

5. マニピュレーター用素材の海水腐食試験 (第3報)

名 執 薫^{*1} 橋 本 惇^{*1} 堀 田 宏^{*1}

前報では、マニピュレーター素材との付着性を十分検討した塗料、塗料系を用いれば、市販の防食、防汚塗料で、長期にわたる効果を期待できることを述べた。しかし、これはあくまで素材と塗料がよく付着している健全な塗膜面のみにいえることである。また塗料は機械的強度が低いため、マニピュレーター回転部や摺動部には不適當である。そこで本試験では、機械的強度が高く、耐摩耗性が良好で、しかも防食、防汚効果を期待できるアルミニウム素材への電気化学的な表面処理をいくつか選択し、実海面で浸漬試験を実施した。

その結果、どの表面処理にも、防汚効果はなかったが、大部分のものは生物等が付着しても除去しやすく、防食効果も良好であった。総合的な判断からマニピュレーター用として、陽極酸化皮膜にテフロンを含浸させたタフラムが最適と考えられる。

Corrosion Tests of Manipulator Materials in Sea Water (Report III)

Kaoru Natori^{*2} Jun Hashimoto^{*2} Hiroshi Hotta^{*2}

Through the last immersion test, we determined that anticorrosion and antifouling paints on the market are effective for a long time.

However painted surfaces are weak in mechanical strength so they are not suitable for the rotating and sliding part of the manipulator. Therefore, in this experiment we carried out immersion tests in seawater on the electrochemical surface treatment of aluminum which we were able to expect anticorrosion and antifouling effects.

As a result, no treatment had any antifouling effect, but most of them had anticorrosion effect and it was easy to remove attachments on them.

It was concluded that TUFAM, which is the anodic oxidation treatment impregnated TEFLON, is the most suitable for the manipulator among the tested materials.

1. ま え が き

これまでに報告した“マニピュレーター用素材の海水腐食試験”第1報および第2報の結果をふまえた上で、マニピュレーター素材として要求される強度と重量の比が大きく、耐摩耗性に富み、かつ防食および防汚効果を期待できるアルミニウム素材への表面処理を何種類か選択し、実海面で浸漬試験を実施した。

2. 試験片の種類

本試験に供した試験片種類、処理法、特徴を表1にまとめて示す。

これらを選択するにあたっては、特にマニピュレーターに使用することを考慮し、素材との付着性、膜厚精度、入手性、価格などを十分検討した。

各試験片の素材は、耐食アルミニウム合金A5052P-H34で、大きさは厚さ2mm×幅100mm×長

^{*1} 海洋利用技術部

^{*2} Marine Utilization Technology Department

表1 試験片種類，処理法，特徴

Kinds of test pieces, methods of treatments, features

試験片種類 kinds of test pieces	処理法 methods of treatments	特徴 features
A5052P-H34+タフラム (TUFRAM)	陽極酸化皮膜にテフロンを含浸 Impregnating teflon in anodic oxidation film	耐摩耗，耐食性良好 abrasion resistant, anticorrosion
A5052P-H34+デュラコート (DURA-KOTE)	低温電解液中，高電流密度で陽極酸化皮膜を生成 Forming anodic oxidation film in low temperature electrolyte and high current density	耐摩耗，耐食性良好 abrasion resistant, anticorrosion
A5052P-H34+デフリックコートFBT-116 (DEFRIC COAT)	固体潤滑剤二硫化モリブデンをスプレーまたは焼付により塗付 Coating molybdenum disulfide which is solid lubricant by spraying or baking	耐食性良好 anticorrosion
A5052P-H34+デフリックコートHC-6 (DEFRIC COAT)	固体滑滑剤二硫化モリブデンをスプレーまたは焼付により塗付 Coating molybdenum disulfide which is solid lubricant by spraying or baking	耐食性良好 anticorrosion
A5052P-H34+リルサン (RILSAN)	ナイロン11粉体塗料を静電塗装，流動浸漬，溶射法によって塗付 Coating nylon 11 powder paint by electrostatic painting, fluid immersion or flame spraying	耐摩耗，耐海水性良好 abrasion resistant, antisaline
A5052P-H34+滲鉛加工 (SHINEN KAKO)	純鉛（99.998％）を電気鍍金 Plating pure lead (99.998%)	耐海水性良好 antisaline
A5052P-H34+チタンカーバイド (Titanium Carbide)	活性化反応蒸着法によって炭化チタンを被覆 Coating titanium carbide by activated reactive evaporation	耐摩耗，耐食性良好 abrasion resistant, anticorrosion
A5052P-H34+チタンナイトライド (Titanium Nitride)	活性化反応蒸着法によって窒化チタンを被覆 Coating titanium nitride by activated reactive evaporation	耐摩耗，耐食性良好 abrasion resistant, anticorrosion
A5052P-H34+タングステンカーバイド (Tungsten Carbide)	プラズマ溶射によってタングステンカーバイドを被覆 Coating tungsten carbide by plasma spraying	耐摩耗性良好 abrasion resistant
A5052P-H34+トリパロイ700 (Tribaloy 700)	プラズマ溶射によってトリパロイ700を被覆 Coating tribaloy 700 by plasma spraying	耐海水性良好 antisaline
A5052P-H34+エムラロン333 (Emralon 333)	ふっ素樹脂をスプレーして塗付 Coating fluorine resin by spraying	耐摩耗，耐食性良好 abrasion resistant, anticorrosion

さ 300mmである。

3. 試験方法

3.1. 試験場所

試験場所は、海洋科学技術センター沖合約 100 m（水深 6 m）のところで、当該海面上に筏を設置して行った。

3.2. 試験片浸漬方法

各試験片は、図 1 に示すように、筏から試験片枠をつり下げ、海面下1.5mになるように取付けた。

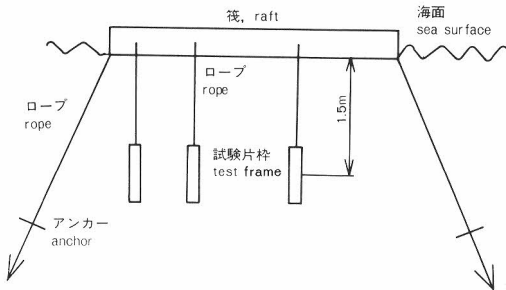


図 1 試験片の浸漬方法
Immersion method of test pieces

3.3. 試験期間

試験は1977年 6 月から翌年 3 月、また1977年 9 月から翌年 3 月の 2 期行った。

前者ではタフラム、デュラコート、デフリックコート、リルサンおよび滲鉛加工であり、後者はチタンカーバイド、チタンナイトライド、タングステンカーバイド、トリバロイ 700およびエムラロン 333の試験を行った。

4. 評価方法

各試験片は、引き上げ後、肉眼観察および写真撮影し、以下に示す基準に従い、その状況を評価および記録した。

4.1. 防食性

試験片表面に生じる錆を観察し、日本塗料検査協会の“塗膜の評価基準（1970）”に従って評価した。

4.1.1. 錆評価

表 2 は錆の評価基準を示す。

表 2 錆の評価基準

Standard to judge the rust

評価 rating	外観状況（錆） outside view (gathered rust)
10	なし, non
8	0.1%
6	1 %
4	10 %
2	33 %
0	>33 %

4.2. 防汚性

試験片表面に付着する藻類、付着生物などは、日本造船協会が用いている生物着性量判定基準（6段階法）に従って評価した。

4.2.1. 判定の考え方

生物付着の程度を船舶運行の抵抗に及ぼす影響度から、次の 4 種類に分け、付着面積（被覆度）によって段階表示する。

(1) スライム性付着

(2) 海藻類（植物）

アオノリ、アオサ、シオミドロなど

(3) 有殻生物（動物）

フジツボ、セルブラ、イガイ、カキなど

(4) 無殻生物（動物）

コケムシ、ホヤなど

4.2.2. 付着量の判定（6段階表示）

評価判定は付着した生物の総付着面積によって行う。表 3 はその基準を示す。

5. 結果および考察

5.1. 1977年 6 月開始の浸漬試験

試験に供した試験片はタフラム、デュラコート、デフリックコート F B T－116，同 H C－6，リルサン、滲鉛加工である。

写真 1 は浸漬開始前の試験片の状況を示す。試験片を取付けてあるのが鉄パイプ製の試験片枠である。

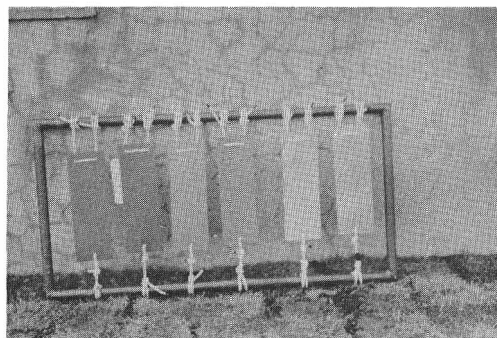
写真 2 は浸漬開始 4 週間後の各試験片の状態を示す。フジツボ、藻類などが全面に密集付着した。付着状態は各試験片とも、ほとんど同じで差は認められなかった。

写真 3 は11週間後の各試験片の状態を示す。4 週間後に比べて全体に付着量が多く、特にホヤが

表3 生物付着量判定基準

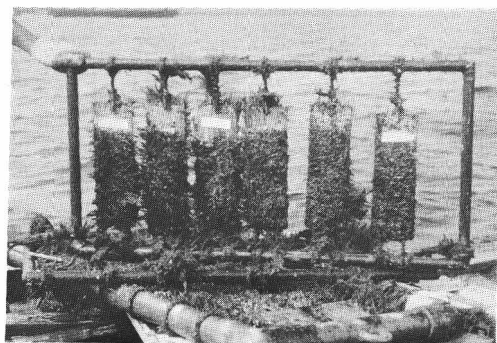
Standard to judge the quantity of
attached organisms.

評価 rating	生物付着の総被覆度 quantity of attached organisms	外観状況 outside view
0	全く付着なし non	ごくわずかなスライム付着 very little slime attached.
1	わずかに付着 very few	スライム付着を認め、少し藻類で緑色を帯びている場合、ただし、生物付着なし slime attached, but no organisms
2	1/10面 (10%) 程度生物付着 10 % area	生物の分散付着総量 1/10面 (10%) 以下と判断 organisms dispersedly attached, gross amount seems to cover less than 10% of the surface
3	1/2面 (20~20%) 程度生物付着 10 ~ 20 % area	生物藻類が分散付着、又は部分付着し、総量 1/5面 (10~20%) 程度と判断 organisms and algae dispersedly or partly attached, gross amount seems to cover between 10% to 20% of the surface
4	1/2面 (20~50%) 程度生物付着 20 ~ 50 % area	生物、藻類が分散付着又は部分付着し、総量 1/2面 (20~50%) 程度と判断 organisms and algae dispersedly on partly attached, gross amount seems to cover between 20% to 50% of the surface
5	ほぼ全面 (50~100%) 生物付着 50 ~ 100 % area	生物、藻類がほぼ全面付着 organisms and algae almost attached on the whole surface
6	全面密集付着 great quantity	生物、藻類が全面密集し厚く付着 organisms and algae almost attached on the whole surface.



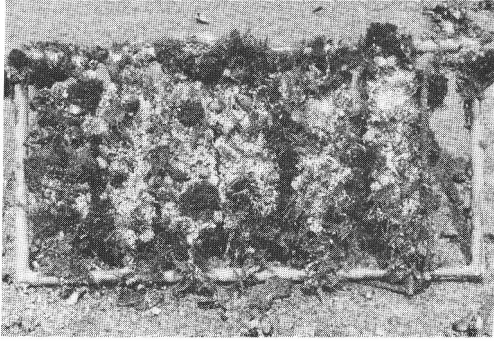
デフリックコート リルサン 滲鉛加工
DEFRIC COAT RILSAN SHINEN KAKO

写真1 浸漬開始前の試験片
Test pieces before immersion test



タフラム デュラコート デフリックコート
TUFRAM DURA-KOTE DEFRIC COAT

写真2 4週間後の試験片
Test pieces after 4 weeks in sea water



タフラム デュラコート デフリックコート
TUFAM DURA-KOTE DEFRIK COAT

写真3 11週間後の試験片

Test pieces after 11 weeks in sea water

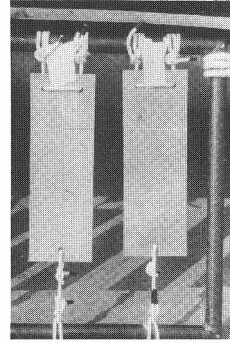


写真6 浸漬開始前の滲鉛加工表面

"SHINEN KAKO" surface before immersion test

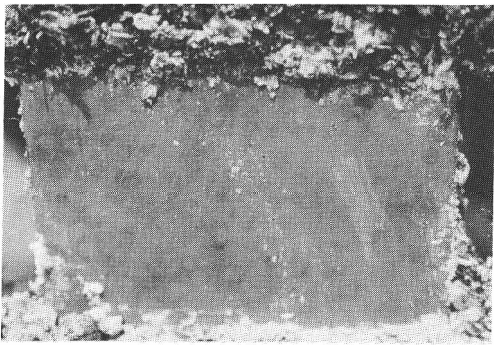


写真4 11週間後の付着物を

除去したタフラム

"TUFAM" surface stripped attachments after
11 weeks in sea water

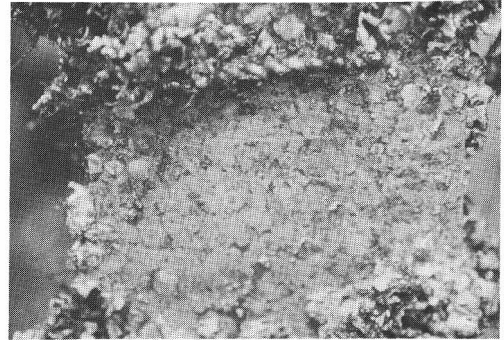
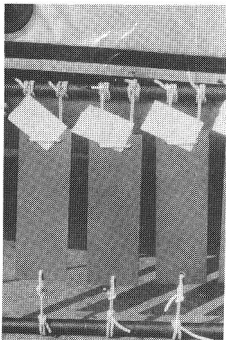


写真7 11週間後の付着物を

除去した滲鉛加工表面

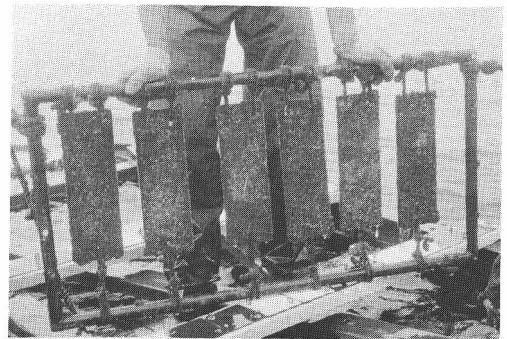
"SHINEN KAKO" stripped attachments after
11 weeks in sea water



タフラム
TUFAM

写真5 浸漬開始前のタフラム表面

"TUFAM" surface before immersion test



デフリックコート リルサン 滲鉛加工
DEFRIK COAT RILSAN SHINEN KAKO

写真8 16週間後の試験片

Test pieces after 16 weeks in seawater

多くみられた。この傾向はどの試験片にも同様であり、防汚効果は全くないことがわかった。

写真4は付着物を除去した11週間後のタフラムの表面状態で、写真5の浸漬開始前と比べ、ほとんど変化が見られないのに対し、滲鉛加工では写真6の浸漬開始前と写真8の11週間後と比較すると、明らかに変化が見られ、フジツボが表面に食込み、その跡がはっきり観察された。

付着物の除去しやすさは、タフラム、デュラコート、デフリックコート の順であり、次いでリルサン、デフリックコートも比較的容易に除去できる。これに対して、滲鉛加工はフジツボが表面に食込んでいるため、除去しにくく、強くこすると被膜ははく離してしまふことがあった。

写真8は16週間後の各試験片の状態を示す。

この頃（1977年10月）になると、ホヤがみられなくなり、フジツボも減少し、藻類が目立つようになった。

写真9は40週間後の各試験片の状態を示す。この写真からもわかるように、ホヤの付着が非常に目立つが、フジツボ、藻類も多く見られた。

写真10は付着物除去後のタフラム表面を示す。浸漬前と比べてほとんど変化がみられなかったのに対し、滲鉛加工では、写真11のように、フジツボのあとが写真7の11週間後よりも、さらにははっきりと残り、表面への食込みの激さがわかった。

他の試験片はタフラムと同様、ほとんど変化が見られず、付着物の除去のしやすさも、写真7の11週間後と同様であった。

防食効果は、滲鉛加工以外は良好で、腐食は全く認められなかった。滲鉛加工では、写真11からわかるように、試験片端部や取付用穴部の周辺に腐食がみられた。

以上の結果を表4にまとめた。

5.2. 1977年9月開始の浸漬実験

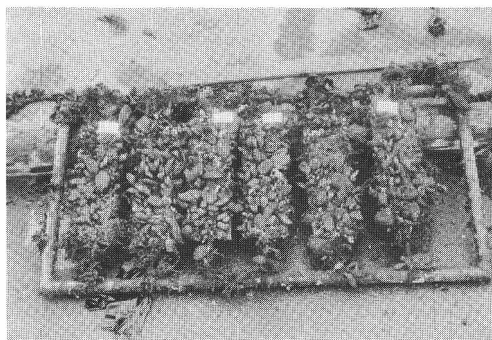
試験片は、チタンカーバイド、チタンナイトライド、タンゲステンカーバイド、トリバロイ 700 およびエムラロン 333である。

写真12は5週間後の各試験片の状態を示す。

この写真ではフジツボ、藻類が全面に付着し、各試験片の防汚効果は全くみられなかった。

写真13は30週間後のエムラロン 333の付着物の状態を示す。この写真ではフジツボ、ホヤ、藻類が全面密集して付着している。他の試験片も全く同様な付着状態であった。

写真14は付着物を除去した30週間後のトリバロイ



タフラム デュラコート デフリックコート
TUFAM DURA-KOTE DEFRIK COAT

写真9 40週間後の試験片
Test pieces after 40 weeks in seawater

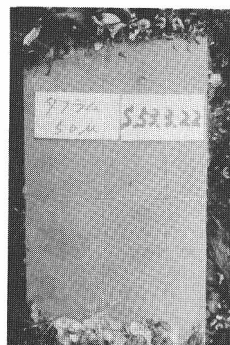


写真10 40週間後の付着物を除去した
タフラム表面
"TUFAM" surface stripped attachments after 40 weeks in seawater

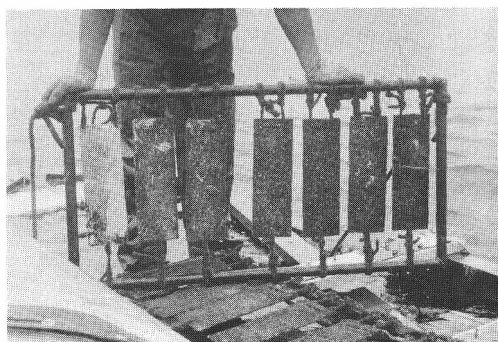


写真11 40週間後の付着物を除去した
滲鉛加工表面
"SHINEN KAKO" surface stripped attachments after 40 weeks in seawater

表 4 観 察 結 果 (1977年 6 月開始分)

Observational results (Started at Jun. 1977)

表面処理種類 kinds of surface treatment	4 週間 (1977年 7 月) 4 weeks (Jul. 1977)		11週間 (1977年 9 月) 11 weeks (Sep. 1977)		16週間 (1977年10月) 16 weeks (Oct. 1977)		40週間 (1978年 3 月) 40 weeks (Mar. 1978)			
	評価 rating	防 汚 性 antifouling	評価 rating	防 汚 性 antifouling	評価 rating	防 汚 性 antifouling	評価 rating	防 汚 性 antifouling	評価 rating	防 食 性 anticorr- osion
フフラム TUFRAM	6	フジツボ, 藻類 全面密集付着 barnacle and algae thick attached	6	フジツボ, ホヤ, 藻類 全面密集付着 barnacle, ascidian and algae thick attached	6	フジツボ, 藻類付 全面密集付着 barnacle and algae thick attached	6	フジツボ, ホヤ, 藻類 全面密集付着 barnacle, ascidian and algae thick attached	10	さびなし no rust
デュラコート DURA-KOTE	6		6		6		6		10	
デフリックコート F B T-116 DEFRIC COAT	6		6		6		6		10	
デフリックコート H C-6 DEFRIC COAT	6		6		6		6		10	
リルサン RILSAN	6		6		6		6		10	
滲鉛加工 SHINEN KAKO	6		6		6		6		4	さび一部 発生 rust partly occured



タングステンカーバイド エムラロン333 トリパロイ770
Tungsten Carbide Emralon 333 Tribaloy 700

写真12 5週間後の試験片
Test pieces after 5 weeks in seawater

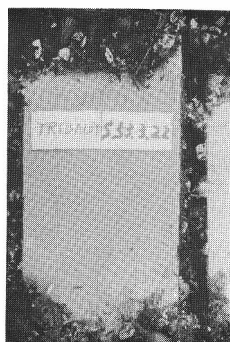


写真14 30週間後の付着物を除去した
トリパロイ700表面

"Tribaloy 700" surface stripped attachments after 30 weeks in seawater



写真13 30週間後のエムラロン333
"Emralon 333" after 30 weeks in seawater

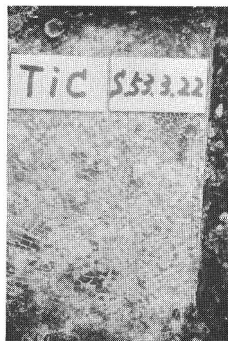


写真15 30週間後の付着物を除去した
チタンカーバイド表面
"Titanium Carbide" surface stripped attachments after 30 weeks in sea water

表5 観 察 結 果 (1977年9月開始分)

Observational results (started at Sep. 1977)

表面処理種類 kinds of surface treatment	5週間 (1977年10月) 5 weeks (Oct. 1977)		30週間 (1978年3月) 30 weeks (Mar. 1978)			
	評価 rating	防汚性 antifouling	評価 rating	防汚性 antifouling	評価 rating	防食性 anticorrosion
チタンカーバイド Titanium Carbide	6	フジツボ, 藻類 全面密集付着 barnacle and algae thick attached	6	フジツボ, ホヤ, 藻類 全面密集付着 darnacle, ascidian and algae thick attached	0	錆全面発生 rust occurred on the whole surface
チタンナイトライド Titanium Nitride	6		6		0	
タングステンカーバイド Tungsten Carbide	6		6		10	錆なし no rust
トリパロイ 700 Tribaloy 700	6		6		10	
エムラロン 333 Emralon 333	6		6		10	

イ 700の表面状態を示す。浸漬前と比較してほとんど変化がみられず、防食効果は良好であった。タングステンカーバイド、エムラロン 333も、同様な結果を示した。これに対して、チタンカーバイド、チタンナイトライドは全面にわたって孔食が発生した。

写真15はチタンカーバイドの表面状態を示す。前述の滲鉛加工の腐食のように、試験片端部とか、穴部だけでなく、ほぼ試験片の全面にわたって孔食が発生し、成長していることがわかる。この孔食は大きさが径2～3 mm 深さ約0.5 mmあり、特に取付用穴部周辺では、素材のアルミニウム合金が腐食のため、やわらかくなってしまうような現象が見られた。

付着物の除去しやすさも、チタンカーバイド、チタンナイトライド以外は容易で、表面にフジツボなどの跡も全く残らなかった。チタンカーバイドとチタンナイトライドの場合は常に除去しにくく、フジツボの付着した部分から孔食が発生していることがわかった。

以上の結果を表5にまとめた。

5.3. 浸漬試験結果の考察

試験片の手配の都合で、試験開始時期が6月と9月に分かれ、その間の比較が十分にできないが、約10箇月にわたる浸漬試験結果、つぎのことが分かった。

(1) いずれの表面処理法も、防汚効果は認められない。

当初、防食および防汚効果を期待して選定した試験片であったが、前回の試験の場合とは異なり、付着物の種類によらず、動物性付着物にも植物性付着物にも、その効果が全く認められなかった。

(2) 滲鉛加工、チタンカーバイドおよびチタンナイトライド以外は、付着物の除去が容易で、防食効果は良好であった。

特にタフラム、デュラコート、エムラロン333などは、フジツボのように、付着力の強いものでも除去が容易であった。これに対し、チタンカーバイド、チタンナイトライドおよび滲鉛加工については、付着生物除去がきわめて困難で、防食性が不良であった。これはフジツボなどが表面に食込み、その部分から腐食が進行したものと考えられる。

(2) 滲鉛加工、チタンカーバイドおよびチタンナイトライドは、全面にわたって激しい孔食が

認められた。

これらの表面処理過程で、ピンホールをなくすることが難しく、そのため、フジツボが付着した部分からピンホールを通じて内部に腐食が進行すると考えられる。付着生物の除去のしにくさと防食性の悪さとは相関関係にあることが理解される。チタンカーバイドは、特に孔食が著しかった。

(4) マニピュレーター用として、防食性、付着生物の除去性、機械強度、対摩耗性、入手の容易さ、価格などの観点で、タフラムが最適と考えられる。

6. あとがき

一連のマニピュレーター用素材の海水腐食試験は、今回の報告をもって一旦終える。

当初、科学技術庁から委託をうけた“バイラテラル方式のマニピュレーターの研究”の一環として、1974年（昭和49年）に開始して以来、約4年間にわたって続けてきた。その間、毎年のように海況が変わり、ある年はフジツボが多かったり、藻類が目立ったり、またはイガイやホヤが大量に発生した年もあった。したがって全体を通して単純に比較するのはむずかしいが、ここで試験の経過とともにまとめてみる。

まず第1報（1974年12月～翌年3月）では、当時、科学技術庁から委託をうけて製作したバイラテラル方式のマニピュレーターの素材として、採用された表面に硬質陽極酸化処理を施した耐食アルミニウム合金（以下HMという）を使用し、人工海水および実海面において試験を行った。その結果、腐食には温度や溶存酸素量よりも、生物等の付着が、より大きな影響を与えることがわかった。これは人工海水中では認められなかったHMが実海面では表面が凸凹に浸されたことからものはっきりいえる。

これらの結果を踏まえて、第2報（1975年8月～1977年4月）では、大日本塗料(株)の協力を得て、HM表面に塗装できる防食および付着防止用の防汚塗料の試験を実海面で行った。その結果、一般に市販されているビニル樹脂系、エポキシ樹脂系および塩化ゴム系の防食、防汚塗料は、十分な効果を期待できることがわかった。しかし塗料は本来機械的強度が低いという弱点があるため、マニピュレーター関節部などには不適当であり、強度の必要でない部分や補修用として使用すべきと考

えられた。

第1報当時、HM以外の材質についての情報がきわめて少く、他のアルミニウム素材への表面処理法を検討する時間がなかった。その後、このことに関する多くの情報が得られるようになったことからマニピュレーター用としての要求性能をもっているものについて試験を行なった。その結果は、さきに述べた通りである。この試験全般を通して得た知識から言えることは、なにがマニピュレーター用素材、もしくは表面処理の仕方として最適かという問に対して、答は一つではないということである。

つまり、マニピュレーターと言っていっても、浅海用、深海用、サンプリング用、作業用など、多くの種類があり、また価格面では高価なものと安価なものとは、おのずと表面処理の仕方は異なってくるであろう。短期間使用したのち、船上や陸上へ揚収し、容易にメンテナンスができるものについては、耐食アルミニウム合金(A 6061よりA 5052系統の方が良好)だけでも十分である。

しかし作業用マニピュレーターでは対象物や工具などを取扱う際、それらとぶつかり、表面が傷付けられる恐れがあるので、タフラムを併用すべきであろう。この場合には、短期間であるので、生物などの付着はそれ程問題ない。しかし長期間にわたって使用する場合や、短期間でも港湾などの汚水地域で運用したり、メンテナンス体制があま

り良好でない場合には、付着生物による影響がでてくるので、タフラムは勿論、塗装場所を考慮した上で、防食、防汚塗料の併用を検討すべきである。

現時点では、総合的な見地からマニピュレーター用素材としては、耐食アルミニウム合金プラスタフラムが最適と考えられる。

今後、さらに軽量化、標準化を進めていくためには、他の材質、例えばFRPなどの樹脂の検討、または機械的強度の高い、防食、防汚塗料の研究などを系統的に行い、日韓大陸棚開発など、今後本格化が予想される海洋開発に伴い、需要が増大してくるであろう。そのためには、各種マニピュレーターに要求される性能を満していく必要がある。

文 献

- 1) (財)日本塗料検査協会編; 塗膜の評価基準 1970
- 2) (社)日本造船研究協会編; 船舶の防食、防汚方法の開発に関する研究、第141研究部会
- 3) 名執薫, 橋本淳, 堀田宏; 1977, マニピュレーター用素材の海水腐食試験について, 海洋科学技術センター試験研究報告第1号, p. 9~18
- 4) 名執薫, 橋本淳, 堀田宏; 1978, “マニピュレーター用素材の海水腐食試験”, 海洋科学技術センター試験研究報告第2号, p. 9~20