日本の航空エンジンの技術の歴史*1

八 田 桂 三*2

Key Words: Technical History, Aeroengine, Jet Engine, Gasturbine, Rocket

表題の原稿依頼を受けたが、筆者はその適任者ではない。にも拘らず、お断りする時期を逸し、結果として雑ばくな文を書くことになったことをおわびする。

さて、社会や文明の変化は10~20年位のスパンでながめてみると、かなり大きな変化が見えるものである。特に最近の科学技術の進歩は急激で、筆者には通訳を介しても理解が難しくなっている。しかし筆者自身の経験した日本の航空エンジンの技術の変化も同様に激しかった。筆者が大学を出た昭和12年頃の航空推進システムはピストンエンジン・プロペラ推進の盛期であった。日本で本格的な自前の航空用ピストンエンジン開発が始まったのは昭和6~7年頃のように思う。それが戦雲濃くなると共に軍部主導の軍備殊に航空優先の国策の下で、開発、生産技術共に急速に発展した。しかし戦争がひどくなると共に、技術の中央統制のマイナス面の影響、物資の欠乏、空襲による都市、工場、運輸機能の喪失等の敗戦前夜の諸々の悪条件により、個々の関係技術者の非常な努力に拘らず、一部の純技術的な成果はともかくとして、航空エンジンの実状は短期間に急速に低下した。この間の技術的状況は栗野誠一氏の非常な御努力により最近丸善(株)より出版のはこびになった日本航空学術史(1910~1945)等に精しいので、それらをみられたい。かくして日本は敗戦し、占領軍命令により講和条約発効まで航空の一切を禁止される。

一方戦争末期にターボジェットの開発が成功する

と、航空エンジンはあつと言うまに、ピストンエンジンから、桁違いの軽量大出力の可能な定常流動型の内燃タービン系のエンジンにかわり、推進方式も低速用以外はプロペラ効率問題のないジェット推進となった。かくして航空機は速度は空中停止から亜音速、遷音速、超音速、更には極超音速と拡がり、機体の大きさも数百トンの大型機まで実用され、今や水平離着陸による宇宙往還機が開発されようと言う有様である。ジェットエンジン系の形式も軸出力型のターボプロップ、ターボシャフトから、ジェット型では、ターボジェット、ターボファン、それらの再熱型(アフターバーナ付)、ラムジェット(亜音速燃焼)、それらの組合せのバリエーションサイクルエンジン(VCE)、やターボラムジェット(コンバインドサイクルエンジン)、更にはスクラムジェット(超音速燃焼ラムジェット)などと、種類も速度、用途に応じ極めて多くなった。そしてあの全盛を極めた航空用ピストンエンジンはターボコンバインドエンジンを最後に技術発展は終り、一部の小型機や、モータグライダー、超軽量動力機などのスポーツ機用などとして細々と新製使用されているのみである。

さてピストンエンジンのことは文献にゆずることにし、本特集号の主題のジェットエンジンのごくおおまかな歴史をたどってみよう。日本におけるジェットエンジンの歴史をのべるには、日本航空学会誌昭和13年7月号に掲載された中西不二夫先生の論文「飛行機のロケット推進について」にふれないわけにはいかない。この論文のロケット推進とは、当時日本ではそう言っていたのだが、今日のジェット推進のことである。本論文は、当時の飛行機の最高速度を大きく超えた高速飛行を大気中で長時間行うためには定常流動型エアブリージングエンジンを用いたジェット推進システムによらねばならないことを、その形式の最も簡単なものであるラムジェットを用いて、理論的に考察し明らかにされたものである。しかし発表当時東大航研以外では殆ど何の関心も呼ばなかった。

定圧燃焼内燃タービンは古くから考えられており、反動型蒸気タービンの開発者パーソンズによっても、一見今日の軸流内燃タービンと同じようにみえるもの

著者紹介

八田 桂三(名誉会員)

大正4年生。昭和12年東京大学工学部機械工学科卒業。東京大学工学部航空学科・旧航空研究所・機械工学科・理工学研究所・航空研究所・宇宙航空研究所の教授・東海大学教授。宇宙航空研究所所長、環境庁中央公害審議員(自動車公害専門委員会委員長)、運輸省航空事故調査委員会委員長、通産省・科技厅・文部省等各種審議員等。専門は熱機関工学。東京大学名誉教授。

*1 平成3年2月7日原稿受理 Technical History of Aircraft Engines

*2 東京都世田谷区三宿 2-11-11 Keizo HATTA

が試作までされたようである。しかし当時の耐熱材料や内部流体力学の技術レベルの事として、サイクル最高温度も高くとれず、圧縮機、タービンの内部効率も低かったので、サイクルの圧縮過程を液相で行う蒸気タービンの方は成功したが、内燃タービンは失敗に終わった。しかし時代は下り、大正末期乃至昭和初期頃にはピストンエンジン用の排気タービン過給器が開発され、これは亦耐熱材料などの技術進歩を促し、昭和14年にはスイスBBC社で4000 kW 発電用内燃タービンが開発された。一方昭和16年になるとイタリアのカプロニ・カンピーニ N-1 ジェット推進機が飛行した。これは当時エンジンロケットと呼んでいたピストンエンジン駆動のダクト内ファンの後に燃焼器、ノズルをおいたジェット推進システムである。これらの情報は当時日本でも知られていた。また本当に重視されるのは米軍機の活躍の後になるのであるが、航空用排気タービン過給器も昭和13年頃から日本でも開発が始まり、昭和16年頃には、石芝、三菱、日立などで作られていた。

排気タービン過給器の圧縮機とタービンの間に高圧燃焼器を設け、圧縮機タービンのマッチングを行い有効動力を軸出力としてとり出せば内燃タービンとなり、噴出ガスの運動エネルギー増加の形でとり出せばターボジェットとなる。昭和12年に開発（地上運転）に成功したイギリス〔パワ・ジェット社のホイットル（特許取得は昭和5年）〕及びドイツ（ハインケル社のフォン・オハイン）の最初のターボジェットは共に排気タービン過給器から出発し、圧縮機は共に遠心型であった。ドイツは昭和14年、イギリスは昭和16年それによる初飛行に成功する。しかし昭和15年から開発が始められたドイツのユモ（ユンカース社）やBMWのターボジェットは作動流体流量大で大出力化に適した軸流圧縮機型であった。尚アメリカのターボジェットの開発は昭和16年イギリスよりの技術導入によりGEで始められる。

しかしこれらの情報は当時日本では知られず、全く独立に昭和17年海軍航空技術廠で種子島時休氏等によりターボジェットの具体的開発が、英、独などと同様に排気タービン過給器をもとにして始められる。まず遠心圧縮機型のネ-10、更に4段の前置軸流圧縮機を付けたネ-12が開発され、信頼性に問題は残ったが性能は出るようになる。陸軍でも昭和17年には第2航空技研の下で補助ブースターエンジンとしての小型ターボジェットネ-3、ネ-4の開発が川崎、三菱で始まり、これと平行して基礎研究として開発された補助ブースター用ラムジェットネ-0の飛行テストが昭和18年キ48型機により行われる。そうこうする中に、

昭和19年7月ドイツのBMW 003 A ターボジェットの断面図のキャビネ版写真一枚が最後の潜水艦便でもたらされる。種子島氏の決断で、これを参考にして、海軍空技廠は推力500 kg 級軸流ターボジェットネ-20の開発をすすめることになり、敗戦直前で空技廠噴進部も秦野へ疎開と言うような悪条件の下で、資源不足のため $Mn-Cx$ 系耐熱鋼などを用い、永野治氏などの活躍により、設計開始後僅か6カ月で開発に成功、量産に入り、昭和20年7月には一式陸攻による飛行テストに成功する。しかし推力475 kg のネ-20 双発の飛行機「橘花」が初飛行したのは敗戦直前の昭和20年8月7日であった。当時日本では陸、海軍の技術開発や生産は全く別と言う有様であったが、敗戦直前やと協同開発が緒につき、昭和19年7月陸海共同試作の軸流ターボジェットネ-130（推力900 kg—石芝）、ネ-230（推力885 kg—中島・日立共同）、ネ-330（推力1300 kg—三菱）の開発が始まる。これらの中ネ-130は陸軍2航研の疎開先の松本で岡崎卓郎氏等により正規回転数の運転に成功した時点で敗戦を迎え、他は試運転初期及至組立の段階で終わった。

また昭和20年6月頃にはパルスジェット（逆止弁付間歇燃焼ジェット、いわゆるV-1エンジン）カ-10（推力350 kg）も開発され、ロケットでは戦争末期に独自にダブルベース系固体推進薬ロケットが実用化されていたが、液体推進薬ロケットもイ号兵器（誘導ミサイル）用推力1000 kg 級の過酸化水素・過マンガン酸ソーダ系ロケットエンジンやロケット飛行機「秋水」用推力1500 kg 級の過酸化水素・ヒドラジン系ロケットエンジンが開発された。パルスジェットや秋水用液体ロケットはドイツの情報によるところが大きい。

この間に軸出力を出す内燃タービン関係では、昭和16年陸軍の命で甲7号ガスタービン（石油精製プラント用軸流圧縮機駆動ガスタービン）の開発が石芝で始まり、昭和17年には陸軍燃料廠で実用運転に入る。昭和17年7月海軍空技廠はかねて種子島氏が計画されていた大型飛行艇用ターボプロップGTPRの開発を石芝に下命、また栗野誠一氏が昭和17年7月機械学会で発表された論文「ロケット推進と組合せた航空用燃焼ガスタービンの熱力学的性能」(東大航研秘密報告・昭23/3)がもとになり、陸軍2航研は昭和17年9月プロペラ軸出力7000馬力級ターボプロップのハタ1（後ネ-201）の開発を同じく石芝に下命、前者は後中止、後者は敗戦直前に初期試運転中で終る。また昭和18年4月海軍艦政本部は出力6000馬力級高速魚雷艦用仮称1号ガスタービンの開発を同じく石芝で始めるが試運転に入ったところで敗戦となる。

敗戦に伴うGHQによる航空の一切の禁止は、それ

がたまたま航空機のジェット化と言う大変革期と重なったため日本の航空技術は手いたい空白を生じる。戦時中の航空用ピストンエンジンの技術の伝統は戦後の我が国の陸船用ピストンエンジンの技術開発に生かされ、日本の各種ピストンエンジンを世界有数のものにした。一方ジェットエンジンなどの航空用ガスタービンは禁止されたが、陸船用ガスタービンの研究開発は禁止をまぬがれた。まず、地中にうずめられていた前述の仮称1号ガスタービンを掘り出し改修し、中央航空研究所(昭和14年設立)を敗戦に伴い吸収した鉄道技術研(後、運輸技研)が中心となり、昭和24年鉄研1号ガスタービンとして研究開発を始めた。ついで通産省や運輸省の助成により、様々な発電用や船用のガスタービンの研究開発が始まり、昭和29年頃には東芝、三菱系3重工、石川島、川崎、日立、三井造船、富士電機などで開発研究が行われる。昭和3,40年代になるとトヨタ、日産をはじめ多くの陸船用エンジンメーカーで車輛用や発電用などの汎用ガスタービンの研究開発も始まり、昭和53年よりの通産省ムーンライト計画による10万kW級複合発電高効率ガスタービンの研究開発や、昭和63年よりのセラミックガスタービンの研究開発へとつづく。これらの結果複合発電用大型ガスタービンから、コージェネや非常用、車輛用などの中、小型ガスタービンに至るまで、我が国は世界有数のガスタービン技術をもつことになる。

一方航空用は航空禁止がとけると、昭和27年大宮富士工業(後富士重工)が通産省の助成で戦後初のターボジェットJO-1の研究開発を開始、昭和28年日本ジェットエンジン(株)に引きつがれ、その経験などをもとに同社で推力1200kg級の戦後初のターボジェットJ-3が開発され、同社解散に伴いIHIに引きつがれ防衛庁の中間練習機T1Bや対潜哨戒機P2J(ブースタエンジン)に使用される。また航空再開に伴い昭和29年各大学の航空学科や東大航研(後宇宙航空研、更に文部省宇宙科学研)昭和30年総理府航空技術研(後科学技術庁・航空技術研、更に航空宇宙技術研)等が設立される。またIHI, KHI, MHI, 日航その他でジェットエンジンなどの整備、修理、部品生産更には防衛庁用エンジンのライセンス生産などが行われる。

昭和37年から航技研がリフトエンジンの研究開発を始め、RJ-100(推力1530kg, 推力/重量比9.8)更にはRJ-200(推力2100kg, 推力/重量比15.8), RJ-220(推力2280kg, 推力/重量比14.5)などが開発され、昭和46年にはフライングテストベッドの自由飛行に成功する。次いで昭和46~50年(第1期)、51~56年(第2期)の間通産省工技院の大型技術研究

開発計画制度(大プロ)として、IHI, KHI, MHIなどによる技術研究組合が航技研などの支援の下にターボファンFJR-710(第1期推力5トン級、第2期推力6.5トン級)の研究開発を行い、イギリスのNGTEの高空性能試験設備を借用し高空性能テストを行い、後に航技研で研究開発した研究用STOL機「飛鳥」(昭和60年初飛行)に搭載される。また昭和50~53年の間防衛庁がIHIで再熱ターボファンXF-3の開発を行い、米空軍アーノルド基地高空性能試験設備でテスト。更に輸送機C-1改FTBでフライトテストし、F-3(推力1.7トン)として量産され、中等練習機T-4に装備される。これらの技術成果が昭和54年からのターボファンRJ-500(推力9トン級、英RR社と日本3社即IHI, KHI, MHIとの共同開発)を経て、昭和58年よりの旅客機用ターボファンV-2500(推力10トン級、米P&W, 英RR, 独MTU, 伊フィアット、日本3社の5カ国7社の共同開発)に発展し、後者は各種民間輸送機に用いられる。更に平成2年より通産省工技院による超音速輸送機用推進システム研究開発が始まり、始めて技術研究組合に欧米メーカーも加えようとしている。

ロケットは昭和29年東大生産技術研で糸川英夫氏などにより固体推進薬ロケットの研究開発が始められ富士精密(後日産自動車)などで生産される。当初のダブルベース固体推進薬からコンボジット固体推進薬へと進み、昭和39年東大宇宙航空研設立と共に同所に引きつがれ、カップ(K)型、ラムダ(L)型、ミュー(M)型と漸次独自の大型固体ロケットが開発され、宇宙科学研究用などの観測ロケットや科学衛星打上用大型ロケットシステムに発展する。一方科学技術庁に昭和35年宇宙開発審議会が発足し、昭和36年推力1トンのJP-4・硝酸系液体推進薬ロケットの開発が始まり、各種の推進薬を経て今日の液酸液水ロケットに発展する。その間、昭和38年の航空宇宙技研への改組、昭和39年の宇宙開発推進本部の設置などにより液体推進薬ロケットの研究開発が本格化し、MHI, KHI, IHI等で生産される。昭和43年宇宙開発委員会が設置され昭和44年には特殊法人宇宙開発事業団が発足し宇宙開発推進本部の仕事を引き継ぎ、実用衛星打上用ロケットの開発や実用衛星打上事業を行い、Qロケット、Nロケット、H-Iロケットから更にH-IIロケットへと発展しようとしている。またこの間防衛庁によりMHI, IHI, KHI, 日産自、その他で各種のミサイル用などのターボエンジンやロケットシステムの開発生産がすすめられる。

以上が極めて大まかな日本の航空エンジン関連の技術開発の歴史である。現在日本は技術先進国の一つで

ある。航空エンジン技術が発展しうる基盤は十分あるが、現状はまだ今一步と言うところではなかろうか。まづ何よりも開発に必要な大型基本的試験研究施設のおくれが大きい。また技術は何よりも経験がものを言う。航空殊に宇宙ともなると経験で先進国に及ばぬ所が多い。燃料のエネルギーを熱エネルギーを介して利用する形式の航空エンジンの性能は熱力学的に決ってしまう。しかしそれを実現するには所要の条件をみだす材料がなければ不可能である。航空エンジンの歴史は燃料、潤滑剤も含めかつ各種の加工や処理を含めた広義の材料や材料関連技術の進歩に最も大きく依存しているようにおもう。

ここで述べた短い歴史の間でも、我々は戦時中の中央計画統制社会から戦後の自由社会までを経験した。また今日では基礎科学と技術との関係が深くかつ近くなり、科学研究や技術開発に益々大きな設備や投資があることが多くなっている。また従来のエンジン性能以外に対環境性能が益々重要になってきた。技術の発展の要件はまずその意志と自然科学の深い理解の上に立っての自由で多様な発想の確保とが最も重要な基本であるが、競争と協力、或いは分権と集権と言う一見相反することの最適化が個人段階や社会段階で必要であるようにおもわれる。その際、人間は全知全能或いは無謬ではありえないということを深く認識し謙虚な反省の上に立ち少しでも早くよりよい行動をとるべく出来る限りの努力をすることではなかろうか。

参考文献

完全ではないが眼についたものをあげておく。本文に紹介した

日本航空学術史 (1910～1945) [日本航空学術史編集委員会編・平 2/6・丸善(株)]
は日本の航空初期から戦前の全期間の航空エンジンのみならず

殆どすべての航空技術について敗戦直後の昭和 21 年に関係技術者自身によりかかれた報文及び陸軍、海軍、技術院、東大航研、中央航研、航空試験所などの技術研究開発機関の活動や関係メーカーの社史の要約などを編集したものに、この度の出版前にかかれた中口 博(飛行機設計・性能)、林 毅(飛行機構造・強度)、松平 精(飛行機振動)、谷 一郎(空気力学)、佐貫亦男(プロペラ)、栗野誠一(原動機)の諸氏による概説を加えたもので資料も多い。戦前に関するものではこのほか、

日本航空史・昭和前期編 [(財)日本航空協会・昭 50/9]、

日本航空史年表・証言と写真で綴る 70 年 [(財)日本航空協会・昭 56/4]、

中島飛行機エンジン史・若い技術者集団の活躍 [中川良一、水谷総太郎・昭 60/5・耐燈社]、

種子島時休追想録・付遺稿抜粋 [種子島千代子・昭 64/8・新教出版]、

一号ガスタービンの思出集 [渡辺秀行編・平 1/11・(株)IG コーポレーション]、

ガスタービンの研究 [永野治・昭 28/8・鳳文書林]、

ジェットエンジン研究経過及びネ-20 [沼田福三郎・昭 28/3・東北大・高速力学研報告]、

ネ-130 軸流圧縮機を中心として [岡崎卓郎・昭 29/8・機械の研究 (誌)]

等があり、旧陸、海軍の軍事技術、航空技術、兵器や航空機の総集などの出版物、分割合併などで名称はいろいろ変っているが関係会社の社史、工場史、関係研究機関の研究所史や大学史などにも関連資料がある。一寸変わったものでは、(社)日本航空宇宙工業会の季刊公報誌「翼のある風景」の連載記事「我が国航空工学を築いた人々」がある。

戦後に関しては

日本の航空宇宙工業戦後の歩み [(社)日本航空宇宙工業会・昭 60/8]、

日本航空技術史—近代航空機整備の歩み [(社)日本航空技術協会・昭 49/4]、

航空宇宙技術研究所 20 年史 [昭 50/7]、

宇宙空間観測 30 年史 [宇宙科学研・昭 62/3]、

科学技術庁 30 年の歩み [昭 61]、

ムーンライト計画 10 年の歩み [平 1]

等々のような出版物、開散した日本ジェットエンジン(株)社史 [昭 35] を始めとする関係会社の社史、工場史、航空宇宙工業年鑑 [(社)日本航空宇宙工業会]、機械工学年鑑 (誌) [日本機械学会]、国産ガスタービン過給機資料集 (1984～1988) [日本ガスタービン学会] 等々のような年鑑や技術資料集、更には関係省庁や研究機関の年報類に資料がある。