

炭塵爆発の一考察（第二報）

（昭和24年9月24日受理）

吉田 銀次郎・長田 英世

（九州工業大学工業化学科爆発工学教室）

第1報に於て炭塵爆発は、揮発分の含有量の多少によつて影響を受けること及び各種ハロゲン化合物と爆発抑制効果との関係を報告したが、今回は炭塵の粒度及びその爆発機構に就て実験的考察を加えた。

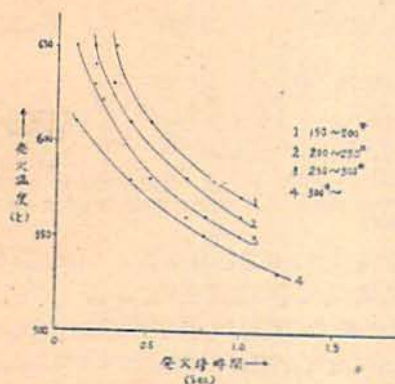
（I）粒度の影響

（実験） 実験装置は前報と同一のものを使用する。直方試験所より提供の炭塵（大之浦三尺層炭）を篩分し、150～200#, 200～250#, 250～300#, 300#～の4種に区分し、其の各1gに就き発火待時間と発火温度との関係を求めた。結果を下に示す。

炭塵粒度	結果(待時間(秒)/(°C))				
150～200#	0.3	0.5	0.9	1.0	
	650	610	580	575	
200～250	0.2	0.3	0.4	0.7	1.0
	650	630	610	580	560
250～300	0.1	0.2	0.5	0.8	1.0
	650	630	580	560	550
300～	0.1	0.4	0.7	0.8	1.2
	610	580	560	550	530

これを図示すれば図1の如くなる。

図 1



（考察） 図1で明らかな様に粒度が小になる程発火温度は低下する。即ち単位体積當りの炭塵の表面積及び粒子数の増大に従つて低い温度で発火することを知つた。

反応速度は発火待時間 t の逆数に比例すると考へて

$$\text{Arrhenius 式 } \frac{d \ln k}{dT} = \frac{E}{RT^2} \text{ を } \log \frac{1}{t} = -\frac{E}{RT} + c$$

と變形し上の實驗値で $\log \frac{1}{t}$ と $\frac{1}{T}$ とはいずれも

直線關係を示す故、此式から E なる活性化 Energy を求めると、結果は下の様になる。

粒度 (#)	活性化 Energy (Kcal)
150～200	34.0
200～250	32.8
250～300	32.0
300～	31.4

以上により計算的にも粒度小なる程、少量の外部 Energy で爆発することが明らかとなつた。粒度の變化による發火温度の變化は一應次の様に推定される。

(1) 單位量當りの表面積が増大する故、これら混合系（炭塵と空氣）に Energy を與へた際には空氣と接觸し酸化反應する量が増大する。

(2) 粒子数の増加により Energy の傳播が容易に行われ且つ Energy 源より一時に多數の粒子が Energy をうけるため容易に活性化が生ずる。

（II）金属の影響

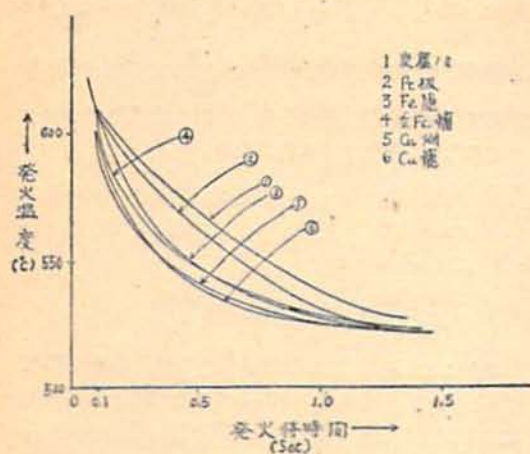
（実験） 次に従來 Bradford 氏や Gray 氏等が實驗的に指示している可燃性氣體の酸化促進効果を有する金属即ち Cu, Fe, Pt を用い、之等が炭塵爆発に如何なる影響を與えるかを検討した。之等の存在に於ける爆発の待時間と温度との關係は圖2の様になる。この際高濃度の炭塵雲を形成することがないように Fe, Cu は網、籠を用い、Pt は反應容器に接して平行なる板を用い、網は熱源より 10 cm の高さに籠は熱源を中心として上下 5 cm 直径 8 cm のものを用いた。亦金属の量の多少によりいかなる變化が生ずるかを併せて検討した。結論を以下に示す。

介在物	炭塵粒度	待時間(sec)/温度(°C)				
無	300#	0.1	0.4	0.7	0.8	1.2
		610	580	560	550	530
Pt 板	"	0.1	0.3	0.7	1.0	1.4
		610	580	550	530	520
Fe 籠	"	0.1	0.3	0.7	0.9	1.4
		610	570	540	530	520

$\frac{1}{2}$ Fe 籠	0.1	0.2	0.3	0.4	1.0	1.4
	610	590	560	550	530	520
Cu 籠	0.1	0.4	0.8	1.0	1.4	
	600	550	530	525	520	
Cu 籠	0.2	0.3	0.7	1.0		
	580	560	530	525		

之を圖示すれば圖2の如くなる。

圖 2



この他 200 mg Cu 粉を炭素と混入してみた處 Cu 粉と殆んど同じ結果を示したが、Cu 粉自身が爆発を行う可能性がある³⁾ので、その効果は断定出来なかつた。

(考察) 以上の結果から次の事が推定される。

- (1) 反応にあづかる金属が存在すれば、反応を加速せしめるが、その量の多少は反応速度に大きな影響を與えない。
- (2) Fe, [Cu, Pt は炭素の爆発速度を増加せしめる。之は炭素酸化の速度を大にする影響を與えるもので gas の酸化反応に對して正觸媒的作用を行うと同様に炭に對しても正觸媒作用を行うものである。
- (3) 金属の觸媒作用は炭素中から生ずる可燃性氣體と酸素との間の酸化反応の促進を司るものではないかと推定される。低温に於て影響の少いのは、炭素から發生する可燃性氣體が少量の爲、それらの酸化反応による反應熱が少く Energy 源によつて活性化されて爆発中心を形成する爲に大なる時間を必要とするが、高温に於ては爆発中心形成に必要な充分の炭素の活性化が行われるのが容易ではあるが金属の存在は之を更に加速する。

(Ⅲ) 寫眞による焰の發生狀況の判定

(實驗) 次に爆発前後に於ける狀況を Kodax 16

m/m 撮影機 (16 round/sec) によつて寫し之を檢討した内の代表的寫眞を示す。

寫眞 1



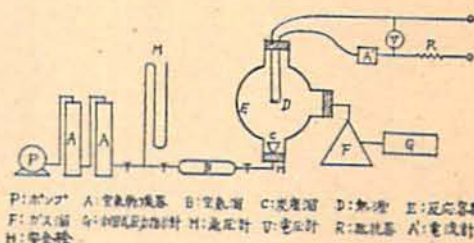
(考察) 寫眞に明らかな様に爆発中心は熱源より上るか上方に於て生じ、焰は順次下方に傳播する。即ち炭素が熱源で燃焼を起すかどうか明確には判定し難いが、大略爆発中心は上方に於て形成せられ、炭素濃度の大きい下方に向つて焰が傳播することは明らかである。たゞ炭素そのものが熱源で、燃焼するならば、その發生する焰は下方より上方に向い進行するか、或は熱源より若干の距離に於て連続的に焰の發生があるものと推定される。然るに熱源より上るか、上方に於て爆発中心の形成を見るのは炭素が熱源を通過する際に揮發分が放出され、之が下方よりの空氣の流れに沿つて上方に進み空氣と混じつて酸化反應を行い、爆発限界に達する。

その際發生する反應熱は熱源よりの輻射熱等によりて、之等混合氣體は活性化せられて爆発中心を形成し、之が下方の濃度大なる方向に向い傳播するものと思われる。

(Ⅳ) 壓力測定

(實驗) 次に密閉器に於ける爆発の際に生ずる壓力曲線を求め、之に檢討を加える爲に實驗を下の裝置により行つた。試料は 100 mg (300 番) を使用した。

圖 3 (A)

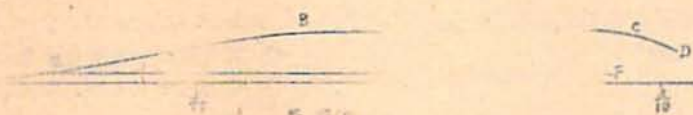


P: ガス筒 A: 空気弁 B: 炭素筒 C: 炭素筒 D: 無煙 E: 反応器 F: ガス筒 G: 壓力計 H: 安全弁

方法は前方法と同じく G なるドラムに煤紙をはり C なる炭素筒の中の炭素を吹きあげ、この際發生する壓力を G なる煤紙上に描き壓力曲線を求める。以下この曲線を例示する。圖 B の如きものである。

曲線を見ると、先づ壓力の上昇が行はれ (AB 曲線) 次に一定時間壓力の定常 (BC 直線) があらわれ次で C 點で爆発が生じ裝置の H なる安全栓がぬけて直ちに壓力の降下を示し (CD 曲線) 反應は終る。AEF なる曲線は對照のため空氣のみを吹込んだ時の壓力曲線である。

図 3 (B)



(考察) この曲線より明らかな様に炭塵は、先づ熱源にふれて瞬間的に分解し、揮発分を発生し、而る後空気に混じり爆発限界に入る。こゝで爆発中心の形成が行われ遂に爆発に到るものと思われる。以上の如く炭塵爆発は、

分解→揮発分の発生→爆発限界→爆発中心の
形成→爆発の発生→爆発の傳播

の如き数段階に依て進行するものと思われる。この考え方は正田氏の固体火薬の燃焼と同一である。

次に AB なる曲線に就て Garner 氏の固体分解式 $t = Ae^{\frac{E}{RT}}$ (t は分解時間, E は分解 Energy) を適用して関係式を求める。

對數をとつて、

$$\log t = \log A + \frac{E}{RT}$$

$$\log t = \log A + \frac{E}{RT}$$

$$\frac{1}{t} \frac{dt}{dT} = -\frac{E}{RT^2}$$

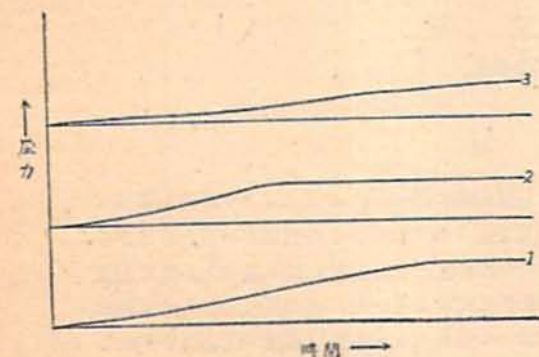
に變形出来る。

又炭塵より出る揮発分の壓力は、或る温度範圍に於ては、その接觸熱源の温度 T に比例するものとすれば $P = kT$ (P は揮発分の壓力)。

これを上式に代入して、

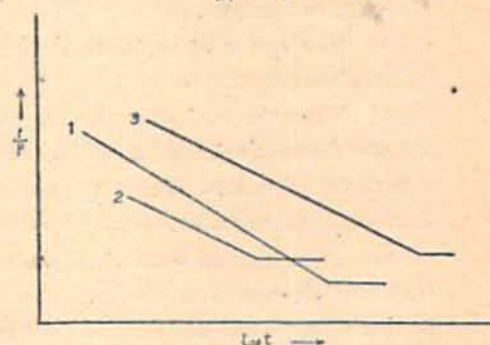
$$\log t = \frac{kE}{PR} + C$$

図 4



即ち $\log t$ と $\frac{1}{P}$ とは直線關係を示す。圖 4 に壓力曲線を示す。圖 4 の各曲線 1, 2 及び 3 の $\log t$ と $\frac{1}{P}$ との關係を求めると圖 5 の如き直線關係を示す。

図 5



前に求めた活性化 Energy 31.4 Kcal を E に代入して k, c を決め、ついでそれら k, c に就て E を求め、その平均値をとれば 31.8 Kcal となる。即ち我々が前に求めた活性化 Energy は炭塵の分解によって揮発分を出すに必要な分解 Energy と大體一致する。炭塵の爆発に必要な Energy は炭塵中から揮発分を発生させるに必要な Energy であつて揮発分が発生した後は、揮発分自體の酸化反應による反應熱により連鎖的に反應は進行し遂に爆発に達するものと思われる。

(V) 結 論

- (1) 炭塵の爆発は先づ炭塵中より揮発分が出て、之が酸化反應を行い、其の後の反應は連鎖反應の形で進行し遂に爆発に到る。
- (2) 炭塵を爆発させるに必要な Energy は炭塵粒子中に熱平衡の亂れを生じさせ、その結果揮発分を空氣中に散出せしめるのに使用される。
- (3) 炭塵の爆発に対する金屬の影響は散出する揮発分と酸素との酸化反應に對して正觸媒的作用を行う。
- (4) 炭塵は或る限界内で粒度の大なる程爆発が容易である。

(5) 炭塵爆発を生起する主なる生起因子は、炭塵中に含有される揮発分であると断定することが可能である。

附記一本実験は文部省科学研究費の援助を受けて行つたもので、実験補助の龜石正之君、鹿毛博司君、倉崎喜雄君に謝意を表わす。

文 献

- 1) 吉田・長田：火薬協会誌 9, 133 (昭 24)。
- 2) Gray: J. C. S. I. 49, 432~37T (1930)。
- 3) Hartmann: U. S. Bur. mines rept. investigations, 44 pp, 3722 (1943)。
- 4) 疋田強：火薬協会誌 9, 121 (昭 24)。
- 5) Garner: Trans. Farad. Soc. 26, 590 (1930)。

A Consideration on the Coal Dust Explosion

By Ginziro Yoshida and Hideyo Osada

(1) The smaller the grain size of coal dusts, the more inflammable the coal dusts are.

(2) The metals (Pt, Cu, or Fe) accelerate the explosion of coal dusts, acting as the positive catalysts.

(3) The center of explosion is formed above the energy source and then propagates downward.

(4) When the coal dusts ignite, the pressure rises gradually at first, and then keeps a constant value for a while. After then, the center of explosion is formed and explosion occurs. From the results above mentioned, the mechanism of coal dust explosion might be considered as follows:—At first the coal dusts decompose by the energy of ignition source, and evolve the inflammable volatile matters which mix with the air and form the explosive mixture. Then the center of explosion is formed with the accumulation of their reaction energies and by the help of radiation energies of the ignition source. At last the chain reaction follows the explosion and the flame propagates toward the cloud of concentrated coal dusts.

(The Kyusyu College of Technology)

工業用導火線の燃焼速度理論

(昭和 24 年 11 月 5 日 受理)

日 野 熊 雄

(日本化薬厚狭作業所)

摘 要

固体火薬の燃焼速度と壓力の關係式を明にし、更に粉體火薬の燃焼速度と假比重との關係を導出した。一方工業用導火線が大氣中では定常燃焼をする事實を基として側面からの噴出ガス量、末端からの噴出ガス量、全ガス量と線長との關係式を導出し、式中の係数の實驗的決定法を述べた。更に粉體火薬の燃焼速度式とガス噴出量の式から導火線の定常燃焼速度式を導いた。次に導火線側面を完全に填塞した場合の加速燃焼速度式を導き、線長と全燃焼秒時の關係式を求め壓力指數の決定法を明にした。かくして従来理論的解析の全く行はれていない導火線の燃焼に関する理論を明にした。