



山 崎 教 授

## 抄 歴

1909年10月23日 静岡県掛川市に出生  
1932 年 3 月 東京帝国大学工学部応用化学科卒業  
1933 年 9 月 東京帝国大学航空研究所研究業務嘱託  
1941 年 7 月 東京帝国大学助教授，航空研究所員  
1943 年 10 月 第二工学部航空燃料及潤滑油授業担当  
1944 年 2 月 学術研究会議研究班員  
1944 年 9 月 戦時研究員  
1944 年 12 月 噴射推進機研究委員会委員  
1946 年 3 月 理工学研究所員  
1950 年 6 月 工学博士  
1952 年 7 月 アメリカ合衆国へ出張  
1953 年 5 月 大学院化学系研究科応用化学課程担当  
1953 年 8 月 アメリカ合衆国へ出張  
1953 年 9 月 Delaware 大学客員教授  
1954 年 9 月 イギリス，西ドイツ，フランス，イタリアを出張国追加  
1954 年 12 月 東京大学教授  
1957 年 2 月 航空技術審議会専門委員  
1957 年 4 月 大学院化学系研究科委員会委員  
1957 年 12 月 名古屋大学講師  
1958 年 4 月 航空研究所に配置換  
1959 年 2 月 日本工業標準調査会臨時委員  
1960 年 5 月 宇宙開発審議会委員  
1962 年 7 月 技術士試験委員  
1963 年 4 月 名古屋大学大学院工学研究科応用化学専攻課程授業担当  
1963 年 4 月 石油学会賞  
1964 年 4 月 宇宙航空研究所に配置換  
1965 年 4 月 大学院工学系研究科委員会委員，大学院工学系研究科担当  
1966 年 3 月 日本化学会副会長  
1966 年 5 月 アメリカ合衆国，カナダ，連合王国，ベルギー，オランダ，フランス，  
西ドイツ，スイス，イタリアの各国へ出張  
1967 年 4 月 慶応義塾大学講師  
1969 年 10 月 通商産業大臣表彰  
1970 年 3 月 退 官

# わたくしの研究

山 崎 毅 六

工学部応用化学科を卒業した翌年 1933 年に、はじめてできた 研究嘱託制度による第一番生として航空研究所化学部に入ってから今日まで本館 3 階で過しました。したがって、わたくしの研究はすべて同じ研究所の同じ場所で行なわれたことになります。その間 37 年、おもえば長い期間でしたがこんなにはげしいときの潮をまともにかぶった研究所は少なく、その証拠には四回にわたり看板がかわりました。幸にも多くの先生、同僚ならびに後輩の方々のご指導とご支援とご協力にささえられてようやくここまで大過なくたどりつくことができましたことを心をら感謝しております。

このたび、研究所を去ることになりましたが、この機会に貴重な紙面を割愛してくださいましたので、わたくしの研究をふり返ってみることにいたしました。

手にしたものが油と火に関係のあるものばかりで別に売ったり断ったりしたわけではありませんがあまりにも内容が貧弱で過去の仕事に触れるためにはかなりの勇気を要します。しかし、古いことが何かご参考にでもなればという心持であえてまとめましたので、お目通しいただければこのうえない幸に存じます。

研究内容は研究所の動きとともに転針しております。当時の飛行機はプロペラ推進によるものばかりでその原動機であるレシプロエンジンを対象として深刻な燃料事情を背景とした高性能燃料の国産が強く要請されました。一方では燃料の性状とエンジン性能の関係を明らかにする必要にせまられ、それらについての研究を続けているうちに敗戦という大きな転機を迎えました。その後は、かねて燃料の研究にはどうしても燃焼現象についての研究が必要であることを痛感しておりましたので、その頃の研究環境にも順応して手持ちのものでこなせる燃焼温度、燃焼速度、前炎燃焼反応などの研究に入りました。

その後、航空に関する研究再開の一つとして本所に燃焼部門が新設され、ジェット推進を対象とした流路における連続燃焼の基礎研究を始めることになりましたので燃料・潤滑油部門から移ってこの目的にそった燃焼装置の完成とともに高負荷燃焼をねらった火炎の安定性の研究に入りました。

しばらくして、第二次の新しい航空研究所の研究にロケットが加えられ、その燃料を研究することが要請されましたので再び燃料関係の推進燃料工学部門に移って、主として固体燃料についての基礎研究を開始し、エンジン燃料の研究も続けながら今日に至りました。

このようなわけで、わたくしの研究をエンジン燃料、燃焼、ロケット燃料およびその燃焼に分けることができますので、その順に記すことにいたします。

## 1. エンジン燃料

### 高速ディーゼル燃料

液体燃料はいまでは想像できないほど当時は貴重なもので、その確保に国をあげて努力していました。この事情をふまえて最初に与えられたわたくしの研究課題は高速ディーゼル燃料でありました。いまではどうかと思われそうですがその頃ドイツで飛行機にディーゼルエンジンを積むという情報に刺戟され、自己着火性のよい燃料を開発するために炭化水素の組成と着火性との関係を研究し、パラフィン性の燃料がよいことをたしかめました[1][2]。

ちょうど満州の撫順で油母頁岩を乾溜して製造していた頁岩油がパラフィンに富んでいたものでこれから高速ディーゼル燃料を製造することになり、数十種の化合物からフルフロールとエタノールの混合液によって窒素化合物を抽出する溶剤精製法を考案し、着火性についてすぐれたディーゼル燃料を製造することができました[3][4]。この抽出物の利用法としてゴムの酸化防止剤の検討を行ないました。数種の脂肪酸エステルについても高速ディーゼル燃料としての燃焼性を調べました[5]。

### パラフィン炭化水素の脱水素

溶剤精製燃料はパラフィンを主成分とするために析出点が高くなって低温流動性を要求される航空燃料には不適當であることがわかりましたのでこれを解決するための研究をすることになりました。

炭素数 16 のパラフィン炭化水素セタンを二重結合を一つもたせてセテンにすることができれば自己着火性はほとんど同じのまま析出点は 18°C から 4°C まで大幅に下ることから脱水素の研究をすることになりました。触媒を探索して水素をじゅうぶんにとりだすことができて同時に分子が切れることがわかりましたので、もともと期待した形の脱水素が可能であるかどうかを熱力学の立場から吟味してみました。はたして分子がある長さより大きいときには炭素-炭素の結合が炭素-水素の結合より弱く切れやすいことがわかりました。そこでセタン、*n*-ヘプタン、*i*-ブタンと順に分子の小さいものについて実験をくり返し、*n*-ヘプタンでは脱水素と同時に閉環してトルエンが、また *i*-ブタンでは *i*-ブチレンがそれぞれ平衡値にほぼ近い収率でえられることをたしかめました[11]。 *i*-ブタンはいまのようにかんたんに手に入らないので、アルコールを脱水してオレフィンとし、これに水素添加して試料としなければならない時代で、ガスクロマトグラフなどもなく、分析は手製の精密蒸留器によるほかありませんでした。いま脚光を浴びている石油化学においても脱水素反応は素反応として重要なもので、溶剤精製ともどもはしりの研究であったといえましょう。

このように脱水素反応によりオレフィンを製することができましたので、これから高オクタン価の重合ガソリンを製することを試み、プロピレンを活性白土で重合し興味あるガソリンをつくりました[12]。

この時代ではすべてのものを高性能燃料に結びつけましたのも燃料事情のけわしい一端を示しているわけであります。

### 成層圏燃料

飛行性能の向上を目指した成層圏飛行を前提としてどんな燃料が要求されるものであるか

を検討しました。環境条件として大気がうすくなることから燃料系統における蒸気閉塞および過給度を増大するための温度上昇などの問題のあることを見出し、その条件に適合する燃料のそなえるべき性質を明らかにしました [7]。

### 安 全 燃 料

燃料槽の内部では蒸気圧の低い燃料の方がかえって引火性の混合気を生成しやすいこと、飛行機の事故による被害が火災の誘発によって大きくなることなどから安全燃料が論議されるようになりました。オレフィン貯蔵性に心配がありますのでこれをのぞく多くの炭化水素について理論引火点とアンチノック性をかなめとして考察を加え、安全燃料としてあるべき組成を確立するとともに、その限界を明らかにしました [6][8]。

### オ ク タ ン 価

エンジン燃焼室内の燃焼ガスが毎秒数千回サイクルの振動をおこし、騒音とともに熱伝達率が増大して局部の過熱損傷をおこす異常燃焼がノック現象であって、燃料の抗ノック性はオクタン価で示されます。点火せんから生長する火炎が適当な速度で全燃焼室を横切らない前に途中からその前面にある未燃焼ガスが急激に燃焼すればノックをおこし、この領域の広いほどノックは強くなります。不規則多数の着火核を発生して自己着火するという説の方がなにかの原因で火炎が増速して爆発波に移るという説より支持者が多いようですがいずれにしても火炎速度と前炎反応速度とのかねあいがかぎをにぎるわけで、それをおさえるのに燃料に反応抑制触媒を加える化学法と、燃焼室の設計によって火炎速度を増す機械法とがあります。

オクタン価は*i*-オクタンと*n*-ヘプタンを標準燃料としていますので、運転条件に対してこれらよりひどくアンチノック性かわるものはオクタン価がはげしくかわります。物理意義のはっきりしないオクタン価について各種の炭化水素、アルコール、ケトン、エーテルなどにおけるノック性のちがいおよび四エチル鉛の効果について詳細に検討を加えました [10]。

追いつめられた燃料事情下でただ一つの高オクタン燃料の基材となった石炭乾溜によるベンゼンが登場してきましたが、そのアンチノック性は運転条件によって敏感にかわるために、実物エンジンにおける燃焼性を詳細につかむ必要があります。芳香族炭化水素であるトルエンおよびキシレンと比較しそれぞれの特性をはっきりさせました [13]。

また、標準燃料よりノックしにくい燃料のオクタン価を表示するには困難があります。吸入気を絞り弁で絞ればノックしにくくなることを応用して同一強度のノックをおこすために要する絞り率からオクタン価を計測する方法を提案しました [16]。

オクタン価が同じであっても、燃料の種類によって弱いノックの場合にノックをおこす混合比の領域がことなり、その幅の狭いものがすぐれています。この立場からベンゼンは低く評価され、トルエンおよびキシレンは高く格付けされることがわかりました [17]。

## 2. 燃 焼

### 火 炎 速 度

断続燃焼あるいは連続燃焼などの燃焼方式には関係なく、燃焼負荷、異常燃焼その他に大きな影響をおよぼす火炎速度は同じ条件においても燃料の性質によって大差があります。炭

化水素, アルコール, ケトン, エーテルおよび二硫化炭素の予混炎の速度をブンゼン炎法によって測定しました. これらの化合物は燃料成分の代表として選ばれました. また, エンジン燃焼室にイオン間隙をもうけて火炎が通過するに要する時間から火炎速度を求めて比較し, いずれの場合にも理論混合比よりわずかに濃いところで最大となり, 燃焼温度が最高になる混合比とほぼ符合し, しかも四エチル鉛, 硝酸メチルなどの微量を加えても燃焼速度はかわらないことから, ノック抑制剤または促進剤は火炎速度に関係がないことを示しました[20][21][24].

### 着火おくれ

エンジン燃焼室における火炎前の未燃焼ガス, あるいは燃料噴霧の自己着火は発熱反応によって支配されます. この種の反応における生成物の最も単純なものとしてホルムアルデヒドを抽出しその吸収スペクトルの時間変化を温度をかえて追跡してみかけの活性化エネルギーを求めました. ベンゼンが最高で *i*-プロピルエーテルが最低であり, *i*-オクタン, アセトン, エタノール, *n*-ヘプタンは大きく, 断熱圧縮による自己着火おくれの順と一致しました. また, 活性化エネルギーの小さいものほど運転条件によるノック性の変動が少なく, *i*-プロピルエーテルのオクタン価は混合気温度が高くなると上昇することがわかりました[29].

反応速度は反応帯に生成した活性基の濃度に比例するとし, 任意温度における活性化自由エネルギー変化を求めました. この変化が小さいほど反応速度は大きいわけですが, これと温度との関係をみると 2 群にわかれしました. 温度が昇ると大きくなるものは *i*-オクタン, アセトン, トルエン, *i*-プロピルエーテルで, いずれもすぐれた鉛効果を示します. 小さくなるものはベンゼン, アルコールで運転条件によるノック性の変化が大きく, 鉛効果のわるいものであることがわかりました.

活性化分子が複雑な形をとるときに活性化エントロピーは負となり, 分子振動エネルギーの再分配を要するときは活性化の確率は小さく, ノックしにくいことが理解されました[29][34].

### 表面着火

ガソリンエンジンの燃焼室には炭素質にとむ物質が堆積し, 条件によってはその表面で混合気が着火し, 制御できない異常燃焼をおこします. これをおさえるために, 排気弁, 点火せんなどの温度に注意が払われていますが, 燃料の性質によって複雑な影響をうけます. その解析をするために, 即時制御のできる放射加熱法をとり, 熱電対接合部を熱表面として表面着火性の実験室評価法を提案しました[105].

表面着火に対して表面反応による昇温過程がものをいうので, 燃料の種類と着火温度, 反応による上昇温度および限界熱放射度の関係を調べました. 着火温度になるための必要熱量は反応熱と放射熱の和ですが炭化水素では種類によるその差が少なく, ほとんど同じでありますので, その中の反応熱の部分は限界放射度から求められることがわかりました. それによればベンゼンの表面反応をおこす温度は高く, 昇温速度は大きく, 高温になると活性化確率の大きくなることが示されました[106]. また昇温量から表面反応の速度, 活性化エネルギー, 次数を求め, 表面の材質でこれらの価がことなり, 限界熱放射度は表面の反応

性が弱いほど大きくなり、混合気の当量比に関係のないことがわかりました [107][111].

着火をおさえる化合物は表面における熱発生をさまたげ、着火温度を高くすることがたしかめられ、リン酸トリメチルとアルキル鉛が共存する場合には熱発生が時間の経過とともに減少し、熱面に生成物が吸着され蓄積することによることがわかりました [112].

エンジンにおける表面着火性は加鉛したベンゼンおよび *i*-オクタンを標準燃料として表わされているので、この二成分系の限界熱放射度を求めそれと比較しました結果は定性的に一致し、反応による表面の昇温がエンジンの表面着火の要因であることが示されました [114].

### 衝撃波着火

低圧高速気流の着火は非常に困難であるために、その中に定常衝撃波を形成させて着火源にしようとする試みがあります。また、引火、爆発の事故原因として衝撃波着火がありますので、低圧における着火制御の知見をうためにプロパン-酸素混合気の衝撃波管による着火限界を測定しました。圧力の低下とともに着火節回数は狭くなり、ある減圧までは炭素-炭素、それ以下の圧力では炭素-水素の結合が攻撃されるとして着火機構を説明することができました [59].

### 燃料噴霧の着火

液体燃料は噴霧として燃焼させる場合が多く、噴霧の着火性は大切な問題になります。所定温度に保たれた炉内に噴射したときの着火おくれと炉温との関係を見ると、おくれの長い条件下では自己着火温度の高いものほどおくれは長くなるが短い条件下では逆になることがあります。とくにベンゼンはその傾向が強く、しかも高温になるほど燃料による差はしだいに小さくなり、着火過程の律速段階が高温と低温でちがうこと、低温ほどばらつきが大きくなることなどが示されました [27][50].

また、大気中の噴霧を電気火花で点火した場合の着火ひん度分布ならびに着火率を測定した結果、噴霧の蒸発速度とにらみ合せて、着火率は火花付近に分散している燃料の粒径すなわち表面積とその密集度に支配され、燃料組成の影響は少なく、繰りかえし火花による着火性は確率の法則にしたがうことがわかりました [53].

### 燃 焼 速 度

エンジン燃焼室において火炎速度と前炎未燃焼ガスの反応速度との競合によりノックの生否がきまるものとすれば、炎の増速によってこの異常燃焼をさけられることになります。増速に有効な細かく強い乱れは大きな渦よりも減衰しやすいために、火炎が通過する直前に有効乱れをつくる必要があります。点火せんから生長する燃焼波を狭い間隙を強制通過させて誘起された強い乱れによって 30% 程度の増速がみとめられました。このことは指圧線図の立上りこう配の急になることからたしかめられ、ノック振動も消滅することからノックの機構ならびに燃焼室の設計によってある程度ノックをおさえることができることを明らかにしました [30].

### 火炎帯のイオン

火炎帯にはイオンが存在し、イオン間隙によって火炎の位置を探知することができます。イオン濃度は炎の状態によって直接に影響されるのでこれとノックとの間にはある関係がな

りたつはずであります。事実ノックが強くなるほどイオン電流の立ち上がりが急になり、燃焼圧に対応して波形がかわることが示されたことから、イオン電流波の適当な帯域を抽出すればノックの強さを知ることができることになります。毎秒3キロサイクル以下の周波帯をのぞく泸波器と微電流計を組み込んだ回路を用い、ノック計として試験しました。ノック計読みは圧縮比とほぼ直線関係にあり、水準のことなる燃料に対してもオクタン価に対し規則正しい関係を示しました。同一読みを与える圧縮比はオクタン価の高いほど大きく、加鉛した試料にも用いられることがわかり、ふつうのノック計と同様に再現性のよい調整のわずらわしさのないノック計であることがたしかめられました[特8]。

### 燃 焼 温 度

高オクタン燃料基材としてベンゼンを用いるとシリンダ温度が異常に上昇し航空燃料として多くの問題が生れその原因は不明でありました。これを解くために、炭素、水素、酸素よりなる燃料がもえて炭酸ガス、一酸化炭素、水蒸気、水素および酸化窒素が生成するとして燃焼ガスおよび排気ガスの組成および温度を計算しました。炭酸ガスの生成が多いためにベンゼンの場合にとくに高温となり、トルエンおよびキシレンは同じ芳香族炭化水素であってもそれより下ることが示されました[14][18]。

一般に、排気ガスの組成は混合気が濃くなった場合に一酸化炭素および水素を多くふくむこともわかり、シリンダ温度は燃焼温度に依存することをつきとめ、その上昇する現象を理解することができました[22][26]。

多数の炭化水素の断熱火炎温度も計算しました[109]。

### 火炎反応の応用

火炎帯においてはせまい幅が急激な温度変化のある高温場を提供するのでこれを応用すればふつうの反応器では不可能な生成物を作りだすこともできます。メタン-酸素系の高燃焼限界濃度の混合気について排気組成を計算すると合成ガス原料として適している水素および一酸化炭素からなり、しかも空気から必要な酸素を分離するために消費する量にみあう動力を発生することになります。これを実証するために単シリンダエンジンで実験しましたところ水素および一酸化炭素を95%程度ふくむガスを発生し、炭素を遊離することなく、制御応答性のよい合成ガス発生装置となることがたしかめられました。プロパンの場合にも多シリンダエンジンで同様の成績をあげることができました[36][38][41][47][49][60]。

このことは連続燃焼をするガスタービン燃焼器によっても可能で断続燃焼よりも発生率はよくなります[52]。したがって、一般の液化石油ガスからも合成ガスを大規模に生産できるみとおしであります。この種の反応はガスロケット燃焼器でも可能性があります[40]。

### 火 炎 の 安 定 性

一般の工業用炉やジェットエンジンなどの連続燃焼器においては火炎の安定性が重視されます。燃焼器はその方式がどうであっても必ず熱あるいは活性種の吸収体となる耐熱材料、金属などの壁で包まれ、それに対する火炎の挙動が注目されます。

焼結金属多孔板を水平において冷却壁とし、それをとおして垂直に混合気を上方に流して板状火炎をつくり、冷却壁の影響を調べることができます。火炎が未焼上流に伝わるのは熱および励起種の伝達拡散によるものでこれらは温度伝導度と拡散度に関係づけられます。温



度伝導度が大きくなれば火炎は厚くなり、流速が増せば薄くなります。温度伝導度は熱伝導度を密度と比熱の積で除した量でありますので火炎の厚さはこれを火炎速度で除した量になります。壁への熱移動式にこれらの量を組合せて解けば壁のあるときとないときの火炎の厚さ、壁からの距離および燃焼速度の比を知ることができ、流速をしだいに大きくすれば火炎は壁に近づきふたたび遠ざかる興味ある現象があることになります。メタンおよびブタンについて理論どおりになることが実験結果によって示されました[35]。

一般に、予混バーナ火炎の安定性はガス出口壁における速度こう配と吹きとびおよび吹きもどり速度に対する混合比の関係で示される火炎安定領域で論ぜられます。都市ガス-空気系予混バーナ火炎について乱れを与えて安定性を検討しました。ガス流速がある限度より下りますと当然吹きもどりを生じますが、境界層が厚くしかもバーナ中心部に流速分布のない条件ではふつうのように出口境界層の低速部からおき、流速曲線が燃焼速度曲線と出口境界層で交わる点で吹きもどりを生じます。この実験のように境界層がじゅうぶんに薄く、速度こう配が大きく、しかもバーナ中心部に最小速度分布のできる場合には両曲線は中心部において交わり、そのまま中心部から吹きもどりをおこします。中央が上流に向かって進んだM形火炎になるためには中央に最小速度が位置しかつ出口境界層がじゅうぶんに薄くなる必要があります。実測した安定領域は広い混合比にわたり、中央部から吹きもどりをおこすM形火炎の燃焼速度は流速に近いことがたしかめられ、実用上多く用いられる乱れ火炎の安定性の一端を理解することができました[63]。

#### ガソリンのノック性

わが国の製油技術はアメリカの精製技術の影響をうけて本質的に近代化し、燃料事情の変化と相まってガソリンの組成は全く一新されましたので、この時点でガソリンの最も重要なノック性について再吟味することになりました。

CFR エンジンにより、運転条件に対するノック限界圧縮比の挙動をオクタン価の格付けに基準としているかなり強い圧力振動のかわりに弱い初期振動を検知することによって検討しました[70]。

一般に、点火時期は燃料のノック性ならびにエンジンの出力に大きな影響を及ぼすので圧縮比、回転数および混合比に対し最高出力を与える点火時期を求め、リサーチ法およびモータ法の標準点火時期と対比して検討しました。リサーチ法の点火時期はある圧縮比の範囲において最高出力を与え、モータ法のそれは最高出力に関係のないものであることが明らかになりました[71]。

高オクタンガソリンの混合基材の一つとして、広く用いられている改質ナフサのノック特性ならびにそれに対するアルキル鉛の効果をみると、点火時期の影響は混合比のそれより大きく、おそい点火時期の場合に効果が大きくなることが示され、アルキル基のちがいによる差は運転条件に依存して複雑に変化することがわかりました[77]。

燃料組成によってノック限界圧縮比がちがうことは当然としても、ノックを発生する時期も同じでなく、限界圧縮比における燃焼時間と密接な関係にあることを明らかにしました[78]。

興味あることはある混合気の温度範囲において鉛効果が大きくなる現象で、これを断熱圧

縮温度と圧縮密度で整理することによって、前者が 700°K 付近で鉛効果は最も大きくなることが示されました [82].

実用エンジンの多くは多シリンダであるために燃料の各シリンダに対する分配状況がとくに加速時の性能に大きな影響を与えます. すなわち、吸入管から供給する燃料とそれぞれのシリンダに入る燃料とが同じでなく、各溜分に対するオクタン分布が均一でない燃料およびアルキル鉛の揮発性がじゅうんぶんでない場合にその組成がはなはだしくかわるわけで、これらの現象を平衡蒸溜結果からの計算値によって説明することができました [85].

このような研究によって、燃料のノック性に対する運転条件の影響を詳しく知ることができました [81].

### 燃 焼 の 変 動

エンジン燃焼室においては各サイクルごとに燃焼状況は大幅にばらつくことが知られていますので、その実態をつきとめるために燃焼時間の変動を連続 5000 サイクルについて計数器つき多段時間分析器によって火炎が燃焼室を横切るのに要した時間から統計的に求めました. その結果、火炎が伝わるために費した時間のばらつきは正規分布ではなく、距離を時間で除したみかけの火炎速度のそれは正規分布になることを見出しました. 火炎速度が大きいほど標準偏差は大きくなることもわかり、混合比の変動および乱れによる火炎速度の変動はみかけの火炎速度の変動分布に対してははっきりした形で関係づけられることもわかりました [108][110].

## 3. ロケット推進燃料

### 推進性能計算

ロケット推進燃料はふつうの燃料のように大気中の空気を利用できないので酸化性の強い物質を燃料と組合せでもっていなければなりません. したがって、両者の状態によって液相、固相および混相の各推進燃料に分類されそれぞれに固有の特性をもっています. いずれにおいてもおびただしい種類の組み合わせが可能ですので、推進性能をまず理論値によって比べるのが便利であります.

この分野の研究をはじめた頃はほとんど知識がなく、しかも燃料の内容についての情報を入手することさえむずかしかったので、他のものに比して組合せがかんたんである液相系について、推進性能の計算から入門することにしました. 液体酸素-液体水素、酸化エチレン-過酸化窒素、エチルアルコール-液体酸素、アニリン-白煙硝酸、ヒドラジン-液体酸素の組み合わせについて、燃焼圧力、混合比、水分量などの推進性能に及ぼす影響を検討し、その概略を理解しました [32].

このような性能計算はかなり煩雑ですが、ようやく電子計算機が普及して利用できるようになりましたので、高性能推進燃料の代表として水素-フッ素およびヒドラジン-三フッ化塩素の組み合わせについて理論性能を求めました [56][67][79].

### 液相推進燃料の発火性

液相系には燃料と酸化剤とが接触するだけで発火する触燃性のものと、たがいに触れるだけでは発火しないものがありますがいずれの場合においても発火おくれが燃焼の安定性を

支配する重要な因子となります。フルフリルアルコール、トリエチルアミン、アニリンを燃料とし、これらに対し白煙硝酸、赤煙硝酸を組合せ、組成、濃度、圧力などの発火性に対する影響を検討しました。発火に対するみかけの活性化エネルギーは小さく、混合、蒸発、拡散などの物質輸送過程が発火の律速因子であることをみとめ、発火圧力限界を明らかにしました [55][57]。

また、加圧によって発火おくれは目立って減少することから、発火を確実にするためには燃焼室を加圧しておくことがのぞましいこともわかりました [58]。

このように、液相推進燃料の発火は複雑な物理過程と化学過程を経由し、前者が支配段階であっても高圧になるほどその役割は軽くなり、不活性ふんい気の場合は活性ふんい気のとより化学おくれを長くすることから、発火しやすくするためにはふんい気が活性にとんで燃焼を促進するものがよいこともわかりました [75]。

#### 固相推進燃料の燃焼速度

用途および目的によって推進燃料の燃焼速度はきびしい制限をうけ、内面燃焼方式においては低速、端面燃焼方式においては高速であることが必要であり、いずれにおいても適当な燃焼速度を選ぶことによって推進性能を大幅に改善することができます。したがって、燃焼速度はきわめて重要な性質であります。

固相推進燃料の燃焼は表面に直角方向に進むので一定距離を燃焼面が移動する時間を測って燃焼速度を求めています。一般にはせいぜい数ミリ角の棒状試料の所定間隔にフューズをそう入し、移動火炎がそれを溶断した時間信号から計測しますが、燃焼面の位置を光トランジスタによって測定しても同じ結果を与えることがわかりました [61][64]。

燃焼速度は推進燃料の組成および物性によってきまりますが、燃焼環境によっても影響されます。燃焼速度を大きくする方法の一つには燃焼表面に強力な振動じょう乱を与え、気化した燃料および酸化剤の分解生成ガスの相互拡散を促進する考えがあり、強力な音波をぶつけることによりその効果がたしかめられました [74][76]。

#### 低燃焼速度固相燃料

固相推進燃料の最もふつうのものは固相の燃料および酸化剤を機械的に混合し成形した混成系に属するものであります。高性能化の目的で燃料として発熱度の大きい軽金属を相当量加え、所定の形状にするために高分子材料を燃料と粘結剤とをかねて酸化剤とともに混合し成形します。高分子物質の硬化後の収縮、変形、硬化中に許容される温度、硬化成形物のゴム弾性などに対するきびしい制限から、高分子出発物質としてはごく限られたものしか用いられず、その一つがポリウレタンであります。これは燃焼面において熱分解し燃焼表面を湿らすために、他のものより燃焼速度が小さく、圧力によるその変化が少ないことが期待されるので低燃焼速度の推進燃料をこれを用いて試作しました。小形の内面燃焼方式では許容される燃料肉厚が薄いために長秒時の燃焼を確保するためであります。適当な燃焼抑制触媒を選ぶことによって燃焼圧 70 気圧において毎秒 3 ミリ級のものがえられ、比推力も大気圧に膨張させた場合に 240 秒程度であることが示され、引張り強さ、のび、膨脹率などの機械性質もよいものができました。とくに、細長い形状に注形成形できることが特に注目されます [68][73]。

### 小形ロケットの試作

燃料結合剤としてウレタンを利用することによって、低燃焼速度で高比推力の混成系の固相推進燃料ができることをたしかめましたので、直径 100 mm、長さ 2240 mm の内面燃焼方式による推進燃料グレインを一段式特殊小形ロケット ARIS および SSR に使用しました。HT-110 第 1～3 号機として打上げ、その性能の実用性をたしかめ、予期どおりの成績をおさめることができました [89]～[94]。

研究室規模の研究範囲のときとちがって工場生産に移したときに生ずる多くの問題を一つずつ注意深くつぶし、引張り強度、のび、硬さなどの機械性質の限界を多数回の地上予備実験でたしかめるとともに、燃焼抑制剤の選択、接着剤の吟味、品質管理のための検査法の開発などをつぎつぎに行ないました。

このほか、内面燃焼方式において問題となる焼食燃焼および点火頂圧の抑制などを解決すると同時に、燃焼安定性に対する燃焼抑制剤の作用、燃料成分および添加剤の機械性に及ぼす影響についても詳細に検討しました。

### 高燃焼速度固相燃料

小形モータの場合には端面燃焼方式に魅力があり、それに用いる推進燃料は燃焼面積を大きく設計できない不利を高燃焼速度で補うことが必要でありますので高燃焼速度でしかも高比推力の推進燃料の開発研究をしました。

一般にこの種の燃料の燃焼速度は適当な触媒によって大きくなりますが、混成系の場合には固相の酸化剤、軽金属などの粒子が大部分であって燃料結合剤は少量でありますので触媒をただ混合するだけのふつうの手法にしたがう限りその選択のみでは燃焼速度をとびはなれて大きくすることは不可能といえます。最も効果の多いのは分量の多い酸化剤の分解速度を大きくすることですから、酸化剤自身に加工して分解触媒をそれに分散保持させて調整酸化剤粒子とし、これに燃料結合剤もしくは必要に応じて少量の酸化剤をふくむ混合物を加えて硬化成形して試験しました。その結果、ふつうの製法では到達できない程度、たとえば燃焼圧 70 気圧において毎秒 40 ミリ以上の燃焼速度がえられました [103]。

そこで、端面燃焼方式による小形ロケット用の直径 130 ミリ、長さ 2メートルまでの推進燃料グレインを試製し燃焼試験をくりかえしたところ、実用できるみとおしがえられ、一方ではこの間に端面燃焼につきものの耐熱被覆剤についても多くの研究を行ないました。とくに、高性能化のため燃焼ガス温度が高くなりますので、それにみあったノズル材料があるかどうか困りましたが、グラファイトにタングステンをプラズマ被覆したものでようやく及第できることもたしかめられました。

### 推進性能の実験室評価

推進性能をたしかめるために小形モータによる燃焼試験をするのがふつうですが、煩雑である上に時間と費用がかかるので実験室規模の実験でそれを推定をする試みがあります。定容圧力容器を用いる方法によって少量の試料でもかなりの精度で比較するためにはじゅうぶん役に立つ結果のえられることが示されました [98]。

### 二層固相推進燃料

端面燃焼方式に適合する高燃焼速度にはそれ自身が速く燃焼するほか燃焼面にでこぼこが

できて燃焼面積が大きくなるように燃焼速度のちがった種類の燃料を組み合わせればよく、その最もかんたんなものが二層方式であります。内側に高燃速、外側に低燃速の燃料を配置したもので実験した結果、予想以上に増速することが示され、はげしいガスの乱れによってひきおこされる焼食燃焼によってそれを説明することができました [86][96]。この種の推進燃料の燃焼速度はある範囲で任意に設計することができます。

#### 金属はく埋没推進燃料

いま一つの増速方法として熱伝導の大きい物質たとえば金属線を燃焼表面に垂直方向に埋設すればかなり有効であります。とくに、銅、アルミニウム、銀などが有効であって、燃焼速度を数倍に引き上げることができます。そこで金属はくを用いて実験した結果、はくの層間距離はほとんど影響を与えないのに、はくの厚さの影響は大きく、火炎帯から燃焼面への熱の伝達量が増大することによることで説明できます。ただし銅の場合にはその熱伝導率の比より大きな比率で燃焼速度を増すことから特有の触媒作用があるものと考えられます。推進燃料の機械性質ははくの埋めこみでかなり改善されることが示されました [99][104]。

#### 推進燃料用の高分子

固相推進燃料に要求される数々の物性の面からはもちろん、製造における作業性に対して問題の多いウレタン系およびブタジエン系の高分子について研究しました。

一般に、ウレタン系高分子は酸化に対して弱いのでそれによる変質を防ぐ必要があります。有機鉄系触媒を用いてポリプロピレングリコール、トリオール、トリレンジンシアナートから製したポリウレタンに対するジアミン類の酸化防止能を1年間の曝露試験によって検討したところ、きわめて有効であって、着色する以外には引張り強度はむしろ改善される傾向をあらわし、後硬化の現象が示されました [95]。

ポリブタジエンは生成熱が小さく、水素炭素比が大きく、しかも二次転移点が低いことから、推進性能がよく、低温における物性のすぐれた固相推進燃料を製するのに適していますが、機械性と低密度の面にふじゅうぶんなところがあります。

カルボキシ基を官能基として分子端にもつポリブタジエンは分子量分布がかなり均一であって、分子端で架橋されるのでそれを出発物質とした重合物は均一な構造をもちます。ふつうのゴムのように不規則に架橋された高分子とちがって弾性に関係する架橋点が均一に分散しているので物性はよく、鎖長と架橋度がある程度調節できる長所があります。そこで、トリスメチルアジリジニルフォスフィンオキsidを用い、その架橋温度を常用の100°~150°Cから常温に近づけ硬化後の体積収縮および添加物の熱変化をさけるための研究を行ないました。適当な促進剤によれば50°~70°Cの温度で硬化し、引張り強度10~15 kg/cm<sup>2</sup>、伸び250~500%を示すことが示され、架橋剤の必要量は理論量の倍であるが、応力-ひずみ関係はゴム弾性論にしたがい、膨潤試験による結果とも合うことがわかりました [84]。

ポリブタジエン-アクリル酸-アクリルニトリル系の重合物を作り燃料結合剤としての適性を検討しました。架橋硬化物の引張り特性は架橋点が不規則に分布し、分子の末端部に影響するために分子両端に官能基をもつ出発ポリマを架橋重合してえられる高分子よりもわるいことをたしかめました [100]。

カルボキシル基を分子両端にもつポリブタジエンを重合してえられる弾性ゴムの老化に対

する酸化防止剤の効果を調べました。1年間の曝露試験によれば酸化防止剤をふくまないときはもろくなり過度の架橋反応が進むようにみえます。膨潤試験によって架橋点間の平均鎖長を測ってみたところ、アミン系の酸化防止剤は過剰架橋にもとづく老化現象を防止する能力をもつことがわかり、ゾル部分と架橋密度の関係から不規則な架橋点ならびに鎖長で分子が切れることを示しました [97]。

ここまで読んでいただければわかりますように、わたくしの研究は長い年月にまたがっていますが、幸なことにその間に多くの先生、共同研究者、友人のご指導、ごべんたつ、ご支援に恵まれましたことをこのさいあらためて心に刻みました。

とくに、厚木勝基先生、永井雄三郎先生、Kurt Wohl 先生からはご懇篤なご指導とご薫陶をたまわりました。

また、辻 広、岩間 彬両氏からは研究におけるばかりでなく、燃焼ならびに推進燃料の両部門の創設について素晴らしいご協力をいただきました。

さらに、太田 栄、小栗正哉、井上 実、加藤芳雄、山田 実、竹口 晋、祖父江照雄、青柳鐘一郎の諸氏からはなみなみでないご助力をいただきました。

いうまでもなく、共著者ならびに研究室で仕事をして下さった多くの方々にははかりしれないご好意を下さいました。

なお、山口文之助、水島三一郎、桑田 勉、永井芳男、牧島象二、石井直治郎、稲葉弥之助、松原文雄、中西不二夫、富塚 清、田中敬吉、西脇仁一、八田桂三、熊谷清一郎、疋田 強、B. P. Mullins、C. W. Shipman、M. Summerfield、H. G. Wagner、の諸先生からご批判と有益なご示唆を与えられました。

この機会にとくに記して重ねて厚く心からお礼を申しあげます。

1970 年 3 月 31 日 材料部

### 論文、総説\* その他\*\*

- |       |  |           |                          |
|-------|--|-----------|--------------------------|
| [ 1 ] | 高速ディーゼル燃料に関する研究，第 1 報 数種の軽油類の燃焼特性                    |           |                          |
|       | 山崎毅六，太田 栄  | 燃料協会誌     | 14, 159 (1935) 195       |
| [ 2 ] | 高速ディーゼル燃料に関する研究，第 2 報 数種の軽油類の組成                      |           |                          |
|       | 山崎毅六，太田 栄  | 同         | 16, 172 (1937) 87        |
| [ 3 ] | 高速ディーゼル燃料に関する研究，第 3 報 高速ディーゼル油の試<br>製とその発動機運転試験とについて | 山崎毅六，太田 栄 | 同 20, 228 (1941) 791     |
| [ 4 ] | 高速ディーゼル機関燃料に関する一実験                                   |           |                          |
|       | 中西不二夫，永井雄三郎，浅野弥祐，山崎毅六                                | 日本機械学会誌   | 40, 10 (1937) 613        |
| [ 5 ] | 椰子油および数種脂肪酸エステル発火性                                   |           |                          |
|       | 山崎毅六，太田 栄，小栗正哉                                       | 航空研究所彙報   | 214 (1942) 187           |
| [ 6 ] | 安全燃料に関する研究   | 山崎毅六      | 燃料協会誌 20, 225 (1941) 487 |
| [ 7 ] | 成層圏燃料に関する一考察   | 山崎毅六      | 同 20, 226 (1941) 1       |
| [ 8 ] | 安全燃料   | 山崎毅六      | 同 21, 241 (1942) 1069    |

- [ 9 ]\* 航空燃料 永井雄三郎, 山崎毅六 燃料及燃焼 7, 11 (1942) 985
- [ 10 ] オクタン価に関する研究 山崎毅六, 小栗正哉 燃料協会誌 22, 247 (1943) 323
- [ 11 ] パラフィン炭化水素の脱水素に関する研究 山崎毅六 同 21, 240 (1942) 908
- [ 12 ] 活性白土によるプロピレンの加圧処理 山崎毅六 高圧ガス協会誌 10, 6 (1947) 93
- [ 13 ] 芳香族燃料の気筒内における燃焼性  
山崎毅六, 小栗正哉, 井上 実 同 11, 2 (1947) 37
- [ 14 ] 数種化合物の気筒内における燃焼温度について I  
山崎毅六, 井上 実, 加藤芳雄 理工研報告 1, 7~8 (1947) 93
- [ 15 ] 数種化合物の気筒内における燃焼温度について II  
山崎毅六, 井上 実, 加藤芳雄 同 同 97
- [ 16 ] 標準燃料を外れたオクタン価の一測定法  
山崎毅六, 井上 実 同 1, 11~12 (1947) 171
- [ 17 ] 芳香族燃料のノック強度と混合比との関係  
山崎毅六, 井上 実 同 同 175
- [ 18 ]\*\* 揮発油の成分とシリンダ内における燃焼温度 山崎毅六 機械の研究 1, 1 (1949) 2
- [ 19 ]\*\* 霧の気化する速さをくらべる方法 山崎毅六, 松井俊郎 同 1, 3 (1949) 129
- [ 20 ]\*\* 炭化水素の炎の速さ 山崎毅六, 加藤芳雄 同 1, 11 (1949) 508
- [ 21 ]\*\* アルコール, エーテル, ケトンの炎の速さ  
山崎毅六, 加藤芳雄 同 2, 1 (1950) 73
- [ 22 ]\*\* 揮発油の成分とシリンダ温度 山崎毅六 同 2, 9 (1950) 33
- [ 23 ] セタンオイルの酸化 山崎毅六, 永田洋文 理工研報告 4, 1~2 (1950) 11
- [ 24 ] 液状燃料化合物の燃焼速度 山崎毅六, 加藤芳雄 同 4, 7~8 (1950) 167
- [ 25 ]\*\* 炎面の発光時間 山崎毅六, 加藤芳雄 機械の研究 3, 3 (1951) 205
- [ 26 ] 含酸素化合物のシリンダ内における燃焼温度  
山崎毅六, 醍醐忠久 理工研報告 4, 9~10 (1950) 247
- [ 27 ]\*\* 燃料噴霧の点火おくれについて 飯沼一男, 山崎毅六 機械の研究 3, 4 (1951) 30
- [ 28 ]\*\* ふたたび炎面の発光時間について 山崎毅六 同 3, 9 (1951) 505
- [ 29 ] 前炎燃焼におけるフォルムアルデヒド生成おくれ  
山崎毅六, 山田 実 理工研報告 6, 2 (1952) 93
- [ 30 ] Augmented Flames in an Engine Combustion Chamber  
K. Yamazaki and K. Iinuma 4 th. Symp. Comb. Williams  
& Wilkins, Baltimore (1953) 914
- [ 31 ]\* ガス燃焼速度および高温度ガス反応 山崎毅六 工業化学雑誌 60, 2 (1957) 89
- [ 32 ] 液体推進剤の特性数の計算 山崎毅六, 岩間 彬 同 同 127
- [ 33 ]\* ガスの燃焼速度 山崎毅六 化学と工業 10, 10 (1957) 617
- [ 34 ] ガスの燃焼速度と活性基の生成速度 山崎毅六 工業化学雑誌 60, 2 (1957) 121
- [ 35 ] 火炎の安定性 (壁に対する火炎の性質) 山崎毅六 日本機械学会誌 60, 465 (1957) 1106
- [ 36 ] 内燃機関による天然ガスの変成 山崎毅六, 三井 光 燃料協会誌 37, 375 (1958) 417
- [ 37 ]\* 高出力燃焼と高エネルギー燃料 山崎毅六 日本機械学会論文集 24, 144 (1958) 539
- [ 38 ] 内燃機関の燃焼室を反応器とするメタンの変成  
山崎毅六, 三井 光 高圧ガス協会誌 22, 11 (1958) 469

- [ 39 ]\*\* ロケット推進剤 山崎毅六, 岩間 彬 ロケット研究ノート 1, 20 (1959)
- [ 40 ]\*\* ロケット反応によるメタン酸素酸素混合気の変成  
山崎毅六, 岩間 彬 ロケット研究ノート 1, 24 (1959)
- [ 41 ] 内燃機関による天然ガスの変成 山崎毅六, 三井 光 工業化学雑誌 62, 11 (1959) 1681
- [ 42 ]\*\* 高エネルギー燃料について 山崎毅六 日本機械学会燃料燃焼講習会教材 1959
- [ 43 ]\* 噴流推進燃料に現われた変化 化学と工業 13, 1 (1960) 132
- [ 44 ]\* 噴流推進剤 山崎毅六, 岩間 彬 航空学会誌 8, 72 (1960) 17
- [ 45 ]\* ロケット推進剤 山崎毅六 燃料協会誌 39, 393 (1960) 2
- [ 46 ]\* ロケット燃料 山崎毅六 有機合成化学協会誌 18, 4 (1960) 241
- [ 47 ] メタン酸素極濃混合気によるオート機関の性能  
山崎毅六, 三井 光 石油学会誌 3, 3 (1960) 235
- [ 48 ] 電気点火 4-サイクル機関の燃焼室を反応器とするメタンの変成  
山崎毅六, 三井 光 高压ガス協会誌 63, 8 (1960) 1361
- [ 49 ] 内燃機関によるメタンの変成 (続報)  
山崎毅六, 三井 光 工業化学雑誌 63, 8 (1960) 1361
- [ 50 ] 燃料噴霧の火花点火 飯沼一男, 山崎毅六 日本機械学会論文集 26, 168 (1960) 1151
- [ 51 ]\* ロケットの化学燃料 山崎毅六 真空化学会誌 8, 4 (1960) 163
- [ 52 ] ガスタービンによるメタンの変成 山崎毅六, 三井 光 工業化学雑誌 13, 8 (1960) 1358
- [ 53 ] 燃料噴霧の着火おくれ 飯沼一男, 山崎毅六 日本機械学会論文集 26, 171 (1960) 1662
- [ 54 ]\* 液体ロケット燃料 山崎毅六 工業化学雑誌 63, 11 (1960) 1859
- [ 55 ]\*\* 自然性二元推進剤の着火おくれに及ぼすパラメータの影響 III  
定常燃焼圧力と雰囲気下におけるその変化  
山崎毅六, 岩間 彬 ロケット研究ノート 2, 52 (1960)
- [ 56 ] 自然性二元推進剤の着火おくれに及ぼすパラメータの影響 I  
液温-酸化剤濃度 岩間 彬, 山崎毅六 工業化学雑誌 63, 11 (1960) 1879
- [ 57 ] 自然性二元推進剤の着火おくれに及ぼすパラメータの影響 II  
加圧雰囲気におけるその変化 岩間 彬, 山崎毅六 同 同 1883
- [ 58 ] 推進剤の理論性能計算のプログラミングの一方法とその計算例, H-F 系  
岩間 彬, 山崎毅六, 青柳鐘一郎 同 同 1886
- [ 59 ] 衝撃波によるプロパン-酸素混合気の着火  
山崎毅六, 加藤芳雄 同 63, 12 (1960) 2124
- [ 60 ]\* 固体推進剤の燃焼機構 山崎毅六, 岩間 彬 日本航空学会誌 9, 84 (1961) 9
- [ 61 ]\*\* 光トランジスタによる固体推進剤の燃焼速度の測定  
岩間 彬, 山崎毅六, 岸 和男, 青柳鐘一郎, 上月 功 ロケットノート 3, 15 (1961)
- [ 62 ]\*\* 密閉爆発法による固体推進剤の性能測定  
山崎毅六, 岩間 彬, 上月 功, 青柳鐘一郎, 祖父江照雄 同 4, 2 (1962)
- [ 63 ] An Experimental Investigation on Turbulent Burner Flames  
K. Yamazaki and H. Tsuji 8 th. Symp. Comb. Williams & Wilkins, Baltimore (1962) 543
- [ 64 ] 光トランジスタによる固体推進剤の燃焼速度の測定  
岩間 彬, 山崎毅六, 岸 和男, 青柳鐘一郎, 上月 功 工業化学雑誌 65, 8 (1962) 1218
- [ 65 ]\* 高分子燃料 山崎毅六 高分子 11, 126 (1962) 654



- [ 66 ]\* 高エネルギー噴流推進燃料 山崎毅六 日本機械学会誌 64, 504 (1961) 108
- [ 67 ] ヒドラジン-三フッ化塩素系推進剤の理論性能  
岩間 彬, 山崎毅六, 菊池 健 航空研究所集報 3, 3 (1962) 179
- [ 68 ] ポリウレタン系低燃焼速度用固体推進剤 山崎毅六, 岩間 彬,  
青柳鐘一郎, 祖父江照雄, 林 実, 岸 和男 航空研究所集報 3, 6(A) (1963) 381
- [ 69 ]\* 内燃エンジン燃料の燃焼性 山崎毅六 石油学会誌 6, 7 (1963) 516
- [ 70 ] 運転条件による燃料のノック性の変動に関する研究 1, ノック限界圧縮比に  
及ぼすエンジン運転条件の影響  
山崎毅六, 森 利淳, 前田 耕, 高取武夫 同 6, 8 (1963) 17
- [ 71 ] 運転条件による燃料のノック性の変動に関する研究 2, 出力と燃料のノック  
性に及ぼす点火時期の影響  
山崎毅六, 森 利淳, 前田 耕, 高取武夫 同 6, 8 (1963) 22
- [ 72 ]\*\* 燃焼速度の測定 山崎毅六 日本機械学会210回講習会教材 (1964) 83
- [ 73 ] On the Composite Propellants of Polyurethane Base having High  
Specific Impulse and Extremely Slow Burning Rate  
K. Yamazaki, A. Iwama, S. Aoyagi, T. Sofue, M. Hayashi and K. Kishi  
Proc. 5th. Int. Symp. Space Tech. & Sci. (1963) 53
- [ 74 ] Effects of Acoustic Disturbance in the Flame Zone on the Linear Burning  
Rate of Composite Solid Propellants  
K. Yamazaki, M. Hayashi and A. Iwama ibid. 125
- [ 75 ] ロケットモータの定常燃焼圧力における不活性および活性雰囲気下の自燃性  
二元液体推進剤の着火おくれの測定  
岩間 彬, 山崎毅六 工業化学雑誌 66, 2 (1963) 163
- [ 76 ] 固体推進剤の燃焼速度に及ぼす音波の影響  
山崎毅六, 林 実, 岩間 彬 工業化学雑誌 67, 3 (1964) 415
- [ 77 ] 運転条件による燃料のノック性の変動に関する研究 3, 改質ナフサの  
ノック性とノック抑制剤の効果  
森 利淳, 前田 耕, 高取武夫, 山崎毅六 石油学会誌 8, 1 (1965) 29
- [ 78 ] 運転条件による燃料のノック性の変動に関する研究 4, 限界圧縮比と  
ノック時期に及ぼす混合比の影響  
森 利淳, 前田 耕, 高取武夫, 山崎毅六 同 8, 2 (1965) 97
- [ 79 ] Theoretical Performance of Hypergolic Propellant, Dimazine-  
Chlorine Trifluoride Systems  
A. Iwama and K. Yamazaki Inst. Space and Aero. Sci. Report No. 395  
30, 4 (1965) 101
- [ 80 ]\*\* 燃焼器の発熱率と反応速度 山崎毅六 日本機械学会240回講習会教材 (1965) 1
- [ 81 ] The Effects of Operating Conditions of the Engine  
on Knocking Characteristics of Gasolines  
T. Mori, T. Maeda, T. Takatori and K. Yamazaki Bull. Japan Petrol. Inst. 7 (1965) 7
- [ 82 ] 運転条件による燃料のノック性の変動に関する研究 5, 燃料のノック性に

- 及ぼす混合気温度の影響  
 森 利淳, 前 田耕, 高取武夫, 山崎毅六 石油学会誌 8, 10 (1965) 767
- [ 83 ]\* 自動車による大気汚染 山崎毅六 燃料協会誌 44, 460 (1965) 564
- [ 84 ] The Cross-linking Reaction of the Polybutadiene  
 Binder for Composite Propellants  
 K. Yamazaki and H. Tokui Bull. Chem. Soc. Japan 38, 12 (1965) 2174
- [ 85 ] 運転条件による燃料のノック性の変動に関する研究 6,  
 燃料のノック性に及ぼす燃料分離の影響  
 森 利淳, 前田 耕, 高取武夫, 山崎毅六 石油学会誌 8, 12 (1965) 946
- [ 86 ] Characteristics of Dual-Layer Propellants for End-Burning Type  
 Rockets and Their Application to Dual-Thrust Motor  
 A. Iwama, S. Aoyagi, T. Sofue and K. Yamazaki Proc. 6th. Int. Symp. Space  
 Tech. & Sci. (1965) 57
- [ 87 ] エポキシ化ポリブタジエンを燃料結合剤とする混成固体推進剤  
 山崎毅六, 得猪治輔 工業化学雑誌 69, 3 (1966) 575
- [ 88 ]\* 推進燃料 山崎毅六 化学と工業 19, 8 (1966) 954
- [ 89 ] 直填方式によるポリウレタン-過塩素酸アンモニウム系  
 混成推進剤グレインの製造  
 山崎毅六, 岩間 彬, 林 実, 岸 和男 宇宙航空研究所報告 2, 2(B) (1966) 680
- [ 90 ] 低燃焼速度の混成系推進剤の侵食燃焼と点火ピークの抑制について  
 山崎毅六, 岩間 彬, 林 実, 岸 和男 同 688
- [ 91 ] ポリウレタン-過塩素酸アンモニウム系推進剤グレインの物理的,  
 機械的性質に及ぼす燃料結合成分および添加剤の影響  
 山崎毅六, 岩間 彬, 林 実, 岸 和男, 得猪治輔 同 698
- [ 92 ] ポリウレタン-過塩素酸アンモニウム系推進剤の  
 燃焼安定性に及ぼす燃焼速度抑制触媒の影響  
 岩間 彬, 青柳鐘一郎, 祖父江照雄, 山崎毅六 同 706
- [ 93 ] 点火器の形状, 材質と不安定燃焼との関連について  
 岩間 彬, 青柳鐘一郎, 祖父江照雄, 山崎毅六 同 713
- [ 94 ] 固体推進剤の基本性能の計算と物性および安定性の測定について  
 岩間 彬, 青柳鐘一郎, 祖父江照雄, 山崎毅六, 林 実 同 717
- [ 95 ] The Effects of Some Antioxidants on a Polyurethane Fuel Binder  
 K. Yamazaki and H. Tokui Bull. Chem. Soc. Japan 39, 7 (1966) 1584
- [ 96 ] Combustion Characteristics and Ballistic Performance of  
 Dual-Layer Propellant Grains for End-Burning Type Rocket Motors  
 A. Iwama, S. Aoyagi, T. Sofue and K. Yamazaki  
 Inst. Space & Aero. Sci. Report No. 407 31, 8 (1966) 155
- [ 97 ] The Effects of Some Antioxidants on the  
 Elastomers Derived from Carboxy-terminated Polybutadiene  
 H. Tokui and K. Yamazaki Bull. Chem. Soc. Japan 39, 10 (1966) 2290

- [ 98 ] Evaluation of Ballistic Performance of  
Solid Propellants by Means of a Constant Volume Bomb  
A. Iwama, S. Aoyagi, T. Sofue and K. Yamazaki Inst. Space & Aero. Sci.  
Report No. 410 **32**, 3 (1967) 51
- [ 99 ] On the Composite Solid Propellant Impregnated with Metallic Foil  
K. Yamazaki and H. Tokui Bull. Chem. Soc. Japan **40**, 5 (1967) 1249
- [100] On the Elastomers Derived from Polybutadiene-Acrylic  
Acid-Acrylonitrile Terpolymer as a Fuel Binder  
H. Tokui and K. Yamazaki Bull. Chem. Soc. Japan **40**, 9 (1967) 2177
- [101]\* 固体推進燃料について 山崎毅六 工業火薬協会誌 **28**, 5 (1967) 336
- [102]\* 最近の固体推進燃料について 山崎毅六 応用物理 **36**, 12 (1967) 1023
- [103] Deflagration of Pellet of Ammonium Perchlorate-  
Aluminum-Copper Chromite System  
K. Yamazaki, K. Kishi, T. Takahara and M. Hayashi Proc. 7th. Symp. Space  
Tech. & Sci. (1967) 69
- [104] 細い金属線で強化した固体推進剤  
岩間 彬, 青柳鐘一郎, 祖父江照雄, 船木秀雄, 山崎毅六  
宇宙航空研究所報告 **4**, 3(B) (1968) 514
- [105] 気体炭化水素の表面着火性 伊勢 一, 山崎毅六 工業化学雑誌 **72**, 4 (1969) 867
- [106] 液体炭化水素の表面着火性 伊勢 一, 山崎毅六 同 同 871
- [107] 白金系およびニッケル系金属面におけるプロパン-空気混合気の反応性  
伊勢 一, 山崎毅六 同 **72**, 5 (1969) 1087
- [108] Statistical Study on Variations of Flame Travel Time in a Spark  
Ignition Engine: Individual Characteristics of Fuels  
T. Mori and K. Yamazaki Bull. Japan Petrol. Inst. **11** (1969) 16
- [109] 炭化水素の種類と断熱火炎温度の関係  
伊勢 一, 山崎毅六 石油学会誌 **12**, 7 (1969) 519
- [110] 火花点火機関における燃焼時間の変動  
森 利淳, 山崎毅六 日本機械学会論文集 **35**, 276 (1969) 1752
- [111] 放射加熱された小金属熱面によるプロパン-空気混合気の当量比と着火性  
伊勢 一, 山崎毅六 工業化学雑誌 **72**, 7 (1969) 1440
- [112] 炭化水素-空気混合気の着火に対する臭化メチル, 四メチル鉛  
およびリン酸トリメチルの影響 伊勢 一, 山崎毅六 同 同 1443
- [113]\* 高性能ロケット燃料 山崎毅六 石油学会誌 **12**, 10 (1969) 801
- [114] 熱放射加熱表面による炭化水素の着火性と機関燃焼室  
における堆積物にもとづく表面着火性との相互関係  
伊勢 一, 山崎毅六 工業化学雑誌 **72**, 10 (1969) 2235
- [115] 過塩素酸アンモニウム-亜クロム酸銅-アルミニウム系  
ペレットを含む混成固体推進剤 岸 和男, 山崎毅六 工業火薬協会誌 **30**, 3 (1969) 131
- [116]\*\* 炎の構造と性質 日本機械学会306回講習会教材 (1969)

- [117]\*\* 燃焼現象について 山崎毅六 石油学会 9 回講習会教材 (1967)
- [118]\*\* エネルギー化学 山崎毅六 燃料協会講習会教材 (1969)
- [119]\* 外燃自動車エンジン 山崎毅六 燃料協会誌 49, 314 (1970)
- [120]\*\* 燃料および潤滑油の発動機試験 山崎毅六 機械の研究 4, 1 (1952) 41
- [121]\*\* 1952年国際燃焼シムポジウム I, II 山崎毅六 同 5, 4-5 (1953) 267, 331
- [122]\*\* 燃焼の研究についての見聞 山崎毅六 化学と工業 8, 9 (1953) 318
- [123]\*\* 液体燃料の合成 山崎毅六 最新化学工業大系 (誠文堂) 7 (1942)
- [124]\*\* 燃焼-燃料 山崎毅六 熱機関体系 (山海堂) 3 (1956)
- [125]\*\* 爆発と燃焼 山崎毅六 現代化学 (岩波) VIIIE (1956)
- [126]\*\* 新しい航空燃料 山崎毅六 新しい合成化学 (共立) 9 (1965)
- [127]\*\* ロケット燃料 山崎毅六 近代工業化学 (朝倉) 材料化学 11-1 (1970)
- [128]\*\* The Theory of Resonance and its Application to Organic Chemistry  
G. W. Wheland 共訳 (技報堂) (1950)
- [129]\*\* The Chemistry and Technology of Plastics R. Nauth 共訳 (朝倉) (1950)
- [130]\*\* 噴射推進剤 山崎毅六 自然 13, 2 (1959) 3

	特 許	特許番号	特許登録	共同発明者
[特一 1]	炭化水素の重合法	154276	1942-12-16	
[特一 2]	パラフィン炭化水素の脱水素法	156040	1943-4-15	
[特一 3]	同	156461	1943-5-11	
[特一 4]	同	157866	1943-7-21	
[特一 5]	常態においてガス状の不飽和炭化水素の処理法	164018	1944-5-13	
[特一 6]	燃焼速度を大きくする機関装置	221551	1956-4-24	
[特一 7]	燃焼の自己着火性を改良したディーゼル機関装置	221827	1956-4-30	
[特一 8]	イオン電流によりノッキングの強さを測定する方法	225255	1956-9-10	飯沼一男
[特一 9]	ポリウレタン系混成固体推進剤の製法	442518	1965-3-17	
[特一10]	燃焼速度を増加せしめる物質を含有する混成固体推進剤の製法	469272	1966-3-24	
[特一11]	カルバミン酸エステルを主燃料結合成分とする混成固体推進剤の製法	469273	1966-3-24	
[特一12]	ポリブタジエン系固体推進剤の製造方法	517428	1968-3-7	得猪治輔
[特一13]	ポリブタジエン系混成固体推進剤の製造方法	558235	1969-8-15	田中 稔, 得猪治輔
[特一14]	Composite Solid Propellants	U. S. Patent No. 3454437,	1969-7-8	K. Kishi
[特一15]	カルボキシル基を保有するポリブタジエンの硬化を促進する方法	531827	1968-11-18	得猪治輔
[特一16]	混成固体推進剤	442519	1965-3-17	
[特一17]	燃焼速度を減小せしめる物質を含有する混成固体推進剤	492738	1967-4-25	