

高層飛行における飛行体じょう乱に関する実験

小口 伯郎・船曳 勝之・佐藤 俊逸

An Experimental Study on Density Disturbance Emanated
by a Projectile in Low Density Atmosphere

By

Hakuro OGUCHI, Katsushi FUNABIKI and Shun-itsu SATO

Abstract: A free flight experiment is conducted at a comparatively lower atmospheric pressure by means of a piston-driven range. The preliminary measurements are made concerning the density pattern around a sphere flying with the speed of about 2km/sec through the atmosphere of 0.01~0.05 Torr in pressure. The density distributions along several lines parallel to the flight path are measured by means of electron-beam fluorescence technique. The results show that the density monotonously decreases from the point behind the bow shock wave toward downstream, and that there appear no appreciable disturbances like compression waves emanated by the wake.

1. は し が き

自由飛行体発射装置を用い、高層飛行における物体から発生するじょう乱の機構を明らかにする実験結果を報告する。

さきに発射装置の特性について報告したが、その後、操作運転の一部自動化を行ない、その計測手段の開発を進めるとともに、特に、高層飛行を実験室内で実現するための工夫を加え、それによって高層飛行における物体のじょう乱の模様の観測が可能になった。従来、この種発射装置は主として風洞などによって得られない超高速時における熱的現象の解明に用いられてきた。しかし、最近波動、じょう乱の伝播などの観測における利点を生かした研究にも用いられている。

高層大気に相当するふん囲気での試験には、模型を駆動する高圧気体の試験部の侵入によって、十分低密度のふん囲気を実現することが困難であった。また低密度における観測は通常の光学観測を許さないことなどによってより困難なものとなった。

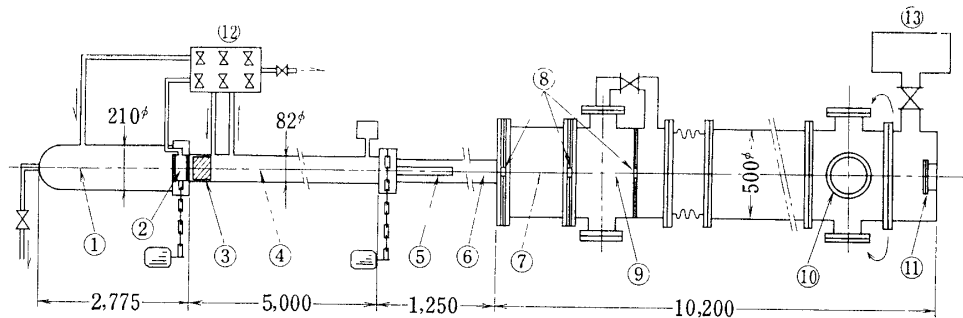
ここでは、これらの困難を取り除く一つの試みと、それによって得られた結果について報告する。

2. 自由飛行体発射装置の作動およびその特性

自由飛行体発射装置の基本的特性はすでに報告された文献[1]を参照されたい。ここで

は、その後運転操作上改良された点をあげることにする。

第1図のブロック図に示すように、電磁発射弁によって隔室②の気体が放出され、ピストン③の駆動が開始される。発射管⑤と試験室の間に設けられた部分⑥、⑦、⑨はあらかじめ試験部と同じ圧力に設定され、十分低圧に保たれる。模型が発射されたあと、続く高圧駆動気体は、部分⑥、⑦、⑨に膨張し、アパーチャ(25mmφ)をもつ隔壁⑧で大部分はさえぎられる。一部噴出気体は模型に続いて試験部に侵入するが、それによるじょう乱は試験での密度検出によって、試験に支障をきたすものかどうかを知ることができる。この点は後述することにする。



第1図 自由飛行体発射装置

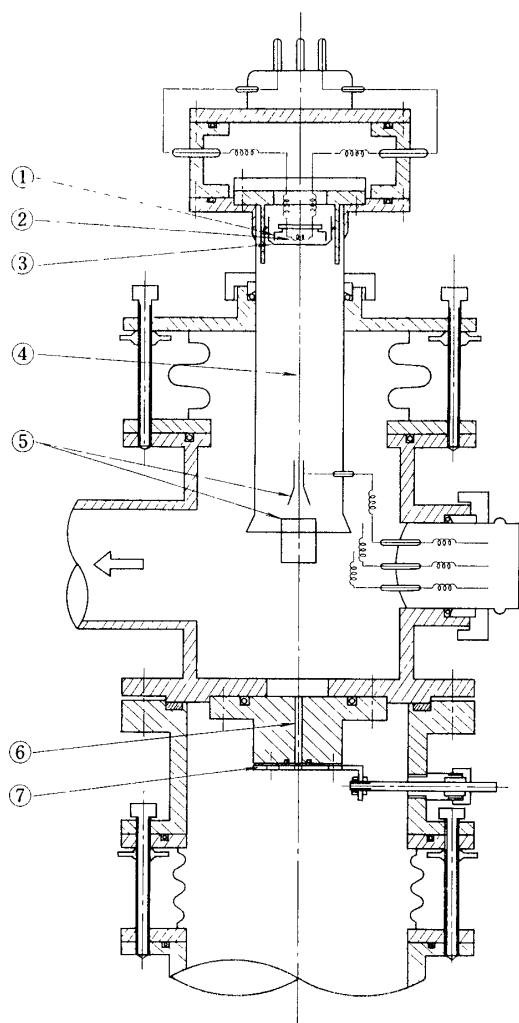
ピストン駆動および発射による強い衝撃を吸収するため、試験部手前にベローズ接合が採用された。また、試験筒を低圧に保つ排気系(油回転真空ポンプ、拡散エゼクタポンプ、油拡散ポンプ)の操作弁はすべて電磁弁を用いて電動化された。

このようにして、一回の発射に関し要する時間はおよそ1/2時間程度で、ほぼ試験筒排気に必要とされる時間であった。じょう乱の観測は主として電子線発光法を用いて行なわれたが、試験ふん囲気圧0.01~0.1 Torrの範囲で観測が可能であった。

3. 観測手段—電子線発光法—

ふん囲気圧が0.01~0.1 Torrの範囲においては、通常の光学観測は適用できない。それに代わるものとして電子線発光法が用いられた。電子線発光法は低密度気流観測には最も信頼できるものの一つとして、すでに広く応用されているものである。その欠点として、電子線発生源が常に十分な真空度(タングステン 10^{-4} Torr以下、酸化被膜 10^{-5} Torr以下)に保たれないと破損を生ずるという点で、現在の実験のように模型を駆動する高圧気体によって試験部圧が発射後短時間で急激に上昇する場合、その影響を遮断することが要請される。それとともに、破損を修復することもまた考えなければならない。これらのことを考慮して、簡便で上記の使用に耐える電子銃の開発が行なわれた。

さきに比較的簡便なものとして、市販のT.V管に類する電子銃を製作し、それによって実際に用いられた結果を報告した。しかし、そこではカソードの修復は容易でなく、一度破損するとほとんど新しい銃を用意することになっていた。そこで、第2図に示すような機構の電子銃が試作された。ここでは、ヒータはトリウムタングステンで、破損の場合それを

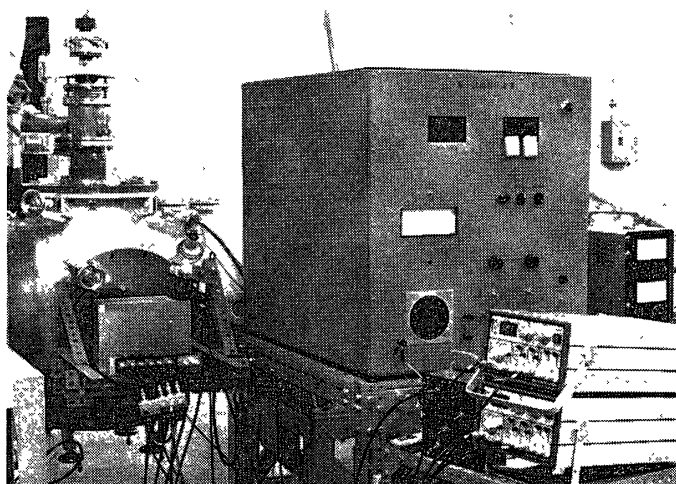


第2図 電子線発生装置
(ヒーター可交換型)

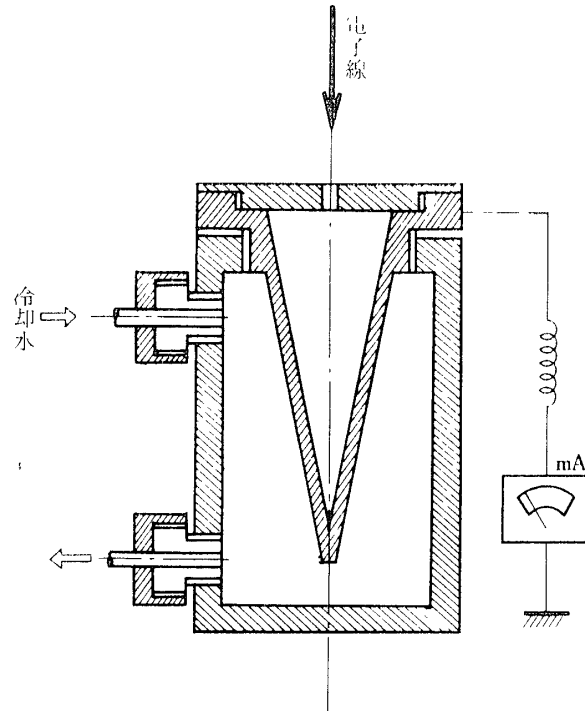
交換できるように工夫されている。なお、電子線の強度は、ヒータ面と第1グリッドの間隔によって著しく左右されるが、このような機構ではディスタンスピースを適当に選択し、十分な強度の照射が得られるまでその厚みを調整することが可能である。

まえに用いた封じ込め型の銃とは異なり、上に述べたようにして、かなり十分な強度の電子線を発生させることができるようになった。たとえば、前の例で高々 $500\mu\text{A}$ 程度であったものが、同じ銃機構を用いて 2mA 程度までのものが得られるようになった。実際に試験部に取り付けた状況が第3図に示されている。発射による機械的衝撃を避けるためにベローズ接合が採用され、銃内排気のため別の排気系が設けられている。試験後高圧気体の侵入を防ぐため、アパーチャ ($2\text{mm}\phi$) の外側にシャッタが設けられた。このようにして、初期圧 $0.01\sim 0.1\text{ Torr}$ より試験後約1気圧まで上昇する銃外周気体の影響は、電子銃操作にほとんど現われなく、試用された電子銃は予期以上の耐久性を示した。

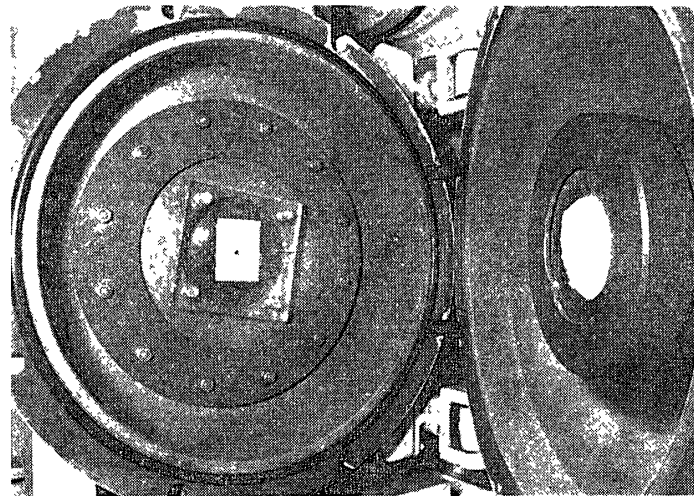
他の問題として、電子線の経路が長いという点で (約 53cm) 可能なかぎり線の拡がりを押えることが要請される。アパーチャと相対して



第3図 試験部と計測装置



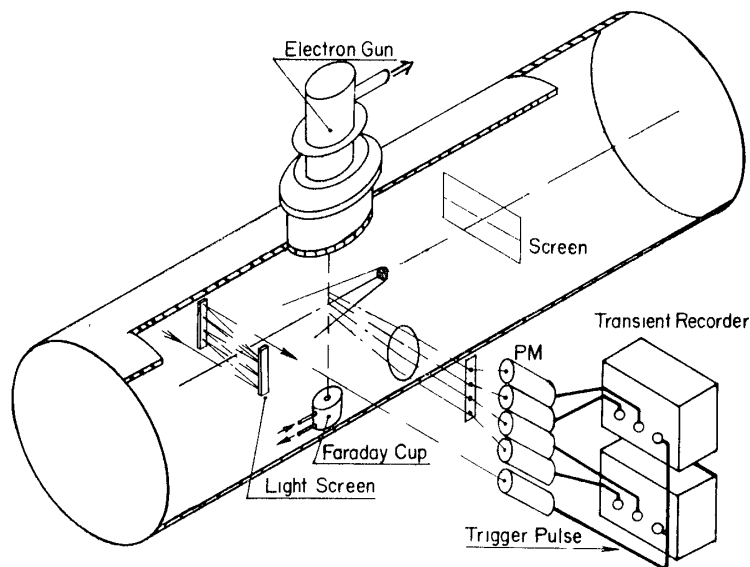
第4図 ファラデー・カップ



第5図 試験部末端と飛行径路測定用スクリーン

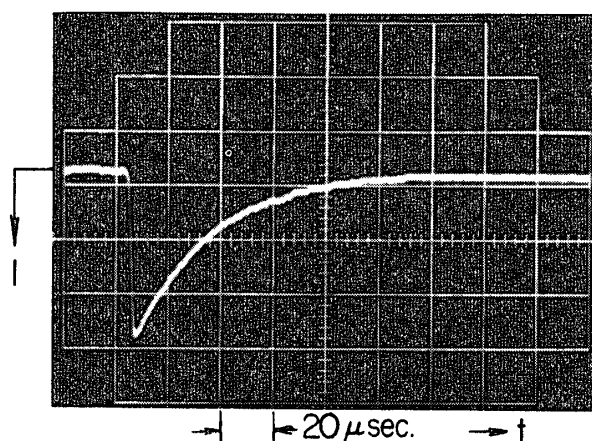
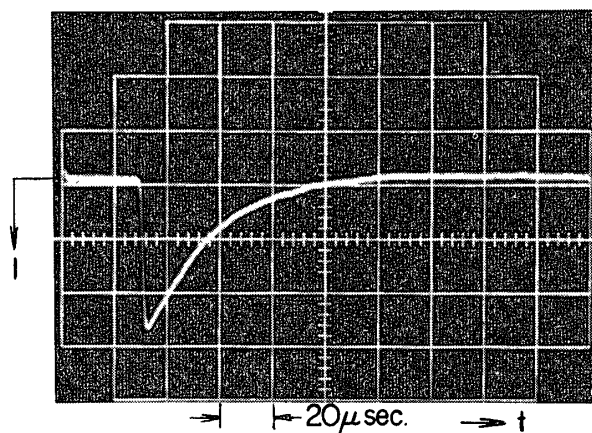
置かれたファラデーカップ上でビーム径は約 2mmφ で、およそ、その要請は満たされている。ファラデー・カップはビーム強度が 2mA 程度と強いために、そのままでは過熱し、外周ふん囲気を乱したり、カップそのものの使用が不能となるため、流水によって冷却されている (第4図)。

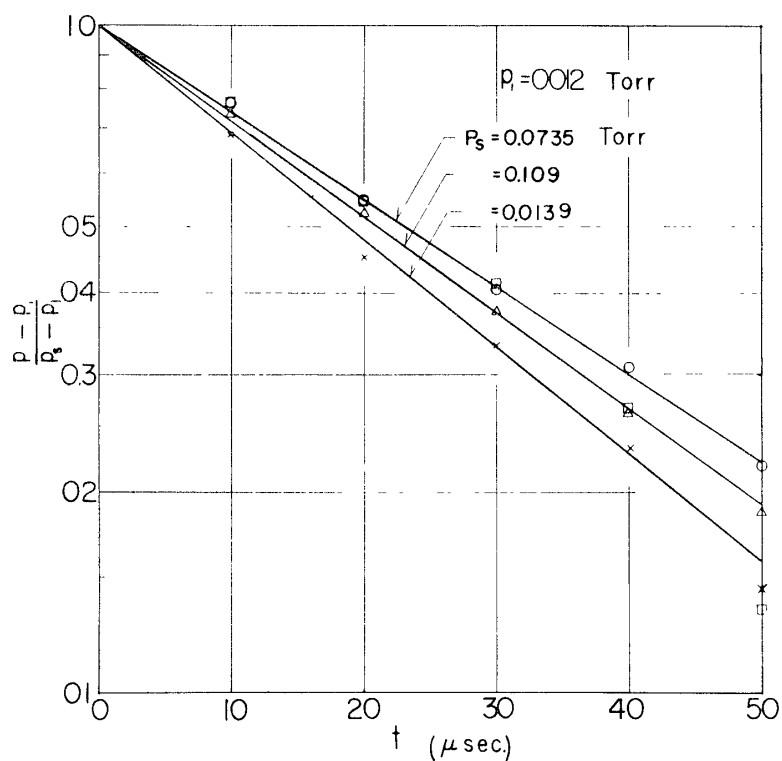
電子線は試験筒に固定されているが、物体の飛行経路は発射ごとに多少の偏りを示すので正しい飛行経路を知る必要がある。そこで試験筒末尾 (第5図) にスクリーン (方眼紙) をはり、物体の通過位置を求めることにした。このようにして、物体経路と電子線の相対



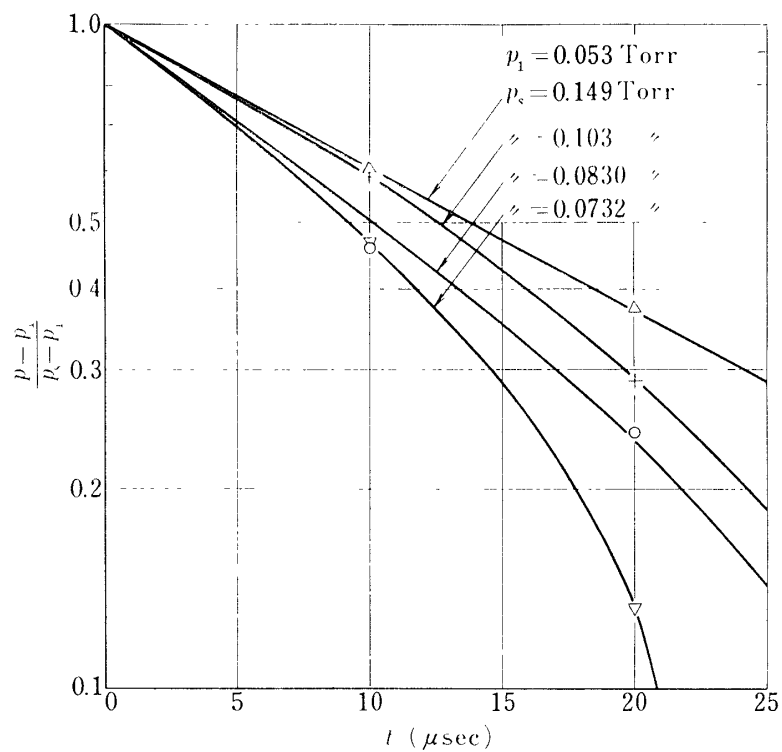
第6図 試験部, 測定系

位置を知るとき，電子線上の着目する点の発光強度を観測することによって，物体経路に平行な線上の密度分布を知ることができる。なお，物体の到達は光スクリーンの通過によって検知されるが，光スクリーンおよびその検知についてはさきの報告に述べられている。実際には，電子線上4か所の光強度を同時に記録するようにした(第6図)。光電子増倍管(R-212)の出力をTransient Recorder(DATA Lab製)に導き，その波形をオシロスコープ上に再現したものが第7, 8図に示されている。光強度 I を縦軸に，時間 t を横軸にとってある。時間の原点はトリガー点(光スクリーン)に相当している。光強度と密度との関係はあらかじめ静的校正によって求められているが，その関係はほとんど線形で，光強度は気体密度に比例している。第7, 8図から見られるように，最初の鋭い立ち上りは衝撃波によるもので，続く密度の減衰が単調なめらかな点か注意をひく。衝撃波後方の密度の減衰の様子が第9, 10図に示されている。ここで圧

第7図 電子線発光強度の時間変化 ($p_1=0.012$ Torr, $K_n=0.75$)第8図 電子線発光強度の時間変化 ($p_1=0.053$ Torr, $K_n=0.17$)



第9図 飛行径路に平行な線上の密度変化 ($p_1 = 0.012$ Torr, $K_n = 0.75$)



第10図 飛行径路に平行な線上の密度変化 ($p_1 = 0.053$ Torr) $K_n = 0.17$)

力 p は密度の標準状態における等価圧力で，添字 $s, 1$ はそれぞれ衝撃波直後および一様前方の値を示す．

4. む す び

ふん囲気圧が 0.01~0.1 Torr 程度の稀薄な状態での球の密度じょう乱が，電子線発光法によって観測された．クヌードセン数 $K_n = l/d$ (l , 平均自由行路, d ; 直径) にして 0.1~1 程度の範囲に相当し，流れは，いわゆる過渡領域に属している．密度の高い通常の場合と異なり，密度に関する限りじょう乱はなめらかで，特に前方衝撃波に続く後流の様子は簡単な構造になっているように見える．このことは，自由分子流におけるじょう乱伝ぱんの様子の特徴に定性的に類似している [2]．より詳細なじょう乱構造についてはさらに今後の研究に待たれよう．最後に低密度における自由飛行体の実験の可能性と，その測定法として電子線発光法の有用性がこれまでの実験によって示されたことを指摘して，むすびとする．

1973年5月8日 航空力学部

参 考 文 献

- [1] 小口，船曳，佐藤，自由飛行体発射装置とその特性に関する実験．東大宇宙研報告，7巻，2号 (B)，1971，p. 427
- [2] 島山，小口；楕円体を過ぎる自由分子流の解析．第4回流体力学講演会講演集（日本航空宇宙学会，流体力学懇談会）1972，p. 55