

工業雷管の基礎的研究 (第三報)

(昭和32年4月24日受理)

木下四郎・福山 仁・網村美義

(日本化薬折尾作業所火工品研究課)

I 緒 言

第一報¹⁾第二報²⁾に於いて、雷管を鉛板上に横臥させて発火させることに依り、比較的簡便に、しかも日製品に近い型式の試料を用いて、雷管爆粉の至完爆長を測定し報告した。

第二報では本実験方法で得られた結果の精度、信頼度の検討を行い、次いで爆粉の装填比重、管体の厚さ爆粉の薬径、導火線端と爆粉面との距離が至完爆長に如何に影響するかを実測したが、本報告ではこれに続いて、内管の長さ、点火孔径、管体材質、爆粉の配合比、爆粉の水分、電気点火(点火玉使用)と導火線点火(第二種導火線使用)、点火玉薬量及び、発火時外筒の温度が至完爆長に如何に影響するかを実測したので報告する。

実験方法、実験条件は第二報に述べたと同じである。又各種記号も第二報と同じものを使用する。

II 内管の長さの影響

第一報に於いて内管の長さと半爆率との関係に言及し、内管の長さの長いもの程半爆率が減少することを示した。又内管の長さの長いもの程最小起爆量も減少することを又木氏³⁾、R. L. Grant 及び J. E. Tiffany⁴⁾も示している。福山・上田⁵⁾も最小起爆量に関して次記表1の成績を有している。

表1 内管の長さとも最小起爆量

内管長(mm)	爆粉量(g)	半爆率
6.1	0.23	$\frac{1}{100}$
	0.24	$\frac{0}{297}$
4.8	0.30	$\frac{2}{100}$
	0.31	$\frac{0}{100}$
0 (内管無し)	0.48	$\frac{2}{100}$
	0.49	$\frac{0}{100}$

以上から内管の長さの長いもの程、至完爆長は短くなるのが予期されるので以下にそれを検討した。

1. 実験条件

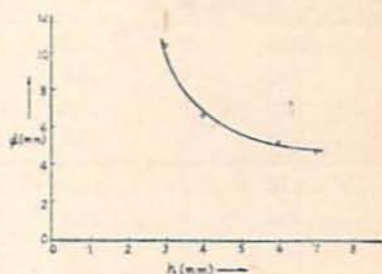
$$t=0.17\text{mm}, \phi=6.2\text{mm}, \omega=1.6\text{g}$$

2. 結 果

結果の詳細は表2、図1に示す。

表2 内管の長さの影響

内管長 (mm)	内管 点火孔径 (mm)	d (g/cm ³)	d (mm)		
			試験数	\bar{x}	R
3	2.3	2.73	8	10.4	2.1
4		2.74	10	6.6	1.4
6		2.69	10	5.1	0.9
7		2.70	10	4.7	0.8

図1 内管長(h)の影響($d=2.7$)

3. 考 察

上記の結果から明らかな様に、内管の長さの長い程至完爆長は短くなっている。これは管体の厚さの影響と同じく補強効果の増大によるものと解釈される。

III 点火孔径の影響

第一報に於いて点火孔径と半爆率との関係を述べた。又木氏³⁾も内管点火孔径と最小起爆量との関係を示し、点火孔径が大き過ぎても、小さ過ぎても最小起爆量が増大することを述べている。至完爆長についてこの影響を以下に検討した。

1. 実験条件

$$t=0.15\text{mm}, \phi=6.2\text{mm}, \omega=1.6\text{g}$$

尚爆粉面上に厚さ約1.5mm径約6.2mmのボール紙を密着させ、そのボール紙の中心における小孔の径

を変えて、点火孔径の影響を検討した。又第二種導火線で点火したが、導火線端面とボール紙面との距離は10mmとした。(図2参照)

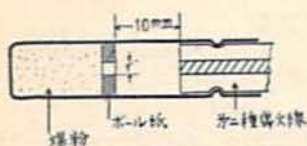


図2 試料断面図

即ち導火線末端火焰は導火線末端から円錐状に拡がってゆくものと仮定して、導火線末端と爆粉面とを密着させた場合よりも10mm位離れた方が、点火孔径と着火力との関係が至完爆長に及ぼす影響をはつきり示すと考えたからである。

2. 結果

結果の詳細は表3及び図3に示す。

表3 点火孔径の影響

点火孔径 (mm)	Δ (g/cm ³)	d (mm)		
		試験数	\bar{x}	R
2.5	2.50	5	7.2	1.1
	2.62	4	8.0	0.3
	2.70	5	9.3	1.0
	2.78	3	13.7	0.5
4.0	2.50	4	8.1	1.9
	2.62	4	11.0	0.8
	2.70	5	11.2	1.1
	2.78	4	13.3	2.7
6.2 (ボール紙 無し)	2.50	5	7.2	1.7
	2.62	4	8.7	0.6
	2.70	5	8.7	0.6
	2.78	4	11.7	0.4

3. 考察

この実験範囲では、点火孔径4mmの場合に至完爆長は、孔径2.5, 6.2mmのものに比して長くなる傾向を示した。これは孔径2.5mmの場合には点火条件は最も悪いが、点火されて後の補強効果が、薄いボール紙程度のものであるが、他の場合に比して大であり、6.2mmの場合には、他の場合に比して補強効果は最も悪いが、点火条件が最も良く、斯る成績になつたのではないかと考える。

IV 管体材質の影響

爆粉部の補強効果の大小が至完爆長を左右すること

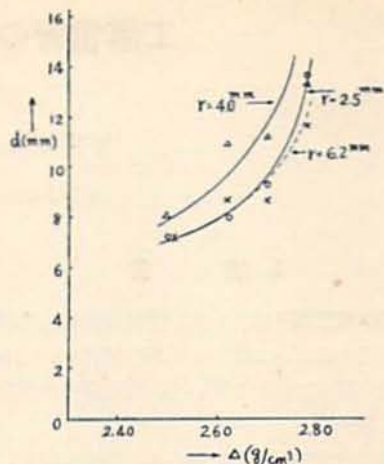


図3 点火孔径(r)の影響

は、既に管体の厚さ、内管の長さ等の至完爆長への影響を検討して報告した²⁾通りである。これらの他に管体の材質も補強効果を左右し、至完爆長に影響を及ぼす筈である。又木氏³⁾によれば、抗張力の大きい材質の管体を使用したもの程、最小起爆量は少なくなっている。以下に銅、アルミニウム、鉄を用いて検討した。

1. 実験条件

$$\phi=6.2\text{mm}, \omega=1.6\text{g}$$

2. 結果

結果の詳細は表4及び図4に示す。

3. 考察

同一の厚さで比較出来なかつたが、銅はアルミニウム

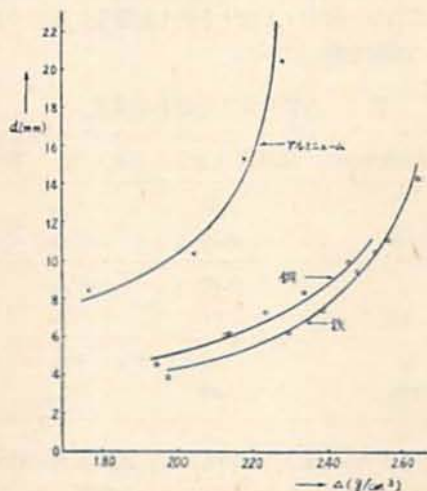


図4 管体材質の影響

ームに比して薄かつたにも不拘、至完爆長は短くなつてゐる。又鉄は銅よりも厚く抗張力も3倍近いのに、銅とアルミニウムの場合に比して、鉄は銅よりも僅かに至完爆長が短い過ぎない。

このことは、K. K. Andreev⁶⁾ が雷汞の死圧は内圧を高めると云う様な手段によつて燃焼速度を高めると打勝つことが出来ると述べているし M. Patry⁷⁾ が雷汞の燃焼速度の増大と共に爆轟波発生層迄の雷汞の燃焼層の長さが減少することを示している。従つてアルミニウムは銅に比して抗張力、抗圧力の何れも小さく、前者の方が後者の場合よりも爆粉の燃焼速度が小さく、至完爆長が長くなると考えられる。一方、抗張力の比較のみに於ては、銅とアルミニウムの場合の至完爆長の差に比して、鉄と銅との場合のその差が小さい。油圧試験器を用いて測定した抗圧力は静的な測定値であるが、この値を見ると鉄は銅に比して2倍

未滴の値しか有していないのに、銅はアルミニウムに比して3倍近い値を有している。従つて鉄は銅に比して、銅とアルミニウムの場合から期待される程、至完爆長が短くないのではないかと考えられる。

即ち至完爆長には抗張力よりも抗圧力の影響が大きく、抗圧力の大きい管体を用うれば爆粉の燃焼速度は高まり、従つて至完爆長も短くなると思われる。

V 爆粉配合比の影響

雷汞は吸熱化合物であつて、その爆発熱は409cal/gで比較的小さい。COの発生を抑制し、発熱量を増すために塩素酸加里を添加して爆粉として工業雷管に使用している。この塩素酸加里の配合比は雷汞に対して重量比で78:22の場合に完全燃焼が期待されることは云う迄もない。

一方雷汞と塩素酸加里との配合比を変えてゆくと、同一爆粉量での半爆率もそれに応じて変化してゆくことが実験的に求められている⁸⁾。即ち図5の通りである。

雷汞配合比70~97%の間で実験しているが、80~85%の部分で半爆率が他の部分に比して低下している。

表4 管体材質の影響

材質	管体厚さ (mm)	抗張力 ⁽¹⁾ (kg/mm ²)	抗圧力 ⁽²⁾ (kg/cm ²)	d (g/cm ³)	d (mm)		
					試験数	\bar{x}	R
銅	0.15	31	246	1.95	5	4.5	0.9
				2.14	5	6.0	0.6
				2.24	5	7.2	0.2
				2.34	5	8.3	1.3
				2.46	4	9.9	1.0
				2.53	5	10.4	0.8
アルミニウム	0.17	15	84	1.77	5	8.4	0.9
				2.05	5	10.3	2.5
				2.18	5	15.3	2.3
				2.28	3	20.4	1.3
鉄	0.18	86	430	1.98	5	3.9	0.7
				2.13	5	6.0	1.0
				2.30	5	6.2	0.4
				2.39	5	7.4	1.1
				2.48	5	9.4	0.5
				2.56	5	11.1	2.3
				2.64	5	14.3	2.5

註 (1) 抗張力は管体を軸方向に切断し巾2mm、長さ34mmの試験片をつくり測定したものである。

(2) 抗圧力は油圧試験器を用いて、管体内面に油圧を加えて管体が破壊される時の油圧を求めたものである。

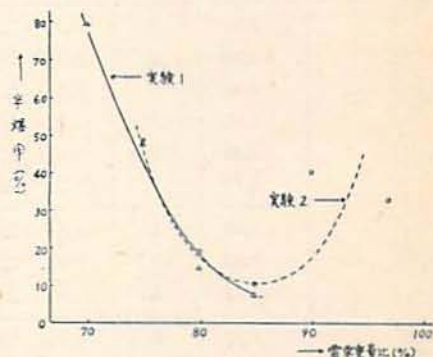


図5 爆粉配合比と半爆率

以上の事から至完爆長も配合比によつて影響を受けると思われるので以下に検討した。

1. 実験条件

$$\phi=6.2\text{mm}, t=0.17\text{mm}, \omega=1.6\text{g}$$

2. 結果

結果の詳細は表5及び図6に示す。

3. 考察

爆粉中の雷汞配合比が90%のものが至完爆長が最も

短い結果となつた。この結果は図5に示したものとほぼ似た傾向を示して、完全燃焼が期待される78:22の配合比の場合に比して、半燃率の最低又は至完燃長最短の配合比は何れも雷汞量の多い方にズレている。

この事は雷汞単味と雷汞80、塩素酸加里20の爆粉との爆速(何れも $d=1.69$)を比較すると前者が3,260 m/sec、後者が3,090 m/secであつて前者の方が爆速が大きいと云う事、ひいては燃焼速度も大きいと云う事が M. Patry の報告からも推定され、配合比によつて爆発熱と共に燃焼速度も影響を受け、従つて半燃率とか至完燃長も配合比の影響を受けたためであると考へる。

表5 爆粉配合比の影響

爆粉配合比		d (g/cm ³)	d (mm)		
雷汞 (%)	KClO ₃ (%)		試験数	\bar{x}	R
100	0	2.43	5	7.3	0.9
		2.57	5	7.2	0.6
		2.80	5	9.0	0.9
90	10	2.27	5	3.7	0.9
		2.45	5	5.2	0.4
		2.69	5	5.5	0.7
		2.82	5	6.0	0.9
80	20	2.16	5	5.2	0.5
		2.36	5	6.3	0.7
		2.49	5	6.8	1.2
		2.60	5	8.2	1.2
		2.68	5	9.6	1.7
		2.73	5	16.0	1.7
70 ⁽¹⁾	30	1.68	5	6.5	0.4
		1.98	5	9.8	2.3
		2.12	5	16.3	2.1
60 ⁽¹⁾	40	1.55	5	8.2	1.6
		1.86	5	26.7	3.0

註 (1) 配合比70:30, 60:40では本表に示したよりも高密度の部分でも試験したが鉛板上に爆痕が残らず生ぜず測定出来なかつた。

VI 爆粉の水分の影響

雷汞水分の多少が至完燃長に影響し、水分の多い程至完燃長が長くなることを第一報¹⁾でも既に報告した。

工業雷管のクレームの多くが吸湿に原因する不発又

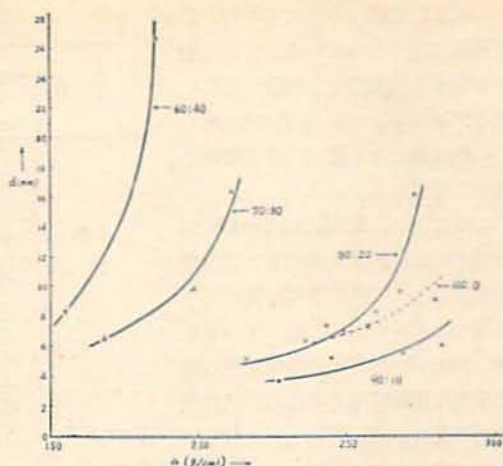


図6 爆粉配合比の影響

は半爆であることは良く知られている。実際に雷管を吸湿せしめて試験をすると、吸湿度の大きいもの程半燃率が多い。

従つて爆粉水分の至完燃長への影響について本報告では第一報よりも尚詳細に検討したので以下に報告する。

1. 実験条件

$$\phi=6.2\text{mm}, t=0.17\text{mm}, \omega=1.6\text{g}$$

2. 結果

結果の詳細は表6, 図7に示す。

3. 考察

水分の多い程至完燃長は長くなり、又水分0.25%と云う相当多量の水分を含ませたものに於いても、装填比重と至完燃長との関係は今迄に述べた結果と類似した曲線関係となつた。これは水分が多い程、爆粉の反応熱のうち、その水分の気化に使用される部分が多くなり、爆轟状態に入るための一定エネルギーに達する迄に多量の、又装填比重の大きい程、より多量の燃焼過程を越える必要があるからと考へる。

表6 爆粉水分の影響

爆粉水分 (%)	d (g/cm ³)	d (mm)		
		試験数	\bar{x}	R
0.17	2.00	5	4.8	1.8
	2.15	5	6.2	2.0
	2.32	5	7.2	0.8
	2.42	5	8.0	0.4
0.25	2.03	5	11.6	2.5
	2.15	4	16.4	4.2
	2.29	3	20.8	2.0

VII 電気点火と導火線点火との比較

爆粉への点火力の差によって雷管の起爆力に差を生ずることは、既に多くの人によつて認められており、又第一報¹⁾、第二報²⁾に於いては点火力の差と至完爆長との関係について報告した。今回はこの点について更に、電気点火(点火玉使用)と導火線点火(第二種導火線使用)とで至完爆長に差を生ずるか否かを検討した。

1. 実験条件

$$\phi=6.2\text{mm} \quad t=0.15\text{mm}, \quad \omega=1.6\text{g}$$

点火玉：第一層にデニトロソルソルシン鉛，第二層にロダン鉛を主剤にしたもので薬量約9mg，約2Ampで点火。

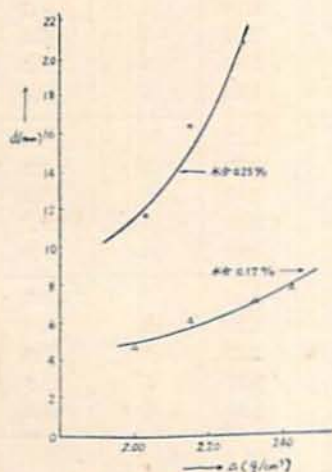


図7 爆粉水分の影響

点火玉点火では点火玉尖端と爆粉面との間隔は約3mm，導火線点火の場合は，導火線を爆粉面に密着させた。

2. 結果

結果は表7，図8に示す。

3. 考察

今回の実験では電気点火の方が，導火線点火に比して，至完爆長は短くなった。点火玉からの火焰と導火線末端火焰とが今回の実験条件では，点火力に差があつて前者の方が後者よりも強かつたためにこの様な結果になつたと思われる。

VIII 点火玉薬量の影響

前述の様に点火法の相違によつて至完爆長に差を生じたが，点火玉薬量の変化によつても点火力に変化し

表7 電気点火と導火線点火の比較

点火法区分	$d(\text{g}/\text{cm}^3)$	$d(\text{mm})$		
		試験数	\bar{x}	R
第二種導火線	2.04	5	4.8	0.5
	2.19	5	6.2	0.7
	2.36	5	9.4	1.1
	2.48	5	11.1	1.1
	2.56	5	13.0	1.4
点火玉	2.04	5	3.4	1.2
	2.19	5	4.9	0.9
	2.36	5	6.5	0.9
	2.48	5	7.5	1.1
	2.56	5	8.7	0.7
	2.70	4	15.2	1.4

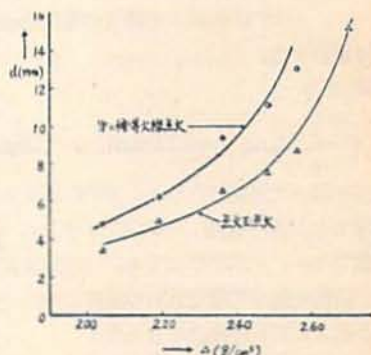


図8 点火法の相違の影響

至完爆長も影響を受けると思われるのでその状況を検討した。

1. 実験条件

$$\phi=6.2\text{mm}, \quad t=0.17\text{mm}, \quad \omega=1.6\text{g}$$

$$d=2.39\text{g}/\text{cm}^3, \quad \text{点火電流 } 2\text{Amp}.$$

今回は点火玉としてはロダン鉛を主剤にしたもののみを用い，デニトロソルソルシン鉛は用いながつた。点火玉と爆粉面との間隔は約3mmであつた。

2. 結果

結果は図9に示す。

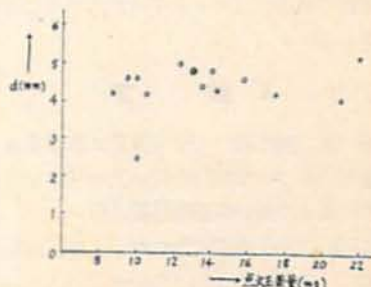


図9 点火玉薬量の影響

3. 考 察

図9に見られる様に点火玉薬量8.7mgから22mg迄の間では至完爆長は点火玉薬量の影響を受けていない。この位の薬量の差は点火力にそれ程の差を生ぜしめないのではないかと考える。

IX 発火時外圍の温度の影響

雷管が発火する場合、外圍の温度によつて半爆率に差を生ずることは、特に雷管を液体酸素等を用いて冷却した場合に検討されていて、坂木氏¹⁰⁾、L.V. Clark⁹⁾等によつて報告されている。筆者等も別に報告¹¹⁾しているが、それでは外圍の温度 25, 0, -183°C の場合の至完爆長を夫々測定した結果を述べた。今回は 60, 25, 0, -70, -183°C の夫々の場合の至完爆長を測定したので報告する。

1. 実験条件

$$\phi=6.2\text{mm}, t=0.15\text{mm}, \omega=1.6\text{g.}$$

点火玉を用いて電気点火した。60°C にするには湯 0°C にするには氷と食塩、-70°C にするには固体炭酸と醋酸アミル、-183°C にするには液体酸素を用いて雷管と鉛板を最小30分それらの温度に保ち、それから取り出して直ちに発火せしめた。

2. 結 果

結果の詳細は表 8, 図 10 に示す。

3. 考 察

この実験条件の下では、60, 25, 0°C の間では大差なく、又 -70, -183°C の間でも大差なかつた。然し前記のグループと後記のグループとは差があり、前者の方が後者よりも至完爆長は短くなつた。尤も装填比重の小さい部分ではこの両者の間にも殆んど差は認められなかつた。これから温度が極端に低くなると半爆現象を呈し易いこと、然かも装填比重の大きい時にそれはよりはつきりすることがわかる。何故低温程至完爆長が長くなるかについては、別に報告¹¹⁾した様に低温程爆粉の臨界点火エネルギーが大きくなるためであると考える。

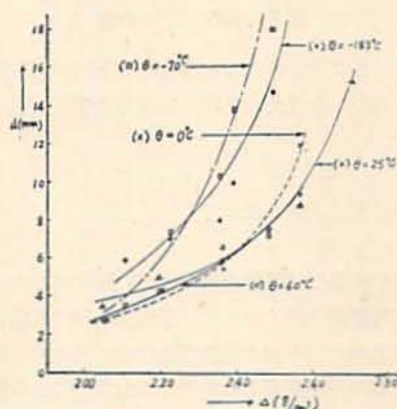
X 結 言

第一報、第二報に続いて至完爆長に影響すると思われる各種要因について検討を行い次の結果を得た。

1. 内管の長さは長い程至完爆長は短い。
2. 点火孔径の大小は点火力の大小と補強効果の大小に影響し、点火孔径 2.5, 6.2mm に比して 4.0mm の場合に至完爆長が長くなる。

表 8 発火時外圍の温度の影響

外圍の温度 (°C)	$d(\text{g/cm}^3)$	$d(\text{mm})$		
		試験数	\bar{x}	R
60	2.04	5	2.7	1.0
	2.19	5	4.2	0.5
	2.36	5	5.9	0.5
	2.48	4	7.0	1.2
	2.56	5	9.3	1.0
25	2.04	5	3.4	1.2
	2.19	5	4.9	0.9
	2.36	5	6.5	0.9
	2.48	5	7.5	1.1
	2.56	5	8.7	0.7
	2.70	4	15.2	1.4
0	2.04	5	2.7	1.0
	2.19	5	4.2	0.4
	2.36	5	5.3	0.3
	2.48	5	7.3	0.6
	2.56	5	11.8	1.9
-70	2.10	5	3.4	1.0
	2.22	5	7.2	0.8
	2.35	5	10.2	1.4
	2.39	5	13.7	1.6
	2.49	4	17.9	1.0
-183	2.10	5	5.8	1.1
	2.22	5	6.9	1.0
	2.35	5	7.9	1.0
	2.39	5	9.9	0.9
	2.49	4	14.6	2.2

図 10 発火時外圍の温度(θ)の影響

3. 管体の材質によつて至完爆長は変化し、銅よりもアルミニウムの場合に至完爆長は長い。鉄は銅に比してそれ程至完爆長は短くならなかつた。管体の

材質として、その抗圧力が大きい程、その至完爆長は短くなる。

4. 爆粉中の雷汞と塩素酸加里との配合比を変えると至完爆長も変化して来て、その比が 90:10 の場合に他に比して短い。
5. 爆粉の水分は少ない程至完爆長は短い。
6. 点火玉点火と第二種導火線点火とでは前者の場合に至完爆長は短い。
7. 点火玉の薬量 9~22mg の範囲では至完爆長に影響を与えない。
8. 発火時外囲の温度が低いと至完爆長は長くなる。

以上の結論及び従来行なわれて来た試験結果から、至完爆長が長くなる条件の場合程半爆現象を呈し易い事が判明した。

又第二報、第三報を通じて、色々要因を変えて実験を行なつたが、その場合に至完爆長と装填比重との関係は何れの場合にも類似した曲線関係で示されることが判明した。次報ではこの曲線の実験式を求め更に至完爆長と限界起爆量との関係について検討の予定である。

本実験を行うに当つては、榑原所長、日野博士の御指導のあつたことを記して謝意を表する。

文 献

- 1) 木下四郎：工業火薬協会誌 12 (1) (1951) 7~11.
- 2) 木下四郎，福山仁，網村美義：工業火薬協会誌 16 (2) (1955) 80~84
- 3) 又木武一：工業火薬協会誌 11 (2) (1950) 96~98.
- 4) R. L. Grant & J. E. Tiffany: Ind. Eng. Chem. 37 (7) (1945) 661~666.
- 5) 福山仁，上田輝雄：社内報告 (1949)
- 6) K. K. Andreev: Compt. rend. acad. sci. U.R.S.S. 31 (1941) 456~458., CA. 37 (1943) 1269.
- 7) M. Patry: Z.S.S. 32 (1937)
- 8) 津島敏夫：社内報告 (1950)
- 9) L. V. Clark: Z.S.S. 28 (1933) 345.
- 10) 坂本勝一：工業火薬協会誌 11 (1) (1950) 41.
- 11) 木下四郎，福山仁，網村美義：工業火薬協会誌 17 (1) (1956) 30~35.

"Anlauf-Strecke" of Blasting Caps. (III)

By Shiro Kinoshita, Shinobu Fukuyama and Miyoshi Amimura.

The effect of various factors upon the Anlauf-Strecke of the fulminate-chlorate mixture in blasting cap has been studied: factors studied are (1) the length of the reinforcing capsule, (2) the diameter of the hole of the reinforcing capsule, (3) the material of the shell, (4) the ratio of the fulminate to the chlorate in the initiating composition, (5) the moisture content in the initiating composition, (6) the method of ignition, an electric match head or a safty fuse, (7) the weight of the match head. (8.7~22.0mg) and (8) the temperature when the blasting cap is tested. (-183~60°C)

The results obtained are summarized as follows.

The longer the length of the reinforcing

capsule, the less the moisture of the initiating composition, the higher the temperature of the test, or the stronger the shell is, the shorter the Anlauf-strecke is. The Anlauf-strecke of the cap with a reinforcing capsule with the hole of the diameter of 4.0 mm is longer than that of one with the hole of the diameter of 2.5 or 6.0mm. (4) When the ratio of fulminate to chlorate is 90/10, the Anlauf-strecke is shortest. (6) When the blasting cap is ignited by the match head, the Anlauf-strecke is shorter than when it is ignited by the fuse. (7) Anlauf-strecke is not affected by the weight of the match head.

(Orio Factory, Nihon Kayaku Co., Ltd.)