

学位論文紹介

千葉大学大学院融合理工学府地球環境科学専攻

杉本 幸代 博士(理学), 令和3年9月28日取得

論文題目

ラマン効果を用いた局所水素ガス非接触計測手法に関する研究

キーワード

ラマン分光法, CARS法, 水素, 非接触計測, バイスタティックライダ

要旨

ガス計測には多種多様なニーズが存在し, リアルタイム計測が求められる現場では, ガスセンサが多く用いられているが, 低濃度用のセンサが高濃度のガスに触れると暫くの間正確な濃度計測が不可能になる, 炉内など高温の場所の計測が不可能である, センサの設置やガスの吸引によるガス流の阻害により流動を伴うガスの正確な濃度計測が不可能であるなど, 適用が困難な場合もある.

ガスセンサの適用が困難なこれらのケースにおいて, 光による非接触ガス計測は非常に有効な手法であり, 我々はこれまでに, クリーンエネルギーとして期待されている水素を計測対象として, ライダとしては比較的近距離の数m~数十mを計測範囲とし, 水素ステーション等の保安に資する遠隔計測装置としてラマンライダを開発してきた. 水素濃度計測には, 主に接触燃焼式, 半導体式, 気体熱伝導式のセンサが用いられている. これらは非常に有用であるが, 前述したセンサの適用が困難な場合に加え, 水素センサは応答に数秒~数十秒の時間を要するため, 微量漏えい時の漏えい位置の特定には課題がある. ライダ計測技術は, 遠隔からの計測が可能である点では非常に優れているが, ライダの空間分解能は搭載しているレーザ装置のパルス幅に依存し, 我々がこれまでに開発したラマンライダの空間分解能は約200mmである. 水素の流動に関する研究などで流れの中の濃度を計測する必要がある場合, 空間分解能が高い計測技術が望ましい. また, ラマンライダではストークス光を検知するが, 計測箇所の背後に近接してレーザ誘起蛍光を発する物体が存在する場合, レーザ誘起蛍光も励起光に対し長波長側に発生するため大きな外乱となり, 配管等が入り組んだ場所においては, ラマンライダでの漏えい位置の詳細な探査は困難である.

そこで, 本研究では, 計測対象を水素とし, ラマン散乱のストークス光, または, アンチストークス光を検知することにより, 空間中のごく限られた範囲のガス濃度を計測する手法の確立することを目的とした. いずれの手法においても, 一般的な水素検知器の警報設定値である500ppmを目標検知濃度とし, 目標計測時間については水素センサの計測時間以下の高速計測を目指し1秒とした.

ストークス光を捉える手法においては, 送受信光学系を分離して配置するバイスタティック方式のライダにより, レーザ光を1mm ϕ として計測箇所に照射し, レーザ光の偏光面に対し直交する方向から, 受光系視野で特定の奥行位置に焦点を持たせ, 水素のラマン散乱光を計測する手法を考案した. 計測箇所と集光レンズの離隔距離を750mmとし, 計測時間を1秒として, 濃度100ppm以上においてラマン信号強度が水素濃度に対し良好な線形の相関を示す高感度, 高速計測を実現した. 計測範囲について評価し, 幅7mm, 高さ1mm, 奥行1mmの範囲のラマン散乱光を受光していることを確認した.

アンチストークス光を捉える手法においては, CARS (Coherent Anti-Stokes Raman Spectroscopy: コヒーレントアンチストークスラマン散乱) 法を適用した. レーザ光を二分岐し, 一方の光路にラマンセルを配置してストークス光を発生させ, もう一方の光路に入射するレーザ光をポンプ光として, それらを同時, 同軸で水素に照射してアンチストークス光を発生させる二軸型光源を考案した. また, 2個のプリズムを用い, プリズム間(10mm)の範囲に存在する水素を計測するセンシング光学系と, 7枚のミラーを用いた7関節導光路を接続して, ガス漏えい位置探査のためのプローブを製作した. それら組み合わせ, 計測時間を1秒として, 水素濃度200ppm以上において水素の検知を実現した.

本研究では, ラマン効果を用い, 局所ガスを非接触計測する手法について検討を行い, これまでに実現が困難であった流れ中のガス計測や, これまでにない方法によるガス漏えい位置の探査を可能とする手法を確立した.