

様導火線の秒時を長くする（調節する）ために用いるものである。）

(b) 塩素分

硝石中の微量の塩素分は硝石ひいては黒色火薬の含有水分を増大し、導火線の立消えを起すので塩素分を0.03%以下と規定している。かつて日本化薬で導火線が製造中に立消えを生じた原因を調べたところ、硝石内の塩素分は表2の如くで立消えを生じた種目に著しく多いことが判明した。

(2) 硫黄

硫黄については異常燃焼に特に影響される因子は少

ない。

(3) 木炭

(a) 樹種

木炭は軽く柔かくかつ灰分の少ないものが必要とされている。軍用発射薬用としては樹種のみならず伐採の時期、伐採から炭化までの期間なども定められたが導火線用としてはそれ程厳密に定められることなく、わが国でははんのき、赤松などが用いられる。堅木を用いると燃焼が緩慢になりまた燃焼中反跳するので横吹きの原因となる。吉田銀次郎氏によれば各種の木炭を用いて製造した導火線の性能は表3の如くである。

表2 硝石中の塩素分の硝石水分及び導火線に及ぼす影響

種目	塩素分	製造月日	硝石分に対する水分		備 考
			製造時	9月8日現在	
No.1	0.018%	1月26日	0.70%	1.09%	9月8日現在で導火線立消を生せず
No.2	0.062	2月9日	0.72	1.39	" 導火線立消を生ず
No.3	0.053	3月10日	0.67	2.07	" "

表3 木材の種類と導火線秒時

木 炭 名	はん黒炭	はん褐炭	桐黒炭	桜黒炭	雑黒炭	
採取法及び炭化法	東北産 4~8寸 炭化度 36~40	同 左	樹令 約13年 枝径 約4寸	同 左	家庭用聚炭 くぬぎ炭、 火付不良樹 令15年以上	
粉末度(40目篩パス200目篩止)(%)	30	20	20	20	15	
灰 分 (%)	0.57	0.26	0.69	1.89	2.38	
真 比 重 (%)	0.71	0.86	0.56	0.87	0.98	
KNO ₃ 70, S 15, C 15 の配合比の導火線秒時 (sec/m)	製造直後 60日後	140	193	167	150	180
		136	195	161	157	185
着火点 (mm) (最大距離)	65	50	50	50	40	
導火線末端火炎距離 (mm)	20	20	20以下	20	20	
導 火 線 薬 量 (g/m)	5.53	5.40	5.48	6.68	7.41	

表4 木炭の炭化度と粉火薬の仮比重並びに導火線秒時との関係

炭 化 度	36	40	50	64	備 考
仮 比 重	0.358	0.381	0.372	0.342	被覆は第1種導火線
導火線秒時	45.1	51.2	54.6	71.6	秒時は長さ50cmのもの

(b) 炭化度(収炭率)

導火線の秒時は木炭の炭化度により表4のように著しく異なり、炭化が進む程導火線秒時は短くなる。

木炭の炭化度が大きになると未炭化の木材が木炭中に混入し篩分で篩の目を通つたものが一部製品中にはいり導火線被覆機のホッパー下部のノズル(薬白)につまつて薬切れの原因となる。また表9に見るように炭

化度大の木炭を配合した粉火薬は圧力指数も大きい。従つて木炭々炭化度は特殊品を除き35~40%にして導火線秒時は他の方法で調整している。

2.2 粉火薬と小粒火薬

わが国では伝統的に粉火薬を用いているが、外国では原則として小粒火薬を用いる、小粒火薬は導火線製造時に原料が分離しないこと、末端火炎の噴出力が

大きいことなどの長所はあるが、コストが高い割にそれだけのメリットがないという理由でわが国では殆んど研究されたことはない。スイスのユニバーサル導火線の心火薬は黒色火薬でない Brand-Masse を用いているとのことである。この配合比は正確には不明であるが、スイスの仕様書を見ると硝石 4 部 熔融硫黄 1 部 軟質木炭 1 部を混合するとあり（当方分析結果は KNO_3 61.7%, S 16.3%, C 22.0%）これはわが国においては明らかに硝酸塩を主とする火薬に属するので

火薬類の範囲から逸脱することはできないと考えられる。

2.3 配合比

(1) 配合比による燃焼秒時

昭和24年1月17日から3月1日の間日本化薬岩鼻作業所で表5(1)の製造条件で製造した各種配合比の粉火薬を同社小倉作業所において同年5月25日から6月25日の間に表5(2)の製造条件で製造した結果を表6に示す。

表 5 (1) 黒色粉火薬の製造条件

(1) 原料	硝石粉碎品, 硫黄粉碎品, 木炭炭化度 40.25%, はん木炭
(2) 製造	二味混和 木炭を仕込んで1時間回転後硫黄を仕込み1時間計2時間運転する (仕込量 5kg, ボール 8kg 入) 三味混和 二味剤と硝石を同時に仕込み1時間回転する (仕込量 20kg, 木球 20kg 入)

表 5 (2) 導火線製造条件

	第1被覆	第2被覆	テープ	アスファルト	仕上	ノズルの内径 (mm)					
						葉白	第1中白	第2中白	塗料白	糊白	仕上白
第1種導火線	#14 麻糸 13	巾 13mm 紙糸 8	巾 13mm	ブロン	#20三子より綿糸 10	3.0	3.8	4.7	4.5	5.2	5.1
第2種導火線	#14 麻糸 13	#20三子より綿糸 4	同上	同上	#20三子より綿糸 8	3.3	4.0	4.3	4.1	5.0	5.0

表 6 各種配合比の粉火薬を心薬とした導火線秒時

符号	KNO_3	S	C	第1種導火線秒時			備 考	第2種導火線秒時			備 考
				min	max	mean		min	max	mean	
A ₁	62	18	20	90	95	93.0	現用日化第1種配合	77	82	79.7	
A ₂	60	25	15	102	109	106.7	現用日化第2種配合	87	92	88.3	
B ₁	40	20	40			228	着火困難立消9本			180	着火困難立消9本
B ₂	40	25	35	184	188	186.7	不着火7本伝火は良好	165	177	174.0	立消3本
B ₃	40	30	30	128	140	136.6	不着火5本伝火は良好	110	121	115.6	
B ₄	40	35	25	138	160	147.5	立消4本, 横吹1本	115	137	127.5	横吹2本
B ₅	40	40	20				不着火				不着火
C ₁	45	15	40	134	147	138.8		98	102	99.3	
C ₂	45	20	35	122	131	124.2		88	93	90.5	
C ₃	45	25	30	99	104	100.9		75	84	80.6	
C ₄	45	30	25	112	123	118.9		87	91	89.0	立消1本
C ₅	45	35	20	117	161	136.0	立消1本	103	136	118.1	横吹2本
C ₆	45	40	15	220	229	224.5	不着火8本				不伝火
D ₁	50	10	40	94	101	97.3	不着火1本	77	81	79.1	着火困難
D ₂	50	15	35	89	92	90.4		71	73	72.0	
D ₃	50	20	30	85	88	86.1					試料作成失敗
D ₄	50	25	25	90	93	92.0		80	87	83.2	
D ₅	50	30	20	105	121	115.9		106	126	113.0	
D ₆	50	35	15	134	141	138.6		119	127	122.2	
D ₇	50	40	10	162	167	164.7	不着火2本	135	139	138.0	

符号	KNO ₃	S	C	第1種導火線秒時			備 考	第2種導火線秒時			備 考
				min	max	mean		min	max	mean	
E ₁	55	5	40	102	106	104.6		74	76	74.8	
E ₂	55	10	35	77	82	78.7		63	67	64.9	
E ₃	55	15	30	78	85	81.0		61	63	62.4	損吹2本
E ₄	55	20	25	82	89	85.3		80	83	80.8	
E ₅	55	25	20	94	100	96.9		88	94	90.9	
E ₆	55	30	15	104	110	107.1		94	96	94.9	
E ₇	55	35	10	128	131	129.2		124	128	125.3	
E ₈	55	40	5			不着火				不着火	
F ₁	60	0	40	105	117	110.8		75	79	77.1	
F ₂	60	5	35	71	74	72.5		64	67	65.8	
F ₃	60	10	30	67	71	68.8		66	68	66.6	
F ₄	60	15	25	83	90	86.3		73	74	73.4	
F ₅	60	20	20	79	89	85.3		82	86	83.8	
F ₆	60	25	15	117	122	119.8		105	112	109.7	
F ₇	60	30	10			不着火				不着火	
G ₁	65	0	35	67	72	69.3		62	66	64.6	
G ₂	65	5	30	65	67	66.5		65	68	66.1	
G ₃	65	10	25	65	70	68.1		67	69	67.7	
G ₄	65	15	20	74	80	77.1		77	86	82.8	
G ₅	65	20	15	88	92	89.9		79	84	81.2	
G ₆	65	25	10	102	104	102.8		93	102	97.1	
G ₇	65	30	5	213	216	214.6	不着火1本			不着火	
G ₈	65	35	0			不着火				不着火	
H ₁	70	0	30	68	76	72.3		58	63	59.6	
H ₂	70	5	25	69	74	72.0		64	70	65.7	
H ₃	70	10	20	78	85	80.1		73	76	74.6	
H ₄	70	15	15	87	95	91.6		78	84	81.7	
H ₅	70	20	10	104	112	109.4		93	103	98.8	
H ₆	70	25	5	204	225	216.0	不着火1本	219	256	228.3	
H ₇	70	30	0			不着火				不着火	
I ₁	75	0	25	65	71	69.6		64	68	66.5	
I ₂	75	5	20	75	78	76.5	短多し	72	77	75.0	
I ₃	75	10	15	87	88	87.7		83	87	85.0	
I ₄	75	15	10	119	127	122.2	被覆こげ	103	109	105.9	
I ₅	75	20	5	300	324	313.5	"	303	312	306.3	
J ₁	80	0	20	79	85	82.1		78	85	82.1	
J ₂	80	5	15	90	95	93.4		92	98	95.6	
J ₃	80	10	10	130	135	132.2		129	138	133.6	
J ₄	80	15	5	347	362	353.4		342	355	348.1	
J ₅	80	20	0			不着火				不着火	

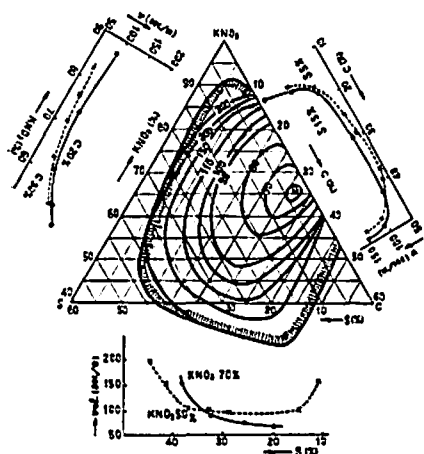
(注1) このデータの一部は工業火薬 22, 78 (昭和23年) に掲載した。

(注2) 試験試料は n=10, 長さは各 1m

この結果を KNO₃, S, C を正三角形の頂点とする三角図表に表わし等秒時曲線を描いた図が図1 (第1種導火線) 及び図2 (第2種導火線) である。

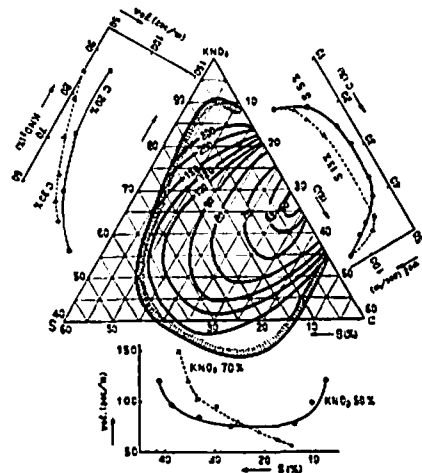
燃焼秒時は同じ配合比の火薬で第1種導火線と第2種導火線で平均 20秒/m 位第2種導火線の方が短かく

なっている (しかし最短秒時は第1種導火線で 67秒/m 第2種導火線で 60秒/m 程度で 6~7秒/m の差しかない) が等秒時曲線は図1 及び図2 共同じ形状であり, ある一成分の配合比を一定にして他の二成分の配合比をかえた時の燃焼秒時曲線変化も第1種第2種導



○ は着火限界
 三角形内の数字は導火線 1m 当りの燃焼秒時

図 1 各種配合比火薬の第 1 種導火線秒時



○ は着火限界
 三角形内の数字は導火線 1m 当りの燃焼秒時

図 2 各種配合比火薬の第 2 種導火線秒時

表 7 各国の導火線用火薬の配合比

国名	配合比	KNO ₃	S	C	その他	備考
日本 (戦前)	甲号	65	17.5	17.5		旧陸軍製造
	乙号	56.5	21	22.5		"
	丙号	70	16	14		"
	丁号	65	22	13		"
	戊号	60	25	15		"
	辛号	68	16	16		"
	壬号	68	15	17		"
	三田向A	58	27	15		
	三田向B	80	10	10		
	日油向	77	13	10		
日本 (現在)	1号心薬	64	22	8	マグナリウム	
	2号心薬	60	25	10	6	
	速燃用	75	10	15	5	細粒薬
アメリカ	日本化薬	62	18	20		第 1 種導火線用
	旭化成	60	25	15		第 2 種導火線用
	帝火	60	25	15		
	帝火	64	22	14		
ドイツ	1	79.96	9.78	9.86		Hall & Howell: Bureau of Mines. Tech paper (1912)
	2	74.61	8.68	16.29		アメリカにおける実測値
	3	71.82	10.09	17.59		
	4	66.60	13.48	19.37		
ドイツ		70	14	16		Kast: Spreng-und Zündstoffe S454 (1921)
		79	14	7		Ullmann: Enzyklopädie der tech Chemie Bd5, S342 (粒度 0.15~0.45mm)
		75	12	13		Escales: Schwarzpulver und Sprengsalpeter S440 (1910) 粒度40目/インチ 7.71%止, 60目/インチ 40.53%止, 80目/インチ 13.95%止, 100目/インチ 27.50%止, 10.31%通過
フランス		40	30	30		燃焼秒時 } Stettbacher: Schiess- und Sprengstoffe (S110) 1933
		62	20	18		
		72	13	15		

火線でその傾向は変わらない。なお念のため別に日化小倉作業所で同じ配合比で製造した粉火薬を第1種第2種導火線被覆で製造した場合は混合時間が短かいため十分に粉碎されないで、燃焼秒時は全般的に10~15秒/m 長いけれども殆んど同じ傾向を示した。また導火線被覆の代りに粉火薬をガラス管に手ごめで装填し、その燃焼秒時を測定しても秒時は導火線被覆の場合に比して1/10以下に短くなるが図1と大体同じ傾向を示す。これにより配合成分のみをかえた黑色粉火薬を用いた導火線秒時の相対的形状は被覆の如何に拘らず図1または図2に示す如くである。これより推定すると導火線の燃焼秒時の絶対値とか秒時偏差などは粉火薬の配合成分以外の因子にも関係するが燃焼秒時の相対値とか燃焼範囲などは火薬固有の特性に支配されることが大きい。従つて粉火薬の最適配合値は秒時に関する限り第1種導火線も第2種導火線も同一で差支えない。ただ第2種導火線は第1種導火線に比して被覆が薄いために燃焼ガスが放出され易いことにより燃焼秒時は第1種導火線に比して約10秒/m 短かい。燃焼秒時は被覆の緊度度アスファルトの塗布量などによつて或程度加減できるがやはり粉火薬の配合比をかえる方がより容易でありより合理的である。その他第1種導火線は炭坑用として始発火災を少なくするため硫黄量を減少しなければならない制限がある。これらを総合して粉火薬の配合比を決定しなければならない。

(2) 導火線用火薬の配合比

文献に表われた導火線用火薬の配合比は表7の如くである。

これを見ると KNO_3 は 40~80%, S は 8~30%, C は 7~30% で粉火薬または粒状火薬の相異はあるが何れも図1~図2の着火限界内にあるとはいえ、大巾に変化している。従つて火薬の配合比に関しては定説がないといえよう。

(3) 圧力指数から見た火薬の配合比

(a) 圧力指数

製造上より見た導火線の燃焼秒時は火薬の外被覆材料、製造方法により変化するが、導火線はこめ物などで密閉して使用することが多いので密閉秒時と開放秒時と差がないことが望ましい。これはまた圧力の不均衡によつて生ずる横吹を防止することでもある。現在使用される導火線は密閉秒時と開放秒時は1mにつき10~20秒の差がある。従つて使用上から見ると密閉した時の秒時と開放時の秒時との差の少ないことは極めて重要である。

さて火薬類の燃焼速度 v は圧力 p の関数として表わされる。日野熊雄氏は一般に

$$v = ap^n + bp$$

で表わされる (a, b は定数) が低圧に限る時は

$$v = op^n$$

で表わされるとし、この場合の圧力指数は次の式から求められる。

$$T_i = \left(\frac{1-n}{1-2n} \right) \frac{1}{bv_0} \left\{ (1+bl)^{\frac{1-2n}{1-n}} - 1 \right\}$$

ここに T_i : 導火線の側面を密閉した時の燃焼秒時 (sec/m)

T_0 : 導火線の側面を開放した時の燃焼秒時 (sec/m)

$$v_i: \text{導火線の密閉速度} = \frac{100}{T_i}$$

$$v_0: \text{導火線の開放速度} = \frac{100}{T_0}$$

また定数 b は長さ l の導火線の全ガス量 (始発ガス量と側面ガス量の和) を G_i , 始発ガス量を G_0 とすれば、

$$\frac{G_i}{G_0} = \frac{0.4343bl}{\log(1+bl)}$$

にて表わされる。従つて T_0, T_i, G_0, G_i を測定することにより n を求めることができると提唱した。

(b) 実験による n の求め方

(ア) T_0, T_i を求める方法

T_0 は大気中の導火線の燃焼秒時, T_i は両端を密閉したゴム管内に導火線を入れて燃焼し秒時を測定した。

(イ) G_0, G_i を実測する方法

導火線をガラス管内に入れて燃焼させ発生ガス量をガス捕集器に捕集して測定する。(図3, 図4)

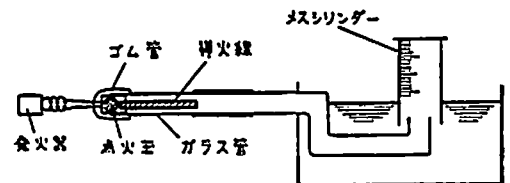


図3 G_i の測定

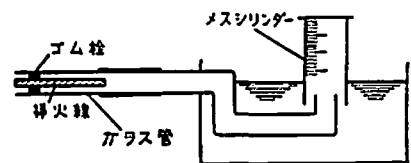


図4 G_0 の測定

表 8 火薬配合比による n の変化

KNO ₃	S	C	全ガス量 (cc)	側面ガス量 (cc)	始発ガス量 (cc)	密閉秒時 (sec/m)	開放秒時 (sec/m)	n	備 考
45	20	35	624	597	27	47.7	54.1	0.043	硫黄量一定
50	20	30	640	600	40	40.0	47.5	0.050	
55	20	25	695	626	69	36.3	43.3	0.060	
60	20	20	896	818	80	32.4	48.3	0.124	
65	20	15	853	619	244	32.4	48.3	0.126	
70	20	10	834	687	147	45.3	62.4	0.139	
55	5	40	568	531	39	44.7	46.0	0.007	硝石量一定
55	10	35	683	644	39	37.5	40.0	0.015	
55	15	30	681	639	41	36.6	40.0	0.028	
55	20	25	695	626	69	36.3	43.3	0.06	
55	25	20	737	663	75	31.6	47.4	0.13	木炭量一定
55	30	15	621	474	147	38.0	54.2	0.18	
55	35	10	527	324	204	52.0	71.4	0.24	
45	25	30	624	597	27	47.7	54.1	0.0328	
50	20	30	640	600	40	40.0	47.5	0.0504	
55	15	30	680	639	41	36.6	40.0	0.028	
60	10	30	853	790	63	33.5	41.2	0.063	
65	5	30	934	816	118	31.7	40.5	0.097	
70	0	30	954	797	157	34.0	37.9	0.038	

(c) 試験結果*

* 1. 燃焼試験及びガス量測定は何れも 50cm の試料 2~3 本につき測定その平均値をとる。

2. 被覆構造は第 1 種導火線

(ア) 火薬配合比による n の変化 (表 8)

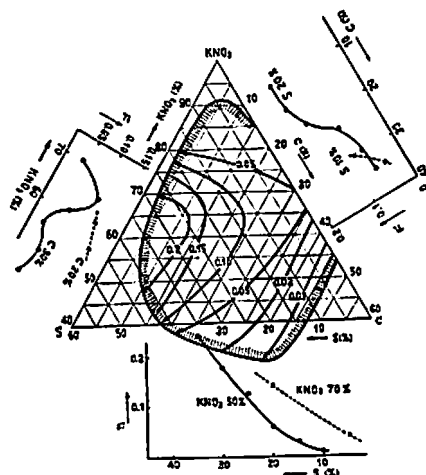
データは表 8 の如くで、これを基にして KNO₃, S, C を頂点とする三角図表において等圧力指数曲線を描くと図 5 の如くなる。

この結果

- (i) 硫黄量を一定にして硝石量を増加させると n は増加する。
- (ii) 硝石量を一定にして硫黄量を増加させると n は増加する。
- (iii) 木炭量を一定にして硝石量を増加させても n は大して変化しない。

(イ) 木炭炭化度による n の変化

表 9 の如くである。



● は着火限界

図 5 導火線の等圧力指数曲線 (第 1 種導火線被覆)

表 9 木炭々化度による n の変化

炭化度	全ガス量 (cc)	側面ガス量 (cc)	始発ガス量 (cc)	密閉秒時 (sec/m)	開放秒時 (sec/m)	n	備 考
30.06	525	485	40	35.0	36.5	0.016	火薬配合比は KNO ₃ 45% S 20% C 35%
40.10	485	444	41	51.4	56.5	0.032	
50.00	570	505	65	55.4	63.6	0.050	
59.41	560	518	42	87.6	103.5	0.056	

炭化度が低い程即ち十分炭になっている程圧力指数は小さい。

(ウ) 硝石粒度による n の変化
表10の如くである。

表 10 硝石粒度による n の変化

未粉砕硝石混入量(%)	全ガス量(cc)	側面ガス量(cc)	始発ガス量(cc)	密閉秒時(sec/m)	開放秒時(sec/m)	n	備考
0	680	640	40	36.5	40.0	0.028	火薬配合比は KNO ₃ 62% S 18% C 20%
10	780	751	29	50.0	61.8	0.052	
37.5	727	684	43	42.0	81.0	0.107	
50	679	575	104	78.0	107.6	0.137	

この結果より未粉砕硝石の混入量が多くなる程 n の値は大になる。

(エ) 圧力指数と秒時偏差

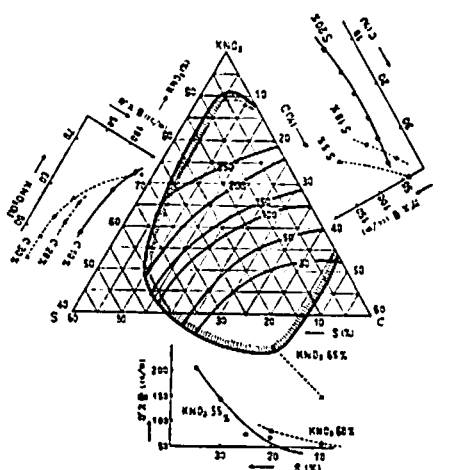
圧力指数が小さければ導火線の燃焼秒時の偏差が小さくなる筈であると考え、各種の配合比の火薬を心薬として導火線を試製しその燃焼秒時の標準偏差を調べ

た結果を表11に示す。

この結果から現用心薬配合比 No.6 より KNO₃, S が少ない No.1~3 の圧力指数 n は No.6 のそれより少ないが σ は必ずしも少なくない。No.4, 5 の場合も同様である。これは秒時偏差は圧力指数以外に被覆構造の差などに左右される影響が大きいためであろう。

表 11 各種配合比の火薬による導火線燃焼秒時の標準偏差

No.	配合比			木炭炭化度	第1種導火線被覆			第2種導火線被覆			備考
	KNO ₃	S	C		n	燃焼秒時 ²⁾		n	燃焼秒時 ²⁾		
						\bar{x}	σ		\bar{x}	σ	
1	55	15	30	52	0.087	132.0	0.56	0.114	110.0	0.22	1) 2回の測定値の平均値
2	60	15	25	52	0.140	126.3	0.24	0.142	116.8	0.19	
3	65	5	30	54	0.126	124.1	0.27	0.121	118.0	0.48	2) 1m 30本の平均値
4	68	16	16	46	0.148	118.9	0.34	0.166	117.9	0.29	
5	64	20	16	46	0.180	117.4	0.32	0.197	113.8	0.20	…現用1種配合比
6	62	18	20	42	0.186	130.5	0.46	0.266	98.2	0.25	



○ は着火限界
三角形内の数字は導火線 1m 当りの始発ガス量 (cc/m)

図 6 各種火薬配合比と導火線始発ガス量

(4) 始発ガス量から見た火薬の配合比

(a) 火薬配合比と始発ガス量

発生ガス量が多いと導火線に点火しにくいとよく云われるが、これは実際には導火線発生ガス量中で始発端より発生するガス量で側面より発生するガス量は大した問題にならない。始発ガス量を三角図表で表わすと図6の如くである。即ち

- (i) 硝石量を一定にした場合硫黄量が多くなる程ガス量が多い。
- (ii) 硫黄量を一定にした場合硝石量が多くなる程ガス量が多い。
- (iii) 木炭量を一定にした場合硝石量が多くなる程ガス量が多い。

(b) 電気導火線への応用

例えば KNO₃ 45, S 20, C 35 または KNO₃ 45, S 25, C 30 の配合比の第1種導火線では始発ガス量が 27cc/50cm で KNO₃ 65, S 20, C 15 の配合比の場合の

244cc/50cm に比して約 $\frac{1}{3}$ である。この事実は電気導火線に応用される。電気導火線は段発電気雷管に比して段間隔を自由に調節できるから段狂いの心配はない。それにも拘らず電気導火線は導火線を完全にしめつけるとガス圧により鉄砲を生じ不完全にしめつけると締付部から吸水して不発になる恐れがあるので段発電気雷管に移行した。もし導火線の始発ガス量が少なれば締付を完全にしてもガス圧が上昇せず鉄砲にならない。例えば KNO_3 45, S 20, C 35 の配合比の火薬を心薬とし第1種被覆の導火線は表12の如く完全にしめつけても不発を生じない。

表12 電気導火線としての試験

火薬配合比			完全に締付けた時 (鉄砲の有無)
KNO_3	S	C	
45	20	35	鉄砲なし (0/25)
62	18	20	鉄砲を生ずる (18/25)

(5) 発熱量から見た火薬の配合比

(a) 火薬配合比と発熱量

発熱量が多いと導火線の被覆が燃焼し横吹を起すので発熱量過多は好ましくない。発熱量測定法は導火線(1m)を図7のように径約5cmの輪にして紐で結んで

おき別に適当量の水を秤量したバス(水温 t_0)の中に一端に点火した導火線を投入し水中で燃焼させ燃焼中水を攪拌しつつ燃焼後の温度(t_1)を測定する。寒暖計、容器の水

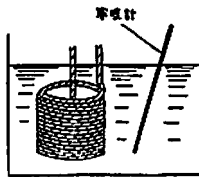


図7 発熱量測定法

当量及び試験中周囲からの熱の逸散を無視すれば導火線の発熱量を計算することができる。この方法は一見ラフのようであるが実際に同一試料についてくりかえし測定した値は非常によく一致する。

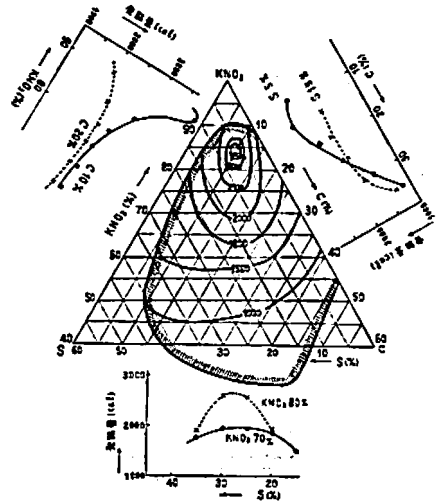
本試験の結果を三角図表で表わすと図8の如くである。

(i) KNO_3 85, S 7.5, C 7.5 附近が発熱量最大で KNO_3 が少なくなる程少なくなる。

(ii) KNO_3 , S, C 量を夫々一定にした場合他の成分をかえると極大値が存在する。

(b) 焼切導火線への応用

導火線発破時に点火した導火線が燃焼中被覆が灰化すれば初めの発破による岩石飛散のためのカットオフが防止される。このような導火線を焼切導火線といい心薬としては最も発熱量の多い火薬配合比として KNO_3 75~80, S 5~15, C 10~20 を用い第一被覆麻糸13本(硝石水溶液に浸漬した麻糸を用いれば更によ



◎ は着火限界

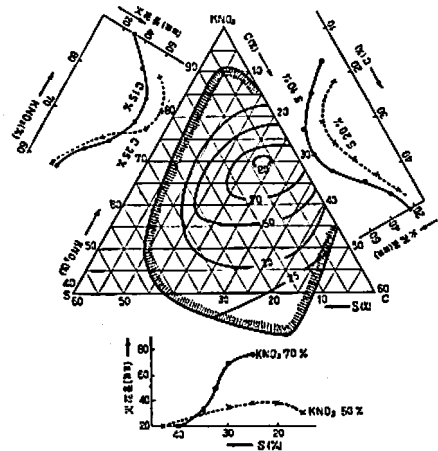
図8 各種火薬配合比と導火線発熱量

い) 第2被覆麻糸6本の上にアスファルト並びに麻糸6本を被覆する(紙テープを用いると完全に灰化しない)。この導火線は同時点火具と併用して一時別子鉸山などで使用されたことがある。

(6) 始発火花始発火炎から見た火薬の配合比

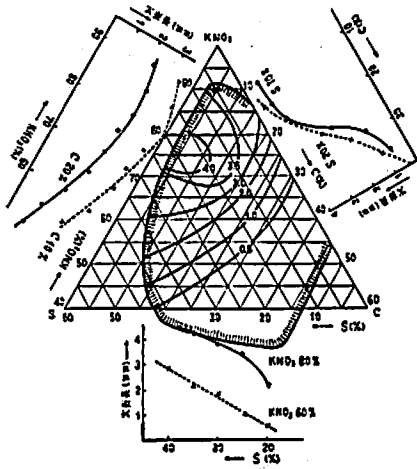
(a) 火薬配合比と始発火花長及び始発火炎長

従来導火線の始発火花長の長いものは始発火炎長も長いように考えられていたが、火薬配合比をかえて始発火花長と始発火炎長を三角図表に書くと図9及び図10の如く非常に異なる。即ち最大火花長は KNO_3 70,



◎ は着火限界

図9 各種火薬配合比と導火線火花長



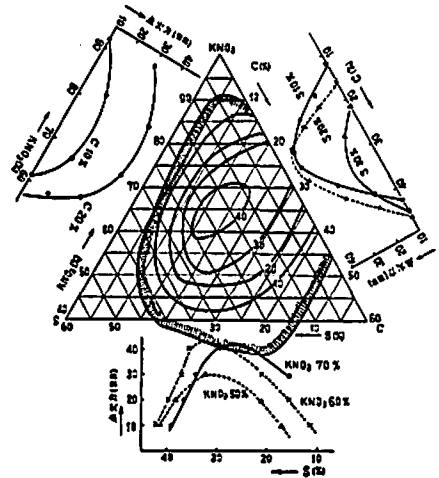
● は着火限界

図10 各種火薬配合比と火炎長

S 7.5, C 22.5 附近で最大火炎長は KNO_3 75, S 20, C 5 附近である。始発火花長及び火炎長共 KNO_3 , S, C の内何れか一つを一定にして他の成分をかえた場合すべて極大値が存在する。始発火花及び火炎長が長いことは粉状爆薬への着火を容易にし、またメタンガスへの着火などの欠点があるが短いことは導火線末端火炎による雷管への点火性が悪くなり、またたとえ点火しても爆薬の最大殉爆距離が短いという報告もある²⁾。これらの場合は何れも火花または火炎の長さの外に持続時間が関係しており(長さ)×(時間)を考えねばならない。(長さ)×(時間)は発熱量に比例する。

(b) 導火線末端火炎と雷管点火性

JIS によればガラス管内において長さ 10cm の導火線の末端火炎により 40mm はなれた被点火導火線へ点火しなければならないと規定されている。火薬配合比をかえてこの試験を行うと図11の如くこの規定に合



● は着火限界

図11 各種火薬配合比と導火線点火力

格する配合比の範囲はごく限られている。しかしこの試験法は必ずしも現実的でないことは始発長及び火炎長が最も短い範囲に属する火薬配合比 (KNO_3 45, S 20, C 35) の導火線について次の試験を行った結果現用配合比の導火線と有意差がないことにより知ることができる。(表12)

表 12 点火力の弱い導火線を用いた雷管半爆発生数及び吸湿爆薬試験

火薬配合比			導火線と雷管を 5mm はなした時 の雷管半爆数	半爆雷管に対する ¹⁾		Hess 吸湿爆薬試験 ²⁾ (mm) (n=5 の平均値)
KNO_3	S	C		半爆発生数	鉛板孔径 (mm)	
45	20	35	0/50	57/100	10.27	6.64
62	18	20	0/50	61/100	10.37	—
60	25	15	—	69/100	10.04	6.42

注 1) 半爆雷管要目: 雷こう爆粉 0.13g (精秤圧力 35kg/cm²), ヘキソゲン 0.28g (圧力 110kg/cm²), テトリール 0.10g (同時圧搾)

2) 吸湿爆薬要目: 日化三号硝安爆薬 5% 吸湿

(c) 点火みちびへの応用

切羽における導火線への点火に線香に代わる点火みちびの必要要件としては

(j) 始発火炎及び火花長が長く且つ持続時間が長いこと

(ii) 燃焼秒時が長いこと(使用長が短かくてすむ)

である。この要求に合う火薬配合比として KNO₃ 75, S 10, C 15 (木炭々化度 70~75) で燃焼秒時は 15sec /5cm 程度のものを使用している。

(7) 発生ガス成分から見た火薬配合比

(a) 火薬配合比と発生ガス成分

導火線燃焼中に発生するガス内に有毒ガスが多く含

まれると狭い切羽では問題となることがある。そこで各種の配合比の火薬を用いて第1種導火線被覆にて導火線から発生するガス分析を行った結果を表13に示す。

この結果より

(i) 硫黄量が多くなると CO は減少する。

表 13 各種火薬配合比と導火線ガス分析との関係

火薬配合比			圧力指数 n	発生ガス量 (cc)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	CH ₄ +H ₂ (%)	CO (%)	残* (%)
KNO ₃	S	C							
45	20	35	0.033	624	32.4	0.87	1.51	26.6	38.4
50	20	30	0.050	640	38.6	0.63	1.05	26.6	33.1
55	20	25	0.060	695	40.1	0.45	1.27	27.7	30.4
60	20	20	0.124	895	44.8	1.23	1.13	20.6	32.0
65	20	15	0.216	853	42.8	0.68	1.45	25.6	29.5
70	20	10	0.139	834	45.2	2.59	5.48	20.6	26.1
75	20	5	0.101	758	44.6	2.00	6.81	14.8	31.8
45	25	30	0.038	545	44.2	0.81	1.57	24.2	29.3
50	20	30	0.050	640	38.6	0.63	1.05	26.6	33.1
55	15	30	0.028	680	32.9	0.39	1.25	27.8	37.6
60	10	30	0.063	853					
65	5	30	0.100	934	25.85	1.00	1.57	28.5	43.4
70	0	30	0.040	954	24.54	0.72	1.43	29.8	43.5
55	5	40	0.007	570	24.90	0.80	1.30	30.6	42.4
55	10	35	0.015	683	27.32	0.66	1.31	30.9	39.8
55	15	30	0.028	680	32.93	0.40	1.24	27.8	37.6
55	20	25	0.060	695	40.11	0.45	1.27	27.7	30.4
55	25	20	0.125	737	51.31	0.45	1.26	21.6	25.4
55	30	15	0.180	621	57.85	0.80	2.15	13.9	25.2
55	35	10	0.280	527	51.51	1.46	9.99	11.9	25.1

* 残りとは H₂S, SO₂, N₂ 及び CnHm である。

表 14 アメリカにおける導火線の燃焼ガス分析

導火線の種類	ガス分析 (%)								発生ガス量 (l) (0°C, 760mmHg に換算)
	薬量 (g/m)	CO ₂	O ₂	CO	CH ₄	H ₂	H ₂ S	N ₂	
C	3.57	32.7	1.4	23.4	4.1	13.8	0.8	23.8	103.1
E	2.05	25.0	5.7	13.9	5.9	9.5	0.6	39.0	37.1

(ii) 硝石量が多くなると CO は減少するが硫黄における影響よりも少ない。

(iii) 木炭が多くなると CO は増加する。この影響は最も大きい。

なおアメリカにおける導火線の燃焼ガス分析は Hall & Howell⁹⁾ によれば表14の如くである。

3. 被覆材料が原因となる異常燃焼とその対策

3.1 麻糸

麻糸は軟線工程中油を注入することにより導火線秒時の異常延長の原因となり極端な場合は立消となる。導火線としてはなるべく含油分の少ない麻糸を希望する。Ullmann¹⁰⁾ によればドイツでは麻糸を脱脂する。

即ち「ジュート内には約2.5%の油脂分を含有している。これは火薬の燃焼秒時を非常に延長させ、2~3ヶ月後には導火線の立消を起すこともあるので12時間70°Cで石鹼液(8kgの石鹼と50lの水で10kgの麻糸を脱脂する)に入れ、その後1~2時間1%ソーダ液で洗滌後冷水で洗滌乾燥しエーテル抽出試験により含油分を0.3%以下にしなければならない」と記載されている。

わが国においては現在は含油量1%附近でこの程度ならば秒時ののびは5~10/m秒程度で秒時の判定を季節的に誤りなければ特に問題とならない。製造後1週間後の秒時の月別ののびは表15の如くである。

夏期には含油分が高湿のため内部に浸透する割合が多いので秒時の延長が著しいものと思われる。

油の種類による秒時ののびは表16の如く植物油が大で鉱物油は少ない。

表 15 秒時の月別ののび

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
導火線												
第1種(秒)	7.7	8.3	8.5	14.4	9.7	5.4	16.1	19.1	10.1	9.2	7.3	4.6
第2種(秒)	8.1	5.7	5.5	9.3	7.8	13.4	10.6	11.1	12.2	7.8	5.9	5.2

表 16 油の種類による導火線燃焼秒時の延長

油の種類	含油分 (%)	含水分 (%)	燃 焼 秒 時 (sec/m)			
			製造直後	1日後	7日後	7日後の秒時ののび
鯨油	8.2	9.2	114	136	152	38
マシン油	8.0	9.8	115	128	135	20
スピンドル油	7.2	10.0	121	129	133	12
ヒマシ油	8.4	10.7	105	148	163	58
製麻会社よりきたままのもの	1.0	10.0	115	117	123	8

1940年頃スイスの de Wilde が完成したユニバーサル導火線は従来のビックフォード導火線に比して最大の長所は心火薬が二枚の紙テープにつつまれているから火薬と麻糸とが接触していないので麻糸の含油分により導火線の秒時が延長しないことである。

3. 2 紙 糸

(1) 麻糸の代用としての紙糸

紙糸が導火線用被覆材料として用いられたのは昭和14年から輸入品の麻糸が戦争により輸入杜絶したた

め止むを得ず使用されたものである。昭和22年初めから各地において相次いで起った導火線の速燃(実際には終破前後にも速燃は起つたのであろう)の対策として当時東大山本教授を委員長として各社で研究をした。その結果の一部は工火協に発表され⁹⁾今日のJIS(第1被覆の麻糸の本数の制限)の制定並びに麻糸の輸入を懇請した結果速燃は殆んど防止できた。なおドイツ鉱山警察令によれば葉被覆及び上被覆には紙糸を用いてはならないと規定されており、Marshall¹⁰⁾も被

表 17 紙糸を第1被覆とした導火線の速燃

第1被覆種類と本数		第2被覆種類と本数		燃 焼 秒 時				
麻 糸	紙 糸	麻 糸	紙 糸	状 況	0—0 (sec/m)	10—10 (sec/m)	20—20 (sec/m)	30—30 (sec/m)
13	0	0	8		111	122	119	116
7	6	0	8		110	111	95	94
4	9	0	8		116	112	63	64
4	9	4	4		114	109	59	71
0	13	0	8		109	111	79	45

(備考) 状況欄、例えば 10—10 とあるのは10分間浸水後10分間急激に100°Cに加熱乾燥したことを示す。

覆材料として紙糸を用いてはならないと記載している。またドイツ採石同業組合は1940年紙糸導火線に関し次の規定を行つている((i)~(vii)の内(i)(ii)のみ記載)。

- (i) 紙糸導火線は供給後なるべく早く使用すること(6週間以上置いてはならない)。
 - (ii) 高温の室並びに高温低温又は低温高温は何れも導火線の保存に適當でない。
- (2) 紙糸を第1被覆とした時の速燃
麻糸は纖維長が長いので高温高温の如き悪条件下でも被覆と火薬とはよく接触して内部に空隙を生じにく

いが紙糸の場合には纖維が短いので被覆部と火薬との間に空隙を生じそのために速燃を生じやすい。この傾向は葉量が少ない場合にはノズルによる導火線のしめつけ方が不十分であるから特に起り易い。例えば導火線を一定時間水につけてから急激に乾燥すると火薬と被覆の膨脹率が異なるからその間に空隙を生じ速燃となる。第2被覆の材料は速燃には関係ない。1例を表17に示す。

ユニバーサル導火線の場合には火薬は紙テープで包まれているからたとえ悪条件下でも速燃を生じにくい例えば表18の如くである。

表 18 ユニバーサル導火線の場合の速燃発生試験

導火線 状況	ユニバーサル		備 考								
	綿 巻	ビニル									
0—0	(nec/m) 123.2	(sec/m) 132.0	被 覆 組 織								
10—10	122.2	132.6		含 葉 テ ー プ	第 1 被 覆	第 2 被 覆	テ ー プ	第 3 被 覆	塗 料	テ ー プ	第 4 被 覆
20—20	117.6	131.6	綿 巻	巾 7mm 巾 12mm	麻糸 4	麻糸 4	巾 11mm	麻糸 4	アスフ ァルト	巾 25mm	スフ糸 8
30—30	118.4	129.8	ビニル	巾 7mm 巾 12mm	麻糸 4	麻糸 4	巾 11mm	—	アスフ ァルト	巾 12mm	麻糸 6

3. 3 被覆組織と圧力指数

(a) 第1被覆の影響

第1被覆に麻糸を用いた場合と紙糸を用いた場合で

圧力指数は表19のように麻糸の方が小さい。この点からも第1被覆に麻糸を用いた方が有利である。

表 19 第1被覆材料による圧力指数の相異

第 1 被 覆 種 類 本 数	全ガス量 (cc/m)	側面ガス 量(cc/m)	始発ガス 量(cc/m)	密閉秒時 (sec/50cm)	開放秒時 (sec/50cm)	圧力指数 (n)	備 考
麻 糸 13	910	707	203	41.7	64.2	0.204	1) 火薬配合比 KNO ₃ 62, S 18, C 20 2) 被覆組織第 1 種導火線
麻 糸 7	872	660	212	41.7	62.8	0.225	
紙 糸 6	872	660	212	41.7	62.8	0.225	
紙 糸 13	853	613	240	38.6	60.0	0.241	

(b) 第1種導火線と第2種導火線被覆の差

同一火薬を用いて第1種導火線と第2種導火線を試作し圧力指数を比較すると表20の如く発生ガス量は異なるが、圧力指数は殆んど変らない。第1種導火線は

葉量が少ないのでこの点では圧力指数は小さくなるが(表24)被覆が厚いために大きくなり結局これらが相殺され圧力指数は殆んど変らないものである。

表 20 第1種導火線と第2種導火線による圧力指数の比較

火薬配合比			葉 量 (g/m)	被 覆 組 織					全ガス量 (cc/m)	側 面 ガス量 (cc/m)	始 発 ガス量 (cc/m)	密 閉 秒 時 (sec/ 50cm)	開 放 秒 時 (sec/ 50cm)	圧 力 指 数 (n)
KNO ₃	S	C		第1 被覆	第2 被覆	アスフ 紙 ァルト 巾 (mm)	上糸							
45	20	35	3.2	麻糸13	紙糸6	少	13	綿糸10	624	597	27	47.5	54.1	0.031
			3.9	〃 13	綿糸6	多	20	〃 8	868	823	45	47.0	52.0	0.030
50	20	30	2.6	〃 13	紙糸8	少	13	〃 10	640	600	40	40.0	47.5	0.045
			3.2	〃 13	綿糸6	多	20	〃 8	766	690	76	39.0	41.7	0.045

3. 4 アスファルト

ストレートとブロンアスファルトに大別されそれぞれ用途に応じてその硬度（針入度にて表わす）を異にする。導火線の場合は針入度 20~40 のものを用いる（ストレート、ブロン単独または両者を混合する）。針入度20以下になるともろくなり、冬期導火線を折曲げた時にひびが入り耐水性が悪くなり、針入度40以上になると夏季紙テープを通して表面に油分が斑点となつて滲出し著しい時はアスファルトが内部に入り立消えを生ずる。

3. 5 紙テープ

紙テープを巻くと燃焼時のガス発生が不整になり秒時偏差の原因となる。例えば紙テープを巻かない導火線と巻いた導火線の秒時偏差は夫々 $\sigma=4.2$ と 6.5 である。この原因は紙テープの空気透過度（通気度）による。即ち通気度が大きい紙テープを用いると秒時ははやくなり秒時偏差は少ない。例えば表21の如くである。

表 21 紙テープ通気度と導火線秒時偏差

通気度 (sec)	第 1 種 導 火 線 の	
	秒時 (sec/m)	秒時偏差 (σ)
204	113	4.9
29	127	7.7

4. 製造工程が原因となる異常燃焼

4. 1 葉切葉細

(1) 葉物による導火線の速燃

葉切れの場合はたとえ 1mm 程度の葉切れでもその個所で燃焼は中断し導火線の立消えを生ずる。葉細の場合には表22の如く燃焼秒時は早くなる。殊に葉細導火線が高温高湿下におかれた場合には速燃を生じ易い（表23）Ritter Bulle⁶⁾ 及び M. Sucharewsky⁹⁾ によれば導火線速燃の原因の1つとして葉細をあげているが筆者はこれを再現できなかつた。

表 22 葉細の時の燃焼秒時

ノズル径 (mm)	葉 量 (g/m)	燃 速 (sec/m)
1.8	0.39	燃焼継続せず
2.1	1.48	102
2.6	3.04	118
3.0	4.08	123
3.5	5.83	128

芯糸本数	葉 量 (g/m)	燃 速 (sec/m)
1	2.56	109
2	3.30	129
3	4.08	135

表 23 葉量による速燃の発生

葉 量 (g/m)	状 況				備 考
	0—0	10—10	20—20	30—30	
4.59	118	122	112	89	1) 状況欄、例えば 10—10 とは10分間導火線を浸水後10分間 100°C の乾燥機内に放置した後取出して試験したことを表わす。 2) 第1被覆は麻糸4、紙糸9本
3.90	113	116	104	82	
3.50	113	114	96	58	
2.07	105	112	76	48	

表 24 葉量と圧力指数

火 葉 配 合 比			葉 量 (g/m)	全ガス量 (cc/g)	側面ガス量 (cc/g)	始発ガス量 (cc/g)	密閉秒時 (sec/50cm)	開放秒時 (sec/50cm)	圧力指数 (n)
KNO ₃	S	C							
45	20	35	3.2	624	597	27	47.7	54.1	0.031
			4.5	932	897	35	43.5	52.5	0.045
			5.6	1,160	1,130	30	40.0	50.2	0.049
60	25	15	3.4	622	518	104	51.0	69.3	0.130
			5.0	885	615	270	51.8	70.5	0.191
			5.6	1,166	667	499	56.5	73.5	0.219
62	18	20	3.5	703	598	105	39.2	58.8	0.157
			4.8	951	785	166	36.0	62.2	0.218
			6.0	1,274	1,044	230	41.2	64.0	0.325

(2) 葉切葉細の原因

葉切、葉細の原因として次の点が挙げられる。

- (i) 漏斗口径(ノズル)が異常に小さい時(表22)または火薬心糸麻糸(第1被覆)などの中に異物が混入附着して火薬の正常な含薬を妨げ小さい口径のノズルを使用したと同じ結果になったとき。
- (ii) 心糸が切れた時(表22)ユニバーサル導火線では通常は心糸を用いないのでこのケースは起らない。
- (iii) ホッパー内に火薬がなくなつた時またはホッパー内の火薬攪拌装置が不備の時。

(3) 薬量と圧力指数

薬量と圧力指数の関係は表24の如くである。即ち薬量がふえると圧力指数が大となる。薬量過大になると横吹を生ずるのはこのためである。

4. 2 アスファルト塗布

(1) アスファルト塗布量

アスファルト塗布量はアスファルトノズル(塗料白)の大小アスファルトの温度などにより定まる。アスファルトの温度は通常 100—130°C であるが溶解槽から汲み立ての時には 170°C 附近である。アスファルト温度により秒時は表25のようにかわる。

表 25 アスファルト温度による燃焼速度の変化

アスファルト温度 (°C)	170	145	130	120	110	100
アスファルト塗布量 (g/m)	0.66	0.80	0.90	1.08	1.18	1.20
導火線燃焼秒時 (sec/m)	118	115	114	111	108	107

表 26 アスファルト量と圧力指数

火薬配合比			アスファルト	全ガス量 (cc/g)	側面ガス量 (cc/g)	始発ガス量 (cc/g)	密閉秒時 (sec/50cm)	開放秒時 (sec/50cm)	圧力指数 (n)
KNO ₃	S	C							
62	18	20	なし	698	636	62	63.0	40.0	0.128
			薄く塗布	692	608	84	60.0	40.0	0.160
			厚く塗布	745	626	119	57.0	40.0	0.175
50	15	35	なし	528	516	12	47.2	43.8	0.015
			あり	578	557	21	46.7	43.8	0.014
45	20	35	なし	588	584	4	54.5	47.5	0.030
			あり	785	760	25	54.1	47.5	0.036

アスファルトが多く塗布されると燃焼時のガス量が表のように圧力指数が大になり横吹きを生じやすくなる。

(2) アスファルト槽内への導火線浸漬による立消

アスファルト槽内に導火線を長く浸漬すると表26のようにアスファルトが導火線内部に浸入して立消となる。現在日本化薬では1分以上浸漬したものはすべて切りすてている。

表 26 アスファルト槽に浸漬した導火線の秒時

状況	塗料槽内に						備考
	浸漬せず	浸漬なく通	1分間浸漬	3分間浸漬	5分間浸漬	10分間浸漬	
第1種導火線	128	122	123	118	114	立消	アスファルト温度 118°C
第2種導火線	114	104	106	101	立消	—	

4. 3 ビニル塗布

ビニルは通気性がないから燃焼中に燃焼ガスを側面から噴出できない。横吹とは燃焼中に被覆を通して側

面より火炎を吹出すことでガス圧が高く平衡を保てずガスが噴出するものである。ビニル導火線は燃焼と共に被覆が軟化してガスが外部に噴出しながら平衡を

保つものでその点でビニル導火線は横吹きを必要とするものである。横吹きにより燃焼の平衡を保つために秒時精度も綿巻導火線に比してよい（綿被覆の第2種導火線の標準偏差3.2に対しビニル被覆のそれは2.0である）。

5 秒時偏差に関する推計学的考察

5.1 JIS規格の検討

導火線の秒時偏差は上述のように粉火薬の配合比、硝石の粒度、木炭の炭化度、薬量、アスファルト塗布量などのほか、ノズルの緊密度、製造機械の精度、クセ、製造時貯蔵中使用時の温湿度など種々の因子の総合によって左右されるのでこれを解析することは容易ではない。一方JISによれば導火線は1,000mから任意に1m5本を抽出し燃焼試験を行い、5本の平均値が1mにつき100~140秒以内にあり、各測定値はその平均値の上下10秒以内でなければならないと定められている。現在の導火線はこの規格に適しているかどうかを推計学的に検討し、合わせて現在市販の導火線を用いて使用中段狂いを生じないために適当な長さを設計した。

(1) 試料数

第1種及び第2種導火線につき年間のR(1,000m中から任意に1m5本抽出した時の燃焼秒時の範囲)の平均値は表27及び図12の如く第1種導火線で $\bar{R}_1=6.4$ 秒第2種導火線で $\bar{R}_2=7.7$ 秒である。これより母

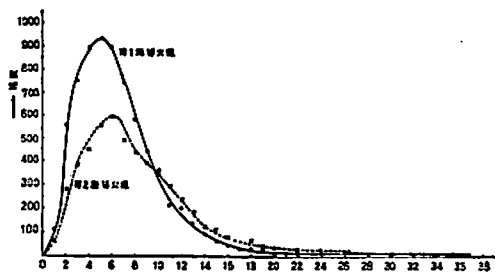


図12 導火線秒時の偏差 (1,000m 1箱中より5本のサンプル)

集団の標準偏差は夫々 $\sigma_1=3.1$, $\sigma_2=3.7$ である(導火線の燃焼秒時は正規分布をするという仮定は同一材料を用い同一条件で製造した場合のみ適用されるものである。実際には1,000m製造するのに2日にまたがることもあるし、異なるロットの材料を用いることもあるし、薬入が不同だったりするために正規分布をしない場合がある。表27でRの異常に大きいものがあるのはその原因と考えられる。正規分布をしていない場合には正規化しなければならないが、完全に正規分布でなくてもそれに近い曲線であれば正規分布の計算値から類推できるので以下正規分布する場合についてのみ考察する)。

表 27 導火線の5本の試料の秒時範囲 (年間)

R	箱 数		R	箱 数		R	箱 数		R	箱 数	
	第1種	第2種		第1種	第2種		第1種	第2種		第1種	第2種
1	115	58	11	219	282	21	9	16	31	0	0
2	554	282	12	201	229	22	7	2	32	0	0
3	750	379	13	124	172	23	1	6	33	0	0
4	891	450	14	90	120	24	1	4	34	0	1
5	937	554	15	64	108	25	2	1	35	0	0
6	898	589	16	47	69	26	4	2	36	0	0
7	737	493	17	31	64	27	0	1	37	1	0
8	576	439	18	33	37	28	0	3			
9	445	395	19	29	30	29	0	1			
10	365	346	20	9	15	30	1	0			
									計	7,139	5,149
									$\bar{R}_1=6.4$	$\bar{R}_2=7.7$	

今 μ を母平均値、 M を総数、 m を抽出試料数、 σ を母標準偏差とすると相対標準誤差 C_x は

$$C_x^2 = \frac{M-m}{M-1} \frac{\sigma^2}{m\mu^2}$$

にて表わされる。ここで

$M=1.000$ (本) $m=5$ (本) $\mu=130$ sec
とすると

$$\sigma_1=3.1 \text{ のとき } C_x=0.0105$$

$$\sigma_2=3.7 \text{ のとき } C_x=0.0130$$

即ち真の平均値130secの導火線1,000mより

1m 5本を採取して秒時を測定した場合、5本より得られた平均値は 99.7% の信頼度で

第1種導火線の場合は

$$130\text{sec} \pm 130 \times 0.0105 = 130 \pm 3.9\text{sec}$$

第2種導火線の場合は

$$130\text{sec} \pm 130 \times 0.0130 = 130 \pm 5.1\text{sec}$$

の範囲に存在する。従つて抽出個数5本はこの程度の精度を有することになるので実用上差支えないと考えられる。

(2) 合否判定の基準

表27及び図12の如くRは0の方に寄つた分布をしているので $\sqrt{R}=x$ としてこれを変数変換して $N(\bar{x}, \sigma_x)$ なる正規分布とすると第1種導火線の場合には

$$\bar{x} = 3\sigma_x = 2.46 \quad \sigma_x = 0.82$$

今生産者危険率 $\alpha = 5\%$ 、消費者危険率 $\beta = 10\%$

$u_0 = \bar{x}$ は採択したいロットで $\alpha\%$ は不合格にされる危険率を有する。 u_1 は棄却したいロットで $\beta\%$ だけ合格になる危険率を有する。 U を合否判定値とすると α, β の危険率を条件に U なる値を求めてこれを規格とすればよい。

$$U = u_0 + K_\alpha \sigma_x = 2.46 + 1.65 \times 0.82 = 3.81$$

$$u_1 = U + K_\beta \sigma_x = 3.81 + 1.28 \times 0.82 = 4.86$$

ここに K_α, K_β は正規分布表より α, β に対応する数値である u_0, u_1 及び U を再び R に変換すると

$$u_0 = 6.1 \quad u_1 = 23.6 \quad U = 14.5$$

即ち R の母平均が 6.1 なるロットは 5% 不合格にされる危険率があり母平均が 23.6 のロットが合格にされる危険率が 10% あるような限界値は $R = 14.5$ である。従つて 1,000m 中より 1m 5本とつて $R \leq 14.5$ の時は合格 $R > 14.5$ の時は不合格にすればよい。

同様に第2種導火線の場合には $u_0 = 7.2, u = 27.9, U = 17.2$ である。

以上のことから JIS は次のように訂正しなければならない。「偏差の限界は生産者危険率を 5% 消費者危険率を 10% として第1種導火線においては 5本より得た R の値が 14.5 以下、第2種導火線においては 17.2 以下とする。」

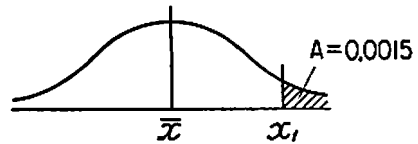
(3) JIS 規格から外れる製品の発生する確率

JIS 規格では 5本の秒時の平均値の上下 10sec 以内を合格としている。即ち R が 20sec 以内のものが合格であるが、 R が 20sec を外れる事象が起る確率を見る。

(a) 1,000 回に 3回以下の確率でしか起らない標準偏差の大きさ

前項と同様変数変換して第1種導火線の場合は

$x_1 = 2.46, \sigma_x = 0.82$ であるから、下図の $A = 0.0015$



の点の x_1 は正規分布表より

$$A = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

$$\therefore u = 2.97$$

しかるに $u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$ であるから

$$x = 4.70$$

再び変数変換して

$$R = x^2 = 22.05 \quad \therefore \sigma = 10.7$$

即ち $R = 22(\sigma = 10.7)$ 以上の偏差の起る確率は 1,000 c/s 中 3 c/s 以下である。

(b) 平均値から正負 10 sec 以上はなれたものが 1箱 (1,000m) 中から出る本数

(i) $\sigma = 3.5$ の場合

現在の導火線では $\sigma_1 = 3.1, \sigma_2 = 3.7$ であるので今 $\sigma = 3.5$ と仮定して

$$u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} = \frac{10}{3.5}$$

故に正規分布表より

$$A = 0.00212$$

即ち正負 10sec を外れるものは

$$0.00212 \times 2 \approx 0.004$$

つまり 1,000 本中 4本である。

(ii) $\sigma = 10.7$ の場合

同様に

$$u = 0.94 \quad A = 0.1736$$

即ち正負 10sec はなれたものは

$$0.1736 \times 2 \approx 0.347$$

であるが σ が $\sigma = 10.7$ なる値をとる確率は $\frac{3}{1000}$ であるから

$$0.347 \times 0.003 = 0.00094$$

つまり 1,000 回に 0.094 回の割合に起る。

5. 2 段狂いの確率

(1) 段狂いの確率を求める式

二つの正規分布の平均値及び標準偏差を夫々 a_{n+1}

a_n 及び σ_{n+1}, σ_n とするとこの両者の分布から夫々任意に採取した2点が追越する確率はこの両者の差の分布関数である。即ち両者の差を

$$u = a_{n+1} - a_n \quad \sigma = \sqrt{\sigma_{n+1}^2 + \sigma_n^2}$$

とすると

$$f(x) = 2 \int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}} dx$$

いま

$$t = \frac{x-u}{\sigma} = \frac{x-(a_{n+1}-a_n)}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}$$

とおきこれを $N(0.1)$ 型に変換すると

$$\varphi(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} \frac{a_{n+1}-a_n}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

(2) 導火線の長さ標準偏差との関係

導火線の長さ標準偏差との関係は例えば表28の如く秒時も偏差も長さに比例する。

表28 導火線秒時偏差と長さの関係 (第1種導火線の場合)

導火線の長さ(m)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	平均	σ	0.1mの時 $\sigma=1$ とした時の σ の値
0.10	11	15	14	13	13	14	13	12	15	14	13.4	1.26	1
0.25	27	35	34	33	27	32	32	28	33	28	30.9	2.92	2.31
0.50	52	71	65	64	53	61	60	53	61	55	59.5	5.93	4.70
1.00	104	140	126	127	102	113	122	105	123	109	117.1	11.79	9.26
1.50	156	209	189	193	150	183	171	160	188	159	171.8	18.79	14.92
2.00	209	276	251	260	195	242	226	212	244	217	233.2	24.23	19.23
2.50	254	347	314	317	250	304	280	264	309	270	290.9	30.29	24.04

(3) 段狂いの確率の計算例

$$p = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{\alpha}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad \text{において } \alpha \text{ 既知の時には表より}$$

り p を求めることができる。この場合

$$\alpha = \frac{a_{n+1} - a_n}{\sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_{n+1}^2}}$$

において a_n, a_{n+1} 及び σ_n, σ_{n+1} はそれぞれ長さ l_n 及び l_{n+1} なる導火線の秒時及び標準偏差である。しかるに長さ 1m の導火線の標準偏差を σ_{100} とすると $\sigma_n = l_n \sigma_{100}, \sigma_{n+1} = l_{n+1} \sigma_{100}$ である。また長さ 1m の導火線の秒時を a_{100} とすると $a_n = l_n a_{100}, a_{n+1} = l_{n+1} a_{100}$ であるから

$$\alpha = \frac{a_{100}(l_{n+1} - l_n)}{\sigma_{100} \sqrt{l_{n+1}^2 + l_n^2}}$$

となる。今 $\sigma = 3.5$ として導火線燃速 120sec/m 同時点火した場合

- (a) 5cm 間隔の時の段狂いの確率を表29
- (b) 10cm 間隔の時の段狂いの確率を表30
- (c) 15cm 間隔の時の段狂いの確率を表31
- (d) 20cm 間隔の時の段狂いの確率を表32

に示す。

表29 5cm 間隔の時の段狂いの確率

導火線の長さ (cm)	$p = \int_{\alpha}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$	導火線の長さ (cm)	$p = \int_{\alpha}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$
5		95	0.190
10	0	100	0.212
15	0	105	0.232
20	5×10^{-9}	120	0.320
25	10^{-6}	125	0.395
30	0.0002	140	0.455
35	0.0003	145	0.505
40	0.002	160	0.550
45	0.006	165	0.585
50	0.01	180	0.617
55	0.02	185	
60	0.035	200	
65	0.05	205	
70	0.073	220	
75	0.092	225	
80	0.120	240	
85	0.142	245	
90	0.168		

表30 10cm 間隔の時の段狂いの確率

導火線の長さ (cm)	$p = \int_a^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt$	導火線の長さ (cm)	$p = \int_a^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt$
10	0	140	0.073
20	0	150	0.093
30	10^{-9}	160	0.12
40	10^{-8}	170	0.142
50	0.00001	180	0.167
60	0.0002	190	0.190
70	0.0015	200	0.213
80	0.009	210	0.238
90	0.012	220	0.258
100	0.02	230	0.280
110	0.035	240	0.300
120	0.052	250	0.339
130			

表31 15cm 間隔の時の段狂いの確率

導火線の長さ (cm)	$p = \int_a^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt$	導火線の長さ (cm)	$p = \int_a^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt$
15	0	135	0.01
30	0	150	0.02
35	10^{-9}	165	0.035
60	10^{-6}	180	0.05
75	10^{-5}	195	0.075
90	5×10^{-4}	210	0.09
105	0.002	225	0.115
120	0.005	240	

6. 結 論

導火線の燃焼について粉火薬の原材料, 配合比, 被覆材料並びに製造工程から見て秒時不整, 速燃, 遅燃, 横吹き, 始発または末端火炎及び火花, 始発ガス量, 始発ガス成分, 立消えなどの異常の原因を検討した。その

表32 20cm 間隔の時の段狂いの確率

導火線の長さ (cm)	$p = \int_a^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt$	導火線の長さ (cm)	$p = \int_a^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt$
20	0	140	0.001
40	0	160	0.009
60	0	180	0.01
80	5×10^{-6}	200	0.02
100	0.00002	220	0.04
120	0.0002	240	

中で特に火薬燃焼の圧力指数 n について種々の角度から検討した結果 n を少なくすることは異常燃焼を防止するのに最も有効であることを確認した。次に推計学的見地から導火線の燃焼秒時を検討した結果現在のJIS に対する批判を行い, 且つ現用導火線を用いて発破を行った際の段狂いの確率を計算し参考にと供した。

以上の実験的研究は主として昭和23~27年当時行つたものを最近若干追加実験を行つて今回発表したものでその一部は既に発表し¹⁰⁾ または発表されたもの³⁾ もある。既に当時から十数年を経過して火薬界も格段の進歩をとげているが, 導火線の研究に関してはその後余り研究発表も見られないので今回ここに以前の研究を取りまとめて発表したものである。この研究は阪大井田一夫, 日本化薬KK宮下龍二, 工藤一男, 園田豊, 大沢四郎の各氏の協力を得たことに対し感謝の意を表わす。

文 献

- 1) 日野熊雄: 工業火薬, 28, 37 (昭和25年)
- 2) 鈴木富治: 工業火薬, 6, 211 (昭和16年)
- 3) Hall & Howell: Bureau of Mines (1912)
- 4) Ullmann: Enzyklopädie der technischen Chemie Bd 5
- 5) 山本祐徳: 工業火薬, 23, 98 (昭和24年)
- 6) ドイツ鉱山警察令: 1940年ドイツ鉱山警察令第37条
- 7) Marshall: Explosives vol. III, p. 165
- 8) Ritter & Bolle: SS 19, Nr. 1 (1924)
- 9) M. Sucharewsky: SS Nr. 10, S 157 (1926)
- 10) 木村, 井田, 工業火薬, 22, 78 (昭和23年)

Abnormal Burning of Safety Fuse

M. Kimura

The burning states of safety fuses, for instance, the lack of uniformity of burning rate, the abnormally quick or slow burning, the lateral burning, the initial

spark or flame, initial gas volume, initial gas components and the interruption of burning are due to the composition ratio of raw materials of powder core, the covering materials and the manufacturing conditions.

It is most effective for prevention of the abnormal burning of safety fuse to decrease the pressure coefficient n in burning.

From the statistical standpoint, author commented on JIS (Japanese Industrial Standard) concerning safety fuse and calculated the probability of inverse shot in the blasting using the existing safety fuses.

研究論文

圧搾起爆薬の燃焼

柳沢 剛・岡崎一正*

1. 序 論

雷こうを高圧に圧搾すると爆轟せずに燃焼するが、これは一般に死圧現象と呼ばれている。また Clark¹⁾によるとジアゾジニトロフェノール (DDNP), においては死圧現象はないといわれているが、この場合は死圧という用語の解釈に問題がある。このことについてはあらためて論ずることとして圧搾起爆薬の燃焼であるが、その燃焼速度を測定した例は比較的少ない。死圧状態における起爆薬の燃焼速度と、さらに圧搾圧力を増加したときに生ずる燃焼速度の変化を明らかにすることは、雷管その他の火工品の製造上、および起爆薬を取扱う上からも重要なことである。

1.1 死圧と過圧

Muraour²⁾によれば雷こうを 700kg/cm²以上で圧てんとすると、緩燃導火線の伝火では爆轟せずに単に爆燃するに過ぎないが、これを雷こうが過圧されたといっている。このように過圧された爆薬は伝火では爆轟しないとしても、もしアジ化鉛のような起爆薬の少量を付してその爆轟で起爆すれば、過圧起爆薬も爆轟するようになる。この現象の起る限界状態は Dautriche が

述べている爆轟生起の限界密度とは本質的に異なる。この限界密度は混合爆薬ならでは生じないといわれている。

Table 1 に示す Kast の値³⁾によれば、ピクリン酸、TNT のような単一化合物には限界密度が存在しないで圧縮下で到達する最大密度の下でもかなり強い伝爆薬を用いれば、爆轟しうことを示している。

Forg⁴⁾ はアジ化鉛を 600kg/cm² に圧縮しても過圧の現象が認められなかつたと報告し、Muraour ら⁵⁾ は 120°~130°C に予熱した雷こうが単に赤熱線の接触で燃焼の先行なしに爆轟することを示した。予熱した雷こうの直接爆轟は、ただに粉状のみでなく過圧したものについても見受けられると述べている。

そこで、高密度において十分な起爆作用を与えても爆轟しない現象を死圧と呼び、過圧という語を死圧と区別して用いるとすれば前記のように DDNP には死圧現象がないといえるであろう。また、雷こうについては死圧ではなく過圧ということになる。

Taylor⁶⁾ は火薬類の爆轟は結晶相互の摩擦により表面分子が活性化されることによるので、摩擦化学の立

Table 1 Relation between density ρ and detonation velocity D of explosives

Explosive	Picric acid				T N T				
ρ (g/cm ³)	0.81	1.30	1.50	1.66	0.81	1.31	1.50	1.55	1.61
D (m/sec)	4,570	5,980	7,100	7,100	4,400	5,000	6,500	6,700	6,710

昭和42年6月1日受理
* 東京大学工学部燃料工学科