

発電プラント向け 海生生物付着防止システム

Electrical Anti-Biofouling System for Power Plants

高橋 玲樹

TAKAHASHI Reiji

稲垣 修一

INAGAKI Shuichi

中島 昌二

NAKASHIMA Shoji

発電所の機器冷却用海水設備においては、付着する海生生物の清掃と処理に多大の労力と費用を要しているが、今回、環境に影響を与えることなく海生生物の付着防止が図れる画期的な装置を開発した。

この装置は、海水の電気分解により発生する活性酸素を利用するもので、メンテナンスフリー、長期間の性能維持などの特長を持っている。構成部品は触媒をコーティングしたチタンシート、電極、電源装置などで、チタンシートを絶縁物を介して機器接液面にはり付け、通電することによりその機能を発揮する。発電所構内でモデル装置による試験を実施した結果、著しい効果が確認された。

この装置の採用は、機器の信頼性を向上させるとともに、保守作業の軽減や産業廃棄物の減少にも大きく寄与するものと考えられ、多方面への適用が期待される。

At many power plants, considerable labor and costs are expended to remove marine life from the surfaces of seawater-utilizing cooling equipment. Toshiba has developed a new electrical anti-biofouling system to prevent the deposition of marine life on equipment surfaces without a harmful effect on the environment. This system is remarkably effective.

The newly developed system uses active oxygen generated by seawater electrolysis. It has several salient characteristics such as being maintenance-free and effective over the long term. The system consists of titanium sheets coated with a catalyst, electrodes (cathodes and reference electrode), and an electrical source. The titanium sheets are attached to the equipment's surface with an insulating sheet by an adhesive agent.

Excellent results have been confirmed in a test of model equipment carried out at the site of an actual power station, indicating that adoption of this system will realize more reliable equipment, lower maintenance costs, and reduction of industrial waste. It is expected to be applied to many types of equipment in seawater service.

1 まえがき

海水を冷却水として使用する発電所での海生生物の付着防止対策としては、主に化学的、物理的、機械的といった3種類の方法がある。化学的に付着を抑制する方法としては、塩素注入、過酸化水素水注入、防汚塗料の塗布などが、また物理的に付着を抑制する方法としては、紫外線照射、超音波、温水処理などが、機械的に抑制する方法としては、除貝フィルタ、清掃ロボットなどが挙げられる。しかしながら、これらの方法はいずれも効果、寿命、コスト、環境汚染などの問題を持っている。

このため多くの発電所においては、フジツボやイガイなどの海生生物が海水系機器内で付着・繁殖し、その定期的な除貝・清掃作業に多大な労力と費用を要している。特に、復水器においては水室内での付着が著しく、効果的な付着防止手段が求められていた。

当社はこのニーズに応えるため、今回、触媒をコーティングしたチタンシートに電位をかけて海生生物の付着防止を

図るという電気化学的手法に基づく付着防止システムを(株)ナカボーテックの協力を得て開発した。

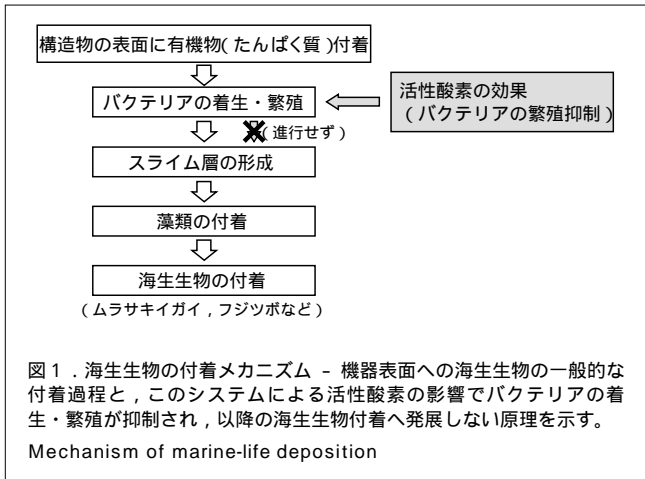
ここでは、開発した海生生物付着防止システムの概要と原子力発電所構内で実施した復水器モデルによる1年にわたる検証試験の結果について述べる。

2 海生生物付着防止システムの概要

2.1 システムの付着防止原理

海生生物の付着メカニズムを図1に示す⁽¹⁾。まずはじめに、海水系構造物の表面に有機物(たんぱく質)が付着し、この有機物を足掛かりとして、細菌が着生・繁殖する。この細菌層に海中の有機物や泥粒などが付着し、スライム層を形成する。ここまでが初期汚染で、有機物が付着してからほぼ数時間で完結する。続いてスライム層の上に藻類が着生し、藻類を足掛かりとしてフジツボやイガイ類など海生生物の稚貝(幼生)が付着・繁殖・成長する。

一方、活性酸素は細菌の着生・繁殖に対し優れた

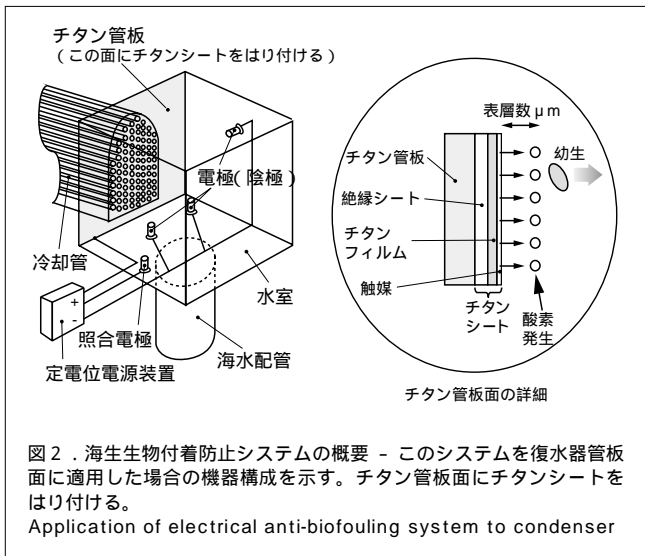


抑制効果を持つことが知られている。このシステムは、この活性酸素の抑制効果に着目し考案されたもので、上述のメカニズムの初期ステップを断ち切るにより、海生生物の付着・繁殖を防止するというものである。

2.2 システムの構成

開発した海生生物付着防止システムを復水器管板面に適用した場合の概要を図2に示す。このシステムは、触媒をコーティングしたチタンシート、電極(陰極, 照合電極), 定電位直流電源装置で構成される。復水器管板面にはり付けたチタンシートを陽極として電流を陰極に流し、海水の電気分解によりチタンシート面において活性酸素を継続的に発生させる。なお、チタンシートの電位を低く維持することにより、塩素の発生を抑制する。

復水器管板面にはり付けるチタンシートは、白金系触媒をコーティングしたチタンフィルムと絶縁シートをはり合わせたもので、その厚さは0.8 mm, 幅はマンホールから挿入して取付け施工ができる寸法とする。機器本体と絶縁するために、



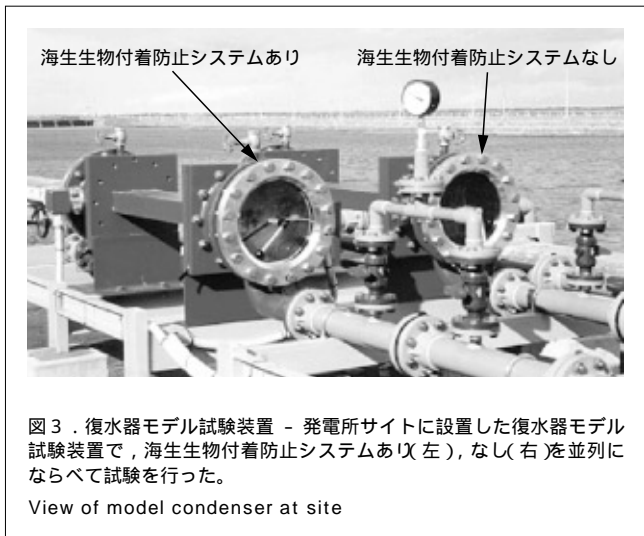
絶縁シート側を所要の海水側機器表面にはり付けることになるが、その接着には海水温度50℃まで安定した接着強度を持つ、変成シリコンポリマーとエポキシ樹脂を主成分とした弾力性接着剤を選定した。陰極及び照合電極は、それぞれ電気防食で実績のあるステンレス製(SUS316L)電極及び海水塩化銀電極を使用する。

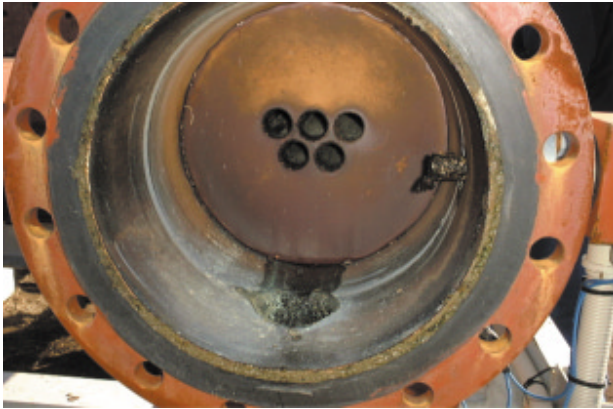
3 復水器モデルによる検証

3.1 モデル試験装置

原子力発電所構内に図3に示す復水器モデルを設置し、海生生物付着防止装置の検証試験を1年間にわたり実施した。この試験においては、同一仕様の2台の復水器モデルを製作し、うち1台のモデルの入口、出口水室内に海生生物付着防止システムを設置した。海水は揚水ポンプで取水して2台並列に通水し、同一条件での運転を行い、両者の海生生物付着状況を比較して防止効果と耐久性を確認した。

製作した復水器モデルの水室を図4に示す。水室内には絶縁材を介してチタンシートがはり付けられている。定期的に海生生物の付着状態を確認するために、水室フランジ面はワイパー付きのぞき窓とし、そのワイパーの中心軸を陰極





海生生物付着防止システムあり



海生生物付着防止システムなし

図5．1年後の復水器モデル水室の状況 - 復水器モデル試験装置の1年間運転後における海生生物付着防止システムあり(左), なし(右)に対する海生生物付着状況の差異を示し, このシステムの著しい効果が確認された。

Effect of electrical anti-biofouling system after one year of operation

として使用した。外部電源装置とチタンシート、陰極を結線し、チタンシート(陽極)の電位を1.0～1.2Vに維持することにより活性酸素を発生させ、海生生物の付着を防止する構成とした。

3.2 試験結果

3.2.1 海生生物の付着防止効果 1年間通水運転を継続した後、水室内に付着した海生生物の種類とその全重量を計測するため、水室のふたを取り外して調査した。開放時の比較を図5に示す。

付着防止システムを設置しない復水器モデルの入口・出口水室には、フジツボ、ムラサキガイ、ヒドロチュウ、ヒメフサコケムシなどの海生生物が多量(約6kg)に付着していた。一方、付着防止システムを設置した水室内には、海生生物の付着がまったく認められなかった。

両者の相違は顕著であり、この試験により、このシステムが非常に優れた海生生物の付着防止効果を備えていることが確認できた。

3.2.2 チタンシートの接着耐久性 1年間の通水運転を終了した後、水室内にはり付けたチタンシートの接着強さを測定し、接着剤の接着耐久性を評価した。接着強さの計測は、幅20mm、長さ約100mmの切込みを入れて、端部をデジタルフォースゲージを用いて垂直に引きはがすことにより測定した。水室内各部の計測結果を表1にまとめて示す。

また、この結果と必要とされる接着強さの比較を図6に示す。なお、図中に示す必要接着強度(4N/20mm)は、チタンシートが管板から45°の角度で長さ10mm剝離(はくり)し、そこに6m/sの流速(水室内の局所的な最大流速に余裕を見込んだ値)が当たると仮定して算出した剝離力である。測定した接着強さをまとめると以下ようになる。

表1．各部位の接着強さ(1年運転後)

Adhesion strength after one year of operation

(単位: N/20mm)

部 位	入口管板	出口管板	水室(ゴムライニング)
上 部	30	30	60
下 部	-	40	50
左 側	40	65	70
右 側	40	60	60

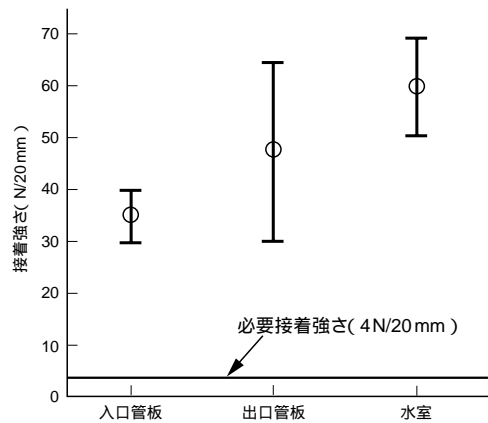


図6．測定結果と必要接着強さの比較 - 復水器モデルを試験終了後分解し、はり付けたチタンシートの接着強さが必要接着強さに対し、十分維持されていることを示す。

Comparison of measurement results and required adhesion strength

チタン管板面とチタンシートとの間の接着強度は、入口・出口水室ともに30N/20mm以上で、必要とされる接着強度の約8倍以上を確保している。また、ゴムライニング施工した水室側面部に対する接着強度については、入口・出口水室

ともに 50 N/20 mm 以上で、必要接着強度の 13 倍以上であった。

これらの剝離試験結果から、この接着材を用いて接着施工を確実にすれば、海水中に長期間浸漬しても良好な接着強度が維持されることを確認した。

3.2.3 通電電流密度の経時変化 外部電源装置は定電位式直流電源装置とし、この試験においては、陽極電位を 1.0 ~ 1.2 V の間で設定した。試験期間中は、記録計により通電電流を連続して計測し、記録した。

チタンシートにおける電流密度の経時変化例を図 7 に示す。入口側水室、出口側水室ともに電流密度はほぼ一定の

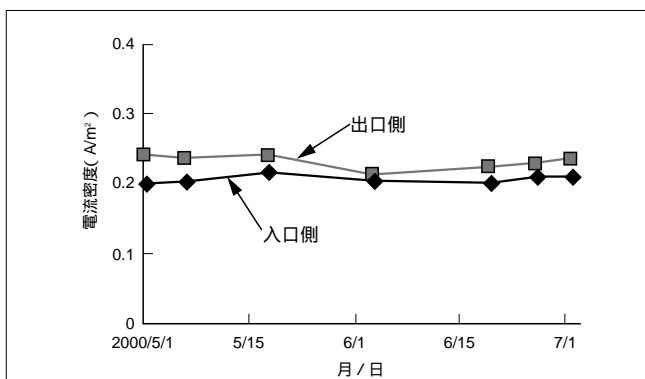


図 7 . 電流密度の変化(例) - 復水器モデル試験装置の運用において、チタンシートの電流密度が安定して運転されている状況を示す。
Example of current density during operation

表 2 . 海水の分析結果
Analysis of seawater composition

分析項目	単位	分析値	清浄海水基準値
pH	-	8.2	7.5 ~ 8.5
電気伝導度	μ S/cm	46,900	-
溶存酸素	mg/l	6.8	6 ~ 10
NH ₄ ⁺ (アンモニウムイオン)	mg/l	0.1 未満	極微量
Cl ⁻ (塩素イオン)	mg/l	19,000	18,000 ~ 22,000
SO ₄ ²⁻ (硫酸イオン)	mg/l	2,500	-
COD (化学的酸素要求量)	mg/l	1.8	4 未満
S ²⁻ (硫黄イオン)	mg/l	0.05 未満	なし
Mn (マンガン)	mg/l	0.01 未満	-
SS (懸濁物質)	mg/l	4	-
T-Fe (全鉄)	mg/l	0.06	-
残留塩素	mg/l	0.05 未満	-
全硬度	mg/l	7,100	-
Ca (カルシウム)	mgCaCO ₃ /l	430	-
Mg (マグネシウム)	mg/l	1,500	-

値で推移し、安定した運転が持続していることを確認した。

なお、表 2 には試験中に採取した海水の分析結果を示す。この海水は清浄海水と判定できる。従って通常の海水環境下であるならば、この試験により認められた付着防止効果は、十分再現できるものと思われる。

4 あとがき

このシステムは海生生物付着の影響が大きいチタン復水器への適用を当初の目標として開発を進めた。その結果、付着防止効果が極めて高いことが確認されたため、他の機器への適用についても検討を進めている。特に、顧客からはアルミ黄銅製熱交換器や取水路についても適用を望む声が強くなり、現在これらを対象とした試験を継続中で、良好な結果が得られつつある。

謝 辞

モデル装置による実海水での検証試験は、東京電力(株)福島第二原子力発電所構内で実施させていただいた。多大なご支援に対して深く謝意を表します。

文 献

- (1) 川辺充志：“海洋生物の付着現象とその本質”。第 16 回日本海水学会 材料、構造物研究会資料, 1991-05, p.1 - 29 .



高橋 玲樹 TAKAHASHI Reiji

電力システム社 原子力事業部 原子力システム設計部主査。原子力発電プラントにおけるタービン系システム設計業務に従事。
Nuclear Energy Systems & Services Div.



稲垣 修一 INAGAKI Shuichi

電力システム社 電力・産業システム技術開発センター 金属・セラミックス材料開発部主査。機器材料の防食技術開発に従事。日本機械学会、腐食防食協会会員。
Power and Industrial Systems Research and Development Center



中島 昌二 NAKASHIMA Shoji

電力システム社 京浜事業所 タービン機器部主務。発電プラント用熱交換器の設計業務に従事。日本機械学会、火力原子力発電技術協会会員。
Keihin Product Operations