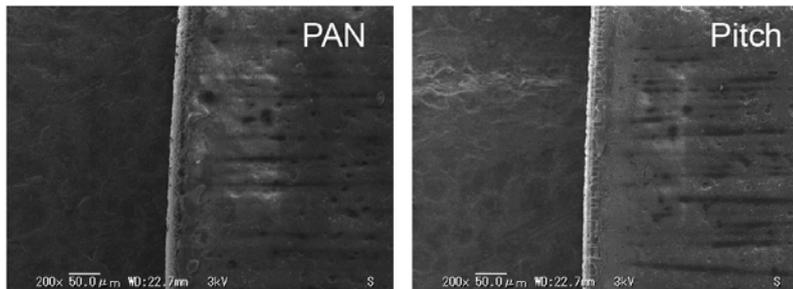


CONTENTS

- CFRPの高品質加工を目指して
- OPIC2014国際会議報告
- 【光と蔭】STAP細胞の誤算
- 主な学会等報告予定



【表紙図】1500mm/sで直線加工したPAN系とPITCH系CFRP(厚さ250 μ m)のSEM像の比較

CFRPの高品質加工を目指して

◆CFRPレーザー加工の課題

次世代エンジニアリング材料として注目されているCFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic: 炭素繊維強化樹脂複合材料)に対するレーザー加工の適用可能性について研究を進めている。CFRPは炭素繊維を積層し樹脂で固めた構造であるため、樹脂が何らかのダメージを受けると層間剥離が生じて強度が低下してしまう恐れがある。基本的に熱加工であるレーザー加工の場合は、炭素繊維の昇華温度よりも一桁低い融点をもつ樹脂が先に溶融し、炭素繊維と樹脂の間に隙間が生じたり、炭素繊維が露出してしまうことが問題となっている。樹脂が熱的ダメージを受けた領域はHAZ(Heat Affected Zone: 熱影響領域)と呼ばれ、10 μ m~100 μ m以下に抑制することが求められている。

◆薄いCFRP加工で基礎特性を明らかに

我々は、超短パルスレーザーを用いることでCFRPのレーザー加工に伴うHAZを最小限に抑制できることを示してきた(レーザークロスNo.267)。一方で、加工品質や加工速度、フォトンコスト等は互いにトレードオフの関係にある。CFRPの形態も様々であり、レーザー加工の実用化のためには用いるレーザーの波長やパルス幅を最適化していくことが重要となる。

厚さ数mmのCFRPをレーザーで切断する際に、用いるレーザーに関わらず溝が狭く深くなるほど加工速度が低下するという現象が観測されている。これは、深溝内部に微粒子やプラズマが滞留して溝の底部までレーザー光がうまく届かないことが原因と考えられる。CFRPレーザー加工の波長やパルス幅に対する依

主席研究員 藤田雅之

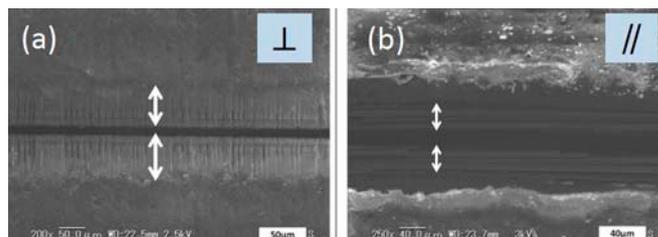
存性をクリアにするためには、加工時に起きる複雑な要因を排除した状態で実験データを取得することが望ましい。そこで、CFRPレーザー加工の基礎特性を明らかにするために、厚さ数100 μ mの薄い材料を用いた加工実験を行った。

◆炭素繊維の熱的特性も重要

CFRPに用いられている炭素繊維には大別してPAN系とPITCH系の2種類がある。PAN系炭素繊維は高強度でしなり易いという特徴から、自動車車体、航空機、ゴルフシャフト、テニスラケット等に広く使われている。一方、PITCH系炭素繊維は高弾性でしなり難いという特徴に加えて黒鉛結晶に近い性質を有している。熱伝導率は金属の銅と同等か2倍(800W/mK)であり、熱膨張係数は黒鉛結晶と同じ $1.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であり絶対値で石英ガラスの2倍程度である。熱を伝えやすく高温環境下でも変形しにくい材料である。加工結果の解釈には、これらの熱的な特性も考慮する必要がある。

◆UVピコ秒レーザーでCFRPを加工

波長266nm、パルス幅35psのレーザーを用いてCFRPの切断実験を行った。加工試料として厚さ約



【図1】PAN系クロスCFRPを低速(20mm/s)で直線加工した際に観察される熱影響領域(矢印部分)のSEM像。炭素繊維と(a)垂直に (b)平行に加工された部分

次ページへつづく▶

250 μm のPAN系とPITCH系のCFRPを用いた。レーザーパワーを0.5W~2W、繰り返し周波数を25kHz~100kHzと変化させ、焦点距離100mmのレンズを用いてレーザー光を集光照射した。CFRP試料は直進ステージまたは高速モーター上に固定した。直進ステージを用いた場合は10mm/s~40mm/sの掃引速度で試料を直線加工し、高速モーターを用いた場合は1500mm/sの掃引速度で試料を円形に加工した。

◆ピコ秒パルスでも掃引速度が遅いと

図1にPAN系クロスCFRPを20mm/sの低速で直線加工した際に観察されるHAZのSEM像(矢印部分)を示す。ここでは、CFRPの樹脂が蒸発し炭素繊維が露出した領域をHAZとして示している。掃引速度が遅い場合はピコ秒パルスレーザーを用いても熱影響領域が発生する。特に、炭素繊維に対して垂直に加工する場合は局所的な加熱の影響が著しい。PAN系炭素繊維の熱伝導率は鉄と同程度であり繊維内での熱伝導は比較的良好であるが、隣接する繊維間の熱伝導は極めて低い。

◆同じ掃引速度でもPITCH系では

図2にレーザーパワー2W、掃引速度40mm/sで直線加工したPAN系とPITCH系のCFRP試料のSEM像を示す。40mm/sの低速掃引では同じ照射パワーでもPAN系CFRPでは炭素繊維が露出しているがPITCH系CFRPの場合は露出が見られない。PAN系に比べてPITCH系炭素繊維は熱伝導率が数倍高いために、局所的に熱が溜まることなく加工が行われていることが分かる。

◆高速掃引でHAZのない加工

表紙図にレーザーパワー2W、繰り返し周波数50kHz、掃引速度1500mm/sで円形加工したPAN系とPITCH系のCFRP試料のSEM像を示す。炭素繊維を

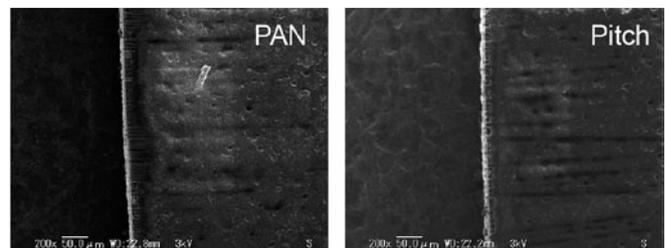
垂直に切断した部分を示している。いずれの場合も顕著なHAZが確認できない。レーザーの集光径は約15 μm であり、照射スポットは試料上で50%ずつオーバーラップして掃引されている。パルスは20 μs の間隔で照射されており、パルス毎の熱蓄積はほとんど起きていないと考えられる。

◆高品質加工のためには

一般的に、短波長、超短パルスのレーザーを用いることで熱影響が少ない加工が実現できるといわれているが、パルスの繰り返し周波数と掃引速度によっては熱影響が生じてしまう。同じ場所を短時間で多重照射すると、試料に熱が蓄積してしまう。近年、超短パルスレーザーの平均出力の向上と共に繰り返し周波数が増大しており、掃引速度が熱影響を支配する局面が増えてきている。

レーザーのパルス幅が短いほど、掃引速度が速いほど、波長が短いほど、熱影響の少ない加工が実現できるのである。

本研究は近畿大学・前田研究室との共同研究で実施し、レーザーの利用にあたってはスペクトロニクス(株)のご協力を得ました。関係者各位に感謝いたします。



【図2】40mm/sで直線加工したPAN系とPITCH系CFRPのSEM像の比較

OPIC2014国際会議報告

主席研究員 藤田雅之

レーザープロセス研究チーム ハイク コスロービアン

去る4月22日~25日、パシフィコ横浜にてOPIC国際会議(OPTICS & PHOTONICS International Congress)が開催された。OPICは、高エネルギー密度科学、LED、レーザー点火等、9つの主要分野に関する会議群で構成されており、他にも産業界から大規模な技術展示会(OPIE)が併設される等、日本における光・レーザー技術関連の一大イベントとなっている。本稿

では、OPIC内で開催された会議の様相を報告する。

◆SLPC国際会議

OPICの中でレーザー加工を主テーマとする会議がSLPC(Smart Laser Processing Conference)である。2012年/2013年にはレーザー加工の対象をCFRP等の複合材に絞り込んだ会議(LPCC)が開催されたが、今年からレーザー加工一般を対象としたSLPCに衣替えし

た。参加者は12カ国から86名、口頭発表件数は11カ国から51件(うち招待講演16件)であった。CFRPのレーザー加工に関しては、5件の発表からなるセッションが設けられた。以下にCFRPのレーザー加工に関するトピックスを報告する。

◆CFRPレーザー加工への要求

Manchester大学のLin Liは主に波長355nmのナノ秒レーザーを用いたCFRP加工を行っている。産業界との連携で、熱影響領域(HAZ)を10 μ m以下にしなければいけないという要求に対して波長やパルス幅の最適化を検討していた。以前はCWやミリ秒/マイクロ秒のレーザーでHAZが100 μ m以上であったのが、ナノ秒パルスを用いることで50 μ m程度まで抑制され、さらにサブナノ秒レーザーを用いることで20 μ m~30 μ m程度まで小さくすることができたとのことであった。多重線加工をすることで加工速度の向上が可能であるとの実験結果から、レーザースポット径の3倍程度の間隔で多重線加工をすることが最適であるという結論を得ていた。また、HAZの抑制に高速掃引が不可欠であり、サブナノまたはピコ秒レーザーで平均パワーを上

げて加工時間を短縮しようとするすると繰り返し周波数の向上を伴うため、超高速のスキャナーは不可欠であるという結論に至っていた。現状で6mm厚のCFRPに6mmの孔を空けるのに20分かかっており、これを2分に短縮することが求められている。これを実現しHAZを10 μ m以下にするためには数kWのピコ秒レーザーを10m/s以上で掃引することが求められるであろうとコメントしていた。

◆岐阜大学の取り組み

岐阜大の吉田准教授らは、QCWのファイバーレーザーを用いてHAZの最小化に取り組んでいる。単位面積当たりの投入パワーが同じであれば、HAZも同じになるという実験結果を示していた。つまり、レーザーの平均パワーを上げるとそれに比例して掃引速度を上げなければHAZが増大してしまうこと



【写真】発表中の藤田主席研究員

山中千代衛



……205

STAP細胞の誤算

ことしの2月3日(OELキャンペーン 558)で「天晴れリケジヨの活躍」

と題して理研の発生・再生科学総合研究センターの小保方晴子研究主任の

「STAP細胞」という万能細胞の「Nature」への発表をたたえたが、残念ながらこの論文は科学論文の体をなさず細胞写真がコピペだったり、内容も不備との刻印をおされ孤立無援の仕儀になった。

まことに残念という外はない。そもそも山中伸弥教授のiPS細胞の発明に関しノーベル生理学賞受賞があり、この対抗馬として大きな期待がもたれたSTAP細胞はiPS細胞と異なり、作製が容易で癌化の心配もないという触込みで売込まれた。

理化学研究所の改革委員会の報告によると研究不正行為を誘発した欠陥がある発生・再生科学総合研究センター(CDB)は解散すべきとの声がある。

笹井芳樹センター長の下でCDBはデータの検証を怠り内部で秘密裏に拙速に論文を作成し、投稿を急いだ。科学論文に求められるデータに基づく確固とした内容がなかった。

また小保方晴子主任の資質や研究を精査することなく採用をすすめる、成果主義に走り、今のような実態を許容した理研のガバナンスが問われている。かつての栄光の理研はどこで迷走を始めたのか。

STAP問題は世界の三大研究不正の一つに設定されているという。何たる恥辱。

文科省はiPS細胞を中心に世界をリードする革新技术の開発を目指し、京大、慶応大、理研、東大の4ヶ所の研究機関を中核的研究拠点とし、10年間1100億円を準備した。生物医学界からは偏重すぎる、「みんなどけ 多能性幹細胞様のお通りだ」と揶揄されている。功名争いの下、

成果主義に国を挙げて走ると往々にしてこのような誤算、迷走が生まれる。

科学はもっと地道に、もっと冷静に日頃の努力を積み重ねることが肝要である。

拡大と拡張の続いた理研は功をあせりすぎたのか。

【名誉所長】

になる。彼らはこれらの現象を熱解析と共にANSYSコードを用いたシミュレーションで解析しようと試みている。このような理論的な取り組みは世界的にも数少なく、重要な研究成果ならびに実験の指針をもたらすものと期待される。

◆多波長多重照射の試み

ドイツ・ドレスデンのIWS研究所のKlotzbachからは波長10 μ mの炭酸ガスレーザーと波長1 μ mのファイバーレーザーの重畳照射システムの紹介があった。CFRPと共にGFRPにも対応可能な加工システムである。光学系の波長分散を補償するために1 μ mの光学系に補償光学素子を導入している。予備的な実験では単一波長照射よりも重畳照射の方が良好な結果が得られていた。今後の実験結果の積み重ねと解析が期待される。(藤田雅之)

■ALPS2014国際会議

ALPS' 14(The 3rd Advanced Lasers and Photon Sources 2014)は、OPICの中で先進的レーザー・光源の開発とその応用について議論する場として位置付けられている。今回は20件の招待講演、48件の口頭発表、44件のポスター発表が行われた。以下にレーザー開発に関するトピックスを紹介する。

■マルチコアファイバーレーザーの位相制御

マルチコアフォトニック結晶ファイバーレーザーは複数の利得コアを持ち、次世代高出力レーザー開発の重要要素であるコヒーレントビーム結合技術(CBC)のパワースケーリングのために将来有望なレーザーである。電気通信大の白川教授から、過飽和吸収体により複数コアのパッシブQ-スイッチングを同時に行う新しい同位相(in-phase)モード選択法に関する報告があった。

発表では、6コアレーザーの近視野および遠視野像が示され、Cr:YAG結晶を過飽和吸収体に用いた結果等を例に挙げてin-phase スーパーモード選択技術、輝度スケーリングのポテンシャル等の詳細が報告された。

■コンパクト10PWレーザー

上海光学精密機械研究所(SIOM)のX. Liangから、コンパクトな10PWレーザーの開発に関する報告があった。彼らはフロントエンドにチャープパルス増幅(CPA)を、バックエンドに光パラメトリックチャープパルス増幅(OPCPA)を用いたハイブリッドシステムを採用している。CPAで得られた1.9JのパルスをOPCPA(ポンプエネルギー102J)に導入し、最終的に出力~28.7J(パルス幅~34fs)が得られている。彼らはこのシステムをさらに拡張し、2年以内に出力300J(パルス幅25fs)を目指している。

■HiLASEプロジェクトの現状

ASCR物理学研究所(プラハ)のA. Lucianettiから、チェコで進められている産業応用レーザーHiLASE(High average power pulsed Laser)開発プロジェクトの現状報告があった。HiLASEにはYb:YAGマルチスラブ方式およびHeガス冷却が採用されている。今回は、繰り返し10Hz、電力変換効率>12%の高出力(100J)条件でのYb:YAGの熱光学計算の詳細が報告された。光吸収スラブと利得物質の間に屈折率整合中間層を導入すれば、増幅レーザービームの非偏光性と光路差を補償でき、レーザーの発振効率および品質を向上できるとのことであった。レーザー装置は現在、英国の中央レーザー研究施設(CLF)で構築中であり、2015年5月までに完成予定とのことである。(ハイク コスロービアン)

主な学会等報告予定

7月27日(日)~8月1日(金)	18th International Symposium on Flavins and Flavoproteins (タイ・バンコク) ハイク コスロービアン 「Ultrafast Fluorescence Spectroscopic Studies on Flavins and Flavoproteins」(招待講演)
9月3日(水)~6日(土)	電気学会C部門大会(島根大学) 島田 義則 「レーザーを用いた硝子表面塩分計測」
9月10日(水)~12日(金)	土木学会全国大会(大阪大学豊中キャンパス) 島田 義則 「レーザーを用いたコンクリート構造物の健全性評価技術(2)-ケミカルアンカーボルトの接着不良検出」
9月17日(水)~20日(土)	応用物理学会 秋季大会(北海道大学) ハイク コスロービアン 「ナノ秒パルスレーザーの重ねアパーチャコヒーレントビーム結合」 古河 裕之 「レーザーピーニング統合シミュレーションによる塑性圧縮応力の評価」 李 大治 「負の屈折率媒質による電磁波放射の基礎研究」
9月17日(水)~20日(土)	JSAP-OSAジョイントシンポジウム2014(北海道大学) 藤田 雅之 「Micromachining of CFRP with Ultra-Short Laser Pulses」
9月22日(月)~25日(木)	SPIE Remote Sensing(オランダ、Amsterdam) 染川 智弘 「Raman spectroscopy measurements of CO ₂ dissolved in water and CO ₂ bubbles for laser remote sensing in water」