

鉬山廃水 パッシブトリートメントシステム

独立行政法人石油天然ガス・金属鉬物資源機構
金属環境事業部 特命調査役
濱井 昂弥

2022年7月21日

坑廃水処理について

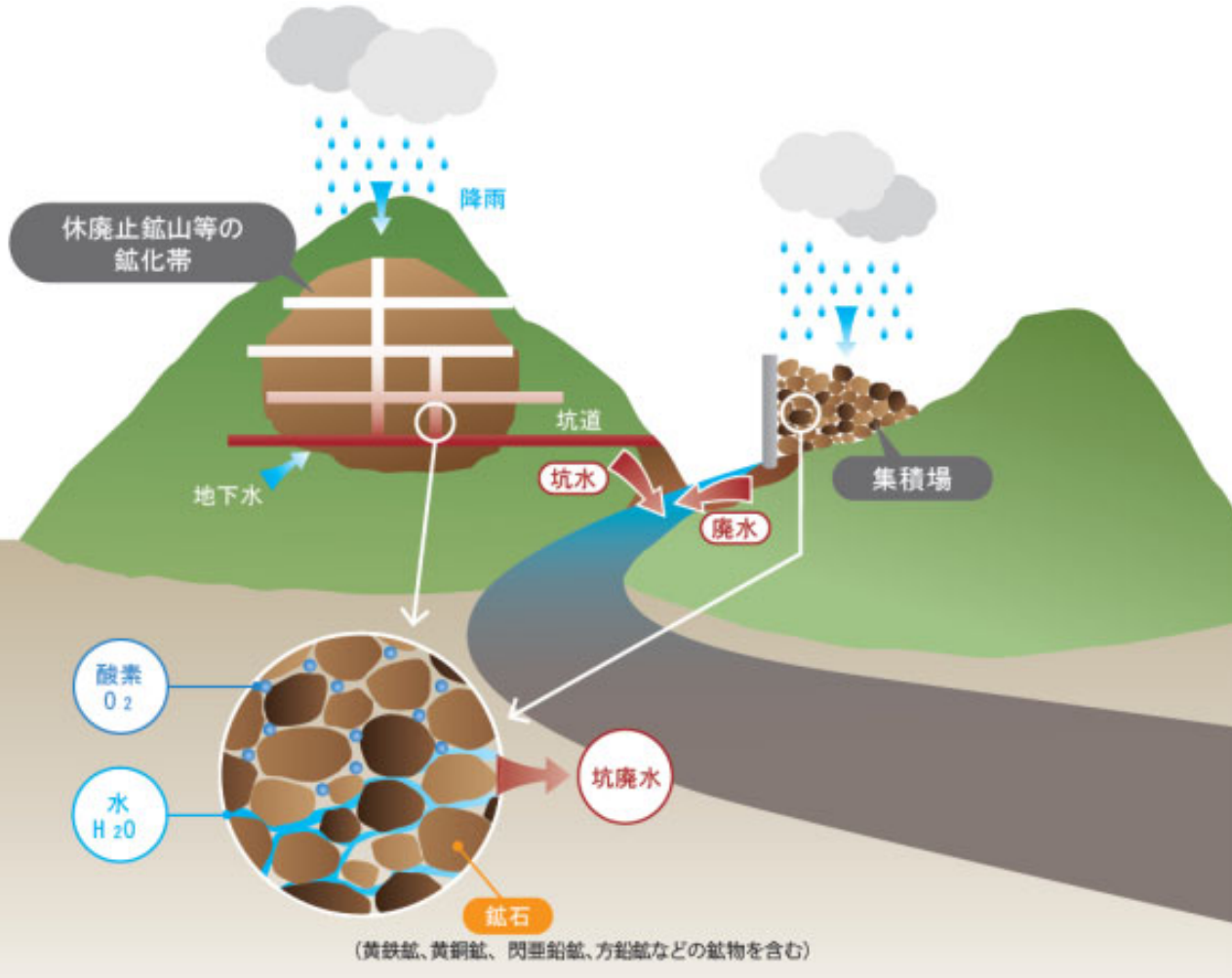
- ◆ 我が国鉱業の歴史は非常に古く、採掘を終えた休廃止鉱山が多数存在。
- ◆ 金属鉱山では、閉山後もカドミウム、鉛、ヒ素等の有害金属を含む排水(坑廃水)が坑口や集積場から流出し、住民の健康被害など深刻な鉱害を引き起こす恐れがあるため、昭和40年代に大きな社会問題化。
- ◆ 鉱害の発生を未然に防止するために鉱害防止事業を行う必要がある。
 - ①対策を講ずべき「鉱害防止義務者」が不存在又は無資力の場合がある
 - ②発生源対策を行っても水質が改善しない場合、収益性のない坑廃水処理を永続的に行う必要がある
 - ③鉱床地帯にあるため、汚染原因が自然由来であったり、過去の採掘行為に起因する



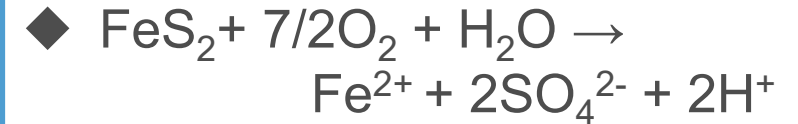
上記のような背景にあって国は、

- 金属鉱業等鉱害対策特別措置法を昭和48年度に制定。
- 同法に基づく基本方針(10年間の長期計画)に沿って、鉱害防止事業を計画的かつ着実に推進するため、実施主体である地方公共団体等に対して補助金交付等により支援。JOGMECは、これら自治体に対する技術支援や技術開発を担う。

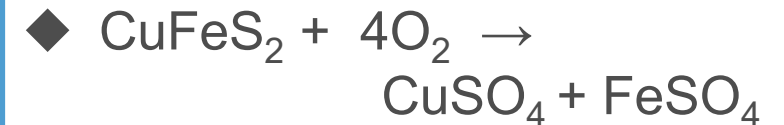
坑廃水処理について(坑廃水発生メカニズム)



黄鉄鉱



黄銅鉱



閃亜鉛鉱



方鉛鉱

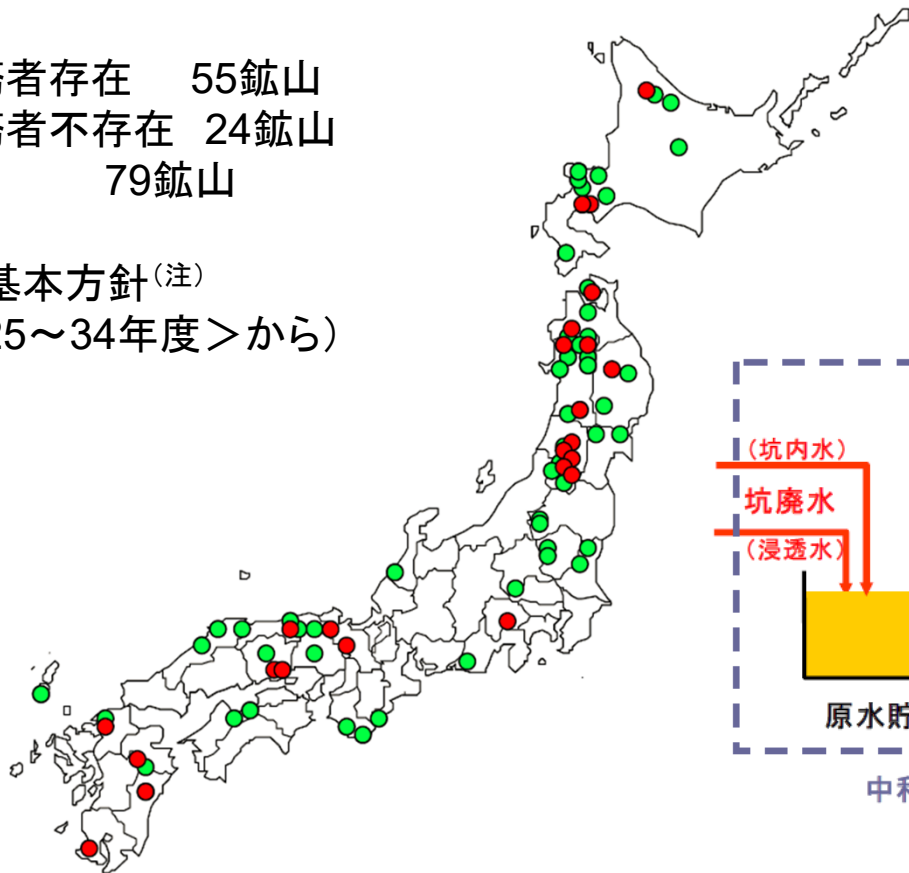


- ✓ 鉱山地域から発生する、酸性で有害元素を含む水
- ✓ 坑道から発生する「坑(内)水」と、集積場から発生する「廃水」を合わせて「坑廃水」と呼ぶ
- ✓ 鉱石(鉱化帯・ズリ)と水、酸素が触れること(+微生物の働き)で発生する

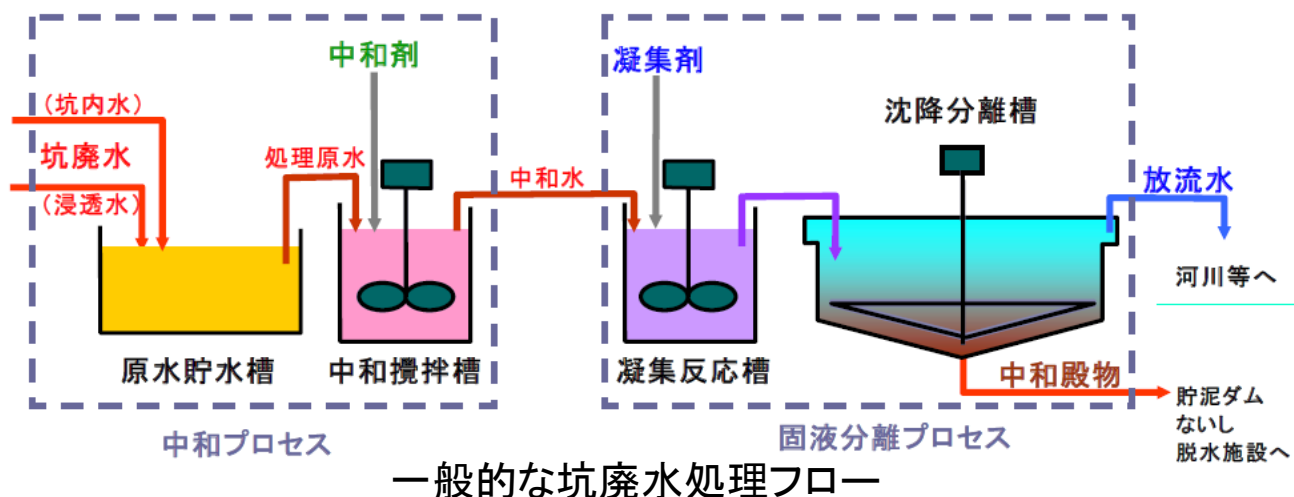
坑廃水処理について(坑廃水処理の現状)

- 義務者存在 55鉱山
- 義務者不存在 24鉱山
- 79鉱山

(第5次基本方針^(注)
＜H25～34年度＞から)



	pH	主要含有金属
15鉱山	～3.0	Fe, As, Cu
48鉱山	3.0～5.0	Fe, Zn, Pb, Cd
16鉱山	5.0～	Zn, Pb, Cd, Mn



- 第5次基本方針における坑廃水処理施設は79箇所
- 多くは中和・固液分離処理による金属処理を実施
- 坑廃水処理は半永久的に行う必要があるが、関連コスト(人件、電力、薬剤費:年間約30億円)の低廉化が課題

坑廃水の湧出状況(一例)



パッシブトリートメント (Passive Treatment)

自然環境で得られるエネルギー(微生物の活動、自然に起こる化学反応、植物による吸着など)を利用して坑廃水処理する技術。

海外では「passive treatment」と総称される。

既存の坑廃水処理(active treatment)に比べ低コスト、低環境負荷プロセスとして導入が期待される。

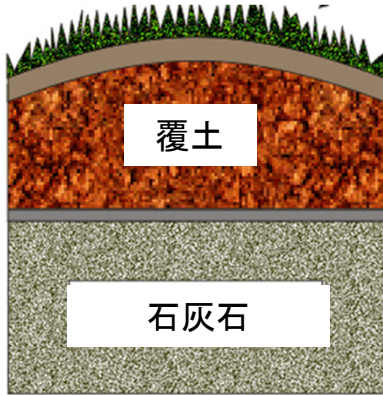
利点	課題
<ul style="list-style-type: none">● 坑廃水処理費用の削減が期待できる<ul style="list-style-type: none">・ 人件費、薬剤費、電力費の削減● プロセスによっては、既存処理より金属除去性が高まる	<ul style="list-style-type: none">● 処理能力の安定性確保<ul style="list-style-type: none">・ 温度や水量、水質変動への対処● 単位時間あたりの処理水量

×・・・何もしないで坑廃水処理する方法。

○・・・自然力を最も効率よく受け入れられるよう(passive)、システムを設計・構築することに真髓がある処理技術であり、極めて積極的な坑廃水処理法。

パッシブトリートメント (Passive Treatment)

石灰石など中和材利用



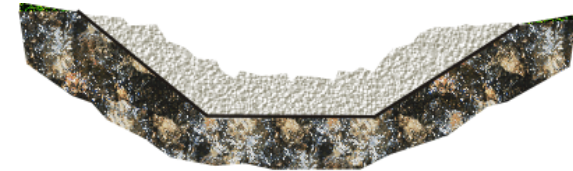
<断面イメージ>



嫌気性石灰石水路
(pH調整、鉄酸化の抑制)



石灰石水路
(pH調整、鉄酸化の促進)



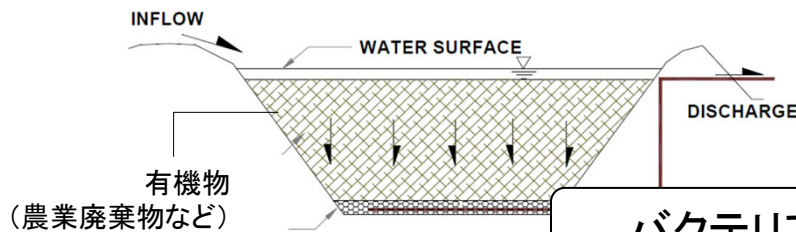
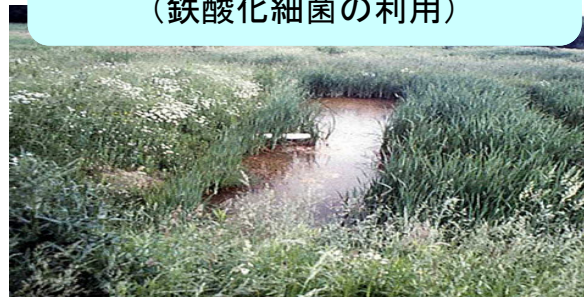
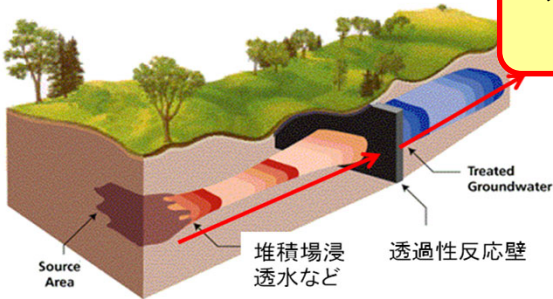
Cross Section of an Open Limestone Channel

低酸素条件下

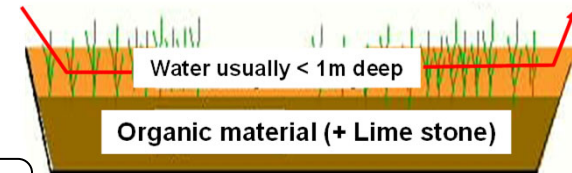
大気下

嫌気性湿地、透過性反応壁
(硫酸還元菌の利用)

好気性湿地
(鉄酸化細菌の利用)



バクテリアの活動を利用



硫酸還元菌を活用するパッシブトリートメント

→硫酸還元菌を活用して、坑廃水中の金属イオンを主に**硫化物として析出・除去する方法**

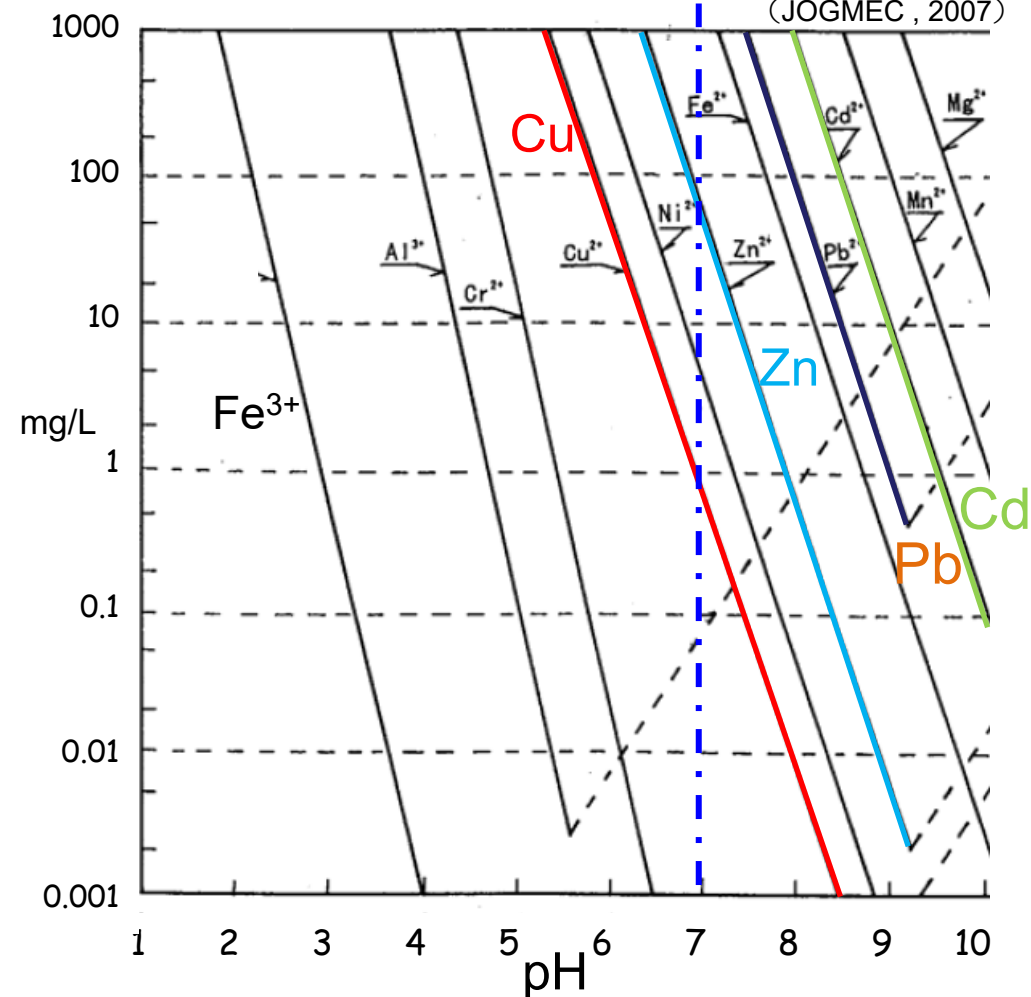
硫酸還元菌 (Sulfate Reducing Bacteria) : **SRB**

- ✓ 坑廃水中の硫酸イオンを還元し、硫化水素イオンを生成
- ✓ エサとなる**低分子有機物(乳酸、アルコール等)が必須**

- 銅、鉛、亜鉛、カドミウムがpH6~7で硫化物として析出するため、除去性が非常に高い
- 一般的な坑廃水処理では、金属は主に水酸化物で析出、特に亜鉛、カドミウム等を含む場合はpHを10以上まで上昇させた後、硫酸でpH調整が必要で管理が難しくコスト高。
- 亜鉛、カドミウムは一律排水基準の強化(低濃度化)が進んでおり、より低濃度まで除去する必要あり。
- 薬剤を添加する化学処理に比べ、処理に要する時間が長い

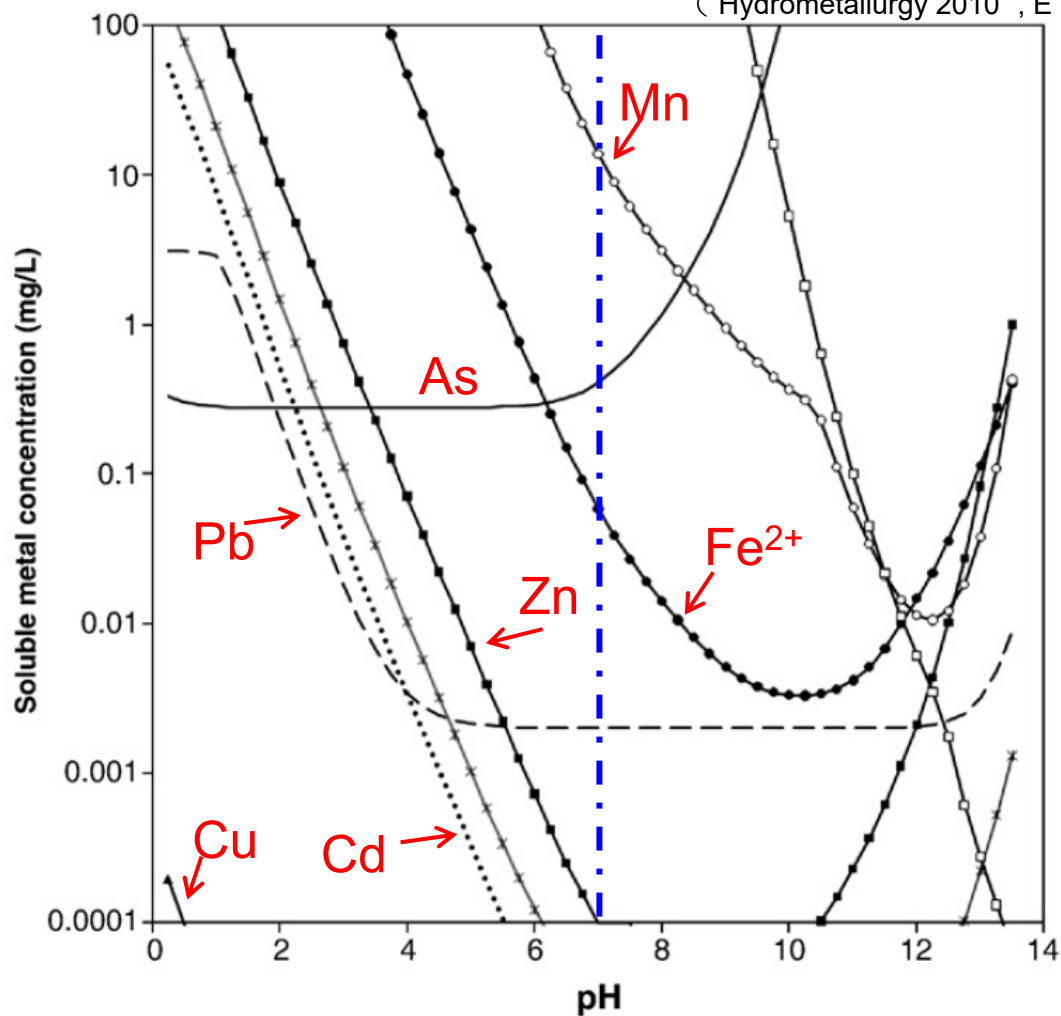
坑廃水に含まれる金属を硫化物で除去するメリット

「坑廃水処理の原理」より引用、加工
(JOGMEC, 2007)



金属水酸化物のpHに対する溶解度

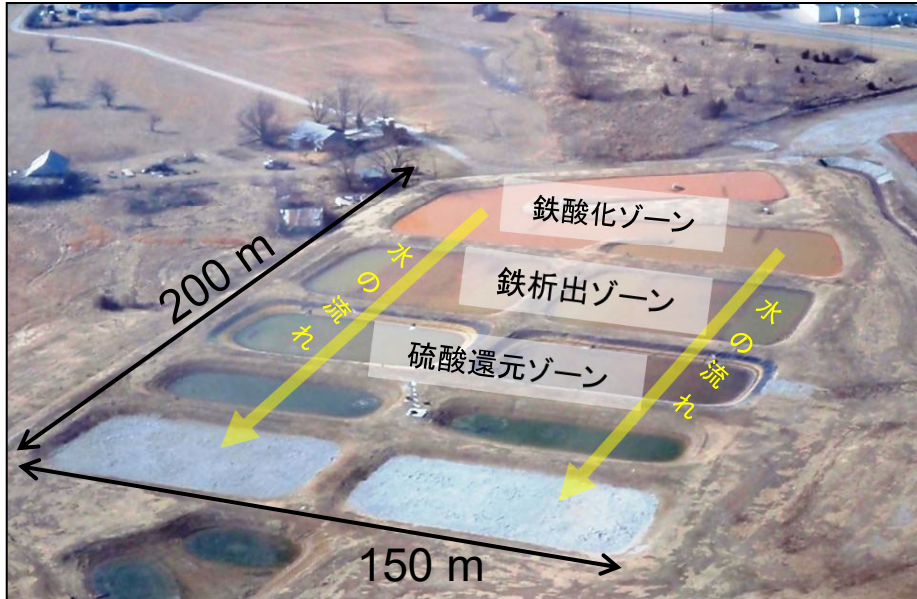
「Review of metal sulphide precipitation」より引用、加工
("Hydrometallurgy 2010", E Lewis)



金属硫化物のpHに対する溶解度

化学処理の場合、硫化物で析出させるには専用の化学薬品の添加が必要で、高価なため坑廃水処理では実施されていない

【参考】海外での実用例(米:オクラホマ州)



Robert W.Nairn "Implementation of Passive Treatment for Irreversibly Damaged Waters" @ASMR2014 meeting より引用



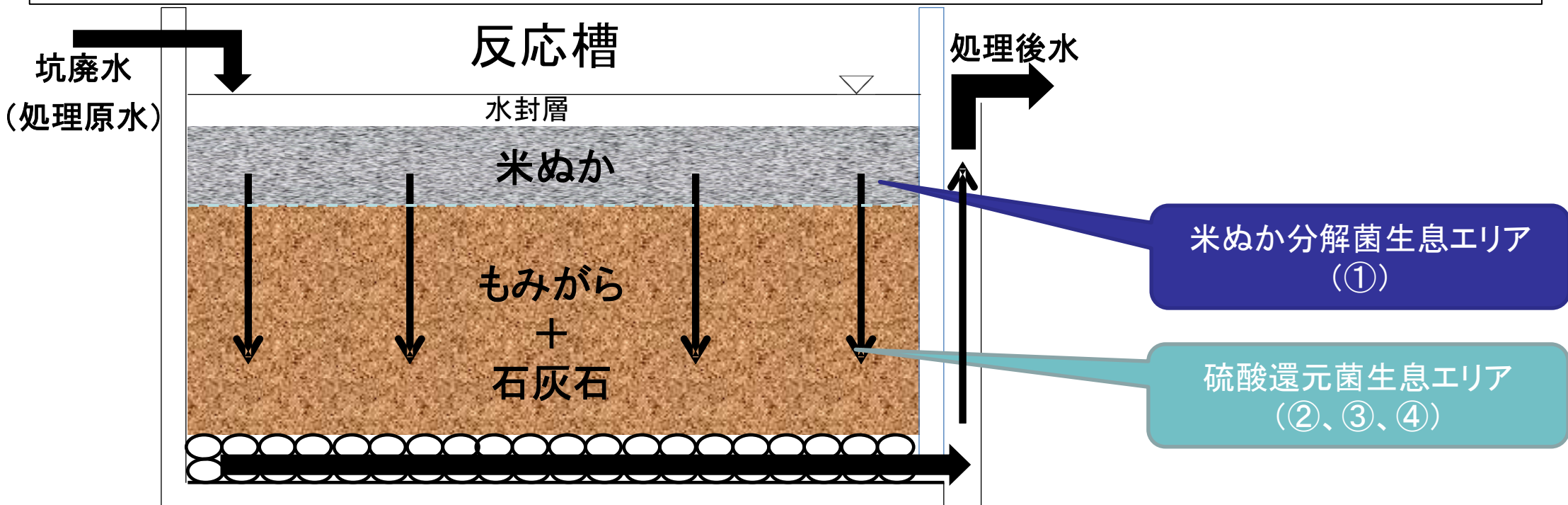
硫酸還元菌リアクターの様子

著者撮影(2014年10月)

- ✓ 本現場ではpHが6程度で、鉄: 100 mg/L、亜鉛: 10 mg/L含む坑廃水を最大1 m³/minを2008年から処理継続中。設計寿命は20~30年。
- ✓ コンポスト、ウッドチップ等を充填した約1500 m²、深さ2mの嫌気反応槽2面を用いて、滞留時間100時間程度で処理を行う。これまでの亜鉛除去率は平均で97.7 %。
- ✓ イニシャルコスト(設計コスト込み)は約1.2億円。年間維持費としては約100万円計上。

JOGMECが発明した処理方法

もみがら、米ぬか等を充填した反応槽で、硫酸還元菌を活用して、坑廃水中の金属イオンを硫化物として沈殿・除去する。



米ぬか: 微生物への栄養供給源、もみがら: 基材、SRBの住処、石灰石: 基材、酸度の中和

- ① 米ぬかが微生物に分解され、リアクター内に低分子有機物(乳酸、酢酸等)が生成
- ② SRBが低分子有機物をエサにして、坑廃水中の硫酸イオンを還元→硫化水素イオン生成
- ③ 硫化水素イオンと坑廃水中の金属イオンが反応し、各金属の硫化物が生成
- ④ 金属の硫化物はもみがらに付着し、リアクター内に閉じ込められる

JOGMECが発明した処理方法

米ぬかについて

主な構成成分(%)

有機物	タンパク質	脂肪	灰分	セルロース	ヘミセルロース	デンプン
米ぬか	14.1	19.7	9.4	5.1	12.5	8.8
もみがら	1.7	0.9	19.9	33.2	16.7	-
バーク堆肥 (コンポスト)	15.7	0.6	23.2	10.6	3.4	-
茶殻(緑茶葉)	24.5	4.7	(粗繊維として)46.5			-
クローバー	26.8	-	(粗繊維として)14.8			-

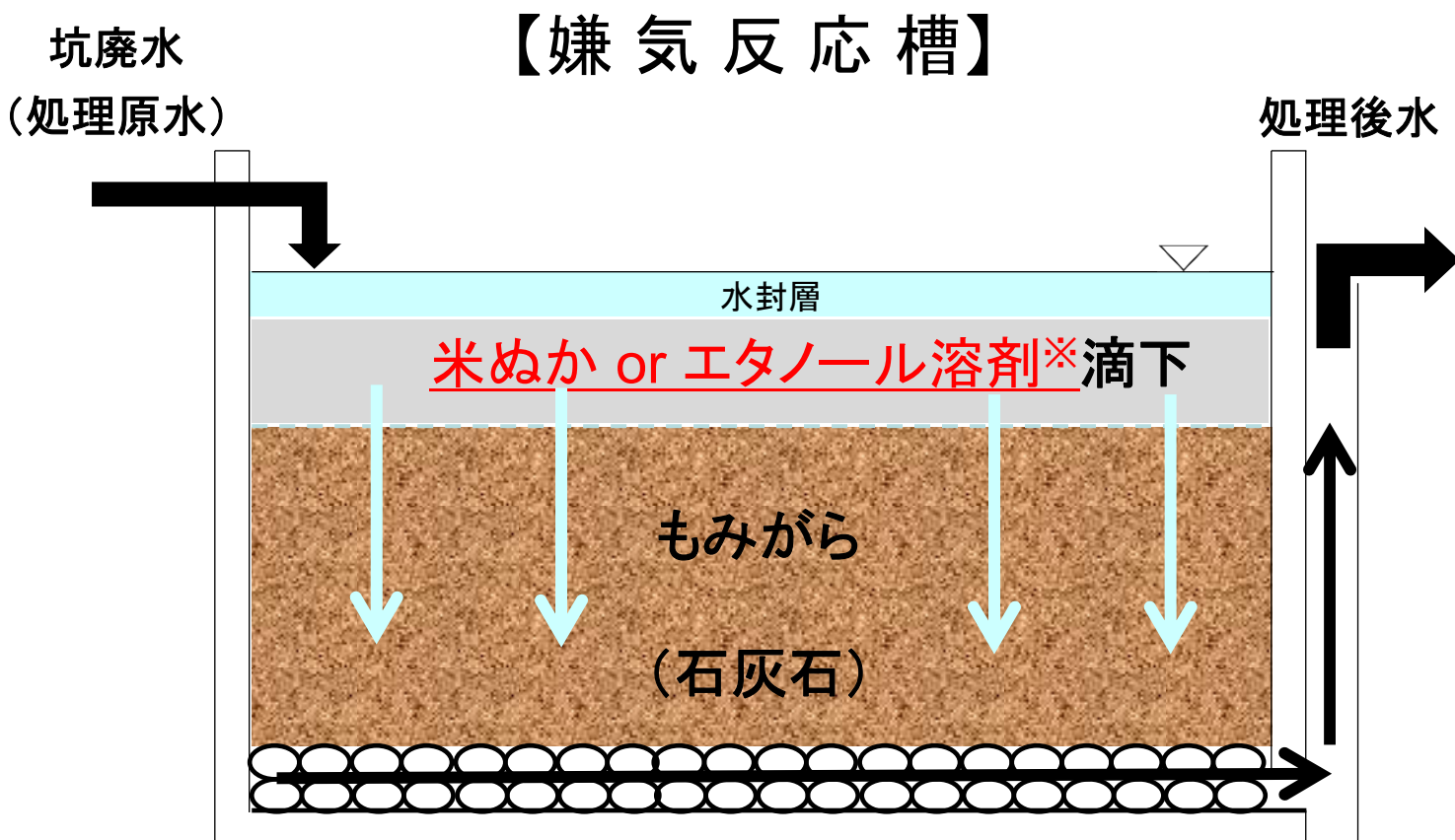
日本標準飼料成分表より引用及び分析により算出

- ✓ 米ぬかは国内で毎年約90万t発生、うち50万tが廃棄と言われている。
- ✓ もみがらは毎年約200万t発生、うち80万tが廃棄と言われている。

- ✓ 米ぬかはタンパク質、脂肪を多く含み、精白米由来のデンプンも多く含まれ、微生物に分解されやすい「易分解性有機物」であり、低分子有機物源として好適。
- ✓ 一方、もみがらは成分の観点から非常に分解されにくく、リアクターの基材として好都合。
- ✓ 米ぬか同様、タンパク質を多く含む茶殻やクローバーも低分子有機物源として好適。

JOGMECが発明した処理方法

米ぬかは有機物供給源として非常に有効であるが、多くの微生物に分解されやすいため、バイオフィーム等が生成し、槽の透水性が阻害されることがある



硫酸還元菌を活用するプロセスのイメージ

※微生物の栄養源

- ・エタノール溶剤
化学薬品で品質が一定。微生物が分解することで嫌気化と酢酸生成が進み、直接利用するSRBも確認されている。
シンプルな菌叢構築が期待できるが多様性はやや薄。
添加量を管理でき、硫酸還元度合いの調整が可能。

パッシブトリートメント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～

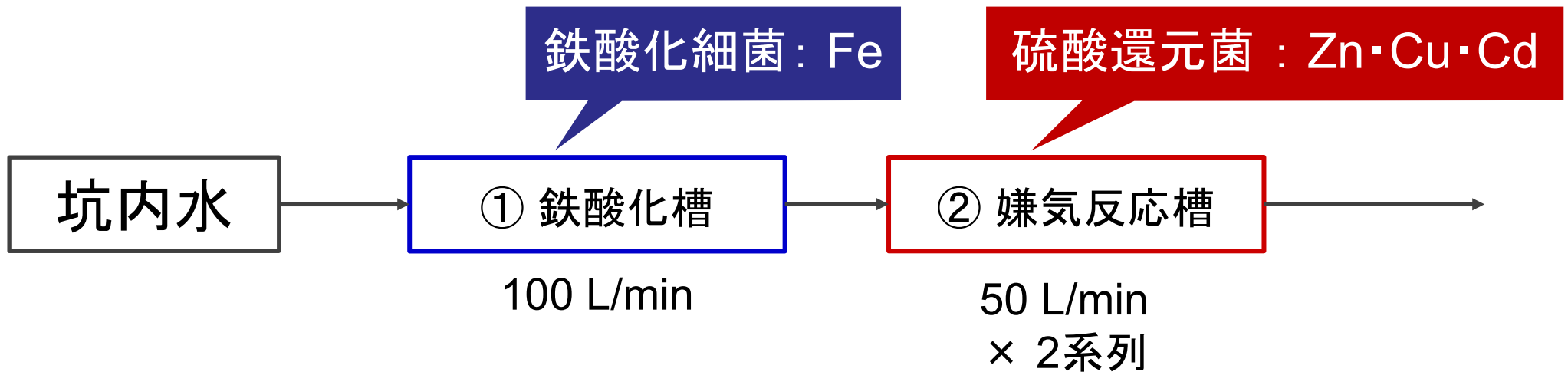
JOGMEC(本部: 東京都港区、理事長: 細野 哲弘)は、自然力活用型坑廃水処理(パッシブトリートメント)技術として、もみがらと米ぬか等を利用し微生物を活性化させ、有害金属を除去する方法【JOGMEC プロセス】について、通水量 100 リットル/分となる「実規模相当実証試験」を、実際の休廃止鉱山のサイトにおいて 2020 年 7 月より開始し、今般、約 1 年間にわたり処理が継続できることを実証しました。このプロセスは、動力を用いる機械設備や薬品を極力使用しないことから、電力費などコストの大幅削減や環境負荷の低減、二酸化炭素排出量削減が見込まれるものです。厳冬期でも処理が継続することが確認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



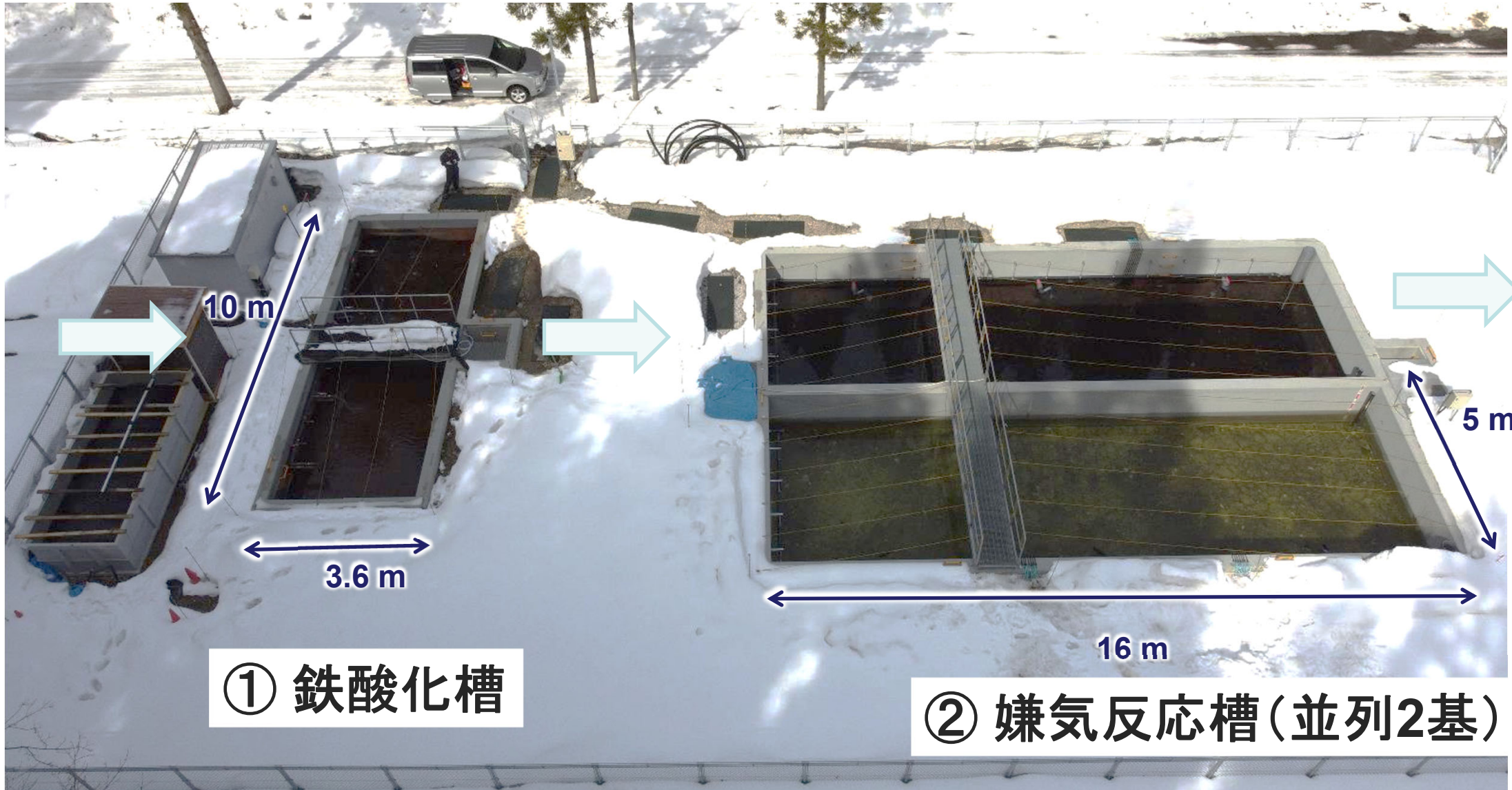
【処理原水：坑内水】

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】



パッシブトリートメント(PT)実規模相当実証試験



① 鉄酸化槽

② 嫌気反応槽(並列2基)

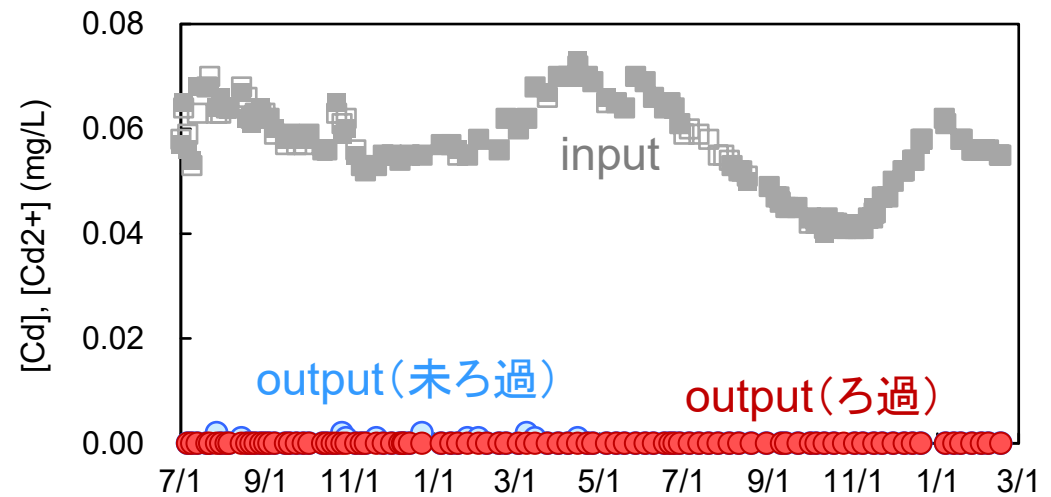
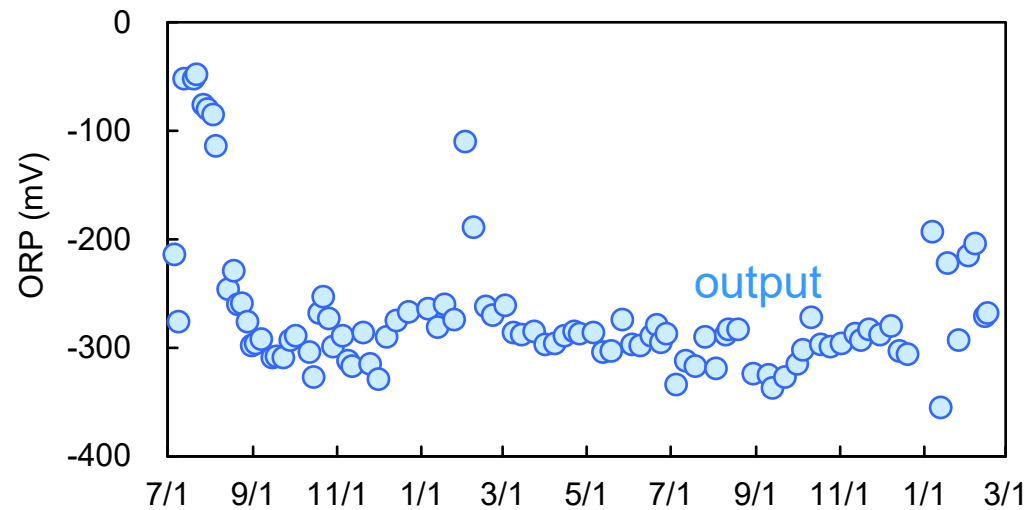
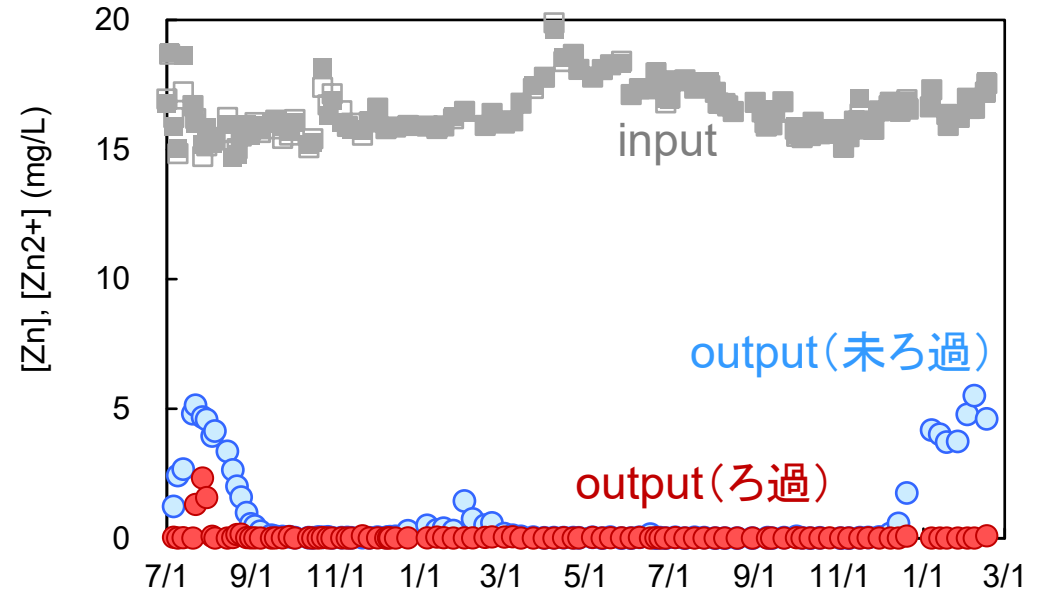
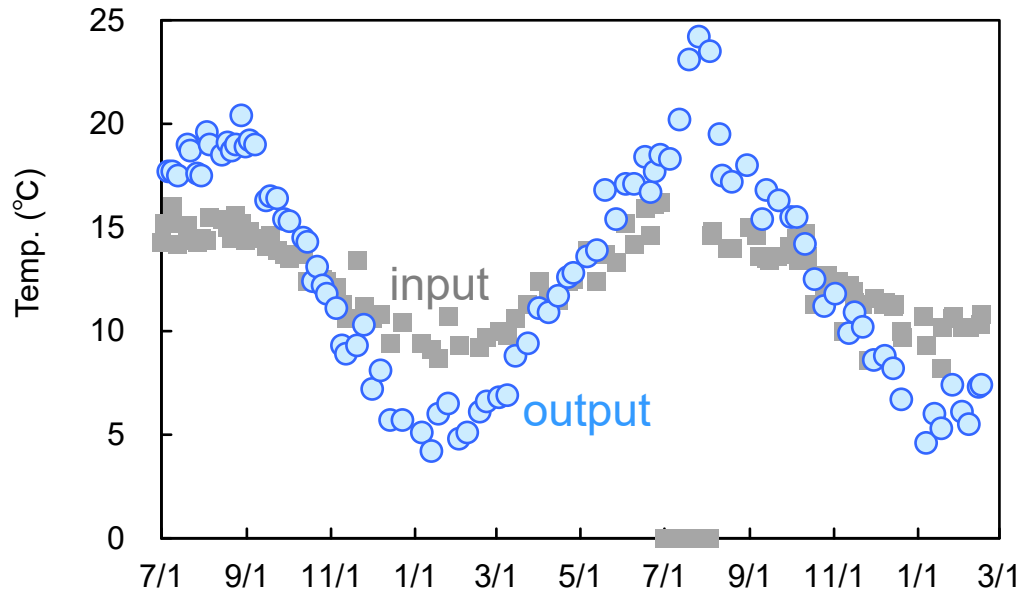
試験設備外観
(JOGMEC撮影)



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)

冬季の試験設備の様子





- ✓ 1年半にわたり還元雰囲気を維持。
- ✓ 亜鉛、カドミウムともに安定的に除去が継続。亜鉛は直近では懸濁態(SS)として若干検出される状態。槽内のpH上昇効果が弱まっており(石灰石の減少)、石灰石を追加することとした。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来の硫酸還元菌を活用するプロセスでは、処理の滞留時間が非常に長く、坑廃水进行处理するために広大な敷地が必要であった。
- もみがら、米ぬかを活用することで高速な処理が可能となり、従来の1/10程度の滞留時間で処理が可能になった。そのため、導入時に必要な敷地面積が少なくて済む。
- 米ぬかを活用する方法では、バイオフィルム等が生成し、槽の透水性が阻害されることがあった。また、分解性の高さ故に、槽から排出される有機物濃度が高濃度になることがあった。
- エタノール溶剤を有機物源として利用することで、槽に供給される有機物濃度を制御でき、すなわち硫酸還元菌の反応を制御可能となり、バイオフィルム形成が抑制できたり、排出される有機物濃度の抑制が可能となった。

想定される用途

- 本技術は、半永久的に継続が必要とされる、休廃止鉱山の坑廃水処理に導入することで、将来的な自然回帰に資することができ、低コスト化、低環境負荷へのメリットが大きいと考えられる。
- 休廃止鉱山以外にも、山間部のトンネル工事、ダム工事等の土木、建築工事に関連する排水処理や土壌汚染対策等にも活用可能と考えられる。
- 省エネルギーの排水処理方法でありカーボンニュートラルへの貢献も考えられることから、更なる高効率化が進めば、将来的には工場排水などの産業分野への活用も考えられる。

実用化に向けた課題

- 実用化に向けた実証研究に着した段階。今後、複数の休廃止鉱山において実証を進め、様々な水質、水量、気候条件における処理データの取得を進める。
- また、実証研究の中で、費用対効果、既存の処理方法に対する費用削減効果の検証を行う。

企業への期待

- 休廃止鉱山のみならず、金属を含有する廃水に対して応用可能な技術と考えられる。
- 関心あれば、是非ご連絡頂きたい。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 被処理水の生物学的浄化剤およびその製造方法、被処理水の生物学的浄化方法、ならびに被処理水の生物学的浄化システム
 - 出願番号 : 特願2015-502014
 - 出願人 : 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構
 - 発明者 : 濱井 昂弥 他
-
- 発明の名称 : 被処理水の浄化方法
 - 出願番号 : 特願2016-117355
 - 出願人 : 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構
 - 発明者 : 濱井 昂弥
-
- 発明の名称 : 坑廃水パッシブトリートメントにおけるエタノール添加による硫酸還元度合のコントロール方法
 - 出願番号 : 特願2022-39881
 - 出願人 : 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構
 - 発明者 : 濱井 昂弥、正木 悠聖

お問い合わせ先

(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構
総務部 知的財産推進課

TEL 03-6758-8020
e-mail patent@jogmec.go.jp