

6 - 1 お台場海浜公園における海域浄化実験

計画調整部技術開発課

曾根 啓一

〃

森田 健史

環境局自然環境部水環境課

渡部 健一

1 はじめに

臨海副都心の入口部に位置するお台場海浜公園は、都内で数少ない砂浜のある景観の優れた水辺空間として開発が進められ、最近では年間 160 万人もの来訪者のある観光スポットとなっている。水辺では家族連れで賑わい、ボードセーリングなどの水上スポーツも盛んである。

しかしながら、降雨後のお台場海浜公園には、ゴミやオイルボールが漂着することがマスコミに大きく取り上げられ、水質的にも安心して水遊びできる状態にはなっていない。

東京都は平成 14 年度の重要施策の一つに「東京湾の水質改善」を掲げ、これの具体的施策として、お台場海浜公園を安心して水遊びのできる水辺空間にすることを目標に、海域浄化に係る環境局・港湾局・下水道局の三局連携のもとに実験を開始した。

今回、海域浄化実験を開始するにあたり、実験の概要と平成 14 年度に海水の浄化方式を決定するために行った基礎調査の結果について報告する。

1.1 お台場海浜公園の歴史経過

江戸幕府は 1853 年のペリー来航を契機に、江戸を防衛するため、品川沖の海中に 7 基の砲台（台場）を築いた。完成したのは 5 基であったが、その後、航路を確保するための撤去や埋立が進み、現存するのは第三台場と第六台場のみとなっている。（図 1）

この第三、第六台場は大正 15 年に「史跡品川台場」として国の史跡に指定され、昭和 3 年、第三台場は公園として開園され、その後埋立地造成により陸続きとなった。

第三台場の東南側海域は昭和 50 年代まで貯木場として使用されていたが（図 2）、公園整備が進む中で貯木場は廃止され、昭和 60 年、水域部を拡張して開園した。そのころからウインドサーフィンの利用者が多くなった。

平成 2 年、臨海部副都心計画に伴った、新時代にふさわしい公園として再整備に着手し、白砂の投入などの養浜工事が行われ、無人状態だった埋め立て地が現在では、周辺に近代的なホテル、TV 局、ショッピングセンター、住宅棟が林立するとともに、都心とレインボーブリッジで結ばれ、都心に近

図 1 江戸防備の品川台場：明治 25 年

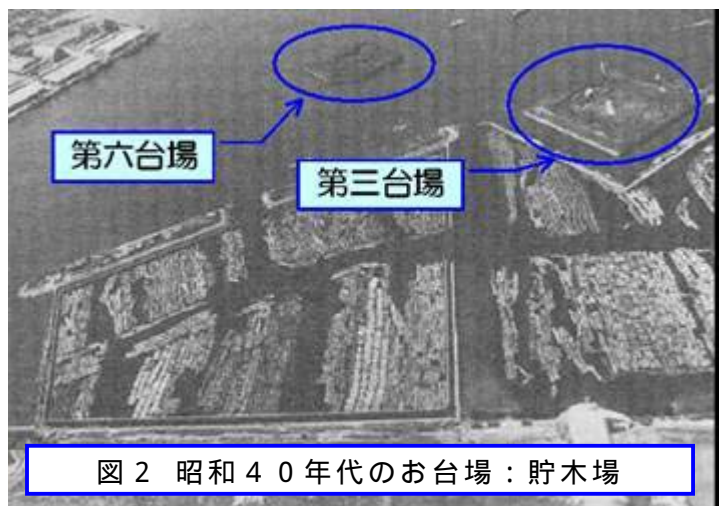
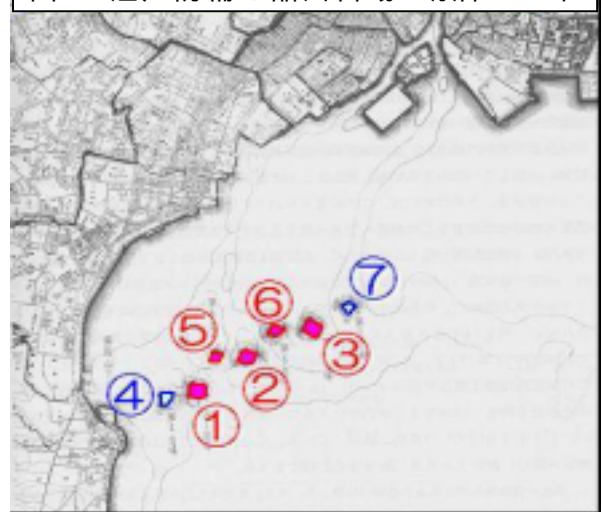


図 2 昭和 40 年代のお台場：貯木場

く便利で優れた景観を呈している。

1.2 オイルボール問題の顕在化

雨が降った後のお台場海浜公園へのゴミやオイルボールの漂着(図3)は、平成12年9月以降、マスコミで大きく取り上げられ、その組成が下水管に付着している油分とほぼ同一であることから、長年潜在化していた合流式下水道の雨天時越流水の課題が明らかになった。これに対して当局は平成13年3月に「合流改善クイックプラン」を策定し、優先度の高い地区を重点に、合流改善の取り組みを進める一方、「油断・快適・下水道！～下水道に油を流さないで～」キャンペーンを展開して油を下水道に流さないよう、都民の協力を求めている。



図3 お台場海浜公園に漂着した
ゴミ、オイルボール

お台場に漂着するオイルボールは、すべての降雨後に漂着するとは限らず、管渠内での白色固形物の生成状態、水温、風向き、潮汐等複雑な要因が関係している。

このようにお台場は、目下、東京の水環境の象徴的スポットである一方、水質調査の結果からは白色固形物以外にも、降雨後にはゴミやふん便性大腸菌群数などが急増して、安心して水遊びができる水質になっていない。

1.3 平成14年度東京都の重要政策

東京都は平成14年度から、予算編成の新たな仕組みとして予算査定に先立ち、重点的に実施すべき優先度の高い施策を「重要施策」として選定し、限りある予算や人員等を措置することにした。

この重要施策の新規推進プロジェクトの中に、「東京湾の水質改善」が掲げられ、合流式下水道などがもたらす東京湾の水質汚濁を改善し、都民が水と親しめる環境づくりを推進していくため、これまで白色固形物(油の固まり)などの流出があったお台場海浜公園の水質浄化に向けた調査を実施するとしている。

これを受けて、平成14年11月、海域浄化に係る環境局、港湾局、下水道局は覚書を取り交わし、三局連携して海域浄化に取り組むことにした。

三局覚書の概要

- ・安心して遊ぶことのできる水辺空間を創出するため、お台場海浜公園に清浄海水を導水する実験を行う。
- ・有明処理場内に海水浄化プラントを設置し、有明西運河から取水した海水を浄化して、海浜公園に放流し、海域浄化の効果、海水浄化の技術的課題、海水の放流に伴う生態系への影響、下水高度処理水の活用等について検討する。
- ・実験の実施方法は、三局と民間会社による共同実験とする。
- ・海水浄化プラントの設置及び撤去にかかる費用は下水道局が負担し、実験の実施にかかる残余の費用は、環境局、港湾局及び、共同実験に参加する民間会社が負担する。
- ・実験の効果の確認、浄化の目標値の設定、海浜公園に対する影響の評価のため、学識経

験者と三局職員による検討委員会を設置する。

- ・実験期間は平成 14 年度から平成 17 年度までとし、海水浄化プラントの稼動開始時期は平成 15 年 7 月とする。

1.4 水浴基準と浄化目標水質

今回は平成 17 年度までの海域浄化実験としての位置付けなので、浄化エリアは従来どおり遊泳禁止の扱いとする。しかし、安心して水遊びできる水質にするため、浄化エリアの浄化目標水質は、環境省の水浴判定基準を参考に、表 1 の太枠内に示す、ふん便性大腸菌群数 100 個/100mL 以下、COD5mg/L 以下、油膜は認められない、透明度 1 m 以上とすることにした。

表 1 水浴場の水質判定基準と浄化目標値（太枠内）

区分		ふん便性大腸菌群数	油膜の有無	COD	透明度
適	水質 AA	不検出 (検出限界 2 個/100mL)	油膜が認められない	2 mg/L 以下	全透 (水深 1m 以上)
	水質 A	100 個/100mL 以下	油膜が認められない	2 mg/L 以下	全透 (水深 1m 以上)
可	水質 B	400 個/100mL 以下	常時は油膜が認められない	5 mg/L 以下	水深 1m 未満 ~ 50 c m 以上
	水質 C	1,000 個/100mL 以下	常時は油膜が認められない	8 mg/L 以下	水深 1m 未満 ~ 50 c m 以上
不適		1,000 個/100mL を超えるもの	常時油膜が認められる	8 mg/L 超	50 c m 未満

(水浴場水質判定基準：平成 9 年 4 月環水管第 115 号)

2 平成 14 年度の調査内容

2.1 水域の水質実態調査

お台場海浜公園は東京湾奥部、隅田川の河口に面して開口部が 3 ケ所あり、雨天時には汚濁物が流入し易い配置になっている。

図 4 に示すように、この水域の水質の実態を把握するため、浄化する海水を取水する有明西運河 A 地点と放流先であるお台場海浜公園内 K1、K2 地点において平成 14 年 6 月～9 月末までの毎週月、木曜日の 2 回、水質の実態調査を実施した。

併せて、有明西運河への有明処理場放流水の影響範囲を調査し、放流水の影響のない地点から取水することにした。



図 4 水質調査地点

2.2 海水浄化方法の検討

海水の浄化はSSやCODなどの汚濁物質を除去するろ過方式として、下降流の急速ろ過と生物膜ろ過方式の両方を検討することにした。

大腸菌の滅菌は放流先の生態系に出来るだけ影響を与えないように紫外線消毒を採用して検討した。海水の取水にあたって、取水口のゴミやクラゲ対策と配管や設備内への藻類や貝類の付着防止策も検討した。

海水浄化の実験プラントは有明処理場の敷地内に設置し、有明西運河から海水を取り、実験に供した。海水浄化実験プラントの全景を図5に、実験プラントフローを図6に示す。



図5 海水浄化実験プラント

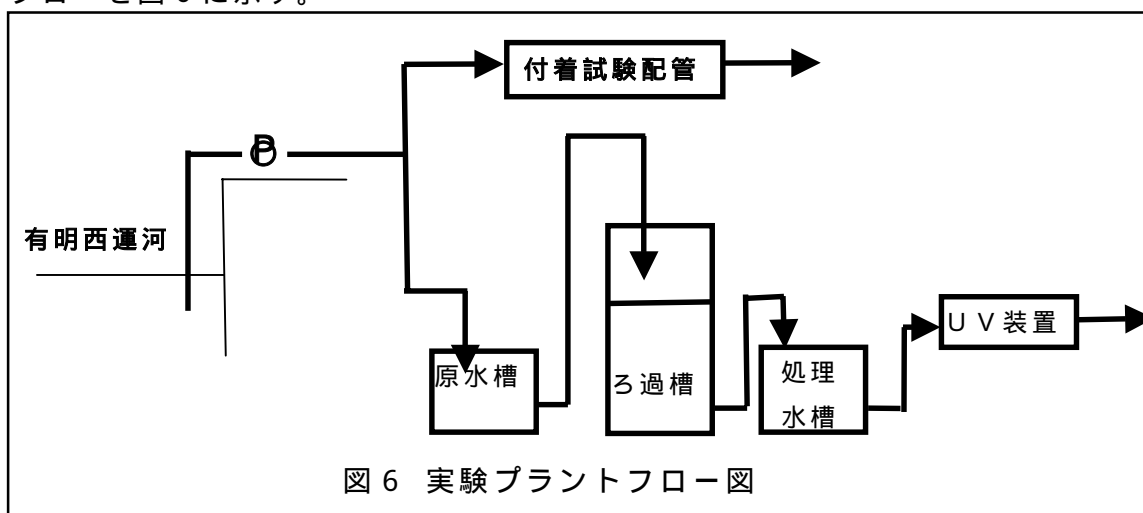


図6 実験プラントフロー図

3 水質調査結果

3.1.1 有明西運河及びお台場海浜公園の水質状況

表2及び表3に、14年度7月～9月の3ヶ月の調査期間中における水質の状況をまとめて示した。

(1) 有明西運河における水質状況

気象状況についてみると、気温は最高34.7、最低19.0、平均28.9であった。それにもない、水温は最高29.6、最低21.5、平均26.1であった。また、後述のように調査期間中には多いときには115mmの降雨があった。

透明度は、0.6～2.9mの範囲、平均1.5mであった。

水質についてみると、概して上層の水質が、下層の水質より高い傾向があった。上層についてみると、SSは2～16mg/Lの範囲、平均7mg/L、濁度は1.6～14.4度の範囲、平均5.9度、pHは7.4～8.8の範囲、クロロフィルaは2.8～95μg/Lの範囲、平均34μg/L、CODは2.6～6.7mg/Lの範囲、平均5.1mg/Lであった。CODの内、溶解性COD(S-COD)

は平均 4.4mg/L あり、平均的には S - COD が 86% 程度を占めていた。

一方、大腸菌群数は、変動範囲が大きく 49～79000 個/100mL の範囲を示している。また、糞便性大腸菌群数は、8～18000 個/100mL の範囲で変動していた。

参考として、海水浴場の水質の判定基準（環境省、平成 9 年 3 月）と比較すると、透明度は全期間を通して水浴可 B、C の領域、COD は、水浴可 B の範囲と C の範囲であったが、糞便性大腸菌群数は、1000 個/100mL 以上となる場合がみられ、不適の領域に該当する場合があることが確認された。

表 2 有明西運河における水質調査結果

項目	単位	上 層			下 層		
		最大	最小	平均	最大	最小	平均
気温		34.7	19.0	28.9			
水深	m	6.2	2.0	5.1			
透明度	m	2.9	0.6	1.5			
水温		29.6	21.5	26.1	29.1	20.9	25.3
pH		8.8	7.4	8.1	8.4	7.5	7.9
電気伝導率	ms/m	4050	1600	3020	4410	2110	3570
透視度	cm	100	11	57	100	20	69
SS	mg/L	16	2	7	12	1	4
CODMn	mg/L	6.7	2.6	5.1	5.4	2.2	3.9
S - CODMn	mg/L	5.6	2.3	4.4	4.8	1.9	3.5
DO	mg/L	15.0	2.1	7.6	8.0	1.0	3.8
クロロフィル a	μg/L	95.0	2.8	33.7	45.0	1.2	14.8
濁度	度	14.4	1.6	5.9	9.6	1.0	3.4
大腸菌群数	MPN/100mL	79000	49	10500	49000	79	4700
糞便性大腸 菌群数	個/100mL	18000	8	1300	20000	6	1000

(2) お台場海浜公園内水域における水質状況

気象状況についてみると、気温は最高 32.8 、最低 19.4 、平均 28.1 であった。水温は最高 29.1 、最低 21.0 、平均 26.3 と有明西運河とほぼ同等であった。

透明度は、0.7～2.4m の範囲、平均 1.5m であった。

水質についてみると、概して上層の水質が下層の水質より高い傾向があった。上層についてみると、SS は 2～21mg/L の範囲、平均 7mg/L、濁度は 1.5～16.2 度の範囲、平均 5.8 度、pH は 7.4～8.9 の範囲、クロロフィル a は 1.2～81μg/L の範囲、平均 27μg/L、COD は 2.9～7.8mg/L の範囲、平均 5.1mg/L であった。

一方、大腸菌群数は、変動範囲が大きく 23～79000 個/100mL の範囲を示している。また、糞便性大腸菌群数は、2～24000 個/100mL の範囲で変動していた。

同様に、海水浴場の水質の判定基準と比較すると、透明度は全期間を通して水浴可 B、C の領域、COD は、水浴可 B の領域と C の領域が混在する状況であったが、糞便性大腸菌群数は、1000 個/100mL 以上となる場合がみられ、不適の領域に該当する場合があることが確認された。

基本的には、両地点の水質の状況はほぼ同じレベルであった。

表 3 お台場海浜公園内における水質調査結果

項目	単位	上 層			下 層		
		最大	最小	平均	最大	最小	平均
気温		32.8	19.4	28.1			
水深	m	5.2	3.0	4.4			
透明度	m	2.4	0.7	1.5			
水温		29.1	21	26.3	28.1	20.5	25.3
pH		8.9	7.4	8.2	8.7	7.5	8.0
電気伝導率	ms/m	3800	1290	2840	4070	1810	3290
透視度	cm	100	10	59	100	20	66
SS	mg/L	21	2	7	13	1	5
CODMn	mg/L	7.8	2.9	5.1	5.5	2.5	4.2
S-CODMn	mg/L	5.8	2.4	4.4	5.0	1.8	3.7
DO	mg/L	17.0	2.3	8.1	13.0	1.0	5.3
クロロフィルa	μg/L	81.0	1.2	27.2	45.0	1.0	17.4
濁度	度	16.2	1.5	5.8	9.8	1.0	4.0
一般細菌	個/mL	2600	620	1680	1270	370	900
大腸菌群数	MPN/100mL	79000	23	13000	24000	13	3400
糞便性大腸菌群数	個/100mL	24000	2	1790	14000	1	770

3.1.2 大腸菌、COD の経日変化

平成 14 年夏期のお台場海浜公園のふん便性大腸菌群数の経時変化を図 7 に、COD の経時変化を図 8 に示す。

ふん便性大腸菌群数は雨の影響を敏感に受けており、降雨直後に数万個/100ml まで上昇するが、晴天時が続くと指数的に減少して数十個/100ml 以下になるパターンを繰り返している。

COD は降雨の影響はそれほど受けていないようである。しかし、夏期には 5 mg/L を越え、時には 8 mg/L 程度まで

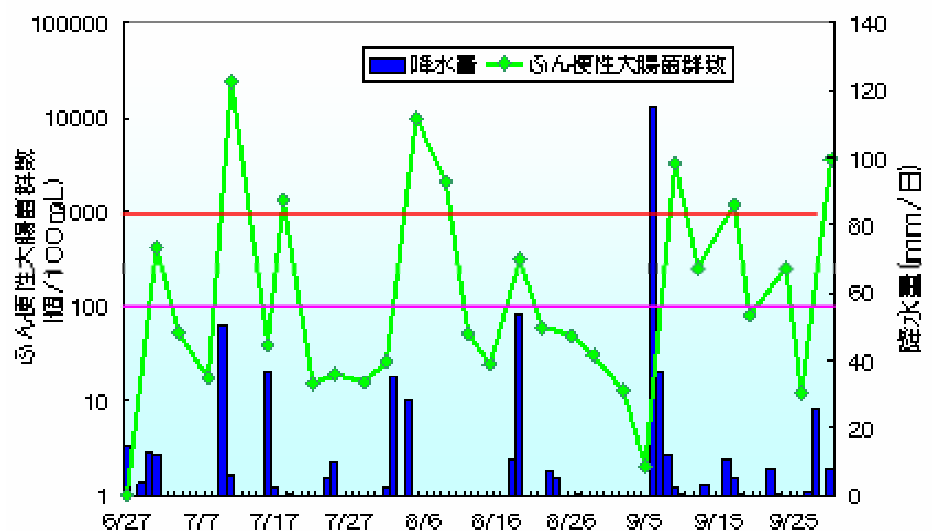


図 7 お台場海浜公園ふん便性大腸菌群数
経日変化

上昇している。これは、東京湾奥部の富栄養化状態により、春から夏にかけて慢性的に赤潮が発生していることを反映している。CODはその後の調査で、秋から冬にかけて3 mg/L 以下まで減少している。

有明西運河の水質はお台場海浜公園の水質と同じ傾向を示していた。

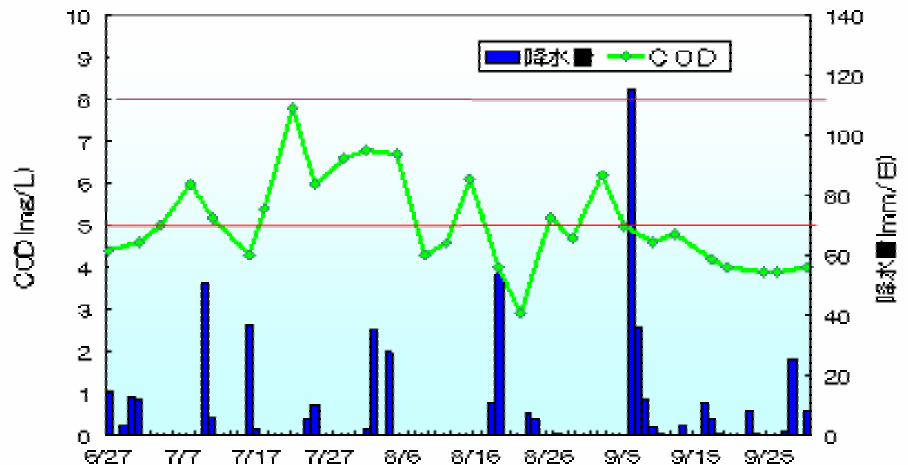


図8 お台場海浜公園 COD 経日変化

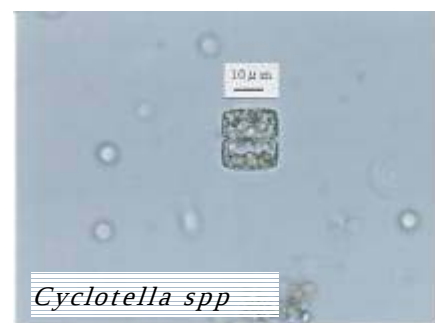
3.2 赤潮の発生状況

赤潮の原因となる植物プランクトンの調査を7、8、9月の各月1回、有明西運河とお台場海浜公園で実施した。

いずれの月も植物プランクトンの種類相、数は豊富に出現しており、両地点の海水は鈍い紅色を呈し、赤潮が発生している状態であった。珪藻の *Skeletonema costatum*、*Thalassiosira* spp.、*Cyclotella* spp.、緑藻のクラミドモナス科、クリプト藻類、渦鞭毛藻類が特に優先して出現していた。

これらの優先出現種はいずれも細胞長さ 10 μm 程度の大きさで、海水の浄化にこれらの植物プランクトンを補足・除去する機能が要求される。

7月の調査時には淡水産の種として藍藻の *Anabaena* sp.、珪藻の *Melosira varians*、*Melosira granulate*、*Synedra* sp. が出現していた。これらは前日の降雨により周辺河川から流入しているものと推察された。



3.3 取水地点の検討

海水を有明西運河から取水するにあたって、有明処理場放流水の影響しない取水地点を決定するために、放流水の影響する範囲を調査した。

調査は図9に示すように放流口から同心円状に10m、15mの各地点の水温、電気伝導率 EC を測定した。その結果を表4に示す。

放流口直下の地点1と放流口から10m離れた放流口線上の地点2の表層部が放流

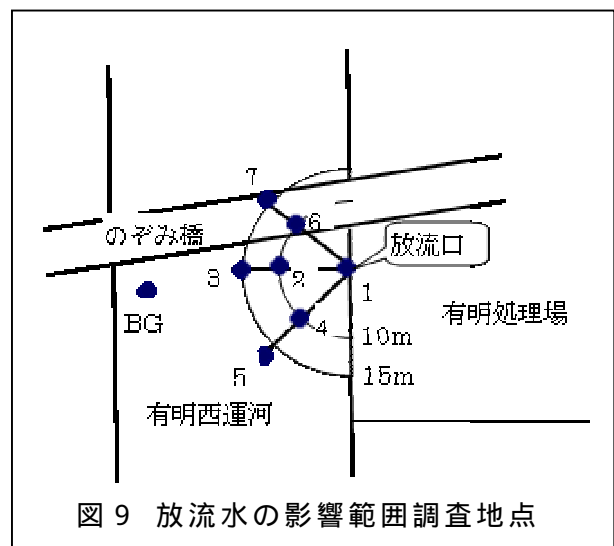


図9 放流水の影響範囲調査地点

水の影響を受けている。

その他の地点では夏期、冬期とも放流口から遠く離れたバックグラウンド地点と同じ水温、ECを示した。

この結果から、放流水は運河に出るとまたたく間に拡散、希釈されることを確認し、放流口から15m以上離れた護岸から取水すれば放流水の影響を受けないことが判明した。

表4 放流水の影響範囲の確認調査結果

点		平成14年8月9日			平成14年2月27日		
		水深 (m)	水温 ()	EC (ms/m)	水深 (m)	水温 ()	EC (ms/m)
1	表層		29.1	1,520		14.5	3,090
	下層	0.7	28.8	2,300	1.4	12.2	4,200
2	表層		28.2	2,920		13.0	3,780
	下層	3.9	28.1	2,950	5.0	11.9	4,420
3	表層		28.3	2,940		11.8	4,320
	下層	4.7	28.0	3,000	5.2	11.8	4,450
4	表層		28.2	2,940		11.8	4,250
	下層	3.6	27.8	3,010	1.8	12.0	4,280
5	表層		28.6	2,910		11.9	4,320
	下層	3.1	28.4	2,950	4.3	12.9	4,420
6	表層		28.2	2,910		11.8	4,310
	下層	2.3	28.1	2,880	2.5	11.8	4,350
7	表層		28.1	2,950		12.0	4,250
	下層	4.7	27.9	3,020	5.2	11.9	4,460
BG	表層		28.4	2,910		11.4	4,330
	下層	8.6	24.0	4,140		11.8	4,840

ハッチングは他の箇所と比較して電気伝導率が低い箇所

4 海水浄化方法の検討

4.1 ろ過方法の比較調査結果

汚濁物質を除去するろ過方式としては、ろ材としてアンスラサイトを用い、下向流の急速ろ過法と生物膜ろ過法の両方を検討した。ろ過速度は急速ろ過法で200、3000m/日の2条件、生物膜ろ過法は200,300,420m/日の3条件で実施した。表5に急速ろ過法の、表6に生物膜ろ過法の除去効果を示す。

表5 急速ろ過法の除去効果

ろ過速度 (m/日)	SS (mg/L)			COD (mg/L)			大腸菌群数 (MPN/100mL)			ふん便性大腸菌群数 (CFU/100mL)		
	原水	ろ過水	除去率	原水	ろ過水	除去率	原水	ろ過水	除去率	原水	ろ過水	除去率
200	7.8	1.0	87.2	3.4	2.2	35.3	5,700	1,500	73.7	3,100	470	84.8
300	3.9	0.7	82.1	2.7	1.8	33.4	42,200	11,000	73.9	23,000	16,000	30.4

表 6 生物膜ろ過法の除去効果

ろ過速度 (m/日)	SS (mg/L)			COD (mg/L)			大腸菌群数 (MPN/100mL)			ふん便性大腸菌群数 (CFU/100mL)		
	原水	ろ過水	除去率	原水	ろ過水	除去率	原水	ろ過水	除去率	原水	ろ過水	除去率
200	6.2	1.5	75.8	2.8	2.5	10.7	5,200	1,000	80.8	2,600	680	73.8
300	5.3	1.6	69.2	3.3	2.2	33.4	107,000	11,600	89.2	53,300	22,400	58.0
420	2.5	1.1	56.0	2.7	1.9	29.6	2,500	330	86.8	860	230	73.3

ろ過実験は9月から10月にかけて原水水質が良くなる時期に実施した。

SSの除去率は砂ろ過法で85%程度、生物膜ろ過法は60～75%程度で急速ろ過法が若干優れていた。CODは両ろ過法とも30%程度であった。大腸菌群数、ふん便性大腸菌群数の除去率を比較すると、砂ろ過法で75～85%程度、生物膜ろ過法は75～90%程度で生物膜ろ過法の方が若干優れていた。

運転条件で比較すると生物膜ろ過法の方が高いろ過速度で運転でき、施設のコンパクト化が量れる。また、逆洗頻度も少ないことが明らかとなった。

総合的に見て生物膜ろ過法が優れている判断された。

4.2.1 紫外線消毒実験結果

紫外線消毒実験は、合流式下水道越流水の海域への影響を想定し、海水に下水を添加してふん便性大腸菌群数 100,000 個/100mL 以上に調整した原水について紫外線照射実験を行った。

図10に紫外線照射量とふん便性大腸菌群の減衰結果を示す。これから、紫外線照射量 20～30mW・s/cm² でふん便性大腸菌群数が 100 個/100mL 以下まで減少することを確認できた。なお、実験時の UV 透過率は 85～95% であった。

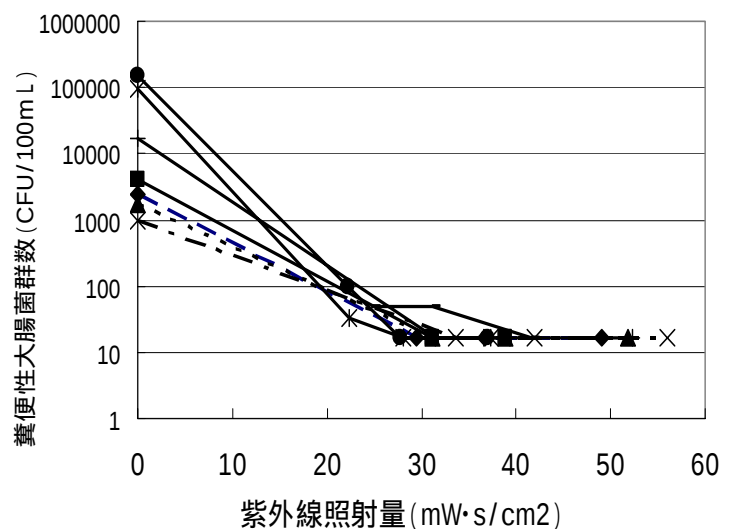


図 10 紫外線照射による消毒効果

4.2.2 光回復実験

次に紫外線消毒した海水をシャーレに分取して太陽光のもとに放置し、紫外線照射後の大腸菌の光回復性について試験を行なった。その結果を表7に示す。大腸菌群数は1～2時間後に増加の傾向を示したが、ふん便性大腸菌群数については光回復の傾向は認められなかった。

今回の浄化実験では紫外線消毒の基礎実験結果を基に、プラントの設置規模や維持管理性を考慮して中圧ランプ方式を採用することにした。

表 7 大腸菌の光回復実験結果

照射線量 (mw/scm ²)	大腸菌群 (MPN/100mL)			
	原水	消毒 水	1 時間 後	2 時間 後
38.8	2,300	3.6	23	23
31.1	2,300	3.6	7.4	15
31.2	110,000	43	93	210
25.0	110,000	240	240	270
	ふん便性大腸菌群(CFU/100mL)			
38.8	4,000	< 17	< 17	< 17
31.1	4,000	< 17	< 17	< 17
31.2	23,000	50	< 17	< 17
25.0	23,000	50	< 17	< 17

4.2.3 配管への付着防止対策

海水を取水にあたっては、ゴミやクラゲ対策の必要性もさることながら、配管への貝類やスライム付着防止対策も検討する必要があると思われた。そのため、各種配管に海水を通水し、配管材質、管内流速、塩素の有無について付着状況の調査を行なった。塩素の注入は連続で残留塩素として 0.2mg/L になるように注入した。

表 8 に示すとおり、塩素を添加しない場合には配管の材質にかかわらず、貝やスライムが付着しており、流速が速くなりにつれ、付着物質が減少する傾向を示している。塩素を連続注入した場合には付着物質は全く認められなかった。図 1 1、図 1 2 は塩素添加の有無による配管内の貝類や藻類の付着状態を示した。この写真は海水連続通水 74 日経過後の状態である。

表 8 配管内の全蒸発乾燥重量 (単位 g)

	材質	流速		
		1.2m/s	1.8m/s	3.0m/s
塩素 無注入	ポリエチレン	3.72	5.47	2.00
	FRP	5.09	6.98	1.50
	ナイロン	6.23	4.26	2.11
塩素 連続注入	ポリエチレン	付着は認められず		
	FRP			
	ナイロン			

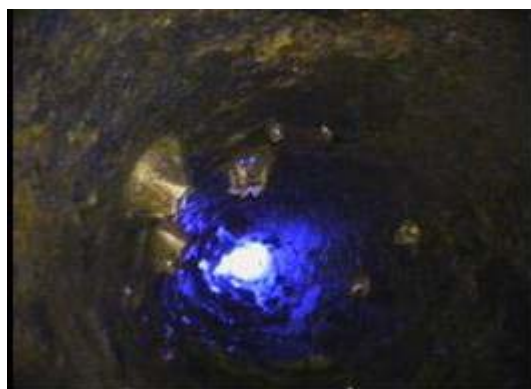


図 1 1 塩素無添加の付着状況



図 1 2 塩素連続添加の付着状況

5 海域浄化実験施設の建設

海域浄化実験を開始するにあたり、海水浄化は当局にとって初めての試みであり、浄化プラントや送水配管の仕様、浄化エリアの面積、浄化海水の放流方法、外海との仕切り方法等の課題を検討しながら平成 15 年 4 月から建設に着手した。

5.1 海域浄化実験フレーム

- 浄化方法 : ろ過 + 紫外線消毒
- 浄化水量 : 5,000 ~ 7,500m³/日
- 送水配管 : 径 250mm、ポリエチレンライニング鋼管
総延長 : 約 1 km

浄化エリア：お台場海浜公園北東コーナー

二重のオイルフェンスによる仕切り

- ・水際線 200m
- ・沖合 20～70m
- ・面積約 7,000m²
- ・対象水量約 10,000m³

調査項目：・海域浄化の効果
・海水浄化に関する技術的検討
・放流にともなう生態系への影響
・下水高度処理水活用の可能性

5.2 実験施設の概要図

図13～図16に海域浄化実験の施設概要図を示す。



図13 海域浄化実験全体配置

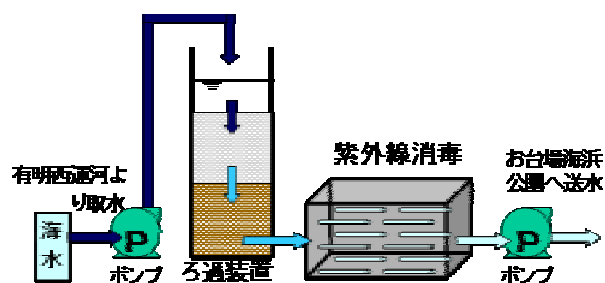


図14 海水浄化プラントフロー図

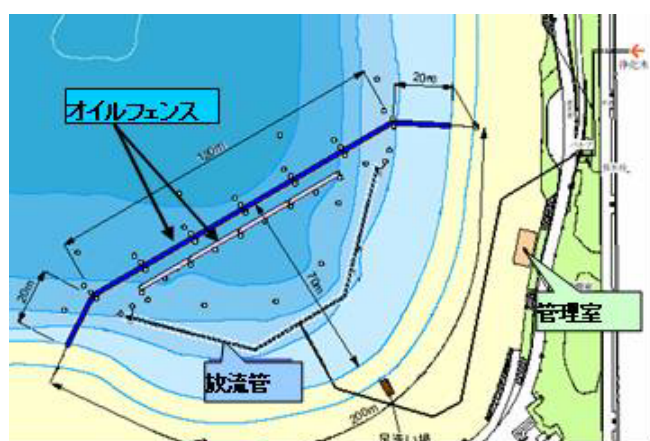


図15 浄化エリア配置図

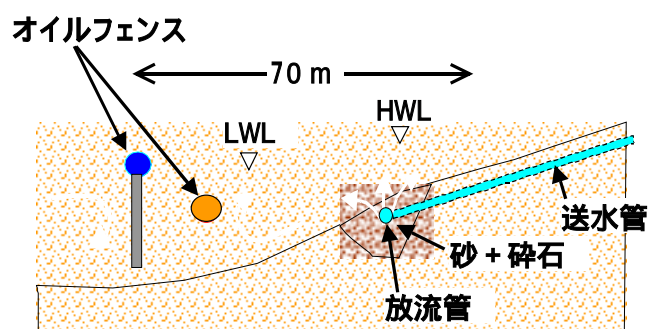


図16 オイルフェンス仕切断面図

6 今後の進め方

お台場海浜公園の海域浄化実験は平成17年度までの3カ年を実験期間として予定している。その間、海域の浄化効果を評価するとともに、実際に来訪した方々の意見を聞き、安心して水遊びできる水辺空間の創造・拡大を図る予定である。