

航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-907

N_2O_4 /アミン インジェクタエレメントの実験 その2 燃焼試験結果

熊谷達夫・毛呂明夫・日下和夫
木皿且人・阿部登・佐藤政裕
宮島博・小坂勝明

1986年6月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

N₂O₄/アミン インジェクタエレメントの実験*

その2 燃焼試験結果

熊谷達夫** 毛呂明夫** 日下和夫**
木皿且人** 阿部 登** 佐藤政裕**
宮島 博** 小坂勝明***

A Study of N₂O₄/Amine Injector Elements

Part 2 Combustion Test

Tatsuo Kumagai, Akio Moro, Kazuo Kusaka, Katsuto Kisara, Noboru Abe
Masahiro Sato, Hiroshi Miyajima, and Katsuaki Kosaka

ABSTRACT

Effects of reactive stream separation on combustion performances were experimentally investigated by conducting firing tests of a N₂O₄/MMH propellant in a small scale combustion chamber with unlike doublet element injectors. Characteristic velocity efficiencies and specific impulses were parametrically obtained by varying the chamber pressure, the mixture ratio and the length of the combustion chamber. A distinct deterioration of the performance was observed in the region of the reactive stream separation correlated by Lawver. The most significant deterioration of the performance due to reactive stream separation occurs at a mixture ratio where otherwise the performance is at a peak.

1. まえがき

人工衛星の大型化に伴って、四酸化二窒素(N₂O₄)/モノメチルヒドラジン(MMH)等の混合発火性を有する貯蔵性二液推進剤を用いた液体推進系の有用性が明らかになってきた¹⁾²⁾。これらの推進剤を用いる場合ブローアパートといわれる反応性噴流の分離現象に留意する事が必要である^{3)~5)}。N₂O₄/MMH・N₂H₄等の推進剤は、その激しい反応性のため、

ある特定の条件下では反応性噴流の分離現象が発生する。これは準定常的現象で噴流衝突型インジェクタの場合、図1に示すように推進剤の混合を抑制するように噴流が分離する。この結果、全体として推進剤の混合効率が低下し、燃焼効率も下がる。反応性噴流の分離が発生する条件について多数の研究がなされてきたが殆どが特定の試験にのみ適用されるものである。このうち、Lawverはシングルエレメントインジェクタの燃焼時の状況を、石英窓を通して写真撮影し、反応性噴流の分離条件を燃料噴孔径を代表径とする燃料Reynolds数と燃焼圧力で特定した⁶⁾。しかし、500 Nスラスタでの我々のN₂O₄/N₂H₄についての僅かな経験⁷⁾はこの条件の成立

* 昭和61年4月11日受付
** 航空宇宙技術研究所角田支所
*** 日産自動車株式会社

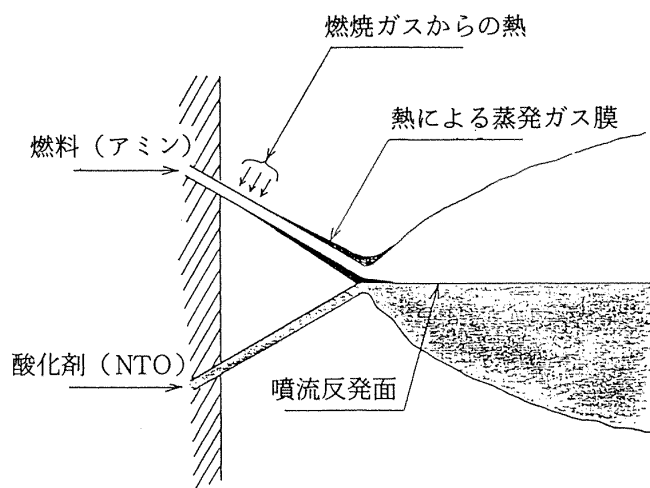


図1 反応性噴流の分離

に疑問を投げ掛け、この問題についての知見が必ずしも一致していない事実を支持した。

このような事から、Lawverの実験によって反応性噴流の分離条件とインジェクタパラメータの関係が広範囲に調べられたエレメントの中で、参考文献7)の500 Nスラスタの実験に採用した異種二噴流衝突型と同型のものを選び、先ず N_2O_4 /MMH系について燃焼性能面からの噴流分離条件の検証を衛星用二液推進系の基礎研究の一環として試みた。検討にあたっては、

- (1) 模擬推進剤による非燃焼時における混合特性の測定、
- (2) 混合特性の異なるエレメントで燃焼圧力(P_c)、推進剤混合比(MR)、燃焼室長さ(L_c)等をパラメータとした燃焼試験、
- (3) 定常性能予測計算モデルの改良、

の段階を踏んだ。(1)の模擬推進剤による混合特性測定の結果⁸⁾、2種のインジェクタが燃焼試験のために選ばれた。ここでは、(2)で行なった燃焼性能と反応流分離条件についての検討結果について以下に報告する。

2. 試験設備と試験方法

実験は大気圧下燃焼試験であるが、試験装置設置上の理由からロケットエンジン高空性能試験設備⁹⁾内10 L 低圧室に推進薬供給装置と推力計測装置を設置し、同設備の計測設備を用いた。低圧室入り口鏡板を取り外し、二段式の蒸気エゼクタはデフューザ出口部で切り離した。燃焼試験中は窒素ガスによる

アニュラ型の補助エゼクタを作動させ、10 L 低圧室内の換気を行なった。このことによる推力測定等への影響は、補助エゼクタ入り口と燃焼器の距離が十分大きく問題はない。

その10 L 低圧室内を図2に示す。手前が推進薬供給装置で移動可能なユニット形式になっている。また後方には、推力計測装置とデフューザ入り口に取りつけた補助エゼクタがある。

推進薬供給装置系統を図3に示す。推進薬供給装置は文献7)で述べたものと基本的には同一で、インジェクタがシングルエレメントで推進薬流量が少ないためパドルホイール型流量計を採用した点異なる。燃料側及び酸化剤側ともに推進薬タンクの容量は6 リットル、最大使用圧力は3.92 MPa (40 kg/cm²)である。推進薬供給と燃焼器パージの機能を備え、制御装置と組み合わせてシーケンスによるシーケンス燃焼試験ができる。流量測定は、本実験に用いる推進剤の N_2O_4 およびMMHによる校正データがなく、また校正する装置を持っていないことからメーカーによる水校正データを用いた。また、推進薬タンクには電熱ヒータが巻かれており、冬期には推進薬温度を5℃以上に調温した。

燃焼試験の代表的なシーケンスを図4に示す。燃焼器始動弁のバルブタイミングは、同時開および同時閉である。また燃焼時間は、燃焼器の耐熱性を考慮して大部分が4秒である。

推力計測装置は既報⁷⁾で述べたものと同一で、最大荷重1,078 N (110 kg f) の小推力ロケットエンジン用に設計されたものである。装置内に較正荷重を備え、総合精度は0.2%以内である。

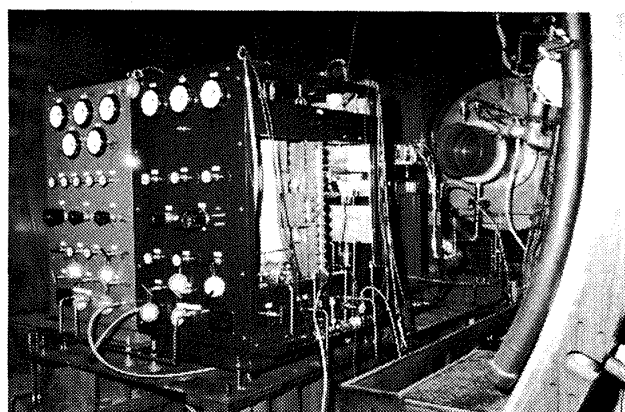


図2 10 L 低圧室内

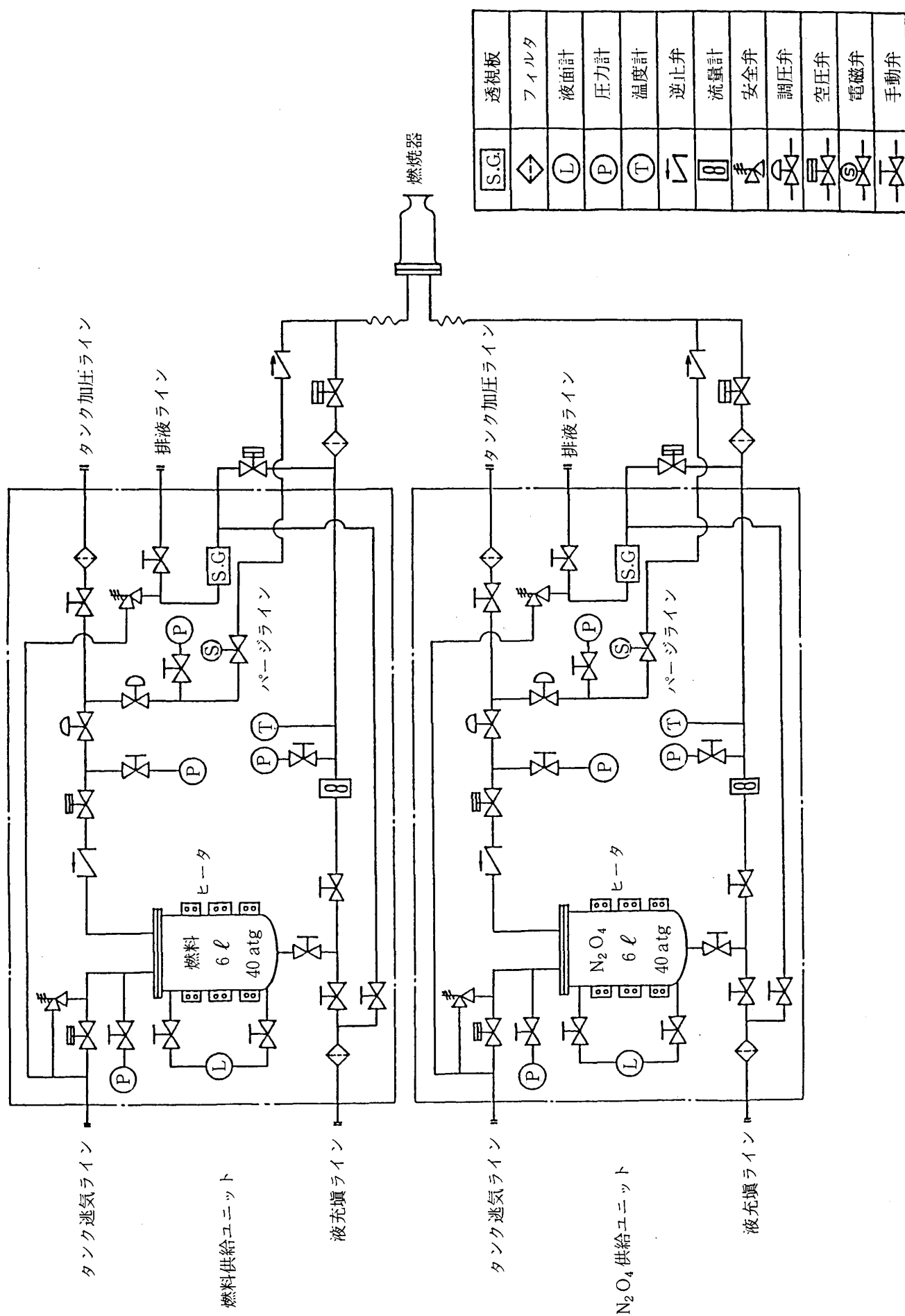


図3 推進薬供給装置系統図

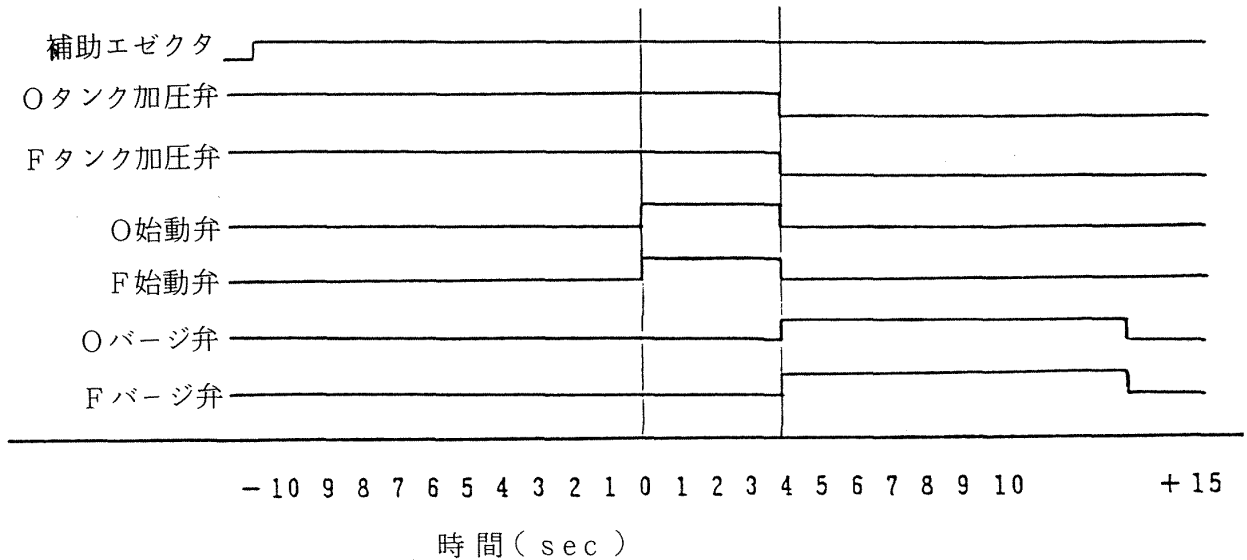


図4 自動シーケンスの一例

3. 供試体

インジェクタエレメントのコンフィグレーションは、Lawverの実験⁶⁾したなかから異種二噴流衝突型を二種類選んだ。また燃焼器は、燃焼器Aと燃焼器Bの二種類を用いた。燃焼器Aは、反応性噴流の混合/分離の状態を写真撮影によって調べたLawverの実験と比較を容易にするため、Lawverが用いた供試体と近い条件のものとした。しかし、その燃焼器Aでの燃焼試験からは、噴流の分離現象が混合比(MR)依存性から推測されるだけで燃焼性能の低下はなく、また、噴流の混合/分離の境界を明確には出来なかった。この原因は、燃焼室が大き過ぎてリサキュレーション等の二次混合が増し、性能が低下しなかったと考える。そこで次に、新たな小燃焼室径の燃焼器Bを用いて燃焼試験を進め、噴流の分離

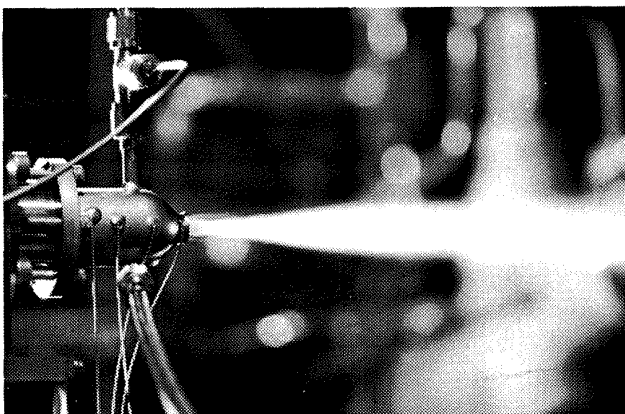


図5 燃焼器Bによる燃焼試験

現象による燃焼性能の低下を確認することができた。その燃焼器Bによる燃焼中の写真を図5に示す。

燃焼器Aによる燃焼試験は結果的に噴流の分離現象に対して予備実験的なものとなったが、ノズルスロート径を変えた広範囲の作動パラメータで興味深いデータを取得したので、これについても記述する。

3.1 インジェクタ

インジェクタは、噴射器要素の特性を相対的に比較する目的で、Lawverが写真撮影によって反応性噴流の分離現象とインジェクタパラメータの関係を調べた噴射器要素⁶⁾のなかから、既報⁷⁾のスラストでも採用した異種二噴流衝突型のもの数種を試作した。燃焼試験には、本試験に先行して行なったコールドフロー試験⁸⁾の結果から、代表的な特性を示すものとしてNo.5とNo.7を選んだ。その噴射器要素を図6に示す。No.7は比較的噴流の衝突精度が良い例であり、それに対してNo.5は良くない例である。図7に、模擬推進薬によって行なったコールドフロー試験による空間分布測定の一例を示す。No.7のインジェクタがほぼ対称形を示しているのに対して、No.5は不整形であり衝突の悪いことを示している。試験結果の検討では、このことにも留意する必要がある。

3.2 燃焼器A

燃焼器Aを図8に示す。また、燃焼器Aの主要諸

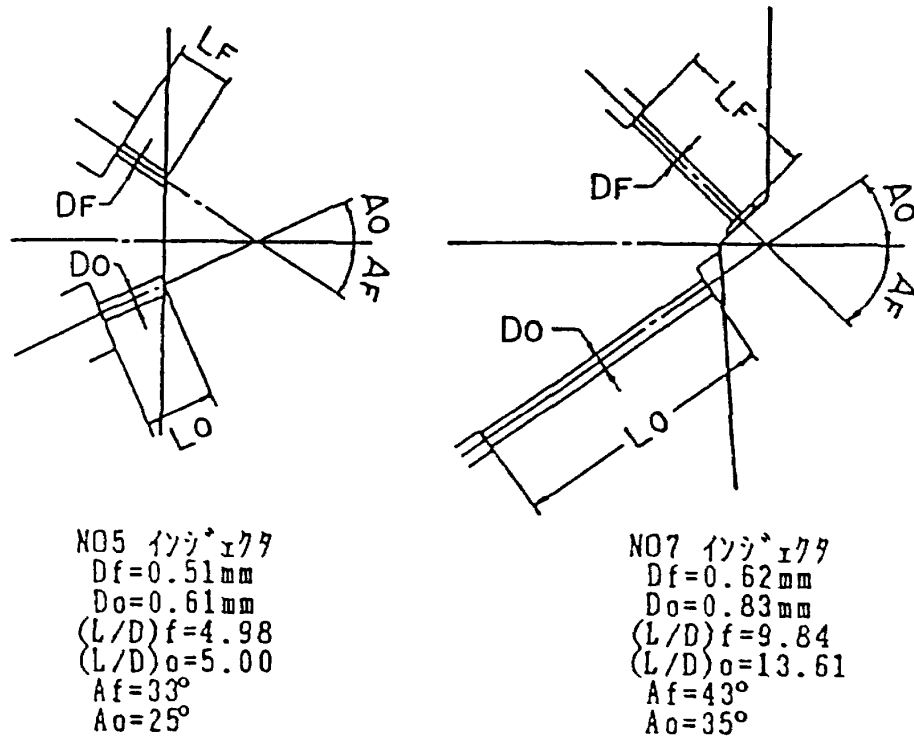


図6 燃焼試験に用いた噴射器要素

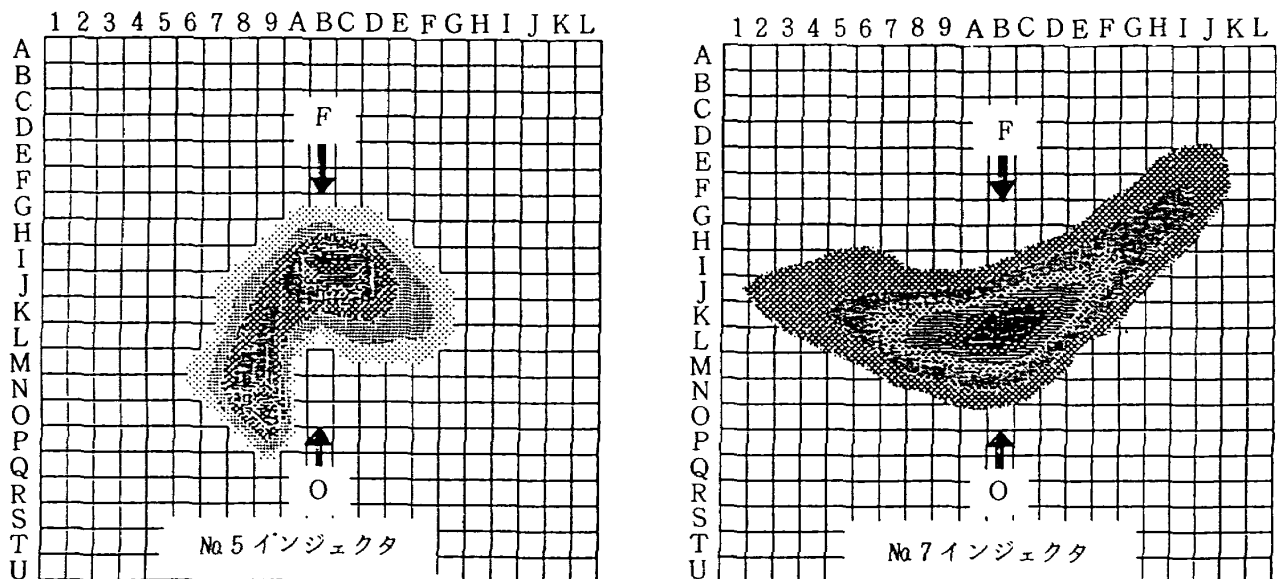


図7 空間分布測定の一例

元を表1に示す。燃焼室平行部およびノズルスロート部はそれぞれ交換可能であり、大きさを変えることができる。またインジェクタも交換や点検が容易な構造である。Lawverの相関⁶⁾によれば、反応性噴流の分離は、燃焼室圧(P_c)と燃料側オリフィス径基準のReynolds数(Ref)とによって示されている。スロート径(D_{th})が一定のもとで P_c を変化させるには、推進薬の流量を変化させる必要があり、従って Ref も変化させてしまう。そこで、 D_{th} を変

えることにより、 P_c がほぼ等しい条件のなかで異なった Ref のデータを得ようとしたものである。 D_{th} は4, 6, 8 mmの3種類を用いた。燃焼室の長さは、噴流分離の効果と燃焼室長さの効果を分離することを目的として、燃焼室平行部長さ(L)を50 mmと100 mmの2種類を用意した。燃焼室内径(D_{ch})は50 mmで比較的大きな値とした。Lawverの実験では写真撮影により反応流の分離現象を調べたので、燃焼室壁面の影響を避ける必要があり、 D_{ch} は約70 mm

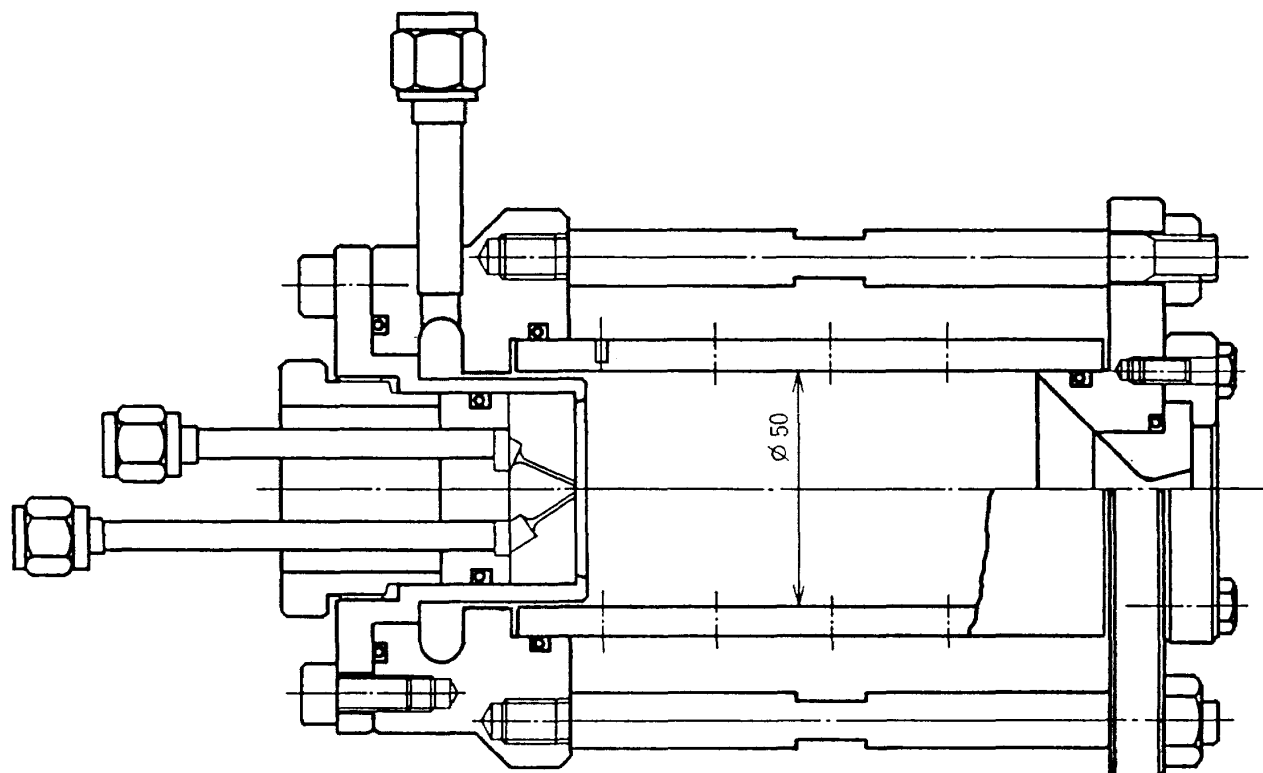


図 8 燃焼器 A

表 1 燃焼器 A 主要諸元

項 目	記号	単位	仕 様
燃焼室平行部径	Dch	mm	50
“ 長	L	mm	50, 100 (2種類)
ノズルスロット径	Dth	mm	4, 6, 8 (3種類)
収 縮 比	ϵ_c		156, 69, 39
膨 張 比	ϵ_e		1.75
特性長さ			
(Lch=50mm)	L^*	cm	966, 449, 251
(Lch=100 mm)	L^*	cm	1720, 736, 424
推 進 薬			NTO, MMH
燃 焼 圧	Pc	MPa	0.5 - 2.0
混 合 比	MR		1.1 - 2.2
真空中補正推力	Fv	N	15 - 65
“ 比推力	Ispv	sec	180 - 220

と更に大きな値であったが、それよりは若干小さくしている。燃焼器 A は燃焼性能面から反応性噴流の分離の可能性等を検討しようとしたものではあるが、Lawver の実験結果と比較することを考慮し、近い条件に設計をした。燃焼室平行部の材料には脱酸銅を用い、一周に 12 本のコンスタンタン線を長手

方向 4 箇所に取り付け、燃焼室の壁温分布測定に備えた。

3.3 燃焼器 B

燃焼器 B を図 9 に示す。また主要諸元を表 2 に示す。Dch は 28 mm, Dth は燃焼器 A で用いた 4, 6, 8, mm の 3 種類のなかで推進薬供給系とのマッチングがよくランタンク調圧が比較的容易であった 6 mm とし

表 2 燃焼器 B 主要諸元

項 目	記号	単位	仕 様
燃焼室平行部径	Dch	mm	28
“ 長	L	mm	40, 60, 80 (3種類)
ノズルスロット径	Dth	mm	6
収 縮 比	ϵ_c		21.8
膨 張 比	ϵ_e		1.75
特 性 長 さ	L^*	cm	108, 152, 195
推 進 薬			NTO, MMH
燃 焼 圧	Pc	MPa	0.6 - 1.8
混 合 比	MR		1.1 - 2.2
真空中補正推力	Fv	N	25 - 60
“ 比推力	Ispv	sec	200 - 220

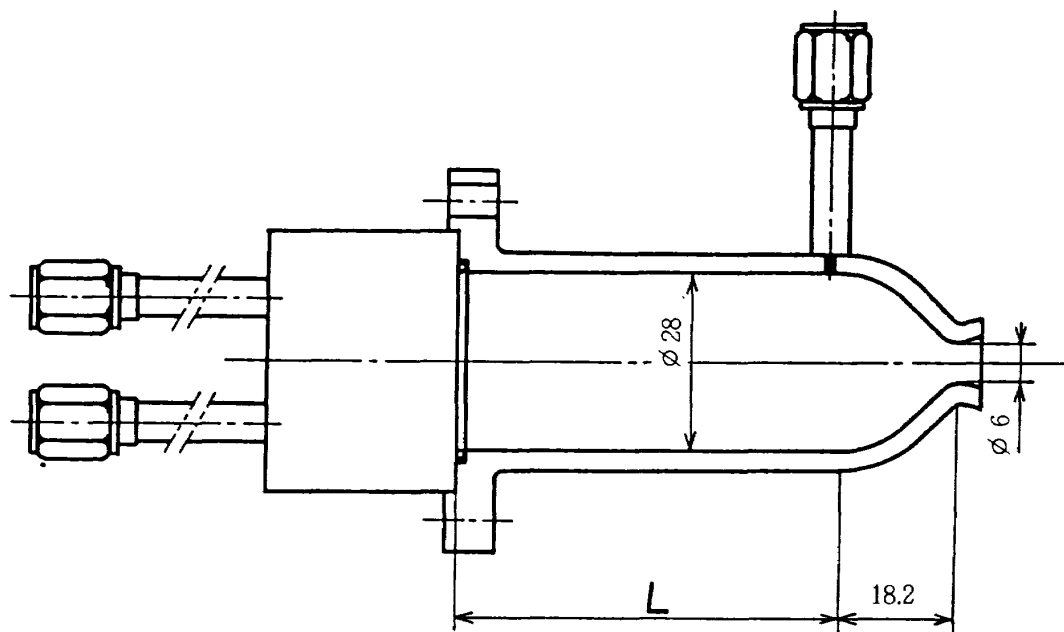


図9 燃焼器B

た。また、Lは20mmずつ異なる40, 60, 80mmの3種類とし、燃焼器Aと異なり一体構造であるので個別に製作した。材料は耐熱性を考慮しニッケル合金のインコネル625を用いた。

3.4 試験コードおよび供試体組み合わせコード

燃焼試験コードは燃焼器とインジェクタおよび燃焼圧力を組み合わせ次のように表わす。

燃焼器の種類と平行部長さ－スロート径

－インジェクター燃焼圧力

例 A50－6－Na5－1.5

特定しない部分があれば、その部分をXで表わす。

例 B40－6－Na7－X

また、燃焼器の組み合わせのみを表わす場合等には後部を省略し次のように表わす。

例 A50－6 例 B40

4. 燃焼試験結果

4.1 燃焼器Aによる燃焼試験結果

図10に燃焼器AでL=50mmの試験範囲を示す。横軸はRef, 縦軸はPcである。斜めの線はLawverの実験データに示されている反応性噴流の混合領域と分離領域の境界の線で次のように表わされる⁶⁾

$$P_c = 3.03 \times 10^6 / \text{Ref}^{1.5} \quad (1)$$

ただし、Pcは燃焼圧力MPaであり、Refは燃料側オリフィス径基準のReynolds数である。この線の上部は分離領域、下部は混合領域である。また、境界の線の近傍は混合と分離の状態が混在しており、過渡領域と呼ぶことにする。インジェクタは前述のNa5とNa7の二種類を用いた。Pcは、実験点が混合/分離境界線の両側にわたるよう、0.75, 1.0および1.5MPaの三段階とした。Dthは、図中に▲で示す試験点が8mm, 他は6mmである。Na7インジェクタは噴射オリフィス径がNa5より大きいので、Pcが同等でもRefが小さくなっている。インジェクタとDth及びPcが共通で、Refが異なっている試験点は、質量流量比MRが変化したものである。試験範囲はLawverの示した基準の、混合/分離の両領域にわたっている。

図11にA50－6－Na7－Xの特性速度効率(C*効率)および真空中補正の比推力Ispvを示す。Na7インジェクタの混合特性速度効率がMR=2.2近傍でピークを示すことは別報⁸⁾で示した。図11のPc=0.75と1.0MPa(混合領域)のC*効率とIspvは、MRがこの試験範囲よりもっと高いところにピークがあり、試験点が足りないため特定できないがこの事を反映している。また、C*効率とIspvはPcの高いほうが高い。Pc=1.5MPa(分離領域)のデータは、MRの変化と無関係に殆ど一定の値である。

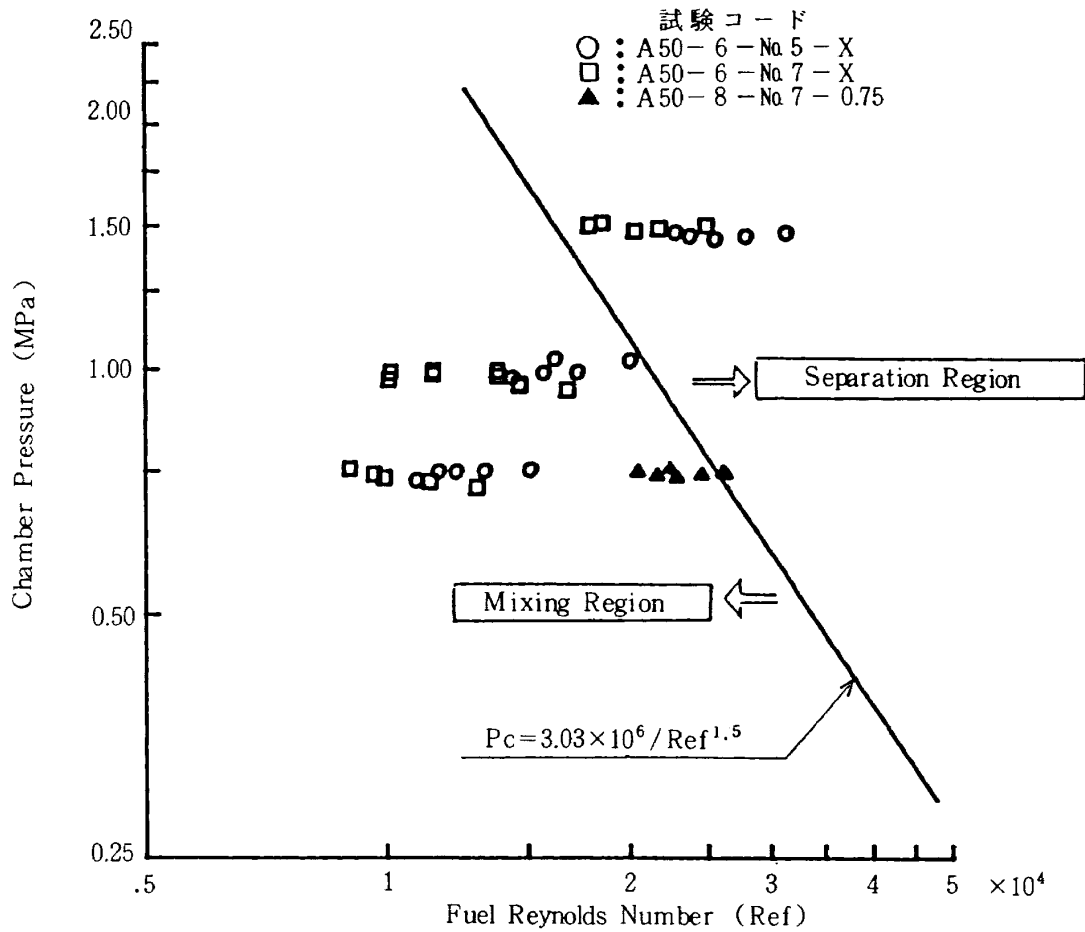


図10 A50燃焼器による試験範囲

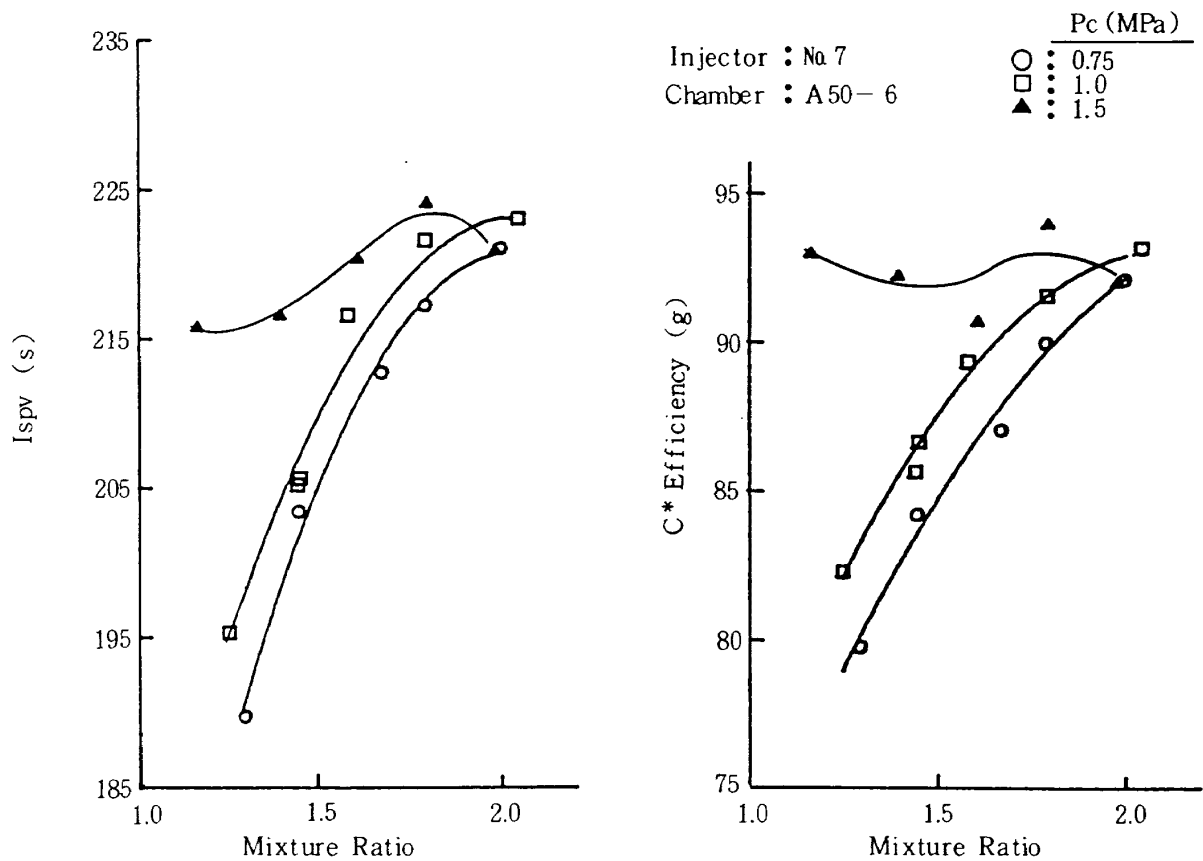


図11 A50燃焼器とNo.7インジェクタによる燃焼性能

噴流の分離現象が起これば燃焼性能は当然低くなるが、ここではP_cが高いほど性能も高い。これは推進薬流量の効果が分離されていない為と考える。しかし、混合領域とはC*効率とIspvのMP依存性が異なり、反応性噴流の分離効果が現われた可能性がある。

図12にA50-6-Na5-XのC*効率とIspvを示す。Na7インジェクタと同様に、分離領域のP_c=1.5MPaのデータが、混合領域と大きく異なった特異な傾向を示し、燃焼性能がP_c=1.0MPaの場合より低下して分離現象が発生している可能性はより高い。しかし問題は、Na5インジェクタのデータには噴流自体の衝突精度が悪い事による効果も含まれていることである。

図13にA50-X-Na5-0.75のC*効率とIspvを示す。Dthが6mmと8mmの場合の比較である。Dthが異なるとコントラクション比(ϵ_c)も異なる。しかし、Dth=8mmの場合で $\epsilon_c=39$ と非常に大きな値であり、このことによる性能の差は小さい。性能はDthの大きい方が一般に高い。これは、P_cが同等でもDthが大きければ推進薬の噴射速度(V)が

大きく、噴射の微粒化が進んだためである。

図14にA100-X-Na5の試験範囲を示す。インジェクタはNa5である。Dthを4, 6, 8mmと三種類で燃焼試験を行なうことにより、P_cがほぼ等しい条件のなかでRefの異なるデータと、その逆にRefがほぼ等しい条件のなかでP_cが異なるデータを得た。これにより、P_cおよびVの効果と、それぞれ単独に検討した。本来、噴流衝突精度の劣るNa5よりも衝突のよいNa7を用いるべきであるが、機材スケジュールの関係からNa7については試験していない。斜めの線は図10と同様にLawverが示した反応性噴流の混合/分離の境界である⁶⁾

図15にA100-X-Na5の、Refがほぼ等しい場合のC*効率とIspvを示す。P_cは、その効果を明確にする為、0.5, 1.0, 2.0MPaの大きく変化させた三段階とした。また、 ϵ_c が異なる問題についてはA50燃焼室の場合と同様に影響は小さい。P_c=2.0MPaとP_c=1.0MPaについて比較すると、Ispvの値は図12のA50-6-Na5の場合と同様にP_cの高い方が低い。Refはほぼ同等であるから、P_cの単独効果としてIspvが低下することを確認

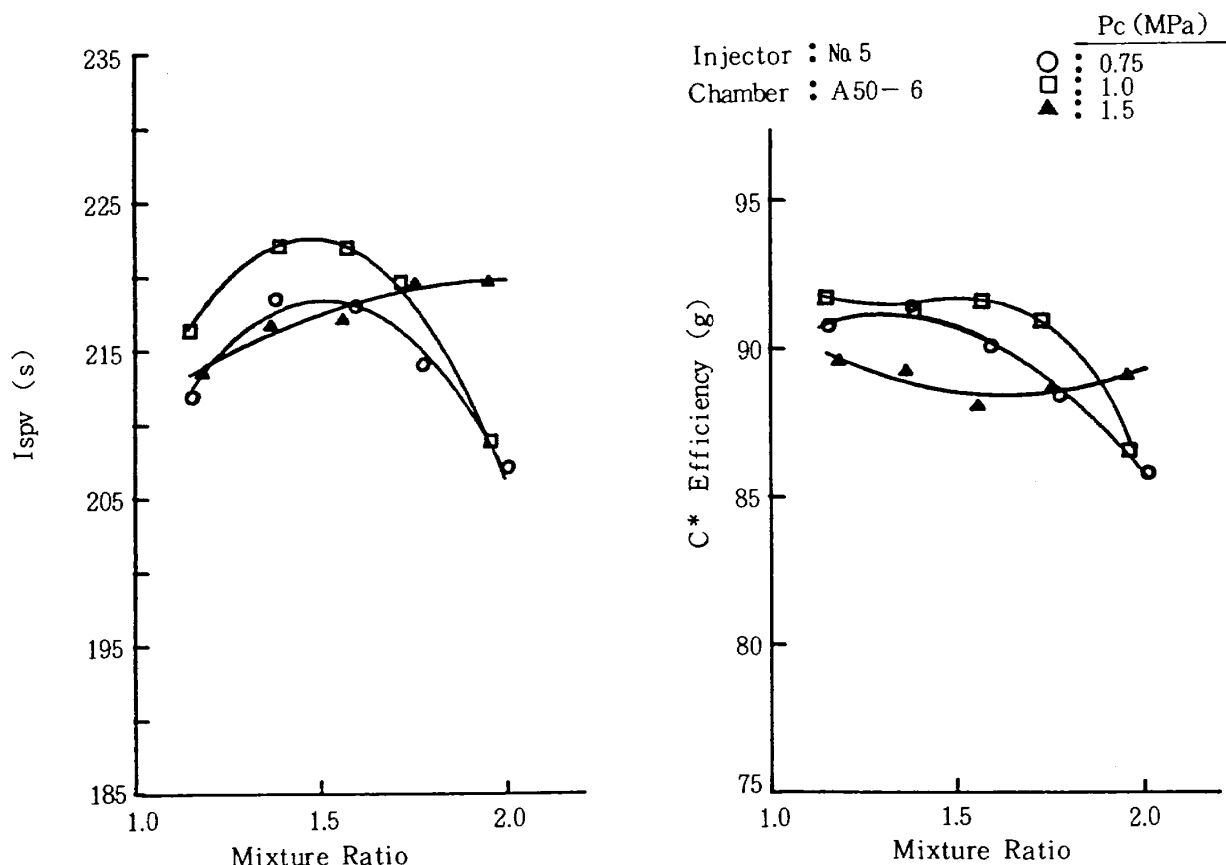


図12 A50燃焼器とNa5インジェクタによる燃焼性能

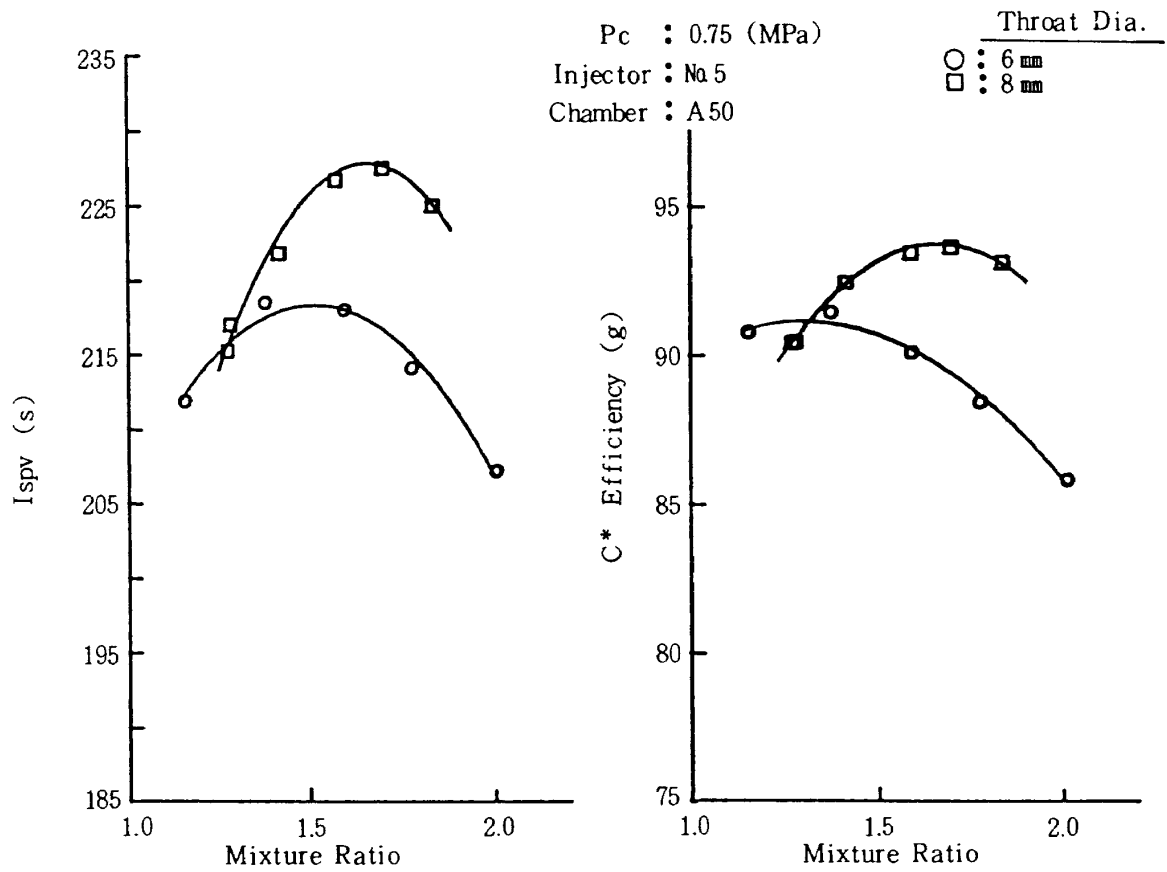


図13 ノズルスロート径が異なる場合の燃焼性能

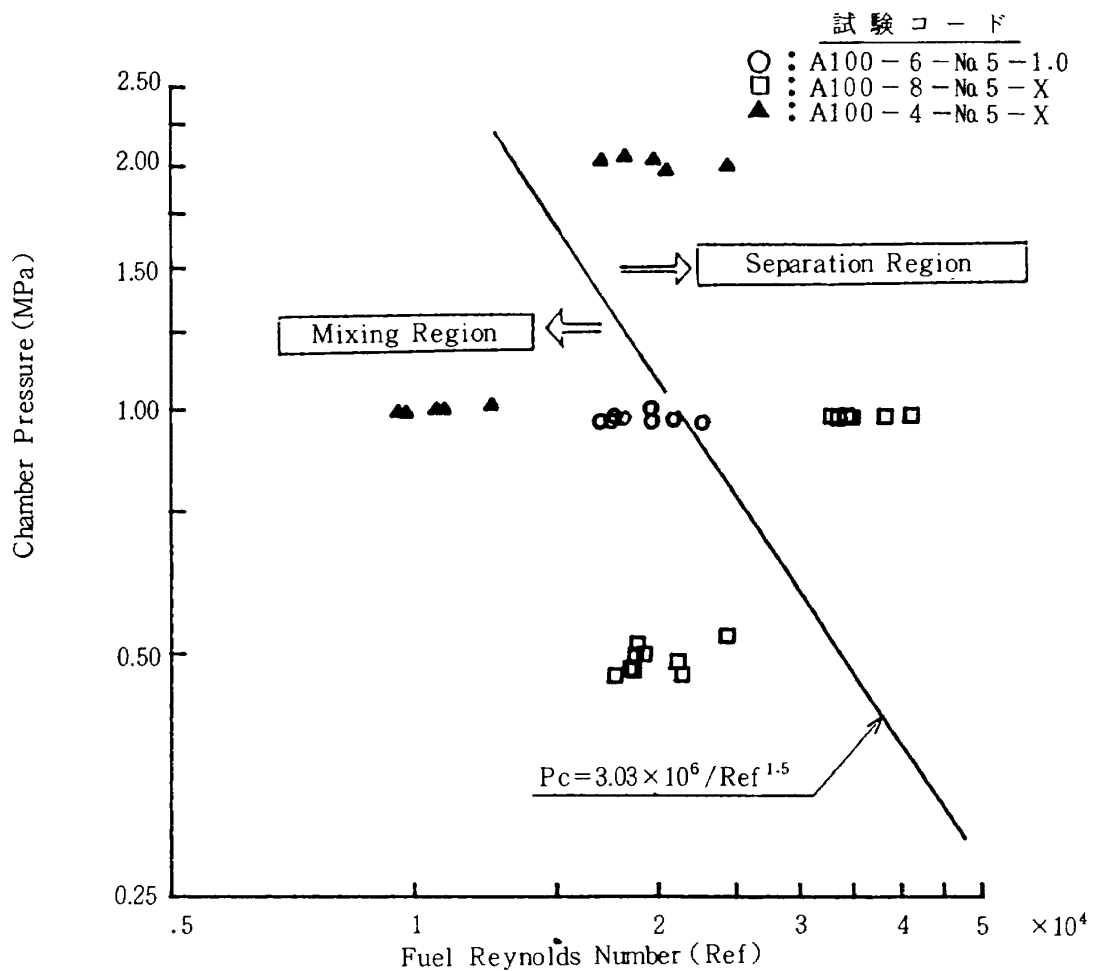


図14 A100 燃焼器による試験範囲

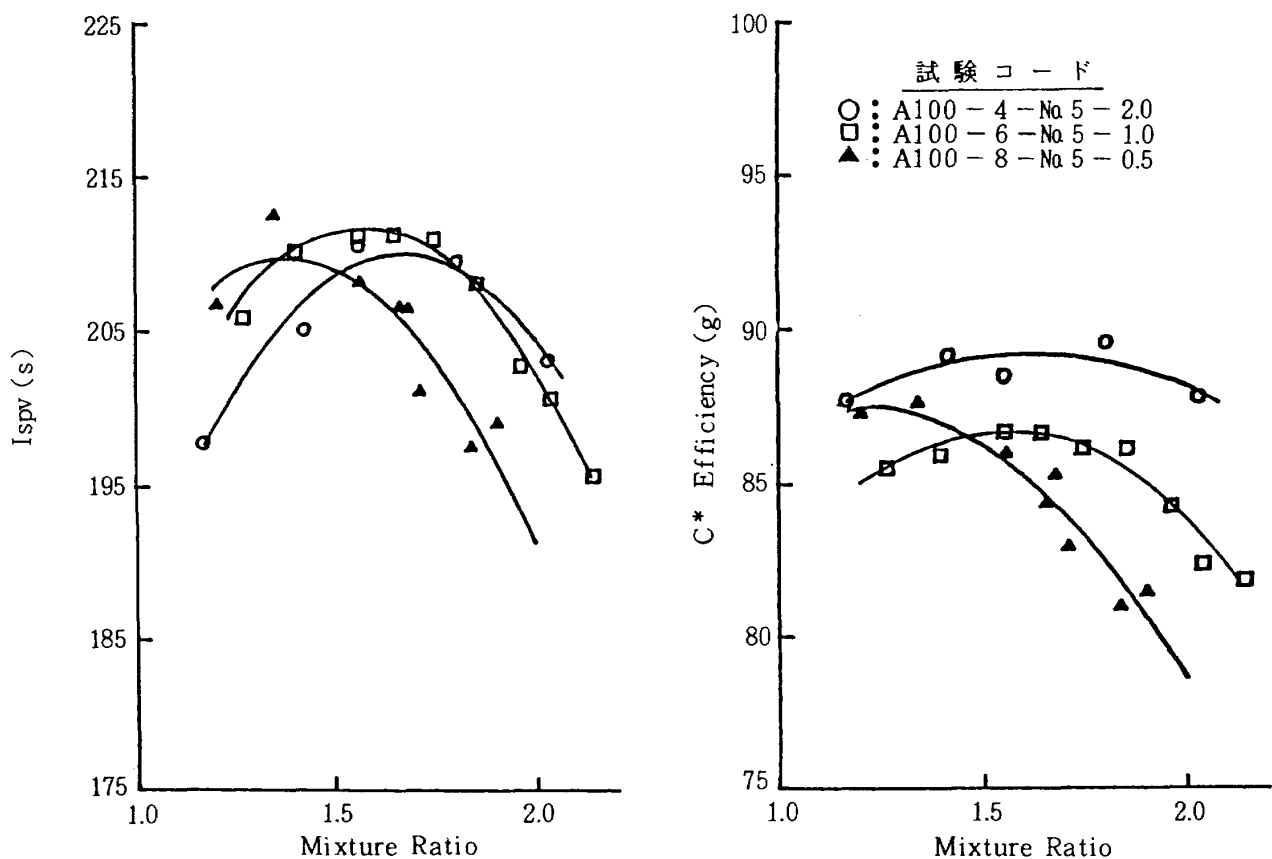


図15 Ref がほぼ等しい条件で P_c の異なった燃焼性能データ

した。一方 C^* 効率は P_c に対する傾向が逆転している。反応性噴流の分離現象が発生した場合には、 P_c 測定の信頼性に問題が生じる可能性が大きい。

図16に、 P_c がほぼ一定のなかで Ref の異なるデータ (A100-X-Na 5-1.0) を示す。燃焼器 A で $L=50\text{mm}$ の場合 (図13参照) と同様に、 D_{th} が大きくなると燃焼性能も高くなっている。しかし問題は、全域に渡って分離領域にある $D_{th}=8\text{mm}$ の MR 依存性が、混合領域で $D_{th}=4\text{mm}$ と類似の傾向を示し、また燃焼性能も高いことである。このことから、このコンフィグレーションでは反応性噴流の分離の効果よりも、 P_c および V の効果が大きい可能性がある。

燃焼器 A での燃焼試験結果をまとめると、

- (1) 混合領域では、燃焼圧力が高くなれば燃焼性能も高くなる。
- (2) 燃焼圧力一定の条件下では、ノズルスロート径の大きい方が燃焼性能が高い。
- (3) Lawver の反応流分離基準で分離領域における性能の MR 依存性は、混合領域と大きく異なった

MR 依存性を示す。

燃焼器 A の燃焼試験では、反応性噴流の分離の可能性は MR 依存性より検出されたが、燃焼室径と長さを小さくしてリサーキュレーション等の二次混合燃焼を減少させれば、より明確に現われると考えられる。そこで、以後の燃焼試験を $D_{ch}=28\text{mm}$ の燃焼器 B で行なった。

尚、燃焼器壁温分布の計測データは、熱電対出力間にばらつきがあり、適当な校正方法がないので今回は取り扱っていない。

4.2 燃焼器 B による燃焼試験結果

図17に B40-6-Na 7-X の試験範囲を示す。 P_c を 0.1 MPa 間隔で、混合領域から分離領域へ連続的に変化させたものである。インジェクタはコールドフロー試験の結果から衝突精度が比較的良好な Na 7 である。また MR は、 C^* 効率がほぼピークに近い $MR=1.9$ に設定した。

図18に、図17に示した B40-6-Na 7-X の C^* 効率と I_{spv} を示す。 P_c が高くなるとともに

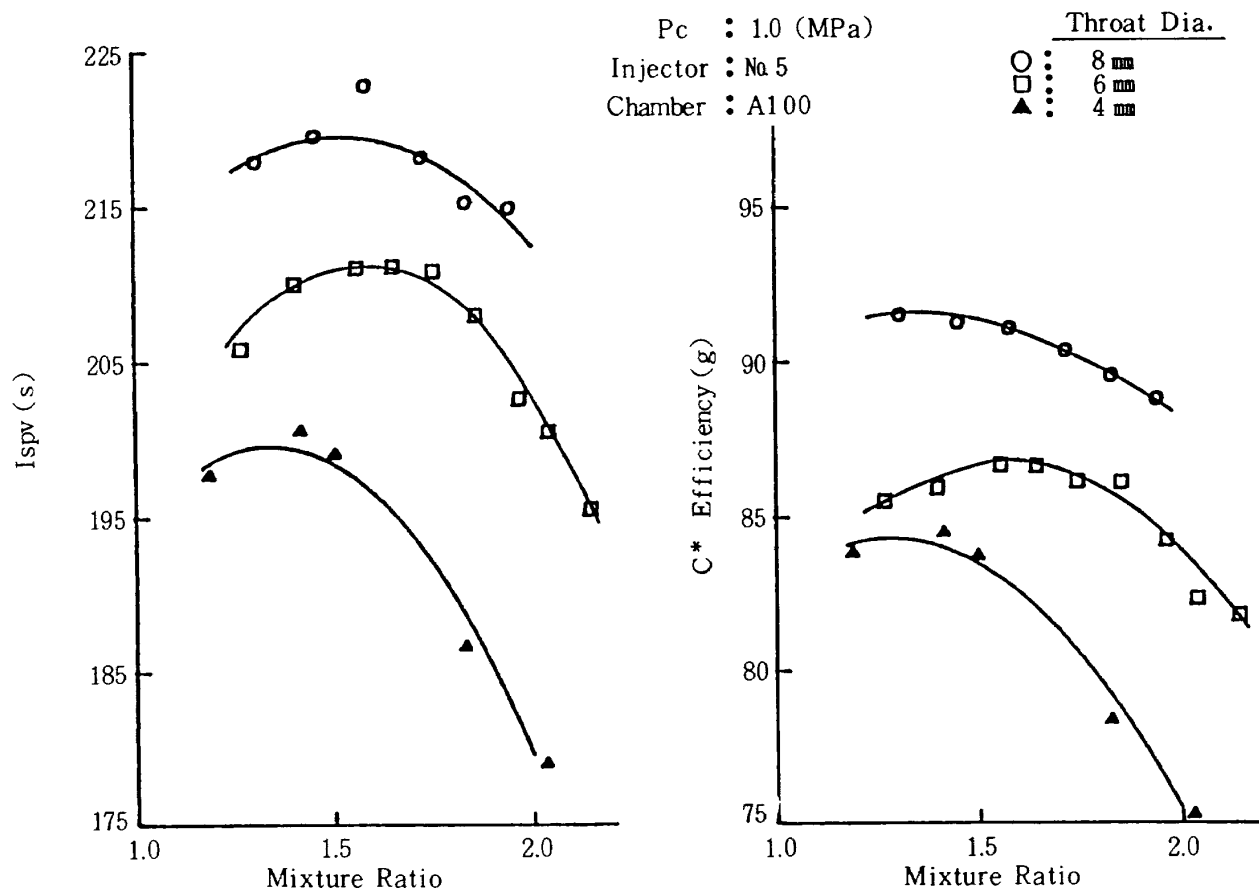
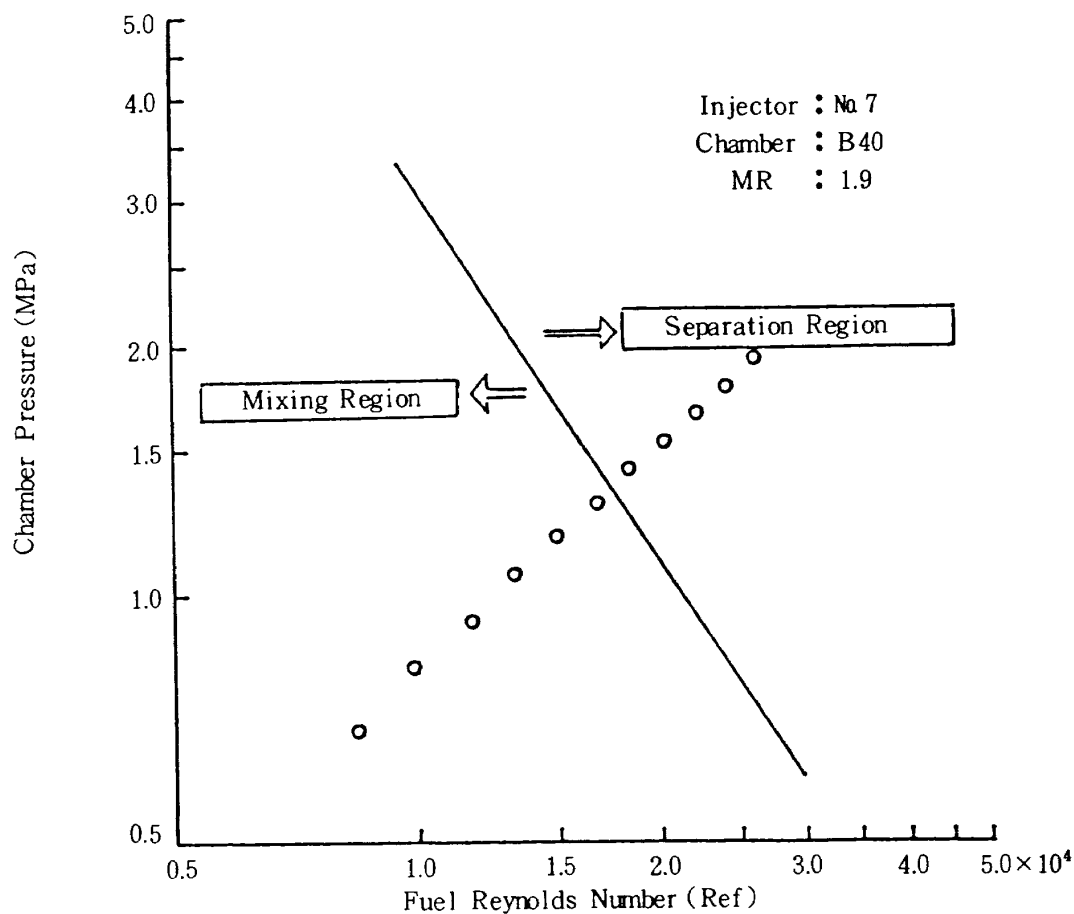
図16 P_c がほぼ等しい条件で Ref の異なった燃焼性能データ

図17 混合比が一定で、燃焼圧を変化させた試験範囲

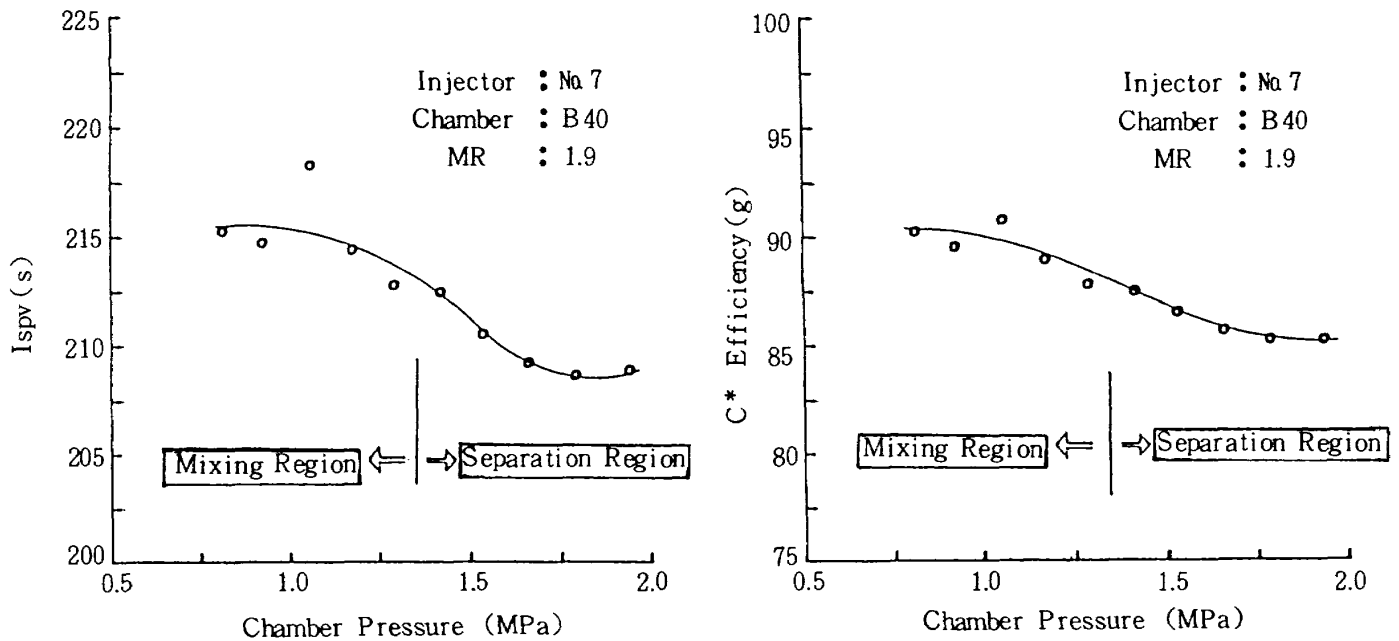


図18 噴流分離時の燃焼性能

混合、過渡、分離の各領域に移行するが、それに従い C*効率が下がっている。PcとVが増大しても、燃焼性能が上がらないで、逆に下がってゆくのは、反応性噴流の分離の効果である。Lawverの基準による混合/分離境界線はこの過渡領域の中間にあり、燃焼性能は過渡領域を境に明らかに異なっている。この事は、以下の燃焼室長さLとPcを変えた試験結果からも確認できる。

図19にB40-6-No 7, B60-6-No 7, B80-6-No 7での試験範囲を示す。(1), (2), (3)は、それぞれL=40mm, L=60mm, L=80mmの燃焼室を用いたものである。三種類のLの燃焼室において、Pcは0.75, 1.0, および1.5 MPaの三段階、MRは1.4~2.2の範囲である。Lawverの反応性噴流分離基準上では、Pc=0.75 MPaと1.0 MPaは混合領域、1.5 MPaは分離領域である。

図20に、図19-(1)に示したB40-6-No 7-Xによる実験範囲のC*効率およびIspvをMRに対して示す。混合領域にあるPc=0.75 MPaと1.0 MPaのIspvおよびC*効率は、ほぼ同じ傾向と値を示している。分離領域にあるPc=1.5 MPaは、混合領域とはほぼ同様の傾向を示してはいるが、IspvとC*効率は確実に下がっている。これは、燃焼器Bの燃焼室がDth=50mmの燃焼器Aと比較して小さく、リサキュレーション等の二次混合燃焼が減ったことによ

り、反応性噴流の分離の効果がより顕著に現われたものと考えられる。

図21に、Pcごとに表したC*効率を示す。図中の、(1), (2), (3), はPcが0.75, 1.0, 1.5 MPaで、それぞれ三種類のLの燃焼室を用いた。特性長(L*)は、それぞれ108, 152, 195 cmである。(1)のPc=0.75 MPa(混合領域)では、B60とB80のピーク値が殆ど同じで、B40のC*効率のみがやや低い値を示し、L*の効果が現われている。(2)のPc=1.0 MPaも(1)と近い値を示しているが、全域に渡ってL*の効果が現われている。(3)はPc=1.5 MPaの分離領域のデータであるが、Pcが0.75 MPa および1.0 MPaと比較してC*効率が全域に渡って低く、特に混合領域のデータでピークを示していたMRにおいて低下が著しい。また、ほとんど差のなかったB60とB80のC*効率にはっきりと差があり、L*の効果がより顕著になっている。燃焼室を長くすると噴流分離による未燃焼の推進薬は、壁面効果等の二次混合で燃焼が進み、燃焼性能が高くなると考えられる。また、噴流分離がない条件下では分離領域で燃焼させる場合より燃焼室を小さくできる。

図22に、各Lごとに表わしたC*効率をRupe数¹⁰⁾に対して示す。Rupe数は異種噴流衝突型エレメントの評価に有効なもので、噴流分離のない条件下ではRupe数=0.5で最大混合効率となり、次式で求める。

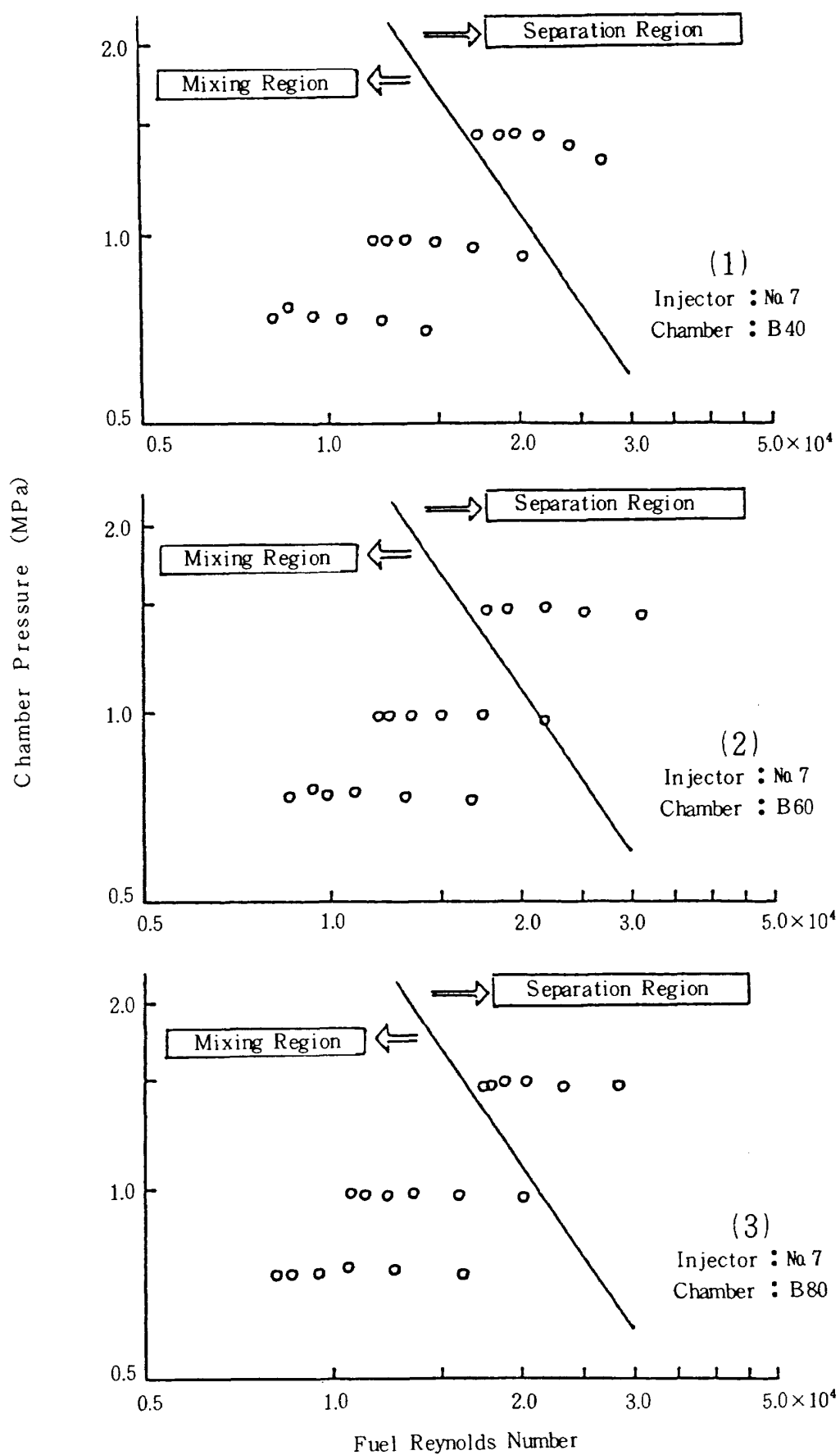


図19 No. 7 インジェクタと燃焼器 B による燃焼試験範囲

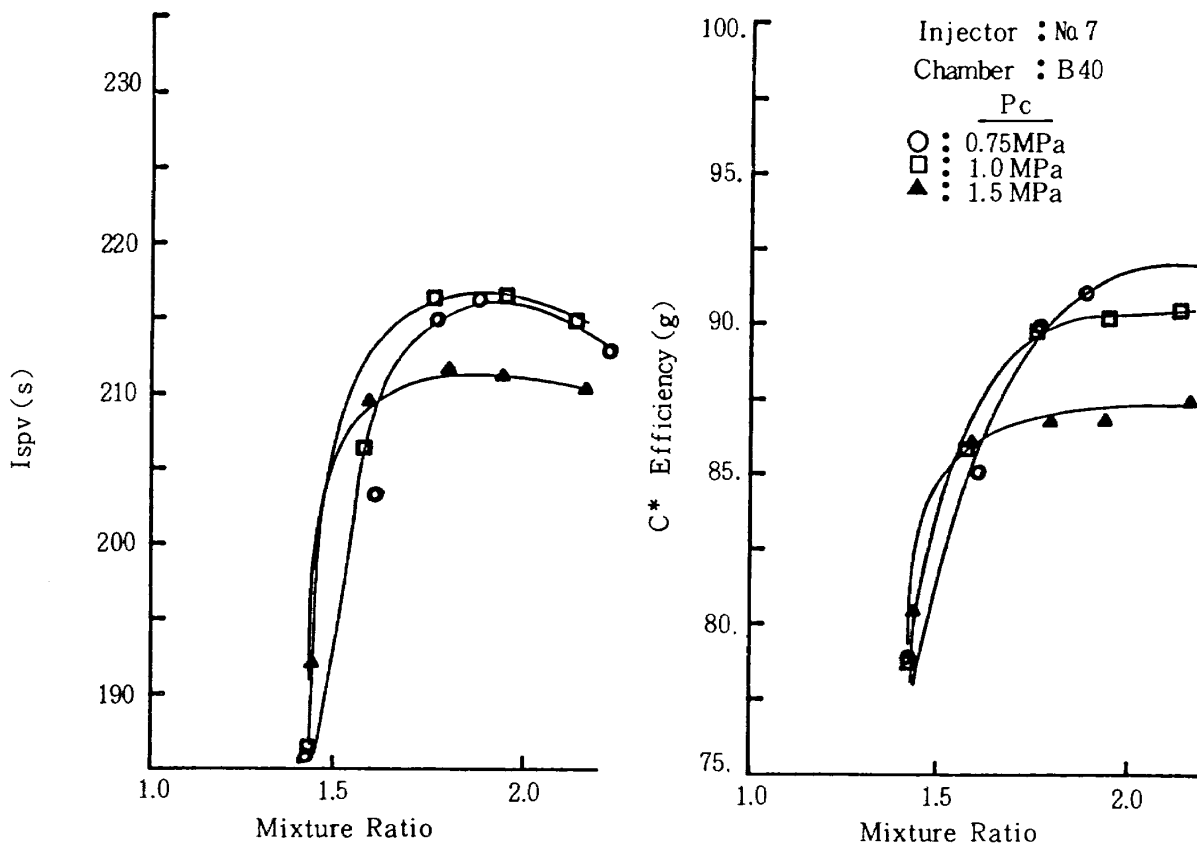


図20 B40燃焼器とNa 7 インジェクタによる燃焼性能

$$\text{Rupe 数} = 1 / \left(1 + \frac{\rho_f}{\rho_o} \cdot \left(\frac{W_o}{W_f} \right)^2 \cdot \left(\frac{D_f}{D_o} \right)^3 \right) \quad (2)$$

ただし ρ は密度, W は重量流量, D は噴口径, 添字の o , と f , は酸化剤と燃料である。図の(1), (2), (3)ともに混合領域の $P_c = 0.75 \text{ MPa}$ と 1.0 MPa では 0.5 付近に C^* 効率のピークがあるが, 1.5 MPa では異なっている。 1.5 MPa は噴流分離の影響と考えるが, Rupe 数 0.5 付近の C^* 効率が混合領域と比べて特に低い。反応性噴流の分離の効果は, 最大混合効率である Rupe 数 = 0.5 で最も大きいと考えられる。

図23に BXX-6-Na 5の燃焼試験点を示す。(1), (2), (3)は, インジェクタがNa 7の場合と同様に, 各Lごとに示したものである。また P_c も同様に 0.75, 1.0, 1.5 MPa の三段階で行なった。MRは, 燃焼性能のピークがNa 7より小さい側にあったので, $MR = 1.1 \sim 2.2$ の範囲で設定した。

図24に, 図23の(1)に示したLが最も短いB40による試験範囲の C^* 効率と I_{spv} を示す。 $P_c = 0.75 \text{ MPa}$ ではMRの相当小さいところにピークがあり, また $P_c = 1.0 \text{ MPa}$ ではMRが約 1.6 でピークを示しコー

ルドフロー試験の結果と類似している。分離領域の $P_c = 1.5 \text{ MPa}$ では, ほぼ全域で C^* 効率と I_{spv} が大きく低下し, MR依存性は両端がやや高く, 混合領域と逆になっている。これは, 前述したようにRupe 数 0.5 付近, すなわち, 非反応性噴流の最適混合条件付近(混合領域のピーク混合比に相当する)で分離の効果が顕著に現れたためであり, Na 7の場合と同様に反応性噴流の分離の効果と考える。MR大において性能が向上している理由は明確ではない。

図20に示したNa 7のデータでは, P_c が異なってもほぼ類似のMR依存性を示していた。しかし, このNa 5では, $P_c = 0.75 \text{ MPa}$ と 1.0 MPa の性能値が交差して特異な傾向を示している。これは前述のようにNa 5インジェクタの悪い衝突精度が影響したと考える。

図25に, P_c ごとにまとめた燃焼性能を示す。図21のNa 7の場合と同様に, Lの異なる三種類の燃焼室を用いた。 $P_c = 0.75 \text{ MPa}$ の混合領域で, 比較的衝突の良いNa 7インジェクタにおいては, Lが異なるB60とB80の C^* 効率がほぼ同じ値であったのに対して, ここではLが大きくなると燃焼性能も高く

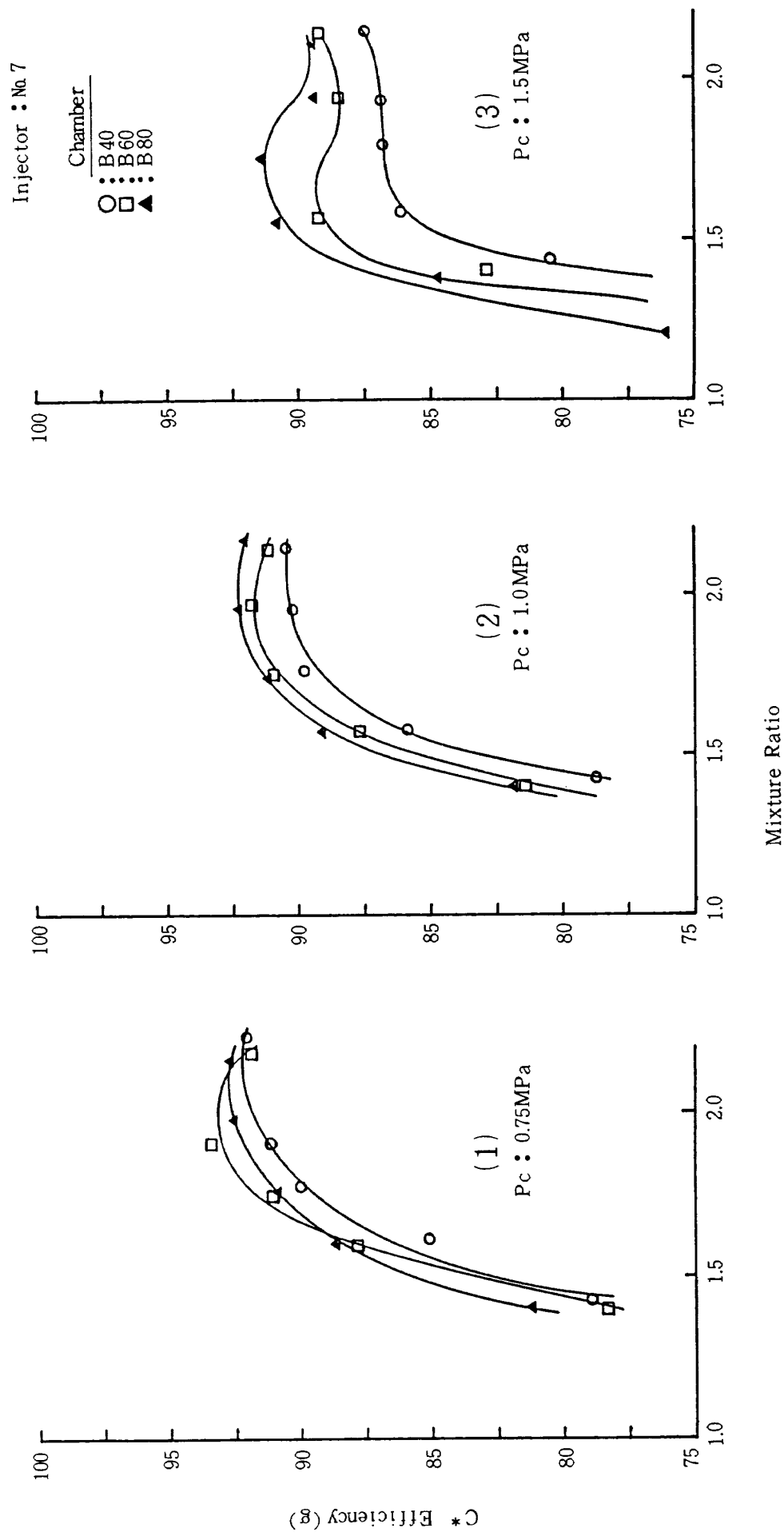


図21 No.7インジェクタの燃焼室長が異なる場合の性能

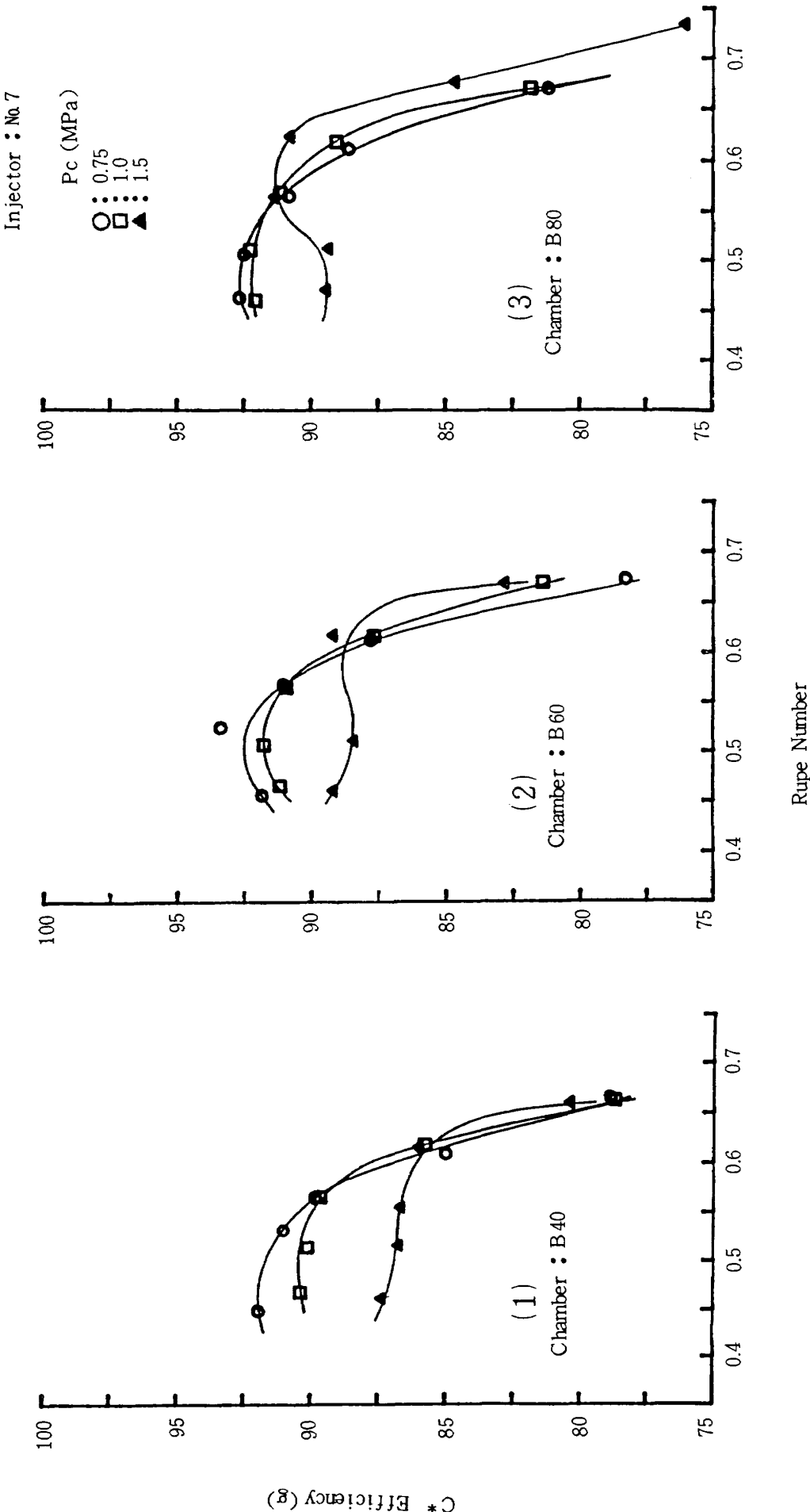


図22 No. 7 インジェクタの Rupe 数に対する燃焼性能

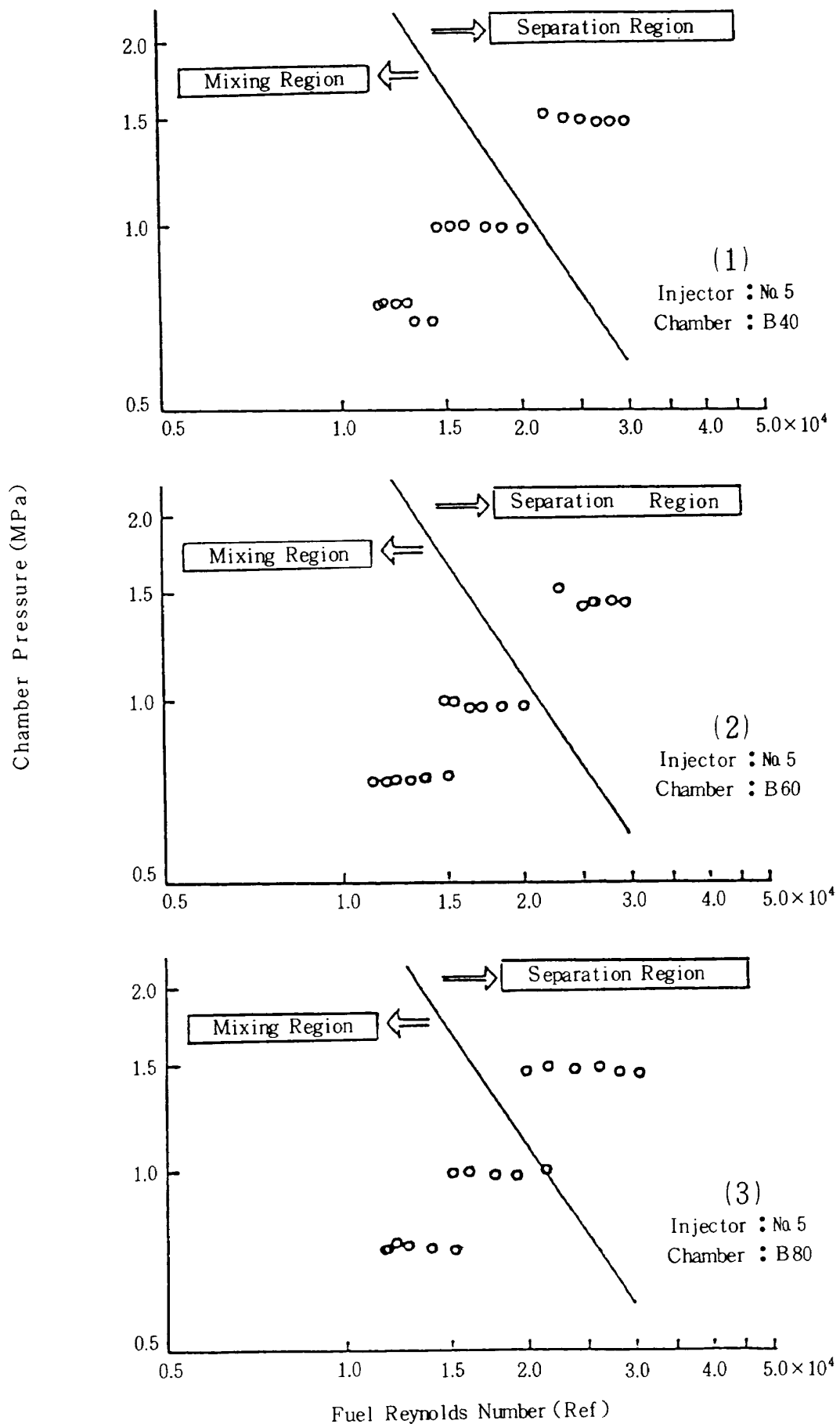


図23 No. 5 インジェクタと燃焼器Bによる燃焼試験範囲

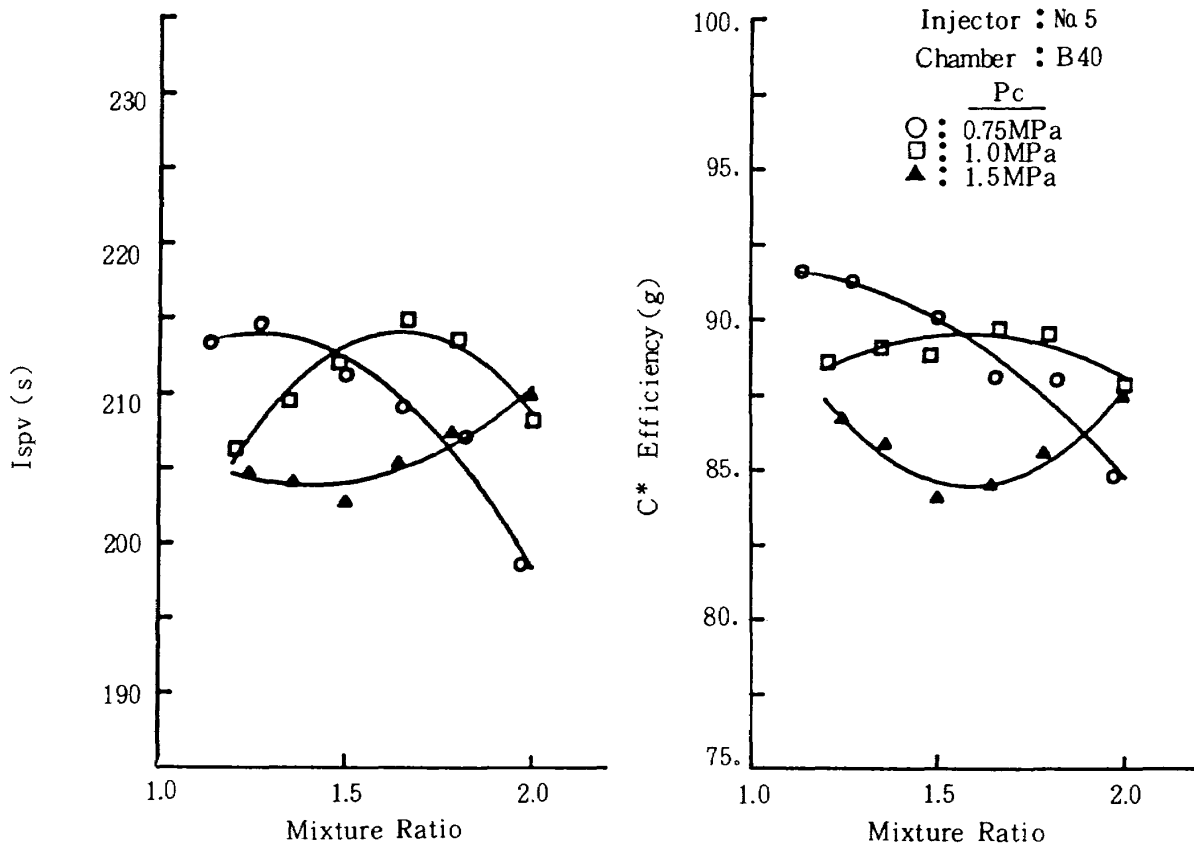


図24 B40燃焼器とNo.5インジェクタによる燃焼性能

なっている。これは、No.5インジェクタの衝突が悪いため、混合条件の悪化とともに未燃焼分推進葉が多くなり、噴流分離が起きた場合と同様にLの効果を増大したと考える。(2)は、 $P_c=1.0$ MPaのデータであるが、 $L=80$ mmのMR依存性が(3)の分離領域と類似の傾向を示している。 $P_c=1.0$ MPaのデータは図22の試験範囲に示されているように、混合/分離の境界に近い過渡領域であることから噴流分離が起きている可能性が高い。(3)の $P_c=1.5$ MPa(分離領域)では、混合領域での性能が特異なMR依存性を示しているためNo.7の場合と同様な比較はできないが、(1)の混合領域で性能ピークを示したMRで、逆に性能が最も低く、両端が上がった形の混合比依存性を示している。また、 C^* 効率が $P_c=0.75$ MPaと1.0 MPaの場合よりも低いことから噴流分離が起きていると考えられる。

5. 結論

(1) 本燃焼試験範囲の実験結果から判断して、衝突精度の良いインジェクタではLawverが示した反

応性噴流の分離の基準はほぼ適合している。

- (2) Lawverの基準の分離領域では、混合領域で燃焼性能のピークを示す混合比において性能の低下が特に大きい。したがってこの混合比の両端では燃焼性能がやや高くなる傾向を示す。
- (3) 混合領域では燃焼室の長さを変えても、燃焼性能の変化は少ないが、分離領域では燃焼室が長くなると燃焼性能の差が大きくなる。
- (4) 衝突の悪いインジェクタでは、混合領域でも燃焼室が長くなると燃焼性能の差が大きくなり、反応性噴流の分離の場合と類似の傾向を示す。
- (5) 混合領域において燃焼性能の混合比依存性は、コールドフロー試験結果と類似している。

参考文献

- 1) Pahi, D.A. and Smith, R.T.: Propulsion System Tradeoff Studies for Geosynchronous Satellites, AIAA paper 83-1218 (1983)
- 2) Smith, P and Horton, M.A.: Advanced Propulsion Systems for Geostationary Space-

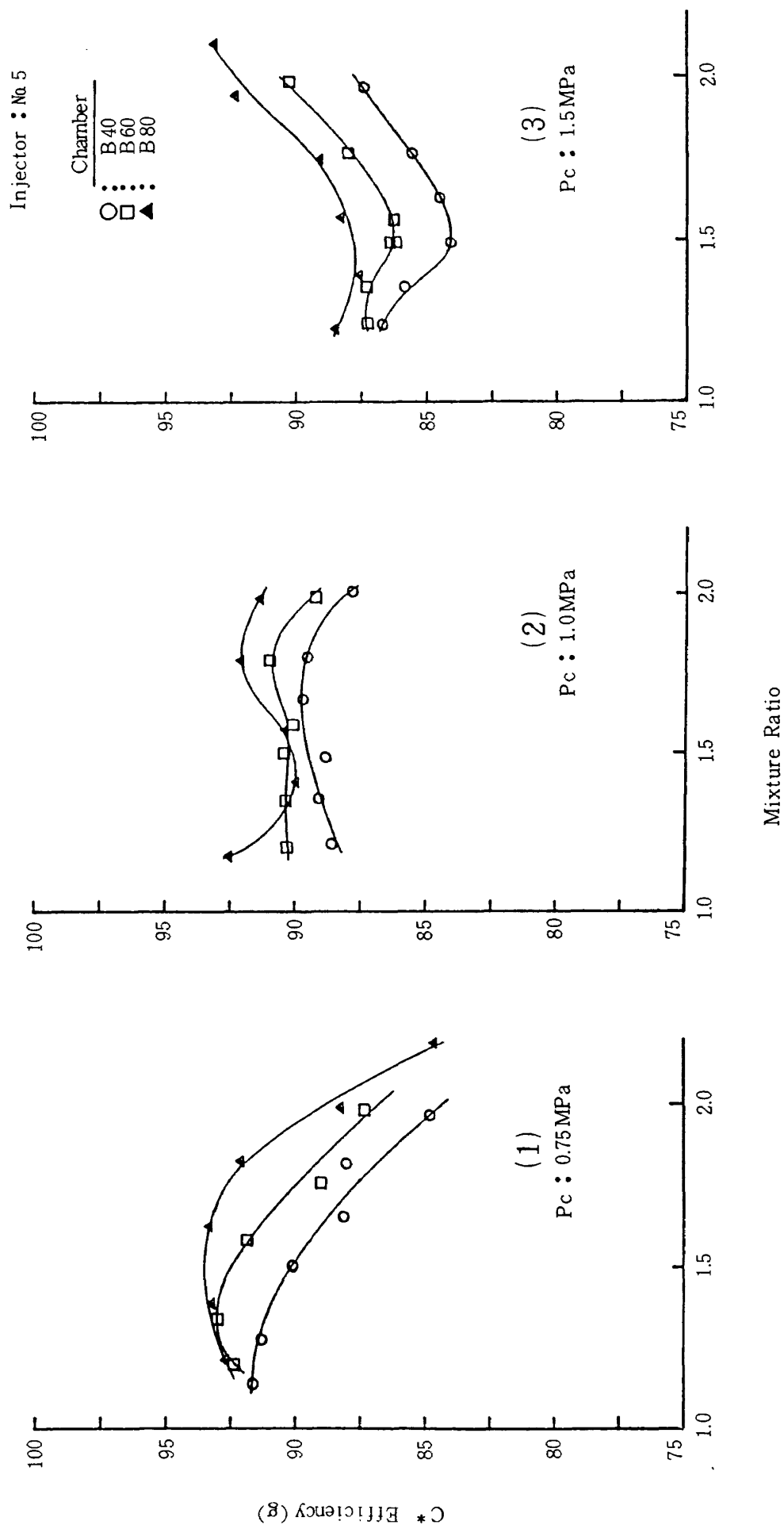


図25 No. 5 インジェクタの燃焼室長さが異なる場合の性能

- craftStudy Results, AIAA paper 84-1230 (1984)
- 3) Kusida, R. Houseman, J.: Criteria for Separating of Impinging Streams of Hypergolic Propellants, JPL Tech Memo 33395, July 1968.
 - 4) Lawver, B.R.: High Performance N_2O_4 /Amine Elements "Blowpart" Interim Report NASA CR-151456, May 1977
 - 5) Falk, A.Y.: High Performance N_2O_4 /Amine Elements Final Report NASA CR-147555, March 1976
 - 6) Lawver, B.R.: High Performance N_2O_4 /Amine Elements "Blowpart" NASA CR-160273, March 1979
 - 7) 日下和夫, 他: 低推力貯蔵性推進薬エンジンの高空性能, NAL TR-853, 1985
 - 8) 佐藤和雄, 須藤孝幸, 只野真, 毛呂明夫: N_2O_4 /アミン インジェクタエレメントの実験, その1 コールドフロー試験結果 NAL TR-899, 1986
 - 9) 大塚貞吉, 他: 航空宇宙技術研究所のロケットエンジン航空性能試験設備, NAL TR-454 1976
 - 10) J.H. Rupe: A Correlation Between the Dynamic properties of a pair of Impinging Streams and the Uniformity of Mixture Ratio Distribution in the Resulting Spray, JPL Prog. Rept. No. 20-209, March 1956

TR - 907 正 誤 表

位 置	誤	正
図11～図25中	C * Efficiency (g)	C * Efficiency (%)

航空宇宙技術研究所報告 907 号

昭和 61 年 6 月 発行

発行所 航空宇宙技術研究所

東京都調布市深大寺東町 7 丁目 44 番地 1

電話武蔵野三鷹(0422)47-5911(大代表)〒182

印刷所 株式会社実業公報社

東京都千代田区九段南 4-2-12
