



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	切羽の肩坑道における炭じんについて : 現場計測にもとづく考察
Author(s)	廬, 鑑章; Ro, Kansyo; 磯部, 俊郎 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 111, 25-35
Issue Date	1982-10-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41762
Type	departmental bulletin paper
File Information	111_25-36.pdf



切羽の肩坑道における炭じんについて

——現場計測にもとづく考察——

盧鑑章* 磯部俊郎** 樋口澄志*** 大賀光太郎***
(昭和 57 年 6 月 30 日受理)

A Study on Coal Dust in a Return Airway — Some Considerations Based Upon Underground Measurements —

Kansyo RO, Toshiro ISOBE, Kiyoshi HIGUCHI and Kotaro OHGA
(Received June 30, 1982)

Abstract

Coal dust produced during the mining process is a cause of considerable trouble for safety and productivity of underground coal mines. The concentration of suspended coal dust and sedimentation velocity of coal dust on the floor were measured at several places in the return airway of the coal producing face. Distributions of particle size were studied in relation with distance from the face. It was confirmed that regarding the distance and portable size the farther from the face, the smaller the particle size of coal dust and the narrower the range of the size distribution. The mean particle size was approximately 22 micron. Water injection technics using rubber packer and high pressure water into the coal seam reduced approximately 73% of coal dust.

1. 概 説

炭鉱の坑内で発生する炭じんは、爆発の危険性があると共に、労務者の作業能率の低下や、健康に悪影響を与える原因になる。したがって、炭じんの発生防止は石炭鉱山の保安に大切なことである。予防対策の一環としては炭壁注水があり、石炭鉱山で一般的に採用されている。

炭壁注水の効果については、各炭鉱に於て経験的に認められて来ているが、計測に基づく定量的な評価はなされていなかった。特に肩坑道における炭じん雲の濃度変化や粒度分布に関する報告は見受けられない。このため、著者等は赤平炭鉱でこの問題について、調査をした。その概要を報告する。

2. 現 場 条 件

赤平炭鉱では、水力採炭切羽以外の切羽では、すべて炭壁注水が行われている。本実験の切羽

* 研修生 (重慶煤炭研究所)
** 資源開発工学科 採鉱学講座
*** 資源開発工学科 保安学講座

は-770L CN14号9番切羽で、切羽の概況は図1に示すように、欠口切羽である。欠口数が10、1欠口長さが8~10m、採掘山丈約2.0m、傾斜52°、通風量398m³/min、一日の進行が1mぐらいである。

一日三交代で作業が行われているが、二交代は採炭作業とし、三交代目には充填すると共に注水作業をする。出炭量は約230T/日である。

炭壁注水は図1に示すように、注水孔を1欠口に対して1孔とし、オーガーで1.8m穿孔し、図2aに示すような注水パッカで孔口を密封して、4.90~6.86MPaの圧力で注水する。注水時間は、注水孔当たり15~20分である。この方法で1注水孔当たりほぼ1欠口範囲を湿潤させる。

注水ポンプであるから、小型軽量で使用も簡単である。ポンプの主な仕様は次の通りである。

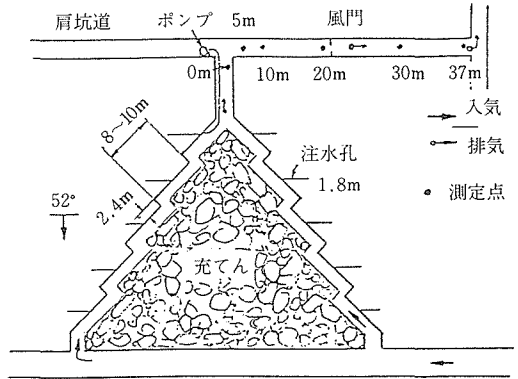


図1 切羽と注水系統と堆積炭じん測定地点見取図

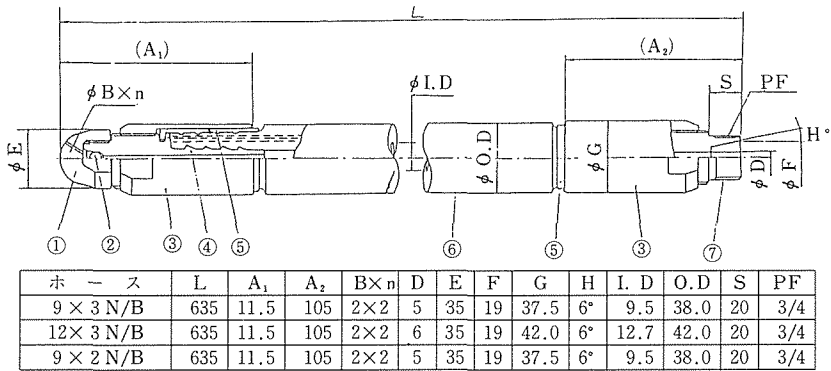


図2a 注水パッカ図

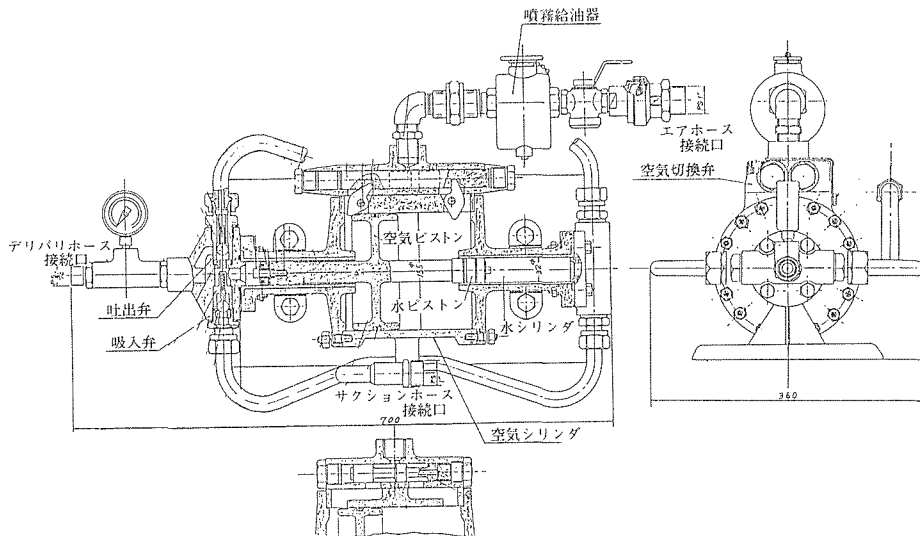


図2b K-100型注水ポンプ図

空気シリンダ内径	155mm
水 シリンダ内径	32mm
ピストンストローク	90mm
最高吐出圧力	約 10.13MPa
空気消費量	約 2.5 l/min
流 量	約18 l/min
重 量	30kg

また、炭層を湿潤させる効果を高めるため、注水する時、水の中にダヌワンE 300という防じん剤（界面活性剤）を1往復1滴程度の量入れている。

3. 測定装置および方法

3.1 浮游炭じん濃度の測定法

本実験では資源試式浮游炭じん計を用いた。この計測器は携帯型防爆構造となっており、濃度の読みを直示式にし、本体と炭じん検出器の2つに大別され、図3に示すようなブロックダイアグラムで構成されている。¹⁾

本体は防爆構造の容器に格納され、電池、電源切替スイッチ、TR式安定化電源回路、TR式直流平衡増幅回路、零点調整用粗微各ボリューム、感度切替（3段）スイッチおよび濃度指示メータなどから構成される。

炭じん検出器は図4に示すように、ランプ②とレンズ⑥からなるランプ室と、高感度光電素子③が組み込まれている基準光量室と、高感度光電素子④と光束修正筒⑦などからなる含じん空気測定室などから構成される。

基準光量測定室と含じん空気測定室の間は透明隔壁ガラス窓⑤で仕切られており、炭じんが基準光量測定室に入るのを防ぐほか、防爆の役目を果している。含じん空気測定室は粉じん室清掃用ねじ込み式蓋⑧がついており、この蓋の内側にねじ切り光束修正筒が、また側壁には吸じん孔⑨がついている。吸出孔⑩は吸じん孔と向い合った位置にあり、スプレーで排気される。この円とう状炭じん検出器は耐爆キャブタイヤコードで本体と連絡される。

この計測器の原理は、含じん空気が含じん空気測定室に導入される時、必ず光電素子の前を通り、照明ランプから投射された光束を斜めに横断し、炭じんによる散乱光を生じ、光電素子に受光される光量は炭じんの量に比例して増減することである。2つの光電素子は本体に組み込まれた濃度指示計とプリッチ回路を形成しており、含じん空気室内の光電素子によって変化した電流で炭じん濃度指示計の針がふれるようになっている。

3.2 炭じんの堆積速度測定法

近年、採炭作業場は極度に集約されているため、坑道内に堆積する炭じんも極度に増量してきている。本実験では吊皿法を用い、肩坑道で炭じんの堆積速度を測定した。図5に示すように、測定点の坑道高さの $\frac{1}{3}$ における坑道幅の垂直3等分点箇所に直径200mm、深さ10mmの円筒形の吊皿を糸で枠に吊した。本実験は、炭じんの堆積速度を測定すると共に肩坑道における炭じんの粒度分布を調べるつもりであるから、測定点の間隔は図1に示すように6箇所設けた。

3.3 光電透過式遠心粒度分布測定装置

本実験はCP-50型の遠心粒度分布測定装置を用いた。この装置の基本原理は遠心力場において粒子の移動速度がその粒子径に関係することを利用し、それによる濃度変化を光の透過率によ

て測定するものである。この装置は本体とレコーダからなっている。本体の構造を図6に示す。²⁾ 図中の遠心沈降セルは直径180mm、厚さ10mmのディスク形で同期モータにより一定速度で回転する。回転数は500, 1000, 1500r.p.mである。光源からの光はフィルタ、レンズ、スリットおよびプリズムを経て遠心沈降セルを通り、光電管に入り、増幅器を経て記録される。この装置で得られるのは沈降時間 t に対する光の透過率 I の関係である。粒度分布を求めるにはこれを粒子径—重量分率に変換しなければならない。この変換は次の通り行なう。

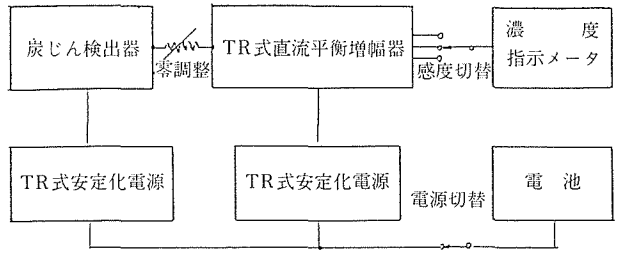
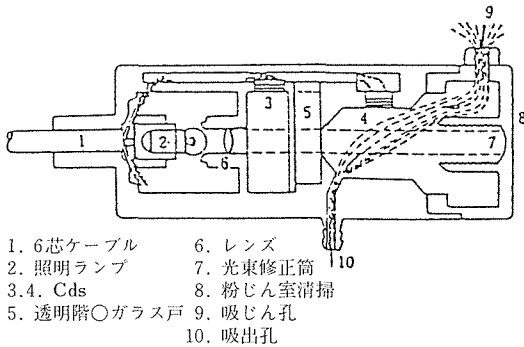


図3 資源試式浮遊炭じん計ブロックダイヤグラム



- 1. 6芯ケーブル
- 2. 照明ランプ
- 3. 4. Cds
- 5. 透明階〇ガラス戸
- 6. レンズ
- 7. 光東修正筒
- 8. 粉じん室清掃
- 9. 吸じん孔
- 10. 吸出孔

図4 資源試式浮遊炭じん計の炭じん検出器

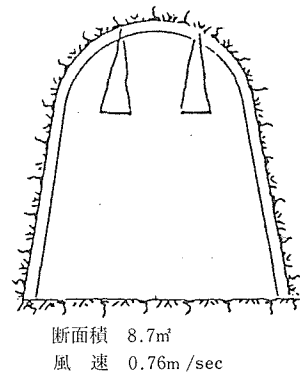


図5 吊皿法見取図

まず、遠心力によって移動する粒子の速度は Stokes の式によって計算できる。すなわち、沈降距離と時間および粒子径の関係は次式で元される。³⁾

$$D_p = \sqrt{1.05 \frac{\eta}{(\rho_p - \rho_l) N^2 t} \log \frac{R_2}{R_1}} \dots \dots \dots (1)$$

- ここで、
- D_p — 粒子径 (cm)
 - t — 沈降時間 (Sec)
 - N — 試料セルの回転数 (r.p.s)
 - R_1 — 回転軸から液面までの距離 (cm)
 - R_2 — 回転軸から光軸までの距離 (cm)
 - ρ_p — サンプルの密度 (g/cm^3)
 - ρ_l — 媒液の密度 ($g/cm.sec$)

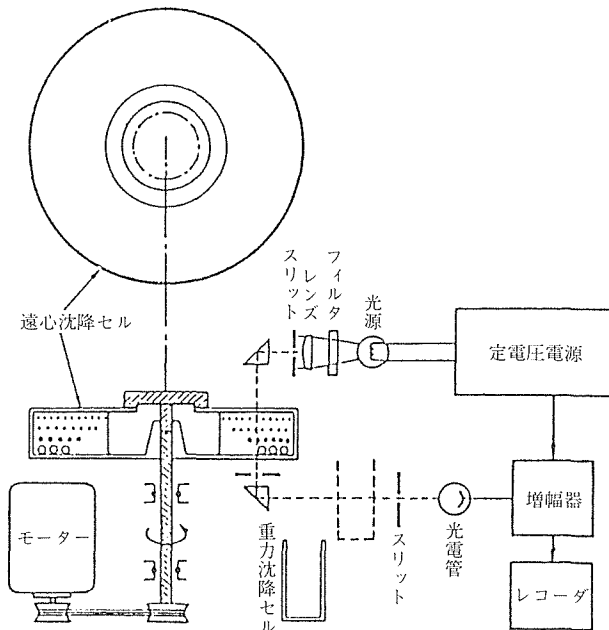


図6 CP-50 遠心粒度分布測定装置

η - 媒液の粘性係数 (g/cm. Sec)

チャート紙送り速度をSとすると、チャート紙上での測定開始点からの各粒子径 D_p に対する位置Lには次の次式で表わされる関係がある。

$$t = \frac{L}{S} \dots\dots\dots (2)$$

ここで

S - チャート紙送り速度 (cm/Sec)

L - チャート紙上での測定開始点から各粒子径に対する位置 (cm)

(1) と (2) 式から

$$D_p = \sqrt{1.05 \frac{\eta S}{(\rho_p - \rho_t) N^2 L} \log \frac{R_2}{R_1}} \dots\dots\dots (3)$$

レコーダで記録された沈降時間 t に対する光の透過率 I の関係曲線と(1), (3)式から求める結果によって、炭じん粒度の積算分布が得られて粒度分布が明らかになる。

4. 実験結果と考察

4.1 浮游炭じん濃度

採炭切羽の排気側肩坑道において坑道の高さの1/2以上の空間で採炭作業すなわち発破と炭切りと枠つけ中に発生した浮游炭じん濃度を繰返して測定した図7に示したのは測定結果の一例である。これは炭壁注水をしない場合の発破後の時間による浮游炭じん濃度の変化である。同図から明らかなように発破後2分間ぐらいで肩部坑道気流中の浮游炭じん濃度がピークになる。その後、時間に従って減少し、20分間後平常状態に戻る。注水効果を比較するため、作業別の浮游炭じん濃度を表1に示す。これらの結果から炭壁注水の効果は明らかであり、発生炭じん量最大の採炭作業において、注水後浮游炭じん濃度は約73%減ったことがわかった。

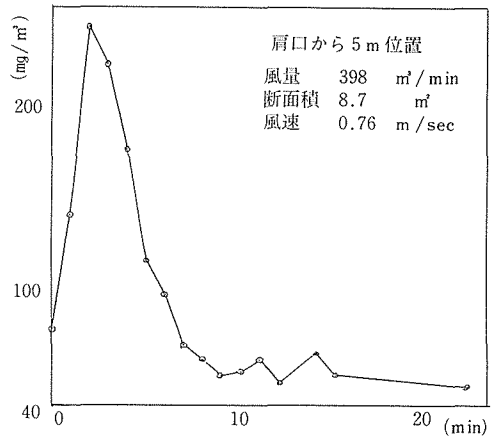


図7 浮游炭じん濃度の変化図

4.2 堆積炭じん

前述のように、吊皿法で堆積炭じんの堆積速度を測定した。いま、炭じんの堆積速度 W_1 (g/m²h), 吊皿の面積 S_1 (m²) 堆積時間 t_1 (h), 吊皿上の堆積炭じん量 w_1 (g) とすると

$$W_1 = \frac{w_1}{S_1 t_1} \dots\dots\dots 4)$$

になる。

測定は前述のような坑道断面の%の高さで、坑道巾方向には3等分線上の2点において行なうのであるから、他の点のそれぞれの測定値を W_2, S_2, t_2 と w_2 とすれば、その箇所における平均

表1 作業別浮游炭じん濃度

作業別	浮游炭じん濃度 mg/m ³
作業しない場合 (注水しない場合)	20 ~ 39
(注水した場合)	12~20
材料運搬 (注水なし)	90~96
採炭発破後 (注水しない場合)	295~330
(注水した場合)	80~88

堆積速度Wは

$$W = \frac{1}{2} (W_1 + W_2) = \frac{1}{2} \left(\frac{w_1}{S_1 t_1} + \frac{w_2}{S_2 t_2} \right) \dots\dots\dots (5)$$

になる。

計算した結果を図8に示す。同図から、まず、炭じん堆積速度は切羽の肩口からの距離の増加に伴って次第に減少することが明らかになった。20m地点での堆積速度が少し変化している原因はそこに調節風門があり、風速が変化するためと考えられる。

注水した場合の炭じんの堆積速度は注水しない場合より小さいこともわかった。すなわち、注水後、発生炭じん量は減少するためである。

また、肩口において堆積速度の差が大きく、注水した場合の堆積速度は注水しない場合より54%低くなった。そして堆積速度の差は、切羽の肩口からの距離の増加に従って小さくなった。

4.3 肩坑道の堆積炭じんの粒度分布

前述のようなCP-50型遠心式粒度分布測定装置で肩坑道の6箇所採取した堆積炭じんサンプルの粒度分布を測定した。本実験の条件は、

$$\begin{aligned} \rho_p &= 1.54 \text{ g/cm}^3 & \rho_l &= 0.801 \text{ g/cm}^3 & \eta &= 0.0109 \text{ Poise} \\ R_1 &= 6 \text{ cm} & R_2 &= 8 \text{ cm} & N &= 500 \text{ r.p.m} = 8.33 \text{ r.p.s} \end{aligned}$$

である。

データを(1)式と(3)式に代入すると、表2が得られる。表2とレコーダで記録された沈降時間tと光の透過率Iとの関係曲線によりLに対応する光の透過率Iを読み取って表3を作成してD_pとIにより累積をする。図9と図10にそれぞれ5m、37m箇所の実験結果の例を示す。

図9と図10から炭じんの粒度分布はある程度明らかになるが Rasin-Rammler の分布関係を

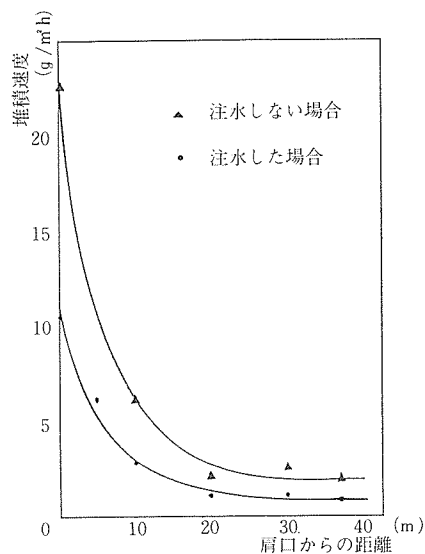


図8 堆積速度変化図

表2 D_pとtとLとの計算結果

D _p	t (sec)	L (mm)
52.9	1	0.67
37.5	22	1.34
30.5	3	2.01
26.4	4	2.68
23.6	5	3.35
16.7	10	6.70
11.8	20	13.4
8.34	40	26.8
6.81	60	40.2
4.82	120	80.4
3.05	300	20
2.15	600	40
1.35	1500	1005

表3 5m箇所の計算結果

D _p	I %	log I	D _p	Δlog I	D _p Δlog I	Σi	R = $\frac{\sum i}{\sum n}$	
52.9	24.5	1.39	45.2	0.06	2.71	2.71	27.0	
37.5	28.5	1.45				4.41		
30.5	31.5	1.50				4.80		
26.3	32.5	1.51				5.55		
23.7	34.5	1.54				6.97		
16.7	41.5	1.61				8.39		
11.8	51.5	1.77				9.30		
8.37	63.5	1.80				9.60		
6.83	68.5	1.84				9.84		
4.83	76.2	1.88				10.0		
3.05	84.5	1.93				10.09		
2.16	89.0	1.95				10.09		
1.35	93.0	1.97				10.09		
						Σn = 10.12		100

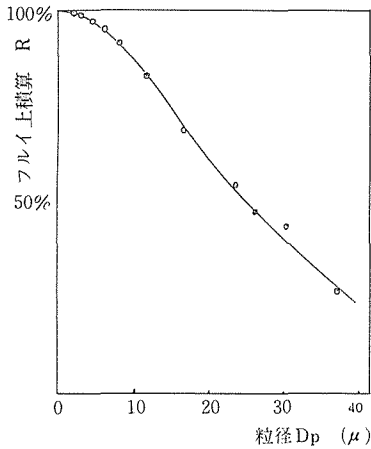


図9 5m箇所の積算分布

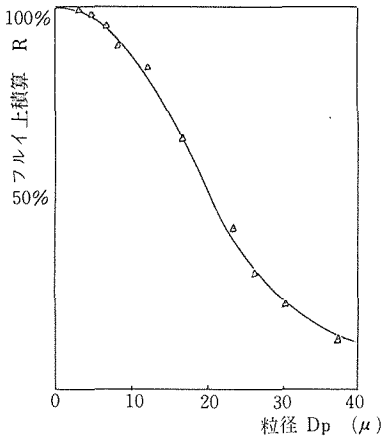


図10 37m箇所の積算分布

利用してさらに検討する。

Rosin-Rammler 分布は累積分布に対する関数が

$$R = 100 \exp(-6 D_p^n) \dots\dots\dots (6)$$

となり⁴⁾

ここで D_p - 粒子径
 R - フルイ上累積比率 %
 b, n - 定数

この式を適用するには両辺の対数を取り、移項してさらに対数を取ると

$$\log(2 - \log R) = \log(b \log e) + n \log D_p \dots\dots\dots (7)$$

となり、 $(2 - \log R)$ と D_p とを両対数目盛にプロットして直線が得られる。その直線の傾斜から b が、切片から n が求められる。

実用上便利な粒度線図を利用して図11と図12に示すような結果が得られる。これらの図はそれぞれ5m箇所と37m箇所における結果である。同図から両箇所における粒度分布指数 n と粒度特性値 d_o が得られる。5m箇所において、 $n = 1.9$ 、 $d_o = 0.031 \text{ mm}$ で、37m箇所において、 $n = 2.2$ 、 $d_o = 0.026 \text{ mm}$ であった。粒度分布指数 n には小さいほど粒度分布範囲は広い⁵⁾、 n と d_o によって、肩口から5m箇所における炭じんは37m箇所における炭じんに比べると、粒度分布範囲は広くまた粒径も粗いことが明らかになった。

また、粉体比表面積計算用対数確率紙と呼ばれる図13と図14とを利用すると、両箇所における堆積炭じんの比表面積が得られる。上述の R と D_p とをこのグラフにのせると、図13と図14に示すように直線になる。同図によって、体積基準の比表面積 $S_v \times R = 50\%$ の処の粒径 D_{p50} が得られる。

この場合

$$5 \text{ m 箇所における } S_v \cdot D_{p50} = 83$$

$$37 \text{ m 箇所における } S_v \cdot D_{p50} = 71.3$$

であり

$$5 \text{ m 箇所における } D_{p50} = 0.025 \text{ cm}$$

$$37 \text{ m 箇所における } D_{p50} = 0.02 \text{ cm}$$

であるから、両箇所における体積基準の比表面積 S_v は、それぞれ

$$S_v (5 \text{ m 処}) = 83 / 0.025 = 3320 \text{ (cm}^2/\text{cm}^3)$$

$$S_v (37 \text{ m 処}) = 71.3 / 0.02 = 3565 \text{ (cm}^2/\text{cm}^3)$$

となる。

$$S_w = \frac{S_v}{\rho_p}$$

ここで
であるから

$$S_w - \text{質量基準の比表面積} \quad \text{cm}^2/\text{g}$$

$$S_w (5 \text{ m 処}) = 3320/1.54 = 2156 \quad (\text{cm}^2/\text{g})$$

$$S_w (37 \text{ m 処}) = 3565/1.54 = 2315 \quad (\text{cm}^2/\text{g})$$

となる。

上述の結果から 5 m 箇所における炭じん粒子の比表面積は、37 m 箇所のそれより小さいことがわかった。すなわち、5 m 箇所における炭じん粒子は37 m 箇所のそれより粗いことが再び確認された。

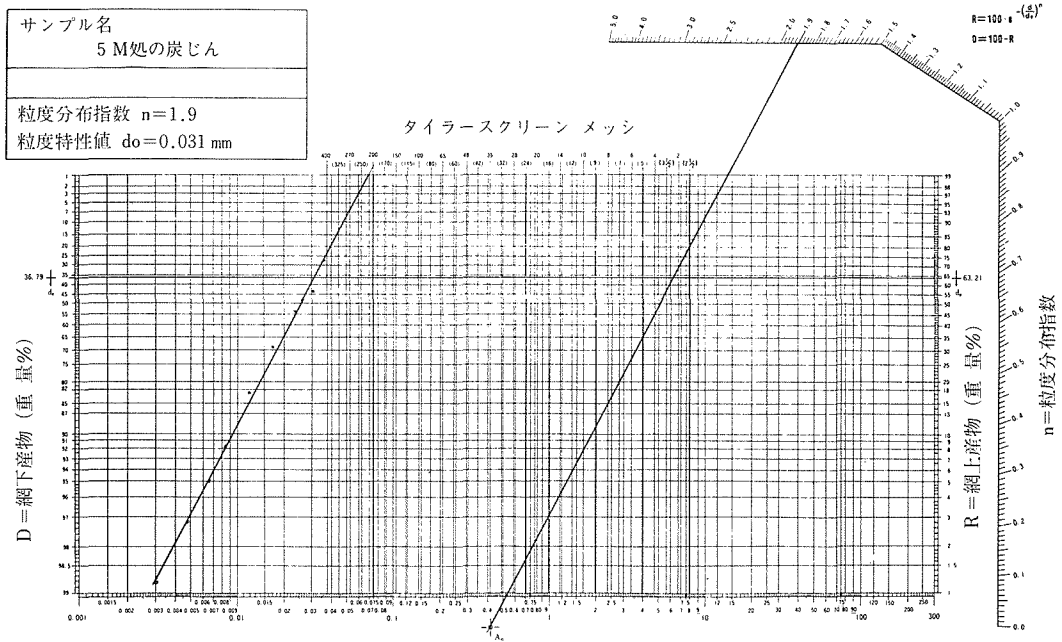
また図15に示したのは肩坑道における炭じん粒子径分布の一つの例である。この図から炭じん粒子中15~20 μの数字が多いことがわかった。

4.4 赤平炭の炭じん雲の最小着火エネルギーについて

石浜らは幌内炭で炭じん雲の着火エネルギーについての研究を行なった。炭じん雲濃度と最小着火エネルギーの関係についての研究結果により炭じん雲濃度の増加に伴って、また粒度が細かいほど最小着火エネルギーが小さくなり、270-400 mesh の試料で 350 mg/m³ の炭じん雲濃度の場合にその値は約18mJであることが明らかになった。表4⁷⁾に示したのは本研究で用いた赤平炭鉱における9番層炭の工業分析値と幌内炭の工業分析値である。同表から赤平炭と幌内炭を比べると、

表4 工業分析値

試様名	揮発分 %	固定炭素 %	灰分 %
赤平	43.7	50.7	4.0
	46.2	44.6	5.4
幌内	44.6	49.2	6.1
	45.3	49.2	5.5
	45.2	49.3	5.0

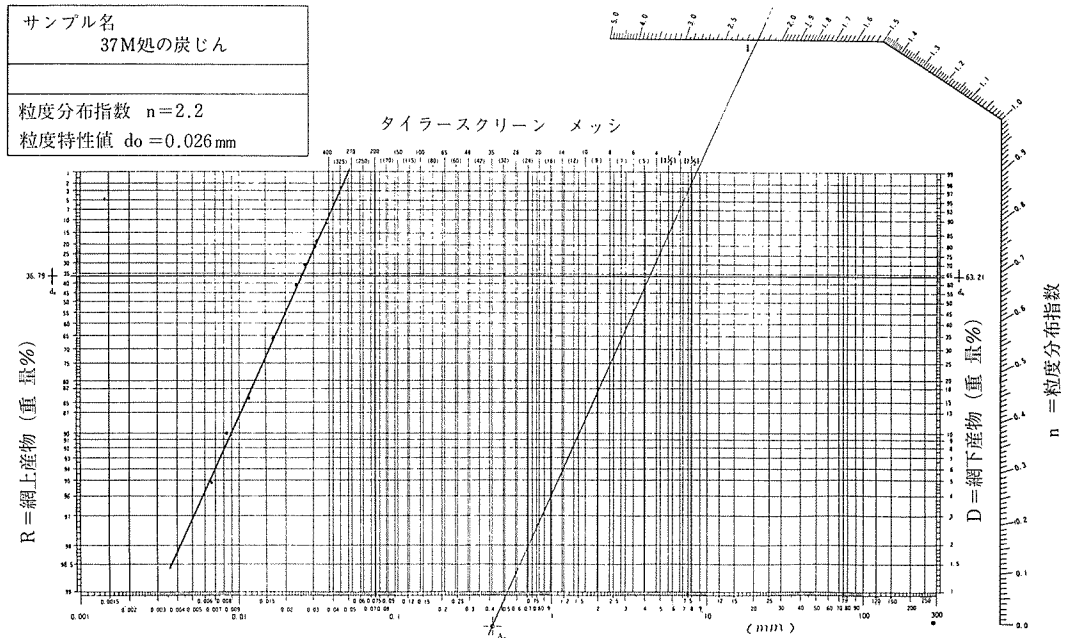


doは、縦軸の座標36.79%とRR線と交わる点の横軸の読み
nは、点(A) nよりRR線に平行線を画きこれと交わるスケール nの読み

粒度分析のためロジーン・ラムラーの式を基として粒度を図式に表示し、これを利用するものである

図11 5 m 箇所の粒度線図

二種類の石炭の工業分析値はほとんど同様といえる。したがって、赤平炭の炭じん雲の最小着火エネルギーは、幌内炭のそれとほぼ同じ位であろうと推測される。



d_0 は、縦軸の座標36.79%とRR線と交わる点の読み
 n は、点(A)よりRR線に平行線を引きこれと交わるスケール n の読み
 粒度分析のためロジ-ラムラーの式を基として粒度を図式に表示し、これを利用するものである

図12 37m箇所の粒度線図

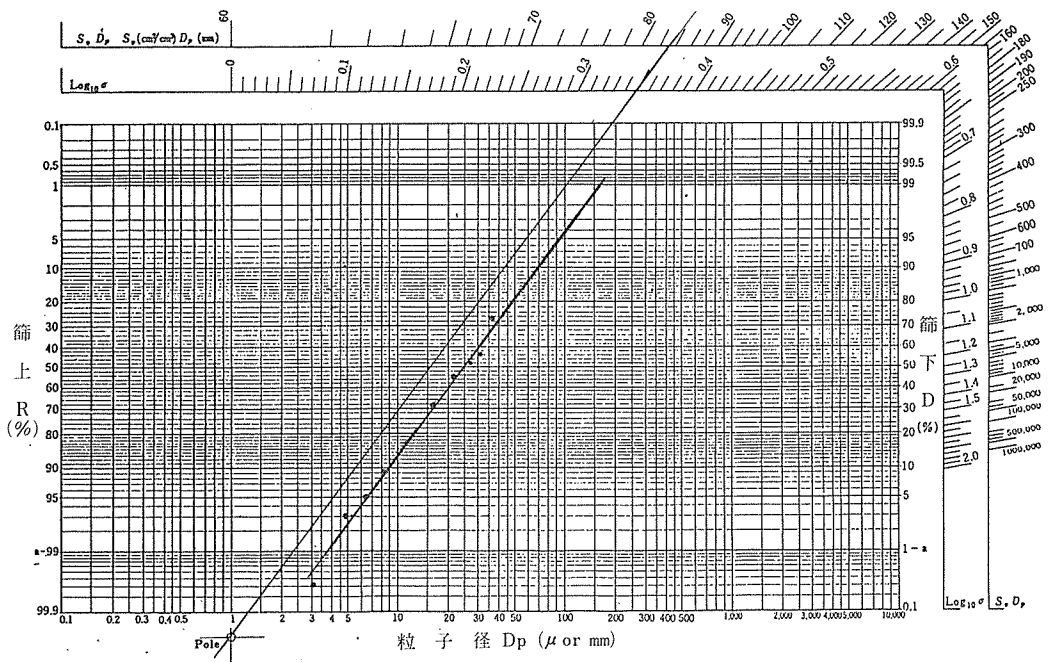


図13 5m箇所の比表面積計算図

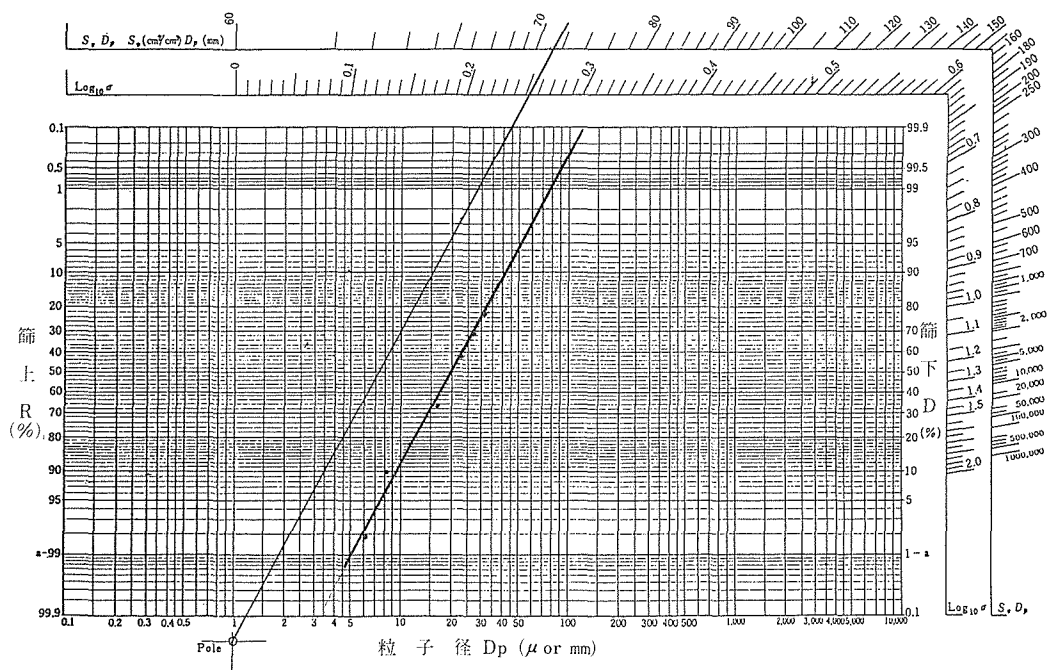


図14 37m 箇所の比表面積計算図

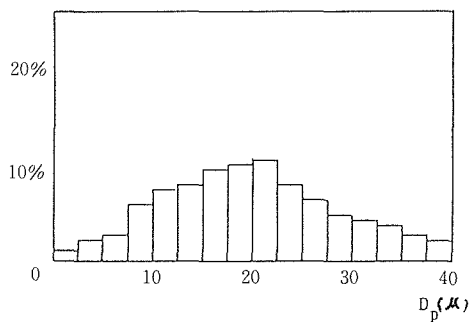


図15 粒径分内

5. ま と め

欠口切羽肩坑道に於ける炭じん量を浮游炭じんと堆積炭じんとに分けて測定し、炭壁注水作業の炭じん発生抑止効果について定量的評価を試みた。その結果によれば

- 1) 肩口での浮游炭じん濃度を例とすると、炭壁注水により、約73%減少することが明らかになった。
- 2) 肩坑道での炭じん堆積速度は、切羽の肩口からの距離の増加に伴って次第に減少する。また、注水した場合の炭じんの堆積速度は、注水しない場合よりも小さいこともわかった。これは注水により発生炭じん量が減少するためであろう。

- 3) 肩坑道での堆積炭じんの粒度分布測定から、肩口からの距離の増加に伴って炭じんの粒度は細くなり、粒度分布の範囲も狭くなることが明らかになった。また炭じん粒子中には15～22 μ の粒子が多いこともわかった。
- 4) 赤平炭の炭じん雲の最小着火エネルギーは、最適条件下で約18mJであることが推定された。

6. 謝 辞

この報文に関する現場計測ならびに試料採取に当っては、住友石炭赤平炭鉱（株）の関係各位のご助力を頂いた。また、粒度分布測定に関しては、本学部資源開発工学科鉱物処理工学講座の恒川昌美先生のご指導を頂いた。附記して感謝の意を表わす。

引 用 文 献

- 1) 田尻昭英；採鉱と保安，昭和41，Vol112No12，ア16。
- 2) 粉体工学研究会；粒度測定技術（昭50），ア242，日刊工業新聞社。
- 3) 島津製作所；CP-50説明書，ア9。
- 4) 川北公夫等；粉体工学（昭49），ア58，槇書店。
- 5) 三輪茂雄；粉体工学通論（昭56），ア16，日刊工業。
- 6) 石浜，榎本等；第13回安全工学研究発表会（昭55）
- 7) 北海道開発庁；北海道鉱工業開発計画調査ガス化学工業開発調査報告書（昭40），ア86。