

■日本燃焼学会創立50周年記念特集■

再録：燃焼研究第66号(1984)29-44

あかとき

山崎 毅六

自由な題でよいから寄稿するよにという有難いお申越しを編集部からいたゞき、はて、どうしたものかと思案に余った。折角の勸めなので、燃焼畑に近づいたはずみ、初参加の燃焼シンポジウムとその余波など一燃焼族にとって正にあかときに当る頃の新鮮な印象の中からいくつかを抽出して書いてみたい。

I 7 特

東京大学航空研究所で航空燃料の研究に携ってから初めて参加した研究組織が日本学術振興会第7特別委員会であった。燃料および潤滑油の国を挙げての研究委員会で、当時の情勢から航空用を対象とした、いうまでもなく、直接間接に燃焼研究にも関係していた。学術誌、機関誌の抜刷を含めた委員会報告の扉にある序文と構成からその性格がわかる。

序

日本学術振興会第7特別委員会は第5並に第9の両常置委員会に所属し、航空燃料及び潤滑油の研究を目的として昭和12年10月に設置された。

此委員会は3分科に分れ、第1分科は航空揮発油、第2分科は航空ディーゼル油、第8分科は航空潤滑油に関する研究を管掌する。之等の研究は航空機の発達並に優秀化に重大なる関係を有するもので、我国に於ては特に根本的研究に依り新機軸を出し、国産資源より最適なる航空燃料並に航空潤滑油の生産に急がなければならないものである。

現在本委員会は多数の委員及び嘱託員の熱心なる努力に依り研究に邁進し、既に相当の成果を収むるに到ったものである。研究の経過は時々中間報告として概要を報告して居るが研究の或程度に纏り次第に詳細なる報告として印刷に附することゝしている。

第7特別委員会委員長 田中 芳雄

第7特別委員会構成

第1. 目的；一國航空機の優劣は、空中戦が重要な役割を演ずるに至った近代戦に於ては、その勝敗を左右する鍵鑰である。而して航空機の心臓部をなす航空発動機に於て、

之が使用燃料は其効率を支配する重要な素である故、根本的研究に依り新機軸を出し、最も効力の大なる最適燃料を製出することが、航空機の優秀化を実現する捷徑である。仍て各方面の専門權威者による綜合研究を行い、一日も速に自給自足原料より最適航空燃料を得んとするものである。

第2. 調査研究事項及其分担者(次項参照)

第3. 委員 ①第1, ②第2, ③第3 各分科会

*委員長

田中芳雄*③	井上春成①	石川竜夫
池部滝三郎③	氏家長明	遠藤永次郎
大島義清①	加治木須恵人	嘉納吉彦
加藤セチ①	喜多源逸①②	久保田芳雄
桑田 勉①③	小林久平①	小林辰男③
小林良之助②	小松 茂①②	児玉信次郎①
崎川範行②	堤 繫②	富塚 清③
永井雄三郎①②	中西不二夫①②	波江野繁
伴 義定②	船越重男	蒔田三男
馬詰哲郎	松笠 潔	御宿 好
水島三一郎①	水田政吉①	山口文之助③
山崎毅六①	吉田又彦	渡辺伊三郎
嘱 託：	稲葉弥之助③	大塚 博①
滝沢益二③	高月竜男③	曾田範宗③
永井芳男	八田桂三①	松原文雄③

多くの故人となられた方々のご冥福を祈る。時局の厳しさと共に委員会の活動も次第に窮迫してきた。昭和19年には学術研究会議に噴射推進委員会が設けられ、遅滞ながら噴流推進の研究組織が編成された。一方、技術院の外郭団体として航空技術協会が発足し航空関係の各分野における研究、技術の進展を図ったがもう手遅れとなった。このような時局の激流に漂いながら、航空機を最先端とする輸送機械における燃料および燃焼の基礎研究がどんなに重要であるかを切実に悟るあかときになった。

II 相性

資源に乏しく、海に囲まれているお国柄もあつて繁栄した海運も敗戦により壊滅した。平和の回復と共にその復興

が計画され多くのジーゼル船が建造された。それらの中で、太平洋を航海中に主機停止のため漂流する事故が頻発し、その原因説明が急がれた。たまたま縁があって三井造船の研究所の方からこの問題を考えるよう依頼があった。雲を掴むような心地で考えているうち燃料油の相性の問題に起因しているのではないかと思うようになった。相性は燃料油種間の相溶性に関係した燃料油の性質である。燃料油を留出燃料油と残留燃料油とに大別する。石油原油を蒸留して蒸気圧に応じて多くの留分とし、留出油製品とするが、蒸発しない部分を残留油と称している。重油の大部分はこれである。ジーゼルには残留油に比べ高価な留出油を用いるのが建前であったので保証と絡み製造側は軽油使用を推薦することになる。運航費中で燃料費の負担は重く、船会社は運航経費を節約しようとして残留燃料油の混用に走った。

この異なる油種の混合に問題があり、相互の性質が適当でないとき安定した混合油にならないことに核心があると睨んだ。一般に残留油に炭素・水素比の小さい燃料油もしくは低沸点の留出油を混合すれば、分子量が大きくなり、炭素質の多いアスファルテンが可溶分のマルテンと分離してくる。重油のような残留燃料油はマルテン中の高分子芳香族炭化水素がアスファルテンを吸着したミセル粒子を作り、これがマルテン中に分散して平衡状態にあるコロイド系をなしている。したがって溶解性の異なる油種を系外から混合すれば溶解平衡が破れてアスファルテンを析出し、スラッジを生成する。残留油のマルテンに対する混合油種の芳香族性に許容限界があって、芳香族分が限度より少いときは均質で安定した混合油にはなりにくい。

相性の原点がここにあるとしても、その仮説を実船で立証しなければならない。

かねて昭和27年8月にマサチューセッツ工業大学で開催される第4回燃焼(国際)シンポジウムに研究報告を応募していた。幸に受理され、MITのH. C. Hottel教授(第4回委員長)から滞在費付き招待状が舞込んだ。はたと困ったのはその頃全く渡航の術がなかったことであつた。そこでちょうど相性の実証問題があつたので希望を述べたところ、航海中の燃料油の現場における取扱い、事情などを調べる名目にして、三井造船のご厚意で三井船舶のパナマ経由ボストン行きの定期貨物船に便乗を許され、参会することができた。文字通りの渡りに船ということになった。大圏航路でサンフランシスコ、サンピドロ(ロスアンゼルス)に寄港してパナマ運河を通り4週間を費してニューヨークで下船した。クインズに住む義従弟の所に数泊してからケンプリッジまで車で送り届けてもらった。新築の院生寮が解放され、その一室に会期中宿泊した。お上りさんよろしくの赤毛布どころか赤外毛布であつた。シャワー、便所など見透しがよすぎたのに辟易した。また、カフェテリアなるものを知らず、Lewis, von Elbe, Hottel諸博士などお歴々に誘われ、どうしてよいか当惑しながら前の人の真似をしてちぐはぐの食物を持ってテーブルについた。バター

は嫌いかわかれ、実は欲しかったといったら取ってきてくれた。砕き氷の中に埋めてあつたことが分つた。食事中脇の下から汗が流れ、喋らなければならないし、文字通り閉口した。

本番の研究発表にも珍事があつた。予め念入りに書き上げたポスタを持ち込み、それを使って喋るつもりでいた。見回したがそれを吊す道具もなく立往生となり、Hottel教授が粘着テープを探してきてくれて急場を凌ぐ羽目となつたばかりでなく、電灯をつけた明るい部屋で喋つたのは自分だけであつた。すでにそのころ全発表者がスライドなるものを用い、部屋を暗くしたからである。このごろはポスタセッションがあつてポスタを使うけれどもそれとはちがつた手法であることはいふまでもない。スライドという道具を知らなかった。幸いに内容に興味をもった人がいた。カーチスライト社とクライスラ社に属する人々で、前者は散会後にニューヨークの滞在先まで追いかけてきて、ニュージャージー州ウッドリッジ工場まで著者を引出した。工学研究部の看板が掲げられた部屋で技術者に取り巻かれ質問攻めに遭つた。なぜ特許を取らないのかには返答に窮した。そのとき、瞬時にコピーできるのを見てびっくりした。

お上りさん道中のことが先行してしまつたが、そのときの発表題名は“An Augmented Flames in an Engine Combustion Chamber”であつた。電気点火エンジンにおける異常燃焼の一つにノック現象がある。扉をノックしたときの音に似た数kHzの音を発することからその名がある。実害はそれが発生すると燃焼室壁への熱伝達が促進され、熱損失を増すばかりでなく、激しくなればピストン冠などを焼損し、破損につながることである。

その発生機構は点火栓から伝播進行する火炎帯の上流にある未燃ガスが、加熱圧縮されて高温高压となり、不特定多数の核から自己着火し、一瞬に燃焼することによる衝撃波の生成に起因する。点火時からの経過時間を横軸に、時間を縦軸にとれば、未燃ガスの燃えつきるまでに要する時間曲線は右下りに零に達し、着火おくれ曲線は急速に下つてある定値に近づく。この両曲線が離れていればノックは発生しないが、接するか交わればその時点でノックが発生する。その強度はその点が左方に片寄るほど自己着火分が多いために大きくなる。ノックを防ぐには同一燃焼条件であるならば自己着火温度が高く、着火おくれ時間の長い燃料を用いればよい。また、同一燃料の場合には、その着火おくれ時間内に火炎伝播により燃えきるようにすればノックしない。燃料のノック性をオクタン価で示しその大きい方がノックを起しにくい。燃料のノック性はその組成あるいは自己着火温度を高くする化合物の添加によるので化学オクタンということもある。これに対し、燃焼室形、冷却系などの設計で着火おくれと燃焼速度の関係によるものを機械オクタンともいう。

機械オクタンは運転条件たとえば回転速度を大きくすればある程度まで大きくなる。燃焼室内ガスの乱れと共に火炎伝播が増速されノックし難くなるからである。伝播する

火災帯の上流に強い乱れを発生させれば未燃部分の燃えきるまでの時間が短くなり、機械オクタンが得られる。そこでピストン冠と燃焼室天井との間に狭い間隙を形成し火災がそれを通してのように強制できれば激しい渦に伴う強い乱れが発生し、火災は増速する寸法である。この考えを実験で証明した研究について発表した。

燃焼シンポジウムは第3回まではアメリカ化学会の一部門が開催していて第4回から独立して The Combustion Institute が開催している。期間中に歓迎会、観劇会、演奏会、晩餐会、見学会などが組込まれ、参加者も一ヶ所にまとまって滞在できる方が便利で学生の宿泊設備を利用するためか夏休みの時期が選ばれている。井中の蛙みたいなのは眼に映る者すべてが新鮮で驚きであったというのが偽りのない本音であった。

辞書にはつぎのように説明されている。

SYMPOSIUM (Webster New International Dictionary),

L. or Gr. Symposion: a drinking party

- In ancient Greece, a drinking together; a comotation usually following the banquet proper, with music, singing and conversation; hence a banquet or social gathering at which there is free interchange ideas.
- A conference at which a particular topic is discussed and various opinions gathered.

この中の前項の内容を忠実に実行しているわけで特別の発想でなかったようであった。

およそ1ヶ月に及ぶ大西洋岸の寄港期間を利用してのシンポジウムその他の用件を済ませてから空路ビューストンまで追いかけて乗船し帰国の途についた。メキシコ国境を流れているリオグランデに沿うブラウンスビルを最後にしてパナマ運河の入口にあるクリストバル港で問題のバンカ重油を積み込み、山越えに入った。ロックを二つ越して山上のガツン湖に入り、順番を待って三つのロックで下山しおよそ10時間で太平洋側に出た。パナマ領海を離れてからいよいよバンカ重油専焼の実験が始まった。事故を起すと領海内では厄介なことになる恐れがあるためとわかった。

主機排気を利用したボイラ蒸気加熱による簡易燃料加熱器を船内で工作し、燃料ポンプ上流に組込み、燃料粘度を留出油のそれに近づけて燃料噴霧の状態を相似させるために、約90℃まで加熱した。

夜10時に切換えてからは船室にいてもエンジン音が気にかかり、夜明けから日没までは排気の状態を注視する日課が横浜まで約3週間続いた。その間、機関の関係者は燃料系統に直列に置かれた清浄機および清澄機の二つの遠心分離機で分離されるスラッジの処置で不眠に近い労働に追われたことが嘘のようだと喜ばれた。大圏航路には珍しい時化の少ない航海の由であったが、楽しかったなど暖気にもいえたものではなかった。

事故が多発していたので、入港を待ち構えた技術陣が乗船し直ちに点検し始めた。間もなく今回何をしてきたかという大声が耳に入り、大変なことになったと思ったら、こ

んなきれいな燃焼室は最近なかったからということで大いに面目を施すことができた。航海中の全責任を負う船長は勝手な実験を許す理由がない。もし事故でも発生したら大変であったわけである。

バンカ専焼の方がよかったことを実証でき問題も解決された。燃料油の相性の奇縁で、あかときの清々しさを感じた。

III 烏賊

読み方が難しく、意味深長な漢字句がある。題字もその一つにちがいない。これを“いか”と読める人はいまでは少数派族であると思われる。辞書でつぎの記述を見出した。「烏賊魚常自浮水上、烏見以為死、便往啄之、乃巻取烏、故謂之烏賊魚(南国誌)」字源、水上で死んだふりをし、烏が喰べに近づくとそれを逆に巻きとるという意味である。利口な魚である。10本の足をもち、その中の長い2本で餌を捕えるという。頭部に噴孔をもち敵の襲来などいざというときに体腔中の海水をそこから一挙に吐出して噴流とし、その反動を利用して推進する特技がある。奥の手の墨を出し煙幕を張るほか、噴流推進で素早く難をさけ身を守る面白い習性を具えている。

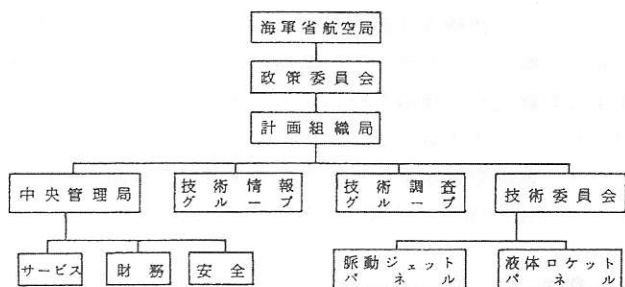
噴流推進の画期的な進歩発達を促進するために、“PROJECT SQUID”という研究計画がアメリカで生れた。いかの噴流推進に因んだ機知に富んだ命名をすばらしく感じた。もちろん、こと推進に関連するすべての基礎研究を網羅してその守備範囲としていた。

燃料油の相性の問題で参加できた第4回燃焼シンポジウムのご縁で、翌学年度から州立デラウェア大学の化学工学科で客員研究教授として研究することになった。B. Lewis 博士のお口添えで Kurt Wohl 教授のご厄介になった。このときの俸給や研究費が実はこの“いか計画”に依っていたので忘れられないほど深い印象が残っている。

海外の他人の屋敷で始めて研究したので予想もしなかった多くの体験をし、その後の燃焼関係の仕事に役立った。自分の研究行脚のあけぼのに当たったので、この機会に“いか計画”ならびにその周辺について、どんなものであったかを知っていただく積りでかんたんに紹介したい。燃焼研究の隆盛を双肩に担う会員の方々の参考になれば幸である。

会員の方々にはこの研究計画から支援されたことを付記した報文などの印刷物に接したことがおありのことと思われる。

この計画は昭和21年5月に創設された。基礎研究に限った総合研究計画で海軍省の航空局と研究局が液体ロケットおよび脈動ジェットの開発、設計、生産に欠くことのできない基礎研究を支援する目的で始まり、コーネル、ニューヨーク、プリンストン、パデューの各大学とブルックリン工科大学が最先に参加した。後には、ジョーンズホプキンス、カリフォルニア、ノースウェスタン、ダートマウス、デラウェアの各大学、マサチューセッツ工業大学の他、エキシメンタルエンジニアリングリサーチ、アソシエイツイ



ンコーポレーション, アトランチックリサーチコーポレーション, ビューロオブマインズなど民営の組織も参入し, 規模が広がった。

プリンストン大学がこの計画を管理する本部となり, つぎの組織で運営管理された。

関係大学の協議により, 中央政策委員会を設け, 構成員には研究の指導管理に有能な委員を当てることになった。委員長にはプリンストンの H. S. Taylor 化学科長が当り, 参加各大学の学生部長, ユニオンカーバイド副社長で編成され, T. von Karman 教授もカリフォルニア工科大学航空研究所長, 陸空軍諮問委員長として名を連ねていた。

2年後の昭和23年には海軍と空軍の各研究局によるジェット推進の共同研究となり, さらに28年には陸軍の兵器研究局も参入し, 名実ともにジェット推進の総合基礎研究計画に発展した。

これと並び, 飛び道具の総合基礎研究に“PROJECT BUMBLE BEE”(丸鼻蜂)というのがあり, この命名にも感心した。

立派な研究計画がわが国でも目白押しで目新しくはないが, 縦横に総合されたものがあるかどうかは知る由もない。

最初の番組報告にもとづいて昭和21年6月30日に初の“いか”計画の番組がプリンストン大学から海軍省に提出された。各大学で利用できる研究装置および研究者の提案した研究から集成されたので, 設備の新設は考えず, 具体性に富んでいた。政策委員会の厳選した計画による成果の即効性と具体性に重点が置かれたようであった。研究課題を紹介する。

コーネル大学, コーネル航空研究所

この研究計画の第1号の課題を引受けたのがアイサカの大学とバッファロの航空研究所であって主な研究事項はつぎのようであった。

(1) 流れ理論とその風洞による研究: マッハ数1.7までの振動ジェットによるデフューザ, その取入口, 吸入弁, 排気ノズル, 推力増加流路における流れ特性および流れ損失についての研究で, 淀み圧力, 静圧の流れ方向分布と共に衝撃波の性状を把握し, 脈動ジェットにおける断続燃焼に相似させた脈動背圧を実験に取入れたものである。

(2) 脈動ジェット燃焼の研究: 火炎伝播と火炎冷却に対する乱れ効果および燃焼理論の研究であって, 燃料組成, ガスの圧力と温度, 乱れ強度, 着火方式などの火炎伝播に及ぼす影響の解明に高速度写真その他の手法を駆使して火炎の状態を分析すると同時に管内の火炎伝播について, 管流の束縛による爆発波への移行, その維持条件を明らかにしようとした。火炎の状況を多数のイオン間隙により計測し, 火炎帯の多数点のガス試料を凍結ガス分析法で分析して燃焼速度を解析しようとした。

(3) 耐熱材料および耐疲労材料の研究: 脈動ジェットエンジンの重要部品である吸入弁材料, 被覆材料およびそれらの生産方式の開発に誘導加熱被覆ガンを導入することを考えた。

ニューヨーク大学

ブロンクスおよびマンハッタン構内の施設が使用され5項目について研究を進めた。

(1) 燃焼に対する乱れ効果: 脈動ジェットエンジンの性能について, 制御された初期乱れによる火炎運動, 制御された乱れによる定置火炎, 最適モデル, 不均質ガスの統計力学などを研究し, いずれも制御された脈動エンジン内における状態に相似した乱れおよび渦流場における火炎特性と適当な助変数を求めようとした。高速度写真からの解析によれば脈動エンジン燃焼室内における火炎速度は60 m/sにもなった。

(2) 熱伝導および熱伝達: 液体ロケットエンジンおよび脈動ジェットエンジン用の鋼その他の材料について, 熱伝導度および比熱の温度依存度および加熱率による変化を求めようとした。

(3) 火炎運動および相似性: 脈動ジェットおよびロケットジェットにおける火炎特性および粒子運動, 圧力, 温度, 密度の測定により, ガス運動を相似させた水流を用いた両ジェットのガス運動モデルの特性を明らかにした上, その結果からジェット装置の内部ガス力学の理論解析を試みた。さらに透明の脈動エンジン模型および実物エンジンによる吸入弁の定常流および脈動流中における特性を求めようとした。

(4) 計測装置: 過渡推力, 圧力, 温度, 振動ガス密度, 速度の計測装置としての電子機器と光学機器の開発研究であって, 推力および圧力の計測には磁歪式計器が最適であり, 振動ガス温度にはナトリウム熱放射強度計またはナトリウム・カリウム熱放射強度比を光電増幅法で求めるのがよく, 粒子速度は透明ジェット管による影写真もしくはシェリーレン写真が適しているとした。

(5) 非定常流および超音速流の抗力特性: 写真, 風洞試験装置, 理論から脈動エンジンの非定常流もしくは超音速流中の抗力特性を求めようとした。流れ線頭部に代えて放物面横形を用い, 外部流れを非定常ポテンシャル流れとし, 境界層が非圧縮性かつ非定常で放物面表面から脈動熱伝達を受けるものとした。圧縮性および脈動ジェット吸入効果

などの因子を組込むことも試みた。

ブルックリン工科大学

(1) 亜音速および超音速における弁機構：往復運動もしくは回転運動をする弁機構の解明が目的であって、周期運動する弁の表面に対する周期変動圧縮流による空気力学力の作用下における弁機構の運動を解こうとした。また二次圧縮流理論を各種の弁に適用し流れ微分方程式の特別解を研究して簡易な弁形を求めようとした。

(2) 耐熱材料：新材料の実用評価における破壊の原因究明、推進条件において一層好ましい耐圧、耐熱、耐食の各性質を具備した合金の粉末冶金の応用を含めた開発、熱交換条件および高温下における高速疲労、応力疲労などを重視した耐熱合金、耐熱材料の開発に要する新技術の開発を期し、この場合にも粉末冶金技術を取り入れることにした。

プリンストン大学

航空工学科航空研究所でつぎの3研究課題が取り上げられた。

(1) 境界層：層流境界層の安定性、外部超音速流れの境界層に及ぼす相互作用を回転体、翼における圧力分布に重点をおいて解明し、管内とディフュザ内の衝撃波の相互作用をも解析しようとした。遷音速流における相互作用は翼表面の流れ模様および圧力の分布に強く現われ、翼後縁および回転体上の超音速流に対しても同様に重要であることを確かめると同時にマッハ数、レイノズル数、翼後縁の衝撃波強度、翼に対する効果を明らかにしようとした。

(2) 燃焼：高速燃料酸化剤、流れ着火性、効率、後燃えおよび推力；減圧効果、イオン化と火炎の相互作用；光学および質量スペクトル；断熱発熱反応など他の研究計画課題と重複しているが、“いか”計画の燃焼研究に対し間接ながら有効な貢献が期待された。

(3) 高速ガス流の測定：光学手法、干渉計、X線およびシュリーレン分析を駆使してジェット性能および高速ガス流を研究しようとした。

パデュー大学

研究財団経由で機械工学、物理、化学、化学工学科でつぎの7研究課題を引受けた。

(1) 計測：高速変動ガス温度の計測に対し、光電管、光温度計、熱電対保護材および支持材、おくれ時間定数に対する寸法効果、吸引熱電対におけるガス速度とおくれ定数の関係、熱線計測方式などについて、ガス速度、ガス温度の変動と時間定数の関係を求めようとした。

(2) 連続燃焼：連続燃焼における諸問題、相似則の縮小限界、噴霧模様、粒度分布、微粒化、ノズル位置、噴霧速度、空気流速など燃料供給についての問題、乱れの有無、一部空気の下流供給、供給空気量とバーナ性能、在来燃料の知見の新燃料への適用、研究装置など種々の研究が用意された。

(3) 腐食生成物：高温、高速のガス流により腐食した材料表面層の構造を電子回折、X線分析、化学分析、分光分析、および放射性トレーサ法で決めようとした。

(4) 酸化反応：温度、圧力、反応体濃度、触媒の酸化反応に対する効果をポンプ法で求めるのに燃料、酸化剤の消費速度、反応物生成速度、一定時間生成物などの測定によるようとした。

(5) 熱伝達に対する放射効果：ガス管流の高温の熱放射係数と熱伝達係数を求めようとした。約1,100℃の水蒸気、炭酸ガスなどの純粋ガスを金属管に導入した場合のガス降下温度から壁面への全熱伝達量を求め、その中の熱放射分と対流分とを区別するために3手法を試みた。対流分を分離するために同一条件で窒素を導入して計測し、熱放射係数とガス特性差から補正して求める方法と、熱放射を無視できる低温ガスの測定値から対流分を知り、対流係数温度効果の補正をして高温放射分を出す。また対流熱伝達係数はガス流の質量速度で変化するが熱放射熱伝達係数は変化しないのでこの相違を利用して種々のガス流速の下における熱伝達量の測定値からそれぞれの分量が求められる。たゞし、低速流における自然対流と伝熱が問題に残る。

(6) 燃料および酸化剤の熱力学：生成熱、燃焼熱、比熱などの熱力学定数を脈動ジェットエンジンに用いる各種の燃料および酸化剤について実測し、新燃料の探索に役立たせようとした。

(7) 燃焼熱の測定：多種の化合物について燃焼熱を測定し新情報の集積を図ろうとした。

“いか”計画は年と共に次第に活性化し、その守備範囲の裾野を広げた様子は、内容がつぎのように分けられることから窺える。

流体力学*	熱伝達*, 流体特性
反応動力学*, 熱力学	燃料液滴, 噴霧
火炎温度, 分光, イオン化	着火, 消炎, イオン化
火炎構造, 安定性	液体燃料の燃焼
火炎特性*, 火炎伝播*	計測, 試験装置
燃焼分光*	耐熱材料*
ジェット推進エンジン*	

(*印 最初の分類項目)

計画の進捗状況は大そう厳しい。年2回の中間報告を出すのはとにかくとして、プリンストンの本部から研究内容を正確に理解できる専門家が派遣された。研究室を直接に訪問して現物を詳しく観察すると同時に、研究者と膝を交えて懇談しながら進行状況を把握し評価していた。紙上の文字だけの報告では済まされない慎重なものであった。考えれば当りまえのことながら大そう驚いた。

デラウェア大学化学工学科の Wohl 教授のところで“いか”計画の一つの研究をすることになった。そのとき選んだ研究課題は“Experimental Study of the Effect of Cooling on Flame Front”であった。火炎帯の近くにその中の熱および励起ラジカルを吸収する冷却壁がある場合の火炎の挙動を

実験で明らかにしようとしたもので、具体的にいえば火炎温度と燃焼速度との関係を明らかにすることを目的とした。一般に火炎温度は他の条件が固定された場合に混合気の量論比に依存するが、それを一定に保ちながら火炎温度を変化させられることに興味があった。いいかえれば、水平に置いた熱吸収機能を持つ金属多孔板を通して予混合ガスを上方向に送り、点火して平板状火炎をその表面近くに形成させた場合、ガス流速を徐々に大きくすれば火炎帯は次第に冷却壁である多孔板に近づき、さらに増速すれば再び遠ざかり消炎する現象を実験により解明しようとしたものである。(*日本機械学会誌第60巻第465号136～141頁に一部掲載)

ある範囲で任意に定温を保持できる冷却壁と火炎帯との相互距離と同時に燃焼速度を計測しなければならない。もし水平壁面に平行な平面火炎を形成することができれば、直角方向から距離を測定することはできるが、燃焼速度を変化させる工夫が必要になる。

層流域内の任意の流速で冷却壁全面から一様に予混合気を流出させて壁表面上に平面火炎を形成させ、いわゆる一次火炎に近いものが欲しい。それに答える既知の装置にエジャートン・パウリングのバーナがあるけれども、残念ながら安定領域が狭く、冷却壁を火炎帯の近くに設けることができない。そこで、金属粉末を半融状態で成形した多孔質板を応用してみることにした。市販されていたこの種の多孔板は使用目的が全くちがうため役に立たないことがわかり、特注しなければならなくなってしまった。第2の難関はすぐ近くに火炎があるので、多孔板を定温に保持するための冷却法にあった。最も望ましいのは多孔板にヒレ板を組込み、それを定温槽に入れる方式であるが、多孔性を失うことなく工作するのが難しかったので、次善策として、供給する試料ガスに対し十分なガス路のある熱交換器を作りその平頂部に多孔板を密着させる方式によった。いうまでもなく多孔板の温度を精密に測定した。

第3の難関は全く予想することができなかったのであるが、火炎帯の幅と位置の測定法であった。その中の一つは火炎の平面性であった。多孔板の周辺では外側の空気が作用して火炎の周辺が上向きに曲るために、一次元火炎とは程遠いものになる。それにも増して難しかったことは火炎帯の幅ならびに位置の測定であった。写真法によったわけであるが、火炎輝度、撮影光学系の焦点深度の問題がある。実験ではf数83でバーナ全域に焦点が合うようにした。写真像上で火炎位置をきめるのには手を焼いた。ガス流に直角な火炎像であるが、火炎帯の流れ方向に対する境界が必ずしも明瞭でなく、火炎の縁では像の黒度が連続して変り境界を判定し難い。最大黒度の50%の点を境界線とした。実験で撮影した多数の像を全部黒度計にかけ像を横切った黒度分布曲線を作り、読みとることになった。最も難しかったのはその前段の現像処理であった。同じ感光膜の場合にも現像液の濃度、組成、温度、攪拌、現像時間など様々な因子などが黒度に係わるからである。解決策として、

標準黒度ステップを火炎撮影と同じ光学系と条件で撮影し、それを火炎写真の現像時にその隣に列べて現像し、標準ステップ像を基準にして黒度を決めた。標準ステップというのは既知の標準黒度差の像を黒度の順にフィルム上に配列したものである。

烏賊墨の関所を通り抜けてようやく目的を達し、目出たくあかときを迎えた。

習慣のちがう所で研究をしてみているいろいろなことにぶつかり、いづれも貴重な体験となり、多くの教訓を得た。そこで、その中のいくつかをご紹介してみたい。書いている間に表現、内容ともに幼稚で単細胞的な感覚にもとづいているような感じがしてきたのでお見苦しければこれから先はご省読いたゞきたい。

デラウェアはアメリカの小さい方から2番目の独立当時からある州である。古さに誇りをもち、クエーカー教の信者が多い。そのニューアークという小さな町に州立の大学がある。ちょうどフィラデルフィアとワシントンの中間の州際1号幹線道路から北に見える所にあつて、化学工学科は最も強力であった。最近ではその規模を見ちがえるように拡大しているようである。宗教上、金曜日は飲酒、肉食はご法度という敬虔な土地柄で、止むを得ない人は州外で用を足していた。

世界屈指の大化学会社、デュボンの本拠が大学から近いウィルミントンにあり、その影響力は大学というまでもなく、州にも及んでいた。

燃料油の相性のご縁で再び海路ニューヨークに着き、義従妹に大学まで送ってもらった。Kurt Wohl教授の指示を受けた後、本部に伴われAllan Philip Colburn教育事務長を訪ね紹介された。著名な化学工学者で教授を兼ねていた。本部の公証人の所で片手を挙げて宣誓を済ませてから化学工学教室でRobert Lamar Pigford主任教授、Charles William Shipman教授に挨拶して手続きを終った。主任教授から給与は毎月最終金曜日に支給されるといわれ、早速借金のお願いをしたことを想い出す度にいまでも汗が出るほどである。当時、出国のとき外貨を入手できず、懐中無一文に近かったからである。現在ではとても想像できないことである。

さて、在学中に体得した多くの事項から自分ながらに意義深いものを抽出して列記する。

(1) 産学協同：当時は毎週水曜日午前中、大学院学生が背広着用にと及んでそれぞれの研究について発表し、臨席の教授陣と討論した。そこまでは兎も角として、学外のデュボン社研究所の幹部が臨席して論議に参加するのには興味があった。場所がら多くの依託研究を出していたので当然かもしれないが、大学の教授陣も会社の討論に加わることを聞いて、産学の絆が強力であることを思知らされた。大学は基礎研究に徹し、企業は開発研究に専念する。それらを上手に総合して大きな成果を挙げるもちはもち屋の分業で相乗効果を産んでいた。

研究のスペクトルの一端を大学の基礎研究とし、他端を

企業の開発研究とすればそれらが互に重なり合う部分は存在するが、前者の研究は未来につながるもので時計の逆まわりさえ許容されることがあるのに対し、後者の研究は時計を忘れては全く意義を失うと考えている。大学で企業のような研究をしたり、企業が大学のような研究をするのでは全体として無駄が多く、大きな成果は期待できない。時間の因子が少いものは大学に委託し、適当な時点でその成果を応用して開発研究に切換えるのが本筋であると考えられる。

安全委員会：所属研究室のちがう数人の大学院生が当番委員となり、教授陣も交代で委員長となる安全委員会があった。委員は木戸ご免でどの研究室にも出入が許され、安全面の査察をし、その結果を大学院セミナーの席で公表し、不備な事項を吊し上げると同時にその改善を指示する。危険度の大きい燃焼関係の研究室では問題が多かった。燃焼装置に付属した蒸発器に液化石油ガスを導く銅管を床上に這わせてひどく叱られたことは一例である。その理由は床は歩く所で、足に触れると危険であるというのであった。水を張ったドラム缶の鏡板を切り取った容器内にボムベを倒立させ、下端の減圧弁から銅管を上方に上げ装置に連結するのが正しい。残念ながらドラム缶の縁に脇の下が支えて減圧調整弁に手が届かなかったので、蒸発量の少いのを幸に直接床上に倒立した避難措置の結果であった。彼らの手の長いのがよくわかった。

また、眼鏡の使用は厳重に励行されていて、裸眼で実験しているとひどく叱られた。わが習慣とのちがいを思知った。その他、安全面には過度と見えるほど周到に配慮されていた。

鍵の管理：大学院の学生は自分の研究室のみ開けられる鍵を管理室に登録して所持し、教授陣は建屋の出入口の扉まで開けられる親鍵を持っていた。原則として毎日定時に入口が施錠された。予め届け出しておけば便宜が与えられるようになっていたが、突然に入館することは難しい。日曜日の入館はさらに難しくなっていた。ある日曜日に自室に用件があって出向いた所、たまたま学生に入口を開けるよう頼まれたので二つ返事で開けたことがばれてひどく主任から叱られたことがあった。鍵だけである程度の秩序が確保されていた。

大学院生は研究が終った時点で随時学外に勤務して稼げることになっているので、大車輪で夜おそくまで、また休日に仕事をする。大部分が婚約者などから支援されていたようで尻を叩かれていたらしかった。

研究課題：複数の課題を用意して学生に選択させるので運不運が出てくる。層流火炎帯の温度分布を測定する手法の一つに微粒子追跡法がある。微粒子を流れに乗せ、その航跡を写真追跡して同一粒子の曲り具合から温度を算出する。そのために、流れに乗る忠実度がその成否を握るわけで、微粒子の吟味が必要である。耐熱性が高く、運動量が無視でき、しかも粒径の揃ったものが欲しい。マグネシヤ粉がふつうよく使われるが、さすがに市販されている商品

に、そのまゝ使えるものがなかった。止むなく、研究室の天井に届く高さから床まで階段上に水盤を列べ、上から水スラリとして下方に流して分別する水簾の研究に切替わった。最低水盤に最小粒度の微粉が別けられるわけで、それによって首尾よく卒業したが他の学生より大分おくれた不運の学生がいて気の毒に思ったことがある。

蔵書：定期刊行物、書籍など専有する風習があり、狭さを一層窮屈にしている国柄とは正反対に、教授室に置かれているのは僅かで物に囲まれている雰囲気ではない。図書館の設備がよく、必要な部分だけ迅速に複写して整理できるらしかった。また、教室には共用の有能な秘書がいて定期雑誌の論文の抄録をカードに整理しておくことができたようで書類入れからすぐ必要なものを抽出できるようになっていた。雑誌や書籍の利用効率がよい上に、大部の著作がよく出版される所以もその辺にあるのではないかと感じ取った。

研究室、廊下：原則として廊下には一切戸棚その他の物入れが置いてなかった。また、実験室の周辺にも戸棚や物置台がなかった。一つの実験が終われば直ちに装置を解体し、金属管、高分子管の短いものまで整理して中央の保管室に返却し、実験室の床上には何も残されない。新に実験装置を組む場合には、必要部品を書き出して中央保管室から借出してくる。入手できないものだけを新調していた。したがって、計器類に至るまで死蔵されるものはほとんどなく、その回転効率は極めてよいと思われた。もちろん中央保管室には専属の有能なデュボンのOBが常駐して常に手入れや整理をしていた。

大学の研究所であったにもかかわらず、航空関係であったためか占領軍からの風当たりが強く、何回か査察された。そのとき、廊下や実験室に物置きが所狭しと並び、同一の計器が複数の処で見付かったり、多数の暗室がわかり、それらを一カ所に集中整理するよう勧告されたことがあった。非能率であることは確かでしかも汚い感じを与えたにちがいない。その意味を切実に理解でき、なるほどと初めて領けたことを覚えている。

工作室：研究に必要な機器を手近の工作室で作ってもらえれば、能率上も非常に都合がよい。大学の工作室にデュボンOBと記憶している老練有能な職長がいた。図面を添えて製作を依頼すると、必ず自分で研究室に出向き、研究者と納得できるまで相談し、必要があれば仕様を修正してから工程を組んでくれた。有効な助言まで出てきたほどであった。

燃焼研究はほとんどが化石燃料に密着していたのであるが、その内容は石油ショックを境として好むと否にかかわらず次第に変ってきた。もはや在来の燃料類だけに執着することは許されなくなり、石油系でない新燃料も登場しつつある。

燃焼現象がエネルギー変換の一部をなす限り今後益々その研究の重要性を増すにちがいない。とくに応用の広く有効な基礎研究について一層重視されるであろう。

燃焼現象の対象である広義の燃料についての情報，知識の収集を図って燃焼現象について優れた研究をし，乏しいエネルギーの有効利用に貢献していただきたい。

山崎 毅六 先生 御略歴

生年月日 明治42年10月23日生

出生地 静岡県掛川市掛川595番

住 所 東京都世田谷区代沢4丁目260番地
東京都世田谷区代沢4-17-6

学 歴 昭和4年3月 東京高等学校理科甲類卒
昭和7年3月 東京帝国大学工学部応用化学
科卒

職 歴 昭和8年9月 東京帝国大学航空研究所業務
嘱託

昭和16年7月 東京帝国大学助教授，航空研
究所員

昭和18年10月 東京帝国大学第2工学部航空
工学科授業担当

昭和19年2月 学術研究会議研究班員

昭和19年9月 戦時研究員

12月 噴射推進機研究委員会委員

21年3月 東京大学理工学研究所員

25年6月 工学博士

28年9月 デラウェア州立大学客員研究
教授

29年12月 東京大学教授

32年2月 航空技術審議会専門委員

12月 名古屋大学講師

33年4月 航空研究所に配置換

34年2月 工業標準調査会臨時委員

35年5月 宇宙開発審議会委員

37年7月 技術士試験委員

38年4月 名古屋大学大学院工学研究科
応用化学科専攻課程授業担当

39年4月 宇宙航空研究所に配置換

42年4月 慶応義塾大学講師

45年3月 定年退官

5月 東京大学名誉教授

52年4月 埼玉工業大学教授

53年1月 燃料協会参与

55年4月 石油学会顧問

58年3月 埼玉工業大学名誉教授

賞罰 昭和38年4月 石油学会賞

44年10月 通商産業大臣表彰

46年1月 燃料協会賞

46年10月 藍綬褒章

56年11月 旭日中綬章