

第5章 F3 鉱体の埋蔵鉱量計算

F3 鉱体の埋蔵鉱量計算は、本プロジェクトで実施したボーリングの結果を基に実施し、既存のピットによるデータは考慮していない。これは旧ピットの現地での特定が出来ず、位置、標高、鉱種、風化状況等の特定が難しく、ボーリングで得られたデータとの整合性を持たせるのが困難なためである。従って、F3 鉱体全体の埋蔵鉱量はここで行った埋蔵鉱量計算結果に、南側のボーリング地点よりさらに南で知られている鉱量を加算する必要がある。

5-1 鉱量計算の基礎データ

① 試錐座標データ

鉱量計算では平成 12 年度および平成 13 年度の DDH 試錐データを使用した。孔数は 23 孔、総掘進長は 2,300m で、すべて垂直孔である。試錐の孔口座標(X, Y, Z)と方位、傾斜、最終掘進長の一覧表を表Ⅲ-5-1 に示す。

表Ⅲ-5-1 試錐データ一覧表

HOLE-ID	LOCATION_X	LOCATION_Y	LOCATION_Z	AZIMUTH	DIP	LENGTH(m)
MJVD-1	350721.00	2466109.00	849.00	0.0	-90.0	80.00
MJVD-2	350691.00	2466164.00	840.00	0.0	-90.0	80.00
MJVD-3	350670.00	2466030.00	851.00	0.0	-90.0	80.00
MJVD-4	350622.00	2466018.00	848.00	0.0	-90.0	100.00
MJVD-5	350583.00	2466015.00	846.00	0.0	-90.0	100.00
MJVD-6	350584.00	2466123.00	864.00	0.0	-90.0	100.00
MJVD-7	350677.00	2466062.00	857.00	0.0	-90.0	100.00
MJVD-8	350627.00	2466069.00	864.00	0.0	-90.0	100.00
MJVD-9	350577.00	2466075.00	869.00	0.0	-90.0	100.00
MJVD-10	350528.00	2466081.00	880.00	0.0	-90.0	100.00
MJVD-11	350683.00	2466112.00	853.00	0.0	-90.0	100.00
MJVD-12	350633.00	2466118.00	856.00	0.0	-90.0	100.00
MJVD-13	350798.00	2466149.00	831.00	0.0	-90.0	80.00
MJVD-14	350742.00	2466157.00	838.00	0.0	-90.0	80.00
MJVD-15	350641.00	2466171.00	838.00	0.0	-90.0	80.00
MJVD-16	350592.00	2466178.00	858.00	0.0	-90.0	100.00
MJVD-17	350531.00	2466025.00	847.00	0.0	-90.0	100.00
MJVD-18	350478.00	2466090.00	905.00	0.0	-90.0	130.00
MJVD-19	350486.00	2466137.00	905.00	0.0	-90.0	140.00
MJVD-20	350537.00	2466128.00	878.00	0.0	-90.0	120.00
MJVD-21	350543.00	2466185.00	874.00	0.0	-90.0	120.00
MJVD-22	350599.00	2466231.00	874.00	0.0	-90.0	110.00
MJVD-23	350648.00	2466221.00	845.00	0.0	-90.0	100.00
total						2300.00

このうち、試錐孔口座標の X と Y は現地での測量結果をそのまま使用したが、Z (標高) については航空測量による地形図より現地での測量結果が 5m 低いことが判明したため、全孔

の孔口標高を測量結果に 5m プラスし、修正した値を用いた。

なお、これらの DDH 試錐の最終掘進長はいずれも 80~140m と比較的短いので、孔芯測定は実施していない。試錐軌跡も孔底まで垂直で孔曲りは無いものと想定して鉱量計算を行った。

② 試錐コアの分析値

試錐コアは全孔とも全長にわたって 1m ごとに試料採取して分析を行った。

鉱量計算に先立って、この分析結果から Sc_2O_3 , Y_2O_3 , La_2O_3 , CeO_2 , Pr_6O_{11} , Nd_2O_3 , Sm_2O_3 , Eu_2O_3 , Gd_2O_3 , Tb_2O_3 , Dy_2O_3 , Ho_2O_3 , Er_2O_3 , Tm_2O_3 , Yb_2O_3 , Lu_2O_3 を計算で求め、さらに上記 16 成分の品位を合計して総レアアース酸化物 (RE_2O_3) の品位を計算した。また F と Ba はすべてがそれぞれ CaF_2 と BaSO_4 に含まれるものと仮定し、F の分析値から CaF_2 品位を、Ba 分析値から BaSO_4 を計算した。こうして得られた RE_2O_3 (%)、 CaF_2 (%) と BaSO_4 (%) の 3 つを鉱量計算の対象鉱種とした。

さらにサンプルごとに鉱種の違いを肉眼で区分し、B (黒色鉱石)、M (混合鉱石)、M? (混合鉱石のうち品位が低いと考えられるもの)、Y (黄色鉱石) のコードを入力して計算に使用した。

③ 試錐コアの岩種

地質ログシートの記載から、各試錐での岩種と境界の深度を記載し、デジタルデータとした。試錐でみられる岩種は表土 (overburden)、閃長岩 (syenite)、ミネット (minette)、石灰岩 (limestone)、未固結の砂 (sand)、粘土 (clay)、角礫岩 (breccia)、空洞部 (cave) の 8 種である。

④ 地形データ

航空測量で得られた 1/5,000 の地形図のデジタルデータを入手し、試錐孔口の測量結果と合わせた結果、航空測量図のオリジナルデータには X と Y にずれがあることが判明したため、X は 40m プラス、Y は 30m プラスしてから使用した。

5-2 鉱量計算の手順

① 使用機器・ソフトウェア

計算は住友金属鉱山(株)所有のハードウェアとソフトウェアを用いて行った。使用機器とソフトウェアは以下のとおりである。

- ハードウェア : Compaq 製 Professional Workstation AP550
- OS : Microsoft 製 Windows NT Workstation 4.0 + Service Pack 4 (英語版)
- ソフトウェア : Mintec, Inc. 製 MineSight 2.7

② 3次元ブロックモデルの設定

鉱量計算は東西 20m、南北 20m、高さ 5m の 3次元ブロックモデルで実施した。ブロック設定範囲は地形図に試錐孔口を記入したものを検討し、表Ⅲ-5-2 に示した範囲とした。

表Ⅲ-5-2 ブロック設定範囲

	min	max	block size(m)	number of blocks
X	350000	351260	20	63
Y	2464800	2466000	20	90
Z	600	1150	5	110

③ コンポジット化

地球統計学的手法で鉱量計算を行う場合、試錐コアの分析値をそのまま用いるのではなく、長さの等しいコンポジットを設定して、各コンポジットの品位を孔長の加重平均で計算し、鉱量計算に使用するのが一般的である。今回は垂直方向のブロック境界で区切られた5m長のコンポジットを設定した。岩種の境界が中間に存在する場合はそこもコンポジットの区切りとし、空洞部は品位ゼロの1コンポジットとして扱った。

④ 異常値処理

全コンポジットの品位から、 RE_2O_3 、 CaF_2 、 $BaSO_4$ の3成分について対数ヒストグラムと対数正規確率分布を表示し、高品位側の異常値の判定を行った。対数正規確率分布での変曲点をピックアップした結果、 RE_2O_3 では20%、 CaF_2 では30%、 $BaSO_4$ では80%がそれぞれ通常の分布の上限と判断され、それ以上のものは異常値と考えられた(図Ⅲ-5-1～図Ⅲ-5-3)。この結果に基づき、上限値を超える品位のコンポジットは、上限値の品位に修正してからバリオグラム解析、品位の割り付けに使用した。

⑤ 鉱体の3次元ソリッドモデルの構築

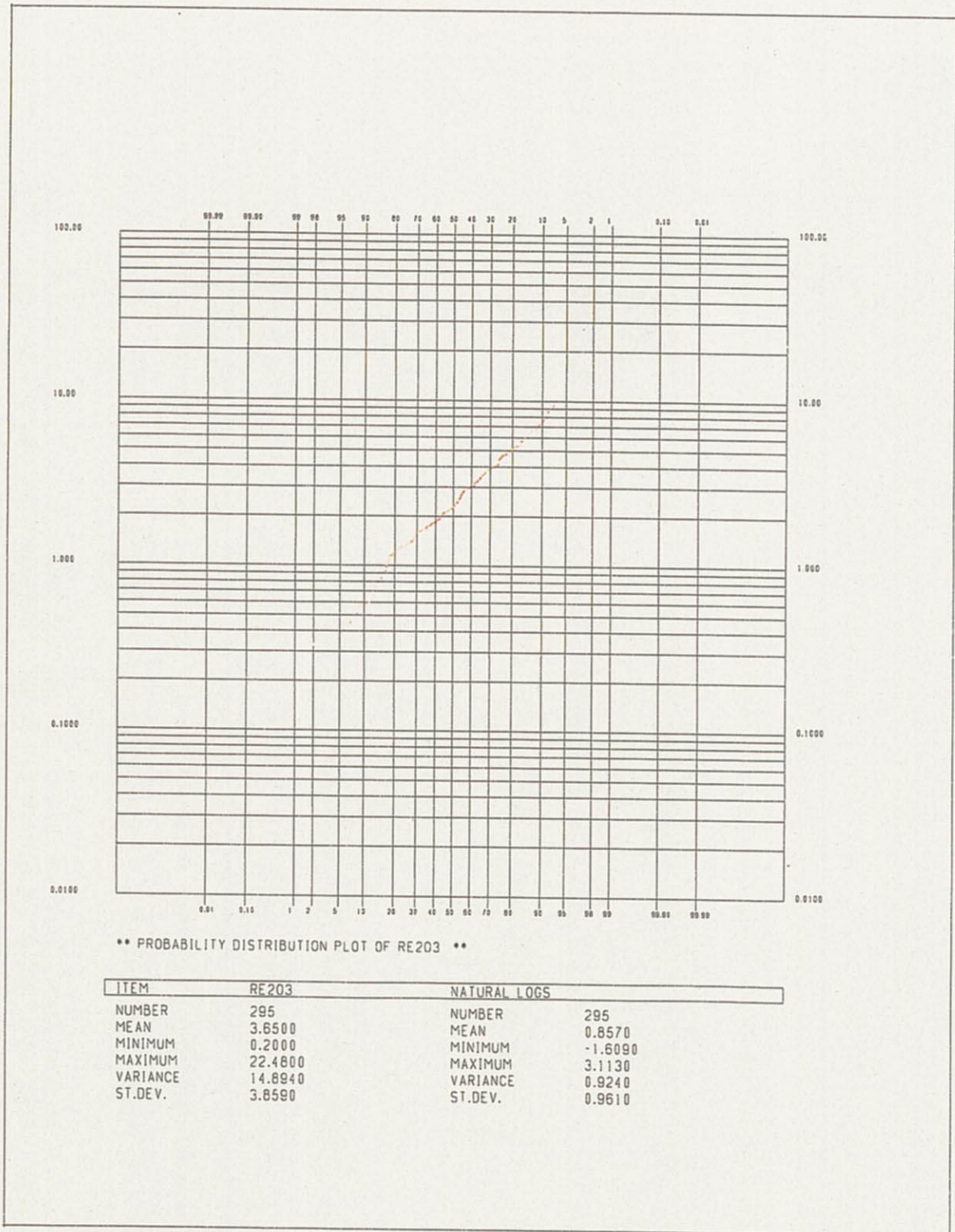
方位100°方向の断面図に示された各岩種の境界をデジタイズし、方位10°方向の断面図を参考にしながら、断面間のリンクと断面設定範囲への外挿(原則として両側25mずつ)を行い、鉱体(閃長岩)、ミネット、石灰岩、未鉱化閃長岩の3次元分布を推定し、ソリッドモデルを構築した。さらにこのソリッドモデルに基づいて、ブロックごとに鉱体の占めるパーセンテージ(block partial)を計算した。

⑥ バリオグラム

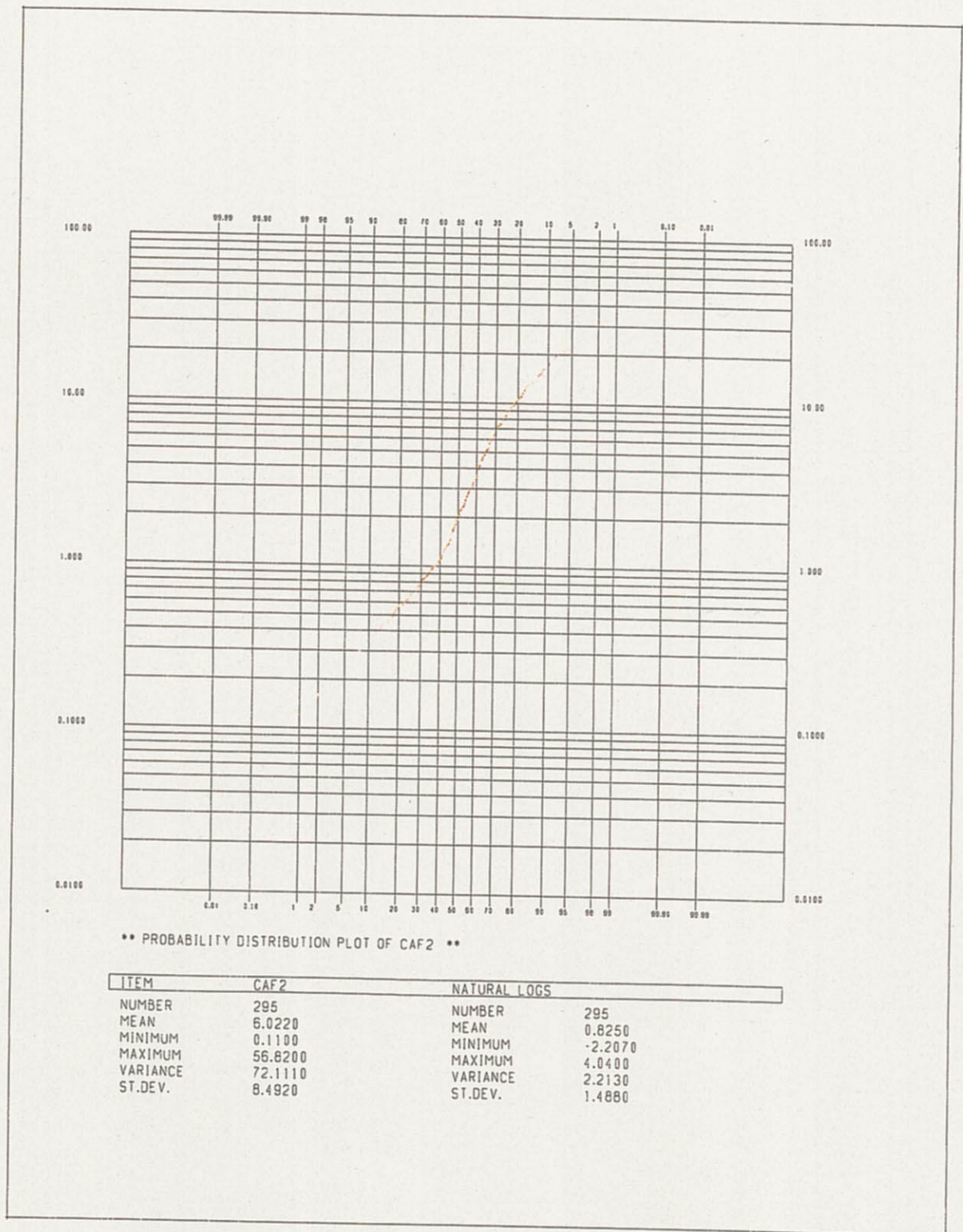
RE_2O_3 、 CaF_2 、 $BaSO_4$ の3成分について、閃長岩のコンポジットのみを使用してそれぞれ実験的バリオグラムを計算し、表示した。バリオグラム計算でのコンポジットのペア間隔(lag distance)は5m, 10m, 15m, ……とし、許容範囲は±2.5mとした。

計算したバリオグラムは、方位10°、30°、60°、90°、120°、150°の6方向で、各方位について傾斜0°、-30°、-60°、-90°の4パターンの計算を行った(許容範囲は方位、傾斜とも±15°)。この結果得られたバリオグラムは19種類となる(傾斜-90°のバリオグラムは、方位と無関係に1つしかないので、6方向×3パターン+1=19種)。

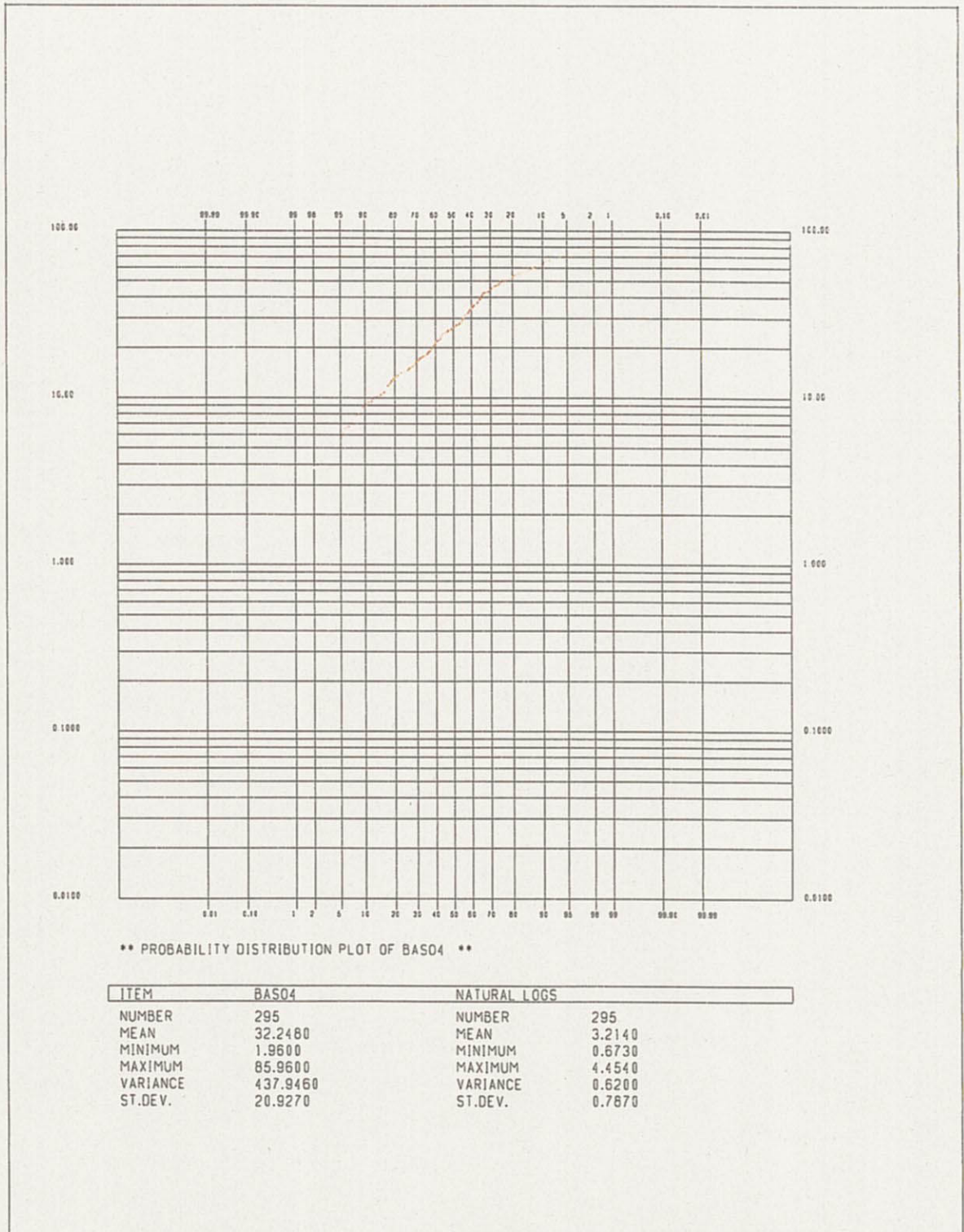
いずれの成分でも、垂直方向のバリオグラムは非常にきれいな分布をしており、モデル



図Ⅲ-5-1 RE₂O₃品位の対数ヒストグラムおよび対数正規確立分布図



図Ⅲ-5-2 CaF₂品位の対数ヒストグラムおよび対数正規確立分布図



図Ⅲ-5-3 BaSO₄品位の対数ヒストグラムおよび対数正規確立分布図

関数のパラメータ設定が容易であったが、水平あるいは傾斜方向の実験的バリオグラムの分布は不規則で、モデリングが困難であった。これは試錐本数がもともと少ない上、すべて垂直孔であるため、水平方向のペア間隔のバリエーションが少ないことが原因と考えられる。今回はやむを得ず、品位変化の規則性は全方向で等方的 (isotropic) と仮定して、各成分とも垂直方向のバリオグラムをモデリングして得られたパラメータを、全方向に適用することとした。パラメータの一覧は表Ⅲ-5-3 に、バリオグラムは図Ⅲ-5-4～図Ⅲ-5-6 に示す。

表Ⅲ-5-3 バリオグラムパラメータ

		RE ₂ O ₃	CaF ₂	BaSO ₄
Model Type		Spherical	Spherical	Spherical
Nugget		2.60	7.12	46.08
Sill		14.35	58.89	447.88
Range	(Azi=10, Dip=0)	36.8	67.9	66.4
	(Azi=100, Dip=0)	36.8	67.9	66.4
	(Azi=0, Dip=-90)	36.8	67.9	66.4

⑦ 品位の割り付け

各ブロックの品位はコンポジットデータから Ordinary Kriging 法で推定した。取り込み範囲はブロック中心から半径 40m の球の内部とし、3次元ソリッドモデルから計算した鉱石のパーセンテージが 1%以上のブロックに対し、品位を割り付けた。さらにこれとは別に、コンポジットデータに含まれる鉱種 (鉱石の色) データから、レベルごとのポリゴン法によって各ブロックの鉱種を推定した。

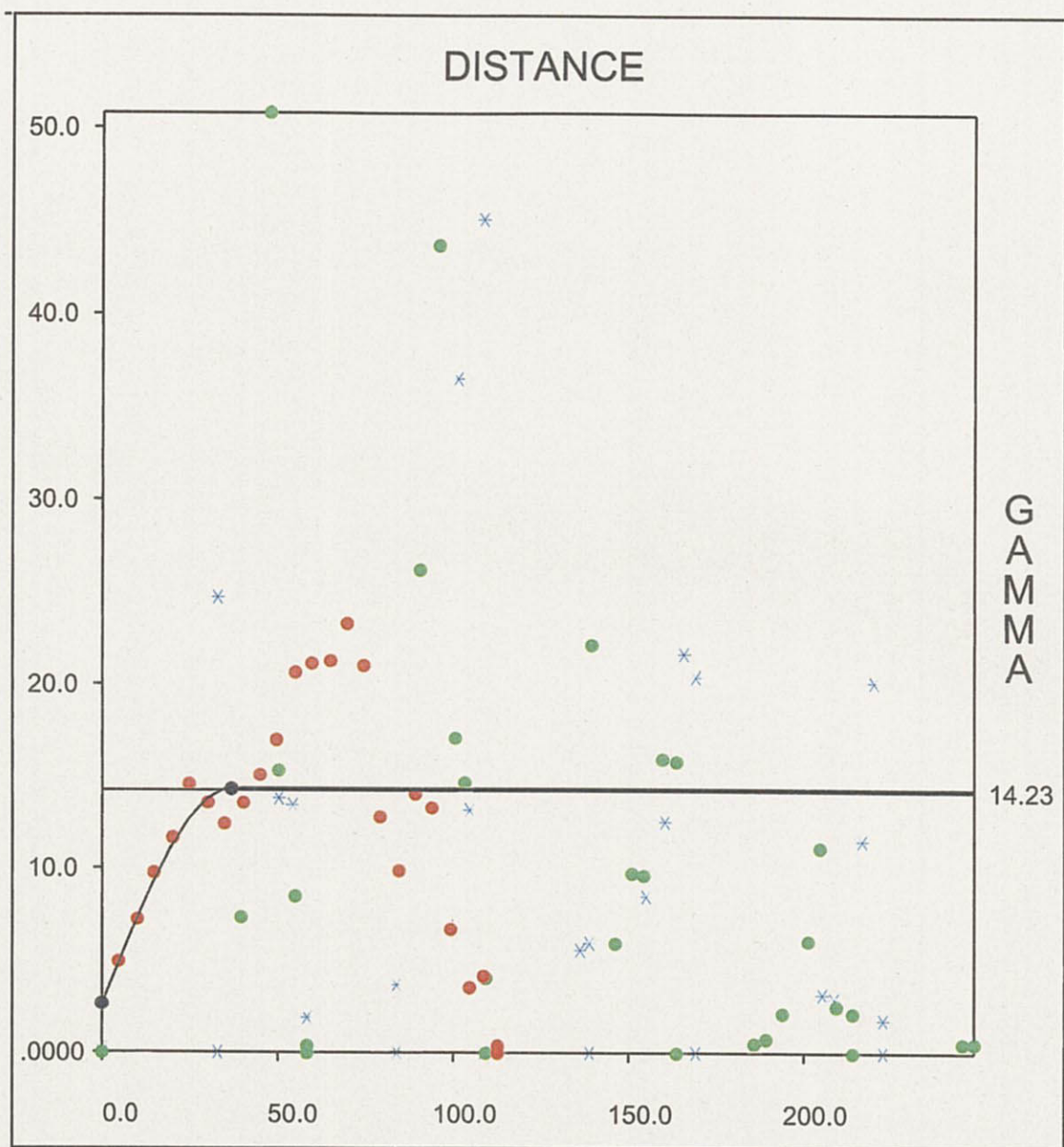
解析断面の位置を図Ⅲ-5-1 に示す。また、RE₂O₃品位を割り付けた平面図を Apx. 10 に、断面図を Apx. 11 に示す。

⑧ 比重

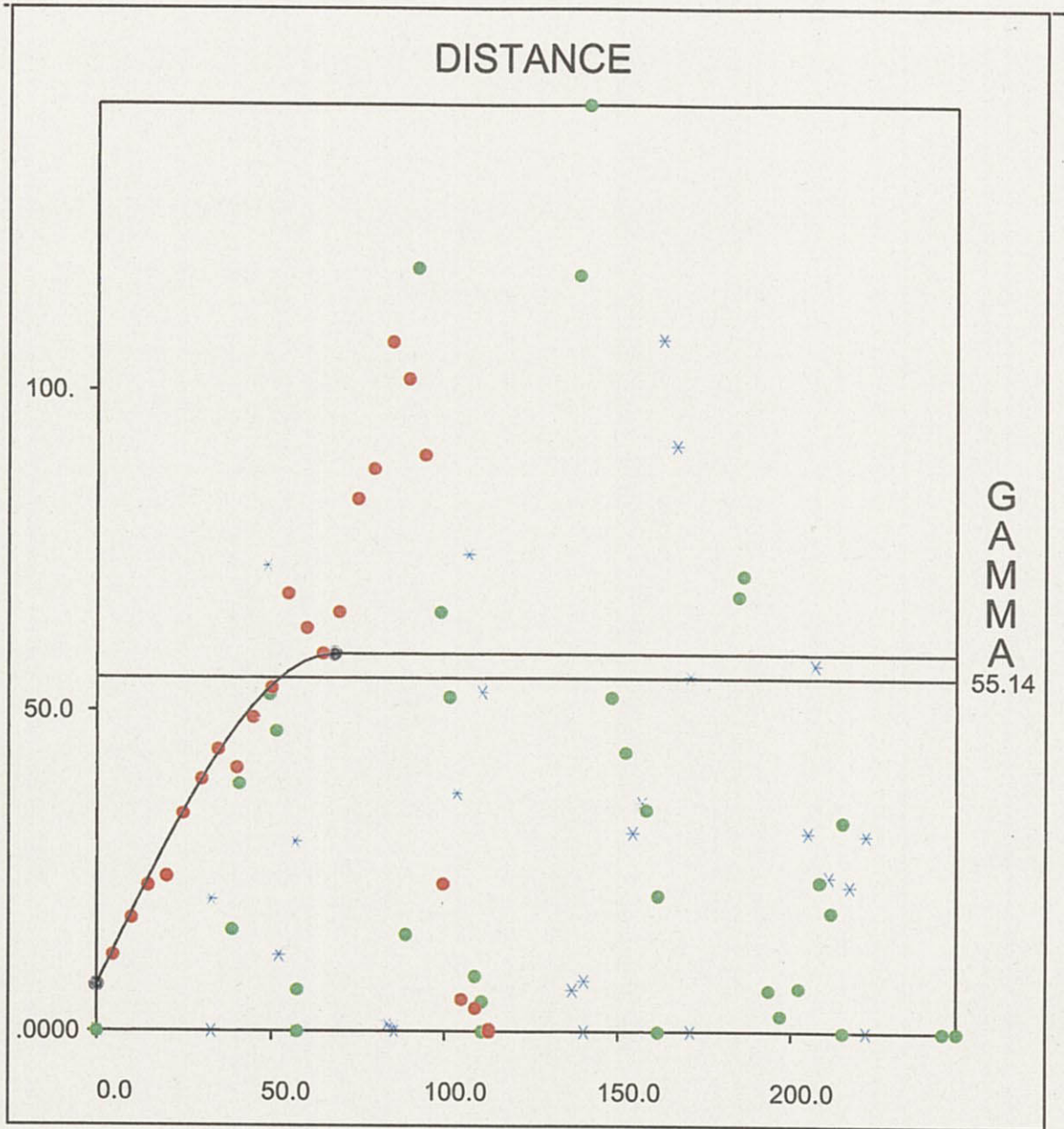
既存資料で 1986 年に実施された鉱量計算に用いられた比重は地表部に近い鉱石を対象に行われたためか比重 1.93 で計算してあるが、今回実施した 15 件の試料の比重 (Apx. **3) は弱風化鉱石 (7 件) で 2.5~2.9, 強風化砂状部 (8 件) の土粒子の比重は 2.7~4.7 である。比重に関するデータが少なく、比重を特定することが難しいため、全鉱種、岩種とも 2.6 として計算した。

5-3 埋蔵鉱量集計結果

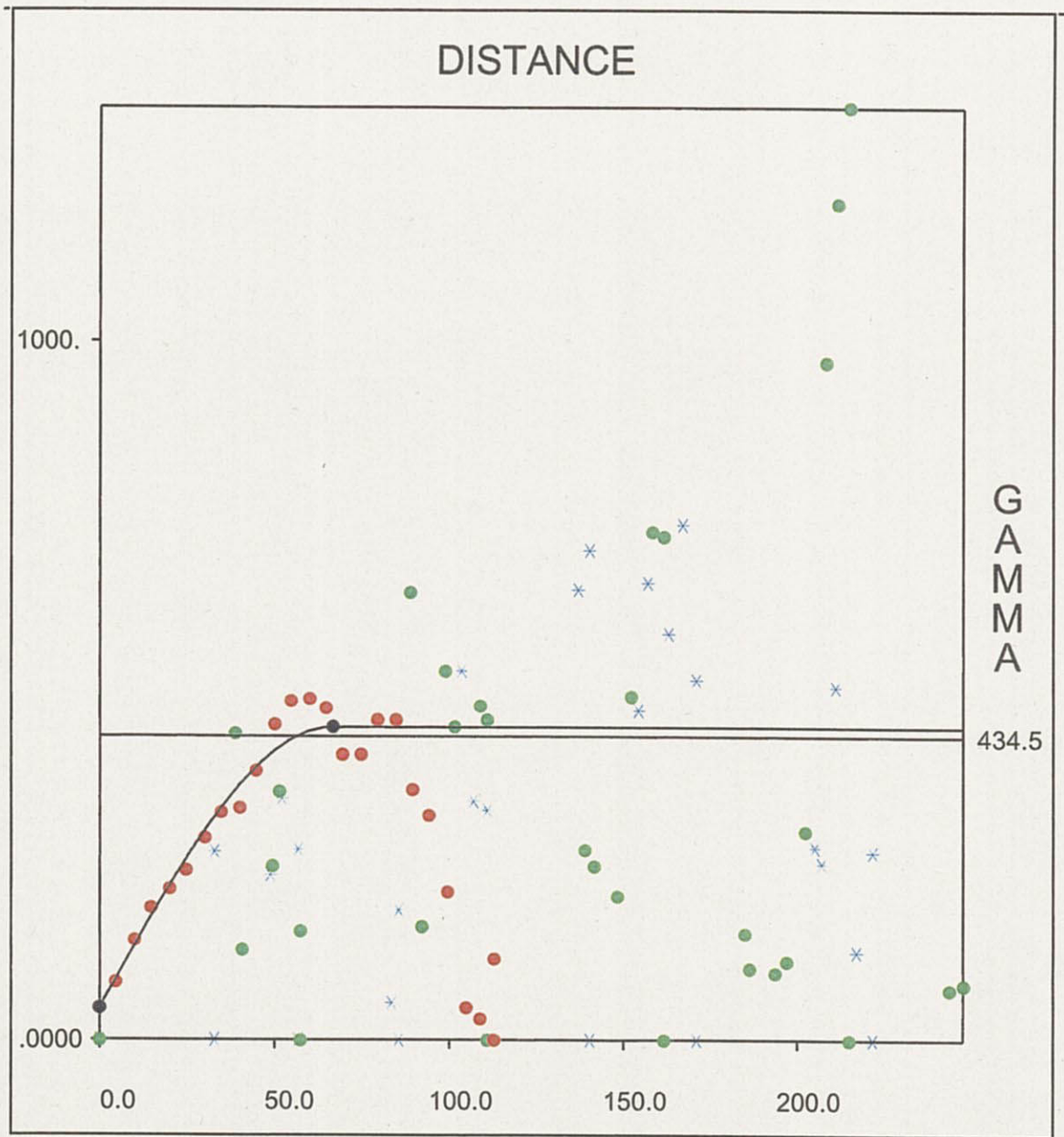
採鉱実収率を 100%, ずり混入を 0%とした地質学的鉱量 (埋蔵鉱量) は、RE₂O₃のカットオフを 0%から 15%まで変化させてそれぞれ集計した。集計結果は表Ⅲ-5-4 に、鉱量と品位の関係を示したグラフを図Ⅲ-5-8 は示した。



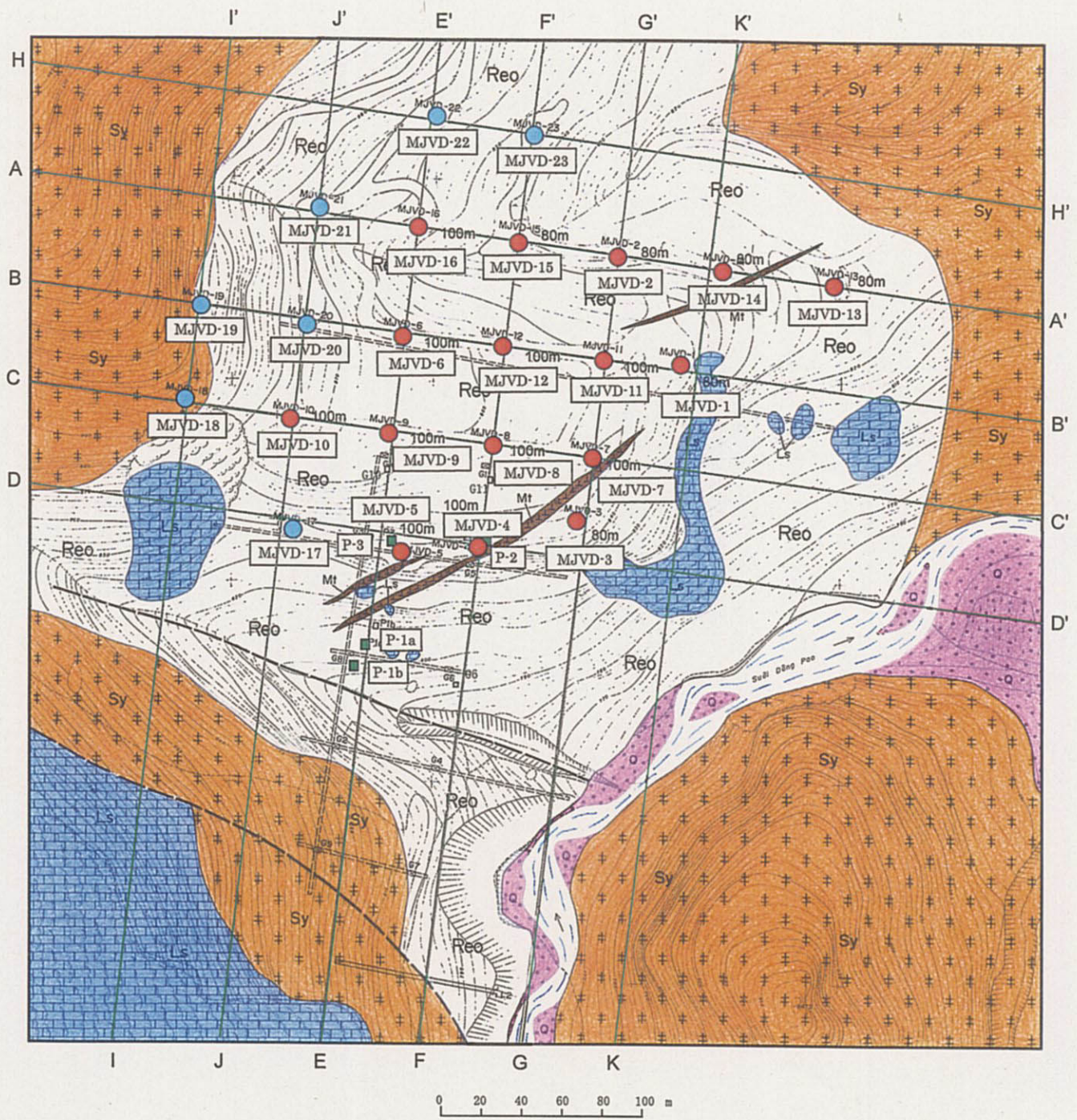
図Ⅲ-5-4 RE₂O₃ バリオグラム



図Ⅲ-5-5 CaF₂ バリオグラム



図Ⅲ-5-6 BaSO₄ バリオグラム



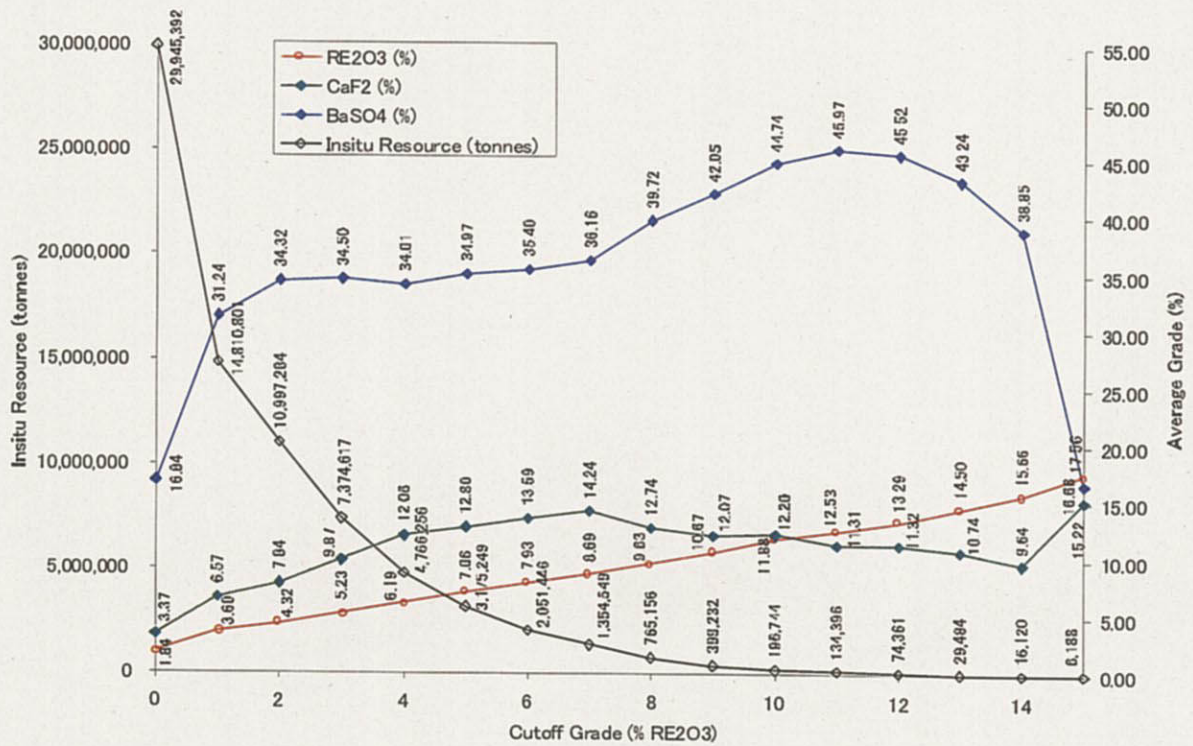
Legend

- | | | | | |
|-------|------------|-----------------------|-------|--|
| ● | MJVD-1~16 | Drill hole of Phase 1 | ○ | Gravel and sand (quaternary) |
| ● | MJVD-17~23 | Drill hole of Phase 2 | + | Syenite, Quartz syenite (paleogene?) |
| ■ | P-1 | Pit | ■ | Limestone (triassic) |
| □ | G2 | Old Pit | ▨ | Minette (Dike) |
| — | H2 | Old Trench | Reo | Rare earth-barite-fluorite mineralization zone |
| - - - | L2 | Old Tunnel | - - - | Fault |

图Ⅲ-5-7 鉍量計算解析断面線位置图

表Ⅲ-5-4 埋蔵鉱量集計表

CUTOFF=	INSITU ORE (BCMS)	INSITU ORE (TONNES)	Average Grade		
			RE2O3 (%)	CaF2 (%)	BaSO4 (%)
0	11,517,458	29,945,392	1.84	3.37	16.84
1	5,696,462	14,810,801	3.60	6.57	31.24
2	4,229,725	10,997,284	4.32	7.84	34.32
3	2,836,391	7,374,617	5.23	9.87	34.50
4	1,833,175	4,766,256	6.19	12.06	34.01
5	1,221,250	3,175,249	7.06	12.80	34.97
6	789,018	2,051,446	7.93	13.59	35.40
7	520,980	1,354,549	8.69	14.24	36.16
8	294,291	765,156	9.63	12.74	39.72
9	153,551	399,232	10.67	12.07	42.05
10	75,671	196,744	11.88	12.20	44.74
11	51,691	134,396	12.53	11.31	45.97
12	28,600	74,361	13.29	11.32	45.52
13	11,340	29,484	14.50	10.74	43.24
14	6,200	16,120	15.66	9.64	38.85
15	2,380	6,188	17.56	15.22	16.66



図Ⅲ-5-8 鉱量-品位変化グラフ

(ア) レベルごとの集計表

ベンチレベルごとの集計表を Apx.15 に示す。

(イ) 鉱種ごとの集計表

各年度の選鉱実収率の推定に寄与するため、4つの鉱種(黒色鉱石、混合鉱石、低品位混合鉱石、黄色鉱石)ごとに集計も行った。4鉱種の断面図をApx. 14, その集計を表II-5-2に示す。

5-4 F3 鉱体の鉱量

本調査で実施した鉱量計算は本プロジェクトで実施したボーリング調査範囲についてのみ鉱量計算を実施した。F3 鉱体の南側(ボーリング調査実施範囲より南)に知られている鉱化帯のデータはボーリングのデータに比べて、ピットの位置や標高、岩質などのデータが明瞭でないため、今回の埋蔵鉱量計算からは除外した。

しかし、第1年次に1986年の既存資料による鉱床平・断面図に基づき、F3 鉱体の南部について新たに18鉱画を設定して鉱量の再計算を行った。その時の鉱画図を図III-5-9, 鉱量計算結果を表III-5-5に示す。

この表の内、CI-13からCI-18の6鉱画はMJVD-3, 4, 5, 17ボーリング付近と重複しているため、表III-5-5の鉱画の内、CI-13からCI-18の鉱量を削除した鉱量を求めて表III-5-6に示した。

表III-5-5 F3 鉱体のクラス I カテゴリーC1+C2の鉱量計算結果表

	Volume (m ³)	Gravity	Reserve (t)	TRE ₂ O ₃ (%)	TRE ₂ O ₃ (t)	Pit,Tunnel
CI-1	6,305	1.93	12,169	14.80	1,801	L2
CI-2	54,800	1.93	105,764	12.90	13,646	L2, G7
CI-3	19,850	1.93	38,311	12.73	4,876	G2,G4,G7
CI-4	21,735	1.93	41,949	12.73	5,340	G7
CI-5	2,770	1.93	5,346	12.73	681	G7
CI-6	504	1.93	973	12.70	124	G2
CI-7	2,585	1.93	4,989	15.20	758	G2,G8
CI-8	13,360	1.93	25,784	12.29	3,168	G2,G6,G8
CI-9	802	1.93	1,547	9.90	153	G6
CI-10	22,008	1.93	42,476	15.68	6,661	G3,G8
CI-11	35,656	1.93	68,816	14.29	9,832	G3,G5,G6,G8
CI-12	23,419	1.93	45,199	12.87	5,816	G5,G6
CI-13	19,013	1.93	36,694	15.71	5,765	G3,G10
CI-14	23,153	1.93	44,684	15.09	6,744	G3,G5,G10,G11
CI-15	17,533	1.93	33,839	14.26	4,825	G5,G11
CI-16	203	1.93	391	17.77	69	G10
CI-17	625	1.93	1,206	15.46	187	G10,G11
CI-18	50	1.93	97	12.00	12	G11
		Ore reserve	510,233	Total	70,458	
				Ore grade	13.81	
Case of safety factor 10%		Ore reserve	459,209	TRE ₂ O ₃ (t)	63,412	
Case of safety factor 20%		Ore reserve	408,186	TRE ₂ O ₃ (t)	56,366	
				Ore grade	13.81	

表Ⅲ-5-6 F3 鉍体ボーリング実施範囲以南の鉍量

安全率	Ore class I (C1+C2) の鉍量	T-RE ₂ O ₃ の品位	T-RE ₂ O ₃ の含有量	備考
0%	393,322 t	13.44%	52,856 t	
10%	353,990 t	13.44%	47,570 t	
20%	314,657 t	13.44%	42,285 t	

計算結果では鉍量約 39 万トンであるが、F3 鉍体が不規則レンズ状の鉍体であることから、安全率 10%、および 20% を考慮した概略鉍量を考えれば、鉍量は 31~35 万トンになる。これらが鉍量は今回計算した埋蔵鉍量には含まれていない。

第6章 選鉱処理

6-1 選鉱試験経緯および目的

2001年度試験において、選鉱試験を豪州パースにある Lakefield Oretest 社に依頼し、レアアース成分の分離濃縮の可能性を検討し、複数の浮選試験を実施していたが、主な脈石成分である螢石や重晶石と REO との分離は非常に困難であり、これまでに REO 分離濃縮の有効な条件が見出せなかった。

そこで、2002年度は Lakefield Oretest 社にて REO と他の脈石鉱物の粉碎抵抗差を利用した分離法を検討し、ステージ粉碎を実施後、2mm 以下 500 ミクロン以上の産物を回収することにより T-RE₂O₃ 品位 31.4% の精鉱を実収率 32.5% で回収することが出来た。

また、本鉱石と同様のバストネサイトを対象とする米国 Mountain Pass 鉱山の浮選法を開発するのに深い経験を持つカナダ Lakefield Research 社に依頼し、2001年に使用した試験試料を送付し、改めて浮選試験を実施した。その結果、Mountain Pass の方法では本鉱石の風化変質状態が強い為、分離は出来なかったが、新たにフローシートおよびそれに伴う試薬条件を開発することにより、T-RE₂O₃ 品位 50% の精鉱を実収率 50% で得ることが出来ている (T-RE₂O₃ 品位 40% では実収率 70%)。現在、(平成 14 年 3 月) も試験を継続しており、更なる成績向上を図っている。

また、本鉱床に於いて鉱石性状の差を検討する目的で、黄色い色をした鉱石、黒い色をした鉱石、灰色をした鉱石の比較的上層部分と下層部分の 4 種類の試験試料を新たに採取し、新たに開発された浮選フローシートおよび試薬条件を使用し、鉱石による差を求めた。

本方法は、これまで困難とされてきた風化変質希土類鉱石の選鉱に対し非常に有望である。

6-1-1 Lakefield Oretest における追加試験

- ・ 選鉱設備設計の為の基本データ (Work Index, 真比重)
- ・ 粉碎分級による希土類濃縮

6-1-2 Lakefield Research における浮選試験

- ・ Mountain Pass 法による浮選試験
- ・ 逆浮選法による希土類濃縮条件開発
- ・ 鉱種別浮選成績開発

6-2 選鉱試験成績

6-2-1 Work Index

Work Index: 6.6 kWh/t

Bond 標準試験法による

$$(Wi)_B = 44.5 / ((Pi)^{0.23} * (Gpb)^{0.82} * (10 / (P_{80})^{0.5} - 10 / (F_{80})^{0.5})) * 1.102$$

6-2-2 真比重

真比重： 3.89

6-2-3 粉碎-分級による濃縮

表Ⅲ-6-1 粉碎-分級による濃縮

	Mass	Assay			Distributions		
		REO	BaSO4	Ca2F	REO	BaSO4	Ca2F
Fine 1 (-2mm)	5.5	33.5	12.0	5.2	19.9	1.1	6.0
Fine 2 (-500um)	4.9	29.0	33.8	4.9	15.3	2.7	5.0
Fine 3 (-150um)	3.4	23.6	41.7	4.8	8.7	2.3	3.4
Fine 4 (-75um)	5.3	14.3	56.2	4.3	8.2	4.8	4.7
Coarse	80.9	5.5	68.2	4.8	48.0	89.2	80.9
Head	100.0	9.3	61.9	4.8	100.0	100.0	100.0
-2mm - +150um	10.4	31.4	22.3	5.1	35.2	3.7	11.0

表Ⅲ-6-2 各産物レアアース品位および放射性元素品位

		Product					Head	-2mm - +150um
		Fine 1 (-2mm)	Fine 2 (-500um)	Fine 3 (-150um)	Fine 4 (-75um)	Coarse		
Wt	%	5.5	4.9	3.4	5.3	80.9	100.0	10.4
REO	%	33.5	29.0	23.6	14.3	5.5	9.3	31.4
CeO2	%	14.80	12.70	10.50	6.49	2.65	4.28	13.81
Dy2O3	%	0.016	0.013	0.010	0.006	0.001	0.003	0.015
Er2O3	%	0.010	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.011
Eu2O3	%	0.100	0.080	0.060	0.030	0.000	0.013	0.091
Gd2O3	%	0.190	0.150	0.120	0.080	0.030	0.050	0.171
Ho2O3	%	0.016	0.013	0.011	0.001	0.003	0.004	0.015
La2O3	%	12.30	10.90	8.77	5.21	1.93	3.35	11.64
Lu2O3	%	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Nd2O3	%	3.88	3.27	2.60	1.50	0.54	0.98	3.59
Pr6O11	%	1.39	1.19	0.99	0.58	0.21	0.37	1.30
Sm2O3	%	0.430	0.350	0.280	0.170	0.050	0.100	0.392
Tb4O7	%	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
Tm2O3	%	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Y2O3	%	0.381	0.308	0.252	0.158	0.073	0.112	0.347
Yb2O3	%	0.012	0.010	0.012	0.016	0.020	0.019	0.011
BaSO4	%	12.0	33.8	41.7	56.2	68.2	61.9	22.3
CaF2	%	5.2	4.9	4.8	4.3	4.8	4.8	5.1
Fe2O3	%	5.0	3.4	3.2	3.1	2.4	2.7	4.2
MgO	%	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.3
MnO	%	6.3	3.9	3.1	1.5	0.5	1.1	5.2
ThO2	ppm	1,300	1,140	1,060	880	740	809	1,225
U3O8	ppm	400	700	800	960	1,020	960	541
SiO2	%	9.6	6.4	6.7	7.9	10.3	9.8	8.1
Total		71.93	81.60	83.22	87.35	91.72	89.61	76.48

- T-RE₂O₃の成分としてはCeO₂ (46.1%), La₂O₃ (36.0%), Nd₂O₃ (10.5%) が中心であり, その他にPr₆O₁₁ (4%), Y₂O₃ (1.2%), Sm₂O₃ (1.1%) 等で構成される。
- 放射性元素としてはThO₂とU₃O₈が特定でき, 各々809ppm, 960ppm原鉱中に含有される。分級処理を行った場合, U₃O₈は取り除かれやすいがThO₂は精鉱中に濃縮する。

6-2-4 浮選

6-2-4-1 Mountain Pass 浮選

供試試料を150メッシュに粉碎し, パルプ濃度45%に調節する。スラリーは以下の試薬を用いて, 熱したまま段階的条件付与を行う。

Na ₂ CO ₃	4000 g/t	
Lignin Sulphonate		4000 g/t
Na ₂ SiF ₆	1000 g/t	
Collector MRK		200 g/t

条件付与を行う温度は80℃とし, 条件付与時間は20分とする。ここで示す補収剤MRKは脂肪酸系補収剤である。条件付けされたパルプは8分間のバストネサイト浮選を行い, 3段の精選を行う。試験結果を以下に示す。表に示す通り, 重晶石, 蛍石およびバストネサイトはほとんど分離しておらずバルク精鉱として回収される。

表III-6-3 従来法浮選結果

Product	Weight %	Assays %			% Distribution		
		BaSO ₄	CaF ₂	REO	BaSO ₄	CaF ₂	REO
REO 3 rd Cleaner Conc	33.63	38.6	6.5	6.76	21.2	49.1	45.4
REO 1 st Cleaner Conc	62.06	54.2	5.82	5.96	54.9	81.1	73.9
REO Rougher Conc	87.8	58.6	5.03	5.58	84.2	99.4	98
REO Rougher Tail	12.11	80	0.21	0.81	15.8	0.6	2
Head (Calculated)	100	58.9	5.03	5	100	100	100

重晶石55.9%, 蛍石2.06%, T-RE20312.8%含有するバストネサイト鉱に対し, 上記試験と同様の試薬で抑制剤として使用するNa₂SiF₆とリグニンスルホン酸の添加量を増加させた場合の結果を示す。試薬添加量は以下の通り。

Na ₂ CO ₃	4000 g/t
Lignin Sulphonate	5000 g/t
Na ₂ SiF ₆	1500 g/t
Collector MRK	200 g/t

結果を以下に示す。バストネサイト精鉱品位は上昇したが, 成績としては非常に悪いものである。

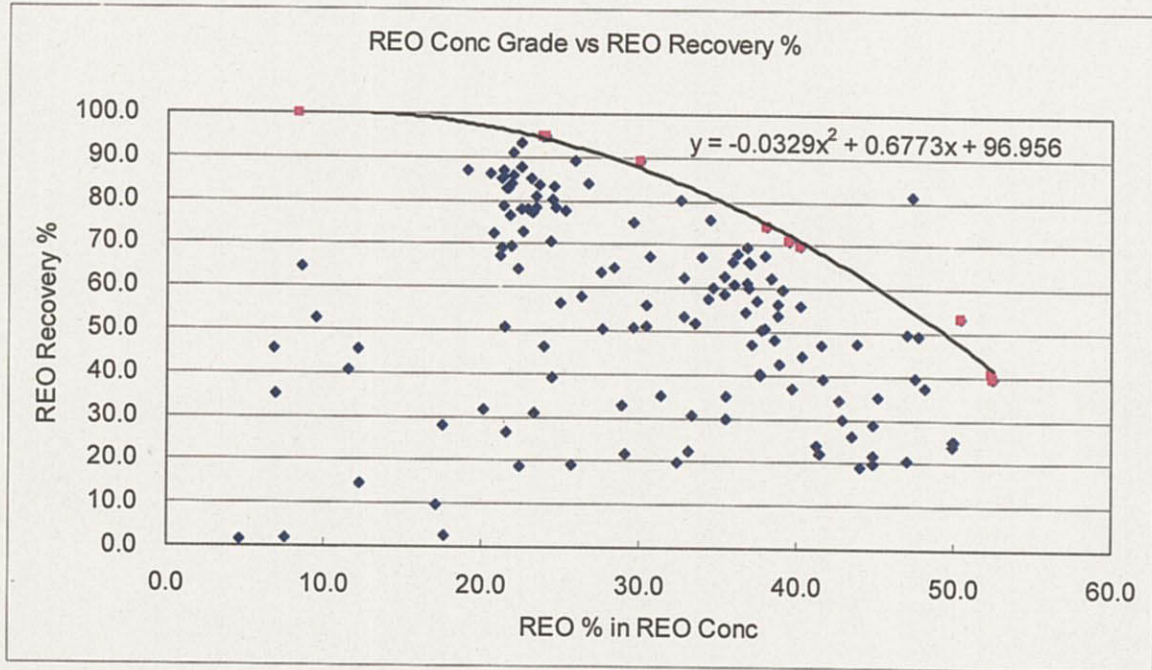
表Ⅲ-6-4 従来法に抑制剤添加量増加による試験結果

Product	Weight %	Assays %			% Distribution		
		BaSO ₄	CaF ₂	REO	BaSO ₄	CaF ₂	REO
REO 3 rd Cleaner Conc	14.65	34.2	5.16	28.9	9	36.7	32.9
REO 1 st Cleaner Conc	54.32	60.2	3.12	14.7	58.5	82.4	62.1
REO Rougher Conc	81.54	58.1	2.43	13.8	84.7	96.2	87.5
REO Rougher Tail	18.46	46.3	0.42	8.73	15.3	3.8	12.5
Head (Calculated)	100	55.9	2.96	12.9	100	100	100

上記試験では通常同様の鉱石に適用される処理方法を用いた。これにより従来法ではこのタイプの風化変質鉱体の処理は出来ないことが判明した。

6-2-4-2 総合浮選成績

Lakefield Research で現在も試験継続中であるが、以下にこれまでの試験結果をグラフに示す。



図Ⅲ-6-1 精鉱中のREO品位と実収率の関係

表III-6-5 BaSO₄, CaF₂およびRE₂O₃の選鉱試験結果

Test No.	REO Concentrate									
	Product	Wt %	Assays %				% Distribution			
			BaSO ₄	CaF ₂	REO(total)	Others	BaSO ₄	CaF ₂	REO(total)	Others
	Head	100.00	63.3	5.1	8.4	24.7	100.0	100.0	100.0	100.0
Test 14	CaF ₂ Ro+1st&2nd Cl Tails	36.31	7.2	13.2	24	55.6	4.1	87.9	94.6	91.9
Test 18	CaF ₂ Ro+1st&2nd Cl Tails	38.40	7.82	13.5	23.8	54.9	4.8	92.9	94.6	95.4
70	CaF ₂ Tails + Slimes	29.81	7.46	6.16	30	56.4	3.6	34.6	89.3	73.5
69O	REO 1st Cl Conc	16.63	8.77	9.8	38	43.4	2.3	31.1	74.1	30.4
69N	REO 1st Cl Conc	15.19	9.03	9.76	39.5	41.7	2.2	28.9	71.0	26.6
69M	REO 1st Cl Conc	14.60	8.64	9.76	40.2	41.4	2.0	28.1	69.7	25.2
69O	REO Cl Conc	9.01	3.99	15	50.4	30.6	0.6	25.8	53.2	11.6
69M	REO Cl Conc	6.56	3.92	14.2	52.4	29.5	0.4	18.4	40.6	8.1
69N	REO Cl Conc	6.36	2.92	15.2	52.5	29.4	0.3	18.9	39.5	7.8

Test No.	BaSO ₄ Concentrate									
	Product	Wt %	Assays %				% Distribution			
			BaSO ₄	CaF ₂	REO(total)	Others	BaSO ₄	CaF ₂	REO(total)	Others
	Head	100.00	63.3	5.1	8.4	24.7	100.0	100.0	100.0	100.0
Test 14	BaSO ₄ 3rd Cl Conc	50.9	98.5	<0.5	0.6	0.9	79.0	4.7	3.3	2.1
Test 18	BaSO ₄ 3rd Cl Conc	50.2	98.7	<0.5	0.7	0.6	78.9	4.5	3.9	1.3
70	BaSO ₄ Cleaner Conc	62.8	95.8	0.7	0.6	2.9	96.1	7.5	4.4	8.0
69O	BaSO ₄ Cl Conc	63.2	94.6	0.7	0.6	4.1	95.7	8.6	4.5	10.9
69N	BaSO ₄ Cl Conc	63.2	94.6	0.7	0.6	4.1	95.5	8.8	4.6	10.8
69M	BaSO ₄ Cl Conc	63.2	94.6	0.7	0.6	4.1	95.7	8.9	4.6	10.7

これらの結果は主に BaSO₄ と CaF₂ を次のページに示すフローシートに基づき Locked Cycle Test を実施したことにより、T-RE₂O₃ 30%品位の精鉱ならば実収率約 90%、T-RE₂O₃ 40%品位精鉱で実収率約 70%、T-RE₂O₃ 50%品位の精鉱で実収率約 50%での回収が可能になっている。また、重晶石浮選でも高品位重晶石を高実収率で回収できており、副産物として鉱山経営に貢献できる。現在も試験は継続中であり、更なる成績向上が期待できる。

6-2-4-3 選鉍試験フローシート (Locked Cycle Test)

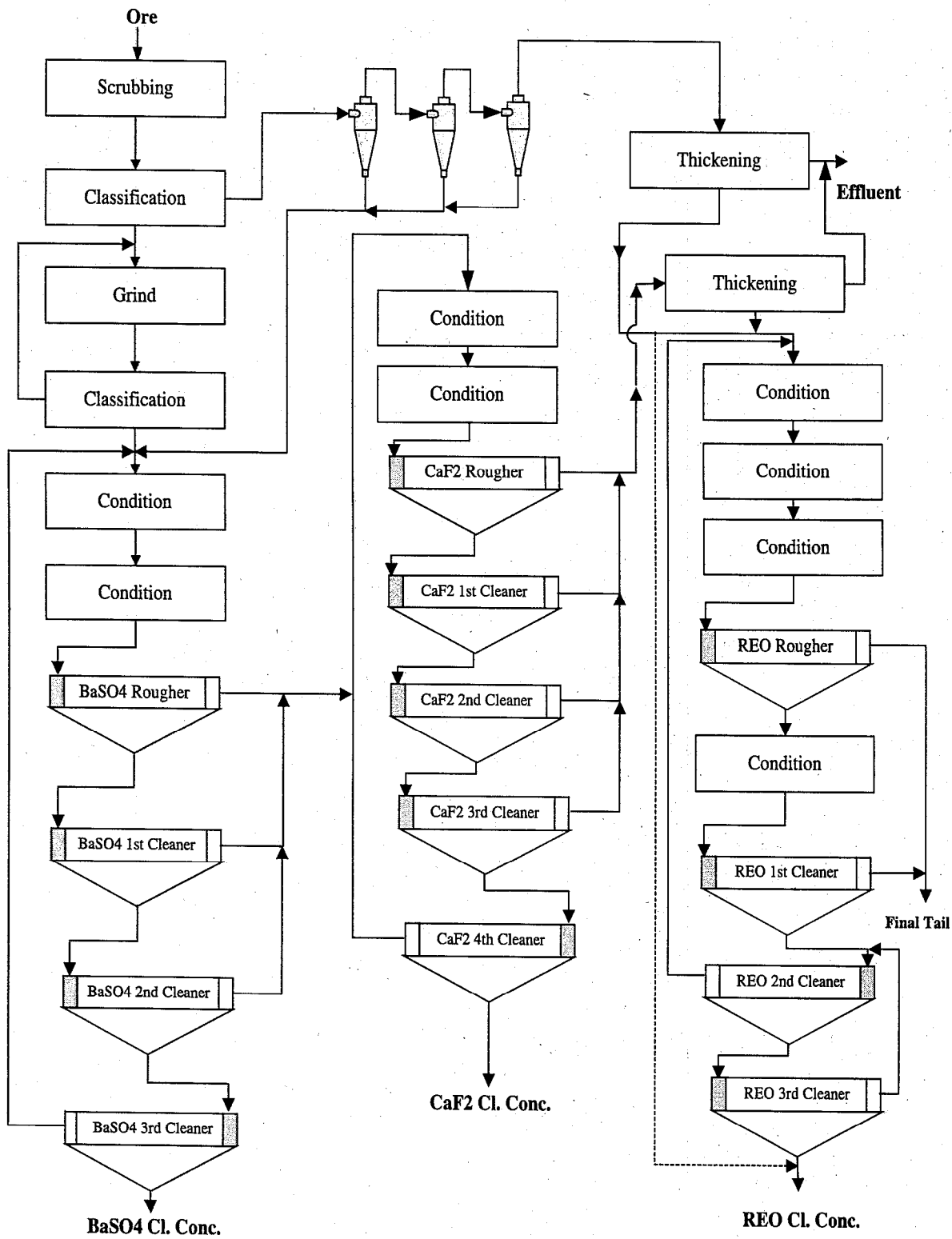


図 III-6-2 選鉍試験フローシート (Locke Cycle Test)

6-2-4-4 選鉱試薬条件

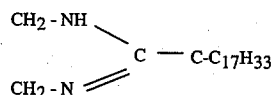
	BaSO ₄ Circuit	NaF ₂ Circuit	REO Circuit
Na ₂ SiO ₃	2500 g/t	2000 g/t	-
BaCl ₂	500 g/t	-	-
SR82 (collector)	600 g/t	-	-
Al ₂ (SO ₄) ₃	-	0 g/t	-
NaF	-	400 g/t	-
Na ₂ S ₂ O ₄	-	400 g/t	-
AKF2 (collector)	-	350 g/t	-
Na ₂ CO ₃	-	-	4000 g/t
Citric Acid	-	-	1000 g/t
Quebracho/Lignin Sulphonate	-	-	1000 g/t
Fuel Oil	-	-	200 g/t
MM6 (BaSO ₄ Depressant)	-	-	1900 g/t
AGW (collector)	-	-	700 g/t

SR82: SR82 に関しては以下の組成の試薬を混合することにより構成される。これらの構成試薬は浮選試薬として購入は可能であるが、各々単独では重晶石浮鉱中にバストネサイトの混入が見られたり、逆に重晶石の浮遊率が低くなったりする。しかし、下記試薬の組み合わせによって初めて混入物の少ない重晶石を高実収率で浮遊せしめることが出来る。

<i>Petroleum sulphonate</i>	<i>30-40% by weight</i>
<i>Sulphosuccinate</i>	<i>30-40% by weight</i>
<i>Sulphosuccinamate</i>	<i>20-40% by weight</i>

実際の使用方法としては上記試薬を混合し、できれば室温以上で溶解させ 5-20%濃度とし、スラリーに添加する。

AKF2: 新しい蛍石補収剤, AVF2 はエチルテトラアミンと以下の化学式により示されるオレイン酸の反応により生成される。



この新しい化学合成物は更にアルキルエチルリン酸塩と反応させ、非常に有効な蛍石補収剤として使用できる。その合成割合はアミノオレイン酸が 70%, アルキルエチルリン酸塩が 30% で反応させる。この割合は使用する鉱石の種類や性状に合わせて変えることが出来る。この新しい試薬が従来の試薬と比較し有利な点はバストネサイトと蛍石の分離性が非常に向上することである。

AGW: この新しい補収剤はアミン化したトール油脂肪酸とサルコシン (CH₃NHCH₂COOH)の混合物でアミン系補収剤とともに用いられる。この補収剤である AGW は以下の組成を持つ。

- | | |
|-----------------------------------|------------------|
| a) tall oil fatty acid (aminated) | 60-70% by weight |
| b) sarcosine-type of collector | 20-30% by weight |
| c) secondary amine | 10% by weight |

このトール油脂肪酸のアミン化は通常一次アミンが用いられる。

6-2-5 品位—実収率 経済評価

選鉱成績は実収率-精鉱品位の関係として考えられるが、実際にその評価を行う場合は、精鉱中に含有されるメタルの価値と、精鉱品位が精鉱売値にどの程度影響するかのバランスでそのターゲットが選定される。一般的には以下の法則が成り立つ。

- 実収率優先の場合
メタル価格が高い場合、採鉱、選鉱コストが高い場合
- 精鉱品位優先の場合
Freight, 製錬費 (TC/RC の内 TC) が高い場合

バストネサイト精鉱の場合、以下の表に示すように精鉱中メタル価格は一定として取り扱われており、計算上実収率優先となるが、これは極論すれば選鉱を実施せず実収率 100% で出せば最大メリットが得られる計算となり、精鉱品位と製錬費の関係が重要と認識される。

表Ⅲ-6-6 製品価格表 (USGS Commodity Summary, 2001)

	2000	1999	1998	1997	1996
Bastnaesite (US\$/REO kg)	2.87	2.87	2.87	2.87	2.87
Monazite (US\$/tonne)	730	730	730	730	480
Mischmetal (US\$/kg)	5-7	5-7	6-8	8-12	7-11

モナザイト鉱では原鉱品位 30%で直接製錬しており、製錬としては 30%精鉱品位を下限として設定されるが、そのまま T-RE₂O₃ 品位 30%精鉱を 2.87 \$/kg-REO で購入し、製品 (Misch Metal) を市場価格で販売すると、製錬側で大きな赤字となる可能性がある。

そこで、銅精鉱販売で通常用いられる TC/RC の考え方を基に、精鉱品位の価値を試算することにした。すなわち、精鉱品位 50%のバストネサイト精鉱を購入し、ミッシュメタルとして \$5/kg で販売すれば製錬側で一応メリットがでると想定し、その差を Combined RC/kg-RE として計算し、その Combined RC を全て TC 換算とし、その TC から各精鉱品位に対する Combined RC を逆算することで、精鉱中へのメタル価格に反映される形とした。

表Ⅲ-6-7 精鉱中の REO 品位とその Ore Value の検討表

REO Conc %	REO \$/kg		RE \$/RE-kg	Comb RC \$/RE-kg	Conc Ton t/RE-kg	Cov to TC \$/t
	\$/REO-kg	\$/RE-kg				
50	2.87	3.198	5	1.802	2.23	808.59
45	2.69	2.998	5	2.002	2.48	808.59
40	2.47	2.748	5	2.253	2.79	808.59
35	2.18	2.426	5	2.574	3.18	808.59
30	1.79	1.997	5	3.003	3.71	808.59
25	1.25	1.396	5	3.604	4.46	808.59

本概念を用いて、先に示した品位実収率曲線で求めた各品位で最適と示される試験の結果を比較したものを以下に示す。

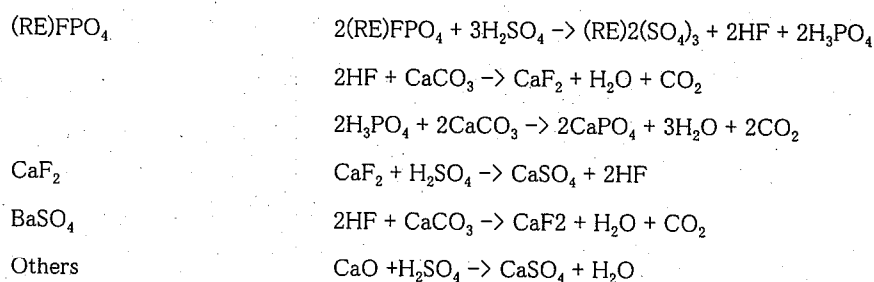
表Ⅲ-6-8 REO 品位 - 選鉱実収率曲線から求めた REO Value の比較

Product		Assay REO (%)	Distribution REO (%)	Metal \$/REO-kg	REO Value \$/t-Ore
Head		8.4	100.0	(5.19)	(433.8)
Test 14	CaF2 Ro+1st&2nd CI Tails	24.0	94.6	1.12	88.4
Test 18	CaF2 Ro+1st&2nd CI Tails	23.8	94.6	1.09	86.1
70	CaF2 Tails + Slimes	30.0	89.3	1.79	133.7
69O	REO 1st CI Conc	38.0	74.1	2.36	146.0
69N	REO 1st CI Conc	39.5	71.0	2.44	144.7
69M	REO 1st CI Conc	40.2	69.7	2.48	144.1
69O	REO CI Conc	50.4	53.2	2.88	128.1
69M	REO CI Conc	52.4	40.6	2.94	99.8
69N	REO CI Conc	52.5	39.5	2.95	97.2

上記観点から計算すると、操業外利益は T-RE₂O₃ 品位 40%、T-RE₂O₃ 実収率 70% の時の成績が最も高く計算される。ただし、現状では REO 浮選条件の試験継続中であり、今後、高品位域での実収率が向上できれば、本試算結果は変更される可能性が高い。

一方、ここで想定した TC/RC 概念の妥当性を検討するために、製錬で使用されると想定される試薬費の試算を実施した。試算与件は以下の通り。

Main minerals in the bastnaesite concentrate and reactions in the hydrometallurgical process



Required Reagent amount (tons) for individual mineral (ton)

	H ₂ SO ₄	CaCO ₃
T-RE ₂ O ₃	0.942	0.962
CaF ₂	1.256	1.282
BaSO ₄	0.000	0.000
Others	1.750	0.000

Price of REO and Reagent / ton

H ₂ SO ₄	100
CaCO ₃	13

Reagent Cost for Each Mineral (20% over for equivalent)

	\$/t
T-RE ₂ O ₃	128.1
CaF ₂	170.8
BaSO ₄	0.0
Others	210.0

表Ⅲ-6-9 TC / RC 概略計算結果

Test No.	Product	Assays %				Reagent \$/Conc-t	Cov to TC \$/Conc-t	Ratio of Reagent C
		BaSO ₄	CaF ₂	REO(total)	Others			
	Head	63.3	5.1	8.4	24.7	71.34	808.59	8.8%
Test 14	CaF ₂ Ro+1st&2nd Cl Tails	7.2	13.2	24	55.6	170.04	808.59	21.0%
Test 18	CaF ₂ Ro+1st&2nd Cl Tails	7.82	13.5	23.8	54.9	168.78	808.59	20.9%
70	CaF ₂ Tails + Slimes	7.46	6.16	30	56.4	167.34	808.59	20.7%
69O	REO 1st Cl Conc	8.77	9.8	38	43.4	156.61	808.59	19.4%
69N	REO 1st Cl Conc	9.03	9.76	39.5	41.7	154.85	808.59	19.2%
69M	REO 1st Cl Conc	8.64	9.76	40.2	41.4	155.09	808.59	19.2%
69O	REO Cl Conc	3.99	15	50.4	30.6	154.45	808.59	19.1%
69M	REO Cl Conc	3.92	14.2	52.4	29.5	153.27	808.59	19.0%
69N	REO Cl Conc	2.92	15.2	52.5	29.4	154.90	808.59	19.2%

試薬費が精鉱品位に変わらず精鉱TCの約20%と一定であることからTCの考え方は正しいと思われる。

6-2-6 鉍石別浮選成績

6-2-6-1 試験サンプル

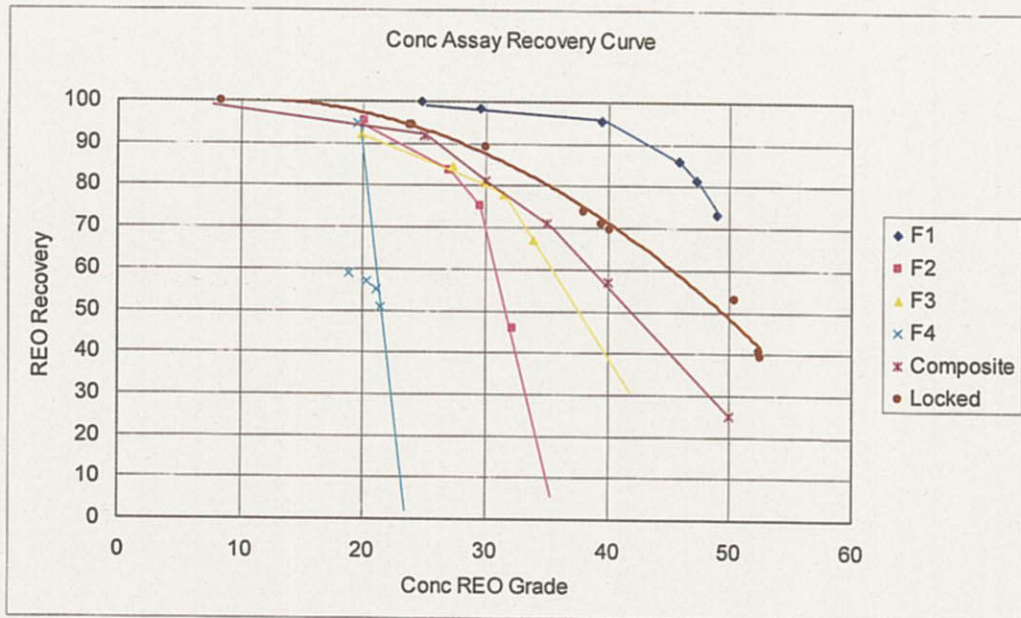
表Ⅲ-6-10 4種類の鉍石試料とその分析結果表

Element			Assays				Test Composite
			Sample F1 (Yellow)	Sample F2 (Black)	Sample F3 (Mixed)	Sample F4 (Mixed)	
Cerium	Ce ₂ O ₃	%	12.7	3.88	8.57	8	3.46
Lanthanum	La ₂ O ₃	%	9.7	3.12	6.53	6.1	2.8
Total REO	REO	%	26.2	8.34	17.8	16.6	7.66
Barium	BaSO ₄	%	36.7	67.9	24.3	20.7	65.3
Fluorspar	CaF ₂	%	18.1	0.97	24.5	18.6	5.27
Silica	SiO ₂	%	10.6	9.58	9.31	5.77	9.43
Alumina	Al ₂ O ₃	%	0.52	1.77	1.12	0.97	1.17
Iron	Fe ₂ O ₃	%	1.72	3.6	1.04	0.95	2.77
Magnesia	MgO	%	<0.05	0.25	0.05	0.06	0.08
Calcium	CaO	%	10.4	0.57	25.3	28.3	6.02
Cal Ca	CaO	%	0	0	7.7	14.9	2.2
Sodium	Na ₂ O	%	0.07	0.07	0.07	<0.05	<0.05
Potassium	K ₂ O	%	0.07	0.23	0.18	0.14	0.06
Titanium	TiO ₂	%	0.06	0.18	0.09	0.1	0.10
Phosphorus	P ₂ O ₅	%	0.19	0.63	0.06	0.13	0.48
Manganese	MnO	%	0.38	2.03	0.23	0.46	-
Chromium	Cr ₂ O ₃	%	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Vanadium	V ₂ O ₅	%	<0.01	0.01	0.01	<0.01	0.02
LOI		%	9.64	5.03	11.9	18.8	-
Total		%	104.3	100.6	98.4	98.2	94.6
(Back Calculation)							
REO			24.8	8.46	16.9	15.9	7.66
BaSO ₄			36.5	69.2	25.8	22.7	65.3
CaF ₂			19.2	2.27	27.6	18.8	5.27
Others			19.5	20.07	29.7	42.6	21.77

Sample No.	Weight(kg)	Type of ore	Boring No.	From	To	Note
F1	20	Yellow ore	MJVD-6	69.00 70.00 74.00 76.40	69.40 71.55 74.90 78.00	Mainly yellow color bastnaesite rich ore
F2	20	Black ore	MJVD-12	70.00 82.00	71.00 84.60	Mainly black color ore with a little bit light yellow color ore
F3	20	Mixed ore	MJVD-10	50.00	57.00	Grey, purple, white, dark brown, light brown, brown mixed ore
F4	20	Mixed ore	MJVD-9	75.00 79.00	76.00 83.00	Grey, dark grey, dark brown, light brown mixed ore

- ・ 鉍種別の成績の差を判定する為に上記サンプルを採取し夫々に対しバッチ試験を実施した。
- ・ 鉍物的に現地で差を確認することが難しく、基本的に見た目の黄色、黒、灰色で区別を行い、灰色については上部と下部のレベルで更に区別を行った。
- ・ 2001年試験試料は分析品位から比較的黒色サンプル(F2)に組成が近い。

6-2-6-2 鉍種別 REO 品位-実収率曲線



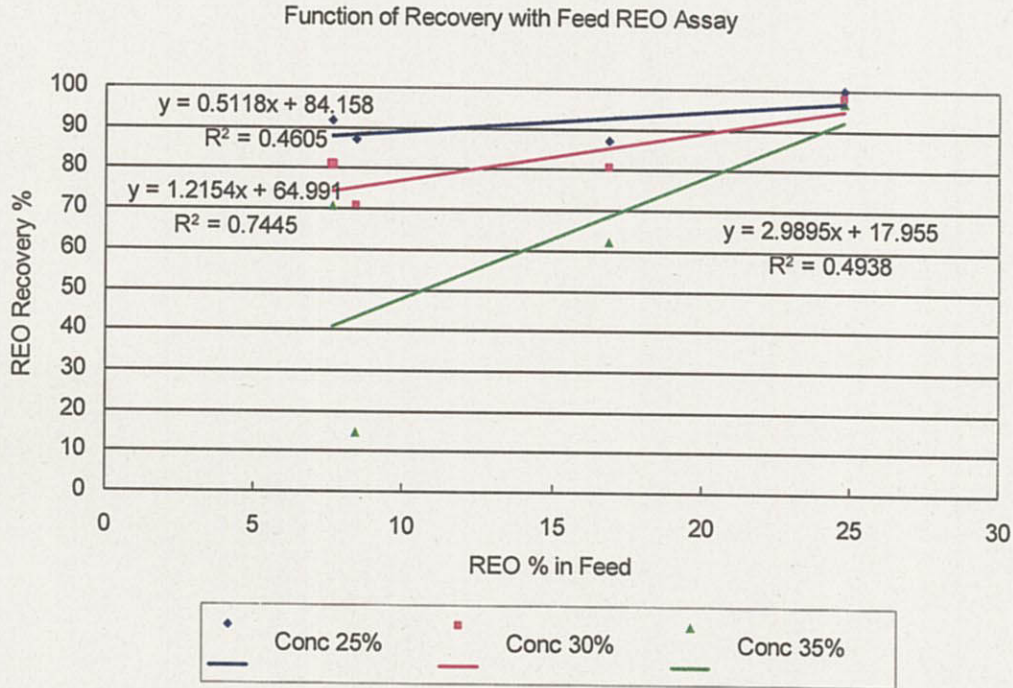
図Ⅲ-6-3 鉍種別 REO 品位-実収率曲線

- 成績は F1 - Composite - F3 - F2 - F4 の順に良い
- 現在まで得ている最良の成績である Locked と Batch 試験時に最良である Composite の間には T-RE₂O₃ 品位 30% で約 5-6%, T-RE₂O₃ 品位 40% で約 10-12%, T-RE₂O₃ 品位 50% で約 20-25% の差が認められる。
- F2 は今回の試験では CaF₂ 品位が低かった為に CaF₂ 浮選系を省略しており、その結果、T-RE₂O₃ 品位 30% 以上で非常に成績が悪化したものと考えられる。基本的に F2, F3 については現状の Composite 試料とほぼ同等の成績が期待できると判断される。
- F1 は原鉍品位が T-RE₂O₃ 26.2% あり、非常に高品位の精鉍を高実収率で得ることは容易いと考えられるが、比較的深部に存在し、今回の Pit 設計上はほとんど得ることが出来ないと考えられる。
- 一方、F4 は今回の浮選条件では品位が非常に上がりやすく、現状の浮選条件での分離は難しいと考えられる。これは、F4 が他の鉍石よりも T-RE₂O₃, CaF₂, BaSO₄ の品位が低く、熱減量が高いことから考えて、粘土分が多く、品位の上昇を妨げていると考えられる。ただし、今回の F4 サンプルはボーリング MJVD-7 の 75m 以下のサンプル (標高に直すと 792.5m 以下) であり、ピットの底限が 780m であることから、その影響は小さいと推定できる。(下記表参照)

表Ⅲ-6-11 可採鉱石の鉱種別割合

F1	F2	F3	F4
0.2%	31.5%	66.7%	1.6%

6-2-6-3 原鉱 REO 品位と実収率の関係



図Ⅲ-6-4 原鉱 REO 品位と実収率の関係

- ・ 原鉱品位と実収率の関係を前記鉱種別 REO 品位-実収率曲線より各精鉱品位に対する実収率の関係で求めた。
- ・ 本関係は Pit Design で経済的に見合う可採鉱量を算定する為に用いられる。
- ・ 上記関係は Batch 試験結果によるものであり、Locked Cycle 試験を実施した場合、それぞれかなり上昇することが想定されるが、安全サイドに検討する意味で、Batch 試験の結果をそのまま用いた。
- ・ 先の経済性で精鉱品位 40%程度の時の成績が最も経済的に有利であることが判明している。そこで、Pit 設計ではバラツキは大きいですが、精鉱品位 35%の時の実収率関係式を用い、その中の REO 価格を 35%品位の精鉱に見合う 2.18\$/REO-kg で計算した。
- ・ 今回の関係式は 4 種類の鉱石 (F-4 は除外) で求めたにすぎず、実際に Mine Planning を実施する為には、各ボーリング・コアで代表的なコンポジットを作成し、試験を実施し、多変量相関で鉱石の実収率分布を測定する必要がある。
- ・ 上記条件を基に実施した可採鉱量を次ページに示す。

6-3 選鉱設備設計与件

(給鉱)

Total Ore throughout Mine Life (ton): 3M t

T-RE₂O₃ : 6%

CaF₂ : 8.7%

BaSO₄ : 39.0%

(総合成績)

T-RE₂O₃ : 精鉱品位 40%, 実収率 70%

CaF₂ : 精鉱品位 44%, 実収率 55% (現状では尾鉱として排出で計画)

BaSO₄ : 精鉱品位 95%, 実収率 90%

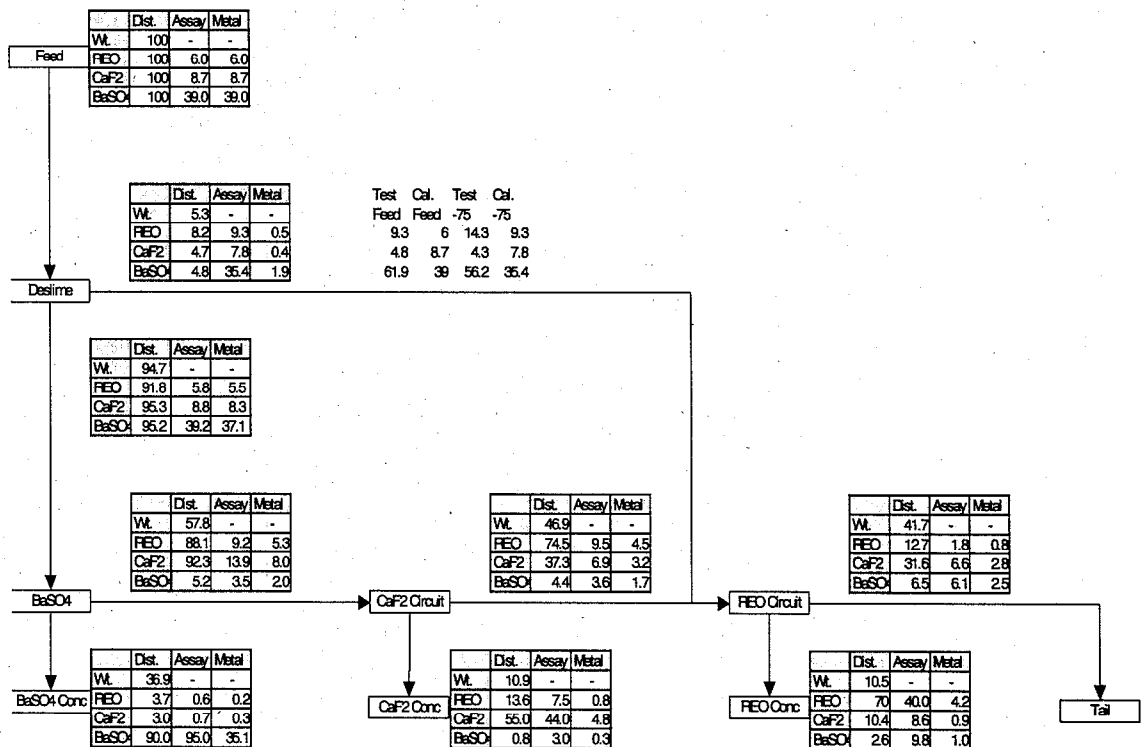
(粉碎粒度および分級 (デスライミング))

スライム粒度 : 200 メッシュ以下

粉碎粒度 : 150 メッシュ以下 (105 ミクロン)

Wi : 6.6 kWh/t

(物量バランス)



表Ⅲ-6-12 BaSO₄, CaF₂, REO の浮選工程の滞留時間

BaSO₄ Flotation Circuit

Stage	Time, minutes		
	Grind	Cond	Froth
Condition 1	-	5	-
Condition 2	-	5	-
Ba Rougher	-	-	3
Ba 1 st Cleaner	-	1	2
	-	1	1
Ba 2 nd Cleaner	-	1	1.5
	-	1	1
Ba 3 rd Cleaner	-	1	1.5
	-	1	1

CaF₂ Flotation Circuit

Stage	Time, minutes		
	Grind	Cond	Froth
Condition 1	-	5	-
Condition 2	-	5	-
Condition 3	-	5	-
CaF ₂ Ro 1	-	1	6
CaF ₂ Ro 2	-	2	3
CaF ₂ 1 st Cl	-	3	4
	-	3	2
CaF ₂ 2 nd Cl	-	3	4
CaF ₂ 3 rd Cl	-	3	3

REO Flotation Circuit

Stage	Time, minutes			Temp °C
	Grind	Cond	Froth	
Condition 1	-	20	-	80
Condition 2	-	20	-	90
REO Rougher	-	-	10	-
Reheat Ro Conc	-	10	-	90
REO 1 st Cleaner	-	-	5	-
REO 2 nd Cleaner	-	1	3	-
	-	1	-	-
REO 3 rd Cleaner	-	1	3	-

(その他注意項目)

- 試験フローシートとは異なるが、サイクロン・アンダーフローは粉碎に投入する必要がある。
- 精鉱の沈降性が非常に悪いので、シックナー径は十分に大きく取ること

第7章 F3 鉱体開発の経済的妥当性についての検討

7-1 目的

現在進行中の作業は、採鉱・選鉱工程に限定されている。しかし、選鉱工程の最終生産物であるバストネサイト精鉱を国際市場で販売することは現実的にはほとんど不可能であり、適正な経済評価を行うためには冶金工程を含め市場化できる製品の生産計画を立案する必要がある。

現在の作業を冶金工程の検討、製品市場の調査を含めたものに発展させることの妥当性を判定する目的で、採鉱・選鉱工程の経済性につき予察的検討を試みた。なお、選鉱工程では蛍石精鉱、バライト精鉱も回収されるが、この検討では、バストネサイト精鉱のみを評価の対象とし、蛍石精鉱、バライト精鉱を除外した。

7-2 前提条件

現段階では経済評価に採用できるような十分に吟味された与件は得られていない。また、この検討ではバストネサイト精鉱の価値を求めるために USGS Commodity Summary (2001) に引用されている精鉱中に含有される $T-RE_2O_3$ (総希元素酸化物) 量 kg 当たり US\$2.87 を用い精鉱の価値を計算した。また、ミッシュメタルを最終製品と想定し、ミッシュメタル kg 当たり US \$5 (USGS Commodity Summary では US \$5-7/kg とされている) を用いて冶金工程のコストを推定した。しかし、これらは US 国内の標準価格であり、世界市場での実勢価格ではない。希土類製品の市場は寡占的で、実際の製品価格はスポット・ベースで決められることが多く、長期間の流通価格を予測することは困難である。

以上のような製品市場の不透明性に加え、現在までに実施された試錐量も 23 孔と少なく、採掘対象鉱量の推定、採鉱・選鉱の生産計画の策定、経済与件の設定に必要なパラメータの不確定要素が多分に含まれている。したがって、この検討結果は Dong Pao F3 鉱体の経済性を的確に示す指標ではなく、経済的蓋然性の見通し (Order of Magnitude) と認識すべきものである。

7-3 経済性検討の与件

7-3-1 採掘対象鉱量

(1) 埋蔵鉱量

埋蔵鉱量計算結果は第5章、表III-5-4に示した通りで、Cut-off品位 6% RE_2O_3 とすれば、鉱量 2,051,446tons, 7.93% RE_2O_3 , 13.59% CaF_2 , 35.40% $BaSO_4$ となる。しかし、この Cut-off品位未満の鉱量が 27,893,946tons となり、露天掘り採掘を行った場合、廃石量比率(W/O, Waste-Ore Ratio)が高くなりそうである。この結果は、試錐探鉱を実施した範囲の大半が閃長岩で占められており、閃長岩が全体として、含有量に変動はあるが、バストネサイト(主要希土類鉱物)を含んでいることを示している。

(2) ピット・デザイン

露天掘り採掘を行うことを前提とし、埋蔵鉱量計算結果にもとづき、操業条件およびそれにもとない変化する経済与件を考慮し、Medsystem の Lerchs-Grossman 法をもちいてピット設計を行い、ピット内鉱量を算出した。

設計条件

Overall Pit Slope : 34 度

Bottom Level : 780m

Ramp Width : 15m

Ramp Grade : 10%

Berm Width : 2m

Bench Height : 5m

Slope Face Angle : 75 度

Unit Block Dimension : 10mx10mx5m

Mining Cost for Ore : 5 \$/t

For Waste : 5 \$/t

Processing Cost : 13 \$/t

Recovery : Calculation according to Feed Grade(RE_2O_3)

(3) ピット内鉱量

鉱石に含有される RE_2O_3 kg 当たりの価格を US\$ 1.00, US\$ 1.40, US\$ 1.80, US\$ 2.18 と変動させ、それぞれのピット内鉱量、廃石量を比較した (表Ⅲ-7-1)。 RE_2O_3 価格を高く設定するにしたがってピット・サイズが大きくなる。Cut-off を下げれば、当然、鉱量は増加するが平均品位は低下する。本調査で実施した選鉱試験結果から、実収率 60% で精鉱品位 40% RE_2O_3 の精鉱が得られることが期待できるが、試験サンプルの品位が 8% RE_2O_3 前後であったので、平均給鉱品位が 8% RE_2O_3 を大幅に下回った場合、実収率、精鉱品位の低下が懸念される。採掘対象鉱量、平均品位、W/O を勘案し、表Ⅲ-7-1 から P180 ピットを採用、Cut-off を 5% RE_2O_3 とし、以下のようにピット内鉱量を設定した。

- 鉱石量 $\geq 5\% RE_2O_3$: 983,796 tons,
6.96% RE_2O_3 , 10.00% CaF_2 , 39.27% $BaSO_4$
- 低品位鉱石量 $< 5\% RE_2O_3$: 2,237,476 tons,
2.12% RE_2O_3 , 1.76% CaF_2 , 33.61% $BaSO_4$
- 廃石量 : 256,194 tons
- Overall Waste to Ore Ratio : $(2,237,476 + 256,194) / 983,796 = 2.535$

表Ⅲ-7-1 ピット内の鉱石と捨石の比較表

Designed Pit	P100	P140	P180	P218
Price : US\$/kgRE ₂ O ₃	1.00	1.40	1.80	2.18
Bench : Top	1,015	1,015	1,020	1,075
Bottom	815	800	795	780
Ore(ton), Cut-off 0	446,732	2,443,820	3,221,272	12,762,034
Av.RE ₂ O ₃ (%)	6.12	3.92	3.60	2.04
1	426,144	2,045,060	2,595,772	6,357,973
Av.RE ₂ O ₃ (%)	6.40	4.63	4.42	3.99
2	386,724	1,706,549	2,138,648	5,130,728
Av. RE ₂ O ₃ (%)	6.90	5.23	5.02	4.58
3	329,940	1,376,556	1,691,968	3,680,396
Av. RE ₂ O ₃ (%)	7.69	5.93	5.72	5.40
4	314,870	1,133,051	1,328,883	2,441,735
Av. RE ₂ O ₃ (%)	7.88	6.46	6.31	6.39
5	291,373	854,212	983,796	1,764,992
Av. RE ₂ O ₃ (%)	8.17	7.10	6.96	7.12
6	235,918	521,138	564,038	1,105,254
Av. RE ₂ O ₃ (%)	8.80	8.18	8.11	8.11
7	200,617	380,225	400,401	748,229
Av. RE ₂ O ₃ (%)	9.21	8.84	8.80	8.91
8	157,172	252,904	263,304	482,016
Av. RE ₂ O ₃ (%)	9.70	9.50	9.46	9.70
9	100,128	122,644	122,644	258,624
Av. RE ₂ O ₃ (%)	10.34	10.57	10.57	10.73
10	56,448	68,564	68,564	142,144
Av. RE ₂ O ₃ (%)	10.99	11.43	11.43	11.78
Waste(ton)	186,455	1,837,326	2,493,670	11,576,857
W/O, Ore ≥ 5	0.640	2.151	2.535	6.559
Waste(ton)	241,910	2,170,400	2,913,428	12,236,595
W/O, Ore ≥ 6	1.025	4.165	5.165	11.071

7-3-2 生産計画

(1) 操業日数

年間 300 日

(3) 採掘量

- Pre-production Stripping : 329,319 tons,
- 年間平均採掘量

鉱石量 : 75,000 tons, 6.96% RE₂O₃, 10.00% CaF₂, 39.27% BaSO₄

廃石量：165,000 tons

総採掘量：240,000 tons

W/O Ratio(Average)：2.2

- Mine Life：13.1年

(3) 年間平均精鉱生産量

6-2-4 項で説明したように、第二年次の浮選テストでは、30%、40%、50%RE₂O₃の精鉱がそれぞれ90%、70%、50%の実収率で回収される結果が得られている。しかし、浮選テストに供された試料はいずれも8% RE₂O₃以上であり、バッチ・テストの一例では、給鉱品位が低下すると精鉱品位35% RE₂O₃では実収率も悪化する傾向が見られる。7-3-1で述べたように鉱量を確保するためCut-offを5% RE₂O₃、平均給鉱品位を6.96% RE₂O₃としたので実収率、精鉱品位をそれぞれ60%、40%と仮定した。

- 給鉱量：75,000 tons, 6.96% RE₂O₃, 10.00% CaF₂, 39.27% BaSO₄
- 選鉱実収率：60% RE₂O₃, 60% CaF₂, 95% BaSO₄
- 精鉱量：7,830 tons RE₂O₃, 11,250 tons CaF₂, 29,453 tons BaSO₄
- 精鉱品位：40% RE₂O₃, 40% CaF₂, 95% BaSO₄
- 含有量：3,132 tons RE₂O₃, 4,500 tons CaF₂, 27,980 tons BaSO₄

(4) 年次生産計画

ピット上部から順次下部に向かって採掘するものとして、年次別の採鉱量を算定し、それに対応する精鉱生産計画を策定した。結果を表Ⅲ-7-2にまとめた。

7-3-3 開発計画

鉱山施設の配置を図Ⅲ-7-1に示した。建設期間を2年に設定した。現地にはカルスト地形が発達しており、随所にドリーネ、ポリエ、ポノールが見られる。地表施設の建設予定地は事前に十分調査し、対策工を策定する必要がある。

(1) 採鉱

- 採鉱準備(Pre-production Stripping)

Bench 860m Level 以下の鉱石に access するための表土除去：329,319 tons

- 重機類の選定・購入

建設期間を2年として、7-3-2(1)の年間平均採掘量にしたがって、所要重機類を表Ⅲ-7-3(1)、(2)のように計画した。

表Ⅲ-7-2 年次別生産計画

Year		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Mine	Ore(ton)			75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	8,796	
	RE ₂ O ₃ (%)			6.91	7.37	7.47	7.47	7.32	6.73	7.13	7.24	6.91	6.82	6.70	6.48	5.98	5.74	
	CaF ₂ (%)			10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	
	BaSO ₄ (%)			39.27	39.27	39.27	39.27	39.27	39.27	39.27	39.27	39.27	39.27	39.27	39.27	39.27	39.27	
	Waste(ton)	164,660	164,659	200,000	200,000	180,000	180,000	180,000	180,000	180,000	180,000	180,000	180,000	180,000	170,000	150,000	4,351	0
	Total(ton)	164,660	164,659	275,000	275,000	255,000	255,000	255,000	255,000	255,000	255,000	255,000	255,000	255,000	245,000	225,000	79,351	8,796
Flotation	Feed(ton)			75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	8,796	
	RE ₂ O ₃ (%)			6.91	7.37	7.47	7.47	7.32	6.73	7.13	7.24	6.91	6.82	6.70	6.48	5.98	5.74	
	CaF ₂ (%)			10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	
	BaSO ₄ (%)			39.27	39.27	39.27	39.27	39.27	39.27	39.27	39.27	39.27	39.27	39.27	39.27	39.27	39.27	
	Conc.(ton)																	
	RE ₂ O ₃			7774	8291	8404	8404	8235	7571	8021	8145	7774	7673	7538	7290	6728	757	
	CaF ₂			11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250	11250	1319.4
	BaSO ₄			29453	29453	29453	29453	29453	29453	29453	29453	29453	29453	29453	29453	29453	29453	3454
	RE ₂ O ₃ (%)			40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
	CaF ₂ (%)			40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
	BaSO ₄ (%)			95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	
	in Conc.																	
	RE ₂ O ₃ (ton)			3110	3317	3362	3362	3294	3029	3209	3258	3110	3069	3015	2916	2691	303	
	CaF ₂ (ton)			4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	528
BaSO ₄ (ton)			27980	27980	27980	27980	27980	27980	27980	27980	27980	27980	27980	27980	27980	27980	3281	

表 II-7-3 (1) 主要重機およびその価格 (US\$)

Item	No.	Unit Price CIF Phon	Handling (1%)	Transport- ation(1.5%)	Unit Price On Site	Total Amount
Dump Track CAT725	4	260,000	2,600	3,900	266,500	1,066,000
Front-end Loader CAT950G	2	130,000	1,300	1,950	133,250	266,500
Excavator CAT325C	1	120,000	1,200	1,800	123,000	123,000
Dozer D7	1	205,000	2,050	3,075	210,125	210,125
Crawler Drill CDH	1	333,000	3,330	4,995	341,325	341,325
15T-Truck	2	113,000	1,130	1,695	115,825	231,650
Total						2,238,600

表 II-7-3 (2) 補助機器およびその価格 (US\$)

Item	Type	No.	Unit Price(A\$)	Amount(A\$)
Passenger Vehicles	Station Wagons, Pick-ups	4	25,000	100,000
Trucks	Explosive Carrier	1	55,000	55,000
	Flat-top with Crane	1	65,000	65,000
	1-ton Flat-top	1	22,000	22,000
Crane Mobile	25-ton, Rough-Terrain	1	450,000	450,000
Fork-lift	11.5-ton	1	140,000	140,000
Water Truck	Cat725	1	260,000	260,000
Light Vehicles		3	21,000	63,000
Ambulance		1	55,000	55,000
Buses		2	60,000	120,000
Total in A\$				1,330,000
in US\$ @0.635*A\$				844,550

● 廃石堆積場(Waste Dump)の建設

廃石堆積場は、鉱床東部約 1,500mに位置する平地（東西約 1km, 幅約 300m）を用いる（図Ⅲ-7-1）。廃石量は約 2.5million tons, 比重 2.6として 1million m³弱, 起採量で 1.5 millionm³未満と計算され、この堆積場の容量は十分とではあると考えられる。

● 採鉱事務所、修理工場その他付帯設備の建設・整備

採鉱事務所、修理工場などの主要建屋は、選鉱場と共に F3 鉱体東方に位置するタワー・カルストの西側緩斜面に、F14 鉱体を避けて建設する。その他、火薬庫、倉庫、生活施設などの建設が必要である。

(2) 選鉱

● 選鉱場と選鉱設備計画

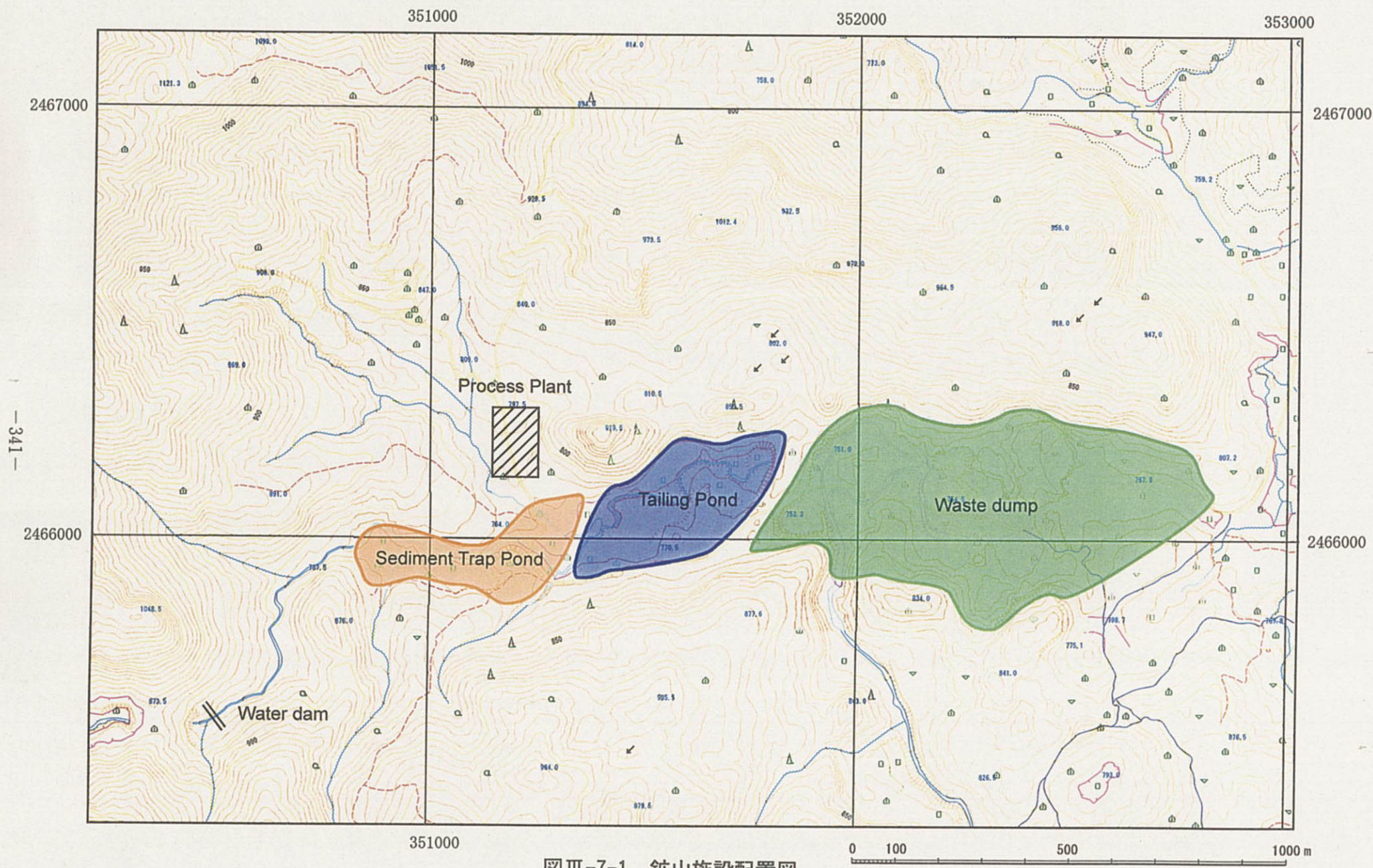


图 III-7-1 鉱山施設配置図

選鉱場は上記のように、F3 鉱体東方に位置するタワー・カルストの西側緩斜面に、F14 鉱体を避けて建設する。処理鉱石量、年間 75,000tons (250tons/day) として、主要選鉱設備を表Ⅲ-7-4 のように設定した。

表 II-7-4 主要選鉱施設およびコスト

Section	Facilities	Description	Nos.	Cost
Crushing	Grizzly	500mm grid	1	199,000
	Hopper	50m ³	1	
	Jaw Crusher	620x380mm, 30Kw	1	
	Vibrating Screen	30mm, 10mm, 7.5Kw	1	
	Cone Crusher	625mm dia., 37Kw	1	
Grinding	Ball Mill	2400x2400mm, 190Kw	1	540,000
	Spiral Classifier	1600x7900mm, 7.5Kw	1	
	Conditioners	7.5Kw	7	
Flotation	Flotation Cells	Unit Cell : 1m ³ , 7.5Kw	34	646,000
	Cyclone	150mm φ,	4	
Thickening	Thickener	9m φ, 2.2Kw	2	193,000
Dewatering	Pressure Filter	15Kw	1	150,000
Laboratory	AA Spectrometer		1	50,000
Others	Boiler		1	20,000
Tailings Pond		780,000m ³ , HDPE Sheets	1	875,000
Plant Building			1	856,000
Total				3,529,000
Installation etc				1,765,000
Grand Total				5,294,000

● 尾鉱堆積場

尾鉱堆積場には、F7 鉱体の南側、現在の調査キャンプの北側に広がる平地が適している。この平地は北側と南側を山に囲まれ東西に伸びており、約 70,000m² の面積がある。選鉱工程では蛍石精鉱、バライト精鉱も回収されるが、これらの精鉱の販路が確定していないので、尾鉱として堆積されると想定して約 780,000m³ の容量が必要になる。12m 程度の高さに堆積できれば、この尾鉱堆積場候補地は十分な容量を提供できるものと考えられる。

本プロジェクト地域にはカルスト地形が発達しており、地下への浸透水が地下水流に混入し、下流で湧水となって流出しているのが観察される。尾鉱の流出、尾鉱堆積場からの浸透水を防ぐため、全面を HDPE (High Density Polyester) で覆い、その上に粘土をしいてライナーとする。

● その他付帯設備

選鉱場には分析場を設け、選鉱工程の品位管理を行う。AAS 分析器および試料調整などのための付属機器を設置する。精鉱は若干量の放射性物質を含むので、精鉱貯蔵庫を選鉱場と分離して建設し、放射性物質管理区域に指定する。

(3) インフラストラクチャー

● 電力

電力は Lao Cai から Binh Lu まで 35Kv の高圧線で送電されている。電力会社による Bin Lu - Dong Pao - Bang Hong 電力網整備計画があり、2004 年に完成する予定となっている。しかし、現時点では良質の電力を量的にも確保するために、非常用自家発電装置 1 台を設置することを想定した。発電は Diesel 発電機を使用することとし、その価格は輸送費、据付費を含めて US\$ 1,155,000 と見積もった。

● 用水

選鉱用水は日量 1,000m³ 程度必要と考えられるが、Dong Pao 川上流は乾季でも干上がることはなく、9-23m³ の流量が期待できるので、これより取水しパイプで選鉱場まで送水して使用できる。今回調査で行われた河川水の分析結果では、Pb, Hg, As の含有量が日本の環境基準値より高く、飲料水の水源についてはさらに調査が必要である。

● 交通・運輸

Hanoi - Lao Cai - Sapa の約 400km 間は舗装されており問題はないが、Sapa - Binh Lu 間の 50km は山道で舗装の維持がなされていない。現在、Dong Pao へのアクセスは Tam Duong 手前から小型トラックが通行可能な程度の迂回路の利用にかぎらるが、Binh Lu - Dong Pao 間道路が建設中で、これが完成すればアクセスは飛躍的に改善される。Sapa 以降の道路は雨季に冠水することがあり維持管理に問題があるが、プロジェクト・サイトへの物資の搬入、製品の搬出に大きな障害とはなっていない。当面、Old Dong Pao からサイトまでの約 2km の Access Road の建設が必要である。

● 通信

現在の電話網は Binh Lu までで、Dong Pao には達しておらず、Binh Lu - Dong Pao 間の電話網敷設の計画はない。したがって、この間約 12km の電話線の敷設を自費で行わなければならない。緊急用の通信としては、衛星通信インマルサットの利用が可能である。

7-3-4 操業計画

(1) 採鉱

● 採鉱法：露天掘り、Crawler Drill による削岩・発破(岩石が脆弱な部分が多く火薬使用量は比較的少ない)、Wheel Loader, Excavator により Dump Track に積み込み、選鉱場(鉱石)あるいは廃石堆積場へ運搬する。選鉱工程への給鉱品位を一定に維持するため、採掘ブロックの品位管理を定常的に行い、ピット内あるいは選鉱場一次クラッシャー付近にストック・パイルを置き適宜ブレンディングして一次クラッシャーに給鉱する。

● 作業様式：一日三交代制、週六日操業、年間 300 日操業

● 成員

Expatriates : Mine Management, Mine Operation, Mine Engineering, Total=3

Locals : Mine Manager 1, Superintendents 2, Engineers 4, Operators 30, Clerks 4, Assistants 20, Total=61

(2) 選鉱

- 選鉱工程：鉱石を破碎・磨鉱後，逆浮選工程で，バライト，蛍石，希土類鉱物精鉱分離を行う(図Ⅲ-7-2(1)，(2))。精鉱は，シックナーで濃縮，加圧式脱水機で脱水され，精鉱貯蔵庫に貯蔵される。
- 作業様式：一日三交代制，週六日操業，年間300日操業
- 成員

Expatriates(Advisory) : Process Operation, Metallurgical Engineering, Environmental Control, Total=3

Locals : Mill Superintendent 1, Engineers 3, Operators 15, Clerks 2, Assistants 15, Total=36

(3) 管理部門 (Administration & General)

- 操業管理，財務・会計管理，安全管理，製品販売・在庫管理 その他
- 成員

Expatriate : Marketing 1

Locals : Superintendents(Personnel, Accounting, Marketing, Public Relations, Safety & Sanitation, etc.) 4, Clerks 9, Assistants 9, Total=22

7-3-5 起業費・操業費

生産計画(7-3-2)，開発計画(7-3-3)，操業計画(7-3-4)にもとづき，起業費，操業費を以下のように算定した。

(1) 起業費(in US \$)

● 採鉱

Pre-production Stripping : 329,319 tons, @ US \$ 7/t, US \$	2,305,233
Equipment :	3,083,150
Engineering & Others :	538,383
Total :	5,927,221

● 選鉱

Crushing/Grinding :	739,000
Flotation & Accessory Facilities :	989,000
Tailings Pond :	875,000
Buildings, Installation & Engineering :	926,000
Construction & Installation :	1,765,000
Total :	5,294,000

● Infrastructures

Diesel Generators :	1,155,000
Access Roads, Telephone Line & Others	2,000,000
Total :	3,155,000

- Working Capital(3 Months Operating Cost) :

US \$ 880,500

- Capital Cost Total :

US \$ 15,256,721

(2) 操業費(年間平均, in US \$)

- 採鉍

Unit Cost/Ton of Ore & Waste

Labor : 3.14

Supplies and Materials : 2.40

Administeration : 0.82

Sudry Items : 0.64

Total Unit Cost : US \$ 7.00

年間平均採掘費 :

Ore 75,000 tons, Waste 165,000 tons, Total 240,000 tons, @ US \$ 7.00/ton,

US \$ 1,680,000

- 選鉍

Unit Cost/Ton of Feed

Crushing/Grinding : 1.29

Flotation : 7.12

Electricity : 7.20

Miscellaneous : 4.68

Total Unit Cost : US \$ 20.29

年間平均選鉍費 : Feed 75,000 tons, @US \$ 20.29 /ton, US \$ 1,521,750

- A & G @ US \$ 4.27/Ton of Feed,

US \$ 320,250

- Operating Cost Total

Unit Cost/Ton of Feed

Mining 22.40

Flotation 20.29

A & G 4.27

Total Unit Cost/Ton of Feed US \$ 46.96

年間平均操業費 : Feed 75,000 tons, @US \$ 46.96, US \$ 3,522,000

7-4 収支計算

7-4-1 年次生産計画

表Ⅲ-7-2 の年次生産計画にもとづき収支計算を行った。年間出鉱量(給鉱量)は75,000tonsと一定であるが、年次ごとの平均品位が変動するので年間収入もそれにしたがって変化する。操業費も、選鉱費は給鉱量が一定なので変動しないが、採鉱費は廃石量が漸減するのでそれにしたがって減少する。年次生産計画にもとづいた収支計算結果を表Ⅲ-7-5にまとめた。

7-4-2 粗利益計算

(1) 収入計算

バストネサイト精鉱の世界市場での販売は事実上不可能である。また、希土類の市場は寡占的で、製品価格は取引ごとに売り手と買い手の事情によって決められ、一般的な市場価格を設定することは困難である。ここではUSGSのCommodity Summary(2001)に記載されているバストネサイト精鉱中に含まれる RE_2O_3 kg当たりの価格、US \$ 2.87(精鉱品位60% RE_2O_3 標準, 1996年以来変わっていない)と混合希土類金属(mischmetal) kg当たりの価格、US \$ 5.00-7.00からUS \$ 5.00を採用して、冶金工程の生産費(操業費、償却費、利潤を含むものと想定)を算出した。この生産費を当鉱山で産出される精鉱(40% RE_2O_3)の販売条件と仮定した。この比較計算にもとづき、40% RE_2O_3 精鉱では、60% RE_2O_3 精鉱に含有される RE_2O_3 kg当たりの単価US \$2.87から、製錬・精製費相当としてkg当たりUS \$0.70減価し、US \$2.17/kgで評価した。なお、蛍石、バライトは収入の対象としない。

(2) 起業費の調達と償却

- 建設期間を2年とし、企業費は等分に支出されるものとした。
- 企業費の調達

起業費全額を融資で調達すると仮定した。現実には、30% Equity, 70% Loan程度の比率になると思われるが、鉱山の實力を判定するには、100% Equityか、Loanにした方が理解しやすく、Pay-back Yearなども鉱山の實力を判定する指標となる。金利は8%/yとしたが、現状の金融市場で適正か否かは検討の必要がある。

- 起業費の償却

起業費の90%を9年で償却するものとした。償却スケジュールでは、生産開始後3年間は課税対象益が出ないように勘案した。

- 融資金の返済

各年次に発生したCash Flowは、融資金を完済するまで全額返済に充てるものとした。

(3) 租税公課

償却費、融資金の金利を控除した利益の40%を税額とした。現在のところ、税制についての調査は不十分なので、Royaltyを含めてTaxes and Leviesについてさらに調査・検討する必要がある。

表Ⅲ-7-5 収支評価およびキャッシュ・フローの一覧表

Year		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
Production	ROM('000t)			75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	8,796		
	RE2O3(%)			6.91	7.37	7.47	7.47	7.32	6.73	7.13	7.24	6.91	6.82	6.70	6.48	5.98	5.74		
	Waste('000t)			200,000	200,000	180,000	180,000	180,000	180,000	180,000	180,000	180,000	180,000	170,000	150,000	4,351	0		
	Total('000t)			275,000	275,000	255,000	255,000	255,000	255,000	255,000	255,000	255,000	255,000	245,000	225,000	79,351	8,796		
	Feed('000t)			75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	75,000	8,796		
	RE2O3(%)			6.91	7.37	7.47	7.47	7.32	6.73	7.13	7.24	6.91	6.82	6.70	6.48	5.98	5.74		
	Conc.(t)			7,774	8,291	8,404	8,404	8,235	7,571	8,021	8,145	7,774	7,673	7,538	7,290	6,728	757		
	RE2O3(%)			40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40		
	RE2O3(t)			3,110	3,317	3,362	3,362	3,294	3,029	3,209	3,258	3,110	3,069	3,015	2,916	2,691	303		
Operating	Mine			1,925	1,925	1,785	1,785	1,785	1,785	1,785	1,785	1,785	1,785	1,715	1,575	555	62		
Cost	Mill			1,522	1,522	1,522	1,522	1,522	1,522	1,522	1,522	1,522	1,522	1,522	1,522	1,522	178		
('US\$'000)	A & G			320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	38		
	Total			3,767	3,767	3,627	3,627	3,627	3,627	3,627	3,627	3,627	3,627	3,557	3,417	2,397	278		
Revenue	(US\$'000)			6,748	7,197	7,294	7,294	7,148	6,572	6,962	7,070	6,748	6,660	6,543	6,328	5,839	657		
Operating	Profit			2,981	3,430	3,667	3,667	3,521	2,945	3,335	3,443	3,121	3,033	2,986	2,911	3,442	380		
	Depreciation			1,610	1,949	2,423	2,000	1,500	1,500	1,000	1,000	749							
	Taxable Profit			-0	0	2	700	1,347	1,042	2,171	2,443	2,372	3,033	2,986	2,911	3,442	380		
	Tax @40%/y			0	0	0	280	539	417	868	977	949	1213	1194	1164	1377	152		
	Profit after Tax			1,371	1,481	1,244	1,388	1,482	1,028	1,467	1,466	1,423	1,820	1,791	1,746	2,065	228		
Construction	Cost			7,629	7,628														
	Loan			7,629	7,628														
	Interest @ 8%/y			610	1,269	1,371	1,481	1,242	968	674	403	165							
	Repayment				2,981	3,430	3,667	3,388	2,982	2,225									
	Cum. Loan			8,239	17,137	18,508	15,527	12,097	8,430	5,042	2,060	0							
Cash Flow	(US\$'000)			-8,239	-8,897	2,981	3,430	3,667	3,388	2,982	2,528	2,467	2,466	2,172	1,820	1,791	1,746	2,065	228
Cum. Cash Flow	(US\$'000)			-8,239	-17,136	-14,156	-10,726	-7,059	-3,671	-689	1,840	4,307	6,773	8,944	10,764	12,555	14,302	16,367	16,595
DCF @ 15.7%/y	(US\$'000)			2,576	2,562	2,368	1,890	1,438	1,054	889	768	585	423	360	303	310	310	30	
Cum. DCF	(US\$'000)			2,576	5,138	7,506	9,397	10,835	11,889	12,778	13,546	14,130	14,554	14,914	15,217	15,528	15,557		
DCF @ 16%/y	(US\$'000)			2,569	2,549	2,350	1,871	1,420	1,038	873	752	571	412	350	294	300	29		
Cum. DCF	(US\$'000)			2,569	5,118	7,467	9,338	10,758	11,796	12,669	13,421	13,992	14,405	14,755	15,049	15,349	15,377		

7-4-3 計算結果

- (3) 融資返済期間(Payback Year) : 初期投資 US \$ 15,256,721 全額の融資を金利年 8%として約 7 年で返済が可能である。
- (4) Discounted Cash Flow : 減価率(Discount Rate)は、年率約 16%で生産開始時点に割戻した累積 Cash Flow が初期投資額とほぼ等価となる。

7-5 環境

7-5-1 環境法

ベトナムにおける環境に関する法律として、基本法的な環境法 (Law on Environment) を入手したが、具体的な規制値などは入手できなかった。規制物質、規制値については、世界的にほぼ同一水準が採用されており、日本の値を採用すれば安全面から十分であるといえる。

7-5-2 環境影響評価

環境法から、開発行為には環境影響評価を行うことが規定されている。今回の調査では、必要十分な環境影響評価は実施していない。しかしながら、本プロジェクトが環境に及ぼす影響に対する概念的な調査を行った。

現地周辺の居住地は、New Dong Pao 部落と Dong Pao 部落とあるが、マインサイトのごく近傍にある New Dong Pao 部落は移転させることを前提として考える。

また、環境基準、排出基準等については、日本の基準をもとにした。

1) 大気

現地は、典型的な山間地の田園耕作地であり、周辺に大気環境に影響を及ぼす産業はない。強いて言えば、稲作の藁を焼く野焼きの煙程度であり、環境基準を満足しているものと思われる。

プロジェクト稼行後、計画の規模の施設から発生する排ガス中の二酸化硫黄、窒素酸化物、その他有害成分の環境に及ぼす影響はごく僅かであると思われる。

2) 水質

現地は、石灰岩カルスト地帯であり、周辺の河川の水質は弱アルカリ性を示す。

水文調査の結果、pH は 7.33~8.55 で、日本の河川の水質環境基準(工業用水、農業用水; pH6.0~8.5) より上限が僅かながら越えている。また、砒素が 0.25~0.32mg/l、フッ素が 0.79~2.42mg/l、水銀 0.001mg/l で、いずれも日本の環境基準(人の健康の保護に関する環境基準; 砒素 0.01mg/l、水銀 0.0005mg/l) を越えている。これは Dong Pao 地域が鉱化地帯であることによるものであろう。

プロジェクト稼行後に発生する廃水は、選鉱尾鉱ポンドからの上澄水の排水、尾鉱ポンドからの浸透水、採掘切羽からの雨水が考えられる。

マインサイトは、石灰岩のカルスト地形であり、選鉱尾鉱ポンドの候補地には、いくつかのポリエが存在する。そのために、尾鉱ポンドには不透水措置を行い、また上澄水は繰り返すことにより、尾鉱ポンドからの廃水を皆無とする。採掘切羽からの雨水廃水は、沈殿地を設けて上澄水を Dong Pao 川に排出する。

マインサイト周辺の居住地、Dong Pao 村は、約 3km 離れており、生活用水の利水地点は別の水系の上流であり、直接の関係はないと思われる。

Dong Pao 川の下流は流域の村落の利水地点とはなっているが、影響はごく僅かであると思われる。

3) 騒音、振動

プロジェクトの稼行により発生する騒音、振動は、発破による発破音、振動、選鉱プラントの破碎機、スクリーンによる騒音、振動である。

採掘の当初は、風化されている地層の剥土、採掘はショベルで行い、発破は行わない。また、周辺住居の Dong Pao 部落は約 3km 離れており、影響は考えられない。

選鉱プラントより発生する騒音、振動も同様である。

4) 土地利用

マインサイト周辺の土地利用は、主に水田であり、一部茶畑が見られる。また水牛、馬などの放し飼いに利用されている。

プロジェクト稼行後は、これらの土地利用は一部不可能となるものと考えられる。

5) 動植物

植生調査については、第 1 年次調査において調査地域全域 (11km²) 実施した。調査の結果、調査地域において希少種は認められるものの、開発予定地である F3 鉱体の大半は農作地となっており、F3 鉱体のみで自生している種は確認されなかった。

動植物の生態調査は実施していないが、開発予定地では放し飼いの水牛、馬、豚、犬、猫、鶏、アヒルなど家畜は認められたが野生動物は見られなかった。なお、昆虫等の小動物は見られたが、希少種であるかどうかの確認はできなかった。今後、動物の調査については専門家による調査が必要である。

6) 公共施設、文化財等

周辺には、公共施設、文化財等は存在しない。

7) 放射能

本鉱床は、僅かながら放射性の Th および U を含んでいる。この鉱石を処理し、濃縮することによる放射性物質の濃集、また処理排水中の放射能が問題となると思われる。

F3 鉱体の開発にあたって、REO 精鉱貯蔵所では管理区域を定める、鉱工程の廃水は循環することにより原則として外部へは排出しない、採掘現場よりの雨水による流出水は、沈殿

地を設けて SS を除去して排出する、などを実施することにより、放射線の影響を最小にすることが可能である。従って、精鉱の放射能については十分管理を行う必要があるが、発生する粉塵、廃水による放射能の影響はほとんどないものと考えられる。

7-6 検討結果の考察

(7) 採掘対象鉱量

Cut-off 品位 5% RE₂O₃ とすれば、採掘対象鉱量は 1million tons 弱、平均品位 7% RE₂O₃ 前後となり、精鉱中の含有量で年産 3,000tons RE₂O₃ 程度の生産規模が妥当なところと思われる。鉱量計算は試錐の行われた範囲に限られており、その範囲の南限から Dong Pao 川の間には若干の鉱量増加を見込めるが、生産規模を大幅に増加させることにはならないであろう。Cut-off 品位を Operating Cost Break-even にとれば、2.2% RE₂O₃ 程度になり、鉱量は大幅に増加する。選鉱工程への Feed の平均品位の低下が、選鉱効率を著しく悪化させなければ、採掘対象鉱量は大幅に増加する。より詳細な選鉱試験を実施する必要がある。

(8) 副産物の評価

この検討ではバライト精鉱、螢石精鉱の価値を評価していない。これらの精鉱の販路に見通しが立てば、付加価値が増す。バライト精鉱の用途として最も大きいのは石油井の掘削泥水用で、ベトナムの Off-shore 石油探査が販路として期待できるかもしれない。市場調査が必要である。

(9) 希土類鉱石の選鉱工程

希土類鉱石は産地によって鉱物学的特性がユニークであり、それぞれ適切な選鉱工程 (mineral processing) を考案する必要がある。今回の選鉱試験結果によって、Dong Pao 鉱石の処理工程について最適な選鉱工程が開発された。この選鉱工程によって冶金工程で技術的に受け入れ可能な精鉱の生産が可能になった。

(10) 冶金工程

この検討には冶金工程の技術的・経済的検討が含まれていない。精鉱の鉱物学的特性も産地によって異なり、最終的な経済性の検討には精鉱の冶金試験が必要不可欠である。この検討では最終製品をミッシュメタルとしたが、一般的な冶金工程では、セリウム酸化物が工程の初期段階で分離される。セリウム酸化物が分離できれば製品の付加価値を増すことが期待できる。

(11) 放射性鉱物の処理

鉱床の特性上、精鉱への放射性鉱物の混入は避けられない。このことがバストネサイト精鉱を世界市場で販売できない最大の要因である。放射性鉱物を選鉱段階で除去することは不可能で、冶金段階で除去する手法を検討しなければならない。また、放射性鉱物を含有する生成物の取り扱い、処理は採鉱から冶金までの全生産工程での重要な課題である。

(12) 経済性検討結果

Payback Year 7 年、収益率で年率 16% の結果は、特に収益率の高い鉱山とはいえないが、生産規模を考慮すればほぼ妥当なものと考えられる。与件に不確定な要素が多分に含まれているので、今後さらに調査し、検討を加える必要がある。

第8章 結論および提言

8-1 結論

(1) 調査の概要

現地調査は平成13年11月10日から平成13年12月21日まで実施した。本調査では Dong Pao 地域の南部に当たる F3 および F7 鉱体を含む地区での地質調査、環境影響調査（水文調査、気象観測調査）、F7 鉱体西部のトレンチ調査、F3 鉱体の北部と西部でボーリング調査を実施した。

(2) 地質調査

本調査範囲の地質は、東部および南西端部に石灰岩が分布し、その他には風化した閃長岩と本地区の大半を占めて鉱化変質岩が広く分布する。

地質構造は広域的には NW-SE 系の断層が発達するが、本調査地区内ではそれに斜交する N-S 系と E-W 系の断層がある

地質踏査で確認した鉱化露頭は F3 鉱体の試錐機材搬入道路沿い、F7 鉱体の西部、中央北部および東部等で有望な鉱化露頭を確認した。

(3) 環境影響調査

河川の pH は 6.98~8.52 の範囲に分布し、中性から弱アルカリ性の水質を示すが、Dong Pao 川の最上流部での pH は、7.70~7.90 を示し、これらの値が本地域の pH の自然バックグラウンドと考えられる。電気伝導度は 242~645 $\mu\text{S}/\text{m}$ である。これらの測定値から、本地域の水質の特徴は、液性は中性~アルカリ性、電気伝導度は数百 $\mu\text{S}/\text{cm}$ を示し、調査地域に広く分布する石灰岩の影響と考えられる。

ウランを使用した地下水の流動調査の結果、Dong Pao 川は洞窟内に流入した後に地下河川として流下し、Nam Hon 川の最上流部で流出していることが確認された。しかし、Nam Hon 川の近くで流出する温泉水には Dong Pao 川の河川水は流入していないと考えられる。

自動気象観測の結果では、雨季には1週間あたり平均 60mm 以上の降雨が認められ、この間の1週間の最高降雨量は 154mm/week であった。1時間あたりの最大降雨量は 32mm/h、最大瞬間風速は北東の風 8.0m/s、最高気温は 34.4℃、最低気温は 6℃である。

New Tam Duong の気象観測所のデータでは、過去2年間の1日あたりの最大降雨量は 97mm、過去5年間の1週間あたりの最大降雨量は 384mm である。

(4) トレンチ調査

トレンチ調査で確認できた有望な鉱化帯は、沢沿い、道路沿い、さらにその上盤の3層準からなり、これらの鉱化帯はいずれも緩傾斜の産状を示す。沢底の鉱化帯から最上部の鉱化帯までの標高差は約 55m あり、本地区に有望な鉱化帯が潜在している可能性が高い事が明らかになった。

(5) ボーリング調査

本調査で実施した7孔(820m)のボーリングの結果から、南西部のMJVD-17では幅27m間の平均品位が10.09% T-RE₂O₃、北部のMJVD-23では幅24m間の平均品位が5.08% T-RE₂O₃であった。西部から北西部のボーリング5孔では石灰岩のブロックや礫を貫き、レアアースの鉱化作用は全般に弱いことが明らかになった。

第1年次のボーリングを含む23孔(計2,300m)のうち、8孔のボーリングでレアアースの品位が10%以上の富鉱部を確認している。F3 鉱体の富鉱部の平面的な分布範囲は東西約150m、南北約400mである。

(6) 埋蔵鉱量計算

埋蔵鉱量計算はボーリング調査(23孔, 2300m)の結果を基に、東西20m、南北20m、高さ5mの3次元ブロックモデルで実施した。各コンポジットの品位を孔長の加重平均で計算するため、垂直方向のブロック境界で区切られた5m長のコンポジットを設定した。また、比重は全鉱種および岩種とも2.6として計算した。

埋蔵鉱量計算では、カットオフ品位を0%から15%まで変化させてそれぞれ集計した。その内、RE₂O₃のカットオフ品位が0%から11%における鉱量を下表に示す。

Cut off graid %	Insitu ore (BCMS)	Insitu ore (Tonnes)	Average Graid (%)		
			RE2O3	CaF2	BaSO4
0	11,936,707	31,035,436	1.78	3.26	16.32
1	5,732,723	14,905,079	3.59	6.54	31.24
2	4,258,782	11,072,833	4.32	7.81	34.40
3	2,856,637	7,427,256	5.22	9.82	34.45
4	1,839,669	4,783,140	6.20	11.99	34.00
5	1,218,034	3,166,887	7.09	12.90	34.88
6	812,062	2,111,360	7.89	13.87	35.17
7	534,170	1,388,843	8.65	14.39	36.39
8	306,991	798,176	9.49	13.26	39.13
9	158,271	411,504	10.48	12.54	41.15
10	76,111	197,888	11.67	12.91	44.23
11	46,811	121,708	12.44	11.27	45.75

この埋蔵鉱量計算にはF3 鉱体の南側(ボーリング調査実施範囲より南部)の鉱量約31~35万トン(品位13.44% T-RE₂O₃)は含まれていない。

(7) 選鉱試験

第1年次の選鉱試験では既存の選鉱フローシートによる浮選試験ではREOの分離が全く出来なかった。本年度の選鉱試験では新たに開発した逆浮選フローシート(Barite, Fluorite, Rare Earthの順で浮選)および新たな浮選試薬条件を使用して現在ではREO品位40%で実収率70%またはREO品位50%で実収率50%など非常に良い成果が得られている。この他、BaSO₄は精鉱品位95%で実収率90%、CaF₂は精鉱品位44%で実収率55%の成績が得られた。

また、鉍石の性状の差による浮選成績を検討した結果、浮選成績は良い方から順次、黄色鉍石、上部灰色鉍石、黒色鉍石、下部の灰色鉍石である事が明らかになった。

(8) F3 鉍体開発の妥当性についての検討

F3 鉍体開発の妥当性について検討した結果、精鉍中の含有量で年産 3,000t RE2O3 程度の規模で 13 年強の生産が可能である。収益性の試算結果では、US\$15,000,000 強の企業費に対し、年率 16%程度の収益率が見込まれる。ただし、この検討では精鉍と最終製品と想定されるミッシュメタルの価格差から計算した冶金工程のコストは考慮されているが、冶金試験結果に基づいた技術的パラメータの裏付けが得られていない。正当な経済評価を行うためには冶金試験が不可欠で、現在これを実施中である。冶金試験結果を考慮した F3 鉍体開発の妥当性についての検討結果は、別冊で詳述する。

8-2 提言

F3 鉍体開発に向けて必要なデータを得るために、今後実施すべき調査は以下のとおりである。

8-2-1 F3 鉍体および F7 鉍体に対する調査

(1) F3 鉍体のボーリング調査

F3 鉍体は不規則レンズ状の富鉍部からなり、横方向への品位変化の把握が重要である。Feasibility Study を行うとすれば、これまでのボーリングが 50m 間隔で広過ぎるため、その間を埋めた 25m 間隔のボーリングを実施する必要がある。

採掘ピット勾配は風化した鉍石と岩石を考慮して 34° を採用した。このため、採掘ピット・デザインは西側の急傾斜を掘削することになる。この急斜面に石灰岩のブロックや礫が多く、岩盤状況が良ければピット勾配を急角度に変更できる可能性がある。従って、この西側斜面に数孔のボーリングを実施し、岩盤状況と鉍化状況を合わせて把握する必要がある(図 III 8-2-1)。

(2) トレンチ調査

F3 鉍体のボーリング実施範囲より南側にある鉍床は、過去に実施された埋蔵鉍量計算によれば約 350,000t の期待鉍量がある。この地区は地形が急斜面であることから鉍石の品位分布を明らかにするためのボーリングは難しく、トレンチによってこの地区の詳細な調査を実施することが望ましい(図 II-8-1)。

(3) F7 鉍体の探査

F3 鉍体に現れた地化学異常の広がりには F7 鉍体に連続しており、その西端部の異常帯で行ったトレンチによって、高品位の鉍化帯が 3 層準あることが明らかになった。この鉍体は非常に有望なレアアース資源なる可能性が高い。もし、この鉍体の規模が極端に大きくなった

とすれば、Dong Pao 地域の調査計画の全体を見直すことになると思われる。

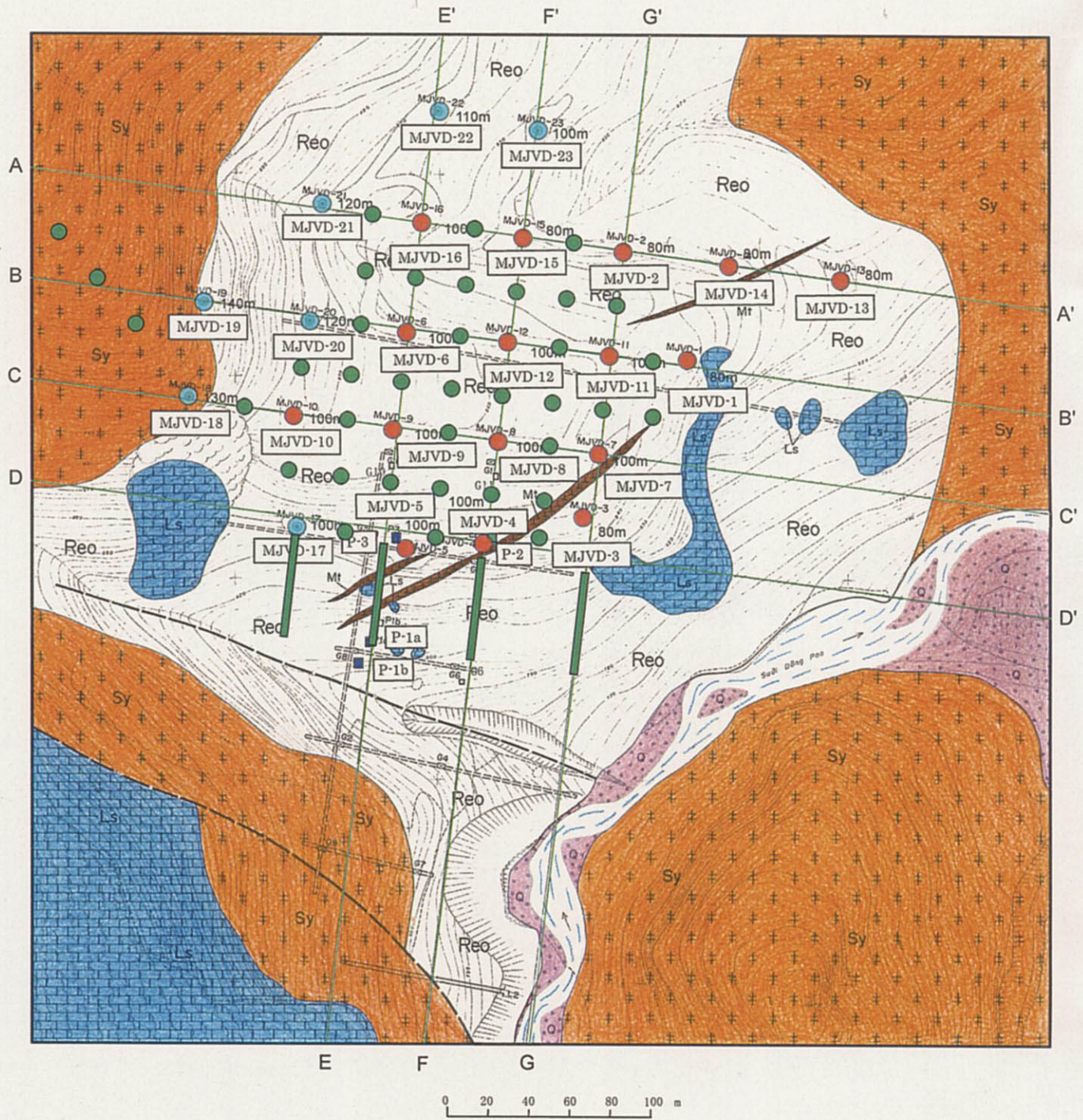
この鉍化帯に対するボーリング調査を実施することが望ましい。

(4) 選鉍試験関係

本調査の選鉍試験に用いた鉍石試料は、地表近くの風化鉍およびタイプの異なるコアによる鉍石試料であった。このため、浮選成績（実収率および精鉍品位）が給鉍品位や鉍種の変化に対してどのように変化するかは確立できなかった。今後、経済評価を行うためには、選鉍プロセスのエンジニアリングやデザインパラメーターを決定するためのより詳細な選鉍試験行うことが望ましい。

8-2-2 F3 鉍体開発の経済性の評価

F3 鉍体開発の経済性の詳細な評価を実施するに当たっては、今後実施される追加ボーリングの調査結果を含めた埋蔵鉍量計算および可採鉍量の再計算を実施して採掘対象鉍量の推定を行い、採鉍・選鉍の生産計画の策定、経済予見の設定等に必要なパラメータの収集と吟味を十分に行って、経済性の評価を行う必要がある。



Legend

- | | | | |
|-----------------|----------------------------------|-----------------|--|
| ● | Drilling planning point | □ (dotted) | Gravel and sand (quaternary) |
| — (thick green) | Trenching planning point | □ (cross-hatch) | Syenite, Quartz syenite (paleogene?) |
| ● (red) | MJVD-1~16 Drill hole of Phase 1 | □ (brick) | Limestone (triassic) |
| ● (blue) | MJVD-17~23 Drill hole of Phase 2 | ▤ (brown) | Minette (Dike) |
| ■ (blue) | P-1 Pit | □ (white) | Rare earth-barite-fluorite mineralization zone |
| □ (white) | G2 Old Pit | — (dashed) | Fault |
| — (thin) | H2 Old Trench | | |
| - - - - | L2 Old Tunnel | | |

図 III-8-1 精密ボーリング計画図