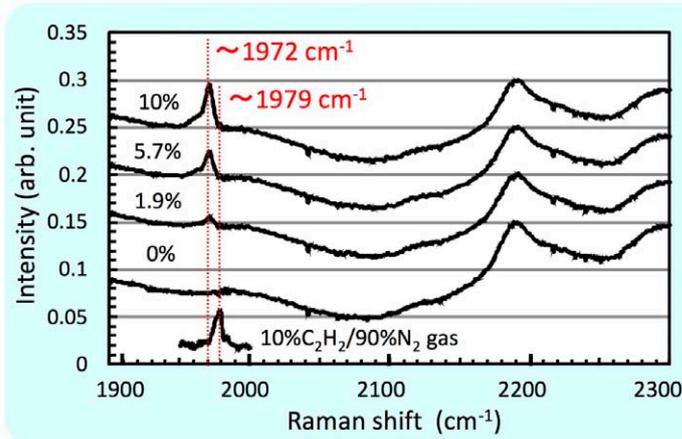


## CONTENTS

- レーザーラマン分光による変圧器の異常診断
- レーザー照射によるYb(III)→Yb(II)変換
- 【光と藤】新時代の職業選択
- 韓国における高出力レーザー開発
- 主な学会等報告予定

【表紙図】アセチレンガス・油溶存アセチレンのラマンスペクトル



## レーザーラマン分光による変圧器の異常診断

レーザープロセス研究チーム 染川智弘

### ◆変圧器の異常診断

変圧器は電気を効率よく消費地に送電するために使用される機器である。発電所で発電された電気は発電所内の変圧器によって適切な電圧に昇圧して送電し、途中の変電所や需要家側が設置している変圧器で所要の電圧に降圧して利用されている。そのため、変圧器の状態を監視し異常を早期に検出することは、電力設備の信頼性を確保するのに不可欠である。

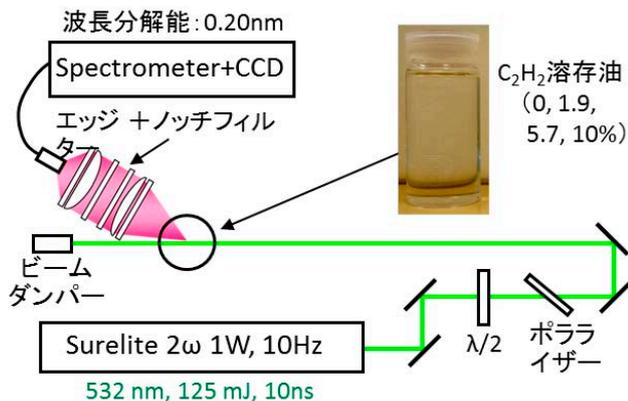
変圧器では、電圧と電流の大きさを変換する鉄心と巻線が絶縁油で満たされた油入変圧器が一般的であり、変圧器全体の約90%を占めている。運転中の変圧器

内部で異常が生じた際、異常箇所、異常内容に応じて絶縁油または固体絶縁物が分解され、特有のガス成分が発生する。これらのガスは変圧器内の絶縁油に溶解するため、このガス成分を分析することにより、変圧器の内部異常を診断することができる。例えば、アセチレンガスは放電により絶縁物が非常に高温にさらされた時に発生するため、変圧器の内部異常を診断するために重要な測定ガスとされている。ガス成分の分析には、一般的に絶縁油中のガス成分を抽出し、抽出ガスをガスクロマトグラフィーにより測定するが、変圧器からの採油、油中ガスの抽出など時間のかかる前処理工程を必要とする。そこで、レーザーを用いて油からガスを抽出することなく、直接油中のアセチレンガスなどの放電由来物質の分析が可能な手法を開発している。

### ◆油溶存アセチレンのラマンスペクトル

これまでに、水に溶存しているCO<sub>2</sub>ガスのラマン分光によるモニタリングを行ってきた。この技術を利用すれば、レーザーを油中に照射するだけで油中ガス分析が可能になる。

図1に実験配置図を示す。波長532 nm、パルス幅10 ns、繰り返し10 Hz、パルスエネルギー100 mJのパルスレーザーを0、1.9、5.7、10%のアセチレンガスを溶存させた絶縁油に照射し、ラマン信号を後方25°の位置か



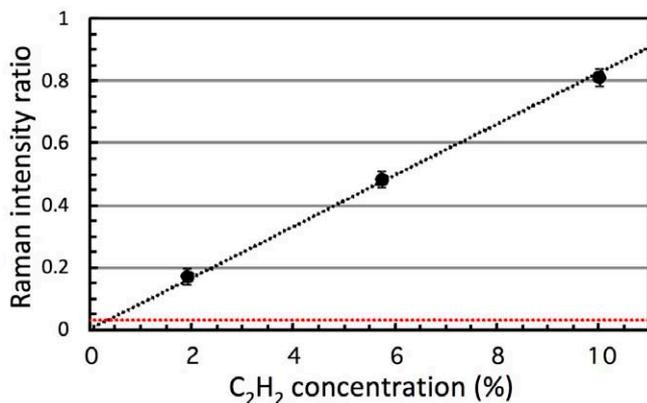
【図1】レーザーラマン分光実験配置図

次ページへつづく▶



ら観測した。レイリー光の除去には532 nmのノッチフィルターとエッジフィルターを用いた。測定には波長分解能0.20 nmの分光器を用いて、液体窒素冷却CCDカメラで測定している。CCDカメラの露光時間は90 msであり、スペクトルは3000ショットの積算信号である。

表紙図にアセチレンガス、油溶存アセチレンからのラマン信号を示す。横軸は $1/\lambda_0 - 1/\lambda$  ( $\lambda_0$ : 入射レーザー波長)で表されるラマンシフト( $\Delta \text{cm}^{-1}$ )である。~1972  $\text{cm}^{-1}$ に油溶存アセチレンラマン信号が検出でき、



【図2】ラマン信号強度比とアセチレン濃度の関係

## レーザーラマン分光による変圧器の異常診断

~2191  $\text{cm}^{-1}$ に見られるような油由来の信号と区別して検出できることがわかる。また、アセチレンガスからのラマン信号は~1979  $\text{cm}^{-1}$ に見られ、アセチレンガスが油に溶存するとラマン信号がシフトしていることがわかる。

油溶存アセチレンガスの定量評価には、~2191  $\text{cm}^{-1}$ に見られた油由来のラマン信号と~1972  $\text{cm}^{-1}$ の油溶存アセチレンのラマン信号の比で評価した。図2にアセチレン濃度とラマン信号強度比の関係を示す。ラマン信号強度比は原点を通る直線でフィットでき、その傾きとスペクトルの $3\sigma$  (標準偏差 $\sigma$ の3倍)から検出限界を評価すると0.37%であることがわかった。

### ◆今後の展開

波長532 nmのパルスレーザーを用いて油溶存アセチレンからのラマン信号の検出に成功した。本手法を利用すれば、複雑な前処理の必要なく、複数の油中ガスの濃度を指標として、その場で変圧器の異常を診断することが可能となる。現状の検出限界は0.37%と大規模な放電がおこった際のみ検出が可能なので、今後は測定システムの検出感度を向上し、その場での実機絶縁油測定に向けた研究を行う予定である。



## TOPICS

# レーザー照射によるYb(III)→Yb(II)変換

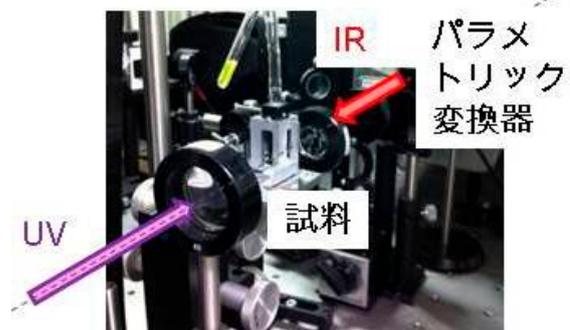
(財)豊田理化学研究所 フェロー  
レーザーバイオ化学研究チーム チームリーダー(兼任) 中島信昭

### ■Ybイオンのレーザー還元

Yb<sup>3+</sup>はレーザー媒質の活性イオンとして良く知られている。本来反応など起きてはならないのであるが、溶液中で励起光を工夫すればYb<sup>3+</sup>はYb<sup>2+</sup>に変換(還元)できる。図1は試料をレーザー励起している様子である。Yb<sup>3+</sup>の試料をNd:YAGレーザーの3倍波である紫外光(355 nm)、反対方向から3倍波によりパラメトリック変換された近赤外光(975 nm)で励起している。図2で示すように、この系はNd:YAGレーザーの4倍波(266 nm)でもYb<sup>2+</sup>に変換できる。Yb<sup>3+</sup>の発光寿命はレーザー媒質中ではミリ秒のオーダーであるが、溶液中では0.2  $\mu\text{s}$ と短い。また、2光子反応の中間体(励起状態)の吸収は400 nmより短波長側に現れた(中島他、日本化学会2013.3 4G8-32)。

### ■放射性廃棄物低減化への展開

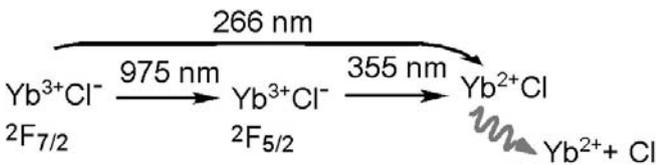
溶液中の金属イオンのレーザーによる光酸化還元反応は放射性廃棄物の低減化技術につながる、という考



【図1】2波長2光子励起反応の様子

え方が1980年ごろから提案されている。レーザーを利用した方式では、遠隔照射ができるので安全性が高く、廃棄物の容量を大きく増大させない、励起手法にもよるが特定の金属イオンを選択して反応を起こすことができる、等の利点が期待できる。

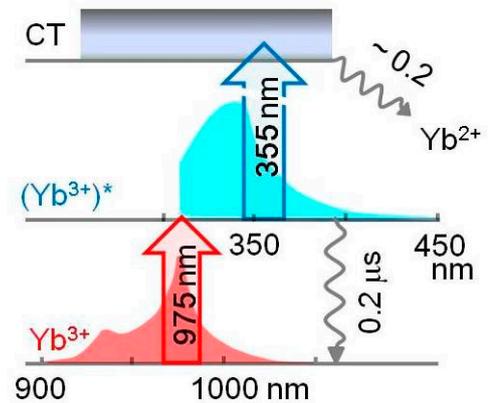
金属イオンの価数を変えると(酸化還元反応を起こせば)、直接そのイオンの分離につながる。酸化反応ではランタニドイオン  $Ln^{n+}$  が  $Ln^{n+1}$  になることであり、 $Ce^{3+} \rightarrow Ce^{4+}$  反応の例がある。還元反応では  $Ln^{n+}$  の  $Ln^{n-1}$  への反応であり、 $Eu^{3+}$ 、 $Sm^{3+}$ 、さらに今回取り扱った  $Yb^{3+}$  系で、紫外1光子照射、あるいは近紫外から近赤外の波長での2光子励起でも達成できた。ランタニドイオンの反応は周期律表でその下の周期のアクチノイド系にも同様の反応が期待できる。2光子励起方式では同位体分離と同様、必要な金属イオンを選択できるという利点がある。また紫外光を二つに分割することで、紫外線のかわりに溶媒がより透明な近紫外-近赤外の



【図2】 $Yb^{3+}$  系の1光子および2光子反応スキーム

光を利用できたことになる。 $Yb$ 系は励起準位が極めて単純という点が特徴であり、本研究で図2、図3のように2光子反応が起き、その機構を明確にできた。この結果は  $Eu^{3+}$ 、 $Sm^{3+}$  系での2光子反応の解釈にも役立つと思われる。

放射性廃棄物の低減化は今現在の問題であり、将来的にも重要な課題である。レーザー光による酸化還元はその基礎技術の一つであることは間違いがないが、一方で日本では関連研究者が少ない。今後、この課題への研究者の参画を期待したい。



【図3】 $Yb^{3+} \rightarrow Yb^{2+}$ の反応機構

山中千代衛



……192

## 新時代の職業選択

教育の目的は個人の能力を開発して、社会の発展に寄与出来る人物を生み出すことである。勿論現在の社会に全く役立たずとも、独特の新天地が築ける天才の人格は尊重されなければならない。新しいテクノロジーの時代を迎えて、今や人間の持つ能力に匹敵し、あるいは凌駕する力量を発揮するコンピューターの出現が現実のものとなってきた。指数関数的に発展を遂げつつあるコンピューターは複雑なコミュニケーションとか、高度のパターン認識、さらには微細な調整を要する仕事など以前は人間のスキルに頼るしかこなせないと思われた多くの作業をかるくこなせるようになってきた。早い話が、チェスの名人はもはやコンピューターに勝てない。将棋の分野でもコンピューターがしばしばプロの棋士に好勝負を挑み、勝利することもある。囲碁でも同様な経過となる筈である。コンピューターに負けるプロプレーヤーは存在の意味がない。

コンピューターに浸蝕されない職業分野は創造性の求められる仕事とサービス・奉仕の仕事に集約されて行くものと思われる。そのトレンドとしては高度のスキルを持つ人、これには学者、作家、医師、芸能人、役人、政治家、スポーツ選手、企業家など色々挙げられるが並の力量ではお役御免となる。いわゆる並の人間はコンピューターにより窮地に追いやられる仕儀が避け難い。

この問題に対処するには何よりも前コンピューター時代の社会構造を変革することが不可欠となる。また人的能力が新時代に適合するよう教育訓練のあり方を根本的に見直す必要がある。ルーチンワークはすべて機械にまかせ、人でなければかなわぬ仕事に専念出来るような社会を構築し、人を教育しなければならないのだ。これは慣性を持つ人間にとって甚だ難しいテーマとなる。それでも適合出来なければ退場を余儀なくされる日が近づいている。昔は人間性があって、のんびりできて良かった。 【名誉所長】

# 韓国における高出力レーザー開発

副所長 中塚正大

レーザー核融合や高エネルギー密度物理、レーザー開発等の研究は韓国の物理学者の展開している一分野である。大型レーザー開発には大きな予算が必要で、なかなか進展しなかったが、最近になり高出力レーザー開発研究が精力的に行われつつある。

## ◆KAISTの産業用レーザー開発

韓国科学技術院(KAIST)では従来、H-J. Kong教授が中心となり誘導ブリラン散乱位相共役鏡(SBS-PCM)を利用したビーム結合装置の開発を続けてきた。 $\lambda/20$ 以下の波面精度で安定した4ビームまでの結合技術を確認した。昨年9月から3年半の計画で「誘導ブリラン散乱位相共役鏡によるコヒーレントビーム結合を用いた高品質レーザービームの開発」に研究予算(63億Won)が配分された。参加研究機関はKAISTの他に、韓東大学(HGU; Handong Global Univ.)、企業はProtec Co. Ltd.である。システム開発の目標は0.4 J/10 ns/10 kHz, 4 kW YAGレーザーである。応用先は高速レーザー加工(2Dホログラフィック加工)が特徴で産業技術/国防技術として支援されている。

レーザーシステムは0.1 J、Nd:YAGレーザー4台をSBS-PCMでタイル状もしくは1ビームにビーム結合し、技術拡張性を試験する。フロントエンド部はファイバーレーザーによるMOPA形式で0.5 mJ出力、さらにロッド予備増幅器で20 mJに増強し、4ビームに分割されSBS-PCM付きのダブルパス主増幅器で0.1 J/ビームになる。ビーム結合後0.4 J(4 kW)出力を得る。

## ◆レーザー核融合研究の計画も

この計画にはさらに先があり、レーザー核融合研究システム建設に進む提案がある。近年レーザー核融合研究を進める拠点組織として声を上げた韓東大学は、浦項北近郊に大きな敷地を持っており、レーザー学科やレーザー核融合学科をも開設する計画を有してい

る。研究者群の養成、国内光学、電子産業の展開など困難もあるが、新しいエネルギー開発と新研究分野展開に向けた夢のある計画が検討されている。

## ◆KAREI、APRIの近況

阪大レーザー研の旧激光IV号ガラスレーザーシステムの一部が韓国原子力研究所(KAERI、C-H. Lim博士)で大幅改修され、4ビームディスクレーザー装置KLF(1 ns, 1 kJ)として生まれ返った。レーザー研との共同研究も予算化され、ターゲット製作やプラズマ計測器の準備が進んでいる。別にフラッシュランプ励起型のスプリット型Nd:YAGディスク装置(11枚ディスク、ビーム口径3 cm, 10 J, 10 ns, 10 Hz)を開発し、原研では入手しやすい重水によるディスクの直接冷却(現在フロリナート冷却)実験が計画されている。

光州市にある光州科学技術院(GIST)/高等光技術研究所(APRI)は日本の原研関西研との共同研究で有名で、サブPW級超短パルスシステムを国内外の共同研究に提供している。最近アト秒X線パルス開発で著名なKAISTのC-H. Nam教授がリーダーに就任した。



【写真】KAERIの1 kJ、4ビームレーザー施設(KLF)

## 主な学会等報告予定

- 5月13日(月)～16日(木) Lasers in Manufacturing - LiM 2013(ドイツ・ミュンヘン)  
藤田 雅之「Micromachining of CFRP with ultra-short laser pulses」
- 6月25日(火)～28日(金) 3rd International Symposium on Laser Ultrasonics and Advanced Sensing (LU2013)  
(横浜赤レンガ倉庫)  
オレグ コチャエフ 「Laboratory and Field Tests of a Laser-Based System for Remote Non-Destructive Inspection of Transportation Tunnels」