

諫早湾干拓中央遊水池での汚濁負荷削減等試験結果(2010年度)

川口 勉、横瀬 健、八並 誠

Study for alleviation of water Pollution in Flood Prevention Reservoir of Land Reclamation in Isahaya Bay

Tsutomu KAWAGUCHI, Takeshi YOKOSE and Makoto YATSUNAMI

Key words: Isahaya Bay detention pond, land reclamation, water purification

キーワード: 諫早湾干拓、調整池、水質浄化

はじめに

諫早湾干拓調整池への水質汚濁負荷削減に向けた適用手法の一環として、調整池に排出される遊水池において、平成 20, 21 年度に各種手法を用いた水質浄化試験を実施したが^{1)~4)}、平成 22 年度も昨年度に引き続き、遊水池水への適用可能性を評価するため、植物やオゾンを利用した試験を実施したので、その結果について報告する。

研究内容及び調査方法

1 植物による浄化試験

(1) 材料

供試植物としては、平成 20, 21 年度に実施した遊水池での植物育成状況を考慮し、表 1 のとおり選定した。

なお、ソルガム、ローズグラス及びイタリアンライグラスは種から栽培したポット苗、さつまいもはいもづるから栽培したポット苗、これら以外の植物は市販のポット苗を使用し、栽培容器に入れたボラ土に植え込む形で固定した。

(2) 試験条件

(i) 予備試験(陸上での栽培試験)

夏季の栽培植物については、水道水及び遊水池水を貯留した容器内での栽培試験を行い、あらかじめ水耕栽培における育成状況について調査した。なお、予備試験における植物の水位設定については、浮葉植物は葉が水面に浮く高さとし、抽水植物及び飼料植物は土壌下層部において根が水に浸るように調整した。

(ii) 遊水池内での水耕栽培試験

遊水池内での栽培については、平成 21 年度と同様、水面に浮かべたパイプイカダに栽培容器を設置することにより実施した。

浮葉植物については葉が水面に浮く高さ、抽水植物、イタリアンライグラス及びその他の飼料植物については、土表面の高さが、水面からそれぞれ 15、20、30cm 程度上部となるように栽培容器の設置位置を調整した。

表 1 供試植物

区分	実施時期		
	冬季	夏季	秋季
浮葉植物		アサザ、ウォーターポピー	
抽水・湿性植物		シュロガヤツリ	ヒマガマ、マコモ、フトイ、ブルーイグサ、ミソハギ
飼料植物	イタリアンライグラス	ソルガム、さつまいも、ローズグラス	
海浜植物			ハマアザミ、ツワブキ、ハマナデシコ

(3) 栽培時期

冬季については、平成 22 年 1 月 20 日から 5 月 6 日まで遊水池内水耕栽培を実施した。

夏季については、水道水を使用した陸上での栽培を 1 ヶ月間行った後、8 月 6 日から遊水池水を使用した陸上での栽培を開始し、その後、8 月 17 日から 9 月 9 日まで遊水池内水耕栽培を実施した。

秋季については、平成 22 年 9 月 24 日から 12 月 20 日まで遊水池内水耕栽培を実施した。

(4) 調査方法

(i) 植物栽培試験

栽培期間における植物の成育度について、背丈や葉数等の推移により、遊水池における水耕栽培への適性を評価した。

(ii) 植物による水質浄化能確認試験

水質調査(冬季)

水槽に遊水池水を約 1.1 m³ 入れ、この水槽内で植物栽培を実施することによる水質浄化効果を調査した。

調査期間:平成 22 年 4 月 16 日~5 月 6 日

水槽面積:2.0 m²

植栽面積:0.35 m² (水槽面積の 17.5 %)

調査項目:COD、T-N 及び T-P(溶存態)

水質調査(夏季)

水槽に遊水池水を約 60 L 入れ、この水槽内で植物栽培を実施することによる水質浄化効果を調査した。

調査期間:平成 22 年 8 月 23~27 日

水槽面積:0.42 m²

植栽面積:0.18 m² (水槽面積の 42.9 %)

調査項目:COD、T-N 及び T-P(溶存態)

植物体栄養塩類吸収量調査(夏季)

遊水池内で栽培した植物を刈り取り、植物中に含まれる窒素、リン含有量、植物体の重量を測定した。植物については地上部と根部に分け、80 で乾燥し、ミルで粉碎した。窒素については粉碎試料を適量取り、ケルダール分解後、水蒸気蒸留を行い、留出液について 630nm の吸光度を測定し、標準アンモニア態窒素液の検量線から、試料溶液中の窒素含有量を求めた。リンについては粉碎試料を適量取り、濃硝酸及び過塩素酸で加熱分解した試料溶液について、バナドモリブデン酸法にて 410nm の吸光度を測定し、標準リン酸態リン液の検量線から、試料溶液のリン含有量を

求めた。

生育期間:平成 22 年 8 月 17 日~9 月 9 日

植栽面積:0.18 m² (ソルガムのみ 0.12 m²)

2 オゾンによる浄化試験

(1) 水槽試験(閉鎖系試験)

(i) 材料

遊水池水 1 m³ を入れた水槽を対象水とした。

(ii) 条件

対象水へのオゾン供給の有無、供給量、方式の違いによる水質への効果を確認するため、表 2 のとおり実験条件を設定した。

表 2 において、及び の条件は、オゾン発生装置によりオゾンを発生させた後、溶解装置を用いて対象水に循環噴流させる方式である。このうち、 の条件は溶解時の加圧による微細気泡の発生促進が期待されるものである。 の条件は、オゾン発生装置によりオゾンを発生させた後、散気管を通して直接対象水に供給する方式である。

なお、表 2 において、オゾン供給量 6 g/h、処理時間を 5 時間とした試験を平成 22 年 7 月 6~9 日に実施した。また、表 2 において、オゾン供給量を 2 g/h、処理時間を 22 時間とした試験を 8 月 3 日~4 日に実施した。

表 2 オゾン供給条件

	有	有	有	無
オゾン供給の有無	有	有	有	無
オゾン供給形式	溶解	溶解	散気管	-
オゾン供給量(g/h)	2 or 6	2 or 6	2 or 6	-
ガス流入量(L/min)	1	1	1	-
循環流量(L/min)	30	30	-	-
ポンプ押込み圧(MPa)	0.1	0.2	-	-

(iii) 調査項目

オゾンによる対象水の水質変化を確認するため、オゾン注入前、途中、停止後に関して、それぞれ SS、COD(溶存状態及び全量)及びクロロフィル a について調査した。

(2) 開放系試験

(i) 対象及び条件

遊水池内において、図 1 のような試験装置を組み立て、ポンプで汲み上げた遊水池水をオゾン溶解装置に通し、処理水を塩ビ管にて遊水池内に拡散放流する方式での試験を実施した。なお、この際のオゾン供給量 10 g/h、ガス流入量 2 L/min、ポンプ押込み圧 0.2 MPa とし、処理水量は約 160 L/min と想定した。主な調査地点を図 2 に示す。

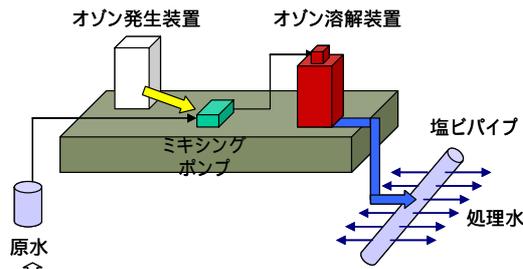


図 1 開放系オゾン水質浄化試験装置

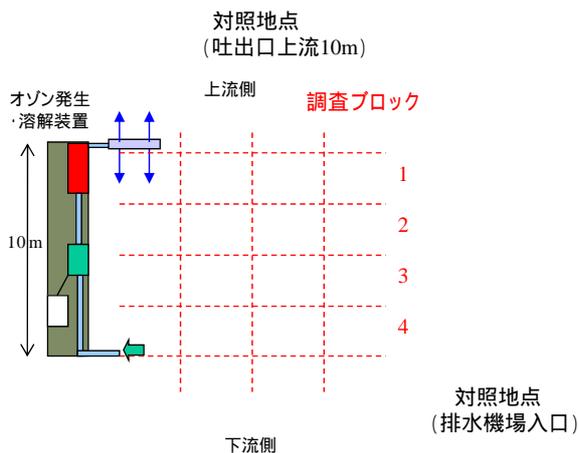


図 2 開放系試験採水地点

(ii) 調査期間及び項目

平成 22 年 11 月 22 ~ 25 日

採水調査日:平成 22 年 11 月 25 日

採水場所:図 2 の調査ブロックの場所

調査項目:COD(溶存態及び全量)、
クロロフィル a

平成 22 年 11 月 30 日 ~ 12 月 1 日

採水調査日:平成 22 年 12 月 1 日

採水場所:地点 、 、 、

調査項目:SS、COD(溶存態及び全量)、
クロロフィル a

結果と考察

1 植物による浄化試験

(1) 植物栽培試験

遊水池における植物の生育状況について表 3 に示す。

アサザ、ウォーターボビーといった浮葉植物については、開始後に葉数が一旦減少した後、小さい新芽の発生により葉数としては幾分回復した。イタリアンライグラス、ローズグラス及びさつまいもでは、根が水中まで到達していた。背丈の伸びで著しかったものについて、イタリアンライグラスが平成 22 年 4 月 16 日からの 20 日間で約 1.5 倍の高さとなった。また、ソルガムが平成 22 年 8 月 17 日からの 23 日間で約 1.4 倍となった。シュロガヤツリについては、背丈の伸びは約 70cm で止まったが、側枝の発生が多く見られたので有力な候補とした。秋季に栽培を実施した植物(表 3 において印を付記したもの)については、その越冬性を確認するため、根部の繁茂状況や新芽等の状況を中心に遊水池での水耕栽培適性を判断した。

表 3 植物の生育状況

	地上部	根部	新芽等
イタリアンライグラス			
アサザ			
ウォーターボビー			
シュロガヤツリ			
ソルガム			
ローズグラス			
さつまいも			
ヒメガマ*			
フトイ*			-
マコモ*			-
ブルーイグサ*			-
ミソハギ*			-
ハマアザミ*			
ツワブキ*			
ハマナデシコ*		×	×

(2) 植物による水質浄化能確認試験

水質調査(冬季)

イタリアンライグラスについて実施した水質調査結果を図3に示す。

今回、早生種であるタチワセ、中生種であるタチムシャを試験に供し、期間中の水槽内貯水量変化と水質変動をもとに、ブランク値を差し引いて栄養塩類吸収量の算出を試みた。なお、植物による窒素、リンの水からの取り込みについてはほとんどが無機態のものと考えられるため、溶存態の窒素、リンの水質変動に着目した。

試験期間中の背丈の伸びとしては、早生種であるタチワセで約 1.5 倍、中生種であるタチムシャで約 1.8 倍であったが、タチムシャについてはブランク値を差し引くと水質変動に顕著な差が見られなかった。タチワセの場合について、開始 20 日後でブランクと比較すると、COD については変化が見られず、T-N については 8% 減、T-P については 11% 減となった。タチワセの結果をもとに算出した窒素吸収量は 0.083 g/m²/日、リン吸収量は 0.002 g/m²/日であったが、タチムシャにおいてブランクと明確な差が見られなかったことから、今回の試験においては実施期間が短く、水槽容量に対して植栽面積が少なすぎた可能性が考えられる。

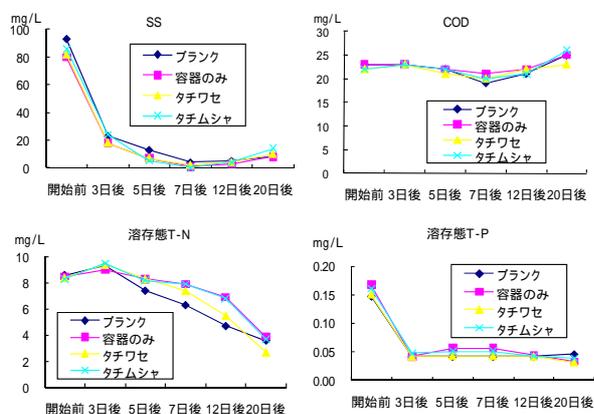


図3 植物栽培による水槽内水質の変化(冬季)

水質調査(夏季)

水質調査結果及びこれをもとに算出した栄養塩類吸収量を表4に示す。

開始 4 日後でブランクと比較すると、COD については変化が見られず、溶存態 T-N については 8 ~ 23% 減、溶存態 T-P についてはウォーターポピーのみ 13% 減となった。

期間中の貯水量変化と水質変動をもとにブランク値を差し引いて栄養塩類吸収量の算出を試みたが、窒素吸収量としては 0.018 ~ 0.040 g/m²/日であった。今回は非常に短期間での数値であるため、別途植物体における窒素、リン含有量の差分から栄養塩類吸収量を算出することとした。

表4 水質調査結果及び栄養塩類吸収量

植物種	T-N(溶存態)		窒素 吸収量 (g/m ² /日)
	前 (mg/L)	後 (mg/L)	
アサザ	2.56	1.33	0.027
ウォーターポピー	2.59	1.25	0.037
シュロガヤツリ	2.40	1.31	0.030
ローズグラス	2.41	1.40	0.040
さつまいも	2.27	1.53	0.018

植物体栄養塩類吸収量調査(夏季)

植物生育期間中の窒素・リン吸収量を表5に示す。窒素・リン吸収量については、収穫時の植物平均乾重量と窒素・リン含有量から求めた収奪量から、遊水池栽培開始前の平均乾重量と窒素・リン含有量から求めた値を差し引いて算出した。

採取した植物試料のうち、アサザ及びウォーターポピーについては水耕栽培後の地上部重量が減少した影響で試験期間中の窒素、リン吸収量として算出できなかった。算出可能であった植物のうち、窒素吸収速度が高かったものはシュロガヤツリ、リン吸収速度が高かったものはソルガムであった。なお、ソルガムについて、試験開始前として採取した試料中の窒素含有量が高く、算出された窒素吸収速度が他の事例と比較してかなり低めの値となっている。このことから、生育期間を通した平均的な吸収速度を算出するためには、より長期的な栽培期間を設定するとともに十分な個体数を確保する必要があること、また、対照時期及び刈り取り時期をどの時期に設定するか、今後さらに検討していく必要がある。

表5 植物(地上部)による栄養塩類吸収量

植物種	収穫時含有量 (mg/g乾重量)		生育日数 (日)	植栽面積 (m ²)	吸収速度 (g/m ² /日)	
	窒素	リン			窒素	リン
シュロガヤツリ	4.80	0.66	23	0.180	0.056	0.009
ソルガム	5.87	3.82	23	0.120	0.009	0.046
ローズグラス	5.15	2.40	23	0.180	0.047	0.020
さつまいも	7.82	0.78	23	0.180	0.003	0.000

2 オゾンによる浄化試験

(1) 水槽試験(閉鎖系試験)

オゾン供給量 6 g/h で実施した水質測定結果について、図4に示す。オゾン処理を5時間行った場合には、ブランクと比較して SS、溶存態 COD、COD、クロロフィルaいずれも低減効果が確認された。特に停滞した水(=ブランク)については、植物プランクトン増殖に伴うクロロフィル a と COD の増加がみられるが、オゾン処理をした水槽については、これらが顕著に抑制されていることが分かった。

オゾンを対象水に直接吹き込む方法(条件)と、オゾンを対象水に溶解させて循環させる方法(条件)又は)を比較すると、特に溶存態 COD に関して、条件)又は)の方がより高い低減効果が見られた。なお、オゾン溶解装置内に注入する遊水池水への押し込み圧の違いによる COD 低減効果の差については、オゾン溶解のみ(条件)が 19~22%減(溶存態 COD14~18%減)、オゾン加圧溶解(条件)では 26~29%減(溶存態 COD18~22%減)であり、2 回ともオゾン加圧溶解の場合がより COD は低減していたが、今回の試験においては顕著な差は見られなかった。

また、オゾン供給量 2 g/h で実施した水質測定結果について図5に示す。オゾン処理時間は約1日であったが、オゾン処理による溶存態 COD 及び COD の低減効果は見られなかった。一方、クロロフィル a について、オゾン処理時間中はブランクよりも高い値を示していたが、オゾン溶解処理していた水槽では停止後3時間はブランクよりも低い値を示した。

今回実施した水槽試験においては、オゾンの投入量について、6 g/h の試験では溶存態 COD、COD、クロロフィル a いずれに対しても低減効果があったのに対し、2 g/h の試験ではその低減効果はほとんど見られなかったことから、効果的に対象水と反応させるためには、オゾン接触時間よりも接触時の水中オゾン濃度が重要であることが示唆された。

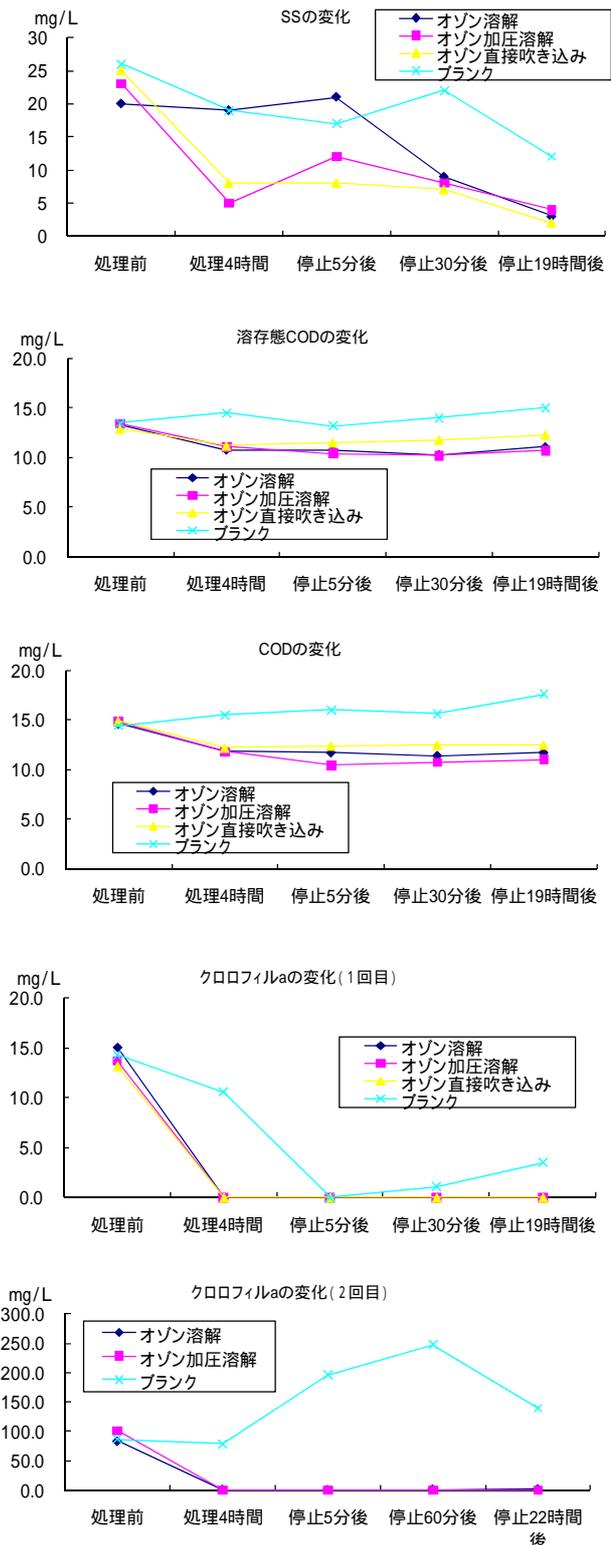


図4 オゾン処理による水質変化(オゾン 6g/h; その1)

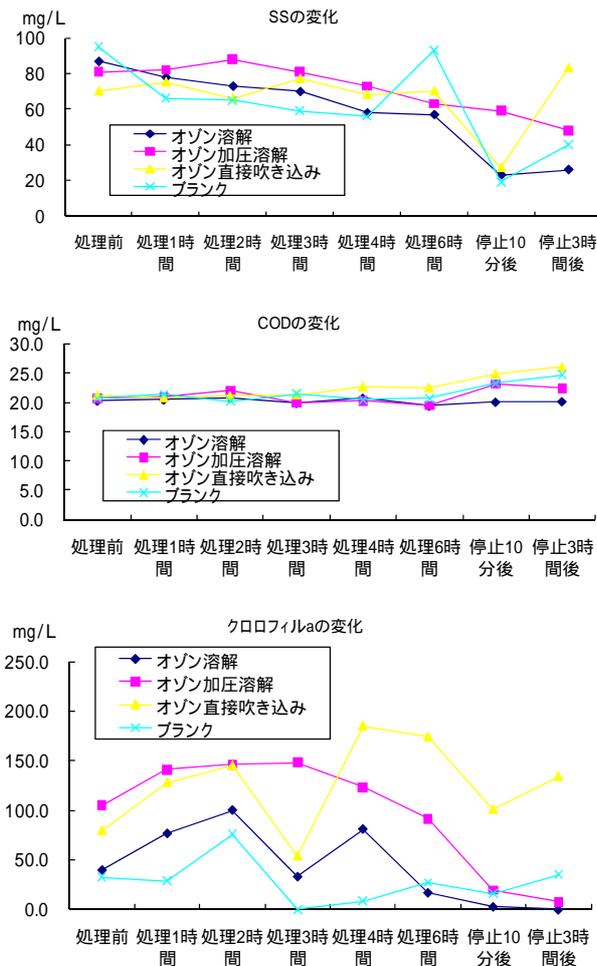


図5 オゾン処理による水質変化(オゾン 2g/h)

(2) 開放系試験

遊水池内における開放系試験水質調査については、平成 22 年 11 月 15 及び 19 日に、オゾン注入前とオゾン注入 4 日後におけるポンプ取水口付近、オゾン処理水吐出口付近、取水口上流地点(対照地点)において採水調査を実施したが、オゾン処理による効果がこれらの調査地点だけでは判断できなかったため、図2に示す調査ブロックで区切って水質調査を実施した。平成 22 年 11 月 22 日に遊水池でのオゾン注入を開始し、11 月 25 日に調査した結果について、表 6 に示す。

表 6 において、ブロック1- がオゾン処理後の吐出水が放出される区画であるが、縦、横及び斜めの区画ラインの平均値と比較して、溶存態 COD 及び COD は変わらず、クロロフィル a についても他地点との明瞭な差は確認できなかった。

ブロック区分ごとの水質に差が見られなかったことから、図 2 の ~ の地点について改めて開放系試験を実施した。水質調査結果を図 6 に示す。

地点 がポンプ取水口付近、地点 が処理水吐出口付近、地点 が遊水池上流側対照地点、地点 が処理直後のパイプからの吐出水を直接採水したものを示している。ここで、溶存態 COD 及び COD については、その低減効果は確認されなかったが、SS、クロロフィル a については地点 (ポンプ取水口付近) と地点 (処理直後のパイプからの吐出水) とを比較すると、低減効果が確認でき、クロロフィル a について約 20%の低減が見られた。なお、地点 (処理水吐出口付近) においても、地点 (ポンプ取水口付近) と比較すると、クロロフィル a はやや低めの値を示しているが、SS についてはその変化を明瞭に確認できなかったことから、環境水中では他の環境要因の影響を受けやすく、オゾンによる効果を定量的に判定するには試験系に更なる検討が必要であることが示唆された。

表 6 開放系試験ブロック調査

ブロック	項目					平均
1	溶存態COD(mg/L)	15.9	15.1	14.9	15.1	15.3
	COD(mg/L)	21.0	20.1	19.3	19.5	20.0
	クロロフィルa(µg/L)	54.0	56.0	58.7	58.7	56.9
2	溶存態COD(mg/L)	15.7	15.4	15.0	15.1	15.3
	COD(mg/L)	19.7	20.3	20.8	22.8	20.9
	クロロフィルa(µg/L)	52.4	57.6	53.9	55.2	54.8
3	溶存態COD(mg/L)	15.0	14.3	14.8	14.9	14.8
	COD(mg/L)	20.6	20.7	21.3	21.0	20.9
	クロロフィルa(µg/L)	58.3	56.2	52.5	53.9	55.2
4	溶存態COD(mg/L)	14.9	15.0	15.1	15.1	15.0
	COD(mg/L)	20.7	20.7	20.8	21.1	20.8
	クロロフィルa(µg/L)	59.1	56.1	58.9	56.8	57.7
平均	溶存態COD(mg/L)	15.4	15.0	15.0	15.1	15.3
	COD(mg/L)	20.5	20.5	20.6	21.1	20.9
	クロロフィルa(µg/L)	56.0	56.5	56.0	56.2	55.2

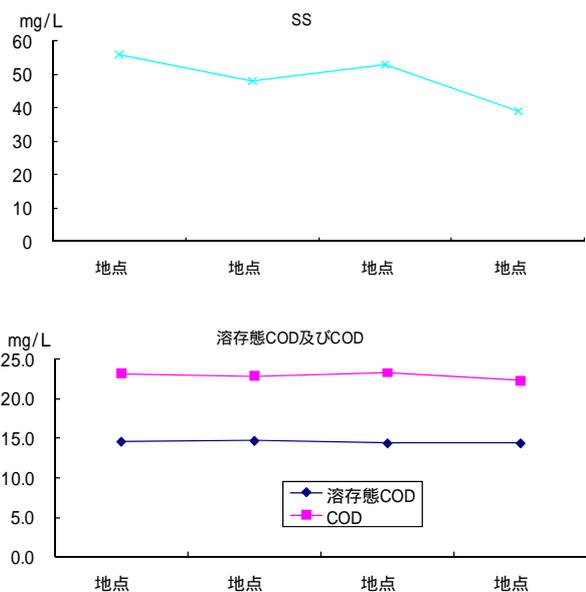


図 6 開放系試験における地点ごとの水質(その1)

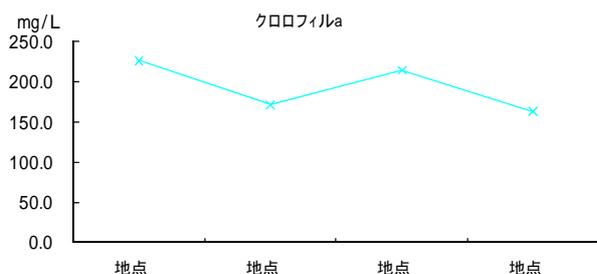


図6 開放系試験における地点ごとの水質(その2)

まとめ

植物を使用した水質浄化試験について、平成 20～22 年の 3 ヶ年で計 23 種類の植物を遊水池で実際に栽培し、生育状況の確認を行った。窒素・リン吸収量については、今年度は水槽試験結果のほか、植物に取り込まれた窒素、リン含有量から栄養塩類吸収量を求めたが、植物の成長段階によって必要な窒素、リンの量が変わることから、植物の種類に応じた評価対象期間の設定と刈り取り時期の見極めが重要であることが示唆された。なお、最終的な適用植物の選択にあたっては、生育期間、耐塩性、繁茂量(栄養塩類吸収量)、周辺生態系への支障の有無、病害虫耐性等の観点を含めて総合的に判断することとした。今後は、遊水池における水位変動に対応した浮島型植物植栽等設備を整備し、植物の個体数を十分に確保したうえで長期的な栽培試験を実施するなど、より定量評価に資する試験を実施していくこととする。

また、オゾンを使用した水質浄化試験について、水槽試験(閉鎖系試験)においてはオゾン投入量 6 g/h、処理時間 5 時間の条件下では、SS、溶存態 COD、COD、クロロフィル a の低減効果が確認された。一方、オゾン投入量が 2 g/h、処理時間 22 時間の場合には、オゾン処理の効果が明確にならなかったことから、オゾン接触時の水中オゾン濃度が重要であることが示唆された。開放系試験において、オゾン処理による水質浄化効果については、吐出口付近の結果を見ると、植物プランクトンの増殖の指標としてのクロロフィル a に関しては、その効果を検証できる可能性はあるが、環境水中でオゾンによる植物プランクトンの増殖抑制効果を定量的に判断するには試験系の更なる検討が必要であることが示唆された。今回の結果を踏まえ、植物プランクトンの増殖抑制、COD、SS の低減を環境水中で確認するための試験設備の配置や評価手法について検討することとしている。

参考文献

- 1) 川口 勉, 他: 諫早湾干拓調整池水質浄化に向けた先行試験結果, 54, 95～100, (2008)
- 2) 川口 勉, 他: 諫早湾干拓中央遊水池の水質浄化試験結果, 55, 64～68, (2009)
- 3) 石崎修造, 他: 諫早湾干拓中央遊水池の水質浄化試験結果, 55, 69～72, (2009)
- 4) 川井 仁, 他: 諫早湾干拓中央遊水池の水質浄化試験結果, 55, 73～82, (2009)