

太陽光スペクトルの利用に 最適な結晶を育成

—集光装置からエネルギー利用まで 包括的に取り組む

太陽光励起固体レーザーはエネルギー問題の観点から、注目を集めつつある装置である。地上で太陽光励起レーザーを実用化するためには、レーザー結晶の高効率化や集光システムの設計、レーザーエネルギーの利用方法などの課題がある。

太陽光励起レーザーはその名の通り、ランプや励起用レーザーの代わりに太陽光を励起光源とするレーザーである。以前から主にYAGを母材とする固体レーザーで研究が行われてきた。自然エネルギーを利用してレーザー光を発生させるため、エネルギー利用の面から注目されているレーザーだ。またレーザー送電方式による宇宙発電への利用が期待されている素子でもある。その太陽光励起レーザーの実用化に向けて、レーザー媒質の創生から、エネルギーの保存・利用方法まで包括的に取り組んでいるのが、理化学研究所 基幹研究所の光グリーンテクノロジー特別研究ユニットだ。

同ユニットリーダーの和田智之氏によると、地上で太陽光励起レーザーを実用化するために必要な要素技術は、太陽光の集光、太陽の追尾システム、レーザー本体、そしてレーザーエネルギーの利用方法の4つになる。同ユニットでは

レーザー結晶の開発を中心に据えるとともに、他の要素技術についても理研内や他大学などと協力しながら進めている。たとえば集光については高度な加工技術を研究する理研の大森素形材工学研究室が超高精密大型フレネルレンズの作成を担当している。

レーザー結晶の創生

和田氏は、「本当に太陽光を有効に使うためには、太陽スペクトルにマッチした結晶を一から作ることが理想的だ。とくに強度の高いグリーン系の波長帯域を有効に使いたい」（和田氏）という。そうした考えから、同ユニットではバナデート（VO₄）について検討をすすめている。バナデート結晶は吸収係数および誘導放出断面積が大きいことや、クロム（Cr）の添加によって紫外から可視領域のエネルギー吸収を大きくできること、また融点が高く太陽光

の集光に有利といった特徴がある。

通常、新規の固体レーザー用のレーザー結晶は簡単に作成できるものではない。吸収特性などをあらかじめシミュレーションすることは難しいため、試行錯誤を積み重ねるしかないことや、結晶の育成に時間が掛かるなどがその理由だ。そのため実用化されている母体結晶はそれほど多くはない。

同ユニットは、バナデートの育成に浮遊帯溶融法（floating zone method：FZ法）を採用することによって、レーザー結晶の開発のスピードアップを可能にしている。FZ法は、結晶の材料を粉末にし、棒状に固めて焼結した棒を下端から溶かしてゆき、溶けた部分を下部の種結晶に触れさせながら表面張力で成長させていく方法である。従来は引き上げ法であるチョクラルスキー法（CZ法）が品質が高いとされ、レーザー結晶はFZ法では作成できないと考えられてきた。しかし同ユニットは北海道大学との共同研究により、高品質のレーザー結晶をFZ法で作成することに成功した。「育成条件に加え、材料の粒径のコントロールや均質化などの下準備、また設備のランプの強度や照射位置の調節などが重要なポイントとなってくる」という。

素早く狙い通りの結晶が作りやすい

FZ法のメリットの一つが、成長速度がCZ法よりも大きいことだ。FZ法では最大で直径8mm程度の結晶を1時間当たり20mm程度育成でき、CZ法の約5倍の速さだという。これによりCZ法よりもトライアンドエラーの回数を増やすことができる。もう一つのメリットが、融点の高い結晶の育成に向いていることだ。CZ法ではるつぽに溶融した材料を入れるため、融点の高い材



図1 レーザ媒質のバナデート結晶。写真手前ほどCrの濃度が高い。

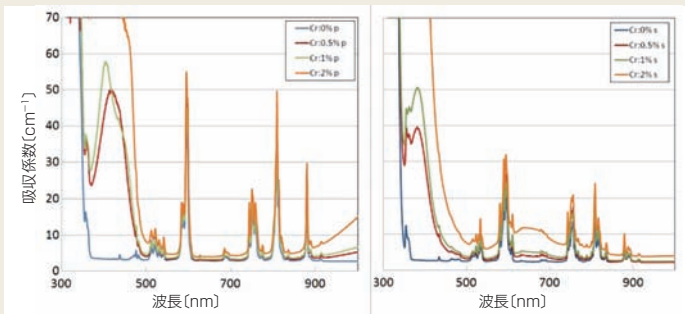


図2 Nd, Cr: YVO₄の吸収スペクトル。左はπ偏光,右はσ偏光。

料だとつぼが酸化したりつぼの成分が混入する、また材料の蒸散により成分比が安定しないなどのデメリットがある。FZ法であればつぼが必要ないため、高融点のバナデート結晶でも安定した品質のものを作成できる。

ネオジウム (Nd) を2.0%添加してクロム (Cr) の含有量を変化させたバナデート結晶 (Nd, Cr: YVO₄) (図1) の吸収スペクトルが図2である。Crを増加させるに従って、πおよびσ偏光で350~500 nm、σ偏光で600~700 nmにおいて吸収が大きくなることを確認した。YAG結晶と比べて約5倍の吸収係数を達成したという。実験室内でのレーザー発振を確認しており、今後は新しい自動追尾システムで太陽光による実証実験を行う予定である (図3)。変換効率は10%



図3 太陽光励起レーザーのための集光フレネルレンズおよび太陽追尾システム。

を目標としている。なお同ユニットでは、ほかにもNd添加のLuVO₄やGdVO₄、YVO₄などの波長が1μmのレーザー、イットルビウム (Yb) を添加した超短パルスレーザー、またツリウム (Tm) およびホルミウム (Ho) を添加した2μmのレーザーなど、さまざまな結晶を開発、実用化を目指している。

レーザーエネルギーの用途

和田氏はレーザーエネルギーの利用先について、人工光合成、バイオマス燃料、酸化還元反応を利用した再生可能燃料の3つを考えているという。第1の人工光合成は、光触媒の作用によって無機物から水素や炭化水素などを作り出す反応だ。光触媒には紫外線で効果的に働くものがあるため、紫外線レーザーを照射することで、効率のよい人工光合成の実用化を目指す。

バイオマス燃料については、燃料を生成する初期の段階でレーザーが役立つという。穀物由来のバイオマス燃料は食料問題の点から望ましくない。いっぽう稲わらや建築廃材などは廃棄物だが、レグニンとセルロースが強固に結びついており処理に手間が掛かる。これをレーザーアブレーションによって分解すれば、そのあとの糖化や発酵のプロセスがより速く進むという。

第3の利用法である再生可能燃料はマグネシウムが挙げられる。海水中に

酸化マグネシウムの形で存在し、資源として豊富である。酸化マグネシウムの結合をレーザーで切ることによるマグネシウムへの還元が研究されているという。

広がる研究の応用展開

太陽光励起レーザーに関する研究は、新たな分野にも応用されているという。それは集光ユニットを利用した放射性物質の除去だ。藻が放射性物質を吸着する性質を使って、効率よく放射性物質を回収するために使う。フレネルレンズで集めた光を光ファイバによって藻と放射性物質を入れた水槽に導き、藻の成長を促進しながら放射性物質を回収する。実験では2日間で300 Bqの水3l中からストロンチウム (Sr) を約80%、セシウム (Ce) では約70%取り除いたという。藻は乾燥させれば軽いいため、処分面で有利である。今後、福島県内で実証試験に入るという。

レーザー結晶の開発を行っていることから、特殊なレーザーを必要とする分野とのコラボレーションも多い。そのひとつが国立天文台のすばる望遠鏡で2011年に運用を開始したガイド星に使うレーザー装置の開発である。また国際宇宙ステーション (ISS) の実験棟「きぼう」に設置を目指す、超高エネルギー宇宙線を観測する「JEM-EUSO」で使用されるライドの開発も担当する。JEM-EUSOは地球の大気に飛び込む宇宙線が発する蛍光紫外線を捉えるが、そのバックグラウンドの大気をモニタするシステムの1つとしてライドが使用される。このようにレーザー研究を通してさまざまな分野での応用が広がっているということだ。(加藤 まどみ)

訪問した研究室

独立行政法人 理化学研究所 基幹研究所 光グリーンテクノロジー特別研究ユニット