

鉄鉱石採掘の新技术



西田 信直*

New Technology of Iron Ore Mining

Nobunao NISHIDA

1. はじめに

世界の鉄鉱石生産量は約9億t近くに達しているが、その採掘は露天掘・坑内掘・水力採鉱の3方法で行われている。水力採鉱は砂鉄に限られ、その生産量も少なく、わが国ではニュージーランドからこの方法による砂鉄が輸入されているだけである。坑内掘は、ソ連、カナダ、アメリカ、スウェーデン、フランスなどで現在も行われていて、最大のものはスウェーデンのKiruna鉱山で生産量は1600万t/yをこえている。しかし坑内掘全体としては鉄鉱石総生産量の10%以下に過ぎない。日本では釜石鉱山が坑内掘を行っている。

現在わが国に鉄鉱石を供給している鉄鉱山は、すべて露天掘によつて採掘が行われているので、ここでは露天掘採掘に焦点を絞ることにした。

第1次石油危機以来、鉄鉱山においても、設備の大型化、省エネルギー化、省力化の努力が続けられ、鉄鉱石の採算性の維持ひいては鉄鋼生産の伸びに大きく寄与してきた。しかしながら、昨今の世界的な鉄鋼不況の状況下においては、山元側に対してよりいつその競争力の維持、ひいてはコスト低下の要望が出されており、新技术の必要性がますます大きくなり、積極的に採用を図っている鉄鉱山もある。

2. 鉄鉱山開発の諸問題

鉄鉱床の発見から出荷までには、鉱区権の設定、初期の探鉱、企業化検討のための詳細調査が行われ、詳細調査結果にもとづいて開発するかどうかを検討され、開発が決定されれば、資源国の承認、開発資金の手当、販売先の選定などが行われる。これと平行して、鉱山の開発、プラントおよびインフラストラクチャーの建設が始まる。企業化が決定されてからでも建設期間が3~5年の長期にわたるのが普通であり、鉱床が発見されてから出荷するまでに10年以上かかるものも少なくない。

このように鉄鉱山の開発には長い期間を必要とするばかりでなく、表1に示すように多額の費用が必要である。世界的なインフレの進行にともない開発費用も上昇の一途をたどり、第1次石油危機以前の年産鉱石1t当たりの開発費に比べ、最近では3~4倍に上昇している。

これが新規鉱山の競争力を低下させる原因となるので、操業費の低下が強く要望される理由の一つになっている。

開発段階で特に注目されている新しい技術は、鉱床の地質モデルの作製、埋蔵量の推定、鉱山の経済性の検討、長期採掘計画の作製、建設予算の管理などの広い分

表1 鉄鉱山の規模と開発費

	A	B	C	D	E	F	
開発(出荷)時期	1965~71	1969~72	1967	1976	1980	将来(1986)	
年産規模(万t)	3500	1100	250	1200	1000	3500	
開発費×10 ⁴ (\$)	鉱山設備	31600	12700	5400	55300	30800	638300
	鉄道・港湾	29800	9900	1800	9000	33800	2429300
	電力・給水	7400	2900		鉱山設備に含む		
	町造り	12100	1500	500	4000	2600	198500
	計	80900	27000	7700	68300	67200	3266000
トン当たり開発費(\$)	23	245	31	57	67	933	

(単位:米ドル)

昭和59年7月18日受付 (Received July 18, 1984) (依頼解説)

* 海外製鉄原料委員会 工博 (Committee for Overseas Iron and Steel Raw Materials, 235 Otemachi Bldg. 1-6-1 Otemachi Chiyoda-ku 100)

野にわたってコンピュータが導入されたことである。これらが、開発期間の短縮、投資の削減、ひいては鉄鉱石の経済性に大きく寄与しているが、本稿の主題ではないので割愛する。

3. 鉄鉱石採掘のフロー

ここでは、説明を簡単にするために単純な鉄鉱床を考へることとする。(図1)

この鉱床の地表側には、表土や岩石や低品位鉱があるので、まずこれらを除去して鉄鉱石を採掘しやすいようにしなければならない。これを剥土・剥岩作業というが、除去しなければならない剥土・剥岩の量と、剥土作業によつて採掘可能となる鉄鉱石(粗鉱)の量との比を剥土比(Stripping ratio)という。これは露天掘鉱山の経済性を左右する最も重要な要因で、剥土比が小さいほど経済性が高くなる。対日供給鉱山の大部分は、1.5以下の低い剥土比なので経済性は高い。

図1の鉄鉱床の採掘状況を図2に示したが、この採掘方式は鉄鉱石の露天掘がすべてこの方式で行われている、ベンチカット方式と呼ばれるもので、ベンチを作り逐次上部から下部に採掘を進める。この鉱床では、3段にベンチが切られており、表土はエクスカベーターで剥土・運搬され、鉄鉱石は一定間隔ごとに開けられた孔に充填された爆破剤によつて爆破され、破碎された鉄鉱石は1, 2段ベンチではショベルでトラックに積み込まれてモバイルクラッシャーに運ばれ、一定の粒度以下に破碎される。最下段のベンチでは、爆破された鉄鉱石はフロントエンドローダーでトラックに積み込まれて2段目のベンチにあるモバイルクラッシャーに運ばれ破碎される。破碎されたこれらの鉱石は、ベルトコンベアーでストックヤードに送られ貯蔵される。

しかし、実際には鉄鉱石は丘陵地帯に産出するものが多く、上から下に10段ぐらいのベンチが切られ、各ベ

ンチが並行して採掘されるが、この場合のベンチの高さは10~15mぐらいが普通である。

図2のような採掘方式は非常に条件が良い場合に適用できるもので、対日供給鉄鉱山のほとんどは、大型ドリル→発破→ショベル→トラック→一次クラッシャー(固定式)→ベルトコンベアーの方式が採用されているが、近年になつて各段階に新しい機械または技術が採用されつつある。

ところで、露天掘採掘で使用される機械の主な目的は、大量の表土・被覆岩と鉄鉱石を迅速に効率よく掘削・運搬すること、大型で高能率な機械が開発されてきたので、機械の組み合わせや作業方法が次のように変わりつつある。

1) 同種の機械をできるだけ大型のものに代えて、増産するか、台数を減らしてコストをさげる。

2) それぞれの作業の目的や条件に合わせて、違つた機能をもつ機械に代えて、能率を上げるか、コストを下げる。(例、ショベルの代わりにフロントエンドローダーを使用する。通常のショベルの代わりにバックホーを使用する。固定式の一次クラッシャーの代わりにモバイルクラッシャーを使用する。)

このような傾向は、今後ますます強くなると予想されるので、以下の各項で説明する。

ところで、表2¹⁾はある鉄鉱山の採掘費を作業別にまとめたものだが、この表で採掘費に占める割合の高い項目の順に以下に説明する。

4. 運搬機械における新技術

表2の採掘費の中で、トラックによる運搬費の割合が最も高く、この例では50%を越えている。このためトラックそのものの改善が行われる一方で、トラック運搬の一部を他の方法、例えばコンベアー輸送に代えるなど

表2 採掘費に占める各作業費用の割合の1例

作業項目	全コスト中の比率(%)
運搬費 { 燃料費のみ	30
{ その他の費用	27
穿孔費	5
爆破剤費	14
積み込み及び積み卸し費	9
一般管理費	15
合計	100

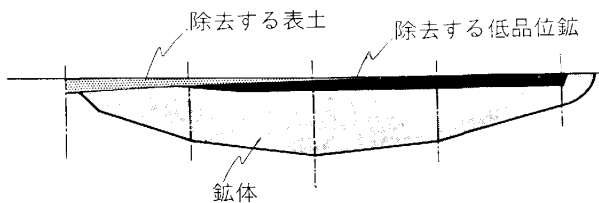


図1 鉄鉱床の断面図

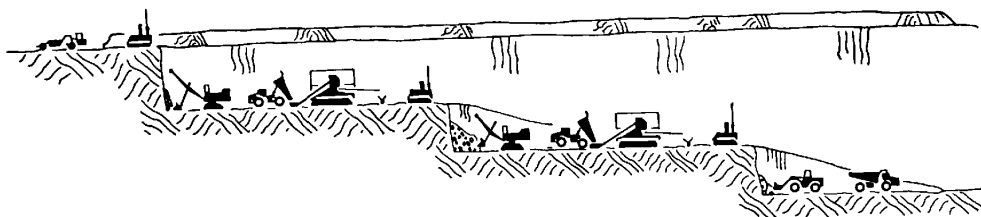


図2 鉄鉱石採掘の横断面図

の新技術が報告されている。

4.1 トラック

対日供給鉄鉱山で使用されているトラックは、リアダンプトラックで、ピットの大きさにもよるが100～170 tの物が多く使われている。その動力源としては100 t以下のものはディーゼルエンジン式のものが多く、100 t以上の大型では、ディーゼルエンジンで発電機を廻し、これによつて得られた電力で車輪駆動用のモーターを廻すディーゼルエンジン-電気式のものが多い。

4.1.1 燃料消費量の低減

最近注目をあびているのは、ディーゼルエンジン-電気式のトラックで、燃料の一部を外部からの供給電力によつて代替しようとするものである¹⁾。

この方式は、上り坂の道路の頭上にトロリー線を敷設し、トラックにはパンタグラフを取りつけ、平坦地および傾斜のゆるい所では従来の方式で駆動されるが、急な上り坂に近づくと、トラックの速度を8 km/h ぐらいまでさげて、トロリー線とパンタグラフを確実に接触させる。すると自動的に、ディーゼルエンジンによる電動機の駆動ラインが切れて、電動機は頭上のトロリー線からの電気(直流)だけで駆動される。設置するトロリー線は採掘状況に対応できるように移動可能となつている。

この方式の適用は、急傾斜望ましくは10% 程度以上の傾斜、また3 km以上の距離があるとともに、ディーゼル燃料よりもかなり安い電力が得られることが条件となつているので、どの鉱山でも適用できる訳ではない。

しかし、1970～1977年に、カナダのQuebec Cartier Mining Co. のGannon 鉱山でまず実施され、生産性が23% 向上し、燃料消費量が87% 低下したと報告されている。1981年末から実施された南アフリカの

Parabora Mining Co.¹⁾ では燃料消費量が22% 低下した。同国のSishen 鉱山²⁾ では、1980年に3台のトラックによる試験を1年間実施した。その成績は、8% 傾斜の道路でトラックの速度が12 km/h から22 km/h に上昇し、サイクルタイムを30～40% 短縮することができた。そこで1982年9月より全トラックの改造に着手したが、1983年末の成績は、上り坂での燃料消費量が326 l/h から60 l/h に低下し、トラックのスピードも10 km/h から20 km/h 以上に上昇しており、かなりの成果が得られたといえる。また架線から得られる電力の方がディーゼルエンジン発電機から得られる電力より大きかつたので、モーターが余裕をもつて運転でき、消耗度が少なくなり、またディーゼルエンジンの稼働時間が減少したためトラックのメンテナンスコストが低下した。

先に述べたように、この方式は限られた条件下でのみ成立するが、下り坂で発電し、それを蓄電するなどの改造をすることによつて更に経済性が向上する余地もあるので³⁾、ピットが深くなつた場合に考慮すべき方法である。

4.1.2 トラック稼働率の向上

先に述べたように、採掘費を低減させるために機械の大型化が進められ、ダンプトラックでは350 tのものも出現している。今100 tトラックを200 tに変更したとすると、1台当たりの設備費は100 tトラックの3倍以上となるので、このトラックの休止時間が多いと投資効率が悪化し、生産性を著しく低下する。大型になるほど稼働率の向上が強く要求される。

このため、機械的な改善(エンジンの強力化、動力伝達機構の改善、ボディーの強力化、タイヤ材質の改善)

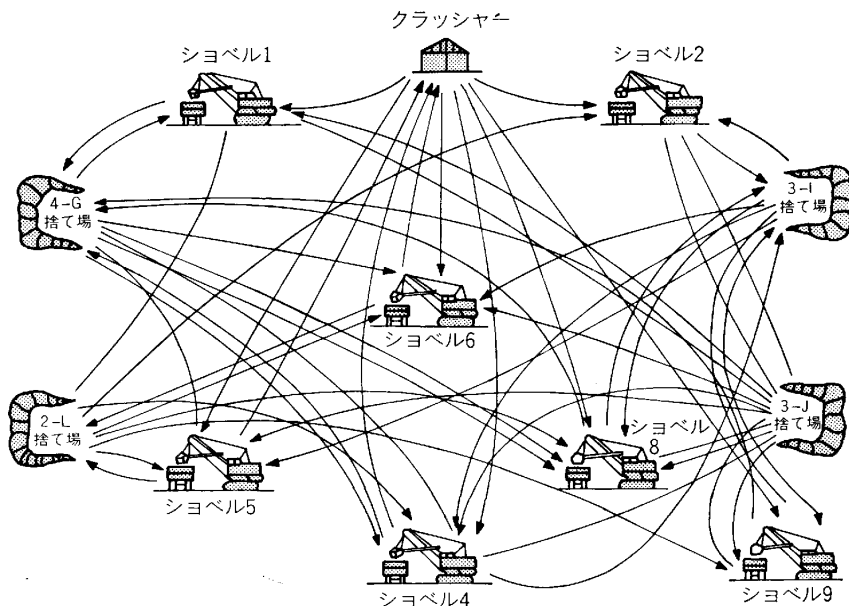


図3 Tyrone 鉱山におけるトラックの可能なルート

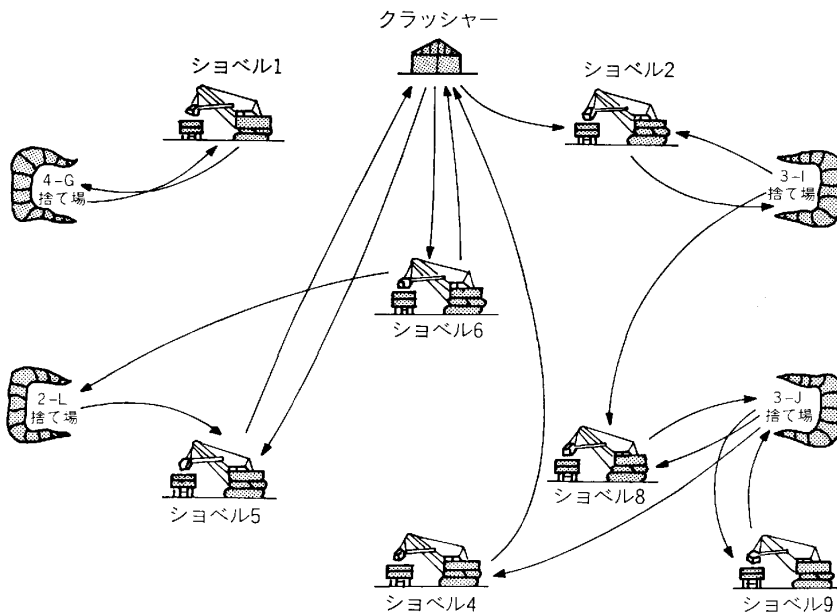


図4 Tyrone 鉱山における簡略化されたトラックのルート

とともに、予防的修繕の意味を強めた計画修繕が実施されている。

この他に、空のトラックを最も必要とする所に配置して、トラックの待ち時間を減少させて、稼働率の向上を計る方式が実施されている。

その一つは、アメリカ New Mexico 州 Phelps Dodge Corp. の Tyrone 鉱山で実施している DISPATCH システム⁴⁾である。この方法は、トラックをリニアプログラミングの手法を利用した運行管理プログラムによつて指定されたシヨベル、捨て場、あるいはクラッシャーに向けるというもので、計算に必要な情報は、トラック、シヨベル、クラッシャーに設置されているマイクロコンピュータから UHF-FM ラジオを経由して中央コンピュータに送られ、ここで現在の操業状況に最適なルートが計算されて各運転者に通知される。本法が実施される前の、トラックの可能なルートは図3のように非常に多数あつたが、本システムによつて図4のように最適化することができた。また、トラックの故障、シヨベルの故障や移動などの状況変化が起こると、その情報の入力とともに最適ルートが再計算されて指示される。

この方式を採用する前の 1979 年 10 月から 1980 年 3 月までの 6 カ月間のトラックの平均稼働時間は、1 シフト当たり 350 min であつたが、採用後の 1980 年 12 月から 1981 年 5 月までの 6 カ月間では、1 シフト当たり 400 min となり 14% の稼働率向上が見られた。

南アフリカの Sishen 鉱山²⁾では、1979 年から truck allocation システム (または Pit production control システム) によつて決められたシヨベルにトラックを向けるようにしている。

すべてのトラックには無線送信機が取り付けられてお

り、トラックは切羽に向かう前に必ずセンサーステーションを通過するようになっている。すると送信機から出される電波がセンサーによつて感知されて制御室にあるコンピュータに入力され、その時点で最もトラックを必要とするシヨベルをコンピュータが決定し、トラックの前方にあるネオン表示板にトラックの向かうべきシヨベルの番号を表示する。

シヨベルやトラックに故障が起これば、運転者が送信機でコンピュータに入力し、最適状況が再計算され指示される。

この方式の採用により、トラックとしては 27% の稼働率の向上が得られたが、全体としての生産性の向上は 10% であつた。

現在でも多くの鉱山では、中央制御室と運転者との無線連絡によるトラック稼働率向上対策が実施されているが、山全体としてのシステムが複雑化してくれば、当然のことながら本方式のような管理方式を採用しなければならない。

4.1.3 ダンプトラックの無人運転化

このトラックは、操舵、進行方向、加速、減速、停止を、主制御装置のプログラムによつて制御できるようになつており、装置が不調の時の自動停止まで含まれている。また加速は道路条件に合うように数種類の速度水準が維持できるようになっている⁵⁾。

実際には、予定された走行経路に沿つて誘導ケーブルを設置しておき、このケーブルに流れる低周波電流の磁界を、車の前後にとりつけたピックアップコイルで検出して、ケーブルとコイルの間隙が車の前と後で一定値を保つようにハンドルを制御する。その精度は、直線走行で ± 15 cm、曲線走行で ± 46 cm である。また坂道や

カーブでは道路に適合した速度を選択するため、地上の装置からの速度に関する指令か、あらかじめ定めたプログラムによつてアクセルペダルが制御される。荷降ろし場に到着すれば自動的に荷を降ろし、再び積み込み場に向かう。

このように、無人運転は実用化の域に達しているが、露天掘鉄鉱山では、ピットの状況が刻々変化するので、走行経路が長期間一定であることがなく、本方法を採用した鉄鉱山はない。しかし要員確保の困難な鉄鉱山では注目すべき技術であり、近く適用の道が開けるものと考えられる。

4.2 ベルトコンベアー

鉄鉱石のような硬い岩石は、1次及び2次クラッシャーで適当な粒度に破碎したのち、ベルトコンベアーでストックヤードまたは選鉱プラントに送られるのが普通で、ベルトコンベアーの用途は限られていた。その理由は1) 設備費が比較的高い、2) 操業状況の変動に対する柔軟性が低い、などの欠点があつたためである。

しかし、近年に至り

- 1) スチールコードベルトの普及
- 2) 樋形アイドラの採用
- 3) ベルト縦裂き防止装置の開発
- 4) マルチ駆動方式の採用
- 5) 運転中でも交換できるアイドラの開発
- 6) ベルトクリーニング装置の改良
- 7) ベルト自動緊張装置の改良
- 8) 緩起動を可能とする駆動装置の開発
- 9) 中間ドライブ方式の採用
- 10) コンピュータによるベルトスピードの調整

などの改善が行われ、1本のベルトで数 km を輸送することができるようになり、数 10 km の長距離輸送を可能とするコンベアーシステムに道を開くとともに、排出端を上下できるもの（シフトブル）、ベルト端を伸縮できるもの（エクスタンダブル）、ベルト端をある角度まで左右に振れるもの（フレキシブル）などのシステムが

開発され、その適用分野を多様化し、操業状況の変動にも対応が可能となつたので、鉄鉱山においても、トラック輸送に比べてコンベアー輸送の比重が高くなることが予想される。

しかし、現在最も注目されている技術は、次項で説明する半移動または移動式クラッシャーとコンベアーの組み合わせである。

5. 破碎機における新技術

切羽で発破によつて破碎された鉄鉱石は 1.5m 前後の大きさのものも含まれており、以後の処理に便利のように 100~200 mm 程度まで一次クラッシャーで破碎するのが普通で、切羽から一次クラッシャーまでの運搬はダンプトラックで行われている。鉄鉱山のように大きな生産量を要求される所では、ジャイレトリークラッシャーが一次クラッシャーとして使用されている。

このジャイレトリークラッシャーは、図 5 のようにピットの外側に十分な基礎を作つて設置され、半永久的に移動させないのが普通であつた。しかし、採掘が進行して切羽が深部に向かうと、このクラッシャーと切羽間の距離が増大し、同じ生産量を維持するためには、トラック台数を増加させるか、容量を大きくする必要があり、これがトラック輸送費上昇の一因となつてきた。

そこで最近採用されつつある技術が、インピットクラッシャーとベルトコンベアーを組み合わせたシステム⁶⁾で、ピットの中にクラッシャーを設置し、破碎した鉄鉱石または岩石を処理工場または捨て場にコンベアーで運ぶことになる。この場合でもトラック輸送を全くなくすることはできないが、稼動切羽とインピットクラッシャーの間だけとなるので、トラックのサイクル時間が短くなり、トラックの必要台数が減少する。また急な坂道を上ることがなくなるので、メンテナンスの費用が低下し、鉄鉱石の運搬費が数分の 1 になることが期待される。

しかし、このクラッシャーも固定式だと、採掘の進行にともないトラックの輸送距離がしだいに長くなるのは

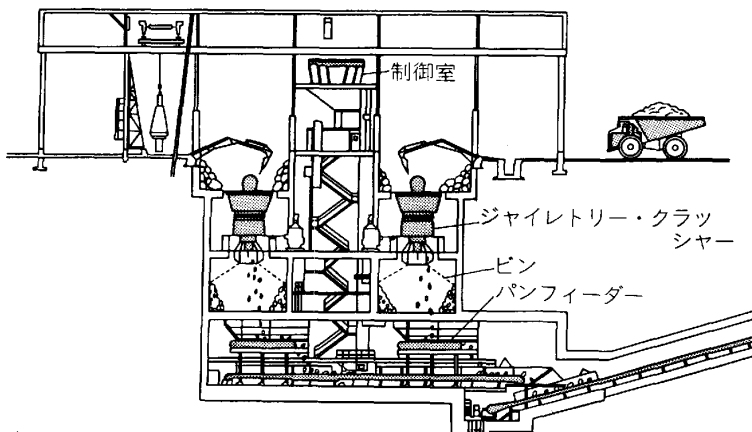


図 5 固定式一次クラッシャーの設置状況

避けられないので、移動式または半移動式のクラッシャーが採用されている。

鉄鉱山のように処理量の多い大型クラッシャーの場合は、数年ごとに移動する半移動式が採用されている。

南アフリカの ISCOR 社の Shisen 鉱山の北部鉱床では²⁾、1982 年末から 5000 t/h の半移動式クラッシャーによつて廃石を破碎し、廃石捨場のスタッカーまで、シフタブルおよびエクスタンダブルのコンベアーを含んだシステムによつて輸送している。これにより、月に 800~1000 kl の燃料油が節約されることが期待されている。このクラッシャーは、最初は 5 年後に、その後は 3 年ごとに移動装置で移動するように計画されている。この装置はコンベアーシステムの連結部の移動にも使用され、この移動は生産が順調であれば、月に 1 回ぐらいの割合で行われることになっている。

ブラジルの MBR 社の Mutuca 鉱山では、現在鉱山の中央部に選鉱プラントがあり、これをはさんで北部ピットと南部ピットに分かれている。しかし、採掘の進行にともない両ピットを一体化することが計画され、その時点で、鉱石と廃石それぞれに 1 基ずつ半移動式のクラッシャーを設置することを検討している。こうすると、鉱石で、1000m、廃石で 1600m の輸送距離が、最大で 1000m に短縮されると期待されている。

このような半移動式のクラッシャーの場合は、本体が地中に埋め込まれるが、移動装置が入るよう一方を開放しなければならないので、その設置場所に制限がある。

一方、移動式クラッシャーの場合は、平面上の任意の場所に設置され、装入もコンベアーで行われる。そして鉱石または廃石を、ショベルやフロントエンドローダーでコンベアーに装入できれば、トラック輸送を完全になくすることができる。このような構想は、すでに非鉄金属鉱山では実施されている。

クラッシャーメーカーは、鉄鉱山で使用するような大型クラッシャーでも、移動式は可能だといっており、このような方式が鉄鉱山に導入されるのを、あまり遠くはないと考えられる。

6. 爆破剤における新技術

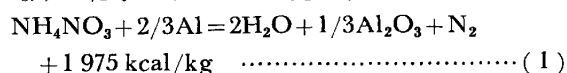
被覆岩や鉄鉱石の爆破には、ニトログリセリンを主成分とするダイナマイト類が長く使われてきたが、1954 年に、アメリカ、メサビ地方の露天掘鉄鉱山で使用に成功した ANFO (Ammonium Nitrate Fuel Oil Mixture) 爆破剤⁷⁾は、ダイナマイト類と比較して、1) 威力は劣らないが、その価格は 1/4~1/5 と安価、2) 比較的鈍感で、混合および発破が安全に行える、3) 現場で簡単に作れる、などの利点があるので、短時日の間に急速に普及し、今日ではダイナマイト類はほとんど使用されていない。

ANFO の主成分は硝安と燃料油で、後者の含有量は全重量の 5~6% である。このほか、化学的に不活性な着色剤や硝安の固結防止剤としての粘土や珪藻土、界面活性剤などが全量で 0.4% 程度含まれている。この ANFO は水に弱く、湧水のある発破孔にはポリエチレン袋に入れて充填される。

一般に爆破剤の衝撃力 (爆力) は、比重×(爆ごう速度)[†] に比例し、爆ごう速度が大きいほど爆力も大きくなる。また、同一の爆破剤では薬径の大きいほど爆ごう速度が早くなり、したがって爆力が大きくなる。

ANFO の限界薬径[‡]は、25 mm 以下と考えられるので、発破孔径は限界薬径より太くしなければならず、実際には 30 mm 以上の孔径が採用されている。すると単位孔長当たりの装薬量が多くなるので、せん孔間隔を大きくでき、1 回の発破に必要な孔数を減らすことができる。

硝安といろいろな金属粒を調合すると、(1) 式のようにかなりの化学エネルギーが発生する。



そこで、ANFO に重量比で 5~30% の Al を加えた Al-ANFO⁸⁾が広く使われるようになり、この爆破剤は ANFO に比べて、重量比で 3 倍、容積比で 5 倍も強力だと報告されている。比較的乾燥した条件下で、硬度が中~硬に属する岩石に対して使用するとコストがかなり下げられるので、その使用量も急速に増加している。

ANFO と平行して“スラリー”と呼ばれる爆破剤が、1956 年に試験され実用化された。これは硝安、硝酸ソーダなどが主成分で、これに水を 20% まで添加し、鋭感剤としてアルミニウム粉末や硝酸モノメチルアミンなどを含んでいる。水を加えることにより感度が必要最小限まで下がるが、充填密度が高くなるので爆発圧を高め、鋭感剤によつて爆発速度を高めた、高濃度低感度の高速爆破剤である。このスラリーはスープ状の混合物だが、使用する時は濃縮剤または触媒を加えてゲル状にして、耐水性を持たせるようにしている。

鋭感剤としてだけでなく、積極的に燃料としても Al を加えたスラリーは、タコナイトのような非常に硬い岩石を湿った状況下で爆破するのに使われている。

鉄鉱山では、ANFO または Al-ANFO を使用している所が多いが、ANFO とスラリーを併用している所もある。後者の場合には、スラリーはポリエチレン袋に入れて充填されるが、併用によりせん孔費、爆破剤費が下がるとともに、生産性が向上するといわれている。

これらの爆破剤は流体として取り扱えるので、大きな

[†] 爆ごう速度：爆破剤の爆ごう波進行の速度

[‡] 限界薬径：どの爆破剤でも、円筒状にした時それ以下の径では爆ごう波の進行を保証できない径がある。これを限界薬径 (Critical diameter) と言う。限界薬径よりちよつと大きい径では爆ごうの進行が不安定なので、安定な進行を維持するにはかなり太めにすることがある。

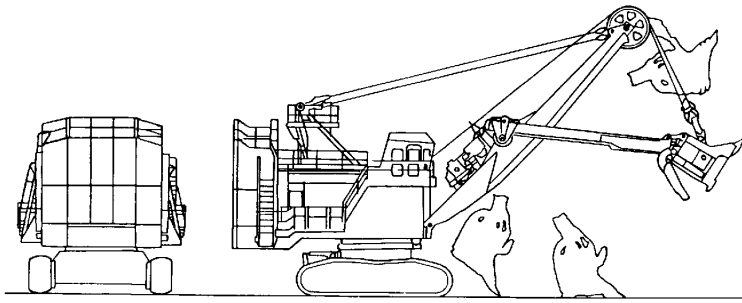


図6 機械ロープ式ショベルの概要

発破孔に均一に充填でき、その量を1 t近くになることもある。

せん孔と発破とは密接な関係があり、せん孔径、せん孔パターン^{†3}、使用する爆破剤の種類および量、爆破剤の充填方法などを独立に決定することはできず、これらは爆破される岩石の硬さ、量に関係するので、これらの相互関係を適確に判断するためのコンピュータシステムが開発され、せん孔+発破費の低下に寄与している。

7. その他の機械における新技术

7.1 掘削および積み込み用機械

鉄鉱山では、主としてショベルが使用されているが、ピットの状況によつてフロントエンドローダーも使用されている。

7.1.1 ショベル

ショベルは、動力源により電動式、ディーゼルエンジン式またはガソリンエンジン式、掘削のさせ方によつて、機械ロープ式と油圧式に分類される。

(1) 機械ロープ式ショベル

図6に概要を示したが⁹⁾、大型機械はほとんどこの型式で、動力源は外部電力によるので電気ショベルと呼ばれている。

この機械は、本体の位置は動かさずに、バケットをディッパーハンドルと巻き上げロープによつて操作して、掘削～施回～積み込みを行う。掘削、積み込み時は、モーターの回転数を急に変えたり、逆回転させたりする必要があるため直流モーターが使用されている。そこで、生産性を向上させるために、入力交流電流を効率よく直流に変換するMG変換や整流器変換、あるいは交流電流の効率的な使用を図る交流周波数調整などのシステムが次々に開発された。後二者はその信頼性が高いので急速に普及している。このショベルは、本体の大きさに比べ

^{†3} せん孔パターン：発破するためにせん孔される発破孔の数、位置、角度および深さなどを含むものだが、普通は、抵抗線長（発破自由面に平行なせん孔の列から自由面までの距離、2列目からは孔間の距離）×せん孔間隔×深さ（ベンチ高さ+α）で表示されている。硬い岩石の場合は抵抗線長とせん孔間隔を狭くし、軟らかい岩石の場合はこれが広がる。深さをベンチ高さより浅くすると、発破した後に岩石が残留し掘削作業に支障があるので、普通はベンチ高さより深くしている。またせん孔径が大きくなると上述の抵抗線長とせん孔間隔も大きくなる。この抵抗線長とせん孔間隔は6～10mぐらいにあるのが普通である。孔の相対的位置は干島状のものが多いが、岩石の硬さ分布により異なっている。

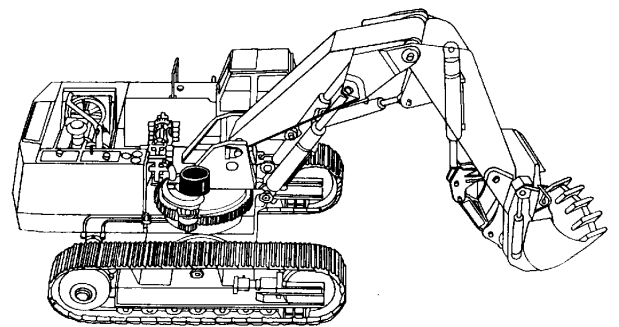


図7 油圧ショベルの概要

てバケット容量が小さいが、掘削力が強くサイクルタイムが短い上に、全体が頑丈にできており寿命が長い。しかし、次に述べる油圧ショベルやフロントエンドローダーに比べて設備費が高く、移動速度が遅い欠点がある。

(2) 油圧ショベル

図7に油圧ショベルの概要を示したが、動力源はほとんどがガソリンエンジン式だが、電気式のものもある。これが鉄鉱山に使用されたのは近年であるが、中型の電気ショベルや大型のフロントエンドローダーと競合するようになってきた。

その理由は、同じバケット容量なら、すべての操作を油圧で行うので、機械重量が半分くらいになるとともに、機動性が高く、強力で、高生産性の掘削を精度高くできるからである。また運転操作が簡単で点検整備が容易である。

油圧ショベルは、作業形態によつてバックホーとローディングショベルに分けられるが、前者は地盤より下を、後者は地盤より上を掘るのに適している。これらのバケットは容易に交換できるので油圧ショベルの適用範囲を広げることになり、従来の電気ショベルと代替する鉱山も出ており、今後この傾向は強くなると考えられる。

7.1.2 フロントエンドローダー

フロントエンドローダーは、高い機動性と多目的の用途に使用できるので、鉄鉱山でも使用しているが、小型のトラックにしか積み込みができない。掘削力が弱い、タイヤの損耗が激しく修理費が多くかかるなどの欠点があるために、現在は補助的作業に使われているに過ぎない。

い。しかし、移動させる物質 1m^3 当たりのコストが低く、高い機動性を持つているので、機械の大型化が進めば、ショベルの分野に食い込んでくることが予想される。

7.2 ドリル

鉄鉱石の採掘には、労働生産性が高く、補修費が低く、稼働率の高い、せん孔-発破作業が採用されている。

ドリルには、キャタピラーで自走するものや、トラックに載せて移動するものがあるが、前者が多く採用されている。小型のキャタピラー式のもの、外部のコンプレッサーからの圧縮空気で駆動させるものが多いが、大型になるとディーゼルエンジンを搭載し人間が乗って運転するようになってきている。これも各動作を、圧縮空気で行うものと油圧で行うものの2種類がある。

またドリルビットの作動型式によつて、ロータリー式とパーカッション式にわかれるが、鉄鉱山で使用されているのはほとんどがロータリー式である。

実際にせん孔する時は、できるだけ大きな孔を、できるだけ早く、深くあけることが要求される。これにより大量の表土・被覆岩および鉄鉱石を短時間で爆破することができるようになり、単位面積当たりの孔数を減少できる。

このためには、大きな径のドリルビットを開発するとともに、1) どのような地層に出会つてもビットが回転するように、ドリルシステムに十分な回転トルクを与える。2) 適当な速さでドリルビットが進むのに必要な押し付け力を与える。3) せん孔中に発生したチップを取り除き、またドリルビットのベアリングを冷却するのに十分な空気量を供給する、などの機能を持った大型のドリルが要求されるようになった。

特に上述の1), 2), 3) に関係する回転トルク、押し付け力、空気流量をうまくバランスさせるのが、せん孔を成功させるかぎとなつており、流体駆動のロータリードリルでは、自動制御装置によつて容易に達成できるようになっている。

ところが大径のせん孔をすると、当然のことながら抵抗も大きくなるので、せん孔速度を増す必要がある。せん孔速度は押し付け力と回転速度にほぼ比例して増加し、これが可能になると、カッピング除去とベアリング冷却に必要な空気量も多くなるので、ドリルの大型化は当然の方向となつてきた。

現在鉄鉱山で使用されているロータリードリルの最大のもの¹⁰⁾、せん孔径: 444.5 mm, 回転トルク: 3 187 m·kg, 回転速度: 145 r.p.m., 押し付け力 58 967 kg の性能を有し、垂直から 30° までの角度のせん孔が可能

で、油圧駆動で自動制御装置がついている。

せん孔費の 20~30% はドリルビットの費用で、鉄鉱山では主にトリコーン型のビットが使用されているが、その価格は 80~150 万円と高価だが、その寿命は普通の鉄鉱石・被覆岩では 2 000~3 000 m と比較的短く (鉄山全体を見た場合は 6 000~9 000 m), 非常に硬い場合は 120~150 m という報告もある。そのため、適正なビット材質の選択, ドリルマスト構造の改良による振動の減少, 適当な空気量の選択によるカッピングの除去などの対策が講じられ効果を上げている。

ドリルの生産性が十分でなかつたために、鉄山全体の生産が上がらなかつたという例もあり、単純な作業だが重要だと認識していただきたい。

8. ま と め

ここまで、各ユニットプロセスについて、注目される新技術を述べてきたが、これらが採掘費の低減に大きく寄与したことはもちろんである。これらの技術の採用と平行して、例えば機械の稼働率を高めるとともに寿命を延ばすための予防保全の強化、予備品の在庫管理の強化、従業員の技能向上のための教育など地道な努力が行われていることはいうまでもない。ある鉄鉱山では、トラック輸送費に占めるタイヤコストの割合が大きかつたが、タイヤメーカーを競合されてコスト低減に成功した。

昨年度、多くの鉄鉱山では生産量が低下したのにもかかわらず、好決算を達成したのは、採掘費低減の努力が実を結んだためと考えられる。

表面上はあまり変化が見られない採掘風景だが、その内部では絶えず技術変革が行われていることを理解していただければ幸いである。

文 献

- 1) C. C. CROSSON and H. B. SUMNER: Eng. Min. J. (EMJ), 183 (1982) June, p. 88
- 2) EMJ, 183 (1982) Nov., p. 122
- 3) W. K. SCHOEDER: Min. Mag. 184 (1983) June, p. 456
- 4) J. W. WHITE, M. J. ARNOLD and J. G. CLEVENGER: Eng. Min. J. (EMJ), 183 (1982) June, p. 76
- 5) N. P. CHIRONIS: Coal Age. 85 (1980) Feb., p. 74
- 6) Eng. Min. J. (EMJ), 184 (1983) Jan., p. 65
- 7) J. DANNENBERG: 同上, 183 (1982) July, p. 62
- 8) C. N. MASON and W. C. MONTGOMERY: 同上, 179 (1976) July, p. 83
- 9) 同上, 183 (1982) June, p. 120
- 10) 同上, 183 (1982) June, p. 126