

商社の鉱山開発参入～丸紅株式会社の場合～

木原 靖*・佐藤 優輔

丸紅株式会社 エネルギー・金属グループ 金属本部

Participation in the Mining Business as a Trading Company

Yasushi KIHARA* and Yusuke SATO

Metals & Mineral Resources Division, Energy & Metals Group, Marubeni Corporation

1. 緒 言

鉱山開発へ投資する目的はそこからの配当金や生産品の販売活動で利益を得る商業活動だけではなく、我が国の経済・産業の発展に必要な資源の確保という極めて大きな目的、使命を担っていると私達は理解している。そしてそのような大義の中で、丸紅株式会社金属本部は、鉄鉱石、石炭、銅の海外鉱山に投資を行い、各鉱山の操業会社と共に環境法令の遵守、付近住民との調和を図りながら適切な生産活動を行い、国内の製鉄、製錬メーカーなどに生産品を届ける責務を担っていることを誇りに思っている。当社が参入している鉱山ビジネス、特に銅鉱山ビジネスに関して参入から今日までの経緯および今後の課題を紹介する。

2. 当社の投資案件

2.1 鉄鉱石、石炭、銅

当社が投資する海外鉱山の位置および鉱種を Fig. 1 に、参入年、権益比率および生産量を Table 1 にそれぞれ示す。

豪州北西部北部準州ビルバラ地区に Roy Hill 鉄鉱山、豪州東部クイーンズランド州に石炭鉱山、チリ共和国に銅鉱山をそれぞれ有する。

2.2 参入の経緯

海外鉱山への投資は古くから単発的に行われていたが、製鉄、製錬メーカーとコンソーシアムを作ったの参画ではなく、単独で意思決定を行うようになったのは 1990 年代の石炭鉱山の投資に端を発する。その後 2000

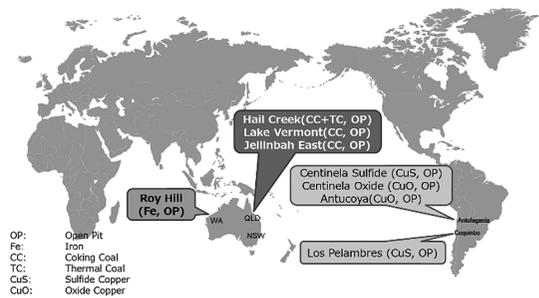


Fig. 1 Location and products of participated projects

年代の Centinela 銅鉱山、Antucoya 銅鉱山への投資を経て、当社初の鉄鉱石鉱山への投資を Roy Hill 鉄鉱石鉱山に行った。それぞれの鉱山における増産起業や周辺鉱床の開発業務は都度実施されており、最適な生産を目指して計画が組まれている。

2.3 駐在員の配置

操業への貢献、技術の習得を目的に投資鉱山には 2～3 年間を目途に技術系および事務系駐在員が操業現場で勤務できるよう株主および操業会社と取り決めを行っている。現在技術職 5 名、事務職 3 名が操業現場で駐在勤務している。

また、操業会社の本社の近くには必ず投資事業管理会社を設置し、操業会社の役員会や操業管理に現地に対応できる体制としている。また、投資事業管理会社では必要に応じて技術系現地社員 (National Staff) を採用し、チーム一丸となって操業の安定や生産の向上を心がけている。

2021 年 3 月末現在の技術系駐在員の配置を Fig. 2 に示す。

2021 年 6 月 17 日 第 139 回学術講演会において発表
*e-mail: kihara-y@marubeni.com

Table 1 Detail information of participated projects

Name (Participation)	Country (State)	Interests (%)	Products	Production Year 2020	
Hail Creek (1969)	Australia (QLD)	12.0	Coking Coal	5,095 kton	
		Glencore 84.7			Sumitomo 3.3
Jellinbah East (1990)	Australia (QLD)	38.3	Coking Coal	5,391 kton	
		Anglo 23.3			Zashvin 23.3
		Sojitsu 15.0			
Lake Vermont (1995)	Australia (QLD)	33.3	Coking Coal	9,343 kton	
		Anglo 23.3			Zashvin 23.3
		Sojitsu 10.0			AMCI 10.0
Los Pelambres (1997)	Chile (Coquimbo)	9.21	Copper Conc. Moly Conc.	1,245 kton 20,074 ton	
		AMSA 60.0			JX 15.79
		MMC 10.0			Mitsubishi 5.0
Centinela Sulfide (2008)	Chile (Antofagasta)	30.0	Copper Conc. Moly Conc.	707 kton 3,923 ton	
		AMSA 70.0			
Centinela Oxide (2008)	Chile (Antofagasta)	30.0	Copper Cathodes	93 kton	
		AMSA 70.0			
Antucoya (2012)	Chile (Antofagasta)	30.0	Copper Cathodes	79 kton	
		AMSA 70.0			
Roy Hill (2012)	Australia (WA)	15.0	Iron Ore Lumps Iron Ore Fines	23,009 kton 30,035 kton	
		Hancock 70.0			POSCO 12.5
		CSC 2.5			

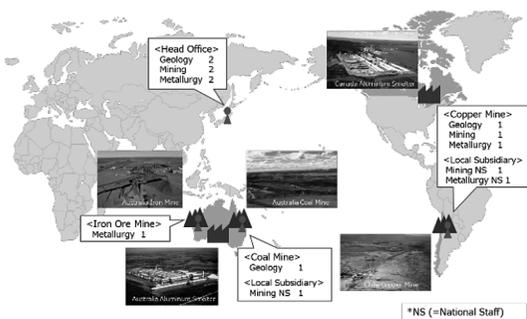


Fig. 2 Distribution of technical staff

3. 商社の鉱山投資

3.1 商社の鉱山事業の変遷

金属本部では鉱山開発などの川上部、非鉄地金などの川中部、非鉄製品、電子部材、金属リサイクルなどの川下部まで幅広い分野において事業を展開している。特に

川上部分野においての商社のかつてのビジネスモデルは資源のない日本の製鉄、製錬メーカーに原料を安定供給するトレード事業が中心であった。サプライチェーンの中で世界中を飛び回り原料を確保することは、日本の戦後の経済発展を支える重要な仕事であり、原料確保のために鉱山の開発費や操業費用の融資を行ったものが鉱山事業への参画の始まりであった（融資買鉱）。

1990年代になると1985年のプラザ合意による円高の影響や国内鉱山の閉山もあり、日本の鉱山会社が海外大型鉱山の開発を行うようになる。鉱山事業は市況変動に影響されるハイリスク、ハイリターン of 事業であり、日系各社はコンソーシアムを組成し複数社で開発に取り組みリスクを分担した。ここに商社はリスクテイカーとして共同出資を行い、財務や販売面でのサポートを行うようになる。

当社は2008年にEsperanza銅鉱山、El Tesoro銅鉱山（2014年に両社が統合して現在はCentinela銅鉱山）の30%の株式を取得した。前述の通りそれまではコンソーシアムを組成する中で少数株主として参画するのが通例

であったが、パートナーであるアントファガスタ・ミネラルズ社の意思決定をより迅速化したいという意向や、それまでの経験からも株主として鉱山業の経営に参画すべきの方針から商社としては前例のない単独出資を行った。以降10年以上、経営パートナーとして鉱山の運営を行ってきた。

3.2 商社の鉱山経営

当社の出資鉱山は全てパートナーの鉱山会社がオペレーターとして操業を行うが、パートナー任せにするのではなく当社もハンズオンでの経営管理、支援、改善を行っている。保有する権益は山命も数十年ある長期のプロジェクトであり、株主として鉱山事業価値の最大化を行うというのが我々のミッションである。

具体的には日々の操業実績の管理、計画の精査、その中での現状の課題の抽出、改善案の提案、当社知見の共有などを実施している。パートナーの経営レベルから現場レベルまで、最前線の現場に常駐する駐在員から東京までのグローバルなチーム体制でサポートを行う。

また当社保有鉱山間での最新技術や操業事例のベストプラクティスの共有、社内他部署との連携で重機やメンテナンスサービス、硫酸、電力など鉱山サプライの供給など、総合商社ならではのアプローチや側面支援も行っている。

3.3 世界の潮流

世界の人口増、都市化、電気自動車や脱化石燃料の流れにより銅の需要は今後も大きな伸びが予想されている。一方で鉱山からの供給については既存大規模鉱山の枯渇、低品位化、また新規鉱山でも鉱床の深部化、リモート化などで開発の難度はさらに高まっている。需要家であった本邦企業についても生産拠点はグローバルに展開されるようになっており、日本に限らず世界の資源の安定供給を行う事業の一端を担っている。

4. 投資鉱山とその特徴

チリの投資鉱山の位置および概要を Fig. 3 に示す。

鉱床および操業の複雑さから操業現場に技術担当者が3名駐在しているチリの銅鉱山の概要と同敷地内にて今後開発が行われる新規プロジェクトの概要をそれぞれ以下に記す。

4.1 Centinela 硫化銅鉱山

Centinela 硫化銅鉱山は斑岩銅 (Porphyry Copper) 鉱床で、開発初期に採掘された酸化銅鉱石 (ROM 鉱石) による浸出操業の実施、海水による浮選操業の実施および高濃度尾鉱処理の実施がその操業上の特徴として挙げられる。2020年の生産銅精鉱中の銅量は161千トンであった。

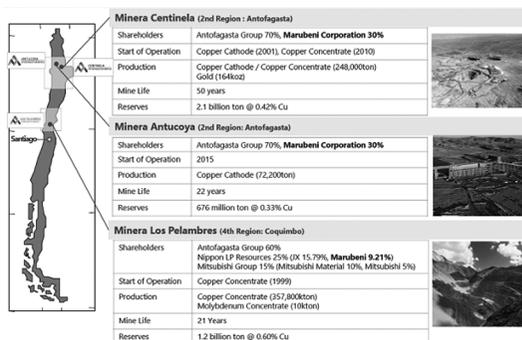


Fig. 3 Detail of participated copper project in Chile

4.2 Centinela 酸化銅鉱山

Centinela 酸化銅鉱山は異地性 (Exotic) 銅鉱床と斑岩銅鉱床の異なる鉱石の浸出処理を実施することが操業上の特徴として挙げられる。前者は微細で不純物を多く含み、後者は浸出率の高い Atacamite と浸出率の低い Wad ($\text{CuO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) や Pitch ($\text{MnO}(\text{OH})\text{CuSiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) が混合している。銅の浸出はダイナミックパッド方式で行われ、適度な浸透性を維持する目的で必要に応じて粒度の異なる鉱石同士のブレンディングを行っている。2020年の生産銅カソード量は93千トンであった。

4.3 Antucoya 酸化銅鉱山

Antucoya 酸化銅鉱山は斑岩銅鉱床であり、平均品位0.35%という低品位大規模鉱床であること、浸出率は極めて高いが閉塞の危険性や粉塵発生の困難を伴う微細粒度の硫酸塩鉱石を多く含むことがその特徴である。低品位であるため処理量を多くして規模の経済の実現を目指している。2020年の生産銅カソード量は79千トンであった。

4.4 新規プロジェクト

Centinela 銅鉱山 Esperanza ピットの隣にはほぼ同じ規模の Esperanza Sur ピットの開発が控えており、Centinela



Fig. 4 Location of mining pits in Centinela District

銅鉱山の酸化鉱石の出鉱元の一つである Encuentro ピットの深部には硫化銅鉱床が胎している。どちらも近年中の開発が予定されている。新規プロジェクトを含む Centinela 地域の各採掘ピット位置を Fig. 4 に示す。

5. 技術面での対応（組織、人員、教育）

5.1 金属資源開発部

当社金属本部には技術担当者を中心に構成される金属資源開発部が存在し、各操業案件へのサポート業務、新規案件評価および探鉱業務等に従事している。2021年3月末の人員構成は、地質・探鉱担当4名、採鉱担当3名、選鉱担当3名で、うち地質・探鉱担当は2名、採鉱および選鉱の担当はそれぞれ1名ずつが海外操業現場に駐在している。

部員数は会社の方針に応じて増減してきたが、海外鉱山への積極的な投資を開始してからは操業現場駐在者の重要性が増し、それぞれの専門性を有する技術職の採用人数は増加している。

5.2 業務内容

金属資源開発部は各鉱山の予算や長期計画の精査を中心に、より質が高く継続性のある操業を目指した作業を主要な業務として行っている。そのためのツールとして鉱山業界において著名なソフトウェアである、Whittle, Vulcan および Evolution という解析用プログラムを保有し、最適な採掘計画、3次元モデリングおよび採鉱操業の将来予測作業が地質および探鉱エンジニアにより行われ、算出された結果を鉱山現場にフィードバックしている。

特にチリの鉱山会社からは常に最新のブロックモデルやボーリングデータが当部と共有されており、それらを用いて種々解析を行うことにより、操業の経済的な安全性もしくは経済性の向上や、妥当性の評価に寄与している。

低品位鉱山である Antucoya 酸化銅鉱山からは、業界スタンダードと言えるデータ管理プラットフォームである PI System を通してほぼ全てのプラント操業データが当社にリアルタイムで送信されており、プラントにおける操業状況の確認や操業データの解析が可能となっている。

5.3 中途採用中心から新卒採用中心へ

海外鉱山への投資が本格化するまでは、金属資源開発部のメンバーはほぼ全員が国内の技術系会社で経験を重ねた中途採用者であったが、世の中の変化が加速している環境に柔軟に対応するためには会社の方針を常に認識したメンバーによる構成が望ましいと判断し、最近では技術職としての勤務を希望する新卒学生の採用を積極的に

行っている。また、最新の全社的な人事制度では入社5年以内の若手社員の中途受け入れ、技術職も含んだ女性社員の採用を強く奨励している。

5.4 教育システムの拡充

新卒学生や経験が必要な若手社員を採用するにあたり、効率的な教育プログラムの作成が必須となる。当社は駐在可能な海外鉱山現場を有しているが、当然のことながらこの鉱山でも即戦力の受け入れを期待していることから、操業管理技術のみならず語学も現地技術者との業務が可能なレベルまで駐在前に習得しておく必要がある。海外鉱山現場の駐在は基本的に1現場3年間までと決め、異なる2現場の駐在経験を目標としている。また、商社の強みを技術者にも体得させることを目的に、1年間もしくは2年間営業部で勤務し、商品知識や経済計算および客先への対応等を体験する機会を設けている。

5.5 研究機関との連携

総合商社と技術系会社との決定的な違いの一つに研究開発組織の有無が挙げられる。また、当社がパートナーとして友好的な関係を築いているアントファガスタ・ミネラルズ社は大手鉱山会社では珍しく自社の研究施設を有しないため、研究開発において当方が協力すべき部分も多い。

既に大学の研究室や JOGMEC（独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構）資源開発部等に都度相談させていただき、各々定められた制度に沿って研究や解析をお願いしているが、今後はより一層各専門分野の方々からご指導いただき、現場へのフィードバックのみならず若手技術者の学習の機会としても活かしていきたいと考えている。

5.6 異なる鉱種の鉱山との連携

鉱種が異なると採掘や選鉱方法は異なるが、計装技術やIT技術では共通する部分も多く見られる。

当社は鉄鉱石、石炭、銅という鉱種が異なる鉱山の権益を持つことから、お互いの操業技術レベルを高めることを目的に、それぞれの操業現場の視察の仲介を積極的に司っている。最近では特に採鉱重機の自動化や選鉱設備の遠隔操作に関する情報交換が行われている。

6. 環境との調和、脱炭素への取り組み

環境との調和には常に重点をおいて操業に努めているが、最近では特に温室効果ガスの削減を目的に脱炭素社会の構築をテーマに掲げている。投資銅鉱山におけるこれまでのいくつかの試みを以下に記す。

6.1 電力の100%再生可能エネルギー化

2020年に電力会社との契約を行い、2022年以降当社

が投資する銅鉱山は操業にかかる電源がそれまでの石炭火力から、再生可能エネルギーに100%転換される。鉱山周辺に豊富な太陽光、風力発電などの再生可能エネルギー発電があり、鉱山で使用する電力の環境負荷低減に利用する。

6.2 ボイラー燃料のLNGガス変換、太陽熱利用

2018年にCentinela酸化銅鉱山、Antucoya酸化銅鉱山において、溶媒抽出工程での熱源を軽油からLNGへ転換し軽油使用量を削減した。

尚、Centinela酸化銅鉱山ではLNG導入前の2012年から電解液中の温度を45度程度に保つための熱源として太陽熱を利用している。

約6haの敷地に1,280枚のパネルを敷設し、電解液の温度調整のための熱交換システムで使用する。年間約7,000m³の軽油使用量の55～60%が削減されており、これはCO₂排出量8,000トン以上に相当する。

6.3 海水の利用

昨今チリにおいては水資源の保全が課題となっており、鉱山開発において地下水の継続利用はほぼ不可能になっている。Centinela硫化銅鉱山は開発時から山元と港を結ぶ145kmのパイプラインで海水を送水し操業用水として利用しており、貴重な水資源への配慮を行っている。

6.4 採鉱重機燃料への水素および酸素の混合

二酸化炭素排出量を削減し、同時に燃料経済性を向上させるために、運搬用トラックのエンジンに蒸留水を電気分解した水素と酸素を注入することにより燃焼効率を高める新技術の導入を検討している。

現場における試験および評価の終了後に実用を開始する予定で、商用車、バス、発電機等ディーゼルエンジンをを用いている全てのエンジンに拡張させることが検討されている。

7. 現在進行中の技術開発

7.1 採鉱重機の自動運転

採掘ピットの深度が浅く、運搬距離が長い鉄鉱石鉱山において既に商業利用が開始されているトラックの自動運転が、採掘深度の深い銅鉱山においても実用化されつつある。Centinela銅鉱山では2022年からの利用を目指して、機種を選定や採掘ピットの設計等が最終段階を迎えている。その魅力は無人による安全の確保や休憩時間を必要としない高い稼働率、更には達成確度の向上による効率的な計画の作成が挙げられる。

7.2 リモートオペレーションセンターの開設

鉱山の採掘ピットから港までの操業をリモートで一貫して行うリモートオペレーションセンターをアントファ

ガスタ市内の専用ビルに開設する予定。

本プロジェクトはリモート操業のみならず、追加のセンサー設置により更なる操業データの取得、データベースの統一化、分析を行うことで鉱山操業のデジタル化およびDX（デジタルトランスフォーメーション）を進めるものである。組織形態も新しい操業形式にあわせて変更され、リアルタイムで全体の最適化を意思決定する他、鉱山経営の効率化を図る。

7.3 AIの活用

操業の最適化、人員の削減を目的に操業におけるAIの活用が検討されている。これまでSAGミルの磨鉱操業および尾鉱シクナーの濃縮操業にそれぞれ試験的にAIプログラムが活用され、どちらも将来性のある結果が得られている。

現場では業界スタンダードであるPI Systemが用いられ、過去のデータもハードウェア内に蓄積されていることから、AIによる学習が事前に実施されることも短期間に効果が得られることにつながっている。

8. まとめ

商社の鉱山投資は、技術関係は国内の技術系会社にお任せし、税務面、財務面だけの担当としてプロジェクトに参入する形が主であったが、鉱山開発には川下部も含めて大きな可能性が存在することから、仮に当社単独であっても技術面も含めて優良案件への参入を開始した。

長い歴史を有する鉱山会社にはまだ及ばないが、スピード感を最重視した独自の効率的な教育プログラムを作成し、賛同する技術者を採用し、操業レベルの向上の寄与を目的に技術者を現場に派遣している。

但し、機械的な問題や研究開発に関する部分については、自社内での解決は難しく、現時点で国内の研究機関のお世話になっていることも多く、今後一層の指導を受ける必要があると感じている。

現在採鉱重機の自動化、現場操業の遠隔操作が決定事項として計画され、AIによる操業の自動化もその実現が目前となっている。特にコロナ禍ではその必要性がこれまで以上に高く認識され、現場で勤務する社員の配置等根本的な見直しも働き方改革の一環として始められている。

今後も国内の学識経験者や操業経験者のご協力を賜りながら、我が国の経済・産業の発展に必要な不可欠な資源の確保という極めて大きな使命を達成していく所存である。

9. 謝 辞

報告の機会を与えてくださった柴山教授をはじめ環境資源工学会第 139 回学術講演会ご担当者の皆様に厚く御礼を申し上げます。

References

1. Y. Kihara, M. Kai, D. Tsuchiya: The Operation profile and future of Minera El Tesoro Antofagasta Region Chile, *Journal of MMIJ*, **127**, 287–299 (2011)
2. Y. Kihara, M. Ichigetsu, D. Tsuchiya: The introduction of the operation profile and some trials at Esperanza Mine, *Journal of MMIJ*, **129**, 317–324 (2013)
3. Y. Kihara, D. Tsuchiya, T. Ueda: Marubeni's participation in copper mining project, Presentation symposium: Economics, Markets and History, Copper (2016)
4. Y. Kihara, T. Ueda, D. Tsuchiya: The development and interesting features of Minera Antucoya, Presentation symposium: Japan Mining Industry Association (2016)