

《特集：最近の小型ターボ機械》

〔展望・解説〕

模型飛行機用ジェットエンジン



西 良正*

1. まえがき

大空を鳥のように自由に飛んでみたいという人間の憧憬から、先人達は幾多の歴史を重ね、1903年に米国のライト兄弟が初めて動力付飛行機の飛行に成功させたことは、よく知られていることである。

第一次世界大戦で、航空機の有用性が実証されて、その後は、軍用並びに民間用として発展して来たが、更に、1930年に、英国のホイットルのジェットエンジンの発明以後は、航空機の高速化、大型化、長距離飛行化、信頼性の向上など、この20世紀には飛躍的に発展して来た。

第二次大戦の末期には、航空用ジェットエンジンが実用化され、ジェット戦闘機として実戦に既に参加しているし、その数年後の朝鮮戦争に於いては、米軍のF86（図1）、旧ソ連のMiG15（図2）等の戦闘機が、既にプロペラ機に代わって主力となっていた。

その後、機体及びエンジンを始めとして、コントロール装置（自動操縦装置その他）も飛躍的に発展し、今では、自動離着陸も可能になった。

一方、昔から居る模型マニアも、実物と同じ原理で動くものを何とかものにしたいという強い気持ちから、蒸気機関や内燃機関等が作ら



図1

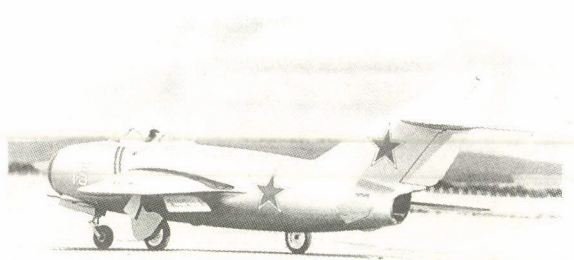


図2

れ、更に進んで、無線操縦による模型の船（潜水艦も）や、自動車等が作られている。

模型飛行機の世界も同じことで、始めはグライダーからゴム動力のプロペラ機へと進み、グローエンジンをつけるようになり、無線操縦が可能となり、スタビライザーもつくようになって

*（株）ソフィアプレジジョン

原稿受付日 平成12年5月2日

表1 模型飛行機用ジェットエンジン

国名	日本		オランダ／アメリカ			アメリカ		スウェーデン			ドイツ			デンマーク
エンジン名	J450	J850	Mercury	Pegasus	Olympus	RAM750	RAM500	TN-1000	TN-100J	TN-60/90	JetCAT	JetCAT120	Jetstream	SimJet
最大推力kgf	5.5	8.5	7.0	10.0	19.4	7.5	5.9	16.0	11.5	9.5	7.7	12.0	7.0	
圧力比	2.3	2.7	2.8	3.0	4.0	2.1			1.9	1.9				
最高回転数rpm	125,000	130,000	145,000	110,000	110,000	115,000		100,000	105,000	105,000		117,000	113,000	
最大吸気量kg/sec	0.10	0.15	0.20	0.28	0.28									
最大排気温度℃	700	750	675	675	675	560						580	930加速時700	
燃料	JP-4		JP-4、ケロシン、JetA-1			ケロシン		ケロシン			JetAケロシン		ケロシン	
点火用燃料	不要		プロパンガス			ブタンガス					プロパンガス		ブタン又は プロパンガス	
始動方法	圧縮空気		圧縮空気			小型直流モータ		小型直流モータ			小型直流モータ			
潤滑油	MIL-L-23699E		Aeroshell500（燃料に混合）			航空用合成油		自動車用合成油			燃料に混合			
重量kg	1.8	1.4	1.4	2.1	2.4	1.1	1.1	2.5	2.4	2.0	1.3	1.3	1.07	
推重比kgf/kg	3.1	6.1	5.0	4.8	8.1	6.8	5.4	6.4	4.8	4.8	5.9	9.2	6.5	
構成	圧縮機	遠心一段		遠心一段		遠心一段		遠心一段			遠心一段		遠心一段	
	燃焼器	環状		環状		環状		環状			環状		環状	
	タービン	輻流一段		軸流一段		軸流一段		輻流一段			軸流一段		軸流一段	

た。最近のニュースでは、模型機が大西洋の横断に成功したとのことである。

2. 模型飛行機用エンジンの歩みと、ジェットエンジンの出現と構造、性能

模型飛行機用エンジンには、2サイクル、4サイクルのグローエンジン（シングルシリンダー、ピストン対向型、星型等）、ロータリーエンジン、パルスジェットエンジン等があり、又、ディーゼルエンジンもある（詳細は参考文献参照のこと）。

一方、機体としては、在来機のようなプロペラ機や、ジェット機スタイルのダクテッドファン機があり、いずれもグローエンジン又は電動エンジン装着のものであり、タービンエンジン搭載機の出現が渴望されてきた。

1991年に、フランスのJPX社が、模型飛行機用ターボジェットエンジンを初めて発表し、日本には1992年にお目見えした。その後、世界的には、フランスを始め、ドイツ、オーストリー、スウェーデン、オランダ、アメリカ、デンマーク、日本等から、種々のモデルのものが発

表されている。表1にその主なものと性能を示す。

これらのものは、原理は本物のジェットエンジンと同じであり、自動車用ターボチャージャーの応用利用である。圧縮機は遠心1段であるが、タービンは輻流又は軸流の1段である。圧縮機とタービンの間には、環状型燃焼器が設けられている。

超小型ターボジェットエンジンでも、性能に影響を与える要素としては、吸入空気量、圧縮比、タービン入口温度であり、短い燃焼器内で完全燃焼させ、タービン入り口温度は、許される範囲で高温の事が望まれる。

これらのために、圧縮機インペラーの翼型、外形寸法、回転数や、圧縮機デフューザーの翼型、燃焼器の空気入口穴の大きさ及び配置、タービンノズルやタービン翼の材質、翼型、圧縮機とのマッチング等の多くの要素が関係する。

模型飛行機用ジェットエンジンでも、実際のジェットエンジンと同様に、信頼性、小型、軽量、大出力が要求されてきており、しかも安価で、コントロールのやり易さが要求されている

が、すべてを満足するまでには至っていない。

3. 模型飛行機用ジェットエンジン

表1で見られるように、エンジンの始動点火用に、プロパン又はブタンガスを使用しているものが多い。最初のJPX社のものは、燃料として液体プロパンをガス化して使用していた。これらのガスは、着火性が非常に良いためである。欧米では、プロパンガスの使用は許されているようであるが、日本では高圧ガス取締法の規制があって素人の使用は許されていない。

この事と、あくまでも実機と同じようにしたいとの考えから、液体燃料噴霧装置が考案され、日米の特許が取られ、J450、J850に装着されている。この装置により、補助燃料を使用することなく、又、予熱をすることをなく、始動時から液体燃料を、直接燃焼器内に噴霧していることが最大の特徴といえる。

エンジンの推力は、オペレーターのスロットルレバーで操作されているが、エンジンの挙動は、ローターの毎分回転数と、タービン出口に於ける排気ガス温度をモニターすることにより把握なされている。これらからの信号値の過小、過大値に対して、電子式リミットが設定されており、自動的に適正值に戻るようになっている。もし、それらの過小、過大値が続くような場合には、エンジンは自動的に停止するようになっている。

温度は熱電対によってモニターされ、回転数は、以前は、磁化された回転部品からの磁力線により検出されたが、磁力線の劣化や、電子コントロール装置へのノイズのことから、光センサーが用いられている。

燃料ポンプの一例を図3に示す。小型、軽量のギヤポンプで、スロットルレバーによる直流モーターの電圧制御によって、流量、圧力がコントロールされている。

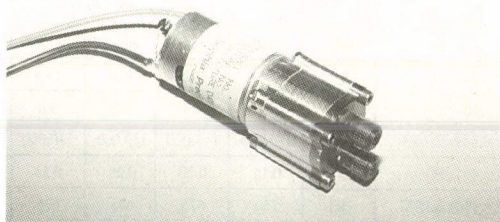


図3

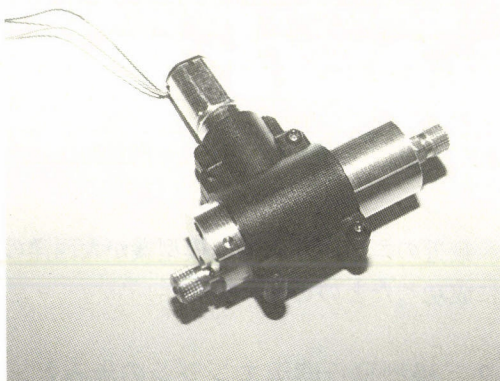


図4

潤滑油ポンプの一例を図4に示す。ローターの高温、高速回転に対処するために、対高温合成油が使用され、各ベアリングに直接に、必要最小限の流量、圧力で、強制注油されている。表1のどのエンジンにも、潤滑油循環機器はついていないようである。

4. 模型飛行機用ジェットエンジンの改善について

外国のエンジンにも、性能向上が見られるが、ここでは国産エンジンについて主要点を述べる(図5参照)。

4-1 ラビリンスシール

従来、カーボンシールが使用されていたものを、ラビリンスシールに変更することにより、摩擦抵抗が無くなり、パワーロスが無くなっ

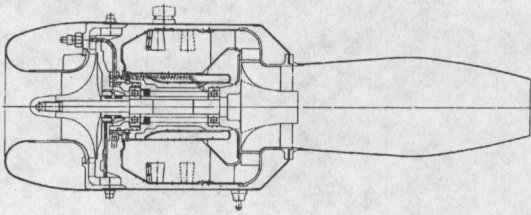


図5

て、スロットルレバーに対するレスポンス性が改善されている。

4-2 ベアリング

従来のSUJ材のアンギュラ玉軸受を、ハイブリッドアンギュラ玉軸受（高速度鋼の内外レースとセラミックボール）に変更することにより、耐熱性が向上し、イナーシャが小さくなり、スロットルレバーに対するレスポンスが良くなり、加減速の時間が短くなっている。

4-3 ローター部品

圧縮機のインペラ及びディフューザー、タービンのノズル及びローター等の翼の設計改善により、流入空気量の増加、圧縮比の向上、タービン効率の向上、排気温度の低下、推力の向上等が得られている。

4-4 燃焼室

燃焼室の空気導入穴数、穴位置の配置の変更や、燃料噴霧孔に対する空気導入穴位置の変更、フレームホルダーの設計変更等により、着火性が改善され、ローターの低速回転時での燃焼の安定化が得られている。

4-5 重量軽減

部品の贅肉の徹底的な削減、構成部品の削減や構造の簡素化、部品材料の変更等により、22%の軽量化がなされている。

細かい点についても種種改良されて、表1に見られるとおり、推重比の値が2倍になっている外、外形寸法も小さくなり、信頼性が一段と向上している。

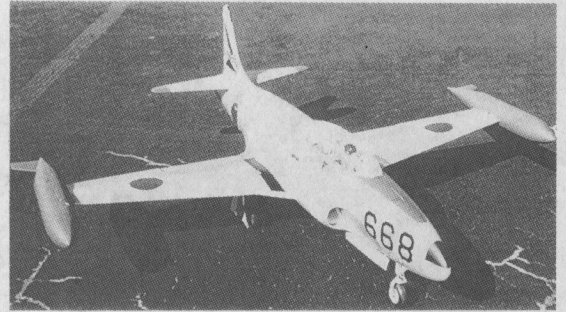


図6

5. 小型ガスタービンエンジンの利用

5-1 固定翼ラジコン模型飛行機用

従来のグローエンジンや、ダクトドファンエンジン機に較べて、ガスタービンエンジン機はエンジンのパワーが非常に強いので、戦闘機スタイルの場合、垂直上昇は勿論可能であるし、水平飛行速度は時速350km位も出ているものがある。ラジコン機の場合は、有視界内飛行（飛行半径500m程度）でなければならず、オペレーターには非常な沈着冷静さと、高度の技能と熟練が要求される。特に着陸の時にそれらが必要であり、オーバーランして火災をおこした例もある。固定翼ジェット模型機を飛ばす場合、適切な長さの滑走路と、危険防止の為、広い空地が必要であるが、オペレーターミスか、電子機器の不具合により、墜落したり、自動車に衝突したり、運悪く家に墜落して火災をおこした例がある。

これらの危険防止のため、米国ではAMA（Academy of Model Aeronautics）が、機体、エンジン、オペレーターに対する規制を設けている。又、国際的組織としてIJMC（International Jet Model Committee）がドイツにあり、同様な活動をしている。

IJMC主催のJet World Mastersが1995年から、隔年に開催され、日本からも出場している（図6、7、8）。



図 7

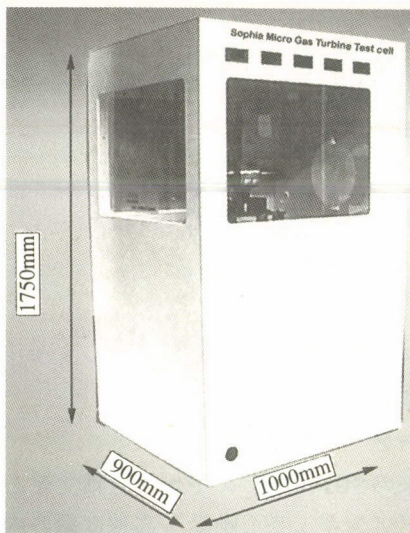


図 9



図 8

5-2 学術研究、教材用

最近マイクロガスタービンプームが出てきて、研究所、大学等でのガスタービンの研究、教材用に、マイクロガスタービンを設置するところが出てきた。本物のジェットエンジンでは、高価なこと、ランニングコストの高いこと、運転場の設備、オペレーターの確保などの多くの問題があるが、模型飛行機用ジェットエンジンの場合は、低価格であり、運転も自動化されており、上記の諸問題がすべて解決されるので、工学上の研究、教育上大いに役立つものと考えられる。図9は、模型飛行機用ジェットエンジンの防音テストセルを示す。計測項目としては、ローター回転数、推力、流入空気量及

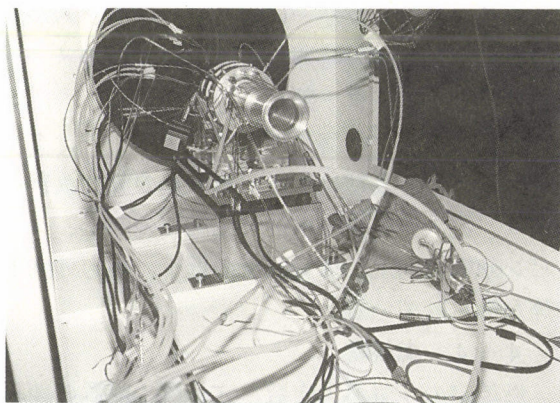


図10

び温度、圧縮機出口の圧力及び温度、タービン入口の圧力及び温度、タービン出口温度、排気管出口部の圧力及び温度等である。その外、燃料や潤滑油の流量、圧力等も計測される。図10、図11に計測風景を示す。

5-3 ラジコンヘリコプター用

ラジコン模型ヘリコプターの場合、広い空地、滑走路の必要がなく、手軽に飛ばすことが出来るので、全国的に愛好者が多い。今までは、グローエンジンか、電動エンジンが装備さ

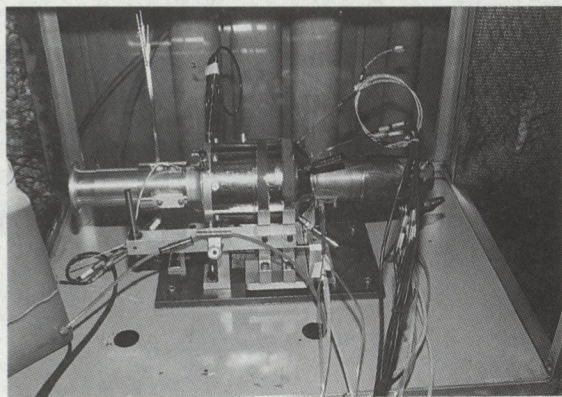


図11



図14

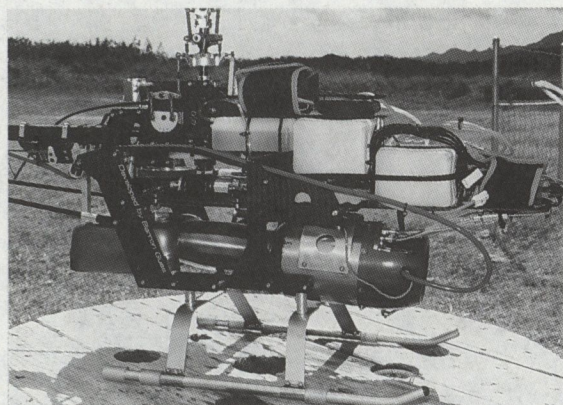


図12



図13

れていたが、フリータービンを備えたラジコンタービンヘリコプターが出現した。図12、図

13にエンジンの装備状態と、その機のフライトを示す。又図14はローター径2.2m、重量15kgのラジコンタービンヘリコプターのフライトを示す。

これらは、ジェットエンジンの排気管から出る高い動圧をもった噴流で、フリータービンを駆動し、減速歯車を介して、ローターを回転させている。

タービンヘリコプターの特徴として、エンジンの出力／重量比が大きく、振動が無く、飛行が静粛なので、ペイロードが大きいこと、空中撮影でブレのないこと、住宅地での飛行が可能となり、容易に人間が近づくことの出来ない山火事、災害などの場合に非常に有利であるといえる。

5-4 非常用小型、軽量発電機への応用

エンジン仕様に見られるとおり、小型、軽量の割に出力が大きいので、模型タービンヘリコプターへの応用と同様に、フリータービンを介して、軽量、無振動の超小型発電機の駆動源として利用されることが考えられ、実験が試みられている。

非常災害用として、燃料消費率、騒音を二の次と考えて、約5kW程度の出力が得られる。

ガスタービンエンジンの場合、運転が自動化

されており、始動性がよく、毎日の点検運転の必要も無く、冷却水を必要としない等の利点がある。

又、適切な熱交換器を備えれば、ガスタービンエンジンの高温排気ガスを利用して、温水が得られる。

6. 模型飛行機用ジェットエンジンの問題点

6-1 価格の問題点

多量生産する程の需要がまだ少ないことが何よりの問題である。ドイツでは、ホームメードのものさえあり、好奇心の高さがうかがわれる。

6-2 効率の問題

実機のジェットエンジンでも、最初の頃のもの効率は、10%以下であつたらしいが、最近のものでは、約30%である。模型飛行機用ジェットエンジンの原理は、実機のものと同じであるが、効率向上のことは、大きな問題といえる。

6-3 潤滑油循環の問題

ラジコン模型の飛行機その他に使用されているグローエンジンの場合には、燃料に潤滑油を混入しているし、模型飛行機用ジェットエンジンの場合も、最終的には燃やしているのが現状である。いずれの場合でも、超小型エンジンの大きさ、性能に相応した大きさ、重量、性能をもった潤滑油循環装置が、未だに開発されていない。自動車の場合は、エンジンの潤滑油、冷却水が、ターボチャージャーにも大量に流されている。小型のガスタービンエンジンでも、定置式のもので、重量、大きさを度外視すれば勿論可能である。

7. あとがき

超小型ターボジェットエンジンは、模型飛行

機マニア向けに作られたが、高性能を得るためには、構造、部品材質、部品工作、組立、試運転検査等に非常に努力がはらわれている。よく問題になるのは、クリアランスのことである。エンジンが小さいので、クリアランスが少しでも大きすぎると、推力低下が現れるし、小さすぎるとラッピングをおこす。熱対策が、実機のジェットエンジンと同様に、最大の問題といえる。

日本でも、大型ガスタービンは、パッケージ型として、ビルや病院、排水処理施設等の緊急発電用として、小型ガスタービンは、移動電源車や鉄道車輛等に使用されたり、ガスタービンエンジンを使った高速客船も現われ、ガスタービンエンジンの始動性の良さ、振動のないこと、冷却水の不要のことなどの優秀性が認識され、身近かなものとなって平和利用されている。

超小型ターボジェットエンジンは、今後模型飛行機用としては、ターボファンエンジン、あるいはターボシャフトエンジンへと発展してゆくことが考えられるが、模型飛行機用であるがためにコストの問題が大きい。

又、この超小型ターボジェットエンジンの信頼性も格段に向上してきたことにより、このエンジンをガスジェネレーターとして、2軸型のフリータービンをつけたタービンエンジンも開発され、農業用ヘリコプター、あるいはタービン発電機として市場に登場するのも近いことと思われる。

〈参考文献〉

- (1) 野田, 模型飛行機用超小型ジェットエンジン, 日本ガスタービン学会誌, Vol.26, No.103, 1998.12.
- (2) K.Schreckling, Gas Turbine Engines for Model Aircraft, Traplet Publications Limited, 1994.
- (3) T.Kamps, Model Jet Engines, Traplet Publications Limited, 1995.