

セレンディピティ研究術：教員と学生の 20 年の試行錯誤

Research through Serendipity: A Professor and Students' 20-Year Journey of Trial and Error

比田井 洋史
Hirofumi HIDAI

Key words : serendipity, laser manipulation, fiber fuse, glass

1. はじめに

筆者の研究テーマのひとつは「連続発振レーザによるガラス加工」である。これは、ある“予想外の発見”をきっかけに、その現象を深掘りしていくうちに、さらに新しい発見や着想が生まれる——そうしたセレンディピティの連鎖を繰り返し、気づけば 20 年以上にわたって続けてきた研究となった(図 1)。

「なぜそんな現象を見つけれられたのか？」と尋ねられることも多い。せっかくの機会なので、この紙面を借りて研究の経緯を紹介したい。ただし、ここで挙げる発見の多くは筆者自身ではなく、研究室の学生たちが生み出したものである。愚直な観察、知識にとらわれない斬新な試み、そして追い詰められた状況から生まれる工夫——そうした積み重ねの中で芽吹いてきた結果である。

発見が継続して積み重なった背景には、筆者なりの研究マネジメントの影響もあると考えている。企業など他の環境での研究に役立つとは思えないが、最後にその点についても触れてみたい。

2. きっかけからファイバビューズの研究

この研究の出発点は、ガラスと金属箔の接合であった。ガラスの裏面に金属箔を密着させ、表面からレーザを照射し、金属箔とガラスの界面を熔融させて接合することを目的とした(図 1a)。ある日、学生の T 君が「パチッ」と音がしてガラスに穴が開いた」と報告した。顕微鏡で観察すると、確かに穴が開いているように見える(図 1b)。レーザ光に沿って穴状の跡があり、上下の表面にもへこみが見えた。しかし詳細に調べると、実際に穴が開いているのではなく、ガラスが変質して穴のように見えていたのだった。

使用していたのは連続発振レーザであり、ガラスには吸収されないはずである。吸収されるならガラスはレンズ用途に使えないはずで、理解不能な現象だった。変質するだけで応用性はすぐには見いだせなかったが、面白い現象だと感じ、研究を続けた。

その後の検討から、これは「ファイバビューズ」と呼ばれる現象であることがわかった。ガラスは高温になると光を吸収する。金属箔がレーザで加熱され、接触しているガラスも高温になり吸収性をもつ。すると吸収部が光源側にシフトし、金属箔側にはレーザが届かなくなって冷える。このプロセスを繰り返し、高温部が光源側に移動する。さらに、変質部分だけをエッチングで除去できたため、穴あけへの応用も考えつつ研究を継

続した。

次の転機は Y 君の発見である。彼は変質を細くする目的で、熱伝導率の小さい白金箔を使って実験していた。M2 修了が迫る頃、「深夜の実験で行き詰まり、ぼんやり装置を見ていたら、ガラスの中で粒が動いているのを見つけた」と報告してきた。これは、白金成分がガラス内部に入り込み、レーザで加熱されつつ周囲のガラスを軟化させて移動する現象であった(図 1c)。

ここから研究は 2 つの流れに分かれた。1 つはファイバビューズによるガラス変質の研究、もうひとつはガラス内部での金属球移動の研究である。

ファイバビューズの続きでは、高温部が数千℃・高圧状態でガラス中を移動し、表面に到達すると破裂音とともに噴出することがわかった。ハイパワーレーザを使えばより長大な高温部ができ、噴出後に穴となるのではないかと考えた。また、噴出部に綿のような繊維状生成物が付着しており、それを観察すると微粒子が付着していた。

さらに、高温部を制御すれば多様な形状を得られるのではと考え、複数レーザで分岐させたり、高速走査で曲線を描かせたりした(図 1d)。高温によって SiO_2 が分解し、酸素が気泡として残留することもわかった。この気泡は高温部とともに移動し、焦点近傍に残留して空洞を形成する。条件を調整すると、数 mm 規模の空洞をガラス内部に作れる。

また、変質部を並べて形成すると、ひずみによりガラスが割れ、幅 100 nm 程度のスリットができることも発見され、研究はさらに発展していった。

3. ガラス内部での金属球の移動

一方、金属球の移動現象については、駆動メカニズムの解明に時間を費やした。最終的に界面張力で説明可能と分かった(図 1e)。その理解を基に、より自由度高く移動させるために、2 本のレーザを対向して照射することで、レーザでは挟むかのように移動できないか実験していたところ、金属球が 2 つに分裂する現象が見つかった(図 1f)。これは界面張力だけでは説明できず、新たな物理要因の存在を示唆するものだった。

さらに、ガラス中に金属微粒子がドープされること、しかも均一ではなく縞状になること(図 1g)、合金では場所ごとに成分が異なること、逆にガラス中の微量成分が金属球に濃縮されることなど、予想外の現象が次々と確認された。

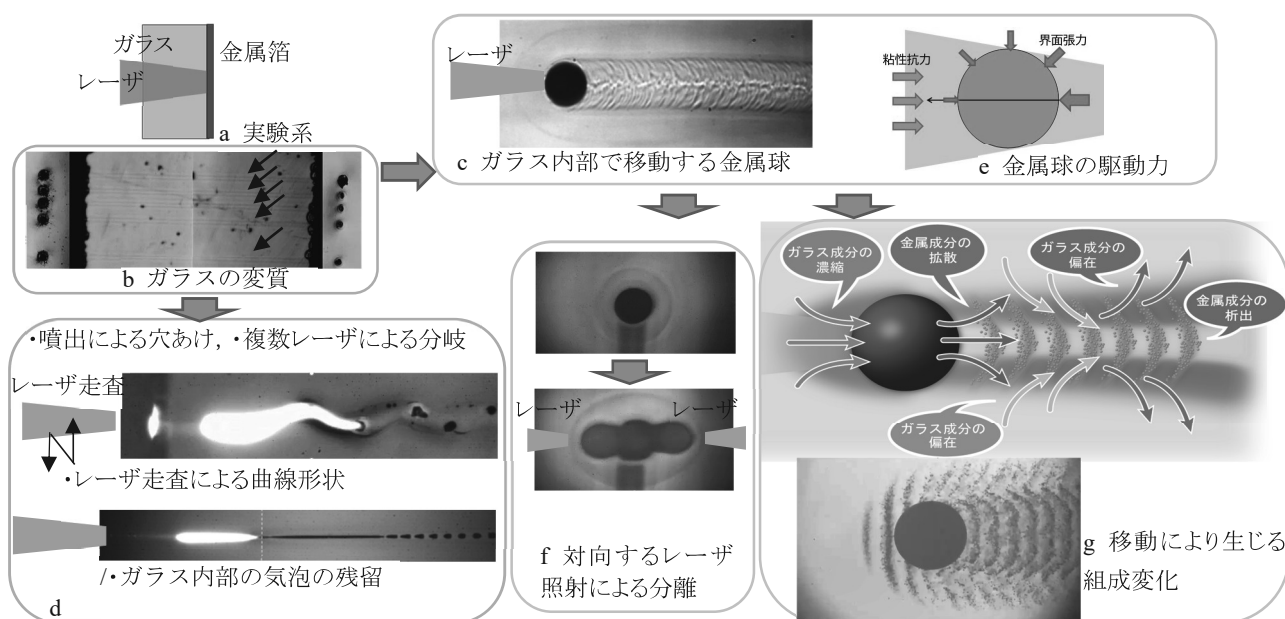


図1 研究の進展

このように微粒子が析出することから、加熱することで、微粒子が凝集して大きくなったり、線状になったりするのはと考えると、加熱実験を行っていた。この結果、目的とは異なり、金属微粒子は凝集せず、微粒子が溶解し軌跡が透明となるのと同時に、軌跡のみガラスが結晶化することを見出した。

4. まとめ

今回、経緯をまとめてみると、この研究は偶然の発見に支えられて、進んできたのだと改めて感じられる。この偶然の発見が続いてきた技術的な要因としては、以下が挙げられる。

競合がないこと:連続発振レーザをガラスに照射しても、通常では何も起きない。このため、類似な系で実験する研究者はほぼおらず、常にオリジナリティを確保できた。これまでにオリジナリティが問題となって論文が不可となったことはない。ただ、競合がないのは、具体的な応用が見つからないためでもある。

実験装置が簡単に変更できること:レーザ加工機として組みあがった製品は用意せず、発振器と光学部品を自らで並べて実験系を構築する。レーザ関係は、光学部品、光学部品ホルダー、ステージなどが規格品で用意されており、玩具のブロックをくみ上げるかのように簡単に実験装置が変更できる。光学系は機械加工と異なり剛性が必要ないため、最後、どうしてもなければ、両面テープで固定しても、とりあえずの実験は可能である。これにより、思いついたら即座にフットワーク軽いくいろいろなことが試せる。

観察が容易であること:ガラスが透明であり、また、一昔前に比べて、高速度カメラが簡単に利用できることも、良いタイミングであったと思う。

教員として学生をマネジメントする際に心掛けている点をまとめる。

主体性の重視:極力口を出さない。学生が考えて実験していれば、(安全上問題があるとかでない限り)、無駄なことしているなと思っても、口を挟まずニコニコしているように心がけて

いる。「なんかおかしいことやっているな、私ならやらないな」と思った実験から、新しい知見につながるものが多くあった。ちなみに、何も指導していないかのように記載しているが、最後の段階で、出てきたデータをまとめて論文化する際には、ストーリー、必要な追加データなどを具体的に指示する場合もある。

意図的なリセット:取り組みたい内容で、1人の学生が取り組んだだけでは、うまくいなくて挫折することも頻繁にある。この挫折した内容を別の学生に改めて取り組んでもらう際に、意図して間をあけて、何年かたってノウハウがなくなってから、再開する場合がある。引き続いて実験すると、何も考えないで、同じような系、条件で実験を進めることが往々にしてある。これを防ぐために、意図して断絶させて、過去に作った実験系が他の学生に持っていかれて散逸するまで待つ。その後、改めて新しい実験系などで進めると、先例にとらわれず学生自身で考えて進めるため、ブレークスルーにつながることもある。

論文化:幸い新規性はあるので、内容が不十分と感じても、なるべく論文化することで、モチベーションアップになるようにしている。

集中の重要性:新しい考案などには、相応の集中が必要である。研究に取り組むのは研究室にいるときだけで、他の時間は研究を忘れていようだと、新しいことを考えるのは難しい。特に受動的な講義をずっと受けてきて、研究に初めて取り組む、多くの学生には相応に時間をかけることが不可欠である。「ある時は集中して、夢に出てくるまで悩んでみないと、なかなか新しいことを思いつくのは難しいと思う」旨のことを、心ここにあらず、と感じられる学生には伝えている。



【比田井 洋史】(ひだい・ひろふみ)
・千葉大学大学院 教授
・e-mail: hidai@faculty.chiba-u.jp