

膠化剤を増した。これは捏延作業中の発火の危険性を減ずるためである。

本火薬の 26°C 付近の温度における圧力と燃焼速度の関係は第 4 図の如くである。〔火薬 lot GE-9-1(2)〕

第 4 図 ベビー・ロケット用火薬の圧力と燃焼速度

7. 結語 以上筆者は主としてロケット用固体燃料の紹介の意味で代表的な組成や、燃焼性に影響をおよぼす諸要素や燃焼特性等につき述べた後、今回製造したベビー・ロケット用火薬に触れた。近き将来続いて製作される大型ロケット用の火薬の製造には、なお種々困難さがあるが、早急にこれを克服すべく研究中である。(1956. 2. 18)

文 献

- 1) 村田 勉「発射薬の設計理論」工業火薬協会誌 16, No. 4, 199—213(1955)
- 2) H. Muraour et G. Aunis "Sur la relation entre la temperature d'explosion d'une poudre et sa vitesse de combustion" Chim. et Industr. 67, 920

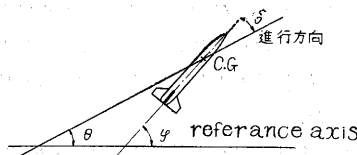
—926. (1952)

- 3) R. D. Geckler and D. F. Sprenger "Correlation of Interior Ballistic Data for Solid Propellants" J. Am. Rocket Soc., Jan.—Feb. 22~26(1954)
- 4) R. N. Wimpres. "Internal Ballistics of Solid-fuel Rockets, New York (1950)
- 5) B. L. Crawford, C. Huggett, F. Daniels, and R. E. Wilfong "Direct Determination of Burning Rates of Propellant Powders" Analyt. Chem. 19, 630—633(1947)
- 6) R. D. Geckler "Fundamentals of Solid-Propellant Rocket Motors" Am. Inst. Chem. [Engrs., Los Angeles, Sept. 16(1947)
- 7) C. G. Sage "Variation of Burning Properties of composite Propellants with Temperature" OSRD 1815(1943), unclassified
- 8) J. Taylor and G. P. Sillitto "The Use of Ammonium Nitrate as a Solid Fuel to Provide Gas for Propulsive Purposes" IIIRD Symposium on Combustion, Flame and Explosion Phenomena, Baltimore, Baltimore, 572—579(1949)
- 9) W. Gohlke "Innere Ballistik der Pulver-Rakete" Z. VDI, 95, 519—525(1953)
- 10) 村田 勉 1) に同じ
- 11) R. S. Newman "Solid Propellant Rocket Design" Aero Digest, July, 40—50(1955)

ベビー・ロケットの安定計算

秋葉 鏡二郎

ベビー・ロケットのように特に制御装置を持たないロケットにあっては、これが一応静的に安定であっても種々の外的じょう乱により、飛翔経路が予定されたものから外れてくることはさげられない。したがってこのような分散の値を知ることがぜひ必要となってくる。そこで、以下にこの値をペンシル・ロケットの飛翔実験結果を使用して推定を行ってみた。



第 1 図

ロケットの運動は燃焼中と燃焼後に分けて論ぜられる。すなわち、後者においては加速度が

比較的小であるのに反し、前者は加速度が大きく取扱いが異なってくるからである。

いま、ロケットの姿勢が第 1 図のようになっているとすると燃焼後において  $\delta$  (迎角) は次の方程式を近似的に満す。すなわち

$$\frac{d^2\delta}{ds^2} + 2B \frac{d\delta}{ds} + K_M \rho d^3 \delta = K_M \rho d^3 \delta_M + K_{L\rho} d^2 \frac{d\delta_L}{ds} + \frac{K_H \rho d^4 g \cos \theta_a}{v^2} \dots (1)$$

ここに  $s$ : 飛翔距離  $K_M = \frac{K_M}{I_y}$   $K_M$ : 縦揺れモーメント係数  
 $I_y$ : 係数重心回り慣性モーメント  $d$ : 胴体直径

$$k_L = \frac{K_L}{M} \quad K_L: \text{揚力係数} \quad M: \text{ロケット質量}$$

$\delta_M$ : ゼロモーメント角  $\delta_L$ : ゼロ揚力角

$\theta_a$ : approximate trajectory の  $\theta$

$$B = \frac{1}{2} (k_H \rho d^4 + k_{L\rho} d^2 - k_{D\rho} d^2 - \frac{g \sin \theta_a}{v^2})$$

$$k_H = \frac{K_H}{I_y} \quad K_H: \text{縦揺れ減衰モーメント係数}$$

$$k_D = \frac{K_D}{M} \quad K_D: \text{抗力係数}$$

(1)式は係数が定数であるならば、普通の振動方程式で、その波長  $\sigma$  は近似的に次式で与えられる。

$$\sigma = \frac{2\pi}{\sqrt{K_M \rho d^3}} \dots (2)$$

下の表に示すペビー、およびペンシルの諸量から、それぞれの  $\sigma$  を計算してみると、この表の一番最後に示す値になる。

	全長 (m)	重心位置 (%)	重量 (kg)	胴体直径 (m)	尾翼面積 (m <sup>2</sup> )	空力中心 (%)
ペンシル	0.23	59	0.21	0.018	0.032	80
ペビー	0.96	51	8.3	0.08	0.045	80

$$I_y/g \quad \frac{\partial M}{\partial \alpha} / v^2 \quad \sigma$$

(kg-m-s<sup>2</sup>) (kg-s<sup>2</sup>-m<sup>-1</sup>) (m)

ペンシル	1 × 10 <sup>-4</sup>	14.4 × 10 <sup>-6</sup>	17
ペビー	0.084	0.00164	45

また(1)式から  $B > 0$  ならば安定といえるが、風洞実験結果よりこの成立つ  $v$  を  $\theta_a = 90^\circ$  として求めると大体  $v > 36\text{m/sec}$  となる。

いま、 $\theta_i$  をロケットを質点と考えたときの飛翔径路の  $\theta$  とすると、 $\frac{1}{s} \int_0^s (\theta - \theta_i) ds$  を散乱という。(1)式を使い、燃焼後の散乱を求めると

$$\frac{1}{s} \int_0^s (\theta - \theta_i) ds \approx \frac{1}{2} k_L \rho d^2 (\delta_M - \delta_L) s \dots (\text{スピンなし})$$

$$\approx \frac{k_L \rho d^2}{j \Gamma} (A_M - A_L) \dots (\text{スピン } \Gamma \text{ rad/sec})$$

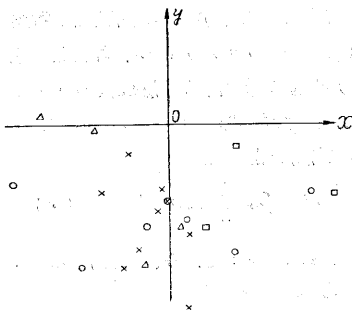
.....(3)

ここに  $\delta_M = A_M \exp(j\Gamma s)$ ,  $\delta_L = A_L \exp(j\Gamma s)$

燃焼中の運動方程式は、近似的に線型化されて論ぜられている。燃焼中の散乱の原因となるものうち主なものは境界条件、Thrust lineの中心軸に対する角  $\delta_T$ 、これの重心に対してもつ腕の長さ  $L$ 、ゼロモーメント角によるもので、なかんずく  $L$  によるものは燃焼中の散乱の%程度を占めるとされている。これらは  $\theta - \theta_i$  に対し線型関係<sup>1), 2)</sup>にあり、例えば

$$\delta_T \text{ によっては } \delta_T G_1 (2\pi s/\sigma, 2\pi p/\sigma) \dots \dots \dots (4)$$

$$L \text{ によっては } \frac{\sigma L}{2\pi k^2} G_2 (2\pi s/\sigma, 2\pi p/\sigma) \dots \dots \dots (5)$$



- × Half (3mランチャ)
- Full (スピンなし2mランチャ)
- △ " (20°迎角2mランチャ)
- " (50°迎角2mランチャ)
- ⊗ Full 系列 平均通過位置
- ◎ Half 系列 平均通過位置

第 2 図 ペンシルのランチャ離脱後 5m のターゲット過位置

だけの寄与がある。ここに  $G_1, G_2$  はロケット函数で、 $p$  はランチャの長さ、 $k$  は慣性半径である。

これらの式によりペビーの散乱をペンシルの実験値から推定してみる。

第 2 図はペンシルの実験結果でランチャ出

口から 5m のところでターゲットを切った位置を示すものである。 $x$  座標の標準偏差を  $\sigma_x$ ,  $y$  座標のそれを  $\sigma_y$  とすると

Half 系列  $\sigma_{xH} = 12\text{mm}$   $\sigma_{yH} = 20\text{mm}$

Full 系列  $\sigma_{xF} = 40\text{mm}$   $\sigma_{yF} = 21\text{mm}$

ただし、 $x$  方向  $y$  方向はそれぞれ水平方向、垂直方向を示す。ここで Half 系列で垂直方向の散乱が大であるのは、重力の影響を通じ速度のバラツキがあらわれたものであろうが Full 系列で水平方向の散乱が著しく大である理由は判然としない。

まず、Half の  $\sigma_{xH}$  に対応する  $\delta_M - \delta_L$  の値を求めると(3)を使って  $\delta_M - \delta_L = 0.044 \text{ rad} = 2.5^\circ$  となりかなり大きいのは他の原因による散乱もこれに含めたためであろう。ペビーには特にスピンを与えていないが、ある程度スピンがあることがテレメーターで知られている。<sup>3)</sup> 500m に 1 回転すると仮定すれば同じ  $\delta_M - \delta_L$  に対し  $0.077 \text{ rad} = 4.4^\circ$  の散乱があることになる。

次に、ペンシルの燃焼中の散乱を大略  $\sqrt{\sigma_{xF}^2 - \sigma_{xH}^2}$  に対応するものとして、 $0.0075 \text{ rad} = 0.43^\circ$  とする。燃焼終了時までの飛翔距離を  $s$ , ランチャの長さを  $p$  とすると (等価長をとる)

$$p(m) s(m) P\left(-\frac{2\pi p}{\sigma}\right) S\left(-\frac{2\pi s}{\sigma}\right) \int_p^s G_2 ds \int_p^s G_1 ds$$

ペンシル	2.2	5.2	0.81	2.0	0.0088	-0.223
ペビー	6.3	210	0.88	29.4	4.6	-34.7

となるのでこれを使うと上記ペンシルの散乱はペビーにおいては  $\delta_T$  散乱によるとすれば  $4.3^\circ$

$$L \text{ 散乱によるとすれば } 7.9^\circ$$

となる。ただし  $L$  の大きさは全長に比例するものとした。

最後にテレメーターにより得られたスピン<sup>3)</sup> について少しふれる。スピンの運動方程式は

$$I_x \frac{d\omega}{dt} + I_p v \omega = I \delta v^2 \dots \dots \dots (6)$$

$\omega$ : 回転速度 rad/sec  $I \delta v^2$ : 回転モーメント

$I_p v \omega$ : 回転減衰モーメント

これから時定数  $\frac{I_x}{I_p v}$  をペビーについて計算すると  $v =$

200m/sec において約 0.4 秒である。したがって、回転速度は、その前 2~3 秒間の平均速度に比例するとみられる。 $T-3, T-4$  の結果は大体この傾向があるが、 $T-1, T-5$  のように非常に遅いスピンをするものでは、これだけでは説明しかねる点がある。

以上、安定、分散について行った計算の概略を示したが、ペビーでは、これらに関する十分な実験資料が得られずこれをチェックすることができなかった。しかし、一二の観測結果よりみれば、大体において安定に飛翔し、分散も比較的小さいようであった。(1956. 3. 1)

### 文 献

- 1) Rosser, Newton and Gross "Mathematical Theory of Rocket Flight" Mc Graw-Hill (1947)
- 2) 生産研究 (ペンシル特集号) Vol. 7. No. 8
- 3) 生産研究 (ペビー T 特集号) Vol. 8. No. 2