

■ 論 説 ■ 第4回世界水素エネルギー会議と 米国における省エネルギー航空機

World HYdrogen Energy Conference IV
and Energy Efficient Aircraft in USA

沢 田 照 夫*

Teruo Sawada



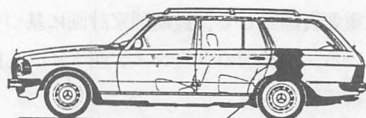
1 第4回世界水素エネルギー会議

世界水素エネルギー会議は1974年に端を發し、1975年に国際水素エネルギー協会が設立され、第1回が1976年にそして第3回が1980年に東京で開催されている。この会議の沿革ならびに内容については、日本の代表である太田教授が、本誌の80年9月号に報告されているので、ここでは割愛する。

第4回はカリフォルニア工科大学とパサデナセンターを会場として6月13日から5日間の会期で開催され約510人が参加した。日本からは武蔵工大の水素自動車展示係の学生数人を含め、30人が出席し、筆者は助手の辻川吉春君とともに講演発表を行った。

全体会議は工科大学の Beckmann 講堂で挙行され、開会式のあとの総会講演として、「過去、現代および将来の水素製造方法」、「化学工業における水素利用」、「合成燃料における水素利用」、および「輸送用燃料としての水素の利用」の4題が行なわれた。最後の講演は西独のDaimler Benz社の技師Dr. H. Buchnerによって行なわれたが、自動車における水素利用の具体例を含み、興味深く聴くことができた。

この講演では、まずこれまでの自動車に対する水素利用の概要を説明したあと、ハイドライドに蓄えられた水素によって駆動される自動車の現状、ならびに西独において1979年にはじめられた、国のプロジェクトである「道路輸送における代替燃料計画」が紹介された。このプロジェクトでは、ベルリン市において、ハイドライドのタンクを持つDaimler Benz車、十数台による走行試験と、急速な燃料再充填のための中央水素スタンドの機能テストが行なわれた。またこれと並行してBenz社のあるシュツットガルトでは実用的なハイドライドタンクを持つ車の路上試験と水素をゆっくりと再充填することにより、タンクに発生する熱の



hydnde tank (TiFe)

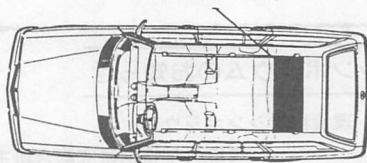
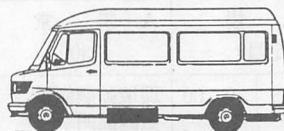
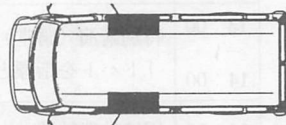


図-1 Mercedes-Benz T型実験車



hydnde tank (Mg₂Ni)



hydnde tank (TiFe)

図-2 Mercedes-Benz Van型実験車

利用法の実験がなされた。さらに電気、ガスなどのエネルギーを家庭において水素に変換し、これを自動車に利用することの可能性も試された。

ベルリンの実験は図-1に示す2.3ℓの火花点火エンジンをもつM.B. 230T10台とガソリンと水素の混合物で走るM.B. 280E5台が用いられた。230Tには3個のタンクを持っているが、各々は120kg、したがって全部で360kgであり、そのうちの280kgがハイドライドである。これに約5.4kgの水素(ガソリン約20ℓに相当)が蓄えられており、120~130kmの走行が可能である。一方図-2に示すライトバンのタンクの重量は約500kgであり、これでは約11kgの水素が貯蔵されるが、車が重くなる(約2ton)ので走行距離は160kmにすぎない。

これらの車に対する水素の充填は、都市ガスから精

*大阪府立大学工学部航空工学科教授

製された水素ガスを用いて行なわれ、充填に要する時間は約10分であった。ハイドライドへの水素の充填は発熱反応であるため、水による熱の吸収が必要になる。この場合は急速充填であるため、発生した熱の利用は困難であるが、充填をゆっくりと実施すれば、熱の利用が可能になる。この面の試験はシュツトガルトで行われた。

液体水素を燃料とする火花点火機関による自動車の実験は、すでに数多く行なわれ、この会議の展示場には、武蔵工大の古浜研究室で開発された車をはじめ、数台が並べられており、その実用性はすでに確かめられている。問題は水素の価格であり、現状ではガソリンよりもはるかに高価である。水素含有物質を用いた本格的な実験は前述の通りであるが、乗用車において燃料タンクの重量が360kg~500kgと言うのは、少し重すぎることはあきらかで、重量を $\frac{1}{2}$ 以下にすることが必要のように思われる。

石油の値段が予想された程は高騰せず、むしろ低下の傾向にあることが、水素利用への研究にブレーキをかけていることはいなめないが、会議では合計153題の講演と53題のポスター展示および2つのパネル討論が行なわれた。

一般講演では、水素の製造方法に関する研究が最も多く、石油からの製法に関するもの13、電気分解法によるもの24、熱化学法によるもの19、光分解法に関するもの7と、合計63論文であった。

つぎに水素利用の分野では、燃料工業に関するもの9、航空機、ガスタービンへの利用が4、自動車など輸送機への利用が13、燃料電池に関するもの7であった。また水素の輸送、貯蔵関係では、ハイドライドに関するもの10、液体水素に関するもの7であった。

システムの関連では、各国の現状と将来の計画を論じたもの8、システム解析が6、水素の市場と経済性に関するもの16、安全性に関するもの7であった。

パネルとしては、米、日、加、英、独の5ヶ国における水素航空機に対する対応と、水素利用の環境への影響が討論された。航空機への水素利用については、大きな関心を持っていたので、期待して出席したが、各国とも具体的な進展はあまり見られず、いずれも必要性の強調だけに終わったのは、期待はずれであった。

水素利用において、安全性の問題は極めて重要な分野であると思われるので、発表された論文の内容を簡単に紹介することにする。

論文の1つは、タンクまたはパイプラインから漏れ

た液体水素の拡散に関するものであり、漏れによって生じた可燃性の雲の拡がり方を実験によって調査するとともに、拡散を解析している。実験では 5.7m^3 の LH_2 が、パイプの先端から35秒間に直径9.1mの池に放出され、拡散状態は風下に設けられた観測塔に取付けられたSample bottleに吸引された水素ガス濃度から求められる。なお水素と空気の混合気は、断熱混合と考えることにより、局所濃度と温度の間には相関性があることを利用し、詳細な濃度変化は測定された温度変化から求めている。さらに発生した水素混合気の拡散状態は写真撮影によっても確かめられている。これらの実験は異った風速のもとで行なわれ、大気の乱れと可燃ガスの拡散状態との関連が求められている。

次の論文は原子炉において発生した水素の燃焼の危険性と、その制御に関するものであり、各種の大きさのタンクの中で、可燃状態の水素の燃焼に及ぼす乱れや湿度の影響などが測定され、燃焼を抑えるための方法が追求されている。

別の論文では、水素と空気の混合気、水素と不燃性ガスの混合気および、水素と可燃性ガスとの混合気における稀薄燃焼限界と、稀薄限界における燃焼温度が検討されている。水素に対しては初期温度が、また混合気に対しては混合割合が限界と温度にどのように影響するかを明らかにしている。

安全の論文としてユニークなのはLockheed社のBrewer氏による水素航空機の衝突事故における安全性を、他の燃料の航空機と比較した研究である。この論文では他の燃料として LCH_4 、JP4、Jet Aが取り上げられており、事故による燃料漏れ、および流出した燃料の火災の際の、乗客および周辺の人々の安全性が相対的に評価されている。 LH_2 のタンクは円筒形であり、しかも胴体内に搭載されているので、燈油系の燃料タンクに比べて破損の確率が低いこと、万一漏れた場合にも蒸発、拡散が速く、燃える可能性が少いこと、さらに万一流出した燃料が発火したとしても、 H_2 の燃焼時間は極めて短時間であるため、他の燃料の場合には起り得る胴体の熱破壊は発生しないことなどから、水素航空機の方が、事故に際して乗客および周囲の人の生存確率が高いことを、これまでに発生した航空機事故の統計と、水素航空機と従来航空機の構造の比較に基づいて立証している。

以上の様に、第4回世界水素エネルギー会議は、ほぼ第3回の東京大会と同様の規模で行なわれたが、水素の先進国である米国で開催されたことを考えると、

少し活気に乏しかった感がある。やはり石油の価格が低く落ち着いていることが、水素研究への意欲を減じているものと思われる。

なおこの会議の見学会として、NASA の Jet Propulsion Laboratory が予定されていたが、前日になって突然中止が発表された。理由は公表されなかったが、パンケットで得た情報によれば、不参加を予想されていたソ連の研究者が出席したためとのことであり、あらためて米ソ対立の深刻さを痛感させられた。

2 売れ行き不振の省エネ航空機

省エネルギー時代の航空機として華々しくデビューした、ボーイング 767、757 はいよいよ就航の時期を迎えたので、その現状を視察する目的で、水素エネルギー会議のあとシアトルへ飛んだ。エバレットの B-767 の組立工場を見学し、開発主任の B. A. Cosgrove 氏から設計過程などの説明を受けるとともに、この機種の子の日本のきびしい環境問題への適合性などについて話し合うことができた。またレントン地区の B-757 の組立工場では、販売部門に勤務している山内氏から 757 のセールスポイントなどの説明を受けるとともに、組立てラインを見学した。組立てラインでは予想に反して、B-737 が多量に流れており、B-757 の数はあまり多くなかった。

米国の空港で感じることは、B-727 の数の多いことで、どこの空港でも 727 がずらりと並んでいる。20 年前に開発されたこの機体は現在 1636 機が就航しており、姉妹機の B-737 とあわせると約 2400 機が世界中で使われている。しかし、これらの機体に使用されている P & W 社の JT-8 D エンジンは、低バイパス比であり、新しい高バイパス型エンジンに比べると燃料効率が劣っていることに加えて騒音が大きく、代替の時期に来ていると考えられており、これに代るものとして、B-767、757 が登場した。これらの機種では高速飛行でも抵抗の少ない新しい翼型を採用するとともに、非金属系の複合材料を多く使用することにより機体重量を徹底的に減少することと、バイパス比の大きなエンジンを使用することにより、B-727 に比べ、seat-mile 当りの燃料消費量が 30% 以上少くなっている。

この省エネ型航空機が生産にとりかかった 1970 年代では、1980 年代初めの石油価格は、1 バレルが 50 ドルを超えているものと予想され、多くの運航会社が競って新機種を発注した。当時の計画では現時点での B-

767 の生産ピッチは月産 10 機以上であった。しかし、現実はこれが 3~4 機程度に低下しており、757 もまた売行き不振におちいつている。

石油の価格上昇こそが航空機産業の発展に対する大きな障害と考えられていただけに、石油価格の低迷が新型機の売行き不振の原因になったことは、まことに皮肉な現象であり、総合的な市場予測のむずかしさを表わしている。

3 低燃費エンジンの開発競争

B-767、757 の不振に対して、B-737 が比較的売れているのは、B-737 の乗客数が 130~160 で、他の機種に比べて少いことが一因となっている。また YS-11 などの代替として、次の新機種は 150 席が適当とされ、我が国においても YXX としてこの機種が検討されている。またこれに対するエンジンとして、日英間で RJ-500 の開発が進められてきた。これは日本側は石播、川重、三菱重工の 3 社とロールス・ロイス (RR) 社の共同事業として、推力 2 万ポンドの高バイパス比ターボファン・エンジンの開発を行なうものであり、すでに試作機が完成し、地上運転では計画性能を実証している。しかし、これでは多くのエアラインの望んでいる 150 席機には推力不足で、現在では推力を 2 割アップした RJ-500-35 が計画されているが、新しい事態の出現によって、計画の進行は足踏みの状態にある。

さきに述べた B-757 の売れ行き不振の原因の一つにエンジンの問題がある。この機種に現在取り付けられているエンジンは RR 社の RB-211-535 C 型であるが、本年になってプラット・アンド・ホイットニー (P & W) 社が、これよりも燃料消費が 10% 以上低いターボファンエンジン PW-2037 型 (推力 37,000 lb) を発表し、引渡しは 2 年後になるが予告の性能を保證すると宣言した。このため RR 社も急きょ RB-211-35 の改善を発表したが、エアラインとしてはあわてて現在の機体を購入するよりも、新型エンジンの出現を待つ気運になり、このことが B-757 の買いひかえとなっている。

P & W 社はさらに PW-2037 の推力をさげた 150 人用のエンジンとして、前述の RJ-500-35 に比べ、燃料消費率が 5.5% 低い型を示すとともに、日英に対して共同開発を申し入れて来ている。このような強力なライバルエンジンの出現に対し、日英側はこれを無視できず、目下のところ P & W 社と、PW-2037 型の生

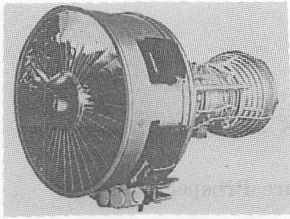


図-3 PW-2037 ターボファン・エンジン

産に加わっている、西独の MTU 社および伊の FIAT 社を加えた 5 ヶ国の間で、推力 24,000 lb 級、すなわち 150 人乗り輸送機用エンジンの共同開発が検討されている。側聞するところでは、P & W 社と RR 社の間の主導権争いにより、討議は難航しているとのことである。

現在の世界の輸送機用エンジンは、米国の P & W, GE の 2 社および英国の RR 社のビッグ 3 で抑えられており、これに割り込むことは至難の業である。このような観点から、日本は RR 社と組んで加入をはかったが、P & W 社の巨大な力に対しては、その申し出を拒否することができないのが現実の姿である。

米国では数年前より Energy Efficient Engine, すなわち E³ エンジンの研究開発を進めており、NASA と P & W 社および GE 社とが共同して、それぞれにおいて試作を行なっている。P & W 社が今回発表した、PW-2037 型エンジンは現用エンジンと E³ エンジンの中間に位置するもので、主な改良点としては、a) fan と compressor の高効率化、b) 回転羽根の先端隙間の制御、c) 燃焼室の改良、d) 単結晶タービン羽根の使用、e) 電子装置によるエンジン制御、などがあげられる。現用の大型ファンエンジンの巡航時における燃料消費率は 0.63~0.65 [kg/kg・f/hr] であり、RB-211-35 では約 0.6 であるのに対し、PW-2037 は 0.563 と低下しており、重量も RB 211 よりも約 300 kg 軽くなっている。この型は 1983 年から使用されるが P & W 社では 1986 年には燃費がさらに 2% 少ない改良型を実現し、この改良型をスケールダウンすることによって、推力が 24,000 lb で燃料消費率は改良型と変わらない新機種用のエンジンを計画しており、この計画のもとに共同開発を提案している。

筆者が P & W 社を訪ねたのは 6 月下旬で、日本からの代表者の来訪の直後であったが、その後交渉は続いて行なわれている。P & W 社では PW-2037 型の開発過程の説明を受けるとともに、JT-9D, JT-8D の生産工場を見学した。P & W 社の訪問は 2 度目であるが、巨大な施設を見るにつけ、日本との差を改めて

痛感した次第である。

4 AIAA の推進会議における日本脅威論

AIAA, ASME, SAE の 3 学会共催の第 18 回推進会議が 6 月 20 日から 4 日間クリーブランドのホテルを会場として開かれ、これにも参加した。この会議は航空エンジンおよびロケット・エンジンに関する学会であるが、プロペラ、自動車用ガスタービンなどに関する研究も含まれている。参加者は約 400 人で、日本の同種の学会に比べると格段の盛大さである。女性の参加者も多く、講演発表者にも数名の女性が見られた。会議の運営はクリーブランド地区の会員によって進められ、開会式ではオハイオ州選出の上院議員で、かつての宇宙飛行士 J. Glenn 氏が格調高い演説を行なっていた。

会議では前述の E³ エンジンに関するものや、プロップファンに関する研究など、省エネルギーに関するものも多く、最新の情報を各方面にわたって得ることができた。

「今後 10 年間における航空エンジンの発展」と題するパネル討論会があり出席してみた。話題提供者の話が終り、場内からの発言が求められたとき、航空エンジンの分野でヨーロッパ、日本の競争者の状態に対する質問が提出され、特に日本の状態が問題とされた。我々の目からすれば、航空エンジンの分野における日米の差は極めて大きく、当分は到底競争者にはなり得ないように思っているが、20 年前の自動車が同じ状態だったことを考えると、この様な質問の出るのも当然かも知れない。この問題は翌日の昼食会の講演でも出て来た。

昼食会での基調講演は NASA の長老 J. Beggs 氏によって行なわれたが、その中で LSI の開発における日本の官学産の共同を例として、日本は近い将来、航空エンジン、ロケットの分野でも手ごわい競争者となることが予想されるので、米国においてもこの分野に対する開発費の増大が必要であることが強調された。政府からの研究費の増額要求の手段として、日本の脅威が利用されているのであろうと推察されるが、予想もしていなかった学会の場での日本脅威論にはいささかとまどった。

民間航空機の生産が、自動車に次ぐ日本の主要産業となることは、航空関係者のみならず多くの人々の希望であることは明白だが、この分野での日本の進出はまた大きな国際摩擦となることも確実である。