

新世代レーザー兵器の誕生

ジェフ・ヘクト

半導体励起固体レーザーは短距離防衛に一役買っており、半導体励起アルカリ蒸気レーザーは上昇段階ミサイル防衛の候補にあがっている。

レーザー兵器の開発計画は以下に述べる三つの重要な実証により変化している。まず2009年の初め、米ノースロップグラマン社(Northrop Grumman)の半導体励起固体スラブレーザーは100kWの出力を5分間にわたり連続的に放射した。次いで今年2月、米テキストロン・ディフェンス・システムズ社(Textron Defense Systems)が設計した半導体励起固体レーザーは100kWを超える平均

出力が得られた。さらに同月、航空機搭載メガワット(MW)級のエアボーンレーザー(ABL)は、仮想敵国からの脅威を代表する液体燃料スカッド(SCUD)ミサイルの長距離からの撃墜に成功した(図1)。

表面上は、これらの三つの実証は歓迎すべき良いニュースのように聞こえる。ABLは飛行中の外国製弾道ミサイルを破壊した最初のレーザーとなり、ミサ

イル防衛の重要な目標が達成された。ノースロップグラマン社とテキストロン社の実証は、国防総省統合技術局の管理のもとで推進された統合高出力固体レーザー(JHPSSL)プロジェクトが成果を収め、固体レーザー兵器の開発目標が達成されていることを示している。

2011会計年度の予算ではABLを使用する酸素ヨウ素化学レーザー(COIL)技術の今後の開発はストップをかけられているが、新しいレーザー技術を開発し、B747に搭載されたレーザーを実験台にして、高エネルギーレーザーの効果を研究する予算は含まれている。この予算には、対照的に電氣的にパワーを注入する100kW級レーザーの戦場での実用可能性をロケット、大砲、臼砲および小船船に対して検証する実地試験の費用が含まれている。

ミサイル防衛の諸問題

ABLはカーター政権の時代に開始された一連のミサイル防衛レーザープロジェクトから得られた最新の成果になる。米国防総省の防衛高等研究計画局(DARPA)が推進してきた宇宙レーザートライアド(Space Laser Triad)プロジェクトには、アルファ(Alpha)と命名された5MWのフッ化水素(HF)化学レーザーを地上に配置し、レーザービームが周回する戦闘配置を形成して、ソ連の核攻撃を阻止する可能性を立証する計画が含まれていた。ロナルド・レーガン大統領の戦略防衛イニシアチブでは、この計画を拡張して、ポップア

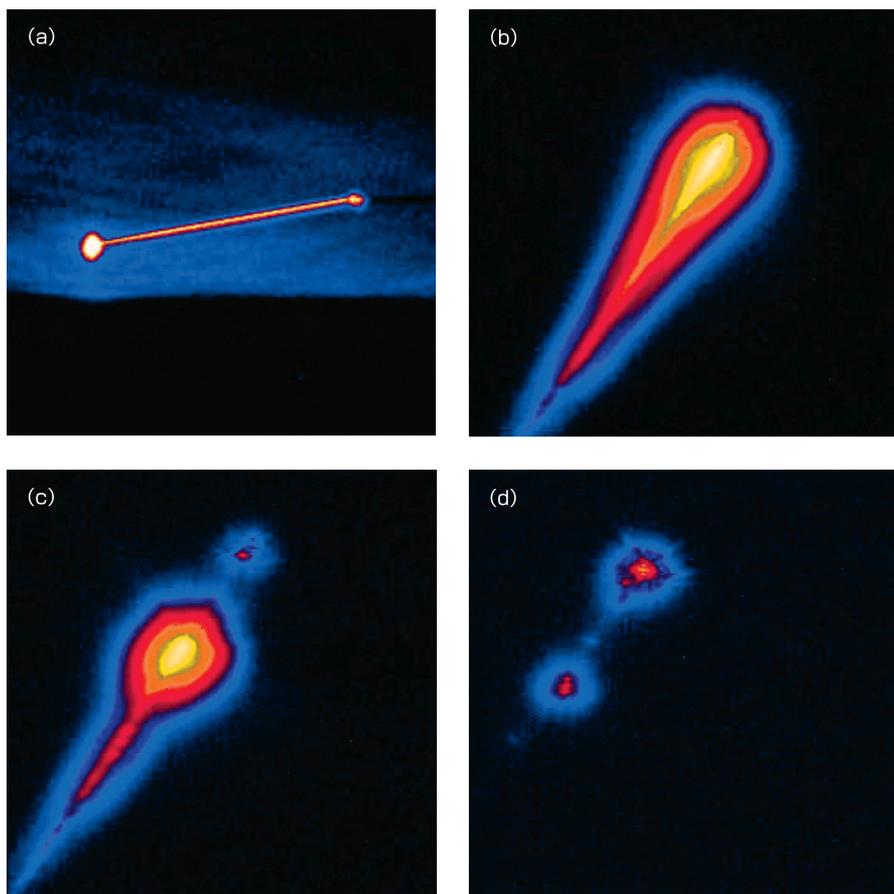


図1 (a)エアボーンレーザー(右)は距離の分からないスカッドミサイル(左)を1.3 μ mビームで射撃する。(b)から(d)の画像は標的のミサイルが破壊される様子を時系列で示している。すべての画像は赤外線を用いて撮影された。(資料提供:ミサイル防衛局)

ップ方式の爆弾誘導X線レーザを含めた多層構造の防衛体制とその代替案が提案された。アルファレーザは1991年にMW級の出力に到達したが、冷戦終結と、レーザ技術と宇宙技術に関する数々の難しい問題が原因で、この計画は変更された。

ABL計画は1993年に誕生したが、それは対応の容易なミサイル脅威、つまり北朝鮮のような「ならずもの国家」による少数のミサイル攻撃に対する防衛が目的であった。この計画はミサイル発射が想定される場所に近づいて飛行する航空機の内部にMWレーザを配置して、攻撃の容易な発射段階のミサイルを破壊する。このレーザの開発では、1.3 μ m COILレーザを使用すると、ビーム伝搬にともなう問題の解決が可能になり、HF/DF化学レーザの場合に比べると、レーザビームの方向制御光学系の小型化が容易になると考えられている。

国防総省は1996年に、ABLを構築するための11億ドルの契約を米ボーイング社と締結し、2000年代の初めにおけるレーザ命中試験の開始を設定した。ブッシュ政権は多層ミサイル防衛システムの発射段階ミサイルへの対策としてABLを設計したが(図2)、計画されたミサイル撃墜の成功は予定に比べて何年も遅れ、予算は計画を数十億ドルも超過した。

昨春、米国防長官のロバート・ゲーツ氏(Robert Gates)は完成試験に入る前のABL機への予算の執行を停止した。彼は議会において、計画されたレーザの命中距離は85マイル(約135km)しかなく、発射段階のミサイル防衛に必要なと考えられる200kmに比べると非常に短い距離だと証言している。今年2月に発表された次年度の予算案はABL計画を変更し、ABLを空中と地上におけるレーザ効果の研究用の

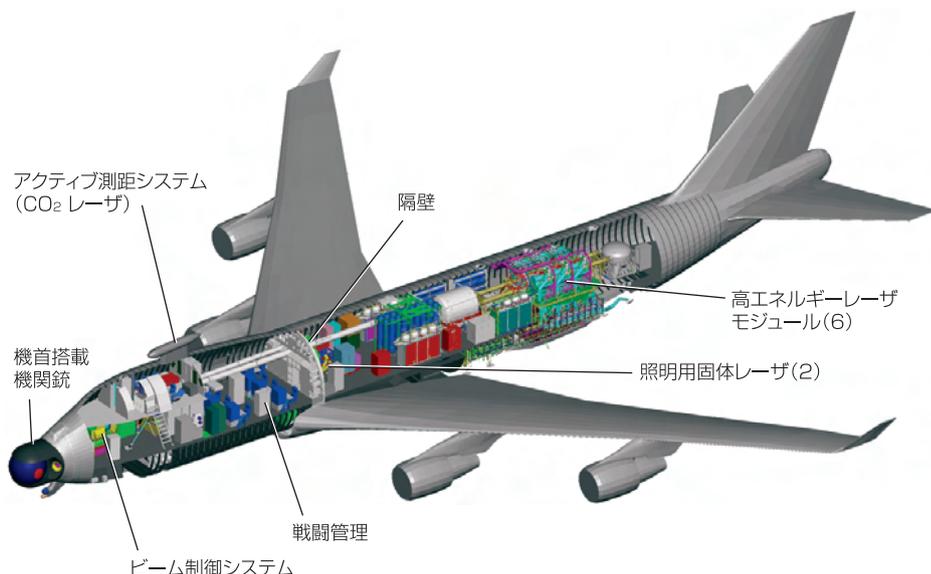


図2 このエアボーンレーザの断面図は、レーザと操縦室の分離壁の背後にあるCOILを示している。(資料提供:ミサイル防衛局)

実験台として位置づけている。新しい「指向性エネルギー研究」予算案では、9500万ドルを新方式のレーザの開発とABLで分割することになっているが、米ミサイル防衛局(MDA)の報道官は予算がどのように分割されるかは把握していないと語っている。

MDAは2月の試験におけるレーザ距離を公表しなかったが、試験は標的に十分接近した距離から開始して、次第に距離を広げて、標的への命中が難しくなるように計画されていた。最初の成功は2月3日の探測ロケットの撃墜であった。ABLは2月11日にスカッドミサイルを撃墜したが、このときは発射の数秒後に標的の固定追尾が始まり、大気ゆらぎが測定され、その補正がCOILの点火前に行われ、発射の2分以内にミサイル構造の破壊に成功した。ABLは1時間以内に、次に発射された固体ロケットの追尾を再開し、点火が反復できることを実証した。2番目のミサイルは破壊できなかったが、Aviation Week誌によると、失敗の原因は「ビームのミスアライメント」にあるという⁽¹⁾。MDAは

今夏の追試を計画しているが、そこではシステム応答を評価するための対抗手段と複数ミサイルによる実験が行われる。まだ公の場で取組まれていない重要な問題には、最高速度で飛行するミサイルに対するレーザとその光学系の対応能力の評価が含まれる。

半導体励起アルカリレーザ

MDAの2011会計年度の予算案は、半導体励起アルカリレーザをミサイル防衛用の主要な候補にしている。半導体励起アルカリレーザは、気相の熱管理が固相よりも容易になる、非常に高い光-光変換効率が期待できる、励起用の近赤外励起半導体レーザとの整合性が良い、単位体積当たりの出力が非常に高い、特殊化学燃料ではなく電力により動作するなどの利点が大きな魅力となっている。

米ローレンスリバモア国立研究所(LLNL)レーザ計画部の副部長を長期にわたって務めたウィリアム・クルプケ氏(William Krupke)は、引退後に半導体励起アルカリ蒸気レーザを提案し

て特許を取得し、現在はコンサルタントになっている。彼は単一価電子の遷移に基づく三準位レーザーシステムに焦点を合せている(図3)。このレーザーシステムは半導体レーザーを用いて中性原子の $^2S_{1/2}$ 基底状態の吸収スペクトル線を励起して、電子を $^2P_{3/2}$ 状態へ励起する。この電子はバッファガスと衝突し、励起状態が緩和され、直ちにより低い $^2P_{1/2}$ 励起状態、つまりレーザー放射の上位準位に移動する。半導体レーザーアレイを使用して強く励起すると、反転分布が生成され、非常に強い小信号利得を得ることができる。

この三準位系は光子欠陥、つまり上方エネルギー準位間のエネルギー差が非常に小さく、セシウムは4.7%、ルビジウムは1.9%、カリウムは0.44%しかないため、理論上の光-光変換効率は95%を超える。しかし、このレベルの変換効率を実現するには注意深い操作が必要になる。低圧になると、アルカリ金属のスペクトル線幅は非常に狭くなるため、バッファガスを加えて、アルカリ金属の吸収バンドと半導体レーザーアレイの2nmの発光バンドを整合させる必要がある。実験では80%を超えるスロープ効率が得られている(2)、(3)。

クルプケ氏は「アルカリ蒸気は珍しい形態の利得媒質だ。放射寿命は30nsしかなく、常識的な意味でのエネルギー蓄積媒質ではない。これは擬似的な二準位レーザーだと言える。励起を強くすればするほど、基底状態の原子の吸収は少なくなり、原子は誘導放出をして基底状態に戻らなければならない」と語っている。

実験は依然として初期段階にあるが、公表された静止システムの出力レベルはすでに数十Wに達している。初期の実験は縦方向励起を用いて行われたが、今年1月に米国のサンフランシ

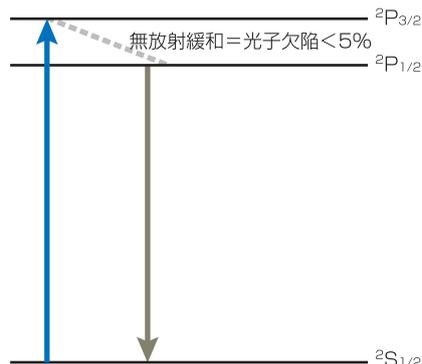


図3 三準位半導体励起アルカリレーザーのエネルギー準位を示している。光子欠陥、つまり二つの上方準位間のエネルギー差は非常に小さい。

スコで開催されたSPIE主催のPhotonics Westの会議において、米ジェネラルアトミックス・エアロノーティカル・システムズ社(General Atomics Aeronautical Systems)のジェーソン・ツバイバック氏(Jason Zweiback)とA・M・コマシュコ氏(A.M. Komashko)は、高出力を得るには横方向励起の方に将来性があると発表した。横方向励起は励起領域を拡大できるばかりでなく、密接した間隔の励起波長と発光波長を幾何学的に分離できる。励起波長と発光波長をレーザー軸方向に配列する場合は、両者の分離が難しい。

導波路構造はキロワット(kW)レベルの出力が得られる。しかし、流体システムは発生熱が除去されるため、はるかに高い出力が期待できる。現在の操作技術は特異なシステムを必要としているが、この研究はジェネラルアトミックス社、LLNL、米国空軍研究所を含めた関係機関の注目を集めている。

半導体励起固体レーザー

2種類のJHPSSLの実証によって、半導体励起スラブ配置の高出力固体レーザーは実戦用レーザー開発の最前線に押し上げられた。次の段階は航空機、船舶、トラックなどの移動体用レーザーとして

のJHPSSLの性能と操作の試験になる。

今年2月、米国陸軍はノースロップグラマン社の105kWのレーザーを同社の研究所からホワイトサンズミサイルレンジ(White Sands Missile Range)の高エネルギーレーザーシステム試験施設に移し、広範囲の試験を実施すると発表した(4)。

ジェネラルアトミックス社はDARPAの高エネルギー液体レーザー地域防衛システム(HELLADS)用の150kWレーザーを構築している。このレーザーは研究所内の試験において、出力1kW当たり5kg以下への軽量化の目標が達成された。その長期の目標は戦闘機用のレーザー兵器の開発に置かれている(5)。

ノースロップグラマン社は別の半導体励起固体レーザーを用いた海上レーザー実証システムを構築しているが、このシステムは船舶を小型ボートなどの脅威から防衛することを目標にしている(6)。

半導体励起は戦闘用レーザー兵器だけに占有されるものではない。米国海軍は、船舶に使用するための100kW級の自由電子レーザー兵器を設計しているが、この場合の自由電子レーザーは重要性の低い標的を高価なミサイルよりも低いコストで攻撃できるように計画されている(7)。設計者はMW出力の達成を想定している。

ファイバレーザーも実戦での使用を目指している。今までのファイバレーザーは出力が限定されるため、不発弾や地雷の爆破が最適の利用だと考えられてきたが、コヒーレントビーム混合技術を有効に使うことで、高出力化が可能となり、その用途の拡大が期待されている。

課題と展望

レーザー兵器はいつの場合も難しい挑戦であり、レーザーエネルギーを標的に命中させることはレーザー本体の構築よ

りも困難であった。レーザービームは伝搬距離が長いほどビーム伝搬の問題が大きくなる。したがって、国防総省が開発の優先順位を低出力で短距離のレーザー兵器に移しても驚くにはあたらない。半導体励起固体レーザーは100kW級の出力を放射できるが、このような高出力はロケット、大砲、臼砲、小型船舶などによる暴徒の攻撃を十分に防御できる。また、このようなレーザーは実戦の標準設備になったディーゼル発電機を使用して動作できる。

それでも大きな課題が残されている。光学損傷はきわめて重要な問題であり、とくに実戦では塵埃や汚染した環境を避けることは難しい。固体レーザーの試作装置と研究所の冷却装置を使

用して熱影響の制御試験が行われ、実用装置では戦場での動作を可能にする高耐久化の必要性が明らかにされている。その他の部品も高耐久化とコストの低減が必要になる。

MW級のレーザーを構築し、ビームを数百km離れた標的に命中させるには、さらに数多くの難しい問題がある。非

常に高い光 - 光効率が得られ、流れガス方式の熱管理を行うことで単一開口からのMW出力の発生が可能になる半導体励起アルカリ蒸気レーザーは魅力的だ。固体レーザーからMW出力を確保するには多数の分離した開口からのコヒーレントビーム混合が必要になるが、その技術は開発の初期段階にある。

参考文献

- (1) Amy Butler, "Ray of Light," Aviation Week & Space Technology, p.28-29 (Feb.22, 2010).
- (2) B.V. Zhdanov, R.J. Knize, "Progress in alkali laser development," Proc. SPIE 6874, p. 68740F (2008.doi:10.1117/12.769064).
- (3) W.F. Krupke, "Diode pumped alkali lasers (DPALs): An overview," Proc. SPIE 7005, P. 700575 (2008.doi:10.1117/12.782466).
- (4) <http://www.smdc.army.mil/FactSheets/HELSTF.pdf>
- (5) <http://www.darpa.mil/tto/programs/hellads/>
- (6) <http://www.onr.navy.mil/en/Science-Technology/Departments/Code-35/All-Programs/aerospace-research-351/Maritime-Laser-Demonstration.aspx>
- (7) <http://www.onr.navy.mil/en/Media-Center/Fact-Sheets/Free-Electron-Laser.aspx>

LFWJ

PennWell が 世界を相手にした マーケティングをお手伝いします。

貴社の技術 / 製品を必要としているバイヤーは、国内だけに限りません。PennWellでは、「フォトニクス」に関わるすべてのアプリケーションをカバーする Laser Focus World のほか、加工、バイオ、LED など成長分野に特化したメディアをグローバルな読者にお届けしています。技術 / 製品の情報を世界に発信するメディアとして、PennWell の各誌をご活用ください。



www.laserfocusworld.com



www.industrial-lasers.com



www.bioopticsworld.com



www.ledsmagazine.com

各誌の資料をご用意しています。
広告掲載については、お気軽に下記までお問い合わせください。

株式会社 ICS コンベンションデザイン
Tel: 03-3219-3641 email: lfwj@ics-inc.co.jp