

低ソニックブーム設計概念実証 (D-SEND)プロジェクト

**D-SEND
Project**

(Drop test for Simplified Evaluation of Non-symmetrically Distributed sonic boom)



実機 / Flight Model

環境適合技術として、JAXAが世界に対し技術的優位性を持つ「低ソニックブーム設計概念」の実現性を飛行実証により示すと共に、現在検討が進んでいる次世代超音速機のソニックブームに関する国際基準検討に貢献可能な空中ソニックブーム計測手法を獲得することを目標としています。

The goal of the D-SEND project is to demonstrate, through flight tests, the feasibility of JAXA's "low sonic boom design concept", in which JAXA has the technical advantage over the world in environmentally compatible technology. JAXA also aims to establish an aerial sonic boom measurement method that could contribute to the deliberation of international standards for sonic booms for next-generation supersonic transport currently under examination.

❖ D-SENDプロジェクト概要

D-SENDプロジェクトは、大型気球を用いた落下試験で、2種類の軸対称体を落下させソニックブームを比較計測するD-SEND#1 (2011年5月成功) と低ソニックブーム化技術で設計した超音速試験機を飛行させソニックブームを計測するD-SEND#2の2つから構成されます。ソニックブームの計測は、地上及び係留気球に取り付けられたソニックブーム計測専用のマイクシステムにより行われます。

試験は、スウェーデンの北極圏内に位置するEsrangle実験場で行われます。

❖ D-SEND Project

The D-SEND project is composed of the D-SEND#1 and D-SEND#2 drop tests from a large stratospheric balloon. In D-SEND#1, two different axisymmetric bodies were dropped and their sonic booms were measured and compared in May of 2011. In D-SEND#2, an experimental supersonic airplane based on JAXA's low sonic boom design technology is dropped and flies. The sonic booms are measured by microphone systems along the line of a tethered blimp.

The Esrangle Space Center in the Arctic Circle of Sweden is the location of these drop tests.

❖ D-SEND#2の目的

D-SEND#2落下試験の目的は、以下の通りです。

- ・3次元揚力体による先端/後端の低ソニックブーム設計効果の実証
- ・低ブーム波形取得技術の確立
- ・低ブーム伝播解析技術の検証

❖ 落下試験シーケンス

試験のシーケンスは、以下の通りです。

(1)放球・上昇

試験機は、大型気球のゴンドラに逆さまに吊り下げられ放球され、高度約30kmまで上昇します。

(2)水平飛行

分離可能領域に入るまで水平飛行します。

(3)分離

試験機が分離可能な領域(実験場内に配置された2つのドーナツ形状)に入ったら、地上からコマンドが送信され、試験機が気球から分離されます。

(4)滑空

試験機は、自由落下により加速され、垂直落下姿勢から機体を引き起こし、地上の2つのブーム計測システムの1つに向かって自律的に超音速飛行を行います。

(5)ソニックブーム計測

試験機は、機体の鉛直方向に衝撃波を発生させるために、ブーム計測システム上空で、マッハ数1.3、経路角50度でダイブ飛行を行います。地上では、ブーム計測システムが地上及び空中の複数点でソニックブームを計測します。

(6)自律投棄

ブーム計測システム上空を滑空後、自律的に実験場内に落下します。

D-SEND#2落下試験は、2013年夏に実施を予定しています。

❖ Objectives of D-SEND#2

The following are the objectives of D-SEND#2.

- Demonstrate the low sonic boom design effect at the non-axisymmetric nose and the lifting aft-fuselage of a 3D lifting body.
- Establish low boom signature acquisition technology
- Verify low boom propagation analysis technology

❖ Drop Test Sequence

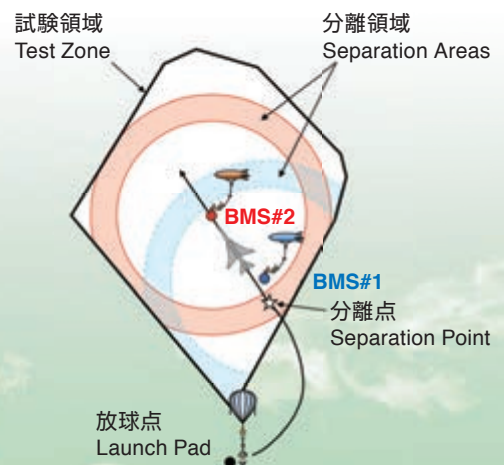
The test sequence is as follows:

- (1) Hanging upside down from the gondola of a stratospheric balloon, the airplane is launched and ascends to an altitude of about 30km in order to acquire the energy of supersonic flight.
- (2) The balloon with the airplane flies horizontally until it reaches the separation area.
- (3) The airplane is released from the balloon by a command from the ground after it enters a separation area (there are two donut-shaped separation areas in the test zone).
- (4) The airplane is accelerated by free fall to supersonic speed, pulled up from a vertical orientation and autonomously guided toward one of the boom measurement systems.
- (5) The airplane flies over the boom measurement system at Mach 1.3 and a flight path angle of 50degrees in order to propagate its shock waves vertically to the ground. On the ground, the several microphones of the boom measurement system capture the sonic booms.
- (6) The airplane is autonomously terminated and crashes into the test zone after it flies over the sonic boom measurement system.

The D-SEND#2 drop test is planned for the summer of 2013.



D-SEND#2落下試験シーケンス
D-SEND#2 Drop Test Sequence



ブーム計測システム配置と分離可能領域
Boom Measurement System Layout and Separation Areas

超音速試験機 (S3CM)

Silent SuperSonic Concept Model (S3CM)

試験機 (S3CM: Silent SuperSonic Concept Model) は、エンジン無しの無人超音速滑空機で、JAXA固有の低ソニックブーム設計概念に基づいて空力形状 (外形状) が設計されています。

機体の寸法諸元は、全長7.913m、主翼幅3.510m、主翼面積4.891㎡、全備重量は1000kgです。

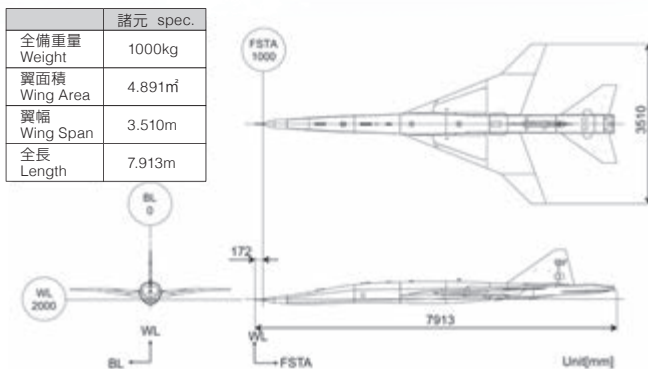
方向舵及び水平尾翼が、飛行制御に用いられます。

気球から分離後は、自律的にブーム計測システム上空を設計条件で滑空するように「飛行制御コンピュータ」が制御を行います。

飛行制御用のセンサは、GPSとINSを統合した「GPS/INS航法装置」、「エア・データシステム」、高精度の「Az加速度計」が搭載されています。

機体構造のほとんどの部位には、アルミ合金が使用されています。製造時の主翼形状は、実際にソニックブームを計測する時の動圧で変形した形状が所期の空力設計形状となるように設計されています。

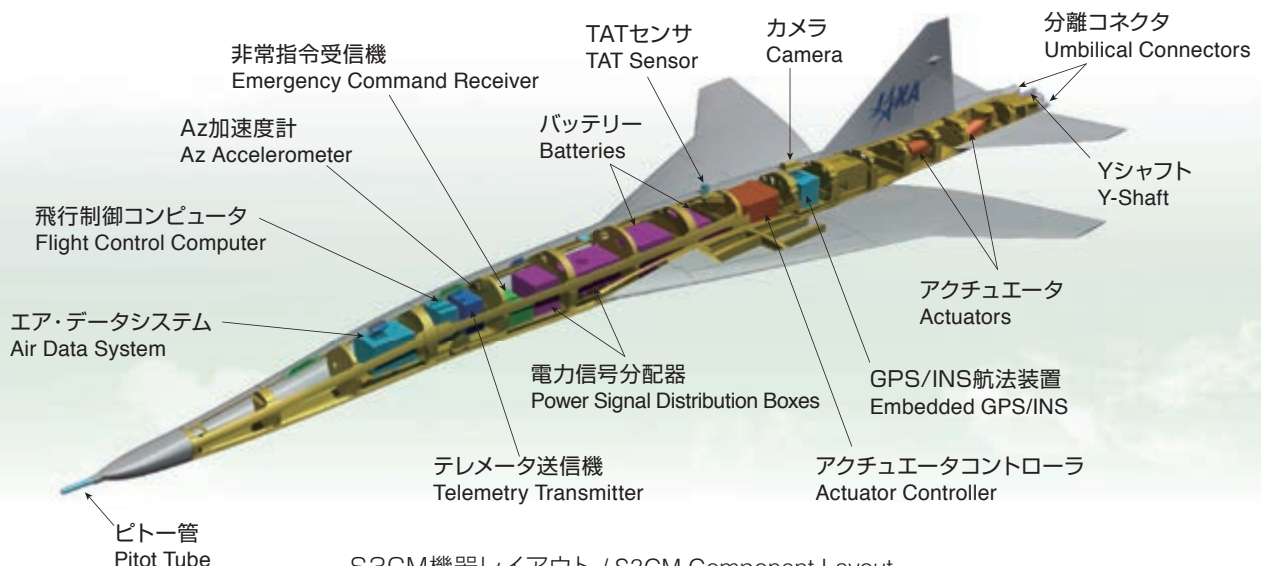
The experimental airplane called S3CM (Silent SuperSonic Concept Model) is an unmanned supersonic glider, and its aerodynamic shape is designed based on JAXA's original low boom design technology concept. The total length of the airplane is 7.913m, the wing span is 3.510m, and the wing area is 4.891㎡. The total weight is 1000kg. The rudder and stabilators (differential) are used for flight control. After the separation from the balloon, the flight control computer autonomously controls all flight sequences, and the airplane flies over the boom measurement system at design conditions. The onboard sensors for the flight control are an embedded GPS/INS, an air data system and a high-accuracy Az accelerometer. The main structures are made from aluminum alloy. The manufactured outer shape of the main wing has a jig shape. The jig shape is designed so that the deformed shape due to the dynamic pressure at the time of measurement of the sonic boom can be formed into the designed aerodynamic shape.



S3CM三面図 / S3CM Configuration



全機構造強度試験 / Full Scale Structural Test



S3CM機器レイアウト / S3CM Component Layout

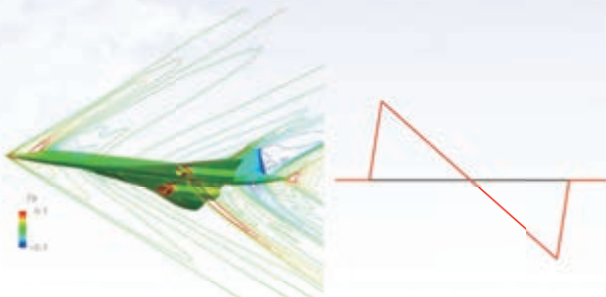
低ソニックブーム設計概念

Low Sonic Boom Design Concept

ソニックブーム低減化

航空機が超音速で飛行する時、機体各部から発生する衝撃波が大気中を長い距離伝播するに従い統合し、地上では、2つの急激な圧力上昇を引き起こすN型の圧力波形として観測されます。これが一般に「ソニックブーム」と呼ばれているものです。

JAXAでは、コンピュータを活用して機体の空力形状を工夫し、従来のソニックブーム波形の強さを半減する低ソニックブーム設計技術を研究しています。



コンコルド機体の近傍圧力場
Near-field Pressure of Concorde

地上でのN型圧力波形
N-type Signature on the Ground

Low Sonic Boom Design

When an airplane flies at supersonic speed, it generates many shock waves from the nose, wing, engine and so on. On the ground, these shock waves have a conventional pressure signature (N-type), which has two sudden pressure rises. This signature has a thunder-like sound called a sonic boom.

JAXA has been conducting R&D to halve the intensity of the sonic boom using computational fluid dynamic technology.



将来型超音速機の近傍圧力場
Near-field Pressure of Future SST

地上での低ブーム圧力波形
Low Sonic Boom Signature on the Ground

低ソニックブーム設計概念の適用

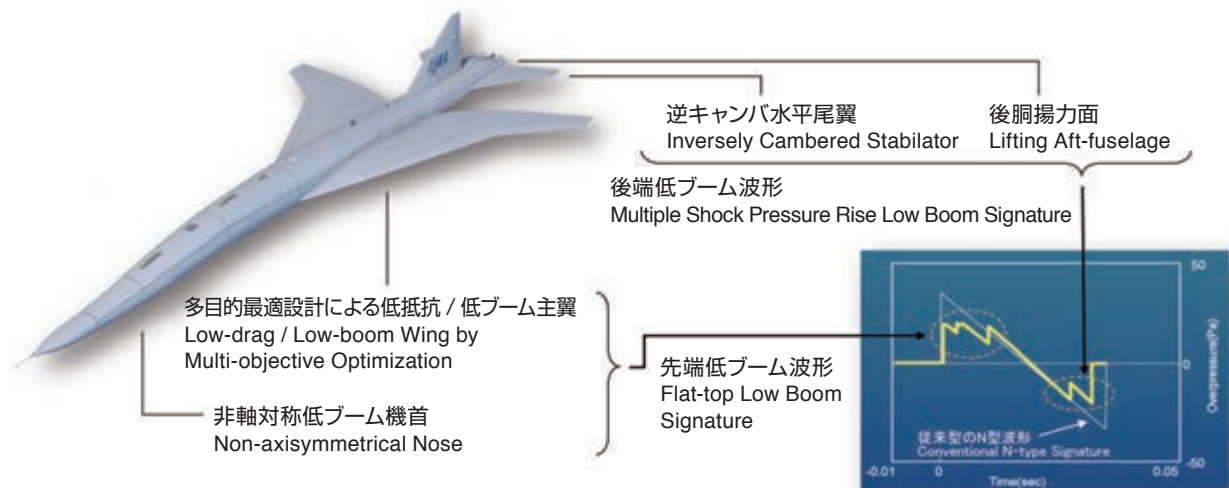
D-SEND#2試験機には、以下の設計概念が適用されています。

- ・非軸対称機首による先端低ブーム化
- ・後胴揚力面による後端低ブーム化
- ・多目的最適設計による低抵抗/低ブーム主翼
- ・逆キャンバ付きの水平尾翼の採用による良好なトリム特性と後端低ブーム特性の両立

Design Concepts for Low Sonic Boom

The design concepts applied to the D-SEND#2 airplane are as follows:

- Front shock tailoring by non-axisymmetrical nose
- Aft shock tailoring by lifting aft-fuselage
- Low-drag/low-boom wing by multi-objective optimization
- Inversely cambered stabilator for low-boom and trim characteristics



ブーム計測システム (BMS) Boom Measurement System (BMS)

地上付近の大気乱流がソニックブーム波形に与える影響を避けるために、小型気球を用いて、低周波マイクを高度750mに係留します。また、係留索上及び地上にもマイクを配置し高度方向のソニックブーム波形の変化も計測します。同時に、地上及び小型気球の高さでの温度等の気象データが取得されます。

D-SEND#2では、このブーム計測システムが落下可能領域に2箇所配置され、Wi-Fi通信や衛星回線で管制室から遠隔制御されます。

ブーム計測機能については、スウェーデンのグリペン戦闘機を用いた試験 (ABBA試験) や軸対象体落下試験 (D-SEND#1) にて検証済みです。

A low-frequency microphone on the tethered line of a blimp is held at an altitude of 750m in order to avoid the influence of the atmospheric turbulence near the ground. In addition, other microphones are installed between the ground and the blimp to measure the sonic boom signature as it changes in altitude as well as to obtain meteorological data, such as the temperature etc., at the ground and at the level of the blimp. The function tests of the boom measurement system (ABBA Test) were conducted using a Swedish Gripen fighter at the Vidsel test range in Sweden. In D-SEND#1, this system successfully captured clear sonic booms.



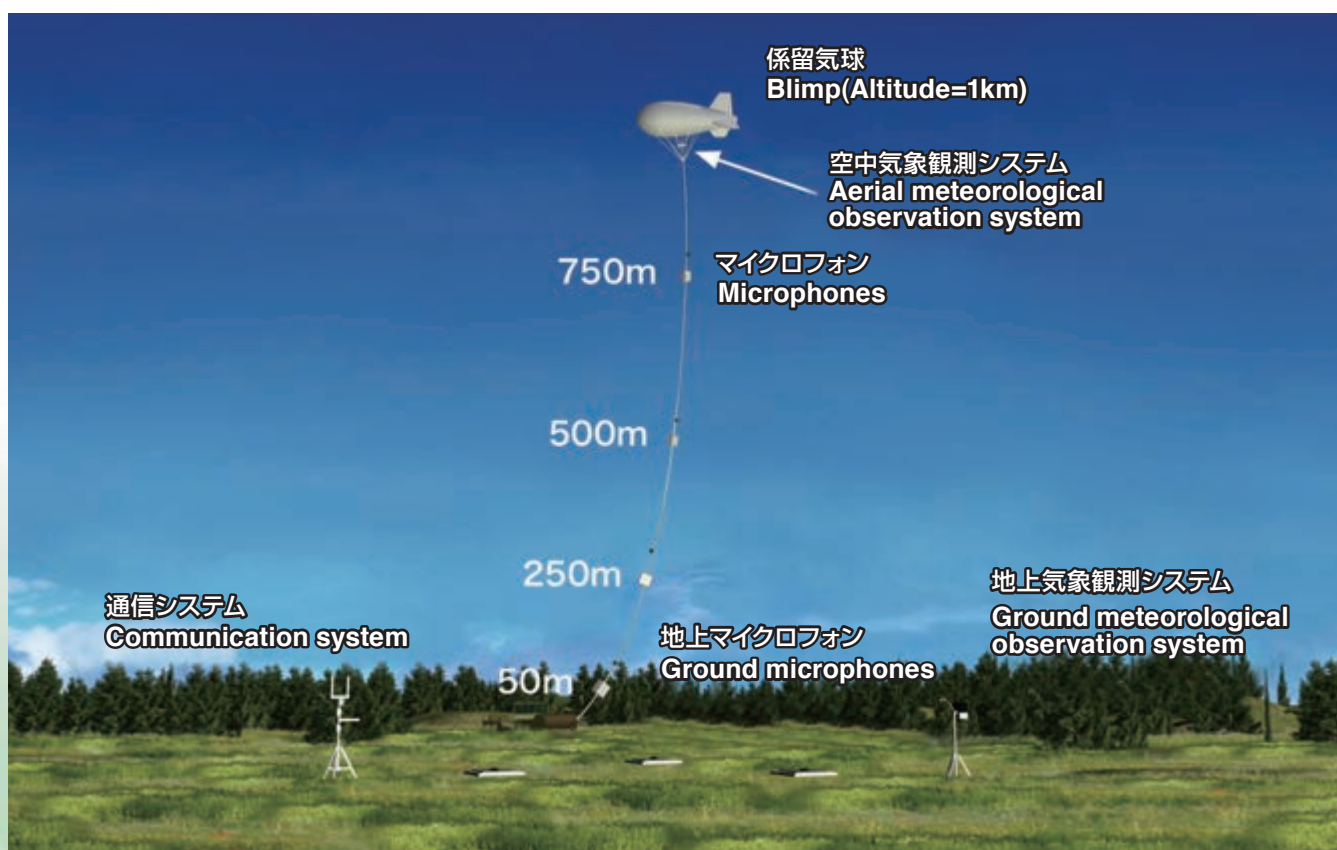
低周波マイク
Low-frequency
Microphone

音響計測要求仕様
Required Specifications for Acoustic
Measurement System

要求項目 / Request terms	仕様 / Specifications
下限周波数 (-3dB) Lower limit freq. (-3dB)	0.2Hz以下 < 0.2Hz
上限周波数 (-3dB) Upper limit freq. (-3dB)	20kHz以上 > 20kHz
最小瞬時音圧 Minimum overpressure	0.01Pa (0.0002psf)以下 < 0.01Pa (0.0002psf)
最大瞬時音圧 Maximum overpressure	300Pa (6psf)以上 > 300Pa (6psf)



ABBA試験 / ABBA Test



ブーム計測システム / Boom Measurement System

気球システム

Balloon System

気球システムは、高度約30kmまで上昇可能な大型成層圏気球（ヘリウムガス）、試験機を保持・分離するための機構や試験機のためのバッテリー等を搭載しているゴンドラ、気球運用搭載機器、試験終了後、ゴンドラを緩降下させるためのパラシュート等から構成されます。試験機（1000kg）を含めた全体の重量は、約3.6トンになります。放球は、自走式のクレーン車（ヘラクレス）を用いた「ダイナミック放球法」で行われます。

気球の軌道は風の分布や気温に大きく依存します。そのため、放球日は、毎日の気象予報データを用いた軌道予測を行い、実験場内を飛行する日を選んで決定されます。気球放球後は、上昇速度を調整（ヘリウムガス抜き或いはバラスト投下）することで気球の軌道を変更することができます。

気球システムの準備及びオペレーションは、スウェーデン宇宙公社（SSC）により行われます。

The balloon system is composed of a large stratospheric balloon, which can ascend to an altitude of about 30km (helium gas), a gondola carrying the mechanism for holding and separating the airplane as well as the battery for it, the balloon operation system on-board unit in addition to a parachute for making the gondola gradually descend after the test. The total weight including the airplane (1000kg) is about 3.6tons.

The launch is performed by the dynamic launch method using a self-propelled crane (Hercules).

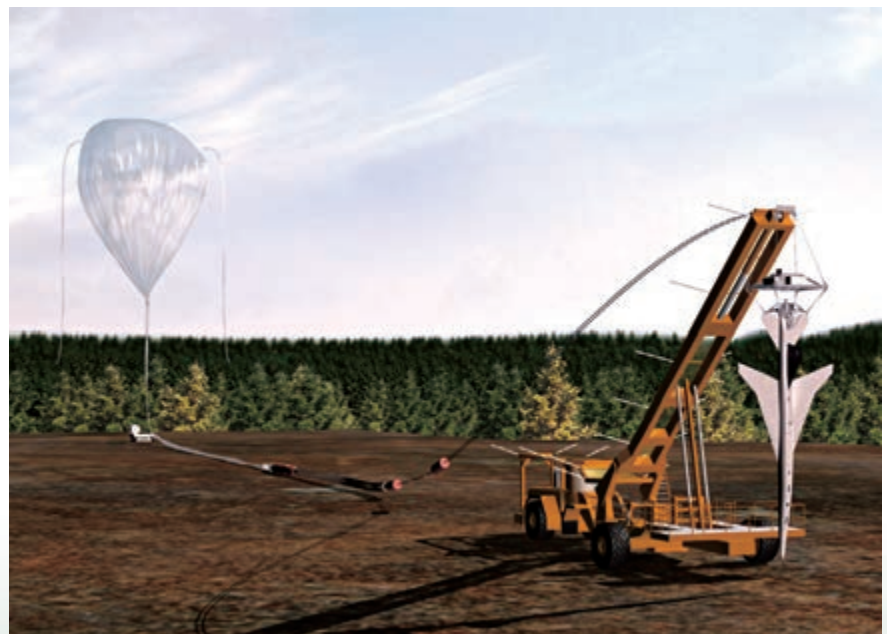
The balloon trajectory depends on the wind profile and temperature. Therefore the launch date is determined by balloon trajectory predictions with the use of daily meteorological forecasting data.

After the launch, the trajectory can be changed by adjusting the ascent velocity (by removing helium gas or dropping the ballast).

The preparation of this balloon system and its operation are performed by the Swedish Space Corporation (SSC).



気球システム構成 / Flight Train



気球放球 / Balloon Launch Operation

宇宙航空研究開発機構 航空本部

〒182-8522 東京都調布市深大寺東町7-44-1

TEL: 0422-40-3000(代表) FAX: 0422-40-3281

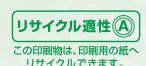
Japan Aerospace Exploration Agency
Institute of Aeronautical Technology

7-44-1 Jindaiji Higashi-machi, Chofu-shi, Tokyo 182-8522

Phone: +81-422-40-3000 FAX: +81-422-40-3281

JAXAホームページ <http://www.jaxa.jp/>

D-SENDプロジェクトホームページ
<http://www.aero.jaxa.jp/spsite/d-send2/>



2013年発行 / Issued in 2013