

無隔膜衝撃波管による多孔板と衝撃波の干渉 に関する実験

小口伯郎・船曳勝之・佐藤俊逸

An Experiment on Interaction of Shock Wave with
Multiple-Orifice Plate by Means of Snap-Action Shock Tube
By
Hakuro OGUCHI, Katsushi FUNABIKI, and Shunitsu SATO

ABSTRACT: This paper reports the performance and flow characteristics of the shock tube equipped with a shock wave valve, which is modified in more feasible fashion for practical use from one previously proposed by Muirhead *et al.* In order to clarify the starting processes of the multiple nozzles, an experiment was conducted by means of this shock tube to observe the feature of the flow accompanying with the shock waves reflected from and passing through the multiple-orifice plate set normal to the flow at the test section.

1. は し が き

衝撃波を発生させる装置としてショック・チューブがある。普通ショック・チューブは隔膜をもつ2室でつくられていて、隔膜を破断することによって低圧室に進行する衝撃波を形成することがよく知られている。ここではいわゆるショック・バルブを隔膜に代えて用いる無隔膜衝撃波管を試作し、その性能およびそれを用いた実験の結果を報告する。ショック・バルブを用いたショック・チューブについてはすでにMuirhead [1]らによって報告されている。それによると自由ピストンを作動して高圧室の気体を急速に低圧室に導くもので、膜破断によるショック・チューブに較べてその操作の容易なこと、流れの再現性が良好なこと、また膜破断片による汚れがないことなどの利点が期待される。なお、電磁力によるショック・バルブも提案されている。Muirhead [1]らによって提案されたものを改良して、より簡便なショック・バルブを試作しショック・チューブに応用したが、先にその機構および作動については小型ショック・チューブにより特性を調べ報告してある[3]。それに基づいて、図1に示すショック・チューブを製作し、その詳しい特性とそれを用いた実験を行なった。

2. ショック・チューブの特性

図1に、用いられたショック・チューブおよびショック・バルブの機構を示す。ショックバルブの機構は簡単で、通常の作動においては高圧ヘリウムが高圧室に導入され低圧室には被験気体が充填される。なお、この場合高圧室端に設けられた補助ピストンはヘリウム圧より高い圧力の空気で押されている。電磁弁を開くときこの空気が放出され補助ピストンが後

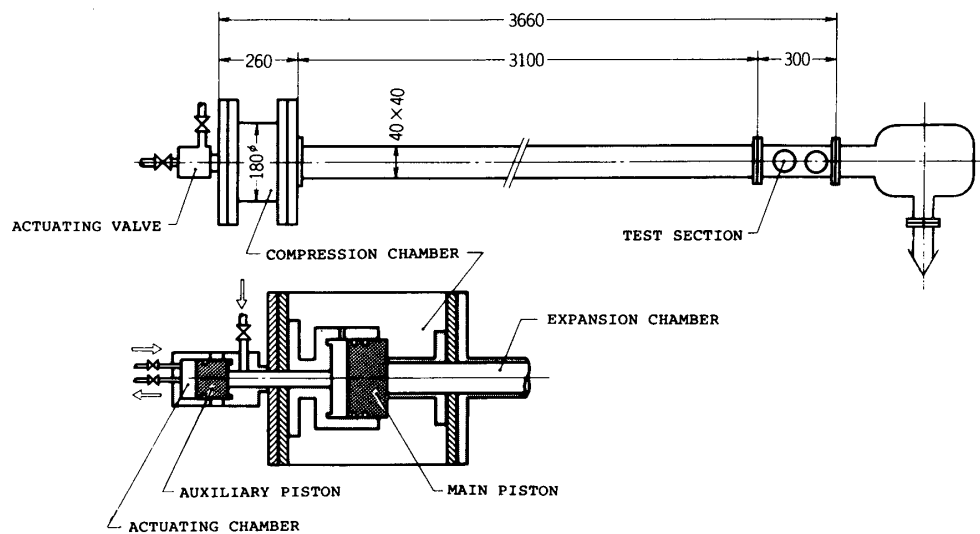
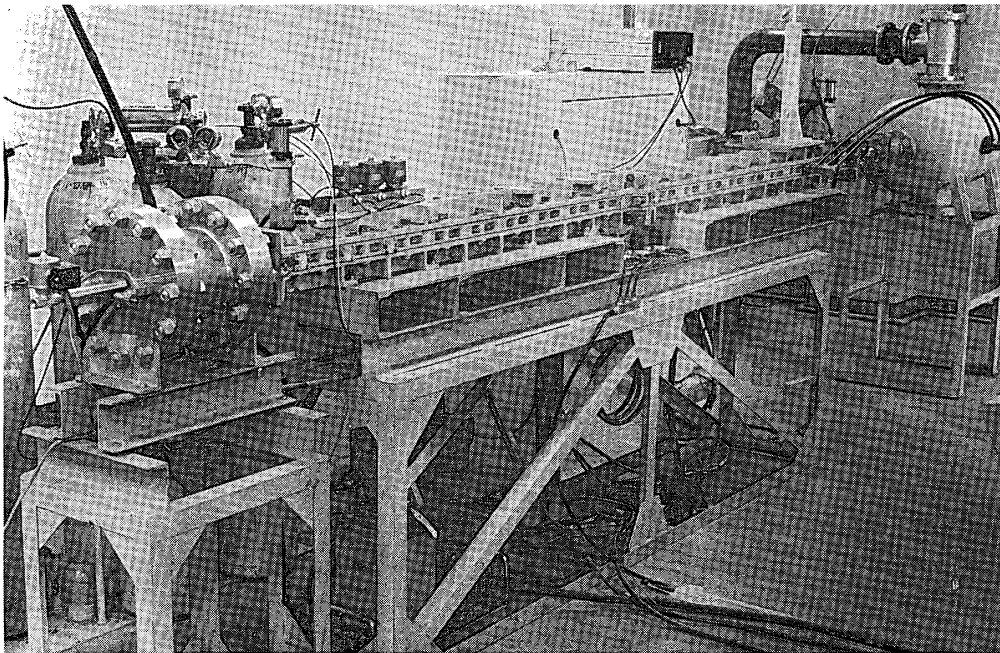


図1 ショック・チューブとショック・バルブの機構

退する。それによって主ピストンと補助ピストンの間に充填されているヘリウムがほとんど同時に放出されることになり主ピストンが後退する。主ピストンの後退によって高圧室のヘリウムが急速に低圧室に流入することにより衝撃波が形成される。Muirhead らによって提案されたショック・バルブは補助ピストンを長い支持棒で押さえそれをカム機構によって動くようにされている。ここでは簡単に一個の自由ピストンによって置き換えられている。図2はショック・バルブの作動による高圧室の圧力履歴を示す。バルブ開放に要する時間はお

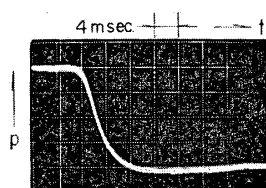


図2 バルブ開放時の高圧室圧力履歴

よそ 2 ～ 3 msec であることが見られる。この開放時間は膜破断の時間、これは通常数百マイクロ秒といわれているがそれに較べてはかなり長い。このことは衝撃波形成に時間を要するということになり結局有効なショック・チューブ長さを短いものにする欠点となる。しかし、この欠点をカバーする多くの利点があり、特に操作の容易さ、再現性の良好なことは実験によっては代えがたいものとなる。

ショック・チューブ流れの特性についてストリーク・干渉縞写真、レーザ・ビームの出力変動、圧力履歴などを観察することによって調べた。一例として高圧室ヘリウム 10 kg/cm^2 、低圧室窒素 100 Torr の場合に得られた記録を図 3 に示す。これらの記録の時間スケールは

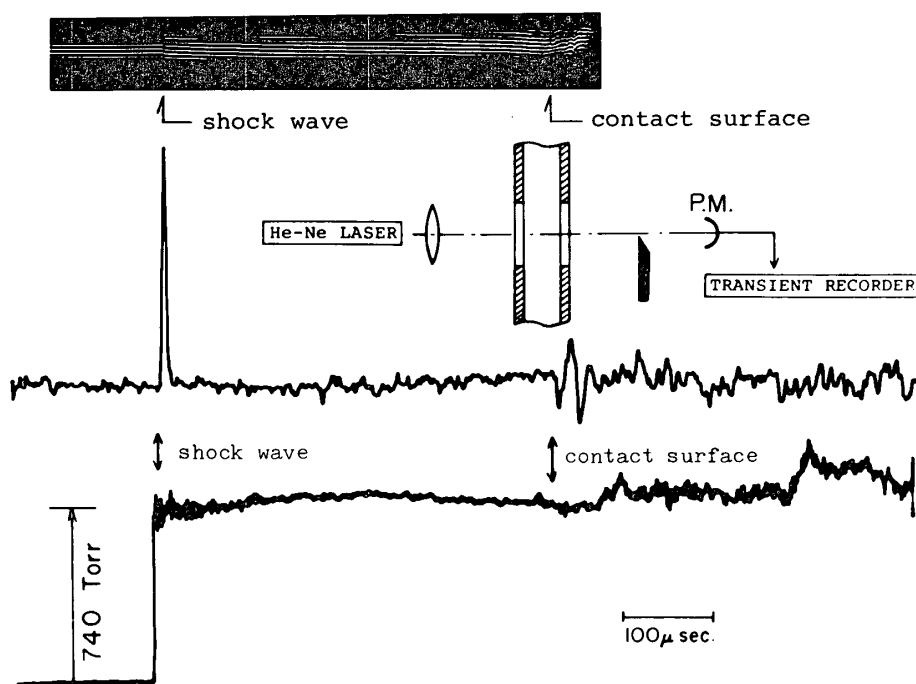


図3 ショック・チューブ流れの特性

同一で、するどい衝撃波の到着後一様流が続いていることが見られる。一様流を駆動する気体の到達面、すなわち接触面は干渉縞のゆれ、レーザ・ビームの信号によって判別される。先に記したように、バルブ開放時間が膜破断の場合に較べて長いことにより一様流の持続時

間は通常のショック・チューブに較べてもやや短くなっている(図4). しかし流れの再現性は良好で設定圧力を一定にすると、衝撃波マッハ数 M_s について $\Delta M_s / M_s$ は2~3%以内に実現される.

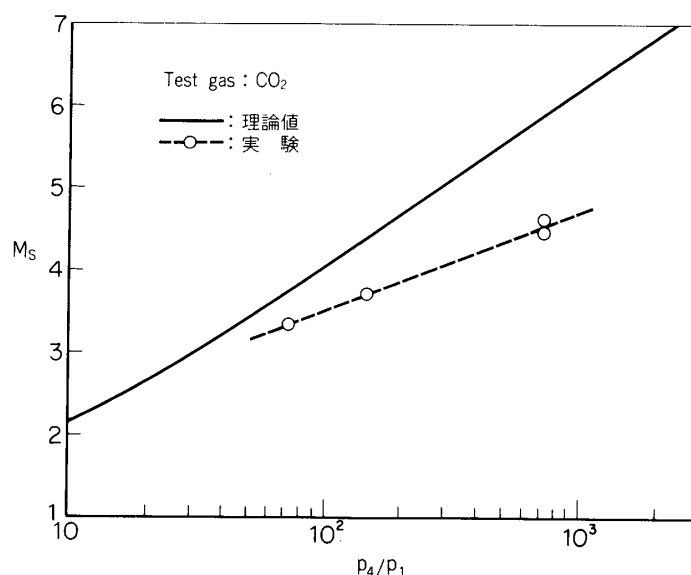


図4 初期圧比と衝撃マッハ数

3. 衝撃波と垂直多重オリフィス板との干渉

最近多くのショート・ノズルを用いたガスダイナミック・レーザの発振に関する実験的研究がなされている. このようなショート・ノズルによる流れ形成過程を調べる目的で, 試験部に垂直に置かれた多重オリフィス板と入射する衝撃波の干渉の模様を観察した. 被験気体としては窒素および炭酸ガスを用い, 駆動気体はヘリウム10kg/cm²で, 被験気体の初期圧は10Torrにされた.

試験部は40×40mm断面で, オリフィスはその断面をもつ平板に5mmφ×9, 7mmφ×9の2種類と, 比較のため単孔板が用意された. 開口面積比 A^*/A はそれぞれ0.11, 0.22である. 瞬間マッハ・ツェンダー干渉縞写真を図5, 6に示す. 光源はFebetron 706で, 波長5300Å半値巾2n secのもので, 適当な時間遅れを設けて一連の写真が撮られた. 流れの再現性が良いことからこのような連続する写真を撮ることが容易であったことを付記しておく. 時間 t は入射衝撃波が板表面に到達した時刻を原点にmicro secで計られている.

たとえば, 開口比 $A^*/A=0.11$ の場合について図5を見ると, 多重オリフィスに対しては大きく変形している. 特に反射直後においてその変形は大きく時間が経つにつれて平面状に回復していることが見られる. 他方通過衝撃波に関しては, 多重オリフィスの場合端を除いて波面は大よそ平面状であるのに対し, 単一オリフィスの場合には球面状に広がっている. このような特徴は開口比 $A^*/A=0.22$ の場合にも同様であることが見られる. 開口比が大きくなると平面状, 球面状いずれにせよオリフィスと波面の干渉が顕著に現われ, 波面の細

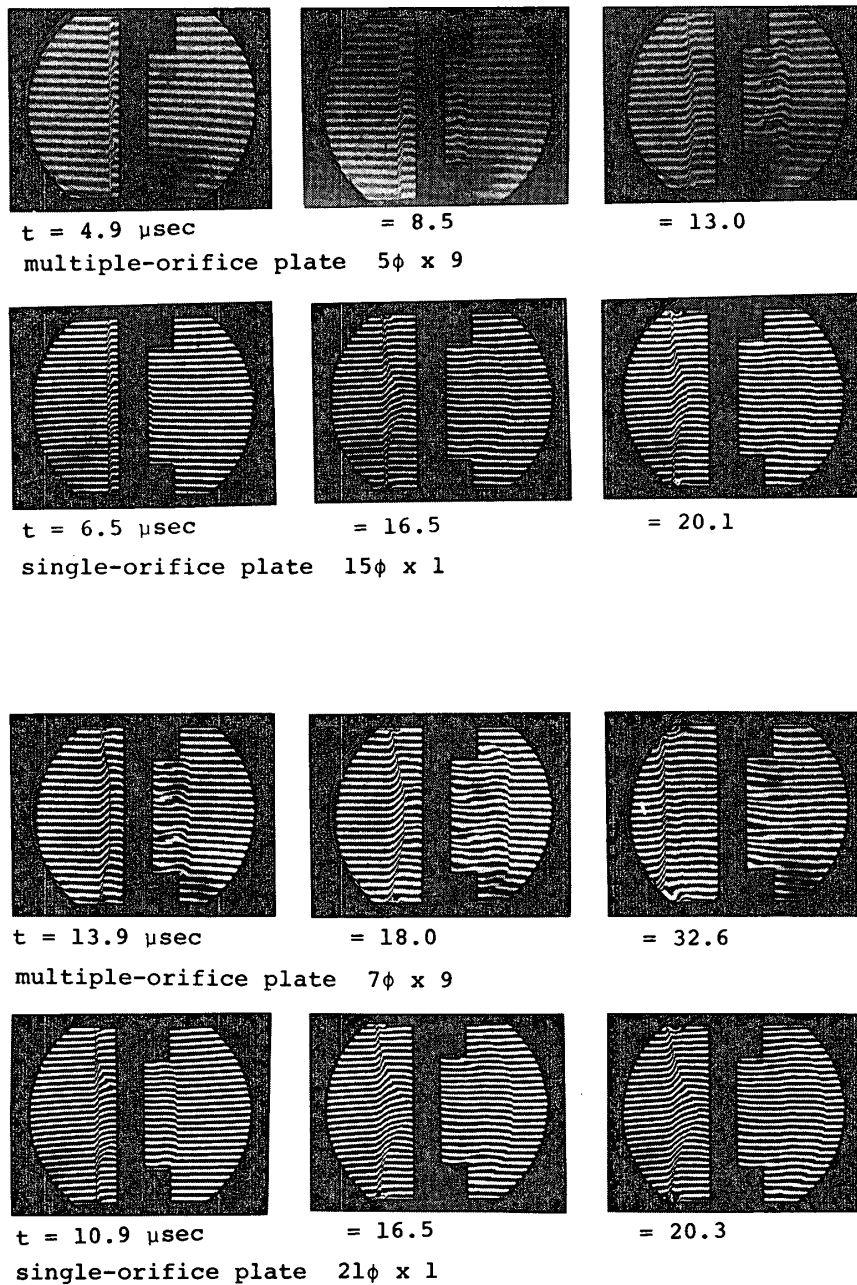


図5 反射・通過衝撃波の時間経過(被験気体 N_2 , $M_s = 3.6$)

かい形状は複雑になる。波の細かいふるまいを明らかにするためシャドウ・グラフによる観察を行なった。一例を図7に示す。干渉縞では明らかでない高次の干渉による波が見られるが、多重オリフィスを通る衝撃波はマッハ・ツェンダー干渉法によって観察されたように大よそ平面状であることを示している。

一連のフラッシュ・干渉縞写真より読みとられる衝撃波面の伝播の模様を $x-t$ 図によ

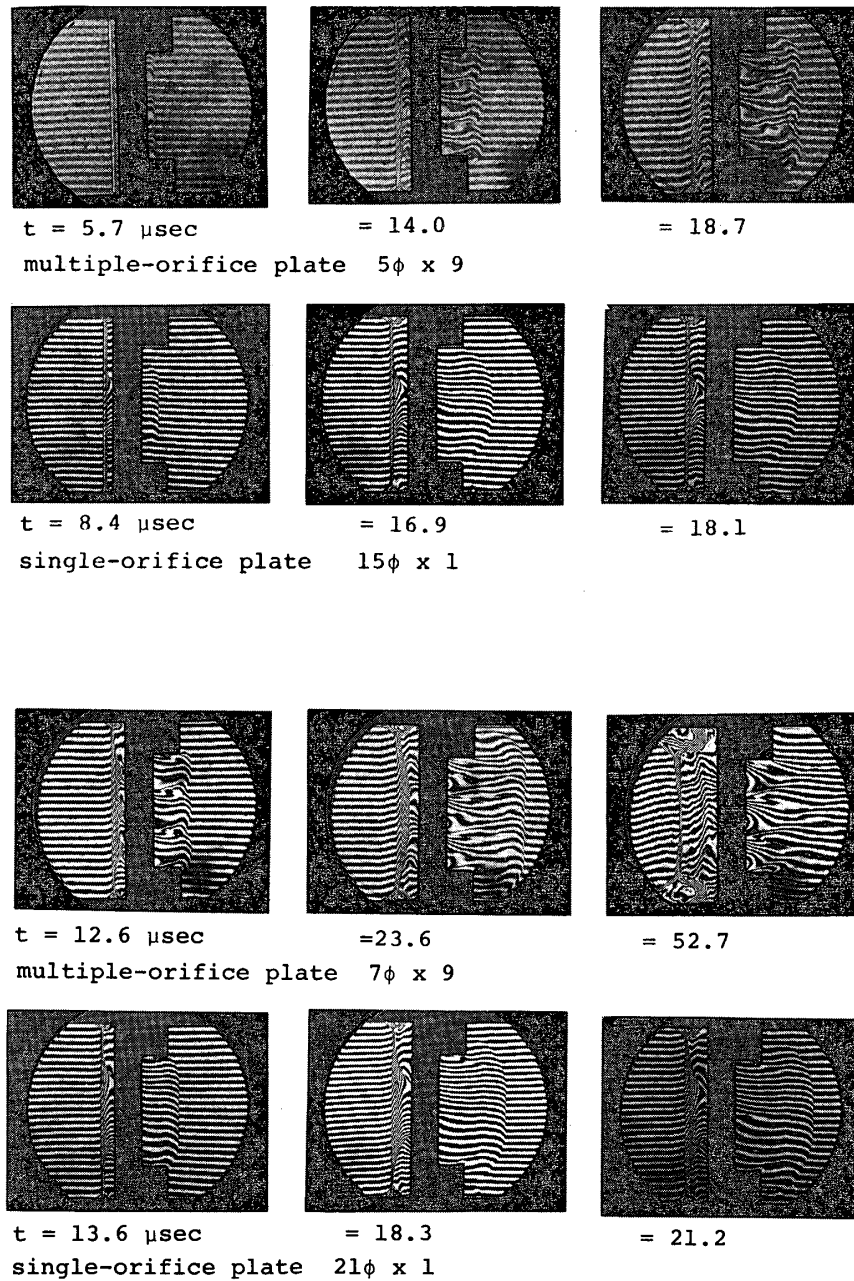


図6 反射・通過衝撃波の時間経過(被験気体 CO_2 , $M_s = 4.3$)

て図8, 9に示す. 図において x は板の上流側面より下流に向って測られた距離である. また点線は無孔板よりの反射衝撃波, 一点鎖線は入射衝撃波の伝播速度を表わす. 現在対象とした多重オリフィス(開口比0.11~0.22)については通過衝撃波は通過後かなり短時間で平面状衝撃波を形成し, 入射衝撃波に近い速度をもって下流に伝播することが示された. また, 多重オリフィス板からの反射衝撃波はオリフィスからの気体の流出により無孔板からの反射

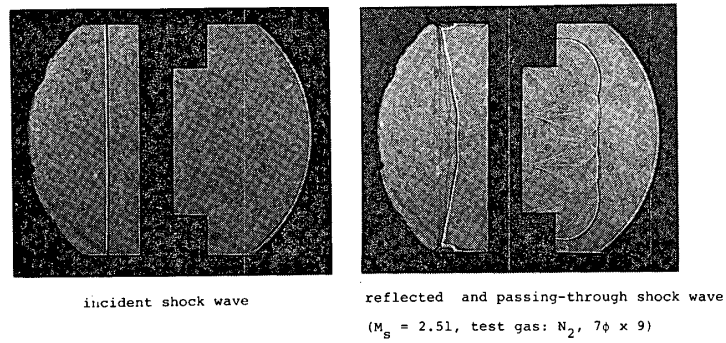
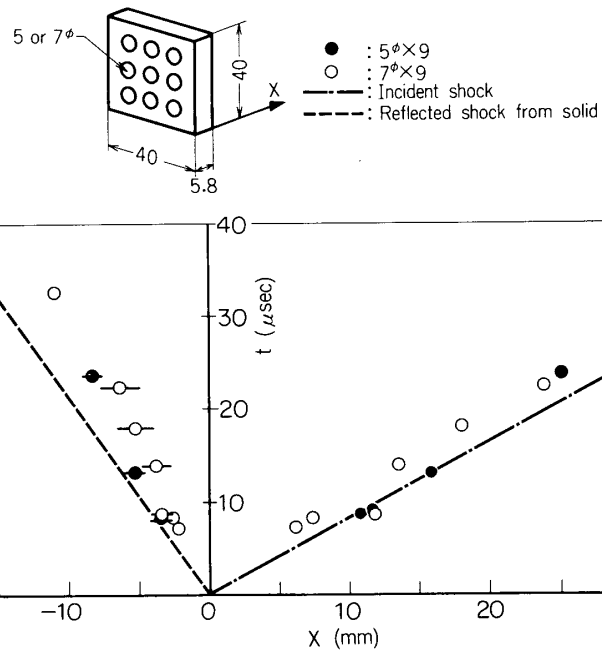
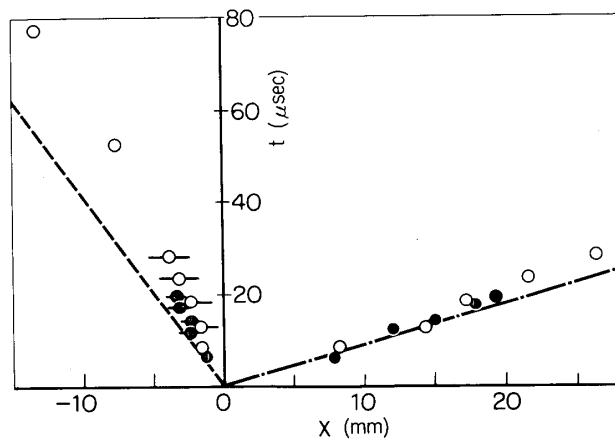


図7 シャドウ・グラフの一例

図8 波動伝播の $x-t$ 図(被験気体 N_2)図9 波動伝播の $x-t$ 図(被験気体 CO_2)

に較べて減速されるが、通過衝撃波同様大よそ平面状波面を保って伝播しているといえる。

4. む す び

試作されたショック・バルブをもつ無隔膜衝撃波管は流れの再現性、取り扱いおよび操作の容易さ、さらには破断膜などによる汚れのないことなどによって衝撃波を伴う流れの実験的研究に有用であることが示された。なお、本実験に関連して多数のショート・ノズルをもつガスダイナミック・レーザの特性に関する実験を本装置によって行なうことが計画されていることを付け加え、むすびとしたい。

1975年11月7日 航空力学部

参 考 文 献

- [1] J.C. Muirhead and W.A. Jones, Rev. Sci. Instruments **35**, 119 (1969).
- [2] E. Distefano and N. Fraidenraich, Rev. Sci. Instruments **41**, 886 (1970).
- [3] 小口, 船曳, 佐藤, 東大宇宙研報告10巻, 4号 (B), 779 (1974).
- [4] H. Oguchi, K. Funabiki and S. Sato, in "Proc. of 10th Inter. Shock Tube Symp." (1975).