

2023  
No. 54

# NAKABOH REPORT

## 秋田港・能代港 洋上風力発電施設

風車基礎33基への「外部電源カソード防食（I CCP）システム」据付完了について

TOPIX

富山県入善町沖洋上風力発電施設の風車基礎3基に  
「流電陽極方式による電気防食（GACP）システム」  
納入完了について

提供：秋田洋上風力発電株式会社

法人向け web販売

「ナカボーテック Official Store」の開始

技術報告／中期経営計画「23中計」策定のお知らせ

対外発表リスト 2019-2022年



いまある  
“価値”を  
次代へ！





第 54 号 2023 年

— 目 次 —

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| ●巻頭言.....                                                                   | 1  |
| 取締役 兼 常務執行役員 兼 経営企画部長 兼 技術本部長 技術士（金属部門）南正信                                  |    |
| ●技術報告.....                                                                  | 2  |
| 《事例 1》海水冷却系統における海生生物付着防止対策<br>開発統括部 商品開発部 渡部健太郎                             |    |
| 《事例 2》重要な建造物を支える鋼製基礎杭に適用した電気防食工法の紹介<br>技術統括部 技術部長 久野泰史                      |    |
| 《事例 3》港湾鋼構造物に適用する電気防食工法におけるコスト低減を考慮した合理的な<br>設計手法の提案<br>技術統括部 技術部 技術一課 香川勇樹 |    |
| 《事例 4》腐食防食に関する Q&A<br>電気防食系における電位・電流分布の物理的イメージ<br>開発統括部 技術開発センター 博士（工学）望月紀保 |    |
| ●对外発表リスト.....                                                               | 20 |
| 2019～2022 年                                                                 |    |
| ●トピックス.....                                                                 | 23 |
| 《トピックス 1》秋田港・能代港洋上風力発電施設の風車基礎 33 基への「外部電源カソ<br>ード防食（ICCP）システム」据付完了について      |    |
| 《トピックス 2》富山県入善町沖洋上風力発電施設の風車基礎 3 基に「流電陽極方式に<br>よる電気防食（GACP）システム」             |    |
| 《トピックス 3》法人向け web 販売『ナカボーテック Official Store』の開始                             |    |
| 《トピックス 4》中期経営計画「23 中計」策定のお知らせ                                               |    |

いまある“価値”を次代へ！

株式会社ナカボーテック

技術本部長 技術士（金属部門） 南正信

当社は1951年に創業以来、73年の長きにわたり防食事業を営んできた。これまで順調に社業を継続し発展してこられたのは、ひとえに社員ならびに諸先輩方のご尽力と、当社に信任を寄せてくださるお客様各位のご厚情、また協力会社様のご助力があつてこそのことと、いま改めて肺腑にしみる思いである。

それにしても、創業当時1950年代の日本といえば戦後まもなく、やっと焼け野原に建物が建ち始めテレビ放送が開始、日本で初めてのスーパーマーケットが出来るなど我々の生活の基となる出来事がようやく始まった頃である。その後迎えた高度成長期を皮切りに我が国の経済は急成長をとげるのだが、年号が昭和-平成-令和と移り変わるなかで、当時は夢や空想だと思われていたことが次々と技術革新によって現実になり、社会基盤が整備され人々の暮らしは見違えるほど豊かになった。これからも様々な社会課題が解決され最適化されることによって、ますます豊かな社会へと導かれるであろう。

しかし、これほど技術が進歩した現代においても腐食の問題はなくなる。少し大袈裟に言えば、太古の昔、人類がたたら製鉄によって精錬をはじめた時から“鉄は錆びる宿命”にあり、未だに錆びない鉄は創られない。日本の高度成長をけん引した鉄鋼業の発展は錆びとの闘いの歴史でもあった。我々は創業当初からそのことに愚直に向き合い、錆びを防ぐ技術をひたむきに追求し続けることによって日本経済の成長に寄り添ってきた。それが当社の歴史であり「存在意義」である。錆びを防ぐ“防食技術”は単に鉄鋼材料・構造物の資産価値を守る目的に留まるものではない。施設の維持延命化を図ることによって、そこで暮らす人々の安全安心な日常生活を護り、地球環境や限りある資源、社会を守るという大きな意義をもつ技術である。戦後の焼け野原から復興しこれまで積み上げてきた社会資産・生活基盤など、先人達が我々に残してくれたかけがえのない“価値”をそのまま次の世代に残し繋げていく、それが現代に生きる我々の使命である。

“錆び”は古くからの問題であるが新しい問題でもある。産業界の発展に伴い新たな金属材料や構造系が次々と産み出されるなか、腐食の問題は複雑で多様化するようになった。我々は常に技術を追求し錆びと闘い続けていかなければならない。そのための研究や技術開発は歩みを緩めることなく、より積極的に取り組む姿勢が求められている。

また、昨今では持続可能な社会の実現にむけ地球規模での取り組みが進められている。防食技術はサステナビリティに大きく貢献する技術であり、社会貢献の側面からも今後ますます当社が担う役割は重要性を増してゆくだろう。

ここに、当社技術の発展と知識の記録として本誌「ナカボーレポート」第54号を発刊する。更なる技術の邁進を期すとともに、今後も、ひたむきに防食技術を追求し、社会基盤をまもり続けることにより、安全安心な日常を次代に繋げる会社でありたいと願う。



## 海水冷却水系統における海生生物付着防止対策

### ～『シェルフリーパック』・『シェルフリーディスク』の紹介～

商品開発部 渡部健太郎

#### 1. はじめに

国内の火力・原子力発電所では、大量の海水が冷却水として使用されている。蒸気タービン復水器や熱交換器などに冷却水として用いる海水には、海生生物が含まれているため海水設備へと流入し、付着・成長することで様々なトラブルを引き起こす原因となっている。海生生物とは具体的に藻類やイガイ類、フジツボ類やカキなどが挙げられる。これら海生生物の付着により、場合によっては発電そのものの障害に繋がるなど大きな影響を与えるため、これまで各発電所では多様な対策がとられてきた。

主な付着防止対策として、薬液注入、防汚塗料、除貝装置、スポンジボールなどの連続細管洗浄装置などが挙げられる。特に薬液注入では、古くは塩素ガスの直接注入や次亜塩素酸ソーダ溶液の注入が行われていたが、現在では1960年代後半に実用化され、安全な運用ができる海水電解装置が、主流となっている。しかし、塩素は上下水道やプールの殺菌などに使用されているように、強い殺菌力（毒性）があるため残留塩素による生物への影響が懸念されている<sup>1)</sup>。国内の発電所では、環境アセスメントにより、放水口での残留塩素が「検出されないこと」としている。そのため、取水口先端部で注入する海水電解液濃度（次亜塩素酸ソーダ）は、放水口での残留濃度を考慮する必要があり、冷却水系統の末端に近い海水配管や熱交換器には、十分な次亜塩素酸ソーダが供給できない場合もある（写真1）。



写真1 熱交換器付着事例

当社は、冷却水系統の末端にある小口径海水配管、ボール回収管および熱交換器に特化したインライン型海生生物付着防止装置として、『シェルフリーパック』<sup>※1)</sup>『シェルフリーディスク』<sup>※2)</sup>と称した製品を販売している。本報告では、インライン型海生生物付着防止装置の概要や実績を紹介する。<sup>※1)</sup>商標第5926292号 <sup>※2)</sup>商標第5926293号

#### 2. 装置概要

一般に海水電解装置は、海水を直接電気分解することで次亜塩素酸ソーダを生成し、その忌避作用により海生生物の付着や成長を抑制するものである。海水電解の原理を図1に示す。

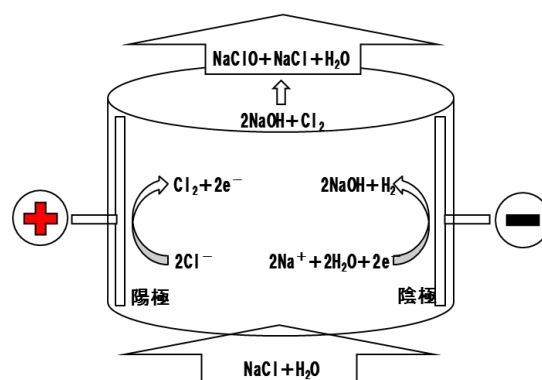


図1 海水電解の原理

#### 海水電解反応式

- a. 陽極面  $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$
- b. 陰極面  $2\text{Na}^+ + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{H}_2$
- c. 溶液内  $\text{Cl}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{NaClO} + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$

主に発電所における海水電解装置は、電解槽やポンプで構成された大型装置であり、高濃度の次亜塩素酸ソーダを生成し、循環水ポンプの上流など取水口に注入している。その際、注入した次亜塩素酸ソーダがうまく拡散せず、期待した効果を得ることができなかつたり、また効果を得ようとさらに高濃度で注入すると、放水口での残留塩素濃度が管理基準値を超えてしまうという問題が生じるため、注入方式で十分な効果を得るには、運用方法や注入濃度、注入点の数など細やかな管理が重要である。実際、放水口での残留塩素濃度基準値を意識して、十分な濃度の次亜塩素酸ソーダを注入できない発電所は多いと思われる。



そこで、当社では注入方式ではなく、対象とする海水配管や熱交換器の上流配管内に電解装置を設置し、海水を直接電気分解するインライン方式を採用した。このインライン方式は、当社の電気防食分野で発電所などに多数実績のある鉄イオン供給装置（管内挿入型）を応用したものである。

インライン方式の特長は以下のとおりである。

- ①海水ラインに直接設置するため、電極から下流に確実な海生生物の付着防止ができる。
- ②流量に応じて電流値を設定することで、必要最小限かつ目標とする濃度を供給できる。
- ③電解槽やポンプ等の付帯設備を必要としないため、比較的安価に提供できる。
- ④管径に応じた設計・製作が可能である。

インライン方式は、次亜塩素酸ソーダの拡散の点で、注入方式より優れており、電極下流直下から効果が得られている。また、供給する次亜塩素酸ソーダの濃度は、幼生の付着阻害や成長阻害に効果があるとされている 0.2 ppm を標準設計値としている<sup>2)</sup>。

### 3. 『シェルフリーパック』のシステム構成

『シェルフリーパック』は、海水電解装置、直流電源装置、中継箱で構成される。シェルフリーパックの装置構成イメージを図2に示す。電解装置本体は既設配管とフランジ取り合いとし、直流電源装置から中継箱を経由して電解装置本体まで配線配管する。

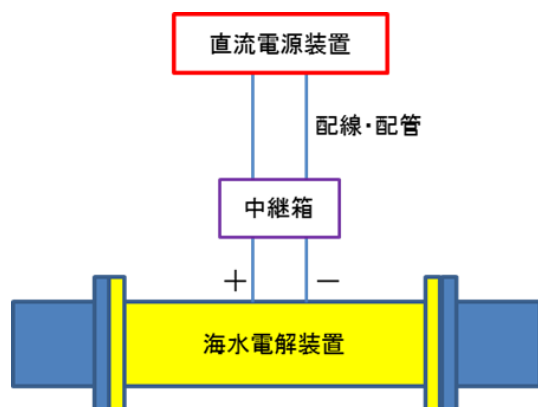


図2 装置構成イメージ

電解装置には、陽極材として白金族触媒をコーティングしたチタン板、陰極材としてステンレス材を使用する。また、既述の電解反応式にあるとおり、陰極側では水素ガスが発生する。装置稼働中に配管内海水の流れがない場合、水素ガスの滞留や装置への負荷により問題が発生する可能性があるため、使用する直流電源装置には、ポンプ等

の起動・停止と連動するインターロック機能を付与している。

### 4. 『シェルフリーパック』実機適用事例

#### 4.1 軸冷海水配管 350 A

火力発電所の軸受冷却水配管および海水冷却器内部に生成する海生生物の付着軽減・防止を目的として、冷却器より 30m 上流側の直管部に設置した（写真2）。設計条件、装置仕様は以下のとおりである。

#### <設計条件>

- 1) 海水流量：1,050 m<sup>3</sup>/h
- 2) 供給塩素濃度：0.3 ppm（客先指示値）
- 3) 必要電流：240 A
- 4) 触媒寿命：8 年

#### <装置仕様>

##### 1) 電極装置

- ①電極受け管：400 A STPG370 sch40 L=2,400 mm

※JIS 10K フランジ

※管内面ゴムライニング 3 mm 厚

※350 A-400 A レジューサー管にて長さ調整

- ②陽極材：チタン+白金族触媒

形状 W1,250 mm×H500 mm×t10 mm

- ③陰極材：SUS304

##### 2) 直流電源装置

- ①定格出力：60 V×300 A 1 回路

- ②制御方式：定電流制御

- ③最大消費電力：24 kW

※定常運転時：6.7 kW（実績）



写真2 軸冷海水配管適用事例

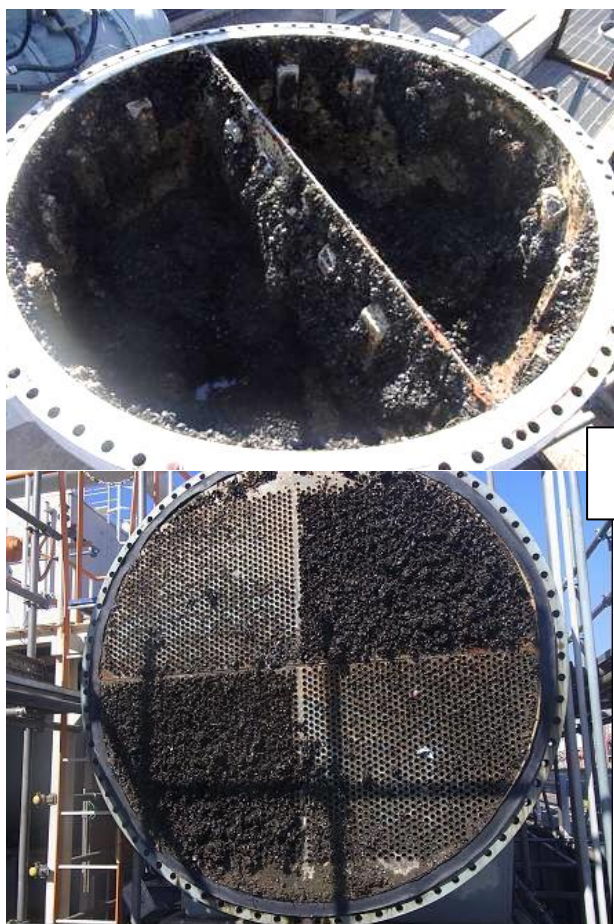


写真 3 冷却器適用前

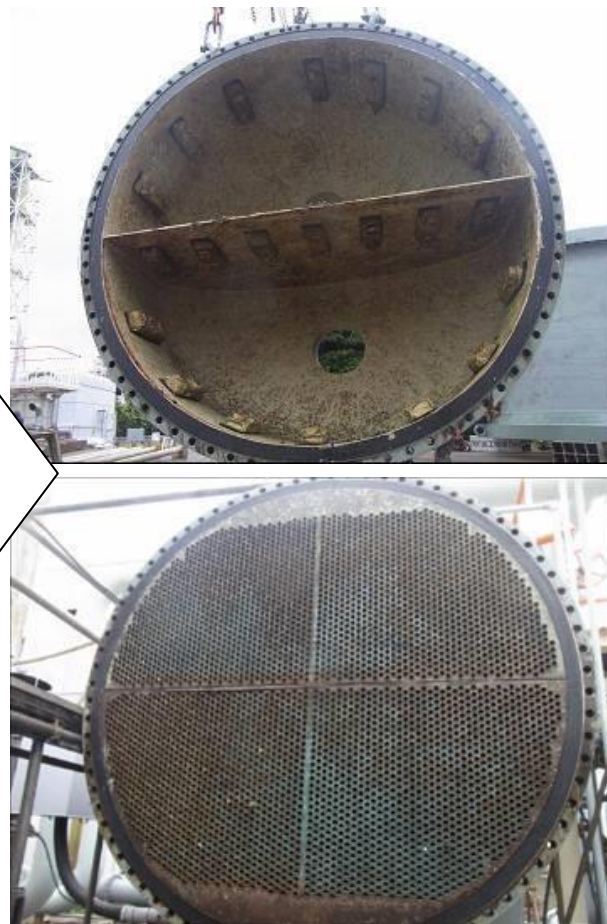


写真 4 冷却器適用後

当該装置は 2013 年 3 月に運用を開始した。取水口で次亜塩素酸ソーダを供給している発電所ではあるが、対象とした冷却器には十分に届いておらず、適用前は写真 3 のとおり冷却器の冷却管や管板面および水室内面に海生生物が付着していた。適用半年後の冷却器開放点検結果を写真 4 に示す。適用後は、次亜塩素酸ソーダの効果が明確に確認でき、水室内面は勿論のこと細管内面も良好な結果であった。また、当該装置で特筆すべきことは、運用開始から現在まで 10 年間一度も電極清掃等なく、メンテナンスフリーで運転していることである。一般に海水電解装置は、電解反応に応じて、陰極側にスケールと呼ばれるマグネシウムやカルシウムの水酸化物が生成する。生成したスケールが陰極面に固着すると、通電電圧が上昇することで電解効率が低下したり、またスケールが成長し陽極側に接触すると、陽極表面の触媒に損傷を与えと言われており<sup>3)</sup>、陽極と陰極の間隔が狭いような海水電解装置では、定期的な洗浄や分解清掃などのメンテナンスが必要となる。当社のシェ

ルフリーパックは、極間をある程度大きくし、陰極側の電流密度を大きくすることで、スケールの固着を防ぎ、基本的にメンテナンスフリーを維持している。当該装置は、運用開始から 2 年半後に一度だけ、電極の開放点検を実施した。点検結果は良好で、陰極面にスケールの堆積は見られず、また陽極面もマンガン成分等による汚れもなく、清掃なしでそのまま復旧し運転再開した(写真 5)。



写真 5 電極開放点検

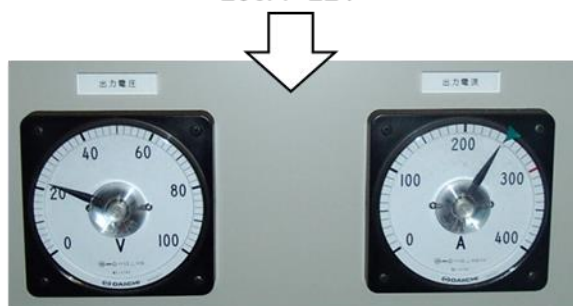
当該装置は運用開始から 10 年間メンテナンスフリーを維持しているが、既述のとおり陰極側にス



ケールが固着や堆積したり、陽極側の白金族触媒が消耗すると通電電圧が上昇する。そこで、日常点検として通電電圧の確認を行っている。2022年度に電極を更新したが、それまで写真6のとおりに運用開始から電圧の上昇もなく、現在も塩素濃度(0.3 mg/L)も問題なく供給できている。



2013年3月 通電開始  
250A 22V



2019年4月 通電開始6年1か月後  
250A 22V

写真6 通電電圧点検結果

#### 4.2 プレート熱交換器・海水配管 400A

火力発電所のプレート熱交換器内部に生成する海生生物の付着軽減・防止を目的として、対象より約30m上流側の直管部に設置した(写真7)。設計条件、装置仕様は以下のとおりである。

<設計条件>

- 1) 海水流量 : 1,360 m<sup>3</sup>/h
- 2) 供給塩素濃度 : 0.2 ppm
- 3) 必要電流 : 206 A
- 4) 触媒寿命 : 8 年

<装置仕様>

##### 1) 電極装置

- ①電極受け管 : 400 A STPG370 sch40 L=2400 mm

※JIS 10K フランジ

※管内面ゴムライニング 3 mm 厚

※400 A 管にて長さ調整

- ②陽極材 : チタン+白金族触媒

形状 W1,250 mm×H500 mm×t10 mm

##### ③陰極材 : SUS304

##### 2) 直流電源装置

- ①定格出力 : 40 V×230 A 1 回路

- ②制御方式 : 定電流制御

- ③最大消費電力 : 12.3 kW

※定常運転時 : 3.9 kW (実績)



写真7 プレート熱交換器適用事例

当該装置は2015年10月に運用を開始した。写真8に装置適用有無による効果比較を示す。右は装置適用後1年9か月経過した熱交換器ストレナ、左は装置を適用していない通常運用1年後の熱交換器ストレナである。写真8のとおりに装置を適用した方は、次亜塩素酸ソーダの効果が確認でき、良好な結果であった。この発電所では当該装置を設置したことで、突発的な閉塞トラブルがなくなり、分解清掃等の保全周期を見直すことが可能となったため、全号機で採用頂いている。

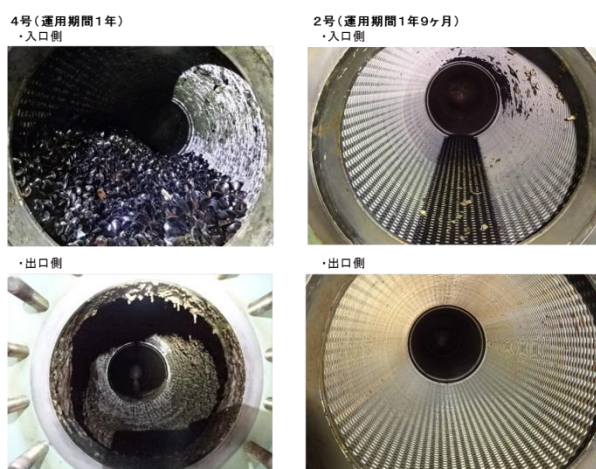


写真8 装置適用有無による比較  
左 : 装置適用無 右 : 装置適用有



## 5. 『シェルフリーディスク』の開発

### 5.1 複極式電解と開発経緯

海水電解装置では、要求される次亜塩素酸ソーダの量に応じ理論発生式に則って通電電流量を求め、この通電電流量で海水を電解する。海水電解装置の構造としては、単極式と複極式があり、単極式では一對の陽極・陰極で電解を行うが、複極式では一對の陽極・陰極の間に電氣的に絶縁された中間電極を設け、中間電極を電流が通過する際に強制的に電解反応をさせる。そのため複極式は単極式に比して、電源装置の容量を小さくでき、単位容積当たりの電解能力を上げるという利点がある。この複極式電解の概念図を示す。(図3)

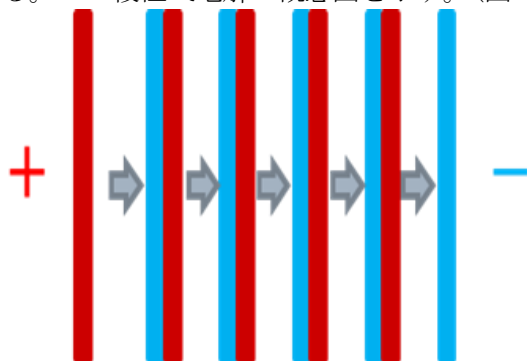


図3 複極式電解概念図(注1)

注1 本報告では図3に示す構造をもって複極式とする。その他の構造としては一つの電極体にアノード部とカソード部を持つものや、密閉容器に収納した電極を複雑に重ね合わせ給電部を一對とするものがある。

海水電解装置は、単極式の実績も少なくなく、また数千 A 規模の電源装置を使用するものもある。海水電解装置は、単極式の実績も少なくなく、また数千 A 規模の電源装置を使用するものもある。しかし当社は、上記複極式による利点を考慮し、3 項および 4 項で紹介した単極式の海水電解装置『シェルフリーパック』に加え、複極式の海水電解装置『シェルフリーディスク』を開発した。この開発は、「多量の海水を電解して塩素を発生させる」という要求がきっかけとなって開始した。

### 5.2 客先要求性能に対する仕様

客先より要求された条件を下記に示す。

#### <設計条件>

- 1) 海水流量 : 33,000 m<sup>3</sup>/h
- 2) 供給塩素濃度 : 0.2 ppm

### 3) 触媒寿命 : 5 年

海水流量 33,000 m<sup>3</sup>/h は当社では経験がないため、複極式に焦点を当てた。また、この他に、『シェルフリーパック』と同様に必要な箇所に必要な分だけ次亜塩素酸ソーダを生成させる条件があり、更に設置場所は復水器内であった。復水器内で不具合があれば、社会インフラである発電所を停止させてしまうこととなるため、慎重を期した。

### 5.3 基礎となる技術と応用

当社では鉄電解の技術が確立しており、ラインナップにはインライン型の管内挿入型、電解槽を持つ槽型、復水器内に直接設置する単一型・複合型鉄電極などがある。『シェルフリーディスク』はほぼ複合型鉄電極の基本構造を基にしている。そのため設計に時間をかけず具体化することができた。

### 5.4 試行錯誤と試作品の評価

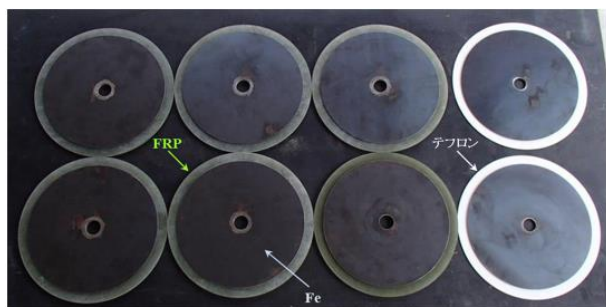
基本構造は図3に示したような程度決まっていたものの、実際の製品になるまでにはいくつかの試作や基礎試験を実施した。

復水器内に設置する想定のため、電極形状は円盤とした。また干渉作用や機械的強度など、海水電解効果以外にも検証する要素があり、時間を要した。その一部を紹介する。

#### 5.4.1 実験例と試作

図3はあくまでも概念であり、希望どおりに電流が中間電極を通過し、その過程で電解反応がそれぞれの極間で起きるかなどは、試験してみないと全くわからない状況であった。決定していたことは、電極は当然不溶性のチタン製とすることのみであった。懸念事項としては、裸の金属体である円盤に通電すると、環境抵抗の小さい方へ電流が流れることが考えられた。つまり電流が円盤の中心を通らず、外側をジャンプしてしまうことを想定していた。従って我々は円盤の内側に電流が通るよう、電極の外周部に絶縁部を設けることとした。

電流ジャンプの抑制は電解反応に応じて生じる水素ガスの量を計測することで確認した。樹脂製のタンク内で試作した電極を組み、発生するガスを収集した。概要を図4、5に示す。気体(水素ガス)収集量は、電極6枚1組の場合、



電極〔Anode:Fe/Cathode:Fe〕／遮蔽板(テフロン,FRP)



組み立て状況(電極8枚)  
設置間隔:10mm

水槽内電極設置状況(電極8枚)

図4 電解効率確認用試作電極



気体収集部



図5 気体収集試験

電極が2枚(アノード・カソード各1枚)の4倍(効率80%)の結果であった。外周部の絶縁は電流のジャンプを抑制できることがわかった。

他にも電解反応に応じて生じるスケールが極間に溜まらない条件を確認するために、流速や電流密度を変えて極間距離を決定した(図6、図7)。

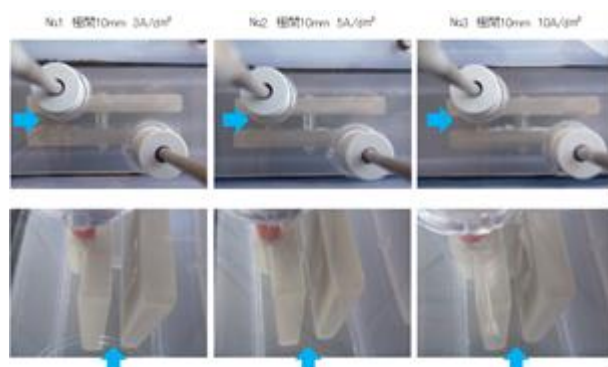


図6 スケール確認試験状況

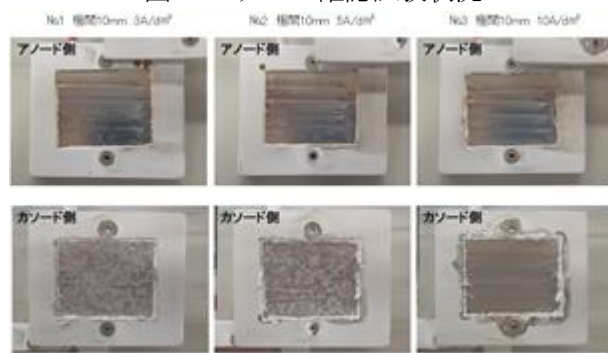


図7 スケール確認試験(スケール付着状況)

#### 5.4.2 FEM解析による電位分布(干渉作用)確認

復水器水室内面は、ゴムライニング若しくは同等の防食被覆が施されており、損傷がない限り干渉作用によって電食を発生させる懸念はない。しかし管板面や細管はアルミ黄銅やチタン製で被覆のない裸の金属であるため、電流の出入りが容易であり、干渉による電食の発生が懸念材料であった。

そこでFEMモデルによる電位分布の解析を行い、電流の影響範囲を予測した。解析例を図8に示す。条件設定を様々行ったが、電極から出る電流の影響範囲は電極の中心から最大でも半径500mm程度と判明したため、管板面から電極は最低500mm以上離すこと、電極相互間の距離は1000mm以上離す必要があることを確認した。また、電極同士での電流のやり取りを防ぐため、複数の電極を設置する場合は、回路を電極ごとに別個独立に設けた。さらに電極同士の極間の設定も数パターン行い、5.4.1項で述べた試験の結果とあわせ実機用の電極の設計に活かした。



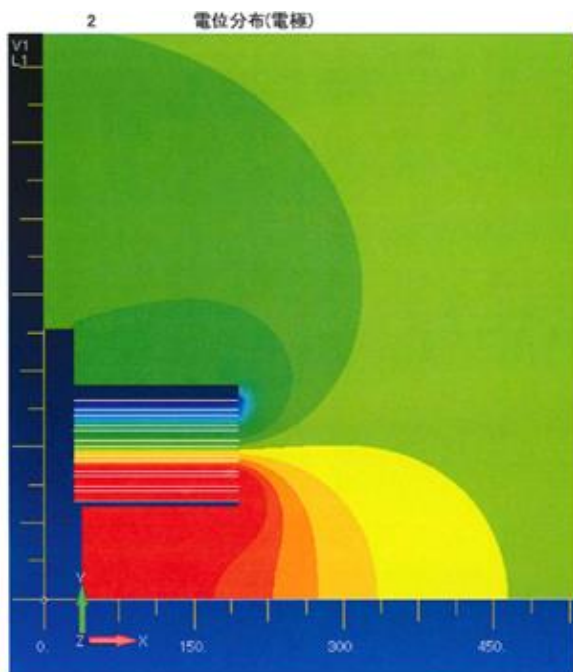


図8 FEM解析例

#### 5.4.3 実環境試験

電極設計がほぼ出来上がり、電解効率も予測でき、残りは電極の強度のみが不確定要素となった。実際の水立下で破損や脱落がないかを確認するため、実環境での試験を行った。

まずは放水口で架台に固定し、常に流水にさらされている状態で半年ほど試験を行った。破損や振動などによる緩みもなく脱落することはなかった（図9）。



図9 暴露試験用架台と電極

次に、発電所熱交換器の上流海水配管に受け管を取付け、インラインで電解を行い、効果の確認を行った。熱交換器は季節により流量が異なる。夏季はブースターポンプが稼働するため流量が増え、冬季では海水温が低いいため、流量が夏季の半

分であった。海水電解装置の運転は定電流制御の電源装置で通電し、夏季には出力を大きくし、冬季には小さくした。また、この試験は電流と次亜塩素酸ソーダの濃度の相関を取るには好都合であった。電極設置位置の数 m 下流にエア抜き弁があり、減衰しない範囲で採水ができたためである。

その結果、気体収集量は、2 枚の電極に対して約 4.5 倍であった。これは 5.4.1 項で述べた気体採集試験の結果 80% (4 倍) を上回っている。また、対象の熱交換器も定期的に開放し清掃を行うが、次亜塩素酸ソーダの効果で、開放時には流入貝以外の清掃は不要となった（図 10、11、12）。



図10 電極設置状況



図11 電極(受け管内設置)



適用前

適用後

図12 熱交換器開放状況

#### 5.4.4 特許出願と登録まで

実機での効果も確認でき、構造が確定したため、特許を取得することとした。海水電解装置は歴史が古く、構造も類似した先行技術があるため、新規性・進歩性を主張することは難しかった。

しかし、①電極外周部に絶縁部を設け、電流のジャンプを抑制したことと、②容器に収めることなく複極式の電解ができること、つまり電極の極間の隙間全体がそれぞれこの隙間全体が外方に開放され、海水中でも電解ができることに新規性を主張し、「開放型複極式電解電極」と定義し特許を取得することができた。特許第 7037303 号

なお、請求項の作用効果にはスケール閉塞による電圧上昇の抑制、スケールがたまりづらく、メンテナンスを要しないことも含まれている。(図 13)

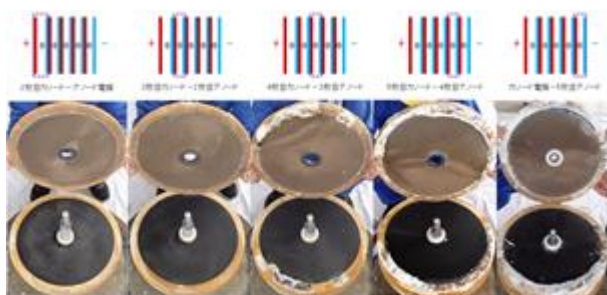


図 13 開放時のスケール堆積状況

図 13 は実環境試験終了時に、極間に溜まるスケールを観察したものである。絶縁部の外周部にはスケールが付着しているものの、電極面にはスケールはなく、清掃を要しない根拠となった。

さらなる改良案としては電極の大きさを変更である。現在  $\phi 400$  (反応面は  $\phi 350$ ) を  $\phi 500$  にするだけでも 1.6 倍の電流を印加できる。つまり 0.2 ppm 時 2,600  $\text{m}^3/\text{h}$  の性能が、1 基で 4,000  $\text{m}^3/\text{h}$  以上にできる。これにより少ない電極数でも多くの海水を処理できることになるため、補機系だけでなく、主軸の循環水にも適用範囲が広げられる。例えば設置箇所として循環水配管が挙げられるが、他にもカーテンウォール内に電極を設置し電解処理することで循環水に次亜塩素酸を含ませることが可能である。循環水管配内や復水器内で破損するなどのトラブルを懸念する必要がない。また、発電所の運転状況に影響を受けず設置や更新ができるなど、メリットは多い。

ただし海水流量 2m/s 以上の条件が必要となるため、海水を電極部に通過させるための水流装置を付帯する場合がある。

#### 6. まとめ

当社の小型海水電解装置『シェルフリーパック』に関する 2 件の実機適用事例と開放型複極式電解装置『シェルフリーディスク』の開発経緯を紹介したが、いずれも海生生物の付着防止対策として、本装置が有効であることが実証された。今後もメンテナンスフリーで対応できるよう、さらなる機能向上とコストダウンを図り、海水を使用する冷却水系統の防汚対策として広く採用頂けるよう注力していく。

また、当社では現在、発生させた次亜塩素酸を放水口までに有害な副産物を生成させることなく中和・消滅させる研究・開発を行っており、既に特許出願準備中である。こちらの技術も近い将来に製品化させ、社会貢献の一助と成るべく、努力していく所存である。

#### 参考文献

- 1) 火力原子力発電技術協会編；“発電所海水設備の汚損対策ハンドブック”，2014
- 2) 電気化学会、海生生物汚損対策懇親会編；“大型付着生物対策技術総覧”，1998
- 3) 防錆管理-22-1;“エレクトロコーティングに覆われた酸化イリジウムの消耗メカニズムの解明”，八木ら，2022

※本報告は、日本工業出版(株)発行「配管技術」8 月号(2019 年)に掲載された論文の一部を加筆・修正したものである。



# 重要な建造物を支える鋼製基礎杭に適用した電気防食工法の紹介

技術統括部 技術部長 久野 泰史

## 1. はじめに

土壌中鋼材の腐食は、水中と比べて環境が不均一になるため、局部的に生じやすくなる。鋼製基礎杭においても、各土質層の土壌抵抗率などが異なるため、酸素濃淡による腐食セルが形成され局部腐食の要因となり、無防食状態が長期間にわたると貫通穴などの大きな腐食が懸念される。そこで、本防食対象となる鋼製基礎杭のように重要な建造物を支えている部材については、長期間確実に腐食抑制可能な防食対策工法が望まれ、既に多くの実績がある電気防食工法が採用された。

2006年7月に国の重要文化財に指定された広島平和記念資料館に対して広島市発注の「広島平和記念資料館本館免震改修その他工事」における建屋鋼製基礎杭への電気防食工事について、設計検討および施工を行ったので今回紹介する。



図－1 施設全景【広島平和記念資料館 HP より】

## 2. 施工上の課題

### (1) 作業エリアの制約

原設計では電極設置のためのボーリングは、マットスラブ下端で施工する予定であった。しかし、上部空間が限られているため、資機材を移動させながらの施工は効率が著しく低下する。さらに、他工種の工程にも大きな影響を与えるため、全体工程の律速となりかねないことから工程調整の難しさが課題として挙げられる。

### (2) 鋼製基礎杭の設計見直し

防食対象となる鋼製基礎杭の設計見直しによって、鋼製基礎杭の仕様変更と合わせて本数が減少した。電気防食設備の発注仕様は320A出力可能な電気防食設備であるため、原設計のまま施工を実施した場合には過大な設備となる。

### (3) 無塗装の防食対象

鋼製基礎杭は無塗装であるため、電気防食を適用した場合には電流分布の悪化に伴う防食効果の不均一化が懸念される。遠方点を基準とした出力調整を行った場合、電位分布幅が大きくなり電気防食設備運用において不経済となる。

## 3. 電気防食設計の見直し

表－1に防食対象となる鋼製基礎杭の発注仕様および変更仕様を示す。

鋼製基礎の仕様変更に合わせて、施工上の課題を考慮した電気防食設計の見直しを実施した。

表－1 鋼製基礎仕様変更

|     | 発注仕様          | 変更仕様          |
|-----|---------------|---------------|
| 杭径  | φ267.4～φ508   | φ216.3～φ508   |
| 長さ  | 24.00m～25.15m | 24.10m～25.25m |
| 総本数 | 232本          | 178本          |

## (1) 電気防食設備検討

発注仕様における電極配置でも十分な防食効果が見込めると判断できる。しかし、電極設置箇所が少ないため電極近傍における防食効果の集中が懸念される。これは課題の一つに挙げた無塗装の防食対象物に電気防食を適用した場合の電流分布悪化をさらに助長するため、本検討において考慮する必要がある。直流電源装置定格出力検討と併せて可能な限り電極を分散配置することで電流分布の良化を図り、平滑化された電位分布となるような検討を実施した。

電極配置の検討では、FEM 解析により妥当性を評価した。FEM 解析結果の比較を図-2 に示す。

なお、FEM 解析で考慮した条件は以下の通りである。

- ・対称性を考慮した 1/4 モデル
- ・マットスラブ鉄筋とは非導通
- ・深度毎に土壌抵抗率を設定
- ・一般的な電気化学的境界条件を適用
- ・深い深度における酸素供給低下を考慮した分極抵抗の設定

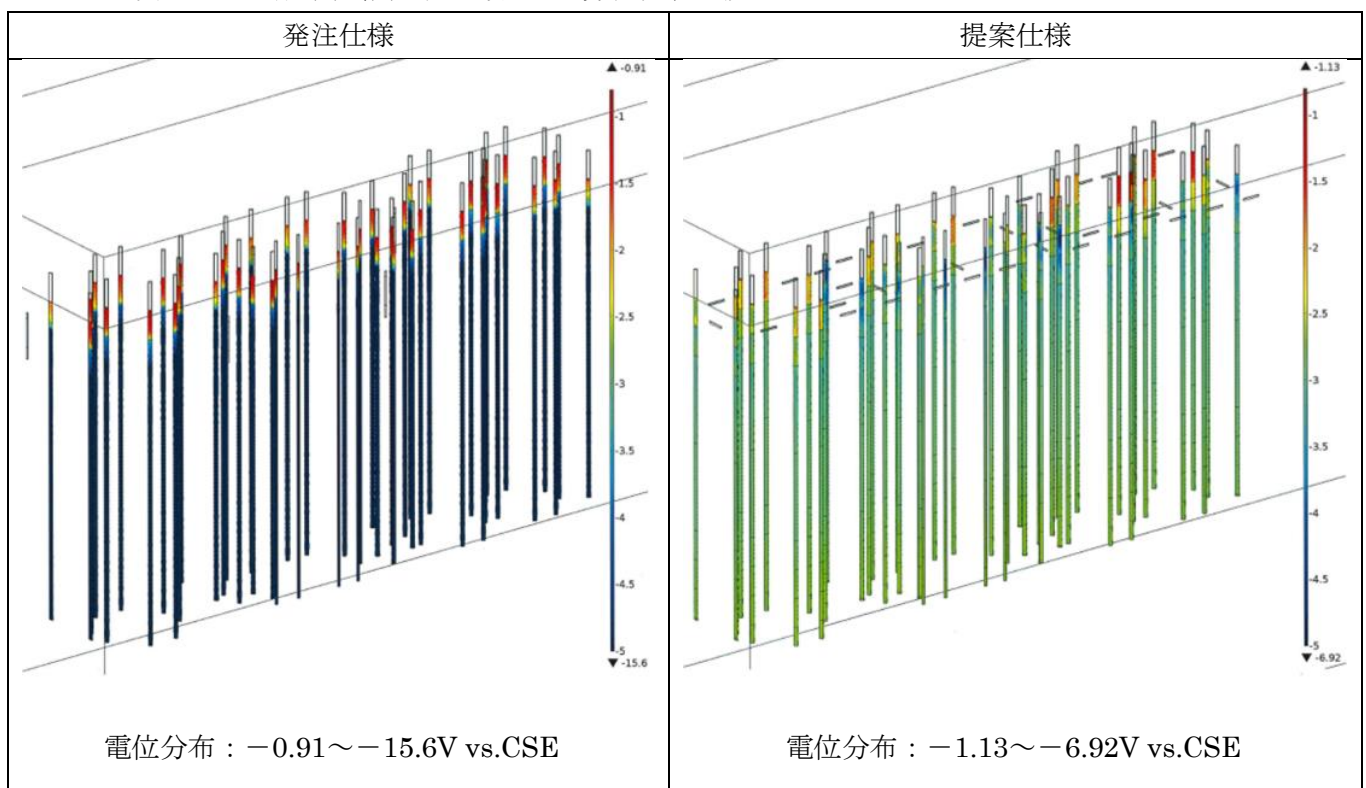


図-2 FEM 解析結果比較

発注仕様でFEM解析した結果は、防食効果の集中に伴い、遠方点を基準とした出力調整が必要となるため、全体の電位分布は-0.91～-15.6V vs.CSE（電位分布幅約 15V）となった。一方、電極の分散配置による解析結果は-1.13～-6.92V vs.CSE（電位分布幅約 6V）となり、電流分布の良化によって電位分布の平滑化が顕著に示された。

電極個数は、分散配置したことで発注仕様の電極個数の 3 倍を配置した。個数の増加に伴い、電極仕様を 1 本当たり 10A から 1 本当たり 2A の定格出力電流の電極に変更した。

直流電源装置の定格出力電流は、発注仕様の 320A に対して 210A と約 30%低減させた。

## (2) 電極設置工法検討

電極本数が大きく増加したことで当初予定のボーリング削孔は現実的ではないため、電極設置をバックハウ開削による水平設置とした。その結果、作業エリアの制約が解消されたため、他工種との工程調整も滞りなく実施でき、工程の短縮が図れた。



(3) その他電気防食設備の見直し

防食効果を確認するためのモニタリング用亜鉛照合電極の設置箇所を増加させ 1 回路当たり 1 個とし、防食効果評価の信頼性向上を図った。

さらに、排流端子も 1 回路当たり 1 個とすることで、防食回路に負荷される抵抗成分の緩和によって電流分布の改善に繋がった。

電気防食設備の仕様変更内容を表－2 にまとめた。

表－2 電気防食設備仕様

| 電防設備   | 発注仕様                                  | 変更仕様                                                           |
|--------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 直流電源装置 | 60V×20A×8 回路：2 基                      | 60V×10A×6 回路，60V×20A×2 回路：1 基<br>60V×10A×5 回路，60V×20A×3 回路：1 基 |
| 通電電極   | 金属酸化物被覆電極（10A／本）<br>2 本／箇所×16 箇所：32 本 | 金属酸化物被覆電極（2A／本）<br>105 本                                       |
| 電極設置工法 | ボーリング工法                               | 開削工法                                                           |
| 照合電極   | 亜鉛照合電極：6 個                            | 亜鉛照合電極：16 個                                                    |
| 排流端子   | 6 箇所                                  | 16 箇所                                                          |

4. 施工状況紹介

電極設置を開削水平設置（写真－1 左）させたことで、他工種との工程調整が容易となり、工期内で施工が完了できた。モニタリング用亜鉛照合電極（写真－1 右）の設置箇所を増やして防食効果の診断機能を高めた。

なお、完成時の対地電位は、－0.95V～－2.0V vs.CSE を示し、十分な防食効果が確認できた。



写真－1 施工状況

謝辞

工事関係者の方々には多大なる御協力を賜り、安全第一で工期内に完遂できました。  
ここに記して心より感謝申し上げます。

# 港湾鋼構造物に適用する電気防食工法における コスト低減を考慮した合理的な設計手法の提案

(株)ナカボーテック    ○香川 勇樹、町田 勇太、酒井 亨  
東亜建設工業(株)    網野 貴彦、濱田 洋志

## 1. はじめに

港湾鋼構造物に適用される防食工法としてアルミニウム合金陽極などを用いた電気防食工法がある。電気防食工法は防食効果の信頼性が高いため、港湾鋼構造物をはじめ、パイプライン、熱交換器、船舶、基礎鋼材、コンクリート中の鉄筋などへ広く適用されている。一方、港湾鋼構造物の維持管理は、ライフサイクルマネジメントの枠組みに基づいて計画的かつ合理的に行う必要があり、防食工法の維持管理手法においても、防食性能を確保した上でコスト低減を図ることが望まれる。

そこで、コスト低減が期待できる電気防食工法の合理的な設計手法を新たに提案し、その実証試験を開始した。本発表では、提案した設計手法およびその実証試験の途中経過を報告する。

## 2. 設計手法

今回提案した設計手法(以下、「新提案設計」という。)は、一般的な港湾鋼構造物を対象としたアルミニウム合金陽極を用いた電気防食工法によるものである。

港湾鋼構造物の防食設計は港湾鋼構造物防食・補修マニュアル(以下、「マニュアル」という。)に従い実施することが通例である。このマニュアルは、電気防食工法の指針や設計手法などが詳細に記載されているため、電気防食工法の普及に寄与する一方で電気防食工法の自由度は高くない側面がある。

今回、電気防食工法のコスト低減を図るため、陽極の所要陽極質量を合理化した計算手法とし、陽極の有効電気量を陽極性能に即した値とした。

### 2. 1 マニュアルの計算手法

マニュアルにおける電気防食の設計手法について簡潔に記載する。マニュアルにおける一般清浄海域の海水中および海底土中の初期所要電流密度はそれぞれ  $100\text{mA/m}^2$ 、 $20\text{mA/m}^2$  であり、防食対象面積を乗じて必要な電流値(初期所要防食電流)を決定する。この際、3年以上無防食である既設構造物が対象である場合は陽極の耐用年数によって電流値を 1.1~1.2 倍割増す必要がある。初期所要防食電流を求めた上で(1)式を用いて所要陽極質量の算出を行う。

$$\text{所要陽極質量}[\text{kg}] = \frac{\text{初期所要防食電流}[\text{A}] \times \text{耐用年数}[\text{y}] \times \text{電流低減率} \times 8760[\text{h/y}]}{\text{有効電気量}[\text{A} \cdot \text{h/kg}]} \quad \dots (1)$$

算出された所要陽極質量から耐用年数、経済性を考慮して陽極を仮選定し、陽極数量の算出、陽極 1 個当りの初期所要防食電流の算出、発生電流の算出、配置の適正等を経て陽極仕様、個数が決定する。

## 2. 2 陽極発生電流の経時変化

アルミニウム合金陽極の発生電流は取付後、時間経過と共に変化していく。そのモデルを図 1 に示す。低減期間までは初期値から定常値まで減少していき、低減期間を過ぎると定常値付近で落ち着くとされている<sup>2)</sup>。

低減期間ならびに防食電流の定常値は陽極の耐用年数に影響されない。そのため、図 2 に示す通り、陽極の耐用年数が長くなるほど低減期間(色塗部)の割合が小さくなるため防食期間における防食電流の平均値は低くなるはずである。マニュアルにおいては電流低減率を乗算することで、低減期間における割合を考慮しているものの、耐用年数が 15 年以上において電流低減率はすべて 0.50 であり、それ以上耐用年数が長くなっても防食電流の平均値は減少しないものとされている。

また、防食対象が無防食の既設構造物である場合、電気防食施工初期においては陽極発生電流の一部はさびの還元消費される。したがって前述のとおり、初期防食電流密度を 1.1～1.2 倍割増す必要があるが、マニュアルにおいては防食電流密度の平均値も同じ割合で割増しして計上されることになる。

上記より新提案設計として所要陽極質量を(2)式により求めることで、防食電流密度の経時変化を図 3 に示すモデルに即した形とした。また、さびの還元消費される電流密度を低減期間割増範囲のみとし、定常範囲を合計することで電気防食上、必要な所要陽極質量を算出し、その可否について検討した。

所要陽極質量[kg] = 低減期間割増範囲の所要陽極質量[kg] + 定常範囲の所要陽極質量[kg]

$$= \frac{(\text{初期所要防食電流} - \text{定常所要防食電流})[\text{A}] \div 2 \times \text{低減期間}[\text{y}] \times 8760[\text{h/y}]}{\text{有効電気量}[\text{A} \cdot \text{h/kg}]} + \frac{\text{定常所要防食電流}[\text{A}] \times \text{耐用年数}[\text{y}] \times 8760[\text{h/y}]}{\text{有効電気量}[\text{A} \cdot \text{h/kg}]} \dots (2)$$

なお、使用する陽極は、陽極数量を少なくするため、陽極 1 個当たりの発生電流 ( $I = \Delta E/R$ ) が大きい(3.5A 程度を目安)ものとした。

## 2. 3 陽極の有効電気量の見直し

陽極の有効電気量はマニュアルにおいて 2600A・h/kg 以上と規定されており所要陽極質量の算出では 2600A・h/kg としている。しかし陽極の有効電気量は実際には使用する製品により異なる。(1)式より陽極の有効電気量が増加すれば所要陽極質量は減少するため、陽極の有効電気量を陽極性能に即した値にして所要陽極質量を計算した。

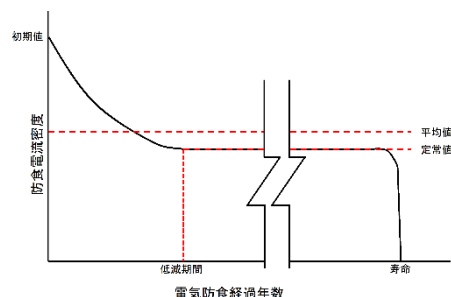


図 1 防食電流密度の経時変化

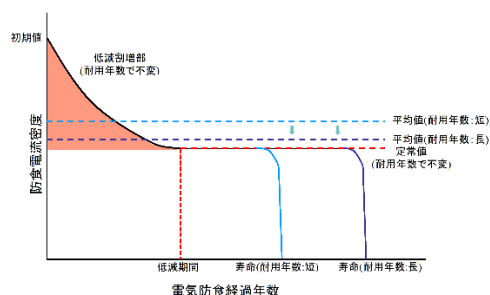


図 2 平均防食電流密度の変化

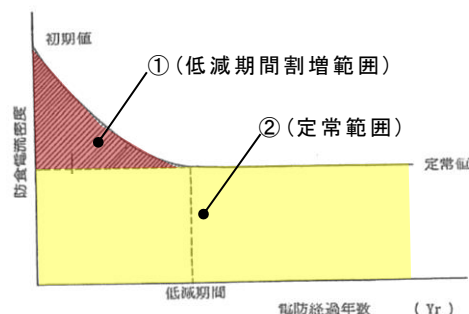


図 3 新提案設計の所要陽極質量の割り振り



### 3. コスト低減の検討

新提案設計がコスト低減に与える効果を確認するため、実証試験を行っている施設を想定して直接工事費の比較検討を行った。

実証試験を行っている施設は東京港内の一般清浄海域にある鋼矢板岸壁であり、建設後 40 年以上経過している。検討条件として、電気防食面積は海水中 1322.8m<sup>2</sup>、海土中 2035.0m<sup>2</sup>とし、費用単価は 2023 年 3 月時点とした。また、防食電流密度の定常値は一般清浄海域では 40mA/m<sup>2</sup>が妥当とされている<sup>2)</sup>ため、その値を採用した。

比較項目はマニュアルに従って設計した標準設計と新提案設計とするが、低減期間は様々な要因の影響を受け一定では無いため、低減期間を 4 年および 2 年とした場合(新提案設計(低減期間 4 年)新提案設計(低減期間 2 年))にて比較した。また、電気防食の耐用年数が 50 年、30 年、10 年の場合で比較検討した。

表 1 に各項目の概算直接工事費および標準設計に対してのコスト削減率を示す。新提案設計にすれば低減期間 4 年ではコスト削減率は 11~16%、低減期間 2 年ではコスト削減率は 16~19%となり、耐用年数が長いほどコスト削減率が高い結果となった。これより、既設鋼構造物においては新提案設計を適用すれば 1~2 割程度のコスト削減の可能性が示唆された。

表 1 新提案設計のコスト比較

|                     | 50 年耐用       |            | 30 年耐用       |            | 10 年耐用      |            |
|---------------------|--------------|------------|--------------|------------|-------------|------------|
|                     | 概算直接<br>工事費  | コスト<br>削減率 | 概算直接<br>工事費  | コスト<br>削減率 | 概算直接<br>工事費 | コスト<br>削減率 |
| 標準設計                | 24,624,000 円 | —          | 15,504,000 円 | —          | 6,748,000 円 | —          |
| 新提案設計<br>(低減期間 4 年) | 20,610,000 円 | 16%        | 13,237,000 円 | 15%        | 6,003,000 円 | 11%        |
| 新提案設計<br>(低減期間 2 年) | 19,923,000 円 | 19%        | 12,596,500 円 | 19%        | 5,692,500 円 | 16%        |

### 4. 実証試験

新提案設計が実際に有効であることを確認するため、3 項で述べた鋼矢板岸壁にて 2021 年度から実証試験を開始した。試験は表 1 に示す条件の内、50 年耐用—低減期間 4 年を採用した。

#### 4. 1 電位測定

延長 180m に対し、始点より 70m までの区間を標準設計、終点(110m)までを新提案設計とした。また、電位測定は始点より 20m 間隔(1~10)で実施した他、電位測定端子前(測点①~③)でも実施した。

図 4 に各測点における陽極取付から約 1 年後までの電位測定結果(各水深の平均値)を示す。陽極取付後から鋼材電位は防食電位である -780mV(Ag/AgCl[sw])より卑であり、1 年経過後の電位は陽極取付後から同程度の値を維持しているため、陽極取付直後から防食状態を継続していると評価する。これより、新提案設計における電気防食工法の防食効果は施工当時から現状までは良好であると言える。

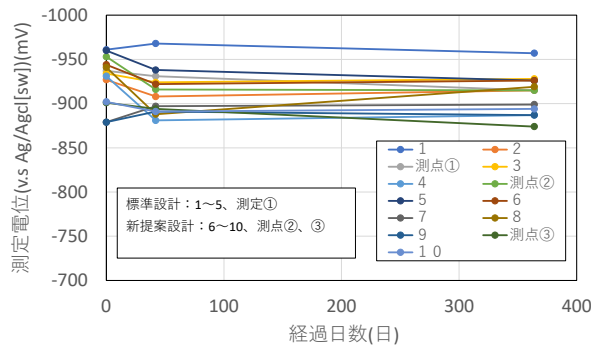


図 4 電位の経時変化

#### 4. 2 陽極発生電流測定

図 5 に陽極取付直後から直近(2023 年 3 月下旬)までの陽極発生電流の経時変化を示す。測定点をそれぞれ標準設計：(a)、新提案設計：(b)、(c)とした。また(b)、(c)について、条件の違いはない。標準設計では発生電流 2.0A の陽極を採用している。グラフに示した新提案設計値は低減期間 4 年で定常値に到達する直線である。

陽極発生電流は取付直後の初期段階を除き、ほぼ全ての期間において新提案設計値より下回っているため現時点では設計耐用年数を満足できる状態であると評価できる。

陽極発生電流はいずれも 2022 年 2 月頃までは直線的に低減し、その後 2023 年 3 月下旬時点で(c)を除き定常値に達した。(c)が定常値に達しなかった理由は、陽極発生電流測定装置の交換の際に陽極をケレンした影響で一時的に他の陽極よりも電流が発生し易い状態になったためであると推察される。したがって(c)においても時間経過により(b)同様に定常値まで収束するものと考えられる。

今後は陽極発生電流が安定的に定常状態になるまでを目安に測定を継続し、低減期間と陽極発生電流の定常値を確認することとする。

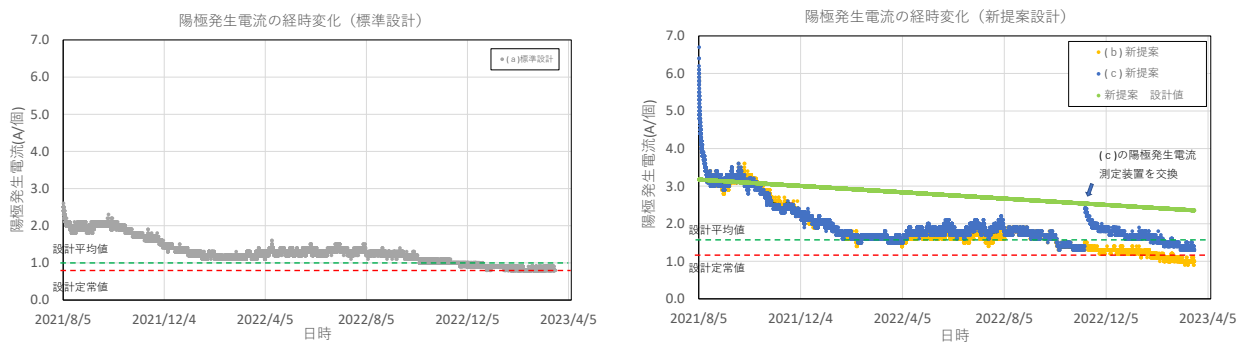


図 5 陽極発生電流の経時変化

#### 5. まとめ

今回提案した新提案設計は防食性能を確保した上で LCC 低減が期待できることが確認できた。しかし、実証試験の期間が 1 年程度と短いため、長期的な防食効果の確認と適切な低減期間の設計方針をその後検討していく予定である。

#### 参考文献

- (一財) 沿岸技術研究センター：港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（2022 年版）
- 運輸省港湾空港技術研究所：港湾技術研究所報告 VOL. 25 No. 1（1986）

※本報告は、(一社) 日本防錆技術協会主催「第 43 回防錆技術発表大会」に発表された論文である。

## 1. はじめに

電気防食を効果的かつ経済的に適用する上で、電極の電位・電流分布の均一化を図ることは重要である。電位・電流分布は、陽極表面各点から陰極表面各点までの種々の抵抗のトータル比が電位・電流分布を決定している。電気防食の場合、抵抗の中身は極間の液抵抗(物理的抵抗)と陽極・陰極の電気化学的反応抵抗（電気化学的抵抗）になる。液抵抗は、その大小関係が陽極と陰極間の相対的な距離として直感的イメージが得やすいのに対し、電気化学的抵抗は物理的イメージが考えにくいいため、両者の抵抗の比較が困難となり、電位・電流分布の定性的判断を難しくしている。

本解説では、電気化学的な抵抗を物理的イメージで考えることにより、両抵抗の定性的な大小関係を把握しやすくするとともに、電位・電流分布の決定要因について、防食対象物となる陰極側について考えることにする。

## 2. 電気防食系における電位・電流関係式

電気防食法における電位と電流の関係として次式<sup>1)</sup>が成立する。

$$V_{ex} = E_a - E_c + IR_s \quad \text{-----} [1]$$

ここで、 $V_{ex}$ ：印加電圧、 $E_a$ ：陽極電位、 $E_c$ ：陰極電位、 $I$ ：通電電流、 $R_s$ ：極間抵抗

[1] 式は流電陽極法の場合、 $V_{ex} = 0$  と考えればよいので、電気防食法における電位と電流の関係を表す一般式として扱うことができる。

さらに、陽極のアノード分極特性、陰極のカソード分極特性に直線分極を適用すると

$$V_{ex} - (E_a^* + h_a \cdot I / S_a) + (E_c^* - h_c \cdot I / S_c) = I \cdot R_s$$

$$I = \frac{V_{ex} - E_a^* + E_c^*}{h_a / S_a + R_s + h_c / S_c} \quad \text{-----} [2]$$

但し、

$E_a^*$ ：陽極の自然電位、 $E_c^*$ ：陰極の自然電位

$h_a$ ：陽極の分極抵抗、 $h_c$ ：陰極の分極抵抗

$S_a$ ：陽極の表面積、 $S_c$ ：陰極の表面積

[2] 式は、 $V_{ex} - E_a^* + E_c^*$  を起電力とし、この電圧を陽極の分極抵抗 $h_a/S_a$ と極間抵抗 $R_s$ 、陰極の分極抵抗 $h_c/S_c$ で消費していることを示している。この関係を電氣的等価回路で示すと図1になる。電気防食を適用する際の最適条件は、印加電圧の大部分を陰極（防食対象物）の分極抵抗（陰分極現象）で消費し、かつその電流（防食電流）が非常に小さいことである。こうした条件を満足させるための必要条件は、① 陽極の分極抵抗( $h_a/S_a$ )を小さくする、② 陰極の分極抵抗( $h_c/S_c$ )を大きくする、③ 環境の抵抗( $R_s$ )が小さいことの3条件が揃うことが望ましいことがわかる。実際の電気防食では、上記条件に近づけるような種々の工夫が施されている。

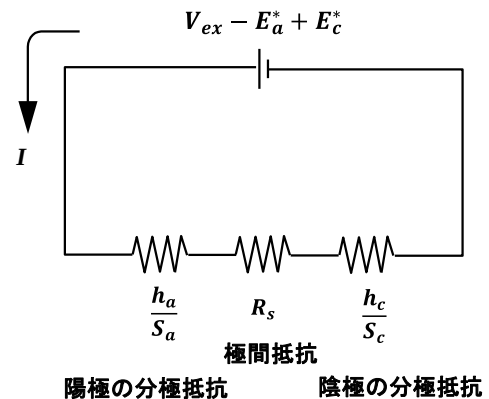


図1 電気防食系の電氣的等価回路

## 3. 分極パラメータの導入

液抵抗と分極抵抗という両抵抗の比較に対し、C.Wagner<sup>2)</sup>は、分極パラメータという概念を導入することにより、電気化学的な反応抵抗を物理的抵抗として考える方法を提案した。

分極曲線を直線分極と仮定し、その反応抵抗（分極抵抗）を $h$  とすると、アノード、カソード分極曲線は、次式のように書ける。



$$E_a = E_a^* + h_a \cdot i_a \quad \text{-----} \quad [3]$$

$$E_c = E_c^* - h_c \cdot i_c \quad \text{-----} \quad [4]$$

但し,

$i_a$  : 陽極電流密度,  $i_c$  : 陰極電流密度

ここで,

$$L_a = h_a / \rho, \quad L_c = h_c / \rho$$

$L_a$  : 陽極分極パラメータ

$L_c$  : 陰極分極パラメータ

$\rho$  : 環境抵抗率

というパラメータを導入すると, [3], [4]式は, [5], [6]式のように表すことができる.

$$E_a = E_a^* + i_a \cdot \rho \cdot L_a \quad \text{-----} \quad [5]$$

$$E_c = E_c^* - i_c \cdot \rho \cdot L_c \quad \text{-----} \quad [6]$$

分極パラメータは長さのディメンションを持つ物理量で, 図2に示すように, 電気化学的反應によって消費される電圧 (分極量) は, 環境と同じ抵抗率を持つ  $L$  という長さの空間の IR ドロップとして考えることができることを示している. 同時に, その空間は電流流線が電極面に垂直であるような制約を受けた空間でなければならないことをも示している.

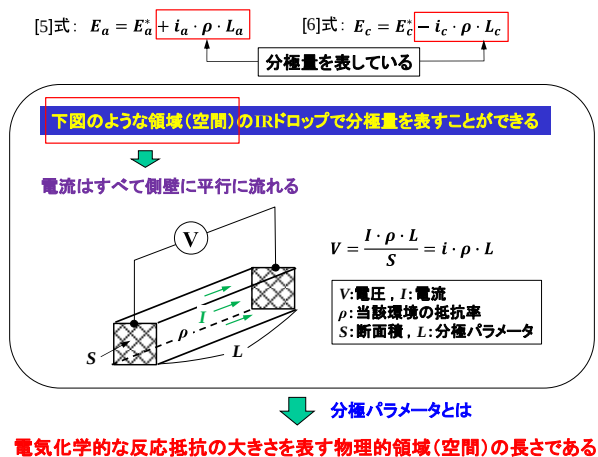


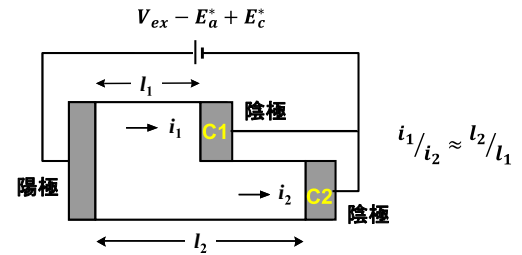
図2 分極パラメータの解釈

#### 4. 分極パラメータを取り入れた電位・電流分布の物理的イメージ

#### 4.1 2次元モデル

図3に示す2次元セルの陰極における電位・電流

##### (i) 陽極、陰極とも分極を考慮しない (一次電流分布の場合)



##### (ii) 分極を考慮した (二次電流分布の場合)

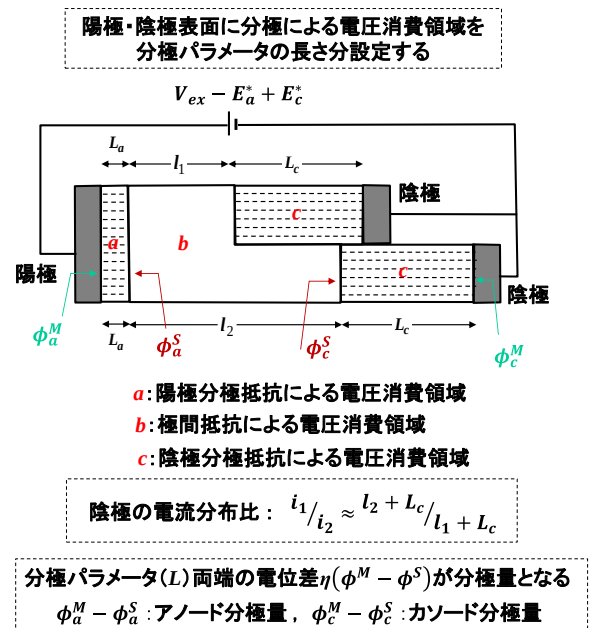


図3 電位・電流分布の考え方 (2次元問題)

分布を考えることにする③.

塗りつぶし部分が電極で, 陽極に対し陰極は異なる距離  $l_1, l_2$  離れた位置に配置されている. 陽極, 陰極において, 電気化学的抵抗 (分極) を考慮しない分布 (一次分布と称する) の場合, C1, C2 に流れる電流密度  $i_1, i_2$  の比は, およそ  $l_1, l_2$  の比に対応すると考えることができる.

一方, 陽極, 陰極において電気化学的抵抗を考慮した電位・電流分布 (二次分布と称する) を考える場合は, 電極表面に分極による電圧消費領域を分極パラメータの長さ分設定すればよいことになる. 但し, 分極パラメータ領域内の電流流線は, 電極面に垂直かつ絶縁壁に平行でなければならないことから, 破線で示すような絶縁壁に平行なスリット (絶縁壁) を細かく挿入し, 電流の流れを制御しなければ

ばならない。一次分布の場合と同様の考え方をすれば、二次分布の場合、C1, C2 に流れる電流密度  $i_1$ ,  $i_2$  の比は、およそ  $l_1 + L_c$ ,  $l_2 + L_c$  の比に対応することが分かる。

また、分極パラメータ両端の電位差  $\eta$  (アノード分極の場合  $\eta > 0$ , カソード分極の場合  $\eta < 0$ ) は、分極量に相当することから、自然電位に  $\eta$  を加算することにより電位分布の評価が可能である。

すなわち、物理的長さ(幾何学的形状)に比べて、分極パラメータ  $L$  の長さが大きければ大きいほど電位・電流分布は均一化することが物理的イメージとして理解することができる。

Wagner の示した分極パラメータという概念は、直線分極という限定された条件下ではあるが、電位・電流分布の考察という点において、分極抵抗という電気化学的パラメータと電解系の幾何学的条件を同じステージで比較できる(可視化した)という点において非常に意味があると言える。

#### 4.2 3次元モデル

図 4(a)のような 3 次元系電位分布を考える場合は、図 4(b)のような物理的空間を想定し、その中の電圧消費を (IR ドロップ) を考えればよいことになる。陽極、陰極表面の電位・電流分布は、2 次元モデルの場合と同様、分極パラメータ両端の電位差を評価することによって求めることができる。

従って、物理的空間の長さ(電流流線の長さ  $l$ ) に比べ、陰極の分極パラメータ  $L_c$  が大きくなるほど陰極の電位・電流分布は均一化される。

陰極の分極パラメータを大きくするためには、分極抵抗  $h_c$  を大きくするか環境抵抗率  $\rho$  を小さくするか の 2 通りの方法がある。海水中において電位分布が均一化するのには、 $\rho$  を小さくして  $L_c$  を大きくしていることに起因している。高抵抗環境下においては、 $\rho$  が大きいので、電位分布の均一化には  $h_c$  を大きくする必要がある。 $h_c$  を増大させる最も一般的な方法は、塗装等の被覆を施して防食電流密度を低減させることである。土壌環境や淡水環境で塗装と電気防食の併用が行われるのは上述のような理由による。

また、実機の縮尺模型(縮尺率:  $\alpha$ ) を使って電気防食の電位分布評価実験を行う場合、縮尺模

型に入れる水溶液の抵抗率  $\rho$  は  $1/\alpha$  倍した環境で実施することが一般的である。

この考え方も、図 4(b) に示す幾何学的モデルから明らかのように、形状の縮尺においては実際の幾何学的形状の縮尺に加えて、分極パラメータも同じ割合で縮尺する必要がある。すなわち、カソード分極パラメータ  $L_c$  は、 $h_c/\rho$  ( $h_c$ : 単位面積当たりのカソード分極抵抗,  $\rho$ : 抵抗率) で表される値であるが、 $h_c$  は同一試料であれば、縮尺水槽実験においても変化がないため  $L_c$  の縮尺(縮尺率:  $\alpha$  とする)のためには  $\rho$  を調整して  $L_c$  の調整をする必要がある

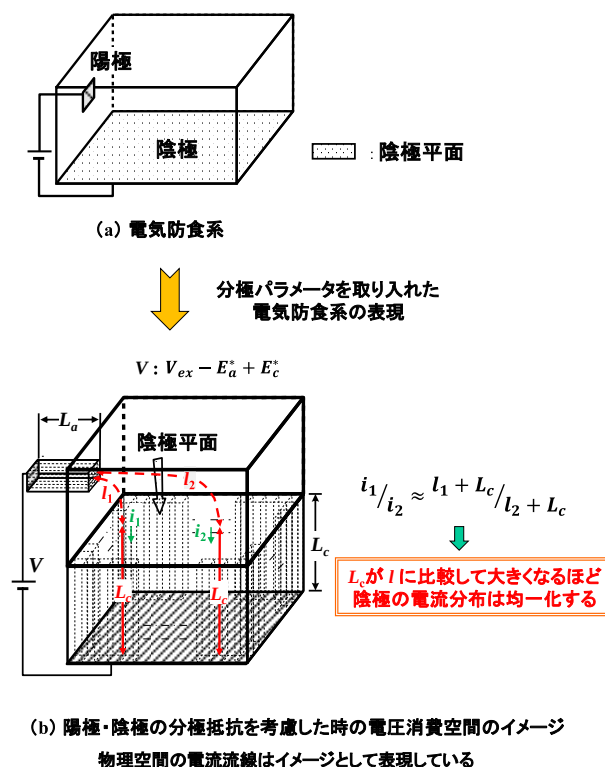


図 4 電位・電流分布の考え方 (3 次元問題)

と考えれば理解できる。

#### 〔参考文献〕

- 1) 望月紀保: コロージョンエンジニアリング-入門編-, 電気防食, 腐食防食協会 (1993).
- 2) C.Wagner: Journal of the electrochemical society, 96,3,116 (1950).
- 3) 高橋正雄, 増子昇: 工業電解の化学, アグネ (1979).

## 対外発表リスト

| 年度   | タイトル                                                                                                                                   | 文献                                                          |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 2019 | Mg/Co-MnO <sub>2</sub> と $\alpha$ -Co(OH) <sub>2</sub> からなるバイレイヤーアノードによる選択的酸素発生                                                        | 電気化学会<br>電気化学会第86回大会                                        |
|      | 塩化マグネシウム水溶液中でのマンガン酸化物薄膜のアノード挙動                                                                                                         | 電気化学会<br>電気化学会第86回大会                                        |
|      | サイクリックボルタメトリー法による白金めっき電極の劣化評価法の検討                                                                                                      | 電気化学会<br>電気化学会第86回大会                                        |
|      | 化成処理膜による亜鉛めっき鋼板の耐食性向上効果                                                                                                                | 表面技術協会<br>第139回講演大会                                         |
|      | 亜鉛系防食塗料による鉄鋼材料の耐食性向上評価                                                                                                                 | 表面技術協会<br>第139回講演大会                                         |
|      | 鉄鉄鋼材料の腐食損傷事例と表面処理防食の効果                                                                                                                 | 表面技術協会<br>第139回講演大会                                         |
|      | 白金めっき電極の劣化におよぼす電位変動の影響                                                                                                                 | 表面技術協会<br>第139回講演大会                                         |
|      | 地下鉄露出を模擬した亜鉛-鉄接触試料の腐食進行にともなうpH変化測定                                                                                                     | 表面技術協会<br>第139回講演大会                                         |
|      | 大気腐食環境における鉄鋼材料表面の電位と耐久性評価                                                                                                              | 表面技術協会<br>第139回講演大会                                         |
|      | 局部腐食発生におよぼすオーステナイト系ステンレス鋼へのマルテンサイト相導入効果                                                                                                | 表面技術協会<br>第139回講演大会                                         |
|      | 電気防食設計条件がカソード分極特性に与える影響                                                                                                                | 腐食防食学会                                                      |
|      | 特性直線を利用した電気防食の維持管理について（その1 定電圧通電）                                                                                                      | 腐食防食学会                                                      |
|      | アルミニウムおよび亜鉛の耐食性におよぼすマグネシウムイオンの影響                                                                                                       | 腐食防食学会                                                      |
|      | Bilayer Anode Composed of Mg/Co-MnO <sub>2</sub> and $\alpha$ -Co(OH) <sub>2</sub> for chlorine-Free Hydrogen production from Seawater | CCMR<br>2019 Collaborative Conference on Materials Research |
|      | Buserrite-type Layered MnO <sub>2</sub> for Chlorine-Free Cathodic Protection in a Backfill Environment                                | CCMR<br>2019 Collaborative Conference on Materials Research |
|      | マルテンサイト相を導入したSUS304ステンレス鋼の局部腐食挙動解析                                                                                                     | 日本防錆技術協会<br>第39回防錆防食技術発表大会                                  |
|      | 非接触電位測定による金属材料の大気腐食挙動解析                                                                                                                | 日本防錆技術協会<br>第39回防錆防食技術発表大会                                  |
|      | 塩害劣化したRC部材に対する前処理が電気防食効果に及ぼす影響に関する基礎的実験                                                                                                | 日本防錆技術協会<br>第39回防錆防食技術発表大会                                  |
|      | ペトロラタム被覆防食工法における油分残存率測定方法の検討                                                                                                           | 日本防錆技術協会<br>第39回防錆防食技術発表大会                                  |
|      | 電気防食の考え方に対する一考察                                                                                                                        | 日本防錆技術協会<br>第39回防錆防食技術発表大会                                  |
|      | 湿潤環境下にあるコンクリート構造物の電気防食効果を判定するためのターフェル外挿法の適用性に関する検討                                                                                     | 日本コンクリート工学会<br>コンクリート学年年次大会2019                             |
|      | コンクリート模擬環境での腐食環境センサの性能評価                                                                                                               | 土木学会<br>第74回年次学術講演会                                         |
|      | Development of an Evaluation Method for Corrosion Prevention Effect in Petrolatum Lining System                                        | EFC<br>EUROCORR2019                                         |
|      | Mg/Co-MnO <sub>2</sub> と $\alpha$ -Co(OH) <sub>2</sub> からなるバイレイヤーアノードの酸素/塩素発生特性の解析                                                     | 電気化学会<br>2019年電気化学秋季大会                                      |
|      | ブーゼライト型二酸化マンガン薄膜を被覆した電気防食アノードのバックフィル環境における酸素/塩素発生挙動                                                                                    | 電気化学会<br>2019年電気化学秋季大会                                      |
|      | 栈橋を模した長尺試験体を用いた干満帯における電気防食管理方法に関する検討                                                                                                   | 日本材料学会<br>第18回コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム                 |
|      | 特性直線を利用した電気防食の維持管理について（その2 定電位通電）                                                                                                      | 腐食防食学会<br>第66回材料と環境討論会                                      |
|      | 干満帯における鋼材の電気防食特性と防食効果の検討                                                                                                               | 腐食防食学会<br>第66回材料と環境討論会                                      |
|      | Evaluation of Anticorrosion Effect of Cathodic Protection with Intermittent Current Supply to Rebar in Mortar                          | NACE<br>East Asia & Pacific Area Conference & Expo 2019     |
|      | Study on the corrosion rate management method of the cathodic protection for the rebar in concrete                                     | NACE<br>East Asia & Pacific Area Conference & Expo 2019     |
|      | Evaluation of Durability of Petrolatum Lining in Marine Environment                                                                    | NACE<br>East Asia & Pacific Area Conference & Expo 2019     |



| 年度   | タイトル                                                                                                                | 文献                         |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 2020 | 基材の前処理工程が白金めっき特性に及ぼす影響                                                                                              | 表面技術協会<br>第141回講演大会        |
|      | バーネサイト型層状二酸化マンガンの酸素欠陥操作による酸素／塩素発生選択性の制御                                                                             | 電気化学会<br>電気化学会第87回大会       |
|      | 塩水電解において酸素選択性触媒として働く乱層二酸化マンガ                                                                                        | 電気化学会<br>電気化学会第87回大会       |
|      | 特性直線を利用した電気防食の維持管理について（その3 定電流通電）                                                                                   | 腐食防食学会<br>材料と環境2020        |
|      | 湿潤環境における鉄筋コンクリート構造物の電気防食方法に関する実験的検討                                                                                 | 腐食防食学会<br>材料と環境2020        |
|      | 白金めっきの耐久性および反応性に及ぼすプラスチック材の影響                                                                                       | 腐食防食学会<br>材料と環境2020        |
|      | 真に酸素発生に対する選択性をもつ電極触媒の開発と海水電解への応用                                                                                    | 日本海水学会<br>第71年会            |
|      | バイレイヤー構造をもつアノード電極を用いた塩素フリー海水電解                                                                                      | 日本海水学会<br>第71年会            |
|      | 海水練りコンクリート構造物に対する電気防食の運用に関する研究                                                                                      | 日本防蝕技術協会<br>第40回防錆防食技術発表大会 |
|      | A Study on the Effect of Cathodic Protection for Reinforcing Bar in RC Pier under Tidal and Splash Marine Condition | 日本コンクリート工学会<br>Con Mat' 20 |
|      | Consideration of the Layout Design of a Linear Galvanic Anode in an Impressed Current Cathodic Protection System    | 日本コンクリート工学会<br>Con Mat' 20 |
|      | 淡水環境下における白金めっき電極の劣化メカニズムの検討                                                                                         | 表面技術協会<br>第142回講演大会2020    |
|      | 栈橋上部工に埋設された梯子状センサによる鉄筋腐食の長期モニタリング                                                                                   | 土木学会<br>第75回年次学術講演会        |
|      | 重要な構造物を支える鋼製基礎杭に適用した電気防食工法の紹介                                                                                       | 土木学会<br>第75回年次学術講演会        |
|      | 討塩害劣化したRC構造物に対する電気防食の前処理に関する検討                                                                                      | 土木学会<br>第75回年次学術講演会        |
|      | 鉄道コンクリート構造物における線状流電陽極方式の適用に向けた検討                                                                                    | 土木学会<br>第75回年次学術講演会        |
|      | 真に酸素発生選択性を有するアノード触媒の開発                                                                                              | 電気化学会<br>第44回電解技術討論会       |
|      | ステンレス鋼の局部腐食に及ぼすマルテンサイト変態率の影響                                                                                        | 電子情報通信学会<br>有機エレクトロニクス研究会  |
|      | 亜鉛めっきによる鉄鋼材料の防食効果                                                                                                   | 電子情報通信学会<br>有機エレクトロニクス研究会  |

| 年度   | タイトル                                       | 文献                                                 |
|------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 2021 | 白金めっきの電気化学特性に及ぼす基材の前処理の影響                  | 表面技術協会<br>第143回講演大会2021                            |
|      | アノード分極された異種金属共存電極の電位分布測定                   | 腐食防食学会<br>材料と環境2021                                |
|      | 海水練りコンクリート中の鉄筋への電気防食の適用に関する基礎的研究           | 日本防錆技術協会<br>第41回防錆防食技術発表大会                         |
|      | アルカリ性環境下における酸化イリジウム電極の耐久性評価                | 日本防錆技術協会<br>第41回防錆防食技術発表大会                         |
|      | 線状流電陽極方式電気防食工法の小規模補修部への適用に関する基礎的検討         | 土木学会<br>第76回年次学術講演会                                |
|      | 無電解めっきを用いた固体高分子形燃料電池のセパレータ開発               | 表面技術協会<br>第144回講演大会2022                            |
|      | 鉄鋼材料上の亜鉛系粒子含有塗膜による防食効果                     | 表面技術協会<br>第144回講演大会2022                            |
|      | 塩化物イオン存在下における亜鉛めっき鋼の電気化学挙動解析               | 表面技術協会<br>第144回講演大会2022                            |
|      | 応力負荷環境下におけるステンレス鋼の局部腐食挙動                   | 表面技術協会<br>第144回講演大会2022                            |
|      | 模擬汽水環境下におけるステンレス鋼の局部腐食挙動解析                 | 表面技術協会<br>第144回講演大会2022                            |
|      | 白金めっき電極の劣化に及ぼす基材の露出の影響                     | 表面技術協会<br>第144回講演大会2022                            |
|      | 大気腐食における金属材料表面の電位分布測定                      | 表面技術協会<br>第144回講演大会2022                            |
|      | 表面の電位分布測定による鉄鋼材料の大気腐食挙動評価                  | 表面技術協会<br>第144回講演大会2022                            |
|      | モルタルのひび割れ前後の電気化学インピーダンスの挙動について             | 腐食防食学会<br>第68回材料と環境討論会                             |
|      | 電気防食が適用された鋼管杭式栈橋の点検診断に関する一考察               | 腐食防食学会<br>第68回材料と環境討論会                             |
| 2022 | 応力負荷環境下におけるステンレス鋼の電気化学測定                   | 電子情報通信学会<br>有機エレクトロニクス研究会                          |
|      | 白金めっきの電気化学挙動に及ぼす成膜条件の影響                    | 表面技術協会<br>第145回講演大会2022                            |
|      | 表面処理を施したチタンの科学的安定性の検討                      | 腐食防食学会<br>材料と環境2022                                |
|      | 道路橋に適用した流電陽極方式の電気防食の維持管理プログラムを用いた防食評価      | 日本防錆技術協会<br>第42回防錆防食技術発表大会                         |
|      | 亜鉛含有塗料の防食性能に及ぼす亜鉛粒子の影響                     | 日本防錆技術協会<br>第42回防錆防食技術発表大会                         |
|      | 亜鉛めっき鋼の防食機構の解明                             | 日本防錆技術協会<br>第42回防錆防食技術発表大会                         |
|      | 複数の結合材を用いた海水練りコンクリートに対する外部電源方式電気防食適用に関する研究 | 土木学会<br>第77回年次学術講演会                                |
|      | コンクリート試験体を用いた干満帯コンクリート中鉄筋のマクロセル腐食に関する検討    | 土木学会<br>第77回年次学術講演会                                |
|      | 電気化学的手法による酸化イリジウム系複合酸化物電極における触媒層の損傷評価      | 腐食防食学会<br>第69回材料と環境討論会                             |
|      | 干満部に位置するコンクリート中鉄筋の腐食および電気防食特性              | 腐食防食学会<br>第69回材料と環境討論会                             |
|      | 結露と乾燥との繰り返し作用が鋼材腐食に与える影響に関する基礎的検討          | プレストレストコンクリート工学会<br>第31回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム |
|      | 触媒損傷を受けた酸化イリジウム被覆チタン電極の電気化学的挙動             | 電気化学学会<br>電気化学会第90回大会                              |

## トピックス 1

本記事は、弊社のホームページのトピックス、2023年1月24日に掲載しております。

### 秋田港・能代港洋上風力発電施設の風車基礎 33 基への 「外部電源カソード防食（ICCP）システム」据付完了について

株式会社ナカボーテック（代表取締役社長：木村 浩 以下、ナカボーテック）は、秋田洋上風力発電株式会社が事業化を進める国内最大規模の発電容量（140MW）を有する秋田港・能代港洋上風力発電施設において、このたび、洋上風車の基礎 33 基に外部電源カソード防食（ICCP）システムの据付を完了いたしました。

このたびの当該システムの据付は、鹿島建設株式会社より詳細設計・資材調達・据付・試運転調整を一括で受注し、CORROSION 社（本社：オランダ CEO：Martin Rosmolen）と連携し施工したものです。欧州を中心に ICCP システムに対する豊富な実績および知見を有する CORROSION 社との協働を図りながら、ナカボーテックが強みとする電気防食を中核とした基盤技術と国内ビジネスネットワークを活かし完遂いたしました。

#### 【ICCP システムについて】

外部電源カソード防食（ICCP）システムは、洋上風力発電設備の支持構造物の腐食を防止するために、海水中の基礎部分に据付けられる設備であり、電気防食という技術を用いて鋼構造物（以下、構造物）の腐食を防ぎます。防食の対象とする構造物に金属酸化物をコーティングした電極を据付け、直流電源装置を通じて構造物と当該電極間に電流を流すことで構造物の腐食を防ぐ仕組みです。

#### 【ナカボーテックについて】

1951 年の創業以来、ナカボーテックは、国内における電気防食事業のリーディングカンパニーとして、海洋構造物、土木構造物、地中埋設管など生活基盤を支えるさまざまな社会インフラの延命化に寄与してまいりました。長く培われた防食・防錆への知識と技術に基づく事業展開を通じて、国土強靱化をはじめとするサステナブルな社会の実現に向けた取組みを支え続けています。



### 【CORROSION 社について】

CORROSION 社は、1993 年オランダに設立された防食システムの専門企業です。欧州における洋上風車基礎向け ICCP システムについては先進的かつトップシェアの企業であり、2008 年から ICCP 製品・サービスの販売を開始し、これまでに約 2,200 基への納入実績を有しています。

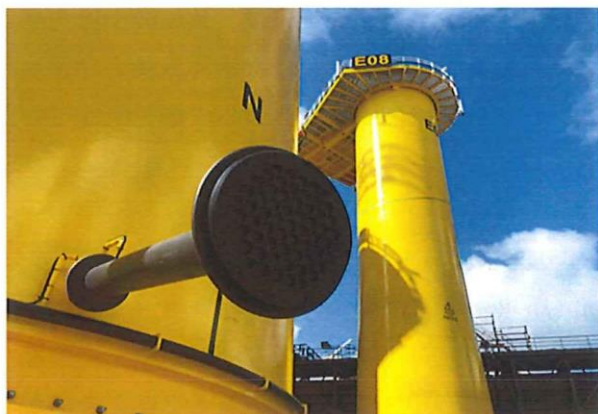
※ご参考：CORROSION Group ホームページ <https://www.corrosion.nl/>

### 【ナカボーテックと CORROSION 社の関係について】

ナカボーテックと CORROSION 社は、日本国内における洋上風力発電分野での事業展開を目的に、2020 年 10 月に協働の覚書を締結しました。2021 年 6 月には、ナカボーテックが日本国内における洋上風車基礎への CORROSION 社製 ICCP システムの独占販売を行う旨の契約を締結しております。

両社は、今後も拡大と成長が期待される国内の洋上風力発電分野において、各プロジェクトに最適な防食ソリューションを提供することを通じて、再生可能エネルギーの普及に貢献してまいります。

以 上



ICCP システム (External 用通電電極)



ナカボーテック・CORROSION 社との現場協業風景

### 【本件に対するお問い合わせ】

営業統括部 洋上風力発電プロジェクトチーム： 03-5541-5813  
総務部： 03-5541-5801

## トピックス 2

本記事は、弊社のホームページのトピックス、2023年10月2日に掲載しております。

### 富山県入善町沖洋上風力発電施設の風車基礎 3 基に 「流電陽極方式による電気防食（GACP）システム」納入完了について

株式会社ナカボーテック（代表取締役社長：木村 浩 以下、ナカボーテック）は、入善マリンウィンド合同会社（株式会社ウェンティ・ジャパン、北陸電力株式会社、JFE エンジニアリング株式会社）が事業化を進める、民間企業が 100% 出資する一般海域での洋上風力発電事業（発電容量 約 7500kW）

「富山県入善町沖洋上風力発電施設」において、洋上風車の基礎 3 基に流電陽極方式による電気防食システム（GACP）の納入を完了いたしました。

当該工事のシステム据付は、清水建設株式会社より「詳細設計・製品製造・据付・試運転調整」を一括で受注したもので、電気防食に関わる製品については、すべて国産品を使用しています。

基礎形式は、大口径の鋼管基礎を使用したモノパイル型とよばれる着床式であり、鋼管外面をアルミニウム合金陽極、鋼管内面を亜鉛合金陽極により防食されています。

今後も拡大と成長が期待される国内の洋上風力発電事業において、わたしたちが蓄積したノウハウを広く活用し、カーボンニュートラルの実現および再生可能エネルギーの普及に貢献してまいります。

#### 【流電陽極方式による電気防食システム（GACP）について】

流電陽極方式による電気防食システム（GACP）は、洋上風力発電設備の支持構造物の腐食を防止するために、海水中の基礎部分に据付けられる設備であり、電気化学的な技術を用いて鋼構造物（以下、構造物）の腐食を防ぐものです。防食の対象とする構造物には、環境に応じて、アルミニウム合金陽極や亜鉛合金陽極を使い分け、防食対象物（モノパイル基礎）に直接的に取り付け、海水を介して、各陽極側から防食対象物に、防食電流を流すことで支持構造物の腐食を防ぐ仕組みです。

以 上



流電陽極方式による電気防食が据え付けられた支持構造物と洋上風力発電設備（富山県入善町沖）



二次部材ケージに取り付けられたアルミニウム合金陽極



モノパイル内面に取り付けられる亜鉛合金陽極

【本件に対するお問い合わせ】

営業統括部 洋上風力発電プロジェクトチーム：03-5541-5813  
総務部：03-5541-5801



### トピックス 3

本記事は、弊社のホームページのトピックス、2023年9月1日に掲載しております。

## 現場での防食材料購入の利便性を飛躍的に高めます ～法人向け Web 販売『 ナカボーテック Official Store』の開始～

株式会社ナカボーテック（本社：東京都中央区、代表取締役社長：木村 浩、以下「当社」）は、法人向けの E C サイト「ナカボーテック Official Store」を開設し、このたび販売を開始いたしました。

本サイトにおきましては、鋼材の腐食を抑制する犠牲陽極作用を有した亜鉛防食材料「ZAP シリーズ」※1 を販売いたします。当該製品の需要の拡がりを受け、本サイトを通じて多様な法人顧客に対し購入の利便性を高め、施設や設備の管理や建設工事などの現場をサポートしてまいります。

### ◆亜鉛防食材料への需要と期待

亜鉛防食材料は、国内のインフラ整備においてその利用が広く普及しており、各種施設に対し官公庁をはじめとする管理者から、設置・施工を行う企業に至るまで幅広い層に需要があります。こうした需要の背景には、亜鉛防食材料が、鋼製支柱の地際部※2

（用途例画像 1・2）、鋼管の溶接部（同画像 3）、各種機器の脚部（同画像 4）、鋼製架台やサポートの隙間（同画像 5）など様々な用途が考えられ、従来の塗装や亜鉛めっきでは長寿命が期待できなかった部位において有効に活用できる製品であることが大きく影響しています。主な事例では、高速道路の防護柵支柱の地際部において多数の実績があり、近年発生している腐食に起因した支柱等の倒壊事故への予防保全に対して効果的な材料であると期待されています。

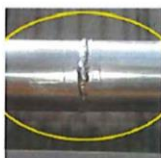
### 【用途例】



画像 1



画像 2



画像 3



画像 4



画像 5



迅速且つ効率的な製品の提供を図るため、本サイト開設により Web 上で亜鉛防食材料の販売取引を可能にいたしました。施工現場からも注文手続きを行っていただける等、購入手続きの簡易化、利便性の飛躍的な向上を目指してまいります。

今後は本サイトを通じて、当社の適用事例を広く紹介する予定であり、将来的には電気防食用アルミニウム合金陽極など商品のラインナップを拡充し、防食事業を通じて社会インフラの延命化と持続可能な社会の実現に一層貢献できるよう取り組んでまいります。

1. ショップ名称：「ナカボーテック Official Store」
2. U R L： <https://nakabohtec-officialstore.jp>
3. 販 売 製 品：亜鉛防食材料「ZAP シリーズ」(NETIS 登録番号 KT-180033-A)
  - (1) 貼る防食材「ZAP テープ」「ZAP シール」
  - (2) 塗る防食材「ZAP ペースト」
  - (3) 敷く防食材「ZAP シート」
4. 決 済 方 法：クレジットカード、コンビニ、代引き
5. 運 用 方 法：会員登録制（法人向け）
6. サイト内容：以下の QR コードからご覧ください

## ナカボーテック Official Store

# ZAPシリーズ

"Zinc Anode for Protection" Series

亜鉛による厚膜を実現し、犠牲防食作用と被覆防食性能を合わせた防食剤

オンラインショップへ



ZAPテープ 亜鉛厚膜用 (白)
ZAPペースト 亜鉛厚膜用
ZAPシール 亜鉛厚膜用 (白)
ZAPシート 亜鉛厚膜

【Q R コード】



※2. 地際部…（じぎわぶ）設備の接地部分

**【本件に対するお問い合わせ】**

|       |   |              |
|-------|---|--------------|
| 営業統括部 | : | 03-5541-5813 |
| 総務部   | : | 03-5541-5801 |

## 中期経営計画「23中計」

(2023年度～2025年度)

2023年5月11日

株式会社ナカボーテック

### 中期経営計画「23中計」の策定について



- 事業を取り巻く社会・経済の環境変化が大きくなり、益々先行きが不透明な時代となる中、日常の経営・事業活動の基軸となるパーパス、そして、経営計画をステークホルダーの皆さんと共有することが重要と考え、この度、当社の「パーパス」と中期経営計画「23中計」を策定し、公表することといたしました。
- 「23中計」においては、2023年度から2025年度までの3年間で事業基盤整備の期間と位置付け、以下に注力することを骨子としております。
  - ① 当社の主力である港湾事業を中心とした既存事業で堅実な業績を確保する。
  - ② 「23中計」期間後に新規事業が収益貢献するための基盤を形成する。
  - ③ 業務効率化を推進して建設業の2024年問題に対応し体質を強化する。
  - ④ ESGの取り組みを開始し、内部ステークホルダーのエンゲージメント向上と気候変動リスク対応に取り組む。
- 2030年度を目処に、売上高150億円超、経常利益14億円超を安定的に計上できる企業体にステップアップすることを目指し、各戦略を推進してまいります。

## パーパスとスローガン

事業環境に変化が生じても振れない、当社の基軸となる存在意義を明確にするため、当社のパーパス、及び、パーパスを一言で表現するスローガンを以下の通り設定しました。

### パーパス（当社の存在意義）

ひたむきに防食技術を追求め、社会基盤の価値をまもり続けることにより、  
安全安心な日常を次代につなげます

We ensure the safe and secure people's life to the next generation by pursuing corrosion protecting technology and keeping the value of social infrastructures.

### スローガン

いまある“価値”を次代へ！

Present Value to the Next Generation!

## パーパスの意味合い

当社が営む防食事業は、社会基盤の維持延命・長寿命化に無くてはならない仕事であり、施設や設備の資産価値を護り、人々の安全安心な日常を守りつづけています。経済・生活・環境といった貴重な日常の価値を次の世代へと残し繋げていくこと、それが社会に対して当社が提供する価値であり当社の存在意義であると考えます。

ここに掲げたパーパスは、当社がこれからも、長年の実績に基づいてサナシサ信頼を大切に、情熱をもってひたむきに防食事業に取り組んでいく決意を表現しています。

#### 当社が社会に提供できる価値

##### 防食技術による インフラ施設の長寿命化

- ・電気化学のメンテナンス
- ・調査・点検・診断技術
- ・防食提案・設計技術
- ・防食工事の施工管理力

#### 社会が当社に期待する価値

##### 腐食に起因する さまざまな価値の毀損軽減

- ・インフラ施設の老朽化抑制
- ・無故障・無事故
- ・インフラのメンテナンス削減
- ・資源の有効利用・環境保護

当社の  
存在意義  
= パーパス

#### 当社の思い・情熱・行動

長年の実績に基づいてサナシサ信頼を大切に、情熱をもってひたむきに防食事業に取り組んでいく決意



## 既存事業の事業環境と対応

「23中計」期間中、港湾・港湾RC分野の成長が期待できる一方、地中・陸上事業は横這いに推移し、全体としては緩やかな成長を予想します。

| 事業             | 事業環境見通し                                                                                                                                                                                 | 「23中計」における取り組み                                                                                                         | 売上見込      |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 港湾事業<br>港湾RC事業 | <ul style="list-style-type: none"> <li>未防食、或いは、更新時期を迎える要防食施設は国内に相当数存在する</li> <li>CNP<sup>*</sup>、洋上風力発電施設基地港、防衛関連施設整備などの新規需要により、市場規模は拡大する</li> <li>港湾RC施設は、塩害による劣化がより顕在化してくる</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>施設それぞれに対する最適な防食工法の提案を行い、事業規模の拡大を図る</li> <li>新規需要への参入に向けた営業・提案活動に注力する</li> </ul> | 拡大成長<br>↑ |
| 地中事業           | <ul style="list-style-type: none"> <li>埋設管の新設工事は減少状態にある</li> <li>市場は調査点検と更新工事が中心となる</li> </ul>                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>調査点検業務の省人化を図る技術の導入を加速し、収益力を強化する</li> </ul>                                      | 現状維持<br>→ |
| 陸上事業           | <ul style="list-style-type: none"> <li>主力の発電所市場はエネルギー政策によって対象施設や市場規模が大きく変化する</li> </ul>                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>実績ある火力・原子力発電施設対応に加え、業界動向に即応して各関連施設に参入出来る準備を進める</li> </ul>                       | 現状維持<br>→ |

<sup>\*</sup> CNP：「カーボンニュートラルポート」。港湾において、脱炭素化に配慮した港湾機能の高度化や水素等の受入環境の整備等を図るもの。

## 新規事業の取り組み

新規事業では、特に「洋上風力発電分野」、「橋梁RC分野」に注力し、これら事業が成長ドライバーとなり、「23中計」期間後に収益貢献するための基盤形成に注力します。

| 洋上風力発電分野                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 橋梁RC分野                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>洋上風力発電の政府発電目標<sup>*1</sup></b></p> <p>2025年以降、加速度的に導入が進む</p> <p>2023年 2030年 2040年</p> <p>5.7GW 30~45GW</p> <p><b>洋上風力発電施設防食の技術動向</b></p> <p>外部電源方式 (IC-CP) 流電陽極方式 (GACP)</p> <p>洋上風力発電施設に電気防食は必須の技術<br/>風車設置海域が沖合に拡大することに伴い、様々な風車設置方式と防食技術の組み合わせへの対応が求められる</p> <p><b>ナカボーテックの強み</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>国内で唯一、外部電源・流電陽極両工法の設計・施工実績を持つ先行企業としての経験・ノウハウ・人材・情報</li> <li>外部電源方式：CORROSION社<sup>*2</sup>との連携による最新技術・ノウハウの共有</li> <li>流電陽極方式：港湾防食のリーディングカンパニーとしての設計・施工技術、陽極生産能力</li> </ul> <p><b>「23中計」における取り組み</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>あらゆる海域、風車設置方式の組み合わせにも最適な防食工法を提案できる技術・工法開発</li> <li>部材国産化等によるサプライチェーンの強靱化、専門人材の強化・育成</li> <li>以上を通じ、先行する着床式のみならず、ジャケット式・浮体式においても優位確率を図る</li> </ul> | <p><b>市場動向とナカボーテックの強み</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>塩害等による橋梁の劣化は大きな社会課題であり、補修を要する橋梁は多数存在する</li> <li>ランニングコストを抑制できる流電陽極工法の普及が期待される</li> <li>当社は、独自の流電陽極工法「NAKAROD」<sup>*3</sup>を開発<sup>*4</sup>し、その有効性が認知され始めている</li> </ul> <p><b>「23中計」における取り組み</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>NAKARODが橋梁等の補修工事に大規模にご採用いただけるよう、お客様・コンサルタント様との連携を強化し、工法をブラッシュアップ</li> <li>NAKAROD陽極デバイスの生産体制を整備</li> </ul> <p>橋梁へのNAKAROD®施工例</p> |

<sup>\*1</sup> 出典：2023年は当社推計、2030年・2040年は政府「第6次エネルギー基本計画」より。

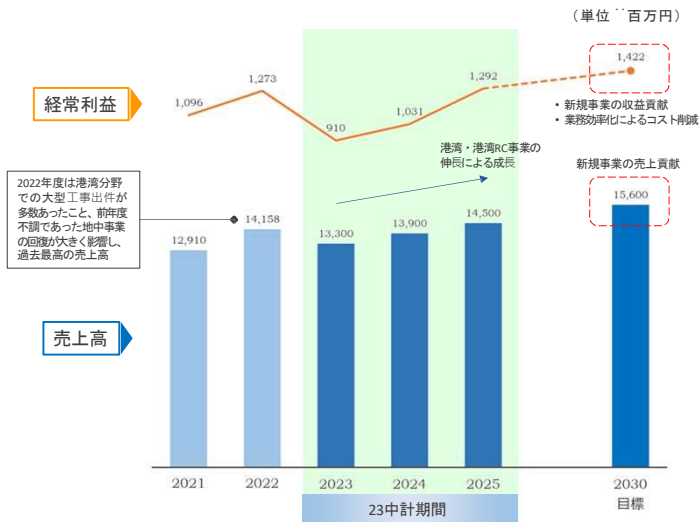
<sup>\*2</sup> CORROSION社：オランダの防食システム専門企業であり、洋上風力発電用CCP防食では世界トップシェア。当社が国内における同社CCP製品の独占販売契約を締結しています。

<sup>\*3</sup> NAKARODはナカボーテックの登録商標です。

<sup>\*4</sup> [https://www.c-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news\\_release/5363.html](https://www.c-nexco.co.jp/corporate/pressroom/news_release/5363.html)

## 「23中計」財務計画サマリー

「23中計」期間中は、港湾・港湾RC分野の市場拡大を確実に捉えて堅実な業績を確保する一方、中計期間後に新規事業が収益貢献するための基盤形成を行います。



### 「23中計」期間は事業基盤整備の期間

- 港湾事業を中心とした堅実な業績確保
- 中計期間後に新規事業が成長ドライバーとして収益貢献するための基盤形成
- 業務効率化によりコストを削減し、体質を強化
- 投下資本を効率的に運用し、健全な財務状況を維持
- 配当性向は現状方針の70%を継続

### 「23中計」期間の財務数値計画

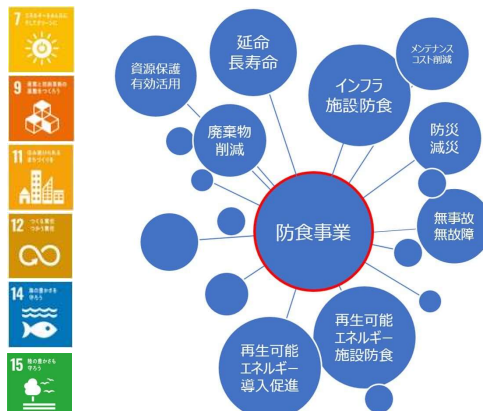
|      |         |        |      |         |        |
|------|---------|--------|------|---------|--------|
| 売上高  | 上段：期間累計 | 417億円  | ROIC | 最終単年度   | 10.2%  |
|      | 下段：最終年度 | 145億円  |      |         |        |
| 経常利益 | 上段：期間累計 | 32.3億円 | ROE  | 最終単年度   | 10.4%  |
|      | 下段：最終年度 | 12.9億円 |      |         |        |
| FCF  | 上段：期間累計 | 19.7億円 | 配当   | 上段：配当総額 | 15.8億円 |
|      | 下段：最終年度 | 8.3億円  |      | 下段：配当性向 | 70.0%  |

## サステナブルな社会に向けたESGの取り組み

防食事業そのものによるサステナビリティへの貢献のみならず、「23中計」始動と共にESGの取り組みを本格的に開始します。マテリアリティを「内部ステークホルダーのエンゲージメント向上」、「気候変動リスクへの対応」とし、これらに重点的に取り組みます。

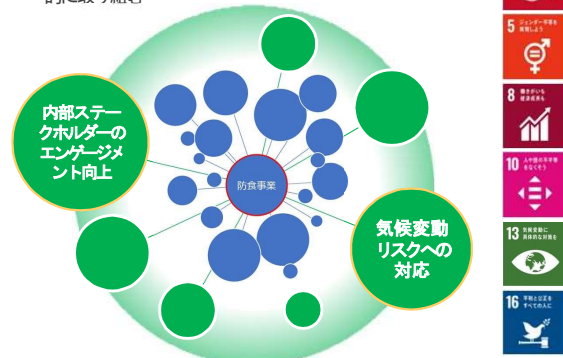
### 防食事業によるサステナビリティへの貢献

- 防食事業は、インフラ施設の防食等を通して持続可能な社会の実現に貢献している



### 「23中計」におけるESGの取り組み

- 防食事業によるサステナビリティへの貢献を核として、より能動的なESGの取り組みを開始する
- 最初のマテリアリティを「内部ステークホルダーのエンゲージメント向上」、「気候変動リスクへの対応」とし、これらに重点的に取り組む



## 内部ステークホルダーのエンゲージメント向上

協力会社様を含めたエンゲージメント向上を重要な経営課題と位置付け、「働き易さ」と「働き甲斐」双方の向上に向けた、処遇改善を含む施策を企画・実行します。

| 取り組むべき課題                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 「3中計」における取り組み                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b> 「働き易さ」、「働き甲斐」を両立し、双方の向上に資する施策の企画と実行<br>                                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ライフプラン支援金導入によるベースアップ等の処遇改善</li> <li>・ 奨学金返済にもな福利厚生制度導入</li> <li>・ スライド勤務制度導入・テレワーク促進・育児介護休暇制度活用奨励等、多様な働き方への対応</li> <li>・ 資格取得・自己啓発の支援強化</li> </ul> |
| <b>2</b> ワークライフバランス向上に加え、建設業2024年問題* 対応のための業務効率化<br>                                                                                                                                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 施工管理用デジタルツールの大規模・迅速な導入</li> <li>・ バックオフィス業務効率化のための経費精算システム刷新</li> </ul>                                                                            |
| <b>E</b> 戦略的な人材の確保と育成<br>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 多様な人材確保のため、新卒／キャリア、男性／女性のバランスが取れた採用活動</li> <li>・ インターンシップ制度導入、採用ホームページ刷新</li> <li>・ 教育・研修制度の拡充</li> </ul>                                          |

\* 建設業2024年問題：「働き方改革関連法」が2024年4月より建設業に適用されることに伴って解決すべき諸問題。

## 気候変動リスクへの対応

地球温暖化や異常気象など気候変動に起因する様々なリスクは、私たちの生活に大きく影響する重要な課題です。特に環境問題に対し責任ある企業活動を行うことが重要と認識し、積極的に取り組んでまいります。

| 取り組むべき課題                                                                                                                     | 「3中計」における取り組み                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1</b> 温室効果ガス排出量削減のためにすぐに取り組める施策の実行<br> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 社有車のハイブリッド車・EV車への更新</li> <li>・ 業務効率化、テレワーク推進等による省エネルギー</li> <li>・ 従業員への啓蒙、協力会社様への説明と協力要請</li> </ul>                                                                 |
| <b>2</b> 温室効果ガス排出量削減のための中期的な取り組みの開始<br>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 工場、研究所、支店敷地等へのソーラー発電システム導入検討</li> </ul>                                                                                                                             |
| <b>E</b> 温室効果ガス排出量の算定・把握<br>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ Scope1、Scope2排出量の把握 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 工場排出量</li> <li>- 社有車等、車両排出量</li> <li>- その他</li> </ul> </li> <li>・ Scope3排出量把握のためのサプライチェーン調査</li> </ul> |

## （ご参考）2010年度以降の業績推移







わたしは、  
今日という日を、  
リレーしていく。



私たちの仕事は、人と社会の何気ない日常を守ることにある。  
昨日と変わらない今日、今日と変わらない明日。  
その絶え間のないくり返しの中に、私たちの力が息づいている。

いま、世界がサステナブルな社会に向かう中、

「ひたむきに防食技術を追求し、  
社会基盤の価値をまもり続けることにより、  
安心安全な日常を次代につなげます」

未来に向かって掲げた企業としての存在意義こそがこれからの指針。

先進の防食技術で社会基盤の長寿命化を進めていけば、  
豊かな資源や環境を次の世代へと受け渡すことができる。  
昨日と変わる今日、今日を進めた明日。  
絶え間のないくり返しの中でこそ、私たちは日々新化していこう。



# いまある“価値”を次代へ!



株式会社 **ナカボーテック**  
NAKABOHEC CORROSION PROTECTING CO.,LTD.



いまある  
“価値”を  
次代へ!

NAKABOH REPORT  
No.54 2024年3月29日発行

編集発行人／山田 好昭 発行所／株式会社ナカボーテック 技術本部 技術統括部 技術管理部  
〒104-0033 東京都中央区新川1丁目17番21号 Tel.03-5541-5826 Fax.03-5541-5832

©2024 NAKABOHEC CORROSION PROTECTING CO.,LTD.

非売品, 無断転載を禁ず