

平成 26 年 5 月 7 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656123

研究課題名(和文)世界最高の精度をもつ二酸化炭素濃度計の開発

研究課題名(英文)Development of the world's most advanced CO2 meter

研究代表者

黒瀬 良一 (KUROSE, RYOICHI)

京都大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70371622

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、既存の二酸化炭素濃度計よりも時間解像度および空間解像度の点で性能の勝る光ファイバCRDS分光法型二酸化炭素濃度計の試作機の開発を試み、校正用の2000ppm二酸化炭素ガスを使用して本試作機の性能評価を行った。また、液側マスバランス法の開発を試みた。その結果、本二酸化炭素濃度計の試作機の時間解像度は30秒、空間解像度は10立方ミリメートルであり、商用二酸化炭素濃度計よりも性能面で勝ることを確認した。また、本研究で新しく開発した液側マスバランス法は既往の気側マスバランス法と同等の精度で、風波気液界面を通しての二酸化炭素フラックスの値を計測可能であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：The test model of optical-fiber CRDS CO2 meter was developed, and its performance was estimated using 2000 ppm CO2 gas. In addition, the liquid-side mass balance method was developed, and its method was verified in a wind wave tank. The results showed that the temporal and spatial resolutions of the test model were 30 s and 10 mm³, respectively, and their resolutions were confirmed to be higher than commercial CO2 meters. Also, the values of the CO2 flux across air-water interface measured by the new mass balance method corresponded to those measured by previous air-side mass balance method.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：計測技術 濃度計測 二酸化炭素 地球温暖化

1. 研究開始当初の背景

地球の温暖化および異常気象の正確な予測に関連して、風波気液界面を通しての二酸化炭素移動量（フラックス）に関するモデルを構築することは極めて重要であるが、二酸化炭素フラックスの実験による正確な評価手法は確立されていない。理論的に最も厳密かつ有効な二酸化炭素フラックスの評価手法として、渦相関法があげられる。しかし、既存の国内外最高性能を有する二酸化炭素濃度測定器を用いてもその空間・時間分解能が極めて低いため、風波気液界面近傍の流れ場に渦相関法を適用できる状況にはない。従来、渦相関法の代替手法として、二酸化炭素平均濃度を測定し、大きな検査体積領域への二酸化炭素ガスの流入・流出量の測定を通して、間接的に風波気液界面を通しての二酸化炭素移動量を測定するマスバランス法という手法が採られてきた。図1に、これまで申請者のグループが海洋のシミュレーション装置である風波水槽を用いた室内実験においてマスバランス法を用いて測定した液側物質移動係数 k_L （二酸化炭素移動量に相当）と風速の関係を示す。これらの計測値は風と水面が接触する距離（フェッチ）が10 m以下の領域のものであり、しかも図中の k_L の計測値を得るだけでも数ヶ月の実験期間が必要である。実際の海洋ではフェッチは大きく、風波乱流水槽でも10 m以上のフェッチに対する k_L の実測値が必要であり、しかも海洋との相似性を考える場合には、種々のフェッチにおける計測値が必要である。このためには、従来のマスバランス法には限界があり、局所の点で瞬時に二酸化炭素移動量を測定できる渦相関法が必須となる。したがって、二酸化炭素濃度変動を測定するために十分な時間・空間解像度（それぞれ1 m s および1 mm 立方）を有する、つまり渦相関法を用いることのできる二酸化炭素濃度計の開発が極めて重要となる。

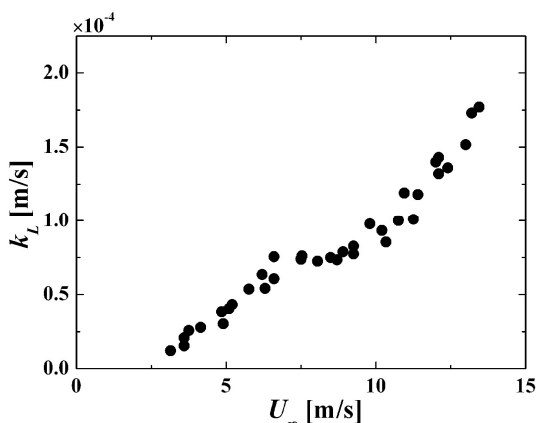


図1. 物質移動係数

2. 研究の目的

(1) 濃度計の開発:

新規に光ファイバキャピティリングダウン分光法 (CRDS) 式二酸化炭素濃度計を開発する。

(2) 濃度測定手法間の比較:

複数の二酸化炭素濃度測定手法を風波乱流場に適用することにより二酸化炭素濃度測定手法間の比較を行う。また、マスバランス法などの既存の濃度測定手法の改良をも試みる。

3. 研究の方法

(1) 濃度計の開発:

微小流路内における有機溶剤中の油分濃度測定を目的として開発された光ファイバキャピティリングダウン分光法 (CRDS、図2参照) を液相中の二酸化炭素濃度測定に応用し、世界で初となる時間・空間的に高解像度の光ファイバキャピティリングダウン分光法 (CRDS) 式二酸化炭素濃度計を開発する。本CRDSは、テストセクションが反射型セルで構成されている (図2)。レーザは反射部において検出気体中を透過するため、レーザは反射型セルにおいて二酸化炭素ガスにより一部が減衰される。本濃度計では、この減衰の程度を高精度で検出することにより二酸化炭素濃度測定を行う。具体的には、二酸化炭素濃度測定に最適なレーザ種の選定、光回路設計、電子回路設計等を行うことを通して、安定した二酸化炭素濃度計の試作機を開発を試みる。

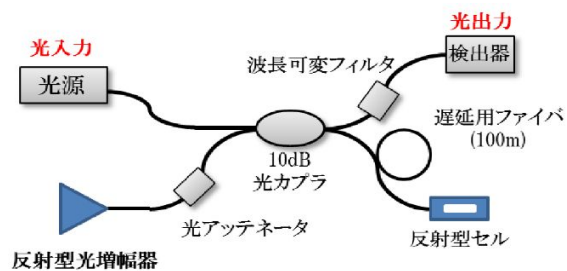


図2: CRDS 式二酸化炭素濃度計の光学系の概略

(2) 濃度測定手法間の比較:

複数の二酸化炭素濃度測定手法を風波乱流場に適用することにより、砕波を伴う風波気液界面を通しての二酸化炭素フラックスの高精度測定を行う。具体的には、研究項目1で新規に開発予定の高精度二酸化炭素濃度計を用いた渦相関法、既往のマスバランス法 (気側)、および新規に開発予定の液側マスバランス法を使用した比較試験を、海洋のシミュレーション装置である風波水槽内部で実施する。図3に測定装置・システムの概略を示す。渦相関法においては、FiberCRDSシ

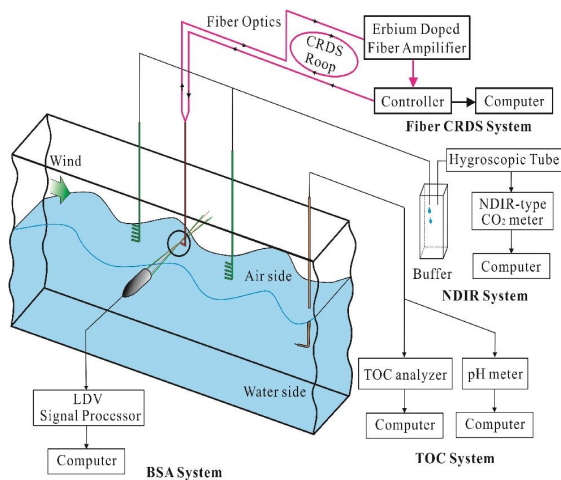


図3：風波水槽およびCO₂濃度測定システム

システム，TOC システムおよび BSA システムを併用する．また，既往のマスバランス法（気側）は，NDIR システム，TOC システムおよび BSA システムを併用する．さらに，新規に開発した液側マスバランス法では TOC システムのみを使用する簡便なフラックス測定手法である．

4．研究成果

(1) 濃度計の開発：

微小流路内における有機溶剤中の水分濃度測定を目的として開発された光ファイバ CRDS 分光法を世界で初めて二酸化炭素の濃度測定に応用することに成功し，また，光ファイバ CRDS 分光法型二酸化炭素濃度計の試作機の開発に成功した(図4参照)．さらに，校正用の 2000 ppm 二酸化炭素ガスを使用して本試作機の性能評価を行った．その結果，本試作機の時間解像度は 30 秒，空間解像度は 10 立方ミリメートルであり，商用

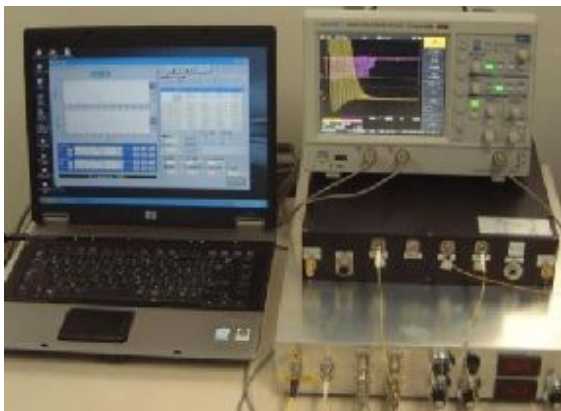


図4．光ファイバ CRDS 式二酸化炭素濃度計の外観（右下：濃度計本体，右中央：反射型光増幅器，右上：波形確認用のオシロスコープ，左：システム制御用 PC）

二酸化炭素濃度計（例えば，時間解像度は 120 秒，空間解像度は 30 立方ミリメートル）よりも性能面で勝ることを確認した．一方，本試作機では当初本研究課題で目標としていた性能（時間解像度は 1 ミリ秒，空間解像度は 1 立方ミリメートル）を達成できず，濃度の測定精度もフルスケールの約 10% と悪いことを確認した．本濃度計を実用化するためには，光学素子の選択や改良を通して濃度計測におけるノイズの低減をより一層行い，測定精度の向上を図る必要がある．

(2) 濃度測定手法間の比較：

研究項目 1 において，光ファイバキャピティリングダウン分光法型二酸化炭素濃度計の試作機の開発に成功したものの，当初本研究課題で目標としていた性能（時間解像度は 1 ミリ秒，空間解像度は 1 立方ミリメートル）を達成できなかったこと，および濃度の測定精度がフルスケールの約 10% と悪いことを確認した．このため，本試作機を使用した濃度測定手法間の比較を行うことはできなかった．一方，従来用いていた二酸化炭素フラックス計測法であるマスバランス法（気側）の改良を行い，液側におけるマスバランス法を確立した．そこで，既往のマスバランス法（気側）と新規に開発した液側マスバランス法を使用した比較試験を，海洋のシミュレーション装置である風波水槽内部で実施した 図5 に k_L と風速の関係を示す 図より，風速 5 m/s 程度の低風速において両手法により測定された k_L との値は良好に一致すること，および新規に開発した液側マスバランス法では風速 20 m/s 以上の高風速域においても測定が可能であることを確認した．

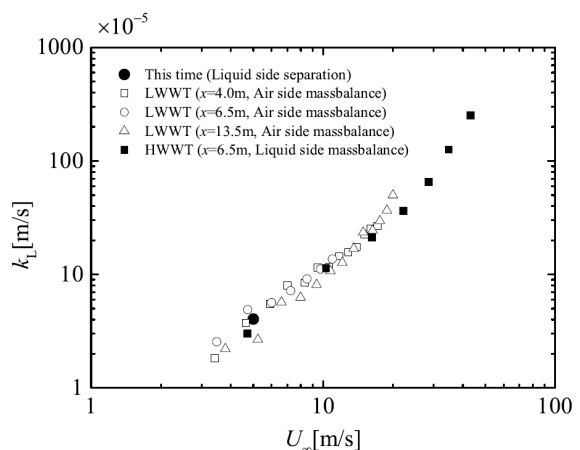


図5：物質移動係数の比較

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0件)

〔学会発表〕(計2件)

- (1) 岩野耕治, 高垣直尚, 神内浩行, 西平守志, 黒瀬良一, 小森 悟, 広い風速範囲におけるマスバランス法による物質輸送係数の測定, 日本海洋学会 2014年度春季大会, 東京, 東京海洋大学品川キャンパス, 2014年3月26~30日
- (2) 岩野耕治, 高垣直尚, 神内浩行, 西平守志, 黒瀬良一, 小森 悟, 強風速下における風波気液界面を通しての物質輸送量の評価, 日本流体力学会 年会 2013, 東京 東京農工大学, 2013年9月12~14日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒瀬 良一 (KUROSE RYOICHI)
京都大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 70371622

(2) 研究分担者

小森 悟 (KOMORI SATORU)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 60127082

高垣 直尚 (TAKAGAKI NAOHISA)
京都大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 00554221

(3) 連携研究者 なし