

ISSN 0010-9331 Sabi

# さび

vol.43-1 **134**  
2001



# さび 第134号

平成13年 1号

## 目次

年頭ご挨拶	日本防蝕工業株式会社 社長 高橋 道也	3
海水中におけるステンレス鋼の電気防食に及ぼす微生物の影響	日本防蝕工業株式会社 技術研究所 比嘉昌弘 須藤 光 技術総轄部 阿部三之	4
氷海域に適した電気防食用 Al 合金流電陽極	日本防蝕工業株式会社 技術研究所 飯田知宏 田村祐一	8
コンクリート用腐食センサの開発	日本防蝕工業株式会社 新規事業開発部 山本 悟	12

平成13年1月1日発行  
発行所・日本防蝕工業株式会社「さび」編集室（非売品）

## 三菱商事株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目6番3号  
電話 東京 03(3210)2121番  
(郵便番号 100-8086)  
URL <http://www.mitsubishi.co.jp/>

## 三菱マテリアル株式会社

東京都千代田区大手町一丁目5番1号  
大手町ファーストスクエア  
電話 東京 03(5252)5200  
(郵便番号 100-8117)  
URL <http://www.mmc.co.jp/>

## 日本防蝕工業株式会社

東京都大田区南蒲田一丁目21番12号 昭和ビル  
電話 東京 03(3737)8400  
FAX 東京 03(3737)8479  
(郵便番号 144-8555)  
URL <http://www.nitibo.co.jp/>

明けましておめでとうございます。

新世紀幕開のお正月を皆様方には夫々に例年にならないフレッシュな気持ちでお迎えになったことと心からお慶び申し上げます。

さて、昨年の国内経済は、IT関連企業の伸びに加え、米国、アジア向の輸出が好調であったことから、9月中間期(上期)では、前年同期比で売上高4%増、純利益は2.2倍と好調でありました。反面下期は米国景気の減速や国内の設備投資の頭打ちなどの懸念材料があり、上期に比べ増益ペースの鈍化が予想されています。一方、電気防食業界に関しては、公共事業の抑制、顧客業界の競争力強化の為に工事費抑制等が重なり、需要減少の動きは未だ底を見ることができない一年間であったと言えます。

このような状況の下、当社業績も大幅な売上減を余儀なくされたものの、一昨年来継続中の社員一丸となった原価削減努力と関係各位の御支援により、前78期('99/10~'00/9)においても黒字決算を得ることができましたことは、偏に日頃当社を御愛顧頂いております皆様のお陰であり、厚く御礼申し上げます。

技術面の最近の動向と致しましては、先ず第一に、念願のISO9001の認証取得が挙げられましょう。これは一昨年11月の9002認証取得に引続き、約一年間取組んで参りましたが、昨年12月に最終審査会に画られ、本年1月中に認証を得られる予定です。今後も更に会社総合力の充実とレベルアップを計り、今迄以上に「日本防蝕にまかせて良かった」と評価していただける仕事を目指します。

また、この処の傾向として、新規大型施設の防食工事主体から、既設施設の防食、補修へと仕事の性格が変り始めていると言えます。これは、港湾鋼構造物に限らず、埋設管、道路橋、鉄道、鉄筋コンクリート構造物、下水道等、広い分野で既設施設の延命策強化のニーズが高まって来ていることによります。当社としても、これに積極的に対応、すなわち、迅速な腐食及び劣化の診断による健全度の評価に基づいた具体策を提案し、実行していく所存です。

当社は永年の経験を基に「コロージョンハンター」を始めとする劣化調査用の各種専用機器を開



日本防蝕工業株式会社  
代表取締役社長 高橋 道也

発しております。更に、同業者を始め、各業界と共同で各種防食補修工法の研究に取り組み、実用に供しております。

次に当社の新規事業の展開状況ですが、農業集落排水脱臭装置の「メカセラ」は既に約100ヶ所に採用され好評を得ております。脱臭効果に併せて残査分の減少効果も期待され、今後はご採用いただいた各所のデータの解析を基に効果のグレードアップを目指しております。「セサイルガード」は、食品衛生上未処理海水による魚貝類の洗浄が規制される方向にある中、装置の手軽さと殺菌除去性能への評価が高まっております。更に昨年本誌にて御紹介致しました地下構造物向の鋼材の電解処理技術の実用化推進に加え、オイルタンク及び配管の防食から巾を広げた植物系洗剤によるタンククリーニング工法や加熱配管用の断熱塗装工法を新たなコストダウン手法として御提案をさせて戴いている処です。

今年2001年は新たな世紀の初頭であります。20世紀中の技術進歩の目覚しさをもって、計り知れない大変革を予感させられるのは、皆様も同じだと思えます。近年のIT技術に代表される様にハード、ソフト共にその中味はもとよりスピードの速さは、ドッグイヤーから最近ではラットイヤーでも表現がにぶいと言われる程です。私共の担当しております電気防食技術に関しても、常に現状を打破する進歩、改善を求められ続けておりますが、新規事業と併せ、世の中の変化に置去りにされる事のない様、精一杯の努力を続ける覚悟であります。皆様方の一層のご支援をお願い致します。

# 海水中におけるステンレス鋼の電気防食に及ぼす微生物の影響

日本防蝕工業株式会社 技術研究所 比嘉 昌弘  
須藤 光  
技術総轄部 阿部 三之

## 1. はじめに

海水中においてステンレス鋼を使用する場合、孔食や隙間腐食などの局部腐食が問題となります。そのため、これらの腐食を防止するために電気防食法を適用するケースが多くなっています。しかし、近年、海水中においてステンレス鋼を電気防食した際に、防食電流密度（以後、電流密度と称す）が異常に増加する現象が度々発生しています。その一例としてA発電所におけるステンレス鋼製施設に対する電流密度の経時変化を図1に示します。長期的にみれば電流密度は低下する傾向がみられますが、全体に電流密度が設計値（200mA/m<sup>2</sup>）よりも高くなっています。このような現象は私たちが今まで経験したことがないことであり、色々調査を行いました。原因を断定するには至っていません。

現在、私たちは次に示す電流密度増加現象が起こる場所の特徴から、原因として微生物による影響を考えています。

### 【特徴】

- ・軽度の汚染の海域で発生する。
- ・清浄海水や汚染のひどい場所では発生しない。
- ・夏場に電流密度が増加する。
- ・自然電位の貴化現象が起こる。

### 【上記特徴に対する推定原因】

- ・微生物にとっての栄養源が豊富であり溶存酸素もある。
- ・清浄海水：微生物の栄養源が乏しい。
- ・汚染海水：栄養源は豊富だが酸欠状態である。
- ・海水温度の上昇に伴って微生物が活発化する。
- ・近年、微生物による腐食（MIC）の研究がさかんに行われており、それによると微生物により自然電位が貴化する。

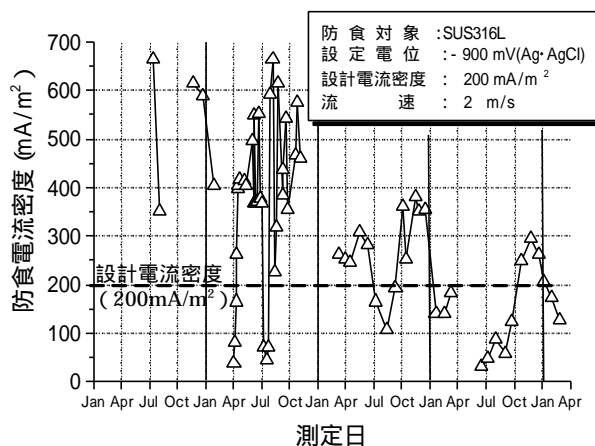
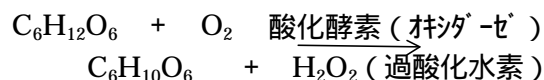


図1 実機における防食電流密度変化

## 2. MICとは

微生物による金属腐食への影響は、MIC（Microbially Influenced Corrosion）といわれ、近年ステンレス鋼メーカーやプラントメーカー、水処理メーカー等により研究がさかんに行われています。それによると、MICのメカニズムは、次のように考えられています<sup>(1)</sup>。

- ・海水中で好気性の細菌が金属表面に付着して繁殖すると、海水中に含まれている栄養分を酵素により分解し、過酸化水素を放出する（次式）。



- ・過酸化水素の酸化力により、ステンレス鋼の不動態皮膜が過不動態となり、通常 -200mV 程度の自然電位が +200mV 以上に貴化し、不動態の欠陥部に孔食やすきま腐食を発生する。
- ・微生物による腐食は、通常の腐食に比べて非常に激しく、数ヶ月で数mm厚のステンレス配管が貫通することもある。

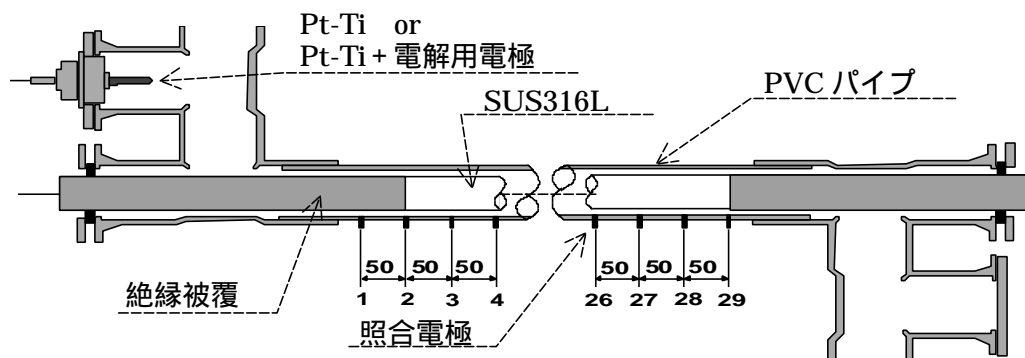


図2 二重管試験装置

### 3. 試験方法

試験は防食電流密度の増加現象が発生している発電所の取水口で行いました。海水は取水口よりポンプアップし、常に新しい海水を流速 2m/s で供給しました。

試験は、1999年4月19日～2000年2月23日の約10ヶ月間行いました。

#### 3-1. 微生物の影響確認試験

供試体として SUS316L 管 (20A × 2000mm) を用い、試験装置は当社の花田が開発した二重管装置を使用しました。図2に二重管装置を示します。本装置は、試験用の内管と絶縁製の外筒から構成され、内管と外管の間に試験水を流す構造となっています。本装置は片端から電流を流入させることにより、試験用の管外面に防食状態から腐食状態までを連続して再現することができます。外筒には等間隔 (50mm) に照合電極が設置されており、これにより管軸方向に対する試験管の電位変化を測定できるようになっています。この測定結果から計算により各部位に流入した電流を求めることができ、さらに、経時的な分極曲線を求めることができます<sup>(2)</sup>。

今回は、照合電極 No.2 の電位が -1000mV (海水銀塩化銀電極基準、以下省略) となるようにポテンショスタットを用いて制御し、試験水として電解塩素処理海水を通水した場合と、無処理の海水を通水した場合について試験を行いました。塩素処理は計算上、残留塩素濃度が 0.26ppm となるように行いました (実際測定すると 0.06ppm でした)。なお、結果では二重管装置によって求めた分極曲線から -900mV における電流密度の経時変化を求め、それにより塩素処理の影響について検

討しました。

#### 3-2. 定電位設定試験

供試体として SUS316L (面積 10cm<sup>2</sup>) の板を用い、流速 2m/s の無処理海水中で電位を -600mV と -900mV に定電位設定した際の電流密度の経時変化について調べました。

### 4. 試験結果

#### 4-1. 微生物の影響確認試験

二重管装置を用いた試験において海水電解塩素処理により殺菌した海水を通水した場合 (以降、塩素処理と称す) と、無処理の海水を通水した場合 (以後、無処理と称す) の、-900mV における電流密度の経時変化を図3に示します。

試験開始から 15 日目までは塩素処理を行った方が大きな電流密度を示していましたが、15～40 日の間に、塩素処理において電流密度が減少し、無処理において電流密度が急激に増加し逆転しました。以降、試験終了まで塩素処理の方が無処理よりも小さな電流密度を示していました。その値は、無処理の 16～66% の電流密度でした。

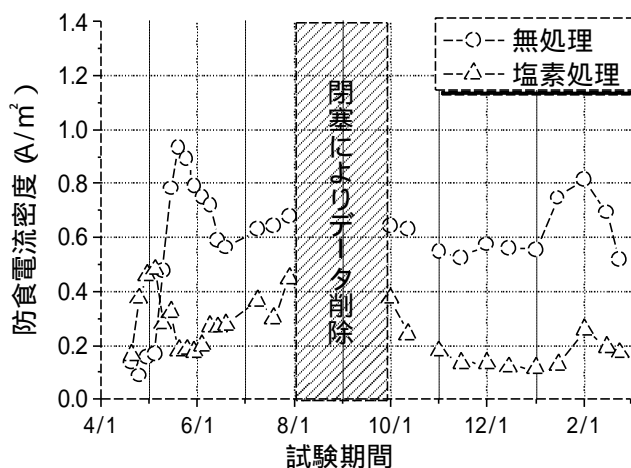


図3 電解塩素処理の有無による電流変化

ここで、塩素が直接、電流密度に影響を及ぼすことが懸念されます。そこで、室内試験において塩素濃度を変えてカソード分極特性試験を行いました。その結果を図4に示します。図4より、今回試験を行った濃度範囲では、塩素は電流密度に影響を及ぼさないことがわかります。従って、電解塩素処理を行うことは、殺菌効果による電流密度への影響を知ることができると考えられます。よって、今回の試験結果は殺菌によって電流密度を低く維持することが可能であることを示しています。つまり、電流密度の増加に対し、微生物が関与していることを示唆するものと考えられます。

試験終了後（約10ヶ月後）に供試体を引き抜いてみると、無処理において、ヘドロ状や糸状の物質を主体とする厚みのある生物皮膜が全面に形成されており、フジツボなどの付着も確認されました。また、電位を-1000mVに設定した位置（照合電極 No.2 の位置）から約25cmの範囲（測定電位 -1000 ~ -300mV）において、生物皮膜の下に若干の電解被覆（エレクトロコーティング）が確認されました。一方、塩素処理においては、生物皮膜の付着は全くみられず、塩素殺菌が効いていたことが確認できました。

なお、今回、8~9月のデータは配管内への生物付着により、管内の流速が激しく変化したので結果より削除しました。

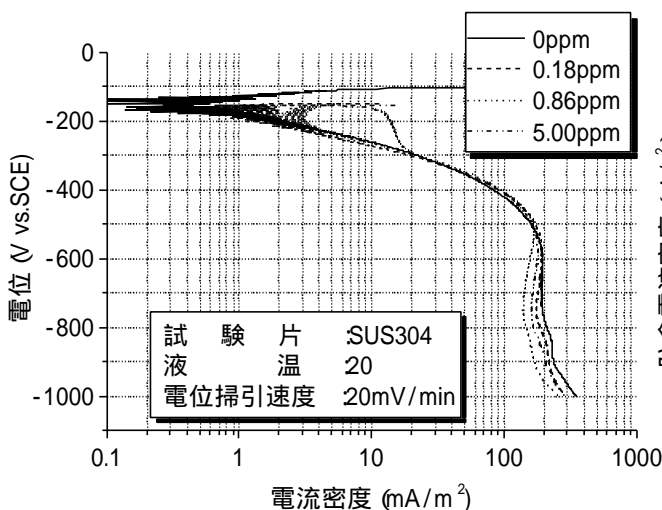


図4 各種塩素濃度でのカソード分極特性

#### 4-2. 定電位設定試験

-600mV、-900mVに定電位設定した際の電流密度の経時変化を図5に示します。いずれの設定電位においても電流密度は試験開始初期の段階に減少傾向がみられますが、その後、-600mVでは100mA/m<sup>2</sup>前後であった電流密度が、20~70日（5月上旬~7月）にかけて750mA/m<sup>2</sup>まで急激に増加しており、また、-900mVでは減少傾向にあった電流密度が20日（5月10日）以降、500mA/m<sup>2</sup>前後の値を維持しています。このようにいずれの設定電位においても非常に高い電流密度を示しています。

特に-600mVにおいては比較的小さい電流密度を維持した後に、増加するという独特の傾向を示しており、このような傾向は図3の無処理においても確認できます。この傾向は微生物が原因であると考えられているステンレス鋼の自然電位貴化現象とよく類似していることから次のように考えています。

試験開始初期の段階は、海水中から無機物や有機物が供試体表面に付着するため電流密度は減少するが、その後、供試体表面に付着した微生物の増殖に伴い、その影響を受けることにより電流密度が増加する。

次に設定電位で比較すると、図5から-600mVの電流密度は、試験開始当初、-900mVより小さい値を示していましたが、電流密度の増加傾向が現れ出した5月中旬以降は-900mVより大きい値を示していました。

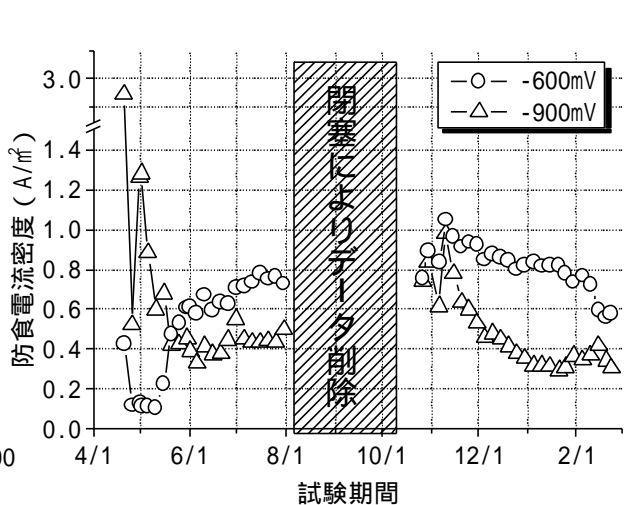


図5 定電位設定時の電流密度変化

ここで、試験終了直前（2000年2月22日、約10ヶ月後）に実施した通電停止後の電位（OFF電位）変化の結果を図6に示します。

-900mVでは、電位が徐々に復極しているのに対し、-600mVについては、通電停止後、直ちに電位は貴化し、プラスの値を示しています。このように-600mVでは、10ヶ月間通電していたのにも関わらず、OFF電位が貴化していることがわかります。微生物には自然電位を貴化させる影響が知られていることから、OFF電位が貴化した原因は微生物の影響によるものだと考えています。

この結果は、-900mVよりも-600mVの方が微生物による影響を強く受けることを示唆するものと考えられます。

試験後の表面観察では、-600mV、-900mVともに、糸状の物質を主体とする生物皮膜の付着が確認されました。また、水洗後の観察では、いずれも部分的に電解被覆の形成が見られましたが、それはわずかであり防食性を有するにはほど遠いものでした。さらに、酸洗後の腐食調査ではいずれも研磨跡が確認できるほど健全であり、腐食は認められませんでした。

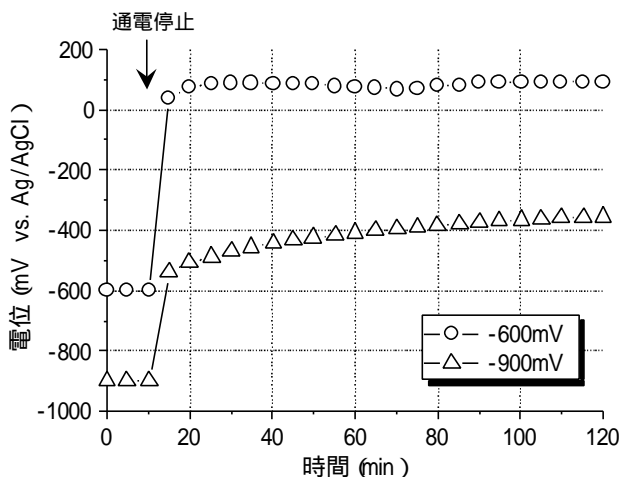


図6 通電停止後の電位変化  
(約10ヶ月間通電後に実施)

## 5. まとめ

海水中においてステンレス鋼を電気防食した際にみられる防食電流密度増加現象に対して、微生物の影響を考慮して試験を行った結果、次のようなことがわかりました。

- 1) 電気防食の防食電流密度が数ヶ月後から異常に増加する原因は微生物によるものであり、海水電解塩素処理による殺菌を行うことで電流密度を小さく維持することができます。
- 2) 電気防食装置の設定電位が-600mVの方が-900mVより多くの電流密度が必要でした。これは-600mVの方が微生物の生息に適しているためと推定されます。-900mVでは表面のアルカリ性が強くなり、微生物の影響が小さくなるためと考えられます。
- 3) 設定電位-600mVについては、OFF電位の貴化現象がみられました。

今回の試験からは、ステンレス鋼の防食電流密度が増加する作用機構については不明ですが、上述の結果は、いずれも防食電流密度の増加現象に対して微生物が関与していることを示唆するものと考えられます。

## 参考文献

- (1) 天谷尚、幸英昭：日本金属学会誌，58[7] 775-781 (1994)
- (2) 花田政明：配管と装置，12[4] 22-27 (1972)

# 氷海域に適した電気防食用 Al 合金陽極

日本防蝕工業株式会社

技術研究所 飯田 知宏

田村 祐一

## 1. はじめに

近年、石油・天然ガス開発は北海やサハリンといった氷海域まで及んできています。海上に設置される石油掘削・生産用鋼構造物および海底に設置される送油管の電気防食には Al 合金流電陽極が用いられていますが、常温海水中では優れた陽極性能を示す市販陽極を低温海水中に適用した時、性能が低下する場合があります<sup>1)</sup>。筆者の一人は以前、氷海域にて使用可能な Al 合金流電陽極を開発しました<sup>2)</sup>が、使用 Al 地金が高純度であったため、コストパフォーマンスが劣りました。そこでこの度、汎用 Al 地金を用いて氷海域向けの Al 合金流電陽極を求めて種々の合金を溶製し、0℃海水中で性能評価を行った結果、高性能合金を見出しました。本報では、開発合金の各種流電陽極試験結果について報告します。

## 2. 試験項目

### 2.1 流電陽極試験

試験方法は腐食防食協会規格の流電陽極試験法 (JSCE S-9301)<sup>3)</sup>に準拠しました。

供試陽極は当社現用陽極、氷海域向けの開発合金である氷海用陽極 A および B としました。ただし、氷海用陽極 A は高純度 Al 地金を使用した既報<sup>2)</sup>の開発合金を、実用 Al 地金仕様に改良したものの、氷海用陽極 B は新たに開発した B (ホウ素) 含有合金<sup>4)</sup>です。形状は 15 × 65 mm の丸棒で、試験面は側面 20 cm<sup>2</sup> の鋳肌面として、試験面以外は塩化ゴム系塗料にて絶縁被覆を施しました。

試験溶液は人工海水 (ASTM D1141-90) とし、温度は 0℃ としました。ただし、温度の影響を調べる場合には、それ以外に 25、20、15、10、5 および -2.8℃ についても行いました。試験期間中の pH 調整や液の更新は行いませんでした。

陽極電位測定は、照合電極 (飽和カロメル電極、SCE) と高入力抵抗電圧計を用いて行い、最終陽極電位を代表値としました。有効電気量は銅電量計から求めた電気量を供試陽極の質量減で除するこ

とにより算出しました。

### 2.2 アノード分極曲線測定

供試陽極は現用陽極および氷海用陽極 B の 2 種類を用いました。形状は 15 mm の丸棒で、試験面は #240 エメリー紙による研磨面 1 cm<sup>2</sup> として、試験面以外は塩化ゴム系塗料により絶縁被覆を施しました。

試験溶液は流電陽極試験と同様に人工海水を用い、温度は 25 および 0℃ としました。

試験装置は容量 1L のガラスビーカーに人工海水を 1L 満たし、供試陽極を中央に、線状陰極をビーカー内壁に沿って配置し、低温恒温槽中に設置しました。陽極の自然電位が安定した後、自動分極装置を用い、電位掃引速度 20 mV/min で自然電位からアノード分極させました。

### 2.3 ガルバニックカップル試験

一般に、流電陽極試験は定電流を強制通電して行う試験法が主流で、これは品質管理試験や簡易に陽極性能を判定する試験として用いられていますが、実際に陽極が使用される状況とは異なります。よって、実用に則した使用条件で陽極性能を調べるために、0℃人工海水中で陽極 (Al 合金流電陽極) と陰極 (Fe) の面積比を 1 : 40 (= 10 cm<sup>2</sup> : 400 cm<sup>2</sup>) として両者を接触させました。供試陽極は氷海用陽極 A および B の 2 種類で、各々 2 本ずつ行いました。日常測定として、陽極電位測定と無抵抗電流計によるガルバニックカップル電流の測定を行いました。なお、試験期間は 60 日間で、試験開始から 30 日後に試験溶液の交換を行いました。

## 3. 結果および考察

### 3.1 流電陽極試験

#### 3.1.1 開発合金の陽極性能

現用陽極、氷海用陽極 A および B の陽極性能を表 1 に示します。現用陽極は 25℃ では卑な陽極電位と高い有効電気量を示し、全面溶解しましたが、0℃ では陽極電



位の貴化に伴い有効電気量も低下しました。0 海水中で現用陽極は写真1のように孔食溶解(内部では粒界腐食)を示しました。これに対して、氷海用陽極は共に卑な陽極電位と高い有効電気量を示しました。溶解面も共に全面溶解で、特に氷海用陽極 B は極めて平滑でありました。0 海水中で流電陽極として機能するためには陽極表面の十分な活性化が必要とされますが、氷海用陽極は共にこの条件を満たしています。

表1 供給陽極の陽極性能

陽極性能 陽極名	陽極電位 (mV vs. SCE)		有効電気量 (A·h/kg)	
	25	0	25	0
現用陽極	-1109	-925	2750	2361
氷海用陽極 A	-1104	-1112	2726	2711
氷海用陽極 B	-1106	-1113	2736	2766

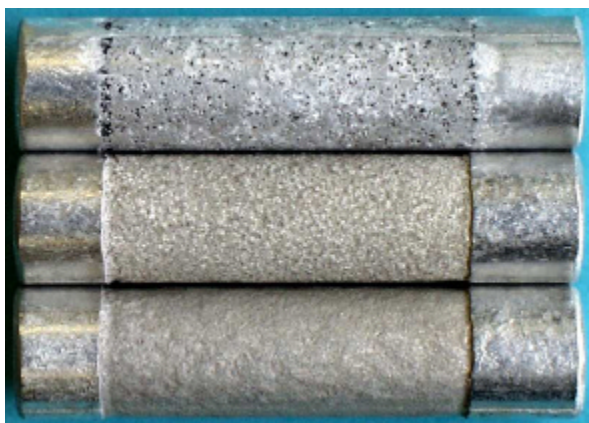


写真1 供試陽極の溶解面(0 )  
(上から現用陽極、氷海用陽極 A、B)

### 3.1.2 温度と陽極性能の関係

試験容液温度を変えて、現用陽極および氷海用陽極 B の各々につき3本(25 の氷海用陽極 B は1本)ずつ流電陽極試験を行った結果を図1(陽極電位)および図2(有効電気量)に示します。

現用陽極は25 および15 のとき何れも卑な陽極電位(-1105 ~ -1113mV)を示しましたが、25 では3本が試験開始後24時間で-1100mVより卑化したのに対し、15 では-1100mVに達するのに48時間を要したものが1本ありました。

10 では卑化し得ないものが2本(-927 および -928mV)出現しましたが、卑化した1本も-1100mVに達したのは96時間後でした。また、5 以下の温度では全て貴な電位(-924 ~ -931mV)を示しました。これに対して、氷海用陽極 B は何れの温度においても試験開始24時間後には全て-1100mVより卑化しました。

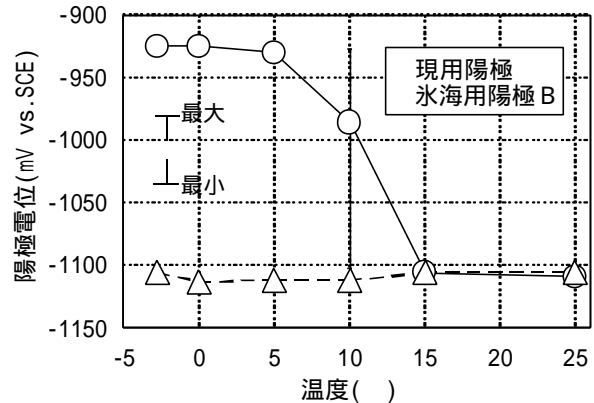


図1 温度と陽極電位の関係

現用陽極は25 のとき全面溶解して高い有効電気量(2740 ~ 2760A·h/kg)を示しましたが、15 では初期表面が残存する傾向があり、有効電気量も25 の時よりやや低下しました。10 では孔食および粒界腐食のために有効電気量の低下(2116 および 2109A·h/kg)が起こり、陽極電位が卑化した1本も初期表面が多く残存し、有効電気量も15 より劣りました。5 以下の温度においては全て低い値(2239 ~ 2429A·h/kg)でありました。溶解形態が孔食および粒界腐食となると、陽極電位は貴化し、有効電気量の低下も顕著となります。これに対して、氷海用陽極 B は何れの温度でも全面的に溶解し、卑な陽極電位および高い有効電気量(2736 ~ 2784A·h/kg)を示しました。氷海用陽極 B は現用陽極に比べて活性であるため、低温海水中でも容易に卑化し得る一方、自己腐食の影響が懸念されず。しかしながら、氷海用陽極 B は常温(25 )に

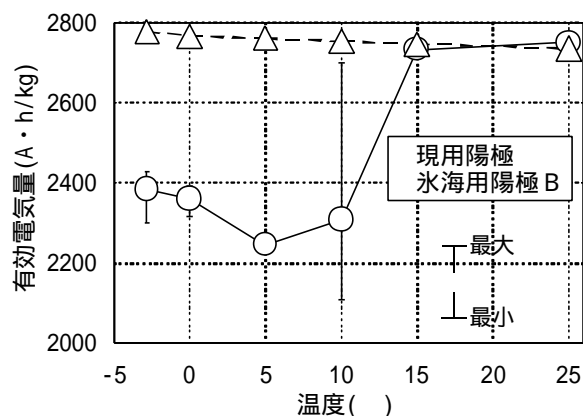


図2 温度と有効電気量の関係

においても有効電気量の落ち込みは比較的小さくなりました。さらに、温度が低ければ試験面の活性化がより抑えられて自己腐食が減少するため、低温であるほど氷海用陽極Bの陽極性能が発揮されたものと推察されます。

### 3.1.3 試験開始温度の影響

試験開始時の温度が陽極性能に与える影響を調べるために、温度を1週間毎に0、20、0と変化させた場合と20、0、20の場合とで、各々3週間の流電陽極試験を行った結果を図3に示します。供試陽極は現用陽極および氷海用陽極Bで、各々2本ずつ行いました。試験開始温度が0の時、現用陽極はやはり貴な陽極電位(-940および-941mV)を示し、1週間後に温度を20に上げて卑化することはありませんでした(-938および-940mV)。これに対して、氷海用陽極Bは温度に依らず、卑な陽極電位で推移しました(-1098~-1118mV)。現用陽極の有効電気量は陽極電位の貴化に伴い低く(2061および2091A・h/kg)、氷海用陽極Bは高い値(2755および2745A・h/kg)を示しました。

次に、20から始めて0、20と変化させた場合では、現用陽極は卑な陽極電位(-1101および-1103mV)を示し、1週間後に温度を0に下げてもそのまま卑な傾向(-1109および-1107mV)を維持しました。氷海用陽極Bも同様に、卑な陽極電位(-1096~-1114mV)で推移しました。有効電気量はどちらも高い値(現用陽極:2719および2716A・h/kg、氷海用陽極B:2747および

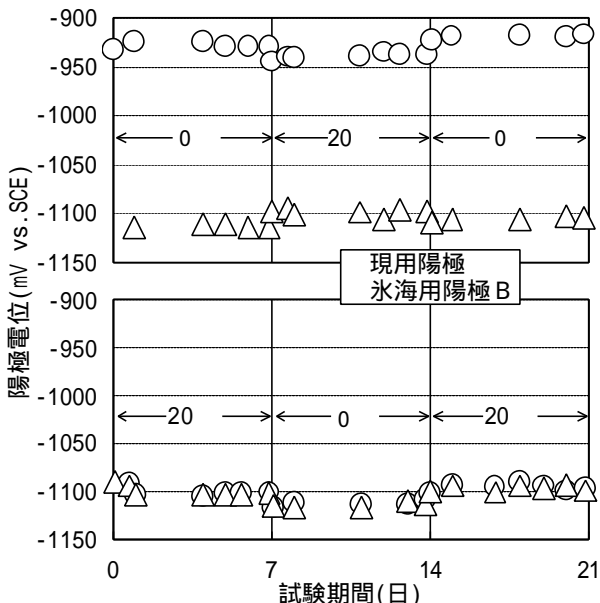


図3 試験開始温度の影響

2737 A・h/kg)を示しました。

以上から、現用陽極は温暖な季節に施工できれば、冬期になって海水温度が低下しても陽極性能の低下は小さいと思われます。氷海用陽極Bであれば年間を通じての施工が可能であり、低温期間が長く続くほど有効電気量が増大することが示唆されました。

### 3.2 アノード分極曲線測定

現用陽極および氷海用陽極Bのアノード分極曲線を図4に示します。25℃では両陽極共に自然電位からアノード分極させますと電流密度の増加がみられますが、現用陽極のアノード分極がやや大きいようです。0℃では現用陽極をアノード分極させますと-1065mV付近から電流密度が急激に減少し、不動態化が見受けられました。これに対して、氷海用陽極Bは不動態化が起こらず、陽極として優れていることが判ります。また、測定終了後の溶解面は流電陽極試験の結果と同様に、現用陽極は孔食溶解で、氷海用陽極Bは全面溶解でありました。

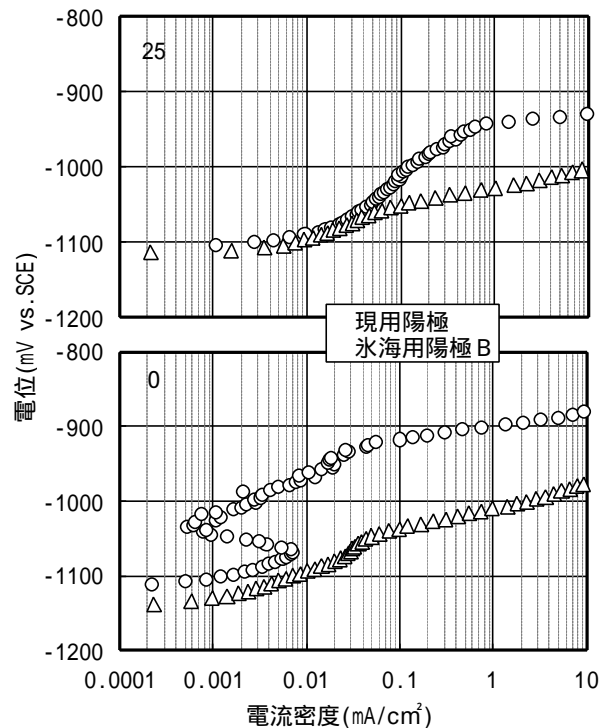


図4 アノード分極曲線

### 3.3 ガルバニックカップル試験

氷海用陽極AおよびBの陽極電位と陽極電流密度の経時変化を各々図5および6に示します。陽極電位は、両陽極共に試験開始直後から速やかに卑化し、60日間常に卑な陽極電位(-1090~-

1129mV)で推移しました。陽極電流密度についても試験開始直後から速やかに低減しましたが、再び増加し、その後徐々に減衰傾向を示しました。ガルバニックカップル電流値と質量減から有効電量を算出したところ、氷海用陽極Aの1本がやや低い値(2660 および 2739A・h/kg)を示しましたが、氷海用陽極Bは2本とも高い値(2746 および 2749 A・h/kg)を示しました。また、溶解形態についてはどちらも全面溶解で、氷海用陽極Bの溶解面は極めて平滑でありました。なお、本試験の平均陽極電流密度は氷海用陽極Aで0.42 および 0.91mA/c m<sup>2</sup>、氷海用陽極Bで0.84 および 0.83 mA/c m<sup>2</sup>でした。氷海用陽極Bはガルバニックカップル試験においても、定電流法の流電陽極試験とほぼ同等の陽極性能を示し、実環境に適用した場合も有効に機能するものと考えます。

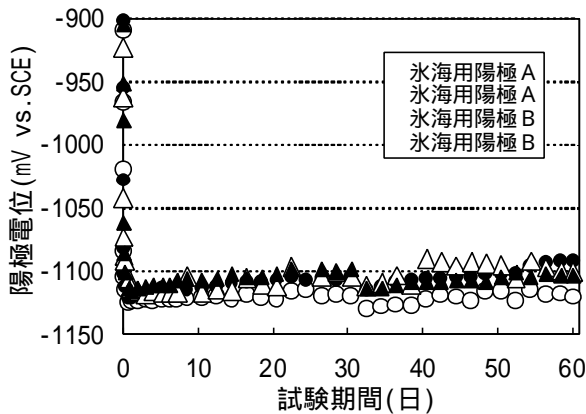


図5 陽極電位の経時変化  
(ガルバニックカップル試験、0 )

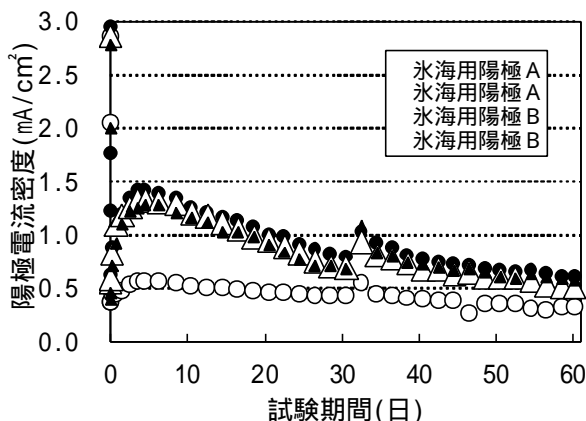


図6 陽極電流密度の経時変化  
(ガルバニックカップル試験、0 )

#### 4. まとめ

現用陽極および氷海用陽極の陽極性能を各種試験法によって調べ、以下の知見を得ました。

(1)流電陽極試験では、現用陽極は10 以下の低温海水中において貴な陽極電位と孔食溶解および低い有効電

気量の特徴とする性能低下を起こしました。

(2)一方、氷海用陽極は低温海水中でも卑な陽極電位と全面溶解および高い有効電気量を示しました。さらに、氷海用陽極Bは温度が低いほど有効電気量が増加する傾向にありました。

(3)アノード分極挙動から、0 海水中で現用陽極は不動態化を生じることが確認されました。

なお、本報は「氷海域に適した電気防食用Al合金流電陽極」と題して、(日本防蝕)飯田知宏、田村祐一、永田利明、(新日鐵)大平尚、佐々木信博：第20回防錆防食技術発表大会講演予稿集、205(2000)および「防錆管理」誌に投稿中のものと重複します。

#### 参考文献

- 1)Rolf E. Lye : Materials Performance,29,[5] 1318 (1990)
- 2)玉田明宏,田村祐一：材料と環境,40,[10]661-666(1991)
- 3)腐食防食協会規格 流電陽極試験法 (JSCE S-9301)
- 4)特開 2000 - 273566

# コンクリート用腐食センサの紹介

日本防蝕工業株式会社  
新規事業開発部 山本 悟

## 1. はじめに

近年、我が国では一部の重要コンクリート構造物の耐用年数が100年設計となっている。特に、海洋環境に置かれる構造物では、海水に含まれる塩分がコンクリートに浸透してその中の鉄筋を腐食させ構造物が早期に劣化することを防ぐ必要がある。この設計・施工がその性能を十分に発揮していることを確認・検証することが重要となっている。この手法として、塩分などの腐食性因子がコンクリート中へ浸透する状況を調べるためのユニークなセンサを開発したのでここに紹介する。

## 2. 腐食センサの原理

塩分などを含まない正常なコンクリート中の鋼材は、表面の不動態皮膜によって保護されるので腐食しない。しかし、塩分や炭酸ガスなどの腐食因子がコンクリート表面から浸透し、鋼材表面に到達すると不動態皮膜が破壊されて腐食する。本腐食センサは、これら腐食因子の検知並びに構造物中鋼材への到達時期を予測する目的で開発した。

腐食センサは、直径が0.1mmの細い鉄線を円柱状のモルタル製支持体に巻き付け、鉄線がコンクリート表面から5、15、30および45mmの深さに位置するようにコンクリート中に埋設するものである。腐食因子が鉄線に到達すると腐食、切断するので、それらの浸透深さを検知することができる。切断の有無は、各鉄線両端の電位差を測定することにより判定できる。すなわち、切断していない場合は短絡状態にあり電位差はほぼ0mVを示すが、切断すると両鉄線間に数mV以上の電位差を生じる。電位差測定は温度変化やケーブルの長さに影響されないため抵抗測定に比較して切断の明確な判定ができるという特長がある。腐食センサの原理を図1に、腐食センサの構造を図2に、腐食センサ外観を写真1に示す。

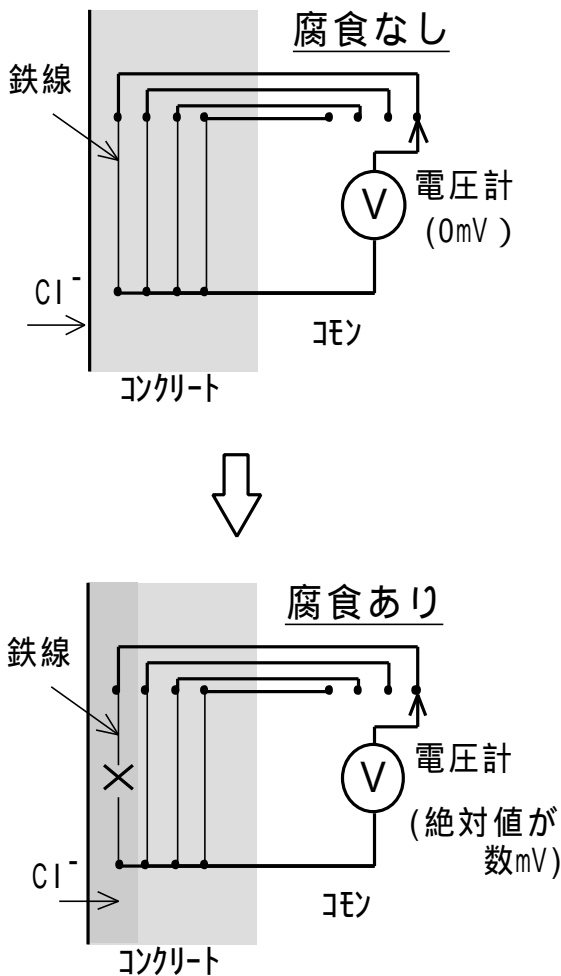


図1 腐食センサの原理

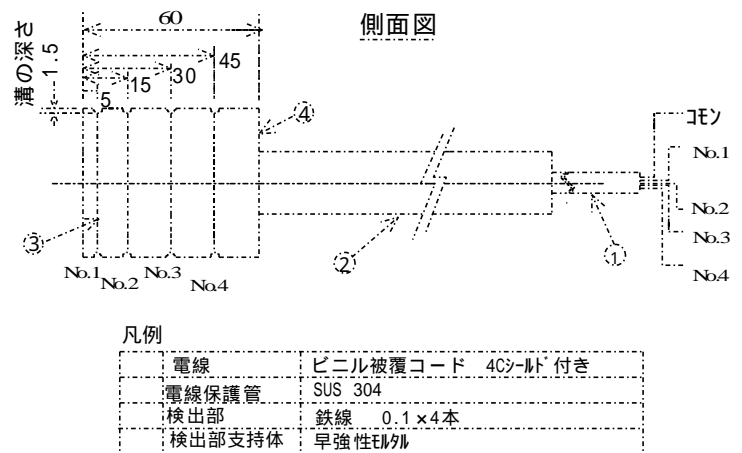


図2 腐食センサの構造



写真1 腐食センサの外観

### 3. 実験結果

#### 3.1 電位差による切断検知

腐食センサの先端（鉄線 No. 1 方向）が型枠の内面に当たるようにモルタル中に埋設し、脱型後、人工海水中に腐食センサ先端から 20mm ほどの深さに浸漬した。モルタルは水セメント比を 0.5、普通ポルトランドセメント：砂 = 1：3 とした。センサのリード線のコモンと各鋼線（No. 1～4）の間の電位差を電圧計で測定した結果、図3に示すように約6ヶ月後に塩分の浸透によってかぶり 5mm の鋼線が切断し、電位差が生じた。センサをはつり出して鋼線を観察した結果、鋼線 No.1 のみが腐食・断線していることを確認した。

この結果から、本腐食センサは鉄線の切断を電位差測定によって確実に検知できることが確認できた。

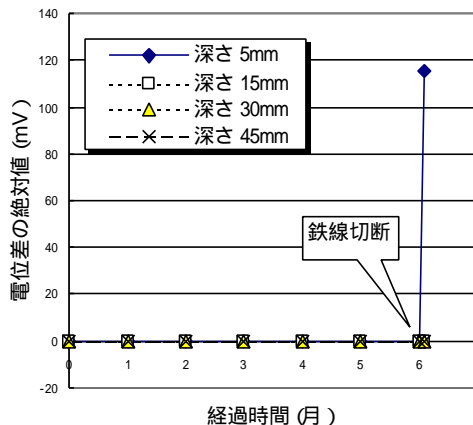


図3 電位差による切断確認結果

#### 3.2 腐食センサの検知濃度

腐食センサをコンクリート供試体中に埋設し、3.1の実験と同様に、人工海水中に深さ 30mm ほど浸漬した。供試体数は2体とした。また、鉄線が切断した時期の塩化物イオン濃度（全塩分量）分布を調べるために同一配合のコンクリート角柱も供試した。コンクリートは、水セメント比を 0.45、低熱高炉セメントを使用した。塩化物イオン濃度分布と鉄線の切断結果を図4に示す。鉄線は深さ 5 および 15mm において腐食、切断し、この時の塩化物イオン濃度はそれぞれ 3.5 ならびに 1.3kg/m<sup>3</sup>であった。これらの濃度は分析試料のばらつきならびに採取時期の誤差などを含むので、本腐食センサの塩化物イオンに対する検知濃度は 1.5～3.0kg/m<sup>3</sup> であると考えられる。

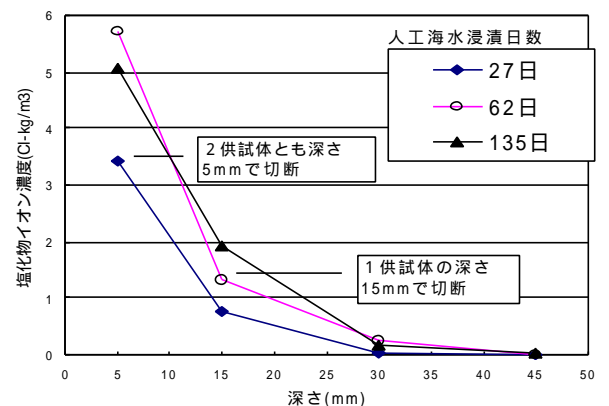


図4 塩化物イオン濃度分布と鉄線の切断結果

### 4. 今後の課題

これまでの試験結果から本腐食センサの性能が確認できたが、今後は実構造物における施工実績を蓄積し、より実用性の高いものにする予定である。実構造物への取付例を図5に示す。

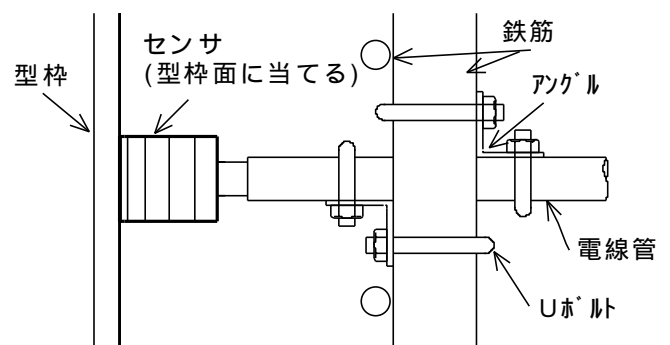


図5 腐食センサの取付例

## コンクリート鉄筋の電気防食に

### 遠隔監視制御システム

#### 子局 “ C P W A T C H E R ”

コンクリート構造物の防食維持管理においては防食対象物の復極量の測定などが行われていますが、これには多くの時間と労力を要します。本システムは電話回線を用いて、電源装置の稼働状況や防食状況などのデータを遠隔地の管理事務所で監視できます。また、必要に応じて遠隔地から電源装置の出力電流や防食電位設定をおこなうことにより、最適な防食状態を維持することができます。

#### 機 能

リアルタイム監視制御機能  
防食電流・出力電圧の監視・制御  
オン電位・インスタントオフ電位の監視  
時系列データ受信機能  
子局のメモリーより時系列データを受信してグラフ表示  
データベース機能  
受信した時系列データをアクセスDBとしてハードディスクへ保存  
検索結果を表計算データとしてハードディスクへ保存  
時系列データを管理報告書として印刷

警報機能  
A C 電源異常  
防食電流異常  
過防食電位検知  
子局メモリー不足  
電位制御機能  
適切な防食電位となるように防食電流を自動調整  
計測機能・データロガー機能  
防食状況監視：定期的に防食電流・出力電圧・オン電位・インスタントオフ電位を計測  
防食効果確認試験：月1回電源装置を停止して復極量を計測  
メモリー機能：上記計測結果をメモリーに保存(容量：約2000データ/回路)  
パネル表示機能  
防食電流・出力電圧・オン電位・インスタントオフ電位・警報内容  
パネル操作機能  
出力ON・OFF・防食電流増減、電流・電圧・電位の測定



#### 日 本 防 蝕 工 業 株 式 会 社

〒174 - 8555 東京都大田区南蒲田 1 - 21 - 12 昭和ビル

TEL: 03 - 3737 - 8455 FAX: 03 - 3737 - 8459 e-mail: eiso@nitibo.co.jp