

航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-1289

コア分離型ターボファン・エンジン

齊藤喜夫・遠藤征紀・松田幸雄
杉山七契・菅原昇・山本一臣

1996年4月

航空宇宙技術研究所

NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

コア分離型ターボファン・エンジン*

齊藤喜夫*¹ 遠藤征紀*² 松田幸雄*¹
杉山七契*¹ 菅原昇*¹ 山本一臣*¹

Separated Core Turbofan Engine*

Yoshio SAITO*¹, Masanori ENDOH*², Yukio MATSUDA*¹, Nanahisa SUGIYAMA*¹
Noboru SUGAHARA*¹ and Kazuomi YAMAMOTO*¹

ABSTRACT

A new concept for a turbofan engine called the "Separated Core Turbofan Engine" is proposed and studied under the research program of the ultrahigh bypass turbofan engine for the next generation high-subsonic transport aircraft. The concept engine consists of two subunits, a core engine and a fan engine which are separate from each other. The results of the conceptual study show that this engine has many potential advantages over the current turbofan engines in many respects, including stability of operation and flexibility of configuration, and it also has other applications such as in advanced VTOL transport aircraft.

Key Words: Ultrahigh bypass, Turbofan engine, Separated core

概要

次世代の高亜音速輸送機用エンジンである超高バイパス比ターボファン・エンジンの研究「超高バイパス比可変形状エンジンの研究」を進めている過程で、新しい概念のエンジンである「コア分離型ターボファン・エンジン」を考案した。

このエンジンの特徴は、従来のターボファン・エンジンでは一体となっていたファンとコア・エンジンを分離して並列に配置したことである。概念検討の結果、コア分離型ターボファン・エンジンは従来型ターボファン・エンジンに比べて、安定性や構成の柔軟性などに優れており、また、VTOL輸送機用エンジンなどの新しい用途にも適していることが確認された。

1. はじめに

高亜音速機用エンジンとしてのターボファン・エンジンは推進効率の向上と騒音の低減を図るために高バイパス比化が進められ、現在では、バイパス比が5程度の高バイパス比エンジンとなっている。さらに、従来型エンジンとしては高バイパス比化のほぼ限界であるバイパス

比が約10のエンジンも実用化している。しかし、航空機の大型化に対応するためと、将来とも厳しさが増すエネルギー問題や環境問題に対処するために、欧米の各国では次の世代のエンジンとしてバイパス比が15から20程度の超高バイパス比ターボファン・エンジンの研究開発を進めている。

超高バイパス比ターボファン・エンジンは、これまでの高バイパス比ターボファン・エンジンよりファンの圧力比を下げて排気速度を小さくすることによって、推進効率の向上と騒音の低減を図ったエンジンである。しかし、超高バイパス比ターボファン・エンジンには、ファンの空気流量の増加によって大型化するファンとナセル

* 平成8年2月14日受付け (received 4, February 1996)

* 1 原動機部 (Aeroengine Division)

* 2 熱流体力学部 (Thermofluid Dynamics Division)

の重量増加、極端に直径の異なるファンとタービンの回転数の不釣り合い、低圧力比ファンに特有な飛行マッハ数による作動点の大きな移動などの技術的問題がある。従来形式のエンジンでこれらの問題の全てを克服することは困難なため、超高バイパス比ターボファン・エンジンには、これまでにいくつかの形式が検討され研究開発が進められてきた。検討された案の中では、これまでのターボファン・エンジンで一般的となっているタービン直結の固定ピッチ・ファンに代えて、減速装置付き可変ピッチ・ファンを採用する形式が、エンジンナセルの重量の相当部分を占める逆噴射装置を省略できることや、飛行マッハ数による作動点移動の問題などを同時に解決できることから、最も有望であると考えられる。しかし、この形式でも、エンジンの最前部にあるファンのピッチ変化が後方にあるコア・エンジンの作動に直接影響を及ぼすことになり、ファンを逆ピッチにして逆推力を発生させるためには、コア・エンジンを安定に作動させるための工夫が必要となる。

著者等は、これまで、可変ピッチ・ファンを用いる超高バイパス比ターボファン・エンジンの検討を行ってきたが、現在の亜音速機用エンジンでは、コア・エンジンが高圧力比化されているためにコア・エンジンの圧縮機から排出される空気の体積流量がファンを通過する低圧の空気の体積流量に比べて著しく小さいことに着目して、

ファンとコア・エンジンを分離して並列に配置する新しい形式のターボファン・エンジンである「コア分離型ターボファン・エンジン」^{1),2)}を考案した。

本報告は、「コア分離型ターボファン・エンジン」の概念、特長およびその応用について紹介する。

2. エンジンの概念

コア分離型ターボファン・エンジンは現在の高バイパス比ターボファン・エンジンと同程度以上のサイクル圧力比とバイパス比をもつターボファン・エンジンの一形態で、これまでのターボファン・エンジンに相当する基本的な構成の他に、このエンジンに特有なエンジン・システムが構成できる。

2.1 基本的な構成

コア分離型ターボファン・エンジン(以下、コア分離型エンジンと略す)の基本的な構成を図1に示す。このエンジンは、ファンと圧縮機を並列に配置し、それぞれに駆動用の燃焼器とタービンを取り付けたもので、高圧空気を供給する圧縮機部(コア・エンジン)と推力を発生するファン部(ファン・エンジン)に分離されており、二つの部分は高圧空気のダクトで接続される。コア・エンジンおよびファン・エンジンは以下のような構成と機能をもつ。

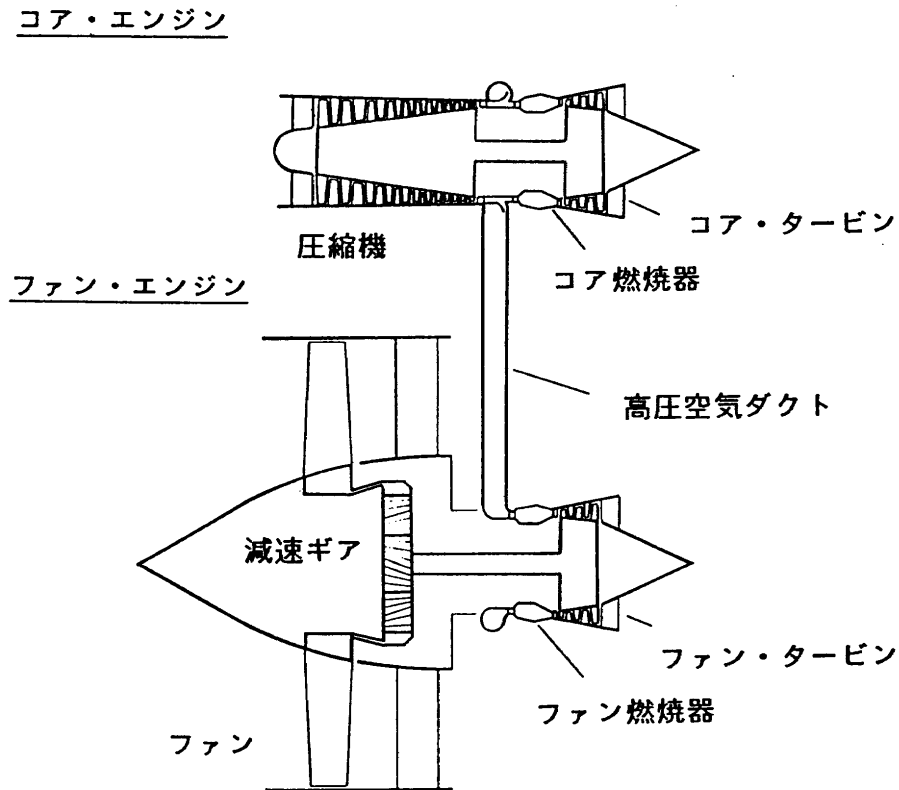


図1 コア分離型ターボファン・エンジンの基本的な構成

(1) コア・エンジン

コア・エンジンは高圧力比の圧縮機とその駆動用の燃焼器(コア燃焼器)およびタービン(コア・タービン)で構成される。圧縮機の出口では流路が二分され、圧縮された高圧空気の一部はコア燃焼器に、残りはファン・エンジンにつながる外部のダクトに導かれる。コア・エンジンは自立運転をする高圧空気の発生装置であり、ガス発生機である従来型ターボファン・エンジン(以下、従来型エンジンと略す)のコア・エンジンとは機能的にやや異なる。コア・タービンは空気流量が圧縮機の二分の一程度になるため、従来型エンジンのコア・タービンよりも小

型になる。

(2) ファン・エンジン

ファン・エンジンはファンとその駆動用の燃焼器(ファン燃焼器)、タービン(ファン・タービン)及び減速装置で構成される。ファン燃焼器にはコア・エンジンからダクトを介して高圧空気が供給される。減速装置は、小流量で小型のファン・タービンと大流量で大型のファンを共に効率の良い回転数範囲に保つために必要である。

2.2 エンジン・システムの構成

コア分離型エンジンでは、コア・エンジンとファン・

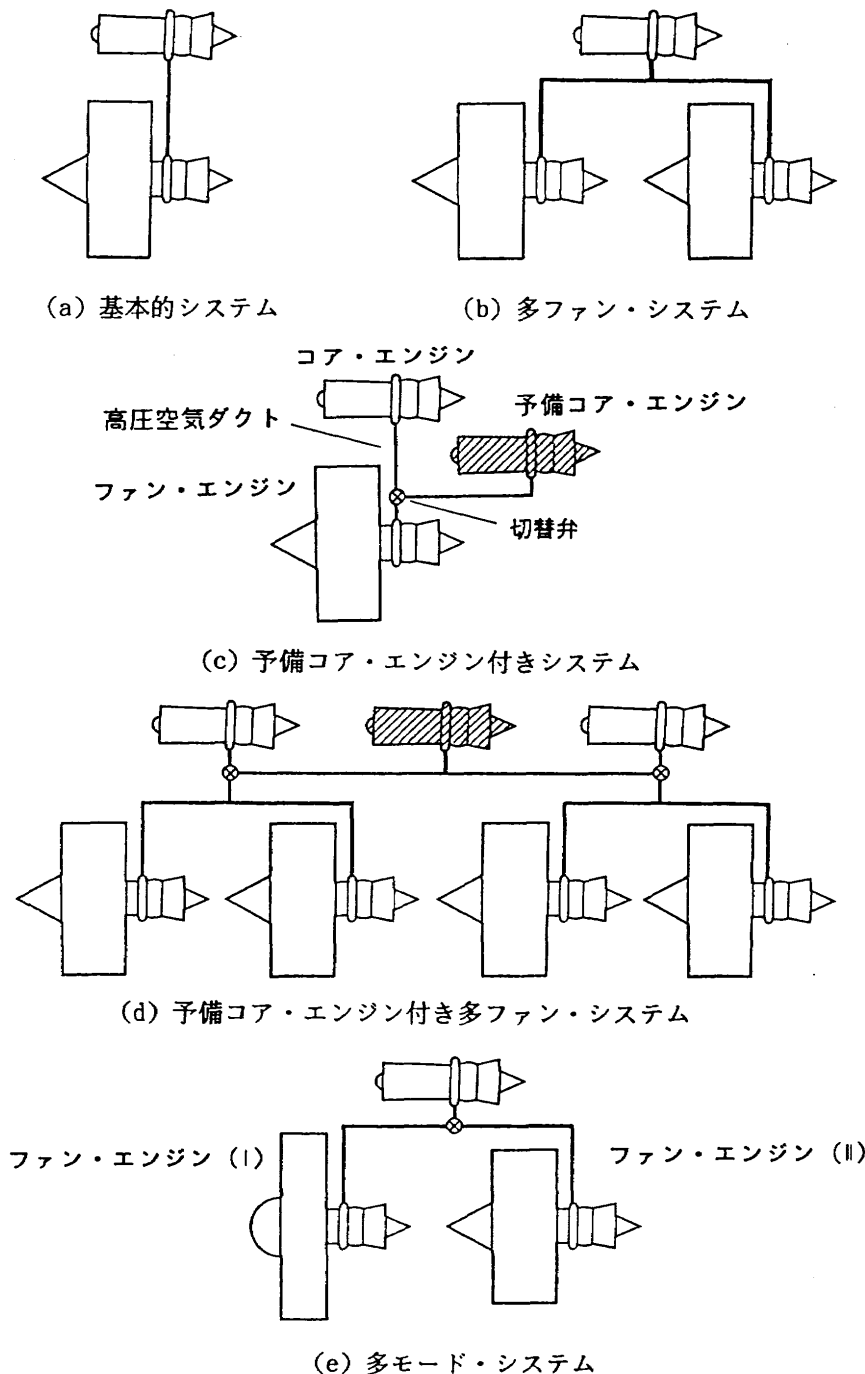


図2 エンジン・システムの構成

エンジンをそれぞれ任意の基数だけダクトで結合して、一つのエンジンのように作動するエンジン・システムとすることができる。

ファン・エンジンとコア・エンジンの組み合わせは多様であるが、1基のファン・エンジンが同時に2基以上のコア・エンジンから高圧空気の供給を受けるとコア・エンジン間での干渉が生ずるおそれがあるため、次の(1)~(4)のエンジン・システムが実用的と考えられる。

(1) 基本的システム

従来型エンジンに相当する最も単純なシステムで、コア・エンジンとファン・エンジンそれぞれ1基で構成する(図2a)

(2) 多ファン・システム

1基のコア・エンジンで複数のファン・エンジンに高圧空気を供給するシステム(図2b)。コア・エンジンが大きくなるため圧縮機やタービンにとって空力的に有利になる。複数のファンを必要とする航空機では、従来型エンジンを用いる場合よりコア・エンジンの基数を少なくすることができる。

(3) 予備コア・エンジン付きシステム

(1)または(2)のシステムに予備のコア・エンジンを付け加えたシステム(図2c, d)。コア・エンジンの1基に異常が発生した場合に、ダクトを予備のコア・エンジンに切り替えて安全が保てる。予備のコア・エンジンを緊急時専用の簡易型コア・エンジンとすることも考えられる。

(4) 多モード・システム

コア・エンジンを種類の異なるファン・エンジンに接続したシステム(図2e)で、リフトファン方式のVTOL機用エンジンなどに最適なエンジン・システムとなる。

3. エンジンの特徴

対象を中型以上のエンジンに限定すると、コア分離型エンジンは従来型エンジンより優れた多くの特徴を兼ね備えることができる。

3.1 作動の安定性

コア分離型エンジンの優れた特徴の一つは作動の安定性を保ちやすいことである。

コア・エンジンは、ファン・エンジンとは独立に作動することが可能なことに加えて、ファンの影響を受けにくい位置に空気取り入れ口を設けることでファンの影響を最小限にすることができること、空気取り入れのダクトが小さいために気流の整流が容易なことなどから作動の安定を保ち易い。そのため、コア・エンジンからのファン・エンジン駆動用の高圧空気の供給も安定し、ファン・エンジンは作動状態にかかわらず安定した駆動力を得ることができる。このため、コア分離型エンジンはシステ

ム全体としての安定性が高い。

超高バイパス比ターボファン・エンジンの成否にかかわる技術課題の一つである可変ピッチのファン動翼を逆ピッチにして逆推力を発生させた場合のコア・エンジンの作動の安定性の問題は、コア分離型エンジンとすることで解決できる。

従来型エンジンではファンの作動状態及びファン入り口の流れの状態がコア・エンジンの作動に影響を与えることが避けられないため、コア分離型エンジンは安定性において従来型エンジンに優る。

3.2 制御の自由度

コア分離型エンジンは独立に燃料制御のできる二種類の燃焼器を備えており、コア燃焼器の燃料流量でコア・エンジンおよびファン・タービンの空気流量と圧力を制御し、さらにファン燃焼器の燃料流量でファン・タービンの出力を制御する。このため、コア・エンジンの作動状態を一定に保ったままファンの推力を変化させることも、また、ファンの推力を一定に保ったままコア・エンジンの圧力比を変えることも可能である。さらに、高圧空気ダクトに流量、圧力等の制御装置やバイパス機構を取り付けると、ファン・エンジンの制御範囲が広がり、コア・エンジンを作動させた状態でファンを静止させることも可能になる。

コア・エンジンの燃料流量のみで制御を行う従来型エンジンでこのような制御を行うことは不可能である。

3.3 応答の高速性

コア・エンジンは空気力及び慣性力の大きなファンと完全に分離されているため、従来型エンジンのコア・エンジンよりも加減速が速く、したがって、コア・エンジンから駆動用の空気を供給されるファン・エンジンの加減速も速くなる。また、ファン・エンジンの燃料流量で制御できる範囲であればファンの加減速がコア・エンジンの圧縮機の作動に影響しないため、圧縮機のサージで制限されることなくファンを急加速、急減速することが可能である。このため、コア分離型エンジンは従来型エンジンより応答性の高いエンジンとなる。

3.4 構造の単純化

コア分離型エンジンはファン・エンジンとコア・エンジンが分離されるため、個々のエンジン要素の構造が簡素化され、従来型エンジンよりも小型、軽量になる。

タービンは、従来型エンジンに比べて軸数が増すが、周速度が大きくなるためにエンジン全体での段数はほとんど変わらず、小型化されることで総重量が軽減される。

3.5 空力設計の最適化

コア分離型エンジンでは、コア・エンジンとファンが分離されているため、空力設計において、

(a) コア・エンジンとファンを共に最適な回転数にできる。

(b) コア・エンジンおよびファンの空力設計では相互の影響を考慮する必要がない。

(c) コア・エンジンでは流入する気流が好ましい状態に保ち易いため、作動範囲を広くとる必要がない。

など、従来型エンジンより制約が少なくなる。そのため、コア・エンジンは設計点での性能や効率を追及し易くなり、また、ファンの空力設計も最適化し易くなる。

3.6 開発、改良の柔軟性

コア分離型エンジンは従来型エンジンの場合より柔軟に開発や改良を行うことができる。

エンジン開発では、個々の要素単独では設計仕様を満たしても、全体を組み上げた場合に問題が生ずることが少なくない。しかし、コア分離型エンジンでは、コア・エンジンとファン・エンジンは受け渡す高圧空気の流量と圧力のみが一致すれば良いため、コア・エンジンとファン・エンジンの機械的な設計を、それぞれ自由に行うことができ、それぞれが分離した状態で設計値を満足すればエンジン・システムとして問題は生じない。こ

のため、コア分離型エンジンは従来型エンジンに比べて開発や改良が容易であり、また、同一のコア・エンジンを用いて、ファンの仕様が異なるエンジンを開発することも容易である。

3.7 保守の容易さ

コア分離型エンジンでは、コア・エンジンとファン・エンジンが小型、軽量で構造が単純であり、それぞれ別々に機体への装着、取り外しや分解、組み立てができる。このため、コア分離型エンジンは従来型エンジンより点検、整備等の保守が容易なエンジンとなる。

4. 利用形態

コア分離型エンジンは中型以上の亜音速機の推進用エンジンおよびリフトファン方式のVTOL機用エンジンに適している。

4.1 亜音速機の推進用エンジン

従来型の高バイパス比ターボファン・エンジンと同様な用途であるが、さらに騒音が低く効率の高い可変ピッチ・ファン付きの超高バイパス比エンジンが実現でき、適した飛行速度の範囲も遷音速からごく低速までと現在の高バイパス比エンジンより広くなる。

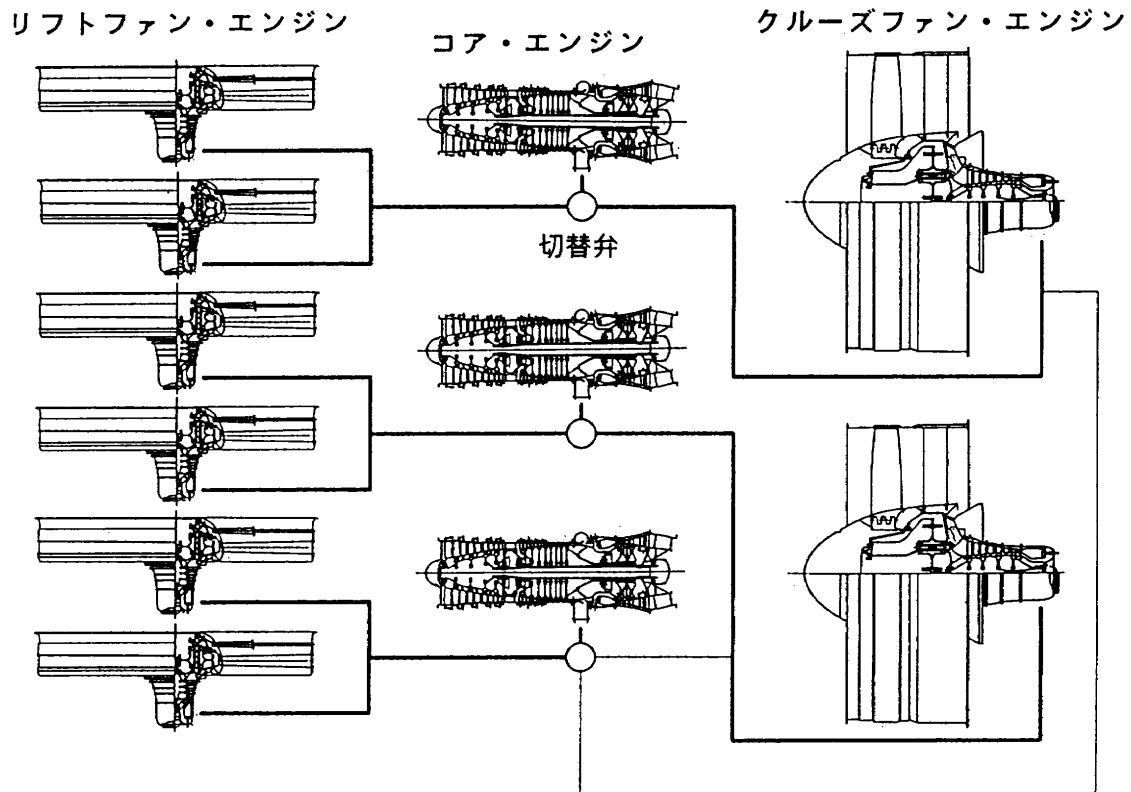


図3 VTOL機のエンジン・システム

4.2 VTOL機用エンジン

垂直機用の推進用ファンと低圧力比で大型のリフトファン(直接揚力を得るファン)を組み合わせた多モード・システムで、従来型エンジンでは実現が困難な新しい用途のエンジンである。その概念の一例を図3に示す。^{3),4)}

このエンジン・システムは総重量約40000kgのVTOL輸送機のエンジンを想定したもので、コア・エンジンとファンを同数にする必要のないコア分離型エンジンの特長を活かして、圧力比35の3基のコア・エンジンをファン圧力比1.12、推力約98kN(10000kgf)の6基のリフトファン・エンジンおよびマッハ0.8で巡航するための圧力比1.3の2基のクルーズファン・エンジンと組み合わせたものである。

コア・エンジンは、垂直離着陸時には3基のそれぞれが機体重心に対称に配置された一対(2基)のリフトファン・エンジンに接続され、巡航時には2基がそれぞれ1基のクルーズファン・エンジンに接続され、1基は予備エンジンとなる。

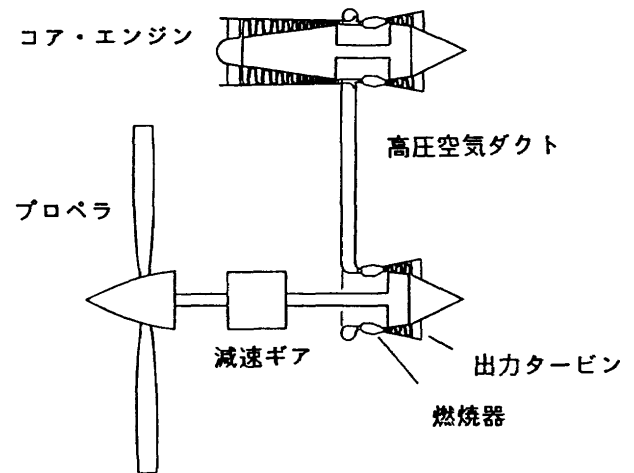
リフトファンの動翼は軽量化と高強度化のため、全翼と翼端シュラウド、中間シュラウドおよびディスク部を一体化した複合材構造で、リフトファン・エンジン全体を薄くするため、超低騒音化のため、翼数を外側で200枚、内側で100枚と極めて多くしてある。ファン・エンジンのタービンと燃焼器は逆流型として小型軽量にするとともに、高圧空気のシールを容易にしてある。バイパス比はクルーズファン・エンジンを使用する巡航モードで16.7、リフトファン・エンジンを使用する離着陸モードで36.9となる。

このエンジン・システムでコア分離型エンジンの特長は次のように活かされる。

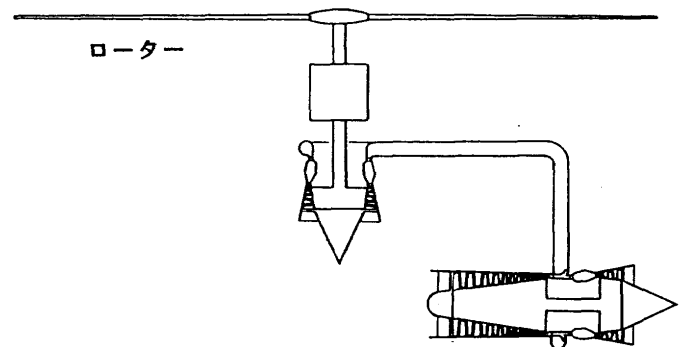
- (a) コア・エンジンをクルーズ・ファンエンジンとリフトファン・エンジンで共用するため、エンジン・システムが軽量になる。
- (b) リフトファン・エンジンが薄くなり、機体を高速飛行に適した形状にできる。
- (c) 一対のリフトファン・エンジンは、コア・エンジンを共用するため、推力の釣り合いを保ち易い。
- (d) コア・エンジンをリフトファンの影響が少ない位置に取り付けることで、強いインレット・ディストーションが生じるリフトファンを安定に作動させることができる。

5. コア分離方式の応用

コア・エンジンをパワータービンとその燃焼器から分離して高圧の空気源とするコア分離方式はターボファン・エンジンだけでなく航空用から産業用までの他の形式のガスタービン・エンジンにも応用することができる。



(a) ターボプロップ・エンジン



(b) ターボシャフト・エンジン

図4 コア分離型エンジンの応用例(1)

コア分離方式を他形式の航空用エンジンに応用する例を図4に示す。図4aはターボプロップ・エンジンへの、図4bはターボシャフト・エンジンへの応用例である。コア分離方式はファンの空気流量が多いターボファン・エンジンに適した方式として考案されたものであるため、ターボファン・エンジンのファンよりも更に空気流量の多いプロペラやローターを用いる両形式のエンジンに応用することには問題がない。特にヘリコプター用のターボシャフト・エンジンとしては駆動用タービンの配置を工夫することで、従来のエンジンより、駆動系を軽量化できる可能性がある。

産業用や船用のガスタービン・エンジンへの応用例を図5に示す。図5aは発電用エンジンの例、図5bは船舶用エンジンの例であるが、その他にも様々な応用が可能であり、コア・エンジンはそのままでも空気源設備となる。これらの場合でもターボファン・エンジンと同様に、コア・エンジンを共通として、いくつかのパワータービンを組み合わせたエンジン・システムを構成することもできる。

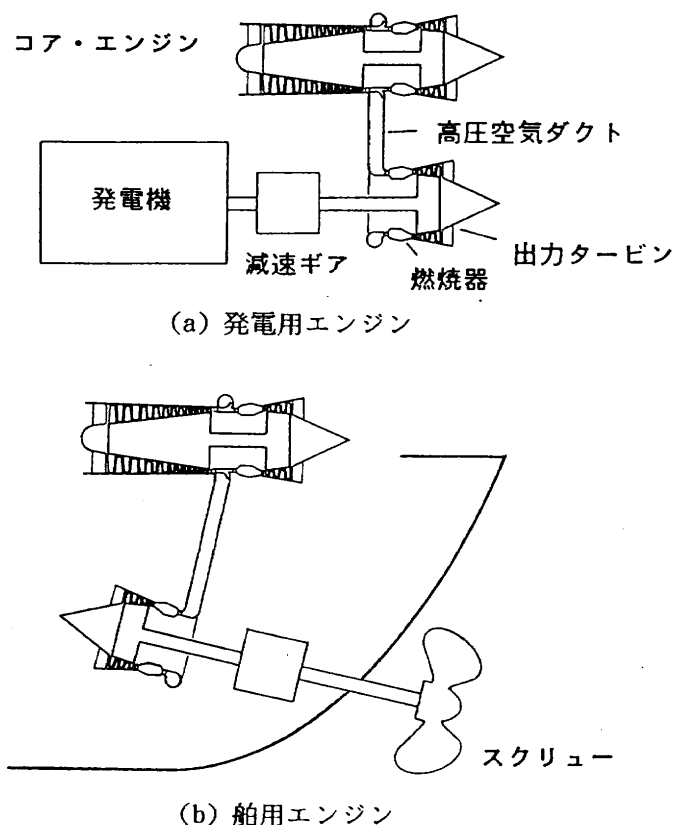


図5 コア分離型エンジンの応用例

これらのコア分離型ガスタービン・エンジンは、コア分離型ターボファン・エンジンを転用して製作することも容易である。コア分離型エンジンを他形式のエンジンに転用するには、コア・エンジンには殆ど手を加える必要がなく、動力発生部もタービンと燃焼器がそのまま利用できるため、減速装置を置き換えるだけで様々な応用が可能である。コア分離型ターボファン・エンジンは転用するのに相当な改造が必要となる従来型ターボファン・エンジンより応用の点でも優れている。

6. あとがき

新しい概念のターボファン・エンジンであるコア分離型ターボファン・エンジンについての概念検討の結果、このエンジンは、中型以上のエンジンとして、従来型ターボファン・エンジンより多くの点で優れており、また、その実現には特別に困難な技術を必要としないことが確かめられた。しかも、全く新しいエンジンの場合には、コア分離型エンジンは従来型エンジンより開発が容易である。

コア分離型ターボファン・エンジンはエンジンを目的に合わせてより最適化するための選択肢の一つであり、航空機のエンジン・システムをより安全で効率的にしたり、新しい形態の航空機を実現するのに必要なエンジンである。また、コア分離方式は高圧力比化する他形式のガスタービン・エンジンにも応用が可能で、コア分離方式とすることによってガスタービン・エンジンの利用がより柔軟になることが期待される。

現在のところ、この研究は高亜音速VTOL輸送機用のエンジンに目標を絞って進めており、高速VTOL輸送機用エンジン・システムの概念検討および高速VTOL輸送機概念検討の結果については別途報告する予定である。

この概念の具体例の検討等には石川島播磨重工業株式会社および川崎重工業株式会社の協力を得た。末尾ながら謝意を表す。

参考文献

- 1) 特許第1861368号, コアエンジン分離型ターボファンエンジン
- 2) Y. Saito, N. Sugiyama, M. Endoh, Y. Matuda; Conceptual Study of Separated Core Ultra High Bypass Engine, Journal of Propulsion and Power, Volume 9, Number 6 (1993) pp.867-873
- 3) 遠藤征紀, 齊藤喜夫, 磯貝紘二, 杉山七契, 松田幸雄; 高速VTOL機用低騒音リフトファンエンジンの概念研究, 第28回飛行機シンポジウム講演論文集 (1990) pp.620-623
- 4) 齊藤喜夫, 遠藤征紀, 菅原昇, 山本一臣, 磯貝紘二; 高速VTOL機用エンジンシステムの概念検討, 第31回航空原動機に関する講演会講演論文集 (1991) pp.80-85

航空宇宙技術研究所報告1289号

平成8年4月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺東町7-44-1
電話 三鷹(0422)47-5911(大代表) 〒182
印刷所 株式会社実業公報社
東京都千代田区九段北1-7-8

Printed in Japan