

平成30年6月13日現在

機関番号：32644

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14152

研究課題名(和文) 極限環境に適用可能な革新的ルミネッセント・アネモメータの開発

研究課題名(英文) Development of Luminescent Anemometer Applicable to Extreme Environment

研究代表者

沼田 大樹 (Numata, Daiju)

東海大学・工学部・講師

研究者番号：20551534

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、極限環境下で適用可能なルミネッセント・アネモメータの開発を目指した。その目的の下、センサを様々な極限環境下で評価可能な評価試験用較正チャンバーの開発を行った。また、併せてセンサの開発も進め、センサの作成条件がセンサ特性に及ぼす影響を評価した。本研究の結果、真空環境下から10気圧程度までの幅広い圧力環境下においてセンサを評価可能な較正チャンバーの開発に成功した。また、開発した較正チャンバーを用いて開発した幾つかのセンサについて特性評価を行った。結果として、低圧環境下などの特定の使用環境下において高い性能を有するセンサの開発に成功した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we aimed to develop a luminescent anemometer applicable under extreme environments. For this purpose, we developed a calibration chamber for evaluation tests that can evaluate sensors under various extreme environments. In addition, we also develop various luminescent sensors in various making condition and evaluated it. As a result of this research, we succeeded in developing a calibration chamber that can evaluate sensors under a wide pressure environment from vacuum environment to about 1,000 kPa. In addition, by using the developed calibration chamber, we evaluated the characteristics of several developed sensors. As a result, we succeeded in developing a sensor with high performance under specific use environment such as low pressure environment.

研究分野：航空宇宙工学

キーワード：感圧塗料 センサ

### 1. 研究開始当初の背景

近年、新たな火星探査方式として、探査範囲や取得データ解像度に優れ、かつローバー等の従来の探査方式では観測困難であった山岳地帯や峡谷内などを探査可能な“火星飛行探査機”が注目されている。しかしながら、地球の 1/100 以下の低大気密度中を飛行する探査機の飛行環境は超低レイノルズ数 ( $Re = O(10^3) \sim O(10^5)$ ) となり、翼の空力性能は非正常現象に支配され、また大幅に悪化する。そのため、火星飛行機の実現には、超低レイノルズ数環境下において高い空力性能を有する翼の開発が必要である。この目的のもと、低密度風洞を用いて様々な翼及び全機模型に対する火星実飛行環境を模擬した風洞試験が行われている。

しかしながら、例えば超低レイノルズ数環境下で翼特性に大きな影響を与える主流乱れの物理的な影響過程の評価等、気流特性が翼特性に及ぼす影響の理解は限定的である。これは、低圧環境下では風洞内気流が高クヌッセン数流れとなり、このような環境における流体計測手法や気流評価手法が限られていることに起因する。例えば、大気圧環境下で一般的に用いられている熱線流速計は、応答周波数と信号雑音比が極めて高く、風洞内の主流乱れ度の計測や乱流場の評価等に幅広く用いられている。しかしながら、低密度風洞では希薄化の影響から熱線周囲の伝熱様式が大気圧環境下とは著しく異なり、計測感度や応答性が極端に悪化する。すなわち、火星大気条件ではもちろんのこと、極端な低圧環境下では風洞試験時の流速変動成分等に代表される気流特性を十分に把握しない状態において各種の試験を行わざるを得ず、その影響については事実上評価できないというのが現状である。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、熱線流速計に代表される従来型の流体計測手法では計測が著しく困難となる極端な低圧環境下における非正常な流れ場の評価手法として、分子イメージング技術を応用した全く新しい発想に基づく非正常流体センサ“ルミネッセント・アネモメータ”の開発を目指す。流体変動の検出をセンサ部の発光強度変化の検出という単純な概念に置き換え、熱線流速計では実現が困難であった極限環境下における高サンプリングレートでの流体計測法を確立する。また、低圧環境下にとどまらず、高圧環境下等の他の極限環境下における同様の計測手法の開発を目指し、同様のコンセプトで様々な環境下において適用可能な多様なセンサの開発を目指す。

### 3. 研究の方法

本研究においては、大きく分けて二つのパートで研究を遂行する必要がある。一つは、センサ開発のために必要となる評価装置の

開発であり、もう一つは、開発した評価装置を用いた実際のセンサプローブの開発となる。以下では、それぞれについて研究の方法や達成すべき要件等を、列挙する形でまとめる。

#### (1) センサプローブの開発に用いる広範囲の圧力環境を実現可能な較正チャンバーの開発

本研究でターゲットとなるセンサの計測環境は、主に低圧環境である。そのため、センサプローブの評価環境として、低圧環境を実現可能なチャンバー等の準備が必要となる。また、極限環境という観点では、低圧環境とは真逆となる高圧環境下での使用も想定され、そのためには、メインターゲットである低圧環境を実現できるのは当然として、高圧環境下でのセンサ評価も可能となる、多様な試験環境を実現可能な評価用チャンバーの開発が必要となる。

そこで、後述する分子イメージングセンサの開発と並行し、センサ評価に必要なチャンバーの開発を目指すものである。必要な要件としては、下記の項目を満たすものとし、それを実現可能な計測システムの構築を目指す。

- (a) 真空 (低圧) 環境から 10 気圧程度の高圧環境という、幅広い圧力環境を実現可能であり、かつ細かく圧力環境を調整可能である。
- (b) 幅広い温度環境を実現可能である。
- (c) 多様なサイズの計測プローブを内部に格納可能である程度に試験部のサイズが大型、もしくは調整可能である

#### (2) 分子イメージングセンサの開発

本研究でルミネッセント・アネモメータを適用しようとする 1 kPa 近傍の低圧環境下における風洞試験では、流速変動や現象により物体上に誘起される圧力変化は、試験条件次第では数 Pa ~ 数十 Pa オーダーとなり、きわめて微小である。そのため、このような環境下でも十分な時間応答性を有し、かつ微小な圧力変動に対して十分な計測感度を有するセンサの開発が必要となる。

本パートでは、低圧環境下で微小な圧力変化に対する十分な感度を有し、かつ十分な発光量を持つセンサの開発を目指す。その目的のため、本パートでは、以下の項目について検討を行った。

- (a) 色素をセンサ上に固定するバインダの検討
- (b) 適用する蛍光色素

まず、(a) については、本研究で開発するルミネッセント・アネモメータは、流体変動に起因する圧力変動をプローブに適用した蛍光色素の発光強度変化を介して検出する必要があるため、蛍光色素を何らかの方法でセンサ上に固定する必要がある。また、高速変動する流体现象を捉えるためには、圧力変化

に対して発光強度変化が追従する必要があり、高い時間応答性を保証可能なバイндаを用いる必要がある。そのため、本研究では色素を模型上に固定するバイндаとして、高い多孔性を有し時間応答性に優れたバイндаとして知られる陽極酸化皮膜についてセンサ用バイндаとして検討を行い、本センサの必要とする特性を有するように改質し用いることを検討する。

(b) については、様々な蛍光色素について (a) で用いる多孔質膜に吸着させ、その特性評価を行う。特に低圧環境下においては、低圧環境下で微小な圧力変化に対する十分な感度を持ち、発光寿命が短く十分な発光量を持つ蛍光色素の選定が必要となる。この条件を満たす色素としてピレン、ルテニウム錯体等の色素を皮膜に吸着させてセンサを構成し、その特性を評価することで有効性の判断を行った。また、色素の吸着条件についても検討を行い、吸着条件がプローブ特性に及ぼす影響についても評価を行った。

#### 4. 研究成果

##### **(1) センサプローブの開発に用いる広範囲の圧力環境を実現可能な校正チャンバーの開発**

図1に、本研究で開発した試験用チャンバーを示す。

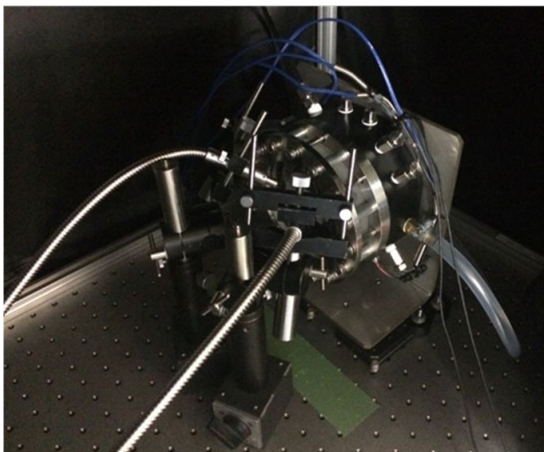


図1 センサ評価用校正チャンバー (外観)

本装置には、10気圧程度まで圧力コントロールが可能な圧力コントローラを取り付け、かつ大面積で蛍光検出が可能となるような大型の可視化窓を設けている。また、様々な大きさ、形状のセンサを評価できるよう、試験部の容量を大きく変化させることが出来るような取り外し可能な試験部構造を採用している。また、蛍光検出に関しても、カメラによる撮影や分光蛍光光度計による検出など、様々なものに対応可能となるよう可視化領域を設計した。

図2に、本校正チャンバーを用いて感圧塗料サンプルを評価した参考例を示す。本例は蛍光色素としてピレン酪酸を用いた結果であり、バイндаとして陽極酸化皮膜を用い、

色素を吸着して作成した。また、検出器としては分光蛍光光度計を用いている。

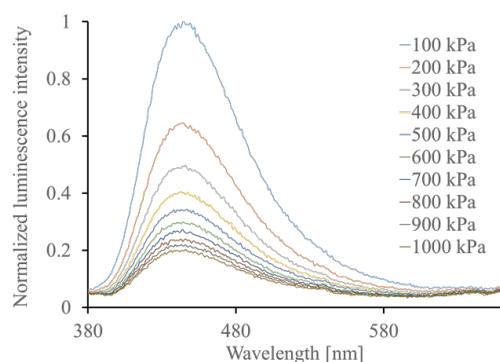


図2 感圧塗料サンプルの各圧力における蛍光特性 (分光蛍光光度計による計測)

図のように、大気圧より上の圧力環境下においても、蛍光特性を評価することが可能となった。また、大気圧以下の環境下においても、蛍光特性は取得できており、過去に行った同様の蛍光評価試験の結果とも傾向はほぼ一致している。そのため、本校正チャンバーを開発することで、幅広い圧力環境下において、様々な蛍光特性を持つセンサの評価が可能となった。

##### **(2) 分子イメージングセンサの開発**

先に示した校正チャンバーを用いることで、様々な蛍光分子センサについて特性評価試験を行っている。

色素をセンサ上に固定する多孔質皮膜特性に関しては、陽極酸化条件の違いがセンサ特性に及ぼす影響について評価を行った。その結果、特定の皮膜形成法を採用した場合、特に低圧環境下において高い感度特性を有する皮膜の作成に成功し、その結果、低圧環境下における衝撃波管を用いた可視化試験等で高い性能を有するセンサ候補の開発に成功した。また、色素吸着条件についても同様であり、特定条件下で高い性能を有する幾つかのセンサの開発に成功した。

#### 5. 主な発表論文等

[学会発表](計 3 件)

Daiju Numata, Microsecond Time-resolved Measurement of Unsteady Pressure Field Using Phosphoric Acid-based AA-PSP, 6th German-Japanese Joint Seminar - High-speed Molecular Imaging Technology for Interdisciplinary Research

Daiju Numata, Development of calibration system for evaluating PSP characteristics under high-pressure environment, 6th German-Japanese

Joint Seminar - High-speed Molecular  
Imaging Technology for  
Interdisciplinary Research

川添颯一郎、沼田大樹、感圧塗料を用いた  
衝撃波可視化実験のための衝撃波管駆  
動条件の検討、平成29年度 衝撃波シン  
ポジウム、仙台

6. 研究組織

(1) 研究代表者

沼田 大樹 (NUMATA, Daiju)

東海大学・工学部・講師

研究者番号：20551534

(2) 研究分担者

浅井 圭介 (ASAI, Keisuke)

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：40358669