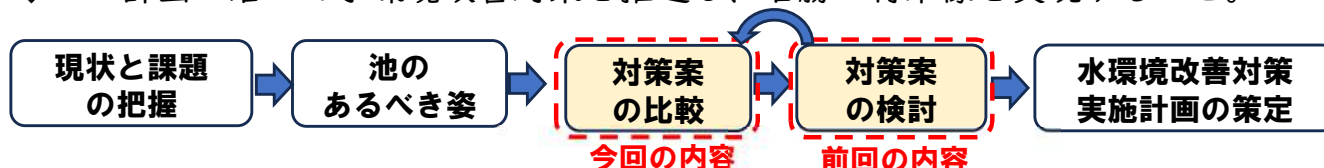


1. 水環境改善対策実施計画がめざすこと

- ◇これまで調査してきた結果や各種施設の現状を踏まえた、有効で実現性の高い計画として、水質や水収支の安定化等に向けた具体的な対策を示すこと。
- ◇この計画に沿って水環境改善対策を推進し、名勝の将来像を実現すること。



2. 水質浄化対策の具体化に向けて

■水質の現状

- ◇洗足池の水質には、流入水量が少ないこと、池に堆積している底泥（ヘドロ）から窒素、リンが溶出し、これを植物プランクトン（アオコ等）が吸収して増殖（透明度が低下）することが影響している。
- ◇平成4年度から稼働している水質浄化施設で凝集沈殿処理（植物プランクトンを含む濁りとリンの除去）により水質を維持しているが、設備が老朽化しており、令和5年には故障により水処理が停止し、水質が悪化した。

■水質悪化のメカニズム

- ◇洗足池の底泥（ヘドロ）には、有機物や窒素、リンが蓄積
- ◇嫌氣的（酸素が少ない）環境で窒素、リンが溶出し、植物プランクトンが増殖
- ◇植物プランクトンは冬季には枯死して、水底に有機物となって堆積
- ◇有機物は嫌気性バクテリア（酸素が少ない環境で活動する細菌）により分解されて底泥に窒素やリンが蓄積

■水質改善対策

- ◇①水質浄化施設では植物プランクトンを含む浮遊物質（SS）の除去、②植生浄化ではヨシ等が窒素、リンを吸収・除去することにより、植物プランクトンの増殖を抑制する。（＝対症療法的な対策）
- ◇③底質の直接改善（好気化、有用なバクテリアの導入等）で、有機物の分解によるヘドロの減少とリンの溶出抑制により水質を改善する。（＝根治療法的な対策）
- ◇将来的には、自浄作用※1が働くよう誘導する。（10年単位の対策が必要）
- ◇①水質浄化施設、②植生浄化、③底質の直接改善について複数手法を比較検討し、水質改善の効果をシミュレーションで予測・評価する。

※1)自浄作用：日光が水底まで届くようになると付着藻類や沈水植物の光合成により酸素を底層に供給し、水底を好気的な環境にする。また、池畔のヨシ等とともに窒素、リンを吸収する。

※2)凝集沈殿処理：現況の水質浄化施設で用いられている浄化方式。
ろ過処理：水質浄化施設で適用を検討中の浄化方式。

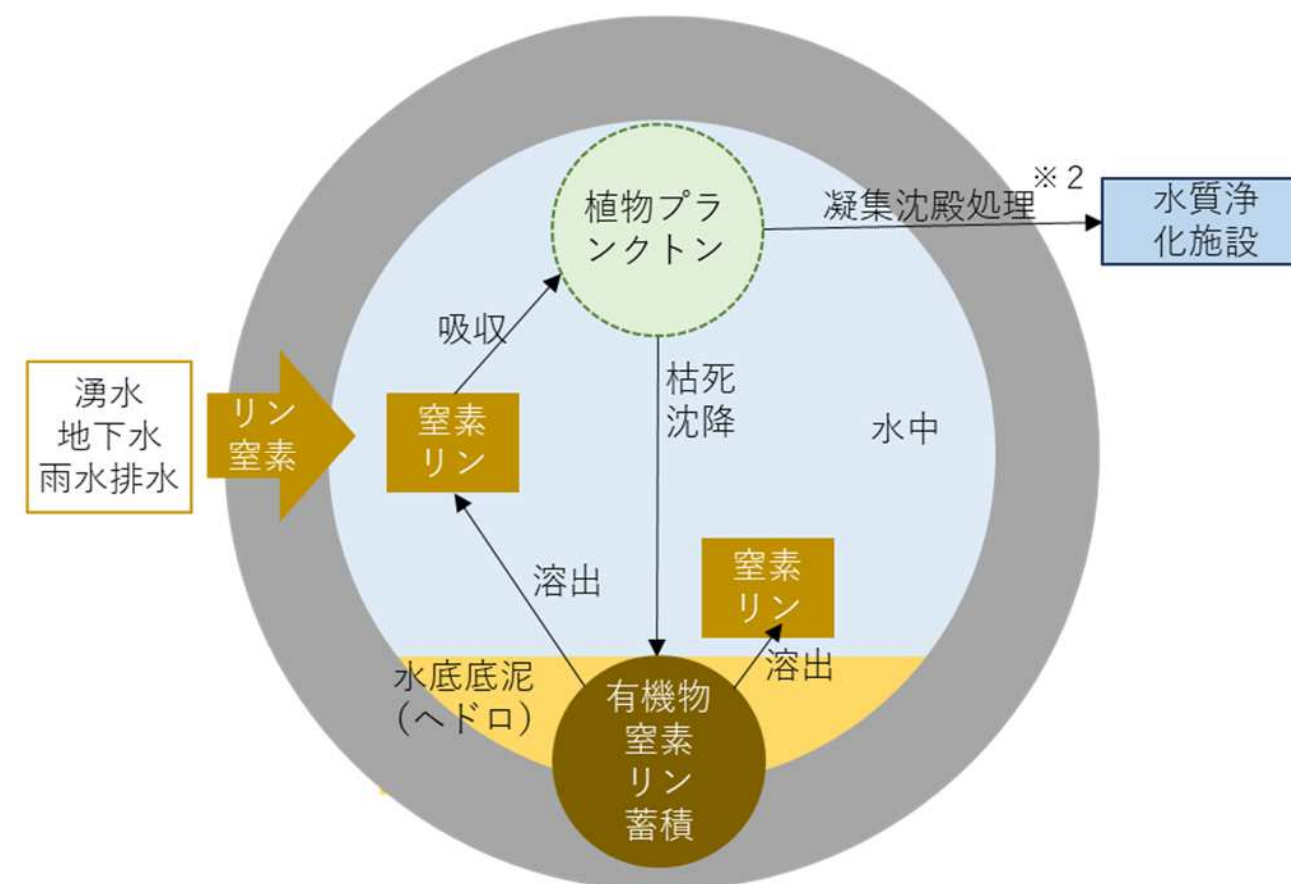


図1 現在の水環境

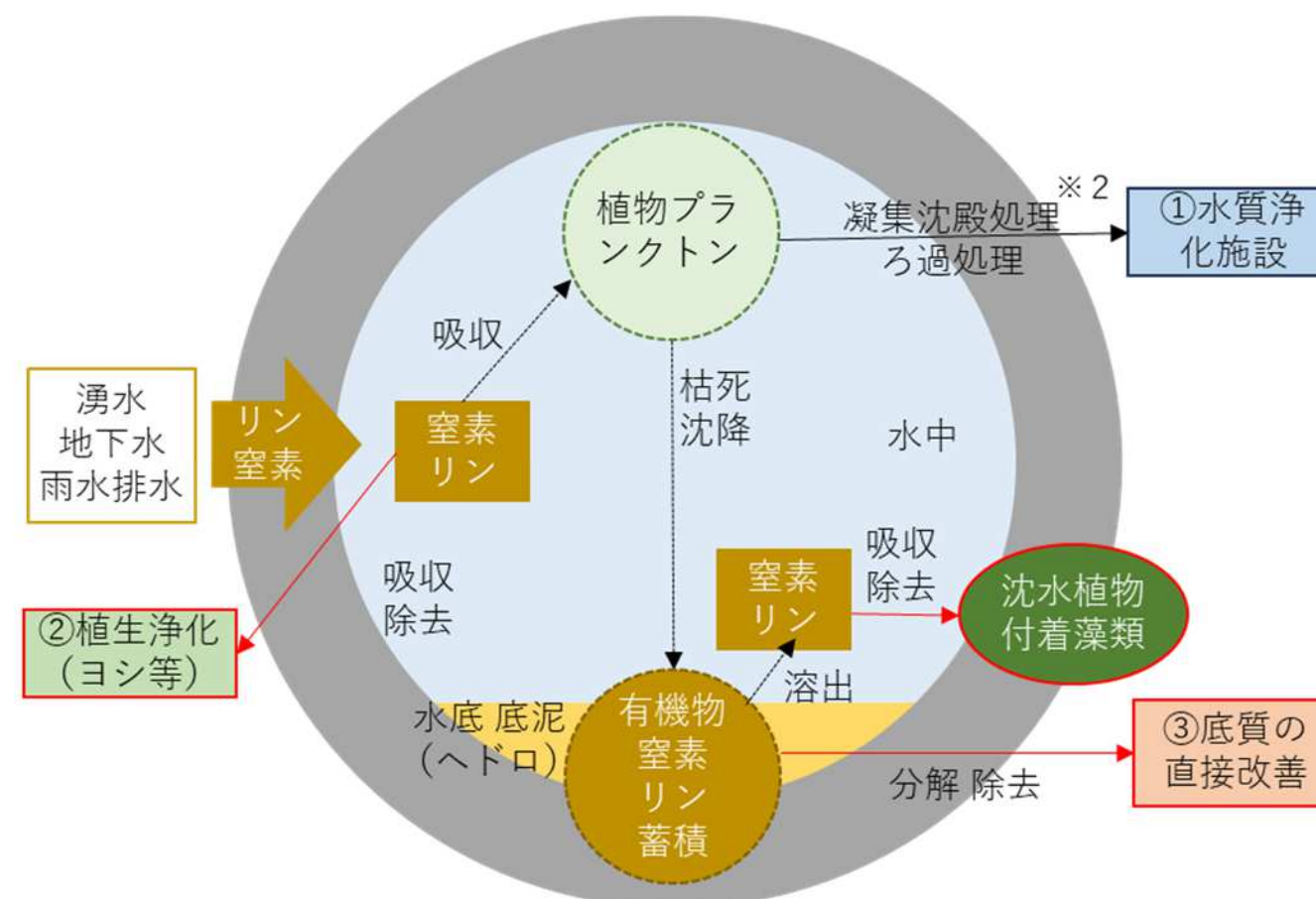


図2 検討中の水質浄化対策を取り入れた場合の水環境予測

水環境改善対策実施計画について

3. 水質浄化の手法

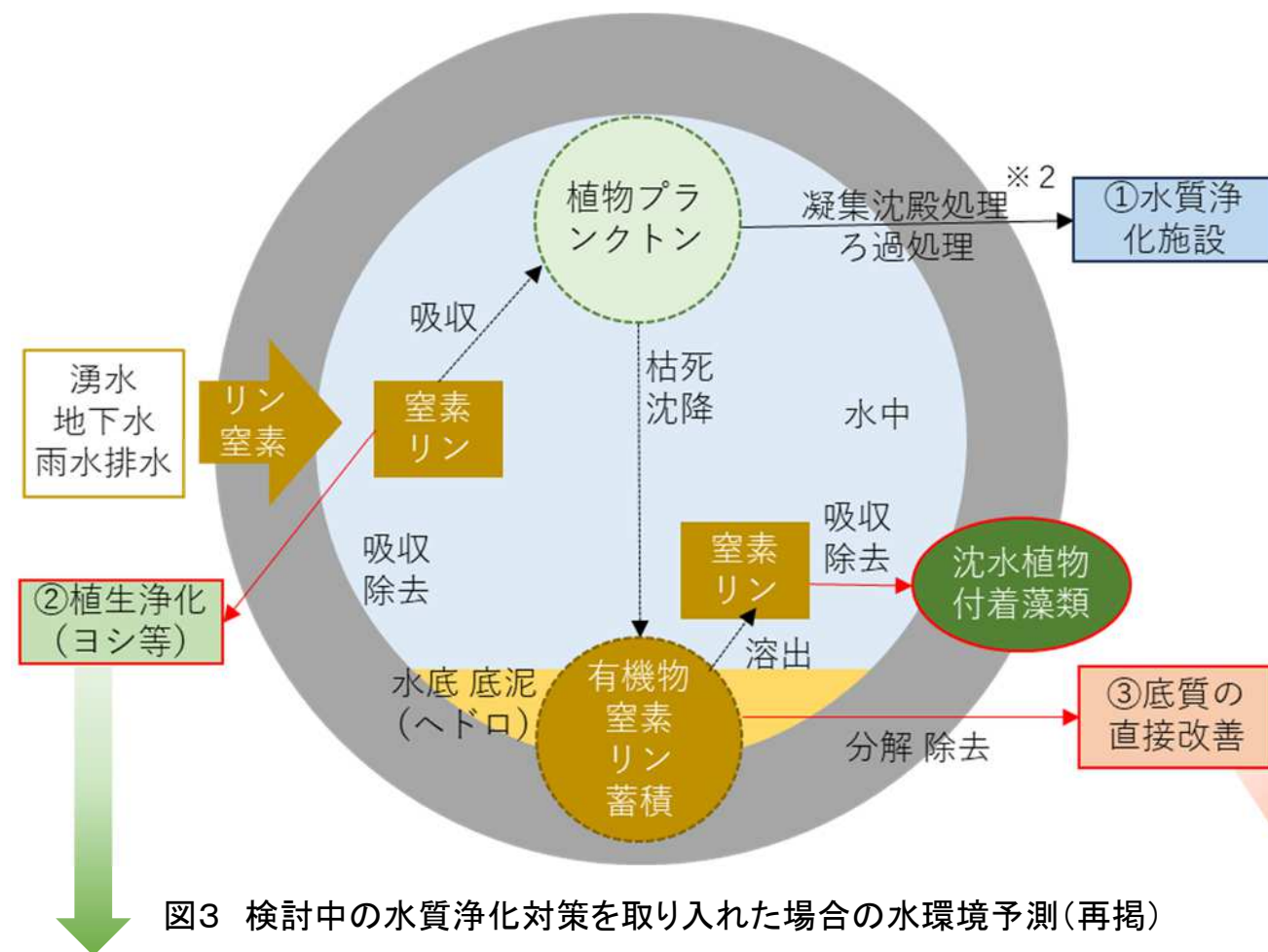


図3 検討中の水質浄化対策を取り入れた場合の水環境予測(再掲)

①水質浄化施設(対症療法的な対策)

- ◇現況の水質浄化施設は、設備機器が老朽化し、修繕費用の増大や故障による稼働停止が発生しているうえ、施設の更新時期を迎えている。
- ◇池沼の水質浄化において実績のある「凝集沈殿処理」と「ろ過処理」について、シミュレーションにより水質改善効果を予測・評価する。

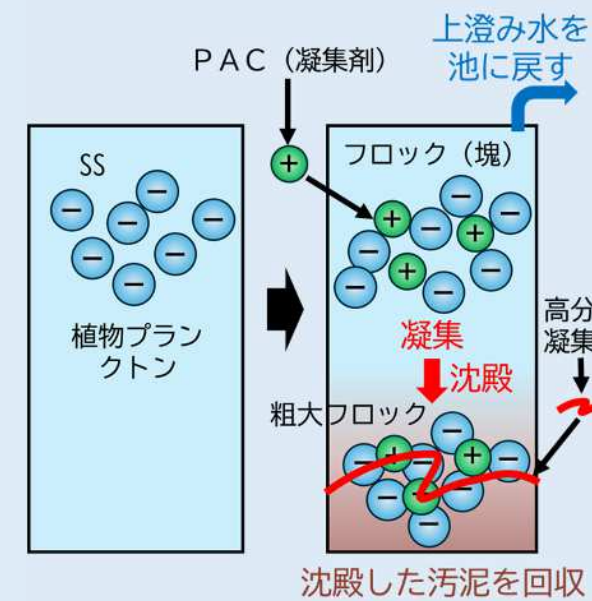


図5 凝集沈殿処理(PAC)



図4 ろ過処理(アンスラサイト+珪砂)

②植生浄化(対症療法的な対策)

- ◇「湿地法」(植物が湿地に根を張り水面より上部に現れる方法)が有効。
- ◇植生の種類は、洗足池にかつて自生していたヨシと、現在洗足池に生育しており、窒素やリンの除去速度が大きいマコモを採用する。

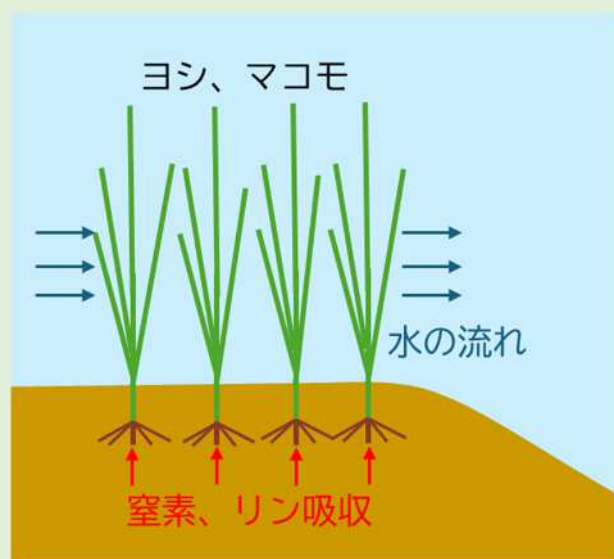


図5 湿地法



図6 植生帯の配置計画

③底質の直接改善(根治療法的な対策)

- ◇ナノバブルによるエアレーションと好気性バクテリアにより底泥中の有機物を分解して、底質を直接改善する。
- ◇好気的な環境では有機物の分解により発生する窒素、リンは底泥中に固定されるので、溶出は抑制される(植物プランクトンには吸収されない)。

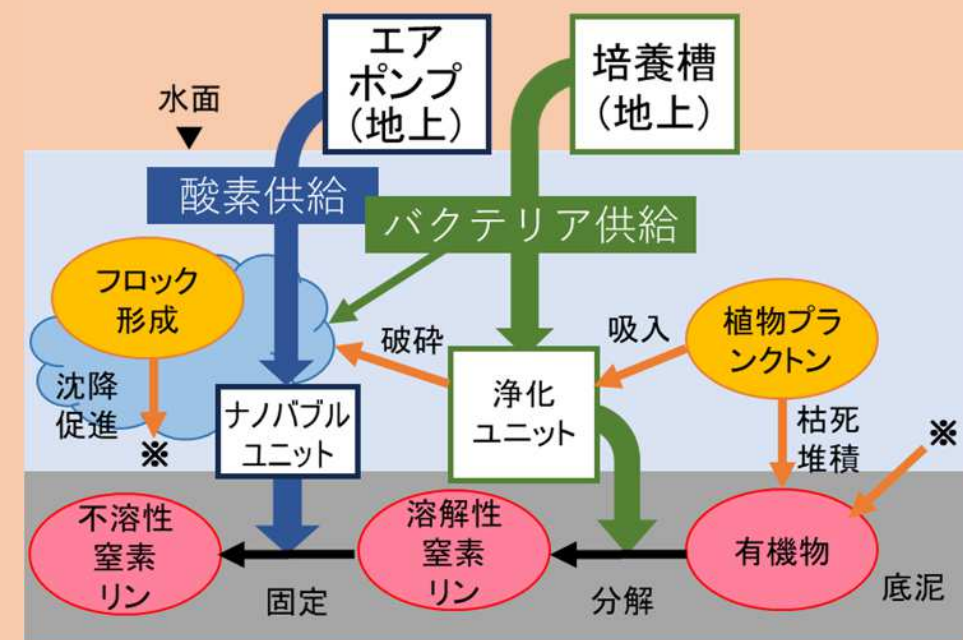


図7 底質改善のメカニズム

水環境改善対策実施計画について

4.シミュレーションによる水質改善効果の予測

- シミュレーションモデル
- ◇水質浄化処理施設のポンプ、放流口の位置、水質浄化植生帯の位置、規模を反映するため、計算対象水域を複数の区画に分割するマルチボックスモデルを用いる。
 - ◇指標として、クロロフィルa、全窒素、全リン、化学的酸素要求量（COD）、溶存酸素（DO）、SS（植物プランクトンと有機物の合計）の変化を計算する。

表8 シミュレーションの対象とする要素（赤枠内）

浄化手法	SSの除去	リンの除去	窒素の除去	有機物の分解
水質浄化施設 (凝集沈殿／ろ過)	○ (凝集沈殿／ろ過)	○ (凝集沈殿／ろ過)	短期的 シミュレーションの対象	
植生浄化		○ (吸収)	○ (吸収)	
底質直接改善	○ (凝集沈殿)	○ (溶出抑制)	○ (脱窒)	○ (分解)

長期的
シミュレーション対象外

- シミュレーションに用いるデータの期間
- 前年度業務と同様に、令和元年度（平成31年4月～令和2年3月）の1年間とする。
- 植生浄化の植物
- ヨシ、マコモとして、植生帯を設ける。
- 計算ケース
- ◇ケース1：水質浄化施設の全更新
 - ◇ケース2：植生帯の創出（湿地法）
創出箇所は区画a, b
 - ◇ケース3：植生帯の創出（護岸前面）
創出箇所は区画1～3
 - ◇ケース4：底泥の直接改善
区画aは区画1、
区画bは区画2に統合する
 - ◇ケース5：上記4ケースを実施した場合。
区画a, bでは底質の直接改善は考慮しない



図5 シミュレーションの区画割

用語	解説
クロロフィルa	植物の葉緑体やシアノバクテリアに含まれる緑色色素の一種。ほとんどの植物に含まれており、水域ではその濃度が植物プランクトンの量を示すこととなる。たとえば、植物プランクトンの餌となる無機塩類が多ければ、植物プランクトンが増えクロロフィルa濃度が高くなるため、水質汚濁の指標となる。
全窒素	水中に含まれる窒素化合物の総量。閉鎖性水域に大量に窒素化合物が流入すると、富栄養化によりプランクトンが異常増殖し、水質の悪化を招く。
全リン	水中に含まれる無機及び有機リン化合物中のリンの総量。富栄養化を促進する一因になる。
化学的酸素要求量（COD）	石油などの化学的有機物を酸化させるために水中に存在しなければならない溶存酸素の量。水中に含まれる有機物による汚濁を測る指標として用いられる。
溶存酸素量（DO）	水中に溶けている酸素濃度を表す。有機物濃度の高い水の場合、微生物の活動が活発になり、それによる水中の酸素消費が激しくなるため、DO値は低くなる。水中のDOが欠乏すると、水中の汚濁物質は還元性となり、腐敗臭、硫化水素ガスを発生。
浮遊物質（SS）	水中に分散している固形物で検水をろ過した時に分離される物質で粒径2mm以下のものをいう。水質汚染の原因となる。河川に汚泥床を形成したり、懸濁物質が有機物である場合には腐敗して水中の溶存酸素を消費する。
PAC（ポリ塩化アルミニウム）	洗足池の現況の水質浄化施設で使用されている凝集剤。水中の微細な粒子や不純物と結びつき、フロック（かたまり）を形成する。また、水中のリン酸塩（ PO_4^{3-} ）と反応して、リン酸塩を凝集するため、効果的にリンを除去できる。
ナノバブル	直径が数十から数百ナノメートル程度のサイズの非常に小さい気泡。水中に長時間安定して存在できる特性と高い酸素溶解能力があり、水中への酸素供給を効率的に行うことができる。これにより、好気性微生物の活動が促進され、水質浄化が進む。

1. 水質浄化の手法（その1）－水質浄化施設－

■検討方針

- ◇現況の水質浄化施設は、設備機器が老朽化し、修繕費用の増大や故障による稼働停止が発生しているうえ、施設の更新時期を迎えている。
- ◇凝集剤（PAC）の流出により池内の塩化物イオン、アルミニウムの濃度が上昇傾向にあり、底質に蓄積していることから、他の浄化方式や薬剤の検討を行う。
- ◇水質浄化手法には、物理的手法（ろ過、接触沈殿、吸着等）、化学的手法（凝集沈殿、紫外線やオゾンによる分解等）、生物学的手法（生物膜法、植生浄化等）があり、改善する必要のある水質項目や浄化目標レベルに応じて適性が異なる。その中でも、池沼の水質浄化において実績のある「凝集沈殿処理」と「ろ過処理」について検討する。

表1 凝集沈殿処理における凝集剤の比較

凝集沈殿剤	特徴	除去率の目安 (%)		コスト (円/m³) ※1
		SS	リン	
硫酸第一鉄 (FeSO₄)	・有機物や懸濁物の除去性能が高く、強力な凝集効果を持つ。 ・酸性条件 (pH 5以下) でないと効果が発揮されにくく、使用にはpH調整が必要。 ・水に色が付く場合があり、透明度が求められる場合は注意が必要。	90～99	80～95	10～30
硫酸アルミニウム (Al₂(SO₄)₃)	・中性付近のpH (5～8) で効果を発揮。 ・他の選択肢と比べて濁り除去性能はやや劣る。	85～95	70～90	15～40
塩化アルミニウム (AlCl₃)	・硫酸アルミニウムよりも高い凝集性能を持つがPACには及ばない。 ・中性付近のpH (5～8) で使用可能で、濁り除去効果も安定。	90～99	75～90	20～50
ポリ塩化アルミニウム (PAC)	・広いpH範囲で安定して効果を発揮し、微細な粒子にも対応可能。 ・凝集剤としての性能が最適化されており操作が簡単。	90～99	80～95	30～60

表2 ろ過処理におけるろ材の比較

ろ材	特徴	除去率の目安 (%)		植物プランクトンへの適応性	単価 (円/トン)	寿命
		SS	リン			
珪砂(シリカサンド)	・粒子が均一で高いろ過性能を発揮。比較的安価で、標準的なろ材として広く使用される。 ・標準的なろ材で、粒径によって植物プランクトンの除去性能が変化。微細なプランクトンは通過する可能性がある。 ・砂ろ過や多層ろ過の上層材で広く使用。	70～90	10～30	中程度	1万～2万	長い (数年以上)
アンスラサイト	・無煙炭を粉砕して粒状にしたもので粒径が大きく、比重が軽いため、珪砂と組み合わせて多層ろ過として使用される。 ・SS除去率が高く、特に高濁度水の処理に適する。 ・多層ろ過で使用する場合、粗い粒子の上層ろ材として植物プランクトンのコロニーを効率的に除去可能。	80～95	10～30	中～高	3万～5万	長い (数年以上)
粒状活性炭(GAC)	・主に吸着性能で有機物除去に優れるが、細かいSSの物理的除去にも効果的。再生可能で、ろ過と吸着の両方を担う。 ・微細なプランクトンを物理的に除去可能。また、吸着性能により有機物や臭気成分 (例: ジオスミン) を同時に除去できる。	70～90	30～50	中～高	10万～15万	中程度 (数ヶ月～1年)
ガーネット砂	・高密度で粒径が小さく、深層ろ過に適する。 ・SSの微細粒子や微細な植物プランクトンの除去に効果が高い。 ・比重が重いため、多層ろ過の下層材として利用。	85～98	10～30	高い	4万～7万	長い (数年以上)
多孔質粒状リン吸着ろ過材	・火山灰土に硫酸第一鉄を加え焼成したろ過材 ・水中のリン酸態リンを吸着除去するとともに懸濁物質も除去する。	70～85	80～90	高い	6万～12万	長い (数年以上)

- ◇複数のろ材の組み合わせを工夫することで、コストを抑えつつ植物プランクトンを一定程度除去できる。
- ◇環境水で水道水ほどの高い除去性能が不要であれば、「アンスラサイト+珪砂を用いた多層ろ過処理」が費用対効果の面から適切。また、多孔質粒状リン吸着ろ過材を組み合わせることでリンを効果的に除去することができる。

表3 ろ材構成例

ろ材構成	初期コスト	運用コスト	除去性能	適用例
アンスラサイト+珪砂+ガーネット砂	中～高	中	高	中～大規模施設
アンスラサイト+珪砂+多孔質粒状リン吸着ろ過材	中～高	中	中～高	—
アンスラサイト+珪砂	低～中	低～中	中	簡易的な環境水処理
珪砂単独	低	低	低～中	小規模池、簡易処理
多孔質粒状リン吸着ろ過材	高	中～高	中	小規模池

アンスラサイト+珪砂 推奨する組み合わせ



図1 ろ過のイメージ (アンスラサイト+珪砂)

■凝集沈殿処理とろ過処理の比較

表4 凝集沈殿処理とろ過処理の比較

項目	凝集沈殿処理	ろ過処理
初期コスト	中程度 ・凝集剤注入装置、攪拌設備、沈殿池の設置が必要。	低～中 ・簡易なろ過装置で済む場合、コストは抑えられる。 ・多層ろ材を使用する場合や、大規模施設ではコストが上がる。
運用コスト	中～高 ・凝集剤 (硫酸アルミニウム、ポリ塩化アルミニウムなど) の継続使用が必要。 ・生成される汚泥の処理コストが発生。	低～中 ・定期的なろ材の交換・洗浄に伴うコストがかかる。 ・アンスラサイト+珪砂の組み合わせはメンテナンスが比較的簡単。
除去性能	高 (90%以上) ・植物プランクトンや濁り (SS) の除去率は高い。 ・微細な粒子や植物プランクトンの除去に適している。	中～高 (60～80%) ・多層ろ材を使用すれば、植物プランクトンの多くを除去可能。 ・微細なプランクトン除去には限界がある。
メンテナンス	複雑 ・汚泥処理設備が必要で、運用が複雑化する。	簡易的 ・システムが簡易で、運用も簡易的。
環境負荷	大 ・環境負荷 (汚泥発生、凝集剤の流出) がある。	小 ・環境負荷 (汚泥発生) が少ない。
適用水質	高濁度、高負荷 ・水量が多い場合や、濁度が高く、汚染の度合いが高い場合に適している。	低濁度、低負荷 ・汚染度が比較的 low、水量が少ない場合に適している。
優位な条件	・水質が悪く、植物プランクトンや濁りの濃度が高い場合。 ・高い除去性能が必要な場合。 ・汚泥処理設備がすでに整備されている場合。	・水質が比較的良好で、汚濁が軽度の場合。 ・初期コストや運用コストを抑えたい場合。 ・環境負荷を低減したい場合。

※1) 処理水量 1m³あたりのコストを示す。

4. 水質浄化の手法（その2）－植生浄化－

■浄化方式

- ◇水生植物が水中の窒素、リンを吸収し、生長することを利用して、水質を改善する方法である。
- ◇植物の生育基盤より「湿地法」「浮標（浮遊）植物法」「水耕法」に区分される
- ◇浄化効果、維持管理の容易性、自生種が利用可能であること等から、洗足池では「湿地法」が有効である。

表5 植生浄化方式の比較

浄化方式	植物の種類	水質浄化			処理水の性質※1		主な維持管理	洗足池への適用性
		窒素	リン	BOD	SSが多い	有機物が多い		
湿地法 植栽もしくは自生した植物が湿地に根を張り水面より上部に現れる。	ヨシ、マコモ、ガマ、ショウブ	○	○	△	◎	○	・1～3年に1回の刈り取り、ヨシ焼き ・堆積物により施設容量の減少、土壌の嫌気化が起こった場合は堆積物の除去、干し上げ ・必要に応じて密度管理、外来種駆除	◎ 理由：洗足池に自生するヨシを活用できる。多様な生物の生息環境になる。護岸の景観向上に寄与。
浮標植物法 処理槽を設ける、もしくは湖沼や河川の水面を仕切り、浮標植物を投入する。	ウキクサ	△	○	△	○	△	・月1～2回の間引き ・年1回枯死前に除去、翌春自然発生しない場合には再度植生を投入	△ 理由：設置が容易だが、成長速度が速いため管理が難しい。冬季に枯死し除去率の低下が顕著。
水耕法 処理槽に抽水植物や花卉等を植栽する。浮体に花卉等を植栽する場合もある（植生浮島）	クレソン、オオフサモ、セリ、花卉	△	○	◎	◎	△	・利用する種に応じた間引き、枯死体の除去、収穫 ・堆積物により施設容量の減少、土壌の嫌気化が起こった場合は堆積物の除去、干し上げ	○ 理由：景観向上に寄与。ヨシ等の抽水植物は不適。定期的なメンテナンスが必要。

出典）河川環境管理財団, 河川環境総合研究所, 平成19年12月, 植生浄化施設計画の技術資料[2017年版]
※1）処理水にSSが多い場合、有機物が多い場合の適性を示す。

■植生の種類

- ◇湿地法が有効と考えられることから、湿地法に適応可能な植生の種類を検討した。
- ◇ヨシ、ガマはかつて洗足池に自生していた（荏原名勝史蹟、大正8年）。
- ◇ヨシはかつて洗足池に自生していたこと、マコモは現在洗足池に生育しており、窒素やリンの除去速度も大きいことから、植生浄化にはヨシとマコモを採用する。

表6 抽水植物の水質浄化能力の比較

抽水植物	除去速度(g/m ² /d)		維持管理・利用	入手先
	窒素	リン		
ヨシ	0.269～0.280	0.027～0.028	年1回刈取り/食用、薬用、ヨシズ、パルプ	洗足池で生育、近辺の自生地から移植
マコモ	0.49～0.54	0.100～0.104	年1回刈取り/飼料、食用	洗足池で生育、近辺の自生地から移植
ヒメガマ	0.21	0.032	秋季に刈取り/がま細工	洗足池で生育、近辺の自生地から移植
ガマ	0.40～0.61	0.065～0.107	秋季に刈取り/漢方薬、敷物、簾、食用	洗足池で生育、市販苗
ハナショウブ	0.4	0.14	秋季に刈取り/観賞用	市販苗

出典）河川環境管理財団, 河川環境総合研究所, 平成19年12月, 植生浄化施設計画の技術資料[2017年版]
大阪大学, 令和6年9月閲覧, 水質浄化に利用可能な植物データベース

■植生浄化の方法と植物

- ◇洗足池に適した植生浄化方法として、「湿地法」を採用し、植物はヨシとマコモを用いる。
- ◇ヨシとマコモの配置は、右図の通りとする。植生浄化は浄化範囲が植生体の周辺に限られ、また、洗足池は流れがほぼないため、池全体を浄化するためには池全体に分散して植栽を行う必要がある。また、ヨシ（高さ1～3m）はマコモ（高さ1～2m）に比べて高く生長し、護岸に沿って配置した場合、公園利用者が護岸から池水面を見ることができなくなる可能性があることから、右図の配置とした。なお、ヨシの植栽範囲には水の流れを創り浄化効果を高める。



図2 植生帯の配置計画

5. 水質浄化の手法（その3）－底質改善－

■底質改善の手法

- ◇ナノバブルによるエアレーションと好気性バクテリアにより底泥中の有機物を分解して、底質を直接改善する方法である。
- ◇好気的な環境では有機物の分解により発生する窒素、リンは底泥中に固定されるので、溶出は抑制される（植物プランクトンには吸収されない）。

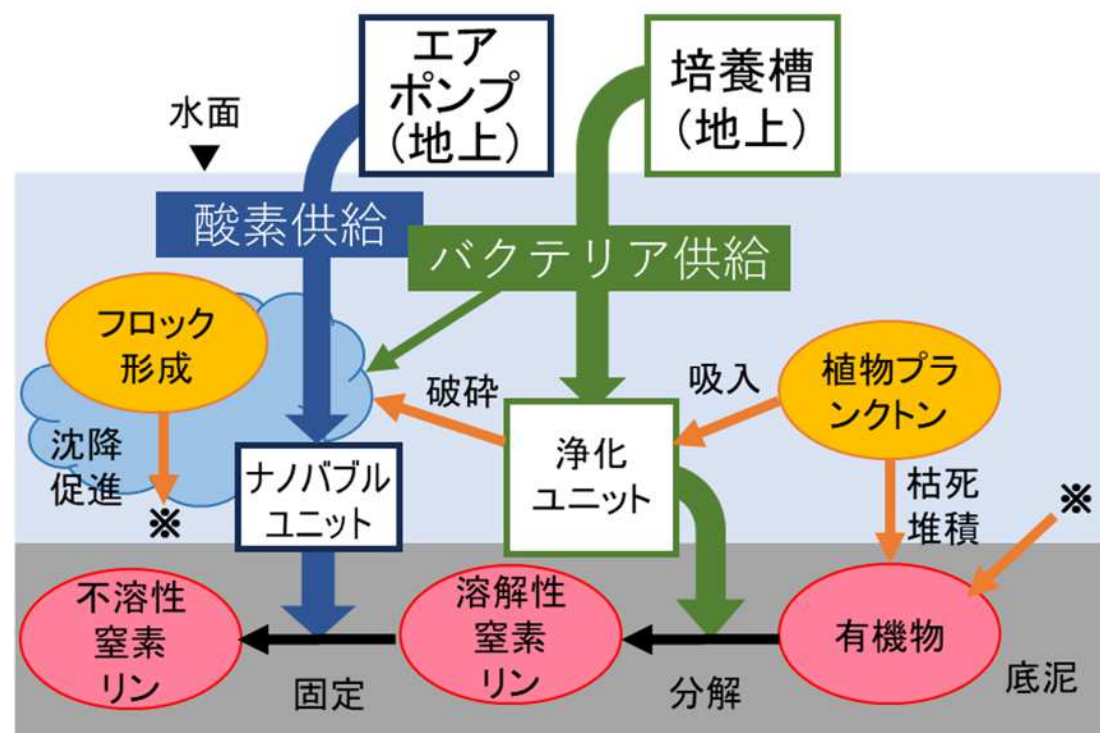


図4 底質改善手法のイメージ

- ①地上部に設置する培養タンクから水底に設置する浄化ユニットにホースを経由して光合成バクテリア（硫化水素を回収）と好気性バクテリア（有機汚泥を分解）を投入する
- ②水底の浄化ユニットにより水流を発生させ有機汚泥層を攪拌、浄化バクテリアと接触させる（バクテリアの定着のため浄化ユニットの周囲にじゃかごも設置）
- ③光合成バクテリアで硫化水素を回収しつつ、ナノバブルユニットにより水中の溶存酸素量を高め、好気性バクテリアを活性化させて底質の有機汚泥を分解する

表7 浄化効果（日比谷壕での実証実験の事例）

項目	初期値 2017/8/9	終了値 2018/9/28	改善 (%)
クロロフィルa(μg/l)	910	42	78
T-P(mg/l)	0.87	0.064	93
COD(mg/l)	180	8	96
SS(mg/l)	280	8	97

出典) https://www.willstage.com/case_study/koukyo-hibiyabori/ 2025年1月29日閲覧図5 日本橋川での実証実験風景
(UR都市機構が2024年9月～2025年1月に実施)

図6 ナノバブルユニット



図7 培養槽、エアポンプ

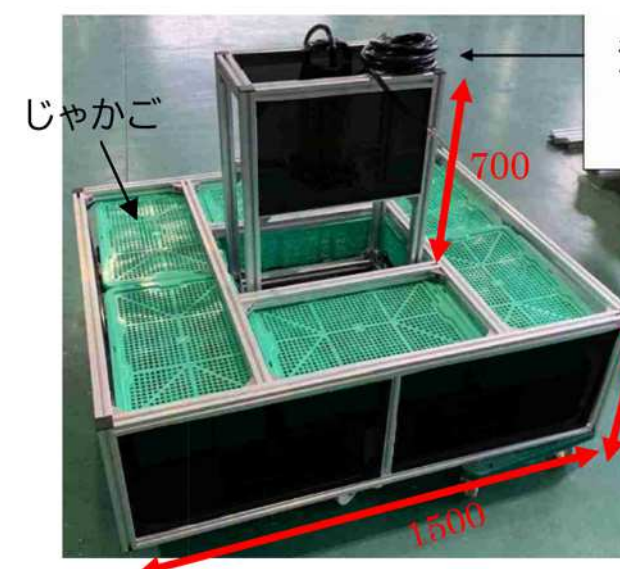


図8 浄化ユニット