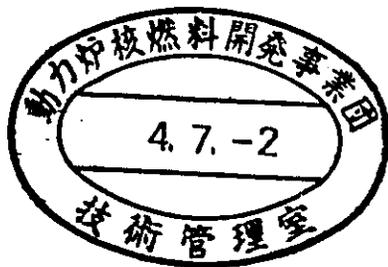


放射線防護採鉱技術開発  
に関する研究  
(採鉱技術に関する文献集)

1992年4月



社団法人 資源・素材学会

目 次

|  |    |
|--|----|
| ①Uranium Mining is Alive and Well in France. E&MJ August 1986. Lane White -----                          | 1  |
| ②The Cigar Lake Project-Concept for Mining High Grade Unconformity Uranium -----<br>Ore. Athabasca Basin | 3  |
| ③Mining the Cigar Lake Uranium deposit -----   | 5  |
| ④The Cigar Lake Mining Test -----  | 7  |
| ⑤極めて品位の高いウラン鉱床の採鉱の研究 -----   | 14 |
| ⑥「High Grade Uranium Mining-Underground-Midwest Joint Venture」-----                                      | 15 |
| ⑦Labbit Lake History(Eagle Point 鉱床) -----   | 22 |
| ⑧Olympic Dam Project -----   | 44 |
| ⑨Made in Canada Mining Technology -----  | 51 |
| ⑩The application of high dencity past backfill at Dome Mine -----  | 55 |
| ⑪Roadheader Excavation in consolidated rockfill at Kidd Creek Mines. -----                               | 61 |
| ⑫In-the-hole drilling at Heath Steele Mine Limited. -----  | 68 |
| ⑬無人運搬「レーザーベースの誘導システムが自動坑内トラック運搬を可能にする」-----  | 77 |
| ⑭A Canadian program in mining automation -----   | 80 |
| ⑮地下ウラニウム鉱山における放射線レベル及び必要通気量の予測 -----   | 83 |

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to ;  
Technical Informaticn Service, Power Reactor and Nuclear Fuel Development  
Corporation 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 ( Power Reactor and Nuclear Fuel Development  
Corporation) 1992

## ①Uranium Mining is Alive and Well in France.

著者： Lane White

出典： E & M J August 1986

### 1. フランスにおける核燃料

\* 1974年のオイルショック以来、フランスは原子力発電に基づいたエネルギーを増加させる政策を進めてきた。

1973年 8%, 1983年 23%, 1985年 66%, 1990年 75% 予定。

\* 1976年、核燃料の供給と使用済燃料の再処理のため C E A の生産部門から独立して、Cogema が設立された。

\* フランスの原子力の成長につれ、Cogema は燃料サイクル面で国内のみならず世界中のリーダーとなった。

\* フランスは西ヨーロッパでウラン資源を持つ唯一の国であり、国内資源の利用はフランス原子力産業の成長にとって欠くことのできない条件である。

\* Cogema の国内鉱山 3 部門は、3,050mt/y (U) の生産能力を持ち、ここ数年では、2,500mt/y の生産量となっている。3 部門の内北西フランスの Vendee と中央フランスの La Crouzille は花崗岩質の鉱床で、Herault は堆積型鉱床である。

\* 生産能力は、La Crouzille 1,500mt/y, Herault 900mt/y, Vendee 650mt/y。

### 2. La Crouzille の生産

\* 鉱区： 鉱区数 23, 813km<sup>2</sup>

\* 人員： 1,150人。

\* 鉱石： 花崗岩質の脈状、年産粗鉱量 百万t/y, 品位 1~3kgU/mt。

\* 処理： Sino (Cogema の 100% 所有子会社の製錬会社) の Bessines 処理場で処理される。

#### La Crouzille の Bellezane 鉱山の例

##### 1) 露天掘

\* 採掘量： 4百万t/y (ズリ + 鉱石)

\* 工程： 350mt/人方

\* 品位： 0.8~2.0kgU/mt

\* 鉱体： 2~6m (場所のよっては 10m) の垂直脈

\* ピット： 長さ 700m, 幅 200~150m, 深さ 90m

ベンチ高さ 15m, ベンチ幅 10m, 最終ピット傾斜 55°

\* 穿孔： ズリ部 115φ, 4×5m パターン

鉱石部 64φ, 2.5×2.5m パターン

\* 穿孔機： 油圧削岩機 (モンタベル, アトラス)

\* 積込・運搬機： ズリ 11m<sup>3</sup> ショベル (Liebherr) + 77t トラック (CAT)

鉱石 2~3m<sup>3</sup> パックハウ + 50t トラック (Faun)

##### 2) 坑内掘

\* 主要 4 レベルを 15° の斜坑で連絡 (レベル間隔 45 または 60m)

\* 採掘法： トップスライシング (スライス厚さ 3~4m)

採掘後床面に次のスライスの人工天盤を打設する。

\* 充填： 開坑ズリを使用

\* 通気： 通気量 112m<sup>3</sup>/s, 2.4φ 排気立坑を通じて排出。

### 3. Bessines での酸抽出 (省略)

### 4. Héraultの生産

#### 1) Héraultの概要

- \* 生産量 ; 坑内340,000mt, 露天50,000mt (1985年)
- \* 鉱量 ; 16,000mt(U), 品位1.5~4.0kg U/mt
- \* 人員 ; 採鉱400人 (内坑内300人), プラント200人, 他160人
- \* 露天は間もなく採掘を終え、現在修復作業中.

#### 2) Lodeve 鉱床の発見

- \* 鉱床 ; 1957年発見, ペルム紀の堆積岩中に胚胎, 26kmに亘る露頭確認
- \* 採鉱法 ; 層準規制鉱床はルーム&ピラー, 塊状鉱床は下向き充填採鉱
- \* 開坑 ; 斜坑傾斜17%、地下300mに主要運搬坑道, 破碎設備設置
- \* 運搬 ; 破碎設備~地表間はコンベア設置 (1,300m), 250mt/h
- \* 通気 ; 600m<sup>3</sup>/s, 入気は斜坑, 排気はレイズボーラー
- \* 充填 ; 層準規制鉱床は開坑ズリ充填, 下向き充填採鉱はセメントを混ぜた人工天盤用充填
- \* 支保 ; 地層の露出した天盤は1.5mのスプリットセットを1m<sup>2</sup>パターンで打設  
人工天盤は支保しない

### 5. Lodeve でのアルカリ抽出 (省略)

#### " COGEMA " 要旨

著者 ; Lane White

出典 ; E & M J August 1986

#### COGEMA社の概要

- \* 人員 15,000人 (国内外)
- \* 燃料サイクルにおける4つの事業
  - 天然ウラン
  - 濃縮
  - 燃料製造
  - 再処理

#### 天然ウラン事業部

- \* フランス国内の85%の鉱量を保有し、4,600m<sup>2</sup> (53) の採鉱権を保有
- \* 7,500mt/y (U), 内25%は輸出
- \* 国内から 2,500t (3つの鉱山部門)  
アフリカから 3,500t (Niger, Gabon)  
北米 1,200t (U.S., Canada)

## ②The Ciger Lake Project-Concept for Mining High Grade Unconformity Uranium

### Ore, Athabasca Basin

著者 ; Jean-Pierre Fouques (Cogema Canada社 主任地質技師)

J. E. Tosney (サスカチュワン鉱山開発会社 副社長兼マネージャー)

出典 ; AIF Uranium Seminar '85

Sept. 29 - Oct. 2, 1985 Santa Fe, NM

(P1~14無し)

#### 地下水

- \* シガーレイク鉱床を水文地質 (層位) に基づいて捉えると次の4つに分ける
  - 乱されていないアサバスカ砂岩 ( $k=1 \times 10^{-7}$  m/s)
  - 構造的に乱されていない変質帯 ( $k=5 \times 10^{-6}$  m/s)
  - アサバスカ砂岩/基盤の接触帯 ( $k=1 \times 10^{-6}$  m/s)
  - 基盤帯 ( $k=1 \times 10^{-8}$  m/s)

#### 放射線

- \* 沈殿した粉塵からのベータ線は大きな障害をもたらさないが、高品位の場合にはラドン娘核種からのアルファ線と、鉱体及び掘られた鉱石からのガンマ線を制御する必要がある。
- \* アルファ線は通気によって減少させ得る。ガンマ線被曝には遮蔽とリモコンによって減少できる。
- \* アルファ線はSchroederとEvansの方法によって、ガンマ線はThomsonとWilsonの方法によって計測できる。

#### 粘土含有量

- \* 粘土の含有による強度低下の他に、ハンドリングの問題が有る。  
(ビンやシュートへの居付きは人力作業となる。)
- \* 機械への付着も予想され、洗浄による汚染除去とガンマ線の検出が必要。

#### 採鉱法に対する方針

- \* 掘削空間の安定性改善を配慮するために、
  - 初期地圧の減少
  - 人工支保による掘削空間周辺応力の再配分
  - 包含される物質の人工的強度増加
- \* 適切に採鉱を行うための原則として、
  - 立坑、運搬坑道、通気坑道は緻密な岩盤中に設ける
  - あるブロックからの1回の鉱石の抽出は比較的少量とする
  - 掘削された空間は早く埋め戻す
- \* 高濃度の泥水を使用しても孔の完全な安定は得られず、強度増加のために掘削に先だつてのグラウティングあるいは凍結が有効となる。
- \* 粘土鉱では透水係数が小さいため、グラウトは限定される。
- \* 凍結状態の粘土質の機械特性は、非凍結状態のものよりはるかに勝っている。

- \* 通気の入排気のための開坑が必要である。作業者は常に汚染された空気の風上に居るようなレイアウトで、またリモコン機械の使用が防護に有効である。
- \* ガンマ線の防護には、遮蔽とコンテナ化が考えられる。コンテナはライニングや形状をデッドボリュームを小さくするよう注意が必要である。
- \* 採鉱法としてはレイズボーラー、水力採掘、ジェットカッティング、原位置侵出が提案されている。

### ③ Mining the Cigar Lake Uranium deposit

著者： G.A. Peebles  
J.M. Potier

出典： Uranium Institute 11th Annual Symposium  
London, 2-4 September 1986  
(フランス原子力情報(日商岩井 原子力部))

#### 1. 鉱山概況

- 1) 位置 カナダ・サスカチュワン州北部 ウォーターベリーレイクの南端  
東経104度35分、北緯58度05分
- 2) 社名 Cigar Lake Mining Corporation
  - \* 権益 サスカチュワン鉱山開発会社 50.75%、コジエマカナダ社 32.625%、  
出光カナダウラン社 12.875%、コロナグランデ社 3.75%。
- 3) 鉱床
  - \* アサバスカ界の基底の不整合面と一緒になった大きな高品位ウラン・ニッケル鉱床。フラットな三日月形の鉱床。鉱物はセンウラン鉱とピッチブレンド。
  - \* 走行方向2,000m、幅25~105mの範囲で実施された172本のボーリングで、内118本に鉱化が確認された。
  - \* 鉱石品位12% Uで埋蔵量110,000 t (ウラン量)
- 4) 歴史
  - 1976 ; 空中物探と堆積物/水に関する地化探実施。
  - 1980 1月 ; コジエマカナダ社がウォーターベリーレイク J/V の権益取得。

#### 2. 採鉱

- 1) 鉱床開発の問題点
  - \* 鉱体を取り囲む変質帯に地盤強化の点で若干の困難あり。
  - \* 地下水の量と排水が地盤条件並びに放射線管理に及ぼす影響。
  - \* 鉱石帯内で採掘作業が開始されたときに予想される高レベル放射線の問題。
  - \* 以上3件が複合した特異な状況。
- 2) 地盤条件と補強措置
  - \* アサバスカ砂岩；変質帯の外側に有る非常に緻密な岩石。  
→パターンボルディング、部分的にメッシュ、ショットクリート。
  - \* 変質砂岩；30%以上の粘土を含むゾーンが多数存在する弱い岩石。  
→広範囲にショットクリート、部分的に支保、グラウティング。
  - \* 塊状粘土；鉱床を直接取り囲む変質外被。  
→-5°C以下での凍結
  - \* 鉱石帯 ; 主としてピッチブレンドと粘土からなる。  
→強化ショットクリート、部分的に凍結。
  - \* 変質片麻岩；激しい破砕作用によって著しく変質しており、強度は変質砂岩とほぼ同じ。  
→広範囲にショットクリート。
  - \* 片麻岩 ; 変質していない片麻岩は緻密な岩石。  
→パターンボルディング、部分的にメッシュ、ショットクリート。

### 3) 放射線

- \* ラドン娘核種対策
  - 換気によって高い濃度を希釈する。
  - 新鮮な空気の流れの中へのラドンの流入を防ぐため、グラウトその他により開口部を密封する。
- \* ガンマ線への対策
  - 作業員が高品位鉱と直接接触する時間が少なくなるような採鉱法の採用
  - 鉱石の露出表面を小さくする。
  - 作業員と鉱石表面の間に直接遮蔽を設ける。

### 4) 採鉱の基本方針

- \* 塊状粘土或いは鉱石帯中のあらゆる開口部は掘削以前に補強。
- \* 鉱石中の粘土含有量が多いため、破碎された鉱石の貯蔵或いはシュートや出口からの回収を必要とする採鉱方法には困難が伴う。
- \* 坑内採掘場へのアクセス坑道や採掘された場所は全て埋め戻す必要がある。
- \* ガンマ線のレベルが高いため、作業員は遮蔽なしで鉱石帯に長時間接して作業することはできない。
- \* 変質帯においては開発作業前にこのゾーンを減圧するための排水が必要。
- \* 設備の操作取扱い及び坑内空気中へのラドン流入の点で地下水管理は非常に重要である。
- \* 採鉱法は鉱石の分布や変質帯の不均一にも対処できる柔軟性を持つこと。
- \* 坑内の破碎された鉱石の量は極力少なくする。
- \* 恒常的な開口部は変質帯の外に設ける。
- \* 鉱石の露出面積は最小限にする。
- \* 換気は貫流式のものとし、出口の無い水平坑の数は最小限にする。
- \* 鉱石の回収は最大限に行う。
- \* 証明済み、実験済みの採鉱技術を優先的に採用し、既存の技術或いはこの応用が不可能な場合のみ革新的採鉱法に目を向ける。

### 5) 採鉱法

上記を考慮して検討されている採鉱法は、

- \* レイズボーリング
- \* 下向き充填採鉱
- \* Blind Boring
- \* 原位置浸出(インプレスリーチング)

## ④The Cigar Lake Mining Test

著者: J.M. Marino (プロジェクトマネージャー)

Barry V. Schmitke (シガーレイク鉱山会社)

出典: 第93回 CIM定例総会(1991)論文発表

### 1. 鉱山概況

- 1) 位置 カナダ・サスカチュワン州北部
- 2) 社名 Cigar Lake Mining Corporation
  - \* 株主 Cameco社 48.75%, Cogema Canada社 32.625%, Idemitsu Uranium Exploration社 12.875%, Corona Grande Exploration社 3.75%, Korea Electric Power社 2%

### 3) 鉱床

- \* アサバスカベースンの東縁に位置する、地下450mの三日月形の鉱床。
- \* 規模は長さ2,150m, 幅20~100m, 厚さ20m, 埋蔵量150,000t(ウラン量)

### 4) 歴史

- 1981 5月; Cogema Canada社の探鉱により発見。
- 1985 5月; Cigar Lake Mining Corporation(CLMC)設立。
- 1987 ; 試験操業認可。建設キャンプ、事務所等建設、12月から立坑掘削開始(40mの軟岩部開坑と巻揚げ設備設置)
- 1988 9月~1990 5月; 立坑掘削(40m~500m)
- 1991 3月; 立坑内臨時設備の設置。
- 現在 420m, 480mレベルでのアクセス掘進がほぼ終わり、試験採鉱の準備中。

### 2. 開坑

#### 1) 立坑掘削

- \* 直径 4.8m, 深度 500m, 全区間コンクリートライニング施工。
- \* 掘削工法は、4段デッキの吊り足場を使用した通常のベンチ発破工法。
- \* 210mレベルに中間ポンプ座設置、420mレベルに主要ポンプ座と受電設備を設置。
- \* 224mレベル以下では相当量の地層水の流入が観測され、グラウト施工。

#### 2) 水平掘進及び支保

- \* 420m及び480mレベルを鉱床へのアクセスレベルとする。
- \* 通常の支保は 1.5ないし1.8mのレジン固定のロックボルトと帯鋼及び 50mm厚のショットクリートを施工。
- \* 粘土化帯は凍結工法によりロードヘッダを使用して掘削し、格子状のガードを設置した後 450mm厚のショットクリートを施工。
- \* 480mレベルの炭質泥質岩部(約50m)は鋼柱支保工を施工。
- \* 480mレベルの炭質断層部を通過した後は15m長尺アンカーによるパイル工法により 2.4mのロックボルト及び150mm厚のショットクリートを施工。

### 3. 採鉱試験及び放射線防護

#### 1) Boxhole Boring

- \* 1.55φ、長さ50mの試験採鉱（上向き）
- \* 周辺岩盤は岩盤安定のため凍結される。
- \* パワーバックと制御盤は風上の離れた位置に置かれ、放射線の被曝を防ぐ。
- \* 切削された鉱石は密封され負圧をかけたシュートを通じて鋼製の密封形コンテナに積み、機関車により立坑まで運搬し、巻揚げられる。
- \* 穿孔後、孔口に鋼板の蓋をして口から5mまでコンクリートを打設しプラグを作りその後、埋め戻しをする。

#### 2) Blind Boring

- \* 1.55φ、長さ20mの試験採鉱（下向き）
- \* 周辺岩盤は岩盤安定のため、凍結される。
- \* カッターに隣接して切削物を集める吸引システムと、フレキシブルパイプを通してそれらをアクセス坑道まで運搬する空気輸送システムを使用。
- \* サイクロンとフィルターは吸引と運搬に使われた空気と固体を分離し、固体は特殊コンテナ中に排出され、空気は排気系統に排出される。

#### 3) 試験採鉱の結果予想される改善点

- \* boxhole boring において事前パイロットは殆ど行なわれず、実操業では多分必要ない。
- \* boxhole boring 試験に使われたボーリング機は能力過剰であった。このため、実操業においてはより小さく融通のきく機械が使用されるであろう。これにより坑道の大きさ、開発コスト、移動の時間が低減が予想される。
- \* boxhole boring, blind boring 採鉱法のいずれにおいても、アクセス坑道を鉱床に近接することは、ズリ/鉱石比の改善と鉱石の抽出に要する時間短縮に大きな効果がある。生産用サブレベルを鉱床に近づけられれば、生産性の改善に寄与できる。
- \* 伸縮可能なリーミングヘッドはズリ/鉱石比を減少させるという大きな効果がある。また伸縮可能ヘッドは漏斗形のリーミングができ、その結果埋め戻しコストを低減できる。

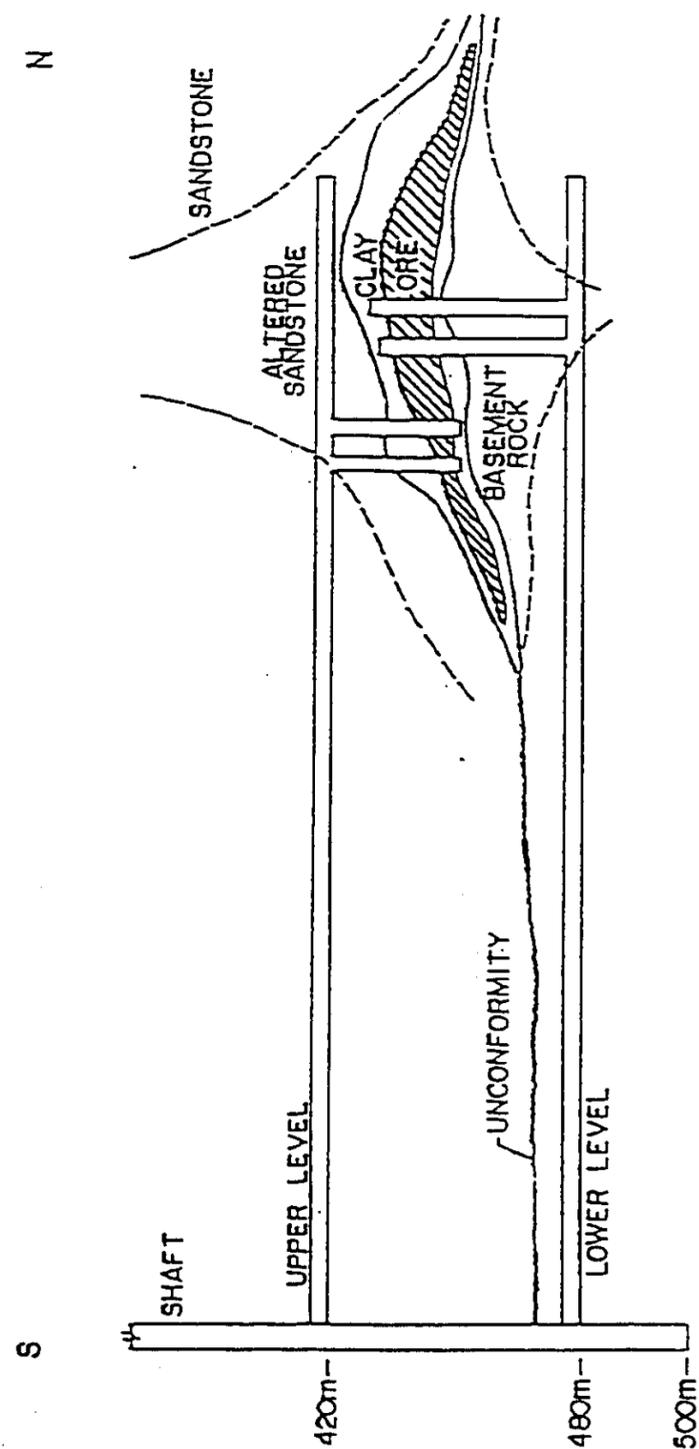
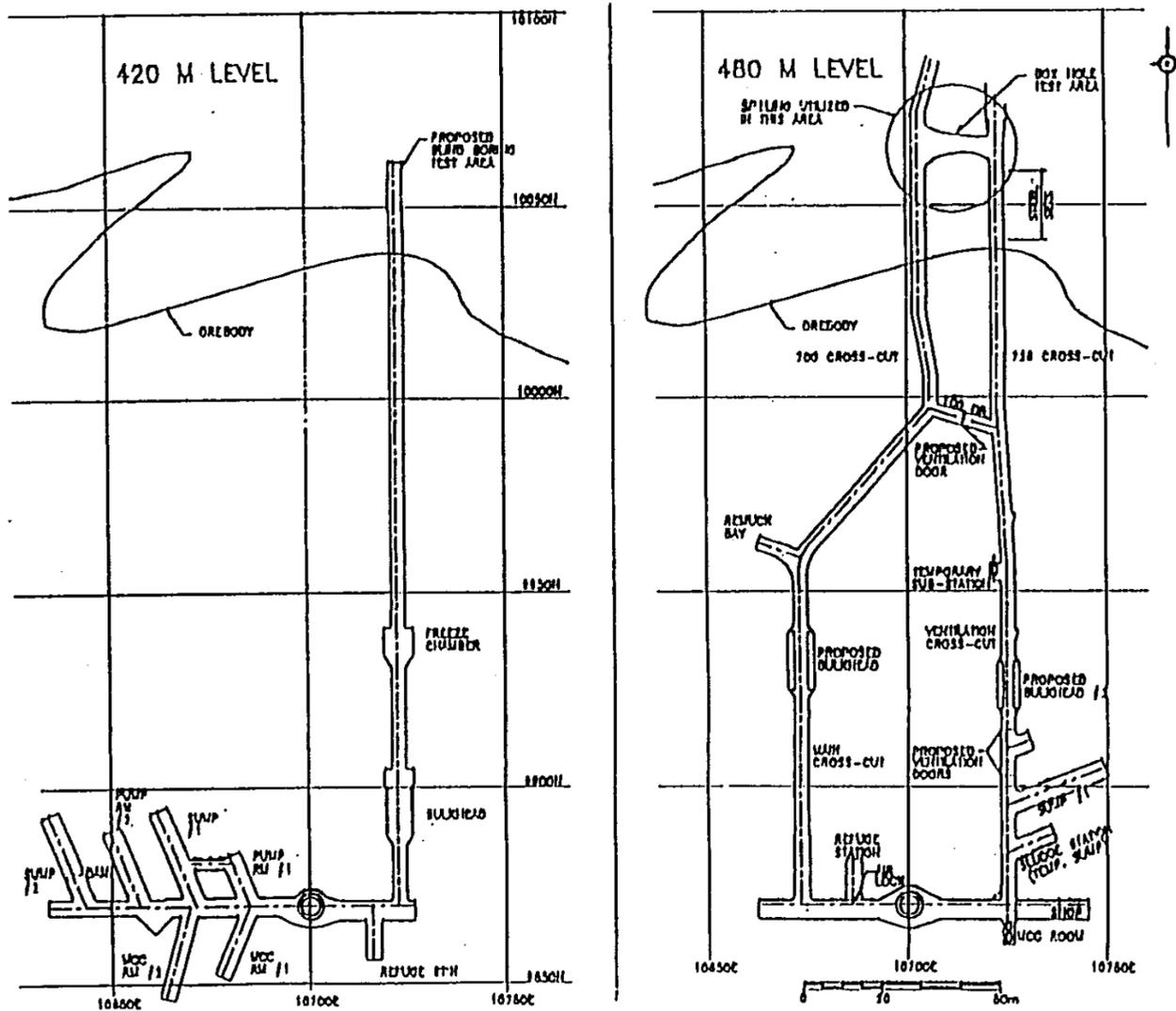


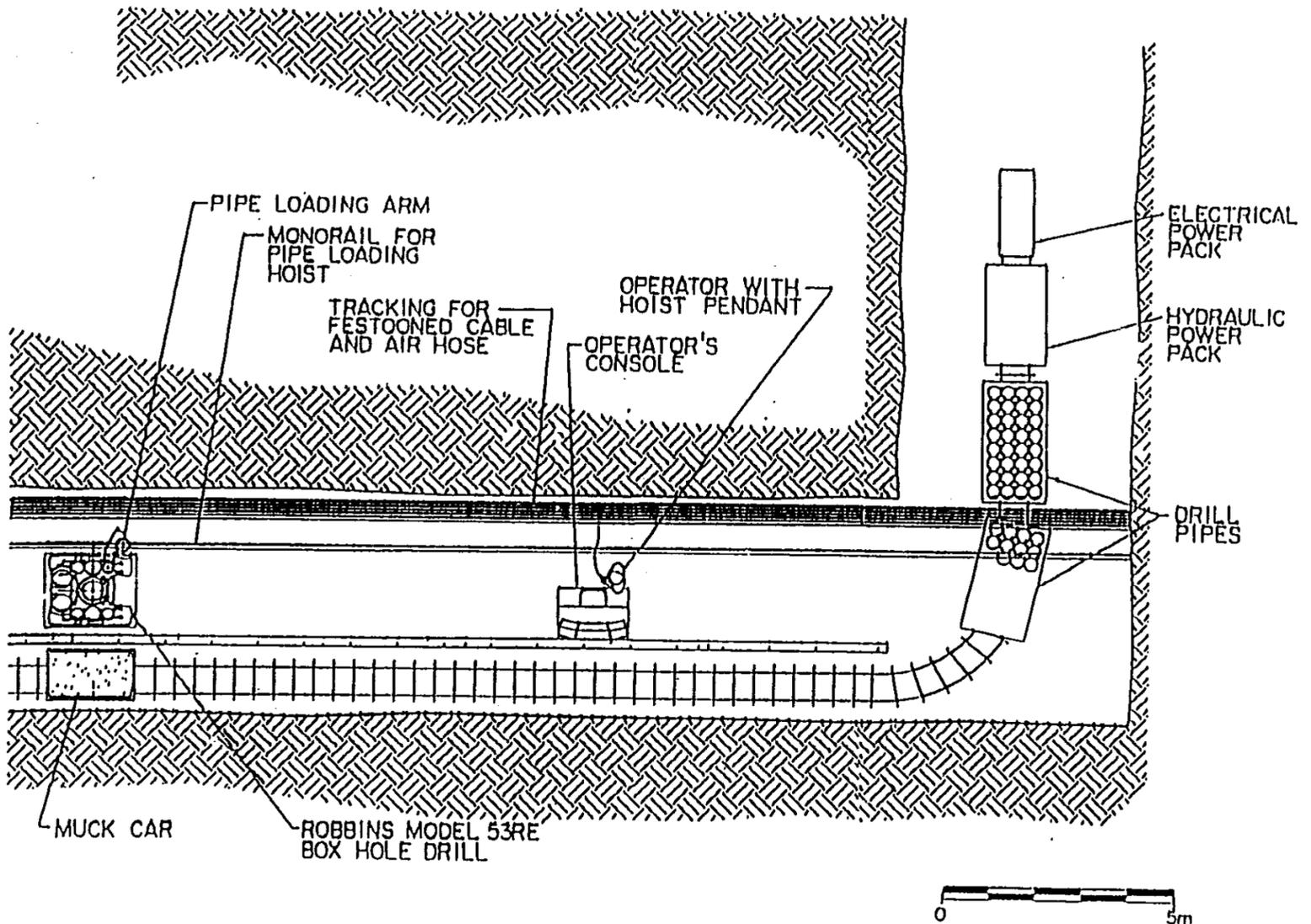
Figure 2 - cross section of mine development

Figure 3 - development on 420 and 480 levels



-10-

Figure 5 - general layout of box-hole boring system



-11-

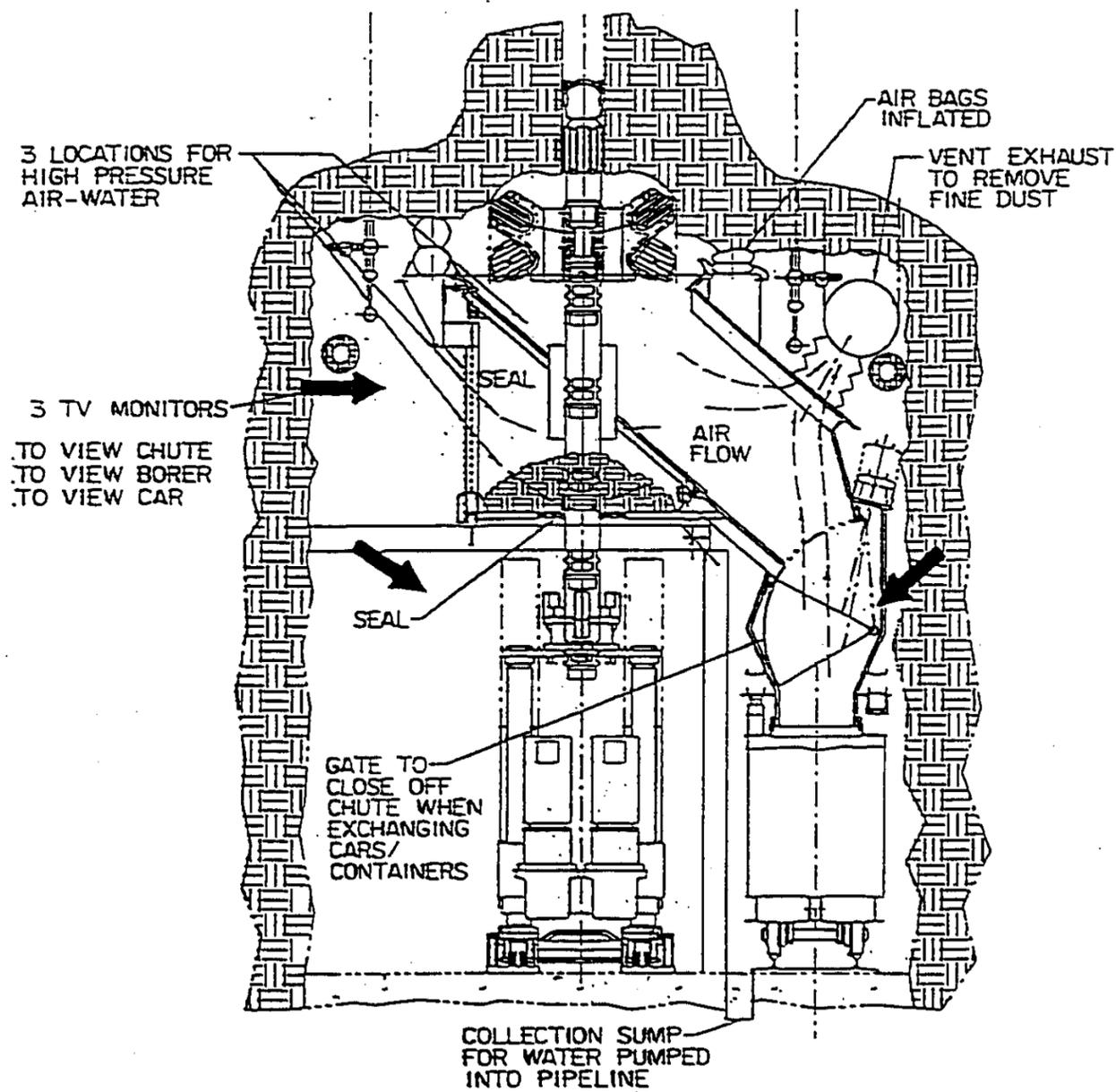
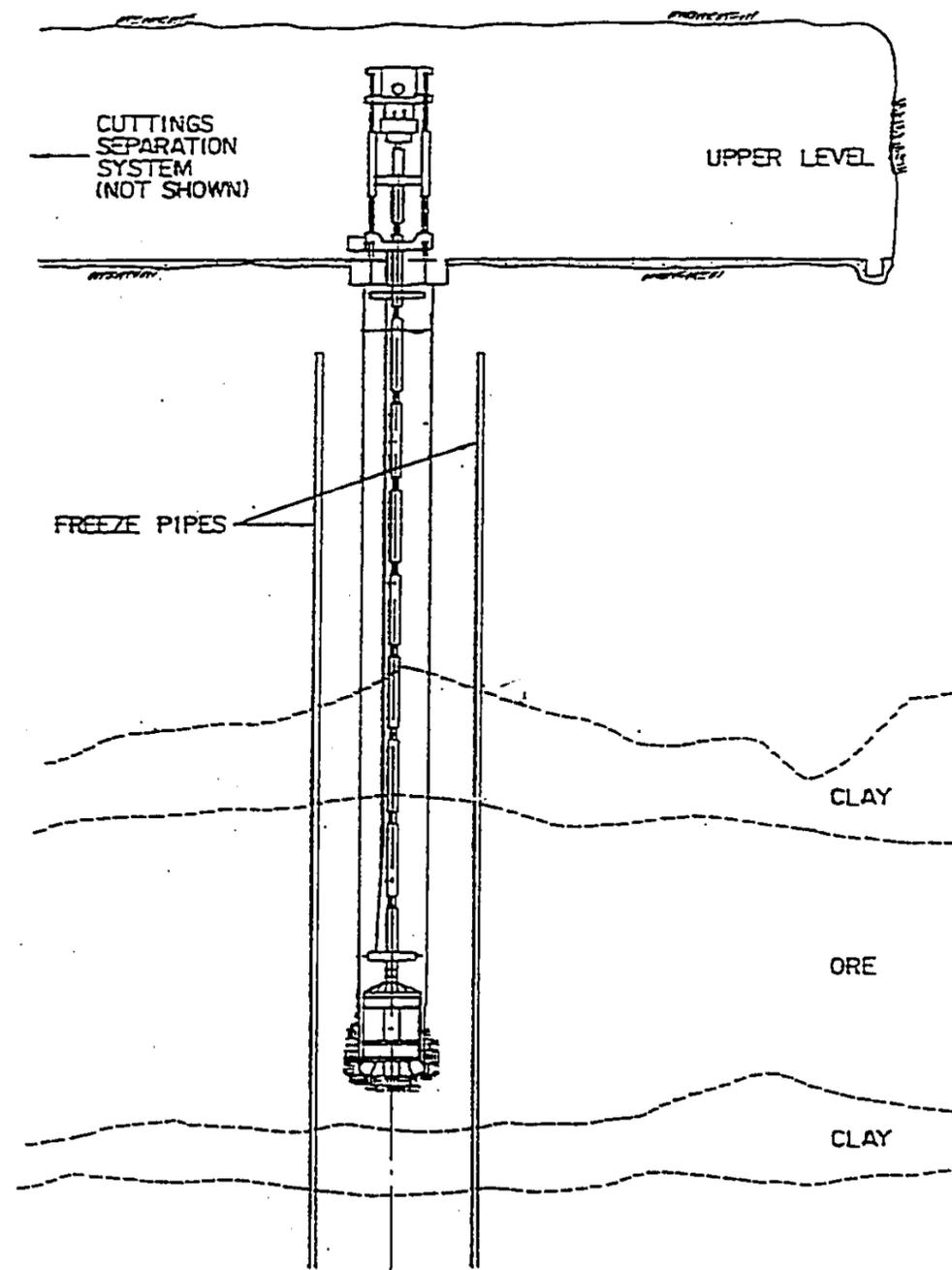


Figure 6 - reamer chute



0 5 10 20m

Figure 7 - blind boring system

⑤極めて品位の高いウラン鉱床の採鉱の研究

Calcia, C.: Contribution a l'etude de l'exploitation de gisements d'uranium a teneurs fortes. (Industrie Minerale-Mines et Carrieres-Les Techniques, Avril-Mai (1997), p. 3-9)

本報において筆者は、放射能のほか大層の出水が予期されるカナダのCigar Lakeのような、極めて品位の高いウラン鉱床の新しい採鉱法について述べてみよう。

(1) Cigar Lake 鉱床

この鉱床は、深さ450mのところにあるAthabasca砂岩と基盤の接触帯に位置する。鉱床はレンズ状に露れ、長さ1,000m、幅25~105m、厚さ5~30mである。

鉱床の品位は例外的な高さで、平均ウラン含有率10%である。可採ウラン量は、150,000tに達する。

(2) 新しい採鉱法

試験採鉱のため今まで2つの方法が考えられてきたが、これらの短所を克服するために、筆者は以下の方法を提案する。

この方法は、事前に凍結した鉱体内での下向充填採鉱法に該当する。坑道は上側1本だけが必要である。

a. 凍結 凍結法は経費がかさむので、今まで採鉱には適用されていない。さてCigar Lakeでの困難は、凍結帯を容易に採掘できるような凍結孔の最適配置を決めることである。筆者が完全に適用可能と考える配置は、かつてClaude Louis が土木工事に際して考案したものである(図1)。

基本計画としては、鉱体の走向に沿った坑道に設けた主要坑道から、凍結孔をせん孔する。これら主要坑道は、砂岩中の岩盤のよいところに位置させる。凍結孔の間隔は、運送する状況によって定める。孔長は50m台である。

機械設備は、NaCl 溶液とともに慣用の機械を用いればよい。

b. 採掘 主要坑道の掘進は鉱体中で

はなされないから、放射能の問題は起こらない。従って、従来方式によって行うことができる。

採掘機械として先ず取上げられるのがTurmag 社製のローラーである。この機械は、中心部の通常型掘きくビットのまわりにローラーカッターを備えている。掘きくされた鉱石は、送溜型エアリフトシステムにより、機械の掘進軸を通じて排鉱される。

Turmag 機は、掘きく径が0.6~3.5mのものが製造されている。Cigar Lake 鉱床の場合、Turmag 機による掘きく径は2.3mがよいと筆者は提案する。それは後述するように、"belling tool" と称する特別の掘きく機が、鉱体中では3.5m 径まで適切な掘きく機として使用可能だからである。

下向採掘法において、掘進孔はまず岩石中を、次いで鉱体を通ずる。充てん容積を減らしつつ、岩石帯と鉱体とを考慮した適切な掘進計画を得るために、筆者は"belling tool"の使用を提案する。この機械は、鉱石の中だけを大口径でくり抜けるよう製作されている。掘きく作業は、本体に挿えられた3個の腕でなされ、また掘きく腕の伸長は、油圧システムでなされる。

Turmag 機およびbelling tool による掘きく跡の垂直および水平断面図は、図2に示すようである。

なお、掘きく断面を図3に示すように正方形にする可能性も、将来の問題として残されている。

c. 採掘跡充填 セメント灰を少なめにしたコンクリートによる採掘跡充填は、落盤防止のためできるだけ迅速になされねばならない。コンクリートの流し込みは、

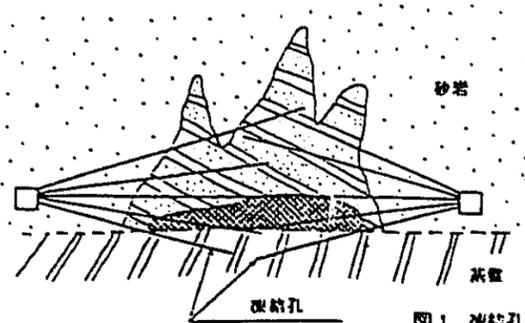


図1 凍結孔の配置

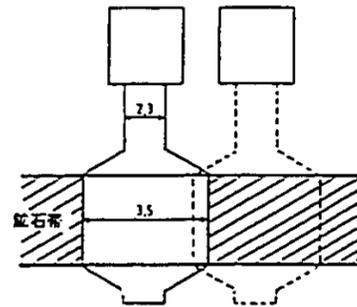


図2 水平断面が円形となる掘きく跡

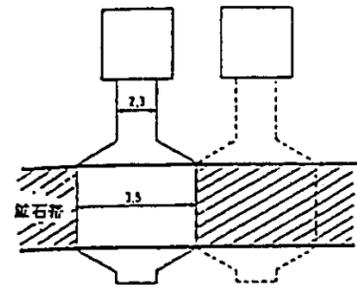


図3 水平断面が正方形となる掘きく跡

重力を利用するかポンプの使用によって行う。

d. 解凍 一つの鉱面の採掘が終了したあと、凍結を保持することは、経済的に不可能である。従って冷凍機を停止させると、その区域は徐々に解凍される。

e. 鉱石の輸送 エアリフトシステムにより、採掘した鉱石および岩石をプラットフォームまでパイプ輸送する。

(早大 原田博臣、資源・素材学会 井上 隆城)

⑥「High Grade Uranium Mining-Underground-Midwest Joint Venture」

93rd Annual General Meeting of CIM-1991

H. K. Fredrickson

【MJVの構成】

Midwest Joint Venture (MJV) は、以下の構成。

- |  |     |
|--|-----|
| 1. Denison Mines limited (Operator)      | 45% |
| 2. OURD(CANADA)co.Ltd                    | 15% |
| 3. Bow Valley Industries Ltd.            | 20% |
| 4. Uranex Exploration and Mining Limited | 20% |

Numac Oil & Gas Ltd.が15%の利権を所有する。(3.4.中)

【経緯】 68

探査は1986に始まり、10年後(1978初冬)に鉱床発見。1978~1981の広域ボーリングはEsso Resources Canada Ltd.,によって実施された。これは、MJVの試験採掘計画と共に進行し、Mink Arm下に361,000t、4.5%(U308)の水平鉱床が予想された。Denison Mines limitedの開発はEssoの権益譲渡を受け1987に開始された。

【位置】

このウラン鉱床は、北Saskatchewan、Route905からほぼ3km(北緯58°18', 西経104°05')に位置する(Saskatoonより北へ700km)。また、Mink Arm of South McMahon Lakeの水面下約190mに胚胎する。

高品位ウラン鉱床は、従来北Saskatchewanでは露天掘りが主である。この計画の鉱床は深度が大きく、採掘のためには地下採掘(困難を伴う)が必要であった。

【地質等】

鉱床自体は比較的堅固だが、その亀裂中には多量の粘土を含有している。母岩は強い変成を受けており、多くの箇所粘土を多量に含有することで品位を低下させ、無価値なものとなっている。

このウラン鉱床の一部では2.5%以上の品位(U308)を有している。これらの場所でのγ線放射は、作業者がこれに近接しての採掘法を限定する。

鉱床上の亀裂を多量に有する砂岩は、地下作業で不注意で進入しない限り停滞水で飽和状態である。ウラン鉱床に近いことで流入水がラドン及び娘核種(吸入すると有毒)を随伴する。

### 【試験採掘計画】

Essoの作業により、露天掘り採掘が経済的でないことが示された（表土はぎ取りのコスト大）。MJV（Denison Mines limited）では地下採掘による開発の可能性を探るための試験採掘を決定した。

### ■試験採掘フェーズ（1989完了）の目的

1. 地下環境下での比較的高品位なウラン鉱の採掘、大量の富ラドン水の取扱いにおける放射線防護の必要性の評価。
2. 開発、操業時の水処理計画のための、地下採掘における流入水の水質及び水量の調査。
3. 適当な開発（採掘）方法決定を容易にし、岩盤の支持方法の決定のための、鉱床及び周辺の岩盤状況の評価。

### 【建設計画】

連邦及び州の許可を得て、直ちに建設要員は現地に集合（1988.9.9）。

### ■計画概要

- 鉱床上の水のポンプアップ（Mink Armを横切ったのダムあり）
- 排水処理の容易化
- 地表鉱山施設の完成
- コンクリート巻き立て坑（3.65mφ×185m）
- 鉱体上のクロスカット坑道（3m×3.5m、通気14.1m<sup>3</sup>/時）
- 盲ボーリング（Blind Bore Drilling）×2（1.2mφ）

### 【盲ボーリング=Blind Bore Drilling】

この鉱床開発における特徴的な方法がこの“盲ボーリング”である。これは下のアクセス坑道を必要とせず、すべての坑内作業が一つのレベルから可能な方法である。そのため、費用と時間が低減される。

このために使用する機械はRobbins-Ingersoll Rand製(model RBM-7-SP)である。これは典型的な掘削機で、ヘッドユニットに特徴をもつ（1.2mφでPush時はPull時より能力が上がる）。この程度の仕事では、専用の機械購入は高価なものにつく。切削屑は、ドリルストリングのカッター先端上50cmに取り付けたシールユニット、圧縮空気により排出する。鋼製バッカー（1.18mφ×1.4m）で周囲はネオプレンゴムでシールされている（1.25mφFrederick E. Johnston特許）

ドリルストリング中を降下する圧縮空気は切削屑を切羽面から随伴し、シールユニット直下のチャンパーを通り10cmライン2カ所より通過する。切削屑は、鉱車上の鋼箱内の耐性ポリプロピレンのバッグで除去される。サイクロンの排気は地表への排気ダクトにおくられる。

鉱床内を2本のボーリングを実施した（30.63m, 33.76m）。地層をいくつか横切ってはいるが危険な状況はなかった。ビデオカメラでの点検の後コンクリートによる充填を実施した。他の機械的欠陥については Johonstonバッカーにより処置し、ボーリングは成功した。高品位鉱床上の地質状況の目視検査、評価が可能であった。

### 【鉱排水】

ポンプ排水の必要な流入水の量（最大）は、短期的には2,600ℓ/分で、平均（後期の3カ月）では1,300ℓ/分であった。

立坑は鉱床から150m離れているが、鉱床母岩での水はSaskatchewanの水の基準に達しなかった（ラジウム 226）ので、開発における排水はすべて処理している。

### 【放射線】

ラドン娘核種は、水量が多いことから水が移動源となる。流入水を直接ポンプ水溜にパイプ流送し、溝を流さないようにすることで、主要クロスカットの放射線量を激減させた。7/1～11/23のそれは許容値を下回っている。

γ線のボーリング作業場所での作業者に与える影響は、0.0015mSV/Hrで、これは許容値を下回っている。 max 0.0045 mSV/Hr

### 【採掘計画】

### ■設計留意点

- 作業者の安全とその防護
- 長短期での岩盤コントロール
- 放射線、採掘での水コントロール
- 100%との採掘率（鉱床が高品位）

### ■設計デザイン・新手法

1. 通気は一回のみ使用。一度使用された空気は排気として排出する。採掘は西から東へと進行させ作業者は常に新鮮な空気のみと接触する。
2. 採掘上の問題を解決するため地下水面は、排水して鉱床下に低下させる。排水作業のための孔は、2つ上の坑道から穿孔する。
3. 排水レベルは鉱体と直接接触せず合流（交差）しないようにする。ポンプ、および水溜はここに設置する。流入水はすべて発生源で回収し最下レベルの排水坑道にパイプで集約する。これは、通気にラドンを出さないためである。また、水は溝を流さない。

4. 搬出以外のすべての作業は鉱体からはなれて行う。すべての装置は放射線防護を施し、リモコン操作室を設置する。
5. 切羽は小さく、スピード採掘とし、高強度の充填を施す。
6. 通気ファン、ポンプは予備を備える（デュプリケイトスタンバイ=2台）。
7. 冬季の大量通気（210 m<sup>3</sup>/秒）の加熱のため、現在の計画は夏期のみである。12カ月常に125 t/日の処理が可能のように十分なストックをもうける。

#### 【採掘方法】

##### ■デザイン設計上の制限

1. 鉱床平均品位は4.5%（U3O8）で局所的に25%以上であり、これがγ線源となる。作業者はこれらから防護しなければならない。
2. 鉱床周辺の地層、鉱床自体は、強度に変成し亀裂を持っている。この亀裂に粘土を含有することから、岩盤が自立せず広範囲の空洞開削はできない。
3. 大量の鉱床への流入水が予想される。この水はラドンガスに富み、ラドン娘核種と呼ばれるα線源となる。

##### ■採掘方法

Figure.4に採掘方法を示す（Non-Entry Vertical Panel法=NEVP法）。鉱床上5~10mに上部穿孔坑道を配置する。この間隔の砂岩は、この坑道での作業者にとってγ線防護として機能する。同様に運搬坑道は鉱床下5~10mに配置される。ほとんどの仕事（発破、穿孔も）は、リモコン基地で実施される。搬出は、（1）リモコン室（2）γ線防護機械室から行われる。

##### ■採掘ステップ

- 1) 穿孔レベルから運搬レベルへ穿孔し、ドロポイントのスロットをつくる。
- 2) 5mだけ切羽から離し、垂直長孔を掘る（穿孔レベルから）。
- 3) 最初の発破で、スロット回りにドロポイントを作る。
- 4) リモコン室か、シールド室のため、ドロポイント搬出。
- 5) 発破-搬出を空になるまで繰り返す。鉱石はケージ（5tシールドコンテナ）に投入し、地表のストックパイルに搬出する。
- 6) 良質のセメント充填で、掘跡とドロポイントを充填する。
- 7) 同様にして、東向きへと次の作業を進める。この作業を一つの区画の採掘・充填が終了するまで続ける。
- 8) 同様に次の採掘区画（#8, Figure.4）で採掘-充填となる。

#### 【新手法】

##### ■流送系統

35.6cmのパイプラインの代わりに、John Pondまで50.8cmの保温断熱パイプライン（950m）を付設することで180,000\$節約した。また、ポンプバージ（空ドラム缶の浮力利用）は湖に設置した。すべての水パイプは、冬季中は俵で保護しており、凍結は生じなかった。

##### ■水処理プラント（立坑）

立坑開削時に水処理プラント駆動での水に不足を生じたので、小型のバッチ式装置を準備した。これは屋根なしで、地下で処理プラントに十分な水に遭遇するまで十分機能した。

##### ■ボーリングマシン

地下作業装置は高価なため、盲ボーリングに簡単に利用できない。運搬もまた、問題となる。機械はその利便性からRobbins-Ingersoll Rand製(model RBM-7-SP)を選択した。Johonstonバッカーと、ダブリングヘッドによりこのボーリングが可能になった。

##### ■流入水のパイピング

流入水を発生元でパイプに入れポンプ水溜に排出する事で、劇的に採掘現場でのラドン娘核種を低減させた。

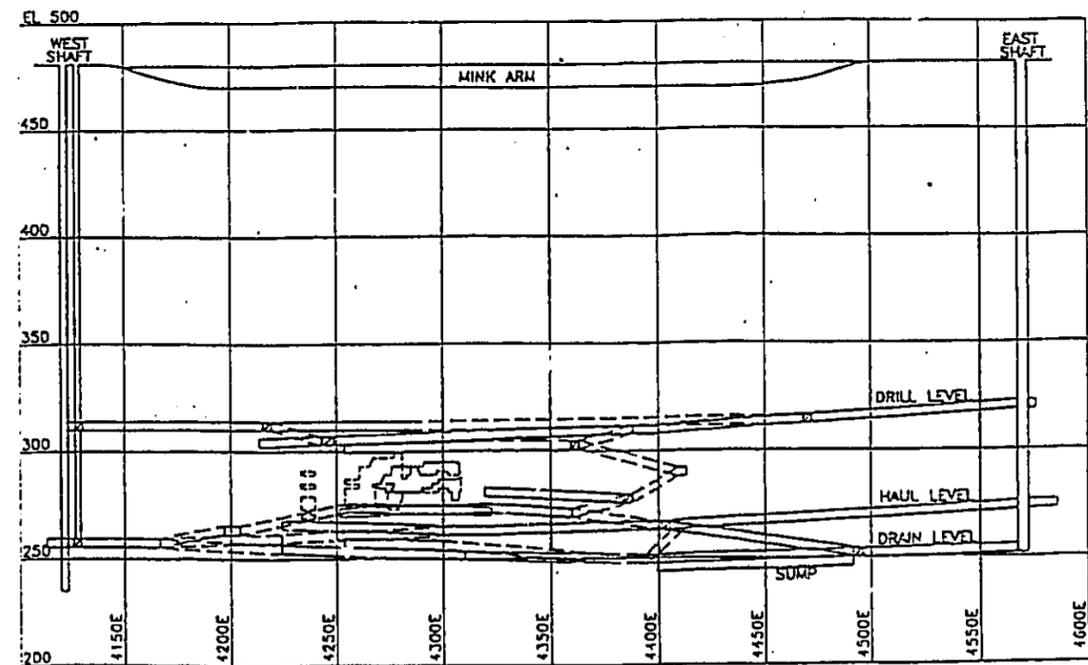
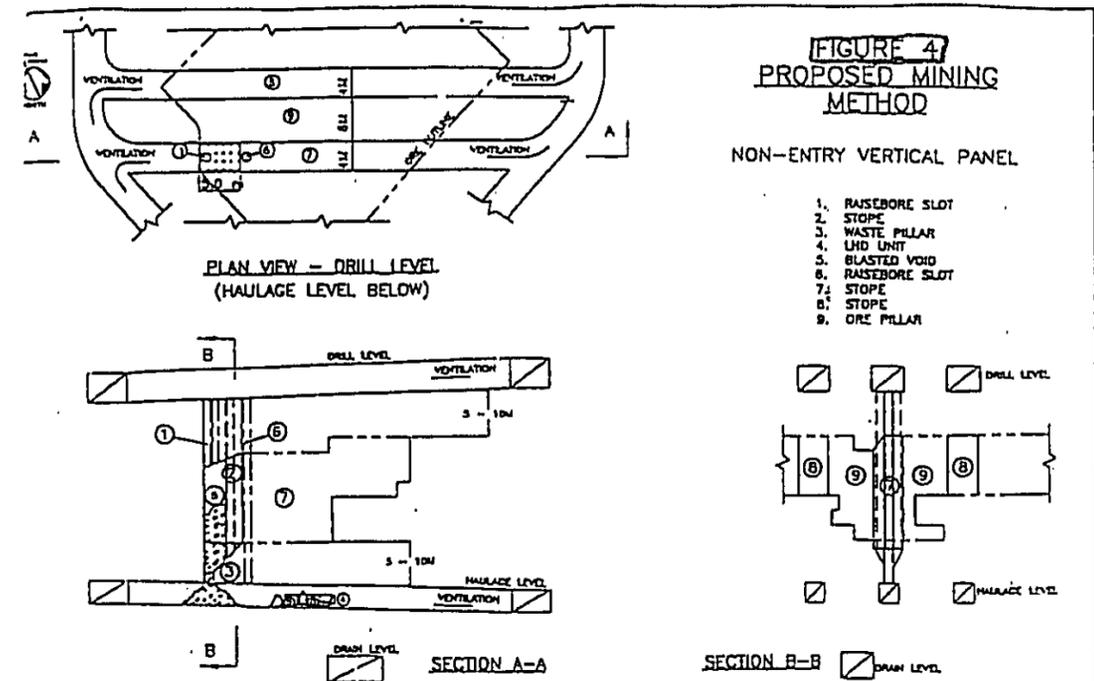
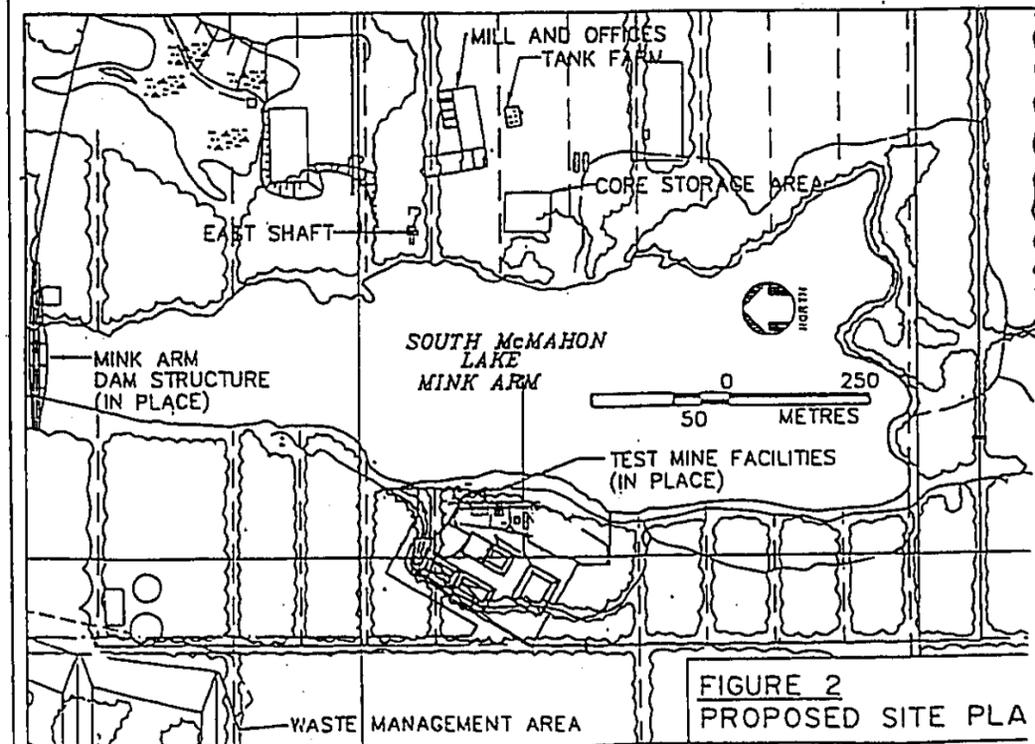
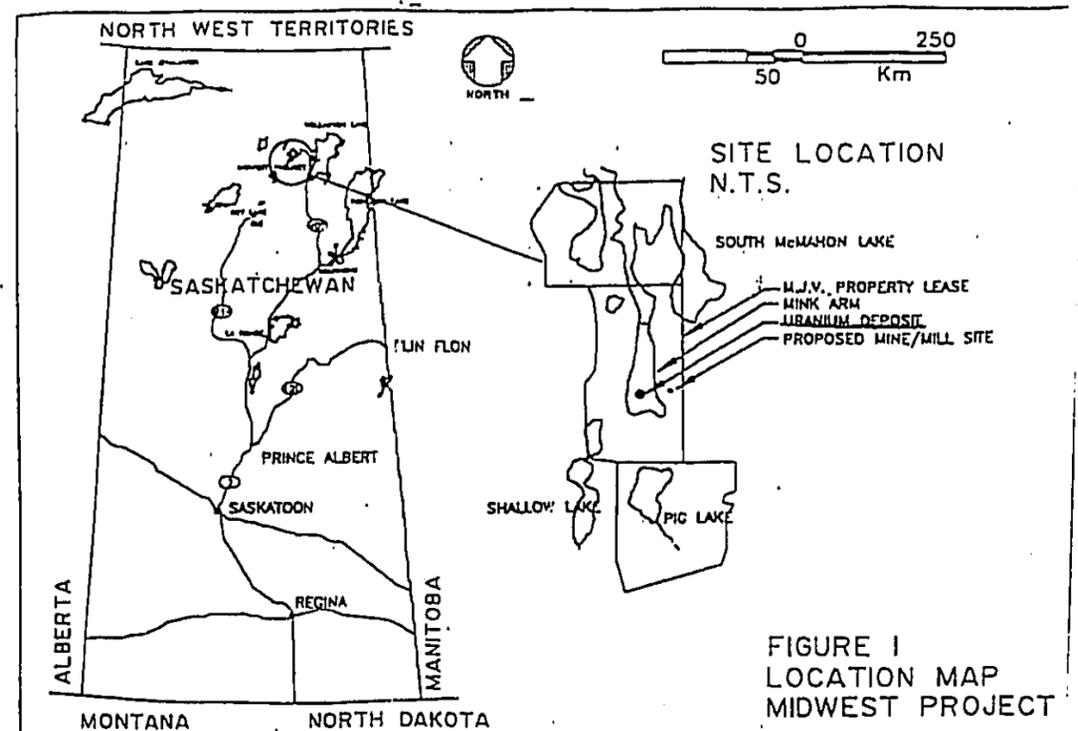
#### 【CONCLUSION】

MJVプロジェクトで作業者が直面する環境は、かつてなく特殊なものである。この鉱床開発成功のために多くの革新があった。試験採掘は、いくつかの新手法により、成功している。

#### 【ACKNOWLEDGEMENT】

< 省略 >

以上  
(1991.12.3)



⑦Labbit Lake Project (Eagle Point 鉱床)

CIM Bulletin DECEMBER 1989

—採鉱と開坑

G. W. Clark, Manager, Mine Development Cameco

1. 要約

Labbit Lake 鉱床はOpen Pit 法で採掘を完了した。この採掘法は現在B-Zone の開発に採用され、将来もA, D Zone の小さな鉱体に適用されるだろう。

Eagle Point 鉱床は21世紀に生産が開始されるであろうが、坑内掘によって開発されよう。B, A, D, Zoneは鉱床がWallaston Lakeの水面下にある。B 鉱床を露天掘りで採掘する為、鋼製セルで出来ている防水堤を鉱床の北端の周囲に設けた。A, C Zoneも同様の防水堤が構築される予定である。

2. 概要

(1) Labbit Lake 鉱床の開発 (終掘)

1970: F/Sに従って着工

1972: 選鉱場とキャンプサイトの建設開始 (資材は1973年11月まで冬季中に搬入)

1974: Lake内干された底泥の除去及び剥土の開始

1975: 選鉱場での鉱石処理開始 (6月)、10月までに300万lb/年の選鉱処理能力

1977: 500万lb/年のフルの能力に到達、1981年まで続いた。その後品位低下により生産量は低下。

探鉱 Labbit Lake 北方約7マイルのHarison 半島で放射能異常確認、精密探鉱の結果 A, B, Eagle Point の鉱床発見、B Zoneは鉱床が地表面に近く、且つアクセス容易で、Labbit Lake について開発される。

(2) B zone の開発

1979, 1980 技術的概念設計。発電プラント、修理工場、更衣室、隋い設備の計画実施 (他の隣接3鉱床開発共用) 鉱石運搬道路、貯鉱場、廃水処理システム、配電システム、防水堤体 (B Zoneは鉱床の1部、A, D Zone は全部が湖水面下にある) が計画された。

1982年12月環境影響評価を進め、法規に従って政府の許可を得た。詳細設計と採選鉱に必要な初期開発工事が始まった。

1984年7月までに防水堤完成、剥土、湖底泥の除去開始。発電設備、修理工場、更衣隋い設備が秋までに完成。1985年最初の鉱石が選鉱場に供給された。

Mine Life 現在の生産量で1993年終掘。続いてA, D, Zoneに移行の予定

Fig 1 に鉱床と関係インフラの位置関係を示す。

3. Rabbit Lake (終掘)

鉱量 Table 1 に示す。

操業期間 10年間 1984, 5月終掘

Final Pit Size 1900' × 1400' 深さ方向 420' (湖面下) 500' (最高地表面下)

|            |  |                    |   |
|------------|--|--------------------|---|
| 採掘量        | 33.1 × 10 <sup>6</sup> ton   | 内訳                 | 26.5 × 10 <sup>6</sup> t waste<br>6.6 × 10 <sup>6</sup> t ore |
|            | ore grade 0.32% U, O <sub>2</sub>  |                    | 42.7 × 10 <sup>6</sup> lb U, O <sub>2</sub>                   |
| Pit Design | ベンチ高さ  | 20' 鉱石部<br>40' ずり部 |   |
|            | 最終バーム幅   | 30'                | ベンチ高さ40' において   |
|            | 最終Pit 傾斜   |                    | 南、東、北の殆どは 45 度<br>西Rabbit Lake 断層地域 30 度                      |
|            | Pit Road   |                    | 幅 60' 傾斜 Max 8%   |
| 採鉱計画       | Mill Feed 300 万lb/年<br>(u o) 500 万lb/年                                   |                    | 1975年6月 Mill Feed 開始時<br>1977年 Mill フル操業時                     |
|            | 採掘量 Mine Life 10年を通じて平均410 万t (2.0 × 10 <sup>6</sup> cu.yd)/年<br>(ズリを含む) |                    | 日量 11000t (5300cu.yd)   |

排水

|                         |                |
|-------------------------|----------------|
| Rabbit Lake の必要干拓面積     | 約 570 エーカー     |
| Rabbit Lake 周辺の水理勾配は小さい |                |
| Rabbit Lake への地表流入水     | 8 ~ 200 igpm   |
| Rabbit Lake からの計測流出水    | 400 ~ 870 igpm |
|                         | (季節や降雨量により異なる) |

open pit周辺の地下水パターンはOpen pitの排水により影響をうける。採掘前の水理勾配は低く、Rabbit Lake の南面の高い地表下で約5%が最高である。

Open Pit排水

開発の最初の段階で、湖の中心点に囲い堰が設けられた。堰内の水は最終のOpen Pitの周縁に地下パイプラインにより流出させ、掘削された排水溝に放流された。開発中のモニタリングによると、open pit内への地表流入水及び地下水は鉱物に触れ汚染され、radium 226の規制値を越えていた。Pit 底からポンプアップした水は選鉱処理水として使用し排水処理場に送られ、処理後放出された。

採鉱技術

漂礫土 (till) 平均20' はスクレーパー、ショベル、FELとリヤダンプトラックの組み合わせで除去  
採鉱はOre、Waste 共に穿孔、発破、積み込み、搬出による。  
Waste: 穿孔 9" Rotary Drill 穿孔間隔 17'

発破 ANFOスラリー使用 2次破砕はair-Track 使用  
 積み込み 鉱化帯から離れた場所 40' Bench Heightで  
 5cy mechanical shovelと35t ダンプトラックの組み合わせ  
 7cy FELと35t ダンプトラックの組み合わせ  
 約1マイル離れた廃石場まで運搬

鉱化帯: 穿孔 6" Rotary Drill 穿孔間隔 13'  
 9" Rotary Drill 穿孔間隔 15'

発破 ANFOスラリー

Powder Factor 1.5lb/cy (Ore, Waste 共)

Waste の Oreへの混入を防ぐため、穿孔ごとに穿孔スライムからサンプルを採取、放射能分析を行う。品位コントロール作業員はこの分析結果により、Ore, low grade ore, waste の境界を示す。

破砕鉱石は運搬時に放射能測定スキャナーの下を通り、ore, low grade ore, waste と分類され、それに応じたストックパイルに送られる。選鉱場への送鉱時にmix されて品位が調節される。

#### 4. 開発中 - Collins Bay B-Zone

B-Zone Rabbit Lake Mill北方約6マイル、Collins Bay とIvision Bay とに分割しているハリソン岬にある。鉱床は水面下部分で1307'、南端部で1326' levelに在る。長軸略南北長さ2500' 平均幅 300' 厚さ 100'、60' の漂礫土(未固結)で鉱床は覆われ、最も厚い所で200'におよぶ。鉱床の北部はCollins Bay 中へ500'も入り込んで入る。水面下鉱床までの水深は5-10' である。

#### 排水

生産の最適化のため水面下の鉱床から開発することが計画された。

排水のための防水堤を計画: アースとロックダム構造のもの、円形の鋼製シートパイル構造のもの

後者の鋼製シートパイル構造のものが経済的に有利と言う理由でなく、環境保全的な理由から選ばれた。堤体の大部分は径35' の鋼製円形セル30個を鋼板で結合したものでできている。これらのセルは1983-1984 にかけて冬季凍結時に、杭打機で建設された。セル内部は玉状砂礫で充填された。堤の両端の水深10' 以下の所は海岸までロックを積み上げて連結し、水を封入した。封入後は重機が入ることができるまでポンプで排水した。セルによる堤体は水圧28' に耐えられるように設計したがさらに堤頂幅40' になるよう堤の内側に漂礫土や破砕岩で固めて補強した。これは安定性を高め、水の侵入を最小にするためである。Fig 5 参照

Pit内流入水は沈砂池までポンプアップされ、更にRabbit Lake 選鉱場まで6マ

イル送水し処理後放流された。ポンプ容量はmax 1200ipgm。地表水の流入に対し、Pit の外縁に道路又は囲い堰を設け極力抑制した。汚染鉱水はB-zoneから選鉱場まで運搬道路に沿って設けられた側溝中にポリエチレンパイプいれて、それにより送水された。これらのパイプが加圧、凍結や衝撃により破損が無いことを確かめるためモニタリング計器が設置された。

#### Open Pit設計と採鉱技術

B-Zone 最終ピット 長さ3000' ×幅 1000'  
 ピット底 水面部 湖底下 150'  
 陸地部 地表下 200'

1985年 採掘開始

1987年 Waste 800万t

Ore 90万t 採掘済み

Pit 設計による総掘削量 18000 万 t 12.5×10<sup>6</sup> Waste  
 2.8×10<sup>6</sup> Ore

W/O = 5.4

Bench 高さ 高品位帯 5' or 10'  
 (採掘時) 低品位帯 20'  
 Waste 帯 40'

Safety Berm 30' (40' 高さに対して)

Overall Slope(最終斜面傾斜) 42~45° 岩盤中  
 30° 表土中

Pit Road 60' 幅 max 8% Pitの東斜面に設ける事になる。

採鉱法 Rabbit Lake の時の採鉱法に準ずる。

採掘開始後 35tトラック8台から50tトラック5台に、5cy 機械式ショベルから5cy 油圧式ショベルに取り替えた。

年間1.2 × 10<sup>6</sup> cy の土石搬出に補助機械としてバックホー1台、ショベルのバックアップとしてフロントエンドローダー2台、ブルローダー3台、ロータリドリル2台、グレイダー一台が用いられている。

採鉱は数ベンチ同時稼行し、品位調整して出鉱する。ピットから運搬されてきた鉱石は放射能測定後、特別に準備されたストックパイルパッドに貯鉱される。

ストックパイルからの漏水が地下水に混入するのを防ぐため、ストックパイルの底に4mm高密度ポリエチレンシートが敷かれた。ストックパイル周囲には地表水の流入を防ぐため溝が掘られ、これに集水した水はサンプに導き処理池までポンプアップされる。Waste は鉱石ストックパイルの近くに集石される。これに流

入したり、そこから蒸発する水分は汚染されていない事が証明されているが、トラックパイル周囲に集水溝が設けられ、排水のモニタリングを行う。このみ水は汚染がないかぎりサンプルを経てCollins Bay に放流される。

#### 高品位鉱採鉱技術

鉱山作業者の放射線被曝を定められたγ線の最高線量率以下に保つために、2% U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>以上の品位の鉱石の採掘には特別な方法が要求される。平均品位は0.72% U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>であるが、部分的にはmax36%にも及ぶものがある。高品位部は鉱床の北方湖底部に集中している。この部分は長さ、幅共に約350'、厚さ60'で3% U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>鉱量 220,000t あり、総鉱量の7%、総ウラン量の33%を占める。

作業者の被曝を最小限にするため、Back hoeを用いて採鉱する。高品位鉱を覆っているWasteは保護層として利用するため、鉱石の上18'を残し、最初の採掘時に除去された。鉱石は穿孔、発破されBack hoeでトラックに積み込まれた。この地区のbench heightは10'でBack hoeでのトラック積み込みは鉱石の上18'の被覆Waste又は低品位鉱の上でおこなはれる。

#### 5. 将来の開発

##### Collins Bay AとD Zone

A, D ZoneともB Zoneで採用された技術によるOpen Pit法で開発。A, D Zone共湖水面下であり、A Zoneは水面から45'の深さのところまで鉱床が続いている。それゆえ、B Zoneと同様防水堰が必要。堤体の設計は、安定性と環境保護を念頭においてなされた。B Zoneで用いられたものと同じく円形で相互に鋼板で連結された鋼製パイルで構成され、堤の両端は土砂を砕石で積み上げられた細い堤体に連続している。この方法は、B Zone堤体構築中湖の沈殿物の移動を最少にする技術である。この堤体上面は今まで観察された最高湖面上7'にあり、頂面に30~40'幅の道路がある。この堤体の設計パラメータ及び材料を表2に示す。(B Zoneとの比較を提供している) 各堤体構成のセルは、数多くの鋼板片から成り立っており、A Zoneの場合では148個、D Zoneの場合は116個で、それに4個の接続T板がついている。各パイルは、最低漂礫土の下5'の深さ以上を貫入している。セル内は、砂や礫で充填され頭部は、2'の破砕岩でカバーしその上を道路に提供する。セルによる堤体そのものでも自立するよう設計されているが、安全性を増すために小さな砕石による補強斜面(toe-berm)が構築される。Fig 6にA Zoneの計画堤体を示す。

##### Open pit design

|                      |             |                                 |
|----------------------|-------------|---------------------------------|
|                      | A Zone      | 1400' (L) × 350' (W) × 90' (D)  |
|                      | D Zone      | 1600' (L) × 400' (W) × 110' (D) |
| working bench height | 高品位部        | 10'                             |
|                      | 低品位部及びwest部 | 15~30'                          |
| 最終 berm              | 30' 幅       | over burden部 at 30' height      |
|                      | 20' 幅       | rock部 at 30' height             |
| road                 | 60' 幅       | 最大傾斜 10%                        |
| 最終 pit slope         | 40°         | 岩盤安定部                           |
|                      | 34°         | 断層帯                             |
|                      | 27°         | 表土部                             |

## 排水

堤体が完成後、封入水はサスカチュアン州の地表水品質規定目標に適合するかテストされた後、Collins Bayにポンプで排出される。排水完了後、採掘開始。操業中にpit内の浸透水や降雨、降雪により湿潤することを最少にするためポンプアップは必要である。pit内への地表水の流入を最少とするため採掘は冬期に実施することが提案されている。

流入した水は鉱石で汚染されると考えられる。それゆえ、B Zoneの沈殿池に送り、そこからRabbit LakeのMillまで処理のため送水される予定。パイプラインは、現在のB ZoneとMillまでに設けられたのと同じように道路に沿ってトレンチの中に設けられる。

## 採鉱技術

基盤を弊っている漂礫土の厚さはA Zone 20'、D Zone 40'。漂礫土は傾斜も変化があり、砂やシルトの不規則なたまりもあり、多くの小石やボルダーを含んでいる。表土はFELやショベルとトラックとの組合わせで除去、また必要ときには穿孔、発破が行われる。表土は、トラックに積まれた後、全量がB Zoneのストックパイル近くなる放射能検査スキャナーで分析される。実車はオーバーヘッドスキャナーの下で随時ストップし、そこで積荷のU品位が決定されそのU品位に従って自動的にどのストックパイルへ行くべきか測定器が情報を与える。この自動スキャナーは最近B Zoneに設置された。

ズリ部はB Zoneと同様の採鉱法が採用される。すなわち、穿孔、発破、積込み運搬である。最初の発破は、耐水性スラリーANFOの使用、穿孔径と穿孔配置パターンはベンチ高さと岩石のタイプによって違う。

高品位部から離れているズリ部はベンチ高さ30'、ショベルトラックの組合わせによりB Zoneのストックパイルまで運搬。

鉱化帯にあるズリは、鉱石部に沿って破碎され線粉はサンプルされてウラン品位決定のため放射能分析が行われる。これらの分析結果により、ウラン品位に従って発破ブロックを決める。破碎された岩石パイルは、FELまたはショベルでトラックに積まれる。鉱床体にある破碎岩を積込んだトラックはすべてオーバーヘッド放射能スキャナーの下を通過し、鉱石、低品位鉱、ズリに分類されB Zoneにある各ストックパイルに搬送される。高品位鉱石は、現在B Zoneで適用されている方法で採掘される。A及びD Zoneの鉱石品位は採鉱55%U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>であり、高品位の大部分はA Zoneに集中している。

## 6. 廃棄物処理

### Rabbit Lake

Rabbit Lake Oreの処鉱処理中、その残渣(tailing)に使用される設備はFig 1に示されるようにRabbit Lakeの南2マイルに位置している。テイリングの封入は南と北のアースダムによって行われている。

これは、南北方向に発達している屋根の間にできた細長い谷を封ずる形で作られている。ダムは上流側、下流側共に2:1の勾配をもち、漂礫土を固めて構築された。

|                 |     |      |           |
|-----------------|-----|------|-----------|
| 堤頂幅は20' ダム高さは北部 | 75' | 使用土量 | 420,000cf |
| 南部              | 81' | 使用土量 | 750,000cf |

使用のための漂礫土は周辺から採取された。下流側の建設には、透水性のよい砂質漂礫土が用いられ、透水性の悪いシルト質fillは上流側の部分に用いられた。1979年までに、サイクロンで分離されたテイリングが南側ダムの下部側底部西側の建設に用いられ全長の約2/3にあたる。この方法は、環境問題で1979年に中止された。両ダムは中心線に沿って基盤岩に切込溝をつけられて堅固な漂礫土の上に基礎が構築される。侵入水の制御とダムの内圧軽減のためにダムの中心に直交して目の荒い水の流通の良い材料でできた一連のフィンガードレン抜きを設けることにしている。

ダムは、Rabbit Lake Mineの操業中、何段階かに分けて構築される。ダムは次の嵩上げまでの間は水面上20'の高さの余裕高(最高水位から堤頂までの高さ)を持たせる。

最終ダムについては余裕高さは水面上5'である。テイリングダムの嵩上げは、夏期の間外盛り方式により構築された。それは上流側の斜面を形成しながらダムの計画中心線は下流側へ順次移っていく方法である。

最初のRabbit Lake Mineの10年間のmine life中、約600万tのテイリングが約120 エーカーの表面積をもち深さ65~75'にあるテイリングポンドにスラリーとして放棄された。スラリーは封入面の周縁から放流された。放流点は、必要に応じてテイリングたい積面積中均等に分布するよう周縁に沿って移動した。固形分は沈降保留し上ずみ液は水面に浮上しているポンプ座のポンプより流送され、水処理後放流された。テイリングポンドの西側に沿って山腹水路が設けられ、集水面積約100 エーカーから流水する水を集水し、水は下流南ダムの南に設けられた水処理場の下流側にじかに川に放流された。ダムの東側に沿った急峻で集水面積が極めて小さいので山腹水路は割愛した。

### Collins Bay B Zone

Rabbit Lakeのテイリングダムは、Rabbit Lake 鉱体の処理用に作られ容量6.6百万tで設計された。

それゆえ、B Zone用のダムが必要であり、2つの案が検討された。

1案は現存の南ダムの下流側にもう一つのテイリングダムを構築する案であった。ダムの浸透水は基礎に接して漂礫土巾のベントナイトの広がりによって防げられ破碎された基盤岩の部分はカーテングラウトを実施することによりコントロールする。

第2案は、革新的な案で採掘ずみのRabbit Lake Open Pitをテイリングの放棄場所として利用するものである。

2年間の岩盤工学的な調査により、この案が極めて有望であることが判った。

この案は最終的に認可され1985年11月最初のテイリングダムが満杯になったときに使用が始まった。このpit内テイリング池としての利用システムはRabbit Lake Open pitの地面下における低い水理勾配であるということと壁面は高い透水性をもっていることを利用している。

特別な手段が壁面の透水性をよくするため計画に織り込まれた。これらの特徴は固化したテイリングは透水性が低いということを考え次の条件を持つようなシステムを計画した。

- テイリング放流中間隙水の排水を促進し、テイリングの固化を進めること。
- 中間隙水は、すべてつめ保水しモニタリングと処理ができること。
- テイリングをいれている間、低透水性のテイリングの周囲に高透水性の層を作りテイリングの固化を促進することと、テイリング放棄完了後、地下水流が定常化したとき、地下水はテイリング中を通るよりテイリング周縁を流れるようにすること。
- 特別な構築用の材料の特性や方法がたまたま間違っただけのものであってもたい積場の保全が保たれることが確かであること。

採掘完了に従って、Open pitをテイリングたい積場とする準備のため、浸出水の集積システムの建設が1984年6月に始まった。脱水システム工事の第一段階は排水坑道と切上がりの開削であった。断面8'×8'の坑道がOpen pit底の上約20'の点から東側に向かい5%の勾配で約700'掘削された。坑道先端から地表まで5'φの切上がりが上げられ排水ポンプが切上り底に設置された。

テイリングで充填された状態のRabbit Lake pitの断面図はFig 10に示す。

第二段階として水の透過のよい層とフィルター層の構築であった。切上がり坑道の完成後、坑道階前の高さからpit底まで鉱山からの捨石で充填された。

坑道と坑道入口の付近はスクリーンで粒径の整えられ、且つ水洗されたズリで坑道天盤高さより上約20'まで充填された。これらの水洗破碎石は、その上5'まで砂層で覆われテイリング放流中固形粒子分の移動を防ぐようにした。

テイリング放流中、浸出水、地下水、地表流入水、間隙水が排出しテイリング中の固形分が移動しないように、ピット底に破碎岩で充填されて作られた貯水部(サンプ)から放流テイリングの一番高い位置まで、ピットの周縁の外壁部分を砂と破碎ズリをもって連続的に敷き詰めることにした。

この材料として破碎岩はFELを用い、また砂の部分はスクレーパーを使用して連続的に敷き詰めていく。この砂のフィルターと破碎岩層はすべての浸出水を連続して除去しスライムの固化を促進させる。

排水坑道からの水は処理のためMillにpump upされる。

スライムの放流が完了しポンプ排水点で浸出水の観測結果、水質に問題がなくなった段階でポンプ排水が停止される。

ピット周縁に包んだ透水のよい層と充填したテイリングとの対比的な透水性の違いにより流入するすべての地下水がバイパスとなるよう水道パターンが充填テイリングの周縁にできるようになる。

1987年の末までに約100万tのテイリングがpit採掘後に放流された。

### A Zone, D ZoneとEagle Zone

初期に見積った廃さい量はRabbit Lake pitで処分できるだけの容量である。

もし、追加の処分地容量が必要とされるとしても計画、その方法検討、法規への対応、処理池の建設に対し十分な時間的余裕をもつことができるであろう。

## 訳者註

### 1. 極寒地における開発

- \*全天候道路の無いときは、冬季河川、湖面等の凍結時を利用して資材運搬を行う。
- \*露天掘の採掘は地表部が凍結する冬季のみに行うのが有利な場合も有る。
- \*排水パイプは凍結を防止する為、側溝内に埋設する。また、熱絶縁パイプを用い、たり、電熱線をパイプに巻き付けたりする。
- \*坑内採掘には、冬季入気を坑口で暖める必要がある。

### 2. 高品位ウラン鉱の採掘

- \*露天掘において、高品位部の上部2mくらいの低品位鉱またはズリ部を残して被曝防止に利用していく。そのために破碎鉱石トラック積み込みはバックホウを用いクレストレベル（削孔レベル）で行う。
- \*坑内掘においては、通気は車風にならぬよう一方向回路を取る。また、ドロウポイント立入坑道でのLHDによる作業は遠隔操作による。
- \*鉱石の分類（ore, low grade ore, waste）はトラックが放射能測定スキャナーの下を通る事によりリアルタイムで行っている。
- \*排水パイプからの漏水についてはモニタリングを行っている。
- \*排水用サンプヤストックパイルの底には40mm高密度ポリエチレンシートが敷かれ漏水による地下汚染を防止している。
- \*露天掘採掘跡は地質条件がよければ、少し手を加える事により、鉱滓処分地として利用できる。

以上の他は通常の採掘と変わらない。

## Eagle Point 鉱床

### 1. 序

（現在の計画）

mine life 19年。年生産量 700万ポンドU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>とする。  
鉱量 133 × 10<sup>6</sup> ポンドU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>

採掘 坑内掘 鉱石+ずり 2,000t/日

開発は3Phaseで行う

Phase 1 初期計画と許認可は既に完了

Phase 2 採掘と試験採掘実施。そのためにアクセスランプ、通気切上がり、2坑道の水平掘進、1、2箇所の試験切羽を施工。

試験中にフル生産（Phase 3）のための詳細設計を行い、直接、初期生産に移行する。

当初の鉱床へのアクセスが立坑でなく、ランプウェイによった理由

- 1) タイヤ式の車輛が坑内で使用できる。
- 2) 坑夫に対する放射能暴露を最小限にするため、坑内から急速に地表に運搬できる。

7つの坑内採掘法がテストされた。

安全と実用化の点から下向長孔発破による採掘と抜鉱後ずり充填による方法が選ばれた。

### 2. Phase 2 採掘試験

主な目的

- ・採掘法の実用性を示すこと
- ・放射線被曝量の評価とPhase 3における放射能防護計画の確定
- ・鉱石品位と選鉱計画における規準データをうるためのバルクサンプルの採取
- ・岩盤工学的条件の確認
- ・地下水浸透評価の確認と水理データの追加
- ・充填用ずり採取源の確認

試験場所 鉱床帯のEagle South部  
掘削量 ずり 約220,000 t (坑口近くの地表に堆積、充填用に使用)  
          鉱石 80,000 t 品位2.5% U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>

坑口近くに積替用地を設け、坑内より搬出鉱石を坑外用運搬トラックに積み替える。地表水の漏水が鉱石を通して地下水に浸入するのを防ぐために防水膜がこの鉱石集積地に敷かれる。

鉱山開発や鉱石集積物からの汚染水はストックパイル近くに設けた集水タンクにポンプアップされる。このタンクからB-Zoneの沈砂池まで汚染水用パイプを通して送水される。

計画されたEagle Pointの試験用坑内レイアウトはFig. 7に示す。

### 3. Mine Access

切羽へのアクセスはランプ坑道による。長期間に亘ってアクセス道路を有効的に使用するため、以下の条件を満たすべく計画されている。

- ・テスト及び操業中に使用される機器の大きさ、タイプに適用できること。
- ・鉱石とずり日量約2,000 tの運搬ができること。
- ・鉱化帯から離れた位置で岩盤が安定しており、且つEagle NorthとEagle Southの両鉱床帯に近い事

1100Lまでランプウェイで開坑することは、立坑開発に較べて経済的に有利ではないが、技術的に利点が多い。

利点としては次の点が挙げられる

1. 採鉱法として下向垂直孔による方法が採択されている。この方法は、メカナイズドタイヤ式LHD、ドリルジャンボ、リヤダンプトラックを使用する。これらの移動は、ランプ坑道を用いて効果的に実施される。
2. ランプ坑道を用いると、立坑で鉱石を巻き上げるときに必要な鉱石用切上り、グリズリ、鉱石用漏斗、積込み用ビンから発生する粉塵及び放射能被爆をさけることができる。更に、被曝の可能性のある坑内破砕場や貯鉱舎が無くて良い。これらのランプ坑道によると直接切羽のドロポイントで鉱石を積込み積替えなく坑外まで搬出できる。
3. 発電や坑外設備の故障があってもランプウェイによるとこれに影響なく坑外と通ずることができる。

Phase 2のランプ坑道 14' (高さ) × 18' (幅) 傾斜15%  
坑外から700MLまで  
坑道路面コンクリート 排水溝設ける (掃除用)

Phase 3のランプ坑道はPhase 2と同形1100MLまで  
ランプ坑道の予定場所は、事前に岩盤工学的調査が行われた (鉱化帯でないため)。この場所は、採鉱時のボーリングではカバーされていなかったが、このランプ予定地に近い12本のボーリングコアの試験とコアの地質図と地質構造の検討により、予定地はランプ坑道が可能であると言われた。  
最善の地質条件を確保するため、予定ランプ坑道の中心線に沿って約200'試験試錐が穿孔される予定。また、掘削に先だて切羽から調査ボーリングが実施される。もし軟弱盤に遭遇したときには支保で固めるか、ランプの方向が変えられる。

### 4. 採鉱法

Eagle Point鉱床は多くのレンズ状鉱化帯から成り立っている。

平面的には長軸方向はNE-SW

長さ 3600' 幅 1000'

鉱化帯は地質構造に支配されストライキ 35°

傾斜 45° SE

既知 深度 1400'

既知鉱量の約65%は400'~1100'L間にある

30% 400'L以上

5% 1100'L以下

鉱床は垂直200'の厚さ内に賦存する。

採鉱法としてはOpen Pit、現位置リーチング、坑内掘が検討された。

1100'の深度まで鉱石を100%近く採掘するのにOpen PitではFinal Pit周辺はWollaston Lakeの中へ数千フィートも入ることになる。その結果、O/W率は高くなり採算が合わない。

Open Pitで実施すると最終ビット底500'に限定され、鉱石の実収率は40%にしかならず湖内1500'まで達する約8000'長のダムの堤体が必要となる。水の処理問題、Open Pitの斜面安定問題、開発時のコスト高、広大な堤体、40%以下の実収率によりOpen Pit案は廃棄された。

In Situ リーチングについては2通りが考えられた。

- (1) 地表面からの井戸によりUを回収する
- (2) 坑内において鉱石を破砕しUを回収する

しかし、リーチングを効果的におこなうには次の条件が必要である。

- ・ 鉱床が地下水面下にある、即ち母岩が水で飽和されている
- ・ 母岩は透水性がよく、また水路があって移動が容易であり、注入液が流れやすくウランを溶解した液が予定の生産量を可能にするだけ回収できる事
- ・ 水理条件が溶液が鉱体中に封入されコントロールされることのできるものであること
- ・ 鉱種が環境汚染を起こさない溶剤でウランが溶出しやすいものであること

水理及び選鉱の予備試験を行った結果、In SituリーチングにはEagle Point 鉱床が適さないことが判明した。

この結果、坑内掘の採用が確認された。

坑内採掘法には以下の設計基準がベースとなっている。

- ・ サスカチュワン州の鉱業法に従うこと
- ・ 作業員の放射能被曝は基準以下であり、実行可能で経済的また社会的要素を考慮してできるだけ低いものとなること
- ・ 安全で効率的な方法で鉱石の回収率を最大にすること

更に以上の一般的基準に加えて、以下の特別な基準が設計に当たって適用された。

- ・ ランプ坑道、切羽へのアクセス坑道、通気用切上りは可能な限りぎりぎり中に設ける
- ・ 通気は作業員が常に新鮮な空気中で作業ができるよう一方向通気システム(車風を作らぬ)を用いる
- ・ 最高切羽における穿孔、積込み機は可能な限りぎりぎり、または低品位鉱内に置かれる
- ・ 高放射能被曝から作業員を保護するため、遠隔操作用機器で実用化の可能な機器があればその機器を採用する。

以上の基準に従って7通りの通常採用されている採掘法が検討された。

下向垂直穿孔発、(サブレベルストーピングの一種：訳者注)が安全かつ実行可能なものとして採択された。Fig 8参照

この方法は鉱床の上部坑道の押込みから鉱体下のドロポイントに向かって、自由面作りのスロットホール及び計画穿孔配置にもとづく垂直下向の発破孔の穿孔によるものである。

鉱石はスロットホールに向かって発破され、ドロポイントにおいて遠隔操作によりトラックに積込まれる。穿孔坑道への通路は上盤中に、積込運搬への通路は下盤中に掘進される。

ぎりぎり中の開坑は坑夫の放射能被曝を低減されるとともに岩石の物理的性質がよいため加背の大きな坑道が可能となる。

鉱石を搬出するためには、隣接切羽を立てるのに上下盤を支持する必要があり空洞はセメント混入のぎりぎりで充填される。切羽は順次、チェッカボード(千鳥)状に採掘されていく。続いて充填済み間に残されたピラーが採掘されこれを繰り返していく。

## 5. 通気

通気スライムは、サスカチュワン州鉱業法のPart XXIIによるディーゼルに対する規制及び鉱業法Part XXVIIとAECR(原子エネルギー規制法)によるサスカチュワン作業場汚染限度及び放射能被曝度に適応するように設計された。通気システムは、Eagle Point 鉱体を3つの独立した通気回路(Eagle North、Eagle South、主アクセスランプ坑道)にわけている。Fig 9

独立した通気回路は、各地域を独立して操業させることが出来、1つの扇風機の故障による通気の欠損に対しても対応できる。一方向通気回路(one-pass flow-through ventilation)はラドン娘核種を含む粉塵やディーゼル排気が車風による濃縮がなく切羽から排出されることになる。

風速は最低毎分300'になるよう設計された。

サスカチュワン州鉱業法では、馬力当り3.8 m<sup>3</sup>の新鮮な空気の流れを必要としている。設計ディーゼル機器の馬力では、Eagle North及びEagle Southのどちらも23,000cf/minの風量を必要としている。規制された以上の風量を維持するためにPhase 3の生産段階においてはEagle NとEagle Sの回路には280,000 cf/minの風量を、ランプ坑道の回路には200,000 cf/minの風量が設計された。280,000 cf/minの風量は4つの坑道に70,000cf/minずつ分流され、いつでも各レベルに切羽が立てられるようになっている。Eagle NとEagle Sの通気は地表にある扇風機により1100'まで10'φの切上りを通して送り込まれる。風の汚染をできるだけ少なくするため、各切上りはぎりぎり中に設けられる。新鮮な空気は各レベルを通して鉱床の外縁部にある排気切上り(10'φ)に排出される。排気扇風機は切上りの地表口に設置される。これは押込みと吸出しの併用通気システムである。これに替って1つだけの扇風機を用いるシステムも可能である。各レベル

の風量を制御するために風量調整機が設置される。

一般的な採掘順序は新鮮な空気の供給口に向かって鉱床の底部及びから上部及び内部の方向に進められる。坑内設備の凍結や作業員に良い環境を供給するため必要な時期には一気扇風機の近くに設けられたヒーターで入気は暖められる。補助扇風機がドロポイントや切羽上部の穿孔、装填箇所や通気の増量が必要な所に設けられる。ランプ部の回路は10'φの排気切上りの坑口に設置された扇風機によって通風される。扇風機はランプの底部から空気を吸出しランプの坑口から新鮮な空気を導入する。冬期にはヒーターを坑口に設置して暖かい空気を送っている。

## 6. 排水

Eagle Point 鉱床の初期予備水理評価が実施された。

浸透水の予測は、定常及び非定常有限要素法により求められた。最善の水理定数を用いて計算すると、Phase 3における定常浸透水は1100' Lにランプが達した時に28igpmのオーダーであると予測される。そして、1100' Lのアクセス坑道とそれ以下の坑道掘削が完了した時に約67igpmに増加し、採掘が終わった時には76igpmに増える。

岩盤の初期応力解放による非定常流は177igpmと予測され、これらの流れが定常流に近づくまでに数週間もかからないと思われる。

透水値が最高値の10倍として坑内への流入水が最大値である最悪の場合は、鉱山寿命中の各時期において定常流として350～460igpmの間にあり、ランプには40igpm流入する。また、短期間であるが約510igpmの非定常流が見られる。

鉱山の排水システムは地下水流のみならず、ずり充填漏水、さく岩用水、体洗場の水はポンプで揚水されるよう計画された。地下水以外のこれらの水はPhase 3期間中は210igpmと見込まれた。それゆえ、操業中のポンプ能力は720igpmとなるであろう。

これらの水はすべて汚染されるものと仮定されたけれども汚染されない水はできるだけ分離して別に集水され取り扱うものとする。

排水ポンプはEagle NとEagle Sの鉱床の端部の排気坑道中に置かれる。水は開発坑道の側溝に導かれるモニタリングによって水中に高いラドンの集中がみられた時はサンプまで水を送るのに側溝の中にパイプが設置される。この坑道は、開発地域から坑内サンプに向かって水が流れるよう傾斜をつけている。サンプポンプにより水は地表まで揚水される。

そこからB-Zoneの沈殿池に送水され、更に処理のためにRabbit Lake選鉱場まで送られる。

## MINE DEVELOPMENT

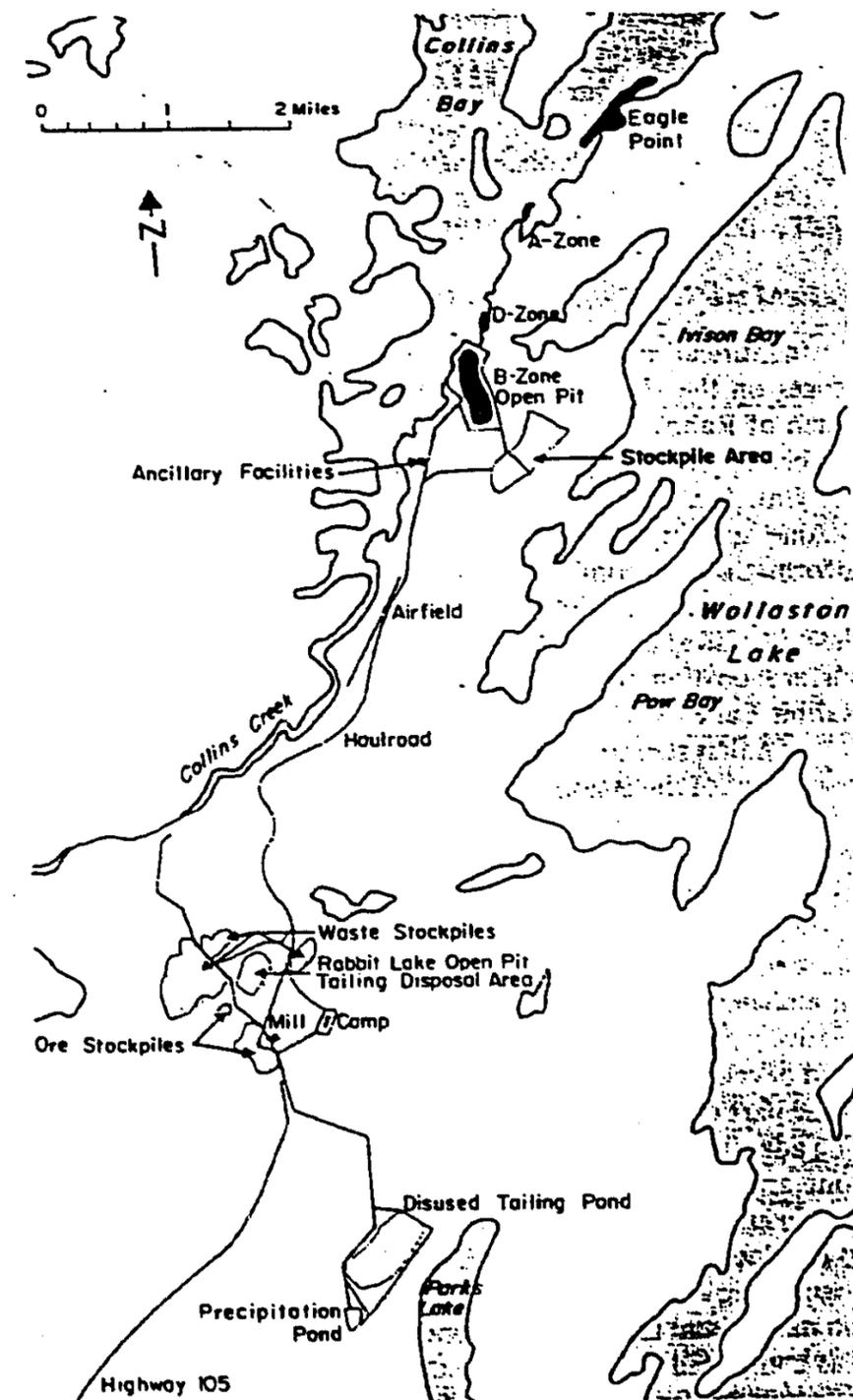


FIGURE 1. Rabbit Lake operations general site plan.

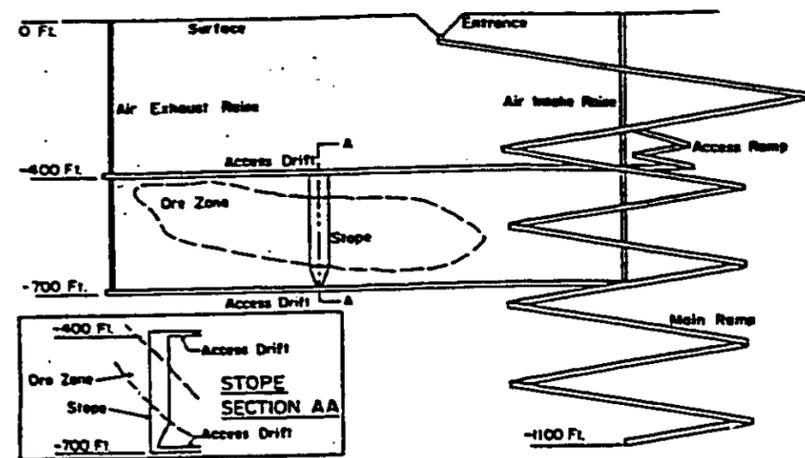


FIGURE 7. Eagle Point test mine section.

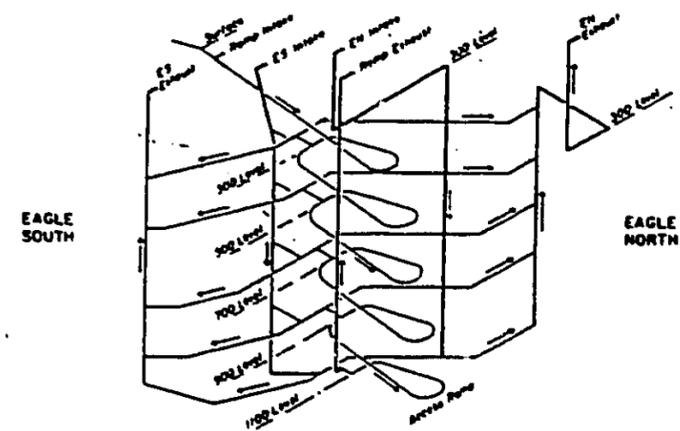


FIGURE 9. Eagle Point ventilation circuits.

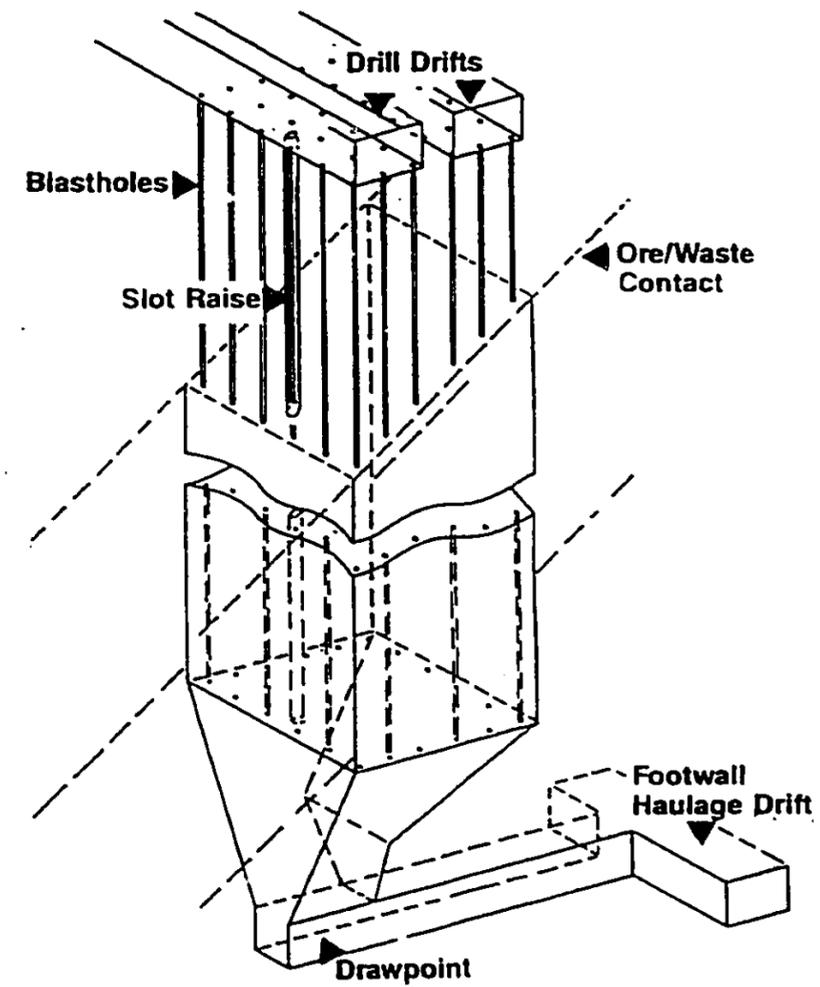


FIGURE 8. Eagle Point vertical blasthole stope.

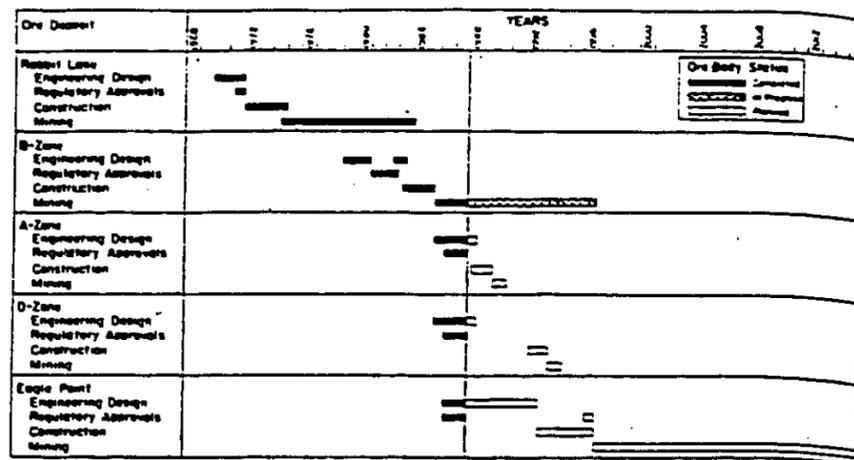


FIGURE 2. Status of the Rabbit Lake operations ore deposits at year end 1987.

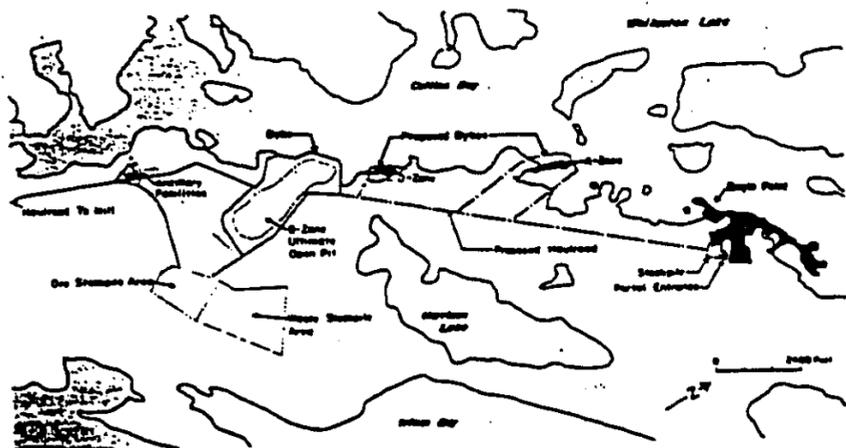


FIGURE 4. Collins Bay B-zone, A-zone, D-zone and Eagle Point location map.

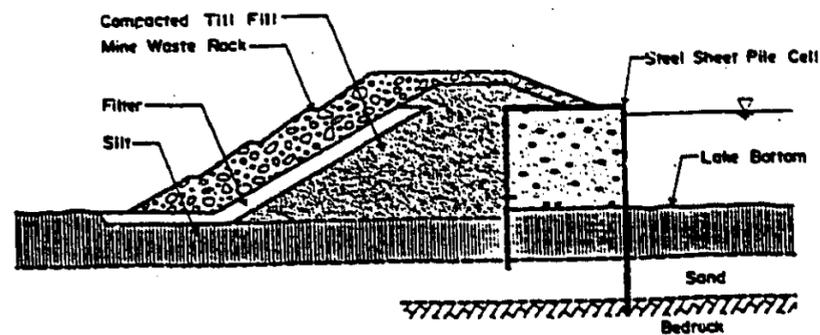


FIGURE 5. Collins Bay B-zone dyke section.

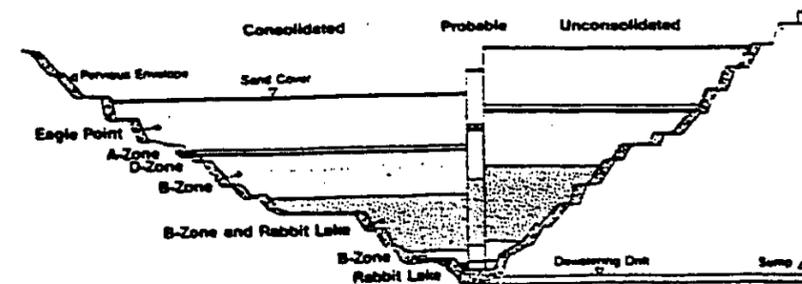


FIGURE 10. Rabbit Lake in-pit tailing disposal tailing.

TABLE 1. Rabbit Lake Operations ore reserves

|             | Tons<br>(x10 <sup>6</sup> ) | Grade<br>U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> | Pounds<br>(x10 <sup>6</sup> ) | Remaining<br>(x10 <sup>6</sup> ) |
|-------------|-----------------------------|--|-------------------------------|----------------------------------|
| Rabbit Lake | 6.60                        | .320                                   | 42.7*                         | 0                                |
| B-zone      | 2.80                        | .722                                   | 41.0**                        | 32.0                             |
| A-zone      | .15                         | 5.690                                  | 16.9                          | 16.9                             |
| D-zone      | .13                         | 2.19                                   | 5.6                           | 5.6                              |
| Eagle South | 2.29                        | 1.64                                   | 75.0†                         | 75.0                             |
| Eagle North | 1.41                        | 2.07                                   | 58.0†                         | 58.0                             |
|             |                             |  | 239.2                         | 187.5                            |

\* Actual milled pounds

\*\* Actual milled pounds, stockpile and in-situ reserves

† Geological reserves

TABLE 2. Collins Bay Mine dykes

|                              | A-zone  | D-zone | B-zone  |
|------------------------------|---------|--------|---------|
| Number of cells              | 34      | 17     | 30      |
| Cell diameter (ft)           | 65.5    | 51.7   | 34.5    |
| Number of piles              |         |        |         |
| Plain section                | 6286    | 2484   | 3103    |
| Tee section                  | 132     | 64     | 116     |
| Cubic yards of fill material | 180 000 | 85 000 | 210 000 |

⑧Olympic Dam Project

Mining Magazine, 1988. 11

Alan Kennedy

【ODPの構成】

ODPのJV構成 WMC 51% (Roxby Mining Corp. Pty. Ltd.)  
 BP's 49% (BP Minerals (Roxby Downs) Pty. Ltd. =BPMRD)  
 プロジェクトマネージャー = Roxby Management Service Pty. Ltd. (WMC)

【位置】

ODPの銅・ウラン・金・銀の鉱床は、南オーストラリア州 Adelaideの北北西520kmに位置している。名前の由来は、1956のメルボルンオリンピックとRoxby Downs Pastoral借地の牧畜水飲場によるものである。

【経緯】

49%の持ち分により、最初の5千万A\$ (1978)はBPが持つ。1975.7の鉱床発見、1986.3の建設開始で2億A\$、さらに5.5億A\$が開発にかかり、開発総額は16.5億A\$が予想されていた。

|       |      |          |
|-------|------|----------|
| ■生産予定 | 銅    | 45,000 t |
|       | U3O8 | 1,500 t  |
|       | 銀    | 17 t     |
|       | 金    | 840 kg   |

■銅・ウラン販売 (スウェーデン、韓国等と契約済み)

<Olympic Dam Marketing Pty. Ltd.> (株比率はODPと同様1985設立)  
 ※電気銅は長期的な販売契約を5箇所と締結し、各々が生産物の20%を取る。  
 Norddeutsche Affinerie AG (Hamburg), West Gerway and BICC (U.K.)  
 はその2つ。ウランの50%は輸出される。

【地質】

この鉱床は、中生代のStuart Shelf地質構造区を基盤となすグラニットである (花崗岩)。生成年代はほぼ16億年前にさかのぼる。これは260~330mの厚さのカンプリア期、後期中生代の堆積岩中に不整合に水平に覆われる。

鉱体は、少量の細縞状の鉱化と共に、粗なブレッチャー (かくれき岩) で覆われている。ブレッチャーは、グラニット、種々のヘマタイトの岩片より成る。おそらくグラニットは周囲から、ヘマタイトは鉱化作用初期に随伴したものと推測される。これらのブレッチャーは細粒のグラニットとヘマタイトをマトリックスとして含有している。ある部位ではこのブレッチャーが火山岩を含むこともある。

ヘマタイトリッチなブレッチャーほど鉱化がすすんでいるので、高品位である。鉱化は中粒の銅硫化物、細粒のピッチブレンド (閃亜鉛鉱) より成る。銅硫化物の代表的鉱物はキャルコバイライト、ポーナイト、キャルコサイトである。

これらの硫化物の分布は、鉱床内では一定のパターンを有する。高品位部位はポーナイト、キャルコサイトを多く含む傾向がある (鉱床上部)。高品位ウラン部位では、細粒・細脈となったピッチブレンドを含む。金・銀は、品位は低いものの経済的レベルで銅・ウラン鉱体に含有されている。ランタン、セリウム等のレアアースがあり、金の鉱化は不連続である。

この鉱体は、堆積物を伴うブレッチャーパイプと考えられる。ブレッチャー化、ヘマタイト化の鉱化作用はその後年である。

【鉱量】

鉱量は、1988.6時点でTable. 1のようである。期待鉱量は20億tで平均品位は銅1.6%、ウラン0.6kg/t、金0.6g/t、銀3.5g/tである。

【Table. 1】

|                                 | Cu (%) | U3O8 (kg/t) | Ag (g/t) | Au (g/t) |
|---------------------------------|--------|-------------|----------|----------|
| 確定鉱量<br>450,000,000 t           | 2.5    | 0.8         | 0.6      | 6.0      |
| 銅・ウラン鉱体 (可採・確定)<br>11,200,000 t | 3.1    | 1.2         | 0.3      | 11.2     |
| 金 鉱 体 (上記外)<br>2,300,000 t      | 0.3    | 0.1         | 5.8      | 1.5      |

【採掘概要】

初期の採掘計画  $\begin{matrix} \text{---} & 15,000,000 \text{ t} & \text{(鉱石)} \\ & \text{---} & 5,000,000 \text{ t} & \text{(ズリ)} \end{matrix}$

■立坑は6.3×3.5mのコンパートメント6つから成り、深度は500m。

- ・開発時に考えられていた鉱体の中心に位置し、鉱床上部 (高品位部位) へアクセス可能。 (480 t/時、人員用に増強, Western Australia, 1908)
- ・この立坑は通気 (入気) にも使用されている。
- ・運搬は9.25 tのスキップと20人ケージの自動運転である
- ・積込は地下L460m、他のプラットフォームはL360, L420, L430にある。

■斜坑は4kmの長さで、作業箇所から地表へは立坑を介してアクセスする(9)。

- この設計はフル操業時の立坑の運搬能力不足をベースになされている。また、坑内での鉱石運搬のスピードアップ、大型機械の鉱体内での移動の迅速化を考慮している。
- 斜坑入口は、鉱山地表施設近接の薄い砂の地層に導かれる。
- 斜坑の直線部は開発中、排気坑道として機能。
- 新鮮な空気を提供する6×5mのセクションにより、アクセスしやすい。
- セクションはIregolana頁岩(上盤)中に、盤圧を考慮して円形に設置。

■地下水(塩水)、上盤からの立坑・斜坑への水は用水として使用。

【開発概要】

■穿孔

- 上盤坑道は6w×4.8hm(穿孔用4.5×4.8mのセクション)
- Tamrock'S'の2ブーム油圧(電動)ジャンボを使用。
- 切羽あたり、3.8m×70本(45mmφ×65本が発破、76mmφ×4~5本が補助)で、ボタンビットのみで行う。
- 消耗品は以下より供給される(Sandvik, Boart, Secoroc等)
- ビット寿命は、4回の研磨の後で約180mである

■装薬

- Elphinstone UC500(牽引車付き)を使用。これは、ANFO爆薬を500kg持ち、Hiabクレーンにバスケットを取り付けており、手動足動のホースリールにより圧縮空気(コンプレッサを有する)で装薬する。
- 1シフトで5切羽の装薬で、発破の延びの平均は3.4~3.5m。

■搬出

- 1シフト5~6人のクルーで行う(LHD2名、トラック3~4名)。
- Cat 980C(バケット4.2m<sup>3</sup>)を使用。
- グリズリー上投入は、Kiruna K501(2.1m<sup>3</sup>)、Cat769C(1.8m<sup>3</sup>)。

■支保

- 搬出測量終了後、1~2台のロックボルトユニットにより、スプリットセットを打設する。
- 一人で1シフトあたり、2.4mロックボルトを40本打設する。
- 必要があれば、セメントグラウトボルト、ケーブルボルト(6m以上)、金網(100mmメッシュ)、ショットクリートを使用。

※坑道は排水のため1:100の勾配を付ける(斜坑1:9勾配)。必要があれば、勾配を変更。

■大口徑

- Robbins 84R, 121Rと Wirthリーマー(2.4, 3.0, 4.0mφ)を使用。
- 最長孔(No7, 479m)は1987.7に完成した。
- 坑内での作業は、Dresser 800Hリグ(Robbinsの油圧ユニット付き)によって実施した。
- 地下での口径は1.8m(スロット)と、2.4m(通気、鉱石)のみで、現在は延長137mに達している。

【採掘計画】

■採掘方法の基本的な方法

- 鉱体の高さ30m以上であればサブレベル採掘法
- 鉱体の高さ30m以下の場合にはメカナイズドカット&フィル法
- ※採掘計画では品位毎に3Dトラスモデルを使用。採掘デザインはコンピュータにより設計仕様が画面・印刷で得られる。これは3Dモデルにフィードバックされ、品位・鉱量を予想できる。
- ※開発計画レイアウト設計では、穿孔は採掘/ピラーの境界に位置させ、ピラーはスロットに有利な場所に位置させる。

■採掘用穿孔はmあたりのコストにより、MRSA Eltinの請負。

- 穿孔機械はTamrock Solo 1008 長孔ジャンボ(油圧、上向89mmφ、下向き102mmφ)。
- 予定では、1シフト100m(16シフト/週)の能力。
- 穿孔配置はWMC開発の配置決定プログラム(PC)による。

■スロット等の装薬は1シフトあたり2名の作業で、フォークリフトかLHD(プラットフォーム付き)で行う。

■主要発破は、ANFOと<Dupont Dataline Initiation System>で行う。発破の規模はスロット規模の500から採掘の最大20,000tまであり、2~4回/週の頻度で。

■鉱石搬出はWagner ST13LHD(7.2m<sup>3</sup>)で実施する。

■ドロポイントには、6w×4hmの大きさで、ヘリンボーンに配置され、粉じん抑制のため、水噴霧する。最大運搬距離は150mである。

■鉱石は破碎され鉱石運搬システムへ入る(トラック)これは上に1.2mφのグリズリーが乗る2.4mφの孔で、運搬基地(トラック)は2×6.5mで、Roxonプレートフィーダーで直接トラックに積み込まれる。

【充填】

■CAF (Cemented Aggregate Fill) を採用

- ピラー間に自立することを基本にデザイン、110m以上の高さが可能である（通常は2MPaの強度）。
- 充填は地表より300mmφの孔（Ingersoll-Randノーマトリ）経由で流送。
- 充填プラントは地表の施設に隣接しており、能力は100m<sup>3</sup>/時である。
- 採掘側の準備は、ドロポイントと穿孔坑道口に岩で遮蔽する事である。
- 充填組成は、破碎ずり（重量比40%）、粗碎尾鉱（重量比60%）、ポルトランドセメント（固体中4%）、フライアッシュ（固体中4%）水は必要最低量で80%PDを目標に添加。  
粗碎尾鉱は水洗・中和され、サイクロンに入る。粗分は施設のタンクに入れられる。セメントとフライアッシュは、560m<sup>3</sup>のサイロ（4セット）に入れられる。粗碎されたズリは次にコンクラッシャーに入り、-50mmにされて設備にストックされる。  
充填物は、計量後に6m<sup>3</sup>×2のミキサーにバッチで入れられ、決められた時間ミキシングされ、ダンプトラックで運搬される。

【鉱石・ズリのハンドリング】

■主要クラッシャー室は23L×10W×14Hm。

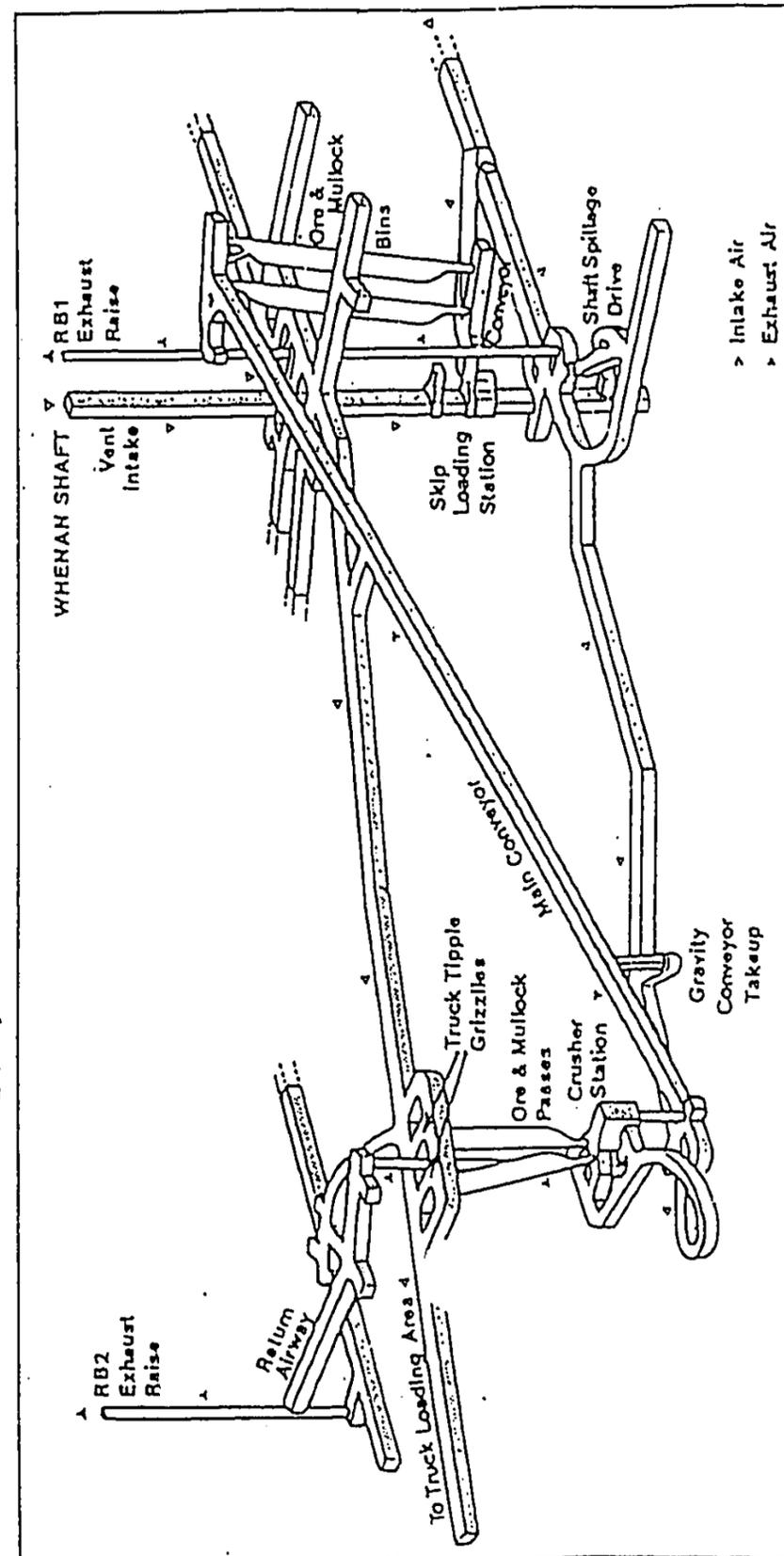
- 鉱石・ズリは一次破碎クラッシャーに、Roxonフィーダー（2×6.5m）2台により供給される。振動グリズリーフィーダーにより、フルイ下は分離され、フルイ上はダブルトルククラッシャー（Jaques, 1.676×1.219m）で-200mmに破碎される（550t/時）。

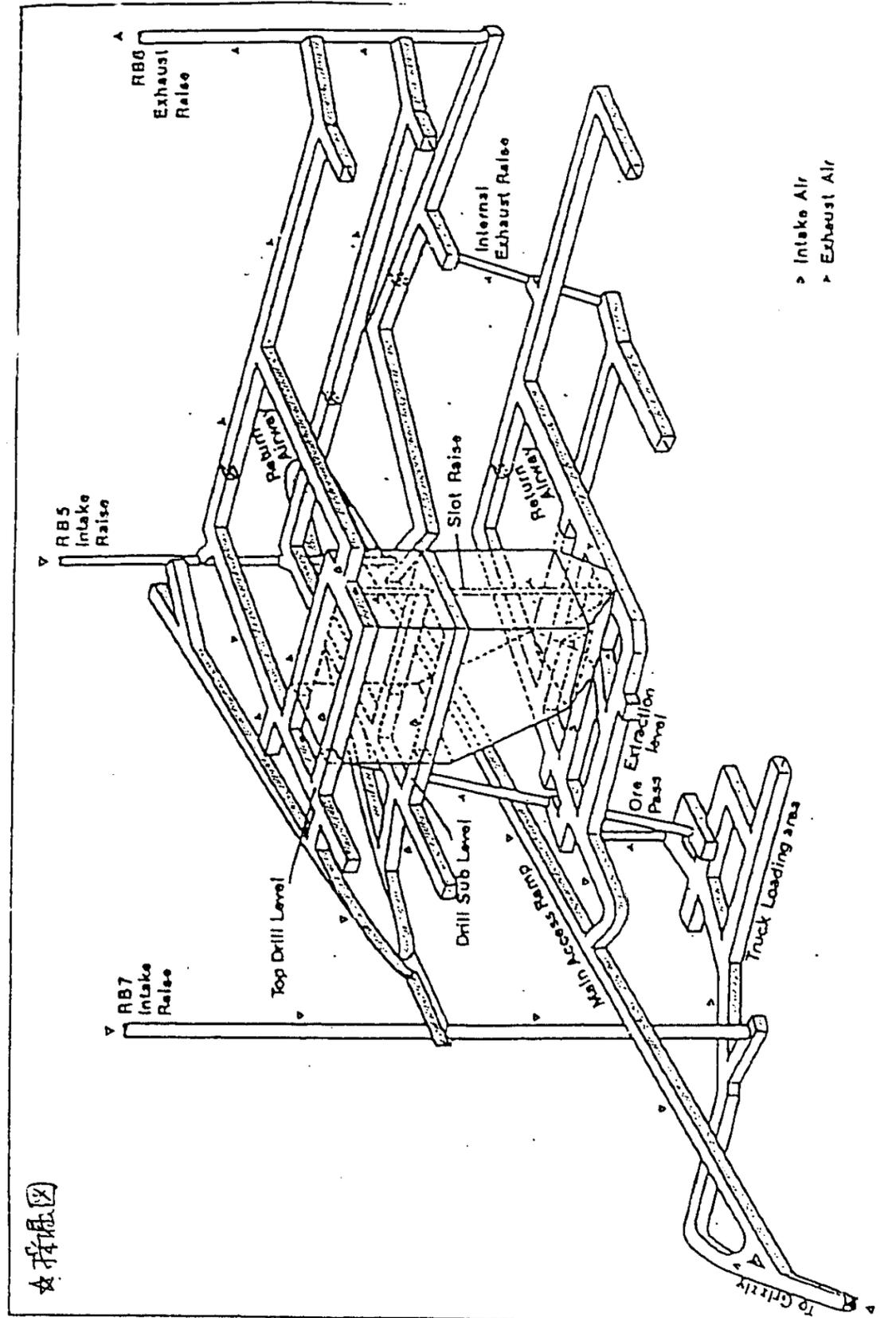
【運搬】

■坑内の主要ベルトコンベアは1:6の勾配、立坑近くまで458m延長。

- 破碎鉱石、フルイ下は7m下の振動フィーダーに落とされ、ベルトコンベアに供給（マグネットあり）。
- 斜坑はスキップ上に50m長の水平積込場所、2,500tの鉱石ビン（サージ吸収）を持つ。
- ベルトは鋼コード製の1050mm幅で、450kWモーターにより1.5m/秒で運転され、950t/時の能力を持つ。
- 鉱石ビンの排出物は、クラッシャー操作室から遠隔監視されており、ダイバーターボックスに入る。
- 鉱石ビンからの排出は振動フィーダーを通過し、72mのコンベアでスキップ積み込みに接続されている。ダイバーターボックスは計量器により安全かつ最適な量となるよう、1~2回積み込む。9.25tのスキップ（1,370kWダブルドラム自動）は480t/時の能力を持つ。
- このスキップは地表のビンにはいり、そこから1.2km先のプラントへ運搬する。

★運搬図





★採掘区

⑨ Made in Canada Mining Technology

Canadian Mining Journal, 1991. 4

Patrick Whiteway(Editor)

■ NTC = Noranda Technology Centre

将来の地下硬岩採掘の技術蓄積・開発を目的とし、NORANDA INC. が、モントリオール郊外 Point-Claire に、1961 創立。1984 採掘技術部門を強化し、50人のエンジニア(採掘)と、ほぼ200の調査員がいる。40のプロジェクトは以下の4分類。

- 発破 (BLASTING)
- 自動化、情報化 (AUTOMATION, COMMUNICATION)
- 岩石力学 (GEOMECHANICS)
- 採掘環境 (MINING ENVIRONMENT)

■ PLASMA BLASTING (プラズマ採掘法)

• 担当: Jacques Nantel (地下環境、採掘技術担当)

• 原理は、コンデンサに大量の電気エネルギーを貯蔵し30~50cmの孔中の電解質にマイクロ秒単位で送り込む。電解質中でエネルギーは高温、高圧(2ギガPa)のイオン化ガス(プラズマ)となり、岩石を破壊するというもの。以下の3つが主要技術部分。

① 電気エネルギーコンデンサ

U.S. Strategic Defence Initiativeより

② 耐大電流スイッチングユニット (200MW/μs)

NTC特許(メンテナンスフリー)

③ 耐圧(耐衝撃)同軸電極

現在リユース可能な同軸電極の開発中(目標400回)

→一方連続穿孔+及び発破のため。複合材料、高性能プラスチックでテスト中。

• コストは0.19~0.48KWH/㎥(現場試験より)

一回の発破エネルギーは家庭用アイロン5分間分に相当。

• NTCでは穿孔機械と発破システムを同一のマシンに乗せる研究をしている。(大塊を破碎できる。0.5~1年で実現可能)

• 最終的な目標は一方200t能力の連続処理マシンであり、5年間で実用化、コストは10\$/t以下で、発破ダメージの減少により支保コストが減少する。

- 1990夏に6tのプロトタイプ（NTC、4m平ボデ乗）完成。  
2日間8回にわたるテスト実施（Gaspé Mine--Quebec.Boulders）  
湿潤状況の露天掘り採掘、坑内30'の穿孔で成功した。

Figure. 1 ダイアグラム

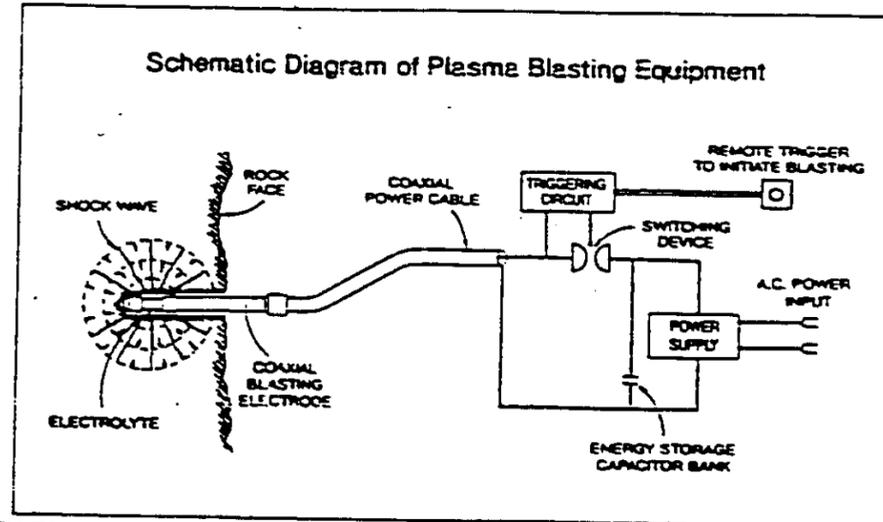
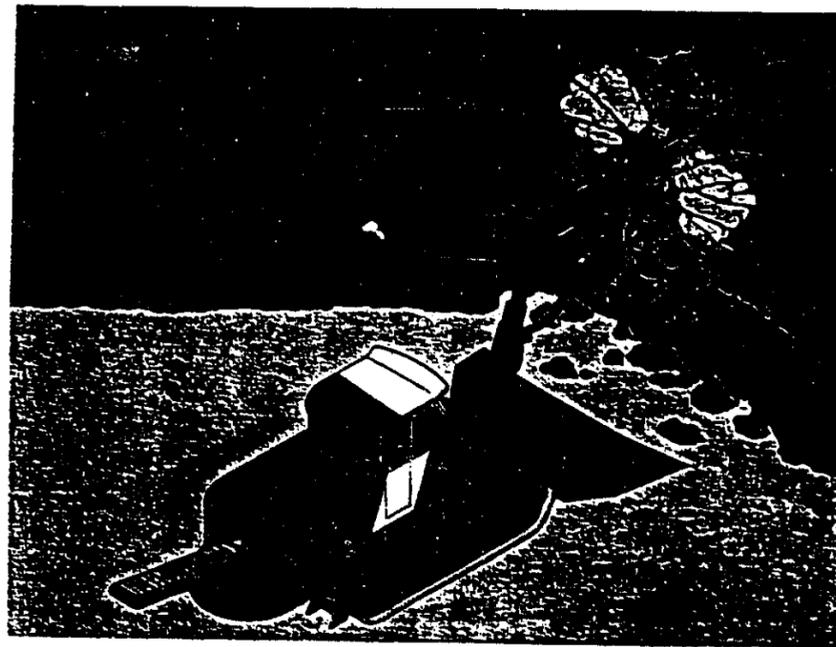


Figure. 2 マシンイメージ



- 地下での採掘計画・発破計画のためのツールを開発している。

オートCAD（ソフト）ベースでの発破デザインであり、現場近くで設計者のサポートを可能とする。またこれは設計サポートのための近辺振動モニタリングユニットを装備している。

（InstanTel INC. オンタリオで販売）

このソフトで発破技師、技能者の所要時間の75%が節減可能。

この" BlastCAD" は汎用性、スペシャライズが可能。

（Ansil, Winston Lake, Lyon Lake, Silidorが登録済）

- 孔の調査システムとしては、30~50m長のボアホール調査では直径76mm、長さ183cmのプローブで傾斜計、3D磁力計を装備しており、非磁性岩の場合は有効であった。

Figure. 3 孔調査（フォト）

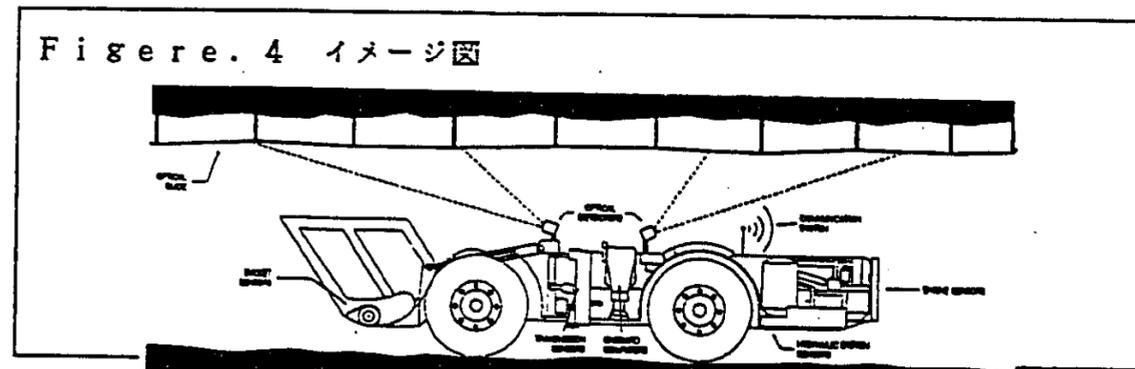


■ AUTOMATED LHDs & TRUCKs (自動LHD・トラック)

- CCARMとの共同開発であるコンピュータ制御LHDが、Norita鉱山で稼働した。

CCARM=Canadian Centre for Automation and Robotics in Mining  
(モントリオール)

- コントロールルームから数台の制御ができ、LHD乗車による問題を回避できる。
- ビデオ情報は遠隔操作でき、コントロールルームにフィードバックされる。
- リモコンユニットはドローポイント近辺にあるが、次のステップではオペレータは地表からコントロール可能としたい。
- NTCはこのシステムをトラックまで拡張し、個々の鉱山用に特化したい。プロトタイプは1992中ごろに完成予定である。



- 広帯域の新通信システムが、単方向のトランスミッタ&レシーバシステムをベースとして設計された。今後の開発はデッドスポットの解消、ビデオ音声情報の転送を目指している。
- Falconbridge's Strathcona鉱山 (Susbury, オンタリオ) では、ケーブル、周波数帯域のテストを実施した。3年以内にシステムを完全なものとする。
- VLF電磁波情報システムをVLF Magnetic Systems of Scarborough (オンタリオ) と開発した。この試験はNoranda's Central Canada Potash鉱山 (Saskatchewan) で実施した。

⑩ The application of high density past backfill at Dome Mine.

CIM Bulletin, 1990. 5

R. J. Perry, D. L. Churcher

■ INTRODUCTION

Dome 鉱山=カナダ、オンタリオ北部の Porcupine湖西のドーム状の金露頭。1909開山。80年の採掘での実績は以下。

46,000,000 t の出鉱

11,500,000 onz 金

2,000,000 onz 銀

現在は3,500 t (日量)を坑内、露天掘で出鉱中。

鉱床タイプに合わせて種々の採掘方法を採用した。

カット&フィル (1930) → サンド充填 (1,800,000 t)

水力充填 (7,300,000 t)

シュリンクージ (1960)、バルク採掘 (小口径長孔使用)

大規模の露天掘り採掘のためには、上記の採掘跡が強度・安定面で不安があると判断 (1970) され、金の高価格、鉱量の減とあわせて高強度の充填が必要となった。

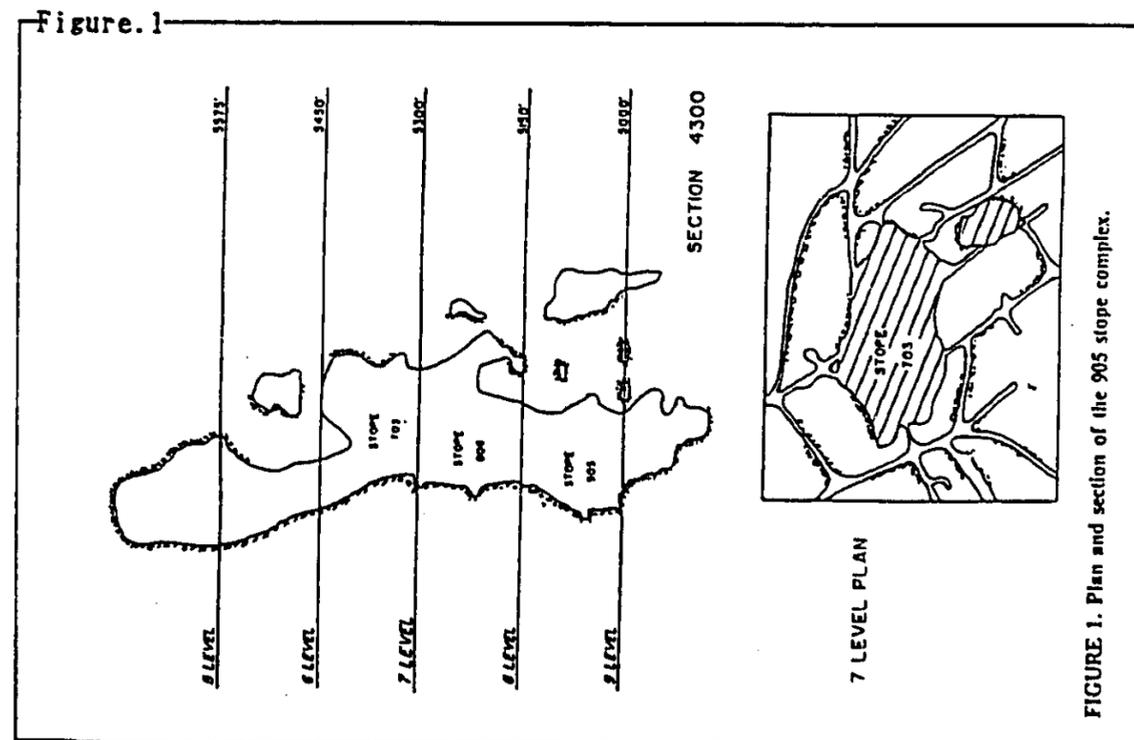


FIGURE 1. Plan and section of the 905 slope complex.

## ■ SELECTION OF BACKFILL MATERIAL

Figure.1に具体例を示す。この形状とサイズは充填に大きな障害となる。充填材料は以下の性質を要求される。

- 残壁に耐え、自立する事。
- 浸透性が小さく、内部の水圧を大にしない。
- 壁等がなくとも安定したプラグができること。
- 坑内で容易に運搬できること。
- 経済的であること。

以上から尾鉱（水分18～23%に脱水）にセメントを混合したものを選定した。尾鉱充填は以下の特徴を持つ。

- ①高充填率（最高100%）を得られる。
- ②尾鉱処理により、地表のダム処理量が低減される。
- ③水セメント比が小さい（9：2以下）ので固結後の強度が大きい。
- ④高安息角（40～70°）により自己シールプラグとなる。
- ⑤空隙減により大きな強度が得られる。

他の方法は以下の理由で除外した。

- 水力充填……カット&フィル後に十分量の充填ができない。各所隔壁が必要。水セメント比により十分な強度が得られない。
- ズリ充填……坑内充填用の十分量が確保できない。コストが高い。充填システムが大きくなる（コスト高）
- 沖積世砂……質・量で条件を満たさない。

## ■ DEVELOPMENT OF BACKFILL SYSTEM

1982よりDome鉱山ではこのプロジェクトを開始した。これは南アフリカの鉱山（坑内）での実施例をベースとしている。

遠心分離はJoy Manufacturing社で独自開発。この装置は南アフリカで坑内環境での性能、コンパクトさで、受け入れられた。

開発は次のようなフェーズで進行した。

### □ Phase.1

地表のミルに接続したプロトタイプ装置の設置

Dome尾鉱の特性調査→6,000t（固形77%）製造。

### □ Phase.2

パイロットプラントの地表設置（地下へ通じる地表の孔口近辺）

連続運転試験（週日）でコスト試算

ベーストの物理特性調査

ベーストの挙動、プラグの調査

→15,000tを坑内充填

### □ Phase.3

坑内へ充填プラントの設置

パイロットプラントの性能試験、材料ハンドリング等の試験

現地での充填物の調査

→90,000tを坑内充填、残鉱へのアクセス可能

## ■ RESULTS OF DEVELOPMENT PROGRAM

### □ Centrifuge Performance

遠心分離による脱水はフェーズ1で実施している。脱水後の固体分は、76.5～78%である。回収率は75～80%である。（Table.1）

遠心分離のメカニズムは信頼できる。初期のテストは80%稼働であり、パイロットプラントでは68%の稼働率であった。（フェーズ2,3）

### □ Operation Costs

人件費1.68\$, セメント2.25\$, メンテナンス1.60\$

合計5.53\$/t（1985、充填量あたり）

### □ Fill Plugs

安息角（最終）は42～70°で、解放部のシールは可能であった。

空洞低部のプラグでは3%セメントを添加している。他は2～2.5%のセメントを添加している。

### □ Placement

Dome鉱山では空洞頂部より2inchのブラパイプを通して重力充填をしている。70°の安息角により、空洞全体に到達しないという問題があるが、ポイントの移動、ポンプ輸送（ボアホール）によって対応する。

### □ Pumpability

フェーズ3ではポンプ圧送テストを実施した。（能力45ft<sup>3</sup>/Hr）

圧力損失は2～3psi/ft。機械的な障害が発生し、6t/Hrで150ftが限度であった。より以上の能力は可能だが、初期投資と運転費を考慮すると、水平に広いあるいは狭い空洞でのみの使用となる。

#### □Cement Mixing

セメント他の添加物はコストの大きな部分を占める。また、強度を出しつつ水セメント比を低く保持することは連続運転では困難である。  
16 inch径20 ftのロングリボン・フライコンベア（バックパドル付）を開発した。実際の強度はラボサンプルの15～20%減である。これはミキシング不足によると考えられる。現在は2×10 inch径で20 ftのコンベアミキサが取り付けられている。

### ■PROPERTIES OF PASTE FILL

#### □Compressive Strength

最小のセメント量、水セメント比で最大強度を得ることが目標である。  
(figure.3-強度発現～時間の関係)  
(figure.4-セメント量と強度の関係)  
以上により水力充填の1/2～2/3少ないセメント量で同様の強度を得られることが分かる。

#### □Particle Size

粒度分布はfigure.5に示す。水力充填よりも細粒であり、低い空隙率が達成されている。

#### □Design Criteria

McGill Universityによる細粒（200mesh80%）の高濃度ペースト充填の基準は以下の通り。

- ヤング率 9572.1 psi (66 MPa)
- 空隙率 0.599
- 凝集力 17.44 psi (120.3 kPa)
- 摩擦角 21.8°
- 濃度 99.433 lb/ft<sup>3</sup> (1592.99 kg/m<sup>3</sup>)
- 一軸圧縮強度 62.35 psi (429.93 kPa)
- 尾鉱：セメント=1：30
- 水分 19.05

### ■PRODUCTION INSTALLATION

3フェーズの試験結果をもとに、坑内に脱水システムに付加する形でのシステムを設置した。これをfigure.6に示す。（レベル1100）  
また遠心分離器を2台増設し能力を340→1000 tpdにアップした。

#### □Fill Operation

尾鉱のCIP回路よりの生産はシックナーに入る。固形分の比率は58%、±2%であり、これは坑内の脱水設備に入る以前に、Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>でシヤンのレベルを基準に合うように下げる。

#### □U/G Feed Systems

2.5 inch径×2のパイプで、75～225 USGPMで坑内より輸送され、脱水前に8～12のストレージタンクに入る。SRLポンプで1.5～1.25 inchパイプにより送られる。（電磁流量計で測定）

#### □Dewatering Rig

3×24 inchのスピナーは16 inch、20 ftのミキサーコンベアに接続されている。（figure.7）脱水機は50馬力の電動機による油圧駆動で可変速である。アンダーフローは直接16 inchのミキサーコンベアにはいり、セメントと混合される。これが2×10 inchのスクリーコンベアに入り、充填先に運搬される。施設はメンテナンス、改造が容易なようになり、停止せずに修理が可能である。

#### □Cement Handling

セメント（ポルトランド50+フライアッシュC50）は最大30 t/日の使用である。ドライパウダーのまま2 t（4000リットル）バッグにより地表の45 tサイロより運搬される。これは箱型台車で坑内に運搬されホッパーにダンプされる（figure.8）この方法は材料ハンドリングで大きな成果をあげた。（コスト及びバッグの再使用）  
セメントは2台の振動チューブフィーダーで供給される。（12～36 ポンド/min）

#### □Waste Return

脱水工程での発生ズリは種々の方法で処理が可能。地表ヘスラリー輸送、旧坑充填、化学処理しての廃棄、脱水工程への再投入等である。  
将来は廃棄処理工程へポンプ流送する。  
レベル1100（地表より1350 ft）では正圧ポンプで地表への輸送を設定した。（2200 Psi）このシステムは200 USGPM、3 inchで80鋼製ライン、900 psiで地表に輸送。動力は307馬力で、2台のエアダイアフラムポンプを供給用に使用している。

□Other

figure.9にレベル1100のレイアウトを示す。  
figure.10にレベル900のレイアウトを示す。  
レベル900はコンパクトになり、PLC制御となっている。  
(PLC=Programable Logic Contoroller)

■CONCLUSIONS

①Roadheader Excavation in consolidated rockfill at Kidd Creek Mines.

著者; V.C.Wittchen, J.E.Croxall, T.R.Yu, Kidd Creeke Division,  
Falconbridge Ltd.

出典; CIM Bulletin, MAY 1990

〈要旨〉

Introduction

キッドクリークの第2鉱山の当初計画には、下部採掘のための穿孔坑道として使われる、充填されたアンダーカット坑道の再開発が含まれていた。しかし充填物の堅さ(Consistency)は再開発の妨げとなった。充填物は、20:1の割合でセメントを含む15cm以下の塊石の固化したもので、5MPaの圧縮強度を持つ。

(図1)

従来の穿孔・発破法による問題点として、

- 1) 効果的に穿孔・発破しても、最大1.5mの範囲しか掘削できない。
- 2) 孔が抜け落ちたり、クレータ状になり、発破に支障をきたす。
- 3) ロッドが泥に埋まり込む(水の使用量の規制)
- 4) ANFOはセメントと反応してアンモニアを発生するため、高価な爆薬が必要となる。
- 5) 発破により充填物にダメージを与えるため支保が増加する。

従って、充填範囲にある採掘可能な鉱石へのアクセスは、長い距離が必要となるが充填区域を迂回して掘進するか、固有の問題は有るが充填物中を掘進するかのいずれかによって得られた。

機械掘削の研究

1987年なかば、充填中での機械掘削が研究された。選ばれた機械は軟～中岩用のロードヘッダである。カリ、石炭碎屑質凝灰岩のサイト見学が行なわれ、このタイプの機械を試験することとなった。

Dosco MK-2A を試験に選択した理由

沢山のタイプとサイズのロードヘッダについてレビューし、操作機能が比較された。掘削の観察と、ユーザ、メーカーとの操作、メンテナンスについてのディスカッション、掘削される空間サイズ等考慮して、Dosco MK-2A が最適となった。

(図2, 3) その利点として、

- ・ 広く使用されている。(1972年以来、世界で1,200台、北米で50台)
- ・ サービスが良い。
- ・ 碎屑質凝灰岩がキッドクリークの充填物と似ている。
- ・ コンベアの形状が予想される“詰まり”を防げる構造となっている。
- ・ 短く、コンパクトな形状をしている。
- ・ カッターヘッドのデザインとスピードの選択が可能。
- ・ 粉塵からオペレータを守るエアカーテンが設計されている。
- ・ 他のオペレータのメンテナンス記録が良好。
- ・ 新車、中古とも価格が魅力的。

その結果、最低3ヶ月、最長6ヶ月のレンタル期間で、レンタル/購入契約で試験することとなった。

#### ロードヘッダ試験

1988年7月から掘削試験を開始した。試験切羽は下部採掘の上部アクセスとなる、28-735X/Cが選ばれた。この盾入れは2600~2800レベル間の3切羽のアンダーカット坑道で、採掘終了以来充填されている。

#### 作業サイクル

作業サイクルは掘削と支保の2つから構成される。掘削は、カッティング、積込み、運搬より構成され、支保はカッティングブームを使用する2ピース鋼枠アーチの築込みから成る。

実際の掘削時間は1方8時間の内18~23%で、ほぼ20~23m<sup>3</sup>(掘進1.4mに相当)を掘削した。(図4)は充填中の掘削風景である。

主要運搬機は、Jarvis Clark JDT-413 End Dump Truckで、補助的にST3.5、ST5スクープトラムが使用された。Sien Bruteトラック(2yd<sup>3</sup>)も使用したが小さすぎた。

作業サイクル中で支保の時間が最大であった。掘削が終わった後この坑道の中で発破を行なうための安全確保のため、ショットクリートではなく、鋼枠アーチが使用された。ホリバンク2ピース鋼枠アーチ(5W×18lb/ft)が1.2m枠間で建込まれた。(図6)試験中はロードヘッダのクルーが支保も行なった。

(図7)に鋼枠建込み用にロードヘッダに取り付けたプラットフォームとブラケットを示す。

クルーが行なう他の仕事としては、

- 1) ロードヘッダの手入れ(注油等)
- 2) ビットの交換
- 3) アーチ建込み時の坑道のはつり
- 4) 切羽への機械の搬出入
- 5) 通気ダクトの設置

があったが、これらは作業が進につれて、所要時間は減少した。

#### 通気/粉塵調査結果

ロードヘッダの使用による環境調査のため、RDM-101-4重量式瞬間エアサンプラが使用された。クルーのモニタリングには個人用重量サンプラが使われた。通気量測定には熱線式風速計が使用された。

結果は、TWEAV(Time-Weighted Average Exposure Value)で、全吸入粉塵量で5mg/m<sup>3</sup>、吸入シリカ粉塵量で0.2mg/m<sup>3</sup>以上にオペレータが曝されることは無かった。

しかし補助の排気システムが設計通りに働かないことが判った。それは試験坑道の入口付近に設置した出口側9.5m<sup>3</sup>の湿式スクラバに取り付けられた、0.6m(24in)φ×30HPの軸流ファンから成る。0.75mのスパイラル風管がスクラバの吸入側に取り付けられ、切羽の進行とともに延長される。ダクトの最大長さ120mを通じて9.5m<sup>3</sup>/秒で設計されたが、掘進の途中までしか通気が確保されなかった。

これらの許容可能な環境条件が、以下に述べる高圧ウォータージェットシステム無しに、むしろダクトを切羽近くに維持し、またオペレータより前方でダストを吸引するため機械に取り付けられたCoanda Air Curtainの使用により成し遂げられたことは注目に値する。ブームのリングに取り付けられた坑内のスプレーのみが使用された。

スパイラル風管に代えて、ファイバーグラス楕円風管(0.38m×1.2m、または0.75mφ)(図8)によりほんの僅かであるが15~20%風量が増加した。また湿式スクラバは全吸入粉塵の除去には余り効果的でないことが判った。

#### ピック、カッターヘッド、カッターモータ

ロードヘッダに付いたオリジナルのピックは、サンドピック"52-2"-13mmであった。(図9)これは最初の試験でピック消費量が大きく(2.44ピック/m<sup>3</sup>)不満足であった。これはマトリクスが期待されるよりも強いため、圧縮強度が140MPaの塊石をカッティングするさいピックがマトリクスから脱落するためであった。

次に、他のメーカーと他のタイプの16mm、19mmのピックが試験された。19mmのピックがピック消費量0.4ピック/m<sup>3</sup>で、充填物の掘削に最も適合することが判った。

ロードヘッダに付いたオリジナルのカッティングヘッドは、28ピック、3起点スパイラルの線形掘削ヘッドであった。それはピックブロックの摩耗があるだけで良好であった。しかしピックの数を減らす減らすことによってピック消費量を減らせるのではないかと思われた。

次に、24ピック、3起点スパイラルの線形掘削ヘッドを試験した。切削は行なわれたが、ピック消費量を決定するのは難しく、将来に備えて両方とも保有している。

試験の途中で、オリジナルの50HPモータは充填物の切削には過小であることが結論づけられた。厚みのある切削においてモータは立ち往生したり、ジャミングしがちであった。同じ低回転(50rpm)の95HPモータが設置された。カッティング量は事実上増加しなかったが、切削がスムーズで立ち往生やジャミングも減少した。

#### 結論

4ヶ月の試験の結果以下の結論が得られた。

1. 切削時間1.5時間で方当たり平均1.2m(0.8m/h)の進行がえられた。切削時間を4時間にすることにより、従来の穿孔・発破工法による1.5m/方の倍以上の進行となるであろう。
2. 発破工に比べ切削後の岩盤は安定的で、支保は安全に行なわれかつ量も少ない。
3. ロードヘッダは試験中、余り固結していない充填物を掘削した。従来の方法ではそのような区域の掘削は困難であることが証明されている。
4. 試験操業では従来法に比べ、似たような単位当たりコストを示した。しかし、鋼枠をショットクリートに置き換えることにより、単位掘削コストを半分にできる可能性がある。
5. 上記の利点に基づいて、充填物の掘削におけるロードヘッダの継続使用の正当性が証明された。

## 今後の検討

### ウォータージェット

充填物中の掘進において、従来の技術に代わる方法としてロードヘッダは魅力的なものであるが、有る部分において更に改善の余地がある。

その意見の1つは、高圧ウォータージェット切削ヘッド(図10)である。その理由は2つで、1番目は発生時にダストを湿らせることにより、ダスト発生を減少させる。2番目は水による冷却効果により、ビット消費量を20~50%に減少させたという他の操業者が述べている。

キッドクリークの充填物は、ビット消費量からみて厳しい使用方法であると考えられる。小さなオリフィスが充填物の破砕物によって叩かれるため、メンテナンスは難しい。カッティングヘッド中のノズル再配置の再設計と調査が行なわれている。

### ショットクリート

鋼枠は高価で、建込みに要する時間も長い。当初研究でショットクリートが低価格で、同等の支保効果を持つことが示されていた。結局ロードヘッダ掘進ではショットクリートが支保システムとして試験されよう。

## 謝辞

(省略)

## 参考文献

(省略)

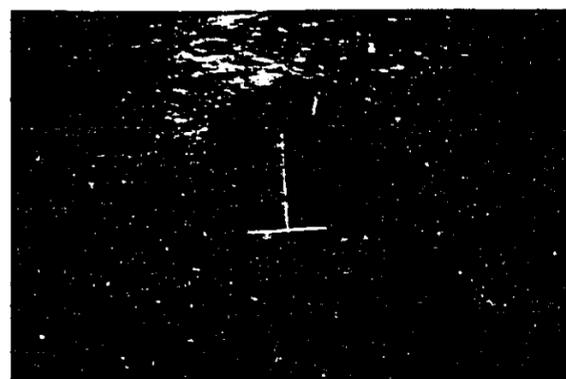


FIGURE 1. Consolidated rockfill to be reamed by Roadheader.



FIGURE 3. A rear view of the roadheader and ducting installation.

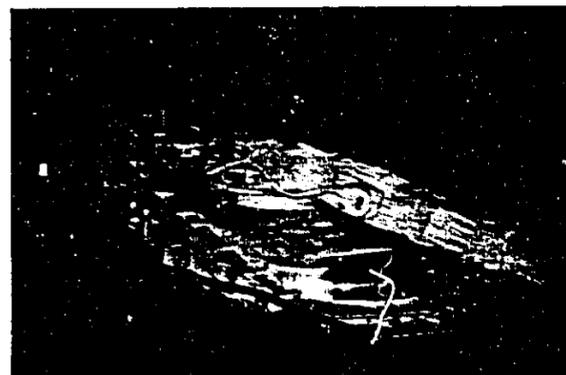


FIGURE 2. Dosco MK-2A Roadheader.



FIGURE 4. Roadheader drifting in consolidated backfill.

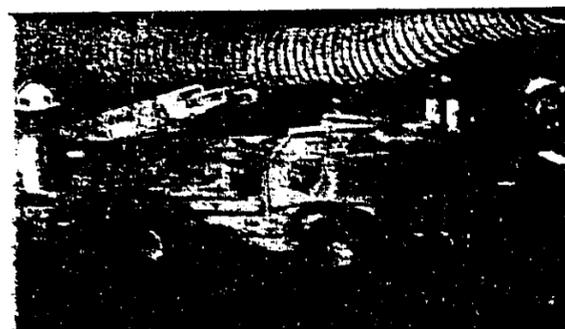


FIGURE 5. Hauling of cuttings with Brute truck.

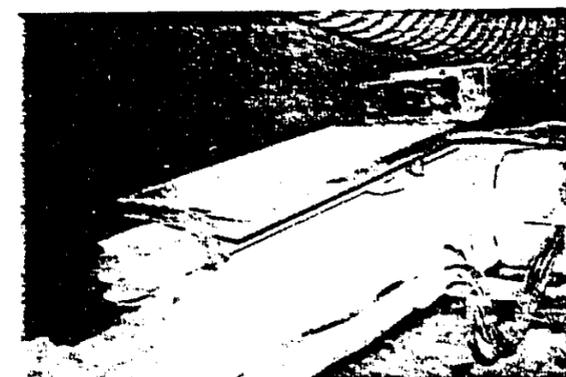


FIGURE 7. Working platform and arch setting bracket on roadheader boom.

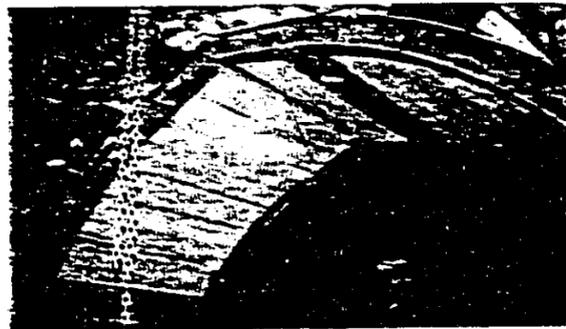


FIGURE 6. Hollybank steel arches used for ground support.



FIGURE 8. Fibreglass oval exhaust ducting.

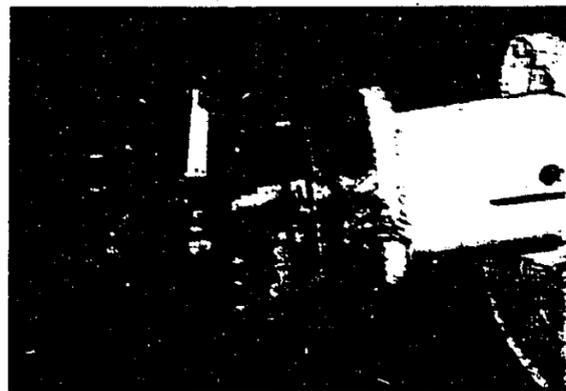


FIGURE 9. Roadheader cutter head and picks.



FIGURE 10. High pressure water sprays from the head for dust suppression and pick life improvement.

TABLE 1. Analysis of performance

| Part A: Percentage time analysis of cycle                                       |                     |                      |                  |                      |
|---|---------------------|----------------------|------------------|----------------------|
|   | July 13 - Aug. 5    | Aug. 5 - Sept. 5     | Sept. 6 - Oct. 5 | Oct. 28-31:Nov. 5-11 |
| Operator servicing of MK-2A   | 8.90                | 2.50                 | 2.50             | 2.80                 |
| Cutting   | 13.50               | 11.00                | 8.50             | 17.44                |
| Bit changing  | 6.10                | 3.30                 | 1.60             | 3.70                 |
| Clean-up  | 3.20                | 1.90                 | 1.90             | 0.00                 |
| Tramming of MK-2A   | 0.90                | 0.40                 | 1.50             | 0.70                 |
| Placing vent ducting  | 0.30                | 4.80                 | 0.60             | 0.00                 |
| Arch setting (and other ground support)<br>(handling/standing/blocking/tagging) | 14.20<br>(9 arches) | 20.60<br>(17 arches) | 16.00            | 0.00                 |
| Travel time (from wicket to wicket)   | 21.90               | 22.90                | 23.50            | 23.10                |
| Lunch time  | 6.50                | 6.30                 | 6.70             | 6.10                 |
| Down mechanical reasons (machine)   | 3.80                | 3.00                 | 19.40*           | 5.10**               |
| Down electrical reasons (machine)   | 0.00                | 5.10                 | 0.90             | 21.90***             |
| Down other than because of machine  | 17.70****           | 15.30+               | 16.90++          | 19.10+++             |

\* this cutting time is an anomaly compared to the previous cutting times as cutting was performed on every shift used for the compilation which was not the case for the previous 3 months

\*\* caused by major repair to right track, modified cutter head changeout, and other inspection work by the Dosco Service Engineer

\*\*\* caused by the change-out of the original 50 hp cutting motor to a 95 hp cutting motor; part of Oct. 31 used for the change-out

\*\*\*\* caused by problems with the right side emergency stop button and changing of the main breaker in the control panel for the larger cutting motor (machine trip-outs)

\*\*\*\*\* caused by the need to drill and blast large muck in the bottom of the stope

+ caused by re-hab required between 733 and 732 stopes and blasting of large muck at the end of 732 stope

++ caused by re-hab of original drift back in 731 stope and mucking of unexpected remnant muckpile at end of 731 stope

+++ caused by poor local ventilation in the heading and reported low water pressure in lines shutting machine down

Part B: Time analysis of haulage cycle (minutes)

| Part B: Time analysis of haulage cycle (minutes) |                  |                  |                  |                      |      |
|--|------------------|------------------|------------------|----------------------|------|
|  | July 13 - Aug. 5 | Aug. 6 - Sept. 5 | Sept. 6 - Oct. 5 | Oct. 28-31:Nov. 5-11 |      |
| Loading  | - JDT-413        | 12.30            | 10.50            | 9.70                 | 6.60 |
|  | - ST-3.5         | 6.10             | 4.90             | 5.00                 | 3.60 |
|  | - ST-5           | —                | 7.30             | 8.00                 | —    |
|  | - BRUTE          | 14.40            | —                | —                    | —    |
| Hauling<br>(including dumping,<br>returning)     | - JDT-413        | 5.40             | 5.00             | 3.50                 | 4.20 |
|  | - ST-3.5         | 3.80             | 3.60             | 3.70                 | 2.80 |
|  | - ST-5           | —                | 3.30             | 4.00                 | —    |
|  | - BRUTE          | 5.90             | —                | —                    | —    |

Part C: Advancement analysis

| Part C: Advancement analysis     |                  |                  |                  |                      |
|----------------------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------|
|                                  | July 13 - Aug. 5 | Aug. 6 - Sept. 5 | Sept. 6 - Oct. 5 | Oct. 28-31:Nov. 5-11 |
| Average cutting hours/shift      | 1.40             | 1.60             | 1.70             | 1.50                 |
| Average daily advance (ft/shift) | 2.80             | 4.46             | 5.43             | 4.88                 |
| Average advance/cutting hour     | 2.32             | 2.95             | 3.16             | 3.02                 |
| Average use of availability (%)  | 18.00            | 21.30            | 22.90            | 24.00                |
| Total advance (feet) + + + +     | 42.00            | 58.00            | 38.00            | 39.00                |

++++ advance in backfill only (remaining sections of original drift excluded)

N.B.: The fourth column is broken into 2 periods due to the changing of the cutting motor in the middle of the period. Oct. 6 to Oct. 27 not included as the roadheader was being moved to 28-645 X/C and the intersection of 28-645 X/C and 2803 fringe drive needed extensive support before work could commence. Nov. 1 to Nov. 4 not included as scheduled motor change-out was done.

## ⑫ In-the-hole drilling at Heath Steele Mine Limited.

著者: Errol Ladner, Mine Engineer H.S.M.Ltd. Newcastle, N.B.  
出典: CIM Bulletin, October 1979

### (概要)

#### (Heath Steele 鉱山概要)

所有者: AMAXとInco社の共同所有  
位置: Newcastleの北西、道路距離で35マイル、New Brunswick北部のBathurst-Newcastle区域に位置する。  
生産量: 1.2百万t/年、全生産量は"B"ゾーン鉱体から第5立坑を經由して出鉱される。  
鉱床: 石英-長石斑岩と緑泥石凝灰岩の互層中に胚胎した層状の Massive Sulphide。鉱床のタイプが2つあり、1つは銅の中に磁硫鉄鉱を多く含む銅鉱で、もう1つは銅、銀を随伴する鉛、亜鉛中に黄鉄鉱を多く含む鉛・亜鉛鉱である。  
これらの鉱石は個別に採鉱されることは殆どできないため、通常混合した鉱石として採掘される。  
採鉱法: Open Blasthole Stopping。最近では生産量のほぼ50%が大口径発破法により生産されている。

### なぜ大口径か

#### 通常の長孔穿孔

ビット径: 2-1/8インチ  
穿孔パターン: 放射状(ファンカット)、抵抗線5ft、孔間隔8ft  
爆薬: カートリッジスラリー、カートリッジ装填機使用  
特徴(欠点):  
\* 70ftを超える孔は極端な偏差を生じ易いため、比較的近接した穿孔中段が必要である。  
\* 爆薬をより均等に配分するための孔底の薬量を増やすため、孔底で5フィートオーバーラップさせることが必要である。  
\* 鉱量トン当たりの爆薬量が孔口から孔底までの距離の減少関数となるため非常に不規則な破碎の原因となる。

#### 大口径発破孔の特徴(長所)

- \* 穿孔作業当たりの生産性が向上し、その結果労務費が低減する。
- \* 穿孔が孔の中で行なわれるため作業区域内の騒音と粉塵レベルが低下し、環境が良くなる。
- \* 偏差が小さくなり発破効果の改善と、発破孔の単純化がもたらされる。
- \* 破碎率(Powder factor)が良くなる。
- \* 高価な"dry blasting agent"の使用が減少し、爆薬の配分がより良くなる。
- \* 大きな孔ほど爆速が大きく、より良い粉碎作用を岩盤に与える。
- \* ITH室の開坑作業においてもコスト改善ができる。

### 開坑

#### 標準採掘ブロック

長孔リング穿孔の Open Stopping 穿孔のために既に開坑されている中段間隔は100フィートと150フィートである。最初のアクセスと調査ボーリングのため鉱体から100フィート離れた位置に下盤坑道が掘削される。次に200フィート間隔で永久リブピラー中に上盤まで盾入が掘削される。

現在では、主要トラックレス生産レベル(7700)は、70フィート厚の水平ピラーと60フィート長さのリブピラーを持った140フィート長さ×280フィート高さの6つの採掘跡の水平ピラー中に設けられている。鉱体の幅は20~200フィートで変化している。

#### ITH穿孔の開発

図2にITH穿孔の典型的な採掘ブロックを示す。始めの50フィート高さ分のスロットとコーンには2インチの発破孔が用いられる。この上の180フィート高さのブロックは、全採掘区域をカバーするルーム&ピラーから6-1/2インチのITHで穿孔される。さらに上部の50フィートは2インチ口径のスロットと平行リングで採掘される。スロットはレイズボラでピラー線から20フィート以内に設けられる。

コストと破碎性の見地から有利な穿孔配置を決定するために、4つのルーム&ピラー設計が行なわれてた。

第1の方法(図3)は、12×12のITHパターンで穿孔するための、中心距離が18フィートで互いに直交する2組の8×8坑道が必要である。

第2の方法は、穿孔パターンの実験が可能ないように、いくつかの不規則なピラーを残して、従前通り8×8の坑道を広い範囲に切りひろげた。

第3の方法(図4)は、の中心距離が27フィートの平行な8×8坑道から構成される。現在の標準である16×11フィートの千鳥パターンで孔を配置するため、坑道の側壁に深さ5フィートの三角形の切り込みが設けられた。

第4の方法(図5)は、中心距離が26フィートで9フィートのピラーを残して17×11フィートのルームをフルサイズで掘削する方法で、穿孔パターンは16×11に維持できる。

穿孔機はGDFL93-3-1/2削岩機を搭載した、MacLean Varkentinの2ブームジャンボを使用した。3人のクルーでロックボルトを含め週5日で7~8サイクルを達成した。但し、積み込みはEimco915積込機による生産クルーによって行なわれた。これは従来の4~5サイクル/週に比べ良い結果である。将来は、12フィートスチールの3ブームParamaticジャンボが計画している。

ITH穿孔と開坑試験においてルームは安定して維持された。最低限の5-1/2フィートの標準のロックボルティングが必要であった。岩盤の悪い所では木製の押木を付けた8フィートのボルトもいくらか使用された。

## I T H穿孔

大口径穿孔は、1975年2月に初めて採用されて以来、最初は一次採掘において、最近ではピラー回収においても用いられ、90,000フィートが穿孔された。

現在、11フィート抵抗線×16フィート間隔の孔の配置を標準としている。上下盤に沿った孔はオーバーブレイクによるズリ混入を防止するため、鉱石ーズリの境界線より6～7フィート内側に維持される。

この穿孔パターンは、従来の2インチ穿孔が1フィート当たり2.3tであったのに比べ、20tを産出する。

大口径発破採鉱は、従来の発破採鉱と同様、垂直スロットレイズからアクセス側に向かって後退して行く。

6-1/2インチ径で間隔を決める計算式は、

$$h = \frac{2x}{b} \times 1.50$$

ここに、  
h = 自由面からの距離  
x = 元位置の岩盤の範囲  
b = 自由面の幅  
1.5 = 膨張係数

近い将来の方法として、さらにコストを低減するためにパーティカル・クレータ・リトリート法によって採掘する計画を持っている。VCRの採用はスロットレイズの開坑とスロットの穿孔、発破を削減でき、より積み込みしやすい破砕状況となることが期待できる。

## I T H穿孔機

I T H穿孔機は限られた空間で down-the-hole drilling を行なうことを目的とした、1マンのクローラドリルで、特に立坑や坑内掘削場所でも分解することなしに運搬できるよう設計されている。

I T H穿孔の他の使用法としては、排水孔、ドロップレイズ、そして種々の系統を通すための正確さが要求される連絡孔等である。

ロータリヘッドの回転数は10～15rpmで与えられる。余り速い回転はビットのゲージボタンの消耗が増えるため、ビットライフ低下の原因となる。これはハンマーやドリルスティールの消耗をも増加させる。余り回転が遅いと不規則回転をもたらし、チップのクリアランスを減少させ、孔下がりが悪くなる。岩盤条件により回転数が調整され、基本的には硬い岩盤条件では回転数は小さくなる。

使用されるビットは、孔の中から切削物が通って出るためのクリアランスを与えるために、ドリル径より最低1/4インチ以上大きくなければならない。連続的な切削物の排出は排気によって行なわれる。補助的な孔掃除はビットを孔底から少し上げて、孔底へのエア供給量を増加させて行なわれる。

## コンプレッサ

ドリルハンマーの最大効率を引き出すため、I T Hジャンボに直接リンクした、定格能力900cfmで設計最大圧力250psiの300HP電動ロータリースクリューコンプレッサが購入・設置された。

1977年初めに設置されて以来作業方当たりの穿孔量は100%増加した。現在高圧で操業する2台のI T Hジャンボと通常の坑内エアを使用する1台のジャンボを所有している。方当たり平均、高圧で128フィート、低圧で63フィートの穿孔を行なっている。

図8に示すように穿孔速度に関しては、高圧で16ft/h、低圧で7.81ft/hを得ている。

## ドリルロッド

ロッド ; 長さ4フィート、外径4-1/2インチ、重量84ポンド  
ジョイント ; 3-1/2インチのAPIネジジョイント、レンチフラット4ヶ所

それぞれのドリルユニットには使用しない時のロッドの保管のためのロッドラックが用意されている。全てのロッドの穿孔長が均等となるように、1本目の孔の最初のロッドが2本目の孔の最後のロッドとなるように保管が行なわれる。

## ビット

ビットの選択のパラメータ ; 購入価格、穿孔速度、ビットライフ

使用ビット ; ボタンビット (研磨の間隔が長い)

試験行なった結果、最も良い結果が得られたのは平面型で、5/8インチのボタンのものであった。穿孔速度は90psiで7.8ft/hから160psiで16ft/hであった。

## 装薬・発破

6インチ孔の装薬は発破孔がアンダーカットまで貫通するよう設計されているため、孔掃除や、水、切削物の排出は省略できる。

全ての孔は図9に示すように多段デッキ発破される。多段デッキ発破する目的は、発破する近辺の採掘空間の側壁や後部、ドロポイント或いは他の永久構造物に被害を与える原因となる岩盤振動を最小とするためである。

球状のタングステンカーバイドの1/4インチが平坦になると、穿孔速度が減少するため研磨される。研磨は20,000～25,000rpmの高速ハンドグラインダを用いて行なう。

ビットの交換は、6-1/2、6-3/8、6-1/4、6-1/8、6インチのビットゲージを用いて行なわれる。ビットは、ゲージボタンの50%が破損又は欠損した時、又はゲージが6インチ以下になったとき廃棄される。

## メンテナンス

オペレータによる、日常の点検・注油と、専任のメカニック（1名）による、日常の機械の点検と小さな修理、週1回の機械全体に亘る点検による。

## 穿孔配置

### 穿孔

穿孔配置は、列番号と孔番号により確認できるようなグリッドパターンでレイアウトされる。

それぞれの孔のバックにアイボルトが打ち込まれ、簡単に認識できるように下げ札が付けられる。

2～3フィートの深さまで穿孔したとき、プラスチックケーシングが設置される。ハンマーはその後ケーシングを通して降ろされ、必要な長さまで穿孔される。

穿孔が終わると、孔の中に異物が入らないよう、ケーシングに木栓が打たれる。削岩機は、ハンマーがロータリヘッドギヤに付いた状態で次の孔に移動する。

## I TH穿孔・発破コスト

表1と表2はフィート当たりとトン当たりのコスト比較を示している。

比較表に示すように、穿孔・発破のトータルコストは、1-1/8インチ孔で1.39 \$/tであるのに比べ、6-1/2インチ孔では0.55 \$/tである。フィート当たりのコストは大口径の方が実質的に高いが、フィート当たりの起爆トン数が大きいため、全体コストとしては60%の改善となっている。

## I THの進展

Heath Steele 鉱山社では大口径穿孔が急速に取り入れられて来ており、将来は従来法の長孔の減が期待される。

スロット開坑の必要性を減らすバーティカル・リトリート採鉱が進行中である。採掘上部の抽出にもより長い孔が検討されている。

I THは、その単純さ、正確さ、発破結果は証明されており、今後も長く行なわれるであろう。

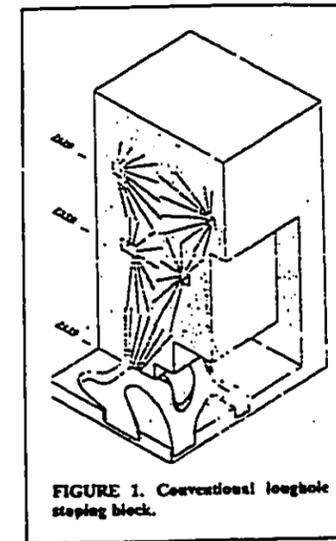


FIGURE 1. Conventional longhole stoping block.

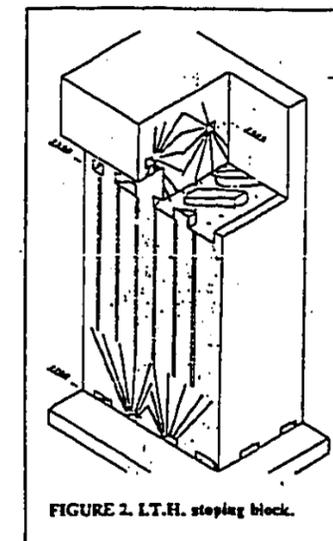


FIGURE 2. L.T.H. stoping block.

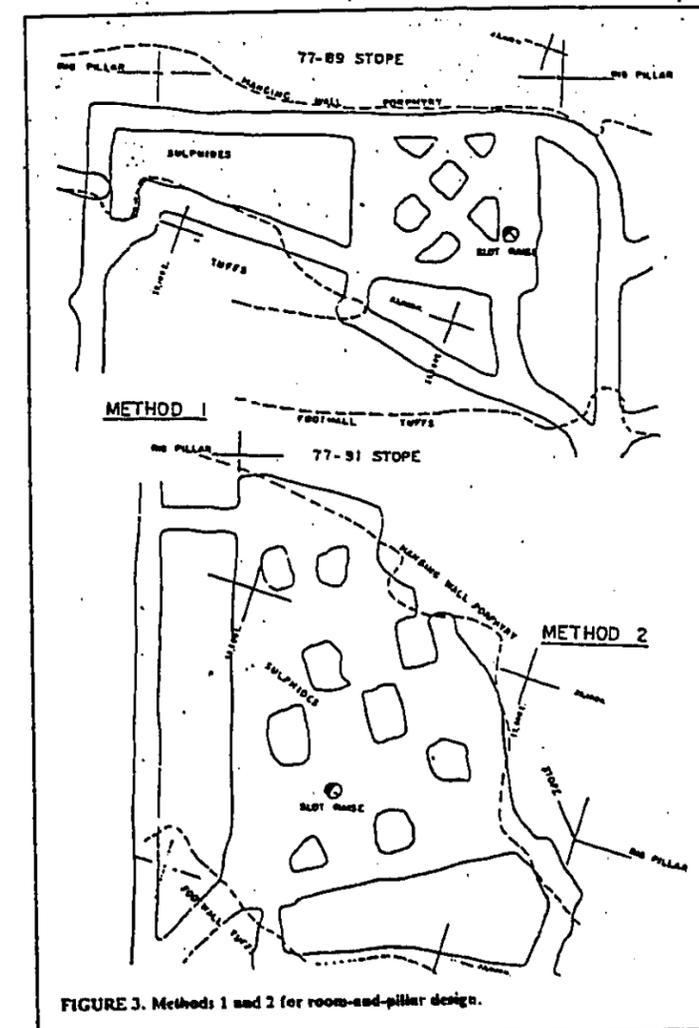


FIGURE 3. Methods 1 and 2 for room-and-pillar design.

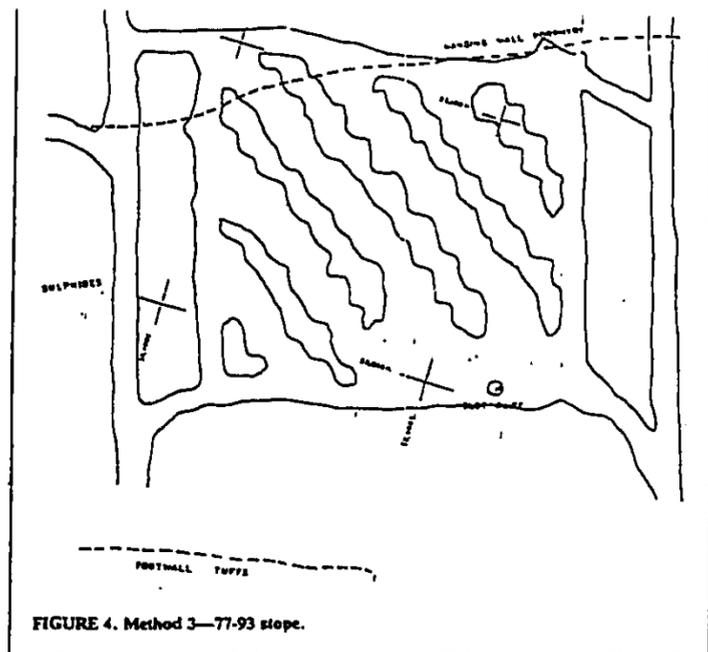


FIGURE 4. Method 3—77-93 slope.

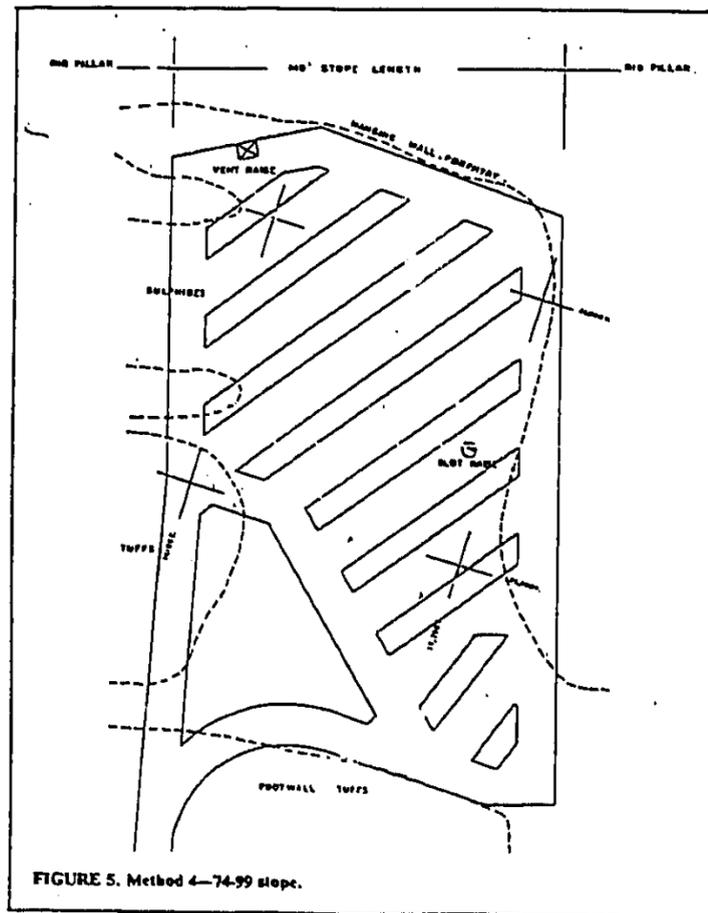


FIGURE 5. Method 4—74-99 slope.

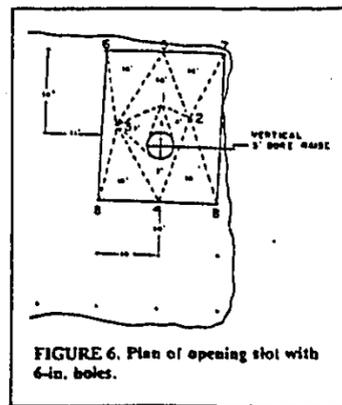


FIGURE 6. Plan of opening slot with 6-in. holes.

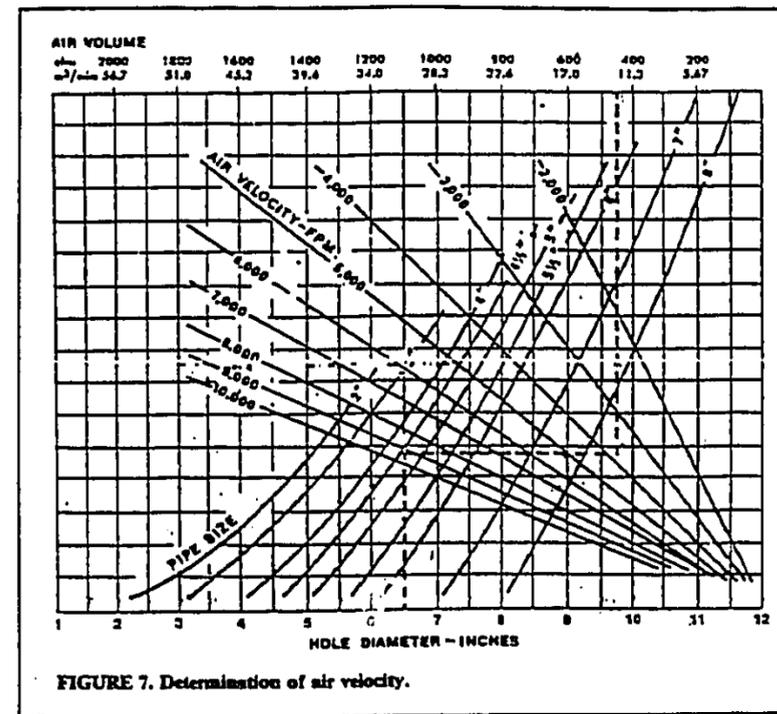


FIGURE 7. Determination of air velocity.

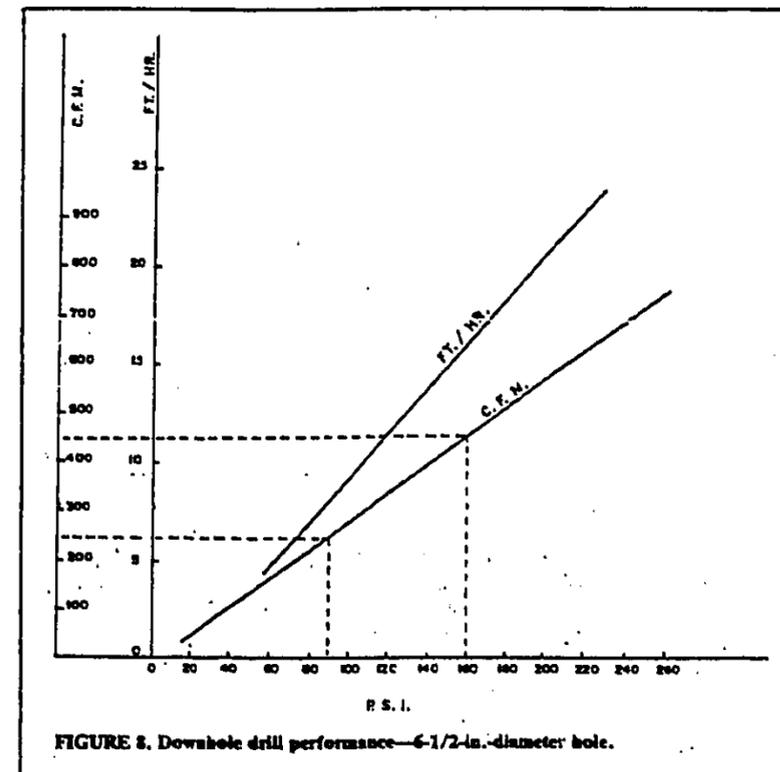


FIGURE 8. Downhole drill performance—6-1/2-in.-diameter hole.

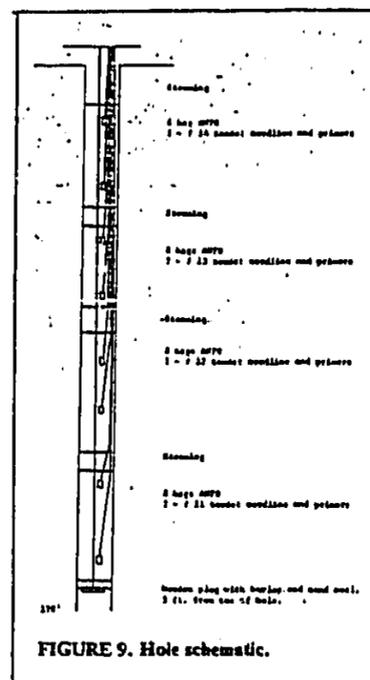


FIGURE 9. Hole schematic.

TABLE 1. Drilling comparison, 6-1/2-in. vs 2-1/8-in.

| Cost per Foot      | I.T.H. | L.H.D. |
|--------------------|--------|--------|
| Labour             | \$2.56 | .      |
| Bits               | 0.75   | .      |
| Maintenance Labour | 0.55   | .      |
| Maintenance Supply | 2.03   | .      |
| Total              | 5.89   | 1.73   |
| Tons/Foot          | 20     | 2.3    |
| Cost/Ton           | \$0.29 | \$0.75 |

TABLE 2. Blasting comparison, 6-1/2-in. vs 2-1/8-in.

| Cost per Foot | I.T.H. | L.H.D. |
|---------------|--------|--------|
| Labour        | \$1.08 | 0.63   |
| Supplies      | 4.06   | 0.85   |
| Total         | 5.14   | 1.48   |
| Tons/Foot     | 20     | 2.3    |
| Cost/Ton      | \$0.26 | \$0.64 |

| TYPE OF STRUCTURE                             | TYPE OF DAMAGE                               | PEAK PARTICLE VELOCITY THRESHOLD AT WHICH DAMAGE STARTS (INS/SEC) |
|---|--|---|
| RIGIDLY MOUNTED MERCURY SWITCHES              | TRIP OUT                                     | 0.5   |
| HOUSES  | PLASTER CRACKING                             | 2   |
| CONCRETE BLOCK AS IN A NEW HOUSE              | CRACKS IN BLOCKS                             | 8   |
| CASED DRILL HOLES                             | HORIZONTAL OFFSET                            | 15  |
| MECHANICAL EQUIPMENT PUMPS, COMPRESSORS       | SHAFTS MISALIGNED                            | 40  |
| PREFABRICATED METAL BUILDING ON CONCRETE PADS | CRACKED PADS, BUILDING TWISTED AND DISTORTED | 60  |

5 to 8 INITIAL LIMIT OF 5"/SEC MAXIMUM AT THE CRUSHER  
 BEYOND 10"/SEC MAJOR DAMAGE STARTS

FIGURE 10. Type of damage related to the peak particle velocity in the ground waves from blasts.

⑬無人運搬「レーザーベースの誘導システムが自動坑内トラック運搬を可能にする」

by Patrick Whiteway, editor

6.7.8号 1991, Canadian Mining Journal

坑内トラック運搬の経済性をオートメーションシステムが大きく変えるであろうことが5月バンクーバーで開催された CIMの年次総会で示された。

オンタリオ州North Bay のMintronicsにより、四年間に約 100万ドルを掛けて開発されたOptitrakが代表的な鉱山で運転手一人当たり75,000ドル/年かかると言われるトラック運搬費を低減させる。

このシステムはテスト時には1台当たり 105,000ドルの費用が予想される。更に重要なことは坑内ディーゼルトラックに対しては経済的運搬距離を2倍にする事が出来ることになる。

これは、坑内切羽が運搬距離 650~700m以内にあるような鉱体をもつ会社にとっては極めて意味があるものである。

立坑により鉱体のアクセスする代わりに、運搬坑道を開きくすることによりコストの節約になる。このシステムはJDT-413トラックを用いてサッドベリー鉱山の坑内でテストされよい結果を得ている。このシステムは2つのClass 2レーザーから成っている。レーザーは中央の回転軸で前後を連結したトラックの前と後に備えつけられており、雑貨屋のチェックカウンターで使用されているものと同一の物である。前方のものは前進時に用いられ、後方のレーザーは鉱石収納容体の下に、特別に設計されたリトラクタブル（引込むことの出来る）の容れものの中に積み込まれ、後退時に用いられる。

坑道の天盤の中心線上に取り付けられた細長い反射テープに当たり反射してくる光線により、トラックに積んでいるコンピューターがデータを解読し、トラックに指示を与える。レーザー光は断続的に送られ、天盤の反射板に当たり、レーザー装置に返ってくる。レーザーは 500mA必要である。コンピューターは反射テープの位置からのレーザー装置の偏心を計算し、トラックを反射テープの下に位置に保ち、速度を維持するべく適切な行動を起こさせるため、トラックのステアリング、スロットル、ブレーキのシステムに指示を

与える。トラックは信号を見失う前に坑道の中心線の左右方向に52.5°まで振ることが出来る。

天盤の反射板の右側に付けられたバーコードは日常決まった作業、すなわちブレーキテスト、スロットルアップ（ランプに入る時）、スロットルダウン（決められたコーナーに入るとき）、左右に曲がる時（例えば、クロスカットに入る時）等を実行するときに指示する。

1人のLHDオペレーターがその全システムの操作をする。最初オペレーターは運搬コース上を手動で運転する。このシステムでは、オペレーターの視界を遮るものは何もない。それ故トラックをマニュアルで運転する時には、坑夫に特別な訓練する必要はない。これはこのシステムにトラブルがあって、修理するために電気工がすぐに間に合わせの場合でも、トラックはマニュアルで運転することが出来ることを意味している。

運搬路に沿って最初にマニュアルでトラックを運転するのは、反射板が完全であるかを目でチェックすることになる。

反射板は2.5m長の真直ぐな亜鉛メッキ鉄板の上につけられており、これは天盤にワイヤーで取り付けられ、クランプで繋がれている。真直ぐなメッキ鉄板はトラックがコーナーを曲がる時にギクシャクとした動きを起こさせるが、発破による空気振動による問題はない。

運搬ルートが一度十分に検査されると、オペレーターはトラックを積み込み場所に戻し、スイッチを自動運転に切替え、ずりか鉱石の運搬かを選択する。そして彼は積み込みのためにLHDに乗込む。トラックに荷を積み込むとオペレーターは手持ちの遠隔操作ボックスを用いてトラック自動運転のプログラムを始動させる。（この遠隔操作システムは市販のものを用いている。）トラックが自動運転されている間、オペレーターは積み場所まで鉱石を掻き寄せたり、場所によっては、他のトラックに荷を積み込んだりする。

4年間をかけて、Mintronicsは数個の安全装置についても設計した。その内最も重要なものは腐食防止である。トラックの自動運転中は人がトラックを避けるように警告すべく、警告灯が点滅する、更に坑内にいる人は特別な反射板を取り付けたヘルメットを着用する。自動運転中のトラックが、これらの反射板から前もって定められた距離内に入るとトラックは自動的にブレーキが掛かり、反射板が安全な距離に離れるまで、空運転をする。

他の安全装置は、コンピューターが指示する時にブレーキが働いているかどうかをモニタリングするシステムを持っている。このシステムは並列した2系列があり、1つが故障した時には、1つがback upするようになっている。1つの故障の場合は、トラックは自

動的に停止し、2系列40点の表示装置が何処に問題が起こったかを示す。また、システムはAnsul自動消火システムも含んでいる。

「更に我々の挑戦している1つは、粉塵と水滴をどう対処するかということである。これらは、細長い亜鉛メッキ鉄板の接続部の腐食を起こさせ、会社にクランプを使用することを余儀なくさせた原因である。」とプロフィは言っている。

粉塵に関しては、4.5m天盤にテープが設置された後は一ヶ月に一度は清掃すべきであることが分かった。もし、テープがもっと低い位置に取り付けられるなら、清掃頻度はもっと少なくても良いであろう。また、圧縮空気のノズルが粉塵を吹き飛ばすためにトラックに備えられたレーザー装置の近くに置かれた。

## ⑭A Canadian program in mining automation

CIM Bulletin, 81, 36(1988)

Nantel, J., Piche A. Scoble, M

### 採鉱自動化に関するカナダの計画

#### アブストラクト

この論文では、McGill大学及びEcole工芸大学に設立が計画されている、カナダ採鉱自動化センターに関する最近の動向について述べる。また、カナダ鉱業協会(MAC)及び採鉱自動化に関する諮問委員会(国立)についても触れる。

#### 緒言

#### 国際共同研究

#### カナダにおける展開

- ・採鉱自動化に関する国立諮問委員会
- ・採鉱自動化に関するシンポジウム—現在と将来
- ・CANMET—諮問ワークショップ
- ・国立研究カウンシル(NRC)
- ・CATA(Canadian Advanced Technology Association)とMAC(Mining Association of Canada)との共同研究
- ・米国の宇宙ステーションプロジェクトとカナダの参加
- ・MAC—採鉱の技術革新へのアプローチ
  
- ・McGill大学及びEcole工芸大学における採鉱自動化・ロボット化センター

モントリオールにあるふたつの技術系大学に、上記のセンターの設立が計画されている。2つの大学の電気、機械及び鉱山学科に所属する専門家により、以下のような検討がおこなわれる。

1. 採鉱プロセスへの適用を指向した自動化の研究
2. 探査、採鉱、積み出し、輸送及び自動化の容易なプロセッシングについての新しい研究
3. 学際的なプロジェクトを進めることにより、採鉱、機械、電気及び制御技術学科間にある技術的なギャップの橋渡しをすること。
4. 安全、社会環境及び経済的な点をも考慮した、採鉱自動化へのトータルシステムの的なアプローチ
5. 学部及び修士レベルでの採鉱システム、制御についての授業を発展させ、包括的な自動化計画を立案し、実行することのできる専門的な技術者の養成

6. 装置、メンテナンス及び自動化システムを実際にうまく稼働している分野と、鉱業との共同研究
7. 採鉱自動化に関する会議やシンポジウムの開催
8. 採鉱自動化に関する研究情報の交換する場の確保
9. カナダと、採鉱自動化に関し国際的に活躍している他の組織との情報交換及び共同研究の遂行。

#### 研究プロジェクト

採鉱に関する研究グループや技術コンサルタント、採鉱等に関連した企業のメンバーから寄せられた研究題目は、以下の通りである。

#### 遠隔操作によるモニタリング及び制御装置

- a. Cross Hole Seismic装置—鉱柱におけるアコースティックストレスの測定
- b. 遠隔制御操作をするためのビジョンシステム(Vision System)
- c. ヒズミセンサー
- d. 爆破モニタリング装置
- e. Stope Profiling System - Open and Vertical Retreat Stopes
- f. 品位の検出
  - ・地下のコンベヤー上の廃石の品位の検出
  - ・高速データバスを経て中央コンピュータシステムに転送可能なレベルへの信号の調整
- g. 混入金属の検出
  - ・地下にあるコンベヤー上の混入金属の検出
- h. ロボット化したベルトピッキング(Belt Picking)
  - ・混入金属検出システムを備えたロボットのインターフェース
  - ・可視検出システムを持ったロボットのインターフェース
  - ・ロボット化したマニピュレータの設計及び選択
- i. I.H.I.位置測定システム
  - ・掘削を効果的に行うためのアライメントを備えたI.H.I.位置決めするためのレーザー及びレーダーの使用
- J. リアルタイムのドリル探査システム(Drill Surveying System)

#### 多機能地下通信システム

- a. 遠隔自動化システムへの信号を制御するための通信システム
- b. 種々の自動化システムに互換性をもたせるための、標準採鉱自動化に関する原案の採用

#### 自動化ハンドリングシステム

- a. 連続式の、自動化遠隔廃石ハンドリングシステム
- b. 鉱層の薄い鉱山に適した、連続式の掘削・爆破・ボルト(Bolt)・廃石システム
- c. 鉱車運行モニタリングシステム

## ソフトウェア

- a. 鉱山の管理及び経営に関するソフトウェア
- b. 種々の解析をするためのソフトウェア

### 結論

北米にある鉱山は、生き残るためにはさらにそのコストを低減する努力が必要であろう。今世紀末までの生産性の改良は、自動化システムにより改良された装置をもちいることにより、達成されるであろう。

カナダは新しい時代の採鉱機械を発展させている国々と、協力する準備をすすめている。自動化あるいはロボット化を採鉱の多方面に適用するのは、容易ではないが、これらを成功裡に達成するには、カナダにおいてもさらなる努力が必要であろう。

## ⑮地下ウラン鉱山における放射線レベル及び必要通気量の予測

CIM Bulletin, 77, 60(1984)

### (1)緒言

ウラン鉱石、その廃石や埋め戻し材から発生するラドンは、適切な通気によりワーキングレベルを維持することを要求する。ラドン及びその娘核種のソースレベルを定量化し、通気必要量を評価する方法が、Queen's 大学で開発された。

### (2)鉱山におけるラドンガスの挙動

$$C_0 = R_a \quad E/P \quad (\text{pCi/cm}^3) \quad (1)$$

$$J_s = -\beta_{\text{measured}} \quad l_m$$

ここで、 $J_s$ : エマネーションの速さ (1)

$\beta_{\text{measured}}$ : emanating power

$l_m$ : 拡散長さの測定値

### (3)放射能特性のアセスメント

### (4)拡散長さの計算

### (5)鉱山における通気量に対する、結果の応用

### (6)ワーキングレベル濃度の計算

### (7)鉱山における必要空気量についての計算例

### (8)結論

この論文では、通気網を設計する際に用いられるファクターを定量化するための基礎をのべている。また、この論文で述べたことと同様の方法により、ワーキングレベル濃度の予測をする事ができる。