

レーザー兵器の概要

(藤岡智和 2013.06.21)

1 高出力レーザーの軍事利用

レーザー光線の高いエネルギーを軍用に活用する研究は、当初“殺人光線”などとして検討されたが、その後対地、対舟艇よりも、その瞬時性を利用した対空/対ミサイル用の活用が目されるようになった。

特に、高い発射速度で発射されるロケット弾や迫撃砲弾の撃墜や、超高速で突入してくる各種射程の弾道弾の迎撃が期待された。

しかしながらエネルギーを集中させて標的を高熱にして破壊するには、目標の一点に一定時間ビームを留める技術や、大気伝搬中に空気が熱せられてビームを拡散してしまうなどの技術的課題があり、これを補償光学系で補正する技術が求められている。

更にミサイルを目標とした場合、ミサイルの表面を鏡面仕上げしたり、表面に特殊塗料を塗布し、それを気化させることでレーザー光により高温になるのを防ぐとする技術への対応も要求される。

2 高出力レーザーの原理

(1) 化学レーザー

ガスダイナミックレーザー (GDL) と呼ばれるもので、燃焼などの急激な化学反応で高温高压で分子が励起状態になった気体を急激に拡張させ、励起状態からエネルギーの低い状態に遷移する分子が発振する原理のレーザーで、代表的な**炭酸ガスレーザー**は既に工業用などで広く活用されている。

GDL はメガワット級と高出力が得られることから早くからレーザー兵器への利用が検討され、弗化重水素レーザーや酸素/沃素レーザーが試験されてきた。

弗化水素生成の化学反応を利用した**弗化水素 GDL** は炭酸ガス GDL に比べて高出力が期待できるが、炭酸ガス GDL の発するレーザー光の波長が9.35~10.6 μ で大気の窓の中にあるため減衰されにくいのに対して、弗化水素 GDL は2.5~3.5 μ で発振するため大気減衰され易い欠点を持つ。

これに対して沃素に代えて重水素を用いた**弗化重水素 GDL** は、大気減衰を受けにくい3.6~4.2 μ の波長で発振する。重水素は沃素に比べて高価であるが、この様なわけでレーザー砲には弗化重水素 GDL が使用される。

弗化重水素 GDL の欠点は、排出ガスに有毒な弗化水素ガスが含まれることで、兵器として使用する場合にはその除去が重要な課題となる。

酸素/沃素レーザー (COIL: Chemical Oxygen Iodine Laser) は過酸化水素水、水酸化カリウムの混合物を使用する化学レーザーで、塩化ナトリウムが COIL 内の化学反応促進と維持のために混ぜられる。

COIL 内の反応は、霧状の過酸化水素水と塩化ナトリウムに塩素ガスを注入することにより始まり、励起状態の酸素を発生させる。次にこの反応ガスに沃素を注入すると、励起酸素のエネルギーは共鳴により沃素原子を励起する。

励起状態の酸素と沃素からなるガスは膨張ノズル内で断熱膨張されることにより、エネルギーを放出して急速に基底状態に戻る。この際にレーザー光が発生し、光線は流体ガスとは直交するレーザーキャビティに取り出される。

(2) 自由電子レーザー

自由電子レーザー (FEL: Free Electron Laser) とは、高速の自由電子ビームを wiggler と呼ばれる交互磁界を通過させて、運動エネルギーを電磁波に変換するもので、ある特定の磁界交互周期により電子ビームに直角な方向に電磁波を発生する。

高出力レーザーの艦載は、IR波が水蒸気に吸収されるため難しいが、FEL は発生する波長を自由に換えられるため、波長を大気の窓に合わせることができるので適している。

(3) 固体レーザー

レーザー装置として最も一般的で、小型軽量で取り扱いが容易であることから、軍用としてもレーザーディジグネータ、レーザー測距機などに広く利用されているが、出力がパルス状で、高出力が得にくいことから、レーダー砲などには適さないと見られてきた。

しかしながら近年では数十kWの出力が可能になり、艦載や車載、更に航空機搭載用として数百kW級を目指した開発が続けられている。

(4) ファイバーレーザー

ファイバーの中を光が通りながら増幅と発振をくり返すレーザーで、カテゴリ的にはガラスレーザーや YAG レーザーの仲間に入る。

- 光増幅：希土類をドープしたファイバーのコア部自体がレーザーの媒質となる。コア径が2~20 μ 程度と非常に細いため冷却効果が高く、従来のルビーレーザー等がパルス発振しかできなかったのに対し、連続発振が可能になった。

- 共振原理：ファイバーの入り口と出口に回折機能をもった特殊な構造のファイバーが設けられていて、これでレーザー共振器を構成している。

発振出力は数kW程度でも、数本を束ねて数十kWを実現しようとする試みも行われている。

(5) その他のレーザー

米空軍が DARPA と共同で、液体レーザーを開発していると報じられている。

3 米国におけるレーザー兵器の歩み

(1) MIRACLE

アメリカ陸軍では、1970年代の末から MAD (Mobile Army Demonstrator) の名で、弗化重水素レーザを試作している。その後、弗化重水素レーザで西側では最大出力を目指したのが MIRACL (Mid-Infrared Advanced Chemical Laser) 計画である。

MIRACL では、GDL の燃料にエチレン、酸化剤には三弗化水素を使い、燃焼の結果生じた高温ガスに重水素とヘリウムが吹き込まれる。重水素は弗素と結合して弗化重水素となり、レーザエネルギーを放出する。MIRACL の最大出力は 2.2MW で、波長 3.8 μ m のレーザ光を、最大で 70秒連続して放射できる。

MIRACL は当初、海軍艦艇の自衛防空兵器として開発が進められていたが、1983年になって議会はこの方向での開発を中止させ、一般的なテスト計画へと切り替えさせた。その結果 MIRACL はホワイトサンズ試射場の HELSTF (High Energy Laser Systems Test Facility) に据え付けられ、各種テストが繰り返された。

1987年 9月には、MIRACL による BQM-74 の撃墜に成功し、同年11月には BQM-34 の撃墜にも成功している。また 1996年2月に、米国、イスラエル合同チームは、MIRACL を用いた実弾頭付き短距離ロケットの迎撃に成功している。

(2) THEL / MTHEL

パレスチナゲリラ・ヒズボラによる、ロケット砲「カチューシャ」の攻撃に悩んでいたイスラエルは、レーザ砲によるロケット砲弾の撃墜をしようと、1980年に米国と共同で Nautilus 計画をスタートさせた。この計画に基づき、1996年には MIRACL によるロケット弾撃墜実験を行った。

ロケット弾撃墜実験の成功を受け、1996年 7月に米国とイスラエルは、THEL (Tactical High Energy Laser) の開発に関する合意を取り交わしている。

THEL は、いわば MIRACL の野戦用小型版と言える。波長は 2 μ m、出力は公表されていないが MIRACL より低く、有効射程は 5km と言われている。

2000年6月6日、122mmロケットの要撃に成功した。要撃距離は約 600mであった。標的のカチューシャロケットは、THEL の置かれた位置より 10~15km 離れた位置から発射された。

次いで2000年8月28日に、2発の標的ロケットの同時撃破試験に成功した。標的ロケットは16kmの弾道を330m/sで飛行していた。試験は4回実施され最初の2回はレーザ照射に至らず、3回目は1発目の撃破に成功したものの2発目は撃破できなかったが、4回目に成功を収めた。

イスラエルとアメリカは、WSMR における試験が終了した後に THEL をイスラエルに運搬して、現地でイスラエルによる試験を計画していたが、計画は費用分担などで合意が得られないまま中止された。

米陸軍とイスラエルは THEL システムに運用の柔軟性を持たせるため、THEL 開発に続いて機動型の MTHEL (Mobile THEL) の開発に入りたいと考えていた。

開発目的は二つあり、一つは2000年5月にイスラエルが緩衝地帯から撤退したことによるレバノン領内からのロケット攻撃脅威が増大したこと、もう一つの目的は固定サイト型は脆弱で作戦上の使用に適さないとしていることによる。

米陸軍は、MTHEL をイスラエルと韓国で運用することを考えていた。

アフガニスタン紛争を契機に MTHEL 計画は急に進展し、開発が米国主導で進められることになった。

2001年に米陸軍は THEL の試作機開発作業を速やかに完了すると共に、2002年末までに MTHEL の研究開発に着手する方針を明らかにした。

これに対しイスラエルは消極的で、同国は周辺諸国のロケット攻撃の脅威は現状でも厳しいものであり、機動性よりも安価で多くのシステムを早急に開発装備すべきと主張した。

MTHEL 開発の前提となる対象脅威に関する認識が、米国とイスラエルでは異なっており、米国は MTHEL の目標に射程の短い迫撃砲程度を考えているが、イスラエルはイランの Fajr-3 (射程43km) や Fajr-5 (開発中、射程70km) を想定していた。

MTHEL 開発に米国は FY-04に\$52M、FY-05に\$44Mをかけて開発してきたが、FY-06には予算要求を行っていない。この時点で米陸軍は既に MTHEL には関心が無く、C-130 やトラックで運搬できる可動型 THEL の検討を進めている。この結果 MTHEL 計画は実質的に終了した。

(3) HELRAM / Next-Generation THEL

Northrop Grumman社は2004年に、MTHEL より小型で機動性のある HELRAM (High Energy Laser for Rocket, Artillery and Mortar) を提案した。

HELRAM は MTHEL と同じ弗化重水素 GDL で、MTHEL よりやや小型で出力も小さい。

HELRAM は半径1km以内の360°の中重迫撃砲弾、及び限定的ではあるが砲弾ロケット弾に対して有効で、燃料マガジン車の燃料で10~20ショットが可能である。また FU は同時に2両の燃料マガジン車を接続できる。

その後 HELRAM は、高出力の Next-Generation THEL に発展している。Next-Generation THEL は HELRAM が標準コンテナ2個で構成されていたのが3個になり、より強力になっている。

Next-Generation THEL の FU はビームポインタ車、燃料マガジン車、指揮統制車の3構成品からなり、C-130 での輸送が可能である。ビームポインタ車及び燃料マガジン車はそれぞれ6m×2.4m×2.4mのコンテナに収納されており、指揮統制車は HMMWV車に搭載される。

(4) ABL

航空機に高出力レーザを搭載し、航空機やミサイルを撃墜しようとする構想は1960年代中頃にさかのぼる。

そのうち、KC-135A に炭酸ガス GDL (Gas Dynamic Laser) を搭載する ALL (Airborne Laser Laboratory) 計画が進められ、1981年5月には WSMR 上空において BQM-34A 無人標的機の撃墜に成功している。

更に1983年7月に空軍は、ALL が5発の Sidewinder AAM を撃墜したと発表している。

ALL は一連の実験を終了し、1984年に退役した。

1983年に発表された SDI (Strategic Defense Initiative) 構想は、レーガン政権下の1984年4月に冷戦状態にあったソ連による ICBM 攻撃から米国本土を防衛する目的で立案された。

SDI計画は従来のミサイル防衛と異なって、核によらない要撃を目指しており、これを実現する為に撃破の方法として、HVP (Hyper Velocity Projectile)、ルールガンなどと共に高出力レーザも提案された。

この頃になると ALL で使用された炭酸ガス GDL は、より効果的な酸素/沃素レーザ (COIL) に変えられ、搭載母機は Boeing 747-400 となり、計画名称も ABL (Air-Borne Laser) となった。

2007年3月15日に YAL-1A ABL が目標照準試験を実施し成功した。試験は NC-135E Big Crow を標的として行われた。

YAL-1A は IR センサで目標を捕捉し、TILL (Track Illuminator Laser) で追跡した。このあとの試験では、BILL (Beacon Illuminator Laser) を照射して、その反射から目標との間の大気擾乱を測定する試験にも成功した。

2008年2月には、ABL の心臓部となる COIL 6基全ての 747-400F ABL 機への搭載が完了し、同年12月には地上において YAL-1A の機首ターレットからの高出力レーザービーム 放射に成功した。

2010年2月11日には、初めて ALTB (YAL-1A ABL) が液体燃料の SRBM 標的を撃墜した。全ての交戦は標的がブースト段階にある発射2分以内に行われた。しかしながら同年10月21日には Terrier Black Brant 固体燃料 SRBM 模擬標的の迎撃を試みたが、標的の捕捉には成功したものの追跡に失敗し、HEL の放射は行われないうちに終了した。

この頃になって ABL の有用性が問題になった。ABL の有効射程はそれほど長くないことから、北朝鮮の Taepo Dong をブースト段階で撃ち落とすためには、北朝鮮の領空 に侵入して照射しなければ有効でないとの事実が明らかになった。

この様なわけで米国防総省は2011年、16年の歳月と\$5Bをかけてきた ABL 計画の中止を決め、Boeing社に対し、6ヶ月かけて COIL を機体から外して長期保存するよう命じた。

(5) ATL

米陸軍は、CV-22、C-130H 輸送機や CH-47等のヘリコプターに搭載し、地上目標を空中から攻撃する戦術レーザー兵器である ATL (Advanced Tactical Laser) の開発を行った。ATL は、特に市街地における戦闘で、二次被害を極力抑えて敵を撃破するシステムとして着目された。

ATL は、ABL (Air-Bone Laser) と同様の技術である酸素/酸素レーザー (COIL) を使用する。最終的には 300kW級出力の密閉式 COIL を、輸送機等に RoRo 方式で積載される 4.5~6.8t のモジュールを開発しようとしている。

この技術が確立されるまでのつなぎとして米国は、数kmの射程で C-130 やヘリコプター搭載可能の70kW級化学レーザーを用いた ATL を2005年から開発する計画であった。このため DoD は FY-01 に、50~70kWのレーザーを ACTD (Advanced Concept Technology Demonstration) として計上した。

また MDA は、ATL が巡航ミサイル撃破に有効であると考え、技術立証を行おうとしていた。

2009年6月13日には米空軍と Boeing社が、C-30H に搭載した ATL 初の空中照射試験に成功した。Kirtland AFB を離陸した ATL 搭載 C-130H は WSMR の地上に設置された標的板に高出力レーザーを照射した。

ATL-ACTD 計画は2003年に Boeing社に\$200Mで発注され、2008年9月に評価試験として\$30Mが追加されたが、2009年9月の試験をもって完了した。

(6) Laser Avenger

Boeing社が2008年12月に、kW級 SSL を Avenger に搭載した Laser Avenger で mini UAV の撃墜に成功した。

搭載された改良型の照準装置は、山陰や砂漠などの複雑な背景で3機の小型 UAV を捕捉追跡し、その内の1機の飛行制御部位を焼き切り撃墜した。

この間 Avenger は、主エンジンを稼働させて電力を供給した。

2009年1月には、Laser Avenger が小型 UAV の撃墜に成功したほか、レーザーを照射して加熱し Stinger で射撃する 'super-designate' としても使うことができる。

また対 IED 用としても検討され、米陸軍が2009年9月22~24日に Redstone Arsenal で行った試験では、50個の IED を処理した。

4 米国で進められている高出力レーザー開発計画

(1) 国防総省の JHPSSL/RELI 計画

米国防総省の高出力固体レーザー JHPSSL (Joint High-Powered SSL) 計画では Northrop Grumman社が実験室で100kW以上を達成したが、電気から光への変換効率が20%弱と悪いため電源と冷却装置が大きくなり、兵器への応用段階にはない。

このため変換効率30%以上を目指す RELI (Robust Electric Laser Initiative) 計画が始められていて、GA、Lockheed Martin、Raytheon、Northrop Grummanの4社が受注している。

(2) 陸軍の SSL-TD 計画

米陸軍の移動型高出力レーザー実験装置 (HEL MD) は、Oshkosh社製 HEMTT A4 に固体レーザーを搭載した C-RAM システムで、Boeing社が試作した低出力レーザー型は2011年夏に納入され、秋冬に試験が行われている。

高出力型の契約は今年の夏か秋に行われ、2013年に野外試験が開始される。

(3) 艦載レーザー砲計画

・ MLD

2008年に計画が開始された MLD (Maritime Laser Demonstration) は、ネオジウム・イットリウム・アルミニウム・ガーネット固体レーザーを使用する個艦防衛システムで、1,000mの範囲を防護する。

計画は2009年7月に Northrop Grumman社に発注され、2009年末に同社施設で試験されたのち、2010年11月に艦載試験を行う計画であったが、機器の不具合で遅れている。

・ LaWS

米海軍が2013年4月、海上に展開して敵の小型船舶の無力化や UAV の撃墜が可能なレーザー兵器 LaWS (Laser Weapon System) を、予定より2年早い2014年に実戦配備する準備を進めていると発表した。海上基地として改造された揚陸艦 LPD-15 Ponce に搭載されるという。

New York Times紙によると、Ponce はペルシャ湾に派遣される。

海軍研究本部（ONR）職員の話によると、試作段階にあるレーザ兵器には戦闘機やミサイルを撃墜する威力はないものの、将来にはこれらを目指した開発が進められていると いう。

LaWS の試験は、2014年初めに LPD に搭載して開始される。

・ FEL 兵器

2020年代の装備化を目指す100kW FEL を開発する計画で、Phase I では2010年9月に Boeing社が選定され、2011年12月に最終設計審査（CDR）が行われる。、せ。

Phase II では3年間かけて試作及び実験室での試験が行われ、Phase III では2015年頃に洋上試験が行われる。

(4) 空軍の HWLLADS 計画

米空軍は航空機搭載 DEW の実現に力を注いでいるが、開発の重点は HPM で、レーザ兵器の実用化までにはまだ間がある。

また DARPA と共同で、液体レーザを使用した HWLLADS (HEL Liquid Area Defense System) も開発している。

(5) 海兵隊の HELTD 計画

海兵隊は Oshkosh社製 HEMTT車に、Northrop Grumman社が開発した100kW級 SSL を搭載した HELTD (HEL Technology Demonstrator) を、2015年までに完成させる計画で開 発している。

HELTD は2013～2015年に RAM 撃墜試験が計画されている。