



レーザーの新たな可能性

矢部研究室～機械物理工学専攻



矢部 孝 教授

スイッチを入れた瞬間である。レーザーは瞬く間に紙飛行機へと到達し、辺りにパンと乾いた炸裂音が鳴り響く。加速した紙飛行機は発射台を飛び出し、なだらかに弧を描いて滑空していった。

－昨年の11月、機械物理工学専攻の矢部孝教授は世界で初めてレーザーで紙飛行機を飛ばすことに成功した。レーザーを使って物体を動かす、レーザー推進という研究は世界でもここ最近になり始まった新しい試みで、その例はまだ数少ない。だが今、にわかにこの研究が活気を帯び始めてきている。



動力源としてのレーザー

厚さ1.2mmのディスクからレーザーで音楽を読み取るCDプレイヤー。角膜の一部をレーザーで切除する視力矯正手術。レーザーの活用は多岐に渡り、応用範囲は目を見張るほど広い。そして最近、その中のひとつ、レーザー推進が注目を集めている。離れた場所から発射されたレーザーを動力源として使う。近未来的な雰囲気の漂うこの研究が、実用化に向けて本格的に進められている。

しかしレーザーを動力源にするといっても、ただ単純に強力なレーザーを当てれば物体が進むというわけではない。何故ならレーザーが直接物体を押す力は非常に弱く、レーザーのエネルギーの大部分は熱エネルギーに変わってしまうからだ。レーザーから推進力を得るにはこの熱エネルギーを運動エネルギーへと変える必要がある。

そこで、次のような手法がある(図1)。まず金属板を運びたい物体に貼り付け、レーザーをそこに当てる。照射された箇所では集中的に熱が発生し、金属は溶けて一挙に蒸発する。すると金属蒸気が勢いよく噴射され、金属板はその反作用を受けて運ぶべき物体ごとに進んでいく。

この金属板のようにレーザーを直接当てる部分

は一般にターゲットと呼ばれている。物体にターゲットを取り付けて、レーザーによる熱で推進力を得るというのがレーザー推進のメカニズムだ。

みなさんはテレビなどで人工衛星の打ち上げを見たことがあると思う。実はここにレーザー推進を導入しようという計画がNASAで進められている。あの巨大なロケットの中で人工衛星が収められているのは先端の一部だけで、残りの大部分は大気圏離脱のためのエンジンと燃料で占められている。レーザー推進ならば、これらのエンジンと

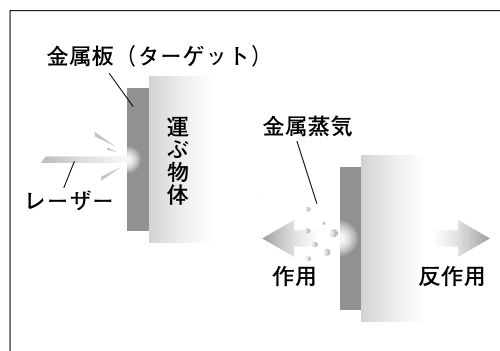


図1 金属板によるレーザー推進

燃料を省き、ターゲットを付けるだけで人工衛星を打ち上げることができるので、資源の節約と打ち上げの低コスト化が大いに見込めるのだ。現在、NASAでは高出力のレーザーを用いて60gの人工衛星の模型を地上100mまで打ち上げることに成功している。

さて、この例のように着々と研究が進められているレーザー推進だが、一方で大変厄介な欠点を抱えている。その欠点とは、非常に効率が悪く、レーザーのエネルギーのせいぜい0.05%しか運動エネルギーが得られないことだ。NASAのような巨大な組織では、この効率の悪さを高価な高出力レーザーを使うことで補っているが、一般の研究室ではずっと出力の低い装置しか使えず、まともな推進力を得ることはできない。このような理由からレーザー推進に取り組む研究機関は限られており、世界的に見ても少なかった。

ところが、最近この状況を一変させる出来事が起きた。ここ東工大の矢部教授が、はるかに効率の良いレーザー推進を可能にする「水大砲ターゲット」を発表したのだ。これは従来ターゲットとして用いられてきた金属板に改良を加えたもの

で、レーザーを当てると金属板に比べ数百倍もの推進力を生み出す。この性能は紙飛行機を飛ばす実験で試され、国内外から注目を集めた（写真）。この画期的なターゲットの登場により推進力面での難点が大幅に改善され、その将来に一層期待が寄せられるようになってきている。

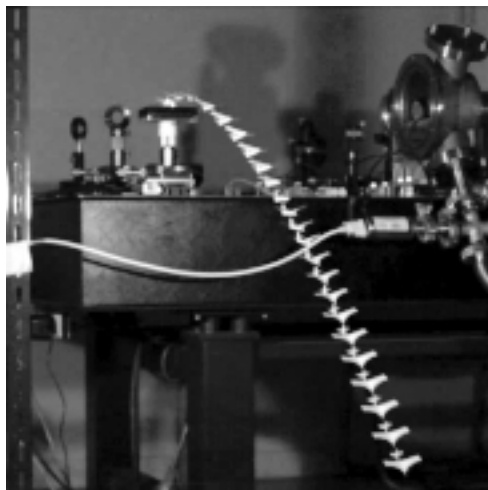


写真 レーザー推進で飛ぶ紙飛行機



金属蒸気を押さえ込む

今、水大砲ターゲットの開発で脚光を浴びている矢部教授ではあるが、元々はレーザーのシミュレーションの研究で名を馳せた研究者だった。ある学会で、そのシミュレーション技術を活かしてレーザー推進を研究しないかという依頼があり、それがきっかけとなってこの研究が始められた。

教授もレーザー推進に取り組む始めるとその効率の悪さを痛感したという。だが、研究室の予算で購入したレーザー装置は満足な推進力が得られるほど出力は高くない。この問題を解決するためには、噴射の鍵となるターゲットに改良を加える必要があると教授は考えた。

ターゲットを改良する試みは当初、アクリル板を金属板に貼り付けるという手法が実験されていた（図2）。接着剤でアクリル板を貼り付けた金属板にレーザーを当てると、レーザーはアクリル板を透過して金属板だけが熱せられる（a1）。すると金属板の一部が蒸発し（a2）、その膨張を受けてアクリル板が後方に弾き飛ばされる（a3）。

これが、あたかも金属蒸気がアクリル板という壁を蹴っているような形になり、何も貼り付けない場合よりも強い反作用を生じさせる。その結果、推進力は大幅に向上するのである。

しかし、この方法ではレーザーが当たるとアクリル板は外れてしまい、再び貼り付けるのが難しい。これではレーザーを二度三度と当て連続的に

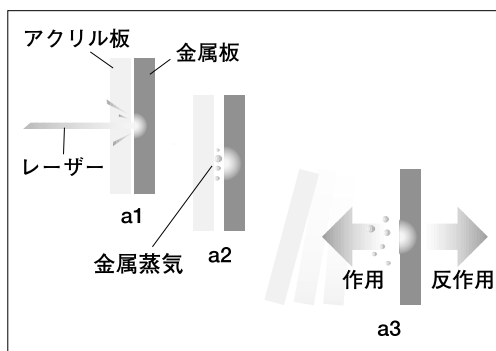


図2 アクリル板を張り付けたターゲット

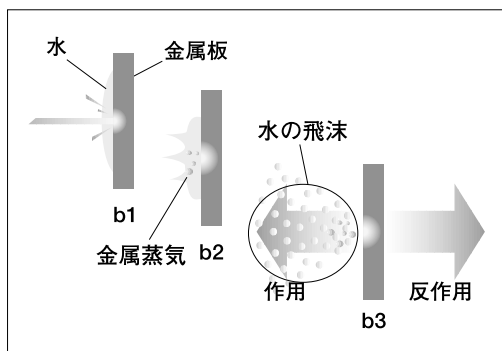


図3 水大砲ターゲット

推進させるのには向かない。また、アクリル板と金属板を接着剤で貼り付けているので、剥がれる際に無駄に力が消耗されてしまう。研究室で実験が繰り返されるうちに、アクリル板を貼る手法はこのような問題点が浮き彫りになってきたのだ。そして次第に、教授はアクリル板よりも適した素材はないかと考えをめぐらせることになる。

さらに実験を重ねてしばらくしたある時、教授にふとアイデアが浮かんだ。いっそ水を使えばどうだろうか。確かに固体よりも液体を張り付けたほうが無駄が少なそうだし、張り付ける際にも扱いやすそうに思える。試しにスポイトで水滴を金属板につけたものにレーザーを当ててみると、推進力は今までにない強さを見せたのだ。アクリル板の代わりに水を張り付けたもの、それが「水大砲ターゲット」である（図3）。

この水大砲ターゲットは単なる金属板と比べて数百倍の推進力を生み出し、効率については最大でレーザーのエネルギーの50%を運動エネルギーに換えられる。水は表面張力で金属板上に張り付

いており、金属蒸気をさえぎる壁として働く。つまりアクリル板と同様に強い反作用を生む補助となるのだが、接着剤を使用しないので金属板と水が極めてスムーズに離れ無駄が少ない。そしてアクリル板では丸々一つを剥がす力を必要とするが、水では噴射に応じた適度な量を飛ばすだけで済む。これらの違いが推進力の決定的な差となって現れる。また水は液体だから、給水タンクを積んでターゲットまで管を通すなどの工夫次第で噴射する水を供給できる。そのため一回限りの推進ではなく、レーザーを何度も当てて推進させることがこのターゲットでは容易になるのだ。

現在では単に水をスポイトでつけた水大砲ターゲットだけではなく、図4のような物も考案されている。このターゲットは紙飛行機よりも大きなものを動かすため、プラスチック板でカバーを施して水のストックを増やしている。こういった改良の他にも水を供給する方法や機構が模索されているなど、水大砲ターゲットのより実用的な形を求めて試行錯誤が続けられている。

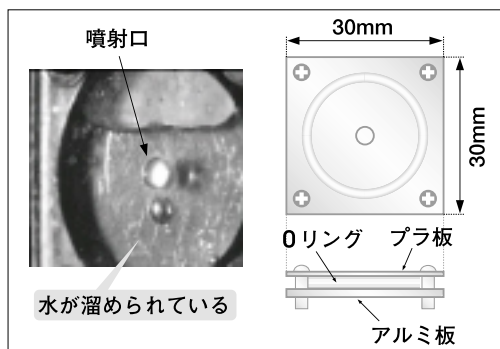


図4 水大砲ターゲット（試作版）



地球のふちを飛ぶ飛行機

水大砲ターゲットが開発されたことでレーザー推進を応用する様々なアイデアが考えられるようになった。矢部教授が考えている応用例の中からいくつかを見ていこう。

まず紹介するのが旅客機への応用だ。現在構想が練られている飛行機は、人工衛星から発射されたレーザーを受け、空気密度の低い成層圏を飛ばすというものだ。はるか上空では空気抵抗が極めて小さいので地表とは比較にならないくらい高速が

出せる。シミュレーションによると、レーザーの出力次第ではマッハ5以上で飛行できるというのである。

現在の一般的なジェット機ではそのような速度で飛行するのは難しい。ジェットエンジンは周囲の空気を吸い込んで燃料と一緒に燃やして後方に噴射する。こうした構造上、十分な空気が取り込めないと能率が悪くなるのでジェット機はある一定の高度までしか機体を上昇させないのだ。だが

レーザー推進ならば空気密度に関係なく、ほぼ一定の効率で推進力を得られる。いくら空気密度が低くても支障はないので、より上空を飛行してより空気抵抗を少なくできる。

また、レーザー推進の利点は速度の面だけではない。水大砲ターゲットを使えば全く排気ガスを出さずに飛行できる。噴射するものが水だから大気汚染を避けられ、環境に悪影響を与えることがないのだ。そしてもう一つ、成層圏中には氷の粒子が存在しているため飛行中に水を補給できるという利点がある。飛行しながら取り込んだ氷に圧力を加え、水に戻して水大砲ターゲットに送るのである。これにより機体の内部に大量の水を蓄えておく必要がなくなり、総重量を大幅に軽減することができる。

この飛行機が飛ぶ成層圏から上空は雲が存在していないので、レーザーは人工衛星を使用して宇宙空間から撃つことが考えられているが、それだけでは完全に飛ばすことはできない。成層圏中ではレーザーが届くが、地表から成層圏までに到達する間は雲が障害となってレーザー推進が使えないからだ。そこで、その対策に水大砲ターゲットとジェットエンジンの二つを一緒に積んだハイブリット型にするという案がある(図5)。機体は重

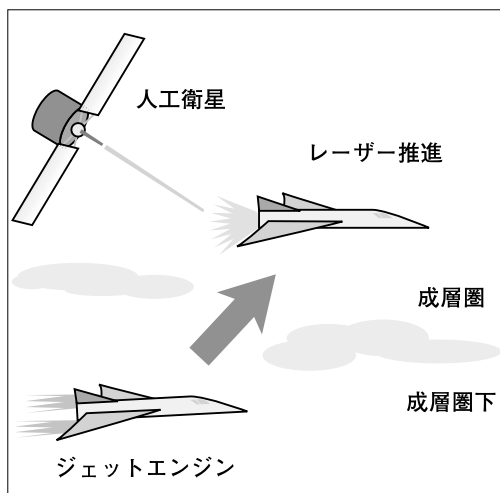


図5 成層圏飛行機

くなるが、ジェットエンジンを使って周囲に雲がなくなる高度まで移動することができる。そして十分にレーザーが届く場所まで上昇したら、レーザー推進に切り替え超音速で飛行するのだ。

かつて新幹線は東京 - 大阪間を3時間で結んだが、もしこのマッハ5で飛ぶ成層圏飛行機が実現できれば東京 - ニューヨーク間を3時間で結ぶことが期待できる。



紙飛行機で測るCO₂

もうひとつ、応用例を見てみよう。紙飛行機とレーザーを使ったCO₂濃度測定方法である。

ここ数年、CO₂などの温室効果ガスの話題がたびたび取り沙汰されている。京都議定書によると2008年より5年間CO₂を削減する計画となっており、2007年までに濃度の測定方法を用意する必要

が出てきた。しかも、世界各国で測定を行うわけだから簡単かつ低コストの測定方法が望ましい。それに応えるものとして紙飛行機による測定方法が考え出された(図6)。

この方法ではまず、反射鏡と水大砲ターゲットをつけた紙飛行機を大量に用意して、上空へと気

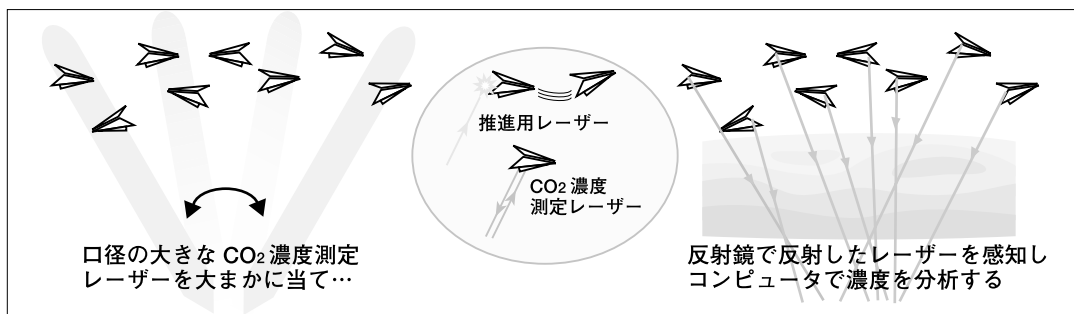


図6 紙飛行機によるCO₂濃度測定

球で運ぶ。ある高度で紙飛行機をばらまき、CO₂測定用と推進用の二種類のレーザーを当てる。

CO₂測定用レーザーは大気中のCO₂に吸収され、強度が弱くなる性質がある。このレーザーの口径を大きくして大まかに紙飛行機の集団へ照射すると、反射鏡に当たり一部が戻ってくる。その戻ってきたレーザーの強度の変化を計測し、同時にレーザーが往復した時間から紙飛行機までの距離を計算する。そうすると、強度の変化と距離のデータから紙飛行機とレーザー装置の区間のCO₂濃度が求められるのだ。あとは多数の紙飛行機から得られたデータをコンピュータで解析すれば、その近辺のCO₂の濃度が測定できる。



レーザー推進のこれから

さて、ここまでレーザー推進の応用例を2つ紹介してきたが、矢部研究室ではまだまだ興味深いものが多く研究されている。例えば、X線で推進力を得て血管内を進むマイクロシップや、携帯電話の浮遊無線局の位置静止にレーザー推進を使うなどの構想があり、応用分野は多岐に渡る。

以前まで矢部教授はシミュレーション計算を主体として研究に取り組み、世界的に高い評価を受けていた。ところが今回のレーザー推進の研究は普段と異なり実験色の強いものだった。それだけに、この研究が脚光を浴びるものになるとは当初

一方、紙飛行機に積んである水大砲ターゲットには推進用のレーザーを当てる。これは紙飛行機を遠くへ運んで、より広範囲のデータを得るためだ。進む方向を制御するのは難しいが、CO₂濃度の測定には紙飛行機一つ一つが進む方向は特に問題にならない。データ収集のためとにかく紙飛行機を飛び散らせたほうがよいのである。

以前までCO₂濃度の測定は、気球に測定装置を載せ、徐々に高度を上げながらその高度ごとの空気を取り込んで測定するという非常に手間のかかるものだった。紙飛行機での濃度測定では、レーザーのやり取りのみで測定するので瞬時にデータが収集できる。この利点は大きい。

思いもよらなかったと教授は振り返る。すでに、水大砲ターゲットや紙飛行機を飛ばす実験に関する話題は国内だけでなく海外でも大きく取り上げられている。何故それほど注目を集めるようになったのか、それに対する教授の考えを尋ねてみた。

これまでレーザー推進は、推進力に問題を抱えていたため宇宙に関連する分野にしか向かないとされていた。ところが、水大砲ターゲットの開発によりその問題点は大幅に改善された。レーザー推進の応用範囲は宇宙だけでなく地上にまで向けられるようになった。また推進力が改善されたということは、研究室の予算で購入できるレーザー装置でも研究がしやすくなるし、それだけ研究者の数も増えると思われる。これらが今回注目を集めた原因ではないか。教授はこのように分析している。

今後、矢部研究室では主力であるシミュレーション計算と並んでレーザー推進にも力を注ぎ、研究の二つの柱として進めていきたいと意欲的だ。今後、高出力で安価なレーザー装置が次第に開発されていけば、それと相まってレーザー推進の実用化はさらに進展していくと考えられる。その秘められた可能性に期待したい。



矢部研究室のみなさん

三回に渡って行った取材はどれもが長時間に及ぶものだったが、次から次へと語られる興味深い話に聞き入り、あっという間に時間が過ぎていっ

た感じがする。本当にお忙しい中、長々と時間を割いて頂いた矢部教授に大変感謝しております。心からお礼申し上げます。（小泉 和弘）