

UDC 621.45.034:
614.7:
551.5

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-297

新形式ガスタービン燃焼器の研究

(第1報 常圧性能試験)

田丸 卓・鈴木邦男

1976年4月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

| 項 目 | 担 当 者 |
|------|---------------------|
| 設 計 | 田頭 健*, 中野静嘉*, 長門侃二* |
| 実験計測 | 中野静嘉*, 水村伝治*, 畠山忠利* |

* 石川島播磨重工株式会社

目 次

| | |
|-------------------------|----|
| 1. はしがき | 1 |
| 2. 設計概念 | 1 |
| 3. 燃焼器構造 | 3 |
| 3.1. 燃焼器形式 AS-0 | 4 |
| 3.2. " AS-1 | 6 |
| 3.3. " AS-2 | 7 |
| 3.4. " AS-3 | 8 |
| 4. 実験装置および実験方法 | 10 |
| 5. 燃焼器特性の比較 | 11 |
| 5.1 燃焼器形式 AS-0 の特性 | 12 |
| 5.2 " AS-1 " | 15 |
| 5.3 " AS-2 " | 16 |
| 5.4 " AS-3 " | 19 |
| 6. 検 討 | 23 |
| 6.1 各燃焼器の特性比較 | 23 |
| 6.2 AS-0 形式の検討 | 24 |
| 6.3 AS-1 " | 25 |
| 6.4 AS-2 " | 26 |
| 6.5 AS-3 " | 26 |
| 7. ま と め | 28 |
| 文 献 | 29 |
| 付 録 | 30 |

新形式ガスタービン燃焼器の研究

(第1報, 常圧性能試験)*

田丸 卓** 鈴木 邦男**

概 要

有害排気成分のより低い高圧形燃焼器の開発を目ざして、円環形燃焼器の部分模型であるセクタ(扇形)燃焼器を設計、試作し、その大気圧状態の燃焼実験をおこなった。模型は、気流微粒化又は予混合による燃料供給法を採用した4形式を試みた。本報告では、その第1報として、大気圧状態での燃焼性能を調べ、それらの比較をおこなった。

1 は し が き

最近の航空界にあっては、資源節約、低公害の趨勢から、経済性の高いクリーンエンジンが期待されている。

燃料消費率の低いファンエンジンは、その経済性の面での要望に応えるものであるが、反面、圧縮器出口の圧力と温度が高くなるため排煙や窒素酸化物等の有害排気物質が出やすい条件となる。

それら、個々の有害排気成分を減少させるための指針は、最近までの豊富な基礎研究の結果から明らかにされつつある。しかし、それらの方策を実際の燃焼器に具体的にどのように応用し、燃焼器設計をおこなったらよいかについては、未だ確立された方法や資料がない。

そこでここでは、有害排気成分低減、燃料の微粒化、熱伝達等の基礎研究を土台に、燃焼器性能がすぐれ、かつ低公害の燃焼器を製作することを試みた。

2 設 計 概 念

現在の高圧形ガスタービン燃焼器の有害排気発生の諸原因は、燃料供給法と一次燃焼領域の構造を改良することによって、ある程度解消できると考え、設計をすすめる。

すなわち、加圧噴霧式燃料噴射弁とスワローを用いて一応の性能を示したCC-10¹⁾をモデルにしたセクタ(扇形)模型で、その燃料供給法と一次燃焼領域部分を改造したものをつくり、試験することにした。

模型のその他の部分の改造は、既製部品との互換性の

点から最小限の範囲にとどめた。

本燃焼器研究で低減を意図する有害排気成分とは、

- (1) 排 煙
- (2) 窒素酸化物 (NO_x)
- (3) 一酸化炭素 (CO)
- (4) 未燃焼炭化水素 (THC)

の四種を対象とする。

それらの低減のための必要条件は、一般的に次のようにいわれている。

まず、排煙の減少には、燃焼領域でのすすの発生を抑制することが必要である。そのためには燃料と空気の予混合をはかり、局部的燃料過濃部分をつくらない方が有効である。

McFarlane²⁾によると主要な炭化水素燃料では当量比が1.5以上となると高圧の環境で著しいすすの発生をきたす。したがって、従来の圧力式燃料噴射弁の場合のように、液体燃料を直接、高温の燃焼室内へ噴射することは好ましくない。

NO_x減少のためには、燃焼火炎温度を低く保つこと、予混合などの方法により燃料の気化、混合をよくして反応を促進し、高温領域内の滞留時間を短くすることが必要である。また、NO_xの発生は、混合気が稀薄でかつ良好な混合で状態であるとき、著しく低く保つことができるとの報告がある。

以上のことと、煙の排出防止、作動範囲の広さなどを考え合わせて、一次燃焼領域の平均空燃比をできるだけ大きくとることとし、燃料と空気の混合をよくする設計とする。

また、燃焼ガスが高温の領域へ長くどまらないように不必要なよどみ領域をつくらないこととする。

一酸化炭素、および未燃焼炭化水素は、主として不完全燃焼生成物であることから、完全燃焼をはかることが、これらの排出を抑制する第一歩である。そして、未燃焼燃料等がライナ冷却用空気などによって未燃焼のまま排出されるのを出来るだけ避ける燃焼器内流れ模様とする。

これら、排出物低減にたいする研究成果は、参考文献^{4),5)}等に詳しい。

以上のように有害排気成分低減に関する大筋の対策は知られているものの、実用形燃焼器でそれをどのように

* 昭和50年12月12日受付

** 原 動 機 部

実現するかは、かなり難かしい問題である。

最近の流れや燃焼に関する研究の発展は著しいものがあるが、実用形ガスタービン用燃焼器の高負荷燃焼実現で、直接応用できる理論や設計法は未だ確立されていない。

また、限られた人員、費用、および期間で、理論的解析結果などから、燃焼器一次燃焼領域への空気や燃料の導入法について実機に近いシミュレーションをおこなうことも現段階では極めて困難である。

したがって、本研究の場合には、文献による結果と個々の要素の基礎実験結果を尊重することとし、各要素の組み合わせによって生ずる未知の現象については、出来るだけ実機に近い模型を製作し、実験的に修正、改良していく方針とした。

原則として設計方針を次のようにたてて、燃焼器一次燃焼領域と、燃料供給系を設計した。

- (1) 基礎研究による有害排気成分低減の方策にそったもの。
- (2) 実用性の見込まれるもの。
- (3) 主燃料供給は、加圧微粒化方式を避け、気流微粒化を利用する方式とする。
- (4) 高温域への液体燃料の直接噴射を避ける。
- (5) 一次燃焼領域空燃比は、12程度とする。
- (6) 負荷変動に依存しない安定な流れで、かつ強い混合力をもつ流れ模様を有するもの。
- (7) 燃焼室内への突起物は、焼損防止のため出来るだけ避ける。
- (8) FJR710用の円環形、およびセクタ（扇形）燃焼試験用模型の外筒、ライナ等を最小の変更で使用できること。
- (9) 単純、簡単な構造で、保守が容易なもの。

以上の項目のいくつかについて、つぎに説明する。

本研究の場合、(2)は重大な意味をもっている。仮に(1)を実現することができても、燃焼器の作動機構が複雑になり過ぎるようであってはならない。また、信頼性、耐久性、保守の容易さ、製造コスト、重量等の面で、現用の燃焼器に優るとも劣らないものである必要がある。

(3)は次のような理由にもとづく方針である。

従来多く使われていた加圧噴霧式燃料噴射弁を用いた形式では、燃料液体を直接、高温の燃焼室内へ噴射するので、局所的な燃料過濃領域が形成されるのは避け得ない。またこの形式は燃焼室内圧力と燃料供給圧力の差が燃料を微粒化するエネルギーであり、かつ燃料を燃焼室内へ適度に分散させるモーメントを与えるものである。ところが、燃焼室内圧力が最近のファンエンジンの場合

のように、20気圧前後にもなってくると、それらの効果を十分発揮することが難かしい。その理由は、加圧噴霧形燃料噴射弁からの燃料平均粒径が吐出圧の四乗根に反比例しているので、燃焼性能を低下させないよう十分に良好な燃料微粒化特性を保とうとすると高負荷燃焼実現で燃料ポンプ等の補機に過大な負担がかかる。また、高圧の場合には燃焼室内気体密度が増加し、同時に燃料自身が臨界状態に近くなって液滴が十分な貫通力をもたなくなってくる。

そこで、高圧雰囲気中の燃料の微粒化は、気流のせん断力を利用し、燃料の分散は、気流の乱れや流れ模様によって所要のものへ調整することが、より有利と考えられる。

この気流微粒化のもうひとつの利点は、高圧力比エンジンの場合の燃焼器入口空気、すなわち微粒化用の空気の温度が高いので、ある程度の燃料気化が期待できる。燃料が気化すれば、いわゆる予混合が容易となり、燃焼完了時間が短縮される。また、乱れや混合の著るしい場合には、過濃混合気部分を少なくできよう。

(5)は、一次燃焼領域の空燃比を、作動条件に支障のない限り当量比に近い混合比として、早急に燃焼を完了させようとするものである。空燃比10以下とすると、当量比が約1.5以上となり、すすの生成が懸念される。また、燃料空気の混合のよい燃焼器ほど過濃混合気では不安定燃焼につながり易い。逆に、空燃比を大きくとることなどは、一次燃焼領域の空気負荷率が大きくなりすぎることなどからこの程度の値が適当である。

(6)は、燃料を効率よく気流微粒化させ、燃焼領域に適度に分散をはかること、局所的高温部分の生じる拡散炎的燃焼反応を避ける等の理由にもとづく。また、サイクル効率向上のため、タービン入口温度を高くしているのでその許容偏差値巾が狭いこと、ライナ壁冷却は最少の空気量でおこないたいことなどから、負荷の変動に余り左右されない安定した流れ模様が望まれる。

(7)は、一般に突起物の冷却が困難であることから耐久性の理由でもうけたものである。

以上の観点から、表1の設計点を目安に、いくつかの新形式セクタ燃焼器を設計した。同表の諸値は、FJR710/10の設計点¹⁾を参考に、その円周角の3/16の扇形部分模型である本燃焼器にたいして定めたものである。

今回設計した燃焼器形式は、設計方針の(8)にもとづいて、燃料を全量、一次燃焼領域へ供給する構造とした。低公害を目指す燃焼器の中には、燃料を主流流れに沿って段階的に供給していく方法をとったものもあるが、構

造上の理由から、ここでは採用しなかった。

表2に、製作した基本4形式の燃焼器の構造と、特徴を示す。

3 燃焼器構造

供試セクタ(扇形)燃焼器模型の概略を、燃焼器AS-0の場合を例にして、図1および2に示す。

図1は、扇形中心軸を含む断面で、主要部を示す。

図2は、図1の(40)に示す隔壁板部を、燃焼器出口から見たものである。

この扇形模型は、円環形燃焼器模型の円周角の3/16の部分に相当する。

図1に示すように、燃焼器ライナ外側(90)、内側(90)は、扇形断面をもつケーシング(外筒)(120)内に固定ピン(50)と(150)、それぞれ二本で固定されている。

燃焼器出口から見て、左側のケーシング側面には、40mm×140mmの覗き窓があって、石英ガラスを透して、常圧条件での燃焼状態を観察できる。

燃焼器ライナは、CC20-1⁶⁾をモデルとし、その外形、空気孔、冷却スリット等を同一形状とした。

すなわち、図1に示したように、主流方向には、直径13mmの空気孔が4列、並んでいる。円周方向には、それらの空気孔は、噴射管又はスワラ等燃料供給系をまたぐ配置で6列存在する。

なお、今回の燃焼試験に用いた外側ライナには、後述の理由から、隔壁板に近い側から数えて第1列空気孔の間で、スワラ等の後流にあたる位置に直径8mmのキリ穴をそれぞれ1個ずつ、計3個をあけたものを用いた。特記のないかぎりこの穴は開いている。

表1. 設計点要目

| 条 件 | 常 圧 | 高 圧 |
|--------------------|--------|--------|
| 入口空気全圧 P_1 [ata] | 1.4 | 17.1 |
| " 温度 T_1 [K] | 330 | 703 |
| 空気流量 w_a [kg/s] | 0.762 | 4.369 |
| 燃料流量 w_f [kg/s] | 0.0138 | 0.0788 |
| 最大断面風速 U_r [m/s] | 19 | 19 |
| 空燃比 | 55 | 55 |

表2. 基本四形式の燃料微粒化と保炎の方法

| 燃焼器形式 | 燃料微粒化方式 | 保炎方法 | 主, 副燃料噴射系ユニット数 |
|-------|-------------|---------|----------------|
| AS-0 | 壁面流を气流微粒化 | 軸流スワラ | 3-2 |
| AS-1 | 柱状流を气流微粒化 | 混流スワラ | 3-3 |
| AS-2 | 柱状流を气流微粒化 | 半径方向旋回流 | 3 |
| AS-3 | 渦巻噴射弁による微粒化 | 軸流スワラ | 3-2 |

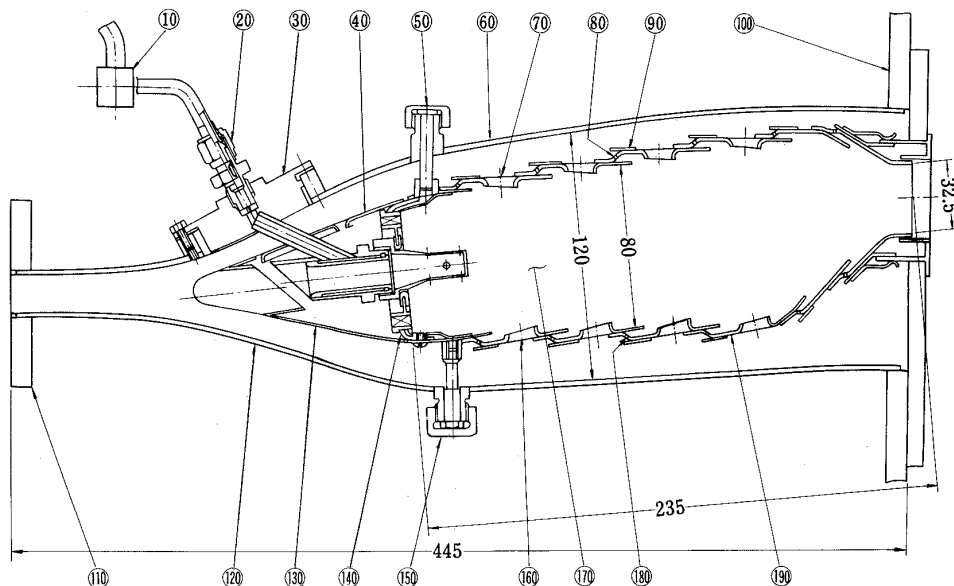


図1 供試セクタ燃焼器模型

以降に述べる各燃焼器模型において、隔壁板、もしくはドームから、ライナ空気孔第1列までの燃焼室内領域を、便宜上、一次燃焼領域と呼ぶ。

つぎに、試作した各形式の燃焼器、おのおのの構造、特徴等について記す。

各形式の種類は、AS- に続く1桁の数字で表示する。その形式で、小規模の改造をおこなったものは、その数字の後に端数をつけて示す。

3.1 燃焼器形式 AS-0

図3に、燃焼器形式 AS-0 の原形 AS-0.0 の主要部を示す。

図3において、マニホールド⑩から供給された燃料は、連結管⑳を通して、燃料噴射管③へ入る。その連結管には、燃料フィルター⑳と、メータリングオリフィス㉓が内蔵されている。

使用したメータリングオリフィスの流量特性を、図4に示す。

燃料噴射管に供給された燃料は、図3の二重管①内の環状通路を通り、②の部分の3箇所にあけた直径0.5 mmの噴孔より③の内面に接線方向に噴射される。これが二重管①の内部を通ってきた空気によって、おしのべられ、噴射孔④から噴出する。噴射孔は、根本から直径1.5 mm、

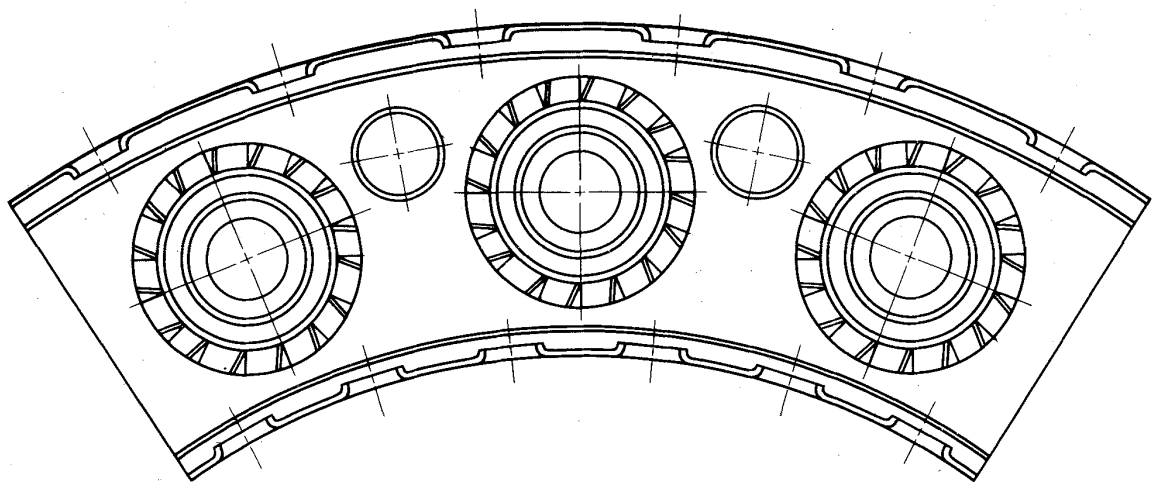


図 2 セクタ燃焼器 AS-0.0 の隔壁板部

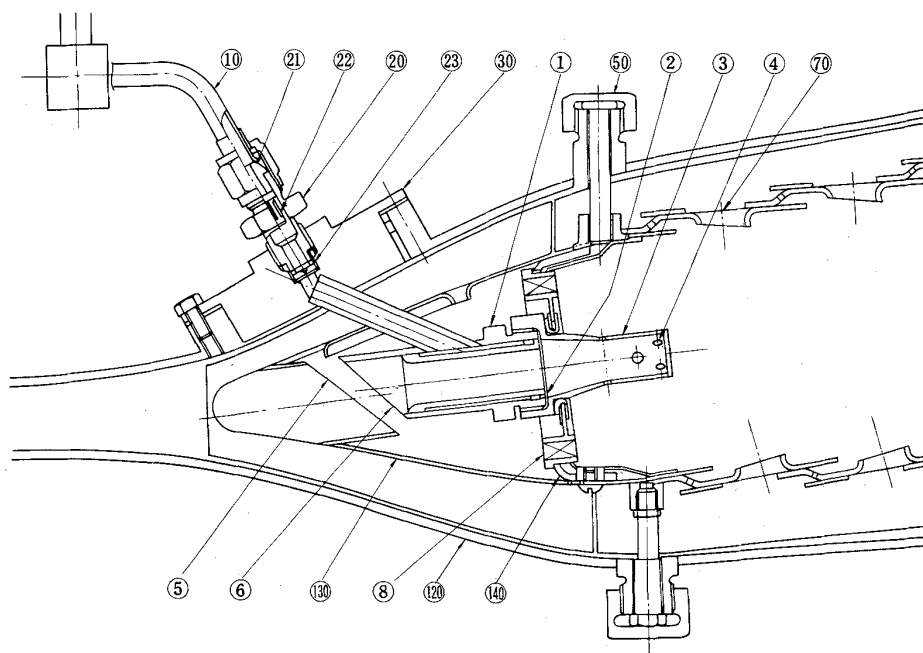


図 3 AS-0 形

2.5 mmおよび2.5 mmのものが6個ずつあけてある。

この燃料噴射管の外観を、図5に写真で示す。

図3のデフューザ⑦の開口部に入った空気のうち、二重管①に入った残りの空気は、軸流スワラ(空気旋回器)⑧によって、燃焼噴射管まわりに、旋回流を形成する。

このスワラは、図6に寸法を示すように内径と外径が、それぞれ4.4 mmと5.4 mmで、旋回羽根角度は45°である。

以上のようなスワラと燃料噴射管の組合せが、本セクタ模型には、図2に示すように3組もうけてある。それらの中間には、同図にも示すように着火兼用のプライマリ噴射弁が1個ずつもうけてある。この噴射弁の寸法、諸元を図7に示す。

本燃焼器の内、外ライナ、側板、分流板、および隔壁板を組立てたものを図8に写真で示す。

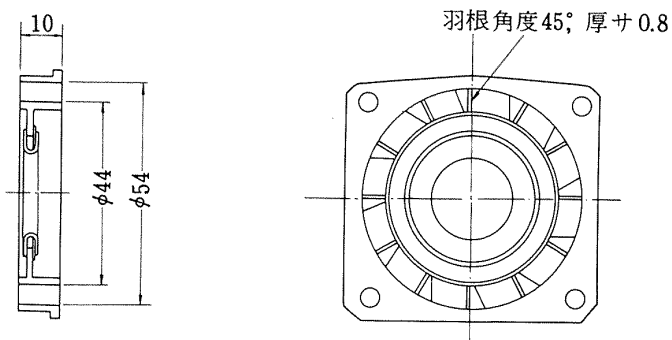
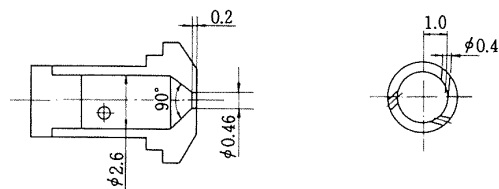


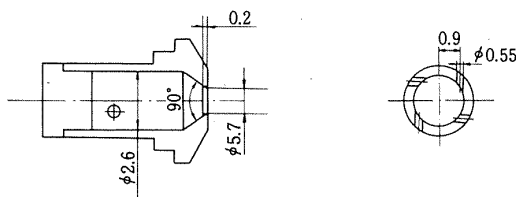
図6 燃焼器AS-0.0用スワラ

設計点圧力 5atg
 噴射角度 60°
 流量(ジェット燃料) 2.03g/s



(a) AS-0.1および3用プライマリ噴射弁

設計点圧力 10atg
 噴射角度 60°
 流量(ジェット燃料) 5.83g/s



(b) AS-3用主燃料噴射弁

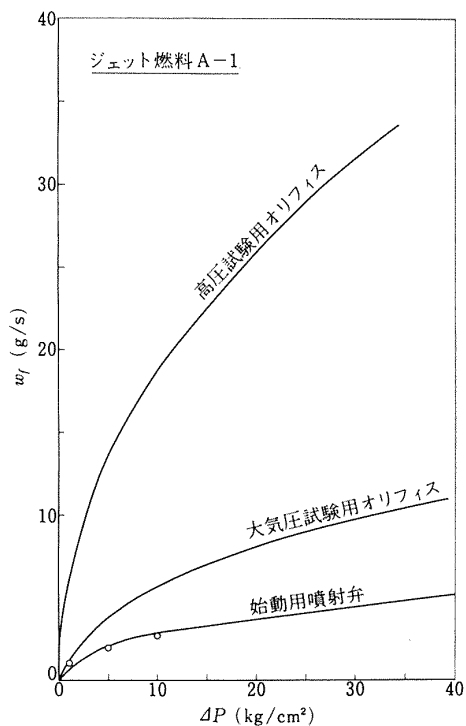


図4 ノズル1個あたりのメータリングオリフィス流量特性 (○は検定點)

図7 燃料噴射弁

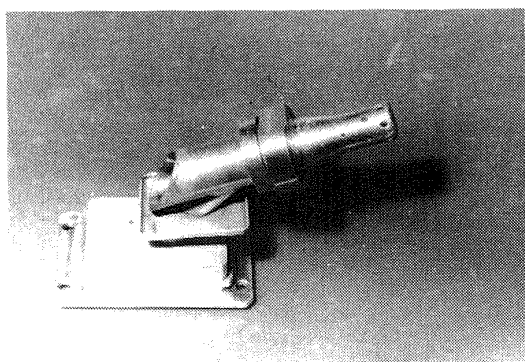


図5 AS-0形に用いる燃料噴射管

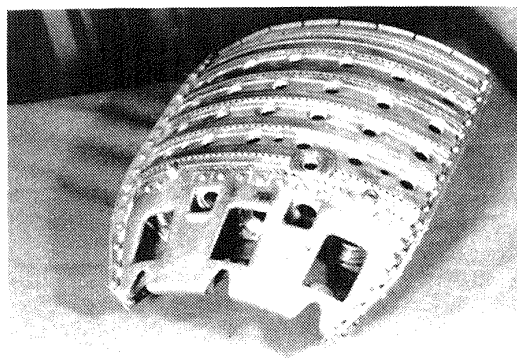


図8 AS-0形の分流板およびライナ

3.2 燃焼器形式AS-1

燃焼器形式AS-1の主要部を、図9に示す。

この形式では、着火、および補助用のプライマリ燃料を、スワロー中心にもうけた加圧噴霧式燃料噴射弁から、燃焼室内に噴霧し、主燃料は、スワローの旋回羽根の間から供給して、そこを通る高速気流によって気流微粒化をはかるものである。

図9において、プライマリ燃料は②より供給し、渦巻噴射弁②09によって燃焼室内に噴射する。この噴射弁チップは、AS-0と共用の図7の(a)に示すものである。

主燃料は、図9の④から供給し、メータリングオリフィス⑦と、環状通路②08を通過して、スワロー②00の旋回羽根の間に直径1mmの開口部をもつ外径3mmの4本の燃

料管②05から噴出する。スワローは内/外径が37/55mmの盲リング付混流型のものである。この燃料ノズル付スワローを図10に写真で示す。

以上のような、燃料ノズル付スワローを、図2と同じ配置で、セクタ燃焼器隔壁板へ、3組とりつけた。

小改造をおこなったAS-1.1は、スワローに入る空気量を増加させるため、分流板(図9の⑥)のスワローの近傍以外の部分を取り去ったものである。こうすることによって、空気流の全圧を利用して、スワローの羽根部から流入する空気量の増加をはかった。また、スワローの羽根部間でも、燃料供給管のある部分は、狭隘となっているので、それ以外の羽根間通路を旨した。

AS-1.1の内筒外観を、図11に写真で示す。

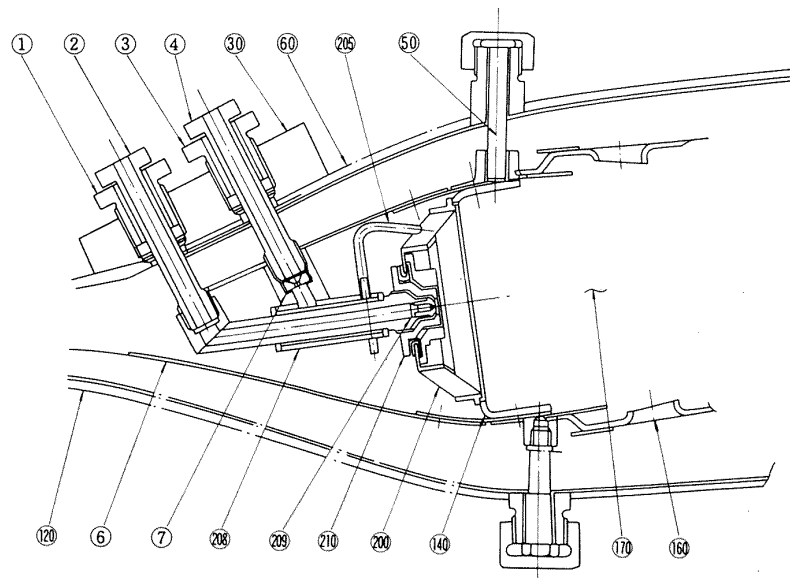


図9 AS-1形燃焼器主要部

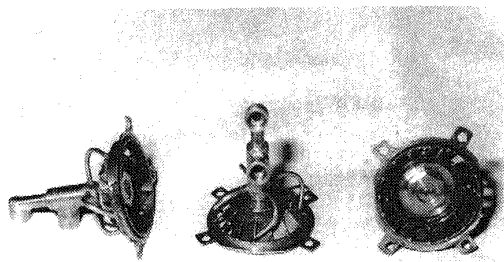


図10 AS-1.0の燃料ノズル付スワロー

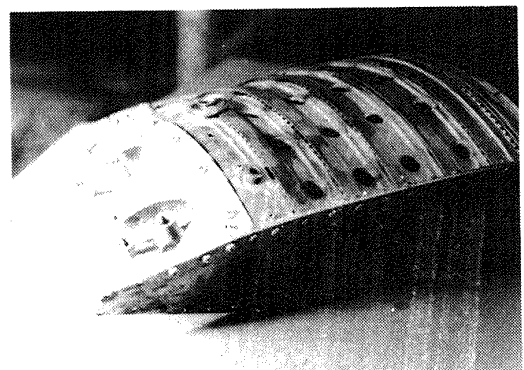


図11 AS-1.1の分流板部

3.3 燃焼器形式AS-2

図12に燃焼器AS-2.0の主要部を示す。

この形式では、燃焼室内に入る前の管内気流に燃料を供給し、気流微粒化と混合をおこなう。そこで生成した混合気を、ドーム状の燃焼室前方へ逆流噴射する。

まず、図12において、燃料は⑩より供給し、空気ダクト③よりとり入れた空気によって気流微粒化をおこなう。ここで形成された混合気は、やや主流側へ向けた噴射管⑧から噴出し、ドーム④に沿って旋回流をつくる。

ドーム④には、初め冷却のため、直径1.0 mmの孔を5 mmピッチ間隔であけたが、常圧試験の結果、作動空燃比範囲で過熱するおそれがなかったうえ、ドーム内面に沿う燃料が外部に洩れ出た形跡が生じたので、燃焼器AS-2.1以降では、すべて、この孔を盲してある。

上記噴射管系は、ライナ空気孔等との対称性を考慮して図13に示すように3組もうけた。

ドームとライナの組立模様を、図14に写真にて示す。燃料噴射ノズル、図12の⑦は、噴出口直前にもうけ

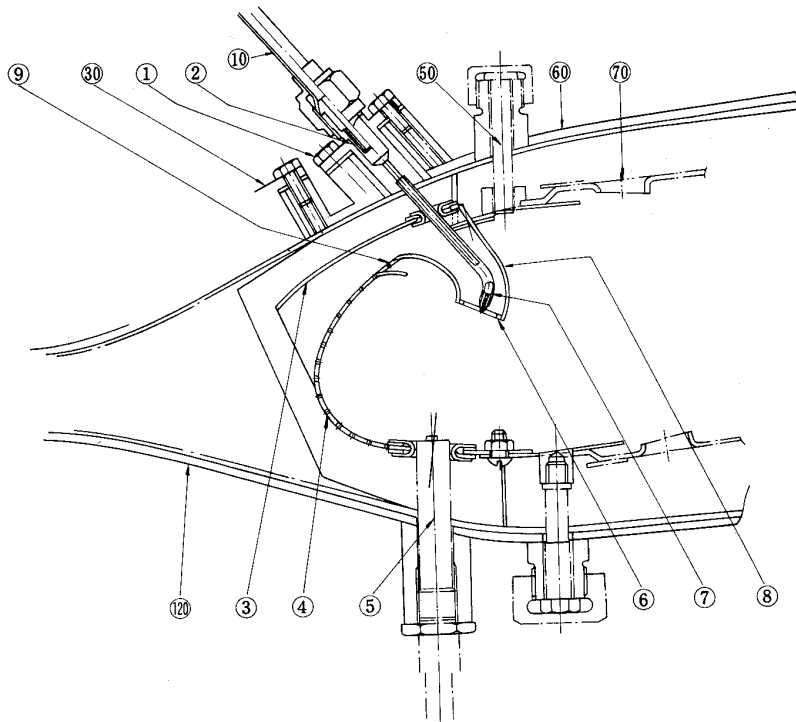


図 12 燃焼器形式AS-2

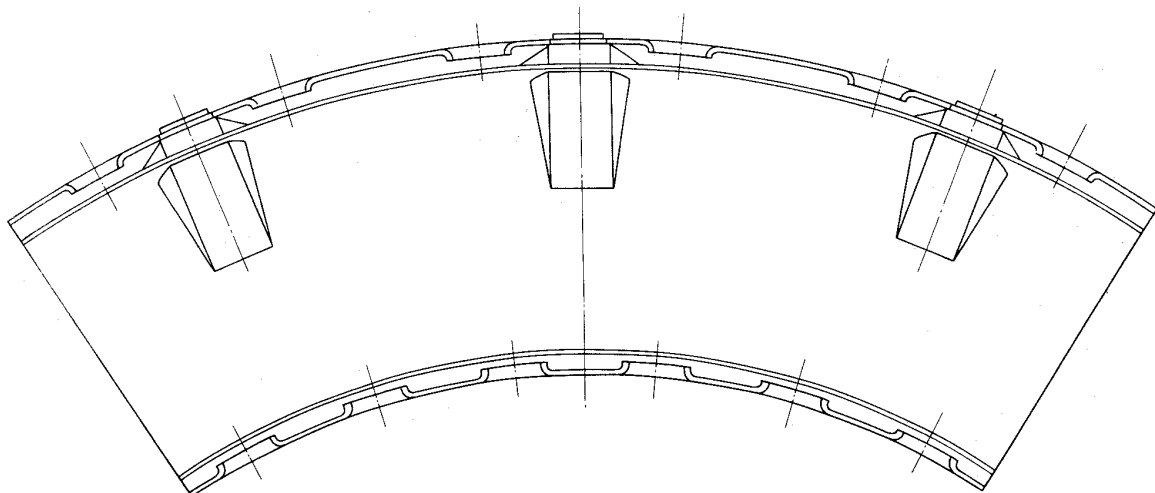


図 13 燃焼器AS-2.0の出口側からみたドームと混合気噴射管

た絞り孔直径が、 0.4 mm 、 0.6 mm 、および 0.8 mm の三種を製作した。しかし、その周囲を通る微粒化用空気との相対速度を、十分大きくするため、噴出口先端での内径は、 1 mm とした。

空気ダクト、図12の③からは設計上、全体空気量の22%が導入される。導入された空気の一部は、スリット部⑨から噴射管曲りの内側に沿って流出する。

この燃焼器形式で、小規模改造をおこなったものには、次の種類がある。

原形AS-2.0の常圧燃焼試験をおこなった結果、図12の点火栓⑤では着火せず、また、ドーム部④は過熱のおそれがないことが判明したので、点火栓を除去、この部を盲、また、ドーム部細孔をすべて盲した。この改造をおこなったものをAS-2.1と名づけた。

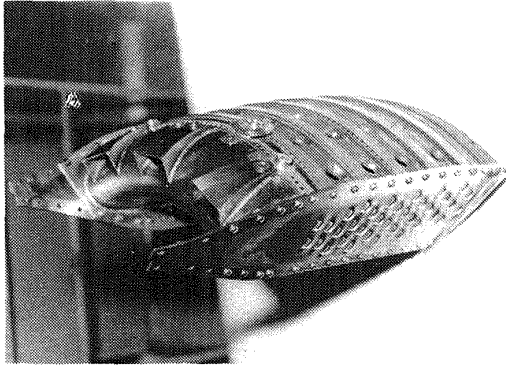


図 14 燃焼器AS-2.0の内筒

燃焼器AS-2.2は、図12の噴射管⑧内で、燃料と空気の混合を良好にするため、燃料ノズル⑦の先端を盲し、その途中に、半径方向に直径 0.6 mm の穴を2個あけたものである。

燃焼器AS-2.3は、図12の噴射管⑧の先端についている直径 10 mm のオリフィス⑥を、管先端ごと切り落したものである。

以上のAS-2形燃焼器では、噴射管からの混合気が、ほとんど垂直方向に、ドーム下部へ衝突しているので、燃焼器AS-2.4では図15に示すスクープを各噴射管へとりつけた。AS-2.4.1は、外側ライナ、第1列空気孔間の3個の 8 mm キリ穴を盲した。

燃焼器AS-2.5では、さらにドーム内へ空気を導入するため、図15に示す空気筒を、空気ダクト下部へ、それぞれ1個づつもうけた。なお、

外側ライナ、第1列空気孔間の3個の 8 mm キリ穴は盲したままである。

燃焼器AS-2.6では、上述の 8 mm キリ穴の盲を解除、その代わりに外側ライナ第1列空気孔をすべて盲した。

3.4 燃焼器形式AS-3

図16に、燃焼器形式AS-3の主要部を示す。

同図で、主燃料は、マニホルド⑩より供給し、渦巻噴射弁④から、デフューザコーン⑤内に噴射する。その燃料は、空気と混合し、一部気化しながら、軸流スワロー⑧を通して燃焼室に入って燃焼する。この軸流スワロー⑧は、AS-0と共用である。

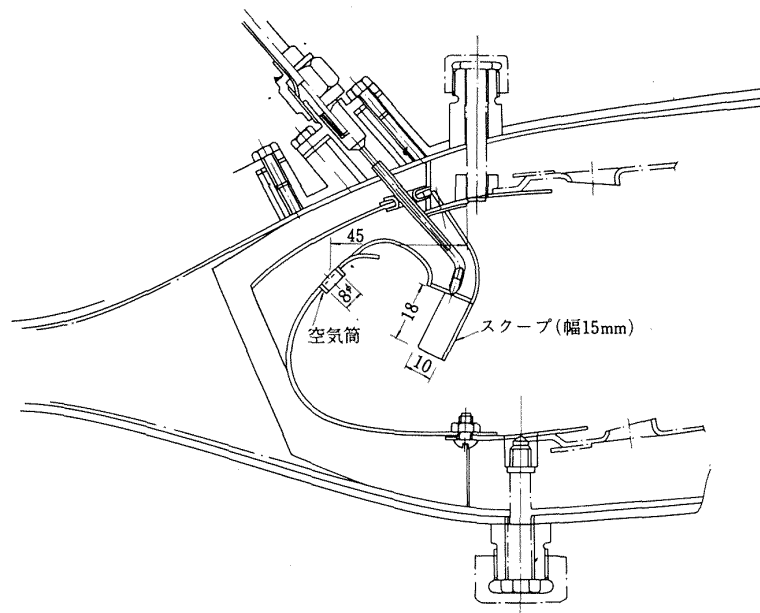


図 15 AS-2形へもうけたスクープと空気筒

渦巻噴射弁④は、図7の(b)に示す構造である。

図16の隔壁板⑭は、AS-0と共用である。したがって、プライマリ噴射弁も、AS-0と共用し、同位置にある。

この形式において、スワラを通る空気、又は、混合気の流れは、50~70m/sで混合気の火炎伝播速度より十分大きい。したがって、燃焼室から、スワラの羽根の間を通過して、上流側へ逆火することはないと考えられるが、燃焼試験時における特殊な場合も考え、安全のためスワラ上流側へ逆火防止用に金属網、図16の⑬、をもうけた。

逆火の可能性については、6. 検討の項で述べる。

燃焼器形式AS-3で、原形より小改造をおこなったものには、次の6種がある。

原形AS-3.0の燃焼試験の結果、デフューザコーン（図16の⑤）や、スワラ（同図⑧）等の取付部から、燃料が内筒外に漏洩することがわかった。そこでそれらの接合部を接着剤で密封した。また、スワラの後流部に、強制渦の黄色炎が燃焼器出口に達する程に伸びた。そこで、外側ライナ第1列空気孔の中間位置で、スワラの中心線上のライナに、直径8mmのキリ穴をあけた。このものをAS-3.1とした。

燃焼器AS-3.2は、8mmのキリ穴の効果をさらに明らかにするためそれ以外の外側ライナ第1列空気孔を盲したものである。

燃焼器AS-3.3では、AS-3.2で盲した第1列空気孔を再び開放した。そして、デフューザコーンに入る空気を制限する目的で、図17に示すような、巾5mmの入口リングを、デフューザコーン先端に取付けた。このためコーン入口直径は35mmから25mmとなった。

燃焼器AS-3.4では、AS-3.3の入口リングはそのままにしてある。AS-3.0から、AS-3.3までは、スワラとしてAS-0.1用に用いた外径54mm、内径42.5mmを使用していたが、このAS-3.4では、AS-0.0と同一の内径44mmのスワラを用いた。また、隔壁板と側板の接合部に、少量の空気の洩れが発見されたので、これ

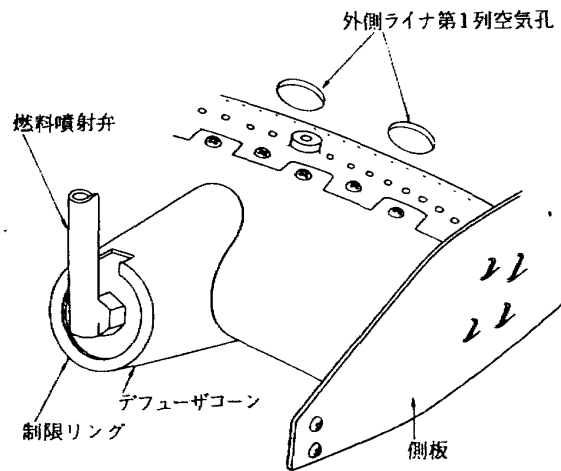


図 17 AS-3.3の制限リング

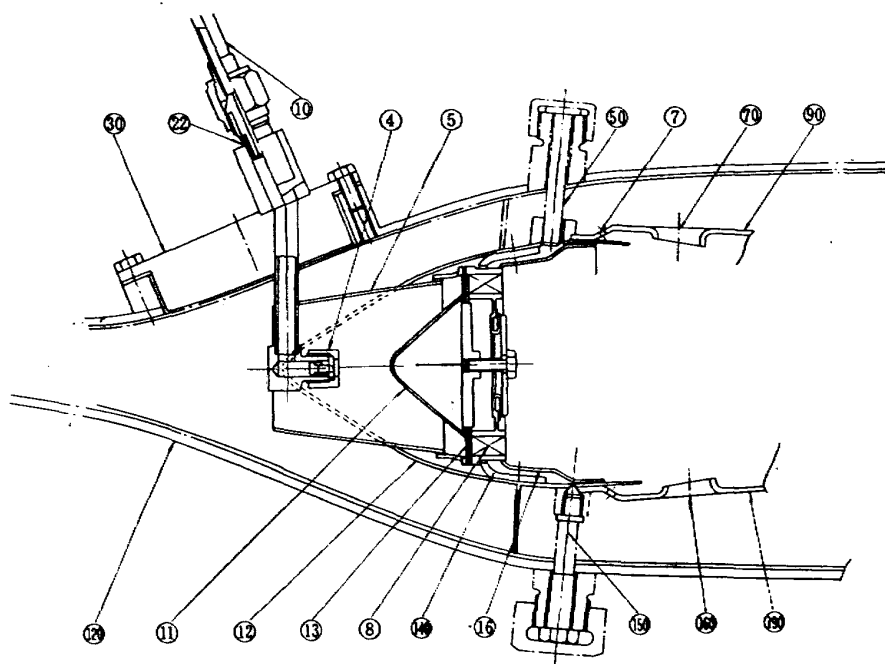


図 16 燃焼器形式AS-3の主要部

をアスベストで封じた。

燃焼器 AS-3.5 では、再びスワローを、もとの内径 42.5mm のものにもどした。しかし、その外径側に、図 18 に示す巾 2.5mm のカラー付リングを取付けた。

燃焼器 AS-3.6 では、噴射弁の特性の影響をみるために、主燃料噴射弁のチップを、プライマリ用のものと変えてみた。同時にコーン入口にもうけてあった入口リングは除去した。

以上の各形式の燃焼器の種類を、表 3 にまとめて示す。

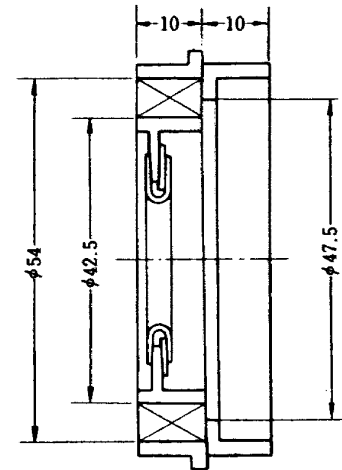


図 18 AS-3.5用カラー付リングをつけたスワロー(中央部の噴射管用穴は盲した)

表 3. 供試燃焼器種類

| 燃焼器名称 | 原形から変更の特徴 | 特性図 |
|--------|--|-------------|
| AS-0.0 | 原形。 | 21,23,24 |
| 0.1 | スワロー内/外径を 44/54 から 42.5/54 のものに。 | 22 |
| AS-1.0 | 原形。 | |
| 1.1 | 分流板短縮, スワロー羽根間をノズル部以外盲。 | |
| AS-2.0 | 原形。 | 34 |
| 2.1 | ドーム冷却孔盲, 点火栓除去 | 35 |
| 2.2 | 燃料を噴射管内気流にたいし直角方向に噴射。 | 35 |
| 2.3 | 噴射管先端オリフィス除去 | 35 |
| 2.4 | 噴射管出口スクープ取付 | 36 (a) |
| 2.41 | 外側ライナ 8mm 穴盲。 | 36 (b) |
| 2.5 | ドーム部へ空気筒。 | 37,39,40,41 |
| 2.6 | 外側ライナ第 1 列空気孔盲。同ライナ 8mm 穴盲解除。 | 38 |
| AS-3.0 | 原形(外側ライナ 8mm 穴なし) | 42 |
| 3.1 | デフューザコーン接合部密封。外側ライナ 8mm 穴明。 | 43 |
| 3.2 | 外側ライナ 8mm 穴以外の第 1 列空気孔盲。 | 44 |
| 3.3 | 外側ライナ盲解除。デフューザコーン入口リング。 | 45 |
| 3.4 | スワローを内/外径, 42.5/54 → 44/54 へ。 | 46 |
| 3.5 | スワローを 44/54 → 42.5/54 へ。ただし, スワローへカラー付リング。 | 47 |
| 3.6 | 主燃料噴射弁をプライマリ噴射弁に変えた。入口リング除去。 | 48 |

4 実験装置 および 実験方法

使用した実験設備は、当所原動機部罐型燃焼試験設備⁷⁾の一部で、常圧系、およびセクタ系と俗称する空気源系統である。

両系統共、供給空気源は共通で 150kw の圧縮機であるが、後者は、予熱燃焼器によって空気を昇温することができる。本実験での予熱燃焼器の作動空燃比は、280 程度であるので、それによる酸素の消費等は無視する。

初め、常圧系装置の一部に空気の洩れがあり、空気量の計測に誤差があった。そこで、そのときのデータについては付録 A 1 に記す補正をおこなった。図中、凡例の中に空気量補正と記したデータがこれである。

実験方法は、最大断面平均風速を、一定に保ち、燃料量を設定することによって任意の空燃比での燃焼器特性を計測した。

すなわち、測定項目は

空気流量(オリフィス流量計) w_a

燃料流量(燃圧, 又はタービンフロメータ), w_f

入口空気温度 T_1 1点

入口空気静圧 P_1 1点

出口ガス温度(4点式クシ形 CA 熱電対) 5ヶ所 T_2

などである。

これらの測定によって、次の燃焼器特性因子、および特性パラメータをもとめた。

(1) 入口空気温度 T_1 [K]

(2) 入口空気静圧 P_1 [ata]

(3) 最大断面平均風速 U_r [m/s]

$$U_r = w_a / \tau_a A$$

ここで A はセクタ燃焼器の最大断面積で 0.0279m^2 である。 γ_a は空気の比重量である。

(4) 燃焼効率 η_b [%]

$$\eta_b = \frac{i_2(w_a + w_f) - i_1 w_a}{10,250 \times w_f} \times 100$$

ここで、 i_1, i_2 はそれぞれ入口空気、燃焼ガスのエンタルピーである。

(5) 空燃比

$$n = \frac{w_a}{w_f}$$

(6) 全圧損失係数 ϕ

$$\phi = \frac{q(P_{1t} - P_{2t})}{\frac{1}{2} \gamma_a U_7^2}$$

ここで、入口、出口全圧の P_{1t} および P_{2t} は、実測していないので、それぞれの位置の静圧と、気体流量の関係から全圧を計算した。燃焼器出口静圧は、大気圧をその値とした。

のちに、外径 8mm の管に、主流に向けて直径 1mm の側孔をもうけ、燃焼器出口での全圧を実測した。その値は、熱電対の後流部をのぞいて、ほぼ出口断面全体に一様であった。その値を使って全圧損失係数を求めると $0 \sim 8\%$ 程度、上記の推算値より小さな値となる。

クン形熱電対間の1点のみの全圧計測より推算値の方が、実の流路断面にたいする平均値を与えること、より安全側の数値であること、等の理由でデータの比較にはこの値を用いる。

(7) 全圧損失率 $\Delta P/P$

$$\Delta P/P = \frac{P_{1t} - P_{2t}}{P_{1t}}$$

この式の入口、出口全圧のとり方も(6)と同様である。

(8) 出口無次元温度 θ

$$\theta = \frac{T - T_1}{T_2 - T_1}$$

ここで、 T は、熱電対の燃焼器出口における無次元位置 y 、または x における温度、 T_2 は出口平均温度である。 y の原点はタービン翼に根に、また x の原点は燃焼器出口からみて左側壁とした。

(9) 出口温度不均一度 δ_t

$$\delta_t = \frac{(T)_{\max} - T_2}{\Delta T}$$

ここで $(T)_{\max}$ は、出口温度で最高のものである。また ΔT は、燃焼器による空気の温度上昇である。

その他、燃焼器後部、側面ののぞき窓などからの観察をおこない、燃料の微粒化状況、火炎安定性、火炎のひろがり、火炎の色、流れ模様、乱れの程度、ライナ等のぬれ、燃焼音等に留意した。

これら燃焼器諸特性実験値を、付録A2に表示する。

なお、通常の燃焼試験では、各燃焼器形式の燃焼状態の特徴をつかむため、プライマリ燃料は原則として止めた状態で観察や計測をおこなった。

5 燃焼器特性の比較

本燃焼器研究の最終目標は、図19に示す作動特性をもつターボファンエンジンの燃焼器を設計する資料を得ることである。

通常、実験装置等の制限から、試作燃焼器をそのよう

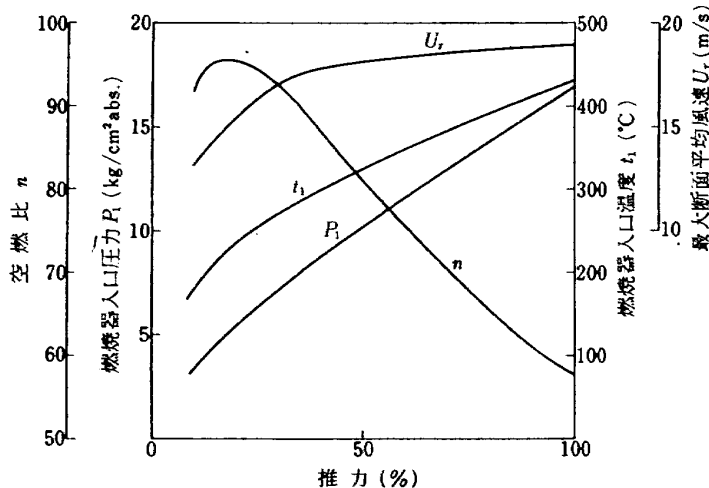


図 19 試作ターボファン作動状態概要

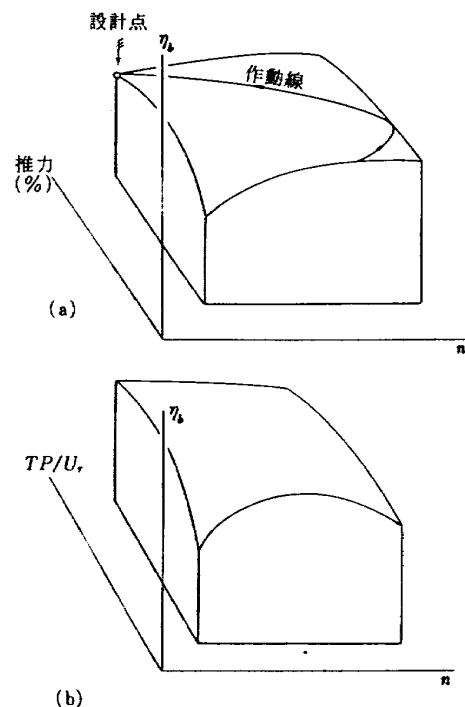


図 20 ガスタービン燃焼器の特性曲面

な作動特性に従った条件で試験することができない。今回の場合も、常圧試験のみで、燃焼器特性の優劣をある程度判定しなければならない。

そこで次のような方針をとった。

頻繁に使用可能な装置は、前記の常圧系の方であって、これは空気温度が最高60°C程度である。しかし、ガスタービン燃焼器特性を図20(a)のように表わしてみると、燃焼器特性を調べることは、同図に示すような三次元曲面を各燃焼器について求めることに相当する。

同図において、燃焼効率 η_b 、空燃比 n の他の第3軸には、図19に示されている特性、 P_1 、 T_1 、および U_r の組合されたある関数が表示されるべきである。Childsら⁸⁾によると、燃焼反応の点から、燃焼効率は、 $T_1 P_1 / U_r$ に依存性が高いとしている。その場合今回の実験条件のように、入口空気の温度、圧力が低い場合には最もきびしい試験条件となる。逆に、常温、常圧でかつ、最大断面風速が最大の条件で良好な燃焼効率を示すものは、他の作動条件では、より良好な燃焼効率を示すと推定できる。

したがって、今回の試験では、主として、図20(b)の特性曲面のある $\eta_b - n$ 平面断面の特性を調べ、各燃焼器の優劣を比較することにする。

その他の比較基準として、圧力損失、燃焼の安定性、輝炎の発生状況、出口温度分布、火炎長さ、および過熱箇所等について、観察評価をおこなう。

5.1 燃焼器形式AS-0の特性

燃焼状態 燃焼室内火炎の大部分は、青色炎である。空燃比が小さくなるにつれ、部分的に輝炎が増加する。輝炎の生ずる場所は、隔壁板近傍で二つのスワラとライ

ナにはさまれた部分、スワラボス部で噴射管外周の円環状部分などである。

空燃比が70付近より小さい場合、二次燃焼領域に液滴燃焼ともいえる赤黄色のスジが多く現われる。

AS-0.1は、AS-0.0より、やや保炎性能がおとる。ことに空燃比が大きい場合、燃焼器出口よりみて最左端のスワラ部分の保炎性が低下する。また輝炎もやや多い。

噴射管から噴射される混合気は、空燃比が大きい場合には青色炎となっている。空燃比が70以下では、白色の未燃燃料粒が噴出して、ライナ等に衝突している。

ライナ等の焼け、過熱部分は特にならない。

着火性は、良好である。

燃焼効率特性 入口空気非加熱での燃焼器AS-0.0の燃焼効率特性を図21(a)に示す。同図中、尻尾付記号は、組替えを含まぬそのままの燃焼器で再実験したものである。これらの比較で、実験自体の再現性は、計測時の誤りが原因とみられる1点を除き±1.5%と満足すべき値である。

ところが、燃料噴射管や、ライナ等のとりはずし、再組付をおこなうと、それらの相互位置関係が、燃焼器特性に影響をおよぼし、図21(b)に示したような、数%の差となって表われる。これは、最大断面風速の高いものほど顕著である。

図21(a)によると、設計点最大断面平均風速に近い $U_r = 18 \text{ m/s}$ では、空燃比 $n = 50 \sim 75$ にわたって最高燃焼効率 $\eta_b = 91\%$ を示す。これより最大断面平均風速が増加すると、空燃比小の場合には燃焼効率が向上するが、空燃比大の場合には大巾に低下する。設計点空燃

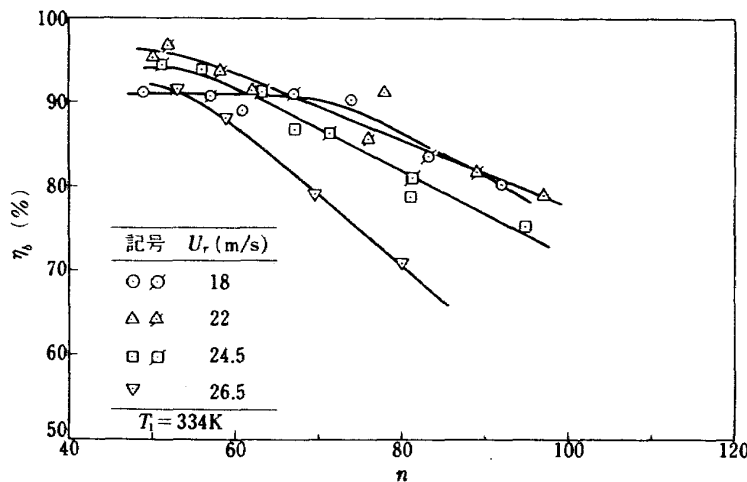


図 21(a) 燃焼器AS-0.0の燃焼効率特性

比で最良燃焼効率を示すのは、最大断面平均風速が22 m/sのときである。

燃焼器AS-0.1の場合には、図22に示すように最高燃焼効率が90%に達しない。また、この燃焼器の特長は、最大断面平均風速が大きい程、燃焼効率が良好な傾向を

示すところである。

燃焼器AS-0.0で、入口空気温度を、480Kとした場合には、図23のような燃焼効率特性となる。すなわち、設計点空燃比55付近で、燃焼効率は95%前後を示す。空燃比が大きくなるに従って、燃焼効率は低下し、空燃

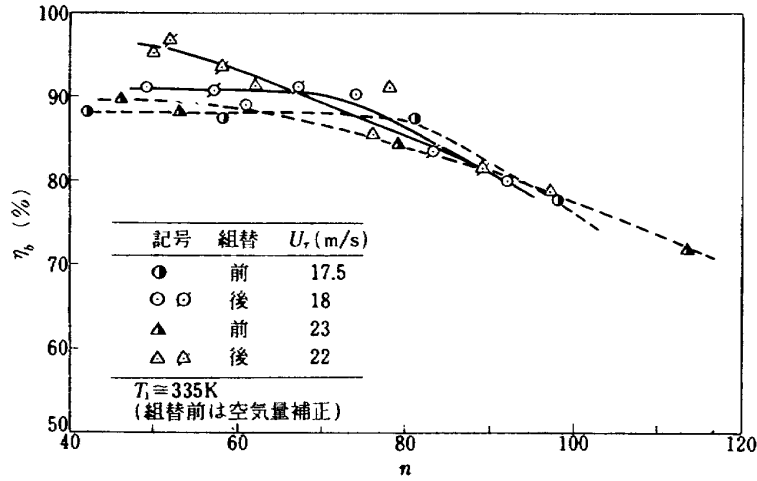


図 21 (b) 燃焼器AS-0.0の組替えによる燃焼効率特性の変化

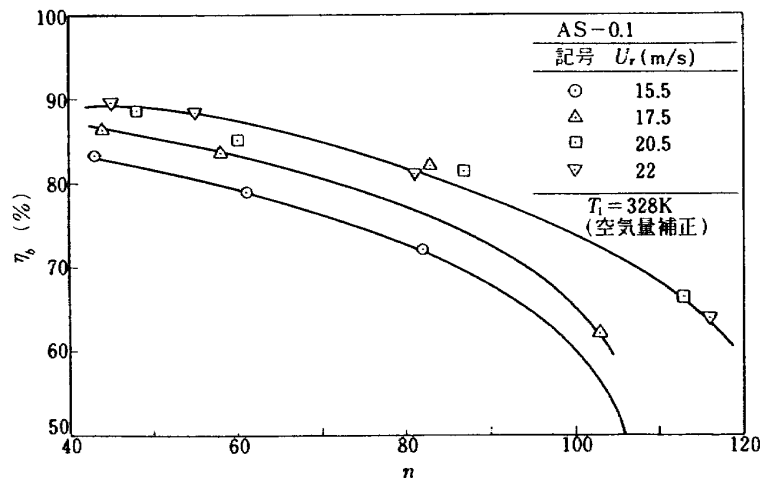


図 22 AS-0.1の燃焼効率特性

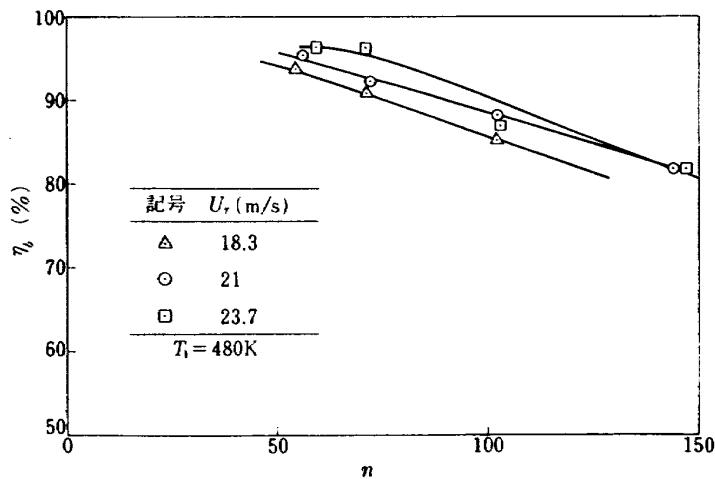


図 23 AS-0.0 燃焼効率特性

比100では85~90%の値を示す。また、最大断面平均風速が21m/s以下では、それが大きいほど良好な燃焼効率を示す。

以上の結果を総合すると、燃焼器AS-0.0、または0.1では、少なくとも常圧燃焼効率特性は、最大断面風速が、22~24m/s程度のときが最も良好であるといえる。圧力損失-入口空気が常温である場合の燃焼器AS-0.0の全圧損失係数を図24に例示する。同図中記号で尻尾のあるものは、図21同様、同一組付本体で、実験日の異なる結果である。図24より、全圧損失係数は、温度比にはほぼ正比例していることがわかる。この値は、円環形模型CC10⁹⁾の常圧試験結果と比較して、やや大きい。温度分布 出口温度分布は、図25と26に示すように温度の無次元表示によって、空燃比や最大断面平均風速

にかかわらず一定の形状となる。これは、以下のほとんどの燃焼器に共通している。

一般には、燃料微粒化特性の良好でない気流微粒化方式の燃焼器では、燃焼領域が変化して、出口温度分布形は一定形状とならない。

AS-0.0の半径方向温度分布は、図25に示すようにタービン翼根側(yが小側)が低く、要求形に近い。AS-0.1では、反対に、翼根側に高温部があり好ましくない。

円周方向温度分布は、図26に示す。同図でxは燃焼器出口からみた無次元角度位置である。両燃焼器とも燃焼器出口側からみて、中央やや左が最も高い山形となっている。その偏差値は、±40%と非常に大きい。このかたよりの推定理由は、6. 検討の項で述べる。

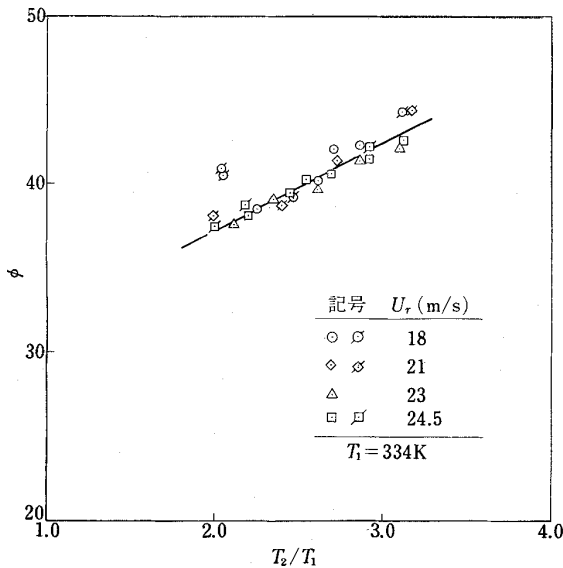


図 24 AS-0.0の全圧損失係数

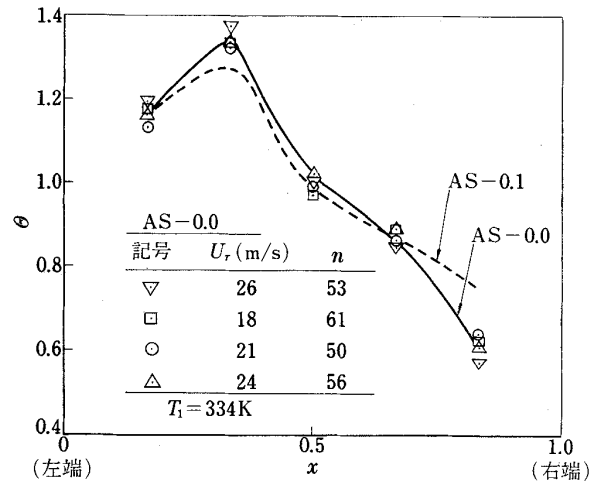


図 26 AS-0形の円周方向無次元温度分布

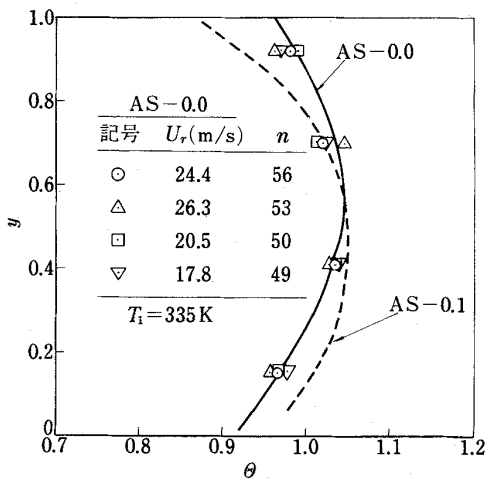


図 25 AS-0形の出口温度分布

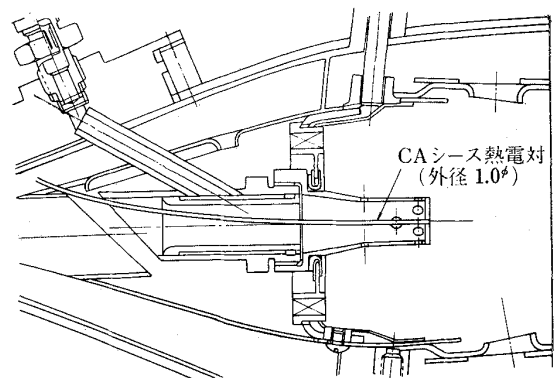


図 27 噴射管先端温度測定方法

燃料噴射管先端温度 本燃焼器形式の燃料噴射管は燃焼室内に突出しているため、焼損等が懸念される。そこで、図27のように熱電対を噴射管先端に溶接して、その温度を記録した。その結果を図28に示す。

図28によると、入口空気非加熱の条件では、全作動空燃比範囲にわたって、噴射管先端温度は720K以下であることがわかる。また、その温度の空燃比にたいする依存度は、わずかである。

5.2 燃焼器形式AS-1の特性

燃焼状態 燃焼器AS-1.0の場合は、燃料の微粒化が悪く、スワラ羽根からの燃料が、液柱のまま、あるいは、粗大粒径のまま、燃焼室内に噴射している様子が観察された。火炎は、わずかに青色炎の混じった黄色火炎で、

乱れの程度も少ない。保炎状態も良くない。プライマリ燃料を減少させるに従って、燃焼は不安定となり、主燃料のみで燃焼継続は困難である。

燃焼器AS-1.1の場合には、燃料の微粒化は、かなり改善された。主燃料のみでも、燃焼を維持することができる。保炎性能は、余り良好ではない。

燃焼効率特性 燃焼器AS-1.0の場合には、プライマリ燃料を切ると、燃焼を継続させることが出来ないため、これを吐出したままの特性を計測した。空燃比 n にたいする燃焼効率特性を図29に示す。

図29によると、プライマリの吐出圧の減少に伴って、燃焼効率 η_b が低下し、 n の増加によっても η_b の急激な低下がおきることがわかる。

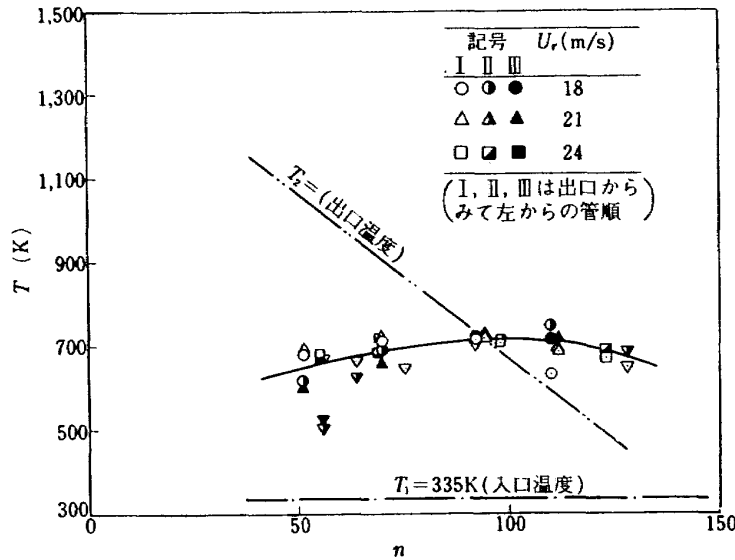


図 28 AS-0.0 の管温度実測値

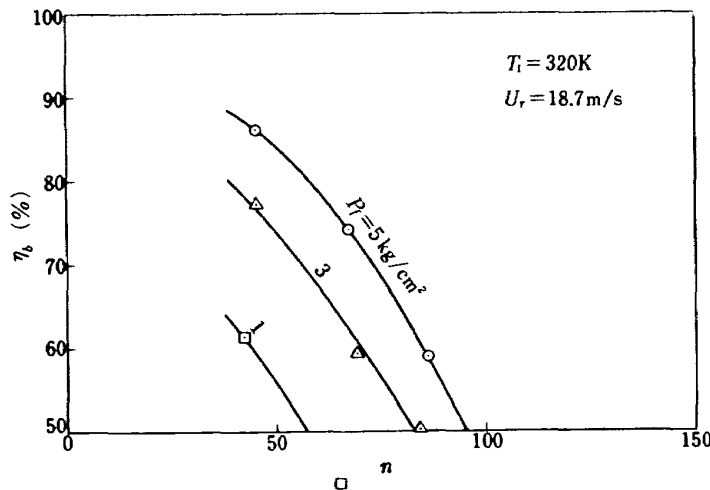


図 29 AS-1.0 の特性

燃焼器AS-1.1の場合には、プライマリ燃料を止めても、燃焼は維持でき、図30に示すような、燃焼効率特性を示す。同図によると、最大断面平均風速 U_r が大きい方が、良好な燃焼効率 η_b を示している。これは U_r の増加によって、気流微粒化効果が更に向上したものと判断される。

圧力損失 図31に、AS-1.1の全圧損失係数の温度比にたいする変化を示す。これは前のAS-0形やCC10の結果⁹⁾と比較してかなり小さい値である。気流微粒化や保炎性能を向上させるには、一般に圧力損失の増大を招き易いが、この場合には十分にその空力的な余裕があることがわかる。

出口温度分布 AS-1.1の半径方向無次元温度分布を図32に示す。これによるとタービン翼先端側と比較して、翼根側が高いことを示している。これは、燃料微粒化特

性の悪さのために、液滴が内側(下側)ライナ面上で燃焼したためと考えられる。

AS-1.1の円周方向温度分布は、図33に示すようである。最大偏差が±20%程度であるが、AS-0同様、出口側からみて中央やや左よりが最も高い。

5.3 燃焼器形式AS-2の特性

燃焼状態 ほとんどの火炎が青色炎である。空燃比 n が、約60以下となったとき、燃焼器によっては、ドーム内の渦、および、混合気噴射管の直後のよどみ領域に黄色炎が生ずる。

この形式の燃焼器内火炎の特徴は、他の形式のものにくらべ非常に乱れが激しい点にある。

燃料は、噴出口からドーム面へむかって噴射される。微粒化状態は良好である。ドーム内面には、りすく気流によりおし広げられた燃料液膜が観察される。

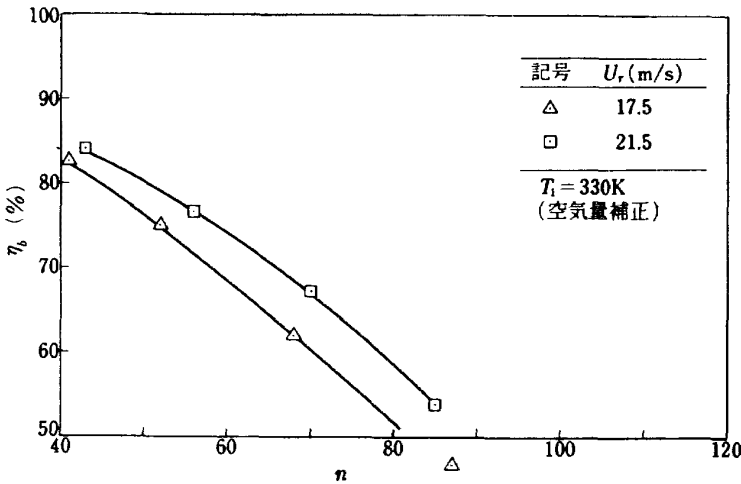


図 30 AS-1.1の燃焼効率特性

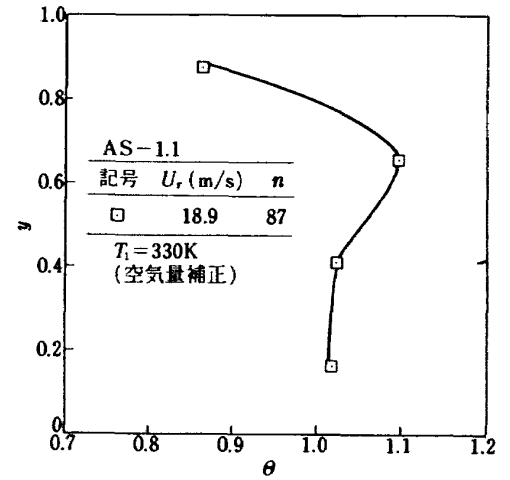


図 32 AS-1.1 出口温度分布

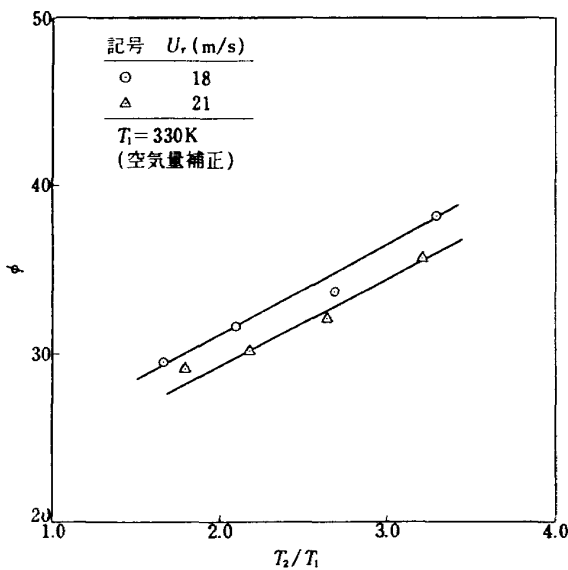


図 31 AS-1.1の全圧損失係数

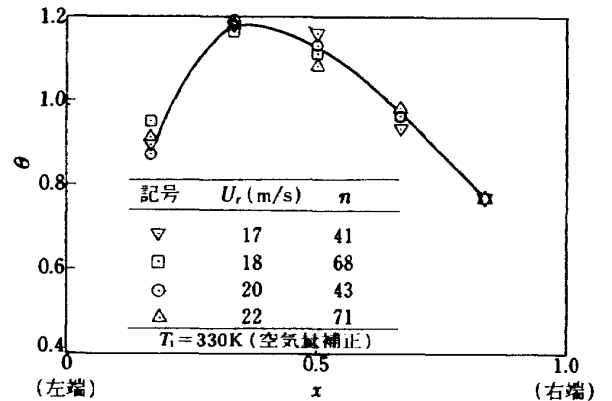


図 33 AS-1.1の円周方向無次元温度分布

着火は、すべて燃焼器出口よりトーチ点火をおこなった。

燃焼効率特性 燃焼器AS-2.0の燃焼効率特性を図34に示す。これによると、最も燃焼の負荷の高い所、すなわち空燃比 n が50付近で、燃焼効率95%となり、 n

が増加してもその低下はゆるやかである。最高燃焼効率は、試験した U_r のすべてにほぼ同一であるが、 n の増加に伴う η_b の低下は、 U_r の小さいものほど早い。

更に、燃焼器入口空気温度を高めた条件下で、燃焼器AS-2.1, 2.2, および2.3の燃焼効率特性をみると、

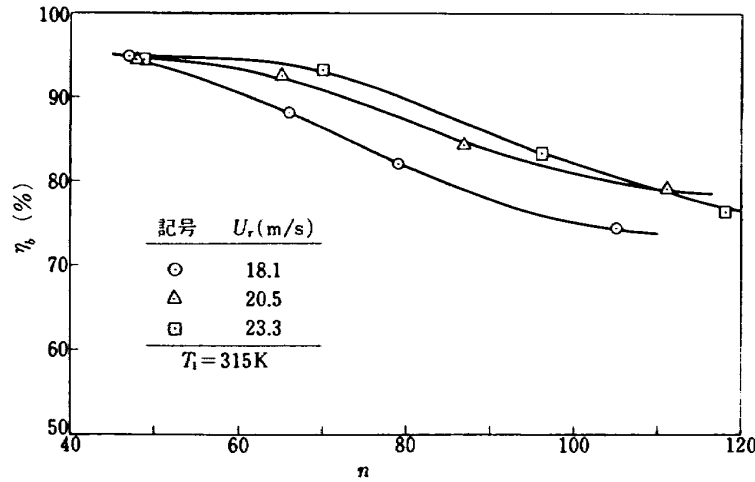


図 34 AS-2.0の燃焼効率特性

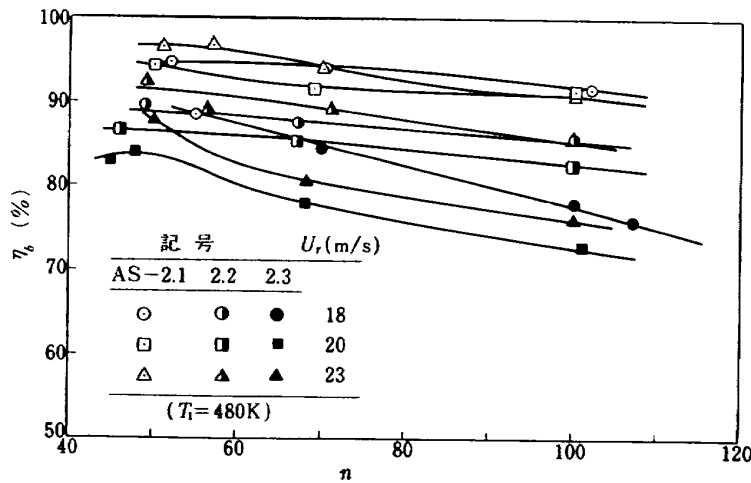


図 35 燃焼器AS-2.1 ~ 2.3の燃焼効率特性

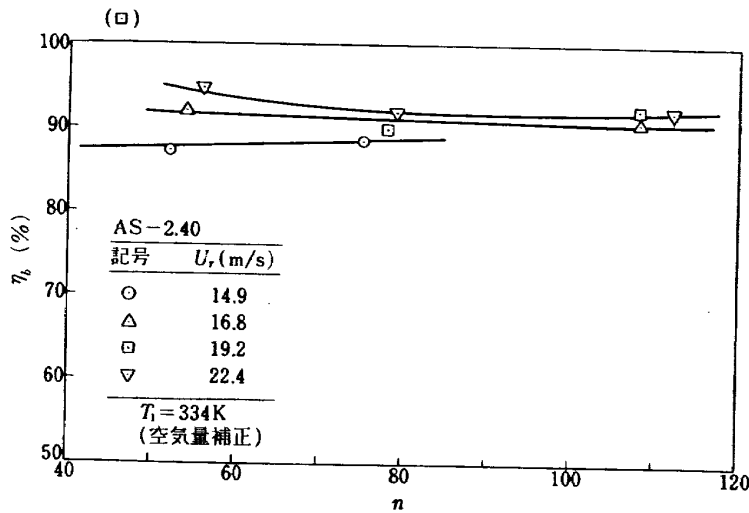


図 36(a) AS-2.4の燃焼効率特性

図 35 のようになる。この図から明らかなように、燃焼器 AS-2.1 が n が 50 付近で η_b が 95% 前後、 $n=120$ に至っても 88% を越える最良の燃焼効率を示している。

噴射管ヘスクープをつけた燃焼器 AS-2.4~2.6 の燃焼効率特性は、それぞれ、図 36~38 に示す。これらは著

しく燃焼効率が改善されている。すなわち、ほとんどの作動空燃比範囲で、90% 以上の燃焼効率であり、かつ空燃比増加に伴う低下も僅少である。

外側ライナにあげた 3 箇の径 8 mm の穴の影響は、AS-2.4 と 2.4.1 で比較するとほとんどわずかしかない。

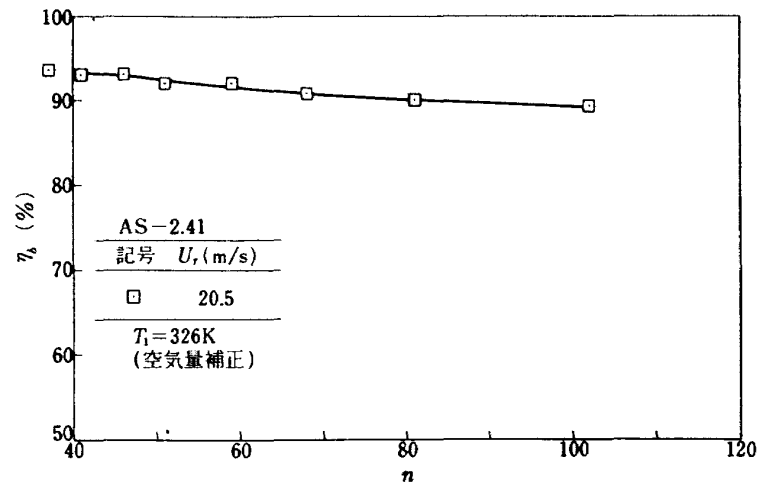


図 36 (b) AS-2.41 の燃焼効率特性

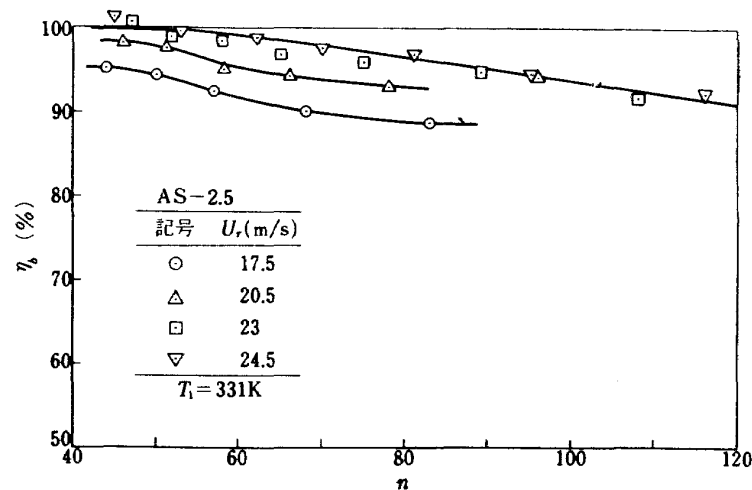


図 37 AS-2.5 の燃焼効率特性

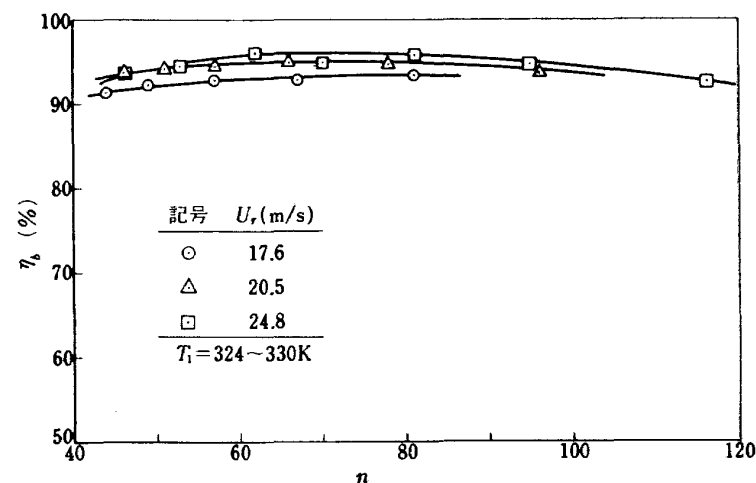


図 38 AS-2.6 の燃焼効率特性

トーム内へ直径 8mm の空気筒で新気を導入した AS-2.5 では、空燃比が小さい領域で 5% 程度の燃焼効率の向上がみられる。

外側第 1 列空気孔を全閉した AS-2.6 では、 n が小さい領域での燃焼効率が、かなり低下している。

これらの結果から、一次燃焼領域への新気導入は、燃焼効率向上へ、大きく寄与すると考えられる。

圧力損失 最も燃焼効率特性のすぐれていた AS-2.5 の全圧損失係数を図 39 に示す。これは CC10 燃焼器の設計点を考えると、十分低い値である。他の形式同様、最大断面平均風速によらずほとんど温度比に比例した傾向を示している。

出口温度分布 AS-2.5 の燃焼器出口半径方向無次元温度分布を、図 40 に示す。これによると、この温度分布

は、最大断面平均風速 U_r にほとんど依存せず一定の形となっている。空燃比 n の変化によってもこの分布形は変わらない。この特性は、他の気流微粒化燃焼器^{10),11)}と同一である。

AS-2.5 の円周方向無次元温度分布は、図 41 に示す。スワラをもった燃焼器の場合と対照的に、ほとんど山をもたない分布形をしめす。温度計位置では $\pm 7\%$ 以内の温度偏差にとどまっている。

5.4 燃焼器形式 AS-3 の特性

燃焼状態 この形式の燃焼器は、概して青炎燃焼をおこなう。今回の燃焼試験に用いたスワラは、AS-0 形のもを共用したものであったが、保炎性能が十分でない様子が見られた。ことに、出口側から見て、左側のスワラは、最も不安定で、空燃比が大きくなるにつれ、不安定となり、はなはだしくは火炎の吹飛びがおきた。これは互にスワラを交換しても同じ現象がおきたのでセクタ模型に特有のものと判断された。

また、原形 AS-3.0 による予備燃焼試験では、スワラによって形成される強制渦内に黄炎が生じ、これが燃焼室出口付近まで、伸びていた。これは、内外ライナの空気孔列が、各スワラをまたぐ配置にあるため、渦のコア(渦心)部分の燃料-空気の混合、新気との交代が不十分であるためにおきる。そこで AS-3.1 以降では、外側ライナ、空気孔第 1 列の中間でスワラの後流にあたる部分に、直径 8mm のキリ穴をあけた。これによって、上述の黄炎は、ほとんど消え、もしくは著しく短小となった。

着火特性は良好である。

燃焼効率特性 原形 AS-3.0 の燃焼効率特性を、図 42 に示す。この燃焼器は、最大断面平均風速 U_r が最も小さい 14.5 m/s のとき、空燃比 40~60 の範囲で比較的安定した燃焼をおこなうが、これより稀薄空燃比では、保炎性能が低下し、急激に燃焼効率低下がおこる。

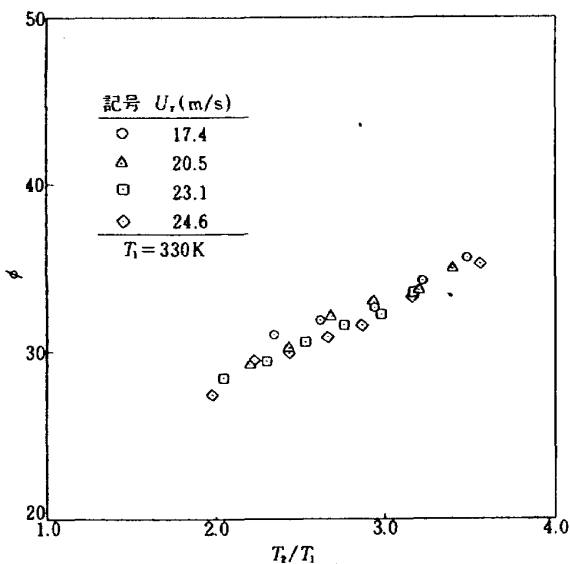


図 39 AS-2.5 の全圧損失係数

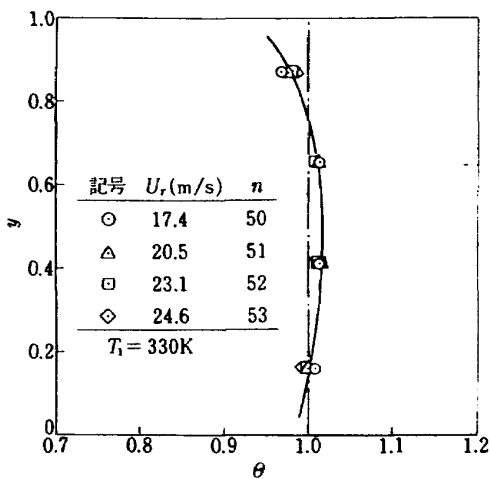


図 40 AS-2.5 の出口半径方向温度分布

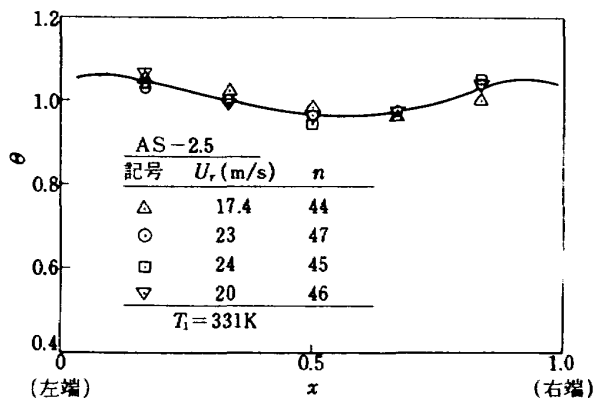


図 41 AS-2.5 の円周方向無次元温度分布

U_r が大きくなるにしたがって、保炎性能の低下はさらに著しくなる。

入口空気を加熱した場合の AS-3.1 の燃焼効率特性を、図 43 に示す。この場合には、AS-3.0 と較べて燃焼効率値、可燃範囲、共に著しく改善されている。すなわち、空燃比 50 付近で 80~90% の燃焼効率となっている。

しかし、空燃比増加に伴なり。燃焼効率の低下は、他の形式とくらべてなお急速である。

スワラによる渦の黄炎を解消させる目的であけた外側ライナの 3 個の 8 列のキリ穴以外の第 1 列空気孔を盲した AS-3.2 では、図 44 に示すように、空燃比の小さい範囲で、著しい燃焼効率の向上がみられた。

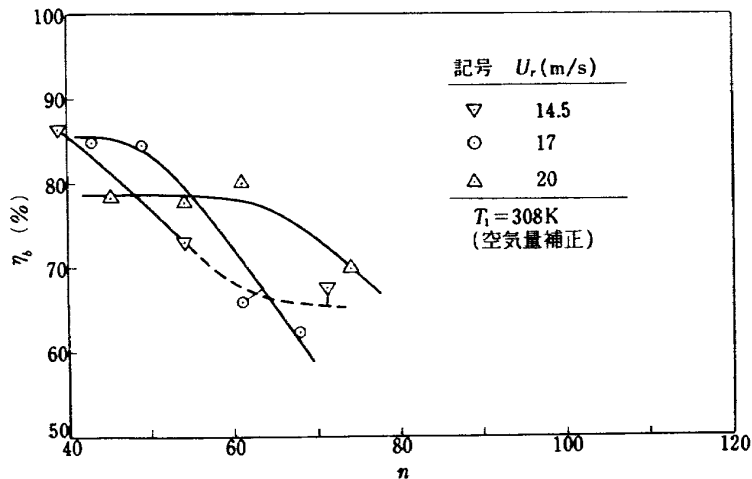


図 42 AS-3.0 の燃焼効率特性

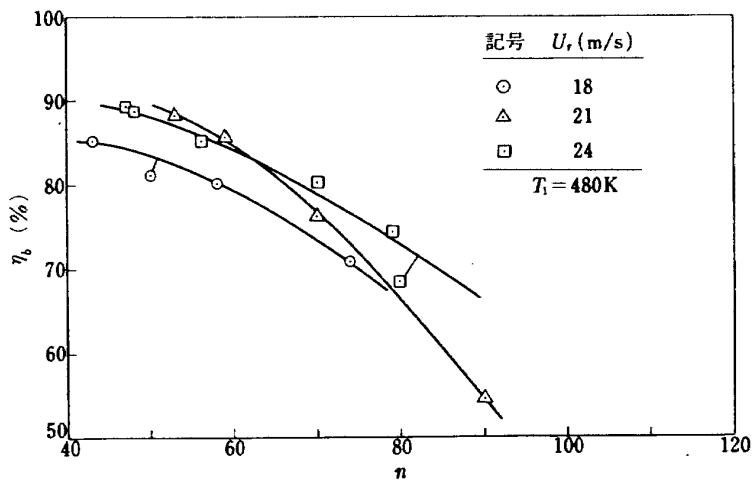


図 43 AS-3.1 の燃焼効率特性

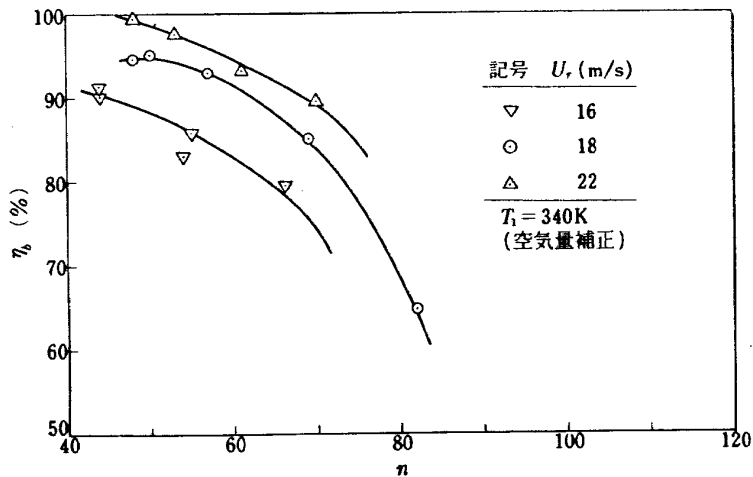


図 44 AS-3.2 の燃焼効率特性

これでもなお、空燃比の大きな範囲では、とくに、燃焼器出口からみて最左端のスワラの保炎性能が劣化する傾向にある。

デフューザコーンに入る空気量を制限したAS-3.3では、図45に示すように、再び、燃焼効率が90%以下の低い燃焼特性を示した。これは一次燃焼領域過濃にもと

づく燃焼性能低下が原因である。

AS-0.0と同一のスワラを使用したAS-3.4の燃焼効率特性を、図46に示す。燃焼効率の最大値は、AS-3.3なみに、余り良好ではないが、保炎性能が向上したため、空燃比の増加に伴なり燃焼効率の低下は、ゆるやかになっている。

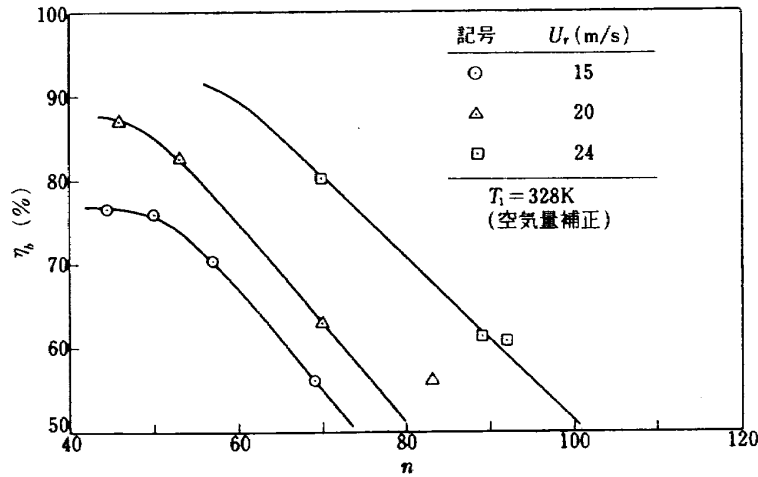


図 45 AS-3.3の燃焼効率特性

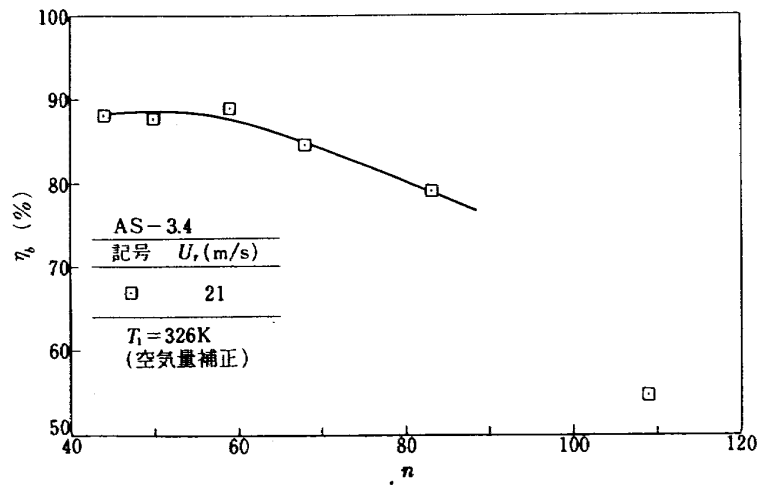


図 46 AS-3.4 燃焼効率特性

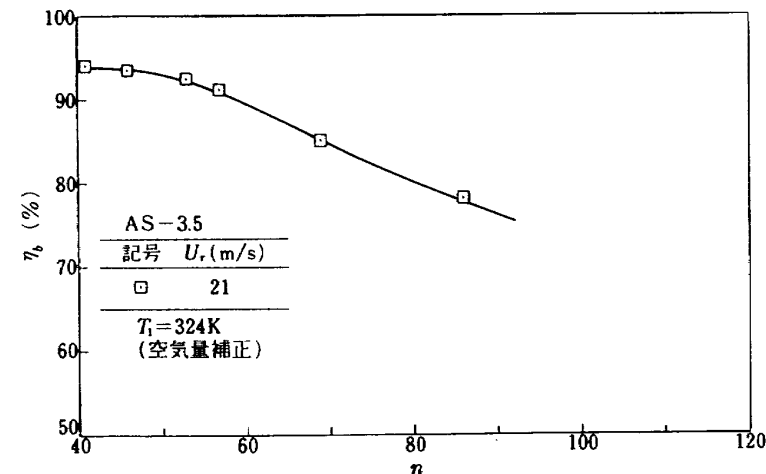


図 47 AS-3.5 燃焼効率特性

内/外径が4.25/5.4のスワラで、その流れの制御をはかって、カラー付リングを取付けたものを使用したAS-3.5では、図47に示すようにAS-3.4に優る燃焼効率を示した。

主燃料噴射弁のチップを、図7の(b)から(a)に交換した燃焼器AS-3.6の燃焼効率特性を、図48に示す。AS-3.5の場合と比較して、最大燃焼効率が95%程度で、大差ないこと、空燃比増加に伴う燃焼効率低下の勾配も余り変わらないことから、この影響は、比較的少ないと判断される。

総じて、この形式の燃焼効率向上には、スワラの保炎状態が重要な鍵となっている。

圧力損失 比較的燃焼効率特性のすぐれていたAS-3.5と3.6の全圧損失係数を、図49に示す。それによると、

この形式の全圧損失係数は、他のいかなる形式のものより、小さな値を示している。

出口温度分布 AS-3.5と3.6の燃焼器出口半径方向無次元温度分布を、それぞれ図50と51に示す。AS-3.5の温度分布の方が、所要のものに近い形である。

AS-3.5と3.6の燃焼器出口円周方向無次元温度分布を、それぞれ図52と53に示す。AS-3.5の場合には、偏差が±8%以内のかなり均一な温度分布を示している。それに反し、AS-3.6の場合には、AS-0.0などに類似して、出口側からみて中央よりやや左側に最高点をもつ、偏差の大きな温度分布となっている。これはAS-3.5では、スワラ外周にカラーが存在するため、スワラ後流の相互干渉が妨げられたためと考えられる。一方、AS-3.6では同じくカラーをもつが、入口リングの除去

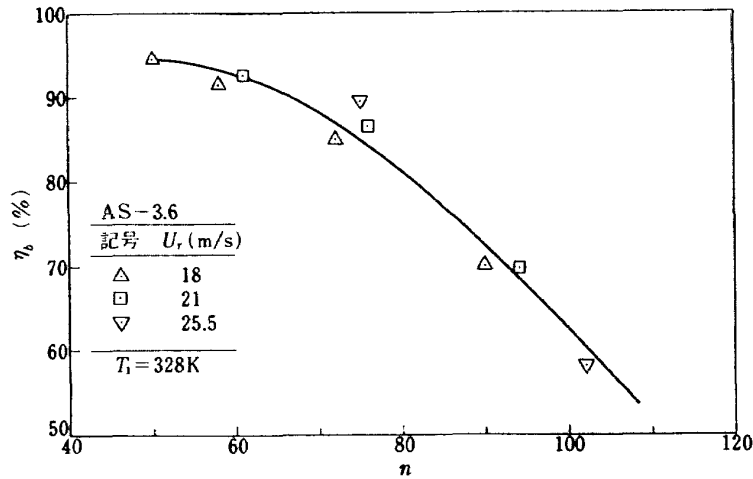


図 48 AS-3.6の燃焼効率特性

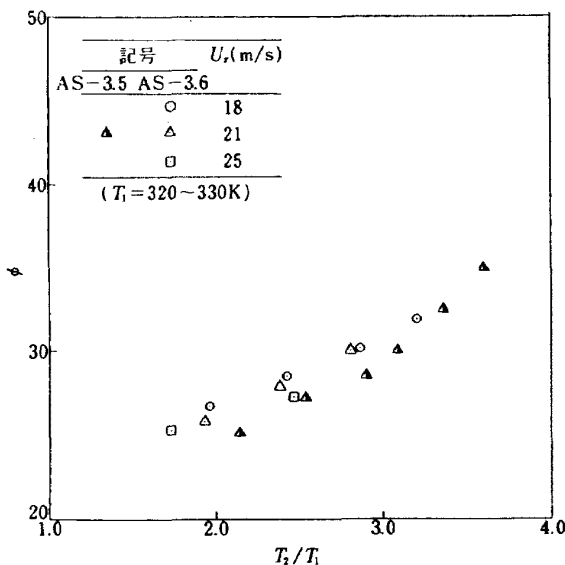


図 49 燃焼効率 AS-3.5 と AS-3.6 の全圧損失係数

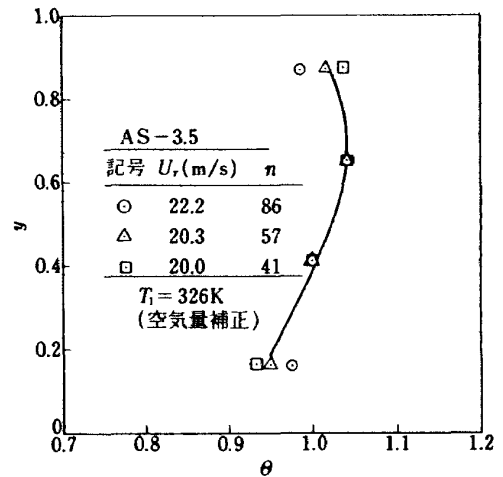


図 50 AS-3.5の出口温度分布

により多量の空気がスワローを通過し強い渦を形成し、カラーの作用が十分でなくなったためと判断される。

6 検 討

最初に、各供試燃焼器の常圧燃焼試験での特性を、表

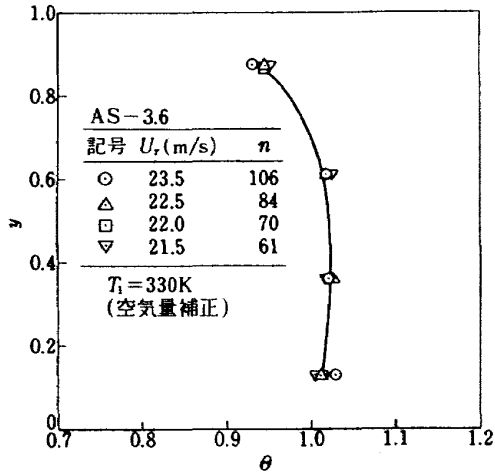


図 51 AS-3.6の出口温度分布

1に示した設計点付近の風速と空燃比の条件について比較する。そして最も燃焼器特性のすぐれたものあるいは、低公害、高圧力比エンジン用燃焼器として潜在的にすぐれた特性をもつものを選びとする。

6.1では、前章の結果を特性別に比較し、優劣を考察する。また、相互に共通した特徴などを記す。

6.2以下では、各形式の燃焼器の特質、有望性、問題点などを論ずる。

6.1 各燃焼器特性の比較

燃焼効率特性の最も良好であった各形式の代表を、図54で比較してみる。これによると、設計空燃比5.5付近で最も燃焼効率のよいものは、AS-2.5とAS-3.6である。次にAS-0.0がすぐれている。

これらのうち、AS-2.5は、他の最大断面風速でもっと良好な燃焼効率を示していることから、混合気噴射管、燃焼器内への空気流量配分等を、吟味改良すれば、容易にほとんどの作動空燃比範囲で $\eta_b = 100\%$ となる燃焼器にすることができると考えられる。

AS-3.6は、設計点空燃比以上の空燃比での燃焼効率

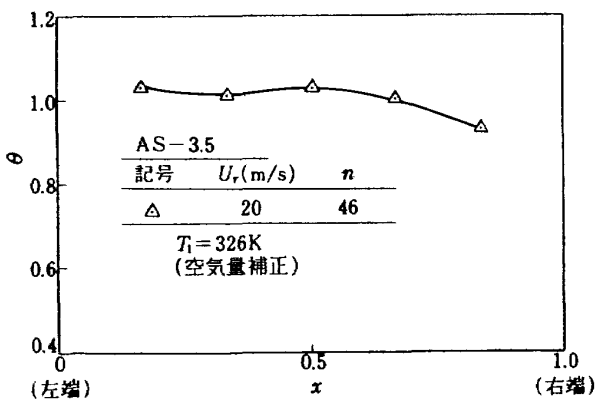


図 52 AS-3.5の円周方向無次元温度分布

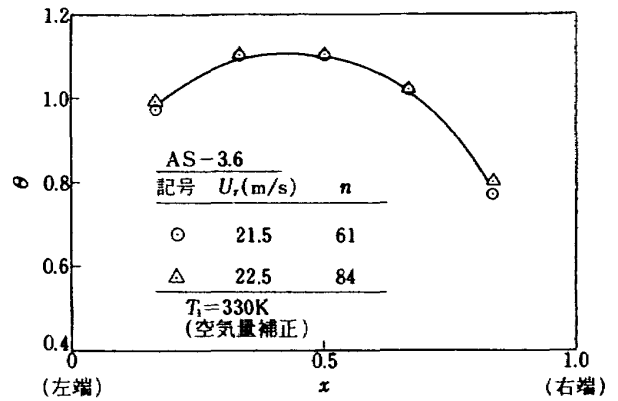


図 53 AS-3.6の円周方向無次元温度分布

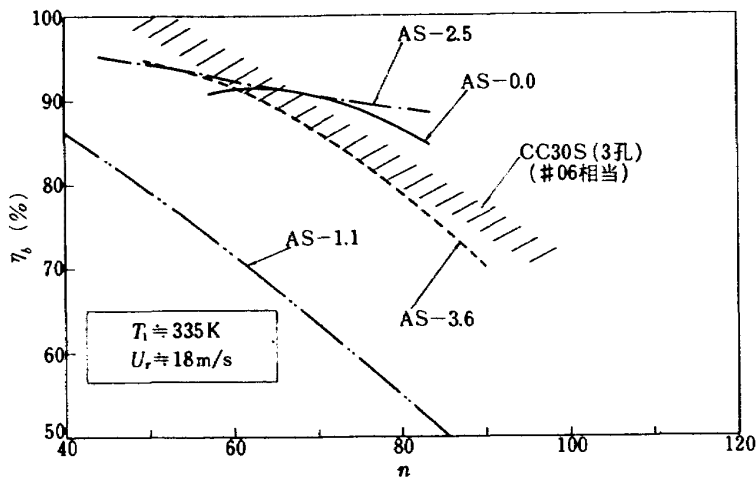


図 54 各燃焼器燃焼効率特性の比較

がやや急速に低下する。これは、これにもちいたスワラの保炎性能が未だ十分のものでないことによる。AS-3.6では、スワラへ仮設したカラーがスワラ相互の干渉をなくし、かつプライマリ噴射弁による良好に微粒化された燃料が保炎性能向上に役立っていると考えられる。しかし、このカラーは、部分的に赤熱し、入口空気温度が高い場合には、焼損のおそれがある。

このAS-3形式については、さらに基礎研究をかさねて、保炎性能の良好なスワラを製作しなければならぬ。

図54に参考として燃焼効率の傾向を示したCC30Sは、実機試験用にもちいられた燃焼器の分割箱型モデルである。常圧試験で、この程度の燃焼効率特性をもっているものは、入口空気が、高温、高压の実機条件では、通常、燃焼特性が向上するので使用可能である。

圧力損失の点から、上記の燃焼器を比較してみると図55のようになる。

設計の目標としている全圧損失係数は、設計点(温度比で1.92)で45程度であるので、¹⁾ いずれの形式もこれを下まわっている。

AS-0形式の場合、他の形式よりかなり高い値をしめしているため、今後の分流板微粒化特性の改良をおこなっていく上に、圧力損失の上昇に十分気を配っていく必要がある。

AS-0を除く他の形式の燃焼器では、全圧損失係数が十分に低く、気流微粒化促進、保炎性能向上、出口温度分布調整、ライナ等の冷却などのため、空気配分と流れ模様の改善をおこなう余裕があることを示している。

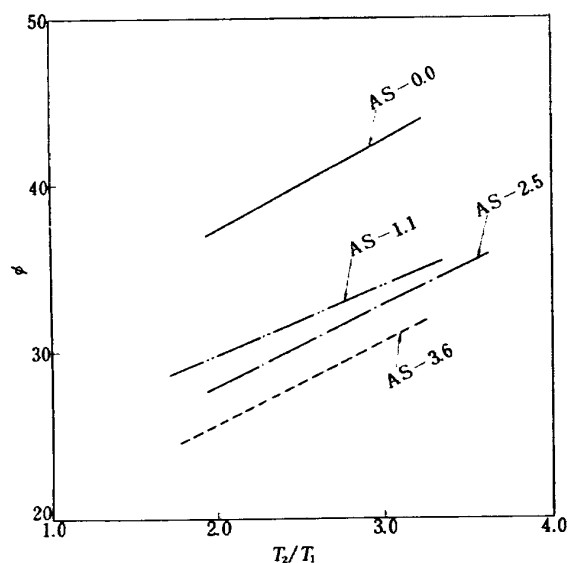


図 55 各燃焼器の全圧損失係数の比較

燃焼器の出口温度分布を、各形式について検討してみると次のようである。

すべての供試燃焼器で、温度上昇を基準とした無次元温度分布表示をもちいると、空燃比や最大断面平均風速にほとんど依存しない一定の温度分布となる。これは、観察の結果からも判断されたように、火炎の伸び等の現象がほとんどなく、温度分布形は、燃焼室内の流れ模様によってほぼ決定されると考えられる。

したがって、今回は温度分布形について何ら調整の試みはしていないが、その段階にいたれば、比較的容易に分布形を所要のものにすることができよう。

半径方向の温度分布形についてみれば、AS-2.5, 3.6, および0.0は、それぞれ平均からの偏差値が3, 5および7%以内にある。AS-1.1形ではその値が15%であり、これは、微粒化性能が不十分なためである。

円周方向の温度分布は、一般にスワラ付のものはセクタ形状と独特の干渉をおこし、出口よりみて中心やや左側に最高温度点が存在する。AS-3.5のようにスワラにカラーをつけ相互の流れの干渉をなくしたものでは、図52のように比較的均一な温度分布になっている。スワラのないAS-2形では、この影響がないため、非常に均一な出口温度分布となっている。

このスワラ流れの相互干渉によって、出口温度の最高点が左側に寄る原因については、次のように考えられる。

スワラの旋回方向は、3個共、出口側からみて左旋回である。この結果、セクタ燃焼器室内でライナや側板に沿って、全体として左回りの流れが形成される。燃焼器出口の位置は、図1に示したように、スワラの中心軸から外側ライナ側にはずれている。したがって、燃焼器出口では、外側ライナに沿った左方向の流れの影響を受けるものと考えられる。すなわちスワラ後部の比較的高温の燃焼ガスは、出口中央やや左側へ寄せられる。一方、内側、外側ライナに沿った冷却用空気等はそれぞれ、右側と左側の側板等へ衝突し、出口の両端の温度を低下させる。

6.2 AS-0形式の検討

燃焼器形式AS-0では、次のような構造上の問題があった。すなわち、混合気噴射管と分流板等の相対位置が、組立時に毎回僅かであるが異なるため、燃焼性能に影響が現われた。

この原因として次の二点が挙げられる。

ひとつには、混合気噴射管の固定法である。分流板内筒部分は、固定ピンによってケーシングに固定される。ところが、混合気噴射管は、図3の連結管座③上にてア

スベストパッキンを介して固定される。そのためそれらの相対位置は、取付けのたびに微小ではあるが相違ができる。噴射管の位置とスワラ位置の相違による「逃げ」は、スワラ中心の可動リングでおこなう。しかし、その変位は、スワラへ流入する空気の通路である図3の⑤と⑥の間隔と相対位置を変化させる。その結果、旋回流用と燃料微粒化用の空気量配分に影響を与えることになる。

つぎに、混合気噴射孔の向きとライナ等の相対位置が、一定とならないために、噴射孔からの混合気ジェットの噴射方向が、組込みをした度毎に異なった。そのため、この混合気ジェットが隣の噴射管からのジェットと干渉したり、ライナ面への衝突する様子がその場合によって異なり燃焼性能に影響を与えた。

そのほか、今回の常圧試験結果では、燃料の微粒化状況はほぼ良好であったが、今後の高圧条件下の試験では、混合気噴射孔面積あたりの燃料流量が増加し、微粒化性能が劣化すると予想されるので、燃焼性能やすすの発生に注意する必要がある。

なお、プライマリ燃料を主燃料と同時に噴射したときの燃焼特性は次のようである。

概して、数%の燃焼効率向上となる。また、空燃比増加に伴う燃焼効率の低下が、ほとんど僅かしかおこらない。その特性の一例を、図56に示す。

しかし、プライマリ燃料を噴射することによって出口温度分布の偏差が過大となり、燃焼器出口での算術平均温度値にもとづく燃焼効率に数%の誤差を含むことになるので、定量的検討はここでは難しい。

高圧燃焼時には、一般に燃焼効率特性が良好となるので、このプライマリ燃料噴射によって燃焼効率向上をはかる必要はない。

6.3 AS-1形式の検討

AS-1形式では、燃料供給管の構造と、気流微粒化用空気の導入に問題があった。

まず、隔壁板にスワラが固定されているため、スワラに付属の燃料噴射系(図9の⑳)は、ケーシングの燃料供給座(図9の㉑)にたいして自由度が少ない。このため、燃料管接続部のガスケット締付け不良にもとづく、燃料洩れが頻繁におきた。

また、本形式で用いたスワラは、JR-100などで、保炎性能が確認されているものであるが、燃料噴射管(図9の㉒)を羽根間に挿入するには、羽根間隔が狭すぎる。燃料噴射管は、出口噴口径が十分に大きく、かつ羽根間の流路の抵抗とならないものが望ましいが、加工上の理由から、本実験に使用したような形態となった。燃料供給法の原理としては、中空羽根の内部や、スワラボスから燃料を噴出させる方法も考えられたが、いずれも加工上、または組立上、困難を伴う構造となる。

したがって、本形式について更に発展させるときは高速気流の通過にも保炎性能が良好で、かつ燃料を容易に羽根間へ供給できる特殊なスワラを設計する必要がある。

燃焼器AS-1.0の場合は、JR系燃焼器のような分流板をつかって、スワラにそれと同等の保炎性能をもたせようとした。しかし、図29に結果を示したように十分な燃焼をおこなわせ得なかった。これは、この種のスワラが、ボス部の逆流領域を保炎の手段としているにも拘わらず、AS-1.0の場合には気流微粒化が十分におこなわれず、この領域で適正な混合比の気体を確保できなかったことによる。

AS-1.1の場合には、燃料噴射孔近くの気流速度が増加したため、気流微粒化は向上した。しかし、スワラ

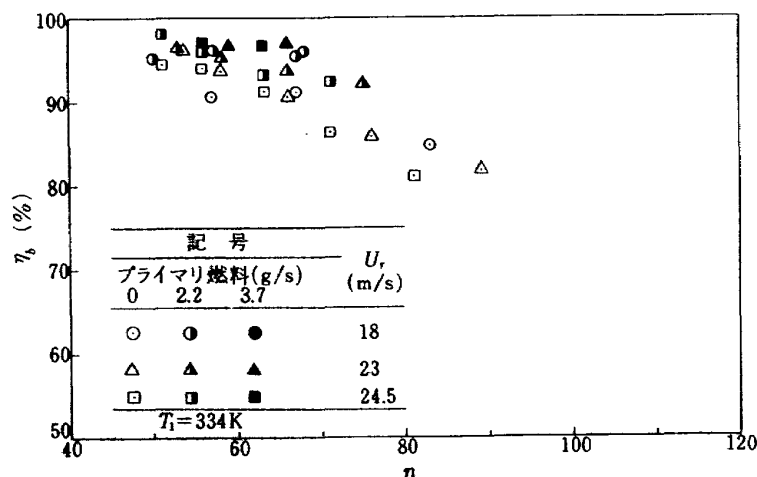


図 56 AS-0.0のプライマリ燃料を噴射したときの燃焼効率特性

の開口部の大部分が盲されたため、保炎性能は低下し、不満足な結果となった。

6.4 AS-2形式の検討

AS-2形式では、AS-2.5などが、ほとんど申し分ない常圧燃焼器特性となっている。しかし、今後、排気ガス分析や高圧燃焼試験をおこなっていく上に懸念される点を検討してみる。

燃焼器AS-2.1は、図35に示したように全作動範囲で90~95%の燃焼効率を示した。その時の燃料は、混合気噴射管出口で空気噴射方向と同一方向に噴射している。これは、気流微粒化の基礎研究から最も効果的な液体微粒化法である。しかし、燃焼器内の観察によると、混合気噴射管からの燃料は、良く気流微粒化されているものの、ライナ面との距離が短いためにほとんど蒸発のいとまもなく、ライナ面に衝突し液膜流を形成している。この液膜面は、広くドーム内面を覆って混合気噴射管根本近くにまで達している。

気流微粒化によって、混合気形成をはかるとい立場からは、上記の現象は好ましくないので、混合気噴射管内で、出来るだけ燃料と空気の混合や蒸発をはかため、燃焼器AS-2.2以降の燃焼器では、混合気噴射管内で燃料を気流と垂直の方向へ噴射した。

その結果、燃焼器AS-2.2や2.3では、燃焼効率が全体として低下してしまった。この原因は、混合気噴射の方向が、下側ライナ面にほとんど垂直方向となっていたために、混合気のかなりの部分が保炎領域であるドーム内へ向わず、下側ライナ面に沿って燃焼不完全のまま排出されてしまうと判断された。

混合気がドーム方向へ向かうよう図15に示すスクープをつけたことにより、図36~37に示すような著しい燃焼効率特性の改善をみた。

しかし、燃焼室内のこのような突起物の存在は、設計方針(7)にそむく。重要な点は、ドームにたいする混合気の噴射位置と方向と考えられるので、これらを定めるのが次の研究課題であろう。

また、この形式では、ドーム内面にうすい燃料膜が広がっている。この冷却効果のため、ドーム部の過熱は、入口空気温度490K、空燃比130の場合に一部暗赤色となった場合のほかは全くなかった。

しかし、高圧条件下では、入口空気温度が高いためドーム内面と液膜間にライデンフロスト現象がおき、熱伝達率が低下すること、燃料が臨界状態に近づくため蒸発潜熱等が急激することなどによって燃料による冷却効果は期待できない。したがって、本形式の高圧燃焼試験用模型では、ドームの冷却に関して特別の配慮をする必要

があろう。

6.5 AS-3形式の検討

AS-3形式では、スワラ上流の混合気に着火しないことが、安全性の面から重要である。また燃焼試験の結果からは、スワラの保炎性能が、この形式の燃焼器特性改善の重要な鍵であることがわかった。

最終的に実用に供し得るような形態で設計をおこなっている本燃焼器では、火炎伝播などについての基礎研究の結果が、ただちに適用できるほど単純化した構造や流れ模様をもっていない。しかしここでは、ある程度、現象を単純なものに模擬して、保炎性能とスワラ上流の混合気への着火について検討する。後者については、燃焼室内の火炎が、スワラ羽根間の通路を伝播してくる、いわゆる逆火現象と、混合気のおかれた条件から自己着火する現象が考えられる。

まず、逆火現象と保炎性能とは、混合気の燃焼速度に密接な関連があるので、以下に検討してみる。

一般に保炎性能の良好なスワラは、旋回羽根、またはボス外周の後流側へ火炎が付着している。図57に示すのは、その一例で、スワラの保炎試験としてスワラ逆流部へプロパンガスを吹き込んで燃焼させたものである。保炎性能が不良の場合には、付着している火炎が離れてしまい、火炎の吹飛びがおきる。

一方、逆火がおきる場合には、混合気の流速に火炎伝播速度より遅い部分ができるか、または、流れの速度勾配に不十分な部分ができ、上流側へ火炎伝播する。

これらは、丁度、火炎伝播の基礎研究でよく知られている円管端での予混合気燃焼の際の吹飛び(blow off)と逆火(flash-back)の現象と類似とみることができる。

そこで、本燃焼器スワラ羽根間を流れる混合気について、相当直径の円筒を流れる予混合気を想定して保炎と逆火について考えてみる。

まず、燃焼器作動条件における、火炎伝播速度をみて

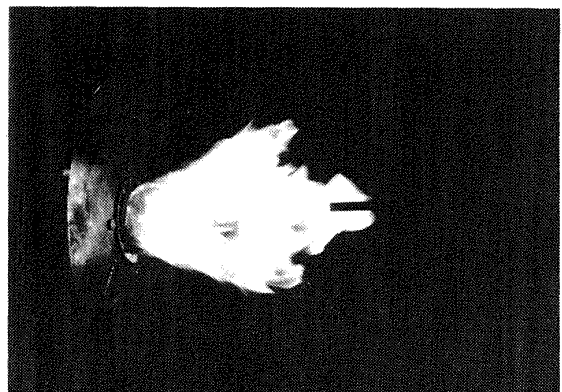


図 57 AS-0.0または3.4用スワラの保炎テスト

みる。本実験で使用した燃料，ジェットA-1の当量比での層流燃焼速度は38 cm/sである。

燃焼器作動条件中，燃焼速度に最も影響をおよぼすのが，予混合気の初期温度である。HeimelとWeast¹²⁾によれば，燃焼速度 S_u は

$$S_u = B + C \cdot T_i^n$$

ここで B と C は，それぞれの燃料にたいする物性値で， n は2と3の間の数値である。常温でジェットA-1とほぼ同じ燃焼速度をもつプロパンの場合に，本燃焼器高圧設計点の703Kの値をみると，燃焼速度は180 cm/sとなる。

混合気が乱流となった場合の燃焼速度は，やや増加するが幾倍にもなることはない。たとえば，プロパンと空気の混合気について，BollingerとWilliams¹³⁾によれば，層流で39 cm/sの燃焼速度が， $Re = 30,000$ でも約70 cm/sにしか増加しない。LefebvreとReid¹⁴⁾によるプロパンにたいする式

$$S_t = S_u(1 + 1.41 u' + 0.131 U)$$

によっても，乱流燃焼速度は層流での値と同じオーダーであることがわかる。ここで u' は，乱流成分の二乗平均値， U は平均流速で，単位は m/s である。

燃焼速度が圧力に依存する影響は，さらに小さい。Lewis¹⁵⁾によれば，圧力 P_a, P_b における燃焼速度をそれぞれ $S_{u(a)}, S_{u(b)}$ とすれば，プロパン程度の燃焼速度のものにたいし，

$$\frac{S_{u(a)}}{S_{u(b)}} = \left(\frac{P_a}{P_b}\right)^{-0.05}$$

となる。これは，一気圧以下の混合気について実験した圧力指数の関係であるが，もし本燃焼器の設計点17 ataでもこの関係が用いられるとすれば，38 cm/sの燃焼速度は33 cm/s程度になる。

一方，本燃焼器スワラの羽根間を通る混合気速度は，図19の作動範囲で50~71.5 m/sであるから燃焼速度より大きい。

次に，混合気の数値勾配についてみる。比較的保炎性能の良好であったAS-3.4のスワラ（AS-0.0と同一スワラ）の羽根間流路断面相当の円管径は10.4 mmである。これを通る空気にたいする摩擦係数 λ と，壁面でのせん断力の定義

$$\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_0 = \frac{1}{8} \lambda \rho \bar{u}^2$$

から，速度勾配 $(\partial u / \partial y)_0$ を求めた。

その値は燃焼器作動条件に従い， $0.66 \sim 2.5 \times 10^6$ s⁻¹ 程度となる。

ジェット燃料A-1とほぼ同じ燃焼速度，37 cm/s

をもつ天然ガスにたいする火炎安定性は，図58に示すようである¹⁶⁾。これによると天然ガスでは，速度勾配500 s⁻¹以上では，いかなる混合気濃度でも逆火はおこらない。

一方，図58によると，混合気濃度が稀薄なほど，吹飛びの限界は，低速度勾配にある。スワラの保炎性能は，羽根の後流の影響ばかりでなく，ボスや渦のつくる流れの関連も強いが，今回の実験で，本燃焼器スワラが，空燃比が大きくなるにつれて保炎性能が低下した事は，上のことを定性的に示している。また，デフューザコーン入口にリングをつけて，スワラに入る空気量を制限したAS-3.3~3.5では，その他のものと較べて，空燃比の増加に伴う燃焼効率低下が少なく，保炎性能の向上を示している。これも，速度勾配過大がやや緩和された結果であろう。

結局，本実験では，逆火にたいする安全性の配慮から，スワラ羽根前流側へ網をもうけたが，上の検討から通常の作動条件下では，この網は不要であることがわかる。

また，保炎性能を良好とするためには，羽根通過流速が大きいことは不利であることが予想された。

次に，スワラ上流側混合気の自己着火の可能性について検討する。

一般に可燃混合気は，圧力または温度の上昇に伴って自己着火を起し易くなる¹⁶⁾。その限界は，横軸に圧力，たて軸に混合気温度をとった場合，逆S字状またはL字形となる。n-オクタン，n-ヘプタンおよびイソオクタンの例についてみると，8気圧以上の場合，前二者では523K，後者では553K以下では自己着火しない。逆に，イソオクタンの場合，8気圧以下でも温度が623K以上であったりすると自己着火する¹⁷⁾。

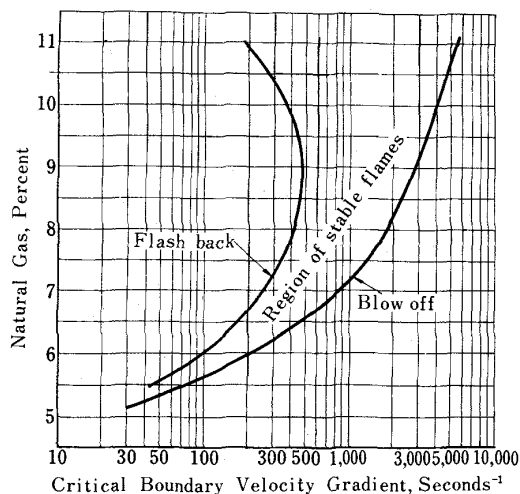


図 58 天然ガスと空気の混合気にたいする火炎安定性¹⁶⁾

したがって、最終的に目標としている高圧条件下の試験条件では、燃焼器入口空気温度がすでに703K程度であるので十分混合気が着火する条件にある。しかし、着火遅れ時間を考えると、それはスワロー上流で燃料を噴射し、その混合気がスワローを通過するのに要する時間、約1msとくらべ十分に大きい。

n-ヘプタンと空気の当量比混合気を15~20気圧に断熱圧縮して、着火遅れ時間を測定した Scheuermeyer と Steigerwald¹⁸⁾の結果では、温度976Kで7ms、Jost と Teichmann¹⁹⁾の結果では、5msである。

したがって、燃料を噴射し、混合気をつくるデフューザコーン内に流れの滞留する部分などをつくらない限り、十分着火遅れの時間内に、混合気は、スワローを通過して、燃焼室内に達すると考えられる。

そのほか、今回のAS-3形式の試験で、問題となったことは、燃料が、内筒外へ洩れ出たことである。

これは、スワロー前流側のデフューザコーン内に噴霧された燃料が、まわりの壁面に付着し、液流となって隔壁板やライナ組付部のスキ間から流出することがわかった。逆火防止のためもうけたスワロー直前の網も、微粒液滴が付着することにより粗大液滴ないしは液流形成に役立っているように観察された。

組付け部からの燃料洩れは、AS-3.1以降でその部の接着剤密封により解決できた。各部位への燃料液滴衝突による液流の形成は、入口空気温度が高いAS-3.1のときは、ほとんどおきなかった。これは、入口空気温度が高いときは、壁面の高温化でライデンフロスト現象がおきるか、付着燃料液滴の急速な蒸発がおきるためと考えられる。

以上の検討から、今後のこの形式の燃焼器改良に、次の点が提言できよう。

- (a) 保炎性能のより優れたスワローを設計すること。
- (b) スワロー直前の逆火防止網は、不要である。
- (c) デフューザコーン、スワロー、隔壁板などの結合部は、気密構造とすること。
- (d) スワローにより形成される強制渦には、空気導入が必要である。このためには、ライナ空気孔の一部を千鳥配列にして、一部の空気噴流がスワロー後流軸上にあたるようにするなどの手段が必要である。

7 ま と め

有害排気成分低減を目標に、基礎研究の成果をできるだけ折り込んだ実用形燃焼器のセクタ模型を、4形式試作した。今回は、その常圧燃焼試験をおこない、その燃焼性能について考察した。

その結果は、

(a) 設計点近傍で、最も燃焼効率のすぐれているのは、AS-2.5である。次にAS-3.6とAS-0.0が続く。AS-2.5は設計点外でも良好な特性を示す。

(b) AS-2形は、一般に空燃比大での特性が良好である。空燃比過小のときには、ドーム内に黄色炎が発生し、時には不安定燃焼となることがある。そのような燃焼器への対策としては、この部位へ新気を導入することが有効で、燃焼効率向上に役立つ。

(c) AS-3形では、比較的大流量の混合気のために保炎性能の良好なスワローを設計する必要がある。逆火のおそれは、作動条件内にはない。

スワローによる強制渦内に黄色炎が発生することがあるが、スワロー軸上へ向かう空気流によりこれを解消することができる。この意味で、ライナ空気孔は、半ピッチ円周方向にずらしたものが、千鳥配列にした方が、この場合によいようである。

(d) AS-0形では、設計点近傍の空燃比状態で、やや輝炎の発生がある。保炎性能は良好である。組立時に、燃料噴射管等の相対位置に異質がでて、特性に変化があるので分流板等の改良が必要である。高圧条件下での燃料微粒化は、劣化するので、噴射孔等の相応した改良が必要である。燃料噴射管温度は十分低い値である。

(e) AS-1形では、燃料の気流微粒化が良好でなかった。この形式の発展のためにはスワローや燃料噴射ノズルの形状構造を改良し、スワロー羽根間の空気流速を減殺することなしに燃料供給をおこなえなえる特殊な形態を考える必要がある。

(f) 燃焼器圧力損失は、AS-0.0以外は、十分に低い。AS-0.0もCC10の設計値以内にはある。

(g) 出口温度分布を無次元表示すると、空燃比、最大断面平均風速に依存しない形となる。半径方向温度分布偏差は、AS-2.5では、3%以下である。円周方向温度分布は、5%内外の偏差で、平坦である。

(h) スワローのある燃焼器の場合、そのセクタ形状とスワローの旋回流がたがいに干渉して流れのかたよりがおこる。その結果、温度分布では、出口側よりみて、やや左側に温度最高点がくる。また、出口側よりみて左側のスワローの保炎性能が劣下する。

以上、試作四形式燃焼器の常圧試験結果より、いくつかの燃焼器で、満足な燃焼器特性が得られた。

また、それぞれの燃焼器形式の特徴と問題点が明らかとなった。

今後は、さらに所期の目標に近づくため、燃焼器内外

のガス分析と高圧燃焼試験をおこない、漸次改良をかさねて、有害排気成分の低い、高性能の燃焼器を開発、研究していくつもりである。

文 献

- 1) 鈴木邦男, 石井浅五郎; 高圧燃焼器の研究(I), 航技研資料 TM-254 (1974/4)
- 2) MacFarlane, J. J., Holderness, F. H. and Whitcher, F. S., " Soot Formation Rates in Premixed C₅ and C₆ Hydrocarbon Flames at Pressures up to 20 Atmospheres ", Comb. and Flames, Vol. 8, No. 3 (1964/9)
- 3) Fletcher, R. S. and J. B. Heywood, " A model for nitric oxide emissions from aircraft gasturbine engines ", AIAA 71-123 (1971/1)
- 4) 斉藤隆, 鈴木邦男; 航空用ガスタービン燃焼器における排気制御の研究(I), 航技研資料 TM-230 (1972/7)
- 5) Cornelius, W. and W. G. Agnew, Emissions from Continuous Combustion Systems, Preum Press (1972)
- 6) 鈴木邦男, 石井浅五郎; 高圧燃焼器の研究(III), 航空技研資料 TM-285(1975/10)
- 7) 航技研原動機部; 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, TR-24 (1962/2)
- 8) Childs, J. H. and Graves, C. C., " Relat-
- tion of turbine engine combustion efficiency to second-order reaction kinetics and fundamental flame speed". NACA Research Mem. E54G23 (1954)
- 9) 鈴木邦男, 石井浅五郎; 高圧燃焼器の研究(II) 航技研資料 TM-242 (1973/6)
- 10) 田丸卓, 鈴木邦男; 燃料蒸発管に関する研究(IV), 航技研資料 TM-282 (1975/8)
- 11) 田丸卓, 鈴木邦男; 燃料蒸発管に関する研究(V), 航技研資料 TM-301(1976/3)
- 12) HeimeI, G. A. and Weast, R. C. ; Sixth Symposium on Combustion (1957) p. 296
- 13) Bollinger, L. M. and Williams, D. T. , NACA TN-1707 (1949)
- 14) Lefebvre, A. H. and Reid, R. Combustion and Flame, 10 (1966) p. 355.
- 15) Lewis, B. ; Proc. Roy. Soc. A. 222, 1. (1954)
- 16) Lewis, B., and von Elbe, G ; Combustion, Flames and Explosions of Gases, Academic Press Inc. (1961)
- 17) Maccormac, M. and D. T. A. Townend; J. Chem. Soc. (1938) p. 238; cf. 16)
- 18) Scheuermeyer and H. Steigerwald; Motortech. Zeitschrift, Stuttgart, Vol. 8-9 (1943); cf. 16)

付 録

A1 常圧系燃焼器試験装置空気洩れ補正

常圧系燃焼器試験設備の空気供給系の空気量計測オリフィス以降に、空気洩れがあった。それは、空気加熱装置（今回不使用）の後部のフランジゆがみと、燃焼器取付部前流側しぼり管溶接不良箇所のクラックによるすきま洩れであった。1975年6月25日にそれらの修理を完了した。したがって、それ以前の実験値には、空気量の洩れにたいする以下の補正を行なった。

洩れた空気量を Δw_a とすると、これは、未知のすきまの面積 A と流量係数 C に比例すると考える。

非圧縮性流体の理論から、

$$\Delta w_a = CA\sqrt{2g\tau_a\Delta P} = \epsilon\sqrt{\frac{\Delta P(P+\Delta P)}{T_1}}$$

ここで、 τ_a, T_1 は、それぞれ空気流の比重量と温度、 P と ΔP は、それぞれ大気圧とダクト内外の圧力差である。

上式の比例定数を実験的に求めるためにAS-3.6の実験結果について、空気洩れ前後のものを比較した。図A1に、 ϵ をパラメータとした比較を示す。

主として燃焼効率特性と全圧損失係数について比較し、 $\epsilon=0.30$ が適当であることがわかった。

したがって、空気洩れ修理前の常圧系試験装置による実験結果のすべてに上記の補正係数を適用した。

A2 各燃焼器の実験データ

以下に示す表は、各燃焼器にたいする実験計測値を計算機で処理させた結果である。

備考中の略称は、次を意味する。

- B : 保炎性能不良
- $m + \Delta P_f$: 実験番号 m の主燃料量をそのままにして一定量のプライマリ燃料を噴射したものの。
- $m + 2\Delta P_f$: 上記のプライマリ燃料一定量を2倍としたもの。
- R_1 : 軽い振動燃焼, 又は音響振動燃焼
- R_2 : 強度の振動燃焼, 又は不安定燃焼
- Y : 黄色炎多
- w_a^* : 空気量補正された値

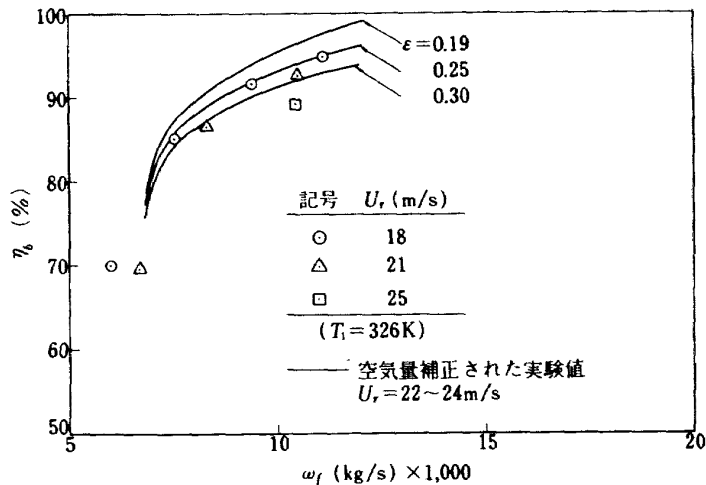


図 A1 空気漏洩を補正した燃焼効率特性と漏洩解消後の燃焼効率特性の比較

| 燃焼器 | | AS-0.0 | | | | | | | | | | | 参考図 : 23 | | |
|----------|----|--------------|------------|-----------------|---------------|--------|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|----------|--------------|----------|
| 実験 月日 | 番号 | P_1 ata | T_1 K | w_a^* kg/s | w_f kg/s | η | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備 考 |
| 4.18 | 1 | 1.126 | 288. | 0.6769 | 0.0129 | 52. | 976. | 688 | 3.39 | 0.338 | 93.6 | 18.2 | 44.4 | 0.082 | |
| 4.18 | 2 | 1.118 | 293. | 0.6813 | 0.0115 | 59. | 906. | 613. | 3.09 | 0.305 | 93.2 | 18.7 | 42.5 | 0.082 | |
| 4.18 | 3 | 1.109 | 293. | 0.6881 | 0.0097 | 71. | 805. | 512. | 2.75 | 0.337 | 90.9 | 19.1 | 41.2 | 0.082 | |
| 4.18 | 4 | 1.100 | 293. | 0.6943 | 0.0082 | 84. | 720. | 427. | 2.46 | 0.404 | 89.4 | 19.4 | 40.1 | 0.083 | |
| 4.18 | 5 | 1.085 | 295. | 0.7026 | 0.0060 | 117. | 559. | 264. | 1.90 | 0.506 | 74.7 | 20.0 | 38.9 | 0.084 | |
| 4.18 | 6 | 1.083 | 295. | 0.5700 | 0.0071 | 81. | 730. | 435. | 2.47 | 0.512 | 87.2 | 16.3 | 41.6 | 0.062 | Y |
| 4.18 | 7 | 1.072 | 296. | 0.5792 | 0.0055 | 106. | 598. | 302. | 2.02 | 0.612 | 77.7 | 16.8 | 38.8 | 0.060 | |
| 4.18 | 8 | 1.090 | 301. | 0.5564 | 0.0083 | 67 | 829. | 528. | 2.75 | 0.349 | 89.9 | 16.1 | 43.9 | 0.062 | Y |
| 4.18 | 9 | 1.095 | 301. | 0.5510 | 0.0097 | 57 | 921. | 620. | 3.06 | 0.301 | 91.0 | 15.9 | 45.0 | 0.062 | Y |
| 4.18 | 10 | 1.104 | 302. | 0.5433 | 0.0115 | 47. | 1046. | 744. | 3.46 | 0.305 | 92.6 | 15.6 | 48.3 | 0.064 | Y |
| 4.18 | 11 | 1.087 | 302. | 0.4641 | 0.0103 | 45. | 1053. | 751. | 3.49 | 0.320 | 89.8 | 13.5 | 48.5 | 0.049 | Y |
| 4.18 | 12 | 1.083 | 303. | 0.4704 | 0.0088 | 53. | 947. | 644. | 3.12 | 0.290 | 89.1 | 13.8 | 47.2 | 0.050 | Y |
| 4.18 | 13 | 1.076 | 273. | 0.4721 | 0.0074 | 64. | 818. | 545. | 3.00 | 0.367 | 88.1 | 12.6 | 46.0 | 0.045 | |
| 4.18 | 14 | 1.070 | 303. | 0.4832 | 0.0062 | 78. | 744. | 441. | 2.45 | 0.543 | 86.0 | 14.3 | 41.7 | 0.047 | |
| 4.18 | 15 | 1.064 | 303. | 0.4932 | 0.0047 | 105. | 608. | 305. | 2.01 | 0.509 | 77.9 | 14.7 | 39.6 | 0.047 | |
| 4.18 | 16 | 1.057 | 304. | 0.3803 | 0.0049 | 77. | 739. | 435. | 2.43 | 0.445 | 83.9 | 11.5 | 40.9 | 0.030 | Y |
| 4.18 | 17 | 1.064 | 304. | 0.3670 | 0.0066 | 56. | 869. | 565. | 2.86 | 0.265 | 80.8 | 11.0 | 48.1 | 0.032 | R_1, Y |
| 4.18 | 18 | 1.141 | 304. | 0.7951 | 0.0118 | 67. | 836. | 532. | 2.75 | 0.314 | 90.7 | 22.2 | 42.8 | 0.109 | |
| 4.18 | 19 | 1.163 | 305. | 0.7898 | 0.0149 | 53. | 1011. | 706. | 3.32 | 0.328 | 97.9 | 21.7 | 44.4 | 0.108 | R_1 |

| 燃 烧 器 | | AS-0.0 | | | | | | | | | | | 参 考 图 : 23 | | |
|------------|-----|--------------|------------|---------------|---------------|------|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|------------|--------------|-------|
| 实 验 月 日 | 番 号 | P_1 ata | T_1 K | w_a kg/s | w_f kg/s | n | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_T m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備 考 |
| 5.19 | 1 | 1.186 | 481. | 0.5595 | 0.0095 | 59. | 1093. | 612. | 2.273 | 0.310 | 96.3 | 23.6 | 44.6 | 0.091 | R_1 |
| 5.19 | 2 | 1.178 | 478. | 0.5590 | 0.0079 | 71. | 993. | 515. | 2.077 | 0.272 | 96.1 | 23.6 | 43.6 | 0.089 | |
| 5.19 | 3 | 1.169 | 479. | 0.5597 | 0.0054 | 103. | 807. | 328. | 1.685 | 0.292 | 86.6 | 23.9 | 42.9 | 0.090 | B |
| 5.19 | 4 | 1.166 | 476. | 0.5683 | 0.0039 | 147. | 699. | 223. | 1.468 | 0.314 | 82.0 | 24.2 | 42.6 | 0.092 | |
| 5.19 | 5 | 1.144 | 485. | 0.4734 | 0.0084 | 56. | 1115. | 630. | 2.299 | 0.295 | 95.5 | 20.9 | 44.8 | 0.071 | Y |
| 5.19 | 6 | 1.139 | 483. | 0.4740 | 0.0066 | 72. | 970. | 487. | 2.008 | 0.294 | 92.2 | 21.0 | 44.7 | 0.071 | |
| 5.19 | 7 | 1.128 | 481. | 0.4740 | 0.0046 | 102. | 819. | 338. | 1.703 | 0.293 | 88.4 | 21.1 | 41.7 | 0.067 | B |
| 5.19 | 8 | 1.125 | 478. | 0.4738 | 0.0033 | 144. | 699. | 221. | 1.463 | 0.287 | 80.0 | 21.0 | 42.9 | 0.069 | |
| 5.19 | 9 | 1.113 | 477. | 0.4095 | 0.0076 | 54. | 1120. | 643. | 2.348 | 0.266 | 93.8 | 18.3 | 44.2 | 0.054 | Y |
| 5.19 | 10 | 1.107 | 475. | 0.4097 | 0.0058 | 71. | 964. | 489. | 2.030 | 0.292 | 91.0 | 18.3 | 43.4 | 0.054 | |
| 5.19 | 11 | 1.103 | 479. | 0.4097 | 0.0040 | 102. | 806. | 327. | 1.682 | 0.282 | 85.3 | 18.5 | 43.2 | 0.054 | B |
| 5.19 | 12 | 1.099 | 475. | 0.4097 | 0.0040 | 102. | 711. | 236. | 1.498 | 0.324 | 61.2 | 18.4 | 42.4 | 0.053 | |
| 5.19 | 13 | 1.143 | 475. | 0.4733 | 0.0083 | 57. | 1098 | 623. | 2.312 | 0.289 | 94.8 | 20.5 | 45.3 | 0.070 | |

| 燃 焼 器 | | AS-0.0 | | | | | | | | | | | 参 考 図 : 56 | | |
|------------|-----|--------------|------------|-----------------|---------------|--------|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|------------|--------------|-------------------|
| 実 験 月 日 | 番 号 | P_1 ata | T_1 K | w_a^* kg/s | w_f kg/s | η | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_c | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備 考 |
| 6.06 | 1 | 1.038 | 319. | 0.4780 | 0.0049 | 97. | 591. | 272. | 1.85 | 0.483 | 64.7 | 15.4 | 34.9 | 0.043 | Y, R ₁ |
| 6.06 | 2 | 1.045 | 327. | 0.4652 | 0.0058 | 80. | 730. | 403. | 2.23 | 0.578 | 80.5 | 15.3 | 37.0 | 0.044 | Y |
| 6.06 | 3 | 1.051 | 337. | 0.4516 | 0.0076 | 59. | 881. | 544. | 2.61 | 0.389 | 82.9 | 15.2 | 38.3 | 0.044 | Y |
| 6.06 | 4 | 1.063 | 331. | 0.4282 | 0.0103 | 42. | 1098. | 767. | 3.32 | 0.325 | 85.7 | 14.0 | 46.2 | 0.046 | Y |
| 6.06 | 5 | 1.049 | 334. | 0.5468 | 0.0056 | 98. | 655. | 321. | 1.96 | 0.616 | 77.6 | 18.3 | 35.9 | 0.059 | |
| 6.06 | 6 | 1.055 | 333. | 0.5378 | 0.0067 | 81. | 764. | 431. | 2.29 | 0.556 | 87.2 | 17.8 | 36.5 | 0.057 | Y |
| 6.06 | 7 | 1.064 | 334. | 0.5254 | 0.0091 | 58. | 918. | 584. | 2.75 | 0.343 | 87.3 | 17.3 | 38.8 | 0.057 | Y |
| 6.06 | 8 | 1.078 | 335. | 0.4952 | 0.0117 | 42. | 1114. | 779. | 3.33 | 0.326 | 88.0 | 16.1 | 45.9 | 0.059 | Y |
| 6.06 | 9 | 1.056 | 335. | 0.6670 | 0.0061 | 109. | 611. | 276. | 1.83 | 0.422 | 73.9 | 22.2 | 34.3 | 0.080 | |
| 6.06 | 10 | 1.067 | 337. | 0.6442 | 0.0076 | 85. | 743. | 406. | 2.20 | 0.406 | 85.9 | 21.3 | 35.8 | 0.077 | |
| 6.06 | 11 | 1.082 | 338. | 0.6154 | 0.0105 | 58. | 911. | 573. | 2.69 | 0.397 | 86.3 | 20.2 | 39.5 | 0.077 | |
| 6.06 | 12 | 1.096 | 338. | 0.5917 | 0.0130 | 46. | 1075. | 737. | 3.18 | 0.350 | 89.4 | 19.1 | 43.6 | 0.077 | |
| 6.06 | 13 | 1.064 | 338. | 0.7572 | 0.0067 | 113. | 597. | 259. | 1.77 | 0.321 | 71.7 | 25.2 | 34.0 | 0.099 | R ₁ |
| 6.06 | 14 | 1.079 | 339. | 0.7251 | 0.0091 | 79. | 762. | 423. | 2.25 | 0.358 | 84.2 | 23.9 | 35.1 | 0.093 | |
| 6.06 | 15 | 1.101 | 339. | 0.6825 | 0.0128 | 53. | 973. | 634. | 2.87 | 0.348 | 88.2 | 22.0 | 39.4 | 0.090 | |
| 6.06 | 16 | 1.112 | 339. | 0.6627 | 0.0143 | 46. | 1068. | 729. | 3.15 | 0.392 | 89.8 | 21.2 | 42.7 | 0.091 | |

| 燃 烧 器 | | AS-0.0 | | | | | | | | | | | 参 考 图 : 56 | | |
|------------|-----|--------------|------------|---------------|---------------|-----|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|------------|--------------|-------|
| 实 验 月 日 | 番 号 | P_1 ata | T_1 K | w_a kg/s | w_f kg/s | n | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 备 考 |
| 6.27 | 1 | 1.088 | 321. | 0.7841 | 0.0082 | 95. | 640. | 319. | 2.00 | 0.290 | 74.9 | 24.3 | 37.7 | 0.107 | R_1 |
| 6.27 | 2 | 1.100 | 332. | 0.7848 | 0.0097 | 81. | 722. | 390. | 2.18 | 0.335 | 78.6 | 24.8 | 38.7 | 0.112 | |
| 6.27 | 3 | 1.121 | 332. | 0.7941 | 0.0119 | 67. | 842. | 510. | 2.54 | 0.336 | 86.5 | 24.7 | 40.3 | 0.115 | |
| 6.27 | 4 | 1.142 | 333. | 0.7987 | 0.0142 | 56. | 971. | 638. | 2.92 | 0.410 | 93.5 | 24.4 | 42.2 | 0.118 | |
| 6.27 | 5 | 1.069 | 333. | 0.6420 | 0.0067 | 97. | 664. | 331. | 1.99 | 0.420 | 78.8 | 21.0 | 38.2 | 0.081 | R_1 |
| 6.27 | 6 | 1.080 | 334. | 0.6417 | 0.0083 | 78. | 800. | 466. | 2.39 | 0.382 | 91.1 | 20.8 | 38.8 | 0.081 | |
| 6.27 | 7 | 1.095 | 334. | 0.6447 | 0.0104 | 62. | 907. | 573. | 2.72 | 0.393 | 91.3 | 20.6 | 41.6 | 0.085 | |
| 6.27 | 8 | 1.114 | 334. | 0.6508 | 0.0131 | 50. | 1057. | 723. | 3.17 | 0.408 | 95.2 | 20.5 | 44.5 | 0.090 | |
| 6.27 | 9 | 1.061 | 334. | 0.5453 | 0.0059 | 92. | 686. | 352. | 2.05 | 0.503 | 80.1 | 18.0 | 40.5 | 0.064 | |
| 6.27 | 10 | 1.066 | 334. | 0.5483 | 0.0074 | 74. | 817. | 483. | 2.45 | 0.468 | 90.1 | 18.0 | 39.5 | 0.063 | |
| 6.27 | 11 | 1.076 | 334. | 0.5510 | 0.0091 | 61. | 904. | 570. | 2.71 | 0.401 | 88.8 | 17.9 | 42.1 | 0.066 | |
| 6.27 | 12 | 1.087 | 334. | 0.5510 | 0.0112 | 49. | 1039. | 705. | 3.11 | 0.374 | 91.2 | 17.8 | 44.3 | 0.069 | |
| 6.27 | 13 | 1.117 | 334. | 0.8935 | 0.0112 | 80. | 689. | 355. | 2.06 | 0.348 | 70.8 | 28.0 | 38.2 | 0.135 | R_1 |
| 6.27 | 14 | 1.137 | 336. | 0.9004 | 0.0130 | 69. | 786. | 450. | 2.34 | 0.348 | 78.7 | 27.9 | 39.4 | 0.138 | |
| 6.27 | 15 | 1.156 | 337. | 0.8795 | 0.0148 | 59. | 913. | 576. | 2.71 | 0.416 | 88.0 | 26.9 | 41.1 | 0.135 | |
| 6.27 | 16 | 1.164 | 337. | 0.8670 | 0.0164 | 53. | 997. | 660. | 2.96 | 0.448 | 91.3 | 26.3 | 41.4 | 0.131 | |

| 燃焼器 | | AS-0.0 | | | | | | | | | | | 参考図 : 56 | | |
|----------|----|--------------|------------|---------------|---------------|--------|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|----------|--------------|-----------------------|
| 実験 月日 | 番号 | P_1 ata | T_1 K | w_a kg/s | w_f kg/s | η | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備考 |
| 6.30 | 1 | 1.067 | 327. | 0.5532 | 0.0067 | 83. | 738. | 411. | 2.26 | 0.500 | 84.9 | 17.8 | 38.5 | 0.061 | Y |
| 6.30 | 2 | 1.075 | 327. | 0.5526 | 0.0083 | 67. | 886. | 559. | 2.71 | 0.512 | 95.5 | 17.6 | 38.8 | 0.060 | 1 + ΔP_f |
| 6.30 | 3 | 1.083 | 327. | 0.5540 | 0.0097 | 57. | 978. | 651. | 2.99 | 0.392 | 96.0 | 17.5 | 40.6 | 0.063 | |
| 6.30 | 4 | 1.075 | 332. | 0.5516 | 0.0082 | 68. | 888. | 556. | 2.68 | 0.476 | 95.9 | 17.9 | 38.9 | 0.061 | 1 + ΔP_f |
| 6.30 | 5 | 1.077 | 333. | 0.5530 | 0.0083 | 67. | 867. | 534. | 2.61 | 0.403 | 91.2 | 17.9 | 40.1 | 0.063 | 3 + ΔP_f |
| 6.30 | 6 | 1.085 | 333. | 0.5514 | 0.0097 | 57. | 951. | 618. | 2.86 | 0.359 | 90.6 | 17.7 | 42.4 | 0.066 | |
| 6.30 | 7 | 1.092 | 333. | 0.5557 | 0.0111 | 50. | 1052. | 719. | 3.16 | 0.404 | 95.3 | 17.8 | 42.8 | 0.066 | 6 + ΔP_f |
| 6.30 | 8 | 1.090 | 333. | 0.7305 | 0.0082 | 89. | 702. | 369. | 2.11 | 0.313 | 82.0 | 23.4 | 37.6 | 0.097 | R_1 |
| 6.30 | 9 | 1.104 | 333. | 0.7337 | 0.0097 | 75. | 817. | 484. | 2.45 | 0.425 | 92.3 | 23.2 | 38.4 | 0.098 | 8 + ΔP_f |
| 6.30 | 10 | 1.112 | 333. | 0.7365 | 0.0111 | 66. | 903. | 570. | 2.71 | 0.596 | 96.9 | 23.1 | 38.3 | 0.097 | $R_{1.8+2\Delta P_f}$ |
| 6.30 | 11 | 1.104 | 333. | 0.7363 | 0.0097 | 76. | 783. | 450. | 2.35 | 0.376 | 85.8 | 23.3 | 39.2 | 0.100 | |
| 6.30 | 12 | 1.115 | 334. | 0.7381 | 0.0112 | 66. | 889. | 555. | 2.66 | 0.447 | 93.8 | 23.2 | 39.4 | 0.100 | 11 + ΔP_f |
| 6.30 | 13 | 1.123 | 334. | 0.7382 | 0.0126 | 59. | 970. | 636. | 2.90 | 0.554 | 96.7 | 23.0 | 39.7 | 0.099 | 11 + $2\Delta P_f$ |
| 6.30 | 14 | 1.113 | 334. | 0.7362 | 0.0112 | 66. | 874. | 540. | 2.62 | 0.359 | 90.8 | 23.2 | 39.6 | 0.100 | |
| 6.30 | 15 | 1.124 | 334. | 0.7393 | 0.0127 | 58. | 965. | 631. | 2.89 | 0.409 | 95.3 | 23.0 | 40.2 | 0.101 | 14 + ΔP_f |
| 6.30 | 16 | 1.127 | 334. | 0.7397 | 0.0127 | 58. | 956. | 622. | 2.86 | 0.349 | 93.7 | 23.0 | 41.3 | 0.103 | |
| 6.30 | 17 | 1.136 | 334. | 0.7425 | 0.0140 | 53. | 1025. | 691. | 3.07 | 0.409 | 96.5 | 22.9 | 42.0 | 0.104 | |
| 6.30 | 18 | 1.138 | 334. | 0.7429 | 0.0142 | 52. | 1036. | 702. | 3.10 | 0.395 | 96.7 | 22.9 | 42.1 | 0.104 | |
| 6.30 | 19 | 1.105 | 334. | 0.7848 | 0.0097 | 81. | 734. | 400. | 2.20 | 0.348 | 81.1 | 24.9 | 38.1 | 0.110 | R_1 |
| 6.30 | 20 | 1.120 | 334. | 0.7886 | 0.0112 | 71. | 850. | 516. | 2.54 | 0.452 | 92.4 | 24.7 | 38.7 | 0.109 | 19 + ΔP_f |
| 6.30 | 21 | 1.128 | 334. | 0.7911 | 0.0126 | 63. | 931. | 597. | 2.79 | 0.590 | 96.6 | 24.6 | 38.4 | 0.108 | 19 + $2\Delta P_f$ |
| 6.30 | 22 | 1.120 | 334. | 0.7911 | 0.0112 | 71. | 817. | 483. | 2.45 | 0.342 | 86.4 | 24.7 | 39.5 | 0.112 | |
| 6.30 | 23 | 1.134 | 334. | 0.7932 | 0.0126 | 63. | 912. | 578. | 2.73 | 0.416 | 93.2 | 24.5 | 40.3 | 0.113 | 22 + ΔP_f |
| 6.30 | 24 | 1.142 | 334. | 0.7956 | 0.0142 | 56. | 996. | 662. | 2.98 | 0.538 | 97.0 | 24.4 | 39.9 | 0.111 | 22 + $2\Delta P_f$ |

| 燃焼器 | | AS-0.0 | | | | | | | | | | 参考図 : 56 | | | |
|----------|----|--------------|------------|---------------|---------------|-----|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|--------|--------------|-------------------|
| 実験 月日 | 番号 | P_1 ata | T_1 K | w_a kg/s | w_f kg/s | n | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備 考 |
| 6.30 | 25 | 1.134 | 334. | 0.7957 | 0.0126 | 63. | 898. | 564. | 2.69 | 0.345 | 91.1 | 24.6 | 40.6 | 0.114 | |
| 6.30 | 26 | 1.145 | 334. | 0.7957 | 0.0141 | 56. | 986. | 652. | 2.95 | 0.410 | 95.5 | 24.3 | 41.0 | 0.113 | $25 + \Delta P_f$ |
| 6.30 | 27 | 1.146 | 334. | 0.7974 | 0.0142 | 56. | 975. | 641. | 2.92 | 0.371 | 93.8 | 24.4 | 41.6 | 0.115 | |
| 6.30 | 28 | 1.157 | 334. | 0.7986 | 0.0156 | 51. | 1061. | 727. | 3.18 | 0.456 | 98.1 | 24.2 | 41.9 | 0.115 | $27 + \Delta P_f$ |
| 6.30 | 29 | 1.157 | 334. | 0.7990 | 0.0156 | 51. | 1037. | 703. | 3.11 | 0.435 | 94.5 | 24.2 | 42.7 | 0.117 | |

| 燃焼器 | | AS-0.1 | | | | | | | | | | 参考図 : 22 | | | |
|----------|----|--------------|------------|-----------------|---------------|------|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|--------|--------------|--------|
| 実験 月日 | 番号 | P_1 ata | T_1 K | w_a^* kg/s | w_f kg/s | n | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備 考 |
| 6.05 | 1 | 1.042 | 316. | 0.5001 | 0.0046 | 110. | 471. | 155. | 1.49 | 0.466 | 41.0 | 15.9 | 33.5 | 0.044 | B, Y |
| 6.05 | 2 | 1.053 | 332. | 0.4777 | 0.0058 | 82. | 686. | 354. | 2.07 | 0.558 | 72.1 | 15.8 | 36.4 | 0.045 | Y |
| 6.05 | 3 | 1.059 | 332. | 0.4611 | 0.0076 | 61. | 840. | 508. | 2.53 | 0.440 | 78.8 | 15.2 | 37.6 | 0.043 | Y |
| 6.05 | 4 | 1.074 | 324. | 0.4454 | 0.0103 | 43. | 1050. | 726. | 3.24 | 0.390 | 83.3 | 14.1 | 46.2 | 0.047 | Y |
| 6.05 | 5 | 1.053 | 326. | 0.5620 | 0.0055 | 103. | 572. | 246. | 1.76 | 0.409 | 61.9 | 18.2 | 34.6 | 0.058 | R_1 |
| 6.05 | 6 | 1.061 | 327. | 0.5515 | 0.0067 | 83. | 724. | 397. | 2.21 | 0.527 | 82.0 | 17.8 | 35.3 | 0.056 | |
| 6.05 | 7 | 1.074 | 327. | 0.5256 | 0.0091 | 58. | 890. | 563. | 2.72 | 0.397 | 83.6 | 16.8 | 39.9 | 0.057 | |
| 6.05 | 8 | 1.087 | 328. | 0.5035 | 0.0115 | 44. | 1071. | 743. | 3.27 | 0.353 | 86.3 | 15.9 | 46.4 | 0.059 | |
| 6.05 | 9 | 1.061 | 322. | 0.6860 | 0.0061 | 113. | 562. | 240. | 1.75 | 0.335 | 66.3 | 21.8 | 33.4 | 0.078 | |
| 6.05 | 10 | 1.072 | 328. | 0.6625 | 0.0076 | 87. | 702. | 374. | 2.14 | 0.362 | 81.3 | 21.2 | 34.5 | 0.076 | |
| 6.05 | 11 | 1.090 | 328. | 0.6303 | 0.0106 | 60. | 884. | 556. | 2.70 | 0.393 | 84.9 | 19.9 | 38.6 | 0.075 | |
| 6.05 | 12 | 1.104 | 329. | 0.6080 | 0.0127 | 48. | 1029. | 700. | 3.13 | 0.392 | 88.3 | 19.0 | 42.8 | 0.076 | R_1 |
| 6.05 | 13 | 1.070 | 330. | 0.7776 | 0.0067 | 116. | 555. | 225. | 1.68 | 0.257 | 63.7 | 25.2 | 33.4 | 0.099 | R_1 |
| 6.05 | 14 | 1.087 | 332. | 0.7387 | 0.0092 | 81. | 734. | 402. | 2.21 | 0.334 | 81.0 | 23.6 | 34.9 | 0.092 | |
| 6.05 | 15 | 1.110 | 330. | 0.6942 | 0.0127 | 55. | 951. | 621. | 2.88 | 0.373 | 88.3 | 21.6 | 39.3 | 0.089 | |
| 6.05 | 16 | 1.124 | 329. | 0.6668 | 0.0150 | 45. | 1084. | 755. | 3.30 | 0.396 | 89.6 | 20.5 | 43.3 | 0.089 | R_1 |

| 燃焼器 | | AS-1.0 | | | | | | | | | | 参考図 : 29 | | | |
|----------|----|--------------|------------|---------------|---------------|-----|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|--------|--------------|----|
| 実験 月日 | 番号 | P_1 ata | T_1 K | w_a kg/s | w_f kg/s | n | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備考 |
| 2.03 | 1 | 1.212 | 319. | 0.6508 | 0.0144 | 45. | 1038. | 719. | 3.26 | 0.452 | 86.0 | 18.0 | 45.2 | 0.080 | |
| 2.03 | 2 | 1.196 | 319. | 0.6647 | 0.0100 | 67. | 761. | 442. | 2.39 | 0.412 | 74.1 | 18.6 | 43.2 | 0.081 | |
| 2.03 | 3 | 1.183 | 319. | 0.6711 | 0.0078 | 86. | 597. | 278. | 1.87 | 0.472 | 58.9 | 19.0 | 41.5 | 0.082 | |
| 2.03 | 4 | 1.211 | 319. | 0.6572 | 0.0145 | 45. | 970. | 651. | 3.04 | 0.526 | 77.3 | 18.2 | 45.2 | 0.081 | |
| 2.03 | 5 | 1.189 | 320. | 0.6648 | 0.0096 | 69. | 666. | 346. | 2.08 | 0.396 | 59.5 | 18.8 | 42.9 | 0.082 | |
| 2.03 | 6 | 1.182 | 321. | 0.6717 | 0.0080 | 84. | 565. | 245. | 1.76 | 0.399 | 50.4 | 19.1 | 41.5 | 0.082 | |
| 2.03 | 7 | 1.200 | 321. | 0.6648 | 0.0157 | 42. | 877. | 556. | 2.73 | 0.712 | 61.4 | 18.6 | 41.0 | 0.077 | |
| 2.03 | 8 | 1.182 | 321. | 0.6784 | 0.0104 | 65. | 592. | 271. | 1.85 | 0.591 | 43.9 | 19.3 | 39.5 | 0.080 | |

| 燃焼器 | | AS-1.1 | | | | | | | | | | 参考図 : 30 | | | |
|----------|----|--------------|------------|-----------------|---------------|-----|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|--------|--------------|-------|
| 実験 月日 | 番号 | P_1 ata | T_1 K | w_a^* kg/s | w_f kg/s | n | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備考 |
| 6.18 | 1 | 1.049 | 325. | 0.6848 | 0.0080 | 85. | 582. | 257. | 1.79 | 0.297 | 53.8 | 22.2 | 29.1 | 0.070 | R_1 |
| 6.18 | 2 | 1.061 | 326. | 0.6721 | 0.0097 | 70. | 711. | 385. | 2.18 | 0.244 | 67.0 | 21.6 | 30.2 | 0.069 | Y |
| 6.18 | 3 | 1.076 | 327. | 0.6591 | 0.0118 | 56. | 862. | 535. | 2.64 | 0.244 | 76.7 | 21.0 | 32.1 | 0.069 | Y |
| 6.18 | 4 | 1.097 | 330. | 0.6443 | 0.0149 | 43. | 1059. | 729. | 3.21 | 0.253 | 84.0 | 20.3 | 35.7 | 0.072 | B |
| 6.18 | 5 | 1.041 | 330. | 0.5699 | 0.0065 | 87. | 548. | 218. | 1.66 | 0.298 | 46.6 | 18.9 | 29.5 | 0.052 | |
| 6.18 | 6 | 1.052 | 330. | 0.5542 | 0.0081 | 68. | 693. | 363. | 2.10 | 0.246 | 62.1 | 18.2 | 31.6 | 0.052 | |
| 6.18 | 7 | 1.064 | 330. | 0.5398 | 0.0104 | 52. | 888. | 558. | 2.69 | 0.295 | 75.1 | 17.6 | 33.7 | 0.052 | Y |
| 6.18 | 8 | 1.079 | 330. | 0.5266 | 0.0129 | 41. | 1087. | 757. | 3.29 | 0.246 | 82.6 | 16.9 | 38.2 | 0.054 | Y |

| 燃 烧 器 | | AS-2.0 | | | | | | | | | | | 参 考 图 : 34 | | |
|------------|-----|--------------|------------|---------------|---------------|------|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|------------|--------------|--------|
| 实 验 月 日 | 番 号 | P_1 ata | T_1 K | w_a kg/s | w_f kg/s | n | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 考 备 |
| 2.04 | 1 | 1.254 | 313. | 0.6662 | 0.0064 | 105. | 603. | 290. | 1.926 | 0.156 | 74.2 | 17.4 | 82.0 | 0.139 | |
| 2.04 | 2 | 1.180 | 314. | 0.6645 | 0.0084 | 79. | 730. | 416. | 2.326 | 0.222 | 82.0 | 18.5 | 39.9 | 0.076 | |
| 2.04 | 3 | 1.186 | 315. | 0.6643 | 0.0100 | 66. | 840. | 525. | 2.666 | 0.187 | 88.3 | 18.5 | 39.5 | 0.075 | |
| 2.04 | 4 | 1.205 | 315. | 0.6493 | 0.0137 | 47. | 1070. | 755. | 3.396 | 0.322 | 94.7 | 17.8 | 44.6 | 0.078 | |
| 2.04 | 5 | 1.215 | 315. | 0.7683 | 0.0069 | 111. | 608. | 293. | 1.929 | 0.120 | 79.3 | 20.9 | 40.6 | 0.098 | |
| 2.04 | 6 | 1.223 | 315. | 0.7684 | 0.0088 | 87. | 708. | 393. | 2.247 | 0.140 | 84.7 | 20.8 | 40.3 | 0.096 | |
| 2.04 | 7 | 1.235 | 315. | 0.7566 | 0.0117 | 65. | 876. | 561. | 2.780 | 0.218 | 92.4 | 20.2 | 41.3 | 0.094 | |
| 2.04 | 8 | 1.275 | 315. | 0.7681 | 0.0161 | 48. | 1060. | 745. | 3.364 | 0.260 | 94.1 | 19.9 | 48.0 | 0.105 | R_1 |
| 2.04 | 9 | 1.291 | 315. | 0.9399 | 0.0079 | 118. | 581. | 266. | 1.843 | 0.092 | 76.4 | 24.0 | 41.0 | 0.131 | |
| 2.04 | 10 | 1.299 | 315. | 0.9276 | 0.0096 | 96. | 668. | 353. | 2.119 | 0.129 | 83.5 | 23.6 | 41.9 | 0.129 | |
| 2.04 | 11 | 1.336 | 315. | 0.9348 | 0.0134 | 70. | 842. | 527. | 2.672 | 0.183 | 93.0 | 23.1 | 44.8 | 0.132 | R_1 |
| 2.04 | 12 | 1.366 | 315. | 0.9227 | 0.0188 | 49. | 1046. | 731. | 3.321 | 0.187 | 94.3 | 22.3 | 48.0 | 0.132 | R_1 |
| 2.04 | 13 | 1.223 | 488. | 0.6604 | 0.0064 | 104. | 840. | 352. | 1.722 | 0.093 | 93.7 | 27.6 | 37.8 | 0.103 | |
| 2.04 | 14 | 1.230 | 489. | 0.6535 | 0.0079 | 82. | 912. | 423. | 1.865 | 0.097 | 90.3 | 27.2 | 39.7 | 0.105 | |
| 2.04 | 16 | 1.248 | 485. | 0.6610 | 0.0100 | 66. | 1071. | 586. | 2.208 | 0.106 | 102.7 | 26.9 | 41.0 | 0.107 | |
| 2.04 | 17 | 1.260 | 483. | 0.6613 | 0.0123 | 54. | 1139. | 676. | 2.461 | 0.124 | 98.0 | 25.5 | 45.7 | 0.112 | |
| 2.04 | 19 | 1.272 | 467. | 0.7597 | 0.0069 | 110. | 780. | 313. | 1.669 | 0.123 | 86.8 | 29.2 | 39.7 | 0.126 | |
| 2.04 | 20 | 1.297 | 467. | 0.7600 | 0.0093 | 82. | 900. | 433. | 1.927 | 0.123 | 91.9 | 28.7 | 43.6 | 0.134 | |
| 2.04 | 21 | 1.317 | 465. | 0.7655 | 0.0114 | 67. | 998. | 533. | 2.147 | 0.131 | 94.4 | 28.3 | 46.2 | 0.139 | |
| 2.04 | 22 | 1.335 | 465. | 0.7649 | 0.0142 | 54. | 1149. | 684. | 2.472 | 0.166 | 99.5 | 27.9 | 47.6 | 0.139 | |
| 2.04 | 23 | 1.415 | 467. | 0.9284 | 0.0096 | 96. | 838. | 371. | 1.794 | 0.094 | 91.4 | 32.1 | 46.2 | 0.178 | |
| 2.04 | 24 | 1.405 | 469. | 0.9309 | 0.0084 | 111. | 772. | 303. | 1.647 | 0.101 | 85.0 | 32.6 | 46.5 | 0.183 | |
| 2.04 | 25 | 1.429 | 473. | 0.9161 | 0.0131 | 70. | 1015. | 542. | 2.145 | 0.126 | 99.4 | 31.8 | 46.9 | 0.175 | |
| 2.04 | 26 | 1.450 | 473. | 0.9107 | 0.0167 | 55. | 1160. | 687. | 2.452 | 0.194 | 101.2 | 31.1 | 48.8 | 0.174 | |

| 燃焼器 | | AS-2.1 | | | | | | | | | | | 参考図 : 3.5 | | |
|----------|----|--------------|------------|---------------|---------------|------|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|-----------|--------------|--------|
| 実験 月日 | 番号 | P_1 ata | T_1 K | w_a kg/s | w_f kg/s | n | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備 考 |
| 5.22 | 1 | 1.138 | 469. | 0.4667 | 0.0089 | 52. | 1139. | 670. | 2.429 | 0.245 | 94.6 | 20.0 | 368 | 0.055 | |
| 5.22 | 2 | 1.132 | 481. | 0.4659 | 0.0066 | 71. | 987. | 506. | 2.051 | 0.215 | 94.0 | 20.6 | 360 | 0.056 | |
| 5.22 | 3 | 1.126 | 477. | 0.4750 | 0.0047 | 102. | 829. | 352. | 1.738 | 0.171 | 91.7 | 21.0 | 335 | 0.054 | |
| 5.22 | 4 | 1.123 | 474. | 0.4750 | 0.0033 | 143. | 723. | 249. | 1.525 | 0.178 | 89.0 | 20.9 | 344 | 0.055 | |
| 5.22 | 5 | 1.179 | 465. | 0.5483 | 0.0107 | 51. | 1158. | 693. | 2.490 | 0.184 | 96.5 | 22.5 | 386 | 0.074 | |
| 5.22 | 6 | 1.180 | 483. | 0.5477 | 0.0096 | 57. | 1110. | 627. | 2.299 | 0.196 | 96.6 | 23.3 | 389 | 0.077 | |
| 5.22 | 7 | 1.172 | 479. | 0.5472 | 0.0078 | 70. | 988. | 509. | 2.063 | 0.175 | 94.0 | 23.3 | 381 | 0.076 | |
| 5.22 | 8 | 1.164 | 479. | 0.5474 | 0.0055 | 100. | 834. | 355. | 1.741 | 0.172 | 91.0 | 23.5 | 376 | 0.076 | |
| 5.22 | 9 | 1.154 | 477. | 0.5474 | 0.0039 | 139. | 725. | 248. | 1.521 | 0.184 | 86.9 | 23.6 | 358 | 0.073 | |
| 5.22 | 10 | 1.117 | 473. | 0.4016 | 0.0081 | 50. | 1172. | 699. | 2.478 | 0.190 | 94.2 | 17.7 | 400 | 0.047 | R_1 |
| 5.22 | 11 | 1.109 | 475. | 0.4016 | 0.0058 | 69. | 982. | 507. | 2.068 | 0.231 | 91.7 | 17.9 | 376 | 0.045 | |
| 5.22 | 12 | 1.104 | 483. | 0.4016 | 0.0040 | 100. | 839. | 356. | 1.737 | 0.337 | 91.5 | 18.3 | 357 | 0.043 | |
| 5.22 | 13 | 1.104 | 475. | 0.4016 | 0.0031 | 130. | 737. | 262. | 1.551 | 0.184 | 85.7 | 18.0 | 384 | 0.046 | |
| 5.22 | 14 | 1.184 | 463. | 0.5556 | 0.0113 | 49. | 1158. | 695. | 2.501 | 0.172 | 92.6 | 22.6 | 396 | 0.077 | |
| 5.22 | 15 | 1.184 | 481. | 0.5462 | 0.0096 | 57. | 1063. | 582. | 2.210 | 0.188 | 89.0 | 23.1 | 424 | 0.082 | |
| 5.22 | 16 | 1.176 | 483. | 0.5547 | 0.0078 | 71. | 960. | 477. | 1.987 | 0.221 | 88.5 | 23.7 | 388 | 0.079 | |
| 5.22 | 17 | 1.166 | 483. | 0.5465 | 0.0055 | 100. | 819. | 336. | 1.695 | 0.227 | 85.9 | 23.6 | 391 | 0.079 | |
| 5.22 | 18 | 1.159 | 483. | 0.5199 | 0.0039 | 132. | 719. | 236. | 1.488 | 0.197 | 78.4 | 22.6 | 437 | 0.081 | |
| 5.22 | 19 | 1.143 | 473. | 0.4732 | 0.0096 | 49. | 1146. | 673. | 2.422 | 0.243 | 89.6 | 20.4 | 379 | 0.059 | |
| 5.22 | 20 | 1.135 | 482. | 0.4636 | 0.0069 | 67. | 979. | 497. | 2.032 | 0.208 | 87.7 | 20.5 | 383 | 0.059 | |
| 5.22 | 21 | 1.130 | 483. | 0.4734 | 0.0047 | 100. | 818. | 335. | 1.693 | 0.237 | 85.8 | 21.1 | 360 | 0.058 | |
| 5.22 | 22 | 1.124 | 483. | 0.4734 | 0.0034 | 138. | 722. | 239. | 1.496 | 0.220 | 83.0 | 21.2 | 348 | 0.057 | |
| 5.22 | 23 | 1.120 | 483. | 0.4011 | 0.0086 | 46. | 1162. | 679. | 2.406 | 0.198 | 86.3 | 18.0 | 420 | 0.050 | R_1 |
| 5.22 | 24 | 1.113 | 483. | 0.4013 | 0.0059 | 67. | 964. | 481. | 1.996 | 0.198 | 85.3 | 18.1 | 407 | 0.049 | R_1 |
| 5.22 | 25 | 1.108 | 485. | 0.4011 | 0.0040 | 100. | 807. | 322. | 1.664 | 0.198 | 82.5 | 18.3 | 395 | 0.048 | R_1 |
| 5.22 | 26 | 1.105 | 483. | 0.4011 | 0.0031 | 129. | 726. | 243. | 1.503 | 0.193 | 78.8 | 18.3 | 392 | 0.047 | |

| 燃 烧 器 | | AS-2.3 | | | | | | | | | | | 参 考 图 : 35 | | |
|------------|-----|--------------|------------|---------------|---------------|------|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|------------|--------------|-------|
| 实 验 月 日 | 番 号 | P_1 ata | T_1 K | w_e kg/s | w_f kg/s | n | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備 考 |
| 5.23 | 1 | 1.178 | 471. | 0.5490 | 0.0100 | 55. | 1071. | 600. | 2.274 | 0.426 | 88.5 | 22.8 | 38.1 | 0.074 | |
| 5.23 | 2 | 1.174 | 489. | 0.5484 | 0.0078 | 70. | 950. | 461. | 1.943 | 0.406 | 84.6 | 23.7 | 37.6 | 0.076 | |
| 5.23 | 3 | 1.164 | 483. | 0.5475 | 0.0055 | 100. | 788. | 305. | 1.631 | 0.378 | 77.9 | 23.7 | 37.2 | 0.076 | |
| 5.23 | 4 | 1.160 | 471. | 0.5475 | 0.0049 | 112. | 741. | 270. | 1.573 | 0.342 | 76.1 | 23.2 | 37.3 | 0.074 | |
| 5.23 | 5 | 1.149 | 465. | 0.4740 | 0.0096 | 50. | 1119. | 654. | 1.407 | 0.296 | 87.8 | 20.0 | 40.8 | 0.061 | |
| 5.23 | 6 | 1.152 | 483. | 0.4733 | 0.0069 | 68. | 931. | 448. | 1.928 | 0.280 | 80.3 | 20.7 | 45.0 | 0.070 | |
| 5.23 | 7 | 1.134 | 497. | 0.4733 | 0.0047 | 100. | 795. | 298. | 1.599 | 0.316 | 76.0 | 21.6 | 36.4 | 0.060 | |
| 5.23 | 8 | 1.130 | 491. | 0.4733 | 0.0036 | 131. | 685. | 194. | 1.394 | 0.436 | 63.7 | 21.4 | 36.8 | 0.060 | |
| 5.23 | 9 | 1.122 | 483. | 0.4010 | 0.0089 | 45. | 1152. | 669. | 2.385 | 0.309 | 82.7 | 18.0 | 41.4 | 0.049 | |
| 5.23 | 10 | 1.119 | 481. | 0.4123 | 0.0086 | 48. | 1127. | 646. | 2.343 | 0.304 | 84.0 | 18.5 | 36.5 | 0.045 | |
| 5.23 | 11 | 1.115 | 495. | 0.4012 | 0.0059 | 68. | 933. | 438. | 1.884 | 0.243 | 77.7 | 18.5 | 39.5 | 0.048 | |
| 5.23 | 12 | 1.110 | 491. | 0.4012 | 0.0040 | 101. | 774. | 283. | 1.577 | 0.307 | 72.7 | 18.5 | 38.8 | 0.047 | R_1 |
| 5.23 | 13 | 1.107 | 481. | 0.4014 | 0.0032 | 127. | 689. | 208. | 1.433 | 0.344 | 66.6 | 18.2 | 39.1 | 0.047 | |

| 燃焼器 | | AS-2.4 | | | | | | | | | | 参考図 : 36(a) | | | |
|----------|----|--------------|------------|-----------------|---------------|------|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|--------|--------------|----|
| 実験 月日 | 番号 | P_1 ata | T_1 K | w_a^* kg/s | w_f kg/s | n | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備考 |
| 5.29 | 1 | 1.070 | 321. | 0.4508 | 0.0119 | 38. | 1179. | 858. | 3.67 | 0.086 | 88.3 | 14.2 | 39.2 | 0.041 | |
| 5.29 | 2 | 1.059 | 323. | 0.4613 | 0.0089 | 52. | 968. | 645. | 3.00 | 0.155 | 87.2 | 14.8 | 34.9 | 0.039 | |
| 5.29 | 3 | 1.047 | 328. | 0.4762 | 0.0063 | 75. | 794. | 466. | 2.42 | 0.104 | 88.4 | 15.6 | 29.4 | 0.036 | |
| 5.29 | 4 | 1.040 | 331. | 0.4892 | 0.0045 | 108. | 673. | 342. | 2.03 | 0.072 | 90.9 | 16.3 | 27.5 | 0.037 | |
| 5.29 | 5 | 1.088 | 333. | 0.5217 | 0.0133 | 39. | 1205. | 872. | 3.62 | 0.146 | 92.7 | 16.7 | 40.5 | 0.056 | |
| 5.29 | 6 | 1.070 | 333. | 0.5378 | 0.0100 | 54. | 988. | 655. | 2.97 | 0.084 | 92.0 | 17.5 | 34.2 | 0.052 | |
| 5.29 | 7 | 1.054 | 336. | 0.5559 | 0.0071 | 78. | 793. | 457. | 2.36 | 0.110 | 90.0 | 18.6 | 29.5 | 0.050 | |
| 5.29 | 8 | 1.047 | 338. | 0.5646 | 0.0052 | 108. | 686. | 348. | 2.03 | 0.077 | 92.4 | 19.1 | 28.7 | 0.050 | |
| 5.29 | 9 | 1.108 | 331. | 0.6381 | 0.0140 | 46. | 1170. | 839. | 3.53 | 0.230 | 102.7 | 20.0 | 37.6 | 0.073 | |
| 5.29 | 10 | 1.088 | 343. | 0.6523 | 0.0116 | 56. | 987. | 644. | 2.88 | 0.141 | 94.7 | 21.6 | 33.4 | 0.072 | |
| 5.29 | 11 | 1.067 | 342. | 0.6640 | 0.0084 | 79. | 804. | 462. | 2.35 | 0.095 | 92.0 | 22.3 | 30.2 | 0.070 | |
| 5.29 | 12 | 1.052 | 343. | 0.6849 | 0.0061 | 112. | 677. | 334. | 1.97 | 0.107 | 92.3 | 23.4 | 27.8 | 0.070 | |

| 燃焼器 | | AS-2.41 | | | | | | | | | | 参考図 : 36(b) | | | |
|----------|----|--------------|------------|-----------------|---------------|------|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|--------|--------------|----|
| 実験 月日 | 番号 | P_1 ata | T_1 K | w_a^* kg/s | w_f kg/s | n | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備考 |
| 6.17 | 1 | 1.060 | 315. | 0.6901 | 0.0067 | 102. | 670. | 355. | 2.13 | 0.094 | 89.3 | 21.5 | 27.6 | 0.064 | |
| 6.17 | 2 | 1.070 | 320. | 0.6702 | 0.0082 | 81. | 763. | 443. | 2.38 | 0.113 | 90.1 | 21.0 | 29.2 | 0.064 | |
| 6.17 | 3 | 1.079 | 325. | 0.6653 | 0.0097 | 68. | 847. | 522. | 2.61 | 0.135 | 90.8 | 21.0 | 30.7 | 0.067 | Y |
| 6.17 | 4 | 1.088 | 326. | 0.6618 | 0.0112 | 59. | 929. | 603. | 2.85 | 0.090 | 92.0 | 20.8 | 31.7 | 0.067 | |
| 6.17 | 5 | 1.097 | 327. | 0.6528 | 0.0127 | 51. | 1010. | 683. | 3.09 | 0.106 | 91.9 | 20.4 | 33.8 | 0.069 | |
| 6.17 | 6 | 1.105 | 329. | 0.6456 | 0.0140 | 46. | 1090. | 761. | 3.31 | 0.096 | 93.0 | 20.1 | 35.4 | 0.070 | |
| 6.17 | 7 | 1.115 | 329. | 0.6420 | 0.0157 | 41. | 1171. | 842. | 3.56 | 0.097 | 93.0 | 19.9 | 37.4 | 0.072 | |
| 6.17 | 8 | 1.126 | 330. | 0.6367 | 0.0171 | 37. | 1250. | 920. | 3.79 | 0.107 | 93.6 | 19.6 | 40.4 | 0.076 | |

| 燃 烧 器 | | AS-2.5 | | | | | | | | | | 参 考 图 : 37 | | | |
|------------|-----|--------------|------------|---------------|---------------|------|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|--------|--------------|--------|
| 实 验 月 日 | 番 号 | P_1 ata | T_1 K | w_e kg/s | w_f kg/s | n | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 考 备 |
| 7.02 | 1 | 1.061 | 318. | 0.5496 | 0.0066 | 83. | 747. | 429. | 2.35 | 0.073 | 88.8 | 17.3 | 30.9 | 0.048 | |
| 7.02 | 2 | 1.067 | 324. | 0.5516 | 0.0081 | 68. | 848. | 524. | 2.62 | 0.124 | 90.1 | 17.6 | 31.8 | 0.050 | |
| 7.02 | 3 | 1.074 | 325. | 0.5493 | 0.0097 | 57. | 956. | 631. | 2.94 | 0.153 | 92.5 | 17.4 | 32.6 | 0.050 | |
| 7.02 | 4 | 1.082 | 325. | 0.5541 | 0.0111 | 50. | 1045. | 720. | 3.21 | 0.206 | 94.5 | 17.4 | 34.2 | 0.053 | |
| 7.02 | 5 | 1.089 | 327. | 0.5515 | 0.0126 | 44. | 1140. | 813. | 3.49 | 0.188 | 95.1 | 17.4 | 35.6 | 0.054 | |
| 7.02 | 6 | 1.065 | 330. | 0.7211 | 0.0067 | 108. | 674. | 344. | 2.04 | 0.084 | 91.8 | 23.4 | 28.4 | 0.074 | |
| 7.02 | 7 | 1.076 | 330. | 0.7239 | 0.0082 | 89. | 759. | 429. | 2.30 | 0.057 | 94.8 | 23.3 | 29.4 | 0.076 | |
| 7.02 | 8 | 1.088 | 330. | 0.7289 | 0.0097 | 75. | 833. | 503. | 2.53 | 0.078 | 96.0 | 23.2 | 30.9 | 0.079 | |
| 7.02 | 9 | 1.097 | 331. | 0.7300 | 0.0112 | 65. | 912. | 581. | 2.76 | 0.122 | 97.0 | 23.1 | 31.6 | 0.080 | |
| 7.02 | 10 | 1.107 | 331. | 0.7349 | 0.0127 | 58. | 985. | 654. | 2.98 | 0.135 | 98.5 | 23.0 | 32.2 | 0.081 | |
| 7.02 | 11 | 1.118 | 331. | 0.7350 | 0.0141 | 52. | 1054 | 723. | 3.18 | 0.137 | 98.9 | 22.8 | 33.6 | 0.084 | Y |
| 7.02 | 12 | 1.127 | 331. | 0.7378 | 0.0156 | 47. | 1129. | 798. | 3.41 | 0.142 | 100.6 | 22.7 | 34.2 | 0.084 | Y |
| 7.02 | 13 | 1.063 | 331. | 0.7743 | 0.0067 | 116. | 655. | 324. | 1.98 | 0.071 | 92.2 | 25.3 | 27.4 | 0.082 | |
| 7.02 | 14 | 1.080 | 331. | 0.7751 | 0.0082 | 95. | 734. | 403. | 2.22 | 0.073 | 94.6 | 24.9 | 29.5 | 0.086 | |
| 7.02 | 15 | 1.089 | 331. | 0.7777 | 0.0097 | 81. | 809. | 478. | 2.44 | 0.061 | 96.9 | 24.8 | 29.9 | 0.086 | |
| 7.02 | 16 | 1.100 | 331. | 0.7793 | 0.0112 | 70. | 879. | 548. | 2.66 | 0.099 | 97.6 | 24.6 | 30.8 | 0.088 | |
| 7.02 | 17 | 1.111 | 331. | 0.7842 | 0.0126 | 62. | 949. | 618. | 2.87 | 0.119 | 98.9 | 24.5 | 31.5 | 0.089 | |
| 7.02 | 18 | 1.129 | 331. | 0.7892 | 0.0149 | 53. | 1045. | 714. | 3.16 | 0.143 | 99.6 | 24.3 | 33.3 | 0.092 | |
| 7.02 | 19 | 1.152 | 331. | 0.7963 | 0.0179 | 45. | 1178. | 847. | 3.56 | 0.124 | 101.5 | 24.0 | 35.3 | 0.096 | |
| 7.02 | 20 | 1.063 | 331. | 0.6357 | 0.0067 | 96. | 728. | 397. | 2.20 | 0.064 | 94.2 | 20.7 | 29.2 | 0.061 | |
| 7.02 | 21 | 1.071 | 331. | 0.6382 | 0.0082 | 78. | 805. | 474. | 2.43 | 0.069 | 93.0 | 20.7 | 30.2 | 0.063 | |
| 7.02 | 22 | 1.082 | 331. | 0.6404 | 0.0097 | 66. | 888. | 557. | 2.68 | 0.107 | 94.4 | 20.5 | 32.1 | 0.066 | |
| 7.02 | 23 | 1.090 | 331. | 0.6430 | 0.0112 | 58. | 968. | 637. | 2.93 | 0.133 | 95.1 | 20.5 | 33.0 | 0.067 | |
| 7.02 | 24 | 1.099 | 331. | 0.6444 | 0.0126 | 51. | 1059. | 728. | 3.20 | 0.163 | 97.8 | 20.4 | 33.6 | 0.068 | |
| 7.02 | 25 | 1.108 | 331. | 0.6473 | 0.0141 | 46. | 1135. | 804. | 3.43 | 0.172 | 98.4 | 20.3 | 35.1 | 0.070 | |

| 燃焼器 | | AS-2.6 | | | | | | | | | | | 参考図 : 38 | | |
|----------|----|--------------|------------|---------------|---------------|------|------------|------------|-----------|------------|---------------|--------------|----------|--------------|----|
| 実験 月日 | 番号 | P_1 ata | T_1 K | w_e kg/s | w_f kg/s | n | T_2 K | ΔT | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備考 |
| 7.04 | 1 | 1.049 | 321. | 0.5475 | 0.0067 | 81. | 780. | 459. | 2.43 | 0.050 | 93.4 | 17.6 | 31.4 | 0.049 | |
| 7.04 | 2 | 1.056 | 324. | 0.5474 | 0.0082 | 67. | 871. | 547. | 2.69 | 0.077 | 92.9 | 17.6 | 32.6 | 0.051 | |
| 7.04 | 3 | 1.063 | 324. | 0.5491 | 0.0097 | 57. | 955. | 631. | 2.95 | 0.092 | 92.8 | 17.6 | 33.9 | 0.053 | Y |
| 7.04 | 4 | 1.072 | 325. | 0.5524 | 0.0112 | 49. | 1036. | 711. | 3.19 | 0.080 | 92.3 | 17.6 | 36.5 | 0.057 | Y |
| 7.04 | 5 | 1.078 | 325. | 0.5524 | 0.0127 | 44. | 1108. | 783. | 3.41 | 0.096 | 91.2 | 17.5 | 37.5 | 0.058 | Y |
| 7.04 | 6 | 1.087 | 325. | 0.5563 | 0.0140 | 40. | 1189. | 864. | 3.66 | 0.108 | 92.7 | 17.4 | 40.0 | 0.061 | Y |
| 7.04 | 7 | 1.053 | 325. | 0.6386 | 0.0067 | 96. | 720. | 395. | 2.21 | 0.072 | 93.6 | 20.7 | 30.6 | 0.064 | |
| 7.04 | 8 | 1.061 | 326. | 0.6395 | 0.0082 | 78. | 810. | 484. | 2.49 | 0.109 | 94.8 | 20.6 | 31.3 | 0.065 | |
| 7.04 | 9 | 1.072 | 326. | 0.6441 | 0.0097 | 66. | 886. | 560. | 2.72 | 0.102 | 95.0 | 20.5 | 33.3 | 0.069 | |
| 7.04 | 10 | 1.080 | 326. | 0.6433 | 0.0112 | 57. | 962. | 636. | 2.95 | 0.095 | 94.6 | 20.4 | 34.4 | 0.070 | |
| 7.04 | 11 | 1.088 | 327. | 0.6496 | 0.0127 | 51. | 1027. | 700. | 3.14 | 0.094 | 94.3 | 20.5 | 35.4 | 0.073 | Y |
| 7.04 | 12 | 1.099 | 329. | 0.6484 | 0.0141 | 46. | 1097. | 768. | 3.33 | 0.099 | 93.8 | 20.3 | 37.9 | 0.077 | Y |
| 7.04 | 13 | 1.106 | 329. | 0.6510 | 0.0156 | 42. | 1165. | 836. | 3.54 | 0.093 | 93.7 | 20.3 | 38.4 | 0.077 | |
| 7.04 | 14 | 1.116 | 329. | 0.6528 | 0.0171 | 38. | 1231. | 902. | 3.74 | 0.113 | 93.7 | 20.2 | 40.2 | 0.080 | |
| 7.04 | 15 | 1.056 | 329. | 0.7716 | 0.0067 | 116. | 656. | 327. | 1.99 | 0.084 | 92.6 | 25.2 | 29.1 | 0.087 | |
| 7.04 | 16 | 1.068 | 329. | 0.7750 | 0.0082 | 95. | 732. | 403. | 2.23 | 0.076 | 94.8 | 25.0 | 30.1 | 0.089 | |
| 7.04 | 17 | 1.080 | 329. | 0.7788 | 0.0097 | 81. | 802. | 473. | 2.44 | 0.087 | 95.9 | 24.9 | 31.3 | 0.091 | |
| 7.04 | 18 | 1.091 | 330. | 0.7822 | 0.0112 | 70. | 865. | 535. | 2.62 | 0.089 | 95.0 | 24.8 | 32.3 | 0.093 | |
| 7.04 | 19 | 1.103 | 330. | 0.7856 | 0.0127 | 62. | 931. | 601. | 2.82 | 0.086 | 96.0 | 24.6 | 33.6 | 0.096 | |
| 7.04 | 20 | 1.120 | 330. | 0.7957 | 0.0149 | 53. | 1005. | 675. | 3.04 | 0.094 | 94.3 | 24.6 | 35.2 | 0.100 | |
| 7.04 | 21 | 1.137 | 330. | 0.7969 | 0.0171 | 46. | 1089. | 759. | 3.30 | 0.097 | 93.8 | 24.2 | 37.5 | 0.104 | |
| 7.04 | 22 | 1.159 | 330. | 0.8031 | 0.0205 | 39. | 1215. | 885. | 3.68 | 0.111 | 94.2 | 24.0 | 39.3 | 0.107 | |

| 燃 烧 器 | | AS-3.0 | | | | | | | | | | 参 考 图 : 42 | | | |
|------------|-----|--------------|------------|-----------------|---------------|-----|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|--------|--------------|-----|
| 实 验 月 日 | 番 号 | P_1 ata | T_1 K | w_a^* kg/s | w_f kg/s | n | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備 考 |
| 4.11 | 1 | 1.054 | 295. | 0.5848 | 0.0096 | 61. | 726. | 431. | 2.46 | 0.132 | 65.8 | 17.2 | 31.9 | 0.052 | |
| 4.11 | 2 | 1.076 | 303. | 0.5391 | 0.0126 | 43. | 1051. | 748. | 3.47 | 0.157 | 84.9 | 15.9 | 38.5 | 0.053 | |
| 4.11 | 3 | 1.050 | 303. | 0.5786 | 0.0086 | 68. | 674. | 371. | 2.22 | 0.133 | 62.3 | 17.5 | 31.8 | 0.053 | |
| 4.11 | 4 | 1.069 | 305. | 0.5551 | 0.0113 | 49. | 964. | 659. | 3.16 | 0.127 | 84.6 | 16.6 | 35.3 | 0.052 | |
| 4.11 | 5 | 1.061 | 305. | 0.7092 | 0.0096 | 74. | 687. | 382. | 2.25 | 0.200 | 70.0 | 21.4 | 30.4 | 0.072 | |
| 4.11 | 6 | 1.088 | 308. | 0.6758 | 0.0125 | 54. | 866. | 558. | 2.81 | 0.156 | 77.7 | 20.1 | 37.0 | 0.077 | |
| 4.11 | 7 | 1.105 | 306. | 0.6595 | 0.0148 | 45. | 977. | 671. | 3.19 | 0.322 | 78.5 | 19.2 | 41.9 | 0.081 | |
| 4.11 | 8 | 1.076 | 308. | 0.6800 | 0.0111 | 61. | 824. | 516. | 2.67 | 0.125 | 80.0 | 20.4 | 33.2 | 0.072 | |
| 4.11 | 9 | 1.044 | 308. | 0.4907 | 0.0069 | 71. | 694. | 386. | 2.25 | 0.347 | 67.9 | 15.2 | 31.9 | 0.040 | |
| 4.11 | 10 | 1.052 | 308. | 0.4807 | 0.0089 | 54. | 836. | 528. | 2.71 | 0.212 | 73.0 | 14.8 | 34.5 | 0.041 | |
| 4.11 | 11 | 1.065 | 308. | 0.4676 | 0.0115 | 41. | 857. | 549. | 2.78 | 0.467 | 58.0 | 14.2 | 46.3 | 0.050 | |
| 4.11 | 12 | 1.069 | 308. | 0.4621 | 0.0120 | 39. | 1142. | 834. | 3.71 | 0.146 | 86.5 | 14.0 | 41.9 | 0.044 | |

| 燃焼器 | | AS-3.1 | | | | | | | | | | | 参考図 : 43 | | |
|----------|----|--------------|------------|---------------|---------------|--------|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|----------|--------------|----------|
| 実験 月日 | 番号 | P_1 ata | T_1 K | w_a kg/s | w_f kg/s | η | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_T m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備考 |
| 5.21 | 1 | 1.124 | 479. | 0.4642 | 0.0088 | 53. | 1104. | 625. | 2.305 | 0.168 | 88.5 | 20.6 | 33.7 | 0.052 | R_1 |
| 5.21 | 2 | 1.115 | 481. | 0.4645 | 0.0067 | 70. | 902. | 421. | 1.875 | 0.236 | 76.5 | 20.9 | 32.0 | 0.051 | R_1 |
| 5.21 | 3 | 1.105 | 479. | 0.4645 | 0.0052 | 90. | 719. | 240. | 1.501 | 0.316 | 54.9 | 21.0 | 30.3 | 0.049 | B, R_1 |
| 5.21 | 4 | 1.119 | 481. | 0.4637 | 0.0078 | 59. | 1026. | 545. | 2.133 | 0.197 | 85.9 | 20.8 | 32.0 | 0.050 | R_1 |
| 5.21 | 5 | 1.151 | 477. | 0.5457 | 0.0078 | 70. | 915. | 438. | 1.918 | 0.201 | 80.4 | 23.6 | 34.1 | 0.070 | |
| 5.21 | 6 | 1.168 | 479. | 0.5457 | 0.0114 | 48. | 1157. | 678. | 2.416 | 0.126 | 88.6 | 23.3 | 36.2 | 0.072 | |
| 5.21 | 7 | 1.146 | 483. | 0.5460 | 0.0069 | 79. | 849. | 366. | 1.758 | 0.246 | 74.3 | 24.0 | 32.6 | 0.068 | |
| 5.21 | 8 | 1.147 | 490. | 0.5451 | 0.0068 | 80. | 821. | 331. | 1.675 | 0.267 | 68.5 | 24.3 | 33.5 | 0.071 | |
| 5.21 | 9 | 1.162 | 484. | 0.5448 | 0.0097 | 56. | 1050. | 566. | 2.170 | 0.153 | 85.2 | 23.7 | 35.8 | 0.073 | |
| 5.21 | 10 | 1.175 | 471. | 0.5451 | 0.0116 | 47. | 1167. | 696. | 2.477 | 0.115 | 89.2 | 22.7 | 40.1 | 0.077 | |
| 5.21 | 11 | 1.105 | 483. | 0.3889 | 0.0091 | 43. | 1204. | 721. | 2.492 | 0.154 | 85.2 | 17.7 | 39.2 | 0.045 | R_1 |
| 5.21 | 12 | 1.100 | 482. | 0.3889 | 0.0078 | 50. | 1083. | 601. | 2.246 | 0.177 | 81.1 | 17.7 | 37.3 | 0.043 | |
| 5.21 | 13 | 1.096 | 477. | 0.3997 | 0.0069 | 58. | 1000. | 523. | 2.096 | 0.193 | 80.1 | 18.1 | 32.9 | 0.040 | |
| 5.21 | 14 | 1.090 | 479. | 0.3999 | 0.0054 | 74. | 849. | 370. | 1.773 | 0.276 | 70.9 | 18.3 | 31.6 | 0.039 | |
| 5.21 | 15 | 1.120 | 375. | 0.4702 | 0.0107 | 44. | 1154 | 779. | 3.078 | 0.280 | 92.4 | 16.4 | 36.8 | 0.046 | |
| 5.21 | 16 | 1.111 | 383. | 0.4712 | 0.0082 | 58. | 927. | 544. | 2.421 | 0.286 | 81.4 | 16.9 | 34.8 | 0.046 | |
| 5.21 | 17 | 1.099 | 380. | 0.4710 | 0.0065 | 72. | 692. | 312. | 1.822 | 0.546 | 56.8 | 17.0 | 32.5 | 0.043 | |
| 5.21 | 18 | 1.105 | 381. | 0.4710 | 0.0073 | 64. | 816. | 435. | 2.141 | 0.219 | 71.3 | 16.9 | 34.0 | 0.045 | |
| 5.21 | 19 | 1.112 | 427. | 0.4710 | 0.0073 | 64. | 880. | 453. | 2.060 | 0.171 | 75.5 | 18.8 | 33.3 | 0.048 | |
| 5.21 | 20 | 1.130 | 426. | 0.4710 | 0.0113 | 42. | 1228. | 802. | 2.884 | 0.160 | 91.6 | 18.5 | 36.7 | 0.052 | |
| 5.21 | 21 | 1.105 | 437. | 0.4710 | 0.0055 | 85. | 721. | 284. | 1.649 | 0.311 | 61.1 | 19.4 | 31.8 | 0.048 | |
| 5.21 | 22 | 1.120 | 432. | 0.4613 | 0.0091 | 51. | 1046 | 614. | 2.421 | 0.161 | 83.0 | 18.5 | 36.8 | 0.051 | |

| 燃 烧 器 | | AS-3.2 | | | | | | | | | | 参 考 図 : 44 | | | |
|------------|-----|--------------|------------|-----------------|---------------|-----|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|--------|--------------|-----|
| 实 验 月 日 | 番 号 | P_1 ata | T_1 K | w_a^* kg/s | w_f kg/s | n | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備 考 |
| 5.30 | 1 | 1.070 | 331 | 0.5395 | 0.0114 | 48. | 1083. | 752. | 3.27 | 0.279 | 94.8 | 17.5 | 31.3 | 0.048 | |
| 5.30 | 2 | 1.066 | 333. | 0.5427 | 0.0108 | 50. | 1052. | 719. | 3.16 | 0.259 | 95.1 | 17.8 | 29.7 | 0.046 | |
| 5.30 | 3 | 1.049 | 333. | 0.5597 | 0.0081 | 69. | 820. | 487. | 2.46 | 0.252 | 85.2 | 18.6 | 26.4 | 0.045 | |
| 5.30 | 4 | 1.039 | 335. | 0.5780 | 0.0071 | 82. | 655. | 320. | 1.96 | 0.400 | 64.8 | 19.6 | 25.2 | 0.046 | B |
| 5.30 | 5 | 1.060 | 338. | 0.4625 | 0.0104 | 44. | 1110. | 772. | 3.28 | 0.276 | 91.4 | 15.5 | 32.0 | 0.038 | |
| 5.30 | 6 | 1.052 | 338. | 0.4676 | 0.0084 | 55. | 934. | 596. | 2.76 | 0.300 | 85.6 | 15.8 | 30.3 | 0.037 | |
| 5.30 | 7 | 1.044 | 338. | 0.4787 | 0.0073 | 66. | 815. | 477. | 2.41 | 0.269 | 79.3 | 16.3 | 27.1 | 0.035 | B |
| 5.30 | 8 | 1.089 | 340. | 0.6497 | 0.0135 | 48. | 1117. | 777. | 3.29 | 0.226 | 99.6 | 21.3 | 30.4 | 0.065 | B |
| 5.30 | 9 | 1.081 | 341. | 0.6558 | 0.0123 | 53. | 1040. | 699. | 3.05 | 0.233 | 97.8 | 21.7 | 29.1 | 0.064 | B |
| 5.30 | 10 | 1.071 | 342. | 0.6627 | 0.0109 | 61. | 936. | 594. | 2.74 | 0.255 | 93.6 | 22.2 | 28.1 | 0.064 | |
| 5.30 | 11 | 1.060 | 342. | 0.6747 | 0.0097 | 70. | 847. | 505. | 2.48 | 0.229 | 89.7 | 22.8 | 26.2 | 0.063 | |
| 5.30 | 12 | 1.036 | 342. | 0.7093 | 0.0077 | 92. | 612. | 270. | 1.79 | 0.409 | 61.2 | 24.6 | 24.0 | 0.066 | |
| 5.30 | 13 | 1.059 | 342. | 0.5488 | 0.0097 | 57. | 974. | 632. | 2.85 | 0.236 | 93.0 | 18.6 | 28.0 | 0.046 | |
| 5.30 | 14 | 1.060 | 342. | 0.4578 | 0.0104 | 44. | 1111. | 769. | 3.25 | 0.263 | 90.3 | 15.5 | 32.6 | 0.038 | |
| 5.30 | 15 | 1.063 | 343. | 0.4529 | 0.0084 | 54. | 938. | 595. | 2.73 | 0.261 | 83.0 | 15.3 | 40.0 | 0.046 | |

| 燃焼器 | | AS-3.3 | | | | | | | | | | | 参考図 : 45 | | |
|----------|----|--------------|------------|-----------------|---------------|--------|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|----------|--------------|--------|
| 実験 月日 | 番号 | P_1 ata | T_1 K | w_c^* kg/s | w_f kg/s | η | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備 考 |
| 6.04 | 1 | 1.048 | 324. | 0.4927 | 0.0072 | 69. | 665. | 341. | 2.05 | 0.213 | 58.5 | 160 | 266 | 0.035 | |
| 6.04 | 2 | 1.053 | 325. | 0.4830 | 0.0085 | 57. | 810. | 485. | 2.49 | 0.170 | 70.3 | 156 | 267 | 0.033 | Y |
| 6.04 | 3 | 1.060 | 325. | 0.4688 | 0.0094 | 50. | 912. | 587. | 2.81 | 0.189 | 75.9 | 151 | 297 | 0.035 | Y |
| 6.04 | 4 | 1.067 | 326. | 0.4556 | 0.0105 | 44. | 992. | 666. | 3.04 | 0.158 | 76.6 | 146 | 340 | 0.037 | Y |
| 6.04 | 5 | 1.047 | 326. | 0.5838 | 0.0070 | 83. | 606. | 280. | 1.86 | 0.312 | 57.1 | 191 | 255 | 0.046 | B |
| 6.04 | 6 | 1.053 | 327. | 0.5664 | 0.0081 | 70. | 701. | 374. | 2.15 | 0.244 | 65.3 | 184 | 266 | 0.045 | |
| 6.04 | 7 | 1.063 | 327. | 0.5445 | 0.0096 | 57. | 860. | 533. | 2.63 | 0.175 | 77.2 | 176 | 281 | 0.044 | |
| 6.04 | 8 | 1.074 | 327. | 0.5238 | 0.0114 | 46. | 1003. | 676. | 3.07 | 0.156 | 81.9 | 167 | 319 | 0.045 | Y |
| 6.04 | 9 | 1.074 | 329. | 0.5253 | 0.0138 | 38. | 1165. | 836. | 3.54 | 0.141 | 86.3 | 169 | 272 | 0.039 | Y |
| 6.04 | 10 | 1.048 | 330. | 0.7109 | 0.0077 | 92. | 598. | 268. | 1.81 | 0.278 | 60.8 | 235 | 248 | 0.065 | B |
| 6.04 | 11 | 1.059 | 330. | 0.6847 | 0.0089 | 77. | 705. | 375. | 2.14 | 0.180 | 71.6 | 224 | 258 | 0.062 | |
| 6.04 | 12 | 1.068 | 330. | 0.6606 | 0.0104 | 63. | 820. | 490. | 2.48 | 0.201 | 79.0 | 214 | 267 | 0.059 | |
| 6.04 | 13 | 1.082 | 330. | 0.6330 | 0.0120 | 53. | 951. | 621. | 2.88 | 0.164 | 84.9 | 202 | 297 | 0.059 | |
| 6.04 | 14 | 1.090 | 330. | 0.6171 | 0.0135 | 46. | 1050 | 720. | 3.18 | 0.150 | 87.0 | 196 | 315 | 0.059 | |
| 6.04 | 15 | 1.108 | 330. | 0.5857 | 0.0164 | 36. | 1214. | 884. | 3.68 | 0.134 | 86.4 | 183 | 382 | 0.063 | |
| 6.04 | 16 | 1.049 | 331. | 0.7589 | 0.0086 | 89. | 611. | 280. | 1.85 | 0.220 | 61.2 | 251 | 244 | 0.072 | |
| 6.04 | 17 | 1.071 | 331. | 0.7558 | 0.0107 | 70. | 782. | 451. | 2.36 | 0.158 | 80.0 | 245 | 257 | 0.073 | |
| 6.04 | 18 | 1.097 | 331. | 0.7031 | 0.0142 | 49. | 1009. | 678. | 3.05 | 0.131 | 87.9 | 222 | 295 | 0.070 | |
| 6.04 | 19 | 1.124 | 331. | 0.6480 | 0.0183 | 35. | 1228. | 897. | 3.71 | 0.128 | 87.0 | 200 | 380 | 0.074 | |

| 燃焼器 | | AS-3.4 | | | | | | | | | | 参考図 : 46 | | | |
|----------|----|--------------|------------|-----------------|---------------|------|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|--------|--------------|----|
| 実験 月日 | 番号 | P_1 ata | T_1 K | w_a^* kg/s | w_f kg/s | n | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備考 |
| 6.10 | 1 | 1.028 | 325. | 0.7281 | 0.0067 | 109. | 531. | 206. | 1.63 | 0.133 | 54.4 | 241 | 24.6 | 0.069 | |
| 6.10 | 2 | 1.045 | 325. | 0.6798 | 0.0082 | 83. | 707. | 382. | 2.18 | 0.146 | 79.1 | 22.2 | 25.5 | 0.061 | |
| 6.10 | 3 | 1.053 | 326. | 0.6609 | 0.0097 | 68. | *814. | 488. | 2.50 | 0.163 | 84.4 | 21.5 | 26.0 | 0.059 | Y |
| 6.10 | 4 | 1.062 | 326. | 0.6607 | 0.0112 | 59. | 909. | 583. | 2.79 | 0.162 | 88.8 | 21.3 | 26.9 | 0.059 | Y |
| 6.10 | 5 | 1.066 | 326. | 0.6306 | 0.0126 | 50. | 995. | 669. | 3.05 | 0.154 | 87.6 | 20.2 | 27.6 | 0.056 | Y |
| 6.10 | 6 | 1.081 | 329. | 0.6073 | 0.0139 | 44. | 1083. | 754. | 3.29 | 0.159 | 88.0 | 19.4 | 33.4 | 0.062 | Y |
| 6.10 | 7 | 1.091 | 329. | 0.5931 | 0.0156 | 38. | 1184. | 855. | 3.60 | 0.163 | 88.0 | 18.8 | 36.4 | 0.063 | Y |

| 燃焼器 | | AS-3.5 | | | | | | | | | | 参考図 : 47 | | | |
|----------|----|--------------|------------|-----------------|---------------|-----|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|--------|--------------|-------|
| 実験 月日 | 番号 | P_1 ata | T_1 K | w_a^* kg/s | w_f kg/s | n | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備考 |
| 6.12 | 1 | 1.049 | 317. | 0.6997 | 0.0082 | 86. | 680. | 363. | 2.14 | 0.174 | 76.9 | 22.2 | 25.2 | 0.062 | R_2 |
| 6.12 | 2 | 1.063 | 320. | 0.6674 | 0.0097 | 69. | 809. | 489. | 2.53 | 0.182 | 85.1 | 21.1 | 27.3 | 0.061 | |
| 6.12 | 3 | 1.072 | 323. | 0.6435 | 0.0112 | 57. | 937. | 614. | 2.90 | 0.173 | 91.0 | 20.3 | 28.6 | 0.059 | |
| 6.12 | 4 | 1.083 | 324. | 0.6605 | 0.0126 | 53. | 998. | 674. | 3.08 | 0.155 | 92.5 | 20.7 | 30.1 | 0.064 | |
| 6.12 | 5 | 1.094 | 325. | 0.6521 | 0.0141 | 46. | 1087. | 762. | 3.35 | 0.086 | 93.5 | 20.3 | 32.5 | 0.066 | |
| 6.12 | 6 | 1.105 | 326. | 0.6464 | 0.0156 | 41. | 1171. | 845. | 3.59 | 0.085 | 94.1 | 20.0 | 35.0 | 0.069 | Y |

| 燃焼器 | | AS-3.6 | | | | | | | | | | 参考図 : 48 | | | |
|----------|----|--------------|------------|-----------------|---------------|------|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|--------|--------------|----|
| 実験 月日 | 番号 | P_1 ata | T_1 K | w_a^* kg/s | w_f kg/s | n | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備考 |
| 6.13 | 1 | 1.041 | 329. | 0.7078 | 0.0067 | 106. | 582. | 253. | 1.77 | 0.219 | 65.5 | 23.5 | 25.2 | 0.066 | |
| 6.13 | 2 | 1.056 | 330. | 0.6868 | 0.0082 | 84. | 746. | 416. | 2.28 | 0.137 | 87.0 | 22.5 | 25.9 | 0.063 | |
| 6.13 | 3 | 1.066 | 330. | 0.6771 | 0.0097 | 70. | 840. | 510. | 2.55 | 0.133 | 90.2 | 22.0 | 27.4 | 0.064 | |
| 6.13 | 4 | 1.075 | 330. | 0.6681 | 0.0110 | 61. | 924. | 594. | 2.80 | 0.140 | 92.7 | 21.5 | 28.4 | 0.063 | |

| 燃焼器 | | AS-3.6 | | | | | | | | | | 参考図 : 48 | | | |
|----------|----|--------------|------------|---------------|---------------|------|------------|-------------------|-----------|------------|---------------|--------------|--------|--------------|----------|
| 実験 月日 | 番号 | P_1 ata | T_1 K | w_a kg/s | w_f kg/s | n | T_2 K | ΔT deg | T_2/T_1 | δ_t | η_b % | U_r m/s | ϕ | $\Delta P/P$ | 備考 |
| 6.26 | 1 | 1.031 | 324. | 0.7890 | 0.0078 | 102. | 558. | 234. | 1.72 | 0.192 | 58.0 | 26.0 | 25.3 | 0.081 | R_1, B |
| 6.26 | 2 | 1.064 | 325. | 0.7755 | 0.0104 | 75. | 800. | 475. | 2.46 | 0.154 | 89.3 | 24.8 | 27.2 | 0.080 | |
| 6.26 | 3 | 1.033 | 327. | 0.6305 | 0.0067 | 94. | 630. | 303. | 1.93 | 0.176 | 69.7 | 20.9 | 25.8 | 0.055 | R_1 |
| 6.26 | 4 | 1.049 | 327. | 0.6362 | 0.0083 | 76. | 779. | 452. | 2.38 | 0.109 | 86.4 | 20.8 | 27.9 | 0.059 | |
| 6.26 | 5 | 1.064 | 327. | 0.6395 | 0.0105 | 61. | 916. | 589. | 2.80 | 0.148 | 92.5 | 20.6 | 29.9 | 0.062 | |
| 6.26 | 6 | 1.031 | 327. | 0.5408 | 0.0060 | 90. | 641. | 314. | 1.96 | 0.148 | 69.9 | 18.0 | 26.7 | 0.043 | B |
| 6.26 | 7 | 1.042 | 329. | 0.5389 | 0.0075 | 72. | 797. | 468. | 2.42 | 0.119 | 85.0 | 17.8 | 28.5 | 0.045 | |
| 6.26 | 8 | 1.053 | 329. | 0.5441 | 0.0094 | 58. | 943. | 614. | 2.87 | 0.123 | 91.6 | 17.8 | 30.1 | 0.048 | |
| 6.26 | 9 | 1.062 | 329. | 0.5478 | 0.0111 | 50. | 1054. | 725. | 3.20 | 0.137 | 94.7 | 17.8 | 31.9 | 0.050 | |

航空宇宙技術研究所資料297号

昭和51年4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)47-5911(大代表)●182

印刷所 株式会社 東京プレス
東京都板橋区桜川 2~27~12
