蛍石選鉱工場における工程産物の偏光顕微鏡による 品位推定法の研究

調 敏 郎*・古 山 隆**

Abel BISSOMBOLO***・永 濱 美 佳****

原 剛**・森 祐 行**

Estimation of the grade of fluorite flotation products through microscopic counting

Toshiro SHIRABE, Takashi FURUYAMA

Abel BISSOMBOLO, Mika NAGAHAMA

Tsuyoshi HARA and Sukeyuki MORI

Dispite the high technical level achieved in mineral processing practice, the methods used to determinate the grade of fluorite flotation products still require skillful analysts whose number goes reducing every year. Todays analysts are not only less experienced but have to cope with the process of optimization in vogue in the major mineral processing plants. They need lesstime consuming operations as more ability is required at any level of their practice. The suggested method is based on a thorough microscopic counting of particles coarser than 22 μm . Besides, it is assumed that $-22\ \mu\text{m}$ and $+38-22\ \mu\text{m}$ particles have the same grade. The fluorite grade estimated by this method is sensibly closed to that obtained by chemical analysis.

1. は じ め に

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高品位の精鉱の生産を行っている。しかし、近年、熟練技術者は少なくなっているため、経験の浅い技術者でも選鉱工程を最適状態に管理して高品位の精鉱が生産できるようなシステムの開発が必要になっている。そこで当研究室では蛍石選鉱工場を例にとり、偏光顕微鏡による選別工程の制御のための検査システムに関する研究を行っている^{1)~4)}。前報において、エーキンス分級機オーバーフロー（2種類）、浮選給鉱および浮選精鉱の420~105 μm の粒子の構成割合を測定し、それらの結果から選別工程の診断を行った⁴⁾。今回、工程産物の品位から選別状況を把握できる検査システムを確立

するために、エーキンス分級機オーバーフロー（2種類）、浮選精鉱の工程産物について粒子の構成割合を求め、工程産物の品位を偏光顕微鏡を用いて簡易に推定する方法を提案した。

2. 試 料

2.1 試料作製

図1に蛍石選鉱工場のフローシートを示す。選鉱工程および蛍石原鉱については前報⁴⁾に述べたとおりである。試料として、蛍石選鉱工場の①エーキンス分級機オーバーフロー（上海）、②エーキンス分級機オーバーフロー（上海武義）、③浮選精鉱の3工程で採取した産物を用いた。各工程産物は2分割縮分器（リップルサンプラー）で縮分した後、 $\sqrt{2}$ 倍の目開き間隔の420 μm から38 μm （420 μm , 297 μm , 210 μm , 149 μm , 105 μm , 74 μm , 53 μm , 38 μm の8枚）および22 μm のJIS標準ふるい（JIS 8801-1987）を用いて湿式と乾式でふるい分けを行い、各ふるい上産物（+420 μm , 420~297 μm , 297~210 μm , 210~149 μm , 149~105 μm , 105~74 μm , 74~53

* 九州大学大学院工学研究科資源工学専攻

** 九州大学工学部資源工学科

*** 元九州大学大学院工学研究科資源工学専攻

**** 元九州大学工学部資源工学科

平成9年8月27日受理

図1 螢石選鉱工場のフローシート

μm , 53~38 μm , 38~22 μm , -22 μm の10個)を実験用整粒試料とした。

2.2 X線回折分析による鉱物の同定

各整粒試料に対する鉱物組成の分布をX線回折分析装置を用いて測定した⁴⁾。

表1～表3にエーキンス分級機オーバーフロー(上海, 上海武義), 浮選精鉱の各鉱物の分布を示す。表中のX線回折チャートのピーク強度(cps)は, ◎: 2000以上, ○: 2000~200, △: 200~50, △: 50以下とした。表1, 表2のエーキンス分級機のオーバーフロー(上海, 上海武義)において各粒径区分に目的鉱物である螢石の他に脈石鉱物である石英が多く確認された。少量の方解石, カオリナイトも, 上海は+210 μm の粒径区分で, 上海武義では+297 μm および-53 μm の粒径区分で存在していた。表3の浮選精鉱でも各粒径区分に脈石鉱物である石英がエーキンス分級機のオーバーフロー(上海, 上海武義)より少なく確認された。また, 少量の方解石,

カオリナイトも一部の粒径区分で存在していた。これらのことより各試料産物は, 脈石鉱物のほとんどが石英であることが分かった。

3. 品位推定法

3.1 偏光顕微鏡による粒子の構成割合測定

各整粒試料の各粒径区分(+420 μm , 420~297 μm , 297~210 μm , 210~149 μm , 149~105 μm , 105~74 μm , 74~53 μm , 53~38 μm , 38~22 μm : 9個)の粒子を偏光顕微鏡でそれぞれ約1000個ずつ観察した。そして, 螢石鉱物は光学的に等方体である性質, また, 脈石鉱物(主に石英)は光学的に異方体である性質を利用して, 測定者の判断により, Free fluorite (螢石を95%以上含む粒子), Locked fluorite (螢石を95~50%含む粒子), Locked gangue (螢石を50~5%含む粒子), Free gangue (螢石を5%以下含む粒子)の4つに分類し, 各粒子の構成割合(%)調べた。なお, -22 μm の粒径区分の粒子

表 1 エーキンス分級機オーバーフロー（上海）の各鉱物の分布

粒径(μm)	-22	22	38	53	74	105	149	210	297	+420
鉱物		~38	~53	~74	~105	~149	~210	~297	~420	
蛍石	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
石英	○	○	◎	○	○	○	◎	◎	◎	◎
カオリナイト									▲	▲
方解石			▲					▲	▲	▲

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 2 エーキンス分級機オーバーフロー（上海武義）の各鉱物の分布

粒径(μm)	-22	22	38	53	74	105	149	210	297	+420
鉱物		~38	~53	~74	~105	~149	~210	~297	~420	
蛍石	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
石英	○	○	○	○	○	○	○	◎	◎	◎
カオリナイト		△	△						▲	▲
方解石	△			△					▲	▲

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 浮選精鉱の各鉱物の分布

粒径(μm)	-22	22	38	53	74	105	149	210	297	+420
鉱物		~38	~53	~74	~105	~149	~210	~297	~420	
蛍石	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
石英	△	▲	△	▲	▲	○	○	○	▲	▲
カオリナイト								△	△	
方解石	▲	▲	▲							

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

については、粒子の取り扱いが困難であったために測定を行わなかった。

図 2～4 にエーキンス分級機オーバーフロー（上海、上海武義）、浮選精鉱の重量積算割合と粒子の構成割合を表した図を示す。図中の縦軸は粒子の構成割合（％）、下方の横軸は、上方の横軸に示す粒径区分の粒子が占める重量積算割合（％）を表している。図 2 のエーキンス

分級機オーバーフロー（上海）のグラフでは、420～297 μm の粒径区分において、Free fluorite, Locked fluorite, Locked gangue, Free gangue の割合はそれぞれ17.3％、5.0％、1.6％、76.1％となっていた。粒径が小さくなると、Free fluorite の割合が増加し、38～22 μm の粒径区分では、84.3％になっていた。図 3 及び図 4 のエーキンス分級機オーバーフロー（上海武義）、浮選精鉱でも、

図2 エーキンス分級機オーバーフロー（上海）の重量積算割合と粒子の構成割合の図

図4 浮選精鉱の重量積算割合と粒子の構成割合の図

図3 エーキンス分級機オーバーフロー（上海武義）の重量積算割合と粒子の構成割合の図

粒径が小さくなると Free fluorite の割合が増加し、各試料産物で似たような傾向を示した。

3.2 工程産物の品位

3.2.1 各粒径区分毎の蛍石の含有割合

粒子の構成割合測定の結果を用いて、各粒径区分における蛍石の含有割合を以下に示す手順で求めた。まず、偏光顕微鏡で分類した各粒径区分の Free fluorite に含まれる蛍石の割合を97.5%（蛍石の場合100%と95%の平均値）とし、以下同様に Locked fluorite, Locked gangue および Free gangue の蛍石の割合を72.5%, 27.5%, 2.5%とした。次に、+420 μm（試料の最大粒径区分）から数えて n 番目の粒径区分における蛍石含有割合 C_n (%) ($i=1, 2, 3, \dots, n$) を次の (1) 式で求めた。

$$C_n = (97.5 N_{ff \cdot n} + 72.5 N_{lf \cdot n} + 27.5 N_{lg \cdot n} + 2.5 N_{fg \cdot n}) / N_n \quad (1)$$

ここで、

- N_n : 各粒径区分において測定した粒子の総数
- $N_{ff \cdot n}$: Free fluorite の粒子数
- $N_{lf \cdot n}$: Locked fluorite の粒子数
- $N_{lg \cdot n}$: Locked gangue の粒子数
- $N_{fg \cdot n}$: Free gangue の粒子数

である。

ただし、-22 μm の粒径区分の蛍石含有割合については、以下に示す手順で品位の測定を行った。最初の試みとして、+420 μm～22 μm の粒径区分の蛍石含有割合から各種の最小自乗法を用いて蛍石含有割合の測定を行ったが、工程産物によっては -22 μm の蛍石含有割合

合が100%を越える場合があったことから、最小自乗法による測定は不適当であるという考えに至った。そこで、粒径区分が小さくなると蛍石含有割合が増加しているこ

とに着目し、 $-22\mu\text{m}$ の蛍石含有割合は $38\sim 22\mu\text{m}$ よりも低くはないと仮定した。その結果、 $-22\mu\text{m}$ の蛍石含有割合は、 $38\sim 22\mu\text{m}$ の蛍石含有割合に最小の増加量である0(%)を加えたもの、つまり、 $38\sim 22\mu\text{m}$ の蛍石含有割合と同じ値として、品位の測定を行った。

3.2.2 工程産物全体の品位

工程産物全体の品位を求める場合、測定した粒子は全て球形であると見なし、また、X線回折分析の結果より不用鉱物は全て石英であると仮定した。そして、蛍石の密度を ρ_f (3.20 g/cm^3)、石英の密度を ρ_q (2.65 g/cm^3)、各粒径区分の平均粒子径を d_n (μm)、蛍石含有割合を C_n (%) として各粒径区分における蛍石の重量 $W_{f\cdot n}$ (g) と石英の重量 $W_{q\cdot n}$ (g) を次のように求めた。

$$W_{f\cdot n} = 4/3\pi d_n^3 \rho_f C_n \dots\dots\dots (2)$$

$$W_{q\cdot n} = 4/3\pi d_n^3 \rho_q (100 - C_n) \dots\dots\dots (3)$$

各粒径区分における蛍石の品位 g_n (%) は(2)式と(3)式から次の(4)式で表した。

$$g_n = 100W_{f\cdot n} / (W_{f\cdot n} + W_{q\cdot n})$$

$$= 100\rho_f C_n / \{\rho_f C_n + \rho_q (100 - C_n)\} \dots\dots\dots (4)$$

図5～7にエーキンス分級機オーバーフロー（上海、上海武義）と浮選精鉱の各粒径区分の品位を示す。図の縦軸は品位(%), 下方の横軸は、上方の横軸に示す粒

図5 エーキンス分級機オーバーフロー（上海）の重量積算割合と各粒径区分における品位

図6 エーキンス分級機オーバーフロー（上海武義）の重量積算割合と各粒径区分における品位

図7 浮選精鉱の重量積算割合と各粒径区分における品位

表 4 偏光顕微鏡による品位と化学分析による品位

	①	②	③
偏光顕微鏡による品位	83.7	86.1	95.2
化学分析による品位	83.65	86.05	98%以上

①エーキンス分級機オーバーフロー（上海）

②エーキンス分級機オーバーフロー（上海武義）

③浮選精鉱

径区分の粒子が占める重量積算割合（％）を表している。各工程産物全体の品位 G （％）は、各粒径区分に占める重量頻度割合（％）を f_n とすると、(5) 式に表すように求められ、図 5～7 に示されように図全体の面積に対する斜線部分の面積の総和の比で表すことができる。

$$G = \sum_{i=1}^n f_n g_n / 100$$

$$= \sum_{i=1}^n f_n [\rho_f C_n / \{\rho_f C_n + \rho_q (100 - C_n)\}] \cdots \cdots (5)$$

3.3 偏光顕微鏡による品位と化学分析による品位の比較

表 4 に各工程産物の偏光顕微鏡による品位と化学分析^{5)・6)}による品位を示す。偏光顕微鏡による品位は、エーキンス分級機オーバーフローの上海は83.7％、上海武義は86.1％、浮選精鉱は95.2％であり、化学分析では上海は83.65％、上海武義は86.05％、浮選精鉱は98％以上であった。この結果、本方法で推定した品位は、エーキンス分級機オーバーフロー（上海、上海武義）の場合では化学分析による品位とほぼ等しくなっており、浮選精鉱の場合では約3％の違いしか認められなかった。これらのことから、本方法により各工程産物の品位を十分に推定でき、従って、各工程の選鉱状況を把握することが可能であると考えられる。

4. ま と め

本研究では、工程産物の品位から選別状況を把握できる検査システムを確立するために、工程産物について粒子の構成割合から、工程産物の品位を偏光顕微鏡を用いて簡易に推定する方法を提案した。

本方法を用いた結果（上海は83.7％、上海武義は86.1％、浮選精鉱は95.2％）は、螢石選鉱工場における化学分析で得られた品位の値（上海は86.65％、上海武義は86.05％、浮選精鉱は98％以上）の間に大きな違いは見られなかったことから、本方法により各工程産物の品位を十分に推定できることが分かった。

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. and Mori, S.: 資源処理技術, 42, 4, p. 1-6 (1995)
- 3) 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)
- 4) Bissombolo, A., 古山 隆, 調 敏郎, 冬野直子, 原 剛, 森 祐行: 資源処理技術, 43, 4, p. 1-8 (1996)
- 5) 日本規格協会: ほたる石分析方法 (JIS K1468-1978) (1978)
- 6) 日本規格協会: 鉄鋼用ほたる石分析方法 (JIS M8514-1970) (1970)