

オープンパス FTIR による大気中気体試料の位置測定

- 測定位置精度と検量線の検討 -

(東農工大・日本分光(株))○小林 大起、吉村 季織、高柳 正夫、福山 裕介、山田 晃、
中静 真、堀尾 正靱、赤尾 賢一、名越 利之

<緒言> 人間活動や植物の成長、その他の自然現象により発生するガスの中には、ダイオキシンや NO_x など人体に影響を及ぼすガスや、 CO_2 や N_2O など地球温暖化につながるガスなども存在し、それらのガスの状況を把握することは非常に重要である。分布しているガスを算出する方法として、従来法では実際にその場に測定機器を持ち込んで観測を行うか、ガスをサンプリングしていた。しかしこれでは情報を「点」としてしか得られないため、局所的な情報しか得ることができない。近年、赤外光を分光光度計から取り出して装置外部の空間の吸収を測定することのできる、オープンパス FTIR (OP-FTIR) 分光法による一次元での測定が行われている。OP-FTIR で得られるのは一次元の積算濃度でしかないが、様々な方向から観測して得られたデータを Computed Tomography (CT) の手法で処理することで、目的のガスの 2 次元分布を算出することができる。

そこで我々は、できるだけ少ない装置を使い、20 光路を測定することのできる光学系を組んだ。今回は、この 20 光路光学系の性能について考察した。また、精度の良い試料濃度の観測のために必要な検量線をいかに求めるかについての考察も行った。

<実験> 167 cm×167 cm の測定領域について観測を行った。測定には、フーリエ変換型赤外分光光度計(日本分光 VIR-9500)を用いた。この分光光度計には、首振りのできる潜望鏡型の赤外光取り出し装置がついており、これによって水平面上の任意の方向へ赤外光を射出できるようになっている。この分光光度計と 2 組の可動式の平面ミラーとコーナーキューブミラーのセットを用い、この測定領域を、横方向 5 光路、縦方向 5 光路、放射状 10 光路の計 20 光路でカバーして赤外吸収の測定を行う光学系を製作した(図 1)。

ポリプロピレンフィルムを側面に張った半径 15 cm の円柱状の測定セルを作製した。このセルにエタノール蒸気を封入し、測定領域内に置いて測定を行った。

それぞれの光路について、実測だけではなく、どのような赤外吸収強度(相対強度)が得られるかを理論的に計算した。実測および計算により求めた赤外吸収のデータは、それぞれ SP (Smoothing along Path) 法と ART (Algebraic Reconstruction Technique) を組み合わせた CT¹⁾ により処理をして、二次元ガス分布を算出した。また、本光学系の性能を評価するために、斜め方向の光路を除いた 10 光路のデータのみを用いた二次元ガス分布の算出も行った。

<結果> これまでにも、今回と同様の方法で二次元ガス分布を測定した例は報告されてい

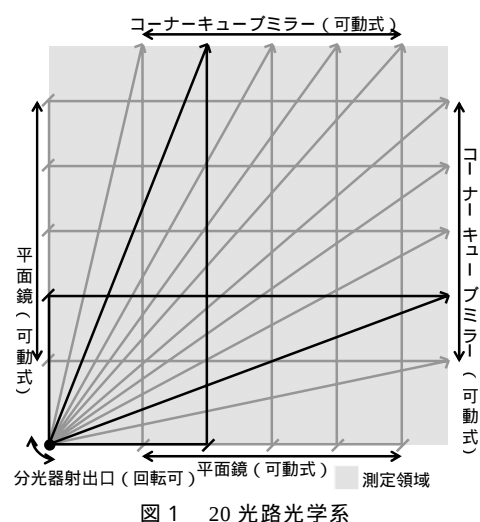


図 1 20 光路光学系

る。しかしそれらの例では、いきなり現実の大気中に分布しているガスについての測定を行っているために、観測された分布がどれだけ真の分布を再現しているのかについての十分な検討が行われていない。それに対して本研究では、セルに封入された試料についての測定を行っているので、試料ガスの場所と形状を既知、すなわち図 2 左のように円形で均一なガス分布であるとして、解析結果の良否や精度を検討することができる。

図 2 に、測定領域内に 2 つの試料セルをいろいろな位置で配置したときの結果を示した。左端に示した 3 つの試料ガスの配置のそれぞれについての解析結果が示されている。実験データから CT により算出された 2 次元ガス分布画像が、それぞれの配置上段に示されている。横方向に配置した場合(図 2 配置 1)には、20 光路の測定結果を用いた解析でも、縦横のみの 10 光路を用いた解析でも 2 つの試料の分布を正しく再現できた。このとき 20 光路では、ゴーストも少なく良好な画像が得られた。一方 10 光路では円形である実際のセルの形状を良く再現できた。これは、10 光路では光学系が均等に配置されているためである。

これに対し、図 2 の配置 2 や 3 のように斜めに配置した場合については、20 光路のデータを用いた解析では正しく 2 つの分布を再現できたが、10 光路では 4 つの分布が存在するとの解析結果となってしまった。

これは、10 光路のデータ数が少ないためではなく、斜めの光路が無いために 2 つの試料を斜めの置いた場合と 4 つの試料をおいた場合を区別できないことに起因している。

理論的に計算で求められたデータから算出された二次元画像(図 2 各配置下段)は、実測結果から求めた二次元画像を良く再現していた。このことは本光学系が非常に理想的に機能していることを示している。しかしながらどの配置においても、画像の分布の位置は、実際の試料の配置からずれていた。また、20 光路光学系では分布の形状が歪んで再現されていた。前者は光路の交点が試料分布の中心とずれているために、また後者は光路によって切り取られる空間が場所によって不均等となり、空間ごとの再現精度が異なるためだと考えられる。測定領域を均等に測定できるような光学系の開発、CT アルゴリズムの改良が今後の課題である。

精度の良い試料濃度の観測のために、検量線の温度依存(回転温度の変化に伴うバンド形や強度の変化)を検討している。また、目的ガスのスペクトルを正しく解析するために、それ以外のスペクトルと分離しなくてはならない。特に常に大気中に存在する水と炭酸ガスのバンドの温度や湿度、圧力依存性についても検討を行っている。

<参考文献>

- 1) 福山 裕介、山田 晃、高柳 正夫、吉村 季織、中静 真、堀尾 正勲、赤尾 賢一、名越 利之
オープンパス FTIR-CT 法を用いた大気中ガス濃度分布の二次元測定
平成 15 年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集

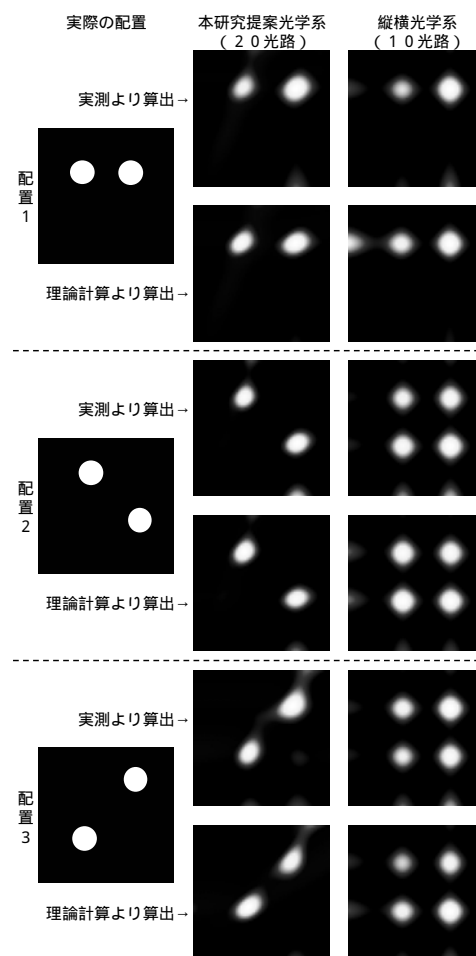


図 2 光路と 2 次元分布画像の関係