

航空技術研究所資料

TM-1

高マッハ数風洞について(I)

平木 一・清水福寿・橋本 登

1961年11月

航空技術研究所

高マッハ数風胴について(I)

平木 一*・清水福寿**・橋本 登*

概 要

航空技術研究所 15 cm×15 cm 超音速風胴にマッハ数5のノズルをつけた場合の中間報告。風胴中心線上の静圧分布，第2スロートを変化させた場合の，風胴の始動，運転に必要な圧力比等についての測定結果を示す。風胴の計画と構造についても述べた。

1. は し が き

航空技術研究所の乾燥空気製造装置と空気加熱器を用いて，マッハ数5の吹出式風胴をつくって，その圧力分布，風胴の始動・運転に必要な圧力比等を調べたので，計測器の精度等についてはなお不十分な点があるが，風胴の計画および試験結果の概要について中間的に報告する。

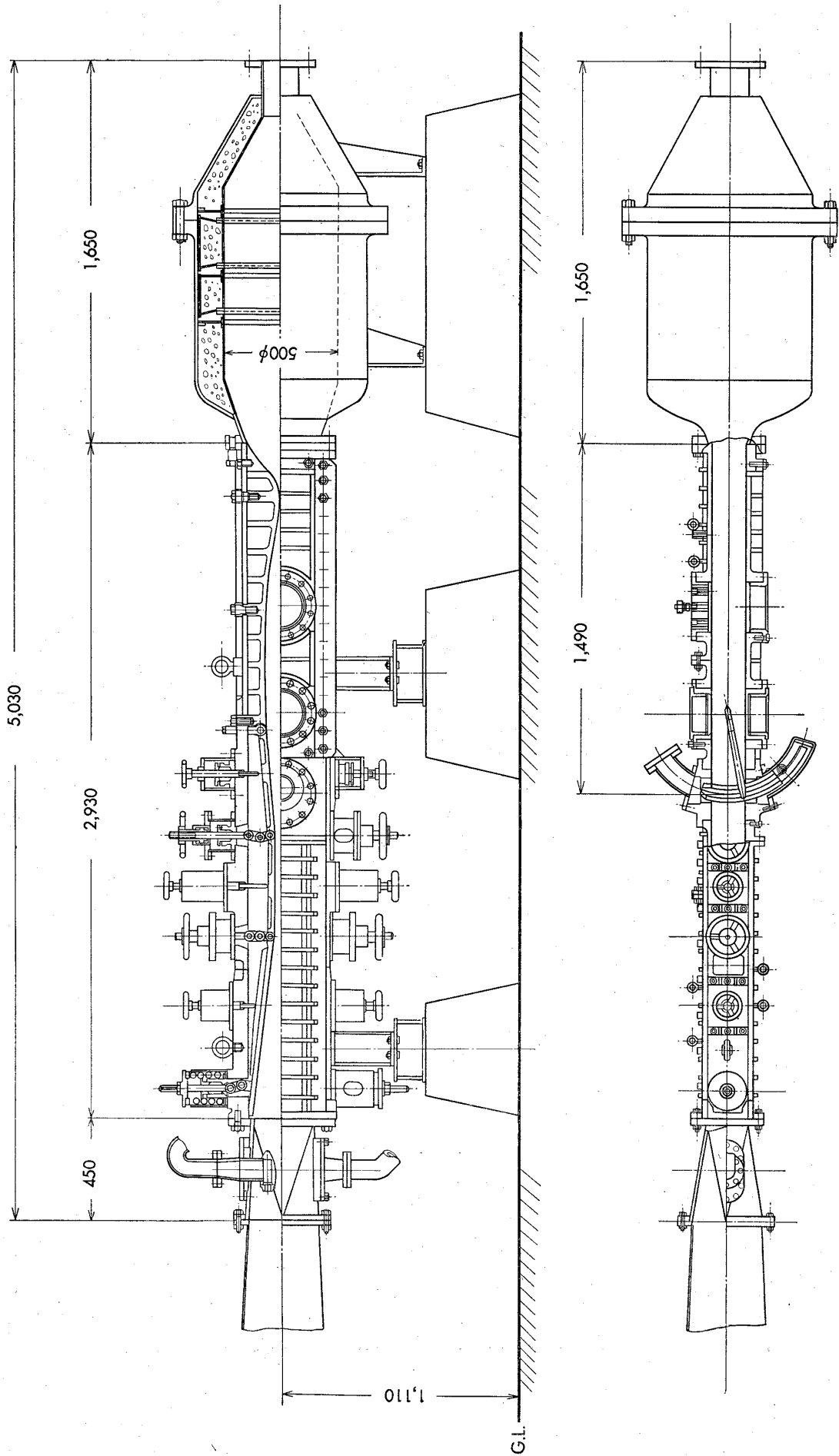
2. 風 胴 の 要 目

型 式	吹 出 式
測 定 部 断 面	15 cm×15 cm
集 合 筒 圧 力	20 kg/cm ² G 以下
集 合 筒 空 気 温 度	500°C 以下
ノ ズ ル	マッハ数5ブロック
第2スロート	可変
レイノルズ数	1 cm につき 3.8×10^5 (100°C, 19 kg/cm ² G)

3. 風胴の計画と構造

風胴は，空気加熱器の下流に，弁を介して置いた集合筒と，その下流につながる本体および拡散筒よりなる。その全体配置を第1図に示す。集合筒での空気圧力は最高 20 kg/cm² (ゲージ)，空気温度は最高 500°C としたので，集合筒は，薄いステンレス鋼と，厚い普通鋼の2重構造とし，間に断熱材を充填し，気流は内筒によって導き，圧力は外筒によってもたせるよう

* 空気力学第一部 ** 空気力学第二部



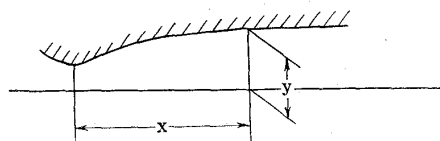
第 1 図 15 cm × 15 cm 超音速風洞全体配置図

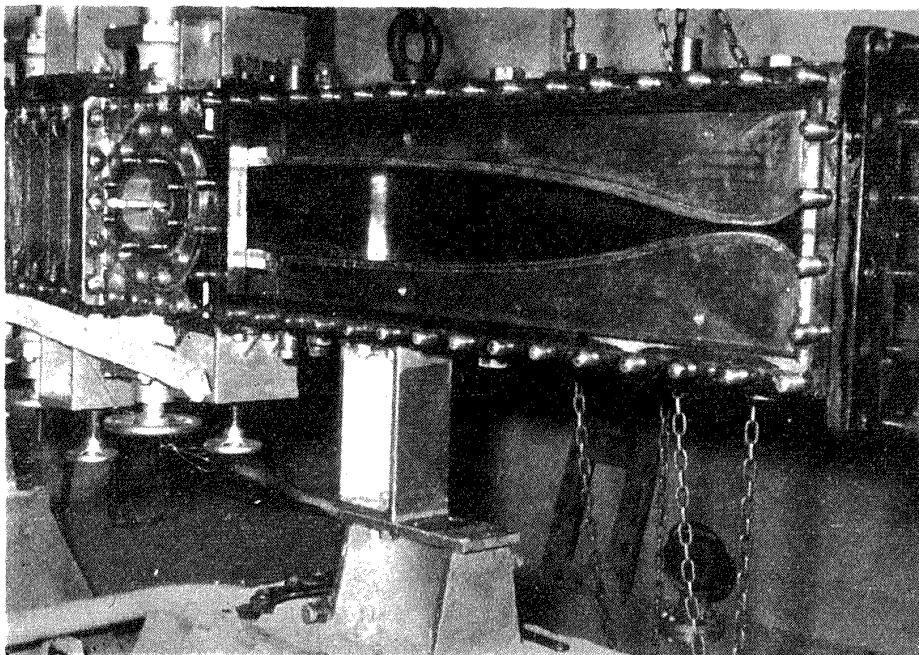
に計画した。ただし、集合筒出口は、厚いステンレス鋼板の熔接構造とした。本体は、ノズル部と、これに続く第2スロート部で、ステンレス鋼製である。ノズルは、マッハ数5のブロック・ノズルであるが交換可能とした。ノズルの形状は、Foelschの方法⁽¹⁾で計算し、これに境界層の修正を加えた。ノズルの座標を第1表に与える。計算はマッハ数5および5.5について行なったが、実際製作したのは、マッハ数5のものである。ノズルに続く第2スロートは、2ケのジャッキで折線状をなすもので、ジャッキは手動で調節する。本体には冷却を行っていないので、ノズルおよび第2スロートの密封はインコネル線入りの石綿パッキンで行なったが、もれその他の不具合はないようである。第2図に本体の片側の側壁を取り去ったところを示す。本体には、左右各3ケの窓を設け、流れの観察、圧力の測定、模型の支持に役立つようにした。模型支持装置は、下流端の窓に、円弧状のストラットをつけ、これにスティングを固定したものであって、手動で $\pm 10^\circ$ の迎え角の変化ができる。なお、特殊の実験のために、側方から

第1表 ノズルの座標

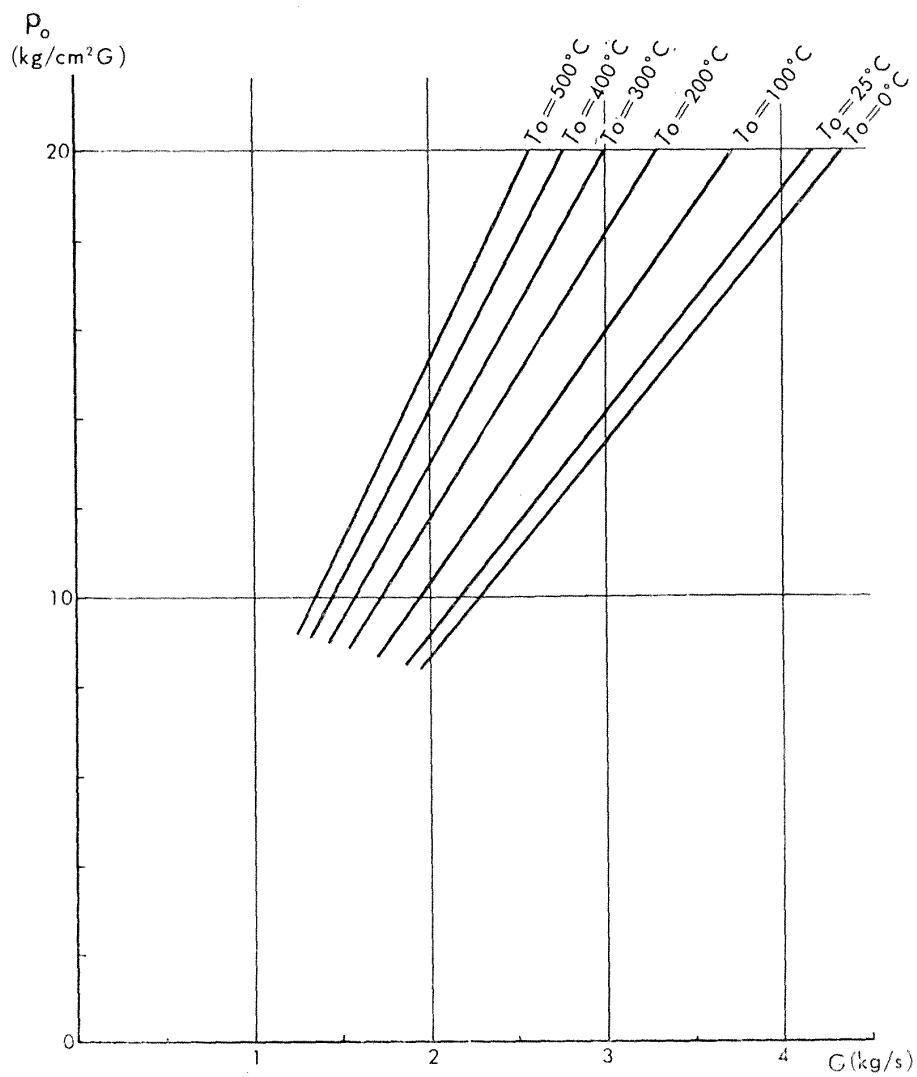
(単位 cm)

$\bar{M}=5.0$		$\bar{M}=5.5$	
X	Y	X	Y
0.0000	0.2882	0.0000	0.1961
1.5718	0.3298	1.2659	0.2319
3.1436	0.4367	2.5323	0.3245
4.7154	0.6018	3.7985	0.4675
6.2873	0.8175	5.0647	0.6549
7.8591	1.0769	6.3308	0.8801
9.4309	1.3725	7.7970	1.1369
11.0027	1.6972	8.8631	1.4188
12.5746	2.0436	10.1294	1.7198
14.1464	2.4047	11.3955	2.0333
15.7182	2.7729	12.6617	2.3533
17.8802	3.2579	14.6448	2.8283
20.4509	3.7710	17.0654	3.3473
23.5287	4.3117	20.0221	3.9065
27.1916	4.8713	23.6402	4.4993
31.5838	5.4401	28.0755	5.1161
36.8811	6.0033	33.5352	5.7386
43.1711	6.5298	40.2616	6.3410
50.7540	6.9880	48.5762	6.8813
59.8825	7.3336	58.8942	7.2993
70.9221	7.5011	71.7564	7.5000





第2図 風洞本体, 一方の側壁を取り除いたところ



第3図 集合筒圧力, 空気温度と流量

模型を出し入れできる支持装置を、第2の窓に用意した。

本体の下流、拡散筒の入口に、噴気ノズルをつけたが、これは風胴の始動を助けるとともに、排気を冷却するためのものである。噴気ノズルもステンレス鋼製である。拡散筒には、普通鋼を用い、これにアルミニウムを熔射し、その上を耐熱塗料で塗装した。

圧力の調整は手動弁によったが、貯気槽の容量に比べて、流量が小さいので、調整に困難を感じることはない。各圧力・温度における風胴の空気流量を第3図に示す。

4. 計測装置

集合筒の圧力は、空気加熱器操作盤の8"圧力計(kg/cm²ゲージ圧)で読み取り、測定部の静圧は200mmのU字管式真空計(mmHg絶対圧)で測定した。これらの圧力計の精度は十分でないので、集合筒圧力用として精密圧力計(0~20kg/cm²ゲージ圧)を、測定部静圧および模型静圧用としてマイクロ圧力計(0~100mmHg絶対圧)を準備中である。

集合筒の空気温度は、集合筒中に取り付けた、クロメル・アルメル熱電対で検出し、自動平衡指示記録計で記録した。

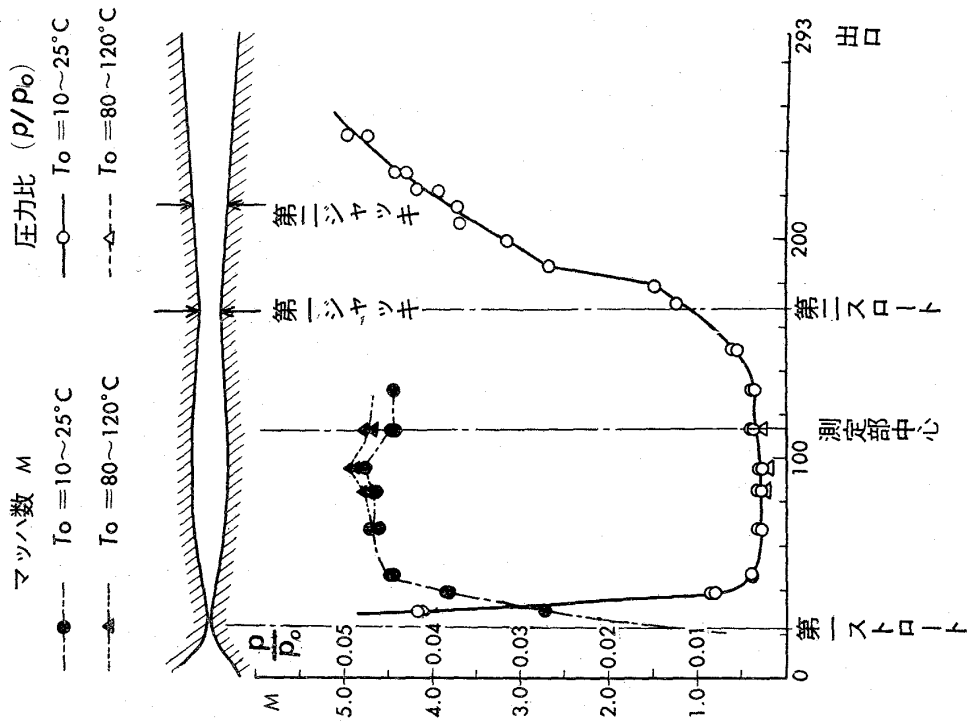
ノズル部および測定部の窓をガラス窓とした場合は、流れをシュリーレン装置等によって観察できる。シュリーレン装置には、設置する場所の関係で、焦点距離1m(直径20cm)の凹面鏡2枚と、平面鏡2枚とを組み合わせて使用した。

5. 試験結果

模型のない場合について、風胴が始動したときの風胴軸線上の静圧分布を第4図に示す。空気温度を400°Cに高めると、マッハ数は若干増加するが、集合筒空気温度100°C以上では測定部の空気の液化は起こっていないようであるから、その場合の違いはノズルの温度による変形に起因するものと考えられる。参考のため、空気の液化の限界の計算結果を第5図に示す。

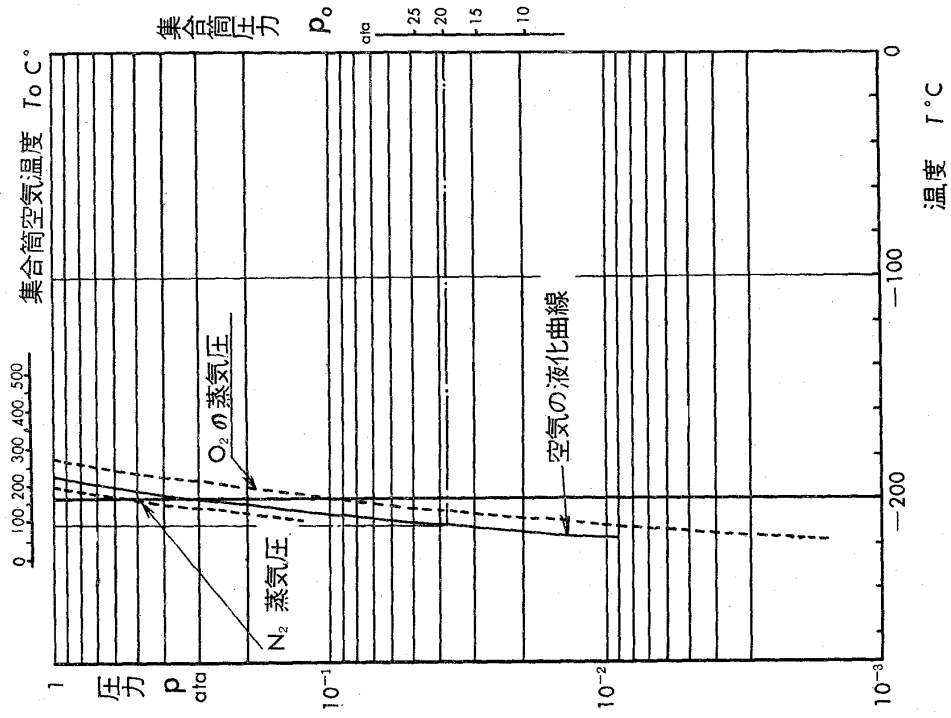
第6図に噴気ノズルによって得られる圧力比を噴気ノズルの供給圧力をパラメーターにして示す。

風胴の始動、運転に必要な圧力比は、第2スロートの形状によって変化するが、模型および模型支持装置のない場合についての試験結果を第7図に示す。結果によれば、第2スロートの断面積がある値以下では、風胴は始動しない。この値は、理論的に得られた値^{(2),(3)}よりやや小さく、第1スロート断面と測定部断面との比と測定部マッハ数での垂直衝撃波の前後の総圧比との積($A^*/A \times p_0/p_0'$)にはほぼ一致する。また、この値より若干大きい第2スロート断面積のところ、始動に必要な圧力比は極小となり、この場合の必要圧力比は、測定部マッハ数での垂直衝撃波の前後の総圧比より若干大きい値をとる。第2スロート部に平行部を設けた場合と、

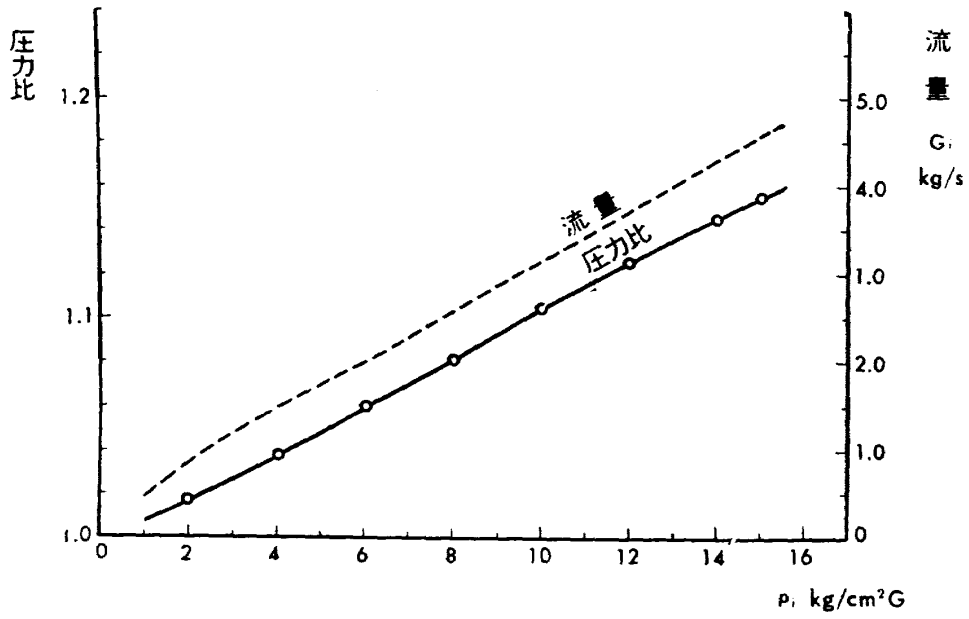


風洞中心線に沿う長さ X (cm)

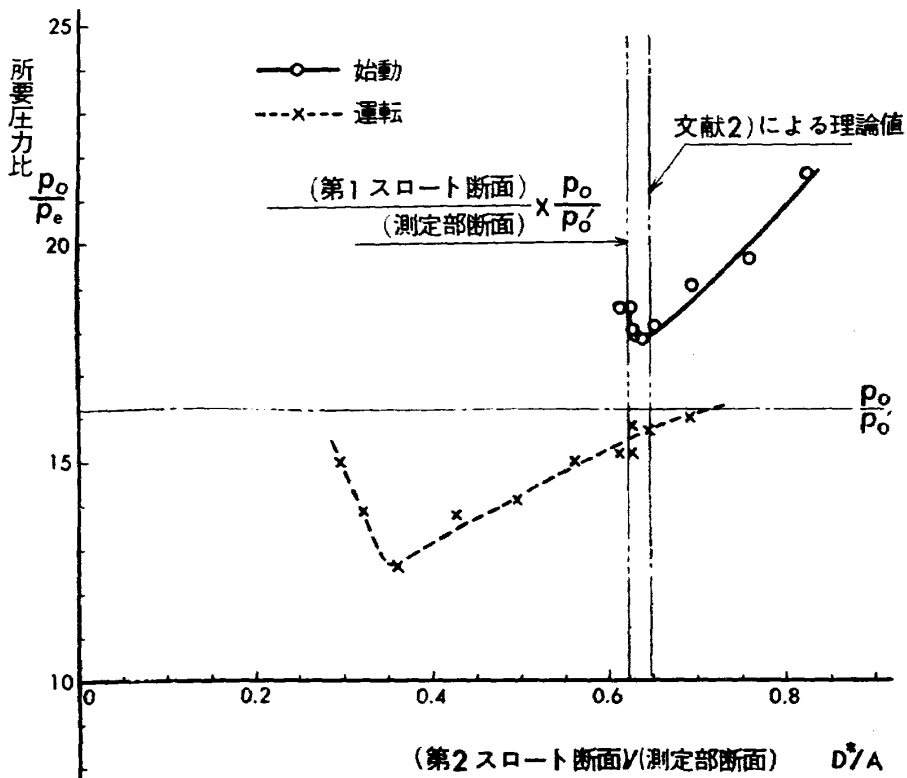
第4図 風洞中心線上のマッハ数分布・静圧分布
(第2ストロート断面/測定部断面 = 0.627
集合筒圧力/出口圧力 = 18)



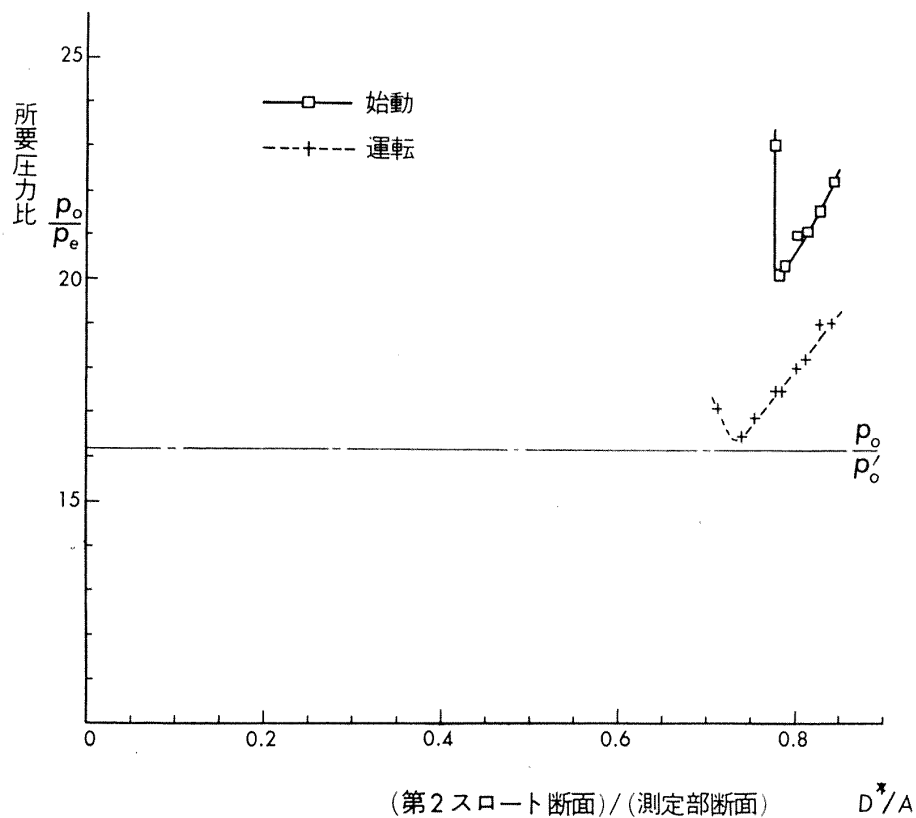
第5図 空気の液化曲線



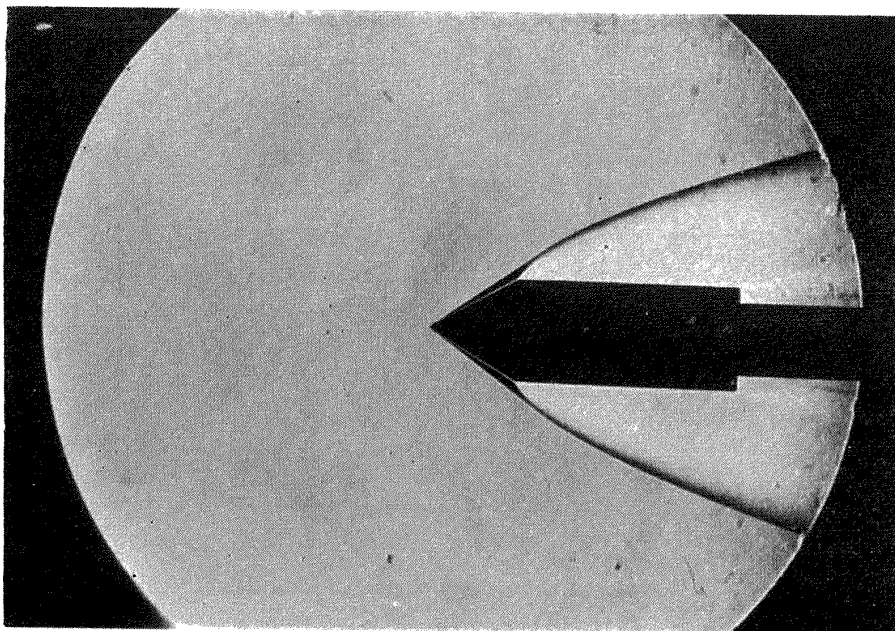
第6図 噴気ノズルによって得られる圧力比



第7図 風洞の始動運転に必要な圧力比
($M=5$ ノズル, 模型なし)



第8図 風洞の始動運転に必要な圧力比
($\bar{M}=5$ ノズル, 模型 60° 円錐 (20 mm))

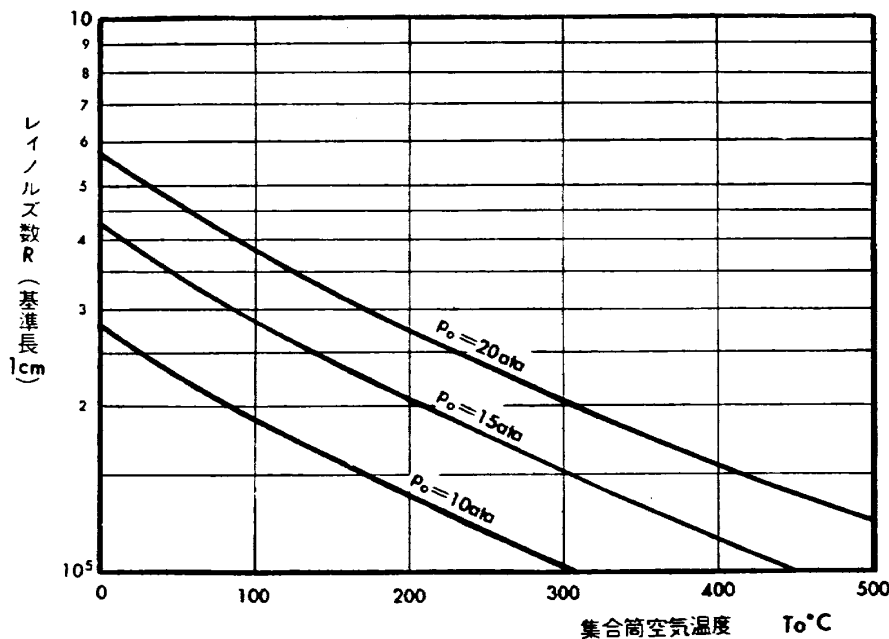


第9図 頂角 60° 円錐模型シュリーレン写真
($M=4.79$)

平行部を設けず、第1 ジャッキからほぼ直線的に拡げた場合と比較すると、平行部を設けない方が若干低い圧力比で始動する。これは NOL の結果⁽⁴⁾と反対の傾向を示すので、これについては、さらに精度を高めて実験を行ないたい。

風胴が始動した後、圧力を減少したとき、運転の状態を保つのに必要な圧力比は、風胴の始動に必要な圧力比よりかなり小さい。また、いったん風胴が始動した後、第2 スロートのジャッキを操作して、第2 スロート断面積を小さくした場合は、運転に必要な圧力比は著しく小さくできる。

スティング・ストラット型の模型支持装置に、直径 20 mm の頂角 60° の円錐模型をつけた場合についての試験結果を第8 図に示す。模型のある場合には、模型、模型支持装置等の後流のため、第2 スロートの必要面積は増加し、必要圧力比も増大する。第9 図に円錐模型のまわりの流れのシュリーレン写真を示す。これらの試験において、マッハ数は、模型直前の風胴壁の静圧から、等エントロピーを仮定して計算した。



第 10 図 1 cm あたりのレイノルズ数

6. む す び

15 cm × 15 cm マッハ数 5 の超音速風胴の特性を明らかにし、始動、運転に要する圧力比等に関し、模型のない場合、模型のある場合について調べた。

結果によれば、第2 スロート断面積の値がある値以下では風胴は始動せず、この値より若干大きいところで所要圧力比は極小となる。風胴が空のときは、この値は理論値にほぼ一致し、所要圧力比はこのマッハ数での垂直衝撃波の前後の総圧比に近い。風胴に模型が入っている場

合は、第2スロート断面積の限界値は大きくなり、所要圧力比は、その第2スロート断面積での、風胴が空で始動する圧力比に大略一致する。風胴がいったん始動すれば、運転状態を保つに要する圧力比は、始動に要する圧力比より低く、また、始動後に第2スロート断面積を小さくすれば、さらに所要圧力比を減少できる。

今回の実験では、圧力計の精度が不十分であったので、精密圧力計を整備して、さらに確認実験を行ないたい。また、今後はピトー管による総圧の測定も行ない、空気の液化についても調べたい。

この風胴は基礎的な空気力学的実験に使えることはもちろんであるが、よどみ点空気温度を空気加熱器によって高めることができるので、熱伝達の実験その他にも利用できる。

風胴は、三井造船株式会社によって製作された。同社造機設計部の各位、ならびに風胴の計画について助力された広岡技官、ノズルの計算に協力された曾我国男氏、実験に協力された田中修吉、山田建、佐々木伝の諸氏に厚く御礼申し上げる。

文 献

- (1) J. T. Kenney, L. M. Webb: A Summary of the Techniques of Variable Mach Number Supersonic Wind Tunnel Nozzle Design, AGARDograph 3, 1954.
- (2) J. Lukaszewicz: Diffusers for Supersonic Wind Tunnels, Jour. Aero. Sci., Vol. 20, No. 11, 1953.
- (3) 河村竜馬: 高速空気力学, 第5章, 日刊工業新聞社, 1958.
- (4) P. P. Wegener, R. K. Lobb: An Experimental Study of a Hypersonic Wind-Tunnel Diffuser, Jour. Aero. Sci., Vol. 20, No. 2, 1953.

記 号

A : 測定部断面=0.0225 m ²	p_0' : 垂直衝撃波の後の総圧 (絶対)
A^* : 第1スロート断面=0.000865 m ²	p_e : 風胴出口圧 (絶対)
D^* : 第2スロート断面 (m ²)	p_i : 噴気ノズル供給圧 (kg/cm ² ゲージ)
G : 流量 (kg/s)	R : レイノルズ数
G_i : 噴気ノズル流量 (kg/s)	T : 空気温度 (°C)
M : マッハ数	T_0 : 集合筒空気温度 (°C)
\bar{M} : ノズル・マッハ数	X : ノズル第1スロートからの軸方向の距離 (cm)
p : 静圧 (絶対)	Y : ノズル・ブロックの中心線からの高さ (cm)
p_0 : 集合筒総圧 (絶対または kg/cm ² ゲージ)	

<p>NAL TM-1 航空技術研究所 高マッハ数風洞について (I)</p> <p>1961年11月 12頁</p> <p>航空技術研究所 15 cm × 15 cm 超音速風洞にマッハ数5のノズルをつけた場合の中間報告。風洞中心線上の静圧分布, 第2スロートを変化させた場合の, 風洞の始動, 運転に必要な圧力比等についての測定結果を示す。風洞の計画と構造についても述べた。</p>	<p>I. 平木 一 清水 福寿 橋本 登</p> <p>II. NAL TM-1 III. 533.6.07</p>
<p>NAL TM-1 航空技術研究所 高マッハ数風洞について (I)</p> <p>1961年11月 12頁</p> <p>航空技術研究所 15 cm × 15 cm 超音速風洞にマッハ数5のノズルをつけた場合の中間報告。風洞中心線上の静圧分布, 第2スロートを変化させた場合の, 風洞の始動, 運転に必要な圧力比等についての測定結果を示す。風洞の計画と構造についても述べた。</p>	<p>I. 平木 一 清水 福寿 橋本 登</p> <p>II. NAL TM-1 III. 533.6.07</p>

航空技術研究所資料 1号

昭和36年11月発行

発行所 航空技術研究所
東京都三鷹市新川700
電話武蔵野(0422)(3)5171(代表)

印刷所 笠井出版印刷社
東京都港区芝南佐久間町1の53
