ベスレヘム鉱山の開発と露天掘採鉱*

正 会 員 前 橋 仁 治**

Open Pit Mining of Bethlehem Copper Mine B. C., Canada

Jinji MAEHASHI

Bethlehem property owned by Bethlehem Copper Corporation Ltd. is located in the Highland Valley areas of British Columbia, Canada.

The main orebodies, suggestive of porphyry copper deposits, consist of the East Jersey orebody and Jersey one.

Following the preparation of a feasibility study made in cooperation with Sumitomo Metal Mining Co., Ltd., Sumitomo, in February, 1961, concluded an agreement with Bethlehem whereby Sumitomo provided the financing of 5,500,000 U.S. dollars to put the property into production.

The mill plant, with a rated capacity of 3,300 short tons per day, was erected, in late 1962, and then mining commenced on the East Jersey zone as an open pit mining operation on December 1, 1962.

Ore reserves of the East Jersey pit was calculated at about 3,300,000 short tons at 1.13% Cu after allowing for dilution.

The mining operation was done by a contractor, which provided the following main equipments on the work. 1-40R Rotary Drill, 2-4½ cu. yd. Shovel, 4-Trucks 32 ST, 4-Trucks 27 ST.

During the period of March, 1963 through February, 1964, the ore was hauled at a rate of 4,100 ST per day to the crusher, and the waste rock (including protore) was hauled at a rate of 11,200 ST per day to the waste rock disposal area or to the protore stock pile area.

Stripping ratio waste/ore was 2.71.

In February, 1965, serious sloughing occurred on the wall, so that mining of the East Jersey was discontinued and mining equipments were moved to the Jersey pit, when all the ore in the East Jersey pit had been nearly mined out.

1. 結 言

カナダ太平洋岸の南部、Vancouver 市よりカナダトランス・ハイウエーを自動車を駆つて Fraser River の溪谷に沿つて進めば、約4時間半(225マイル)で人口1,000人の Ashcroft の町に着く。この町よりさらに南東に25マイル、約30分の行程のところにベスレヘム鉱山がある(第1図)。

この鉱山はベスレヘム鉱山会社と当社と間の開発契約により1962年12月、日産3,300st^{a)}の規模で East Jersey 鉱体より露天掘採掘を開始した斑岩銅鉱山である。1899年、最初にここに鉱区が設定されてより64年目にやつと鉱山として世に出たわけであるが、これも綿密な探鉱の結果と、近年急速に進歩を遂げた露天掘採鉱技術によるものといわねばならない。

ベスレヘム鉱山の操業はその後順調に推移し日産4,000st にまで至つており、さらに1965年1月からは隣

接の Jersey 鉱体開発への移行に伴い日量6,000st 処理に選鉱工場の拡張を行なつた。なお周辺鉱の増加も期待できるので将来10,000st 処理態勢についても考慮中である。本稿においては主に当鉱山の開発の概要と探鉱技術について述べ御参考に供したいと思う。

2. 位置、交通、気候

ベスレヘム鉱山は British Columbia 州の南西部 Highland Valley 地区にあつて北緯 50°30′、西経 121°00′ に位置し、緯度において旧樺太領の国境線に近い。この地区は標高 1,000m 以上の内陸高原地帯にあつて、名の如く幅 1~1.5km の平坦な底を有する谷をなしており、鉱山はこの谷の北側標高 1,500m のところにある。付近は幹径 20cm 程度の針葉樹の原始林に覆われており、湖沼が点在している。交通は前述のように自動車の便はよく、また Ashcroft には Vancouver より東部に向う鉄道の駅がある。気候は BC 州のいわゆる Dry Belt に属し、雨量は年間 200~280mm、また気温は夏季 38°C

* 昭和40年3月31日 本会春季大会分科研究会において講演

** 住友金属鉱山株式会社鉱部鉱山課長

a) 1st=0.907mt

第1図 ベスレヘム鉱山位置図

冬季 -18°C 程度で最低気温として -30°C を記録したことがある。雪は 1m 程度である (第1図参照)。

3. 沿革

1899年現ベスレヘム鉱区の一部に初めて鉱区が設定され小規模な探鉱が行なわれた。1955年に至りベスレヘム鉱山会社はこの鉱区を入手し15万ドルを投じて地表トレンチによる探鉱を行ない Jersey 等の鉱体を発見し、引続いて ASARCO が探鉱契約の下に 125 万ドルを費して電磁探鉱および試錐を行ない Jersey 鉱体の大きさを確かめた East Jersey 鉱体を発見した。しかし ASARCO が諸種の事情によりこれら鉱体の開発を断念したのでベスレヘム社はその後独自で探鉱を継続したが、1960年当社はベスレヘム社と探鉱契約を結び、さらに East Jersey 鉱体について地表試錐、坑内長孔穿孔、および用水井戸のさく井を行なった。以上1955年以降に行なわれた探鉱量を要約すれば次の通りであり、探鉱費総額は約 300 万ドルと推定される。

探鉱試錐	330本	22,000m
用水試錐	3本	280m
通洞および探鉱坑道掘進	3,300m	
坑内長孔穿孔	6,800m	

当社は探鉱結果並びに起業化の可能性を検討した結果、まず East Jersey 鉱体より開発することとなり、これに要する起業資金 550 万ドルの投融資を決定した。工事は1961年6月に開始され、18ヵ月後の1962年12月に完了、選鉱処理日量 3,300st として生産の運びに至ったものである。

4. 地質鉱床

4.1 地質概要

ベスレヘム鉱山の存在する Highland Valley 地区の

岩石は主に石英閃緑岩、花崗閃緑岩よりなる“Guichon” batholith でありその生成時期はジュラ期中期以前と考えられている。この batholith のうち早期石英閃緑岩に対し、ベスレヘム鉱山付近では後期の石英閃緑岩が貫ぬいており、その境界面には部分的に角礫岩が生じている。この角礫岩は鉱化に富んでおり富鉄鉱体をなしている。この他後期侵入岩として dacite 斑岩、アプライト、石英閃緑斑岩などがみられる。

鉱床は Jersey および East Jersey の2つを現在稼行対象としているが、これらは前記角礫岩を中心としてその周囲の鉱化帯より形成されている。

4.2 East Jersey 鉱体

East Jersey 鉱体は早期閃緑岩と後期閃緑岩との境界帯に角礫岩の富鉄鉱を中心としてその周囲の剪断帯に発達する鉱脈群および周辺の鉱染された母岩よりなる鉱体である。またこの剪断帯の周囲の母岩は割目、節理が発達し、その割目に沿って細脈があり、母岩中にも散点鉱がみられる。鉱物は斑銅鉱、黄銅鉱を主とし、輝水鉛鉱、鏡鉄鉱等であるが黄鉄鉱は少ない。鉱体の規模は 4,950 ft レベル (地表付近) で南北 400m 東西 180m の楕円形に、また深さは 4,600ft (垂直 130m) まで確認された。地表は一部露出があるが、大部分は厚さ約 5m の氷河堆積物で覆われている。鉱体の含銅品位は角礫岩鉱画が 3%，鉱脈、散点鉱鉱画は 1% 未満から 2% と変化が多く平均して 1~1.2% である。鉱量は後述するようにピット内に収まる範囲として 3,332,000st、銅品位 1.13% を計上した。

4.3 Jersey 鉱体

Jersey 鉱体は East Jersey 鉱体の西 300m に位置し径 200m の不規則円形状に存在する鉱体で、East Jersey 鉱体と同じく前期、後期閃緑岩の境界に胚胎する。鉱体は斑銅鉱、黄銅鉱の散点鉱および多くの細脈よりなるが、角礫岩質富鉄帯に乏しいので平均品位は低く、鉱体の限界も assay boundary とした。鉱量は 0.5% 以上 3,000 万 st、品位 0.76% を計上している。また鉱体の地表には水深 5m の Jersey 湖があり採掘に当つてはまず排水の要がある。

以上 2 鉱体の鉱量算出に当つては、East Jersey については、南北方向に 100ft 間隔に下した地表よりの試錐孔と 4,600ft レベル坑道探鉱より、15の垂直パネルを設定して計算を行ない、Jersey 鉱体については地表より 300ft 間隔の正三角形網目に下した垂直試錐孔を中心とする多角形法により計算した (第2図参照²⁾)。

5. East Jersey 鉱体の開発

当鉱山の開発に当つて、まず比較的品位の高い East Jersey 鉱体の採掘を選鉱処理日量 3,300st の規模で開

始し、約3年後同鉱体の採掘終了後は低品位の Jersey 鉱体を日量約5,000stの規模に拡大して生産する方針を定めた。これはカナダ政府の鉱業振興策として鉱山開発当初3年間は免税という特典があるので、できるだけ初期に利益を挙げて起業費の短期償却を計るという意図をもつものである。

開発計画は次のように決定された。

採鉱法 露天掘採掘法

ピット内採掘鉱量	3,332,000st
ピット内採掘ざり量	7,420,700st
ピット内採掘量計	10,752,700st
鉱石品位	1.126%
cut off 品位	0.6%
ざり、鉱石比	2.23/1
採掘鉱量中にはざり混入率8%として銅品位0.3%のざり246,800stを含んでいる。またざり量の内0.4~0.6%の貧鉱345,000stは別に貯鉱することとする。	

表土除去量 470,000cu yd^{b)}
(360,000m³)

採鉱稼働日数 年間250日(週5日)
1日2方操業

採掘日量	鉱石	4,620st
	ざり	10,600st
	計	15,220st

選鉱処理稼働日数 年間360日(週7日)
1日3方操業

選鉱処理日量 3,300st
精鉱日量 95st
(水分率6%)

精鉱品位 35%
精鉱輸送 山元—Vancouver 港間
トラック輸送

起業費 5,500千US弗

5.1 ピットの概要とその設計¹⁾

露天掘採掘を計画するに当つて最も基本となるものはピットの設計である。採掘対象鉱体のどの範囲をどのような形状のピット内に収めれば最も経済的にかつ多くの鉱量を採掘できるかがこの設計の目的である。このためにはまず鉱体の形と鉱量とその品位分布と共に予測されてなければならない。その上で生産品の価格の見通し、

第2図 鉱床位置図

適当な操業規模、地形、気候、岩質、表土量、採掘機械類、動力条件、労働条件、輸送系路等数多くの要素を検討する必要がある。このようなことから East Jersey pit においても予備的設計2個、主要設計4個、計6個のピットを設計し、その得失を検討の上、最も適当なものとして選定したのが下記諸元をもつピットとなつた。

5.2 Eat Jersey pit

ピットの範囲は地表部において南北400m、東西200mの楕円状をなし、その標高は平均5,000ft (1,500m)である。またピットの最下底は120m下底の4,600ft レベルとし、ピット底では幅70ft (21m) 長さ690ft (210m)とした。

ピットの形状およびその諸元は下記の通りである。

作業ベンチ高さ 30ft

第3図 ベスレヘム鉱山配置図

b) cu yd=0.765m³

ベンチ傾斜	70°
最終ベンチ高さ	60ft
最級ベンチ幅	20ft
ピット内道路幅	40ft
道路勾配	8%
ピット平均傾斜	54°

作業ベンチの高さについては使用するショベル穿孔機、岩質、鉱体の形状よりみて30ftを採用した。ベンチの傾斜および幅は浮石あるいは崩落の危険性等より判断して定めるが、ここでは鉱体が小さくもあり、できるだけ鉱石比を少なくするため可能な限り急傾斜にとりたかつたが岩質、断層等より判断し70°の傾斜、20ftの幅とした。道路幅は27~35tトラックの往來を考え40ftとし、勾配も8%とした。道路の勾配は急な程ピットの外周は小さくなり、ずり鉱石比は小になるが大型トラックを使用し能率を上げるためには緩い方がよい。以上ベンチ道路の条件からピットの平均傾斜は定まり、かつ最底ピットレベルの幅もショベルとトラックの作業し得る幅を考慮して決められる。

ピットの設計と平行して付近の地形および地質状況を検討し、選鉱場、ずり捨場、廃滓捨場等の位置を選定しなければならない。もちろんこの場合運搬コストを考えピットからの位置に近いことが望ましいことは言うまでもない。ベスレヘム鉱山の場合、選鉱場はピットの西方の斜面を切開いて設置し、ずり捨場はピットの北部の低地を選んだ。また廃滓は選鉱場の西北にある No Loon

第4図 East Jersey pit C-D 断面図

Lake 湖の南端に堤体を築いて湖中に放流のこととした。この際注意すべきことはずり捨場の区域の地質を十分に検討し、将来その区域には開発対策となる鉱体の発見はあり得ないということを確認しておくことである。ずり捨場はできるだけピットの近くに設けるべきであるがそれだけにこの地質的調査には念を入れ後に悔を残さぬようにしなければならない(第3,4,5図参照。)

6. 表土除去

East Jersey 鉱体の上部は氷河堆積物の砂礫で覆われ、地表は針葉樹の林となつている。表土除去に際してはまず樹木をブルドーザーで倒して集積し、これを焼払つて後、ピットの区域線よりさらに20ft 外側に上げた範囲内の表土を除くこととした。土質は砂礫が主で一部に

c) 前橋・平田, 作図

第5図 East Jersey pit 終掘時平面図

氷積土 (glacial soil) がある。

表土除去量は試錐の資料より推定し 47万 yd³ (36 万 m³) とした。除去作業は外注請負とし、1961年10月末より翌年6月まで約8カ月を要したが、除去量実績は前記計画量の約9割で423,000 yd³であつた。作業はDW21型^{d)}のスクレーパをトラクタで後押することにより直接表土を掘込み、そのまま約540mはなれたピットの北側谷斜面まで運んで捨てる。DW 21 型の規格容量は平盛で18 yd³であるが実際作業時の1回の運土量は12 yd³程度であつた。使用機械は下記の通りであり、作業は常1方とし、人員は係員1、運転関係6、修理1、計8人程度である。

使用機械

スクレーパ DW 21	4台(内予備1)
トラクタ D 9, D 8, D 7	各1台
フロント・ローダ 1¾ yd ³	1台
ロード・グレーダ	1台

除去の経費は請負費として1 yd³ 当り 0.285\$^{e)} (126円/m³) であつた。

7. 採 鉱

採鉱は外注請負による操業とした。これは

(1) 採鉱機材費等、初年度設備費を節減して起業資金を圧縮できること。

(2) 直営の場合ショベル、ドリル等に熟達した労働者を直ちに充足することは必ずしも容易ではなく、雇入労働者の訓練養成期間を必要とするのに反し、外注の場合は業者所属の熟練労働者を直ちに利用できること。

(3) 鉱山の地理的条件も良く外注請負業者の希望者が多く、適当な業者の選定が可能なこと。
などの理由によるものである。

7.1 請負業者の選定

請負業者の選定は入札によつて行なつたが、それまでに希望業者は山元において岩盤の硬さなどをドリリングによつて試験するなどの調査を行なつた。請負業者に課せられた主な条件としては(1)採掘用の必要機械器具、爆薬、燃料等の経費を負担すること。(2)自己の使用する監督者、労働者の経費を負担すること。(3)採掘は呈示する図面を参照して行ない鉱石とずりの選別には責任を有すること。(4)鉱石、ずりの大きさは36in²×48in以下とすること。(5)ベンチの傾斜、幅は計画通り保持することなどである。入札に成功した業者が出した採掘費は次の通りであつた。

ピット レベル別	鉱 石	ずりおよび貧鉱
4,900ft以上	36¢/st	38¢/st
4,810~4,900ft	36¢/st	39¢/st
4,720~4,810ft	39¢/st	42¢/st
4,720~4,600ft	42¢/st	45¢/st

ずりの採掘費を鉱石のそれより高くしてあるのは、ずり部分の岩石がより硬いこと、および運搬費の差などの理由による。

7.2 採鉱準備作業

1962年6月よりピットは準備作業にはいつた。準備作業はピット内切羽面を設定すること、付属道路を設けることである。まず表土除去後の凹凸ある鉱体表面に切羽レベルを設ける。このためにエア・トラック (Crawler Mounted Drill) 3台を用いた。本作業により11月末には4,960ft レベルと4,930ft レベルが設定された。

この間に採掘された鉱石約7万tは選鉱試験用および貯鉱用に使用された。

(1) 穿孔 この時期の穿孔は鉱体の傾斜表面よりレベル面までの採掘のため、ドリルは機動性のよいエア・トラックを用い穿孔長も区々であつた。

穿孔機	ATD 3000型 ^{h)}	3台
	ドリル	PR 123 型

ロッドおよびビット

6角中空ロッド	1¼in 径 10ft 長
ビット	2¾in および 3in 径
	Cross bit

圧気機	I. R. R600 型	4台
空気量		600cfm
圧力		100~110psi

穿孔作業 穿孔長は有効孔長10~30ftに10~20%の孔尻長を加える。孔間隔は硬岩で9ft×10ft、やや軟岩で10ft×11ftとした。穿孔速度は3inのビットで30ftの穿孔を行なうのにロッドつぎ、移動時間を加えて25~30分が筆者の実測であつた。1方の総穿孔長は平均20ft長の穿孔長として1台当り約20本である。ドリルは1台1人操作で穿孔、1ft当り平均起採量は8.4stである。

(2) 装薬、発破 装薬はAN-FOとダイナマイトの混用である。AN-FOは80lb紙袋入のプリルに重量比8%のディーゼル油を混じ、約5日間火薬庫に置き自然に混和させる。装薬は第6図に示すように3本のダイナマイト(爆速4,000m/s)の間にAN-FOを装填する。ダイナマイトはプライマコードで連絡し起爆を確実にする。孔口の stemming 長は孔長33ftの場合8ftにとつた。ただし最後列の孔のそれは15ftとした。これはcrestの過破砕を避けるためである。爆薬消費量は0.22 lb/stであつた。またAN-FOの価格はこの場合邦価にして

d) U.S.A. Caterpillar 社製品

e) 1カナダドル≒330円

f) 1in=2.54cm

g) 1¢=カナダセント≒3.3円

h) Gardnes Denver 製エア・トラック

第6図 3"孔径穿孔装薬図

第7図 穿孔配置および9"孔装薬図

kg 当り約30円でダイナマイトの2割弱である。

(3) 運搬 シェベルは米国 North West 社製のバケット容量 $4\frac{1}{2}$ yd³ (3.45m³) を1台、32st 積 haulpack 型ダンプカー4台(内1台予備)を配し1日2方操業を行なつた。岩石の破碎状態はやや大塊が多いが大体において掘込みに適当である。バケット回の積込みに30秒、トラック1台分には2~3分を要する。シェベルの両側に交互にトラックを配し掘込みの時間に遊びのないようにする。破碎岩石の寄せ集めにはブルドーザー1台を備える。運搬実績としては当初1方当り4,500st 程度であつたが熟練度を増した3カ月後には6,300st の成績をみせた。

7.3 採 鉄

本格的な採鉄は選鉄場の完成と共に1962年12月より開始されミル処理日量4,000st までの成績をあげたが1965年2月にはビット内鉄量の大部分を採掘して、現在は隣接の Jersey pit に移つている。この間の採掘状況について以下その要点を記する。

(1) 穿孔 穿孔の主体は孔径9in のロータリ・ドリルでありエア・トラックは道路設定、ベンチ際の穿孔、および大割などに使用された(写真1)。

主要機械

Bucy Erie	40-R ドリル	1台
	櫓高 50ft, 主動力	215HP

写真1 採鉄準備段階における East Jersey Pit (北方を望む) と試験穿孔中の40R機 (1962年10月)

ATD 3000	エア・トラック	3台
	PR 123 型ドリル搭載	
R600 圧気機		3台
ビット	トリコーン・ビット径9in で硬岩用にはタングステンカーバイド鋼ボタン埋込を用い中硬岩以下はスチールビットを使用	
穿孔長	36ft 内有効長 30ft	
孔間隔	標準 25ft×25ft 特に硬い場合または鉄石区域で破碎度を考える場合は 22ft×22ft とする。	
穿孔速度	1時間当り 25~70ft	

40-R のロータリ・ドリルは上記のように9in のビットを使用し孔長は30ft の有効長に6ft の孔尻分を加え36ft とした。孔間隔は岩質、破碎度、爆薬の質等を考慮し試験を重ねた結果25ft×25ft でよいとした。また鉄石は一次クラッシュに直接給鉄されるのでその区域の孔間隔は要すれば22ft×22ft と狭くする。穿孔速度は岩石の硬さにより著しく異なり36ft を穿孔するのに30~90分の差がある。またドリルの移動には約5分を要する。実績としては1方当り約300ft の穿孔長である。9in の大口径のため破碎工程はよく、25ft×25ft の孔間隔では1孔当りの起採量は1,560st となり1方では約8孔として12,500st となる。壁面の近く25ft より40ft 間は大口径発破によつては壁面を痛め落石や崩落の危険を生ずるので、この区域はエア・トラックによる3in 孔径穿孔によつた。また最終ベンチになる区域は同じ理由によつて孔尻分6ft の穿孔は行なわないこととした(第7図参照)。以上の穿孔によつて起採された鉄石またはずりの破碎度は、硬岩の場合一部、二次破碎を要するが、一般に適當である。これは岩石そのものは硬くても割目が発達しているためでもある。

(2) 装薬、発破 爆薬は AN-FO を主体とし、プライマーとして膠質ダイナマイトを孔底に置いてこれより導爆線を孔口に導き電気雷管によつて起爆させる。AN-FO は装填当日、80lb 入のプルル袋にディーゼル油を注いで作られる。装填された AN-FO は1~2日後

に発破される。以前は5日間放置して充分混和された後使用したが、この方法でも爆発には差支えない。一般にはこのような混和法によるAN-FO剤は、少なくとも72時間放置されることが望ましいとされている。水孔の場合はプラスチック製の袋にAN-FO剤を入れて用いるか膠質爆薬を用いる。爆薬原単位は0.25~0.30 lb¹/st (125~150g)である。発破は電気雷管によつて払面に平行した列を同時発破とし、列間は前面より順次起爆させる。隅角の孔は最終に鳴らす。発破に当つては、払面に前回の破碎岩石をある程度堆積させたままで置く。これは発破による岩石の飛散を防止し、また破碎体の移動をできるだけ押えるためである。このことは積込みに当つて鉱石、ずりの区分を容易にするために極めて重要なことである。

(3) 試料採取および選別 ドリルホールのカッティングは孔口に約1.2t程度円錐形に堆積するが、これを採取分析し、地質的考慮を加えて破碎区域を鉱石とするか、貧鉱とするか、またずりとするかに区分けする。穿孔長が有効長30ftに達した時カッティングの表面に石灰粉を散き目印とし孔尻部分のカッティングを除く。この厚さは約2inであつた。カッティングからの試料採取方法としては最初無作意に掴み取りをしていたがこれによるとミル給鉱の品位より高い品位を示す傾向が多かつた。その後カッティングを8区分して各区分ごとに2in径のパイプを垂直に押込み8個のパイプ・サンプルをとり、これを混合縮分して1試料約400gとして分析した結果はミル給鉱品位とよく合うようになった。以来本方法によつて試料を採取している。分析結果に基づき発破前に鉱体表面に色分テープで鉱石、貧鉱、ずりの区域を示しておくが、前記したように発破に際して破碎体の移動が少ないため、テープもほとんど原位置を保っている。掘込みに際しては会社側より sorter がついて鉱石、ずり等の区分を指示する。この選別はは出鉱品位の管理上重要なことであつて、鉱体の品位分布、規模、形状、などについて切羽進行に伴う地質図を作りかつ sorter を訓練することによつて、できるだけ精度の高い選別を行なうことに努めなければならない。

(4) 積 込

積込機

4½ yd³ ショベル 2台

2½ yd³ ショベル 1台

ショベルはまず North West 製 180-D 型の 4½ yd³ のものが採鉱準備段階より稼働していたが本格的操業に入つてさらに Bucyrus Erie 88-B 型 4½ yd³ が

i) 1 lb=454 g

1台加わつた。この2台で1日2方操業を続け日量約14,000~19,000stの破碎鉱石およびずりの積込みを行なつたが故障などのため能力に不足を来したのでさらに予備として North West 製 80-D 型 2½ yd³ のショベルを追加した。いずれもディーゼル駆動である。1954年後半に至つて、Jersey pit 開発のための試験運転を兼ねて Bucyrus-Erie 150-B 型 8 yd³ の電動ショベルが新に加わつた。ショベルの1方当りの処理能力として約2年間の平均をとれば

2½ yd ³	ショベル	2,800st
4½ yd ³	ショベル	4,500st
8.0 yd ³	ショベル	6,500st

とみてよい。積込み能力は岩石の破碎度によつて左右され、細かいほど能率はよいが、それには穿孔費、爆薬費をより多く必要とする。既述したように採鉱準備作業時において孔間隔を10ftとした時の破碎岩の積込みが1方当り6,330stの記録を出していることによつてもこの間の比較はできるであらう。

このように積込能率と破碎度は相關連しており、その調和点は鉱山の实情によつて実験的に決められるべきものである。またショベルの稼働率としては、日常操業としてのショベルの稼働時間(大修理の期間、計画的に休憩された期間を除く)を100とした場合、實際動いた時間をA%, 手待時間をB%, 遊び時間をC%, 通常修理時間をC%とすれば第1表のような実績を示している。

またショベルの標準総合能力と実績を比較すれば同じく第1表に示す通りである。すなわち標準能力の算出諸元としては

- (1) バケットの掘込率 85%
- (2) 平均1サイクル時間 25秒
- (3) 稼働時間率(50分/60分) 83%
(1時間中の稼働時間を50分とする)
- (4) 破碎岩石比重 1.4st/yd³

を用い各ショベルのそれを計算した。

ショベルの能率比は2½ yd³ ショベルを除いていずれも標準より低い。稼働時間率は標準83%に対し90%近い実績であるにもかかわらずこの数値を示しているのは1回の掘込サイクルが30秒近く要したか、またバケットの掘込率が85%に及ばなかつたか、あるいはこの両方が相俟つ

第1表 ショベル稼働率および能率比表

	ショベル機種 ショベルの大きさ yd ³	N.W.180-D 4½	B.E.88-B 4½	N.W.80-D 2½	B.E.150-B 8.0
		A% (実働時間/稼働時間) B% (手待時間/稼働時間) C% (修理時間/稼働時間) 計	89.8 2.1 8.1 100.0	89.5 3.0 7.5 100.0	93.0 0.7 6.3 100.0
稼働率					
能率比	1方当り標準積込量 st(a) 実 能 率 比 (b/a) %	5,120 4,650 91	5,120 4,350 85	2,800 2,800 100	9,120 6,500 71

たものと思われるが、これには岩石の破砕度も当然影響を与えているものと考えなければならない。

B.E. 150-B 型のショベルは稼働時間が短かく、また試験運転中でもあるので十分な成績を出し得ていないものである。

ちなみに主力ショベルである North West $4\frac{1}{2}$ yd³ の仕様は次の通りである。

クローラの全幅	18ft 1in (5.4m)
クローラの全長	14ft 2in (4.3m)
クローラの高さ	3ft 10in (1.2m)
ダンピングの最高位	30ft 10in (9.3m)
掘込みの最高位	43ft 2in (13.0m)
バケット刃幅	64in (1.6m)
バケット奥行	72in (1.8m)
バケット容量	$4\frac{1}{2}$ yd ³ (3.44m ³)

(5) 運搬 鉱石、ずりの運搬用トラック、破碎岩石の寄せ集め、あるいは道路修理用のトラクタなど稼働車両類は下記の通りである。

Westing house 製	32t	トラック	5台
Euclid 製	30t	トラック	2台
Euclid 製	27t	トラック	4台
Caterpillar 製	D8	トラクタ	3台
Caterpillar 製		グレーダ	1台

オイル・タンク車

ガソリン・タンク車、工作車 各1台

運搬路距離はピット内よりずり捨て場まで平均1,400m、貧鉱貯鉱場まで1,000m、選鉱場まで1,500mであり、道路勾配はピット内は8%、その他は0~5%程度である。

1962年より1964年末までの2年間のトラック延台数は342,000台、運搬量合計10,290,000stであり、1台当り平均30stであつた。またこの間のショベル方数は2,240方であつたからショベル1方当りの延トラック台数は153台となる。

(6) 出鉱量 採掘実績として1963年3月~1964年2月の1年間の例を次に示す。

年間稼働日数	308日
鉱石	1,273,300st 1.1 Cu%
貧鉱	688,000st 0.5
ずり	2,764,000st
ずり+貧鉱/鉱石比	2.71/1
選鉱場給鉱量	1,266,000st

これを計画時のものと比較すれば、稼働日数は、週6日操業となり、日量出鉱量は従つて計画より減じているが年間出鉱量は10万tの増産となつている。選鉱給鉱品位は当初予想した品位1.13%に比し84%の低下を示している。また0.6~0.4%の間の貧鉱の量が予想34万tを遙かに越え、この1年間で約70万tにも達したこともあ

り、ずり鉱石比は計画の2.23に対して2.71と大幅に上昇している。これは一面このような低品位鉱の鉱量計算の難かしさをも現わしている。出鉱品位と選鉱場給鉱品位の差はずりの混入と分析誤差等によるものと思われる。

(7) 採鉱費 採掘費はレベル別に鉱石、ずり別に請負単価が決められているので、それぞれの採掘量がわかれば採鉱費は算出できる。いま1963年3月より1964年2月までの1年間の平均採掘費は第2表のようである。

第2表

	採掘量 st	採掘費 CAドル	1st当り採掘費 CAドル
ずりおよび貧鉱	3,547,655	1,330,700	0.389
鉱石	1,273,255	461,180	0.362
計	4,820,810	1,791,880	0.372

この場合0.6~0.4%の貧鉱は別に堆積貯鉱しておくこととし、採掘区分はずり扱いとしている。

鉱石1st当りの採鉱費は採掘費総額を出鉱量で除して得られる。これは約1.41カナダドル(CA\$)となる。このうちには機械の償却と請負業者の利潤が含まれている。これらを除いた山元直接費としてはカナダの他の鉱山の例⁹⁾から考えればこの程度の規模の鉱山では起採1st当り20~25¢の間ではなからうか。

(8) ピット側壁の崩落 1964年5月ピットの南壁より約4,000tの崩落があつた。原因はピットの外側にある低地の溜水が断層の割目に沿つて流れそこから沁りが生じたものと考えられる。対策としては水のピット内流入を止めるためのせき止を行なつた。その後東側壁の割目が発達したので浮いている部分は発破により落した。1965年2月ピット東部の地表に亀裂の発生したことを発見、崩落の危険を予知し機械類を退避させたところ相当量の崩落があつたが、これは二方向に交わる断層線間の楔状の脆弱帯が崩れたものであつた。この時ピットは最低レベル4,630ftまで下りており、採掘終了直前であつたため、崩落ずり搬出の経費を考へて10万t強の鉱量は残すこととなつたが、この時をもつて East Jersey pit の採掘を終了し、引続いて Jersey pit の稼行に移つた。

以上のようにピットが深くなればそれだけ側壁の崩壊の危険性が増すので、あらかじめピット周辺の断層やdykeの状況などを調査し、ピットの傾斜、ベンチの幅などについても事前の検討が必要である。また操業中も常に側壁を点検し、特に水は崩落を誘発し易いので、必要あればピット周囲に排水溝を設ける等の処置をし、対策に万全を期すべきである(写真2)。

8. 選鉱および送鉱

選鉱場はピットの北西1,000mの西斜面を切り開いて設けられている。操業は二次破碎までは採鉱に合わせて1日2方とし、摩鉱以下は1日3方年間360日の連続運

写真2 East Jersey Pit の南壁を望む、小崩落の跡がみられる (1964年7月)

A. Crushing Plant
B. Fine Ore Stockpile
C. Concentrator
D. Mine Office

写真3 選 鉱 場

請負業者従業員は大多数山元近くのトレーラーハウスまたは簡易宿泊施設を利用している。

表4第 ベスレヘム鉱山人員表

	Staff (職員)	Day Rate (日給者)	計
General Office	7		7
Engineering	9		9
Surface	2	14	16
Concentrator	10	35	45
Total	28	49	77
Contractor			40~50

10. 結 語

以上採鉱を中心として、ベスレヘム鉱山の開発計画並びに操業について述べたが、開山以来2年余で East Jersey の鉱体の採掘を了え、現在は次の計画である Jersey 鉱体の採掘に移行している。この計画は日量採掘鉱量 8,400st、選鉱処理日量 6,000st と一段と規模を拡張している。採掘はベンチ高さを 40ft にとり、ドリル、ショベルとも、さらに大型化して工程の上昇を計っている。East Jersey とはまた異なった成績を示すことと思う。

本稿は筆者等が参画した開発段階における記録、昨年夏再度ベスレヘム鉱山を訪れた時の調査資料およびベスレヘム鉱山よりの報告資料などをまとめ、一部検討を加えたものであつて、充分意を尽せぬ憾はあるが、何等かの御参考になれば幸である。終りに在加以来終始御教示御援助を頂いた上司および同僚、特に松田 亀三、石黒元夫、佐々政男、森永茂、大林 諭、世取山 充美、平田 洋一の諸氏、およびベスレヘム鉱山の D. W. Pringle, C. J. Coveney, D. Stevens の諸氏、並びに顧問技師 J. A. C. Ross 氏に深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 岩沢・石黒・森永・大林：Canada Bethlehem 銅山の概況並びに露天採掘計画について、北海道鉱山学会誌17巻6号 1~12頁
- 2) 平田洋一：ベスレヘム鉱山の地質および鉱床 鉱山地質 15巻(70~71) 13~20頁
- 3) G. O. Argall: How Bethlehem Achieves Low Cost Copper From Small Porphyry., World Mining, Jan. 1964 p. 22~p. 29
- 4) R. B. Sharan: Drilling and Blasting Practice in the East Jersey Pit., Canadian Mining Journal, Mar. 1965 p. 48~p. 50
- 5) Open Pit Mining Practice in Canada., Mineral Resource, Div. Ottawa 1964

転である。処理日量は3,300stの能力、設備馬力5,000HPで設計されたが実績としては日量 4,000st まで処理した(写真3)。

トラックにより運ばれて来た鉱石は、まず直接42in×65inのジャイレトリ・クラッシャに投入され5inに破碎されて2,000st 容量の粗碎鉱舎に送られる。粗碎鉱石は7ftのコーン・クラッシャによつて5/8inに碎かれ14,000st 容量の鉱舎に貯鉱される。次にこの鉱石は10ft×14ftのロッドミル1台と11ft×14ftのボールミル2台とによつて-200mesh 55~65% まで摩鉱され、浮選機により精選、日量約100stの精鉱となる。尾鉱は200ft径の木槽シクナに送られ、上澄水は回収再使用され、残りは近くのNo Loon Lakeに放流される。精鉱はドライヤによつて水分6%までに脱水され、25st積のトレイラートラックによつてVancouver港まで運搬された上、航路四阪島製錬所に送られる。

これまでの選鉱成績としては精鉱品位42%と予想より高く(これは斑銅鉱が多いためである)、実収率は93%、尾鉱品位は0.05~0.06% 程度である。

また選鉱費としては1963年3月~1964年2月の1年内的実績を第3表に示す。

第3表 選鉱処理1st 当り経費

労資電	務材力	費費費	0.208CA\$
その他			0.505
合	計		0.150
			0.027
			0.91

9. 人 員

操業は採鉱を外注請負とし、選鉱場および付属修理工場は直営としている。請負人員は移動があり正確には掴めないが40~50人である。山元には第4表のように鉱山長以下職員28人、日給従業員49人、計77人が在籍している。鉱山長以下従業員の住居はAshcroftの町にあるので山元には社宅、診療所などの付属施設はない。ただ