

レーザガスセンシング

高速・広帯域な2μm帯DBRレーザ光源で 内燃機関のCO₂実時間モニタリングが可能に

NTT 先端集積デバイス研究所は、光通信に関する研究開発で培ったレーザ技術を活用したセンシング技術についての研究開発を進めている。2016 年度には、二酸化炭素（CO₂）のセンシングに適した2μm帯のレーザを使った高速・広帯域な波長掃引光源モジュールを開発した。同光源を利用することで、自動車のエンジンなどの内燃機関の燃焼状況をリアルタイムモニタリングできるようになる。同研究所の研究成果を紹介する。

高速・広帯域な掃引が可能な DBRレーザをセンシングに活用

レーザを使ってガスの濃度を測定するレーザガスセンシング技術が注目されている。高速かつ高精度な測定が実現できるという利点があるからである。

NTT 先端集積デバイス研究所（以下、先デ研）においても、通信デバイスの開発で培ったレーザ技術を活用したレーザガスセンシング技術の研究開発を進めている。

レーザガスセンシングでは一般に、波長をある範囲で変化させられる波長可変光源（波長掃引光源）を使用する。センシングの速度は、光源の波長を変える速度によって決まる。

図1に波長可変半導体レーザ光源の代表的な構成とそれらの特徴を挙

げた。この図で分かる通り、「DBR（Distributed Bragg Reflector：分布反射型）レーザ」と呼ばれる方式が高速波長可変できる点で優れている。

一方、センシングの対象となるガスの代表が地球温暖化の原因である二酸化炭素（CO₂）である。CO₂のセンシングに適しているのは2μm帯のレーザである。この波長帯の光は、水（水蒸気）に吸収されにくく、CO₂を高精度に計測できるからである。

そこで先デ研では、2μm帯のレーザを波長掃引できるDBRレーザ光源の開発を2015年度から開始。2016年度には試作機を開発した。「我々には光通信技術の研究で培った高度なレーザ技術があります。DBRレーザについてのノウハウも蓄積しており、2μm帯に対応した



NTT 先端集積デバイス研究所
機能材料研究部
主任研究員 下小園 真氏

DBRレーザ光源の構造を作る事はそれほど難しくありません。ただし、2μm帯のレーザは通信で使っているレーザよりも波長が長い強い歪みをかけた結晶成長が必要となり、それを通信用のインジウムリン系半導体で安定的に実現するには工夫が必要でした。当研究所には、半導体の結晶成長に長けたメンバーが多数存在しています。そうしたメンバーの協力を得て、試作機の完成に至りました。」（機能材料研究部 主任研究員 下小園 真氏）

開発したDBRレーザ光源は、高速性に加えて、5nm超の波長幅を掃引可能という広帯域性を備えている。これによって、複数のCO₂吸収スペクトルを同時に観測可能になった（図2）。

複数の吸収スペクトルを同時に観測できることのメリットは主に2

構成	特徴	原理	高速波長可変	制御性
 外部共振器型(MEMS) 半導体レーザ MEMSミラー	ハイブリッド集積 (半導体レーザ+MEMSミラー)	MEMSでミラー(回折格子)の反射波長を制御	△(ms) MEMSで律速	× 制御が複雑
 DFBレーザアレイ MMI SOA	複数のDFBレーザを 同一基板上に集積	温度でDFBの 反射波長を制御	×(>ms) 温度制御のため遅い	○ 単一電極制御
 DBRレーザ 位相制御層 活性層 波長制御層	光利得と発振波長を 個別に制御可能	電流でDBRミラーの 反射波長を制御	○(<us) 電流制御のため高速	△ 多電極制御

図1 波長可変半導体レーザ光源の代表的な構成と特徴

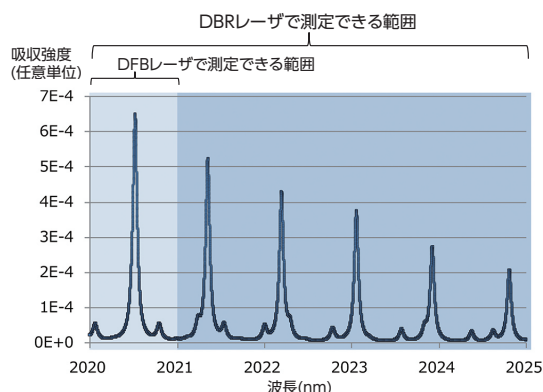


図2 複数の吸収スペクトルを同時に観測可能

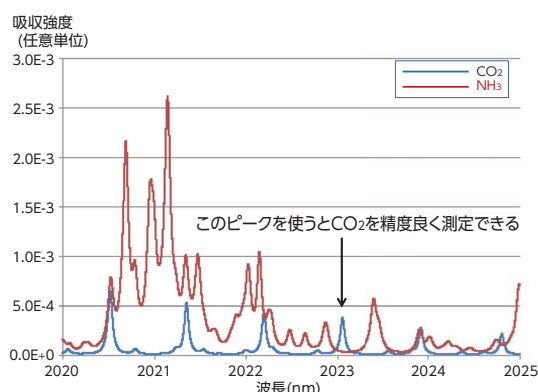


図3 障害要因を排除した高精度な測定が可能

つある。1つは、障害となるバックグラウンドガスの影響を排除した高精度な測定が可能になることである。例えば、同時に存在する別のガスの影響が少ない吸収スペクトルを選択することで、測定精度を向上できる(図3)。もう1つの利点は、温度(複数の吸収線の強度比の変化から算出)と圧力(吸収線幅の変化から算出)を計測できるようになることである。

試作したDBRレーザ光源の外観を図4に示した。14ピンのバタフライモジュールに実装している。「レーザは光ファイバで出力でき、レーザガスセンシングのメリットであるリモート計

測に対応しています。」(下小園氏)

内燃機関の燃焼解析など 新たな分野に適用可能

開発したDBRレーザ光源は、高速掃引に加えて、高精度な測定を実現できる特長を持つ。また、温度と圧力の計測にも対応する。こうした特長によって、従来のレーザガスセンシング技術では適用できなかった新分野への適用が可能になる。例えば、内燃機関のCO₂リアルタイムモニタリングや高温高压下でのガス計測といった分野への適用が考えられる(図5)。「すでに徳島大学と、エンジン内部の燃焼状態解析に関する共同

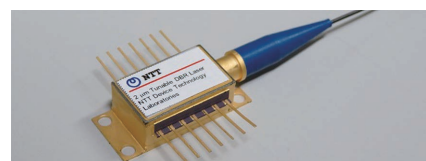


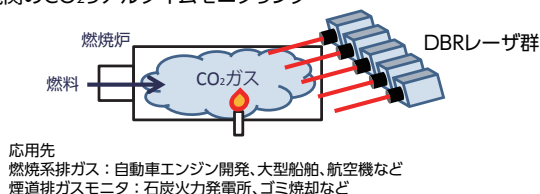
図4 試作したモジュール

研究を開始しています。」(下小園氏)

試作機の完成後は、CO₂などを実際に測定して温度や圧力との関係などの基礎特性データを収集しているという。「2018年5月の時点で基礎特性データの収集については、ほぼ作業が完了しました。特に大きな問題もなく作業は順調です。レーザ光源の特性についても経時変化はほとんどありません。これまでに光通信応用で培ってきた高い信頼性を保証する技術・ノウハウが生かした結果だと考えています。」(下小園氏)

課題は、スムーズな波長掃引を実現するために電流をやや複雑に制御しなければならない点である。「DBR電流のみの制御では、レーザの波長を1nm弱しか連続的に変化させられません。5nm程度連続的に変化させるには、位相電流を含めて総合的な制御をする必要があります。今後は実用化に向けて、誰でも簡単に制御できるドライバの開発を進めたいと考えています。」(下小園氏)

内燃機関のCO₂リアルタイムモニタリング



高温高压下でのガス計測

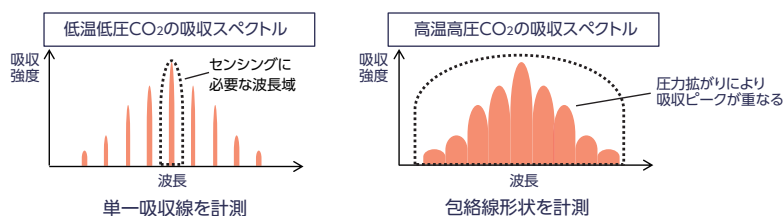


図5 DBRレーザによるセンシング技術の適用分野