

超音速旅客時代 への予感

——動き出したポスト・コンコルド開発のゆくえ——



1970年代に華々しくデビューした
超音速旅客機は、
航空の主役になることはできなかった。
当時は、ワイド・ボディに代表される大量輸送へと
時代の潮流が向かっており、
乗客数が少なく、燃費も悪く、
環境適合性を欠いていた超音速機には、
時の利がなかったともいえよう。
だが、21世紀を迎えようとする現在、
人々が音の壁を超えて旅することへのニーズが、
ふたたび高まってゆくとの見通しが生まれている。
将来のニーズに応えるために、
さらに進化した超音速輸送の技術が今、必要とされている。
そして、その技術はそのまま宇宙へとつながる可能性も秘めているという。

次世代超音速から極超音速、そして宇宙へ 開発のキーワードは経済性と環境対応

これまでに超音速旅客機として世に出たのは、英仏共同開発のコンコルドと、旧ソ連のTu-144の2機種のみ。後者はすでに現役を引退している。両者ともけっして失敗作だったわけではないが、早すぎた技術が経済の波に乗り切れなかった実例という見方もできるだろう。社会的・経済的なファクターに十分に対応するには、さらに1歩踏み込んだ技術の熟成が必要とされているようだ。コンコルドやTu-144開発当時の状況をふりかえりつつ、次世代超音速旅客機の向かっている方向、さらにはその先までを概観してみる。

超音速旅客機への期待ふたたび

超音速旅客機として名を馳せたコンコルドが英国航空とエールフランスに同時就航したのは、1976年1月。約20年前のことだった。英仏の共同開発によって生まれたマッハ2.04を誇るSST（super sonic transport／超音速輸送機）だったが、現在の実働はわずかに13機（英国航空7機／エールフランス6機）。大西洋路線で黒字運行を続けてはいるが、膨大な開発コストや圧倒的な知名度に比して、その活躍ぶりはあまりにおとなしいといえるだろう。開発当初は、主要国のエアラインから79機の発注を受けたコンコルドだったが、完成を目前に次々とキャンセルが続き、当事国の英仏だけがわずかに数機ずつ採用したのみで、20年を経てそろそろ引退の声も聞かれるようになってきた。もっとも成功した旅客機のひとつに挙げられるであろうボーイング747通称ジャンボ機が800機以上生産され、今なお改良が続けられていることと比較するとそのコントラストがはっきりとしてくる。

今、コンコルドの引退を目前に、次世代SST開発の必要性が国際的なスケールで浮上してきつつある。背景にあるのはアジアを中心に大幅に伸びると考えられる航空需要と、それにもなう時間短縮へのニーズである。ある予想によれば2015年の航空需要は現在の3.5倍以上、国際路線数は4.1倍に伸びるといふ。この潮流をうまくつかんで誘発していけば、大きな経済効果が期待できる。

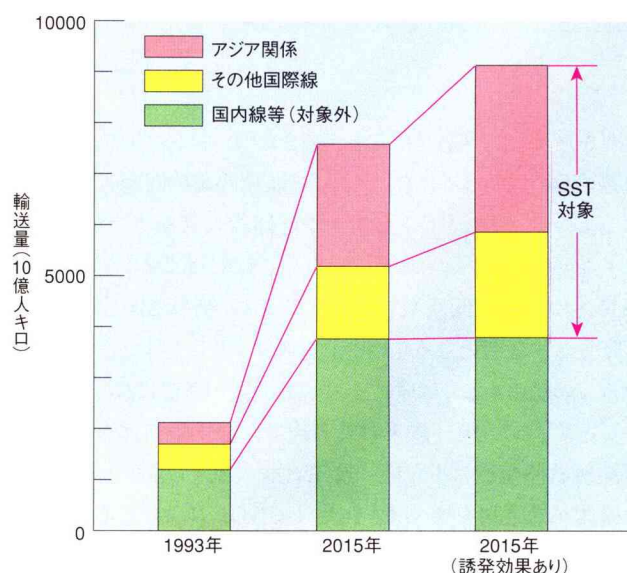
長距離の航空便の場合、乗客にとって大きな負担になるのが長いフライト時間である。たとえば亜音速（マッハ0.86前後）で飛ぶ現在の旅客機では、東京ーロスサンゼルス間は約9時間半の空の旅になる。勤め人であれば1日の勤務時間に相当する時間を、狭い座席にしばりつけられたままでやりすごさねばならないわけだ。ニューヨークまで行くとすれば、なんと12時間半。人間の心理としてイライラせずに座り続けられるのはせいぜい4時間までだろうといわれているから、フライト時間の長さが、乗客にとって心理的、肉体的に、大きな負担となってい

ることは否定できないだろう。

そこで、もしコンコルドと同様のマッハ2クラスのSSTで東京ーロスサンゼルス間を結んだ場合を想定してみよう。フライト時間は半分以下の4時間半程度にまで短縮することができる。もう少しスピードを上げれば、4時間でアメリカへ行けるようになる。旅行客の心身の負担はどれほど軽くなることだろうか。SST導入が航空需要を誘発するというのは、そうした発想によるものである。かりに2015年にSSTが導入されたと想定した場合、それによって生じる経済効果は国内で約3.8兆円、世界全体で3600億ドルになると試算されている。

だがそれならなぜ今あるコンコルドを採用しないのだろうか。実はその答えはそのままコンコルドがポピュラーになりきれなかった理由へとつながり、また次世代SSTで解決しなくてはならないポイントとなっている。

経済性と環境問題。コンコルドの悩みは、この2点に集約される。コンコルドの航続距離は6,500km、旅客数はファーストクラス100席である。この航続距離だと、たとえば東京ーロ



国際航空需要増大の見通し



現在就航している唯一の超音速旅客機コンコルド。



旧ソ連で開発されたTu-144。

所要時間の比較（単位：時間）

	B747	コンコルド	次世代 SST	HST
東京ーロサンゼルス	9.5	6.25 (ホノルル給油)	4.4	2
東京ーニューヨーク	12.5	8.5 (アンカレッジ給油)	6.5	3
東京ーロンドン	11.5	7.3 (アンカレッジ給油)	5.5	3

ス間を無着陸で運行することができない。コンコルドが大西洋航路のみに就航しているのは、この航続距離の問題も大きく影響している。もしどうしても太平洋路線に就航させたいければ、ホノルルかアンカレッジで一度給油を行わねばならない。また超音速の場合、低空飛行するとガラスが割れるほどの衝撃波が発生し、騒音となるため陸上を飛行することはできず、陸地付近での航路もしくは運行速度にも工夫が必要になる。

ジャンボの3分の1以下の乗客数で、機体価格は約2倍、太平洋無着陸飛行は不可能、騒音は並大抵ではない。また多数の機体が成層圏を飛ば、発生するNOx によってオゾン層の破壊をさらに促進してしまう危険もある。そうしたコンコルドの持つマイナス要素が、開発遅延によるコスト上昇と石油シ

ックによる燃料費の高騰によって、強調されたことが、冒頭で述べた相次ぐキャンセルへとつながったようである。

開発競争の歴史、そして挫折……

かつて超音速旅客機開発が検討されたのは1950年代後半からだった。1947年に「音の壁」が破られて以来、戦闘機、爆撃機の順に軍用機の超音速化が進められてきたが、それにとまって音速を超える民間輸送機の可能性も浮上してきた。アメリカのNASAはもちろん、イギリス、フランス、旧ソ連の4国がそれぞれに開発計画を練っていたが、英仏の計画はよく似ていたため、やがて共同開発への道を歩むことになる。乗員数100席、目標速度マッハ2.2、スレンダーデルタ翼といった英仏の共通要素は、アメリカが描いていた目標速度マッハ2.7、可変後退翼（翼の付け根が可動式で速度に応じて後退角が変えられる）といったプロフィールと対照してみると、設計思想の違いがはっきりと分かる。だがむしろ当時の技術レベルでは、英仏案はともに現実路線としてギリギリの選択の上に立っており、似通ってしまったのも自然なことだった。100人という数字は胴体の空気抵抗によって、またマッハ2.2という速度はア



次世代SSTのイメージ。

ルミ合金技術で空力過熱の問題を考慮すると、必然的に落ち着くポイントだった。英仏共同開発がスタートして2年後の1964年に計画の実態が明らかにされた旧ソ連のTu-144がコンコルドにそっくりだったため「コンコルドスキー」などと揶揄されたが、むしろ当時の技術的制約から行き着いた結末だったのかもしれない。ただしTu-144は、最高速度がマッハ2.35とコンコルドよりも大きく、「熱の壁」対策としてチタンやステンレス鋼を多用することになった。その分、経済性の面での不利を背負い込む結果となっていた。コンコルドよりも早い初飛行、就航（貨物便）にもかかわらず、1987年には早々と運行停止になったのも、経済性でコンコルドよりもシビアな条件にあったためではないかという見方がされている。

アメリカのSST開発はコンコルドよりも数段上のスペックをめざすものであり、膨大な開発費を必要とするものだった。しかも当初、米政府は民間の航空機メーカーなどへの開発補助は行わないとの基本方針を示しており、計画はなかなか進展しなかった。しかし1963年にパンナムがコンコルドの採用を決定すると、ケネディ大統領はあわててSSTの国家プロジェクト化を発表。しかし次第に議会での環境保護派の反対が強まり1971年には計画中止となった。

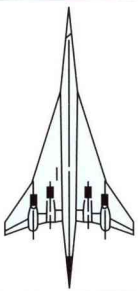
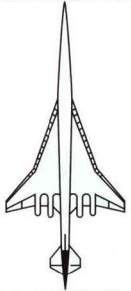
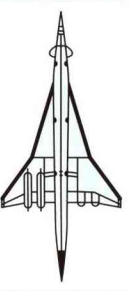
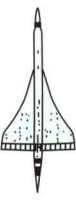
浮かび上がる次世代SSTのアウトライン

次世代SSTは需要面や2兆円をこえるといわれる開発費などから、現実的に成立するのは世界全体で1機種のみだろうといわれている。採用する立場のエアラインからは競争原理が働くためには2機種以上が必要だという意見も上がっているが、いずれにせよ企業が独自に開発できるスケールを超えているため、その開発作業は国際事業として進んでいくことになるだろうと見られている。日本では通産省、科学技術庁、運輸省の支援のもと日本航空宇宙工業会を中心に、次世代SSTのビジョンを絞り込むとともに、機体やエンジンなど、各種要素技術の国際的規模での開発体制が生れつつある。

次世代SSTで描かれるプロフィールとしては——旅客数は少なくとも300人、航続距離は10,000 km以上、運賃はせいぜいジャンボの1.4倍以内（コンコルドは3.5倍以上）、速度はマッハ2～2.5とコンコルドと同程度か少し速いくらい。ほぼこの周辺で各国とも次世代SSTのアウトラインを描いているようである。

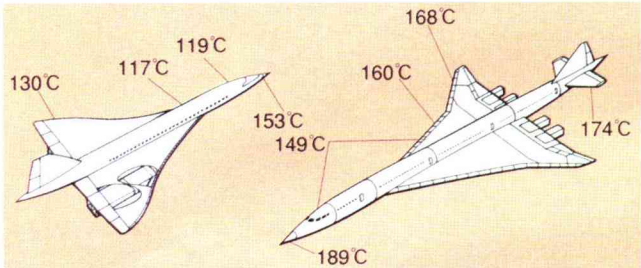
国際共同事業による開発体制では、NASAを擁する米国や、コンコルドで経験のある欧州がリーダーシップをとっていくことは十分に予想される。米国では、すでに現役から退いていたロ

各国が描く次世代SSTのアウトライン

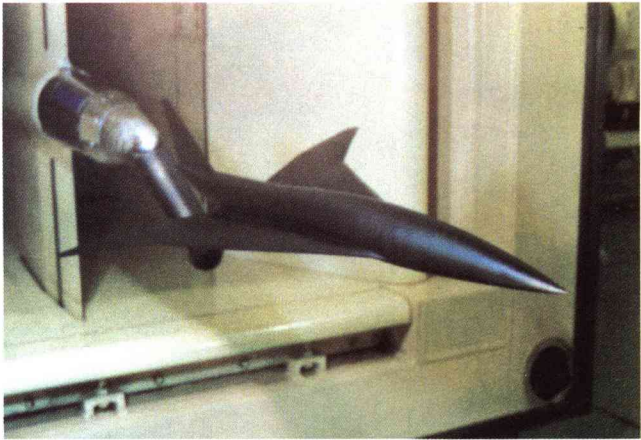
	日本	米国 (NASA)	ESRP (Aerospatiale, BAe, DASA)	コンコルド
座席数	300	304	250	100
巡航マッハ数(M)	2.2	2.4	2.05	2.04
航続距離(nm)	6,000 (11,100 km)	5,000 (9,300 km)	≥ 5,500 (10,200 km)	3,550 (6,600 km)
最大離陸重量(lbs)	889,000 (408ton)	759,300 (344ton)	749,600 (340ton)	408,000 (185ton)
翼面積(ft ²)	11,300 (1,050 m ²)	7,940 (738 m ²)	—	3,856 (358 m ²)
翼幅(ft)	150 (46m)	134 (41m)	138 (42m)	84 (26m)
全長(ft)	310 (94m)	314 (96m)	292 (89m)	204 (62m)
平面図				

コンコルド

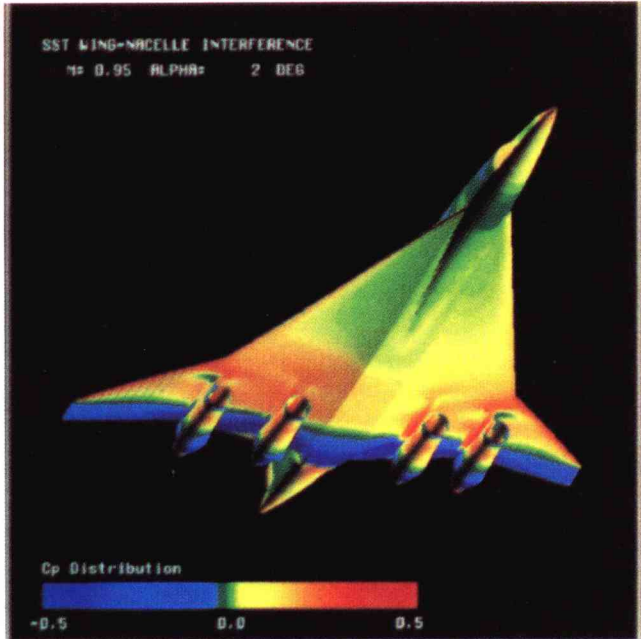
次世代SST



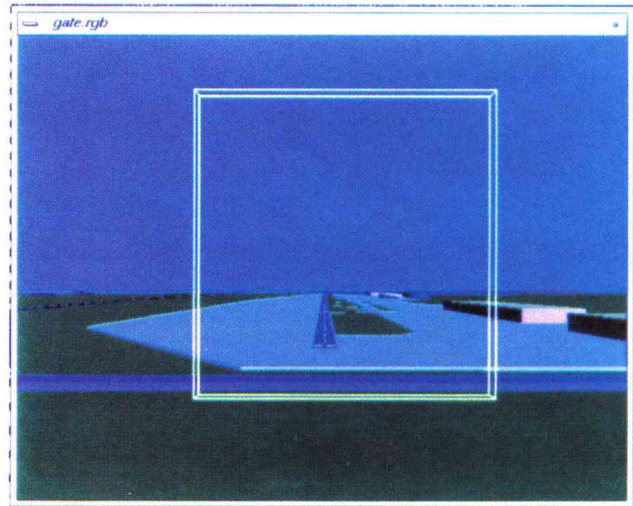
飛行中のコンコルドとSSTの機体温度。軽量で耐熱性の高い複合素材（炭素繊維強化ポリイミドなど）のローコスト製造技術が求められている。



模型を使った風洞実験の様子。



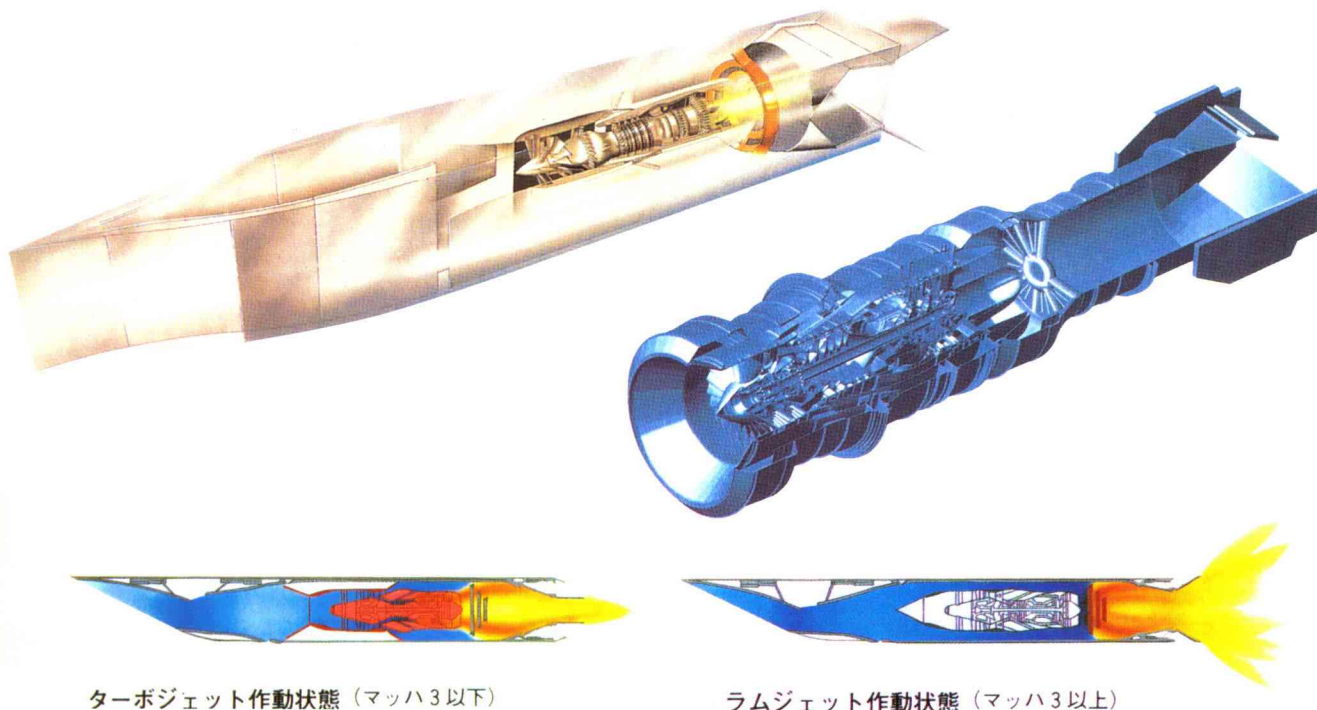
コンピュータを使った数値流体力学によって機体形状の研究が行われている。



バーチャル・リアリティによる視界確保策も検討されている。

シア保有のTu-144を1,000万ドルを投じて飛行可能に再整備し、1996年から米露共同でデータ収集を行っている。NASAの計画では2001年までに次世代SSTの機体形態を選定し、2002年から開発開始、2004年初飛行、2006年就航をめざす

というのが、予算どりの面などまだ不確定要素も多い。
こうした国際的共同開発気運のもと、今後日本がどのような形でSST開発に関わっていくかは、21世紀の国内航空産業が育っていくうえで重要なターニング・ポイントになるであろう



ターボジェット作動状態（マッハ3以下）

ラムジェット作動状態（マッハ3以上）

コンバインド・サイクル・エンジンの構造イメージ。

ことは容易に想像がつく。

国家的プロジェクトとして進む新型エンジン開発

次世代SSTでは、低騒音で、NOxの排出量が少ない、効率のよい新たな推進システムを開発することが重要なファクターになる。コンコルドもTu-144も、超音速加速時にはアフターバーナーに頼っていた。アフターバーナーとは、ジェットエンジン内で燃焼した高温のガスに再び燃料を噴射して推力を増す装置で、現在の超音速航空機はほとんどがアフターバーナーによってその強大な推力を得ている。だがアフターバーナーに頼る方法は、燃費、騒音およびNOx低減の点でかなり不利であり、次世代SSTでは新たなエンジンが求められている。

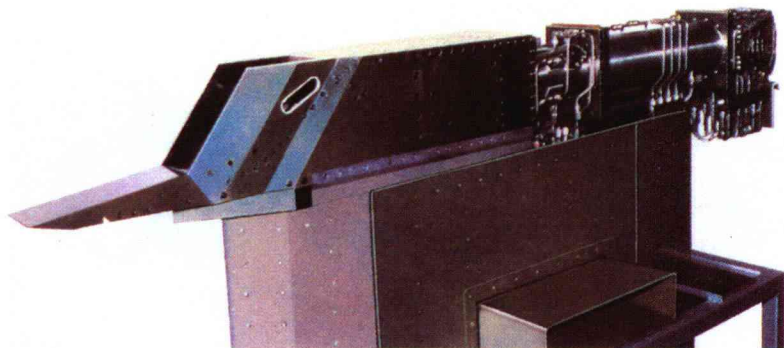
新エンジン開発のための研究は、国内ではSSTよりも、もう1世代先を行くHST（hyper sonic transport）用のエンジン研究とオーバーラップする形で進められている。SSTがマッハ2～2.5を目標としているのに対し、HSTが目指すのはマッハ5という極超音速である。高度40,000m以上の高空を弾道飛行することもあり、中距離航路には向かないが、たとえば東京～ニューヨーク間を3時間ないしは2時間に短縮することが可能になるため、大陸間旅客機として期待される。実現の時期は次世代SSTよりもさらに先の2020年～2030年頃になると考えられている。10年前にレーガン大統領が一般教書演説の中で構想を発表した「ニュー・オリエント・エクスプレス」は上記より

さらに上のスペックを目標としていたが、やはりHSTの範疇に入るものと考えられるだろう。

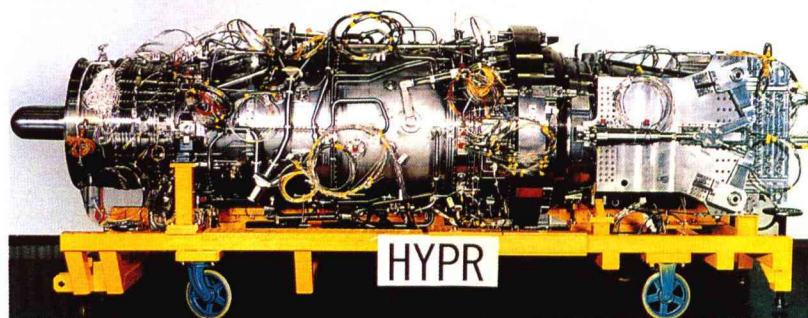
現在次世代SSTとHSTに共通する新エンジンの開発は、通産省工業技術院の産業科学技術研究開発制度（かつての大型プロジェクトを引き継ぐ制度）の「超音速輸送機用推進システム」として平成元年から平成10年までの10年計画によって推進されている。総予算280億円、NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）への委託研究という形で、国内メーカー3社によるHYPR（超音速輸送機用推進システム技術研究組合）と、海外メーカー4社が参加し、まさに国際的研究開発体制によってプロジェクトが進む。現状、これにいくつかの国立研究機関が参加し、基礎研究をバックアップしている。その成果として、来年はじめには世界初のコンバインド・サイクル・エンジンが組立てられようとしている。

コンバインド・サイクル・エンジンとは、ひと口に言えばターボ・ジェット・エンジンとラム・ジェット・エンジンの複合型エンジンである。前者はこれまでの航空機に採用されてきた一般的なジェットエンジンであり、ブレード式の圧縮機をもつもの。後者は、機械的な圧縮機をもたないジェット・エンジンで、超音速域のみで作動する。

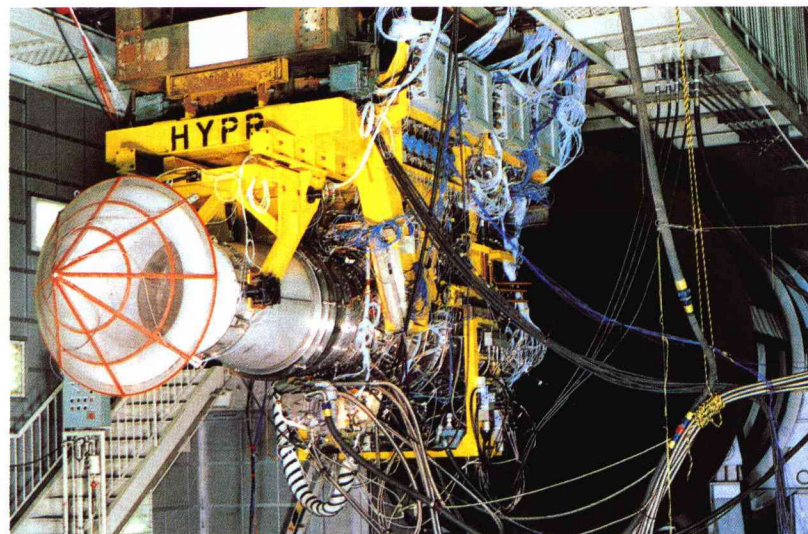
マッハ5という最高速度を想定した場合、離陸から加速の各段階で、エンジンにかかってくる流体力学的な特性は大きく変化する。マッハ3くらいまでは、これまでと同様のターボジェ



試験用に開発されたマッハ5対応のラムジェット・エンジン。



マッハ3までを受け持つ高性能ターボジェット・エンジン。



ターボジェット・エンジンの地上実験。

ット・エンジンが有効と考えられるが、それ以上になった場合、ファンはむしろじゃまになってくる。軽くせきとめるだけで衝撃波によって空気は圧縮され、燃焼可能になるからだ。しかしラムジェットは低速では作動しないから、地上から出発するには、ターボジェットと組み合わせる必要がある。そこで内部の流れを切り替えることによって、低速～マッハ3くらいまではターボジェット、それ以上ではラムジェットによって推進力を得ることができる複合サイクル型のエンジンの実現を目指そうという発想が生まれた。これがコンバインド・サイクル・エンジンである。

プロジェクトでは平成7年度にラムジェットの試験用モデルを製作、実際にマッハ5の試験環境で安定して燃焼することを実証するとともに、各種データの収集を行った。構造的にはシンプルなエンジンだが、ミサイル用には実用化された例があるものの、航空機用には世界的にも開発例がなく、具体的な形状や燃焼制御など、多くの点で新たなチャレンジとなった。

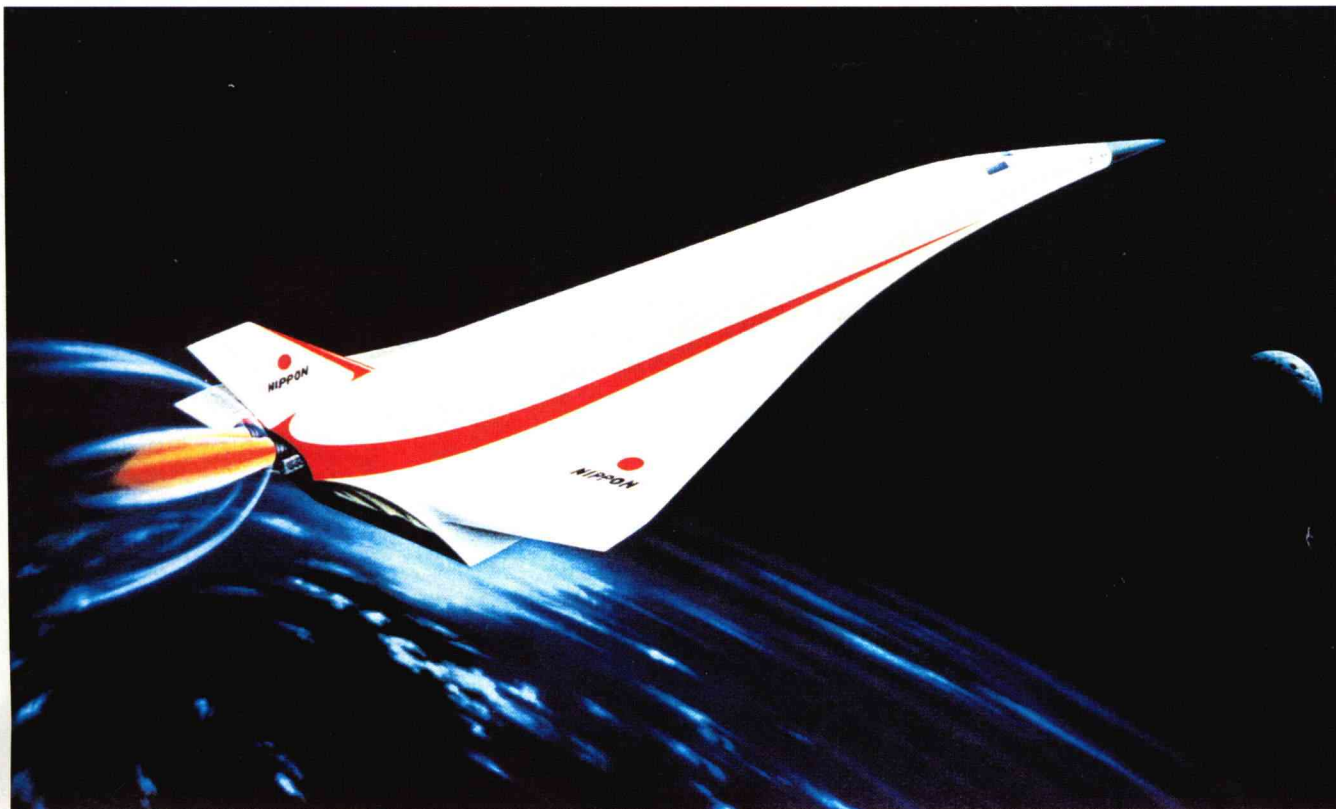
ラムジェットの開発に次いで、今年2月には、マッハ3までの飛行に対応するターボジェット・エンジン（試験機）の高空性能試験が実施された。これにより超音速輸送機に対応できるターボジェット・エンジンの要素技術も確立されたわけである。並行して先のラムジェットとこのターボジェットをつなぐための要素結合試験が行われ、今後ターボジェットの騒音試験、コンバインド・サイクル・エンジンの初回運転が行われる予定になっている。最終年度である平成10年度には、コンバインド・サイクル・エンジンの高空性能試験が行われる。

極超音速、そして宇宙へ

コンバインド・サイクル・エンジンは、HSTにとどまらず、さらにその先の技術へとつながる可能性も秘めている。つまりスペース・プレーンである。現状、宇宙往還機はスペース・シャトルのような再利用型のものでも、消耗部品が多く、宇宙開発コストを引き上げる要因になっている。宇宙船の打ち上げコストを抑えるために完全再利用型宇宙往還機の開発に期待がかけられており、米国などでは次世代シャトルといわれる単段式宇宙往還機（SSTO）が有力候補として研究されている。

だがもしコンバインド・サイクル・エンジンが成功すれば、ロケットのみで宇宙まで行くこれまでの方法論を転換し、大気圏内ではジェット、空気のない高度まで行ってからロケットに切り替えるということが可能になるかもしれない。ロケット・エンジンは、燃料に加えて大量の酸化剤を積み込む必要があり、それが大きな死荷重となってきた。よく知られるように巨大多段式ロケットの大部分は推進剤であり、その大半は酸化剤（液体酸素）だった。ジェットで十分な加速が得られれば酸化剤の量を大幅に減らすことができる。

完全再利用型の宇宙往還機では、コンバインド・サイクル・エンジンの技術をステップとして開発されるスクラム・ジ



スペース・プレーンのイメージ。

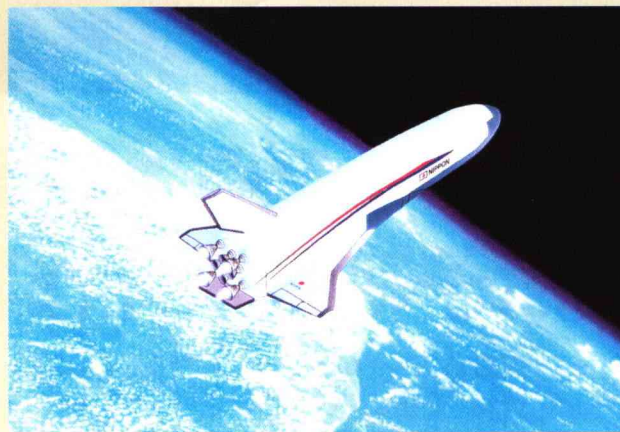
C O L U M N

宇宙輸送時代の主役は
スペース・プレーンかSSTOか

コンバインド・サイクル・エンジンとロケット・エンジンを組み合わせることで可能になるスペース・プレーンは、再利用型宇宙船のひとつと考えられるが、現在のロケット技術の延長上にあるものではなく、新たな技術革新を必要としている。そこでNASAでは次世代再利用型ロケットとしては、SSTO (Single Stage To Orbit/単段式シャトル) をポスト・スペースシャトルの有力候補として研究を進めている。

計画では翼ではなく胴体で揚力を得るリフティング・ボディを採用し、垂直打ち上げ・水平着陸するX-33と呼ばれる試験機を99年には初飛行させる予定だという。発案者である航空機メーカーでは、X-33をベースにした全長38.4mという巨大な実用機案も発表しており、ニュー・オリエント・エクスプレスには、こうしたSSTOの技術が採用される可能性もある。この技術を用いれば、

世界のどこへでも1時間程度で人や貨物を運ぶことが可能になるという。世界的物流ネットワークをつくれば、主要都市間であれば、1時間プラスアルファで荷物を届けることができるようになるわけだ。「午後からアメリカで使う商品見本をSSTO便で送っておく」などという時代がいつの日かやってくるのだろうか。



国内で描かれたSSTOのイメージ。

ェット・エンジン (エアブリージング・エンジン) により、マッハ12まで加速し、その先はロケットによって宇宙空間を飛行する。ターボジェット (出発時) →ラムジェット (高速時) →ロケット (宇宙空間) と、飛行状態の変化に応じて切り替えながら、最小限の推進剤で宇宙までを往還する。すなわち空港か

ら飛び立ち宇宙ステーションまで到達し、空港へと舞い降りる宇宙航空機の実現が視野に入ってくるのである。

取材協力・写真提供：通商産業省(機械情報産業局航空機武器宇宙産業課、工業技術院産業科学技術研究開発課)、科学技術庁(研究開発局)、(社)日本航空宇宙工業会、超音速輸送機用推進システム技術研究組合