

# 植物放出ガスの微量検知に向けた

## 中赤外波長可変レーザー分光システム

湯本正樹, 松山知樹, 和田智之

理化学研究所 光量子制御技術開発チーム (〒315-0198 埼玉県和光市広沢 2-1)

### Volatile plant emission compounds detection using mid-infrared tunable coherent source

Masaki YUMOYO, Tomoki MATSUYAMA, and Satoshi WADA

*RIKEN Photonics Control Technology Team, RIKEN, 2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 315-0198*

Recent study shows trace gas detection using mid-IR laser spectroscopic technologies is useful in various research fields. In this study, we demonstrate the possibility of trace gas detection in agricultural application. Plants and crops releases specific biogenic volatile organic compounds (BVOCs) depend on growth and health condition. By detecting the BVOCs, new technology for monitoring of health condition will realized. We constructed trace gas detection system based on mid-IR laser spectroscopic technique. Detection of trace isoprene gas, which is one of BVOCs, was accomplished and the detection limit reached 1.6 ppb.

**Key Words:** Mid-infrared region, Solid-state tunable light source, Biogenic Volatile Organic Compounds

#### 1. はじめに

植物の放出ガスには、イソプレンやモノテルペン類、セスキテルペン類をはじめとした揮発性有機化合物(BVOCs: Biogenic Volatile Organic Compounds) など、数百種類にわたるガス成分が含まれる。これら植物放出ガスは、大気環境への影響として、大気中の粒子状物質の原料になることが知られており、様々な環境下(日照条件や温度等)における植物ガス放出量の定量計測は、大気環境を評価するうえで重要となる。また植物放出ガス分析の農業分野における応用として、農作物の微量な放出ガスを分析し病害を早期に診断するための新しい技術開発も進められている。植物は、常に病虫害による攻撃にさらされており、これらに抵抗するため、様々な防御機構を発達させている。例えば、植物の過敏反応においては、感染細胞の自発的な死とともに、ファイトアレキシンなどの抗菌性物質や植物のストレスホルモンであるサリチル酸やエチレン、ジャスモン酸などが蓄積され、これらの一部は植物のストレスシグナルとして BVOCs の形で植物体外へと放出される。これらの BVOCs を検出・分析することで農作物の育成状態のモニタリングや、病害等を発見・診断するための新たなセンサーの実現が可能となる。

現在、われわれは、農作物の病害の発見・診断センサーの実現に向けて、植物が放出する BVOCs を、中赤外レーザー吸収分光法を用いて微量検知するためのシステム開発に取り組んでいる。植物放出ガスの成分分析にはガスクロマトグラフ質量分析計が広く使用されている。これはガス中に含まれる様々な BVOCs の検出が可能となる利点があるが、装置が大きく測定に時間を要するといった問題点がある。一方、中赤外レーザー分光法を利用した BVOCs の検出技術が確立すれば、高速な計測に加えて、装置の小型化・可搬型化を行うことで実際の圃場での利用も可能となりうる。本研究では、光通信用の小型半導体レーザーに非線形周波数変換法の一つである差周波発生を利用した中赤外波長可変レーザーを基礎とした BVOCs 検出システムの開発状況について報告する。

#### 2. 実験装置

中赤外波長可変レーザーを用いたガス微量検知系の概略図を図 1 に示す。光源は、近赤外領域で発振する単一周波数動作分布帰還型レーザー (DFB レーザー) と、近赤外光を中赤外光へと変換するための非線形周波数変換用セットアップから構成される。非線形周波数変換には導波路型周期分極反転ニオブ酸リチウム (PPLN) を用いた差周波発生を利用した。差周波発生用のポンプ光用レーザーには波長 1064 nm、出力 100 mW で発振する DFB レーザーを用いた。またシグナル光用レーザーには、複数の DFB レーザーをアレイ状に構成した光源を採用した。1528~1564 nm の波長域で自在に波長選択が可能であり、出力は 40 mW であった。偏波保持ファイバーにより伝送されたポンプ光とシグナル光は波長分割多重 (WDM) カプラにより結合され導波路型 PPLN に入射される。これにより中赤外光が差周波光として出力する。またポンプ

光用のDFBレーザーに印加する電流値を変調することで、差周波発生により出力される中赤外光の波長掃引を行った。出力した中赤外光はヘリオット型マルチパスセル（光路長：76m）へと導入され、セルから射出した赤外光強度を電子冷却型MCT検出器ですることセル内に吸引したガスの透過分光計測を行った。

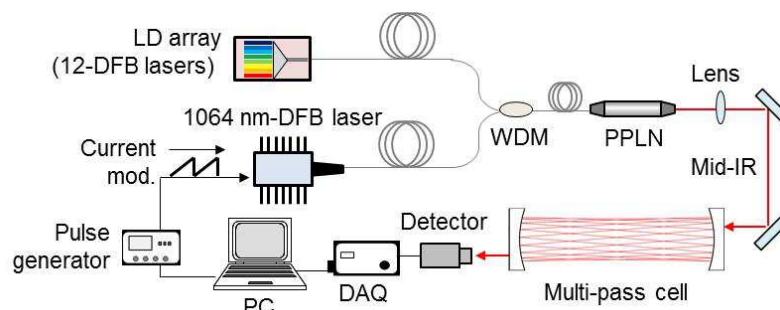


図1 中赤外波長可変コヒーレント光源を用いたガス微量検知系

### 3. 実験結果

本システムを用いてイソプレン( $C_5H_8$ )の分光計測を行った結果を図3に示す。イソプレンは植物が放出する代表的な揮発性有機化合物であり、温度や照度など周囲の環境変化に応じて放出量に変化することで知られている。イソプレンは $2957\text{ cm}^{-1}$ 近傍に特徴的な赤外吸収スペクトルを有する。DFBレーザーアレイから出力されるシグナル光の波長は $1552\text{ nm}$ を選択し、ポンプ光用のDFBレーザー（波長 $1064\text{ nm}$ ）に印加する電流値を変調することで $2957\text{ cm}^{-1}$ 近傍の波長掃引を行った。この電流変調により得られた中赤外光の波長掃引領域は $2950\sim 2964\text{ cm}^{-1}$ であった。 $2957\text{ cm}^{-1}$ 付近における赤外吸収スペクトルの計測に成功し、イソプレンの検出下限を見積もったところ $1.6\text{ ppb}$ の検出下限が得られた。植物が放出するイソプレン濃度は数ppmオーダーであるため植物放出ガス分析には十分な感度が得られている。

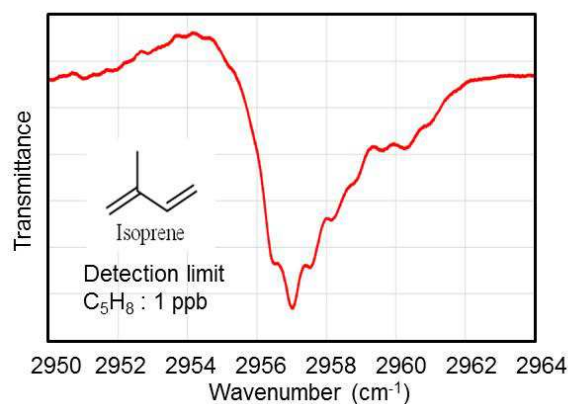


図2 イソプレンの赤外吸収スペクトル

### 4. まとめ

中赤外波長可変レーザーを用いた微量ガス検知システムを構築し、BVOCsの一種であるイソプレンの計測が可能であることを実証した。またイソプレンの検出下限は $1.6\text{ ppb}$ を達成した。実際の植物が放出するイソプレンガス等の検出試験に加え、病気に感染した植物から放出されるガスの微量分析を行うことで農業分野への応用を視野にいれた研究を推進する。また本システムは、早期に実際の圃場で利用することを想定しているため既に開発の進んでいる技術を活用しているが、高温多湿といった圃場環境下における動作試験が必要不可欠である。今後、これらの動作試験および改良も平行して行う予定である。

### 謝辞

本研究は、革新的技術創造促進事業（異分野融合共同研究）「超微量ガス検知技術を用いた園芸作物お病害早期発見/診断センサーの開発」の研究助成の下行われました。