

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月31日現在

機関番号：35409
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21560456
 研究課題名（和文） アイセーフレーザを光源とする空間光通信網を利用した温室効果ガス計測システムの開発
 研究課題名（英文） Development of a monitoring system for Green-house effect gases using the free space optical network with eye-safe lasers
 研究代表者
 香川 直己（KAGAWA NAOKI）
 福山大学・工学部・教授
 研究者番号：80258300

研究成果の概要（和文）：空間光通信・ガス濃度同時計測システムの開発および試験運用を行い、通信効率に支障をきたさない最適なガス吸収線を明らかにするため、実験と計算機シミュレーションにより通信における信号対雑音比（S/N）とガス濃度計測における S/N の関係を調べた。また、受信光強度、および、ガス吸収量の変動と通信光路上の大気擾乱の相関を明らかにするため、光路に沿った複数の風向風速を複数の超音波風速計で計測するシステムの開発を行い、屋外計測を試みた。

研究成果の概要（英文）：To select some gas absorption lines which were available for both gas monitoring and optical communication in the signal to noise ratio (S/N), a prototype system was developed and executed in-door and out-door experiments. A system with up to three ultrasonic wind velocimeters for monitor wind velocity along with the experimental optical path was also developed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：温室効果ガス、空間光通信、ガスフラックス、ネットワーク計測、アイセーフレーザ

1. 研究開始当初の背景

赤外線を共鳴吸収する温室効果ガスは、地球の熱収支を担っており、自然界において不可欠な物質である。しかし近年、その大気含有量のバランスが崩れ、地球温暖化が社会問題となっていることは周知であるが、特にメタン（CH₄）、亜酸化窒素（N₂O）の様な希薄なガスの動態は詳らかでない。現在、温室効果ガスの発生要因、発生量、時期、拡散機構は、

室内モデル実験や実環境における0次元観測（point detection）などの微視的な方法や、リモートセンシング、レーザレーダを用いた高層からの巨視的な観測からトップダウン方式で推定することが主流となりつつあるが、地球全体のガス収支を、より正確に把握するためには、地表付近のガスフラックスの実測が不可欠である。しかしながら、係る既存の測定法はチャンバー法、傾度法や観

測槽を用いた渦相関法などである。あるいは、二酸化炭素の場合であれば、固体センサーを用いた多点ネットワーク計測が考えられるが、環境問題に関心が高まっているとはいえ、有効数の観測ポイントを確保するのは容易ではない。

本研究に関連する内外の動向を挙げる。簡便なメタン計測装置が東京ガス(株)とアンリツ(株)により製品化(SA3C15A)されているが、流量計測の手段の確立が課題となっている。一方、レーザによる風速測定は三菱重工(株)より特許出願(特開2005-106546)されているが、設置型の重厚なシステムとなっている。よって当該研究は、既存の渦相関法に匹敵する計測精度を有し、かつ、機動性の高いガスフラックスの一計測法を提示できるものとする。加えて、空間光通信網を利用した環境大気計測システムの前例はなく、新たな環境計測の一手法として、装置の普及手段の提案がなせるものと期待できる。

2. 研究の目的

通信インフラの整備に伴い、ビル間通信やラスト1マイル問題の解決手法として注目されている空間光通信(FSO: Free Space Optics)網を利用して、広い領域の地表から発生する二酸化炭素、メタン等の温室効果ガスを接地境界層への輸送量(ガスフラックス r)を無侵襲かつ実時間で測定できる計測システムを提案し、そのプロトタイプを運用することで、計測と通信を統合した提案手法の実効性と問題点を明らかにする。

3. 研究の方法

当該研究期間開始までに、波長 $1.3\mu\text{m}$ 帯で発振する半導体レーザを光源とした吸収分光分析装置と、同レーザ光線のシンチレーション現象を利用した風向風速計を統合したガスフラックス測定装置のプロトタイプによる大気中水蒸気を対象とした試験運用を実施し、吸収分光分析系の信号対雑音比(S/N)と測定時間の不足の改善を目的とした後継システムの製作を終え、その基本性能を確認していた。また、メタン(CH_4)、二酸化炭素(CO_2)を発振波長帯に含む $1.6\mu\text{m}$ 帯半導体レーザを光源に転換したレーザ駆動回路と光学系も構築し、メタン吸収スペクトルの習得が可能であることを確認していた。

そこで、補助金の交付を受ける3カ年においては、ガス濃度計測と空間光通信の同時運用の可能性の検討、通信に支障を来さない最適な吸収線の選択とその条件の確定、通信容量とガス濃度計測精度の関係の確認、空間光通信方式によるガスフラックス計測の可能性の実験的調査、波長多重方式による異種ガス計測の可能性をテーマに掲げ研究を進め

ることとした。

4. 研究成果

(1) ガス濃度計測と空間光通信の同時運用の可能性の検討

ガス濃度の計測原理は赤外レーザ光線のガス分子による共鳴吸収量の抽出であるため、選択する吸収線の吸収係数に因っては、受信光パワが極めて減少し、通信に障害を与える可能性がある。提案するシステムは通信距離を数100mから1kmとし、副搬送波を用いたBPSK方式としている。

半導体レーザは、注入する駆動電流で出力パワが増加すると共に発振波長も変化する。この特性を利用することにより、符号通信と濃度計測を同時に行おうというものである。図1はこの原理の模式図である。簡単化のために、駆動電流による出力光パワの増加(ベースライン)と、同じく注入電流による変動波長域内にある一つのガス吸収線により連続的に受信光パワが変動する現象を分離して示している。例えばBPSK変調による符号通信を行う場合、2値の符号に対して、相互に逆位相の変調信号を割り当てることになる。ベースラインに対しては、それぞれの位相の変容信号がそのまま出力光パワの変動として受信される。一方、吸収線による単峰現象が生じた波長域では、受信光パワは変調信号の2倍の周波数を持つ変調信号の位相に因らない受信光パワ変動となる。従って、変調信号と同一周波数かつ同位相の信号により同期検波をした場合、符号を復調することができる。一方、変調信号の2倍の周波数を持つ信号で復調をした場合、吸収量に対応した信号を検出することができる。

実際は、ベースラインと吸収線による減衰が重畳する。図2は使用する半導体レーザの特性に鑑み、発振波長域に一本の吸収線が含まれる場合の、吸収線中心付近における受信

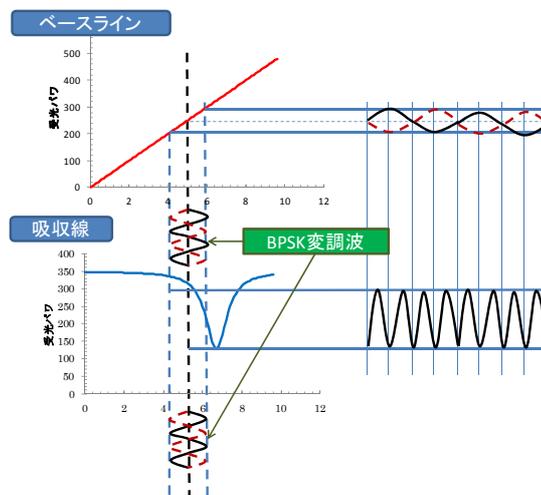


図1 提案システムの信号処理の原理

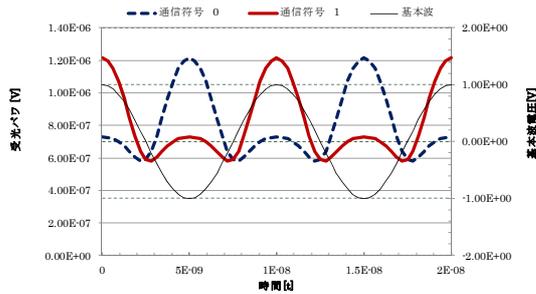


図 2 受信信号のシミュレーション結果

光強度を計算機によりシミュレーションした結果である。黒の実線が変調信号、青の破線、および、赤の実線がそれぞれの符号に対応した受信信号である。

次に、以上の計算機シミュレーション結果を受けて、実機による検証を行った。実験は長さ 0.9 m のセルに一定流量で循環させたメタンガスを対象とし、図 2 と同一のレーザ駆動条件で行った。図 3 は、受信光強度の取得結果である。実験では、符号切り替えを行っている。図 3 においては時間軸の時刻 0 において、符号の切り替えを行っている。黒の実線は、基準となる変調信号であり、この信号の位相を反転することにより符号に割り当てている。赤の実線が受信光信号であり、図 2 の赤の実線および青の破線と同じ結果が得られていることが分かる。また、青の実線は基準信号(黒の実線)により受信信号(赤の実線)を復調した結果であり、符号の変化が現れている。

一方、復調精度の向上には、受信信号の波数すなわち変調信号の波数を多くする必要があるが、波数の増加は通信レートにも影響する。1 符号当たりの変調波数に対する符号ならびに吸収量の復調結果を調べた結果を図 4 および図 5 に示す。図 4 は 1 符号に含まれる波数に対する符号の変調結果を示し、赤の実線は符号 1 に対して、吸収線を含む場合、赤の破線は符号 1 に対して、吸収線を含まない場合の結果である。また、同様にした符号 0 に対する結果を青の線群で示している。

一方、図 5 は変調信号の 2 倍周波数波で復調した結果であり、吸収線がある場合と内場合を示している。

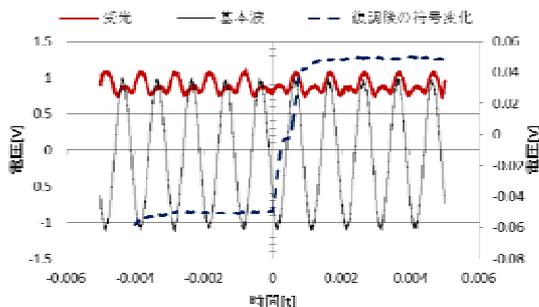


図 3 変調および復調実験の結果

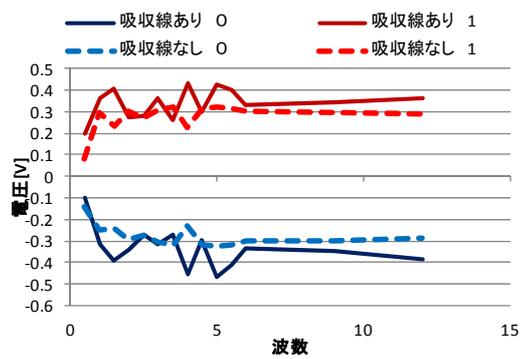


図 4 1 符号当たりの変調波数に対する符号の復調特性

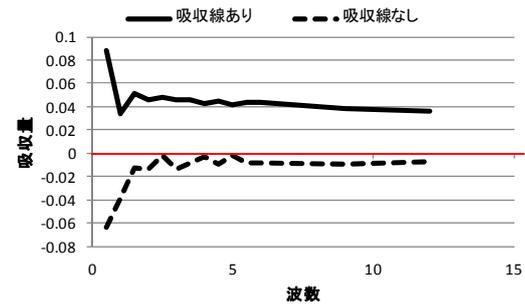


図 5 1 符号当たりの変調波数に対する吸収量の復調特性

上記の結果より、1 符号当たり概ね 5 個以上の波数が必要であることが分かる。

以上の結果より、相対的に変調がもたらす符号復調および吸収量復調への影響の傾向はつかめたが、絶対的な変調周波数が各復調結果に与える影響については、十分ではない。この点については、引き続き検討を続ける必要がある。また、研究を進める経緯において、半導体レーザの発振波長の厳格な安定が求められることが分かった。この対応についても引き続き改良を加えてゆく必要がある。

(2) 空間光通信方式によるガスフラックス計測の可能性の検討

空間光通信方式による大気中温室ガスのガスフラックス計測の可能性を検討するために、屋外に往復約 60 m、地表からの高さ平均 20 m の光路を設け、大気中メタンの動態を 24 時間計測した。地表は土壌および草地であり、建物と小高い丘に挟まれた地形となっている。

図 6 に側面から見た測定環境及び、各機器の配置の概略を示す。複数の超音波風速計を地表付近と建物上部に設置し、特に鉛直方向と光路を横切る風速成分を検出できるようにした。また、建物屋上の百葉箱にて気温ならびに湿度も計測した。

図 7 に計測結果を示す。この図の内、最上位のフレームにおける赤の点が大気中のメ

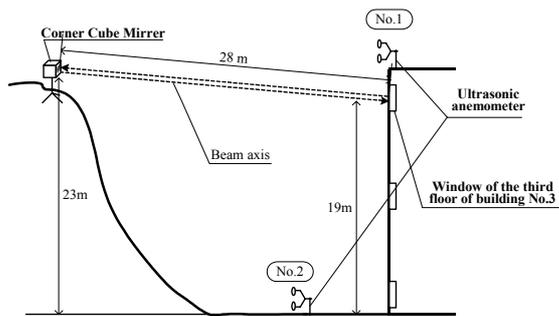


図 6 屋外実験の環境および装置構成

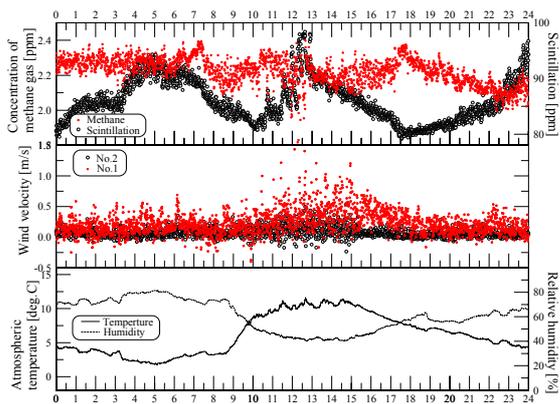


図 7 大気中メタンの24時間測定結果

タン濃度の変動を表しており、黒の点は大気擾乱により引き起こされた受信光強度の変動成分（シンチレーション）を示している。また、中央のフレームは2台の超音波風速計の計測結果の内、鉛直成分のみを取り出したものである。赤の点は建物屋上の計測結果、黒の点は地表付近の計測結果である。最下位のフレームに気温（黒実線）、湿度（黒破線）の結果を示す。

まず、本手法により、大気擾乱による受信信号の変動（シンチレーション）の影響を抑え、メタンガス濃度の変動が明らかになっている。この時の平均濃度が2.2ppmであり、一般的に言われる大気中平均濃度1.8ppmに概ね一致する結果となった。図7の12時から13時のデータに注目するとシンチレーションに顕著な変動がみられる。この時間帯のメタンの濃度とシンチレーションの変動のパワースペクトルならびに、位相スペクトルを調べた結果、0.1Hz以下の周波数帯とともにパワースペクトルの上昇がみられ、かつ、位相スペクトルより逆相の関係にあることがわかった。これはメタンのソースが存在し、湧き出しの状況を捉えているものと考えられる。これらのことから、本手法によるガスフラックス計測の可能性が示唆できたと判断している。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計1件）

①周藤正樹、景山伸一、香川直己、温室効果ガスのガスフラックス計測を目的とした開放光路型吸収分光分析装置の開発、福山大学工学部紀要、査読無、33巻、2010、7-13

〔学会発表〕（計1件）

①香川直己、開放光路型LASによる大気中メタンの動態計測、電気学会、2010年3月18日、明治大学（東京都）

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.fuee.fukuyama-u.ac.jp/robo/lab/lab07.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

香川 直己 (KAGAWA NAOKI)

福山大学・工学部・教授

研究者番号：80258300

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし