

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-281

液体ロケットエンジン (LOX-C₂H₅OH) の
着火システムの改良

梶崎 哲二 ・ 萩原 褔千男
吉原 正一

1975 年 7 月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

液体ロケットエンジン (LOX-C₂H₅OH) の 着火システムの改良*

橘 崎 哲 二**・ 荻 原 綾 千 男**
吉 原 正 一**

Improvement on the Ignition System of a Liquid Propellant Rocket Engine (LOX-C₂H₅OH)

By Tetsuji NARASAKI, Sachio OGIWARA and Shōichi YOSHIHARA

ABSTRACT

To provide reliability on firing of a liquid propellant rocket engine equipped with a spark ignition system, a test was conducted on an improved ignition system. The improved system is able to purge off unnecessary fuel remaining in a thrust chamber.

Firing tests showed that the improved ignition system has a positive effect on the reliability of ignition.

1. まえがき

ロケットエンジンの着火方法はロケットエンジンの信頼性および安定性を判別する要素の一つであり、ロケットの飛しょう計画またはロケットエンジンの燃焼実験にも大きな影響を与える。したがってどのような着火方法を用いるかはエンジンの種類、大きさおよび使用条件に応じて着火の確実性および安全性に重点を置き最適の方法を選ばなければならない。現在採用されている着火方法には自発点火性燃料を用いる方法、電気スパークによる方法、点火剤を用いる方法その他多くの方法があるが過酷な条件の下ではこれらが全て十分な機能を発揮するとは云えず、それぞれの方法について性能、信頼性、安全性など一層の向上を計る必要がある。これらの着火方法の一つである LOX-アルコール液体ロケットエンジンのスパーク着火方法は当所の液体ロケットエンジンの着火装置に採用し長期間燃焼実験を行なって来た。その間の各種の実験において実験条件の違いまたは整備が不十分であったことなどによって異常着火が発生しており、その対策として、従来の着火方法の検討を行ないそれに

基づいた着火装置の改良を行なった。

2. 液体ロケットエンジンの着火

液体ロケットの推進剤は酸化剤および燃料から成り、それぞれを噴射器から殆んど同時に噴射して着火する。着火性の点から推進剤は噴射し混合するだけで着火可能な自発点火性のものと、主推進剤とは別に点火剤またはスパーク等を用いなければ着火しない推進剤とに大別される。いずれの推進剤においても確実な着火と安全性を得るためには、着火の時間遅れが短いこと、必要とする着火エネルギーが十分に与えられて着火が容易であること、および燃焼室に余分の燃料および酸化剤が溜まらないことなどが主なる条件となる。以下は主なる着火方法の概略である。

最も簡単な方法としては、燃料および酸化剤が燃焼室内で混合するだけで着火する自発点火性の推進剤を用いる方法である。この方法では着火が容易に行なわれ、信頼性が高い。一般に使用されている推進剤としては、N₂O₄-A・50, HNO₃-各種燃料、などがあり共に酸化剤の酸化性が強く確実な着火が得られる。一方、水素と酸素および炭化水素と酸素の液体または気体の推進剤な

*昭和50年2月28日 受付
**宇宙研究グループ

どでは、低温または常温で混合しても着火しないが、弗素または弗素化合物を酸素に混合することにより自発点火性の推進剤に変えることができる。^{1,2)} この種の着火方法は燃焼室内における燃料および酸化剤の混合および接触から着火までの時間遅れが添加剤に対する混合比によって大きく変わる。表1はR. James Rollbuler, David M. Straight²⁾による実験結果およびNASA OR-5445³⁾で報告された実験値の一部である。これらの測定値は、着火時の温度および燃料と酸化剤の混合比などにより測定値が可成り分散しているが、弗素の混合比が増加するに従って着火遅れ時間が減少し、着火遅れは1.3 sec から5 msecまで変動する。したがって弗素の混合比を大きくしたり、推進剤の混合方法の改良(Swirl-cup injector²⁾、混合室)などによって着火性能の向上が試みられている。

次に主推進剤以外に点火剤を用いる方法としては、トリエチルボロンまたはトリエチルアルミなどのように酸素と混合するだけで発火する点火剤を主燃料に先行して

噴射し酸素と燃焼させた後に、主燃料を噴射し着火させる方法がある。この方法では点火剤の供給系と推進剤の供給系を必要とし、やや複雑になる。

火薬を用いる方法としては、点火薬および固体推進剤を装填した着火装置を噴射器の近くに設置し、着火装置のヒータに電流を流し点火して固体推進剤を燃焼させ液体推進剤に着火させる方法がある。この方法では固体推進剤を増すことにより着火エネルギーを十分に大きくすることができるし、また固体推進剤の燃焼時間も可成り長くすることができる。着火の信頼性を良くすることができる。しかしながら再着火は不可能であり、また固体推進剤の燃焼による燃焼室の破損などが生じる場合もある。

電気スパークによる着火は推進剤が非自発点火性の場合に用いられる方法の一つであり、主として小型ロケットエンジンに用いられる。着火装置は比較的簡単であり、燃焼中に点火プラグのスパーク部が溶融しなければ再着火も可能である。このために点火プラグのスパーク部を噴射器の噴射面より内側になるように噴射器内に組入れ

表1 F₂を含む酸化剤(Flox)と水素の着火遅れ時間

F ₂ /(O ₂ +F ₂) (%)	酸化剤の温度 (°K)	H ₂ の温度 (°K)	燃料流量 (lb/sec)	酸化剤流量 (lb/sec)	燃料流量	着火遅れ (sec)	噴射器型式
					全流量 (%)		
15.2*	94.4	258.3	0.067	0.31	17.5	1.30	シャワーヘッド
19.2*	95.6	260.0	0.072	0.32	18.0	1.40	"
24.0*	230.6	263.3	0.075	0.26	22.5	0.29	"
23.5*	97.2	97.2	0.095	0.33	22.5	1.20	"
34.4*	211.1	94.4	0.074	0.38	16.5	0.58	"
44.8*	222.2	113.9	0.082	0.40	16.0	0.25	"
49.4*	211.1	122.2	0.088	0.37	19.0	0.30	"
56.5*	233.3	113.9	0.079	0.236	25.0	0.32	"
100**	300.0	300.0	4.09	3.19		0.059	衝突
100**	300.0	300.0	2.96	0.74		0.026	"
100**	300.0	300.0	2.09	0.97		0.010	"
100**	300.0	300.0	2.16	0.96		0.005	"
100**	300.0	300.0	2.08	0.99		0.005	"

* 参考文献2の測定値

** 参考文献3の測定値

て点火プラグの溶融を防いでいる。この着火方法の特徴はスパークが行なわれる限られた小さい空間において着火が行なわれることである。したがって設定された着火時間に点火プラグの周囲に燃料および酸化剤の可燃性混合ガスがなければならぬ。またこれらの周囲の可燃性混合ガスの混合比および圧力とスパークのエネルギーは着火に大きく影響する。点火プラグの電極間隔が小さくなるほどスパークを発生させるに必要な電圧は低くなるが、可燃性混合ガスが着火するまでの放電電気量は増加し、その結果スパークエネルギーは必ずしも減少せずに電極間隔がある一定の間隔以下になると急激に増加する⁴⁾。スパークエネルギー(着火に必要なエネルギー)が増加し始めるこの間隔は燃焼波の消炎距離(quenching distance) d に一致する。すなわち電極間隔が d 以下の場合には着火が困難であり着火させるためには、スパークのエネルギーを増加させなければならない。

一方、可燃ガスの種類および圧力によって d は変わり、一般に d が大きくなれば最少着火エネルギーは著しく増加⁴⁾する。したがってガスの組成および圧力によって定まる d は小さいほど良く、電極間隔は d より大きな値が良い。ロケットエンジンの着火時における可燃性ガスの混合比を一定の値にすることは困難であるしまた点火プラグの電極は燃焼中に一部溶融によって変形することもあるので間隔を毎回の実験において一定にすることも困難である。したがって着火装置が供給する着火エネルギーには十分余裕を持た

せて、信頼性を高めなければならない。

以上が主なる着火方法であるが、その他触媒反応を利用した方法があり主として一液式推進剤に用いられる。

3. テストスタンドと着火状況

当所の液体ロケットエンジンテストスタンドは横型、スパーク着火方式であり、推力方向制御⁵⁾ およびノズル効率向上など各種の研究に応じて使用条件を変えて長期間使用されて来た。その間に弁の洩れ、または作動不良、タイマーのくるい、その他配管の予冷却不良などによって小規模ではあるが各種の異常着火が発生した。これらの実験に用いたテストスタンドの主なる仕様は以下の通りである。

型式：横型、多分力測定、ガス押し、スパーク着火

推進剤タンク圧：3.3 kg/cm²

推力：300 kg

燃焼圧：2.0 kg/cm²

推進剤：LOX-アルコール

図1-aに推進剤供給の系統図を示す。図に示すごとくN₂ガスによって加圧されたLOXタンク内のLOXは流量計を通り止弁に達する。さらにLOX着火弁を通り噴射器のLOX噴射孔から燃焼室内に噴射される。噴射器の形状は三点衝突型であり図1-bに形状を示す。燃料系も同様に、燃料はF止弁(燃料止弁)およびF着

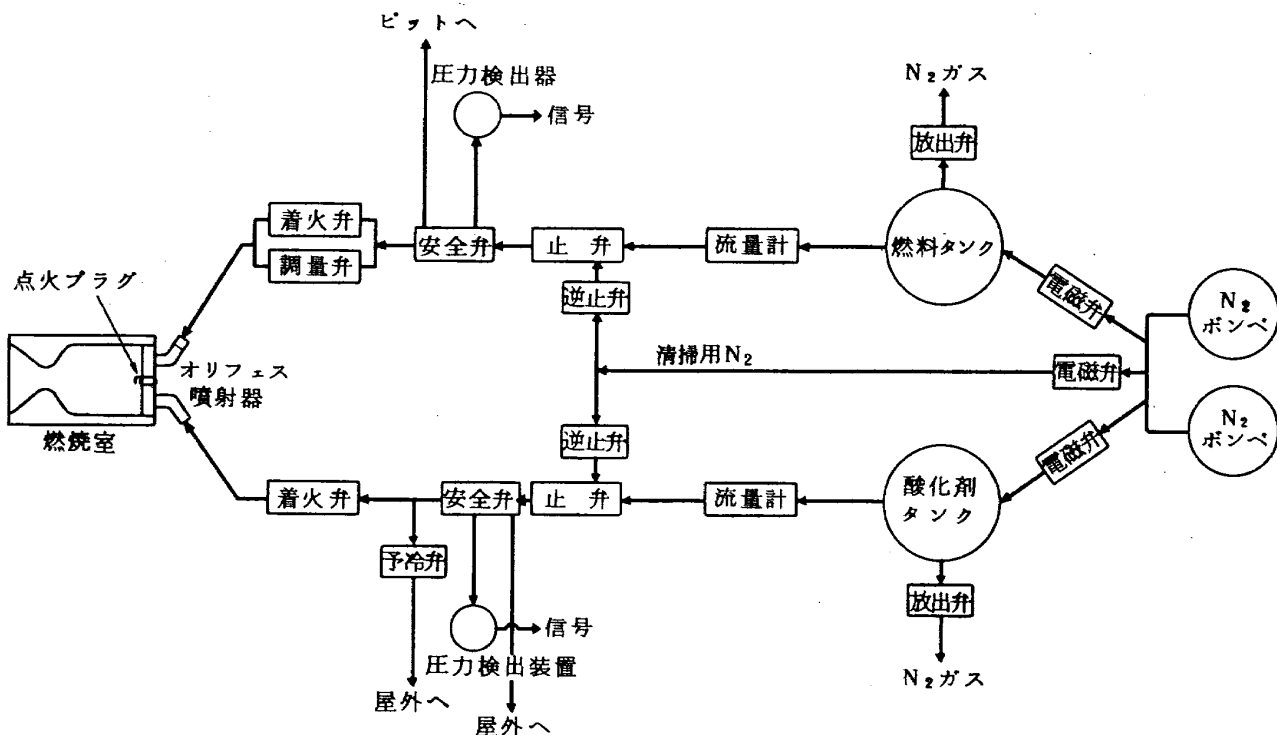


図1-a テストスタンド系統図

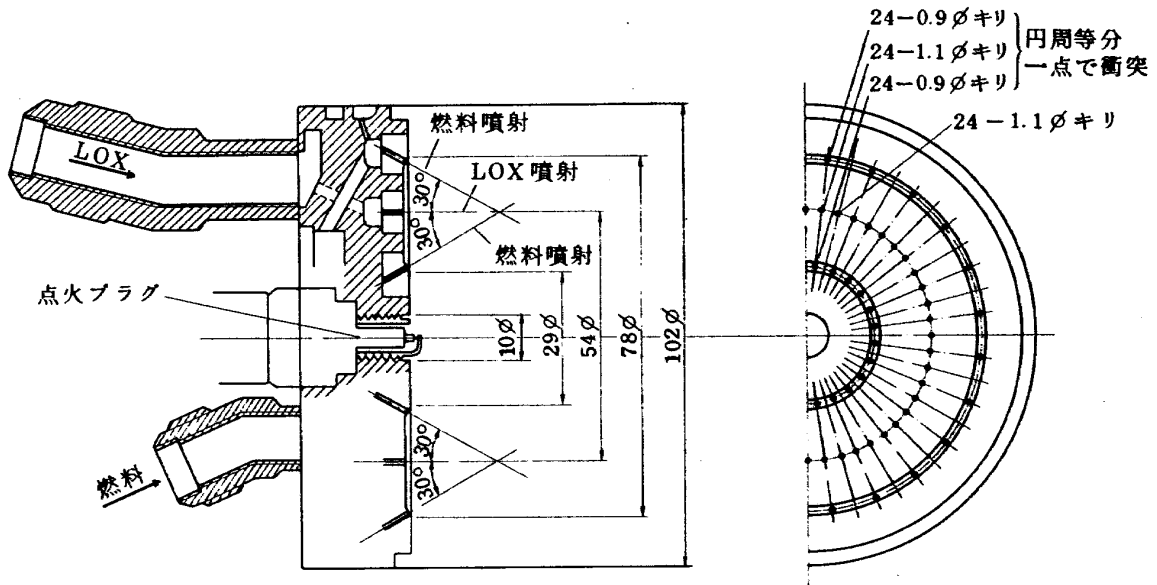


図1-b 噴射器

火弁（燃料着火弁）を通り噴射器のF噴射孔から燃焼室内に噴射して先に噴射した燃焼室内のLOXと混合しスパークによって着火する。着火時には燃料の噴射流量は小量であり着火後にF調整弁が徐々に開き推力が増加する。またLOX止弁およびLOX着火弁の間には配管冷却用の予冷弁がありLOX着火弁が開く前に予冷弁が開きLOX系配管の予冷を行う。またエンジン始動前および実験終了後に止弁より下流側のLOXおよびF配管およびエンジン内の清掃を行うためのN₂ガスが逆止弁を通して止弁より下流側に放出する。これら諸弁およびスパークの操作はタイマーにより自動的に行なわれる。

以上は推進剤供給システムの機能であるがこの種のテストスタンドにおいてしばしば発生する異常着火の状況は次の通りである。

- (1) 着火困難すなわち、着火遅れ時間が長く着火時の燃焼室圧力が異常に高くなる。
- (2) 着火後、燃焼が順調に継続せず一時消滅し直ちに再着火する状態が数回にわたりくり返される。

以上の異常着火においてその状態が極端に悪い場合には、エンジンおよび配管系の破損および火災などの事故を引き起こすことがある。

これらの異常着火の主なる原因としては以下のことが考えられる。

- (1) 燃焼実験による振動および急激な燃焼圧の上昇または急速な止弁の操作により高速流体が遮断されることにより発生する衝撃圧などにより弁が故障し洩れ易い状態になる。このような状態では実験開始後の振動または加圧などにより弁の洩れが発生し得る

- その結果着火以前に燃料が洩れて燃焼室に溜まりLOXの噴射と同時に着火し燃焼圧が急激に上がる。
- (2) タイマーの故障により弁の実作動開始時間が予定した時間よりずれて燃料がLOXよりも早く燃焼室内に噴射し溜まる。
- (3) 着火遅れ時間が長い場合にも同様に燃焼室に燃料が溜まる。
- (4) 液体およびガスが交互に噴射し着火に影響を与える場合がある。図2はLOX系の配管を示すものであり、LOXタンク加圧開始から予定のタンク圧に達し止弁、および着火弁が順次開くまでにはそれぞ

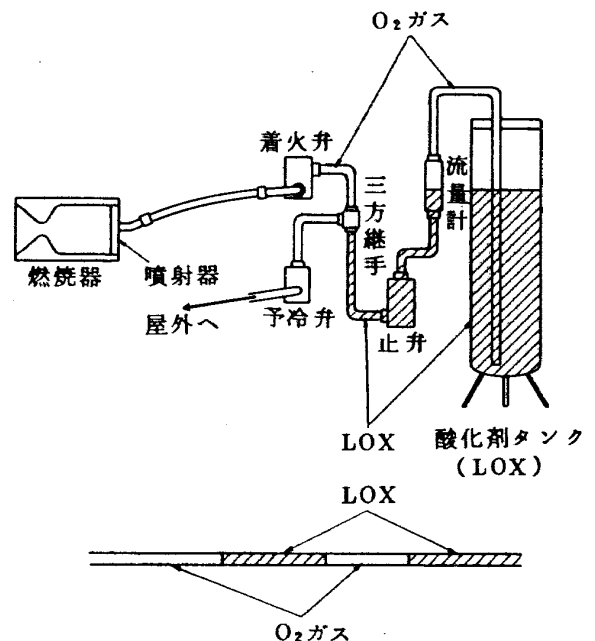


図2 酸化剤側配管側面図

れ時間がかかる。その間に図に示すごとく配管の熱を奪ってガス化し着火弁およびタンク上部附近に溜まり着火弁が開くとガス-液体-ガス-液体の順序で流れる。しかしながらこの場合のガスは酸素であり、量が少なれば異常着火にはならない。一方、燃料系については図3に示すごとく着火弁が開く前には着火弁附近とその下流側はエンジン発動直前に行なわれる清掃によってN₂ガスが充填されている。着火弁が開き燃料が流れてもその流量は約100%程度であり配管中のN₂ガスを排出するまでには致らず配管の上部にとどまるが、調量弁が開き流量が増加すると噴射し瞬時燃焼圧を僅かに低下させる。

(5) N₂ガスの清掃用逆止弁の洩れにより配管内で酸素ガスおよび燃料が混合し、着火と同時に配管を破壊する場合がある。図1に示すごとくF止弁およびLOX止弁には止弁より下流側の残留推進剤をN₂ガスによって放出するために逆止弁が取付けられている。このLOX逆止弁に洩れがあると、LOXタンクの加圧によってLOXがN₂配管内に侵入する。この状態では直ちに事故にはならないが、次の燃焼実験において、エンジン発動直前のN₂ガスによるエンジンおよび配管清掃によって、N₂配管内の酸素ガスがF配管のF止弁より下流側に入る。エンジン発動によってF止弁が開くと燃料が流入し酸素と混合して可燃性ガスとなる。次に着火弁が開くと、エンジン発動と同時に進行していたスパークによって配管内の可燃性ガスに引火する。配管内は密封状態に近いために可燃性ガスの燃料混合比によっては異常に高い燃焼圧となり、外径17.3mm、厚さ1.2mmのステンレスパイプを破壊する程の圧力を発生

する。したがって清掃用N₂配管が1系統の場合には逆止弁の洩れは完全に防止しなければならない。以上は異常着火の主なる原因であるが、特に弁の洩れによる異常着火の発生頻度は高く十分に注意しなければならない問題である。

4. 燃焼実験設備の改良

4.1 N₂ガス噴射方式と予備試験

異常着火を防ぐためには実験装置の十分な整備と試験が必要であり、タイマーおよびスパーク装置の調整と確認、また弁の作動試験、その他配管系全体の耐圧および洩れ試験など不可欠のものである。しかしながらこれらの処置にもかかわらず多くの実験において燃料洩れを完全に防ぐことは困難である。したがってF着火弁およびF調量弁の洩れおよびタイマーの不具合により燃料が設定された時間より前に噴射する場合でも安全に着火できるシステムが要求される。その方法としては燃焼室内にN₂などの不活性ガスを噴射し燃焼室内に溜った予剰燃料または着火以前に噴射器から噴射する予剰燃料を燃焼室外に放出する方法が有効であると考えられる。この方法についての予備試験を行うため、図4に示すような装置を作り試験を行なった。

図4に示すN₂ポンペのガス圧力150kg/cm²は調圧弁により5~10kg/cm²に減圧されてN₂タンクに蓄積される。止弁が開くとN₂ガスは噴射器のLOX噴射孔から噴射して、燃焼室内の燃料またはF噴射孔から噴射する燃料を燃焼室外に放出する。燃焼室内にあらかじめ溜めておく燃料の代わりに水またはアルコール(99%)を用いて試験を行なった。燃焼室内に注入した水またはアルコールの量は50ccであり、この量はエンジンの着火時に

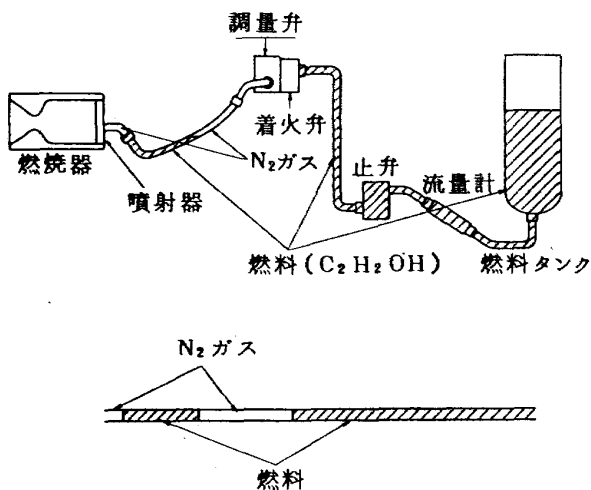


図3 燃料側配管側面図

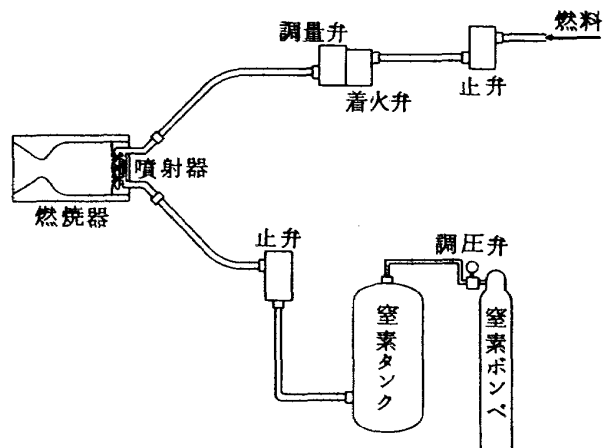


図4 燃料排出試験装置

噴射する燃料の0.5秒の流量に相当する。表2～表4に試験結果を示す。表2は燃焼室内の被排出液体が水の場合であり、N₂ガスの噴出圧力(N₂タンク圧)は5kg/cm²であり、N₂ガスの配管の内径は14.9mmである。排出程度の基準としては、燃焼室内に残留した液体の量が測定可能の場合を90%以下の排出とし、燃焼室内壁に液滴があり濡れている場合を90～99%とした。表2はアルコールについての結果である。表2および表3の結果が示すごとく、N₂ガスの配管径が、14.5mmの場合、N₂ガスが5kg/cm²以上の噴射圧力で5秒以上噴射すれば燃焼室内に溜まったアルコールは十分に排出されることが分かる。次に表4はF着火弁が開いた状態における噴射器からの燃料噴出状態を調べたものであり、表5はFタンク圧33kg/cm²でF着火弁を開きF噴射孔からアルコールが流量約100cc/secで噴射している状態で、N₂ガスをLOX噴射孔から噴射しアルコールの排出状態を調べたものである。この場合も燃焼室に

溜まったアルコール排出と同様に排出状態は良好であり、燃焼室内に噴射されたアルコールは霧状になりN₂ガスと共に燃焼室外に排出されている。図5はF着火弁が開いた状態におけるF流量とFタンク圧の関係を示す測定値であり、タンク圧が33kg/cm²の場合F流量は103cc/secである。本設備を用いた燃焼実験ではFタンク圧は30～35kg/cm²であり、予剰燃料放出のためには、N₂ガスの噴射時間を5秒にして噴射圧(N₂タンク圧と程んど同じ)を5kg/cm²にすれば十分にアルコールを排出することができる。

4.2 テストスタンドの改良

テストスタンドの改良に当ってはテストスタンドの機能に関して、以下の点に重点を置いて行なった。

- (1) 燃焼室に溜まったアルコールを完全に排出すること。
- (2) 噴射器のF噴射孔から噴射されるアルコールを着火直前まで燃焼室外に排出すること。
- (3) 配管内に燃焼ガスが逆流してこないように噴射器の近くに逆止弁を取り付けること。
- (4) エンジンから排出されたアルコールが燃えないように排気ダクトの水噴射で希釈する。

表2 残留F排出試験
(H₂O・50cc, N₂ガス配管径 d = 14.5mm)

N ₂ 噴出時間 (sec)	N ₂ 圧力 (kg/cm ²)	排出程度
2	5	約80%
5	5	約95%
10	5	約99%

表3 残留F排出試験
(C₂H₅OH・50cc・d = 14.5mm)

N ₂ 噴出時間 (sec)	N ₂ 圧力 (kg/cm ²)	F 排出程度
2	5	約90%
5	5	約99%
10	5	約99%以上

表4 噴射器からのF噴出状況(着火弁開)

Fタンク圧力 (kg/cm ²)	噴射状況
28	良好・全面噴出・Fはスロートまで到達
33	良好・全面噴出・Fはスロートまで到達
38	良好・全面噴出・Fはスロートまで到達

表5 F放出試験(着火弁開)
(Fタンク圧・33kg/cm²)

N ₂ ガス噴出圧力 (kg/cm ²)	排出状況
5	良好
10	良好

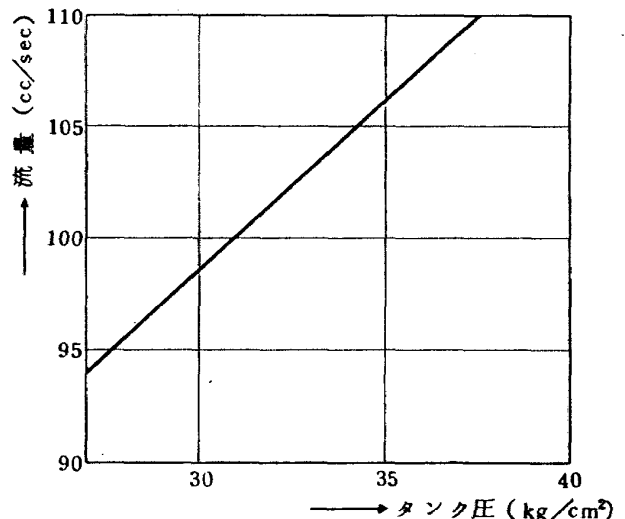


図5 着火弁開におけるF流量とタンク圧との関係

以上の機能を果たすためにエンジン試験台、推進剤配管、F放出用N₂ガス配管、ダクト、その他各種弁などの改造を行なった。

図6に新しいテストスタンドの配管系統を示す。予剰燃料排出用N₂ガスの配管系統は予備試験の場合と同じで

あり、N₂ガスタンクから逆止弁を通りLOX配管系に入り噴射器から噴射し予剰のアルコールがある場合にはそれを燃焼室外に放出する。その後LOX着火弁が開きLOXが流れ始めるとN₂ガス配管系の逆止弁が閉じてN₂ガスが流れなくなり、噴射器からはLOXが噴射し

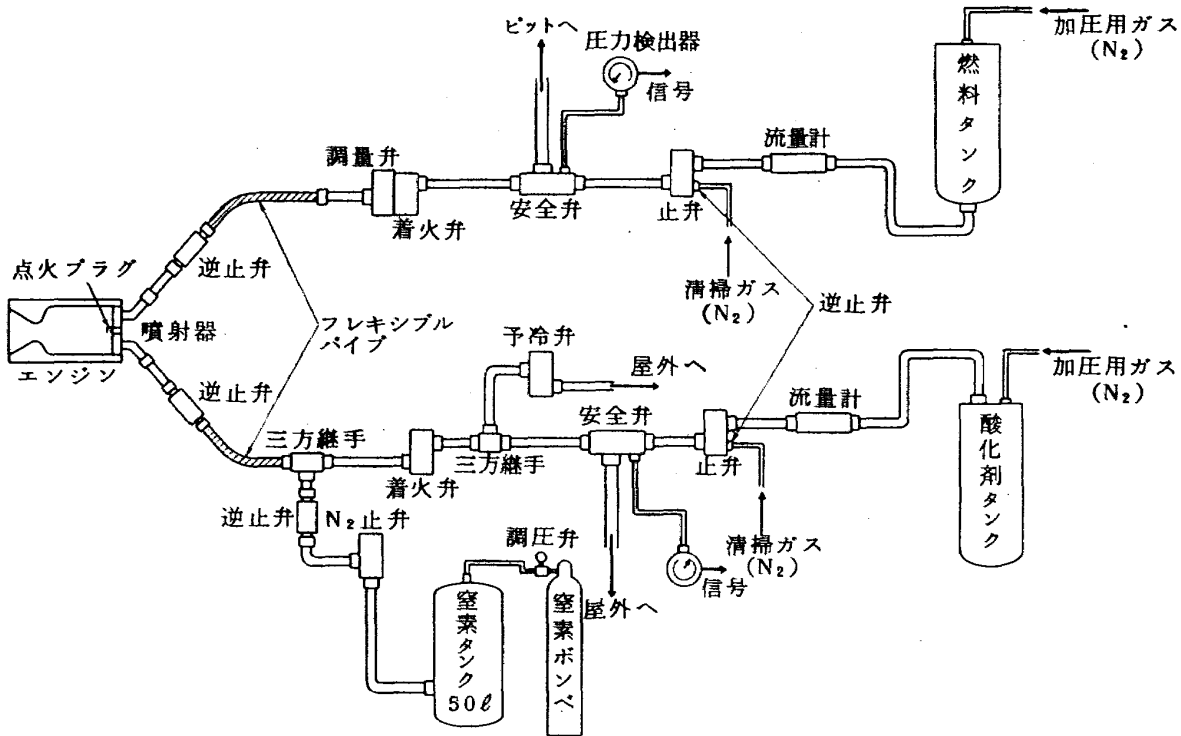


図6 テストスタンド系統図

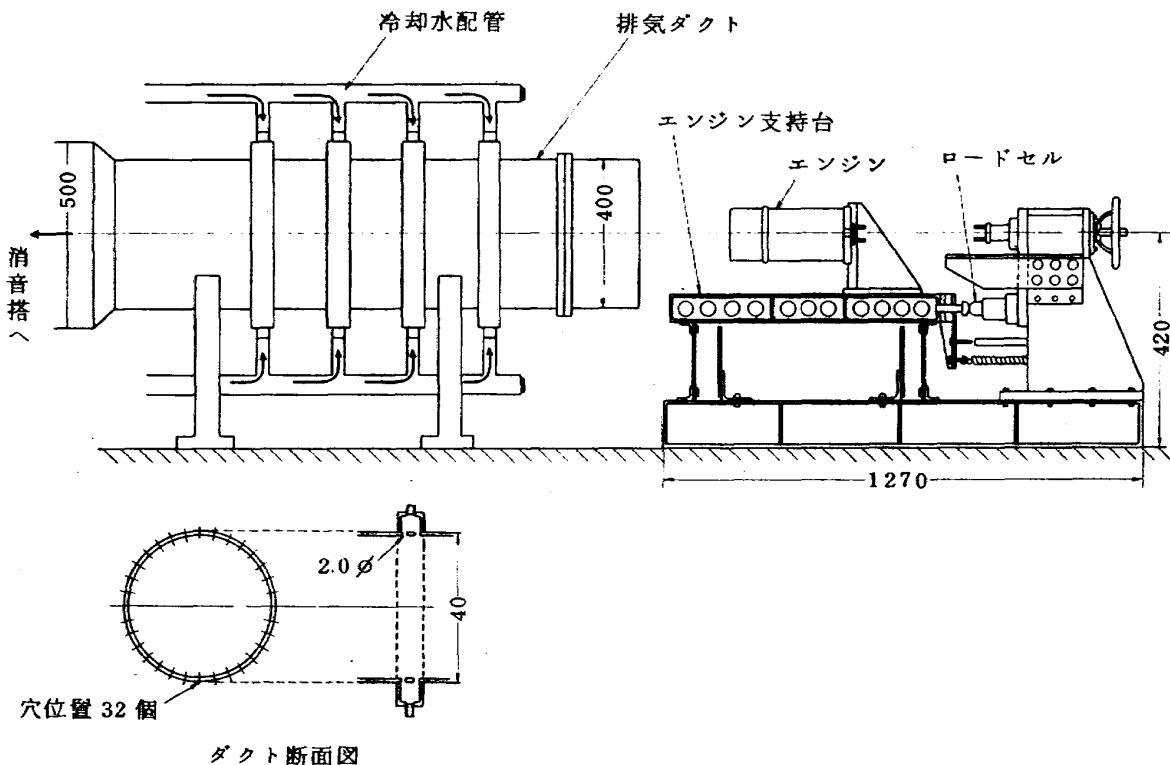


図7 テストスタンド側面図

F噴射孔から噴射する少量のアルコールと混合し噴射器の中心に取り付けられた着火装置のスパークによって着火する。噴射器とフレキシブルパイプの間には、火炎および圧力の逆流を防ぐために cracking pressure 0.5 kg/cm^2 の逆止弁を取り付けてある。一方、エンジンより放出された予剰アルコールの希釈のためには、排気ダクト内面より冷却水が噴射される。冷却水はダクト内の6ヶ所の円周上に配置された384個の直径2mmの噴射孔から毎秒21ℓ噴射され、予剰燃料を希釈すると共に着火後の排気ガスを冷却する。図7はテストスタンドおよび排気ダクトの側面図であり、主なる仕様は以下の通りである。

テストスタンドの仕様

型式：横型，スパーク着火，N₂ガスによる予剰燃料放出

推力F：300kg（精度0.3%）

燃焼圧P_c：20 kg/cm²（15~30 kg/cm²の範囲可能）

燃焼秒時 t：0~30 sec

推進剤タンク圧P：33 kg/cm²

酸化剤：液体酸素

燃料：エチルアルコール（C₂H₅-OH）

混合比：O/F = 1.5

計測項目：推力，燃焼圧，各種圧力，LOXおよびF流量，ノズル圧力分布，各点の温度，諸弁の作動時間

5. 燃焼実験

諸弁の作動時間を決めタイマーを設定するには、タイマーの校正の外にF着火弁、およびLOX着火弁が開いてから燃料またはLOXが噴射器から噴射するまでのそれぞれの通過時間が分からなければならない。F着火弁が開いた状態における燃料の通過時間を水とアルコールの混合液を用いFタンク圧を33 kg/cm²に加圧し測定した結果は2.2 secである。一方、LOX着火弁と噴射器間の通過時間はLOXの代わりに液体窒素を用いてLOX着火弁の作動開始時間および噴射圧の増加開始時間を測定し0~0.05 secの値が得られた。この値は配管内のN₂の排出時間も含まれているのでLOXが実際に噴射器から噴射する時間はこの値から0.02~0.06sec遅れるものと思われる。またF着火弁が開いた場合の燃料通過時間はタンク圧によって大きく変化するので、図5により補正を行わなければならない。図8-a、図8-bはタイマーの設定時間に対する弁の作動時間とLOXおよびアルコールが噴射器から噴射するそれぞれの時間を示したものである。図によればF着火弁のタイマーを0.5に設定しているが、弁の作動は0.3 secであり設定値より0.2 sec早い。この原因はタイマーのずれによるものであるがこのずれを含めたタイマーの再現性は非常に良く±0.02 sec以内の誤差であり、タイマーの設定値にこのずれの値を考慮することにより弁の実作動時間を正確に定めることができる。図8-aはF着火弁のタイ

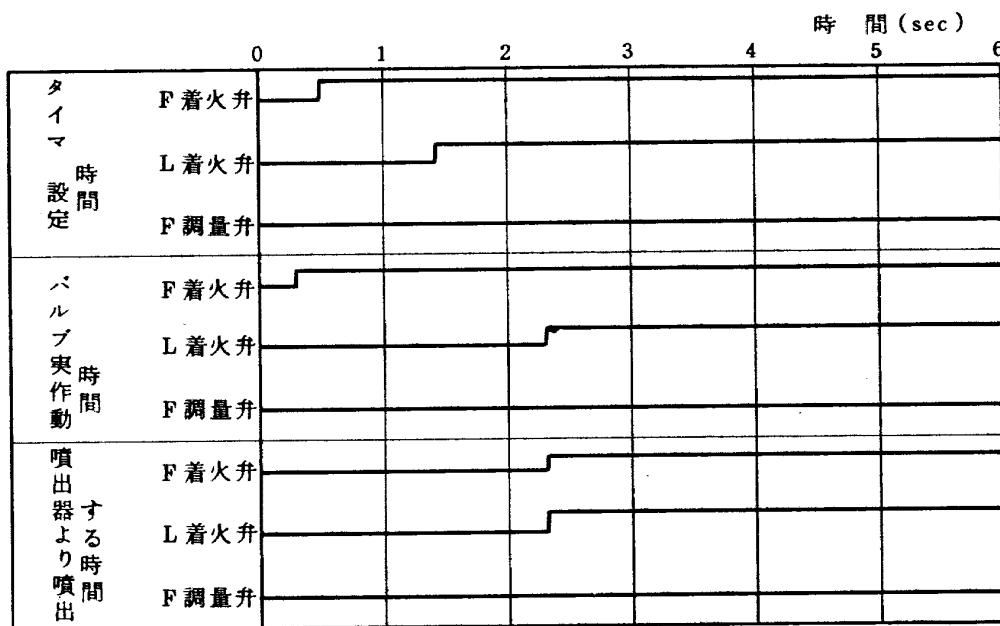


図8-a 着火自動 Sequence

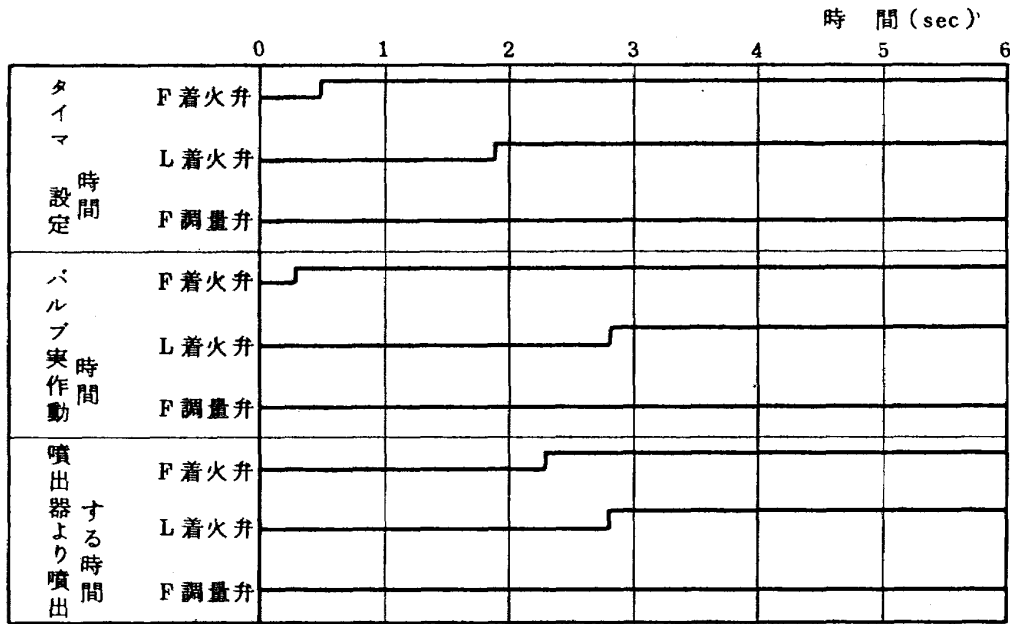


図 8 - b 着火自動 Sequence

マーを 0.5 sec, LOX 着火弁のタイマーを 1.4 sec とし
て LOX およびアルコールが同時に噴射器から噴射する
ようにタイマーを設定した場合であり, 図 8 - b は LOX
着火弁のタイマーを 1.9 sec にして, アルコールが LOX
よりも 0.5 sec 早く噴射するようにタイマーを設定した
場合である。タイマーを以上のように設定し着火試験を
行ない各弁の作動, 噴射圧および推力などをフォートコ
ーダより記録し, 記録紙から諸量を直接に測定した。
タイマーの設定が図 8 - a の場合の実験結果を図 9 - a
に示し, タイマーの設定が図 8 - b の場合, すなわち,
LOX が遅れて噴射される場合の実験結果を図 9 - b に
示す。図 9 - a および図 9 - b の推力曲線の変化から,
着火状態が良好であることが分かる。着火遅れは LOX
噴圧および燃圧曲線の変化などから測定される。表 6 に
その測定結果を示す。図 9 - c は LOX およびアルコ
ールが同時に噴出し着火した後に F 調量弁を開き F 流量を
増加させた場合であり, 推力および燃焼圧の増加は順調
である。図 10 - a および図 10 - b も同様に F 調量弁
を開き燃焼実験を行なった結果を示すものであるが, F
調量弁を開いて約 0.75 秒後に燃焼圧 P_c および推力 F に
パルス状の変化があり小さな振動が続く。この原因とし
ては以下のように考えられる。

- (1) F 調量弁の振動による F 流量の変化によって, 燃
焼圧が振動すると考えられる。燃焼中の F 調量弁の
シャフトの振動を測定するために, 弁のシャフトに
偏位計を取り付け作動状態を測定した。図 11 によ

表 6 着火遅れ時間

(単位: 秒)

実験 ㊦	A	B
8	0	0.08
9	0	0.07
10	0	0.08
21	0	0.08
22	0	0.08
23	0	0.07
24	0	0.09
37	0	0.10
38	0	0.09
39	0	0.07
40	0	0.11
51	0.03	0.19
52	0.03	0.13
53	0.03	0.14
55	0.05	0.10
66	0.03	0.09
67	0.05	0.10
68	0.05	0.10
69	0.04	0.11
70	0.05	0.09

- A: 着火弁の作動開始から噴射圧発生までの時間
B: 噴射圧発生から燃圧発生までの時間 (着火遅
れ時間)

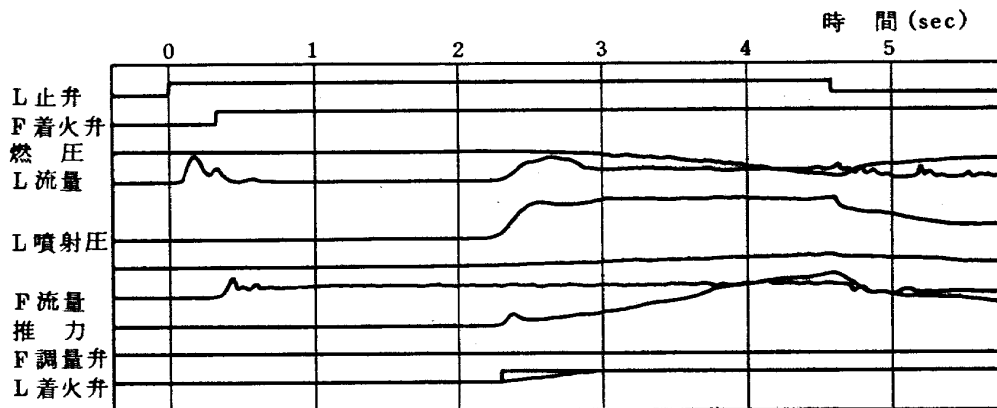


図 9 - a 着火試験

L着火弁 タイマー設定時間：1.4(sec)

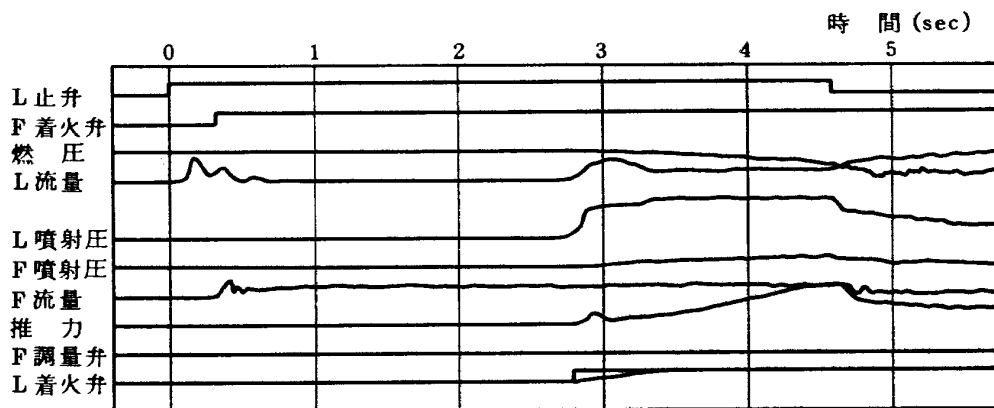


図 9 - b 着火試験

L着火弁 タイマー設定時間：1.9(sec)

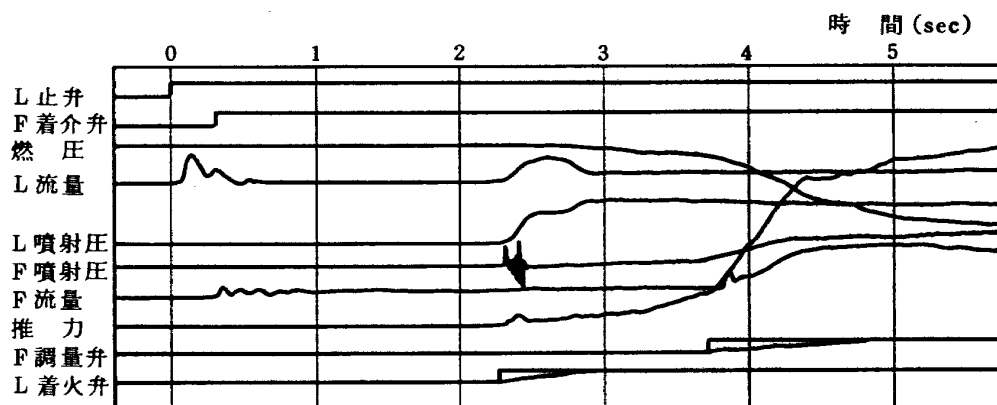


図 9 - c 着火試験

L着火弁 タイマー設定時間：1.4(sec)

れば P_c および F にパルスが発生しているが弁のシャフトは振動せず順調に作動している。したがって P_c のパルスの原因は弁の作動状態ではないと思われる。

- (2) 次に、 F 配管中の N_2 ガスが原因と考えられる。実験前の清掃によって F 止弁および噴射器間には N_2

ガスが充填されている。 F 着火弁が開いて少量のアルコールが流れ、着火した後もこの N_2 ガスは配管内に残り、 F 調量弁が開き大量のアルコールが流れ出すと同時に配管内から押出され、噴射器から噴射して瞬時、燃焼圧を低下させることによるものであると考えられる。パルスの大きさもこの程度ならば

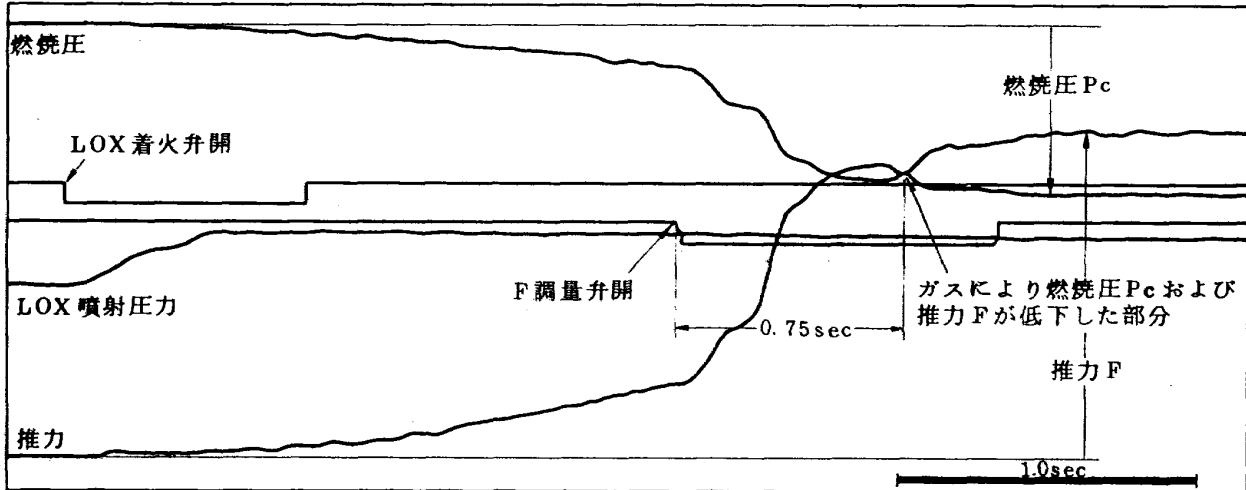


図10-a 着火試験
(推力: 267kg・燃焼圧: 20.1kg/cm²)

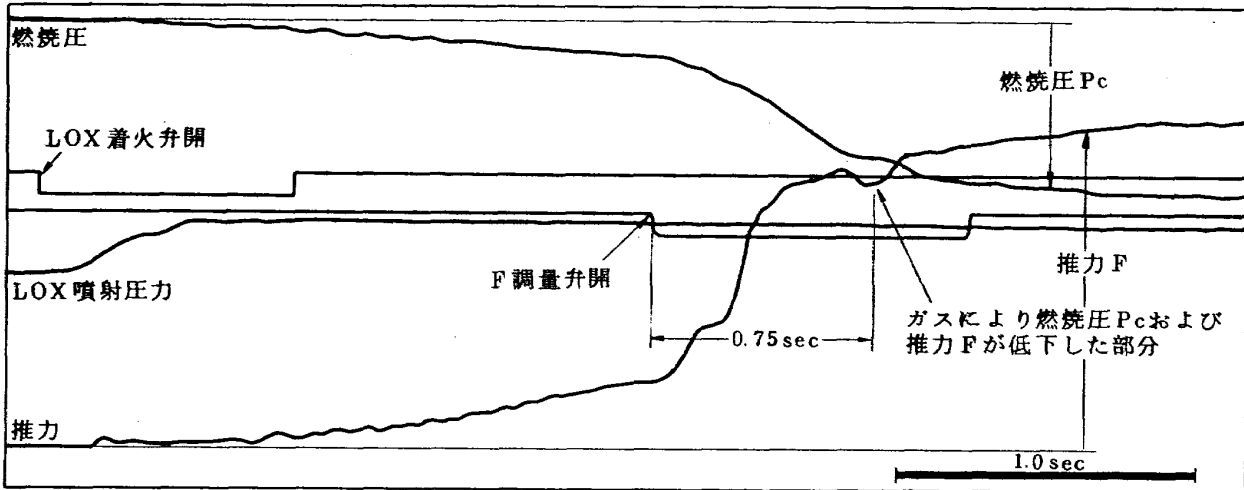


図10-b 着火試験
(推力: 276kg・燃焼圧: 20.2kg/cm²)

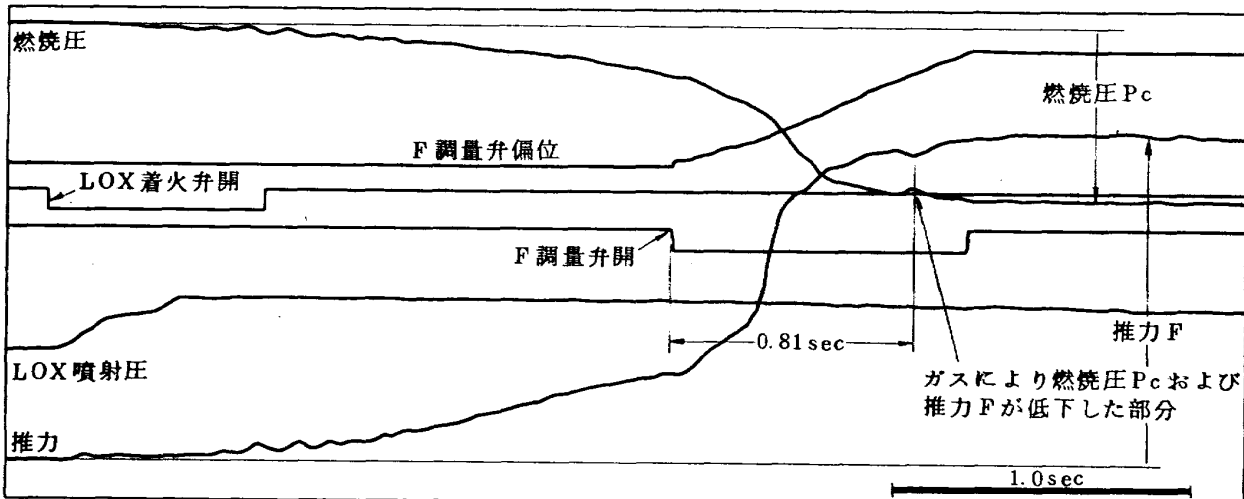


図11 着火試験
(推力: 274kg・燃焼圧: 20.2kg/cm²)

着火および燃焼には大きな影響を与えないが、パルスが大きくなり振動燃焼の原因になるような場合には、配管系を改めてパルスが発生しないようにしなければならぬ。

以上のごとく改良後の試験結果は良好であり100回以上の燃焼実験において見られる着火遅れ、燃焼圧および推力の立上り、および振動などの着火状態は著しく改良されてN₂ガスによる予剰アルコールの排出方法が有効であることを明らかにしている。また排気ダクトの冷却水は、予剰アルコールを希釈しエンジン外での燃焼を防ぐと共に燃焼中の排気ガスの温度を下げて消音効果を高めた。排気ガスの温度測定値は以下の通りである。

排気ダクト出口 $T_1 = 96 \sim 100^\circ\text{C}$
消音塔中間 $T_2 = 84 \sim 88^\circ\text{C}$

6. まとめ

地上試験用LOX-アルコール液体ロケットエンジンの着火方法を改良し安全性を高めるためにテストスタンドの推進剤供給系および排気ダクトの改良を行った。その主なる改造方針は以下の通りである。(1) N₂ガスの噴射により燃焼室内の予剰アルコールを排出することであり、噴圧5~10kg/cm²のN₂ガスをLOX噴射孔から噴射し弁の洩れまたはタイマーのくるいなどによって着火以前に燃焼室に溜まった燃料またはF噴射孔から噴射される燃料を燃焼室外に放出し異常着火を防止する。(2) 排出された予剰アルコールがエンジン外で燃焼しないようにするために、排気ダクト内に放出された燃料に水を噴射し十分に希釈する。

以上の改造を行ない100回以上の燃焼実験の結果は以下の通りである。

- (1) 改造前にしばしば見られた燃焼圧の急激な変化および振動は見られず、燃焼圧および推力は順調に増加する。
- (2) 着火遅れは約0.07~0.14secであり着火は容易に行なわれる。
- (3) 着火後F流量が増大する過程においてF供給系配管中に残留したN₂ガスによるものと思われる圧力変動が測定されるが振巾は十分に小さく燃焼におよぼす影響はない。
- (4) 着火前にN₂ガスによって排出された燃料は排気ダクトの排気冷却水によって十分に希釈されてエンジン外で燃焼することはない。また、多量の排気冷却水によって排気温度は消音塔内において80~90℃程度まで下げられて、消音効果を高めることができた。

以上N₂ガスによる予剰燃料の排出方法は、この系(アルコール-LOX供給系、噴射器、燃焼室)の燃焼実験において、異常着火を防ぎ安全性を高めることができる有効な方法であると考えられる。

参考文献

- 1) Proceedings of the NASA-University Conference on the Science and Technology of Space exploration, Vol. 2, pp. 44-45, NASA SP-11, November 1-3 1962, Chicago, Illinois.
- 2) R. James Rollbuhler and David M. Straight, Ignition of A Hydrogen-Oxygen Rocket Engine by Addition of Fluorine to The Oxidant, NASA-TN D-1309, Lewis Research Center Cleveland, Ohio.
- 3) A.I. Masters, Investigation of Light Hydrocarbon Fuels Flox Mixtures as Liquid Rocket Propellants, NASA CR-54445, 1965
- 4) Bernard Lewis, and Gventher von Elbe, Combustion, Flames and Explosion of Gases, Academic press Inc., New York, 1951, pp. 390-415.
- 5) 檜崎哲二, 中野富雄, 橋本亮平, 竹花真一郎: 推力300kg ジンバル液体ロケットエンジンの揺動特性 (I), 航空宇宙技術研究所資料 TM-189, 1970

航空宇宙技術研究所資料 281号

昭和50年7月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺町1880
電話武蔵野三鷹(0422)47-5911(大代表)〒182
印刷所 株式会社 共 進
東京都杉並区久我山4-1-7(羽田ビル)
