

理工学部電気電子情報通信工学科／レーザ・非線形光学研究室
レーザ、非線形光学

庄司 一郎 教授

【プロフィール】 庄司 一郎(しょうじ いちろう)▷1969年北海道生まれ。1988年北海道立室蘭蘭高等学校卒業。1992年東京大学工学部物理工学科卒業。1994年東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻修士課程修了。1995年～1999年東京大学工学部物理工学科助手。1999年～2004年、岡崎国立共同研究機構分子科学研究所研究員・助手。2004年～中央大学理工学部専任講師、助教授、准教授を経て、2010年より現職。専門分野はレーザ・非線形光学。共著に『International Trends in Optics and Photonics』(Springer)。応用物理学学会会員サービス委員会・APEX/JJAP 編集運営委員会委員、レーザ協会理事。



一家に一つレーザ包丁!? まだまだ豊かなレーザの可能性を拓き、 「本当に身近な道具」となる日を見つめて

「レーザ」は光に関わる技術。当たり前を感じるものの、それでは光がどのように活用されると物を切ったりくっつけたり、音声や画像データを読み取れるのか、改めて考えてみると「?」となる人がほとんどではないでしょうか。1980年代半ば、当時普及し始めたCDプレーヤーの存在を知った少年時代の庄司先生も、「どうしてこれで音楽再生ができるんだろう」と不思議に思った一人。その疑問が、研究者としてのキャリアの入り口になりました。「レーザがこの世に誕生して55年。産業や医療をはじめ多くの分野で活躍するようになりましたが、まだまだ豊かな可能性を秘めていると感じます」と目を輝かせる先生に、その奥深い世界を案内していただきます。

多様なシーンで活躍するレーザ、 しかし多くの課題も

「レーザは確かに光を活用した技術です。しかしその光は、電球や蛍光灯の光や太陽光のような一般的な光とは異なる性質を持っています」と先生。レーザ以外の光はさまざまな色(波長)を含んでおり、進む方向もバラバラであらゆる角度に拡散されます。一方、レーザは単一の波長からできており、特定の方向だけに進みます。このような性質を持つレーザには、とてもせまい領域にエネルギーを集中させることができる特徴があります。そのため、物を切断したり溶接したり、光ディスクの上に1000分の1ミリ以下のサイズで記録された情報を読み取ったり、ということが可能になるのです。

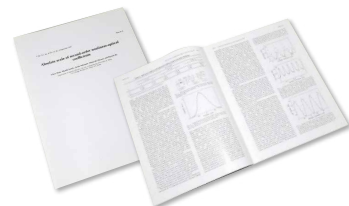
しかし、現在のレーザには課題もある、と先生は言います。「レーザの出力を上げようとすると、光の質が劣化してしまう。つまり、出力の高さと品質の良さを兼ね備えたレーザは、まだ実現していないのです」さらに波長の問題も重要、と先生は続けます。「光の波長は、可視光線や紫外線、赤外線と幅広いのですが、今のところレーザが出せる波長は限られています。その理由は、レーザの発振に利用できる材料が限定されているため。波長ごとに特徴があり適した用途も異なるので、レーザでいろいろな波長が出せるようになれば、その分使い道も広がるのですが……」

先生に研究の目標を聞いてみると、「レーザがより幅広く、多くの人に使われるようになること」という答えが返ってきました。「そのために、使いやすくてどんな波長も出せるレーザの開発を目指しています。例えば、物の切断ができるほどのパワーがあるレーザは現在のところ機器のサイズが大型で、設置スペースにゆとりがある工場など、活用できる場が限られています。しかし、高出力・高性能かつ小型で消費電力も低いレーザを開発すれば、

一家に一つレーザ包丁がある、という時代も来るかもしれません。誰にとっても本当に身近な道具としてレーザを使いこなせてもらえるようになれば、と先生の夢は大きく広がっています。

学生時代から取り組んだ研究 その成果はレーザ分野のスタンダードに

学生時代から現在まで、一貫してレーザに向き合ってきたという先生は、レーザの波長を変える「波長変換」の研究からキャリアをスタートさせたそうです。「レーザをある材料に通すと、波長が変化します。これにとっても興味を感じ、なぜそんな現象が起こるのか研究しようと思いました」とはいえ、レーザの前にただ材料を置いただけで波長が変換されるわけではないとのこと。「変換効率を高めるには、材料を加工したり最適化する必要があります。何より、どの物質を材料として用いるかが非常に重要なのです」いろいろな物質が材料になり得るものの、先生が研究を始めた当時、それぞれの物質がどのくらいの変換効率を有するかについて正確なデータがなかったそうです。「それまで報告されていた数値は、どの物質についても実際より大きい場合がほとんどでした。レーザを当てて測定した時に、試料の中で光の反射が繰り返され、干渉現象によってレーザの出力が強められてしまうことがあるのですが、この作用が無視されてきたのです」そこで先生は、材料内部でどの程度干渉現象が起きるのかを解析するとともに、正確に測定するための試料の形状まで考えて、変換効率の測定法



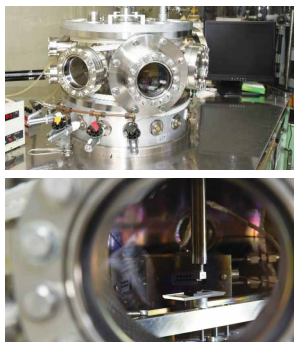
▲レーザ材料ごとの特性について先生がまとめた論文。これまでに340回以上、世界中の研究者に引用されている。

を確立。そしてその測定法をもとに、さまざまな材料の特性を評価していきました。研究の集大成として先生がまとめたデータは、信頼性の高さが評価され、現在はこの分野のスタンダードとして世界中の研究者から活用されているそうです。

「常温接合」技術に 研究の光明を見出す

先生はその後、レーザーの波長変換に加えレーザーそのものの開発へと研究の対象を広げていきました。現在は「常温接合」という技術を使って、高出力なレーザーや、高効率な波長変換を実現するデバイス（レーザー材料を加工したもの）を開発することを研究の柱としています。「常温接合とは、その名の通り常温下でレーザー材料を貼り合わせる技術です。通常、物を貼り合わせるのに接着剤を使いますよね。ところがそれでは光が接着剤に吸収・散乱され、レーザーの出力が大きく低下します。そのため、これまでは材料を数百度に熱してその表面の原子を化学反応しやすい状態にし、表面の原子同士を結合させる方法がとられてきました。しかしこれにも課題がありました。まず、高温にすると材料自体の品質が劣化する場合があります。また、異なる素材の材料を貼り合わせるケースでは、熱膨張の仕方が違うため、温度が下がった時にひずみが生じて、はがれてしまうこともあったんです」

常温接合ならこうした問題は起きません。ではそれは、具体的にどのような技術なのでしょう。先生によると、常温下の真空装置の中でレーザー材料の表面にアルゴン原子ビームを当て、表面についている酸素原子を取り除く、とのこと。すると、表面に現れた材料原子が化学反応性の高い活性化された状態になり、原子レベルで結合させることができるのだそうです。「この技術なら、同じ素材はもちろん違う素材同士を貼り合わせることもできます。これまで性能は高いと推測されるものの技術がなかったためにデバイスにできなかったものも、加工できるようになります。常温接合をレーザー開発に応用したのは私の研究室が初めて。この技術の有効性を実証し、レーザー研究の進展に貢献したいと考えています」



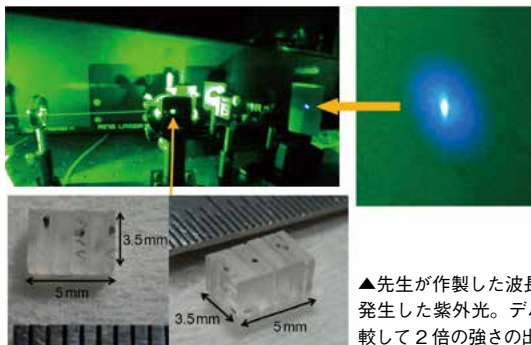
▲常温接合に使用する装置と、その内部。中は真空状態になっている。

レーザーの高性能化、 波長域の拡大に近づく

常温接合を活用した最近の研究事例として先生が挙げられたのが、「レーザーの高性能化に向けた複合構造の作製」です。「レーザー材料はレーザー光を出す時に発熱します。高出力にするほど発熱量も高まるのですが、この熱によって出力されるレーザーの質が劣化するほか、材料そのものが破損してしまふことがあります」レーザー材料を検討するうえで発熱の問題が最も重要、と先生は言います。「通常、レーザー材料は周りを金属などで囲ってありますが、光が通る部分は開けてあり、空気と接しています。空気は熱伝導率が低いので、レーザー材料が発した熱を十分に外部へ逃すことができません」そこで、空気に接している面に熱伝導率が高く光を通す素材を貼り合わせると、そこから熱を放出し、レーザー材料の温度上昇を防ぐことができます。この「複合構造」を実現するための素材として先生が選んだのが人工ダイヤモンドです。「ダイヤモンドはとても熱引きが良い素材。これをレーザー材料に貼り合わせて使えば、レーザー光の性能を高めることができます。耐熱性が高い

ダイヤモンドを使った複合構造の作製は、常温接合で初めて可能になるものです」

また常温接合は、レーザーの波長を変える波長変換デバイスの作製にも役立つ、と先生は語ります。「先ほど、レーザーが直接出せる波長には限りがある、という話をしましたが、この課題の解決に向けて、レーザーの光を波長変換デバイスに通すことでさまざまな波長のレーザーをつくる研究を進めています」その際、変換効率を高めるためには材料の向きを周期的に変えた構造にする必要があります。そのための方法がいくつか提案されてきたものの、それぞれ適用できる素材が限られていました。「しかし、原理的にはどんな材料にも適用できる常温接合ならばこの問題もクリアできます」先生の研究室では、常温接合によってBBOという材料の向きを変えながら貼り合わせ、緑色のレーザー光を紫外光レーザーに効率よく変換するデバイスの作製に成功したとのこと。こうした成果を積み重ね、先生は着実に「使いやすくどんな波長も出せるレーザーの開発」という目標に近づいているのです。



▲先生が作製した波長変換デバイスと、発生した紫外光。デバイス加工前と比較して2倍の強さの出力に成功した。

研究に取り組む日々の中で、 生涯支えとなる力を育てほしい

レーザーの研究は実験が中心。先生は研究室に所属する学生たちに、「きちんと記録を取ることを」欠かさないう指導しているそうです。「特に実験は、どういう条件のもとに行った時にどんな結果が出たのか、細かなことがとても重要なので、こまめに記録を残すことが基本だと学生たちに話しています」レーザーは取扱いによっては失明する危険性もあるため、実験の際は必ず保護眼鏡をかけることをルールとするなど、安全性への意識も育むよう心がけている、と先生は語ります。

そして学生には研究を通じて、レーザーへの理解はもちろん、課題を見出す力と問題解決力を体得してほしい、と先生は言います。「スムーズに進む研究はなかなかありませんが、今、何が満たされていないのか、どうアプローチしてどんな方法で解決するのかを一生懸命考えて真剣に取り組むことで見えてくるものがある。そうした経験を積み重ねて編み出した問題解決のプロセスや判断力と思考力、粘り強さは、社会でどんな課題に向き合うことになったとしても、必ずその人の支えになると考えています」

Message ~受験生に向けて~

受験を機に、各科目の基礎をしっかりと身につけて応用に取り組む力を育てていただきたい。理工系学部への進学を考える場合、特に力を入れてほしいのは数学・物理・英語。数学・物理の基礎力がなければ高度で専門的な知識を大学で積み上げることができず、英語力は論文や国際学会で発表を行う際に不可欠です。「自分の未来を広げる」という目的意識をもって、意欲的に勉強に取り組んでいただきたいですね。