八嶋三郎先生最終講義「鉱物処理工学の今昔」

坂 本 宏*
Hiroshi SAKAMOTO

東北大学八嶋三郎先生が平成元年3月31日を以て定年ご退官されるため、これを記念して、先生の最終講義「鉱物処理の今昔」が、同年2月10日、東北大学選鉱製錬研究所において行われました。講義には東北大学関係、山形大学関係および八嶋先生にご関係の深い方々が全国から150余名参加して盛大に行われました。ここに、受講の機会を得、先生のお話に深い感銘を受けた一人として、会員の皆様に、その概要を報告いたします。

(1) 八嶋三郎先生の略歴

先生は大正15年2月11日、宮城県仙台市にお生まれになり、昭和24年3月に東北帝国大学工学部鉱山工学科を卒業後、ただちに同大学の助手として奉職なさいました。その後、昭和32年4月に「磁力選鉱における諸問題」に関する論文で工学博士の学位を取得され、同時に助教授に昇任なさいました。昭和39年7月、山形大学教授に昇任され、化学工学科の機械的操作の研究室をご担当後、昭和49年1月、東北大学教授として選鉱製錬研究所に迎えられ、本年3月定年ご退官になり東北大学名誉教授になられました。

その間、先生は強磁性粉末の磁気測定、交流移動磁界の特性とその応用、ぜい性材料の単粒子破碎、石油ピッチの微粉碎、粉体の付着力の測定、鉄鉱石・石炭などの各種ぜい性材料の超微粉碎や高勾配磁気分離法を利用した弱磁性微粒子の分離等の研究において数多くの業績を残され、わが国における資源工学はもとより、化学工学ならびに粉体工学の分野において多大の貢献をなさいました。

(2) 最終講義「鉱物処理の今昔」

八嶋三郎先生最終講義は、先生が東北大学をご卒業

東北大学選鉱製錬研究所での最終講義

業になられ、ただちに母校に奉職されて以来、40年間の教育・研究生活を通じて得られた数多くの貴重なご体験を振り返られ「《全ての技と営みには時あり》という言葉をしみじみ噛みしめているところです」という冒頭の味わい深いお話から始まりました。そして、鉱物処理と化学工学の機械的操作という、似ているようで似ていない、違うようで似ている学問を両面からご覧になられた立場から、その違いを明解に述べられ、また、これらの学問の総合的な展望をまとめてお話しなさいました。以下にその概要をご紹介します。

①機械的分離 「機械的分離」は選鉱学(現在の鉱物処理工学)、化学工学における機械的操作および粉体工学の分野で扱われている学問分野である。蒸発、蒸留、吸収、乾燥などの単位操作はすべて相の変化を利用する分離操作であり、液体からガスへ、あるいはガスから液体へなどの状態変化を利用している。分縮、晶析、晶華などの操作も同様である。これに対して機械的分離法は原料中の固体は固体のまま、液体は液体のまま、すなわち状態変化を起こさないで行う分離操作である。

選鉱学の最初の教科書は、今から423年前にドイツの鉱山学者で医師の Georgius Agricola によって著さ

平成元年4月13日受付

* 公害資源研究所材料資源部分離精製研究室

(〒305 つくば市小野川16-3)

TEL 0298-54-3179

れた「De re metallica, libri XII (1556)」である。化学工学の最初の教科書は、W. H. Walker, W. K. Lewis, W. H. McAdams および E. R. Gilliland の共著による「Principles of Chemical Engineering (1937) (昭和12年)」であり、また、粉体工学の最初の教科書は、C. Orr, Jr. の「Particulate Technology (1966) (昭和43年)」である。したがって、機械的分離は歴史的には選鉱学で扱ったものが古いようである。

鉱物処理工学と化学工学における機械的分離操作を比較してみると、鉱物処理工学は分離の原理に重点を置いているのに対して、化学工学は装置工学的プロセス設計に重点を置いているといえる。しかし、近年、化学工学においてもバイオ等原理的な面にも取り組みつつある。

②分離と分級 基本的には明らかに性質の異なった混合物、つまり粒子の性質の変化が不連続な粒子群をその性質によって分ける操作を分離といい、その際着目される粒子の性質には、大きさ、形状、比重、磁気的性質、電気的性質、表面性状、色、放射能、化学的性質などがある。これに対して構成粒子の性質が連続的に変化している粒子群を、着目する性質によっていくつかの集団に区分けする操作を分級するという。しかし、粒子の大きさによって区分けする分級法は特に広い応用範囲があるので、狭義にはこれを分級ということが多い。分離の効率はニュートン効率あるいは部分分離効率で表される。

分離の概念が鉱物処理工学と化学工学とではとらえ方が異なっていて、化学工学では分離は分級で扱われている。化学工学で扱っている分離は、特殊分離の中に浮遊選鉱があるだけである。

粉体分離工学が関連する工業の分野は多方面にわたる。また、粉体は付加価値の高いものが多く、たとえば、制ガン剤は約1億円/トン、粉おしろいは約2千万円/トン、抹茶は1千万円/トンに上る。先端産業技術において、今後ますます期待される分野といえる。

③鉱物処理工学特有の考え方 鉱石は稼行して経済的にひきあうものをいう。鉱石は、一般に2成分系、3成分系、多成分系と多くの有用鉱物と石部が混在した、いわゆる片刃(locked particle)を成して、自然界における複合材料とも考えることができる。片刃の身近な例としては、岩石の石材としての利用、複雑硫化鉱、コンクリート、ゴム磁石、プラスチック磁石、FRP、FRM、粉体加工粒子、磁気記録材料、紙その他の複合材料一般等がある。

有用成分を単に抜き取るような技術は存在しない。

図1 高品位鉱と低品位鉱

鉱石から有用成分と石部を選別分離する操作を選鉱という。鉱石には高品位鉱と低品位鉱があり、これを模式的に示したのが図1である。選別分離しようとする目的の鉱物が石部から分離して独立した粒となっている状態を単体分離(liberation)の状態という。鉱物が単体分離の状態になっていなければ選別の目的を達することはできない。選鉱では選別の前処理として必ず単体分離のための粉碎を行う。したがって、粉碎はもとをたせば単体分離のための技術といえる。単体分離のための粉碎は、図から明らかなように、鉱石の品位によって異なり、低品位鉱ほど細かく砕く必要がある。

④破碎と粉碎 A. F. TaggartのCrushing(破碎)とGrinding(磨砕または狭義の粉碎)に関する記述によれば、Comminution(広義の粉碎)とは通常、固体状鉱物を選鉱して品位を上げるための最初のステップである。Comminutionは一般にstage process(多段プロセス)であり、連続したstage(段階)の中で、固体状鉱物を特定のサイズに砕くのに特に適した機械を用いるプロセスである。採掘または切り出された原鉱石を細かいサイズに砕くまでの、一連のstageをCrushing(破碎)と呼ぶ。これに対して、20メッシュ(0.85 mm)以下に砕く一連のstageをgrinding(磨砕または狭義の粉碎)と呼ぶ。粉碎産物が6(3.35 mm)から10(2.00 mm)または14メッシュ(1.40 mm)の範囲にあり、使用する粉碎機のtypeによってcrushingとしたり、grindingとする中間領域がある。Primary crushingとは第1段目のCrushingであり、Secondary crushingとは第2段目のcrushing、以下同様である。

Coarse crushing(粗砕)とは粉碎産物が4-6インチ(101.6-152.4 mm)またはそれ以上の場合であり、intermediate crushingとは最大6インチ(152.4 mm)または8インチ(203.2 mm)の砕料を1/2インチ(12.7

mm)または3/8インチ(9.53mm)に砕く場合であり、fine crushingとは1/4インチ(6.35mm)以下に破碎する場合である。しかし、これらの区別は明確ではない。

一方、井伊谷らによると、

粗 碎 機(coarse crusher)

1500 - 100 mm → 500 - 25 mm 粉砕比 4 - 3

中 碎 機(intermediate pulverizer)

500 - 6 mm → 50 - 1 mm 粉砕比 7 - 5

微粉砕機(fine grinding machine)

12.5 - 1 mm → 2 - 0.1 mm 粉砕比 20 - 10

超微粉砕(ultra fine grinding machine)

6 - 0.1 mm → 0.1 - 0.001 mm

粉砕比 50 - 15

となっている(井伊谷鋼一, 三輪茂雄: 化学工学通論, (1969)朝倉書店)。

もう一つの考え方として、粉砕媒体どうしが密着しているか、非密着かによって破碎と粉砕に分類することが可能である。すなわち、図2に示すダイナジョークラッシュャのように粉砕媒体同士が密着しない装置によるものを破碎、図3に示すボールミルのように粉砕媒体が密着する装置によるものを粉砕というように、粉砕機構に基づく分類法である(東京大学名誉教授 今泉常正先生より)。超微粉砕(submicron sizeに粉砕する)も従来の技術の延長上にある問題と考えられる。

高機能性セラミックスを製造するには、原料粉体を調製することが製品としての機能を十分に発揮させるうえできわめて重要である。微粒子を製造する方法としては、成長法(CVD法, PVD法等)と細分化法(微粉砕)とがあるが、これら中間の領域、つまりsubmicron sizeの粉体の製造が谷間となっている。ここに超微粉砕技術とsubmicron sizeの粉体の精密分級法の重要性がある。

⑤等速落下比(equal settling ratio) 鉱物処理

図2 ダイナジョー-DYNAJAW crusher の断面図
(神戸製鋼所)

図3 ボールミルにおけるボールの充填量とボールの運動状態
(Jはボールの充てん率)

工学特有の考え方にもう一つ、等速落下比がある。比重の異なる二種類の鉱物からなる鉱石に対して、比重選鉱を行うときには、給鉱中の最大粒と最小粒の大きさの関係が、分離の行われるときの状態における等速落下比以下であるようにあらかじめ整粒されていなければ、分離は完全に行われない。この比が大きければ、給鉱における整粒の幅が大きくても分離が行われていることになり、分離が容易である。すなわち、等速落下比の大小をもって比重分離の難易を示す尺度とすることができる(高桑健: 選鉱工学(上) p.55 (1962) 共立出版)。したがって、選鉱においても分級は重要な単位操作の一つである。

粗粒高品位鉱の分離技術として、強度の干渉沈降を利用する比重選鉱法に跳汰機(jig)がある。選炭では主選機の一つとして用いられており、東北地方ではかつて大谷鉱業所の Denver mineral jig および砂鉄鉱山における Pan American placer jig 等が用いられていた例がある。図4に代表的なジグの排出装置の一例を示す。

鉱物処理工学の分野において、最近、新しい分離法が開発されている。以下に、それらを列挙すると、磁性流体を用いた浮沈分離、渦電流を用いた電磁誘導分離、形状分離、浮選機-バイオリクター、界面工学を利用した超微粒子の分級等である。

⑥資源処理と粉体処理の新しい方向

a) 資源の開発と再利用

燃料資源としての重質油の処理技術(平戸瑞穂ら)、最近の石炭液化技術(大内公耳)、プラスチック廃棄物

門を固定するボルト

図4 網上排鉱式跳汰における排鉱法

の再利用技術(西崎寛樹ら), 有機固形廃棄物の土壤還元(久保田宏ら), 赤泥の有効処理法について(柳田博明ら), 排脱セッコウの新しい用途(国分欣治), 鉄鉱スラグの再利用について(嶋田駿作)。

b) 微粉体材料の製造と表面改質技術

気相反応による微粉体の製造法(加藤昭夫), 蒸発法金属超微粒子の製造と特性(賀集誠一郎), 液相界面反応による球形微粒子の製造法(中原佳子ら), カプセル化法による微粉体の表面改質技術と効用(小石真純),

微粉碎における摩擦化学的現象と固体表面の変化(神保元二)。

c) 固体分散系の流動と混合

凝集と分散, 固液系混合攪拌(佐藤一省), 固液系混相流(都田昌之ら), 固気系混相流(松本繁), 粉粒体の供給・排出(牧野和孝ら), 石炭スラリーの流動安定性(薄井洋基), スラリー・泥しょう処理(伊東速水)

d) 機能性素材

晶析法による超微粒子化, 微粒化による素材の機能化(青山吉雄), 粉碎法による機能微粒子の製造。

以上, 八嶋三郎先生の最終講義の概要を報告した。いうまでもないが, 報告の内容にいたらない点, あるいは誤りがあるときは筆者の責任であり, 八嶋三郎先生に深くお詫び申し上げます。

なお, 八嶋三郎先生のご退官を記念して, 先生の教え子の方々による講演会が最終講義に引き続いて開催されました。以下にそのプログラムを付記します。

八嶋三郎教授定年退官記念「粉体処理に関する講演会」

(1) 新素材と自動車

日産自動車(株) 中央研究所 佐川孝俊

(2) 最近の石油化学事情

出光興産(株) 中央研究所 篠崎龍夫

(3) 非焼成酸化鉄ペレットのシャフト炉による還元とそのエクセルギー評価

東北大学選鉱製錬研究所 高橋礼二郎

(4) 単粒子破砕と超微粉碎

山形大学工学部化学工学科 神田良照

(5) 私の会社生活

日本碍子(株) 金属事業部 佐藤充弘

(6) 硫化鉱と磁性材料

同和鉱業(株) 岡山製錬所 青木勝男