国際エネルギー機構 (IEA) の燃焼研究 と日本の参加

Combustion Research Programme in International Energy Agency (IEA)
and Japanese Participation

浅 沼 強*
Tsuyoshi ASANUMA

Key Words: Combustion, Heat Engine, Measurement, Optical Engineering,
International Cooperation, IEA

1. はじめに

IEA においては、レーザ利用の新しい燃焼計測の開発と適用を軸とする燃焼研究のための国際協力が活発に進められている。他方、我が国においても全く同様な燃焼研究が、学界や産業界の強い関心を集めており、IEA からの度重なる要請もあって、1983 年春、IEA 燃焼研究の国際協力に参加することになった。これらの経緯について述べる。

2. レーザ利用による燃焼研究

石油エネルギーの大半を消費しているエンジンや火炉の燃焼は、燃料の気化、空気との混合、熱分解、発火および発熱反応などが、拡散、伝熱、乱れなどと複雑にからみ合った複合現象である。したがって、燃焼に関与する流体の流速(乱れ)、温度、成分濃度および噴霧や粒子などは、空間的にも時間的にも絶えず変動している。それゆえ、燃焼現象を忠実に計測することはほとんど不可能に近く、いわゆるブラック・ボックスとして残され、ただ、燃焼直前、直後における情報の相関をたよりに、エンジンや火炉といった燃焼機器の研究・開発が試行錯誤的に進められているに過ぎない。

この現状を打破して、実用機器における燃焼過程を把握し解明するためには、燃焼現象に関する詳細かつ定量的なデータを集積することが先決である。最近、めざましい進展を見せているレーザ

光の優れた特性を利用して、新しい燃焼計測法が開発されている。それは 1 mm 以下の空間分解能と、ナノ秒 (10^{-6} s) という高い時間分解能をもち、しかも対象とする燃焼現象を乱すことのない非接触測定であることから、従来の燃焼計測法に取って代わる画期的な手法と考えられている。

燃焼研究に対するレーザ計測の適用は、ここ数年来急速に活発となり、すでにかんがりの成果を挙げている。たとえば、レーザ・ドップラ流速計 (LDV) は燃焼前の気液二相流、燃料噴霧流、シリンダ内の旋回流や乱れなど、また燃焼過程の火炎伝ばに伴うガス流動や副室からのトーチ噴流、さらに燃焼後の排気流れなどを実時間で測定するのに成功しており、最も実用化の進んだ計測器といっていよう。また、燃料噴霧の粒子群や燃焼生成の微粒子(すす)などの粒径や数密度などの計測には、さきの LDV による粒子カウント法が適用され、粒子密度の高いときにはフランホーフ回折法や光減衰法などが用いられ、さらにレーザホログラフィによる画像計測法も利用され始めている。しかし、実際の燃焼機器への応用例は少ないようである。次に、燃焼ガスの成分濃度や温度の計測にはレーザ分光分析法が開発されている。たとえばラマン散乱法によって、シリンダ内の燃料濃度分布やガソリンエンジンのガス温度などがすでに実測されており、また S/N 比のすぐれた CARS 法(注1)がディーゼルエンジンのガス温度の測定に用いられ始めている。なおこれら燃焼のレーザ計測法については、すでに詳細な展望があるのでここでは省く(1)(2)。

* 正員、東海大学工学部 (〒 259-12 平塚市北金目 1117)。

(注1) Coherent Anti-Stokes Raman Spectroscopy.

3. IEA における燃焼研究

第四次中東戦争の爆発を機に、エネルギー研究開発の分野における多国間協力を目的として、1974 年、経済協力開発機構 (OECD) に新しく国際エネルギー機構 (IEA, International Energy Agency) が設置された。これにはフランスを除く主要な 21 箇国が参加し、現在 42 の研究プログラムの実施協定が締結され、我が国も 22 の協定に加入している。

元来、IEA では新エネルギー技術の開発とともに、既存技術の新たな応用による省エネルギーの研究が不可欠であるとの観点から、省エネルギー関係の一つとして省エネルギー燃焼研究開発プログラム (Programme of Research, Development on Energy Conservation in Combustion) の実施協定が、1977 年 3 月、アメリカ、イギリス、スウェーデンおよびイタリアの 4 箇国により締結され、国際協力に基づく IEA 燃焼研究の第 1 期がスタートした。

この IEA 燃焼研究は、高効率、低公害で代替燃料化の可能な新しい燃焼方式や燃焼機器の研究に不可欠な新しい燃焼計測法と燃焼モデリングに関する各国の研究開発の重複を、国際協力によって最小限にとどめること、得られた研究成果に関する情報交換、専門家の交流、研究者や研究装置などの相互交換などを通じて、国際協力をより効果的ならしめることを目的とするものである。

第 1 期の燃焼研究は 1980 年に完了し、1981 年から 83 年にかけての第 2 期の後半には、ノルウェーと日本が加入し、さらに第 3 期の 1984 年春にはカナダが参加し、近く西ドイツの加入が予定されている。表 1 には参加 7 箇国の担当研究課題数が

表 1 IEA 燃焼研究 (第 3 期) の担当研究課題数

分 野	内燃機関	火 炉	基 礎	合 計
参加国				
ア メ リ カ	5	0	1	6
イ ギ リ ス	2	2	4	8
スウェーデン	0	0	3	3
イ タ リ ア	3	1	1	5
ノ ル ウ ェ ー	3	0	3	6
日 本	1	1	3	5
カ ナ ダ	2	0	4	6
計	16	4	19	39

比較してある。表の内燃機関 (Advanced Piston Engine Technology) は、吸入、燃料空気の混合、点火、火炎伝ばおよび排気を内容とし、火炉 (Furnace and Combustor Technology) は、バーナ、ガス流動、燃料空気の混合、火炎伝ばおよび排気を含み、基礎 (Fundamentals) には、乱れた反応流れ、物理化学過程、数値モデリング、計測診断などがある。具体的にいえば、レーザ応用の燃焼計測法の研究開発とそれによる燃焼現象の実時間測定に重点をおき、さらにそれらのデータを基にした燃焼モデルによる数値予測をめざすものである。

なお、このプロジェクト研究の運営は、アメリカのエネルギー省が担当し、毎年 4 月にはパリの OECD において各国から 1 名ずつの委員で構成される IEA 燃焼研究の執行委員会が開催され、また、毎年 9 月には、各加盟国の持ち回りで担当課題の研究発表会と執行委員会が開かれ、一昨年はノルウェー、昨年はアメリカ、本年 1985 年 9 月には東京で行われることになっている。

次に、各国における研究体制について触れておこう。アメリカにおける研究は、Sandia 国立研究所の燃焼研究施設 (カリフォルニアの Livermore) が主体となり、これに Princeton 大学、Bell 研究所および General Motors などが協力して活発に進められている。また、ヨーロッパ諸国の取りまとめ役であるイギリス原子力研究所内の Harwell 研究所でも、London 大学や関連の産業界との協力のもとに精力的に研究を進めている。

スウェーデンでは、国立スウェーデン技術開発庁を中心に、Chalmer や Lund 工科大学および Volvo などが協力している。イタリアでの研究は、国立研究機構内のエンジン研究所が担当し、これに Napoli 大学や Fiat などが協力している。またノルウェーでは、もっぱら Norway 工科大学が主力となっている。

このほか、カナダではカナダ国立研究機構内の空気力学研究所、カナダ燃焼研究所および国防省の防衛研究所が共同で参加する形をとっている。また、近く加入の予定されている西ドイツでは、Heiderberg, Karlsruhe, Stuttgart の 3 大学と、ドイツ航空宇宙研究所 (DFVLR) とで構成する「TECFLAM」の形で加盟することになっている。このように、IEA 燃焼研究に参加する各国の研究

体制は、国によってそれぞれ異なっているが、国立研究所と大学が主体となり、これに産業界が協力するというパターンが最も多いようである。

4. 我が国における IEA 燃焼研究

IEA における燃焼研究は、Sandia や Harwell 両研究所の活動からも明らかのように、レーザによる燃焼計測の開発とその実用化を主眼とするものであった。

一方我が国においても、すでにこれと全く軌を一にするレーザ利用の燃焼研究が開始されていた。1976 年に発足した文部省特定研究「自動車の排気浄化に関する基礎研究」の燃焼研究者を中心に、当時欧米で緒についていた燃焼のレーザ計測を調査する目的で、同年末、日本機械学会内燃機関部門委員会に「内燃機関におけるレーザ計測調査分科会」が、大学側研究委員 18 名、会社側委員 4 名の構成で設けられた。この調査結果をふまえて、また産業界からの要請もあって 1979 年に、日本機械学会研究協力部会に「RC-56 燃焼に関するレーザ計測研究分科会」(研究者委員 20 名、会社側委員 25 名)が設置された。引き続き 1982 年には、下記(注2)に示すような構成の前回と全く同様な「RC-66、流動・燃焼のレーザ計測研究分科会」が発足し、目下活発な研究活動を続けている。

(注2) (RC-66)

研究者側委員 (22 名): 主査 浅沼 強 (東海大学), 幹事 大沢敏彦 (東京農工大学), 委員 飯沼一男 (法政大学), 池上 詢 (京都大学), 植村恒義 (東海大学), 小保方富夫 (群馬大学工業短期大学部), 小沼義昭 (豊橋技術科学大学), 河野通方 (東京大学), 佐藤誠四郎 (運輸省船舶技術研究所), 清水 勲 (茨城工業高等専門学校), 大聖泰弘 (早稲田大学), 田坂英紀 (宮崎大学), 高城敏美 (大阪大学), 土井淳多 (東京大学), 中谷 登 (大阪大学), 浜 純 (工業技術院機械技術研究所), 浜本嘉輔 (岡山大学), 藤井昭一 (科学技術庁航空宇宙技術研究所), 前田史朗 (東京工業大学), 前田昌信 (慶応義塾大学), 柳 哲以 (防衛大学校), 山本芳孝 (東海大学)。
会社側委員 (37 社): 愛三工業(株), 石川島播磨重工業(株), いすゞ自動車(株), 大阪ガス(株), 川崎重工業(株), 久保田鉄工(株), 興亜石油(株), (株)神戸製鋼所, (株)小松製作所, 新日本製鉄(株), 鈴木自動車工業(株), 住友金属工業(株), ディーゼル機器(株), 千代田化工建設(株), 東京ガス(株), 東京電力(株), 東京三洋電機(株), 東洋ガラス(株), マツダ(株), トヨタ自動車(株), (株)豊田中央研究所, 日産自動車(株), 日産ディーゼル工業(株), 日本科学工業(株), (株)日本気化器製作所, 日本鋼管(株), (株)日立製作所, 日野自動車工業(株), 富士重工業(株), (株)本田技術研究所, 松下住設機器(株), 松置機器(株), 丸文(株), 三井造船(株), 三菱自動車工業(株), 三菱重工業(株), ヤマハ発動機(株)。

これとは別に、1980 年、RC-56 所属の大学研究委員を母体として、文部省総合研究(A)「レーザによる燃焼診断に関する基礎研究」が開始されて 1983 年に完了した。引き続き 1983 年より RC-66 分科会の大学側委員を中心とする文部省特定研究「燃焼現象のレーザ計測とモデリング」(計画研究 40 名、公募研究 22 名)が発足し、新しく参加したモデリング関係の研究者と有機的な連係を計りつつ、現在全国的規模の研究体制のもとに組織的な研究が進められている。

5. IEA 燃焼研究への参加

IEA の燃焼研究プログラムが、我が国における両分科会(RC-56, 66)の目標と完全に一致していたことは、偶然とはいえやはり時代の流れともいえるものであろう。

たまたまアメリカの学会出席の帰途、Sandia 国立研究所を訪問したのを機に、1980 年 9 月、同研究所の Dr. C. W. Robinson (当時の IEA 執行委員会委員長) が来日し、RC-56 分科会において研究所の現状を紹介するとともに、分科会の実状を聞きメンバとも懇談した。翌 1981 年 3 月には、Harwell 研究所の Dr. P. Hutchinson (この年の執行委員長) が来日し、RC-56 分科会において「レーザによる燃焼計測法と IEA の国際協力」につき講演し、分科会のメンバと意見交換を行った。その後、上記両氏から IEA 燃焼研究に参加するよう再三にわたり勧誘を受け、併せて加入母体として RC-56 分科会で十分であるとも強調された。なおこの IEA への加入については、RC 分科会研究者委員の熱心な希望でもあり、会社側委員の支持も得ていたので、可及的速やかに実現したいものと考えた。

しかしながら、参加に伴う研究費の分担形式は

表 2 IEA 燃焼研究 (第 3 期) 実施協定分担金

参加国	分担金 単 位 ×10 ⁶	年 度			合 計
		1984	1985	1986	
ア メ リ カ	US \$	1.5	1.5	1.5	4.5
イ ギ リ ス	£	0.4	0.4	0.4	1.2
スウェーデン	Kr	1.75	2.00	2.25	6.0
イ タ リ ア	Lir	600	600	600	1 800
ノ ル ウ ェ ー	NKr	1.0	1.0	1.0	3.0
日 本	円	200	200	200	600
カ ナ ダ	C \$	1.9	2.1	2.3	6.3

表 3 我が国担当の IEA 燃焼研究課題

- 1 内燃機関: Investigation Soot Formation and Wall-Deposition in Diesel Combustion Processes, (機械技術研究所, 船舶技術研究所)
- 2 火炉: New Approach to Industrial Burner Designs Aided by Laser Computer Techniques, (航空宇宙技術研究所, 公害資源研究所)
- 3 基礎: Measure Turbulent Combustion Flows, (RC-66, 慶大, 阪大, 群大など)
- 4 基礎: Investigate Spray Characteristics by Picture Processing, (RC-66, 東海大, 京大, 茨城高専など)
- 5 基礎: Develop Real-Time Flame Spectrometer, (RC-66, 農工大, 東工大, 豊橋技科大など).

もちろん, 我が国における IEA の窓口や参加手続きなどが皆目わからなかった. 前者についてはわれわれの要請により Dr. Robinson が 1981 年の 6 月再度来日して説明してくれた結果, この燃焼研究はいわゆる事業分担方式 (Task sharing) を採り, 各国担当の研究課題に対する資金支出を, 執行委員会に申告するだけでよいことが判明した. 表 2 には, 参加各国の分担金が比較してある.

後者については, 1981 年末, Dr. Hutchinson が来日して, 政府機関と接触してくれたが要領を得ず, 1982 年 10 月になってようやく IEA への窓口が, 通産省工業技術院のムーンライト計画推進室であること, また IEA への参加には政府機関もしくはその指定を受けた学会または協会でなければならないことなどがわかった.

ムーンライト計画室と協議のうえ, 燃料協会を指定機関とし, その中に 1983 年 2 月日本 IEA 燃焼研究委員会 (JECC) (注 3) を設置した. これは日本機械学会の RC-66 分科会と四つの国立研究所 (機械技術, 航空宇宙技術, 船舶技術および公害資源) を主体とするものであり, RC-66 の主査を委員長に, 特定研究の代表を委員長代理に, RC-66 の 3 人の幹事, これに航空宇宙と機械の両技術研究所から各 1 名, 通産省関係者 2 名の計 9 名で JECC の幹事会を, さらに産業界から 6 名の会社委員を加えて JECC 委員会を構成している.

他方, JECC の研究陣容は, RC-66 分科会の研究者委員と, これを支援する文部省特定研究のメンバーおよび上記国立研究所の関連ある研究者とからなり, その形態は西ドイツの「TECFLAM」に類似しているものの, 我が国の研究体制のほうかはるかに大きく全国的規模といってもよいだろう. また, 産業界とは RC-66 の会社側委員 (37 社)

や, JECC の会社委員の参加により, 密接な協力関係が保たれている. このような産・学協同は機械学会研究協力部会の分科会設置の趣旨に沿うことはもちろん, さらに JECC を通じて IEA への参加は, 学会の国際協力を促進する一つの試金石とも考えてよいだろう.

なお, JECC は 1983 年 4 月パリの IEA 執行委員会において, その参加が満場一致で承認された. その際提出した我が国の担当研究課題が表 3 に示してある.

最後に, 我が国が IEA の国際協力に参加することの意義とその効果につきふれよう. まず IEA 各国からの熱心な参加の要請に答えることは, IEA 加盟国の一員である我が国の当然果たすべき責務の一つであると考えてよいだろう. また, 参加による主な効果としては, IEA 燃焼研究の本来の目的でもある研究の重複を避け得ること, 逆に類似の研究者間でクロスチェックができること, また参加各国の最新情報を一般公開に先立って入手可能なこと, さらに専門家の交流, 研究者や研究装置の相互交換などを促進し得ることなどが挙げられるであろう.

しかし, それにもまして指摘したいことは, ここ数年にわたり続いている IEA 燃焼研究参加国間における専門家の頻繁な交流や, 研究者同志の討論などを通じて, 個人的に育成された信頼感や相互理解こそ大きな成果といってよいだろう. さらに, これらを基にして, 今後の各国における燃焼研究が活性化し, それに伴い研究水準のいっそうの向上がもたらされるだろうことを確信し, かつ期待するものである.

(原稿受付 昭和 59 年 9 月 3 日)

文 献

- (1) 浅沼, 自動車技術, 33-11 (昭 54), 952.
- (2) 浅沼, 自動車技術, 37-4 (昭 58), 359.

(注 3) Japan National Committee for IEA/CRD Implementing Agreement on Energy Conservation in Combustion.