

超音速／超高速 CM の現況

= Supersonic / Hypersonic CM =

(藤岡智和 2006.03.02)

1 CM を高速化する狙い

(1) ロシアの超音速対艦巡航ミサイル

第二次大戦直後の1945年から10年間に相次いで出現した米国の巡航型長距離ミサイルが核兵器の運搬手段であったのに対し、1950年代中期から1960年代初期に出現したソ連の巡航型ミサイル（その殆どが空中発射であるため AS-1, -2, -3, -4 と呼ばれた）は、長距離空対艦ミサイルであった。これはソ連にとって最大の脅威が米海軍空母機動部隊の存在であったことによる。

このため空対艦ミサイルには、艦船の対空火器のみならず、空母艦載機に対してもスタンドオフ性を確保できる長射程と、終末段階で対空火力に撃墜されないための高速飛行が求められた。この結果 AS-2 Kipper は Mach 1.3、AS-3 Kangaroo は Mach 2.0、AS-4 Kitchen は Mach 3.5 と、いずれも超音速の巡航型対艦ミサイル（今日で言う ASCM）となった。

その後艦対艦ミサイルも加わるが、一貫して ASCM には超音速が求められ、更に最近では更に撃墜を困難にするため終末飛行段階で高 g の回避飛行まで行うようになった。この結果米海軍が行ったロシア対艦ミサイルの迎撃試験では、艦載武器のいずれも撃墜不能との結果が出て米海軍をあわてさせた。

ロシアが CM を高速化する狙いは対空火力に撃墜されないことを主眼としているため、巡航間は燃料効率の良い比較的低い速度で飛行し、終末段階で超音速に加速するタイプが多い。

対艦ミサイルを目指したソ連／ロシアの CM は殆どが ARH/PRH 誘導方式を採用しているため、ある程度の対地攻撃能力も持ち、特に PRH 方式或いはモードには当初から陸上の SAM を攻撃するように作られている物もある。

(2) 米国の目指す超高速巡航ミサイル

米国の CM は AGM-86B ALCM、BGM-109 Tomahawk、AGM-129 ACM など全て亜音速で飛行する。これは努めて小型の機体でできるだけ長距離を飛行させるため燃料効率の良い速度を選択したことや、陸地上空を地形回避しながら超低空で飛行するのは高速飛行は適さなかったことによるものと見られる。

しかしながら冷戦が終結し脅威の質が変化したことから、巡航ミサイルへの要求も変化しだした。特に1991年の湾岸戦争では Scud TBM が大きな脅威となりその対応に苦慮したが、Scud の発射機を発見しても発射までの僅かな時間にこれを破壊するのが困難であったため、至短時間で目標に到達できるミサイルの開発が急がれることになった。

米国が CM を高速化する狙いはこの点にあるため、ロシアの場合と反対に途中経路を高速で短時間に飛行し、終末段階は逆に精密打撃を行うため減速するか、低速の子弾を放出するシステムとなっている。尤も、地下構造物や洞窟内に潜む敵など、いわゆる HDBT (Hard and Deeply-Buried Target) を攻撃する必要から終末弾道では高速の侵徹弾頭を撃ち込むケースも考えられる。

(3) 核運搬手段としてのフランスの超音速巡航ミサイル

フランスは従来、通常弾頭の LACM は Scalp-EG の用に亜音速とし、超音速 CM は核兵器の運搬手段として位置付けている。

フランスの核戦力は IRBM、SLBM 及び有人爆撃機からなり、爆撃機には Mirage IV、Mirage 2000N、Super Etendard などがあるが、これらの爆撃機は比較的小型であるため、搭載する ALCM に超音速性能を求めたと考えられる。

(4) 新たな長距離打撃システムとしての超高速巡航ミサイル

米露は新たな長距離打撃システムとして、超高速巡航ミサイルを弾頭にした ICBM の計画を進めている。米国は更にそれを発展させ、陸上の航空基地から滑走離陸したのち、超高速巡航して目標を攻撃し、自律帰還するシステムまで描いている。

ここにおいてもミサイルの高速化に対する米露の考えの違いがあり、ロシアは米国の BMD に撃墜されない ICBM を開発しようとしているのに対して、米国は至短時間で地球上のあらゆる地点にペイロードを投下する能力を保持することを目指している。

2 各種超音速／超高速 CM

(1) 推進装置別超音速／超高速 CM

A 超音速／超高速 CM 用推進装置

ラムジェットは速度が Mach 3~5.5 で最も高い性能を発揮するが、Mach 5 以上になると空気取り入れ口で減速する際の損失が増大すると共に、燃焼室の温度が高くなりすぎて、燃料は燃焼するどころか熱分解して吸熱する現象が生じ性能は低下する。

これらの問題点を解消するために、極超音速で取り込む吸気の減速を超音速に留めるようにしたエンジンを Scramjet (Supersonic Combustion Ramjet) と呼び、Mach 5~6 以上では最も高い性能を示す。

ロケットエンジンが燃料と共に酸化剤を搭載しなければならないに比べて、Scramjet は燃料だけを搭載すれば済むため、高い比推力を得ることができ、宇宙輸送機などへの応用が期待されている。

Scramjet の歴史の歴史を以下の表に示す。

1950年代	宇宙輸送機や極超音速航空機への利用を目指した Scramjet エンジンの研究が始まり進められた。
1960年代後半	米国においてシャトル開発を目的として Scramjet エンジンがいくつか試作され、地上試験も行われた。
1970年代	

	シャトルにロケットのみを使用することとなったため、Scramjet エンジンの研究開発の規模は縮小された。
1983年 ~	Mach 3~25 の広範囲にわたる Scramjet の使用がうたわれた NASP (National Aero-Space Plane) 計画が米国で開始され、同エンジンの研究・開発も再び活性化してきた。

イ ロケット推進の超音速/超高速 CM

AS-5、-6、-9、-11、-16 などのロシアの旧世代対艦ミサイルは殆ど固体燃料又は液体燃料のロケット推進式であったが、酸化剤を燃料の一部として持つロケットエンジンは比推力が低い長射程 CM には不向きで、現在では例を見ない。

この中で特異な存在はロシアの 3M54E で、ジェットエンジンでの巡航飛行後ロケットエンジンに点火して超音速に加速し目標に突入する。

ウ タービンジェット推進の超音速/超高速 CM

ターボジェット、ターボファンジェットなどのタービンエンジンを用いた CM は、SS-N-12 や SS-N-19 などロシアの旧世代艦対艦 CM に見られたが、その後ロシアの高速 CM はラムジェットの方向に向かったため、現在タービンエンジン推進高速 CM の新しい計画はない。

一方米国では SR-71 用に開発した既存の高速エンジンを用いた RATTLS の計画があり、タービンエンジンの限界である Mach 4+ を目指している。RATTLS は技術検証計画であるが実用ミサイルを強く意識しており、米国初の超音速 CM になる可能性が高い。

エ ラムジェット推進の超音速/超高速 CM

固体燃料ロケットで発射加速した後に空になったロケットモータをラムジェットの燃焼室として使用する Dual Combustion Ramjet エンジンは SA-6 で初めて本格実用化されたが、ロシアはこの技術を Kh-31、-41 ASCM で使用している。

米国でも高速標的機ではあるが GQM-163A Coyote SSST (SuperSonic Sea-Skimming Target) が、可変流量型の同エンジンを使用している。

一方、ロシアの SS-N-26 Yakhont やインドの PJ-10 BrahMos は、液体燃料ラムロケットと切り放し式の固体ロケットブースタを使用している。

しかしながらこれらのミサイルに搭載している 3D-55 液体燃料ラムジェットを設計製造していた Plamja-M 設計局が、2004年 に閉鎖された。近年ロシアが新たなラムジェットの開発を行わないため経営に行き詰まったもので、極一部のスタッフは NPO Mashinostroyeniya社に移籍し、今後 3D-55 の生産は Strela社が担当することになったが、ロシアは液体燃料ラムジェットの設計能力を失うことになった。

オ スクラムジェット推進の超音速/超高速 CM

スクラムジェットエンジンを搭載する超高速 CM の開発は、米、仏、露で積極的に行われ、英国も米国の計画に参画することで推進しているが、まだ実用型の CM は出現していない。

この中で米国の二件の計画が目目される。

HyFly 計画は Dual Combustion Scramjet エンジンを積むもので、1990年代中頃から Fast Hawk、ARRMD などの計画を経てきた。HyFly は最近実飛行に向けた予備的に試験が行われており、実用化に最も近いスクラムジェット推進 CM 計画と言える。

HyFly は固体ロケットで加速したのち、空になったロケットモータを燃焼室にしたスクラムジェットで推進する。スクラムジェット燃料には炭化水素である JP-10 を使用する。

ATK社が提案している Boost to Cruise はスクラムジェット推進ではあるが、スクラムジェットでは加速せずにロケットブースタで加速した速度 Mach 5 を維持するだけに使用し、機体の冷却などの技術には既存の固体燃料ロケットの技術を使うため、同社は米国防総省が計画している他の超高速 CM より早く実用化できるとしている点が注目される。

インドが計画中と伝えられる超高速 CM は、ラムジェット、スクラムジェットの2モード動作をするエンジンで、同種の研究はロシアでも進められているという。この種のエンジンは第一段階でラムジェットのみで開発するシステムを開発し、事後2モード動作に発展させることができるので、早期の実用化が可能かもしれない。

(2) 用途別各種超音速/超高速 CM

・ 対艦巡航ミサイル (ASCM)

今日報じられているロシアの超音速 CM が殆ど ASCM であるのに対して、米国は超音速 ASCM を保有しておらず、また開発計画も報じられていない。最近になって米空軍が、空中発射長距離対艦ミサイルに関心を持っていると報じられ、2005年6月に秘の RfP が発簡されている。この計画は JASS-ER や射程1,000nmの JASSM-XR が候補にあがっており、終末シーカやデータリンクが新規に開発されることになる模様で、これも超音速の計画ではない。

・ 対地巡航ミサイル (LACM)

ロシアは当初から LACM を目指した超音速 CM を保有しておらず、LACM 能力は超音速 ASCM の対地攻撃モードに留まっている。超音速 ASCM である 3M54E の LACM 型である 3M14E を開発しているが 3M14E は超音速ではない。また超音速 LACM の開発計画も報じられていない。

これに対して米国の超音速、超高速 CM の計画は全てが LACM である。

・ 核兵器運搬手段

米露とも次に述べる長距離打撃システムを除き、現在計画中の超音速、超高速 CM は核弾頭搭載を前提としていない。むしろ通常弾頭で核弾頭の効果を得るために超音速、超高速を利用しているとも言える。

これに対してフランスは従来から超音速、超高速 CM を核弾頭の運搬手段と位置付けている。核戦力を SLBM、IRBM 及び有人爆撃機としつつも、有人爆撃機が Mirage 2000N、Mirage IV や Super Etendard など、比較的小型機に頼るせいかもしれない。

・ 長距離打撃システム

近年米国が2025年頃を目指して地球上のどこへにも(9,000nm)米本土から2時間以内に到達でき精密誘導弾を投下できるシステムを開発しようとするFALCON構想を公表した。一方ロシアは開発中の最新型ICBMである移動型Topol-Mの弾頭に、有翼機動型RVを搭載した試験を実施し成功したと報じられた。

いずれの計画もRVはMach 10級の高速で非弾道飛行をするもので、超高速CMの将来の方向性の一つを示すものと言える。

3 実用中の超音速／超高速CM

(1) 概観

現在ロシアとフランスが超音速CMを装備化している。ただしフランスの超音速CMは核兵器の運搬手段で、ASCMやLACMとは別の用途である。

ロシアの超音速CMはASCM又はARMとして開発されているが、陸上目標でも固定施設やレーダなどに対しては使用可能であると見られる。PRH誘導方式の中にはPatriot対抗用のシーカを搭載したものもある。

特に潜水艦の魚雷発射管から発射可能な3M54Eは、Kilo級ディーゼル推進潜水艦用の装備として、イラン、インド、中国などに輸出されていると伝えられており、今後更に保有国が増加することが考えられる。このほかに中国がKh-31P ARMを国産している模様である。中国製Kh-31PはYJ-93(Yingji-93)又はKR-1と呼ばれ、既にSu-30MKKに装備されている。

米国にはウクライナから輸入したと伝えられるKh-31の標的機型であるMA-31や、米国で開発したCoyote高速標的ミサイルはあるが、現在保有、又は近く保有する予定の兵器としての超音速／超高速CMはない。

(2) ロシアの旧世代超音速／超高速CM

・KSR-2 (AS-5)

1963年に開発を完了し1968年頃に装備化されたと見られる液体燃料ロケット推進のARH/PRH CMで、エジプトなどへも輸出された。

- ・最大速度： Mach 1.2
- ・最大射程： 320km
- ・発射重量： 3,000kg

・KSR-5 (AS-6)

液体燃料ロケット推進(一説には固体ロケット)のARH/PRH CMで、1970年に装備化された。

- ・最大速度： Mach 3.5
- ・最大射程： 240~700km
- ・発射重量： 3,200~3,400kg

・Kh-28 (AS-9)

液体燃料ロケット推進のARH/PRH CMで、主用途はARMである。

- ・最大速度： Mach 3
- ・最大射程： 120km
- ・発射重量： 720kg

・Kh-58 (AS-11)

AS-9後継の固体ロケット推進ARH/PRH CMで、1997年には輸出用に改良型が開発されている。

- ・最大速度： Mach 3.6
- ・最大射程： 120km
- ・発射重量： 640kg

・Kh-15 (AS-16)

Kh-15(AS-16)固体ロケット推進で高度40,000mを巡航する。PRHのKh-15Pと、ミリ波レーダシーカによるARHのKh-15Aがある。

- ・最大速度： Mach 5
- ・最大射程： 150km
- ・発射重量： 1,200kg

・SS-N-12

ターボジェット推進のASCMで1973年に就役し、当初はKiev級空母に装備され、その後Slava級巡洋艦に装備された。

- ・最大速度： Mach 2.5
- ・最大射程： 550km
- ・発射重量： 5,000kg

・SS-N-19

ターボジェット推進のSS-N-19は、SS-N-12の後継としてKiev(後にAdmiral Ushakovと改称)に装備され、その後Oscar II級原潜、Admiral Kuznetsov級空母、Kirov級巡洋艦に装備された。

- ・最大速度： Mach 1.6
- ・最大射程： 625km
- ・発射重量： 7,000kg

(3) Kh-31 (AS-17)

Kh-31 ASCM が最初にデビューしたのは、1991年に行われたドバイ航空ショーであったが、開発は1970年代の末に開始されたと見られる。

Kh-31 は、特に Patriot や Aegis システムに対抗することを意識して作られた、全く新しい考え方に基づくシステムで、対艦ミサイルである Kh-31A と、ARM である Kh-31P の二種類がある。

Kh-31 のエンジンは、SA-6 のエンジンを開発した Toropov OKB-134 設計局が開発したインテグレートドロケットラムジェットエンジンが使用されている。

発射後、固体燃料ブースタを噴射して、ラムジェットエンジンの点火速度である Mach 1.8 に加速し、その後も巡航速度まで加速する。ミサイルは高々度巡航又は低高度巡航いずれの飛行パターンも取り得る。

高々度巡航モードでは、高度15km (50,000ft) を、Mach 3.0 で飛行する。低高度飛行モードでは、高度200mを Mach 2.5 で飛行し、10gでの運動が可能である。目標の2km手前でミサイルは一旦上昇した後に、ダイブして命中する。

また、一部の報道によると、Kh-31 は高度30ftを Mach 2.7 で飛行する。

CEP は Kh-31A 及び Kh-31P で8mと言われている。この性能は、米国が標的機として購入した MA-31 の米国による試験で確認されている。米軍による試験ではこれを撃墜できなかったという。

主要性能諸元は以下の通りである。

	Kh-31A Mod 1	Kh-31A Mod 2	Kh-31P Mod 1	Kh-31P Mod 2
全 長	4.40m	5.23m	4.70m	5.23m
胴 径	36.0m			
発射重量	610kg	700kg	600kg	625kg
最大射程	50km	110km	100km	200km
速 度	Mach 3.0 (高々度) / Mach 2.5 (低高度)			
弾 頭	90kg HE	110kg HE	90kg HE	

(3) Kh-41 / SS-N-22

空中発射 ASCM である Kh-41 が最初に公表されたのは1992年であるが、その存在はかねてからロシアで“Moskit”の名称で知られており、ASM-MSS のコードネームが付けられていた。

艦載型は 3M80 (NATO コード SS-N-22) 或いは P-270 と呼ばれており最新鋭の Sovremenny 級駆逐艦に搭載されている。SS-N-22 は1980年に就役した。

艦載型の SS-N-22 と空中発射型の Kh-41 は混同しやすいが、SS-N-22 は Kh-41 より胴径が大きく、射程も90kmである。

Kh-41 には、低空巡航モードと高々度巡航モードがあり、低空巡航モードでは Mach 2.1 で 150km を飛行する。

高々度モード (10km) では Mach 3.0 で巡航し、終末段階で低空飛行に移ることにより 250km に射程が延伸される。

Kh-41 の主要性能諸元は以下の通りである。

- ・全 長 : 9.74m
- ・胴 径 : 76.0cm
- ・発射重量 : 4,500kg
- ・最大射程 : 250km
- ・最大速度 : Mach 3.0
- ・弾 頭 : 320kg HE

(5) 3M54E Club

Club-S/-N は、ロシアの Novator 設計局が開発した533mm標準魚雷発射管から発射する CM で、潜水艦発射型は Club-S、水上艦発射型は Club-N と呼ばれる。また陸上発射型 Club-M も計画も伝えられているほか、空中発射型もある模様である。

Club-S/-N が発射する巡航ミサイルには、対艦用の 3M-54 と対地用の 3M-14 があり、Club-S/-N はいずれも 3M54 ASCM と 3M14 LACM を発射できる。3M-54 には亜音速の 3M-54E1 と、終末で超音速になる新型の 3M-54 がある。

3M-54E/54E1 はブースタで発射され既定の高度と速度に達するとこれを切り離し、翼を展開して高度10~15mを飛行する。

胴径が二段になっている 3M-54E は、目標から60kmに達すると先端部にある固体燃料ロケットの第三段目が飛び出して超音速に加速する。最終段階ではアクティブホーミングシーカを作動させ、高度5mで超低空水平突入する。

超音速に加速しない 3M54E1 の最大射程は300kmと 3M54E より長く、弾頭重量も400kgと二倍である。

3M54E の主要性能諸元は以下の通りである。

- ・全 長 : 8.22m
- ・胴 径 : 53.3cm
- ・発射重量 : 2,300kg
- ・最大射程 : 220km
- ・巡航速度 : Mach 0.6~0.9
- ・最大速度 : Mach 2.9
- ・弾 頭 : 200kg HE

(6) SS-N-26 Yakhont

Yakhont は 3M55 Oniks の輸出名称で、Kh-41 のラムジェット推進型として開発された第四世代の対艦ミサイルで、水上艦、潜水艦、陸上発射機及び航空機から発射される。

推進装置は固体燃料ブースタ付き液体燃料ラムジェットで、飛行速度は可変になっている。誘導方式は active/passive レーダホーミングである。

Yakhont の主要性能諸元は以下の通りである。

- ・全 長 : 8.9m (コンテナ寸法)
- ・胴 径 : 0.7m (コンテナ寸法)
- ・発射重量 : 3,000kg
- ・最大射程 : 300km (Hi-Low mix)
120km (Low)

- ・飛行速度： Mach 2.0~2.5
- ・弾頭： 約200kg HE

(7) PJ-10 BrahMos

インドは中国海軍が艦船に装備している対艦巡航ミサイルに対抗するため、1995年に印露合弁会社 BrahMos社設立し、ロシアの SS-N-26 Yakhont を元に開発を開始した。

PJ-10 は Yakhont のラムジェットエンジンとインド製の誘導装置を組み合わせたインド仕様の Yakhont である。

2001年6月に初の発射試験に成功し、続いて2002年4月に2回目、2003年2月に3回目の発射試験を行い成功した。

インドは積極的に海外への売り込みを行っており、既に UAE とマレーシアの他、豪州、シンガポールからも引き合いがあり、輸出を含めて2,000発以上を製造するとみられる。

主要性能諸元は以下の通りである。

- ・全長： 8m
- ・発射重量： 3,000kg
- ・最大射程： 300km
- ・飛行速度： Mach 2.5~2.8
- ・最大高度： 14,000~15,000m
- ・弾頭： 220kg HE

(8) ASMP-A

ASMP-A はフランスが装備しているケロシンを燃料とした液体燃料ラムジェットで推進する300ktの核弾頭を搭載する ASCM/LACM である。

ASMP-A の主要性能諸元は以下の通りである。

- ・全長： 5.38m
- ・胴径： 30.0cm
- ・発射重量： 860kg
- ・最大射程： 300km (高々度)
80km (低高度)
60km (対艦)
- ・飛行速度： Mach 3 (高々度)
Mach 2 (低高度)
- ・弾頭： 300kt 核

4 主要な開発計画

(1) RTTLRS

RTTLRS は海空軍と NASA の統合プロジェクトである使い捨て型無人超音速飛翔体計画で、ラムジェットなどを使用せずに、今までに技術蓄積の大きいタービンエンジンを使用し、更にアフタバーナなど燃料消費の激しいやり方を使わずに高マッハ飛行を実現しようとする計画である。

RTTLRS に搭載される Allison社製の YJ102R エンジン、構造が簡単で価格の安い SR-71 搭載エンジンを発展させたもので、SR-71 が初飛行して以来40年間のタービン冷却技術の発達により、SR-71 の6倍の推力を得ることができるようになった。

RTTLRS は技術検証機であり、そのまま兵器になるものではないが、戦術兵器への発展を見越したサイズが求められ、1,800-lbの発射重量、500-lbのペイロードを持ち F/A-18、F/A-22、JSF などへ搭載できるサイズと、発射重量3,400-lb、ペイロード750-lbでブースタを用いて艦船の VLS から発射するものが考えられている。

RTTLRS を元にした実用機には Mach 4 で15分以上飛行でき、1,000kmを飛行する事が求められるが、技術検証機である RATTLSRS には、タービンエンジンだけで亜音速から Mach 3.0 まで1分以内に加速し、Mach 3.0 以上で5分間以上飛行でき、250kmを飛行することが求められている。

構想設計研究である第一段階には、Lockheed Martin、McDonnell Douglas、Raytheon、Orbital Science社が2004年3月に選定され、続く第二段階に Lockheed Martin社が2004年7月に選定された。

飛行試験は、2007年から2008年にかけて、少なくとも3回が計画されている。

RTTLRS の主要性能諸元は下表の通りである。

	技術検証型		実用型	
	空中発射型	艦上発射型	空中発射型	艦上発射型
発射重量	810kg	1,530kg	810kg	1,530kg
最大射程	250km	250km	1,000km	1,000km
速度	Mach 3		Mach 4+	
ペイロード	500-lb	750-lb	500-lb	750-lb

(2) Boost to Cruise

Boost to Cruise は ATK社が提案している Scramjet 推進の超高速 CM で、Mach 5.0 で巡航し、搭載能力は250-lb、射程は1,100kmである。

固体ロケットブースタで Mach 5.0 まで加速するためエンジンは固定速度で運転する。機体の冷却などの技術には既存の固体燃料ロケットの技術を使うため、ATK社は米国防総省が計画している他の超高速 CM より早く実用化できるとしている。

同社は 3年以内に飛行試験を実施する計画である。主要性能諸元は以下の通りである。

- ・最大射程： 1,100km
- ・巡航速度： Mach 5.0
- ・搭載能力： 250-lb

(3) HyFly

HyFly は1997年3月に開始され1999年に中止となった、Mach 4~6 で1,300km飛翔しようとした米海軍の Fasthawk 計画、及びこの計画を継承した Mach 6~8 の ARRMD 計画を引き継ぐ計画で、Fasthawk、ARRMD 同様に固体ロケットブースタの燃焼後の空間をスクラムジェットの燃焼室として使用する二段燃焼式のラムジェットエンジン (DCR: Dual Combustion Ramjet) を使用する。スクラムジェットの燃料には JP-10 が用いられる。

HyFly は艦艇、潜水艦及び航空機のいずれにも搭載でき、射程 400~600nm、速度 Mach 6.5 以上の性能を持ち、価格は JSOW、JASSM、TacTom よりも安価であることが求められている。

開発は Boeing社の Phantom Works が主契約社となり Aerojet社がエンジンを担当している。

2002年5月30日には高速風洞で Mach 6~ Mach 6.5 での DCR スクラムジェットエンジン燃焼試験に成功し、2005年8月26日には F-15E から投下された HyFly がロケットモータで DCR スクラムジェットエンジンの起動に必要な Mach 3 以上に加速することが確認された。

飛行試験は2005年~2007年に、この2回を含めて5回計画されており、3回目となる次回以降はロケットモータで加速した後にスクラムジェットエンジンで飛行する試験が行われる。

またこれと並行して HyFly の縮尺試験弾をブースタで打ち上げ、エンジンの作動を確認しようとする HyFly FASTT (Freeflight Atmospheric Scramjet Test Technique) 計画も進められており、2005年12月に Mach 5.5 で約15秒間飛翔し、各種データを取得した。

主要性能諸元は以下の通りである。

- ・全長： 4.27m
- ・胴径： 48cm
- ・最大射程： 1,100km
- ・巡航速度： Mach 6

(4) SED-WR

SED (Scramjet Engine Demonstrator) 計画は炭化水素燃料を使用するスクラムジェット SJX61-1 を搭載する実験機 Wave Rider を 2008年秋までに最大速度 Mach 6.5~7 で飛行させる計画で、2005年~2006年に地上試験を予定している。

SED 計画は EFSEFD (Endothermically Fueled Scramjet Engine Flight Demonstrator) と呼ばれ、Wave Rider はブースタを合わせて全長7.9m、重量1,800kgの飛行体で、Scramjet エンジンを1基搭載し ATACMS のロケットエンジンをブースタにして飛行する。

SED-WR は B-52 に搭載されて高度30,000~40,000ftで発射され、ブースタで Mach 4.5 に加速された時点で切り離された全長4.26mの本体は Mach 6.5~7 まで加速して数分間飛行した後に海上に落下する計画である。

X-43C は JP-7 を燃料とする Hy Tech エンジンを3基搭載するが、SED-WR はこのエンジンを1基搭載する。

2004年1月に SED-WR 計画の開発に Boeing/P&W チームが指名された。P&W社はすでにエンジンの地上試験を始めており、2002年9月には Mach 4.5、2003年6月には Mach 6.5 を記録している。

最初の飛行試験は2008年12月に予定されている。

主要性能諸元は以下の通りである。

- ・全長： 4.26m (本体)
7.9m (ブースタを含む)
- ・発射重量： 1,800kg (ブースタを含む)
- ・最大速度： Mach 6.5~7

(5) X-43C

X-43 Hyper-X は NASA が進める計画で、将来の再使用可能な飛行体に Scramjet エンジンを利用する可能性を検証することを目的としていて、計画は X-43A、X-43B、X-43C に分かれている。

このうち X-43A と X-43C は空軍との共同開発になっている。

X-43C のエンジンは空軍が開発中の炭化水素燃料を用いる Hy Tech エンジンで、この Scramjet エンジンを3基搭載する。水素を燃料とする X-43A では、エンジンの前縁を水で冷却するため5~10秒の飛行しかできないが、X-43C では燃料で冷却するため5~10分の飛行が可能になる。

しかしながら2004年1月に NASA は新たな宇宙探査構想を発表し、この計画を推進するため X-43 Hyper-X の中止を決めたが、2005年になって、空軍と共同で進めていた X-43C 計画は再構築され再開される模様となった。

当初の計画では、X-43C より大型である X-43B がターボジェットも搭載して、Mach 3~4 到達後にエンジンを切り替える機能を検証するはずであったが X-43B が計画中止となった、改訂 X-43C 計画ではエンジンを切り替え機能の検証が最大課題になった。

その結果 X-43C は3基のスクラムジェットエンジンの上に1~2基のターボジェットエンジン (YJ-102R が候補) が搭載されることになった。

主要性能諸元は以下の通りである。

- ・全長： 4.2~4.8m
- ・発射重量： 2,250kg
- ・最大速度： Mach 5.0~7.0

(6) Hyper Soar

Hyper Soar は B-52 サイズの航空機で、米国内から離陸し地球上のいかなる地点へも現有の防御システムのとどかない高々度からペイロードを投下して再び米国に戻るシステムで、装備品や人員の輸送も可能である。また、その間一切の給油も他国の前進基地も必要としない。

Hyper Soar は Mach 10 で飛行する事ができると共に、同じ離陸重量の亜音速航空機の約二倍の輸送能力を有する。

Hyper Soar の飛行で特徴的なのは、地球大気の上縁に沿って飛行する“スキップ運動”で、丁度水面を石が跳ねながら飛んで行くのに似ている。

Hyper Soar はまず大気圏外である 40,000m (130,000ft) まで上昇した後に、エンジンを切って大気上面まで滑空する。大気上面に達すると空気を吸い込んで再びエンジンを始動し、再度大気圏外に上昇する。

Hyper Soar はこの運動を繰り返しながら目的地まで飛行する。米国中西部からアジアまでの飛行では、1.5時間の飛行中に約25回のスキップが必要になる。

スキップの際に行われる上昇下降に伴う機体の傾きは、それぞれたった5°と見込まれている。ただし乗員はスキップ運動が大気圏外にある時は無重力を、逆に下降から上昇にかけては1.5gの重力を感じるようになる。

主要性能諸元は以下の通りである。

- ・全長：25m
- ・巡航速度：Mach 10
- ・上昇限度：60km

(7) FALCON

FALCON (Force Application and Launch from Continental US) 構想は、地球上のどこへにも (9,000nm) 米本土から2時間以内に到達でき精密誘導弾を投下できるシステムを2025年頃を目指して開発しようとする計画である。

システムは小型の使い捨てブースタ (SLV: Small Launch Vehicle)、非推進ながら機動でき精密誘導弾等を投下する CAV (Common Aero Vehicle)、及び CAV を運搬したのちに帰還する HCV (Hypersonic Cruise Vehicle) で構成される。

HCV の実用化は2025年頃になることから、米空軍は2010年頃実現できる SLV/CAV システムを検討している。

(8) ロシアの計画

2004年2月17～19日に行われたロシア軍の大規模演習で、新型弾道弾のプロトタイプが試験された。新型弾道弾はミサイル防衛システムに対抗するため開発されているもので、超高速で飛行し目標の精密打撃ができるシステムである。この新システムは2010～2015年に実用化できると見られている。

新型弾道弾は有翼超高速 RV のプロトタイプを SS-25 'Topol' ICBM に取り付けられたもので、報道によると新型 RV は AS-19 'Koala' を改良した Kh-90/GELA と呼ばれる超高速巡航ミサイルで、スクラムジェット推進により高度100,000ft以上を Mach 6 で飛行できる。試験では SS-25 に取り付けられたが、最終的には SS-27 'Topol-M' ICBM に取り付けられることになる。

ロシアはソ連時代からスクラムジェットを最終段階に用いる戦略ミサイルに関心を示しており、米国のミサイル防衛に対抗する ICBM の RV にスクラムジェットを採用する方針である。1995年に公開された Raduga 設計局の Kh-90/GELA はスクラムジェットで推進し Tu-95 Bear から空中発射するミサイルで、速度は Mach 5 とされるが、多くの問題を抱え計画は難航している。

ロシアはスクラムジェットを使用して理論的には Mach 10 のミサイルが可能とし、速度変化、旋回性及び非弾道軌道は、既存の ICBM と全く異なるため、米国の BMD に充分対抗できるとみている。

(9) 中国の計画

1999年に中国は、Kh-15 (AS-16) と良く似た対地攻撃巡航ミサイルの模型を公表しているが、これとは別に全長6m、胴径0.52m、発射重量1,600～2,000kgで、150～410kgの弾頭を搭載して400km飛行する、超高速巡航ミサイルを開発中とも伝えられている。

(10) インドの計画

2005年2月11日にインドの国防開発研究所が、超高速実験機の模型を初めて公開し、2008～2010年に飛行させる研究を開始したと発表した。

実験機は将来の full-scale 飛行体開発への長期計画開始を狙うもので、特定の応用は考えられていないが、Ramjet/Scramjet の双モードエンジンを搭載しているとみられ、機体形状やエンジン位置等から速度は Mach 5～7 と推測される。

実験機は弾道ミサイルに搭載されて高度20kmで切り離される。

同様の構想はロシアでも検討されている。

(11) フランスの計画

フランスは超音速/超高速 CM の開発に熱心で、以下のような各種計画が報じられている。

- ・ **Vesta**
戦略 ASM ASMP-A 用のインテグラルロケットラムジェットで Mach 3 を目指す。
- ・ **Rascal**
対レーダ、対地、対艦ミサイル用の液体燃料ラムジェットで、低空で Mach 2～2.5、高度20,000mで Mach 3.2～3.7 を目指す。
- ・ **ramjet/scramjet Rascal**
ASMP-A 後継戦略 ASM 用のエンジンで scramjet モードで Mach 6 以上を目指す。高々度超高速偵察用 UAV への応用も検討されている。
- ・ **PREPHA**
水素燃料デュアルモードスクラムジェット
- ・ **Chamois**
Mach 6.5 のスクラムジェットで、地上試験を実施済み。
- ・ **WRR (Wide-Range Ramjet)**
低速ではケロシン、高速では水素を燃料とし、Mach 2～12 で飛行する。
- ・ **Promethee**
Mach 2～8 の炭化水素燃料 fully-variable ラムジェットで、テスト機は全長5m～6mである。

- ・ **MARS**

Mach 4 で飛行する空中発射ミサイルであるが、陸上発射 UAV としても検討されている。 全長は5m~6mである。