

ICALEO2006 速報

鷲尾 邦彦 (パラダイムレーザーリサーチ)

会議名 : 25th International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics

- Laser Materials Processing Conference (LMP 会議)

- Laser Microprocessing Conference (LMF 会議)

開催期間 : 2006 年 10 月 30 日 - 11 月 2 日

開催場所 : Double Tree Paradise Valley Resort (Scottsdale, AZ, 米国)

*****要 約*****

ICALEO は, LIA (米国レーザー協会) の主催により年 1 回開催されるレーザー加工分野で世界最大級の国際会議である。今回は第 25 回の記念として, 米国アリゾナ州の Scottsdale にて 4 年ぶりに開催された。プレナリー講演は, 25 years of laser processing – looking back to see the future と題した特別企画が催された。LMP 会議では, ファイバレーザ加工が圧倒的な注目を集めた。昨年に比べて発表件数は倍増しており, 半導体レーザ直接加工から高ビーム品質のファイバレーザ加工へと流れが顕著に変わったようだ。LMF 会議では, ナノ秒領域以下の短パルスレーザを用いるものが, 計 44 件と約 70% 近くを占めた。今回は, Laser Micropackaging と題したセッションが 3 セッションも設けられ, FPD や太陽電池向けなどの大面積かつ微細なデバイスへのマイクロ加工を取り上げた発表がかなり増えた印象である。LMF 会議では日本からの招待講演が 3 件もあり, LMP 会議に比べて相対的に日本のプレゼンスの高さを感じられた。一方, Vendor Program・Table Top Exhibition および Sponsors などでは日系企業のプレゼンスは皆無であり, 欧米諸国に比べてレーザ加工用部品関連のベンチャー企業等の名前が見当たらないのが残念であった。

1. 会議の概要

ICALEO は, LIA (米国レーザー協会) の主催により年 1 回開催されるレーザー加工分野で世界最大級の国際会議である。今回は第 25 回目の記念として, 本年 10 月 30 日から 11 月 2 日にかけて, 米国アリゾナ州の Scottsdale にて開催された。ICALEO の開催は米国の東側と西側とではほぼ交互に開催されており, 昨年はフロリダ州 Miami で開催された。Scottsdale での開催は, 2002 年以来で 4 年ぶりである。例年, 会議初日の午前中に全員が参加するプレナリーセッションが開催されたあと, 午後からは分野別に分かれて, 最終日まで 4 つないし 3 つ程度のパラレルセッションが開催されている。オーラル講演のテクニカルセッションは, 大きくは Laser Materials Processing Conference (LMP 会議) と Laser Microprocessing Conference (LMF 会議) に分かれている。LMF 会議は, 従来は Laser Microfabrication Conference と呼ばれていたが, 今回はどうしてか Laser Microprocessing Conference と改称された。これをそのまま略してしまうと従来からの LMP 会議と名称の区別がつかなくなるためか, この会議の略称としては従来通りの LMF が使用されている。これまでは例年 LMF 会議は 4 日間とも単一セッションで開催され, LMP 会議のみがマルチパラレルセッションにて開催されていたが, 今回は LMF 会議分野の発表件数がやや増加したためか, LMF 会議についても 1 日半程度はマルチパラレルセッションにて開催された。

今回の ICALEO 会議への事前参加登録者は 423 名であり、また日本からの参加は 33 名程度であった。また、LMP 会議と LMF 会議とにおけるオーラル講演の総数は、それぞれ 129 件および 61 件であり、総数は 190 件である。昨年はそれぞれ 139 件、50 件で総数は 189 件であった。従って、オーラル講演の総数はほぼ横ばいであり、LMP 会議でやや減少し、逆に LMF 会議で増加した。

ICALEO には 1982 年の第 1 回から昨年の第 24 年まで毎回欠かさず参加され、レーザ溶接分野の発展に顕著に貢献されてこられた大阪大学松縄朗名誉教授が本年の 9 月に急逝されたため、今回の ICALEO ではその Technical Digest & Conference Program に松縄先生の遺影が 1 頁全面に掲載され、また多くの参加者から哀悼の辞が述べられた。松縄先生は 4 年前に当地で Arthur L Shawlow 賞を受賞されており、ICALEO の国際 Advisory Board や LMP 議のプログラム委員などとしても活躍されておられたので、松縄先生を突然に失ったことは大変残念なことであり、日本としては、その痛手を早く克服してゆく必要があろう。

なお、会議前日の 10 月 29 日の夕方には、ホテルのプールサイドにて、Meet & Fiesta と題して、ドリンクやつまみを交えての気軽な集いが開催された。このなかで、会議参加者らによる即興的なバンド演奏によるエンターテインメントが催され、Matt Henry 氏 (英)、Ronald Schaffer 氏 (米)、Leonard Migliore 氏 (米) など数名が軽快なロックバンド演奏を披露した。これら各氏は、今回の ICALEO ではオーラル講演やポスター講演、あるいはショートコースの講師などもこなしておられ、彼らの多才な活躍ぶりが印象的であった。

2. 会議の内容

2. 1 プレナリーセッション

プレナリー講演は、例年 3 件程度であるが、今年は 25 回目の記念として、25 years of laser processing – looking back to see the future と題した特別企画が催され、全体で 5 件の講演があった。最初に米 Intel 社による Silicon Photonics に関する講演がなされ、次いで米 Jet Propulsion Lab. による宇宙用のレーザに関する講演、ロシアの Laser Association (LAS) による CIS (Commonwealth of Independent States: 独立国家共同体) におけるレーザの研究開発と産業および市場ニーズに関する講演、米 Michigan 大学によるレーザを利用した製造技術に関する研究および教育のための国際連携 (GARELAM: Global Alliance for Research and Education in Laser Aided Manufacturing) に関する講演、および米 Whitehouse Assoc. による 25 年前のレーザ加工技術を回顧した講演などがなされた。

筆者は 3 つめの講演の途中から、来年 9 月 24-26 日に Boston で開催予定のレーザ加工応用に関する別の国際会議 ALAC 2007 (Advanced Laser Applications Conference & Exposition) のプログラム委員会に参加するためプレナリーセッションを退席したので、プレナリーセッションの後半については省略し、前半についてのみ、講演の概要ならびに印象等を簡単に述べる。

1) Silicon Photonics (米 Intel 社)

講演の内容は、研究開発の動機と応用目的、研究開発経緯と進捗状況、最近の研究成果などであった。Silicon Photonics についてはすでに各種の国際会議でも紹介されており、例えば足立・青木両氏による ISLC2006 速報 (国際会議速報 H18-No.19) でも紹介されたばかりなので詳細は省略するが、InP 系発光層を SOI 基板上へ貼り付けた Si/InP ハイブリッドレーザは、デバイス外部からの光励起が必要であったこれまでの Si ラマンレーザとは異なり、電流注入にて Si/InP ハイブリッド素子がレーザ発振するという点で画

期的である。光出力は 1.8mW 程度（発振波長は 1577nm 程度）と小さく、加工用光源として用いるには小さすぎるが、LMF 会議などではシリカガラスなどの光部品を対象としたレーザ微細加工の研究発表も比較的多いので、Si/InP ハイブリッド素子などの新しい光・電気集積デバイスの出現は、LMF 分野の研究開発に対しても将来大きなインパクトをもたらす可能性があり、それらの将来動向も注視してゆく必要があろう。

2) 宇宙用のレーザ（米 Jet Propulsion Lab.）

地球観測衛星や宇宙探査衛星など各種の人工衛星に搭載されるレーザの設計や製造、評価、並びに文書化などについて紹介された。宇宙用のレーザは、産業用のレーザなどに比べて、耐加速度、耐振動、耐放射線、耐大振幅温度変動、気密性、など要求仕様項目がかなり多く、仕様が過酷である。このため、実際に打ち上げられる人工衛星の数はそれほど大量ではないが、評価や文書化に多大な工数や経費が必要とされるということが、まざまざと実感された。また、米国の当該分野における技術蓄積の巨大さが感じられた。

3) CIS におけるレーザの研究開発と産業および市場ニーズ（ロシア Laser Association）

CIS 諸国におけるレーザ関連の研究所及び企業に関する各種の統計や 1993 年から 2006 年にかけての推移について、集計データの紹介があった。研究機関の数は、ロシア 729 に対して Belarus 38, Ukraine 17, Lithuania 7, Uzbekistan 6, Armenia 5, Kazakhstan 4 などであり、ロシアが圧倒的にリードしている。ロシアにおける 729 の研究機関のうち、約 300 がモスクワにあり、レーザ関係はモスクワに集中している。しかし、最近では Petersburg にある Ioffe-Physical-Technical Institute や中小企業などが台頭してきており、Lebedev 研究所や Prokhorov 研究所などモスクワにある従来の老舗研究所の影響力が低下し、往年に比べて博士で卒業する研究者がかなり減少したとのこと。レーザの研究開発がモスクワ中心ではなくなり、ロシア出身の研究者が世界各地に散っている現状を肯定したような統計が紹介された。ロシアあるいは中国出身とおぼしき講演者は各国からの講演において多数見つけることができ、旧共産圏のレーザ研究者が、冷戦終結により、自由諸国でレーザ関連の研究開発に世界的規模で貢献していることが分かる。

2. 2 LMP 会議（マクロ加工）

1) LMP 会議の概要

LMP 会議は、高平均出力のレーザによる溶接、切断、穴あけ、金属の積層造形や熱処理などを中心とした会議である。LMP 会議は歴史も長く、オーラル講演も全体で 129 件と多いので大変重要な会議であるが、筆者は Q スイッチナノ秒レーザや超短光パルスレーザを用いた薄膜等の微細加工や透明体の非熱的加工、ナノ加工などを中心とした LMF 会議の方に時間的に多く出席していたので、LMP 会議についての報告は概要並びに若干のトピックス的事項の紹介に止める。

LMP 会議のセッション数は、去年は 23 もあったが、今年は 20 と 3 つほど減っている。しかし、昨年 LMP 会議の中で開催された Business Development Session が今年 LMP 会議や LMF 会議とは独立した別のセッションとして企画されたので、これを除いて比較すればセッション数は 2 つ減に留まった。昨年の LMP 会議で見受けられた Optics や Laser & System Technology といった要素に関するセッション名が今年の LMP 会議では見当たらない。また、去年は種々の工法名をつけたセッションが多くて、具体的な応用分野を示したセッションが逆にあまりなかったのに対して、今年の LMP 会議は、自動車産業への応用や、航空・軍事・宇宙への応用、バイオメディカルへの応用など、応用分野がセッション名から直ちに分かるように変

化しており、LMP 分野は個別要素技術の開発よりは、応用分野別のソリューションに向けての実用化開発に移行しつつあるような印象である。

LMP 会議におけるオーラル講演件数を工法別に概略的に分類してみたところ、表面熱処理および金属堆積 43%、接合（溶接・ろう付け）41%、切断 7%、穴あけ 6%、その他 3%程度となった。金属堆積関係が大幅に増えた感触である。

2) LMP 会議における光源の変容

昨年と今年の LMP 会議のセッション名の比較で格別に印象的なのは、昨年は Super High Efficiency Diodes や Diode Lasers & Diode Processing といった高出力半導体レーザや半導体レーザ直接加工を明示したセッション名があったのに、今年はそれがなく、逆に昨年は Fiber & Disc Lasers というセッションが 1 つだけあったのに対しては、今年は Fiber Laser Processing I, II, III とセッション数は 3 倍になっている。半導体レーザ直接加工から高ビーム品質のファイバレーザ加工へと流れが顕著に変わった印象である。ファイバレーザ加工に関しては、昨年のセッション名は光源そのものであったのに対して、今年はファイバレーザ加工をセッション名としており、光源などの要素技術開発から実用的な工法開発へと一段と進展した印象である。

LMP 会議におけるオーラル講演件数を使用しているレーザ光源別に大ざっぱに分類してみたところ、Excimer レーザやナノ秒 Q スイッチレーザなどの短パルスレーザを用いたものは 8 件程度しかなく、114 件は CW ないし準 CW レーザ等を用いたもの、またその他 12 件程度は使用したレーザ光源が不明であった（異なる種類のレーザを用いたものは別件としてカウントしたので、総件数は実際の論文件数よりも若干多い）。このうち、CW ないし準 CW レーザ等の 114 件の内訳は、固体レーザ 65 件(57%)、CO₂ レーザ 42 件(37%)、LD7 件(6%)であった。また、固体レーザ 65 件の内訳は、YAG レーザ 42 件、ファイバレーザ 23 件であり、ファイバレーザは固体レーザの 35%を占めていた（ファイバレーザ加工は、Fiber Laser Processing I, II, III のセッションで 15 件、それ以外の複数のセッションで計 8 件あった）。なお、このファイバレーザ加工 23 件数のなかで、2 件はディスクレーザを用いたものであった。ファイバレーザ対ディスクレーザの比は 10.5 対 1 と圧倒的にファイバレーザを使用したものが多く、ICALEO ではファイバレーザの圧勝となった。ファイバレーザとその加工応用に関する講演件数は昨年の LMP 会議ではプレナリー講演で 1 件、オーラル講演で 11 件程度でしかなかったため、ファイバレーザ加工分野は 1 年間でほぼ倍増したといえよう。LMP 会議における唯一の招待講演は、ファイバレーザ加工の展望に関するものであり、レーザ加工分野で世界最大規模の研究所である独 Fraunhofer 研究所の Eckhard Beyer 教授によってなされた。

3) レーザ加工の自動車産業への応用

今回の LMP 会議では、Laser Processing in the Automotive Sector と題したセッションが計 2 セッション設けられ、計 12 件の発表があった。この分野はドイツがかなりリードしており、今回ドイツからは 5 件の発表があった。日本からは大学など（阪大、名大、群馬大・新日鐵）から計 3 件の発表があり、日本も比較的健闘している。群馬大・新日鐵の発表（実際の講演者は元日鐵テクニクサーチに勤務され、現在は東急車輛製造に勤務されておられる及川氏が行った）では、新日鐵による鉄道車両向けに実施されたステンレスパネルのスポットレーザ溶接についての数年に及ぶ長期間の走行試験での評価結果が初めて紹介された。

4) レーザ加工の航空・宇宙や医療への応用

今回の LMP 会議では、これらの具体的に応用分野を明示したセッションに計 18 件の発表があった。このうち、米は計 8 件、英は計 7 件と多数件の発表が行ったが、日本からの発表は皆無であった。航空・宇宙用では Inconel 718 や Ti-6Al-6V などの合金、また医療用は、Ti-6Al-4V や NiTi などの合金に対して、レーザによる穴明けや表面処理等を議論しているものが多い。

2. 3 LMF 会議 (マイクロ加工)

1) LMF 会議の概要

今回の LMF 会議のセッション数は 12 もあり、前回 (昨年) の 8 セッションに比べると、招待講演が 3 倍も増えたせいもあるのか、セッション数は 50% 増となっている。セッションの名称は前回との継続性や統一性があまりないので、分野別の消長の詳細な比較は困難であるが、前回は電子産業応用向けとしての性格が明確なタイトルをもったセッションは Laser Microfabrication in Electronics というもの一つだけだったのに対して、今回は Laser Micropackaging と題したセッションが 3 セッションも設けられ、FPD や太陽電池向けなどの大面積かつ微細なデバイスへのマイクロ加工を取り上げた発表がかなり増えた印象である。また、昨年は Ultrafast Laser Processing と題したセッションは 1 セッションのみであったが、今回は 2 セッションとなっており、これも増えた印象である。なお、Ultrafast Laser Processing のセッションでは、ピコ秒レーザないしフェムト秒レーザが用いられており、両者の比較も論じられている。上記のほか、Laser Microprocessing と題したセッションも 3 セッションあるが、内容は多種多様である。LMF 会議の総称と同じタイトルのセッション名はセッションタイトルからは内容が分かりづらく、困りものである。せめて副題でもつけて、分かりやすく内容を明示して欲しいと思った。

なお、LMF 会議では日本からの招待講演が 3 件 (M101, M502, および M702) もあり、LMP 会議に比べて相対的に日本のプレゼンスの高さを感じられた。また、どこのセッションでも類似した傾向があるものと思われるが、筆者がセッション chair を努めた Laser Microprocessing I のセッションでは、6 件あった講演のうち、4 件の講演者の名前は中国系であり、2 件は日本人による発表であった。中国系の名前を有した講演者による 4 件の講演の所属は米国 2 件、英国 1 件、中国 1 件であり、中国出身の研究者による世界各地での活躍ぶりが実感された。

2) LMF 会議における光源の特徴

同一の論文の中で異なるレーザ光源を用いているものもあるので総論文数とは一致しないが、LMF 会議の論文について、使用レーザ光源別に論文件数を大雑把に分析してみると、次のような分析結果になった。

- ・超短光パルスレーザ 17 件 (うち、フェムト秒 11 件、ピコ秒 6 件)
- ・ナノ秒レーザ 27 件 (UV 固体 10 件, Q-sw 固体 9 件, Q-sw ファイバ 1 件, エキシマ 7 件)
- ・CW レーザ・準 CW レーザ 16 件 (CO₂ 6 件, 固体 6 件, ファイバ 1 件, LD 2 件, Ar 1 件)
- ・光源の種類不明 4 件

以上から、LMF 会議では、ナノ秒領域以下の短パルスレーザを用いるものが計 44 件あり、全体の約 70% 近くを占めていることが分かった。また UV 固体とエキシマレーザとの合計は 17 件であり、この件数と超短パルスレーザを用いた論文件数 17 件とは同数であった。微細加工のアプローチとして、短パルス化と短波長化との 2 極の方策がほぼ拮抗していることが分かる。なお、超短光パルスでかつ短波長に波長変換した

ものも若干あったが、これらの件数は超短光パルスのほうで計上したので、実際は短波長化がやや優勢かも知れない。

3) LMF 会議におけるトピックス

・LMF Session 5: Laser Micropackaging I における発表は、4 件のうち 3 件は FPD の薄膜加工に関するものであった。このうちでは日立造船による ITO 膜の除去加工に関する招待講演(M502)が秀逸であった。ナノ秒 266nm パルス、フェムト秒 800nm パルスなどでも除去加工を試みたが、樹脂の下地に損傷が生じる、加工の安定性が悪い、スループットが遅いなどの問題がある加工対象物があった。このため、ナノ秒 Q スイッチレーザの応用に立ち返り、斜め入射方法の開発により、これまでの諸問題を解決した。なお、Q スイッチレーザは市販品では安定度等で十分に満足できるものが無かったので、市販品を改造し、光源の性能を改善したとのこと。

・なお、Intel から半導体パッケージング技術の将来に関して招待講演(M501)がなされる予定であったが、これはキャンセルとなった。急遽代替として、米国 Houston 大学から Laser-shock-induced micro/nanoscale 3-D shaping and mechanical property enhancement と題して、レーザパルス照射によるシリコンのナノスケールの 3次元モールドイング加工に関する講演がなされた。

・リトアニアから、ピコ秒レーザを用いた OLED 用の基板上的 ITO 膜の基礎研究結果が紹介された(M304)。OLED 用は、基板と ITO 膜との加工しきい値の比の拡大(加工マージンの拡大)や、スプラッシュによる加工部のエッジの微弱な盛り上がりの抑制などが課題となっており、加工用のレーザ波長を変えて、課題の解決方策などが種々議論されている。

・このほか、興味深い発表としては次のようなものがあった。

M101: A Microfluidic Bioarray System using Laser-Machined Surface Microstructures (産総研)

M105: Analysis of Modified Layer Formation into Silicon Wafer by Permeable Nanosecond Laser (阪大と浜松フォトニクスとの共同発表)

M1203: New Experimental Approach to Study Laser Matter Interaction during Drilling in Percussion regime (仏 GERAL/LALP)

3. Vendor Program- Table Top Exhibition および Sponsors

会議 2 日目の 10 月 31 日(火)の夕方に、計 73 社ほどの出展によるテーブルトップ展示がなされた。出展社数は昨年 75 社とほぼ同数である。米国での開催なので、出展企業は当然米国が多いが、欧州などからも、独、英、仏、スイス、オーストラリアなどの企業による出展も数多くなされていた。残念ながら、日本企業からの出展はなかった。オーラル講演の論文件数では日本の発表は全体の 9%程度あるので、その比で考えれば 6~7 社程度の出展があってもしかるべきところであると思われる。また、今回の ICALEO では Sponsor として 21 社ほどがリストアップされているが、ここにも日本企業の名前が見当たらない。海外はモジュール化が発達していて、レーザ加工用の各種部品関連のベンチャー企業が育ちやすい環境にあるが、日本は大企業中心の摺り合わせが発達しており、内製化やグループ企業内での垂直統合などによる統率が顕著なためか、レーザ加工用の部品などに関しては、横割りのベンチャー企業が育ちにくい体質があるのかも知れないが、量的拡大を求めてグローバル市場に出て行くには、やはり何らかの対策が必要だろう。

4. おわりに

ICALEO2006では、オーラル講演のほかに、ポスター講演が32件程度あったが、分野別の分析が容易でないので、ここでの報告は割愛した。容赦頂きたい。次回のICALEO 2007は、2007年10月29日～11月1日に、Hilton in the Walt Disney World Resort, Orlando, FL, USAにてされる開催予定である。今回は、開催地を意識して、プレナリーセッションではレーザーのエンターテイメントへの応用なども取り上げられる模様であり、これらの分野で強い日本企業からの多くの発表も望まれる。また、来年のプレナリーセッションでは欧州のTechnology Platformの一つであるPhotonics 21についての紹介もなされる模様である。日本も、従来より一層視野を広域に広げて、グローバルに連携した研究開発を推進し、研究開発の効率化と実用化技術の普及・促進を図るべきではないかと考える。