

光 SSB 変調器をループ内に実装した 光コムキャビティーリングダウン分光センサ構成法に関する研究 Study on system configuration of cavity ring down spectroscopic (CRDS) sensor with optical single side band (SSB) modulator, functioning as optical-comb generator

矢来 篤史 (YARAI Atsushi)

Lambert-Beer の法則に基づく吸光分光法は、あらゆる原子・分子に適応できる普遍的かつ古典的な方法である。その検出感度は吸収光路長に依存して高くなることが知られているが、一方では装置体積が増大するという欠点を有している。そこでレーザの光共振器と同様な構造をもつ cavity(空洞)内に光パルスを閉じ込め、何 1000 回もの間、光パルスが共振鏡を往復することを利用し、実効的に光路長を数 km 程度まで長くする方法が考えられた。それがキャビティーリングダウン分光法(略して CRDS)である。本研究では、従前の大型 bulky 的な Fabry-Pelot 型光共振器を用いるのではなく、光ファイバでリングループを構成し、等価的に光路長を増加させると共に、光 SSB 変調器と光増幅器を実装したセンサ構成法を検討している。すなわち、従来法では ring down 時の波長は固定であったが、本研究では波長掃引もしくは異なる 2 種類の波長を用いる差動型検出法を提案している。

今年度においては、差動型 CRDS センサ構成法について検討した。具体的には、つぎのとおりである。まず SSB 変調器を 10GHz で駆動し、変調で生じた上側波帯と下側波帯を外部から電氣的に切り替えられるしくみを構築し、両波帯間で約 0.16nm の波長シフトをおこない、その CW 光から半導体光増幅器をパルス駆動することでパルス幅 10ns の光を生成した。ここで検出対象ガスとして二酸化炭素を想定し、その R(18)吸収線(波長 1572.018 nm)に対して+0.16nm の波長シフトを可能とした。つぎにパルス光 1(波長シフトなし、つまり吸収波長)とパルス光 2(0.16nm の波長シフト光)を交互に繰り返し、オシロスコープで差動平均化した。なおこれに関する技術的手法については、文章量の制限のため記載を省略する。

その結果、この波長帯においてガス圧約 300 Pa で二酸化炭素の検出可能となった。このとき光強度の減衰寿命(ring down 時間)は、真空時のそれに対し少なくとも 10^4 のダイナミックレンジで検出できていることがわかり、差動法の有効性が確認された。ガス圧を 1200 Pa まで上昇させるにつれては、それを反映した差動検出信号が得られたが、それ以上では逆に検出感度が低下し始め、3000 Pa 以上では検出不可能に陥った。その理由として、吸収スペクトルの圧力広がりの影響により、0.16nm の波長シフト量では原理的に差動動作出来ないものと結論づけた。すなわち光吸収スペクトルが broad となるにつれ、0.16 nm の波長シフトでは不足であることがわかった。しかしごく微量の二酸化炭素を検出する用途に対しては、この波長シフト量で充分であり、今後は検出感度を上昇させ、300 Pa 以下での検出を目指し、検討することにした。