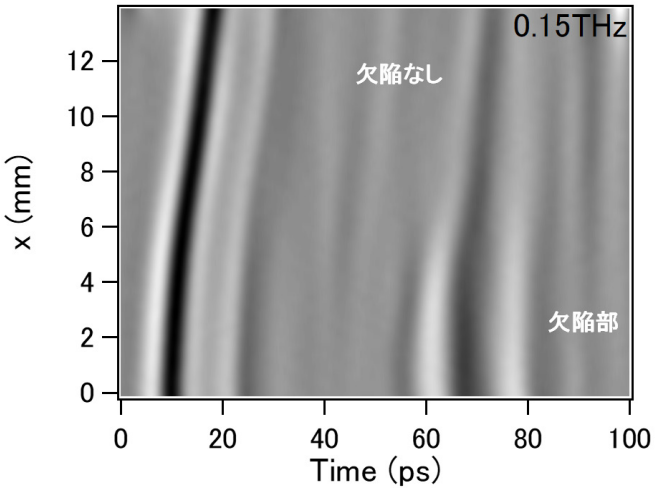
2017, May
No. 350

CONTENTS

▌テラヘルツ波による絶縁材料非破壊診断
▌日本化学会第97春季年会参加報告
▌ILT2017・創立30周年記念講演会（開催予告）
▌主な学会等報告予定

LASER CROSS
ISSN 0914-9805



【表紙図】ポリマー碍管サンプル一次元走査実験結果（周波数0.15 THz）

テラヘルツ波による絶縁材料非破壊診断

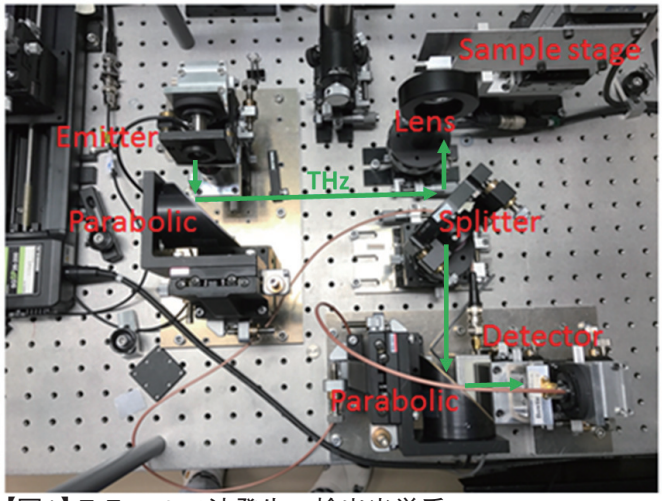
レーザーエネルギー研究チーム　李　大治
レーザー技術開発室　本越伸二

電波と可視光・赤外光の間にあたる領域の電磁波はテラヘルツ波と呼ばれる。周波数は0.1～10 THz、波長に換算すると3 mm～30 μm程度で、プラスチックや紙等に対する透過率が高く、電子部品、医療品、文化財などの非破壊検査への利用が進みつつある。当研究所では、平成24年度から電力設備用の絶縁材料内部に対するテラヘルツ波非破壊・非接触センシング技術に関する研究を行っている（レーザークロスNo.309, 2013 Dec.）。これまでに、種々の絶縁材料のテラヘルツ波特性の計測や、絶縁材料内の欠陥や異物の検出実験を行ってきた。平成28年度は、これらの結果を踏まえ、実際のポリマー碍管から切り出した試料を用いて内部診断を行った。

◆テラヘルツ発生・検出装置

ポリマー碍管は、環状のFRP樹脂の周囲にシリコーンゴムが被覆された構造を持つ。外観検査ではシリコーンゴム表面の汚れ、亀裂のみしか確認できないが、電気絶縁が維持されているかどうかを確認するためには、碍管内部、特にFRP樹脂とシリコーンゴムの接合部の状態を観察することが重要である。我々はテラヘルツ波を用い、シリコーンゴムとFRP樹脂の境界部分を観察することを試みた。この観察には境界面からの反射信号の検出が必要となるが、シリコーンゴムは周波数が1 THzを超えると吸収率が増加するため、0.1THz程度の低周波数帯域に特化した光伝導アンテナとフェムト秒パルスレーザーを用いたテラヘルツ波発生・検出装置を構築した。チタンサファイアレーザー装置から出力されたレーザーパルスは、半透過鏡により励起光とプローブ光に分けた。図1に装置の写真を示す。レーザーはテラヘルツ波発生用アンテナ（Emitter）に集光され、放射されたテラヘルツ波は放物面鏡（Parabolic mirror）により平行波に転換され空間に伝搬する。その後テラヘルツ波を半透過鏡（Splitter）で反射し、集光レンズを用いてサンプルの表面に対して垂直に入射させる。サンプルに照射されたテラヘルツ波は、サンプル表面で一部反射され、残りはシリコーンゴム内部を伝搬しFRP樹脂との境界面で反射される。2つの反射波は、入射波と逆方向に進行

次ページへつづく▶

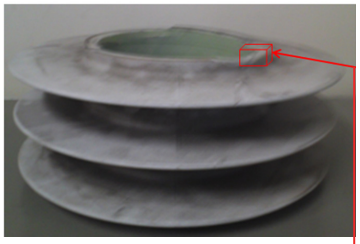


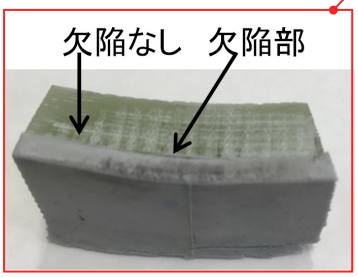
【図1】テラヘルツ波発生・検出光学系

し、集光レンズ、半透過鏡を通った後、検出用光伝導アンテナ(Detector)に集光される。この手法により、時間に対する反射波の強度変化(時間波形)の検出が可能となる。

◆ポリマー碍子内部模擬欠陥検出

計測に用いたサンプルは、ポリマー碍管の一部(図2、赤枠で示した部分)を切り出したものである。シリコーンゴムとFRP樹脂境界面に沿ってナイフで切り込みを入れ、剥離欠陥を模擬した(図3)。サンプルの正常部と欠陥部、および欠陥部に水を浸透させた場合の各々について、測定された反射波時間波形を図4に示す。図中黒線、赤線、青線は、それぞれ正常部、欠陥部、そして水を含む欠陥部の結果である。正常部では、10 psの位置にある表面反射から約55 ps遅れてシリコーンゴム／ FRP樹脂境界の反射信号が検出された。一方欠陥部では、シリコーンゴム内を伝搬したテラヘルツ波は、シリコーンゴムと剥離により形成された空気層、および空気層とFRP樹脂との境界面でそれぞれ反射され表面へ戻る。欠陥部では僅かな空気層の存在により境界反射率が増大し、正常部の約2倍大きくなっている。この結果は、テラヘルツ波によりポリマー碍管内部の隙間欠陥を識別可能であることを示している。ただし本研究では低周波数域のみを発生する光伝導アンテナを使用したため、信号の時間幅が広くなり、シリコーンゴム裏面／空気、空気／FRP樹脂の2つの反射信号を識別できず隙間の厚さは観測されていない。隙間に水を浸透させた場合は、水が存在しない場合に比べて僅かに反射信号が小さくなっている。これはテラヘルツ波の一部が水に吸収されるためと考えられる。


【図2】ポリマー碍管サンプル



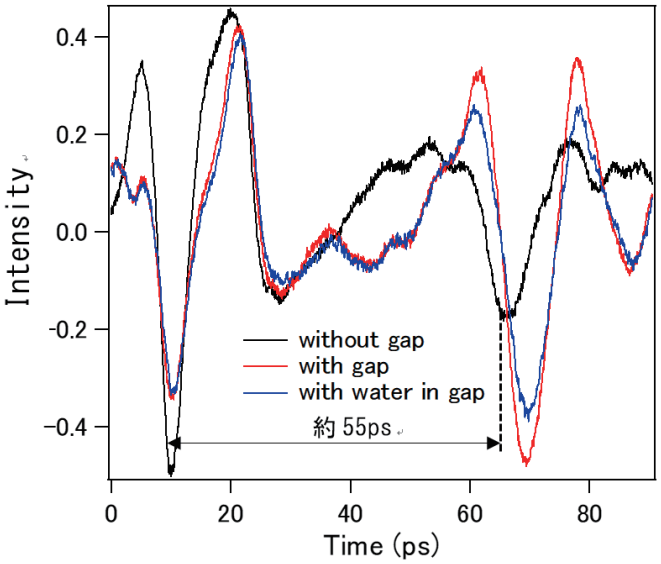
【図3】ポリマー碍管サンプル(切り出し後)

正常部と欠陥部を横断するように一次元走査し、テラヘルツ反射波を計測した。計測データから周波数0.15 THzの成分を抽出した結果を表紙図に示す。切り出したポリマー碍管は緩やかな曲率を持っているため、走査位置により表面反射および内部反射信号の時間が変化している。測定位置X=0 mmでは、時間約70 psに欠陥が存在し、測定位置約5 mmの位置から欠陥部の信号強度が弱くなり、その後信号強度は一定となる、つまりシリコーンゴムとFRP樹脂が密着した境界面の反射信号になっている。同様の方法で二次元掃引測定を行うことにより、欠陥部のマッピングも可能となる。

◆まとめと今後

本研究では、低周波数テラヘルツ波を利用してポリマー碍管模擬欠陥の検出可能性を示した。今後、多くの種類のポリマー碍管に対して計測・診断を行うことにより、測定精度、再現性を評価し、装置を実用化する場合の仕様検討等につなげたいと考えている。

本研究は、関西電力からの受託研究により実施された。また、実験装置構築及び測定解析について、大阪大学レーザー科学研究所の中嶋誠准教授、高野恵介助教、加藤康作研究員に多大なご指導を頂いた。この場を借りて感謝したい。



【図4】模擬欠陥のテラヘルツ波時間波形

日本化学会第97春季年会参加報告

レーザーバイオ化学研究チーム　谷口誠治

■日本化学会年会が横浜市にて開催

去る3月16～19日、慶応義塾大学日吉キャンパス（横浜市）にて日本化学会第97春季年会が開催された。本会議は、有機、無機、物理、生物、高分子、計算・理論など、化学に関連するあらゆる分野の研究者が集う国内で最も大規模な学会の一つである。開催期間中の参加者は約9000名、講演数は約5600件あまりにおよんだ。講演内容は、学術研究の成果を報告する「アカデミックプログラム（AP）」が主であるが、他にも産学官の研究者が最新の話題について情報交換する「アドバンスト・テクノロジー・プログラム（ATP）」などがあり、産業界からの参加も多い。また今回は、新元素「ニホニウム」を発見した理化学研究所森田チームの特別講演や、大村智北里大特別栄誉教授によるノーベル賞特別講演会などが企画されており、話題性にも富んだ会議であった。また近年、日本化学会はグローバリゼーションを目標に英語による研究報告を推奨しており、会議でも英語での発表を行う学生が多くみられた。

■液相高エネルギー化学の新展開

日本化学会では、研究分野を跨ぐ萌芽的領域を支援する目的で、「新領域研究グループ」制度を発足させているが、採用された研究グループの一つに「液相高エネルギー化学の新展開」（http://enechem.chemistry.or.jp、代表：大阪市立大学八ッ橋教授）がある。この研究グループは、レーザーや放電等により液中で作り出される高温・高圧状態の物理・化学プロセスを明らかにすることで、ナノ粒子やナノ構造体などの新規材料の作成やこれまでにない化学反応を見いだすことを目標としている。本会議では特別企画として講演会が開催され、関連研究を行っている6名の研究者が報告を行った。筆者は液中レーザーアブレーション法を用いた金属酸化物の還元・ナノ粒子作成に関する報告を行った（Laser Cross No. 343, 2016 Oct.他）が、他の報告も興味深いものであった。愛媛大院の朝日教授は、水中の有機物微粒子（ペリレン微結晶）の蛍光スペクトルの時間分解計測を行い、水温自体を変化させた場合の蛍光との比較から、ナノ秒パルスレーザー照射時の有機微粒子の温度を見積もった。報告では、レーザーフルエンスを変化させた実験から、低フルエンス（>20mJ/cm^2）条件では有機微結晶の温度はレーザーパルスの時間幅と同程度の時間（10ns）でもとの温度に戻ることが明らかにされ、周囲の水による高い冷却効果が示された。またフルエンスの増加に応じて、微結晶の融解や微結晶から水への分子放出過程が段階的に起こるという励起モデルが示された。レーザーアブレーションにおいて、原料物質の光反応や熱変換の効率を決定することは、ナノ粒子生成効率の向上や副反応の抑制といった意味でも非常に重要である。筆者も現在同様の手法でYb^{3+}YAGセラミックスの温度計測を行っているが、蛍光観測による温度計測手法を他の用途に応用できないかについて考えさせられた。北大院の越崎教授からは、液中レーザー溶融法に関する報告があった。越崎教授の研究グループでは、照射レーザーのフルエンスを通常の液中レーザーアブレーション法の1～2桁低く抑えて原料に用いるナノ粒子の溶融状態を作り出し、溶融ナノ粒子どうしを凝集させることにより、従来得られなかった粒径が揃った高品質サブミクロンナノ粒子の作成に成功している。報告では、金属や酸化物、半導体などさまざまな材料を用いた実験結果が報告され、この手法の有用性が示された。この報告は、原料の選択やレーザーの照射条件の精密な制御により、さまざまな新材料の創成が可能であることを示している。京大院下間准教授からは、液相レーザーアブレーションによる発光性カーボンナノ粒子の合成に関する報告があった。発光性カーボンナノ粒子は、半導体ナノ粒子に比べ生体への毒性が低いことから、バイオイメージングなどへの応用が期待されている。下間准教授らは、フェムト秒レーザーを用いた加工技術や機能性ナノ材料の合成について研究を行っているが、今回は原料にさまざまなカーボン素材（グラファイトカーボン、グラッシーカーボン、バガス炭）を用いて作成したナノ粒子の結晶構造や発光特性の違い、および溶媒効果などをTEM、電子エネルギー損失分光（EEL）などにより検討した結果を報告した。生成ナノ粒子の粒径は素材によりやや異なる（2.5～4.5nm）ものの、その結晶構造は、原料の結晶性の違いにも関わらずいずれもダイヤモンド構造を有していることが明らかとされた。また生成ナノ粒子の発光特性は溶媒（エタノール、アセトン、アンモニア（NH^{3+}）水）により変化する。その要因にはナノ粒子表面へのカルボニル

【写真】会場案内

基の結合や、窒素などヘテロ原子由来の欠陥準位の導入などが考えられ、溶媒分子との反応が生成ナノ粒子の物性に影響することが明らかにされた。他にも、水中で備長炭などの炭素材料にパルスレーザー照射を行うことで水を分解し水素を発生させる手法(和歌山大秋元准教授)や、グロー放電により液中で低温プラズマを発生させる手法(ソリューションプラズマ法)を用いたレアメタルフリーのカーボン系触媒の合成(芝浦工大石崎准教授)などの報告があり、いずれも新規性の高い内容であった。

■ラマン分光による蛋白質の局所温度の計測

レーザーを用いた生体関連物質の研究については、ラマン分光や赤外分光計測による蛋白質反応の観測に関するものが多く見られた。中でも興味深かったのは、紫外共鳴ラマン分光法を用いた蛋白質内の局所温度の観測に関する研究(阪大院理学研究科生物物理学研究室)である。この研究グループは、ミオグロビン中のヘム蛋白質に関する分光研究で良く知られている。今回は、水温を変化させたトリプトファン(Trp)水溶液の紫外共鳴アンチストークスラマンスペクトルを観測してボルツマン分布に基づく理論解析を行い、その結果を元にヘム蛋白質の観測データを分析し、ヘム内部のTrp残基の局所温度を算出した。その結果、ヘム励起時の局所温度が過渡的に90℃にまで達していることが明らかとなった。この結果は、蛋白質内におけるエネルギーの流れが等方的でなく、方向性を持っていることを示しており、蛋白質反応の特異性を説明するものとして興味深い。蛋白質内と水溶液中ではTrpの電子状態などが異なる可能性があるため、比較が可能であるかといった疑問もあるが、この手法が有効であることが示されれば、蛋白質の反応ダイナミクスに関する研究も大きく進展するものと思われる。

■次回の開催予定

次回の年会は平成30年3月20～23日、日本大学理工学部船橋キャンパスにて開催される予定である。

INFORMATION

ILT2017・創立30周年記念講演会(開催予告)

◆平成28年度研究成果報告会(ILT2017)

日時／ 平成29年7月21日(金)　10:30 ～ 15:00

場所／千里ライフサイエンスセンター 5階サイエンスホール

大阪府豊中市新千里東町1-4-2　TEL06-6873-2010

■開催概要、お申し込み

<定　員>　90名(定員になり次第締め切らせて頂きます)

<参加料>　無料　ただし、ILT2017の資料をご希望の方は実費として3,000円を頂戴いたします。

(賛助会員、理事・評議員会社等　無料)

<参加申込>当財団のホームページをご覧下さい。

(問い合わせ)E-mail：kinen@ilt.or.jp

◆創立30周年記念講演会

日時／ 平成29年7月21日(金)　15:00 ～ 17:00

場所／千里ライフサイエンスセンター 5階 サイエンスホール

●泰山賞贈呈式

◇レーザー功績賞

レーザー核融合をはじめとするレーザープラズマ科学研究推進への貢献　三間　圀興 氏

◇レーザー進歩賞

固体レーザーの小型化と非線形光学波長変換の先駆的研究　平等　拓範 氏

●記念講演

◇「レーザー技術総合研究所の30年」

レーザー技術総合研究所　所長　井澤　靖和

◇「関西経済の持続的成長に向けた関経連の取組(仮題)」

関西経済連合会会長　森　詳介氏

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)

染川　智弘「RAMAN SPECTROSCOPY MEASUREMENT OF CH_4 GAS AND CH_4 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」

発行／公益財団法人レーザー技術総合研究所　編集者代表／谷口誠治 〒550-0004 大阪市西区靱本町1-8-4 大阪科学技術センタービル4F TEL(06)6443-6311 FAX(06)6443-6313

掲載記事の内容に関するお問い合わせは、編集者代表・谷口誠治(E-mail:taniguchi@ilt.or.jp)までお願いいたします。