

# 新化学レーザー、世界初の発振に成功

2009年9月1日

東海大学理学部物理学科 中村智也、遠藤雅守  
慶應義塾大学大学院理工学研究科 増田泰造、内山太郎

**概要：**東海大学理学部物理学科、遠藤雅守准教授の研究室は「アミン系全気相型化学沃素レーザー」の実現に世界に先駆け成功した。この新化学レーザーは従来の化学レーザーの欠点を克服し、原理的にはメガワット級の大出力にスケールアップが可能である。

**背景：**レーザーとは何らかの方法を使って分子や原子を励起(活性)状態にして、それを共振器(鏡)で挟むことで光のビームを取り出す技術である。通常、分子・原子の活性化には電気や光エネルギーが利用されるが、化学レーザーはある種の化学反応を利用する「変わり種」である。現在までに数十種の化学反応からレーザー発振が得られることが知られている。

化学レーザーには、他のレーザーと比べ極めて大きな出力が得られるという特徴がある。そのため、1970年代から各国で核融

合炉、ロケット推進、ミサイル防衛などへの応用を目指した研究が盛んに行われてきた。当時、日本でも同様の研究が重工メーカーを中心に行われていたが、研究の性格上広くは知られていない。

1990年頃になると、実用的な化学レーザーは二つに絞られた。重フッ化水素(DF)レーザーと化学酸素沃素レーザー(COIL)である。いずれも、アメリカによりミサイル迎撃などの軍事用途を目的として開発され、現在は実用化目前である。同じ頃、日本では大学やメーカーでCOILを切断・溶接などの産業用途に使うための研究が行われた。最も実用機に近いものは川崎重工が開発した出力10kWの装置である。COILのレーザー波長が光ファイバー伝送に適する特徴を生かし、原子炉構造部品の遠隔解体試験などが行われた。

しかし、COILを産業に応用する試みはいずれも成功しなかった。原因の一つとして指摘できるのが、「スイッチを入れてすぐ発振しない」という欠点であろう。COILのエネルギー源は「塩基性過酸化水素」という液体である。これは一種の「生もの」なので、レーザー発振の直前に調合しなくてはならない。しかし調合は多量の発熱を伴うため冷却装置を使いながらゆっくりと行う必要があり、必要な時にいつでも発振、という状況にはほど遠かった。

沃素原子には光ファイバーで導光できる波長1.3 $\mu\text{m}$ の光を発し、励起状態の寿命が長いいためレーザーの大出力化が容易という優れた特徴がある。沃素原子を励起する新しい化学反応が見つければ、COILの良いところは全て受け継ぎ、欠点を克服した新化学レーザーができるはずであるが、研究は困難を極めた。

**研究内容：**一般に、化学反応で望みの生成物を得るための反応ルートを見つけることは「芸術」にも例えられる難しいものである。1990年代に、「トリクロロアミン」 $\text{NCl}_3$ の分解反応で生じる励起状態の $\text{NCl}$ が沃素との化学反応でレーザー発振を起こす可能性が指摘されていたが、それを実証できた者はいなかった。トリクロロアミンは、水道水の「カルキ臭」の原因ともなっているごくありふれた化学物質で、安定に液化貯蔵できる。そのため「スイッチを入れてすぐ発振する沃素レーザー」を実現するエネルギー源には最適である。我々はこの報告に注目し、トリクロロアミンをエネルギー源とする新化学レーザーが実現可能かどうかを検証した。

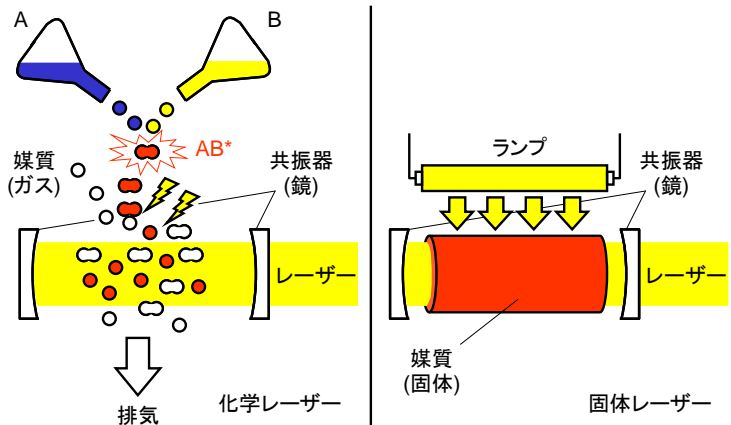


図1: 化学レーザーと固体レーザーの比較

はじめに専用のコンピューターシミュレーションを開発し、マイクロ秒(百万分の 1 秒)単位で起こる化学反応とその生成物の分布をモデル化、レーザー発振が可能な条件を広範囲に探索した。その結果、トリクロロアミン、水素原子(H)、沃化水素(HI)の 3 種の化合物を適切な圧力において適切な順序で混合したときに限り光の増幅利得が得られることがわかり、レーザー発振の可能性が示された。このレーザーは沃素レーザーの一種だが COIL と異なり反応が気相のみで行われるため「全気相型化学沃素レーザー」と呼ばれる。

**研究成果：** 上述の計算結果から 2 年の研究期間を経て、本年 4 月に初めてのレーザー発振が確認された。実験装置の概念図を図 2 に、写真を図 3 に示す。得られたレーザー出力は平均で 20mW、せいぜい DVD レコーダーに組み込まれている半導体レーザーと同じ程度である。しかし、この反応系でレーザー発振が可能であることを初めて実証したという意義は大きい。ちなみに世界初の COIL(1977 年)は出力 4mW だったが、最近アメリカが開発した装置は数メガワットの出力がある。化学レーザーの世界で新しい反応系によるレーザー発振が報告されたのはほぼ 10 年ぶりのことである。

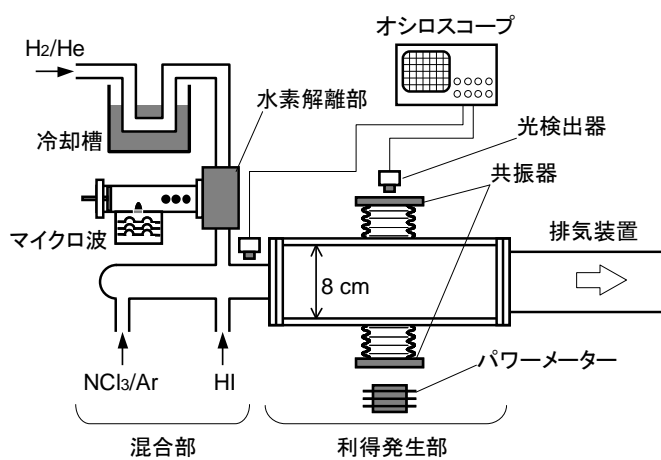


図2: 実験装置の概念図

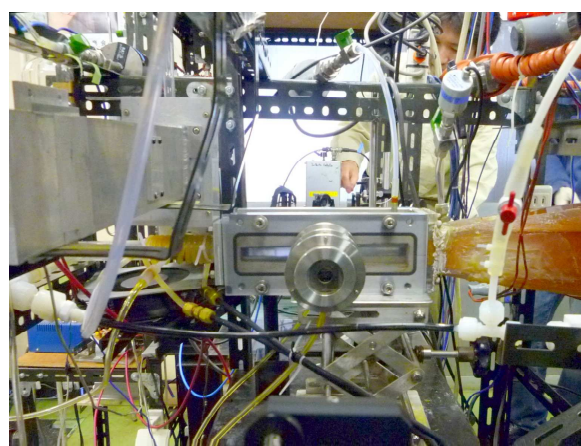


図3: 実験装置の写真

**今後の展開：** 当然、新沃素レーザーは海外から防衛用レーザーの新しい光源として注目されるだろうが、我々は別の応用を夢想している。それは「レーザーによるスペースデブリ除去」である。構想の概念図を図 4 に示す。スペースデブリとは「宇宙のがらくた」で、具体的には寿命を終えた人工衛星、打ち上げに利用されたロケットの残骸などが挙げられる。近年、これらが衝突、細かい破片となった二次デブリが人類の宇宙活動を制限しかねないほどの大きな問題になりつつある。つい最近、アメリカとロシアの衛星同士が衝突、大量の二次デブリが軌道上に飛散したというニュースは耳に新しい。こういったデブリを軌道上から排除する方法として、大出力のレーザーで打ち落とすのが最適であることが先行研究の結果明らかになっている。

ただし、デブリに有効な推力を与えるためにはメガワット級という非常に大出力のレーザーが必要である。新沃素レーザーはその候補の一つとして最適の特徴を備えている。

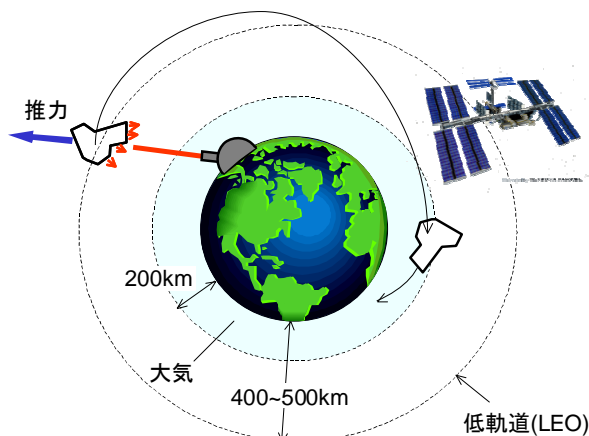


図4: レーザーによるスペースデブリ除去

連絡先：〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 1117

東海大学理学部物理学科 遠藤雅守(えんどうまさもり)

Tel: 0563-58-1211

Fax: 0463-50-2013

e-mail: [endo@tokai.ac.jp](mailto:endo@tokai.ac.jp)

研究室 web サイト: <http://teamcoil.sp.u-tokai.ac.jp/>