

# 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。

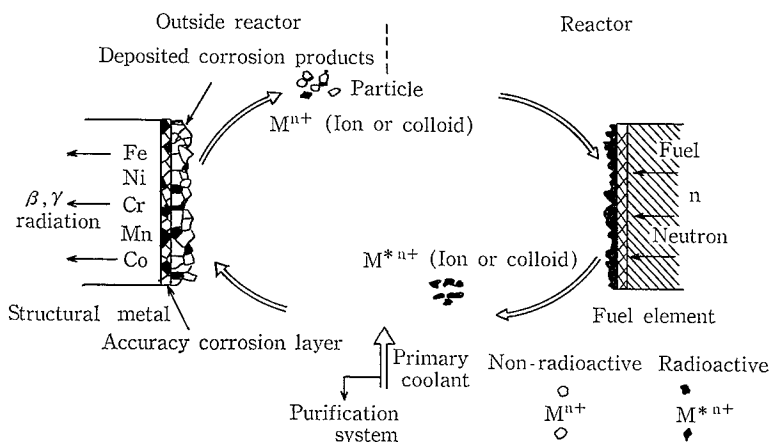
### 1. 放射能抑制対策の現状

#### 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( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )型の鉄系酸化物である。



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

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<sup>1)</sup>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 $\text{O}_2$ 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)

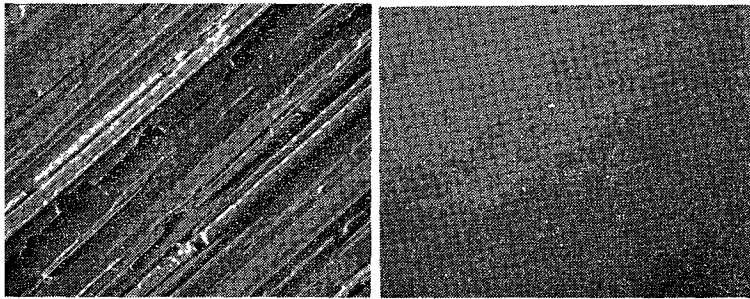
##### 4) 冷却水中の溶存酸素量の抑制

- 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 $^{60}\text{Co}$ 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

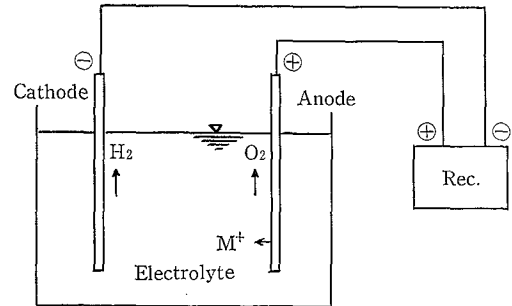
一次系の稼動中あるいは定検時にさまざまな性状形態の放射性廃棄物が発生する。これらは廃棄物処理系をへて処分が行なわれる。



×500(S EM) ×500(S EM)  
 (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 $^{60}\text{Co}$ ）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年性の面で対応出来ない方策である。

しかし、通常のスチレン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。

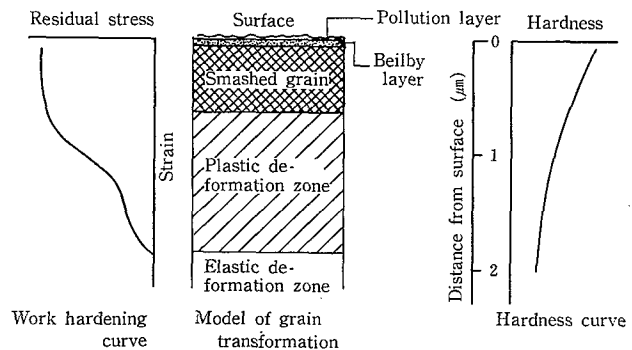
## 2. 電解研磨処理の特性

### 2.1 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)

## 2.2 加工表面の構造

機械研磨<sup>2)</sup>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<sup>3)</sup>

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。

SUS304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 <sup>2</sup> )	
	Parallel in line with buffing	At 90° to buffing
#150	29.6	-40.6
#150+A C <sup>1)</sup>	9.6	-43.7
#150+E P <sup>2)</sup>	-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。

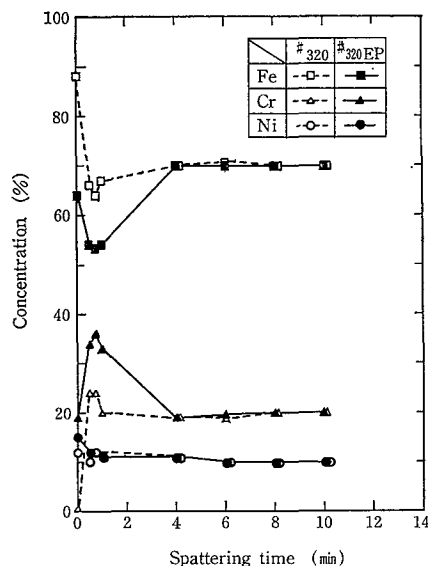
## 2.4 不動態皮膜の組成

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。

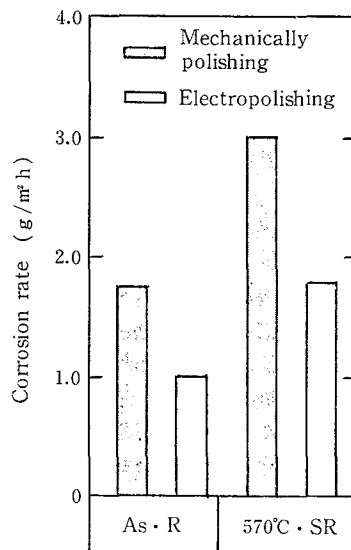
不動態皮膜の厚みは通常数十オングストロームといわれているが、最近になって表面から10~100オングストローム程度の深さまでの層を直接分析出来る手段がいくつか開発された。その中で特にオージェ電子分光法(AES)は迅速な分析が可能でイオンスパッタリング法(表面をごくわずかに除去するもの)を併用することで、厚さ方向の組成分布を定量的に把握することが出来る。

AESによってSUS316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 SUS304における0.1%硫酸腐食試験  
Fig. 5 Result of corrosion test of SUS304 in boiling 0.1% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

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

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

第2表 高温純水中でのSUS316の腐食減量  
Table 2 Corrosion of SUS316 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、SUS304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<sup>3)</sup>。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。

Jackson<sup>4)</sup>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。<sup>3)</sup> 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/mm<sup>2</sup>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。

Kohli<sup>5)</sup>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<sup>6)</sup>（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<sup>7)</sup>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

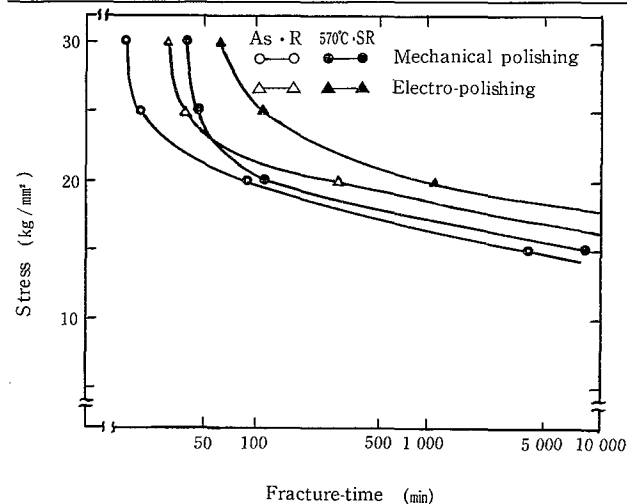
Surface condition	NaCl (%)
Electropolished (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	0.61
Fine (hand) ground (240 grit)	0.50
Fine (belt) ground (240 grit)	0.32
Sandblasted	0.37
Coarse (wheel) ground	0.38

Tests: Done starting with specimens passive at 0.645 volt (H<sub>2</sub> scale) in 0.3NH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 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



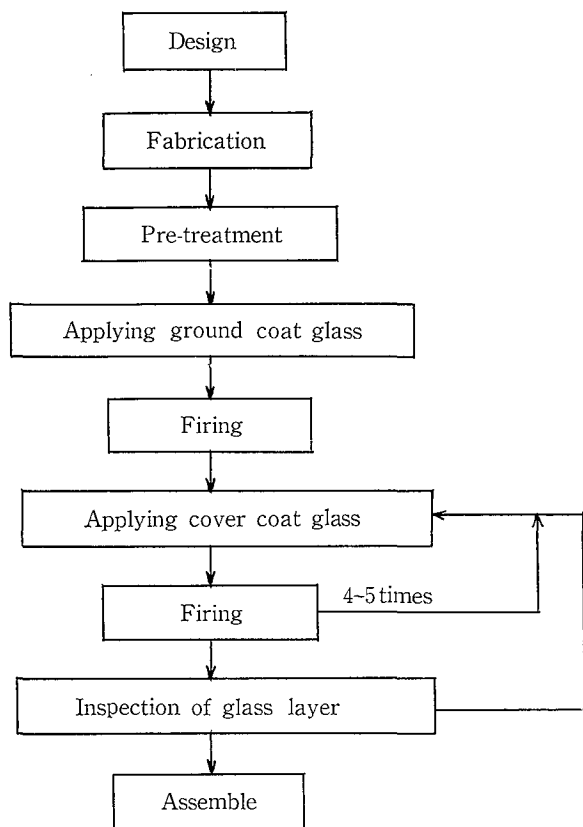
第6図 SUS 304 材における負荷応力-破断時間曲線（測定値は3~5点の平均）

Fig. 6 Curve of stress-fracture time

10μ



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250m<sup>3</sup>)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。

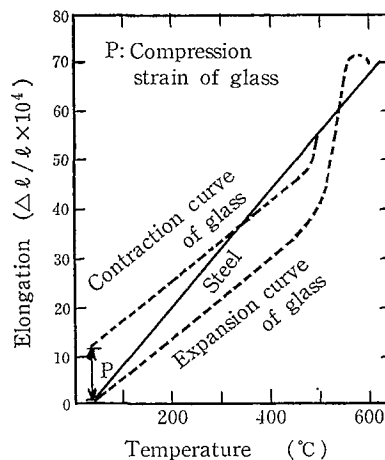
### 3.3 グラスチールの機械的性質

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/cm<sup>2</sup>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/mm <sup>2</sup> )	7	41~50
Compression strength (kg/mm <sup>2</sup> )	80	—
Young's modulus (kg/mm <sup>2</sup> )	7,000	21,000
Hardness (Hv)	600	110
Linear expansion coefficient (50~400°C) (10 <sup>-5</sup> mm/°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。

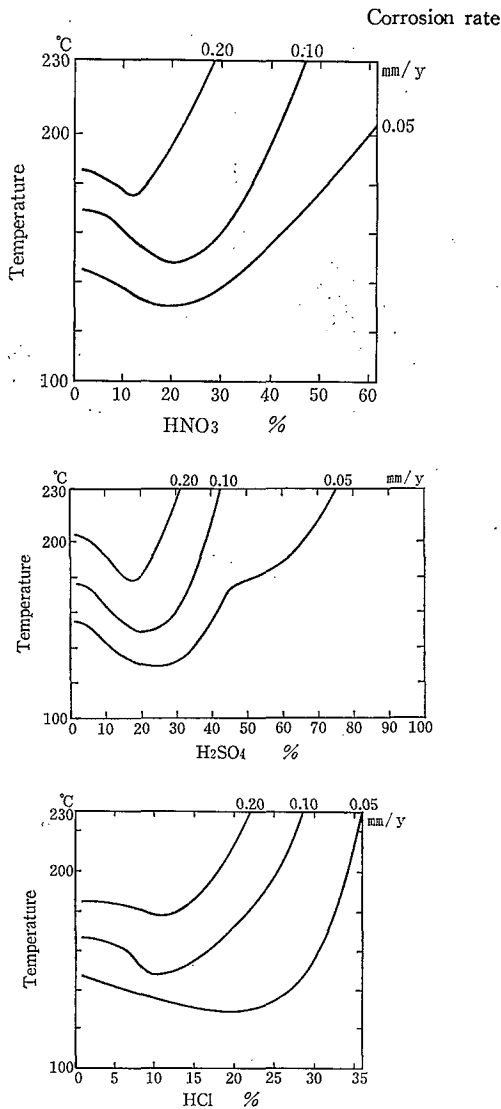
#### 3.4 グラスチールの耐食性

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 gasteel® 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Allen<sup>9)</sup>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 $\mu$ mの値を示し、それを電解研磨した後のRmaxは10~15 $\mu$ 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 $\mu$ 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) <sup>1)</sup>	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]<sup>1)</sup> 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)

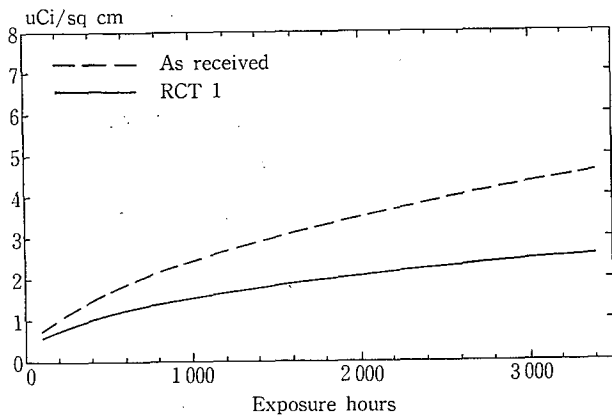
Surface treatment	Contact angle							
	SUS 304				SUS 316			
	Rmax ( $\mu$ )	Pure water	Glycerin	Styrene monomer	Rmax ( $\mu$ )	Pure water	Glycerin	Styrene monomer
#150	3.8	115.5	104.5	33.3	3.3	109.5	105.5	32.2
#150 + E P	2.0	74.1	68.2	11.0	1.9	48.3	46.0	15.5
#320	1.8	112.2	102.8	43.3	1.3	90.0	91.5	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]<sup>1)</sup> 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<sup>9)</sup>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。<sup>10)</sup> 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、<sup>60</sup>Co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なう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。

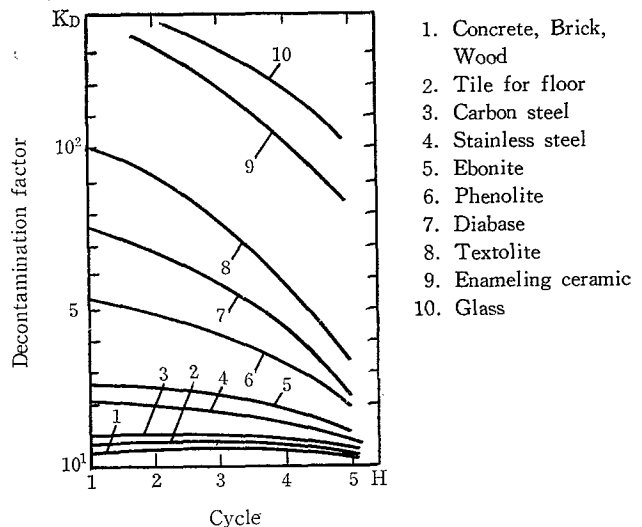
当社では1984年にクーパー原発向けの一次系配管のRCT処理における電解研磨施工を実施した。本年度もパーモンタンキー向けの一次冷却系配管の電解研磨施工を受注し現在施工中である。

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<sup>11)</sup>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、10~100m<sup>3</sup>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