり、好気性の活性汚泥法のように、除去BOD量に比例してばっ気動力が増加することがないからである。一方、副産物としてのメタンガスの燃料価値（エネルギー生産額）は、BOD濃度（除去BOD量）に比例して増加し、原水BOD濃度が3000 mg/ℓ以上では、運転費用を上まわる。つまり廃水より回収したメタン燃料額はそれを生産し、かつ廃水処理するに要する費用をおぎなうて余りあるということである。

次に、除去BOD当りの運転費を示す。第6図には、メタンガスによるエネルギー生産額を考慮しない場合の運転費（廃水処理のみの観点より）を示す。活性汚泥法では1 kgのBODを除去するのに要する費用は、汚泥処分費を含まない場合、30～50円（2次処理）であり、また廃水濃度が増加しても割安にならず、かつ4000 ppm以上になると希釈無しでは、事実上処理不可能である。嫌気性のABCシステムでは、廃水処理のみの観点からみても運転費は活性汚泥法の同等以下であり省エネタイプの装置であるといえる。

第7図では、運転費用から、メタンガスのエネルギー生産額を差し引いたものである。廃水BOD2000 ppm以上ではABCシステムは大幅な費用削減が期待でき、また3000 ppm以上では、前述したように燃料として価値を生み出すことになる。

このようにABCシステムでは廃水処理するのみでなく、燃料（エネルギー）を創り出すという意味で創エネルギー設備といえることができる。

4. ABCシステムの産業廃水処理への適用 — 実施例

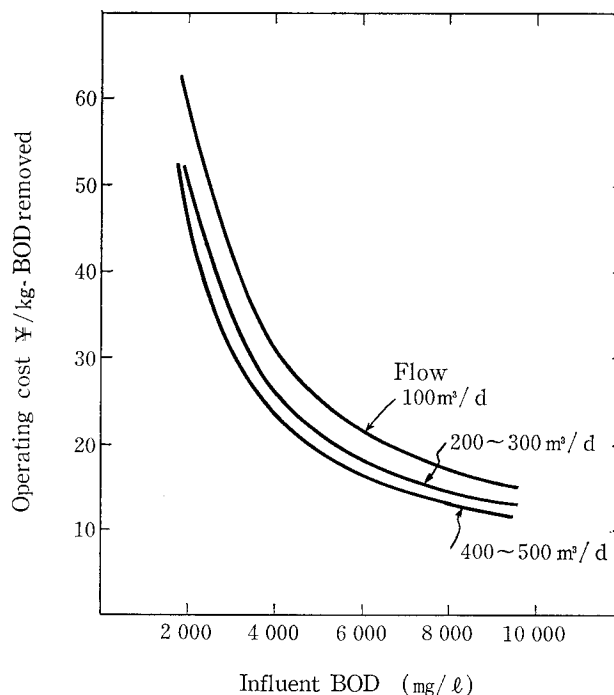
長田産業株式会社より受注した「ABCシステム」による工場廃水処理設備が完成した。現在、馴養運転を終了し本運転に入っており、本設備の目的であった廃水の安定処理と省エネ化およびメタンガスの有効利用が実現され、ユーザーにも大いに満足していただいている。

本設備は固定床式による廃水の嫌気処理装置としてはわが国で最大規模の実プラントである。

以下に馴養運転の立上がりから本運転までの運転データについて、その概要を述べる。

4.1 廃水の性状と既設処理施設

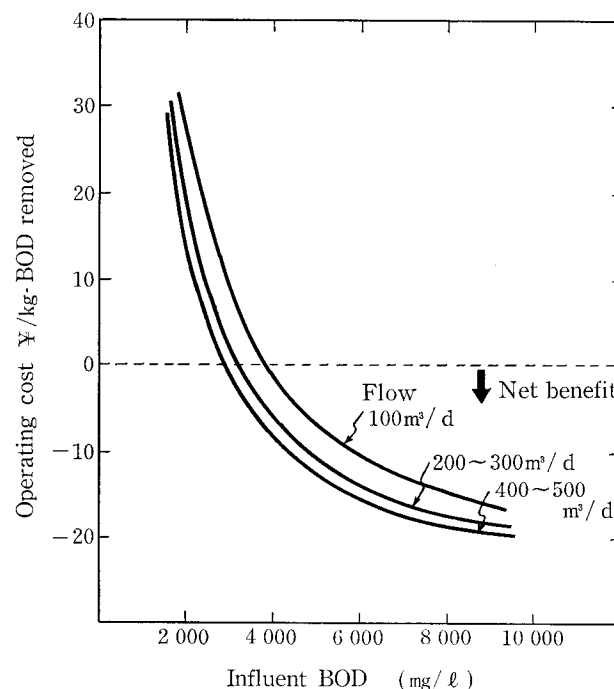
処理の対象となる廃水は、小麦粉から澱粉およびグルテンを製造する工程より排出し、有機物を多量に含有し、COD_{Cr}濃度で、15000～20000 mg/ℓ、日量400～600m³である。ABCシステム導入以前には、まず沈殿槽で白粕（残留澱粉）をあら取りしたあと、酵母培養槽で好気的に有機物を低減し、さらに活性汚泥法により処理されていた。この方法によると、ばっ気動力が膨大で、かつ処理そのものも、澱粉廃水特有のパルキング等の問題もあり、廃水処理の安定化と省エネ・省コストは大きな課題になっていた。



Note : A revenue from methane gas is not taken into account

第6図 除去BOD当りの運転費

Fig. 6 Operating cost per BOD removed

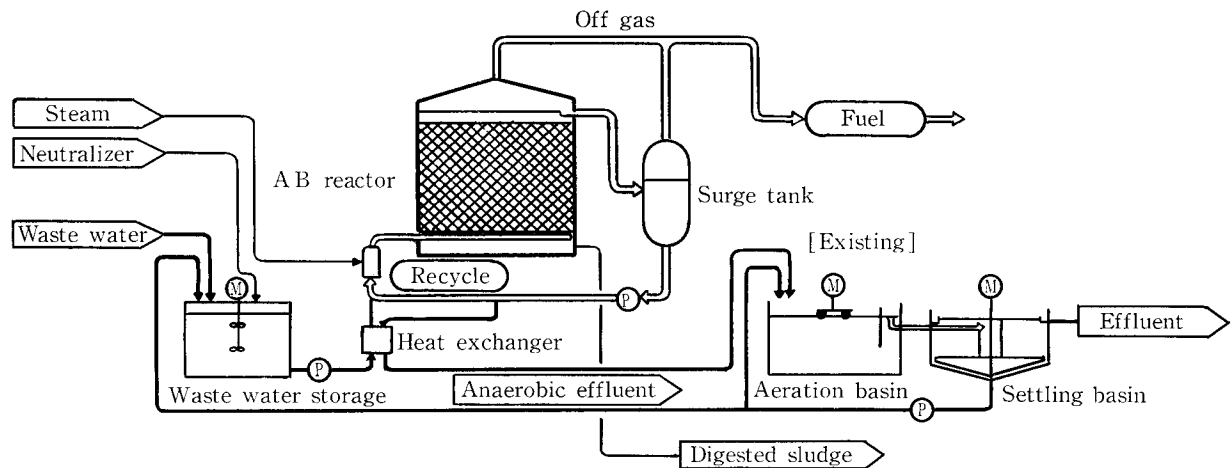


Note : There is a benefit in the operating cost as a result of methane production

第7図 メタンガス価値を考慮した運転費

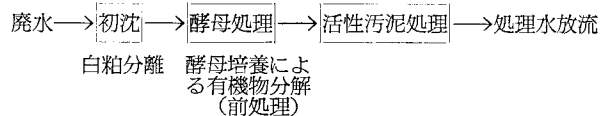
Fig. 7 Operating cost in consideration of a revenue from gas

酵母培養槽にかわって嫌気性処理のABCシステムを導入し、大幅な有機物の分解（80%除去）をはかってメタンガスを回収し、後処理の活性汚泥設備のばっ気量の低減、余剰汚泥量の減少をはかり、安定した処理を目的とした。

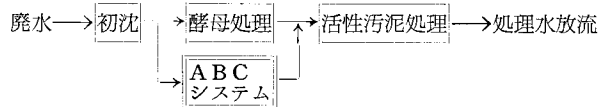


第8図 ABCシステムによる廃水処理フローダイアグラム
Fig. 8 Flow diagram of ABC system wastewater treatment

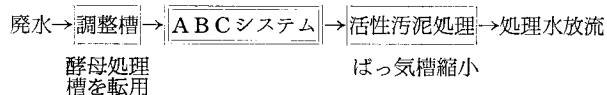
1) ABCシステム導入前



2) ABCシステム馴養運転時期



3) ABCシステム本運転



4.2 ABCシステム設備概要

廃水処理設備のフローシートを第8図に示す。

ABCシステムの中核となるABリアクター (Anaerobic Bio-Reactor) は、特殊プラスチックメディアを充填した密閉型構造でその機能は固定床型と一部スラッジブランケット型を結合した反応槽である。

廃水は循環処理水と混合され、必要に応じて中和剤を添加し、pH調整し、蒸気により加温された後、ディストリビュータからABリアクター底部に流入される。

ABリアクター内の運転水温は36°C、廃水水温10~20°Cであるが、特殊な熱交換器により、処理水の熱量を回収するため、蒸気による加温熱量はリアクターや配管での放散熱量程度となり非常に少なくすむ。またこの厭粉廃水中には十分なる窒素、リンが含まれており、特に栄養塩の添加は必要でなかった。

廃水中の有機物は、メディアに付着保持される嫌気性菌と接触することにより、80~90%が分解され、最終的にCH₄、CO₂ガスおよび増殖菌体に転換される。

発生ガスは硫化水素を0.2%含有するため脱硫されたあ

とガスホルダーに貯蔵され、工場の厭粉乾燥やボイラーの燃料として有効に利用される。

主要な設計諸元は次の通りである。

<処理水量>

最大	550m ³ /d
平均	500m ³ /d

<廃水有機物濃度>

COD _{Cr} 最大	20 000mg/ℓ
COD _{Cr} 平均	16 000mg/ℓ

<ABリアクター>

水温	37°C
負荷	10kg-COD _{Cr} /m ³ ・d
COD _{Cr} 除去率	80%
リアクター容量	1 000m ³

<発生ガス>

発生量	3 200Nm ³ /d
組成 CH ₄	70%
CO ₂	30%
ガスホルダー	1 500m ³

4.3 スタートアップおよび馴養運転

装置の工事完了後、水運転、窒素ガスによるバージ、蒸気注入による加温等を実施した。廃水の一定量を注入しつつ下水処理場嫌気消化汚泥を投入、処理水質、メタンガス量を注意深くモニターし、原水量を増大していった。本廃水の主要な成分は次に示すように

- 1) 厭粉、部分的に分解し、例えば乳酸等を含有
- 2) 小麦たんぱく、主としてグルテン
- 3) その他、糖などの炭水化物

であり、厭粉は2種類の多糖類 (アミロース及びアミロペクチン) を含む。このうちアミロペクチンの、酵素による加水分解はアミロペクチン粒子がゼラチン化されてはじめて進行する。そこで馴養期間中には、活性汚泥の余剰汚泥などをゼラチン化・加水分解を促進させるために適量投入した。

第9図にスタートアップ時よりの運転結果を週平均値のデータで示す。

通水開始の初期においては原水量の増加(負荷量の増大)に対してガス発生量の増加も極めてスムーズであったが、その後徐々にではあるが、 COD_{Cr} 除去率の低下、ガス発生量の停滞がみられるようになって来た。

この間、

- 1) リアクター内のバイオマス蓄積量の測定
- 2) バイオマスの活性度チェック
- 3) 阻害物質混入の有無
- 4) 必須微量元素類の適正化
- 5) 有機酸の分析

などの検討を通して、馴養運転のこの時期のメタン生成の停滞傾向の主原因が、有機酸の蓄積によるメタン菌への一時的な阻害であることが判明した。そこで廃水の排出が中断する土・日曜日に井戸水をリアクターに注入するなどして有機酸レベルを低下させ、“sick”な状態にあったメタン菌の活性を回復させた。有機酸のうち、特にメタン菌への阻害作用の大きいプロピオン酸と COD_{Cr} の相関(処理水)を第10図に示す。

このような対策をとったあとは順調な立上がりをしめし基本的に3カ月で馴養運転を完了した。

正月休みの10日間は、廃水の排出もなく、ボイラー運転中断のため蒸気加温もないまま運転を中止していたが、通水再開後は急速に性能を回復し、運転中止による悪影響はほとんど生じなかった。

また、前述したように馴養運転中は原水の調整槽が設置されていなかったため、一日のうちの原水濃度の変動も激しく、また土・日曜日には原水が中断するなど、生物処理には不利な条件におかれていたが、このように馴養がスムーズに進行したことは、固定床方式によるABCシステムの性能を実証するものであったと考えている。

また、廃水はABCシステムにより嫌気処理をされたあと、仕上げ処理として、既設の活性汚泥法により好気処理されて河川に放流されているが、バルキング等の問題も無くなり、かつ、ばっ気動力も大幅に減少し、安定した処理が実施されている。

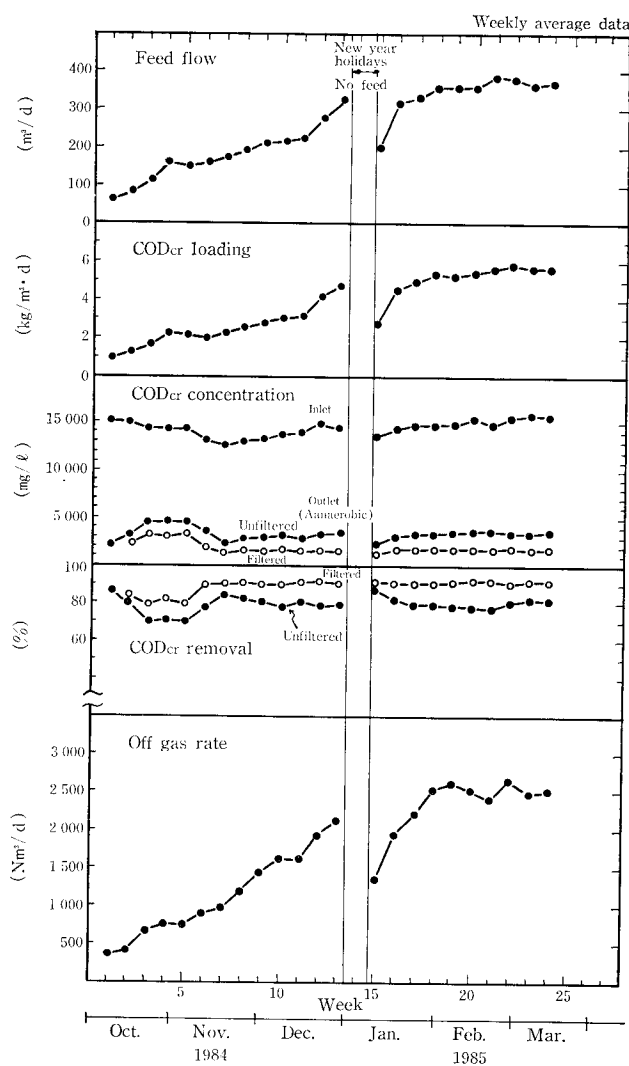
4.4 運転・維持管理のパラメーター

現在、安定した本運転にはいっているが、ABCシステムの運転・維持管理が極めて容易であることもまた大きな長所の一つである。

好気性の活性汚泥法の運転では、ばっ気槽のDO、MLSSの適正化のため、ばっ気量・返送汚泥量の調整、BOD分析など煩雑な操作と熟練を必要とする。これに対してABCシステムでは、嫌気性菌がメディアに付着保持されているためにバイオマス(汚泥)量の調整は不要であり、またメタン菌の活性度はガス発生量として流量計(積算計)により容易に読みとることができ、時々刻々その状態を把握することができる。

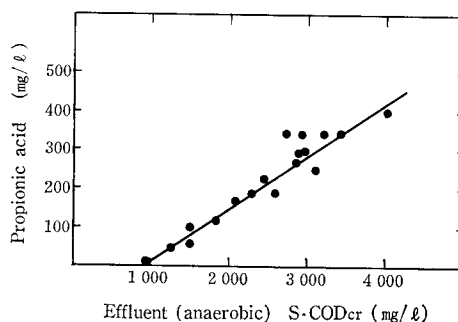
原水の有機物濃度が大きく変動しない場合においては、基本的に、原水、処理水の水質分析が不要で、原水量とガス発生量のみにより運転管理をすることが可能である。

馴養期間をできるだけ短縮化するため、スタートアップ時より、次の二つのパラメーターについては十分に留意した。



第9図 ABCシステム、実プラントにおける運転結果(穀粉廃水)

Fig. 9 ABC system operating data



第10図 処理水の溶解性 COD_{Cr} とプロピオン酸
Fig. 10 Relationship between soluble COD_{Cr} and propionic acid concentration in effluent

1) 投入 COD_{Cr} 量当りのガス発生率

処理水量の増加を図ることを常に念頭におき、水量増加 (COD_{Cr} 負荷の増大) にみあったガスが発生しているかをチェックする。本廃水の場合、投入 COD_{Cr} 当りのガス発生率は、0.4 Nm³/kg-COD_{Cr} 程度であった。現時点では原水濃度の変動パターンが把握できているため、ガス発生量のみをモニターすることにより、リアクターの管理をおこなうことが可能となっている。

2) 処理水の有機酸分析

酸生成菌に比してメタン菌の量が少ない馴養期間中には負荷の増大に対して、酢酸、プロピオン酸などの有機酸が処理水に過剰に残留することが多い。有機酸が一定濃度以上になると、メタン菌の活性が急速に低下しついにメタンガスの発生が停止してしまうこともある。したがって有機酸をモニターし、一定濃度を越えたら、原水を水で希釈する、負荷の増大を一時的にみあわせるなどの対策をとることが必要である。

有機酸がメタン菌を阻害する濃度は、廃水の性状にもよるが、とりわけ生物膜の付着状態の影響を受ける。一般的に言えば、付着量が多くかつ大きなフロック状態で生物膜が形成されているとこの許容濃度は高くなる。したがって菌体付着量が少ない馴養初期に十分なる注意を払う必要があるが、定常運転になれば、それほど気をつかうこともなくなるなどの知見も得られた。

以上のようにABCシステムでは運転状態の把握が容易であり、このことにより管理・対策が非常にたてやすいといえる。

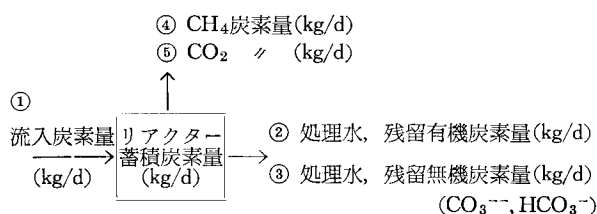
4.5 炭素収支よりみた嫌気分解過程・バイオマス増殖

バイオマスの増殖速度及びリアクター内におけるバイオマス量を求めておくことは、その装置の性能を決定するうえできわめて重要である。

ABCシステムではバイオマス量をトレーサー応答などの方法により簡便に測定し、有機物の除去率、ガス発生率との関連を調べ、余剰のバイオマスを排出させる「バイオマス・コントロール」方法を確立している。

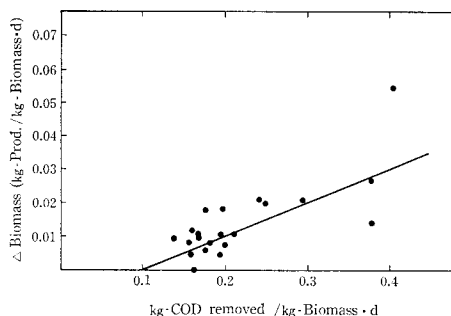
この設備の運転に際しては、スタートアップ時点より、バイオマスがどのように増加していったかを追跡し、微生物量と除去機能との関係を検討しているが、ここでは、炭素収支より算出したバイオマス増殖式を紹介する。

リアクターに流入する炭素は定常状態において、次に示すような収支となる。



原水・処理水の TOC (Total Organic Carbon), IC (Inorganic Carbon), 発生ガス量およびそのメタン・炭酸ガス濃度を測定し、リアクター内に蓄積する炭素量を算出した。バイオマスの組成は一般的に C₅H₇NO₂ と表わされるので、この炭素量の 1.88 倍 (C₅H₇NO₂/C₅) をバイオマス量として換算した。

このバイオマス量と COD_{Cr} 除去量との相関を求めた。第 11 図に示すプロットより、前述した③式のバイオマス増殖



第 11 図 バイオマス増殖式の算定

Fig. 11 Kinetic coefficients for substrate utilization and biomass growth

パラメーターとして、次の測定値が得られた。

バイオマス増殖量

$$\Delta x = 0.073 \cdot Sr - 0.0038x$$

すなわち、菌体の収率係数は 0.07 kg-VSS/kg 除去 COD_{Cr} であり、第 2 章で述べた一般的な嫌気性菌の増殖特性と同程度であった。

4.6 ま と め

この ABC システムによる工場廃水処理設備の完成と順調な運転により、次のようなメリットが実現された。

- 1) 廃棄物から生成したメタンガスを工場の乾燥機やボイラーの燃料として使用。燃料費の大幅削減。
- 2) 既設好気性処理装置での動力低減。
- 3) 余剰汚泥の減量化。
- 4) 安定した廃水処理と維持管理の省力化。

これらの経費節減は極めて多大なものであり、廃水処理設備というよりも、生産設備に近い投資効果が生じているとユーザーからも評価されている。

む す び

嫌気性処理の基本となる嫌気性菌の増殖特性を述べ、嫌気性処理が、エネルギー的にも、経済的にも極めて効率的な方法であることを強調した。この嫌気性処理の特長を最大限、生かした装置が ABC システムであり、その実プラントにおける安定した運転状況の一端を紹介した。

ABC システムの出現により、エネルギーを消費するのみであった廃水処理が、エネルギー創造設備へと大きく飛躍しようとしているが、産業廃水に嫌気性処理を適用しようとする場合に、重要なことは、廃水中の毒性物質がメタン菌にどのような影響を与えるかをチェックしておく必要があるということである。当社では、阻害・毒性物質の影響を調べる簡易なテスト法を確立し、多くの廃水について実験・調査を実施している。次回にはこれらの研究結果について報告したいと考えている。

嫌気性処理に対する関心および期待が強まっている中で創エネルギー、省エネルギー及び処理の高効率化をさらに追求し、ABC システムの適用分野の拡大に注力していきたい。

【参考文献】

- 1) M. Henze, P. Harremoës: "Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors—a literature review" Wat. Sci. Tech. Vol. 15, pp. 1-101 (1983)
- 2) R. E. Speece: "Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment" Environ. Sci. Technol., Vol. 17, No. 9, 416A (1983)

“ベルトプレス脱水機” 運転報告

Operating Report of “BELTPRESS DEHYDRATOR”

環境装置事業部 技術部 東京技術課

船 川 和 夫
Kazuo Funakawa

The dewatering facility in Tohbu municipal sewage treatment center, Iwaki-City, Fukushima Prefecture, was recently installed by Shinko-Pfaudler.

The waste water treated in this treatment center are mainly composed of municipal sewage and the sea food processing waste water, therefore the sludge generated in the treatment center contains greasy and oily matter and could not be dewatered so easily.

The dehydrator adopted in new dewatering facility, which is our newly developed “BELT PRESS DEHYDRATOR”, achieved the good performance mentioned below and has been operating smoothly after the completion of test run on March in 1985. This report provides the outline of the facility and its operating data.

今回報告する新開発の脱水装置は、下水消化污泥等を対象に福島県いわき市東部浄化センターに採用され、1985年3月に総合試運転を完了したものである。本浄化センターへの流入下水は、生活排水及び水産加工廃水が主体であり污泥は油分も含み、特に難脱水の污泥として、注目されるものであったが、後述する性能を満足することができ、現在順調に稼動している。

本稿では設備の概要及び、総合試運転時のデータを中心にその運転報告をする。

ま え が き

当社では長年にわたる水処理総合プラントメーカーとしての経験を生かし、1967年にD T Tドラム型シクナー、M R P脱水機を、1979年に省エネをうたい文句としたR D P（高圧圧搾ベルトプレス）脱水機を開発し、これまでも下水、し尿、産業廃水などの各分野に数多くの実績をもっている。今回紹介するベルトプレス脱水機はこれらの経験をもとに新たに難脱水性污泥に対応し得る脱水装置として鋭意研究の結果、開発したものである。

1. 脱水設備の概要

1.1 処理対象污泥

現在当浄化センターは下水及び、し尿処理を行っており、污泥発生源としては下記3系統がある。

- 1) 初沈污泥
- 2) 曝気槽からの余剰污泥
- 3) し尿污泥

これらから発生する污泥は既設脱水装置及び今回の新設脱水装置により処理される。上記3系統より新設脱水装置までの污泥処理経路を第1図に示す。

1.2 処理性能

本ベルトプレス脱水機の処理性能は、日本下水道事業団機械設備標準仕様書に準じたものであり、次の通りである。

污泥性状	消化污泥（含水率97%）
薬注率	污泥固形物当り 0.8%以下
ろ過速度	120kg/m・h
ケーキ含水率	78%以下

1.3 主要装置

主要装置を述べるに際して、装置の配置を第2図に、処理フローを第3図に示す。

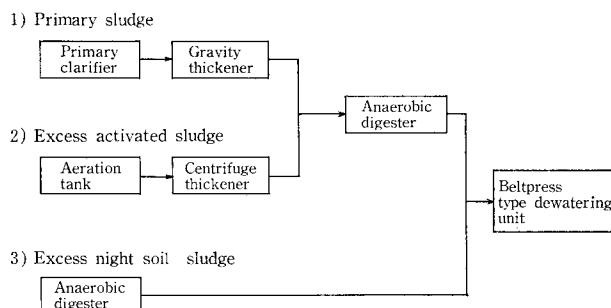
1.3.1 污泥貯留・供給装置

污泥貯留タンク	30m ³ × 2 槽
污泥貯留タンク攪拌機	5.5kW × 2 台
脱水機污泥供給ポンプ	3.7kW × 2 台

污泥貯留タンクへの污泥受入れは、タンクレベルにより自動的に行なわれる。タンク内污泥は沈降堆積防止、濃度均一化のため常時攪拌する。脱水機污泥供給ポンプはモーター回転数を電氣的に可変でき、現場盤にて污泥供給量を確認しながら3~12m³/hまでの任意の流量に設定できる。

1.3.2 薬品溶解・供給装置（写真1）

薬品受入れホッパー	200ℓ × 1 槽
薬品供給機	0.4kW × 1 台
薬品溶解タンク	5.5 m ³ × 2 槽
薬品溶解タンク攪拌機	2.2kW × 2 台



第1図 污泥経路

Fig. 1 Route of each sludge

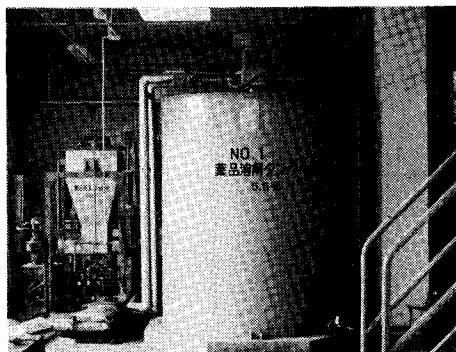


写真1 薬品溶解設備

Photo. 1 Polymer feeder and dissolver

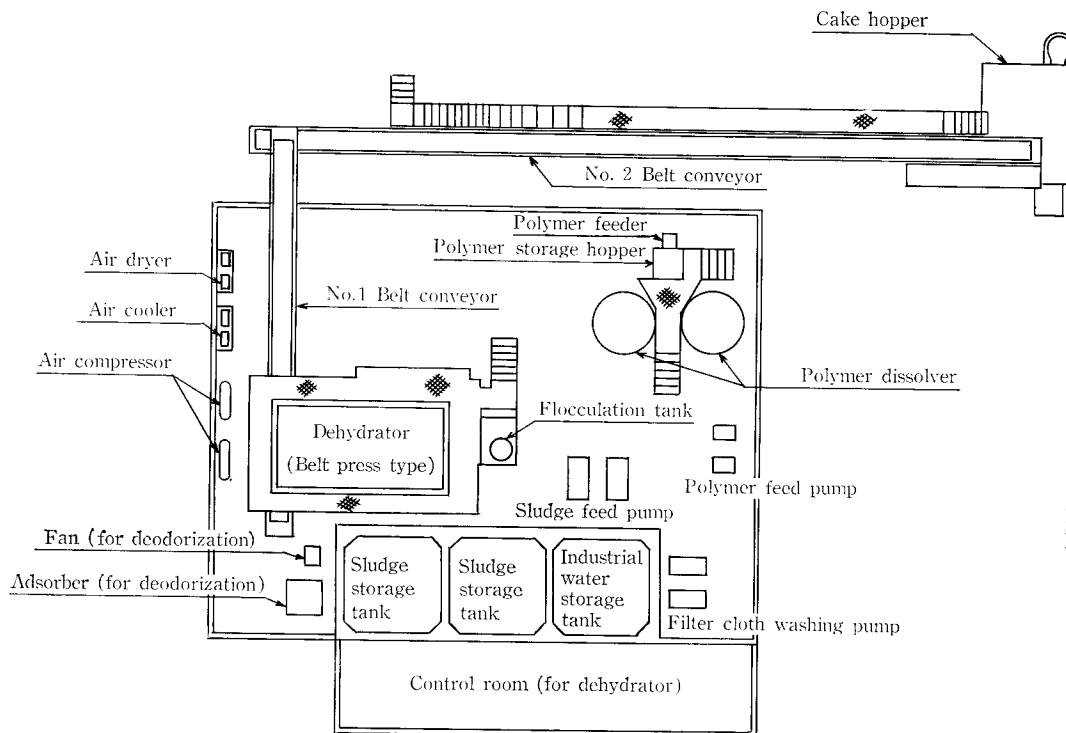
薬品供給ポンプ 0.75kW×2台

薬品受入れホッパーに投入された粉末原体凝集剤は、薬品溶解タンクがLOW レベル以下になった時点で自動的に溶解タンクに供給され、一定濃度に溶解される。薬品供給ポンプは脱水機汚泥供給ポンプと同様、現場盤にて薬品供給量計を確認しながら6.25~25ℓ/min までの任意の流量に設定できる。

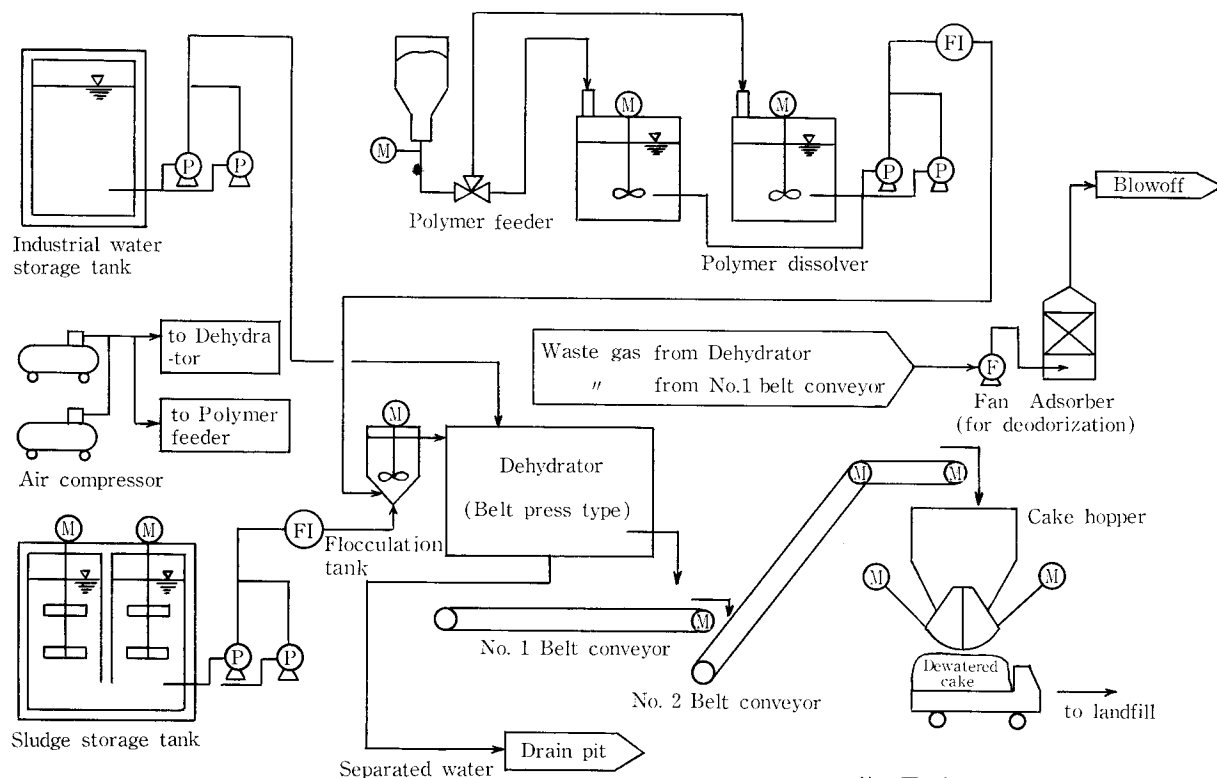
1.3.3 脱水装置

脱水工程を第4図に示す。凝集部にて薬注凝集された汚泥は均一供給装置を経て前濃縮装置へ送られる。前濃縮装置で重力脱水された汚泥はさらに脱水機本体にて重力脱水→ローラー漸圧脱水→圧搾脱水の各工程を経て含水率78%以下のケーキにまで脱水される。次に脱水装置の各機器について記す。

1) 凝集混和槽 0.4m³×1槽 攪拌機 0.2kW×1台
汚泥と薬品を接触混合させ、脱水に適したフロックを生



第2図 配置
Fig. 2
Sludge dewatering
apparatus layout



第3図 処理フロー
Fig. 3 Sludge dewatering system flow

成させる。攪拌機は可変速となっており、最適凝集を示す攪拌速度に設定できる。

2) 均一供給機 0.2kW×1台

定速回転にて凝集汚泥を前濃縮ろ布に均一に乗るように送り出す。

3) 前濃縮機 0.4kW×1台

凝集汚泥の一次重力脱水を行なう。ろ布速度は可変速で、0.2~3.0 m/min までの任意の速度に設定できる。運転中は自動的にろ布蛇行修正が行なわれ、万一ろ布異常蛇行、汚泥供給過多の状態になった場合は自動停止する回路が組み込まれている。

4) 脱水機(写真2) ろ布有効幅2.0m, 2.2kW×1台

重力脱水→ローラー漸圧脱水→圧搾脱水にて含水率78%以下まで脱水する。ろ布速度は可変速で、0.2~3.0 m/min までの任意の速度に設定でき、ろ布張力はろ布緊張装置(写真3)にて左右均等に保たれ、0~7.5kg/cm までの任意の張力に設定できる。運転中は自動的にろ布蛇行修正(写真4)が行なわれ、万一ろ布異常蛇行、ろ布切断の状態になった場合は自動停止する回路が組み込まれている。

1.3.4 ケーキ搬送・貯留装置(写真5)

ケーキ搬送コンベア 1.5kW×1台, 2.2kW×1台
ケーキ貯留ホッパー 10m³×1基(開閉装置0.75kW×2台)

脱水されたケーキをコンベアで搬送、ケーキホッパーへ貯留する。貯留された脱水ケーキは適時トラックにて搬出処分される。

1.3.5 ろ布洗浄装置

工水貯槽 30m³×1槽
ろ布洗浄ポンプ 5.5kW×2台

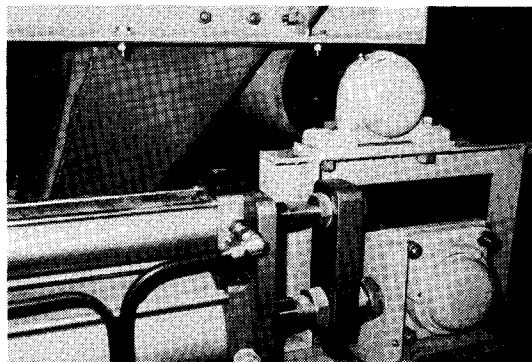


写真3 ろ布緊張装置

Photo.3 Filter cloth tension adjusting device

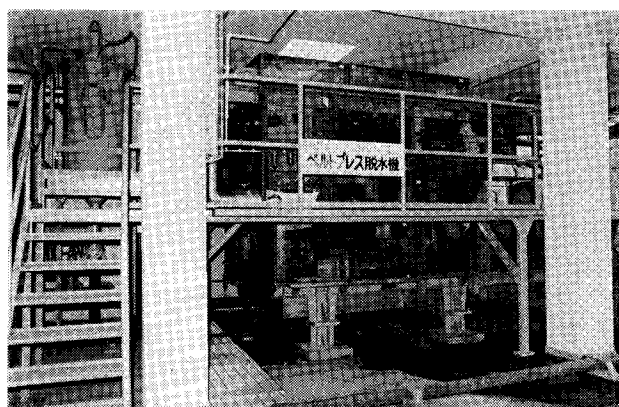


写真2 ベルトプレス脱水機

Photo.2 Beltpress type dehydrator

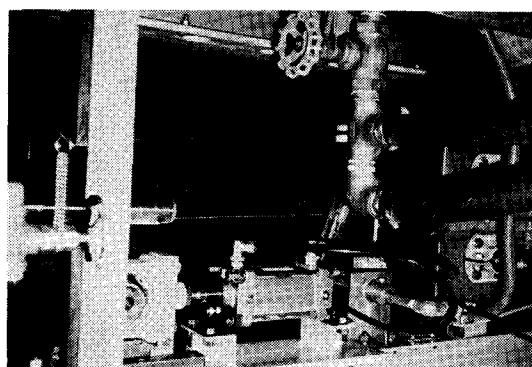
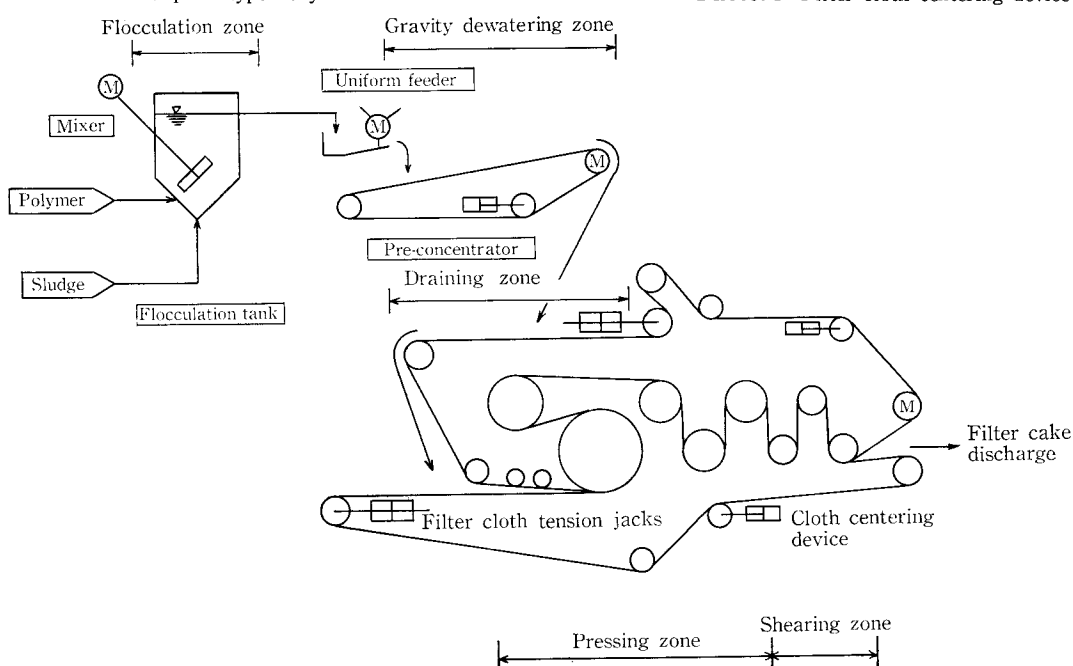


写真4 蛇行修正装置

Photo.4 Filter cloth centering device



第4図
脱水工程
Fig. 4
Dewatering process

前濃縮装置及び脱水機のろ布洗浄用加圧水（水量 $24\text{m}^3/\text{h}$ 、水圧 $4\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上）を供給する。

1.3.6 脱臭装置

吸着塔 乾式上向流直置上積方式 1基
脱臭ファン $0.75\text{kW} \times 1$ 台

脱水機及びケーキ搬送コンベアより発生する臭気を除去する。このため脱水機、ケーキ搬送コンベアは全面カバー付としてある。

1.3.7 空気供給装置

空気圧縮機 $2.2\text{kW} \times 2$ 台
アフタークーラー 2台
エアドライヤー 2台

脱水機及び薬品供給機へ操作用空気を供給する。

1.4 運転操作

脱水機の運転開始及び停止は第5、6図に示すように関連機器との連動運転にて簡単に行える。また自動運転操作

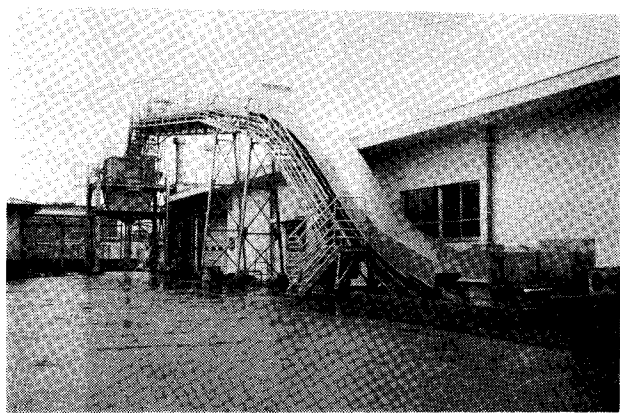
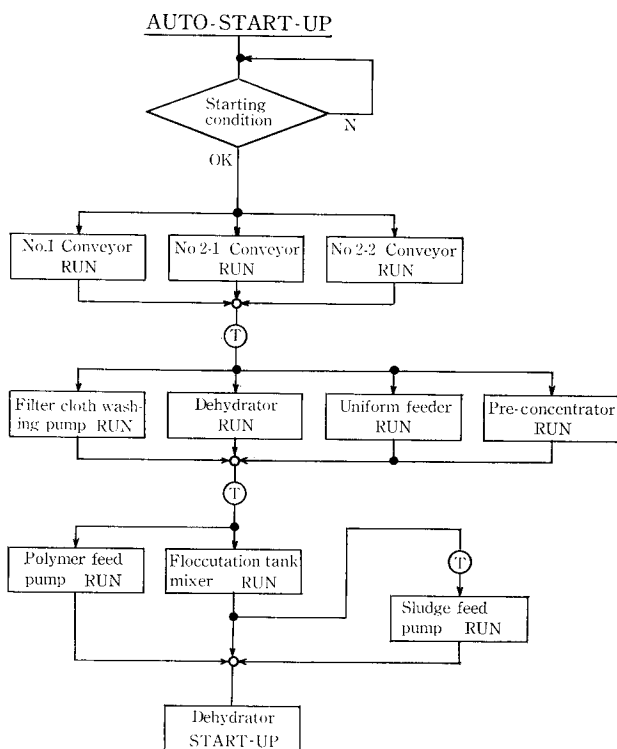


写真5 ケーキ搬送・貯留設備
Photo. 5 Belt conveyor and cake hopper



第5図 自動運転開始ブロック線図
Fig. 5 Sequence of automatic start up

は脱水機現場盤でできるほかに、脱水機電気室内地区監視盤にも操作可能となっている。このほか地区監視盤では脱水施設の運転状態、故障発生の有無が集中して監視できるようになっている。（写真6）

2. 運転結果

総合試運転時の脱水機供給汚泥は初沈汚泥+下水消化汚泥でその性状を第1表に示す。

運転結果は良好であり計画処理性能であるろ過速度 $120\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 、ケーキ含水率78%以下を充分満足するものであった。次にその詳細を述べる。

第1表 汚泥性状

Table 1 Nature of feed sludge

pH	7.1
SS (mg/ℓ)	35 300
TS (mg/ℓ)	39 100
VT S (mg/ℓ)	22 200
VT S (%)	57

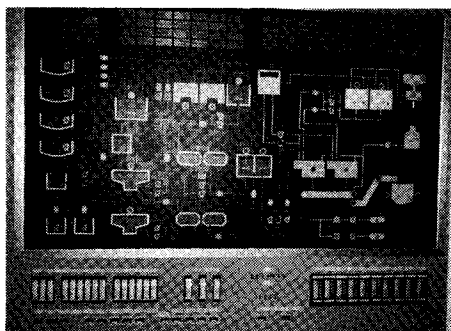
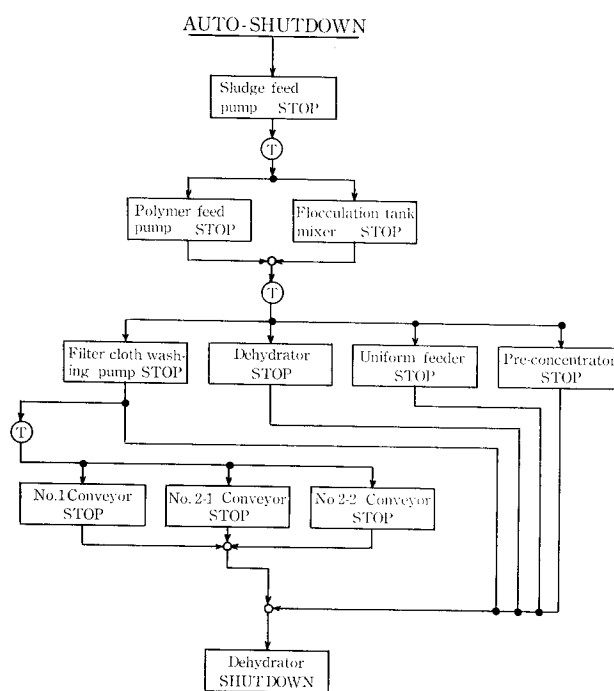


写真6 監視盤
Photo. 6 Control panel



第6図 自動運転停止ブロック線図
Fig. 6 Sequence of automatic shut down

第2表 ろ布張力とケーキ含水率

Table 2 Performance data for dewatering of waste sludge
Relationship between filter cloth tension and cake-liquid concentration

Capacity (kg/m ² ·h)	Filter cloth tension (kg/cm)	Cake-liquid concentration (%)	Operating condition
136	2.4	77.8	1) Filter cloth speed 1.0 m/min
〃	* 4.8	76.0	2) Polymer consumption 0.81% (DS)
〃	* 7.2	74.6	*Scraping condition was bad.

第3表 最大ろ過速度とケーキ含水率

Table 3 Performance data for dewatering of waste sludge
Maximum throughput and Cake-liquid concentration

Capacity (kg/m ² ·h)	Filter cloth speed (m/min)	Cake-liquid concentration (%)	Operating condition
136	0.6	76.4	1) Filter cloth tension 2.4 kg/cm
166	0.8	77.8	2) Polymer consumption 0.72% (DS)
195	1.0	78.8	*Scraping condition was bad.
* 234	1.2	79.0	

2.1 薬品注入率

中カチオン系凝集剤で良好な凝集を示し、最適薬品注入率はケーキ含水率、重力脱水部での水切れ状態から判断して、0.7% (対汚泥固形物当り) であった。

第7図は薬品注入率を変えた場合のケーキ含水率を示したものであるが、注入率が多くなると若干ではあるがケーキ含水率は上昇する傾向を示した。

2.2 ろ布速度

計画ろ過速度の運転では最適ろ布速度は 1.0 m/min であった。

第8図にろ布速度を変えた場合のケーキ含水率を示す。一般的にはろ布速度を遅くすることによりケーキ含水率は低下するものであるが、今回運転結果では逆にわずかではあるが含水率上昇の傾向を示した。これはろ布速度を遅くすることにより脱水ケーキ厚さが増え、ケーキ内部の水分がぬけにくくなったためと考えられる。

2.3 ろ布張力

最適ろ布張力は2~3 kg/cm であった。

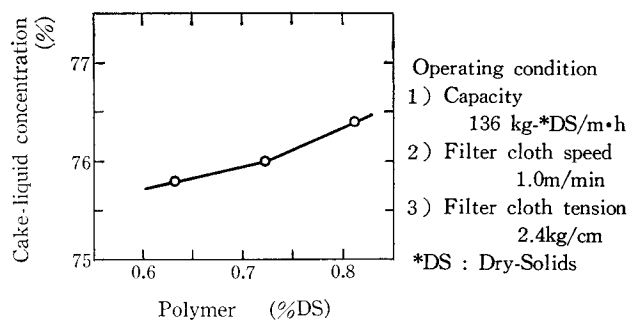
第2表にろ布張力を変えた場合の脱水状況を示す。ろ布張力を高くすることによりケーキ含水率は低下する反面、ろ布よりのケーキ剥離が悪化しろ布の汚れが激しくなる結果となった。

2.4 最大処理量

第3表はその調査運転結果であるが、計画ケーキ含水率の条件では 166 kg/m²·h のろ過速度での処理が可能であった。但し単にろ過速度の面からだけみれば 200 kg/m²·h 程度まで処理可能であり、その時のケーキ含水率は79%程度となった。

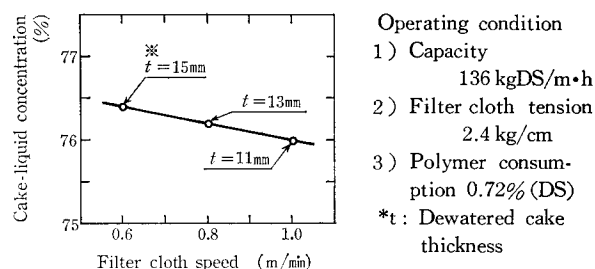
2.5 各工程での脱水効果

定常運転時における各工程の脱水効果調査結果を第9図に示す。脱水全工程で汚泥より脱離される水量のうち85%



第7図 薬品注入率とケーキ含水率

Fig. 7 Performance of belt press
Relationship between polymer dosing rate and cake-liquid concentration



第8図 3布速度とケーキ含水率

Fig. 8 Performance of belt press
Relationship between filter cloth speed and cake-liquid concentration

Process	Feed sludge	Draining zone	Pressing zone	Shearing zone	Filter cake
Water					
Liquid concentration (%) in sludge cake	97.7	89.8	81.3	75.7	
Separated water volume (wt %)		85	12	3	

Operating condition

- 1) Capacity 82 kgDS/m²·h
- 2) Filter cloth speed 0.65 m/min
- 3) Filter cloth tension 3.0 kg/cm
- 4) Polymer consumption 1.09% (DS)

第9図 各工程での脱水効果

Fig. 9 Dewatering efficiency of each zone

は第1段目の重力脱水部にて脱離され、2段目のローラー漸圧脱水部で12%、最終の圧搾脱水部にて残り3%が脱離されて含水率78%以下の脱水ケーキとなっていることがわかる。

むすび

以上東部浄化センターにおけるベルトプレス脱水機設備概要及び初期運転結果を述べたが今後ベルトプレス脱水機の採用を検討される場合に参考になれば幸いである。おわりに本設備の建設、運転に際し多くの助言や協力をいただいたいわき市役所の関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

ニ ュ ー グ ラ ス # 9000

New Glass # 9000

化工機事業部 製品開発室
沢 田 雅 光
Masamitsu Sawada

This report outlines our newly developed #9000 glass which provides superior corrosion resistance to acid and alkali.

この度、当社では耐酸性及び耐アルカリ性の両方に優れた、化工機用ライニングガラス「#9000」を開発したので、以下にその概要を説明する。

ま え が き

最近の化学工業は、量から質への転換がなされてきており、高付加価値の製品の生産に力を注いでいる。従って、そのために使用される原材料、生産設備等も当然品質の向上が要求される。特に設備については、製品中に不純物が混入しないように、化学的、機械的に安定した材質で長期間の使用に耐え、また運転が簡単であり、かつメンテナンスフリーで汎用性のある機器等が必要不可欠となってきた。化学工業の設備の心臓部として用いられることの多いガラスライニング機器は、近年特に幅広い種類の薬液で使用されている。酸性、有機系の薬液以外に、アルカリ性溶液による腐食環境にもさらされることが多くなってきている。

#9000は、このような時代のニーズに対応するために開発され、#3100、#5000より優れた新しい化工機用ライニングガラスである。

#9000とは

一般に、ガラスは珪酸塩やリン酸塩、硼酸塩のように酸性成分が主成分となり、網目構造を形成している。アルカリ成分は、この網目の中に適当に分布し、修飾イオンと呼ばれている。ガラスが酸性の腐食雰囲気中にさらされると、その中の水素イオンが、ガラス中の修飾イオンであるアルカリイオンと置換する。これが酸による腐食の開始である。

一方、アルカリ性の腐食雰囲気中におかれた場合は、酸成分で形成されている網目が切断され、骨格がくずれ落ちることになる。これがアルカリ腐食である。腐食性としては酸よりはるかに苛酷である。そのため、ガラスの使用は耐酸性の用途に限られていたのに対してアルカリ性の薬液に対しては今までガラス以外の金属材料等が使用されていた。当社の化工機用標準ガラス#3100は、多量の酸性成分の SiO_2 によって骨格が形成されており、ライニングガラスとして可能な限り、耐酸性を向上させたガラスであるが、アルカリ腐食にさらされる機会も多くなってきたために、#3100の他に#5000を開発し、使用してきた。

耐酸性の向上と耐アルカリ性の向上とは、相反する事項であり両立は難しい。#5000は耐アルカリ成分として知られている ZrO_2 を多量に含み、耐酸性を#3100に近づけ、かつ耐アルカリ性を改良したガラスである。

#9000は、耐酸性が#3100と同等またはそれ以上で、かつ耐アルカリ性を約2倍向上させたガラスであり、#5000より、耐酸、耐アルカリ性両方が更に大巾に上回るガラスである。

2. #9000の特長

以下に主な特長を記述すると

- 1) 耐酸、耐水性は最も優れている #3100 同等以上で、耐アルカリ性は約2倍向上する。
- 2) ライニング中に有害な構造変化を起さず、ガラスとして均質でかつ安定している。
- 3) ヘヤーライン、毛穴等が少なく、作業性が良い。
- 4) これらの結果、化学的にも物理的にも優れたガラスライニング機器の製作が可能となり、長期間の使用に耐えるようになる。

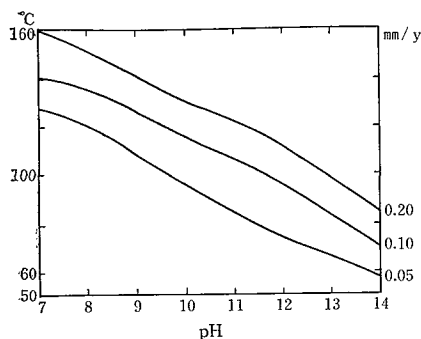
3. 耐 食 性

#9000の代表的な薬品に対する耐食を、第1～8図に示す。これらのデータは、密封されたガラスライニング製容器に満たされた薬液中への、浸漬実験によって得られたものであり、年間腐食率(mm/y)で表示した。年間腐食率が0.10mm/y以下の条件での使用であれば、約5年以上は耐えうると推定し、安全に長期間使用可能となる。0.20mm/y以上では、使用可能な期間が短かく、条件を緩和する必要がある。

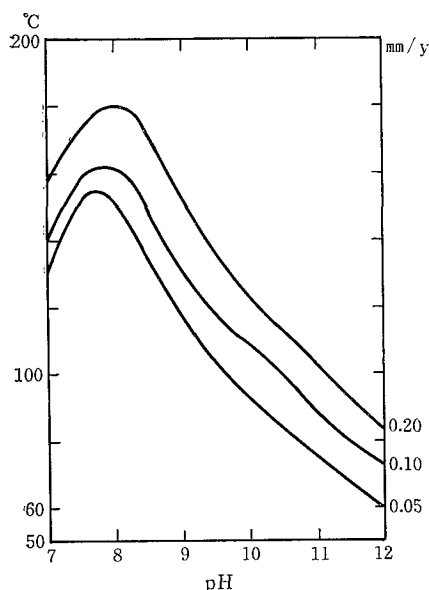
耐アルカリ性のグラフを第1, 2, 3図に示している。アルカリ溶液に対しては、濃度、温度が上昇するにつれて腐食性は増加する。 NH_3 に対してはpH 11からpH 12付近で耐食性が最低になるが、それ以上のpH値で無水の状態になれば、完全な耐食性を示す。

これらのグラフの中で、pH 7というのは、純水を意味している。飽和水蒸気に対しては、140°C以下での連続運転であれば問題はない。140°C以上であっても、わずかにpH値を下げれば、急激に耐食性は向上する。第4図以降の酸液のグラフの左端、濃度0%付近の線が無いのは、腐食率の急激な変化があり、記入が不可能であることによる。

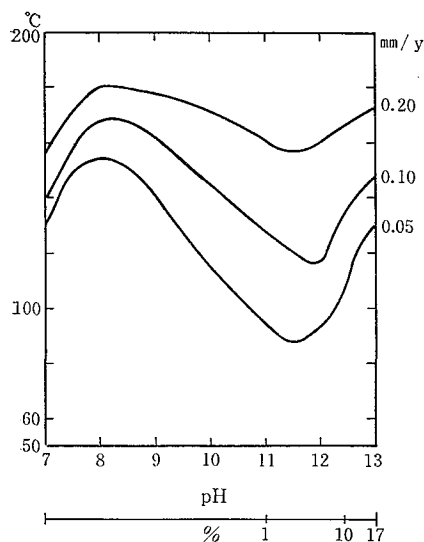
酸性の薬液中においては、弗酸、磷酸を除いたほとんどの酸の全濃度に対して、高い耐食性を示す。特に高濃度になり無水酸に近づくほど、完全な耐食性を有す。弗酸の存在する環境下でのガラスライニング機器の使用は、一般的には不可能と考える。磷酸水溶液はアルカリ溶液と同様、濃度、温度が増すことにより腐食性が上がるので注意をする必要がある。



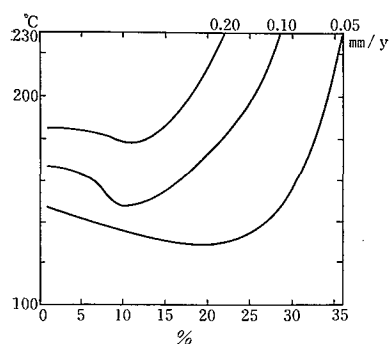
第1図
水酸化ナトリウム
Fig. 1
NaOH



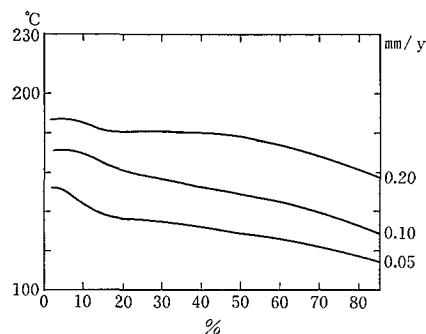
第2図
炭酸ナトリウム
Fig. 2
Na₂CO₃



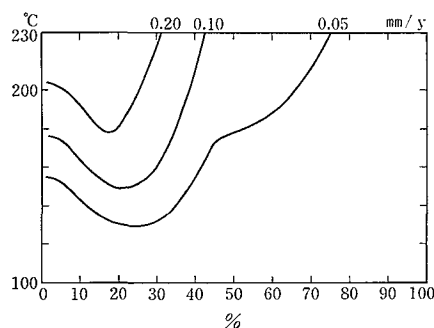
第3図 アンモニア
Fig. 3 NH₃



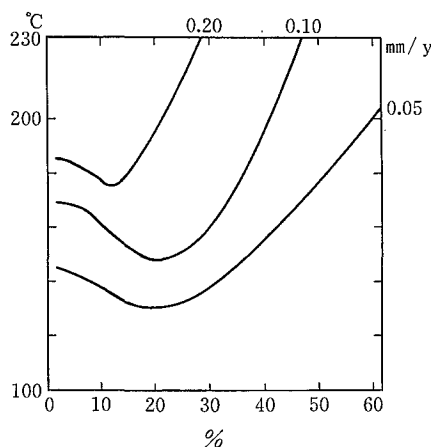
第4図 塩酸
Fig. 4 HCl



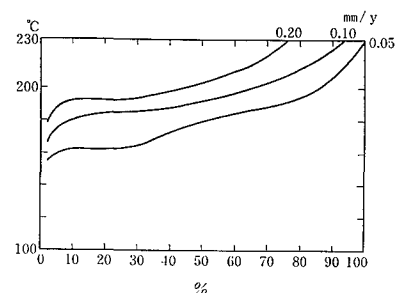
第5図 磷酸
Fig. 5 H₃PO₄



第6図 硫酸
Fig. 6 H₂SO₄



第7図 硝酸
Fig. 7 HNO₃



第8図 酢酸
Fig. 8 CH₃COOH

4. 適用範囲

#9000は、#3100、#5000同様、全ての機器への適用も可能であるが、顧客の需用に応えるべく主に高耐食性を必要とする分野へ利用していく予定である。ヌーセライト#8000の最表層の高耐食性ガラスも白色の#3100から、白色の#9000（#9000 P F）に代えることが可能で、この場合は「#8100」と呼称される。

むすび

#9000は総合的に性能を向上させ、ガラスライニング機器の寿命の延長、利用範囲の拡大を図ったものであり、ヌーセライト#8100とのコンビネーションで、今後の化学工業の設備の中核として、より一層活躍できるものとする。

社内ニュース TOPICS

複雑な化学反応も制御

発酵プロセスコントロールシステム

Complicated chemical process can be controled successfully.

Fermentation process control system using computer

当社は、ニュービジネス事業の育成を積極的に手がけ、その技術力に対して幅広い分野から高い評価を得ると同時に、需要も着実に伸ばしてきている。当社はグラスチール製、ステンレスおよび各種耐食金属製、誘導加熱反応・気液接触反応などの各種装置、さらには醸造用タンクと、これまで培ってきた技術力をベースに、新規装置類の開発・販売を進め注目されてきているが、発酵プロセスコントロールシステムは、その代表選手というべき製品。

当社は、反応機の専門メーカーとして、長年にわたって蓄積した技術と経験をもとに、ビール、清酒、ワイン、しょう油など食品、医薬、ファインケミカル分野へと多くの機器類を納入しているが、これらの技術力を結集して開発したのが、発酵プロセスコントロールシステム。

同装置は、ワンループDDC(デジタル調節計)、シーケンス、データロガーなどを納めたプロセスコントロールパネルおよびパーソナルコンピューター、CRTディスプレイ、フロッピーディスク、プリンターなどを含むオペレーターコンソールからなり、複雑な生化学反応系である発酵プロセスのDO(溶存酸素)、pH、温度などを定値制御またはプログラム制御する。

当社は、同システムについて100ℓ発酵槽を主体とする発酵パイロットプラントを持っており、各種培養特性、無菌保持、サニタリーエンジニアリング、プロセス前後処理、分離・精製など、発酵プラントに必要な各種基礎実験を実施しているが、①プロセス・コントロールパネルと上位通信を行うオペレーター・コンソールにより操作性が高い②汎用のパーソナルコンピューターを使用しているため、経済性が非常に高い。③データ処理、制御アルゴリズムにBASICが利用できるのも、プログラム作成が容易——といった特長がユーザーの間で好評を得ている。

極低温用ステンレス鋼製グラスライニング機器もニューバイオの発展とともに多くの需要が見込まれると考えられる。ニューバイオ分野は、バイオと化学の組み合わせを要するケースが多々あるが、この場合、反応条件を極低温域にキープしなければ目的の成果が得られないことがあり、従来のマイナス80度C以上の性能を有する装置のニーズが蓄まっていた。

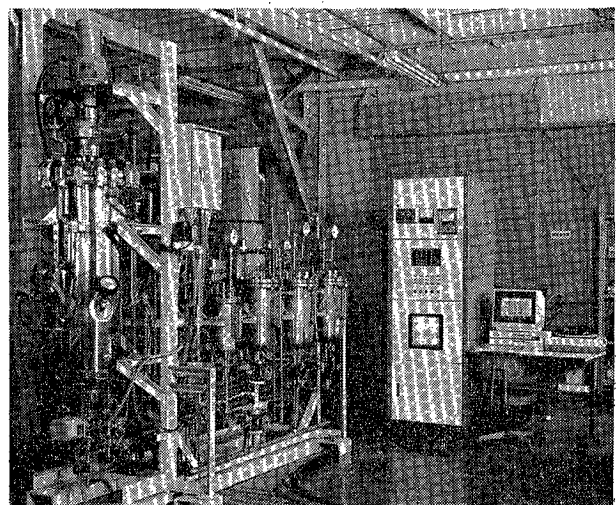
当社は、このような医薬品業界などからの要望に応え、炭素金属にオーステナイト系ステンレス鋼を用い、またライニング用ガラスとして、新しく開発した特殊ガラスを施すことによって実に約マイナス200度Cの使用にも耐えるという画期的な機器を製造、注目されたもので当社としてもその需要に期待している。

これらのほかにも、動力炉・核燃料開発事業団から委託を受け、高い技術評価を得ている電解研磨による放射性金属廃棄物の除染システム、気液接触反応装置「ケミカル・キャビテーター」、クライオロック・アジテーターなども有望事業として、今後とも積極的に展開していく方針である。(化学工業日報)

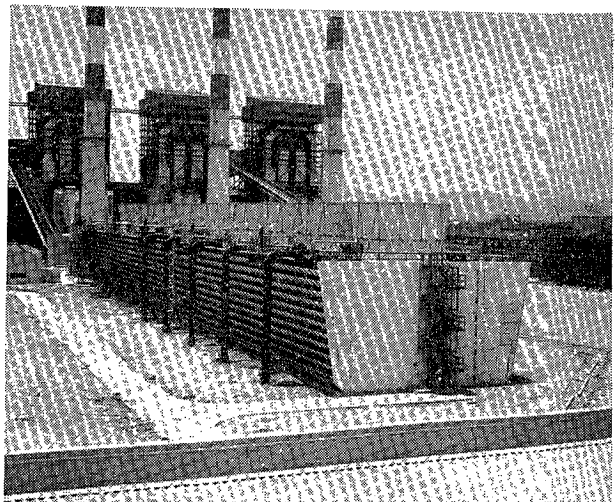
2. エジプト、東南アジア向けなど海外から冷却塔の大口受注好調

Successful big orders for cooling towers destined for Egypt and South East Asia.

当社は、佛神戸製鋼所殿、新潟鉄工佛殿がエジプトに建設する還元製鉄所向け冷却塔3基を2億円で受注したのをはじめ、インドネシア、タイ、マレーシアの発電所、石油化学、肥料工場へ冷却塔の輸出契約総額25億5000万円をまとめた。国内の製鉄所、石油化学工場などの設備投資が減



発酵プロセスコントロールシステム
Fermentation process control system



タイ・電力庁メーモ発電所向け冷却塔
Cooling towers for mae moh power plant in Thailand.

少しているから、今回の大口受注を契機に4月1日付で冷却塔輸出課を設置、今後海外への巡回定修サービスも強化し輸出実績の拡大をめざす。エジプトの還元製鉄所用の冷却塔は、冷却水用と水処理用でこのほど、現地で組み立てられた。タイ商談はタイ電力庁の石炭火力発電所用で1時間当たり16 000トン能力4基で契約は約16億円。インドネシア向けはプラタナの石油化学工場1時間当りの能力は9 200トン。受注金額は3億円でフルターンキー方式の受注となっている。

マレーシア向けは、ビンツル肥料公社の化学工場に設置、能力は26 000トンで受注金額は4億5 000万円。

当社は、今後国内の需要停滞を輸出でカバーするため海外市場の開拓に力を入れる方針。重点地域は重工業の拡大を積極化している中国とアセアン諸国で将来は全売り上げに占める輸出比率を40%から50%程度まで高める計画となっている。(日本工業新聞)

3. 微粒子10~50(1ml)——超純水製造技術を確立 Established highly pure water producing technology——10~50 particle count per ml in the water,

当社は、256キロビット、1メガビットなど超LSI製造に欠かせない超純水製造技術を確立し、積極的な販売活動を行っている。LSIメーカーが大規模集積回路へと生産を急ピッチで転換、より純度の高い洗浄水を求められるようになってきたのに対応したもの。装置には一、二次系で処理した水をさらに高次処理する三次系ループを加えるなど“超純水”を製造し、品質を維持する技術を随所に盛り込んでいる。

当社は、全員が技術者という「超純水グループ」を設置、メンテナンスを担当する神鋼ファウドラ環境管理係の人員を約10人増強するなど販売、技術開発体制を強化し、'85年度は15億円の売り上げを目標に、同市場でのシェア拡大をめざしている。

当社の超純水装置は、一次純水装置と二次純水装置、それに二次装置のユースポイント周辺に三次処理のループを設けている。一次は原水を逆浸透装置、脱塩水槽、脱ガス塔、イオン交換塔を通して処理、二次系では紫外線殺菌装置、非再生ポリシャ、限外濾過装置で純度を高め、三次系ではさらに限外濾過が逆浸透膜で処理する仕組みで、ユースポイントから供給する。

一次系は従来、ボイラに供給する装置と変わらないが二次系では生菌を除去する紫外線殺菌装置にフィルターをつけ、限外濾過からさらに精密処理のできる逆浸透膜への使用も可能なよう設計をし、コンパクトで修理や点検がしやすいよう機能性を高めている。

とくに製造した“超純水”の水質が落ちないよう細かい配慮をしているのが最大の特長となっている。

純水は、常に配管内部を循環するようにし、ユースポイントのバルブ内に水がたまるのを防ぐ特殊バルブを開発、洗浄作業の大幅な短縮をはかった。

また、配管には水のすべりが速くなる特殊塩ビ管を使い、過酸化水素でパイプの内部を洗っていたが、新装置では高温(80℃)殺菌法にウェットを移すことになり、塩ビパイプから耐熱性のあるPP(ポリプロピレン)やPV

DF(フッ素系塩ビ)管の使用を始めた。

超純水の製造コストは1m³当たり1 000円を超える。このため排水を再利用するシステムを開発、当社では社内にLSI製造のクリーンルームをつくり、イオン交換、限外濾過の機能向上などを含めコストダウンの研究も並行して進めている。

ウエハー加工、マスク作製、写真製版などLSI製造工程では超純水による洗浄は不可欠。ウエハー上の薬品と微粒子を洗い落とすのが目的だが、超純水中にイオン、微生物、有機物が含有されているとウエハーに組み込まれる酸化膜、多結晶膜、回路などに悪影響を与え、LSIの不良品を出す。

情報が大容量処理のLSIほど回路パターンは小さくなり、より純度の高い純水が求められるわけで、当社の超純水装置では比抵抗17~18以上(MΩ)、微粒子10~50(1ml)、生菌は1~10個(100ml)ときわめて純度の高い超純水が得られる。すでに大手半導体メーカーの納入実績もあり、今後は新しい技術とアイデアを装置に盛り込みながら今年度は業界シェア10%確保にチャレンジしている。(日本工業新聞)

4. 粉体関連機器を強化——新たに造粒、貯蔵も Extended application of powder related equipment—grain and storage

当社は、エレクトロニクス、ファインセラミックスなど先端産業で需要が伸びているサブミクロン粉碎機など粉体関連機器事業の強化を進めている。

化工機事業部と技術開発本部の二部門に分かれていた粉体事業を合体し、プロジェクトチームを発足させたほか、今後は①新機種の品ぞろえと機能アップ②機器の単体販売だけでなく、周辺機器を含めエンジニアリング機能の強化③輸出の拡大——の三つを重点に業績アップをはかる。

当社が扱っている粉体事業関係の機器は、超微粉碎機、高分散機「コボール・ミル」、混合・乾燥機「SVミキサー」、二重円錐乾燥混合機「ユニカル・ドライヤー・ブレンダー」、丸型振動ふるい機「スエコ・セパレーター」など。スイスのフリーマ社から輸入販売している「コボール・ミル」は初年度から順調に販売実績をあげ、オランダからの技術導入をベースに国産している「SVミキサー」は'80年から現在までに約500台を販売し、'85年度は130台の納入が目標となっている。

「ユニカル・ドライヤー・ブレンダー」は化学、薬品業界で採用され、「スエコ・セパレーター」も200台を超える実績を残している。

最近になってVTRテープなどに磁性塗料を均一に塗って性能を高める必要性に迫られているエレクトロニクス業界や薬品、食品など広範囲な業界で高度な粉体技術が使われはじめておりそれらのニーズに十分対応できる体制づくりを進めている。(日本工業新聞)

5. 展示会出品 Exhibitions

5.1. '85下水道展 Sewage works show '85

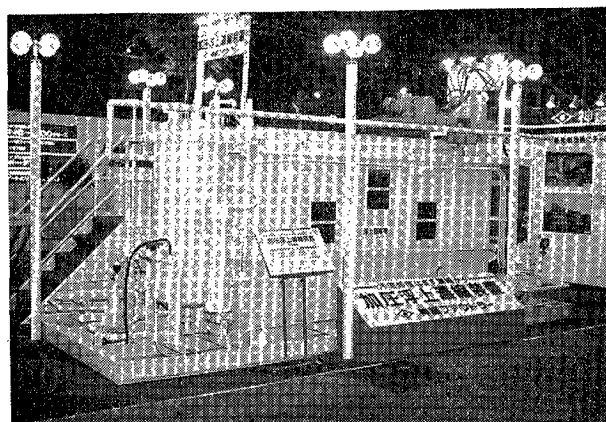
下水道整備の促進をめざすわが国唯一の専門ショー「'85下水道展」が、5月13日から17日まで、東京・晴海の東京国際貿易センターで開催された。

今回は、265社が屋内434、屋外28の合計 462 小間にわたって最新の製品、技術を披露し、5 日間の会期で延61 000 人の来場者があり盛況裡に終了した。

当社は、独自の開発により実績も増えつつある加圧浮上濃縮装置のパイロットプラントの実演を中心に、小規模下水処理装置としての「シグマディッチ」(模型)、嫌気性廃水処理装置「ABCシステム」(模型)、環境装置事業部の納入写真パネルなどを出品展示した。



インフォメーション
Information



実演が好評であった「加圧浮上濃縮装置」(模型)
Demonstration of floating thickener won popularity (model)



小規模下水処理装置「シグマディッチ」(模型) <左>
嫌気性廃水処理装置「ABCシステム」(模型)
「SIGMA DITCH」(model) <left> & 「ABC SYSTEM」(model)

5.2. 九州 I C 総合展 Silicon Island '85

最新鋭の半導体関連機器を一堂に集めた「九州 I C 総合展」が、5月23日から25日まで福岡市博多区の福岡国際センターで開催された。

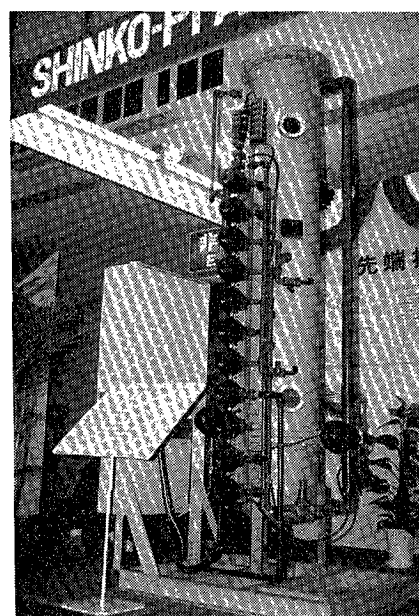
わが国の半導体生産の40%強を占め、世界的な I C 生産基地に変ぼうを遂げている九州地区での本格的な展示会のはじめての開催で、会期中に約10 000 人の来場者があった。

当社は、超純水製造に最適で高性能、省資源型の混床式イオン交換装置「マックスフロー」の完機、超純水装置の配管材料、化工機事業部の協力を得て電解研磨仕上げによるパイプ類の実物とパネル資料を出品展示した。

また、展示会場に隣接する福岡サンパレスで開催された記念セミナーでは、環境装置事業部超純水グループから、「超純水について」のテーマで1時間講演し、多数の出席者から好評を博した。



当 社 小 間
Shinko-Pfaudler's exhibition room



マックスフロー
「MAX FLOW」