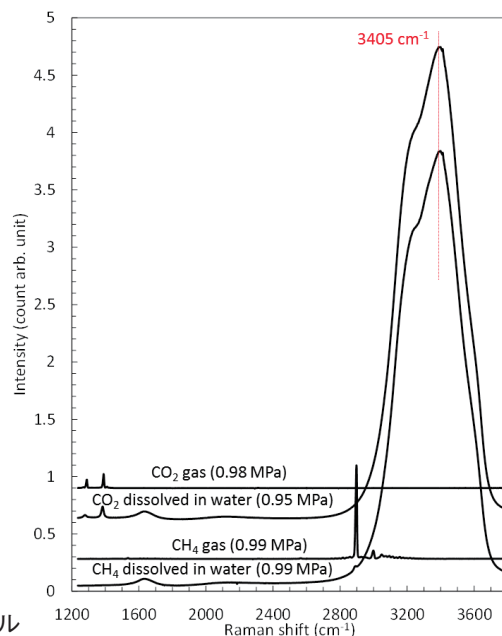




【表紙図】水中ガスのラマンスペクトル

水中レーザーリモートセンシングに向けた ラマンライダーの開発

◆レーザーを用いた水中リモートセンシング

日本の領海・排他的経済水域は国土面積に比べて12倍程度と広く、海底鉱物資源・メタンハイドレート掘削、CO₂を海底地層に圧入して大規模削減を目指すCCS (Carbon dioxide Capture and Storage)等の有効な海底利用が計画されている。海底開発では資源探査手法の開発だけでなく海洋生態系・環境への影響評価が必要とされており、広大な海底を効率よくモニタリングするために、水中のガスからのラマン信号を利用して位置情報を得る水中ガスラマンライダーの研究開発を行っている。

これまでCO₂ガスを用いてラマンライダーの基礎研究を実施してきたが、CO₂ガスでは実際に海中でのモニタリング試験を行うための最適な観測サイトが日本にはない。一方、八重山諸島にある竹富島には水深が20 mと比較的浅い箇所からメタンガスを70%程度含

レーザープロセス研究チーム 染川智弘

む火山性ガスの湧出がある。本手法による水中ガス漏えいモニタリングの実地模擬試験を竹富島海底温泉にて実施するために、水中メタンガスラマンライダーの開発を開始した。本稿では水溶存メタンガスのラマン分光測定の結果を報告する。

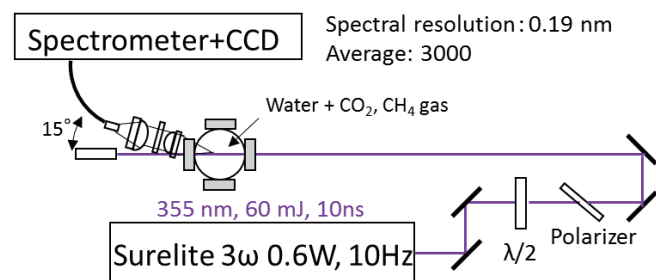
◆水中メタンガスのラマン分光

図1にラマン分光実験の配置図を示す。これまでのCO₂ガスの計測では水の透過率が比較的高い波長532 nmのレーザーを用いていたが、メタンガスのラマン信号は約629 nmに観測されることになり、ラマン散乱光の水による減衰が大きくなる。そこで、メタンガス計測では波長355 nmのレーザーを利用した。高圧チャンバーには蒸留水を180 ml程度入れ、CO₂、CH₄ガスを1 MPa以下で溶存させてラマンスペクトルを取得した。測定は電子冷却CCDカメラを利用し、露光時間90 ms、3000回積算のスペクトルを評価した。分光システ

μmの波長分解能は0.19 nmである。

表紙図に1 MPa程度の圧力でのCO₂ガス、水溶存CO₂ガス、メタンガス、水溶存メタンガスのラマンスペクトルを示す。CO₂ガス、メタンガスのそれぞれの拡大図は図2(a)、(b)に示してある。3405 cm⁻¹に見られる大きな信号が水の伸縮モードの信号であり、1635 cm⁻¹に見られる信号が水の変角モードのラマン信号である。1289、1390 cm⁻¹に見られる信号がCO₂ガスのラマンスペクトルであり、水に溶存させると、それぞれ1280、1384 cm⁻¹にシフトしている。また、2897 cm⁻¹に見られる信号がメタンガスのラマンスペクトルであり、水に溶存させることで2892 cm⁻¹にシフトしている。

メタンガスのラマン信号はCO₂ガスと比較して約14倍程度大きい、メタンガスは水に対する溶解度が非常に小さいために、水に溶存したメタンガスのラマン信号は非常に微弱となる。また、水溶存メタンガスのラマン信号は信号強度の大きな水の伸縮モードの裾部分に観測されるために、信号の分離が難しいことがわかる。水溶存メタンのラマン信号は非常に微弱であり、測定は難しい可能性があるが、気泡として湧出する竹富島の海底温泉のように、ラマン信号強度が大きなメ

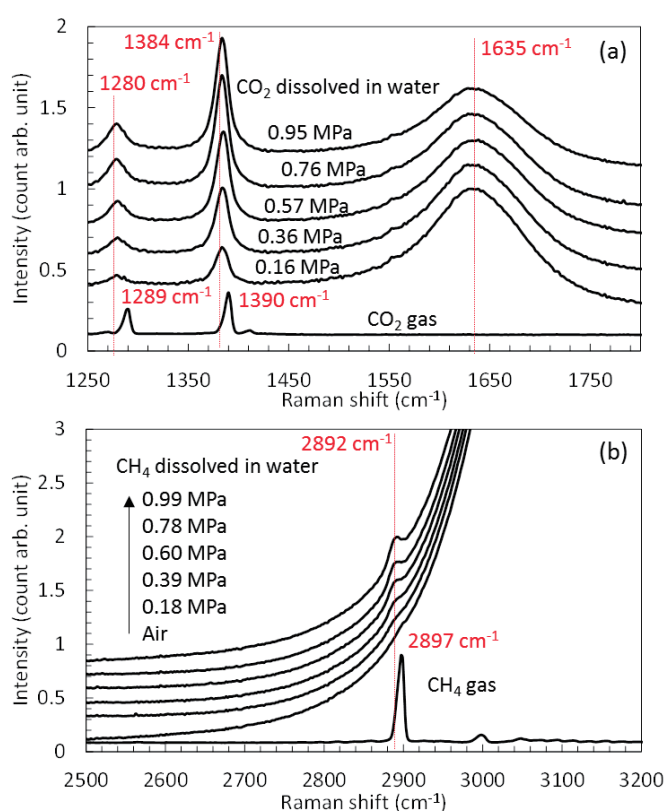


【図1】ラマン分光配置図

タンガス気泡と共存する観測系では観測が可能ではないかと考えられる。

◆今後の展開

これまでの研究成果を基に、現場で使用できる船舶設置型的水中ガスラマンライダーを作製している。この装置を用いて本年度に海上観測を予定しており、本手法の海中モニタリングへの適用可能性を検討する予定である。



【図2】水溶存CO₂ (a)、メタン(b)のラマンスペクトル

第6回遠赤外技術に関する国際ワークショップ報告 (IW-FIRT 2017)

■遠赤外およびテラヘルツ技術に関する国際会議

2017年3月7日～9日、福井大学にて開催された第6回遠赤外技術に関する国際ワークショップ(The 6th International Workshop on Far-Infrared Technologies 2017 (IW-FIRT 2017)、主催：福井大学遠赤外領域研

レーザーエネルギー研究チーム 李 大治 (究センター)に参加した。本会議は、遠赤外およびテラヘルツ技術、中でも高出力放射源の開発とその応用に関する議論を行うことを目的に1999年から定期的で開催されているが、今回は第2回高出力テラヘルツ科学および技術の進展に関する国際シンポジウム(The

2nd International Symposium on Development of High Power Terahertz Science and Technology (DHP-TST 2017))とのジョイントミーティングとなった。この背景には、近年急速な進展をみせるテラヘルツ放射源の開発と、この領域における国際的な連携が進んでいる (International Consortium for Development of High-power THz Science and Technology (http://fir.u-fukui.ac.jp/Website_Consortium/)) ことがある。本会議の主なトピックは、遠赤外領域における高出力放射源開発、高出力テラヘルツ波および遠赤外線的应用技術等であり、会議当日にはロシア、アメリカ、ドイツ、韓国、ウクライナ、日本から研究者が集い、60件あまりの研究報告が行われた。

■テラヘルツジャイロトロン

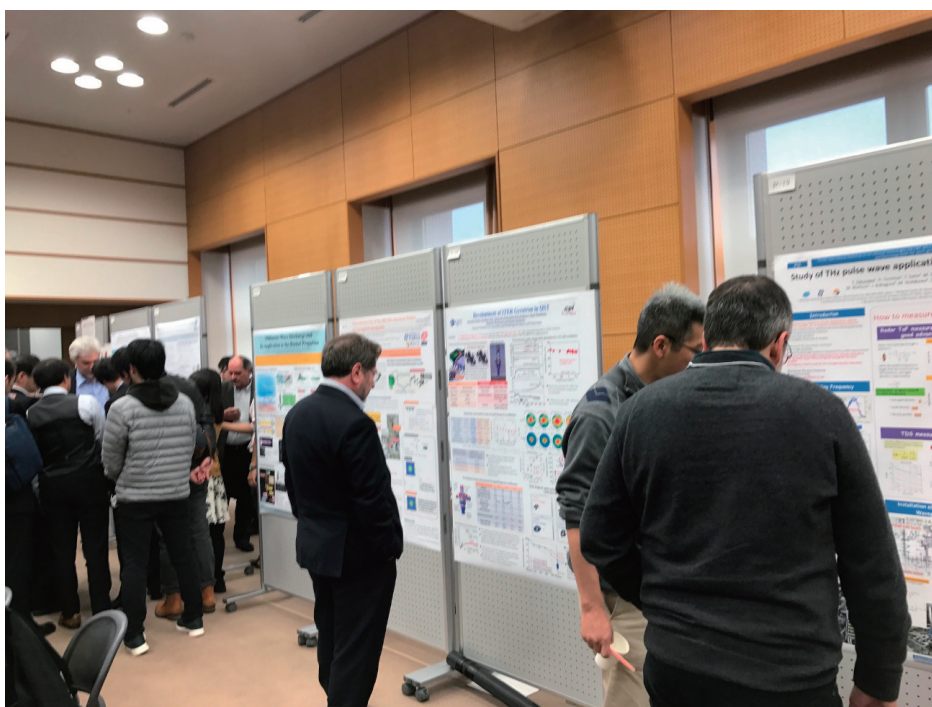
高出力テラヘルツ放射源を実現するための有望なアプローチとしてジャイロトロンが積極的に研究されており、放射周波数や出力の改善が急速に進んでいる。ジャイロトロンとは、磁場に沿って回転する電子の運動エネルギーを利用してミリ波～テラヘルツ波を発生させる大型電子管の名称である。ジャイロトロンには超伝導磁石や使用済み電子ビームのエネルギーを消滅させる大型集電器などの部品が必要であるため、古典的なマイクロ波管と比較するとより大型の装置となるが、自由電子レーザーのような電子加速器を用いた装置と比べればはるかにコンパクトな装置が作製できる。近年の高出力ジャイロトロン技術開発の進展は、高出力テラヘルツ技術や高度分光技術、プラズマ科学および材料加工などの分野における数多くの新規応用への道を開いた。

ロシア科学アカデミー(IAP RAS)応用物理学研究所ではCWジャイロトロンの開発が進められており、最近の実験では0.26～0.52THzの周波数範囲で最大1kWの出力が得られている。また彼らはパルス磁場を用いることで周波数0.7 THzで100 kW 出力を、1THzでは1kW の出力を達成した。カールスルーエ工科大学(KIT) (独)からは高出力ジャイロトロンに関する研究結果が報告された。彼らはEURO核融合プログラム(EURO fusion)の支援を受け、欧州のパー

トナーと協力して電子サイクロトロン共鳴加熱のためのジャイロトロンの開発を進めている。この目的を達成するためには、動作周波数200GHz以上、1MW以上の出力と全ジャイロトロン効率60%以上が必要とされるが、これらの要求は現状における技術的な限界といてよく、挑戦的な研究課題である。現在同軸キャビティおよび従来の中空キャビティ技術による検討が進められているが、その一方で、実験的検証を行うため彼ら独自のKITモジュール(中心周波数約240GHz、長パルス(100ms～1s))を用いた調査を準備中とのことである。マサチューセッツ工科大学(MIT)の研究者らは、サブテラヘルツのジャイロトロン装置に関する最近の結果を報告した。彼らが開発しているCWジャイロトロンは、第2サイクロトロン高調波(周波数527GHz)、12kVの加速電圧および150mAのビーム電流で動作するよう設計されている。以前の報告ではTE₁₂₂モードで動作する方式を用いていたが、この方式では近傍の基本TE₄₂モードとの厳しい競合が起こるとい問題が生じるため、TE₁₁₂モードで動作するようジャイロトロン管を再設計したとのことである。また彼らは、140GHzのジャイロトロン増幅器を改良して高利得化を行い、50Wの高出力放射源を用いて24dBの飽和利得と900Wの出力を達成した。

■テラヘルツ自由電子レーザー

カリフォルニア大学サンタバーバラ校(UCSB)(米)から、テラヘルツ自由電子レーザー(FEL)施設の紹介



【写真】ポスター発表時の様子

があった。彼らは6MeVの高品質電子ビームを生成するFELを2系統有している。うち1系統は周波数0.12~0.89THzで最大出力15kW、もう1系統は0.89THz~4.76THzの周波数範囲をカバーし、最大出力は6kWである。これほど大規模なテラヘルツFELを有する施設は世界的にも珍しいが、さらに彼らは周波数を10 THzまで拡張した第3のFELを開発中とのことである。彼らはこれらのFELを用いてパルス電子の常磁性共鳴実験を行っている。

■テラヘルツ技術を用いたがん診断

がんは、DNAの化学的、構造的変化をとともう遺伝的または後天的疾患と定義される。このことからがんの治療のためには、DNAの突然変異(がん化)を検出するためのゲノム解析等、DNAが持つ「配列」の特性(DNA配列のヌクレオチド順序など)を観測することが重要となるが、従来の光学技術では物質の重なり合った合成信号を測定するため、それらに関する情報を得ることは難しい。一方、DNAなど生体分子はテラヘルツ領域に振動を持つことから、テラヘルツ波を用いる

ことで生体分子個々の共鳴スペクトル(共鳴指紋)を観測することが可能である。これに関し、ソウル大学からがんDNAのテラヘルツ分光研究についての報告があった。彼らは改良されたテラヘルツ時間領域分光法(THz-TDS)を用い、がんDNAのメチル化の共鳴指紋の観測に成功した。ヌクレオシドの一種であるメチル化シチジンのテラヘルツ特性は、DNAメチル化の共鳴指紋を観察する手掛かりであった。彼らは凍結技術を用いて5つのがん細胞株のDNAの分子共鳴を追跡し、がんDNAの共鳴指紋がテラヘルツ領域に存在することを示すとともに、高度なTHz-TDSを用いればその観測が可能であることを実証した。この結果はDNAメチル化の共鳴指紋が分子レベルでの早期がん診断やがんのバイオマーカーに応用できることを示しており、テラヘルツ分光法のさらなる進歩を含め将来的な応用が期待される。

INFORMATION

レーザー技術総合研究所創立30周年

当研究所は、レーザー技術とその応用に関する研究開発を行う全国的・国際的機関として産業界および学界、ならびに当時の三省庁(科学技術庁・文部省・通商産業省)の協力により1987年に設立され、本年10月31日に創立30周年を迎えます。これもひとえに皆様のご支援、ご協力の賜物と心から感謝しております。

「21世紀は光の時代」といわれたように、この30年のレーザー技術の進展には目覚ましいものがあり、レーザー応用に関しても光通信/計測、レーザー加工、医療等様々な分野への利用が急速に進み、その市場規模も拡大の一途をたどっています。当研究所は、時代に先駆けてレーザー技術の発展ならびに産業界への応用を目指して活動を続けて参りました。今後も我々の研究成果を皆様に利用して頂くとともに、わが国の光・レーザー産業の発展に貢献できるような新しい仕組みを考えて参る所存です。

創立30周年にあたり、改めてレーザー技術の現状を見据え、新たな飛躍への契機とすべく記念誌の発行など記念行事の実施を計画しております。皆様方には、今後もお一層のご支援、ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

主な学会報告

- 6月25日(日)~30日(金) 28th International Laser Rader Conference (ILRC28) (ブカレスト)
柴川 智弘「RAMAN SPECTROSCOPY MEASUREMENT OF CH₄ GAS AND CH₄ DISSOLVED IN WATER FOR LASER REMOTE SENSING IN WATER」
- 6月26日(月)~29日(木) LiM2017(ミュンヘン国際見本市会場)
藤田 雅之「Femtosecond-Laser-Induced Surface Texturing of Al-Si Alloy for Lower Friction Surface」