

CONTENTS

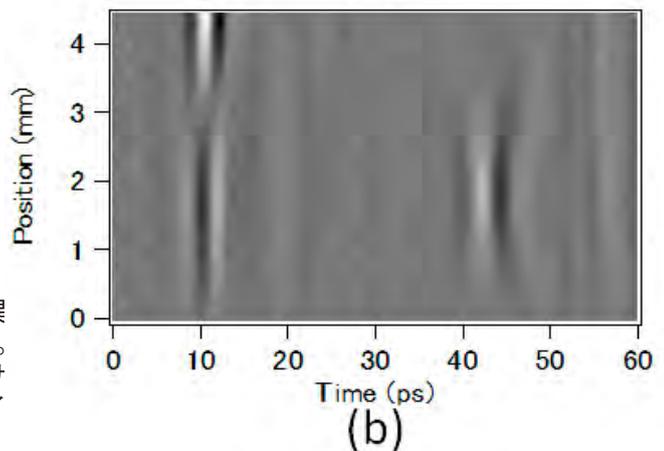
- テラヘルツ波によるポリマー碍子の内部欠陥検出
- Laser Optics 2016 国際会議報告
- 【光と蔭】山中回想録 3
- KAGRA、黒四発電所施設見学会を実施
- 主な学会等報告予定

針の径: ~0.7mm

走査方向



(a)



【表紙図】ポリマー碍管の異物の一次元走査測定結果。(a)模擬ポリマー碍管欠陥サンプル、(b)走査反射振幅イメージ(ノイズ除去後)

テラヘルツ波による ポリマー碍子の内部欠陥検出

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

◆はじめに

テラヘルツ波とは、周波数では0.1~10 THz、波長に換算すると3 mm~30 μm程度の電波と赤外光の中間領域を占める電磁波の一分類である。その物質中や大気中での伝播特性は電波に近く、一方で指向性を持つという光にも近い性質を示すことから、テラヘルツ波は赤外光と電波の両方の長所を兼ね備えているといえる。また、多くの分子はテラヘルツ周波数で振動(回転)するため、テラヘルツ波を用いて特定の振動周波数を検出することにより、分子の種類を識別することができる。近年、この特性を活用した幅広い産業分野および基礎科学への応用研究が急速に進められてきた。工業製品、食品、郵便物などの非破壊検査システムが開発され、実用化へ進んでいる。また絵画の分析技術が既に成功しており、多くの美術館がテラヘルツイメージングシステムを導入している。バイオ・医療における検査、分析、がん診断への応用も検討されている。これらに対して当

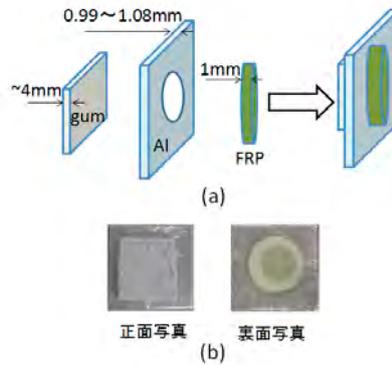
研究所では、電力設備用の絶縁材料内部に隠された欠陥や劣化の検査など、テラヘルツ波を利用した新しい非破壊・非接触センシング技術に関する研究を行ってきた。本稿では、反射型計測装置を用いたポリマー碍子内部欠陥検出の研究結果について報告する。

◆ポリマー碍子の剥離、浸水模擬欠陥の検出

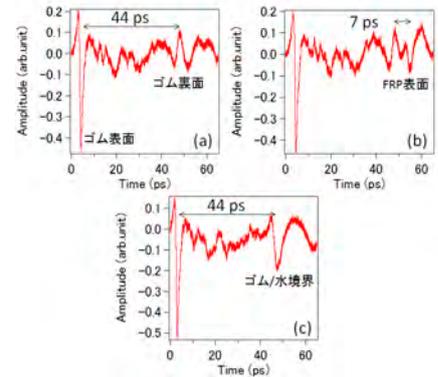
近年外被材にシリコンゴムを用いたポリマー碍子を適用した電力機器の使用が広がっているが、ポリマー碍子の外部絶縁性能の経年変化についてはまだ十分な情報が得られていない。特に、ポリマーブッシングのFRPコアとシリコンゴム外皮の剥離や水分の侵入については、外観の調査からは確認できないため、非破壊で内部欠陥を検出する手法の開発が必要となる。我々は、シリコンゴムとFRPの間に剥離や浸水を想定し、テラヘルツ波による模擬欠陥の検出実験を行った。模擬サンプルの構造を図1(a)に示す。厚さ約1mmのアルミニウム平板に直径10 mmの穴を空け、

次ページへつづく▶

前面に厚さ約4 mmのシリコンゴム板を密着させ、後面の開口部をFRP樹脂で封じて剥離欠陥を模擬した。また、穴の中に水を封入することにより浸水欠陥を模擬した。図1 (b)に、前後を貼り合わせた後の模擬サンプルの外観を示す。図2 (a)はFRP樹脂で封じていないサンプルにおける反射時間波形計測の結果である。図はサンプル表面からの反射信号が計測され始める時間を原点として波形をプロットしたものであり、遅れて観測されるサンプル内部(裏面)からの反射信号との時間差を利用することで、内部欠陥に関する情報を得ることができる。シリコンゴム



【図1】ポリマー碍管剥離、浸水(水を封入した場合)欠陥模擬サンプル。(a)サンプル構造 (b)サンプル写真



【図2】ポリマー碍管剥離模擬サンプルの反射波時間波形。(a) シリコンゴムのみ、(b) 1mmの隙間(大気)、(c) 隙間1mmに水を封じた場合

板の表面(5 ps付近)と裏面(50 ps付近)からの反射ピークが確認され、さらに裏面からの信号はシリコンゴムの吸収により減少することも確認できた。2つの反射波の時間差(44ps)より、シリコンゴムの厚さは4.1 mmであると算出できる。次に、FRP樹脂で封じ1 mmの隙間があるサンプルの結果を図2(b)に示す。シリコンゴムの裏面反射(48 ps付近)とFRP樹脂の表面反射(55 ps付近)のピークが分離している。2ピークの時間差(7ps)から隙間の幅は1.01 mmと算出され、アルミニウム板に空けた穴の肉厚約1mmと一致することがわかった。さらに、隙間に水を封入した模擬欠陥(図2 (c))では、シリコンゴムと水の境界面からの反射信号は位相が反転し、また水とFRP樹脂の境界面からの反射信号は水に吸収されるため検出されないことがわかった。反射信号の位相が反転するのは、観測周波数では水の屈折率がシリコンゴムのそれに比べ大きくなるためである。以上の結果から、シリコンゴムとFRP樹脂の間に隙間がある場合、およびその隙間に水が浸入した場合では、両者が完全に密着している場合に比べ反射波信号に違いが生じることから、この信号を分析することによりポリマー碍子内部の欠陥検出が可能であることが明らかとなった。

◆ポリマー碍子内部の異物検出

ポリマー碍子内部の金属異物の探知を行うため、碍管内部に金属針(直径~0.7 mm)を埋設したサンプル

をテラヘルツ波により一次元走査し、その反射波を計測した。走査は幅4.5 mm、測定間隔0.1 mmで行った(表紙図(a)点線)。シリコンゴムは高周波数の成分が透過しにくいいため、低周波数(0.25 THz)の成分を抽出して画像処理を行った。結果を表紙図 (b)に示す。時間10 ps付近にシリコンゴム表面からの反射波、時間42ps付近に金属針からの反射波が確認できる。反射波が現れた走査位置、および表面波からの時間差から金属針の幅を算出したところ、計算値は実際の針の太さよりも大きいことがわかった。この要因は、シリコンゴムを透過できる低周波数成分のみを用いたことで空間分解能が低下したためであると考えられる。

◆まとめと今後

本報告では、テラヘルツ波反射測定装置を用いることでポリマー碍子内部の剥離、浸水、異物混入などの欠陥検出が可能であることを明らかにした。今後は、低周波数域の光伝導アンテナを導入することによりS/N比の向上を図るとともに、実際のポリマー碍子を用いて内部診断を行い測定装置の安定性、精度を評価する予定である。

本研究は、関西電力(株)からの受託研究により実施された。また、実験装置構築及ぶ測定解析について、大阪大学レーザーエネルギー学センターの中嶋誠氏、高野恵介氏に多大なご指導を頂いた。この場を借りて感謝いたします。

Laser Optics 2016 国際会議報告

レーザープロセス研究チーム ハイク コスロービアン

■Laser Optics 2016がロシアにて開催

去る6月27日~7月1日、サンクトペテルブルグで開催された国際会議“Laser Optics 2016” (主催: Fund for Laser Physics (www.laseroptics.ru))に参加した。

本会議はほぼ2年に1度のペースで同地にて開催され、今回で17回目となる。現在では、本会議は高出力固体コヒーレント放射光源とその応用に関して議論を行う世界有数のフォーラムの1つとなっている。今回のト

ピックは、ダイオード励起レーザー、セラミック材料とレーザー、高出力レーザー、レーザービーム制御、新しい非線形材料に基づくコヒーレント光源、増幅器設計などであった。また本会議は、ロシアで設立され現在産業用高出力レーザーを世界展開しているIPGフォトニクス社(米)との関わりが深く、毎回同社からの研究発表や新製品のプレゼンテーションが多数行われる。今回も同社主催の特別セッションが組まれていた。他にも、カルフォルニア大のE. Yablonovitch教授、レーザーセンター・ハノーバー(独)のB. Chichkov教授、マサチューセッツ工科大のL. E. Zapata博士など、著名な研究者の講演もスケジュールされていた。

期間中はプレナリーセッションの他、7つの国際シンポジウムと4つのサイドイベントが開催されたが、それらはほぼ同時進行で行われたため、すべての講演をフォローできなかったのが残念であった。会議への参加者は世界44カ国から約1800名で、約750件の口頭およびポスター発表が行われた。ロシアでの開催というだけあって、研究発表の半分以上はロシアまたは旧ソ連の国々からのものであり、またそれ以外の国からの講演においても、発表者はロシア出身あるいはロシア系と思われるものが多く見られた。

研究発表の中で筆者が最も印象深かったのは、IPG

フォトニクス社から発表された、紫外～近赤外領域をすべてカバーできる高出力固体レーザーシステムに関するものであった。同社によれば、開発中のレーザーシステム

はコンパクトでメンテナンスフリー、かつ効率にも優れているため、将来的にはキロワット級出力のUVレーザーとして現在主流のエキシマーレーザー(気体レーザー)と置き換わることになるであろうとのことであった。さらに、電力変換効率(WPE)が50%を越える10キロワット出力のCWレーザーモジュール(エコレーザー)についての発表もあった。その他、ロシア語限定のサイドミーティング“Advanced laser technology and equipment in industrial applications(先進的レーザー技術と産業応用)”や、招待者のみ参加が許された



【写真】会議場にて((左)筆者、(右)A. Lobanov博士(ロシア科学アカデミー・レビデフ物理研究所)

山中千代衛



山中回想録 3

阪大レーザー核融合研究センターには山中千代衛(大の山中)、山中龍彦(ヤング山中)とプラズマ研では呼ばれていた。レーザー客員部門で大活躍

をした。精密工学吉永教授の所から山中正宣君が来ていた。三名山中である。二人とも亡くなった。

山中龍彦君は山中千代衛教授初代の大学院博士課程を経て大きく成長した。名古屋大学プラズマ研究所レーザー客員部門と一緒に参加し、激光I号を建設し、核融合中性子の発生に大いなる寄与をした。

ヘリウムで冷却した重水素棒にレーザー光を集中し、中性子を発生させた。高山副所長、伏見所長も大喜びでこのニュースを受けてくれた。

中性子の発生のみならず、パラメトリック共鳴によるエネルギー注入の事実を確認し、ゴードン会議をはじめ国際学会を新話題で独占した。オーム加熱では限度があり、この新方式による吸収は大いに天下の注目を集めた。

客員終了後阪大に戻り、助教授、教授と昇進した。ヤング山中の面目を見事に果たした。その後レーザー研センター長を務め、すぐれた才能を発揮した。

去年突然健康をこわし、死去してしまった。まことに残念な結果である。子供は娘さん一人。後に残る人も寂しい状態である。

阪大定年退官後、レーザー研の歴史を整理してもらっていたアーカイブスは中止になった。中井貞雄君と井澤靖和君の間で活発に行動していたのに、まこと心惜しいことである。阪大の三羽がらすが一羽欠けてしまった。

今は冥福を祈るのみである。

長らく一緒に戦った戦友が亡くなってしまった。寂しい限りである。

【名誉所長】

“NEWLED consortium meeting(新LED コンソーシアムミーティング)”といった参加者が限定されたサイドイベントが行われていたのは興味深かった。また、目への安全性が高いツリウム(Tm)イオン添加ファイバーレーザー(2 μ m域)の応用に関する特別シンポジウムが開催されるなど、医療やバイオフォトンクスへのレーザー応用についての議論も盛んであった。

■研究者たちとのディスカッション

本会議は、レーザー技術の将来展望や新しいアイデアについて世界の主要な研究者達と議論を交わす最も良い場のひとつである。筆者は、自身が研究課題としている高出力レーザー開発やコヒーレントビーム結合(CBC)技術等について多くのディスカッションを行った。IPGフォトンクス・ドイツのFomin博士とは、同社のレーザー開発状況について話し合った。IPGは最近、高出力ファイバーレーザーの第二高調波発生に用いるLBO結晶の開発を始めたとのこと。IPG社はこれまで結晶成長技術を持っていなかったが、今後はレーザーシステムに自社製品を組み込んで行く予定とのことである。また現在、IPG社の高出力レーザーシステムが石油または天然ガスのパイプライン溶接用に導

入されているようで、溶接作業が早く終わるため配管の供給が間に合わない程である、という話は印象的であった。ロシア科学アカデミー応用物理研究所(IAP RAS)のPalashov博士とは、Tb(テルビウム)やYb(イットリビウム)ドープセラミックレーザー媒質の開発状況について議論した。ロシアで開発中のセラミック材料は、現時点で日本製のものに比べ品質は劣っているものの技術革新が急速に進んでおり、2~3年の内には製品化されるであろうとのことであった。E. A. Perevezentsev 博士(IAP RAS)とは、Yb:YAGディスクレーザーの寄生発振(ASE)の抑制法や、液体窒素冷却法(プールおよびジェット冷却法)などについて議論した。また、国防科学技術大学(中)のR. Su博士とは、カスケード型位相制御法に基づいたファイバーレーザーアレイのCBC技術について議論した。彼らはこの手法を用いて16チャンネルのCBCを行っており、位相誤差 $\lambda/24$ 、結合効率95%、 M^2 値<1.25で2.5kWの出力を既に達成しているとのことであった。他にも多くの研究者とディスカッションを行い、多くの新しい情報を得ることができた。今後の研究に生かして行きたい。

TOPICS

KAGRA、黒四発電所施設見学会を実施

本年8月27~28日にかけて、当財団の賛助会員を対象に施設見学会を実施いたしました(共催：IFEフォーラム・レーザー核融合技術振興会)。今回は、産業界、学界から計15名にご参加いただき、東京大学宇宙線研究所の大型低温重力波望遠鏡KAGRA、関西電力(株)の黒部川第四発電所および黒部ダムを見学しました。KAGRAでは、研究所の三代



【写真】KAGRA見学



【写真】黒部ダム見学

木伸二准教授に施設をご案内いただきました。壮大な設備が大変興味深く、予定時間を過ぎてでも参加者の熱心な質問が終わらないほどでした。黒部では、開発経緯の説明に先人たちの熱意に思いをはせ、巨大な発電設備に圧倒されました。また当日は好天に恵まれ、ダムからの雄大な眺めを楽しむこともできました。当財団ではこれからもこのような施設見学会を企画いたしますので、その際にはぜひご参加いただければと思います。

主な学会等報告予定

10月16日(日)~20日(木) ICALEO'16 (サンディエゴ)

藤田 雅之「High Power UV Laser Processing of CFRP with Various ns Pulses」

10月24日(月)~26日(水) 2016 International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography (広島国際会議場)

砂原 淳「Modeling of Laser-produced Tin plasmas for Extreme Ultraviolet Lithography」

10月30日(日)~11月2日(水) 日本光学会年次学術講演会OPJ2016 (筑波大学東京キャンパス)

染川 智弘「白色光偏光ライダーの開発」

10月31日(月)~11月4日(金) 58th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (米国・サンノゼ)

砂原 淳「Diffusion of external magnetic fields into the cone-in-shell target in the fast ignition」