



第4回休廃止鉱山のグリーン・レメディエーション
と関連分野の最前線

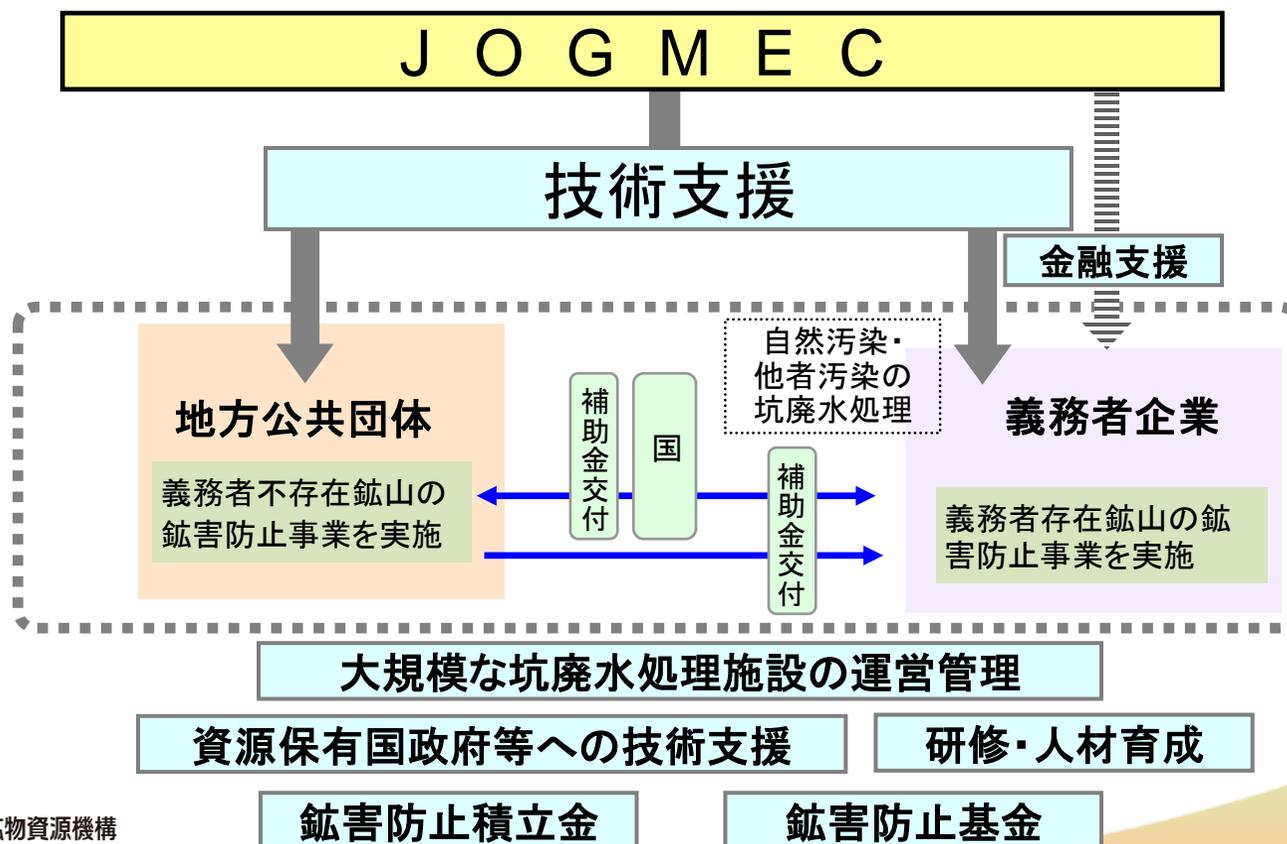
最近のJOGMECの取組について

独立行政法人 エネルギー・金属鉱物資源機構

金属環境事業部 特命調査役 濱井 昂弥 hamai-takaya@jogmec.go.jp

2023.03.07

- ✓ 鉱害防止事業に取り組む地方公共団体や企業等に対して、JOGMECは1973年から技術面や情報面、資金面での支援を実施。
- ✓ 「鉱害防止と環境保全」をキーワードに、休廃止鉱山の発生源対策から坑廃水処理施設の運営管理まで、これまで培ってきた鉱害防止のノウハウを活かして、鉱害防止対策に関する技術支援、技術開発、情報提供等を行い、環境の保全等に貢献。
- ✓ https://www.jogmec.go.jp/mp_control/index.html



①地方公共団体への技術支援 <調査指導、調査設計、工事支援、その他支援>

- ・調査指導(交付金事業): 鉱害防止対策の基本計画等を提言
 - ・調査設計(受託業務): 鉱害防止工事に必要な設計等を実施
 - ・工事支援(受託業務): 鉱害防止工事に対する技術的助言等を実施
 - ・その他支援(交付金事業): 調査設計支援や業務支援など鉱害防止全般に関する支援
- <運営管理>
- ・岩手県からの受託業務として、旧松尾鉱山新中和処理施設の維持管理を実施

②鉱害防止技術開発

- ・坑廃水処理コストの削減等を目指し、効率化・費用低減化等に資する技術を開発

③研修・人材育成

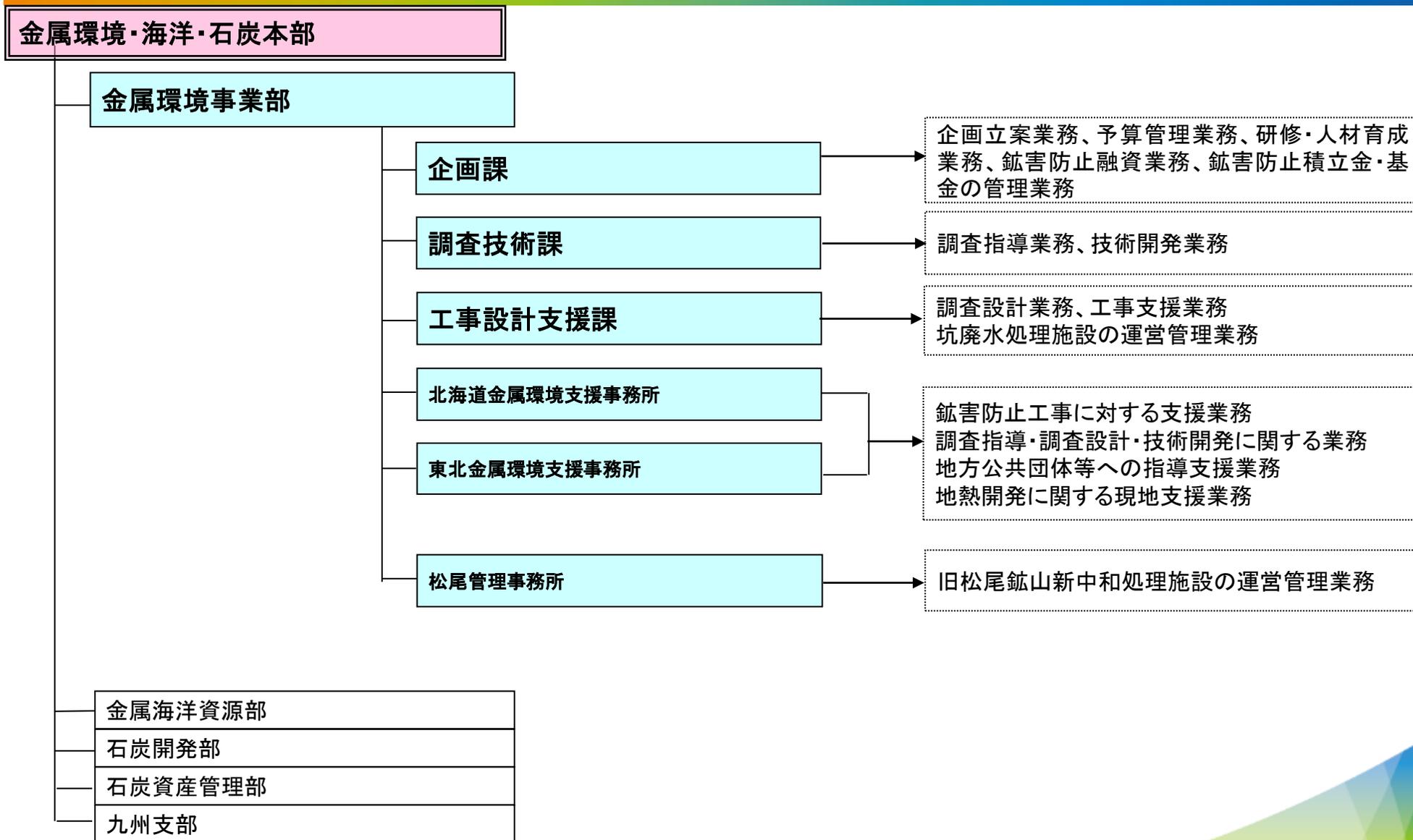
- ・鉱害環境情報交換会: 講演会・現場見学を通じ、関係者が知識・技術を習得
- ・自治体講習会: 地方公共団体職員に対する研修や意見交換等
- ・基礎技術研修会: 座学や実験実習、現場見学を通じ現場管理技術者の技術習得を促進

④鉱害防止事業実施者等への融資

⑤積立金・基金の管理

- ・鉱害防止積立金、鉱害防止事業基金

⑥資源保有国への技術・情報協力



◆ パッシブトリートメント導入促進

① 義務者不存在鉱山における適用可能性調査【調査指導】

秋田県横手市が坑廃水処理を実施する吉乃鉱山において、同市から調査指導依頼を受け、パッシブトリートメントの適用可能性調査を開始。実証試験等を実施し令和5年度末に報告書を取りまとめる計画。

参考情報URL https://www.jogmec.go.jp/publish/plus_vol1_02.html

② 導入ガイダンスの作成、公開【METI委託事業】

経済産業省から委託を受け（平成30年度～令和2年度休廃止鉱山における坑廃水処理の高度化調査研究事業）、パッシブトリートメントの導入ガイダンスを作成。経済産業省HPで公開中。

参考情報URL https://www.jogmec.go.jp/news/release/news_08_00010.html

③ 実規模相当実証試験の実施【交付金事業】

鉄酸化細菌と硫酸還元菌を活用したプロセスについて、通水量100 L/minとなる実規模相当実証試験を実施中。処理が1年間安定的に継続することが確認され、現在も連続通水中。

参考情報URL https://www.jogmec.go.jp/news/release/news_15_000001_00082.html

④ 技術導入支援（民間企業等との共同スタディ）【交付金事業】

現場への導入を検討する民間企業等と共同で適用可能性を検討。JOGMEC金属資源技術研究所での基礎試験の実施や現地試験の実施。

⑤ 複数のモデル鉱山でのPT実証、導入ガイダンス改訂に向けた情報整理【METI委託事業】

→令和4年度休廃止鉱山における坑廃水処理の高度化技術調査事業

◆ 鉱害防止に関する国の基本方針策定に対する支援

経済産業省から委託を受け【令和3年度産業保安等技術基準策定研究開発等(休廃止鉱山におけるグリーン・レメディエーション(元山回帰)の調査研究等事業)】、休廃止鉱山における鉱害防止事業に関する国の方針を定めた第6次基本方針(令和5年～14年度)策定にあたり、国が行う第5次のレビューおよび第6次の方向性の検討作業について支援

◆ 鉱害防止分野におけるカーボンニュートラル(CN)に寄与する技術に関する共同研究

坑廃水処理を含む鉱害防止事業の中長期的な実施を見据え、鉱害防止分野におけるカーボンニュートラル推進に向けた基礎研究を開始。研究機関等との共同研究を公募により実施。令和3年度は2件、令和4年度は3件(新規1件、継続2件)の共同研究を実施

参考情報URL <https://www.jogmec.go.jp/carbonneutral/index.html> ←JOGMECのCN取組紹介
https://www.jogmec.go.jp/news/bid/bid_01_00012.html ←令和4年度共同研究の公募要領

◆ 旧松尾鉱山新中和処理施設40周年記念シンポジウムの開催

JOGMECが旧松尾鉱山新中和処理施設の維持管理を受託するようになり40年が経過した節目を捉え、これまでの坑廃水処理事業を振り返り、また環境新時代を考える機会とした。

https://www.jogmec.go.jp/publish/plus_vol07.html

～平成20年度：鉱害防止工事に関する調査・設計等の支援を実施。鉱害防止工事完了。
平成27年度～：JOGMEC事業でPT現地試験を開始
平成30年度～令和3年9月：経済産業省から委託を受け、PT実証試験を実施
令和3年10月～：横手市から「調査指導※」の依頼を受け、調査開始

※調査指導：JOGMECが実施する支援の一つで、義務者不存在鉱山を管理する地方公共団体の依頼に応じ、個々の休廃止鉱山の鉱害発生(またはその恐れ)の現況調査や鉱害防止対策の必要性及び、対策方針の検討・提言を行うもの

調査指導依頼内容(事業期間：～令和5年度末)

- ①パッシブトリートメント導入に関する検討(実証試験による導入可能性検討)
- ②処理水量削減に資する基礎調査
- ③利水点等管理に関する検討(既存データ整理、水系調査、シミュレーション等)



パッシブトリートメント実証試験の反応概念図

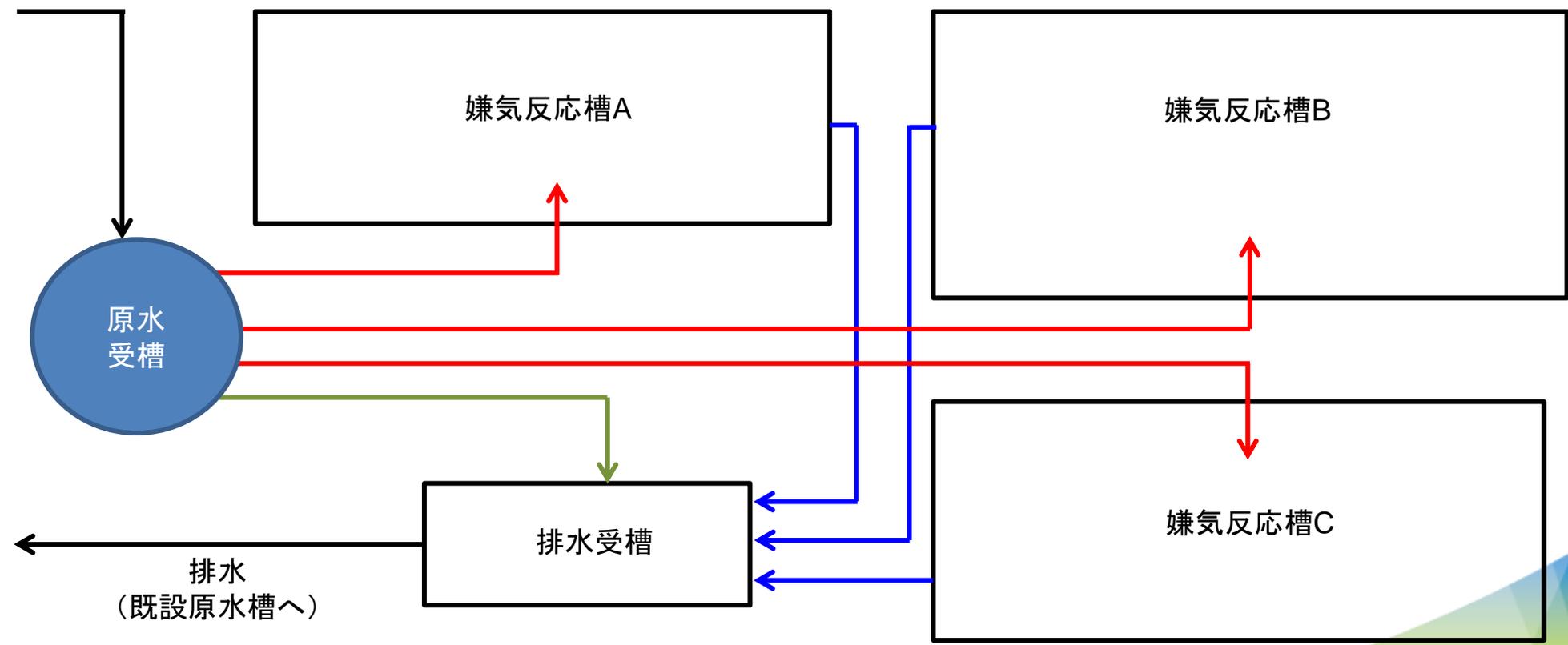


実証試験設備

①パッシブトリートメント導入に関する検討

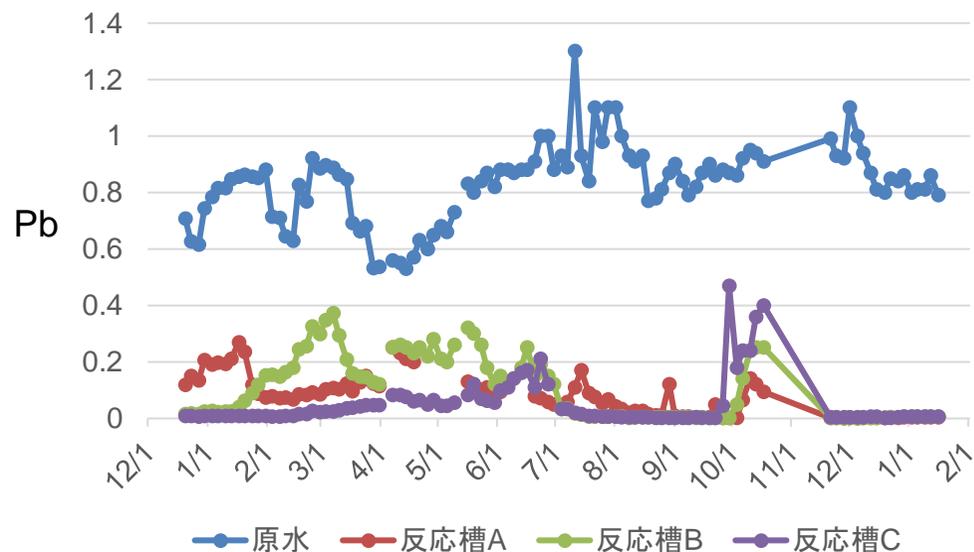
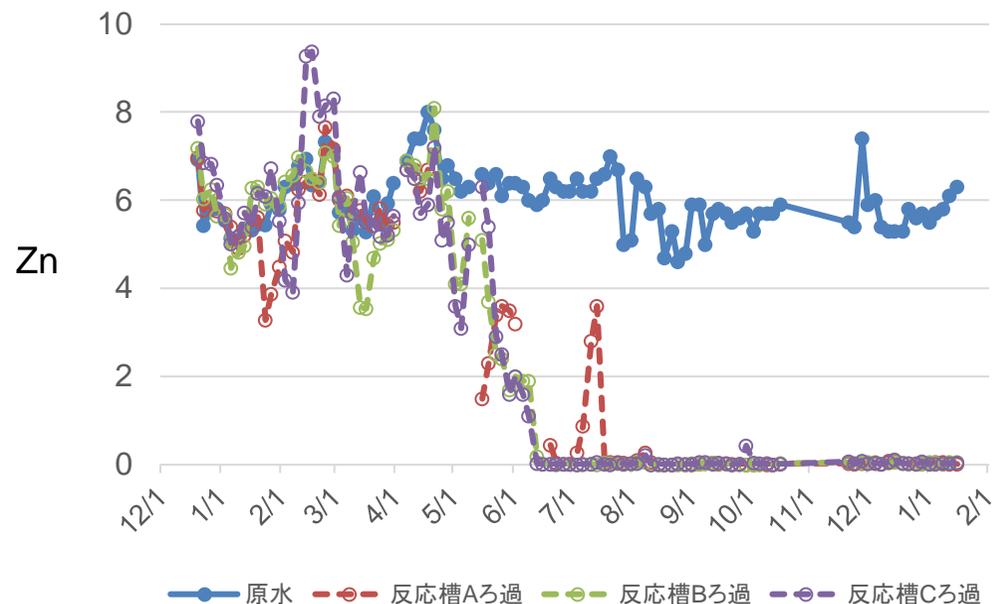
- ✓ JOGMECプロセスを適用することを前提に実証試験を実施(2021年11月～)
- ✓ 鉄を含まないため、前処理なしでダイレクトに嫌気反応槽に処理原水を導水
- ✓ 硫酸還元菌の栄養源としてエタノール溶剤を添加

処理原水(タケノコ沢浸透水)

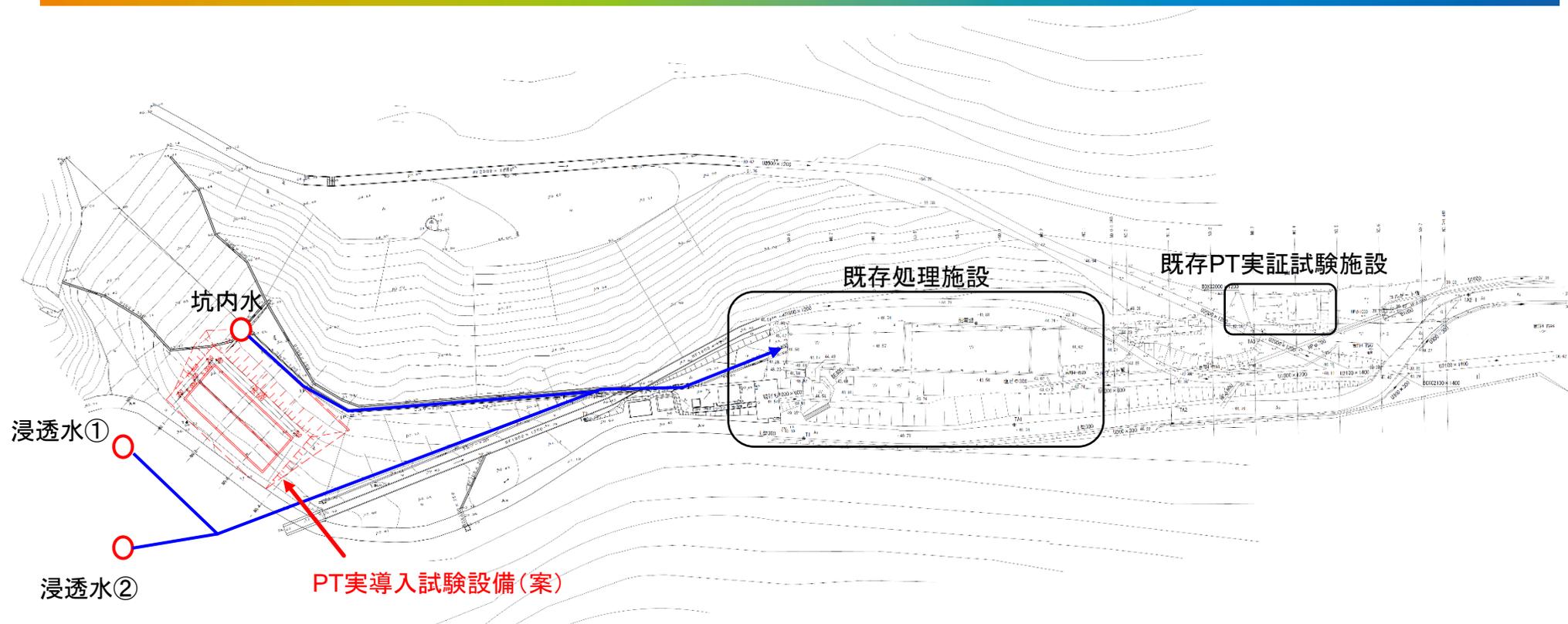


実証試験設備配置図

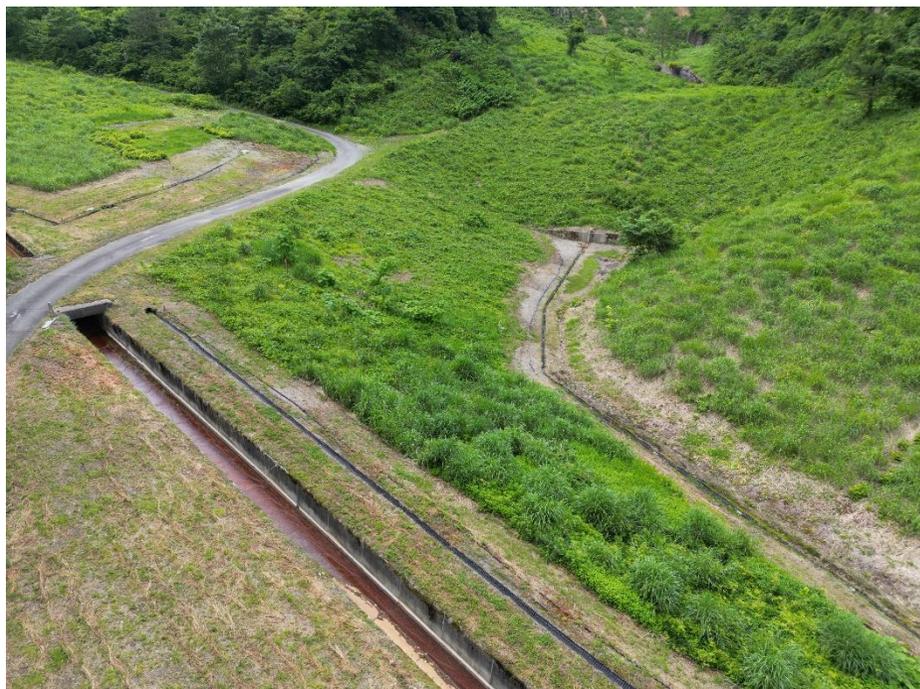
Zn、Pb濃度の推移



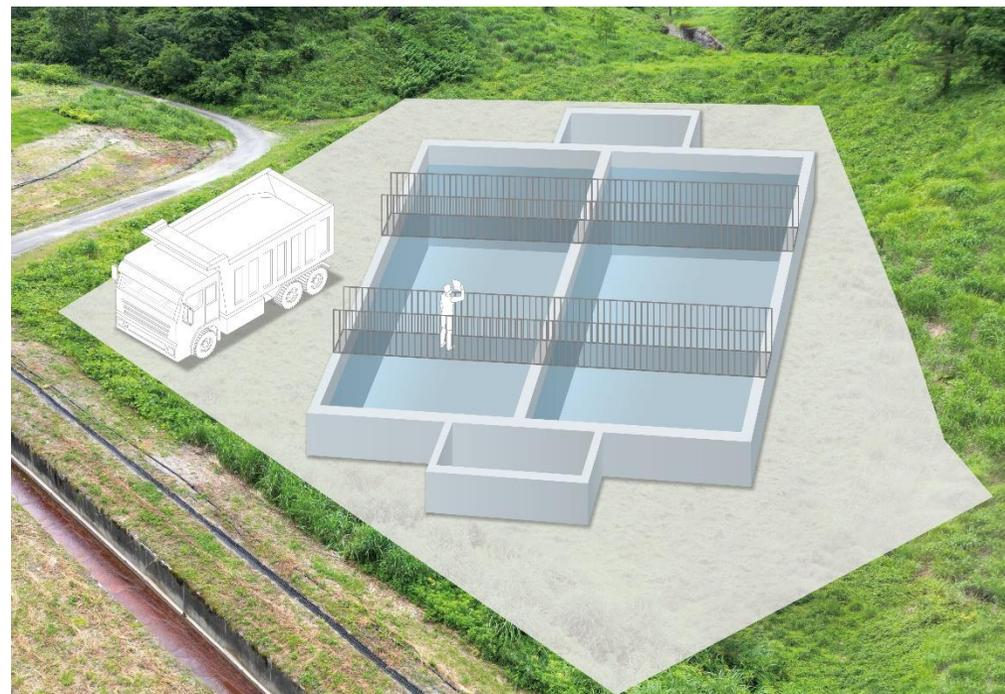
- ✓ Znは1度目の冬季は処理が不十分であったが、6月中旬から安定して排水基準をクリア。2度目の冬季には元々安定した状態で突入したことで安定処理が継続できた
- ✓ Pbは炭酸塩で析出しやすいため硫酸還元していない時期でも低濃度になっているが基準をクリアするには至っていなかった。6月中旬以降冬季においても低濃度まで除去されている。



- ✓ これまでの小規模実証試験を踏まえ、令和5年度には「実導入試験」に移行する。
- ✓ 現在の想定としては、試験規模は滞留時間25時間で、150 L/minの処理が可能なもの。滞留時間20時間で運転すれば、約200 L/minの処理が可能となる。
- ✓ 年間通じて約7~8割の期間の水量に対処できる想定。
- ✓ 既存処理施設の上流側に配置し、処理水は既存処理施設へ還元。

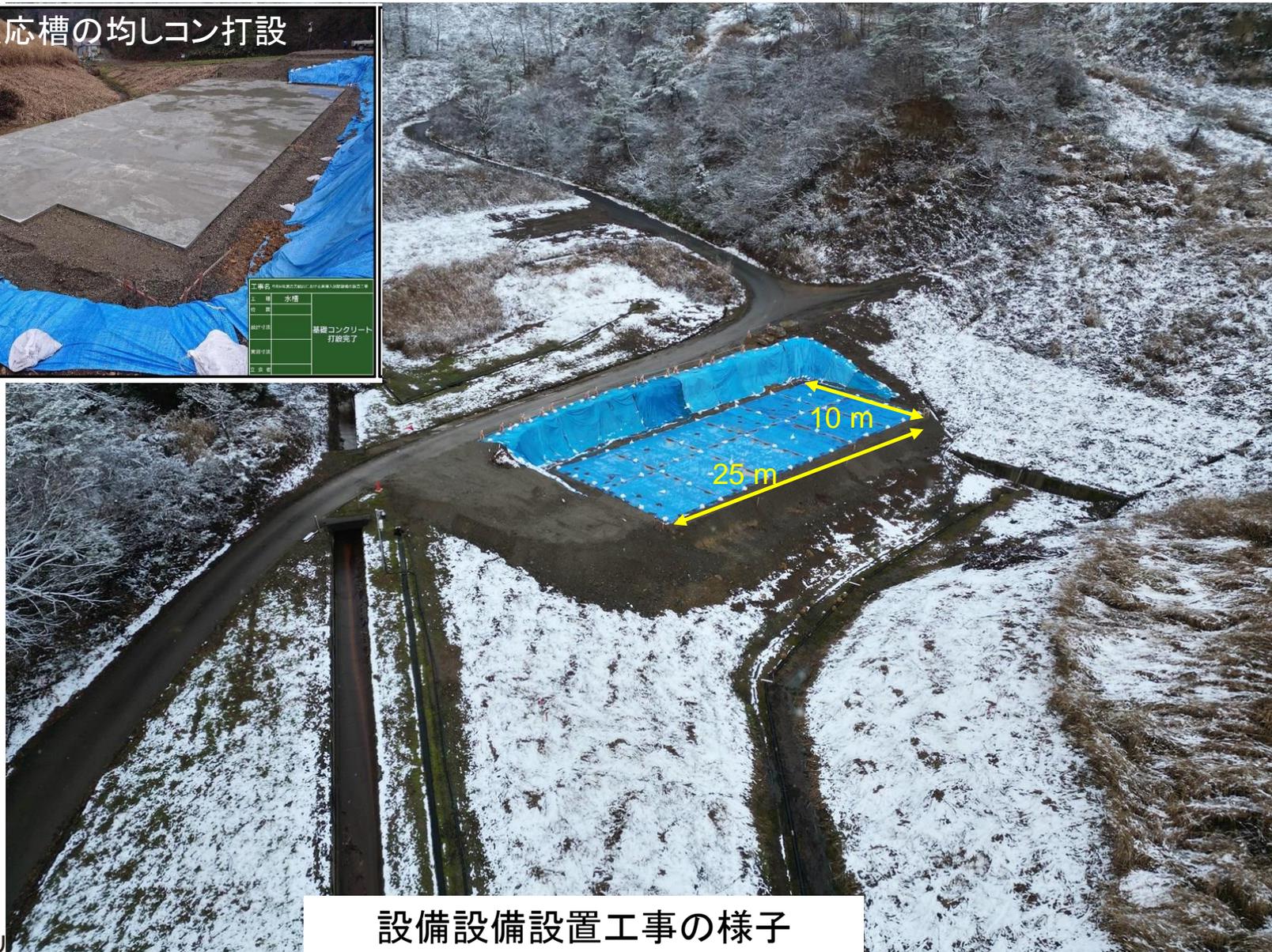


現状



完成後

設備設置のイメージ



設備設備設置工事の様子

- ✓ パッシブトリートメント導入に向け、融雪期の水量削減が大きな課題となる。
- ✓ 水量削減のためには発生源対策が必要となるが、実際の対策実施には膨大な検討が必要となるため、本調査指導においては、過去の調査で設置されたボーリング孔も活用し、数値モデルを作成し発生源対策の検討に資する基礎的調査を実施する。

⇒令和3年度に予察調査を実施。令和4年度～5年度にかけて広域湧水調査、ボーリング調査及びシミュレーション解析等を実施。

令和4年度の進捗

- ✓ 当初想定した谷間に分布する崖錐堆積物の透水性が浸透水量・三坑坑水および地下水位双方の計算値に感度を有する結果が得られたため、詳細な透水係数の把握が重要
- ✓ 堆積場内1地点、その他3地点で岩盤深度までボーリング調査を実施
- ✓ 掘進中に現場透水試験およびコア採取を実施。

今後の計画線表(案)

	R3Fy				R4Fy				R5Fy			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
予察調査		→										
北大との共同研究					→							→
ボーリング調査					→							
観測孔でのモニタリング						→						→
モデル構築								→				→



新規ボーリング(案)

吉乃鉱山ボーリング調査位置(案)

	R3Fy				R4Fy				R5Fy			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①PT適用可能性検討												
小規模実証試験			→									
実導入試験												
基本設計				→								
詳細設計					→	→						
許認可関係調整						→	→					
設備設置工事							→	→	→	→		
通水試験											→	→
②発生源対策の基礎的検討												
予察調査		→										
ボーリング調査						→						
モニタリング							→					
シミュレーションモデルによる検討							→					
③利水点等管理の適用可能性調査										→		

実規模相当実証試験(100 L/min)

令和3年8月26日

NEWS RELEASE www.jogmec.go.jp



独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

問合せ先: 金属環境事業部 調査技術課 高本、濱井 電話: 03-6758-8032
広報担当: 総務部 広報課 尾崎 電話: 03-6758-8106

国内初、電力や薬剤を大幅に削減する自然力活用型坑廃水処理技術 の実規模実証試験に成功

～“もみがら”と“米ぬか”等を利用した【JOGMEC プロセス】で技術導入を加速～

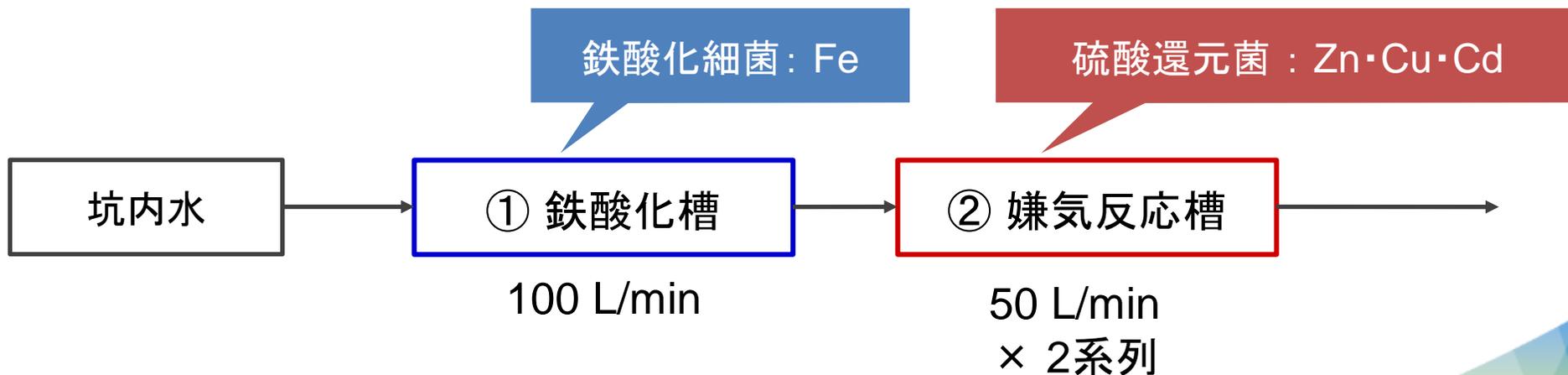
JOGMEC(本部:東京都港区、理事長:細野 哲弘)は、自然力活用型坑廃水処理(パッシブトリートメント)技術として、もみがらと米ぬか等を利用し微生物を活性化させ、有害金属を除去する方法【JOGMEC プロセス】について、通水量 100 リットル/分となる「実規模相当実証試験」を、実際の休廃止鉱山のサイトにおいて 2020 年 7 月より開始し、今般、約 1 年間にわたり処理が継続できることを実証しました。このプロセスは、動力を用いる機械設備や薬品を極力使用しないことから、電力費などコストの大幅削減や環境負荷の低減、二酸化炭素排出量削減が見込まれるものです。厳冬期でも処理が継続することが確認され、本実証試験の成功により、国内の休廃止鉱山坑廃水処理事業への本技術の導入の加速化が期待されます。

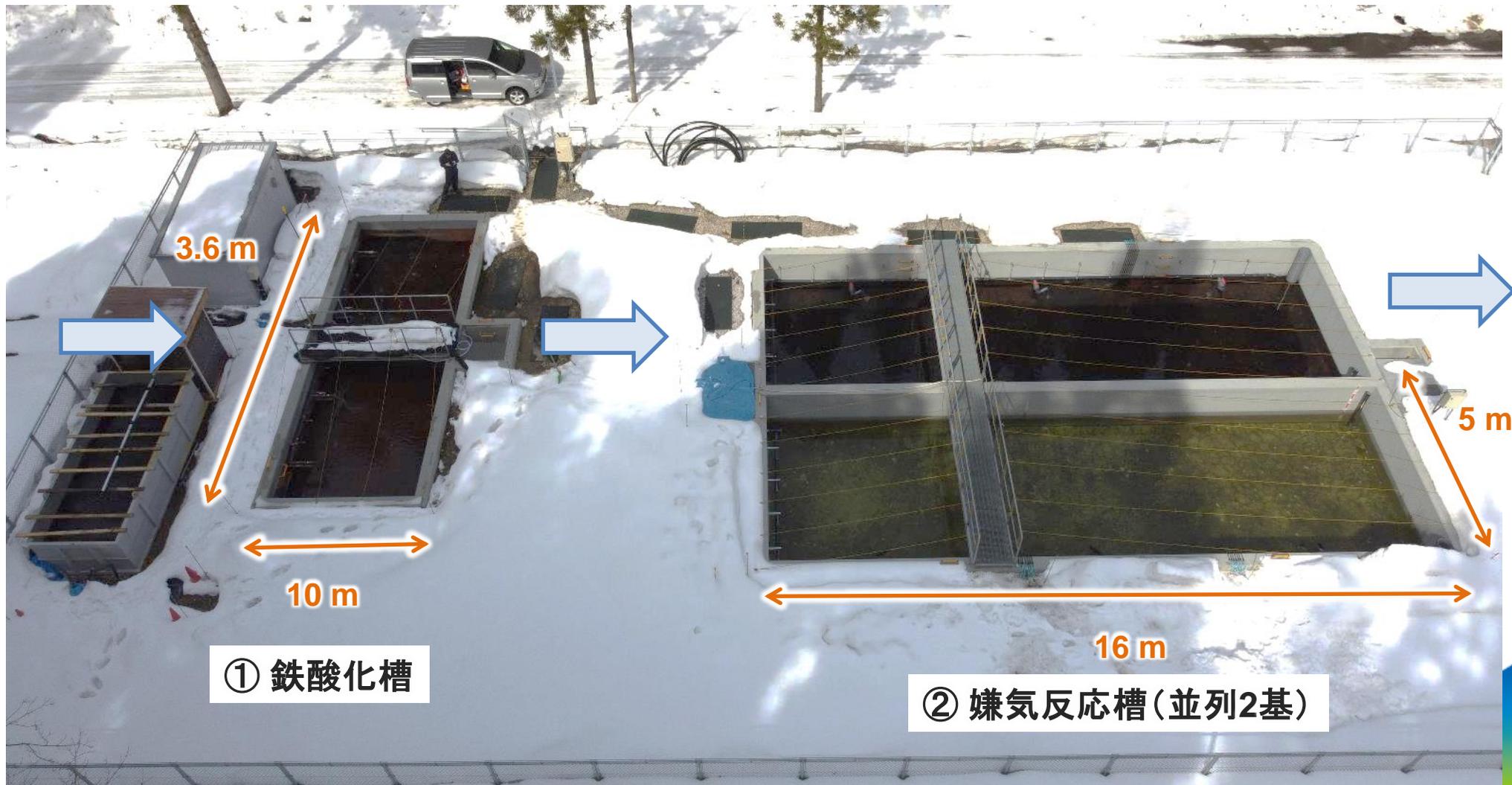


【処理原水：坑内水】

pH (-)	T-Fe (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	Cd (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	DO (mg/L)
3.5 ~ 3.8	35 ~ 40	15 ~ 20	1 ~ 10	0.03 ~ 0.08	250 ~ 350	≒ 0

【処理フロー】



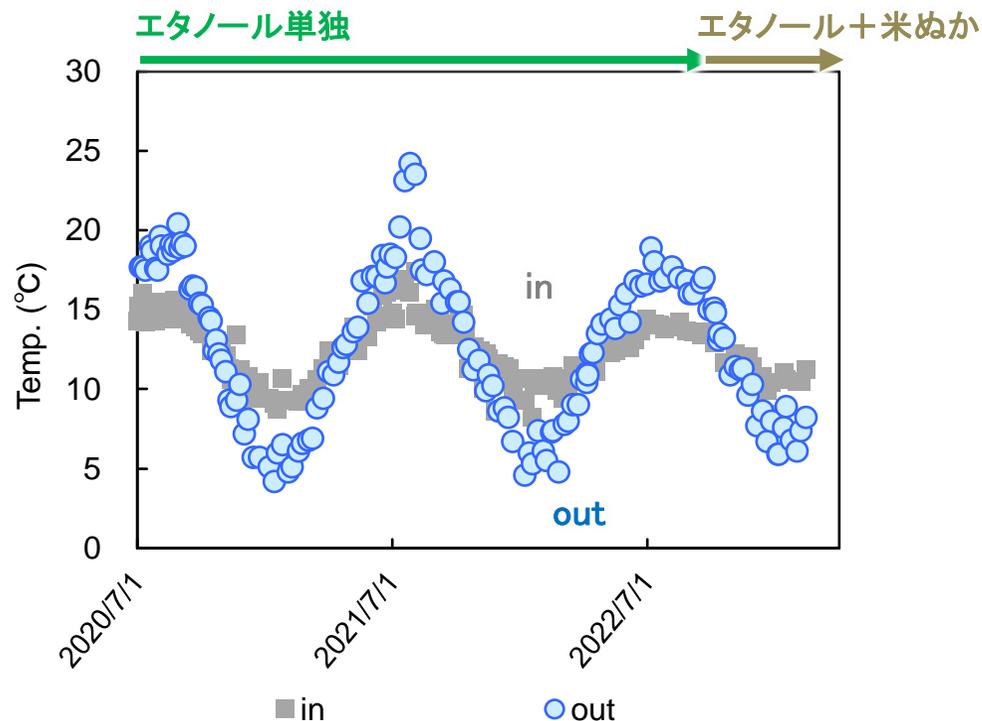


試験設備外観
(JOGMEC撮影)

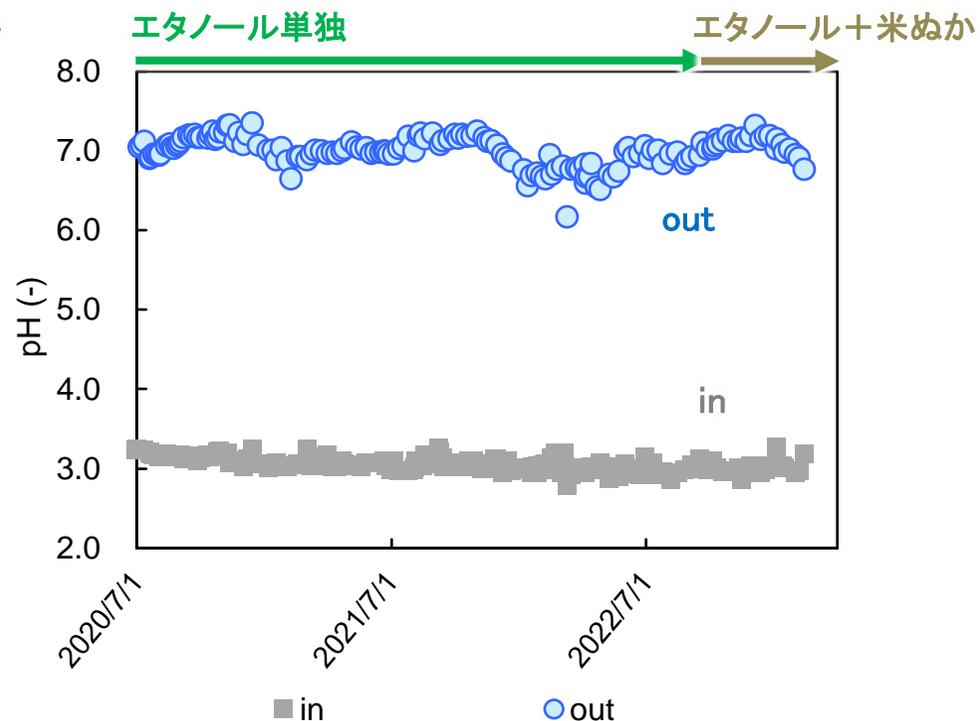


嫌気反応槽内容物混合、充填作業の様子
(1系列は微生物の栄養源として米ぬかを、もう1系列はエタノールを添加)

水温

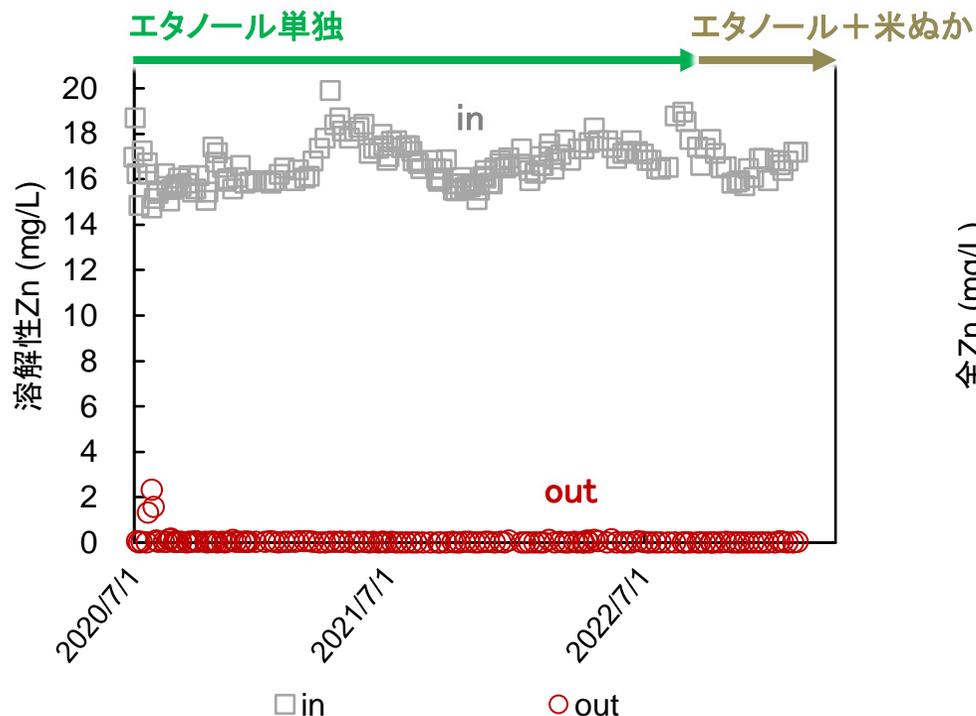


pH

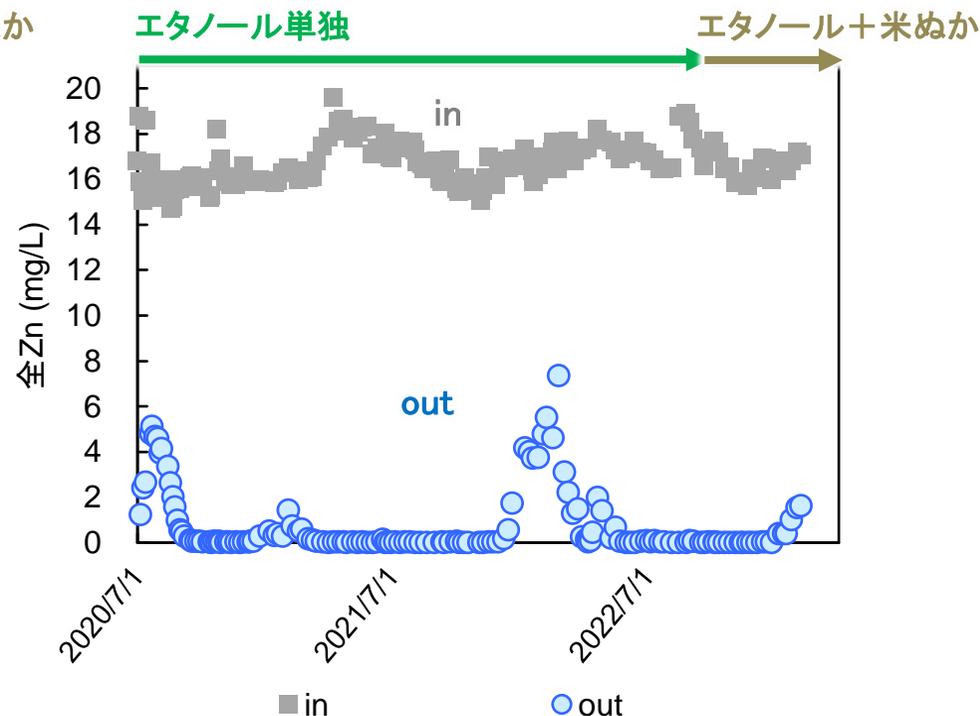


- ・厳冬期でも槽内水温は4°C以上を維持。
- ・pHは7前後までおおよそ安定的に上昇している。2022年5月頃に石灰石を補充したことで中和効果が回復した。

溶解性亜鉛

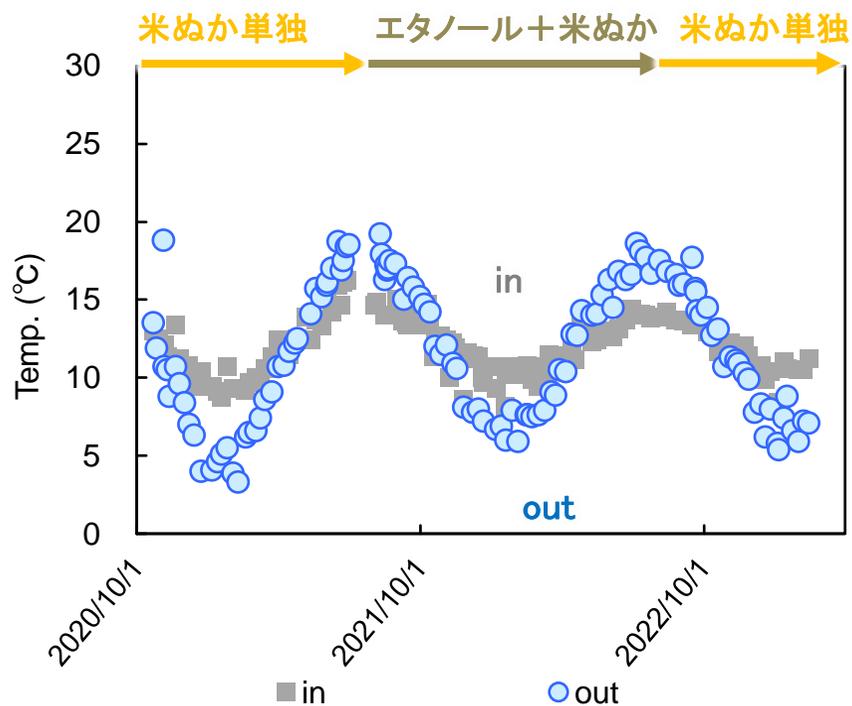


全亜鉛

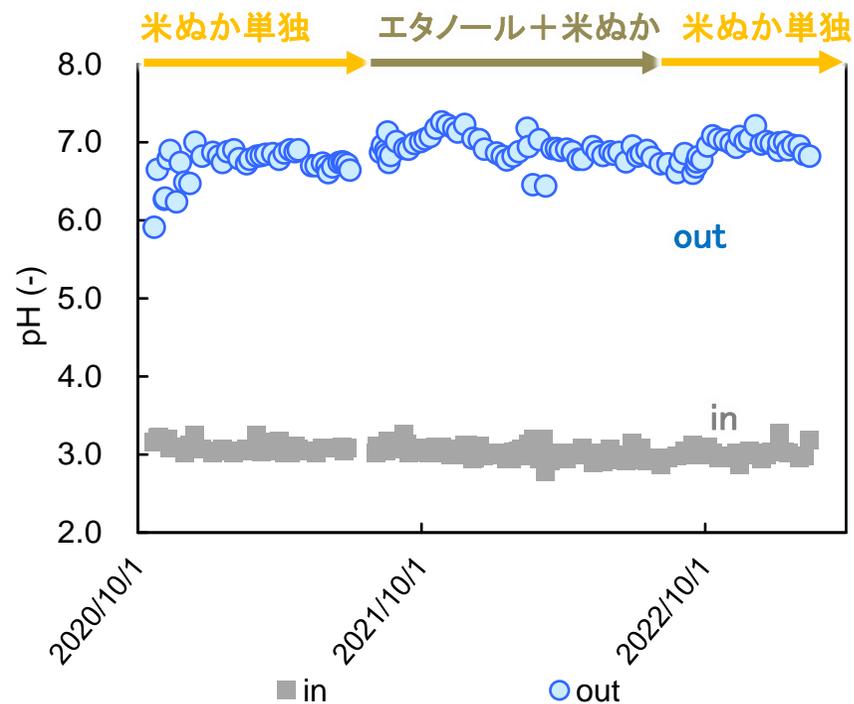


- ・溶解性Znの処理性能は、2年半以上の間、非常に良好な状態を維持。
- ・エタノール単独条件では、厳冬期に懸濁体Znが出てくる挙動を確認した。
- ・エタノールと米ぬかのHYBRID条件で、厳冬期の懸濁体Znの挙動を確認中。

水温

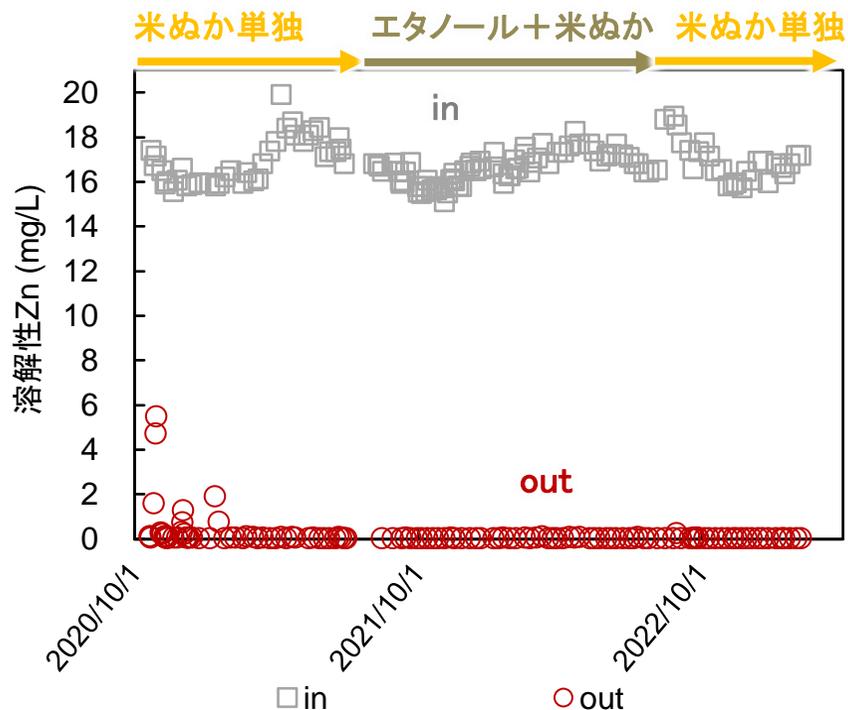


pH

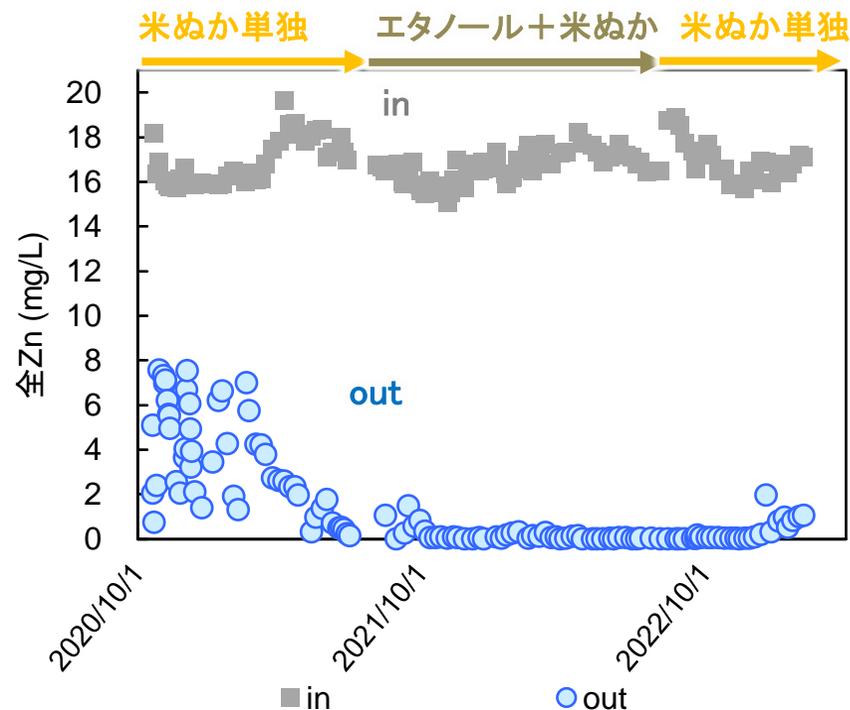


- ・厳冬期でも槽内水温は最低でも4°C程度を維持。
- ・pHは7弱までおおよそ安定的に上昇している。2022年9月頃に石灰石を補充したことで中和効果が回復。

溶解性亜鉛

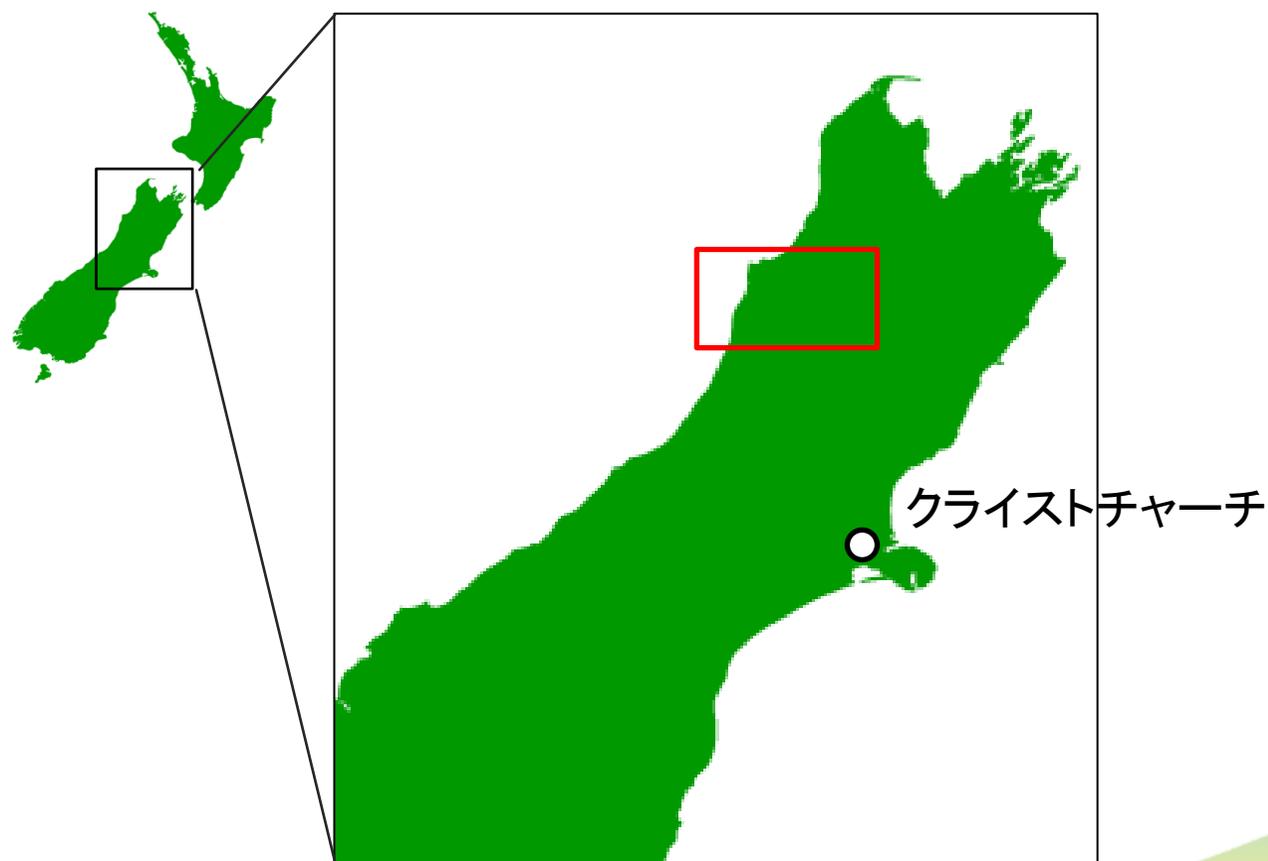


全亜鉛

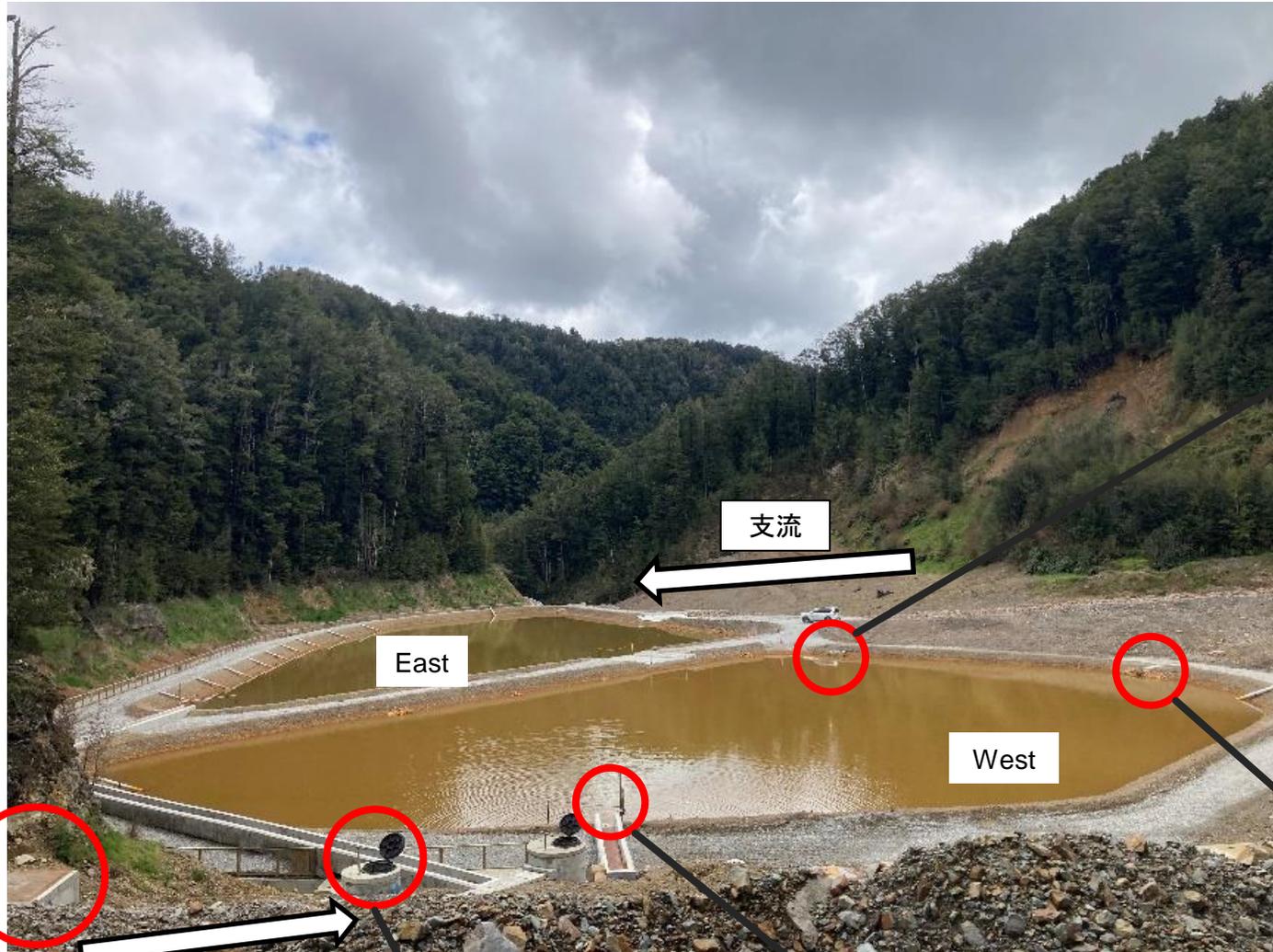


- ・溶解性Znの処理性能は、2年以上の間、非常に良好な状態を維持。
- ・エタノールと米ぬかのHYBRIDでは厳冬期の懸濁体Zn濃度が改善され、最大で0.3mg/Lしか検出されなかった。米ぬか条件で、厳冬期の懸濁体Znの挙動を確認中。

2022年11月、ニュージーランド・クライストチャーチにて坑廃水処理に関する国際学会であるIMWA（International Mine Water Association）の年会が開催。
対面開催は2019年以来で、JOGMECは情報収集、海外研究者との意見交換のため参加。
学会参加にあわせて、ニュージーランドのPT現場を3ヶ所調査した。



➤ 全景



オーバー
フロー管

支流

East

West

集水槽

配管

カスケード

導入口

➤ PT設備詳細

設備：鉛直流型人工湿地 (VFR: Vertical Flow Reactor)

設備詳細：

坑廃水は集水槽に集められ、混合

3つの人工カスケードにより曝気後、湿地に導水

2面ある湿地は並列で運転されており、底部には穴あきパイプがめぐらされており、集水され放流

処理開始年：2021年

➤ 想定処理メカニズム

集水槽から湿地に導水する際に、人工カスケードを通り、曝気。坑廃水中のDOが上昇することで、鉄酸化細菌及び自然酸化作用により、2価鉄が3価鉄に酸化。pHが中性域のため、湿地内で3価鉄の沈殿が析出し、鉄が坑廃水中から除去。ヒ素は鉄殿物が析出した際に、共沈により除去。

➤ 導入部詳細



➤ 処理データ

	集水槽	湿地流入点	湿地放流点
pH	7.2	7.6	7.8
DO(ppm)	1.74	8.16	8.32
溶存鉄濃度(mg/L)	19.3	3.8	<0.02
溶存ヒ素濃度(mg/L)	1.51	0.181	0.0071

➤ 設計について

- ✓ 一般的に鉄を除去する湿地は詰まり防止のため鉛直流ではなく、水平流で設計されることが多い。本現場では、元々は水平流で検討していたが、水平流を採用すると、殿物の沈降性が悪く、SSとして系外に流出することがあるため、その対策として鉛直流とし、底部集水管の周辺に目詰まり防止のため砂利(Gravel)を充填したとのこと。
- ✓ なお、鉄を除去する鉛直流型プロセスはウェールズのカーディフ大の研究者により立案されたプロセスであり、基本構造としてはJOGMECが実証試験中の鉄酸化・除去プロセスと同様である。

➤ 全景



坑内水湧出箇所
及び集水升



配管で導水
(自然流下)



沢



反応槽

原水受槽
(使用されていない)

➤ Mussle shell

マッスルシェルはニュージーランドにおいて、最も輸出量が多い海産物。ニュージーランド国内でも消費されており、年間約68,000 tの不要な貝殻を含む廃棄物が発生している。貝殻には、全可食部の約10%が残った状態で廃棄されており、**貝殻には多くの有機物が付着している。**

本試験で使用しているマッスルシェルは粉砕機で概ね長径4~5 cm程度まで粉砕した後、槽内に充填している。



➤ 導入部詳細



坑道

自然流下



配管で導水

配管に枯葉が溜まり
閉塞することがある



集水升

かなり急峻。登るのも
少し難しい。

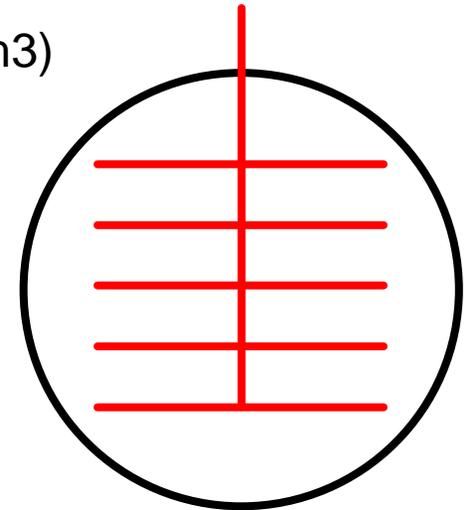
自然流下



配管で導水

➤ 反応槽詳細

タンク容積(円柱): 30m³(直径3.7m³ 高さ2.5m³)
材質: ポリ塩化ビニル
滞留時間: 平均約39時間(19時間~152時間)



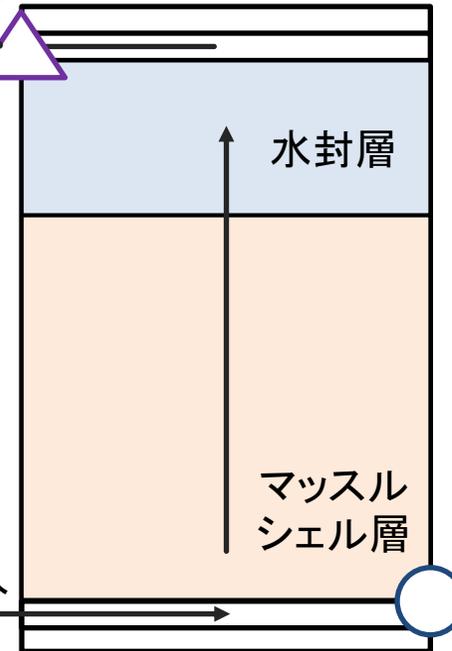
断面図



放流



導入



➤ 処理データ

	集水升	処理水
pH	2.8	5.7
DO (%)	3.6	7.1
ORP (mV)	547.4	123.9

・処理性 (Passive Treatment of AMD using a Full-scale Up-Flow Mussel Shell Reactor, Bullvue Coal Mine, New Zealandを参照)

Output溶存Fe濃度: 約1.5 ppm (約97.2 %を除去)

Output溶存Zn濃度: 約0.01 ppm (約98.2 %を除去)

➤ 現状の課題

- ・5つ設置しているタンクに適切に(均等に)導水が現状できていないため、改修が必要。
- ・長期的な運転を考えた際に、有機物量が不足するため、補充する必要。

以上