

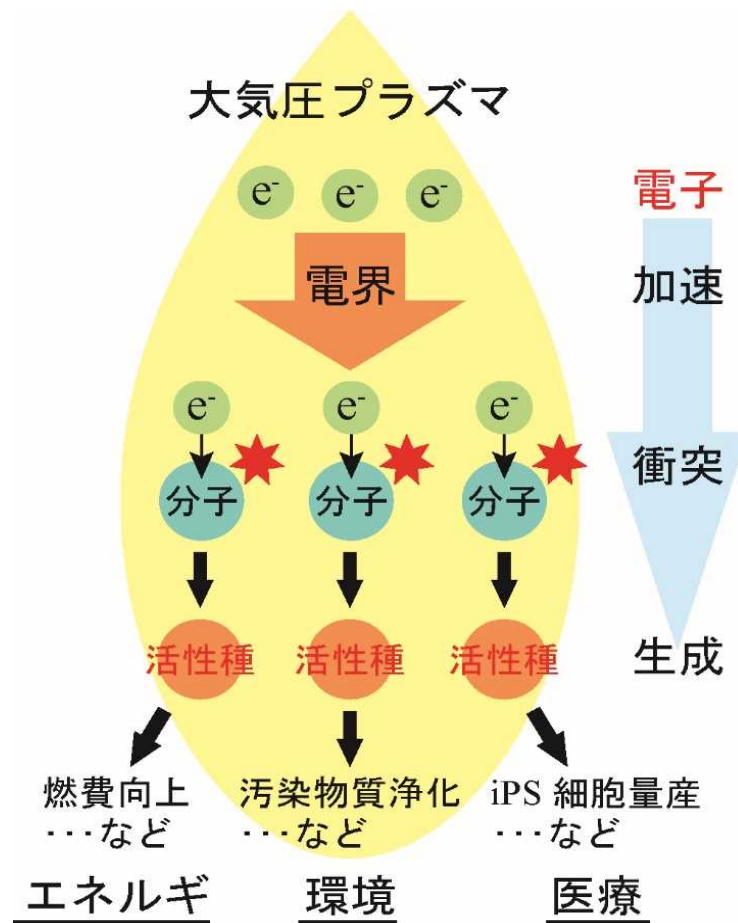
放電プラズマの見える化技術

埼玉大学 大学院理工学研究科

数理電子情報部門電気電子システムコース

助教 稲田 優貴

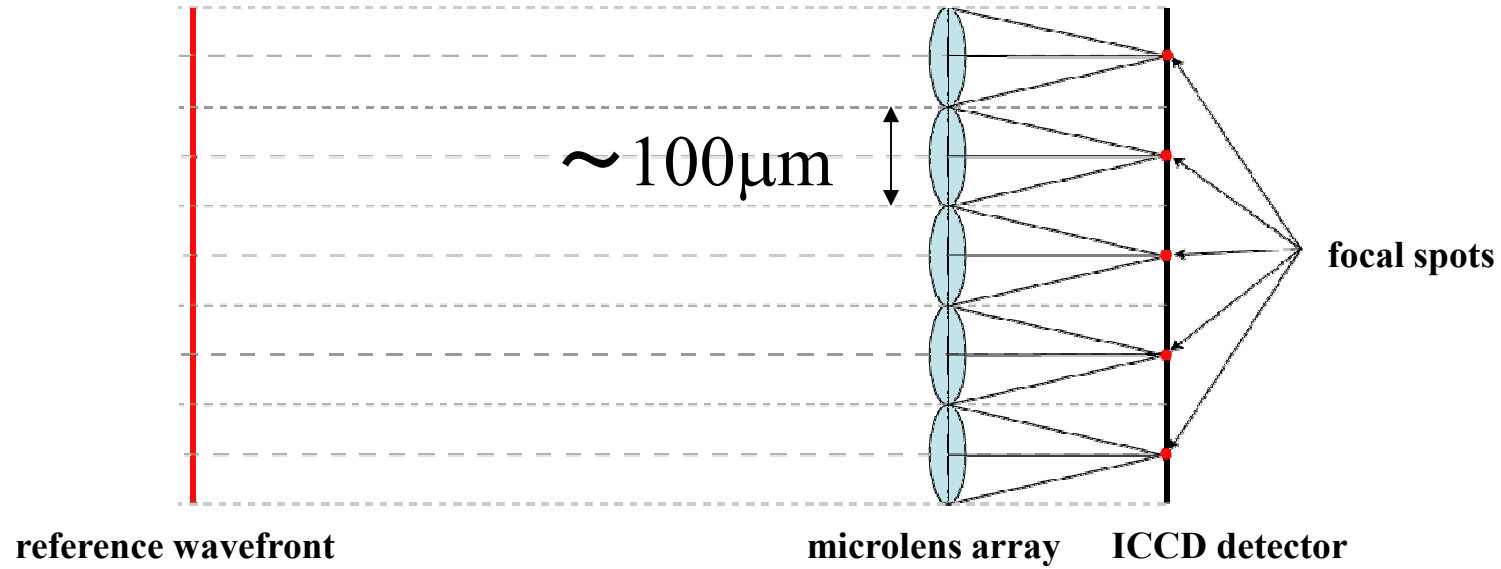
放電プラズマの電子密度を測る理由



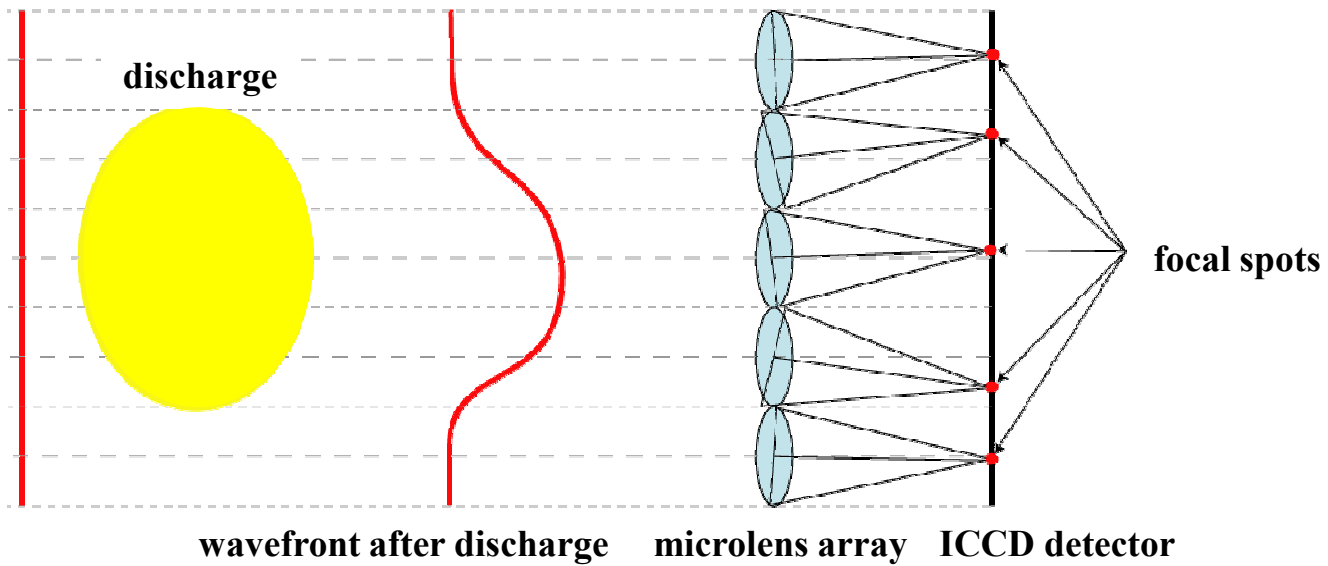
電子との衝突でプラズマの性質が決定される

原理

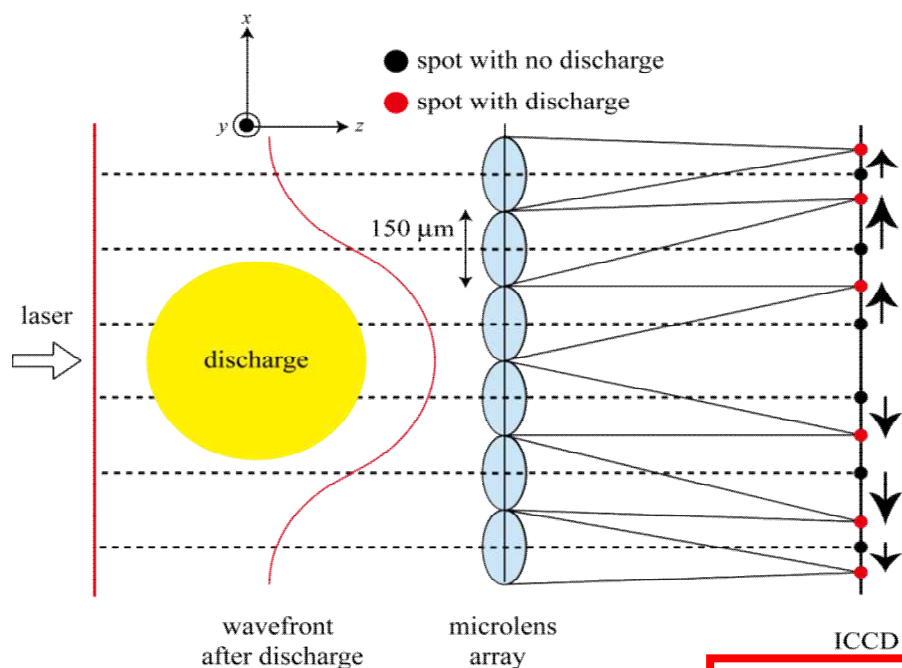
reference measurement



discharge measurement

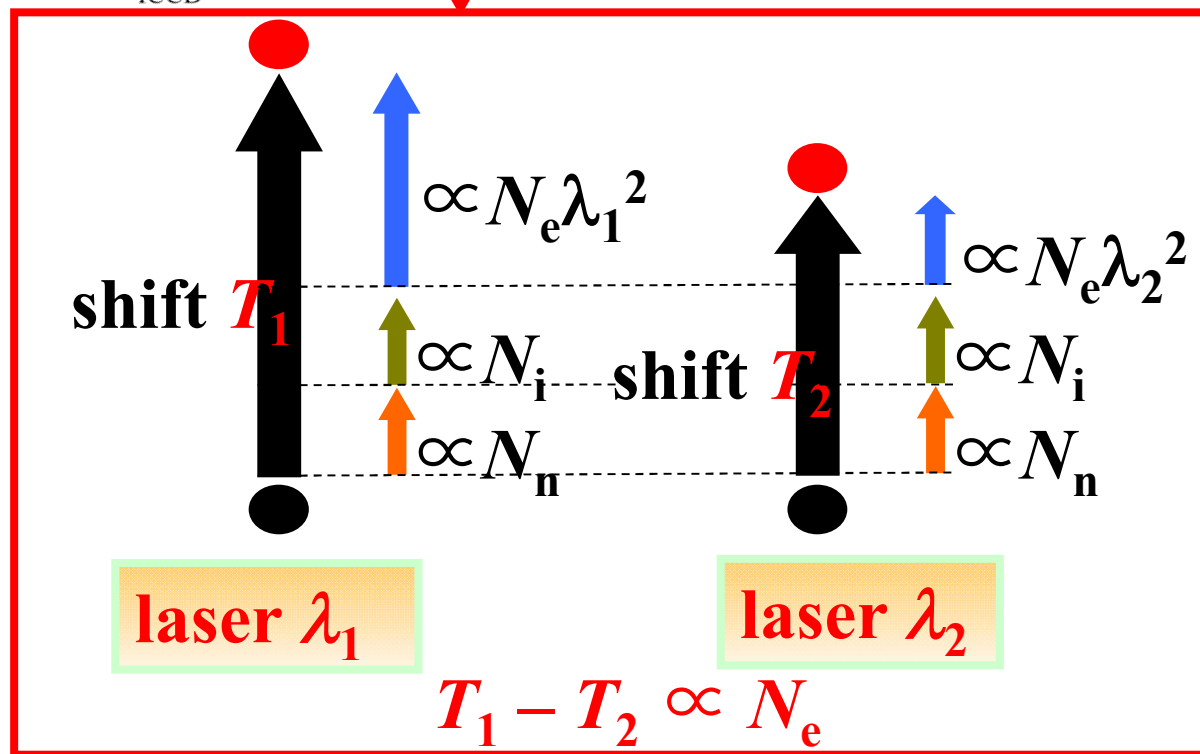


原理



波面の傾きに応じて輝点は移動する

2波長同時計測



従来技術とその問題点

放電プラズマ内の電子密度(N_e)を計測する手法としては既に、トムソン散乱法や干渉法、分光法等があるが、

- 一度の測定で0 or 1次元の N_e しか得られない
- 適用可否が雰囲気気体の種類や圧力に依存
という問題があり、時空間再現性の低い放電プラズマ現象に広く利用されるには至っていない。

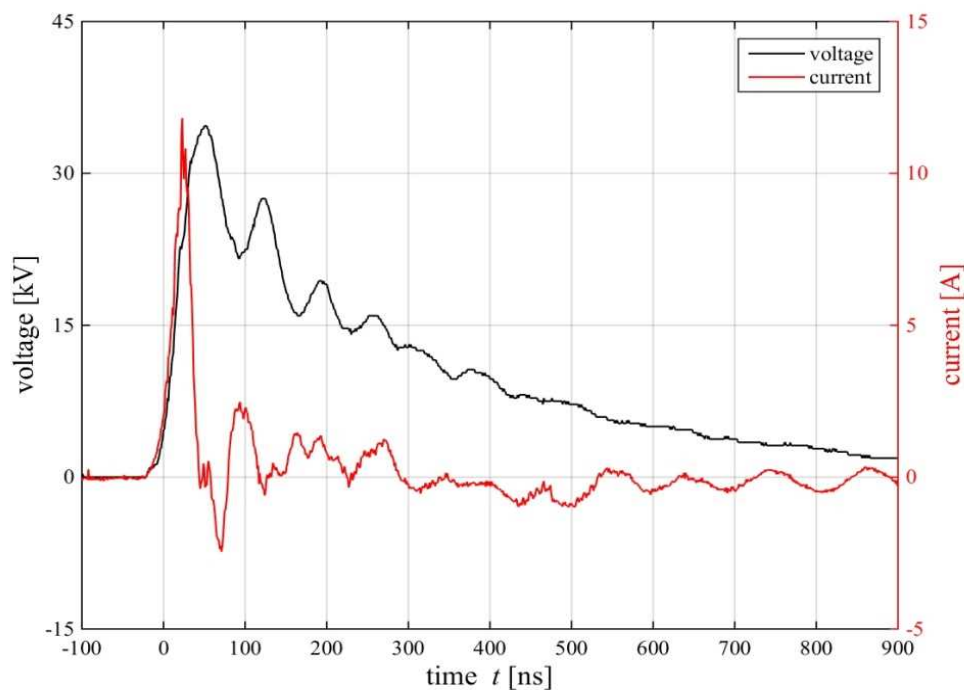
新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の問題点であった計測次元を拡張し、単一測定による可視化に成功した。
- 従来の電子密度計測は時空間的な再現性の良い放電プラズマに限定されていたが、可視化性能が実現できたことで、再現性の低い放電プラズマ現象一般の計測も可能となった。
- 従来技術よりも高性能(1ns・100 μ mの時空間分解能、 10^{20}m^{-3} の測定感度)である。

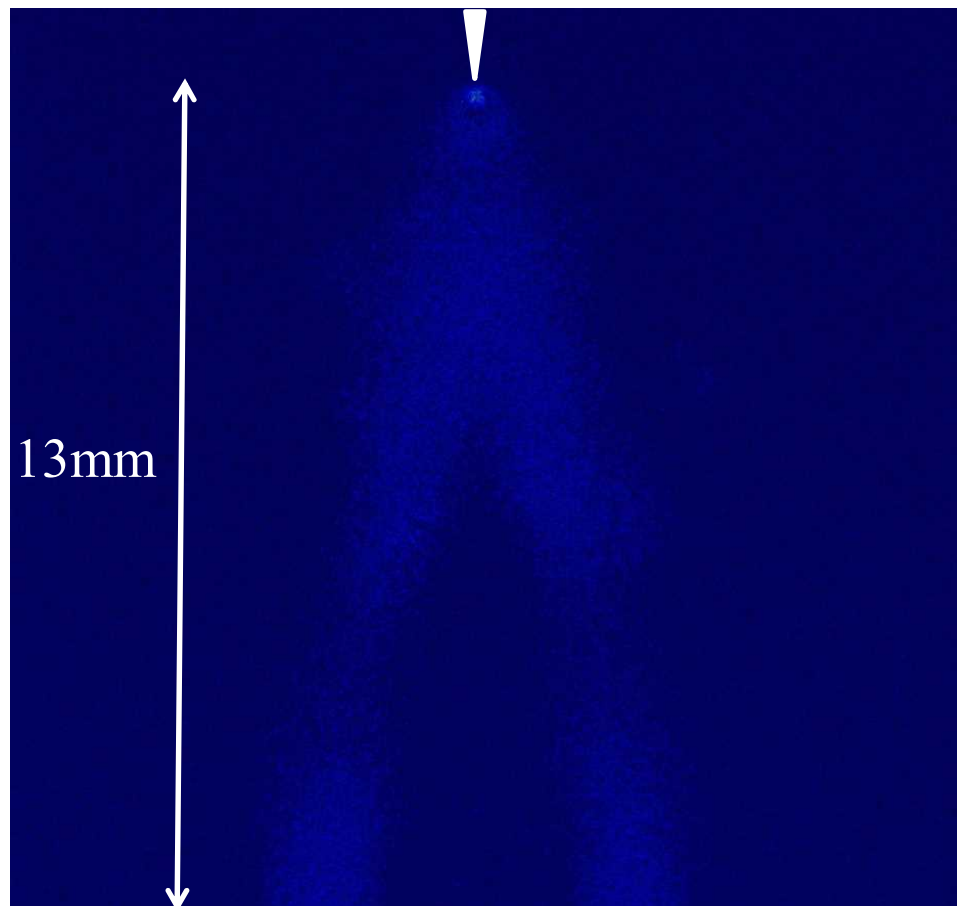
適用事例1

東京大学 小野亮准教授との共同研究

ストリーマ放電



電流電圧波形



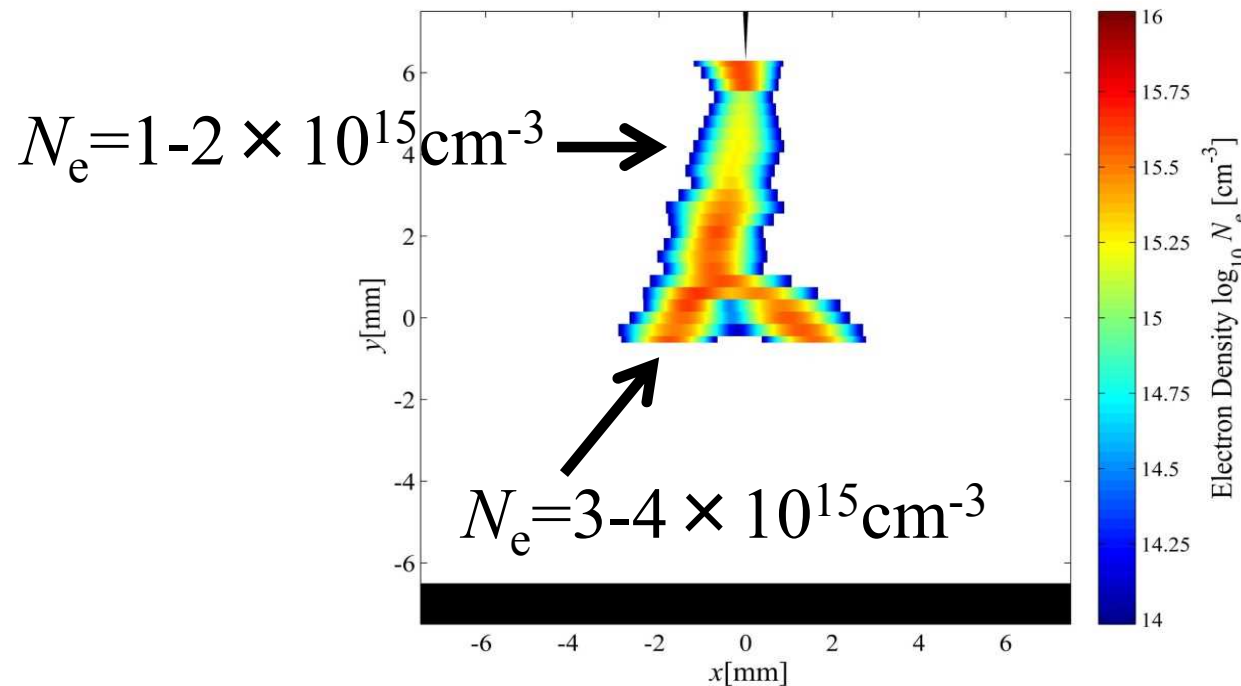
正極性ストリーマ放電の発光画像
(露光時間2ns)

電子密度の測定は針端からストリーマが発生した直後に行った

適用事例1

・ブランチング時 ($t=8\text{ns}$)

東京大学 小野亮准教授との共同研究



Y. Inada, et al., *J. Phys. D: Appl. Phys.*,
vol.50, 174005 (2017)

IOP Publishing
J. Phys. D: Appl. Phys. 50 (2017) 174005 (8pp)
Journal of Physics D: Applied Physics
https://doi.org/10.1088/1361-6463/aa63a0

Two-dimensional electron density measurement of pulsed positive primary streamer discharge in atmospheric-pressure air

Yuki Inada¹, Kaiho Aono², Ryo Ono³, Akiko Kumada¹, Kunihiko Hidaka¹ and Mitsuaki Maeyama¹

¹ Division of Mathematics, Electronics and Information Sciences, Saitama University, Shimo-Okaba, Sakura-ku, Saitama-city, Saitama 338-8570, Japan
² Department of Advanced Energy, The University of Tokyo, Kashiwanoha, Kashiwa-city, Chiba 227-8568, Japan
³ Department of Electrical Engineering and Information Systems, The University of Tokyo, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

E-mail: inada@mail.saitama-u.ac.jp and ryo-ono@k.u-tokyo.ac.jp

Received 31 January 2017, revised 7 March 2017
Accepted for publication 10 March 2017
Published 31 March 2017

Abstract
Elucidating the electron density of streamer discharges propagating in atmospheric-pressure air is critical for achieving a systematic understanding of the production mechanisms of reactive species. Using Shack-Hartmann-type laser wavefront sensors with a temporal resolution of 2 ns, we carried out single-shot two-dimensional electron density measurements for positive primary streamers generated in a 13 mm air gap between pin-to-plate electrodes. The electron density over the positive primary streamers decayed from 10^{15} to 10^{14}cm^{-3} during the propagation. The decay time constant of the electron density in the primary streamer channels was estimated to be ~ 2 ns. The distribution widths of the electron density were in good agreement with those of the light emission, typically ranging from 0.8 to 1.5 mm.

Keywords: Shack-Hartmann, laser wavefront sensor, electron density, streamer discharge, non-thermal plasma

2次元電子密度分布

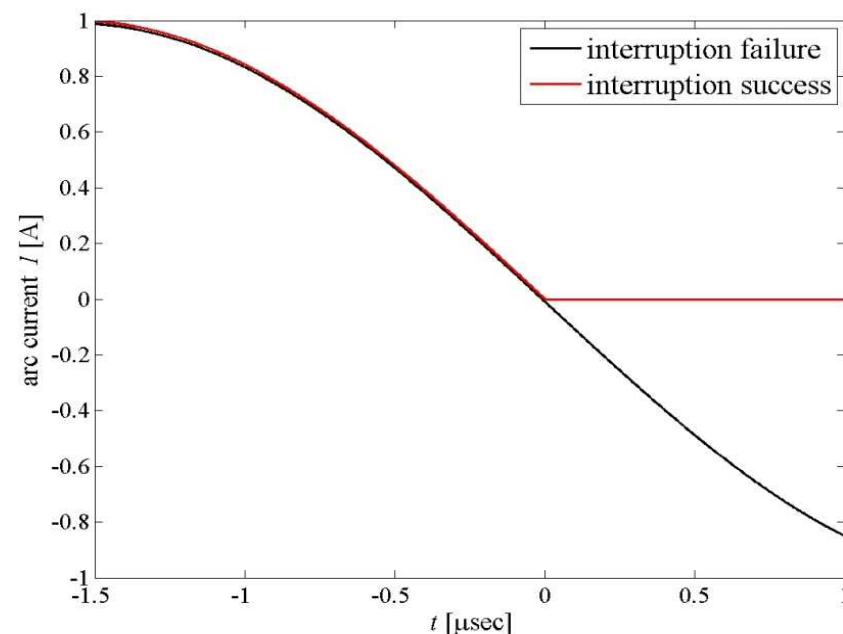
- ストリーマヘッド近辺の電子密度は $3-4 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$
- 非分岐のチャンネル内における電子密度は $1-2 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$

適用事例2

電流ゼロ点で切れやすいアークと切れないアークの**違い**は何か・・・



危うい条件の電流波形を、
LCR直列回路の素子値を
振りながら作成。



今回は、切れた場合と切れなかった場合で、
2次元電子密度分布に違いがあるのか検証した。
(両者のモデルを作るために電子密度分布を測定)

想定される用途

- 放電プラズマの特性を司る電子密度の測定値を実装することで、妥当性の高い放電プラズマモデルを構築できる。
- 放電プラズマ内における各種反応機構の解明
- 上記以外にも、凹凸面の可視化($\lambda/1000$)や流れ場の可視化にも適用可能である。

より高い汎用性を得るための課題

- 現在の測定視野 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 程度を、 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$ 程度にまで拡張したい。
- 現在の時間分解能は $\sim\text{ns}$ であるが、パルスレーザの導入により $\sim 10\text{ps}$ に改善したい。

企業への期待

- 基礎現象理解に基づいた放電プラズマ応用機器の開発に興味を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、新規プラズマ源の開発や医療をはじめとした新規分野への展開を模索している企業においては、本計測手法の導入が有効と思われる。

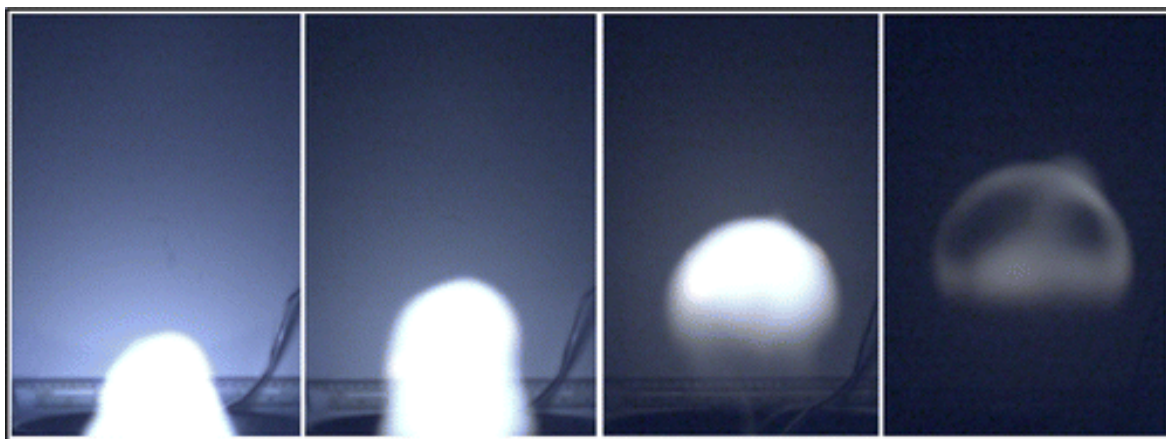
球雷放電

新規プラズマ源



Fig. 2. — Le globe de feu dans la salle.

French illustration of ball lightning 1889. Photo: National Geographics



<http://phys.org/news/2013-08-insights-one-in-a-million-lightning-ball.html>

火の玉??



実験室でも作れる!



$100\mu\text{s} \rightarrow 100\text{ms} !!!$



- ・水処理
- ・ガス処理
- ・可能性は無限大

産学連携の経歴

- 2009年-2011年 電気メーカーA社と共同研究実施
- 2011年-現在 電気メーカーB社と共同研究実施
- 2012年-2015年 電力会社C社と共同研究実施

お問い合わせ先

埼玉大学

オープンイノベーションセンター

TEL ; 048-858-3849

FAX ; 048-858-9419

e-mail coic-jimu@ml.saitama-u.ac.jp