

# 生研 50m 水槽レンジにおけるペンシル・ロケットの飛翔実験

—ペンシル 300, 2 段型ペンシル, 無尾翼ペンシル・ロケット—

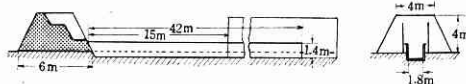
糸 川 英 夫

## 1. 生研 50m 水槽レンジ

ペンシル・ロケットの最初の飛翔試験は東京都国分寺の 10m レンジで行われこの結果についてはすでに前報告(生産研究, Vol. 7, No. 8, 1955年 8 月)に詳述された通りである。この実験終了と共に同レンジは住宅



第 1 図 (a)



第 1 図 (b)

ではないかとの示唆があった。

現地調査の結果、巾、全長、深さ共にロケット・レンジとして適当であり、鋼板も十分な厚さがあるものと判定され、所属部局である第 2 部の了解を得て多少の手を加えることになった。この決定は 30 年 5 月 6 日で、工事完成の目標は 5 月 15 日であった。工事の主なもの、多年不使用の状態にあり荒れているのを清掃すること、および、ターミナルに砂壁をつみ上げる工事が主である。実際にペンシル・ロケット用レンジとして実用し得る段階に完成したのは 30 年 6 月 2 日で、第 1 図 (a) がそのでき上りである。

**50m 水槽レンジ諸元** 有効全長 30m, 巾 2.5m, 深さ 1.4m, 鋼板厚さ 7mm, 砂壁ターミナル高さ 4m, 以来 30 年度において前に行われたペンシル水平飛翔実験は以下のような項目についてである。

- (1) レンジ性能テストのための飛翔試験
- (2) ランチャーなしの飛翔試験
- (3) 無尾翼ペンシル・ロケット
- (4) ペンシル-300 (発煙系研究用)
- (5) 2 段ペンシル・ロケット (staging 研究用)

## 2. レンジ性能テストのための飛翔試験

2 種類のテストが行われた。最初に砂壁ターミナルのテスト、次に有効全長をフルに使ったテストである。

砂壁ターミナルのテストは 30 年 5 月 28 日にペンシル-30S を用い、3m ランチャーで水平距離、7.85m で水平飛翔試験を行った。その結果砂面の傾斜が急しゅんすぎて、埋没後のロケットを掘り出すときに砂面が次々になだれ現象を起し、発掘が困難なことが判った。この対策として、砂面を 4 段ないし 5 段の階段型にし、全体の傾斜を下げるのが提案され、この工事後、30 年 6 月 2 日に第 2 次の飛翔テストを行った。

実験は第 1 次テストと同じ条件で Pencil-Full-32S, 35S, 30S 等を用いて行われ、この結果は埋没深さ(水平方向)約 1m で回収は容易になった。これで水平レンジとして使えることになり、次には全長飛翔試験を行うことになる。

このテストは 30 年 6 月 2 日 PM 4.30 Pencil-Full-30S を用い、3m ランチャーを水平レンジの最後部において行われた。有効水平距離は約 30m で実験は小雨の中で行われ、分散は  $x = +120\text{mm}$ ,  $z = -310\text{mm}$  で予想より少なく、30m までの試験に供されることが明らかになった。

## 3. ランチャー無しの飛翔試験

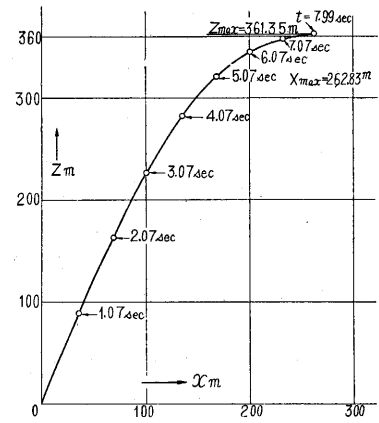
国分寺テストではランチャー長さを 3m から 50cm までかえて分散度の測定を行ったが、この結果によると、50cm 長さでもなお相当に安定であるので、さらに極端なケースとして、ランチャー無しの場合の thrust line misalignment による分散不安定現象の極限を見ようとの計画が立てられた。

実験は 30 年 6 月 9 日の PM 5.10 および PM 5.40 の 2 回にわたり Pencil-Full-30S および Pencil-Full-20D を用いて実行された。ターミナルからランディング点までを 7m とし、第 1 次テストは Pencil-Full-30S の先端とランチャー先端と一致させた。すなわちこの場合は有効ランチャー長さが C.G. までとして約 100mm あったわけである。分散は  $x = -150\text{mm}$ ,  $z = -160\text{mm}$  で案外少なかった。

第2次テストではロケット先端がランチャー先端より140mm 突出した状態で行われた。すなわち C. G. 位置からいうと完全な zero-length-launching あるいは多少、negative length-launching になっている。分散は  $x=50\text{mm}$ ,  $z=+620\text{mm}$  で従来のものにくらべては大きい。なお相当に安定であると結論を得た。

4. 無尾翼ペンシル・ロケット

前記 zero-length-launcher によるテストが、分散はやや大きいが unstable ではないので、unstable になる極限を現出させるために、ペンシル・ロケットの尾翼を全部とり、しかもランチャー長さ zero という思い切った試験を30年6月24日に行った。水平距離は7mとした。この結果は unstable で、ロケットは重心周りに前後に回転しつつ飛んだもよう。ターミナルで尾端から砂面に入り、ノーズは砂面突入時の曲げ応力のために切れ約



第1表付図 ペンシル300, 70°発射飛翔径路

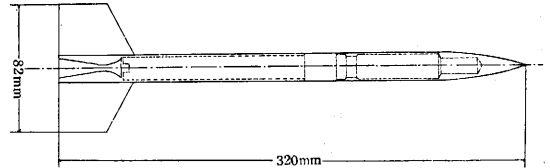
45°右上方30cmの所に没入していた。

分散は  $x=+250\text{mm}$ ,  $z=+1,000\text{mm}$  である。こういう rotation を起す unstable motion の臨界値をきめるために尾翼面積を4%, 1/2につめたものを作ってテストする計

画が立てられたが、その後、他のテストとの振り合いから中止され、現在まで行われていない。

5. ペンシル-300

秋田における垂直打上げテストには光学的追跡系が用いられることになっており、これに備えて有効な発煙系をきめる必要に迫られていた。ペンシル・ロケットを用いて予備試験を行うことになった。ペンシル-300はこのため先端部に発煙剤を入れる (smoke-nose) 室を備えるために全長 230mm のペンシル長さが 320mm に伸びたものである。(第2図参照)



第2図 ペンシル-300

発煙剤は山本裕徳教授の示唆で四塩化チタンを用い、これを先端の室に入れ、側方に 0.5mm 径の孔 8ヶをあけ、なお先端にラム庄用として径 1mm の孔をあけた。

飛翔試験は30年6月6日および30年6月29日の2回行われ、30年6月6日のテストではカメラ撮影は失敗したが、発煙状況は実用になるものと判定された。30年6月29日のテストは発煙不良で、側方孔がゴミでつまつたものと想像された。以上の経験によって、四塩化チタン取扱者にゴム手袋、ビニールコート、ゴム長靴が必要なことや、小孔のチェックが必要であること、また四塩化チタン注入器を特に作る必要性、注入後の孔をふさぐ方法など細かい実験技術が習得され、秋田におけるペンシル-300 垂直上昇飛翔テスト

成功の基礎ができたのである。

秋田における open-test は8月5日から9日まで行われたがこのために飛翔角 70°として上昇飛翔径路の計算を行った結果は第1表の如くである。

第1表 ペンシル-300 70度飛翔角上昇計算結果

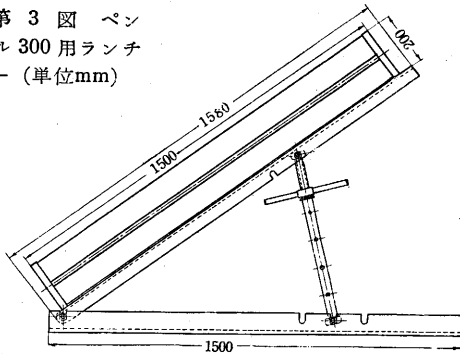
t (sec)	dv <sub>z</sub> /dt (m/sec <sup>2</sup> )	dv <sub>x</sub> /dt (m/sec <sup>2</sup> )	v <sub>y</sub> (m/sec)	v <sub>z</sub> (m/sec)	v (m/sec)	M	D (kg)	x (m)	z (m)
0	473.72	1276.6	0	0	0	0	0	0	0
0.01	479.9	1283.1	4.74	12.77	13.6	0.04	0.0003	0.024	0.064
0.02	483.7	1288.1	9.54	25.60	27.32	0.08	0.0012	0.095	0.256
0.03	487.8	1295.4	14.38	38.48	41.08	0.13	0.0027	0.166	0.448
0.04	491.5	1302.7	19.26	51.43	54.92	0.16	0.0048	0.334	0.898
0.05	495.2	1310.2	24.18	64.46	68.85	0.202	0.0078	0.552	1.477
0.06	498.6	1317.8	29.13	77.56	82.85	0.24	0.0146	0.819	2.187
0.07	-0.374	-10.80	34.12	90.74	96.94	0.28	0.0262	1.135	3.029
1.07	-0.32	-10.56	33.75	79.94	86.77	0.255	0.0202	35.08	88.37
2.07	-0.279	-10.38	33.43	69.38	77.00	0.227	0.0158	68.67	163.03
3.07	-0.235	-10.22	33.15	59.00	67.68	0.20	0.0118	101.96	227.22
4.07	-0.168	-10.00	32.91	38.78	50.86	0.15	0.0064	134.94	281.11
5.07	-0.141	-9.94	32.74	28.78	43.59	0.13	0.0046	167.77	319.89
6.07	-0.113	-9.86	32.60	18.84	37.65	0.112	0.00316	200.44	343.70
7.07	-0.106	-9.83	32.49	8.98	33.80	0.10	0.0027	232.99	357.61
7.99	—	-9.8	32.40	0	32.42	—	—	262.83	361.35

6. ペンシル-300の秋田における飛翔試験

前記上昇性能計算の結果および分散計算の結果からランチャーの長さは1.5mで十分であるとの結論を得、第3図のような可搬式で可変角式のランチャーを設計し、これを秋田の飛翔試験に用いた。

秋田におけるペンシル-300 飛翔試験の目的は下のようのものである。

第 3 図 ペンシル 300 用ランチャー (単位mm)



- (1) ロケット試験場としての秋田道川海岸の諸条件の  
実地検討
- (2) 野外上昇試験の訓練
- (3) 発煙装置の試験
- (4) 光学的追跡系技術の研究および訓練

以下にその記録を記す。

実験期日 1955年 8月 4日～8月 9日

実験場 秋田県由利郡岩城町道川海岸

実験班の編成は下記の通りである。

総指揮 糸川英夫

ロケット班 (ロケットをランチャングするまでの作業)

吉山 巖, 磯田正明, 垣見恒夫, 金沢磐夫

ランチャー班 (ランチャーの setting およびランチャング)

吉山 巖, 中村 巖, 秋葉録二郎

観測班 (飛翔径路観測) 丸安隆和, 水野俊一, 大島太市, 高橋義人, 中島国明

カメラ班 (ロケットの飛翔撮影) 山本芳孝

通信班 (ウォークリーキーで海上との連絡ならびに  
実験各班の連絡) 横田和丸, 長谷川毅, 海上保安部  
職員

記録班 (実験経過の記録) 山口文二, 寺田光一

連絡班 (気象台海上保安部警察への連絡) 吉永博文

警備班 (実験中の陸上警戒ならびに備人, 宿泊, 物品  
購入, 花火打上の準備) 鈴木亀雄

輸送班 (トラックで人員, 資材の輸送) 今井京一

設営班 (電力工事, ランチャー土台, 倉庫の建設)

新井久男

救護班 (秋田県立病院)

ほかに海上警戒のため秋田海上保安部の巡視船, 警備艇の参加, 陸上警戒のため本荘警察署, 道川消防団が参加した。実験開始終了には打上花火を使用した。

実験開始に当り下記の準備工事を行った。

実験器材格納用の倉庫一棟建造, 本部用幕舎の設定, 旗掲揚のためのポールの建設, 警戒線の杭打ち, 100V 交流電源の引込み線工事。

実験場における通信連絡状況は下記の通りである。

指揮所よりの指令伝達のためスピーカー 4 個を使用。指揮所各班間の連絡はウォークリーキーを使用。秋田市

道川間の連絡はトラック 1 台乗用車 1 台を使用, 道川近距離間は自転車 5 台バイク 2 台使用, 道川—西千葉間は鉄道電話使用。巡視船ならびに警備艇との連絡は海上保安部より実験場へ派遣の無線班担当。

観測班はランチャー東南, 南方, 西南方の 3 地点より観測した, カメラ班は 16mm 撮影機を用いて, No. 1, No. 2 はランチャー東南方約 10m, No. 3, No. 4, No. 5 は南方 100m, No. 6 は南方 200m から撮影した。

実験時刻は現地当局と話し合いの上, 午前 10～12 時, 午後 2～4 時の間とした。

実験経過は下記の通りである。

8月 5日 実験打合せ。

8月 6日 午前中実験予行演習を実施, 午後ペンシル - 300, No. 1, No. 2 試翔実験を行った。

8月 7日 休日

8月 8日 午前中 No. 3, No. 4, No. 5 の試翔実験を行った。

8月 9日 撤収, 離秋す。

実験実施要領は下記の通りである。

(1) B 旗係待機, (2) 花火係待機, (3) B 旗掲揚, 巡視船 B 旗掲揚, (4) 海上ならびに陸上警戒, (5) ランチャー角度チェック, (6) ランチャー弾道に油塗付, (7) プロペラント charge, (8) 観測班準備状況チェック, (9) イグナイター電源電圧チェック, (10) 発煙剤 (四塩化チタン) 注入, (11) イグナイターリード線結線, 導通チェック, (12) 花火打上 (発射 3 分前), (13) ランチャーカバー外し, (14) 陸上海上警備状況チェック, (15) 発煙孔用セロテープ外し, (16) 全員退避, (17) 発射。

飛翔状況は下記の通りである。

ペンシル - 300 No. 1

8月 6日午後 2 時 20 分発射。風向東南東, 風速 5.7 m/sec, 翼角 2.5°, 発射角 70 度, ランチャーの長さ 1.5m, 発煙剤は四塩化チタンを使用した。

飛翔状況…発射直前 (全員待避後) ペンシル固定用ビニールテープ剥離しペンシルがランチャー後端より地上に落下, これに気付かず点火したためペンシルはランチャー左後方砂浜へ 1 回跳躍して 20m の距離に落下した。プロペラントの燃焼は完全であった。

ペンシル - 300 No. 2

8月 6日午後 3 時 32 分発射成功。翼角 0 度, 発射角 70 度, ランチャーの長さ 1.5m, 発煙剤は四塩化チタンを使用した。

飛翔状況…発煙状況良好, 海面に落下するまで完全に肉眼で航跡を捕えることができた。観測班, カメラ班共に観測に成功した。飛翔時間 16.8 秒,

ペンシル - 300 No. 3

8月 8日午前 10 時 17 分発射成功。天候, 晴, 気温 28.1°C, 層雲発生, 風速 3.6m/sec. 翼角 0 度 発射角

70度、ランチャーの長さは1.5m、発煙剤は四塩化チタン使用、発煙孔8ヶ。

飛翔状況…発煙状況良好でカメラ班 観測班ともに観測に成功した。この実験は公開した。

ペンシル-300 No. 4

8月8日10時50分発射成功。気温30.2°C、乱雲40%。翼角0°、発射角度70°、ランチャーの長さは1.5m、発煙剤は四塩化チタン使用、発煙孔4ヶ。

飛翔状況…発煙状況良好でカメラ班 観測班共に観測に成功した。実験を公開した。

ペンシル-300 No. 5

8月8日11時32分発射成功。気温34.0°C 乱雲発生40%。翼角2.5度、発射角70度、ランチャーの長さは1.5m、発煙剤は四塩化チタンを使用、発煙孔は4ヶ。発煙状況良好で観測班、カメラ班共に観測に成功した。実験を公開した。

ペンシル-300 No. 6

8月8日午後2時15分発射成功。気温35.1°C、乱雲10%、雲高1,500m。翼角2.5度、発射角80度、ランチャーの長さは1.5m、発煙剤は四塩化チタン使用、発煙孔は4ヶ。

観測班カメラ班ともに観測に成功した。大体の計時は最高点が7.8秒、落下点が16.9秒であった。

7. 2段ペンシル

ベビー・ロケットの計画の進展に伴い、当初1段式でスタートしたベビー・ロケットはランチャー長さを短くする必要からブースターを必要とする2段式になることが、30年5月4日頃ほぼ明らかになったので2段式ロケットの設計に必要な基礎資料として下の事項を解決することになった。すなわち

- (1) 二つのロケットの接合および分離の方法、構造
- (2) ブースター燃焼直後、または適当な時間間隔において主ロケットエンジンに点火するための時限系
- (3) 飛翔中に主ロケットエンジンに点火する方法、その点火系

などである。そこでペンシル・ロケットを用いてこれらの基礎的研究を行うことになり、前に2段ペンシルの計画が立てられた。その設計方針は下のようである。

(1) ブースターとしては標準のペンシル(全長230mmのもの)を用いるが燃料としては pencil-half 用のものを用いる。これで空いた前半部の空室を電源、リレーその他の系を収容する室に用いること。

(2) 主ロケットは、標準のペンシルを用い、ただし、後端部に接合金具を新設する。

(3) ブースターの点火は従来通り地上の電源で行う。

(4) 主ロケットエンジンの点火は、ブースターの前半部空室内に、小型電池、時限装置または加速度リレーを

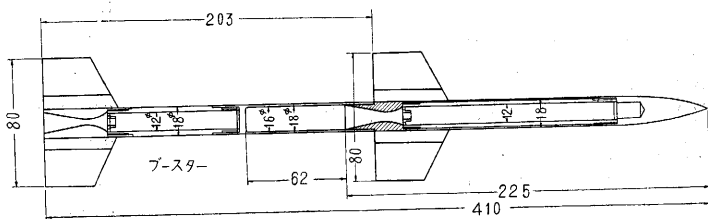
装備し、rocket-born の電源系で行う。

(5) 上記 rocket-born 点火系のほかに、遅延時間式イグナイターを研究し、ブースター、主ロケットを共に地上電源で点火する方法の研究をも平行して行う。

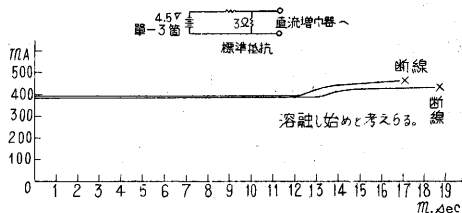
(6) 分離は主ロケットエンジンの噴射による圧力で行わせる。

以上の方針が30年5月4日に立ち、これに基づいて第4図のような2段式ペンシルができたのは30年6月22日である。

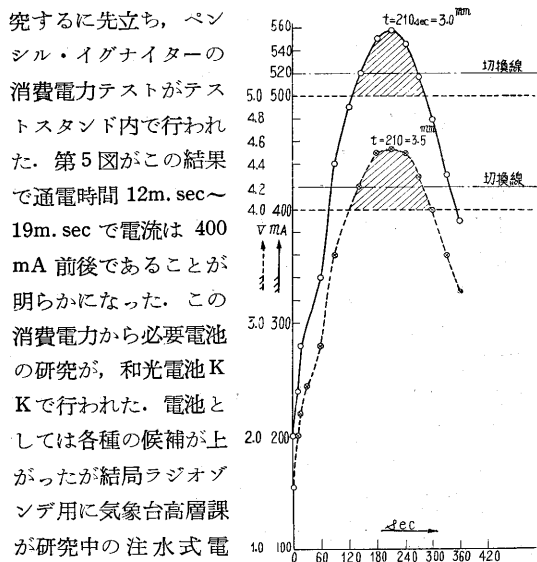
7.1 ペンシル・ロケット自蔵用電源の研究 主ロケットエンジンを空中で飛翔中に点火するための電源を研



第4図



第5図 ペンシル・イグナイター消費電力実験結果



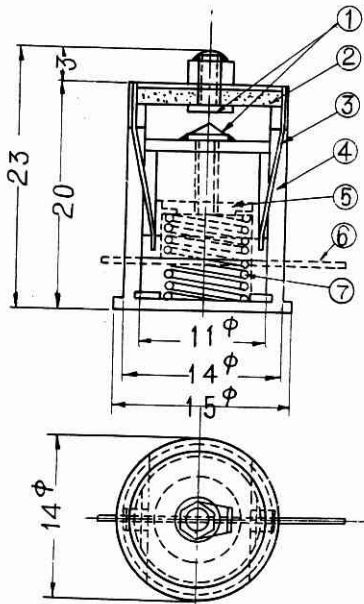
第6図 ロケット用和光式注水電池特性

できより諸元は次の通りである

\* 牧野三郎 "最近の特殊用電池" 電気化学 第22巻 昭29年 p.558.

大きさ 11mm×10mm×35mm 角型  
 重量 7.2g  
 特性 第6図

7.2 加速度リレーの製作 ブースター点火後ブースター燃焼中はロケット全体に一定の加速度が加わり、燃焼直後に加速度が zero になる。この加速度の変化を利用して主ロケットエンジン点火系の回路を開閉する方法が、三栄通信機工業会社成田技術部長によって考案され、試作された。その概要図、諸元性能は図の如くである。



第 7 図 加速度リレー組立図 (単位 mm)

- ① 銀接点, ②ペークライト, ③スプリング鋼板, ④シリンダー (黄銅), ⑤ピストン上部は鉛, 下部は黄銅, ⑥lock 用ピアノ線, ⑦スプリング (ピアノ線)

	40g 用	60g 用
作動開始の加速度	26.7g	60g
作動中の加速度の許容範囲	100g~12g	150g~25g
接点圧力	100g	100g
ピストンの重さ	10g	4.15g
作動時間	5.88msec	3.7msec
最大接点間電圧	50V D. C.	50V D. C.
重量	15g	10g
安全用 lock	常時ピアノ線を挿入しスタートの際自動的に抜ける様にする。	

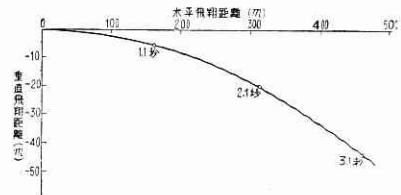
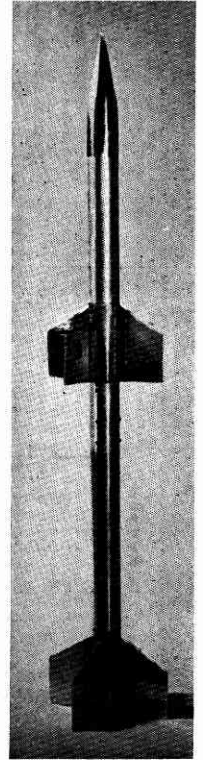
7.5 飛翔試験 2段ペンシル・ロケットの飛翔試験は30年6月22日, 同29日, 同7月6日の3回に亘って行われた。

その結果, 加速度リレー注水電池の rocket-born 系は事故が多く成功率が少ないことが判明した。事故の大半は注水電池の動作の不十分なことで、その原因としてはブースター燃焼中の加速度のために電池間の水分が一方

に片寄り、電極の大部分が乾燥状態になること、注水電池の時間特性が狭いので、時間の経過と共に動作が不安定になること、電源をロケット内部に自蔵するために、短絡その他の事故によって暴発の危険のあることがあげられるが加速度リレーの作動は良好で、有望とみられたが結局全体的な判断からこの方式は give up され、遅延時間式イグナイターの使用による地上電源方式が採用された。この方式で問題になるのは遅延時間の決定で、ブースター燃焼時間より長めにとる必要がある。実際には70msec時間のものが用いられ、大体成功したが、一度ブースターが点火せず、主ロケットエンジンのみ点火したためにブースターが後方に飛んだ様事があった。地上電源方式ではロケットの自発的点火の危険はないが、主エンジン、ブースターが平行的に点火されるので、一方の点火に無関係に他方が点火され、このために前記のような事故を起す危険がある。

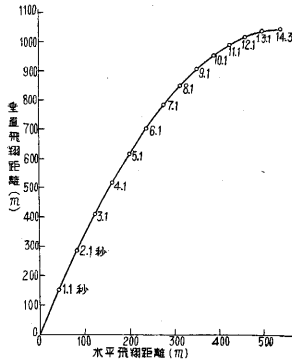
全体的判断としてはやはり、遅延時間イグナイターを用いる地上電源方式が安全確実とみられ、ベビー・ロケットの設計はこれで行うことに決定した。

2 段式ペンシルの飛翔性能計算は30年5月11日に第1次<sup>(1)</sup>(銭) 第8図 2段式ペンシル  
 同19日に第2次<sup>(2)</sup>(銭), 同6月3日に第3次<sup>(3)</sup>(中村) 計算書がそれぞれに作製されている。その要旨は第9図~第14図の如くである。  
 (1956. 3. 3)



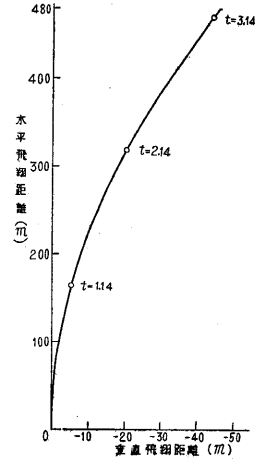
第 9 図

	重量 (g)	燃料重量 (g)	燃焼時間 (sec)	推力 (kg)
ロケット本体	202	12.9	0.06	43.5
ブースター	140	6.5	0.06	21.75
発射角	0°			
relay time	0 sec			



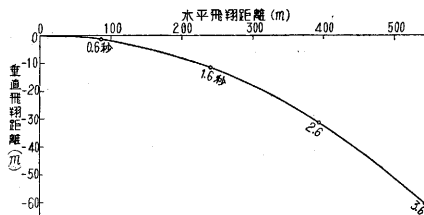
第 10 図

	重量 (g)	燃料重量 (g)	燃焼時間 (sec)	推力 (kg)
ロケット本体	202	12.9	0.06	43.5
ブースター	140	6.5	0.06	21.75
発射角	75°			
relay time	0 sec			



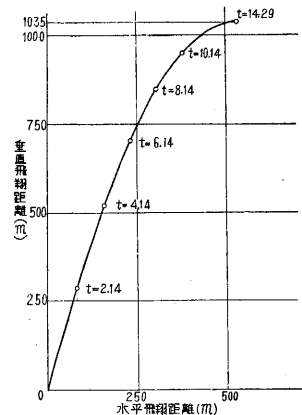
第 13 図

	全長 (mm)	直径 (mm)	重量 (g)	燃料重量 (g)	燃焼時間 (sec)	推力 (kg)
ロケット本体	225	18	192	12.8	0.06	42.7
ブースター	203	18	163.6	6.4	0.06	21.3
発射角	0° 3mランチャー					
relay time	0.02sec					



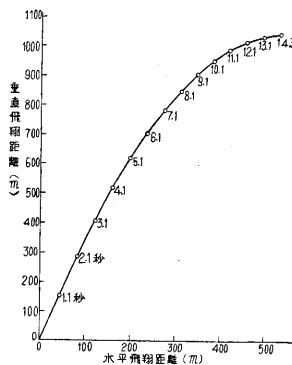
第 11 図

	全長 (mm)	直径 (mm)	重量 (g)	燃料重量 (g)	燃焼時間 (sec)	推力 (kg)
ロケット本体	225	18	192	12.8	0.06	42.7
ブースター	203	18	163.6	6.4	0.06	21.3
発射角	0° 3mランチャー					
relay time	0 sec					



第 14 図

	全長 (mm)	直径 (mm)	重量 (g)	燃料重量 (g)	燃焼時間 (sec)	推力 (kg)
ロケット本体	225	18	192	12.8	0.06	42.7
ブースター	208	18	163.6	6.4	0.06	21.3
発射角	75° 3mランチャー					
relay time	0.02 sec					



第 12 図

	全長 (mm)	直径 (mm)	重量 (g)	燃料重量 (g)	燃焼時間 (sec)	推力 (kg)
ロケット本体	225	18	192	12.8	0.06	42.7
ブースター	203	18	163.6	6.4	0.06	21.3
発射角	75° 3mランチャー					
relay time	0 sec					

文 献

- (1) "Booster をつけた Pencil Rocket の Trajectory の計算および Booster 無しで Open Test を行うための安全領域の計算" 昭和 30 年 5 月 11 日, 生研 糸川研究室報告
- (2) "Pencil Rocket に Booster をつけて 3 米ランチャーより水平および 75° に発射した Trajectory" 昭和 30 年 5 月 19 日, 生研 糸川研究室報告
- (3) "Pencil Rocket に Booster をつけて 3 米ランチャーより水平および 75° 発射した Trajectory" 昭和 30 年 6 月 3 日, 糸川研究室報告