

平成 29 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：レーザー分光分析手法を用いたバックグラウンド評価に関する研究
英文：Studies on the background evaluation using laser spectroscopy analysis

研究代表者 岩田 圭弘（東京大学大学院工学系研究科・助教）
参加研究者 関谷 洋之（東京大学宇宙線研究所・准教授）
伊藤 主税（日本原子力研究開発機構・研究主幹）
長谷川 秀一（東京大学大学院工学系研究科・教授）

研究成果概要

キセノン (Xe) を用いた暗黒物質探索実験では、Xe に極微量含まれる希ガス不純物のクリプトン (Kr)、アルゴン (Ar) 及びラドン (Rn) の低減が検出器感度の向上に向けた重要な課題である。また、Super-Kamiokande 実験では、水チェレンコフ検出器にガドリニウム (Gd) を溶かす計画が進められており、バックグラウンドを評価する上で Gd³⁺ イオン発光事象の定量的な理解が必要不可欠である。これらの背景をふまえて、本研究では下記の 4 点を行っている。

- (1) 波長 212.6 nm 紫外パルスレーザー及び飛行時間型質量分析計を用いた共鳴イオン化質量分析法による Kr 濃度分析
- (2) 波長 145.2 nm 又は 178.6 nm 真空紫外パルスレーザーを用いた共鳴イオン化及び電場ドリフトによる Rn 除去手法の検討
- (3) キャビティリングダウン吸収分光法を用いた Kr 及び Ar 濃度分析の検討
- (4) Nd:YAG パルスレーザーを励起光源に使用した Gd³⁺ イオン発光観測系の構築

(1)及び(2)については、昨年度まで日本原子力研究開発機構・大洗研究開発センターにて実施してきたが、今年度については平成 29 年 6 月にセンター内他部署で発生した汚染事故の影響により平成 30 年 3 月中旬まで研究を中断した。現在は研究を再開しており、来年度も継続して実施予定である。(3)については、キャビティリングダウン吸収分光で使用する共振器の構築に向けて、共焦点型エタロンのプロトタイプを設計・製作した。図 1 のとおり曲率半径 $R = 500 \text{ mm}$ の凹面ミラー 2 枚を対向させて、ミラー間距離 L が曲率半径 R と等しくなるよう調整した。2 枚のミラーはミラーホルダーにセットされて

おり、回転及びあおり方向の微調整が可能となっている。出口側のミラーにはリング型のピエゾ素子を取り付けられており、ピエゾ素子に印加する電圧により共振器長を微調整し、フォトディテクタ (PD) で検出される透過光のフリンジをオシロスコープで観測した。図 2 は波長 632.991 nm の狭線幅 HeNe レーザーを入射して観測されたフリンジの一例である。凹面ミラー 2 枚の反射率はこの波長で約 91% であり、ピエゾ素子には 10-90 V の範囲の三角波電圧を印加した。フリンジ間隔は free spectral range (FSR) と呼ばれ、周波数単位で $(\text{光速})/4L = 150 \text{ MHz}$ 程度となる。フリンジ幅 $\Delta\nu$ は FSR 及びミラー反射率に依存し、反射率が 1 に近づくにつれて小さくなりフリンジ形状はシャープになる。観測された HeNe レーザーのフリンジ幅 $\Delta\nu$ は約 9.6 MHz であり、理論値約 9.0 MHz に近い値を得た。理論値との違いは、アライメントの精度及びレーザー線幅によるものである。キャビティリングダウン吸収分光で使用する凹面ミラーの反射率は 99.95% 以上を想定しており、フリンジ幅 $\Delta\nu$ は 50 kHz 以下の計算となる。今後は、共振器の構築に向けて要求されるアライメント精度の評価及びミラー反射率の高い波長域におけるフリンジの観測を進めていく予定である。

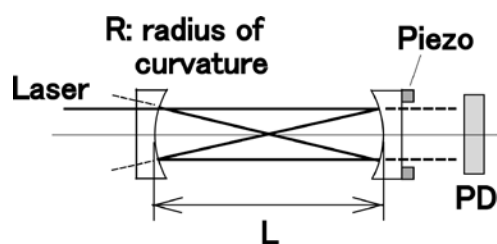


図 1 共焦点型エタロンの構造

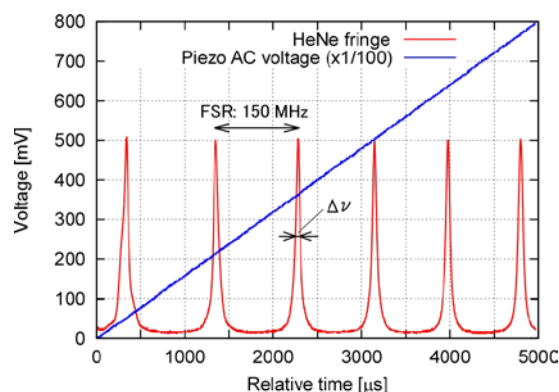


図 2 HeNe レーザーのフリンジ例

(4)については、Nd:YAG 第 4 高調波 (波長 266 nm) のパルスレーザーにより励起した Gd^{3+} イオンが ${}^6\text{P}_{7/2} \rightarrow {}^8\text{S}_{7/2}$ に脱励起する際の波長 312 nm 発光を分光器で検出する観測系について検討した。当該波長の蛍光寿命 $1480 \pm 20 \mu\text{s}$ が他の文献で報告されており (Stefan Lis et al., Journal of Alloys and Compounds **323-324** (2001) 125-127)、今後は観測系の構築及び蛍光寿命の確認並びに当該波長を含む Gd^{3+} イオン発光事象の解明を進めていく予定である。