



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Geochemical Iron Dynamics and Passive Treatment of Acid Mine Drainage with High Dissolved Iron Concentration for Sustainable Green Mining [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	TUM, Sereyroith
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14890号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/85402">https://hdl.handle.net/2115/85402</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	doctoral thesis
File Information	TUM_Sereyroith_review.pdf, 審査の要旨



## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 TUM Sereyroith

審査担当者 主 査 教 授 佐藤 努  
副 査 教 授 五十嵐 敏文  
副 査 客員教授 富山 真吾  
副 査 准教授 大竹 翼

## 学位論文題名

### Geochemical Iron Dynamics and Passive Treatment of Acid Mine Drainage with High Dissolved Iron Concentration for Sustainable Green Mining

(持続可能なグリーンマイニングに向けた高濃度溶存鉄含有酸性鉱山廃水の地球化学的な鉄ダイナミクスの理解とパッシブトリートメント)

稼働中の鉱山や休廃止鉱山から発生する酸性鉱山廃水 (AMD) は、それによる環境負荷の低減が求められている環境リスクの一つである。AMD に含まれる重金属等の有害元素は、人間の健康や周辺環境に棲む生物に大きな影響を与える。一部の AMD では、人間の介入なしに自然浄化されていることが認められ、その場合は処理の必要はない。しかし、自然浄化が不十分な場合は、人間によるアシストが必要となる。パッシブトリートメントは、自然の浄化作用を利用して若干のアシストを施す AMD 処理法であり、経済的な観点から持続可能な AMD 処理方法と考えられている。しかし、その方法はそれぞれのサイトによって様々で、どのような方法をどのように適用するか判断は難しい。そこで本研究では、鉄が大量に溶存している AMD を研究対象として、条件の異なる2つの鉱山で現地調査を行うとともに、地球化学反応モデリングの手法を組み合わせ、パッシブトリートメントの可否を判断し、それぞれの鉱山で適用可能なパッシブトリートメント法の提案を行うことを目的とした。その際、溶存二価鉄酸化の速度論、吸着作用を有する鉄鉱物の熱力学や沈殿速度論等、鉄の地球化学的挙動を定量的に評価するモデルやパラメータの検証と検証後のデータを用いたモデリングも同時に行うこととした。

第1章では、研究の背景や問題を示し、本研究の目的を明示した。また、これらの目的を達成するため、以下のようなより詳細な目的も示した。(1) 自然浄化メカニズムを制御する可能性のあるさまざまな気候条件でのさまざまな AMD の地球化学的挙動の特性評価を行う、(2)AMD の自然浄化に影響を与える可能性のある鉄の地球化学的挙動の解明とその定量化を行う、(3) 地球化学的モデリング手法を導入し、調査した AMD のパッシブトリートメント法の提案である。

第2章では、既存の文献をレビューして、本研究の背景と解決されていない問題点を明らかにした。評価は、AMD から有毒元素を除去するための鉄鉱物の役割、鉱山廃水環境における鉄ダイナミクス、鉱山廃水環境において代表的な鉄鉱物であるシュベルトマナイトの熱力学や沈殿速度論、および AMD 処理方法について実施した。

第3章では、カンボジア・モンドルキリ鉱山サイトで実施したレッスンについて説明している。特に本研究では、乾期と雨期の両方を研究対象として調査を行った。ここでの AMD の発生源は、鉱石の濃硫酸による処理廃水であり、WHO の環境基準を超える有毒元素は As、Ni、Se、および

Cuであった。乾期ではAMDは自然浄化されずに一般河川に流入していた。一方、雨期では中性の河川水が流入してpHが上昇し、シュベルトマナイトが生成してAsが吸着・除去され、Ni、Se、Cuの濃度はその中性の河川水によって希釈されていることが明らかとなった。雨期に生成したAsを吸着・除去したシュベルトマナイトは乾期に流れる強酸性の廃水によって溶解するので、年間を通して考えると自然浄化は達成されていない。しかし、雨期で認められたような中性の河川水の流入が年間を通して維持されていれば、自然浄化が達成されることも明らかとなった。このような河川水との混合によるパッシブトリートメント法は、本研究で初めて明らかにされたもので、現在まで考えられていなかった方法である。

第4章では、北海道鹿部町と七飯町にまたがる休廃止鉱山である精進川鉱山で実施したレッスンを説明している。精進川鉱山では、精進川と雨鱒川の2つの河川にFe、As、Cd、Pbを含むAMDが流入し、溶存している鉄は三価の鉄が主体であることが、上述のモンドルキリ鉱山のAMDとの大きな違いである。現地調査の結果、精進川鉱山では上流河川との混合により坑内水のpHが上昇してシュベルトマナイトが生成してAsが除去され、CdやPbは希釈によりWHOの環境基準を下回っていることが判明した。つまり、精進川鉱山では自然浄化が達成されていることが明らかとなった。一方、雨鱒川は、坑内水の水量が上流の河川水のそれと比べて大きく、混合後もpHが変化せず希釈も十分ではないため、雨鱒川の流域内では自然浄化が達成されていなかった。

第5章では、調査地域における現廃水を用いて、自然浄化の鍵を握るシュベルトマナイトの熱力学データ、鉄の酸化速度、シュベルトマナイトの沈殿速度、シュベルトマナイトによる有害元素の吸着モデルを検証し、6章と7章で提案するパッシブトリートメント法の設計のために、検証したモデルやデータを用いた地球化学反応モデリングにより、パッシブトリートメントに必要なpHや混合流量などを定量的に示した。

第6章と第7章では、上記の2つのサイトにおける具体的なパッシブトリートメント法を提案した。モンドルキリ鉱山では、乾期における中性河川水の流入をアシストするための廃水路の設置とその必要最低流量を示した。精進川鉱山の雨鱒川でも、上流河川水の水量を現在の5倍程度に増加させると、精進川鉱山同様自然浄化が達成されることになる。しかし、そのための工事等が困難であることも予想されるので、上流河川水による混合と石灰石の設置によるpH上昇と合わせることで、環境基準値以下にできることを示した。

第8章では、本研究の成果をまとめるとともに、AMDに対してアクティブ・パッシブトリートメントのどちらを適応すべきかを選択するための新たなフローチャートを提示した。このフローチャートでは、パッシブトリートメントが選択された場合に導入すべき施設・設備とその仕様の選択も可能であり、今後様々な鉱山で利用され更新されていくものと考えている。

以上を要するに、筆者は2つの鉱山で精緻に現地調査を行い、地球化学反応モデリングによる定量的な理解と合わせることで、適用可能なパッシブトリートメント法の選択と設計が可能となることを提示した。このことは、鉱山活動を持続可能なものとするグリーンマイニングために有用であるだけでなく、その技術開発の背景となる環境鉱物学や環境資源工学の発展に寄与するところ大なるものがある。よって筆者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。