

目に見えない水蒸気の分布を 近赤外光で可視化する！

東京都立大学

大学院システムデザイン研究科

機械システム工学域

教授 角田 直人

2022年8月25日

従来技術とその問題点①

開放空間中の水蒸気分布はリアルタイム測定できない

水蒸気の流れ・発生の厳格な管理が要請されている

- ・空調や燃焼ガスの流れや滞留状態の把握
- ・水蒸気リークの場所の特定
- ・乾燥蒸発過程の観察
- ・透湿・防湿性材料の評価

現状

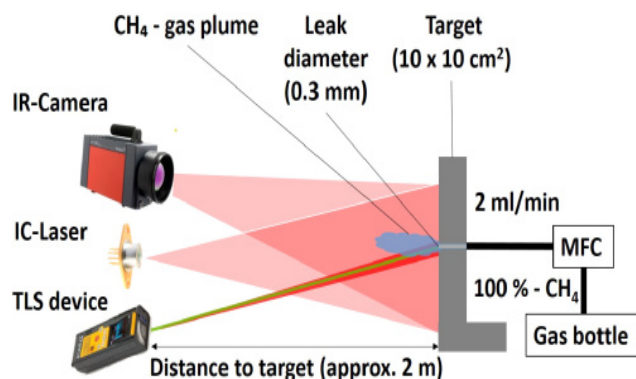
電気式湿度計、鏡面冷却式露点計、光学式水分計が用いられるが、定点測定もしくはサンプリング測定に限られる。

ここでの水蒸気とは水ガス分子であり、湯気や液滴のように目視できるものではない。

従来技術とその問題点②

微粒子や他のガスの可視化技術は水蒸気に適用できない

メタン漏れの検出



出典: Strahl et al., *Appl. Opt.* **60**, C68 (2021).

微粒子の可視化

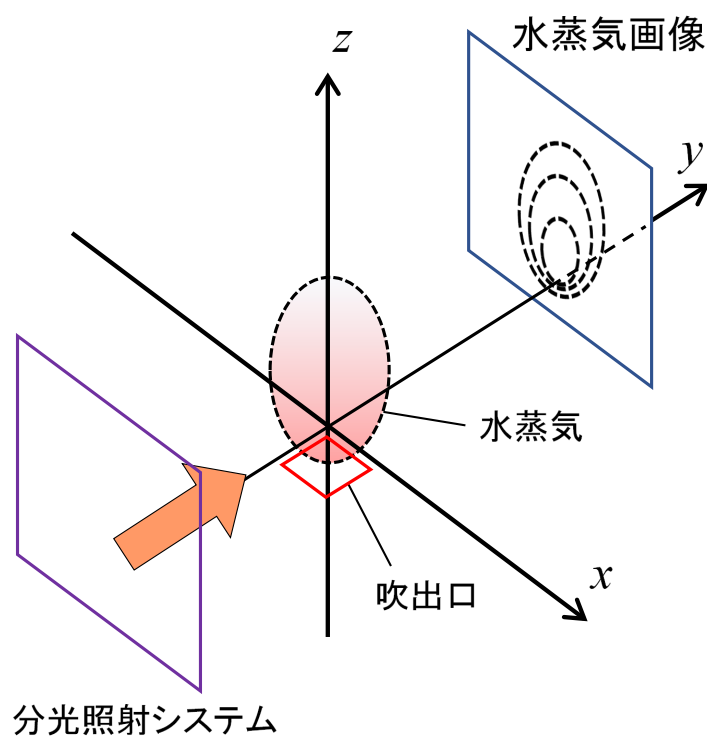


出典: Verma et al., *Phys. Fluids* **32**, 091701 (2020).

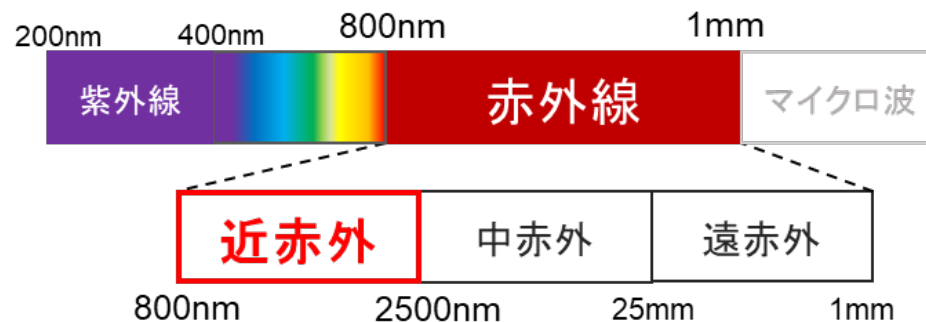
水蒸気分布については技術的ブレークスルーがほとんどなく、
点測定結果から推定。

新技術の特徴・従来技術との比較

近赤外光を用いて水蒸気分布を可視化(2次元画像化)する



水蒸気分布の可視化の概念図



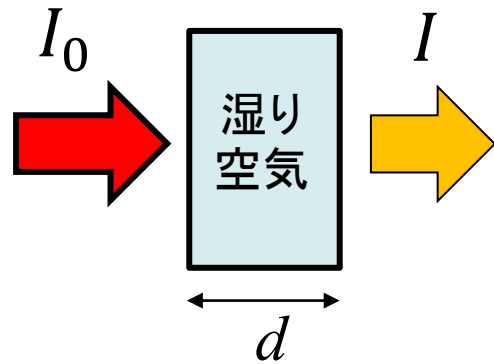
近赤外光のメリット

- センサプローブが不要
- 他のガスの影響が少ない
- 輻射熱の影響を受けない

原理

近赤外域には水蒸気の吸収バンドが存在する

吸光度の定義

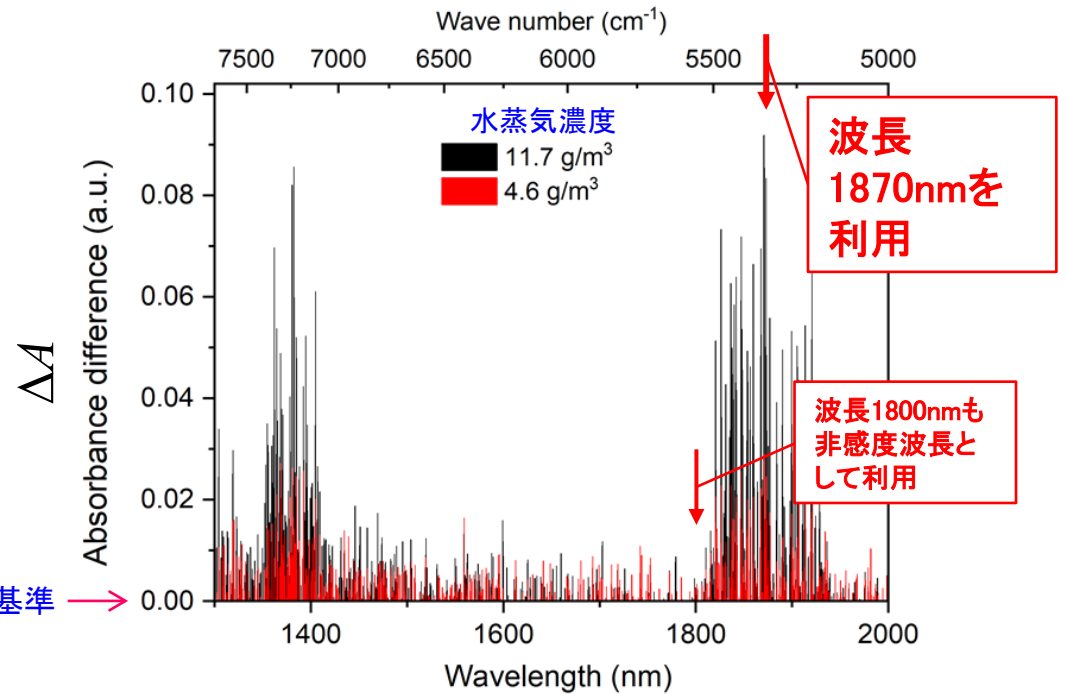


吸光度: $A = -\log_{10} \frac{I}{I_0}$

吸光度差: $\Delta A = A - A_r = -\log_{10} \frac{I}{I_r}$

- I : 透過光強度 [-]
- I_0 : 入射光強度 [-]
- I_r : 基準となる透過光強度 [-]

乾燥空気を基準 →



水蒸気の近赤外吸収スペクトル

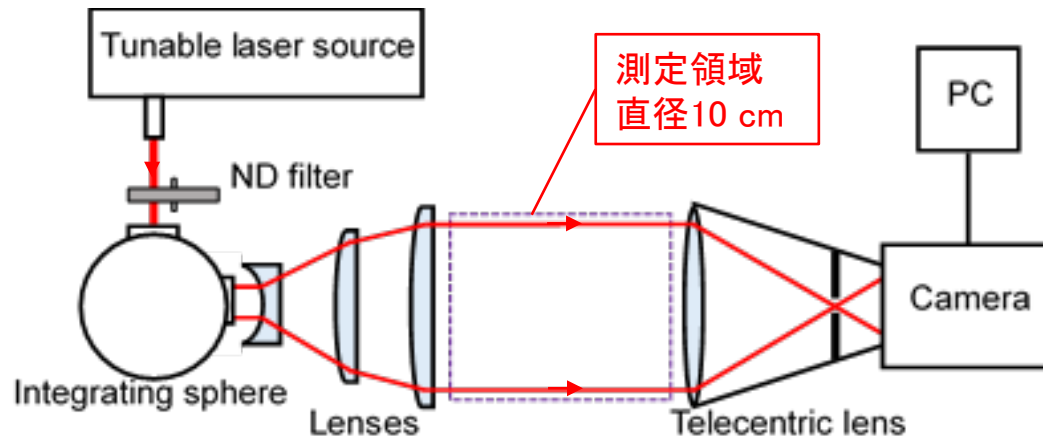
出典: Kakuta and Ozawa, 'Near-infrared imaging of water vapor in air', *Measurement Science and Technology* **33**, 075403 (2022).

測定システム

対向型の均一平行光学系の採用

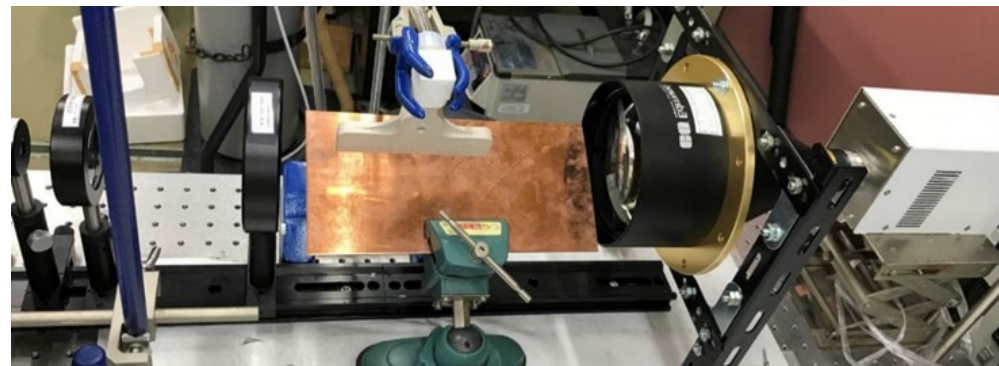
照射側

- ・波長可変レーザー:
1650–1900 nm
- ・積分球:レーザー光の
コヒーレンスを低減
- ・NDフィルタ(可変減光
フィルタ): 光量調整
- ・凹レンズと凸レンズ:
拡大コリメート光学系



受光側

- ・大型テレセントリック
レンズ
- ・近赤外カメラ(InGaAs
II素子)
- ・照射光との同期撮影



出典: Kakuta and Ozawa, 'Near-infrared imaging of water vapor in air',
Measurement Science and Technology **33**, 075403 (2022).

画像構成プロセス

画像処理による可視化と定量性の向上



I 画像



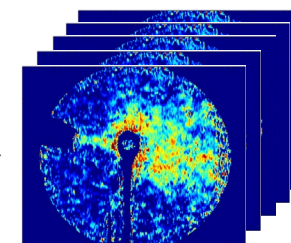
改良 I 画像

- ・ノイズ低減
- ・複数波長演算
- ・基準輝度利用

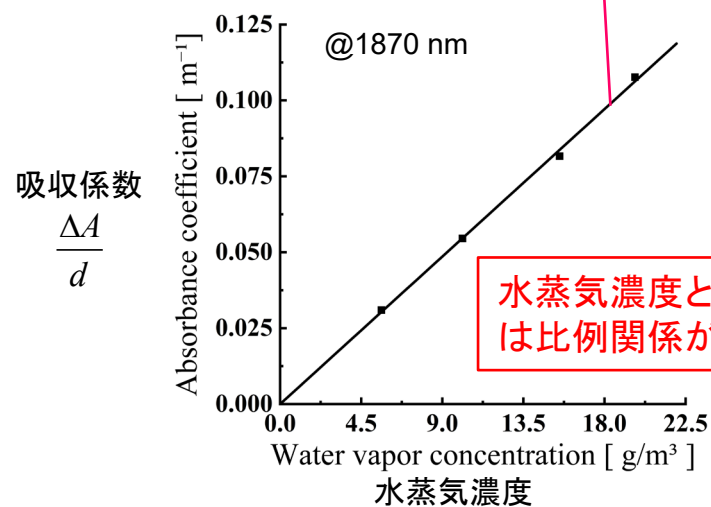


ΔA 画像

$$\Delta A = -\log_{10} \frac{I}{I_r}$$

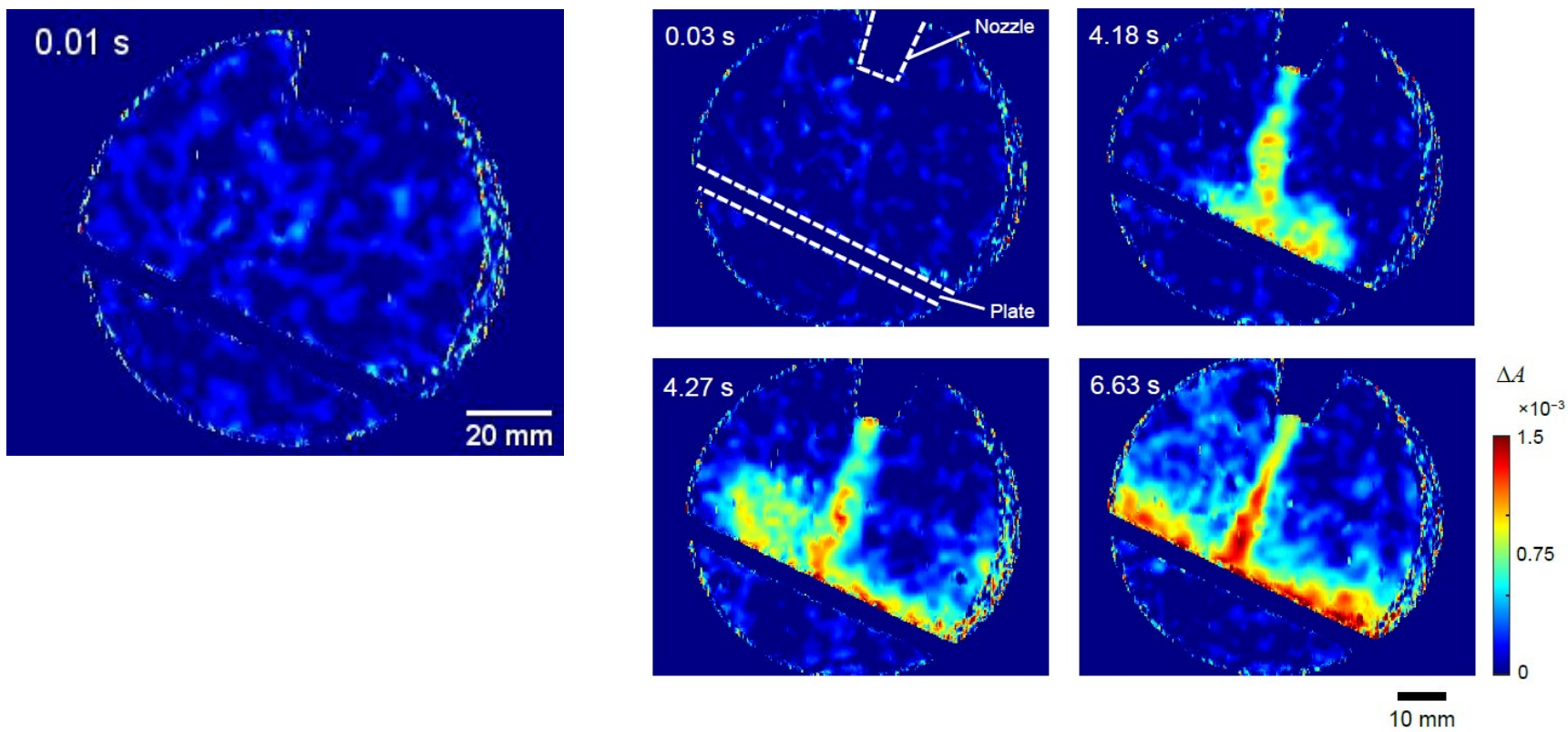


水蒸気濃度画像



これまでの成果①

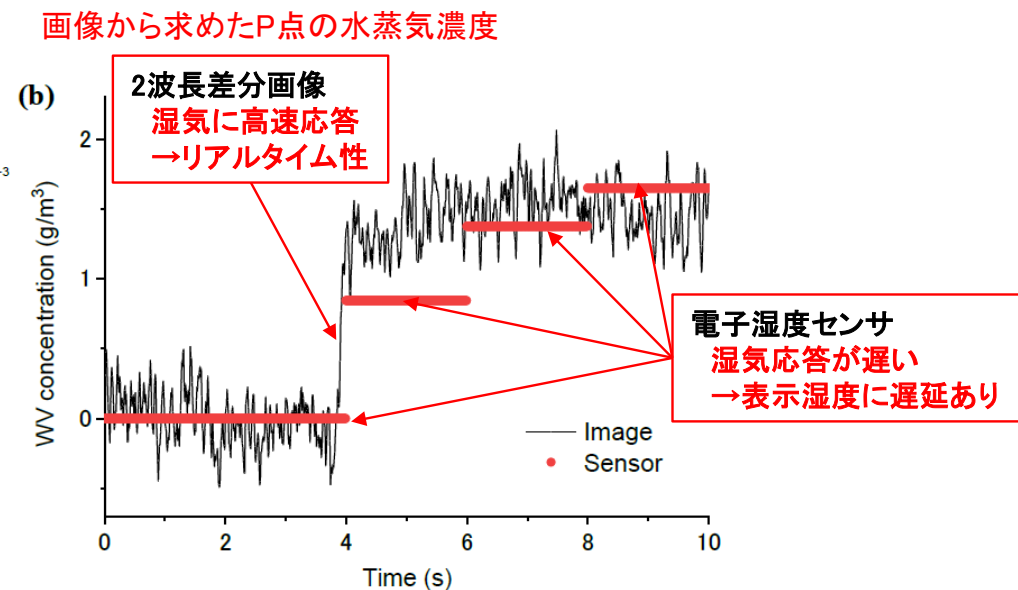
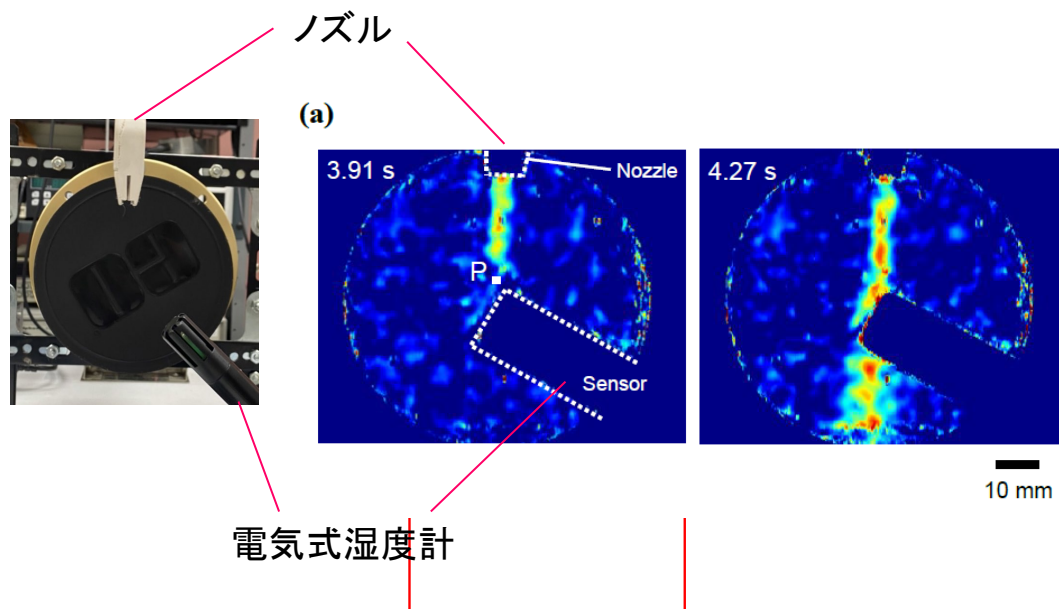
吹出し水蒸気の流れを可視化



出典: Kakuta and Ozawa, 'Near-infrared imaging of water vapor in air',
Measurement Science and Technology **33**, 075403 (2022).

これまでの成果②

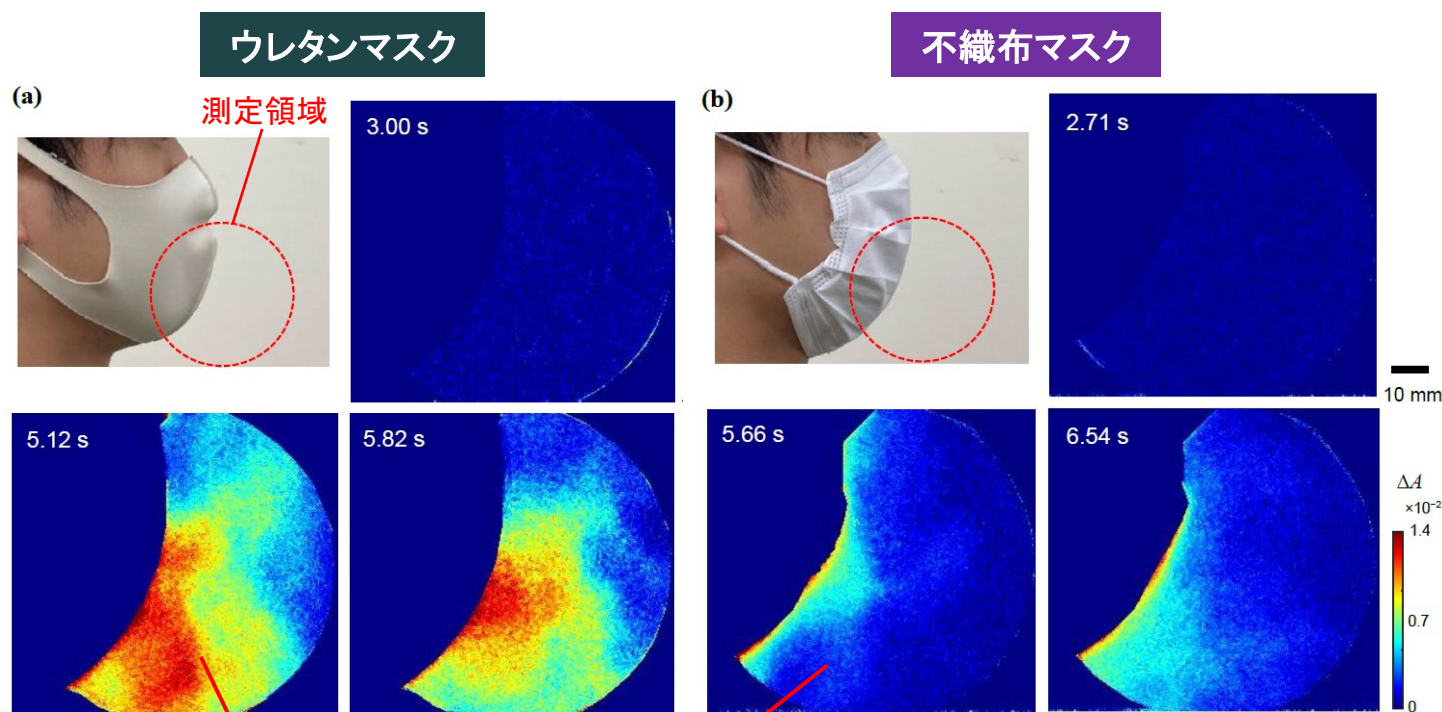
正確さとリアルタイム性の検証



出典: Kakuta and Ozawa, 'Near-infrared imaging of water vapor in air',
Measurement Science and Technology **33**, 075403 (2022).

これまでの成果③

マスクの素材による呼気の違いの評価が可能

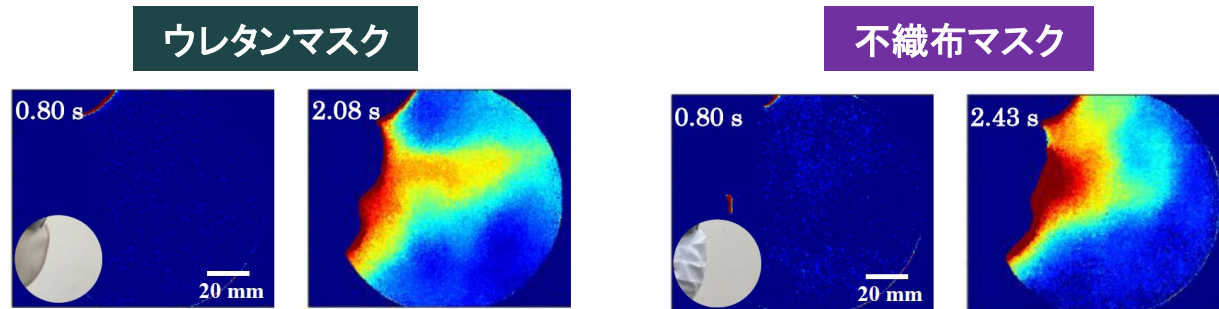


ウレタンマスクの方が不織布マスクよりも通気性が高く水蒸気量が多い

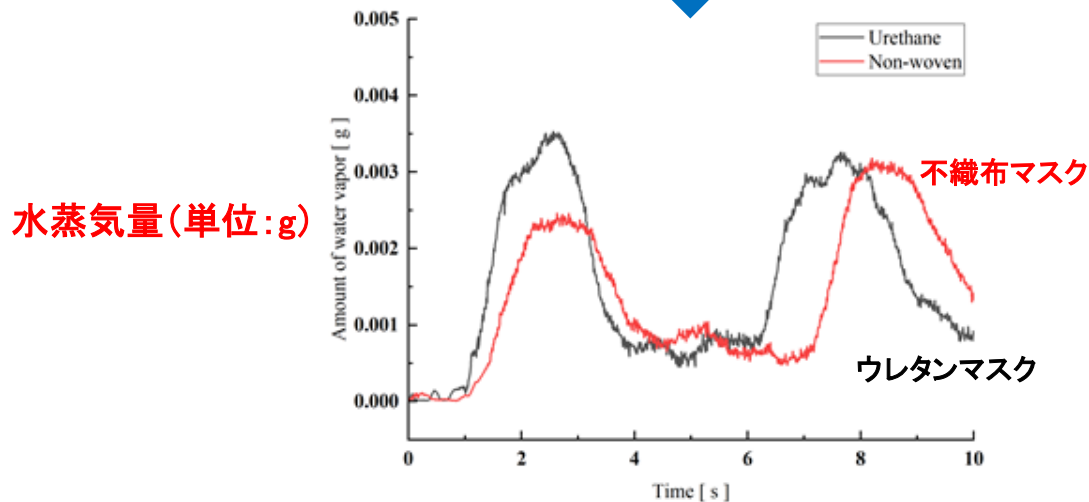
出典: Kakuta and Ozawa, 'Near-infrared imaging of water vapor in air', *Measurement Science and Technology* **33**, 075403 (2022).

これまでの成果④

吸光法であるため水蒸気の定量が可能



吸光度は水蒸気濃度に変換することができる。
画像内の積分により水蒸気量を算定した。



想定される用途

これまで視ることができなかった水蒸気分布の可視化というインパクト：

- 制御空間の境界における湿分の逆流や発湿源の評価
- エアーカーテン、排気ユニットなどの評価や加湿法の再考
- 材料の加熱蒸発過程のモニタリング
- 透湿・防湿性材料の評価
- 文化芸術や教育などの分野での活用

実用化に向けた課題

- ❖ 現在、水蒸気可視化のための基本システムは開発済み。しかし、さらなる精度向上や測定領域の拡大が必要。
- ❖ 画像の明瞭化・高精度化のための画像処理や分光測定技術に関しては改善の余地あり。
- ❖ 水蒸気の発生量や流速を提示することは実用の点で有効。実用的な画像解析技術が必要。
- ❖ 装置を小型化・可搬化して現場対応できるようにする。

実用化に向けた課題(数値目標)

①濃度の高分解能化 : 0.1 g/m³以下

→ 相対湿度0.58% (@20°C)に相当

②定量化 : 水蒸気変化量 (<0.1 s) と

流れベクトルの算定 (<0.01 m/s)

→ 流量、発生量(率)、透過量(率)の測定

③測定領域の拡大 : 直径20 cm以上

→ 空調デバイス、手や顔をカバー

④小型化・可搬化 : 一体化システム、7.5 kg以下

→ 現場測定、販売

企業への期待

- ・光学システムの開発
- ・画像処理・提示システムの開発
- ・事業化（ニーズとビジネスモデルの確立）

開発からアプリケーションまで幅広い業種との連携

光学設計、光学機器、画像解析、空調機器・設備、材料評価、
乾燥・蒸発装置、食品製造・管理

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 水蒸気分布測定装置
- 出願番号 : 特願2021-032316,
PCT/JP2022/8556
- 出願人 : 東京都公立大学法人
- 発明者 : 角田直人, 高木凜太郎,
小澤晋太郎, 金子尚祥

産学連携の経歴

- 2018年-現在 設備建設企業と共同研究実施
- 2020年-2021年 JST A-STEP(トライアウト)事業に採択

お問い合わせ先

**東京都公立大学法人
産学公連携センター URAライン**

T E L 042-677-2829

F A X 042-677-5640

e-mail ragroup@jmj.tmu.ac.jp