論文・報告

石炭の静電分離に対する湿度の影響*

正 会 員 向 井 滋**
 正 会 員 若 松 貴 英***
 石 川 恒 夫****

Effect of Humidity on the Electrostatic Separation of Coal

Shigeru MUKAI, Takahide WAKAMATSU, and Tsuneo ISHIKAWA

In order to recover the coal concentrate of low ash content, the effect of humidity on the electrostatic separation of coal were studied.

The relation between the critical electric intensity at which coal particles repel from an electrode and the humidity of the atmosphere was obtained. The particles of high ash coal repel at lower electric intensity than those of low ash. However, both of them behave similarly in the extremely low or high humidity.

The electric discharge between electrodes as well as the adsorbed moisture on coal particles relates closely with the electrical charging of coal particles in an electric field. The electric discharge between electrodes increases with increasing of the humidity. And the adsorbed moisture on coal particles also increases with increasing of the humidity. The high ash coal adsorbs more moisture than the low ash coal.

Furthermore, the behavior of coal particles in an electric field was discussed through the measurement of the electrical charge on coal particles in terms of the humidity and the heating temperature.

As a result, it was clarified that the separation is excellent in the 40-80% relative humidity of the atmosphere. And it was recognized that heating of feed has a bad effect on the separation.

1. 緒 言

静電選鉱では従来から試料を完全に乾燥することが常識とされていた。それは試料の電気伝導性は固有抵抗に支配され、その固有抵抗は表面の湿分あるいは空気中の湿度により著しい影響を受け、湿度が大なる時は電導性物質も非電導性物質も静電界中において全く同様な挙動を示すからである。

しかるに著者らは石炭の静電分離に対しては試料の完全乾燥を行わず、常温常湿において高品位石炭が能率良く回収されることを認めた。ここにおいて石炭の静電分離に対して大気中の湿度ならびに石炭の乾燥の影響を詳細に検討することは静電界を利用する高品位石炭の回収法を確立する上から極めて必要なことと考えられる。

本研究は高品位石炭の回収を目的として、石炭の静電分離に対する大気中の湿度ならびに石炭の乾燥の影響を検討したものである。

2. 試料および分離装置

実験試料として用いた石炭は住友石炭鉱業株式会社赤平鉱業所産のものである。分離試験に供した石炭試料の

平均灰分は6.5%である。

分離試験に用いた静電分離装置は Huff 式で島津製作所製 ES-1 型オーケンセパレータである。主要部は第1図に示されている。本装置は給鉱板および接地回転ローラの裏面にヒータが内蔵され、室温より 100°C まで加熱乾燥することが可能である。

3. 実験結果

3.1 加熱乾燥の分離に対する影響

まず、従来静電分離において常識とされているように試料の加熱乾燥を行ない分離試験を行なつた。すなわち給鉱板上に試料粒子を撒布し 100°C にて1時間加熱乾燥して静電分離試験を行なつた。その結果の一例は第2図に示すようである。第2図において横軸の飛距離は回転ローラの縁端直下を基準点とし、回転ローラに対して粒子の反発される方向を正、吸引付着される方向を負としている。

第2図に示されているように、分離産物は接地回転ローラに付着する傾向が少なく、自然落下する粒子の割合が大なる傾向を示し、また分布位置の異なる産物の灰分の偏倚の程度も少なく石炭の静電分離に対して好結果を得ることが不可能であつた。

つぎに、加熱乾燥を施さないで常温常湿において分離試験を行なつた場合の選別産物の重量分布曲線ならびに灰分の結果の一例を示せば第3図のようである。

* 昭和40年7月13日受理 昭和40年度日本鉱業会春季大会にて一部発表

** 工博 京都大学工学部教授 資源工学科
 *** 工博 京都大学工学部助教授 資源工学科
 **** 石原産業株式会社

第1図 選別機主要部

粒度 28~35mesh 印加電圧-15kV (I) 重量 (II) 灰分
第2図 加熱乾燥を施した場合の分離試験の一例

粒度 28~35mesh
印加電圧-15kV
(I) 重量
(II) 灰分
第3図
加熱乾燥を施さない場合の分離試験の一例

(I) 示性曲線
(II) 浮炭曲線
(III) 沈硬曲線
第4図
赤平産試料
原炭の可洗
曲線

第5図 赤平産分離精炭の可洗曲線

A: 固結用の
樹脂素地
B: 高品位石
炭粒子

第6図 高品位石炭粒子の顕微鏡写真
(対物×5, 接眼×3.5)

第3図から明らかなように、加熱乾燥を施さない場合は回転ローラに付着する石炭粒子が多くなり、かつ回転ローラに付着する石炭粒子は灰分極めて少なく、一方反発されて飛ばされる石炭粒子は灰分が大になっている。つぎに加熱乾燥を施さない場合の実験につき分離試験を検討した。

試料原炭の可洗曲線は第4図のようである。一方分離試験で飛距離 -4~16cm の範囲に集積した石炭を精炭として、その精炭の可洗曲線を求めると第5図のようである。第5図の結果より飛距離-4~16cm に集積した石炭は灰分 3% 以下の石炭であることが認められる。第4図から原炭に含まれる灰分 2.5% 以下の石炭の割合を求め、つぎに精炭中の灰分 2.5% 以下の割合を第5図から求めこの値と第3図から得られる精炭の重量% から精炭に含まれる灰分 2.5% 以下の割合を求め、灰分 2.5% 以下の高品位炭の静電分離による実収率を浮沈試験の結果を基にして求めれば98%の値が得られた。

また回転ローラに付着する灰分 3% 以下の低灰分石炭の組織の顕微鏡観察の結果の一例は第6図に示すようである。そのほとんどが輝炭であることが認められた。

以上の結果から、高品位石炭回収に対する石炭の静電分離には、試料の加熱乾燥は悪影響を与え、常温常湿で試料の加熱乾燥を施さない場合は良好な分離が行なわれることを確認した。また石炭組織の分離に対しても好結果を与えることが明らかである。

3・2 石炭の静電分離に対する湿度の影響

電界内における石炭粒子の帯電は電極間の放電および石炭の吸着水分により著しい影響を受ける。一方、電極間の放電状態は電極間雰囲気湿度* 変化により変わることが考えられる。また石炭の吸着水分は大気中の湿度に関係する。したがって石炭の静電分離に対する湿度の影響を電極間の放電状態および石炭の吸着水分の観点から検討した。

(1) 電極間の放電状態 デシケータ(C)内に針状電

* 湿度表示には絶対湿度と相対湿度との別があるが、本報告ではすべて相対湿度で表わした。

極(A)と平板電極(B)とを対峙させ、湿度調節剤(D)を装入し第7図に示すように設置した。湿度調節剤により湿度を変化した場合の印加電圧と放電電流との関係を求めた。湿度調節剤としては各種無機電解質の飽和溶液を使用した。第1表に各種無機電解質とその飽和溶液の20°Cにおける相対湿度を示す。デシケータ内に飽和溶液を入れ2昼夜放置後測定を行なった。

第1表 各種無機電解質飽和溶液の蒸気圧と相対湿度(20°C)

溶 質	蒸気圧	相対湿度	溶 質	蒸気圧	相対湿度
	mmHg	%		mmHg	%
塩化亜鉛	1.74	10	硝酸カルシウム	9.54	55
塩化リチウム	2.60	15	醋酸マグネシウム	11.3	65
醋酸カリウム	3.47	20	醋酸ナトリウム	13.2	76
塩化カルシウム	5.61	32	臭化カリウム	14.6	84
硝酸亜鉛	7.29	42	硫酸ナトリウム	16.1	92

測定結果は第8図に示すようである。

第8図の結果より湿度一定の場合、印加電圧を大にすることにより放電電流は増加し、また一定の印加電圧においては湿度の増加とともに放電電流は顕著に増加することが認められる。すなわち電極間雰囲気湿度の変化は電極間の放電状態に著しい影響を与える。すでに述べたように¹⁾、電極間の放電は電子の衝突電離作用により気体のイオン化を惹起し、順次多数の電子および陽イオンを発生する。この電子および陽イオンはそれぞれ陽極および陰極に射突する。石炭粒子は陽極板に置かれているので石炭粒子は電子の射突を受ける。

このことから、湿度による電極間の放電状態の変化は石炭粒子の荷電に影響を与え、その結果として静電分離に著しい影響を与えることが推察される。

(2) 湿度による石炭の吸着水分 分離試験に用いたのと同じ試料から輝炭および暗炭と思われる石炭粒子を選出し、石炭の電導度を支配すると考えられる石炭の吸着水分について、雰囲気湿度を変化して検討を行なった。試料のうち輝炭と思われるものは灰分3%の低灰分炭であり、暗炭と考えられるものは13%の灰分の高い石炭である。さらに顕微鏡により検鏡の結果、第9図および第10図に示すようにこれら試料はそれぞれ輝炭および暗炭であることを確かめた。

各一定湿度内に放置した輝炭および暗炭の試料を5酸

第7図 湿度と放電状態との関係を検討した装置

第8図 湿度を変化した場合の印加電圧と放電電流と関係

第9図 輝炭の顕微鏡写真(対物×20, 接眼×3.5)

第10図 暗炭の顕微鏡写真(対物×20, 接眼×3.5)

化リンを乾燥剤としたデシケータ内にて2昼夜常温で乾燥しその減量分を吸着水分とした。試料の粒度は65~100meshである。

測定結果は第11図のようである。

第11図の結果から輝炭、暗炭とも吸着水分は空気中の湿度により著しく変化し、いずれの場合も湿度が増加するに従い増加する傾向が認められる。また輝炭と暗炭とを比較すれば吸着水分は暗炭の方が輝炭に比してかなり大であることが認められる。このことは、すでに示したように石炭粒子の電導度に影響を与え、水分の吸着し易い暗炭は電導度が大きくなり、静電分離の際にその負電荷は陽極に失われて輝炭とは逆にローラから反発される。

要するに、湿度による輝炭および暗炭の吸着水分の相異は石炭粒子の電導度の差異により荷電量に影響を与

第11図 雰囲気湿度と吸着水分

第13図 跳躍試験の結果

え、その結果として静電分離に著しい影響を与えるものと推察される。

3.3 跳躍試験結果

湿度を変化した場合の分離試験を試みる代りに、デシケータ内に第12図に示すように湿度調節剤と2枚の対峙した平行平板電極とを設置し、電極間に試料を撒布し2昼夜放置後外部より直流高圧を除々に印加し跳躍開始の電圧を読み取り、その時の電界強度を算出した。跳躍試験に用いた暗炭および輝炭の試料は粒度が65~100meshのものである。

跳躍試験の結果を示すと第13図のようである。

第13図の結果から平等電界下の石炭粒子の跳躍開始電界強度は湿度によりかなり変化する。すなわち湿度が大なる場合は跳躍開始の電界強度（臨界電界強度）は減少し、湿度が小になると臨界電界強度は大になる。暗炭は湿度90%近くの高い湿度の場合、臨界電界強度は輝炭とほぼ等しく、それ以下湿度10%程度までは常に暗炭が輝炭よりも小なる臨界電界強度で跳躍し始めることが認められる。さらに湿度が極めて小なる場合は輝炭、暗炭とも同程度のかかなり大なる臨界電界強度を必要とする。

以上のことから、高品位石炭の回収、輝炭および暗炭の静電分離において大気中の湿度は成績に顕著な影響を

- (A) 平板電極 (高圧)
- (B) 平板電極 (接地)
- (C) デンシメータ
- (D) 湿度調節剤

第12図 跳躍試験装置

与えることが認められ、湿度が極めて小なる場合また逆に高湿度の場合には分離が悪くなることが推察される。

4. 電荷量測定からの考察

石炭の静電分離に対し乾燥状態ならびに湿度は極めて重要な因子であることを明らかにしたが、さらに石炭粒子の荷電量を調べて検討を進めた。

4.1 湿度処理による石炭粒子の帯電

Huff 式選別機を用い、第14図に示すように絶縁した鉦粒受器とコンデンサとを接続し、コンデンサの一端は接地し、荷電した鉦粒が受器に集積した時のコンデンサの両端子間の電圧を高入力抵抗の真空管電圧計で読取り荷電量を求めた。著者らは先に石炭粒子の荷電量測定に弾動検流計を使用する方法を採用した²⁾が、本実験による方法との比較の結果は第2表に示す一例のようにほとんど差のないことを確認した。

この測定方法により、種々の湿度で2昼夜処理した輝炭および暗炭試料を別々に選別機に供給し、処理湿度と石炭粒子の荷電量との関係を検討した。測定結果は第15図に示すようである。

第15図の結果から輝炭および暗炭の電荷符号は異なり、また処理湿度により輝炭および暗炭の荷電量はかなり変化していることが認められる。すなわち本実験の高圧電極は負の場合であるが、暗炭は正に輝炭は負に荷電し、また処理湿度により輝炭および暗炭の荷電量はほぼ放物線的な変化を示し、湿度が小なる場合あるいは大なる場合は荷電量は少なく湿度が60%前後で最大を示している。また輝炭および暗炭の帯電量の差の大なる湿度がもつとも分離に適した湿度条件であると考えられる。

先の跳躍試験の結果と併せ考えれば、低灰分の高品位石炭の回収あるいは石炭組織の分離に好条件を与える湿度範囲は輝炭および暗炭の帯電量の差の大なる40~80%が好条件であることが明らかである。

4.2 乾燥温度の変化と石炭粒子の帯電量

第14図と同様な方法により種々の温度で乾燥した輝炭および暗炭試料を用いて乾燥温度と石炭粒子の帯電量との関係を検討した。なお各温度での乾燥時間は1時間である。結果は第16図に示すようである。

第16図の結果から、輝炭および暗炭の帯電量は乾燥温

F: 給電板 N: 針状電極 P: 補助平板電極 R: ローラ B: ブラッシュ A: 鉱粒受器 C: コンデンサ V: 真空管電圧計

第14図 電荷量測定方法

第16図 石炭粒子の乾燥温度と電荷量

度により著しく変化することが認められる。すなわち乾燥温度が大になるほど輝炭、暗炭とも帯電量が減少し、加熱温度 100°C の場合は両者の帯電量の差異は極めて少なくなる。また試料粒度が小なる場合ほど乾燥温度による影響が顕著である。

次に乾燥温度と石炭の比抵抗との関係を検討した。比抵抗の測定法は既報²⁾に示した方法と同様である。その結果は第3表に示すようである。第3表の結果より輝炭は温度の上昇と共に比抵抗は減少し、一方暗炭は温度の上昇とともに比抵抗は増加し、両者の比抵抗は温度上昇とともに近付く傾向が認められる。

以上のことから、先に示したように加熱乾燥により石炭の分離が著しく悪くなる現象は、加熱乾燥した石炭粒子は輝炭、暗炭ともに電導性が近似し、かつ帯電量に大きな差異が無くなることに基づくものと考えられる。

5. 結 言

高品位石炭の回収を目的として石炭の静電分離に対する湿度ならびに石炭の加熱乾燥の影響を分離試験、跳躍試験、電極間の放電状態、石炭粒子の吸着水分および電荷量の測定結果などから検討した。

得られた結果はつぎのようである。

第15図 石炭粒子の処理湿度と電荷量

第2表 石炭粒子の荷電量測定結果の一例

種	方法	印加電圧		
		10kV	15kV	20kV
輝 炭	本 法	-3.2×10^{-9}	-9.2×10^{-9}	-11×10^{-9}
	弾動検流計法	-3.4×10^{-9}	-9.1×10^{-9}	-12×10^{-9}
暗 炭	本 法	$+2.1 \times 10^{-9}$	$+8.8 \times 10^{-9}$	$+9.6 \times 10^{-9}$
	弾動検流計法	$+2.3 \times 10^{-9}$	$+8.8 \times 10^{-9}$	$+9.6 \times 10^{-9}$

電荷量 (Coul/g): 粒度 28~35 mesh, 湿度 73%

第3表 乾燥温度と石炭の比抵抗

種	炭 質	温度°C		
		20	100	120
輝 炭	($\times 10^{10} \Omega \text{cm}$)	2.3	1.4	0.8
暗 炭	($\times 10^6 \Omega \text{cm}$)	7	72	360

(1) 石炭の静電分離に対して、試料の加熱乾燥は悪影響を与え、常温常湿で試料の加熱乾燥を施さない場合に高品位炭回収が良好に行なわれることを見出した。

(2) 電極間の放電電流は一定の印加電圧において湿度の増加と共に増大する。このことから、湿度による放電状態の変化は石炭粒子の荷電に影響を与えその結果として静電分離に著しい影響を与えることを推察した。

(3) 石炭の吸着水分は空気中の湿度の増加とともに増大する。また輝炭と暗炭とを比較すれば暗炭が輝炭より常に吸着水分は大であり、暗炭は空気中の湿分が吸着し易いことを認めた。また湿度により輝炭、暗炭の吸着水分の相異は石炭粒子の電導による荷電量に影響を与え、その結果として湿度が静電分離に著しい影響を与えることを推察した。

(4) 平行平板電極内での石炭粒子の跳躍開始電界強度と湿度との関係を検討した結果、跳躍開始電界強度は湿度の増加にしたがい低下する。輝炭、暗炭によるこの電界強度の相異は湿度が極めて小なる時および極めて大

なる時は少なく、湿度 90~10% の範囲で両者の相異が認められ、常に暗炭の跳躍開始電界強度が小である。この事から石炭の静電分離において湿度が極めて小なる場合また逆に高湿度の場合に分離が悪くなることを推察した。

(5) 種々の湿度で処理した石炭粒子の電界中での電荷量を測定した結果、輝炭および暗炭の荷電は符号相異なり、荷電量は輝炭、暗炭いずれも処理湿度が極めて大かあるいは極めて小なる場合は少なく、処理湿度60%前後で最大を示している。また輝炭、暗炭の荷電量の差異が大なる湿度範囲 40~80% は跳躍試験の結果と考え併せ静電分離の好条件であることを考察した。

(6) 種々の温度で熱処理した石炭粒子の荷電量を測定した結果、処理温度が大になるほど粒子の帯電量は顕著に低下することが認められ、加熱乾燥による石炭の分離の悪くなる現象は加熱乾燥により低灰分石炭および高灰分石炭粒子の帯電量の差異が少なくなることに基づくことを考察した。

参考文献

- 1) 向井 滋・若松英貴・志田芳久：コロナ放電界における商品位炭の回収に関する研究，日本鉱業会誌，78巻，893号（昭和37年11月）817~822頁
- 2), 3) 1) と同じ

ディスク型高電圧選鉱機

ドラム型高電圧選鉱機では導電性粒子がドラムを離れる際、ドラムの回転による遠心力だけでなく重力の作用を受けるため、この粒子の運動は複雑となり、分離効果は色々な影響因子によつて左右される。ここに紹介するディスク型高電圧選鉱機（Brit. Patent. App 1 No. 2195/62）では、重力による影響および気体動力学的な影響因子をとり除くために、導電性粒子の運動が遠心力のみによつて決定されるように設計されている。この装置は本来実験室用として開発されたもので、ドラム型のものに比し分離効果は改善され、取り扱いもより簡単であり、試料のロスはほとんどない。したがつてドラム型よりも処理能力が小さいとい

うことが工業的な問題とならない場合には、とくに試料のロスがほとんどないという利点から、価値の高い原料を処理するのに有効である。大体の構造を第1図に示す。

1. アースされた直径300mmのステンレス鋼製ディスク（モータで駆動される）
2. 捕集皿（19区画に分けられているが、第2図の説明上コロナ放電極の位置から反時計回りに番号を付す。）
3. 捕集皿カバー
4. フィーダ（真鍮チューブ、直径6mm）
5. 真鍮しゃへい板
6. コロナ電極（逆U字型銅棒で支持されている）

第1図

(D. J. A. WOODLEY, and C. H. DUFFELL;
A High Tension Disc Separator, mining magazine, Nov. 1964, Vol. III, pp. 313~315より)

7. ブラシ

数種の試料によつて試験した結果、この装置は前述のように少量の試料を試験するのに適し、100mesh以上でかなり整粒された試料に対して良好な成績を示した。また設計上、湿度のコントロールが容易となつていることもこの装置の一つの特長といえる。

1例として石英粉子30gと赤鉄鉱粒子20gの混合物を処理した際の条件と、その分離成績をそれぞれ第1表および第2図に示す。

第1表：実験条件

放電電流	100μA
電圧	22kV
ディスク回転速度	85rpm
湿度	30%
フィーダ粒度	36/52mesh B. S. S.

(岡野靖彦)

第2図 石英と赤鉄鉱の分離試験結果
(横軸は皿の番号、縦軸は分布率)