

# 波長可変中赤外線レーザーを用いた吸収スペクトル計測器の開発

## Development of the absorption spectrum measuring device using a wavelength-tunable Mid-infrared laser

桜井雅朗 1) 清野恵祐 1) 富田孝幸 2) 齊藤保典 2)

Masaaki Sakurai<sup>1)</sup> Keisuke Seino<sup>1)</sup> Takayuki Tomida<sup>2)</sup> Yasunori Saito<sup>2)</sup>

1) 信州大学工学部 2) 信州大学学術研究院工学系

1) Faculty of Engineering, Shinshu University

2) Faculty of Engineering Department of Computer Science & Engineering,  
Shinshu University

### Abstract

Recently, a spectral analysis in various wavelength bands is promoted. We get different information of object in observation of each wavelength. However, the instrument of mid-infrared region is expensive, and has not progress two-dimensional measurement. Therefore, we make the laser and the detector in mid-infrared bands. The laser will be made on Optical Parametric Oscillation (OPO) using PPMgSLT as a frequency conversion crystal. The detection system using the Mercury-Cadmium-Telluride (MCT) as the detection element, and will achieve low noise by the confocal optical system.

### 1. はじめに

近年、光学機器の一般化、普及により様々な分野において多波長でのスペクトル解析が盛んになりつつある。信州大学では、これまでにX線から熱赤外の広帯域に亘って画像化を行い、各波長の画像から対象の状態を多角的に探ってきた。X線領域では対象の内部構造、紫外線領域では蛍光情報、可視光領域では対象の形状、近赤外領域では水分含有量、熱赤外領域では温度情報と各波長領域によって物体から得られる情報は異なる。多波長画像解析の概念図をFig.1 に示す。

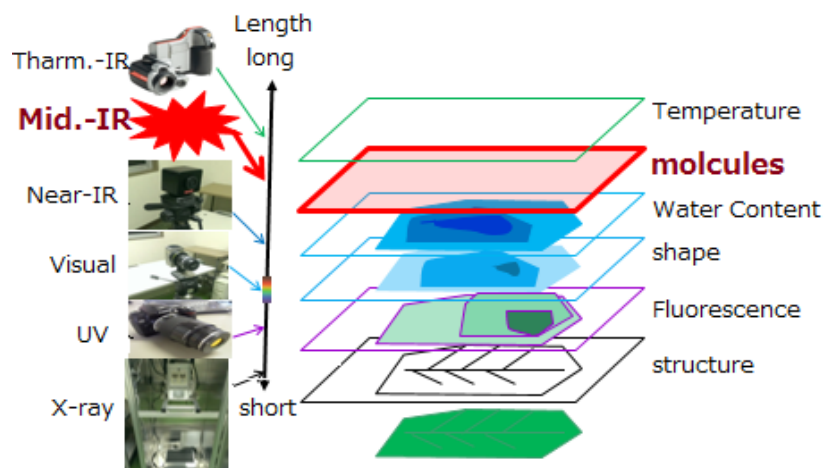


Fig.1 Concept of multi-wavelength imaging observation.

しかし、その一方で中赤外領域における画像化は進んでいない。これは、中赤外領域のレーザー、検出器の開発が一般に進んでおらず、中赤外領域の複数の特定波長に対して解析を行うことが難しいことが原因である。中赤外領域では分子の振動を吸収スペクトルから観測することができ、分子の振動と吸収スペクトルの相関は既にデータベース化されているため、これを用いることで物体の同定が可能である。これは非常に優位な情報であり、多波長スペクトル解析において重要な要素である。

CO<sub>2</sub>排出量増加による地球温暖化や森林減少による砂漠化など、植物と密接な問題が多く存在する。地球環境保全という面から、植物の生理情報を計測することは非常に有用である。植物が吸収、放出を行っている物質には中赤外領域に吸収スペクトルがある物質が多く存在し、これを計測することで植物の生理情報を計測することができ、環境指標の一つにできる。これに加え可変長中赤外レーザーとその検出器を用いることで、複数の波長に対して遠方から対象植物を変質、破壊することなく計測を行えることは非常に優位である。

2014年9月に噴火した御嶽山や今も高い警戒レベルが続いている箱根山など火山活動による人類への被害が問題となり、これらの研究への必要性、緊急性が高まっている。火山活動のメカニズム解明に向けて様々な手法において研究が行われており、現在のような状況下において火山ガス等の継続的観測は極めて重要である。火山ガスの多くは中赤外領域に吸収スペクトルを持っており、スペクトル解析による物質の同定を行うことで火山の活動状態を探ることができる。しかし、その一方で火山毎に火山ガスに含まれている物質が異なり一般化することが非常に難しく、同時に活動中の火山には大きな危険が伴うため測定手法が限られることが問題として挙げられる。そこで、可変長中赤外レーザーとその検出器を用いた遠隔検知を行うことでこれが可能になる。また、同波長帯ではマグマ中の水と重水の同位体交換の割合がマグマ温度と相関があることがわかっているため、これを用いてマグマ温度から火山の活動状況を探ることも可能である。

本研究では、中赤外領域でのスペクトル解析を行うにあたっての基礎実験に必要な光源として可変長中赤外レーザーを構築し、対象となる物質のスペクトルを取得できる検出器の構築を目的とする。

## 2. 中赤外可変長レーザー

光源には対象となる分子振動による吸収範囲での波長掃引が要求される。本研究ではH<sub>2</sub>Oや重水、メタンといった多くの分子の固有吸収波長が存在する3~4 μmの中赤外線光源が必要となる。このために、光パラメトリック発振 (Optical Parametric Oscillation: OPO) の導入が有効である。OPO結晶にPPMgSLTを用い、Nd:YAGレーザー (波長:1064nm) を励起光としてOPOによる発振環境を構築する。FanOut構造の結晶に対し入射軸を掃引することにより、アイドラ光として3.0~3.7 μmの可変域が得られる。XYZステージ上に結晶冷却用ペルチェおよび放熱系を構築し、励起レーザー軸に対し結晶を垂直に動かすことでシステムを構築している。レーザーシステムをFig. 2に示す。

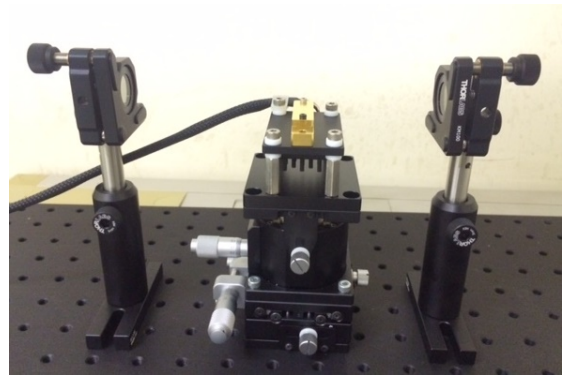
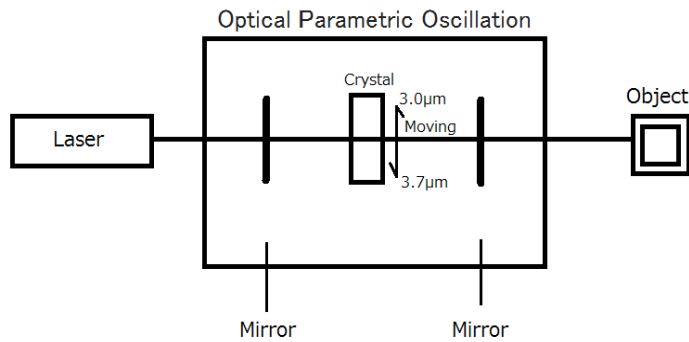


Fig.2 wavelength-tunable Mid-IR oscillator (Right: diagram, Left: Picture)

### 3. 受光検出システム

本実験システムは共焦点光学系，赤外線検出器，冷却空間フィルター，信号増幅器，データ集積機の検出システムと検出器空間掃引用XYステージにて構成される。

波長3~4  $\mu\text{m}$  の中赤外線の検出には，テルル化水銀カドミウム (MCT) 検出器が，感度および帯域の面で適している。MCTには光伝導型 (PC : photoconductive) と光起電力型 (PV : photovoltaic) があり，PC 型の方が取り扱いは容易であるが，PV 型はバイアス電圧を必要とせず，感度の線形性が高いことが利点である。本センサ感度波長は2.5~8.0  $\mu\text{m}$  と広帯域であるため検出対象によって異なるバンドパスフィルターにより感度波長を制御する。また，中赤外波長域の検出では熱雑音を低減が必要不可欠である。このため多段に組んだペルチェ素子を用いて素子温度を約-50  $^{\circ}\text{C}$  に冷却する。これにより検出器が冷却され素子由来の熱雑音は排除可能となる。一方で検出対象外からの雑音の除去などによるS/Nの向上には共焦点光学と冷却空間フィルターが有効である。共焦点光学は蛍光顕微鏡などで用いられる手法であり，2枚のレンズの焦点が観測点と検出器を結ぶように構成される。これによって，観測点から発する光線をより多く検出器まで伝送するとともに，観測点以外からの光線は検出面にて像を結ばないために高いS/Nが実現可能となる。この伝送系における検出器直前にて冷却した空間フィルターを設置して，さらに共焦点光学系によって伝送された光線以外の受光を防ぐことが可能となる。中赤外共焦点検出のシステムをFig. 3に示す。

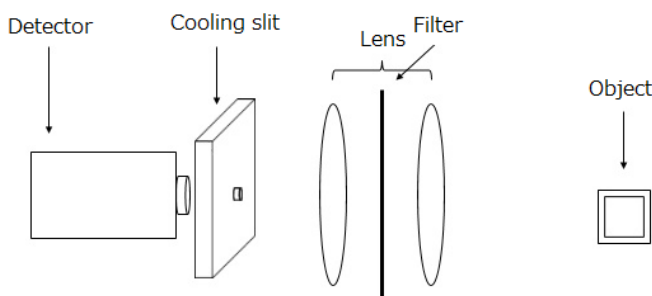


Fig. 3 Mid-IR Detection System (Right: diagram, Left: Picture)

さらに、この検出システムで得られた1点での情報を1ピクセルとし、Fig. 4に示すように検出器空間掃引用XYステージにてレーザー照射位置、検出位置を同期して移動させることで、特定の波長における受光強度の空間分布の画像化を実現する。現在の共焦点光学系の設計では観測点は奥行き方向への5 mmの変異の場合に1 mmの観測点サイズとなるため、XYステージの掃引分解能も同等の1 mm程度が望ましく、また高速な観測を実現するため掃引の自動化も求められる。このため、直交するスクリーンをステッピングモーターにて回転を制御し、検出システムの搭載したステージの位置を正確に移動させるシステムを考案設計中である。

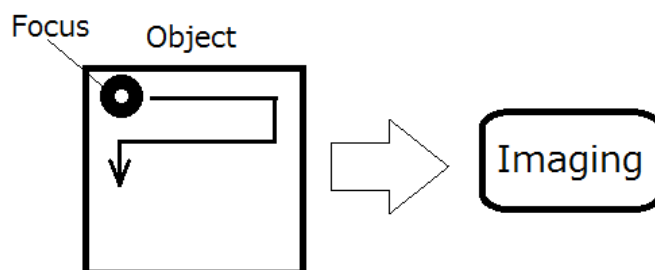


Fig. 4 Conceptual diagram of imaging system

#### 参考文献

- 1) 富田孝幸, 稲垣昌樹, 湯本正樹, 斎藤徳人, 高木うた子, 和田智之, 川原琢也, 中赤外波長可変LIDARの検出システムの開発, 第60回応用物理学会春季学術講演会, 2013(Mar. 27)
- 2) 富田孝幸, 和田智之, 斎藤徳人, 湯本正樹, 中赤外波長可変レーザーを用いた気相化学剤の遠隔検知, 第31回レーザセンシングシンポジウム 2013(Sep. 12)