

特集：歴史に見るガスタービンの発達プロセス

Hans von Ohain博士による先駆的なターボジェット開発 —HeS 1からHeS 011まで

MEHER-HOMJI, Cylus B.*¹

PRISELL, Erik*²

Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 122-2 (2000-4) pp. 191-201. Copyright © 2000 by ASME

(抄訳) 吉田 英生*³
YOSHIDA Hideo

Keywords : Hans von Ohain, Turbojet

1. はじめに

第二次世界大戦が始まる5日前の1939年8月27日早朝、Rostockに近いMarieneheにあるHeinkelの飛行場に、テストパイロットErich Warsitzが乗りこんだHe 178ターボジェットエンジン機の初飛行を見守るため集まった人達があった。世界初のターボジェットエンジンHeS 3Bを開発した小グループ、Ernst Heinkel、若くて才気あふれるvon Ohain、そしてMax HahnとWilhelm Gundermannだ。およそ6分続いた初飛行は、航空機と推進の歴史を変えた。von Ohain博士の業績を、第二次世界大戦終期に頂点をきわめたジェットエンジンHeS 011にいたるまでの詳細な技術的展開を中心にたどってみよう。

1.1 二人の先駆者

ドイツのHans von Ohain博士とイギリスのFrank Whittle卿はターボジェットエンジン革命をもたらした⁽¹⁾⁻⁽⁶⁾。Whittleとvon Ohainは、独立に、ともに学生時代に、3万フィート(9 km)の高度を時速500マイル(800 km)以上で飛行する構想をいただき、従来からの航空エンジン製造会社の援助を受けずに彼ら自身のエンジンを開発した。戦前および戦中のvon Ohainによるエンジン開発の経緯を理解するためには、戦前にvon Ohainがガスタービンについて検討していた内容と当時の理論的技術的背景、さらにHeinkel社がターボジェット開発にかけたリスクを追ってみることが必要だ。

1.2 ドイツにおけるターボジェット開発の概観

ドイツでのターボジェット開発は、Heinkel Airframe社とJunkers Airframe社により、ともにドイツ航空省(RLM: Riechluftfahrtministerium)の援助を受けない形で始まった。そしてHeinkel社が当初はリードするのであるが、後述するように同社はジェット時代のパイオニアとしてビジネスを展開することに失敗する。

1.2.1 Ernst Heinkelの援助によるエンジン開発

von OhainはGottingen大学の博士課程学生のと看、ジェットエンジンの構想をいただいた。1934年までに彼は基礎的な設計計算で時速500マイルが可能であることを示した。彼は特許手続きを始め、Max Hahnとモデルエンジン作りに着手するが、燃焼問題に苦しむ。彼の指導教授であるR. W. Pohlは、高速飛行に取りつかれていた伝説の飛行機製造技術者Ernst Heinkelに彼を紹介する。かくして24才のvon OhainはHeinkelに雇われた。

Ernst Heinkelは、第一次世界大戦中にHansa-Brandenburgischen Flugzeugwerkeのチーフ設計者として多くの水上飛行機の手がけて有名になった⁽⁷⁾。1922年に自分の会社を設立し、1927年9月にVeniceで有名なSchneider Cupを見て以来、スピードの虜になった。ドイツの航空力学分野でのリードにもかかわらず、Fiatなどに比べて劣勢なドイツのエンジンに幻滅していたHeinkelは、若いvon Ohainによる大胆な概念に引きつけられたのだった。Heinkel社で有名なHe 70を開発した双子の技術者Siegfried GuentherとWalter Guentherもまたvon Ohainの入社面接に立ち会い、プロペラ推進による高速飛行の限界を認識し、ジェットエンジンの概念に傾倒することになった。

1936年にHeinkelに入社したvon OhainはMax HahnとともにHeinkel Marieneheでジェットエンジン開発を秘密裏に猛スピードで進めた。1937年3月には水素燃料を用いたHeS 1エンジンのテストに成功し、さらなる改良努力を重ねたHeS 3BエンジンはHe 178機に搭載さ

原稿受付 2008年4月7日

* 1 Bechtel Corporation, Houston, TX 77252, US

* 2 Defence Materiel Administration (FMV), Stockholm, Sweden

* 3 京都大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻
〒606-8501 京都市左京区吉田本町
e-mail: yoshida@mbox.kudpc.kyoto-u.ac.jp

れ、1939年8月27日の歴史的な初飛行に成功したのである。この快挙をHeinkelはRLMにただちに報告したが、反応は冷たく、Heinkelにジェットエンジンの開発を止めるように命じた。しかし、Heinkelはそれには従わず開発を続け、しばらくしてHeS 8Aエンジンを2台搭載したジェット戦闘機He 280の提案をRLMに受け入れさせたのである。He 280機の初飛行後、HeinkelがHirth Motorenを買収することをRLMは許可し、von OhainはHeinkel-Hirth Companyに移った。

1.2.2 Junkers Aeroplane Companyで始められたターボジェットエンジン開発

一方Junkers Aeroplane Companyでは、1936年から1939年の間、蒸気タービンに精通したHerbert Wagner教授の指導の元にジェットエンジン開発を行っていた。この中にはBerlin工科大学でWagner教授の助手も務めたことのあるMax Adolf Muellerがいたが、1939年にHeinkelに移籍しWagnerエンジンプログラムもHeinkelに移行した。この中には圧縮機の空力設計の専門家であるDr. R. Friedrichもいた。

1.2.3 RLMの公式なターボジェットプログラム

図1にドイツにおけるターボジェット開発の概要を代表的な飛行機とともに年代順に示す。

RLMのHelmut SchelpとHans Mauchは1938年にジェットエンジン開発を計画したが、Heinkel AirframeやJunkers Airframe Companyで進行していた研究のことは知らなかった。SchelpはGottingenのAerodynamic Research Establishment (AVA)のPrandtl, Betz, Enckeの卓抜な3教授のおかげで圧縮機設計に成功し、実用エンジン開発にはずみをつけた。

1938年にSchelpとMauchは、BMW社、Junkers Aeroengine Company社、Daimler Benz社、Bramo社と契約し、ドイツのターボジェット開発はRLMの支配下となる。Junkers Aeroengine Company (Junkers Motorenあるいは略してJumo)はAnselm Franzの指導の下で開発したJunkers Jumo 004エンジンは、メッサーシュミットMe 262機に搭載され、世界初の量産ターボジェットとなる⁽⁸⁾。

2. von Ohainの初期の仕事

von OhainはJunkers Trimotor aircraftの飛行中、往復動エンジンのノイズと振動のすごさに閉口し、連続流動式エンジンこそが飛行機にふさわしいと直感する。そして1933年秋に、修正“Nernst”タービンプロジェクトに関係して定常流動による推進の研究を始め、同方式は出力重量比の点で大いに利点があることを、予備計算によって明かにする。そして、遠心圧縮機と半径流タービンのレイアウトが構造を最小化できる組み合わせとして選んだ。von Ohainはこのとき既に軸流圧縮機が前面面積を小さくできることの重要性に気付いていたが、最初のモデルとしてはより単純な半径流を選択したのだった。

1934年までに彼は、圧力比3：1でタービン入り口温度1200~1400°F (650~760°C)で時速500マイル以上が可能であるとの基礎的な設計計算を終えていた。そしてGottingenのBartells・Becker自動車修理工場の名メカニックMax Hahnと親交を深めた彼は図2のようなプロトタイプを製作する。しかし燃焼の問題のため、このエンジンは自立運転できなかった。von Ohainの理論は正しく、この概念には将来性があることを確信していた

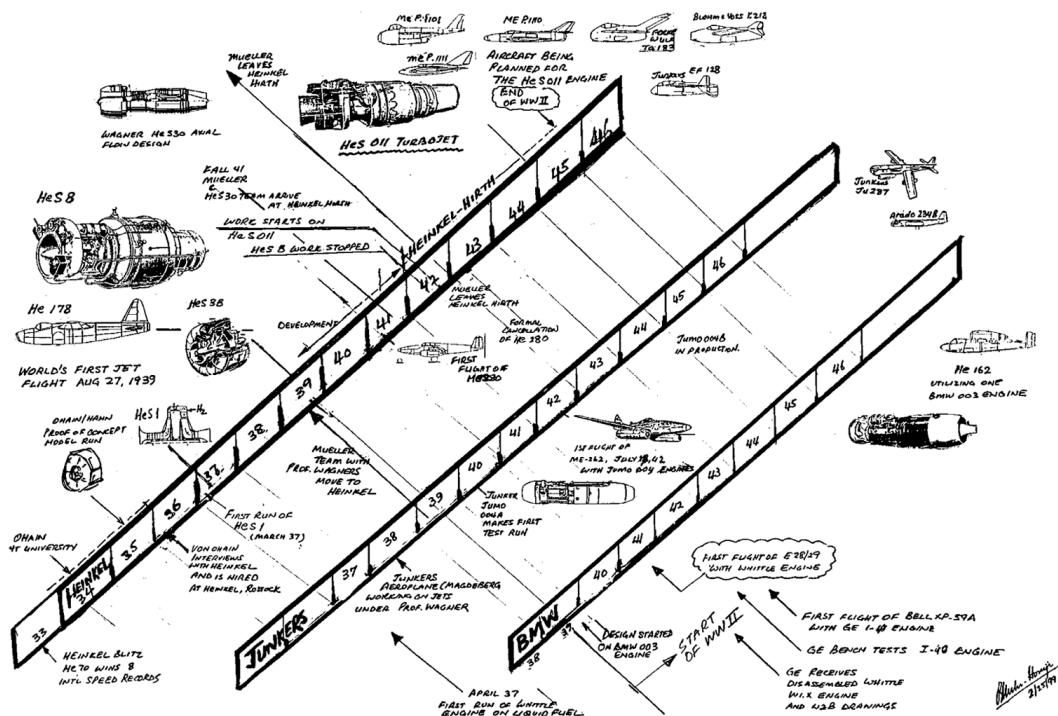


図1 ドイツのジェットエンジン開発と飛行機に関する年表

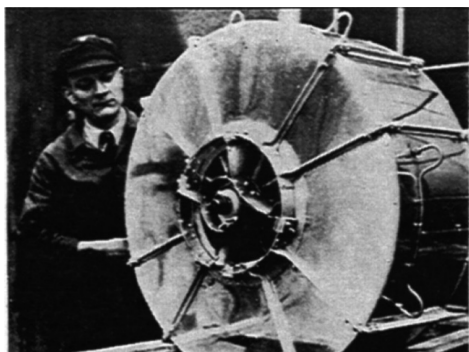


図2 自立運転できなかったプロトタイプモデル (1934)

指導教授のR. W. Pohl教授はvon Ohainの課外活動に対して好意的に支援するだけでなく企業のスポンサーシップを得るように勧めた。von Ohainは、スピードへの情熱やリスクをいとわないHeinkelの会社を賢明にも選択した。バルト海が好きなvon OhainにはRostockにあるHeinkelの工場は絶好の地であったことも付加的な理由であった。

3. Heinkelにおけるターボジェットエンジン開発

von OhainはHeinkeやGuenther兄弟によるジェットエンジンに関する長時間のインタビューを経て1936年4月15日にHeinkel社に雇われた⁽⁹⁾。

3.1 HeS 1実証用エンジン

友人のMax Hahnも入社するように主張したvon Ohainは、“Sonder-Entwicklung”（特別開発）という名で、1年以内にベンチテストに到達すべく、猛烈な速さかつ秘密裏にプロジェクトを進めた。von Ohainは本来は燃焼実験を体系的に行いたいと思っていたが、Heinkelから要求される時間的制約のため、まずは燃焼性に優れた水素燃料を用いることにした。図3に示すように、HeS 1エンジンは遠心圧縮機と半径流タービン（ローター直径12インチ）を背中合わせにし、タービン上流側流路中の周方向に多数配置した中空ベンから噴出した水素を鈍い形状の後縁で保炎した。この結果1937年春には、10,000rpmで推力1.1kNを発生し、オフデザイン条件や加減速でも問題は生じなかった。この成功でvon OhainはHeinkel社のジェット推進部長となり、さらに液体燃料を用いたHeS 2からHeS 3の開発へと進む。

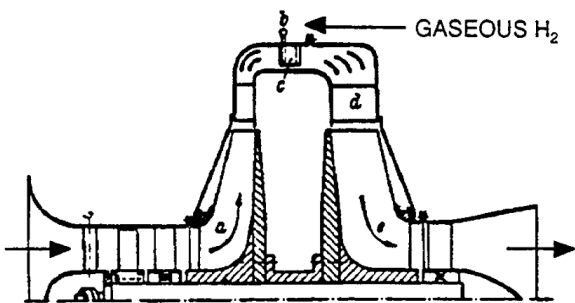


図3 水素燃料を用いた実証エンジン HeS 1

3.2 HeS 3AとHeS 3Bエンジンの設計開発

HeS 1のあと、噴霧化を含めた燃焼器の性能向上に重点がおかれた。Max Hahnは遠心圧縮機前方の未使用スペースに燃焼器を配置することによりシャフトサイズを小さくする提案を行ったところvon Ohainはいたく感心して特許を申請する（図4）⁽¹⁰⁾。

HeS 3Aエンジンは1938年にテストされたが、前面積を小さくするために小さい圧縮機と燃焼器が使われ

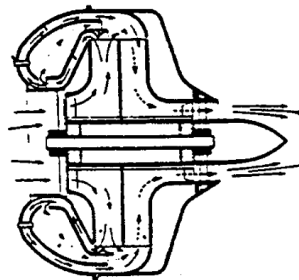


図4 圧縮機前方に燃焼器を配置したHahnの特許図⁽¹⁰⁾

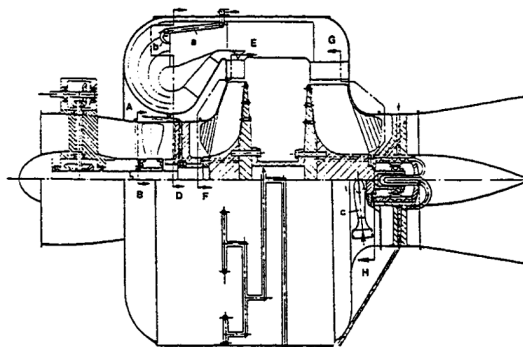


図5 HeS 3Bエンジンのレイアウト⁽¹¹⁾

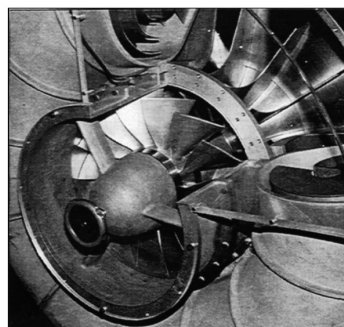


図6 インデューサーと遠心圧縮機から構成されるHeS 3Bエンジンの入口部

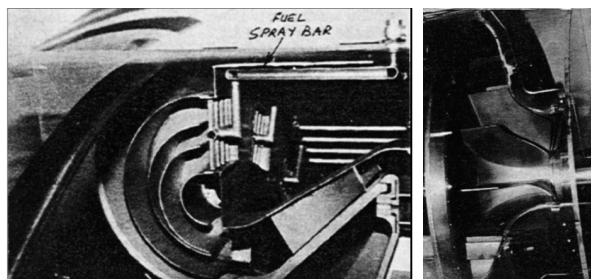


図7 HeS 3Bエンジンの燃焼器 (左)

図8 HeS 3Bエンジンの半径流タービン部 (右)

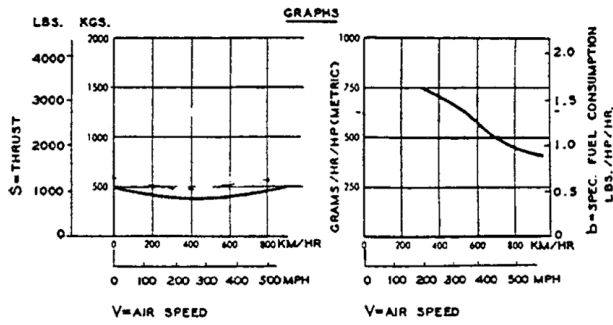


図9 HeS 3Bエンジンの性能曲線

たため所定の推力を得られなかった。そこでvon Ohainは高ハブ/チップ比により質量流量を増し、また軸流インデューサー段を用いることで入口損失を最小化した。(図5⁽⁴⁾~8) その結果、13,000rpmで重量360kg、前面面積0.68m²で、図9に示す性能が得られた⁽²⁾。

4. He178機：世界初のジェット機

He 178機の設計はHeinrich Hertel博士の指導のもとGuenther兄弟により進められた。基本設計はWalter Guentherによるものだったが、彼が1937年9月に起きた自動車事故によって不慮の死をとげたあとは、Heinrich HelmboldとSiegfried Guentherに引き継がれた。He178機(図10)は肩翼機で木製の翼はスパン7.2m、全長7.48 m。HeS 3Bエンジン用の空気はノーズインテークからパイロットシートの下方を通って導かれた。重量1950kgで海面上で最高速度640km/hに設計された。

そして冒頭に述べたように1939年8月27日、6分間の歴史的初飛行に成功する。Heinkelは歓喜してRLMに駆け込むのであるが、数日後に大戦突入を控えて目前のことに手一杯だったRLMは冷ややかに対応する。その後、HeinkelはRLMのSchelp, Milch, Udetらの前でデモンストレーションを行うのであるが、燃料ポンプ漏れのトラブル等も加わって⁽⁵⁾、やはり熱狂的には受け入れられなかった。しかし、この飛行はイタリアのCaproni-Campini CC2より1年先んじ、英国のWhittleのW1エンジンを搭載したGloster E28/39より20ヶ月も先んじていたのである。

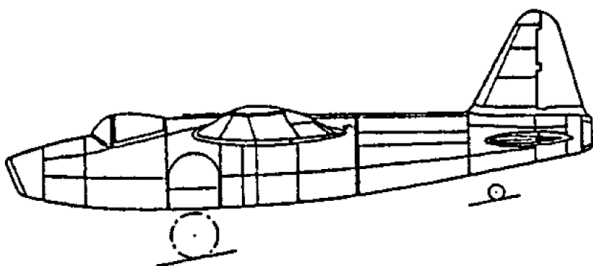


図10 He 178—世界初のジェット戦闘機

5. HeS 6エンジン

HeS 6エンジンは、HeS3エンジンを改良することによ

り、燃料消費は同レベルに抑えたまま13,300rpmで推力2860kgに高めたものである。エンジン自体は優れていたが、He 178機との組み合わせはうまくいかず、同機は引退を余儀なくされた。

6. He 280ジェット戦闘機用のエンジン開発

RLMに対してHe-178機のデモンストレーションを行った直後、HeinkelはHe 280機という双発の戦闘機開発に乗り出す。この機のためのエンジンとして、1939年夏にJunkers Aeroplane CompanyからHeinkelに移ったMuellerが開発する軸流WagnerエンジンHeS 30が、当初は予定されていたが、開発が難航した。そこで、von Ohainはバックアップ策としてHeS 8エンジンの開発に着手する。これはHeS 3Bと同様の半径流であるが、軸ベーンディフューザーと直線流路型燃焼器を特徴とする。そのころRLMのUdetはHeinkelを支援するようになっていて、Heinkelには本格的なエンジン製造能力が不可欠と考えた。そこでHenkelに、1941年4月までにHe 280機が飛行に成功したら、StuttgartのHirsh Motoren Companyを買収許可する紳士協定を結ぶ。von OhainはHeS 8エンジンで1941年3月に目標を達成し、Hirshの買収が実現する。

7. HeS 8Aエンジン

HeS 8 (RLM名称109-001)はHeS 3とHeS 6をベースとして、図11のような直線的な流動設計で直径を小さくしている(表1)。

HeS 8Aエンジンは、アルミ合金製の14ブレードの軸流インドゥーサー、19ベーン半径流インペラー、スチール製の14ブレードの半径流タービンから構成される。また燃焼器は1組8本の燃料噴射ノズルを16組、合計128ノズルから構成された。

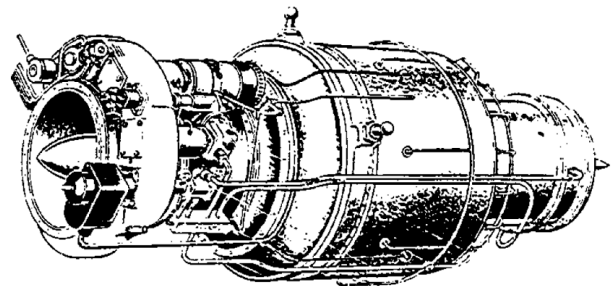


図11 HeS 8エンジン

表1 HeS 8エンジンの主要諸元

PARAMETER	HESS ENGINE
RPM	13,500
Weight	837 lbs. (380 kg)
Frontal Area	5.05 sq. f. (0.47 m ²)
Specific Thrust.	1.89Lb thrust/Lbs; (18.5 N/kg)
Specific fuel consumption	1.6 Lbs/Lbs thrust hour;(0.163 kg/Nh)

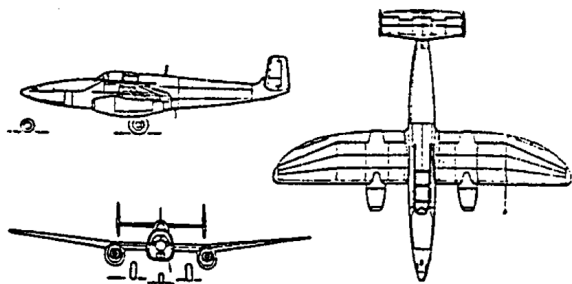


図12 HeS 8エンジンを2台搭載した優美なHe 280戦闘機

8. 世界初のジェット戦闘機He 280

He 280機はRobert Lusserによって設計された。全金属製で翼スパンは12m全長は10.04mである(図12)。He 280機は前輪式(tricycle undercarriage)や圧縮空気による射出座席の採用でも革新的な飛行機であった。HeinkelのテストパイロットFritz Schafferがテスト飛行に成功したのは1941年3月30日、RLMの役人の前でデモンストレーションに成功したのは4月5日であった。

9. Hirth Motorenの獲得とHeinkel Hirth

正式社名はErnst Heinkel AG-Werk Hirth Motorenである⁽¹³⁾。もともと機体メーカーであったHenkelにエンジンメーカーであるHirthが合体して、von Ohainの仕事は順調だった⁽¹⁴⁾。しかし、1942年7月、HeS 8Aエンジンは優れたエンジンではあったものの、実戦に初投入されたジェット戦闘機であるメッサーシュミットMe 262機には軸流でブレード冷却機構のついたJumo 004エンジンが採用された。これを機に、1943年早期に、HeS 8とHeS 30とHe 280機のプログラムがキャンセルされ、RLMのShelpはvon Ohainに第2世代のHeS 011エンジンを開発するように命ずる。この決定により、Heinkelはそれまでに確立していたジェットエンジンをリードする会社としての地位を失っていくことになる。

10. Heinkel Hirth HeS 011エンジンの設計と開発

RLM名称109-011のHeS 011エンジンはvon Ohainと

表2 Jumo 004BエンジンとHeS 011エンジンの比較

Parameter	Jumo 004 B	HeS-011A
Manufacturer	Junkers Engine	Heinkel-Hirth
Thrust, Lbs	2000; (8.927 kN)	2863 . (12.75 kN)
Weight, Lbs	1650; (750 kg)	1950; (885 kg)
T/W Ratio	1.21	1.44
Length	152" (3860 mm)	131.6" (3343 mm)
Frontal dia.	30"; (760 mm)	32"; (805 mm)
Air mass flow rate, lb/sec	46.7; (21.2 kg/sec)	64; (29 kg/sec)
Pressure Ratio	3.1:1	4.2:1
RPM	8700	10,205
Compressor configuration	8 stage axial flow	Diagonal stage +3 axial stages
Turbine Configuration	1 stage turbine	2 stage air cooled
Fuel Consumption Lb/Lb thrust	1.4-1.48	1.35
Turbine inlet temperature, F	1427F;(775C)	1427 F (775C)

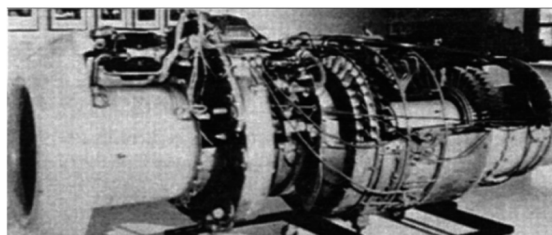
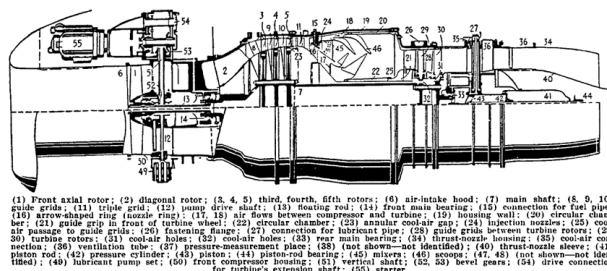


図13 Heinkel Hirth HeS 011エンジン⁽¹⁴⁾



(1) Front axial rotor; (2) diagonal rotor; (3, 4, 5) third, fourth, fifth rotors; (6) air-intake hood; (7) main shaft; (8, 9, 10) guide grids; (11) trilete grid; (12) pump drive shaft; (13) floating rod; (14) front main bearing; (15) connection for fuel pipe; (16) arrow-shaped ring (axial ring); (17, 18) air flow between compressor and turbine; (19) housing wall; (20) circular chamber; (21) guide grip in front of turbine wheel; (22) circular chamber; (23) annular cool-air gap; (24) injection nozzle; (25) cool-air passage to guide grid; (26) fastening flange; (27) connection for lubricant pipe; (28) guide grids between turbine rotors; (29, 30) turbine rotors; (31) cool-air holes; (32) cool-air holes; (33) rear main bearing; (34) thrust-collar-bearing; (35) cool-air connection; (36) ventilation hole; (37) pressure-measurement plate; (38) (not shown—not identified); (40) thrust-collar above; (41) piston rod; (42) pressure cylinder; (43) piston; (44) piston-rod bearing; (45) mixers; (46) scoop; (47, 48) (not shown—not identified); (49) lubricant pump set; (50) front compressor loading; (51) vertical shaft; (52, 53) bevel gears; (54) drive connection for turbine's extension shaft; (55) starter

図14 HeS 011エンジンのレイアウト⁽¹⁵⁾

Max Bentele博士が開発を担当し、10,205 rpmで推力13 kNを達成した(図13⁽¹⁴⁾, 14⁽¹⁵⁾)。表2にJumo 004Bとの比較を示す。

10.1 コンプレッサー部分

単段のインドューサーに斜流圧縮機をおき、さらに対称(反動度50%)の軸流圧縮3段とした。(図15)この斜流圧縮機は理論的というよりは、調整可能なステーターを用いて実験的に最適化された。種々のセッティングが試験され、図16⁽¹⁴⁾のような満足のいく性能が得られた。

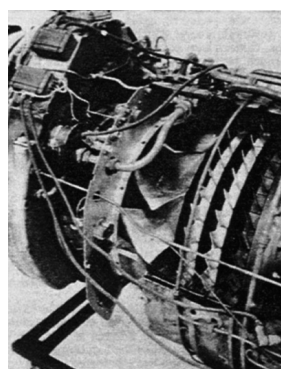


図15 HeS 011エンジンの圧縮機部分⁽¹⁴⁾

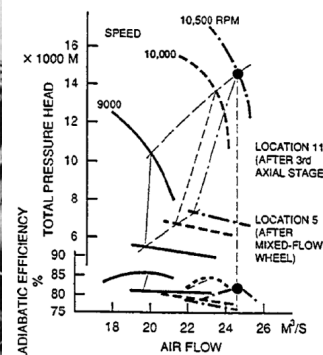


図16 HeS 011エンジンの圧縮機マップ⁽¹⁴⁾

10.2 燃焼器

燃焼器はアニューラー型で、16個の燃料ノズルと4個の点火プラグを有している。

10.3 タービン

Max Benteleによって設計された2段空気冷却タービンを図17に示す。ブレードの共鳴問題は下流にあるベアリング支持のための4個のストラット配置を調整するこ

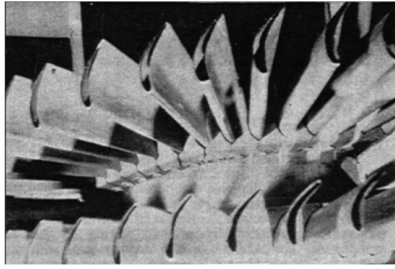


図17 HeS 011エンジンの空気冷却2段タービン部分⁽¹⁴⁾

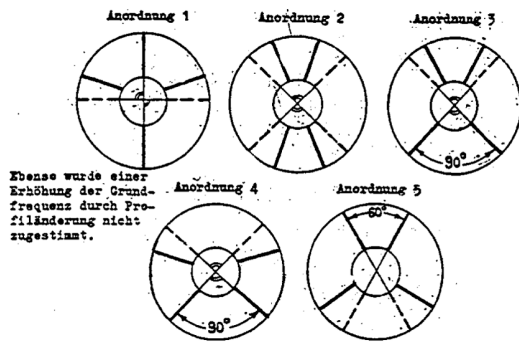


図18 ブレードの振動問題を解決するためのベアリング支持スラット

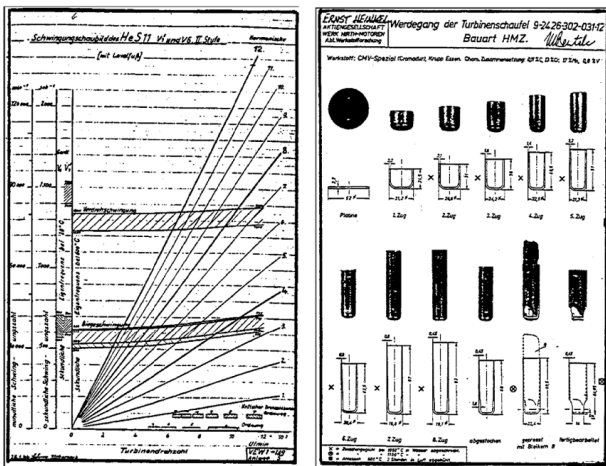


図19 励起および自然周波数に関するBentele図 (左)⁽¹⁶⁾

図20 25mm径の円板から空気冷却ブレードを製作する独創的な方法 (右)⁽¹⁷⁾

とで克服した。(図18, 19⁽¹⁶⁾)

空気冷却ブレードは、図20⁽¹⁷⁾に示すように、通常のオーステナイト系クロム・モリブデンのスチール円板シートから作られた。

10.4 機械的な特徴とアクセサリ

10.4.1 ベアリングとアクセサリ

ベアリングは斜流圧縮機の前方向と2段タービンの後方に設置された。Riedelのスターター、SiemensやBoschの発電機、Barmagの燃料ポンプ、Knorrの空気圧縮機やタコメーターも設置された。

10.4.2 燃料システム

燃料システムは定速ガバナーで作動するスロットルに

よって制御された。低圧用のギアポンプから高压のギアポンプに送り、40kg/cm²で噴射した。

10.4.3 潤滑システム

加圧された潤滑油が、流量35l/min、圧力3.5-4 kg/cm²で供給された。

10.4.4 Tail Cone Bullet

ピストンで調整可能なTail Cone Bulletが設置された。

11. Hans von Ohain, ターボジェットの共同発明者

Hans Joachim Pabst von Ohain博士は1911年12月14日にドイツのDessauで生まれた。1935年にGottingen大学で物理学および応用力学の学位を取得した。その後の彼の仕事は先に述べたとおりである。

ターボジェット分野におけるドイツの最も傑出したエンジニアと評価されたvon Ohainは1947年に米国のWright-Patterson AFB社に招かれた。1963年には空軍航空研究所の主席サイエンティスト、1975年には空軍航空推進主席サイエンティストになった。1979年には政府機関における仕事から引退し、Dayton大学の研究所やFlorida大学の客員教授となった。彼は若い学生からたいへん慕われ、教育におおいに貢献した。

von Ohain博士の人柄はきわめて謙虚であり、他人の貢献を第一として、おうおうにして自身の貢献を控えめにしか語らなかった。

米国での32年間に、von Ohainは30編以上の技術論文を書き、19件の米国特許を取得した。また、彼はHeinkelで50以上の特許を取得した。von OhainはDeutsche Akademie der Luftfahrt Forschungのメンバーに選ばれた。また、the Goddard Award for AIAAや数多くのAir Force awards、1990年にはASME Tom Sawyer Awardとthe National Hall of Fame for Aviationを受賞した。1992年には、von Ohain博士とFrank Whittle卿は工学におけるノーベル賞であるthe Charles Draper Prizeを授与された。また、Dayton, West Virginia, Floridaの3大学から名誉博士号を授与された。さらにドイツではPrandtl Ring等の著名な賞を授与された。



図21 3人のジェットエンジンのパイオニア (1978年) 左からFrank Whittle, Hans von Ohain, Max Bentele⁽¹⁸⁾

von Ohain 博士はFloridaのMelbourneで86歳で逝去した。図21はジェットのパイオニア3人が1978年に会した最後の写真として知られているものである⁽¹⁴⁾。

12. むすび

ターボジェットエンジンの時代を切り開いたとして永遠に記憶されるべきHans von Ohainの業績を紹介した。

参考文献

- (1) Constant, E. W., II, 1980, *The Origins of the Turbojet Revolution*, Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore, MD.
- (2) Schlaifer, R., 1950, *Development of Aircraft Engines*, Graduate School of Business Administration, Harvard University, Boston, MA.
- (3) von Ohain, H., 1979, "The Evolution and Future of Aeropropulsion Systems," *The Jet Age-40 Years of Jet Aviation*, Walter J. Boyne and Donald S. Lopez, eds., Smithsonian Institute, Washington, DC.
- (4) Scott, P., 1995, "Birth of the Jet Engine," *Mechanical Engineering*, January, ASME, New York, pp. 66-71.
- (5) Jones, G., 1989, *The Birth of Jet Powered Flight*, Methuen, London.
- (6) Meher-Homji, C. B., 1998, "The Development of the Whittle Turbojet," *ASME J. Eng. Gas Turbines Power*, 120, No. 2, ASME, New York.
- (7) Heinkel, E., 1956, *Stormy Life-Memoirs of a Pioneer of the Air Age*, E. P. Dutton and Co., New York.
- (8) Meher-Homji, C. B., 1997, "The Development of the Junkers Jumo 004B-the World's First Production Turbojet," *ASME J. Eng. Gas Turbines Power*, 119, No. 4, ASME, New York.
- (9) von Ohain, H., 1989, talk made at the 50th Anniversary of Jet Powered Flight, video cassette, Vol. No. 1, AIAA, Dayton Chapter.
- (10) Bamford, L. P., and Robinson, S. T., 1945, "Turbine Engine Activity at Ernst Heinkel Atiengesellschaft Werk Hirth-Motoren, Stuttgart/Zuffenhausen," report by the Combined Intelligence Objectives Subcommittee dated May 1945.
- (11) Gunston, B., 1995, *The Development of Jet and Turbine Aero Engines*, Patrick Stephens, Ltd., UK.
- (12) Carter, J. L., 1945, *Ernst Heinkel Jet Engines*, Aeronautical Engine Laboratory (AEL) Naval Air Experimental Station, Bureau of Aeronautics, US Navy, June, 1945.
- (13) *An Encounter Between the Jet Engine Inventors Sir Frank Whittle and Dr. Hans von Ohain*, 1978, Wright-Patterson Air Force Base, OH, History Office, Aeronautical Systems Division, US Air Force Systems Command.
- (14) Bentele, M., 1991, *Engine Revolutions: The Autobiography of Max Bentele*, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA.
- (15) Neville, L. E., and Silsbee, N. F., 1948, *Jet Propulsion Progress*, McGraw Hill Inc, New York.
- (16) Hirth Motoren G.m.b.H. Report, 1944, VEW 1-139, "Schwingungsuntersuchungen an der He S 11-Turbine V1 aund V6 mit Vollschaufeln," dated Jan 31, 1944; Max Bentele Papers, American Heritage Center, University of Wyoming, Laramie, WY.
- (17) Hirth Moteren G.m.b.H. Report, 1944, VEW 1-140, "Untersuchung der Fussbefestigung von Topf-und Falt-schaufeln durch Kaltschleuderprufung," dated April 16, 1944; Max Bentele Papers, American Heritage Center, University of Wyoming, Laramie, WY.