

帝京大学理工学部航空宇宙工学科の 宇宙開発関連施設・設備・装置について

帝京大学理工学部 航空宇宙工学科
講師 河村政昭
講師 渡部武夫
教授 平本隆

1. はじめに

帝京大学宇都宮キャンパスは、栃木県宇都宮市の北西部、豊郷台地区というなだらかな丘の上に位置しています。本キャンパスには、航空宇宙工学科を含む理工学部4学科のほか、経済学部地域経済学科、医療技術学部柔道整復学科があり、様々な分野の学生・教員による幅広い教育研究活動を展開しています。

2014年2月における、初の栃木県産衛星となるTeikyoSat-3の軌道投入成功は、地元の企業や団体との連携でなしえた地域密着型の宇宙プロジェクトの成果でした。これをひとつのきっかけとして、宇都宮は本学航空宇宙工学科を中心に「宇宙の街」に向けても、しずかに盛り上がりつつあります。

今回、帝京大学理工学部航空宇宙工学科の保有する宇宙関連開発施設として、現在TeikyoSat-4の開発を進めている「小型宇宙機開発室」と、ハイブリッドロケットの研究に使用される「ハイブリッドロケット用地上燃焼試験施設」の2施設を紹介いたします。

2. 小型宇宙機開発室

2016年3月、帝京大学理工学部航空宇宙工学科棟1Fに『小型宇宙機開発室』が完成しました。本開発室は、昨今盛んに行われている超小型人工衛星(50cm、50kg以下)の開発や、それよりもやや大きめのサイズ(80cm、80kg級)の宇宙機の開発にも対応可能な部屋となっております。敷地総面積は約94m²で、内部に約90m²の「クリーンルーム」を設置いたしました。更にクリーンルーム内部に「スペースチャンバー」、「吊り上げ用クレーン」、「クリーンブース」、「クリーンベンチ」、「大型3Dクリノスタット」、「ネットワークアナライザ」、「人工太陽照明灯」等を設置することで、より高性能な宇宙機の開発をサポートできる環境を整えることができました。まず本稿では、これらの施設・装置・設備についてご紹介いたします。

2.1 クリーンルーム

クリーンルームは、小型宇宙機の開発において開発活動の拠点となる施設です(図1)。クリーンルーム内部の清浄度はクラス10,000となっており、小型宇宙機の組立作業を行うには十分な清浄度を達成できています。なお、このクリーンルームを利用する際は、ブース着、ブース靴、ヘアキャップ、マスク、ゴム手袋を着用することを義務付けており、更にエアシャワー室を通過からの入室になりますので、クリーンルーム内部の清浄度を維持することができます。



図1 クリーンルーム内部の様子

2.2 スペースチャンバー

スペースチャンバーは、地上で宇宙空間とほぼ同等の真空環境と熱環境を模擬することが可能な装置となっています(図2)。この装置を用いて熱平衡試験や熱真空試験を行うことで、打ち上げ後の衛星の信頼性向上に貢献することができます。

・熱平衡試験

衛星内部の熱の流れを確認する試験

・熱真空試験

衛星搭載機器が打ち上げ軌道上で受ける環境に対する熱的設計・対環境性・性能などを確認する試験

本スペースチャンバーは、「真空容器系」、「真空排気系」、「極低温系」、「設備運転システム・供試体データ収集系」、「フィードスルー」、「付帯設備」で構成されており、詳細についてはそれぞれ以下の通りとなっています。

2.2.1 真空容器系

真空容器系は、図2に示したとおり横置円筒型となっており、寸法は内径φ1500mm×円筒部長さ1800mmとなっています。供試体の搬入口としては、チャンバー片側端部開口タイプでヒンジ扉方式を採用しています。また真空容器本体には、真空排気のためのノズルや供試体フィードスルー用のノズル、熱電対増設用のノズルなど、各種用途に応じたノズルが取り付けられています。

2.2.2 真空排気系

真空排気系は、粗引き用の油回転ポンプ、高真空排気用のターボ分子ポンプ・クライオポンプ、各種真空弁、真空計(クリスタルイオン真空計、コンベクトロンゲージ)で構成されています。



図2 スペースチャンバー

2.2.3 極低温系

極低温系は、シュラウド、シュラウド加熱用ヒータ、ベースプレート、ベースプレート用ヒータ、ヘッドタンク、コンタミパネル、シュラウド・ベースプレート用液体窒素供給弁、設備用温度計(JIS-T型熱電対)、各種配管で構成されています。

2.2.4 設備運転システム・供試体データ収集系

設備運転システム・供試体データ収集系は、パソコンにより集中的にシステム全体の運転・停止および監視ができるようになっています。制御盤、運転操作用パソコン、供試体データ測定用パソコン、制御装置、供試体データ収集装置等で構成されています。これらにより自動運転と自動停止、またシュラウド冷却制御・加熱運転、ベースプレート温度制御、インターロック、データ記録などが可能となっています。

2.2.5 フィードスルー

フィードスルーは、設備温度・電力用が1式、供試体用が温度計測用に36ch分(JIS-T型)、信号取得用に18ch分、IRランプ用に4ch既設されており、必要に応じて真空容器系に既設のノズルから必要な信号を取得するためのフィードスルーを増設することができるようになっています。

2.2.6 付帯設備

付帯設備として、計装用空気圧縮機、無停電電源、コンピュータ操作用テーブル・イスなどが設置されています。

上記を簡単にまとめたスペースチャンバーの諸元を表1に示します。

表1 スペースチャンバーの諸元

容器寸法	内径φ1500mm×円筒部長さ1800mm
供試体寸法	600mm×600mm×600mm
供試体重量	約60kg
供試体内部熱負荷	最大20W
到達圧力	5.0×10^{-5} Pa / 5時間以内
シュラウド温度	100K以下
ベースプレート温度制御範囲	-100°C~+100°C
ベースプレート温度制御精度	±2°C
供試体用フィードスルー	36ch分(JIS-T型 温度用)、18ch分(信号用) ※追加可能

2.3 吊り上げ用クレーン

宇宙機を移動させる場合、10kg以上の重量になると人力で作業を行うのは大変危険が伴うため、作業員の安全上クレーンによる吊り上げが義務付けられています。そのため宇宙機のクリーンルーム内での移動、もしくは搬入口からの搬入・搬出の際に宇宙機を吊り上げるためのクレーンを設置しました。本体は稼動式となっており、その定格荷重は500kgとなっています。クレーンの様子を図3に示します。図3に示しているとおおり、クレーンのアーム部先端付近にはアイボルトが取り付けられており、宇宙機を吊り上げられるようになっています。また、スペースチャンバー内部に供試体を設置する際にも本クレーンを用いて、チャンバー中央部のベースプレートに宇宙機を搬入できるような設計になっています。



図3 吊り上げ用クレーン

2.4 クリーンブース

クリーンルームの清浄度(クラス10,000)よりも、よりクリーンな環境(クラス100)で電子基板や宇宙機の開発を行うことができるようになっており、同時に2機の宇宙機を組み立てることも可能な空間を有しています。クリーンブースの様子を図4に、またその諸元を表2に示します。



図4 クリーンブース

表2 クリーンブースの諸元

ブース寸法	W4500mm × D2000mm × H2106mm
集塵要素	HEPAフィルター
集塵効率	0.3 μm粒子にて99.9%以上
風量	30m ³ /min
クリーン度	クラス100

2.5 クリーンベンチ

主に「生命科学」分野の宇宙ミッションを行う際のシステムを開発するために必要とされる設備で、現在帝京大学で開発中の超小型人工衛星TeikyoSat-4のミッションシステム開発に利用されています。TeikyoSat-4では細胞性粘菌の地上実験(粘菌の培養、子実体形成)や衛星搭載用の供試体の開発、組立に役立っています。同時に2つの「生命科学」分野ミッションを行うことも可能なように、2台設置しています(図5)。表3にクリーンベンチの諸元を示します。

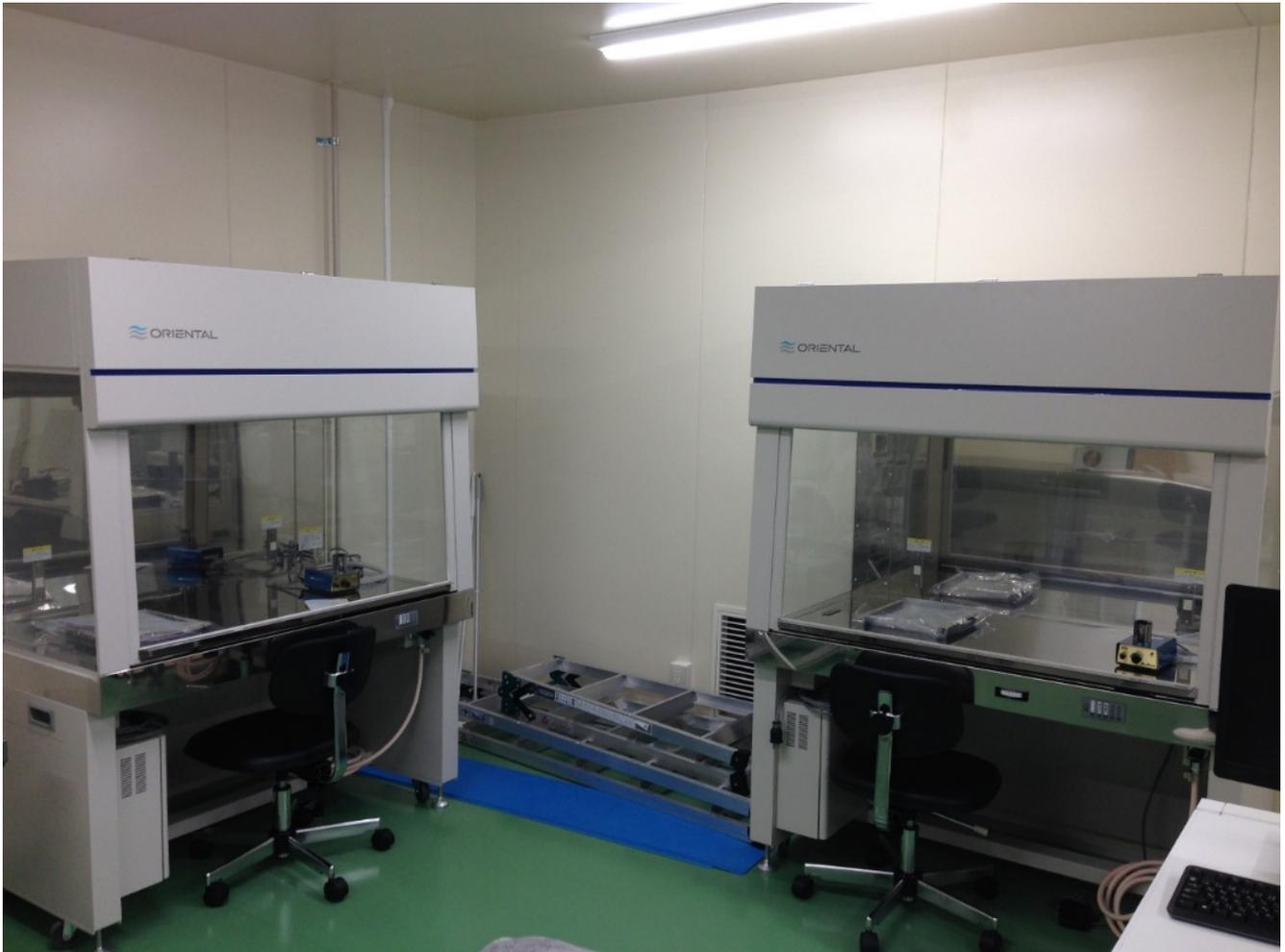


図5 クリーンベンチ

表3 クリーンベンチの諸元

ブース寸法	W1300mm × D800mm × H1875mm
集塵要素	HEPAフィルター、プレフィルター
集塵効率	0.3 μm粒子にて99.9%以上
クリーン度	クラス100
風速	0.4 m/sec
風量	19m ³ /min
オプション1	ガスバーナー
オプション2	UVランプ

2.6 大型3Dクリノスタット

3Dクリノスタットは、地上で擬似的に微小重力環境を模擬できる設備となっています。本機器を使用して微生物の宇宙空間での挙動をあらかじめ予測し、宇宙機打ち上げ後の結果と比較することでミッション結果を学術的に評価することができるようになっています。また、この様な「生命科学」分野の予備実験だけに限らず、国際宇宙ステーション (ISS) 上で行われている微小重力環境下での「物質科学実験」、「宇宙技術開発」などの実験等に応用して利用することも可能です。大型3Dクリノスタットの様子を図6に示し、その諸元を表4に示します。

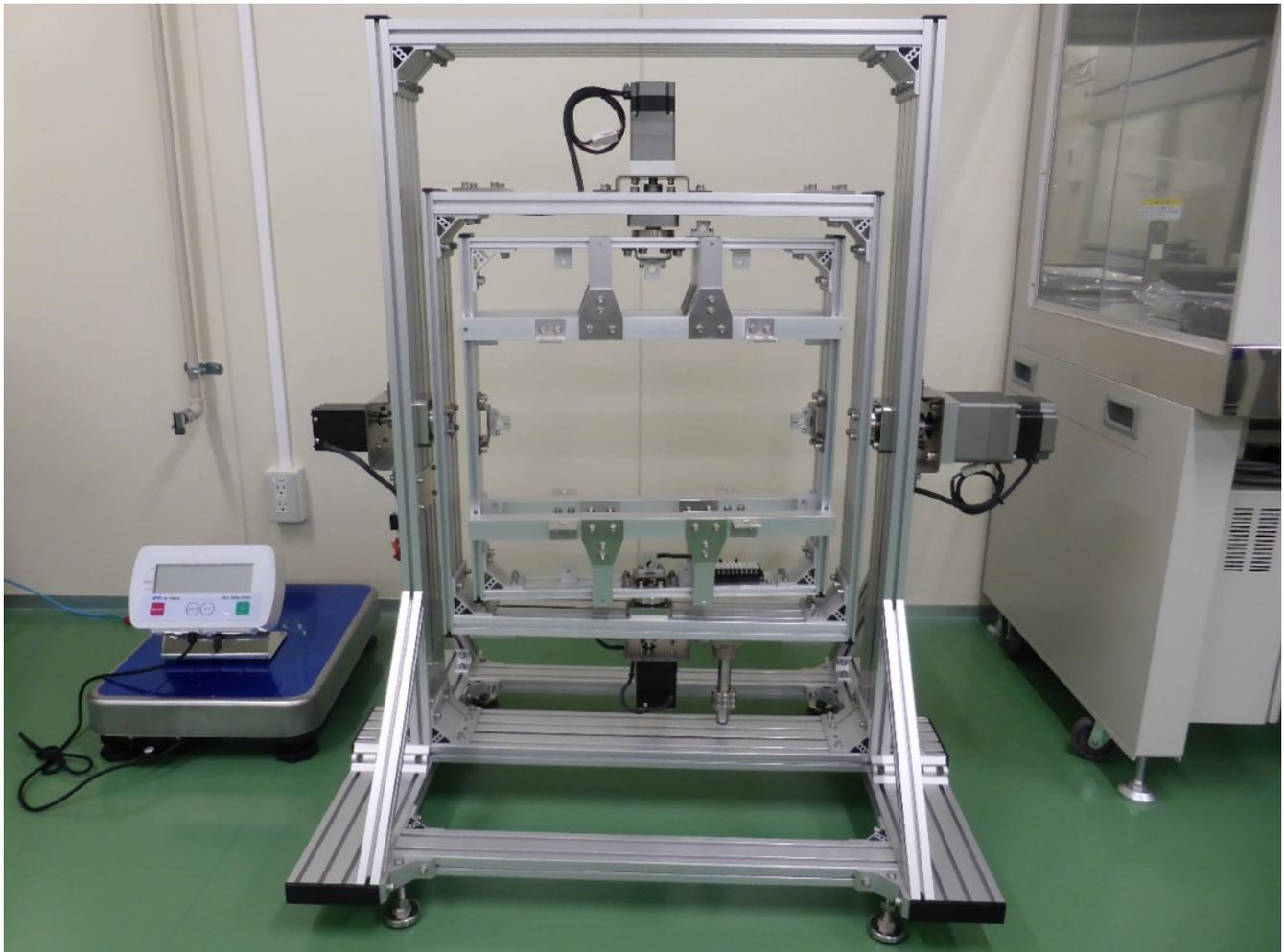


図6大型3Dクリノスタット

表4 大型3Dクリノスタットの諸元

様式	2軸独立制御方式3次元クリノスタット
寸法	W1036mm × D986mm × H1160mm
搭載試料部	W500mm × H500mm以下
搭載重量	約8kg

2.7 ネットワークアナライザ

ネットワークアナライザは、主に宇宙機に搭載予定のアンテナのインピーダンス調整用に使用します。アンテナと送信機の間にある同軸ケーブルやコネクタなどが電気信号を流す際の抵抗(インピーダンス)となり問題となるため、インピーダンスを調整するために必要な設備となっています。図7にその様子を、またその諸元を表5示します。



図7 ネットワークアナライザ

表5 ネットワークアナライザの諸元

メーカー	KEYSIGHT
型式	PNA-Xシリーズ
対応周波数	10MHz to 8.5GHz
外部入出力用ポート数	2
測定器のタイプ	ベクトル・ネットワーク・アナライザ

2.8 人工太陽照明灯

人工太陽照明灯は、太陽光のもつ特性にきわめて近い光（晴天時、正午±2時間に地表に到達する太陽光と同じスペクトル）を出すことができる照明設備です。そのため、宇宙機を開発する際の太陽電池セルの評価に利用することが可能です。



図8 人工太陽照明灯

表6人工太陽照明灯の諸元

メーカー	セリック
型式	XC-500EFSS (AC100V、スポット照明タイプ)
ランプ容量	500 W
中心光度	12,600 cd
ビーム角	約72度
平均演色評価数	96
色温度	5,500 K
放射波長域	350 ~ 2,500 nm
使用温度範囲	-10 ~ 30 °C
使用フィルター形態	フロスト
点灯方向	下向き～横向き
設置台数	4 台

3. ハイブリッドロケット用地上燃焼試験施設

本学科が保有するハイブリッドロケット用地上燃焼試験施設は、防爆壁を挟み、エンジスタンドとガスタンクに分けられています。作動弁を動かすために窒素ガスを使用していますが、燃焼自体には関係ありません。液体酸化剤と固体燃料との組み合わせのハイブリッドロケットの開発が目的ですが、試験用ですので、酸化剤は酸素ガスを使用します。また、酸素の供給量は配管内のオリフィスによって決まります。実際に燃焼試験を行うときは別室のモニターから状況を確認します。点火器系のスイッチや圧力計の収録装置もその部屋に設置しており、観測データを集録しています。燃焼器の下には消音装置を備えました。ポンプから水をくみ上げ、こちらの配管内へ噴射し、その力で消音効果を狙っています。これらの様子を図9～図12に示します。

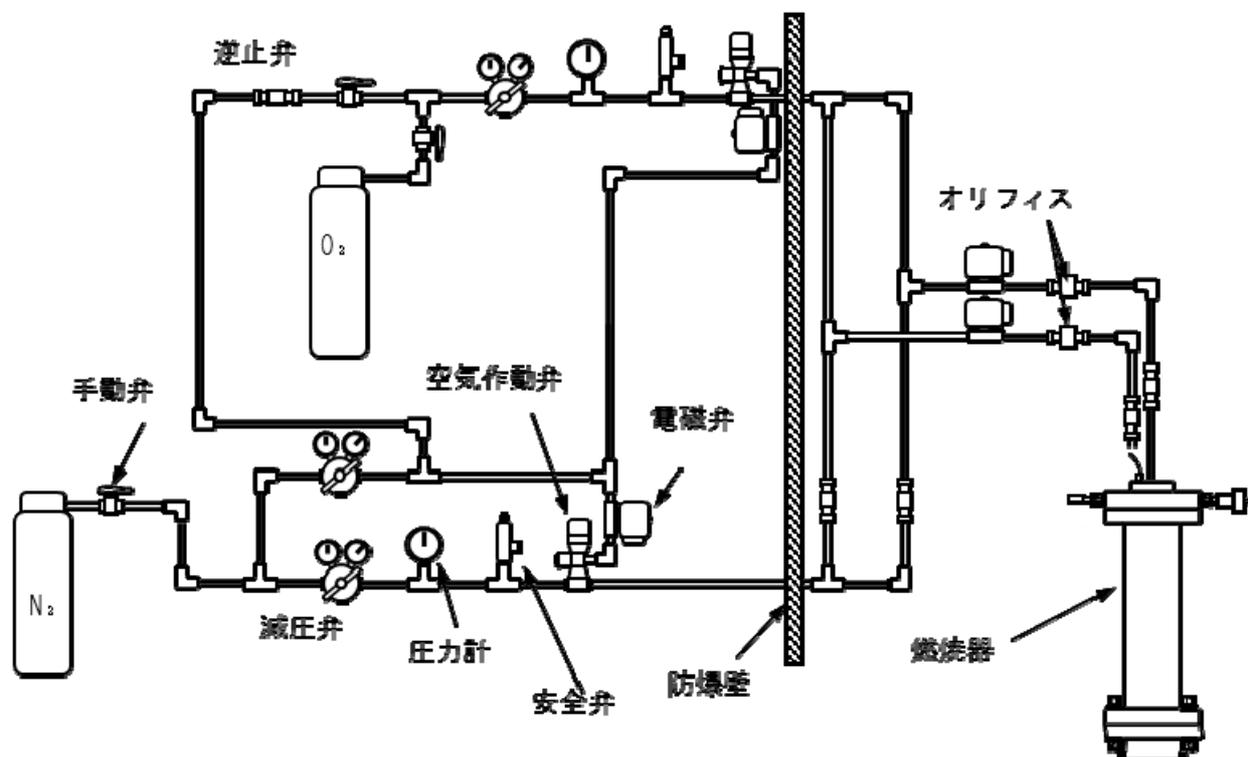


図9 地上燃焼試験施設概略図



図10 地上燃焼試験施設(エンジンスタンド)



図11 地上燃焼試験施設(ガスタンク)



図12 管制・計測室

3.1 これまでの使用実績

本学科では、まずハイブリッドロケットの再点火可能という特徴を実証すべく、酸素供給側からイグナイターを挿入して燃焼試験をしてきました。しかし、燃焼中にイグナイターが焼き切れるなど、再点火不可能な状況になった実験もありました。それ以来、イグナイターをノズル側から挿入して、確実に点火できるようにしました。その後は、モーターの性能実験がメインとなり、昨年は酸素の噴射方法が燃焼にどのような影響を与えるかを実験的に評価する研究を行っています。今後は、性能の良いハイブリッドロケットを開発すべく本試験施設を利用していく予定です。

酸素ガス供給配管

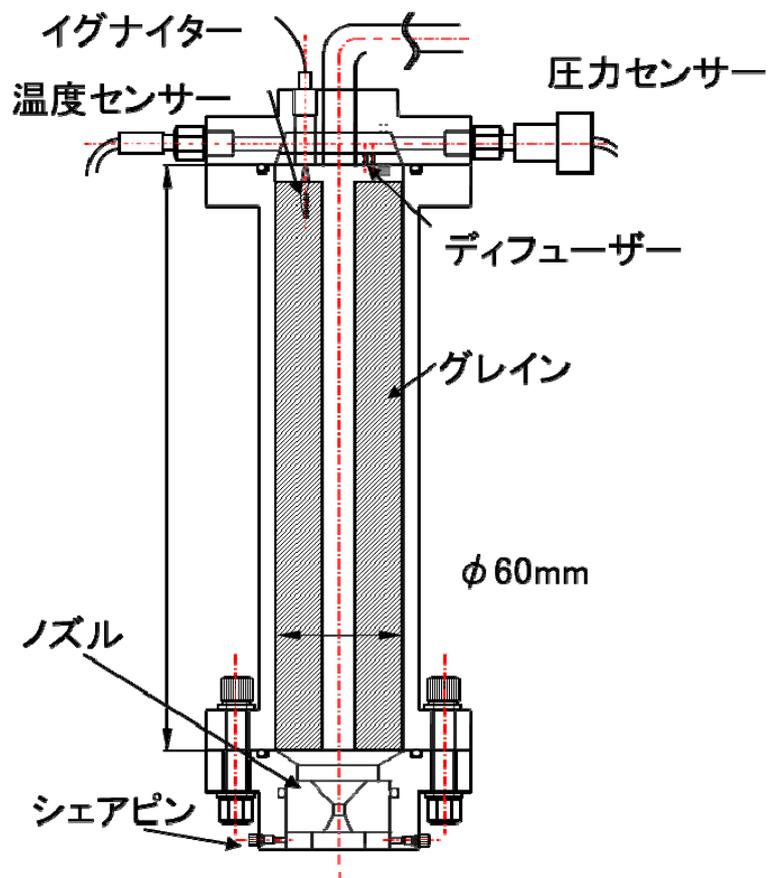


図13 本学科が所有する燃焼室

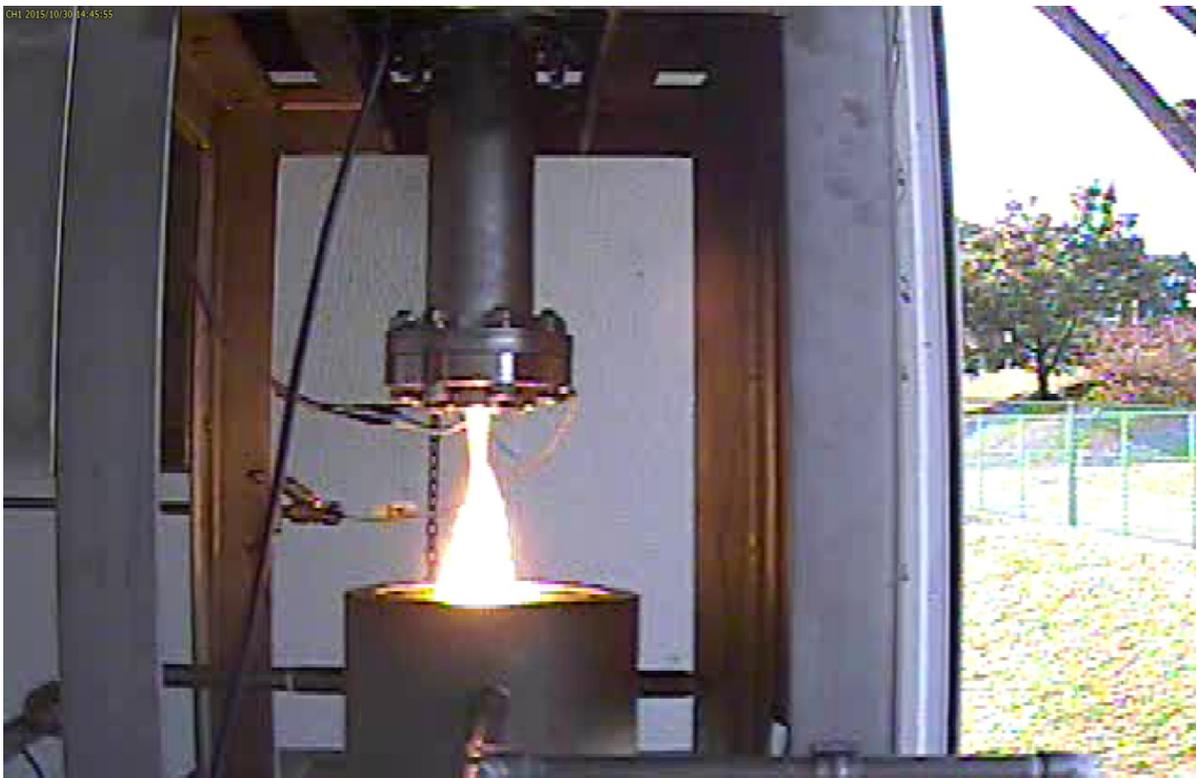


図14 燃焼試験中の様子

4. おわりに

帝京大学工学部航空宇宙工学科が保有する、宇宙開発関連施設をご紹介いたしました。特に小型宇宙機開発室の施設設備類は、将来的には、外部の大学・研究機関に対しての施設利用の提供も計画しております。また、各県に設置してある「産業技術センター」は、超小型人工衛星クラスの宇宙機に対して各種ロケットの振動環境を模擬できる能力のある振動試験機を備えており、こちらとも連携して、北関東における大学衛星・小型宇宙機開発活動の拠点となることを目指しております。■

お問い合わせ先：小型宇宙機開発室（河村）

E-mail：kawamura@ase.teikyo-u.ac.jp

TEL：028-627-7214（代表）