

# 高處電焊、氣切動火作業產生火花之飛散範圍研究

蔡世豪\*

## 1. 前言：

本篇報告為日本川崎工場工作部及安全課人員所做的實驗報告，其原因乃是昭和39年（1964年）6月日本昭和電工的P-O（環氧丙烷）裝置發生爆炸事故，而當天在其附近的川崎工場正在從事高處動火工作，因而懷疑其爆炸發火源是由此處的火花所引起的，故有這篇實驗報告的產生。本廠規模廣大，設備繁多，高度動火工作的機會相當頻繁，其火花飛散範圍也是大家所關心的，謹將其譯成中文，以供參考，使其對火花之飛散範圍有更深一層的認識，進而加強動火安全。

## 2. 高處電焊、氣切火花之飛散範圍：

### 2-1 實驗方法：

在川崎工場內鋪設水泥的地面上架設高度20公尺的木架，於高度20公尺、15公尺、12.25公尺以及8.25公尺等不同高度上進行電焊、氣切以及碳極電弧切割（arc air gouging

表1 作業的種類

作業的種類	作業條件
氣切 水平 向下	被切割材料 材質 ss-41 板厚 4.5、9、16、25mm  氣體壓力 氧氣 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 乙炔 $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$  切割器火口 2#、3#
電焊	電焊棒 B-174φ 電壓 26V 電流 200A
碳極電弧切割 水平 向下	碳棒 8φ 電壓 35V 電流 350V 空氣壓力 $7\text{kg}/\text{cm}^2$

\* 中油公司高雄煉油總廠專案工程師

) 作業，不但以目視觀察其火花之飛散範圍，並且拍照記錄。實驗是在夜間進行的，能夠輕易觀察火花飛散的情況，在作業中分為水平姿勢和向下姿勢，分別於上風及下風方向工作，表-1所示為實驗時作業的種類。

## 2-2 實驗結果

### 2-2-1 用語定義：

本篇報告書中，使用下列之用語：

一次火花……在電焊、氣切時產生之火花。

二次火花……一次火花在地面等地方反彈之二次飛散火花。

### 2-2-2 結果：

#### (1) 氣切：

(a) 水平切割之火花飛散範圍比向下切割的更遠。

(b) 一次火花受風向之影響趨向下風位置，而且向下風位置水平切割時飛散範圍最遠。

(c) 工作位置愈高，以及被切割材料愈厚，其飛散範圍愈遠。

(d) 在地面上所生成的二次火花其跳起高度約1公尺左右。

表-2所示為由作業位置算起之一次火花落下位置，以及二次火花飛散位置之最遠處距離。

圖1～3所示為最高度和被切割材料板厚，以及火花最大飛程之關係。

圖4所示為由側面所見火花飛散軌跡。

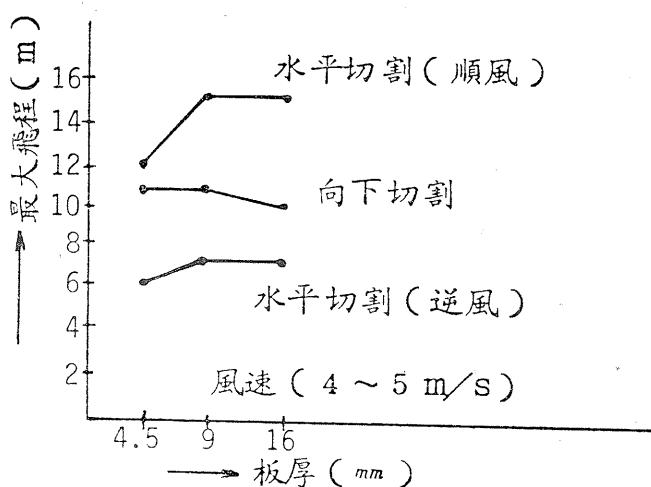


圖1 於高度20公尺處產生氣切火花之飛程

表 2 氣切產生火花之飛散距離

高 度 (m)	板 厚 (mm)	作業種類	火 花 之 飛 散 距 離 (m)				風 速 (m/s)	
			逆 風		順 風			
			一次火花	二次火花	一次火花	二次火花		
8.25	4.5	水 平 向 下	4.5 3.5	6.5 6.0	7.0 —	9.0 —	1-2	
12.45	4.5	水 平 向 下	5.5 3.5	7.0 6.0	6.0 —	9.5 —	1-2	
15	4.5	水 平		4.5	6.0	8.0	11.0	
	9			6.0	12.0	8.5	12.0	
	16			5.5	7.0	9.0	12.0	
	25			6.0	8.0	9.0	12.0	
	4.5	向 下		3.0	6.0	—	—	
	9			4.0	7.0	—	—	
	16			5.0	8.0	—	—	
	25			6.0	9.0	—	—	
20	4.5	水 平		4.0	6.0	8.0	12.0	
	9			4.5	6.0	9.0	15.0	
	16			4.5	6.0	10.0	15.0	
	4.5	向 下		6.5	14.0	—	—	
	9			7.0	10.0	—	—	
	16			8.0	10.0	—	—	

(2) 碳極電弧切割：

(a) 與氣切有相同的傾向，但其火花飛散之飛程比氣切者更遠。

(b) 在地面上所生成的二次火花其跳起高度最高約0.5公尺。

圖5所示為作業高度與火花最大飛程之關係。

(3) 焊 接：

(a) 正常焊接時，掉到地上的火花幾乎不會產生二次火花。

(b) 電弧於開始及終了時或過大電流下進行焊接，大粒的熔渣大致直落於作業原位置，而

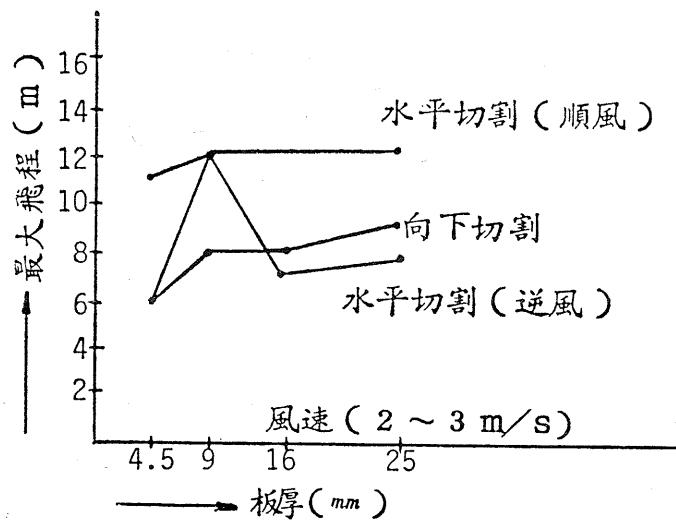


圖 2 於高度15公尺處產生氣切火花之飛程

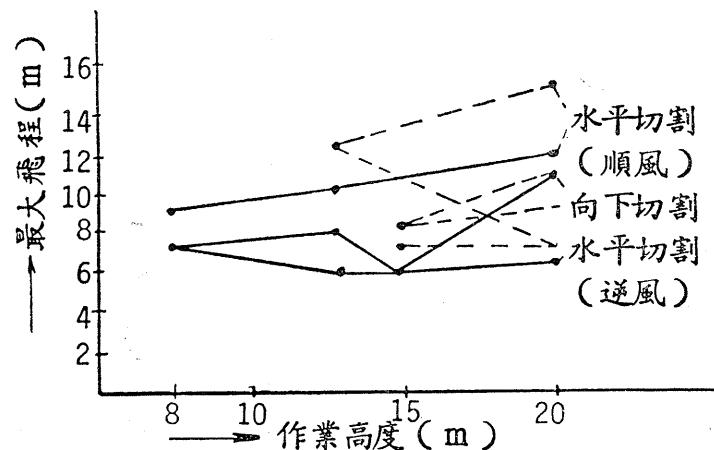


圖 3 不同板厚之作業高度和氣切火花之飛程

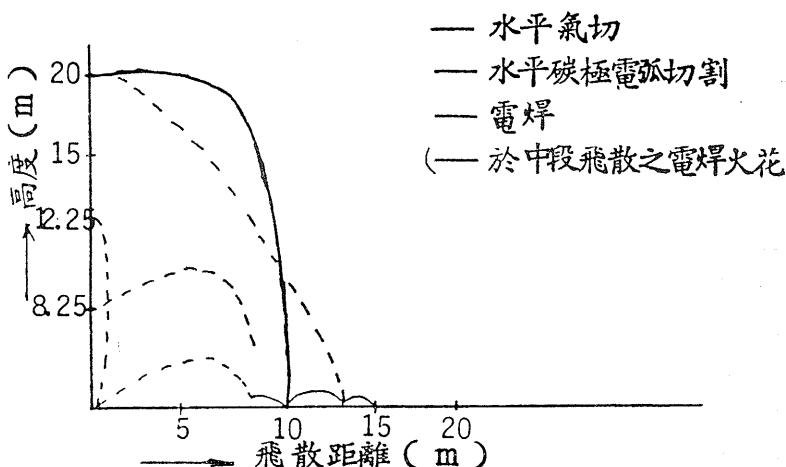


圖 4 火花之飛跡

二次火花會飛散到相當遠的範圍。

飛散範圍是以作業位置為中心，熔渣的掉落位置約9~10公尺，而且跳起之高度約為3公尺。

(c)受風速以及作業高度的影響不大。

圖6所示為作業高度和火花最大飛程之關係。

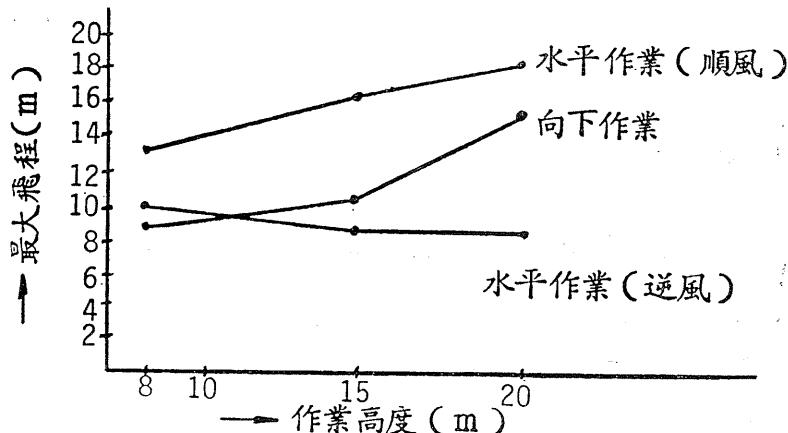


圖5 作業高度和碳極電弧切割火花之飛程

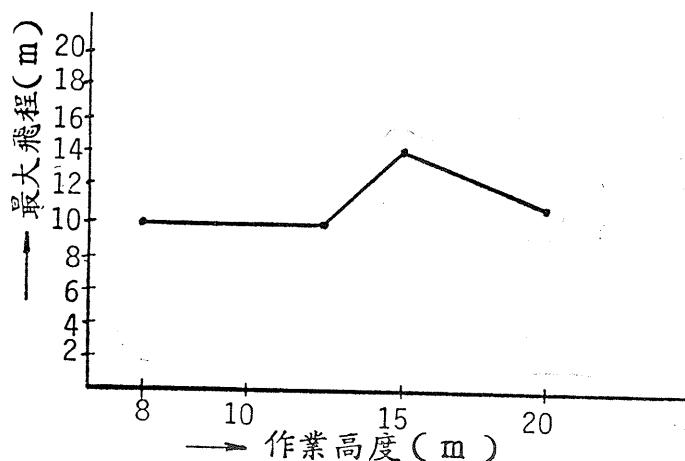


圖6 作業高度和電焊火花之飛程

### 2-3 觀察：

(a)氣切時，被切割的材料愈厚，飛散範圍愈遠；切割時高壓氧氣的壓力愈高，一次火花的初速愈大，使用碳極電弧切割時，所使用的空氣壓力愈高，飛散範圍就愈遠。

(b)一次火花愈大，其二次火花之飛散範圍就愈遠。

一次火花的大小：電焊於之熔渣最大，其次為氣切之火花，再其次為碳極電弧切割。熔渣在地面上跳起之高度則依次減小。

- (c)一次火花到達地面前碰到跳板等物而產生之二次火花，其飛散範圍就顯著增大。
- (d)由以上事例得知，爲了減少火花之飛散，採取局部防護措施是有效的。

### 3. 因火花造成可燃性液體蒸氣之引火：

#### 3-1 實驗方法：

和火花飛散實驗一樣的方法，在高度20公尺以及8.25公尺處產生火花，於地面上，配置裝滿充有當量濃度的可燃性液體蒸氣之開口桶罐，調查其引火程度，圖7所示爲其桶罐配置圖。

選擇汽油（Gasoline）、苯（Benzol）、甲醇（Methanol）、環氧丙烷（Propylene Oxide）四種可燃物經計算求得之適當量裝入桶罐後立刻以絲龍（Saranwrap）做蓋子蓋起來，以防止蒸氣散逸。可燃物在幾秒至幾分鐘之間就完全氣化，絲龍的厚度只有0.04mm，很容易被火花熔掉，不會妨礙實驗工作。

實驗之前，先測定確認桶罐中之蒸氣濃度。測定濃度之儀器，在汽油、甲醇、苯方面使用「光明式可燃性氣體測定器」而環氧丙烷使用北川式檢知器。

最後的實驗爲了研究金屬網對於防止熔渣引火的效果，在桶罐上設置手提的金屬網，調查其引火之狀況。

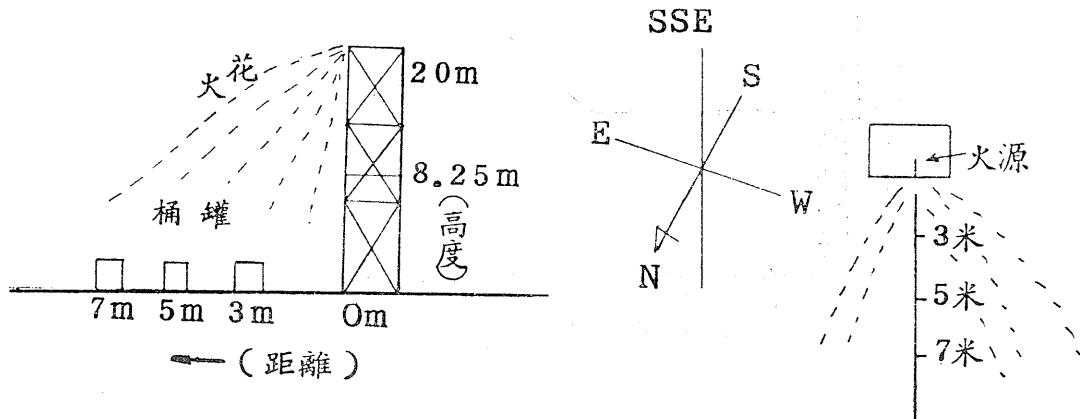


圖7 實驗配置圖

#### 3-2 實驗結果：

- (a)含有爆炸範圍濃度的可燃物蒸氣之地方，從20公尺以下高度落下的切斷熔接之火花有引火的危險。
- (b)電焊所產生的火花最容易使之著火，其次爲氣焊，再其次是碳極電弧切割。

碳極電弧切斷之火花只是在絲龍（Saranwrap）上燒成孔狀，並未引火。

表 3

	汽 油 (Gasoline)	甲 醇 (Methanol)	苯 (Benzol)	環 氧 丙 烷 (Propylene Oxide)
分 子 式	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> (n-Hexane 計算)	CH <sub>4</sub> O	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O
分 子 量	86.17	32.04	78.11	58.05
液 體 比 重	0.660	0.790	1.045	0.859
當 ( 氧 氣 中 )	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> +9.5O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> O+1.5O <sub>2</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> +7.5O <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O+4O <sub>2</sub>
量 ( 空 氣 中 )	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> +45.2 air	CH <sub>4</sub> O+7.18air	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> +35.9air	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O+19.15air ( : air × 0.209 = O <sub>2</sub> )
體 積(%)	2.2%	12.2%	2.71%	4.97%
在桶罐 (200l) 的公升數	4.4l	24.5%	5.42%	9.94%
在一 大 氣 壓 30°C 產 生 上 記 容 量 的 液 體 g 數	$\frac{4.4}{25} \times 86.17 = 15.2g$	$\frac{24.5}{25} \times 32.04 = 31.3g$	$\frac{5.42}{25} \times 78.11 = 16.95g$	$\frac{9.94}{25} \times 58.05 = 23.1g$ ( : 22.4 × $\frac{273+30}{273} = 25$ )
所 要 容 量	$\frac{15.2}{0.66} = 23CC$	$\frac{31.3}{0.79} = 39.6CC$	$\frac{16.95}{1.045} = 16.2CC$	$\frac{23.1}{0.859} = 26.9CC$
爆 炸 瓶 圖	12-7.5%	7.3-36%	1.4-7.1%	在空氣中 2.5-38.5% 2.1-21.5
閂 火 點	-40°C	11°C	-11°C	U. S. A. Bureau of Mines -37.2°C

表4 實驗成績

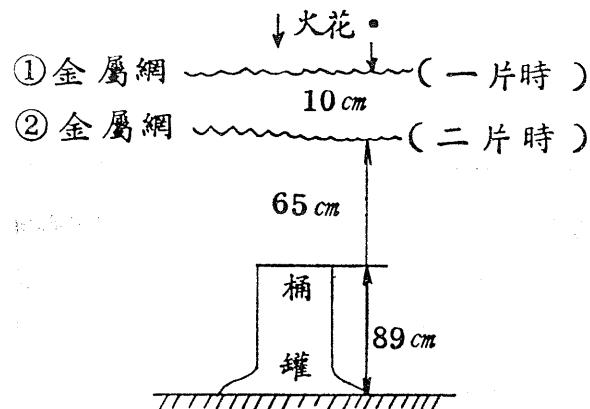
實驗 No.	動火地方 的高 (m)	動火型式	氣體種類	濃度 (%)	桶經的位 置 (公尺)			火時 到發火 的時間 (秒)			氣溫 (°C)			氣溫 (%)			象條件			向 風
					①	②	③	①	②	③	31.5	75	75	1.8	SE	SSE	SSE	SSE	SSE	
1	8.25	氣	切	2.1	3	5	7	50	30	100	40	30.5	75	75	2.6	SSE	SSE	SSE	SSE	SE
2				11.6	3	5	7	25	10	—	—	—	—	—	0.8	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE
3				3.0	3	5	7	50	75	55	30	75	75	0.8	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	
4				7.2	3	5	7	5	25	80	30	75	75	0.8	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	
5				2.1	1	—	—	15	—	—	30	75	75	1.6	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	
6				9.2	1	—	—	5	—	—	30	75	75	1.8	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	
7				3.45	1	—	—	2	—	—	30	75	75	1.8	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	
8	8.25	電	焊	6.0	1	—	—	3	—	—	30	75	75	1.5	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	
9				1.7	3	5	7	140	125	200	30	75	75	1.5	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	
10				10.0	3	5	7	25	10	No.	29	75	75	1.5	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	
11				3.3	3	5	7	55	No.	No.	29	75	75	1.1	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	
12				8.0	3	5	7	55	175	No.	29	75	75	1.5	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	
(12)				不明(但在爆炸範圍)	—	—	7	—	6	24.5	55	55	55	1.8	S	S	S	S	S	
13	20	氣	切	3.0	3	5	7	80	20	150	33	76	76	3.5	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	
14				10.0	3	5	7	15	40	40	32	75	75	2.0	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	
15				2.8	3	5	7	60	62	No.	33	76	76	2.5	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	
16				4.7	3	5	7	15	20	45	33	76	76	2.0	SE	SE	SE	SE	SE	
17				1.8	1	—	—	20	—	—	26	82	82	1.3	無風	無風	無風	無風	無風	
18				10.0	1	—	—	10	—	—	26	82	82	1.3	S	S	S	S	S	
19				3.45	1	—	—	15	—	—	27	91	91	1.6	S	S	S	S	S	
20				4.4	1	—	—	5	—	—	27	91	91	1.4	S	S	S	S	S	
21				2.7	3	5	7	235	25	No.	28	82	82	2.5	SE	SE	SE	SE	SE	
22				10.0	3	5	7	15	30	25	26	82	82	1.6	S	S	S	S	S	
23				2.3	3	5	7	40	No.	No.	26.5	78	78	1.4	S	S	S	S	S	
24				8.0	3	5	7	75	205	No.	26	82	82	2.3	S	S	S	S	S	

(註) 實驗(12)是為研究絲龍 (Saranwrap) 的影響而將桶罐開放做實驗。

(c) 提供實驗之四種可燃性液體中，環氧丙烷最容易引火，爆炸音也最大，而苯則比較難引火。

(d) 可以判明金屬網無防止火花通過的功能。表 4、5 為歸納實驗的結果。

表 5



實驗 No.	金屬網 (mesh)	片數	P-O濃度	到引火的時間 (秒)	氣溫(°C)	濕度(°C)	風速(m/sec)	風向
25	27	1	5.6	10	30	78	2.0	S
26	33	1	5.0	3	33	58	3.3	S
27	33	2	7.0	4	33	53	2.6	S
(28)	33	2	7.0	23	34	60	2.7	S

(註) 只有實驗(28)實施碳極電弧切割