

ここから宇宙へ

誘導制御システム試験設備

# Guidance and Control System Test Facilities



# 誘導制御機器の役割と一般的な構成

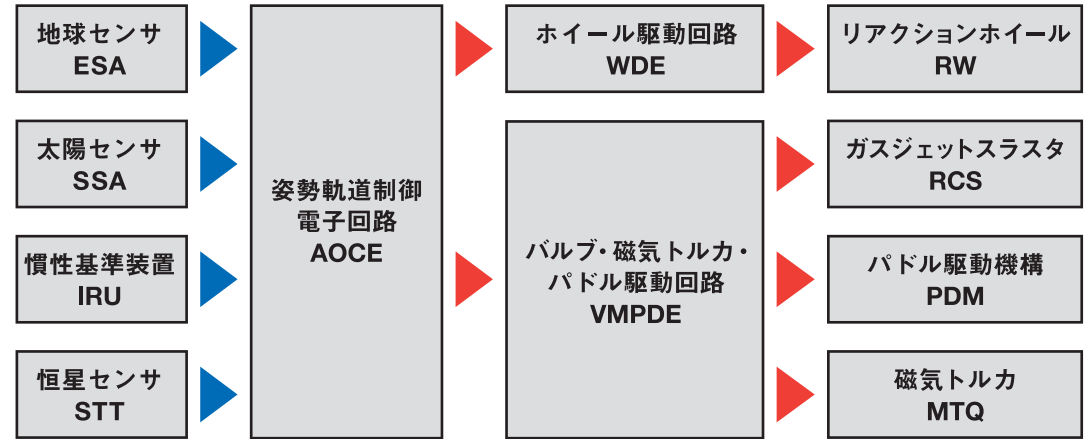
## Guidance and Control System

人工衛星には、地球、月や太陽などの引力、大気抵抗、太陽輻射圧、地磁気などの外力が常に働いています。このような環境下で、ミッションである通信や観測などを実現するために姿勢・軌道を確立し、安定に保つのが誘導制御系です。誘導制御系を構成する機器は、姿勢・軌道を検出するセンサと、姿勢・軌道を制御するアクチュエータ及び誘導制御計算機に分類されます。センサとしては恒星センサ、地球センサ、ジャイロスコープによる慣性基準装置、GPS受信機、ランデブセンサなどがあり、一方、アクチュエータとしてはリアクションホイール、コントロールモーメントジャイロ、磁気トルカ、ガスジェットスラスタなどがあります。

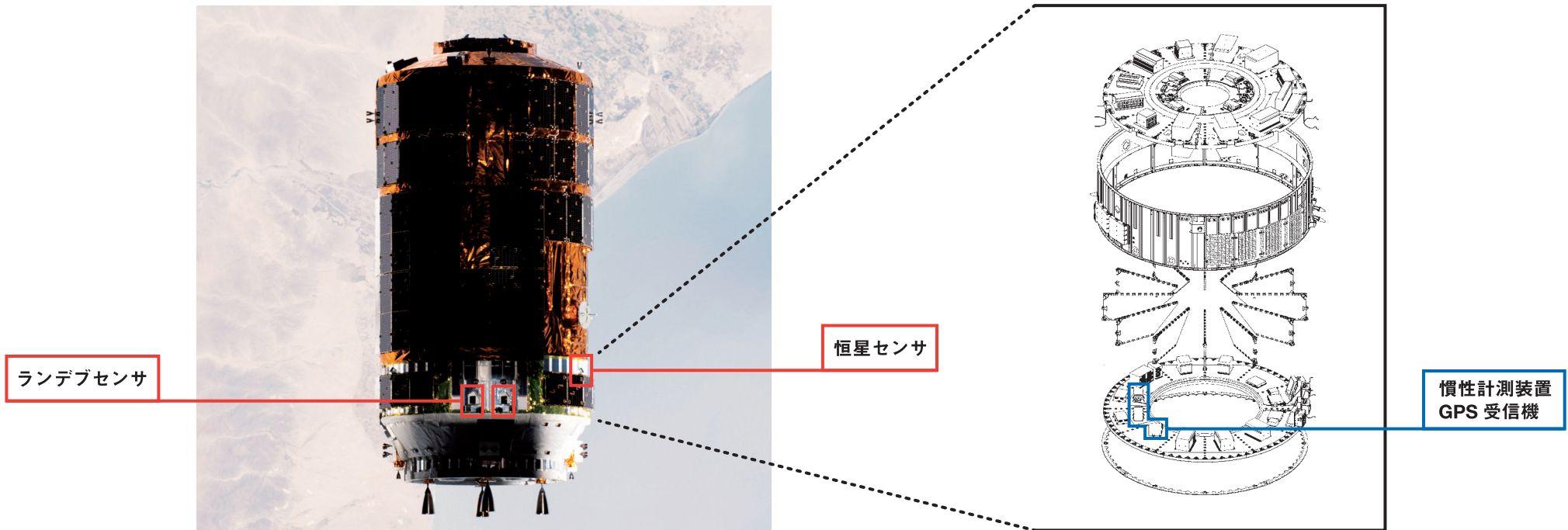
一般的な人工衛星の誘導制御系の構成例を右に示します。各センサから検出された姿勢・軌道情報に基づき、姿勢軌道制御電子回路(AOCE)は姿勢・軌道の目標値や、アクチュエータへの制御指令値を計算します。AOCEからの制御指令値に基づきアクチュエータを駆動することで、目標の姿勢・軌道に到達できるよう設計されます。

There are three types of guidance and control components: sensors to detect attitude and orbit, actuators to control attitude and orbit, and computers to provide guidance and control. The diagram on the right shows how a Guidance and Control (G&C) system is configured. The Attitude and Orbit Control Electronics (AOCE) unit evaluates the spacecraft's attitude and position from onboard sensor outputs to control them with actuators.

### ■ 代表的な人工衛星の姿勢制御システム



### こうのとりのHTV)に搭載されている誘導制御機器の例



# 本設備を利用した近年の主な開発実績



**ETS-VII**  
技術試験衛星VII型「おりひめ・ひこぼし」  
軌道上自動ランデブ・ドッキング技術の  
試験検証



**HTV**  
宇宙ステーション補給機「こうのとり」  
ISSターゲットへの自動ランデブ技術  
の試験検証



**SDS-4**  
小型実証衛星4型  
STT、GPS受信機の機能確認試験



**SLATS**  
超低高度衛星技術試験機「つばめ」  
小型高分解能光学センサ試験



**GCOM-C**  
気候変動観測衛星「しきさい」  
GPS受信機の機能性能確認試験

2000



**ALOS**  
陸域観測技術衛星「だいち」  
STT・姿勢軌道制御系の機能確認試験



**SELENE**  
月周回衛星「かぐや」  
STTの機能確認試験

2010



**Hayabusa2**  
小惑星探査機「はやぶさ2」  
角速度、加速度計測性能評価試験

2020

- (予定)
- CRD2**  
商業デブリ除去実証
- HTV-X**  
新型宇宙ステーション補給機

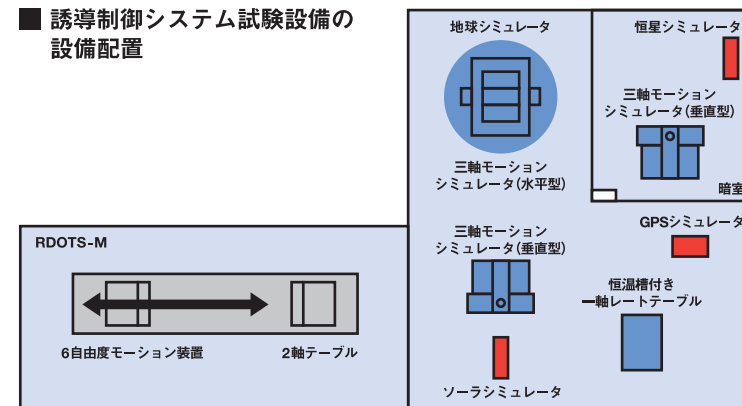
## 誘導制御システム試験設備の役割と実績

### Roles and Use Histories of Guidance and Control test Systems

誘導制御システム試験設備は、宇宙機の誘導制御機器の機能・性能を検証するための設備です。誘導制御機器を単体レベルで試験するだけでなく、各センサ・AOCEを供試体として、初期姿勢捕捉、定常姿勢制御、軌道制御中の姿勢保持などを実際の軌道上での運動を模擬した環境下で試験することが可能です。アクチュエータや軌道上の運動を計算機内ソフトウェアで模擬することにより動的閉ループ試験(DCLT)が可能になります。このように誘導制御機器の試験を単体レベルから総合的なシミュレーション試験へと段階を追って実施することが可能です。

The guidance and control test systems are multifunctional facilities that evaluate the performance of the spacecraft's G&C system. The system's flight components are tested under conditions that accurately simulate the environment and motion of the spacecraft. The test systems can also conduct a Dynamic Closed-Loop Test (DCLT) by connecting to an external computer that calculates the spacecraft's attitude and orbit. These test systems have proven their utility in a variety of projects and research.

#### ■ 誘導制御システム試験設備の設備配置



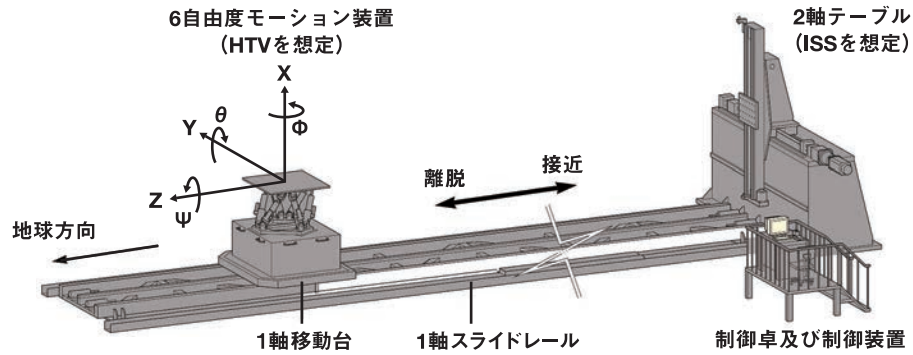


ランデブ・ドッキングシステム  
開発試験設備 (RDOTS-M)

Rendezvous and Docking Operation  
Test System (Middle range type)

# ランデブ・ドッキングシステム開発試験設備 (RDOTS-M)

## Rendezvous and Docking Operation Test System (Middle range type)

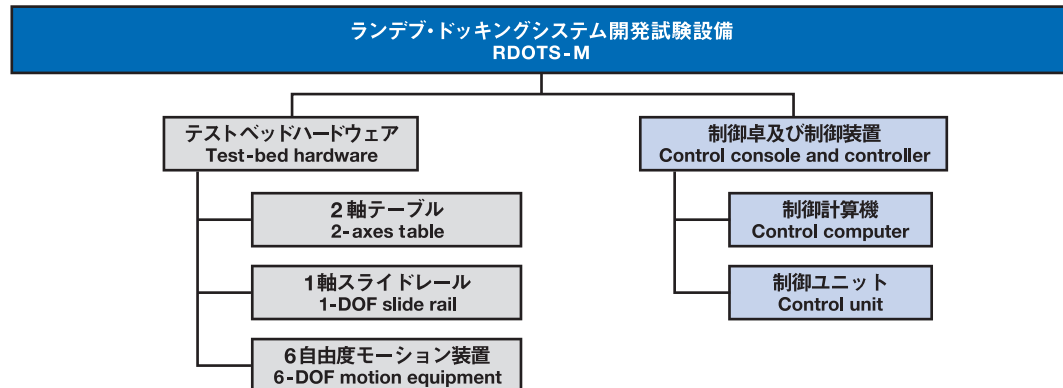


宇宙ステーション補給機「こうのとり」(HTV)電気モジュール航法誘導制御系サブシステムの、近傍接近フェーズにおける機能・性能確認を動的に行うために開発された試験設備です。ユーザが準備する外部計算機からランデブシミュレーション結果として送出される位置信号に基づき、宇宙空間でのHTVとISSの相対的な運動を右の表に示す範囲と精度で実現することができます。6自由度モーション装置側にHTV側ランデブセンサ(RVS)を、2軸テーブル側にISS側ターゲットリフレクタを配置し、それらの相対的な距離を計測します。RVSの測距値をフィードバックすることにより宇宙機に搭載する計算機や誘導・制御ソフトウェアなどを含めたDCLTが実施できます。

また「こうのとり」の近傍域ランデブ運動に限らず、宇宙空間における2機の宇宙機の相対運動をリアルタイムに模擬することができますので、宇宙機の編隊飛行(フォーメーションフライト)や月惑星探査機の着陸誘導などの研究開発への応用利用も可能です。

The Rendezvous and Docking Operation Test System (Middle range type) (RDOTS-M) evaluates the operation and performance of the guidance, navigation, and control systems of the H-II Transfer Vehicle (HTV) during the proximity rendezvous with the International Space Station (ISS). This motion simulator emulates the relative 6-DOF motion between the HTV and ISS, approximating the space environment. This makes it suitable for testing a spacecraft's laser and optical navigation sensors for detecting relative motion. RDOTS-M can also perform a DCLT by sending back the 6-DOF relative motion command, which is calculated from measured relative motion/position, control, and dynamics data.

### RDOTS-M 構成

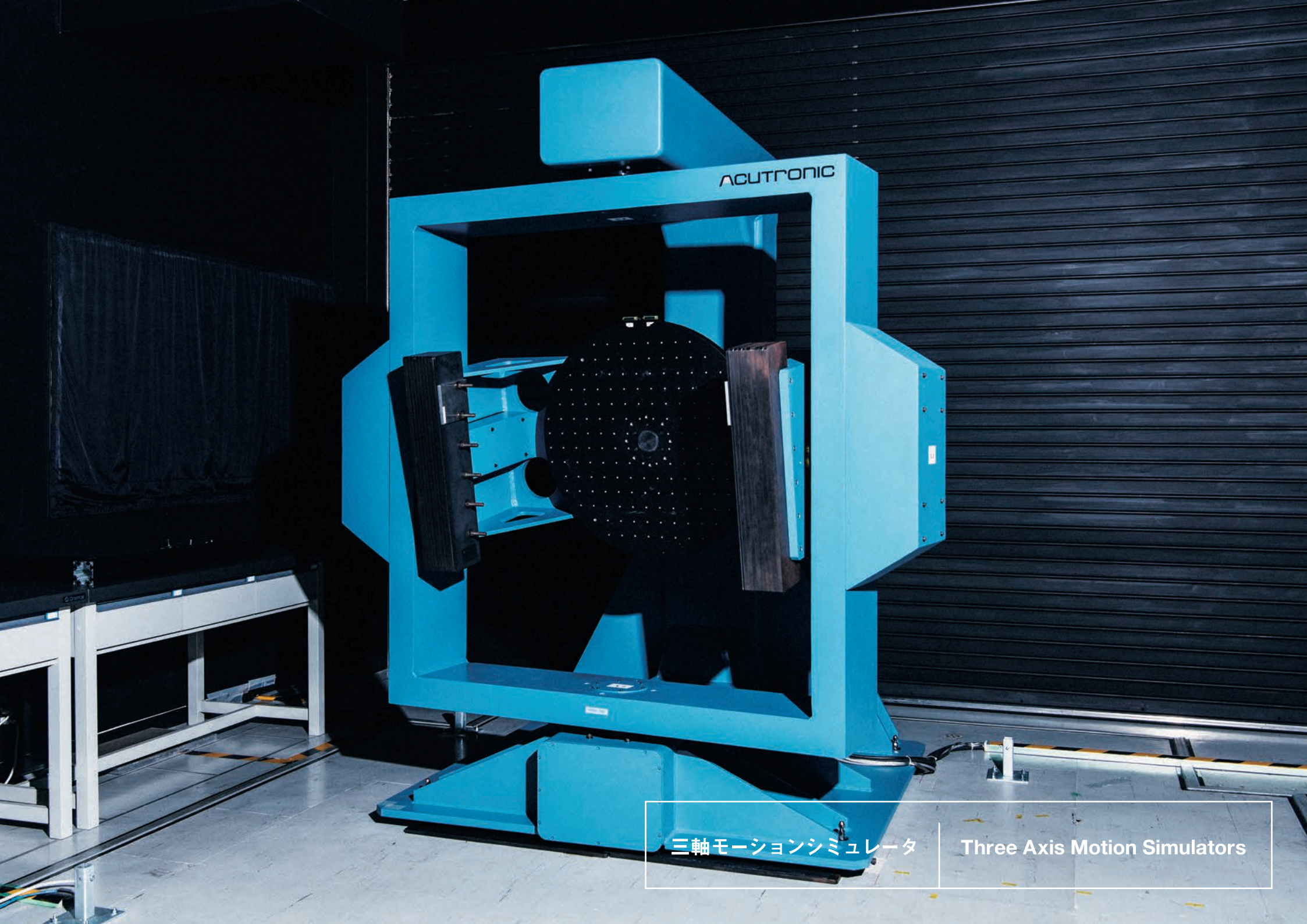


主要性能 Main Performance						
項目	性能・諸元					
	相対位置			相対姿勢		
	x	y	z	$\phi$	$\theta$	$\psi$
相対運動模擬範囲	3.0m(可動範囲)		1.5~26.0m	±10deg 3軸回転同時駆動時: ±5deg		
相対速度模擬範囲	0.60m/s	0.25m/s	0.50m/s	±1.0deg/s		
相対運動分解能	±1mm			0.1deg		
相対速度分解能	0.5mm/s			0.01deg/s		
運動模擬精度	30mm(@z= 26m)			0.2deg		

1軸スライドレール 駆動範囲・精度 1-DOF slide rail drive range, accuracy	
項目	性能・諸元
駆動位置	25.0m(ストローク)
駆動速度	±100mm/s
駆動加速度	±4.9m/s <sup>2</sup>
駆動位置精度	±1mm

2軸テーブル 駆動範囲・精度 2-axis table drive range, accuracy		
項目	性能・諸元	
供試体質量	最大50kg	
	x(上下方向)	y(左右方向)
駆動位置	±1500mm	±1500mm
駆動速度	±600mm/s	±250mm/s
駆動加速度	±4.9m/s <sup>2</sup>	±4.9m/s <sup>2</sup>
駆動位置精度	±0.25mm	±0.25mm

6自由度モーション装置 駆動範囲・精度 6-DOF motion equipment drive range, accuracy						
項目	性能・諸元					
供試体質量	最大100kg					
供試体慣性モーメント	最大100kgm <sup>2</sup>					
	並進			回転		
	x	y	z	$\phi$	$\theta$	$\psi$
駆動位置	±80mm	±120mm	±120mm	±20deg	±13deg	±13deg
駆動速度	±250mm/s	±500mm/s	±500mm/s	±60deg/s	±30deg/s	±30deg/s
駆動加速度	±9m/s <sup>2</sup>	±4.5m/s <sup>2</sup>	±4.5m/s <sup>2</sup>	±600deg/s <sup>2</sup>	±400deg/s <sup>2</sup>	±400deg/s <sup>2</sup>
駆動位置精度	±0.25mm	±0.25mm	±0.25mm	±0.1deg	±0.1deg	±0.1deg



ACUTRONIC

三軸モーションシミュレータ

Three Axis Motion Simulators

# 三軸モーションシミュレータ

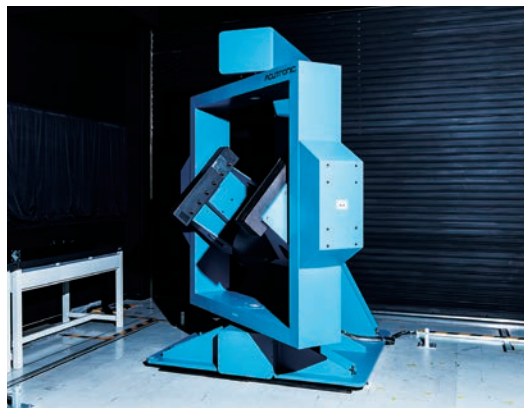
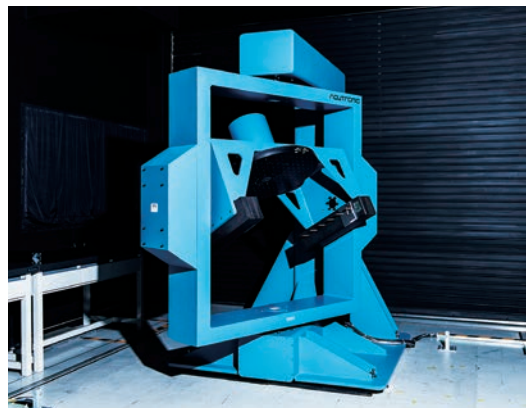
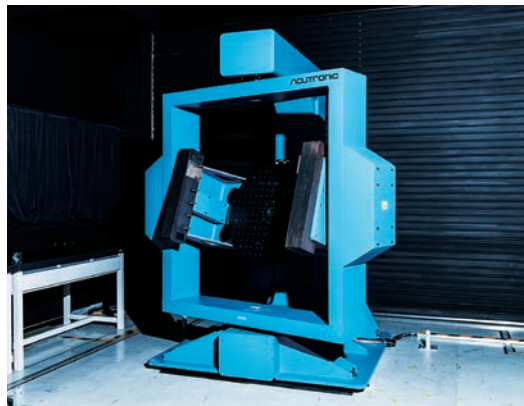
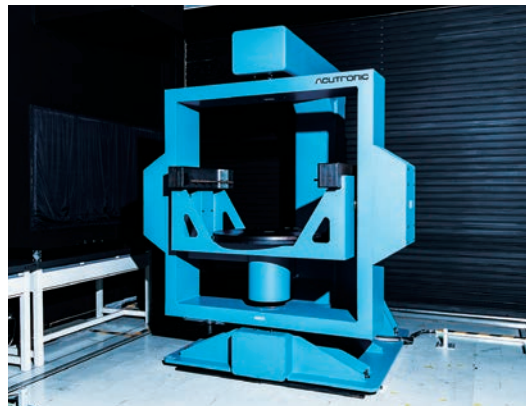
## Three Axis Motion Simulators

三軸回りの回転自由度を持つサーボテーブルとコントローラで構成され、太陽センサ、慣性センサ、恒星センサ用にAC347-V(垂直型)二式、地球センサ用にAC347-H(水平型)一式の計三式が設置されています。

各軸のサーボテーブルを独立、かつ高精度に制御できるだけでなく、三台の三軸モーションテーブルと天体シミュレータ(地球シミュレータ、ソーラシミュレータ、恒星シミュレータ)を組み合わせるにより、初期姿勢捕捉、定常姿勢制御、軌道制御中の姿勢保持など、実際の軌道に近い条件でのシミュレーション試験を実施可能です。また、姿勢軌道運動・誘導制御アルゴリズム計算用の外部計算機は、汎用的な計算機で構築することが可能です。計算機を外部入出力インタフェースに接続することにより、ユーザはリアルタイムでの動的閉ループシミュレーションを自由に行うことが可能です。

The three-axis motion simulator consists of a flight table with three degrees of freedom and a table controller. Two vertical simulators (AC347-V) are used to test the Sun sensor, inertial sensor, and star tracker, and one horizontal type of simulator (AC347-H) is used to test the Earth sensor.

These simulators can rotate in any direction to achieve the spacecraft's attitude and position relative to the Sun, the Earth, and the stars. Moreover, users can run a DCLT easily with a computer connected by an external I/O interface.



最大ペイロードサイズ / 重量 Maximum Size / Payload	
項目	性能・諸元 (AC347-V / AC347-H)
テーブル直径	Φ 813mm
最大ペイロード	25kg
供試体許容サイズ	400mm(W) × 550mm(L) × 300mm(H)
許容慣性質量	1.6kg・m <sup>2</sup> (Inner)、1.0kg・m <sup>2</sup> (Middle)、1.4kg・m <sup>2</sup> (Outer)

主要性能 Main Performance				
項目		性能・諸元 (AC347-V / AC347-H)		
		Outer	Middle	Inner
回転軸		Outer	Middle	Inner
回転自由度		±120deg	±120deg	連続回転
角度	- 精度	10arc-sec RMS	10arc-sec RMS	10arc-sec RMS
	- 分解能	0.036arc-sec	0.036arc-sec	0.036arc-sec
	- 再現性	2arc-sec P-P	2arc-sec P-P	2arc-sec P-P
角速度	- 最大角速度	30deg/sec	30deg/sec	200deg/sec
	- 分解能	0.036arc-sec/sec	0.036arc-sec/sec	0.036arc-sec/sec
	- 安定性 over 360 deg over 180 deg	- 0.005%	- 0.005%	0.005% -
	- 精度 over 360 deg over 180 deg	- 0.005%	- 0.005%	0.005% -

その他 / IF等 Others / Interface etc.	
項目	性能・諸元 (AC347-V / AC347-H)
駆動方式	ダイレクト・ドライブ方式 ブラシレスACモータ
センシング方式	正弦波出力光学式 インクリメンタルロータリエンコーダ
スリップリング	ライン数30本、容量2A
ローカル制御方式	グラフィカル・ユーザ・インタフェース (LabVIEW®ベース)によるタッチパネル方式
信号入出力端子	アナログ信号入出力端子(各軸2ch) イベント同期パルス出力端子(各軸2ch) デジタル信号入出力端子(各軸1ch)
外部ユーザPCとのインタフェース	Ethernet TCP/IP, UDP/IP, GPIB, RS-232Cの 標準プロトコル※によるコンピュータインタフェース ※シミュレーション信号送受信用の専用プロトコル言語

# 恒温槽付き一軸レートテーブル

## One Axis Rate Table with Thermostatic Chamber

本装置は一軸回転自由度を持つ高精度レートテーブルと恒温槽で構成されます。レートテーブルと恒温槽それぞれの制御装置から、レートプロフィールや温度プロフィールを設定することが可能です。

慣性センサの精度は温度の影響を受けるため、その特性把握のためには、精度よく周囲温度を設定した上で評価試験を行うことが重要です。本装置を用いることで、慣性センサに回転入力を与えながら、低温・高温環境での試験検証が可能です。

The high-precision one-axis rate table has a thermostatic chamber. It allows the rate and temperature profiles to be set up from the controllers of the rate table and the chamber, respectively. Inertial sensors' accuracy is affected by temperature, so it is essential to conduct a test after setting the ambient temperature accurately to calibrate their response characteristics. Using this table, it is possible to test and verify an inertial sensor's operation at low and high temperatures while supplying a rotational input.

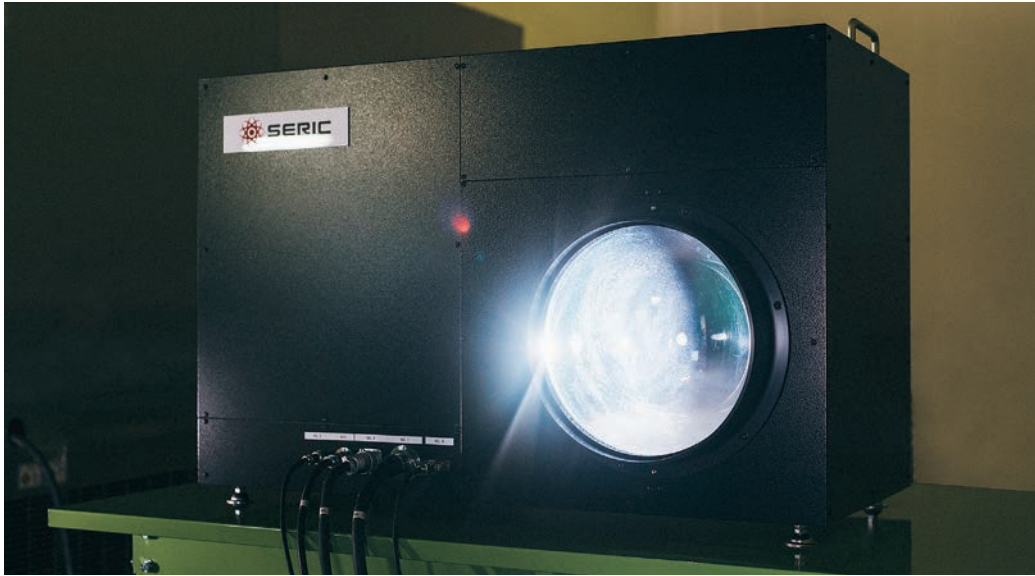
最大ペイロードサイズ / 重量 Maximum Size / Payload		性能・諸元
項目		性能・諸元
供試体		
	最大ペイロード	227kg
	供試体許容サイズ	203mm~406mm (D) × 444mm (H)
主要性能		
	角度精度	1arc-sec RSS
	角度分解能	0.00001deg
	角度再現性	±0.1arc-sec
	最大角速度	±1,000deg/sec
	角速度分解能	±0.00001deg/sec
	角速度安定性	0.0001%
	角速度精度	0.0001%
恒温槽		
	調温方式	平衡調温方式 (BTCシステム)
	温度範囲	-40℃~+100℃
	温度変動幅	±0.3℃
	温度分布	±1.0℃
	温度上昇時間	-40℃~+100℃まで60分以内
	温度下降時間	+20℃~-40℃まで90分以内





# 光学試験用可搬型ソーラシミュレータ

## Portable Solar Simulator for Optical Testing



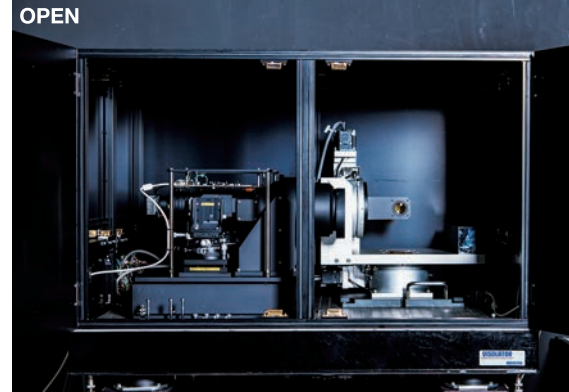
太陽センサの角度検出精度の評価試験や恒星センサの迷光試験などに使う可搬型ソーラシミュレータです。このため、一般の太陽電池試験用のソーラシミュレータと違い、投射光の視直径(光のディスクの見かけの大きさ)や平行度が太陽光と同等となっています。

This portable solar simulator for optical testing simulates solar output for evaluating the angle detection accuracy of solar sensors and stray light testing of star sensors. Therefore, unlike solar simulators for general testing of solar cells, the visible diameter (apparent size of the light disk) and parallelism of the projected light are equivalent to those of sunlight. Also, the simulator is portable.

主要性能 Main Performance		
項目	性能・諸元	
	入射角試験時	迷光試験時
照射面積	φ 100 mm以上	φ 200 mm以上
スペクトル合致度	ASTM E927 Class A	
放射照度の場所むら	ASTM E927 Class B	ASTM E927 Class C
放射照度時間変動率	ASTM E927 Class A	
最大照度	100 W/m <sup>2</sup> 以上 (約1/10 solar相当)	40 W/m <sup>2</sup> 以上 (約1/25 solar相当)
照度の調節度合	最大照度の1/1, 1/2, 1/3, 1/5, 1/10, 1/100 (許容公差: ±10%)	

# 恒星シミュレータⅢ

## Star Simulator III



宇宙機から見える実際の恒星の見え方を再現することにより、恒星センサの機能・性能を評価することができます。宇宙機の姿勢情報と恒星カタログに基づき恒星センサから見える星像イメージを生成し、画像信号として液晶ディスプレイ上に出力表示します。表示された星像イメージはコリメーションレンズで平行光に変換され、恒星からの模擬光として投影されます。

The star simulator is used to evaluate a star tracker by creating an image of the stars from the point of view of a spacecraft. The image of the stars seen from the star tracker is generated based on the attitude information of the spacecraft and the star catalog and is displayed on the LCD as an image signal. The displayed star image is collimated and projected as a simulated star field.

主要性能 Main Performance		
項目	性能・諸元	
LCD	解像度	表示可能画素: 1920×2150 投影可能画素: 1915×2080
	階調度	255階調
	更新レート	60Hz
レンズ	射出瞳径	51mm
	射出瞳距離	70mm
	射出視野角	±12deg
	最大歪み	0.2%以下

# 地球シミュレータ

## Earth Simulator



地球からの輻射赤外線を模擬し、静止衛星軌道上(高高度)、地球観測軌道(低高度)の2種類の地球の見え方を再現できる装置です。三軸モーションシミュレータと組み合わせて使用することで、地球センサの機能・性能試験を実施することが可能です。

The Earth simulator emulates the Earth's infrared radiation from a point in geostationary Earth orbit (GEO) or low Earth orbit (LEO). The two types of Earth sensors, one each for GEO and LEO use, can be evaluated in combination with a three-axis flight table below the Earth simulator.

主要性能 Main Performance	
項目	性能・諸元
赤外形状 (1)地球黒体A(低高度用) (2)地球黒体B(高高度用)	視野角123.3°(±2° 以上 上下移動可) 視野角17.5° (±0.2° 以上 上下移動可)
温度制御 (1)制御温度範囲 (2)制御精度 周辺部 中央部	(室温) + (18~42℃)  指令温度±0.2×(指令温度-背景温度)以内 指令温度±0.4×(指令温度-背景温度)以内

# GPSシミュレータ

## GPS Simulator



宇宙機に搭載するGPS受信機の実信号での単体検証が実施可能で、その機能・性能を評価することができる装置です。人工衛星やロケット、航空機への搭載状態のダイナミクス環境などを模擬し、さまざまな環境下でのGPS信号を地上で発生させることができます。

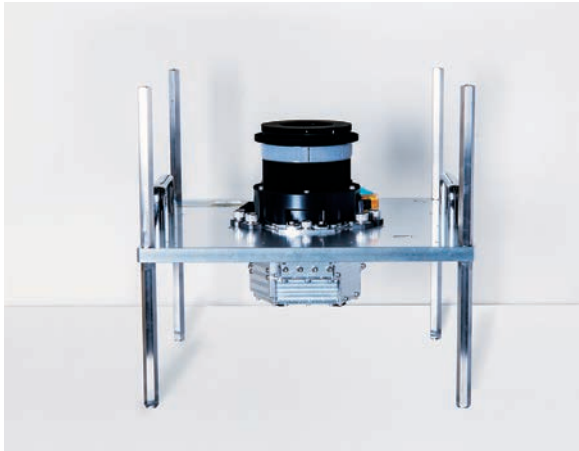
The GPS simulator generates emulated GPS signals under various flight conditions and orbital dynamics. The simulator can be used to test GPS receivers before they are sent into space.

主要性能 Main Performance (2式)		
項目	性能・諸元	
型式	GSS7700	GSS9000
出力周波数帯	L1、L2	L1
出力コード	L1C/A、L2P(Y)、L2C	L1C/A
チャンネル構成	L1:16ch、L2:16ch	L1:16ch
出力RFポート数	2	3

# 誘導制御機器の例(センサ)

## Navigation Sensor Example

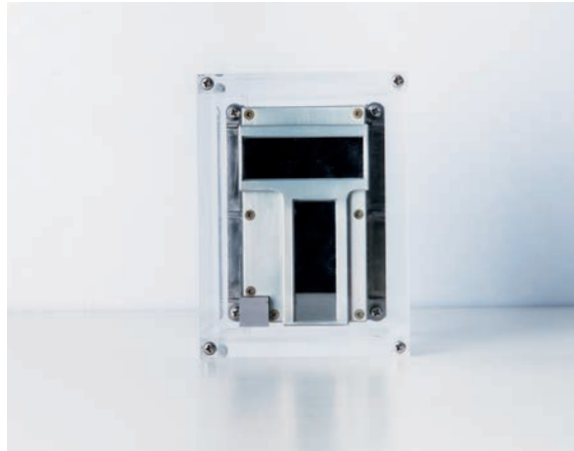
### 恒星センサ(スタートラッカ) Star Sensor / Star Tracker (STT)



◀ X線天文衛星「ひびき」(ASTRO-H)搭載品と同型式

検出された複数の恒星と、恒星カタログとのマッチング結果から宇宙機の姿勢を決定する機器

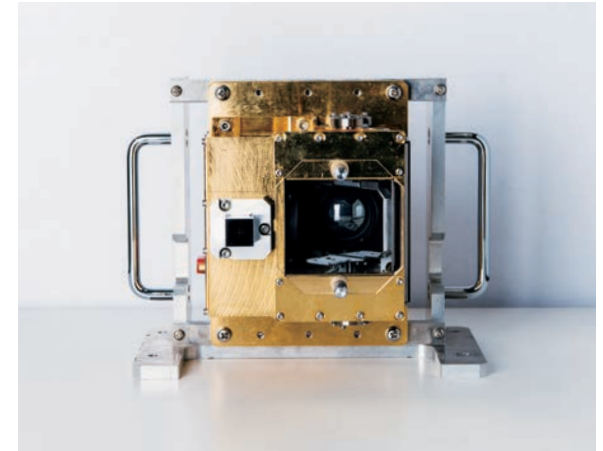
### 太陽センサ Sun Sensor Assembly (SSA)



◀ 超高速インターネット衛星「きずな」(WINDS)搭載品と同型式

太陽の光から太陽方向を検知し、宇宙機の姿勢を検出する機器

### 地球センサ Earth Sensor Assembly (ESA)



◀ 準天頂衛星初号機「みちびき」(QZS-1)搭載品と同型式

地球からの輻射赤外線から地球方向を検知し、宇宙機の姿勢を検出する機器

### 慣性基準装置 Inertial Reference Unit (IRU)



◀ 技術試験衛星「きくへい」(ETS-V)搭載品と同型式

ジャイロ効果を利用し、宇宙機の姿勢レートを検出する機器



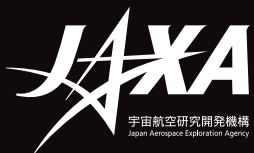
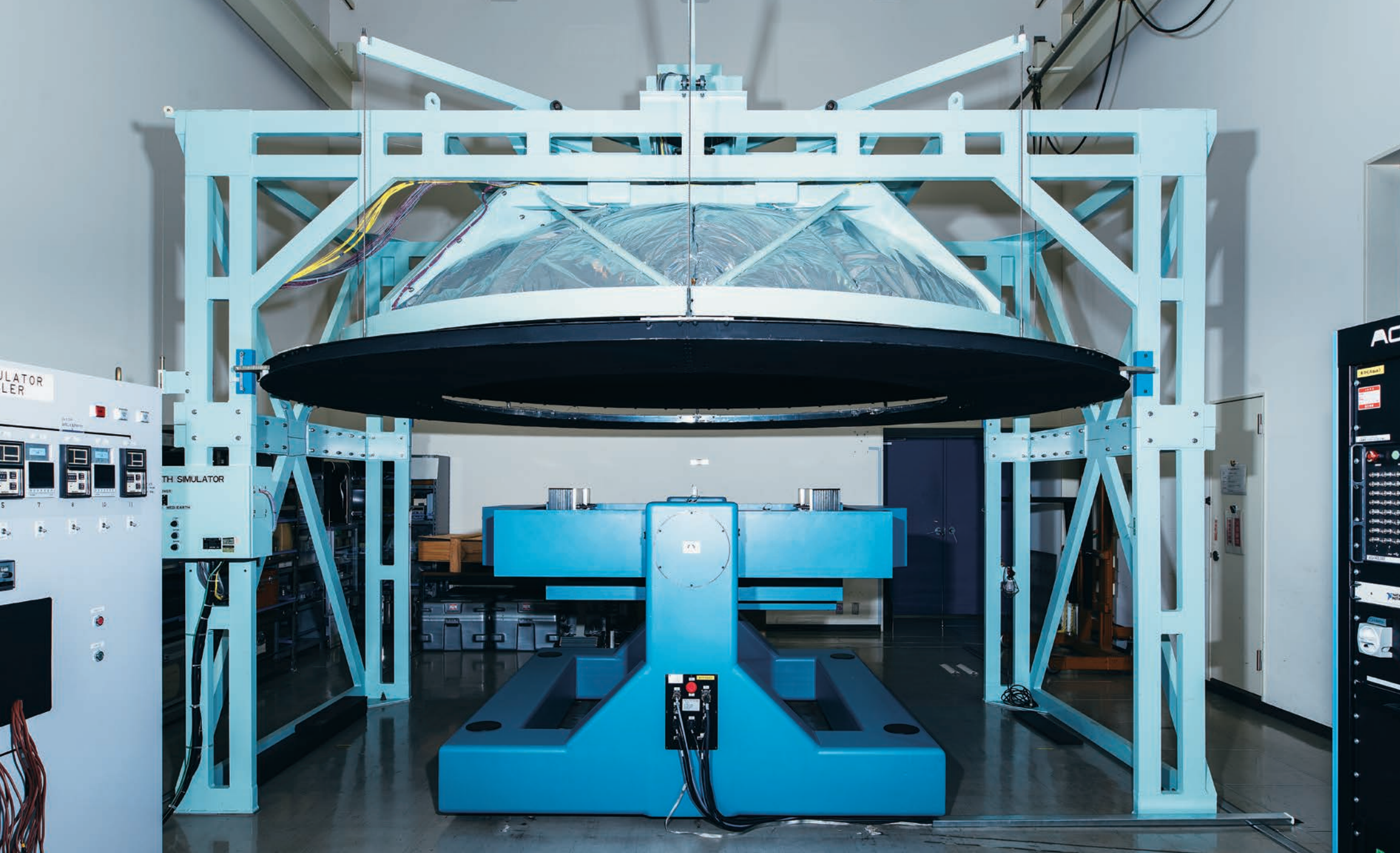
◀ 超低高度衛星技術試験機「ひばり」(SLATS)搭載品と同型式

### GPS受信機 GPS Receiver (GPSR)



◀ 温室効果ガス観測技術衛星「きくへい」(GOSAT-2)搭載品と同型式

GPS衛星の電波を受信することで、宇宙機の位置・速度を決定する機器



国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 研究開発部門 〒305-8505 茨城県つくば市千現2丁目1-1 筑波宇宙センター  
Research and Development Directorate, Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) Tsukuba Space Center 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki, 305-8505, Japan

JAXA ウェブサイト <https://www.jaxa.jp> JAXA 研究開発部門ウェブサイト <https://www.kenkai.jaxa.jp>

パンフレット制作  
写真：後藤武浩  
レタッチ：岩沢美鶴  
デザイン：いすたえこ  
編集：服部円  
ディレクション：伊藤ガビン(ポストーク株式会社)