

# 高精度な環境モニタリングを可能にする 革新的赤外光源の開発



上原日和

## はじめに

発電施設、工場施設などの安全かつ安定な運転のためには、それら施設の内外におけるガスや液体等の成分を常時測定する「環境モニタリング」が必須です。また、医療分野では、呼気に含まれる微量のガス成分を検査する「呼気診断」が、コロナ患者の重症化リスクを判断する有効な方法の一つとして期待されています。このような成分分析の手法の一つが、可視光線よりも長い波長の光である赤外線を用いる方法です。一般的な分子は赤外線を強く吸収する性質を持ち、それらが吸収する光の波長（吸収波長）は分子の種類によって異なります。そのため、赤外線を物質に照射し、その物質を透過してきた光が、どの波長でどの程度、吸収されて弱くなっているかを計測することで、存在する分子の種類と量がわかります。中赤外線（波長2～15マイクロメートル）と呼ばれる光の中でも、特に波長3～5マイクロメートルの領域は、大気中で光が減衰せず、様々な分子の吸収波長が多数存在するため、成分分析での利用に適しています。

著者は、次世代の成分分析技術として、赤外線と光ファイバーを利用した「赤外光ファイバーセンサー」の開発研究を進めています。光ファイバー自体をセンサー化することで、遠隔・リアルタイムでの高精度な分析が可能になります。このシステムでは、赤外線を特殊な構造の光ファイバーに伝送させ

ますが、そのための光源は、中赤外線を高輝度で安定的に発生し、効率良く光ファイバーの中へと送り込めるものでなければなりません。さらに、小型で安価に作製できる実用的な光源が望まれます。そのため、このような条件を全て満たす赤外光源を開発する必要がありました。著者は、これまでに中赤外波長の高出力レーザー開発において多くの業績を残しており、そこで培った技術と学術的知見を活用することで、革新的な計測用赤外光源の創出を目指しました。

## モニタリング用中赤外線光源の開発

2020年度、著者と秋田県立大学・合谷賢治助教の研究グループでは、広い波長範囲の中赤外線を高輝度で安定して発生する光源を新たに開発しました。この光源は自然放射増幅（ASE）光源<sup>※1</sup>と呼ばれるファイバーレーザーの一種で、研究グループは、これを用いて、従来になかった広範囲な波長（2.5～3.7マイクロメートル）でなおかつ高輝度で安定した中赤外線を発生させることに成功しました（図1）。このASE光源は、材料から独自開発した特殊なフッ化物ガラス光ファイバーの採用によってダイオード励起が適用可能になり、従来になく小型で安価な構成を実現しました。さらに、発生した光はビーム品質<sup>※2</sup>が高く、中赤外線を効率良く伝送用の光ファイバーの中へと送り込めることがわかりました。これにより、開発した光源が、赤外光ファイバーセンサーに適用可能であることを示すことができました。

さらに著者は、2020年度、大阪大学レーザー科学研究の時田茂樹准教授、並びにモスクワ大学の研究グループと共同で、センシング用の中赤外固体レーザーを世界に先駆けて開発しました。このレーザーは、鉄2価イオンを添加したセレン化亜鉛結晶を発生源に用いており、3.8～5.1マイクロメートルの範囲で自由に波長を選択することが可能です。この光源のもう一つの特長として、高い出力を保ったまま、従来の40倍もの速い繰り返し周期の光パルスを発生できることが挙げられます。この性質を利用することで、高速でリアルタイム性の高い環境モニタ

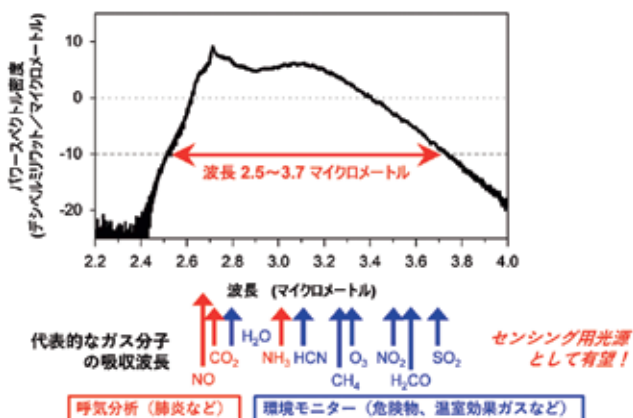


図1 開発した自然放射増幅光源が発する光のスペクトル。下段は主なガス分子の吸収波長を示しています。本光源が発する光の波長範囲には多くの分子の吸収波長があります。そのため、本光源は様々な成分分析に利用できます。

ニタリングが実現できます。また、ASE光源と同様、ビームの品質が極めて高いため、赤外光ファイバーとの相性に優れています。

これらの独自開発した中赤外光源を組み合わせれば、成分分析に重要な波長3~5マイクロメートルの領域が完全に網羅されます。これを使って著者らが開発研究を進めている「赤外光ファイバーセンサー」が実現すれば、高速・高精度な成分分析が可能になり、幅広い応用が期待できます(図2)。

例えば、工場施設では、施設内外に光ファイバーを張り巡らせて、窒素酸化物、硫黄酸化物、炭酸ガス等の温室効果ガスをリアルタイムで監視できます。将来の核融合発電所では、温室効果ガスは発生しませんが、水蒸気や炭化水素などの測定に利用されます。私たちに身近なところでは、微量なメタン及びブタンを検知するガス漏れ検知器、シックハウス症候群の原因であるホルムアルデヒドの測定への応用も期待できます。さらに、医療分野では、呼気診断に応用されれば、呼気中の一酸化窒素濃度を即時に測定できるようになり、コロナ患者の重症化リスクの迅速な判断が可能になります。

### 今後の展開

著者は今年度より、秋田県立大学、横浜国立大学の研究グループと新たにチームを結成し、本光源を用いた赤外光ファイバーセンサーの開発研究プロジェクトを立ち上げました。このプロジェクトでは、既に、世界で初となるフッ化物光ファイバーでのガスセンシングを実証しており、現在、

金属のナノ構造体を使った高感度化を試みています。今後、核融合分野をはじめ、産業・医療分野における社会実装を目指し、本腰を入れてセンサーデバイスの研究を進めてまいります。

(高温プラズマ物理研究系 助教)

### 参考論文

Kenji Goya, Akira Mori, Shigeki Tokita, Ryo Yasuhara, Tetsuo Kishi, Yoshiaki Nishijima, Setsuhisa Tanabe and Hiyori Uehara, *Scientific Reports* 11 (2021) 5432. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84950-y>

### 用語解説

※1 自然放射増幅 (ASE) 光源：特殊な原子や分子の発する蛍光を誘導放出という現象を使って増幅したもの。レーザーの一種だが、一般的なレーザー光源と比較して波長の幅が広い性質を持つ。光通信に使われる波長 (1.3及び1.5マイクロメートル) のものがよく知られているが、最近、波長2.0マイクロメートルのASE光源が製品化された。2.0マイクロメートルよりも長い波長のASE光源は希少で、市販されていない。

※2 ビーム品質：レーザー光源が発するビームの形状の整い具合のことを、ビーム品質という。ビーム品質が高いほど、レンズで絞った際に、焦点でのビームのサイズが小さくなる。今回開発した赤外光源は、ビーム品質が極めて高いため、効率良く赤外線を光ファイバーの中に送り込むことができる。

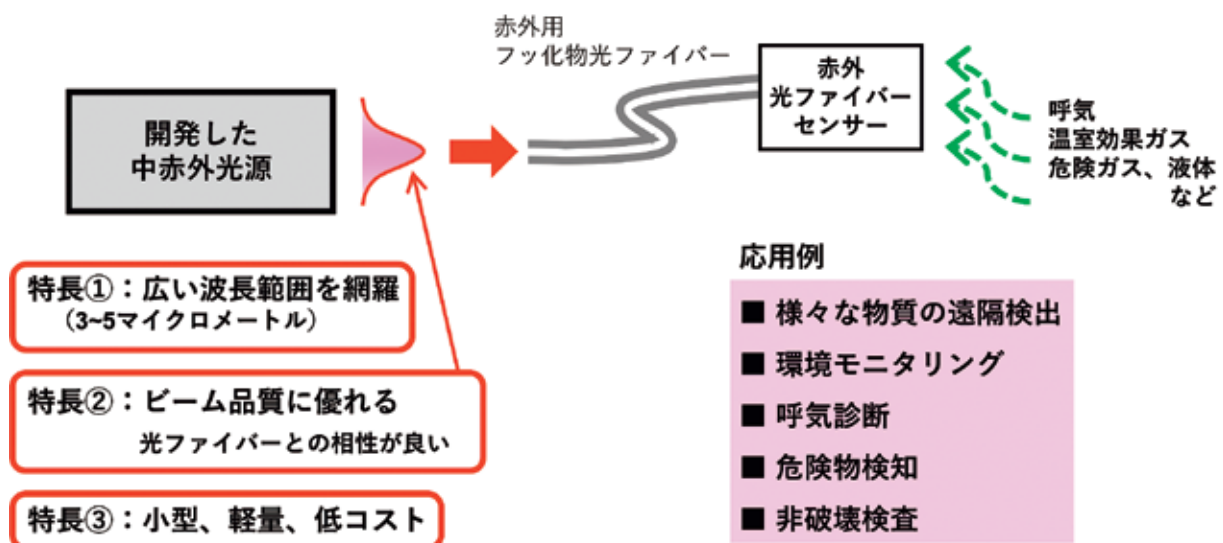


図2 本光源の特長と赤外光ファイバーセンサーの概念図、並びにその応用例。著者の構想している赤外光ファイバーセンサーでは、中赤外線を伝送可能なフッ化物ガラス光ファイバーをセンサーにします。一般的に普及している石英ガラス製の光ファイバーは、ガラス材料に赤外線が吸収されてしまうため使えません。今回開発した光源は、フッ化物ガラス光ファイバーとも相性が良く、赤外光ファイバーセンサーに適用可能であり、様々な応用が期待されます。