

LIBSによる磁器がいし付着塩分の遠隔計測

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)

Standoff Measurement of Salt Deposition on Porcelain Insulator by LIBS

Takashi FUJII¹, 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

Abstract: We demonstrated the standoff measurement of SDD of a porcelain insulator with a distance of up to 20 m using laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS). 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 150 mJ were focused on the sample to produce plasma. The emission intensities of Na (819.48 nm) originating from salt were monotonically increased with Salt Deposit Density (SDD) from 0.009 to 0.612 mg/cm². These results show that LIBS is promising for the standoff measurement of SDD of a porcelain insulator with the distance up to 20 m for all typical contamination levels in Japanese contamination classification of transmission and transformation equipment.

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 (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy; 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塩分付着密度 (Salt Deposit Density; SDD) を 0.1 mg/cm² まで計測した例²⁾が報告されているが、さらに広い濃度範囲および長い離隔距離において計測することができれば、実用上有効である。

当所ではこれまで、磁器がいしを模擬したサンプルを用いて、LIBS によるがいし汚損計測の研究を行ってきた³⁻⁵⁾。今回、20 m までの離隔距離における、がいし付着塩分の遠隔計測の結果に関して報告する。

2. 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⁶⁾において用いられる手法の一つであるどぶ漬け法^{6,7)}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、汚損度が異なるサンプルを作成した。塩分濃度が異なる 6 種類の汚損液を作成し、各汚損液に対して、5 枚のサンプルを作成した。LIBS 計測後に、各サンプルの SDD を筆洗い法により計測した。LIBS 計測後には一部塩分が除去されているが、照射痕より除去塩分量を算出し、照射前の SDD を求めた。

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 10Hz の Nd:YAG レーザー (Quantel, CFR400) の第 2 高調波を、焦点距離 50 mm の凹レンズと焦点距離 400 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 20 m 離れた位置に設置した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。一回の計測はサンプルが一回転しない間に終了し、照射済みの箇所にレーザー光が照射されないようにした。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集光し、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、5 μs および 2 μs とした。25 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。

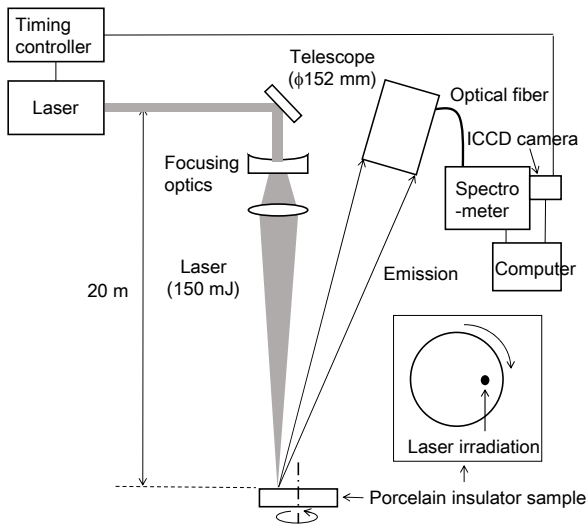


Fig. 1. Experimental setup

4. 実験結果

作成した各サンプルに対し、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。各汚損液で作成した5枚のサンプルに対して、発光強度とSDDそれぞれに対して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。最も低いSDD (0.009 mg/cm²)においても、Naの発光スペクトルは観測された。SDDが0.075 mg/cm²までは、発光強度はSDDに対して線形に変化したが、それ以上のSDDでは、SDDに対する発光強度の変化が小さくなった。これは、自己吸収が主な原因と考えられる。しかしながら、最も高いSDDである0.612 mg/cm²まで、発光強度はSDDに対して単調増加した。これらの結果よ

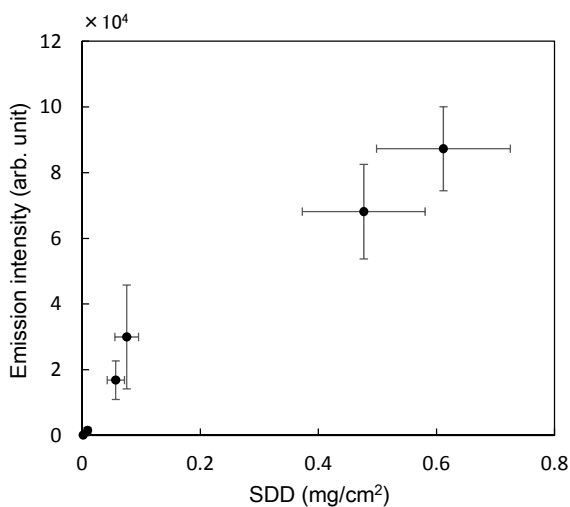


Fig. 2. Dependence of Na (819.48 nm) emission intensity on SDD for the standoff measurement at a distance of 20 m.

り、Na (819.48 nm)の輝線を用いることにより、SDDを0.009~0.612 mg/cm²において計測することが可能であると考えられる。

送電用支持物設計標準 (JEC-127) において、66 kV送電鉄塔の標準的な腕金高さが20 mとされている⁸⁾。このため、本手法は、変電設備のみならず、送電設備まで適用が期待される。また、例えば、変電所で使用するがいしの汚損は、一般汚損地域 (0.01 mg/cm²以下) から特殊汚損地域 (0.35 mg/cm²以上) に分類されている⁹⁾。また、送電設備に関しては、最大想定SDDとして、0.038~0.55 mg/cm² (海水のしぶきが直接かかる場合を除く) に区分されている¹⁰⁾。以上の結果より、本手法を用いることにより、国内の送電変電設備のほぼ全塩害汚損区分に対して、離隔距離20 mまでSDDの遠隔計測の可能性が示された。

5. まとめ

離隔距離20 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。エネルギー150 mJのレーザー光を磁器がいしサンプルに集光し、塩分由来する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0.009 mg/cm²から0.612 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、変電設備のみならず、送電設備においても、国内におけるほぼ全塩害汚損区分において、SDDの遠隔計測の可能性を示した。

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、来山直弘氏に、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) 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).
- 4) 藤井 隆, 元木 浩平, 屋地 康平, 江藤 修三, 堀田 栄喜, 末包 哲也: 電力中央研究所報告 H16008 (2017).
- 5) 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).
- 6) JEC-0201 交流電圧絶縁試験(1988).
- 7) 電気学会編, がいし(1983).
- 8) JEC-127, 電気学会電気規格調査会標準規格, 送電用支持物設計標準, 1979.
- 9) 電気協同研究, 第69巻, 第3号 (2013).
- 10) 電力中央研究所, 送電機能研究委員会「500 kV送電に関する研究報告 (その6) 500 kV送電設備の耐塩害設計」(500 kV送電特別委員会絶縁専門委員会塩害対策部会報告書), p. 63, 1969