

平成31年度現場ニーズ等に対する技術支援事業

低品位クロム鉱石の選鉱技術開発

成果報告書

(公開版)

令和2年3月6日

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

JFE マテリアル株式会社

はしがき

近年、世界的な鉱物資源の需要拡大による原料確保のための権益獲得競争の動きが一層活発化する中で、環境保全対策や循環型社会の構築に向けた積極的な対応が求められるなど、我が国の金属産業・製鉄業が置かれている状況は大きく変化している。一方で資源開発事業の進展により、採掘対象の低品位化、探査ターゲットの奥地化や潜頭化など、より技術的リスクの高い鉱床の開発へと移行しており、より効率的な選鉱・製錬等の生産技術が求められている。これらに対応する技術が企業の競争力を左右しているのが現状である。

このような背景のもとに、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）では、我が国の金属資源産業が抱える技術課題等を把握し、我が国企業が関与する操業現場や鉱山開発等の案件を対象とし、生産技術や鉱山開発・FS 評価に対する技術支援を行うために、平成 17 年度から現場ニーズ等に対する技術支援事業を開始した。

本報告書は、JOGMEC と JFE マテリアル株式会社が共同にて実施した平成 31 年度現場ニーズ等に対する技術支援事業「低品位クロム鉱石の選鉱技術開発」の研究結果をまとめたものである。

本報告書が、関係各位の参考になれば幸甚である。

令和 2 年 3 月

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構
JFE マテリアル株式会社

目次

1	共同スタディ概要	1
1-1	共同スタディの背景・目的	1
1-2	共同スタディ内容	1
1-2-1	共同スタディ方法	1
1-2-2	共同スタディ実施期間	1
1-2-3	共同スタディ従事者	1
2	鉍石の性状調査	3
2-1	試験手順	3
2-2	粒度分布	4
2-3	元素分析	5
2-3-1	分析目的	5
2-3-2	分析方法	5
2-3-3	分析結果	5
2-4	鉍物同定	5
2-4-1	分析目的	5
2-4-2	分析方法	6
2-4-3	分析結果	6
2-5	JFE マテリアルによる分析	6
2-5-1	分析目的	6
2-5-2	分析方法	6
2-5-3	分析結果	6
2-6	MLA による分析	8
2-6-1	MLA 概要	8
2-6-2	分析目的	8
2-6-3	前処理	8
2-6-4	分析方法	8
2-6-5	分析結果	8
2-6-5-1	各元素の含有量	8
2-6-5-2	鉍物種	9
2-6-5-3	鉍物重量割合	10
2-6-5-4	鉍物形態の特徴	11
3	選鉍試験	13
3-1	磁選試験	13
3-1-1	概要	13
3-1-2	試験方法	13
3-1-3	試験結果	14
3-1-4	昨年度試料との鉍物組成の比較	16
4	まとめ	17
5	提言	18

1 共同スタディ概要

1-1 共同スタディの背景・目的

安定して輸入出来る A 国産クロム鉱石は低品位（低 Cr/Fe 比）なため、低炭素フェロクロムの生産時に Cr 純分が低下し製品仕様が満たせない。昨年度実施した共同スタディでは、B 国産の低品位クロム鉱石の選鉱技術開発を行い、Cr/Fe 比を高めることが出来た。

そこで、昨年度の共同スタディで得られた分析や選鉱試験に関するノウハウを活用し、選鉱により A 国産の低品位クロム鉱石の Cr/Fe 比の向上を図ることで、低炭素フェロクロムの製品仕様を満足させ、且つ安定的に生産する事を目的とする。

1-2 共同スタディ内容

鉱物単体分離解析装置（MLA）を用いて、クロム鉱石の性状を調査する。その上で選鉱試験による鉄等の不純物除去を試みる。さらに、これら試験結果と昨年度のスタディ結果を比較し、選鉱性の相違について考察する。

1-2-1 共同スタディ方法

本共同スタディでは、次の業務を実施した。

① 鉱石の性状調査

鉱物単体分離解析装置（MLA）などを用いて、低品位クロム鉱石の性状を調査する。

② 粉砕試験

MLA による解析を踏まえて、単体分離度が低い場合は粉砕試験を実施する。鉱石はすでに鉱山にて 1 mm 以下にまで粉砕されているため、再粉砕にあたっては、フェロクロム製造工程への供給粒度を考慮する。

③ 選鉱試験

磁選による Fe 成分の分離を行う。試験では鉱石粒度と選鉱性の関係を考察する。また、磁選による分離が難しい場合、その他の選鉱法も検討する。

④ 評価

昨年度のスタディ結果と比較し、選鉱性の相違について考察する。また、工場への導入の可能性を検討する。

1-2-2 共同スタディ実施期間

令和元年12月10日～令和2年3月6日

1-2-3 共同スタディ従事者

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

鈴木 哲夫 （金属資源技術部長）

神谷 太郎 （金属資源技術部 生産技術課長）

榊原 泰佑 （金属資源技術部 生産技術課）

高橋 達 （金属資源技術研究所）

國廣 俊太 （金属資源技術研究所）

JFEマテリアル株式会社

杉森 博一 (生産技術部長)

小畑 太一 (生産技術部)

2 鉍石の性状調査

クロム鉍石の性状把握のため、まず元素分析と鉍物同定を行った。次に、鉍物単体分離解析装置（FEI社製、以下「MLA」という。）を用いた分析を実施し、クロム鉍石中の鉍物構成、鉍物の存在形態把握を試みた。

2-1 試験手順

本共同スタディでは図 2-1 で示すフローのとおり試験実施した。なお、前処理としてクロム鉍石試料を 105℃で乾燥したうえで縮分を行い、鉍石性状調査用の試料および選鉍用の試料を得た。

鉍石性状調査用の試料については、目開き 106、300、500、1000 μm のふるいにて粒度調整を行った試料および粒度調整を行っていない全体の試料を用意し、後述の分析方法にて定量・定性分析等に供した。なお、1000 μm 以下の粒群の MLA 測定用の試料については、試料中の粒子の単体分離度を始めとする存在形態を把握するため、分析前に微粉碎等の前処理はせずそのまま MLA に供した。1000 μm 以上の粒群については、cm オーダーの粒子も含んでおり測定時の均質性が確保できないため、振動ミルで微粉碎した試料を MLA に供した。同様に、MLA および粒度分布測定以外の分析についても、振動ミルで微粉碎した試料を分析に供した。

選鉍用の試料については、106~300、300~1000 μm に粒度調整を行い乾式磁選に供した。なお、106 μm 以下の粒群は磁選時に微粉が舞う等の給鉍の損失などが懸念され、また 1000 μm 以上の粒群は試料全体に占める重量割合が低くかつ粒径が極めて不均質であり正確な選鉍結果が得られない恐れがあることから、磁選には供さなかった。

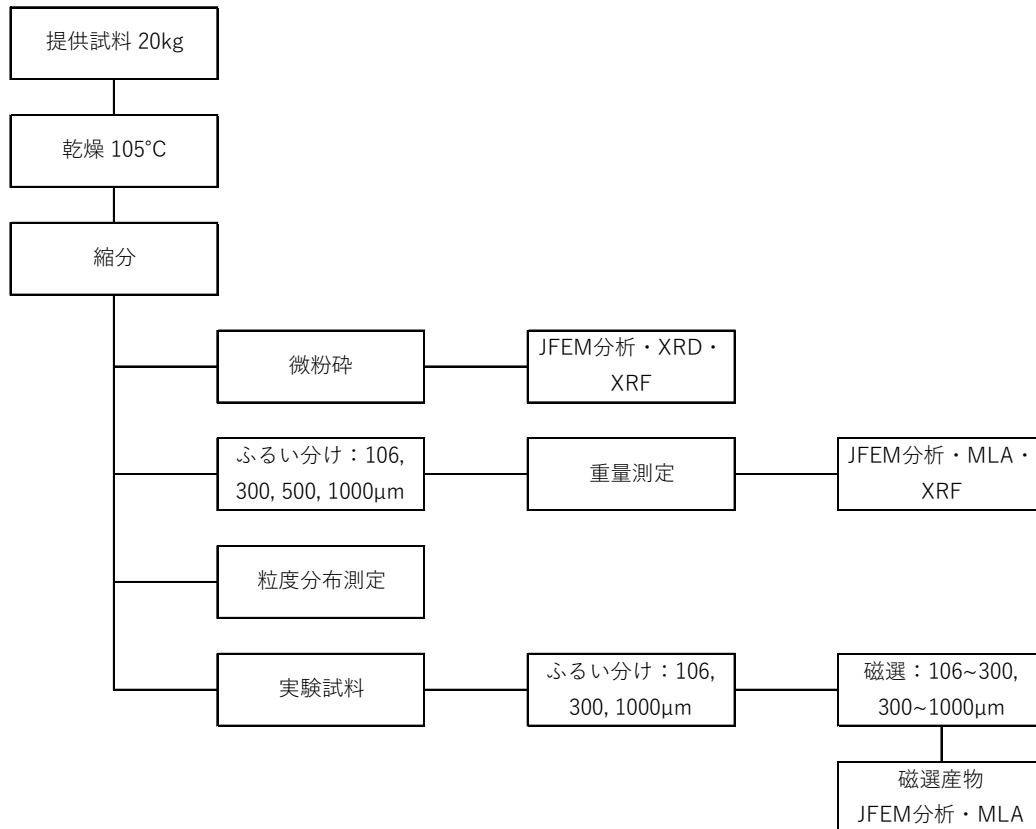


図 2-1 試験フロー

2-2 粒度分布

試料約 1200g を目開き 106、300、500、1000 μm のふるいを用いた粒度分布測定に供した。図 2-2 に各粒群の写真、図 2-3 に粒度分布測定結果を示す。試料の約 7 割が 106~300 μm の粒群に集中していることを確認した。また、300 μm 以上の粒群についてはケイ酸塩鉱物の混入が目視で確認でき、特に 1000 μm 以上の粒群においては混入が顕著であった。さらに、1000 μm 以上の粒群は粒径にばらつきが大きく、中には cm オーダーの粒子も存在した。

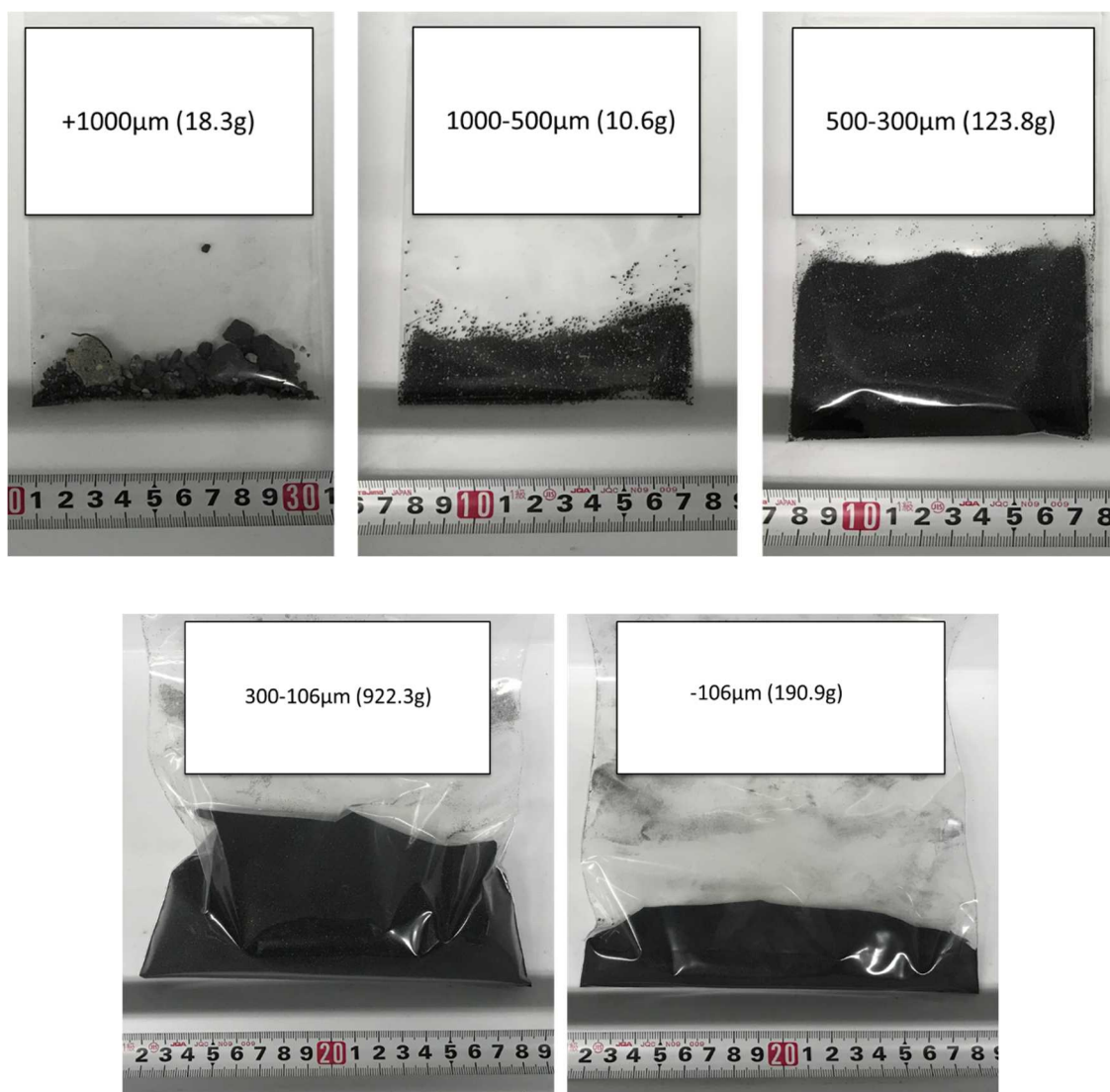


図 2-2 ふるい分け産物の写真

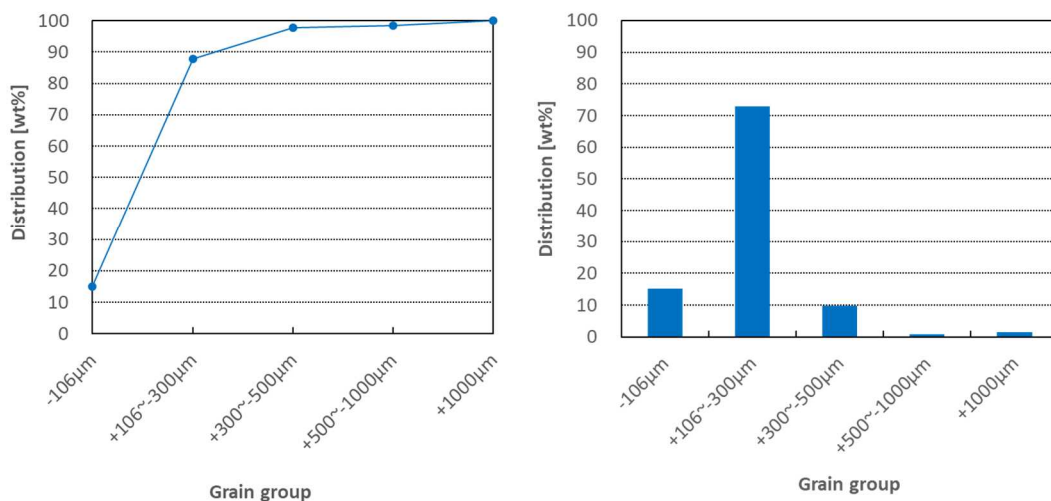


図 2-3 粒度分布測定結果：網下積算分布（左）・各粒群の重量割合（右）

2-3 元素分析

2-3-1 分析目的

クロム鉱石のたまかな性状を迅速に把握するため、元素の定性・定量分析を行った。

2-3-2 分析方法

一般財団法人秋田県資源技術開発機構が所有する蛍光エックス線分析装置（株式会社島津製作所・XRF-1800、以下「XRF」という。）により分析を行った。

2-3-3 分析結果

表 2-1 に XRF による試料全体および各粒群の分析結果を示す。試料全体の Cr 品位は約 29%、Fe 品位は約 13%、Cr/Fe 比は 2.25 であった。

表 2-1 XRF による分析結果

	Weight [%]	Cr [%]	Fe [%]	O [%]	Mg [%]	Al [%]	Si [%]	Ca [%]	S [%]	Others [%]
TOTAL	100.00	28.97	12.87	30.39	12.89	11.90	2.03	0.14	0.07	0.73
+1000	1.45	22.89	10.96	31.72	14.84	7.44	10.25	0.79	0.09	1.03
1000-500	0.83	23.94	11.84	31.96	14.90	8.69	6.94	0.45	0.38	0.90
500-300	9.78	27.57	11.97	31.24	13.98	10.64	3.56	0.24	0.07	0.74
300-106	72.86	28.87	12.52	30.57	13.32	11.52	2.35	0.16	0.05	0.64
-106	15.08	29.12	13.94	30.08	12.45	11.40	1.98	0.13	0.08	0.82
Calc. Total	-	28.65	12.65	30.59	13.29	11.33	2.57	0.17	0.06	0.68

2-4 鉱物同定

2-4-1 分析目的

選鉱は鉱物の物理化学的性質の違いを利用して行うため、対象試料の鉱物種を特定することは重要である。そこで、選鉱試験に資するデータ取得を目的とし、クロム鉱石中の鉱物同定を行った。

2-4-2 分析方法

一般財団法人秋田県資源技術開発機構が所有するエックス線回折装置（株式会社リガク・SmartLab SE、以下「XRD」という。）を用いて分析を行った。

2-4-3 分析結果

試料全体の XRD 分析結果を図 2-4 に示す。試料中に含まれる主要な鉱物は Chromite であり、Magnetite のピークも確認された。

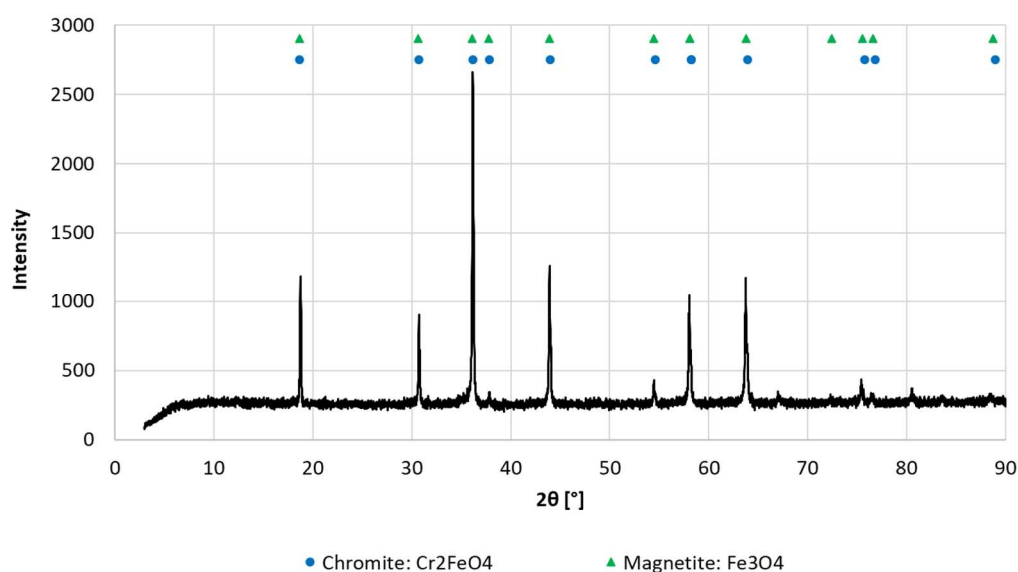


図 2-4 試料全体の XRD 結果

2-5 JFE マテリアルによる分析

2-5-1 分析目的

XRF および後述の MLA による定量分析結果の妥当性を確認するため、またより正確な定量値を把握するため、JFE マテリアルにて分析を行った。

2-5-2 分析方法

JFE マテリアルの工場において、通常の操業成績の確認と同様の分析方法にて分析を行った。

2-5-3 分析結果

JFE マテリアルによる試料全体および各粒群に対して実施した分析の結果を表 2-2 に示す。また、粒度分布測定結果を考慮して計算した各元素の分配を表 2-3 および図 2-5 に示す。試料全体の Cr 品位は約 30%、Fe 品位は約 14%、Cr/Fe 比は 2.14 であった。また、500 μ m 以上の粒群には Si などの不純物の割合が高く、106 μ m 以下の粒群における Fe 品位は他粒群よりも比較的高いことが分かった。他方、106~300 μ m の粒群の全体に占める重量割合が高いため、約 7 割の Cr や Fe が当粒群に分配されていることも確認された。

表 2-2 JFE マテリアルによる分析結果

	Weight [%]	Cr [%]	Fe [%]	Mg [%]	Al [%]	Si [%]	Ca [%]	S [%]	Others [%]	Cr/Fe
TOTAL	100.00	29.90	14.00	9.30	4.16	1.53	0.09	0.07	40.95	2.14
+1000	1.45	24.36	13.30	10.86	3.57	6.94	0.50	0.05	40.42	1.83
1000-500	0.83	24.91	12.83	9.36	4.10	6.30	0.30	0.73	41.47	1.94
500-300	9.78	29.90	13.61	9.60	4.10	1.85	0.14	0.09	40.71	2.20
300-106	72.86	30.31	13.77	9.48	4.10	1.72	0.14	0.05	40.42	2.20
-106	15.08	29.97	15.01	9.00	4.16	1.34	0.14	0.10	40.28	2.00
Calc. Total	-	30.09	13.92	9.44	4.10	1.79	0.15	0.07	40.44	2.16

表 2-3 各元素の重量分布

	Weight [%]	Cr [%]	Fe [%]	Mg [%]	Al [%]	Si [%]	Ca [%]	S [%]	Others [%]
+1000	1.45	1.17	1.38	1.67	1.26	5.62	4.85	1.03	1.45
1000-500	0.83	0.69	0.77	0.83	0.83	2.94	1.68	8.65	0.86
500-300	9.78	9.72	9.56	9.95	9.78	10.10	9.36	12.64	9.85
300-106	72.86	73.40	72.03	73.18	72.85	70.05	69.69	55.85	72.83
-106	15.08	15.02	16.25	14.38	15.27	11.28	14.42	21.83	15.02
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

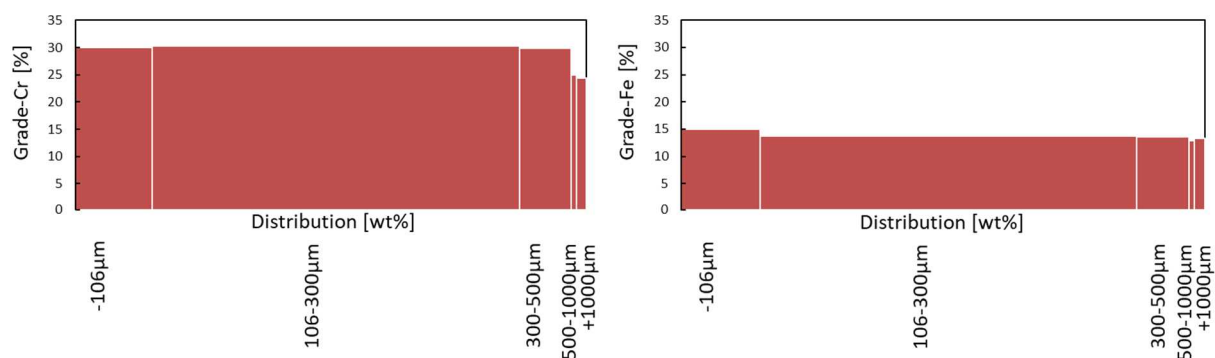


図 2-5 Cr (左) および Fe (右) の品位および重量分布の関係

また、得られた定量分析結果および粒度分布測定結果を用いて、分級のみでどの程度 Cr/Fe 比の改善が可能か試算を行った。その結果を表 2-4 に示す。106~500µm に分級した場合が、最も Cr/Fe 比の改善効果が高く、Cr/Fe 比 2.16 から 2.20 の改善が見込めるものの、Cr の回収率が約 83%と低くなる結果となった。

表 2-4 分級効果の試算

	Weight [%]	Grade-Cr [%]	Grade-Fe [%]	Cr/Fe	Recovery-Cr [%]	Recovery-Fe [%]
Calc. Total	100.00	30.09	13.92	2.161	100.00	100.00
1000µm以下	98.55	30.17	13.93	2.165	98.83	98.62
500µm以下	97.72	30.22	13.94	2.167	98.14	97.85
300µm以下	87.93	30.25	13.98	2.164	88.42	88.29
106µm以下	15.08	29.97	15.01	1.996	15.02	16.25
106µm以上	84.92	30.11	13.73	2.193	84.98	83.75
106~500µm	82.64	30.26	13.75	2.201	83.12	81.59

2-6 MLA による分析

2-6-1 MLA 概要

MLA は、走査型電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope、以下、SEM と略す。） - エネルギー分散型 X 線分光器（Energy Dispersive X-ray Spectrometer、以下、EDS と略す。）に搭載された処理ソフトウェアの名称である。この装置は、SEM の反射電子像から得られる粒子や粒子中の輝度の違いによる粒界の情報および EDS による元素組成情報を組み合わせることにより、粒子中の鉍物の組成割合や単体分離度を取得することができる。

2-6-2 分析目的

クロム鉍石中の鉍物の重量割合、鉍物粒径、単体分離度、鉍物の相関について把握することを目的とする。

2-6-3 前処理

MLA による解析の前処理として下記の操作を行った。

- ・ 試料を直径 30mm の樹脂にそれぞれ固める。
- ・ 自動研磨装置（metkon 社・DIGIPREP301）にて樹脂を研磨する。
- ・ 研磨された樹脂の観察面に、炭素を蒸着する。

2-6-4 分析方法

MLA により分析を行った。分析モードは XBSE（1 鉍物粒につき 1 点 EDS により分析）にて試料を観察した。

2-6-5 分析結果

2-6-5-1 各元素の含有量

表 2-5 に MLA で計算された各元素の含有量を示す。また、図 2-6 に JFE マテリアル・MLA・XRF の試料全体に係る分析結果の比較を示す。図 2-6 より、MLA から得られた各元素の定量結果は他の分析値と概ね一致しており、妥当な値であることが確認された。

表 2-5 MLA で計算された各元素の含有量

	Weight [%]	Cr [%]	Fe [%]	O [%]	Mg [%]	Al [%]	Si [%]	Others [%]
+1000	1.45	28.96	13.24	35.44	9.56	8.85	3.27	0.68
1000-500	0.83	26.85	14.34	34.78	10.11	8.75	3.90	1.28
500-300	9.78	31.07	13.32	34.82	9.35	9.49	1.73	0.22
300-106	72.86	31.96	14.02	34.21	8.73	10.03	0.88	0.18
-106	15.08	31.52	15.13	33.74	8.46	10.14	0.70	0.30
Calc. Total	100.00	31.72	14.11	34.22	8.77	9.96	1.00	0.22

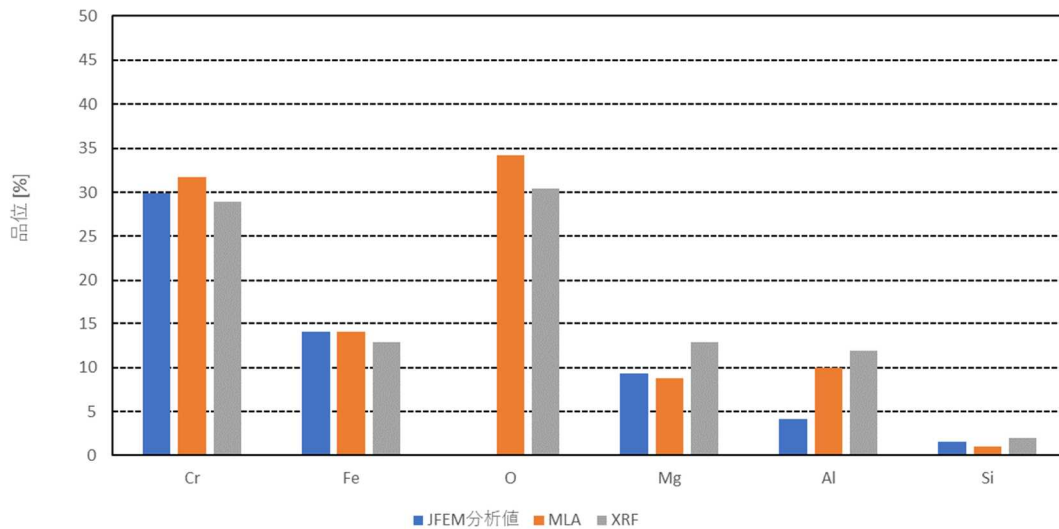


図 2-6 JFE マテリアル・MLA・XRF の試料全体に係る分析結果の比較

2-6-5-2 鉱物種

MLA ではエネルギー分散型 X 線分析 (EDS) を用いて各鉱物の元素割合が異なることを利用し、鉱物をそれぞれ区別する。表 2-6 に MLA が判別した鉱物種およびその組成を示す。また、106~300 μm の粒径に対する MLA の鉱物同定判別結果の粒子画像を図 2-7 に示す。

表 2-6 MLA が判別した鉱物種およびその組成

Mineral	Species	Cr (%)	Fe (%)	Al (%)	Mg (%)	Si (%)	S (%)	O (%)
Chromite_Low Fe	Chromite MgAl	33.8	13.8	10.1	8.1	0.0	0.0	34.2
	Chromite MgAlSi	32.6	11.4	10.1	15.7	4.4		25.8
Chromite_High Fe	Chromite Al	27.9	48.5	3.2	0.0			20.4
	Chromite AlMg	17.9	25.3	23.1	8.2			25.5
	Chromite MnSiMgAl	17.3	35.5	2.6	6.9	2.9	0.0	30.3
	Low grade chromite	5.8	20.0	35.3	11.1			27.8
Magnetite	Magnetite		72.4					27.6
	Magnetite with Cr	2.0	71.2		0.8			26.1
Si Minerals	Enstatite				23.5	28.7		47.8
	Forsterite				34.6	20.0		45.5
	Others	-	-	-	-	-	-	-
Others	Others	-	-	-	-	-	-	-

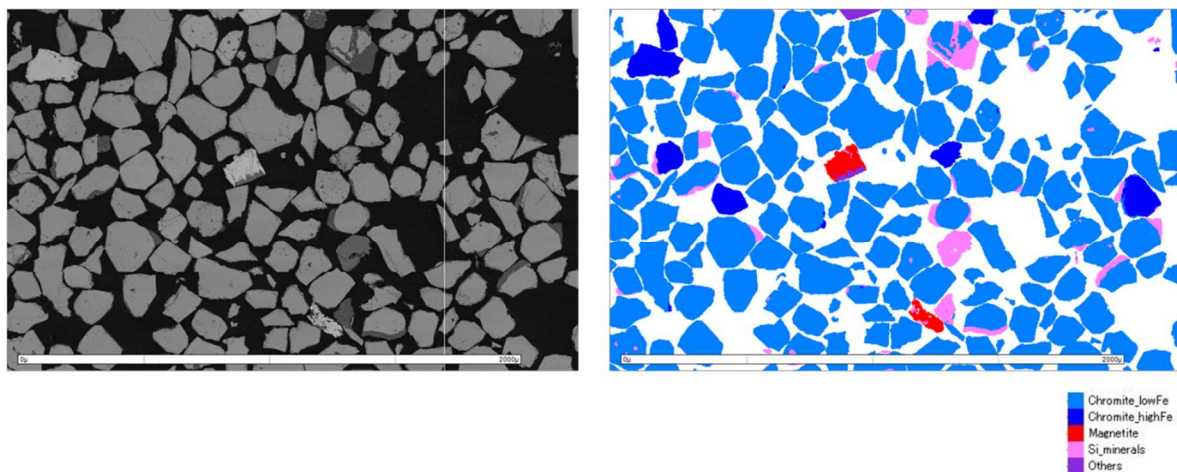


図 2-7 MLA による鉱物同定判別結果：SEM 画像（左）・鉱物マッピング像（右）

2-6-5-3 鉱物重量割合

試料全体および各粒群の鉱物重量割合を図 2-8 に示す。試料全体の約 90%が Chromite_Low Fe で構成されていることが確認でき、また磁選における除去対象となる Magnetite は 0.4%と少ないことも確認された。さらに、500 μ m 以上の粒群についてはシリカ系の鉱物の混入が目立つことも分かった。

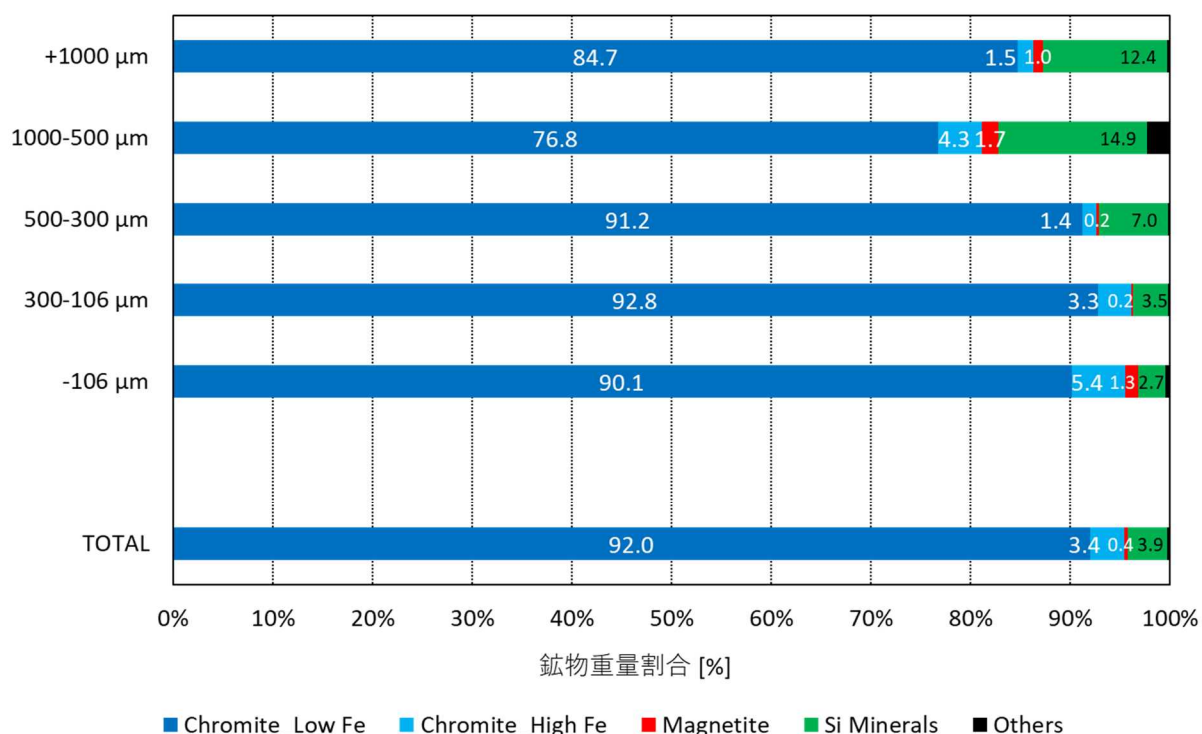


図 2-8 試料の鉱物構成

試料全体の各鉱物中における Cr および Fe の分配を表 2-7 に示す。Cr の約 98%および Fe

の約 90%が Chromite_Low Fe に分配していることが確認された。このことから、Cr の回収率を落とさず Cr/Fe 比を向上させるためには、Chromite_Low Fe はできるだけ回収し、Fe の約 10% が存在する Chromite_Low Fe 以外の鉱物を効率よく除去することが選鉱に求められる。

表 2-7 試料全体の各鉱物中における Cr および Fe の分配

Mineral	Species	Cr-Distribution (%)	Fe-Distribution (%)
Chromite_Low Fe	Chromite_MgAl	96.89	89.20
	Chromite_MgAlSi	1.00	0.79
Chromite_High Fe	Chromite_Al	0.27	1.04
	Chromite_AlMg	1.67	5.32
	Chromite_MnSiMgAl	0.09	0.43
	Low grade chromite	0.00	0.02
Magnetite	Magnetite	0.00	0.92
	Magnetite with Cr	0.01	1.00
Si Minerals	Enstatite	0.00	0.00
	Forsterite	0.00	0.00
	Others	0.00	0.77
Others	Others	0.05	0.50

2-6-5-4 鉱物形態の特徴

磁選に供する粒度である 106~1000 μm の粒群に係る各鉱物の単体分離曲線を図 2-9 に示す。選鉱の際の回収対象である Chromite_Low Fe の単体分離性は非常に高いことが確認された。このことから、さらなる単体分離性の向上を目的とした粉碎試験は不要と判断された。他方、Magnetite やケイ酸塩鉱物の単体分離性は低く、これらの鉱物は主に片刃として存在していることが確認された。特に Magnetite は磁選における主な除去対象であり、Magnetite を含む粒子がどのような形態で存在しているかを把握することは重要であるため、図 2-10 に Magnetite を含む粒子の存在形態について詳細を示す。

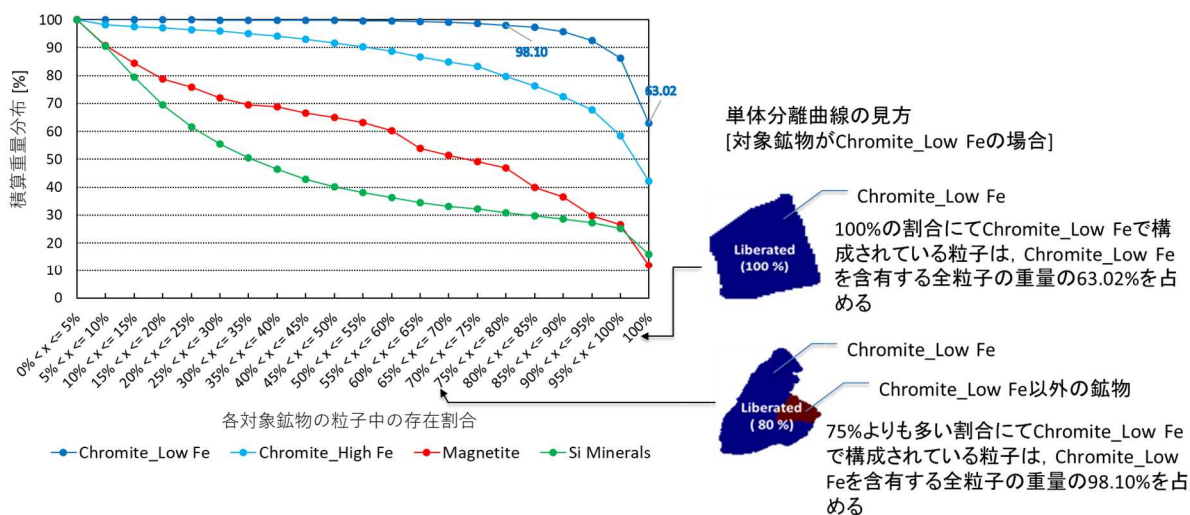


図 2-9 106~1000 μm の粒群に係る単体分離曲線および図の見方

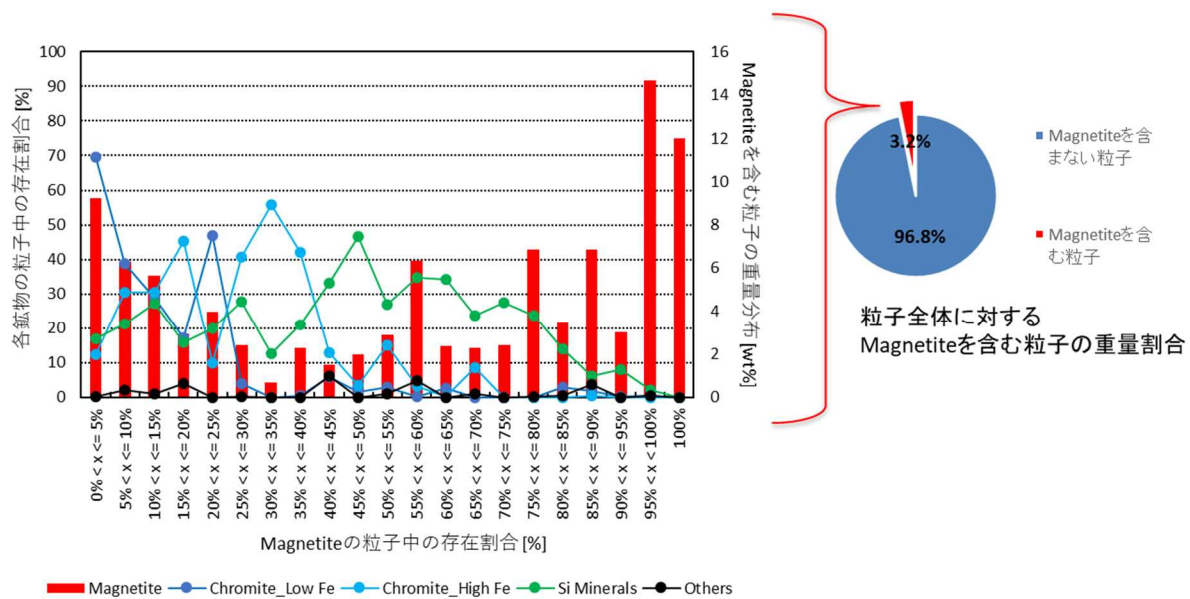


図 2-10 Magnetite を含む粒子の存在形態

図 2-10 より、Magnetite を含む粒子の重量割合は全粒子の約 3%を占めており、また Magnetite は主にケイ酸塩鉱物と片刃を形成していることが確認できる。このことから、磁選で Magnetite を除去した場合、Magnetite と片刃を形成しているケイ酸塩鉱物も併せて除去できることが推測される。他方、Magnetite の存在割合が 25%以下の粒子については、Magnetite を含む粒子の約 3 割の重量に相当するが、Chromite_Low Fe と片刃を形成しているケースもあるため、磁選では多少の Chromite_Low Fe の損失が見込まれる。

図 2-11 に Magnetite を含む粒子を除去した際の Cr/Fe 比の向上効果について理論値を示す。Magnetite を含む粒子をすべて除去した場合、Cr/Fe 比は 2.28 から 2.32 まで向上し、また Cr の損失は約 2%程度に留まることが予測された。

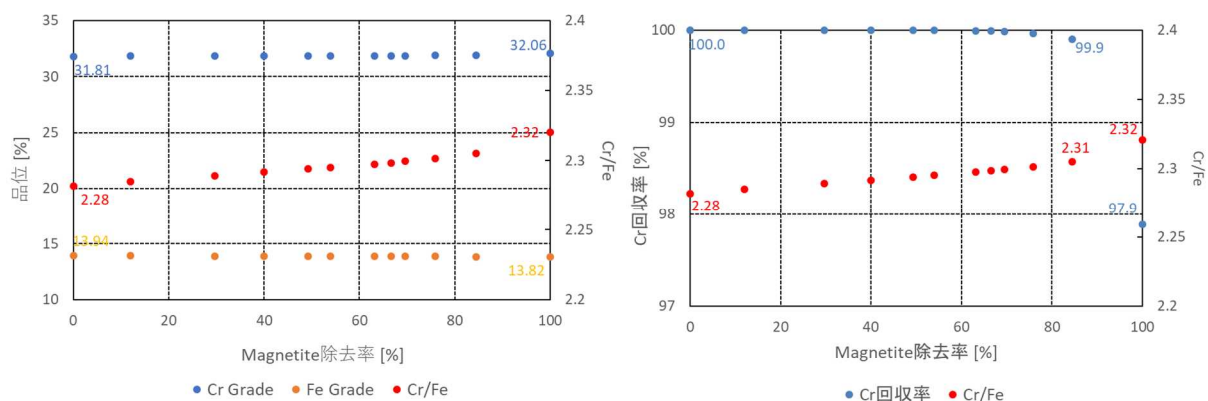


図 2-11 Magnetite を除去した際の Cr/Fe 比の向上効果
【品位との関係 (左)・回収率との関係 (右)】

3 選鉱試験

3-1 磁選試験

3-1-1 概要

試料中の Magnetite および Magnetite と片刃を形成しているケイ酸塩鉱物、さらに Fe を多く含有する Chromite である Chromite_High Fe の除去を目指し、磁選による選鉱を試みた。

磁選は、鉱物の磁氣的性質の違いを利用し有用な鉱物を選別する手法である。Magnetite および Chromite_High Fe は Chromite_LowFe と磁性に若干の違いがあると推測されるため、磁選により両者の分離を試みた。乾式磁選の模式図を図 3-1 に示す。Feed として供された試料は、非磁着物は重力でそのまま下方へ落下するが、磁着物はドラムに磁着したまま奥側で落下するため、磁性の有無により両者の分離が期待できる。当試料については、Chromite_Low Fe が非磁着物として回収され、Magnetite や Chromite_High Fe が磁着物として除去されることが望まれる。

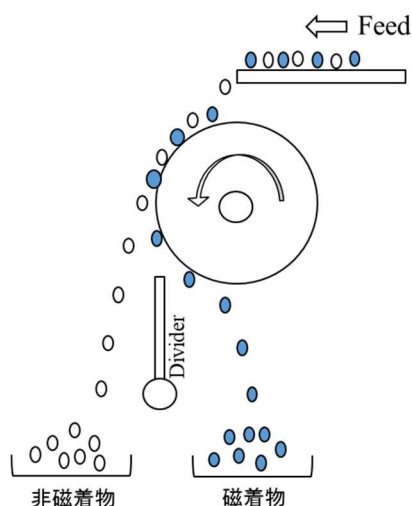


図 3-1 乾式磁選の模式図

3-1-2 試験方法

産業技術総合研究所が所有する永久磁石式ドラム型磁選機（図 3-2）を用いて磁選試験を実施した。当磁選機は磁束の調整ができず、最大磁束密度は 8000 gauss で一定であるが、デバイダー角度およびドラム回転数を変えることで、磁着物の量を調整することができる。予察試験の結果を踏まえ、ドラム回転数は 29rpm に固定し、デバイダー角度を 90° および 60° に変化した 2 条件において磁選を行った。なお、106~300 μ m および 300~1000 μ m の 2 種類の粒群に対して磁選を実施した。



非磁着物 磁着物

図 3-1 永久磁石式ドラム型磁選機

3-1-3 試験結果

磁選で得られた産物に対して、MLA 分析および JFE マテリアルによる定量分析を行った。その結果および昨年度行った B 国産のクロム鉱石に対する磁選結果との比較を表 3-1 に示す。なお、表 3-1 における今年度の試料に係る品位データは JFE マテリアルによる分析値を表しており、昨年度の試料に係る品位データは MLA による計算値を表している。両粒群および両年度の試料ともに、磁選によって Cr/Fe 比が向上していることを確認できるが、昨年度試料は 0.3 程度の Cr/Fe 比の向上が見られたのに対し、今年度試料については 0.1 程度の Cr/Fe 比の向上に留まった。また、デバイダー角度を 60° から 90° に変えた場合、Fe がさらに磁着物側に分配されるものの、Cr も磁着物側に多く分配されてしまうため、Cr/Fe 比の改善効果はほとんど変わらないことが分かった。そのため、より非磁着物側に Cr を回収することができる 60° の条件が適切だと言える。

表 3-1 磁選産物の分析結果および磁選効果の比較

年度	粒度 μm	磁選条件 デバイダー 角度	磁選産物	重量分布 %	品位 %		分配率 %		Cr/Fe	磁選効果 Cr/Fe
					Cr	Fe	Cr	Fe		
R1FY	300-1000	90°	Feed	100.00	29.49	12.56	100.00	100.00	2.35	0.10
			非磁着物	92.12	30.04	12.29	93.84	90.10	2.44	
			磁着物	7.88	23.06	15.79	6.16	9.90	1.46	
		60°	Feed	100.00	29.50	12.59	100.00	100.00	2.34	
			非磁着物	95.70	30.04	12.29	97.45	93.41	2.44	
			磁着物	4.30	17.52	19.29	2.55	6.59	0.91	
	106-300	90°	Feed	100.00	30.35	12.85	100.00	100.00	2.36	0.10
			非磁着物	91.44	30.86	12.52	92.98	89.12	2.46	
			磁着物	8.56	24.91	16.33	7.02	10.88	1.52	
		60°	Feed	100.00	30.37	12.80	100.00	100.00	2.37	
			非磁着物	95.54	30.79	12.52	96.86	93.46	2.46	
			磁着物	4.46	21.35	18.74	3.14	6.54	1.14	
H30FY	300-1000	90°	Feed	100.00	40.20	17.60	100.00	100.00	2.28	0.29
			非磁着物	88.72	42.20	16.40	93.04	82.48	2.57	
			磁着物	11.28	24.80	27.30	6.96	17.52	0.91	

さらに、磁選で得られた産物に対して MLA による解析を行った結果を図 3-2 および図 3-3 に示す。なお、図 3-2 は鉱物重量割合を図 3-3 は磁選産物の鉱物分配率を示している。図 3-2 において磁選への Feed の鉱物重量割と比較したとき、両粒群および両年度の試料ともに磁着物中の Chromite_Low Fe の割合は低くなり、Magnetite・Fe_Oxide・Chromite_High Fe・Si Minerals の割合が高くなっていることが確認できる。このことから、磁選が有効であることが認められる。ただし、昨年度の試料の方が磁選への Feed 中に占める酸化鉄の割合が高いため、昨年度の方が磁選による改善効果が顕著に表れている。

また図 3-3 より、今年度の試料においては両粒群ともに、磁選によって大部分の Magnetite が磁着物側に分配できていることが確認できる。また、デバイダー角度を 60° から 90° に変えた際に、Magnetite の磁着物側へのさらなる分配は期待できないものの、Chromite_High Fe の磁着物側への分配率が向上することを確認できた。他方、Chromite_Low Fe の磁着物側への分配率も上がるため、これが非磁着物における Cr 分配率の低下に繋がる要因だと言える。昨年度の試料については、今年度の試料における Magnetite の分配と比較して、Fe_Oxide を磁着物側に分配できていない。このことから、昨年度の試料中の Fe_Oxide は、Magnetite のように磁性の高い酸化鉄以外に、磁性が低いもしくは磁性を示さない酸化鉄も含んでいることが推測される。

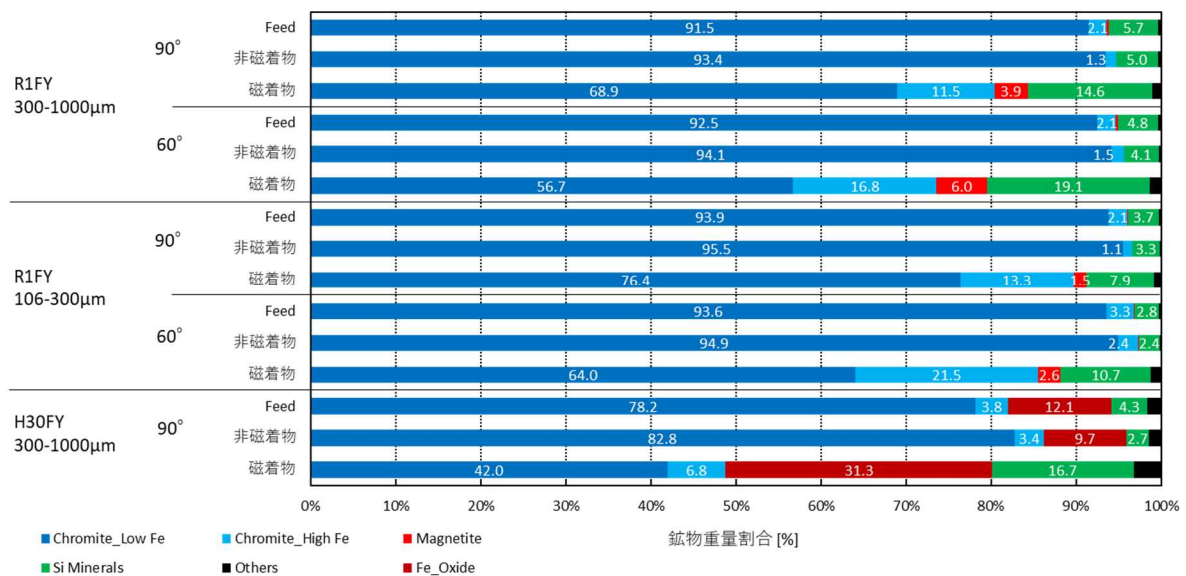


図 3-2 磁選への Feed および磁選産物の鉱物重量割合

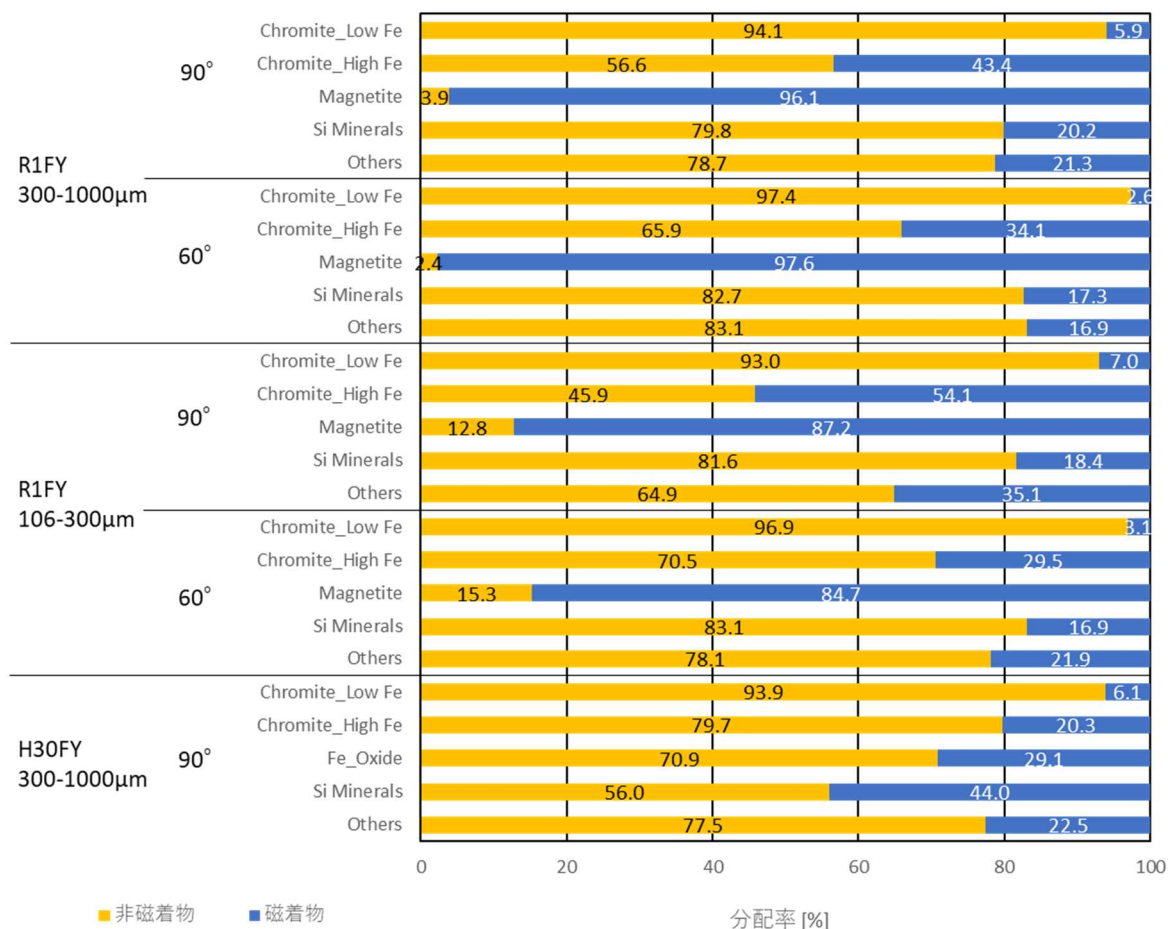


図 3-3 磁選産物の鉱物分配率

3-1-4 昨年度試料との鉱物組成の比較

磁選に供した 300~1000μm の粒群について、今年度の試料 (A 国産) と昨年度の試料 (B 国産) の MLA 分析結果の比較を行った。鉱物重量割合の違いを図 3-4 に示す。また、MLA が判別した鉱物種に係る組成の違いについて比較したものを表 3-2 に示す。図 3-4 より、A 国産のクロム鉱石中に含まれる Magnetite、すなわち酸化鉄の割合が 0.3%であるのに対し、B 国産のクロム鉱石中に含まれる酸化鉄の割合が 12.1%あることが分かる。このことから、B 国産のクロム鉱石が低品位である主原因は、酸化鉄の混入にあることが認められる。他方、A 国産のクロム鉱石は B 国産のクロム構成と比べて Chromite_Low Fe の割合が高く、全体の 91.5%を占めている。しかし、表 3-2 より B 国産のクロム鉱石中の Chromite_Low Fe は約 50%の Cr を含有しているのに対し、A 国産のクロム鉱石中の Chromite_Low Fe は約 30%の Cr しか含まれていないことが分かる。このことから、A 国産のクロム鉱石は Chromite 自体の Cr 含有量が低いため、低品位となっていることが判明した。

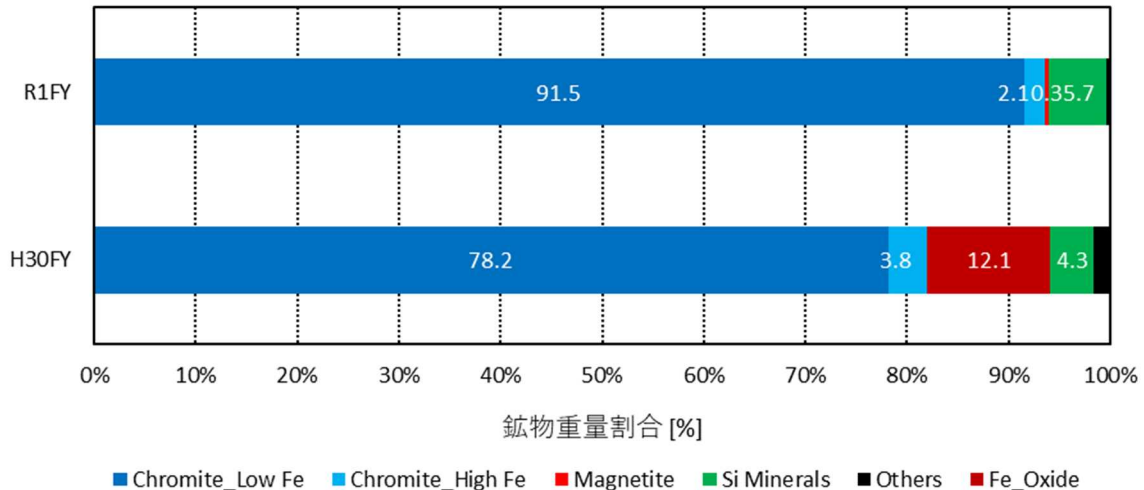


図 3-4 300～1000µm の粒群における今年度の試料と昨年度の試料の鉱物重量割合の違い

表 3-2 MLA が判別した鉱物種に係る組成の違い

	Mineral	Species	Cr (%)	Fe (%)	Al (%)	Mg (%)	Si (%)	O (%)
R1FY	Chromite_Low Fe	Chromite_Low Fe①	33.8	13.8	10.1	8.1	-	34.2
		Chromite_Low Fe②	32.6	11.4	10.1	15.7	4.4	25.8
	Chromite_High Fe	Chromite_High Fe①	27.9	48.5	3.2	-	-	20.4
		Chromite_High Fe②	17.9	25.3	23.1	8.2	-	25.5
		Chromite_High Fe③	17.3	35.5	2.6	6.9	2.9	30.3
		Chromite_High Fe④	5.8	20.0	35.3	11.1	-	27.8
	Magnetite	Magnetite①	2.0	71.2	-	0.8	-	26.1
Magnetite②		-	72.4	-	-	-	27.6	
H30FY	Chromite_Low Fe	Chromite_Low Fe①	53.6	14.4	5.1	3.5	-	23.5
		Chromite_Low Fe②	48.6	10.7	6.6	9.5	-	24.7
	Chromite_High Fe	Chromite_High Fe①	38.5	23.8	9.0	2.2	3.2	23.3
		Chromite_High Fe②	37.9	34.6	1.1	1.5	-	25.0
		Chromite_High Fe③	29.5	23.5	2.5	15.3	9.6	19.6
	Fe Oxide	Magnetite①	12.6	55.2	4.6	-	0.8	26.8
		Magnetite②	1.1	73.4	0.8	-	1.6	23.2
Magnetite③		1.3	58.4	11.0	-	-	29.4	

4 まとめ

今年度および昨年度の試料の 300～1000µm の粒群に対する磁選において、最も成績が良かった条件に係る結果を表 4-1 に示す。両年度の試料ともに高い Cr 回収率を維持しながら、Cr/Fe 比を向上することができており、磁選の有効性が認められる。しかし、昨年度試料は 0.3 程度の Cr/Fe 比の向上が見られたのに対し、今年度試料については 0.1 程度の Cr/Fe 比の向上に留まった。これは磁選における除去対象となる鉄酸化物の含有量の違いによるもので、昨年度の試料のように鉄酸化物の混入が低 Cr 品位の主原因となっているクロム鉱石に対しては、磁選は非常に有効だと言える。他方、今年度の試料のように Chromite そのものの Cr 含有量が低いことが低 Cr 品位の主原因となっているクロム鉱石に対しては、磁選の効果が低いことが分かった。

本共同スタディによる検討の結果、クロム鉱石の Cr/Fe 比向上には磁選が有効であるものの、鉱物組成の違い、特に鉄酸化物の含有量の違いによって、磁選の効果は異なることが判明した。

表 4-1 300~1000 μm の粒群における磁選効果

年度	Cr/Fe	磁選効果 Cr/Fe	Cr回収率 %
R1FY	2.34	0.10	97.45
	2.44		
H30FY	2.28	0.29	93.04
	2.57		

5 提言

MLA による解析及び選鉱試験の結果から、A 国産鉱石に対して十分な磁選効果が得られなかった。今回の結果を受けて、現段階では選鉱設備の導入は見送ることとする。選鉱評価については、今回の性状調査を基に他の選鉱方法による品位向上の可能性を判断したい。