

気温・風測定用発音弾について

吉 山 巖・皆 川 清・内 田 吉 保

まえがき

国際地球観測年ロケット観測の一環として高空（高度40～60 km）における気温と風の観測を行なうために、カッパ6型ロケットに発音弾を搭載して飛ばし、所望の高度でこれを爆発させ、その音（衝撃波）を地上に設置した特殊マイクロフォンで受け、その伝播状況を測定解析し高空における気温と風に関する資料を得るために発音弾が計画された。

この実験は男鹿半島一道川間の地上予備実験に始まり、飛ばし実験としては、まず1弾搭載のもの、次で2弾搭載、続いて5弾搭載のものと同順次搭載数を増加し、夏至、秋分、冬至、春分の四期に分かれて、カッパ6型TWロケット機の飛ばしにより、観測が行なわれ、毎回いずれも成功して貴重な資料を得ることができた。

次に順を追ってその概要（主として発音弾について）を述べることにする。

1. 予備実験

(1) 爆薬の要目決定 ロケットに搭載して高度60 kmの位置で爆発させて、その衝撃波を地上で捕捉測定するという目的から、発音弾に要求される性能としては、1) 強力な爆発衝撃波を起すもの。2) 比較的感度が鈍く、取扱い安全なもの。3) 弾丸の構造上、装填容易なもの等であり、これらを満足させるものとして、爆薬コンポジションB (TNT/RDX: 40/60)を選んだ。次に爆薬量であるが当初われわれが心配したのは、60 kmという遠距離における爆発衝撃波を特殊マイクロフォンが完全にこれを捕捉するにはどれだけの薬量が必要であるかということであり、これは実験によってきめるほかに手がないので、なんらかの方法で予備実験を行なうことになった。

(2) 地上予備実験 実験はヘリコプタにより水平に

距離を変えて数弾投下する方法、または地上一定距離における爆発実験等が考えられたが、諸種の事情で後者が選ばれた。

道川ロケットセンターに特殊マイクロフォンを設置し海上直線距離約

41.8 km離れた男鹿半島の一端、門前潮瀬岬の裏山（海拔61.8 m）を爆発地点ときめ、昭和32年4月28日、東大工学部山本教授のご指導で爆発実験を行なった。

その際使用した発音弾は爆薬コンポジションBを1 kg装填したもので、その概略図を第1図に示す。爆発実験はこの1 kg弾を、2個同時に爆発させたもの（2 kg弾と同等）1回、および1 kg弾1個爆発させたもの3回計4回実施した。

その結果、道川における特殊マイクロフォンの受信は毎回確実で、しかも1 kg弾1個でも十分過ぎる程度の感度を示し、薬量についてのわれわれの杞憂は一掃されて今後の実験に明るい見透しを得た。

2. 直列4弾式射出型発音弾

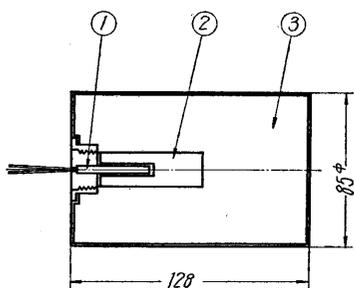
(1) 計画 メインロケットから切り離された外径90%の飛ばし体（ダート）の後部から高度それぞれ25 km, 40 km, 55 km, および70 kmにおいて各1個の発音弾を射出させ、飛ばし体から約70 mの距離（被害半径を70 mと仮定する）で爆発させる。

これに使用する発音弾は外径74%長さ94%と152%の鉄製円柱形のものとし、その薬量は、下部2弾はそれぞれ0.5 kg（完備弾量0.85 kg）、上部2弾はそれぞれ0.8 kg（完備弾量1.25 kg）とする。これをタイマーとともに外径78%の発射筒に収納し、さらにこの発射筒を外径90%の外筒へ格納する（第2図参照）。

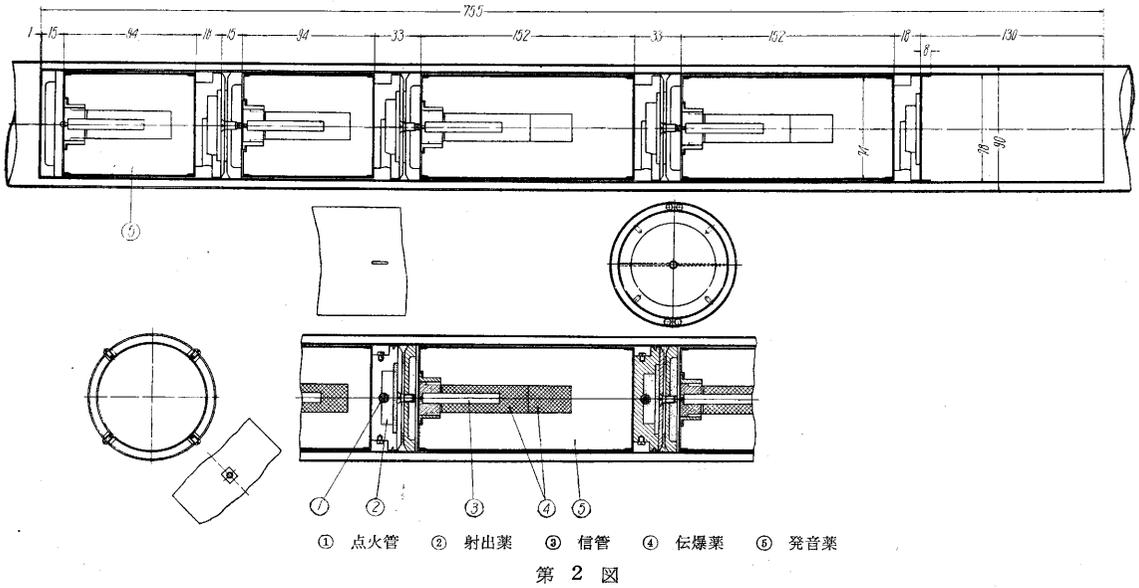
発音弾の射出は黒色火薬によることとし、その薬量および射出後発音弾の爆発するまでの秒時（距離）は地上試験を行なって決定することとした。なお発火機構はすべて電気発火方式を採用した。

(2) 地上試験 上記計画に基づき地上発火視認を容易ならしめるため、同等弾量の発煙擬弾（第3図）により、これを第2図のように組立てて地上に水平に設置して発射し、部品強度を観察するとともに、弾丸の射程、信管作動秒時、および射出による発射筒の後退力を測定して弾丸の初速、爆発距離、および飛ばし体に加わる加速度を推算した。

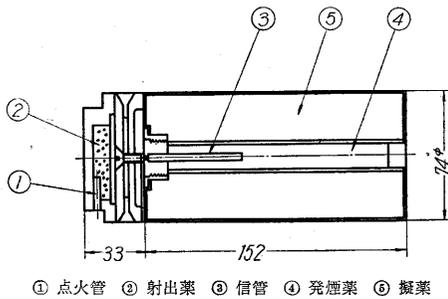
その成績は第1表の通りで次の成果を得た。1) 射出薬量を黒色火薬4 gとすれば弾丸初速は30～40 m/secとなる。2) 信管の遅延秒時を0.2 secとすれば弾丸は飛ばし体から60～80 m離れて爆発する。3) 発音弾射出により飛ばし体に加わる加速度は40～50 Gとなる。以上により4弾式射出型発音弾の構造ならびに要目を決定することができた。



① 信管 ② 伝爆薬 ③ 炸薬
第1図



第 2 図



① 点火管 ② 射出薬 ③ 信管 ④ 伝爆薬 ⑤ 発音薬

第 3 図

ここに初速の計算は次式

(i) 射角=0, 射高=h の場合 (ii) 射角=θ, 射高=0 の場合 (iii) 射角=θ, 射高=h の場合

(空気抵抗 cp=0) $v = \sqrt{\frac{g}{2h}} \cdot x$

$v = \sqrt{\frac{xg}{2 \cos \theta \cdot \sin \theta}}$ $v = \sqrt{\frac{g}{2 \tan \theta} (x - \frac{h}{\tan \theta})}$

v: 初速 m/sec θ: 射角
h: 射高 m x: 射程 m

を用い、また飛しょう体に加わる加速度は、発射の反動力を、固定鉛板の球痕から測定して次式により略算した。

$$\alpha = \frac{F \cdot g}{W}$$

α: 加速度 m/sec²
F: 反動力 kg
W: 飛しょう体重量 kg

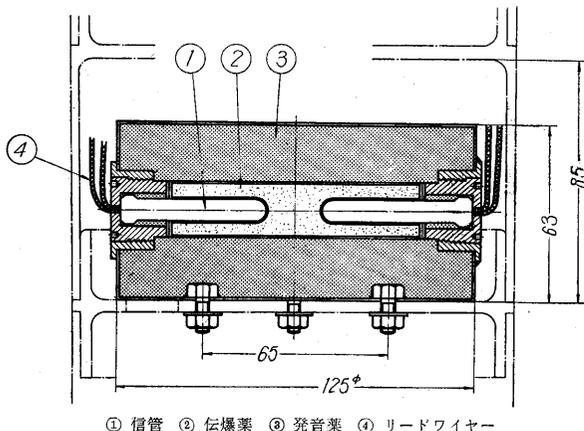
(3) 飛しょう実験 ロケットの計画変更により本型式のものは地上試験のみで飛しょう実験は行なわれなかった。

3. 1kg 型発音薬

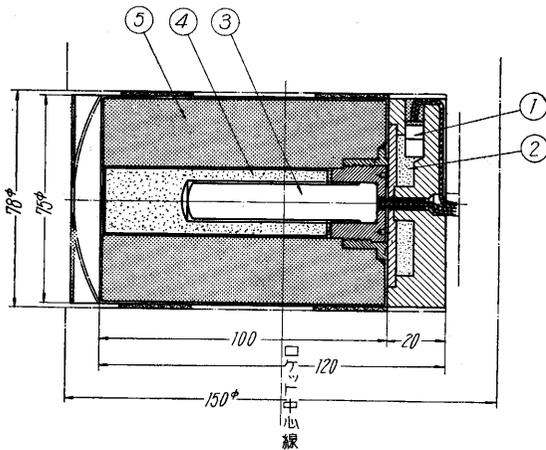
(1) 計画 外径150%のメインロケットに発音薬1個を搭載して所望高度にて、これをロケット内で爆発させる。これに使用する発音薬は外径125%高さ63%の鉄製円柱形のものとし、これに爆薬コンポジションB 1kgを装填する(完備弾量1.78kg)。発火機構は電気発火方式とし、円形軸に直角の対称の位置に完全密閉式即動信管2個を装備する(第4図参照)。

第 1 表

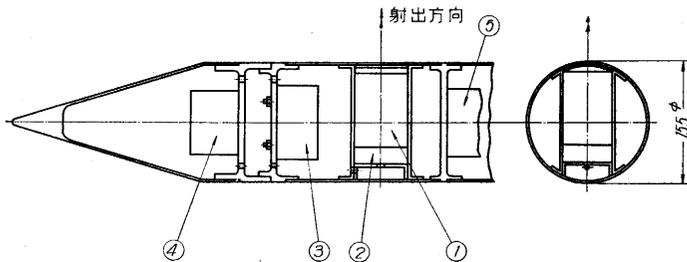
実験回次	1														2				3				4				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
爆薬量	kg	0.5	0.8	0.8	0.5	0.8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	0.5	0.8	0.5	0.5	0.8	0.8	1.26	0.86	0.5	0.8	0.8	0.86	0.5	0.8	0.8	0.86
弾量	kg	0.81	1.56	0.8	0.81	1.56	0.81	0.81	0.81	1.56	0.81	1.56	0.86	0.86	0.88	1.30	1.26	0.86	0.86	1.25	1.26	0.88	0.86	1.25	1.26	0.88	0.86
射出薬量	g	5	6	7	8	9	10	11	20	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
射程	m	15.8	30	33.4	37.2	41.2	57.2	69.5	44	54	35.3	54.8	71	120	23.1	29.9	23.3	18.0	28	37.5	33	25.5	38.5	37.5	35	30	30
初速	m/sec	16.3	25.7	33.5	33.5	31.2	37.6	44.5	36.0	33.0	39.0	36.0	39.0	42.5	56	29.7	38.4	29.9	23.1	28	37.5	33	25.5	38.5	37.5	35	30
反動力	kg	400	510	510	510	580	760	730	580	630	640	610	650	630	930	780	1.090	800	580	580	580	580	580	580	580	580	580
飛しょう体の変ける加速度	m/sec ²	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G
信管延時	sec	22.2	39.2	39.2	39.2	32	58.4	56.1	32.2	35.0	35.6	46.9	36.1	35.0	71.5	39.4	57.8	47.5	38.3	2.0	2.1	2.2	2.0	2.1	2.2	2.0	2.0
射角	°	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
射高	m	1.1	0	0	1.1	0	1.1	0	1.1	0	1.1	0	1.1	0	3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



① 信管 ② 伝爆薬 ③ 発音薬 ④ リードワイヤー
第 4 図

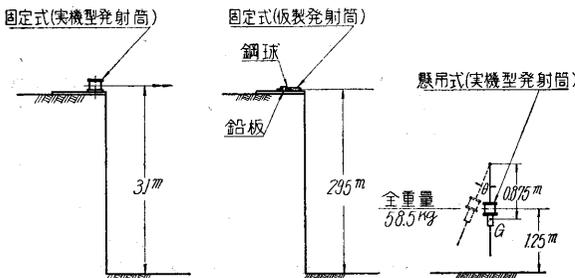


① 点火管 ② 射出薬 ③ 信管 ④ 伝爆薬 ⑤ 発音薬
第 5 図



① 射出型発音弾 ② 射出薬室 ③ 自爆型発音弾 ④ タイマー
⑥ レーダ・トランスポンダ

第 6 図



第 7 図

(2) 飛しょう実験 上記計画の発音弾を使用して昭和 33 年 5 月 27 日にカップ 150G ロケットによる予備実験, 続いて

昭和 33 年 6 月 24 日 カップ 6 型-TW-1 号機

昭和 33 年 6 月 30 日 カップ 6 型-TW-2 号機

昭和 33 年 9 月 25 日 カップ 6 型-TW-3 号機

昭和 33 年 9 月 26 日 カップ 6 型-TW-4 号機

の飛しょう実験が行なわれ、発音弾はいずれも完全に作動した。

4. 横軸射出型発音弾

(1) 計画 外径 150φ メインロケットに 2 個の発音弾を搭載して、高度 40km でまず第 1 弾をロケット軸から直角に射出し、これをロケットから約 70m の距離で爆発させ、さらに第 2 弾を高度 60km でロケット内で爆発させる。これに使用する発音弾のうち第 1 弾の射出型のもは外径 75φ 長さ 100φ の鉄製円柱型のものでこれに爆薬コンポジション B を 0.5kg 装填し (完備弾量 1.0kg) (第 5 図参照)、これをロケット軸に直角に装備し、第 2 弾は 1kg 型発音弾をそのまま使用する。その装備状況は第 6 図の通りである。

第 1 弾の射出は黑色火薬によって行ない、その薬量および射出後発音弾の爆発するまでの秒時 (距離) は地上試験できめることとし、なお発火機構はすべて電気発火方式を採用した。

(2) 地上試験 前記計画に基づき第 1 弾の地上試験用として同等弾量の発煙擬弾をつくり、これを第 7 図の要領で地上発射して、部品強度を観察するとともに

に射程、信管作動秒時、射出による発射筒の後退力および振れ角等を測定して、発音弾の初速、爆発距離、飛しょう体に加わる加速度および運動のエネルギー等を略算した。

その成績は第 2 表に示す通りでこれを要約すれば、

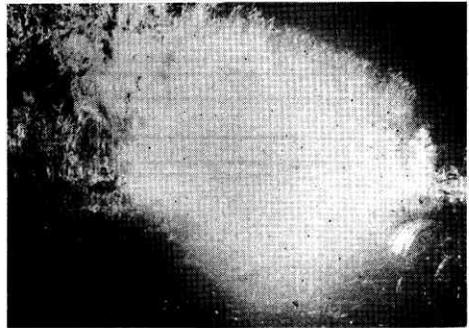
1) 射出薬量を黑色火薬 5g とすれば弾丸初速は約 33m/sec となる。 2) 信管の遅延秒時を 3sec とすれば弾丸は本体から 100m 離れて爆発する。 3) 発音弾の射出により飛しょう体の横方向に加わる加速度は 12.7G となる。 以上により本型式の発音弾の構造ならびに要目を決定することできた。

(3) 飛しょう実験 上記計画ならびに地上試験の結果に基づき、種々検討の結果射出薬量を黑色火薬 3g、信管遅延秒時を 3sec とした第 1 弾および自爆型第 2 弾を使用して、昭和 33 年 12 月 23 日、カップ 6 型 TW-5 号機の飛しょう実験が行なわれ、第 1 弾および第 2 弾とも完全に作動した。

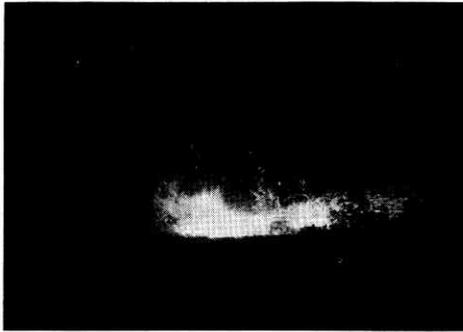
第 2 表

		固定式 (実機型発射筒)				固定式 (仮製発射筒)			懸吊式 (実機型発射筒)	
		1	2	3	4	1	2	3	1	2
擬弾重量	g	986	995	989	992	1.030	911	994	984	982
射出薬量	g	10	7	7	4	5	5	5	10	4
信管延時	sec	3.0	3.1	3.0	3.1				3.2	3.2
射程	m	26.5	40	45	32	25.6	25.6	26.0		
初速	m/sec	33.5	50	56.5	40.5	32.5	32.5	34.0		
反動力	kg					800	690	750		
飛しょう体の の受ける横 方向加速度	m/s.c ²					13.5	11.7	12.7		
振れ角度	°								9°40'	8°40'
飛しょう体の の受ける Energy	kg-m								0.72	0.57

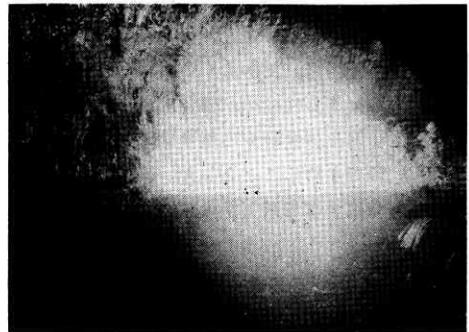
飛しょう体 (発射筒内蔵) 重量 58.8 kg として計算



トリトナル



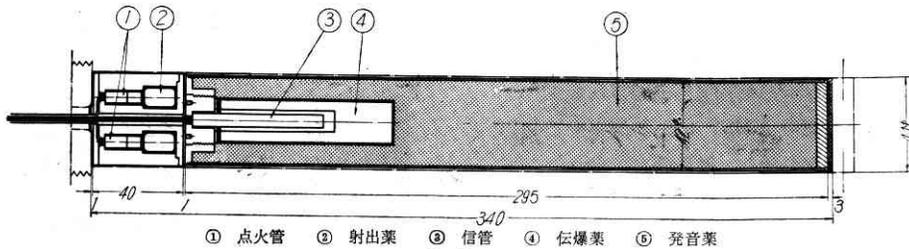
コンポジションB



トルベックス

第 8 図

註 撮影距離はいずれも爆発地点より 30 m



① 点火管 ② 射出薬 ③ 信管 ④ 伝爆薬 ⑤ 発音薬

第 9 図

5. 閃光薬選定基礎試験

発音弾の爆発時間を赤外線探知機で測定するために、発音能力を低下させずに、爆発焔を大きくし視認を容易ならしめ、かつ赤外線によって爆発秒時の検出を可能ならしめる爆薬を要望せられた。これに適するものとして Al 粉入爆薬を選定し、次の 3 種の爆薬

トリトナル (TNT/Al: 80/20)

トルベックス (RDX/TNT/Al/WAX)

: 42/39/18/1)

コンポジションB (RDX/TNT: 60/40)

につきそれぞれ 60 g 薬包により夜間爆発試験を行ない、その閃光状況を比較した。

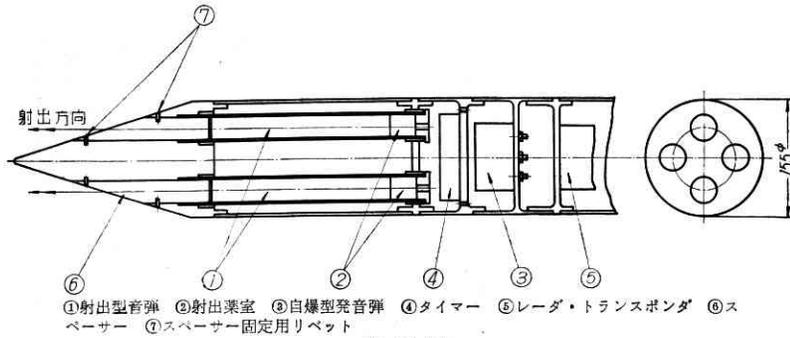
その状況は第 8 図の通りで、トリトナルが最も優秀な成績を示したが、発音能力の点で爆速の大きいトルベックスを採用することとした。

その後、数次にわたりトルベックス小薬包の地上試験および小型ロケット実験を繰り返し、赤外線探知機による試験を行ない、閃光薬選定の基礎試験を終了した。

6. 頭部発射式発音弾

(1) 計画 外径 150% のメインロケットの頭部から、所望の高度で逐次 4 個の発音弾を、ロケット軸に平行に前方に射出し、これらの発音弾はいずれもロケット本体から最小被害安全距離 (5~10 m と仮定する) で爆発させ、次いで第 5 弾をロケット内で爆発させる。

これに使用する発音弾のうち、頭部の 4 個の射出型のものはいずれも外径 42% 長さ 295% のアルミニウム製円柱型のものでこれに爆薬トルベックスを 0.5 kg 装填し (完備弾量 0.74 kg) (第 9 図参照) これを 4 個ロケット頭部に、ロケット軸に対称の位置に装備しその先端とノーズコーン表面との間隙にはアルミニウム製スペ



第 10 図

ーサーを置く。次に第5弾の発音弾は K-150G に搭載したものと同様で弾体材質はアルミニウムで、爆薬トルボックスを 1 kg 装填する (完備弾量 1.35 kg)、その装備状況は第 10 図の通りである。

第1弾ないし第4弾の射出は黒色火薬によることとしその薬量および射出後発音弾の爆発するまでの秒時 (距離) は地上試験できめることとした。

なお発火機構はすべて電気発火方式とし特に射出型発音弾の射出を完全ならしめるため射出薬点火管を1弾につき2個ずつ装備しその発火安全率を増強した。

(2) 地上試験 前記計画に基づき第1弾ないし第4弾の地上試験用として、発煙擬弾 (前記記載と同要領のもの) をつくり次の要領で地上試験を行なった。

1) 単筒式予備試験 仮製単筒 (反動力測定装置とも 1.52 kg) を用い、これに擬弾を装填し、仮想ロケット弾頭から 5 m または 7.5 m の位置に標的を立てて地上発射し、通電から標的に貼付した錫箔の切断されるまでの秒時をクロノグラフ (単位 1 MS) により測定するとともに、発射筒の後退力を計測し、射出薬量、飛しょう体に加わる加速度、初速および信管遅延秒時の資料を得た。

その成績は第3表の通りで、これを要約すれば、

第 3 表

射出薬量	反動力	同右平均	飛しょう体 (39.5kg) にかかる加速度	標的距離	同右弾丸通過秒時	同右平均	初速	同右平均
g	kg	kg	m/sec ²	m	MS	MS	m/sec	m/sec
3	610	660	16.8 G	5.36	237	237	22.6	21.0
"	710			7.86	406	406	19.4	
"	760			5.36	124	124	43.2	
4	740	750	19.0 G	7.86	181	181	43.4	43.3
"	880			5.36	119	119	45.0	
5	830	848	21.5 G	7.86	-	-	-	43.
"	870			"	121	192	41.0	
"	810			"	192	117	45.8	
6	1,000	858	21.7 G	5.36	117	117	45.8	45.8
"	870			7.86	249	249	43.2	
"	630			"	361	361	48.5	
"	780			"	182	172	43.2	
"	780			"	162	162	48.5	

平均値は△印を除いた値

(イ) 射出薬量を黒色火薬 3 g とすれば弾丸の初速は 21 m/sec となる。

(ロ) 発音弾の射出により飛しょう体に加わる加速度は約 20 G となる。

(ハ) 弾丸が飛しょう体から 5~10 m の位置を通過する時間は 0.23~0.56 sec となる。

この成績のうち射出薬量 3 g の場合の初速 21 m/sec は他の

成績から推して過小と思われるので次の実機型試験で改めて検討することとした。

2) 実機型試験 実機型弾頭に発煙擬弾 (信管遅延秒時を 0.2 sec とした) を4発装填し、第11図の要領で地上発射し、部品強度を観察するとともに、発煙距離および振れ角等を測定して、信管遅延秒時の適否、初速および発射体 (ロケット飛しょう体) に加わるエネルギー等を略算した (第12図はその試験状況を示す)。その成績は第4表の通りで次の成果を得た。(イ) 射出薬量を黒色火薬 3 g とすれば、初速は 30~40 m/sec となる。(ロ) 信管遅延秒時を 0.2 sec とすれば弾丸は飛しょう体から 6~8 m 離れて爆発する。(ハ) 発音弾の射出により飛しょう体に加わるエネルギーは 2.8 kg-m 以下である。(ニ) スペーサー固定用リベットはアルミニウム径 3% のもの 2 本が適当である。以上により本形式の発音弾の構造ならびに要目を決定することがで



第 11 図



第 12 図

第 4 表

射出薬量	弾頭より発火点までの距離 <i>L</i>	振子の水平移動距離 <i>l</i>	振れ角度	1-cosθ	振子の受けた運動の Energy (①式より)	初 速		スパーサー固定用リベットの状況	
						信管延時 200 MS として (<i>L</i> より)	(②式より)	材 料	射出のショックによる異状
g	m	m	°		kg-m	m/sec	m/sec		
3	6.5	0.26	15°05'	0.034	1.31	32.5	30.5	Al 2φ	異 状 な し
"	6.8	0.26	"	"	1.28	34.	29.4	"	"
"	7.5	△0.38	22°20'	0.075	2.74	37.5	44.5	Al 3φ	"
"	7.5	△0.31	18°05'	0.05	1.97	"	39.4	"	上部リベット伸後切断
"	5.0	0.28	16°15'	0.04	1.47	25	32.9	Al 3φ+2φ	"
"	6.0	0.39	23°00'	0.079	2.97	30	46.6	Dul 4φ	弾頭金物が下部リベットにより破断
5	7.5	0.27	15°40'	0.037	1.46	37.5	33.9	Al 2φ	他の弾丸のスパーサーリベットが剪断
"	"	"	"	"	1.43	"	33.1	"	"
"	8.0	△0.40	23°35'	0.084	3.24	40.	48.5	Al 3φ	異 状 な し
"	10.0	△0.25	14°30'	0.032	1.23	50.	31.1	"	上部リベット伸後切断
"	8.0	0.37	21°45'	0.071	2.66	40.	43.7	"	"
"	"	0.40	23°35'	0.084	3.32	40.	49.2	Dul 4φ	弾頭金物が下部リベットにより破断

註 振子の水平移動距離中△印は写真判定のものを示す。

①式 振子の受けた運動のエネルギー: $E = \frac{1}{2} J \omega^2 = M g R (1 - \cos \theta)$

②式 弾丸の初速: V

$$V = \frac{(M+m)\sqrt{2gR(1-\cos\theta)}}{m}$$

M : 振子重量 kg R : 支点より重心点までの長さ m θ : 振子の振れ角度 ° m : 弾丸重量 kg

第 5 表 発音弾の実験経過一覽

実験月日	実験目的	実験種類	発音弾の要目			備 考
			薬 種	薬 量	構 造	
32年4月28日	爆薬要目決定	地上	Comp. B	1 kg	2個 } 計4個射出型 2個 }	男鹿半島において 飛しょう実験に至らず
33年1月20日	構造決定	"	擬 薬	0.5 kg 0.8 kg		
33年5月27日	予備実験	飛しょう	Comp. B	1 kg	1個自爆型	150-G
33年6月24-30日	夏至期観測	"	"	"	"	カップ6型TW-1.2
33年9月25-26日	秋分期観測	"	"	"	"	カップ6型TW-3.4
33年10月21日	閃光薬種決定	地上				
33年11月21日	射出要目決定	"	擬 薬	0.5 kg	射 出 型	
33年12月23日	冬至期観測	飛しょう	Comp. B	0.5 kg 1.0 kg	1個射出型 1個自爆型	カップ6型TW-5
24年1月13-27日	閃光弾観測	地上				
34年2月27日	"	飛しょう				小型ロケット
34年2月28日	射出要目決定	地上	擬 薬	0.5 kg	射 出 型	
34年3月2日	春分期観測	飛しょう	TORPEX	0.5 kg	4個射出型	カップ6型TW-6.7
34年3月18-20日		飛しょう	"	1 kg	1個自爆型	

きた。

(3) 飛しょう実験 上記計画ならびに地上試験の成果に基づき射出薬量を黒色火薬 3g, 信管遅延秒時を 0.2 sec とした第1弾ないし第4弾および自爆型第5弾を使用して

昭和 34 年 3 月 18 日 カップ6型-TW-6号機

昭和 34 年 3 月 20 日 カップ6型-TW-7号機

の飛しょう実験が行なわれ、6号機の第1弾および第3弾を除き、全弾完全に作動した。

7. むすび

以上発音弾の研究経過につき主としてその地上試験の

概略を述べたが、これを総括すると第5表の通りとなる。今この経過を顧みると、昭和 32 年 4 月から昭和 34 年 3 月に亘る 2 年間、最初は 1 弾式のものにはじまり続いて 2 弾式、最後に 5 弾式と順次搭載弾数を増加し、発音薬も閃光発音薬と進展して観測を正確かつ容易ならしめ、飛しょう実験に際しては毎回いづれも作動良好で所期の目的を達することができた。

今後はさらに多弾式のものにも進み得る自信ができたので、これにより上空気象観測の目的達成に貢献し得れば幸いである。(1959. 5. 8)