

石炭の自然発火予測に向けた CO の遠隔赤外吸収計測

染川 智弘^{1,2}, 眞子 直弘³, 倉橋 慎理¹, 余語 覚文², 椎名 達雄⁴, 久世 宏明³

¹ (公財) レーザー技術総合研究所 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-6)

² 大阪大学レーザー科学研究所 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-6)

³ 千葉大学環境リモートセンシング研究センター (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33)

⁴ 千葉大大学院工学研究院 (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33)

Remote Infrared Absorption Measurements of CO Gas for the Spontaneous Combustion Forecast of Coal

Toshihiro SOMEKAWA^{1,2}, Naohiro MANAGO³, Shinri KURAHASHI¹, Akifumi YOGO², Tatsuo SHIINA⁴, and Hiroaki KUZE³

¹Institute for Laser Technology, 2-6 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871

²Institute of Laser Engineering, Osaka Univ., 2-6 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871

³CERES, Chiba Univ., 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-8522

⁴Graduate School of Engineering, Chiba Univ., 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-8522

We have demonstrated successful remote infrared absorption measurements of CO gas for the forecast of spontaneous combustion of coal. The CO gas absorption spectrum of the reflected light from a coal block at around 2334 nm made possible evaluating the CO column concentration (detection limit: 17.5ppm · m) at a remote distance of 500 mm.

Key Words: infrared absorption, CO gas, forecast of spontaneous combustion of coal

1. はじめに

石炭火力発電所では、石炭輸送船から受け入れた石炭を貯炭場や石炭サイロに一旦貯蔵するが、石炭の自然発火が火災事故につながる危険性があり、発火監視技術が求められている。石炭が低温酸化反応によって発火する際には、CO ガスが 300 ppm 程度発生することが知られており、貯炭場や石炭サイロの CO ガスの濃度分布を測定することで、石炭の自然発火を事前に検知できる可能性がある¹⁾。

Fig. 1 に HITRAN データベースを用いて計算した CO の吸収スペクトルを示す。H₂O、CO₂、CO の濃度は Volume mixing ratio でそれぞれ 3.5%、400ppm、100ppm とした (H₂O はそれぞれの温度に対する湿度 100% に相当)。また、温度は 300K、圧力は 1 atm、光路長は 2 m とした。CO の赤外吸収計測に最もよく使用される波長 1571 nm 帯域 (Fig. 1(a)) は、通信帯域であるために応用が容易・安価ではあるが、CO 自体の吸収が小さく、水蒸気の干渉が大きいがわかる。一方、波長 2334 nm 帯域 (Fig. 1(b)) では CO の吸収が 1571 nm 帯域と比較して約 150 倍大きくなっているために高精度な吸収計測が可能になるだけでなく、吸収量が大きくなったことから水蒸気の干渉が相対的に小さくなるのがわかる。そこで本実験では、貯炭場などで遠隔から CO 濃度を測定することを想定して、波長 2334 nm のレーザーを利用した石炭の反射光から CO 濃度を測定する手法について紹介する。

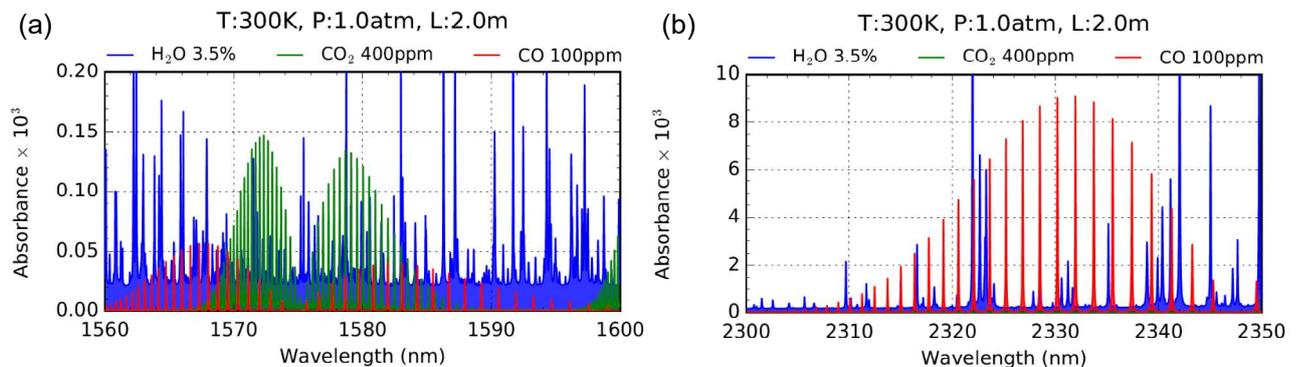


Fig. 1 HITRAN simulation of infrared absorption spectrum of H₂O, CO₂, and CO gases at (a) 1571 and (b) 2334 nm.

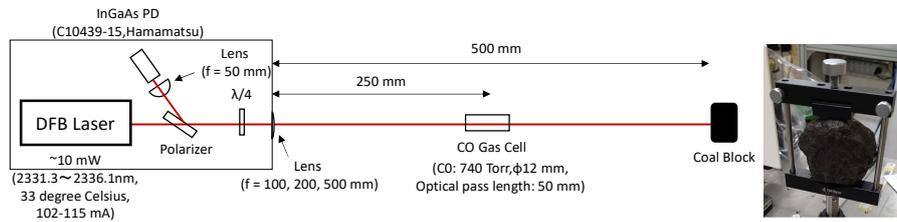


Fig. 2 Schematic diagram of the remote CO absorption measurement system by the reflected light from coal block.

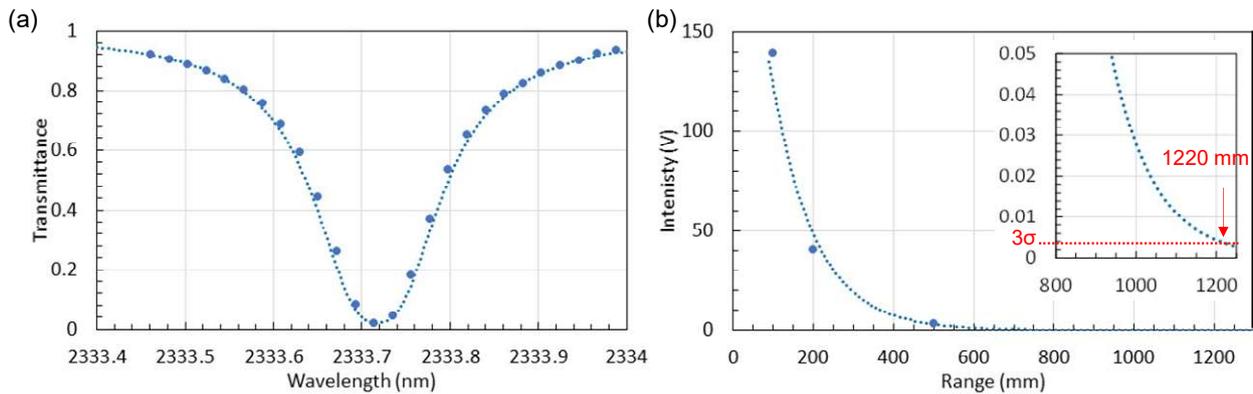


Fig. 3(a) Infrared absorption spectrum of CO gas and (b) Intensity at 2333.714 nm as a function of remote distance.

2. 石炭の反射光を利用した CO の遠隔赤外吸収測定システム

Fig. 2 に実験配置図を示す．使用したレーザーは波長 2334 nm の分布帰還型（Distributed Feedback: DFB）レーザーであり，温度を 33℃として電流を変化（102～115 mA）させることで，波長を 2331.3 nm から 2336.1 nm まで掃引した．レーザーは波長 2334 nm 用のポライザーを透過し，λ/4 波長板によって円偏光に変換された後，レンズで石炭（インドネシア産，セナキン炭）に集光照射される．その光路の途中に，CO ガスの漏えいを模擬したガスセルを設置している．CO ガスセルは直径が 12 mm，光路長は 50 mm であり，封入圧力が 740 Torr のものと参照用として 0 Torr の 2 種類を測定した．石炭からの反射光は集光レンズを利用して同軸で受光し，λ/4 波長板をもう一度通すことで 90° 回転させた直線偏光に戻し，ポライザーで反射させた．石炭反射光は InGaAs フォトダイオード（C10439-15）で受光し，フォトダイオードモジュール用信号処理ユニット（C10475）で記録した．本システムでは同軸光学系を採用していることから，焦点距離の異なる集光レンズを交換するだけで測定距離を変化させることが容易である．

Fig. 3(a)に 500 mm 遠方に設置した石炭反射光による CO ガスの吸収スペクトルを示す．点線は HITRAN データベースを利用した計算結果であり，実験結果とよく一致していることがわかる．ここで，CO の吸収ピークである波長 2333.714 nm での 0 Torr の参照ガスの測定結果の標準偏差の 3σ は 0.003674 であり，透過率変化では 0.140% である．この透過率変化は 5 cm の光路長で CO ガスが 0.266 Torr に相当し，17.5ppm・m の測定が可能である．Fig. 3(b)には測定距離と信号強度の評価結果を示している．レーザーは波長 2333.714 nm（出力：9.6 mW）に固定し，焦点距離 100, 200, 500 mm のレンズで白いスクリーンに集光照射した．焦点距離 500 mm での石炭とスクリーンの測定結果から，石炭の反射光強度に換算して評価した．指数近似の距離依存性を仮定すると，3σ で 1220 mm までの遠隔で CO 濃度の測定が可能である．

3. まとめ

貯炭場や石炭サイロで保管した石炭の自然発火を事前に予測するために，遠隔から CO 濃度を評価する手法を開発している．CO の吸収波長である波長 2334 nm のレーザーの石炭反射光を利用して，500 mm の遠隔から 17.5ppm・m の検出限界で測定可能であることを示した．

謝辞：本研究は千葉大学環境リモートセンシング研究センター共同利用研究により実施された（2022）．

参考文献

- 1) Y. Liang, J. Zhang, L. Wang, H. Luo, T. Ren: Journal of Loss Prevention in the Process Industries 57 (2019) 208.