

# LIBSによる懸垂がいし付着塩分中Clの遠隔計測

藤井 隆<sup>\*1</sup>, 屋地 康平<sup>\*2</sup>

電力中央研究所 (〒240-0196 神奈川県横須賀市長坂 2-6-1)

## Remote Measurement of Chlorine in Salt Attached on Cap and Pin Insulators using LIBS

Takashi FUJII and Kohei YAJI

Central Research Institute of Electric Power Industry, 2-6-1 Nagasaka, Yokosuka, Kanagawa 240-0196

We evaluated the performance of laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) for the application to the measurement of Salt Deposit Density (SDD) on cap and pin insulators. The second-harmonic Nd: YAG laser pulses with energy of 150 mJ were focused on the surface of a cap and pin insulator, deposited with sodium chloride, for the remote measurement with a distance of 10 m. The emission intensity of Cl (837.59 nm) was monotonically increased with SDD from 0.009 to 0.598 mg/cm<sup>2</sup>, which is a similar trend as a result obtained with a flat porcelain insulator sample. These results suggest that the LIBS technique can be applied to the remote measurement of SDD on the cap and pin insulators.

**Key Words:** Laser-induced breakdown spectroscopy, Insulator, Salt, Chlorine, Remote measurement

### 1. はじめに

がいしやブッシングの汚損は、電力系統の絶縁信頼性や機器の長期信頼性に影響を及ぼす可能性があるため、汚損物の化学組成の同定や定量計測は、汚損状況の正確な評価のために重要である。汚損物のうち、可溶成分の化学組成は、一般に多種類の塩からなることが知られている。しかしながら、現在、がいしの汚損状況は、筆あらい法やソルトメータを用いたパイロットがいしの汚損採取により、汚損物の可溶成分と等価の電気伝導度を有する NaCl の密度に換算した等価塩分付着密度として評価されている。これらの汚損度評価方法は、主にオフサイトかつオフライン計測であり、また、付着物質の化学組成同定のためには、別途化学分析を行う必要がある。一連の分析の代わりに、レーザー誘起ブレイクダウン分光 (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy: LIBS) を用いた汚損度評価手法を用いることにより、がいし付着物質の多成分、オンサイト、迅速、かつ遠隔計測が可能になり、運用中のがいしに対する汚損状況の正確な評価が期待される<sup>1,2)</sup>。

我々は、LIBS を用いた塩分付着密度 (Salt Deposit Density; SDD) の遠隔計測における基礎技術の開発を行ってきた<sup>3-6)</sup>。これまで、磁器がいしを模擬した、表面が平らな磁器製サンプルを用いた実験により本技術の原理検証を行い、Na(819.48 nm)やCl(837.59 nm)の輝線を測定することにより、送電設備へも適用が可能な離隔距離

20 m において、日本の送変電設備のほぼ全塩害汚損区分を網羅する 0.009~0.7 mg/cm<sup>2</sup> の濃度範囲において、SDD の遠隔計測の可能性を示した<sup>5,6)</sup>。しかしながら、本技術の実用化のためには、複雑な形状を有する実がいしに対する計測性能を評価する必要がある。今回、現在広く一般に使用されている磁器がいしである懸垂がいしを計測ターゲットに用い、付着塩分の遠隔計測を行った結果に関して述べる<sup>7)</sup>。

### 2. 汚損がいしの作成

懸垂がいし (250 mm 懸垂がいし, SU-120CN) を人工汚損試験<sup>8)</sup>において用いられる手法の一つであるどぶ漬け法<sup>8,9)</sup>を用いて汚損させた。がいしの汚損には、塩分濃度の異なる4種類の汚損液を用い、可溶性物質には並塩を、不溶性物質にはとのこを用いた。LIBS計測後に、各がいしのSDDを筆洗い法により計測した。

### 3. 実験系

実験配置を Fig. 1 に示す。エネルギー150 mJ, パルス繰り返し 10 Hz の Nd:YAG レーザー (Spectra Physics, GCR-250) の第2高調波 (波長 532 nm) を、焦点距離 50 mm の凹レンズと焦点距離 400 mm, 直径 100 mm の凸レンズにより構成された集光光学系によりビーム径を 8 倍に拡大し、集光光学系から約 10 m 離れた位置に設置した懸

\*1 現在の所属：東京大学 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

\*2 現在の所属：鹿児島工業高等専門学校 (〒899-5193 鹿児島県霧島市隼人町真孝 1460-1)

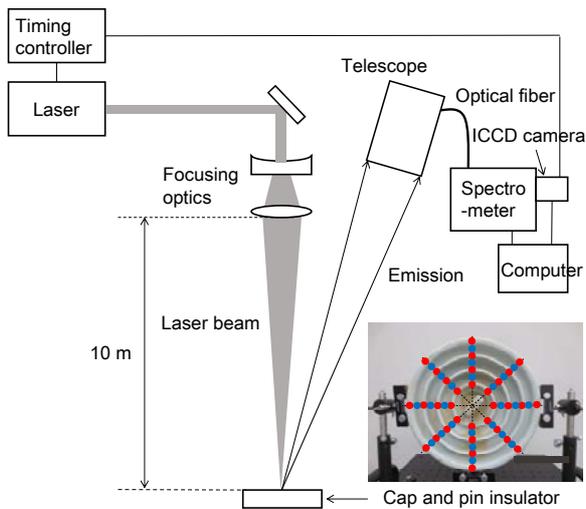


Fig. 1. Experimental setup.

垂がいしに集光し、プラズマを生成した。懸垂がいしは光学台に対して垂直になるように固定し、下面において、中心から 45 度間隔の放射上の 8 個のラインごとに、ひだ先に 4 点、ひだ底に 3 点、合計 56 点（図中に赤色と青色の●で示す）レーザー照射を行った。プラズマからの発光は、レーザー集光光学系の近傍に設置した主鏡直径 152 mm のニュートン型望遠鏡を用いて、バンドパスフィルター（中心波長 838 nm、バンド幅 14 nm）を通して口径 1.9 mm のバンドルファイバ端面に集光した。ファイバからの出射光は、焦点距離 500 mm の分光器（Acton, SP2500）により分光し、ICCD カメラ（Roper, PI-MAX1K-UniGen）により受光した。レーザー照射と受光の遅延時間はタイミングコントローラにより制御し、ICCD カメラのゲート幅は 5  $\mu\text{s}$ 、ゲート遅延時間は 0.5  $\mu\text{s}$  とした。

#### 4. 実験結果

懸垂がいしの下面は、上面に比べて汚損状態が保存されやすい構造を有するため、地点の汚損区分による違いは下面の汚損度に現れやすい。このことから、代表的な汚損度を求める際には、懸垂がいしの下面 SDD により評価することが一般的とされている。このため、下面の SDD 計測を目的とし、下面における Cl(837.59 nm)の発光強度の SDD 依存性を測定した。

SDD に対する Cl(837.59 nm)の発光強度の依存性を Fig. 2 に示す。Cl の発光強度は SDD が 0.009  $\text{mg}/\text{cm}^2$  から 0.598  $\text{mg}/\text{cm}^2$  において単調に増加した。これは、計測条件が異なるため発光強度の絶対値は異なるものの、これまで平板サンプルを用いて近距離や遠隔での計測において得られた結果と同様の傾向である<sup>3,5)</sup>。

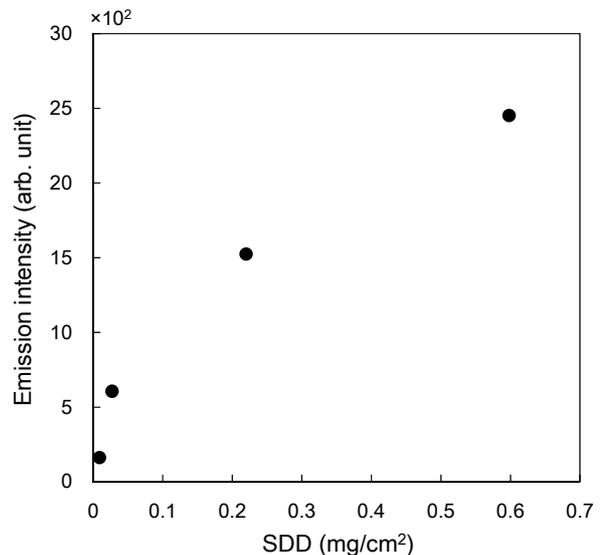


Fig. 2. Dependence of Cl (837.59 nm) emission intensity on SDD.

#### 5. まとめ

LIBS による離隔距離 10 m の遠隔計測において、人工汚損を行った懸垂がいし下面に付着した塩分中 Cl(837.59 nm)の発光強度の SDD 依存性を計測した。Cl の発光強度は、日本の送変電設備のほぼ全塩害汚損区分を網羅する、SDD が 0.009  $\text{mg}/\text{cm}^2$  から 0.598  $\text{mg}/\text{cm}^2$  において単調に増加した。以上の結果より、本手法は、実がいしの複雑な形状に対しても適用可能であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) Laser Cross, No. 313 (2014, Apr.) ISSN0914-9805.
- 2) 藤吉 晋一郎, 本田 親久, 村岡 克己, 前田 三男: レーザー研究 **20** (1992) 29.
- 3) 藤井 隆, 元木 浩平, 屋地 康平, 江藤 修三: 電力中央研究所 研究報告 H15016 (2016).
- 4) 藤井 隆, 元木 浩平, 屋地 康平, 江藤 修三, 堀田 栄喜, 末包 哲也: 第34回レーザーセンシングシンポジウムC-2 (2016).
- 5) 藤井 隆, 元木 浩平, 屋地 康平, 江藤 修三, 堀田 栄喜, 末包 哲也: 電力中央研究所 研究報告 H16008 (2017).
- 6) 藤井 隆, 元木 浩平, 屋地 康平, 江藤 修三, 堀田 栄喜, 末包 哲也: 第35回レーザーセンシングシンポジウムE-5 (2017).
- 7) 藤井 隆, 屋地 康平: 電力中央研究所 研究報告 H17007 (2018).
- 8) JEC-0201 交流電圧絶縁試験(1988).
- 9) 電気学会編, がいし(1983).