

に、ブロックの傍に置いた強綿薬は第1齣で発火しており、恐らくこれと同時にブロック内の雷管も発火しているであろうが、孔口より込物の突出がみられるのは、第18齣でありその間(約4ミリ秒)は粘土は圧縮され、火薬ガスは内部で仕事をを行っているのがみられるのは興味深いことである。

写真 No.2 の抗火石は薬量が 3g のためか、大きく真中より2つに割れたのみであった。右に目が多少あつたようである。

写真 No.3 では、写真にみられるように、概ね大きく4つの塊に割れた。

写真 No.4 では、個々クレーターの持ち上つてくる状況がよく観察された。

以上の写真より観察すると、立方形のブロックの場合、亀裂は先ず、最少抵抗線の部分に起つているのが認められる。

コンクリートブロックは抗火石よりも破壊進行速度は速い。

なお、これらの撮影結果より、例えば写真上に見られる亀裂の進行速度、破壊された部分の移動速度等の計算は別に報告する。

静止写真(1)(2)(3)にはコンクリートブロックをピクリン酸、新桐ダイナマイト、LD 硝安ダイナマイトを夫々5g 宛別個に使用して発破したときの破壊の状況を示した。LD 硝安ダイナマイトは新桐に比すれば大塊が多い。

終りに高速度撮影機に関し、種々御教示を賜つた福原達三先生並に本実験に盡力された花田犬一君に深甚の謝意を表す。

(昭和27年4月27日 工業火薬協会総会にて発表)

文 献

(1) 大川誠三：本誌 p248

### Study of Blasting (I) Study by means of High Speed Cinematographic Camera by Teizo Okawa

The blasting of the small concrete blocks by the small charges of explosives were photographed by means of a 16mm high speed cinematographic camera in the speed 3500~4000 frames per second. These photographs were reported.

(Asahi Chemical Industry Co., LTD. Nobeoka Factory)

## 鉛丹・硅素鉄混合物の燃焼

(昭和28年1月12日受理)

吉田銀次郎・長田英世・末吉正勝

(九州工業大学)

### I 緒 言

最近におけるミリ秒間段発電雷管の性能は、需要者側も其の優秀性を認めて用途を拡大して居るが、更に歩を進めて指定炭山に於ける採炭迄への拡張を要求している。之が為既に使用可能性を研究する企が起きている。筆者も之に参与する一人であるが、ミリ秒間段発電雷管の炭層及びメタンガスに対する安全性に就ては確認に至つて居らない。米国、英国等に於ても未だ確認されて居らず、現在市販品に対して直方鉛山技術研究所の試験結果でも結論に至らず、更に同所の実験及び炭坑の目撃談に徴しても爆発後相当時間火花の存在が認められる。この事は相当考慮する可き問題と思われる。之等の探究の手段として延時薬として用いられる鉛丹・硅素鉄の燃焼状況を実験考察

した。

### II 配合比変化による発火温度の状態

#### 1) 実験方法

発火温度を求める方法は各種あるが、試験方法如何に依つて発火温度も左右せられるので、発火温度は一定の物理恒数ではない。吾々の行つた実験方法は電気炉を使用し、先づその温度を  $500^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  に保つ。次でその中央底部に試料 1g を入れた磁製のつぼを挿入し、且試料中に熱電対を入れて試料の温度上昇を時間を切つて読む。試料の温度上昇速度は試料及びつぼの比熱等によつて異なるのであるが大略  $30^{\circ}\text{C}/10\text{sec}$  である。そして発火或は試料の赤熱し始める時を観察しその時の温度を発火温度とする。最高反応温度は燃焼後サーモメーターが示す最高指度を以て決定し

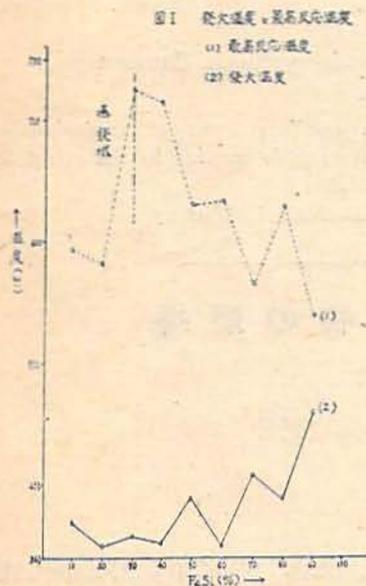
た。この方法に依る発火温度は実験誤差範囲内( $\pm 5^\circ\text{C}$ )に於てよく一致する。

#### ロ) 試料

鉛丹は純度 96% の一級試薬を粉砕し、硅素鉄は硅素分 91% の爆薬用のものを粉砕して使用した。この両者を各種の割合に混じり所定の配合比の試料とした。

#### ハ) 結果

以上の実験を行つた結果を図 1 に示す。この図より明らかな如く、発火温度は硅素鉄含有量の増加につれて波型を描き乍ら上昇し、波形には一定の規則性が見られる。又硅素鉄が 50% 以上含有するものでは、発火温度と最高反応温度との間に逆数関係が存在しその和は一定となるらしい。この規則性の考察は更に別途検討中で追て発表する予定であるが、全般的に見て硅素鉄含有約 40% 附近を境界にして外見上二つの反応型式が存在することが示されている。

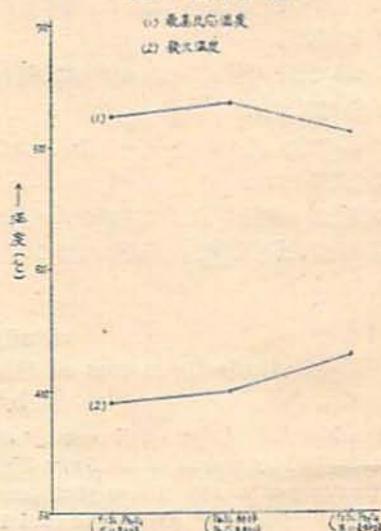


### III 粒度に依る発火温度の変化

粒度に依る発火温度の変化を次に検討する。実験方法は前述の通りで、試料は重量比 5/5 のもの 1g を用いた。試料は夫々一定規格の粒度範囲内にあるものを更に粉砕し、或はそのまま配合した。粉砕による粒度変化の数値は省略するが、粉砕後鉛丹は数  $\mu$  程度、硅素鉄は 10  $\mu$  程度のもが多い。結果を図 2 に示す。鉛丹の粒度変化による発火温度の影響は少いようであるが、硅素鉄の粒度変化は大きな影響を与えることを知る。(鉛丹は粉砕による粒度変化が大きくないことも原因していると思われる)。

粗い硅素鉄粒子は鉛丹との接触面も少く又熱容量も大きく、多量の熱を外部より受けなければ高温に達せず反応が生じ難くなり、発火温度が高くなるのであろう。又最高反応温度が低下するのは、粗い硅素鉄粒子ではその全部が反応に与らずに一部は未反応で残るためであらう。

図 2 最大温度・粒度



### IV 発熱量

この混合物が燃焼を行つた際、いかに程の熱を発生し又その熱量を如何なる時間持続するかによつて、之を延時薬として用いた雷管が爆轟した場合生ずる諸点火源(爆轟波、反応ガスの流れ、高温飛散物等)と共に、これが熱源としてメタン或に炭塵の爆発誘起に如何なる作用を行うかが問題となる。即ち発生熱量、作用時間(高温持続時間)、作用量(薬量)の積が所謂熱源としての強度であるが、この混合物の反応生成物の比熱或は外部への熱損失等が明らかでないので、便宜上最高反応温度を求め、之を規準として発生熱量を推算する。

これを図 3 に示す。この図から明らかな様に、最高反応温度は  $725^\circ\text{C}$  に達し、その後  $600^\circ\text{C}$  に迄低下するのに約 20 sec かかる。ここで発火後の温度上昇勾配はサーモメーターの感度に依つて影響を受けるので正確な上昇現象をつかむことは不可能であるが一応の傾向を示すものとする。次に配合比を変えてその時の最高反応温度と  $600^\circ\text{C}$  に迄低下する時間を測定したものが表 1 である。

図3 燃焼上昇曲線

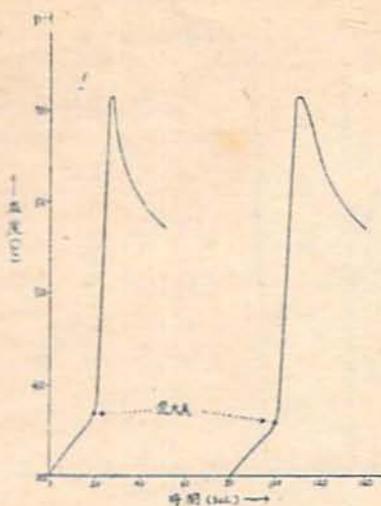


表 1

反応条件 FeSi : Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	空気気流中 (磁製るつぼ内)		空気気流を絶った密閉管中(白金皿使用)	
	最高反応温度 (°C)	持続時間 (600°C 迄降下 (sec.))	最高反応温度 (°C)	持続時間 (sec.)
2:8	爆発のため測定不可能		同	右
3:7	725	20	1180	34
4:6	714	40	—	—
5:5	628	20	1000	94
6:4	635	22	—	—
7:3	565	—	800	127
8:2	628	50	—	—
9:1	540	—	—	—

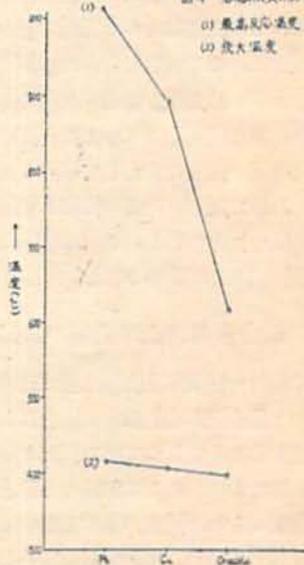
以上の如く反応温度は極めて高く、又その持続時間も極めて長い。従つて延時薬から雷管起爆に到る迄に延時薬の燃焼温度は 900°C 附近に達する可能性があるわけで、しかも燃焼時間の長い雷管爆発時にこれらの粒子が飛散すれば多量の火花を生じ得る。勿論飛散中空気との接触による冷却効果も考えられるが、配合比と薬量如何では逆に高温の硅素鉄が空気中の酸素と酸化反応を生ずることもあり得る。従つて点火源としての条件が具備した場合は、これがガスの燃焼を誘起する可能性が存在する。多段のミリ秒段階雷管の抗道実験で或る場合には引火する事例<sup>1)</sup>もあり、又米国に於て如何なる延時薬を使用しているかは明らかでないが、鉱山監督局の報告の結論としても同様なことが記載されている<sup>2)</sup>。従つて指定炭坑に於ける使用の安全性に関しては、爆破機構上の色々な問題

もあるが、その前に鉛丹-硅素鉄系延時薬使用のミリ秒段階雷管では、以上の点で慎重考慮すべき点が存在すると思われる。

## V 反応容器の影響

次に試料を入れる容器の材質に依つて反応が如何に変化するか、即ち容器の触媒性に就て考える。結果を図4に示す。試料は 0.5g で配合比は 5/5 のものである。容器重量は 2g である。実験は空気の対流による冷却効果を防ぐ意味で試料をガラス管中に密閉し、その中に熱電対を封入して温度を測定した。図4の結果から見ると、Pt 皿、Cu 皿、磁製のつぼによつて発火温度は影響せられない。即ち低温に於ける触媒性はないものと思われるが、最高反応温度には大きな影響を与えている。即ち Pt, Cu, 磁製のつぼの順に温度が低下する。之は丁度比熱の小なる順であつて、Pt, Cu の触媒作用というよりは寧ろそれらの熱容量による発生熱量の吸収率が相違することに起因するものと思われる。即ち延時薬の燃焼温度降下の一手段として、物理的な意味で発生熱量を多量吸収するような高比熱で不活性な不燃性物質のもので延時薬を包めば効果があると思われる。

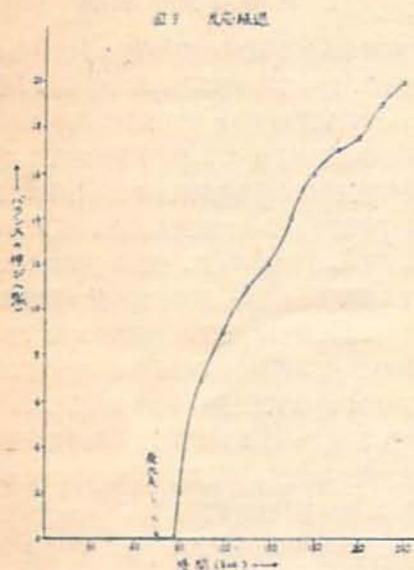
図4 容器材質の影響



## VI 反応状況の観察

次に反応状況を観察する為には熱天秤を使用して、反応経過を追跡した。試料は 5/5 のものを 2g 用いた。熱天秤の電気炉を 500°C に保つて反応を行わせた。図5にそのうちの一つを示す。発火する迄の重量変化

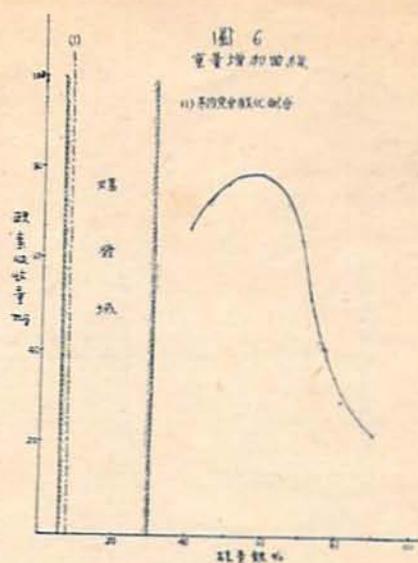
はなく、発火後暫く経つて重量増加が始まる。この重量増加は空気中の  $O_2$  と高温の未反応 Si 或は Fe との酸化反応に依つて吸収せられた酸素量であると思われる。



結果を総合してみると、反応は2つの段階から成立していることが判る。第一段階は混合系自体内の酸化反応であつて、この反応によつて系内に熱の蓄積が生ずる。第二段階は、この蓄積せられた熱が未反応の珪素鉄粒子に伝わり、珪素鉄の温度が急激に上昇し、活性化せられた状態で空気中の  $O_2$  と酸化反応を行うものである。即ち第一反応は主として系内の固相間の酸化反応であり、第二反応は高温の固相と気相の  $O_2$  との不均一系の酸化反応である。これは若岡氏発表の二次火焰の現象<sup>2)</sup>と同様の意味に考えられる。

### VII 混合系内完全酸化域の決定

上述の如く鉛丹-珪素鉄混合物は燃焼後重量増加を生ずる。従つて混合系が完全酸化の配合にあるならば第一反応が生ずるのみであつて第二反応としての重量増加はないわけである。そこで如何なる配合の時に完全酸化と推定せられる反応が生ずるかを検討する為めに次の如き実験を行った。即ち試料の配合比を変化させて、その1gを採つて磁器のつぼに入れ、500°C定温の電気炉中に5分間入れ、燃焼前後に於ける重量変化を化学天秤で精秤した。結果を図6に示す。この結果から考察すると、珪素鉄30%から5%迄の混合物は爆発する。即ち完全酸化に近い反応が行われる場合には酸化反応速度が非常に大となり、瞬間的に多量の反



応熱が系内に蓄積せられる為、熱爆発を生ずると考えられる。従つて完全酸化の配合はこの爆発域内に存在すると考えてよいであろう。

今酸化生成物として  $FeO$  と  $SiO_2$  とを考える。 $Pb_2O_3/FeSi=9:1$  に於ける酸化を化学量論的に取扱う。この際各々の純度を考え、試料1gについて純  $Pb_2O_3$  は  $900mg \times 0.96=864mg$ 、この中の  $O_2$  の量は  $80.6mg$ 、一方 Si は  $100mg \times 0.9=90mg$  で Si が  $SiO_2$  に変化するために必要な  $O_2$  は  $103mg$ 、Fe が  $FeO$  に変化するために必要な  $O_2$  は  $2.9mg$  即ち完全酸化には  $25.4mg$  の  $O_2$  が不足である。従つて完全酸化には空気中の酸素が必要となる。

$Pb_2O_3:FeSi=9.5:0.5$  の場合、同様に計算を行へば、この場合酸素は  $31.7mg$  過剰になる。そして Pb の一部分が残っているこの酸素と化合して  $PbO$  となると約  $416mg$  の Pb を遊離する。従つて図6に於て完全酸化の配合は珪素鉄5%~10%の間にあることになる。そして珪素鉄7.5%の如く混合系内に於て酸化平衡が成立する。但し酸化生成物としては  $FeO$  と  $SiO_2$  が生成せられるとし珪素鉄の鉄以外の不純物は全部鉄として計算した場合である。

### VIII 結 論

以上の実験結果より結論として次の事項が考えられる。

- (1) 発火温度は規則性を有する。そして珪素鉄の含有量40%附近を境にして反応様式が異なる。
- (2) 鉛丹の粒度は温度に余り影響は無いが、珪素

鉄の粒度によつて発火温度は大なる影響を受ける。

(3) 発生熱量は極めて多く、その反応生成物は相当長時間高温を保つので、炭坑等に於てこれを延時薬としたミリ秒間段発雷管を使用するには更に種々の考慮を加える余地がある。

(4) この延時薬を比熱の高い不燃性物質で包めば相当程度の温度降下を期待することが出来る。

(5) 燃焼様式は2段階に分れ、第一反応は系内の固相に於ける酸化反応を、第二反応は不均一系酸化反応を行う。

(6) この混合物は硅素鉄 7.5% 辺で系内完全酸化

を行うと考えられる。

以上の実験は昭和 27 年度文部省科学研究費によつて行つたものである。

## IX 文 献

- (1) 資源庁技術試験所九州支所報告 1952 年
- (2) J. Nagy, etc. (U. S. Bur. of Mines. May (1952))
- (3) 若岡吉一 (工業火薬秋期研究発表会報告, Oct. (1952))

### Combustion of Minium-Ferrosilicon Mixture.

G. Yoshida, H. Osada & M. Sueyoshi.

The combustion properties of the minium-ferrosilicon mixture have been studied.

Ignition temperatures of the mixture vary with the ratio of ferrosilicon to minium. The grain-size of ferrosilicon gives the remarkable effects on the ignition temperatures, while that of minium gives little effects.

Maximum temperatures attainable in the combustion reaction of the mixture, the duration of high temperatures in the reaction products and the effects of wall of the reaction vessel were examined.

It seems the combustion occur in two steps: the first one is the oxidation reaction in the solid phase, the second being the heterogeneous reaction between solid and oxygen gas in air.

(Kyusyu Institute of Technology)

## 殉爆に関する研究

(第3報) 鉛板式プラスチックに就て

須藤秀治・福山郁生

(中央大学工学部) (旭化成工業株式会社)

### 1. 緒 言

鉛板式プラスチックは鉛板の厚さを適当に選ぶ事により任意の圧力が測定出来、其の取扱いも簡便で

あり山家氏<sup>1)</sup>、鈴木氏<sup>2)</sup>、Chemische technische Reichsanstalt<sup>3)</sup>により其の優秀性が述べられている。

筆者等は爆発より数 cm 乃至数 m の近距離に於ける衝動圧を本装置により測定した。