

中華人民共和国レアメタル総合開発調査
資源開発協力基礎調査報告書

広東南西部沿岸地域
(選鉱試験)

第5年次

平成4年2月

国際協力事業団
金属鉱業事業団


鉱計資

92-057

中華人民共和国レアメタル総合開発調査
資源開発協力基礎調査報告書

広東南西部沿岸地域
(選鉱試験)

第 5 年 次

JICA LIBRARY

1099153(7)

24051

平成 4 年 2 月

国際協力事業団
金属鉱業事業団

国際協力事業団

24051

は し が き

日本国政府は、中華人民共和国政府の要請に応え、同国南部に位置する広東南西部沿岸地域の鉱物資源賦存の可能性を確認するため、地質調査、物理探査、ボーリング調査などの鉱床探査に関する諸調査を実施することとし、その実施を国際協力事業団に委託した。国際協力事業団は、本調査の内容が地質及び鉱物資源の調査という専門分野に属することから、この調査の実施を金属鉱業事業団に委託することとした。本年度調査はその第5年次にあたり、金属鉱業事業団は選鉱試験にかかわる2名の調査団を編成して、現地に派遣した。

現地調査は平成3年6月20日に開始され、中華人民共和国政府関係機関、中華人民共和国有色金属工業総公司広東地質勘査局、広州有色金属研究院の協力を得て、平成3年12月21日予定どおり完了した。

本報告書は、第5年次の選鉱試験結果（一部、前年に実施された予備試験を含む）をとりまとめたもので、最終報告書の一部となるものである。

おわりに、本調査の実施にあたってご協力いただいた中華人民共和国政府関係機関、ならびに外務省、通商産業省、在北京日本国大使館及び関係各社の方々に衷心より感謝の意を表すものである。

平成4年2月

国際協力事業団

総 裁 柳 谷 謙 介

金属鉱業事業団

理 事 長 福 原 元 一

付 表

鉱物名一覧

[本報告書使用名] (中国名)	[英語名]	[化学式]	(英語名カタカナ)	[学術用語集記載]
[Ti 鉱物]				
イルメナイト (鋭鉄鉱)	Ilmenite	FeTiO ₃	(イルメナイト)	: チタンテッ鉱, チタン鉄鉱
鋭 錐 石 (鋭鉄鉱)	Anatase	TiO ₂	(アナターゼ)	: エイスイ石, 鋭錐石
ル チ ル (金紅石)	Rutile	TiO ₂	(ルチル)	: ルチル
白チタン石 (白鉄鉱)	Leucoxene		(リュウコクシン)	: リューコクシン, ハクチタン石
板チタン石 (板鉄鉱)	Brookite	TiO ₂	(ブルックイト)	: イタチタン石, 板チタン石
榧 石 (榧石)	Sphene (Titanite)	CaTiSiO ₆	(スフェーン)	: クサビ石, くさび石
[Zr, RE 鉱物他]				
ジルコン (鋳英石)	Zircon	ZrSiO ₄	(ジルコン)	: ジルコン
モナザイト (独居石)	Monazite	(Ce, La, Nd, Th) PO ₄	(モナザイト)	: モナズ石
ゼノタイム (磷鉍鉱)	Xenotime	YPO ₄	(ゼノタイム)	: ゼノタイム
フロレンザイト (磷鋁鉍鉄)	Florencite	(La, Ce) Al ₃ (PO ₄) ₃ (OH)	(フロレンザイト)	:
トール石 (鈦石)	Thorite	ThSiO ₄	(ソーライト)	: トール石
錫 石 (錫石)	Cassiterite	SnO ₂	(キャッスライト)	: スズ石, すず石
[Fe 鉱物]				
マグネタイト (磁鉄鉱)	Magnetite	Fe ₃ O ₄	(マグネタイト)	: ジテッ鉱, 磁鉄鉱
赤 鉄 鉱 (赤鉄鉱)	Hematite	Fe ₂ O ₃	(ヘマタイト)	: セキテッ鉱, 赤鉄鉱
褐 鉄 鉱 (褐鉄鉱)	Limonite	[α -Fe ³⁺ O(OH)]	(リモナイト)	: カツテッ鉱, 褐鉄鉱
菱 鉄 鉱 (菱鉄鉱)	Siderite	Fe ²⁺ CO ₃	(シダライト)	: リュウテッ鉱, 菱鉄鉱
クロム鉄鉱 (鉻鉄鉱)	Chromite	Fe ²⁺ Cr ₂ O ₄	(クロマイト)	: クロムテッ鉱, クロム鉄鉱
黄 鉄 鉱 (黄鉄鉱)	Pyrite	FeS ₂	(パイライト)	: オウテッ鉱, 黄鉄鉱
輝水鉛鉱 (輝鉛鉱)	Molybdenite	MoS ₂	(モリブダイト)	: キスイエン鉱, 黄水鉛鉱
[硅鋁酸塩鉱物]				
電 気 石 (電気石)	Tourmaline	WX ₃ Y ₃ (BO ₃) ₃ Si ₃ O ₁₂ (O, OH, F) ₃	(トーマリン)	: デンキ石, 電気石
角 閃 石 (角閃石)	Amphibole	A ₀₋₁ B ₂ Y ₂ Z ₂ O ₂₂ (OH, F, Cl) ₂	(アンフィボール)	: カクセン石, 角閃石
輝 石 (輝石)	Pyroxene	AB ₂ XO ₆	(パイロキシン)	: キ石, 輝石
緑レン石 (緑簾石)	Epidote	Ca ₂ (Al, Fe ³⁺) ₂ (SiO ₄) ₂ (OH)	(エピドート)	: リョクレン石, 緑れん石
スペネル (尖晶石)	Spinel	MgAl ₂ O ₄	(スピネル)	: スピネル
ゆうれん石 (黝簾石)	Zoisite	Ca ₂ Al ₂ (SO ₄) ₂ (OH)	(ゾイサイト)	: ユーレン石, ゆうれん石
磷 灰 石 (磷灰石)	Apatite	A ₅ (XO ₄) ₃ (F, Cl, OH)	(アパタイト)	: リンカイ石, りん灰石
ざくろ石 (鉄鋁柘榴石)	Garnet (Almandine)	Fe ²⁺ Al ₃ Si ₃ O ₁₂	(ガネット(アルマンディン))	: ザクロ石, ざくろ石
黄 玉 (黄玉)	Topaz	Al ₂ SiO ₅ (F, OH)	(トパズ)	: トパズ
コランダム (剛玉)	Corundum	Al ₂ O ₃	(コランダム)	: コランダム
藍 晶 石 (藍晶石)	Kyanite	Al ₂ SiO ₅	(カイアタイト)	: ランショウ石, らん晶石
十 字 石 (十字石)	Staurolite	(Fe ²⁺ , Mg, Zn) ₂ Al ₉ (SiAl) ₆ O ₂₂ (OH) ₂	(スタウロライト)	: ジュウジ石, 十字石
重 晶 石 (重晶石)	Barite	BaSO ₄	(バライト)	: ジュウショウ石, 重晶石
石 英 (石英)	Quartz	SiO ₂	(クオーツ)	: セキエイ, 石英
海 緑 石 (海緑石)	Glauconite	(K, Na)(Fe ³⁺ , Al, Mg) ₃ (Si, Al) ₈ O ₁₀ (OH) ₂	(グロコンイト)	: カイリョク石, 海緑石
長 石 (長石)	Feldspar		(フェルスパール)	: チョウ石, 長石
カオリナイト (高岭土)	Kaolinite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	(カオリナイト)	: カオリナイト
雲 母 (雲母)	Mica		(マイカ)	: ウンモ, 雲母
方 解 石 (方解石)	Calcite	CaCO ₃	(カルサイト)	: ホウカイ石, 方解石

資源開発協力基礎調査報告書 [選鉱本試験]

(レアメタル総合開発調査中華人民共和国広東南西部沿岸地域)

目 次

はしがき

I	総論	1
1.	調査概要	1
1.1	調査名	1
1.2	調査地域	1
1.3	調査機関	1
1.4	調査内容	1
1.4.1	調査目的	2
1.4.2	現地試験	2
2.	調査の実施体制および調査実施状況	3
2.1	協定折衝および現地指導監督	3
2.2	現地事前調査	3
2.3	現地調査	4
II	選鉱予備試験	9
1.	調査概要	9
1.1	調査概要	9
1.2	調査内容	9
2.	試験結果	12
2.1	原砂	12
2.2	1次選鉱試験	14
2.3	2次選鉱試験	16

2.3.1 基礎研究	16
2.3.2 選鉍試驗	29
2.3.3 鉍物試驗	38
3. 考察	43
4. 結論	49
III 選鉍本試驗	51
1. 調查概要	51
1.1 調查概要	51
1.2 調查內容	51
1.2.1 現地試驗	52
1.2.2 国内試驗	54
2. 試驗結果	54
2.1 原砂	54
2.2 1次選鉍試驗	57
2.3 2次選鉍試驗	60
2.3.1 基礎試驗	60
2.3.2 選鉍試驗	66
2.4 国内試驗	68
2.4.1 確認試驗	68
2.4.2 鉍物研究	72
3. 考察	83
4. 結論	87
5. 提言	90

卷末資料 I 選鉍本試驗

卷末資料 II 選鉍予備試驗

I 総論

本調査は国際協力事業団および金属鉱業事業団と中華人民共和国有色金属工業総公司との間で1987年（昭和62年）7月3日付けで締結された「中華人民共和国広東南西部沿岸地域レアメタル総合開発調査実施細則」に基づき、中華人民共和国広東南西部沿岸地域において実施されたボーリング調査により賦存が確認されている中華人民共和国広東南西部沿岸地域における重砂鉱床の選鉱特性を把握することを目的として1990年（平成2年）に実施された選鉱予備試験に引き続いて、予備試験の結果から選定された選鉱フローシートにもとづいて、スパイラルコンセントレーターを使用した1次選鉱工程を含め、全ての精鉱産物が産出できる試験規模に拡大した選鉱本試験を実施し、その結果を取りまとめたものである。

1. 調査概要

1.1 調査名 平成3年度資源開発協力基礎調査（レアメタル総合開発調査
中華人民共和国広東南西部沿岸地域）〔選鉱本試験〕

1.2 調査地域 東里地区

1.3 調査期間 （調査報告書作成期間を含む）

自 平成 3年 5月17日

至 平成 4年 2月28日

1.4 調査内容

1.4.1 調査目的

昨年実施された「選鉱予備試験」によって選定された選鉱フローシートに

したがって、東里地区における重砂鉍床を対象としてイルメナイト、ジルコン、ルチル、モナザイト、ゼノタイムの主要5産物の選鉍成績を評価するには必要十分な精鉍量を得られる規模で、1次選鉍および2次選鉍処理を実施し、選鉍予備試験で把握された選鉍特性を確認するとともに、精度の高い選鉍成績を確定する。また、「選鉍本試験」の成績を粒度別に求めることにより、今後把握される鉍床の粒度分布と品位により、その選鉍成績の推定に資するものとする。

また、一部持ち帰り試料による確認試験と鉍物研究を日本で行う。

1.4.2 現地試験

- (1) 現地試験は、広州有色金属研究院において実施する。
- (2) 現地試験の内容は以下のとおりとし、実施した分析内容の総括表を表I-1に示す。

1) 選鉍本試験

- ① 1次選鉍試験（粒度別産物）
- ② 2次選鉍試験（粒度別産物）

2) 選鉍特性試験

- ① 焙焼試験およびX線回折
- ② 選鉍特性試験（ゼノタイムに関する磁力選鉍および静電選鉍）

(3) 調査期間

現地試験を実施するため1991年（平成3年）6月20日～12月21日の間広州市に日本人選鉍技術者が滞在し、調査を実施した。

2. 調査実施体制および調査実施状況

中国側カウンターパートは中国有色金属工業総公司・地質局（北京）および同広東地質勘査局（広州）であり、中国側の調査（選鉱本試験）実施機関は中国有色金属工業総公司の地方研究組織である広州有色金属研究院である。

中国側カウンターパートである中国有色金属工業総公司の指示系統を図 I - 1 に、広州有色金属研究院および選鉱研究室の組織を図 I - 2、I - 3 に示す。

2.1 協定折衝および現地指導監督

日本側

村上 裕道（国際協力事業団）
目次 英哉（金属鉱業事業団）
荻津 毅（金属鉱業事業団
北京駐在員）

中国側

陳 鉄生（中国有色金属工業総公司）
崔 虎林（中国有色金属工業総公司）
王 勇（中国有色金属工業総公司）
張 学全（中国有色金属工業総公司）
張 吉慶（ ” 広東地質勘査局）
孫 長慶（ ” 広東地質勘査局）
蒙 合栄（ ” 広東地質勘査局）
馮 家本（ ” 広東地質勘査局）
陳 傑（ ” 広東地質勘査局）

2.2 現地事前調査

(1) 調査員 : 村田真利（選鉱）

(2) 調査期間 : 1991年（平成3年）5月17日～28日（滞在日数12日）

(3) 調査場所 : 広州有色金属研究院、他

2.3 現地調査

日本側

村田 真利 (三井金属資源開発
株式会社選鉱本試
験・選鉱責任者)
新谷 勇男 (三井金属資源開発
株式会社選鉱本試
験・選鉱技術)

中国側

程 德明 (広州有色金属研究院)
周 克崧 (広州有色金属研究院)
曾 衛東 (広州有色金属研究院)
陳 其本 (広州有色金属研究院)
趙 廉奇 (広州有色金属研究院)
杜 泰康 (広州有色金属研究院)
劉 承宗 (広州有色金属研究院)
向 延松 (広州有色金属研究院)
李 素賢 (広州有色金属研究院)
葉 志平 (広州有色金属研究院)
于 景龍 (広州有色金属研究院)
鄧 麗紅 (広州有色金属研究院)
田 英 (広州有色金属研究院)
高 一德 (広州有色金属研究院)
李 俊鋒 (広州有色金属研究院)
雷 一鋒 (広州有色金属研究院)
區 淑芬 (広州有色金属研究院)
吳 靖華 (広州有色金属研究院)
馬 連學 (広州有色金属研究院)

各調査員の調査滞在期間を次に示す。

村田真利 (選鉱) 1991年 (平成3年) 6月20日～8月20日
1991年 (平成3年) 10月4日～12月21日
(滞在日数計141日)
新谷勇男 (選鉱) 1991年 (平成3年) 6月20日～12月21日
(滞在日数185日)

表 I - 1 選鉱本試験分析内容総括表

分析項目および内容		数量
(1) 現場試験		件
粒度分析	5区分 [+0.150, +0.100, +0.080, +0.039, -0.039mm]	18
化学分析1	11成分 [TiO ₂ , (Zr, Hf)O ₂ , TREO, ThO ₂ , Y ₂ O ₃ , La ₂ O ₃ , CeO ₂ , P ₂ O ₅ , FeO, Fe ₂ O ₃ , SiO ₂]	84
化学分析2	8成分 [TiO ₂ , (Zr, Hf)O ₂ , TREO, ThO ₂ , Y ₂ O ₃ , La ₂ O ₃ , CeO ₂ , P ₂ O ₅ ,]	1
化学分析3	7成分 [TiO ₂ , (Zr, Hf)O ₂ , TREO, ThO ₂ , Y ₂ O ₃ , La ₂ O ₃ , CeO ₂ ,]	3
化学分析4	5成分 [TREO, ThO ₂ , Y ₂ O ₃ , La ₂ O ₃ , CeO ₂]	1
化学分析5	ジルコン精鉱 [(Zr, Hf)O ₂]	2
化学分析6	精鉱の不純物分析 (イルメナイト, ルチル) 3成分 [Cr ₂ O ₃ , V ₂ O ₅ , S]	2
化学分析7	レアアース精鉱全成分分析 (セ'ノタイト, モッサ'イト) 17成分 [Y ₂ O ₃ , La ₂ O ₃ , CeO ₂ , ThO ₂ , Pr ₆ O ₁₁ , Nb ₂ O ₃ , Sm ₂ O ₃ , Eu ₂ O ₃ , Gd ₂ O ₃ , Tb ₄ O ₇ , Dy ₂ O ₃ , Ho ₂ O ₃ , Er ₂ O ₃ , Tm ₂ O ₃ , Yb ₂ O ₃ , Lu ₂ O ₃ , U ₃ O ₈]	2
重砂分析	2成分 [イルメナイト, ルチル]	89
(2) 基礎試験		
化学分析8	11成分 [TiO ₂ , (Zr, Hf)O ₂ , TREO, ThO ₂ , Y ₂ O ₃ , La ₂ O ₃ , CeO ₂ , P ₂ O ₅ , FeO, Fe ₂ O ₃ , SiO ₂]	8
X線回折		9
重液分離	比重 (2.8, 3.2)	1
化学分析9	5成分 [TiO ₂ , (Zr, Hf)O ₂ , Y ₂ O ₃ , La ₂ O ₃ , CeO ₂]	14
重砂分析	5成分 [イルメナイト, ルチル, シ'ルコン, モッサ'イト, セ'ノタイト]	26
(3) 国内試験		
化学分析10	11成分 [TiO ₂ , (Zr, Hf)O ₂ , TREO, ThO ₂ , Y ₂ O ₃ , La ₂ O ₃ , CeO ₂ , P ₂ O ₅ , FeO, Fe ₂ O ₃ , SiO ₂]	70
化学分析11	クロスチェック用 6成分 [TREO, ThO ₂ , Y ₂ O ₃ , La ₂ O ₃ , CeO ₂ , P ₂ O ₅]	20
X線回折		16
研磨薄片作成・顕微鏡観察		14
E P M A		21

图 1 - 1

中国側組織図

(有色金属工業總公司指示系統)

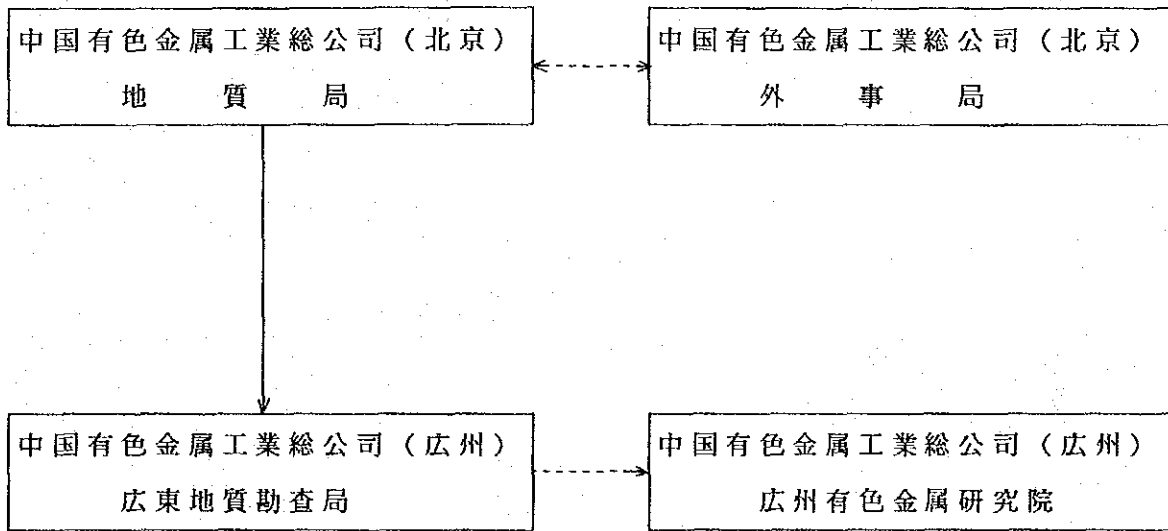


图 I - 2 广州有色金属研究院组织图

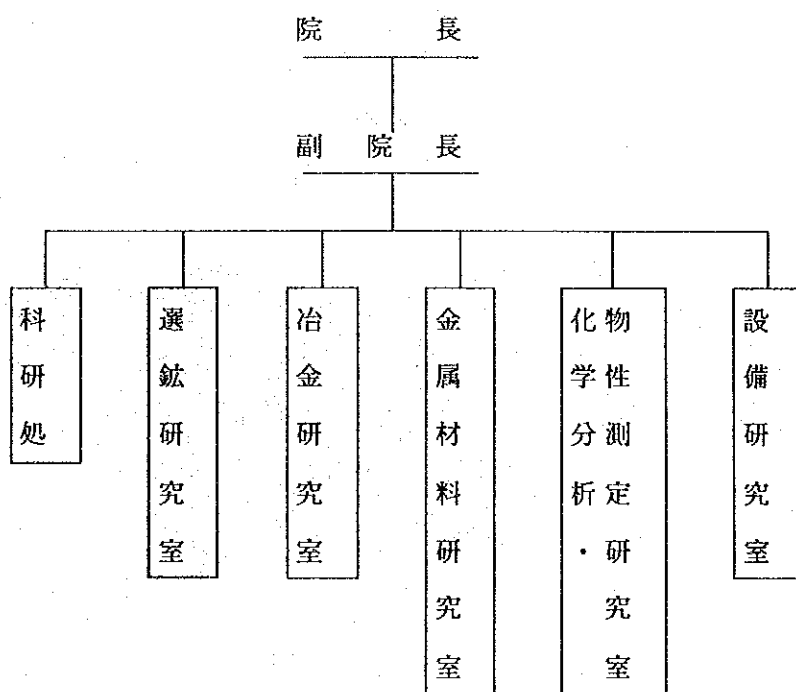
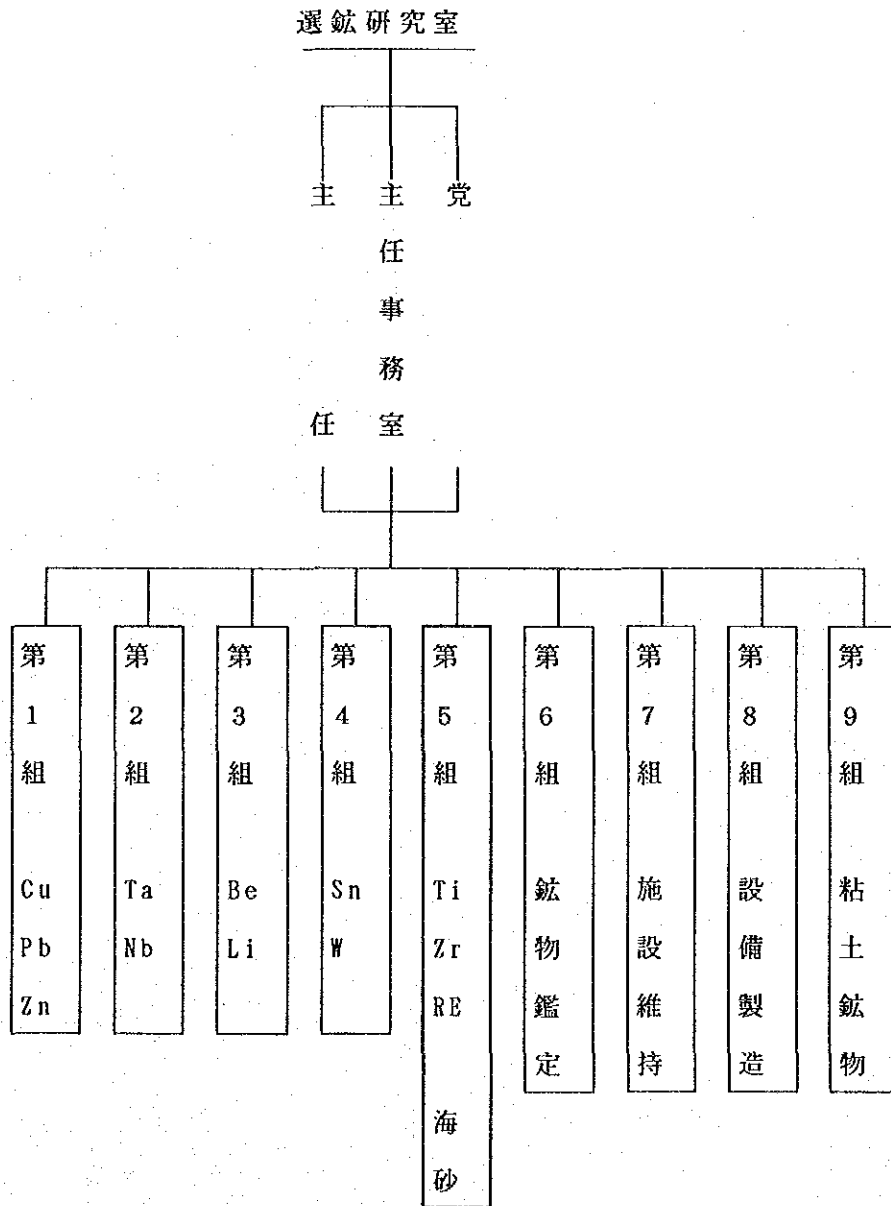


図 1 - 3 広州有色金属研究院選鈹研究室組織図



1991年に貴金属の研究部門が選鈹研究室から独立した。

II 選鉱予備試験

1. 調査概要

1.1 調査概要

選鉱試験は、第1段階の「選鉱予備試験」と第2段階の「選鉱本試験」とからなり、「選鉱予備試験」は1990年度（平成2年度）に、「選鉱本試験」は1991年度（平成3年度）にそれぞれ実施した。

「選鉱予備試験」では東里地区および湛江地区の2地区のボーリング調査で得られた試料を対象に、はじめに1次選鉱を実施し、石英等軽鉱物を粗く分離除去した。

次に、回収した1次選鉱精鉱（イルメナイト他の重鉱物主体とする）を用いて、鉱物研究と選鉱特性試験とからなる基礎研究を行い、2次選鉱での適用すべき選鉱法および処理フローを検討した。その後、検討したフローシートで1次選鉱精鉱を対象に2次選鉱を実施し、イルメナイト、ジルコン、ルチル、モナザイト、ゼノタイムの有用鉱物に分離した。

現地試験は、1990年（平成2年）8月16日～12月14日まで広東省広州市にある中国有色金属工業総公司広州有色金属研究院選鉱研究室で、同研究室所有の試験設備（表II-1参照）を使用して行った。また、一部試料を持ち帰り日本で鉱物研究を実施した。

1.2 調査内容

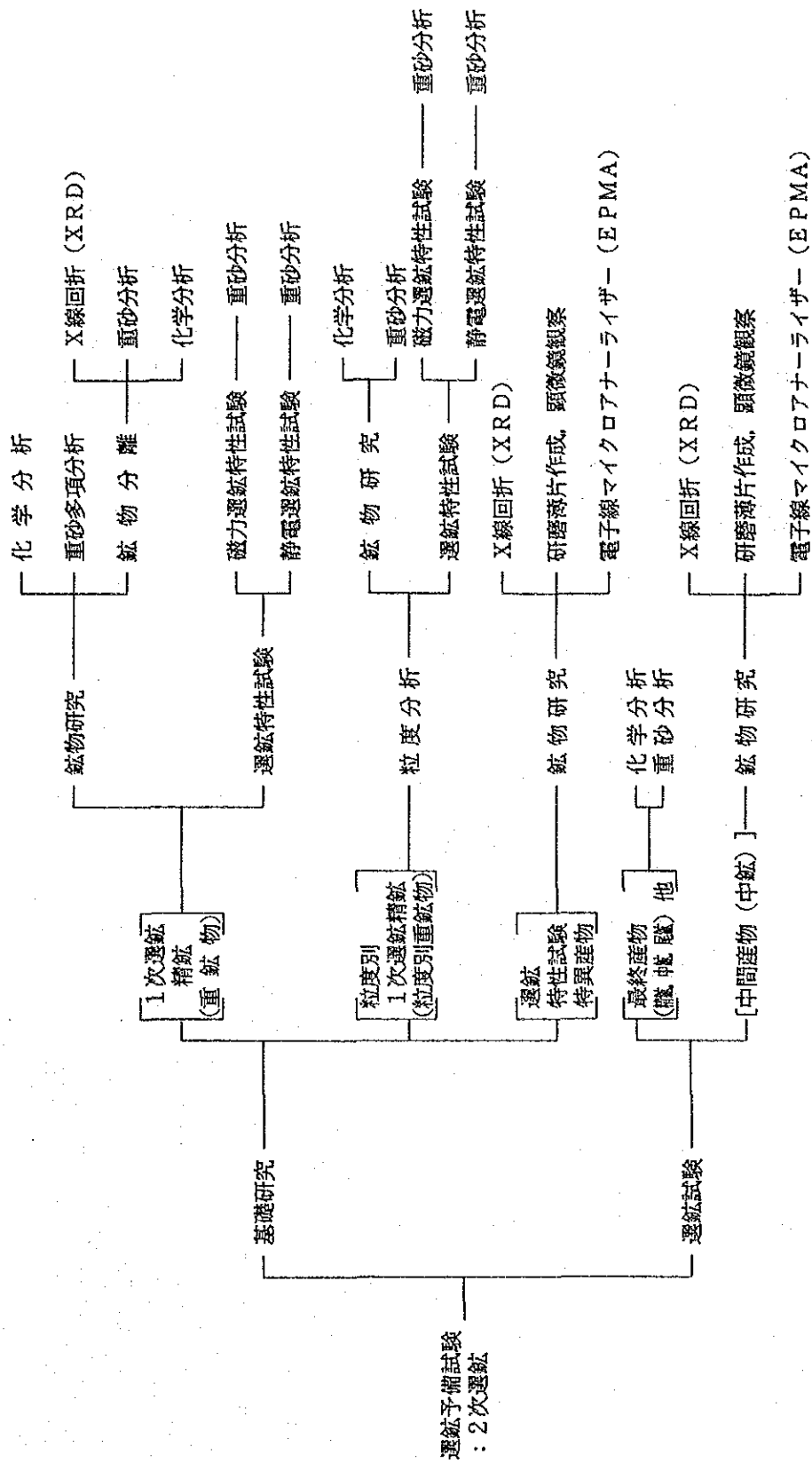
選鉱予備試験は1次選鉱を中国側が行い、2次選鉱は日中が共同して実施した。選鉱予備試験・2次選鉱の研究項目を図II-1に示す。

中国側が用意した1次選鉱精鉱に対し磁力選鉱および静電選鉱に関する特性試験と種々産物についての鉱物研究とからなる基礎研究を実施した。

これ等の基礎研究の結果から有用鉱物の分離選鉱法と処理フローシートを検

表Ⅱ-1 選鉱試験使用機器 (広州有色金属研究院: 選鉱研究室)

No.	名 称	仕 様	能 力
1	比重選鉱機 (スパイラルコンセント レーター)	GL型 (中国製) 600 ^φ 回数: 4 または 6	
2	比重選鉱機 (シェキングテーブル)	XC Y型 (中国製) 2000 ^W ×1050 ^L 振幅: 10~30mm 回転: 245~450回/分	30kg/h
3	(" ")	XZ Y型 (中国製) 1000 ^W ×500 ^L 振幅: 9~17mm 回転: 280~460回/分	15kg/h
4	磁力選鉱機 (鉱物研究用)	フランツ型アイソダイナミックセパレータ (中国製)	20kg/h
5	静電選鉱機	XDG 1-65型単回転式 (中国製) φ160mm Max 30kV	3 kg/h
6	"	MK III BENCH (オーストラリア製) 網式: 300 ^W ×450 ^L Max 35kV	6 kg/h
7	"	MK III BENCH (オーストラリア製) 板式: 300 ^W ×450 ^L Max 35kV	6 kg/h
8	篩分け振とう機	ロータップ式 (中国製) 7段掛	
9	湿式用ハブ振動篩分け機	XSD 2-80電磁式 (中国製)	80kg/h
10	試 験 篩	1, 3, 4, 6, 8 mesh, (26.67), (6.68), (4.69), (3.33), (2.36mm), 10, 14, 20, 28, 35 mesh, (1.65), (1.17), (0.83), (0.59), (0.42mm), 48, 65, 100, 150 mesh, (0.30), (0.21), (0.15), (0.10mm), 200, 250, 325 mesh (0.074), (0.061), (0.034mm)	
11	磁力選鉱機	湿式XCQS-79型 250 ^W ×300 ^φ Max 5500~5800 Gauss	
12	"	CQ-138A 乾式磁選機 80 ^W ×80 ^φ Max 11,000 Gauss	200 g/h
13	"	天津XCQG-72型 乾式回転式 60 ^W ×80 ^φ Max 2.0A 14,000 Gauss	100 g/h
14	磁力選鉱機	MC-2型 ディスク型 (中国製) 2300×835×1128 Max 16,000 Gauss	200kg/h
15	ばい焼炉	マッフル炉型 200 ^W ×200 ^H ×300 ^L SX ₂ 10~13箱式高温炉 (10 ^k ~1300°C)	
16	分 析 機	X線回折機 [XRD] (東ドイツ製) TURM62型	
17	"	電子線マイクロアナライザー [EPMA] (日本製) JEOL SUPERRO BE-733	



図II-1 選鉱予備試験：2次選鉱

討した。次に、検討したフローを用い、2次選鉱試験を実施し、最終産物（精鉱、中鉱、尾鉱）を得た。これらの産物に対しても必要に応じた鉱物研究を実施した。鉱物研究の手段として比重分離、化学分析、重砂分析、X線回折（XRD）、顕微鏡観察および電子線マイクロアナライザー（EPMA）等を用いた。

また、一部の産物を日本に持ち帰り、日本国内で化学分析、X線回折（XRD）を行うと共に、研磨薄片等を作成し、顕微鏡観察および電子線マイクロアナライザー（EPMA）による鉱物研究を実施した。

なお、中国で実施した試験研究の分析は同研究院で行い、その分析結果が日本側に提供された。中国側提供の分析結果と日本国内での研究結果を総合解析し、次年度実施の「選鉱本試験」における選鉱フローシートを決定した。

2. 試験結果

次に選鉱試験結果を原砂、1次選鉱、2次選鉱、鉱物研究の項目にまとめて述べる。選鉱予備試験結果の図表類はまとめて巻末資料Ⅱとして添付してあるのでここでは必要なもののみ抜き出してある。

2.1 原砂

東里地区および湛江地区の浅海で1990年に実施されたボーリング調査のコア試料の鉱体着鉱部分を混合して供試料を調製した。各ボーリング試料の主な重鉱物の鉱物量および化学品位を表Ⅱ-2に示す。

表 II - 2 混合試料の主要重砂および化学分析結果

	鉍物量 (%)					化学品位 (%)			
	イルメナイト	ジルコン	ルチル	モナザイト	ゼノタイム	TiO ₂	ZrO ₂	TREO	Y ₂ O ₃
東里試料	0.231	0.116	0.031	0.012	0.001	0.52	0.073	0.031	0.001
湛江試料	0.177	0.131	0.024	0.017	0.004	0.59	0.081	0.052	0.014

重砂分析等の鉍物研究により、原砂に含まれる有用重鉍物は全部で5鉍物（以下主要5鉍物とする）であり、いずれの試料においても含有量の多い順に、イルメナイト、ジルコン、ルチル、モナザイト、ゼノタイムである。

原砂中の主要5鉍物の合計品位は、両地区とも約0.4%で非常に低い。粒度が細くなるにつれて重鉍物の含有割合が高くなり、粒径の大きい順にTiO₂、ZrO₂、TREOになる（表 II - 3 参照）。-0.20mm~+0.04mm区分の鉍量分布が湛江試料は77.02%、東里試料は92.13%であり、前者がより幅広い粒度分布をもっている。

また、試料の平均粒径をしめす中央粒径d₅₀は湛江0.094mm、東里0.097mmで湛江が細かい。最大分布を示す粒度は両者とも-0.08~+0.039mmで差がない。

また、両試料ともSn、TaおよびNb鉍物はほとんど含まれていない。

表 II - 3 各鉍物の中央粒径(d₅₀)

単位 mm

	鉍量	TiO ₂	ZrO ₂	TREO
東里試料	0.097	0.079	0.075	0.071
湛江試料	0.094	0.068	0.054	0.048

2.2 1次選鉱試験

1) 選鉱試験

2.1で調整した試料を用いて1次選鉱を実施した。選鉱の目的は、比重選鉱により軽鉱物を粗く分離除去することである。使用した比重選鉱機は、処理能力は小さいが選別の良いシェイキングテーブル（以下テーブルと略する）だけで、大量処理に通常使用されるスパイラルコンセントレーター（以下スパイラルと略する）は用いなかった。

両試料についての1次選鉱試験結果を対比表にまとめると表II-4のようになる。

即ち、処理能力よりも採取率を重視した操業ができるテーブルを用いても、尾鉱に流逸している量が、東里試料では TiO_2 が52.24%、 ZrO_2 が15.88%、 $TREO$ が54.64%、湛江試料では TiO_2 が62.45%、 ZrO_2 が18.01%、 $TREO$ が68.72%と多く、特に TiO_2 鉱物と、 $TREO$ 鉱物で多く流逸している。また、湛江試料のほうが東里試料より逸損量が多い。これは、主に原砂に含まれる重鉱物の粒度が非常に細かく、湛江試料が東里試料より細かいことに起因していると考えられる。

富鉱比は、東里試料で30~80倍程度に、湛江試料で50~160倍程度に濃縮されている。

鉱物採取率は化学分析値による採取率より良い値を示している。しかし、東里試料の場合で示されるように鉱物採取率と化学分析による採取率は、 TiO_2 の主要鉱物であるイルメナイトとルチルでは、前者がイルメナイトとルチル共約85%、後者が約38%と $TREO$ の主要鉱物であるモナザイトでは前者は約85%、後者は約34%と半分以下になり、まったく整合していない。

これは、品位の非常に低い原砂における重砂分析の値が低めに出ている事による。

表 II - 4 1 次選鈇成績の対比表

		東里試料	湛江試料
鈇量歩留まり (%)		0.99 (11.43)	0.508 (2.736)
精鈇品位 (%)	TiO ₂	21.69 (38.1)	28.66 (49.8)
	ZrO ₂	6.98 (77.6)	14.17 (159.2)
	TREO	1.05 (33.9)	2.72 (55.5)
採取率 (%)	TiO ₂	37.54 (47.76)	25.26 (37.55)
	ZrO ₂	75.73 (84.12)	80.90 (81.91)
	TREO	33.78 (45.36)	28.40 (31.28)
鈇物採取率 (%)	イリチウム	85.24	
	ジルコニウム	85.59	
	タンタル	84.97	

注1 鈇量歩留まりは精鈇の原砂量に対する割合である。

注2 ()の数値は鈇量歩留まりおよび採取率では中鈇を含む、
精鈇品位では富鈇比 (精鈇品位 / 原鈇品位) である。

2.3 2次選鉱試験

2.2の1次選鉱試験で得た重鉱物主体の精鉱を用いて、イルメナイト、ジルコン、ルチル、モナザイト、ゼノタイムの有用鉱物に分離し、回収する2次選鉱を実施した。

2次選鉱は次の2つより構成される。

① 基礎研究

1次選鉱精鉱、粒度別1次選鉱精鉱に対して選鉱特性試験を実施し、それらの産物について鉱物研究をおこなった。

② 選鉱試験

基礎研究の結果から2次選鉱で実施する選鉱法と処理フローを検討し、検討結果のフローを用い選鉱試験を行った。この選鉱試験の結果を解析し、2次選鉱のフローシートを作成した。

又、一部試料を日本に持ち帰り、鉱物研究を行った。

2.3.1 基礎研究

2次選鉱の効率的な処理フローを検討するために、原砂から軽鉱物を粗分離して得られた1次選鉱精鉱に対し、その構成鉱物の種類および含有量、化学組成、粒度等を調査した。

その結果についてまとめると以下のようなになる。

① 化学分析結果から含有量は両試料とも同じような傾向にあり、レアメタルでは TiO_2 が最も多く、次いで ZrO_2 の順で、レアアースではTREOの内モナザイト系の CeO_2 、 La_2O_3 、次いでゼノタイム系の Y_2O_3 、モナザイト系の ThO_2 の順になっている。両試料の間では湛江試料の方が東里試料より品位が若干高い。

その他の Nb_2O_5 、Cr、 HfO_2 、 Ta_2O_5 、 WO_3 、 SnO_2 等は非常に少ない。

表 II - 5 主要レアメタルおよびレアアースの化学分析結果

	東里試料	湛江試料
TiO ₂	21.69 %	28.89 %
ZrO ₂	6.98	14.92
HfO ₂	0.151	0.029
TREO	1.03	2.11
CeO ₂	0.286	0.76
La ₂ O ₃	0.174	0.42
Y ₂ O ₃	0.114	0.36
ThO ₂	0.06	0.19
Nb ₂ O ₅	0.84*	0.14
Cr	0.1	0.18
Ta ₂ O ₅	0.037	0.066
WO ₃	0.01	0.055
SnO ₂	0.001	0.094

* Nb品位は、原砂では定量限界以下であり、1次選鉱精鉱の重砂多項分析ではNb鉱物が見つからないので、一桁小さい0.084%程度と推定される。

② 重砂多項分析による重鉱物を主体とする構成鉱物の調査結果から、有用鉱物ではイルメナイト・ルチル・鋭錐石・白チタン石等のTiO₂鉱物が最も多く、次いでジルコン、レアアース鉱物のモナザイト、ゼノタイムの順に続く。

その他に、フローレンサイト[(La,Ce)Al₃(PO₄)₂(OH)₆]が微量ながら認められる。

苦鉄質鉍物には電気石の他、角閃石および緑れん石が主に含有される。

表 II - 6 主要重鉍物の鉍物分析結果

	東里試料	湛江試料
イリナイト	19.89 %	31.90 %
ルチル *	2.68	4.30
白チン石	11.56	9.66
TiO ₂ 鉍物計	34.13	45.86
ジルコン	10.39	22.43
モナイト	1.03	2.82
ゼノタイム	0.42	0.61

注1 ルチルには鋭錐石を含む。

③ 選鉍特性試験

2次選鉍の効率的処理フローを検討するため、1次選鉍精鉍を重液分離した後の重鉍物（比重>3.3）に対し、分離磁場を650~20,000 Gaussまで変化させて磁力分離し、各有用鉍物の磁力分離特性を調査する磁力選鉍特性試験および分離印加電圧を5~30kVまで変化させて静電分離し、各有用鉍物の静電分離特性を調査する静電選鉍特性試験を実施した。

使用機器、材料は次の通りである。

○重液分離：

プロモホルム（S.G=2.8）および沃化メチレン（S.G=3.3）

○磁力分離：

永久磁石および磁力選鉱機〔フロンツ型〕（中国製）

○静電分離：

静電選鉱機〔X D G I - 65型単回転式〕（中国製）

(1) 磁力選鉱特性試験

磁力選鉱特性試験の結果を表Ⅱ-7、Ⅱ-8に示す。これら各鉱物の磁性の範囲は表Ⅱ-9の対比表のようにまとめられる。

これらの結果より各鉱物共その磁性の範囲は非常に広いことが判明した。

両試料の間では湛江試料の方が東里試料より TiO_2 鉱物、ゼノタイムの磁性範囲が広い。他の鉱物には大きな差は認められない。0.08mmで粒度を区分けした粒度別試験の結果も同じような特性を示している。しかし、粒度別に磁力選鉱を実施した方がモナザイトとゼノタイムの分離が容易になる傾向が認められる。

主要鉱物の各分離磁場における着磁物への分布を図Ⅱ-2、Ⅱ-3に示す。

表 II - 7

東里・1次選鉱精鉱・磁力選鉱特性試験：重砂分析結果

産物 (Gauss (A))	鉍量 (Wt%)		イルメナイト			#1 ルチル他			白チタン石			ジルコン			モナザイト			ゼノタイム			マグネタイト			#2 褐鉄鉍			#3 黄玉他			#4 電気石			#5 石英他			合計
	工程内	全工程	品位 (%)	分布率		品位 (%)	分布率		品位 (%)	分布率		品位 (%)	分布率		品位 (%)	分布率		品位 (%)	分布率		品位 (%)	分布率		品位 (%)	分布率		品位 (%)	分布率		品位 (%)	分布率					
				(%)	累積		(%)	累積		(%)	累積		(%)	累積		(%)	累積		(%)	累積		(%)	累積		(%)	累積		(%)	累積		(%)	累積	(%)	累積	(%)	
650 重砂物	2.07	1.22																		100.00	100.00	100.00													100.00	
2.000 "	4.37	2.58	75.19	9.72	9.72						1.16	0.29	0.29																						100.00	
3.000 "	10.81	6.38	78.06	24.95	34.67						0.94	0.59	0.88																						100.00	
4.000 "	18.85	11.12	75.99	42.33	77.00						0.99	0.95	0.95	0.99	1.08	1.96				0.99	22.45	22.45													100.00	
5.000 "	6.81	4.02	55.97	11.27	88.27						1.00	0.35	1.30	4.98	1.97	3.93				2.99	24.49	46.94													100.00	
6.000 "	4.54	2.68	35.82	4.81	93.08						4.10	0.95	2.25	1.12	0.29	4.22				4.10	22.45	69.39													100.00	
7.000 "	4.19	2.47	25.10	3.11	96.19						2.83	0.61	2.86	1.21	0.29	4.51	6.88	16.04	16.04	2.02	10.20	79.59													100.00	
8.000 "	8.54	5.04	15.08	3.81	100.00						15.08	6.57	9.43	1.98	0.98	5.49	7.94	37.74	52.78	1.98	20.41	100.00														100.00
12.000 "	2.97	1.75									29.14	4.41	13.84	4.00	0.69	6.18	14.29	23.58	77.36																100.00	
15.000 "	4.02	2.37				5.06	4.96	4.96	40.08	8.22	22.06	3.80	0.89	7.07	10.13	22.64	100.00																		100.00	
20.000 "	2.80	1.65				10.30	7.02	11.98	69.09	9.86	31.92	15.15	2.46	9.53																					100.00	
20.000 精砂物 (2.0)	30.03	17.72				12.02	88.02	100.00	30.02	46.02	77.94	51.98	90.47	100.00																						100.00
計	100.00	59.00	33.83	100.00		4.10	100.00		15.27	77.94		17.25	100.00			1.80	100.00		0.83	100.00															100.00	
2.8 ≤ 比重 < 3.3	100.00	21.26							11.99	22.06	100.00																									100.00
比重 < 2.8	100.00	19.74																																	100.00	
合計	100.00	19.96	100.00			2.42	100.00		11.56	100.00		10.18				1.06	100.00		0.49	100.00															100.00	

ただし、*1は鋭錐石を含む。 *2は赤鉄鉍を含む。 *3はコランダム他を含む。
*4は角閃石を含む。 *5は長石他を含む。

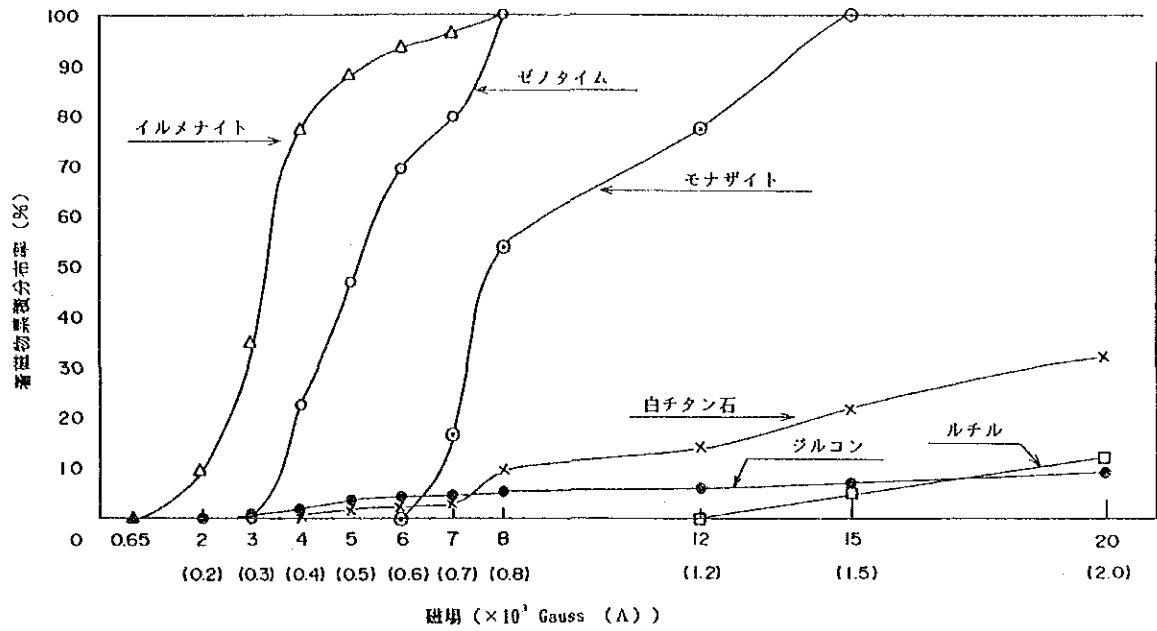
表 II - 8

湛江・1次選鉱精鉱・磁力選鉱特性試験：重砂分析結果

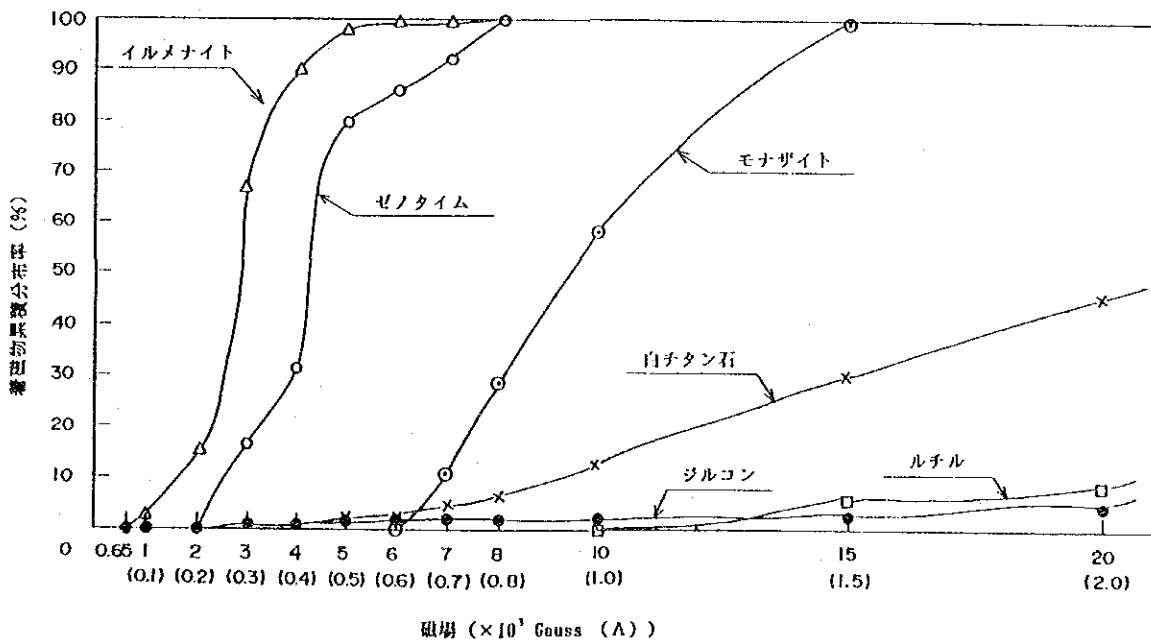
産物 (Gauss (A))	鉍量 (Wt%)		イルメナイト			#1 ルチル他			白チタン石			ジルコン			モナザイト			ゼノタイム			マグネタイト			#2 褐鉄鉍			#3 黄玉他			#4 電気石			#5 石英他			合計
	工程内	全工程	品位 (%)	分布率		品位 (%)	分布率		品位 (%)	分布率		品位 (%)	分布率		品位 (%)	分布率		品位 (%)	分布率		品位 (%)	分布率		品位 (%)	分布率		品位 (%)	分布率		品位 (%)	分布率					
				(%)	(%)		累積	(%)		(%)	累積		(%)	(%)		累積	(%)		(%)	累積		(%)	(%)		累積	(%)		(%)	累積		(%)	(%)	累積	(%)	(%)	
650 普通物	2.58	2.29																		100.00	100.00	100.00													100.00	
1.000 " (0.1)	1.45	1.29	65.11	2.63	2.63						0.78	0.04	0.04																						100.00	
2.000 " (0.2)	5.04	4.48	85.04	11.94	14.57						0.45	0.09	0.13																						100.00	
3.000 " (0.3)	22.40	19.90	84.02	52.40	66.97						1.01	0.87	1.00				0.50	16.39	16.39																100.00	
4.000 " (0.4)	10.41	9.25	80.00	23.19	90.16						0.97	0.98	0.98				0.97	14.75	31.14																100.00	
5.000 " (0.5)	4.82	4.28	60.04	8.05	98.21						2.10	0.98	1.96				7.01	49.18	80.32																100.00	
6.000 " (0.6)	1.45	1.29	33.33	1.35	99.56						3.88	0.54	2.50				3.10	6.56	86.88																100.00	
7.000 " (0.7)	2.35	2.09	4.79	0.31	99.87						9.09	2.07	4.57				14.35	10.68	10.68																100.00	
8.000 " (0.8)	2.13	1.89	2.12	0.13	100.00						13.23	2.72	7.29				26.98	18.15	28.83																100.00	
10.000 " (1.0)	2.58	2.29				0.44	0.23	0.23	24.02	5.99	13.28	0.87	0.09	1.73	35.81	29.18	58.01																		100.00	
15.000 " (1.5)	4.93	4.38				5.02	5.08	5.31	36.08	17.21	30.49	5.02	0.97	2.70	26.94	41.99	100.00																		100.00	
20.000 " (2.0)	2.69	2.39				5.86	3.23	8.54	60.25	15.69	46.18	20.50	2.17	4.87																					100.00	
20.000 非磁物 (2.0)	37.17	33.03				11.99	91.46	100.00	9.99	35.95	82.13	65.00	95.13	100.00																					100.00	
計	100.00	88.85	35.91	100.00		4.87	100.00		8.49	82.13		25.40	100.00		3.16	100.00		0.69	100.00		2.58	100.00		3.35	100.00		1.13	100.00		14.42	72.21			100.00		
2.8 ≤ 比重 < 3.3	100.00	6.57							24.96	17.87	100.00																								100.00	
比重 < 2.8	100.00	4.58																																	100.00	
合計	100.00	31.91	100.00			4.33	100.00		9.18	100.00		22.57		2.81	100.00		0.61	100.00		2.29	100.00		2.98	100.00		1.00	100.00		17.74	100.00		4.58	100.00	100.00		

ただし、*1は鋭錐石を含む。 *2は赤鉄鉍を含む。 *3はコランダム他を含む。

*4は角閃石を含む。 *5は長石他を含む。



図II-2 東里・1次選鉱精鉱・磁力選鉱特性試験
(ただし、ルチルは鋭錐石を含む)



図II-3 湛江・1次選鉱精鉱・磁力選鉱特性試験
(ただし、ルチルは鋭錐石を含む)

表 II - 9 主要鉱物の磁性範囲一覧表

鉱物	東里試料	湛江試料
イルメナイト	650~6,000Gauss着磁物	650~6,000Gauss着磁物
白チタン石	3,000Gauss非着磁物	3,000Gauss非着磁物
ルチル (含鋭錐石)	12,000Gauss非着磁物	8,000Gauss非着磁物
ジルコン	650Gauss非着磁物	650Gauss非着磁物
モナザイト	6,000~15,000Gauss着磁物	6,000~15,000Gauss着磁物
ゼノタイム	3,000~8,000Gauss着磁物	2,000~8,000Gauss着磁物
マグネタイト	650Gauss非着磁物	650Gauss非着磁物
褐鉄鉱	650~8,000Gauss着磁物	650~8,000Gauss着磁物
黄玉	20,000Gauss非着磁物	20,000Gauss非着磁物
電気石角閃石	650~20,000Gauss着磁物	650~20,000Gauss着磁物
石英長石	20,000Gauss非着磁物	20,000Gauss非着磁物

X線回折ではイルメナイトは6,000Gauss非着磁物や15,000Gauss着磁物の中になんかの量を、20,000Gauss非着磁物の中にも微量ながら認められる。ルチル（鋭錐石、白チタン石を含む）も同様に650Gauss非着磁物にも認められ、各区分産物中に幅広く含有している。

ジルコンは20,000Gauss非着磁物に多量含まれるが、650Gauss非着磁物から全ての着磁物で微~少量であるが幅広く含有している。

(2) 静電選鉱特性試験

静電選鉱特性試験の結果を表Ⅱ-10、図Ⅱ-4～Ⅱ-8に示す。これらの結果から各鉱物の分離印加電圧は15kV以上、できれば20kV以上必要である。

また、良導体であるイルメナイトやルチルの中には不良導体の中に分布するものも多く、特にルチルとジルコンの分離が困難な重砂であることが分かる。

粒度別に静電選鉱した場合、その特性は全粒度と同様であるが、不良導体の（ジルコン、モナザイト、ゼノタイム等）の回収が良好な傾向がある。

(3) イルメナイト粗産物中のTiO₂鉱物

イルメナイト粗産物におけるイルメナイト系列およびルチル系列の鉱物を電子線マイクロアナライザー（EPMA）でTiO₂品位を分析した。

使用機器、材料は次の通りである。

電子線マイクロアナライザー（EPMA）

：（日本製）[JEOL SUPER PROBE-733]

イルメナイト系列の鉱物は、チタンと鉄品位により次の5つのグループに分類される。高チタンから低チタンへ順に、高チタンイルメナイト、イルメナイト、鉄イルメナイト、チタン赤鉄鉱、含チタン赤鉄鉱となる。

ルチル系列についても同様に、高チタンから低チタンへ順にルチル鋭錐石、白チタン石となる。

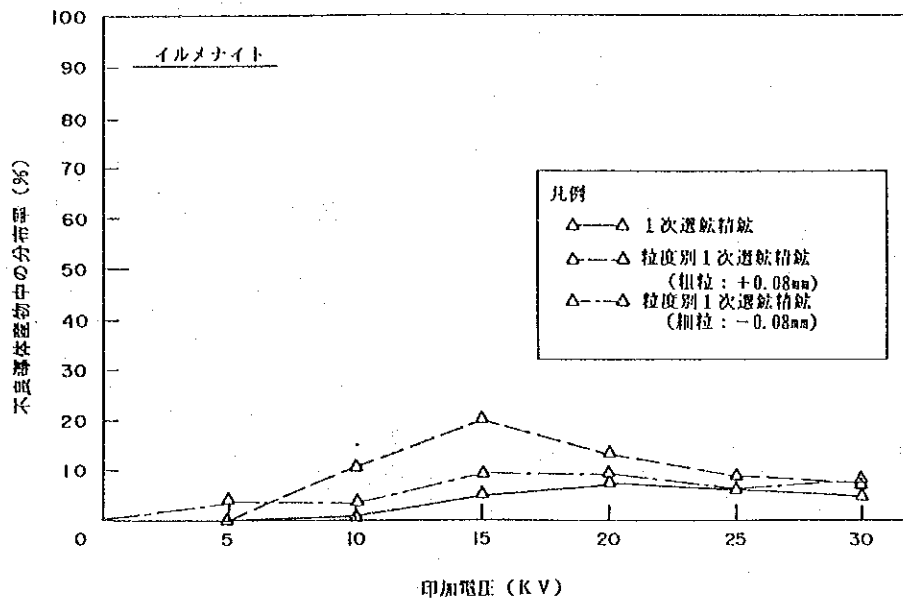
これらの品位分析結果を表Ⅱ-11に示す。

イルメナイトの主体はイルメナイト、鉄イルメナイトで、両者で東里試料では82%、湛江試料では71%と大部分を占める。

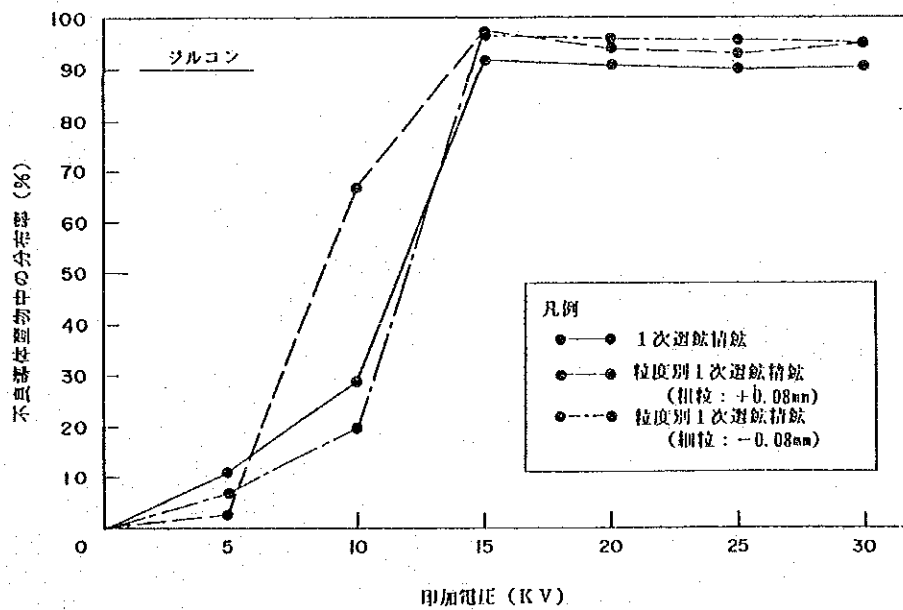
表II-10 東里・1次選鉱精鉱・静電選鉱特性試験：重砂分析結果

印加電圧 (KV)	産物	鉍量		イルメナイト		ジルコン		ルチル		モナザイト		ゼノタイム		その他		合計	
		(g)	(%)	品位(%)	品位(%)	品位(%)	品位(%)	品位(%)	品位(%)	品位(%)	品位(%)	品位(%)	品位(%)	品位(%)	品位(%)	品位(%)	品位(%)
5	良導体	45.5	89.74	21.86	98.44	10.52	89.06	3.08	97.18	1.11	90.91	0.42	88.37	63.01	86.58	100.00	89.74
	不良導体	5.2	10.26	1.07	0.56	11.31	10.94	0.78	2.82	0.97	9.09	0.49	11.63	35.38	13.42	100.00	10.26
	合計	50.7	100.00	19.73	100.00	10.60	100.00	2.84	100.00	1.10	100.00	0.43	100.00	65.30	100.00	100.00	100.00
10	良導体	35.3	70.46	27.63	98.68	10.69	71.04	3.46	85.64	1.32	86.11	0.40	65.12	56.50	60.96	100.00	70.46
	不良導体	14.8	29.54	0.88	1.32	10.39	28.96	1.39	14.36	0.51	13.89	0.51	34.88	86.32	39.04	100.00	29.54
	合計	50.1	100.00	19.73	100.00	10.60	100.00	2.85	100.00	1.08	100.00	0.43	100.00	65.31	100.00	100.00	100.00
15	良導体	12.8	26.72	69.61	94.90	2.99	7.69	5.46	52.14	0.45	10.91	0.75	47.62	20.74	8.43	100.00	26.72
	不良導体	35.1	73.28	1.36	5.10	13.10	92.31	1.83	47.86	1.34	89.09	0.30	52.38	82.07	91.57	100.00	73.28
	合計	47.9	100.00	19.60	100.00	10.40	100.00	2.80	100.00	1.10	100.00	0.42	100.00	65.68	100.00	100.00	100.00
20	良導体	12.7	25.81	69.74	92.21	3.49	8.57	3.87	35.09	0.54	12.73	0.39	23.81	21.97	8.64	100.00	25.81
	不良導体	36.5	74.19	2.05	7.79	12.94	91.43	2.49	64.91	1.29	87.27	0.43	76.19	80.80	91.36	100.00	74.19
	合計	49.2	100.00	19.52	100.00	10.50	100.00	2.85	100.00	1.10	100.00	0.42	100.00	65.61	100.00	100.00	100.00
25	良導体	14.1	29.13	63.17	93.40	3.43	9.52	4.74	47.10	0.62	16.36	0.48	33.33	27.56	12.29	100.00	29.13
	不良導体	34.3	70.87	1.83	6.60	13.40	90.48	2.19	52.90	1.30	83.64	0.40	66.67	80.88	87.71	100.00	70.87
	合計	48.4	100.00	19.70	100.00	10.50	100.00	2.93	100.00	1.10	100.00	0.42	100.00	65.35	100.00	100.00	100.00
30	良導体	14.0	28.93	63.64	94.85	3.46	9.43	3.46	34.48	0.90	24.53	0.62	42.86	27.92	12.31	100.00	28.93
	不良導体	34.4	71.07	1.41	5.15	13.51	90.57	2.67	65.52	1.13	75.47	0.34	57.14	80.94	87.69	100.00	71.07
	合計	48.4	100.00	19.41	100.00	10.60	100.00	2.90	100.00	1.06	100.00	0.42	100.00	65.61	100.00	100.00	100.00

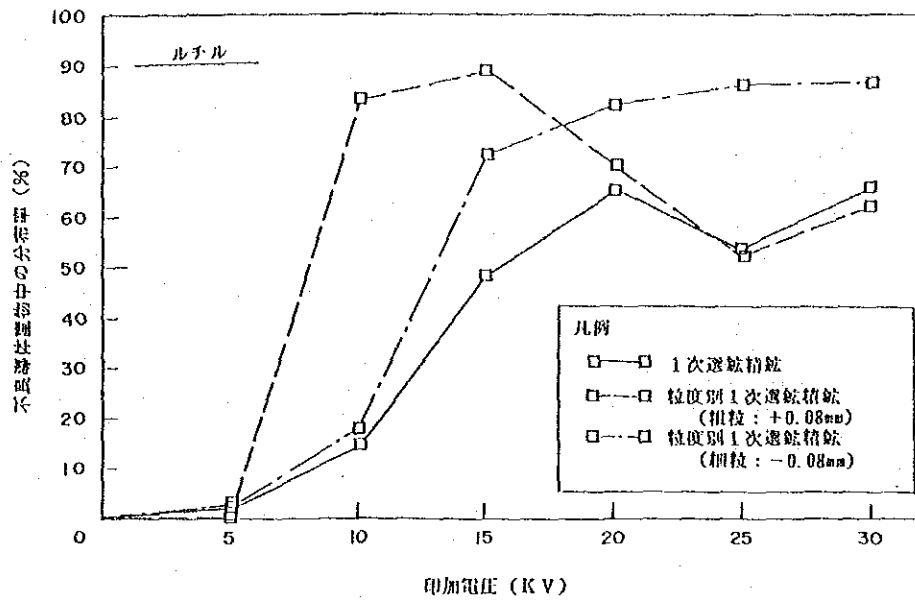
ただし、ルチルは銳錐石を含む。



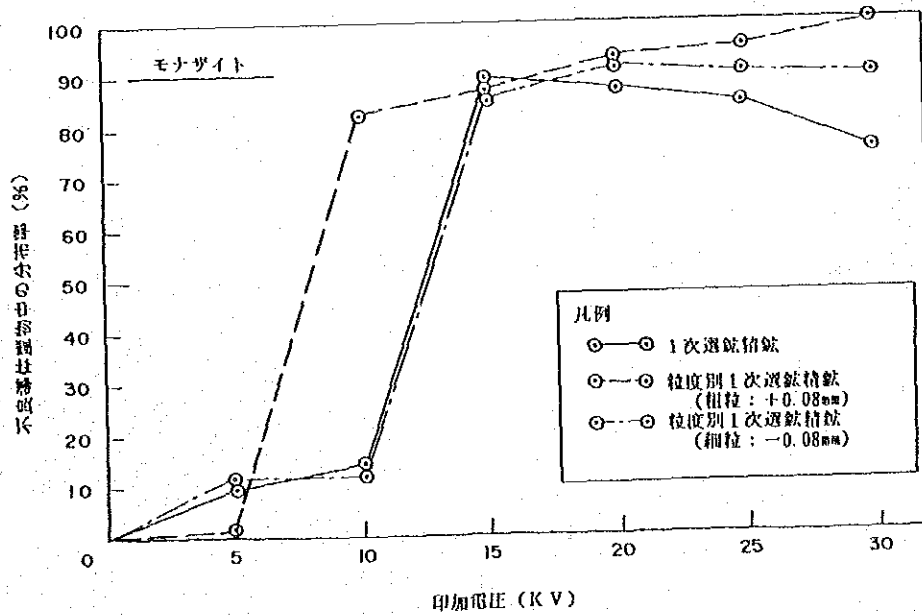
図II-4 東里・1次選鉱精鉱・静電選鉱特性試験(その1):イルメナイト



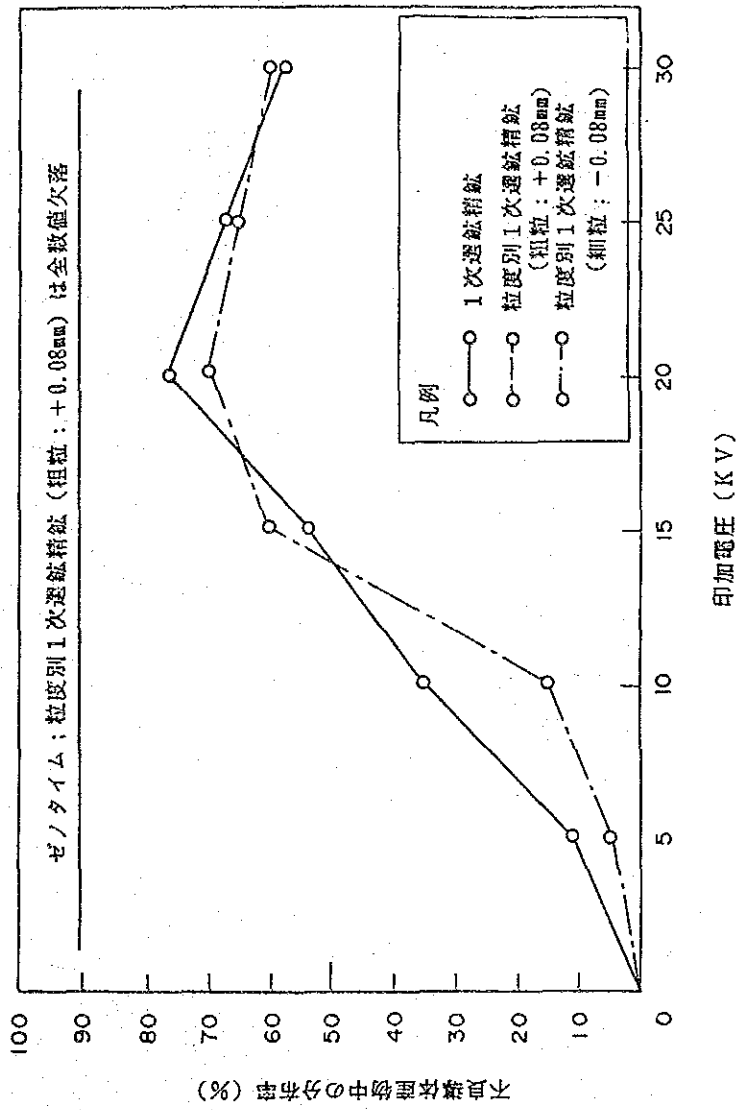
図II-5 東里・1次選鉱精鉱・静電選鉱特性試験(その2):ジルコン



図II-6 東里・1次選鉱精鉱・静電選鉱特性試験(その3):ルチル
(ただし、ルチルは鋭錐石を含む)



図II-7 東里・1次選鉱精鉱・静電選鉱特性試験(その4):モナザイト



図II-8 東里・1次選鉱精鉱・静電選鉱特性試験（その5）：ゼノタイム

表 II - 11 各チタン鉱物の存在割合と品位

	東里試料				湛江試料			
	割合	TiO ₂	T-Fe	Mn	割合	TiO ₂	T-Fe	Mn
高チタンイルメナイト	12	60.05	24.55	3.34	21	61.10	25.27	2.38
イルメナイト	38	52.67	30.80	2.08	36	52.10	31.27	1.93
鉄イルメナイト	44	48.32	32.79	3.03	35	48.28	34.21	2.09
チタン赤鉄鉱	3	27.46	50.51	0.21	2	21.52	54.11	0.70
含チタン赤鉄鉱	3	7.14	64.17	0.74	2	7.03	58.32	6.06
ルチル鋭錐石						91.21	4.72	0.54
白チタン石						70.59	19.25	2.38

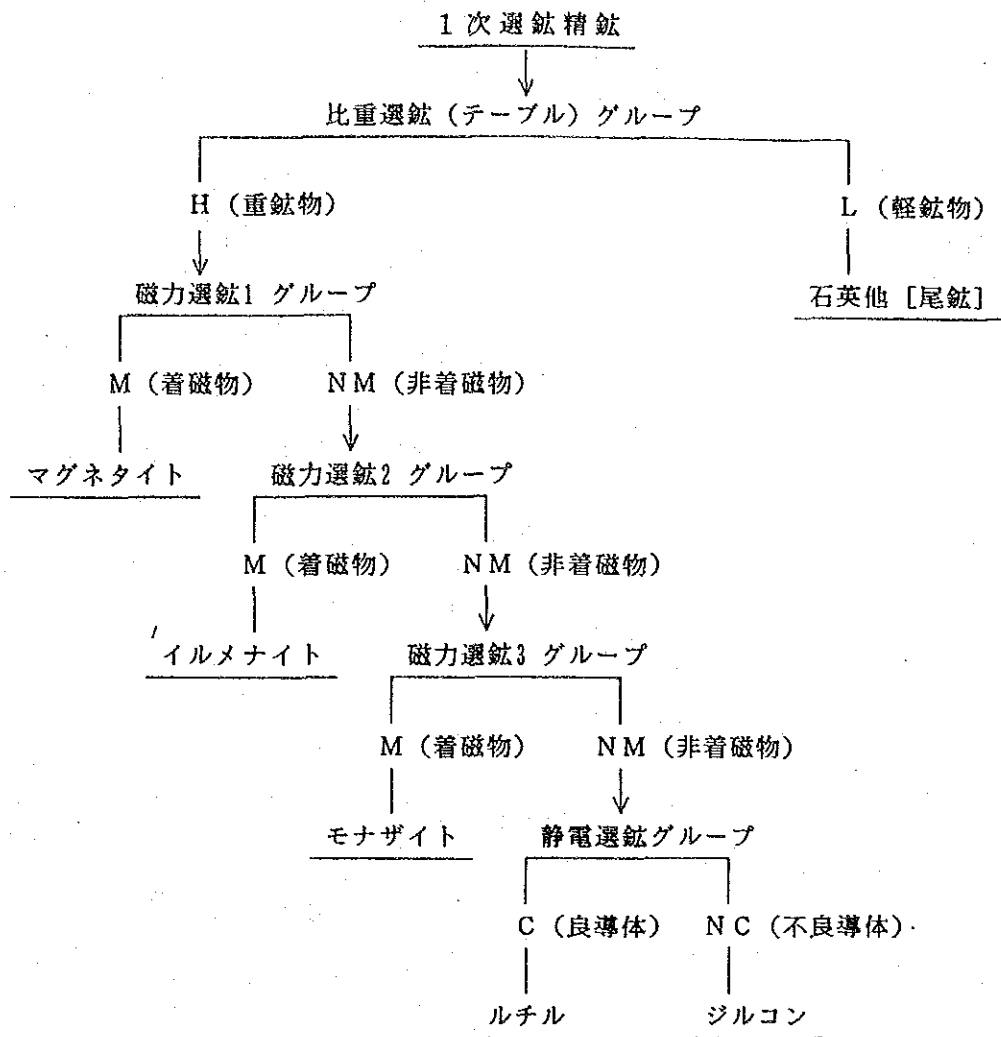
2.3.2 選鉱試験

主要5鉱物を分離回収するのに最低限必要とされる選鉱法は、比重選鉱、磁力選鉱、静電選鉱である。基礎試験および選鉱特性試験の結果と各選鉱法の特性とから2次選鉱の処理フローを日本側、中国側が各々検討し、磁力選鉱を静電選鉱より先行させる方式を決定した。東里試料、湛江試料に対する処理フロー概念図を図II-9、II-10に示す。

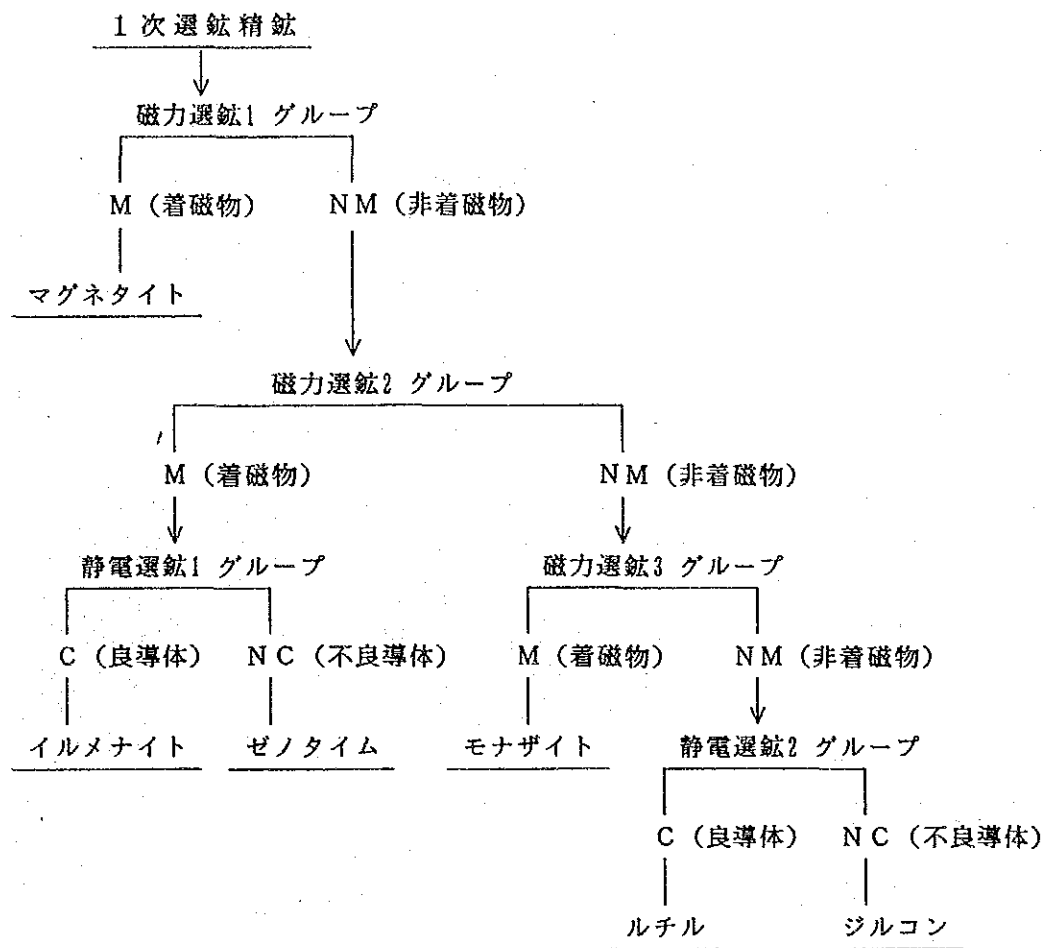
東里試料についての化学分析および重砂分析による選鉱成績をそれぞれ表II-12、II-13に、湛江試料についての選鉱成績を同様に表II-14、II-15に示す。(詳細なフローシートおよび成績は巻末資料II参照)

東里試料ではゼノタイムの量が少ないために精鉱として回収することができなかった。湛江試料では比重選鉱を用いなかったため尾鉱産物はない。

東里試料と湛江試料の主要選鉱成績である精鉱品位と分布率を表II-16に、鉱物量と分布率を表II-17に示す。



図II-9 東里・2次選鋇(選鋇試験)実処理フロー[概念]
 ただし、東里試料には、ゼノタイム総量が少いため、
 ゼノタイム産物を回収していない。



図Ⅱ-10 湛江・2次選鉍（選鉍試験）実処理フロー【概念】

表II-12 東里・2次選鉱(選鉱試験)成績:化学分析結果

産物	鉱量 (Wt.%)		品位 (%)												
	TiO ₂	ZrO ₂	TREO	T・Fe	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	HfO ₂	TiO ₂	CaO	MgO	MnO	Al ₂ O ₃	S	SiO ₂	
イルメナイト精鉱	13.29	0.22	0.15	31.67	—	0.12	—	—	0.20	0.35	2.92	—	—	—	
中鉱	0.61	1.72	10.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
ジルコン 精鉱1	2.53	0.21	0.13	—	0.23	0.24	0.02	—	—	—	—	0.73	—	32.18	
精鉱2	5.96	4.41	0.40	—	0.19	0.25	0.06	—	—	—	—	0.27	—	21.70	
中鉱	2.19	24.34	43.39	0.77	0.66	0.35	0.04	—	—	—	—	0.76	—	17.70	
ルチル 精鉱	1.62	85.32	2.36	1.81	—	0.08	—	—	—	—	—	—	1.04	—	
中鉱	0.50	47.29	19.46	6.27	—	0.24	—	—	—	—	—	—	5.77	—	
モナザイト精鉱	0.46	0.36	0.17	62.14	—	—	—	5.87	—	—	—	—	—	2.92	
中鉱	4.23	33.58	4.58	11.28	—	—	—	0.46	—	—	—	—	—	11.80	
マグネタイト	5.80	18.54	0.20	0.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
尾鉱	62.71	15.82	0.42	0.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
合計	100.00	21.69	6.98	1.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

産物	鉱量 (Wt.%)		採取率 [分布率] (%)	
	TiO ₂	ZrO ₂	TiO ₂	TREO
イルメナイト精鉱	13.29	0.43	31.40	1.96
中鉱	0.61	0.15	0.33	5.88
ジルコン 精鉱1	2.53	24.55	0.03	1.22
精鉱2	5.96	52.54	1.40	1.36
中鉱	2.19	13.71	2.46	1.62
ルチル 精鉱	1.62	0.54	6.32	0.12
中鉱	0.50	1.37	1.13	0.18
モナザイト精鉱	0.46	0.01	0.02	27.39
中鉱	4.23	2.77	6.23	45.39
マグネタイト	5.80	0.18	4.95	0.23
尾鉱	62.71	3.75	45.73	14.70
合計	100.00	100.00	100.00	100.00

表Ⅱ-13 東里・2次選鉱(選鉱試験)成績:重砂分析結果

産物	鉱量 (Wt%)	品 位 (%)						採収率 [分布率] (%)						
		イカナイト	ジルコン	ルチル	モナザイト	ゼライト	その他	合計	イカナイト	ジルコン	ルチル	モナザイト	ゼライト	その他
イルメナイト精鉱	13.29	97.00	-	-	-	-	3.00	100.00	73.57					0.61
” 中鉱	0.61	81.00	1.00	-	1.00	2.00	14.00	100.00	2.80	0.10		0.55	10.00	0.14
ジルコン 精鉱 1	2.63	-	98.70	0.80	-	-	0.50	100.00		25.27	0.46			0.01
” 精鉱 2	5.96	-	92.10	7.90	-	-	0.00	100.00		53.35	10.78			0.00
” 中鉱	2.19	-	64.00	-	35.00	-	1.00	100.00		13.61		42.54		0.03
ルチル 精鉱	1.62	-	1.00	98.00	-	-	1.00	100.00		0.19	36.47			0.01
” 中鉱	0.50	-	45.00	40.00	-	-	15.00	100.00		2.24	4.59			0.11
モナザイト精鉱	0.46	-	3.50	1.00	95.00	-	0.50	100.00		0.19	0.00	24.31	0.00	0.00
” 中鉱	4.23	6.00	5.00	15.00	14.00	2.00	58.00	100.00	1.43	2.04	14.68	32.60	90.00	3.72
マグネタイト	5.80	0.00	-	-	-	-	100.00	100.00	0.00					8.80
尾 鉱	62.71	6.20	0.50	2.30	0.00	0.00	91.00	100.00	22.20	3.01	33.02	0.00	0.00	86.57
合 計	100.00								100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ただし、ルチルは鋭錐石を含む。

表II-14 湛江・2次選鉱(選鉱試験)成績:化学分析結果

産物	鉱量 (Wt%)		品位 (%)													
	TiO ₂	ZrO ₂	TREO	T・Fe	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	HfO ₂	TbO ₂	CaO	MgO	MnO	Al ₂ O ₃	S	SiO ₂	Y ₂ O ₃	
イルメナイト精鉱	16.44	0.09	0.11	31.87		0.11			0.18	0.40	3.07					
中鉱	11.02	0.23	0.43													
ジルコン精鉱1	12.72	55.05	0.42		0.27	0.28	0.95					0.13		31.83		
精鉱2	2.11	50.95	0.51		2.45	0.13	1.00					0.49		30.14		
精鉱3	1.09	55.05	1.45		0.88	0.33	0.97				1.30			25.89		
中鉱	7.12	39.45	0.48													
ルチル精鉱	4.84	85.08	0.11	1.77		0.05						1.05				
中鉱	10.26	38.05	0.20													
モナザイト精鉱	1.79	0.45	62.50					5.58						4.30		
中鉱	22.29	22.36	2.02	5.69												
ゼノタイト精鉱	0.09	2.40	0.09	2.06												
中鉱	3.81	17.95	1.12	3.19												
マグネタイト	6.42	13.71	0.19	0.09	5.00			0.55	0.07					5.30	45.38	
合計	100.00	28.49	14.22	2.72											1.04	

産物	鉱量 (Wt%)		採収率 [分布率] (%)			
	TiO ₂	ZrO ₂	TREO	Y ₂ O ₃	TREO	Y ₂ O ₃
イルメナイト精鉱	16.44	29.11	0.11	0.67		
中鉱	11.02	17.25	0.17	1.73		
ジルコン精鉱1	12.72	0.12	58.18	1.98		
精鉱2	2.11	0.08	9.04	0.39		
精鉱3	1.09	0.16	4.22	0.39		
中鉱	7.12	2.11	19.75	1.27		
ルチル精鉱	4.84	14.45	0.61	0.20		
中鉱	10.26	13.70	4.35	0.74		
モナザイト精鉱	1.79	0.03	0.02	41.19		
中鉱	22.29	17.49	3.16	46.67		
ゼノタイト精鉱	0.09	0.01	0.00	0.07	11.58	
中鉱	3.81	2.40	0.30	4.48	11.03	
マグネタイト	6.42	3.09	0.09	0.22		
合計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

表 II - 15 瀧江・2次選鉱（選鉱試験）成績：重砂分析結果

産物	鉱量 (Wt%)	品 位 (%)							採 収 率 [分 布 率] (%)						
		イムナイト	ジルコン	ルチル	モナザイト	ゼノタイム	その他	合計	イムナイト	ジルコン	ルチル	モナザイト	ゼノタイム	その他	
イルメナイト精鉱	16.44	97.5	0.5				2.0	100.00	55.22	0.37				0.79	
“ 中鉱	11.02	98.0	<0.5			<0.5	1.0	100.00	37.20	<0.28			<10.20	0.25	
ジルコン 精鉱 1	12.72		98.0	0.75			1.25	100.00		57.73	1.99			0.38	
“ 精鉱 2	2.11		93.5	2.5			4.0	100.00		9.12	1.11			0.19	
“ 精鉱 3	1.09		91.0	2.0			7.0	100.00		4.58	0.46			0.19	
“ 中鉱	7.12		59.0	1.0			40.0	100.00		19.44	1.49			6.81	
ルチル 精鉱	4.84		2.5	65.0			31.5	100.00		0.56	66.86			3.53	
“ 中鉱	10.26	4.0	9.0	8.0			81.0	100.00	1.41	4.26	17.18			19.36	
モナザイト精鉱	1.79		3.0	4.0	91.0	<0.2	2.0	100.00		0.23	1.51	51.08	<0.74	0.10	
“ 中鉱	22.29	6.0	3.0	2.0	7.0	1.5	85.0	100.00	4.62	3.10	9.34	48.92	61.97	45.25	
ゼノタイム精鉱	0.09		4.0	3.0		78.0	15.0	100.00		0.00	0.06		12.99	0.02	
“ 中鉱	3.81	5.0	1.0			2.0	92.0	100.00	0.65	0.19			14.10	8.38	
マグネタイト	6.42	4.0	<0.5				95.5	100.00	0.90	<0.14				14.63	
合 計	100.00								100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

ただし、ルチルは鋭錐石を含む。

表 II - 16 東里および湛江の精鉱品位と分布率

産物			東里試料	湛江試料	
品 位	イルメナイト	TiO ₂ %	51.25	50.46	
	ジルコン1	ZrO ₂ %	65.16	65.05	
	ジルコン2	ZrO ₂ %	61.74	60.95	
	ジルコン3	ZrO ₂ %		55.06	
	ルチル	TiO ₂ %	85.32	85.08	
	モナザイト	TREO %	62.14	62.50	
	ゼノタイム	TREO %		2.06 *	
分 布 率	イルメナイト	TiO ₂ %	31.40 (31.75)	29.11 (46.36)	
	ジルコン1	ZrO ₂ %	24.55 (90.80)	58.18 (91.19)	
	ジルコン2	ZrO ₂ %	52.54	9.04	
	ジルコン3	ZrO ₂ %		4.22	
	ルチル	TiO ₂ %	6.32 (7.45)	14.45 (28.15)	
	モナザイト	TREO %	27.29 (72.68)	41.19 (87.86)	
	ゼノタイム	TREO %		0.07 (4.55)	
	尾 鉱		TiO ₂ %	45.73	
			ZrO ₂ %	3.75	
		TREO %	14.70		

注1 ()内の数値は中鉱を含む

注2 ゼノタイム精鉱のTREO品位* はY₂O₃品位の46.38%と推定される。この場合分布率は11.58%(22.61%)になる。

表 II - 17. 東里および湛江の精鉍の鉍物量と分布率

産物			東里試料	湛江試料
鉍物量	イルメナイト	イルメナイト %	97.00	97.5
	ジルコン1	ジルコン %	98.70	98.0
	ジルコン2	ジルコン %	92.10	93.5
	ジルコン3	ジルコン %		91.0
	ルチル	ルチル %	98.00	85.0
	モナザイト	モナザイト %	95.00	91.5
	ゼノタイム	ゼノタイム %		78.0
分布率	イルメナイト	イルメナイト %	73.57 (76.37)	55.22 (92.42)
	ジルコン1	ジルコン %	25.27 (92.23)	57.73 (90.87)
	ジルコン2	ジルコン %	53.35	9.12
	ジルコン3	ジルコン %		4.58
	ルチル	ルチル %	36.47 (41.06)	66.86 (84.04)
	モナザイト	モナザイト %	24.31 (56.91)	51.08 (100.00)
	ゼノタイム	ゼノタイム %		12.99 (27.09)
	尾鉍	イルメナイト %	22.20	
	ジルコン %	3.01		
	ルチル %	33.02		
	モナザイト %	0.00		

注1 ()内の数値は中鉍を含む

化学分析からの結果と重砂分析からの結果とに違いがみられる。

2次選鉍の中間産物をX線回折分析を実施したが、東里試料と湛江試料の間に分離状況に大きな差はなく、ルチルやジルコンが全ての産物中に含まれていることから鉍物分離が難しい重砂であることを示している。

2.3.3 鉍物研究

選鉍特性試験において通常と異なる挙動をとる特異産物があり、各鉍物に対し鉍物組織、不純物の存在状況等を調査した。その結果の概略を述べる。

① イルメナイト

両試料とも粒度は比較的細かく、 -0.06mm が約35%を占める。TiとFeは大部分均一に分布しているが、一部のイルメナイトではへき開と割れ目沿いにルチル、チタン赤鉄鉍の結晶が見られ、格子状、帯状、点滴状の共生組織や離溶組織を形成する。また、ルチルとイルメナイトの微細連晶または格子状組織やイルメナイトの外縁にルチルがフィルム状に一種の交代組織を形成していることが多い。

また、イルメナイトは脈石鉍物と共生し、細粒の脈石包有物を含む場合もある。

イルメナイト系鉍物は鉄イルメナイト鉍の含有量が比較的多い。これらは精鉍品位が50%を越えにくい主な原因である。

② ルチル、鋭錐石、板チタン鉍

粒度は東里試料が -0.06mm 約28%で湛江試料の約31%より若干粗い。

イルメナイト、石英等の鉍物と共生していることが多い。白チタン石に変化しやすく、変質の程度はさまざまである。鉄に富むルチルやイルメナイト等の磁性鉍物と連晶をもつものは磁力選鉍特性に、石英などの不良導体鉍物の包有物があるものは静電選鉍特性に影響を与える。両者ともに品位低下の原因である。

③ 白チタン石

チタンを含む鉍物に変質した産物。粒の中心部にルチル、鋭錐石、チタン石および鉄鉍の残骸が見られる。チタン含有量はさまざまである。石英、アルミ珪酸塩鉍物などの不純物をよく含む。

粒度は比較的粗く、東里試料が -0.08mm 約17%、湛江試料が -0.054mm 約25%となっている。

④ ジルコン

粒度は細粒で東里試料が -0.06mm 約56%と湛江試料の約48%よりやや細かい。一部のジルコンの小孔にカオリナイト、鉄、チタンなどの鉱物が充填されている。また、ジルコンの結晶中に磁鉄鉱、イルメナイト、赤鉄鉱などの磁性鉱物の包有物も含まれる。この量は湛江試料では約5%だが、東里試料では約8%と若干多く、磁性鉱物にもパイロープ $[\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3]$ が認められる。また、石英、長石、ゼノタイム、フローレンサイトなどの鉱物(湛江試料には燐灰石も認められる)も含まれ、ジルコン品位を低下させる。

⑤ モナザイト

石英、角閃石、緑れん石などの包有物が良く見られる。湛江試料にはジルコン、イルメナイト、赤鉄鉱、ルチルなどの包有物も認められ、これら包有物が精鉱品位に影響を及ぼす。粒度は細粒で、東里試料が -0.06mm 約50%、湛江試料が -0.054mm が約45%である。

⑥ ゼノタイム

一部のゼノタイムには角閃石、ジルコンなどの包有物が、湛江試料にはジルコン、鉄鉱物などの包有物が更に含まれる。粒度は比較的細粒で、東里試料では -0.06mm が約32%、湛江試料では -0.054mm が約24%である。

次に日本持ち帰り試料による鉱物研究結果を概略する。

① 東里試料

チタン鉱物はイルメナイト、ルチル、鋭錐石が検出され、イルメナイトは強磁性の0.5 A着磁物に、ルチルと鋭錐石は弱磁性の1.5 Aと2.0 A着磁物に大部分分布している。ただし、ルチルは強磁性の0.5 A着磁物からわずかながら出現し幅広い分布を示している。

レアアース鉱物はモナザイトと微量のフローレンサイトが検出され、いずれも弱磁性の1.5 Aと2.0 A着磁物に認められる。

鉄鉱物の赤鉄鉱は0.5 Aと0.7 A着磁物に、微量の黄鉄鉱が2.0 A着磁物に見られる。

苦鉄質鉱物は出現頻度の多い順に緑れん石、電気石、緑泥石、角閃石、輝石、スフェーン、ざくろ石、黒雲母である。珪長質鉱物では石英は普遍的に、斜長石や白雲母が微量検出された。特に石英は0.5 Aから2.0 Aまでの全試料で検出されている。

○0.5 A 着磁物

大部分は多量のイルメナイトおよび少量の赤鉄鉱からなる不透明鉱物。イルメナイトの粒径0.1mm~0.05mmで、約三割が脈石鉱物（スフェーンや石英等）を包有したり、単純または複雑な片刃状態を形成する。一部のイルメナイトには白チタン石化が見られる。透明鉱物としては角閃石、ざくろ石、石英およびチタン鉱物が主体で、他に微量ながらジルコン、緑泥石も散在する。

○0.7 A 着磁物

不透明鉱物は主にイルメナイトでその他に微量の赤鉄鉱、黄鉄鉱がある。イルメナイトは白チタン石化が見られ、石英および赤鉄鉱と片刃状態を形成していることが多い。透明鉱物は主に角閃石、電気石、緑れん石で、他にざくろ石、石英、褐れん石、ルチル、ジルコンを伴う。

粒径は0.05~0.15mm。

○0.8 A 着磁物

大部分が透明鉱物で、電気石、緑れん石、角閃石を主に、微量のルチル、緑泥石、石英が認められる。石英は片刃状および細粒包有物として多く認められる。不透明鉱物は5~10%で主にイルメナイト、鉄酸化物と微量の黄鉄鉱がある。イルメナイトにはへき開沿いに格子状、網目状の白チタン石化が認められ、一部は完全にチタン鉱物に置換されている。赤鉄鉱とも密接に共生し、ラメラ状、格子状の溶離組織を呈する。

○1.5 A 着磁物

不透明鉱物は全体の約四割を占め、大部分が白チタン化したチタン鉱物で次いで鉄酸化物と黄鉄鉱である。チタン鉱物はルチルと鋭錐石。透明鉱物は主に電気石、緑れん石で他に少量の角閃石、スフェーン、ジルコン、モナザイト、石英が認められる。

○2.0 A 着磁物

片刃状粒子を含め不透明粒子は全体の約70%で、主にルチル、次いで鋭錐石、スフェーンなどのチタン鉱物と微量の黄鉄鉱を伴う。これらの7～8割の粒子が片刃状または包有物を多数含有する。片刃の相手は石英、緑泥石、ジルコン、イルメナイト、白雲母、緑れん石等種類が多い。粒径は0.05～0.3mm。

透明鉱物には電気石、スフェーン、角閃石、石英、緑れん石、ジルコンが観察される。モナザイト、フローレンサイトがX線回折で認められたが、顕微鏡下では確認できなかった。

② 湛江試料

チタン鉱物はイルメナイト、ルチル、鋭錐石で、磁性鉱物のイルメナイトは0.5 A、0.7 Aと0.8 A着磁物に、弱磁性の鋭錐石は1.5 Aと2.0 A着磁物に分布している。

レアアース鉱物はモナザイトは0.5 A～2.0 A着磁物すべてに確認、フローレンサイトと推定される鉱物が2.0 A着磁物に検出された。

鉄鉱物は赤鉄鉱(0.5 A、0.7 A着磁物)と黄鉄鉱(0.8 A、1.5 A、2.0 A着磁物)が見られる。

苦鉄質鉱物を出現頻度の多い順に電気石、角閃石、緑れん石、緑泥石で、東里試料より種類は少ない。

珪長質鉱物では石英は普遍的に、白雲母が0.8 A、1.5 A、2.0 A着磁物に見られる。

○0.5 A 着磁物

全体の約8割以上が不透明鉱物。その大部分はイルメナイトおよび白チタン石化したイルメナイトで他に鉄鉱物からなる。片刃状態のものは少ないが細粒脈石鉱物を包有物として多数含有するものが普遍的に認められる。

透明鉱物は大部分角閃石で、微量の緑泥石、ジルコン、ざくろ石および緑泥石が認められる。

○0.7 A 着磁物

全体の約6割が不透明鉱物。主にイルメナイトでその他に赤鉄鉱、黄鉄鉱がある。イルメナイトは白チタン石化が見られるが、新鮮なものも多く、緑れん石等の微細な包有物を多数含んでいる。赤鉄鉱との溶離組織や結晶周囲を取り巻く交代状組織が認められる。黄鉄鉱は単体で認められる。粒径は0.05~0.2mm。

透明鉱物は主に角閃石、電気石、緑れん石で、他にジルコン、石英を伴う。

○0.8 A 着磁物

全体の約4~5割が不透明鉱物。主にイルメナイトで、赤鉄鉱と黄鉄鉱を伴う。イルメナイトは白チタン石化が進んでおり、約50%が単体粒子、残りはイルメナイト-赤鉄鉱の片刃状粒子および細粒脈石鉱物を包有物として多数複雑に含有する粒子である。

透明鉱物は、電気石、緑れん石、角閃石を主に、ついでモナザイト、ジルコン、緑泥石、石英が認められる。

○1.5 A 着磁物

不透明鉱物は全体の約4~5割。ほとんどが白チタン化が進んで新鮮なイルメナイトは見られない。次いで鉄酸化物と黄鉄鉱(0.8 A 着磁物より量が多い)で一部白鉄鉱がある。

透明鉱物は主にジルコン、電気石、緑れん石、ついで角閃石で少量~微量の石英、モナザイトが認められる。

○2.0 A 着磁物

不透明粒子は全体の約7割で、大部分はルチルを主にするチタン鉱物と白チタン石化したイルメナイトで他に黄鉄鉱を伴う。多くの粒子が片刃状または脈石鉱物の包有物を多数含有する。透明鉱物はジルコンを主に、電気石、石英、緑れん石、緑泥石認められる。

3. 考察

(1) 精鉍品位

東里試料と湛江試料の選鉍試験での精鉍品位を国際的な取引での精鉍品位を目標値として対比すると次のようになる。

精鉍産物		目標値	東里試料	評価	湛江試料	評価
イルメナイト	TiO ₂ %	>54	51.25	△	50.46	△
ジルコン1	ZrO ₂ %	>65	65.16	○	65.05	○
ジルコン2	ZrO ₂ %	>65	61.74	△	60.95	△
ジルコン3	ZrO ₂ %	>65			55.06	△
ルチル	TiO ₂ %	>95	85.32	△	85.08	△
モナザイト	TREO %	>55	62.14	○	62.50	○

どちらの場合でもジルコン精鉍1とモナザイト精鉍は十分達成しているが、その他のイルメナイト精鉍、ルチル精鉍、ジルコン精鉍2、ジルコン精鉍3は不十分である。しかし、これらの精鉍も改善により目標値近くまで上げる可能性はあると考える。

チタン鉍物は高チタンイルメナイト、イルメナイト、鉄イルメナイト、チタン赤鉄鉍、含チタン赤鉄鉍や白チタン石、ルチル等に連続的にTi-Fe組成が変化するだけでなく、脈石鉍物を包有したり片刃になっている。その内のチタン品位の低いものがイルメナイト精鉍やルチル精鉍のTiO₂品位を下げていく恐れがあり、これらの精鉍品位を更に上げることは難しい。

その他の鉍物もチタン鉍物同様に、脈石鉍物を包有したり、片刃になっているものが多いことが精鉍品位向上の障害になっている。また、ほとんど全ての鉍物の磁性範囲が非常に広いので磁力選鉍の分離は通常に比較して非常に悪い。したがって、採取率を向上しようとするれば当試験で良好な成績のモ

ナザイト精鈹でも目標品位を確保していくのは困難だろう。

(1) 採取率

東里試料と湛江試料の1次および2次選鈹を通じた分布率の総括表を表II-18、II-19、II-20に示す。

最終精鈹の原砂に対する分布率を対比すると次のようになる。

精鈹産物			東里試料	湛江試料	
イルメナイト	精鈹	TiO ₂ %	11.79 (11.91)	7.35 (11.71)	
イルメナイト	中鈹	TiO ₂ %	0.12	4.36	
ジルコン1	精鈹	ZrO ₂ %	18.59 (68.76)	47.07 (73.77)	
ジルコン2	精鈹	ZrO ₂ %	39.79	7.31	
ジルコン3	精鈹	ZrO ₂ %		3.41	
ジルコン	中鈹	ZrO ₂ %	10.38	15.98	
ルチル	精鈹	TiO ₂ %	2.37 (2.79)	3.65 (7.11)	
ルチル	中鈹	TiO ₂ %	0.42	3.46	
モナザイト	精鈹	TREO %	9.22 (24.55)	11.70 (24.95)	
モナザイト	中鈹	TREO %	15.33	13.25	
ゼノタイム	精鈹	TREO %		0.02 (1.29)	
ゼノタイム	中鈹	TREO %		1.27	
尾鈹			TiO ₂ %	69.41	62.45
(1次選鈹 + 2次選鈹)			ZrO ₂ %	18.72	18.01
			TREO %	59.61	68.72

()内の数値は精鈹と中鈹の合計値

表Ⅱ-18 東里分布率総括表：化学分析結果

摘 要		採 收 率 [分 布 率] %					
		TiO ₂		ZrO ₂		TREO	
		工程内	全工程	工程内	全工程	工程内	全工程
原 砂		100.00		100.00		100.00	
1 次 選 鉍	原 鉍	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	精 鉍	37.54	37.54	75.73	75.73	33.78	33.78
	中 鉍	10.22	10.22	8.39	8.39	11.58	11.58
	尾 鉍	52.24	52.24	15.88	15.88	54.64	54.64
2 次 選 鉍	原 鉍	100.00	37.54	100.00	75.73	100.00	33.78
	イルメナイト精鉍	31.40	11.79	0.43	0.33	1.96	0.66
	イルメナイト中鉍	0.33	0.12	0.15	0.11	5.88	1.99
	ジルコン精鉍1	0.03	0.01	24.55	18.59	1.22	0.41
	ジルコン精鉍2	1.40	0.53	52.54	39.79	1.36	0.46
	ジルコン中鉍	2.46	0.92	13.71	10.38	1.62	0.55
	ルチル精鉍	6.32	2.37	0.54	0.41	0.12	0.04
	ルチル中鉍	1.13	0.42	1.37	1.04	0.18	0.06
	モナザイト精鉍	0.02	0.01	0.01	0.01	27.29	9.22
	モナザイト中鉍	6.23	2.34	2.77	2.10	45.39	15.33
	マグネタイト	4.95	1.86	0.18	0.14	0.28	0.09
	尾 鉍	45.73	17.17	3.75	2.84	14.70	4.97

ただし、当表の場合、全工程は原砂に対するものとなる。

ゼノタイムは量が少いため回収されていない。

表Ⅱ-19 東里分布率総括表：重砂分析結果

摘 要		採 收 率 [分 布 率] %							
		イルメナイト		ジルコン		ルチル		モナザイト	
		工程内	全工程	工程内	全工程	工程内	全工程	工程内	全工程
原 砂		100.00		100.00		100.00		100.00	
1 次 選 鉱	原 鉱	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	精 鉱	85.24	85.24	88.67	88.67	85.59	85.59	84.97	84.97
	中鉱及び尾鉱	14.76	14.76	11.33	11.33	14.41	14.41	15.03	15.03
2 次 選 鉱	原 鉱	100.00	85.24	100.00	88.67	100.00	85.59	100.00	84.97
	イルメナイト精鉱	73.57	62.71						
	イルメナイト中鉱	2.80	2.39	0.10	0.09			0.55	0.47
	ジルコン精鉱1			25.27	22.41	0.46	0.39		
	ジルコン精鉱2			53.35	47.31	10.78	9.23		
	ジルコン中鉱			13.61	12.07			42.54	36.15
	ルチル精鉱			0.19	0.17	36.47	31.21		
	ルチル中鉱			2.24	1.99	4.59	3.93		
	モナザイト精鉱			0.19	0.17	0.00	0.00	24.31	20.66
	モナザイト中鉱	1.43	1.22	2.04	1.81	14.68	12.56	32.60	27.70
	マグネサイト	0.00	0.00						
	尾 鉱	22.20	18.92	3.01	2.67	33.02	28.26	0.00	0.00

ただし、当表の場合、全工程は原砂に対するものとなる。

ゼノタイムは量が少いため回収されていない。

表Ⅱ-20 湛江分布率総括表：化学分析結果

摘 要		採 收 率 [分 布 率] %					
		T i O ₂		Z r O ₂		T R E O	
		工程内	全工程	工程内	全工程	工程内	全工程
原 砂		100.00		100.00		100.00	
1 次 選 鉍	原 鉍	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	精 鉍	25.26	25.26	80.90	80.90	28.40	28.40
	中 鉍	12.29	12.29	1.01	1.01	2.88	2.88
	尾 鉍	62.45	62.45	18.01	18.01	68.72	68.72
2 次 選 鉍	原 鉍	100.00	25.26	100.00	80.90	100.00	28.40
	イルメナイト精鉍	29.11	7.35	0.11	0.09	0.67	0.19
	イルメナイト中鉍	17.25	4.36	0.17	0.14	1.73	0.49
	ジルコン精鉍1	0.12	0.03	58.18	47.07	1.98	0.56
	ジルコン精鉍2	0.08	0.02	9.04	7.31	0.39	0.11
	ジルコン精鉍3	0.16	0.04	4.22	3.41	0.39	0.11
	ジルコン中鉍	2.11	0.53	19.75	15.98	1.27	0.36
	ルチル精鉍	14.45	3.65	0.61	0.49	0.20	0.06
	ルチル中鉍	13.70	3.46	4.35	3.52	0.74	0.21
	モナザイト精鉍	0.03	0.01	0.02	0.02	41.19	11.70
	モナザイト中鉍	17.49	4.42	3.16	2.56	46.67	13.25
	ゼノタイム精鉍	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07	0.02
	ゼノタイム中鉍	2.40	0.61	0.30	0.24	4.48	1.27
	マグネタイト	3.09	0.78	0.09	0.07	0.22	0.06
尾 鉍	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

ただし、当表の場合、全工程に対するものとなる。

どちらの場合でもジルコン精鉱（中鉱を含む）のジルコン以外の他の精鉱は分布率が低く不十分ある。改善策を実施することで各精鉱の採取率を向上させることは可能であると考え。一方、尾鉱に TiO_2 と $TREO$ が大量に逃げている。この原因は重鉱物の粒度が非常に細粒であるためと考えられる。今回は1次選鉱の比重選鉱にはテーブルを使用しており、大量処理の場合に使用されるスパイラルを用いた場合、細粒部が更に流逸することが推定される。従って通常の実操業を想定した場合の採取率向上は容易ではない。

当選鉱試験ではゼノタイムの量が少なく東里試料では回収できなかった。湛江試料の場合も成績を考察するには精鉱量が少なすぎた。

この精鉱品位と採取率の考察から、一応目標とした精鉱品位に達したものは少なく、十分なものと言いが、一応の目安となる精鉱品位と採取率を得ることができ、選鉱試験の評価ができた。実施した処理フローは、その細部を更に検討する必要があるが処理フローの概念には問題がないと判断する。

また、東里試料と湛江試料のいずれにおいてもゼノタイムの回収を実施するものと考えると同一の処理フローが好ましい。

今回の「選鉱予備試験」では、1次選鉱でテーブルを使用しており、実操業で使用されるスパイラルと選鉱成績が若干異なる場合があるので注意を要する。

4. 結論

東里試料・湛江試料とも選鉱試験の結果は十分とは言い難いが、両者の選鉱処理フローについての評価が可能で、図Ⅱ-9、Ⅱ-10に示す処理フローの概念には基本的に問題はない。東里試料でもゼノタイムを回収すると考えると両者ともに同一の処理フローが好ましく、「選鉱本試験」で使用する最終的な選鉱処理フローは概念的に図Ⅱ-11のようになる。

選鉱本試験では主要5産物であるイルメナイト、ジルコン、ルチル、モナザイト、ゼノタイムの選鉱成績評価に必要な精鉱量が得られる十分な量の供試料と1次選鉱に用いる比重選鉱機を大量処理ができるスパイラルコンセントレーターにして、図Ⅱ-11に示す処理フローに従って試験を実施し、精鉱品位や採取率の向上をはかるとともに、信頼精度の高い選鉱成績（精鉱品位と採取率）を確認する必要がある。実際の試験にあたっては精選部分や選別条件等の細部を日中間で更に検討する必要がある。

また、選鉱本試験に使用する供試料は、現在調査中の鉱床であり、対象鉱床全体を代表する試料が得られない。しかし、次のような手段をとれば鉱床の総合選鉱成績を推定できる。即ち、試験は適当な試料でもって実施し、粒度別にその成績を調査し、その鉱床内の粒度による選鉱成績の変化を前もって把握する。その後、対象鉱床の粒度が判明した時点で、粒度毎の成績を推定試算し、その結果を積算する事で鉱床の総合選鉱成績を推定する。したがって、「選鉱本試験」では粒度別に選鉱成績を解析する必要がある。

分析については、重砂分析と化学分析とで相違が認められる。両者共長所短所があるが、信頼精度や分析値の連続性が高い化学分析をもって選鉱成績を評価し、重砂分析はそれを補完するものとして用いるべきであると考えられる。

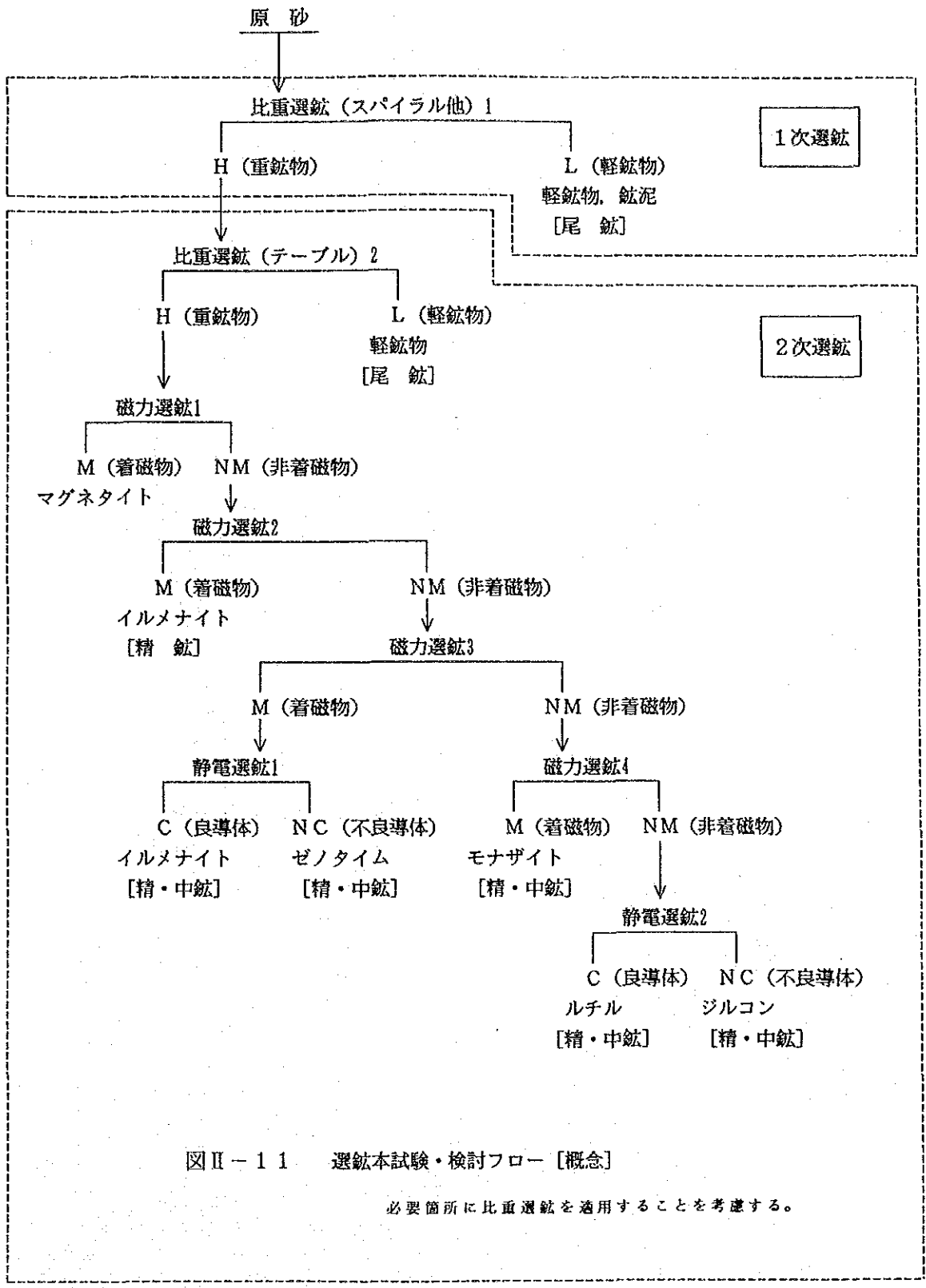


図 II - 1 1 選鋳本試験・検討フロー [概念]

必要箇所に比重選鋳を適用することを考慮する。

Ⅲ 選鉱本試験

1. 調査概要

1.1 調査概要

中華人民共和国広東南西部沿岸地域における重砂鉱床の選鉱特性を把握することを目的として1990年（平成2年）に実施された「選鉱予備試験」に引き続き、イルメナイト、ジルコン、ルチル、モナザイト、ゼノタイムの主要5鉱物全ての精鉱産物が十分量産出できる試験規模に拡大した選鉱本試験を、1991年（平成3年）6月20日～12月21日まで広東省広州市にある中国有色金属工業総公司所属の広州有色金属研究院・選鉱研究室において実施した。

「選鉱本試験」の供試料は、東里地区の東里半島および新寮島の8カ所からボーリングおよびピットサンプリングにより採取された試料である。

また、選鉱本試験は同研究室所有の試験機器（表Ⅱ-1参照）を用い、選鉱予備試験で選定された選鉱処理フローにしたがって、1次選鉱工程にスパイラルコンセントレーターを使用して実施した。

1.2 調査内容

選鉱本試験の内容を次に示す。

1) 現地試験

① 選鉱試験

1次選鉱試験（粒度別産物）

2次選鉱試験（粒度別産物）

② 選鉱特性試験

焙焼試験およびX線回折

選鉱特性試験（ゼノタイムに関する磁力選鉱および静電選鉱）

2) 国内試験

現地試験の確認と鉱物研究

1.2.1 現地試験

1) 選鉱試験

選鉱予備試験の結果から実施する選鉱フローシートを選定した。これを図Ⅲ-1に示す。

はじめに、1次選鉱工程で選鉱予備試験では用いなかったスパイラルコンセントレーターを使用し、石英等の軽鉱物を粗く分離除去した。

つぎに、2次選鉱にはいり、回収した1次選鉱精鉱をシェーキングテーブルで更に軽鉱物を分離除去し、イルメナイト他の重鉱物を主体とする精鉱を回収した。その後、その回収精鉱を磁力選鉱でマグネタイト、イルメナイト、イルメナイトとゼノタイム、モナザイトを回収する。回収後の産物にはルチルとジルコンが残る。次に静電選鉱で2つの混合産物を一方はイルメナイトとゼノタイムに、他方をルチルとジルコンに分離する。その各々の粗精鉱を精選し、精鉱、中鉱、尾鉱に分離する。

「選鉱本試験」の成績は化学分析値を主体に解析し、イルメナイトとルチルのみ重砂分析値を参考にした。また、粒度別に成績を解析することにより、今後把握される鉱床の粒度分布と品位により、鉱床の総合選鉱成績の推定に資するデータを得る。

2) 選鉱特性試験

ゼノタイムに関する磁力選鉱選鉱特性試験および静電選鉱特性試験は、はじめ1次選鉱精鉱を使用する予定であったが、精鉱品位が低いので2次選鉱第1工程の比重選鉱の精鉱を用いて実施した。

焙焼試験の供試料は第1磁力選鉱精鉱を用いて実施した。全産物に対してX線回折(XRD)分析を実施した。

1.2.2 国内試験

現地試験の他に、2次選鉱比重選鉱精鉱試料を日本に持ち帰り、日本国内で現地試験の結果を確認するとともに分離された有用鉱物に対して鉱物研究を行った。

なお、この鉱物研究には現地選鉱試験のゼノタイム中鉱と1次選鉱尾鉱の鉱物研究を含んでいる。

鉱物研究はX線回折(XRD)、顕微鏡観察および電子線マイクロアナライザー(EPMA)を実施した。

2. 試験結果

次に選鉱本試験の結果を原砂、1次選鉱、2次選鉱、国内試験の項目にまとめて述べる。選鉱本試験の実施した処理フローシートおよび計測鉱量を図III-2に示す。

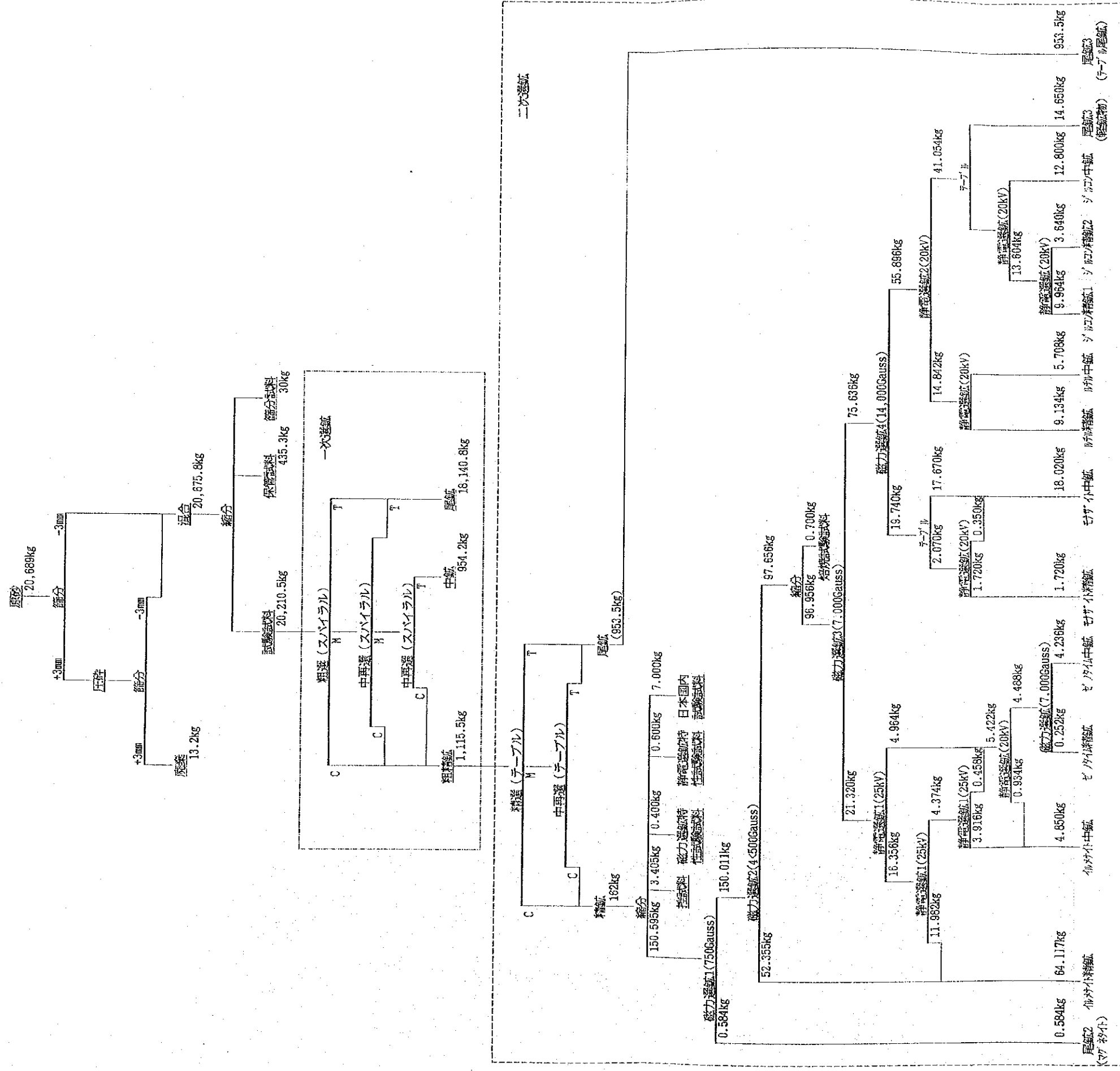
また、選鉱本試験結果の図表類はまとめて巻末資料Iとして添付してあるのでここでは必要なもののみ抜き出してある。

2.1 原砂

選鉱本試験に使用した試料は東里地区の東里半島と新寮島で8カ所からボーリングまたはピットサンプリングにより採取されたもので、広州有色金属研究院・選鉱研究室で円錐法によって混合調整したものである。

混合試料を直接重砂分析と化学分析した結果の主要な部分を表III-1に示す。

図 III-2 選鉱本試験実施処理フローシートおよび測定重量



表Ⅲ-1 混合試料の粒度分布、重砂および化学分析結果

粒度 mm	鉍量 (%)	鉍物量 (%)					化学品位 (%)		
		イルメナイト	ルチル	ジルコン	モナザイト	ゼノタイム	TiO ₂	ZrO ₂	TREO
+0.150	20.79	0.0409	0.0061	0.0100	0.0005	0.0001	0.11	0.023	0.010
+0.100	64.99	0.2005	0.0298	0.0298	0.0021	0.0002	0.16	0.053	0.035
+0.080	10.86	1.5967	0.2423	0.6269	0.0102	0.0088	0.98	0.286	0.091
+0.039	1.56	5.7213	0.6653	4.8377	0.6208	0.1118	4.25	3.760	0.750
-0.039	1.80	0.3000	0.0070	0.0400	0.0100	0.0000	0.28	0.100	0.180
合計	100.00	0.4071	0.0575	0.1655	0.0125	0.0029	0.30	0.131	0.050

注1 ZrO₂にはHfを含む

原砂に含まれる有用鉍物は全部で5鉍物で、含有量の多い順に、イルメナイト、ジルコン、ルチル、モナザイト、ゼノタイムである。

原砂中の主要5鉍物の合計品位は非常に低い、約0.6%で昨年の選鉍予備試験の品位0.4%と比べれば若干高くなっているが、化学分析品位(TiO₂+ZrO₂+TREO)では約0.5%で選鉍予備試験の品位約0.6%と比べれば若干低くなる。総合的に判断すれば品位は昨年とそう変化していないと考える。

また、原砂の各鉍物の粒度分布率を表Ⅲ-2に示す。この数値は化学分析品位から推定したものである。

重鉍物の品位は選鉍予備試験同様粒度が細くなるにつれて重鉍物の含有割合が高くなる傾向はある。

選鉍本試験の試料の中央粒径d₅₀は鉍量で0.245mm、TiO₂で0.096mm、ZrO₂で0.092mm、TREOで0.096mmといずれも選鉍予備試験と比べ粗い

最大分布を示す粒度は鉍量で-0.150~+0.100mm、TiO₂で-0.100~+0.080mm、ZrO₂で-0.100~+0.080mm、TREOで-0.150~+0.100mmと重鉍物のほうが鉍量より細かく、選鉍予備試験と大きな差はない。

表Ⅲ-2 原砂の各粒度分布

粒度 mm	鉍量 (%)	鉍物量 (%)				
		イルメナイト	ルチル	ツルコフ	モナサイト	ゼノタイム
+0.150	20.79	5.61	2.85	7.01	8.07	7.80
+0.100	64.99	35.13	34.18	24.44	36.65	26.79
+0.080	10.86	37.93	55.01	48.34	31.21	39.59
+0.039	1.56	19.59	7.57	18.85	18.51	18.97
-0.039	1.80	1.74	0.39	1.36	5.56	6.85
合計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

2.2 1次選鉍試験

選鉍本試験の1次選鉍は、大量処理に通常使用されるスパイラルコンセントレーター（以下スパイラルと略する）を使用した。1次選鉍の目的は、比重選鉍機をシェイキングテーブル（以下テーブルと略する）からスパイラルにした場合、選鉍成績に両者にどのような差異が生じるかを確認することとスパイラルの選鉍成績を得ることである。

スパイラル処理の場合、重鉍物の採取率が低下する恐れが予想されたために採取率重視の処理フローとしている。

1次選鉍試験結果をまとめると表Ⅲ-3のようになる。また、各鉍物の採取率の推定値を表Ⅲ-4に、選鉍予備試験結果との対比表を表Ⅲ-5に示す。

表Ⅲ-3 1次選鉱の各粒度の精鉱品位と採取率

粒度 mm	鉱量 (%)	化学品位 (%)					採取率 (%)		
		TiO ₂	ZrO ₂	TREO	CeO ₂	Y ₂ O ₃	TiO ₂	ZrO ₂	TREO
+0.150	10.79	0.96	0.047	0.016	0.0029	0.0027	33.87	3.58	4.48
+0.100	58.19	3.05	0.454	0.044	0.0105	0.0071	75.12	50.50	18.83
+0.080	23.04	12.11	4.409	0.442	0.1404	0.0685	90.51	92.97	70.78
+0.039	6.67	15.75	5.729	1.067	0.3495	0.1304	89.54	87.26	78.94
-0.039	1.31	1.54	0.924	0.212	0.0791	0.0357	20.48	1.14	0.84
合計	100.00	5.58	1.615	0.195	0.0603	0.0282	81.36	74.51	45.46

注1 ZrO₂にはHfを含む

表Ⅲ-4 1次選鉱の各鉱物の粒度別採取率

粒度 mm	採取率 (%)				
	イリメナイト	ルチル	ジルコン	モナイト	ゼノタイム
+0.150	23.29	81.83	3.58	4.42	8.96
+0.100	66.78	94.91	50.51	15.22	33.94
+0.080	85.50	98.49	92.97	79.16	81.93
+0.039	88.16	97.77	87.26	78.82	83.35
-0.039	12.70	99.85	38.19	16.09	12.47
合計	74.69	96.74	74.51	38.74	58.90

スパイラル処理の場合、+0.100mm以上の粗粒部および-0.039mm以下の細粒部分の採取率が悪くなっている。採取率が良い区分は-0.100~+0.039mmの産物である。鉱物種ではルチルが一番幅が広いが、これは白チタン石のような鉱物がルチルとして区分されているためと考える。ついでイルメナイトが広く、ジルコン、レアアース鉱物が良好な採取率を示す幅が一番狭い。

予備試験の成績と比較すれば、スパイラルのほうがテーブルより精鉱品位が

低く、富鈳率がテーブルの40%以下である。採取率は全般的に良好で、特にチタン採取率は約81%と選鈳予備試験から考えて予想以上に良い。採取率が良い原因は採取率重視の処理フローシートとした影響もあるが、原砂の粒度が予備試験より粗いためである。しかし、ジルコンについては、テーブルでの採取率が非常に良いにもかかわらず、スパイラルでは同等の成績しか得られないことから考えて、粒径等ジルコンの性質に直接関係する要因が影響している。

表 III - 5 1 次選鈳成績の対比表

		選鈳予備試験	選鈳本試験
鈳量歩留まり	(%)	0.99 (11.43)	5.74
精鈳品位	TiO ₂	21.69 (38.1)	5.58 (14.7)
	ZrO ₂	6.98 (77.6)	1.62 (13.4)
	TREO	1.05 (33.9)	0.20 (8.5)
採取率	TiO ₂	37.54 (47.76)	81.36
	ZrO ₂	75.73 (84.12)	74.51
	TREO	33.78 (45.36)	45.46
鈳物採取率	イメナイト	85.24	92.04
	ルチル		96.90
	ジルコン	85.59	
	モナサイト	84.97	

注1 鈳量歩留まりは精鈳の原砂量に対する割合である。

注2 ()の数値は鈳量歩留まりおよび採取率では中鈳を含む、
精鈳品位では富鈳比(精鈳品位/原鈳品位)である。

2.3 2次選鉱試験

2次選鉱試験はイルメナイト、ジルコン、ルチル、モナザイト、ゼノタイムの主要5鉱物に分離するとともに、基礎試験としてゼノタイムに関する磁力選鉱特性試験と静電選鉱特性試験および焙焼試験を実施した。

2.3.1 基礎試験

2次選鉱の第1工程比重選鉱精鉱を用いて、図Ⅲ-3およびⅢ-4で示される処理フローに従って磁力選鉱特性試験と静電選鉱特性試験を実施した。

○ 磁力選鉱特性試験

磁力選鉱特性試験の結果を図Ⅲ-5に示す。各鉱物ともに磁性の範囲は広いが、選鉱予備試験と比べれば、選鉱本試験は粒度が粗いことから選別が明瞭になっている。そのためゼノタイムとモナザイトの分離が予備試験より容易になっている。しかし、ゼノタイムを回収する前提で処理フローを全体的に判断すれば、ある程度の品位変動を考慮する必要があるから、予備試験から選定した選別条件を大きく変える必要が認められない。

○ 静電選鉱特性試験

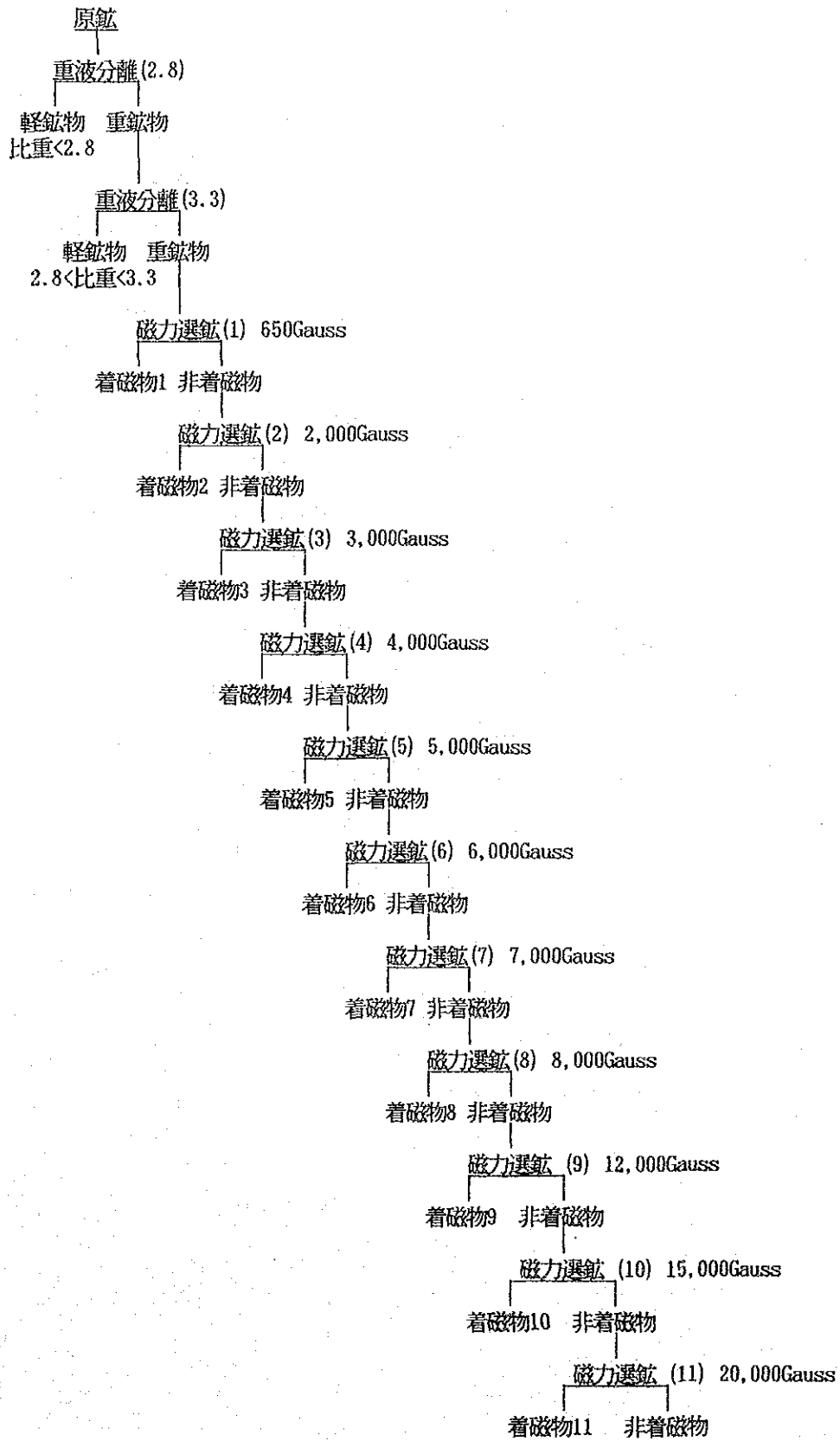
静電選鉱特性試験の結果を図Ⅲ-6～Ⅲ-10に示す。これらの結果から各鉱物の分離印加電圧は15kV以上できれば20kV以上必要である。

粒度が粗いことから静電選鉱の分離も予備試験より向上しているが、良導体であるルチルの一部に不良導体の中に分布するものがあり、予備試験同様ルチルとジルコンの分離が困難な重砂であることを示している。

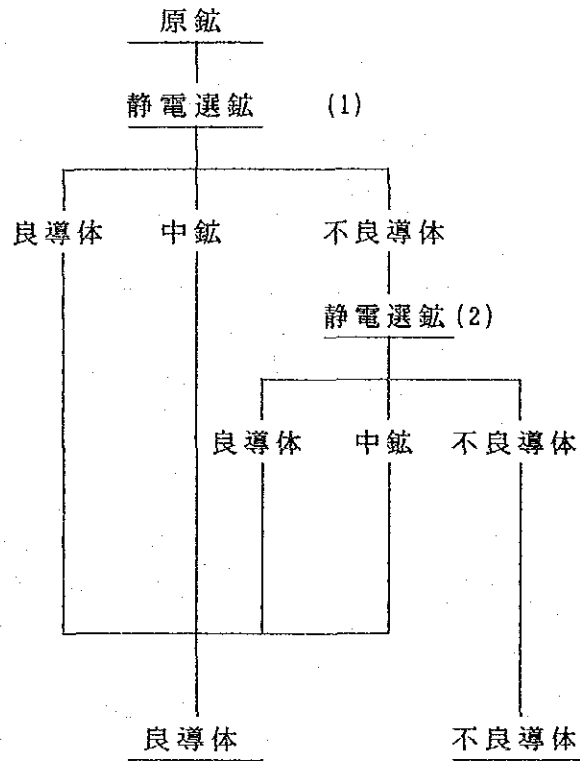
○ 焙焼試験

焙焼試験は、2次選鉱第1磁力選鉱工程の非着磁物を用い、次の試験条件で焙焼した後で磁力分離を行った。

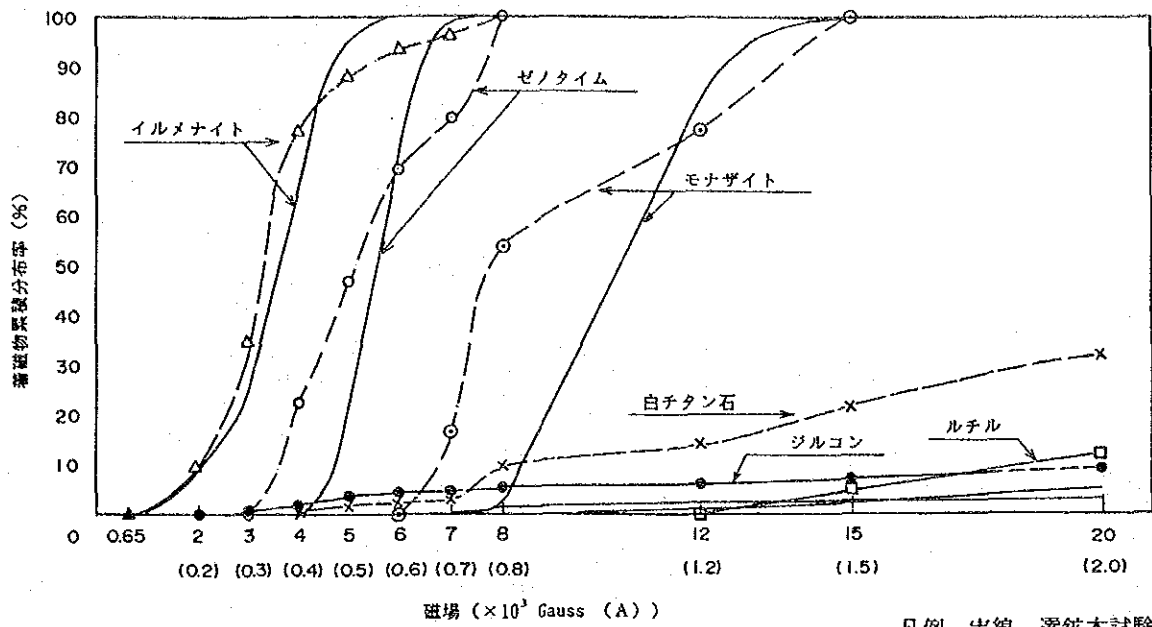
図III-3 磁力選鉱特性試験処理フローシート



図III-4 静電選鉱特性試験処理フローシート



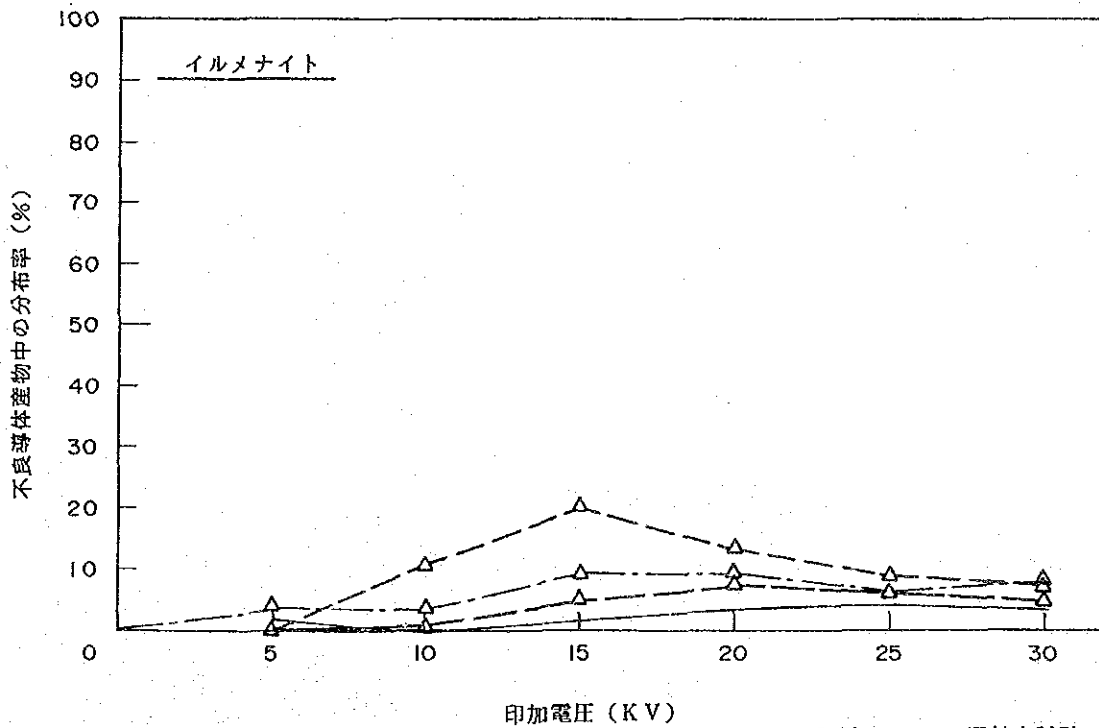
分離印加電圧は(1),(2)共に一定とする。
(分離印加電圧は5,10,15,20,25,30kV)



図III-5 磁力選鉱特性試験

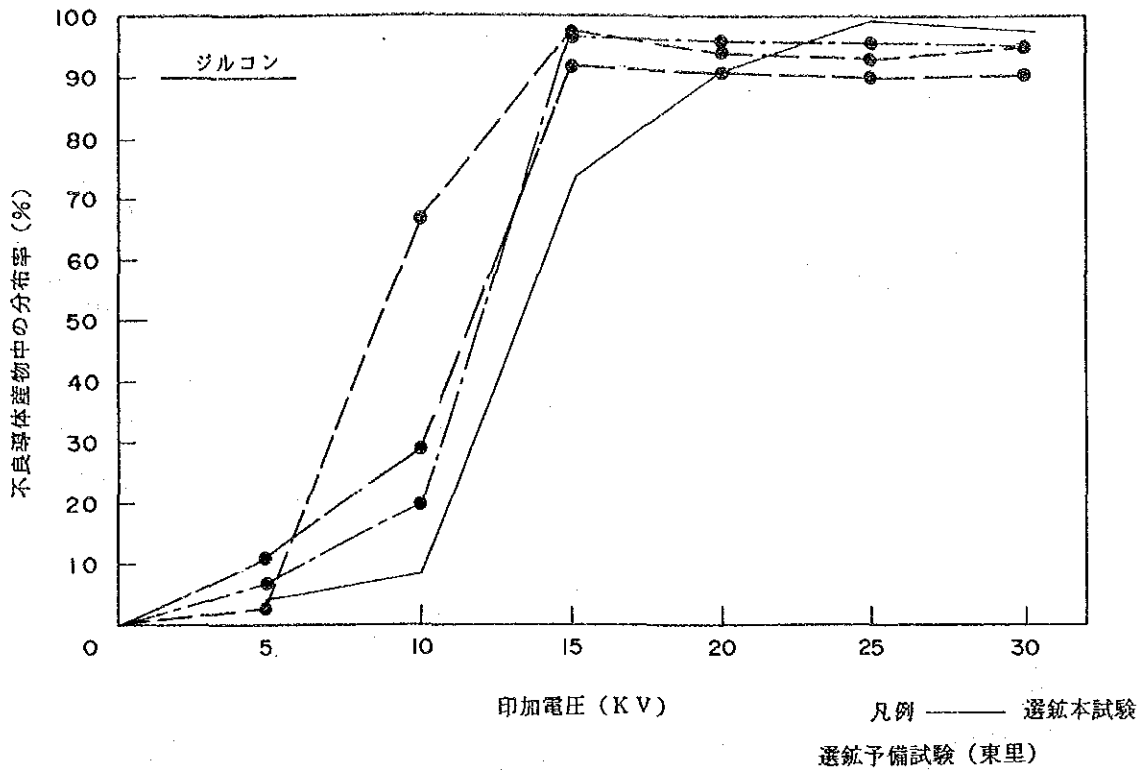
(ただし、ルチルは鋭錐石を含む)

凡例 実線 選鉱本試験
破線 選鉱予備試験 (東里)

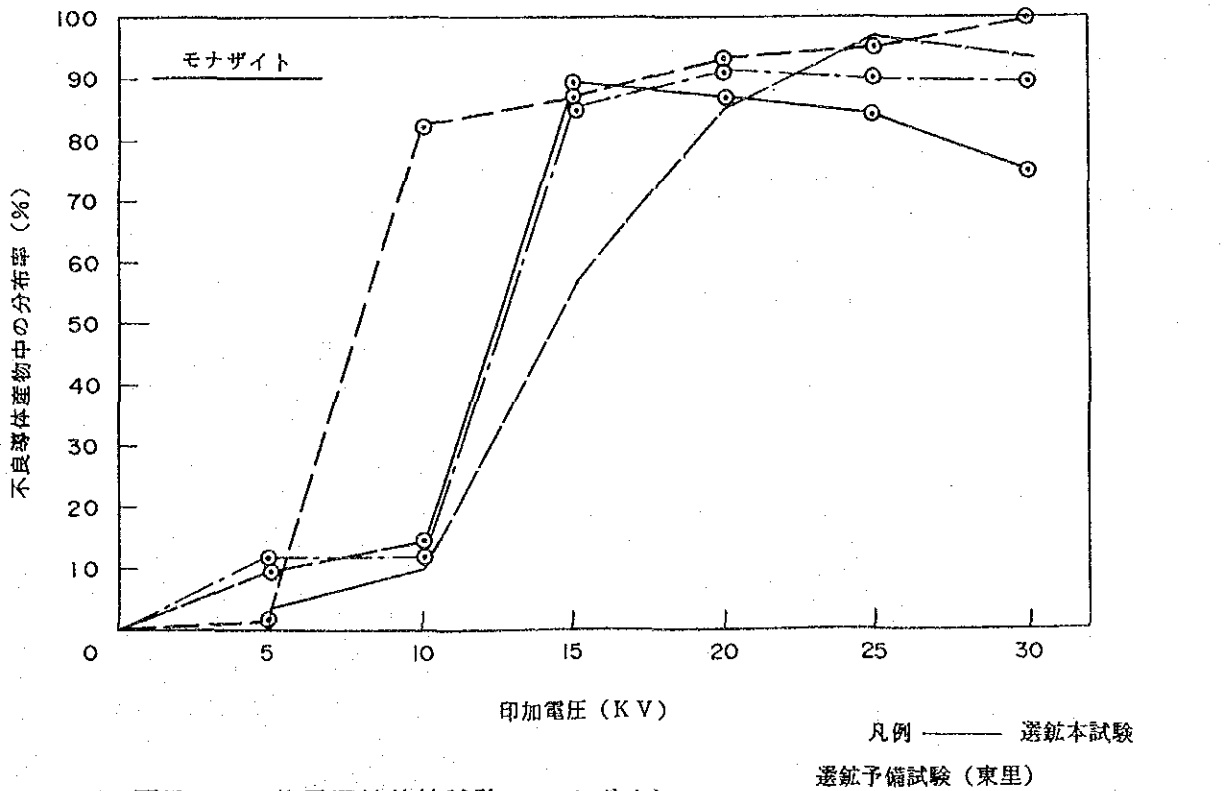


図III-6 静電選鉱特性試験：イルメナイト

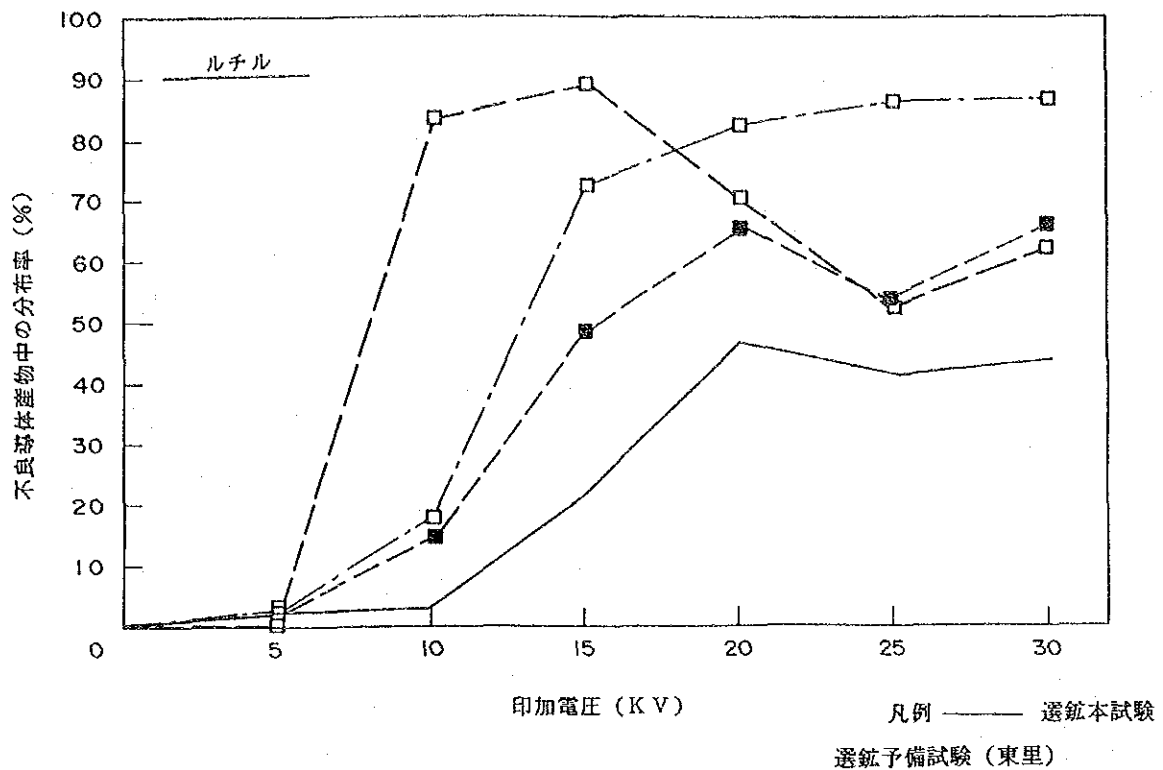
凡例 ——— 選鉱本試験
選鉱予備試験 (東里)
△—△ 1次選鉱精鉱
△—△ 粒度別1次選鉱精鉱 (粗粒: +0.08mm)
△—△ 粒度別1次選鉱精鉱 (細粒: -0.08mm)



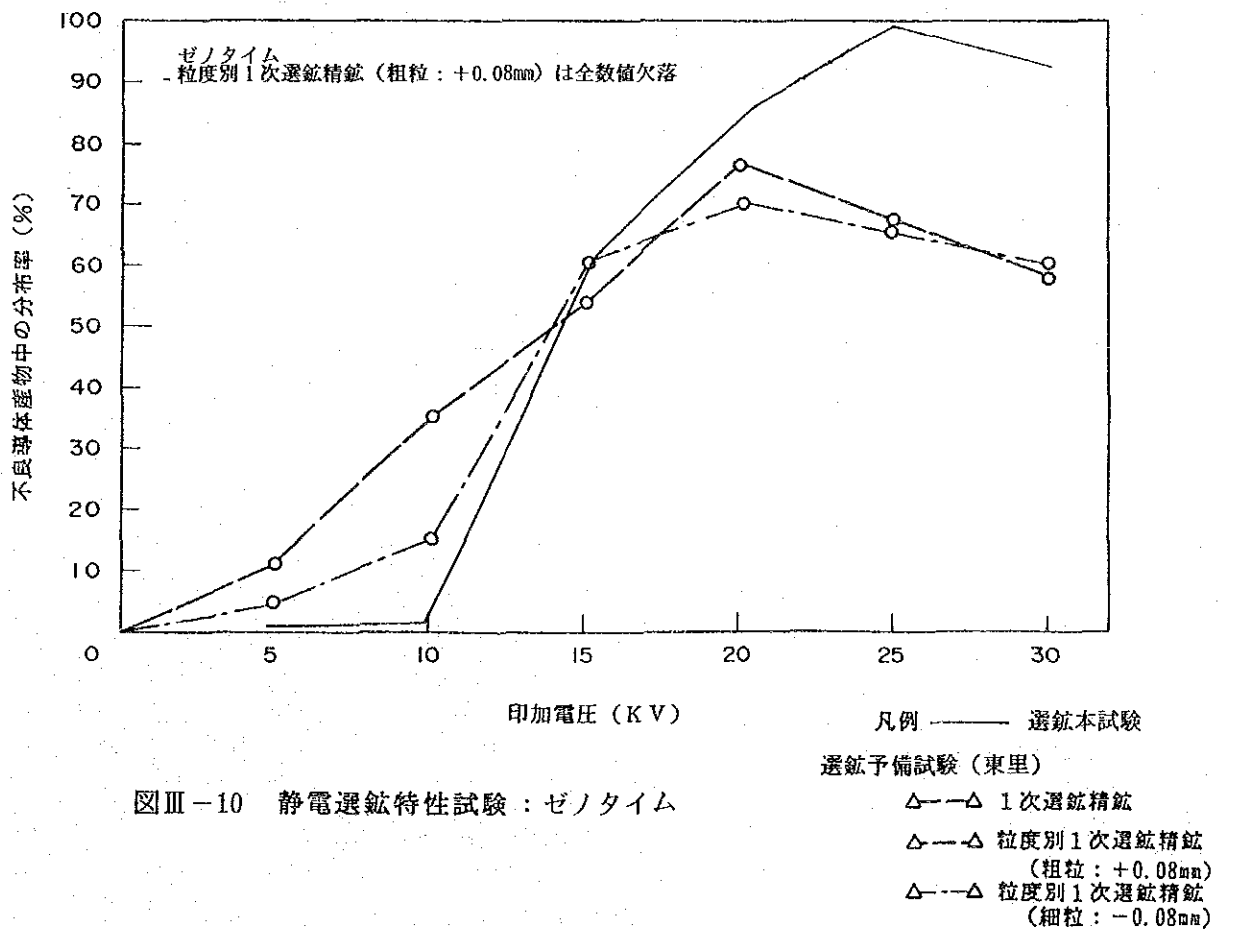
図Ⅲ-7 静電選鉱特性試験 : ジルコン



図Ⅲ-8 静電選鉱特性試験 : モナザイト



図III-9 静電選鉱特性試験：ルチル
(ただし、ルチルは鋭錐石を含む)



図III-10 静電選鉱特性試験：ゼノタイム

焙焼温度	600℃、	700℃
雰囲気	還元(炭素20%添加)	弱酸化(還元剤無)
分離条件	磁力分離磁場(4000Gauss)	

焙焼することにより精鈳のチタン品位は次のように変化する。

弱酸化雰囲気より還元雰囲気のTiO₂品位が約2%上昇し、焙焼温度600℃のほうが700℃より約6%上がっている。いずれの場合も元鈳を直接磁力分離した精鈳品位と比較すると同じ程度であり、今回の試料では品位向上の効果はあまりなかった。

TiO₂採取率は全てのケースで半減している。また、焙焼温度700℃でZrO₂採取率とTREO採取率が増加するので、焙焼温度は低い方がよい。

今回の焙焼試験は触覚的な試験であることから、早急な判断は差し控えなければならないが、今回の場合には焙焼設備は必要無いと考える。焙焼工程の設置は起業費や操業コストを増加させることなので、焙焼工程を採用するかどうかは試験成績とは別に検討を必要とする。また、採用の時には更に操業条件を細部まで確認する必要がある。

2.3.2 選鈳試験

2次選鈳の磁力選鈳は安定した分離がなされ、分離も良好である。静電選鈳はイルメナイトとゼノタイムの分離ではハイテンション方式でルチルとジルコンの分離ではオーストラリア製の静電方式の選鈳機を用いた。2次選鈳の各粒度における精鈳の採取率を表Ⅲ-6に示す。表Ⅲ-7に各粒度の精鈳品位と全体での採取率を、表Ⅲ-8に化学分析値から推定した粒度別の鈳物採取率を示す。

表Ⅲ-6 2次選鉱の各粒度における精鉱の採取率

産物		+0.150	+0.100	+0.080	+0.039	-0.039	合計
採 取 率 %	イルメナイト TiO ₂	45.31	52.93	50.38	79.64	27.39	56.15
	ジルコン1 ZrO ₂	1.78	12.47	39.92	54.34	44.08	38.46
	ジルコン2 ZrO ₂	1.52	6.28	14.85	16.11	15.99	13.67
	ルチル TiO ₂	24.41	9.18	17.58	5.28	4.07	12.80
	モナザイト TREO	0.00	16.67	51.88	51.77	38.57	46.43
	ゼノタイム TREO		1.97	6.87	3.72	1.09	4.99

表Ⅲ-7 各粒度における精鉱品位と分布率

産物		+0.150	+0.100	+0.080	+0.039	-0.039	合計
品 位 %	イルメナイト TiO ₂	53.45	53.00	51.48	43.27	36.65	49.56
	ジルコン1 ZrO ₂	53.70	63.92	63.66	61.87	56.72	63.04
	ジルコン2 ZrO ₂	45.71	60.29	62.74	60.78	36.28	61.66
	ルチル TiO ₂	76.52	83.77	84.56	62.72	46.91	81.92
	モナザイト TREO	42.45	58.87	52.51	51.98	38.18	52.36
	ゼノタイム TREO		47.65	40.74	35.94	15.63	39.52
分 布 率 %	イルメナイト TiO ₂	15.34	39.76	45.60	71.33	5.61	45.69
	ジルコン1 ZrO ₂	0.06	6.30	37.12	47.42	16.83	28.65
	ジルコン2 ZrO ₂	0.05	3.17	13.80	14.05	6.10	10.18
	ルチル TiO ₂	8.27	6.90	15.91	4.73	0.83	10.42
	モナザイト TREO	0.00	3.14	36.72	40.86	4.03	21.10
	ゼノタイム TREO		0.37	4.86	2.94	0.11	2.27

表Ⅲ－8 各粒度における精鈇の鈇物採取率

産物		+0.150	+0.100	+0.080	+0.039	-0.039	合計
採 取 率 %	イルメナイト	18.72	56.53	74.26	83.24	6.14	65.49
	ジルコン1	0.06	6.30	37.11	47.44	16.83	28.66
	ジルコン2	0.05	3.17	13.80	14.05	6.10	10.18
	ルチル	45.79	23.25	41.25	32.94	9.33	34.46
	モナザイト	0.00	3.90	54.35	52.13	5.63	23.20
	ゼノタイム	0.00	3.50	30.70	23.29	0.68	17.56

2.4 国内試験

国内試験は中国現地試験を確認するために、現地試験の処理フローシートに準じてイルメナイト、ジルコン、ルチル、モナザイト、ゼノタイムの主要5鈇物の粗精鈇に分離するとともに、その産物について鈇物研究を実施した。鈇物研究には中国の現地試験で得られたゼノタイム中鈇（今年の予備試験で産物として得られていない）と1次選鈇尾鈇を研究対象として含んでいる。

2.4.1 確認試験

国内試験の処理フローシートを図Ⅲ－11に示す。処理フローシートは原則的に図Ⅲ－1に従った。

第1磁力選鈇工程の分離磁場を1200 Gaussで実施した他は、分離磁場は中国現地試験と同じである。静電選鈇の分離印加電圧は25kVで統一した。イルメナイトとゼノタイムの分離は中国と同じハイテンション方式で実施した。メチルとジルコンの分離は静電方式で実施した。しかし、試験設備は回転ドラム形式のものである。また、軽鈇物の比重分離を当初の処理フローシートどおりジルコンの精選の中で実施した。

産物は+0.100mm、+0.080mm、-0.080mmの3区分に篩分けした。

試験結果の対比するため主要選鉱工程における精鉱品位と採取率の成績を抜粋して表Ⅲ-9に示す。

表Ⅲ-9 選鉱本試験と国内試験との精鉱品位の対比

	国内試験			選鉱本試験		
	TiO ₂	ZrO ₂	TREO	TiO ₂	ZrO ₂	TREO
第2磁力選鉱粗精鉱 (ルチル1粗精鉱)	49.48 (47.68)	0.18 (0.59)	0.14 (4.66)	49.56 (46.79)	0.31 (0.99)	0.07 (1.95)
第3磁力選鉱粗精鉱	40.40 (32.83)	0.14 (0.20)	0.93 (14.45)	42.99 (30.99)	0.70 (0.92)	0.96 (11.51)
第1静電選鉱粗精鉱 (ルチル2粗精鉱) (ジルコン粗精鉱)	49.62 (88.59) 16.54	0.09 (47.70)	0.15 (11.58)	49.27 (90.80)	0.29 (32.53)	0.09 (7.25)
第4磁力選鉱粗精鉱 (モノリ粗精鉱)	23.04 (15.66)	0.37 (0.29)	7.49 (76.62)	22.57 (21.62)	2.65 (3.22)	6.86 (84.78)
第4磁力選鉱粗尾鉱	28.49	28.49	0.52	28.95	28.16	0.44
第2静電選鉱粗精鉱 (ルチル粗精鉱) (ジルコン粗精鉱)	44.10 (51.64) 20.68	20.99 (24.58)	0.36 (23.00)	77.27 (70.46)	2.80 (2.63)	0.22 (13.59)
		32.25	0.61	11.62	37.25	0.51

注 ()内の数値はその工程の採取率

ルチルとジルコンの分離を目的とする第2静電選鉱工程を除き、精鉱品位および採取率は非常に似通っている。第2静電選鉱工程の成績が日本国内試験の方が悪い理由は中国側の方式が当初ジルコン精選の中で実施する軽鉱物の除去をこの工程の前でも実施しているため、静電選鉱の分離が容易になったことが挙げられる。

この比重選鉱を静電選鉱の前に実施することは比重の軽い色のついた鉱物を除去できるので、選別工程の維持管理上も好ましい。

また、日本側が使用した静電選鉱機よりも中国側の使用した静電選鉱機の方が静電分離帯が広く、可動部分がなく、分離精度が良いことも挙げられる。

表Ⅲ-10に2種のイルメナイト精鉱を静電選鉱で精選をしたときの品位を示す。これから選鉱本試験では直接イルメナイト精鉱にした第2磁力選鉱精鉱も精選を実施した方がイルメナイト精鉱を向上できる。図Ⅲ-2の処理フローシートから分かるようにイルメナイト-ゼノタイム分離工程から一部戻ってくる部分も中鉱になる。日本側試験結果から第2のイルメナイトの方が品位が高く、この戻ってくる部分が品位を低下させていることが予想される。

表Ⅲ-10に2つのイルメナイト精鉱精選時の各産物のTiO₂品位

産物		+0.100	+0.080	-0.080	合計
品位	#1イルメナイト精鉱-1	52.27	52.30	47.57	51.62
	#1イルメナイト精鉱-2	51.46	49.67	46.78	49.76
	#1イルメナイト中鉱	32.13	39.92	37.48	37.44
%	#2イルメナイト精鉱-1	56.42	51.72	46.24	50.94
	#2イルメナイト精鉱-2	50.47	49.30	45.05	48.55

なお、国内研究の分析は日本国内で実施しているので、分析値にはサンプル誤差と分析所の所間誤差がある。その点を勘案すれば中国側の処理フローは確認できたと判断できる。

また、原砂、1次選鉱の産物は分析対象の品位が非常に微量で、分析限界に近く、共存成分の影響を受け易く、更に分析手段や分析感度の差などで同一分析所でも分析値の再現性に乏しい。従って、試料の一部を日本でクロスチェック分析し、それらを総合的に判断し、分析値を採用した。

2.4.2 鉍物研究

今年度の選鉍本試験では、昨年選鉍予備試験で欠けている1次選鉍を実施し、かつゼノタイムの精鉍を得ている。また、試験に供した試料粒度が昨年度の子備試験と比較して粗い等、鉍物性状の差異が予想されるため、次の6種の産物について鉍物研究を実施した。

特に今回入手できた選鉍中間工程産物（中国側）であるゼノタイム中鉍に対しては一般的な鉍物研究の他にモード分析を実施し、鉍物組成について調査した。

- ① ゼノタイム中鉍（中国側工程産物）一般的な鉍物研究、モード分析、
鉍物組成調査
- ② 1次選鉍尾鉍産物（中国側工程産物）一般的な鉍物研究
- ③ イルメナイト精鉍（日本側対比産物）一般的な鉍物研究
- ④ モナザイト精鉍（日本側対比産物）一般的な鉍物研究
- ⑤ ルチル精鉍（日本側対比産物）一般的な鉍物研究
- ⑥ ジルコン精鉍（日本側対比産物）一般的な鉍物研究

(1) 試験および供試料

○ 鉍物研究の手順

ゼノタイム中鉍については、図Ⅲ-12に示すような手順により鉍物分離を実施した。その後各分離産物に対し、X線回折、研磨薄片による顕微鏡鑑定とモード分析やEPMA面分析によって、その鉍物組成を解析し、レアアース鉍物の賦存状況を研究調査した。

1次選鉍尾鉍およびイルメナイト精鉍については、精選時の比重分離を実施していないので、図Ⅲ-13に示すような手順により鉍物分離を実施した後、X線回折、研磨片による顕微鏡観察やEPMA面分析により一般的な鉍物研究を行った。

図 III-12 ゼノタイム中鈹の鈹物の分離手順と研究項目

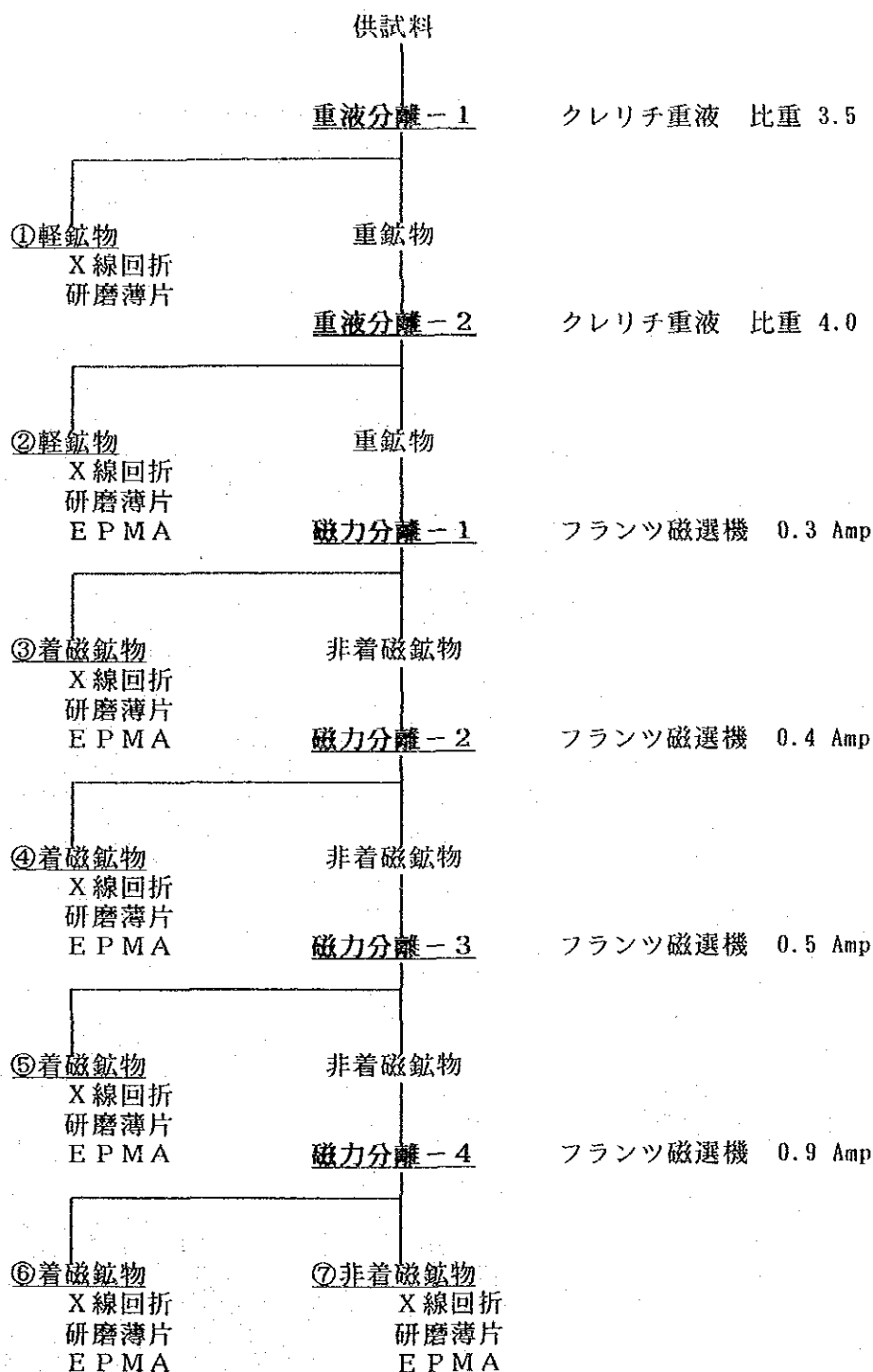
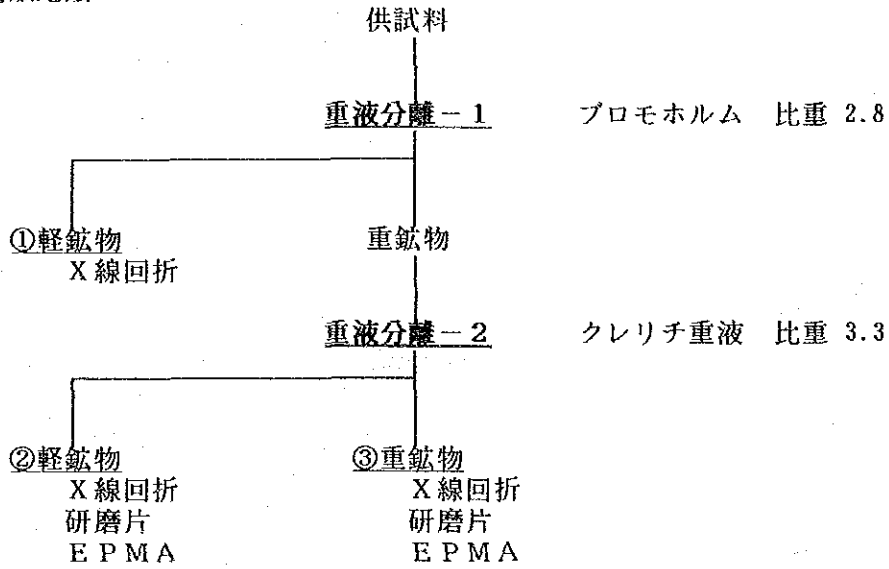
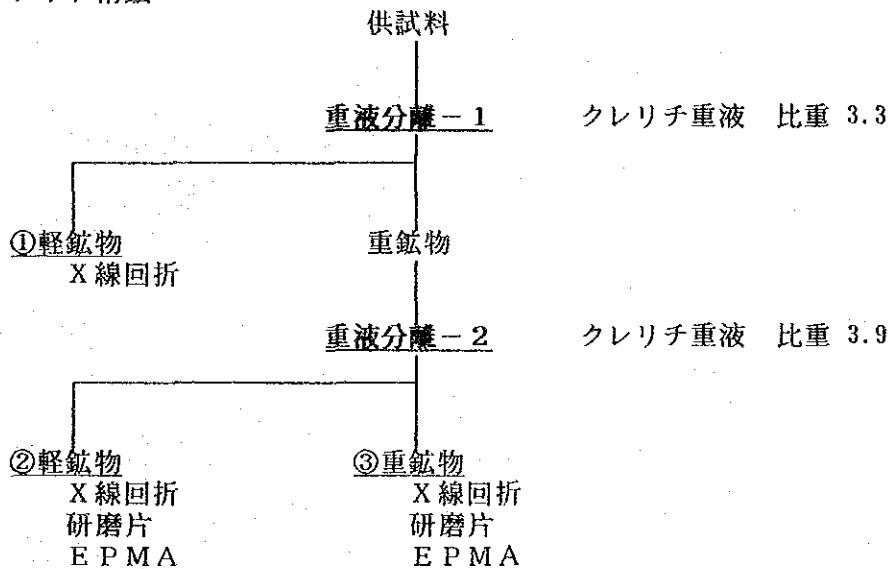


図 Ⅲ-13 1次選鉱尾鉱およびイルメナイト精鉱の鉱物の分離手順と研究項目

1次選鉱尾鉱



イルメナイト精鉱



それ以外のモナザイト精鉱、ルチル精鉱、ジルコン精鉱はX線回折、研磨片による顕微鏡観察やEPMA面分析により直接一般的な鉱物研究を行った。

鉱物鑑定において、ゼノタイム中鉱ではイルメナイトより変質したと思われる青灰色の粒子は総てシュードルチルとした。顕微鏡下でTiO₂鉱物と思われるものは総てルチルとした。その他の産物ではシュードルチルはルチルとして扱った。

ゼノタイム中鉱の鉱物組成を集計した結果を表Ⅲ-11に示す。

ゼノタイム中鉱、1次選鉱尾鉱およびイルメナイト精鉱の鉱物分離結果表を表Ⅲ-12に、X線回折結果一覧表を表Ⅲ-13に、研磨薄片によるモード分析結果を第Ⅲ-14表に示す。

研磨薄片の鉱物鑑定およびEPMA面分析の結果をまとめると、次のようになる。

① ゼノタイム中鉱

ゼノタイム中鉱は主に苦鉄質鉱物よりなり、特に比重3.5以下の角閃石、電気石、輝石、緑れん石が全体の46.0%を占めている。(写真PL-1参照)

次いで比重3.5以上、4.0以下の鉱物が26.7%を占め、その内の約50%がざくろ石と十字石で、残りは石英等脈石鉱物の包有物を含有するシュードルチル(Fe₂Ti₃O₉)とイルメナイト(FeTiO₃)とが占めている。このことは、本来の比重が4.5~5.0であるイルメナイトが石英等の包有物を含有することにより、見掛けの比重が小さくなって、この区分にあると考えられる。包有物には石英の他にAl-Si系鉱物が認められる。(写真PL-2, 3, 4, 5, 6およびEPMA No. 1参照)

目的鉱物である比重4.0以上の重鉱物は全体の27.3%であるが、その内の約40%は0.3Ampで着磁する強磁性鉱物であるイルメナイトやシュードルチルおよび赤鉄鉱である。(写真PL-7, 8, 9, 10参照)

表III-11 ゼノタイム中鉍鉍物組成一覽表

鉍物名	含有量	備考
ゼノタイム	2.5	
モナザイト	1.3	
(含包有物モナザイト)	(0.1)	石英やAl-Si系鉍物を包有
ジルコン	3.8	
(含包有物ジルコン)	(2.4)	点滴状、磁鉄鉍、白雲母を包有
ルチル	1.5	TiO ₂ 鉍物と思われるもの総て含む
シュードルチル*	8.0	イルメナイトより変質したものを含む
イルメナイト	4.2	
スピネル	2.1	
赤鉄鉍	3.5	
黄鉄鉍	< 0.1	
白鉄鉍	< 0.1	
ざくろ石	0.4	
3.5 < 比重 < 4.0	26.7	主に包有物を含有するイルメナイト、シュードルチルの他ざくろ石、十字石
比重 < 3.5	46.0	主に角閃石、電気石、緑れん石、輝石等
合計	100.0	

()内の数値は内数である。

* シュードルチル (Pseudorutile, Fe₂Ti₃O₉) について、0.4 Amp 着磁鉍物と0.4 Amp 着磁鉍物の X線回折の結果、 $2\theta = 36^\circ$ と $2\theta = 54.2^\circ$ のピークがシュードルチルのデータとほぼ一致するので、シュードルチルと判断した。したがって、顕微鏡下でイルメナイトより変化したと考えられる青灰色の粒子は総てシュードルチルとして扱い、同様に顕微鏡下でTiO₂鉍物と思われるものも総てルチルとして扱った。

表 III-12 鉍物分離結果一覽表

ゼノタイム中鉍鉍物分離結果

産物 番号	分離条件	重量率		主要構成鉍物
		wt g	wt %	
①	比重 < 3.5	40.05	46.0	角閃石、電気石他
②	3.5 < 比重 < 4.0	26.13	26.7	ざくろ石、十字石、含包有物イルメナイト
③	比重 > 4.0 0.3 A 着磁物	11.09	11.3	イルメナイト、赤鉄鉍、シュードルチル
④	比重 > 4.0 0.4 A 着磁物	4.35	4.4	シュードルチル、スピネル
⑤	比重 > 4.0 0.5 A 着磁物	7.35	7.5	ゼノタイム、シュードルチル、スピネル
⑥	比重 > 4.0 0.9 A 着磁物	0.84	0.9	モナザイト
⑦	比重 > 4.0 0.9 A 非着磁物	3.16	3.2	ジルコン
③ ~ ⑦ 小計		26.79	27.3	
合計		97.97	100.0	

1次選鉍尾鉍鉍物分離結果

産物 番号	分離条件	重量率		主要構成鉍物
		wt g	wt %	
①	比重 < 2.8	645.65	99.6	石英、カリ長石等
②	2.8 < 比重 < 3.3	2.06	0.3	角閃石、電気石、緑れん石等
③	比重 > 3.3	0.92	0.1	イルメナイト、シュードルチル、ジルコン、赤鉄鉍等
合計		648.63	100.0	

イルメナイト精鉍鉍物分離結果

産物 番号	分離条件	重量率		主要構成鉍物
		wt g	wt %	
①	比重 < 3.3	2.61	9.5	角閃石、電気石、石英等
②	3.3 < 比重 < 3.9	5.84	21.3	イルメナイト、ルチル、赤鉄鉍、十字石等
③	比重 > 3.9	18.97	69.2	イルメナイト、赤鉄鉍、ルチル、ジルコン等
合計		27.42	100.0	

表 III-13 X線回折結果一覧表

試料名 \ 鉱物名	X線回折結果																				
	Xenotime	Monazite	Zircon	Rutile	Anatase	Pseudobrookite	Ilmenite	Chromite	Hematite	Garnet	Staurolite	Epidote	Tourmaline	Pyroxene	Amphibole	Andalusite	Chlorite	Quartz	K-Feldspar	Plagioclase	
ゼノタイム中鉱																					
比重<3.5												△	○	△	○		△	△			
3.5<比重<4.0				△	△		・	・	△	△								△			
比重>4.0 0.3Amp着磁	△		△	△			△		△	・									・		
比重>4.0 0.4Amp着磁	○			△		△	・	△	△												
比重>4.0 0.5Amp着磁	◎			△		△		・											・		
比重>4.0 0.9Amp着磁		◎	△	・																	
比重>4.0 0.9Amp非着磁			◎	・																	
1次選鉱尾鉱																					
比重<2.8																			◎	△	△
2.8<比重<3.3												○	◎	△	◎	△	・	○	△	△	
比重>3.3			○	○	○		△	・	・	・	・	△		△				・			
イルメナイト精鉱																					
比重<3.3												△	○	△	◎		△	○			
3.3<比重<3.9				△	・		△		△	・	△	・			・			△			
比重>3.9	・		・	・			○		△												
モナザイト精鉱																					
	・	○	△	△																	
ルチル精鉱																					
			△	○	◎																
ジルコン精鉱																					
			◎	△																	

◎ 多量 ○ 中量 △ 少量 ・ 極微量
 ゼノタイム中鉱以外の産物ではシュードルチルはルチルに含まれる。

表 Ⅲ-14 ゼノタイム中鉱のモード分析結果一覧表

分離条件	比重>4.0												合計														
	比重<3.5			3.5<比重<4.0			0.3 Amp 着磁			0.4 Amp 着磁				0.5 Amp 着磁			0.9 Amp 着磁			0.9 Amp 非着磁							
	モード 数	%	品位	モード 数	%	品位	モード 数	%	品位	モード 数	%	品位		モード 数	%	品位	モード 数	%	品位	モード 数	%	品位	モード 数	%	品位		
ゼノタイム							10	1.0	0.1	77	7.7	0.3	290	29.0	2.1	2	0.2	<0.1								2.5	
モナザイト							3	0.3	<0.1	6	0.6	<0.1	48	4.8	0.4	894	89.4	0.9	1	0.1	<0.1					1.3	
モナザイト(包含有物)							46	4.6	0.5	12	1.2	0.1	10	1.0	0.1	19	1.9	<0.1	966	96.6	3.1					(0.1)	
ジルコン							(41)	(4.1)	(0.5)	(11)	(1.1)	(<0.1)	(8)	(0.8)	(0.1)	(17)	(1.7)	(<0.1)	(558)	(55.8)	(1.8)					3.8	
ジルコン(包含有物)							5	0.5	0.1	18	1.8	0.1	155	15.5	1.2	43	4.3	<0.1	30	3.0	0.1					(2.4)	
ルチル							245	24.5	2.8	624	62.4	2.7	348	34.8	2.5	41	4.1	<0.1	1	0.1	<0.1					1.5	
シェードルチル							376	37.6	4.2																	8.0	
イルメナイト							29	2.9	0.3	181	18.1	0.8	129	12.9	1.0											4.2	
スピネル							33	3.3	0.4																	2.1	
ざくろ石							253	25.3	2.9	82	8.2	0.4	20	2.0	0.2											0.4	
赤鉄鉱																											3.5
黄鉄鉱																											<0.1
白鉄鉱																											<0.1
3.5<比重<4.0 比重<3.5			46.0			26.7																				26.7	46.0
合計			46.0			26.7	1000	100.0	11.3	1000	100.0	4.4	1000	100.0	7.5	1000	100.0	0.9	1000	100.0	3.2					100.0	

()内の数値は内数

ゼノタイム (YPO_4) の含有量は 2.5% で、その内の約 85% は 0.5 Amp 着磁物に濃集する。ゼノタイムの一部はカリ長石 ($\text{KA1Si}_3\text{O}_8$) の他 Al-Si 系鉱物 (含鉄) の包有物を含有している。(写真 PL-12, 13, 14 および EPMA No. 4, 5 参照)

モナザイト [$(\text{Ce, La, Nd, Th})\text{PO}_4$] の含有量は 1.3% で、その内 0.5 Amp 着磁物に約 30%、0.9 Amp 着磁物に約 70% が濃集する。またモナザイトには石英 (SiO_2) の他にも多量の Al-Si 系鉱物 (含鉄) 包有物を含有する粒子が認められ、モナザイト全量の約 8% を占めている。(写真 PL-17, 18, 19, 20 および EPMA No. 6 参照)

ジルコン (ZrSiO_4) の含有量は 3.8% で、その 82% が 0.9 Amp 着磁物に分布するが、強磁性を示す 0.3 Amp 着磁物にも約 13% が分布している。0.3 Amp 着磁物のジルコンには点滴状の磁硫鉄鉱 (Fe_{1-x}S) や磁鉄鉱 (Fe_3O_4) を含有しており、これら強磁性包有物により見掛け上の磁性をもっており、このような選別結果になったものである。(写真 PL-7, 8, 13 および EPMA No. 2, 3 参照)

また、ジルコンの 63% はルチル (TiO_2) や黄鉄鉱 (FeS_2) および Al-Si 系鉱物の点滴状の包有物を含有し、0.9 Amp 非着磁物では主に白雲母 [$\text{KA1}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH, F})_2$] と思われる包有物を含有している。(写真 PL-21, 22 および EPMA No. 7 参照)

その他ルチルが 1.5%、スピネル (クロム鉄鉱 FeCr_2O_4) が 2.1% 認められる。また、黄鉄鉱や白鉄鉱も 0.1% 以下ではあるが認められる。

② 1 次選鉱尾鉱

1 次選鉱尾鉱の重量分布は比重 2.8 以下の石英やカリ長石が全体の 99.6% と大部分を占め、残りのうち比重が 2.8~3.3 の産物が 0.32%、目的鉱物のある比重 3.3 以上の産物が 0.14% となっている。

比重 2.8 以上、3.3 以下の産物は角閃石、電気石、輝石等を主体にし、その他藍晶石が認められる。重鉱物では石英や Al-Si 系鉱物の包有物を多く含有するシュードルチル ($\text{Fe}_2\text{Ti}_3\text{O}_9$) が認められる。これらは軽鉱物包有物の

影響で見掛け上の比重が小さくなり、1次選鉱の精鉱に回収されなかったものである。(写真PL-23およびEPMA No. 8参照)

比重3.3以上の産物では、包有物を含有するイルメナイト(TiFeO_3)やルチル(TiO_2)とジルコン(ZrSiO_4)の他にもモナザイト[(Ce, La, Nd, Th) PO_4]が認められる。その他の鉱物としては電気石、藍晶石と赤鉄鉱等の鉄鉱物が認められる。これらの粒子中にもルチルやゼノタイム(YPO_4)等の重鉱物を点滴状の包有物として含有している場合も頻繁に認められる。(写真PL-24およびEPMA No. 9参照)

③ イルメナイト精鉱

イルメナイト精鉱の重量分布は比重3.3以下の産物が9.5%、次いで比重3.3~3.9の産物が21.3%で、残り69.2%は比重3.9以上の重鉱物である。

比重3.3以下の産物は角閃石、電気石、緑れん石、輝石等が主体であり、比重3.3以上、比重3.9以下の産物ではAl-Si系鉱物等を包有物として包有するイルメナイト(TiFeO_3)、ざくろ石、十字石が主体になる。その他に一部ルチル変化しているイルメナイトやスフェーンが認められる。Al-Si系鉱物はCa分が多いのが特徴的である。(写真PL-25およびEPMA No. 10参照)

重鉱物である比重3.9以上の産物では、イルメナイト(TiFeO_3)を主体にし、少量のルチル、ジルコン、赤鉄鉱が認められる。微量ながらモナザイト、磁鉄鉱も認められる。

イルメナイトには包有物を含まないものもあるが、一部ルチルに変化しているものやその過程上のものを包有物として含むイルメナイトや石英等の包有物を含むイルメナイトもかなり多く、このことは TiO_2 鉱物の選別性の多様性と品位の高い精鉱が得難い原因である。また赤鉄鉱の他に一部にルチルを包有する磁鉄鉱も認められる。(写真PL-26およびEPMA No. 11参照)

ジルコンはゼノタイム中鉱と同様に磁硫鉄鉱や磁鉄鉱を包有しており、見掛け上磁性をもつ特異産物である。

④ モナザイト精鉱

本モナザイト精鉱は粗精鉱であるため、モナザイト $[(\text{Ce, La, Nd, Th})\text{PO}_4]$ を主体にしているが包有物を含むルチルやジルコン、Al-Si系鉱物も多い。ルチルの内部にはイルメナイトを含有したり、複雑な形をした石英やAl-Si系鉱物の包有物をしたものが多く認められる。(写真PL-27およびEPMA No.12参照)

⑤ ルチル精鉱

ルチル精鉱中のルチルは包有物のない均一なものもあるが、大半は変質したり SiO_2 包有物を含有しているルチルが多い。その他の鉱物としてはジルコンや石英の他に微量のモナザイトが認められる。

(写真PL-28およびEPMA No.13参照)

⑥ ジルコン精鉱

ジルコン精鉱はジルコン (ZrSiO_4) が主体で少量のルチルを含んでいる。ジルコンの多くは包有物のないものであるが、何らかの包有物を含有しているジルコンもかなり多い。その他の鉱物としては包有物の多く含んだルチルやモナザイトが認められる。イットリウムを含むジルコンや錫石が微量だが認められた。(写真PL-29およびEPMA No.14参照)

3. 考察

(1) 精鉱品位

選鉱本試験での精鉱品位を国際的な取引での精鉱品位を目標値として対比すると次のようになる。

精鉱産物	目標値	選鉱本試験	評価	選鉱予備試験	評価
イルメナイト	TiO ₂ % >54	49.56	△	51.25	△
ジルコン1	ZrO ₂ % >65	63.04	△	65.16	○
ジルコン2	ZrO ₂ % >65	61.66	△	61.74	△
ルチル	TiO ₂ % >95	81.92	△	85.32	△
モナザイト	TREO % >55	52.36	△	62.14	○
ゼノタイム	TREO % >55	39.52	△		

すべての精鉱の品位が選鉱予備試験の成績より低く、目標値に対して不十分である。

イルメナイトやルチルでは粗粒部のTiO₂品位がそれぞれ53%、84%程度で頭打ちになっており、粒度が+0.039mmより細くなるにつれて品位が下がっている。粗粒部での品位低下が少ない。これに対し、ジルコン精鉱ほかの精鉱は、+0.100~+0.039mm区分が品位が高く、安定しており、粗粒部と細粒部の品位が低下する

-0.039mm区分の分離精度を上げることは困難である。また、この区分の鉱量は少ないので、最初からこの部分をカットする等により、他の部分の選別精度を向上させる可能性がある。選別精度が良くなるにともなって若干の精鉱品位向上の可能性はあると考える。

しかし、選鉱予備試験や選鉱本試験や国内確認試験の粒度別精鉱品位の結果を考え合わせると目標値の品位まで達することは困難と予想される。

鉍物研究の結果から、チタン鉍物は高チタンイルメナイト、イルメナイト、鉄イルメナイト、チタン赤鉄鉍、含チタン赤鉄鉍や白チタン石、ルチル等に連続的にTi-Fe組成が変化するだけでなく、脈石鉍物を包有したり片刃になっている。その内のチタン品位の低いものがイルメナイト精鉍やルチル精鉍のTiO₂品位を下げており、かつ品位の高くない鉄イルメナイトが多いことも、チタン品位を目標値まで達することを困難にしている。したがって精鉍品位の向上は採収率を大きく犠牲にしなければならないと予想される。

その他の鉍物もチタン鉍物同様に、脈石鉍物を包有したり、片刃になっているものが多いことが、精鉍品位向上の障害になっている。この包有物が全ての鉍物の磁性範囲を広くしており、鉍物の分離を困難にしている。

したがって、いずれの産物においても精鉍品位を目標値から多少下げても採収率を落とさない操業が経済的と考える。

(1) 採取率

最終精鉱の原砂に対する分布率を対比すると次のようになる。

精鉱産物			選鉱本試験	選鉱予備試験
イルメナイト	精鉱	TiO ₂ %	45.69 (49.01)	11.79 (11.91)
イルメナイト	中鉱	TiO ₂ %	3.32	0.12
ジルコン1	精鉱	ZrO ₂ %	28.66 (67.94)	18.59 (68.76)
ジルコン2	精鉱	ZrO ₂ %	10.18	39.79
ジルコン	中鉱	ZrO ₂ %	29.10	10.38
ルチル	精鉱	TiO ₂ %	10.42 (16.10)	2.37 (2.79)
ルチル	中鉱	TiO ₂ %	5.68	0.42
モナザイト	精鉱	TREO %	21.10 (30.66)	9.22 (24.55)
モナザイト	中鉱	TREO %	9.56	15.33
ゼノタイム	精鉱	TREO %	2.27 (4.36)	
ゼノタイム	中鉱	TREO %	2.09	

()内の数値は精鉱と中鉱の合計値

ジルコン精鉱（中鉱を含む）は選鉱予備試験と同程度の採取率であるが、他の精鉱は予備試験より採取率が高い。これは精鉱品位をある程度に抑えて、採取率を確保していることによるものと考えられる。従って、各精鉱の精鉱品位を更に向上させると採取率はかなり低下すると考える。

粒度別に解析すると-0.039mm粒度では予想どおりチタン鉱物、ジルコン、レアアース鉱物全て低下している。一方、ジルコン、レアアース鉱物では+0.100mm以上の粒度で採取率が低下しており、この原因はそれらの片刃状鉱物が1次選鉱および2次選鉱の比重選鉱工程で尾鉱に流逸している。しかもジルコンは多くが1次選鉱工程のスパイラルで流逸しており、かつ予備選鉱試験のテーブ

ルの採取率が良かったことを考えれば、片刃状以外に粒形等が影響し、スパイラルの選別範囲を狭めていることが考えられる。

従って、実操業を想定した場合の採取率向上はスパイラルを2系統設置し選別範囲を適正化する必要がある。2系統にすることによってジルコンやレアアース鉱物の採取率を他の粒度区分と同程度まで回収できる可能性がある。この場合、片刃粒子が多いことが予想され、再摩砕設備が必要になる場合が考えられる。

4. 結 論

東里地区の重砂試料を対象とした選鉱本試験で以下に述べる所定試験を実施した。その結果について総括する。

(1) 選鉱特性試験

○選鉱特性試験

試験試料が選鉱予備試験の試料より粗いことが明らかに影響しており、磁力選鉱においても静電選鉱においても選鉱予備試験より選別が良くなっている。しかし、基本的には選鉱予備試験での選鉱特性と同様であるので、選定された処理フローシートの選別条件（図Ⅲ-2参照）を変更する必要は無いと考える。

○焙焼試験

2次選鉱第2磁力選鉱工程の非着磁物の焙焼により、磁力分離後の精鉱のチタン品位は、還元雰囲気弱酸化雰囲気の場合と比べ約2%、焙焼温度600℃が700℃の場合より約6%高くなった。しかしいずれの場合も焙焼せず直接磁選した産物の品位と明瞭な差が認められない。この程度の品位向上では、実際の開発の際に当初から設置しなければならない基本的な設備とは位置づけられない。

したがって、選鉱本試験で実施した選鉱フローシートの基本的な流れは妥当なものといえる。

(2) 選鉱本試験

選鉱本試験の結果は精鉱品位が十分とはいえないが、スパイラルコンセントレーターを使用した場合の選鉱成績が粒度別に得られたので、今後の解析に十分使用できるものと考え。選鉱本試験で使用した処理フローは基本的に問題はなく、評価し得る。

1次選鉱の成績ではチタン鉱物とその他の重鉱物との間に選別特性に差が認められる。これはスパイラルコンセントレーターの選別適用粒度範囲が鉱物に

よってその幅に差があること、および粗粒部の採取率の低いジルコンやレアアース鉱物がその中に比重の軽い鉱物を含有しているためと考えられる。1次選鉱は処理能力の関係からスパイラルコンцентレーターを使用しなければならないので、粗粒部分の採取率向上のためには、少なくとも粗粒部と細粒部の粒度別に処理する必要があり、場合によっては粉碎の工程が生ずることも予想される。

2次選鉱については、鉱物研究の結果から包有物が多い重砂であることが判明しており、また粒度別精鉱品位をみても品位に頭打ちの状況が見えることから、各精鉱の精鉱品位は若干の向上は期待できても、大幅な向上は困難であると予想される。品位の上昇はその努力の割には採取率を大きく下げる恐れが大きく、メリットは少ないと考える。したがって今回の選鉱フローシートは簡潔な処理系統であり、基本的に正しい。

しかし、この選鉱処理フローシートにも次のような改善の余地がある。

① ゼノタイム精鉱

中鉱の鉱物研究結果から、その中に比重の軽い電気石や十字石などが多く混入して、ゼノタイムの選別を阻害している状況にあることが分かった。したがって、ゼノタイム精選に比重選鉱の工程を加えて軽鉱物を除去すれば、精鉱品位を向上させられる可能性がある。イルメナイト中鉱も同様である。

② イルメナイト精鉱

今回は第2磁力選鉱工程の着磁物を直接イルメナイト精鉱にした。しかし、この中にも軽鉱物や片刃産物があり、精鉱品位を低下させる一因になっている。この部分に静電選鉱の工程を加えるか、比重選鉱をもちいてイルメナイト中鉱から軽鉱物を除去すれば、ゼノタイム精鉱同様に採取率の低下を抑えながら精鉱品位を向上させられる可能性がある。

③ ルチルとジルコンの静電分離

イルメナイトを回収した後では、軽鉱物が濃縮している。一方ルチルの中には包有物として石英等を含むので、静電選鉱の分離精度が落ちる。従って、この工程前に濃縮した脈石鉱物を除去して置くことは効果的で、そ

のためには比重選鉱工程を第4磁力選鉱工程と第2静電選鉱工程の間に設置すべきである。

また、ルチルとジルコンの静電選鉱に使用される静電選鉱機の形式は、重鉱物の粒度が細かいために、ドラム駆動型の選鉱機より中国側で使
用したMK III BENCH型の方が選別精度が良かったので後者を使用すべきである。

5. 提言

選鉱本試験の結果をふまえ、次のような提言を行う。

- (1) 粒度により比重選鉱、磁力選鉱、静電選鉱の選別精度が変化するが、今回実施した選鉱本試験では、粒度の影響を粒度別に成績を得ることで把握し、粒度が変わる毎に選鉱試験をする必要をなくした。
重砂鉱物の組成が大きく変化しないかぎり、対象鉱床を代表すると思われる粒度分布と品位が明確になれば、この粒度別成績を基にして各粒度の選鉱成績を推定し、積算する事で鉱床の総合成績を推定することが可能である。
- (2) 今回実施した処理フロー自体は正しいものと評価できるが、鉱床の評価には選鉱成績の他に処理設備の問題が重要な評価基準として今回の選鉱試験の結果から、次の事項について決定する必要がある。
 - ① 粒度別に処理設備を設置し粗粒部分の採取率を向上させる方法を採用するか、あるいは処理システムを1つとして粗粒部分の採取率を犠牲にする方法をとるか。
 - ② ゼノタイムとモナザイトを別々に生産するか、あるいは一緒に回収し近くの選鉱場で別に分離処理する方法をとるか。後者の場合には更にゼノタイムと混合する一部分だけを別処理するのか、レアアース部分の全体を別処理するか。
- (3) 実際の操業見込み成績を推定する場合には、今回の選鉱試験の成績だけでなく、現地やレアアースの生産国における類似の選鉱場についてのフローシートや選鉱成績や処理能力について情報を得ることが大切である。これらの情報によって更にその推定精度が上がるので、一般的な経済評価に使用するデータとともに、この様な情報についてできるだけ収集する必要がある。

卷末資料 I

選鉦本試験

選鉦本試驗結果

選鉱本試験採取率総括表 (化学分析)
合計

概要	採取率 (%)					
	TiO2		ZrO2		Treo	
	工程内	全工程	工程内	全工程	工程内	全工程
原砂	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1 原砂	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
次精鉱	81.36%	81.36%	74.51%	74.51%	45.46%	45.46%
選中鉱	1.70%	1.70%	1.13%	1.13%	2.37%	2.37%
選尾鉱	16.94%	16.94%	24.36%	24.36%	52.17%	52.17%
原砂	100.00%	81.36%	100.00%	74.51%	100.00%	45.46%
イルメナイト精鉱	56.17%	45.70%	1.21%	0.90%	2.20%	1.00%
2 イルメナイト中鉱	4.09%	3.32%	0.07%	0.05%	0.33%	0.15%
ジルコン精鉱1	0.04%	0.03%	38.47%	28.66%	2.11%	0.96%
ジルコン精鉱2	0.12%	0.10%	13.66%	10.18%	1.98%	0.90%
次 ジルコン中鉱	1.60%	1.30%	39.07%	29.11%	4.53%	2.06%
ルチル精鉱	12.81%	10.42%	0.42%	0.31%	0.70%	0.32%
ルチル中鉱	6.98%	5.68%	2.05%	1.53%	0.95%	0.43%
選 モナザイト精鉱	0.01%	0.01%	0.85%	0.63%	46.41%	21.10%
モナザイト中鉱	7.74%	6.29%	2.30%	1.71%	21.03%	9.56%
ゼノタイム精鉱	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	4.99%	2.27%
選 ゼノタイム中鉱	1.48%	1.20%	0.60%	0.45%	4.60%	2.09%
マグネタイト	0.23%	0.19%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%
尾鉱	8.75%	7.12%	1.30%	0.97%	10.16%	4.62%

選鉱本試験採取率総括表 (化学分析)
+0.150mm

概要	採取率 (%)					
	TiO2		ZrO2		Treo	
	工程内	全工程	工程内	全工程	工程内	全工程
原砂	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1 原砂	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
次精鉱	33.87%	33.87%	3.58%	3.58%	4.48%	4.48%
選中鉱	1.39%	1.39%	3.41%	3.41%	3.60%	3.60%
選尾鉱	64.74%	64.74%	93.01%	93.01%	91.92%	91.92%
原砂	100.00%	33.87%	100.00%	3.58%	100.00%	4.48%
イルメナイト精鉱	45.29%	15.34%	1.12%	0.04%	1.56%	0.07%
2 イルメナイト中鉱	3.16%	1.07%	0.00%	0.00%	0.67%	0.03%
ジルコン精鉱1	0.00%	0.00%	1.68%	0.06%	0.00%	0.00%
ジルコン精鉱2	0.00%	0.00%	1.40%	0.05%	0.00%	0.00%
次 ジルコン中鉱	0.33%	0.11%	35.75%	1.28%	1.12%	0.05%
ルチル精鉱	24.42%	8.27%	6.43%	0.23%	2.23%	0.10%
ルチル中鉱	1.45%	0.49%	1.40%	0.05%	0.22%	0.01%
選 モナザイト精鉱	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
モナザイト中鉱	4.69%	1.59%	1.96%	0.07%	5.36%	0.24%
ゼノタイム精鉱	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
選 ゼノタイム中鉱	2.75%	0.93%	0.28%	0.01%	4.24%	0.19%
マグネタイト	0.24%	0.08%	0.00%	0.00%	0.22%	0.01%
尾鉱	17.69%	5.99%	50.00%	1.79%	84.38%	3.78%

選鉱本試験採取率総括表 (化学分析)
+0.100mm

概要	採取率 (%)					
	TiO2		ZrO2		Treo	
	工程内	全工程	工程内	全工程	工程内	全工程
原砂	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1 原砂	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
次精鉱	75.12%	75.12%	50.50%	50.50%	18.83%	18.83%
選中鉱	2.51%	2.51%	3.06%	3.06%	4.31%	4.31%
選尾鉱	22.37%	22.37%	46.44%	46.44%	76.86%	76.86%
原砂	100.00%	75.12%	100.00%	50.50%	100.00%	16.13%
イルメナイト精鉱	52.93%	39.76%	0.67%	0.34%	2.98%	0.48%
2 イルメナイト中鉱	4.46%	3.35%	0.06%	0.03%	0.81%	0.13%
ジルコン精鉱1	0.00%	0.00%	12.48%	6.30%	0.74%	0.12%
ジルコン精鉱2	0.04%	0.03%	6.28%	3.17%	1.12%	0.18%
次 ジルコン中鉱	1.31%	0.98%	73.80%	37.27%	10.35%	1.67%
ルチル精鉱	9.19%	6.90%	0.61%	0.31%	1.12%	0.18%
ルチル中鉱	5.43%	4.08%	0.77%	0.39%	0.81%	0.13%
選 モナザイト精鉱	0.00%	0.00%	0.04%	0.02%	19.47%	3.14%
モナザイト中鉱	8.64%	6.49%	1.45%	0.73%	1.86%	0.30%
ゼノタイム精鉱	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	2.29%	0.37%
選 ゼノタイム中鉱	1.23%	0.92%	0.16%	0.08%	8.62%	1.39%
マグネタイト	0.23%	0.17%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
尾鉱	16.56%	12.44%	3.68%	1.86%	49.85%	8.04%

選鉱本試験採取率総括表 (化学分析)
+0.080mm

概要	採取率 (%)					
	TiO2		ZrO2		Treo	
	工程内	全工程	工程内	全工程	工程内	全工程
原砂	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1 原砂	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
次精鉱	90.51%	90.51%	92.97%	92.97%	70.78%	70.78%
選中鉱	1.60%	1.60%	0.19%	0.19%	1.44%	1.44%
選尾鉱	7.89%	7.89%	6.84%	6.84%	27.78%	27.78%
原砂	100.00%	90.51%	100.00%	92.97%	100.00%	70.78%
イルメナイト精鉱	50.38%	45.60%	0.58%	0.54%	1.37%	0.97%
2 イルメナイト中鉱	4.49%	4.06%	0.05%	0.05%	0.35%	0.25%
ジルコン精鉱1	0.03%	0.03%	39.92%	37.11%	2.37%	1.68%
ジルコン精鉱2	0.11%	0.10%	14.84%	13.80%	2.39%	1.69%
次 ジルコン中鉱	2.17%	1.96%	38.60%	35.89%	5.54%	3.92%
ルチル精鉱	17.58%	15.91%	0.41%	0.38%	0.86%	0.61%
ルチル中鉱	8.83%	7.99%	1.65%	1.53%	0.79%	0.56%
選 モナザイト精鉱	0.01%	0.01%	0.94%	0.87%	51.88%	36.72%
モナザイト中鉱	8.80%	7.96%	2.01%	1.87%	17.38%	12.30%
ゼノタイム精鉱	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	6.87%	4.86%
選 ゼノタイム中鉱	1.74%	1.57%	0.46%	0.43%	4.61%	3.26%
マグネタイト	0.03%	0.03%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%
尾鉱	5.83%	5.28%	0.53%	0.49%	5.59%	3.96%

選鉱本試験採取率総括表 (化学分析)
+0.039mm

概要	採取率 (%)					
	TiO2		ZrO2		Treo	
	工程内	全工程	工程内	全工程	工程内	全工程
原砂	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1 原砂	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
次精鉱	89.54%	89.54%	87.26%	87.26%	78.94%	78.94%
選中鉱	0.39%	0.39%	0.20%	0.20%	0.50%	0.50%
選尾鉱	10.07%	10.07%	12.54%	12.54%	20.56%	20.56%
原砂	100.00%	89.54%	100.00%	87.26%	100.00%	78.94%
イルメナイト精鉱	79.65%	71.32%	3.30%	2.88%	3.26%	2.57%
2 イルメナイト中鉱	2.29%	2.05%	0.12%	0.10%	0.18%	0.14%
ジルコン精鉱1	0.08%	0.07%	54.36%	47.43%	2.27%	1.79%
ジルコン精鉱2	0.21%	0.19%	16.10%	14.05%	1.77%	1.40%
次 ジルコン中鉱	0.72%	0.64%	15.14%	13.21%	1.48%	1.17%
ルチル精鉱	5.28%	4.73%	0.22%	0.19%	0.33%	0.26%
ルチル中鉱	5.34%	4.78%	4.00%	3.49%	1.23%	0.97%
選 モナザイト精鉱	0.02%	0.02%	1.17%	1.02%	51.76%	40.86%
モナザイト中鉱	3.38%	3.03%	3.70%	3.23%	28.30%	22.34%
ゼノタイム精鉱	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	3.72%	2.94%
選 ゼノタイム中鉱	1.04%	0.93%	1.27%	1.11%	3.56%	2.81%
マグネタイト	0.77%	0.69%	0.02%	0.02%	0.01%	0.01%
尾鉱	1.21%	1.08%	0.60%	0.52%	2.13%	1.68%

選鉱本試験採取率総括表 (化学分析)
-0.039mm

概要	採取率 (%)					
	TiO2		ZrO2		Treo	
	工程内	全工程	工程内	全工程	工程内	全工程
原砂	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1 原砂	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
次精鉱	20.48%	20.48%	38.18%	38.18%	10.45%	10.45%
選中鉱	0.49%	0.49%	1.14%	1.14%	0.84%	0.84%
選尾鉱	79.03%	79.03%	60.68%	60.68%	88.71%	88.71%
原砂	100.00%	20.48%	100.00%	38.18%	100.00%	10.45%
イルメナイト精鉱	27.39%	5.61%	2.17%	0.83%	3.25%	0.34%
2 イルメナイト中鉱	10.25%	2.10%	0.21%	0.08%	0.38%	0.04%
ジルコン精鉱1	2.20%	0.45%	44.05%	16.82%	3.83%	0.40%
ジルコン精鉱2	4.35%	0.89%	15.98%	6.10%	3.83%	0.40%
次 ジルコン中鉱	2.73%	0.56%	11.84%	4.52%	2.87%	0.30%
ルチル精鉱	4.05%	0.83%	0.55%	0.21%	0.67%	0.07%
ルチル中鉱	10.01%	2.05%	7.39%	2.82%	2.58%	0.27%
選 モナザイト精鉱	0.39%	0.08%	2.20%	0.84%	38.57%	4.03%
モナザイト中鉱	15.04%	3.08%	3.41%	1.30%	34.35%	3.59%
ゼノタイム精鉱	0.10%	0.02%	0.03%	0.01%	1.05%	0.11%
選 ゼノタイム中鉱	3.86%	0.79%	1.26%	0.48%	2.78%	0.29%
マグネタイト	0.64%	0.13%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%
尾鉱	18.99%	3.89%	10.90%	4.16%	5.84%	0.61%