

レーザー誘起ブレイクダウン分光による磁器がいし付着塩分計測

藤井 隆^{1,2}, 元木 浩平², 屋地 康平¹, 江藤 修三¹, 堀田 栄喜², 末包 哲也²

¹電力中央研究所 (〒240-0196 神奈川県横須賀市長坂 2-6-1)

²東京工業大学 (〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259)

Measurement of Salt Deposition on Porcelain Insulator by Laser-Induced Breakdown Spectroscopy

Takashi FUJII^{1,2}, Kouhei MOTOKI², Kohei YAJI¹, Shuzo ETO¹, Eiki HOTTA², and Tetsuya SUEKANE²

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

²Tokyo Institute of Technology, 4259 Nagatsuta-cho, Midori-ku, Yokohama, Kanagawa 226-8502

We evaluated the performance of laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) for the application to the measurement of Salt Deposit Density (SDD) of porcelain insulators. A porcelain insulator sample with a glaze deposited with sodium chloride was used as a target. The second-harmonic Nd: YAG laser pulses with energy of 15 mJ were focused on the sample to produce plasma by a lens with a focal length of 250 mm. The emission intensities of Na (819.48 nm) originating from salt were monotonically increased with SDD from 0.008 to 0.515 mg/cm². These results show that LIBS is an attractive tool for the on-site measurement of SDD of porcelain insulators. We also demonstrated the remote measurement of SDD of the sample with a distance of 10 m from the LIBS system.

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

1. はじめに

がいしの汚損は絶縁性能や長期信頼性に影響を及ぼす恐れがあるため、汚損物の化学組成の同定や定量測定は、汚損状況の正確な評価のために重要である。現在、がいしの汚損状況の評価は、筆あらい法等を用いたパイロットがいしの汚損採取により、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。これを、レーザー誘起ブレイクダウン分光 (LIBS) を用いた手法に置き換えることができれば、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。

LIBS によるがいし汚損計測に関しては、これまで、ハンドホールド型のがいし表面塩分密度計測装置の開発¹⁾や、10 m の離隔距離において人工汚損がいしの SDD を 0.1 mg/cm² まで計測した例²⁾が報告されているが、超重汚損地域 (SDD > 0.12 mg/cm²)³⁾以上の汚損区分において適用することができれば、実用上有効である。

今回、広い濃度範囲での SDD の遠隔計測に向け、磁器がいしを模擬したサンプルを用いて、LIBS により、付着塩分の主成分である Na の発光特性を測定したので報告する⁴⁾。

2. 近距離での計測

2.1 サンプルの作成

測定には、磁器がいしを模擬した直径 68 mm の円盤状の磁器 (以下、磁器がいしサンプルと呼ぶ) を用いた。汚損物の付着は、磁器がいしの人工汚損試験⁵⁾において用いられる手法の一つであるどぶ漬け法^{5,6)}により行った。可溶性物質として並塩を、不溶性物質としてとの粉を用いた汚損液にサンプルを浸漬させ、引き上げた後乾燥させた。並塩の量を調整することにより、汚損度が異なる 5 種類のサンプルを作成した。各汚損度のサンプルの塩分付着密度 (Salt Deposit Density: SDD) の平均値は、それぞれ 0.008, 0.026, 0.054, 0.248, 0.515 mg/cm²であった。!

!

2.2 実験系

磁器がいしサンプルの LIBS 計測における実験配置を Fig. 1 に示す。エネルギー 15 mJ, パルス繰り返し 10Hz の Nd:YAG レーザー (Spectra Physics, GCR-250) の第 2 高調波を、焦点距離 250 mm のレンズを用いて磁器がいしサンプルに集光し、プラズマを生成した。サンプルは回転ホルダーに設置し、回転させながらレーザー光を照射した。プラズマからの発光はバンドルファイバーを通し、焦点距離 500 mm の分光器 (Acton, SP2500) で分光し、ICCD カメラ (Roper, PI-MAX1K-UniGen) で受光した。ICCD カメラのゲート幅、ゲート遅延時間はそれぞれ、20 ns, 2 μs とした。50 パル

スのレーザー光によるプラズマ発光を積算し、1つの発光スペクトルとして発光強度を算出した。

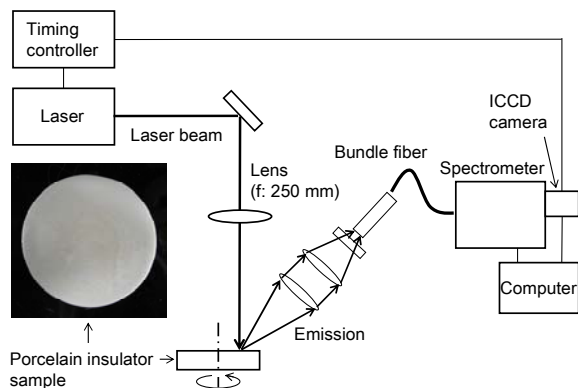


Fig. 1. Experimental setup

2.3 実験結果

作成した5種類の汚損度のサンプルに対し、Na (819.48 nm)の発光スペクトルを計測した。取得した各発光スペクトルに対して、スペクトルの裾と考えられる波長を結ぶ直線をベースラインとし、ベースラインから発光ピークまでの強度を発光強度とした。各汚損度において、3つのサンプルに対してNa (819.48 nm)の発光強度の計測を行い、平均と標準偏差を求めた。Fig. 2に発光強度のSDD依存性を示す。SDDは、2.1節で各汚損度サンプルに対して求めた平均値を用いた。

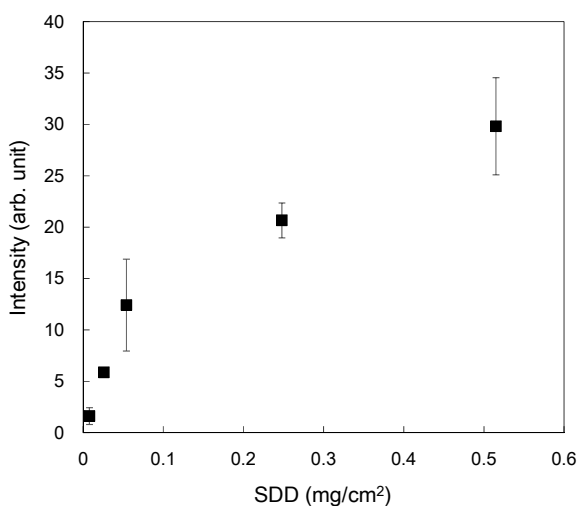


Fig. 2. Dependence of Na (819.48 nm) emission intensity on SDD.

SDDが0.008~0.515 mg/cm²において、発光強度はSDDに対して単調増加した。各測定点における変動係数(標準偏差/算術平均)の平均は0.23であり、この値は、2.1節で求めたSDDの変動係数の平均値(0.30)よりも小さい、従って、

今回の計測におけるエラーバーの大きさは、主にサンプル毎のSDDのばらつきによるものと考えられる。これにより、国内の変電所において適用されている一般汚損地域(SDD < 0.01 mg/cm²)から特殊地域(SDD > 0.35 mg/cm²)³⁾までの広い濃度範囲において、SDDの計測の可能性が示された。

3. 遠隔計測

離隔距離10 mにおいて、磁器がいしサンプル付着塩分の遠隔計測を行った⁷⁾。レーザー装置、バンドルファイバー、分光器、ICCDカメラは近距離での計測と同じものを用いた。エネルギー100 mJのレーザー光を、10 m離れた位置に設置した磁器がいしサンプルに集光した。プラズマからの発光は、レーザー光集光光学系の近傍に設置した、直径152 mmのニュートン型望遠鏡を用いてバンドルファイバー端面に集光し、分光器とICCDカメラを用いて受光した。ICCDカメラのゲート遅延時間は、近距離での計測と同様2 μsとしたが、受光量を大きくするためゲート幅は3 μsとした。SDDが0.008~0.248 mg/cm²において、Na (819.48 nm)の発光強度は単調増加を示した。

4. まとめ

エネルギー15 mJのレーザー光を磁器がいしサンプルに集光し、塩分に由来するNaの発光強度のSDD依存性を測定した。Na (819.48 nm)の発光強度は、SDDが0.008 mg/cm²から0.515 mg/cm²まで単調に増加した。これより、Na (819.48 nm)の発光線を用いることにより、国内の変電所において指定されている全汚損区分におけるSDDの計測の可能性を示した。また、離隔距離10 mにおいて、磁器がいしサンプル付着塩分の遠隔計測に成功した。

謝辞

本研究の遂行にあたりご協力頂きました、防衛装備庁の杉山精博博士に、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Laser Cross, No. 313 (2014, Apr.).
- 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) 電気協同研究, 第69巻, 第3号 (2013).
- 4) 藤井 隆, 元木 浩平, 屋地 康平, 江藤 修三: 電力中央研究所報告 H15016 (2016).
- 5) JEC-0201 交流電圧絶縁試験(1988).
- 6) 電気学会編, がいし(1983).
- 7) 元木 浩平, 屋地 康平, 江藤 修三, 堀田 栄喜, 末包 哲也, 藤井 隆: 平成28年電気学会電力・エネルギー部門大会 (2016) (発表予定).