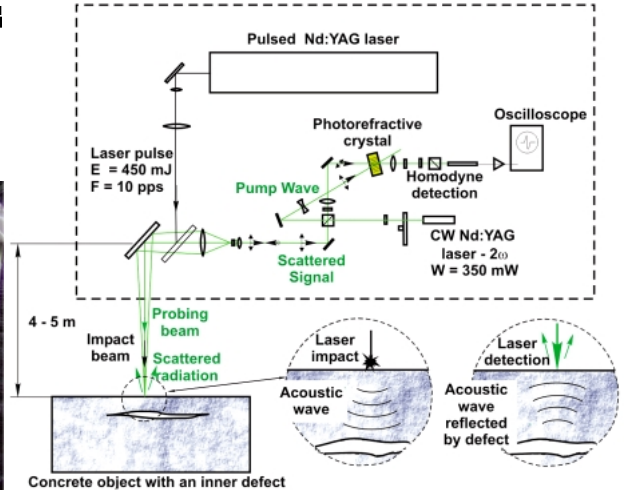


2005, Oct.

No. 211

CONTENTS

- レーザー超音波リモートセンシングによるコンクリート内部欠陥検出
- アイディアの交流、自由電子レーザー国際会議に参加
- 27th international free-electron laser conference
- フェムト秒レーザーによる質量分析法の展望
- 『光と蔭』FSA2005とテラー賞



【図1】レーザー超音波リモートセンシングの原理
【写真】軽トラックに載せたモバイルプロトタイプ

レーザー超音波リモートセンシングによる コンクリート内部欠陥検出

■ レーザー超音波リモートセンシングの特徴

レーザー超音波リモートセンシング技術はコンクリート内部の欠陥探傷を行うに当たり下記のような特徴を持つ。

- ・ リモートセンシングが可能
- ・ 高感度
- ・ コンクリート表面粗さが大きくても計測可能
- ・ 高繰り返し動作が可能

■ レーザー超音波リモートセンシングの原理

レーザー超音波リモートセンシングの原理を図1に示す。レーザー超音波リモートセンシングはコンクリート内部に超音波を発生させるためのパルスレーザーと、その振動を検出するための連続発振レーザーを用いる。コンクリート表面の振動はフォトリフラクティブ結晶を用いた2光波混合技術とホモダイン検出技術により、コンクリート表面粗さの影響を受けずに振動モードのみを検出することができる。

BSOフォトリフラクティブ結晶は2光波混合を起こす非線形媒体として使用される。コンクリート表面から戻ってくる反射光とポンプ光はフォトリフラクティブ結晶中で干渉を起こし、ダイナミックホログラムを形成する。コンクリート表面が粗いためにスペックルパターン等が生じ、非常に複雑な干渉縞

研究員 オレグ コチャエフ

となる。この干渉縞により結晶内部に屈折率の高低差ができることにより、ポンプ光は結晶内で回折され反射光と同様の波面となってホモダイン検出装置に入射する。この現象は2つの波面が全く同一波面となることによりホモダイン検出効率は最大となる。これがダイナミックホログラムを用いる際の最も大きな利点である。

コンクリート表面に信号印加用レーザーを照射し、内部に超音波を発生させる。内部に欠陥があると超音波は反射されコンクリート表面に戻ってくる。そして表面を振動させる。表面振動は検出用レーザー光にドップラーシフトを与える。この効果のため、検出用レーザー光の周波数は変調を与えられ、フォトリフラクティブ結晶に入射するが、フォトリフラクティブ結晶の応答時間は変調の一周期よりはるかに長いので(100倍以上)結晶内に記録されたダイナミックホログラムは振動しない。

その結果、信号光は位相変調を持ったままポンプ光と相互作用し、位相変調から振幅変調に変換されることによりコンクリート表面の振動を検出することができる(ホモダイン検出原理)。

光検出器の信号はコンクリート振動の情報を持っている。振動情報は表面共振振動波と多重縦波(P-波)反射である。

これらのパラメーターを分析することによりコンクリート内

次ページへつづく▶



レーザー超音波リモートセンシングによるコンクリート内部欠陥検出

側欠陥に関する情報を得ることができる。

このシステムはコンクリートのみならず、金属、プラスチックおよびセラミックなどにも応用が可能である。

■周波数スペクトルによる欠陥検出

図2は表面から3cmの深さに存在する内部欠陥が存在するコンクリートサンプルの表面振動スペクトルを示す。欠陥がない部分ではコンクリートの厚みは十分に厚く表面振動スペクトルに特徴的なラインは存在しない。しかし、欠陥がある部分では振動スペクトルに特徴的なラインが現れる。これを用いることにより欠陥の有無を検出できる。

周波数スペクトルによる検出は欠陥深さ2~3cmでは非常に早く欠陥有無の情報を得ることができる。しかし、正確な欠陥深さは評価できない。

■縦波の多重反射による欠陥検出

一方、コンクリート内の縦波の音速と縦波のコンクリート表面と欠陥との多重反射周波数が分かれば、欠陥の深さを正確に評価することができる。

図3に内部欠陥深さを変化させた場合のp波の多重反射周波数を示す。内部欠陥の深さが浅くなるにつれて周波数が増加することが分かる。この手法を用いれば0.5cmの精度で内部欠陥の深さを評価することができる。

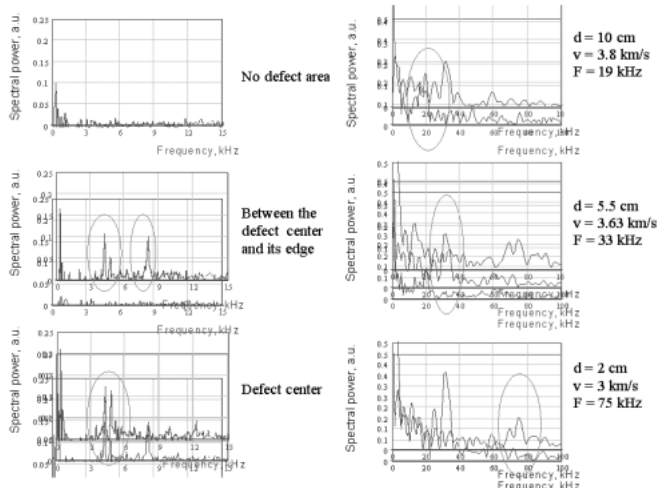
■モバイルプロトタイプ

2003年6月にモバイルプロトタイプを構築した。表紙写真にあるように軽トラックに装置を載せ、計測したい構造物まで

持ち運びができるようにした。この装置を鉄道技術総合研究所(東京)に運び、そこで大型コンクリート供試体を探傷した。この実験でモバイル装置が内部欠陥検出の能力を有していることを確認することができた。

■今後のステップ

次のステップはダイナミックホログラムを結晶内で移動させる(ドリフトモード)を用いて検出感度を向上させることと、信号印加レーザーのパラメータ最適化(レーザーエネルギー、パルス幅、およびビームサイズ)である。



【図2】内部欠陥が存在するコンクリート表面の固有振動スペクトル

【図3】内部欠陥深さが異なる場合の縦波(P波)の多重反射信号 (d:内部欠陥深さ、V:P波の音速)



REPORT



【写真】Stanford 大学キャンパス

アイディアの交流、自由電子レーザー国際会議に参加

27th international free-electron laser conference

レーザーエネルギー研究チーム **李 大治**

1. アメリカのStanford大学で開催

今年の自由電子レーザー国際会議は8月21日から26日までの一週間で、アメリカのStanford大学キャンパス内で開催された。この会議は一年に一度、今回はStanford大学主催で、開催回数は第27回目である。欧州各国、アメリカ、日本、中国、韓国から250人ほど出席者が自由電子レーザーに関するアイデアを交流した。大学のキャンパスは非常に広い、古い建築があり、美しい。

2. 自由電子レーザーと加速器の研究成果が多数報告

本国際会議は「SASE型の自由電子レーザー」、「大出力長波長

自由電子レーザー」、「加速器」、「新アイデア」、「X線自由電子レーザー」、「自由電子レーザー応用」のセッションで構成されている。口頭発表とポスター発表全部で約257件。本会議では現有自由電子レーザー装置改善、新装置建造、新アイデア、最先端の実験成果が多数報告された。高密度の電子ビーム発生やSmith-Purcell放射やレーザーCompton散乱など、新実験結果と理論・シミュレーションの発表も盛んである。自由電子レーザーを用いた、化学、生物、医学方面の応用論文も発表された。

3. Smith-Purcell型の自由電子レーザーに注目

小型THz放射源を開発するために、Smith-Purcell型の自由

電子レーザーに注目されている。前回の会議にはこの問題についての論文一つがあったが、今年は7部になった。アメリカ、フランス、中国、日本からの研究者は最新理論とシミュレーションの結果を報告した。現在、Smith-Purcell放射物理の本質はよく分からない。以前の理論も不一致である。そして、出席者はこの問題にとって、積極的な討論をした。新実験装置についての発表も行った。

4. われわれの貢献

われわれの発表した2論文ベッセルビーム発振器自由電子レーザーとSmith-Purcell放射シミュレーションが注目を集めだしている。ベッセルビーム発振器自由電子レーザーは新構想であり、アンジュレーター中にベッセルビームが形成され、電子ビームと光波の相互作用が増強することを明らかにした。興味がある専門家と理論から実現可能性までいろいろな問題を討論

した。三次元Smith-Purcell放射シミュレーションも非常に注目された。このシミュレーション結果はSmith-Purcell放射の物理本質を解明した。出席者は今後のシミュレーション計画をより進めるべきであると考えている。将来的には、この方式により高出力が期待でき、そのSmith-Purcell実験を行うことを考えている。来年の会議は欧州のドイツで開催される。



【写真】会議風景

TOPICS

フェムト秒レーザーによる質量分析法の展望

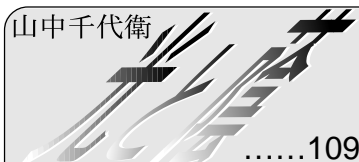
共同研究員 中島信昭
大阪市立大学大学院理学研究科

1. はじめに

田中耕一氏に2002年ノーベル賞が授けられた。田中氏はMALDI(Matrix Assisted Laser Desorption/Ionization)法を開発された。その際に、脱離/イオン化するためのレーザーとして窒素レーザーが用いられた。窒素レーザーは数ナノ秒のパルス幅

を持ち波長337nmの紫外レーザーである。マトリックスに保持されたタンパク質をレーザー加熱するとタンパク質は瞬時に蒸発し、プロトン化されたタンパク質のイオンを生じる。そのイオンは飛行時間型質量分析計(TOF-MS)で測定された。分子が分解しないでイオン化された場合、そのイオンを

山中千代衛



IFSA2005とテラー賞

第4回「慣性核融合科学と応用」に関する国際会議がフランスのBiarritzにおいて9月4日～9日の6日間の日程で開催された。

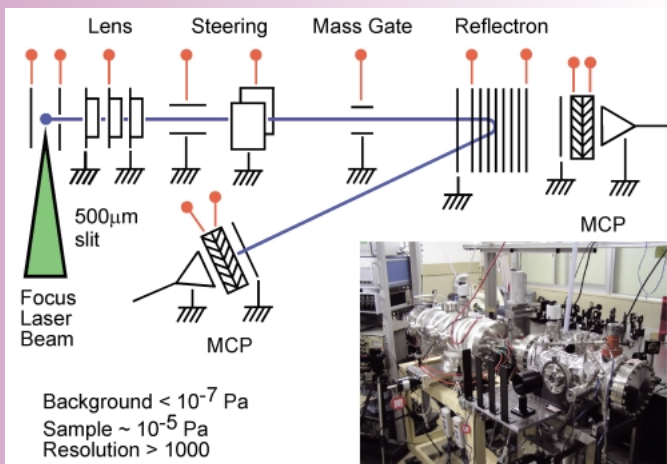
本会議はLaser Interaction and Related Plasma Phenomena Workshopの後継国際会議で、日、米の三国が軸となり、1999年より2年毎に順番に開催している。会議の目的は慣性核融合科学、高エネルギー密度物理、慣性核融合エネルギーの他、関連するレーザー核物理、天文学などレーザー応用の研究者、技術者を一堂に会して進歩の状況を明らかにしようとするものである。

トピックスとしては慣性核融合の物理、レーザー、粒子ビームと核融合工学、関連科学技術応用が取り上げられている。現在共同座長は仏のArnold Migusと日本の三間囿興と米のErik Stormである。協賛団体には大阪大学レーザーエネルギー学研究中心、(財)レーザー技術総合研究所、レーザー核融合フォーラム、(社)レーザー学会も名を連ねている。最近の国際研究情勢としてはローレンスリバモア研のNIFとボルドーのLMJが部分的に動き出しており、ロチェスター大LLEのOmegaは上記システムの照射模擬実験を下請け的に実施している。サンディア研ではZピンチドライブの爆縮をすすめている。高速点火物理の領域では大阪大学のILEが激光XII号とPWレーザーを用い、コーンフォーカスターゲットにエネルギーを集中する画期的な方式で新成果を上げている。英ラザフォード研ではVulcan PWシステムにて、また仏のLULIでも100TWレーザーを用い、高速点火を取り上げている。

初日のKeynote講演では米、日、仏からそれぞれの地域でのこれらの成果が報告された。今回のエドワードテラー賞にはJosephilkenny(LLE Rochester・GA)とMax Tabak(LLNL)が選ばれた。昨近の動きとしてテラー賞が米国原子核学会(ANS)の賞に編入され、国際的性格がやや米国偏重に傾きつつあることは気になる処である。

特に米国の賞推薦キャンペーンは強力であるから他国の推薦人はよく考えなければならない。IFSAとして技術関連の賞とか優秀論文賞の案も浮上しているが、米国ANSがらみにならないよう国際会議の主体性堅持に留意したいものである。

【(財)レーザー技術総合研究所 研究所長】



【図1】質量分析装置の模式図と外観

分子イオンと呼ぶ。分子イオンは分子の質量に等しいため、単一物質の検出の場合、最も重いイオンが分子イオンである。プロトン化イオンは当然分子の質量に1を加えた質量となる。

フェムト秒レーザー応用では「分子イオンを生成できる」という点で上記のMALDI法と似た点がある。表題の方法で環境汚染分子の分析に貢献できないか、と考えている。以下、レーザー法の特長、フェムト秒レーザーを用いた場合の分子イオン生成の特長と今後の展望を紹介する。なお、関連したダイオキシン類の検出に関しては島田研究員らとの共同研究が進められ、成果の一部は読売新聞(2005年8月11日、夕刊一面) The Daily Yomiuri(2005.8.22, p.18)にも取り上げられた。

2. ナノ秒レーザーからフェムト秒レーザーへ

2.1. レーザー法の特長

1) レーザー法は高い感度：光子、イオンをチャンネルプレートに導入すれば、一個でも検出できる。従って、原理的に極限的に高感度である。蛍光に変換する場合はレーザー誘起蛍光法(LIF)、イオン化し、イオンを検出する場合の代表例は共鳴多光子イオン化法(REMPI)である。2) 異性体：分子特有の振動回転準位を励起すれば、異性体を区別して測定できる。3) 原子まで分解：レーザーを集光照射すれば成分原子まで分解できる。レーザー誘起ブレイクダウン分析(LIBS)と呼ばれ、生成した原子の発光またはイオンを測定する。4) リアルタイム計測が可能。

これらは主としてナノ秒レーザーにより達成された。これに代えてフェムト秒レーザーを用いる場合何が新しいのであろうか。第一に「分子イオンを、より生成しやすい」という点である。この方法はFLMS(Femtosecond Laser Mass Spectrometry)と呼ばれている。第二としてLIBSではフェムト秒パルス励起ではプラズマからの発光が弱くなり、感度が上がる。

2.2. フェムト秒レーザーによる分子のイオン化

分子を壊さずにイオン化できれば、そのまま分析に利用できる。赤外のフェムト秒パルス励起では分子イオンを生成しやすい、しかし、時には激しく分解する。したがってここでは分子イオンを生成できる条件について述べ、ダイオキシンのイオン

化、今後の展望を紹介する。分子イオンが生成できる条件は現在までのところ「レーザー波長が分子イオンの電子エネルギー遷移に共鳴しないこと、励起レーザーパルスの幅はより短くすること」である。

3. 実験と結果

図1には用いている質量分析装置の模式図と外観写真を示した。フェムト秒レーザーはチタンサファイアレーザーである。励起波長はその基本波と波長変換されたもの(0.8 μm、1.2-2.4 μm)、エネルギーは0.2-1mJ/パルス、パルス幅は35-1000fs、繰り返しは100Hzである。生成したイオンは反射型の飛行時間型質量分析(TOF-MS)計で観測した。

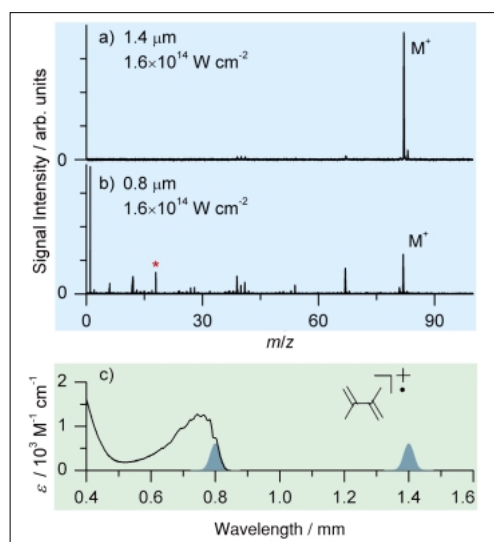
図1には2,3-ジメチル-1,3-ブタジエンの例を示した。1.4 μmの赤外、130 fs/パルスで励起した場合(図2のa)分子は壊れないでイオン化することができた。信号はほぼ1本のみである。これに対し、0.8 μm励起では分子イオンが見えるが、分解されたイオンも多く見える。図2のc)にはこの分子のカチオンの吸収スペクトルと本実験で用いたレーザー波長を示した。1.4 μmはカチオンの吸収から大きく離れていることがわかる。

4. 境関連分子へ向けて

最も毒性の高いダイオキシンは4塩素置換体(2,3,7,8-テトラクロロジベンゾパラダイオキシン、TCDD)で、許容量は4pg/kg/日である。高感度の検出法が期待されている。1.4 μmパルスを用いて3塩化ダイオキシンへの応用したことは、「レーザークロス」193号に示した通りである。

5. 異性体の区別に向けて

ここで紹介している赤外フェムト秒パルス励起、イオン化法はこのままでは(例外はあるものの)異性体を区別できない。そこで、同位体分離の場合と同様、第一のレーザーで異性体を励起、第二のレーザーとして赤外フェムト秒パルスを用いる方法に改良中である。この方法で異性体の区別ができるようになる。また、赤外フェムト秒パルス励起法は表面に吸着した分子、蛋白質のような大型の分子にも展開でき、将来性がある。



【図2】波長依存性：2,3-ジメチル-1,3-ブタジエンのTOF-MS スペクトル、130-fs パルス、照射強度 $1.6 \times 10^{14} \text{ W cm}^{-2}$ で、a) 1.4 μm 励起の場合、b) 0.8 μm 励起。(*)は不純物の H_2O^+ 。c) はこの分子のオンカチオンの吸収スペクトルおよび励起レーザー波長。