

# 泊発電所取水路除貝作業の運用効率化について

北海道電力株式会社 原子力事業統括部 原子力業務G 樋口 和也 \*

北海道電力株式会社 土木部 地盤耐震G 三上 純 \*\*

北海道電力株式会社 泊発電所 土木建築課 齊藤 舜 \*\*\*

**概要** 北海道電力(株)泊発電所では経営効率化に向けた費用削減の取組みとして、定期点検時に2系統ある取水路両方に対して実施していた除貝作業を、1系統のみ実施する取水路除貝作業の片トレン化を考案した。本取組みは全国的にも先例の無い試みであったが、計画段階から関係箇所との調整や専門家に伺った知見を基に準備を進め、2020年4月の3号機における実機運用で成功を収めることができた。本稿では、片トレン化実現に向けた課題・リスク解決の検討や、モックアップ・調査による検証、および実機運用の成果について取り纏める。

**キーワード**：トレン， 除貝作業， ムラサキガイ， エアレーション， モックアップ， 溶存酸素量

## 1. はじめに

### 1.1 泊発電所の概要

北海道電力(株)泊発電所は、積丹半島西側の岩宇地区に位置する最大出力1号機57万9千kW、2号機57万9千kW、3号機91万2千kWのPWR（加圧水型軽水炉）であり、2012年5月の3号機停止以降、長期冷温停止中である。

### 1.2 取水設備の概要

原子力発電所における取水設備は、発電用復水器設備（蒸気を冷却し水に戻す設備）および原子炉補機冷却海水設備（ディーゼル発電機等の機器を冷却する設備）の冷却海水を取水する役割を果たし、取水口、取水路、スクリーン室およびポンプ室を経て導水した海水を、循環水ポンプ（以下、「CWP」という。）および原子炉補機冷却海水ポンプ（以下、「SWP」という。）により各機器に送水する。

1, 2号機における取水設備概要を図-1に示す。泊発電所は、2012年5月の3号機停止以降、現在もプラントの運転を停止している。しかしながら、燃料系や補機への冷却水については継続して取水する必要があることから、各号機ともプラント停止状態でありながらも、必要分の海水を取水している。



写真-1 泊発電所全体写真

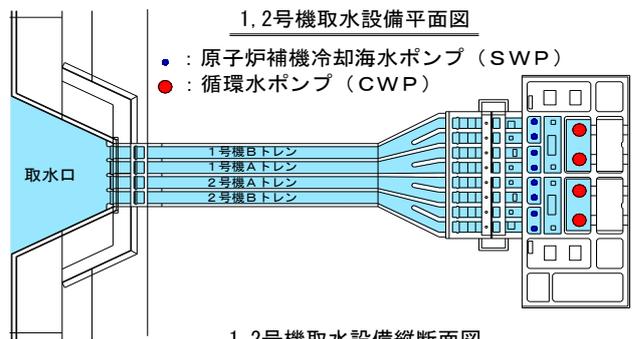


図-1 泊発電所取水設備概要図（1, 2号機）

\* 樋口 和也 〒060-8677 北海道札幌市中央区大通東1丁目2番地 北海道電力(株) 原子力事業統括部 原子力業務G k-higuchi@epmail.hepco.co.jp

\*\* 三上 純 〒060-8677 北海道札幌市中央区大通東1丁目2番地 北海道電力(株) 土木部 地盤耐震G a-mikami@epmail.hepco.co.jp

\*\*\* 齊藤 舜 〒045-0201 北海道古宇郡泊村大字堀株村字山ノ上219番地 北海道電力(株) 泊発電所 土木建築課 H2016027@epmail.hepco.co.jp

## 2. 臨海系発電所における海生物付着対策

泊発電所の取水路は、海生物付着厚  $t=10\text{cm}$  を水路断面減少量の許容値として設計しているが、付着した海生物が成長し続けた場合の通水断面減少や貝脱落時のスクリーン閉塞・ストレーナ詰りによる取水障害の発生が懸念される。そのため、取水路内の付着海生物対策として、定期点検期間に付着貝を除去している。泊発電所では、取水路内の海生物付着事象に対し、2.1および2.2の対策を講じている。

### 2.1 除貝作業

定期点検の際、取水路内の海水を抜水して付着海生物を高圧水洗浄およびホイールローダー等により除去している。除去した海生物は、産業廃棄物量の最小化を目的として、土壌改良材等に再利用できるよう堆肥化している。



写真-2 取水路内除貝作業状況

### 2.2 防汚塗装

海生物は取水路躯体の壁および天井の全線に亘って密に付着することから、未然に付着を抑制し、除貝量を削減するために、特殊塗料を塗布（以下、「防汚塗装」という。）している。防汚塗装は、既に各号機の取水路全線に対して実施済みであり、防汚塗装の効果により海生物付着厚  $t=3\text{cm}$  程度に抑えられている。

### 2.3 他プラントにおける海生物付着対策

他プラントにおいては、防汚塗装のほか塩素注入による海生物の付着防止や、防汚パネルの設置等の対策を施している場合もある。当社臨海系火力発電所においても、水路延長が長く防汚塗装の実施が困難であるプラントでは、取水口からの塩素注入により海生物付着防止を図っている。なお、泊発電所において、安全協定上の理由から塩素注入法は実施不可能である。

## 3. 片トレン化採用の着眼点

2019年度より泊発電所全体で抜本的な費用削減に向けた取組みをスタートさせた。その中で土木建築課では、工事費の大幅削減方策として、取水路の除貝作業の見直しが有効と考え、検討に取り掛かることにした。当初、除貝作業内容の見直しによるコスト削減を検討したが、大幅な費用低減は期待できないことから、従来の枠にとられない手法も視野に検討を開始した。検討の中で、費用削減方策に有効と考えられる着眼点が2つ判明した。

### 3.1 海生物付着量の減少傾向

プラントの稼働状況により、取水路内の海生物付着状況が変化していることがわかった。図-2に泊発電所運転開始からの取水路の除貝量実績を示す。除貝量は、除貝作業時期（季節的な要因）にも左右されるが、防汚塗装の効果もあり運転開始以来、減少傾向であることから、除貝作業周期の見直しについて検討の余地があることが判明した。

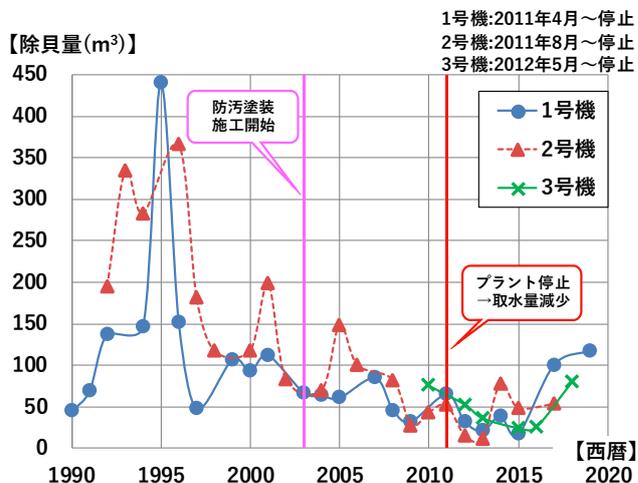


図-2 泊発電所取水路の除貝量実績

### 3.2 両トレン抜水の片トレン化

臨海系発電所にて、取水路内の除貝作業を実施する場合、取水ロケットを挿入し水路内への海水の流入を防止したうえで、ポンプアップにより水路を抜水する方法が一般的である。除貝作業の他、CWPやSWP等の分解・点検を実施する上でも水路内の抜水は必要不可欠なものと考えていた。しかし、他課による費用削減検討の取組み事項として、発電機器等の点検周期の延伸や定期点検頻度の見直しに向けた検討をした結果、現状においては、

必ずしも定期点検時に2系統両方の水路内抜水が必須ではないことがわかった。

以上の2つの観点から、毎定期点検時における両水路内の抜水作業および除貝作業が必須では無くなったため、取水路除貝作業の片トレン化を考案した。従来手法では、2系統ある取水路の両トレンを交互に抜水し、ドライ環境で除貝作業を行ってきた。今回考案した片トレン化では、点検対象の系統である片側トレンのみ抜水・除貝作業を行い、別系統の片側トレンについては抜水せずに、海生物が水路に生息した状態を維持したまま、次回定期点検まで除貝作業を繰り延べることで、費用の削減に繋げることができる。

#### 4. 片トレン化による課題・リスク検討

定期点検中においては、CWPやSWPが全台停止するため水路内に海水が供給されず、片トレン化に伴い水路が滞水状態になると想定された。海生物の死滅は、海水中の溶存酸素量(以下、「DO」という。)の低下により発生することから、片トレン化を実現するためには水質保全のため水路内の海生物を死滅させずに、生かしておく必要がある。万一、海生物が死滅した場合は汚濁水が発生し、放水した際に周辺環境へ影響を及ぼす可能性が考えられた。さらに、海生物が死滅し小さな浮遊物となるため、ストレーナ詰り等の機器故障も懸念された。

以上のことから、片トレン化実現に向けて停滞海水中の海生物死滅を抑制する対策を考案する必要がある。

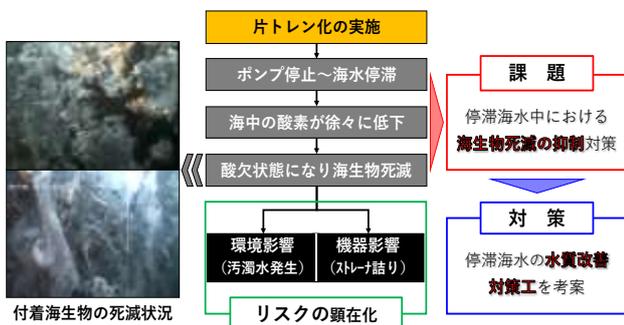


図-3 リスク検討課題・対策

#### 5. 片トレン化実現に向けた対策工の検討

汚濁水の発生防止に有効と考えられる根本的な対策として『停滞海水の水質改善』と『海生物の付着量低減』が挙げられる。このうち、『海生物の付着量低減』に対しては、防汚塗装により既に対策を施していることから、検討項目を『停滞海水の水質改善』に絞り、具体的手法として3工法を立案した。①空気を海水に吹き込む「エアレーション工法」、②停止したCWP等の代替機能を期待する「水中ポンプ循環工法」、③シクナーで濁水を浄化する「濁水処理装置工法」について、水質改善効果・コスト削減・実現性・機器影響の観点から比較検討を行った結果を表-1に示す。

表-1 対策工法比較表

工法	水質改善	コスト削減	実現性	機器影響	備考
<b>エアレーション</b>	?	?	?	?	実績なし 効果不明確
取水路内に散気ホースを敷設しエアを強制供給することで水質改善を図る	要検討	要検討	要検討	要検討	
<b>水中ポンプ循環</b>	×	◎	○	△ 要検討	最も安価 効果低い
水中ポンプで隣接するトレンへ強制排水し、水循環を促す	他PSで効果なし				
<b>濁水処理装置</b>	◎	×	○	◎ 確実性	コスト大 効果は確実
取水路内滞水をポンプアップし、シクナーで薬剤処理・浄化を図る	他PSで効果あり				

表-1より、水路内の停滞海水へのエアレーション工法については、過去に実績がないことから、水質改善効果・成立性を確認するための詳細な検討を実施することとした。

検討は、『モックアップ試験による装置の成立性』、『海生物死滅と水質パラメータの相関性』について、2019年9月の2号機定期点検時に併せて実施した。

## 6. エアレーション装置モックアップ

### 6.1 モックアップ試験概要

モックアップ試験は、装置の成立性を確認する目的で、ダイバーにて装置の据付やエア吐出の状況、および対流によるエア循環状況を確認しビデオ撮影する計画とした。装置構成は、散気ホースを分岐させたユニットタイプ

表-2 エアレーション装置緒元

項目	内容
全長	56m
ユニット数	10ユニット (5.6m/本)
送気ホース	外径φ36.5mm
散気ホース	外径φ26.0mm
沈水方法	ウェイトチェーンを 結束バンド固定
送気方法	圧送方式
コプレッサー	空気量5.2 (m <sup>3</sup> /min)
型式	吐出圧力0.7 (MPa)

を採用し、エアが水路断面全体に循環するよう、水路の中央にエアレーション装置を敷設した。表-2にエアレーション装置諸元を、写真-3にエアレーション装置全体状況を示す。

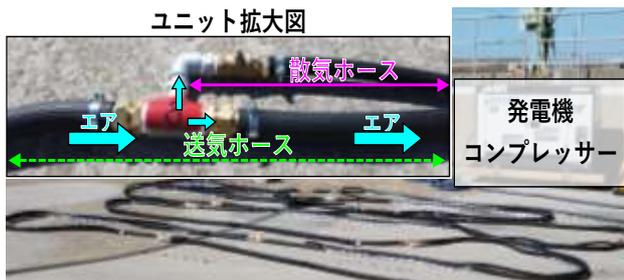


写真-3 エアレーション装置全体状況

### 6.2 モックアップ試験結果

モックアップ試験の結果、①装置起動と同時に散気ホース全線から距離によるエアの減衰影響なく一定量のエアが放出された。また、ウェイトチェーンによりエア放出に伴う散気ホースの浮動は無かった。②散気ホースから放出されたエアは直上方向に噴出し、水路断面に対し円を描くように循環した。また、底部堆積物の攪拌浮遊の影響は限定的であった。③ダイバー作業は十分に安全を確保して水中敷設が可能であることを確認した。図-4にエアレーション装置敷設図とエアレーション状況写真を示す。

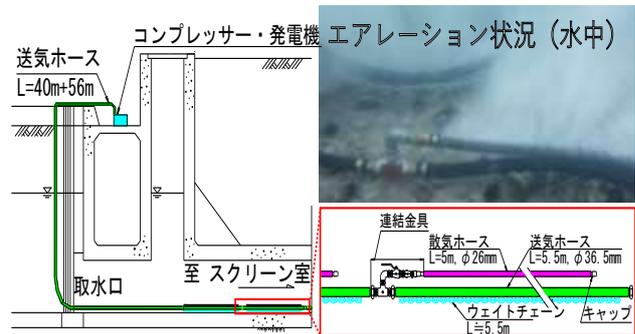


図-4 エアレーション装置敷設図

## 7. 海生物死滅調査

取水路内に主として付着している海生物（ムラサキガイ）の死滅とDO等の各水質パラメータの相関性を調査するため、室内での水槽飼育による死滅調査を実施した。

### 7.1 調査概要

試験期間は42日間（定期点検期間相当）、水温は15℃（取水口前面の年平均水温）一定とし、調査項目は表-3に示す8項目とした。酸素供給を継続させるエア水槽は常時エア水槽と断続エア水槽に区分し、酸素を供給しないノンエア水槽はA、B、Cの3台を用意した。写真-4に死滅調査状況を示す。

表-3 調査項目一覧

項目	単位	測定回数	備考
pH	-	3回/日	発電所排水基準
濁度	NTU	1回/日	〃 (SS)
溶存酸素 (DO)	mg/L	3回/日	汚濁水発生判定項目
水温	℃	3回/日	〃
酸化還元電位 (ORP)	mV	3回/日	〃
臭気 (6段階)	-	1回/日	〃
電気伝導度	S/m	3回/日	〃
硫化水素	ppm	1回/日	〃

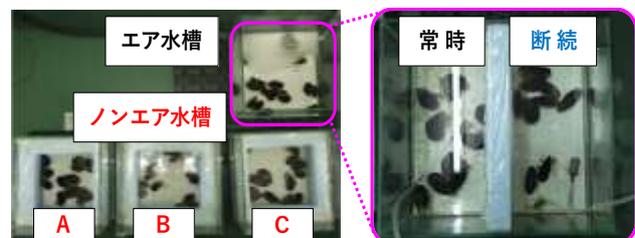


写真-4 死滅調査状況

## 7.2 調査結果

調査結果を表-4、図-5に示す。エア水槽（常時/断続）におけるDOの推移として、①エア供給を断続的に停止した場合、停止に伴いDOが低下し、②エア供給を再開後、DOは回復し、最大72時間停止しても同様の効果があることが確認された。従ってエアレーション工法により水質改善が図れるとともに、断続運転でも効果があることが分かった。また、常時エア水槽とノンエア水槽におけるDOの推移として、①常時エア水槽の海生物は42日間死滅しなかった。②ノンエア水槽A、B、CのDO値は試験開始8時間で常時エア水槽の約1/20まで急低下し、その後一定となった。③ノンエア水槽A、B、CのDO値低下から10日で斃死個体が発生した。従って、滞水環境であっても、ムラサキガイは10日程度の生存が可能であることが分かった。

表-4 死滅調査結果

項目	常時エア水槽	断続エア水槽	ノンエア水槽A,B,C
pH	7.9→7.3 緩やかに低下	停止後8hで7.0まで低下 エア供給再開後、回復	7.9→6.0 徐々に低下
濁度	0	0	0→164
溶存酸素(DO)	6.0mg/L以上 値を保持	停止後8hで2.0mg/Lまで低下 エア供給再開後、回復	開始8hで0.4mg/Lまで 低下後、一定
酸化還元電位(ORP)	230→32 緩やかに低下	停止後8hで-20まで低下 エア供給再開後、回復	230→-320 DO低下に合わせて低下
臭気(6段階)	0	0	0→5
電気伝導度	徐々に低下する傾向がみられたが、水槽間の明瞭な違いを確認できず	-	0→5
硫化水素	0	-	0→5
死滅状態	42日間生存	42日間生存	18日後全個体死滅

常時エア水槽 & ノンエア水槽における溶存酸素量DOの推移



エア水槽（常時/断続）における溶存酸素量DOの推移



図-5 死滅調査結果

## 8. 試験/調査結果に対する専門家の見解

モックアップ試験および海生物死滅調査結果から、エアレーション工法による停滞海水の水質改善効果とその成立性を確認することができた。本取組みの実機導入計画の検討に先立ち、調査結果について公益財団法人海洋生物環境研究所および当社総合研究所の専門家から、以下の見解を得た。

### 8.1 水路内の水質・環境について

- ①水温は海生物の代謝に与えるパラメータとして重要であり、今回の試験データはあくまで水温15°C一定のデータとして捉える必要がある。
- ②今回の調査は給餌条件では一番厳しい条件であり、実際の水路内ではプランクトン等の餌が存在することから、海生物の生存期間には延長の余地があるものと考えられる。
- ③実際の取水路において、底部に堆積物が存在する場合、DO消費がより顕著となるため注意が必要である。
- ④堆積物の成分が鉱物系（砂やシルト）か有機物（プランクトン・死骸・糞）でDO消費に違いがある。

### 8.2 エアレーション工法について

- ①他電力において、エアレーションをプラント水路の水質改善目的に導入した例はない。
- ②散気ホースの孔サイズの選定は、溶存効率と対流を促す両方の効果を考慮して決定することが望ましい。
- ③断水直後に水路内滞水のDOが飽和状態になるまでエアレーションを実施することで、後半は水質の低下を見ながらの追加稼働程度で良いと考えられる。
- ④エアレーションの対流効果により堆積物が攪拌されてしまい、逆に水中のDOを消費してしまう可能性があるため注意が必要。

### 8.3 環境影響について

- ①エアレーションによる水質改善を実施すれば、確実な水質保全が期待できる。
- ②仮に、外海へDOが低下している滞水を放出してもすぐに希釈されるため問題ないと思われる。更に途中のピットで希釈や酸素の溶け込みが期待できるため、放水箇所での環境影響は少ないと思われる。

## 9. コスト削減効果の試算

試験/調査結果を踏まえ、エアレーション工法を軸にした取水路除貝作業片トレン化の実現性が高まってきたことから、実施に向けて工法や費用を精査した。1, 2, 3号機へ片トレン化の水平展開を実施した際の除貝工事費用は下表のとおり。

表-5 コスト比較表 (単位: 百万円)

年月	点検対象号機	① 片トレン化による費用削減額	② 汚濁水発生対策費用		③ 除塵装置点検止め削減額	①+②+③ 削減総額
			+エアレーション	+バックアップ		
2020.3	3号機	△35.9	7.5	4.0	△8.2	△32.6
2021.1	1号機	△36.9	9.0*	6.0*	△8.2	△30.1
2021.10	2号機	△34.1	7.5	4.0	△8.2	△30.8

※ 冬季の定検では、除雪費・冬季養生費他を追加計上している。

本取組みを5ヵ年実施した場合の除貝工事費用削減額を試算すると、1年平均で約54百万円のコストメリットがある結果となった。

## 10. 3号機への片トレン化実機導入

### 10.1 実機導入へ向けたスケジュール

2020年3月下旬の3号機定期点検を片トレン化実機導入の照準に合わせ、下表のスケジュールを立て、検討を進めた。

表-6 検討スケジュール表

	2019年				2020年					
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月
点検対象号機	← 2号機定期点検 →				← 3号機定期点検 →					
水質改善対策 水質分析	エアレーション装置モックアップ 海生物死滅調査				エアレーション実機運用 水質分析					
点検対象トレン	← Bトレン → ← Aトレン →				← Aトレン → ← Bトレン →					

### 10.2 リスクマネジメント

本取組みについては先例がなく、環境や機器に影響を及ぼす想定外の事象やトラブルが内在する可能性が考えられた。そこで、SWP停止期間中の取水路内滞水については、エアレーション等の水質改善対策に併せて水質分析を実施し、発電所施設の排水基準に照合する計画とした。

水質分析結果を注視し、SWP取水開始前に、バックアップ処置としてシクナーによる濁水処理装置の稼働が可能な体制を構築した。

## 10.3 エアレーション実施概要

実施範囲は、3号機取水路Aトレンのうち取水口から156mとし、送気ホースと散気ホースを組立てた20m/ユニットを7ユニット接続する構成とした。運転時間は1回1時間の連続運転を実施日数分稼働する計画とした。

3号機エアレーション装置の敷設計画図を図-6に示す。

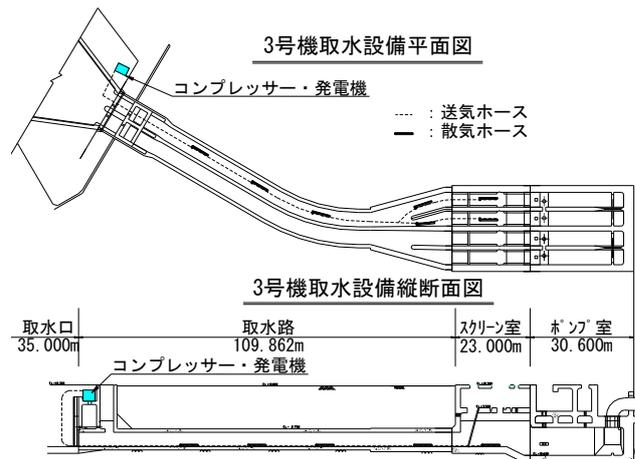


図-6 3号機エアレーション装置敷設計画図

### 10.4 更なる効率化に向けた取組み

3号機定期点検では、エアレーション工法から更なるコスト削減を目指した取組みとして、水中ポンプによる水循環工法についても試験的に導入し、各水質パラメータを収集することで効果を検証した。

水中ポンプは、4inchポンプをスクリーン室a, bラインに各1台設置し、2m<sup>3</sup>/分の排水能力を確保した。運転時間は、1回6時間の連続運転を実施日数分稼働する計画とした。

### 10.5 水質分析

#### 10.5.1 測定項目

- ①pH ②化学的酸素要求量(COD) ③浮遊物質(SS) ④ノルマルヘキサン抽出物含有量(油分等)
- ⑤溶存酸素量(DO) ⑥水温 ⑦酸化還元電位(ORP)
- ⑧臭気 ⑨濁度 ⑩H<sub>2</sub>S

### 10.5.2 採水箇所および方法

- スクリーン室 a ライン中央部の水深 2m 層, 6m 層を代表点に設定し, バンドーン採水器と多項目水質測定器で測定した。

### 10.5.3 貝の観察

- 定期点検期間中, 取水路内に付着しているムラサキガイの生死状態を水中定点カメラで観察した。

### 10.5.4 臭気測定

- 測定項目⑧臭気については, 事前に臭気判定士に認定された臭気測定パネラーを 5 名選出し, パネラーによる 6 段階臭気強度表示法により評価した。今回新たに臭気測定を水質の評価指標として導入することで, 定量的な水質分析結果と, 人が感じる定性的な臭気強度の相関を取る計画とした。

## 11. 片トレン化実機導入の結果

3号機定期点検片トレン化実機導入による各水質改善対策工程を表-7に, 水質分析結果と臭気強度測定結果を表-8, 表-9に示す。

表-7 水質改善関係作業工程

年月日	2020年																										
	3月							4月																			
項目	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
SWP 停止/復旧	SWP停止																								SWP試運転~復旧		
Aトレン 機器点検期間																						Aトレン機器点検期間					
Aトレン 水質改善関係 作業期間	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復
	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復	稼働回復

表-8 水質分析結果

項目	エアレーション	水中ポンプ循環	対策未実施
pH	調査開始~終了まで殆ど変化無し 8.0~8.3		
COD	起動後に値が低下→○	-	-
SS	起動後に値が上昇→一時的	起動後に値が低下→○	変化無し
油分等	調査開始~終了まで検出下限値未満 <0.5mg/L		
DO	起動後に値が上昇→○ 7.2~11.3	6h起動で値が上昇→○ 7.7~8.1	徐々に低下 10.0→7.2
水温	起動後均一→対流○ 変化無し		
ORP	調査開始~終了まで大きな変化無し 251.5~305.1		
臭気(6段階)	起動後に臭気上昇→一時的	変化無し	0 → 1 or 2
濁度	起動後に値が上昇→一時的	起動後に値が低下→○	変化無し
H <sub>2</sub> S	調査開始~終了まで変化無し 0.0~0.1		
カメラ	24日間の生存を確認		

表-9 臭気強度測定結果

臭気強度	臭気測定日														SWP 稼働
	初期値	SWP停止期間													
	3/27	3/30	4/1 17前	4/3	4/6	4/8	4/10	4/13	4/14 17前	4/14 17後	4/15	4/17 17前	4/20 17前	4/21	4/22
5															
4															
3															
2								2			4	1	2		1 3
1			1		1	2	3	1	3		4	1	2	1	2
0	5	5	4	5	4	3		4	2			2	3	3	
種類	無臭		海、磯のにおい			磯のにおい、生ぐさい、魚のにおい									

※表中の数値は回答人数  
 ※臭気強度は次に示す分類  
 0: 無臭、1: やっと感知できるにおい、2: 何のにおいがわかる弱いにおい  
 3: らくに感知できるにおい、4: 強いにおい、5: 強烈なおい

エアレーション工法については, 起動後に取水路内の滞水が循環し, 水深で異なっていた水温および DO が均一化した。また, 水中ポンプ循環工法については, 6 時間の連続運転により, DO が僅かに上昇した。

その他項目においても泊発電所の排出基準を満足しており, 取水路滞水の水質改善対策としてエアレーション工法および水中ポンプ循環工法が有効であることを確認できた。

臭気については, SWP 停止直後は臭気測定パネラー5名全員が無臭と感じていたが, 磯の匂いを感じるパネラーが増えるにつれて, DO も低下する傾向を示した。また, エアレーション後に採取した海水では, 臭気強度「3」(らくに感知できる生臭い匂い)を感知するパネラーも現れたが, 一時的であり時間の経過とともに DO および臭気に改善がみられた。水質に関する定性的指標の臭気強度と定量的指標の DO に相関があることを確認できた。

3号機定期点検では, 対策未実施の期間が最大 10 日間続いても水質の顕著な悪化は認められなかった。要因としては, 海水温が 10℃を下回っており, 海生物の活動性が低下したため, DO の低下も鈍化したことが考えられる。また, エアレーション工法および水中ポンプ循環工法の有効性確認により, バックアップ処置として設置したシクナーを起動する必要がなかったことから, 今後の定期点検において, 本定期点検と水質環境(海水温等)が同条件であれば, 水質悪化のリスクマネジメントとしてシクナーの設置は不要であることを確認できた。

今後, 本結果を基に水質改善対策および水質分析の効率的で経済的な運用を検証していく。また, 得られた知見を基に, 他号機や当社臨海系火力発電所への水平展開も視野に, 検証・計画を進めていく。

## 12. おわりに

本稿では、取水路除貝作業の片トレン化の取組みとして、モックアップ試験や海生物死滅調査、および実機運用結果について報告した。

今回、従来の「水路を抜水して除貝する」考えから「貝を生かす」考えに発想を転換し、エアレーション工法に着目してその効果を検証した結果、これまで不明であったムラサキイガイの死滅に至る状況について新たな知見を得ることができた。

本取組みは、全国的にも先例の無い試みであったが、計画段階から関係部門との調整、有識者の知見を基に、多面的な検討を展開できたことにより、トラブル無く片トレン化を成功することができた。なお、本取組み内容は、現在特許申請中の案件である。

最後に、ご指導およびご協力いただいた関係各位に深く感謝申し上げます。