

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 14 日現在

機関番号：17401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760319

研究課題名(和文) 光波マイクロホンを用いた放電音場の3次元スキャン

研究課題名(英文) 3D scan for discharge sound distribution using optical wave microphone

研究代表者

光木 文秋 (Mitsugi, Fumiaki)

熊本大学・自然科学研究科・助教

研究者番号：00398257

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：光波マイクロホンの多チャンネル化のため、光ファイバー、コリメータレンズ、光ファイバディバイダー、光ファイバースイッチから構成されるシステムの構築を行い、その基礎特性の評価と4チャンネル間の出力強度のキャリブレーション手法を確立した。

この4チャンネル光波マイクロホンシステムを用いて沿面放電からの音場分布を計測することに成功した。音場分布は高圧電源の周波数により変化することがわかった。また、放電電極より離れた位置においても超音波が計測可能であった。

研究成果の概要(英文)：Multi-channel optical wave microphone was constructed with a laser, optical fibers, collimator lens, optical divider, and optical switch. We developed 4 channel optical wave microphone system in this line of research. The characteristics of the multi-channel optical wave microphone system was evaluated and the calibration for the optical outputs among 4 channels was carried out.

Distribution of discharge sound which was emitted from surface discharge device was able to be measured with this system. The distribution strongly depended on the frequency of the high voltage source that applied to the electrode of the discharge device. It was found that discharge sound could be detected rather far position from the device.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学

キーワード：放電プラズマ 超音波

### 1. 研究開始当初の背景

大気圧プラズマに関しては、その形態の分類やメカニズム解明等の学術的研究から環境浄化装置開発、プラズマアクチュエータ、表面改質やカーボンナノチューブなど新素材の作製等の応用研究に至るまで、幅広く研究が行われている。しかし、放電に伴う音については、雷鳴による放電点の推定や絶縁劣化に伴う部分放電などについて研究されているが、通常の放電装置における放電音の強度及び周波数成分の分析、さらにはその発生メカニズム解明等、学術的なことに関しては研究報告例が非常に少ない。

これまで通常のコンデンサマイクロホン(感度は主に可聴域)を用いて大気圧中の放電によって生じる音を計測し、フーリエ及びウェーブレット解析を用いて、周波数スペクトルや音響エネルギーを調べてきた。その結果、放電時には超音波が発生していることが明らかとなった。しかし、通常のマイクロホンでは超音波に対する十分な感度が無く、また計測自体が音場や電極間電界を乱してしまうといった問題点があり、新規な光学的計測法が強く望まれてきた。

そこで、本研究では、大気圧放電時に生じる超音波を含む放電音場を光波マイクロホンを使った CT スキャンで可視化することを目的とする。光波マイクロホンは、音による光のフラウンホーファ回折を応用した新しい計測装置で、開発を進めてきている。レーザー光が音波により位相変調を受けた際の微弱な回折光を検出することで音を拾うことができる。学術面では、理論計算によりレーザー光のスペック(波長、ビーム幅、パワー)、音情報(周波数、音圧)や検出位置などのパラメータが全てデザインされているという点が他の光学的な位相物体検出法と大きく異なるが、応用面では下表に示すような特徴がある。他の手法より感度が良いため弱い音圧の可聴音から測定が可能である。また、ラマン・ナス回折法が苦手な長波長の超音波をリアルタイムに計測できる。加えて、2次元音場計測(可視化)も可能である。

### 2. 研究の目的

我々が開発を進めている透明体の微弱密度変化検出技術である光波マイクロホン技術を用いて、オゾン生成器、除電器、排ガス処理装置などにおいて放電時に発生する音場を計測することを目的とする。雰囲気ガス種、放電電圧、電流、プラズマ発光、電極形状などといった放電パラメータと音場分布の関係について明らかにし、放電音の生成メカニズム解明に役立てることを目的とする。

### 3. 研究の方法

図1にマルチチャンネル光波マイクロホンシステムの概略図を示す。半導体レーザーをファイ

バー出力し、それをディバイダで4つに分け平行光とし、それぞれレンズで集光しファイバーに導入して検出器の検出抵抗感出力電圧をオシロスコープで観測した。沿面放電素子はCH1より5mm下方に設置した。また、かくチャンネル間の距離は50mmとした。沿面放電電極に印加する高電圧は、振幅を固定し、周波数を10kHzから50kHzまで変化させた。

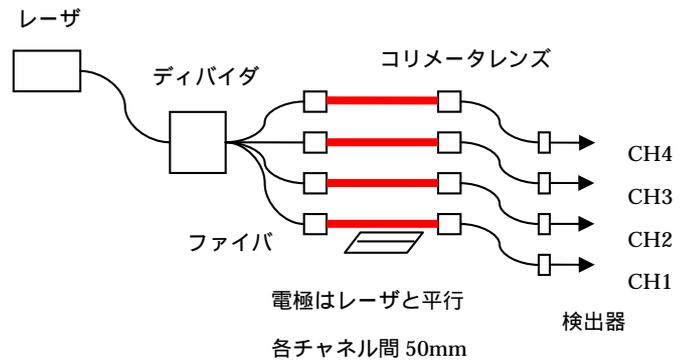


図1 マルチチャンネル光波マイクロホンによる沿面放電音の計測システムの概略図

### 4. 研究成果

図2に計測結果の1つの例を示す。図2は高電圧電源の周波数を10kHzとした時の各チャンネル毎の光波マイクロホン出力波形を示している。光ファイバー化し、さらに検出器の位置を放電電極や高電圧電源から遠ざけたことで放電による電磁ノイズの影響は遮断できている。図2からわかるように、電極から計測位置までの距離が長くなるにつれて、信号強度が減衰している。しかしながら、電極から15cm離れた位置でも微弱ではあるが音波を計測できている。また、図2の信号をフーリエ変換したものを図3に示す。高電圧電源周波数に起因する超音波は計測されなかった。一方で、高周波の超音波が放電から放出されていることが明らかとなった。このような高周波成分(数100kHzオーダー)は、通常のコンデンサマイクロホンでは検出できなかった。1つ1つの微小なパルス放電が生成する際に生じる音波が関連していると考えられる。

次に、高電圧電源の周波数を変化させて計測を行った。図4は、周波数を10kHzから40kHzまで変化させた場合のCH1の信号を比較したものである。また、それを周波数解析したグラフを図5に示す。周波数が増加するにつれて、周波数の倍波の成分を持つ超音波が計測された。このことは、放電で生成したイオンの寿命と電界の時間的關係が超音波の生成に関連していることを意味している。

以上のことから、音場の空間分布や周波数成分は、放電で生成したイオンと印加電界の空間・時間的分布に密接に関係していることがわかった。

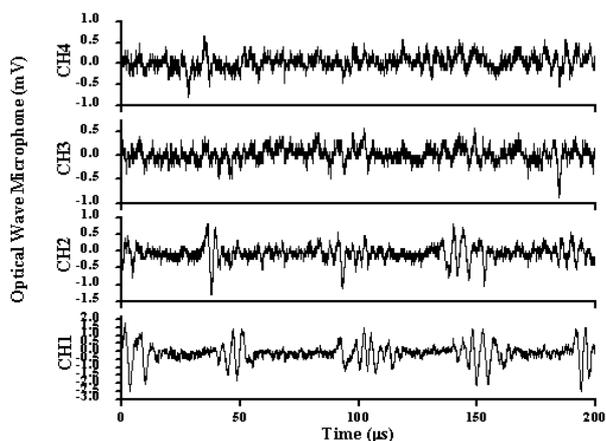


図2 高電圧電源の周波数が 10kHz の場合の光波マイクロホン波形

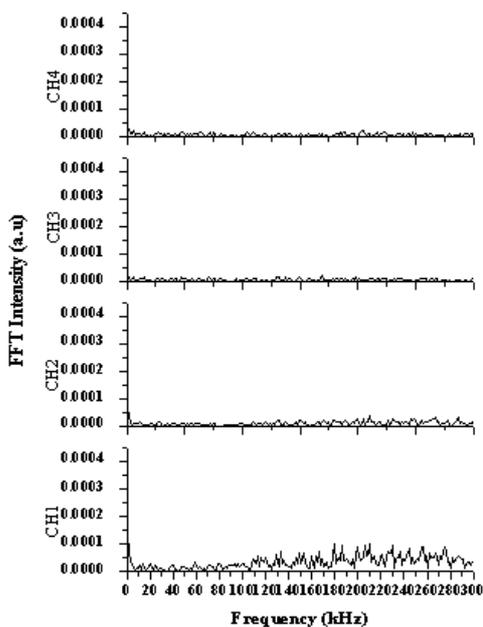


図3 高電圧電源の周波数が 10kHz の場合の光波マイクロホン波形の周波数解析結果

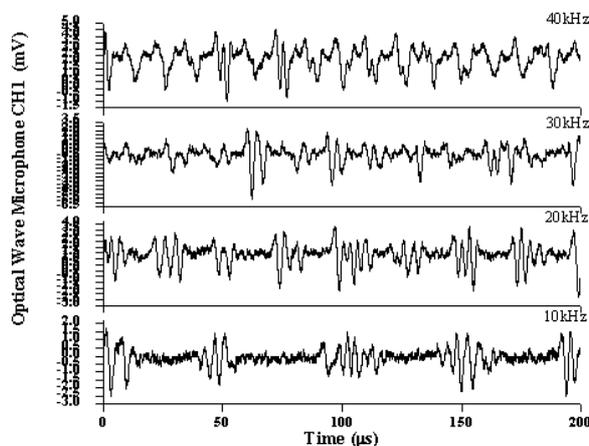


図4 高電圧電源の周波数を 10kHz から 40kHz まで変化させた場合の光波マイクロホン波形(CH1 のみ)

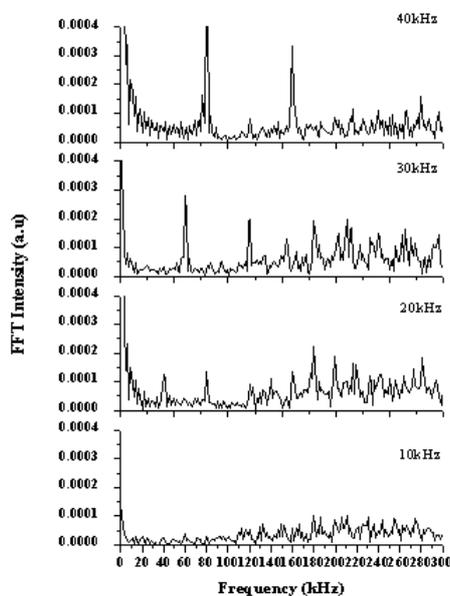


図5 高電圧電源の周波数を 10kHz から 40kHz まで変化させた場合の光波マイクロホン波形の周波数解析結果

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 12 件)

- 1 Samatsu, T., Sonoda, Y., Ide, R., Ikegami, T., Mitsugi, F., Nakamiya, T., Application of optical wave microphone to measurement of sound field emitted from parametric speaker, ICIC Express Letters 7(3A) (2013) 699-704 査読有
- 2 Toshiyuki Nakamiya, Fumiaki Mitsugi, Yoichiro Iwasaki, Tomoaki Ikegami, Ryoichi Tsuda, Yoshito Sonoda,

Henryka Danuta Stryczewska, A Tomographic Visualization of Electric Discharge Sound Fields in Atmospheric Pressure Plasma using Laser Diffraction, European Physical Journal - Applied Physics 61(2) (2013) 24310 1-8  
査読有

- 3 Fumiaki Mitsugi, Jin Furukawa, Tamiko Ohshima, Hiroharu Kawasaki, Toshiyuki Kawasaki, Shin-ichi Aouki, Henryka D. Stryczewska, Observation of dynamic behavior of gliding arc discharge, European Physical Journal - Applied Physics 61(2) (2013) 24308 1-4  
査読有
- 4 Fumiaki MITSUGI, Tomoaki IKEGAMI, Shin-ichi AOQUI, Yui TASHIMA, Hiroharu KAWASAKI, Toshiyuki NAKAMIYA, Yoshito SONODA, Henryka STRYCZEWSKA, Application of optical wave microphone to gliding arc discharge, Przegląd Elektrotechniczny 88(6) (2012) 105-107  
査読有

〔学会発表〕(計4件)

- 1 F. Mitsugi, T. Ikegami, T. Nakamiya, Y. Sonoda, Measurement of Density Change in Atmosphere Around Surface Discharge with Multi-Channel Optical Wave Microphones, 6th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials, Nagoya, Japan, 2014. 3.3
- 2 Toshiyuki Nakamiya, Fumiaki Mitsugi, Yoichiro Iwasaki, Tomoaki Ikegami, Ryoichi Tsuda, Yoshito Sonoda, Real-time measurement of spacial distribution of coplanar DBD sound, 8th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology, Hsinchu, Taiwan, 2013.12.21
- 3 Toshiyuki Nakamiya, Fumiaki Mitsugi, Yoichiro Iwasaki, Tomoaki Ikegami, Ryoichi Tsuda, Yoshito Sonoda, Sound Field Visualization Using Optical Wave Microphone Coupled with Computerized Tomography, 135th Audio Engineering Society Convention, Jacob Javits Center, New York City, USA, 2013.10.17
- 4 T. Nakamiya, F.Mitsugi, Y. Iwasaki, T. Ikegami, R. Tsuda, Y. Sonoda, Visualization of Dielectric Barrier

Discharge Sound Field in Atmospheric Pressure by Novel Method, The 21st International Symposium on Plasma Chemistry, Cairns, AUSTRALIA, 2013.8.5

- 5 T. Nakamiya, Y. Iwasaki, F. Mitsugi, T. Ikegami, R. Tsuda, Y. Sonoda, A TOMOGRAPHIC VISUALIZATION OF ELECTRIC DISCHARGE SOUND FIELDS IN ATMOSPHEREIC PRESSURE PLASMA USING LASER DIFFRACTION, Internaional Symposium on High Pressure Low Temperature Plasma Chemistry HAKONE XIII, House of Creative Work of the Association of Polish Journalists, Kazimierz Dolny, Poland, 2012.9.14
- 6 Toshiyuki Nakamiya, Yoichiro Iwasaki, Fumiaki Mitsugi, Tomoaki Ikegami, Ryoichi Tsuda, Yoshito Sonoda, Detection of electric discharge sound in atmospheric pressure plasma using optical wave microphone, The 4th International Conference on Microelectronics and Plasma Technology, Ramada Plaza Jeju Hotel, Jeju, Korea, 2012.7.6

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計2件)

名称：光加熱による固体表面温度の計測装置及び計測方法  
発明者：中宮俊幸，園田義人，光木文秋，池上知顯  
権利者：中宮俊幸，園田義人，光木文秋，池上知顯  
種類：特許権  
番号：特願 2012-060750  
出願年月日：2012年3月16日  
国内外の別：国内

取得状況(計0件)

〔その他〕なし

6. 研究組織  
(1)研究代表者  
光木文秋 (MITSUGI Fumiaki)  
熊本大学大学院自然科学研究科・助教  
研究者番号：00398257

(2)研究分担者 なし

(3)連携研究者 なし