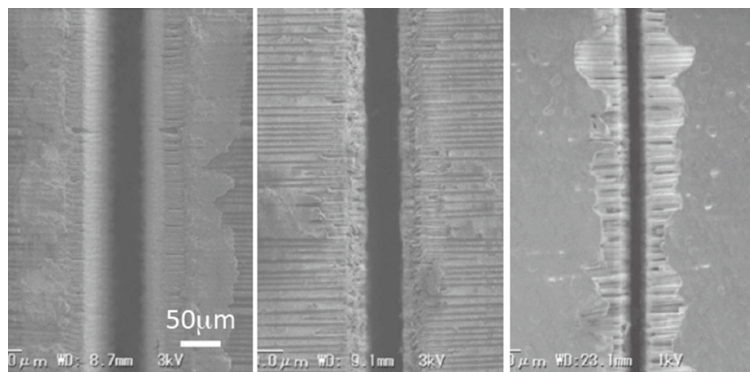


CONTENTS

- CFRPのパルスレーザー加工
～波長とパルス幅への依存性～
- OPIC 2016 国際会議報告
(OPTICS & PHOTONICS International Congress)
- 【光と蔭】山中回想録
- 主な学会等報告予定



100fs/800nm 200ps/800nm 20ns/1064nm
【表紙図】CFRPレーザー加工のパルス幅依存性

CFRPのパルスレーザー加工 ～波長とパルス幅への依存性～

主席研究員 藤田雅之

◆2009年から7年間

2009年にNEDOの「省エネルギー革新技術開発事業／挑戦研究(事前研究)／革新的材料(CFRP)加工技術の事前研究」に参画して以来、CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic: 炭素繊維強化樹脂複合材)のレーザー加工について研究を進めてきた。この7年間にさまざまなレーザーを用いて加工品質や加工速度の波長(266 nm～1064 nm)およびパルス幅(100 fs～20 ns)に対する依存性を調べた。用いたレーザーによって実験条件は平均出力で0.1 W～60 W、掃引速度では17 mm/s～37,200 mm/sと大きく異なるため極めて大雑把な比較になるが、ここでまとめてみようと思う。一例として、表紙図にパルス幅を100 fs、200 ps、20 nsと変化した時の加工試料表面の走査型電子顕微鏡(SEM)像を示す。パルス幅が短いほど、シャープな加工が実現している。

◆加工対象としたCFRP

当初は厚さ約2mmのクロス型CFRPを試料としていた。クロス型では炭素繊維が縦横に編み込まれてお

り、炭素繊維の方向と切断方向が逐次変化するため加工にムラが生じてしまう。また、切り幅に対して加工深さが大きくなると加工速度が飽和する傾向が見られた。これらの現象を避けるために厚さ数100 μmの一方向CFRPを主に用いて実験を行った。この手の薄物CFRPは国内でしか手に入りにくい試料である。直線加工の場合は炭素繊維に対する切断方向を固定でき、円形に加工すれば1つの試料で繊維方向に対する加工角度の依存性が得られる。

◆レーザー装置メーカーの協力を得て

自前のレーザーだけでは広範囲な波長・パルス幅領域をカバーすることができないため、レーザー装置メーカーの協力を得て一連の実験を行った。スペクトロニクス社(茨木)から開発途中の平均出力2 W、波長266 nm、パルス幅35 psのレーザーを、スペクトラ・フィジックス社(米国サンタクララ)から平均出力60 W、波長355 nmのナノ秒レーザーQUASAR®をお借りした。また、浜松ホトニクス社のご厚意により、平均出力4 W、波長1030 nm、パルス幅2 psのレーザーMOILを使った

次ページへつづく▶

お試し照射実験を行った。

◆熱蓄積を避けるために

パルスレーザーを同じ箇所に照射し続けると熱が蓄積される。また、先のパルスが生成したプラズマを照射し続けると過熱されたプラズマによる熱影響が生じてしまう。そこで、ナノ秒領域のパルスに対しては、パルスごとの照射領域がなるべくオーバーラップしないように掃引速度を設定した。また、サブナノ秒領域のパルスに対しては、10 μ s以上の間隔を空けて照射するように繰り返し周波数を設定し、プラズマとの相互作用が極力少なくなる条件で実験を行った。

◆熱影響の大きさを比較すると

レーザーでCFRPを加工する難しさは、CFRPを構成する炭素繊維と樹脂の熱的特性の大きな差である。炭素繊維が昇華する温度3300℃に比べて樹脂が分解する温度は約400℃前後である。炭素繊維に加工条件を合わせれば樹脂には熱影響が生じる。我々は簡単のために、樹脂が蒸発して炭素繊維が露出した領域を熱影響領域(HAZ: Heat Affected Zone)とみなして評価することとしている。

図1に典型的な加工サンプルのSEM像を示す。すべてのSEM像は同じ倍率で示してある。大雑把な比較になるが、用いたレーザーのパルス幅が短く、波長が短いほど、HAZが小さいことが分かる。

◆比較の定量的指標として

さまざまなレーザーを用いた加工結果を定量的に比較するために、単位照射エネルギー当たりのCFRP除去質量で定義される指標(単位: mg/kJ)を加工効率とし

て評価した。切断部分の断面積と長さから除去質量を求め、照射パワーと加工時間から加工に要したエネルギーを求めた。幾つかの仮定の下で得られた結果を図2に示す。それぞれの円の面積は加工効率(mg/kJ)に比例している。照射エネルギーがすべて炭素繊維の蒸発に費やされた場合の理論限界値は45mg/kJとなる。

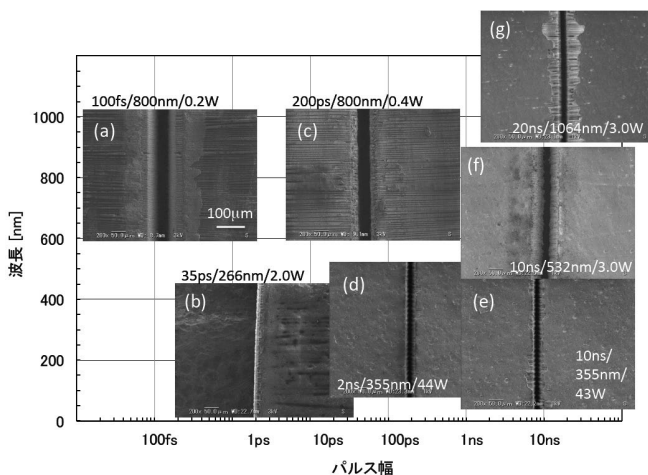
全体的な傾向としてパルス幅が短く波長が短くなるほど、加工効率が高いことが分かる。図1の傾向と合わせて考えると、加工効率が高いほど熱影響が小さくなるという結果が得られた。

◆木を見ずに森を見る

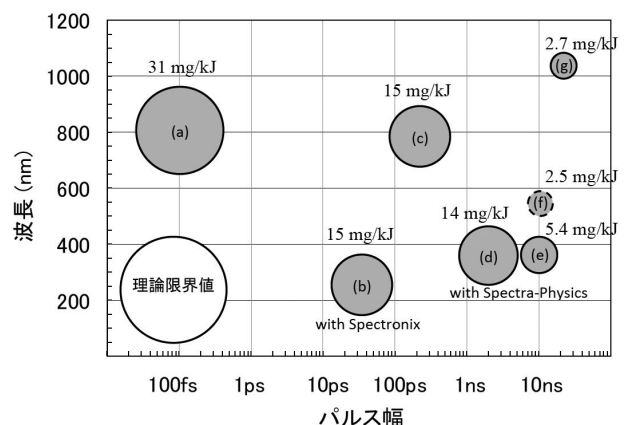
上記の結果はあくまで簡単な実験配置における単純な比較である。もちろん、特定の波長・パルス幅で種々の実験条件を最適化すればよりよい結果が得られることはいうまでもない。同じ波長・パルス幅では集光強度(W/cm²)が高いほど、熱影響が小さくなる傾向があり、加工効率も向上することが期待される。木を見ずに森を見るといった気持ちで図1と図2を眺めていただきたい。

紙面が限られるため、詳細な考察は当研究所の年間報告書ILT2016に譲る。

本研究は近畿大学・前田研究室/松谷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)、スペクトラ・フィジックス(株)、浜松ホトニクス(株)のご協力を得ました。また、本研究の一部は天田財団の助成を受けて行いました。関係者各位に感謝致します。



【図1】CFRPレーザー加工のパルス幅・波長依存性



【図2】CFRPレーザー加工効率(mg/kJ)のパルス幅・波長依存性

OPIC 2016 国際会議報告

(OPTICS & PHOTONICS International Congress)

所長 井澤靖和

◆OPIC2016開催さる

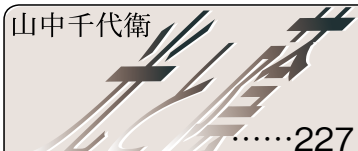
OPIC(OPTICS & PHOTONICS International Congress)は、光・レーザー技術に関する研究開発の最先端情報を集結し、光・レーザー技術によりもたらされる未来社会のあるべき姿を世界の研究者とともに考えることを目的として、2012年以来、毎年我が国で開催されている国際会議である。学术界と産業

界の連携を促進するため、OPIE展示会(OPTICS & PHOTONICS International Exhibition)が併催されている。

第5回目にあたる本年のOPIC2016は、下記の11の専門会議で構成され、5月17日～20日、パシフィコ横浜会議センターで開催された。

初回は6つの専門会議、参加者514名でスタートした

山中千代衛



山中回想録

筆者は1923年12月14日、父山中吉兵衛、母光子の長男として母の実家難波元町で生まれた。子供が長らくなかったので両親の熱愛をうけて育った。小学校に上がる時、文房具、鞆をそろえて伝法小学校尾崎校長先生に母は交渉したが、一年早ゆきは許されなかった。父が教育委員長をしていたので、お願いしたが駄目だった。後年阪大工学部の山村 豊先生が長岡で一年早く入学され、体力的に相当無理があったとしばしば聞かされた。

小学3年の春から芦屋の宮川小学校に転入した。ここで5・6年の受持ちは鈴木俊一先生で、この年5人神戸一中に入学した。普通各クラス1人位が進学するのに5人は異例のことであった。指導技術が極めて優れていたのだと思う。神戸一中に例のカーキ服でゲートルを巻いて、白い風呂敷づつみに教科書を包んで通学するのである。きわめて軍国主義的な教育で高等学校への進学率は高かった。

中学一年の時は母が四辻に立って見えなくなるまで手を振っていたのを覚えている。余程うれしかったのであろう。戦時中でもあったので高等学校は甲南理乙を選んだ。妹は3人、長女錦、次女緑、三女綾乃で共に兵庫県立第一高等女学校に進学した。長女錦が5年生、次女緑が3年生、三女綾乃は1年生という次第で、綾乃の言うには全学体操で長女錦が少し手を抜くと「山中 錦さんのためもう一度」と号令が全員にかかった由。

この長女は去年米寿の祝いのあと急に亡くなった。残念なことである。山中家が北の分家を作っていて、シベリア帰りの後藤芳雄さんと結婚し一男三女の母になっていた。とてもいい性格で皆に好かれていた。次女緑は日本庄延の稲垣誠夫さんと結婚、一女をもうけている。聖心の出身で幼稚園の先生をしていた。三女綾乃は東大出の医師榎本浩晶さんと結婚し、逗子に住んでいる。これも母の考えで、小生が東京方面に出張した時拠点になればということである。

三女綾乃の京都女子専門学校での同級生が妻の榎田民子である。やさしい性格で大変気に入っている。二人の間には長女薫、長男千博が生まれた。薫は神戸女学院大学に、長男は阪大理学部地球物理に務めている。長女薫は医師溝口 明と結婚し、近所の芦屋市松ノ内町に住み一女をもうけている。長男千博はロータリーの友人吉村 明さんの長女吉村祐子と結婚し、六甲アイランドに住み、長女紅於、長男晟史が生まれている。

父山中吉兵衛は昭和42年2月糖尿病で亡くなった。母は長命で平成2年11月、一年間の骨折が原因でとうとう亡くなってしまった。昭和天皇崩御の2日前であった。

「身体髪膚これを父母に受く。敢えて毀傷せざるは孝の始めなり。身を立て道を行い、名を後世に揚げ、もって父母を顕わすは、孝の終わりなり」と考経にある。

何とか今までうけた親の徳に応えたいものだ。

【名誉所長】

が、年々規模が拡大し、今年は発表論文総数736件、参加者は31カ国より1028名、外国人の割合は32%になった。以下本会議のトピックを紹介する。

○OPIC2016専門会議

- ・先進レーザーと光源技術(ALPS'16)
- ・宇宙と地球のためのレーザー(LSSE2016)
- ・バイオイメージングと光計測(BISC'16)
- ・光マニピュレーション(OMC'16)
- ・レーザーエネルギー学(CLES 2016)
- ・レーザー損傷(PLD'16)
- ・高エネルギー密度科学の応用(HEDS2016)
- ・レーザー加工(SLPC2016)
- ・LEDとその産業応用(LEDIA'16)
- ・X線光学要素技術と応用(XOPT'16)
- ・レーザー点火(LIC'16)

◆プレナリー・セッション

2日目午前のプレナリー・セッションはOPIE参加者にも解放され、4講演が行われた。QD Laser社の菅原社長は、RGB量子ドットレーザーと人間の網膜をスクリーンとして利用する眼鏡型のレーザープロジェクターについて現状と動向、医療手術への応用などを紹介した。東工大の細野教授は透明酸化物の電子応答特性開拓の成果を紹介し、半導体素子やTFTなどへの幅広い応用への期待を報告した。国立天文台の家(いえ)TMT国際天文台日本代表は、国際プロジェクトとしてハワイに建設中の30m望遠鏡について紹介し、初期宇宙、ダークマターなど天文学の新しい知見が数多く得られるとの期待を語った。チェコのG. Korn欧州連合高強度レーザー施設ビーム研究所所長は、EUが建設中の超高強度レーザーExtreme Light Infrastructure ELIの3施設、ELI beamlines(チェコ)、ELI ALPS(ハンガリー)、ELI NP(ルーマニア)の現状を報告し、電子やイオン加速とそれによるX線、 γ 線の発生、アト秒科学、核科学など、完成後の研究計画を紹介した。

◆LSSE2016

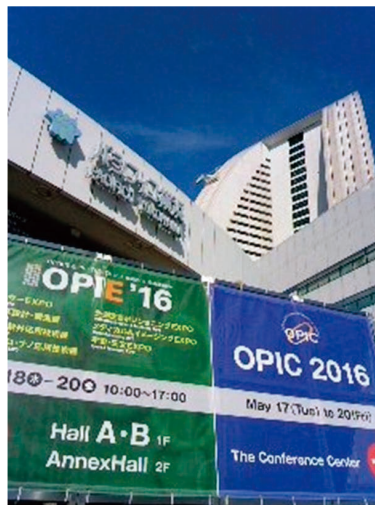
今年度より新たに開催されたLSSEでは、レーザーに

よる宇宙デブリ除去と社会インフラの施設検査を中心に、環境汚染検出、火力・原子力発電所の状態監視・診断や鉄鋼業への応用などに関する報告があった。デブリ除去では、デブリ検出光学系、飛昇体搭載型システムの設計検討、研究開発計画を含めて、レーザーアブレーションによるデブリ除去の物理モデルから国際法に係わる課題まで、幅広い議論が行われた。また、インフラ検査では、高速レーザー形状計測、打音法に代わるレーザー音響診断、老朽部排除などの技術開発が、理研、原子力機構、レーザー総研、JR西日本などから報告され、鉄道、道路、橋梁、廃炉対策への応用など、多岐にわたる分野・課題への適用可能性が印象づけられた。

◆ALPS'16

HAPLS(米、リバモア研)、PENELOPE(独、Dresden)、HiLase(チェコ)、Polaris(独、Jena)、4PWレーザー(韓国、GIST)など、各国で現在進行中の高出力レーザー開発プロジェクトの状況が報告された。HAPLS(High-Repetition-Rate Advanced Petawatt Laser System)は、30J/30fs/10PW/10HzをめざすTi:Sレーザーで、これを励起するためのLD励起Nd:ガラスレーザー(目標出力200J)で70Jが得られたとのこと。HAPLSはチェコで建設中のELI beamlinesにも導入予定である。

来年のOPIC2017は、新しい専門会議も加えて、4月19日～21日横浜で開催される予定である。



【写真】会場の様子

主な学会等報告予定

9月6日(火)～8日(木)	2016年光化学討論会(東京大学駒場キャンパス) 谷口 誠治「フェムト秒蛍光計測によるD-アミノ酸酸化酵素の機能阻害の研究」
9月7日(水)～9日(金)	平成28年度土木学会全国大会(東北大学川内北キャンパス) 島田 義則「レーザーを用いたコンクリート欠陥の高速遠隔検査技術の開発」
9月7日(水)～9日(金)	第34回レーザセンシングシンポジウム(野沢温泉スパリーナコンベンションホール) 染川 智弘「水中レーザーリモートセンシングに向けた水溶存メタンガスのラマン分光測定」
9月13日(火)～16日(金)	第77回応用物理学会秋季学術講演会(朱鷺メッセ 新潟コンベンションセンター) 李 大治「テラヘルツ波による絶縁材料非破壊診断」 染川 智弘「水中レーザーリモートセンシングに向けた水溶存メタンのラマン分光」
9月19日(月)～22日(木)	LANE2016 (ドイツ・ヒュルト) 藤田 雅之「Wavelength and pulsewidth dependences of laser processing of CFRP」