

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04716

研究課題名(和文) 多点観測型緑地評価指標を用いた広域CO2濃度変動評価技術の構築

研究課題名(英文) Proposal of wide-area CO2 concentration fluctuation evaluation technology using multi-point observation type green space evaluation index

研究代表者

桑原 祐史 (Kawahara, Yuji)

茨城大学・理工学研究科(工学野)・教授

研究者番号：80272110

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ラズベリパイを用いた新たなCO2センサの開発を行い、観測環境向上に関する技術開発を行った。DOAS計測機器故障により湖沼実験に滞りが生じ、統合型の緑地評価指標の提案には至らなかった。このため、被覆や観測時間がDOAS計測値に与える影響を詳細に分析し結果を整理するとともに、湖沼水を用いたCO2吸収量を計測する実験装置を製作、葉緑体の効果の計測可能性を見出した。また、中国包頭市、茨城県大子町、筑西市、守谷市の観測データを分析し、既往研究で提案した陸域を対象とした緑地評価指標の改善提案を行うとともに、国内外を対象としたCO2計測においても極端な乖離の無い計測結果が得られることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多点計測では省電力・小型の機器が必要とされるため、実用性の点でラズベリパイを用いて開発したCO2計測機が有用である。また、DOAS法は数km離れた測点間の計測データを得ることができる点で有利であるが、周辺被覆や太陽光の影響を受ける時間帯があるといった計測上の課題を示した。水槽実験では、水面にスチロール板を浮かべ、周囲を透明プラスチック板で囲い込む工夫をすることで水面直上のCO2濃度の計測可能性を示した。更に、低温対策や晴天時のデータサンプリングおよび緑地指標の改良(陸域向け)を検討した結果、極端地域において安定したデータの収集と緑地効果の評価を行うことができた。以上の点が成果の意義となる。

研究成果の概要(英文)：During an attempt to measure trace gases at a lake, differential optical absorption spectroscopy (DOAS) measurement equipment failed, causing delays to the experiment. Consequently, an integrated green-space evaluation index of the lake ecosystem could not be proposed. To overcome this issue, technologies were developed to more accurately analyze the observation environment. First, the effects of coverage and observation time on the DOAS measurements were analyzed. Second, an experimental device for measuring CO2 absorption using lake water was developed, capable of measuring the effect of chloroplasts on the measurements. Then, a simple CO2 sensor was developed using a Raspberry Pi. Observations were made in Baotou in China, and Daigo, Chikusei, and Moriya in Japan using the CO2 sensor. As a result, an improvement to the green space evaluation index was proposed for the land area proposed in our previous study.

研究分野：空間情報工学

キーワード：CO2濃度 簡易センサ 土地被覆 DOAS法

## 1. 研究開始当初の背景

(1)人間活動によって排出されたガスが拡散し最終的に全球平均濃度に影響を与える、という観点から、排出の出発点の1つである概ね街路樹高以下の陸域(以下、生活環境圏と記す)に着目してきた<sup>1)-4)</sup>。観測は2007年に開始し、以来11年が経過した。CO<sub>2</sub>濃度データ(以下、観測データ)の計測は2007年に茨城大学日立キャンパスから始まり、2018年には茨城県内10地点で観測しており、濃度変化の特徴・地域性、土地利用との関係、風向・風速計の利用、観測地点の観測データ代表性について研究を進めてきた<sup>1)-4)</sup>。

(2)これらの観測データを用いて、地域毎の「緑地の質や季節感」を定量的に表現する評価指標を提案し、研究成果を得た<sup>5),6)</sup>。しかし、つくばや常陸大宮等、内陸市町村では評価指標と人口との間に線形関係が見られたが、高萩・潮来・日立といった臨海・臨湖地域は異なる評価パターン(観測データの変動メカニズムが異なる点に着目)にあることが確認された。この結果から、水域の効果を組み合わせた評価指標を提案できないか、と考えた。

(3)このことを実現するために、2光路を有するNDIR方式の新型センサを導入し、潮来地区対応として湿度低減機能を持つ百葉箱を新たに開発、CO<sub>2</sub>データの観測精度を要素技術で高度化するアプローチも取り入れる。また、DOAS法とドローン搭載型センサを用いた複数の方法による水面直上のCO<sub>2</sub>濃度観測を行う。計測環境の改善とCO<sub>2</sub>濃度計測結果の確認手段を改善することにより、最終的な指標による検証結果が改善され、より説明力ある研究に繋がるものと考えた。

[参考文献]

- 1)飯田ら：DOAS法による生活環境圏におけるCO<sub>2</sub>濃度の計測と検証。土木学会論文集F3(土木情報学),Vol.73,No.2, \_33- \_40,2017.
- 2)高藤ら：CO<sub>2</sub>グリッドを応用した簡易気象観測システムの実現と地盤防災への適用性。環境地盤工学シンポジウム発表論文集,No.8, pp.377-380,2009.
- 3)宮部ら：生活環境圏を対象としたCO<sub>2</sub>濃度システムデータ利用による変動分析。土木情報利用技術論文集,Vol.18, pp.85-94, 2009.
- 4)桑原ら：茨城県日立市を対象としたCO<sub>2</sub>濃度計測システムの応用利用による季節変動分析。土木情報利用技術論文集, Vol.19, pp.261-266,2010.
- 5)加瀬ら：茨城県の生活環境圏におけるCO<sub>2</sub>濃度変動に着目した環境評価指標の検証。土木学会論文集F3(土木情報学),Vol.73.No.2.I\_164-I\_172,2017.
- 6)地球温暖化観測推進事務局/環境省・気象庁:CO<sub>2</sub>のあゆみ, [http://occo.nies.go.jp/pndanka/nenpyo\\_2.html/](http://occo.nies.go.jp/pndanka/nenpyo_2.html/)

## 2. 研究の目的

水域(主として湖沼)のCO<sub>2</sub>吸収量を考慮に入れた精度の高い「緑地の評価指標」を提案し、緑地を評価する汎用的な評価方法として確立することを当初の目的として掲げた。具体的な目標は3点である。

新技术を導入した百葉箱、新たなCO<sub>2</sub>センサの効用検証(観測環境の向上)

複数の方法によるCO<sub>2</sub>濃度測定と季節変動の把握(CO<sub>2</sub>濃度の観測結果の説明力の向上)

極端な土地被覆地域における指標検証(指標の有意性・安定性の検証)

## 3. 研究の方法

(1)ラズベリパイを使用し、2光路型の小型CO<sub>2</sub>センサ(SCD30)を対象として、計測ができるように機器を組み上げる、SCD30について、基準ガスを用いた校正方法を確立する、計測データの後処理による精度向上(周波数領域におけるノイズ処理)、について検討を行う。また、設置以来、安定してデータを取得することが出来ている点を鑑み、北浦湖岸の定点観測地点の百葉箱については、除湿器と活性炭をフィルタとした百葉箱を継続的に使用し、半年に1回のメンテナンスで対応することにした。

(2)DOAS法で用いる分光器のシャッター部分に故障が発生した。制御基板修理には相当日数と規模を要するものであることが分かったため、研究期間内にはDOAS法による計測条件が観測データに与える影響を大学キャンパス内で精査することにした。具体的には、周辺土地被覆、計測時間(夜間、太陽光)の影響を計測・分析することにした。また、水槽実験は、移動の制約が多い年間であったため、工学部実験室にて装置開発を行い、実験も実施することにした。

(3)極端地点での計測に関しては、冬季に極端に気温が下がる中国包頭市における計測が可能であったため、センサ機器をアルミ製スチロールで覆う防寒対策を施し、計測を実施した。また、緑地の多い大子町と平野部の筑西市、都内に近い守谷市、守谷市内の別地点の4地点を対象として、陸域を対象とした緑地評価のための指標に改良を加え、計測データの被覆や気温との関連性を検討した。

## 4. 研究成果

(1)ラズベリパイを用いた小型CO<sub>2</sub>測定器の開発と検証

図-1に製作した小型測定器を示す。センサはNDIR方式によってCO<sub>2</sub>濃度を計測する。計測範囲は400-10000ppmの範囲を±30ppm+計測値の3%の精度で計測することができる。また、0~+50の気温で計測が可能である。製作したセンサを、従来型のK30センサを用いたCO<sub>2</sub>濃度計測機器と同じ百葉箱に納め、幹線道路および草地に隣接した敷地およびで計測実験を行った所、従来の研究で用いていたセンサとほぼ同レベルの計測値を得ることができた。また、幹線道路に面した計測地点では、図-2に示すように交通量の変化に追従したCO<sub>2</sub>濃度データを得ることができた。以上の実験から、確実に現象を捉えることができる安価かつ小型のCO<sub>2</sub>計測システムを

構築することができた。

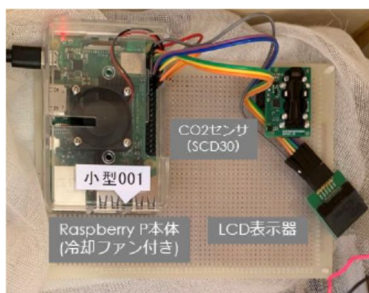


図-1 ラズベリパイを用いた計測システム

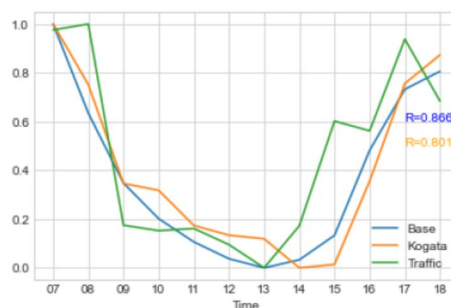


図-2 交通量データと CO<sub>2</sub>濃度値の比較

## (2) メンテナンスの方法

茨城県内7か所に設置した電子百葉箱には NDIR 方式による CO<sub>2</sub> 計測センサーが格納されている。センサーの校正は、約半年を目安に行っているが、作業には 0ppm および 400ppm のガスボンベを持って移動する必要がある。このため、作業性を考慮すると、同一地点のセンサーを2台準備しておき、予め校正したセンサーの付け替えのみという方法が簡便である。センサーの短期間での劣化の原因は、経験上、温度と湿度の影響が最も大きい。このため、シリカゲルを封入しビニル袋にセンサー (K30 センサモジュール) を入れ、密閉した上で、少々の低温状態である 5 および 20 で温度効果を確認した。検討の結果、5 の保存結果の方が保管後の誤差は小さいものの、20 であっても一桁台の誤差であった。このことから、特別な保存状態を設定しなくとも、事前に研究室で校正したセンサーをシリカゲル入り袋に封入し、数日間保存する程度であれば、校正後の計測レベルが概ね保たれることが確認された。

## (3) 水槽実験の結果

図-3 に実験装置を示す。研究計画当初は、水槽は開放型の実験を計画していたが、水面付近の微妙な CO<sub>2</sub> 濃度を計測できるようプラスチックケースで水面を覆いこみ、一定水面箇所の上部大気を吸引し計測するように改良を加えた。水槽には、基準状態として水道水を満たした水槽 (Base) とクロロフィル a を含む模擬湖水を入れた水槽の2つを準備し、24 時間連続稼働実験を行った。模擬湖水の作成に際しては、霞ヶ浦 (北浦 釜谷沖) における H17 ~ H25 計測値の ss 濃度が約 10 ~ 20 (mg/l) であることを参考値とし<sup>7)</sup>、室内実験であることから照度は 3000lx 程度 (室外では 30,000 ~ 40,000lx 程度) と低い事を考慮し、水槽の浮遊物 (珪藻類) 質量を 8 倍 ~ 16 倍とし、水槽直上の CO<sub>2</sub> 濃度を計測した。水面直上の CO<sub>2</sub> 濃度 (水道)、CO<sub>2</sub> 濃度 (珪藻類を設置) および光量の計測を行った結果、Base とした水道水の水槽では3日間の計測期間中に概ね濃度が一定であったが、珪藻類を設置した水槽では、室外の光量が大きくなると光合成を行うことに起因し、濃度が下がってくることを確認できた。3日間、プラスチックケースは一定位置で固定させたため、水面上部の空間は密閉状態になっていた。このため、水面上部の CO<sub>2</sub> 濃度は全体として低下の傾向を示した。この現象を確認した後に、ss 濃度を 8 倍にしたケースを実験したが、珪藻類の濃度が低くなったことに起因し CO<sub>2</sub> 濃度の低下は見られるものの、CO<sub>2</sub> 濃度の低下速度は落ちていることが確認できた。珪藻類は水槽下部に沈殿しているものも散見されたため、本番の実験を行う際には水槽中の水のある程度循環させる必要があると考えられる。これらの模擬湖水による検討結果を踏まえ、実際の湖沼水を対象として計測実験を行った。具体的には、茨城大学工学部構内で富栄養化した湖沼水を対象として実験したところ、図-4 に示すように、CO<sub>2</sub> 濃度の減少量にして 339ppm の濃度の低下を観測することができた。このため、この実験装置を用い、北

浦の湖沼水の CO<sub>2</sub> 吸収量を測定する実験準備が整った。

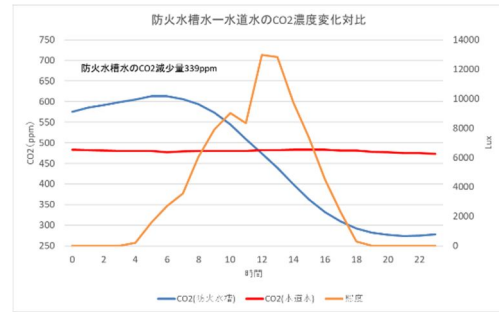
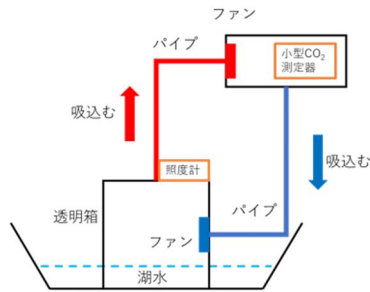


図-3 水槽実験装置の外観 (図 + 写真)

図-4 富栄養化した湖沼水の計測結果

[参考文献]

7) 霞ヶ浦湖内水質等モニタリング事業(H17-H26), 茨城県霞ヶ浦環境科学センター, 2016.

#### (4) DOAS 法の検討結果

茨城大学工学部構内で、測線下方がコンクリート被覆群である箇所(南北測線)、測線下方が植物群である箇所(東西測線)、を対象として CO<sub>2</sub> 濃度を比較する実験を行った。図-5 に DOAS 法による計測システムの全体像を示す。計測データを比較するための異種計測法として、工学部内百葉箱に設置した NDIR 方式の CO<sub>2</sub> 濃度計および DOAS 法計測地点の近傍に設置した無線型 CO<sub>2</sub> 濃度計による計測値を別途準備した。今回の光路長は 150~300m であったが、この程度の距離であっても、昼間は植生の影響を受けやすい東西測線のパスが低い濃度値を示し、夜間はその逆になる傾向が得られた。なお、この傾向は計測方法の異なる 3 つの方法において同様の傾向である。また、17:00 に極端に DOAS 法による CO<sub>2</sub> 濃度計測値が大きな値になっているデータが得られた。これは 図-5 に示す 11 月 8 日 17:00 や翌 9 日 16:00 など、太陽光がリフレクタに差し込む方向になる時間帯があり、計測値がその影響を受けていることが分かった。以上から、湖面でデータを取得する際に、計測値が被覆の影響 (= 湖面の影響) を受ける点は、湖面上空の濃度値を計測することができる可能性を示す重要な情報であり、また、太陽光がリフレクタに直接影響を与える時間帯の計測値は注意を要する点を発見することができた。

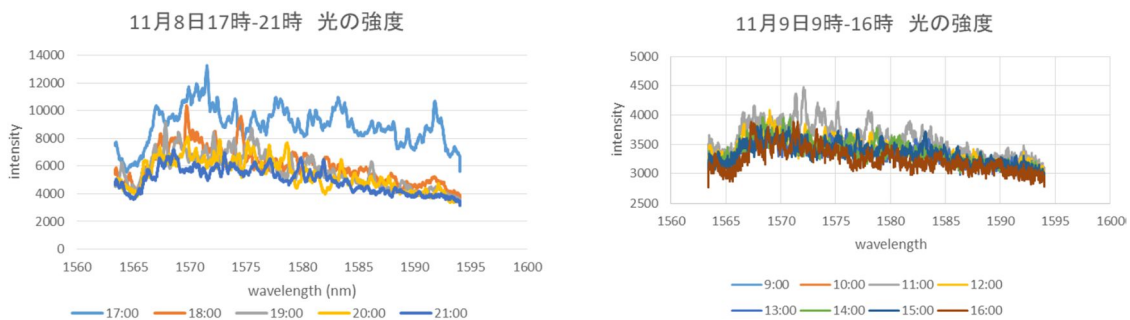


図-5 光の強度データの時間変化

#### (5) 極端地域での観測結果 (包頭市)

機会を得ることができたため、中国包頭市の冬季の計測実験を行った。計測期間は 2019 年 9 月から 2020 年 5 月である。冬季に包頭市は -10 以下になる日もあるため、センサへの影響が懸念される。このため、図-6 に示すように、アルミ製の断熱材を用いて低温対策を行い、アパート 3F のベランダに設置した。図-7 は 10 月の測定データを全て使用した時間平均のデータである。データ変動の特性を把握しやすくするために、茨城県内の 5 市町村の 10 月の時間平均のデータもプロットした。包頭市とその近傍の衛星画像(Google Earth)を確認すると、工業都市として知られる包頭市とその近傍の被覆は市街地と裸地が多いため、太陽光高度が最も高い昼間の濃度値現象が少ない。このパターンは東京都内の中心地とよく似ている。この検討から、開発したセンサは極端地域においても正常な稼働をしていることが確認された。

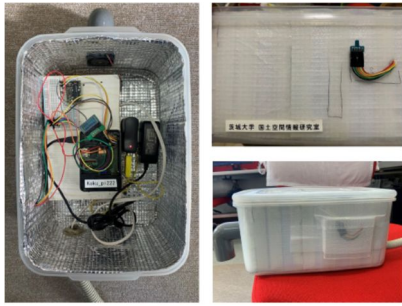


図-6 センサとその収納箱

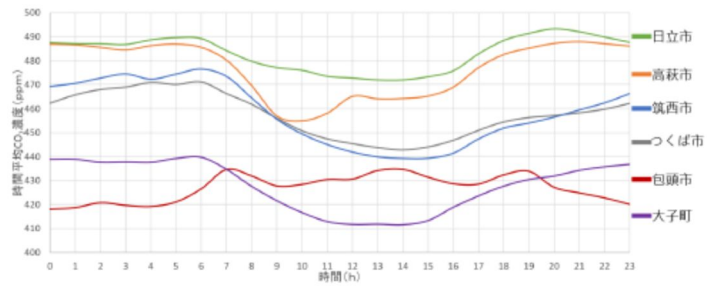


図-7 10月の時間平均データ（包頭+5市町村）

(6) 指標値の改善（大子，筑西，守谷）

加瀬ら(2017)に提案された指標では、1日の濃度値変動の中で最大のCO<sub>2</sub>濃度値と最小の濃度値に着目し、両者の差を最大値で除することによって指標としていた。しかし、この指標で行くと、植物が日の出前の呼吸の時間帯にある場合のCO<sub>2</sub>濃度値を使用するため、必ずしも緑地の効果を適切に評価しているとはいいがたい面があった。このため、本研究では、日の出後の時間帯を対象としてCO<sub>2</sub>濃度を最大と最小を把握し、新たな緑地評価のためのIndexとした。具体的には式(1)で示す式で計算した。

$$\frac{(\text{Max}-\text{min})}{((\text{max}-\text{min})/2)} \quad \text{式}\cdot\cdot\cdot(1)$$

また、指標の検討を行う際には、植物によるCO<sub>2</sub>吸収効果を確実に評価するために、晴天日のデータを効果的に選ぶ必要がある。この点について本論では改めて晴天日抽出基準の検討を行い、降水量：0mm，気温：最高気温が月平均最高気温より高い，日照時間：(月平均日中時間-2)×0.6時間とした。図-8に2016年および2017年のIndex計算結果（夏季：8月）（冬季：12月）を示す。検討の結果、

夏季：大子町が同じ時期ともに最も高い指標値を示し、続いて、守谷，筑西

冬季：守谷，筑西，大子

であった。これは、大子町が樹林や畑など、季節に伴う自然環境の変化が大きいため、その点を示していると考えられる。

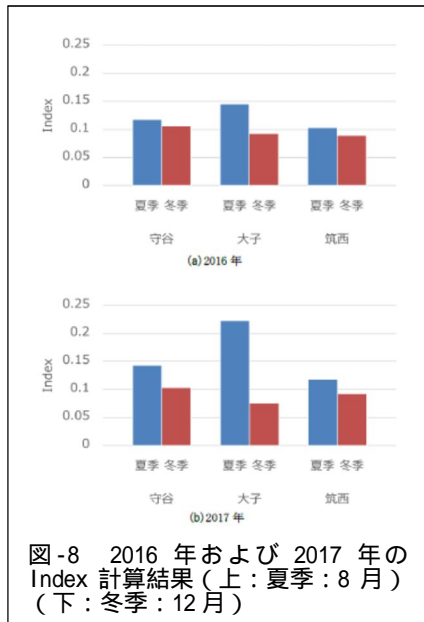


図-8 2016年および2017年のIndex計算結果（上：夏季：8月）（下：冬季：12月）

(7)おわりに

ラズベリーパイを用いて開発したセンサは、寒冷地や湿度が高い極端地点での計測を通してその効果を確認した。この成果に基づき、湖の周りを囲い込む形でセンサ設置を行い、DOAS法による湖面縦横断計測を組み合わせるとともに、化学的な分析と水槽実験により湖水と水面付近の大気との間のCO<sub>2</sub>の出入を示すフラックス(mg/m<sup>2</sup>/min)を算定し検証する。これらのデータを統合することにより、地域のCO<sub>2</sub>濃度に対する湖沼の効果を推定することができると考える。DOAS法で用いる分光器の故障により、統合化指標の提案には至らなかったがその他の開発項目は概ね達成し、要素技術の開発成果を豊富に得ることができた。統合化指標の開発については今後の課題としたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yan Ling TAN, Yuji KUWAHARA, Hiroaki KUZE	4. 巻 -
2. 論文標題 Concentration of Near-surface CO <sub>2</sub> over Different Land Covers Studied by Point Observations and Differential Optical Absorption Spectroscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Information Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 QIN RAN・桑原祐史
2. 発表標題 簡易センシングを用いた内モンゴル自治区における長期CO <sub>2</sub> 濃度計測の試み
3. 学会等名 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 XU YUYANG・桑原祐史
2. 発表標題 異なるCO <sub>2</sub> 濃度測定器によって取得された濃度値の比較
3. 学会等名 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tan Yan Ling・桑原祐史
2. 発表標題 差分吸収分光法を対象とした計測時間帯によるCO <sub>2</sub> 濃度計測結果の比較
3. 学会等名 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊花蓮・桑原祐史
2. 発表標題 CO2センサの計測精度の検証とメンテナンス作業の効率化に関する研究
3. 学会等名 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木麻予・桑原祐史
2. 発表標題 生活環境圏を対象としたCO2濃度の地域性評価に関する研究-茨城県守谷市、大子町および筑西市を対象として-
3. 学会等名 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会（2023年度発表予定）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<ul style="list-style-type: none"> <li>・Tan Yan Ling：差分吸収分光法を対象とした計測時間帯によるCO2濃度計測結果の比較，霞ヶ浦流域研究2021ポスター発表</li> <li>・渡邊花蓮：令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会 優秀講演者表彰「CS15-06 CO2センサの計測精度の検証とメンテナンス作業の効率化に関する研究」，2022.10.14</li> </ul>
---

6. 研究組織			
	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	藤田 昌史  (Fujita Masafumi)  (60362084)	茨城大学・GLEC・教授    (12101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------