

3. 対策技術の事例

有効と考えられる対策の事例として、環境省環境技術実証事業(ETV事業:Environmental Technology Verification)、土木研究所の重点技術及び海外事例の概要や概略の費用の情報を整理した。

3.1 底層溶存酸素量

1) 環境省 ETV 事業

表 3-1(1) 環境省 ETV 事業による対策の事例(1)

方針	対策の概要		実証した項目	概略イニシャルコスト及び算出条件	実証番号
内部負荷の削減	底質改善(浚渫)	湖水を排出しない浚渫	COD、T-N、T-P、SS、透明度	14,689,600円 対象規模 2,200m ² (泥厚 0.20m)、浚渫工 1回当たり	080-1101
	底質改善(溶出抑制)	紙の敷設による溶出・巻き上げ抑制	Chl-a	300,000円 対象規模 2,000m ² 、 施工 1回当たり	080-0703
	湖水の浄化(凝集等)	湖水を取水して凝集等処理後放流	COD等(個別の技術によって異なる)	350,000円 ~259,500,000円 対象規模 1,000m ² (水深 1m)~処理可能排水量 10,000m ³ /日	080-0502 080-0608 080-1201 080-1301 080-1601 080-1701
	湖水の浄化(リン吸着)	湖水を取水してリン吸着後放流	T-P、PO ₄ -P、SS、Chl-a	15,375,000円 対象規模 3,000m ³	080-0501
	湖水の浄化(生物膜処理)	湖中に設置した材料によるSS沈下及び生物膜処理	COD、T-N、T-P、SS	2,210,000円 設計費除く	080-0801
	植物プランクトン発生抑制	遮光、オゾン発生装置による植物プランクトンの発生抑制	COD、Chl-a等(個別の技術によって異なる)	2,600,000円 ~50,800,000円 対象規模 5,000トン ~10,000m ² (水深 1m)	080-0603 080-0604

※実証における目標を達成している技術を掲載した

※環境省 ETV 事業の個別事業の詳細(対策の効果等)は、環境省の ETV ホームページ内の“実証済み技術情報”(https://www.env.go.jp/policy/etv/field/f04/p3.html)を参照

表 3-1(2) 環境省 ETV 事業による対策の事例(2)

方針	対策の概要		実証した項目	概略イニシャルコスト及び算出条件	実証番号
湖水の混合の促進	湖水の混合（水流発生装置）	水流発生装置による成層の破壊	DO、水温等（個別の技術によって異なる）	77,200,000 円 (1 件は費用記載なし)	080-0504 080-0606
生態系機能を活用した水質浄化	抽水植物等による浄化とその取り上げ	浮島に生育させた植物による栄養塩の吸収	T-N、SS、透視度、透明度	1,420,000 円 水質及び汚染源状況により 2,000 ~ 5,000m ³	080-1001

※実証における目標を達成している技術を掲載した

※環境省 ETV 事業の個別事業の詳細(対策の効果等)は、環境省の ETV ホームページ内の“実証済み技術情報”(https://www.env.go.jp/policy/etv/field/f04/p3.html)を参照

2) 海外 ETV 事業等

表 3-2(1) 海外 ETV 事業等による対策の事例(1)

国名	対策の概要		実証した項目	概略イニシャルコスト及び算出条件	技術名
カナダ (ETV)	流入対策（雨水管理:雨水ろ過技術）	雨水流去水から堆積物、栄養塩、重金属、有機汚染物質を除去	TSS	Baysaver Technologies 社ウェブサイトでは、製品のメリットとしてライフサイクルコスト、メンテナンスコストが低いことが記載されているが、具体的な情報は無し。	Enhanced Media Cartridge (EMC)
	流入対策（雨水管理:ろ過装置）	雨水流去水から堆積物、栄養塩、金属類を除去	TSS, T-P, T-N, Zn, Cu	製品パンフレットによれば、他の同等システムよりもろ過媒体の寿命が長く、メンテナンス頻度も低く済むため、費用対効果が高いとされているが、具体的な情報は無し。 米国フロリダの湿地調整池に Up-Flo Filter を導入した際の総建設コスト(フィルター、湿地処理コスト、ポンプ所、制御コストを含む)は 1,800,000 USドルとされる。	Hydro International Up-Flo® Filter with CPZ™ Media

表 3-2(2) 海外 ETV 事業等による対策の事例(2)

国名	対策の概要		実証した項目	概略イニシャルコスト及び算出条件	技術名
カナダ (ETV)	流入対策 (雨水管理:生物滞留システム)	雨水流去水から粒子状物質、栄養塩、重金属、油分を除去	TSS、T-P	Imbrium Systems 社ウェブサイトでは、メンテナンスが低コストであることが記載されているが、具体的な情報は無し。	Filtterra® Bioretention System
アメリカ (ETV)	流入対策 (雨水管理)	雨水流去水から粒子状物質、ごみを除去	SS、T	Crystal Stream Technologies 社ウェブサイトでは、メンテナンスが低コストであることが記載されているが、具体的な情報は無し。	CrystalStream™ Water Quality Vault, Model 1056
	流入対策 (雨水管理)	雨水流去水中の浮遊物、油分、スカムの捕集及び、粒子状物質、石油炭化水素、栄養塩、金属類等の汚染物質の吸着	SS、T	Contech Engineered Solution 社ウェブサイトにおいては、メンテナンス頻度が少なく、長期的なコスト削減になるとされているが、具体的な情報は無し。	The Stormwater Management StormFilter® using Perlite Filter Media
	流入対策 (雨水管理)	雨水流去水から固化および浮遊可能な汚染物質を除去	SS、TDS、T	Contech Engineered Solution 社ウェブサイトにおいては、特に地下水、岩盤またはユーティリティの競合が多いサイトにおいて、簡便かつ費用対効果の高い設置が可能とされているが、具体的な情報は無し。	Vortechs System, Model 1000
アメリカ (その他)	エアレーション	アップドラフトポンプ(UDP)エアレーションシステム	DO、T-P、T-N、クロロフィル a	導入された SolarBee 製 UDP は、1 ユニットあたり 45,000 USドル。	SolarBee

表 3-2(3) 海外 ETV 事業等による対策の事例(3)

国名	対策の概要		実証した項目	概略イニシャルコスト及び算出条件	技術名
中国	エアレーション	DO を回復するために、揚水エアレータを設置	水温、DO、濁度、クロロフィル a、pH	WLA 運転に係るコストは主にコンプレッサの電力に係るものであり、Fenhe 貯水池では、0.016 元/m ³ であった。導入に係るコストについては情報無し。	揚水エアレータ (WLA)
	湖水の混合	湖内複数地点で取水し、複数地点で放流する湖底パイプラインシステムを設置し、湖水の混合を促進	T-N、T-P、クロロフィル a	—	Diversio n and Water Distribu tion

3) 土木研究所の重点普及技術

表 3-3 土木研究所の重点普及技術の事例

方針	対策の概要		実証項目	概略イニシャルコスト及び算出条件	技術名
湖水の混合の促進・底層への酸素等の直接供給	底層への酸素供給	酸素を供給したい水深への高濃度酸素水の吐出	DO、(溶存態鉄、溶存態ヒ素、溶存態マンガン:ダム貯水池) (リン酸態リン、溶存硫化水素、溶存メタン:汽水湖)	約 6 千万円～4 億円 (ケーブルの長さや必要台数による。岸から近い場所に供給地点があり、必要機械が 1 台の場合に、約 6 千万円)	WEP システム (気液溶解装置)

※土木研究所の重点普及技術の個別技術の詳細(対策の効果等)は

https://www.pwri.go.jp/jpn/results/tec-info/kielkiyoukai_r/index.html、

研究代表者:清家泰(2010), 高濃度酸素水生成装置を用いる汽水湖貧酸素水塊の水質改善及び湖底の底質改善, 平成 19 年度～平成 21 年度科学研究費補助金 [基盤研究(A)] 研究成果報告書(研究課題番号 19201016)、

久岡他(2010), ダム湖への高濃度酸素水の供給と金属濃度の低減効果, 学会誌 EICA, 第 15 巻第 2・3 合併号、

増木他(2011), 高濃度酸素水供給に伴う三瓶ダム湖底層水の酸素収支に関する研究, 水環境学会誌, 第 34 巻第 9 号 を参照

※適用実績は各地ダム等で 10 件以上あり

4) その他の事例

表 3-4(1) Lewtas 他(2015)によるレビューの事例(1)

方針	対策の概要		費用
内部負荷の削減	底質改善 (浚渫)	<p>栄養分の豊富な底質の除去は、湖沼の内部負荷の再利用率を低下させ、湖全体の水質を改善する可能性がある。</p> <p>底質に含まれる栄養塩の除去と同時に藍藻類の種となる細胞も除去することができる。</p>	<p>費用が高額になることが浚渫の主な難点である。</p> <p>多くの要因が費用に関連するので、浚渫にかかるプロジェクト間の費用の比較は難しい。</p> <ul style="list-style-type: none"> 汚濁物質を含む底質の除去: 34 ~ 1,409ドル/m³。 文献: 1~30ドル/m³、3,200ドル~60,000ドル/ha ミネソタ州 Twin 湖 総費用: 2,570,000ドル
	底質改善 (リンの不活性化・覆砂)	<p>リンの不活性化や覆砂には、物理的(機械的、消極的)な覆砂と、硫酸アルミニウム、カルシウム、ゼオライト、フォスロック(登録商標)、鉄、改良粘土を使用した積極的な覆砂がある。</p> <p>消極的な覆砂では砂、砂利、粘土などを用いて底質に汚染物質を埋め込み、水柱への栄養塩の拡散を防ぐ。</p>	<p>硫酸アルミニウム添加</p> <ul style="list-style-type: none"> ミネソタ州 Twin 湖: 148,000ドル ミネソタ州 Jessie 湖: 40%導入時 508,000ドル 60%導入時 754,000ドル <p>フォスロック(登録商標)添加</p> <ul style="list-style-type: none"> 表層 10 cm で、1kgあたり50 mg のリンを含む場合: 0.75ドル。 表層 10 cm で、1kgあたり400 mg のリンを含む場合: 6.02ドル。
	底質改善 (底質の酸化)	<p>底泥表層に直接薬剤を注入し、嫌気的な底泥を酸化する Riplox 法がある。</p> <p>鉄の酸化還元反応が底質と水との間でのリンのフラックスを支配している湖で、内部負荷を減少させる。</p> <p>硝酸カルシウム、塩化第二鉄、炭酸カルシウムが湖沼の底質に添加され、これらは酸素の代わりに電子受容体となり、二価鉄イオンの生成とリンの放出を防ぐ。</p>	<p>比較的高価な対策手法である。</p> <ul style="list-style-type: none"> スウェーデン Lillesjön 湖 (1.2 ha に適用): 232,500ドル スウェーデン Trekanten 湖 (87 ha): 609,000ドル アイルランド White 湖 硝酸塩: 43,000ドル(9,350ドル/ha) 鉄または硫酸アルミニウム: 11,500ドル(2,500ドル/ha)

※Lewtas 他(2015)によるレビュー(対策の効果等)は <https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/manitoba-prairie-lakes-remediation-literature-review.pdf> を参照

表 3-4(2) Lewtas 他(2015)によるレビューの事例(2)

方針	対策の概要		費用
内部負荷の削減	湖水の浄化 (底層水の 抜き出し)	<p>栄養塩豊富な底層水を選択的に取りのぞいたり、放流する深度を表層から底層に変えたりすることで、リンを含む湖底の水を直接除去する。</p> <p>このことで底層水の滞留時間を短くし、リンの溶出に関わる嫌気条件の発生する可能性を減らし、底層溶存酸素量を改善する。</p>	<p>資本コストと年間運用コストは比較的低い。</p> <p>・文献より 費用:80,000 ドル～600,000ドル。</p> <p>・ミネソタ州 Twin 湖(8ha)</p> <p>総費用:1,300,000ドル(運用期間 20 年間)</p> <p>うち建設費:400,000ドル</p> <p>年間運用費:40,000ドル</p>
	植物プランクトン発生抑制(殺藻)	<p>殺藻剤は藻類の大量の繁殖により被害を被っている初期の湖や貯水池の管理に用いられることが多いが、湖の生物群集に有害な影響があるために選択されないこともある。</p> <p>硫酸銅については、カナダでは水生生物の保護のために規制されている。</p>	<p>何を用いるかによりコストは大きく異なる</p> <p>・粒状硫酸銅:～2ドル/kg</p> <p>・液体 Cutrine Plus(登録商標):～10ドル/L</p> <p>・カリフォルニア州 Casitas 貯水池一回添加:</p> <p>硫酸銅(Ⅱ)溶液:220～650ドル</p> <p>硫酸銅(Ⅱ)結晶:197～1,185ドル</p> <p>硫酸銅(Ⅱ)クエン酸溶液:127～1,500ドル</p> <p>銅エタノールアミン粒子:710～3000ドル</p>
湖水の混合の促進・底層への酸素等の直接供給	流量の増加 (希釈とフラッシング)	<p>希釈は制限栄養塩の濃度を下げることで、フラッシングは水の交換率を増加することで、富栄養湖の水質を改善する。</p> <p>希釈は湖の濃度を減らすために低栄養の水を流入させるもので、内外の要因が制御不能なときに効果的である。</p> <p>フラッシングは藻類のバイオマスを減少させられる。</p>	<p>水を供給できる施設の存在や利用可能な水の量と近隣状況に左右され、費用は大きく変わる。</p> <p>・文献より費用:100,000 ドル～800,000ドル。</p> <p>・ワシントン州 Moses 湖:一次費用は取水施設 750,000ドル</p>

※Lewtas 他(2015)によるレビュー(対策の効果等)は <https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/manitoba-prairie-lakes-remediation-literature-review.pdf> を参照

表 3-4(3) Lewtas 他(2015)によるレビューの事例(3)

方針	対策の概要		費用
湖水の混合の促進・底層への酸素等の直接供給	湖水の混合(人工的な循環と曝気)	<p>選択した領域や深さだけでなく湖沼全体を循環させる手法である。</p> <p>水質の主な改善としては酸素供給と水柱全体の物質の酸化であり、好気性の生物の生息場を増やすことにもつながる。</p> <p>曝気は溶存酸素量の改善と鉄及びマンガンの溶出削減、藍藻類の生育に適した条件の抑制に効果がある。</p>	<p>湖が大きくなるほど ha あたりの費用は下がる。</p> <p>・湖の大きさ</p> <p>(a) > 53 ha = 760ドル/ ha</p> <p>(b) 23-25 ha = 1,680ドル/ ha</p> <p>(c) < 10 ha = 7,743ドル/ ha</p> <p>・ミネソタ州 Twin 湖の 20 年間運用コスト:935,000ドル</p> <p>メンテナンス費用:35,000 ドル/年</p> <p>導入費用:520~6,100ドル/ha</p> <p>年間費用:150~2,940ドル/ha</p>
	底層への酸素・空気供給	<p>深層曝気は通常成層を乱すことなく、深層に酸素や空気を注入する。</p> <p>深層曝気は成層を壊して深層水を温めることなく底層酸素量を上げるときに適用される。</p> <p>底質と水のリンの交換が鉄の酸化還元制限されている場合、曝気は底質のリンの溶出を削減する。</p>	<p>他のリン制御処理(硫酸アルミニウム等)よりも費用対効果が低い。しかし、曝気には好気性の環境を作るなどの理由がある。</p> <p>・4,000ドル/ ha /年(15 湖沼の平均値より)</p> <p>・Steven 湖:340,000 ドル(年間160 日の運用)</p> <p>0.27ドル/ kg-O₂ または 1,610ドル/ ha</p>
生態系機能を活用した水質浄化	抽水植物等による浄化とその取り上げ(浮島)	抽水植物を植えた浮島を設置し、抽水植物に吸収させることで栄養塩を除去する。	<p>システムが大きくなるほど、建設費、設置費、保守費が増加。事業費は必要な浮島の数とサイズに比例。</p> <p>・初期費用:11~260ドル/m²。</p> <p>・2.1 ha の池の 0.7%に浮島の導入および 1 年間のモニタリング費:40,000ドル</p>
	バイオマニピュレーション	物理的除去や魚食動物の増強によりプランクトン食魚類を排除し、増加した大型の動物プランクトンに藻類を食べさせる。	<p>一般的に他の技術と併せて実施される。</p> <p>・ミネソタ州 Twin 湖 20 年間の総費用:273,000ドル</p> <p>・ミネソタ州 Nokomis 湖 10 年間の総費用:127,000ドル</p>

※Lewtas 他(2015)によるレビュー(対策の効果等)は <https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/manitoba-prairie-lakes-remediation-literature-review.pdf> を参照

表 3-4(4) Lewtas 他(2015)によるレビューの事例(4)

方針	対策の概要		費用
水草の過剰な繁茂の抑制	水草の刈り取り	湖沼からの水草の除去は湖沼の内部負荷に該当する栄養塩の除去となる。水草は分解して有機物となり、酸素欠乏やリンの溶出を引き起こすことから、水草の除去でこれらを軽減できる。	費用は除去方法、面積、植物種及び密度と水深により異なる。 <ul style="list-style-type: none"> ・文献より 650～1000ドル/ ha ・60 ヘクタールの水草を除去:年間 42,000ドル(728ドル/ ha) ・ニューヨーク州 Chautauqua 湖、5,300 ha、2,348 トンの除去: 550,000ドル/年(2014) ・大規模な刈り取り機の費用: 50,000～200,000ドル ・ボートに設置する小型の刈り取り機はより安価

※Lewtas 他(2015)によるレビュー(対策の効果等)は <https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/manitoba-prairie-lakes-remediation-literature-review.pdf> を参照

3.2 沿岸透明度

1) 環境省 ETV 事業

表 3-5 環境省 ETV 事業による対策の事例

方針	対策の概要		実証した項目	概略イニシャルコスト及び算出条件	実証番号
内部負荷の削減	底質改善 (浚渫)	湖水を排出しない浚渫	COD、T-N、T-P、SS、透明度	14,689,600 円 対象規模 2,200m ² (泥厚 0.20m)、浚渫工 1 回当たり	080-1101
	底質改善 (溶出抑制)	紙の敷設による溶出・巻き上げ抑制	Chl-a	300,000 円 対象規模 2,000m ² 、 施工 1 回当たり	080-0703
	湖水の浄化 (凝集等)	湖水を取水して凝集等処理後放流	COD 等(個別の技術によって異なる)	350,000 円 ～259,500,000 円 対象規模 1,000m ² (水深 1m)～処理可能排水量 10,000m ³ /日	080-0502 080-0608 080-1201 080-1301 080-1601 080-1701
	湖水の浄化 (リン吸着)	湖水を取水してリン吸着後放流	T-P、PO ₄ -P、SS、Chl-a	15,375,000 円 対象規模 3,000m ³	080-0501
	湖水の浄化 (生物膜処理)	湖中に設置した材料による SS 沈下及び生物膜処理	COD、T-N、T-P、SS	2,210,000 円 設計費除く	080-0801
	植物プランクトン発生抑制	遮光、オゾン発生装置による植物プランクトンの発生抑制	COD、Chl-a 等(個別の技術によって異なる)	2,600,000 円 ～50,800,000 円 対象規模 5,000 トン ～10,000m ² (水深 1m)	080-0603 080-0604
	生態系機能を活用した水質浄化	抽水植物等による浄化とその取り上げ	浮島に生育させた植物による栄養塩の吸収	T-N、SS、透視度、透明度	1,420,000 円 水質及び汚染源状況により 2,000～5,000m ³

※実証における目標を達成している技術を掲載した

※環境省 ETV 事業の個別事業の詳細(対策の効果等)は環境省の ETV ホームページ内の“実証済み技術情報”(https://www.env.go.jp/policy/etv/field/f04/p3.html)を参照

2) 海外 ETV 事業等

表 3-6(1) 海外 ETV 事業等による対策の事例(1)

国名	対策の概要		実証した項目	概略イニシャルコスト及び算出条件	技術名
カナダ (ETV)	流入対策 (雨水管理:雨水ろ過技術)	雨水流去水から堆積物、栄養塩、重金属、有機汚染物質を除去	TSS	Baysaver Technologies 社ウェブサイトでは、製品のメリットとしてライフサイクルコスト、メンテナンスコストが低いことが記載されているが、具体的な情報は無し。	Enhanced Media Cartridge (EMC)
	流入対策 (雨水管理:ろ過装置)	雨水流去水から堆積物、栄養塩、金属類を除去	TSS, T-P, T-N, Zn, Cu	製品パンフレットによれば、他の同等システムよりもろ過媒体の寿命が長く、メンテナンス頻度も低く済むため、費用対効果が高いとされているが、具体的な情報は無し。 米国フロリダの湿地調整池に Up-Flo Filter を導入した際の総建設コスト(フィルター、湿地処理コスト、ポンプ所、制御コストを含む)は 1,800,000 USドルとされる。	Hydro International Up-Flo® Filter with CPZ™ Media
	流入対策 (雨水管理:生物滞留システム)	雨水流去水から粒子状物質、栄養塩、重金属、油分を除去	TSS、T-P	Imbrium Systems 社ウェブサイトでは、メンテナンスが低コストであることが記載されているが、具体的な情報は無し。	Filtterra® BioRetention System
アメリカ (ETV)	流入対策 (雨水管理)	雨水流去水から粒子状物質、ごみを除去	SS, T	Crystal Stream Technologies 社ウェブサイトでは、メンテナンスが低コストであることが記載されているが、具体的な情報は無し。	CrystalStream™ Water Quality Vault, Model 1056

表 3-6(2) 海外 ETV 事業等による対策の事例(2)

国名	対策の概要		実証した項目	概略イニシャルコスト及び算出条件	技術名
アメリカ (ETV)	流入対策 (雨水管理)	雨水流去水中の浮遊物、油分、スカムの捕集及び、粒子状物質、石油炭化水素、栄養塩、金属類等の汚染物質の吸着	SS、T	Contech Engineered Solution 社ウェブサイトにおいては、メンテナンス頻度が少なく、長期的なコスト削減になるとされているが、具体的な情報は無し。	The Stormwater Management StormFilter [®] using Perlite Filter Media
	流入対策 (雨水管理)	雨水流去水から固化および浮遊可能な汚染物質を除去	SS、TDS、T	Contech Engineered Solution 社ウェブサイトにおいては、特に地下水、岩盤またはユーティリティの競合が多いサイトにおいて、簡便かつ費用対効果の高い設置が可能とされているが、具体的な情報は無し。	Vortechs System, Model 1000
アメリカ (その他)	エアレーション	アップドラフトポンプ (UDP) エアレーションシステム	DO、T-P、T-N、クロロフィル a	導入された SolarBee 製 UDP は、1 ユニットあたり 45,000 USドル。	SolarBee
	流入対策 (雨水管理、地形管理)	①周辺道路・施設からの雨水管理、②河岸地形の回復による流出の防止	SS、T-N、T-P	2002年から2019年までに完了した関連事業(道路改修等を含む)の総額は、468,315,477 USドル(見積ベース)。	Environmental Improvement Program
中国	エアレーション	DOを回復するために、揚水エアレータを設置	水温、DO、濁度、クロロフィル a、pH	WLA 運転に係るコストは主にコンプレッサの電力に係るものであり、Fenhe 貯水池では、0.016 元/m ³ であった。導入に係るコストについては情報無し。	揚水エアレータ (WLA)

表 3-6(3) 海外 ETV 事業等による対策の事例(3)

国名	対策の概要		実証した項目	概略イニシャルコスト及び算出条件	技術名
中国	湖水の混合	湖内複数地点で取水し、複数地点で放流する湖底パイプラインシステムを設置し、湖水の混合を促進	T-N、T-P、クロロフィルa	—	Diversion and Water Distribution
ミャンマー	藻類の除去	アオコ回収フエンス、回収タンク、凝集処理設備等を組み合わせた設備を導入	透明度、SS、COD、T-N、T-P	—	アオコ回収処理システム

3) その他の事例

表 3-7(1) Lewtas 他(2015)によるレビューの事例

方針	対策の概要		費用
内部負荷の削減	底質改善(浚渫)	<p>栄養分の豊富な底質の除去は、湖沼の内部負荷の再利用率を低下させ、湖全体の水質を改善する可能性がある。</p> <p>底質に含まれる栄養塩の除去と同時に藍藻類の種となる細胞も除去することができる。</p>	<p>費用が高額になることが浚渫の主な難点である。</p> <p>多くの要因が費用に関連するので、浚渫にかかるプロジェクト間の費用の比較は難しい。</p> <ul style="list-style-type: none"> 汚濁物質を含む底質の除去: 34～1,409ドル/m³。 文献: 1～30ドル/m³、3,200ドル～60,000ドル/ha ミネソタ州 Twin 湖 総費用: 2,570,000ドル

※Lewtas 他(2015)によるレビュー(対策の効果等)は <https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/manitoba-prairie-lakes-remediation-literature-review.pdf> を参照

表 3-7(2) Lewtas 他(2015)によるレビューの事例(2)

方針	対策の概要		費用
内部負荷の削減	底質改善(リンの不活性化・覆砂)	<p>リンの不活性化や覆砂には、物理的(機械的、消極的)な覆砂と、硫酸アルミニウム、カルシウム、ゼオライト、フォスロック(登録商標)、鉄、改良粘土を使用した積極的な覆砂がある。</p> <p>消極的な覆砂では砂、砂利、粘土などを用いて底質に汚染物質を埋め込み、水柱への栄養塩の拡散を防ぐ。</p>	<p>硫酸アルミニウム添加</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ミネソタ州 Twin 湖: 148,000ドル ・ミネソタ州 Jessie 湖: <ul style="list-style-type: none"> 40%導入時 508,000ドル 60%導入時 754,000ドル <p>フォスロック(登録商標)添加</p> <ul style="list-style-type: none"> ・表層 10 cm で、1kgあたり 50 mg のリンを含む場合: 0.75ドル。 ・表層 10 cm で、1kg あたり 400 mg のリンを含む場合: 6.02 ドル。
	底質改善(底質の酸化)	<p>底泥表層に直接薬剤を注入し、嫌気的な底泥を酸化する Riplox 法がある。</p> <p>鉄の酸化還元反応が底質と水との間でのリンのフラックスを支配している湖で、内部負荷を減少させる。</p> <p>硝酸カルシウム、塩化第二鉄、炭酸カルシウムが湖沼の底質に添加され、これらは酸素の代わりに電子受容体となり、二価鉄イオンの生成とリンの放出を防ぐ。</p>	<p>比較的高価な対策手法である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・スウェーデン Lillesjön 湖 (1.2 ha に適用): 232,500ドル ・スウェーデン Trekanten 湖 (87 ha): 609,000ドル ・アイルランド White 湖 <ul style="list-style-type: none"> 硝酸塩: 43,000ドル(9,350ドル/ha) 鉄または硫酸アルミニウム: 11,500ドル(2,500ドル/ha)
	湖水の浄化(底層水の抜き出し)	<p>栄養塩豊富な底層水を選択的に取りのぞいたり、放流する深度を表層から底層に変えたりすることで、リンを含む湖底の水を直接除去する。</p> <p>このことで底層水の滞留時間を短くし、リンの溶出に関わる嫌気条件の発生する可能性を減らし、底層溶存酸素量を改善する。</p>	<p>資本コストと年間運用コストは比較的低い。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・文献より 費用: 80,000ドル～600,000ドル。 ・ミネソタ州 Twin 湖(8ha) <ul style="list-style-type: none"> 総費用: 1,300,000ドル(運用期間 20年間) うち建設費: 400,000ドル 年間運用費: 40,000ドル

※Lewtas 他(2015)によるレビュー(対策の効果等)は <https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/manitoba-prairie-lakes-remediation-literature-review.pdf> を参照

表 3-7(3) Lewtas 他(2015)によるレビューの事例(3)

方針	対策の概要		費用
内部負荷の削減	植物プランクトン発生抑制(殺藻)	<p>殺藻剤は藻類の大量の繁殖により被害を被っている初期の湖や貯水池の管理に用いられることが多いが、湖の生物群集に有害な影響があるために選択されないこともある。</p> <p>硫酸銅については、カナダでは水生生物の保護のために規制されている。</p>	<p>何を用いるかによりコストは大きく異なる</p> <ul style="list-style-type: none"> ・粒状硫酸銅: ~2ドル/kg ・液体 Cutrine Plus(登録商標): ~10ドル/L ・カリフォルニア州 Casitas 貯水池一回添加: 硫酸銅(II)溶液: 220~650ドル 硫酸銅(II)結晶: 197~1,185ドル 硫酸銅(II)クエン酸溶液: 127~1,500ドル 銅エタノールアミン粒子: 710~3000ドル
湖水の混合の促進・底層への酸素等の直接供給	流量の増加(希釈とフラッシング)	<p>希釈は制限栄養塩の濃度を下げることで、フラッシングは水の交換率を増加することで、富栄養湖の水質を改善する。</p> <p>希釈は湖の濃度を減らすために低栄養の水を流入させるもので、内外の要因が制御不能なときに効果的である。</p> <p>フラッシングは藻類のバイオマスを減少させられる。</p>	<p>水を供給できる施設の存在や利用可能な水の量と近隣状況に左右され、費用は大きく変わる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・文献より費用: 100,000ドル~800,000ドル。 ・ワシントン州 Moses 湖: 一次費用は取水施設 750,000ドル

※Lewtas 他(2015)によるレビュー(対策の効果等)は <https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/manitoba-prairie-lakes-remediation-literature-review.pdf> を参照

表 3-7(4) Lewtas 他(2015)によるレビューの事例(4)

方針	対策の概要		費用
湖水の混合の促進・底層への酸素等の直接供給	湖水の混合(人工的な循環と曝気)	<p>選択した領域や深さだけでなく湖沼全体を循環させる手法である。</p> <p>水質の主な改善としては酸素供給と水柱全体の物質の酸化であり、好気性の生物の生息場を増やすことにもつながる。</p> <p>曝気は溶存酸素量の改善と鉄及びマンガンの溶出削減、藍藻類の生育に適した条件の抑制に効果がある。</p>	<p>湖が大きくなるほど ha あたりの費用は下がる。</p> <p>・湖の大きさ</p> <p>(a) > 53 ha = 760ドル/ ha</p> <p>(b) 23-25 ha = 1,680ドル/ ha</p> <p>(c) < 10 ha = 7,743ドル/ ha</p> <p>・ミネソタ州 Twin 湖の 20 年間運用コスト:935,000ドル</p> <p>メンテナンス費用:35,000 ドル/年</p> <p>導入費用:520~6,100ドル/ha</p> <p>年間費用:150~2,940ドル/ha</p>
	底層への酸素・空気供給	<p>深層曝気は通常成層を乱すことなく、深層に酸素や空気を注入する。</p> <p>深層曝気は成層を壊して深層水を温めることなく底層酸素量を上げるときに適用される。</p> <p>底質と水のリンの交換が鉄の酸化還元制限されている場合、曝気は底質のリンの溶出を削減する。</p>	<p>他のリン制御処理(硫酸アルミニウム等)よりも費用対効果が低い。しかし、曝気には好気性の環境を作るなどの理由がある。</p> <p>・4,000ドル/ ha /年(15 湖沼の平均値より)</p> <p>・Steven 湖:340,000 ドル(年間160 日の運用)</p> <p>0.27ドル/ kg-O₂ または 1,610ドル/ ha</p>
生態系機能を活用した水質浄化	抽水植物等による浄化とその取り上げ(浮島)	抽水植物を植えた浮島を設置し、抽水植物に吸収させることで栄養塩を除去する。	<p>システムが大きくなるほど、建設費、設置費、保守費が増加。事業費は必要な浮島の数とサイズに比例。</p> <p>・初期費用:11~260ドル/m²。</p> <p>・2.1 ha の池の 0.7%に浮島の導入および 1 年間のモニタリング費:40,000ドル</p>
	バイオマニピュレーション	物理的除去や魚食動物の増強によりプランクトン食魚類を排除し、増加した大型の動物プランクトンに藻類を食べさせる。	<p>一般的に他の技術と併せて実施される。</p> <p>・ミネソタ州 Twin 湖 20 年間の総費用:273,000ドル</p> <p>・ミネソタ州 Nokomis 湖 10 年間の総費用:127,000ドル</p>

※Lewtas 他(2015)によるレビュー(対策の効果等)は <https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/manitoba-prairie-lakes-remediation-literature-review.pdf> を参照

3.3 参考文献

- 環境省 ETV 事業:<http://www.env.go.jp/policy/etv/index.html>
- 土木研究所重点普及技術:
https://www.pwri.go.jp/jpn/results/tec-info/ki ekiyoukai_r/index.html
- 研究代表者:清家泰(2010(平成 22 年)):高濃度酸素水生成装置を用いる汽水湖貧酸素水塊の水質改善及び湖底の底質改善,平成 19 年度~平成 21 年度科学研究費補助金[基盤研究(A)]研究成果報告書(研究課題番号 19201016)
- 久岡他(2010(平成 22 年)):ダム湖への高濃度酸素水の供給と金属濃度の低減効果,学会誌 EICA, 第 15 巻第 2・3 合併号
- 増木他(2011(平成 23 年)):高濃度酸素水供給に伴う三瓶ダム湖底層水の酸素収支に関する研究,水環境学会誌,第 34 巻第 9 号
- Kimberly Lewtas, Michael Paterson, Henry David Venema, Dimple Roy(2015):Manitoba Prairie Lakes: Eutrophication and In-Lake Remediation Treatments Literature Review:
<https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/manitoba-prairie-lakes-remediation-literature-review.pdf>
- Verification Statement, BaySaver BayFilter™ Enhanced Media Cartridge (EMC) Registration number: (V-2018-10-02):
<http://verifiglobal.com/~media/Files/Verifiglobal/VerifiGlobal-Verification-Statement-for-BaySaver-BayFilter-Final-for-posting-2018-10-29.ashx>
- Baysaver Technologies ウェブサイト:<https://baysaver.com/products/bayfilter/>
- Verification Statement, Hydro International Up-Flo® Filter with CPZ™ Media Registration number: (V-2019-06-01):
<http://verifiglobal.com/~media/Files/Verifiglobal/2019/07/VG-2019-06-01-HI-UFF-Verification-Statement-Final-2019-06-28-for-posting-2.ashx?la=da>
- Hydro International 製品パンフレット:
https://www.hydro-int.com/sites/default/files/the_hydro_stormtrain_series_brochure_rev_f0117.pdf
- Wanielista(2014); Up-Flow Filtration for Wet Detention Ponds:
<https://www.florida-stormwater.org/assets/MemberServices/Conference/AC14/06%20-%20wanielista%20flint.pdf>
- Verification Statement, Imbrium Systems Inc. Filterra Bioretention System:https://etvcanada.ca/wp-content/uploads/2018/12/ISO14034-ETV-Verification-Statement_Filterra_Final.pdf
- Imbrium Systems ウェブサイト:
<http://www.imbriumsystems.com/stormwater-treatment-solutions/filterra>

- Verification Report, Stormwater Source Area, Treatment Device Practical Best Management of Georgia, Inc. CrystalStream™ Water Quality Vault Model 1056:
https://archive.epa.gov/nrmrl/archive-etv/web/pdf/09_vr_pbm.pdf
- Crystal Stream Technologies ウェブサイト:<http://crystalstream.com/products/single-vault/>
- Verification Report, Stormwater Source Area Treatment Device, The Stormwater Management, StormFilter® using Perlite Filter Media:
https://archive.epa.gov/nrmrl/archive-etv/web/pdf/09_vr_smi_perlite.pdf
- Contech Engineered Solutions ウェブサイト:
<https://www.conteches.com/stormwater-management/treatment/stormwater-management-stormfilter>
- Verification Report, Stormwater Source Area Treatment Device, Vortech, Inc. Vortechs System, Model 1000:
https://archive.epa.gov/nrmrl/archive-etv/web/pdf/09_vr_vortechs.pdf
- Contech Engineered Solutions ウェブサイト:
<https://www.conteches.com/stormwater-management/treatment/vortechs>
- Vermont Department of Environmental Conservation(2019); AERATION AS A LAKE MANAGEMENT TOOL AND ITS USE IN VERMONT:
https://dec.vermont.gov/sites/dec/files/wsm/lakes/docs/Encroachment/AerationReport_FINAL.pdf
- Holdren ら(2018); Evaluation of In-Lake Management Options for Lake Carmi, Franklin, Vermont:
https://dec.vermont.gov/sites/dec/files/documents/lp_LakeCarmiFinalScopingReport_2018-02-06_Revised_2018-10-22.pdf
- EPA Lake Tahoe Water Quality Improvement Programs ウェブサイト:
<https://www.epa.gov/lake-tahoe/lake-tahoe-water-quality-improvement-programs>
- The Lake Tahoe Environmental Improvement Program (EIP)ウェブサイト:
<https://eip.laketahoeinfo.org/EIPFocusArea/Detail/1>
- Huang ら(2019);S-type Dissolved Oxygen Distribution along Water Depth in a Canyon-shaped and Algae Blooming Water Source Reservoir: Reasons and Control:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6466274/>
- Huan ら(2016);Water Quality Improvement by Water-Lifting Aerators, Huan 編(2016) Water Pollution and Water Quality Control of Selected Chinese Reservoir Basins
https://www.researchgate.net/profile/Shi_Lei_Zhou/publication/292644239_Water_Pollution_and_Water_Quality_Control_of_Selected_Chinese_Reservoir_Basins/links/5ba9848b299bf13e6

04a3d95/Water-Pollution-and-Water-Quality-Control-of-Selected-Chinese-Reservoir-Basins.pdf?origin=publication_detail

- Zhang 辰(2018): Case Study on Water Quality Improvement in Xihu Lake through Diversion and Water Distribution
<https://www.mdpi.com/2073-4441/10/3/333/pdf>
- JICA(2014): ミャンマー国 ヤンゴン市上下水道改善プログラム協力準備調査報告書 ; 第6巻. 下水道・排水マスタープラン
http://open_jicareport.jica.go.jp/618/618/618_104_12175527.html
- Wetzel, R. G. (2001): Limnology: Lake and River Ecosystems, Academic Press, New York