

研究種目：若手研究（スタートアップ）

研究期間：2008～2009

課題番号：20860097

研究課題名（和文）

高感度レーザー吸収分光法のアーク加熱風洞への適用

研究課題名（英文）Application of high sensitive laser absorption spectroscopy to Arc heated wind tunnel

研究代表者

高柳 大樹（TAKAYANAGI HIROKI）

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・研究開発本部流体グループ・研究員

研究者番号：70513422

研究成果の概要（和文）：宇宙からの再突入環境を模擬するために調布航空宇宙センターで開発されている大型アーク風洞の気流診断を行うためにキャビティエンハンスト法の適用を試みた。しかしながら、大型アーク加熱風洞においては冷却水や真空ポンプによる機械振動によってレーザー透過信号が乱れ、吸収信号を得ることができなかった。そこで共振器をなす一方の高反射ミラーを模擬的に振動させ、機械振動の影響を調べた。その結果機械振動によってキャビティエンハンスト法の感度、S/N比がともに悪化することが定量的に評価することができた。

研究成果の概要（英文）：Cavity Enhanced Absorption Spectroscopy has been applied to the Arc heated wind tunnel. This facility has been developed in Chofu aerospace center in order to simulate the environment during reentry from the space. However, because of the mechanical vibration from the cooling water and vacuum system, the transmitted laser signal got worse and absorption signals could not be obtained. Therefore, influence of mechanical vibration on CEAS has been studied by vibrating the high-reflectance mirror which consisted of the cavity. As a result, it was investigated that because of the mechanical vibration, the sensitivity and signal-to-noise ratio were degraded.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,330,000	399,000	1,729,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,530,000	759,000	3,289,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：航空宇宙工学

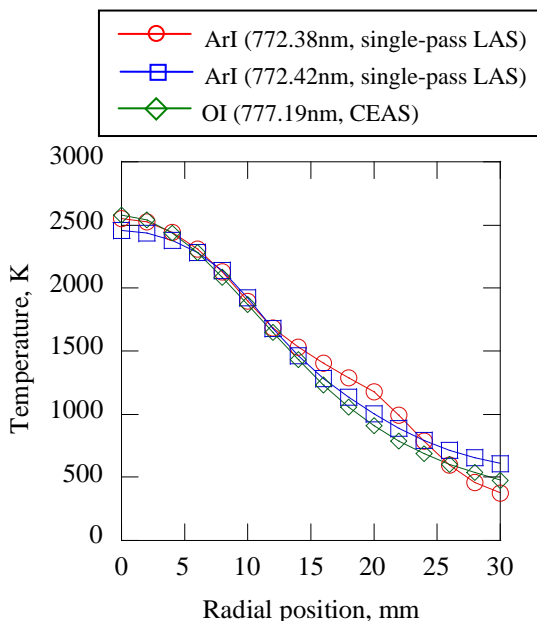
キーワード：計測工学、高エンタルピー、分光診断、吸収分光、アーク加熱風洞

## 1. 研究開始当初の背景

宇宙往還機や再突入機の熱防御システム（Thermal Protection System）を開発するためには再突入環境を模擬する高エンタルピー

一気流を生成する必要がある。この高エンタルピー気流の生成にはアーク加熱風洞や誘導加熱風洞がよく用いられるが、これらの風洞により生成される気流は熱化学的に非平

衡であるため気流の諸特性は正確にはわかっていない。近年、このような高温・高マッハ数流れを診断するために非接触な分光測定、特に発光分光法やレーザー誘起蛍光法が行われており、気流中の回転、振動、電子励起温度が明らかにされつつある。しかしこれらの手法において流れの並進温度や化学組成、つまり数密度を測定することは難しい。一方で TPS の表面触媒性や酸化損耗の研究においては酸素原子数密度が重要なパラメータであることが認識され始めてきた。そのため、私は様々な高エンタルピー風洞において準安定準位酸素原子をターゲットとしてレーザー吸収分光計測を行ってきた。その結果、アルゴン・酸素流（東大、JUTEM）、順酸素流（ドイツシュツットガルト大）においては準安定準位酸素原子における強い吸収プロファイルを得ることができたが、窒素・酸素流においてはレーザー吸収分光法を適用できないことがわかった。そこでこれまでに研究代表者は近年高感度レーザー吸収分光法として着目されているキャビティエンハンスト法を用いて高エンタルピー気流診断を行ってきた。これまでに 1kW 級のプラズマトーチ気流、コンストリクタ型アーク風洞に対してキャビティエンハンスト法を適用し、従来のシングルパスレーザー吸収分光法よりも 2 桁以上感度を向上させ、温度、数密度分布を測定することができた。（第 1 図）そこで本研究においては宇宙航空研究開発機構調布航空宇宙センターで開発されている 750kW 級アーク加熱風洞にキャビティエンハンスト吸収分光法を適用することを目的として研究を行った。



第 1 図 1kW 級コンストリクタ型アーク風洞における温度分布

## 2. 研究の目的

本研究では地球への再突入環境を模擬する高エンタルピー風洞の気流診断に焦点を当てて研究を行う。研究代表者はこれまで高感度レーザー吸収分光法として分析化学の分野で近年着目されているキャビティエンハンスト法をプラズマトーチとコンストリクタ型アーク加熱風洞に適用した。そこで本研究では宇宙航空研究開発機構調布航空宇宙センターに設置されている大型のアーク加熱風洞に適用する。そのために

- ・ブリュースター窓を用いて高温の真空チェンバー内に高反射ミラーを置くことなく共振器を作製すること
- ・温度・数密度の空間分布を得ることを目的として研究を行った。

## 3. 研究の方法

### (1) キャビティエンハンスト法

本研究においてはレーザー光を用いて非接触で気体の数密度や温度を評価することができるレーザー吸収分光法を用いた。レーザー吸収分光法は他の非接触診断法として知られている発光分光法やレーザー誘起蛍光法に比べて測定感度が低いという欠点があるため、本研究においては近年高感度レーザー吸収分光法として知られているキャビティエンハンスト法を用いた。キャビティエンハンスト法は測定対象の前後に高反射ミラーを置き、その間で何度も反射させることによって光路長を伸ばし感度を向上させる手法である。また高反射ミラーのプラズマによる損傷を避けるため真空チェンバーにはブリュースター窓を用いた。

### (2) アーク加熱風洞

本研究では地球への再突入環境を模擬するために調布航空宇宙センターで開発中の 750kW 級アーク加熱風洞を用いた。（第 2 図）

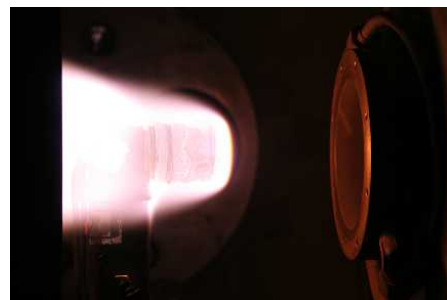
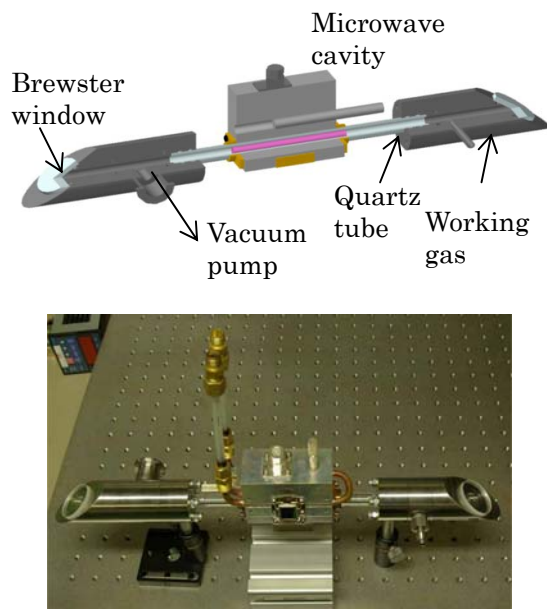


図 2 アーク加熱風洞気流写真

### (3) マイクロ波加熱放電セルにおける機械振動の影響評価

(2) に示す大型アーク加熱風洞においては冷却水や真空ポンプによる機械振動の影響で透過信号が乱れ吸収信号を得ることができなかった。そこで共振器を生成する高反射ミラーを自動ステージによって模擬的に振

動させ、キャビティエンハンス法への機械振動の影響を調べた。その際、測定対象として第3図に示すマイクロ波加熱放電セルを用いた。測定対象としてはアルゴン原子の励起準位(772.42nm)を用いて実験を行った。



第3図 マイクロ波放電セル

#### 4. 研究成果

##### (1) アーク加熱風洞におけるキャビティエンハンスト吸収分光法

左右の真空チャンバーの窓にブリュースター窓と高反射ミラーを取り付けることによって共振器を作製し、第5図に示すような共振信号を得た。しかしながら冷却水と真空ポンプを動作させると共振信号が乱れてしまい、吸収信号を得ることができなかった。

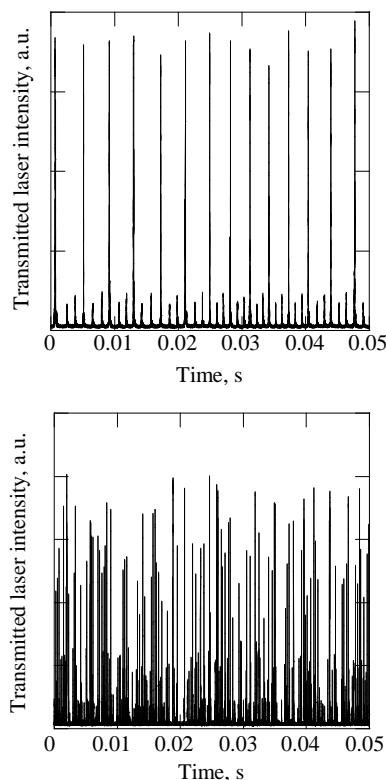
そこでレーザー変位計を用いて真空チャンバーの振動を測定しFFT解析を行うと第7図に示すように25Hz程度で数十 $\mu\text{m}$ で振動していることがわかった。

##### (2) マイクロ波放電セルにおけるキャビティエンハンスト法への機械振動影響評価

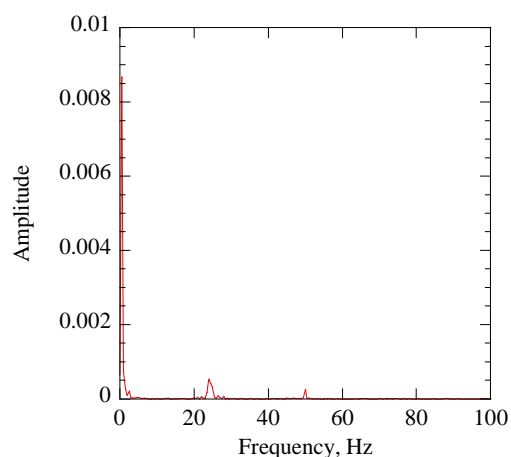
マイクロ波放電セルを用いて機械振動のキャビティエンハンストへの影響を定量的に評価した。

第7図にキャビティエンハンスト法によって取得したマイクロ波放電セルの吸収信号をエタロン信号、グロー放電管におけるシングルパス吸収信号を示す。アルゴングロー放電管における吸収中心の位置にマイクロ波放電セルにおいても大きな吸収信号が獲られていることがわかる。第8図に高反射ミラーを振動させたときの吸収プロファイルの変化を示す。レーザー光軸方向の振動に対

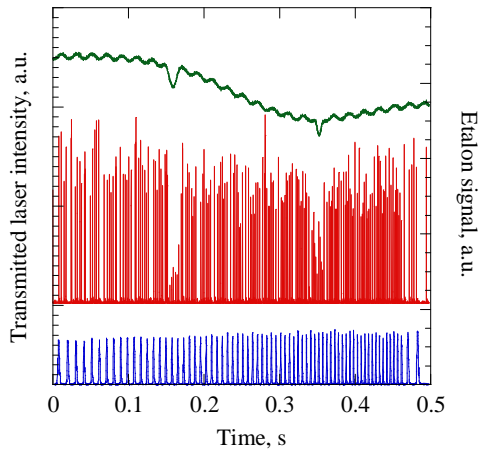
しては共振周波数は変化するが共振はするため感度の悪化は小さい。一方、レーザー光に垂直な方向に振動させるとマルチモードが立ち、主モードでの共振が起きにくくなるため測定感度が大きく悪化することが評価できた。



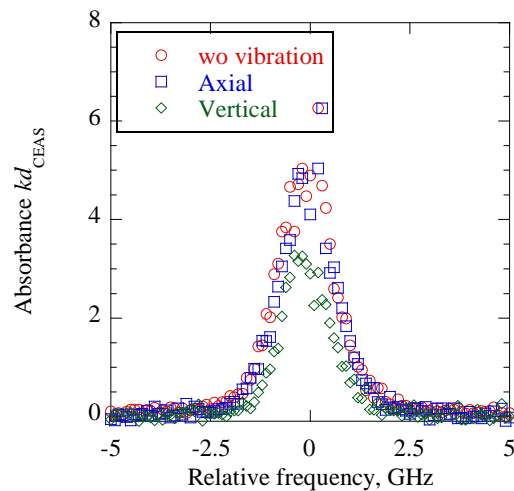
第4図 高エンタルピー風洞における透過信号：冷却水、真空ポンプ OFF (上)、冷却水、真空ポンプ ON (下)



第6図 真空チャンバー振動の振動周波数



第7図 マイクロ波放電セルにおける吸収信号



第8図 振動環境下でのマイクロ波放電セルにおける吸収プロファイル

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計2件)

- ①高柳大樹, 野村哲史, 藤田和央, 小紫公也,  
“高感度レーザー吸収分光法への機械振動の影響,” 平成21年度宇宙航行の力学シンポジウム, 2009.12.10, 神奈川県相模原市
- ②Takayanagi, H., Bauer, C., Osawa, H., Suzuki, T., Fujita, K., and Komurasaki, K.,  
“Catalytic efficiency of atomic oxygen recombination for SiC deduced with Laser Absorption Spectroscopy,” 27<sup>th</sup> International Symposium on Space Technology and Science, 2009.7.9, Tsukuba,

Ibaraki, Japan

[図書] (計0件)  
[産業財産権]  
○出願状況 (計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

<http://www.ard.jaxa.jp/research/ryutai/ryu-enthalpy.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高柳 大樹 (TAKAYANAGI HIROKI)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・研究開発本部流体グループ・研究員

研究者番号: 70513422