

三菱 ZC707：地上に降りた航空エンジン

山岡 茂樹

Citation	鉄道史学, Vol.11, pp.7-13
Issue Date	1992-12
Type	Journal Article
Textversion	Publisher
Right	<p>この記事は、私的な目的でのみダウンロードすることができます。その他の使用には、事前に著作権者の許可が必要です。</p> <p>This article may be downloaded for personal use only. No other uses without permission.</p>

Self-Archiving by Author(s)
Placed on: Osaka City University

三菱 ZC707

——地上に降りた航空エンジン——

山岡茂樹

目次

- I. はじめに
- II. 1930年代列強の中形高速 DE
- III. 本邦中形軽量高速 DE 開発史
——航空 DE と ZC707 までの高速魚雷艇主機——
- IV. 三菱 ZC707——64号内燃機関——の開発
- V. 結 び

I. はじめに

本稿では主題を中形軽量高速 DE の形成経路に注目しつつ取上げる。我々は異った領域を棲処とする内燃機関が相互に影響し合いながら発展してきた歴史の中で旧国鉄の DL 用機関技術がいかなる淵源に発するのかをも見定めることになろう。

さて、ここに言う中形軽量高速機関とは概ね千〜数千 PS 級高速機関の内、比重量が 3 kg/PS 以下に収まる体のものを指す。典型は往時の航空 GE である。この内、水冷列形航空 GE は日本でこそ傍流であったが、自動車工業という基盤を有した欧米、特に英独では完全に主流をなし、アメリカでも秀作が生れている。そして、そこから生れた高速艇 GE や航空 DE の技術は高速艇 DE や DL 機関に転生して今日に至っているのである。

我々は同様の技術連関と発展をこの国においても跡づけることが出来る。三菱 ZC707——それは1930年代の列強における航空 DE、2サイクル高速 DE 開発ブームの落とし子であった。戦後、ようやく米軍の手によってその全貌を明らかにされた本機はしかし、戦後世界で必ずしも所期の発展を遂げ得ぬまま、忘れ去られようとしている。それは差当り、技術的素因のよって然らしむ所と言う他ない現実である。にも拘らず、そこに社会的要因の影を認めぬわけには行くまい。複眼的視点

が求められる所以である。

II. 1930年代列強の中形高速 DE¹⁾

30年代と言えば高速 DE の揺籃期であるが、斯界に4サイクル対2サイクルという問題を生じたのもこの頃であった。

後者は同寸、同一回転数の機関なら前者より出力が大きい。ピストン、連接棒の慣性力の影響が小さいので構造面で軽量化を図り易い。DE なら掃気・過給時の燃料吹抜けもない。

反面、それは燃焼回数が2倍多く、排気弁付の場合、動弁系の熱負荷、機械的負荷共に4サイクルより大きい。潤滑は相対的に困難でオイル消費も嵩む。有効ストローク比が1を下回るから、ストローク短縮→高回転・高出力化という手は使いにくい。掃気ポンプ、それも高速 DE には機械式のもの不可欠である。

かかる得失をもつが故に2か4かに関して一義的判断は下し得ない。しかし現状では、高速 DE に関する限り2サイクルは全くの少数派である。

2サイクルはガス交換を単流掃気によるものと複流掃気（横断並びに反転）によるものに大別される。

かつて低速 DE は MAN (独) やズルツア (瑞)、三菱長崎等、後者が主流であった。高速でもひと頃航空（飛行船）への参入を匂わせた MAN の高速艇用複動機関や航研 DE (後出) 等の例がある。

単流方式は掃気効率に優るため高速 DE の多くはこの類型に属する。この方式は更に排気弁無と排気弁付に分れる。排気弁無ではエンカース (独) の対向ピストン型が代表。これは有災機用 DE として唯一実用化された。排気弁付は GM、NACA (NASA の前身)、デシャンプ (米)、Z●D (チェ

コ→独)にB&W(デンマーク),そして三菱(東京,長崎)等が著名である。GMはこの類の高速DE界の先達であり⁽²⁾,現在でも同社(DDA)の車輛用・舶用DEはこのタイプ。三菱ZC707はGM機関をひとつの想源としている。

一方,4サイクル航空DE側もダイムラーベンツ(飛行船)を筆頭に,或程度の生産機種から試作品まで百家争鳴の様相を呈していた。

往時,航空蒸気機関開発の努力はその小型軽量化の面で看過すべからざる遺産を残した。DEはGEに比して最高燃焼圧力が高く構造堅固でなければならぬ→重い,空気過剰率を大きくとらねば良好な混合気形成が得られぬ→リットル馬力が小さい,という凡そ航空発動機には不向な特性を有する。だからこそ,中原に鹿を逐った人々は殆ど目ぼしい成果を掴んでいないのである。

しかし,挑戦者達の技術はやがて地上に花を咲かせることになる。戦後,高速艇・車輛用主機として脚光を浴び,海自の魚雷艇にも試用されたナビア(英)のデルティックはユンカース航空DEの応用開発であった。ベンツ航空DE直系のMTU軽量高速DEは今も斯界の頂点に立っている。

かような挑戦者のリストにかつての軍国日本の先人達はその名を連ねていることは蓋し当然であろう。我々は彼らの失敗を失敗ならしめた技術的素因と,欧米で拓かれた転生の途を阻んだ特殊要因とを共に重視する立場から,先ずその失敗の技術的素因の何たるかを検討することにしたい。

Ⅲ. 本邦中形軽量高速DE開発史——航空DEとZC707までの高速魚雷艇主機——

本邦軽量高速DEの嚆矢は(東大)航空研究所の横断掃気型航空DEである⁽³⁾。

その開発は海防義会の奨学金を得,軍関係者も加えた委員会の下で1931年より着手された。その用途としては遅れて開発が始まった長距離試作機への搭載が狙われることになる。

1932年,三菱航空機の協力を得て単筒の試作機関が出来上がる。横断掃気の採用に当ってはそのシンプルさとDEの低燃費性を同時に究めたいという心理が働いたらしい。開放ノズルの採用も同根。

航研DEの要目は155×200(有効143),実圧縮比14,開孔時期は排気73°BBDC(下死点前),掃

気61°BBDC。15kW電動機直結遠心2段プロアから送り出される掃気の圧は最大270mmHg。

しかし,このDEは肝心の掃気及び混合気形成特性が劣悪であった。実に空気過剰率を1.5以上に保たねば燃費の著増を来しているのである。その後,開孔時期を排気74°BBDC,掃気61.5°BBDCへと早めた結果,幾分性能は向上した。それでも,回転を1600rpmから1700に上げた際に生ずる出力低下はプロアの能力不足はあったにせよ,この方式の「致命的欠点」とされねばならなかったのである。最大出力は結局,71.8PS/1600rpm程度に止まった。

本機は混合気形成が悪いため,燃料の性状には特に敏感で,三井鉱山のフィッシャー法による合成重油を用いる場合は良かったが,少しセタン価の低い油を焚くとピストン溶損を頻発させている。

この航研DEは1934年,やはり三菱(重工)の協力を得て90°V形12気筒に発展した。掃気ポンプを自力駆動するもので公称出力は750/1500。

けれども,航研DEは開発の遅れと950kgという重量が祟って航研機には載せられなかった。比重量自体は1.27kg/PSをマークしていたものの,航研機用GEのそれは僅か0.93kg/PSであったから,全く勝負ならなかったのである。

加うるに,航研DEは単筒(プロア別置)の状態で最大出力時の燃料消費率が298g/PS-hにも達した。しかも,事実上それが1400~1700rpmの範囲における全負荷最小燃料消費率なのであった。

実験データによれば,39/1400(54%出力)又は45.4/1400(63%出力)時に燃料消費率は最小値183g/PS-hを記録している。しかし,これも航研機用GEが16.2~16.6の希薄混合気で巡航運転している時(単筒出力24.2~28.3/1420~1550)の値(200~196g/PS-h)とさして変らなかった。そして航研機用GEの経済巡航混合比は18,燃料消費率は185g/PS-h近くまで改善されて行ったのである。

航研DEは比重量はともかく,燃費においてDEの長所を發揮していない。それは横断掃気方式の限界を教えていた。掃気ないし排気管制を施せば出力は幾分改善されたであろう。しかし,燃

費面では大した成果は挙げられなかったと思われる。そもそも,混合気形成を流入新気のスワールに恃むべき開放燃焼室式DEでありながら,これを全く活用出来ぬ形式であり,高圧噴射等,それに代る方法が動員されている形跡もないからである。

関係者の一部には「高速艇用にはなるのではないかなどという義も出た」そうだが,事実上の定格出力点での燃費があれ程悪ければ成就可能な話ではない。結局,航研はこのDEを全面放棄した。

同じ頃,海軍航空廠(後の航空技術廠——空技廠)では全く異った2サイクル航空DE開発が進展していた⁽⁴⁾。空技廠DEの単筒実験は1932年4月に始まり,一応の成果を得た。実験機関は排気弁4個付の単流掃気形で140×180,出力は当初50~60/1500程度であったが,最終的に130~140/2300を記録し,燃費率も160g/PS-h強となった。

空技廠DEがかかる好成績を収めた理由は何よりも掃気効率に優れ,掃気にスワールを生ぜしめることで燃料液滴の積極的な分散・混合を助長し得る排気弁付単流掃気方式を採用した点にある。

では,このDEは物になったのか,と言えば,実用機への熟成という点で見ると,航研DE以下であった。実験が1940年11月まで継続されたにも拘らず,多気筒機関に組んだ際の熱変形やピストン熱負荷への対策をなし得なかったからである。

だが,果して当時の日本の技術水準はこれをなし得ぬ程に低かったのであろうか。

実は,開発者の花田政明は敗戦直後,「ディーゼルの研究を軍航空に限定した為,折角得られたものも他の方面に應用していないのは残念であり,一航の協力を求めることに欠けていたと思う」との所感を記している。ここでは必ずしも正鵠を射ていない前段は省き,後段に注目したい。即ち,熱変形対策やピストン冷却法といったものの案出は本来,製造会社の領分に属すべき事柄だからである。彼自身の本家筋に当る航研の委員会に倣って製造企業に協力を求めるという努力を怠った花田らは,明らかに海軍造機技術を過信していたのである。海軍の中形軽量高速DE開発はその後,同じ過ちを度々繰返すことになる。

これ以外に国産航空DEを目指した取組みに三

菱航空機が1931年頃試作したとされるパッカー形の4サイクル単弁式空冷星型9気筒(350PS),続いて試作されたとされるユンカース形の単筒及び6気筒機関が存在する。しかし,以上については詳細を知り得ないのである⁽⁵⁾。

三菱ユンカース形の最終版は1942年に陸海軍より研究命令を受け,44年に設計された8気筒×2例のH型16気筒,離昇3000/3000,公称2700/2800という要目のDEであった⁽⁶⁾。試作は三菱の他,海軍航空廠(空技廠とは別。補給工場で複数あった),石川島航空機で分担されたが完成に至らず,単筒実験と主要部品の試作のみに終わった。

単筒実験機は確実に80PS/ℓ(258.5PS/cyl,16気筒で4136PS)を發揮し,耐久テストも行われた,とある。但しそのことと実機としての成功とは自ずと別であり,本機関の真価は謎とする他ない。

次にZC707以前の高速魚雷艇主機開発史を簡単に縦覧してみよう⁽⁷⁾。

1935年頃,新潟鉄工所が開発し海軍に制式採用されて51号内燃機関となったMH10S,MH6S(4サイクル10乃至6-140×200,300乃至180/1500)の内,溶接構造のベッドと軽合金を多用したコラムを持つMH10Sは魚雷艇主機を目指したものの重量1530kgで5.1kg/PS。但し,近藤らが約9kg/PSとしている所から量産品は鑄鉄構造であったのかも知れない。1530kgというのは逆転クラッチ無の単体重量と思われる。

本機は2弁式ながらヘッド中央に直立した予熱燃室を有する⁽⁸⁾。この点,固定編成動車用LH6HよりもDMF31系に近いと言える。

尚,51号内燃機関搭載艇(計41隻)の速力は17.5ノット程度であり,高速魚雷艇には含まれない。

1938年頃,海軍艦政本部は大出力の高速魚雷艇用DE開発を池貝鉄工所,横須賀工廠機関実験部及び三菱重工業に指示する。

これを承けて誕生した池貝DE——52号内燃機関の要目は,4サイクル渦流室式,45°16V-150×200,600/1500であった⁽⁹⁾。池貝では40年末に実機を完成させ,翌年には耐久テストも終えたが,何故か試作のみに止まった。

横須賀が1940年頃から開発に力を入れたDEは全て2サイクルである。

61号内燃機関は花田の記述に反して空技廠 DE を船用化しようとしたもので16V-140×180、目標出力1000/1600。しかし、構造が複雑な所へ3kg/PSを狙った意欲が裏目に出て機械的不具合が続出し、又、中・低速DEを主に扱っていた造機関係設備の能力を超える工作精度が求められたこともあって、ついに投げ出されてしまう。

62号内燃機関は単純で中・低速DEに実績のある横断掃気式へと後退した12V-140×180。目標出力を600/1600へと実質20%落したものの、掃気、燃焼不具合のため出力不足、排気不良を来し、試作のみに終わっている。

63号内燃機関は一層中速DEに接近し、16V-190×250。2000/1350が目標であった。テストはV8実験機で進められ、「出力を10%下げれば実用に適する」との評価を得て41年後半からの生産が予定されたというが実現はしていない。

当時、三菱がどのような開発過程にあったのかは不明である。恐らくZC707への模索が開始されていただろうが、本機については節を改めて上げる。

この間、高速魚雷艇に対する前線からの要求に応えるため、海軍は中古航空GEの転用(計296隻)を図る一方、その発祥の地イタリアよりインタ・フラスキーニのAsso 100形航空GE(18W-150×180, 1100/1750)搭載艇をサンプル輸入した。後に本機関は三菱川崎をキーに横須賀、呉、佐世保、舞鶴の各工場、三菱(長崎、神戸、横浜)、新潟、池貝、神鋼等の部品分担により、計340台製造された。これを71号内燃機関と称する。

続いて1944年、海軍はドイツより大形魚雷艇主機、ダイムラーベンツ特殊機関を潜水艦で入手した。本機はかの航空DE、DB 602より派生した予燃焼室式軽量高速DEである⁽¹⁰⁾。要目は40°20V-180×250, 2000/1627, 全負荷最小燃料消費率168.5g/PS-h。各部にDB 602譲りの機構を配し、比重量は2kg/PSそこそこであった。海軍はIF機関並に本機を各所で分担生産させる意図であったが、三菱川崎に関係者を集めて分解した結果、とても国産化の望みなし、として計画は中止されている。

IV. 三菱ZC707

—64号内燃機関—の開発

高速魚雷艇主機国産化へのあらゆる試みが頓挫を来す中、戦車生産の要、三菱重工業東京機器製作所では航空DEの理解者、岡村健二をリーダーに2サイクル直噴、排気弁付単流掃気形DE開発が進行していた。海軍の場合同様、ここでも空技廠DEに関するデータが役立てられたように伝えられている⁽¹¹⁾。しかし結果は全く正反対であった。

本機の要目は60°20V-150×200, 2000/1000, 1500/1450。本体構造に軽合金を用い得ぬ上、肉取りもままならぬ急造ゆえ逆転クラッチ付重量は約5.5tに及んだが、それでも比重量は2.77kg/PSに押えられたDEが出来上ったのである。

開発への取組みは実直なもので、ベースにトラックや上陸用舟艇に用いられていたGM71系が選ばれ、3気筒の3-71形がサンプル輸入されている。要目は3L-108×127, 83/2000。これを拡大し、かつ、航空DEで発達した技術を採用入れた所にZC707成功の技術的素因を求めることが出来る⁽¹²⁾。

但し、本機は試作完成の一手手前で敗戦を迎えている。程無くその存在は米軍の知る所となり、三菱は組立続行を命じられる。完成したZC707は米海軍技術調査団によってアナポリスの海軍技術研究所に送られ、テストに供されたのである。

日本での完成試運転では僅か3時間34分回し、一応1500/1450にて良好な状態を確認するに止まったが、アメリカ側は4年がかりで分解検査から耐久テストに及ぶ各種のテストを行っている。本機の要目はこのテストの中間報告⁽¹³⁾によって広く世に知れる運びとなった。米軍の評価は正負相半ばするとはいえ、全体に好意的で比重量が同出力の自国製DEに比べて36%に過ぎず、著しく軽量コンパクトなDEとして称賛している。

以下、これを補いつつ本機の特徴を幾つか掘下げ、開発の苦心を偲んでみることにしよう。

○クランクケース上半部共一体のブロックは鑄鉄製全気筒一体で剛性が高い。他方、機構的にはV10機関2台を背中合せにしたようになっており、2分割式クランク軸や前後独立2系統の動

弁機構、掃気ポンプが用いられ、生産性、整備性への配慮を窺わせている。

○鑄鉄製ウェットライナーに設けられた掃気孔は71系の2段から3段になっており、各段の向きは掃気効率向上とスワール生成とを狙って少しづつ変化せしめられている。これは1936年頃の航研富塚研究室の実験モデルやユンカース航空DEで実用化されていた方式と同じ(但しユンカースは5段)。

○ピストンは71系のような可鍛鑄鉄品ではなく、組立式で、頂面クロムメッキの鍛鋼製クラウンと錫メッキされた鑄鉄製スカートから成る。

○リングは圧縮4本、オイル2本(スカート)で、1及び3番リングはゴールドシールと呼ばれる、シリンダとの当り改善のため摺動面に溝を加工し燐青銅を埋め込んだもの。高速DE用としては先駆的な採用例である。

○連接棒はフォーク&ブレード形でコンパクトに仕上がっている。ブレードの軸受当り面は窒化後クロムメッキされている。

○クランク軸は前後ほぼ対称の2分割。鍛鋼製全面機械加工・研磨仕上りで、ピン、ジャーナル部は中グリされている。前後のピースは20mmボルト10本でフランジ結合されている。

次に、指摘された欠点→筆者のコメント。

○軽合金化又は板金化可能箇所が目立つ→当然。

○補機、附属品に大き過ぎる物が目立つ→当然。

○動弁機構や燃料系が複雑過ぎる→一概に言えぬが、シンプルでとにかく壊れないGMの2サイクルDEが今日でも我国沿岸漁民の信頼厚きことを思えば、的外れな指摘とも言えまい。

○加工技術、組立・調整技術が全体に劣っている→誠に無理からぬことである。

○主要部分の整備性、特にアクセス性が悪い→日本技術の悪しき伝統か。後述の24Wなど思い遣られる。

○回転数制御・噴射量調節機構の作動精度が悪い→致し方なし。

○シリンダヘッドの形状が不適当。これはガスケット(GK)面を上死点におけるピストン頂面位置より上に配する常例に倣わず、シリンダをその上死点位置の下で切断し、この上に円状のヘッドを載せた設計を指す→それ程の問題でも

なからう。

○ヘッドGKのシール不良のためガス、オイル、水の漏洩が目立つ→ヘッドGKからの漏洩は中形高速機関一般の泣き所であった。大上段に構えるなら水冷航空発動機の多くのように、ヘッドとシリンダライナーとを一体鍛造・機械加工仕上品にすれば良いのだが、コストは嵩む。標準的な構造で漏洩を押える技術などというものは、やはり経験第一なのである。ZC707のごとく急拵えの作品がそれに悩むのは蓋し当然である。

この中間報告には動力性能、燃費等についてのデータが含まれていない。しかし1953年に海自の魚雷艇主機として復活した20ZCのそれから推して1時間定格2000/1600, 連続1500/1450, 全負荷最小燃料消費率170g/PS-h程度と見て良からう。

故に多少甘く評価すればZC707は同時代の中形軽量高速DE界に唯一、かのベンツMB501と並び立つ存在だったと言えるのである。

尤も、MB501は機械式過給の511, 518(2500PS, 戦後3000), ターボ過給・中間冷却の518C(4000PS)へと発展し比重量は1.5kg/PSを割り、全負荷最小燃料消費率も145g/PS-hをマークするに至る。その技術は今も世界に冠たるMTU1163(直噴20V-230×280, 特殊用途最大9890PS, 通常最大6933PS)へと受け継がれている。

さしものZC系もこれには全くついて行けなかった。1962年の魚雷艇用後継機24WZ(60°24W-150×200, ルーツ+ターボ中間冷却, 30分最大3000/1600, 連続2000/1430, 比重量2.2kg/PS)あたりが精一杯だったようである。最大掃気圧をZCの710mmHg程度から750mmHgへと6%高めて出力増強を図ったものだが、PS/cylを25%アップさせたためか、全負荷最小燃料消費率は182g/PS-hへと悪化している。

単流方式は掃気効率に優るものの、2サイクルである限り掃気の素通りを伴うため動力損失を忍んでやや大き目のプロアを駆動せねばならぬ。排気タービンによる排気残留エネルギー回収に際してもこの素通りのため回収されたエネルギーの利用ロスを生ずる。加えて熱負荷は大である。故に、

燃費のみならず出力の点でも4サイクル過給DEより劣勢となり易い。しかも構造は複雑である。

20 ZCの後継機24 WZは戦後世界で唯一、三菱の技術者達がかかる負の技術的素因を孕む2サイクル中形軽量高速DEに挑戦し、窮めた極北と言って良い。そして思えば、アナポリスのテストサイトに轟いたZC707の咆哮こそは、この孤独な最終走者のスタートを告げる合図だったのである。

V. 結 び

先の中間報告より少し早く、我国工学界にZC707を知らしめたのは、実は、島秀雄である。彼は日本の中形高速DE技術の遅れを指摘した後、「ただ戦時中も各製造家はそれぞれ大形戦車用機関、あるいは高速舟艇用機関等を研究する場合に、将来戦後にこれを〔鉄道〕車輛用に振り向けたいと秘かに考えていたものもあるようである。……三菱重工業東京機器製作所の20シリンダ過給器付2サイクル高速機関……のごときは、もと海軍高速艇主機を目あてに設計されたものと聞くが、また多少の変更をもってただちに本線高速ディーゼル列車用主機に適するものたるべく考慮されたものであると云われている」と述べ、その諸元を掲げたのである⁽¹⁴⁾。

しかし、本機を取巻く社会的要因によって、この可能性はついに可能性のままに終る。何より、国鉄がCTS(占領軍運輸司令部)の奨めに反して幹線電化というそれ自体としては正しい方針を打出したため、急客用DLへの展開の糸口は開かれなかった。後年、島は低質油を焚く海軍系の中速DEでは重過ぎ、かと言って良質の軽油が入りにくかったため、高速DEは使える状況ではなかった、と述べている⁽¹⁵⁾。

敗戦後、旧軍技術の温存を求める運輸省のあと押しの下、国鉄は旧軍技術者を大量に受け入れた。やがて彼らの技術は鉄道技術の革新に役立てられる⁽¹⁶⁾。しかし、大容量電気式DL開発などは頭の隅にさえなかったものと見え、軽量高速DE技術はついに取り立てられずであった。

後年、支線区に鈍重な輸入DE搭載の電気式DLが入線して来た頃には、その余りの高コストにSLの生産再開さえ話題に上ったと聞く。これ

に対して、輸出立国の柱たるべき国産DLを開発せよ、と楫を飛ばしたのは新たに国鉄総裁となった十河信二であった⁽¹⁷⁾。

馳より始めよ、と言う。けれども、DEの重畳をトルコンでカバーする国産DL開発を支えたのは、かの51号内燃機関のメーカーにして本邦中速DE界の指導者をもって認ずる新潟鉄工所であった。その作品、とりわけ制式機関が世界商品として全く通用せず仕舞であったことは周知の事実には属する。

ZC系DEは伸び盛りをあたたら防衛技術の域内で過すことを余儀無くされた。それは海軍だけでなくドイツ国鉄にも育てられたベンツ→MTU機関と異り、広い錬成の機会を享受し得なかった。

その後、4サイクルの発達により敢えて中形高速DEに2サイクルを選ぶ理由は失われる。かくて、次世代インバータDL⁽¹⁸⁾の登場を待つ今、航研DEに端を發し、ZC系に中興の夢を描いた本邦2サイクル中形軽量高速DEの系譜に終止符が打たれようとしているのである。

注

- (1) 大井上博「航空ディーゼル機関」(『内燃機関工学講座 第9巻 航空発動機』[1935年、共立社]所収)、同「高速ディーゼル機関」(1940年山海堂)参照。
- (2) スロオン Jr., A., P., 田中他訳「GMとともに」(1967年、ダイヤモンド社)19章参照。
- (3) 中西・八田・船山・野村「二サイクル単筒ディーゼル機関に依る数種のディーゼル燃料の比較運転試験」、同「フィッシャー合成重油による二サイクル単筒ディーゼル機関の運転結果」(共に『航空研究所彙報』第175号、1939年3月)及び村田元之助「2サイクル発動機の排気孔開口後に於ける圧力経過」(同誌133号、1935年9月)、日本航空学術史編集委員会「日本航空学術史(1910-1945)」(1990年、丸善)280頁参照。
- (4) 『日本航空学術史』129頁、「草わけの頃」(花田政明)、『内燃機関』Vol. 5, No. 51, 1966年9月)参照。
- (5) 日本機械学会「日本機械工業五十年」(1949年)1005頁参照。
- (6) 『日本航空学術史』128頁参照。

- (7) 近藤・大原・村田「日本海軍の艦艇用内燃機関の発達史」(『内燃機関』Vol. 19, No. 244, 1980年12月)、海軍水雷史刊行会『海軍水雷史』(1979年、偕行社)第17編第1章参照。
- (8) 鈴木武次「ディーゼル機関予燃焼室噴口の一実験」(戦前版『内燃機関』7巻9号、1943年9月)第7図(1)より推定。
- (9) 「内燃機関と人と」(浅見与一氏)、『内燃機関』Vol. 14, No. 164, 1975年4月)参照。
- (10) 本機はMB 501として誕生。以下の要目はMB 503Aのもの。Daimler-Benz A. G. *Chronik Mercedes-Benz Fahrzeuge und Motoren* (1966) SS. 160-161, E. シュミット「高出力高速ディーゼル機関について」(『内燃機関』Vol. 3, No. 25, 1964年7月)、岡村健二「高速ディーゼル機関の進歩」(『機械の研究』3巻1号、1951年1・2月)参照。

- (11) 岡村純編「航空技術の全貌(上)」(1953年、興洋社)436頁参照。
- (12) 松村哲也「ZFエンジン誕生への道程——開発への序章(1)」(『内燃機関』Vol. 28, No. 361, 1989年11月)参照。
- (13) cf. Test Report on the Mitsubishi-Tokyo Engine, *Diesel Power and Diesel Transportation*. Vol. 28, No. 5, May 1950.
- (14) 「日本機械工業五十年」287~8頁参照。
- (15) 森恒常夫編「源流を求めて」(1974年、交通協力会出版部)4~5頁参照。
- (16) 同書5~6, 261~2, 263~5頁参照。
- (17) 同書8頁参照。
- (18) 中野・楢川「建設機械および鉄道車両用機関」(『内燃機関』Vol. 30, No. 381, 1991年7月)参照。