

UDC 536.46:621.454:
621.43.018

航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-204

ジェットエンジン燃焼器の燃焼性能の研究

大塚貞吉・堀内正司・本間幸吉

1970 年 7 月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

既 刊 報 告

TR-181	振動翼における表面非定常圧力の測定 —失速フラッタの研究(Ⅲ)— Unsteady Surface Pressure on an Oscillating Aerofoil at High Mean Angles of Attack with Special Reference to Stall Flutter	1969年 8 月	中 村 泰 治, 磯 貝 紘 二 江 尻 宏
TR-182	点束縛のある板の振動について On the Natural Vibration of Plates Restrained at Several Points	1969年 9 月	塙 武 敏, 多 田 保 夫 泉 日 出 夫, 越 出 慎 一
TR-183	軸流圧縮機動翼取付部の強度についての実験的研究 —隙間のあるピン接合部— Experimental Investigation of Strength of Axial Flow Compressor Blade Root —Pin Joint Lug having Clearance between Pin and Pin Hole—	1969年 9 月	池 田 為 治, 山 岸 崇
TR-184T	An Improved Method of Designing and Calculating the Minimal Wave Drag Configuration by Supersonic and Moment of Area Rules	Oct. 1969	Kenneth K. Yoshikawa
TR-185	FRP ロケットノーズコーンの赤外線輻射による加熱実験 Thermal Characteristics of FRP Rocket Nosecone	1969年11月	小 川 鑛 一, 遠 藤 修 司
TR-186	ロケット搭載用伝送線路型アンテナの解析 The Analysis on Transmission-line Rocket Antennas	1969年12月	田 畑 淨 治, 桜 井 善 雄 三 浦 雅 男, 松 崎 良 継 塚 本 憲 男
TR-187	ホール効果を用いた地磁気式姿勢計の研究 A Magnetic Attitude Measuring Instrument Applying the Hall Effect	1969年12月	木 村 茂, 田 畑 淨 治 松 崎 良 継
TR-188	浮動型1自由度積分ジャイロの不等弾性誤差 Analysis of the Anisoelastic Errors of a Floated Single Degree of Freedom Integrating	1970年 1 月	大 月 正 男, 新 宮 博 公 田 畑 淨 治, 鈴 木 孝 雄 円 居 繁 治
TR-189	誘導制御を含んだロケットの運動のハイブリッドシミュレーション The Hybrid Simulation of Guided and Controlled Flight of Rocket	1970年 1 月	興 石 肇, 中 正 夫 森 英 彦, 大 石 晃 造 冠 昭 夫, 本 間 幸 造
TR-190	超音速における鈍い物体の干渉 Interaction of Blunt Bodies in Supersonic Flow	1970年 2 月	谷 喬, 河 本 巖 榊 原 盛 三, 野 田 順 一
TR-191	Nearly-Free-Molecule-Flow の物体抵抗 Drag Measured in Nearly-Free-Molecule-Flow Regime	1970年 2 月	恩 地 瑛, 山 本 稀 義
TR-192T	Transient Couette Flow of Rarefied Binary Gas Mixtures	1970年 3 月	Katsuhisa Koura
TR-193	サーボ弁の非線形流量特性を考慮した油圧サーボ系のシミュレーション研究 Simulation Study of Hydraulic Servo System with Consideration of non-linear flow Characteristic of Servo Valve	1970年 3 月	興 石 肇, 鈴 木 崇 弘 中 村 光 義
TR-194	直接式誘導法を用いた誘導システムの誤差—観測および制御システムの誤差の影響— Guidance Errors —The Effects of the Navigation and Control Systems on the Guided Trajectories—	1970年 4 月	松 島 弘 一, 新 田 慶 治 大 坪 孔 治, 志 甫 徹

ジェットエンジン燃焼器の燃焼性能の研究*

大塚 貞吉**・堀内 正司***・本間 幸吉***

Investigation of Combustion Performance of Turbojet Combustor

By Teikichi OTSUKA, Shoji HORIUCHI and Kokichi HOMMA

Combustion performances of turbojet combustor models are studied varying inlet-air pressure, temperature and velocity independently. Characteristics of the combustion performance such as combustion efficiency and temperature distribution in the combustion zone are obtained for different air-entry hole arrangements and fuel nozzles of the can-type combustors.

The conclusions obtained from the experiments are as follows:

1. Within the pressure range from 0.8 to 0.2 ata., overall combustion efficiency changes with the pressure exponents of $n \approx 1.8$. It suggests that the processes are reaction-rate-controlled.
2. Average temperature in a cross-section of the combustor decreases by decreasing the inlet-air pressure. Amount of the temperature reduction is up to 200–300°C within the pressure range of 1.0–0.4 ata.. The reduction is caused mainly by the spread of cooled zones given by air-jets from the air-entry holes, the temperature in the remaining zone is essentially insensitive to the pressure variation.
3. Blow-off at the fuel-rich side remains constant within the range of test pressure provided that Sauter mean diameter of the spray remains constant.
4. Obtained heat release rate was approximately 7×10^7 kcal/m³h for the condition of $p_{1s} = 1.0$ ata., $\eta_c = 84\%$ and the reference volume given by the volume of the combustor's straight portion where the cross-sectional average temperature is higher than 1,000°C.
5. A flame tube having some distance between the combustion zone and the dilution zone shows better performances than the closely arranged one under low pressure and fuel-rich conditions.

1. ま え が き

ジェット機の通常の飛行状態において、ジェットエンジン燃焼器が性能低下を起こすのは、飛行高度が上って燃焼器入口圧力および温度が低下する場合である¹⁾。

このような高空における燃焼器の性能低下の現象は、もともと複雑な燃焼器内部の燃焼現象に対して、圧力、温度、空気流量および燃料流量の大幅な変化が加わるために一層その複雑さを増している。燃焼器の性能を調べるための従来の一般的な方法は、燃焼器出口での燃焼効率、圧力損失、出口温度分布および火炎吹消え限界などの測定を行なうことであるが²⁾、高度の増加にともなう燃焼器の性能低下の要因を調べて高

空性能向上の指針を得るためには、このような間接的とも言える測定のみでは不十分で、直接に燃焼器内部の反応領域や保炎、着火領域の局所的な変化を知ることが必要となり、燃焼器入口および出口での測定に加えて、燃焼反応進行中の内部のガス流れ模様、ガス組成分布および温度分布などを直接的に測定し、これらの高空における変化をあきらかにする必要がある。しかしこのような方法で実用的な燃焼器を広い作動範囲でその変化を全体的にとらえた実験は少ない。

Youssef³⁾ は、旋回器を用いた燃焼器で循環流がある場合の流速分布と温度分布を非燃焼時と燃焼時にかなり精密に行なって比較している。

Toone と Arkless⁴⁾ は、ガス分析を用いて燃焼器内を循環領域、反応領域、希釈領域等に分割して、局部空燃比、循環量、局部燃焼効率、CO/CO₂ 比および未燃焼燃料等を求め、温度と反応時間によって生ずる未燃焼燃料により反応速度係数を求めている。また、高

* 昭和45年5月23日受付

** 角田支所

*** 原動機部

空における燃焼効率の低下についても、出口および希釈空気を導入する前で求めている。

Straight と Gernon⁵⁾ は、われわれの実験の一部と同様な燃焼器内の流れ模様の粒子を用いて空気流で実験し時間的な変動を明らかにしている。

しかし、いずれも空燃比、風速、燃料噴霧粒径等の変化の範囲を限ってある状態の解明を目的としている。

また、圧力を低下して局所的な状態の変化を明らかにした報告は、われわれの実験室で行なったガス組成測定⁶⁾をのぞくと見あたらない。

本実験では、高空性能低下の直接の原因と考えられる燃料噴霧粒径の粗大化および圧力の低下による燃焼反応速度の低下などについて、各条件を広い範囲にわたり変化させた場合の変化を内部各点の温度測定により検討を加えるとともに、これらと関連のある流入空気量配分などについても検討を行なった。

2. 実験装置

実験装置は、当所原動機部の缶形燃焼器実験設備を使用した⁷⁾。図1にその主要系統図を示す。この装置は、供試燃焼器入口において次の状態を出すことができる。

空気圧力: 1.0~0.2 ata

空気温度: 常温 (約 25°C) ~ -60°C

空気流量: 1 m³/s (最大)

燃料圧力: 0~100 atg

燃料流量: 130 kg/h (最大)

3. 供試燃焼器

燃焼器模型は、次の3種類のものを使用した。

(1) C.C. No. 1

この燃焼器模型は、J-33 缶形燃焼器を、内筒空気孔の寸法、数、配置をそのままにして真直かつ円形断

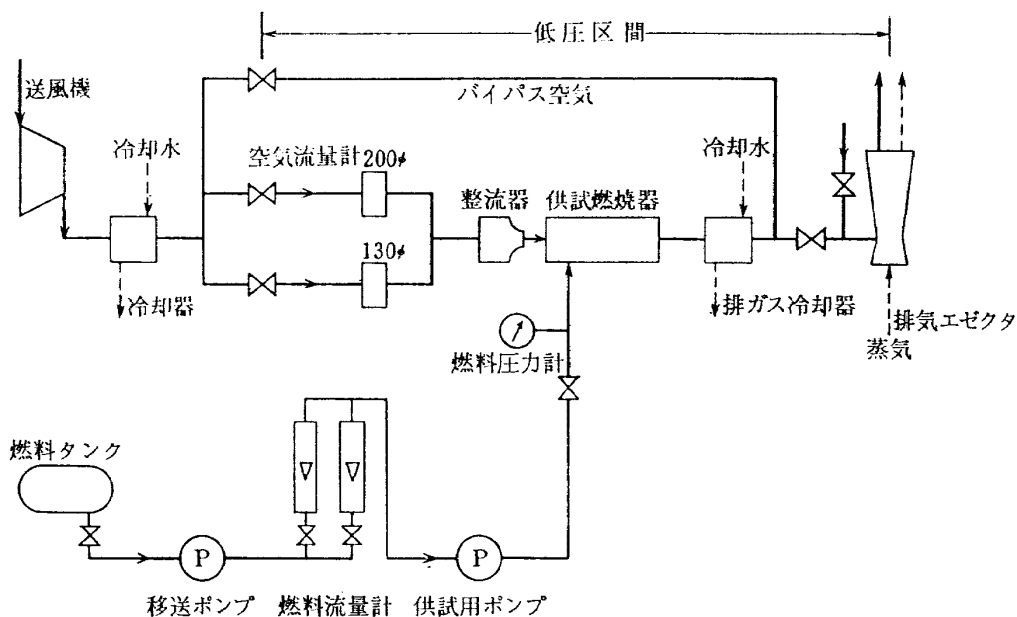


図1 実験装置系統図

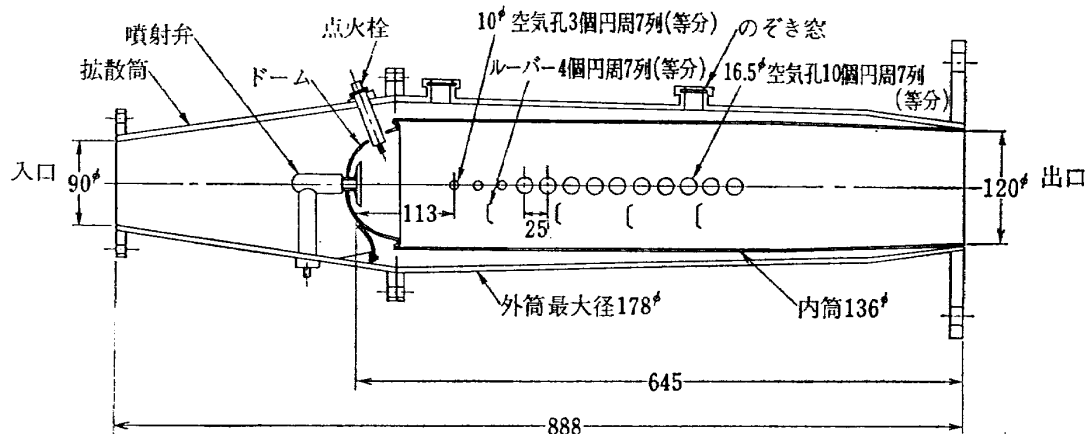


図2 供試燃焼器 C.C. No. 1

面になるように変形したものである。図2にこの断面図を示す。外筒は円錐管になっていて、出口に近づくにしがたい内筒と外筒との間隙がせまくなり、内筒に流入する空気量分布は、上流側でも計算上次の C.C. No.2 より多くなる。初期に設計したものであるため、構造的によく考慮されていない部分があり、特に点火栓、燃料供給管および内筒ドームの支えなどの空気抵抗が大きく、流れが乱されて円周方向の流速分布が悪く、場合によっては測定精度をおとしている。外筒最大断面積(=燃焼器最大断面積)と内筒の断面積比は 100:58 である。

(2) C.C. No. 2

この燃焼器模型は、図3に示すように、C.C. No. 1 の外筒を、内筒に流入する空気量配分の測定に便利のように直円筒とするとともに、特に低圧力での化学反応時間の増大を考慮し、内筒の空気孔配列をかえて、燃焼領域の空気孔と希釈領域の空気孔を 130 mm 離したものである。内部温度分布の測定に関連して、特に円周方向の流速分布を乱さないように点火栓を細くし、これにフェアリングをつけ、燃料供給管および内筒支えも空気抵抗の少ない流線形とした。内筒冷却用ルーバも流れの乱れを少なくするように小さめのもの

のとした。燃焼器入口から内筒に至るディフューザは、ドームから入る空気量を測定するのに便利のように二重構造とした。その入口での断面積比は、ドームに向うものが 11% となっている。外筒と内筒の断面積比は、全圧損失と燃焼性能とのかね合いから 100:63 と C.C. No. 1 より幾分内筒断面積を多くとった。

(3) C.C. No. 21

この燃焼器模型は、C.C. No. 2 の内筒空気孔を C.C. No. 1 と同等になるよう配列したものである。外筒その他は、C.C. No. 2 のものを使用した。図4にこの内筒を示す。

各燃焼器模型の内筒空気孔面積配分を図5に示す。燃料噴射弁は、次の4種類のうず巻噴射弁を使用した：

J-33, 2φ, 1φ, 0.5φ

J-33 は複式で、他の3種は単式である。おのこの噴射弁の噴孔直径および噴霧角を表1に示し、その圧力-流量特性および流量-噴霧平均粒径(SMD)特性を図6(a) および図6(b)に示す^{8),9)}。SMD は次式から計算したものである。

$$SMD = \frac{\sum d_i^3 \times (\Delta n_i)}{\sum d_i^2 \times (\Delta n_i)} (\mu)$$

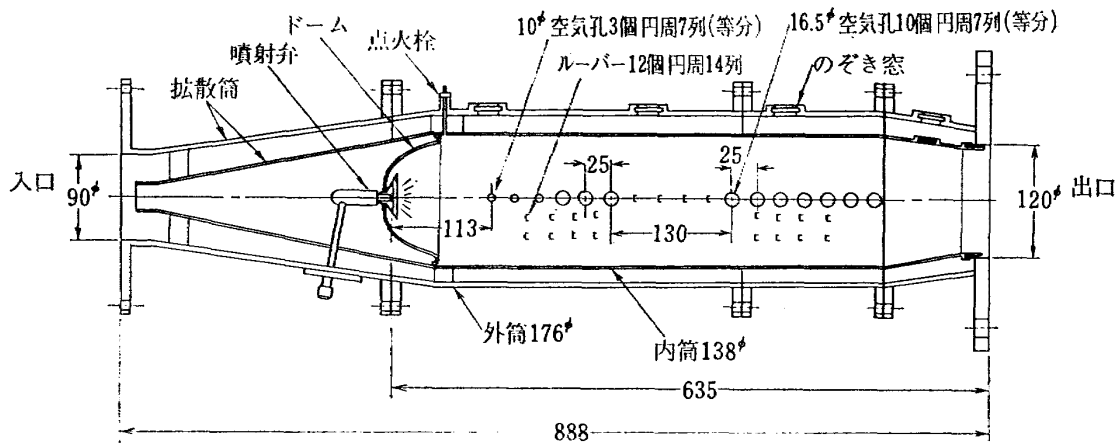


図3 供試燃焼器 C.C. No. 2

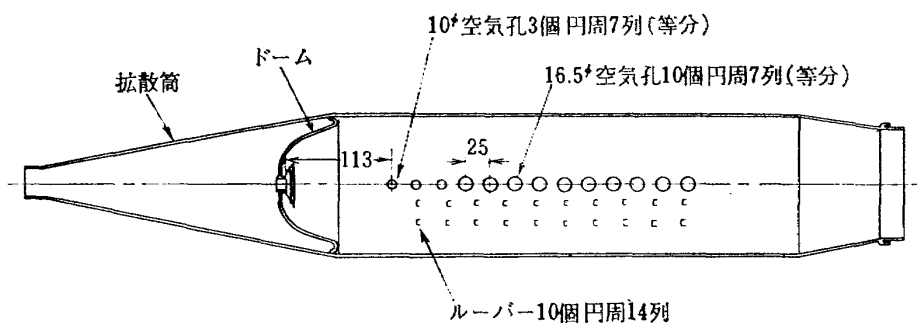


図4 供試燃焼器 C.C. No. 21 内筒空気孔配列

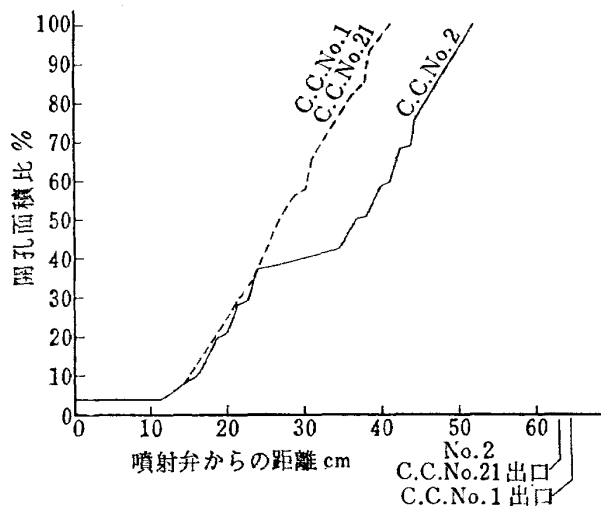


図 5 燃焼器空気孔面積分布

表 1 噴射弁噴孔直径

噴射弁	J-33	2φ	1φ	0.5φ
噴孔直径 (mm)	2.20	2.00	1.00	0.44
噴霧角 (度)	78	76	88	90

ここに

 d_i : 噴霧粒径 (μ) Δn_i : d_i の粒径をもつ粒の個数

4. 計測装置および計測方法

(1) 全空気流量: 200 mmφ および 130 mmφ のノズル流量計で測定した (図 1 参照)。

(2) 燃料流量: 器差補正をしたロタメータで測定した。測定精度は $\pm 0.5\%$ 程度である (図 1 参照)。

(3) 入口空気温度: 入口空気温度は、測定断面にて均一と見なされるからアルメル・クロメル熱電対で 1 点の温度を測定した (図 7)。

(4) 入口空気圧力: 静圧、全圧とも 1 点ずつ水銀マノメータで読んだ。入口流速分布は、整流器によって整流され、ほとんど様な分布になっている。全圧測定用プローブは、直径 8 mm で上流に向かって 0.5 mmφ の孔をあけたパイプを使用した (図 7)。

(5) 出口燃焼ガス圧力: 静圧、全圧それぞれ 1 点ずつ測定した。全圧測定用プローブは、直径 6 mm で上流に向かって 0.5 mmφ の孔をあけたパイプを使用した (図 7)。出口断面の全圧分布は、燃焼したときとしないときで図 8 に示すように、ほとんど両者に変化がないので、平均値になるような場所を選らび、ここに全圧プローブを固定して使用した。

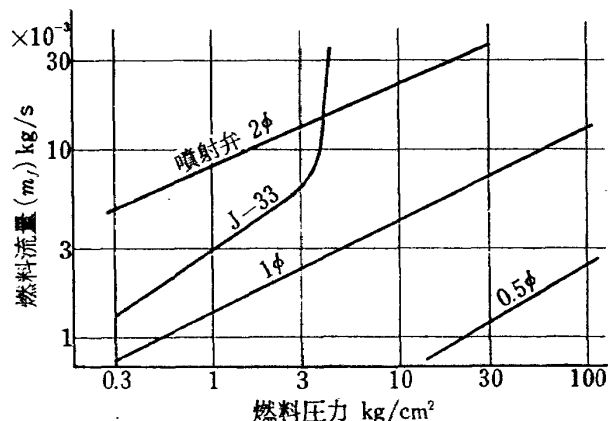


図 6 (a) 燃料圧力—流量特性 (対数目盛)

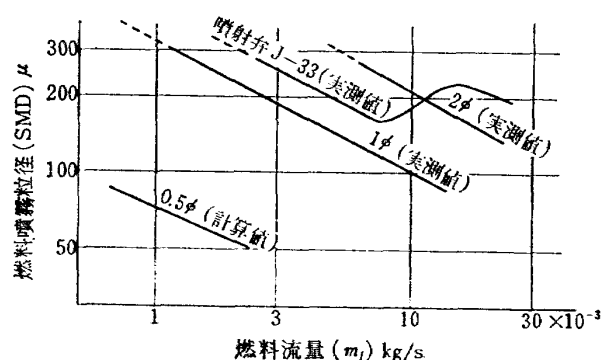


図 6 (b) 燃料流量—粒径特性 (対数目盛)

(6) 出口燃焼ガス温度: 燃焼ガス温度は、アルメル・クロメル熱電対の先端露出のものを用い、18 点測定した。その位置は、円周方向に 6 等分してあり、燃焼器内筒空気孔の 7 等分と変えてある。

半径方向の位置は、算術平均計算によりほぼ正確な平均温度が得られるよう等面積配分となる位置においた (図 7)。軸方向位置は、測定断面の内筒希釈空気孔からの距離が、図 9 に示すように希釈空気の効果的な混合がほぼ終了する位置を考慮して、希釈空気孔が後流側にずれた C.C. No. 2 のときも十分な混合距離がとれるように選んだ。

(7) 内部温度: 燃焼器内部の温度は、図 10 に示す装置により、燃焼器出口側から支持部を冷却した 0.5 mmφ のイリジウム—イリジウム 60%・ロジウム 40% 熱電対をそう入して測定した。熱電対は先端を露出させて使用し、その際表面触媒作用および熱輻射に基づく誤差は無視している¹⁰⁾。(表面触媒作用による温度測定の誤差についての検討では、測定点の温度、未燃焼燃料分の有無および残留酸素等の状態によっては、ある程度の影響が出るものと推定されるが、傾向の比較に対しては差しつかえない。)

計測点としては、図 11 に示すように、燃焼器中心

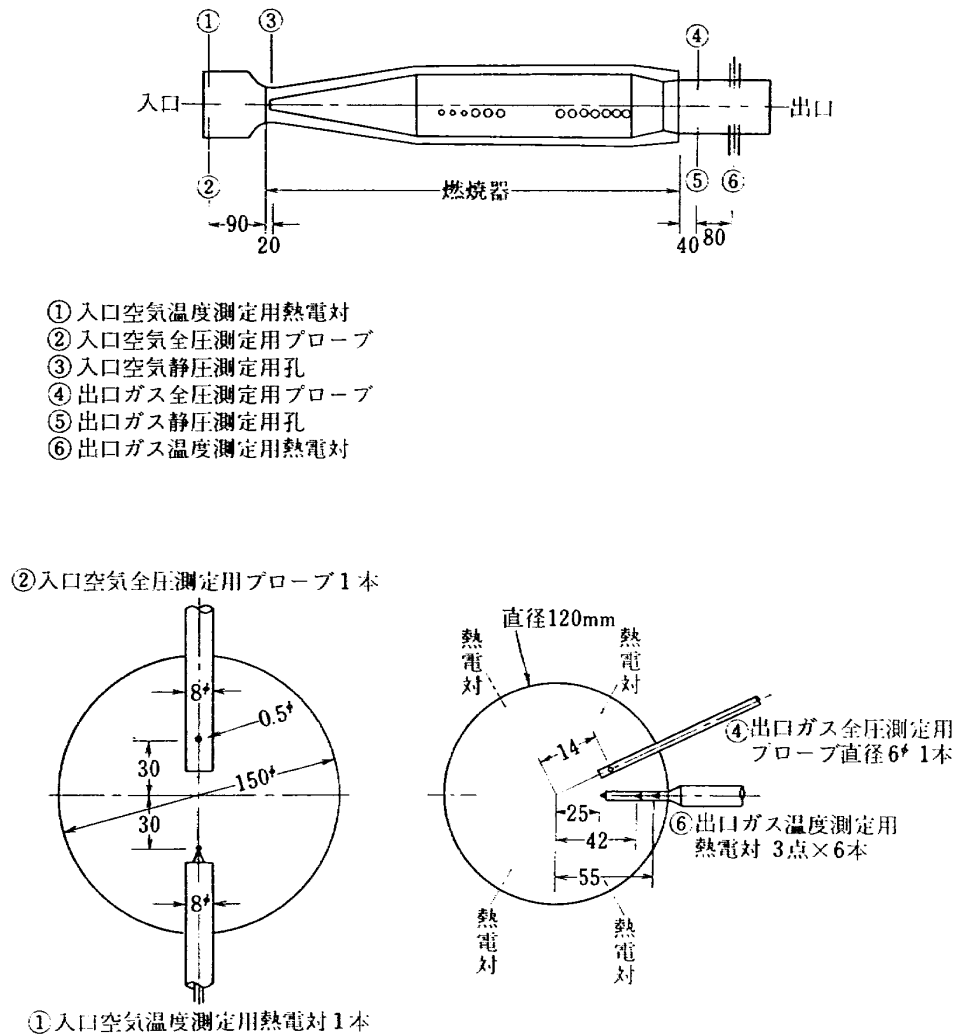


図 7 燃焼器入口，出口計測装置

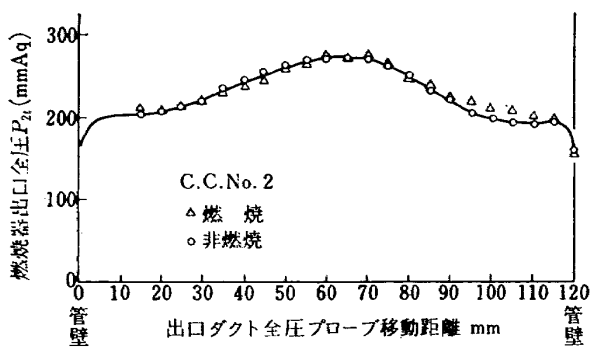


図 8 出口ガス全圧分布

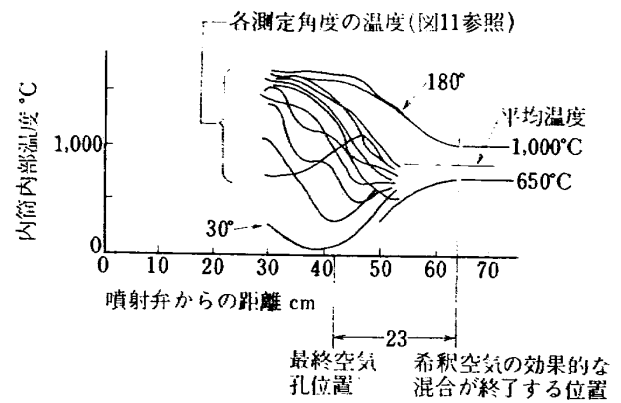


図 9 内筒内部温度分布の混合による均一化
(C.C. No. 1 の場合)

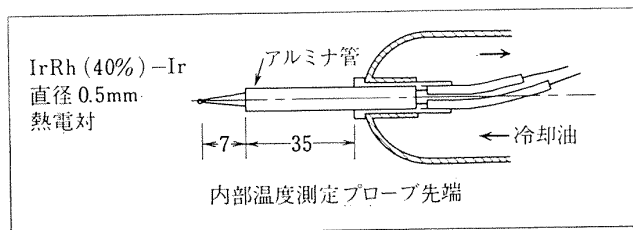
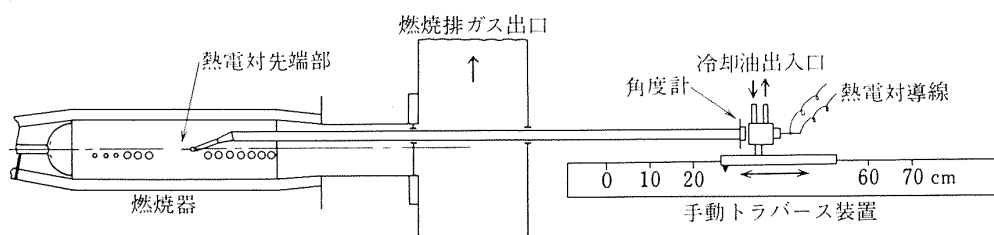


図 10 燃 焼 器 内 部 温 度 測 定 装 置

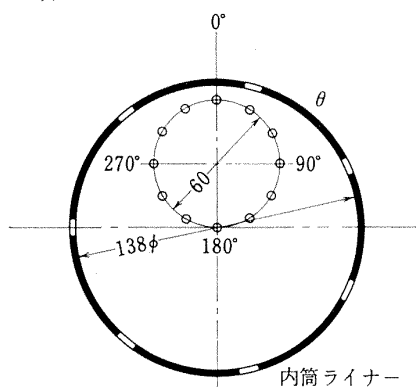
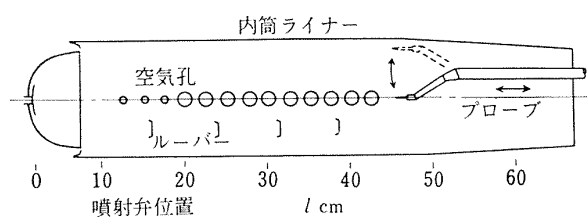


図 11 内 部 温 度 測 定 点

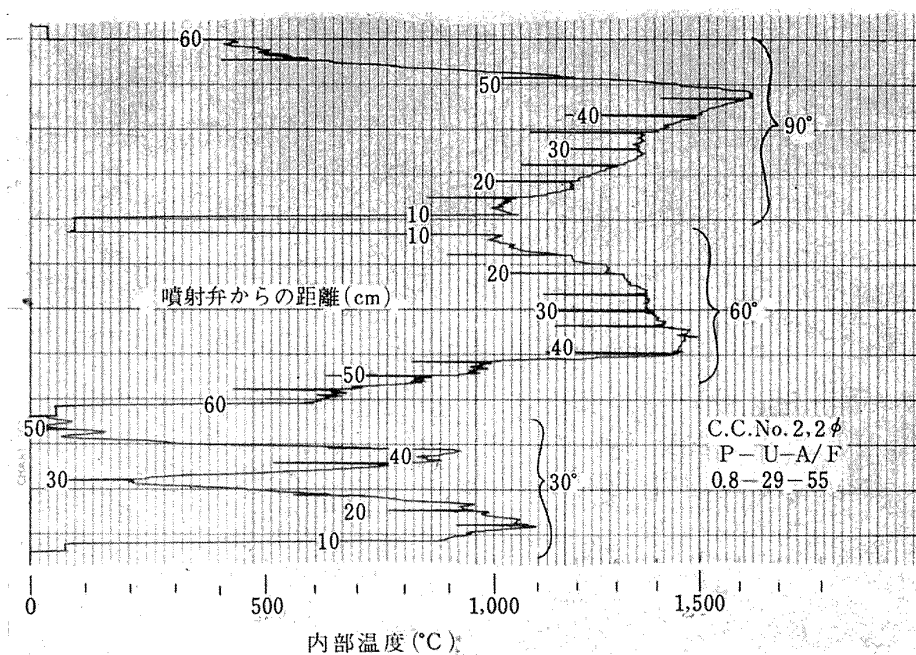


図 12 内 部 温 度 測 定 記 録 例

軸に対し熱電対支持軸を 30 mm 上方へ移し、支持軸を回転させることにより、直径 60 mm の円周上 12 点（角度で 30° ごと）をとり、かつ燃焼器軸方向に 5 cm ごとにとった。そして、そのときの熱電対の起電力を電位計に記録させた。図 12 にその記録例を示す。熱電対先端部の応答遅れに対しては、計測のたびに手動で軸方向の移動速度を調整して誤差を少なくするようにした。内筒空気孔の近くおよび燃料噴霧粒子の存在するところでは、時間的な温度変動があったが、それについては算術平均をとった。

5. 記号およびその説明

本文および図表中に用いている記号とその計算方法を次に示す。

- (1) 燃焼器入口静圧: P_{1s} ata
- (2) 燃焼器入口全圧: P_{1t} ata
- (3) 燃焼器入口空気温度: t_1 °C
- (4) 空気流量: m_a kg/s
- (5) 最大断面平均風速: U m/s
空気流量 m_a が燃焼器入口状態の比重量で、燃焼器最大断面積を平均して流れるとしたときの流速。
- (6) 燃料流量: m_f kg/s
- (7) 空燃比: A/F
空気流量 (m_a) と燃料流量 (m_f) との比である。 $A/F = m_a/m_f$
- (8) 燃焼器出口静圧: P_{2s} ata
- (9) 燃焼器出口全圧: P_{2t} ata
- (10) 燃焼器出口の燃焼ガス平均温度: t_2 °C
出口温度計 18 点の算術平均値。
- (11) 平均温度上昇: $\Delta t = t_2 - t_1$ °C
- (12) 出口入口温度比: $(t_2 + 273)/(t_1 + 273)$ °K/°K
- (13) 燃焼効率: η_c %
燃焼器出口の燃焼ガスの平均エンタルピと燃焼器入口空気のエンタルピの差および燃料の低位発熱量から求めた。

$$\eta_c = \frac{i_2(m_a + m_f) - i_1 m_a}{\Delta H \times m_f} \times 100 \quad (\%)$$

ここに

ΔH : 燃料の低位発熱量 (JP-4 では, 10,250) kcal/kg

i_1 : 入口空気のエンタルピ kcal/kg

i_2 : 出口燃焼ガスのエンタルピ kcal/kg

- (14) 全圧損失係数: ϕ

入口と出口の全圧差を最大断面平均風速の動圧

で割った値である。

$$\phi = \frac{(P_{1t} - P_{2t}) \times 1.0332 \times 10^4}{(\gamma_1/2g) \times U^2}$$

ここに

γ_1 : 入口状態の空気の比重量 kg/m³

g : 重力加速度 9.8 m/s²

- (15) 燃料負荷率: Q

本文 7.6 項参照。

- (16) 火炎吹消え限界:

燃焼器入口静圧 P_{1s} , 最大断面平均風速 U を一定にして燃料を増加または減少させ吹消えたときの空燃比をとった。

- (17) 火炎の色:

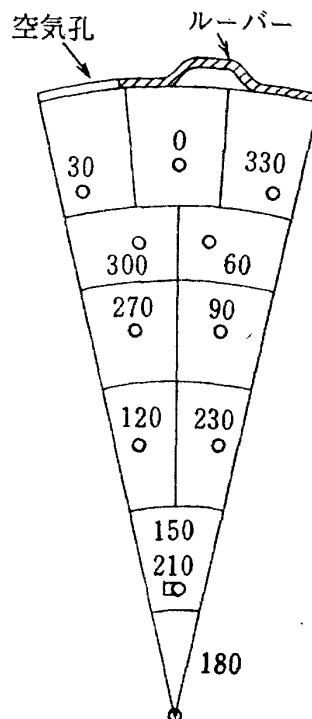
燃焼器ののぞき窓 (図 2, 図 3 参照) からの観察によって記録した。

- (18) 内部局部温度: $t_{\theta, l}$ °C

図 11 に示す角度を θ として 30° ごとに表わし、軸方向の噴射弁からの距離を l cm で表わした。

- (19) 内部断面平均温度: $t_{m, l}$ °C

軸方向距離 l の場所の断面平均温度を求めるために、その断面を図 13 に示すように 12 個に分割し、各小面積の平均温度をそれぞれの測温点 (図 11 から、空気孔との相対位置を合せる



数字は熱電対プローブの回転角度 θ を表わす。

図 13 燃焼器軸および空気孔を対称軸とした時の相対測定点の位置とその温度を代表とする面積

ようにして移動して考える) が示しているもの
とすると, $\theta=150^\circ, 180^\circ, 210^\circ$ の 3 点の温度
をもつ面積は, 他の点のもつ面積のほぼ半分に
なるので

$$t_{m,l} = \frac{\sum_{\theta=0^\circ}^{120^\circ} t_{\theta,l} + \frac{1}{2} \sum_{\theta=150^\circ}^{210^\circ} t_{\theta,l} + \sum_{\theta=240^\circ}^{330^\circ} t_{\theta,l}}{10.5}$$

の式を用いて計算した。

(20) 燃料噴霧の平均粒径: SMD μ

本文 3. 供試燃焼器参照。

6. 実験範囲

実験は, 次の値を組合せた条件に設定して行な
った。

燃焼器入口静圧 P_{1s} 1.0, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2
ata の 5 種類。

最大断面平均風速 U 17, 23, 29, 35 m/s の 4 種類。

空燃比 A/F 37, 50, 80, 120 の 4 種類。

燃料には, ジェット燃料 JP-4 を用いた。

7. 実験結果および考察

実験結果を巻末の図 29, 図 30, 付表 3 および付表
4 に示す。図 29 は, 燃焼効率, 吹消え点および燃料噴
霧粒径 SMD の相互関係をまとめたもので, 図 30 は,
燃焼器内部の断面平均温度を軸方向 5cm ごとに測定
して結び合せたものである。図 28 は, 火炎の色を条
件の変化と対応づけて整理した。付表 3 には実験条件
および出口での測定値と効率の計算値を示した。

これらの結果からおのおのの燃焼器の最も一般的な
特長(燃焼効率と空燃比の関係)は, C.C. No. 1 で
は空燃比の広い範囲で燃焼するが効率の良い範囲がせ
まく, C.C. No. 2 では空燃比の小さいところでは吹
消えを起こすが効率の良い範囲は広いと言える。各要
素の性能に対する影響について以下に述べる。

7.1 燃料噴霧粒径の影響

(a) 燃焼効率におよぼす影響

燃料噴霧粒径(SMD)の影響は, C.C. No. 2 に噴
射弁として 2ϕ および 1ϕ の 2 種類を用いた実験の
比較によって考察される。実験点における燃料噴霧の
SMD は総括的に図 29 から判明する。これから SMD
の変化は 60μ から 350μ までの範囲であり, 2ϕ と
 1ϕ の噴射弁を用いて, 入口圧力, 最大断面平均風速
および空燃比の同じ状態を選ぶとすると, ほぼ 2 倍の
SMD の差ができる。この場合の SMD と燃焼効率と
の関連性をまとめて表 2 に示す。表 2 から燃焼効率を

表 2 噴霧粒径と燃焼効率

P_{1s} ata	U m/s	A/F	噴射弁 ϕ	SMD μ	η_c %
1.0	18	120	1	150	88
		120	2	320	95
1.0	24	80	1	110	86
		74	2	225	93
1.0	24	56	1	95	90
		50	2	175	93
1.0	34	75	1	90	80
		72	2	180	84
0.6	30	78	1	125	71
		75	2	265	80
0.6	35	76	1	115	67
		75	2	240	75
0.4	39	85	1	140	63
		84	2	290	74

比較すると, $SMD=100\mu\sim300\mu$ の間では, SMD の
大きなほうが効率が良くなっている。これは, 噴霧粒
径の違いによって噴射弁近くの燃料分布と局部空燃比
に変化が起こるためと推定される。

一般的に, 燃料液滴の径路を考えると, 粒径の小さ
いものは, 噴射弁をでてから表面で蒸発しながら気流
に乗って噴射弁付近ではほぼ全面的に蒸発し, 噴射弁近
くの気化した燃料分の濃度を濃くするように働く。これ
に対し, 粒径の大きいものは, 表面で蒸発しながら
も内筒壁に向かって進み, 壁面に衝突する。実験した
粒径範囲では, 相当の量が壁面に衝突し, ほとんどは
壁面で蒸発するが一部は液滴のまま後流に運ばれてし
まう可能性がある¹¹⁾。この様子は, 外筒にあるのぞき
窓からも観察された。このように, 粒径の大きさは,
噴射弁近くの燃料濃度と壁面に衝突する燃料の割合に
影響をおよぼすが, 燃焼器出口断面での燃焼効率測定
だけではこの影響の詳細について調べることがむずか
しい。しかし燃焼器内部の断面平均温度分布に, 噴霧
粒径の影響が現われるはずである。その変化について
図 14 に示す。図から SMD の大きいほうが噴射弁近
くの断面平均温度が高く, 効率もよくなっていること
がわかる。噴霧粒径の影響が最も顕著に現われている

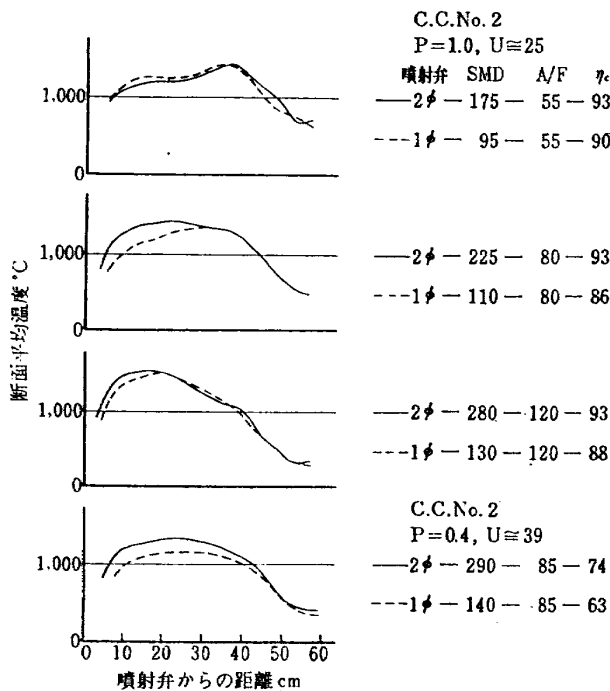


図 14 噴霧粒径による断面平均温度の変化

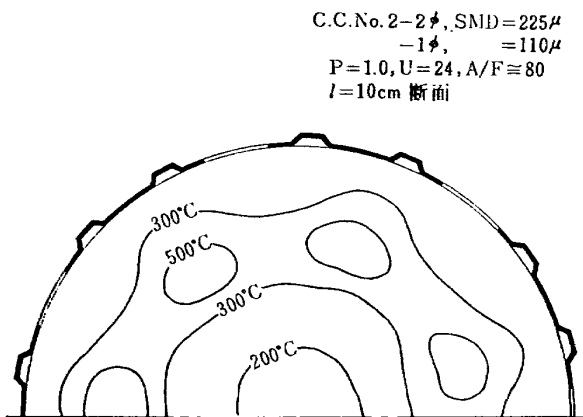


図 15 (a) 噴霧粒径の違いによって生ずる
局部温度差の分布 (圧力 1.0 ata)

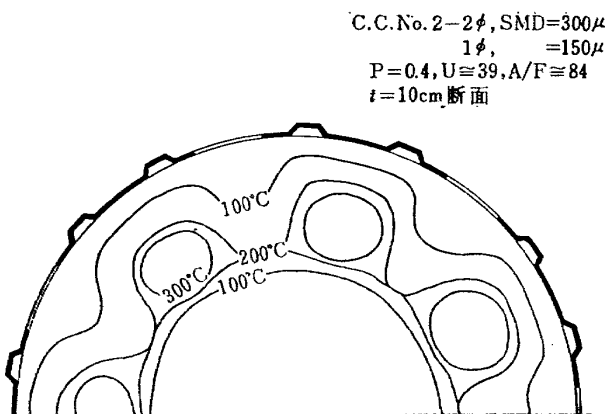


図 15 (b) 噴霧粒径の違いによって生ずる
局部温度差の分布 (圧力 0.4 ata)

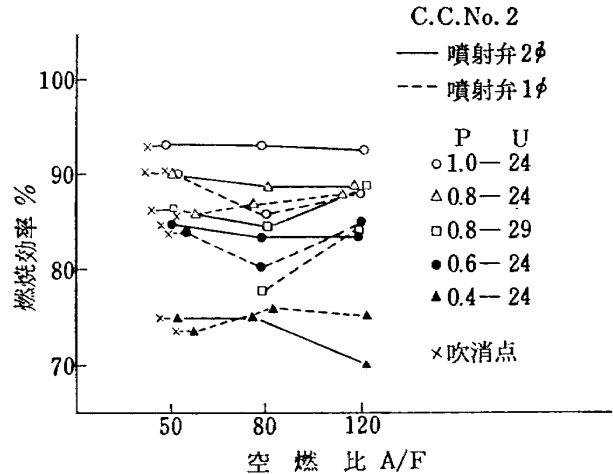


図 16 空燃比—燃焼効率

のは、 $A/F=80$, $l=0\sim 20$ cm のところである。他の風速、圧力の状態でもこの傾向があり、この場所をこまかく調べると図 15 に示すように燃焼器中心部と壁面の中間の円環状の部分となる。

また圧力 0.4 ata のときを調べて見ると、内部温度は平均的に低下しているが軸方向の変化および断面での温度分布は同様な傾向を示す。このことから SMD=100 μ~300 μ の範囲では、この現象に対する圧力の影響は少ないと言える。この部分の温度が低下しはじめるときの噴霧粒径は、 $A/F=80$ のとき SMD=100 μ~150 μ であった。これより SMD を小さくすると噴射弁近傍で燃料過濃になって、その領域の温度を低下させ燃焼効率も低下する。しかし、C.C. No. 2 のように燃焼用と希釈用の空気孔を分離した場合には、たとえ燃料過濃混合気が生じ反応が遅くなくても希釈領域の前までに反応が進行する。このため図 16 に示すように $A/F=50$ の状態でも出口に達するまでに効率は上昇する（この現象については、流入空気量配分の影響での項で検討する）ので空気孔を分離した燃焼器では、噴霧粒径の出口効率への影響は複雑なものとなった。

(b) 吹消え特性におよぼす影響

濃混合気側の吹消えに近い状態をのぞき窓から観察すると、噴射弁近くに火炎はほとんど見られない。この状態でも内筒空気孔のある付近から火炎が広がり、幾分不安定ではあるが、燃焼を続ける。火炎が完全に消える吹消え点は、図 17 (a), 図 17 (b) に示すように空燃比にして 40~50 の範囲であるが、噴霧粒径 SMD の小さいときのほうが、空燃比の大きな側で吹消える。これは、燃焼効率特性の場合と同様に、噴射弁近くの局部空燃比と温度とに左右されていよう。図

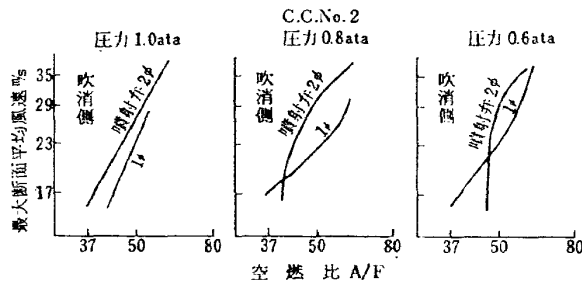


図 17(a) 噴射弁の違いによる吹消え

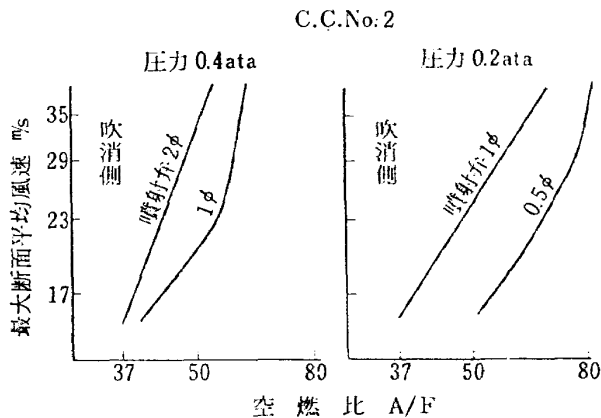


図 17(b) 噴射弁の違いによる吹消え

14 に示したように、吹消えに近い状態では、噴射弁近くの温度が $1,000^{\circ}\text{C}$ 以下に低下する。

希薄混合気側の吹消えは、すべての場合、噴射弁流出燃料が微量になり、噴孔からの燃料が霧化しなくなるのが原因で起きている。以後吹消えについての検討は、濃混合気側のものである。

7.2 入口空気圧力の影響

(a) 燃焼効率におよぼす影響

通常、各種の圧力状態で実験した燃焼効率特性を整理する場合には、空燃比および入口空気温度一定として

$$\eta_c = f\left(\frac{m_a}{p_{1s}^n}\right)$$

の形が用いられているが¹²⁾、実際にこの式を利用する場合は、結果がよく整理されるような圧力指数 n の値をきめることが必要となる。この n の値は、燃焼器の相似則などにおいて重要な役割をもち、これを求めることが今回圧力をかえた実験の一つの目的でもあった。指数 n は、上式から、燃焼効率をある一定の値に保って $m_a/p_{1s}^n = \text{一定}$ 、とおき $m_a - p_{1s}$ の対数グラフの勾配から求めることができる。ただし、実際の燃焼器の場合、入口圧力がかわると噴霧粒径の変化、燃焼領域の移動や大きさの変化、壁面の冷却効果の変化などの影響が加わるため、測定結果のばらつきや片寄りが大きくなり、圧力指数 n の決定を困難にしている。

比較的よくそろっている噴射弁 1ϕ のときの例を図 18(a) に示す。ただし、この図の場合も実験範囲が十分広くなく、燃焼効率 80% を示す空気流量を外挿して求めている点もあり、精度は高くない。図 18(a) から n は、ほぼ 1.8 となっている。図 18(b) は、噴射弁 2ϕ のときのもので、圧力の低いときには、噴霧粒径の影響が現われて勾配が大きくなり、圧力の高いときには、勾配の減少するような傾向をもち、一定の n の値を求めることができない。

n の値として、 n が 2 に近いときは、その燃焼状態は化学反応が律速条件となり、 n が 1.3 に近いときは火炎伝ばが支配的な要素になっていると考えられているから^{12), 13)}、この燃焼器の場合、図 18(a) からは、ほぼ化学反応が律速過程になっていると言える。しかし、圧力が大気圧付近になると、噴射弁 2ϕ のときは n の減少する傾向が現われ、火炎伝ば支配の状態へ移りかわる傾向を示している。

入口圧力をかえた場合の燃焼領域の状態を、内部の断面平均温度で比較すると図 19 のようになる。図 19

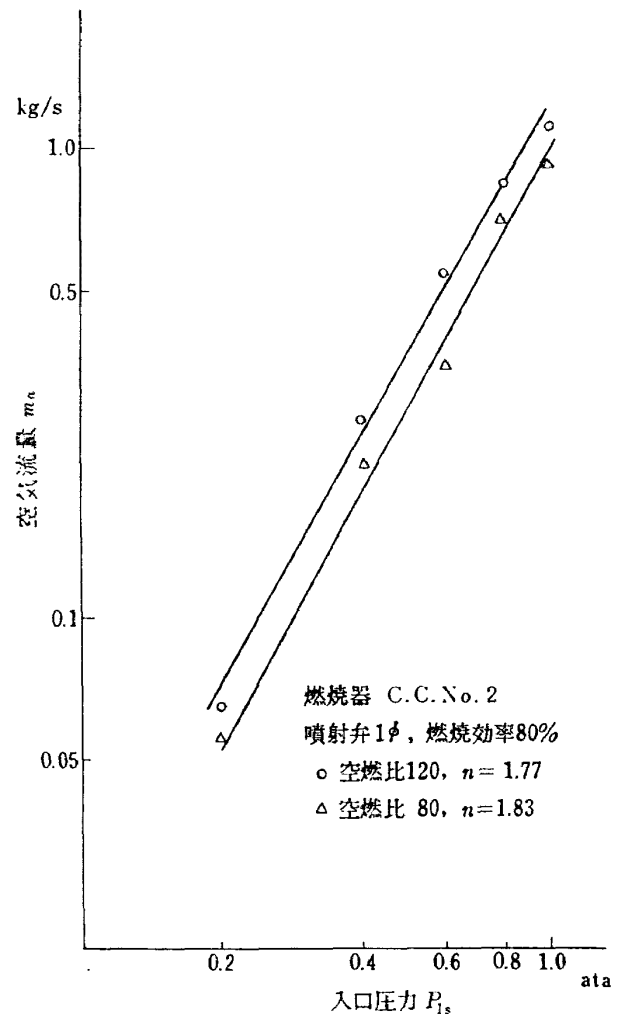


図 18(a) 圧力指数を求める図

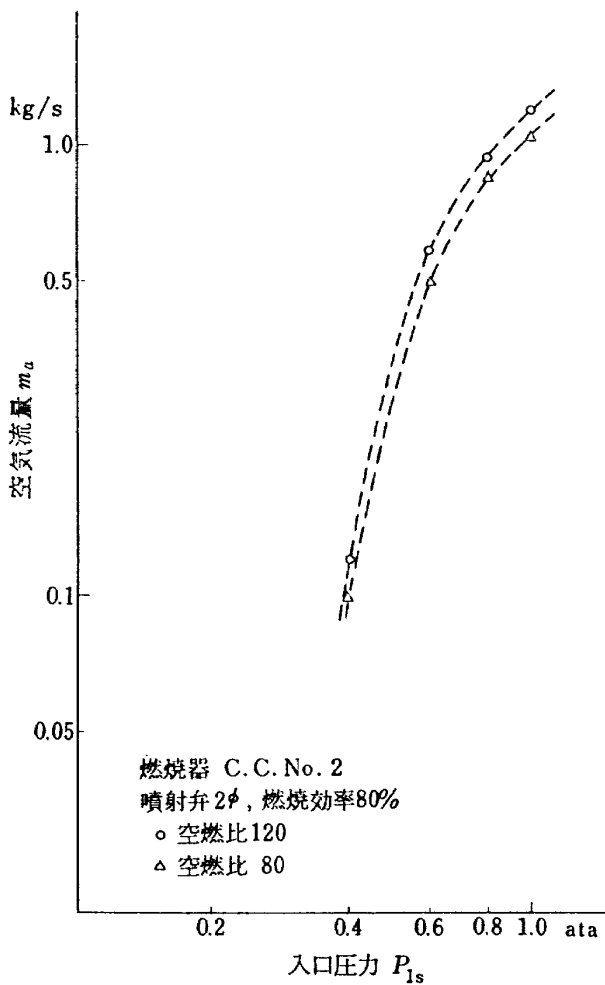


図 18(b) 圧力指数を求める図

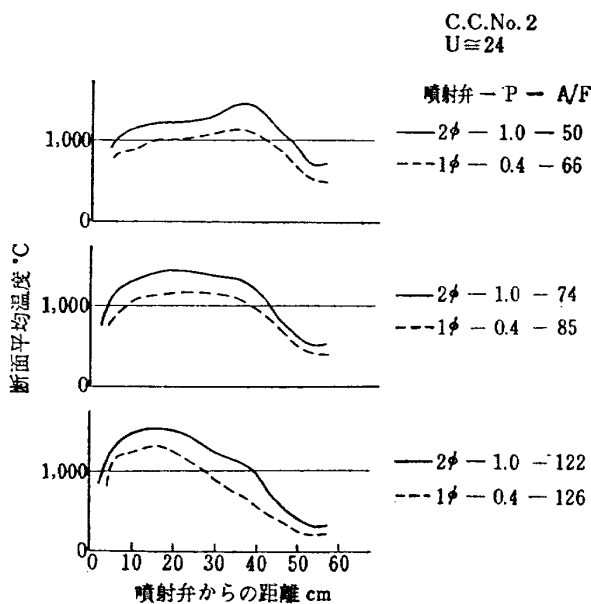


図 19 圧力による断面平均温度の変化

は、噴霧粒径の影響の少ない状態を選び、C.C. No. 2 と噴射弁 2φ を用いた 1 ata の場合と C.C. No. 2 と噴射弁 1φ を使用した 0.4 ata の場合を比較したも

のである。ここで、0.4 ata, $A/F=120$ の温度分布を除くと、希釈空気孔の先端, $l=40$ cm 付近に山をつくっている。これは、1 ata のときのほうが大きい、また平均的には 0.4 ata のときのほうが 200~300 deg C 低い。

これは、内部局部温度の変化を詳細に調べると、圧力の影響が、壁面のルーバおよび空気孔から流入する空気で冷却される領域が大きくなるような形で現われる。 $l=35$ cm の位置の断面をとって、内部局部温度の分布を図 20(a), 図 20(b) に示す。この図から、圧力を低下させても温度の変化しない領域が残るけれども、冷却される領域の広がることがわかる。このことから、低圧時でも性能を低下させないためには、壁面冷却用ルーバや燃焼用空気孔を、局部温度測定により温度を監視しながら調整する必要がある。

(b) 吹消え特性におよぼす影響

濃混合気側吹消え点の圧力による変化は、燃料噴霧粒径がほぼ同じである場合、実験範囲内において図 21 に示すようにほとんど現われなかった。

7.3 流入空気量配分の影響

(a) 燃焼効率におよぼす影響

実験した燃焼器の形から空気量配分は、図 2, 3 お

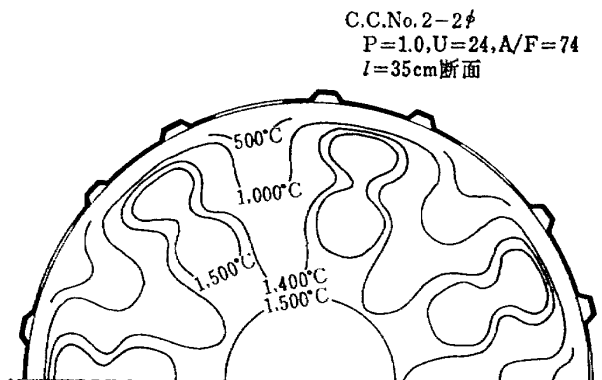


図 20(a) 断面局部温度分布 (圧力 1.0 ata)

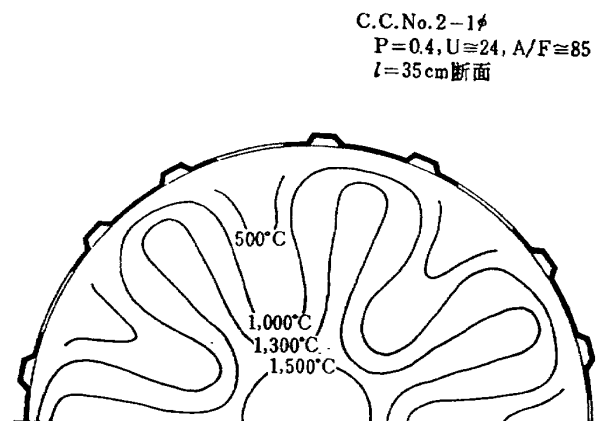


図 20(b) 断面局部温度分布 (圧力 0.4 ata)

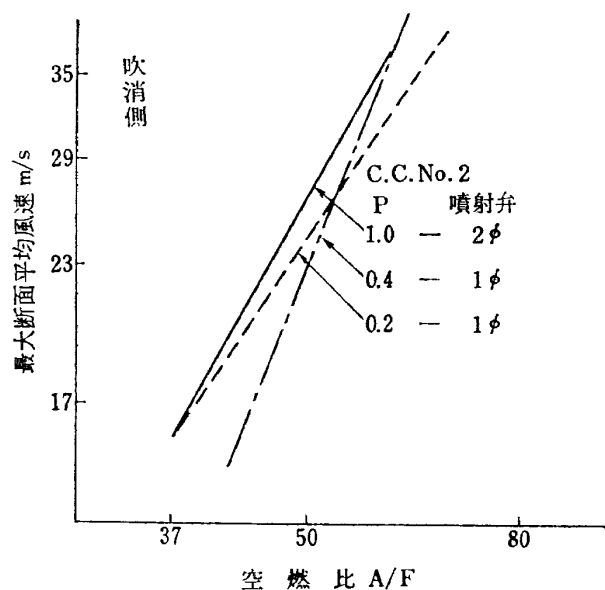


図 21 圧力の違いによる吹消え (SMD をそろえた時)

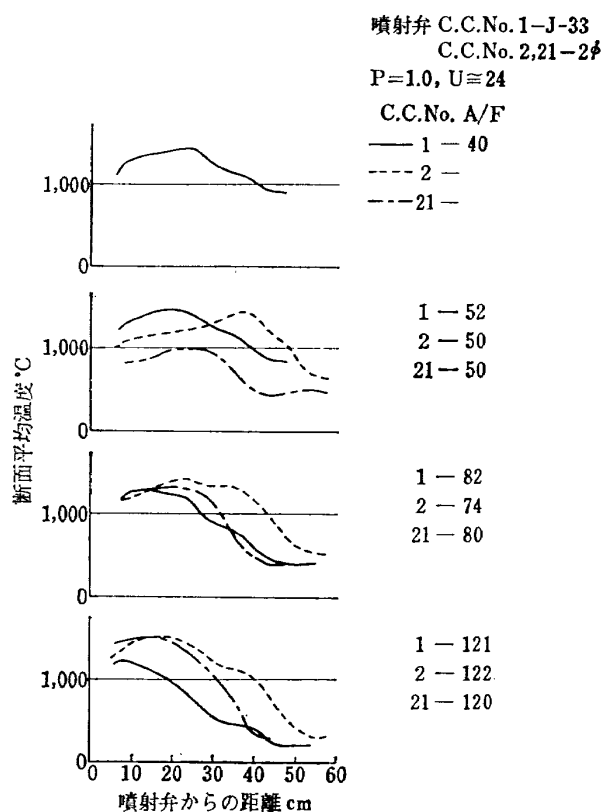


図 22 流入空気量配分—断面平均温度 (1)

および図 5 に示されるように、外筒が円錐か円筒の違いおよび内筒空気孔配列の違いによって変化する。それぞれの燃焼器の流入空気量配分の特長は、

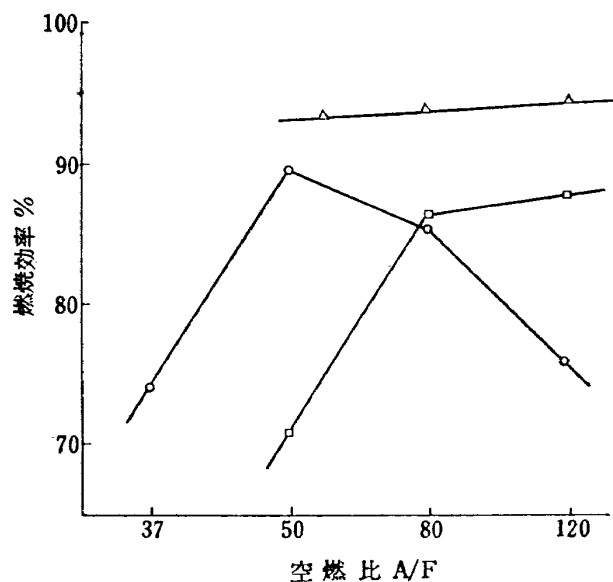
C.C. No. 1 空気孔が連続していて、各孔から平均的に流入する。このため他の燃焼器に比べると噴射弁近くの流入空気量が多い。

C.C. No. 2 噴射弁近くの流入空気量は少ない¹⁴⁾。

空気孔が離れているので中間での流入はない。

C.C. No. 21 空気孔は連続しているが噴射弁近くの流入空気量は少ない。

これらの特長からデータの比較検討を、噴射弁からの距離 0~25 cm (循環領域)、25~35 cm (循環領域の終点)、35~50 cm (希釈領域) の三つの領域に分けて、おのおの第 1, 第 2 および第 3 領域として取り扱う。図 22 に示すように流入空気量配分と噴霧粒径の関係により C.C. No. 1 では A/F 50, C.C. No. 2, C.C. No. 21 では A/F 120 のときに、おのおの第 1 領域が最高温度になるので、そこでの空燃比が燃焼状態に最良になっているものと考えられ図 23 に示すように出口効率にも影響している。この最適空燃比より大きな空燃比の場合は、C.C. No. 1 によって見られるように、高温部が前流に寄ってきて燃焼もこの領域で終了してしまう。このため粗大な噴霧粒径で壁面に衝突して蒸発する燃料分はほとんど燃焼せずに第 1 領域の後半および第 2 領域で冷却、消炎される。しかしこの場合は第 2 領域から第 1 領域への影響は少ない。逆に、最適空燃比より小さな空燃比の場合は、それぞれの燃焼器で第 1 領域の状態がことなる。すなわち、C.C. No. 1 では、断面平均温度分布の最高点が少し後流に移動し、噴射弁近くの温度も少し低下してくるが分布はあ



C.C.No.	噴射弁	P	U
1	J-33	1.0	24
2	2φ	1.0	24
21	2φ	1.0	24

図 23 流入空気量配分を変えた時の燃焼効率

C.C.No. 2-2φ
P=1.0, U=24, A/F=50
l=30cm 断面

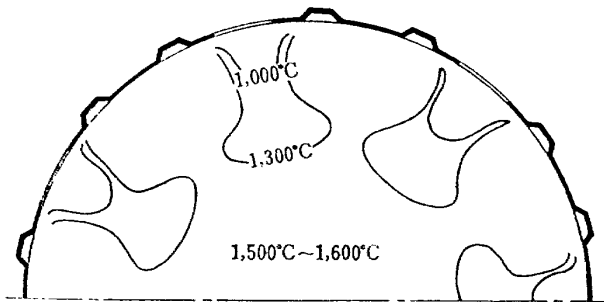


図 24(a) 断面局部温度分布 (第2領域)

C.C.No. 2-2φ
P=1.0, U=24, A/F=50
l=40cm 断面

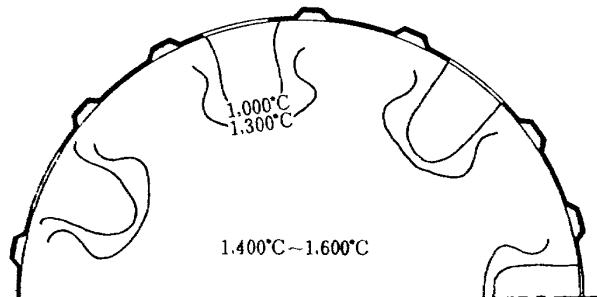


図 24(b) 断面局部温度分布 (第3領域)

C.C.No. 21-2φ
P=1.0, U=24, A/F=50
l=20cm 断面

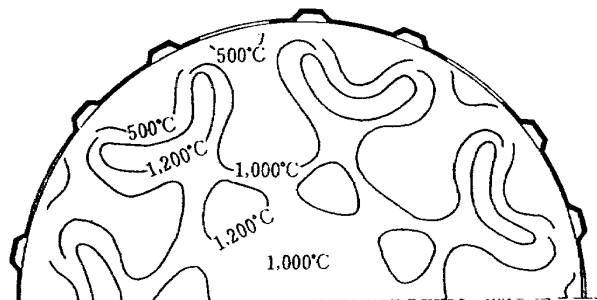


図 24(c) 断面局部温度分布 (第1領域)

C.C.No. 21-2φ
P=1.0, U=24, A/F=50
l=30cm 断面

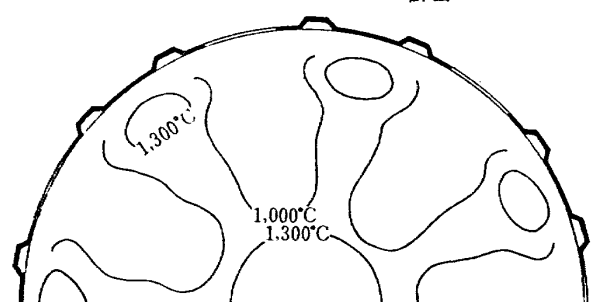


図 24(d) 断面局部温度分布 (第2領域)

まり変わらずに出口効率が低下してくる。C.C. No. 2 では、第1領域は温度が低下し、第2領域から第3領域にかけて温度が上昇している。特に第3領域の始めで温度が上昇しているのは、未燃焼の過濃混合気がこの領域に流入した空気により冷却、消炎されることなく燃焼することを示し、出口効率も図 23 に示すように高い効率になっている。これは、C.C. No. 1 の第1領域に相当する容積が C.C. No. 2 では、第1領域と第2領域を加えた容積と考えられ燃焼負荷率が下がるので、過濃混合気状態とか、低圧力状態等のように反応時間が長くなる場合には有利となり、加えて循環領域の大きさも第2領域に伸びているため、その影響が良い方向に作用する¹⁵⁾。

C.C. No. 21 では、空燃比が小さくなってくると極端に温度が低下してきて、出口での燃焼効率も低下してくる。これは C.C. No. 2 と同様に、空気が後流にいくほど多く流入するので第1領域の空燃比は、全体空燃比 50 でも相当に濃くなってしまいが、C.C. No. 2 と異なる点は、第2領域へ流入する空気で、冷却し消炎されてしまうことである。このような現象が現われる前後の断面で局部温度分布の比較を図 24(a), (b), (c), (d) に示す。この消炎現象は、第1領域の最適空燃比からのずれによって差ができる。これらの事柄は、図 25 に示されるように、低圧力の場合にも生じる。

噴射弁 C.C.No.1-J-33
C.C.No.2-1φ
P=0.4, U=24

C.C.No. A/F
— 1 — 38
--- 2 ---

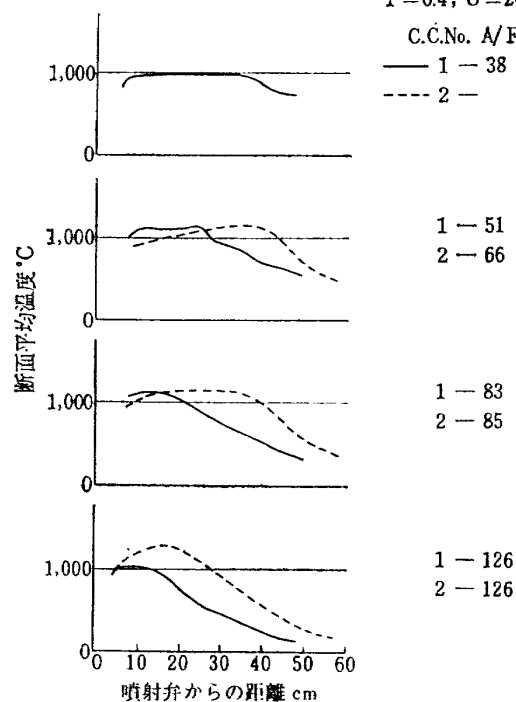


図 25 流入空気量配分—断面平均温度 (2)

(b) 吹消え特性におよぼす影響

燃料過濃側での吹消え限界は、圧力 1 ata, 風速 23 m/s の条件で、C.C. No. 1, C.C. No. 2 および C.C. No. 21 では、空燃比が約 37, 48 および 43 となった（噴射弁は、C.C. No. 1 では J-33, C.C. No. 2 および C.C. No. 21 では 2φ を用いた場合である）。

C.C. No. 1 の吹消え限界空燃比の小さいのは、第 1 領域への流入空気量が多いためである。C.C. No. 2 と C.C. No. 21 とを比較すると、C.C. No. 21 のほうが吹消え限界空燃比が若干小さくなっている。これは、第 1 領域における吹消え時の温度低下による燃料の蒸発の違い、温度上昇の大きなときのほうが前流から空気が流入しにくい（C.C. No. 21 は流入しやすい）ことがある¹⁴⁾。また第 1 領域と第 2 領域の空気孔が連続していることにより循環領域の空燃比および第 1 領域の空燃比が、同じ空燃比の条件ならば、C.C. No. 2 よりも C.C. No. 21 のほうがわずかに薄くなるものと予想されるからである。

一般的に吹消え現象は、噴射弁近くの燃料濃度、ガス流速および温度等によって影響されるので、流入空気量配分が異なる場合には、温度計測資料のみで直接的な比較ができない。しかし、第 1 領域の最適空燃比、吹消え時の空燃比およびそれぞれの噴霧粒径の影響を考え合わせると、吹消え時の噴射弁付近の局所空燃比は、C.C. No. 1 のほうが他の燃焼器より薄いところで消える。これは、C.C. No. 1 のほうが流入空気量配分の関係から噴射弁近く（保炎に関係するところ）の流速が大きいのが主因であろう。

7.4 最大断面平均風速の影響

(a) 燃焼効率におよぼす影響

燃料噴霧粒径の影響を除いて風速についての影響を調べると、図 26 に示すようになる。燃焼器 C.C. No. 2 の場合は、噴霧粒径の同じ状態が得られなかつ

たため、粒径の影響の少し入っているものである。図から、入口圧力 1.0 ata~0.8 ata の範囲では、最大断面平均風速が 17 m/s から 35 m/s になると燃焼効率が 2~3% 低下し入口圧力を 0.6 ata 以下にすると風速の影響は一層大きくなる¹⁶⁾。

実験した範囲内で、燃焼しないときのレイノルズ数 Re は、内筒直径および内筒断面平均風速をとると 1 ata において、 $Re=2.5 \times 10^5$ から 5.0×10^5 まで変化するが、内部温度分布の風速による変化は、非常に少なかった。風速のこの程度の変化（17 m/s~35 m/s）では、燃焼器内部の流れ模様の変化やそれにとまう燃焼特性の相当な変化があるとは認められない。

(b) 吹消え特性におよぼす影響

この特性に大きな影響をおよぼす燃料噴霧粒径を一定に押えて、吹消え点を選ぶことができなかったために、はっきりした結果が得られなかったが風速の大きなときほど燃焼範囲のせまくなるような一般的傾向は推定される。

7.5 燃焼負荷率

ガスタービン用燃焼器の燃焼負荷率は、一般に次式で与えられる。

$$Q = \frac{3,600 \cdot \eta_c \cdot m_f \cdot \Delta H}{V \cdot p_{1s}^n} \quad (\text{kcal/m}^3\text{h ata}^n)$$

ここに、

ΔH : 燃料の低位発熱量

V : 燃焼筒（内筒）容積

である。7.3 入口空気圧力の影響の項で述べたように圧力指数 n は、実験条件で変化するため圧力を 1 気圧にとり、空燃比 80, 燃焼効率 84% の状態で燃焼負荷率を求めると、C.C. No. 1 で噴射弁 J-33 のとき $Q=3.3 \times 10^7$, C.C. No. 2 で噴射弁 2φ のとき $Q=4.7 \times 10^7$ および噴射弁 1φ のとき $Q=4.0 \times 10^7$ となった。

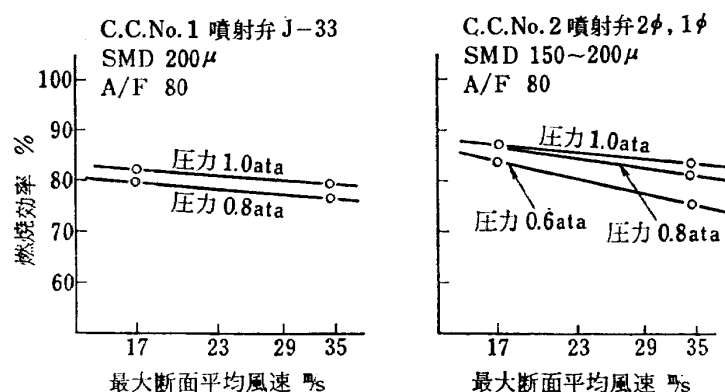


図 26 最大断面平均風速—燃焼効率

また、圧力1気圧、空燃比 55、燃焼効率 90% の状態で燃焼負荷率を求めると（空燃比 55 は、適当な測定点がないので近傍の測定値から外挿して求めた）、C.C. No. 1 $Q=5.3 \times 10^7$ 、C.C. No. 2 で噴射弁 2φ および 1φ のとき、 $Q=5.9 \times 10^7$ 、 $Q=4.7 \times 10^7$ となった。C.C. No. 2 の噴射弁の違いによる Q の差は、空燃比 80 のときよりも大きくなり燃料噴霧粒径の影響は、より大きい。

V の値として内筒容積の代わりに実際に化学反応が行なわれていると思われる内部断面平均温度 $1,000^\circ\text{C}$ 以上の体積を有効燃焼領域と仮定すると、圧力1気圧空燃比 80 の場合負荷率 Q' は、C.C. No. 1 で $Q'=7.8 \times 10^7$ 、C.C. No. 2 で噴射弁 2φ および 1φ のとき、 $Q'=7.0 \times 10^7$ 、 $Q'=7.4 \times 10^7$ となった。この負荷率の値は、特に大きなものではなく、ことに燃焼領域の体積をとった場合は、他の燃焼器模型の実験結果¹⁷⁾から推定される値の 1/2 位になっている。負荷率の低い理由としては、この燃焼器模型の場合、圧力損失が少なく、したがって内筒外側、内側の圧力差が小さく、空気孔からの噴流の貫通距離が不足して内筒中心部分まで空気がとどかない。このため混合が不十分で、温度が $1,000^\circ\text{C}$ 以上になっても実際には酸素が不足して燃焼反応が行なわれない領域がかなりあり、有効燃焼領域の体積が実際にはだいぶ減少しているものと推定される。しかし定性的なこととして、C.C. No. 2 の Q 、 Q' を比較すると、噴射弁 1φ では燃焼している部分の体積が小さく、噴射弁 2φ では大きいという噴霧粒径の影響を知ることができる。すなわち、噴霧粒径の大きな噴射弁を用いると、液滴のまま燃焼器の後流側に運ばれて燃焼する燃料が多くなり、7.1 燃料噴霧粒径の影響の項で検討したように噴射弁近くの領域が燃料過濃になる傾向が防止され、燃焼領域が広がってくることを示している。

7.6 圧力損失

燃焼器の圧力損失を全圧損失係数 ϕ の形で表わすと図 27 に示すようになった。図から、出口入口温度比 2.5 の点をとってみると、 ϕ の値は C.C. No. 1 で $\phi=21$ 、C.C. No. 2、No. 21 では $\phi=13.5$ となり、C.C. No. 2、No. 21 の値は、実用化されている多くの缶形燃焼器の例と比較して、非常に低い値になっていると言える。

C.C. No. 1 が C.C. No. 2、No. 21 より損失の多い理由としては、燃焼器内部のドーム支え、燃料管、点火栓などの形にもとづく抵抗が多いためもあるが、他の一般の燃焼器と比較して考えると外筒が円錐形に

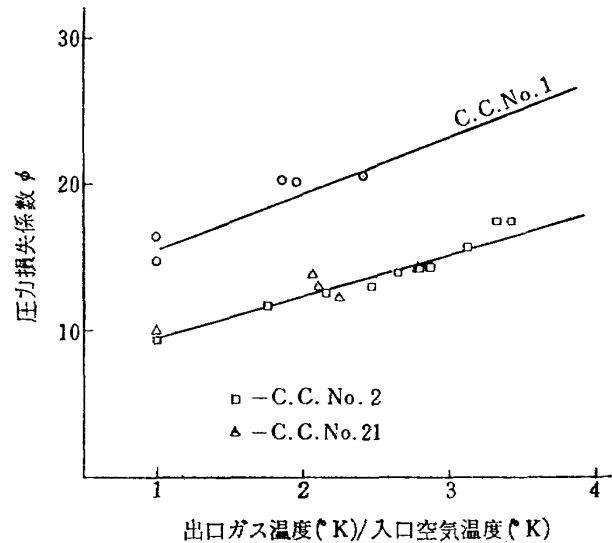


図 27 圧力損失係数 (ϕ)

		C.C. No.1				C.C. No.2			C.C. No.2		
		噴射弁 J-33				2φ			1φ		
P ata	U %	A/F				A/F			A/F		
		37	50	80	120	50	80	120	50	80	120
1.0	35	黄-空				茶-空			茶-空		
	29	黄-空				茶-空			茶-空		
	23	黄-空				黄-空			黄-空		
	17	黄-空				黄-空			黄-空		
0.8	35	緑-空				茶-空			茶-空		
	29	緑-空				茶-空			茶-空		
	23	緑-空				黄-空			黄-空		
	17	緑-空				黄-空			黄-空		
0.6	35	緑-空				茶-空			茶-空		
	29	緑-空				茶-空			茶-空		
	23	緑-空				黄-空			黄-空		
	17	緑-空				黄-空			黄-空		
0.4	35	緑				茶-空			茶-空		
	29	緑				茶-空			茶-空		
	23	緑				黄-空			黄-空		
	17	緑				黄-空			黄-空		
0.2	35	緑				茶-緑			緑		
	29	緑				茶-緑			緑		
	23	緑				暗空			暗空		
	17	緑				暗空			暗空		

図 28 圧力、風速、空燃比と火炎の色との関係

なっていて内筒の空気流入配分が、C.C. No. 2 とことなっていることが大きな差になったものと推定される。

7.7 火炎の色

燃焼中の火炎の色は、のぞき窓からの観察により黄色(輝炎)、橙色、茶色、空色、緑色、紫色などに分類してその様子を図 28 および巻末の表に示した。

実験した範囲内では、圧力が高く、風速が遅く、噴霧粒径の大きいほど輝炎になりやすく、逆の場合は、空色、緑色、紫色になってくる。茶色の火炎は、特に燃焼器 C.C. No. 2 の実験で、空燃比が 50 より小さいときに噴射弁近くで多く見られる。茶色になったと

きは、反対側の内筒壁が火炎を透して見えるようになり、輝炎の場合に温度が低下してきてすずが見え始めた状態と考えられる。火炎の色と温度の関係は、燃焼器内の位置、入口圧力、風速、噴霧粒径などによって変化している。

8. む す び

ターボジェットエンジン用缶形燃焼器模型を用いて流入空気量配分および燃料噴霧粒径を変化させ、入口圧力 1.0~0.2 ata, 風速 17~35 m/s, 空燃比 37~120 の範囲で実験したときの燃焼効率、内筒内部の温度分布、火炎の色および吹消え限界の関係を調べ、次のような結果を得た。

(1) 燃焼器入口圧力の影響として、燃焼効率特性を $\eta_c = f(m_a/p_{1s}^n)$ の形で表わすと、圧力指数 n の値は 0.8 ata~0.2 ata で約 $n=1.8$ であり $n=2.0$ に近いことからこの燃焼器模型では全体としてみた場合、ほぼ化学反応が律速であるとみなすことができよう。

(2) 燃焼器内部の温度分布は、圧力を低下させると、壁面の冷却用ルーバからの空気や空気孔からの空気噴流による火炎の冷却領域が広がり、高温領域が減少し、断面平均温度をとると圧力 1.0~0.4 ata 間で平均 200~300 deg C 低下する。ただし、この高温領域の温度は、圧力によってほとんどかわらない。

(3) 実験した入口圧力の範囲では、噴霧粒径がかわらなければ、燃料過濃にもとずく吹消え限界の風速と空燃比の関係は、ほぼ一定である。

(4) 最大断面平均風速は、実験した範囲内では、吹消え特性以外の性能には大きな影響を及ぼさない。

(5) 燃料噴霧粒径は、燃焼効率、内部温度分布、燃料過濃側の吹消え限界などに影響をおよぼし、実験した燃焼器形式では、粒径の大きなもののほうが、空燃比の小さな側の性能が良好であった。また希薄側吹消え限界は、ほとんど噴霧状態の悪化によって起きた。

(6) 火炎の色は、観察によると、一般に、噴霧粒径が大きく、風速がおそく、圧力の高い条件では輝炎になりやすく、噴霧粒径が小さく、風速が速く、圧力の低い条件では、青炎になりやすい傾向をもつ。

(7) 燃焼負荷率は、大気圧状態で、空燃比 80, 燃焼効率 84% のとき 4.7×10^7 kcal/m³h になり、空燃比 55, 燃焼効率 90% のとき 5.9×10^7 kcal/m³h となった。この値は噴霧粒径の小さい場合のほうがいくぶん小さくなる傾向をもっている。

(8) 流入空気量配分の違いでは、低圧時および空燃比の小さな側で、希釈孔の位置が影響する。この位置

によって、未燃焼燃料分が再燃焼するか、またはそのまま冷却されてしまうという差が生ずる。また、燃焼効率が最高になる空燃比の値をかえる。これは全圧損失にも影響をおよぼし、たとえば内筒前流側から多く空気を入れるような円錐形外筒をもつ燃焼器の全圧損失は、円筒形のものに比べて大きくなっている。

9. あとがき

実験した燃焼器模型は、旧型を基本にして修正したものであるため、長さが、最近の燃焼器にくらべるといくぶん長く、内筒内部のガスの流れ模様が比較的単純で、流れに含まれる乱れも少ないと思われる。今後噴射弁付近、一次燃焼領域内のガスの流速の大きな、混合の強い実用形燃焼器を使用し、入口圧力の影響その他、本実験で行なった内容について調べる必要があろう。また測定法については、内部のガスの分析を行なって、燃焼状態を調べることが重要になろう⁶⁾。

なお、本実験の計画に対しては、燃焼研究室長鈴木邦男技官の技術的援助を、実験に際しては、動力課近藤正吉技官、他の人々の協力をいただいた。

文 献

- 1) S.L. Bragg and J.B. Hollidy: The Influence of Altitude Operating Conditions on Combustion Chamber Design, Selected Combustion Problems II (1955), Butterworths Scientific Publications. 1956.
- 2) Ralph T. Dittrich: Low-Pressure Performance of Different Diameter Experimental Combustor Liners, NACA. RM. E53 L16a.
- 3) Talaat E.A. Youssef: Experimental Determination of the Velocity and Pressure Profiles in the Combustion Chamber, SAE 670201, 1967.
- 4) B. Toone and F. Arkless: The Application of Gas Analysis to Combustion Chamber Development, Seventh Symposium (International) on Combustion 1958. Butterworths Scientific Publication, 1959.
- 5) David M. Straight and J. Dean Gernon: Photographic Studies of Preignition Environment and Flame Initiation in Turbojet-Engines Combustors, NACA. RM. E52 I11.
- 6) 大塚貞吉, 斎藤 隆, 堀内正司, 本間幸吉, 宮坂 彰: ガスタービン用缶形燃焼器における燃焼領域のガス組成と燃焼状態, 航技研資料 TM-166 (1969).
- 7) 航空技術研究所原動機部: 航空技術研究所のターボ・ジェットエンジン要素試験設備, 航技研報告 TR-24 (昭和 37 年).

- 8) 棚沢 泰: ガスタービン (1955) 養賢堂.
- 9) 福田 広, 相波哲朗, 松本 宏, 畑山金弥: ジェットエンジン用燃料噴射弁の特性試験, 航技研資料 TM-70 (1965).
- 10) R.A. Cookson, P.G. Dunham and J.K. Kilham: Non-Catalytic coating for Thermocouples, Combustion and Flame 1964. Vol. 8, No. 2.
- 11) J.S. Clarke: The Relation of Specific Heat Release to Pressure Drop in Aero-Gas-Turbine Combustion Chambers, IME & ASME Joint Conference on Combustion Section 5: Gas Turbines (1955).
- 12) J.H. Childs, T.W. Reynolds and C.C. Graves: Relation of Turbojet and Ramjet Combustion Efficiency to Second-Order Reaction Kinetics and Fundamental Flame Speed, NACA Rep. 1334 (1957).
- 13) A.H. Lefebvre and G.A. Halls: Advanced Aero Engine Testing, AGARD 1959, Pergamon (1959).
- 14) J.S. Grobman, R.T. Dittrich and C.C. Graves: Pressure Drop and Air-Flow Distribution in Gas-Turbine Combustor, Transaction of the ASME October, 1957.
- 15) Walter T. Olson: Design and Performance of Gas Turbine Powerplants, Princeton University Press (1960).
- 16) V.S. Zuyev and L.S. Skubachevskii: Combustion Chambers for Jet Propulsion Engines, Pergamon Press (1964).
- 17) 大塚貞吉, 鈴木邦男, 石井浅五郎, 山中国雅: 超軽量ジェットエンジン試作1号機 (JR-100) の燃焼器 (1), 航技研資料 TM-68 (1965).

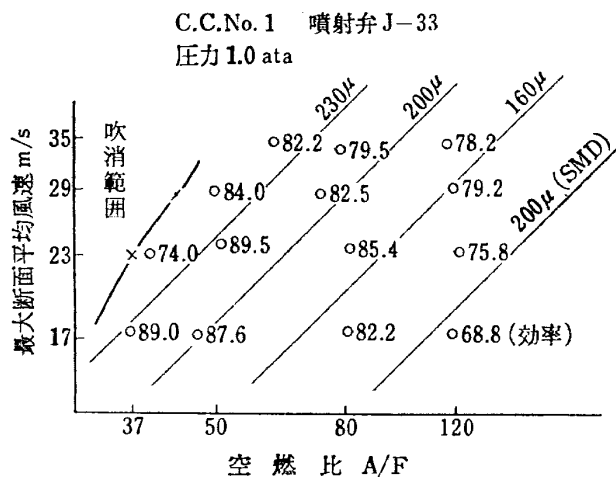


図 29 (a) 燃烧効率, 吹消範囲, SMD

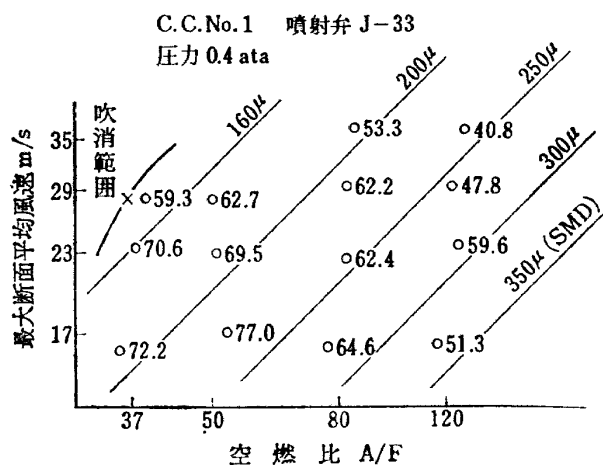


図 29 (d) 燃烧効率, 吹消範囲, SMD

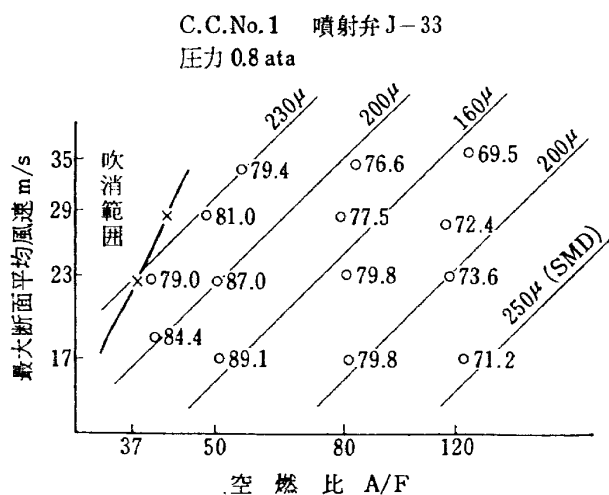


図 29 (b) 燃烧効率, 吹消範囲, SMD

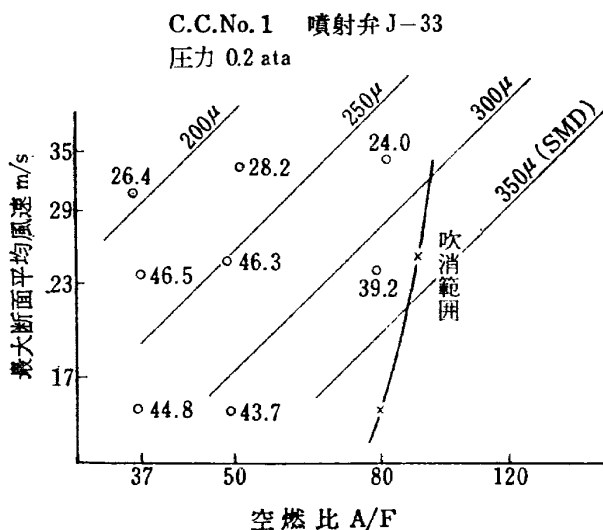


図 29 (e) 燃烧効率, 吹消範囲, SMD

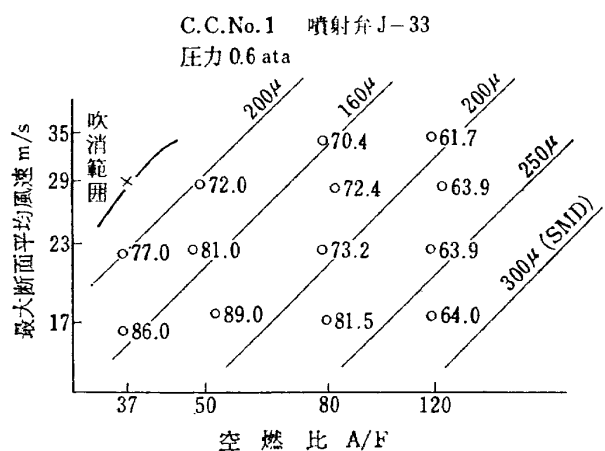


図 29 (c) 燃烧効率, 吹消範囲, SMD

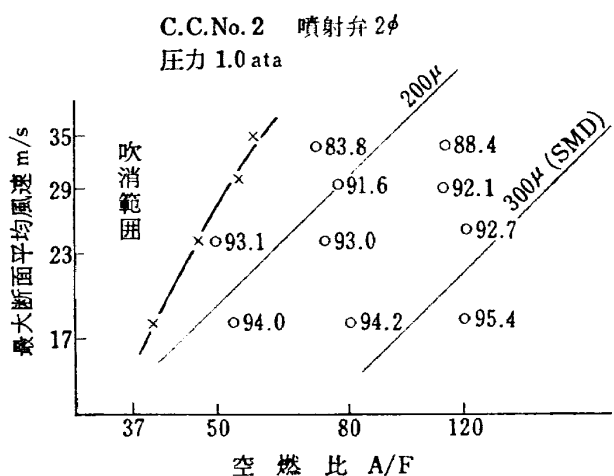


図 29 (f) 燃烧効率, 吹消範囲, SMD

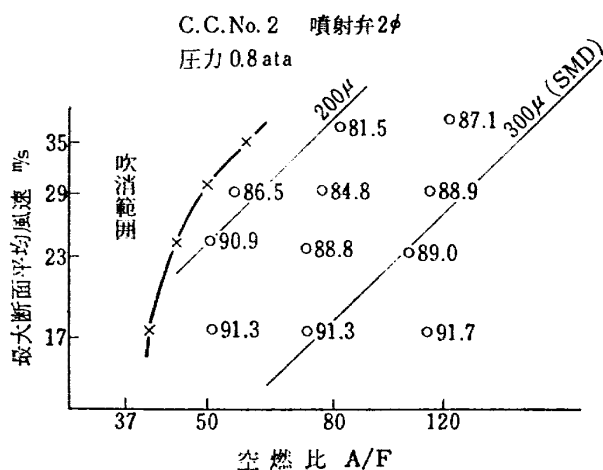


図 29 (g) 燃焼効率, 吹消範囲, SMD

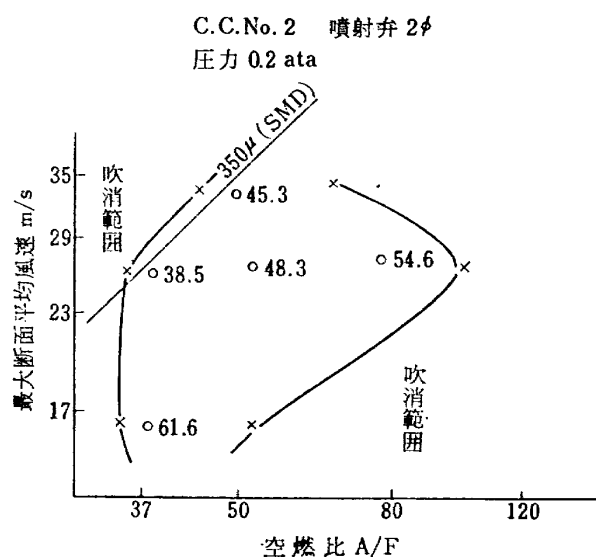


図 29 (i) 燃焼効率, 吹消範囲, SMD

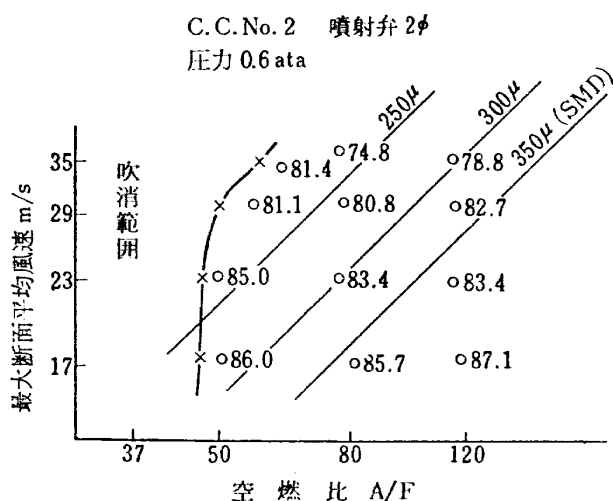


図 29 (h) 燃焼効率, 吹消範囲, SMD

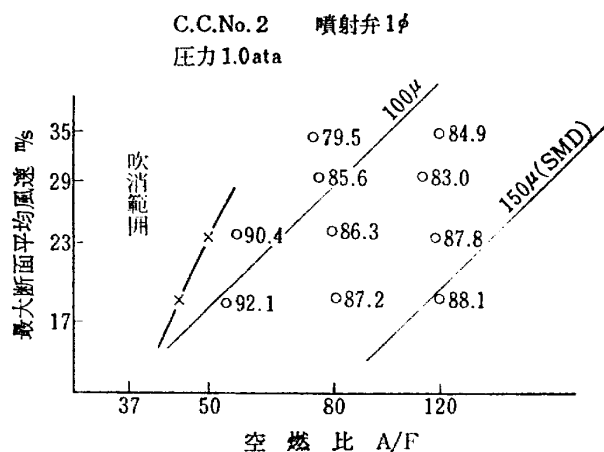


図 29 (k) 燃焼効率, 吹消範囲, SKD

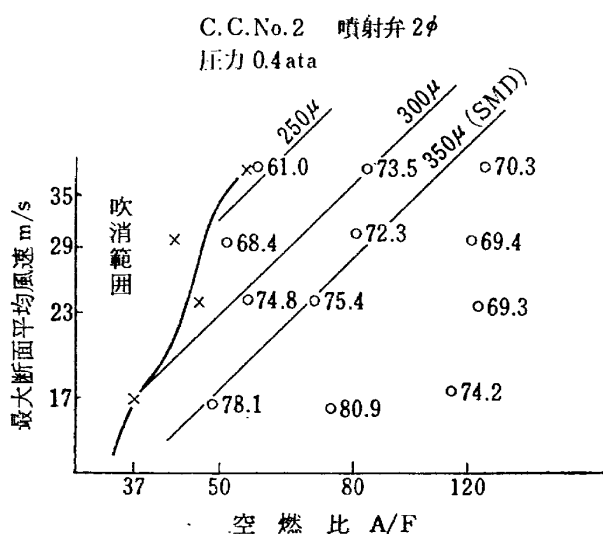


図 29 (i) 燃焼効率, 吹消範囲, SMD

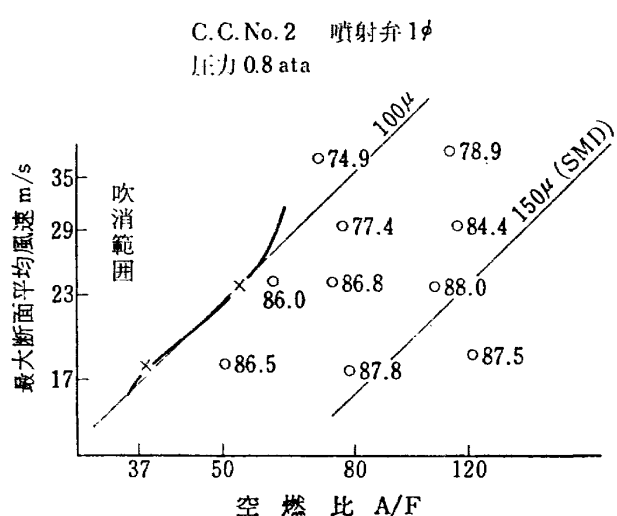


図 29 (l) 燃焼効率, 吹消範囲, SMD

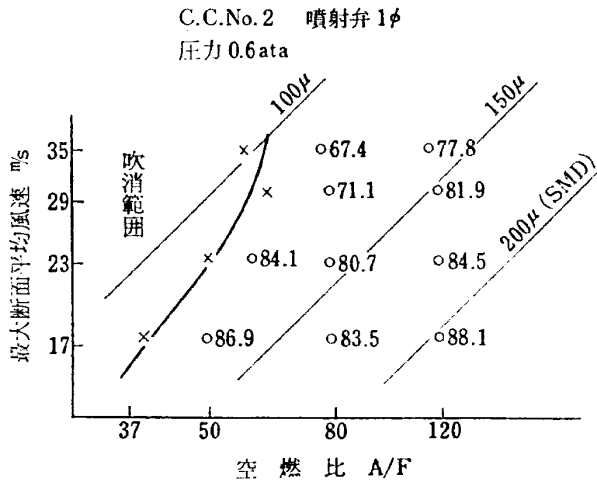


図 29 (m) 燃烧効率, 吹消範囲, SMD

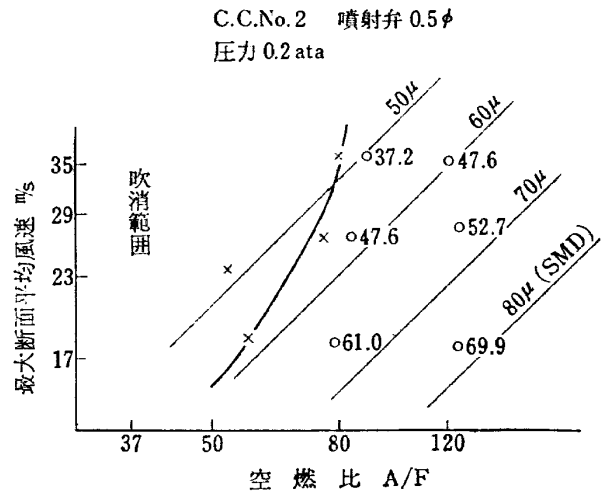


図 29 (p) 燃烧効率, 吹消範囲, SMD

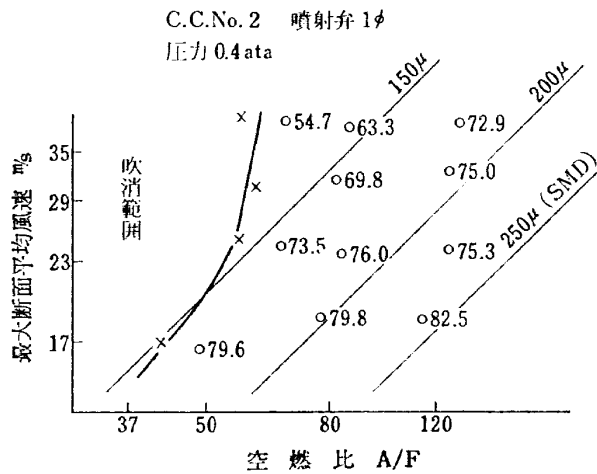


図 29 (n) 燃烧効率, 吹消範囲, SMD

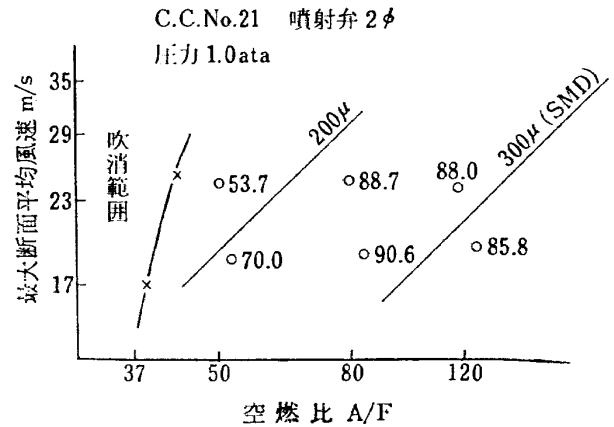


図 29 (q) 燃烧効率, 吹消範囲, SMD

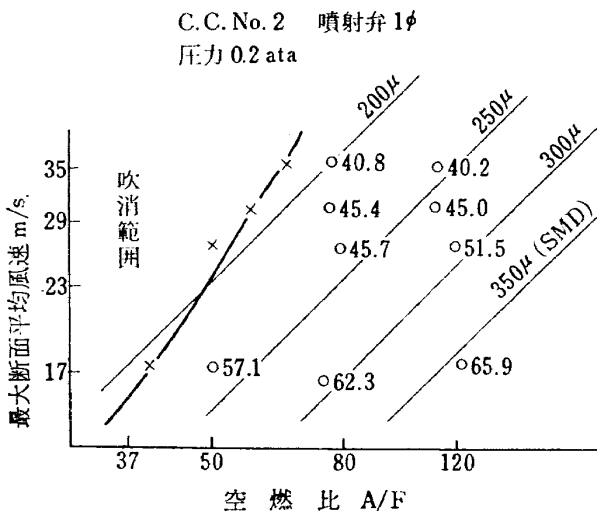


図 29 (o) 燃烧効率, 吹消範囲, SMD

C.C. No. 1 噴射弁 J-33

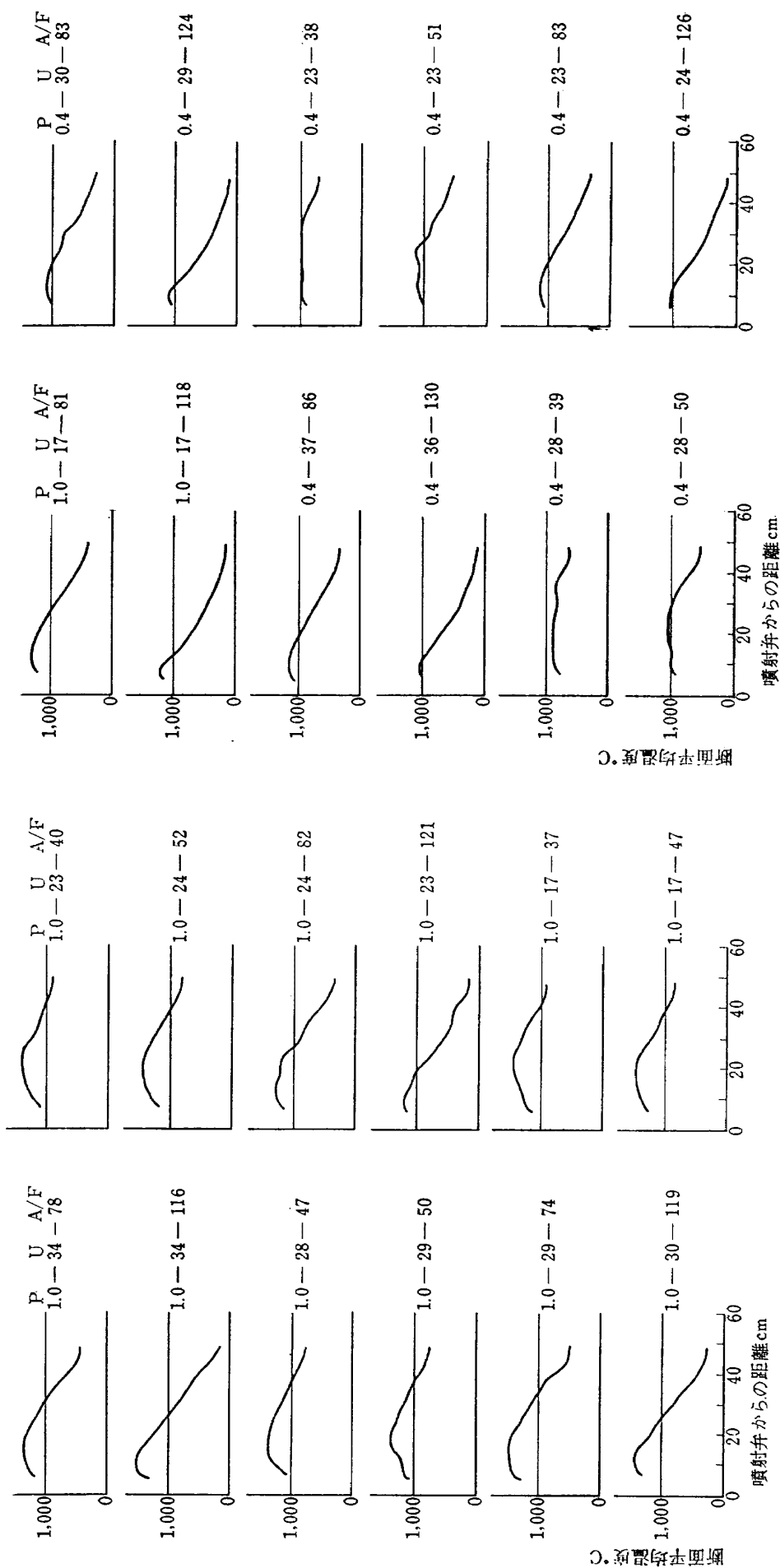
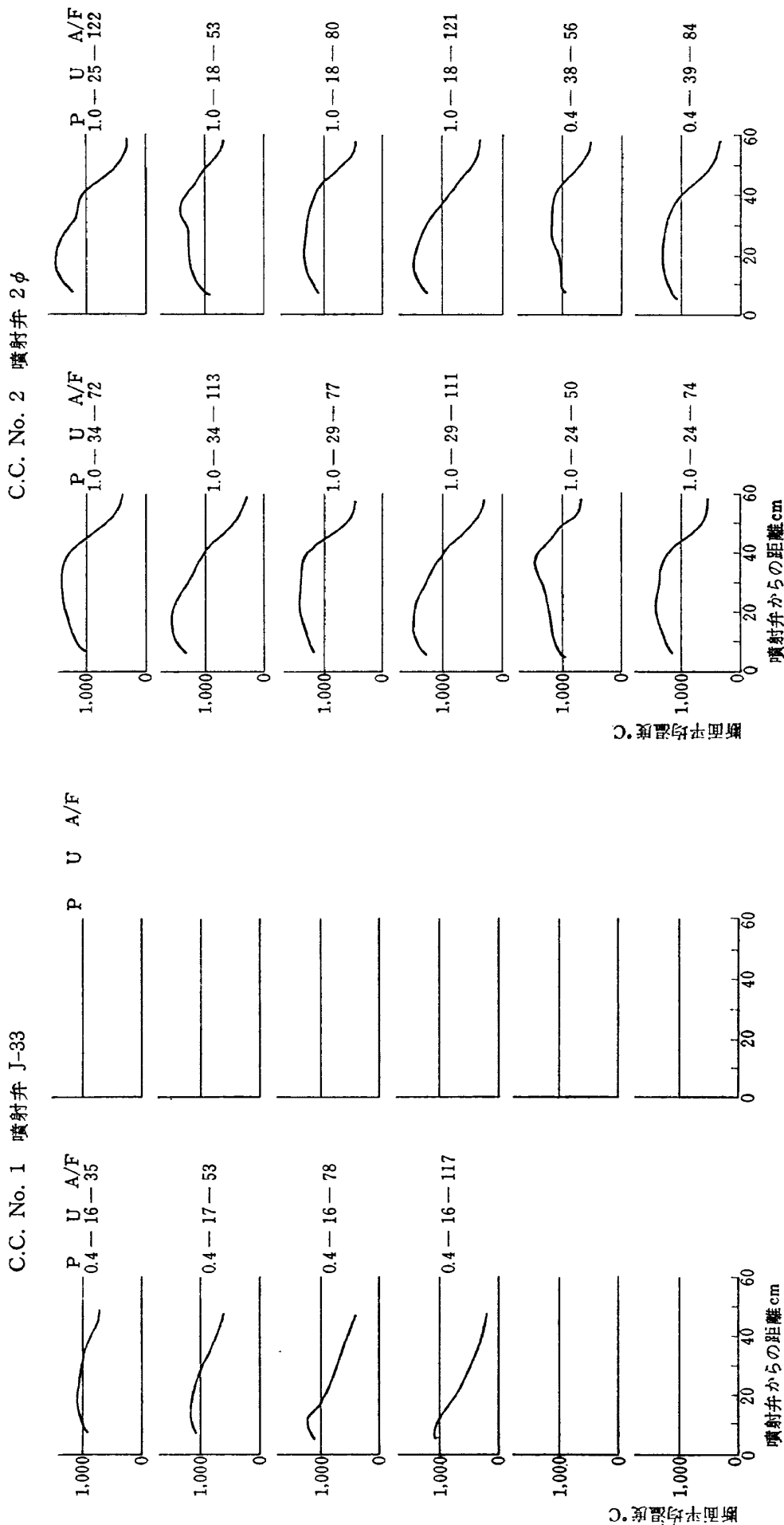
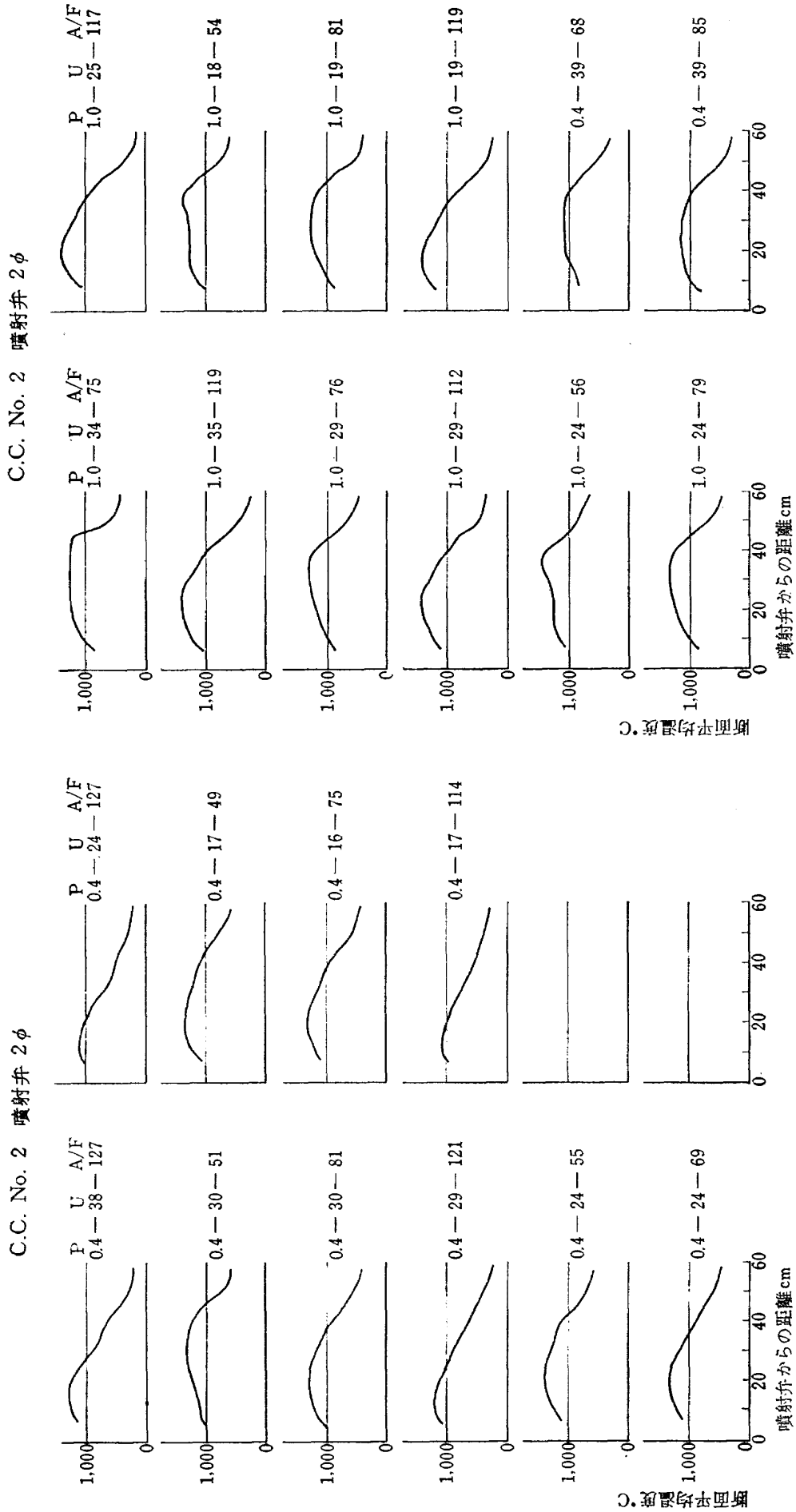


図 30 (b) 内筒内部断面平均温度

図 30 (a) 内筒内部断面平均温度





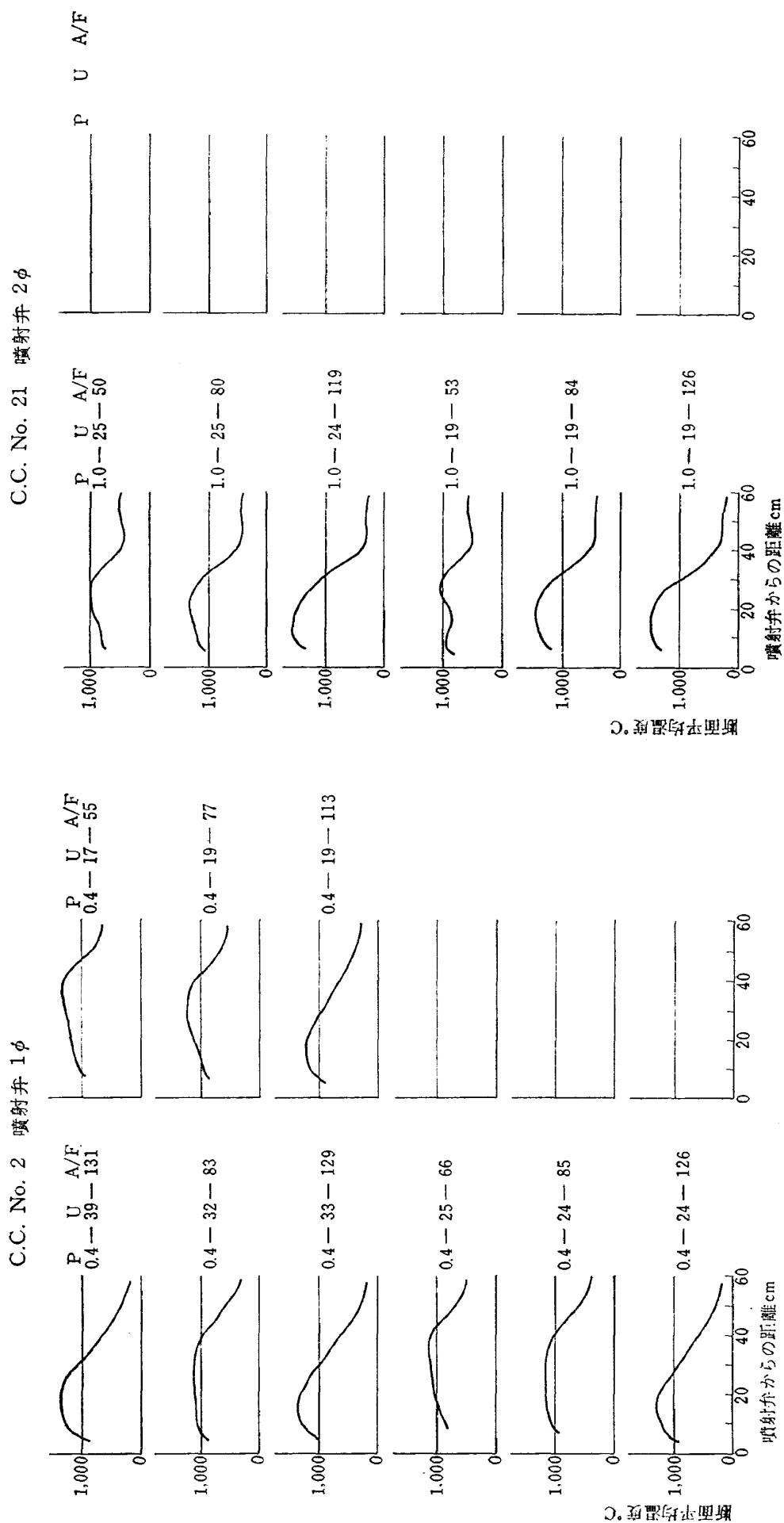


図 30 (g) 内筒内部断面平均温度

図 30 (h) 内筒内部断面平均温度

付表 3

C.C. No. 1 噴射弁 J-33

実験 番号 No.	入口 静圧 P_{1s} ata	最平均 断面風速 U m/s	空 燃 比 A/F ma/mf	燃 料 平均 噴粒 霧径 SMD μ	燃 焼 効 率 η_c %	空 気 流 量 ma g/s	燃 料 流 量 mf g/s	入 空 気 温 度 t_1 °C	出 口 均 ガ ス 温 度 t_2 °C	平 上 均 昇 温 度 Δt deg C	摘 要
1— 1	1.01	34.5	61.9	225	82.2	1016	16.42	28	551	523	
— 2	1.00	33.5	78.2	220	79.5	1025	13.10	14	426	412	
— 3	1.00	34.5	116.2	170	78.2	1030	8.85	20	298	278	
— 4	1.06	28.4	47.4	210	83.0	914	19.30	16	694	678	A/F 44.5 で振動により吹消え
— 5	1.00	29.0	49.6	220	84.0	868	17.50	21	674	653	
— 6	1.00	28.7	73.8	200	82.5	856	11.60	22	472.5	450.5	
— 7	0.99	29.6	118.8	160	79.2	858	7.23	21	297	276	
— 8	1.00	23.0	39.4	220	74.0	690	17.50	20	826	806	A/F 37 で振動により吹消え
— 9	0.99	23.8	51.4	230	89.5	711	13.80	18	704	686	
—10	0.99	23.5	81.5	170	85.4	692	8.50	22	446	424	
—11	1.00	23.2	121.1	185	75.8	693	5.72	21	280	259	
—12	0.99	17.4	36.9	225	89.0	510	13.80	23	917	894	
—13	1.00	17.3	47.0	190	87.6	516	10.30	22	730	708	
—14	1.00	17.2	81.0	170	82.2	517	6.39	20	431	411	
—15	1.00	17.3	118.3	210	68.8	518	4.38	21	263	242	
—16	0.81	33.7	54.6	230	79.4	802	14.70	26	596	570	
—17	0.83	34.7	83.0	190	76.6	875	10.60	16	392	376	
—18	0.80	36.0	126.0	165	69.5	873	6.95	17	247	230	
—19	0.79	28.5	48.5	230	81.0	675	13.90	20	667	647	A/F 42 で吹消え
—20	0.80	28.4	78.0	170	77.5	679	8.70	21	423	402	
—21	0.81	27.8	116.0	180	72.4	673	5.78	21	278	257	
—22	0.80	22.9	39.6	230	79.0	551	13.90	19	786	767	A/F 38~39.6 で振動吹消え
—23	0.80	22.7	50.3	200	87.0	553	11.00	16	684	668	
—24	0.80	23.0	80.2	170	79.8	549	6.86	21	424	403	
—25	0.80	23.0	118.0	200	73.6	549	4.64	21	274	253	
—26	0.80	18.4	40.2	195	84.4	438	10.90	22	881	859	
—27	0.80	17.2	51.0	165	89.1	410	8.05	22	698	676	
—28	0.81	16.9	81.0	200	79.8	409	5.05	21	421	400	
—29	0.80	17.1	124.0	240	71.2	409	3.29	21	260	239	
—30	0.60	34.1	78.5	160	70.4	616	7.86	19	373	354	
—31	0.60	34.1	118.0	190	61.7	618	5.24	18	236	218	
—32	0.59	28.8	48.8	190	72.0	510	10.50	20	595	575	
—33	0.62	28.4	82.8	170	72.4	531	6.54	18	380	362	
—34	0.62	28.3	124.7	220	63.9	532	4.35	17	235	218	
—35	0.60	22.0	36.2	200	77.0	402	11.10	15	812	797	

実験 番号 No.	入口 静圧 P_{1s} ata	最平 大均 断面 風速 U m/s	空 燃 比 A/F ma/mf	燃 料 噴 霧 平均 粒径 SMD μ	燃 燒 効 率 η_c %	空 氣 流 量 ma g/s	燃 料 流 量 mf g/s	入 空 氣 温 度 t_1 °C	出 平 口 均 ガ ス 温 度 t_2 °C	平 上 均 昇 温 度 Δt deg C	摘 要
1—36	0.58	22.4	47.7	165	81.0	391	8.20	19	673	654	
—37	0.59	22.5	77.8	195	73.2	400	5.14	19.5	400.5	381	
—38	0.59	22.2	118.0	240	63.9	402	3.40	13	239	226	
—39	0.59	16.6	36.1	160	86.0	296	8.20	18	901	883	
—40	0.59	17.6	51.8	180	89.0	313	6.05	13	680	567	
—41	0.59	17.1	79.4	225	81.5	301	3.79	21	436	415	
—42	0.58	17.3	119.0	275	64.0	305	2.55	16	240	224	
—43	0.40	36.7	85.6	190	53.3	449	5.25	14	272	258	
—44	0.41	36.2	129.7	175	40.8	454	3.50	14	147	133	
—45	0.41	28.2	39.1	170	59.3	352	9.0	16	601	585	A/F 37 で振動にて吹消え
—46	0.41	28.1	50.3	165	62.7	354	7.03	13	506	483	
—47	0.41	29.5	83.0	210	62.2	361	4.35	22	310	288	
—48	0.41	29.3	124.4	260	47.8	360	2.89	20	180	160	
—49	0.41	23.3	37.8	160	70.6	287	7.58	20	725	705	
—50	0.41	22.9	51.0	185	69.5	284	5.56	18	556	538	
—51	0.42	22.5	83.2	235	62.4	288	3.46	15	321	306	
—52	0.41	23.7	126.0	285	59.6	292	2.31	19	215	196	
—53	0.41	16.0	35.2	190	72.2	196	5.56	21	818	797	
—54	0.41	17.1	53.0	215	77.0	214	4.03	15	584	569	
—55	0.41	16.2	77.7	275	64.6	200	2.58	19	357	338	
—56	0.41	16.3	117.0	—	51.3	200	1.71	20	203	183	
—57	0.21	30.9	36	190	26.4	196	5.42	18	307	289	
—58	0.20	33.4	50.3	215	28.2	204	4.06	15	243	228	
—59	0.20	34.1	81.0	275	24.0	205	2.54	19	143	124	不安定, 内部温度計を入れた ら吹消えた
—60	0.24	23.9	37.0	205	46.5	174	4.70	17	507	490	
—61	0.23	24.7	48.6	230	46.3	171	3.53	19	399	380	
—62	0.24	24.0	78.6	295	39.2	173	2.20	20	226	206	A/F 80 で吹消え燃料噴霧が 悪化する
—63	0.21	15.5	36.4	265	44.8	98.2	2.70	18	507	489	
—64	0.21	16.2	49.9	—	43.7	98.9	2.00	14	357	343	A/F 80 で吹消え燃料噴霧が 悪化する

C.C. No. 2 噴射弁 2φ

実験 番号 No.	入口 静圧 P_{1s} ata	最大 平均 断面 風速 U m/s	空 燃 比 A/F ma/mf	燃料 平均 噴粒 霧径 SMD μ	燃 焼 効 率 η_c %	空 気 流 量 ma g/s	燃 料 流 量 mf g/s	入 空 気 温 度 口度 t_1 °C	出 口 均 ガ ス 温 度 t_2 °C	平 上 均 昇 温 度 Δt deg C	摘 要
2—1	0.98	33.7	71.9	180	83.8	948	13.19	28	494	466	A/F 57 で吹消え
—2	1.00	33.9	112.8	230	88.4	963	8.53	30	351	321	
—3	1.00	29.4	77.2	200	91.6	846	10.95	26	501	475	A/F 50~60 で吹消え
—4	1.00	29.0	111.2	245	92.1	825	7.42	30	369	339	
—5	1.01	24.0	49.7	175	93.1	690	13.89	29	749	720	A/F 45~50 で吹消え
—6	1.00	24.0	73.9	225	93.0	684	8.67	29	503	474	
—7	1.00	25.0	122.2	280	92.7	703	5.75	34	345	301	A/F 45~50 で吹消え
—8	1.00	18.0	53.1	215	94.0	512	9.64	30	712	682	
—9	1.00	18.1	80.0	270	94.2	510	6.38	32	505	473	
—10	1.00	18.2	121.3	320	95.4	515	4.25	31	354	323	
—11	0.80	37.0	81.1	205	81.5	852	10.50	26	432	406	A/F 58 で吹消え
—12	0.80	38.2	122.0	255	87.1	862	7.06	32	326	294	
—13	0.81	29.2	55.1	185	86.5	673	12.22	29	641	612	A/F 50 で吹消え
—14	0.80	29.7	76.8	225	84.8	668	8.70	34	477	443	
—15	0.80	29.1	114.9	285	88.9	664	5.78	34	352	318	A/F 45 で吹消え
—16	0.81	24.2	47.6	195	91.3	558	11.72	29	762	733	
—17	0.80	24.1	50.2	200	90.9	552	11.00	28	726	698	
—18	0.80	23.7	71.6	245	88.8	544	7.56	27	518	491	
—19	0.81	23.6	105.5	300	89.0	557	5.28	23	368	345	A/F 40~45 で吹消え
—20	0.80	17.7	51.1	235	91.3	410	8.03	25	722	697	
—21	0.80	17.3	72.5	300	91.3	390	5.38	32	534	502	
—22	0.80	17.4	112.5	335	91.7	392	3.47	33	368	335	
—23	0.62	34.5	62.3	210	81.4	611	9.81	28	544	516	A/F 57 で吹消え
—24	0.60	35.4	76.1	240	74.8	598	7.86	32	428	396	
—25	0.60	35.3	113.9	300	78.8	598	5.25	32	317	285	A/F 50 で吹消え
—26	0.60	30.2	56.5	220	81.1	518	9.17	28	591	563	
—27	0.60	30.1	77.9	265	80.8	508	6.52	34	447	413	
—28	0.60	29.9	116.8	315	82.7	506	4.33	33	324	291	
—29	0.60	23.3	49.4	235	85.0	401	8.11	27	691	664	A/F 48 で吹消え
—30	0.60	23.1	76.4	300	83.4	397	5.20	27	466	439	
—31	0.60	22.9	114.8	340	83.4	395	3.44	27	326	299	A/F 47 で吹消え
—32	0.60	17.4	50.5	280	86.0	303	6.00	23	682	659	
—33	0.61	17.2	80.9	330	85.7	298	3.68	30	456	426	
—34	0.60	17.5	118.1	—	87.1	299	2.53	30	333	303	
—35	0.41	38.2	56.4	240	61.0	449	7.97	27	458	431	A/F 55 で吹消え

実験 番号 No.	入口 静圧 P_{1s} ata	最平 大均 断面 風速 U m/s	空 燃 比 A/F ma/mf	燃 料 平 均 噴 粒 霧 径 SMD μ	燃 燒 効 率 η_c %	空 気 流 量 ma g/s	燃 料 流 量 mf g/s	入 空 気 温 度 口 t_1 °C	出 平 口 均 ガ ス 温 度 t_2 °C	平 上 均 昇 温 度 Δt deg C	摘 要
2—36	0.41	38.5	84.2	290	73.5	442	5.25	27	382	355	
—37	0.40	38.4	127.4	380	70.3	442	3.47	26	256	230	
—38	0.42	29.6	51.2	255	68.4	357	6.98	27	552	525	A/F 38 で吹消え
—39	0.41	30.4	80.7	330	72.3	359	4.45	26	389	363	
—40	0.41	29.4	121.0	410	69.4	341	2.95	31	279	248	
—41	0.42	24.0	55.1	300	74.8	292	5.30	24	556	532	A/F 46.7 で吹消え (振動あり)
—42	0.42	24.0	69.3	340	75.4	293	4.23	23	457	434	
—43	0.42	23.6	126.9	—	69.3	279	2.31	32	269	237	
—44	0.42	16.6	48.5	340	78.1	202	4.17	24	648	624	A/F 37 で吹消え
—45	0.42	16.4	74.8	—	80.9	193	2.58	27	462	435	
—46	0.40	17.3	114.0	—	74.2	196	1.72	31	300	269	A/F 120 で吹消え (燃料噴霧悪化)
—47	0.21	33.2	49.8	330	45.3	202	4.06	24	388	364	A/F 50 近くで安定
—48	0.20	26.0	38.0	350	38.5	151	3.97	24	422	398	A/F 37~40 で吹消え
—49	0.20	26.6	52.2	—	48.2	154	2.97	24	392	368	
—50	0.22	27.3	75.5	—	54.6	170	2.25	31	326	295	A/F 100 で吹消え (燃料噴霧悪化)
—51	0.22	16.2	37.6	—	61.6	101	2.06	30	518	488	不安定 (燃料噴霧悪化)

C.C. No. 2 噴射弁 1φ

実験 番号 No.	入口 静圧 P_{1s} ata	最平 大均 断面 風速 U m/s	空 燃 比 A/F ma/mf	燃 料 平 均 噴 粒 霧 径 SMD μ	燃 燒 効 率 η_c %	空 気 流 量 ma g/s	燃 料 流 量 mf g/s	入 空 気 温 度 口 t_1 °C	出 平 口 均 ガ ス 温 度 t_2 °C	平 上 均 昇 温 度 Δt deg C	摘 要
3—1	1.0	34.1	74.8	90	79.5	976	13.05	28	455	427	
—2	1.0	34.8	119.0	110	84.9	998	8.39	27	321	294	
—3	1.0	29.4	75.7	95	85.6	835	11.03	30	484	454	
—4	1.0	29.7	110.8	115	82.8	847	7.46	29	336	307	
—5	1.0	29.4	111.9	115	83.5	836	7.47	30	337	307	
—6	1.0	23.9	55.6	95	90.4	680	12.23	29	662	633	A/F 50 で振動により吹消え
—7	1.0	24.0	79.0	110	86.3	685	8.67	28	467	439	
—8	1.0	24.5	117.3	130	87.8	697	5.94	29	337	308	
—9	1.0	18.4	53.8	100	92.1	519	9.64	32	693	661	A/F 45 で振動により吹消え
—10	1.0	18.7	81.0	125	87.2	531	6.56	30	463	433	
—11	1.0	18.6	119.3	150	88.1	527	4.42	30	334	304	

実験 番号 No.	入口 静圧 P_1 , ata	最平均 断面風速 U m/s	空燃 比 A/F ma/mf	燃平均 噴粒徑 SMD μ	燃 燒 効 率 η_c %	空 氣 流 量 ma g/s	燃 料 流 量 mf g/s	入空 氣 温 度 t_1 °C	出平均 口ガス 温度 t_2 °C	平上 均昇 温度 Δt deg C	摘 要
3—12	0.80	37.7	80.4	100	74.9	854	10.61	31	408	377	
—13	0.80	38.5	121.5	120	78.9	875	7.20	30	298	268	
—14	0.80	29.5	76.8	110	77.4	668	8.70	31	437	406	
—15	0.80	29.5	115.5	135	84.4	668	5.78	31	331	300	
—16	0.80	24.1	60.2	105	86.0	552	9.17	28	590	562	A/F 53 で吹消え
—17	0.80	24.1	73.4	115	86.8	553	7.54	27	499	472	
—18	0.80	23.9	106.1	140	88.0	557	5.25	23	363	340	
—19	0.80	18.0	50.4	110	86.5	405	8.03	34	696	662	A/F 38 で吹消え
—20	0.80	17.8	79.7	145	87.8	402	5.04	32	462	430	
—21	0.80	18.7	120.9	170	87.5	422	3.49	32	321	289	
—22	0.60	35.2	75.9	115	67.4	599	7.89	30	389	359	A/F 56.7 で吹消え
—23	0.60	35.3	113.5	140	77.8	596	5.25	34	316	282	
—24	0.60	30.1	78.3	125	71.1	509	6.50	33	400	367	A/F 62 で吹消え
—25	0.60	30.4	118.7	150	81.9	514	4.33	32	316	284	
—26	0.60	23.5	58.8	120	84.1	410	6.97	23	584	561	A/F 50 で吹消え
—27	0.60	23.1	77.9	140	80.7	404	5.19	22	440	418	
—28	0.60	23.3	118.9	175	84.5	409	3.44	22	315	293	
—29	0.60	17.6	49.6	130	86.9	299	6.03	31	706	675	A/F 39 で振動にて吹消え
—30	0.60	17.5	78.6	165	83.5	297	3.78	31	458	427	
—31	0.60	17.7	119.6	205	88.1	299	2.50	33	336	303	
—32	0.40	39.2	67.6	125	54.7	456	6.75	23	351	328	A/F 57 で吹消え
—33	0.40	38.5	85.3	140	63.3	448	5.25	23	327	304	
—34	0.40	39.0	130.7	175	72.9	454	3.47	23	255	232	
—35	0.40	31.6	82.7	150	69.8	367	4.44	24	360	336	A/F 60 で吹消え
—36	0.40	32.5	128.2	190	75.0	377	2.94	24	267	243	
—37	0.41	24.5	66.4	150	73.5	295	4.44	20	463	443	A/F 56.5 で吹消え
—38	0.42	23.9	84.7	175	76.0	294	3.47	21	385	364	
—39	0.42	24.0	126.1	215	75.3	294	2.33	22	270	248	
—40	0.42	16.5	48.7	160	79.6	203	4.17	21	654	633	A/F 42 で吹消え
—41	0.43	16.2	55.3	170	81.0	204	3.69	22	596	574	
—42	0.39	18.7	77.4	200	79.8	207	2.67	30	445	415	
—43	0.39	18.7	113.4	240	82.5	207	1.82	30	325	295	
—44	0.19	36.0	76.3	205	40.8	195	2.56	29	249	220	A/F 65 で吹消え
—45	0.19	35.3	112.7	250	40.2	191	1.70	29	176	147	
—46	0.19	30.7	75.4	220	45.4	166	2.20	29	275	246	A/F 57 で吹消え
—47	0.19	30.6	111.1	270	45.0	164	1.47	29	198	169	

実験 番号 No.	入口 静圧 P_{1s} ata	最平 大均 断面 風速 U m/s	空 燃 比 A/F ma/mf	燃 料 平 均 噴 粒 徑 霧 SMD μ	燃 燒 効 率 η_c %	空 氣 流 量 ma g/s	燃 料 流 量 mf g/s	入 空 氣 温 度 口 度 t_1 °C	出 平 口 均 ガ ス 温 度 t_2 °C	平 上 均 昇 温 度 Δt deg C	摘 要
3—48	0.19	26.6	79.0	240	45.7	144	1.82	29	267	238	A/F 50 で吹消え
—49	0.19	26.8	119.8	295	51.5	145	1.21	29	208	179	
—50	0.20	17.3	50.0	235	57.1	99	1.97	28	479	451	A/F 40 で吹消え
—51	0.20	16.4	74.8	290	62.3	93	1.25	30	368	338	
—52	0.20	17.5	121.7	—	65.9	102	0.83	23	248	225	

C.C. No. 2 噴射弁 0.5φ

実験 番号 No.	入口 静圧 P_{1s} ata	最平 大均 断面 風速 U m/s	空 燃 比 A/F ma/mf	燃 料 平 均 噴 粒 徑 霧 SMD μ	燃 燒 効 率 η_c %	空 氣 流 量 ma g/s	燃 料 流 量 mf g/s	入 空 氣 温 度 口 度 t_1 °C	出 平 口 均 ガ ス 温 度 t_2 °C	平 上 均 昇 温 度 Δt deg C	摘 要
4—1	0.19	36.2	88.9	52	37.2	200	2.25	23	196	173	A/F 80 で吹消え
—2	0.20	35.6	121.0	59	47.6	207	1.71	23	187	164	
—3	0.21	26.9	83.8	53	47.6	165	1.97	22	256	234	A/F 76.8 で吹消え
—4	0.19	27.8	126.5	67	52.7	153	1.21	24	198	174	
—5	0.20	18.1	79.8	66	61.0	105	1.25	24	323	299	A/F 56.2 で吹消え
—6	0.20	17.9	125.0	78	69.9	104	0.83	24	256	222	

C.C. No. 21 噴射弁 2φ

実験 番号 No.	入口 静圧 P_{1s} ata	最平 大均 断面 風速 U m/s	空 燃 比 A/F ma/mf	燃 料 平 均 噴 粒 徑 霧 SMD μ	燃 燒 効 率 η_c %	空 氣 流 量 ma g/s	燃 料 流 量 mf g/s	入 空 氣 温 度 口 度 t_1 °C	出 平 口 均 ガ ス 温 度 t_2 °C	平 上 均 昇 温 度 Δt deg C	摘 要
5—1	1.00	24.5	50.0	175	53.7	695	13.9	30	454	424	A/F 43 で吹消え
—2	0.99	24.6	80.0	225	88.7	691	8.46	31	452	421	
—3	0.99	23.9	118.6	285	88.0	686	5.78	31	335	304	
—4	1.00	18.6	52.8	210	70.0	535	10.12	29	548	519	A/F 38.5 で吹消え
—5	0.99	18.9	84.0	270	90.6	534	6.36	28	459	431	
—6	0.99	19.2	125.7	325	85.8	545	4.27	28	310	282	

付 表 4

C.C. No. 1 噴 射 弁 J-33

実験番号 No.	入口静圧 P_{1s} ata	最大断面 平均風速 U m/s	空燃比 A/F ma/mf	のぞき窓の位置 (噴射弁からの距離) cm							
				14		40					
				火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C
1— 2	1.00	33.5	78.2	暗橙, 緑	1,300	青					
— 3	1.00	34.5	116.2	暗橙	1,500	青					
— 4	1.06	28.4	47.4	黄, 空	1,300	空					
— 5	1.00	29.0	49.6	黄, 空	1,200	空					
— 6	1.00	28.7	73.8	明橙	1,450	紫					
— 7	0.99	29.6	118.8	明橙	1,450	紫					
— 8	1.00	23.0	39.4	橙, 空	1,300	緑					
— 9	0.99	23.8	51.4	明橙	1,350	空					
—10	0.99	23.5	81.5	黄	1,300	黄					
—11	1.00	23.2	121.1	黄	1,250	黄					
—12	0.99	17.4	36.9	黄	1,300	空					
—13	1.00	17.3	47.0	黄	1,400	橙					
—14	1.00	17.2	81.0	黄	1,250	橙					
—15	1.00	17.3	118.3	黄	1,100	黄					
—17	0.83	34.7	83.0	黄緑	1,000	空					
—18	0.80	36.0	126.0	橙	1,000	空, 紫					
—19	0.79	28.5	48.5	赤, 緑	1,150	緑					
—20	0.80	28.4	78.0	橙, 空	1,200	紫, 緑					
—21	0.81	27.8	116.0	橙, 空	1,150	紫					
—22	0.80	22.9	39.6	緑	1,250	緑青					
—23	0.80	22.7	50.3	橙, 空	1,300	空					
—24	0.80	23.0	80.2	橙	1,250	空, 紫					
—25	0.80	23.0	118.0	橙	1,100	紫					
—26	0.80	18.4	40.2	黄, 空	1,300	空					
—27	0.80	17.2	51.0	黄	1,350	空, 橙					
—28	0.81	16.9	81.0	黄	1,200	黄					
—29	0.80	17.1	124.0	黄	1,100	黄					
—30	0.60	34.1	78.5	緑	1,100	空					
—31	0.60	34.1	118.0	緑	1,100	緑					
—32	0.59	28.8	48.8	緑	1,150	紫					
—33	0.62	28.4	82.8	緑	1,200	空					
—34	0.62	28.3	124.7	赤, 緑	1,150	緑					
—35	0.60	22.0	36.2	緑	1,100	緑					
—36	0.58	22.4	47.7	緑	1,250	青					

実験番号 No.	入口静圧 P_{1s} ata	最大断面 平均風速 U m/s	空燃比 A/F ma/mf	のぞき窓の位置 (噴射弁からの距離) cm							
				14		40					
				火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C
1-37	0.59	22.5	77.8	緑	1,250	青					
-38	0.59	22.2	118.0	青	1,150	青					
-39	0.59	16.6	36.1	黄	1,200	黄, 青					
-40	0.59	17.6	51.8	橙	1,250	橙, 青					
-41	0.59	17.1	79.4	橙	1,250	青					
-42	0.58	17.3	119.0	緑	1,150	緑					
-43	0.40	36.7	85.6	緑	1,150	青					
-44	0.41	36.2	129.7	青	1,000	青					
-45	0.41	28.2	39.1	緑	900	緑					
-46	0.41	28.1	50.3	緑	1,000	青					
-47	0.41	29.5	83.0	緑	1,050	青					
-48	0.41	29.3	124.4	青	1,050	青緑					
-49	0.41	23.3	37.8	緑	1,000	青					
-50	0.41	22.9	51.0	緑	1,100	青					
-51	0.42	22.5	83.2	緑	1,150	青					
-52	0.41	23.7	126.0	緑	1,050	緑					
-53	0.41	16.0	35.2	緑	1,000	緑					
-54	0.41	17.1	53.0	赤, 緑	1,200	青					
-55	0.41	16.2	77.7	赤, 緑	1,200	青					
-56	0.41	16.3	117.0	赤, 青	1,050	青					
-57	0.21	30.9	36	緑	950	緑					
-58	0.20	33.4	50.3	緑	950	青					
-59	0.20	34.1	81.0	緑	—	緑					
-60	0.24	23.9	37.0	緑	1,050	緑					
-61	0.23	24.7	48.6	緑	1,050	緑					
-62	0.24	24.0	78.6	緑	—	緑					
-63	0.21	15.5	36.4	緑	1,050	緑					
-64	0.21	16.2	49.9	空	1,000	緑					

C.C. No. 2 噴射弁 2φ

実験番号 No.	入口静圧 P_{1s} ata	最大断面 平均風速 U m/s	空燃比 A/F ma/mf	のぞき窓の位置 (噴射弁からの距離) cm							
				13		23		45		57	
				火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C
2- 1	0.98	33.7	71.9	暗橙	1,220	空	1,400	空		空	
- 2	1.00	33.9	112.8	黄橙	1,500	橙	1,650	橙紫			
- 3	1.00	29.4	77.2	黄橙	1,250	黄橙空	1,430	空			
- 4	1.00	29.0	111.2	黄	1,450	黄	1,620	黄		黄	

実験番号 No.	入口静圧 P_{1s} ata	最大断面 平均風速 U m/s	空燃比 A/F ma/mf	のぞき窓の位置 (噴射弁からの距離) cm							
				13		23		45		57	
				火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C
2— 5	1.01	24.0	49.7	暗橙緑	1,150	青緑橙	1,120	空紫		空	
— 6	1.00	24.0	73.9	黄	1,280	黄	1,500	黄		黄	
— 7	1.00	25.0	122.2	黄	1,450	黄	1,620	黄			
— 8	1.00	18.0	53.1	黄	1,150	空	1,170	紫橙		橙	
— 9	1.00	18.1	80.0	黄	1,250	黄	1,450	黄		黄	
—10	1.00	18.2	121.3	黄	1,430	黄	1,650	黄			
—11	0.80	37.0	81.1	茶	1,250	空	1,450	空		空	
—12	0.80	38.2	122.0	桃	1,400	橙紫	1,580	空			
—13	0.81	29.2	55.1	青緑茶	1,060	緑	1,250	空		空	
—14	0.80	29.7	76.8	黄	1,280	明橙紫	1,450	空		空	
—15	0.80	29.1	114.9	黄橙	1,400	橙	1,580	紫			
—16	0.81	24.2	47.6	暗緑または橙	1,100	青紫空	1,100	橙空		空	
—17	0.80	24.1	50.2	橙または空	1,070	空	1,050	紫		空	
—18	0.80	23.7	71.6	黄	1,250	黄	1,500	橙		橙	
—19	0.81	23.6	105.5	黄	1,400	黄	1,500	橙		橙	
—20	0.80	17.7	51.1	黄または空	1,070	橙空	1,170	橙紫		空	
—21	0.80	17.3	72.5	黄	1,250	黄	1,500	黄		黄	
—22	0.80	17.4	112.5	黄	1,400	黄	1,550	黄			
—23	0.62	34.5	62.3	茶, 青緑	1,180	緑	1,200	空		空	
—24	0.60	35.4	76.1	茶橙	1,250	空	1,300	空		空	
—25	0.60	35.3	113.9	空橙	1,400	橙, 空	1,480	空			
—26	0.60	30.2	56.5	褐青緑	1,040	緑	1,100	空		空	
—27	0.60	30.1	77.9	黄橙茶	1,300	橙紫	1,430	空		空	
—28	0.60	29.9	116.8	黄橙	1,400	橙	1,500	空			
—29	0.60	23.3	49.4	暗橙青緑	1,050	緑	1,050	空		空	
—30	0.60	23.1	76.4	黄	1,300	明橙黄	1,600	橙		橙	
—31	0.60	22.9	114.8	黄	1,300	黄	1,430	黄			
—32	0.60	17.4	50.5	橙黄	1,170	橙紫	1,250	橙紫		空	
—33	0.61	17.2	80.9	黄	1,300	黄	1,600	黄		黄	
—34	0.60	17.5	118.1	黄	1,300	黄	1,530	黄			
—35	0.41	38.2	56.4	褐青緑	1,000	緑	1,060	空		空	
—36	0.41	38.5	84.2	橙空	1,230	橙空	1,420	空		空	
—37	0.40	38.4	127.4	橙, 空	1,250	橙空	1,360	空紫			
—38	0.42	29.6	51.2	橙青緑	1,100	青緑	1,080	空		空	
—39	0.41	30.4	80.7	橙	1,230	橙紫	1,450	空青		空	
—40	0.41	29.4	121.0	橙	1,430	橙, 青	1,250	空紫			

実験番号 No.	入口静圧 P_{1s} ata	最大断面 平均風速 U m/s	空燃比 A/F ma/mf	のぞき窓の位置 (噴射弁からの距離) cm							
				13		23		45		57	
				火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C
2-41	0.42	24.0	55.1	橙	1,250	橙空	1,370	空		空	
-42	0.42	24.0	69.3	橙	1,220	橙	1,350	空		空	
-43	0.42	23.6	126.9	橙	1,150	橙, 空	1,000	暗紫			
-44	0.42	16.6	48.5	黄橙	1,250	橙紫	1,430	空橙		青	
-45	0.42	16.4	74.8	黄	1,230	黄	1,500	黄空			
-46	0.40	17.3	114.0	橙または青	1,050	橙青	930	紫			
-47	0.21	33.2	49.8	茶緑	1,050	青緑	1,200	空		空	
-48	0.20	26.0	38.0	褐緑	—	緑	—	空		空	
-49	0.20	26.6	52.2	暗橙緑	1,050	緑	1,250	青緑		緑	
-50	0.22	27.3	75.5	橙, 空	—	空	—	空			
-51	0.22	16.2	37.6	暗橙緑	—	暗緑	—	青緑			

C.C. No. 2 噴射弁 1φ

実験番号 No.	入口静圧 P_{1s} att	最大断面 平均風速 U m/s	空燃比 A/F mo/mf	のぞき窓の位置 (噴射弁からの距離) cm							
				13		23		45		57	
				火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C
3-1	1.0	34.1	74.8	橙紫	1,050	空緑	1,360	空緑		空	
-2	1.0	34.8	119.0	橙	1,250	空	1,500	空			
-3	1.0	29.4	75.7	紫	1,000	明緑	1,350	空			
-4	1.0	29.7	110.8	黄橙	1,250	空	1,500	空			
-6	1.0	23.9	55.6	空	1,200	空	1,280	空		空	
-7	1.0	24.0	79.0	暗褐	1,025	緑	1,300	空			
-8	1.0	24.5	117.3	橙	1,340	空	1,600	空			
-9	1.0	18.4	53.8	橙空	1,225	空橙	1,320	橙紫		空	
-10	1.0	18.7	81.0	暗橙黄	1,050	黄空	1,350	紫			
-11	1.0	18.6	119.3	橙	1,400	橙空	1,630	薄橙			
-12	0.80	37.7	80.4	暗褐紫	1,000	緑	1,330	空			
-13	0.80	38.5	121.5	橙	1,300	緑	1,500	空紫			
-14	0.80	29.5	76.8	暗茶紫	1,040	青緑	1,420	空			
-15	0.80	29.5	115.5	茶橙	1,280	緑	1,500	空			
-16	0.80	24.1	60.2	暗緑	1,120	明緑	1,270	空		空	
-17	0.80	24.1	73.4	橙茶	1,000	緑	1,250	空			
-18	0.80	23.9	106.1	橙	1,200	緑	1,450	空			

実験番号 No.	入口静圧 P_1 , ata	最大断面 平均風速 U m/s	空燃比 A/F ma/mf	のぞき窓の位置 (噴射弁からの距離) cm							
				13		23		45		57	
				火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C
3—19	0.80	18.0	50.4	暗緑	1,400	緑	1,350	橙		空	
—20	0.80	17.8	79.7	茶	1,075	緑	1,350	空			
—21	0.80	18.7	120.9	橙茶	1,400	紫	1,630	紫橙			
—22	0.6	35.2	75.9	茶紫	1,050	青緑	1,420	空			
—23	0.6	35.3	113.5	茶緑	1,300	青緑	1,500	空			
—24	0.60	30.1	78.3	茶紫	1,050	青緑	1,350	空		空	
—25	0.60	30.4	118.7	橙空	1,325	緑空	1,520	暗空			
—26	0.60	23.5	58.8	暗青緑	1,100	緑空	1,150	空		空	
—27	0.60	23.1	77.9	茶緑	980	緑	1,200	薄青緑			
—28	0.60	23.3	118.9	橙, 空	1,280	空	1,550				
—29	0.60	17.6	49.6	暗青緑	1,250	青緑	1,250	空		空	
—30	0.60	17.5	78.6	茶	1,050	暗緑	1,300	空		空	
—31	0.60	17.7	119.6	橙	1,330	橙, 空	1,550				
—32	0.40	39.2	67.6	暗茶	930	緑	1,150	空			
—33	0.40	38.5	85.3	茶	1,050	緑	1,170	空			
—34	0.40	39.0	130.7	緑空	1,270	空	1,500	空			
—35	0.40	31.6	82.7	茶	1,050	緑	1,300	空			
—36	0.40	32.5	128.2	空	1,325	空	1,450				
—37	0.41	24.5	66.4	暗茶青緑	900	緑	1,050	空			
—38	0.42	23.9	84.7	茶, 青緑	1,050	緑	1,100	空			
—39	0.42	24.0	126.1	赤空	1,250	空	1,340	紫			
—40	0.42	16.5	48.7	青緑	1,075	緑	1,060	空		空	
—42	0.39	18.7	77.4	暗茶青緑	1,000	緑	1,000	空紫			
—43	0.39	18.7	113.4	橙空	1,200	空	1,350	紫			
—44	0.19	36.0	76.3	青緑	1,000	緑	1,025	空			
—45	0.19	35.3	112.7	空	1,120	空	1,120				
—46	0.19	30.7	75.4	青緑	1,030	青緑	1,150				
—47	0.19	30.6	111.1	青緑	1,100	空	1,100				
—48	0.19	26.6	79.0	暗青緑	1,000	空	1,200	空			
—49	0.19	26.8	119.8	青緑	1,100	空	1,250				
—50	0.20	17.3	50.0	暗青緑	—	青緑	—	空		空	
—51	0.20	16.4	74.8	暗青緑	1,100	青緑空	1,250	空			
—52	0.20	17.5	121.7	暗青緑	1,000	空	1,150				

C.C. No. 2 噴 射 弁 0.5φ

実験番号 No.	入口静圧 P_1 , ata	最大断面 平均風速 U m/s	空燃比 A/F ma/mf	のぞき窓の位置 (噴射弁からの距離) cm							
				13		23		45		57	
				火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C	火炎の色	ガス温度 °C
4— 1	0.19	36.2	88.9	緑	—	緑	—				
— 2	0.20	35.6	121.0	空	870	空	1,000				
— 4	0.19	27.8	126.5	空	870	空	1,050				
— 5	0.20	18.1	79.8	茶青緑	800	緑	750	空			
— 6	0.20	17.9	125.0	茶, 青緑	900	緑, 空	1,050				

TR-195	箱型主翼構造模型のひずみ分布とたわみに関する計算と実験 Results of Strain and Deflection Measurements Carried out on Model wings and their Comparison with Calculated Results	1970年 5 月	久能 和夫
TR-196	回転式動安定測定装置による遷音速試験 Dynamic Stability Test in Transonic Wind Tunnel Rotary System	1970年 5 月	小橋安次郎, 河野 長正 西 武 徳, 宮沢 政文
TR-197T	Wind Tunnel Investigations of the STOL Airplane, with Attention to the Relations between the Aerodynamic Characteristics and their Wake Structure	May, 1970	Norio Inumaru Kiyomi Kitamura Nagakatsu Kawahara Hitoshi Takohashi Tomoaki Suzuki
TR-198	低マッハ数における翼型抗力の計算 A Calculation of the Profile Drag of Airfoils at Low Mach Numbers	1970年 5 月	河崎 俊 矢, 石田 洋 治
TR-199	鈍い頭部を有する円筒物体まわりの超音速流れ Supersonic Flow Fields Cylindrical Bodies with Blunt Nose	1970年 6 月	河 本 厳
TR-200	フライングテストベッドの高度制御システムの検討 II シミュレーションによる二, 三の問題 点の検討 Analytical and Simulation Studies on the Height Control System of Flying Test Bed (II) On Some Problems	1970年 6 月	堀川 勇 壮, 甲斐 忠 夫
TR-201	FA-200 改機の風洞試験 (III) 地面効果 Low Speed Wind Tunnel Tests of the FA-200-XS Airplane Model Influenced with Ground Effects	1970年 3 月	広末 健一, 高橋 宏
TR-202	過酸化水素分解ロケットモータの実験 The Experimental Investigation of Hydrogen Peroxide Preactor	1970年 7 月	清水 昭 紀, 種 村 利 一
TR-203	固体ロケット多分力テストスタンドの精度について On the Accuracy of the Multi-Component Test Stand	1970年 7 月	石 井 進 一, 山 田 晃 鎮 西 信 夫, 引 地 豊 三 工 藤 賢 司

航空宇宙技術研究所報告 204 号

昭和 45 年 7 月 発行

発 行 所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺町 1880
電話武蔵野三鷹(0422)44-9171(代表) 182
印 刷 所 株式会社 東京 プ レ ス
東京都板橋区桜川 2~27~12
