

黒鉱開発の現状と将来

The History and Future of Black Ore in Japan

熊 谷 英 男*

Hideo Kumagai

1. 黒鉱とは

黒鉱はその名の示す通り黒色の複雑硫化鉱であり、今から約1,300~1,500万年前、第三紀中新世の火山活動により水深約200~300mの海底に堆積生成された鉱床である。地質時代から見ると極めて若い鉱床であるだけに生成後の移動分散が比較的少く、まともには良好な方で、また、金、銀、銅、鉛、亜鉛を始め多種の金属を含有するため品位は高く、適切に回収されればその価値は大きく、我国国内資源中の重要な位置を占める。然しながら反面、海底生成である為、鉱石周辺に堆積した泥や粘土が採掘時には強盤圧を、また運搬時には取扱上のトラブルをもたらす、更に微細な異種鉱物の集合体であるため単体分離にも問題がある。要するに高品位で価値は高いが発見し難く、掘りにくく、分離し難いという極めて特徴的な鉱石である。それだけに取組甲斐がある。黒鉱の歴史は約100年にもなるが、殊に戦後の約40年間は組織的な調査と研究を重ねた結果、探査技術並に採鉱技術は着々と前進し続け、難処理鉱と謂われた黒鉱も年々その価値を増してきたと考えられる。殊に秋田県北鹿地方に於けるポテンシャルは高く、今後も新しく発見される可能性はまだ大きく、しかも最近海底で発見された生成中の高品位の鉱床も黒鉱に類似した特徴を有し、今後の資源開発にも過去の技術推移のスピーディーな延長が必要であろう。茲に今までの経緯の概要と今後への考察を述べる。

2. 黒鉱鉱床

2.1 鉱床と鉱物

黒鉱鉱床の胚胎層準は日本海側東日本を中心に北海道から島根県まで認められ、東日本では一部伊豆半島にまで延びている。特に秋田県北東部の「北鹿ベースン」

は世界的にも名を知られた一大黒鉱鉱床群の中心地で、古遠部、相内、小坂、花輪、深沢、餌釣、釈迦内、松峰の黒鉱鉱山が集中稼働し、現在年間約200万tの粗取出鉱が行われている。

北鹿地方の黒鉱鉱床は中新世西黒沢階末期の海底酸性火山活動によって生成された成層状の多種金属鉱床と定義づけられている。一般に石英安山岩質熔岩を下盤とし、下部から上部への石膏、珪鉱、黄鉄鉱、黒鉄鉱、石英の順に累帯構造を示す。

また下盤の石英安山岩の鉱化作用に鉱床帯の内側か

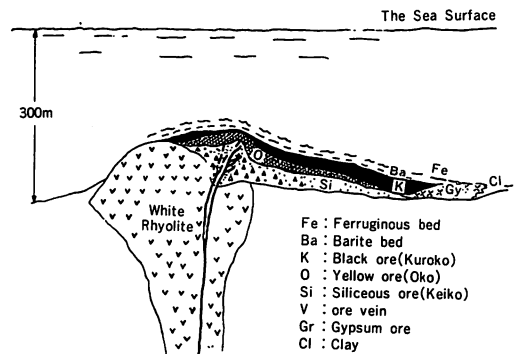


図-1 黒鉄鉱床理想断面図 (伊藤・石川による)

ら外側に向けて珪化帯(石英、絹雲母)、粘土帯(絹雲母、モンモリロナイト)、絹雲母緑泥石帯、更にモンモリロナイト帯とはほぼ同心円状の累帯配列がめられる。以上は基本的パターンであり、海底噴気の規模、強弱、海底地形等により様々な鉱床を生成し、更に生成後の泥岩、凝灰岩の堆積並にその後の貫入岩による変形、さらに侵蝕作用による変化を受け鉱床は夫々個々の形態を示している。

次に鉱物としては黄鉄鉱、黄銅鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱を主とし、銅系では斑銅鉱、四面銅鉱などが共生するいわゆる複雑硫化鉱で、更に各種鉱物粒子が微細である。

* 同和鉱業(株) 常務取締役

〒100 東京都千代田区丸の内一丁目八番二号

3. 黒鉱採鉱技術

3.1 20年代の黒鉱採鉱

戦後の日本経済にとって非鉄産業は国内復興の基幹産業として石炭、鉄鋼、セメント、製紙、繊維等の各産業と共にその役割を果たした。S22年には政府は硫化鉱緊急増産対策を決定、またS24年には鉱山保安法施行など資源政策を打出した。予想以上の早さで立ち上がった日本経済はS29年には銅合理化3ヶ年計画を通産省が作成するまで変貌していた。

黒鉱採鉱は既に除々に回収技術が向上し、銅精鉱、亜鉛精銅、鉛精鉱の他に時代の要請を受け石膏も大規模に採掘されていた。当時は試錐採鉱の深度に限界があったので比較的地表近くの黒鉱採鉱がその稼行対象とされ、表土、断層、貫入岩体等の影響を受けた不規則で且つ小型の鉱体が多かった。当時の採鉱上の問題点としては、

- (1) 多種多様な採鉱法が採用されていたこと。
- (2) 盤圧が強く、採鉱作業並に坑道維持が困難で保坑作業が採鉱の大きなウェイトを占めていたこと。
- (3) 粘土を含む鉱石は特に運搬系統に支障をきたしていたこと。
- (4) 上記条件下での保安成績は必ずしも満足すべきものではなかったこと。

等が挙げられる。これらは黒鉱採鉱にとって宿命的現象とさえ思われたが、黒鉱採鉱技術者にとって解決しなければならぬ基本的な重要課題でもあった。

3.2 30年代の黒鉱採鉱

S38年に行われた銅地金の価格の自由化は我 国産銅会社にとり欧米の巨大資本との競争のスタート点となった。ポーフィリー・カッパー型巨大鉱床から大型機械による大量生産で低価格に仕上がった銅は日本の脈状および塊状の含銅硫化鉄鉱床よりの銅を忽ち窮地に陥し入れた。

この様な状況下に小坂内の袋鉱床が戦後初の大型黒鉱採鉱床として発見され、非鉄業界に勇気と希望を与えた。我々は国際競争力のある近代的鉱山に仕上げるべく、坑内採鉱に関する内外の技術を結集し、軟弱地盤の黒鉱採鉱に適する採鉱法を研究した。その結果「人工天盤式下向分層採鉱法」と謂う全く新しい採鉱法が出来上った。

本採鉱法は、

- (1) 強盤圧を抑制し得て、落盤の全くない安全な方式である。

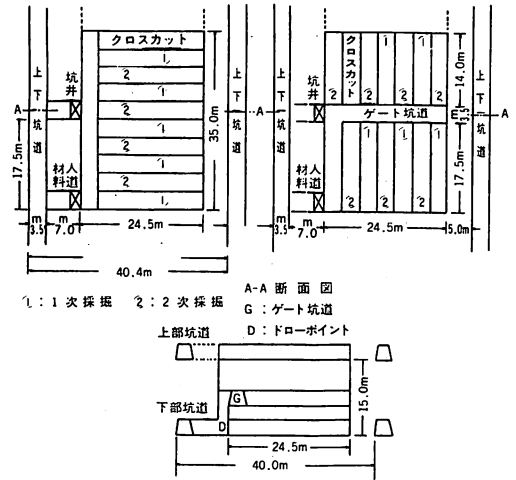


図-4 採鉱法概要図

- (2) 形の複雑な鉱床も取り残すことなく完全採掘が可能である。
 - (3) 作業の規格化と機械化が容易で安定した高能率が得られる。
- 等、永年の黒鉱採鉱技術上の問題点を一挙に解決し得た新採鉱法式である。

具体的には、例えば地下鉱体を5階建のビルと仮定すれば、初ず鉱体を上下2.5~3.0mに分層し、5階から採掘を始めるが5階を更に幅3.5~4.0mの平行の廊下に分割する。初ず出入口から最も遠い廊下から採掘を始め、奇数列の廊下の採掘後、偶数列を採掘する。各廊下は1列採掘終了後直ちにサンドスライム充填を行い、最終的には5階の鉱石は全て充填物に置換する。この場合重要なことは各廊下を充填する際に15~20%のセメントを混入した床厚約0.5mの人工天盤を打設する点にある。人工天盤には床面にビニールシートまたは金網を敷き9~15mmφの鉄筋を配筋する。

5階に打設したこの人工天盤は4階採掘時の安全な天井として役立てる。4階採掘時は原則的に5階の廊下と直交して廊下の列が区切られ5階と同様に採掘、充填を行い順次1階まで採掘する方法である。

本採鉱法は廊下即ち坑道掘進で鉱体を採掘するもので坑道掘進はさく岩、装薬発破、搬出、支保の4要素作業から1サイクルが成立している。従って出鉱量は単純操返し作業で成立つサイクル数に比例し、生産計画が単純化され、操業度の変動、品位変動を減少させ、安全且つ完全回収の可能な方式として其後の国内各黒鉱鉱山開発の基本技術となったばかりでなく広く海外の類似鉱山にも適用されるに至った。

3.3 40年代の黒鉱採鉱

所謂朝鮮動乱で弾みのついた日本経済は大量生産、大量消費時代に入り、非鉄業界は需要の拡大傾向に対応するため積極的な海外自主採鉱および大型融資買鉱に活路を求めた。一方国内では前述の通り小坂内の岱につき続々と新鉱床が発見、開発され所謂“黒鉱ブーム”を作り、順調に操業に移行し、貴重な国内資源としての重要な役割を果たした。

この頃の黒鉱開発の特色として次の2点を挙げる。

- (1) 鉱山開発分野に於て始めての業界協調体制がとられたこと。
- (2) 我国初の全山トラックレス方式による鉱山開発が深沢鉱山でなされたこと。

前者については隣接した三つの鉱区に3社の鉱山が夫々開発されたが、地表に水田と集落があり、地盤沈下問題、鉱業用水、選鉱廃滓処理等で石炭産業と類似した各社共通の問題点をかかえていた。これらに対し行政当局および大学の指導を得て沈下問題には調和採鉱技術を、廃滓処理問題には遠距離廃滓パイプ流送技術を各社協調研究の上確立し、これら問題を解決して行った。

次に深沢鉱山はS44年に発見された鉱量約300万tの中型鉱床で、従来の黒鉱鉱床と異なり石膏、硅鉱、黄鉱が少なく殆ど黒鉱のみが広範囲に比較的緩傾斜で層状に分布していた。また地表は急峻な山岳地帯であるが地下400mの鉱床までの泥岩、凝灰岩は、粘土化等の変成が少なく鉱床直上に粗粒玄武岩が覆う特長を有していた。この鉱床に対し従来の立坑、斜坑および水平坑道の組合せによる開発方式をとらずに国内では初めての軌道を持たない全山トラックレス方式で開発することに決定した。その背景には、

- (1) 黒鉱鉱床は軟弱岩盤が常識となっていたが事前岩芯調査で比較的岩盤が堅硬であると判明したためトラックレス方式の採用が可能と判断できたこと。
- (2) 広範囲に分散した小鉱体の集合である鉱床に対し、従来方式では坑道延長が長大化するため緩傾斜斜坑方式を採用すれば工期の短縮と建設費の節減が可能となること。
- (3) トラックレス方式に必要な小型強力鉱山機械が発達し、それらの導入が容易になったこと。

等があり、人工天盤採鉱法、支保技術等既存技術の上にこれら新しいシステムを導入し、鉱床性質に最も適し且つ生産性の飛躍的向上も期待できると判断された。

2本の緩傾斜斜坑が山腹から鉱体に向け予想以上の

スピードで開削され、搬出機械は引続き採掘切羽の鉱石運搬に使用された。その結果、従来の黒鉱鉱山と比較して、

- (1) 建設期間を大幅に短縮し
- (2) 生産性は約50%上昇し
- (3) 坑内構造は単純化され固定の人員配置が削減され立坑櫓と人員昇降ケージのない鉱山として鉱山イメージが一新し、保安成績も向上し、若者にも魅力ある近代的鉱山となった。またS40年代は選鉱、製錬部門の処理技術が更に向上し多鉱種高品位鉱としての潜在価値を一層発揮するに至った。

3.4 50年代の黒鉱採鉱

S49年11月の第1次オイルショックはドルの相対価値の下落と金、銀等貴金属の値上りをもたらしたが反面景気低迷による銅、鉛、亜鉛の主要金属価格を横這い状態にし、重油を始め電力費、セメント等の原材料、機械製品、更に人件費等の大巾値上りを招来し、製品価格にコストアップを添加できない非鉄金属業界には大きな打撃を与えた。この様な状況下に於ても以下の様な技術の近代化は着々と進んで行った。

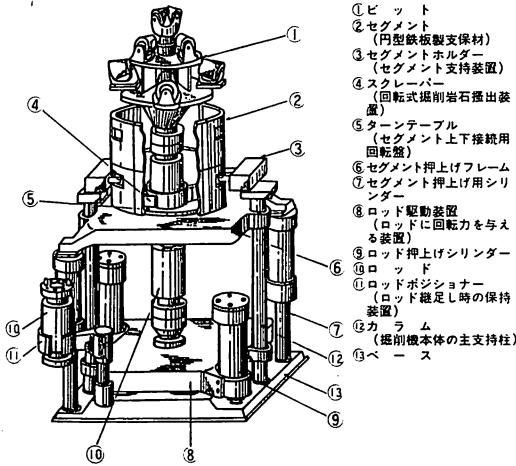
- (1) 全断面切上機械の開発
- (2) シンプル・マイン 餌釣鉱山の開発
- (3) 坑内作業の機械化推進

以下その概要を述べる。

3.4.1 全断面切上掘削機の開発

黒鉱鉱床中の最頂部に位置する所謂黒鉱帯は通常粘土化した泥岩および凝灰岩中に存在し、頂部から下部への採掘を原則とする黒鉱採掘には頂部黒鉱へのアプローチは粘土帯の突破が不可避の工程である。水平坑道によるアプローチは通路、資器材運搬、および排気坑道として秀れているが垂直の地圧の被圧面積が広く、坑道支保に偏荷重および集中荷重を受け円型鉄筋コンクリートライニングを施した坑道でさえ破壊変型に至る。従って水平坑道を下盤中の堅硬な岩石中に設けて支保の問題は解決したがこの場合切羽へのアプローチは切上り掘削が必要となる。坑井開削機械は各種開発されているがいずれも無支保工法であり、掘削と同時に支保を施さなければ地山が崩壊する軟弱粘土帯の掘削には適さず止むを得ず人力による掘削と施枠支保作業を行って来た。この作業は熟練者による地山状況判断を狭い坑井内での機敏な作業能力に依存せざるを得ず、安全性と能率面の問題があった。

我々は以前小坂鉱山に於て鉅研試錐工業(株)と大口径掘削機ビッグマンを協同開発した経緯があった。ピ



- ① ビット
- ② セグメント (円型鉄板製支保材)
- ③ セグメントホルダー (セグメント支持装置)
- ④ スクレーパー (回転式掘削岩石掻出装置)
- ⑤ ターンテーブル (セグメント上下接続用回転盤)
- ⑥ セグメント押し上げフレーム
- ⑦ セグメント押し上げ用シリンダー
- ⑧ ロッド駆動装置 (ロッドに回転力を与える装置)
- ⑨ ロッド押し上げシリンダー
- ⑩ ロッド
- ⑪ ロッドポジショナー (ロッド磁足時の保持装置)
- ⑫ クラム (掘削機本体の支柱柱)
- ⑬ ベース
- ⑭

図-5 全断面切上掘削機説明図

ッグマンは上部基地から下部に作孔する機械であるが、今回開発した坑井開削機は下部基地からショートステップで上向切上り掘削と同時に鉄板製リングを推進し孔壁の支持を行いながら掘削するもので、海外にもその例を見ない小型全断面切上掘削機である。

この掘削機の完成によりS20年代以来の黒鉱採掘に於ける坑道維持問題に漸く終止符を打つことができた。その実用上の効果は、

- (1) 切上り作業を無人化することにより保安上の問題は解消し、特殊技能者の必要性が無くなった。
- (2) 切上り作業は単純化され、工程の標準化が可能となり、コストも大巾に低減した。
- (3) 坑内構造の変更によって保坑作業が著しく減少し、操業の安定に結びついた。

3.4.2 シンプル・マイン 餌釣鉱山の開発

大館市の中心街より南東約4kmの山岳地帯にS51年に発見された餌釣鉱床は先の深沢鉱床と鉱種、型態に類似点が多く、深沢よりやや小型ではあるが高品位鉱床で、地下約300m地点に存在する現在鉱量約100万tクラスの鉱床である。

先に全山トラックレス方式の深沢鉱山が開発されたが更に小型の鉱山を厳しさを増した環境下で開発するにはより単純化と高能率化が必要であった。

その対策として深沢と同様の連斜坑方式としたが、斜坑の片方のベルトコンベアの設置を廃止し、これをトラック運搬に切替えた。従って坑内に1次破碎設備は設けず、他の充填プラント等と共に坑外に集約併設し、管理の簡素化はむろんのこと建設期間を著しく短縮した。

表1 全断面切上掘削機1号機の仕様

型 式		全断面切上掘削機 (全油圧式)		
掘削方式	軟弱地層においてセグメント (円型鉄板製支保) を圧入しながら全断面切上りを掘削する方式			
掘削能力	口径 1400mm	掘削長 30m		
掘削方向	垂直上向専用			
ロッド回転	回 転 数	低 速	高 速	
	トルク	0~13 rpm	0~26 rpm	
ビット荷重 (押しつけ力)	方 式	油圧シリンダー (2段×2本)		
	掘削力	定格70ton (最大120ton/1段作動時)		
	掘削速度	岩質によって変化する		
	ストローク長	1200mm		
セグメント 押し上げ	方 式	油圧シリンダー		
	押 込 力	200 ton		
	速 度	10cm/分		
	ストローク長	600mm		
掘削機本体の寸法		全 長	全 幅	全 高
	掘削時	2550 mm	1575 mm	2872 mm
	ビット取付時	2550 mm	1575 mm	口切時 2550 mm 掘進時 4735 mm
	運搬時	2320 mm	1350 mm	1395 mm
重 量	11750 kg			
備 考	その他動力装置 制御装置 スイッチ装置 油圧ホース、ケーブル、ロッド、ビット、セグメント			

最もシンプルな構造となった餌釣鉱山はまた鉱量、初期投資額、機械装備等で調和のとれた鉱山となり、当初計画通り月産1万t出鉱を順調に維持し、現在も効率よく操業している。

3.4.3 坑内作業の機械化推進

黒鉱採掘作業の1サイクルであるさく岩、装薬発破、運搬、支保作業の中、運搬作業は20年代のスクレーパーから30年代にタイヤローダーの導入により大きく躍進し、更に40年代にトラックレス・システムの出現によりロード・ホール・ダンプ方式のローダー(LHD)に発展した。LHDはローダー、バッテリーロコ、鉱車の性能を兼ね、より小廻りが利き且つ緩傾斜坑道での運搬も可能で、運搬作業に関しては坑内トラックとの組合せにより満足出来る機械である。

LHDの性能は単に鉱石の運搬にとどまらず採掘切羽の浮石外し、路盤整理、生コン運搬、更に坑内の重量運搬、持上げ作業にも適し、高所の足場としても秀れた性能を付加され特に支保作業に重宝に使われ1サイクル作業中の運搬と支保に使用された。高価な機械が長時間1つの切羽に釘付けになり、所要台数の増加傾向が生じた。LHDは運搬機としての性能を発揮して始めてその代価に値する。従って支保作業からLHDを切離す為にも支保専用機の開発が必要となった。主たる支保作業は坑木三つ留作業と2部材鋼杵取付作業であり、その機械化を計画し、材料運搬、柱立て、笠木上げおよび作

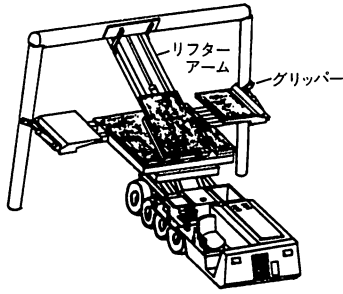


図-6 留付作業の模式図

業足場の機能を有する海外でも例のない支保機をS57年に自社製作で完成した。支保機はティンボーと名付けられ、2名の塔乗が可能で8輪駆動の車体で悪路にも強く登坂力もあり価格も安いことから生産性と保安の向上に寄与した。

次にさく岩作業の機械化であるが、黒鉱採掘では岩石、鉱石とも軟岩が多く比較的手軽にレッグハンマーで穿孔作業が可能でジャンボを導入しても切羽への持込みが困難であった。トラックレスマイニングはジャンボ導入を可能にし、老朽化したLHDを台車としたジャンボ試作機がS52年頃から作られたが巾4.0mの坑道から直角に掘進する場合には十分使用しきれず数回の試作品を経て漸くS57年にオールラウンドプレーヤーとも謂うべき自山製ジャンボを完成した。これにラッティジャンボと銘名した。ラッティジャンボはティンボーと同一車体の上にターンテーブルを取付け2連装空動ドリフターを装備したもので、穿孔はもとよりルーフォルト取付機の機能も有し、その性

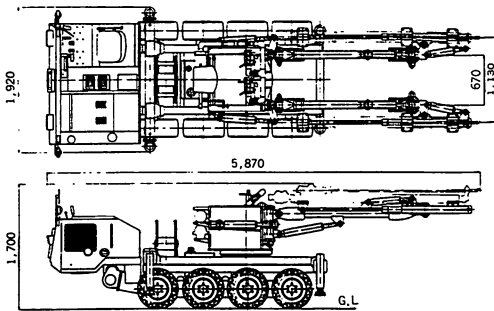


図-7 ラッティ・ジャンボの平面図と側面図

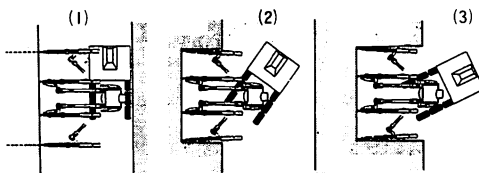


図-8 坑道直角方向の穿孔

能と価格から普及し、振動衝撃を防止し、生産と保安の向上に寄与した。

最後に装薬発破の機械化であるが、この作業の機械化は未だ開発されていない。粉状爆薬の孔中への装填作業に装填器が使用されているが雷管付起爆薬の装填作業と結線作業は慎重に手作業で行われている。爆薬による岩石破碎は最も安価であるので装薬発破作業は今後継続されようが、それらの作業の機械化あるいはロボット化を研究する以前に更に安価で且つ高性能掘削機の開発を期待したい。

3.4.4 マイン・オンライン・システム(MOS)の導入

黒鉱採掘の従来の経緯は以上述べた通りであるが、

- (1) 採鉱法および盤圧問題は人工天盤式下向分層採鉱法の開発により
- (2) 保坑問題は全断面切上掘削機の開発による坑内構造の改善により
- (3) 運搬問題は主として機械化とその大型化により
- (4) 保安問題は以上の総合効果として著しく向上した

逆の見方をすれば、保安を前提とした上記技術改善が生産性の向上とコストダウンに結びついたといえる。

その過程に於て単能工は多能工に変身し、更に機械化の推進により作業形態は変わり、LHD、坑内トラック、ジャンボ、ティンボー等の操作員は単能工に逆戻りする傾向となった。採掘計画に於て、従来は出鉱が決まれば採掘切羽数が決まり、所要機械が簡単に求められたが現在では各機種オペレーター単位の作業能力と必要切羽数と出鉱量の最適化をシュミレーションにより求める必要が生じてきた。また坑内作業は当然1人作業が多くなり、日々変化する坑内作業故、分散した個所で個人の判断力も多く必要となり、孤独感を増す新傾向が生れた。

これらの結果、人と機械と切羽を有機的に結合する媒体が必要となり通信システムを導入するに至った。

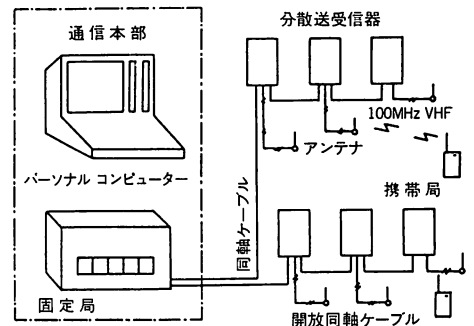


図-9 通信システム概念図

通信システムは固定局を坑外事務所に設置し、坑内係員、オペレーター、機械担当者は移動局を夫々携帯する。オペレーターから固定局のある通信本部に作業始動、終了を告げ同時に作業量、切羽状況、機械状況を報告し、本部は小型電算機に作業状況をインプットすると共に必要な助言、指示を与える。この間他のオペレーターおよび係員はその交信を傍受することができ必要があるれば相互に交信が可能である。また本部に集中した情報は各種項目毎に整理集計されその結果は坑内から誰れもが利用出来る運営方式とした。

採掘の単位作業の機械化が進み、前述の人と機械と切羽を通信システムによって合理的結合を計る上記新採鉱システムをマイン・オンライン・システム(MOS)と名付け、S57年から採用、実施した。

MOSの採用による初期効果として

- (1) 採掘能率は更に50%上昇した。その結果黒鉱採掘能率はS20年代の3~5t/工から30年代の人工天盤採鉱法の採用により10T/工へ、更に40年代のトラックレスシステムの導入により20t/工へ、そして今回のMOSの採用により30t/工へ躍進したと言える。同時にコストダウンにも結びついた。
- (2) MOSはまた坑内保安対策の強力な武器となった。即ち坑内で発生した事故、故障は直ちに坑内全域に周知させることが出来る。迅速な処置はタイムロスが減るばかりでなく、人災等の被害を最少限に抑えることも可能となった。
- (3) ムダ、ムリ、ムラを減少させ、坑内作業をFA化の方向へ一歩近づけた。

4. 黒鉱開発の将来

技術の進歩は日進月歩であるが、近年その速度は急速に上昇し、明日の新しい技術を予測することは極めて難しい。

しかし、多種金属を同時に含有し、その価値の極めて高い黒鉱は資源の少ない我国にとって、又科学技術立国を目指す我国にとってかけがえのない極めて重要な国内資源である。しかも秋田県北部地区に未だ限らない新鉱床発見の可能性のある限り何としてもそれらを見出し活用したいものである。その為には更に高度の探査並びに開発技術を必要としようが、これは前述の如く一朝一夕にして成るものではないだけに、国家的課題として政府の一層強力な施策や援助も欲しいものである。

具体的な将来技術の列挙は現段階では難しいが、探査方式としては今開発途上にある衛星探査技術をはじめより総合的なそしてより科学的な物理化学方式がコンピューターと直結して発見コストを下げ、発見効率を飛躍的に上げることになる。

また開発、採鉱方式も単機能から多機能へ、機械的な掘削から物理、化学的方式へ、操作方式についても直接操作から遠隔操作化へ、更に自動化度を高めてゆくことになる。

しかしながら、複雑多様で条件変化の激しい自然を相手とするものだけに窮局の完全ロボット化にはまだ少し年数を要するのではなからうか。

