

補助事業番号 2024M-377

補助事業名 2024年度 テラヘルツ帯水蒸気吸収スペクトルを利用した光学湿度計測の探求
補助事業

補助事業者名 日本大学 量子科学研究所 電子線利用研究施設 境 武志

1 研究の概要

日本大学量子科学研究所電子線利用研究施設における加速器で発生させた高強度テラヘルツ帯域の光を用いて、テラヘルツ光による計測技術の開拓と広い分野への応用を目指し、新たな絶対湿度測定の実証を目指した。本測定では、波長範囲は0.5～2.0 THz程度が得られ、水蒸気吸収に伴う代表的なスペクトルピークは絶対湿度0.2～9.3 g/cm²の範囲で求めた。観測された吸収スペクトルの中で1.42THz、1.67THzの吸収ピークを主に解析し、テラヘルツ光を用いた水蒸気スペクトル光学湿度計測が実施でき、湿度計測が可能であることを示せた。特に本測定結果では、1.42THzでの吸収スペクトルから高湿度環境（絶対湿度4.5 g/cm²以上）の範囲では誤差が4%以上見られる湿度範囲もあるが、絶対湿度が低い低湿度付近（0.6g/cm²）では約0.1%の誤差範囲内で測定できた。

2 研究の目的と背景

低湿度環境の管理に、湿度の計測は非常に重要視されており、環境快適性、品質管理維持、安全性の確保などにも簡便な湿度測定方式が多岐に渡って求められている。そこで本研究では、テラヘルツ帯の光源による水蒸気吸収スペクトルを利用した光学湿度計測、高精度の絶対湿度計測の実証と実現に取り組み、環境快適性、品質管理維持、安全性の確保などを目指した広い測定領域において市販されている安価な湿度計を間接的に評価できるよう目指した。テラヘルツ帯域の光源を用いることで、水分子のOH振動を見る場合の水とアルコールの多形の識別が不十分な赤外線帯域とは異なり、分子全体の振動を見ることができる。また、テラヘルツ帯域での広いスペクトル範囲において、水蒸気固有の孤立した吸収線が幾つか存在しており、各吸収スペクトルの吸収係数が異なるため、いくつか選択して測定することで、広いダイナミックレンジにおいて絶対湿度を高精度に測定することが可能であると考えられる。

3 研究内容

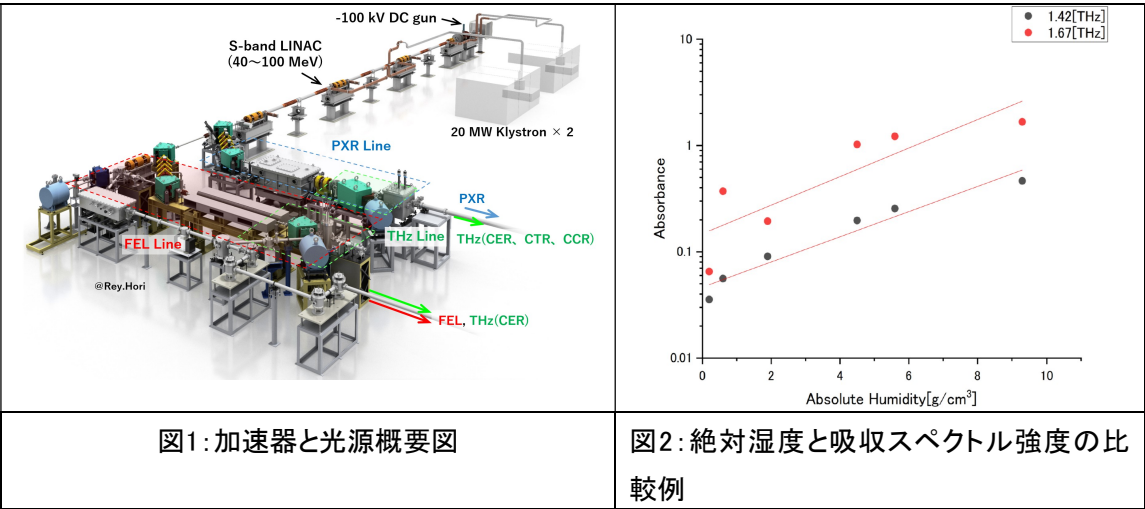
(1) テラヘルツ帯水蒸気吸収スペクトルを利用した光学湿度計測

<http://www.lebra.nihon-u.ac.jp/>

湿度は小学生にもなじみのある身近な物理量であり、最近では、ウイルス感染症やインフルエンザといった病気でも温湿度の関係が注目されている。また国を挙げての温室効果ガスの排出量実質ゼロの「脱炭素化」に向けた、電気自動車向けの電池製造における低湿度環境の維持管理などでも非常に重要視されている。しかし市販されている湿度計は極めて精度が低く、一般的な温湿度計の湿度の精度は±5%程度、精度が高い物でも±2%程度である。また対象が低湿度に

は誤差が大きく、精度がさらに悪くなる傾向にある。大気に含まれる微量ガス検出に対しては、光学的計測法一つである非分散赤外吸収法（NDIR）を利用して高精度計測が行われているが、中赤外域で吸収の大きい水蒸気に対しては実用化されていなかった。そこで本研究では、図1に示す加速器からのテラヘルツ帯の光源による水蒸気吸収スペクトルを利用した光学湿度計測、高精度の絶対湿度計測の原理実証と実現に取り組み、環境快適性、品質管理維持、安全性の確保などを旨とした広い測定領域において市販されている安価な湿度計を間接的に評価できるよう目指した。

湿度を変化させた時のTHzの水蒸気吸収スペクトル測定を実施し、波長範囲は0.5～2.0 THzの間で評価を行えた。この波長範囲内で水蒸気吸収に伴う代表的なスペクトルピークは、絶対湿度0.2～9.3 g/cm²の範囲で求められ、観測された吸収スペクトルの中で1.42THz、1.67THzの吸収ピークを主に解析できた。解析の結果、1.67THzでは誤差が大きかったが、1.42THzでの吸収スペクトルでの結果では、高湿度環境（絶対湿度4.5 g/cm²以上）の範囲では誤差が4%以上見られる湿度範囲もあるが、絶対湿度が低い低湿度付近（0.6 g/cm²）では約0.1%の誤差範囲内で測定できた（図2参照）。これにより、テラヘルツ光を用いた水蒸気スペクトル光学湿度計測が実施でき、湿度計測が可能であることを示すことが出来た。



(2) 学会発表の実施

学会及び研究会で成果報告を行い、6に示す論文発表等を行った。特に32nd Linear Accelerator Conference（LINAC2024）では、全体の発表者の中で約10%が選定される注目される研究に選定された。本発表はオーラルポスター発表に推薦され、口頭発表も実施した。発表時の様子を図3に示す。

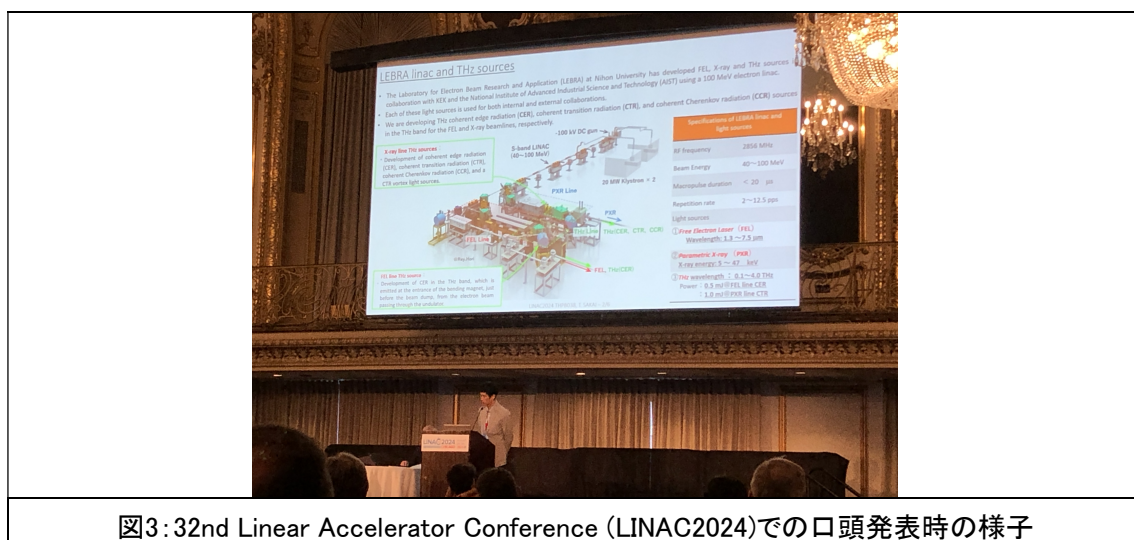


図3:32nd Linear Accelerator Conference (LINAC2024)での口頭発表時の様子

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

テラヘルツ帯のスペクトル測定は、水蒸気に留まらずに様々なガスなど、固有の吸収スペクトルを持つ気体に対する高濃度検出や高精度リモートセンシングなどにも幅広く応用が可能であると考えられる。本研究では空気中の絶対湿度計測であったが、その他の物質の密度計測を通じて多様な分野にテラヘルツ光の利用が波及することが期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまで進めてきたテラヘルツ光源開発では、空気中の水蒸気吸収の影響を抑えるため改良を進めてきていたが、この吸収の影響を利用した空気中の絶対湿度計測の実証を目指した物であり、光学的計測法応用の一例となったといえる。テラヘルツ帯域の広いスペクトル範囲において、絶対湿度を高精度に測定することが可能であり、新たな取り組みであるといえる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- [1] Takeshi *et al.*, "Development of terahertz sources at LEBRA in Nihon University", Proceedings of the 21st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, July 31 – August 3, 2024, Yamagata, pp.912–914.
- [2] T. Sakai *et al.*, "Research and development of coherent terahertz sources at LEBRA linac, Nihon University", 32nd Linear Accelerator Conference (LINAC2024) (25–30 Aug. 2024, Chicago, USA) 611–614 (doi: 10.18429/JACoW-LINAC2024-THAA006).
- [3] Takeshi Sakai *et al.*, "Development and Application of Coherent Terahertz Sources at LEBRA, Nihon University", The 33rd (FY2024) Annual Meeting of the Japan Society of Infrared Science and Technology, OSAKA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, October 10–11, 2024, pp.108–109.
- [4] 谷野麻糸、大谷昭仁、"テラヘルツ波分光法を用いた高精度湿度測定に関する基礎測定"、電気学会 令和6年度基礎・材料・共通部門大会、2-P2-17.

[5] 境 武志 他, “LEBRAにおけるコヒーレントテラヘルツ光源と応用利用”, 第38回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、(11P-08).

[6] 住山 智基、大谷 昭仁、境 武志 “高精度光学湿度計則の実現に向けたテラヘルツ帯水蒸気吸収スペクトルの測定”、2024年度日本大学量子科学研究所電子線利用研究施設ユーザーズミーティング、(p-14).

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

・Proceedings of the 21st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan

(<https://doi.org/10.18429/JACoW-LINAC2024-THAA006>)

・第21回日本加速器学会年会プロシーディングス

(https://www.pasj.jp/web_publish/pasj2024/proceedings/PDF/FRP0/FRP028.pdf)

・電気学会 令和6年度基礎・材料・共通部門大会

[2-P2-17] テラヘルツ波分光法を用いた高精度湿度測定に関する基礎測定

(https://www.iee.jp/fms/a_event/r6/r6-a-taikai-program/)

・第33回日本赤外線学会研究発表会

[P-38] 日本大学電子線利用研究施設におけるテラヘルツ波光源開発と応用利用

(<https://www.jsir.org/event2024/033annual-program/>)

・第38回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム

[11P-08] LEBRAにおけるコヒーレントテラヘルツ光源と応用利用

(<https://confit.atlas.jp/guide/event/jssrr2025/subject/2P28/tables?cryptoId=>)

・2024年度日本大学量子科学研究所電子線利用研究施設ユーザーズミーティング

(http://www.lebra.nihon-u.ac.jp/meetings/2024_lebra_usersmeeting.pdf)

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

該当無し

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 日本大学量子科学研究所(ニホンダイガクリョウシカガクケンキュウジョ)

住 所: 〒274-8501

千葉県船橋市習志野台7-24-1日本大学理工学部船橋校舎

担 当 者: 准教授 境 武志(サカイ タケシ)

担 当 部 署: 電子線利用研究施設(デンシセンリョウケンキュウシセツ)

E - m a i l: sakai.takeshi@nihon-u.ac.jp

U R L: <http://www.lebra.nihon-u.ac.jp/>