

火山噴気温度測定用 HSRL のためのファラデーフィルタ設計

川口 海, 阿保 真

首都大学東京 システムデザイン研究科 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

Faraday filter design of HSRL for temperature measurement of volcanic fumarole gas

Kai KAWAGUCHI and Makoto ABO

Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

Abstract: Temperature measurement of volcanic fumarole gas is important to know the activity of volcanoes and to predict eruptions. We are developing a high-spectral-resolution lidar(HSRL) using potassium Faraday filters for remote sensing of temperature of volcanic fumarole gas. We propose new combination of filter parameters by simulation to reduce the temperature measurement error for temperature range of 0-200 degree Celsius.

Key Words: fumarole temperature, high-spectral-resolution lidar, Faraday filter

1. はじめに

噴気温度情報は、火山帯における火山活動の活性化状態を把握するための基礎データとして重要で、近年は火山災害予測や火山活動監視をする上で必要性が高まっている。しかし、これまでの噴気温度測定データは、活動が安定している火山帯や噴火後に測定されたものが多く、十分なデータが得られていない。そこで、噴火する前の噴気活動と火山の活動状態の関連を確認するために火口から離れた地点から、長期間連続測定が可能なライダーによる気温測定手法が求められている。

すでに、噴気温度測定用の可搬型ライダーが提案されている¹⁾が、昼夜間の観測が必須であるため、背景光除去効果を持つカリウムファラデーフィルタを用いた高スペクトル分解能ライダー(HSRL)システム²⁾を提案する。本研究では、噴気孔までの距離 500m、測定噴気温度を 0~200℃の範囲とし、測定誤差が最小となるようなフィルタを設計した。

2. HSRL による気温測定誤差

HSRL による気温の測定原理は、温度並びに衝突により変化する大気分子からのレイリーブリルアン(RB)散乱光スペクトル拡がり、帯域幅の異なる 2 つのフィルタを用いて測定し、各フィルタの透過光信号強度比と気温が一对一に対応することを利用して気温を求める。

HSRL の気温 T_A における気温測定の統計誤差 $\varepsilon_T(T_A)$ は、2 つのフィルタの受信信号の統計誤差 $\varepsilon_S = \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2}$ 、透過率比 $R(T_A)$ および、透過率比の気温に対する感度 $K_R(T_A) = dR(T_A)/dT_A$ より、以下の式で求められる。

$$\varepsilon_T(T_A) = \varepsilon_S \frac{R(T_A)}{K_R(T_A)} \quad (1)$$

2 つのフィルタの透過率比 R は、フィルタの RB 散乱スペクトル透過率 Q_1, Q_2 により、次式で求められる。ここで $Q_1 < Q_2$ とする。

$$R(T_A) = \frac{Q_1(T_A)}{Q_2(T_A)} \quad (2)$$

受信信号の統計誤差 ε_S は 2 つのフィルタの受信信号強度で決まり、背景光を無視すると各フィルタの透過率の逆数の 2 乗に比例する。

3. カリウムファラデーフィルタの最適設計

式(1)の ε_S は、各フィルタの透過率に依存する。一方気温に対する感度 $K_R(T_A)$ は各フィルタの透過率相対感度 $U_Q(T_A) = dQ(T_A)/dT_A Q(T_A)$ の差が大きい方がよい。透過率のパラメータを用いて変形した次式を評価関数として、 E が最小となる組合せが統計誤差最小になる。

$$E = \frac{1}{|U_{Q_1}(T_A) - U_{Q_2}(T_A)|} \sqrt{\frac{1}{Q_1(T_A)} + \frac{1}{Q_2(T_A)}} \quad (3)$$

透過率相対感度 $U_Q(T_A)$ の差を大きくするには、各セル温度に対して、一つのフィルタは $U_Q(T_A)$ が最大となるような磁場強度を選定し、もう一つのフィルタの磁場強度は $U_Q(T_A)$ が最小となる組合せを選べばよい。

Fig. 1 に噴気温度 20℃, 200℃, セル温度 110℃, 150℃における磁場強度に対するフィルタの透過率相対感度特性を、Fig. 2 に磁場強度に対する透過率特性を示す。Fig. 1 より低い磁場領域においてセル温度が高いと最小感度をとる磁場が極端に小さくなり、この磁場領域では Fig. 2 より十分な透過率を得るこ

とが難しいことがわかる。

また、Fig. 1 においてセル温度 110°C、噴気温度 20°C と 200°C の感度差を比較すると同じセル温度であれば低い噴気温度の方が最大最小感度の組合せ評価に適していると考えられる。さらに、最小磁場選定において Fig. 2 より透過率変化がゆるやかであるため、最終的には噴気温度 20°C おいてセル温度毎に式(3)の評価関数により総合的に評価を行なった。その結果得られた最適な組合せは、セル温度 113°C、磁場強度 12.7G と 64G となった。Fig. 3 に最適組合せフィルタの透過特性と RB 散乱スペクトルを示す。

次に Table1 に示した仕様のライダーによる噴気温度に対する噴気温度測定相対誤差を噴気温度 0~200°C の範囲で求めた。先行研究の磁場選定法²⁾により決定された仕様(磁場強度 64G と 304G)と今回得られた最適組合せにおける気温測定誤差の比較結果を Fig. 4 に示す。今回の最適組合せの方が全ての噴気温度範囲で誤差が小さいことが分かる。

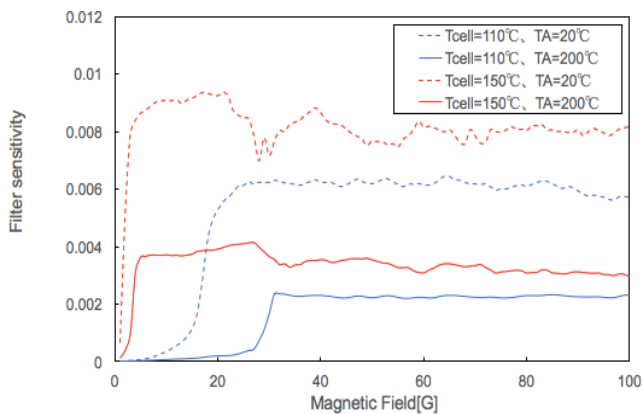


Fig. 1 Filter sensitivity as a function of magnetic field of a filter (Cell temperature(T_{cell}): 110°C and 150°C, gas temperature(T_A): 20°C and 200°C)

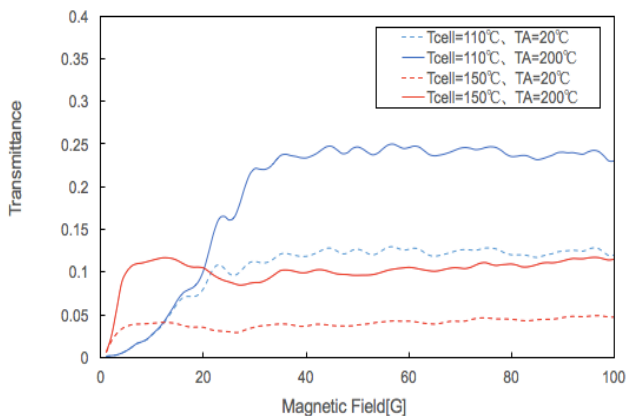


Fig. 2 Filter transmittance as a function of magnetic field of a filter (T_{cell} : 110°C and 150°C, T_A : 20°C and 200°C).

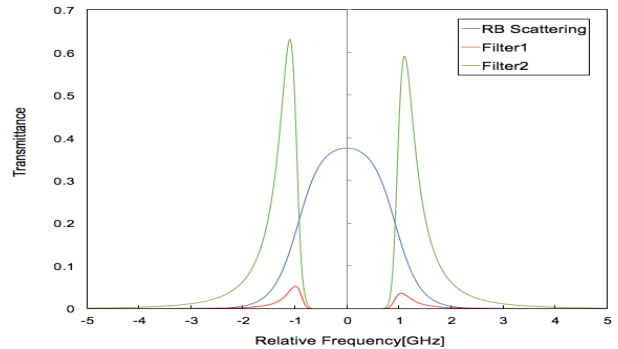


Fig. 3 Optimised filter transmittance (T_{cell} : 113°C, B1: 12.7G, B2: 64G) and Rayleigh-Brillouin scattering spectrum.

Table 1. Lidar parameters for temperature measurement error estimation

Pulse Energy	0.15mJ
Pulse Repetition Rate	10kHz
Wavelength	770.108nm
Telescope Aperture	20cm
Range Resolution	10m
Average Time	10min

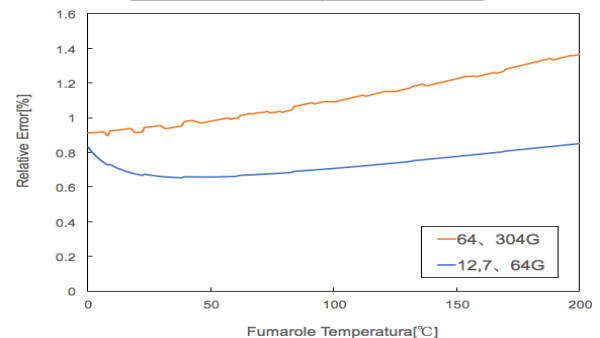


Fig. 4 Relative temperature error as a function of fumarole temperature (T_{cell} : 113°C, B1: 12.7G (Blue line: proposed optimization) / 304G (Red line: conventional optimization), B2: 64G)

4. おわりに

広い噴気温度範囲において、気温測定誤差が最小となるような HSRL 用カリウムフアラデーフィルタのパラメータを新たな評価関数を用いたシミュレーションにより決定した。0~200°C の範囲の噴気温度を相対誤差 1% 以内で遠隔測定する事が可能であることが示された。

参考文献

- 1) 池羽健二他, 第 29 回レーザーセンシングシンポジウム, P-38, 2011.
- 2) 菅原悠真, 第 35 回レーザーセンシングシンポジウム, P-A4, 2017.