

火力発電所冷却水路付着生物とその防除対策について

千 秋 信 一
安 芸 周 一

1. ま え が き

近時急速に臨海工業地帯開発の機運が高まり、多量の冷却用水を海水に求めるすう勢にともなって、海産生物が冷却水路工作物に付着していちじるしい被害をもたらす事例が、火力発電所をはじめ各所に散見されるにおよび、これらの防除対策は焦眉の研究課題として注目を浴びつつある現状である。筆者らは既設ならびに建設中の火力発電所を調査した際、この問題に関する多くの疑問点が現場の土木技術者達の口から語られたのを機会に、わが国電力各社の火力部門が中心となり生物学者の協力のもとに実施されつつあるこの問題の調査研究の実情を大局的に集約し、土木技術者が抱いている疑問点に対する解答の一端とするため、この解説を試みた。

2. 付着生物の生物学的検討

(1) 付着生物の種類

火力発電所冷却水路に付着する生物の種類に関しては、九州電力相ノ浦発電所において昭和31年8月より1年間にわたり調査した結果が詳細に報告されている²⁾。これによれば付着生物は7門にわたる無脊椎動物80種におよんでいる。相ノ浦発電所については、これら付着生物の付着部位（水路工作物のどのような場所に多く着くか）や、繁殖期に関しても調べられている³⁾。この調査結果を中心とし、さらにはほかの発電所における調査報告^{9), 10), 11), 12)}をも併合して、冷却水路に付着する主要な生物の種類(28種)をかかげれば表-1のようになる。

一覧表中にかかげた火力発電所における調査の結果を集約すれば、これら各発電所に共通に現われる特に重要な付着生物と目されるものは、ムラサキイガイ、マガキなどの二枚貝、フジツボ類、コケムシ類などであるが、とりわけムラサキイガイの分布と多量の付着量が顕著である。しかし一方ではムラサキイガイが全く発見されな

表-1 火力発電所冷却水路付着生物相一覧表

(◎印は当該発電所において付着量最も顕著であることを示す)

種 類	発 電 所 名								
	相浦	港	戸如	築上	多奈川	千葉	鶴見	仙台	八戸
I 腔腸動物									
1 ヒドロイド			○				○		
2 オベリア	○	○							
3 イソギンチャク	○				○				
II 環形動物(多毛類)									
4 ウズマキゴカイ	○	○	○	○					
5 カサネカンザシ	○	○	○	○				○	
III 触手動物(コケムシ類)									
6 フサコケムシ	○	○		○	○		○	○	
7 ナギサコケムシ	○	○	○	○					
IV 軟体動物									
1. 腹足類(巻貝)									
8 コウダカアオガイ	○	○		○					
9 イシダタミ	○	○		○					
10 ヒメウズラ タマビキ	○	○	○						
11 ウミニナ		○	○	○					
12 イボニシ	○	○		○	○				
2. 斧足類(二枚貝)									
13 エガイ	○		○						
14 アコヤガイ	○		○						
15 ホトトギス	○	○		○					○
16 クジャクガイ			○		○				
17 ムラサキイガイ	◎		○	○	◎	◎	◎		◎
18 ナミマガシワ	○	○	○	○				○	
19 アズマニシキ	○		○						
20 マガキ	○	○	○	◎	○	○		◎	
21 アサリ	○	○	○						
22 マツカゼ	○	○	○						
V 甲殻類									
23 シロスジフジツボ	○	○		○		○	○	○	
24 タテジマフジツボ	○	○	○			○	○	○	
25 アカフジツボ	○		○		○				
VI ホヤ類									
26 シロボヤ	○	○	○	○					
27 ユウレイボヤ	○	○	○						
28 カラスボヤ	○							○	

い仙台火力の例もあり、他方、仙台火力および築上火力ではマガキの付着量がきわめていちじるしい。このように個々の発電所地点によって付着生物相に目立った違いがあることは注目すべきである。

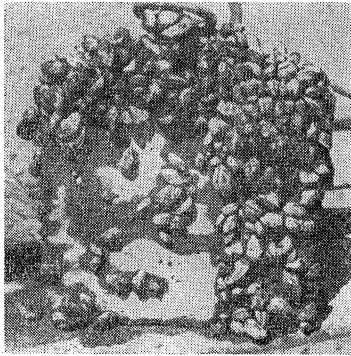
カット写真は冷却水路取水口付近の付着状況
(文献12より)

(2) 付着生物の発生過程

付着生物のうち特に付着量が顕著で重要と思われるムラサキイガイ、マガキ、フジツボ、コケムシについて、その発生過程を略述する。

a) ムラサキイガイ 世界的に広い分布を有し、わが国には昭和7年頃進出してきた。ヨーロッパではカキと同様に賞味されている2枚貝であるが、わが国では養殖カキや海苔の成長阻害、船底への付着、工業用冷却用水に対する障害など、非常に厄介視されている貝である。

写真—1 テスト ブロックに付着したムラサキイガイ (文献 12) より)



ムラサキイガイは海水中で自然の刺戟により放卵受精し、海水の流れに従って受精する。卵は約 60μ 、精子は約 8μ で受精後2時間で胚葉を生じ、さらに15分後に卵細胞は分裂する。約8時間30分経過すると多数の細胞からなる

胞胚期となり弱く泳ぎ始める。約48時間後に担輪子(トロコフォア)となり、コマ状体形の頂端の鞭毛と繊毛とにより活発に回転し、遊泳するようになる。3日後に被面子(Veliger)となり、約5日後には遊泳するだけでなく時々落ちて休息するようになる。後述する塩素処理に対する抵抗性の実験の対象となった幼生はおおむねこの時期のものである。次いでアンボ期に入り、貝殻、足、えらなどが発達し、自由運動力を失ない親貝と同様に着生生活に入る。付着後は貝は石灰などを分泌して本格的な貝殻を形成し、前期稚貝に发育する。稚貝の生物学的最小型は殻高2cm、殻長1.8cmくらいである。0.5mmくらいの幼貝は、10カ月で60mmにもなって親貝となる^{10), 11)}。

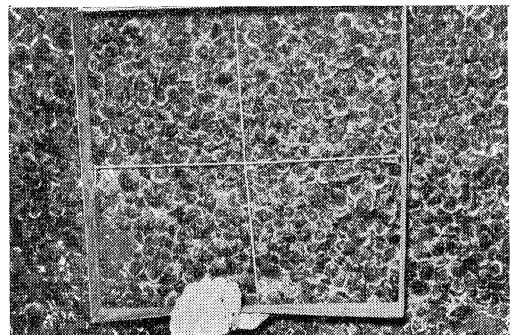
ムラサキイガイは繁殖力、生活力が非常に旺盛でしかも自由自在に移動することができるので、全世界いたるところに繁殖している。移動に当っては斧形の足を出して1時間に2mも移動したり、殻内に酸素を蓄積して浮上流動し長距離移動する。さらに固着した後も生存条件の変化により固定糸を切断してほかへ移動する。海水中に毒物が流入すると2枚貝を固く閉じて密封し、内臓酸素により24時間くらい生存している。このような生態を有するのでその駆除対策は最も至難といわれており、後に述べるように塩素処理による防除方式をとる場合でも産卵後稚貝に成長して付着するまでの浮遊幼生の時期をねらって処置しなければ効果的でない。このため

ムラサキイガイの産卵繁殖期を適確につかむ必要があるが、わが国の中部以南の海域における産卵期は12~4月といわれ、博多湾における調査の結果によれば、産卵期は1~4月、繁殖の盛期は3月中旬~4月上旬であると報告されている⁹⁾。

b) マガキ カキは一般に卵生と胚生(雌雄同体で自家受精)とがあるが、マガキは卵生に属し、雌雄異体の親貝から放出された卵と精子が受精し、浮遊かつ遊泳する担輪子(Larvae)となって付着する。付着生活に入るまでの期間は環境の水温、塩分などの諸種の要因によって支配されるが、本邦産マガキでは20日前後と考えられる。一般にカキの産卵期は5月下旬から6月へかけてであるから、付着時期は6月初旬から中旬以降と推定される。しかしこれは九州豊前海における調査結果¹⁾であって、仙台湾における調査によれば、産卵期は6月中旬~9月初旬で、付着時期は7月初旬~9月下旬であると報告されており⁹⁾、海水水温にもとづく地域差が大きい。付着時期のカキ幼生は100~200 μ で肉眼では認められず、10日ないし2週間を経て500~1000 μ 程度以上に成長してくると点々と付着した状況が認められる。カキの分布を支配する条件は海水の温度、塩分量(比重)および銅イオン量など海水の性質が主要な条件で、着生物(壁面)の性質にはあまり関係しないようである。カキの成長度の一観測例¹⁾によれば、7月に付着が認められた直径0.44cmの幼生は水温26°Cの好適水温で増大し、秋期には貝殻、肉部とも成長をつづけ、殻長2cm、殻高2.7cmに達する。冬期は貝殻の成長はいちじるしくないが肉部は秋から肥満がつづき、春になると水温の上昇とともに生活力も旺盛となり、殻長2.65cm、殻高3.74cmに成長する。夏になると貝殻の生成が顕著であるが、産卵期に入ると低下し、産卵を終ると肉部は急激に衰弱する。

c) フジツボ類 エビヤカニと同じ甲殻類にふくまれるもので、コンクリート面、鉄面などあらゆる箇所に着し、付着力が特に強力である。産卵期は6月ないし9

写真—2 テスト パネルに付着したマガキ (文献 9) より)



ま月である。親の胎囊から排出し、第1期～第6期のノープリウス期を経て第7回目の脱皮でメタノープリウス期に入る。ここで胴部が発達し、肢芽も生じ、胴部には6対の胸板、頭部には有対眼原基、第1触角に吸盤が準備される。次いでシプリス期に入り、遊泳の後第1触角の吸盤で他物に付着し、周囲にセメント物質を分泌して固着し、成虫に成長する。

d) コケムシ類 一見海藻のように見えるもので、水路コンクリート面、バースクリーン鉄面、その他生物外殻上に群生繁殖する。繁殖時期は6～7月頃といわれる。成虫は海藻状で長さは20mmくらいにもなる。

3. 付着の実情と水路の環境

(1) 付着量

通水開始(または前回清掃)後の経過年数によっても異なるが、通水後数年を経た発電所についての顕著な例(八戸¹⁰⁾、多奈川¹¹⁾、千葉¹²⁾)として、水路の天井側壁に10～30cm、底面に50～100cm(泥貝混合の堆積)の厚さにおよび、水路通水面積を3～5割方ふさいでいたことが報告されている。また通水後6カ年を経た鶴見第2火力の調査¹³⁾では、取水路(延長340m)の内壁総面積換算量(底面堆積を除く)として、重量にして250tムラサキガイ付着個体数にして2億5000万のばく大な量におよぶ結果が得られている。

(2) 水路の位置的分布

付着量は取水口付近において最もいちじるしく、一般に奥へ進むにつれて減少する傾向が見られ^{9)・10)}、これは取水口付近では不均一であった注入塩素が次第に均等に拡散してその効果をあらわす結果と見られる。

復水器内に浸入して水室または細管などに生きのまま付着している生物は小型のフジツボ、多毛類で、イガイ、マガキなどの二枚貝はすべて死殻となって細管を閉そくし^{9)・11)}、故障の原因を作っている。

他方、放水路は水温上昇の影響で大部分死殻の堆積があるのみで生物の付着は少なく、時として取水路とは全く異なった貝類の付着が認められた例もある¹¹⁾。

(3) 水路の水深差

おもに水路が暗きよで日光の影響がないため、外海岸壁に見られるような深浅による帯状分布はない。一般に天井に少なく側壁でも下半部に多いのは重力の影響によるもので、特にそれがムラサキガイの付着量においていちじるしいのは、この貝の移動性と相まっての結果と考えられる。

(4) 水路の明暗

日光の影響を受ける開水路の場合について横須賀火力における観測例がある¹²⁾が、ムラサキガイの密集着生は暗きよの場合と特別の差異がないようである。

(5) 付近外海生物との関係

多奈川火力における調査¹¹⁾によれば、外海潮間帯の上部に住む生物は取水路に入らず、中潮帯下部に住むムラサキガイ、カキなど、あるいは漸深帯に住むアカフジツボなどが取水路に侵入着生する。逆に水路内ではきわめて重要な種類であるにもかかわらず付近外海では発見されないものもある^{9)・11)}。

(6) 汚染度

一般に海水の汚染度のはなはだしい地点では付着生物の種類も特殊なものに限られ、付着量も少ない(新東京火力、品川火力の例¹²⁾)。

(7) 水路の流速

取水路内における厚さ数10cmにもおよぶムラサキガイの密集付着は外海岸壁には見られぬことで、これは水路内に1m/sec前後の恒常的な水の流動があって、常に豊富な酸素と食餌の供給があることが生物の生存に好適な環境条件を作っているためにほかならない。このことは通水前の静止せる水路には全く付着せず、あるいはまた事故、定期点検などで取水路の水を長期間止めると壁面に密集付着している貝層が自然に脱落する事実からも容認される。

一方、船舶の底に多量の海産生物が付着するのは航行時には起こらず、港に停泊中に起こることから考えて、取水路の流速を船の航行速度(時速10カイリ以上)に近い現在の数倍にまで高めることが付着を防止する一つの手段と考えられるが、技術的に実施の可能性は少ない。

(8) 水路壁面の性質

水路壁面付近の流速は摩擦によって低下し、かつ壁面の凹凸のために起こる微小渦流によって幼生はある時間停滞し、その間に着生を完了するものと思われる。従ってコンクリート壁面を十分滑らかにすれば可成りの程度付着を減少させるのに効果がある^{13)・17)}。

4. 付着生物の防除方法

(1) 塩素処理法

付着生物の防除対策として冷却水路に塩素を注入する方法が各火力発電所とられており、その効果に関する現場実験、実験室における基礎的研究が数多く行なわれている。しかしながら塩素処理はいわゆる殺菌処理であって、細菌類および形態構造の簡単な藻類に対しては十分な除去能力があるが、一般に水路に付着して発電所の運転を阻害するような大型2枚貝類、フジツボ類などの海産動物群はすでに海水中にある塩素に対する適応が行なわれているため、塩素処理に対してかなりの抵抗力を持っている。2.(2)で述べたように、これらの貝類は産卵後ある期間は幼生として海水中を浮遊した後付着して生育する。幼生時期は外皮も軟らかく毒物に対する

抵抗力も弱い、一たん付着すると急速に変態して硬い外殻を形成するようになる。従ってこれらの貝類の塩素処理に対する抵抗力は幼生と成貝とではなはだしく異なることが認められており、その実験結果を示すと次のようになる。

- ムラサキガイ成貝 (体長平均 40 mm)
 - 塩素濃度 20 ppm*×浸漬時間 48 時間 100% 生存¹²⁾
- ムラサキガイ稚貝 2.6 ppm×5 時間 100% 生存⁹⁾
- ムラサキガイ幼生 1.5 ppm×20 時間 100% 死亡¹¹⁾
- マガキ稚貝 (付着後 2 週間)
 - 20 ppm×12 時間 致死
 - 20 ppm×24 時間 脱落¹³⁾
- マガキ幼生
 - 7 ppm×3 時間 致死
 - 5 ppm×3 時間 完全遊泳停止
 - 1 ppm×2.5 時間 不完全遊泳停止¹⁴⁾
- シロスジフジツボ成体
 - 7.5 ppm×2.5 時間 100% 生存⁹⁾
- シロスジフジツボ幼生

2.6 ppm×6 分 30 秒	}	100% 死亡 ⁹⁾
1.85 ppm×13 分		
0.6 ppm×3 時間		

以上のように幼生と成貝の塩素処理に対する抵抗力には大きな差があり、工業的に見てこれら貝類の成体には塩素処理の効果は期待できないといえる。稚貝に対してもマガキ稚貝の例に見るように付着後わずか 2 週間という短期間においても幼生にくらべていちじるしく抵抗力を増大している。従って効果的な方法としては幼生の出現期に集中的な塩素処理を行ない、その水路壁面への付着を防止することである。幼生に対する塩素処理の濃度は仙台火力発電所におけるプランクトン採取の観測によると、マガキ、フジツボ、セルプラなどの後期幼生を死滅させないまでも付着能力を失なわせるには復水器出口における残留塩素濃度を 0.2~0.5 ppm にすれば十分であるとされている⁹⁾。しかしながらこのような低濃度であっても、毎秒数 10 t の冷却水を取水する大容量発電所で数ヶ月におよぶ幼生の出現期中連続して塩素処理を行なうことは多額の費用を要する。従って連続注入期間の中間に適当な休止期間を設ける必要があり、この注入方式に二、三の問題を残している。例えば仙台火力発電所の調査結果⁹⁾によると、ここではマガキの付着が問題になっており、その幼生の出現期および付着時期は 7 月初旬~9 月下旬の夏季 3 カ月に限られている。塩素処理方式としては完成後の第 1 年 (昭和 34~35 年) の夏季には復水器出口における残留塩素濃度 0.6~0.8 ppm とし 3~4 時間おきに 30 分間注入という短周期注入を行なったが大量のマガキの付着を見た。この原因は注入方式、拡散方式に欠陥があったため、第 2 年の夏季には残留塩素濃度を 0.2~0.8 ppm とし注入時間を大巾

に延長し、1 週間を 1 サイクルとして 2 日ないし 3 日の連続注入を行ない、同時に注入装置を改良した上で、注入時における浮遊幼生の生態、および貝類の付着状況をそれぞれ水路各点におけるプランクトン採取および垂下パネルによって調査した。この結果は可成りの好成績を収め、幼生についてはほとんど付着能力を失なっていることが判明し、付着生物の実体に関しても塩素注入の影響を受けない取水庭のマガキ付着個数を 100 とした場合、復水器入口付近の付着個数は 3、前者の殻長が 50 mm を越えるのに後者はわずか 2 mm にしか達しないという結果を得た。この例に見るように幼生の出現期を把握し、この期間に適当な休止期間を持って長期連続注入を行なえば可成りの成果を期待し得ることがわかる。しかし前述の塩素に対する抵抗力の実験結果に示されているように付着後わずか 2 週間もたたぬ間にマガキの稚貝が塩素に対し強い抵抗力を持つようになることから考えて、休止期間の長さは十分慎重に検討しなければならない。一たん付着した幼生の付着後の時間と塩素抵抗力との関係はまだ明確に見出されてはいないが、前記シロスジフジツボ幼生の塩素に対する抵抗力に見られるように、高濃度なほど 100% 致死に必要な塩素消費量の少ないことに着目し、付着後ある期間はそれほど抵抗力を増大しないというようなことが明らかになればこの期間を休止期間とする高濃度短時間注入で効果をあげ得るかも知れない⁹⁾。これは、前述の低濃度長時間連続注入が付着前の浮遊幼生を対象としたものに対し、付着初期の幼生を対象とする処理方法と考えるが、いずれの方式によるにしても塩素濃度と注入方式は幼生の抵抗力と関連して今後に残された研究課題であろう。

塩素処理法に関連して放水路より海水中に放流される塩素の付近海域の公共水におよぼす影響が問題になる。九州電力相ノ浦発電所の塩素処理時における相ノ浦湾内の塩素濃度分布の調査結果⁴⁾によると、塩素注入によって明らかに湾内に塩素が検出されたが、その量はきわめて微量で、放水路末端で平均 1~1.5 ppm 程度の塩素濃度でも放水路より約 100 m の範囲を出れば 0.03 ppm 以下の濃度にしかならず、塩素注入量をさらに増加させた場合でもその影響は放水路末端には明瞭にあらわれるが放水路より 100 m 以上の範囲ではその差はほとんど見わけられなかった。このことは生物着生防止のため各時期に発生する幼生の種類に応じ注入塩素の濃度を適宜変化させる際にも濃度変化の影響は放水路から 100 m 以上はなれた海域ではあらわれないことを意味する。この理由は海水中にふくまれる NO₂⁻、NH₄⁺ そのほかの有機物が塩素を急速に消費するためと考えられる。

以上述べたように現在広く用いられている塩素処理法は一たん付着した成貝の除去にはほとんど効果はなく、

* 1 ppm は溶液 1 000 g 中に 1 mg (ミリグラム) の濃度

た付着生物の幼生時期にこれを処理するとしても相当多額の工費を要する上にその効果を疑問視されるような事例も認められる¹⁷⁾。従って塩素処理法にかわるものとして種々の化学的、物理的方法が検討されているので、以下に略述する。

(2) 塩素以外の化学薬品による処理法

付着生物を駆除するための塩素以外の化学薬品として、硫酸銅溶液、塩化第二銅溶液や各種農薬の溶液を使用することの検討が、濃度と抵抗性との関係の下に実験的に調べられているが^{12), 13)}、わが国の火力発電所における実施の例は見られず、なお研究の段階にあるものと思われる。

(3) 水路壁塗料塗布による付着防止法

現在広く実施されている塩素処理法は、いかに効果的に実施するにせよ可成り多額の経費を要することは否めない。そこで船舶などの面で研究が進んでいる船底塗料を水路壁に塗布して生物の付着を防止することが考えられる。これに関する実験は仙台火力の冷却水路で行なわれており、ビニレックスおよびモスキラーAを塗布した

テストパネルはマガキの付着の防止に完全な効果を見せていることが報告されている⁹⁾。また千葉火力の冷却水路では、全く毒性をふくまない合成樹脂を塗装したコンクリートブロックについて付着試験を行なった結果、ムラサキガイの付着が無処理のものに比していちじるしく減少した事実が報告されており¹³⁾、単に表面滑沢処理だけでも付着防止に可成りの効果が期待できることを示唆している。これらの研究はなお継続進行中の段階にあるが、各種塗料の効果、塗布量、効果の持続性や実施上の経済性などを究明すれば、あるいは期待のできる対策ということもできよう。

(4) 物理的処理方法

a) 電撃による処理方式 冷却水路内の海水中に直接電気を通じて水路内の付着生物を死滅させ、あるいはその浮遊期幼生を麻痺せしめ仮死の状態において水路内を通過させることの可能性は、魚類に対する電撃漁法から示唆される場所である。網に接近した魚類に低周波電撃を加えて仮死状態とし網の中へ導く魚獲法の研究は、これまでに多くの研究者によって基礎的研究が行なわ

表-2 火力発電所冷却水路清掃工事

会社名	発電所名	unit No.	出力 (kW)	冷却水路寸法		水路状況	清掃工事状況			
				断面 (m×m)	延長 (m)		頻度	排出量 (m ³)	工費	
北海道	砂川		35 000	8 000	5.6×2.5	5.6×2.5	河水使用のため清浄	年1回	200	90万円
京	八戸	#1		6 500×2台	2.8×2.6	570 m	ムラサキガイ、ユウレイボヤ、カキなど30 cm 厚さに付着	(予定)		140万円
		#2		5 580×2台						
北	仙台			22 000	3×3	370 m	カキ最も多く、ほかにセルプラホヤ、フサコケムシが付着		84	155万円
東	千葉	#1, 2	125 000	16 800	8.5×4.0	123 m	ムラサキガイ、ナギサコケムシ、ドロフツボなどが付着、側壁に厚さ 20~30 cm、底面 75 cm	年1回	1 080	390万円
		#3, 4	175 000	21 400						
	鶴見	#1	35 000	14 000						
	#2	66 000	16 000							
京	品川	#1	125 000	16 800						
	#2	〃	〃	〃						
中部	名港			66 000	3×3.3	576	側壁にカキが約 10 cm 厚に付着、底部には、へドロ、貝が 1 m に堆積		3 140	
関	姫路	#1, 2		10 500	3.2×3.2	895		3年に1回	2 300	915万円
		#3		11 100						
	尼崎第二	#1~5		12 000	3.0×2.5	160	人孔付近にカキ、イソギンチャク、厚 20 cm、暗さよ内イガイ 30 cm	3年に1回	610	511万円
				2.2×2.5	210					
西	大阪	#1		25 000						
		#2, 3		〃						
		#4		〃						
中	新字部			12 000	1.5 m φ	180	曲管内側にカキ付着、全体的にフジツボが散見されるが、実害はない	年1回	ほとんどない	5万円
				9 000						
国	小野田	#1, 2		8 400	1.5×1.8	180	カキ、ムラサキガイ、フジツボ、フサコケムシ、カンザシゴカイが付着	年1, 2回	10~30	17~29万円
		#3, 4		8 400						
西	西条			10 000	1.35 m	131	カキ、クダ虫少量付着のほかきわめて清浄	年1回	1 kg	なし
				10 000	1.35 m					
九	荻田			55 300	13 m ²	272	カキ、2 cm 厚に付着 泥土、20 cm 高に堆積		450	150万円
				21 100	11 m ²	98	生物付着は軽微			
州	大村			21 100	11 m ²	98				

れ、魚が感電、麻痺または致死を引き起こす電界の最低限界値あるいは有効な最小電力などが調べられている。

当面問題の貝類幼生に対してこの電撃処理方式が効果的であるかどうかについての研究報告⁷⁾がある。この研究の方法は、小型容器内の海水中に白金電極を立て、その中に貝類幼生の試料を入れて、双眼顕微鏡で72倍に拡大観測しながら交流電戦を加えて、その動態を調べたものである。その結果現在までのところ次の点が明らかにされている。

① ムラサキガイ幼生(受精後25日目のもの)に対する最低感電限界値は10°Cにおいて約10V/cmである。ここに感電とは幼生が遊泳を停止する(数秒後にはまた泳ぎ始める)場合を指す。

② マガキ幼生については、交流電圧に対して感電電圧はおおよそ5V/cmである。マガキ幼生はムラサキガイ幼生にくらべて個体が大きいためか、この感電電界の限界値ははるかに低い。

③ 致死限界値はまだ明確でない。

魚類に対する電戦作用の従来の研究によると、感電あ

るいは麻痺を引き起こす電界の最低限界値は魚の体長によっていちじるしく異なるが、一般的な電界内の単位距離における電位差 E (Volt/cm) と魚の吻端から尾端までの体長 L (cm) との積はほぼ一定であることが明らかにされている。この積を body-voltage とよび次式で与えられる。

$$E \times L = \text{body-voltage (一定)}$$

従って、同一の電界内では小型の魚ほど感電しにくいわけである。コイの感電電界は体長約3cmで0.48V/cm、body-voltageの値は1.4であるが、もしムラサキガイ幼生もコイと同じbody-voltageをもつものと仮定すれば、付着直前のムラサキガイ幼生の殻長を0.02cmとして、

$$E = 1.4 \div 0.02 = 70 \text{ V/cm}$$

と予想される。この値に対して、さきの実験から得られた感電電界は約1/7という結果となっている。

今後さらに精密な実験を行なって付着生物幼生の電戦による致死電界値を明らかにすれば、電流による幼生除去の具体的方策が見出されるであろう。しかし海水の電

な ら び に 塩 素 処 理 状 況 の 実 情 (文献13にもとづき作表)

塩 素 処 理 状 況						摘 要
注入時期	注入容量 (kg/h)	注入回数	注 入 時 間	注入量 (kg/日)	残留塩素 (ppm)	
毎 日	5	1回/日	30分	2.5	1.5 (*)	河水使用のため薬または菌類の繁殖防止のため復水器入口に注入すれば十分 (*) 復水器入口で2ppm
毎日5日ごとに	60~70 60~70	2回/日	間けつ1時間 8時間連続		0.2~0.4	
8~11月 12~3月 4月~	30~35 25~30 50~60	6回/日 4回/日 6回/日	30分 } (*) 30分 } 1時間 }		0.6~0.8 " "	(復水器出口) (*) 昭和34年度の実績である。昭和35年5月以降改良
(*1) 9~17時 (*2)	100 80	1回/日 3回/日	8時間連続 間けつ1時間	1120	0.3~0.5	(*1) ユニット側の水路、ほかに1日1回間けつ注入80kg/日 (*2) 上と反対側の水路
	100 100	1回/日 1回/日	2時間 "	200	0.18~0.3	(復水器出口)
	168 "	1回/日 "	4時間 "	672	0.3~0.5 "	
4~5月 常時	120×2 120×2	1回/日 2回/日	4時間 10分 間けつ 45分		0.7~1.0	注入点で4~5ppm (復水器入口) 復水器出口で0.2~0.3ppm
(冬期)	25 28	12回/日 12回/日	間けつ1時間 間けつ1時間		0.6~0.8 0.6~0.8	夏季には冷却水量が2倍となり、注入量も2倍とする。
	25	1回/日	1時間		0.15	
	50 50 50	5回/日 6回/日	間けつ3時間 間けつ2時間 連続		0.5 " "	
	36 30	1回/日 7回/日	1.5時間 } 1.5時間 } 間けつ		0.4	復水器入口で0.8ppm
	27 25	1回/日 1回/日	6時間 6時間			復水器入口で1.5ppm
常時 7~10月(*1)	10 15	1回/日 10日に1回	1時間 24時間連続		0.6 1.5 (*2)	(*1) 貝の繁殖期 (*2) 取水口における濃度
	60		連続		0.2	
3~10月 11~2月	14.8 9.0	6回/日 6回/日	間けつ50分 "		0.7 0.4	

気抵抗は淡水にくらべてはるかに低く、その約 1/1000 程度であるから、所要電圧を得るためには淡水の場合の 1000 倍もの電流が必要である。さらにまた水路は流れ速く巾広く距離も長く容量も大きいので、設備の上でこの方式の具体化には可成りの困難が予想される。

b) 超音波発振による処理方式 超音波を用いて船底付着生物を防除する実験も可成り行なわれているが、そのためには数 100 万 kc の強力な発振装置を必要とするので、施設の構造上ならびに経済上きわめて困難な点が多く、大きな期待はかけられない。付着生物の幼生に刺戟を与えて付着しにくいようにするためにはこれほどのサイクルも必要でないが、一たん生物が付着してしまえば超音波による刺戟の効果はほとんど期待できないようである。

c) 高温処理 温度処理による付着生物の防除に関しては 2, 3 の基礎実験が行なわれている^{11), 12), 14)}。その結果によれば、45~50°C の高温処理を行えば短時間で各種付着生物を致死脱着せしめることができる。この短時間高温処理の考え方はおもに水路壁に付着した生物を対象としたもので、浮遊中の幼生プランクトンを対象とするならばこれより低い温度でも死滅せしめることができる。しかしたとえ低温処理を行なうにしても、ばく大な取水量におよぶ冷却水の水温を上昇せしめる熱エネルギーの対策は設備ならびに経済上至難な問題を提起するし、運転中の冷却水の温度を高めること自体冷却効果に大きな支障をおよぼすことから、この処理方式の実現化には多くの検討の余地が残されている。

d) 海水のろ過による防除法 上水道における急速ろ過の方法ののっとして、取水口にマイクロストレーナーを設置して海水をろ過する防除法が考えられる。この場合のマイクロストレーナーの網目径は、各種付着生物の着生直前の浮遊期幼生の体長の調査結果¹⁵⁾から、およそ 200 μ にえらべば防除効果の上から妥当であると判断される。しかし何分にもばく大な使用水量であり、この中にふくまれる大量の浮遊生物による網目の閉そくを考えると、水頭損失の点でなお考慮の余地がある。

5. 火力発電所冷却水路清掃工事ならびに塩素処理状況の実情

電力 8 社の火力発電所について冷却水路清掃工事の実績ならびに塩素処理の現況を集約すれば、表-2 のようになる。この表は昭和 35 年 6 月の全国火力部長会議に提出された資料¹⁶⁾にもとづいて作表したもので、おおむね昭和 34 年度の実績と考えられる。この表を通観するに、清掃工事については、各発電所の規模、付着生物による被害の寡多によって排出量や工費に大きな相違があるが、おおむね年 1 回の定時点検時に清掃を実施している向きが多い。また塩素処理の状況も生物付着の実情に

応じてさまざまで、比較的付着生物の少ない発電所では 1 日 1 回 1 時間前後の注入ですましているが、付着生物のいちじるしい発電所では 1 日 1 回 4 時間ないし 8 時間の長時間連続注入か、あるいは 1 日 6 回ないし 12 回各回 1 時間前後の短時間間けつ注入かの方式をとっている。注入塩素量は、復水器出口における残留塩素濃度 0.6 ppm 程度を目標としているのが一般のようである。

参考文献

- 1) 中西 孝・渡辺晴美：「冷却用海水の塩素処理に関する研究」,九州電力研究期報,第6巻(昭和30年下期)
- 2) 三宅貞祥・ほか4氏：「海水の塩素滅菌による微生物および魚貝類に対する影響の研究,第1報,汚損付着生物の種類」,九州電力総合研究所研究期報,第7巻(昭和32年4月)
- 3) 三宅貞祥・ほか4氏：「同上,第2報,塩素に対する付着物の抵抗力」,九州電力総合研究所研究期報,第7巻(昭和32年4月)
- 4) 西村 博・ほか6氏：「同上,第3報,廃水塩素の公共水に及ぼす影響」,九州電力総合研究所研究期報,第8巻(昭和32年12月)
- 5) 西村 博・ほか6氏：「同上,第4報,沿岸生物に及ぼす廃水塩素の影響」,九州電力総合研究所編(騰写印刷)(昭和33年1月)
- 6) 三宅貞祥・ほか3氏：「同上,第5報,汚損付着生物の繁殖期について」,九州電力総合研究所研究期報,第9巻(昭和33年6月)
- 7) 竹下伊佐雄・ほか3氏：「同上,第6報,ムラサキガイおよびカキ仔虫に対する電載試験」,九州電力総合研究所研究期報,第12巻(昭和34年9月)
- 8) 三宅貞祥・澄川精吾：「同上,第7報,九州北部におけるムラサキガイの産卵期」,九州電力総合研究所研究期報,第12巻(昭和34年9月)
- 9) 東北電力仙台火力発電所：「冷却水路中の付着生物の防除に関する調査(中間報告)」, (昭和36年5月)
- 10) 東北電力八戸火力発電所：「ムラサキガイの塩素抵抗性について」(昭和36年5月)
- 11) 関西電力多奈川発電所：「多奈川発電所復水器冷却水路貝類付着防止の研究」, (昭和36年5月)以上9~11は第15回化学技術会議提出資料
- 12) 東京電力技術研究所火力研究室：「冷却水路障害生物除去の研究(中間報告)」, (昭和35年11月)
- 13) 山崎正男・ほか3氏：「火力発電所水路障害生物除去の研究について(その1)」,東京電力技研所報,創刊号(昭和36年11月)
- 14) 久保伊津男・増沢 寿：「同上(その2)フサコケムシ,ムラサキガイの抵抗性に関する試験ならびに各火力発電所および火力建設所における生物付着状況について」,東京電力技研所報,創刊号(昭和36年11月)
- 15) 大島泰雄・ほか3氏：「同上(その3)付着汚染生物防除に関する研究について」,東京電力技研所報,創刊号(昭和11年6月)
- 16) 「火力発電所冷却水路付着生物とその処理対策について」,電研業務資料,土木61002,(昭和36年8月)
- 17) 馬渡静夫：「火力発電所取水路の海産生物による障害と対策」,用水と廃水,Vol.3, No.11(昭和36年11月)
- 18) 「火力発電所取水路の清浄について」,第8回全国火力部長会議資料,(昭和35年6月)

〔筆者：千秋・正員 工博 電力中央研究所〕
安芸・正員 電力中央研究所

(原稿受付：1962.1.10)