

極超音速誘導弾の 早期実現に向けた挑戦

ATLA's Effort on Early Deployment of Scramjet-powered Hypersonic Weapon

2023年3月 March 2023

防衛装備庁 航空装備研究所
エンジン技術研究部 ロケットエンジン研究室

中山 久広

Hisahiro Nakayama

Rocket and Ramjet Engine Systems Research Section
Engine Research Division
Air Systems Research Center (ASRC)
Acquisition Technology & Logistics Agency (ATLA)
Japan Ministry of Defense (JMoD)

変則的な軌道を取りながら、高速飛しょう(音速の5倍以上・1分間に100km以上)が可能

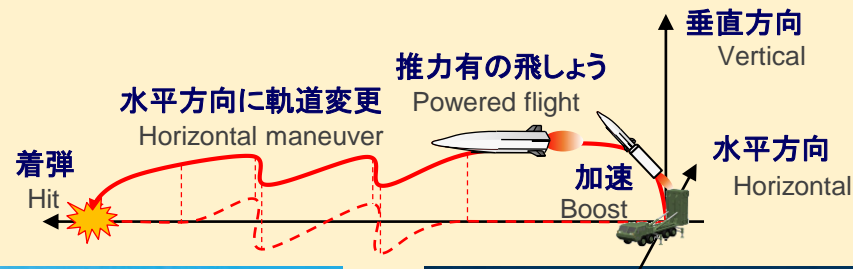
Hypersonic weapon can fly at hypersonic speed (over Mach 5, 100 km/min) with in-flight maneuverability.

推力飛しょう型

(Scramjet-powered Hypersonic Weapon, SHW)

ロケットモータで加速後、水平方向に軌道変更しながらスクラムジェットエンジンで推力飛しょう可能(速度維持可能)

After boost phase using rocket motor, vehicle is powered by scramjet engine and sustains its speed with horizontal maneuverability.



- **HAWC (米国)** HAWC, U.S.
 - 空中発射型 Air-launched
 - 2022年7月に発射試験を実施
Flight test in July 2022
- **Zircon (ロシア)** Zircon, Russia
 - 艦上発射型 Sea-launched
 - 2022年5月に発射試験を実施
Flight test in May 2022

滑空型

(Hypersonic Glide Vehicle, HGV)

ロケットモータで加速後、無推力で垂直・水平方向に軌道変更しながら滑空飛しょう可能(減速あり)

After boost phase using rocket motor, vehicle glides with vertical/horizontal maneuverability decreasing its speed gradually.



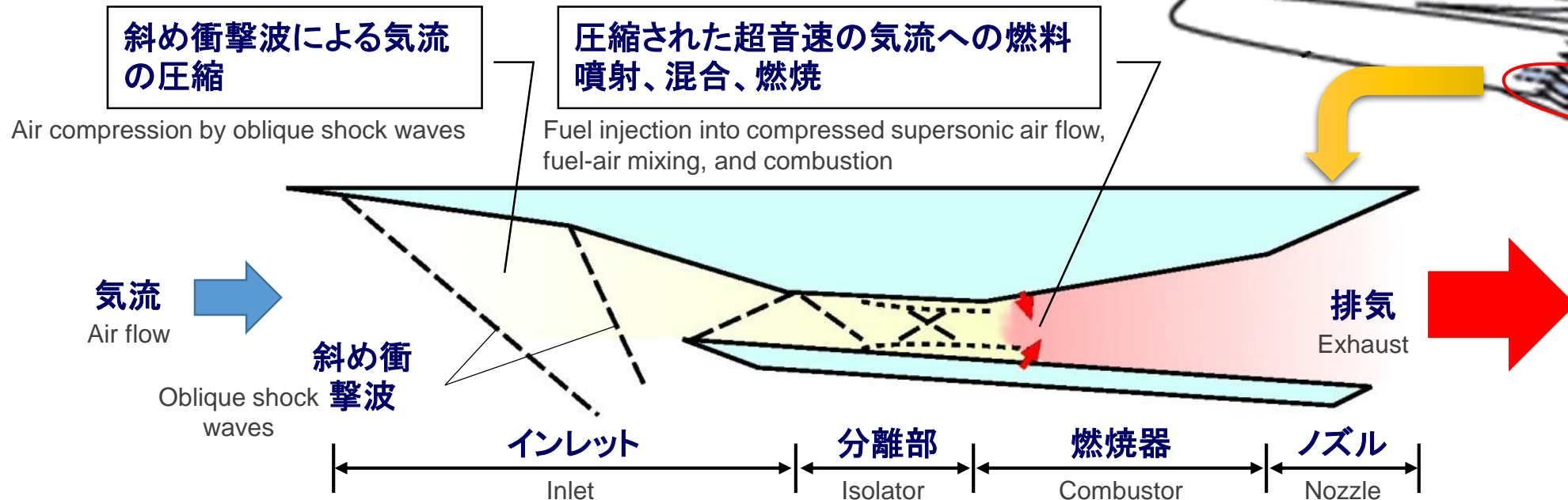
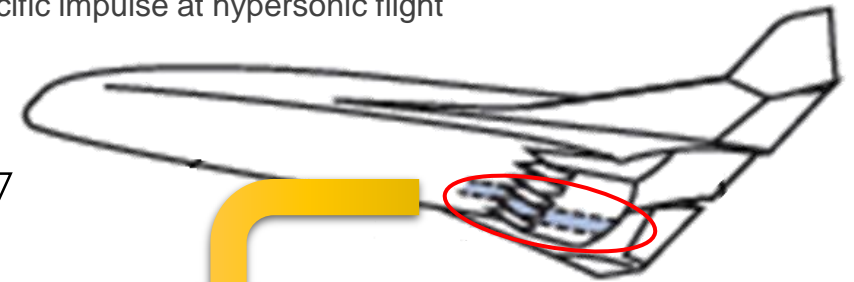
- **Avangard (ロシア)** Avangard, Russia
 - 地上発射型
Ground-launched
- **DF-17 (中国)** DF-17, China
 - 地上発射型
Ground-launched



スクラムジェットエンジンとは

What is scramjet engine?

- 極超音速飛しょう体用の推進装置として各国が研究・開発中 Other countries are also working on R&D of scramjet engine for hypersonic weapon
- 空気取入口に生じた衝撃波で空気を圧縮し、圧縮された超音速の空気に燃料を噴射、燃焼させて推力を得るエンジン In scramjet engine, hypersonic air flow is compressed and decelerated to supersonic by inlet, fuel is injected into supersonic airflow, mixed with air, and burn in combustor.
- スクラムジェットエンジンの利点: Advantage of scramjet engine
 - シンプルな構造 Simple engine system
 - 極超音速飛しょう(マッハ数5以上)が可能 Capability of hypersonic flight
 - 極超音速飛しょうにおいて最も高比推力(高燃費) Highest specific impulse at hypersonic flight





ATLA
Acquisition, Technology &
Logistics Agency

Defense Technology Symposium 2022

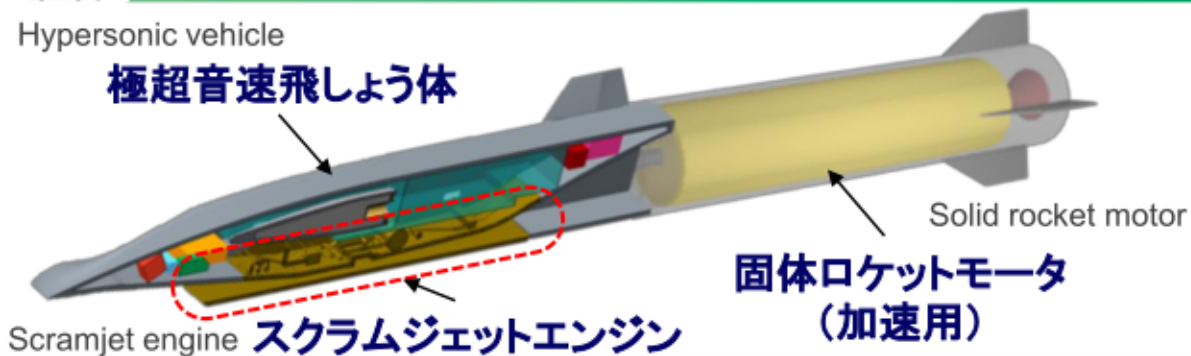
極超音速誘導弾(推力飛しょう型: SHW)

Scramjet-powered Hypersonic Weapon, SHW

防衛装備庁技術シンポジウム2022

Hypersonic vehicle

極超音速飛しょう体



Solid rocket motor

固体ロケットモータ
(加速用)

Scramjet engine スクラムジェットエンジン

[極超音速誘導弾飛しょうシーケンスのイメージ](#)
(YouTube防衛装備庁公式チャンネルが開きます)



高速飛しょう・
軌道変更

SHW is capable of hypersonic flight and in-flight maneuverability resulting in unpredictable trajectory.



従来の誘導弾よりも迎撃されにくいいため、
残存性が高い

Consequently, SHW can survive interception by surface-to-air missile at a higher rate than conventional cruise missile.

革新的なゲームチェンジャー

Game-changing, advanced missile

■ SHWの実現に必須となる要素技術の獲得のための研究を実施中

ATLA have been working on research to acquire two major component technologies needed for hypersonic vehicle of SHW since JFY2019.

■ 地上試験によるスクラムジェットエンジンのシステムレベルの実証が主たる目的

Principal objective of this research is demonstration of scramjet engine system using ground test facility.

1. スクラムジェットエンジン技術

Scramjet engine technologies

- 常温保管及び飛しょう体の小型化が可能なジェット燃料を用いて、極超音速の飛しょうにおいて高い燃費を発揮

Jet fuel is absolutely necessary for simplicity of operation at room temp. and compact vehicle. High combustion efficiency of jet fuel at hypersonic flight condition is required for vehicle.

2. 機体技術

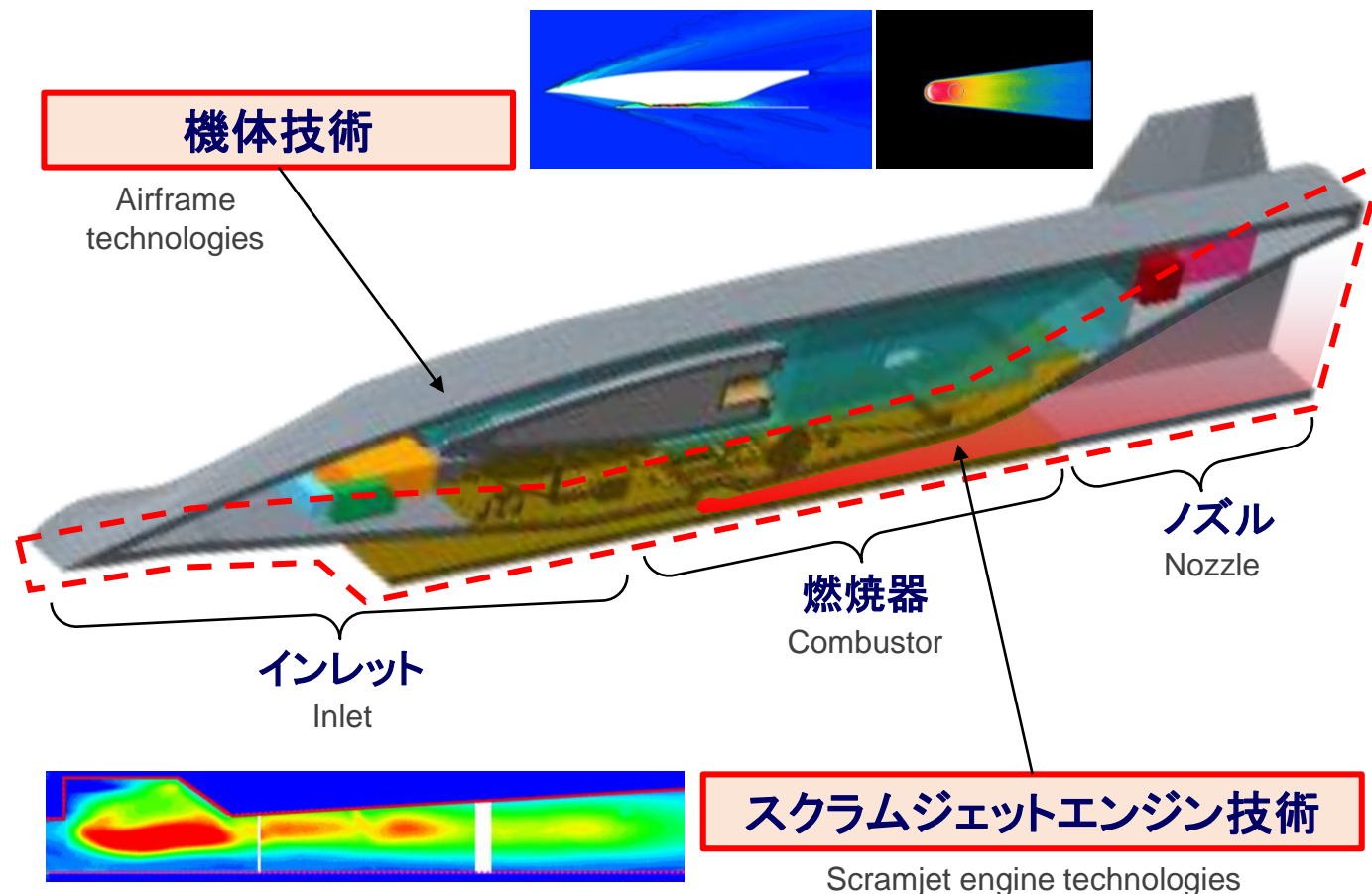
Airframe technologies

- 極超音速における飛しょうを可能とする機体形状

Airframe configuration/geometry to enable efficient hypersonic flight

- 極超音速の高エネルギーの気流からの加熱に耐える材料・構造

Heat-resistant material/structure to protect vehicle from high aerodynamic heating



スクラムジェットエンジンの特性

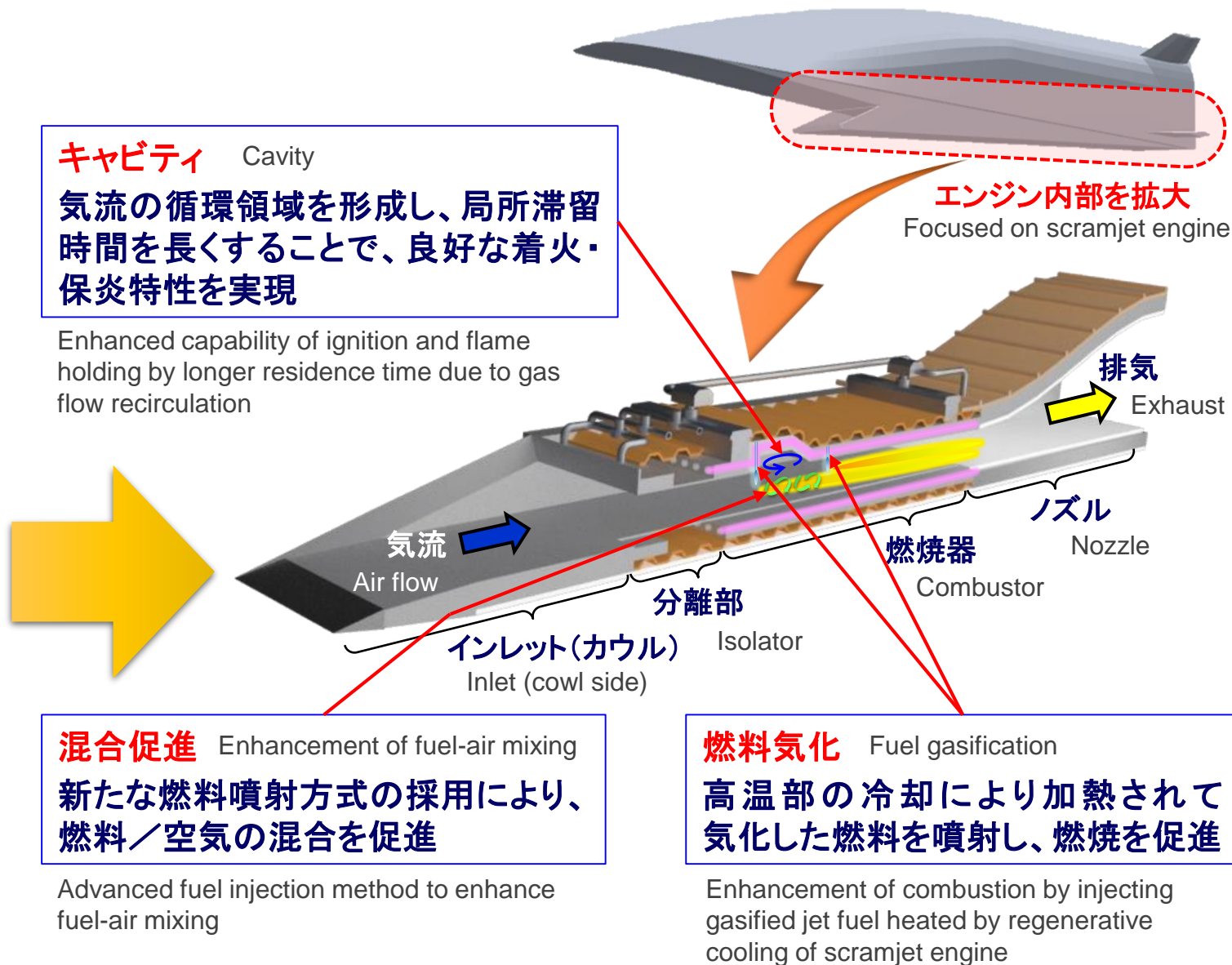
Characteristics of scramjet engine

- 推力を発生するためには、**気流を高速のまま吸い込んで圧縮し、燃料を燃焼させて気流にエネルギーを与える必要あり**

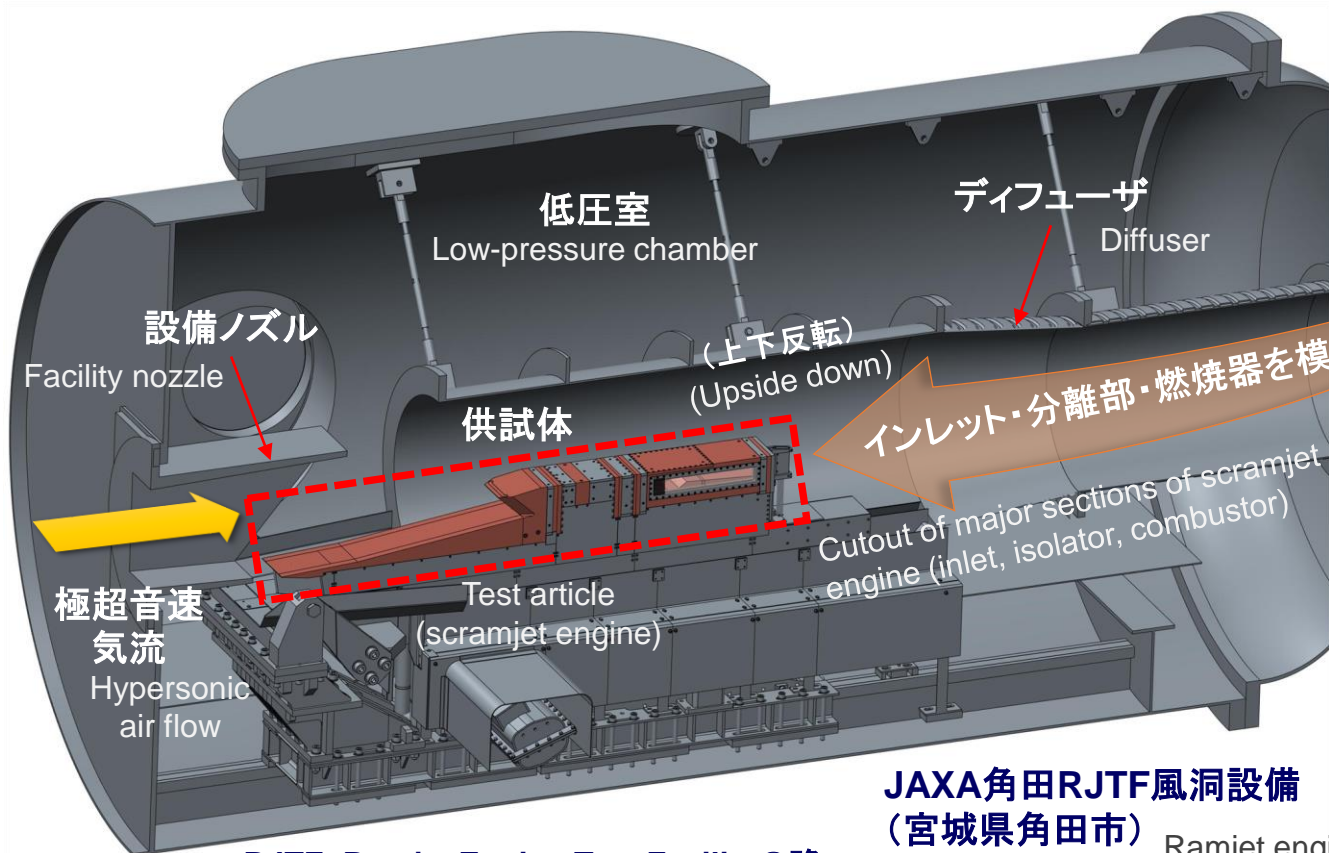
Total pressure loss associated with compression and deceleration of air flow by inlet should be minimized so that engine generates sufficient thrust at hypersonic flight condition. Consequently, heat addition to supersonic gas flow occurs in combustion chamber.

- **燃焼器を気流が極めて短い時間(1/1000秒以下)で通過するため、極めて短い時間で、燃料を空気と混合・燃焼させる必要あり**

Since residence time of gas flow in combustor is short (less than 1 ms), fuel injected into combustor should be mixed with air and burn quickly.



- 極超音速飛しょう相当条件の気流の中でスクラムジェットエンジンの燃焼性能を確認
Combustion characteristics of designed scramjet engine were evaluated using ground test facility which can simulate hypersonic flight condition.
- SHWの極超音速飛しょう体の飛しょう実現性に係る検討及び燃焼性能モデルの精緻化に反映
Test data were used for feasibility study of hypersonic vehicle of SHW and improving combustion performance prediction model.



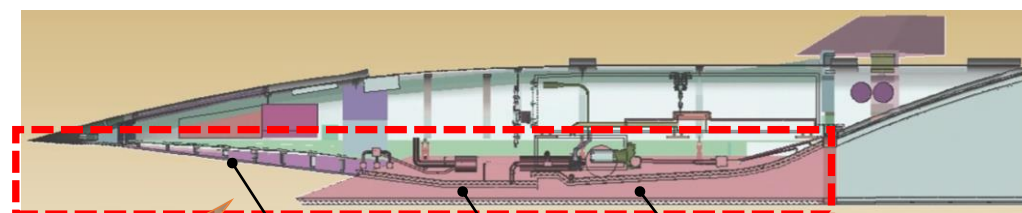
RJTF: Ramjet Engine Test Facilityの略

試験セットアップ(フリージェット形態)

Setup of test-firing (free-jet configuration)

JAXA角田RJTF風洞設備 (宮城県角田市)

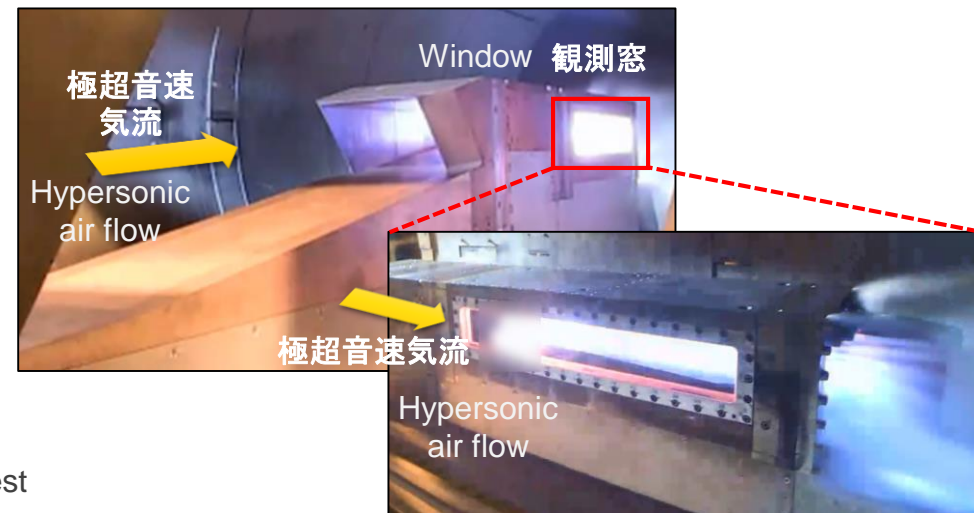
Ramjet engine test facility of JAXA



インレット (Inlet) 分離部 (Isolator) 燃焼器 (Combustor)

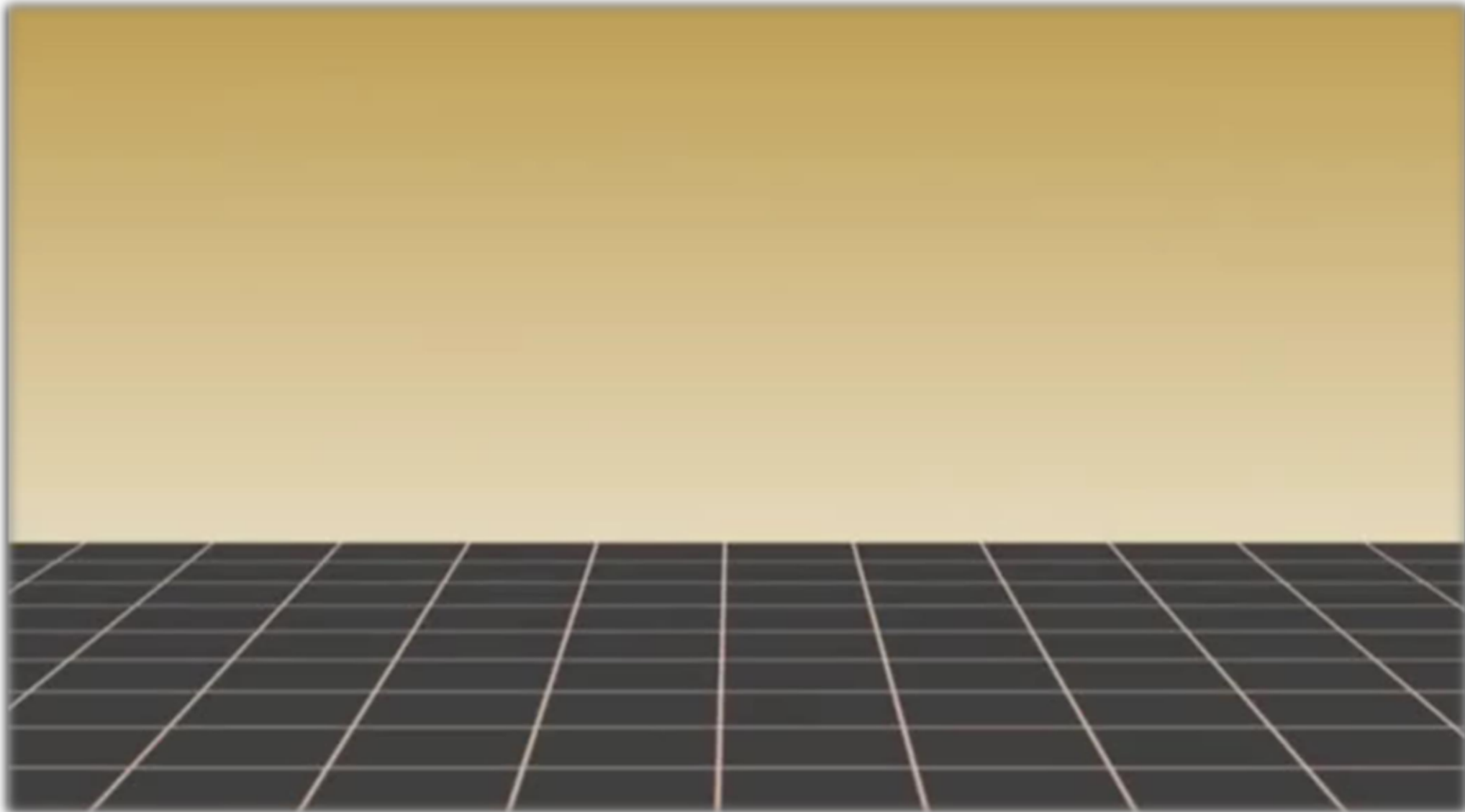
インレット・分離部・燃焼器を模擬

Cutout of major sections of scramjet engine (inlet, isolator, combustor)



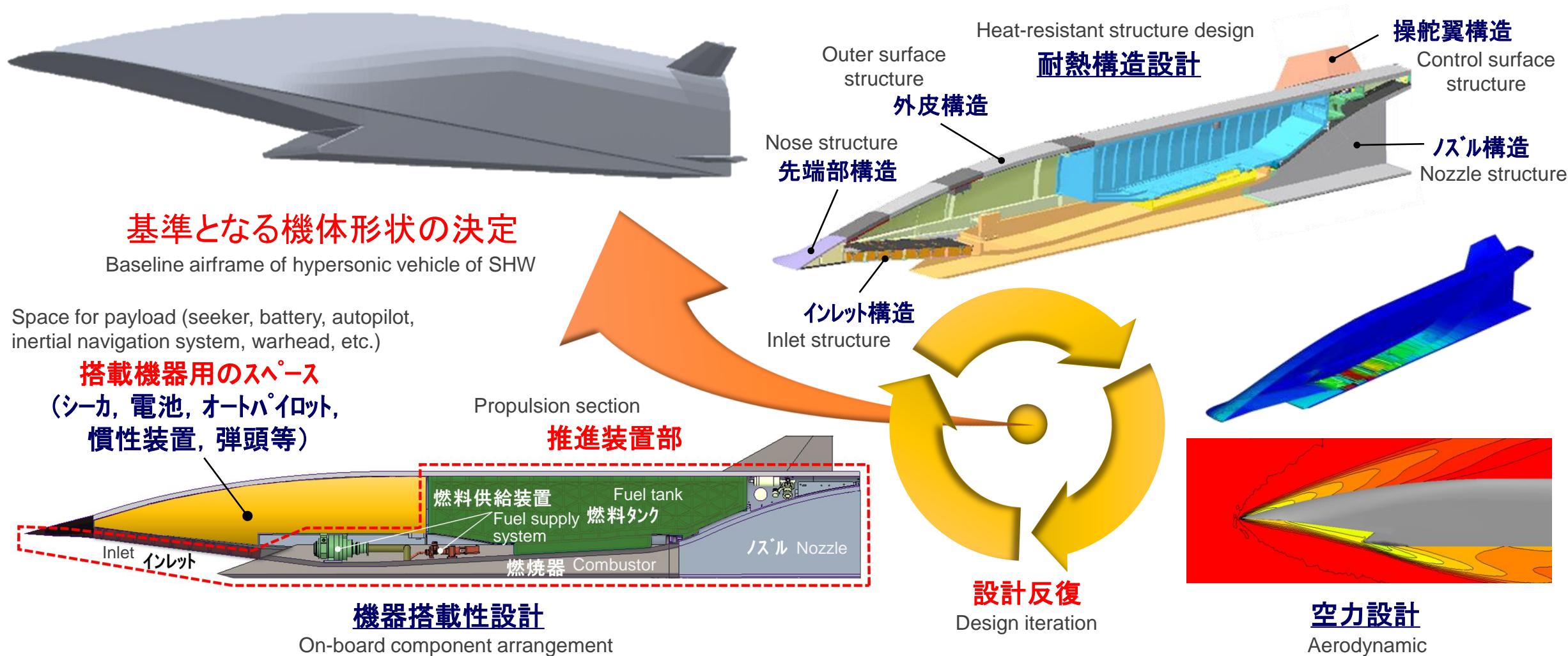
燃焼試験実施状況

Image of test-firing



機器搭載性に優れ、長射程・長時間の極超音速飛しょうを可能とする機体を設計

Airframe design in terms of efficient component arrangement for volume-limited application and long-range/duration hypersonic flight capability

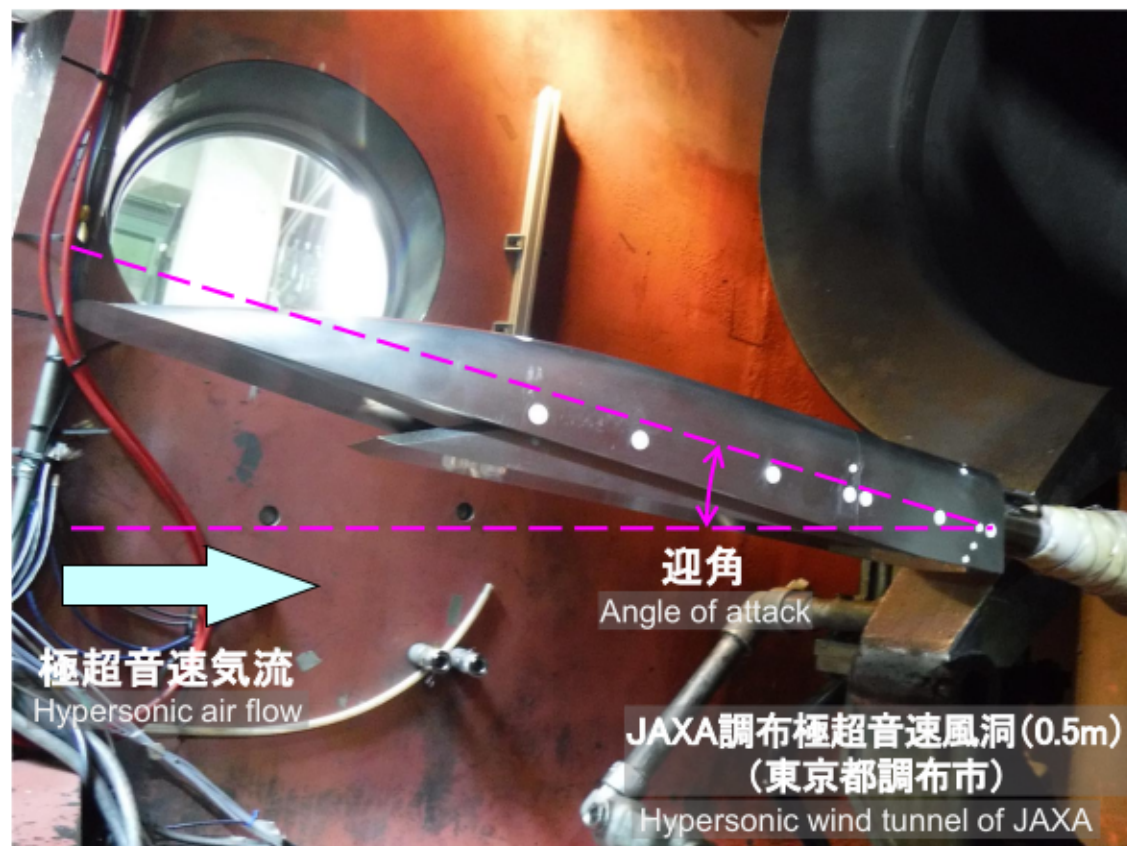


■ 設計した機体形状の空力特性を確認

Aerodynamic characteristics of designed airframe were evaluated.

■ SHWの極超音速飛しょう体の飛しょう実現性に係る検討及びCFDの精緻化に反映

Test data were used for feasibility study of hypersonic vehicle of SHW and improving CFD model.



風洞試験セットアップ Setup of wind tunnel test

Angle of attack **迎角: 0 deg ⇒ -10 deg ⇒ -5 deg ⇒ 0 deg ⇒ 5 deg ⇒ 10 deg ⇒ 0 deg**



風洞試験実施状況 Video of wind tunnel test



ATLA
Acquisition, Technology &
Logistics Agency

Defense Technology Symposium 2022

SHWの極超音速飛しょう体の実現性

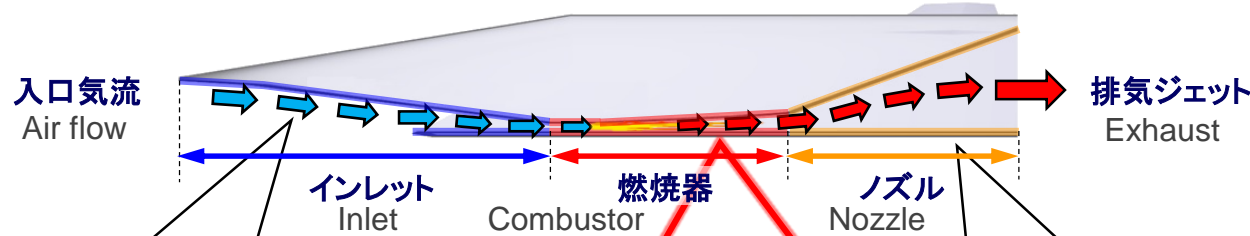
Feasibility study of hypersonic vehicle of SHW

防衛装備庁技術シンポジウム2022

試験結果を反映した設計検討により、スクラムジェットエンジンが正推力を発生し、SHWの極超音速飛しょう体が飛しょう可能である見通しを得た。

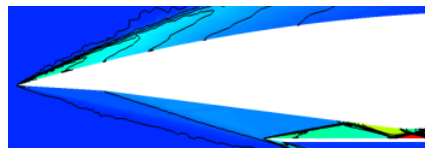
Feasibility study of hypersonic vehicle of SHW reflecting results of component tests have shown that scramjet engine can generate thrust greater than drag and hypersonic can fly in expected speed range.

試験結果に基づき構築したモデル及び精度を検証したCFDにより、エンジンが発生する推力を計算
Thrust generated by scramjet engine was estimated using CFD and performance prediction model validated through component tests.

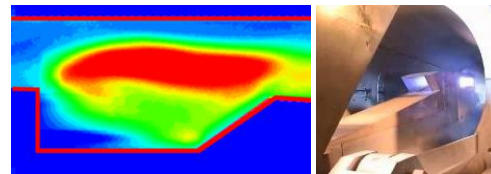


Thrust estimation
推力計算
(エンジン)
Engine

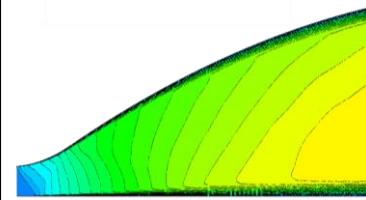
風洞試験により精度を検証したCFDによりインレット性能計算
Inlet performance was estimated using CFD validated through wind tunnel test.



エンジン燃焼試験により精緻化したモデルを用い燃焼性能計算
Combustion performance was estimated using combustor model validated through test firings.

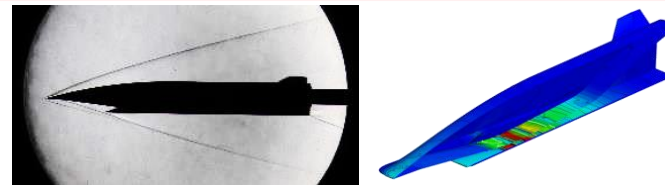


CFDによりノズル性能計算
Nozzle performance was estimated using CFD.



風洞試験により精度を検証したCFDを用い、機体に作用する空気抵抗を計算
Drag acting on hypersonic vehicle was estimated using CFD validated through wind tunnel test

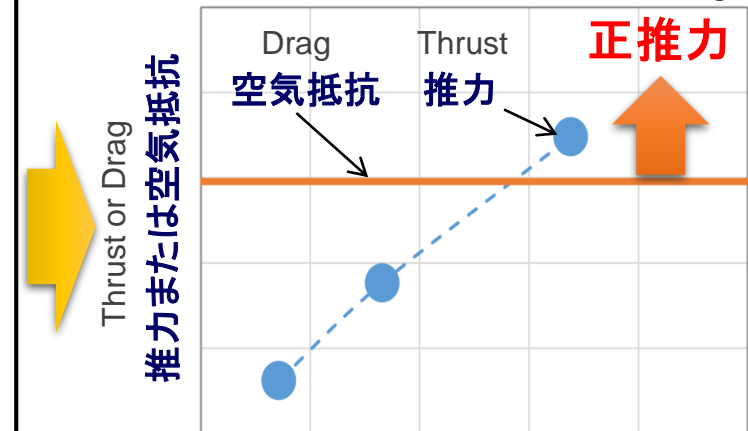
Drag estimation
抵抗計算
(機体)
Airframe



Scramjet engine can generate thrust greater than drag acting on hypersonic vehicle

エンジンが空気抵抗を上回る推力を発生可能

Thrust greater than drag



当量比

Fuel equivalence ratio

推力と空気抵抗の比較(最大速度・最高高度における飛しょう時)

Comparison of thrust with drag (maximum flight speed at maximum altitude)



SHWの研究計画

Present status and outlook of SHW R&D in ATLA

ATLA
Acquisition, Technology &
Logistics Agency

Defense Technology Symposium 2022

防衛装備庁技術シンポジウム2022

Development of SHW (JFY2019 – JFY2025, approx. 185.7B yen)

SHWの研究

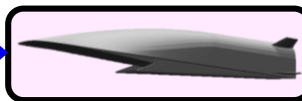
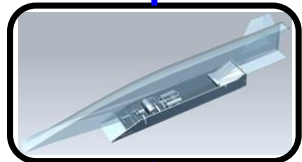
実施期間(予定): 令和5~13年度
研究試作総経費(予定): 約1,857億円

SHWシステム

SHW system

Flight demonstration of SHW

飛行実証



令和13年度
SHWの研究完了
SHW development will
complete in JFY2031

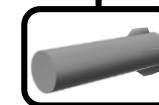
努めて他事業の成果・
既存技術を活用



シーカ
Seeker



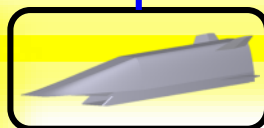
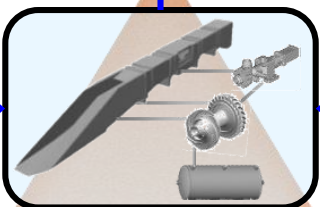
弾頭
Warhead



ロケットモータ
Rocket motor

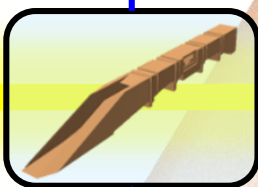
Output of other
programs and
existing technologies
will be utilized

エンジンシステム
Scramjet engine
system

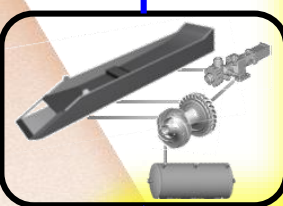


機体
(耐熱材料・構造を含む)
Airframe (heat-resistant
material/structure included)

インレット
+ 燃焼器
Inlet &
combustor



再生冷却機構
Regenerative
cooling system



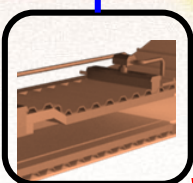
現時点の
到達ライン
Present status

Combustor

Inlet



燃焼器



燃料供給機構
Fuel supply system

燃料供給機構

燃料供給機構

冷却流路(全体)
Cooling passage (overall)



冷却流路(要素)
Cooling passage (element)

Regenerative cooling
channel (overall)

Regenerative cooling
channel (element)

スクラムジェットエンジン
Scramjet engine

- SHW要素技術の研究において、SHWの飛しょう実現性の見通しを確認
Feasibility of hypersonic vehicle of SHW have been confirmed.
- SHW要素技術の研究成果を反映し、令和5年度にSHWの研究に着手
Therefore, ATLA will start development of SHW in JFY2023.
- 努めて他事業の成果・既存技術を活用し、SHWを早期に開発
ATLA will utilize output of other programs and existing technologies to full for SHW development for early deployment.

SHW要素技術の研究

実施期間: 令和元~7年度
研究試作総経費: 約162億円

スクラムジェットエンジン
機体(耐熱材料・構造含む)

Research on major
components of SHW
(JFY2019 – JFY2025,
approx. 16.2B yen)

Scramjet engine and
airframe (heat-resistant
material/structure included)