螢石選鉱工場の抑制のための検査システム

Abel BISSOMBOLO*・古 山 隆**

調 敏 郎***・冬 野 直 子****

原 剛**・森 祐 行**

A “Checking System” for Circuit Control of Fluorite Processing Plants

Abel BISSOMBOLO, Takashi FURUYAMA

Toshiro SHIRABE, Naoko FUYUNO

Tsuyoshi HARA and Sukeyuki MORI

Because of the presence of skillful operators, the severe requirements to the raw materials and the high technical level of the flotation process, the “Kyoei Chemical Industries” are producing a high grade fluorite concentrate ($\text{CaF}_2 > 98\%$). Unfortunately, these performances will worsen inevitably as the properties of the materials change perpetually and skillful analysts go missing every year. To identify the raw material's properties and grasp the optimum conditions for an efficient separation, a so-called timeless “checking” system has been established and tested on an operating grinding-classifying-flotation circuit. The system comprises four (4) operations: designation of the sampling points, preparation of samples, x-ray powder diffraction analysis and microscopic counting of particles. The results of the testing has revealed a great presence of gangue particles in the $-420 + 149 \mu\text{m}$ fraction of the Akins classifier and suggested reducing to $297 \mu\text{m}$ the cut off point of the classifying circuit.

1. は じ め に

現在、共栄化成工業株式会社の螢石選鉱工場では、経験豊かな熟練技術者が色々な技術を駆使して CaF_2 98% 以上の高い精鉱品位を保っている。しかし、熟練技術者は年々減少している。従って、今後、経験の浅い技術者でも、原鉱の性質に応じて各選別工程を制御し、選別工程全体を最適な状態に維持することが望ましい。そのためには、原鉱の性質や各選別工程の状況を把握するための検査システムを確立することが必要になる。

そこで、試料の採取場所の選定、ふり分けによる分析試料の作製¹⁾、X 線回折分析による鉱物の分析²⁾、偏光顕微鏡による粒子の構成割合の測定³⁾の順序で行われる検査システムを確立した。そして、今回確立された本

検査システムを用いて螢石選鉱工場の浮選精鉱の品位に影響を及ぼす要因を調べ、選別工程の診断を行った。

2. 螢石選鉱工場及び検査方法

2.1 螢石選鉱工場

共栄化成工業㈱螢石選鉱工場のフローシートを図1に示す。試料を採取した当時(1995年)は同図に示すように、品位(CaF_2)が83.65%の螢石原鉱(上海)と86.28%の螢石原鉱(上海武義)は別々に粉碎および分級された後、コンディショナーに給鉱されていた。コンディショナー以降のフローシートは前報²⁾と同じである。

2.2 各選鉱工程における鉱物粒子の流れのモデル

当工場において重要な選別工程であるコニカルボールミル粉碎機、エーキンス分級機および浮選機を鉱物粒子が通過する際の選別状況のモデルを図2、3、4に示す。

図2に有用鉱物と不用鉱物の2成分に着目した場合のコニカルボールミルの粉碎モデルを示す。同図の左上にあるのが螢石原鉱で、白い部分が有用鉱物を表し、黒い部分が不用鉱物を表している。螢石原鉱は図の中央にあ

* 工学博士

** 九州大学工学部資源工学科

*** 九州大学大学院工学研究科資源工学専攻

**** 佐賀県庁

平成8年6月10日受理

るコンカルボールミルによって粉碎される。理想的には図の右上に示すように有用鉱物と不用鉱物とが完全に分離されること望ましいが、実際には図の右下に示すように、各粒径区分において多くの片刃粒子が存在している。

図3にエーキンス分級機のオーバーフローとアンダーフローに着目した場合の分級のモデルを示す。同図の中央の上部が粒径区分 $A_1 \sim A_7$ を持つコンカルボールミル粉碎産物で、図の中央にあるエーキンス分級機によって図の左側のオーバーフローと右側のアンダーフローに分級される。分級機を通過する際の粒径 (Cut off size) を A_3 とした場合、理想的には図の下部に示すように粒径 A_3 のところでオーバーフローとアンダーフローとに完全に分級されることが望ましい。しかし、実際には図の左上の粒径 A_3 より大きい粒子 (粒径区分 $A_2 \sim A_3$) を含

むオーバーフローと図の右上の粒径 A_3 より小さい粒子 (粒径区分 $A_3 \sim A_4$, $A_4 \sim A_5$) を含むアンダーフローに分級される。

図4に浮遊選別機における浮選のモデルを示す。同図の左上にあるのが浮選機の給鉱 (エーキンス分級機のオーバーフロー) で、図の中央にある浮選機によって精鉱、ミドリング、尾鉱に選別される。

2.3 検査方法

2.3.1 試料の採取場所の選定

検査を効率良く行う場合は選鉱工程のどの部分で試料を採取するかが重要となる。今回は、品位に影響を及ぼす要因を調べるために、精鉱品位に主に関係のある選鉱工程を図1の①エーキンス分級機のオーバーフロー (上海)、②エーキンス分級機のオーバーフロー (上海武義)、

図1 共栄化成工業㈱の萤石選鉱工場のフローシート

図2 有用鉱物と不用鉱物の2成分に着目した粉碎モデル

図3 エーキンス分級機のオーバーフローとアンダーフローに着目した分級のモデル

③浮選給鉱, ④浮選精鉱の4箇所に選定した。

2.3.2 試料作製のためのふるい分け

検査用の試料を作製するために各工程産物を2分割縮分器(リップルサンプラー)で縮分した。縮分後は, 9個のJIS標準ふるい(JIS Z8801-1987: 590 μm から 37 μm の間を $\sqrt{2}$ 倍の目開き間隔で, 590 μm , 420 μm , ..., 105 μm , 74 μm , 37 μm)を用いて, 湿式でふるい分けを

行い, 恒温乾燥器で約3時間乾燥させた。さらに, 湿式ふるい分けと同様の目開き間隔のふるいを使って, ロータップふるい分け試験機を用い, 1回毎のフィード量として 100~200 g の試料を挿入し, 約10分間ふるい分けを行った。各工程産物の固体濃度を表1に, 粒度分布を図5に示す。

2.3.3 X線回折分析による鉱物分析

図4 浮遊選別機における浮選のモデル

表1 各工程産物の固体濃度

試料名	縮分(湿式)前の 総重量 (kg)	縮分(湿式)後の 試料重量(g)	固体乾燥 重量(g)	固体濃度 (%)
エーキンス分級機オーバーフロー (上海)	8.76	2220	595.11	26.81
エーキンス分級機オーバーフロー (上海武義)	9.76	2364	639.97	27.07
浮選給鉱	12.66	3115	1032.78	33.16
浮選精鉱	11.21	2775	978.6	35.26

図5 各工程産物の粒度分布

各工程の鉱物組成の分布を調べるために、ふるい分けで得られた各試料の各粒径区分 (+590 μm , 590~420 μm , 420~297 μm , ..., 53~37 μm , -37 μm) 毎のふるい分け産物(10個)を粉末にし、X線回折分析を行った。分析には、理学電機社製のX線回折分析装置(RINT 2000)を用いた。

2.3.4 偏光顕微鏡による粒子の構成割合の測定

粒子の単体分離の状態を調べるために、粒径区分が590~420 μm , 420~297 μm , 297~210 μm , 210~149 μm , 149~105 μm の粒子をそれぞれ約1000個ずつ観察し、Free fluorite (蛍石を95%以上含む粒子), Locked fluorite (蛍石を95~50%含む粒子), Locked gangue (蛍石を50~5%含む粒子), Free gangue (蛍石を5%以下含む粒子)に分類して、各粒子の構成割合(%)を求めた。粒子の状態を観察するための装置として、日本光学社製の偏光顕微鏡を用いた。

3. 結果および考察

3.1 エーキンス分級機オーバーフローの検査結果

表2と表3にエーキンス分級機オーバーフロー（上海と上海武義）のX線回折分析の結果を示す。表中の◎印、○印、▲印および△印は、測定された鉱物のメインピーク強度がそれぞれ2000 cps以上、2000～200 cps、200～50 cps、50 cps以下であることを表している。同表に示されるように、上海、上海武義ともに蛍石が最も強いピークを示し、また石英はいずれの各粒径区分にも存在している。特に590～149 μmの粒径区分では、石英のピークが2000 cps以上を示していることから、石英がかなり多く含まれていると考えられる。

図6と図7にエーキンス分級機オーバーフロー（上海

と上海武義）に存在する粒子の構成割合（％）を示す。図の縦軸は粒子の構成割合（％），横軸は粒径（μm）を片対数で表している。図中の○印はFree fluoriteの個数割合，□印はFree fluoriteとLocked fluoriteの個数割合の和，◇印はFree fluorite、Locked fluoriteおよびLocked gangueの個数割合の和を表す。図6を見ると，粒径区分が590～210 μmのところではFree gangueの個数割合が約70～90％であることから，Free gangueが多く存在していることが分かる。一方，片刃粒子（Locked fluoriteとLocked gangue）の個数割合は590～210 μmで5～10％であるのに対して，149～105 μmでは約20％になっている。図7を見ると，上海武義についてのエーキンス分級機オーバーフローは上海についてのエーキンス分級機オーバーフローと似たような粒子の構成割合を

表2 エーキンス分級機オーバーフロー（上海）中の各鉱物の分布

粒径(μm) 鉱物	-37	37 ~53	53 ~74	74 ~105	105 ~149	149 ~210	210 ~297	297 ~420	420 ~590	+590
fluorite	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○
quartz	○	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎	○
kaolinite	▲					▲	▲	▲	▲	○
graphite	△	△	△		△	△			▲	○
chlorapatite									▲	○
calcite	▲	△	△		△	△	▲	▲	▲	○
sericite										
K-feldspar										

X線回折チャートのピーク強度 (cps)

◎：2000以上，○：2000～200，▲：200～50，△：50以下

表3 エーキンス分級機オーバーフロー（上海武義）中の各鉱物の分布

粒径(μm) 鉱物	-37	37 ~53	53 ~74	74 ~105	105 ~149	149 ~210	210 ~297	297 ~420	420 ~590	+590
fluorite	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○
quartz	○	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎	◎
kaolinite							▲		▲	○
graphite									▲	▲
chlorapatite	△								▲	▲
calcite		▲	△	△	△		▲		▲	○
sericite									▲	
K-feldspar	▲								▲	

X線回折チャートのピーク強度 (cps)

◎：2000以上，○：2000～200，▲：200～50，△：50以下

図6 エーキンス分級機のオーバーフロー（上海）の粒子の構成割合図 [片対数表示]

図7 エーキンス分級機のオーバーフロー（上海武義）の粒子の構成割合図 [片対数表示]

示している。しかし、Free fluorite の割合は各粒径区分において上海武義の場合の方が約10%多くなっている。

表2と表3および図6と図7の結果から、エキンス分級機のオーバーフロー（上海と上海武義）の590～210 μm のところでは不用鉱物が単体に近い状態で多く存在し、その多くは石英であると考えられる。

3.2 浮選給鉱の検査結果

表4に浮選給鉱のX線回折分析の結果を示す。浮選給鉱もエキンス分級機の各オーバーフローと同様に石英が590～149 μm の粒径区分において多く含まれてい

ると考えられる。

図8に浮選給鉱に存在する粒子の構成割合を示す。エキンス分級機のオーバーフローに比べて各粒径区分においてFree fluoriteと片刃粒子が増加し、Free gangueが減少している。これは、浮選のミドリングを再給鉱したためであると考えられる。

3.3 浮選精鉱の検査結果

表5に浮選精鉱のX線回折分析結果を示す。同表から浮選精鉱でも主たる鉱物である蛍石以外に石英が存在していることが認められた。特に、420～105 μm の粒

表4 浮選給鉱中の各鉱物の分布

粒径(μm)	-37	37 ~53	53 ~74	74 ~105	105 ~149	149 ~210	210 ~297	297 ~420	420 ~590	+590
fluorite	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
quartz	○	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎	◎
kaolinite						△	△			○
graphite									△	○
chlorapatite						△	△			
calcite	△	△	○	○	△	△		△		○
sericite										
K-feldspar			△			△	△	△		

X線回折チャートのピーク強度 (cps)

◎：2000以上，○：2000～200，△：200～50，△：50以下

図8 浮選給鉱の粒子の構成割合図 [片対数表示]

図9 浮選精鉱の粒子の構成割合図 [片対数表示]

径区分では、石英のピーク強度が○印を示していることから、石英が多く含まれていることが考えられる。

図9に浮選精鉱に存在する粒子の構成割合のグラフを示す。図を見ると、420～149 μm の粒径区分では約8%の Free gangue が認められ、また、各粒径区分で10～20%の片刃粒子が認められた。

表5と図9の結果から、螢石精鉱の品位を下げる原因のひとつとして420～149 μm の粒径区分の不用鉱物が考えられる。これは、浮選給鉱中に含まれている不用鉱物が多かったために、浮選精鉱中に混入した結果であると考えられる。

以上の結果から、エーキンス分級機をオーバーフローさせる粒子のサイズ (Cut off size) を現行の Cut off size 500 μm から 297 μm にして、浮選給鉱中に存在する石英などの不用鉱物を減らすことによって、螢石精鉱の品位を向上させることが可能であると考えられる。

4. ま と め

今回は、選鉱工場における各工程の選鉱状況を把握するために、試料の採取場所の選定、ふるい分けによる検査用試料の作製、X線回折分析による鉱物組成の分析および偏光顕微鏡による粒子の構成割合の測定の順序で

表5 浮選精鉱中の各鉱物の分布

粒径(μm)	-37	37 ~53	53 ~74	74 ~105	105 ~149	149 ~210	210 ~297	297 ~420	420 ~590	+590
fluorite	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	—
quartz	△	△	△	△	○	○	○	○	△	—
kaolinite						△			△	—
graphite								△	△	—
chlorapatite										—
calcite	△		△	△		△	○		△	—
sericite										—
K-feldspar										—

X線回折チャートのピーク強度 (cps)

◎ : 2000以上, ○ : 2000~200, △ : 200~50, △ : 50以下

行われる検査システムを確立した。そして、前述の検査システムを用いて蛍石選鉱工場の浮選精鉱の品位に影響を及ぼす要因を調べた。

試料としてエーキンス分級機のオーバーフロー(上海, 上海武義), 浮選給鉱, 浮選精鉱を選定し, 検査を行った結果, エーキンス分級機のオーバーフロー(上海, 上海武義)では, $590\sim 149\mu\text{m}$ の粒径範囲において不用鉱物が単体に近い状態で多く存在しており, それらの多くは石英であることが分かった。また, 浮選精鉱にも $420\sim 149\mu\text{m}$ の粒径範囲で約8%の単体の不用鉱物が認められた。このことから, 浮選給鉱中に不用鉱物が多く含まれていたために浮選精鉱中に混入したと考えられる。

今回の検査の結果, エーキンス分級機をオーバーフローさせる粒子のサイズ(Cut off size)を現行の Cut off size $500\mu\text{m}$ から $297\mu\text{m}$ にすれば, 浮選給鉱中に存在

する石英などの不用鉱物を減らすことができるようになり, 蛍石精鉱の品位を向上させることが可能であるという診断を下した。

謝 辞

さいごに, 試料を提供して頂いた共栄化成工業㈱の皆様, X 線回折分析のご指導を頂いた九州大学工学部資源工学科応用地質講座の皆様に感謝の意を表し, 厚く御礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

- 1) MORI, S. and BISSOMBOLO, A.: 資源処理技術, 42, 1, p. 13-19, (1995)
- 2) BISSOMBOLO, A., 古山 隆, 調 敏郎, 原 剛, 森 祐行: 資源処理技術, 43, 1, p. 2-7, (1996)
- 3) BISSOMBOLO, A. and MORI, s.: 資源処理技術, 42, 4, p. 1-6, (1995)