

C-3 東アジアにおける民生用燃料からの酸性雨原因物質排出対策技術の開発と様々な環境への影響評価とその手法に関する研究

(1) 乾式選炭技術の開発・実用化に関する研究

独立行政法人国立環境研究所

大気圏環境研究領域 大気反応研究室 梶山 史郎

国立大学法人埼玉大学 大学院

理工学研究科 環境制御工学専攻 王 青躍

ユニレックス株式会社 谷口 克典

<研究協力者>

国立大学法人埼玉大学大学院理工学研究科環境制御工学専攻 高橋 韓陽

ユニレックス株式会社 石山 栄三

北海道道立工業試験場 上出 光志、山越 幸康

中国重慶市南桐炭鉱選炭工場 何 青松、印 儀中

(平成 12～16 年度合計予算額 1 1 7, 0 5 5 千円)

(うち、平成 16 年度予算額 2 4, 8 0 0 千円)

[要旨]

中国などの途上国において、高硫黄・高灰分の低品位炭の燃焼に起因する大気汚染・健康被害が深刻化し、そのクリーン化技術は緊急に求められている。本研究では、水資源を必要とせず、設備、ランニングコストなどの面から低品位切込炭から効果的に脱硫・脱灰することのできる静電気型乾式選炭技術を開発することを目的としている。

中国重慶市南桐炭鉱選炭工場にて実験装置を設置し、選炭技術に関する現地実験を行った。選別効率の向上には多段選別が最良と考えられるので、二段選別装置も製作した。電極形状は複合電極と分割電極を作成し実験に供した。また、中国に技術移転するため、現地での部品調達及び二段選別装置の製作を実施した。

国内においても小型実験装置を製作し、石炭の選別に関する基礎的実験を行うと共に工業分析等を行い選炭に関わる要素技術の開発研究を行った。

実験には南桐炭鉱産出の東林炭鉱原炭(粒径 <2.0 mm)を用い、>1.0mm、>0.5mm、>0.25mm、>0.125mm の 4 種類(帯電率測定は 0.075mm)も加えた)に篩い分け、石炭試料を調製・分析した。石炭層厚、コンベヤー速度、ドラムの回転速度、電極形状(複合電極と分割電極)等をパラメータに実験をした。改良型乾式選炭試験装置及び二段選別装置の選別改善効果を検討した結果次のようになった。

- ① 当初の電極は効果的な選炭結果が認められなかったが、複合電極においては一定条件により改善効果が得られた。
- ② 石炭の灰分の代表成分及び石炭の帯電率測定を行い選別条件の改善指針を得た。
- ③ 水分は誘電率が大きいのでこれを利用することで選別効率の向上が出来る知見を得た。

[キーワード] 酸性雨、中国重慶市、石炭燃焼、乾式選炭技術、脱硫率

1. はじめに

豊富な石炭資源を持つ中国では、エネルギーの約70%を石炭に依存し、経済発展に伴って1次エネルギー生産総量が年間2.45%~2.80%のペースで増加している。中国西南地域において、通常使用される石炭は硫黄分が多く、発熱量も17MJ/kg以下の、低品位の切込み炭であり、その石炭燃焼に伴う広範囲にわたる大気汚染は極めて深刻な環境問題となっている。しかし、石炭品質を改善させる安価で適切な選炭技術がないため、低品位炭の燃焼に起因する大量の二酸化硫黄及び煤塵が放出されており、これが生態系の破壊、建造物等の被害に止まらず、農林業への大きな経済損失をもたらし、さらに住民の健康被害等も発生している。そのため、低品位炭燃焼によるこれらの問題解決が急務となっている。

2. 研究目的

本研究では、水資源を必要とせず、安価な設備、低ランニングコストの効果的な静電気型乾式選炭技術の開発を目的としている。

石炭の石炭質分、鉱物種(灰分、パイライト)の電気特性及び電界中での粒子挙動等を把握するとともに静電気型乾式選炭試験装置の選炭精度向上に向け、種々の試験を行い、静電気選炭装置の設計、試作のため、基本データを収集する。

3. 研究方法

(1) 実験用試料の調製等

① 石炭試料の調製

石炭として無煙炭(ベトナム産)、アダロ炭(インドネシア産)、中梁山炭及び東林炭の4種を使用した。このうち無煙炭は硫黄分が非常に少ない石炭、アダロ炭は硫黄分及び灰分が非常に少ない石炭である。本研究では、石炭からの灰分(とくに黄鉄鉱由来の無機硫黄)の効率的な分離方法の開発を目指しており、無煙炭については、灰分の除去特性の検討、アダロ炭については、石炭質の選別特性を検討するために用いた。

それぞれの石炭は粉碎し、75-125、125-250、250-500、500-1000、1000-2000 μm の5フラクションに分級した。また、無煙炭、アダロ炭及び中梁山炭については、四塩化炭素とエタノールで比重液を調製し、各粒径のサンプルを1.3以下、1.3-1.4、1.4-1.5、1.5-1.6、1.6以上(単位は、いずれも g/cm^3)の5フラクションに比重分離した。それぞれの試料は、0~2%程度に水分を調整し、各種試験に使用した。

② 灰分成分を模擬した試料の調製

これまでの実験結果から重慶炭には、パイライト、クォーツ、カルサイト等の灰分成分が含まれていることがわかっている¹⁾。本研究では灰分に含まれる各成分の電気特性等を調べるために、パイライト、クォーツ(東芝セラミック株式会社)、カルサイト(三共精粉株式会社)、アルミナ(昭和電工株式会社)について篩による分級で粒径75-125 μm のサンプルを調製し、乾燥した。

(2) 実験装置及び実験方法

①石炭の工業分析及び硫黄分析

石炭の工業分析（灰分、水分、揮発分）についてはJISM8812に準じて測定した。

②密度の測定

密度計 (AccuPyc1330, micromeritics) を用いて選炭前後の石炭試料の密度を測定した。(なお、本研究では石炭試料を重液で比重分離したが、前述の測定装置はヘリウムによるガス置換法なので、得られた数値は重液選別のそれよりも大きい値となった。)

③帯電量測定装置及び測定方法

測定に用いた装置の概略図を図1に示す。試料粉体は振動フィーダによりある一定速度で分散器に供給され、その後強制帯電装置（ボックスチャージャー）中を落下しながら帯電し、帯電量測定装置に設置された円筒濾紙内で捕集される構造となっている。円筒濾紙に捕集した粒子の帯電量はファラデーケージ（三協パイオテック、SFT-1）とエレクトロメータ（アドバンテスト、TR-8652）を用いて測定した。また、円筒濾紙の試験前後での重量変化から供給された粉体重量を算出し、単位重量当たりの帯電量を求めた。なお、本研究では、粉体の帯電特性を測定するためにボックスチャージャー（（有）増田研究所、BC-70/100A）といわれる強制帯電装置を使用した。その概略図を図2に示す。ボックスチャージャーは図2のd-c間に高周波励起電圧(V_a あるいは V_b)を印加することで表面f上に正負イオンを豊富に含む面上プラズマを形成させ、対向している電極アセンブリAB間に電場Eを印加することでそこからイオンを引き出し、そのイオンが荷電空間を横切る際に試料粉体と衝突することで粉体を帯電させる装置である²⁾。この際面上プラズマを形成させるために印加する電圧（以下励起電圧と記述）と電極アセンブリ間に印加する電圧（以下主電圧と記述）は帯電量を決める重要な因子である。本研究では0~4.5kVの励起電圧、0~10.5kVの主電圧で実験を行った。また振動フィーダの供給速度は0.002~0.2g/sとし、温度約25°Cで測定を行った。

なお、本研究ではポータニエールの式³⁾を利用して、主電圧2.6kV、励起電圧4.5kVでの測定値から各種粉体の比誘電率等を求めているが、その測定の際は主電圧0.3kV、励起電圧4.5kVの値も測定し、前者から後者の値を引き去ることでバックグラウンド等の誤差を除いた。

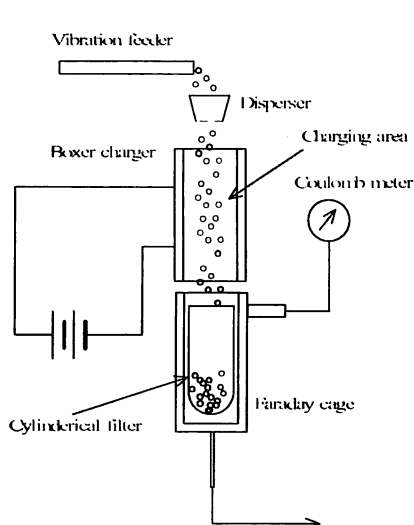


図1 帯電量測定システムの概念図

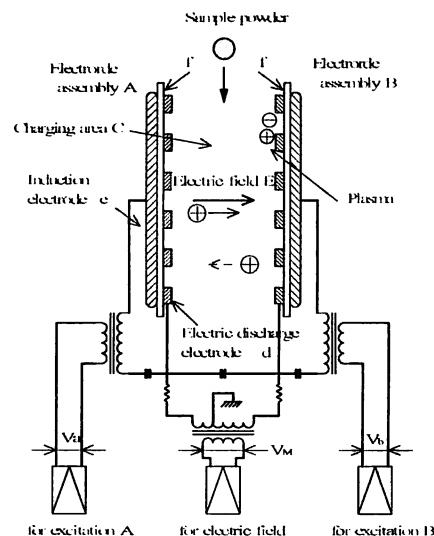


図2 ボックスチャージャーの概念図

④平行板電極を用いた各成分の落下試験

静電気を用いた乾式選炭では灰分と硫黄分の効果的な同時除去は難しい。乾式選炭過程のシミュレーションのため、4種の石炭、パイライト、石炭灰分中の主成分であるクォーツ、カルサイト等について、高電界強度下での粒子の挙動について検討を行った。試験は図3、図4に示した2種類の装置を用いて平行におかれた2つの電極（アノード、カソード）間に粒子を落下させ、落下時の挙動を視覚的に観察するとともに下部に設置したトレイ内のサンプル重量を測定し、重量分布を求め、粒子の分散状況について調べた。とくに石炭については、前述の測定に加えて、水分、灰分、密度、硫黄分等を測定し、それらを解析することで、石炭種、粒径、密度、水分等の影響についても検討した。なお、試験はユニレックス（株）と北海道立工業試験場で行った。

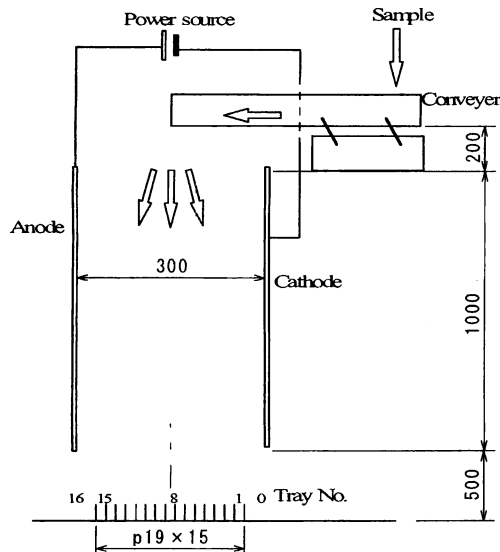


図3 大型試験装置

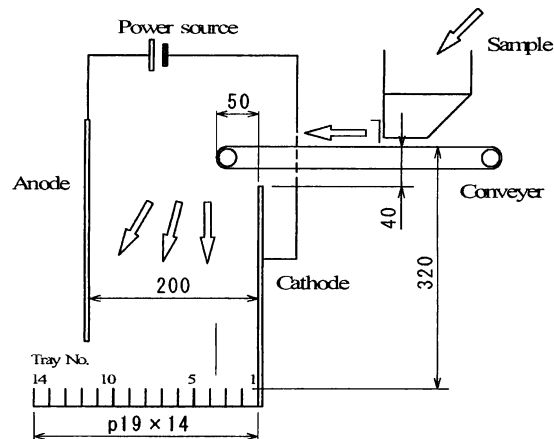


図4 小型試験装置

ア. 大型落下試験装置を用いた試験

大型落下試験装置（図3）は、高さ100cm、幅40cmのアルミ製電極を30cmの間隔で平行に設置した構造になっている。実験は、陰極と陽極間の電界の強さを0～1500V/cmの範囲に設定し、両極の直上20cmの位置からサンプルを振動フィーダによって自由落下させることで行った。落下位置は電界強さが0V/cmのとき落下する位置を原点（0）とし、陽極側へ移動する距離をプラス、陰極へ移動する距離をマイナスで表した。この装置では、次の試験を行った。

（ア）電場存在下で落下させた際の落下位置ごとの帯電量と重量分布

中梁山炭を落下させた際の落下位置ごとの帯電量及び重量を測定し、分散特性について調べた。実験は667V/cmで行った。

（イ）水分値の分散特性への影響

東林炭を用い、水分を変えた際の落下位置毎の重量、灰分、密度、粒子の帯電量等を測定することで、それぞれの石炭における精炭及び廃石等の分散性を調べた。実験は667V/cmで行った。

イ. 小型落下試験装置

小型落下試験装置（図4）は、ドラムでの分離実験を平板に置き換えた装置である。その仕様

は、高さ 30cm、幅 15cm のステンレス製平板電極を 20cm の間隔で平行に設置し、陽極側を陰極側より 12cm 高く設定した。図に示すとおりサンプルは陰極に対して上方 4cm、陰極からの距離 5cm の位置から落下させた。電界の強さは 0～950V/cm の範囲に設定した。試験は次の事項について行った。

(ア) 電界強度が自由落下する各成分の運動に及ぼす影響

パイライト、カルサイト、アルミナ、クォーツを用いて落下試験を行った。試験は 0～950V/cm の範囲で電界強度を変えて行い、各成分の分散特性について検討した。

(イ) 石炭の炭種、粒径、密度及び水分の選炭特性への影響

無煙炭、アダロ炭、東林炭の 3 種の石炭について 500V/cm の電界下で落下させた際の、落下位置毎の重量分布、密度、水分、灰分等を測定した。また、東林炭については硫黄分も測定した。測定は各石炭おおよそ 0, 1, 2% の水分の試料について行い、無煙炭については比重を変えた際の影響を、アダロ炭、東林炭については粒径を変えた際の影響について調べた。

⑤ ドラム型装置による試験

平行板電極を使った石炭及び各種成分の基礎物性、電場存在下での分散特性等の試験の他にドラムを用いた装置について、次の項目について検討した。

ア. 供給速度、回転ドラムの速度等の選炭特性への影響

供給速度を 92～171cm/min、ドラム速度を 30, 50rpm で試験を行い、選炭に影響を及ぼす諸条件を検討した。

イ. 正極接地の検討

これまでの試験では、ドラムをアースに、電極を正の電位にして試験を行っていた。本項では、ドラムをアース、電極を負の電位にした際の分散特性を調べ、その効果について検討した。

ウ. 石炭粒子のドラム上での挙動に関する解析

石炭粒子とドラム (SUS304) の摩擦は少なく、ドラム上の石炭粒子の滑りについて基礎データを求めることも、装置開発には必要である。本項では、250-500 μm 、500-1000 μm 、1000-2000 μm の 3 つの中梁山炭を用いて、ドラム上の滞留時間及び剥離角度を測定し、理論式から求めた挙動と比較した。

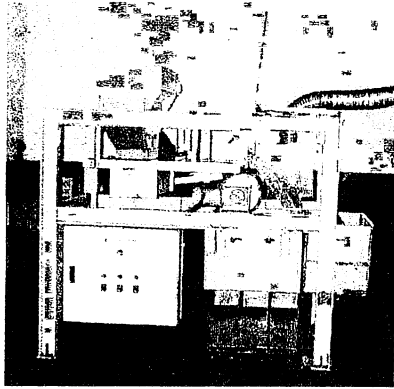
エ. 複合電極の検討

通常電極の後部に補助電極をつけて複合電極を作成した。電極線の間隔を広げて電極線に衝突して落ちるサンプルの量を減らした。そのことにより歩留まり、選炭効率の向上を図った。

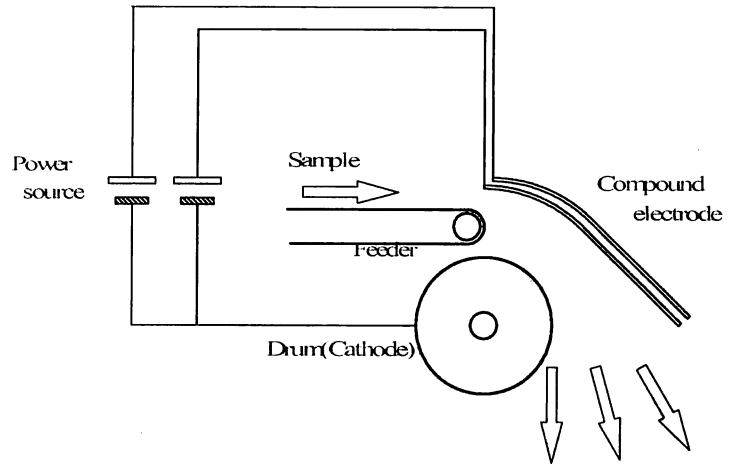
オ. 中国に設置した選炭装置での試験

日本国内での試験結果をもとに、複合電極を用いて選炭試験を行った。また、選炭効率を更に上げるために、二段式選炭装置を作製し、選炭試験を行った。

ア～ウまでは、ユニレックスと北海道立工業試験場で、エ、オは南桐炭坑で試験を行った。南桐炭鉱における試験に使用した装置及び複合電極の写真と概念図を図 5 (a) と (b)、図 6 に示す。



(a) 鑑識選炭実機の写真



(b) 選炭システムの概念図

図5 ドラムタイプ選炭システム

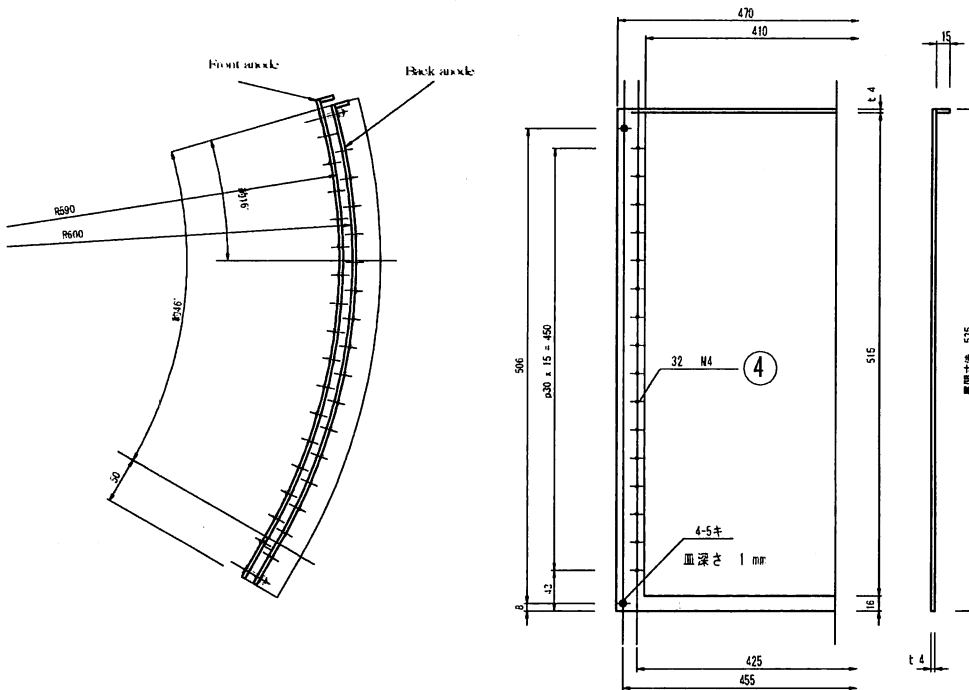


図6 複合電極

4. 結果・考察

(1) 石炭の物性

① 工業分析値

アダロ炭、無煙炭、中梁山炭、東林炭の無水ベース灰分値を表1～4に示す。

表からアダロ炭は、非常に灰分値が少なく、本研究において日標とする精炭の疑似モデルへの適合性が高い石炭であることがわかる。

無煙炭は灰分の挙動を見るために使用した。無煙炭は密度が 1.6g/cm^3 以上のサンプルでも硫黄分は $0.5\text{wt}\%$ 程度の非常に低い値であり、灰分の挙動を調べるには適したサンプルであることが分かった。

中梁山炭、東林は灰分値が高く、低密度ものほど灰分値は低くなっている。これは全ての石炭で同じ傾向が現れており、低密度の精炭成分に高密度の灰分が混ざりその比率（灰分値）が大きくなると密度も大きくなるものと推定される。中梁山炭について各粒径の密度と灰分値の相関をプロットすると図1のようになる。この図を見ると密度と灰分値は粒径値にかかわらず非常に良い相関があり、中梁山炭の場合は概ね1.5以下のものが比較的良質な石炭であるといえる。また、図のように良い相関あると言うことは、密度を簡易的な品質管理の評価パラメータとして使用できる可能性もあるものと思われる。

表1 中梁山炭の灰分含量

Grain size (μm)	Ash content (wt%)					
	Original coal	Density (g/cm^3)				
		1.2-1.3	1.3-1.4	1.4-1.5	1.5-1.6	1.6-
125-250	22.2	-	3.4	10.6	23.3	60.5
250-500	-	-	20.0	17.0	24.9	65.7
500-1000	20.0	3.7	9.0	16.1	28.5	64.4
1000-2000	21.6	5.4	8.5	16.0	24.8	63.3

表2 アダロ炭の灰分含量 (wt%)

Grain size (μm)	Density (g/cm^3)	
	~ 1.3	1.3 \sim 1.4
125-250	-	0.73
250-500	0.80	1.08
500-1000	0.70	-
1000-2000	0.83	-

表3 無煙炭の灰分および炭素含量 (wt%)

Grain size (μm)		Density (g/cm^3)				
		~ 1.3	1.3 \sim 1.4	1.4 \sim 1.5	1.5 \sim 1.6	1.6 \sim
125 \sim 250	Ash	4.71	4.47	11.59	26.43	59.28
	Fixed carbon	80.60	76.51	77.81	62.11	26.54
250 \sim 500	Ash	3.19	9.68	13.55	28.44	62.16
	Fixed carbon	82.02	78.14	76.48	60.23	24.40
500 \sim 1000	Ash	2.12	6.14	12.34	23.38	60.02
	Fixed carbon	80.43	81.67	78.03	65.33	27.72
1000 \sim 2000	Ash	-	6.70	10.46	24.93	67.99
	Fixed carbon	-	81.01	80.43	64.09	20.30

表4 東林炭の灰分含量

Grain size (μm)	Ash content (wt%)
75-125	0.87
125-250	16.34
250-500	19.08
500-1000	21.70
1000-2000	31.32

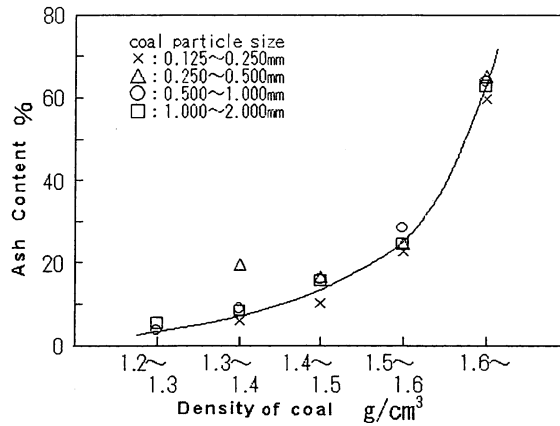


図7 中梁山炭の密度と灰分含量の関係

②形態別硫黄分析

中梁山炭の各フラクションの無機硫黄と有機硫黄の分析結果を表5及び図8～10に示す。

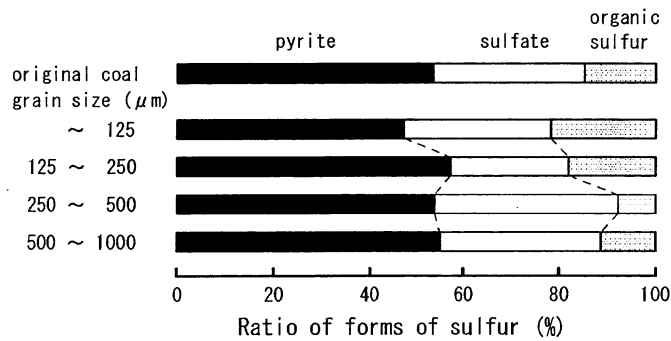


図8 硫黄形態存在比

表5、図8から明らかなように粒径の違いによる硫黄形態の顕著な違いは見られず無機硫黄が80～90%、有機硫黄が10～20%となっている。また、密度フラクション別の分析では、図9に示したように密度が小さい石炭ほど硫黄の含有量が低くなる。また、図10から明らかなように密度の大きい石炭では無機硫黄が多くなり、その中でもパイライト由来の硫黄の比率が高くなる。前述したように石炭中の硫黄の50～60%はパイライト由来で、本研究では、乾式選炭によるパイライトの除去を目的としている。次項以降でパイライトの電気的特性及び選炭時の挙動等について検討する。

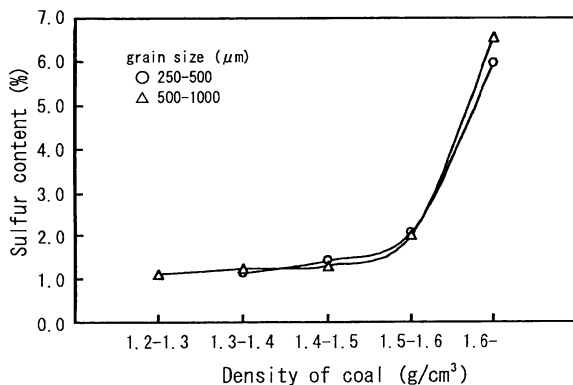


図9 密度と硫黄含量との関係

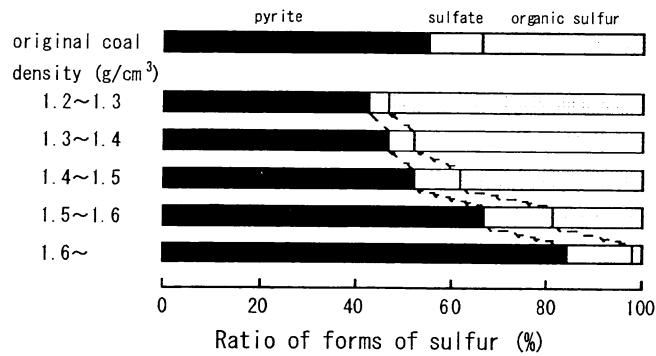


図 10 沈降した石炭と扶養した石炭の硫黄形態の存在比

表 5 中梁山炭の硫黄含量

Sample name		Ratio to total sulfur (wt%)			Total sulfur (wt%)
		Inorganic sulfur		Organic sulfur	
		Sulfate	Pyrite		
Grain size	0~125 (μm)	21.64	47.24	31.12	2.30
	75~125 (μm)	3.47	57.67	38.85	1.99
	125~250 (μm)	17.95	57.26	24.79	1.87
	250~500 (μm)	7.76	53.74	38.50	1.83
	500~1000 (μm)	11.27	54.97	33.76	2.25
Density (Grain size 250~500 μm)	1.3-1.4 (g/cm^3)	3.93	45.14	50.94	1.12
	1.4-1.5 (g/cm^3)	9.58	50.39	40.03	1.40
	1.5-1.6 (g/cm^3)	12.93	49.64	37.43	2.07
	1.6- (g/cm^3)	14.76	83.86	1.37	5.97
Density (Grain size 500~1000 μm)	1.2-1.3 (g/cm^3)	3.85	42.84	53.30	1.09
	1.3-1.4 (g/cm^3)	5.28	46.99	47.73	1.21
	1.4-1.5 (g/cm^3)	9.69	52.17	38.14	1.29
	1.5-1.6 (g/cm^3)	14.61	66.62	18.77	2.00
	1.6- (g/cm^3)	13.76	84.23	2.01	6.56

(2) 帯電量測定装置を用いた灰分及び石炭の電気的特性の評価

① 測定装置等に関する検討

粉体帯電量は測定系及び測定条件により著しく変化する。本研究では、石炭及び灰分成分の帯電量測定に先立ち標準粉体であるガラスビーズ（粒径100 μm 、社団法人日本粉体工業協会）を用いて、測定に係る各種パラメータの影響及び測定値の精度等について検討した。

ア. 帯電量の励起電圧依存性

励起電圧は電極で励起させるイオンの量を決定する因子である。図 1 1 に励起電圧に対する帯電量の相関を示す。3.2kVまでは、ガラスビーズは全く帯電していないこれは、その電圧以下ではイオンが励起されていないことを示している。図から3.6kV以上ではガラスビーズの帯電量は著しく増加し、イオンが励起されていることがわかる。3.6kV以上での帯電量はほぼ一定なので本研究では4.5kVで実験を実施した。

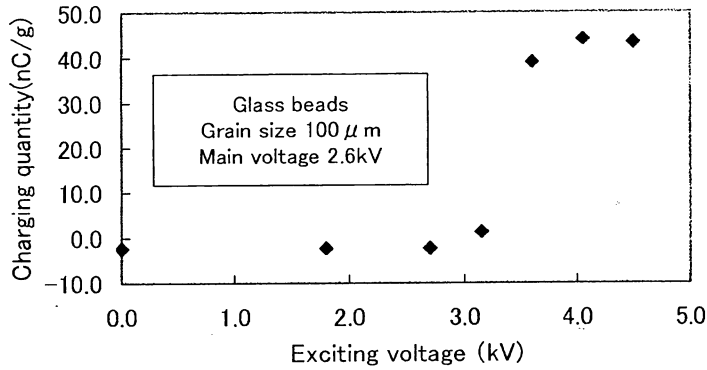


図11 励起電圧と耐電量の関係

帯電量の主電圧依存性

主電圧は、電極で励起されたイオンを荷電空間に供給する速度を決定する因子である。次に示すポーテニエールの式から⁽³⁾、粒径及び誘電率が決まれば主電圧は帯電量と比例関係となる。

$$Q_s = 4\pi \epsilon_0 \frac{\epsilon_s}{\epsilon_s + 2} a^2 E \quad (1)$$

ここで Q_s は理論最大帯電量(C)、 ϵ_0 は真空の誘電率(F/m)、 ϵ_s は被荷電物体の比誘電率、 a は被荷電物体の半径(m)、 E は電界強度(V/m)である。

図12に主電圧に対する帯電量の相関を示す。4kV程度まではほぼ直線的に増加し、それ以上電圧を上げて帯電量は増加していない。4kV以上では粉体表面の帯電状態が飽和に近づいているためと思われる。本研究では、ほぼ直線性が成立している2.6kVで測定を実施した。

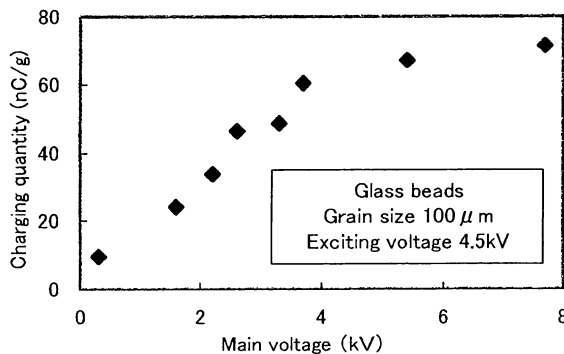


図12 主電圧と耐電量の関係

イ. 帯電量測定値の再現性

粉体の帯電量は測定条件により著しく変化する。本研究で用いた測定系の再現性について

Table 6 Reproducibility of experiment.

Feeding rate (g/s)	Number of times	Average of charging quantity (nC/g)	Standard deviation of charging quantity (nC/g)
0.007-0.011	8	38.1	1.8
0.022-0.043	8	32.4	2.6
0.12-0.153	10	21.8	1.7

供給速度 約0.01g/s、0.02~0.04g/s、0.12~0.15g/sの3領域で再現性の試験したところ表6のようになり、それぞれの領域における再現性は良いことがわかった。

ウ. 帯電量の試料供給速度依存性

本研究で用いた強制帯電装置は自由落下してくる粉体に直交してイオンを衝突させ帯電させる機構になっている。粉体の供給量が増加すると粉体に十分にイオンが衝突しない場合が考えられ、そのため荷電領域への粉体の供給速度は帯電量に大きな影響を及ぼすパラメータであると考えられる。

粉体供給速度と単位重量あたりの帯電量の相関を図13に示す。図から供給速度が上がると帯電量は低下している。また、供給速度0.02g/s以下では帯電量はほぼ一定値(37nC/g)となっている。一方、本研究で使用した帯電条件下での100 μ mガラスビーズ球(比誘電率は7.4F/m、比重は2.3g/cc)の理論最大帯電量はポータニエールの式及び高抵抗粒子に対する補正係数から41nC/gと計算される²⁻⁴⁾。本実験で使用したボクサーチャージャーと同様の装置において理論帯電量からのずれとして荷電効率0.91が使われているが²⁾、その値を使用すると測定値は理論最大帯電量と一致した。

したがって0.02g/s以下の供給速度では、粉体は十分に帯電しており、ほぼ理論最大帯電量になっていると考えられる。

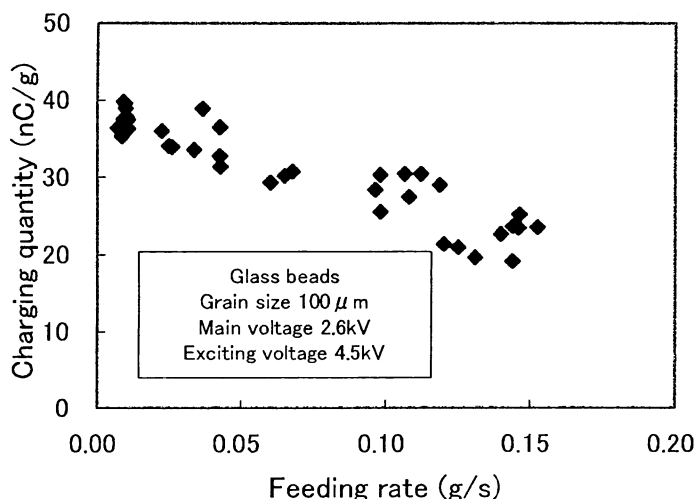


図13 帯電量の試料供給速度依存性
(ガラスビーズ)。

② 各物質の電気特性

試料として、クォーツ、アルミナ、カルサイト、パイライト、中梁山炭を用いた場合の帯電量と粉体供給速度の相関を図14~15に示す。単位重量あたりの帯電量は、供給速度の減少とともに増加しており、物質によってばらつきはあるものの、概ね0.02-0.05g/s以下でほぼ一定値となっている。本研究ではそれらの値をそれぞれの図から求め最大帯電量とした。また、その値から各粉体を直径100 μ mの球形と近似し、文献値の密度を用いてポータニエールの式から比誘電率を算出すると表4のようになった⁵⁻⁷⁾。表には、クォーツ、アルミナ、カルサイトの比誘電率の文献値も記載したが⁵⁾、文献値と本研究で算出した値はほぼ一致した。なお、パイライトの比誘電率の文献値はなく、本研究の結果から11であることがわかった。また、中梁山炭については石炭は産地等で物性も変わるため比較が難しいが、一般的に比誘

電率は2～4といわれており、文献値と一致している⁸⁾。

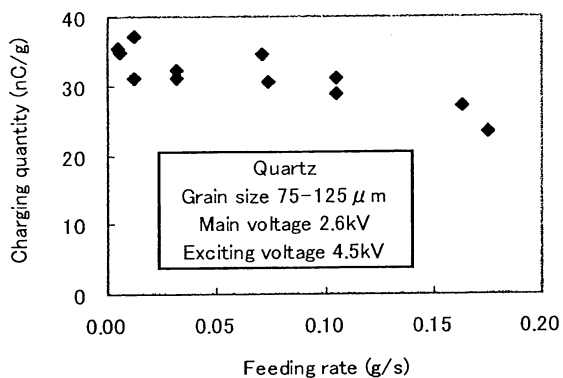


図14 試料供給速度と帯電量の関係
(クォーツ)

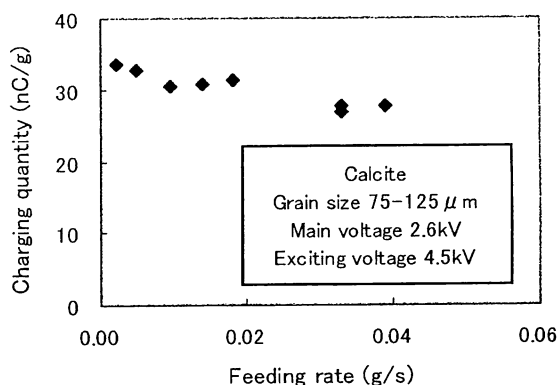


図15 試料供給速度と帯電量の関係
(カルサイト)

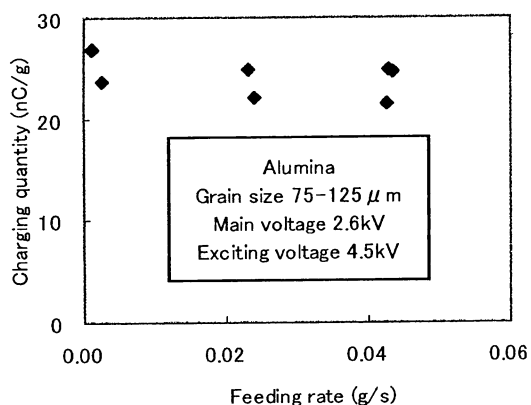


図16 試料供給速度と帯電量の関係
(アルミナ).

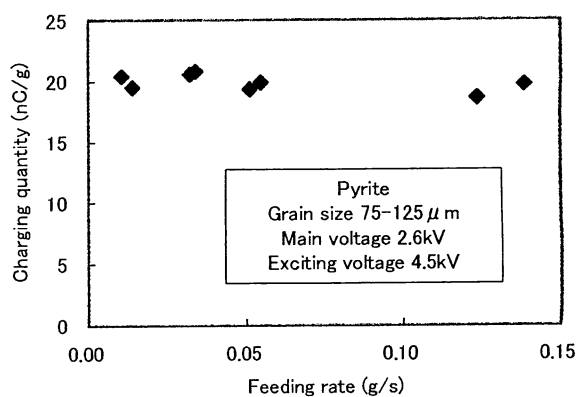


図17 試料供給速度と帯電量の関係
(パイライト).

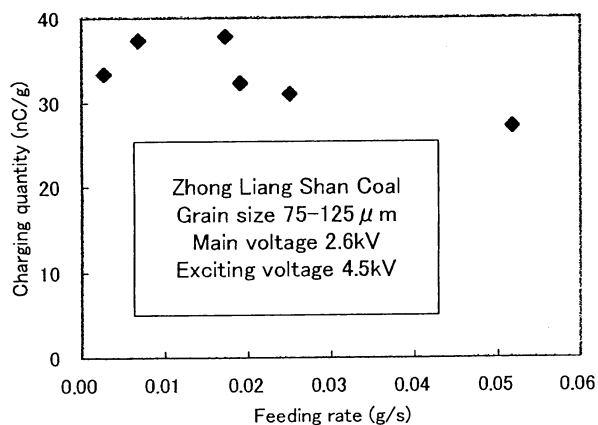


図18 試料供給速度と帯電量の関係
(中梁山炭).

表 7 帯電量から計算した比誘電率

Sample name	Charging quantity (nC/g)	Density (g/cm ³)	Relative dielectric constant	
			Calculated value	Known value ⁽⁵⁾⁽⁸⁾
Alumina	25.2	4.0	12	10
Quartz	34.6	2.2	5.0	4.6
Calcite	31.4	2.7	6.8	8.5
Zhong Liang Shan Coal	34.4	1.5	2.3	2-4
Pyrite	19.9	4.9	11	-

③ 粒径の電気特性への影響

粉体の帯電に有効な領域を確定させることは実際の乾式選炭のシミュレーションに重要な因子である。

本研究では、125-250、250-500、500-1000、1000-2000 μmの中梁山炭（比重1.3-1.4g/cm³）を用いて各粒径の帯電量を測定した。各粒径について各区分の中央値を平均粒径として表面積を求め、それに対して帯電量をプロットした結果を図19に示す。図から帯電量と表面積はほぼ直線関係にあることがわかる。このため、石炭の帯電は内部の細孔はほとんど寄与しておらず、粒子の表面積が支配因子であることがわかった。また、この図が直線であることは、比誘電率が粒径に依存せずほぼ一定であることも示唆する。

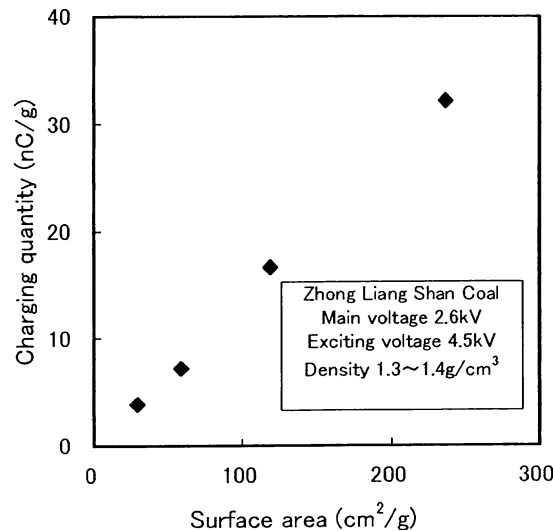


図 19 表面積と耐電量の関係

④ 密度による電気特性の違い

密度の異なる石炭での帯電量測定結果を表8に示す。表に示した値は強制帯電せずに振動フィーダの先端に付けた小孔からファラデーケージに落とした際の帯電量である。したがってこの帯電量は粉体の元々の帯電状態を示す値である。

表から密度の上昇とともに帯電量は増加していることがわかる。これは、密度の上昇とともに高い比誘電率を持つ灰分含量が増加し、その結果、粉体全体としての比誘電率が増加したためと予想され、そのことは表1の工業分析結果と符合する。

表 8 帯電量と石炭密度との関係

Grain size (μm)	Sample name	Charging quantity nC/g)		Ash content (wt%)	Sulfur content (wt%)
		Neutral	Charged by boxer charger (Main2.6kV, Excite4.5kV)		
125-250	Zhong Liang Shan Coal	-0.4	28.9	22.2	1.9
	Dong Lin Coal	-2.4	31.7	16.3	3.9
	Smokeless coal (d=1.3-1.4)*1	0.1	18.3	9.7	Tr.
	Adaro coal (d=1.3-1.4)*1	-1.1	16.9	1.1	Tr.
500-1000	Zhong Liang Shan Coal	-0.3	5.8	-	
	Dong Lin Coal	-0.1	6.9	-	

*1 これらの帯電量は250-500 μm サンプルの値を用いて計算された

表 9 いくつかの石炭における帯電量、灰分および硫黄含量

Density (g/cm ³)	Charging quantity (nC/g)
1.3-1.4	-0.27
1.4-1.5	-0.28
1.5-1.6	-0.33
1.6-	-0.77

⑤ 石炭種による違い

石炭の種類による帯電量の違いについて測定した結果を表 9 に示す。表には東林炭と中梁山炭の 125-250 μm 、500-1000 μm の 2 つの粒径について帯電量測定した結果を示す。また、125-250 μm の項には、比較のため 250-500 μm の無煙炭及びアダロ炭の帯電量を 125-250 μm へ換算した値も記載してある。表の右欄には灰分と硫黄分も示してあるが、灰分が高いものが帯電量が多くなっている傾向があるのがわかる。このことは、石炭の誘電率に比べ灰分の誘電率が高く、帯電しやすいことと符合する。また、中梁山炭と東林炭でそれらの関係は逆転しているが、これは中梁山に比べて東林炭に大量のパイライトが含まれていることに起因するものと思われる。

(3) 平行板電極での落下試験

① 大型落下試験装置による実験

ア. 帯電量と落下位置

大型平行板装置で東林炭を落下させた際の帯電量と重量分布を図 20 に示す。帯電量は落下位置がマイナス側（アース側）であるほど高く、プラス側（電極側）であるほど低くなっている。この帯電状況は電場から予想される帯電した粒子の移動方向に符合している。

イ. 石炭中の水分値の影響

図 21 に水分を様々に変えた場合の落下位置毎の重量分布を示す。図で 0cm の位置が電場をか

けない際の落下位置で、サンプリングは-17cmから+17cmの範囲で行っており、-側が+に帯電させた電極側、+側がアース電極側に相当する。また、図で両端が高くなっているのは電極に当たって落ちたサンプルが含まれるためである。図から、最大ピークの量は0%で最も高い値の約15%となっており、水分が上がるにつれて重量分布はなだらかになり、0%ではその量は5%程度になっている。このことは、水分が含有することにより、誘電率が上がり、粒子が帯電しやすくなったためと推定される。また、ピーク位置も0%では中心付近(0cm)であるのに対し、水分上昇とともに+側にシフトしている。

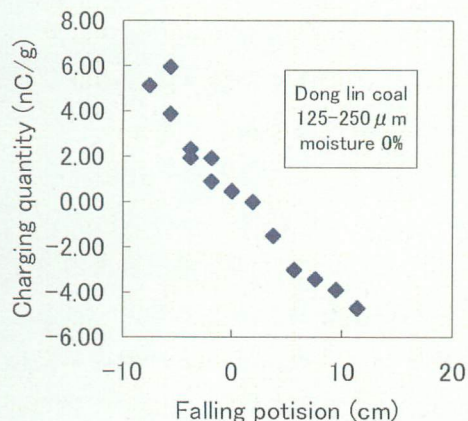


図 20 落下位置と帯電量との関係

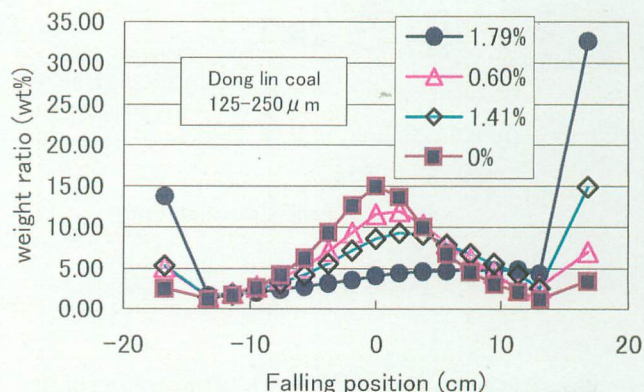


図 21 東林炭の分布

落下位置毎の密度、灰分を測定した結果を図 22、23 に示す。落下位置の意味は図 21 と同じである。図 22 には 0%と 1.8%の両端の値のみ示してある。この図をみると 0%では、中心部が低密度（下に凸）なのに対し、1.8%では両端が低密度（上に凸）になっており、両者は両極端なプロファイルとなっている。このことは、0%では、精炭分は誘電率が低いためほとんど帯電せず、帯電しやすい灰分成分の方が電場の影響を受け易く、1.8%では高誘電率である水が粒子内に存在することで、誘電率の影響が少なくなり、精炭成分も供給段階で帯電するようになり、その結果密度の軽い精炭成分が飛びやすくなったものと解釈される。図 23 の灰分の結果を見ると灰分値も密度と同様の傾向を示しており、0%では下に凸になっているが水分の上昇とともにほぼ水平(0.6%)になり、1.4%以上では上に凸になっている。これらの結果は水分により 2 種の選炭方法があることを示唆するが、現実的に考えると、実際の石炭には数%の水分が含まれていることが多い。

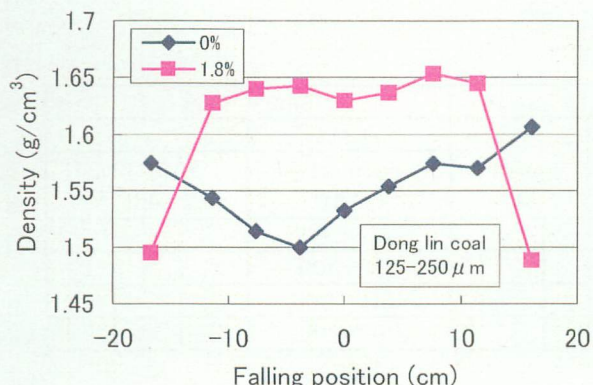


図 22 落下位置による密度の違い

と同様の傾向を示しており、0%では下に凸になっているが水分の上昇とともにほぼ水平(0.6%)になり、1.4%以上では上に凸になっている。これらの結果は水分により 2 種の選炭方法があることを示唆するが、現実的に考えると、実際の石炭には数%の水分が含まれていることが多い。(南桐炭坑において風乾後保管されている石炭も 2%程度の水分を含有していた。) そのため、0%の際に見られるようなプロファイルにはなりづらく、1.8%のような

プロフィールが現実的であり、乾燥した石炭を効率的に選炭のためにはむしろ加湿することも視野に入れる必要があるものと思われる。

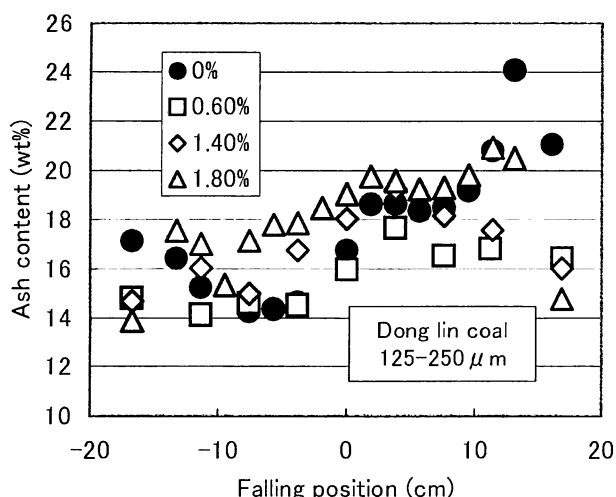


図 23 落下位置による灰分含量の違い

低いため、この小型装置では顕著な移動現象が観察されなかった。このことについては落下シミュレーションの項で説明する。また、アルミナ、パイライトは表 7 のよう誘電率が高く、この供給装置ではサンプルの供給時に帯電し逆の方向の正極側に移動したものと考えられる。すなわち、この結果は比誘電率の大きい物質ほど電界の強さによって移動距離をコントロールできることを示すものである。

イ. 石炭粒子の分散特性

東林炭、アダロ炭、無煙炭について石炭粒子の分散特性を測定した。実験パラメータは表 10 に示したとおりである。無煙炭は密度を 5 フラクションに分け、水分、密度が灰分の分散特性に及ぼす影響を測定した。東林炭、アダロ炭は粒径を 4 フラクションに分け水分、粒径が石炭質の分散特性に及ぼす影響を測定した。なお、この実験は図 4 の小型実験装置を用いて行い、電界強度は 500V/cm とし、図中の落下位置は 0 の位置がコンベアの真下でマイナス表記は陰極方向への移動、プラス表記は陽極方向への移動を表す。

表 10 実験条件

Smokeless coal				Tong Ling coal			Adaro coal			
Grain size	125-250 (μm)			Grain size (μm)	Moisture content (%)		Density	1.3-1.4 (g/cm^3)		
Density (g/cm^3)	Moisture content %		Grain size (μm)				Moisture content (%)			
0.0-1.3	○	—	○	125-250	○	○	125-250	○	—	○
1.3-1.4	○	○	○	250-500	○	○	250-500	○	—	○
1.4-1.5	○	—	○	500-1000	○	○	500-1000	○	—	○
1.5-1.6	○	—	○	1000-	○	○	1000-2000	—	—	—
-1.6	○	—	○							

②小型落下試験装置による実験 (図 3)

ア. 電界強度が各成分の挙動に及ぼす影響

ドラム式選炭装置を想定した小型実験装置によるパイライト、カルサイト、アルミナ、クォーツの落下実験結果を図 24～図 27 に示す。電界強度の強さがサンプルの移動に大きく影響されるのはパイライトとアルミナであり、クォーツ、カルサイトについてはほとんど変化がみられなかった。この結果からパイライト、アルミナについては印加電圧による落下位置の制御が容易であると考えられる。一方、クォーツ、カルサイトは誘電率が極めて

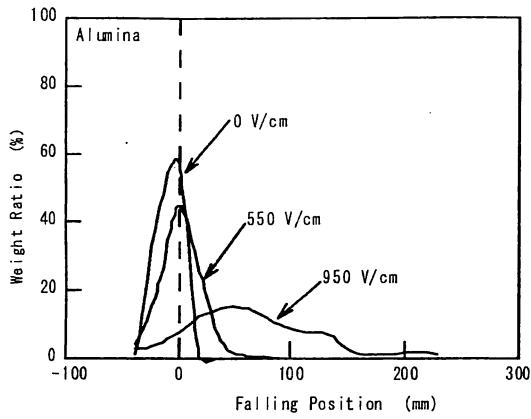


図 24 落下位置とアルミナの重量比

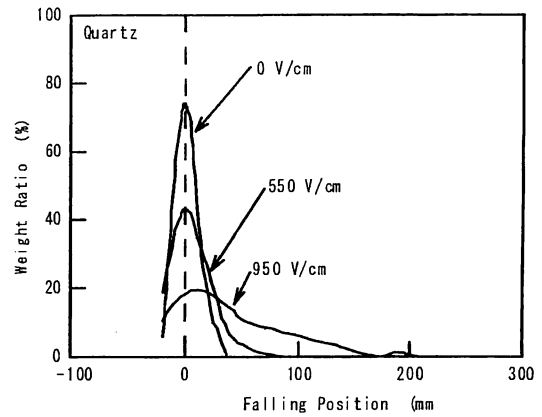


図 25 落下位置とシリカの重量比

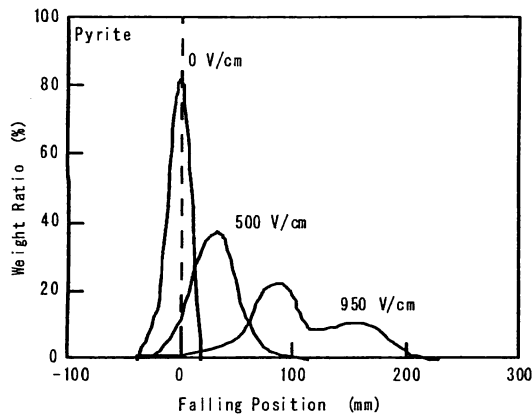


図 26 落下位置とパイライトの重量比

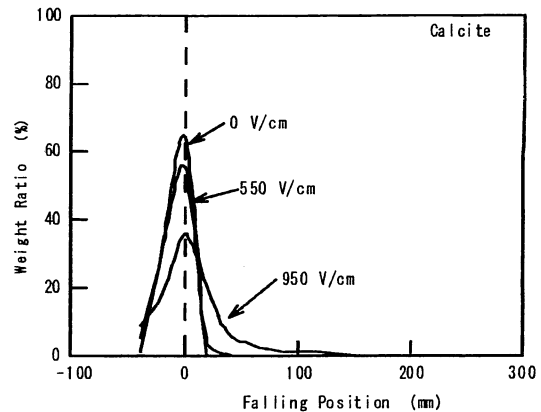


図 27 落下位置と炭酸カルシウムの重量比

(ア) アダロ炭の分散特性

アダロ炭の分散特性を図 28～30 に示す。この石炭は灰分が 1% 程度、硫黄分が痕跡程度でほとんど含まれていない。また、密度は 1.4g/cm^3 以下であるので精炭として模擬でき、この実験では灰分の影響をほとんど受けない石炭質の挙動を観察することが可能となる。125～250 μm のサンプルは図 28 に示したように、水分値にかかわらずコンベアに付着し陰極側に落下した。また、図 29 に示したように、250～500 μm のサンプルは陽極側に引き寄せられ、500～1000 μm のサンプルはコンベアの真下に落下した。ここで帯電量は表面積に比例するため各フラクションの粒子 1 個あたりの帯電量の比率は粒径が 125～250 μm の粒子を 1 としたとき 250～500 μm の粒子は 1/2、500～1000 μm の粒

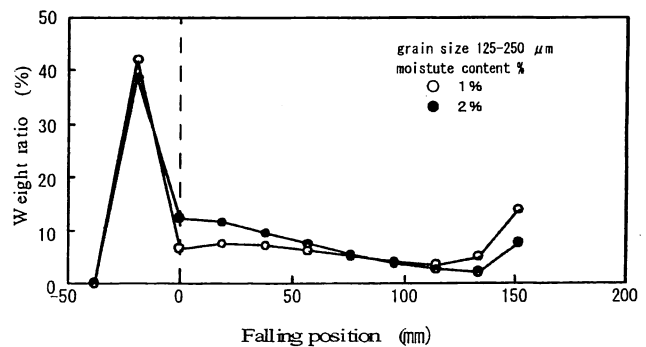


図 28 アダロ炭の分散特性

子は 1/4 となり、それぞれの粒子の重量比率は 8 倍、64 倍となるため粒径の大きいサンプルほど移動には大きなエネルギーを必要とする。あわせて、この石炭は表 2 に示したようにほぼ一様な性状でサンプルの分散に及ぼす影響因子がほとんどないためこのような結果になったと推測される。図 30 のように落下位置と密度には顕著な傾向が見られなかった

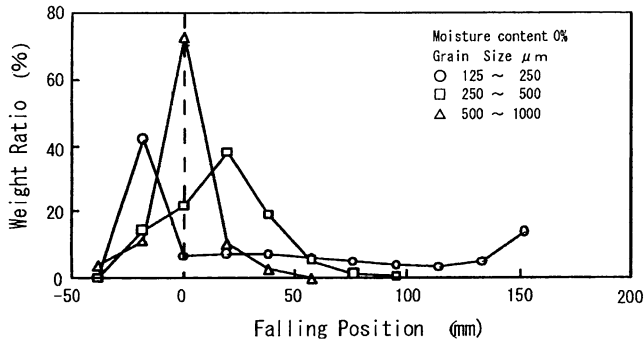


図 29 石炭粒径のサンプル分散特性に与える影響

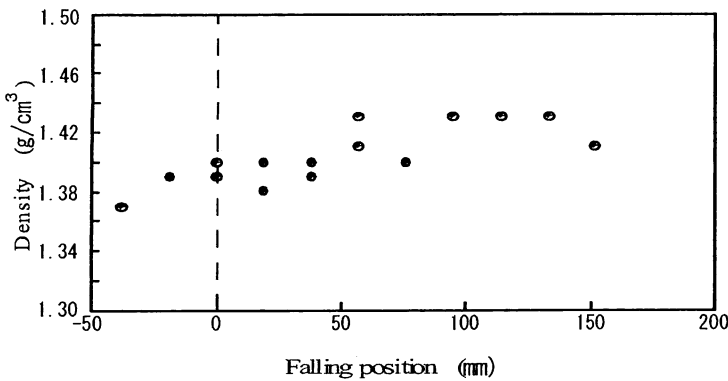


図 30 密度とサンプル分散特性の関係

(イ) 無煙炭の分散特性

無煙炭の分散特性を図 31 に示す。この石炭は前述したように全硫黄分が 0.3%と低いためパイライトはほとんど含まれていないと推測され、灰分の主成分は長石（珪酸塩： $(Ca, Na, K)AlSi_3O_8$ ）と考えられる。このため前述のアダロ炭を比較して帯電特性は若干異なる。図 31 はサンプル密度が分散に及ぼす影響を示す。密度が高くなるほど分散のピークが低くなり広がっているのが

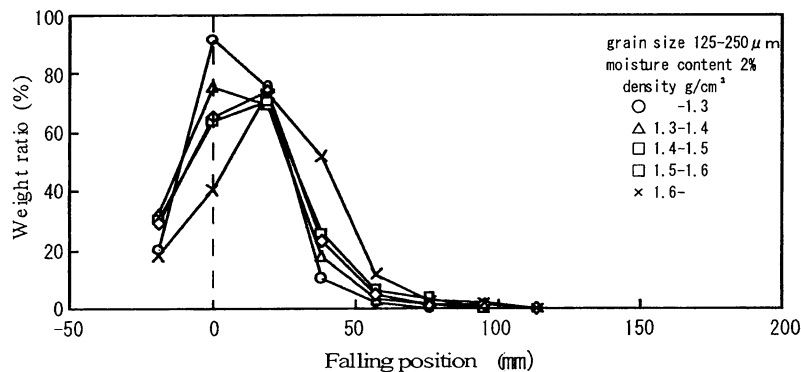


図 31 サンプル分散特性に与える密度の影響

明らかである。アダロ炭では灰分が 1%程度ときわめて低いためサンプルの表面性状は 99%が石

炭質でそのほかの物質の影響を受けないため分散しなかったが、このサンプルでも密度が 1.4g/cm^3 以下ではアダロ炭同様コンベアの真下に落下している。さらに密度が高くなると分散する傾向が顕著になる。〔(3) ②小型落下試験装置〕による実験の結果の中でカルサイト、アルミナ、クォーツにおいて電界強度 550V/cm 程度ではほとんど分散しないことが分かっている。しかし、実際には図 31 のように顕著に分散している。この要因として、石炭中の灰分はより複雑な分子構造をした珪酸塩であることから純物質とは異なった電気特性を持つこと、図 32 の実験結果が示しているように、水分を添加することによって誘電率が大きく変わったことなどが考えられる。この結果は水分の添加によって石炭からの脱灰が可能なことを示唆している。

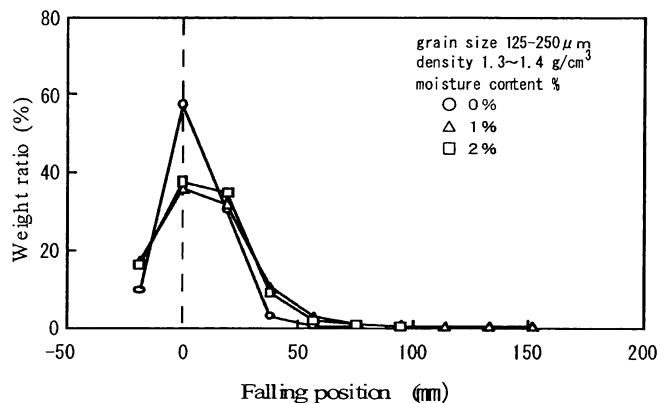


図 32 サンプル分散特性に与える密度の影響

図 33 は分散したサンプルの灰分を分析した結果である。図から明らかなように密度が高くなる（灰分が多く）なるとピークが表れている。なお、密度が 1.6g/cm^3 サンプルでは灰分値が異常に高くなっているが、これはサンプル量が少ないため実験誤差が大きくなったと考えられ実際には左下がりになると推測される。

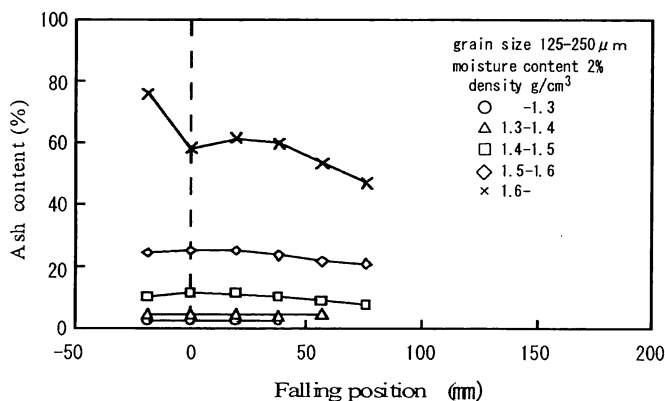


図 33 選炭後の灰分含量

(ウ) 東林炭の分散特性

実験に使用した石炭は南桐炭鉱から入手したもので日本においてサンプル調製した。図 34、35 はサンプル中の水分量が分散に与える影響を測定した結果である。図 34 に示したように水分値

0%では粒径が125~500 μm の小さいサンプルのみが電界の影響を受け分散している。図35は水分値を1%としたときの結果である。どのフラクションのサンプルでも分散する範囲は広くなり明確なピークが確認できる。水分量が2%とさらに高くなると分散が悪くなり東林炭では1%程度の水分値が分散に適していた。

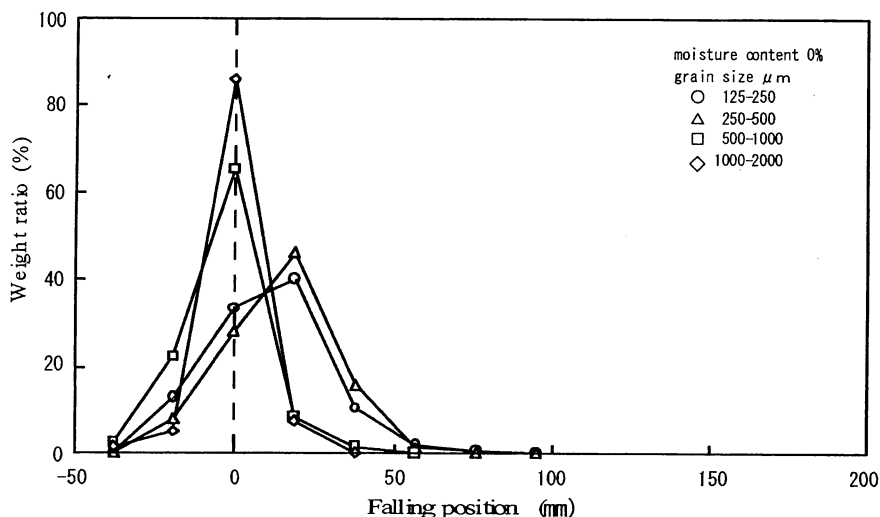


図34 サンプル分散特性に与える水分含量の影響

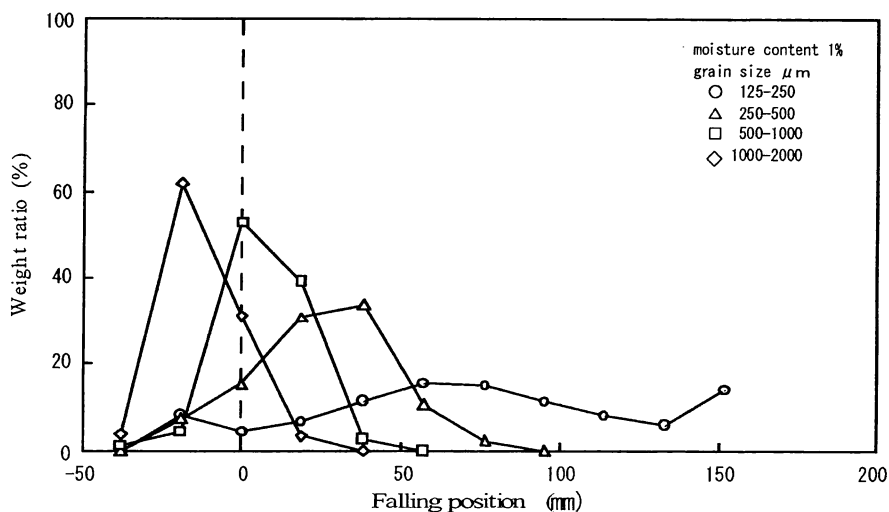


図35 サンプル分散特性に与える水分含量の影響

図36、37、38は粒径125~250 μm のサンプルについて水分値が分散に与える影響を測定した結果である。図36は水分値を0%、1%、2%と変化させた場合の結果である。水分添加量が1%の場合が分散しやすくなっている。これに対応して配分量を分析した結果が図37である。図から明らかのように水分値が1%のとき落下位置50mmで灰分値が最大値となっている。図38はこれらの結果にサンプルの密度を対応させた結果である。前述したように密度と灰分値は比例する強い相関関

係があることが分かる。

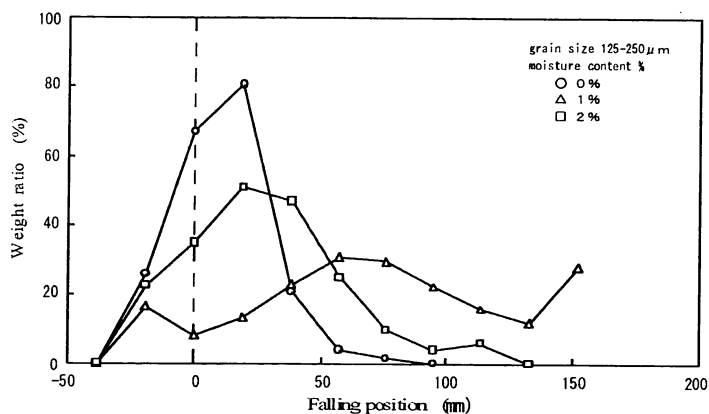


図 36 125-250 μ m のサンプルの重量比

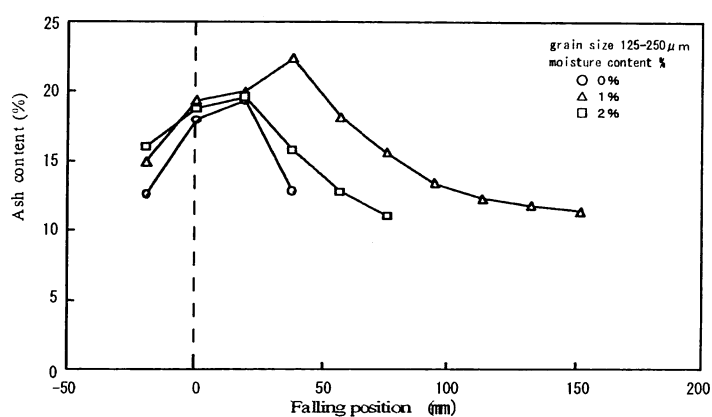


図 37 サンプルの灰分含量

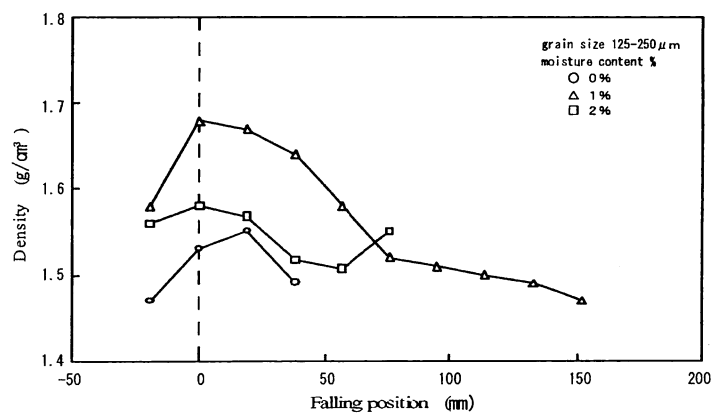


図 38 サンプルの密度

東林炭がアダロ炭、無煙炭と大きく異なる点は他の石炭と比較して広く分散していることにある。この石炭は多くのパイライトを含んでおりこの電気特性が分散に大きな影響を与えていると考えられる。前述の [(3) ②小型落下試験装置] による実験の結果の中で図 24 のパイライトの実験結果 (電界強度: 550V/m) も同様に他の成分と比較してパイライトの分散が大きいことから

同様の結果を導ける。これまでの実験結果で、石炭から灰分を取り除くには水分添加が有効な方法で、パイライトについてはその電気特性の違いから比較的容易に取り除けることが分かった。

これまでの実験では石炭を入手し粉砕・分級して実験に供していた。この方法ではいったん分級し、大きい粒子を機械的に粉砕してさらに分級してサンプルを調整していた。このため切り出した時点で単離していたパイライトや灰分をさらに粉砕し選別を難しくする危険性がある。このような点を踏まえて今後は切り出した石炭を粉砕することなく分級し、選炭現場の状況に適合した選炭装置の開発を継続する。

(4) ドラム型選炭装置を用いた試験

平行板電極を使った石炭及び各種成分の基礎物性、電界下での分散特性等の試験の他にドラム電極を用いた選炭装置についても検討した。

① 供給速度、回転ドラム等の速度の影響

コンベヤーの速度、試料の厚さ、回転ドラムの回転速度などの変化が選別効果に与える影響について再検討した。コンベア速度は92 cm/min、133 cm/min、171 cm/minの速度で電圧は10 kV～30 kVまでに変化させ、石炭粒径は125 μ m以下、125～500 μ m、500～1000 μ m、1000～2000 μ mとした。通常コンベア速度が速くなるとコンベア上の物体は遠くへ飛ぶことになる。しかし、石炭粒径が大きくなるほど遠くへ飛ぶ石炭は少なくなり、石炭粒径が500 μ m以下では逆に遠くへ飛ぶ石炭が多くなっている。この選炭実験で使用した電極は直径0.3 mmの鋼線を密に張った梯子電極である。粒径が500 μ m以下の石炭の平均粒径は約0.3 mmと鋼線の直径とほぼ同等である。又その他の石炭の平均粒径は小さい順に750 μ m、1500 μ mと電極線の2～8倍程度の大きさとなっている。このようなことから粒径の大きい石炭ほど電極線と衝突する確率が高くなり遠くまで飛びにくくなるものと考えられる。この傾向はこの粒径の石炭ではいずれの電圧でも同様で、電圧が低いほど遠くまで飛ぶ石炭は少なくなり、電圧が高くなると遠くまで飛ぶ石炭は多くなる。この現象は単にクーロン力の違いによって起きると考えられる。試料層の厚さとコンベヤーの速度が決まっている状況のもと、回転ドラムの回転速度を30～50 rpmに引き上げて選別効果を考察した。試料層の厚さを3 mm、コンベヤー速度を65 s/m、回転ドラムの速度を30 rpmにしているとき、選別にとって比較的理想的な電極電圧（脱硫率が最も高い(30%～40%程度)）は16 kV前後である。

実験中、コンベヤー速度、試料層厚さなどの変数をそれぞれ変えてきたが、一時間当たりの処理能力は依然として乾式選炭機的设计処理能力の範囲内にあるため、1つの変数を変えたとしても、電極電圧の調整によって一致またはほぼ一致の選別効果を得ることができる。ドラムの回転加速により選別効果が改善できるのは、コンベヤー速度、試料層厚さが変わらない状況のもと、ドラムの回転加速により、電場に入った石炭サンプルの直流電場の強い方向における単位面積の量が減ったためである。

② 正極接地の検討

これまで通常電極による選炭を中心に検討を重ねてきた。以前の報告で針電極を用いたコロナ放電下での選炭では、廃石成分の飛距離が長く、精炭成分がドラム側に集中する傾向を報告した。本実験では接地極性を逆にして重たい廃石成分をドラム側に落下させ軽い精炭成分を電極側

に効率よく集める実験である。実験の結果、線電極では正極接地、負極接地とも予想されたようにほぼ同様の結果となり、その効果は確認できなかった。

③石炭粒子のドラム上での挙動に関する解析

ドラム上での石炭粒子のすべりは重力に大きく影響される。石炭粒子を球形と仮定したときドラム上を転がり落ちるため実際の石炭粒子のすべり解析には適さないため、実際の石炭を回転ドラム上に落下させ、石炭粒子の移動を観察することで解析を行った。

石炭粒子のすべり速度測定は選炭ビデオ映像を用いて、滞留する時間（決めた枠内を通過する時間）を石炭粒子の移動速度から求めた。決めた枠の上端は石炭粒子が落下するドラム直上に位置し、下端は石炭粒子がドラムから剥離する位置（実験装置の回転ドラム直上からの落差のある位置）に合わせてある。粒径が500～1000 μm の5つの粒子を選択し、それらが枠内を通過する時間の測定し平均値を滞留時間とした。この結果をもとに印加電圧がない場合の石炭粒子の落下について数値計算を行った。その結果を図39に示す。図で黒い石炭粒子の軌跡であり、緑色線が計算値である。両者はよく一致しており、石炭粒子のドラム上の挙動を解析する際は、本研究で用いたような、石炭粒子のドラム上の滑りも考慮したモデルを使用する必要があることがわかる。また、他の粒子の測定結果を表11に示す。表から粒径が増すにつれて、滞留時間が少なくなるとともに剥離角度が大きくなっている。このような粒径の違いも選炭時の石炭粒子の挙動に影響を及ぼすファクターの一つであり、その挙動を厳密に解析するには考慮する必要があることがわかる。

表11石炭粒のドラム上での滞留時間と分離角度

Grain size (μm)	250-500	500-1000	1000-2000
Staying time (sec)	0.55	0.38	0.32
Separating angle (ra)	0.188π	0.2π	0.231π

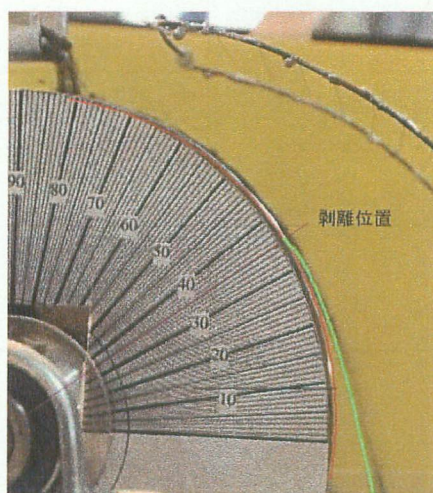


図39 ドラム上における石炭粒の動き

④複合電極の検討

図40のようにこれまでの電極は単列であり電極前面の電界分布は不均一になる。これを避けるために印加電圧を上げると図41のようにほぼ一様な電界分布となるが、これまでの実験

でわかっているように選別の効果はなくなる。

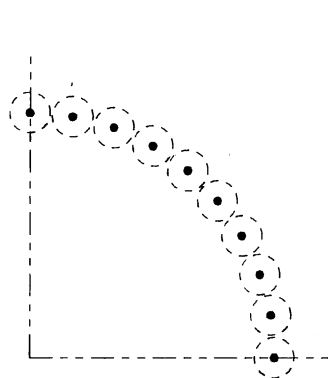


図 40 電場
(低電圧)

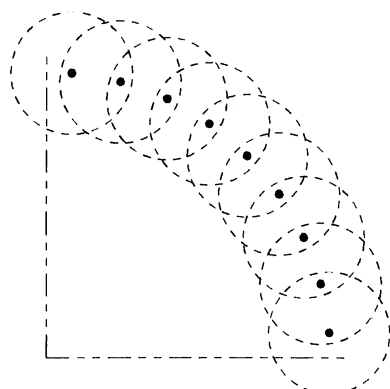


図 41 電場
(高電圧)

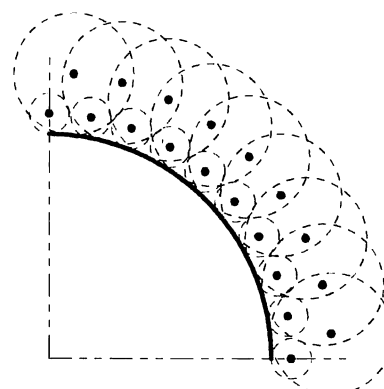


図 42 電場
(複合電極)

また、梯子電極を使用して電極の密度を高くした場合、石炭が電極に衝突し選炭効率は低下する。一方、電極密度を下げると強い電界が得られないため同様に選炭効率は低下する。このような現象を解消するため、図 42 に模式的に示すように前方の電極を補完する形で後方に同様の電極を千鳥配列に設置し、前方の電極と後方の電極に異なった電圧を印加して選炭試験を行った。その結果を表 12 に示した。前後の電極電圧を等しくしたときの脱硫率を基準にして灰分及び硫黄分の残留率を比較すると、前方電極の印加電圧 19kV、後方電極の印加電圧 15kV で脱硫効率を 4%、脱灰効率を 11%改善することができた。マイナス表記は改善されずに基準値よりも高くなったことを意味する。

表 12 脱灰および脱硫に与える複合電極の効果

Voltage of front electrode	Voltage of back electrode	Improvement ratio of deashing	Improvement ratio of desulfurizing
19 kV	19 kV	base value	base value
	18 kV	4.7%	4.6%
	17 kV	7.0%	1.2%
	16 kV	9.1%	3.4%
	15 kV	11.1%	4.0%
17 kV	17 kV	base value	base value
	16 kV	2.0%	-1.1%
	15 kV	8.8%	0.8%
	14 kV	10.5%	-2.4%
14 kV	14 kV	base value	base value
	13 kV	1.9%	2.3%
	12 kV	9.3%	3.6%

⑤ 中国に設置した選炭装置での試験

日本国内での基礎試験結果をもとに中国重慶市南桐炭鉱において、複合電極を装着した装置を用いて選炭試験を行った。また、選炭効率をさらに向上させるため、二段式選炭装置を試作し、選炭試験を行った。二段式選炭装置のフロー図を図 43 に、設計図を図 44 に、選炭試験結果の一例を表 13 に示す。東林炭の場合、図 37、38 からドラム側に灰分及び密度が低い精炭が分布する

ことが予想される。そのため、図 43 のフロー図では、ドラム側で、精炭を採取する構造となっている。表 13 の上段が複合電極の結果、下段が二段式選炭装置の結果である。表にしめすように複合電極では歩留まり 72.5%で脱灰率 35.7%、脱硫率 42.4%、二段式選炭装置は歩留まり 71.3%で脱灰率 44.0%、脱硫率 38.4%の良好な結果を得ることができた。

表 13 複合電極と多段式装置による選炭実験結果

Grain size (μm)	Machine	Desulfurization ratio (wt%)	Deashing ratio (wt%)	Yield rate (wt%)
125-250	Single stage	42.4	35.7	72.5
500-1000	Multi stage	38.4	44.0	71.3

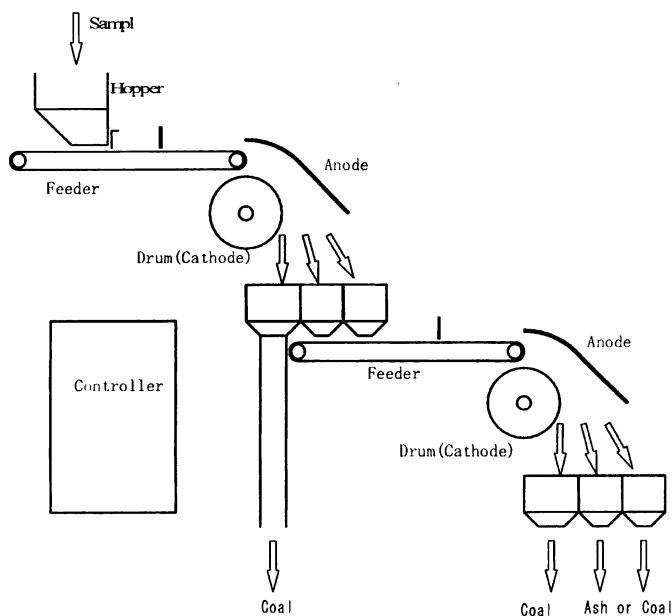


図 43 二段式選炭装置のフロー図

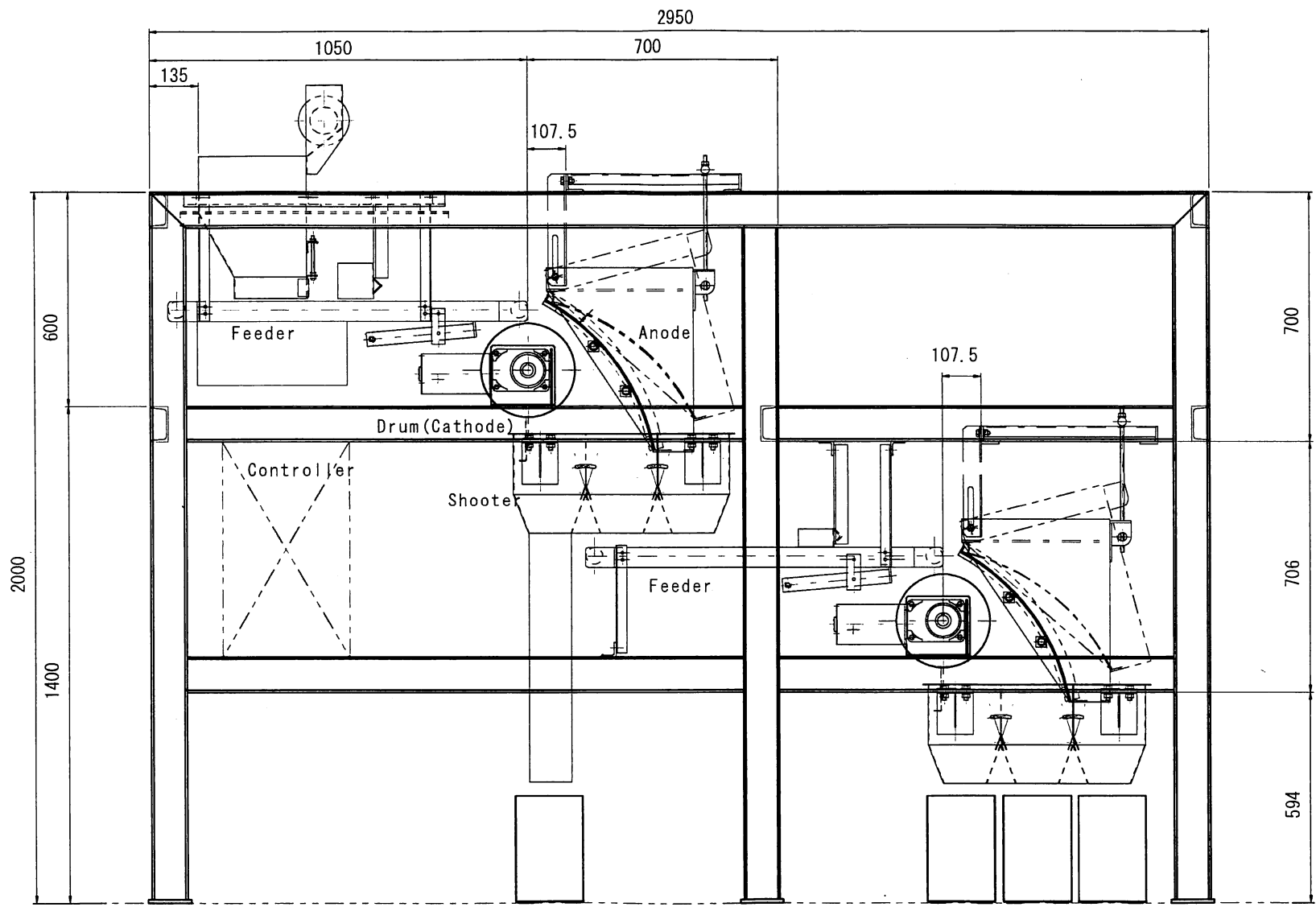


図 44 二段式選炭装置の設計図

5. 本研究により得られた成果

石炭及び灰分成分の理論最大帯電量及び比誘電率を求めることができた。その結果からパイライトの比誘電率は石炭に比べ約5倍大きく、帯電しやすいことがわかった。これらのことは高圧電界下での落下試験においてパイライトの移動距離が大きいことと符合し、電界強度をコントロールすることで比較的容易に石炭とパイライトを分離できることが示唆された。また、石炭については、粒径及び密度の帯電量への影響についても試験を行った。粒径については、帯電量は粒径から算出される粒子表面積と比例関係にあり、粒径の増大とともに単位重量当たりの帯電量が減少し、静電気選別への適合性が低下することが確認された。密度については、密度の増大とともに単位重量当たりの帯電量は増加しており廃石含量の多い高密度の試料と、石炭分が多い低密度の試料では、前者の方が帯電量は大きく、その値は最大で約3倍であることがわかった。また、石炭中の水分の選炭特性への影響を調べ、東林炭の場合は1%程度の水分を含む試料の分散特性が良いことがわかった。さらに重慶市南桐炭鉱で従来と異なる新しい電極（複合電極）と二段式選炭装置を用いた選炭試験を行い、複合電極については、電極電圧とトレイのパーティションをコントロールすることで従来電極と比較して脱灰効率と脱硫率はそれぞれ11%及び4%改善することがわかった。石炭の特性は産地により様々に異なり、そのため、選炭特性も炭種により変化する。今後は、様々な石炭に対応可能な乾式選炭システムの構築を目指し研究開発を進めていきたいと考えている。

6. 参考文献

- 1) 平成9年度～11年度 国立環境研究所委託研究報告書 「酸性雨原因物質排出抑制技術の開発に関する研究」 平成12年3月 社団法人国際善隣協会環境推進センター
- 2) 齊藤俊行 粉体と工業 Vol.21 No.2 33 (1989)
- 3) 静電気ハンドブック オーム社 1991年
- 4) SENICHI MASUDA and MASAO WASIZU, J. Electrostatics, Vol.6, 57 (1979)
- 5) 化学便覧基礎編Ⅱ 改訂第3版 丸善 (1984)
- 6) 鉱物資源百科辞典 日刊工業新聞社 (1999)
- 7) 改訂増補粉体物性図説 日経技術図書 (1985)
- 8) Perry's Standard Tables and Formulas for Chemical Engineers, Mc Graw-Hill (2003)
- 9) Senichi MASUDA et.al., IEEE Trans. IAS, Vol.19, 789 (1983)

7. 国際共同研究等の状況

国際共同研究計画名：日中環境保護協力協定

協力案件名：東アジアにおける民生用燃料からの酸性雨原因物質排出対策技術の開発と様々な環境への影響評価とその手法に関する研究

カウンターパート：王之佳（中国国家環境保護総局国際合作司）、徐淑碧（重慶市環境保護局）、何青松、印儀中（重慶市南桐鉱務局選炭工場）

参加・連携状況：乾式選炭研究装置を導入して装置改良に関する共同実験を行っている。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- ① 王青躍、溝口次夫、坂本和彦、丸山敏彦、北村必勝：環境研究、119, 4-10 (2000)
“石炭燃焼に伴う大気汚染 (SO₂、粉じん) 制御技術としてバイオブリケットの開発と実用化— 開発途上国での利用を目的として—”
- ② K. Sakamoto, Terauchi Y., Ishitani O., Kamide M., and Q. Wang : *Water, Air and Soil Pollution*, 130: 253-258(2001).
“Emission control of SO₂ by coal-cleaning and bio-briquette technology”

<その他誌上発表 (査読なし) >

- ① 王 青躍、(社)国際善隣協会・環境推進センター研究成果報告集, Vol. 2, pp. 1-66 (2002).
“乾式選炭技術の開発・実用化に関する研究”
- ② 畠山 史郎、王 青躍、地球環境研究総合推進費平成13年度研究成果報告集, Vol. III, pp. 7-11 (2002).
“乾式選炭技術の開発・実用化に関する研究”
- ③ 王 青躍、(社)国際善隣協会・環境推進センター研究成果報告集, Vol. 3, pp. 1-51 (2002).
“中国遠隔地域ウルムチ市における石炭燃焼による汚染対策および石炭の総合利用に関する研究”
- ④ 畠山 史郎、王 青躍、地球環境研究総合推進費平成14年度研究成果—中間成果報告集, Vol. III, pp. 55-63 (2003).
“乾式選炭技術の開発・実用化に関する研究”
- ⑤ 王 青躍、劉英宇、埼玉大学地域共同研究センター紀要、第3号、98-99 (2003).
“乾式選炭技術の開発・実用化およびバイオブリケットの民間技術移転と普及方策に関する調査研究”
- ⑥ 王 青躍、畠山 史郎、谷口 克典、埼玉大学地域共同研究センター紀要、第4号、pp. 122-129 (2004).
“乾式選炭技術の性能改良および実用化に関する基礎的研究”
- ⑦ 王 青躍、埼玉大学21世紀総合研究機構プロジェクト研究成果報告書, pp. 121-124 (2004).
“化石燃料クリーン化のための要素技術に関する基礎研究”
- ⑧ 畠山 史郎、王 青躍、谷口 克典、地球環境研究総合推進費平成15年度研究成果-中間成果報告集-, Vol. III, pp. 68-77 (2004).
“乾式選炭技術の開発・実用化に関する研究”

(2) 口頭発表 (学会)

- ① 王青躍、溝口次夫、坂本和彦、丸山敏彦、畠山史郎、第41回大気環境学会、1C1000、埼玉 (2000).
“中国低品位石炭の有効利用のための日中共同乾式選炭の開発研究 (2)”
- ② 王 青躍、第3回環境制御工学専攻シンポジウム「循環型社会への道」講演予稿集(埼玉大学理工学研究科)、pp. 8-11 (2002).
“資源の高効率利用と国際協力”
- ③ Q. Wang, K. Sakamoto, Kamide M., Hatakeyama S. and Taniguchi K., Monitoring, Effects,

Control and Philosophy-, pp. 139-144 (2002).

“Development of Dry Cleaning-Coal Technology for Low-Grade coals in China, Proceedings of International Workshop on Environmental Problems in East Asia -Status”

- ④ Q. Wang, K. Sakamoto, S. Hatakeyama, K. Taniguchi, M. Kamide, Y. Yin and Y. Liu, 8th International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality(ASAAQ), P9.8, p.346, (2003. 3)

“Studies on reducing inorganic sulfur of Chinese low-grade coals with the dry coal cleaning method”

- ⑤ Wang Q., Sakamoto K., Hatakeyama S., Kamide M., Yamakoshi Y., Taniguchi K. and Yin Y., The Paper of International Conference of Atmospheric Environment (Nanning, China), pp. 688-696 (2003. 10).

“An approach for coal-cleaning of Chinese low-grade coals by static electrical processing procedure”

- ⑥ Wang Q., Hatakeyama S., Sakamoto K. and Mizuguchi T., Proceedings of 5th Seminar of JSPS-MOE Core University Program on Urban Environment (Shanghai, China), pp.143-153 (2003. 10).

“Practical control techniques for local acidic air pollution caused from combustion of low-grade coal in China”

- ⑦ Wang Q., Takahashi K., M. KAMIDE, Y. YAMAKOSI, K. TANIKUTI and K. SAKAMOTO, Proceedings of 2005 International Conference on Coal Science, Okinawa, in press (2005).

“Study on evaluation of various factors on dry separation methods for low grade coal”

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- ① International Conference of Atmospheric Environment (Nanning, China) (2003年10月24-27日、中国南寧市市民ホール、聴衆150名)
- ② 5th Seminar of JSPS-MOE Core University Program on Urban Environment (Shanghai, China) (2003年11月12-14日、中国上海市同済大学廃棄物研究学院、聴衆120名)

(5) マスコミ等への公表・報道等

- ① 読売新聞 (H17年5月11日、全国版、次頁参照)

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

本研究は、開発途上国の大気汚染や酸性雨原因物質の排出抑制に有効な選炭技術を研究開発するもので、より高品質のバイオブリケット生産と、硫黄資源の有効利用を含む循環型社会の構築のための要素技術とする乾式選炭技術の実用化を目指している。また、モデル的試算結果を提示し、中国における硫黄酸化物の総量規制など、酸性雨対策への政策提言にも貢献できる。

自覚なき無資源国 18

中国の張力用(Recycle)

軍・国家環境保護総局副局長(副大臣級)は、各国の環境問題担当閣僚らを前にこう訴えた。

「中国も持続可能な開発を重視しているが、この分野の活動はまだ4年ほどしか歴史がない。各国の先進技術を積極的に導入することで、中国も循環型経済を実現したい」

4月29日、東京都内のホテルで開かれた「3Rインシアチブ閣僚会合」でのごとだ。

「3R」は、廃棄物の発生抑制(Reduce)、再生利用(Reuse)、再生利

環境、省エネ 日中共同で

環境への負荷を減らす「循環型社会」の実現に欠かせない。

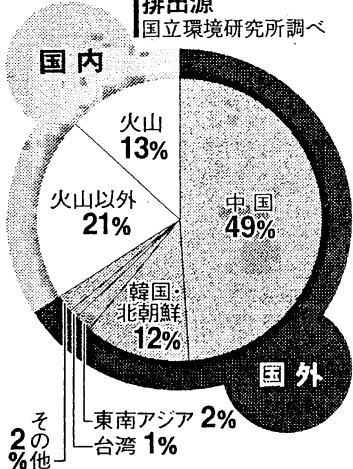
中国がその分野に強い関心を示すのは、国内で環境汚染が深刻なものになりつつあるからだ。

たとえば、水質汚染。汚水排出量は年間460億ト

59万トにのぼり、世界最悪に近づき始めた。200

6年から始まる第11次5か年計画では、循環型経済を重要な指導原則と位置づけ「北陸から山陰にかけてナラなどが枯れている。酸性物質によつて菌根が傷められ、木が弱り、キクイムシがついて枯れてしまうのではないかと疑われている」と言う。

日本の硫黄酸化物の排出源 国立環境研究所調べ



酸性雨 水素イオン指数(pH) 5.6以下の酸性を示す雨を指し、中国では「空中死神(空中鬼)」と呼ばれる。化石燃料を燃やした際に生じる硫黄酸化物や窒素酸化物が、大気中で硫酸や硝酸に変わり、雨に溶けて酸性雨になる。

国立環境研究所が東アジア地域の大气汚染をシミュレーション(模擬実験)したところ、日本列島への硫黄酸化物の沈着量は、夏は九州の火山帯、冬は中国方面からの北風の影響が大きかった。年間を平均すると、中国を起源とする硫黄酸化物が5割を占める結果になった。

「以前は『日本の酸性雨は我々の問題ではない』という態度だった中国も、地

球環境を重視する世界的な風潮を前に、追いつめられてきたということだろう」

国家戦略を考える

浜中裕徳・慶応大教授(元環境省地球環境審議官)はこう指

ご意見は千100・8055(住所不要)読売新聞東京本社「国家戦略を考へ」ファクス03・3246・1935。電子メールはsenryaku@yomiuri.com