

令和元年度

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) の調査研究事業)

2020年3月



株式会社環境総合テクノス

目次

1	事業概要	1
1.1	事業の背景、目的及び基本方針	1
1.1.1	事業の背景	1
1.1.2	事業の目的	1
1.1.3	事業の基本方針	1
1.2	事業実施内容	2
1.2.1	グリーン・レメディエーションに関する調査研究フレームワークの検討	2
1.2.2	グリーン・レメディエーション（元山回帰）の研究課題	2
1.2.2.1	マンガン酸化菌利用処理技術調査研究	2
1.2.2.2	生態影響評価に係る調査・分析	2
1.2.2.3	植物-微生物複合共生系を利用した新たな緑化対策技術調査	3
1.2.3	利水点等管理・コミュニケーションに係る検討	3
1.2.4	休廃止鉱山管理等の高度化に係る検討	3
1.2.5	委員会の設置、報告書の作成等	3
1.3	事業実施計画	4
2	事業実施方法と成果	5
2.1	グリーン・レメディエーションに関する調査研究フレームワーク	5
2.1.1	事業進捗	5
2.1.2	事業進捗とロードマップの改定	6
2.1.3	各鉱山の性状を踏まえた鉱害防止対策技術を導くフロー	8
2.2	グリーン・レメディエーションの研究課題	10
2.2.1	マンガン酸化菌利用処理技術調査研究	10
2.2.1.1	菌叢解析	10
2.2.1.2	技術成熟度レベル評価	22
2.2.2	生態影響評価に係る調査・分析	30
2.2.2.1	生態影響評価手法等の検討	30
2.2.2.2	野外調査や生物を用いた試験による影響評価	30
2.2.2.3	生態影響評価ガイダンスの作成に向けた検討	38
2.2.3	植物-微生物複合共生系を利用した新たな対策技術調査	42
2.2.3.1	鉱山跡地における植物の遷移・緑化に関する事例について	44
2.2.3.2	緑化に向けたガイダンスの作成に向けて、今後の検討の基盤情報の整理	48

2.3	利水点等管理・コミュニケーションに係る検討.....	49
2.3.1	利水点等管理の定義、あり方の検討、素案の作成.....	49
2.3.2	利水点管理に関する文献.....	49
2.3.3	利水点等管理ガイダンスの素案.....	54
2.3.4	ステークホルダーとコミュニケーションのあり方や水質管理基準を弾力的に運用している鉱山事例の情報収集.....	58
2.4	休廃止鉱山管理等の高度化に係る検討.....	60
2.4.1	坑廃水処理及び鉱害防止対策工事に関する情報収集.....	60
2.4.2	鉱害防止工事の進捗のサポートや自然回帰を目指す鉱山対策への参考情報の整理.....	67
2.5	委員会の設置、報告書の作成等.....	69
2.5.1	委員会の設置.....	69
2.5.2	ワーキンググループの設置.....	69
2.5.3	委員会及びワーキンググループの開催.....	70
2.5.4	報告書の作成等.....	71
3	全体総括.....	72

参考資料

参考資料1：METAL MINING TECHNICAL GUIDANCE FOR ENVIRONMENTAL EFFECTS MONITORING
2012（MMER）

参考資料2：米国環境保護庁 Rapid Bioassessment Protocols（RBP）

参考資料3：休廃止鉱山の坑廃水が流入する河川における生態影響評価ガイダンス

参考資料4：各鉱山における事例集及びアンケート結果（18鉱山）

1 事業概要

1.1 事業の背景、目的及び基本方針

1.1.1 事業の背景

休廃止鉱山における鉱害防止工事の早期完了、坑廃水処理の確実な実施に向けた対策としては、国は、金属鉱業等鉱害対策特別措置法に基づく第5次基本方針（平成25～令和4年度）を踏まえ、産学官連携で鉱害防止対策技術に関する基礎研究、技術開発に取り組んでいる。

これまでの鉱害対策では、発生源対策や坑廃水処理対策等の個別の問題解決が優先され、今後継続する坑廃水処理に対する低コスト化、省力化に向けた調査研究に対する視点は不足していた。最新の休廃止鉱山関連の学術研究によれば、今後の坑廃水処理は100～150年を要すると予測されることから、長期的視点に立った処理施設の更新、人材育成・確保等の能動的な鉱害防止対策技術の検討に着手することが重要である。

このような背景の下、リスク評価・管理アプローチにより、休廃止鉱山に起因する重金属等の環境影響を合理的な範囲で低減しつつ、措置に伴う環境負荷を低減するための環境調和型対策「休廃止鉱山におけるグリーン・レメディエーションを活用した鉱害防止対策」が提案されている。本対策の効果的、効率的な実施のためには、現行の対策技術に加え新たな研究活動の成果も踏まえた上で、休廃止鉱山を元山に戻す総合的な対策を進めることが重要である。

1.1.2 事業の目的

休廃止鉱山関連の学術分野におけるリスク評価・管理アプローチによるグリーン・レメディエーションに関する新たな研究フレームワークを検討し、総合的な鉱害防止対策として鉱山性状分析、対策技術の最適化を検討するとともに、新たな対策技術の具体的な調査研究並びに省力化を目的とした調査研究を実施することを目的とした。

1.1.3 事業の基本方針

マンガン酸化菌等新たな微生物による坑廃水処理、生態影響評価、植物と微生物の共生による新たな緑化対策、利水点等管理及び休廃止鉱山管理等の高度化等について調査研究に対して、有識者によって構成された委員会を設置し、有識者からの情報提供及び指導を受けながら業務を進めた。調査研究においては、必要に応じて専門的知識を有する他機関に業務を再委託し、効果的・効率的に業務を進めた。

1.2 事業実施内容

1.2.1 グリーン・レメディエーションに関する調査研究フレームワークの検討

昨年度事業でとりまとめたグリーン・レメディエーション（元山回帰）に関する調査研究フレームワークに係るロードマップについて、取組状況の進捗を踏まえ必要に応じた見直しを行うとともに、各鉱山の性状を踏まえた鉱害防止対策技術を導くフローについて検討した。

1.2.2 グリーン・レメディエーション（元山回帰）の研究課題

1.2.2.1 マンガン酸化菌利用処理技術調査研究

a-1. 昨年度菌叢解析を実施した19鉱山のうちの1鉱山を対象として、6箇所（坑内水5箇所、集合原水）において季節変動を確認するため菌叢解析及び水質分析を3回実施した。また、マンガン酸化菌を活用した技術についての情報収集を行った。

a-2. 人工湿地として実績のある表面流方式（植栽）による場合と濾材に付着した微生物による接触酸化プロセスによる場合のマンガン酸化菌利用処理技術について、これらの技術成熟度レベルの評価を行った。

1.2.2.2 生態影響評価に係る調査・分析

a-1. グリーン・レメディエーション（元山回帰）の指標となる生態影響評価手法等の検討

休廃止鉱山における坑廃水処理の終了に向けた取組みとして、坑廃水処理水の河川への流入による生態影響を把握するための調査手法、分析・評価方法の検討を行った。

a-2. 野外調査や生物を用いた試験による影響評価

鉱山地域と非鉱山地域を流れる河川間での生物調査結果（魚類相等）の比較及び河川水を用いた生物応答試験結果に基づく金属の生態影響評価を実施した。

a-3. 生態影響評価ガイダンスの作成に向けた検討

ガイダンス作成に向けて、海外における政府等が出している河川の生態影響評価のガイダンスについて文献調査等により情報を収集するとともに、有用と考えられる2ガイダンスについて概要説明文書を作成した。また、ガイダンスの作成に向けた検討を行い、目次・概要として7枚のガイダンス案を作成した。

1.2.2.3 植物－微生物複合共生系を利用した新たな緑化対策技術調査

休廃止鉱山の緑化に向けたガイダンスの作成に向けて、今後の検討の基盤情報とするための鉱山跡地における植物の遷移・緑化に関する事例を3鉱山について収集した。

1.2.3 利水点等管理・コミュニケーションに係る検討

a-1. 利水点等管理の推進に向けて、一般的な水環境管理における評価地点の設定・管理方法に関する国内外の文献を調査するとともに、利水点等管理の定義及びあり方について検討を行い、その素案を作成した。

a-2. 利水点等管理を推進する上でのステークホルダーとのコミュニケーションのあり方について、水質管理基準の弾力的運用を行っている休廃止鉱山の事例について2鉱山の関係者へヒアリングを実施した。

1.2.4 休廃止鉱山管理等の高度化に係る検討

休廃止鉱山が保有する様々な環境情報の項目について整理を行い、管理の高度化の必要性及び方向性の検討を行った。具体的には、水量・水質・処理方法等の坑廃水処理を行う上で得られる情報や処理水の放流先の水系の利用状況等の情報について情報収集するとともに、休廃止鉱山を管理する事業者や自治体にとって鉱害防止工事の進捗サポートや自然回帰を目指す鉱山対策の実施にどのような情報が必要となるのかについて整理した。

1.2.5 委員会の設置、報告書の作成等

休廃止鉱山の専門家等を交えたグリーン・レメディエーション研究会を設置し、委員会を2回開催し、グリーン・レメディエーション（元山回帰）に関する調査研究フレームワーク、植物－微生物複合共生系を利用した新たな緑化技術、利水点等管理・コミュニケーション、休廃止鉱山管理等の高度化について調査・検討した。また、マンガン酸化菌利用処理技術調査研究及び生態影響評価に係る調査・分析それぞれにワーキンググループ（以下、WG）を設置し、個別研究課題を調査検討するため、それぞれ2回開催した（書面審議含む）。委員は、坑廃水処理等に関連のある分野の研究者及び技術者により構成した。

なお、各研究項目に対して適切な鉱山の選定に当たっては、坑廃水の水量、pH、含まれる重金属の種類・量を考慮した。また、現場調査を実施した際は坑廃水処理事業者及び関係者と連絡・調整を図り、実施中の坑廃水処理事業等に支障が生じないように配慮した。

1.3 事業実施計画

本年度の実施計画は表 1.3-1 のとおり実施した。

表 1.3-1 本年度事業実施計画

事業内容			令和元年					令和2年		
			8	9	10	11	12	1	2	3
1.GRIに関する調査研究フレームワーク										
2.GRの研究課題	(1)マンガン酸化菌利用処理技術調査研究	①対象1鉱山における菌叢解析と水質の季節変動の確認								
		②人工湿地における表面流方式と接触酸化プロセスの技術成熟度レベルの評価								
	(2)生態影響評価に係る調査・分析	①元山回帰の指標となる環境影響評価手法等の検討								
		②野外調査や生物を用いた試験による影響評価								
③生態影響評価ガイドランスの作成に向けた検討										
(3)新たな緑化対策技術調査	鉱山跡地における植物の遷移・緑化に関する事例の情報収集									
3.利水点等管理・コミュニケーションに係る検討	(1)利水点等管理の定義及びあり方について検討を行い、その素案を作成									
	(2)ステークホルダーとのコミュニケーションのあり方及び水質管理基準の弾力的運用鉱山の事例について2鉱山程度関係者へのヒアリング									
4.休廃止鉱山管理等の高度化に係る検討										
5-1.委員会の設置	GR研究会の開催									
	WG1, 2の開催									
5-2.報告書の作成										

2 事業実施方法と成果

2.1 グリーン・レメディエーションに関する調査研究フレームワーク

平成30年度の事業でとりまとめたグリーン・レメディエーション（元山回帰）に関する調査研究フレームワークに係るロードマップについて、取組状況の進捗を踏まえ必要に応じた見直しを行うとともに、各鉱山の性状を踏まえた鉱害防止対策技術を導くフローについて検討した。

2.1.1 事業進捗

本事業の各プロジェクトの本年度の事業進捗及び委員会での審議に基づく来年度以降の取組内容を表2.1.1-1に示す。

表 2.1.1-1 本年度事業の進捗と来年度以降の取組内容

プロジェクト名称	令和元年度の取組	来年度以降の取組（案）
GR-WG1：マンガン酸化菌利用処理技術調査研究（報告書2.2.1）	本年度の検討内容として技術成熟度評価、菌叢解析、適用可能性・コスト評価の検討を実施した。	詳細なコスト評価を進めるとともに、導入条件等、基礎的事項の整理を行う。
GR-WG2：生態影響評価に係る調査・分析（報告書2.2.2）	生態影響評価方法検討のための現地調査、ガイダンスの素案作成を実施した。	鉱山の現地調査は本年度で終了し、来年度はガイダンス作成を主とする。
植物－微生物複合共生系を利用した新たな緑化対策技術（報告書2.2.3）	本年度は鉱山の緑化に関する3鉱山4事例の収集を実施した。	来年度以降はガイダンス作成を進める。
利水点等管理・コミュニケーションに係る検討（報告書2.3）	2鉱山にヒアリングを実施するとともに、ガイダンスの考え方を整理した。	来年度以降はガイダンス作成を進める。
休廃止鉱山管理等の高度化に係る検討（報告書2.4）	鉱害対策工事を実施するにあたり参考となる情報を整理した。	来年度以降は事例集作成に向けた情報収集さらにを進める。

2.1.2 事業進捗とロードマップの改定

昨年度の事業でとりまとめたロードマップを図 2.1.2-1 に、本年度の進捗及び委員会等での議論を反映したロードマップを図 2.1.2-2 に示す。

ロードマップの変更点については以下のとおりである。

- ・生態リスク評価（GR-WG2）：WG、委員会の議論により鉱山現地調査は本年度で終了し、来年度はガイダンス作成がメインとなった。また、WG、委員会での意見より自治体等に意見を求めることになった。
- ・排水処理技術開発の高度化（GR-WG1）：本年度の第1回委員会、WGでの議論の結果を受けて、より詳細な検討項目に分類するとともに次年度以降の内容を更新した。
- ・緑化技術（GR-連携）：進捗を反映した。
- ・利水点管理および合意形成：進捗を反映するとともに、両者は切り離せないことから両者を一緒に検討することとした。



図 2.1.2-1 昨年度のロードマップ（赤字・ピンクが本事業範囲）



図 2.1.2-2 本年度更新したロードマップ（赤字・ピンクが本事業範囲）

2.1.3 各鉱山の性状を踏まえた鉱害防止対策技術を導くフロー

図 2.1.3-1 に平成 24 年中央鉱山保安協議会の「義務者不存在鉱山における水質管理目標の弾力的運用」の類型を示す。この分類では、大きくⅠ発生源対策→自然回帰、Ⅱ坑廃水処理→自然回帰、Ⅲ坑廃水処理→継続、の 3 つに分かれており、タイプとしては以下の 5 つに整理している。

- ① 発生源対策の実施によって坑廃水の無処理放流を目指すべき鉱山
- ② 水質管理目標の弾力的運用によって坑廃水の無処理放流を目指すべき鉱山
(本事業の GR-WG2：生態影響評価に係る調査・分析及び利水点等管理・コミュニケーションに係る検討が該当)
- ③ 新技術の導入によって坑廃水の無処理放流を目指すべき鉱山
(本事業の GR-WG1：マンガン酸化菌利用処理技術調査研究が該当)
- ④ 設備更新、新技術の導入等によって坑廃水処理費の低減を目指すべき鉱山
- ⑤ リサイクル・再生可能エネルギー導入等によって、自立化を目指すべき鉱山

本年度は、委員会等において委員やオブザーバーまたはヒアリングによって、これらの方向性に関する意見を頂いた。意見の概要を以下に示す。

・②については、水質管理目標の弾力的運用に関して、自治体等が実施したいと思った場合、その進め方がわからないため、過去の事例や進め方のフローを記載したガイドライン等を整備することが望ましい。

対応方針：来年度以降、生態影響評価・利水点等管理のガイダンスを作成する。

・③に関して、パッシブトリートメントについては、どのような鉱山で適用可能なのか、自治体側がわかりやすいガイドライン等が必要である。

対応方針：別途、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（以下、JOGMEC）事業でパッシブトリートメントのガイドラインを作成しているが、マンガン酸化菌利用処理技術についても導入条件等、基礎的事項の整理を行う。

・第 6 次方針にむけて、各鉱山でどのような方針で進めるべきかの検討は早い段階で実施したほうがよい。一方、自治体で判断できないケースも想定されることから、同一の様式で鉱山の基礎情報の整理及び当該情報に基づく判断フローを作成しても良いのではないかと、との意見もあった。

対応方針：来年度の検討事項とする。

7. 特定施設に係る鉱害防止事業の実施に関する基本方針に係る答申 (出典：平成24年11月15日中央鉱山保安協議会資料)

類 型	タ イ プ	基本的考え方
【義務者不存在鉱山】における水質管理目標の弾力的運用 坑廃水処理の終了に向けた地元理解を得るため、下流の利水点等の環境基準等を満足できる鉱山では、下流影響度に関するデータの把握・蓄積を行い、データ解析等の検討を実施する。また、バックグラウンドの自然汚染を踏まえた坑廃水処理の処理レベルのあり方についても検討が必要である。		
I. 発生源対策 ⇒ 自然回帰	①発生源対策の実施によって坑廃水の無処理放流を目指すべき鉱山	予算や工期の制約から工事が長期に及ぶことが多いが、関係者間で合意した目標（仕上がイメージ）を常に意識し、費用対効果を検証しつつ工事を完工（状況によっては事業の中止／中断を適時に決断）。
	②水質管理目標の弾力的運用によって坑廃水の無処理放流を目指すべき鉱山	原水水質が周辺水域の環境レベルを下回る程に改良しており、住民の理解が得られる場合は、坑廃水処理の終結について検討
II. 坑廃水処理 ⇒ 自然回帰	③新技術の導入によって坑廃水の無処理放流を目指すべき鉱山	バシブトリートメント等の導入によって②と同様の効果が得られた場合は、機械設備や薬剤等を使用した人為的処理の終結について検討。
	④設備更新、新技術の導入等によって坑廃水処理費の低減を目指すべき鉱山	原水の量や水質から永続的に処理が必要な鉱山については老朽施設の更新等の時期を失することなく行い、処理コストの極小化を完了。
	⑤リサイクル、再生可能エネルギー導入等によって自立化を目指すべき鉱山	中和殻物の再資源化、小水力や太陽光発電等の再生可能エネルギー導入による坑廃水処理の経済的自立化についても将来的には指向。
III. 坑廃水処理 ⇒ 継続	※その他坑廃水処理費の低限を目指すべき鉱山	追加の発生源対策や鉱山の特性を活かしたコスト低減策の採否について、費用対効果の観点から許容される範囲内で再検討。

【義務者不存在鉱山】における坑廃水処理実施の判断基準の目安の一例

＜坑廃水処理実施の判断基準例＞

- ①下流の利水点等で、環境基準を超過する場合は坑廃水処理が必要。
- ②環境基準を満足するが、原水中に水質管理目標を超える有害物質を含む場合は、原則処理が必要。
- ③環境基準を満足し、原水中に水質管理目標を超える有害物質を含まない場合は、無処理放流を検討。
- ④上記③のうち、農業用水基準を満足していない時期がある場合は、農閑期の無処理放流を検討。

図 2.1.3-1 平成24年中央鉱山保安協議会の「義務者不存在鉱山における水質管理目標の弾力的運用」の類型

引用文献

- ・経済産業省、特定施設に係る鉱害防止事業の実施に関する基本方針に係る答申（平成24年11月15日中央鉱山保安協議会資料）、2012。

2.2 グリーン・レメディエーションの研究課題

2.2.1 マンガン酸化菌利用処理技術調査研究

2.2.1.1 菌叢解析

金属鉱業等鉱害対策特別措置法で定めた第5次基本方針の対象鉱山を中心とした19鉱山のうち、昨年度菌叢解析を実施した1鉱山を対象として、6箇所（坑内水5箇所、集合原水）において季節変動を確認するための菌叢解析及び水質分析を3回実施した。

a-1. 調査背景と目的

マンガン酸化菌を利用した坑廃水処理の検討に向け、対象鉱山坑廃水中のマンガン酸化菌等微生物データや、水質データ等の基盤データを取得することは重要である。昨年度は北海道から九州まで地域や水質の異なる19鉱山の坑廃水サンプルを用い、次世代シーケンサーによる菌叢解析が可能であることを示した。しかしながら、各坑廃水ともに1時季1回の採水において菌叢解析を実施した結果であり、仮に春夏秋冬の環境の違いが坑廃水中の菌叢に影響を及ぼす場合、季節ごとに菌叢が全く異なることも予想される。そこで、昨年度取得した各坑廃水の菌叢解析データが、その坑廃水の典型的な菌叢を反映しているかを調べる目的で、M55鉱山の6箇所の異なる採水箇所において季節変動（夏季、秋季、冬季の3回）を確認するための菌叢解析及び水質分析を実施した。

a-2. 材料と方法

a-2-1. 試料採取

対象鉱山として選定したM55鉱山における6箇所の異なる採水箇所での試料採取日を図2.2.1.1-1に示す。夏季として2019年8月26日、秋季として同年10月11日、冬季として同年12月6日にそれぞれ採水を行った。M55鉱山における6箇所の異なる採水箇所の略図も図2.2.1.1-1に示し、それぞれ「A」、「B」、「C」、「D」、「E」、「集合」とする。「A」、「D」、「E」の坑水が合流して「集合」原水となり、下流の排水処理場において適正に中和処理されている（図2.1.1.1-1）。各坑水試料における菌叢解析や水質分析等のために、1L容器各10本分の坑水を採水した。微生物菌叢解析については、坑水1Lまたは3Lを孔径0.22 μm のメンブレンで濾過することで微生物を回収し、シーケンス解析に供するまで-20℃で保存した。

鉱山名	サンプル	季節	採取年月日
M55	A	夏	2019.8.26
	B		
	C		
	D		
	E		
	集合		
	A	秋	2019.10.11
	B		
	C		
	D		
	E		
	集合		
	A	冬	2019.12.6
	B		
	C		
	D		
	E		
	集合		

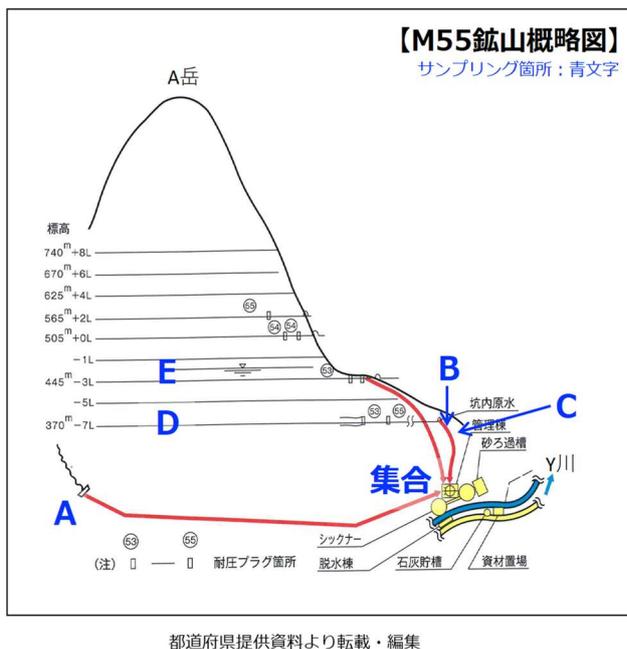


図 2.2.1.1-1 M55 鉱山における異なる 6 箇所からの試料採取状況

a-2-2. 化学分析

試料の採水時に、水温と pH は、ポータブル pH・温度分析計 LAQUA act D-71 (HORIBA) 等により測定した。全有機炭素 (TOC) は、不揮発性有機炭素法による前処理後、TOC-L/TNM-L 装置 (島津社製) を用いて、赤外線式ガス分析計で分析した。無機炭素は同装置を用いて赤外線式ガス分析計で測定し、全窒素 (TN) も同装置で化学発光検出器にて測定した。硫酸、硝酸、アンモニア、リン酸、塩素は、7100 Capillary Electrophoresis 装置 (Agilent 社製) にて、Real time UV-Visible diode-array 検出器により測定した。坑水中の金属濃度等分析 (10 項目 : Pb、As、Cd、Mn、Cu、マグネシウム (以下、Mg)、Fe、アルミニウム (以下、Al)、Zn、ケイ素 (以下、Si) は、サンプルに終濃度 0.1% となるよう硝酸を加えたのち、誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS) iCAP Qc (サーモフィッシャーサイエンティフィック) を用いて分析を行った。なお、各坑水試料の金属分析は二連で行った。

a-2-3. 次世代シーケンサー・MiSeq による菌叢解析

微生物が付着したメンブレンを、溶菌法とビーズ細胞破碎法の併用により微生物核酸を抽出した。シェイクマスターオート (bms, Japan) を用いて微生物細胞を破碎した後、フェノール及びクロロホルムを用いた精製ステップを経ることで共存するタンパク質を除去した。その後、Type II-A RNase (Sigma-Aldrich) 処理を行うことで RNA を消化し、DNA を精製した。これら精製 DNA を鋳型に 16S rRNA 遺伝子 V4 領域 (約 300 塩基対) を標的として、Q5 Hot Start High-Fidelity DNA Polymerase (NEB, USA) による DNA 増幅反応 (PCR: Polymerase chain reaction) を行った。得られた PCR 産物を AMPure XP キット (Beckman coulter, USA) 及び Wizard SV gel and PCR clean-up キット (Promega) を用いて精製し、その濃度を Quant-iT PicoGreen

dsDNA 試薬・キット (Invitrogen) と蛍光定量装置 Nanodrop 3300 (Thermo) により測定した。最適量の精製 DNA を MiSeq Reagent キット 500 サイクルと次世代シーケンサー MiSeq (Illumina, USA) を用いた大規模塩基配列解析に供した。各試料から遺伝子断片を数万リードずつ解読し、独自に確立した解析パイプライン (ソフトウェア mothur による非特異的配列除去やソフトウェア QIIME による微生物系統解析等を含む) によって微生物種 (OTU: Operational taxonomic unit) の同定を行った。OTU の近縁種と遺伝子配列相同性を NCBI 塩基配列データベースの BLAST プログラムにより決定した。なお、各坑水サンプルの微生物解析は三連で行った。

a-3. 結果

a-3-1. 各坑水中の無機・有機化合物等濃度の化学分析

M55 鉱山の 6 箇所から採取した坑水について、現場で採水直後に測定した pH と水温の値、及び全有機炭素濃度 (TOC)、無機炭素濃度 (IC)、全窒素濃度 (TN)、硝酸イオン濃度 (硝酸)、硫酸イオン濃度 (硫酸)、アンモニア濃度 (アンモニア)、リン酸濃度 (リン酸)、塩素濃度 (Cl) の濃度値を表 2.2.1.1-1 に示す。M55 鉱山の 6 箇所の坑水についても、一般的な坑廃水と同様、有機化合物や窒素化合物は含まれておらず、硫酸イオンが 200 mg/L 程度存在している。

表 2.2.1.1-1 M55 鉱山の 6 箇所から採取した
坑水中の各種無機・有機化合物濃度
(排水基準を超えている値を青字で示す)

サンプル	季節	pH	水温 (°C)	TOC (mg/L)	IC (mg/L)	TN (mg/L)	硝酸 (mg/L)	硫酸 (mg/L)	アンモニア (mg/L)	リン酸 (mg/L)	Cl (mg/L)
A	夏	6.8	16.2	0.41	3.21	0.11	n.d.	113.6	0.83	n.d.	6.6
B		6.7	15.8	0.81	24.16	0.06	n.d.	245.4	2.59	n.d.	8.0
C		6.7	15.6	0.84	21.29	0.06	n.d.	240.6	1.96	n.d.	7.7
D		6.7	16.2	1.28	17.77	n.d.	n.d.	209.8	6.91	n.d.	14.9
E		3.0	14.6	1.06	0.43	n.d.	n.d.	260.6	1.12	n.d.	5.7
集合		4.0	15.3	0.60	1.17	0.05	n.d.	181.1	1.55	n.d.	6.4
A	秋	7.1	13.6	0.42	4.90	n.d.	n.d.	153.5	2.64	n.d.	7.1
B		6.9	15.6	1.41	25.46	n.d.	n.d.	206.6	3.28	n.d.	6.0
C		6.8	15.7	1.00	22.43	0.02	n.d.	220.5	3.26	n.d.	6.0
D		7.1	15.8	0.87	21.56	n.d.	n.d.	195.2	2.80	n.d.	6.5
E		3.2	15.8	0.81	1.12	0.05	n.d.	205.3	3.10	n.d.	5.7
集合		5.5	15.0	0.67	0.94	0.00	n.d.	209.5	3.21	n.d.	9.2
A	冬	5.2	10.4	0.25	23.37	0.07	n.d.	227.2	3.20	n.d.	7.7
B		7.4	12.7	0.88	21.56	n.d.	n.d.	195.2	2.80	n.d.	6.5
C		6.8	13.3	1.48	1.12	0.05	n.d.	205.3	3.10	n.d.	5.7
D		6.9	13.4	0.66	0.94	n.d.	n.d.	209.5	3.21	n.d.	9.2
E		3.3	12.4	0.49	4.90	n.d.	n.d.	153.5	2.64	n.d.	7.1
集合		7.1	7.4	0.39	24.74	n.d.	n.d.	233.0	3.20	n.d.	7.8

a-3-2. 各坑水中の重金属等濃度の化学分析

M55 鉱山の 6 箇所から採取した坑水について、重金属等 (Pb、As、Cd、Mn、Cu、Mg、Fe、Al、Zn、Si) 濃度の値を表 2.2.1.1-2 に示す。表からも明らかなように、M55 鉱山は「A」、「B」、「C」、「D」、「E」のいずれの坑水においても、Mn と Zn 濃度が排水基準値以上であることが分かる。中でも、「E」は酸性坑水であり、Pb 及び Cd が定常的に排水基準値を超えていることに加え、Cu や Fe も基準値を超えることがあった。「A」、「D」、「E」が合流する「集合」においては、Pb 及び Cd が定常的に排水基準値を超えている。

表 2.2.1.1-2 M55 鉱山の 6 箇所から採取した
坑水中の重金属等濃度
(排水基準を超えている値を青字で示す)

サンプル	季節	pH	水温 (°C)	Pb (mg/L)	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Mn (mg/L)	Cu (mg/L)	Mg (mg/L)	Fe (mg/L)	Al (mg/L)	Zn (mg/L)	Si (mg/L)
A	夏	6.8	16.2	0.013	<0.001	0.021	17.44	0.022	11.14	0.06	0.11	8.72	9.49
B		6.7	15.8	<0.001	<0.001	0.008	20.09	0.005	23.49	<0.02	<0.02	4.13	11.51
C		6.7	15.6	0.003	<0.001	0.012	17.34	0.014	22.87	1.11	<0.02	6.91	10.28
D		6.7	16.2	0.003	<0.001	0.012	14.09	0.014	19.24	0.42	0.05	6.00	10.84
E		3.0	14.6	0.916	<0.001	0.189	52.08	5.240	19.01	17.89	12.46	51.18	11.07
集合		4.0	15.3	0.248	<0.001	0.064	26.98	1.463	16.24	5.53	3.96	19.78	12.49
A	秋	7.1	13.6	0.020	<0.001	0.032	25.47	0.036	15.37	0.08	0.16	13.06	11.48
B		6.9	15.6	<0.001	<0.001	0.014	21.70	0.005	26.83	0.02	<0.02	7.30	15.42
C		6.8	15.7	<0.001	<0.001	0.012	21.82	0.006	22.93	0.03	<0.02	6.65	15.88
D		7.1	15.8	<0.001	<0.001	0.010	21.46	0.007	28.00	<0.02	<0.02	4.65	20.32
E		3.2	15.8	0.908	<0.001	0.127	75.29	1.319	22.57	4.64	9.30	50.05	17.53
集合		5.5	15.0	0.424	<0.001	0.074	50.78	0.617	22.18	5.06	3.85	30.16	17.10
A	冬	5.2	10.4	0.018	<0.001	0.025	22.60	0.030	12.88	0.12	0.17	10.79	8.56
B		7.4	12.7	<0.001	<0.001	0.009	18.77	0.006	22.04	0.10	<0.02	4.35	13.36
C		6.8	13.3	<0.001	<0.001	0.013	20.03	<0.005	21.99	0.05	<0.02	6.65	11.19
D		6.9	13.4	<0.001	<0.001	0.012	18.82	<0.005	20.91	0.08	<0.02	6.19	10.82
E		3.3	12.4	1.004	<0.001	0.108	59.42	2.830	20.02	11.56	9.40	51.30	15.12
集合		7.1	7.4	0.421	<0.001	0.070	40.48	1.394	17.68	5.70	5.00	29.22	15.08

a-3-3. 微生物群集構造解析 (門または綱レベル)

6 箇所から 3 季節に採取した坑水中の微生物群集構造解析 (門または綱レベル) を図 2.2.1.1-2 に示す。縦軸は微生物種の相対存在量を示しており、同じ微生物分類群に属する微生物種の割合を同じ色で示している。各坑水試料について、夏、秋、冬ともに三連で実験を行っているが、三連の結果で大きなばらつきは見られていない。また全体の傾向として、同じ採水箇所の坑水試料では、多少は季節間で相対存在量の違いも見られるが、比較的、夏、秋、冬で菌叢が類似していることが明らかとなっている。ただし、「E」の秋の坑水試料については、Nitrospirae という亜硝酸酸化菌の一群 (図 2.2.1.1-2: ピンク色) が減少し、Betaproteobacteria に分類される一群 (図 2.2.1.1-2: 緑色) が増加するなど、夏や冬とは異なる傾向が見られている。

「A」は、坑水とはいえ沢の水であるため、比較的多様な微生物種が存在しており、有機物の分解に関わるような Bacteroidetes (図 2.2.1.1-2: 茶色) が存在していることが分かる。また「B」は、鉱山の中を通過して、D 坑の封止プラグ直下流で坑道内壁から染み出ている水であるが、こちらはさらに多様な微生物群から構成されていることがわかる。特に Nitrospirae の一群 (図 2.2.1.1-2: ピンク色) が検出されているが、通常の坑廃水中には窒素化合物がほとんど無いため興味深い結果である。

一方で、「B」の下流 80 m に位置する「C」と、同じ坑道の最下流に位置する「D」は類似の菌叢を示しており、Betaproteobacteria に分類される一群 (図 2.2.1.1-2: 緑色) が最優占化していることが明らかとなっている。

また、「E」と冬を除く「集合」は共に酸性の坑水であるが、中性の坑水である「C」と「D」と同様に、Betaproteobacteria に分類される一群 (図 2.2.1.1-2: 緑色) が最優占化している。しかしながら、酸性と中性の環境の違いは大きいので、より細かい分類群で確認すると、微生物種は異なるものと考えられる。そこで次に、種レベル (OUT レベル [Operational Taxonomic Unit: 操作上ひとつの種として扱う分類単位]) での解析を行った。

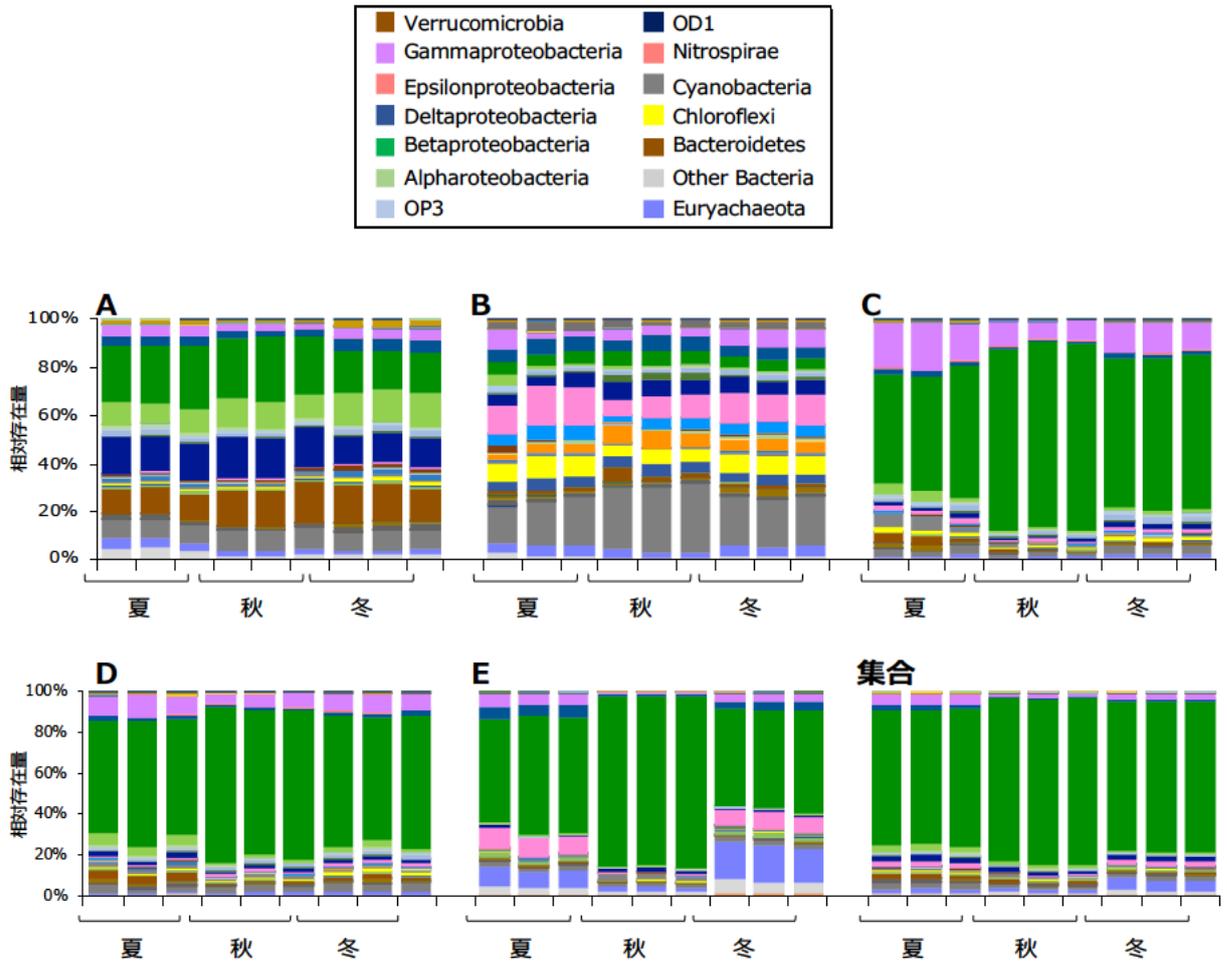


図 2. 2. 1. 1-2 M55 鉱山の 6 箇所から採取した坑水中の
微生物群集構造解析

[門及び綱レベル：57 ライブラリ 合計 492 万リード、平均 86,357 リードを解析]

a-3-4. 各坑水中の季節ごとの優占上位 5 種の解析と比較

(1) A

「A」の坑水中に存在した季節ごとの優占上位 5 種を表 2.2.1.1-3 に示す。いずれの季節も最優占種は共通して Betaproteobacteria 綱の *Curvibacter delicatus* と 100 %の相同性を示す OUT112406 である。*C. delicatus* は淡水湖等から分離されている。好気性で有機物を分解する微生物で、鉦山の他の中性坑水でも広く優占化している微生物であることから（以降の表参照）、M55 鉦山に特徴的な微生物種の 1 つである。Mn や Zn が含まれているとはいえ、自然の沢の水であること、坑道内だけでなく大気にも解放されているため、微生物種は比較的多様であり（図 2.2.1.1-2）、*C. delicatus* 以外で、季節ごとの優占上位 5 種で共通して見られるものは存在していなかった。

なお、一般的に、16S rRNA 遺伝子の配列相同性は 98 %以上で同種、95 %以上で同属と判断されるが、相同性が 90 %未満の場合は綱レベルで新しい微生物とされる場合が多い。以降の表では、金属酸化に関与すると推定される微生物種を赤字で、既知の微生物と相同性が 90 %以下の極めて新規な微生物種を青字で示す。

表 2.2.1.1-3 菌叢解析結果 (A)

(夏)

#OTU	相対存在量(%)	std	最近縁種	相同性(%)	Acc. No.	門または綱	備考
112406	11.95	0.84	<i>Curvibacter delicatus</i>	100	NR113696	Betaproteobacteria	好気性、有機物分解
11936	4.50	0.69	<i>Nitrososphaera viennensis</i>	91.7	NR134097	Thaumarchaeota	好気性、アンモニア酸化
92942	3.60	0.19	<i>Polaromonas jejuensis</i>	99.2	NR114301	Betaproteobacteria	好気性、有機物分解
86156	2.63	0.57	No significant similarity found	-	-	-	-
30160	2.37	0.14	<i>Mitsuaria noduli</i>	98.0	NR159302	Betaproteobacteria	好気性、多糖類分解

(秋)

#OTU	相対存在量(%)	std	最近縁種	相同性(%)	Acc. No.	門または綱	備考
112406	12.80	1.06	<i>Curvibacter delicatus</i>	100	NR113696	Betaproteobacteria	好気性、有機物分解
13983	4.80	0.52	<i>Sediminibacterium goheungense</i>	100	NR133854	Bacteroidetes	好気性
67285	2.70	0.28	<i>Altererythrobacter buctensis</i>	95.3	NR146661	Alphaproteobacteria	好気性
92942	2.68	0.22	<i>Polaromonas jejuensis</i>	99.2	NR114301	Betaproteobacteria	好気性
144691	1.92	0.54	<i>Flavobacterium aquidurense</i>	100	NR118475	Bacteroidetes	化学従属栄養性

(冬)

#OTU	相対存在量(%)	std	最近縁種	相同性(%)	Acc. No.	門または綱	備考
112406	4.19	0.20	<i>Curvibacter delicatus</i>	100	NR113696	Betaproteobacteria	好気性、有機物分解
25852	4.03	0.59	<i>Parasediminibacterium paludis</i>	98.4	NR147756	Bacteroidetes	好気性
144691	2.84	1.04	<i>Flavobacterium aquidurense</i>	100	NR118475	Bacteroidetes	化学栄養性
70566	2.63	0.14	<i>Caballeronia arationis</i>	96.8	NR145599	Betaproteobacteria	窒素固定
130465	1.97	0.51	<i>Arcicella aurantiaca</i>	100	NR116735	Bacteroidetes	好気性

※青字：既知の微生物と相同性が 90 %以下の極めて新規な微生物種

(2) B

「B」の坑水中に存在した季節ごとの優占上位5種を表2.2.1.1-4に示す。いずれの季節も最優占種は共通してDeltaproteobacteria綱の*Vulgatibacter incomptus*と84.1%の相同性を示すOUT3441である。加えて夏と秋の試料からは*V. incomptus*と84.1%の相同性を示すOUT154463も5番目に検出されている。*V. incomptus*は土壌から分離された報告がある有機物分解性の微生物だが、既知の微生物種とは相同性が84%程度の新属新種であり、その機能は未知である。続く優占5種で全季節において検出されたものは、*Desulfotomaculum hydrothermale*や*Desulfosporosinus fructosivorans*といったFirmicutesに属する硫酸還元菌であり、それぞれ88.8%及び92.1%の相同性を示すOTU6223及びOTU7785である。このように硫酸還元菌が検出されていることから、鉱山の中を通過して坑道内壁から染み出ている「B」は、酸化還元電位の低い嫌気的な雰囲気の水であると考えられる。それ以外にも、全季節に共通して*Melioribacter roseus*と97.3%の相同性を示すOTU40912が検出されている。*M. roseus*は通性嫌気性の有機物分解菌であり、これら*V. incomptus*や*M. roseus*が有機物を分解し、硫酸還元菌の炭素源を供給しているといった微生物生態系を構成している可能性も考えられる。このように「M55 B」の坑水中の菌叢は、季節変動による影響をあまり受けないことが明らかとなった。

表 2.2.1.1-4 菌叢解析結果 (B)

(夏)

#OTU	相対存在量(%)	std	最近縁種	相同性(%)	Acc. No.	門または綱	
3441	11.4	1.7	<i>Vulgatibacter incomptus</i>	84.1	NR126181	Deltaproteobacteria	機能未知 (好気性、有機物分解)
6223	4.0	0.5	<i>Desulfotomaculum hydrothermale</i>	88.8	NR044074	Firmicutes; Clostridia	機能未知 (硫酸還元)
43283	3.8	0.7	<i>Thermus thermophilus</i>	100	NR113293	Deinococcus-Thermus	
40912	3.5	0.7	<i>Melioribacter roseus</i>	93.7	NR074796	Ignavibacteriae	微好気・好気性、炭化水素分解、発酵
154463	3.0	0.4	<i>Vulgatibacter incomptus</i>	84.4	NR126181	Deltaproteobacteria	機能未知 (好気性、有機物分解)

(秋)

#OTU	相対存在量(%)	std	最近縁種	相同性(%)	Acc. No.	門または綱	
3441	5.62	1.03	<i>Vulgatibacter incomptus</i>	84.1	NR126181	Deltaproteobacteria	機能未知 (好気性、有機物分解)
7785	5.00	0.64	<i>Desulfosporosinus fructosivorans</i>	92.1	NR156976	Firmicutes; Clostridia	硫酸還元
40912	3.79	0.62	<i>Melioribacter roseus</i>	93.7	NR074796	Ignavibacteriae	微好気・好気性、炭化水素分解、発酵
37686	3.43	0.52	<i>Bifidobacterium magnum</i>	75.3	NR115644	Actinobacteria	機能未知 (嫌気性、発酵)
154463	2.63	0.56	<i>Vulgatibacter incomptus</i>	84.4	NR126181	Deltaproteobacteria	機能未知 (好気性、有機物分解)

(冬)

#OTU	相対存在量(%)	std	最近縁種	相同性(%)	Acc. No.	門または綱	
3441	8.81	0.44	<i>Vulgatibacter incomptus</i>	84.1	NR126181	Deltaproteobacteria	機能未知 (好気性、有機物分解)
84936	4.05	0.29	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	100	NR040804	Gammaproteobacteria	
7785	3.67	0.17	<i>Desulfosporosinus fructosivorans</i>	92.1	NR156976	Firmicutes; Clostridia	硫酸還元
6223	3.25	0.09	<i>Desulfotomaculum hydrothermale</i>	88.8	NR044074	Firmicutes; Clostridia	機能未知 (硫酸還元)
40912	3.10	0.10	<i>Melioribacter roseus</i>	93.7	NR074796	Ignavibacteriae	微好気・好気性、炭化水素分解、発酵

※青字：既知の微生物と相同性が90%以下の極めて新規な微生物種

(3) C

「C」の坑水中に存在した季節ごとの優占上位5種を表2.2.1.1-5に示す。いずれの季節も最優占種は共通してBetaproteobacteria綱の硫黄酸化細菌*Thiobacillus sajanensis*と98.4%の相同性を示すOUT146719である。加えて全季節の試料において、「A」でも最優占種であった*Curvibacter delicatus*と100%の相同性を示すOUT112406が、優占上位2番目もしくは3番目に検出されている。それ以外にも、夏と秋では*Vogesella alkaliphila*と96.4%の相同性を示すOTU68083が、夏と冬ではGammaproteobacteria綱のメタン酸化菌*Methylomonas koyamae*と96.9%の相同性を示すOTU5746が、秋と冬ではBetaproteobacteria綱の鉄酸化細菌*Sideroxydans lithotrophicus*と98.8%の相同性を示すOTU64747が優占上位5種に共通して検出されており、このように「C」の坑水中の菌叢も、季節変動により大きく影響を受けないことが明らかとなっている。

表 2.2.1.1-5 菌叢解析結果 (C)

(夏)

#OTU	相対存在量(%)	std	最近縁種	相同性(%)	Acc. No.	門または綱	備考
146719	12.79	5.19	<i>Thiobacillus sajanensis</i>	98.4	NR115758	Betaproteobacteria	硫黄酸化
70566	6.28	3.48	<i>Caballeronia arationis</i>	96.8	NR145599	Betaproteobacteria	窒素固定
112406	6.24	4.84	<i>Curvibacter delicatus</i>	100	NR113696	Betaproteobacteria	好気性、有機物分解
68083	5.37	1.37	<i>Vogesella alkaliphila</i>	96.4	NR108891	Betaproteobacteria	発酵性、有機酸利用、化学従属栄養性
5746	5.17	2.56	<i>Methylomonas koyamae</i>	96.9	NR113033	Gammaproteobacteria	メタン酸化

(秋)

#OTU	相対存在量(%)	std	最近縁種	相同性(%)	Acc. No.	門または綱	備考
146719	28.57	1.07	<i>Thiobacillus sajanensis</i>	98.4	NR115758	Betaproteobacteria	硫黄酸化
112406	20.97	0.68	<i>Curvibacter delicatus</i>	100	NR113696	Betaproteobacteria	好気性、有機物分解
64747	9.48	1.90	<i>Sideroxydans lithotrophicus</i>	98.8	NR074731	Betaproteobacteria	鉄酸化
97402	4.12	0.18	<i>Sulfuricella denitrificans</i>	100	NR121695	Betaproteobacteria	硫黄酸化
68083	3.91	0.30	<i>Vogesella alkaliphila</i>	96.4	NR108891	Betaproteobacteria	発酵性、有機酸利用、化学従属栄養性

(冬)

#OTU	相対存在量(%)	std	最近縁種	相同性(%)	Acc. No.	門または綱	備考
146719	22.72	1.81	<i>Thiobacillus sajanensis</i>	98.4	NR115758	Betaproteobacteria	硫黄酸化
112406	16.32	4.29	<i>Curvibacter delicatus</i>	100	NR113696	Betaproteobacteria	好気性、有機物分解
64747	12.85	1.12	<i>Sideroxydans lithotrophicus</i>	98.8	NR074731	Betaproteobacteria	鉄酸化
5746	4.18	0.31	<i>Methylomonas koyamae</i>	96.9	NR113033	Gammaproteobacteria	メタン酸化
122815	4.15	0.58	<i>Methylobacter tundripaludum</i>	98.8	NR042107	Gammaproteobacteria	メタン酸化

※赤字：金属酸化に関与すると推定される微生物種

(4) D

「D」の坑水中に存在した季節ごとの優占上位5種を表2.2.1.1-6に示す。いずれの季節も最優占種は共通してBetaproteobacteria綱の*Curvibacter delicatus*と100%の相同性を示すOUT112406である。*C. delicatus*は、「A」においても全季節で最優占種であり、また「C」においても全季節で2番目または3番目の優占種であったことから、鉱山に共通して見られる特徴的な微生物と考えられる。加えて全季節の試料において、「C」の優占上位5種でも検出されていたBetaproteobacteria綱の硫黄酸化細菌*Thiobacillus sajanensis*と98.4%の相同性を示すOUT146719、及びBetaproteobacteria綱の鉄酸化細菌*Sideroxydans lithotrophicus*と98.8%の相同性を示すOTU64747が共通して存在している。このように「D」の坑水中の菌叢についても、季節変動に関わらず比較的類似していることが明らかとなった。

表 2.2.1.1-6 菌叢解析結果 (D)

(夏)

#OTU	相対存在量(%)	std	最近縁種	相同性(%)	Acc. No.	門または綱	備考
112406	17.24	3.53	<i>Curvibacter delicatus</i>	100	NR113696	Betaproteobacteria	好気性、有機物分解
61708	12.79	6.52	<i>Hydrogenophaga caeni</i>	100	NR043769	Betaproteobacteria	硝酸還元
70566	4.60	0.80	<i>Caballeronia arationis</i>	96.8	NR145599	Betaproteobacteria	窒素固定
64747	2.97	0.41	<i>Sideroxydans lithotrophicus</i>	98.8	NR074731	Betaproteobacteria	鉄酸化
146719	2.37	0.17	<i>Thiobacillus sajanensis</i>	98.4	NR115758	Betaproteobacteria	硫黄酸化

(秋)

#OTU	相対存在量(%)	std	最近縁種	相同性(%)	Acc. No.	門または綱	備考
112406	30.81	1.76	<i>Curvibacter delicatus</i>	100	NR113696	Betaproteobacteria	好気性、有機物分解
146719	20.98	0.57	<i>Thiobacillus sajanensis</i>	98.4	NR115758	Betaproteobacteria	硫黄酸化
64747	7.59	1.46	<i>Sideroxydans lithotrophicus</i>	98.8	NR074731	Betaproteobacteria	鉄酸化
68083	2.98	0.17	<i>Vogesella alkaliphila</i>	96.4	NR108891	Betaproteobacteria	発酵性、有機酸利用、化学従属栄養性
97402	2.76	0.32	<i>Sulfuricella denitrificans</i>	100	NR121695	Betaproteobacteria	硫黄酸化

(冬)

#OTU	相対存在量(%)	std	最近縁種	相同性(%)	Acc. No.	門または綱	備考
112406	23.81	0.93	<i>Curvibacter delicatus</i>	100	NR113696	Betaproteobacteria	好気性、有機物分解
146719	18.07	1.26	<i>Thiobacillus sajanensis</i>	98.4	NR115758	Betaproteobacteria	硫黄酸化
64747	9.30	1.35	<i>Sideroxydans lithotrophicus</i>	98.8	NR074731	Betaproteobacteria	鉄酸化
5283	2.23	0.22	<i>Thiohalobacter thiocyanaticus</i>	95.3	NR116699	Gammaproteobacteria	硫黄酸化
97402	2.09	0.20	<i>Sulfuricella denitrificans</i>	100	NR121695	Betaproteobacteria	硫黄酸化

※赤字：金属酸化に関与すると推定される微生物種

(5) E

「E」の坑水中に存在した季節ごとの優占上位5種を表2.2.1.1-7に示す。これまでの中性坑水とは異なり「E」は酸性水であるため、微生物の大きな分類群が同じであっても詳細なOUTレベルでの微生物種は異なることが予想された。いずれの季節も最優占種及び2番目は共通してBetaproteobacteria綱の鉄酸化細菌 *Gallionella capsiferiformans* と97.6%の相同性を示すOUT134521もしくは同じくBetaproteobacteria綱の *Caballeronia arationis* と96.8%の相同性を示すOTU70566である。それ以外にも全季節で共通して、Betaproteobacteria綱の鉄酸化細菌 *Ferrovum myxofaciens* と98.4%の相同性を示すOTU79620が3番目もしくは4番目に検出されており、夏と冬にはタイプの異なる鉄酸化細菌 *Leptospirillum ferrooxidans* と99.6%の相同性を有するOTU54698も存在している。表2.2.1.1-2に示す通り、酸性の「E」坑水には基準値以上の鉄が残存しているため、このように多様な鉄酸化細菌が共存していると考えられる。多くの鉄酸化細菌が独立栄養細菌で、CO₂を固定し生育できるため炭素源は不要であるが、窒素源は必要となる。坑水中に窒素化合物はほとんど存在しないが、全季節で最優占種として検出された *Caballeronia arationis* はN₂固定能を有する報告があり、空気中の窒素を固定してアンモニア等に変換することで鉄酸化細菌と共生関係を構築している可能性も考えられる。このように「E」の坑水中の菌叢についても、季節変動に関わらず比較的類似していることが明らかとなっている。

表2.2.1.1-7 菌叢解析結果 (E))

(夏)

#OTU	相対存在量(%)	std	最近縁種	相同性(%)	Acc. No.	門または綱	備考
70566	28.75	3.20	<i>Caballeronia arationis</i>	96.8	NR145599	Betaproteobacteria	窒素固定
134521	13.31	0.98	<i>Gallionella capsiferiformans</i>	97.6	NR074658	Betaproteobacteria	鉄酸化
54698	8.09	0.92	<i>Leptospirillum ferrooxidans</i>	99.6	NR027216	Nitrospirae	鉄酸化
79620	5.30	0.54	<i>Ferrovum myxofaciens</i>	98.4	NR117782	Betaproteobacteria	鉄酸化
75848	3.13	0.29	<i>Desulfomonile limimaris</i>	88.5	NR025079	Deltaproteobacteria	嫌気性、脱八口呼吸

(秋)

#OTU	相対存在量(%)	std	最近縁種	相同性(%)	Acc. No.	門または綱	備考
134521	49.71	0.75	<i>Gallionella capsiferiformans</i>	97.6	NR074658	Betaproteobacteria	鉄酸化
70566	23.97	0.67	<i>Caballeronia arationis</i>	96.8	NR145599	Betaproteobacteria	窒素固定
79620	2.62	0.09	<i>Ferrovum myxofaciens</i>	98.4	NR117782	Betaproteobacteria	鉄酸化
57145	2.45	0.29	<i>Heliophilum fasciatum</i>	84.6	NR117586	Firmicutes; Clostridia	化学合成独立栄養性、光合成
29047	1.81	0.11	No significant similarity found	-	-	-	-

(冬)

#OTU	相対存在量(%)	std	最近縁種	相同性(%)	Acc. No.	門または綱	備考
134521	28.91	0.81	<i>Gallionella capsiferiformans</i>	97.6	NR074658	Betaproteobacteria	鉄酸化
70566	9.34	0.52	<i>Caballeronia arationis</i>	96.8	NR145599	Betaproteobacteria	窒素固定
79620	7.42	0.81	<i>Ferrovum myxofaciens</i>	98.4	NR117782	Betaproteobacteria	鉄酸化
24129	5.71	0.45	<i>Ferroplasma acidarmanus</i>	98.0	NR103941	Euryarchaeota	鉄酸化
54698	4.98	0.10	<i>Leptospirillum ferrooxidans</i>	99.6	NR027216	Nitrospirae	鉄酸化

※赤字：金属酸化に関与すると推定される微生物種

※青字：既知の微生物と相同性が90%以下の極めて新規な微生物種

(6) 集合

「集合」の坑水中に存在した季節ごとの優占上位5種を表2.2.1.1-8に示す。「集合」は、その時の処理状況に応じて混合比率が変わるが、「A」と「D」と「E」の3種の坑水を混合した集合原水である。そのため、混合時に比率の高い坑水中の菌叢の影響も受けるが、特に混合後の「集合」の水質による影響が大きいと考えられる。「集合」は酸性かつ鉄が残存していることから(表2.2.1.1-2)、「E」の菌叢と類似している事が分かる。「E」と同様、いずれの季節も最優占種及び2番目は共通して鉄酸化細菌 *Gallionella capsiferriformans* と97.6%の相同性を示す OTU134521 もしくは N₂固定能を有する *Caballeronia arationis* と96.8%の相同性を示す OTU70566 である。それ以外にも全季節で共通して、Betaproteobacteria 綱の鉄酸化細菌 *Ferrovum myxofaciens* と98.4%の相同性を示す OTU79620 及び97.2%の相同性を示す OTU157632 が検出される等、多様な鉄酸化細菌が共存している。「E」と同様、CO₂を固定する鉄酸化細菌群と N₂を固定すると報告のある *Caballeronia arationis* が共生関係を構築している可能性がある。このように「集合」の坑水中の菌叢についても、季節変動に関わらず比較的類似していることが明らかとなっている。

表 2.2.1.1-8 菌叢解析結果 (M55 集合)

(夏)

#OTU	相対存在量(%)	std	最近縁種	相同性(%)	Acc. No.	門または綱	備考
70566	34.96	0.51	<i>Caballeronia arationis</i>	96.8	NR145599	Betaproteobacteria	窒素固定
134521	20.90	0.31	<i>Gallionella capsiferriformans</i>	97.6	NR074658	Betaproteobacteria	鉄酸化
79620	2.36	0.06	<i>Ferrovum myxofaciens</i>	98.4	NR117782	Betaproteobacteria	鉄酸化
54698	1.77	0.10	<i>Leptospirillum ferrooxidans</i>	99.6	NR027216	Nitrospirae	鉄酸化
157632	1.12	0.02	<i>Ferrovum myxofaciens</i>	97.2	NR117782	Betaproteobacteria	鉄酸化

(秋)

#OTU	相対存在量(%)	std	最近縁種	相同性(%)	Acc. No.	門または綱	備考
134521	47.92	1.05	<i>Gallionella capsiferriformans</i>	97.6	NR074658	Betaproteobacteria	鉄酸化
70566	25.32	0.51	<i>Caballeronia arationis</i>	96.8	NR145599	Betaproteobacteria	窒素固定
79620	1.77	0.13	<i>Ferrovum myxofaciens</i>	98.4	NR117782	Betaproteobacteria	鉄酸化
160534	0.99	0.13	<i>Gallionella capsiferriformans</i>	96.9	NR074658	Betaproteobacteria	鉄酸化
157632	0.75	0.05	<i>Ferrovum myxofaciens</i>	97.2	NR117782	Betaproteobacteria	鉄酸化

(冬)

#OTU	相対存在量(%)	std	最近縁種	相同性(%)	Acc. No.	門または綱	備考
134521	57.73	0.17	<i>Gallionella capsiferriformans</i>	97.6	NR074658	Betaproteobacteria	鉄酸化
70566	10.73	0.24	<i>Caballeronia arationis</i>	96.8	NR145599	Betaproteobacteria	窒素固定
79620	4.18	0.18	<i>Ferrovum myxofaciens</i>	98.4	NR117782	Betaproteobacteria	鉄酸化
54698	1.55	0.13	<i>Leptospirillum ferrooxidans</i>	99.6	NR027216	Nitrospirae	鉄酸化
24129	1.53	0.25	<i>Ferroplasma acidarmanus</i>	98.0	NR103941	Euryarchaeota	鉄酸化

※赤字：金属酸化に関与すると推定される微生物種

a-4. まとめ

本研究では、金属鉱業等鉱害対策特別措置法で定めた第 5 次基本方針の対象鉱山を中心とした 19 鉱山のうち、昨年度菌叢解析を行った 1 鉱山 (M55 鉱山) について、6 箇所の異なる採水箇所 (A、B、C、D、E、集合) で、3 季節 (夏、秋、冬) に渡り菌叢解析及び水質分析を実施した。次世代シーケンサーを用いた菌叢解析については、57 ライブラリから合計で約 492 万の微生物 16S rRNA 遺伝子配列を取得した。得られたシーケンスデータを用いて、門または綱レベルでの微生物群集構造解析、各坑水中の優占微生物 5 種の解析等を行い、採水箇所ごと、季節ごとの菌叢を比較解析した。6 箇所の採水箇所ではそれぞれ異なる菌叢が得られ、水質を反映するような特徴的な微生物種が明らかとなった。また、比較的的自然環境に近い試料である「A」を除いては、3 つの季節の違いによらず優占上位微生物 5 種が非常に類似していることが明らかとなった。昨年度 19 鉱山の各種坑廃水について菌叢を解析したが、1 時季 1 回の採水試料で解析を行っていたため、その結果が対象坑廃水の典型的な菌叢を反映しているのか不明であった。本調査結果により、坑道内を通る坑水においては、季節によって菌叢が大きくは変動しないことが示唆された。そのため、1 時季 1 回の採水試料及び解析により、対象坑水の典型的な微生物叢を把握できると考えられる。

2.2.1.2 技術成熟度レベル評価

a-1. マンガン酸化菌利用処理技術の情報収集

マンガン酸化菌利用処理技術として実績のある、人工湿地及び接触酸化プロセスによる処理方法の情報収集を実施した。

人工湿地については立命館大学の惣田教授、接触酸化プロセスについては秋田県立大学の宮田教授、九州大学の沖部准教授へのヒアリングを実施した。

現状の研究についての、情報収集結果は表 2.2.1.2-1 のとおり。

(1) 人工湿地

マンガン酸化菌を利用した人工湿地による Mn 濃度の適用範囲は 20～60 mg/L である。Mn 以外の重金属濃度の共沈可能性として、Zn の除去は確認された。pH の適用範囲は中性付近であり、現状での有機物の添加は必要ない。滞留時間は 7 日、環境としては外気温 8 °C まで実証済みである。

(2) 接触酸化プロセス

マンガン酸化菌を利用した接触酸化プロセスによる Mn 濃度の適用範囲は 10～60 mg/L である。Mn 以外の重金属濃度の共沈可能性として、Zn の除去は確認された。pH の適用範囲は中性付近であり、現状での有機物の添加は必要ない。滞留時間は 0.5 日～3 日、環境としては水温 7 °C まで実証済みである。

表 2.2.1.2-1 マンガン酸化菌処理における現状の技術レベル

	人工湿地	接触酸化プロセス
Mn濃度適用範囲	20～60 mg/L	10～60 mg/L
pH適用範囲	中性付近	中性付近
滞留時間 (HRT)	7日間	0.5～3日間
適用環境	外気温8 °Cまで実証済み	水温7 °Cまで実証済み

(3) マンガン酸化菌利用処理技術のメリット

従来の中和処理と比べて、マンガン酸化菌を利用して処理した場合のメリットは以下のとおりである。

- ・pH 中性領域で処理可能なため、従来の中和処理と比較して pH 調整が容易であり、薬剤使用量（中和剤、凝集剤等）が減少する。
- ・従来の中和処理では薬剤由来の殿物が発生するが、マンガン酸化菌では薬剤由来の殿物が発生しないため、殿物量が減少する。

(4) その他

マンガン酸化菌のように、微生物を利用した坑廃水処理方法と比較したものを表 2.2.1.2-2 に示す。

表 2.2.1.2-2 マンガン酸化菌以外の坑廃水処理方法との比較

	重金属共沈性	pH	基質の必要性	生息域
マンガン酸化菌	・ Mn処理 ・ Zn等共沈可能性あり	・ 中性付近で活動	・ 必要なし ^{※1}	・ 半分以上の坑廃水 (調査済地点中 ^{※2})
硫酸還元菌	・ 特にCu、Cd、Pb、Zn 等に有効	・ 中性付近で活性 が高い	・ 必要あり	・ 半分以上の坑廃水 (調査済地点中 ^{※2})
鉄酸化細菌	・ Asと共沈する	・ pH2～中性	・ 必要なし	・ ほとんどの坑廃水

※1：Mn酸化菌は従属栄養であるため、水質や水量により基質添加が必要となる可能性がある。

※2：国立研究開発法人産業技術総合研究所が菌叢解析を実施した調査地点。

a-2. マンガン酸化菌利用処理技術の技術成熟度レベルの評価

前項に記載のマンガン酸化菌利用処理技術の情報収集結果に基づき技術成熟度レベル（以下、TRL）の評価を実施した。本資料でのTRLの定義は、環境省TRL計算ツールマニュアルを参考に作成した（表2.2.1.2-3を参照）。

TRLの評価については、ワーキンググループ1及び本委員会において委員からの意見を踏まえて検討した。また、前項(4)に記載してある、マンガン酸化菌以外の微生物による坑廃水処理方法と比較し、現状のレベルを検討した。その結果現状のレベルとして、人工湿地は応用研究レベル（技術開発に向けた情報収集や分析が実施されている）としてTRL2とした。理由として、人工湿地のみでは水平展開しているが、マンガン酸化菌を使用した人工湿地ということでは、Mnの除去を主目的としており、現在ラボでの研究段階であるためTRL2とした。また、接触酸化処理プロセスは応用研究レベル（水平展開に向けたコスト等の分析段階）としてTRL3と評価された。理由として、本年度の成果として、接触酸化プロセスを使用したコスト評価を実施しており、実鉱山での実証試験を実施しているためTRL3とした。（表2.2.1.2-4を参照）。

表 2.2.1.2-3 TRL の定義

TRL	フェーズ	定義
8	水平展開	製造・導入プロセスを含め、システムの改良が完了しており、モデルの水平展開の段階となっている。
7	フィールド実証	実際の導入に向けたフィールド実証が終了している。
6	フィールド実証	フィールド実証の導入初期。
5	模擬研究	実用型プロトタイプ。実施の条件に近い模擬状態で条件が理論的に満たされている。
4	実証研究	水平展開に向けた基礎情報が明確となっている。
3	応用研究	水平展開へ向けたコスト等の分析段階。
2	応用研究	技術開発に向けた情報収集や分析が実施されている。
1	基礎研究	技術の基本的な特性に関する論文研究やレポート等が完了しており、基礎研究から応用研究への展開が行われている。

表 2.2.1.2-4 技術成熟度レベル評価結果

マンガン酸化菌を利用した 処理方法	想定適用範囲	現状レベル	水質改善対象	TRL								
				1	2	3	4	5	6	7	8	
				基礎研究	応用研究	実証研究	模擬実証	フィールド実証	水平展開			
人工湿地	Mn低濃度鉱山への対応 (Mn濃度10mg/L程度以下) HRT：7日間	室内試験レベル	重金属除去 (Mnとの共沈)		○							
接触酸化プロセス	Mn高濃度鉱山への対応 (Mn濃度10mg/L程度以上) HRT：0.5-3日間	室内試験レベル	重金属除去 (Mnとの共沈)			○						

b-1. マンガン酸化菌利用処理技術による処理コスト評価

b-1-1. 目的

マンガン酸化菌が適用可能と考えられる鉱山のスクリーニングを行い、選定した鉱山にて処理コストの削減費用の試算を行うことにより、マンガン酸化菌を利用した処理方法について、今後の展開を期待することを目的とした。

b-1-2. 選定方法

マンガン酸化菌適用可能鉱山のスクリーニングを表 2.2.1.2-5 のとおり実施した。

まず、マンガン酸化菌適用時のシナリオとして、2つのシナリオを想定した。シナリオ作成時には、Mn 濃度の排水基準値（10 mg/L）を考慮した。シナリオ 1 は人工湿地を利用した方法として、Mn 濃度 10 mg/L 以下程度の鉱山を想定し、Zn 等の共沈可能性を期待したものである。また、上乘せ基準等で Mn 濃度が 10 mg/L 以下の基準値を設定している鉱山への適用も考えられる。次に、シナリオ 2 では接触酸化プロセスを利用する方法として、Mn 濃度 10 mg/L 以上であり、基準値以上の Mn 濃度及び Zn 等の共沈を想定した。

上記、2つのシナリオに対して以下の(1)及び(2)の選定要素より点数化し、マンガン酸化菌の適用可能性のある鉱山を選定した。選定結果は表 2.2.1.2-5 のとおり。

なお、(3)及び(4)の選定要素についても必要と考えるが、今後の検討対象にすることとし今回の選定要素からは外した。

(1) pH

中和処理の度合いにより、以下のとおり点数化を行った。鉱山の坑廃水中の pH が中性付近であれば、マンガン酸化菌が活性するため、部分中和の必要性がないと考えた。

【pH 6 以上：2 点、pH 4 以上 6 未満：1 点、pH 4 未満：0 点】

(2) Mn 濃度及び Mn 以外の金属濃度除去性

Mn 濃度単体及び Mn 以外の排水基準値を超過する混在金属濃度に対しての共沈の可能性を考慮し、点数化した。Mn 濃度が基準値を超過した場合の除去性、Mn 濃度を除去した際に、他の重金属の共沈による基準値内へ低減される可能性を考慮した。共沈の可能性については、早稲田大学所教授による沈殿生成及び表面錯体形成メカニズムによるシミュレーションの結果より推定した。シミュレーションでは部分中和を考慮せず、pH7.5 であると仮定した。

【Mn 濃度のみ基準値を超過：2 点、

混在金属が基準値以上かつ pH7.5 で基準値以下に低減される：1 点、

混在金属が基準値以上かつ pH7.5 で基準値以下に低減できない：0 点】

(3) 発生水量及び装置規模

①発生水量として、水量が多すぎる場合、処理量及び装置規模が大きくなることを想定した。②装置規模として、人工湿地及び接触酸化導入にあたり装置規模を「装置規模(m³) = 水量(m³/日) × 滞留時間(1日) ÷ 有効容積率(0.5)」と想定した。③立地条件として、実用化の際に装置を導入できるスペースがあるか今後検討する必要があると考えた。

(4) 上乘せ基準等

上乘せ基準により排水基準値以下の基準値が設定されている鉱山の場合等の考慮が必要であると考えた。

スクリーニングにより、それぞれのシナリオに適した鉱山を選定した結果、シナリオ 1 では M62 鉱山の 1 鉱山。シナリオ 2 では M19 鉱山、M18 鉱山、M20 鉱山の 3 鉱山が選定された。

今回は、中和処理の必要がない鉱山であり、シナリオ 2 のマンガン酸化菌の接触酸化プロセスを利用した処理を想定した、M20 鉱山 (Mn 濃度 : 80 mg/L、pH : 6.2) でコスト削減費用の試算を行った。

表 2.2.1.2-5 鉱山スクリーニング結果

pH6以上：2点	Mn濃度のみ基準値超過(または混在金属基準値以下)：2点	候補鉱山
pH4以上pH6未満：1点	混在金属基準値以下/pH7.5で基準値以下に低減可：1点	MET1受領H28年度データ
pH4未満：0点	混在金属基準値以下/pH7.5で基準値以下に低減不可：0点	排水基準値超過

検討データ													評価要素		評価結果 (点)
条件	鉱山名	Mn濃度 (mg/L)	Fe濃度 (mg/L)	Zn濃度 (mg/L)	Cu濃度 (mg/L)	Pb濃度 (mg/L)	As濃度 (mg/L)	Cd濃度 (mg/L)	pH	水量 (m ³ /分)	装置規模 (m ³)	年間処理 費用 (百万/年)	pH	Mn・ 混在金属 除去性	
		10	10	2	3	0.1	0.1	0.03	海城以外：5.8以上-8.6以下 海城：5.0以上-9.0以下	-	HRT1.0日 想定	-	-	-	-
中性 未満 pH<6	M2	<0.10	2.90	2.80	0.17	0.39	0.18	0.02	3.7	0.21	604.8	6	×	×	0
	M13	0.94	13.00	3.60	0.32	0.05	0.00	0.00	4.0	0.29	835.2	127※	△	×	1
	M15鉱山	1.48	1.35	0.33	0.04	0.00	0.00	0.01	3.36	0.42	1195.2	127※	×	-	0
	M53鉱山	2.10	180.00	19.00	47.00	0.13	0.00	0.26	2.1	0.87	2505.6	28	×	×	0
	M40鉱山	4.27	14.67	2.24	0.42	0.00	0.00	0.01	3.4	2.60	7496.6	147※	×	△	1
	M100鉱山	6.80	23.00	1.10	0.55	0.03	0.00	0.00	3.9	1.60	4608.0	35	×	○	2
	M79鉱山	8.00	840.00	20.00	4.50	0.20	0.09	0.07	3.1	1.70	4896.0	79	×	△	1
	M62鉱山	8.80	22.00	1.90	0.42	<0.010	<0.010	0.02	4.0	0.72	2065.0	29	△	○	3
	M4鉱山	10.00	110.00	4.90	11.00	0.19	0.26	0.05	3.0	0.80	2304.0	43	×	△	1
	M5鉱山	11.00	170.00	3.80	0.00	0.01	0.09	0.00	3.2	2.20	6336.0	38※	×	△	1
	M17鉱山	12.00	170.00	2.10	0.00	0.00	0.08	<0.010	3.0	0.14	403.2	36※	×	△	1
	M9鉱山	11.00	160.00	140.00	1.10	0.13	0.27	0.32	3.4	0.61	1756.8	20	×	×	0
	M66鉱山	39.00	10.00	10.00	1.50	0.00	0.04	0.03	5.5	0.82	2361.6	33※	△	×	1
	M55鉱山	44.00	0.00	29.00	1.40	0.58	0.00	0.11	5.1	1.90	5472.0	148※	△	×	1
	M65鉱山	45.00	45.00	14.00	3.20	0.01	0.05	0.05	4.4	0.98	2822.4	33※	△	×	1
	M56鉱山	62.42	0.00	11.57	0.03	0.10	0.00	0.02	4.8	0.98	2822.4	148※	△	×	1
中性 以上 (pH≧6)	M14鉱山	1.20	9.00	5.30	0.63	0.04	0.00	0.01	6.5	0.35	1008.0	127※	○	×	2
	M11鉱山	1.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.7	0.30	872.6	9※	○	-	2
	M61鉱山	1.50	3.70	1.60	0.50	0.00	0.00	0.00	6.6	8.90	25632.0	30	○	-	2
	M24鉱山	26.50	12.90	20.40	0.01	0.09	0.00	0.02	6.7	2.8	8179.2	115	○	×	2
	M41鉱山	41.00	190.00	39.00	4.80	0.29	0.00	0.53	6.6	6.7	19296.0	147※	○	×	2
	M19鉱山	42.00	68.00	5.60	3.20	0.84	0.01	0.02	6.0	0.033	95.0	29※	○	△	3
	M18鉱山	79.00	4.70	7.00	0.05	0.06	0.02	0.02	6.0	1.1	3168.0	29※	○	△	3
M20鉱山	80.00	2.30	2.70	0.04	0.02	0.02	0.00	6.2	1.4	4032.0	29	○	△	3	
pH (情報 なし)	M83鉱山	0.72	1.10	0.26	0.11	0.03	0.00	0.00	-	0.04	118.1	0.4	-	-	0
	M74鉱山	3.50	81.00	2.10	6.20	0.01	0.00	0.01	-	0.13	374.4	10	-	△	1
	M97鉱山	29.00	76.00	68.00	0.10	0.26	0.00	0.10	-	8.6	24768.0	164	-	×	0

注1) ※は2つ以上の鉱山と合算した処理費用(単体でのデータはなし)

<凡例>

検討データ
候補鉱山
MET1受領H28年度データ
排水基準値超過

評価要素
pH
pH6以上：2点
pH4以上pH6未満：1点
pH4未満：0点
Mn・混在金属除去性
Mn濃度のみ基準値超過 (混在金属基準値以下)：2点
混在金属基準値以下 かつ pH7.5で基準値以下に低減可：1点
混在金属基準値以下 かつ pH7.5で基準値以下に低減不可：0点

評価結果
pH及びMn・混在金属除去性の合算
○：2点、△：1点、×：0点
-：対象外

b-1-3. 選定鉱山でのコスト評価

上記にて選定した M20 鉱山では、従来の中和処理と比較して、マンガン酸化菌を利用して処理した場合、コスト削減可能性のある項目は図 2.2.1.2-1 のとおりである。

マンガン酸化菌を利用する場合、大きくコスト削減可能性が期待される項目は「中和剤費用」及び「殿物処理費用」である。まず、「中和剤費用」については、逆中和が不要となり削減可能性が期待される。次に、「殿物処理費用」については、従来の中和処理による薬物由来の殿物処理費用が不要となり、一部の削減が期待される。その他の可能性として、処理系統の簡略化（逆中和、殿物送泥等の配管、槽設備の削減等）に伴う「修繕費」、「電力費」の削減、処理に係る人件費（中和剤補充の減少、殿物処理回数減少による輸送回数の減少等）に伴う「労務費」等のランニングコストの削減可能性や処理系統の簡略化が考えられた。

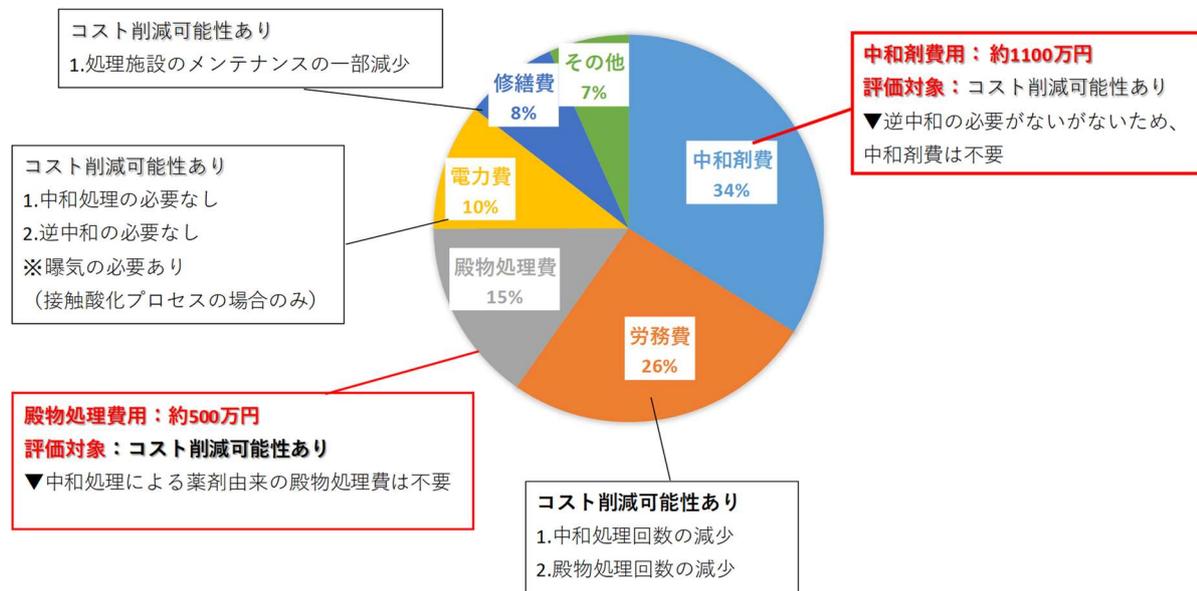


図 2.2.1.2-1 坑廃水処理費用の削減効果可能性項目

2.2.2 生態影響評価に係る調査・分析

2.2.2.1 生態影響評価手法等の検討

休廃止鉱山における坑廃水処理の終了に向けた取組みとして、坑廃水処理水の河川への流入による生態影響を把握するための調査手法、分析・評価方法の検討を行った。

ワーキンググループ2及び本委員会にて、今年度の調査結果を踏まえた生態影響調査及びガイダンス案について検討を実施した。生態影響調査については、平成30年度の結果と概ね同様の結果であり、坑廃水の影響評価を実施するには十分であると判断し、来年度は同じ場所での調査は実施しないこととなった。ガイダンス案については、今年度の生態影響評価の調査結果及び海外の生態影響評価の2ガイダンスより、目次案・概要へ有用なものを検討した。

2.2.2.2 野外調査や生物を用いた試験による影響評価

M2鉱山下流の処理水流入河川及び近接する対照河川を対象とし、2019年9月25日から28日にかけて野外調査を実施した（図2.2.2.2-1を参照）。

a-1. 調査対象河川と調査地点設定

坑廃水処理水流入河川と標高等の環境条件が同様の対照地点群において、水質及び生物相（当該調査では魚類を対象）を比較することを目的として、調査地点は処理水流入河川に合計7地点（ただし、2地点は水質調査のみ実施）、対照河川に3地点設定した（図2.2.2.2-1を参照）。具体的には、処理水流入前後のS1及びS2地点の対照としてR0地点、S3、S5地点の対照としてR1、R3地点をそれぞれ設定した。昨年度調査を実施したS4及びそれと同標高のR2地点での調査は行わず、昨年度金属濃度が高かった坑廃水処理水流入前のS1地点より上流にS0地点を新たに設定し、水質及び魚類相調査を実施した。さらに、S0下流で合流する支川にS0'地点を設定し、金属濃度等の水質調査のみを実施した。また、最下流のS6地点でも、金属濃度の参考測定場所として水質調査のみ実施した。

なお、①S1及びS2は坑廃水処理水が流入する直前直後であり、処理水の影響をより直接的に観測できる地点であること、②S3地点の近くでヤマメ放流が実施されていること、③S5地点は処理水流入河川の最下流地点であり、自治体による水質調査地点として設定されていることから、S1、S2、S3、S5地点における調査を本年度は優先した。

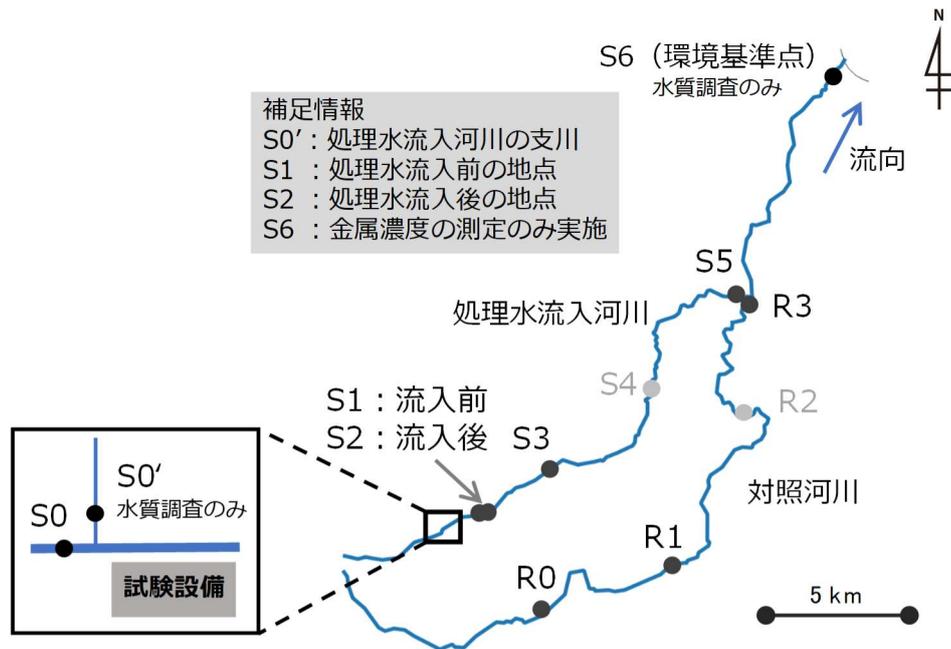


図 2.2.2.2-1 調査対象河川と調査地点

(灰色の調査地点は昨年度調査を実施したが、本年度は調査を実施しなかった地点)

a-2. 野外調査内容

上述の通り S4 及び R2 地点は除いた、S0～S5 及び R0～R3 地点において、水質、物理環境、魚類、底生動物の調査を実施した。また、生物応答試験用の採水は、S0、S5 地点及び S5 地点に対応する対照地点 R3 で行った。各調査項目の詳細は以下のとおりである。

a-2-1. 水質

【現地測定項目】

現地でポータブル多項目水質計 (TOADKK 社、WQC-30 型) を用いて、水温、pH、溶存酸素、電気伝導度を現地で測定した。

【金属濃度】

金属濃度 (Cu、Zn、Cd、Pb) は、採取した河川水を孔径 0.45 μm の PTFE メンブレンフィルターを用いて現地で濾過し、冷蔵保存した。その後、実験室で硝酸を用いて酸固定した試料を、ICP-MS (Thermo Scientific、ELEMENT XR) を用いて金属濃度 (溶存態) を分析した。各金属 (Cu、Zn、Cd、Pb) の定量下限は、それぞれ、0.001、0.5、0.001、0.005 $\mu\text{g/L}$ であった。

【イオン分析：Ca 及び Mg】

金属濃度分析用試料と同様に、現地で濾過後、冷蔵保存した。実験室で、原子吸光光度計 (日立ハイテクノロジーズ、Z-2000) を用いて分析した。Ca 及び Mg の定量下限は、

それぞれ 0.1、0.01 mg/L であった。得られた測定結果から、以下の式を用いて、硬度（炭酸カルシウム換算）を計算した。

$$\text{硬度 (mg-CaCO}_3\text{/L)} = 2.497 \times \text{Ca} + 4.118 \times \text{Mg}$$

【溶存有機炭素：DOC、Dissolved Organic Carbon】

金属濃度分析用試料と同様に、現地で濾過後、冷蔵保存した。実験室で、TOC 計（島津製作所、TOC-L CPH）で分析した。定量下限は、0.1 mg/L であった。

a-2-2. 魚類調査

各地点内で、平瀬、早瀬、淵、淀み、分流等が含まれるように留意し、基本的に 20～50 m 程度離して、調査区を 5 カ所設定した。その調査区内で、5 m×10 m の捕獲調査を投網（3～5 投）及びエレクトロフィッシャー（電気ショッカー：10 分）を用いて、魚類採捕を実施した（採捕は関係各所の同意、許可を得て実施）。採捕した個体は、種毎に分け、尾叉長と体重を計測した。尾叉長と体重から、肥満度を計算した。

a-2-3. 生物応答試験

対照地点（R3）及び S0、S5 地点で採取した河川水を用いて、以下の急性毒性試験及び慢性毒性試験を行った。

【急性毒性（遊泳阻害試験）】

急性毒性試験は、各地点の水試料 50 mL の入ったビーカーに 24 時間以内に産まれたオオミジンコの仔虫 5 個体を入れ、4 反復で行った（水試料ごとに計 20 個体の仔虫を曝露）。対照区として、飼育水を使用した試験も合わせて実施した。48 時間後に、各ビーカーの遊泳阻害個体数を記録し、水試料ごとに遊泳阻害率を記録した。

【慢性毒性（繁殖試験）】

慢性毒性試験は、各地点の水試料 15 mL の入ったビーカーに 24 時間以内に産まれたニセネコゼミジンコを 1 個体ずつ入れ、10 反復で行った（水試料ごとに計 10 個体を曝露）。対照区として、飼育水を使用した試験も合わせて実施した。最大 8 日間、毎日試験個体の生存と繁殖数を記録し、試験個体ごとに産仔 3 腹分の累積産仔数を算出した。

a-3. 調査結果

a-3-1. 水質

測定した水質測定結果は、表 2.2.2.2-1 及び表 2.2.2.2-2 のとおりである。昨年度 9 月に実施した当該河川での結果と同様であり、対照河川と比較して処理水流入河川の上流ほど金属濃度は高い傾向にあった。S1～S3 地点では、1 つ以上の金属が米国の水質クライテリア値よりも高い濃度を示したが、S1 地点上流に設定した S0 地点や下流の S5 や S6 地点では、いずれの金属濃度も米国の水質クライテリア値未満であった。S0' 地点では、いずれの金属濃

度も処理水流入河川の他の地点に比べて高かった。河川流量の測定は行っていないが、S0 及び S0' 地点の川幅がそれぞれおよそ 4 m と 2 m 程度であったことから、当該支川から S1 地点への金属負荷（濃度）による影響は小さくないと考えられる。

表 2.2.2.2-1 水質測定結果（金属濃度を除く）

調査地点	調査日時	天候	水温	pH	溶存酸素	電気伝導度	DOC
			°C		mg/L	mS/m	mg/L
S0'	2019/9/27 9:30	晴れ	10.1	7.46	10.01	10.2	0.45
S0	2019/9/27 8:30	晴れ	7.8	7.81	10.31	6.3	0.47
S1	2019/9/26 16:00	晴れ	9.4	7.27	10.25	6.6	0.52
S2	2019/9/26 15:00	晴れ	9.5	7.32	9.97	6.7	0.56
S3	2019/9/26 13:00	晴れ	10.8	7.45	10.67	6.8	0.66
S5	2019/9/26 10:30	晴れ	9.6	7.50	10.26	7.5	1.02
S6	2019/9/25 16:00	晴れ	12.1	7.74	10.21	7.5	2.32
R0	2019/9/27 13:00	晴れ	10.4	7.59	10.16	6.1	0.56
R1	2019/9/27 11:00	晴れ	9.9	7.57	10.37	5.2	0.71
R3	2019/9/26 9:00	晴れ	8.9	7.76	10.03	7.5	1.03

DOC は溶存有機炭素濃度を示す。

表 2.2.2.2-2 金属濃度測定結果

調査地点	Cu	Zn	Cd	Pb	硬度	Ca	Mg
	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/L	mg/L	mg/L
S0'	4.2	193.8	1.63	14.42	21	6.4	1.3
S0	0.2	2.0	0.01	0.07	15	4.5	1.0
S1	1.9	39.1	0.27	1.03	17	5.1	1.0
S2	1.8	40.3	0.30	1.15	17	5.0	1.0
S3	1.1	25.5	0.21	0.26	18	5.3	1.1
S5	0.5	6.7	0.05	0.04	18	5.0	1.4
S6	0.9	3.8	0.01	0.05	17	4.4	1.4
R0	0.1	<0.5	<0.001	<0.005	13	3.4	1.0
R1	0.1	<0.5	<0.001	0.10	13	3.5	1.1
R3	0.2	<0.5	<0.001	<0.005	14	3.8	1.2
米国WQC	1.3	16.8	0.05	0.19	NA	NA	NA

米国 WQC は、河川中の硬度が 10 mg/L と仮定した場合の米国の水質クライテリア (Water quality criteria:USEPA 2002) を示す。※NA：該当する値なし

a-3-2. 魚類調査

現地調査の結果、表 2.2.2.2-3 に示す 4 科 5 種、合計 1150 個体を採捕した。ウグイ属については、S5 地点で 1 個体のみの採捕であったため、以下の解析からは除外した。

全地点を通して、ヤマメが優占種であった。フクドジョウの採捕個体数は下流から上流に向け減少する傾向にあり、採捕個体数が少ないがイワナ（アメマス）は上流地点で採捕個体

数が多かった（図 2.2.2.2-2 を参照）。地点内及び地点間でのばらつきは大きいものの、処理水流入河川と対照河川で、優占的な魚種の個体数及び肥満度に大きな違いは観察されなかった（図 2.2.2.2-2 及び図 2.2.2.2-3：ただし、イワナ及びカワヤツメ属は採捕個体数が少ないため留意が必要）。

表 2.2.2.2-3 出現魚種一覧

科	種	学名	生活史タイプ
ヤツメウナギ科	カワヤツメ属の一種	<i>Lethenteron sp</i>	遡河回遊
コイ科	ウグイ属の一種	<i>Tribolodon sp</i>	-
フクドジョウ科	フクドジョウ	<i>Barbatula oreas</i>	純淡水魚
サケ科	ヤマメ（サクラマス）	<i>Oncorhynchus masou masou</i>	遡河回遊
	イワナ（アメマス）	<i>Salvelinus leucomaenis</i>	遡河回遊

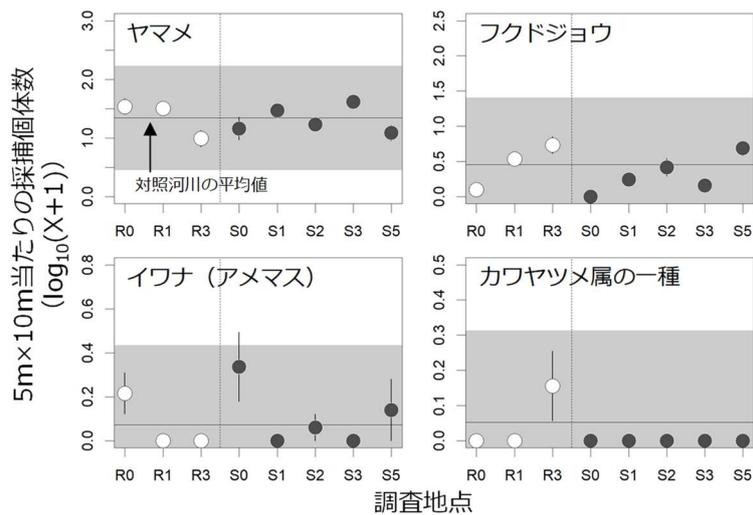


図 2.2.2.2-2 各調査地点における優占的な魚種の採捕個体数（常用対数変換）
 （灰色で示した範囲は、対照地点の平均値から計算した 90%信頼区間、
 エラーバーは各地点における標準誤差を示す。）

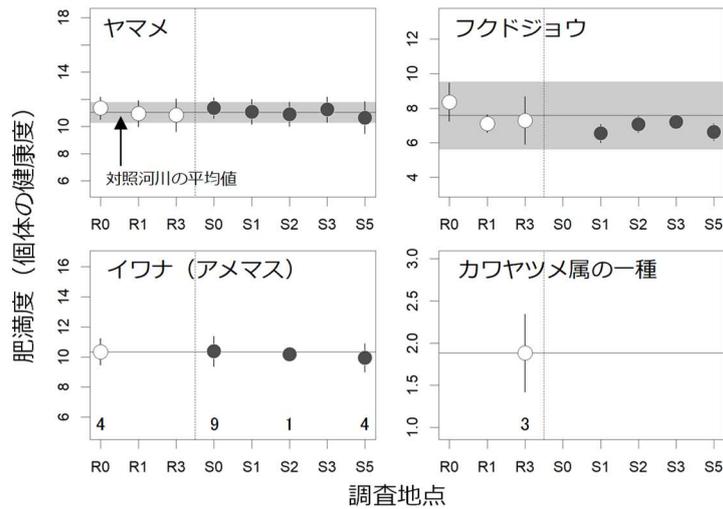


図 2.2.2.2-3 各調査地点における優占的な魚種の肥満度
 (灰色で示した範囲は、対照地点の平均値から計算した 90%信頼区間、
 エラーバーは各地点における標準誤差を示す。
 図中の数字は各地点における採捕数を示す (参考情報)。)

a-3-3. 生物応答試験

オオミジンコを用いた急性毒性試験の結果を表 2.2.2.2-4 に示す。S0、S5 地点で採取した河川水で遊泳阻害は観察されなかった。対照区及び対照地点 R3 では、遊泳阻害個体が 1 個体観察されたものの、遊泳阻害率は 5%と非常に低い値であった。これらの結果から、すべての調査地点で採取した河川水の短期的な曝露はオオミジンコへの急性毒性を引き起こさなかったことが示された。

表 2.2.2.2-4 急性毒性試験の結果

	対照区	R3	S0	S5
遊泳阻害個体数	1	1	0	0
正常個体数	19	19	20	20
遊泳阻害率 (%)	5	5	0	0

ニセネコゼミジンコを用いた慢性毒性試験の結果を図 2.2.2.2-4 に示す。処理水流入河川地点 S0 及び S5 で採取した水試料に曝露したミジンコの累積産仔数について、対照区(飼育水)及び対象地点 R3 で採取した水試料に曝露したミジンコの累積産仔数と比較したところ、統計的に有意な累積産仔数の低下はみられなかった。これらの結果から、対照河川地点と比較して、流入河川地点 S1 及び S5 の河川水の長期間の曝露はミジンコへの慢性毒性を引き起こさなかったことが示された。

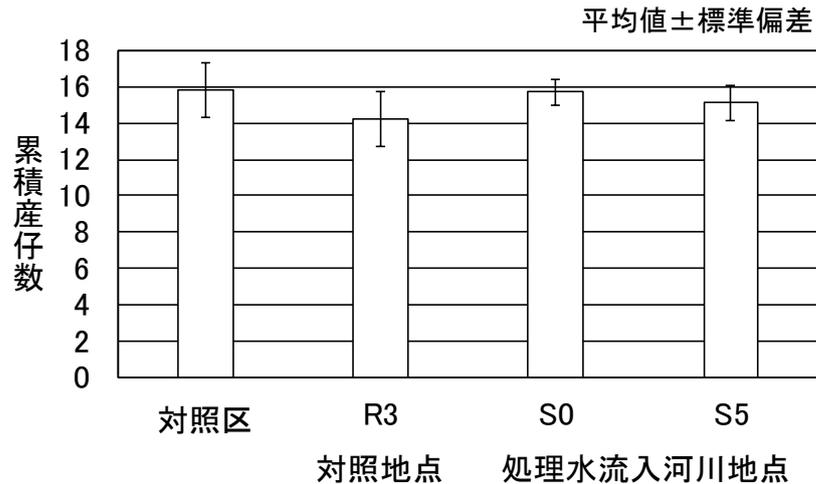


図 2.2.2.2-4 各水試料に曝露したニセネコゼミジンコ試験個体の累積産仔数

a-3-4. 当該河川で実施されたこれまでの調査結果のまとめ

Iwasaki ら (2020) による 2017 年に実施された調査等も含めて、当該河川においては、6 月後半または 9 月後半に合計 4 回の野外調査が実施されており、魚類及び底生動物の調査は、うち 3 回で実施されている。これらすべての調査結果で結論の相違はなく、処理水の流入が下流の水生生物相（魚類や底生動物）に大きな影響を及ぼしていないと結論づけられる。これらの調査結果の概要は、以下のとおりである。

【水質】

- ・米国の水質クライテリアの超過度合いから、処理水流入河川（特に上流部）で金属による生態リスクが懸念された（特に、Cd 及び Pb の超過が顕著）。
- ・S1 及び S2 地点の金属濃度の差異がほとんどないことから、処理水流入河川中の金属濃度に対する坑廃水処理水の寄与は限定的であると言えた。
- ・処理水流入河川下流の S5 及び S6 地点では、測定したいずれの金属も米国の水質クライテリア未満の濃度であり、調査回によっては対照河川で観測された濃度の範囲内にあることもあった。

【水生生物調査（魚類及び底生動物）】

- ・ヤマメなど優占的な魚類の個体数や肥満度（健康度）について、処理水流入河川と対照河川で大きな違いは認められなかった。
- ・処理水流入河川下流（S3～S5）の底生動物（水生昆虫を主とする大型無脊椎動物）の種数や個体数は、対照河川（R1～R3）と同程度であった。
- ・処理水流入前後の地点で金属に感受性の高いカゲロウ目の種類数や個体数が少ない傾向は観測された。ただし、これら地点における坑廃水処理水の寄与は限定的であることに留意が必要である。

【河川水を用いた生物応答試験】

- ・処理水流入河川本流において、ミジンコ類に対する急性及び短期慢性の毒性は検出されなかった。

引用文献

USEPA (2002) National Recommended Water Quality Criteria: EPA822-R-02-047, Washington, DC.

Iwasaki Y, Fujisawa M, Ogino T, Mano H, Shinohara N, Masunaga S, Kamo M. 2020. Does a sum of toxic units exceeding 1 imply adverse impacts on macroinvertebrate assemblages? A field study in a northern Japanese river receiving treated mine discharge. *Environmental Monitoring and Assessment* 192:83. DOI: 10.1007/s10661-019-8047-2.

2.2.2.3 生態影響評価ガイダンスの作成に向けた検討

a-1 目的

ガイダンス作成に向けて、海外における政府等が出している河川の生態影響評価のガイダンスについて文献調査等により情報収集するとともに、有用と考えられる2ガイダンスについて概要説明文書を作成した。

a-2 2文献の概要

(1) METAL MINING TECHNICAL GUIDANCE FOR ENVIRONMENTAL EFFECTS MONITORING 2012

鉱山の金属採鉱排水規制における環境影響モニタリングに関する指針である。概要説明文書は、参考資料1を参照。

(2) 米国環境保護庁 Rapid Bioassessment Protocols (RBP)

河川において費用対効果の高い生物学的評価（生物学的調査等によって水域の状態を評価すること）を行うための実践的な技術資料である。概要説明文書は、参考資料2を参照。

b-1 生態影響評価ガイダンス案の作成

<ガイダンス案の作成手順>

ガイダンスの目次案・概要の作成は以下の手順で行った。

なお、最終的な生態影響評価ガイダンスの目次と概要案は、参考資料3を参照。

1. 昨年度の当該事業で作成された目次案を基本として、上述で調査したガイダンスの内容も参考に、当該ガイダンスのタイトル及び目次・概要（案）を作成した。
2. WG2「生態影響評価に係る調査・分析」の委員にタイトル及び目次・概要（案）を共有し、意見の募集を行った。
3. 集約した意見に基づき、ガイダンスの修正を行った。対応の概要は以下の通り。

- ・背景の概要の文章について検討が必要。

回答：背景の概要を修正した。

- ・人間活動には影響しない生態影響は、本ガイダンスの対象外という理解でよいか。地域住民からは懸念が出ない場合であっても、絶滅危惧種が生息していたり貴重な生態系が存在したりする場合も想定されるかも知れない。

回答：懸念事項を幅広く収集するという意味で、「生態系の利用状況」は「生態系の状況」とし、絶滅危惧種などの保全も適用範囲から外れないように文言を修正した（ケース2b：「生態多様性への懸念」について）。

- ・「4. 生態影響評価の適用が推奨されるケース」について文言の修正案を複数提示。
回答：基本的には修正案通りに、「専門家」「生態系サービス」などを追加した。
- ・利水点の定義を決めた方がよい。影響が出る生物の生息地を含む、という認識で良いか。生息地を含める場合、例えば、放流した淡水魚が河川の上下流を移動するならば、かなり広い範囲が「利水点」ということになる。
回答：生態影響評価の目的としては「生息地を含める」でよいと考える。ただ、それを担保するためにどう評価するのかが合意形成の場での議論が必要という認識である（ただし、この合意形成についてはこのガイダンスでは取り扱わない）。

4. 2020年1月27日に開催された第2回 ワーキンググループ2「生態影響評価に係る調査・分析について」検討会及び同年2月14日に開催された第2回令和元年度休廃止鉱山におけるグリーン・レメディエーション調査研究委員会において、改訂したガイダンスの目次・概要（案）について修正が必要な点、来年度のガイダンス作成に向けての論点（後述）に関する議論を行った。これらの検討会及び委員会を受けて、修正した箇所は以下の通りである。

- ・生態リスク評価において一般的な段階的評価（Tiered approach）に関する図や説明などがあつた方が好ましい。
回答：「生態影響の段階的評価（案）」の図を追加した。
- ・ガイダンスの目次・概要（案）の7～9章にある「結果の解釈」の節は、「結果の評価方法」が適切である。
回答：該当箇所を「結果の評価方法」に変更した。

<来年度のガイダンス作成に向けた論点整理>

第2回 ワーキンググループ2「生態影響評価に係る調査・分析について」検討会及び第2回令和元年度休廃止鉱山におけるグリーン・レメディエーション調査研究委員会において収集された意見とその対応に関する整理は以下のとおりである。

- ・生態影響評価の結果はどこに発信するかによって評価の方法も変わるのではないか。
回答：現状、いくつかの場所で行われている調査は、概ね同じような調査方法や調査項目で実施されているが細部が異なる。まず、これらについて、専門家を含む委員会の中で合意をとった上で、整理していきたい。結果の発信先としては、義務者不存在であれば、各地方の産業保安監督部や地域住民が想定される。

- ・全国どこでも実施できる方法か。

回答：水生生物の調査方法は、全国の河川で実施されている国交省の河川水辺の国勢調査の調査方法を参照する予定であり、問題ないと考えられる。水質分析や生物応答試験もコストの問題はあるが、受託可能な分析会社や試験機関は日本にある。水試料の送付ができれば実施は可能である。

- ・サンプリング時期は春と秋でよいのか。

回答：M2 鉦山については、実施した6月と9月で十分だと考えている。ただし、参考資料3にも記述されるように、「調査時期（季節）や採用した調査方法では採集しにくい特定生物種がいる場合には対応が必要」と考えている。全国の河川で一般的に春と秋でよいかという点については、予算、調査目的、調査項目、調査場所の特性に応じて決定するのが望ましい。例えば、雪解けによる増水や河川の流量が安定しない梅雨の時期や台風が多い時期などは特別な理由がない限り避けて、流量が安定している時期を選ぶ方がよいと考えられる。また、例えば、豪雪地帯で冬のアクセスが困難な場所で、冬に調査を実施することは現実的とは思えない。野外で観測される有害影響が生活史を通じた積分値として考えると、底生動物調査は、多くの水生昆虫が夏に羽化する前の春先に調査することは、1つの選択肢といえる。

- ・M2 鉦山では、金属は溶存態濃度を測定しているが、懸濁態は含めなくてよいのか。SSは、見た目も悪くなる。

回答：懸濁態を含む全量で金属濃度を測定する選択肢や状況により濁度を測定する必要性についても記述する。懸濁態を含む全量での金属濃度分析は、生物の細胞や底質などがその水試料に偶然含まれるかどうかによって値が大きく変化するというデメリットがある。坑廃水（処理水）が懸濁している場合や降雨時に懸濁態を含めた濃度を測定する必要がある場合などに測定する必要性があるなど、考慮すべき状況はあると思われる。

- ・結果の統計解析の方法についてのガイダンスはどのように書くつもりか。統計学的な有意性にこだわりすぎると、解析手法も多様で煩雑になるのではないか。効果量を指標とするのはどうか。信頼区間だとサンプルサイズが小さいと、信頼区間がむやみに大きくなったりする。何をやっても大丈夫という基準では困る。見せる方法を議論する必要性はある。

回答：結果の分析・評価方法については、カナダのガイダンスなどを参照して、今後具体的に検討していきたい。調査方法やデザインにある程度自由度がある中で、結果の解析方法をきっちり決めるのは難しいかもしれない。考え方を提示して、M2 鉦山等の調査で実際に採用されている分析・評価方法を事例として提示するというやり方もあるかもしれない。

- ・リファレンス地点での調査は必須のものとするのか。

回答：対象地域で豪雨による増水や異常気象などが起きた場合に、近くのリファレンス地点での調査結果があると比較対象となると考えられる。ただ、コストや労力の問題もあるので、リファレンス地点の調査は状況によって必須ではないが、基本は設定することを推奨するように明記する。

- ・リファレンス地点での調査から得られる指標値の範囲を今回の M2 鉦山での結果や他のデータから決めることができないか。

回答：例えば、河川水辺の国勢調査と同じ手法で調査すれば、周辺の調査結果からリファレンスの範囲を決定することは可能である。M2 鉦山のリファレンス地点で実施した水生生物調査の結果からその大凡の範囲を提示する方法も検討する。

- ・例えば、水生生物の調査を実施し、なんらかの影響が観測された場合に、その影響が坑廃水（処理水）によるものかの原因究明については、このガイダンスの中ではどのように整理していくのか。

回答：水質測定結果や生物応答試験などの結果も含めて、Weight of Evidence の考え方（証拠の重み付けによる評価：生態影響評価の文脈では、水質調査、生物応答試験、野外生物調査といった性質の異なる複数の調査・分析結果を総合的に判断して評価するという考え方）をベースに総合的に判断する必要がある。このガイダンスで網羅するのは難しいが、考え方等を記述することを検討したい。

- ・魚類調査の項目は現場で測定できる範囲という観点で整理するのがよいのではないか。

回答：参考にして項目案を作成する。

- ・ガイダンスの中では地点設定の方法を記載するのか。

回答：具体的な調査地点の設定例を挙げて、記載する予定である。

- ・近くの河川で、リファレンス地点を設定できない場合は離れた河川と比較してもよいのか。

回答：ケースバイケースにもよるが、離れた河川だから一概に比較できないとはならないと考えられる。近くの同規模の河川で、河川水辺の国勢調査等の既往調査結果を参考に、リファレンスの値や範囲を決める方法もあると考えている。

- ・生物応答試験については、環境省の生物応答を用いた排水試験法（検討案）を踏まえたガイダンスを作成するという理解でよいか。

回答：生物応答試験の方法については、環境省の検討案を参照する形にしたいと考えている。

2.2.3 植物-微生物複合共生系を利用した新たな対策技術調査

a-1. 背景

我が国には多数の集積場存在するが、鉱山自体の休廃止に伴い、保安全管理と緑化作業が進められてきた。捨石・鉱さいたい積場などにおいては、鉱害防止対策の一環として覆土・植栽等の措置が講じられ、環境保全及び自然保護の視点からも緑化は重要な課題とされてきた。「捨石・鉱さいたい積場緑化の手引」（金属鉱業事業団、昭和58年）は、従来の緑化方法の集大成であり、たい積場緑化に対する考え方（1章）、事前調査（2章）、緑化の条件（3章）、緑化手順の考え方（4章）、緑化工法（5章）、保護管理（6章）から構成されている。本書では、緑化の利点として、1) たい積物の流出防止、2) 風による飛散防止、3) 蒸発散による坑廃水量の低減、4) 景観の回復が述べられている。また、植生工に使用する植物（在来種・外来種）としては、やせ地、寒冷地、湿地、硬土地・岩石地、酸性地に適性のある植物種について詳細に述べられており、緑化従事者にとってバイブルとも言える手引書である。

その一方で、本書では今後の緑化における課題について記載がある。序章では、「たい積場のなかで、山間部の小規模たい積場では生態遷移が徐々に進行し、多年生草本期を経て陽性低木期に到達しているたい積場もある。（中略）このような正常な生態遷移とは別に、自然放置のたい積場では局所的に多年性草本期を経ず、直接陽性低木類が侵入することもしばしば見受けられる。しかし、構造的にはコケ層と草本層を欠除しており極めて不安定である。したがって、正常な生態遷移を発展させるためには、初期段階、即ち裸地から草本期形成にすべての成否がかかっている。」と述べている。またあとがきの中では、「本書は、「捨石・鉱さいたい積場緑化の手引」として、たい積場の緑化に関する事項をまとめたものであり、使用済のたい積場が自然の植生と一体化し、地山化することを最終目標にしている。言い換えれば、たい積場自体が安定し、周辺の自然植生と調和のとれた緑が維持され、長い年月を経過した後には、一見したところたい積場の存在そのものがわからないという状態を目ざしている。本手引書では、施工の経済性と生態遷移を念頭において、たい積場の緑化について記述したが、①自然の生態遷移 ②浸透水減少対策としての適正な覆土厚さについてはふれていない。」と記載されている。実際、遷移中期・後期植物の導入方法や、高濃度の有害金属に対する耐性植物の利用（樹木根が覆土を超えて基盤層に達する可能性がある）については述べられていない。

以上より、本手引書に沿った緑化が実施されている状況を踏まえた上で、本手引書が最終目標として掲げる「自然の生態遷移を考慮した緑化方法」の必要性があるのか、再度検討は必要と考えられる（図 2.2.3-1 を参照）。そこで本研究では、休廃止鉱山の緑化に向けたガイドランスの作成に向けて、今後の検討の基盤情報とするための鉱山跡地における植物の遷移・緑化に関する事例を 3 鉱山 4 事例収集することとした。

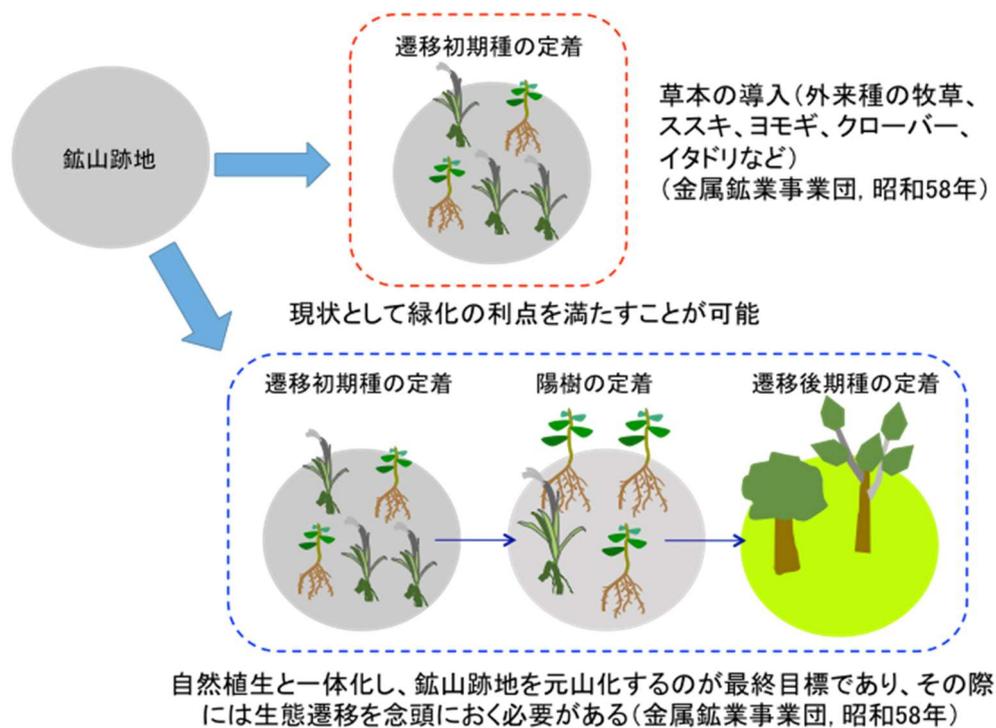


図 2.2.3-1 緑化の概略

[捨石・鉱さいたい積場緑化の手引（昭和 58 年）より作成]

2.2.3.1 鉱山跡地における植物の遷移・緑化に関する事例について

a-1. 事例 1

A 鉱山においては、チップクリートを用いた大規模な斜面被覆工事を進めている。この工事は変質岩に起因する降雨の酸性化防止を目的とした緑化修復であり、国内外でも類を見ないほどの施工規模をもつ。施工 1 年後及び 3 年後の個所のそれぞれの植生状況をモニタリングし、生態遷移の状況の定量的な評価を実施した。その結果、各地点の植物の被覆率は工法や施工年にかかわらず、60%以上と高い値を示し、植物の定着状況は良好であった。その状況は、図 2.2.3.1-1 に示すとおりであり、本地点における優占種はクリーピングレッドフェスク（オオウシノケグサ、*Festuca rubra* L.）であった。また、周囲の森林由来と考えられるアカマツ実生の定着も確認され、4 コドラー内（1m×1m の区画を 1 コドラーとした）に 14 個体が確認された。アカマツは陽樹であり強度の高い根（支根）を発達させるため、チップクリート下層の岩盤まで根が達し、被覆施工の機能に影響を与える可能性があるため、アカマツの定着は避けたいとのことであった。本調査地においては現段階の緑化状況の維持を望んでいる。



図 2.2.3.1-1 A 鉱山の斜面被覆工事個所の植生調査地点
(平成 30 年 9 月)

a-2. 事例 2

一般的に人の手が入らない自然植生の場合、極相林が成立するのに 150 年以上かかると思われる。B 鉱山周辺の国有林では、大正 8 年に煙害耐性樹種や草本の緑化が実施され、令和 2 年で 101 年になるが、手入れのされ方や地形の違いによって、図 2.2.3.1-2 に示すような植生が確認される。覆土はされておらず、表層土壌は酸性であり重金属も検出されるが、良好な生態遷移が確認されている。ススキ・イタドリが確認される地点は、5～10 年に一度刈り入れが行われ、現在でもススキ草原が維持されている。また陽樹であるリョウブの群生が確認される地点は尾根沿いであり、風の影響が強い地点であり、他の樹種が入りにくいと考えられる。遷移後期種のアオキが確認される地点は谷部であり風の影響もなく一定の環境が維持されているように推測され、森林形成が良好な地点と考えられる。ススキ、リョウブ及びアオキは本調査地において緑化植物種としての報告がなく、風や鳥類による種子散布により定着したと考えられる。また、これらの植物種には重金属耐性が確認されており、根には機能性微生物を定着させていることが報告されている (Haruma et al., 平成 30 年, 平成 31 年; Yamaji et al., 平成 28 年)。

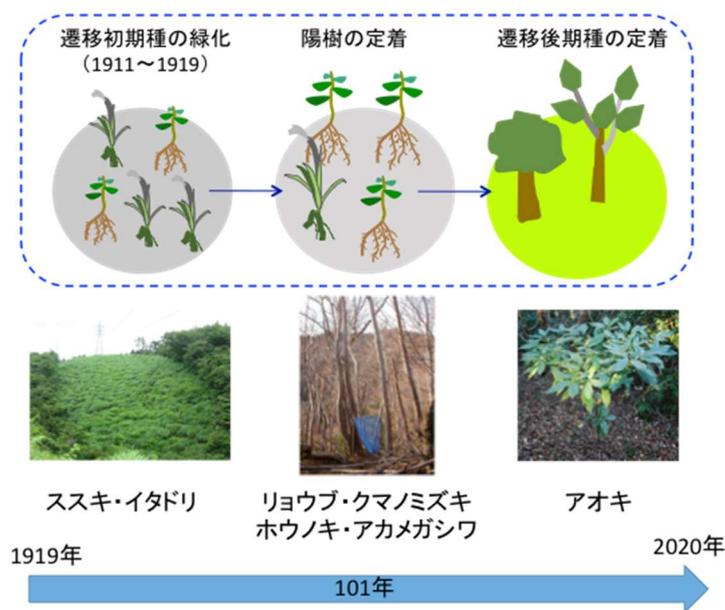


図 2.2.3.1-2 B 鉱山の植生

a-3. 事例 3

C 鉱山の集積場では、昭和 50 年に草本類の緑化を実施している。植生調査に関しては既往報告（湯浅ら、平成 7 年）があるが、山路教授の研究室では平成 30 年 8 月に現地における植生データを取得した。3 区画（1 区画あたり 50 m×100 m）に区切り、1 区画ごとに 1 m² のコドラート（1 m×1 m）を 100 区設定した。設定したコドラート内の 1.5 m の高さにおける植物の被度（%）を目視で確認し、全 300 コドラートにおいて各植物の平均被度を算出した。その結果、調査地の裸地を除いた生育する植物の平均被度は、ススキが 56.0%で最も高く、ミヤマヤナギは 14.3%であった。その他は 14 種（アカマツ、イヌコリヤナギ、オオイタドリ、コナラ、シラカバ、シロツメクサ、スギナ、ノイバラ、ヒメシオン、ヒメヨモギ、ミズナラ、ミヤマアキノキリンソウ、ヤマハハコグサ、ヨシ）であり、いずれも被度 1.0%以下であった。調査地付近の植生調査の既往報告（湯浅ら、平成 7 年）によると、当時からミヤマヤナギは C 鉱山周辺の林地からの侵入が確認されている。本調査地は陽樹であるミヤマヤナギの定着が確認されていることから、遷移後期種の定着までの期間を 150 年とすると、順調な生態遷移が進んでいると考えられる（図 2.2.3.1-3 を参照）。本調査地においては最終的には国有林としての返地を希望しており、現段階の緑化では不十分とのことであり、さらなる生態遷移を望んでいる。

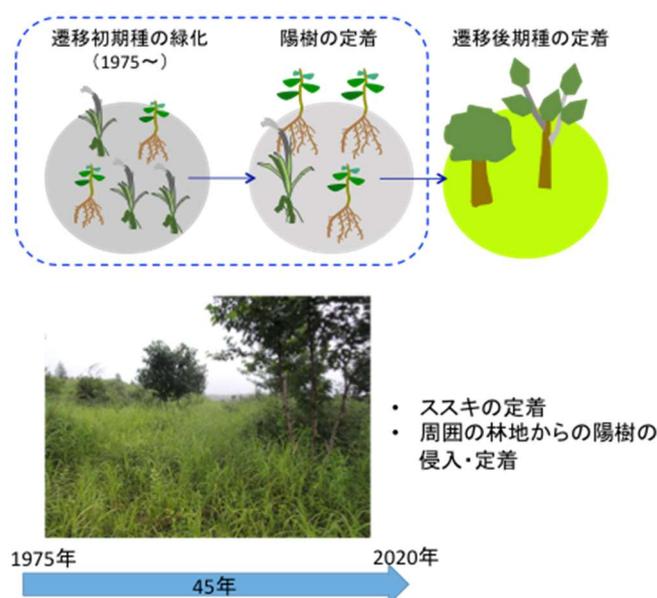


図 2.2.3.1-3 C 鉱山集積場の植生
(平成 30 年 8 月)

a-4. 事例 4

D 鉱山集積場においては、景観の回復を目的とした、覆土を行わない緑化の検討を実施している。本調査地では、実生から成木まで様々な生育段階のアカマツ個体が確認されたことから、長期的なアカマツの定着を可能とする機構が存在する可能性が示唆された（図 2.2.3.1-4 を参照）。鉱山跡地で自生するススキが内生菌との相互作用を確立させ、金属耐性を高めていることを明らかにしてきた（Haruma et al., 平成 30 年, 令和元年）が、現地でもススキの定着が確認された。また、ススキの生育する周囲でアカマツ実生が定着していることを発見した（図 2.2.3.1-4 を参照）。ススキの生育する周囲のアカマツ実生と毳物に直接生育するアカマツを比較したところ、前者の実生の方が生育良好であると判断された。従来、森林地では樹木実生の定着を阻害すると考えられてきたススキが、重金属の多い環境においては、樹木実生にとってセーフサイトとなり定着を促進すると推測された。また、ススキがアカマツ実生に機能的な自身の内生菌を提供し、初期定着時における有害金属耐性を増強している可能性も考えられた。本調査地においては最終的に、さらなる生態遷移を望んでおり、今後はススキが促進する生態遷移について検討する必要がある。



2.2.3.1-4 D 鉱山集積場の植生

2.2.3.2 緑化に向けたガイダンスの作成に向けて、今後の検討の基盤情報の整理

事例は3鉱山4箇所と多くはないが、「捨石・鉱さいたい積場緑化の手引」（金属鉱業事業団、昭和58年）に沿って判明したことをまとめる。まず、緑化の段階だが、1) 遷移初期種の定着まで、2) 遷移中期・後期種の定着まで、にするかについては、事業者等が設定する緑化の目的によると考えられる。基盤層の上に覆土処理をして「景観の回復」のために緑化を実施する場合、「遷移初期種の定着・維持」が重要となる。その場合は、手引書で推奨されている覆土層（15～50 cm）を超える樹種の定着は望ましくない。一方で、国有林としての返地を希望するような場所や、覆土をせずに植生回復を望む場所では「遷移中期・後期種の定着」を考慮する必要があり、定着を助長する要因について検討する必要がある。そのような場合は、植物根が基盤層に達することを考慮し、「重金属耐性植物の選択」を遂行することが良いと考える。重金属耐性植物は根に機能性微生物を共生させることが判明している（Haruma et al., 平成30年, 令和元年; Nagata et al., 平成27年; Yamaji et al., 平成28年）ことから、重金属耐性植物の植栽は同時に「機能性微生物の土壌定着」を推進すると考えられる。手引書では、遷移中期・後期植物の導入方法や、高濃度の有害金属に対する耐性植物の利用については述べられていない。そこで来年度は、各事業者にアンケート調査を実施し、緑化の目的や希望する緑化段階を明確にした上で、手引書に追加する項目について検討する必要がある。

引用文献

金属鉱業事業団. 捨石・鉱さいたい積場緑化の手引. (昭和58年) 132 pp.

湯浅 保雄, 澤田 一憲, 村井 宏, 井上 克弘. 旧松尾鉱山露天掘跡地における緑化工施工地の植生変遷. (平成7年) 日本土壌肥科学雑誌 66: 646-654.

Haruma T, Yamaji K, Masuya H, Hanyu K. (平成30年) Root endophytic *Chaetomium cupreum* promotes plant growth and detoxifies aluminum in *Miscanthus sinensis* Andersson growing at the acidic mine site. *Plant Species Biology* 33: 109-122.

Haruma T, Yamaji K, Ogawa K, Masuya H, Sekine Y, Kozai N. Root-endophytic *Chaetomium cupreum* chemically enhances aluminium tolerance in *Miscanthus sinensis* via increasing the aluminium detoxicants, chlorogenic acid and oosporein. (令和元年) *PLoS ONE* 14: e0212644.

Nagata S, Yamaji K et al. Root endophytes enhance stress-tolerance of *Cicuta virosa* L. growing in a mining pond of eastern Japan. (平成27年) *Plant Species Biology* 30: 116-125.

Yamaji K, Watanabe Y, Masuya H, Shigeto A, Yui H, Haruma T. Root fungal endophytes enhance heavy-metal stress tolerance of *Clethra barbinervis* growing naturally at mining sites via growth enhancement, promotion of nutrient uptake and decrease of heavy-metal concentration. (平成28年) *PLoS ONE* 11: e0169089.

2.3 利水点等管理・コミュニケーションに係る検討

2.3.1 利水点等管理の定義、あり方の検討、素案の作成

利水点等管理の推進に向けて、一般的な水環境管理における評価地点の設定・管理方法に関する国内外の文献を調査するとともに、利水点等管理の定義及びあり方について検討を行い、その素案を検討した。

2.3.2 利水点管理に関する文献

一般的な水環境管理における評価地点の設定・管理方法に関する既往の文献や評価事例を5つ収集した。検討した文献を以下に示す。ここでは、別章で紹介済みの文献⑤を除き概要を紹介する。

- ① 休廃止鉱山における環境影響調査のあり方、松田裕之、岩崎雄一（2019）
- ② 平成22年 休廃止鉱山鉱害防止事業の新たな方向性－国民経済的負担の軽減を目指して－ 中間報告、休廃止鉱山鉱害防止対策研究会（2010）
- ③ 特定施設に係る鉱害防止事業の実施に関する基本方針に係る答申、経済産業省（平成24年11月15日 中央鉱山保安協議会資料）（2012）
- ④ Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality, Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, Canberra(2018).
- ⑤ Metal Mining Technical Guidance for Environmental Effects Monitoring, Environment and Climate Change Canada(2014)

① 休廃止鉱山における環境影響調査のあり方

本論文では、休廃止鉱山の利水点管理の適用について検討をしており、利水点管理の定義のあり方や利水点管理に必要な環境影響調査の案を提示している。以下にその素案を示す。

- (i) 利水点等を列挙し、それらにおける水の利用方法等を踏まえ、懸念事項（リスク学でいう評価エンドポイント）を抽出する。懸念事項には公衆衛生学的、生態学的、社会学的な懸念がある。
- (ii) 水質調査を行い、通年の重金属濃度等を調査する。利水点等が河川以外（例えば当該河川の影響を受ける地下水）の場合にも、その利水先等においてその有害性を評価するために必要な水質調査を行う。
- (iii) それらに基づき、懸念事項が実際に発生するリスクを予測する。

- (iv) 現在実施している坑廃水処理を続けた場合、別の処理方法に変えた場合、無処理の場合にリスクがどう変化するかを予測する。さらに、その際の経済的負担、能力開発的注意点を検討する。
- (v) これらを住民等の関係者と議論するために、例えば、環境省の環境影響評価法に基づく手続きに沿った合意形成を進めるとする。具体的には、水質等の調査を始める前に、調査の内容や実施場所、期間、実施主体を「方法書」として提案し、意見を募る。その意見を踏まえて方法を改良し、その方法に沿って調査・予測、評価、影響分析を進める。その結果及び処理方法の選択について、関係者に「準備書」として提示し、無処理を含む処理方法の選択を関係者と議論する。合意のため、必要な場合は追加の調査や予測を行う。
- (vi) 議論を踏まえて最終的な処理方法と予測を「評価書」として提示し、新たな処理方法を決める。
- (vii) 評価書確定後から新たな処理を開始後にも当面の間は水質等の事後調査を行い、予測との整合性を検証する。大きな齟齬が生じた場合は善後策を検討し、齟齬が重大な場合には処理方法の再検討を行う。齟齬が生じた場合には、善後策や再検討を行う必要性を評価書段階である程度決めておく。本項での齟齬は、リスクが予測より大きい場合も小さい場合も含まれる。

② 平成 22 年 休廃止鉱山鉱害防止事業の新たな方向性

本稿では、当時の第 4 次基本方針が終期を 3 年後に控えていることを踏まえて、現状の鉱害防止事業についての評価及び、今後の鉱害防止事業の在り方について検討をしており、「最終目標達成へ向けた目指すべき方向性 3 類型 5 タイプ」として、以下の 5 つのタイプを提示している。

- (i) 発生源対策の実施によって坑廃水の無処理放流を目指すべき鉱山
- (ii) 水質管理目標の弾力的運用によって坑廃水の無処理放流を目指すべき鉱山
- (iii) 新技術の導入によって坑廃水の無処理放流を目指すべき鉱山
- (iv) 設備更新、新技術の導入等によって坑廃水処理費の低減を目指すべき鉱山
- (vi) リサイクル・再生可能エネルギー導入等によって、自立化を目指すべき鉱山

利水点等管理に係る事項としては、上記の②- (ii) が該当する。記載された事項について引用した。

「坑廃水の中和処理を行っている鉱山については、休止鉱山/廃止鉱山、鉱害防止義務者存在/不存在の区別なく一律に水質汚濁防止法の排水基準を水質管理目標とすることを原則として、処理が行われている。しかし、これらの鉱山の中には、処理原水の水質が良化傾向にあり、管理目標を弾力的に設定することで、水処理が不要な鉱山も存在する。例えば、一部の廃止鉱山（義務者不存在）で行われているように管理目標を緩和することや、地方公共団体によって設定されている上乗せ基準を例外的に適用除外とすることである。

また、鉱害防止義務者が存在する場合においても原水水質が自然由来の環境レベル（バックグラウンド濃度）まで良化している際には、必ずしも水質管理目標を排水基準と同等に設定する必要はないとも考えられる。

リスクコミュニケーション等によって地元住民の理解を得ることが前提になるが、「原水水質が良化傾向にあり、排水基準を超過する頻度が格段に減少している」、「周辺水域で確認される自然由来の環境レベルを下回っている」、「公共用水域へ放流後の自然浄化機能が十分に期待され利水点の水質が環境基準を満足している」等、一定の条件を満足する場合には水質管理目標を緩和して運用することにより、坑廃水処理事業そのものを終結させることも検討する。」

③ 特定施設に係る鉱害防止事業の実施に関する基本方針に係る答申、経済産業省

本稿では、第5次基本方針策定に向けた方向性の整理されており、その中で、義務者不存在鉱山における水質管理目標の弾力的運用として、利水点管理が適用可能な判断基準例を示している。以下の内容を引用した。

「坑廃水処理の終了に向けた地元理解を得るため、下流の利水点等の環境基準等を満足できる鉱山では、下流影響度に関するデータの把握・蓄積を行い、データ解析等の検討を実施する。また、バックグラウンドの自然汚染を踏まえた坑廃水処理の処理レベルのあり方についても検討が必要である。なお、義務者不存在鉱山における坑廃水処理実施の判断基準の目安の一例は下記のとおり。

<坑廃水処理実施の判断基準例>

- (i) 下流の利水点等で、環境基準を超過する場合は坑廃水処理が必要。
- (ii) 環境基準を満足するが、原水中に水質管理目標を超える有害物質を含む場合は、原則処理が必要。
- (iii) 環境基準を満足し、原水中に水質管理目標を超える有害物質を含まない場合は、無処理放流を検討。

(iv) 上記③- (iii) のうち、農業用水基準を満足していない時期がある場合は、農閑期の無処理放流を検討。」

④ Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality,

本稿は、オーストラリア及びニュージーランド政府が 2018 年に発行した水質管理のためのガイドラインであり、操業中の鉱山等を対象とした水質管理の概念や方法が提示されている。

本ガイドラインでは、下表に示すような 10 ステップの水質管理フレームワーク (Water Quality Management Framework) を提示している。

この 10 のステップの中でキーとなるコンセプトとしては、ステークホルダーの関与、地域状況を考慮した管理目標値の設定、環境以外に文化的、社会的、経済的な要素の考慮等が挙げられる。

表 2.3.2-1 10 steps to implement the Water Quality Management Framework

(当該文献より作成)

ステップ	キーとなるコンセプト
ステップ 1 -現状の理解	概念モデル モニタリング-プログラムの目標を設定する ステークホルダーの関与
ステップ 2 -地域社会の価値と管理目標の定義	地域社会の価値 保護レベル 管理目標 ステークホルダーの関与
ステップ 3 -関連する指標の定義	指標の選択 モニタリング-研究デザイン モニタリング-フィールドサンプリング モニタリング-実験室分析 証拠の重み (Weight of evidence の日本語訳)
ステップ 4 -水質/底質ガイドライン値の決定	ガイドライン値 モニタリング-ストレス要因のデータ分析 モニタリング-生態系レセプターのデータ分析
ステップ 5 -水質/底質の目標値の定義する	水質目標値
ステップ 6 -水質/底質の目標が満たされているかどうかの評価	モニタリング-導出及び評価 モニタリング-生態系レセプターに関する考慮事項 モニタリング-変化の評価 証拠の重み
ステップ 7 -追加指標の検討、水質/底質の目標値の修正	モニタリング 証拠の重み
ステップ 8 -代替管理戦略の検討	モニタリング 予測モデル 文化、経済、社会、環境的側面考慮 ステークホルダーの関与
ステップ 9 -水質/底質の目標値が達成可能かの評価	ステークホルダーの関与
ステップ 10 -合意された管理戦略の実施	順応的管理 モニタリング-報告 モニタリング ステークホルダーの関与

また、当該水質管理ガイドラインでは、排水口での管理ではなく、下流地点における水質等の目標値での管理であり、利水点等管理に近い概念として整理できる。

2.3.3 利水点等管理ガイダンスの素案

前述の文献検索に基づいて、利水点等管理ガイダンスのあり方について以下のとおり検討を行った。

a-1. ガイダンスの目的

利水点等管理については、法的な制約はないことから、柔軟な対応が可能である一方、その進め方について指針がないのが現状の課題である。利水点等管理ガイダンス作成は、利水点等管理を導入したい鉱山があった場合に、その導入方法についての一定の指針を示すことを目的とした。

本検討を進めるための前提条件を以下に示す。

- ・ 義務者不存在鉱山においては、坑廃水処理において排水基準に適合をすることを求められる法的な根拠はない。
- ・ すなわち、当該鉱山に係る利害関係者*が、新たな水質管理方法に合意をした場合には、当該管理方法での柔軟な対応が可能である。

*ここで、利害関係者とは、都道府県、管理主体（主に、市町村）、管理者（委託先がある場合）、利水者、周辺住民、経産省監督部等が考えられる。

a-2. 利水点等管理が適用可能な鉱山の整理

利水点等管理が適用可能な鉱山としては、坑廃水原水において排水基準を超過しているが、下流の利水点・環境基準点等においては環境基準を適合している鉱山が挙げられる。

表 2.3.3-1 利水点管理適用可能鉱山の整理

坑廃水原水	下流の利水点等	利水点等管理の可能性
排水基準超過	環境基準超過	要検討
排水基準超過	環境基準適合	可能性高い
排水基準適合	環境基準超過	なし
排水基準適合	環境基準適合	なし

a-3. 適用フレームワーク

利水点等管理の適用フレームワークの案を図 2.3.3-1 に示す。フレームワークは①サイトアセスメント、②利水点・水質管理点の検討、③管理・モニタリング、④管理基準等の見直しの検討、から構成される。また、②や水質管理ポイントの導入の判断においては、ステークホルダーとの対話、合意形成が必要である。

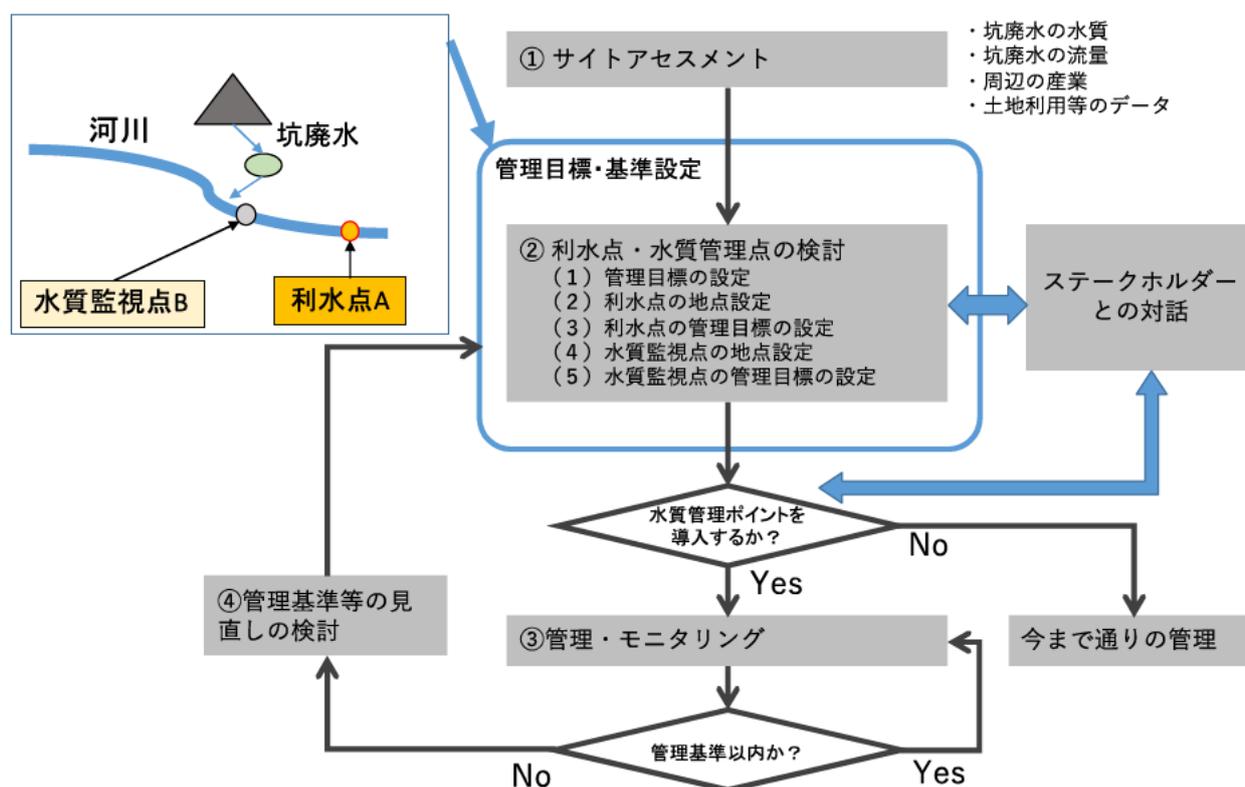


図 2.3.3-1 利水点管理適用可能フレームワーク案

ここでは、最も重要となる②利水点・水質監視点の検討の手順案を紹介する。

(a) 利水点等管理の目標設定

当該鉱山周辺の状況を鑑み、守るべき対象（例：人健康、生態系、農作物、魚等）を決定する。

(b) 利水点の地点設定

以下の条件に合致する利水点の地点設定を行う。

- ・ (a)で設定された守るべき対象への影響が把握できるポイント
- ・ 環境基準点がある場合は当該地点もしくは当該地点よりも上流側に設定

(c) 利水点-水質管理目標値の設定

以下の条件に合致する利水点の水質管理目標値の設定を行う。

- ・ 利水がある場合は、利水目的に対する基準の適用を検討する。
- ・ 利水目的が明確でない場合には、環境基準を基本とする。
- ・ バックグラウンドの影響等で、利水点で環境基準を上回る場合には、坑廃水の影響を評価する「利水点-水質管理目標値」の設定も考えられる。

(d) 水質監視点の地点設定

利水点よりも上流側に位置し、坑廃水の影響が把握可能であり、利水点への影響も把握可能な地点を選定する。例えば、工場や下水処理場等の他の排出源の影響がない利水点の上流地点や坑廃水処理施設の出口等が想定される。

図 2.3.3-2 に利水点と水質管理目標地点の関係を示す。

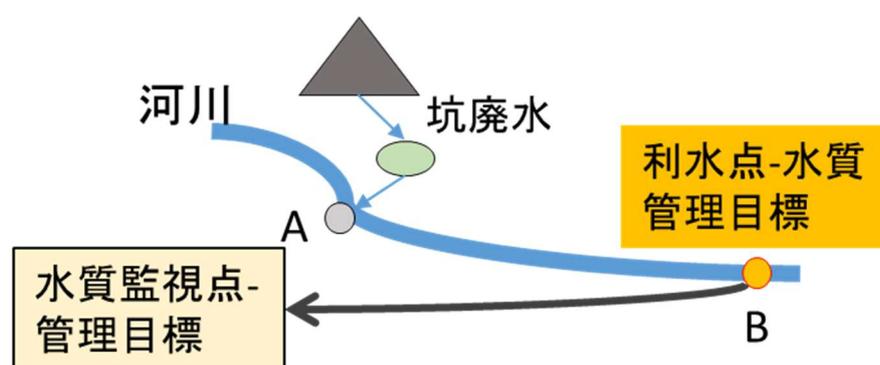


図 2.3.3-2 利水点と水質管理目標地点の関係

(e) 水質監視点-管理目標の算定方法

水質監視点での管理目標値を設定する。

例えば、図 2.3.3-2 の B 地点が利水点であり、A 地点が水質監視点に設定された場合、以下の手順で水質監視点での管理目標を設定する。

- ・ B 地点で利水点-水質管理目標を達成するための水質監視点-管理目標を設定する。設定方法の例としては、河川流量・重金属濃度、坑廃水流量・重金属濃度から坑廃水-水質管理目標値で算定する。

a-4. 補足

利水点等管理を進めていく上での補足事項を下記に示す。

- これらの利水点や水質監視点の設定、ステークホルダーとの対話等における補足的情報として、ガイダンス作成を進めている生態影響調査・評価の結果や中長期的な坑廃水中の重金属濃度の増減する傾向がある。
- 本概念で設定された水質監視点は、積雪時や豪雨等で坑廃水処理施設付近への移動に困難が伴う場合においても、坑廃水の影響を評価する監視ポイントとしても使用可能である。例えば、冬場に坑廃水処理施設への移動が困難な場合においては、下流側において冬季の監視点を設けている事例もある。

2.3.4 ステークホルダーとコミュニケーションのあり方や水質管理基準を弾力的に運用している鉱山事例の情報収集

a-1. 目的

利水点等管理を推進する上でのステークホルダーとのコミュニケーションのあり方について、水質管理基準の弾力的運用を行っている休廃止鉱山の2事例に対してヒアリングを実施し、無処理放流を実施している経緯を把握し、今後の参考情報を収集することを目的とした。

a-2. 実施方法

水質管理方法として弾力的運用を実施している鉱山として、S4 鉱山及び S5 鉱山を選定した。選定理由は、坑廃水処理を実施しておらず、無処理で放流していることである。今後、無処理放流を実施する際に参考となる情報を収集した。

a-3. 結果

主なヒアリング結果を表 2.3.4-1 に示す。

(1) S4 鉱山

無処理放流までの経緯として、現経済産業省産業保安監督部が地元の県及び市に無処理放流試験について提案し、モニタリング試験を実施した。モニタリング試験方法としては、中和処理と無処理放流を繰り返し実施し、排水直下の地点及び利水地点での水質分析を3年間実施した。その結果、排水直下の地点ではpHは基準値超過であるが、利水地点では環境基準値内であったため、無処理放流の実施となった。また、無処理放流実施に伴い、事業者は排水排出状況の管理を継続し、鉱害防止対策が必要となった場合には必要な措置を行うといった内容を産業保安監督部と取り交わしている。

(2) S5 鉱山

無処理放流までの経緯として、義務者不存在鉱山へは鉱山保安法の規制が適用されないことを踏まえ、県は現経済産業省産業保安監督部に相談の上、平成13年から平成15年までの3年間の水質モニタリングを実施し、利水点での環境基準値を満たしていたため、無処理放流を決定した。また、鉱害防止対策工事による環境への影響確認のためではあったが、平成14年から平成30年まで年2回のモニタリングを実施していた。現在は土地改良区や水利組合が独自で管理している状況であった。

表 2.3.4-1 ヒアリング結果

鉱山名	S4鉱山	S5鉱山
義務者の有無	存在	不存在
処理方法	無処理放流（S56年から）	無処理放流（H15年から）
排水基準超過項目	pHのみ(3.5)	pHのみ（5.0-6.0程度）
無処理放流までの モニタリング及び判断	期間：3年間	期間：3年間
	実施頻度：不定期に実施	実施頻度：年2回
	地点：2地点（約100m、700m）	地点：第1利水点
	3年間のモニタリング結果より利水点でのpH が基準値を満たしていたため	3年間のモニタリング結果より利水点でのpH が基準値を満たしていたため
処理コスト	500万円 / 年	250万円 / 年
利水点の位置	流入地点に対して下流700 mの箇所であつた。さらに下流で、ビール工場、地元自治体上水場、農家が用水として利用している。	流入地点に対して最も上流で、農業用水の取水堰（下流 約500m）がある箇所。
ステークホルダー	県、市、地元利水者（農家）、METI監督部	県、市町、地元住民、METI監督部
現在の管理状況	事業者が閉山工事後の管理として坑口や堆積場等の見回りのために管理人を置いている。水質のモニタリングはスポット的に実施している。	土地改良区や水利組合が独自で管理している。

2.4 休廃止鉱山管理等の高度化に係る検討

休廃止鉱山が保有する様々な環境情報の項目について整理を行い、管理の高度化の必要性及び方向性の検討を行った。具体的には、水量・水質・処理方法等の坑廃水処理を行う上で得られる情報や処理水の放流先の水系の利用状況等の休廃止鉱山が保有している情報について情報収集するとともに、休廃止鉱山を管理する事業者や自治体にとって鉱害防止工事の進捗のサポートや自然回帰を目指す鉱山対策の実施にどのような情報が必要となるのかについて整理することを目的とした。

2.4.1 坑廃水処理及び鉱害防止対策工事に関する情報収集

a-1. 実施方法

過去に JOGMEC の調査指導を受けており、第 5 次基本方針に含まれる義務者不存在鉱山の 18 鉱山を対象に、現状の坑廃水処理を実施する上で、どのような情報が必要となるかを確認するために、各自治体の担当部署に対してアンケート調査を実施した。

a-2. 結果

アンケート結果は図 2.4.1-1～図 2.4.1-10 のとおりであった。まず、坑廃水処理方法に対する興味があるかどうか情報収集を行い、「関心あり」という回答が 93 %と、関心が高い結果であった。関心があり、情報収集を実施している自治体が 62 %と半数以上であり、時間的に余裕がない等により情報収集を実施していない自治体が 38 %であった。情報収集の方法としては、インターネットとの回答が多く、経済産業省及び JOGMEC のホームページを閲覧していた。

坑廃水処理方法の導入に対する興味については、パッシブトリートメントとの回答が多かった。現在の中和処理からパッシブトリートメントへの転換を期待する意見が多くあったが、実際の導入には、費用、スペース、地元の理解、処理の確実性等の問題点があり、今後検討していく必要がある。検討するには、情報収集が必要であり、今後の坑廃水処理方法の情報発信方法について、インターネット配信（経済産業省のホームページ及び JOGMEC のホームページ）という意見が多かった。また、定期的なメール配信も業務で忙しい合間に確認しやすいため、有効であるといった意見があった。さらに、関係者が集まる担当者会議や JOGMEC の情報交換会等でとの意見があり、一方的な発信より、対話や質問可能な形式での情報発信を望む回答があった。

(1) 従来とは違う坑廃水処理方法へ関心はあるか

各自治体ともに坑廃水処理方法への関心が高い結果となった。

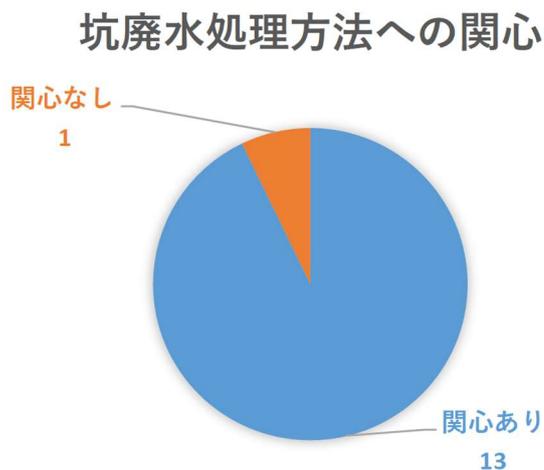


図 2.4.1-1 坑廃水処理方法への関心

(2) 坑廃水処理方法の情報収集を実施しているか

坑廃水処理方法について情報収集をしている鉱山が 13 自治体中 8 自治体という結果となった。情報収集していない理由は同項(5)を参照。

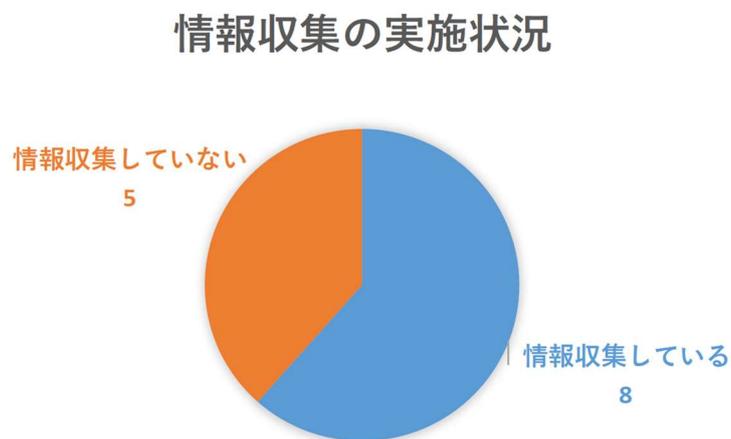


図 2.4.1-2 坑廃水の情報収集の実施状況

(3) 情報収集の方法はなにか

情報収集方法として、インターネットとの回答が多かった。シンポジウム等への参加は遠方となれば出張費用がなく、参加が難しいとの意見があった。

情報収集の方法

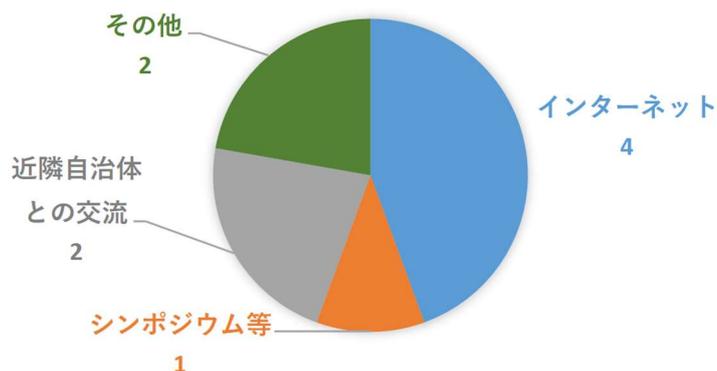


図 2.4.1-3 坑廃水の情報収集の方法

<その他回答の内容>

経済産業省、JOGMEC 及び他事業者との担当者会議との回答があった。

(4) インターネットでの閲覧場所はなにか

インターネットにより情報収集をしている 4 自治体では、経済産業省及び JOGMEC のホームページ (HP) を閲覧している自治体がほとんどであった。

インターネットでの閲覧場所

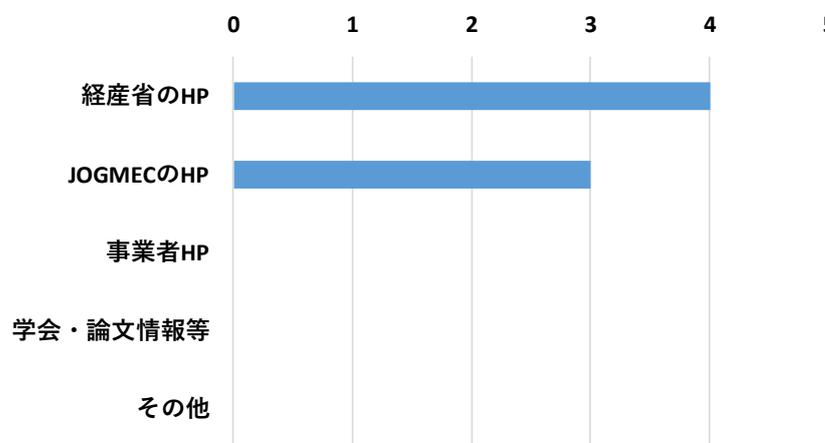


図 2.4.1-4 情報収集時の閲覧場所 (複数回答可)

(5) 情報収集を実施していない理由

情報収集を実施していない理由は以下のとおりであった。

情報収集をしていない理由

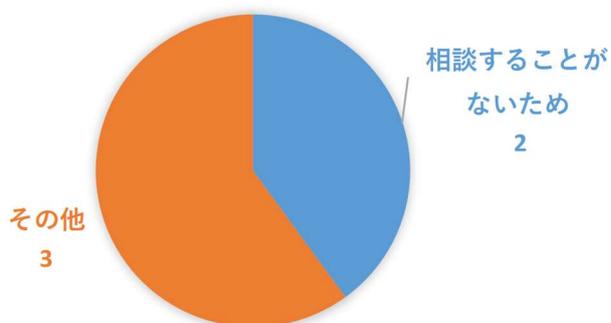


図 2.4.1-5 情報収集をしていない理由

<その他回答の内容>

- ・従来の中和処理に代わる画期的な新技術が開発されたという記事等を見聞していないため。
- ・当処理場では中和殿物の処理に苦慮した経緯があり、坑廃水処理方法も中和殿物の低減に繋がるものが必要と考えている。しかし、現在は他の処理方法の研究はまだ時間を要するため、積極的な情報収集は行っていない。
- ・兼務する業務が忙しく、時間的余裕がなかったため。

(6) 坑廃水処理方法等の情報発信方法として期待する方法

坑廃水処理方法等の参考となる情報の発信方法として、インターネット配信及びその他回答が多かった。

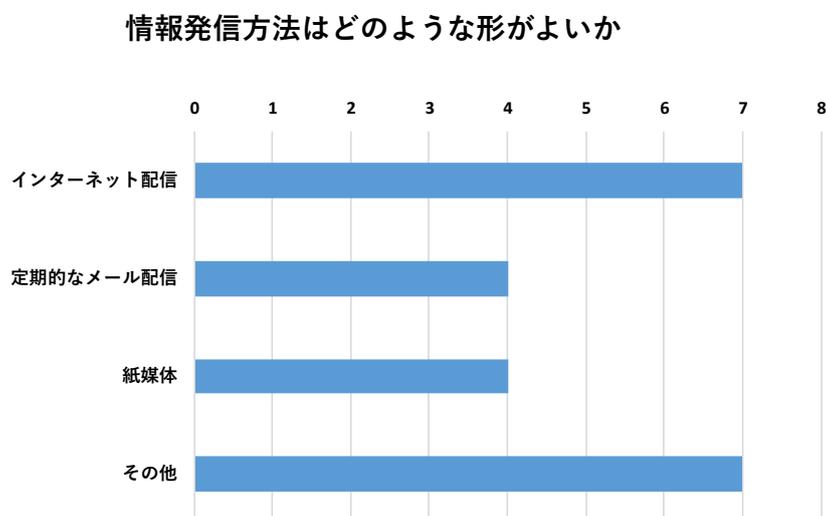


図 2.4.1-5 情報発信方法はどのような形がよいか（複数回答可）

その他では以下の回答があり、いずれも一方的な発信ではなく、対話や質問可能な情報提供形式を望むものであったが、併せて遠方での開催となると費用面で参加が厳しいとの回答があった。

<その他の主な回答の内容>

- ・ JOGMEC 等の講習会
- ・ 監督部の担当者会議
- ・ 定期的な JOGMEC の訪問

(7) 情報発信としてどのような情報が欲しいか

図 2.4.1-6 のとおり、パッシブトリートメント等の技術紹介が多い結果となった。図 2.4.1-7 のとおり、導入に関心のある坑廃水処理方法でもパッシブトリートメントの導入に対して、関心が高い結果となっており、その他回答では、施設の老朽化対策（診断）等の情報が欲しいとの意見があった。

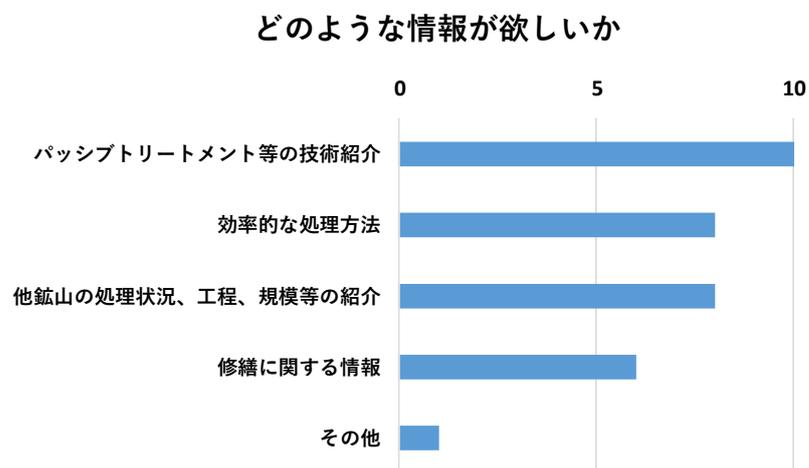


図 2.4.1-6 どのような情報が欲しいか（複数回答可）

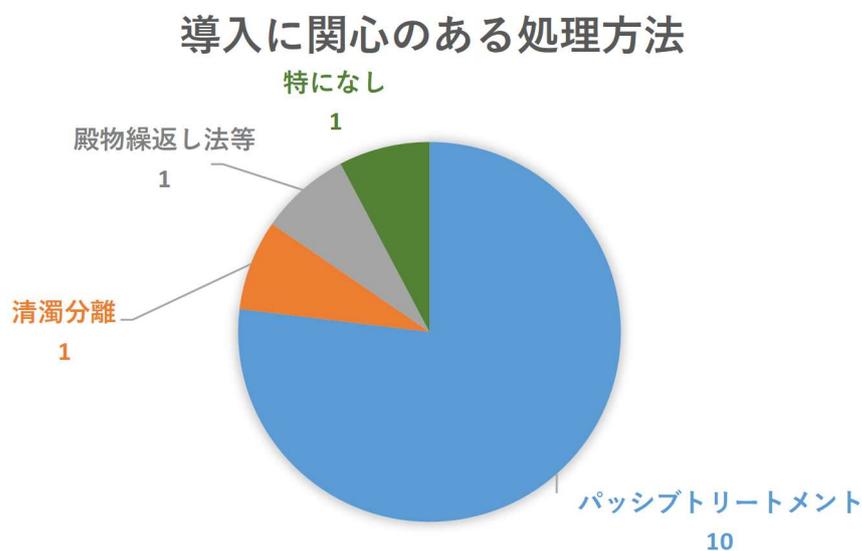


図 2.4.1-7 導入に関心のある坑廃水処理方法

(8) パッシブトリートメントを導入するためにはどのような条件が必要か

パッシブトリートメント導入可能性のある条件として、費用が捻出できればという回答が多かった。また、費用の他に現状の処理技術が高まり処理の確実性が増すこと、導入時のスペースが確保できるかどうか、導入するための指導や設計をしてもらえるならといった意見があった。導入への興味はあるが、現実的な導入への検討条件は多くあることがわかった。

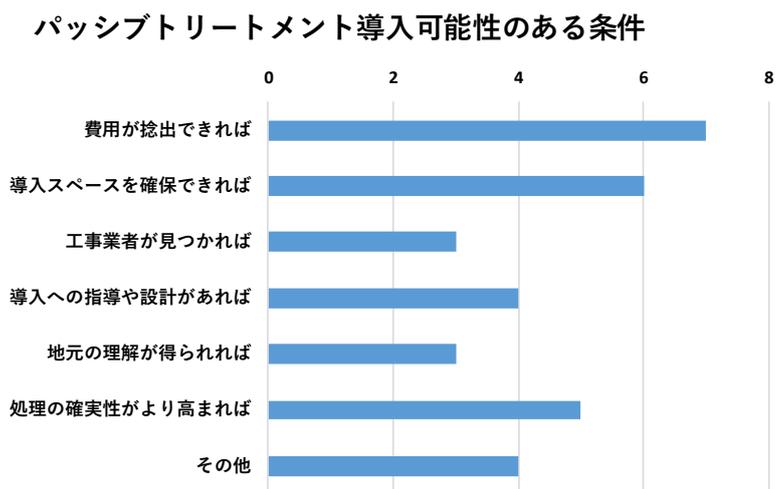


図 2.4.1-8 パッシブトリートメント導入可能性のある条件（複数回答可）

その他回答は以下のとおりであった。

<その他の主な内容>

- ・山奥のため入札参加者がいないため、工事実施者がいれば。
- ・パッシブトリートメント導入費用等が分かれば検討することができる。
- ・専門家からの指導を仰げるのであれば。

2.4.2 鉱害防止工事の進捗のサポートや自然回帰を目指す鉱山対策への参考情報の整理

a-1. 方法

平成に入ってから JOGMEC の調査指導を受けている 76 鉱山についてその内容を整理し、そのうち第 5 次基本方針に含まれる 18 鉱山を対象にアンケート調査を実施した。まず、基本情報として、各鉱山の水質・水量・処理方法等について情報収集を実施した。また、JOGMEC の調査指導を受けた際の情報、調査指導時の問題点、調査指導後の現在の状況について情報収集を行った。アンケート内容は、以下のとおりである。

<基本情報>

1. 水量
2. 坑廃水処理方法
3. 処理原水の水質（排水基準値超過分のみ）
4. 利水点の使用目的
5. 放流地点からの利水点までの距離

<鉱害防止対策工事について>

1. 調査指導により提言された内容を全て実施したか。
2. 提言について実施できなかった理由は。
3. 実際に対策工事を実施した際、問題や不具合等の困りごとはあったか。
4. 困ったことがあった場合、具体的な内容はなにか。
5. 対策工事を実施して、目標をどの程度達成できたか。
6. 達成できなかった場合、その要因はなにか。
7. 現在、対策工事の直後と比べて改善が必要な点があるか。
8. 改善が必要な場合、どの施設でどのような改善内容か。

a-2. 結果

上記 a-1. の質問「6. 達成できなかった場合、その要因はなにか」についての回答で、コスト面で実施できていなかったとの回答が8鉱山あった。コスト面で実施できなかった理由について、さらにヒアリングを実施し、その理由を追求した。

(1) 鉱害防止対策工事をコスト面でできていなかった理由はなにか

コスト面で鉱害防止対策工事を実施できなかった理由として、「コストが過大すぎて手を付けられなかった」との回答が多かった。理由としては、自治体の想定、計画する事業規模を上回る規模の工事が必要となったため折衷案的な対策までしか実施できなかったと推定される。また、「補助金が不足していた」、「自治体の負担分が不足していた」との回答については、当該年度の補助事業において他の事業との優先度の調整の結果、調査指導の結果を勘案して対策を実施したものと推定される。

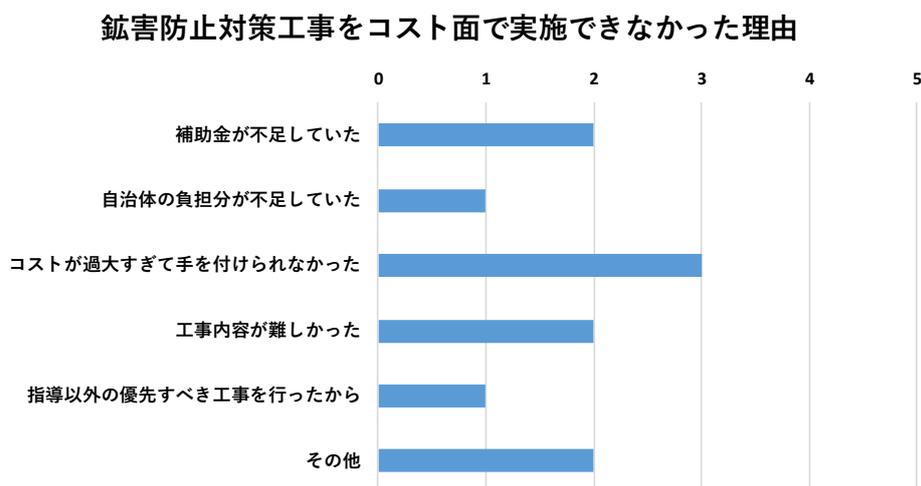


図 2.4.1-9 鉱害防止対策工事をコスト面で実施できなかった理由（複数回答可）

<その他回答の内容>

- ・ 測量等を実施する体制が組めなかった。
- ・ 市町村との設備の維持管理上の問題。

(2) 各鉱山の事例集及びその他のアンケート結果

各鉱山の水量・水質・処理方法等の坑廃水処理の情報及び JOGMEC 調査指導実施に伴うアンケート結果は参考資料 4 のとおりである。

2.5 委員会の設置、報告書の作成等

2.5.1 委員会の設置

グリーン・レメディエーション調査研究委員会を設置し、表 2.5.1-1 のとおり委員を選定した。

表 2.5.1-1 グリーン・レメディエーション調査研究委員会 委員一覧

氏名	所属	役職
荻野 激	地方独立行政法人北海道庁総合研究機構 地域地質部 地質情報グループ	研究主幹
片岡 卓	日本鉱業協会 環境保安部 兼 技術部	次長
佐藤 直樹	独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 金属環境事業部	部長
所 千晴	早稲田大学理工学術院 創造理工学部 環境資源工学科	教授
富山 眞吾	北海道大学 大学院工学研究院 環境循環システム部門	客員教授
松田 裕之	横浜国立大学 環境情報研究院	教授
宮田 直幸	秋田県立大学生物資源科学部 生物環境科学科	教授

2.5.2 ワーキンググループの設置

ワーキンググループ1（マンガン酸化菌利用処理技術調査研究）及びワーキンググループ2（生体影響評価に係る調査・分析）を設置した。各ワーキンググループの委員一覧は表 2.5.2-1、表 2.5.2-2 のとおりである。

表 2.5.2-1 ワーキンググループ1 委員一覧

氏名	所属	役職
沖部 奈緒子	九州大学大学院 工学研究院 地球資源システム工学部門	准教授
惣田 訓	立命館大学理工学部環境都市工学科	教授
所 千晴	早稲田大学理工学術院 創造理工学部 環境資源工学科	教授
宮田 直幸	秋田県立大学生物資源科学部 生物環境科学科	教授

表 2.5.2-2 ワーキンググループ 2 委員一覧

氏名	所属	役職
加茂 将史	国立研究開発法人産業技術総合研究所 安全科学研究部門 リスク評価戦略グループ	主任研究員
野呂田 晋	地方独立行政法人北海道庁総合研究機構 地域地質部 地質情報グループ	主査
松田 裕之	横浜国立大学 環境情報研究院	教授
森田 健太郎	水産研究・教育機構 北海道区水産研究所 さけます資源研究部 資源保全グループ	主任研究員

2.5.3 委員会及びワーキンググループの開催

委員会及びワーキンググループについて、表 2.5.3-1 のとおり実施した。
 なお、各ワーキンググループ第 1 回開催については、書面審議とし、委員全員より承認を得た。

表 2.5.3-1 委員会及びワーキンググループ開催日程表

時期	開催委員会
2019 年 9 月 2 日	第 1 回 ワーキンググループ 1 (書面審議)
2019 年 9 月 2 日	第 1 回 ワーキンググループ 2 (書面審議)
2019 年 9 月 20 日	第 1 回 休廃止鉱山におけるグリーン・レメディエーション 調査研究委員会
2020 年 1 月 20 日	第 2 回 ワーキンググループ 1
2020 年 1 月 27 日	第 2 回 ワーキンググループ 2
2020 年 2 月 14 日	第 2 回 休廃止鉱山におけるグリーン・レメディエーション 調査研究委員会

2.5.4 報告書の作成等

再委託先の国立研究開発法人産業技術総合研究所からのデータ及びグリーン・レメディエーション調査研究委員会での報告及び議論内容をもとに報告書を作成した。図 2.5.4-1 の実施体制図のとおり、報告書作成を実施した。また、各報告書の担当箇所について、表 2.5.4-1 に示す。

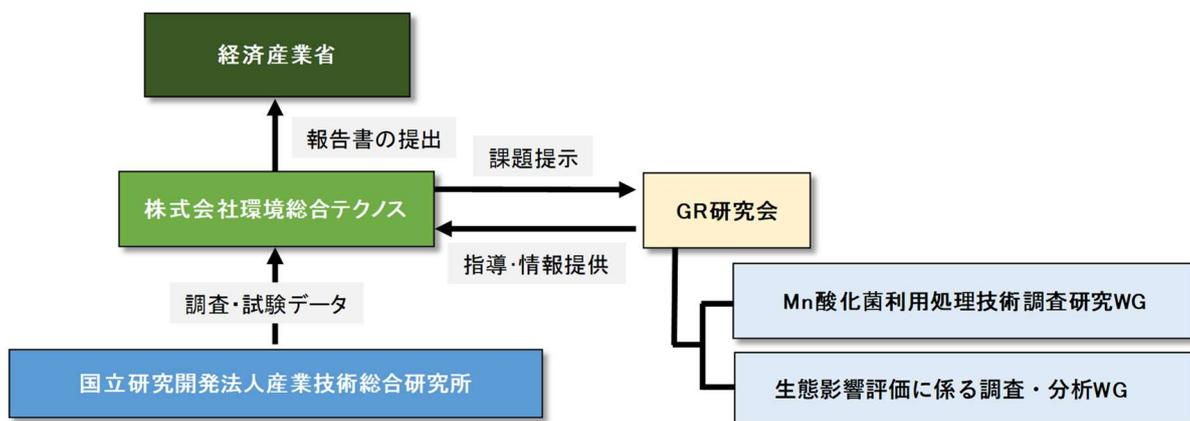


図 2.5.4-1 報告書作成における実施体制

表 2.5.4-1 報告書各項目における担当箇所

担当項目	担当箇所
1 事業概要	KANSO
2 事業実施方法と成果	
2.1 グリーンレメディエーションに関する調査研究フレームワーク	AIST
2.2 グリーンレメディエーションの研究課題	
2.2.1.1 菌叢解析	AIST
2.2.1.2 技術成熟度レベル評価	KANSO
2.2.2 生態影響評価に係る調査・分析	
2.2.2.1 生態影響評価手法等の検討	KANSO
2.2.2.2 野外調査や生物試験による影響評価	AIST
2.2.2.3 生態影響評価ガイダンス作成に向けた検討	KANSO、AIST
2.3.3 植物-微生物複合共生系を利用した新たな対策技術調査	AIST、筑波大学
2.3 利水点等管理 コミュニケーションに係る検討	
2.3.1 利水点等管理の定義、あり方の検討、素案の作成	AIST
2.3.2 利水点管理に関する文献	AIST
2.3.3 利水点等管理ガイダンスの素案	AIST
2.3.4 ステークホルダーとコミュニケーションのあり方や水質管理基準を弾力的に運用している鉱山事例の情報収集	KANSO
2.4 休廃止鉱山管理等の高度化に係る検討	KANSO
2.5 委員会の設置、報告書の作成等	KANSO
3 全体総括	KANSO

※1 KANSO：株式会社環境総合テクノスの略称

※2 AIST：国立研究開発法人産業技術総合研究所の略称

3 全体総括

今年度の各実施事項及び来年度の計画（案）は以下のとおり。また、今年度業務中での提案内容を記載した。

1. グリーン・レメディエーションに関する調査研究フレームワークの検討

今年度は、昨年度ロードマップの取組状況の進捗を踏まえ、必要に応じた見直しを行うとともに、各鉱山の性状を踏まえた鉱害防止対策技術を導くフローについて検討した。来年度は、第6次基本方針に向けた取組み内容の検討を行う。

2. グリーン・レメディエーションの研究課題

(1) マンガン酸化菌利用処理技術調査研究

今年度はマンガン酸化菌の菌叢解析及び技術成熟度レベルの評価を実施した。また、マンガン酸化菌を適用する際のメリット及びコスト低減可能性の整理を行い、マンガン酸化菌を利用した際の処理コストを試算した。来年度は詳細なコスト評価を進めるとともに、導入条件等、基礎的事項の整理を実施する。

(2) 生態影響評価に係る調査分析

今年度は生態影響評価の手法の検討及び調査・分析を実施した。また、ガイダンス作成に参考となる海外2文献の概要説明文書を作成し、ガイダンスの目次・概要の作成を実施した。来年度は現地調査を実施せず、ガイダンス（案）の作成を行う。

(3) 植物—微生物複合共生系を利用した新たな緑化対策技術調査

今年度は3鉱山4事例について、情報収集を実施し、「捨石・鉱さいたい積場緑化の手引」をもとに基盤情報を整理した。来年度は、各事業者へアンケート調査を実施し、緑化の目的や希望する緑化段階を明確にした上で、ガイダンスの作成を進める。

3. 利水点等管理・コミュニケーションに係る検討

今年度は利水点等管理のガイダンス作成に向けた情報の整理を行った。利水点管理に関わる情報収集として、2鉱山のヒアリングを実施した。来年度は、ガイダンスの作成を進める。

4. 休廃止鉱山管理等の高度化に係る検討

平成に入ってからJOGMECの調査指導を受けている76鉱山についてその内容を整理し、そのうち第5次基本方針に含まれる18鉱山に対してアンケート調査を実施し、管理を実施する事業者及び自治体に参考となる情報の収集及び整理を行った（参考資料4を参照）。来年度は、さらに情報収集を行い、事例集等の作成を進める。

○提案

各自治体へのアンケート調査及びヒアリングを実施した際、グリーン・レメディエーション調査研究事業（GR 事業）の存在を知らない自治体が大半であった。そのため、GR 事業について、さらに周知するとともに、委員会等への積極的なオブザーバー参加を呼びかけることを提案する。

參考資料

目次

参考資料 1 : METAL MINING TECHNICAL GUIDANCE FOR ENVIRONMENTAL EFFECTS MONITORING
2012 (MMER)

参考資料 2 : 米国環境保護庁 Rapid Bioassessment Protocols (RBP)

参考資料 3 : 休廃止鉱山の坑廃水が流入する河川における生態影響評価ガイダンス

参考資料 4 : 各鉱山における事例集及びアンケート結果 (18 鉱山)

參考資料 1

METAL MINING TECHNICAL GUIDANCE FOR ENVIRONMENTAL
EFFECTS MONITORING 2012 (MMER)

METAL MINING TECHNICAL GUIDANCE FOR ENVIRONMENTAL EFFECTS MONITORING 2012 (MEMM)

概要説明書

当該文献の詳細

Environment Canada (2012) Metal Mining Technical Guidance for Environmental Effects Monitoring. 550p. En14-61/2012E-PDF. Environment Canada, Canada.

生態影響評価ガイダンスに向けての要点

- 本ガイダンスは、鉱山に対して、金属採鉱排水規制（Metal Mining Effluent Regulations : MMER）における環境影響モニタリング（EEM）の通常の要件をどのようにして満たすかに関する技術的な指針を提供することを目的としている。なお、このガイダンスは休廃止鉱山というよりは、現在採掘等を実施しているアクティブな鉱山に対する適用を想定していると考えられる。
- MMER には魚類への排水による環境影響モニタリング（EEM）要件が記述されている。
- 排水の放流許可を決定する条件として、EEM 実施が義務づけられている。許可が下りるからではなく、排水影響の有無及び度合いについて継続的にモニタリングするために利用されている。
- 環境影響モニタリング（EEM）では、排水及び水系水質モニタリングとして、排水特性の決定（重金属成分、pH、硬度、電気伝導度等）、亜致死毒性試験及び水質調査を実施する。生物への影響は、魚類（個体群、細胞組織中の水銀濃度）及び底生無脊椎動物について実施する記述がある。各対象項目の整理は以下の通りである。

（EEM の対象項目）

- 排水及び水系の水質
 - 重金属濃度、pH、硬度、電気伝導度、アルカリ度、塩分（河口域及び海域の場合のみ）などを測定する。
- 排水の亜致死毒性試験
 - 最も大きな影響があると考えられる最終放流口からの排水に対して、その毒性（生存、成長、及び/または繁殖への）を実験室内の制御された環境において評価する。例えば、河川に放流する場合は、魚類、底生無脊椎動物、藻類種及び植物種（ウキクサ）に対する試験が必要となる。
- 魚類（成長、繁殖、状態、生存）

- 坑廃水（処理水）の魚類に対する影響を評価するために、曝露区（坑廃水（処理水）流入河川）と対照区において、魚類個体群の健康状態（fish population health）が評価指標となる。成長、繁殖、状態、生存に対する具体的な影響評価項目としては、年齢、年齢ごとのサイズ、体重に対する精巢の重さの割合、肥満度または体重に対する肝臓の重さの割合である。
- 魚類（体内組織中の金属濃度：水銀）
 - 排水中の総水銀濃度が 0.10 µg/L 以上であった場合に、鉱山坑廃水由来の水銀が水産資源の利用に影響を与えるかどうかを評価するために実施する。
- 底生無脊椎動物（総密度、総分類群数（種数）、均等度、類似度）
 - 坑廃水（処理水）による魚類の生息環境への影響の有無を調査するために実施される。生息環境悪化の程度や地理的範囲及び魚類の食物資源量の評価指標となる。なお、この調査は必須である。
- 堆積物（全有機炭素量、粒度分布）
 - 生物群集に影響を与える生息環境の違いの評価指標となる。

（EEM の概要）

環境影響モニタリング（EEM）における魚類モニタリングは、魚類個体群調査及び組織分析からなり、調査工程の詳細について記載されている。魚類調査では、坑廃水の曝露区及び対照区間で、成長、繁殖、魚類個体群の状態（肥満度）及び生存の状況の違いについて評価を行う。水質分析結果より、排水の全水銀が 0.10µg/L 以上の場合は、生物モニタリングに魚類組織に関する調査を含める場合がある。

対照流域の選定として、(1)生息環境と同等であるか (2)排水の流入及び攪乱による影響がないか (3)曝露流域からの魚類の移動が可能であるか等がある。指標魚類は、長期間にわたり排水に曝露している比較的移動性の低い 2 魚種を選定しモニタリングすることを推奨している。魚種は以下の基準をもとに選定する。(1)非回遊性（定着性）の魚種 (2)試験区及び対照区の両方に生息する繁殖能力のある魚種 (3)釣り及び採集の許可が得られている魚種 (4)排水に最も曝露されている魚種。2 魚種の選定が難しい場合、繁殖能力のある 1 魚種と当歳魚 1 魚種、当歳魚 2 魚種、繁殖能力のある 1 魚種または当歳魚 1 魚種を選定する。採集時期は、指標種の移動範囲、水質条件、アクセス性及び生殖腺発達サイクルを含む様々な要因を考慮する必要がある。本書では、産卵特性により分類された 5 種の魚類が特定されている。

EEM のための底生無脊椎動物調査では、排水による生息環境悪化の指標及び地理的要因の評価を行う。指標として、総密度、分類群数、類似性及び優占種の変化等について対照区と比較する。可能であれば、底生無脊椎動物調査に加えて、堆積物サンプリングを行い、粒径及び全有機炭素分析を行う。特に(1)調査設計の検討 (2)方法論の標準化 (3)調査設計に適したデータ解析について

展開している。生息地の選定として、曝露流域で生息するタイプ、堆積物または排水に長期間曝露する可能性が高い場所、経年変化がわかる箇所について考慮する必要がある。採取時期は(1)排水され、影響がでると予測される3～6ヶ月以内に、流入環境が排水に曝露された後(2)季節的な増減サイクルに伴う生物多様性が最も高い時期(3)過去調査結果がある場合、データを精査し、過去の調査時期と同様の期間に実施する。

排水の水質モニタリングは、排水流入地点周辺である曝露流域でのサンプリング及び対照点でのサンプリングを行う。

EEMのための亜致死毒性試験では、排水の水質変化の測定及び複数の排水がある鉱山での関係因子を理解するために行う。金属採掘EEMプログラムでは、排水による曝露流域の生物種(植物プランクトン、動物プランクトン、底生無脊椎動物、魚類、植物)に対する潜在的な影響について、これらの生物種がその流域で直接影響を受けているか推定する。亜致死毒性試験は淡水で4種(魚類、無脊椎動物、藻類、植物)、海域または河口域で3種(魚類、無脊椎動物、藻類)について、影響を受けている環境タイプに応じて実施する。致死毒性試験の方法及び試験対象種について示されている。

EEMデータの評価及び解釈の方法に関する一般的なガイダンスは以下の目的に基づき作成されている。報告には、魚類の個体数、組織または底生無脊椎動物群への影響の特定、統計分析の結果に基づく生物学的モニタリング調査の全体的な結論及び過去のモニタリング結果の要約を記載する必要がある。EEMでは魚類調査、底生無脊椎動物の群集調査及び魚類の有用性調査からの影響を指標とする。

標準的な手法を用いることができない鉱山の場合として、危険な地点(流速が速い等)、採集に適さない生息環境、モニタリング対象の排水による影響の特定が困難な場所、対象流域への他の排水流入といった攪乱因子の存在がある。その場合の代替方法として、魚類調査はメソコスム(人工流路)やケージに入れた二枚貝の調査であり、底生無脊椎動物の群集調査の場合はメソコスム試験である。この他にも代替方法はあるが、新しい代替方法は、技術委員会及びEEM科学委員会より環境との関連性や科学的に管理可能かどうか等により評価される。

(排水による致死毒性試験の対象種)

- ・ 魚類の初期発達試験：Inland Silverside (トウゴロウイワシ目：シルバーサイド)、Topsmelt (トウゴロウイワシ目トッスマルト)、Fathead Minnow(コイ目：ファットヘッドミノー)、ニジマス
- ・ 無脊椎動物の生殖試験：ウニ綱、スカシカシパン
- ・ 植物及び藻類の毒性試験：Barrel Weed(ワツナギソウ)、緑藻、コウキクサ

参考資料 2

米国環境保護庁 Rapid Bioassessment Protocols (RBP)

米国環境保護庁 Rapid Bioassessment Protocols (RBP)

概要説明書

当該文献の詳細

Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder, and J.B. Stribling. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition. 337p. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C

生態影響評価ガイダンス作成に向けての要点

- 米国環境保護庁の RBP（仮訳：迅速な生物学的評価の手順）は、流水の生態系（*主に河川）における費用対効果の高い生物学的評価を行うための実践的な技術資料である。ここで生物学的評価とは、生物学的調査等によって水域の状態を評価することである。なお、坑廃水の生態影響評価に特化したものではない。
- RBP では、生物学的評価の調査対象生物として、付着藻類、大型無脊椎動物、魚類を選出している
- 付着藻類、大型無脊椎動物（底生動物）、魚類それぞれを調査対象とすることの利点や相違点が整理されており、調査方法などについても詳細な記述がある。
- 生息地評価として、自然構造（河床材料等）、溜まり、流速、堆積物等の指標について記述されている。

(RBP の概要)

本ガイダンスは(1)確立された生物学的評価方法がない(2)別の評価方法を探している、または(3)すでにある評価プログラムを補完する必要があるかもしれない、州及び地方自治体に、基本的で費用対効果の高い生物学的方法を提供することを目的としている。

生物モニタリングの方法として、付着藻類、大型無脊椎動物及び魚類の調査及びそれらの生息地としての物理化学的要因の評価方法が提示されている。付着藻類は急速な繁殖率と非常に短いライフサイクルを持つため、短期的な影響の指標となる。大型無脊椎動物は、限られた移動パターンまたは生活様式を持っているため、特に地点固有の影響を評価する指標となる。魚類は、比較的長寿命で移動性があるため、長期の影響及び広い生息地の指標となる。

各生物群のサンプリングに関する技術的な問題として、季節性（季節により生物量や種類数変動するため、季節変動を理解することは大切）、サンプリング方法に関する技術的な課題について記述した上で、実際のサンプリング方法について詳述されている。概略は以下の通りである。なお、あくまで米国での調査を念頭においたものであり、必ずしも日本にそのまま適用できるものではない。

・付着藻類のサンプリング時期は典型的に生物量や多様性がピークとなり、河川の流量も比較的安定している晩夏または初秋が一般的に適している。サンプリングは、ガラススライドなどの人工基質を河川に定置してサンプリングする方法が典型的ではあるが、自然の底質から直接サンプリングする方法も用いられている。

・大型無脊椎動物のサンプリング時期は明示されていないが、季節の変化を把握した上で、適切な季節を選択する必要性が言及されている。サンプリングは、RBP においては自然底質からの直接の採集を採用している。

・魚類のサンプリング時期は、河川流量が低または中程度で他の季節に比べて変動が少ない夏から晩夏までが好ましいとされている。魚類群集の相対的な個体数の季節変化は、主に繁殖期と春と秋の回遊する時期に起こる。また RBP では幼魚のサンプリングを推奨していない。サンプリング方法については、電気漁具（Electrofishing）及び網を使用する際のメリット及びデメリットについて記載されている。

生息地評価及び物理学的指標として、河川幅、水深、生息環境、河川中の特徴、河岸植生等の物理的特性、堆積物や、温度、溶存酸素、濁度等の現場で水質計を用いて測定する値、気象等の条件について、詳しく記載されている。

(対象としている生物グループ)

付着藻類、大型無脊椎動物、魚類

参考資料 3

休廃止鉱山の坑廃水が流入する河川における
生態影響評価ガイダンス

休廃止鉱山の坑廃水が流入する河川における生態影響評価ガイドンス
Guidance for Ecological Impact Assessments in Rivers Receiving Mine Discharges

目次

1. 要約	2
2. 背景	2
3. 本ガイドンスにおける生態影響評価の目的	3
4. 生態影響評価の適用が推奨されるケース	3
5. 生態影響評価の適用を検討する上での留意点及び重要な考え方	5
6. 生態影響評価における調査地点の設定	5
6.1. 調査地点の設定における考え方	6
6.2. 調査地点の具体例	6
7. 生態影響評価方法：水質調査	6
7.1. 位置づけ	6
7.2. 調査項目	6
7.3. 調査時期と頻度	6
7.4. 調査・分析方法	6
7.5. 結果の評価方法	6
8. 生態影響評価方法：水生生物調査	6
8.1. 位置づけ	6
8.2. 調査項目	6
8.3. 調査方法，調査時期，頻度	6
8.4. 結果の評価方法	6
9. 生態影響評価方法：環境水を用いた生物応答試験	7
9.1. 位置づけ	7
9.2. 調査・試験方法，時期，頻度	7
9.3. 結果の評価方法	7
10. 総合評価の考え方	7

1. 要約

(要約は本文完成後に執筆)

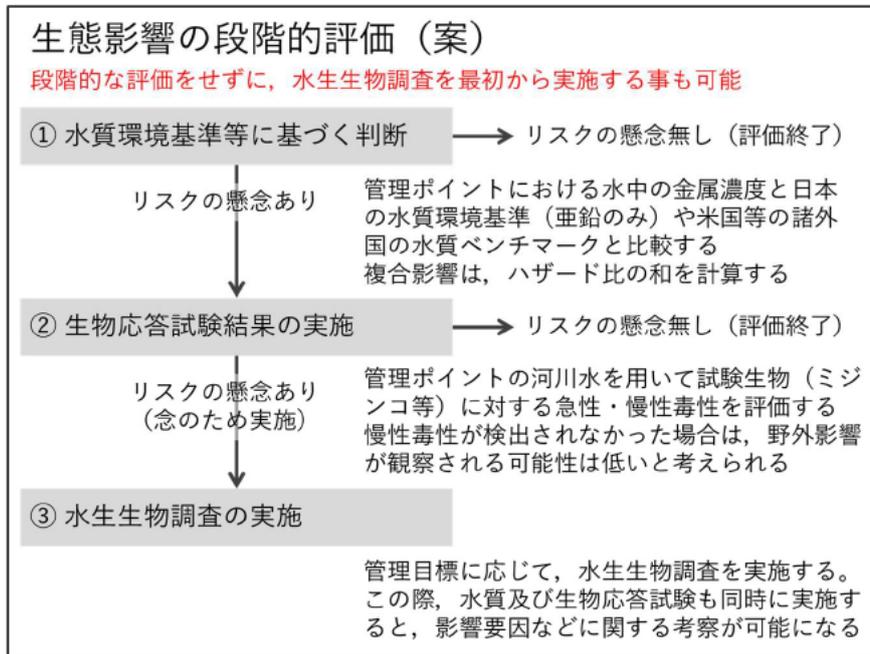


図 1-1. 生態影響の段階的評価（案）

2. 背景

- 休廃止鉱山の坑廃水処理や管理には少なくない人的・経済的コストがかかる。
- 長期的な坑廃水管理のあり方を考える上で、鉱山の性状や地域の状況に応じて、放流口での排水規制だけでなく、利水点等での管理が経済産業省を中心に検討されている
- 第5次鉱害防止事業基本方針でも、“坑水または廃水の処理の終了に向け、下流の利水点等の環境基準等を満たす鉱山では、下流影響度に関するデータ蓄積・把握を行”うことが留意事項に記載されている。
- 利水点等管理を検討する上で、坑廃水（処理水）の環境（生態系）への影響の把握と配慮が必要である
- 坑廃水（処理水）の主要な放流先である河川における生態系への影響をどのように評価するかに関するガイダンスが必要である

3. 本ガイドンスにおける生態影響評価の目的

- 本ガイドンスにおける生態影響評価は、坑廃水（処理水）が流入する河川における利水点または一定の範囲で、生態影響が予測・観測されるかを調査するものである
- 生態影響評価の結果、当該鉱山の坑廃水（処理水）の流入による生態影響に関して、対象河川（または調査対象地点）において①水質（主に金属濃度）による生物・生態系へのリスクが懸念されるかどうか、②水生生物相への影響の有無や大きさ及びその範囲、等の情報が得ることができる
- 生態影響評価の結果は、坑廃水処理等の管理方策に関する利害関係者との合意形成や管理者の意思決定における資料となることを想定している
- 本ガイドンスは、生態影響評価の考え方や調査概要を記述するものであり、利害関係者間の合意形成等を含めた利水点等管理全体の枠組みを記述するものではない

4. 生態影響評価の適用が推奨されるケース

- 生態影響評価の適用が推奨されるケースは、①利水点管理上適用が推奨されるケースと②対象流域の生態系の状況によって適用が検討されるべきケースがある
- ただし、あくまで推奨されるケースであり、これらのケースに当てはまる場合でも、生態系の利用状況や利害関係者との対話によって、生態影響評価の実施が必要でないと判断できる場合も考えられる
- 坑廃水（処理水）が下流河川の金属濃度（や負荷量）にどの程度寄与しているかや自然起源等による金属負荷がどの程度あるかについても留意する必要がある

【4章本文】

生態影響評価が必要となるケースは、大きく分けて、

1. 利水点管理上、適用が推奨されるケース
2. 対象流域の生態系の状況によって適用が検討されるべきケース

の2つに分類でき、それぞれについて後述するように細分することができる。

2019年11月現在、水生生物の保全を目的とした水質環境基準及び排水基準が設定されている唯一の金属が亜鉛である点を念頭に置くと、「1. 利水点管理上、適用が推奨されるケース」については以下の通り整理できる。ただし、当該ケースに当てはまる場合でも、下流の生態系の状況や利害関係者との対話によって、生態影響評価の実施が必要でないと判断される場合も考えられる。

■ケース 1a（排出口超過、利水点達成）

水生生物の保全に係る水質環境基準の維持・達成を目的とした排水基準が設定されてい

る亜鉛が排出口で排水基準値を超過している（またはその可能性がある）が、下流の利水点（環境基準点等）でも当該項目が水質環境基準を達成している場合。

■ケース 1b（排出口超過、利水点超過）

水生生物の保全に係る水質環境基準の維持・達成を目的とした排水基準が設定されている亜鉛が排出口（からの放流水）で基準値を超過しており（またはその可能性があり）、下流の利水点でも当該項目が水質環境基準を超過している場合。この場合、水質環境基準を超過していても、生物相は大きな影響を受けていないことも考えられる。そのため、生態影響評価を実施することで、その影響を明らかにし、専門家及び利害関係者と議論することで、より実態に即した坑廃水管理も可能になる。

次に、「2. 対象流域の生態系の状況によって適用が検討されるべきケース」についても、以下の2パターンが想定される。

■ケース 2a：水産資源や生態系サービスへの影響

放流水が流入する河川下流において、内水面漁業上資源価値の高い魚類の放流や孵化場等の施設があり、水産資源への影響が危惧される場合。あるいは何らかの観光資源の喪失など生態系サービスを損なう懸念がある場合。

■ケース 2b：生物多様性への懸念

下流の特徴的な生物相への影響が特に危惧される場合。

これらのケースの場合、保全対象は水生生物を含む生態系であり、排水基準や利水点における環境基準が達成されていても、生態影響評価の実施が検討されるべき場合が考えられる。例えば、水生生物の保全に係る水質環境基準の維持・達成を目的とした排水基準が設定されている亜鉛が排出口で基準値を達成しており、下流の利水点では水質環境基準を達成している場合でも、下流域で亜鉛を含む金属の複合曝露による生物相への影響が懸念される場合がある。

一方で、個別の水質環境基準は“維持することが望ましい水準として”これまで設定されてきており、“この数値を超える水域であっても、直ちに水生生物にある程度以上の影響を及ぼすといった性格をもつものではない”。したがって、個別の物質でみれば、水質環境基準未満では大きな影響は懸念されないと一般的には判断できる。

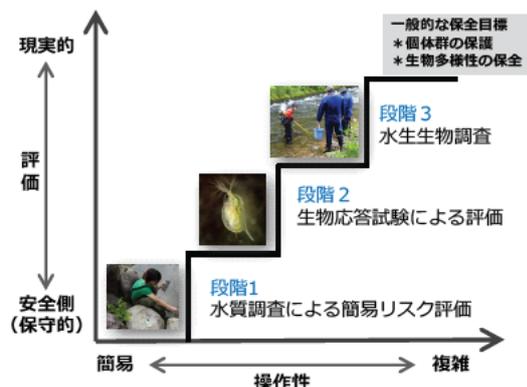
また、自然起源を含めたバックグラウンドの河川中金属負荷量（濃度と流量の積）と放流水中金属負荷量を比較し、下流の金属濃度に対する放流水の寄与に基づいて生態影響評価の必要性を判断できる場合もあると考えられる。例えば、放流先の河川の流量が多く、放流先の河川における水質及び水生生物への影響は十分に小さいと考えられる場合である。カナダの金属採鉱の環境影響モニタリングに関する技術ガイダンスには、「最終放流口から250mの場所で、放流水の割合が河川流量の1%を超える場合は、魚類調査を実施すること

が求められる」といった記述があり (Environment Canada 2012)、下流への寄与が十分に小さいことが明らかな場合は、生態影響評価は必ずしも必要ではないだろう。また、自然起源を含めたバックグラウンドの負荷量が大きく、その制御が困難な場合には、放流水が流入しても河川中の金属濃度はほとんど変化しないケースも少なからず見受けられる。そのような場合に、放流水流入後の下流で観測される影響をどのような目的で調べるか、関係者等との議論が必要であろう。

5. 生態影響評価の適用を検討する上での留意点及び重要な考え方

- 生態影響評価を実施する前に、利害関係者や専門家等が懸念するリスクや避けるべきと考える生態影響を整理・議論した上で、調査や評価内容を検討することが望ましい
- 生態影響評価における水質調査、水生生物調査、生物応答試験のそれぞれの位置づけや段階的な評価 (参考図 5-1) を理解し、評価の目的に応じて、それぞれの実施の必要性を検討する
- 生態影響の有無やそのリスクを判断する上で、坑廃水 (処理水) の影響を受けていない金属濃度の低いリファレンス地点や河川との比較が基本となる
- 水生生物の生息状況やその応答は、本来「自然のばらつき」が存在する。生態影響評価にはその点を考慮することが重要である。

任意の場における段階的生態リスク評価



1. 水質 (金属濃度) による簡易リスク評価

- 金属濃度を測定し、水質環境基準等と比較する
 - 金属等の水質測定のみで評価可能
 - 安全側の評価となる傾向 + 野外影響の予測が困難

2. 生物応答試験による評価

- 環境水の生態毒性を直接評価する
 - 環境水に含まれる物質の (総合的な) 毒性を直接評価できる (例: 経時調査で野外影響が見られたが、生物応答試験の結果に変化無し)
 - 毒性に寄与する物質の特定も可能
 - 室内で観察された毒性と野外で観察された影響との関係が不明瞭

3. 水生生物調査

- 生物調査を実施し、対照地点と比較することで影響を評価する
 - 野外で観測される生物相への影響を直接観察できる
 - 当該結果からその原因の特定等は困難

参考図 5-1. 任意の場における段階的生態リスク評価の考え方

6. 生態影響評価における調査地点の設定

- 生態影響評価における調査地点の設定に関する考え方について理解する
- 調査地点の設定は、対象流域や調査目的、対象とする水生生物等によって可変である
- 調査地点の具体例から、調査地点の設定方法について理解を深める

(以下は、6章を構成する節の案)

6.1 調査地点の設定における考え方

6.2 調査地点の具体例

7. 生態影響評価方法：水質調査

- 水質調査により、坑廃水処理水が流入する河川における金属濃度及び負荷量等を明らかにし、放流水の寄与の推定や測定濃度と水質環境基準等の比較による簡易なリスク評価が実施できる
- 水質調査の具体的な実施方法（調査項目、調査頻度や時期、調査・分析方法、結果の解釈）を理解する
- 水量や負荷量も含めた河川の酸性化や重金属汚染の実態を把握する調査方法については、『坑廃水の調査の解説書 水系調査編 JOGMEC（2017）』に詳しい。

（以下は、7章を構成する節の案）

7.1 位置づけ

7.2 調査項目

7.3 調査時期と頻度

7.4 調査・分析方法

7.5 結果の評価方法

8. 生態影響評価方法：水生生物調査

- 水生生物調査の目的は、実河川において懸念される生態影響が観測されるかを評価することである
- 河川における水生生物調査において、代表的な対象生物グループは、付着藻類、底生動物（大型無脊椎動物）、魚類であり、それぞれの特徴を理解する
- 各生物グループの調査について、具体的な実施方法（調査方法、調査頻度、時期、結果の解釈）を理解する

（以下は、8章を構成する節の案）

8.1 位置づけ

8.2 調査項目

8.3 調査方法、調査時期、頻度

8.4 結果の評価方法

9. 生態影響評価方法：環境水を用いた生物応答試験

- 環境水を用いた生物応答試験は、対象となる河川水等に含まれる複数の化学物質の総体としての毒性を直接把握することができる点が、限られた項目を測定する水質調査とは異なる利点である
- ミジンコ類を用いた生物応答試験、具体的な実施方法（調査・試験方法、時期、頻度、結果の解釈）を理解する

（以下は、9章を構成する節の案）

9.1 位置づけ

9.2 調査・試験方法、時期、頻度

9.3 結果の評価方法

10. 総合評価の考え方

- 水質調査、水生生物調査、生物応答試験の結果から、対象河川における生態影響をどのように総合的に評価するかに関する考え方を理解する。

引用文献

Environment Canada (2012) Metal mining technical guidance for environmental effects monitoring. Environment Canada, Gatineau QC, Canada.

JOGMEC (2017). 坑廃水の調査の解説書 水系調査編. 独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構.

参考資料 4

各鉱山における事例集及びアンケート結果

18 鉱山

No.1

①鉱山名		A		②鉱種	銅、鉛、亜鉛、硫化鉄	
③坑廃水処理方法		消石灰による殿物繰返し中和方式(B) 消石灰による単純中和方式(C)		④水量	2.16 m ³ /分 (B) 0.97 m ³ /分 (C)	⑤利水目的 農業用水、生活用水、工業用水
⑥利水点までの距離 (放水地点から)		14 km (B) 3 km (C)		⑦原水の排水基準値超過項目	pH、Fe、溶解性Fe	
調査期間	調査目的	工事種類	調査指導の調査結果・提言 (実施すべきこと)			
H2.9～ H3.9	新処理方法の導入及び新処理施設について	処理場	<p>(Dダム計画により水没するE設備への対応策)</p> <p>調査、検討の結果、Bへの新処理施設の建設は可能であり、かつ最善であると判断される。この場合の坑水処理施設は多目的ダムであるF湖の上流に位置し、施設のトラブルは決して許されない。そのためには、シンプルな機能で管理しやすい施設であることが望ましく、処理法等については最新技術が取り入れられるべきであり、また、Bに処理機能を集中させる事によりそれを可能にする。即ち、新処理方法の導入及び新処理施設を中心とした全体基本計画として、新処理施設について、建設場所はB地区、処理系統は2系統とし、常態として1系統を使用、増水時の一時期においてのみ2系統をフル稼働させ坑水処理に対処する。また、処理方法として、坑水は繰り返し処理を行うとともに、生成された殿物はフィルタープレスによる脱水を行いトラックでC等の堆積場まで運搬する。これにより殿物の容積が軽減され、ひいては堆積場の寿命を延す効果が期待できる。</p> <p>また、Bへの処理機能集中により、現在川沿いに敷設されC堆積場まで延長されている殿物流送パイプの維持管理が不要となる。</p> <p>(新施設の雪害対策)</p> <p>現在設置してある防雪施設を一層充実させ維持管理を適切に行うことにより万全の物となるが、処理施設へのアクセスである道路への雪崩の問題については道路管理責任の任にあり、しかるべきところで管理して戴くのが最善である。なお、今回検討した新処理施設については、あくまで概略設計であり、その主たる目的はBの敷地への新処理施設建設の可能性について検討するためであることから、詳細設計においては、設備の伸縮、配置等、ここで検討した配置等に固定するものではないと同時に、これから施設の建設時期を考えた場合、より一層の技術革新の可能性もあり、詳細設計時にそれら新技術の導入を図る事は必要である。</p> <p>また今後、経年変化によりG沢流末水の水質の改善が期待でき、この処理が不要となれば処理水量の一層の低減が期待できる。</p>			
H24.4	1.底設暗渠浸透孔機能保全策等の提案 2.計画中の鉱害防止貯水槽に求められる水質改善機能等の提案	処理場	<p>1.底設暗渠浸透孔機能保全策等の提案</p> <p>①未処理廃水流出および陥没事象の発生を許容しない対処方策(かん止堤上下流面をシートやアスファルトなどの遮水材料で覆い、かつ地山側からの地下水を遮断するための遮水壁を設けるなど)は、高価であり、その効果は大きいとはいえ廃水処理をせず直接放流する状態まで現状を改善することは出来ないと考えられ、不適切な対策と考える。</p> <p>②許容する対処方策は、対象事象は限定的であるが、許容しない対処方策に比べ安価であり、効果や実現性も高いと考えられる。対策としては、原水槽への細砂流入抑制のための沈殿槽の設置、底設暗渠内へ細砂流入を防止するために浸透孔内に設置している多孔管の機能強化、H川へ流出させないための貯水槽の設置が考えられる。</p> <p>2.計画中の鉱害防止貯水槽に求められる水質改善機能等の提案</p> <p>貯水槽に貯めた原水の処理方策を以下の3案について検討した。</p> <p>①C堆積場処理施設を利用して処理 ②貯留槽を利用した簡易なシステムによる処理 ③殿物の発生を抑えた新たな方式による処理</p> <p>評価結果より、C堆積場処理施設を利用することにより、安定した処理が可能で費用的に有利となると考えられるが、貯水槽から中継槽間の送水管およびポンプ新設という初期投資が必要となる。</p>			

	質問	回答
その後の状況 (アンケート 結果)	1. 提言された内容を全て実施したか	H2.9～H3.9：選択して実施した H24.4：選択して実施した
	2. 提言について実施できなかった理由	H2.9～H3.9：当時の資料が見当たらず提言の詳細がわからないため、明確ではないが、実施状況はアンケートのその後の状況に記載されている内容のとおりである。 H24.4：選択して実施したコスト面や工事が難しい場所であることから、実施できていないものが多いが、今後の実施に向けて引き続き検討していく。
	3. 実際に対策工事を実施した際、問題や不具合等困ったこと	H2.9～H3.9：不明 H24.4：不明
	4. 困った内容	-
	5. 対策工事の目標達成率	H2.9～H3.9：達成できた H24.4：達成できた
	6. 達成できなかった場合、その理由	-
	7. 対策工事直後から改善すべき点	H2.9～H3.9：あり H24.4：あり
	8. 改善が必要な場合の場所及び内容	H2.9～H3.9： ①施設の老朽化が進んでおり、改修が必要な場所が増えているが、場所が取れないなどの物理的、技術的問題があるほか、大規模改修には時間や費用が掛かるため難しい。 ②工事が難しい場所に立地しており、工事を入札に掛けても、落札者がいないなどの課題がある。 H24.4：H2.9～H3.9と同様

No. 2

①鉱山名	I		②鉱種	金、銀、銅、鉛、亜鉛、硫化鉄	
③坑廃水処理方法	中和処理（消石灰）		④水量	0.49 m ³ / 分	⑤利水目的 漁業を行っている湾へ流入
⑥利水点までの距離（放水地点から）	2.0 km		⑦原水の排水基準値超過項目	pH、Pb、Fe	
調査期間	調査目的	工事種類	調査指導の調査結果・提言（実施すべきこと）		
S60～ H1	①中和処理施設と処理方法の改善	処理場	沈殿池による沈殿の分離、沈殿池の浚渫及び再利用のため、フィルタープレス及び中和沈殿新方式を採用する。		
	②沈殿池の容量限度に伴う中和殿物の処理方法		坑水処理により新たに沈殿池に堆積する沈殿物量は360m ³ /月。（昭和60年1月～昭和63年3月実績平均） 最近では、脱水装置としてフィルタープレスを組込む坑廃水処理施設が一般的となっており、発生殿物の水分低下と減容を達成して、埋立処分場の供用期間の延長を図っているため、この方向に沿って検討を進めることが適当である。		
その後の状況 （アンケート結果）	質問		回答		
	1. 提言された内容を全て実施したか		目的①：全て実施した 目的②：選択して実施した		
	2. 提言について実施できなかった理由		目的①：当時の資料が見当たらず提言の詳細がわからないため明確ではないが、アンケート票の調査結果抜粋に記載されている内容は全て実施している。 目的②：コスト面や工事が難しい場所であることから、実施できていないものが多いが、今後の実施に向けて引き続き検討していく。		
	3. 実際に対策工事を実施した際、問題や不具合等困ったこと		目的①：不明 目的②：不明		
	4. 困った内容		-		
	5. 対策工事の目標達成率		目的①：達成できた 目的②：達成できた		
	6. 達成できなかった場合、その理由		-		
	7. 対策工事直後から改善すべき点		目的①：あり 目的②：あり		
8. 改善が必要な場合の場所及び内容		目的①：施設の老朽化が進んでおり、改修が必要な場所が増えているが、大規模改修には時間や費用が掛かるため難しい。 目的②：①と同様			

No. 3

①鉱山名	J		②鉱種	金、銀、銅、鉛、亜鉛、硫化鉄		
③坑廃水処理方法	中和処理（消石灰、凝集剤）		④水量	0.11 m ³ / 分	⑤利水目的	農業用水
⑥利水点までの距離（放水地点から）		0.9 km		⑦原水の排水基準値超過項目	pH、Fe、Zn	
調査期間	調査目的	工事種類	調査指導の調査結果・提言（実施すべきこと）			
H5	諸種鉱害防止工事 （昭和46年～昭和53年実施）効果の調査および鉱害防止対策	処理場	<p>諸種鉱害防止工事より坑内水の排水量が150～300 L/minと少なく、その下流の利水点の水質が環境基準値を満たし実害は出ていないが、下記の3案が考えられる。</p> <p>1.沈殿池の設置 利水点より下流域に沈殿池を設け、ここまで第3坑坑内水及び沈殿池下湧水を導水し、沈殿池で重金属を沈降させ溢流水を放流する。</p> <p>2.坑道耐圧閉塞 第2坑及び第3坑の閉塞プラグは坑口に近すぎるので第2坑及び第3坑の閉塞プラグを現在の位置よりさらに奥に打設する。</p> <p>3.坑廃水中和処理 第3坑坑内水及び沈殿池下湧水を中和処理する。 （その他の対策）</p> <p>1.第3坑ズリ堆積場で認められる裸地跡の覆土植栽をする。また、法尻下に黄褐色の殿物流出跡が認められたので場内排水路を整備する。 2.第3坑坑口からK谷流末間の水路に黄褐色の殿物が多量に堆積しているので掃除する。</p>			
その後の状況 （アンケート結果）	質問		回答			
	1. 提言された内容を全て実施したか		当時の資料なし			
	2. 提言について実施できなかった理由		当時の資料なし			
	3. 実際に対策工事を実施した際、問題や不具合等困ったこと		当時の資料なし			
	4. 困った内容		当時の資料なし			
	5. 対策工事の目標達成率		当時の資料なし			
	6. 達成できなかった場合、その理由		当時の資料なし			
	7. 対策工事直後から改善すべき点		当時の資料なし			
8. 改善が必要な場合の場所及び内容		施設の老朽化が進んでおり、現在の設備は排水量から考えると、規模が大きすぎるという意見もあり、施設の縮小も考えつつ、今後の設備更新についてどの程度の規模で実施するのか検討しなければならない。				

No. 4

①鉱山名	L		②鉱種	銅、硫化鉄		
③坑廃水処理方法	中和処理（消石灰）		④水量	0.21 m ³ / 分	⑤利水目的	農業用水
⑥利水点までの距離（放水地点から）		2.6 km	⑦原水の排水基準値超過項目		pH、Fe、溶解性Fe	
調査期間	調査目的	工事種類	調査指導の調査結果・提言（実施すべきこと）			
H7.7～ H7.12	坑廃水処理の有無（一坑下沢湧水、大切坑下沢湧水及びスライム堆積場底設暗渠からの浸透水）	処理場	<p>各湧水と浸透水の水質とM川に対する負荷量を調査し、以下のような鉱害防止対策が必要と判断した。</p> <p>1.一坑下沢湧水及び大切坑湧水について これらの湧水は、Cu濃度が時々高くなるが、その他の重金属T・Fe・Zn及びCdの濃度は低い値である。 また、水量が少ないのでM川に対する負荷量は10%前後と低く、豊水期においても湧水期においても水質が安定しているため、坑廃水処理をする必要はないと判断される。</p> <p>2.スライム堆積場底設暗渠浸透水について この浸透水は、T・Fe濃度が常に高いので坑廃水処理する必要がある。坑廃水処理の一つの方法として、底設暗渠吐出口の直下にコンクリート溜槽を設け、そこに水中ポンプを設置して上流にある原水槽に送水し、既設の処理系統で処理する方法が考えられる。</p>			
H9.6～ H9.12	中和処理施設の適正化調査	処理場	<p>1.消石灰フィーダの増強 → 現行消石灰フィーダの添加能力は最大70kg/hrであり、処理能力を決定する試験時の水質を用いれば最大処理水量は1.3m³/minとなる。流量の観測では、平成7年度に開始して、以来3年間で、少なくとも数回について最大処理水量を越えている。また、流量が増加するに伴い水質も悪化するため、最大処理水量は1.3m³/minより少なくなる。水質的に見ても、消石灰フィーダの添加能力を超える事態が発生したことは明らかと思われる。 よって、消石灰フィーダは増強する必要がある。今調査により、最大処理水量および水質の確認はできなかったが、処理能力は、当初調査設計及び他設備とのバランスを考慮して3m³/minとすることが望ましい。</p> <p>2.処理原水の水量及び水質の把握 → 平成6年度に導水管が完成して以来、坑内水の全量が中和処理設備まで導水可能になった。これまでに幾度か処理能力を超える事態が発生しており、主に消石灰フィーダの能力不足であると思われるが、実際の最大流出量及び水質は依然として不明のままである。最大処理水量を決定するには、水量及び水質の継続的な測定が必要になる。本鉱山では、処理原水量が増加するに従い水質が悪化するため、水量・水質双方の把握が必要不可欠である。今年度調査では、増水時の水質を得るため定期的にまた増水時(流出量=300L/minを超えた時)の処理原水について分析を行ったが、結果的に流量が300L/minを超えたのは2回だけであった。そのため、最大処理水量を検討するためにも増水時の流量測定及び水質分析を続けることが必要と思われる。</p> <p>3.その他設備の能力及び維持・管理 現行中和槽について、処理能力は2m³/min対応であり、他設備と比較して劣っている。しかし、実際に2m³/minを上回る流量は、これまで観測されていない。しかも、中和槽において水質は処理能力に影響しないので、水質が悪化しても消石灰フィーダと異なり最大処理水量に変化はない。中和槽の処理能力については、消石灰フィーダと同様に3m³/min対応とすることが望ましいと考えられるが、上記の理由から、その増設については水量の観測を続けることにより決定すべきである。 本年度調査時、導水管が詰まったために全流量が捕捉できない状況が見られた。現在、大切坑前の導水管は地中に埋設してあるため、一旦通水が滞ると復旧するのが困難である。全量導水し、流量を把握するためにも、導水路等の維持・管理は大切と思われる。現状の消石灰フィーダは消石灰の固結等が発生するため、投入口のカバーを取り外してあり、</p>			

	質問	回答
その後の状況 (アンケート 結果)	1. 提言された内容を全て実施したか	H7.7～H7.12：全て実施した H9.6～H9.12：全て実施した
	2. 提言について実施できなかった理由	-
	3. 実際に対策工事を実施した際、問題や不具合等困ったこと	H7.7～H7.12：なし H9.6～H9.12：なし
	4. 困った内容	-
	5. 対策工事の目標達成率	H7.7～H7.12：達成できた H9.6～H9.12：達成できた
	6. 達成できなかった場合、その理由	-
	7. 対策工事直後から改善すべき点	H7.7～H7.12：なし H9.6～H9.12：なし
	8. 改善が必要な場合の場所及び内容	-

No. 5

①鉱山名		N		②鉱種	錫、銅、鉛、亜鉛、硫化鉄	
③坑廃水処理方法		二段階中和処理		④水量	0.43 m ³ / 分	⑤利水目的 農業用水
⑥利水点までの距離(放水地点から)		12 km		⑦原水の排水基準値超過項目	pH、Zn	
調査期間	調査目的	工事種類	調査指導の調査結果・提言(実施すべきこと)			
H6.7～ H6.10	坑廃水原水の 現状水質調査	環境調査	<p>(坑廃水の水質推移)</p> <p>1.総合原水 pHは常時、排水基準値を満たしていない。Cd、Pb、As及びCuの濃度は季節変動があるものの、昭和63年度から現在まで排水基準値以下である。ZnとFeの濃度は季節変動により、時々排水基準値を越え、特に7-9月間の降雨期に排水基準値を超えることが多い。 → 7月26日、27日の両日採水したが、いずれもpHが排水基準をみただけで各重金属濃度は排水基準値以下であった。</p> <p>2.坑内水 pHは季節変動し、7-9月にかけて排水基準を満たさない時があるが、Cd、Pb、As及びCuの濃度は昭和63年度以降、排水基準値以下である。Zn濃度は7-9月に排水基準値を超えることがあるが、その他はほとんど排水基準値以下である。Fe濃度は季節変動を繰り返しながら減水傾向を示しているが、常時排水基準値以上である。</p> <p>3.第2ダム暗渠水 Cd、Pb、As及びCuの濃度は、昭和63年度以降排水基準値以下である。Cu濃度は季節変動をしながら減衰傾向をしていますが、その他の金属には濃度の減衰傾向は認められない。Zn、Feの濃度は平成2年度以降は排水基準値以下である。従って、第2ダム暗渠水は、pHが時々排水基準を満たしていないだけである。</p> <p>4.第2ダム湧水 この湧水の水質は第2堆積場の法尻付近から湧出している第2ダム湧水No.1とそこから約100m下流のO川左岸から湧出している第2ダム湧水No.2の混合水の水質であるが、調査時は第2ダム湧水No.1の湧出は認められなかった。Cd、As及びCu濃度は、昭和63年度以降、排水基準値以下であるが、Pb濃度が時々排水基準値以上になる。 Fe濃度は平成2年度以降は排水基準値を満たしているがpH及びZn濃度はほとんど常時排水基準を満たしていない。</p> <p>(坑廃水中和処理系統の改善策)</p> <p>1.硫酸逆中和工程(第2次中和槽)の廃止 ①第2次中和槽のpH9.5→pH8.3程度で管理改善 ②第2次中和工程廃止→硫酸が不必要、消石灰使用量減少 ③排水基準を満たしているか現地試験が必要</p> <p>2.第2ダム系湧水の導水経路改善 第2ダム系の導水経路をP川に沿った道路沿いに布設替えすると、巡回も容易になり、高圧ポンプの修繕費が軽減される。</p>			
その後の状況 (アンケート 結果)	質問		回答			
	1. 提言された内容を全て実施したか		全てできなかった			
	2. 提言について実施できなかった理由		当時の資料がないため、当時の実施しなかった理由に関しては不明。 硫酸による逆中和に関しては、pHを一旦高くし、坑廃水中に存在する重金属を水酸化物とし、沈降処理するための固液分離を行っているため、現在も実施している。 導水経路の布設替えについては、検討した時期があったが、その他の優先すべき工事があったことから、実施にはいたっていない。			
	3. 実際に対策工事を実施した際、問題や不具合等困ったこと		なし			
	4. 困った内容		-			
	5. 対策工事の目標達成率		概ね達成できた			
	6. 達成できなかった場合、その理由		-			
	7. 対策工事直後から改善すべき点		あり			
8. 改善が必要な場合の場所及び内容		①施設全体について、現在の改善してきた坑廃水の水質を勘案して、適切な規模への更新。 ②老朽化した施設の計画的な更新。 ③パッシブトリートメントの導入。				

No. 6

①鉱山名		Q		②鉱種	金、銀、銅、鉛、硫化鉄鉱		
③坑廃水処理方法		中和処理（消石灰）		④水量	0.18 m ³ / 分	⑤利水目的	農業用水、生活用水、防火用水
⑥利水点までの距離（放水地点から）		0.9 km（最上流地点）		⑦原水の排水基準値超過項目		pH、Cu、Zn、Cd、溶解性Fe、As	
調査期間	調査目的	工事種類	調査指導の調査結果・提言（実施すべきこと）				
H13.5～ H16.1	施設改修の策 定	処理場	<p>（老朽化診断に基づく施設の補修・更新）</p> <p>①中和攪拌槽 → 容積が2割程度小さくなっており、本来の機能を維持したまま内部に付着した石膏を除去するのは不可能な状況にある。</p> <p>②凝集反応槽 → 内部が石膏に覆われ放棄されている状況にある。現在、凝集剤が送液樋に直接投入されており十分混合できない状態にある。これが原因でSS濃度も時折高い状態にある。</p> <p>③脱水機 → 濾板から圧入した殿物スラッジが噴出する事故や配管が腐蝕により穴が開くなど不具合が頻発している。現在は、フィルタープレスを使用しているが、他の脱水機の利用も含めた検討を行う必要がある。</p> <p>④各種配線 → 何時漏電してもおかしくない状況にある配線もあり、全体的に交換が必要である。特に中和攪拌槽中央部の攪拌機の配線は腐蝕によりむき出しの状態に石膏に覆われており、元の状態がわからないほど変形している。</p> <p>⑤送液樋 → 送液樋についてはシクナー側に漏水箇所を確認している。送液樋の底は2層構造になっているので漏水していても確認できない箇所もあると思われる。</p>				
H20.10～ H21.12	1.現状設備で のスケール （石膏）付着 低減方法の検 討 2.原水の水量 水質改善方法 の検討	処理場	<p>石膏付着防止対策を検討するために、平成20～21年度に実態調査及び各種確認試験を実施した。調査及び試験の結果から前項で示したように、原水の硫酸イオン濃度を低下させることが石膏対策として最も効果的であることが判明した。なお、硫酸イオン濃度を低下させる手段として、河川水を導入して原水を希釈させることが効果的と考えられる。</p> <p>また、空気攪拌を停止しても処理に影響がないことが試験で確認されており、もし実機で検証されれば、石膏付着による頻繁な除去作業を余儀なくされている散気管を撤去できる。あわせて、当処理施設の電力費の削減に大きく寄与することとなる。さらに、中和pHの安定化による石膏付着低減効果も認められており、処理水の水質安定を図るためにも中和pHの安定化は運転管理上有効な対策と考えられる。</p> <p>以上、石膏の析出・付着を低減させるための対策案は以下のとおり。（順番は優先度順）</p> <p>1.対策案：河川水による原水希釈(原水の硫酸イオン濃度の低下) 効果等：確実に石膏の析出が抑制され、ろ布の交換頻度、中和槽、送液樋、シクナーの清掃頻度を低下できる。なお、中和槽滞留時間の減少、シクナー水面積負荷の増加などがあるが試験により中和処理に問題が無いことが確認された。2倍希釈の場合に、殿物発生量（wet、dry 共に）が少なくなることが分かった。 問題点等：希釈水の水源確保、水利権の問題、ポンプの電力代発生、シクナー水面積負荷の増加</p> <p>2.対策案：空気攪拌の防止(石膏付着設備の撤去と省エネ化) 効果等：比較的対応が簡便であり、散気管への石膏付着問題が解消される。また、全国的に電力原単位が高い当処理施設の電力費の削減につながる。 問題点：空気攪拌の停止に伴う殿物の沈積の有無を実機で確認する必要がある。原水のFe²⁺濃度を定期的に測定する必要有。</p> <p>3.対策案:中和pHの安定化(処理の安定化) 効果等：中和pHの安定化により、殿物内の石膏含有量の低減効果は僅かだが、中和槽とシクナーへの石膏付着量は改善されると考えられる。処理水水質の安定化に繋がるため、運転管理上有効な対策と考えられる。</p> <p>4.対策案：脱水ろ液のシクナー返送(シクナー溢流槽経由で放流)効果等：上記1、2、3の対策が現場において、困難又は不十分な場合における次善策として考えられる。 問題点等：ポンプの電力代発生</p>				
H26.4～ H27.3	処理場全面更 新	処理場	<p>（処理施設更新に向けた今後の検討）</p> <p>基礎試験及び現場試験（殿物繰返し試験）の結果、中和剤としてはこれまでどおり消石灰を使用することが望ましいと考えられる。また、消石灰による単純中和では、発生殿物の濾過速度が遅く脱水ケーキ量も多いが、殿物繰返し中和により濾過速度の改善、脱水ケーキ量の減少が期待できる結果となった。処理原水の希釈については、希釈の有無でメリット、デメリットがあることが明らかとなり、今後の詳細検討が必要であると考えられる。</p> <p>今後は、「処理原水」及び「希釈処理原水」について、連続での繰返し中和試験を行い、石膏析出抑制、殿物沈降性悪化防止、脱水性改善の条件を整えると共にコスト面での優位性を明らかにすることにより、処理方法を決定することが望ましいと考えられる。</p>				

	質問	回答
その後の状況 (アンケート 結果)	1. 提言された内容を全て実施したか	H13.5～H16.1：選択して実施した H20.10～H21.12：選択して実施した H26.4～H27.3：全てできなかった
	2. 提言について実施できなかった理由	H13.5～H16.1：①コスト面で実施していない ②現在不具合がない ③今年度、来年度で更新 調査から15年が経過したため、施設の老朽度を再調査中。その結果も踏まえ、未実施分も検討する。 H20.10～H21.12：①水利権の関係で実施していない②空気攪拌の中止により、中和攪拌槽への澱物の沈積が懸念される。空気攪拌による電気代低減効果と石膏付着量の増加による処理経費の増加を天秤にかけるには年単位の実験を必要とするため ③現状でもpH6.5付近で安定しているため H26.4～H27.3：施設の更新にあたっては、調査結果を踏まえた内容とするつもりでいるが、具体的な更新スケジュールの立案に至っていない 今年度実施の施設の機能診断結果をみて、施設更新がもっともコスト的に有利であると判断された場合は活用見込み
	3. 実際に対策工事を実施した際、問題や不具合等困ったこと	H13.5～H16.1：なし H20.10～H21.12：なし H26.4～H27.3：なし
	4. 困った内容	-
	5. 対策工事の目標達成率	H13.5～H16.1：概ね達成できた H20.10～H21.12：達成できた H26.4～H27.3：その他
	6. 達成できなかった場合、その理由	H13.5～H16.1：- H20.10～H21.12：- H26.4～H27.3：未実施
	7. 対策工事直後から改善すべき点	H13.5～H16.1：なし H20.10～H21.12：なし H26.4～H27.3：その他
	8. 改善が必要な場合の場所及び内容	H13.5～H16.1：- H20.10～H21.12：- H26.4～H27.3：未実施

No. 7

①鉱山名		R		②鉱種	銅		
③坑廃水処理方法		石灰中和方式		④水量	0.05 m ³ / 分		
⑥利水点までの距離 (放水地点から)		0.3km (農業用取水堰まで)		⑦原水の排水基準値超過項目	pH、Cu、Zn		
調査期間	調査目的	工事種類	調査指導の調査結果・提言 (実施すべきこと)				
H9.4～ H10.6	坑廃水処理施設の老朽化が著しく、維持管理に不具合が生じている	処理場	<p>1.処理設備は屋外に設置されているため、装置の腐食等が著しく、目視による診断を行ったが老朽化している設備も多々見られ、処理設備の能力及び老朽化の面から一部改修を含めた更新の時期に来ている。更新にあたっては発生坑廃水の適正処理量の再検討を行うとともに、発生量の少ない処理法とする必要がある。</p> <p>2.最適条件における室内試験では発生量物はキレート法、中和法いずれの場合でも大きな差異は認められない。しかしながら、今回の室内試験はあくまでバッチ試験であるので、処理方法の採用に当たっては現場連続試験を行い、配置、設置コスト、処理コスト、操作性等の比較を行い、総合的に検討しなければならない。</p> <p>3.現キレート法を継続するのであれば、設備の整備はもちろんのこと、坑廃水の適正処理量に対応できる設備にしなければならない。設備の設置に際しては、次の項目を念頭に置いて検討しなければならない。</p> <p>①処理設備は屋内設置型を検討する ②設備の自動化、省力化、遠隔監視システム等を考慮して、操作性、安全性を検討する ③貯水施設の新規設置を検討する必要がある</p> <p>4.キレート法の設備はコンパクトになるが、再生作業に追われ、管理業務に十分な時間がとれなくなること、再生作業等による薬剤のコストアップ及び労力の増加等を考慮すれば、現有設備の一部改良によって中和処理が可能になるとともに次の利点が考えられるので最適中和法を採用することの可能性を検討する必要がある。</p> <p>①処理原水の変動に薬剤注入により柔軟に対応可能である ②処理操作が容易であり、プロセスの自動化が図られ、設備の維持管理が容易にできる</p> <p>5.カラミ浸透水についてはR川への白色の沈殿物の析出、大雨時の大量の湧水等が問題となるため、カラミ堆積場への降水の流入防止、流入した場合には速やかに排出できる対応策、発生源対策としての掘削等も検討する必要がある。しかしながら、カラミ堆積場に関する具体的な資料は乏しいため、ボーリング等によりカラミ、旧坑口の存在等の地下情報の入手、降水量と地下水の関係等を予め十分調査する必要がある。</p> <p>(以上より、次の事項を留意して調査を実施する必要がある)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大雨時を含めた降水量と坑内水等の関係を把握しなければならない ・大雨時の対応設備として、一時的に貯水可能なプールの設置や大切坑の湛水化も検討する必要がある ・カラミ浸透水対策としてカラミ堆積場に関する情報収集のため、ボーリング調査等によるカラミ、旧坑口の存在等の地下情報の入手、降水量と地下水位の関係等を予め把握しておく必要がある ・適正処理量の再検討が必要である ・今回の試験は一過性の室内試験に過ぎず、設計のためには現地連続中規模試験等を実施の上、データ取得に務めなければならない。 ・設備の維持管理及び操作性を考慮したプロセスを検討しなければならない。 				
その後の状況 (アンケート結果)	質問		回答				
	1. 提言された内容を全て実施したか		選択して実施した				
	2. 提言について実施できなかった理由		カラミ堆積場の調査、浸透水対策についての提言を受けたが、現在は樹木が林立しており調査範囲が明確に特定できず、調査が困難なため容量1,100m ³ の貯水槽 (最大処理能力で約2日分の貯水が可能、平均処理量21日間分に相当)を設置して対応した。				
	3. 実際に対策工事を実施した際、問題や不具合等困ったこと		なし				
	4. 困った内容		-				
	5. 対策工事の目標達成率		達成できた				
	6. 達成できなかった場合、その理由		-				
	7. 対策工事直後から改善すべき点		なし				
	8. 改善が必要な場合の場所及び内容		-				

No. 8

①鉱山名		S		②鉱種		金、銀、銅、硫化鉄	
③坑廃水処理方法		石灰中和方式		④水量		0.008 m ³ / 分	
⑤利水目的		農業、上水道で使用		⑥利水点までの距離 (放水地点から)		農業用溜池へ直接放流	
⑦原水の排水基準値超過項目		Cu、Zn					
調査期間	調査目的	工事種類	調査指導の調査結果・提言 (実施すべきこと)				
H9.4～ H10.6	坑廃水処理施設の老朽化が著しく、維持管理に不具合が生じている	処理場	<p>1.処理設備は屋外に設置されているため、装置の腐食等が著しく、目視による診断を行ったが老朽化している設備も多々見られ、処理設備の能力及び老朽化の面から一部改修を含めた更新の時期に来ている。更新にあたっては発生坑廃水の適正処理水量の再検討を行うとともに、発生量が少ない処理法とする必要がある。</p> <p>2.最適条件における室内試験では発生量物はキレート法、中和法いずれの場合でも大きな差異は認められない。しかしながら、今回の室内試験はあくまでバッチ試験であるので、処理方法の採用に当たっては現場連続試験を行い、配置、設置コスト、処理コスト、操作性等の比較を行い、総合的に検討しなければならない。</p> <p>3.現キレート法を継続するのであれば、設備の整備はもちろんのこと、坑廃水の適正処理量に対応できる設備にしなければならない。設備の設置に際しては、次の項目を念頭に置いて検討しなければならない。</p> <p>①処理設備は屋内設置型を検討する ②設備の自動化、省力化、遠隔監視システム等を考慮して、操作性、安全性を検討する ③貯水施設の新規設置を検討する必要がある</p> <p>4.キレート法の設備はコンパクトになるが、再生作業に追われ、管理業務に十分な時間がとれなくなること、再生作業等による薬剤のコストアップ及び労力の増加等を考慮すれば、現有設備の一部改良によって中和処理が可能になるとともに次の利点が考えられるので最適中和法を採用することの可能性を検討する必要がある。</p> <p>①処理原水の変動に薬剤注入により柔軟に対応可能である ②処理操作が容易であり、プロセスの自動化が図られ、設備の維持管理が容易にできる</p> <p>(以上より、次の事項を留意して調査を実施する必要がある)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大雨時を含めた降水量と坑内水等の関係を把握しなければならない ・大雨時の対応設備として、一時的に貯水可能なプールの設置等を検討する必要がある ・適正処理水量の再検討が必要である ・今回の試験は一過性の室内試験に過ぎず、設計のためには現地連続中有規模試験等を実施の上、データ取得に務めなければならない。 ・設備の維持管理及び操作性を考慮したプロセスを検討しなければならない 				
その後の状況 (アンケート結果)	質問		回答				
	1. 提言された内容を全て実施したか		選択して実施した				
	2. 提言について実施できなかった理由		大雨等の対応策として貯水槽設置の提言を受けたが、降雨時の原水量に大きな変化はなく、原水槽に120m ³ の容量があり最大処理能力で約3日分の貯水が可能(平均処理量約10日間分に相当)なため実施しなかった。				
	3. 実際に対策工事を実施した際、問題や不具合等困ったこと		なし				
	4. 困った内容		-				
	5. 対策工事の目標達成率		達成できた				
	6. 達成できなかった場合、その理由		-				
	7. 対策工事直後から改善すべき点		なし				
8. 改善が必要な場合の場所及び内容		-					

No. 9

①鉱山名		T		②鉱種		銀、鉛、亜鉛、硫化鉄、錫、ひ鉱	
③坑廃水処理方法		中和処理		④水量		0.289 m ³ / 分	
⑤利水目的		都市用水等で使用		⑥利水点までの距離 (放水地点から)		0.3 km	
⑦原水の排水基準値超過項目		As、Pb		調査指導の調査結果・提言 (実施すべきこと)			
調査期間	調査目的	工事種類					
S63～ H2	<ul style="list-style-type: none"> ・坑水処理施設の老朽化対策 ・施設の適正配置等による省力化対策 ・その他改善対策 	処理場	<p>1.沈殿池の汚泥の浚渫作業 → 現在の沈殿池に替えて連続式シックナーその他の適当な機械かき寄せ機をついた沈降分離槽を導入するとともに、フィルタープレスを更新して自動化を図る等、処理システムを整備する。また、水中ポンプの移動を容易に行えるように沈殿池の改造、維持管理手法の改善を行う。</p> <p>2.消石灰を貯槽へ装填する作業 → 空気流送システムの採用及び軽量自動化などの方法を採用する。</p> <p>3.移動距離が不自然に長い運転管理作業 → 脱水設備を更新し、揚水の際の作業性は改善される。</p> <p>4.中和後坑内水の曝気 → 坑内水に溶解している第1鉄イオンは、アルカリを添加することによって水酸化鉄として沈殿し、除去されるが、曝気を加えると第1鉄から第2鉄への酸化が促進されて、より効率的に行われる。</p> <p>5.坑水処理施設の改善対策 → 脱水設備の設置位置の変更、沈殿池の改善と浚渫方法の変更、中和槽の改修整備、中和槽→沈殿池間の導水路の整備、石灰装填方式の変更等</p> <p>6.坑水処理原水の水量の平準化対策 → 坑内の空洞を利用して、坑内水を一時的貯留して処理原水の水量を平準化することにより、坑水処理施設の効率的な運用を図る。これに伴い、坑内の取り明け調査及び地表の精査等を行う必要がある。</p>				
その後の状況 (アンケート結果)	質問		回答				
	1. 提言された内容を全て実施したか		不明				
	2. 提言について実施できなかった理由		-				
	3. 実際に対策工事を実施した際、問題や不具合等困ったこと		-				
	4. 困った内容		-				
	5. 対策工事の目標達成率		-				
	6. 達成できなかった場合、その理由		-				
	7. 対策工事直後から改善すべき点		-				
8. 改善が必要な場合の場所及び内容		-					

No. 10

①鉱山名	U		②鉱種	金、銀、銅、砒素、亜鉛、鉛、錫		
③坑廃水処理方法	坑廃水処理施設なし		④水量	7.75 m ³ / 分	⑤利水目的	農業で使用
⑥利水点までの距離 (放水地点から)	0.4 km		⑦原水の排水基準値超過項目	As		
調査期間	調査目的	工事種類	調査指導の調査結果・提言 (実施すべきこと)			
S59.2～ S63.8	適正な処置と 今後の取組に ついて	環境調査	<p>1.利水点及びU川流末の水質改善の基本方針</p> <p>今回の調査の結果、渇水期においてV用利水点及びW用利水点で、ヒ素濃度が環境基準を超えることがわかった。V用利水点の上流には、ヒ素濃度の高いものとして、大切坑関係水、6号沢沢水及び3号地浸透水等があることがわかった。このうち大切坑関係水については、V用利水点に対する負荷割合が約56%と大きい。したがって大切坑関係水の水質を改善することにより、V用利水点の水質が改善されると思われるので、大切坑坑内水を処置することが望ましい。大切坑の坑内には鉱山区域以外の広い範囲から集水され、汚染されないまま湧出している坑内水が存在する可能性があるため、大切坑坑内水の処置にあたっては、湧水の状況及び岩盤状況を確認するため大切坑の取明け調査を行うことが望ましい。6号沢沢水及び3号地浸透水については、ヒ素濃度は高いが水量が少ないので、下流に対する影響は微小であろう。W用利水点では、V用利水点の水質が改善されれば、W用利水点の水質も改善される。</p> <p>2.堆積場等の対策の基本方針</p> <p>今回の調査で採取した試料の溶出試験の結果、1号地、3号地、5号地及び6号地の一部に、ヒ素の値が産業廃棄物埋立ての方法を決定する判定基準 (1.5mg/L) を超える土壌等が存在することがわかった。しかし、採取した試料は、例えば亜硫酸製造の窯跡の土壌あるいは焼滓を、他の資料と比較するために採取箇所を限定して意識的に採取したものであるため、この結果をもって当該堆積場全体が1.5mg/Lを超えるものと判断するのは早計である。したがって堆積場については、再度試料を採取し、分布状況を精密に調査して、その結果に基づき対策工事を行うことが望ましい。3号地の護岸崩壊箇所及び対岸の民家敷地の河岸側については、増水時等に土壌が流出する恐れがあり、護岸工事を行い、土壌の流出を防止することが望ましい。堆積場の一部にみられる裸地については、現在でも植生が進行中であるが、覆土等によってこれを促進することが望ましい。</p>			
その後の状況 (アンケート 結果)	質問		回答			
	1. 提言された内容を全て実施したか		全て実施した			
	2. 提言について実施できなかった理由		-			
	3. 実際に対策工事を実施した際、問題や不具合等困ったこと		なし			
	4. 困った内容		-			
	5. 対策工事の目標達成率		概ね達成できた			
	6. 達成できなかった場合、その理由		-			
	7. 対策工事直後から改善すべき点		なし			
8. 改善が必要な場合の場所及び内容		-				

No. 11

①鉱山名	X		②鉱種	金、銀		
③坑廃水処理方法	無処理放流		④水量	不明	⑤利水目的	農業及び飲料用上水道用水で使用
⑥利水点までの距離(放水地点から)		処理施設なし		⑦原水の排水基準値超過項目	As	
調査期間	調査目的	工事種類	調査指導の調査結果・提言(実施すべきこと)			
H11.3~ H12.10	坑廃水対策	発生源対策	<p>調査結果から、Y市水源におけるAsの負荷量に最もおおきな影響を与えているものは、X鉱山第1い堰から上流川約210m間のZ川河床及び左岸川の護岸からの湧水であり、発生源対策工事の検討は以下のとおり。</p> <p>1.河床湧水箇所への対策 AA川では一部3面張りが行われているが、Z川へ流入する付近の河床底は工事がなされていない。合流地点付近では他の箇所より湧水が多いと推測されるので、地表から直接の工事施工が困難な場合は、傾斜ボーリングなどを利用して基盤岩中の割れ目を充填物でグラウチングすることにより湧水を減量する方法も考えられる。</p> <p>2.第1斜坑への対策 ズリ堆積場近くの第1斜坑跡を流動する坑内水を抑制する対策としては、岩盤中での斜坑閉塞が考えられる。斜坑口閉塞は碎石等により坑口を塞いだけであり、坑内水は流動しやすい状態になっていると思われる。よって、これらの地下水流動を抑制するためには、下記内容を検討するが、どの程度遮水できるか等さらなる検討が必要である。 (1)再度斜坑の取り明けを行い、コンクリートプラグを打設する。 (2)数本のボーリングにより斜坑に孔を開けて、数10m間に水中コンクリート等の打ち込みを行って遮水プラグを打設する。 (3)ことや粘土やフライアッシュ等を斜坑全体に詰めること等、地下水流動を抑制する方法も考えられる。</p> <p>3.排気立坑及び第2斜坑への対策 第1斜坑と同じように、排気立坑及び第2斜坑を上昇してきた坑廃水が岩盤を覆う土砂やズリ堆積物中を流動してZ川に流入していることが推定される。よって、これら立坑及び斜坑部を遮水盤、遮水壁、プラグ等により閉塞することや立坑及び斜坑周辺をカーテングラウト工や地中連続壁等で囲い込むことにより、地下水の流動を抑制することが考えられる。</p> <p>4.護岸への浸透水対策 上述の坑口以外への箇所においても、坑内水が岩盤中の亀裂を流動して上昇し、基盤岩上位にある土砂やズリ堆積物中を流動してZ川に流入しているものと推察される。よって、Z川左岸側に連続壁やカーテングラウト工を設けることによりAs濃度を減ずる方法も考えられる。 → これらの対策を行うに当たっては最も効果的な箇所を優先的に行うべきである。昭和48年当時のZ川護岸工事記録等から判断して、河床底からの湧水が最大のAs負荷を与えている可能性があり河床底への対策工事を優先するのがよいと考えられる。また、直接的な対策に加え、付帯的な対策として以下の作業を実施することが望ましい。 ①第1い堰上流側には高濃度のAs及びFeを含有している河床堆積場があり、これらから再溶出しているものもある。下流河川への影響割合は少ないものの、定期的に河床底の浚渫を行うことも1つの方法である。 ②昭和57年度にはズリ堆積場等の形成・覆土が行われ、場内排水路が整備されている。しかし排水路の一部は土砂などにより閉塞しているため、今後の調査により、Asに対する影響が無視できない場合にはそれらの土砂の排除等を行う。</p>			
その後の状況 (アンケート 結果)	質問		回答			
	1. 提言された内容を全て実施したか		全てできなかった			
	2. 提言について実施できなかった理由		<p>左記平成12年度X鉱山(AB県)調査報告書(金属鉱業事業団)の調査結果・提言に基づき1~4の発生源対策工事(案)の検討を指示されている。但し、対策工事を行うにあたっては事前に各対策工事毎に解析やデータの取得を実施する事が望ましいとの検討課題を示されていることから平成13~17年度にかけて、河床岩盤ボーリングによる亀裂状況調査、Z川左岸側の岩盤亀裂調査を基に、解析設計、グラウト試験調査、坑廃水処理調査を行い。平成18~21年度にかけて対策工実施に向けた詳細設計を行っている。</p> <p>その中、市町村合併後の平成18年度においてAB県からの提案もあり外部有識者からなる「X鉱山鉱害防止事業工法検討委員会」が設置され、発生源対策(グラウト)工事案と坑廃水処理案とで両者を比較検討の上、効率的効果的な工法を選択する事となり、平成22~26年にかけて工事を実施したが、当時の金属鉱業事業団の対策工事(案)項目1~4の全てを実施していないのが現状である。</p>			
	3. 実際に対策工事を実施した際、問題や不具合等困ったこと		-			
	4. 困った内容		-			
	5. 対策工事の目標達成率		-			
	6. 達成できなかった場合、その理由		-			
	7. 対策工事直後から改善すべき点		-			
	8. 改善が必要な場合の場所及び内容		-			

No. 12

①鉱山名	AC	②鉱種	硫化鉄鉱、ろう石
③坑廃水処理方法	中和処理（消石灰）	④水量	0.17 m ³ /分
⑤利水目的	農業で使用	⑦原水の排水基準値超過項目	基準値超過なし
⑥利水点までの距離（放水地点から）	0.8 km		
調査期間	調査目的	工事種類	調査指導の調査結果・提言（実施すべきこと）
H9.7～ H10.10	浸透水の位置 の特定他 AD川に対す る影響調査	処理場	<p>AD川水系については処理施設の更新により水系水質は相当改善されているが、AD川水系について以下の対策を講じれば更に水質の向上が期待される。</p> <p>①浸透水等について</p> <p>1.AE坑水について</p> <p>現在使用中のコンクリート製地下受水枡は相当期間が経過し、しかも浸透水のpHは2.8～3.2と強酸性なため、受水枡は腐食して破損した箇所がかなり発生しており、ここから漏水して地下に浸透している。このため浸透水を十分受水できるようにコンクリート枡の補修、改修等を行う必要がある。なお、補修、改修等に当たっては受水設備は灌木の中に位置していることから落葉の混入等による導水管の閉塞が予想されるため、混入防止のネットの設置や混入後の除去作業を含めた維持管理を考慮した構造上の検討をする必要がある。</p> <p>2.AE新坑浸透水について</p> <p>同浸透水のpHは3.2～4.7と低く、豊水期、平水期にはヒューム管から流出しているが、渇水期には認められない。この流出水は河川沿いの墓所の通路に放流され河川に流出したり地下に浸透している。また、この水質はpH3.2～4.7であり、油膜状のものが認められるため、坑内水と類推されることから、受水・導水設備を設置し、適正に処理する必要がある。</p> <p>3.AE第二鉱山AF坑浸透水について</p> <p>AG鉱山堆積場とAH鉱山新坑の間の石積みに崩落した箇所があり、ここからと推察される浸透水が山道の窪みに溜まっている。その地盤は粘土化し、酸性雰囲気中に繁茂する苔類が生育し、斜面には水流の追跡がみられ、またこの近辺には水道施設跡地が認められる。なお、この斜面の山腹沿いには表流水をAD川に排出する木立に覆われた開水路が敷設されており、豊水期にはこの水路を経由して相当量の浸透水がAD川に流出していた。渇水期調査時の当該箇所からの流出量は溜水程度であったが、その水質はpH2.56、Fe580mg/L、SO₄²⁻4.000mg/Lを示し、坑水と推察される。このため、受水槽を設け、近場のAH坑水道水路まで配管を敷設し、処理場まで導水する等により適正に処理する必要がある。</p> <p>4.AH鉱山坑口について</p> <p>AH坑水はAD処理場に導水され、処理が行われているが、AH坑口は素掘りのため風化作用を受け、坑門上部の崩落による坑口の広がりが見られること、また処理水量のかなりの部分を占めることから、崩落防止対策を行うとともに堰を設ける等坑門工の整備を行い、導水坑口を確保する必要がある。</p> <p>5.AD川上部鉱山地内の影響について</p> <p>増水期には、AD川水系においては、流域全体からの影響がみとめられるが、特に平水期、渇水期には上流部境界においては上部鉱山地内からのT、Fe負荷量の影響が大きく、AD川流末の負荷軽減を図るためにさらなる調査を行い、必要に応じ適切な処置を取る必要がある。</p> <p>②河川における浮遊物について</p> <p>AD川がAI川に流入する地点ではAD本鉱床がAIからAJへ通じる地域の地表下に潜入していることが推定されていることから、本鉱床の地下採掘による湧水が河川に流出し、この水質が中性になったためAIを主成分とする白色の沈殿物が析出したものと推察される。AD川合流点下流のAI川の利水点および細丸い堰においては、夏季にはAD川を含めたAI川の水量が減少するため、河床の沈殿物が剥離・浮上し、スカム状物質となり、い堰一面に漂流し、異臭を生じたり、外観を損なっているが、現地調査時にはこの現象は認められなかった。その後、引続きAK町による巡視においてもこれら浮遊物は認められず、その成分を分析できず検討できなかった。</p>

	質問	回答
その後の状況 (アンケート 結果)	1. 提言された内容を全て実施したか	選択して実施した
	2. 提言について実施できなかった理由	AH鉱山坑口は改修済み。コスト面ですべて実施できなかった。
	3. 実際に対策工事を実施した際、問題や不具合等困ったこと	なし
	4. 困った内容	-
	5. 対策工事の目標達成率	達成できた
	6. 達成できなかった場合、その理由	-
	7. 対策工事直後から改善すべき点	あり
	8. 改善が必要な場合の場所及び内容	AD処理場が老朽化のため設備の更新・修繕を実施しないといけない。

No. 13

①鉱山名	AL	②鉱種	硫化鉄鉱、ろう石		
③坑廃水処理方法	中和処理（消石灰）	④水量	0.047 m ³ /分	⑤利水目的	農業で使用
⑥利水点までの距離（放水地点から）	1.2 km	⑦原水の排水基準値超過項目	基準値超過なし		
調査期間	調査目的	工事種類	調査指導の調査結果・提言（実施すべきこと）		
H2.7	処理場への導水方法及び処理施設の改善	処理場	<p>1.中和処理坑廃水量の算定 処理坑廃水量の算定は、中和処理設備を設計する基本となるものである。処理水量及び昭和59年～平成元年の6年間の処理水量の実績に基づき、最大処理水量を0.55m³/minであれば殆どの場合、対処可能であると思われる。</p> <p>2.中和処理水の集水について 集水管の導水管（Φ75mmポリパイプ）にスケールが付着しているのか、坑口前のストップバルブを全開しても水の出が悪いため、導水管内の清掃が必要と思われる。AM坑から排出水も導入管で流入させているが、同坑々口前から坑内水の一部が外部に漏水しており、漏水対策が必要である。AN鉱山について、増水期に取水堰堤の天端から廃水がAO川に溢水しているので堰堤の嵩上げ等を行い、完全に集水できるような対策を講じなければならない。</p> <p>3.原水貯留槽の容量について 豊水期の調査において、原水貯留槽の容量不足によると思われる溢水があり、これがAO川水質を悪化させる一つの原因となっている。容量600m³程度の増設が必要と思われる。</p> <p>4.坑廃水をAP共同処理場に導水して処理する方法 導水ルートについては、現在のAL鉱山坑廃水処理場(標高=140m)からAQ峠(標高=295m)を越してAP共同処理場(標高=60m)に導水するものとし、途中のAQ峠にはポンプアップ水を貯留する中継用の水槽を設置する。ここからAP共同処理場まで自然流下式とし、AP側終点より約400m間は、開水路として水路内に鉄酸化バクテリア等を培養して、坑廃水の酸化を促進すると共に水路の維持管理をしやすくなる。</p> <p>5.坑廃水をAR共同坑水処理場(AS市)へ導水して処理する方法 AR坑水共同処理場は、AL鉱山坑廃水処理場から約60m低い地点にあり、ポンプアップの必要なく、スケールの付着による管内の清掃回数も多くなると予測される。また、AR共同坑水処理場へ導水して処理することは、行政区分が異なるので関係機関での調整が必要。</p> <p>6.現状のままでは増水期に処理 増水期に処理能力が不足しているため、原水貯留槽の増設が必要。また、集水管径等も検討することが必要である。沈殿槽は仕切壁等を設けて水流の方向を上下方向に変化させて、最後の仕切部から上澄水を放流するようなシステムとして、沙汰に沈殿効率をよくすることが望まれる。</p> <p>7.AL鉱山の坑廃水処理設備を下流に移設する方法 本処理場は、原水貯留槽の容量が不足して増設が必要があるが、現設備付近には増設場所がなく、また全体的に設備が老朽化しており、近々更新の必要性が考えられる。従って、処理設備を約350m下流の砂防堤付近に移設し、pH調整や炭カル・消石灰等の投入を自動制御とする。これにより、中和剤投入の過不足をなくし、放流水質の安定化を保ち、場所的にも殿物の搬出がしやすくなる。</p>		

H10.4～ H11.8	浸透水の河川 に対する影響 及び浮遊物の 成分等	環境調査	<p>(現状)</p> <p>少なくとも平水期においては、坑道から流出する各坑水は十分捕捉され、平成10年度に更新されたAT処理場で確実に処理されている。しかし、AO川流域の地質状況からみて、上流部から砂防堰堤付近までの間にはろう石変質岩及び変質岩起源の崖錐堆積物が存在しており雨水及び地下水がこれらに接触しそのpHが低下することにより、酸性河川水が形成されていると推測される。したがって、AO川河川水の水質の向上はこれ以上期待できない。また、AO川が流入するAU川合流点下流部において、AP地区鉦山におけるAV川水系と同様に発生すると報告されていた浮遊物は、調査期間中には認められなかった。</p> <p>(より確実な設備維持管理の検討)</p> <p>1.AM坑について</p> <p>坑口、坑口前の簡易溜樹、導水路の確保のため、巡回点検を行い、維持管理を図る必要があるが、AM坑坑口から町道交差点までの道路は、現在のパイプ施設ルート沿いの土石が露呈した急斜面を利用しなくてはならず、落石の危険がつきまとう。このため安全上、容易に保守点検できるように歩廊の設置及び導水管ルートの検討を行うとともに、コンクリート施工等による坑口、坑口前の溜樹、導水路の確保を検討する必要がある。町道の交差点からAL坑口までの下流部の配管ルートも、AO川沿い急傾斜地に敷設されているため保守点検作業が困難となるので、新たに、町道沿いにAL上部坑口前を經由し、第1原水槽まで配管を敷設して、安全、確実に、また維持管理が容易となる導水ルートを検討する必要がある。また、配管ルートを、町道の交差点から町道沿いにAL上部坑前まで敷設し、ここでAL上部坑水ポリパイプに接続し、AL上部坑水とともに導水することも一考である。この方法では、既存ルートを活用し、配管敷設距離が短縮できるので、維持管理が容易となる。</p> <p>2.AL上部坑について</p> <p>AL上部坑水の導水は、上述のように、AM坑水と合わせて2通りの方法がある。まず、AL上部坑水を、AM坑から第2原水槽に至る町道沿いの配管ルートの途中で接続し、AW処理場に導水する方法がある。一方で、AL上部坑水ポリパイプに接続し、AW処理場へ導水することも一考である。なお、このように、両坑水を合わせて導水する方法を採用する場合には、両坑水の水量を考慮して適正な口径の配管を敷設する必要がある。</p> <p>3.AW坑について</p> <p>AW鉦山坑口前の石積みの安定が確保できる位置に、大雨の時にも確実に集水が可能でありかつ土石、枯葉、枯枝等を混入させないような構造の枡を設ける等の検討する必要がある。</p> <p>また、2で示したように、AL上部坑水及びAM坑水が共にAW坑へ導水される場合には、本坑口から流出する坑水量を考慮して適正な口径の配管を敷設する必要がある。</p>
その後の状況 (アンケート 結果)	質問		回答
	1. 提言された内容を全て実施したか		H2.7：選択して実施した。 H10.4～H11.8：全て実施した。
	2. 提言について実施できなかった理由		H2.7：4以外全て実施した。
	3. 実際に対策工事を実施した際、問題や不具合等困ったこと		H2.7：なし H10.4～H11.8：なし
	4. 困った内容		-
	5. 対策工事の目標達成率		H2.7：達成できた H10.4～H11.8：達成できた
	6. 達成できなかった場合、その理由		-
	7. 対策工事直後から改善すべき点		H2.7：あり H10.4～H11.8：なし
8. 改善が必要な場合の場所及び内容		H2.7：AT処理場が老朽化のため設備の更新・修繕を実施しないといけない。 H10.4～H11.8：-	

No. 14

①鉱山名	AX	②鉱種	タングステン、銅、錫		
③坑廃水処理方法	逆中和法	④水量	0.23 m ³ /分	⑤利水目的	農業で使用
⑥利水点までの距離(放水地点から)	約1.8km	⑦原水の排水基準値超過項目	通洞坑水 (pH 6.7、Cd 0.033)、BE浸透水 (pH 7.1、Cd 0.042)、BB水 (pH 7.3、(上乗せ基準：Cd 0.019))		
調査期間	調査目的	工事種類	調査指導の調査結果・提言(実施すべきこと)		
H7.8～ H7.11	坑廃水処理方法の改善あるいは坑廃水処理の廃止等の検討	環境調査	<p>AY川水系調査及び地表陥没状況を確認し、総合原水の水質はCd濃度だけがAZ上乗基準値をわずかに満たしていない状態であり、AY川利水点のCd濃度は環境基準値を満たしている状況でいまま少しの水質改善が求められれば無処理の可能性がある。</p> <p>そこでBA市の要望である「坑廃水処理の合理化」について、いろいろな意見が出され、検討された結果、以下の提案をすることとなった。</p> <p>1.坑廃水の有効利用を検討する</p> <p>現在、石材加工業者はAX鉱山の中央坑坑内水(90m³/日:62L/min)を利用しているが、この中央坑坑内水と合わせて総合原水も利用してもらうという案である。</p> <p>ただし、中央坑坑内水の水質はAZ上乗基準値を満たしていることは確かであるが、新たな利用水(中央坑坑内水、通洞坑坑内水、BB地区浸透水の合計)の水質の確認をする必要がある。</p> <p>2.BB地区浸透水だけを無処理にする</p> <p>BB地区浸透水のCd濃度は平成6年8月頃から降下を始め、平成6年9月16日以降はAZ上乗基準値以下であり、その状態が1年以上も続いているので水質の安定状態を見極めた上で無処理にする。ただし、過去に昭和62年5月21日から昭和63年6月15日間、Cd濃度がAZ上乗基準値以下にあったものが再び濃度上昇した例があるので、あと数ヶ月水質観測をして水質安定状態を確認する必要がある。</p> <p>3.陥没跡の対策</p> <p>BC裏の陥没跡は深いので、土砂等で埋め戻すことが望ましい。その他の陥没箇所は比較的浅いが、柵等で危害防止処置が必要と思われる。</p>		
H16.5～ H18.1	坑廃水処理の継続の可否を含めた合理化に関する検討・決定	処理場	<p>(現状と対策)</p> <p>BB浸透水A:H11.3月以降のCd最大濃度は0.011mg/L(H17.2.18BD市採水)であり、水質はよい。 → 長期的に水質改善をしているので、水処理対象から除外することが可能。</p> <p>BB浸透水B:BB浸透水Aの類似の水質を示すが、本調査以前の水質不明。 → 浸透水Aと同水質であるが、長期の水質データがない。数年間水質データを取得後に、水処理の可否を検討。</p> <p>BB浸透水C:BB地区の水質悪化の原因。流出量は少ないが、CdのAZ上乗せ排水基準を超える。 → 生活排水や水田利水の余剰水の流入対策を行った上で、当分水処理すべきである。</p> <p>通洞坑口水:大雨後(H16台風、200mm/日)は水質の悪い坑廃水が流出していた可能性大。</p> <p>普段の降雨直後にも流出が認められるが、少量で水質は良いことから、これは地表水の浸透水であると考えられる。</p> <p>→今後、大雨後などに水質のチェックを行うことにより、通洞坑口水が通洞坑廃水全体への水質悪化の原因であることが判明すれば、分離導水などの対応も検討すべきである。</p> <p>今後も水処理を行いながら水質の把握を行い、処理要否を検討すべきである。通洞坑配水管途中流入水:常時流出があり、通洞坑廃水の大部分を占めている。</p> <p>水質データは限られている。</p> <p>→通洞坑口水と同様の対策BE川中流浸透水:BB浸透水Cと同水質を示し、Cd上乗せ排水基準値をしばしば超える現状にある。</p> <p>→H18.1より水処理を開始したものであり、今後、水量と水質のチェックを行いながら水処理を行う必要がある。</p> <p>(今後の水処理対策)</p> <p>Cdだけでなく、Znの水質分析や処理対象の水量測定などをより正確に把握することを提案した。</p>		

H28.1～ R1.6	坑廃水処理の 継続の可否を 含めた合理化 に関する検 討・決定	処理場	<p>BB浸透水A及びBについては、Cd濃度が常に環境基準値レベルであり、清濁分離が十分に可能である。</p> <p>この分離は、容易に実施可能であり、例えば、BB浸透水Aを分離するためには、BB浸透水集水樹への導水路を塞ぐ、BB浸透水Bを分離するためには、処理系統に入らない側溝へ導水するホース等を設置するなどの対応策が考えられ、各数万円程度の費用で実施可能と考えられる。</p> <p>これらの清濁分離によって、処理水量が減少するため、それに伴い処理費用が削減することが期待される。</p> <p>この詳細については、BB浸透水Aを分離した場合は年間50～100万円、BB浸透水Bを分離した場合は年間30～50万円の削減と試算した。</p> <p>本調査では、処理設備を稼働させない日を設けることに伴う人件費の削減についても検討しているが、これを実施するためには、豪雨時などの緊急時対応等の管理体制を構築することが必要であることから、参考情報として留める。</p> <p>また、通洞坑坑内水の途中流入水の水質は、これまでの調査の結果から水質管理目標を下回ることが多いと推定され、将来的に処理対象から除外できる可能性がある。</p> <p>しかし、豪雨後には、水質が悪化し、水質管理目標値を上回るなどの傾向も見られるため、まずは今後も水質把握を努めることが望ましい。</p>
----------------	---	-----	--

	質問	回答
その後の状況 (アンケート 結果)	1. 提言された内容を全て実施したか	全て実施できなかった
	2. 提言について実施できなかった理由	地元の合意が不十分、コスト面の課題
	3. 実際に対策工事を実施した際、問題や不具合等困ったこと	対策工事実施なし
	4. 困った内容	-
	5. 対策工事の目標達成率	対策工事実施なし
	6. 達成できなかった場合、その理由	-
	7. 対策工事直後から改善すべき点	対策工事実施なし
	8. 改善が必要な場合の場所及び内容	-

No. 15

①鉱山名		BF		②鉱種	銅	
③坑廃水処理方法		中和沈殿凝集処理		④水量	1.01 m ³ /分	⑤利水目的 農業で使用
⑥利水点までの距離(放水地点から)		3.7km(最上流部)		⑦原水の排水基準値超過項目	基準値超過なし	
調査期間	調査目的	工事種類	調査指導の調査結果・提言(実施すべきこと)			
H3~ H4	水質浄化対策 1.BF川再汚染防止対策 2.坑廃水処理対策	発生源対策	<p>(原因) 酸性の湧水が河川水へ混入し、県の目標とする水質基準値を満たさない時がある。 また、梅雨期や融雪期に処理水量が増加し、現在の坑廃水中和処理設備では、その能力が不足している。</p> <p>(対策) 1.BF川再汚染防止対策 ポーリング孔を利用して調査し算定した、BF川付近の酸性湧水量(可能揚水量)と併せてBF川の河床酸性湧水(ドレーンからの湧水)堆積場かん止堤水抜孔からの酸性流出水が坑廃水中和処理場で処理した放流水や河川水に混入しないよう別途集水して処理しなければならない。 2.坑廃水減水対策 地表陥没を埋戻した後、融雪や降雨等による坑内への浸透水減少、急激な処理水量増加時の均一化を図るため坑内貯水、水路底版部(ドレン)から河床湧水を減少させる等がある。 中和処理設備の増強等により中和殿物堆積場が必要ないとされた場合は、埋戻しを行い表面排水を行い、浸透水が減少し、処理水量の減水に効果が期待される。</p>			
その後の状況 (アンケート結果)	質問		回答			
	1. 提言された内容を全て実施したか		選択して実施した			
	2. 提言について実施できなかった理由		1. BF川再汚染防止対策は実施した。 2. 坑廃水減水対策は、地表陥没箇所の踏査は行ったが、陥没箇所が広範囲であり、コスト面で実施には至っていない。			
	3. 実際に対策工事を実施した際、問題や不具合等困ったこと		なし			
	4. 困った内容		-			
	5. 対策工事の目標達成率		達成できた			
	6. 達成できなかった場合、その理由		-			
	7. 対策工事直後から改善すべき点		なし			
	8. 改善が必要な場合の場所及び内容		-			

①鉱山名		BG	②鉱種	金、銀、銅、鉛、亜鉛、硫化鉄、重晶石		
③坑廃水処理方法		中和処理	④水量	0.208 m ³ / 分	⑤利水目的	農業で使用
⑥利水点までの距離(放水地点から)		約 1.0 km	⑦原水の排水基準値超過項目	pH、Pb、Cu、Zn		
調査期間	調査目的	工事種類	調査指導の調査結果・提言(実施すべきこと)			
H7.7~ H8.9	BH浸透水の 減水対策の検 討	処理場	<p>今回調査を実施した浸透水について、これまで便宜上、浸透水系(BH沢、堆積場末端およびBI沢 浸透水)および坑内水系(三坑排水・選鉱場跡浸透水)に分類した。本調査にBH沢浸透水(浸透水系)は、BI沢およびBH沢を流下してきた地下水(地下水系とする)に坑内水系の水が合流して湧出していることが判明した。地下水系および坑内水系の流量、水質および寄与率は、本調査では解明できなかった。特徴として、BH沢浸透水は、昭和55年度以降行われた発生源対策工事ではその水量の改善は見られなかった。これは、BH沢浸透水の湧出レベルが、浸透水群の最下底に位置しBI沢およびBH沢を包む環状地形の付け根に当たることから、当該地域における地下水の基底量が湧出しているものと推定される。したがって、BH沢の減水対策に当たっては、これら地下水系毎にその発生源対策を検討する必要がある。</p> <p>1.地下水系 地下水系には、BI沢およびBH沢の旧沢筋にそって流下してくる地下水などがある。BI沢すなわち第一・第二堆積場およびその周辺からの浸透水は、第一堆積場内の地下水集水井の設置および場内盛土工事等により水量の改善が期待されるものの、BI沢浸透水の流出量から判断して、基底流はBI沢浸透水の湧出レベルより下位を流れていると推定される。BI沢浸透水は、融雪期において流量が増え、渇水期に枯渇する。融雪期の増量は、融雪水の浸透によるものでこれを減水することは難しい。現状でも、BI沢浸透水の処理原水中における重金属負荷は無視できる。また、BI沢を酒養源とする地下水は、BH沢上流の山塊部および陥没地方面から供給されていると推定される。そのため、地滑り排土工事の進捗によって、水量および水質の変化が予想されるものの、山塊の剥度部分は、変質風化粘土帯であるため透水係数は10⁻⁶(cm/sec)程度であり、その影響は少ないと推定される。斜面緑化や水路の整備がなされれば当地からの流入水は、ある程度遮断できると考えられる。ちなみに、第一堆積場の面積を0.08km²、涵養量1mm/dayとし、その涵養量を試算すると56L/minとなる。地滑り地排土工事等による第一堆積場の覆土効果によって、涵養量が5割減となったとすれば、基底流に対し28L/min((56L/min×0.5)の減水が期待できるほか、基底流の全てがBH沢へ流出していたとすれば平均流量190L/minに対し、約15%の減水が期待される。なお、現状では、発生源対策工事が未完了であるため、その効果を予測することは難しい。</p> <p>2.坑内水系 トレーサー試験の結果から、坑内水系の地下水は弱線帯や断裂系を通過し、流紋岩の基盤面に達し、透水層中の斜面を流下してBH沢およびBI沢の旧沢筋に流入していると推定される。本調査では、その位置の特定及び範囲等を把握することはできなかった。坑内水系の流入を遮断するためには、BH沢の斜面内にグラウト等による遮水壁の設置が考えられるものの、その効果は不明であり、大規模かつ経済的に困難な工事になると予想される。</p> <p>3.陥没跡の取り扱い トレーサー試験の結果から、陥没跡に流入する地表水は、各浸透水源の一部となっている。陥没跡の流域面積は小さいことから流入量も僅かである。現在、陥没跡地は中和処理殿物のケーキ堆積場として利用されている。中和処理殿物の堆積は、坑内水の水質改善に寄与することから現状の利用が望ましい。なお、陥没跡には、道路面から道路下15mまでに45,250m³の容積がある。</p>			
その後の状況 (アンケート 結果)	質問		回答			
	1. 提言された内容を全て実施したか		選択して実施した			
	2. 提言について実施できなかった理由		パッシブトリートメント施設について実証実験している段階			
	3. 実際に対策工事を実施した際、問題や不具合等困ったこと		あり			
	4. 困った内容		施設設置場所の問題。(今年度設置した実規模相当実証試験設備設置箇所は雪崩が発生する箇所)			
	5. 対策工事の目標達成率		実証試験中			
	6. 達成できなかった場合、その理由		-			
	7. 対策工事直後から改善すべき点		実証試験中			
8. 改善が必要な場合の場所及び内容		-				

※過去の資料がないため、現状の内容について回答

No. 17

①鉱山名	BK	②鉱種	金、銀、銅、鉛、亜鉛、硫化鉄鉱		
③坑廃水処理方法	石灰中和処理	④水量	0.169 m ³ / 分	⑤利水目的	未処理のため不明
⑥利水点までの距離 (放水地点から)	未処理のため不明		⑦原水の排水基準値超過項目	未処理のため不明	
調査期間	調査目的	工事種類	調査指導の調査結果・提言 (実施すべきこと)		
H14.6～ H14.11	中和処理法及び処理施設の 評価	処理場	<p>(現行中和処理法と施設の評価)</p> <p>1.中和処理施設・設備の老朽化調査の結果、酸化中和設備(特に攪拌機)の老朽化がかなり進行していると考えられた。 その他の設備については老朽化の進行は遅く現状のメンテナンスを行うことによって相当年数使用できると考えられた。 (最適中和法の検討 (堆積場延命対策のため))</p> <p>1.発生廃物量削減には廃物繰返し中和法の導入が有効であることが確認された。 (施設改修の概要)</p> <p>1.シックナーに砂濾過設備等を備え、SSの除去を行う必要があることが明らかとなった。 2.現在使用している沈殿池2面を堆積場に改修した場合の堆積可能年数を試算したところ、現在使用しているフィルタープレスの脱水ケーキでは約270年となり、 新フィルタープレスの脱水ケーキでは約326年という結果が得られた。 → 脱水ケーキ減容化のためには廃物繰返し中和法の導入が有効であることが、連続廃物繰返し試験でも確認された。しかし、今回の連続廃物繰返し試験では平成8年度(パンチ試験)と今回試験における原水水質の違い、時間的制約等により、繰返し廃物濃度の上昇・安定が確認できなかったことから、今後中和処理施設改修の概念設計・詳細設計を行う場合には、繰返し廃物濃度が上昇・安定した時の沈降速度等を求めるために必要な試験・検討(パッチ式廃物繰返し試験、連続廃物繰返し試験等による基礎・詳細データの取得・検討)を行うことが必要である。</p>		
その後の状況 (アンケート 結果)	質問		回答		
	1. 提言された内容を全て実施したか		全て実施できなかった		
	2. 提言について実施できなかった理由		コスト面の課題		
	3. 実際に対策工事を実施した際、問題や不具合等困ったこと		対策工事未実施		
	4. 困った内容		-		
	5. 対策工事の目標達成率		対策工事未実施		
	6. 達成できなかった場合、その理由		-		
	7. 対策工事直後から改善すべき点		対策工事未実施		
8. 改善が必要な場合の場所及び内容		-			

①鉱山名		BL		②鉱種	硫化鉄鉱、硫黄		
③坑廃水処理方法		未処理		④水量	未処理のため不明		
⑥利水点までの距離(放水地点から)		未処理のため不明		⑦原水の排水基準値超過項目	未処理のため不明		
調査期間	調査目的	工事種類	調査指導の調査結果・提言(実施すべきこと)				
H18.5～ H20.1	BM川流下途中での砒素沈殿除去推進対策の検討	処理場	<p>(BM川流下中のヒ素負荷減少を促進する対策の評価)</p> <p>1.自然減少による除去</p> <p>BM川にBN川と同等のヒ素除去効果を持たせるためには、約6kmの河道全体を改修する大規模な工事が必要となる可能性が高い。自然現象を促進するもうひとつの形態として、BM川の見通し導水がある。具体的には以下の2種類の方法が考えられる。</p> <p>(1)BM川地区中切坑の坑内水を両河川間の尾根をトンネル導水(約1.5km)または尾根を巻いてパイプ導水(約2.5km)することで、BN川に流入させる。これにより中切坑坑内水がもたらすヒ素が粒子除去能力の高いBN川の河道を流下し、現状より多くのAsが除去されると予想される。ただし、中切坑坑口の標高はBN川地区の鉱山跡地より低い場合、自然流下する中切坑坑内水がBN川に流入するのは鉱山跡地から約1km流下した後となる。そのため中切坑のヒ素が除去される割合は現在のBN川全体での除去割合より低くなる可能性がある。</p> <p>(2)BM川の見通し水(上流見通し水+支流水)を河道とは別の経路で流下させ、流末近くで河道に流入させる。BM川では主に河川水の伏没・損失に伴いヒ素が除去されていると考えられるので、これを最大限活かすために、現河道にヒ素濃度の高い坑廃水だけを流下させ、濁水状態のBM川に見られるような下流河川水の水量目減りによる高いヒ素負荷除去効果を実現する。</p> <p>2.人為的な除去</p> <p>ここで、BM川河川水の沈降試験の結果から、BM川の下流河川水中に含まれる懸濁粒子状のヒ素を沈降除去する施設の大きさを想定する。処理の目標はヒ素濃度を半減させること、処理対象とするBM川河川水の流量は最大30m³/分と想定する。沈降試験の結果からBM川下流河川水を静置すると、約6時間で水面から80cmまでの水のヒ素濃度が概ね半減することがわかっている。これより全ヒ素濃度の半分を占める懸濁粒子状Asが0.133m³/時間以上の自由沈降速度を持つと考え、施設の水面積負荷を1.5の安全率を見て0.09m³/時間とすると、必要な施設の規模は以下の通り。施設内の水面積が20,000m²以上の面積を持ち、そのためには横流れ式沈殿池であれば幅100m×長さ200m、円形シクナであれば直径160mという巨大な施設が必要となる。また、この施設には、年間平均通水流量を15m³/分、平均ヒ素濃度を0.015mg/l、河川中の懸濁粒子中の平均ヒ素濃度を0.15%、沈殿除去率を5割とした場合、1年間に乾量で数十トンの堆積物が蓄積される計算となり、その回収・処分には大きな労力を要すると予想される。</p>				
	過去の検討案を含めて、BM川地区の改善に向けた対策工の総合的な比較・検討	環境調査	<p>(BL鉱山全体における対策)</p> <p>仮にBM川地区起源のヒ素負荷半減が実現しても、BN川地区一坑坑内水の水量増・ヒ素濃度上昇による負荷発生量の増加が起こる場合、BO川A点でのヒ素濃度の環境基準満足は困難となる。水量増によるヒ素負荷増加はH8～11年に三坑坑道の改修・導水工事行われる以前の状態に戻ることを意味する。この改修工事以降はBN川地区のヒ素負荷発生量が以前に比べ半減しており、この状態が維持されることが、今回のBM川地区での対策検討における前提条件である。したがって、三坑坑道と導水施設の維持・恒久化の作業は必要不可欠である。→坑坑内水の水質悪化によるBN川のヒ素負荷増加は一旦起こると1～2ヶ月程度継続する。</p> <p>最近4年間ではH16年6月、H17年7月、H18年10月、H19年6月、10月の5回発生した。特にH18年10月はヒ素濃度上昇幅が最も大きく、平時の濃度の約5倍に達した。その結果、坑坑内水の流出量は変化しなかったものの、BN川流末河川水のヒ素濃度が環境基準値を上回る状態となった。このような坑内水質の一時的な悪化は、地下の採掘空洞の崩落などが原因で地下の水理状態が一時的に通常とは異なる状態に改変するために起こると推測されるが、その詳しい実態は不明である。こうした水質悪化の頻度が今後さらに増える、もしくは継続期間が長期化するようであれば、今回検討したBM川におけるAs負荷低減化対策だけで鉱山全体の鉱害防止対策目標を達成することが困難となる。</p> <p>こうした状況から、今後の一坑坑内水の流量・水質の推移はBL鉱山全体の対策のあり方を検討する上で重要な情報だと言える。</p> <p>→今後は一坑坑内水の状態をより詳細にモニタリングし、将来の状況に応じた対応を検討するための基礎データを蓄積することが望まれる。</p>				

	質問	回答
その後の状況 (アンケート 結果)	1. 提言された内容を全て実施したか	全て実施できなかった
	2. 提言について実施できなかった理由	コスト面の課題
	3. 実際に対策工事を実施した際、問題や不具合等困ったこと	処理場：なし、環境調査：未実施
	4. 困った内容	-
	5. 対策工事の目標達成率	処理場：概ね達成できた、環境調査：未実施
	6. 達成できなかった場合、その理由	-
	7. 対策工事直後から改善すべき点	処理場：なし、環境調査：未実施
	8. 改善が必要な場合の場所及び内容	-