

レーザーエネルギー伝送を用いた災害時情報収集 ヘリコプター駆動

報告者	リエゾンセンター	副センター長	河島信樹
共同研究者	リエゾンセンター	コーディネータ	武田和也
	リエゾンセンター	研究支援者	矢部恭一
	浜松ホトニクス株式会社	取締役	菅 博文

1. 背景

1-1. レーザーエネルギー伝送の利点と問題点

いくつかのワイヤレスエネルギー伝送のなかでレーザーエネルギー伝送がもつ特色は、システムがコンパクトにできる

ビームの収束性に優れているが上げられる。

一方で他のものに比べて決してエネルギーの利用効率は優れていない。また、地上で使用する場合には、雲 霧など気象条件に左右されるので、優れた収束性を十分に活用できない。

したがって、地上で利用する場合には、比較的短距離で、小さい領域にエネルギーを送るのに適している。レーザーエネルギー伝送を利用する際に、これらの特色と問題点を十分考慮して活用する必要がある。

1-2. これまでのレーザーエネルギー伝送

レーザーを送って太陽電池で電気に変えてエネルギーを利用する方法には、太陽光を太陽電池で発電するのと原理的には同じで、レーザーを用いると波長の拡がり小さいので、太陽光エネルギー変換と比較して電気への変換効率が大きくなるという以外に新規性はない。したがってかなり前から検討は行われてきた。とくに、地上では光の伝搬が気象条件に影響を受けることから、対象としては宇宙での利用が 1990 年代から検討されてきた。宇宙空間は、殆どが真空であるので、レーザーの優れた収束性が生きてくる。

1-2-1 宇宙での利用

宇宙での活用のなかで、最初に検討されたのは、月の自転の周期が 14 日で長い夜間の

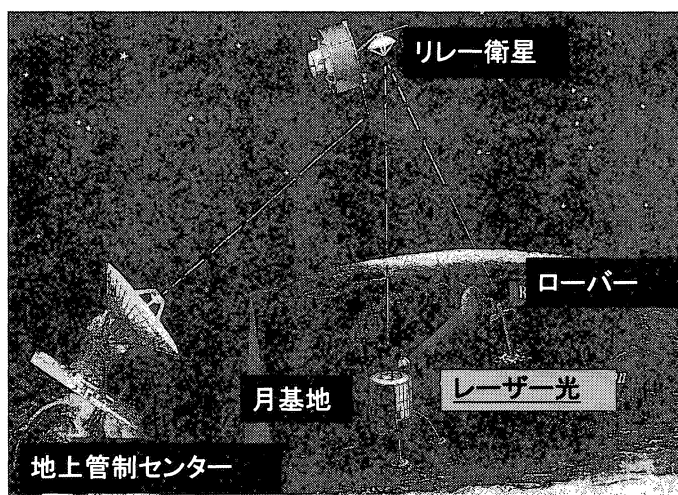


図1 月水探査ミッション

厳しさを打開するエネルギー供給のためである⁽¹⁾⁽²⁾。

その後 月の極地のクレーターの底に氷が存在する可能性が指摘され、著者らが月面の氷存在の確認探査のローバー（無人探査車）開発を提案した。一般の月面は、有名なアポロミッションでもよく知られているように、真空で全く水などは一見無縁の索漠としたところである。しかし月の極地方のクレーターの底は、年中太陽が照らないマイナス 200 度の世界で 月の長い歴史の間に水をもった小さな彗星や隕石が衝突してできた水蒸気などがこの冷たいところに堆積していると考えられている。もし月に氷が大量にあると人類が月面基地を建設して宇宙活動を発展させるのに大いに寄与する。それを確認するローバー（無人探査車）を次期日本の月探査のミッションとして提案した⁽³⁾。氷が存在すると考えられるクレーターの底は太陽光が使えないので、それを解決するのに、まず、逆にいつも太陽が照っているクレーターの縁の高台に発電基地を置いてそこで太陽エネルギーを電気に変え、その電気でレーザー

に変換してレーザー光をローバーに送ってそれを電気に変えるという構想である（図 1）。この提案をしたあと、実物大のモデルを製作し、1.2 キロメートルの伝送試験を高槻のゴルフ場で行い成功した⁽⁴⁾。残念ながら、このミッションまだ、月探査ミッションとして取り上げられていないが、月に氷が大量にあると、月を基点とした人類の宇宙活動が大いに加速される。

1-2-2 地上での利用

一般に高い信頼性を要求される宇宙開発では、地上でしっかり確認された技術でないと使われない。その意味で、レーザーエネルギー伝送も、まず地上でもっと活用されていなければいけない。

その際にも他のワイヤレスエネルギー伝送と比較して、最初に述べた特色を生かしたものでなければならない。すなわち、エネルギーの高変換効率を要求しない、比較的近い距離で、エネルギーを受ける対象が小型のものである。

代表的な例としては、災害時の

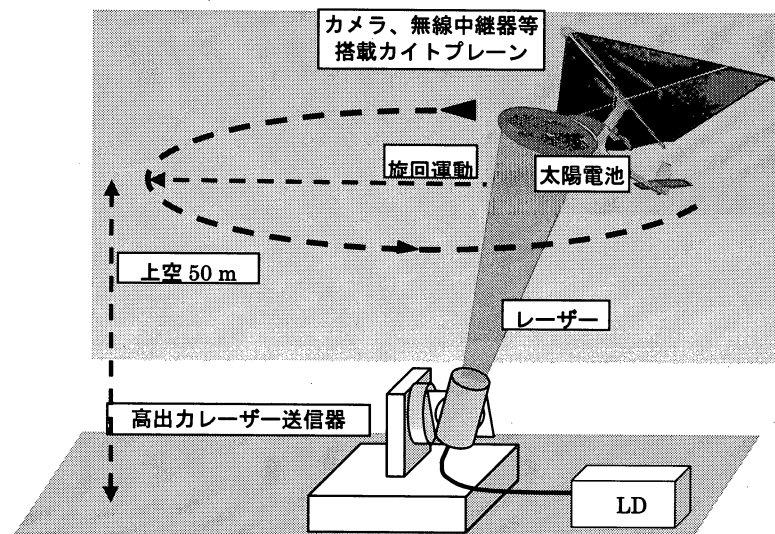


図 2 レーザーでカイトプレーンを飛ばす

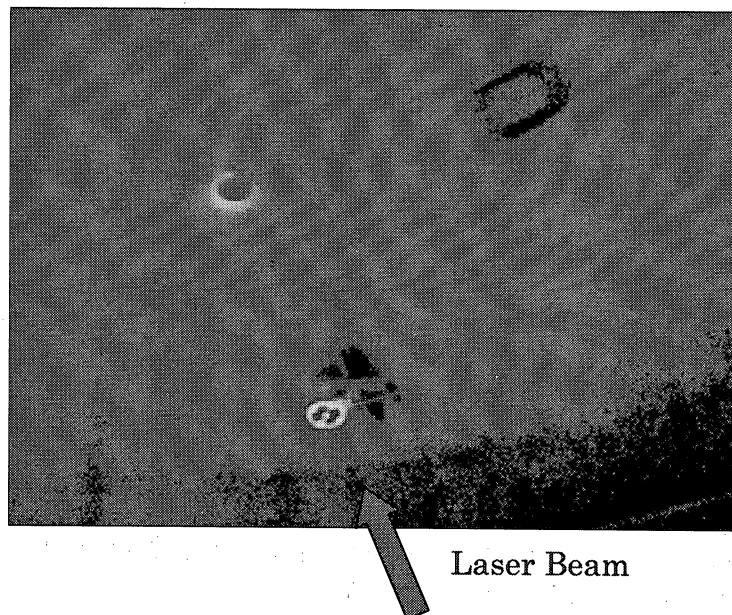


図 3 レーザー光を受けて飛翔するカイトプレーンのズーム写真 天井に影が映っている

情報収集や救助活動 通信のリレーなどに使われるロボットや小型飛翔体である。小型飛行機を最初にレーザーで駆動したのは、NASA ドライデン宇宙センターである⁽⁵⁾。その後著者らは、2006 年に大阪ドームで 50 m 上空を飛翔する翼幅 70cm のカイトプレーンを 350W のレーザー光で長時間飛行（原理的には無限）することに成功した（図 2，3）。

2. 目的

本システムの有用性は、地震 水害等の災害時の孤立地帯の情報収集にある。その場合飛翔体に必要とされる要求条件は、低高度で水平距離を伸ばすことである。飛行機の場合 上述のカイトプレーンの太陽電池パネルを下に抱かせた構造では、水平距離を伸ばすと必然的に垂直距離も上げる必要がある。太陽電池パネルを横向きに取り付けると可能であるが、今度は 一定の場所の近辺を飛翔するとき太陽電池の向きも変わってしまう。従って、低高度と水平距離をのばすという 2 つは、レーザーエネルギー伝送の観点からは両立しない。

その目的にかなったのが、ヘリコプターであり、平成 19 年度は、ヘリコプター駆動実験を主目的とした。

3. 研究組織

研究総括 : 河島信樹

研究開発技術 : 矢部恭一
武田和也

レーザー発振器支援 : 菅 博文
実験補佐 : 谷 竜一

4. 研究方法

ドイツ AirRobot 社 製のヘリコプターの下部に 図 4 のような太陽電池を配置した。飛行機の場合は、飛翔による浮力があるので、比較的小電力で駆動するが、ヘリコプターは、全く自身の飛翔による浮力は使えないので、

- i) いかにレーザー⇒電気の変換効率を上げるか、
- ii) 受講する太陽電池パネルの設置に対する飛翔の安定性の保持
- iii) 太陽電池の廃熱 が 主たる開発項目であった。

5. 研究成果

1 年半に亘るレーザー光＝太陽電池変換効率の改善等開発の結果ようやく、530 W のレーザー光源を用いて必要なだけ長時間（原理的に無制限）の連続飛翔に成功した。

この成果をもとに、報道公開実験を行った。

5-1 公開実験

5-1-1 日時 平成 20 年 3 月 11 日 15:00-16:30
場所 グリーン・アリーナ神戸（神戸総合運動公園内）

5-1-2 使用実験機器

- i) レーザー光源
光ファイバー出力型
ファイバー径 400 μm N/A 0.22

1. 近畿大学所有分
 1. 水冷式
 2. ペルチェ冷却
 2. 浜松ホトニクス(株)
- 150 W 水冷式

400 W (2台)

- ii) ヘリコプター追尾装置
- ヘリコプターが移動した場合にレーザー光を正確に太陽電池パネルに照射できるようにする装置

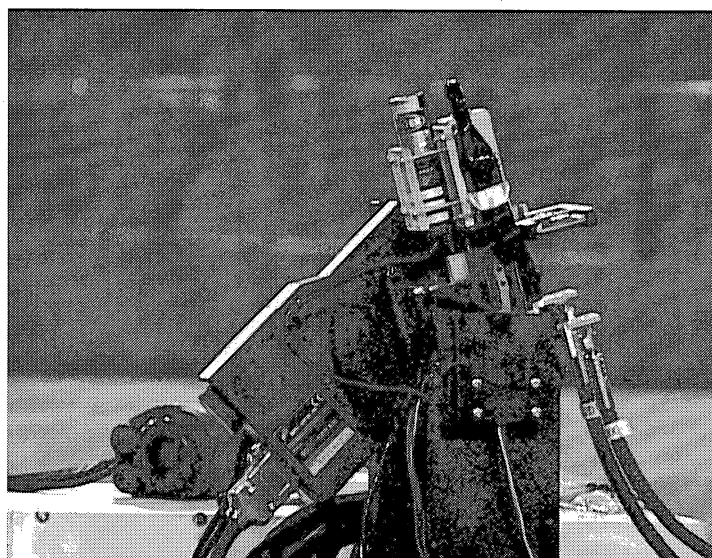


図4 自動追尾ステージ

- iii) ヘリコプター (太陽電池パネル付き)

重量: 1 kg 直径: 1 m
ペイロード: 200g (装置電池等含む)
距離: 500m バッテリー: 緊急用の小型のみ
風荷重: 4m/sec

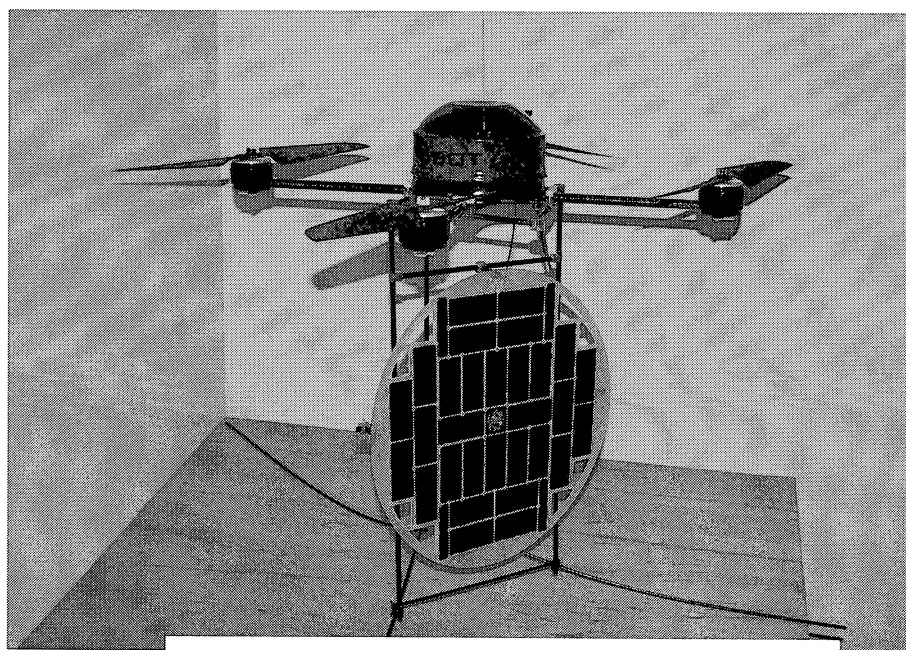


図5 受光太陽電池パネル付ヘリコプター

iv) 災害地

模擬被災地施設を設置した。

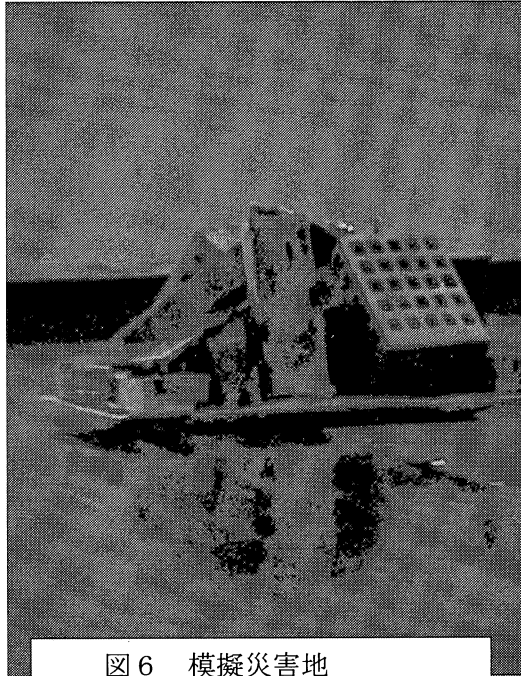


図 6 模擬災害地

v) TV モニター

1. 搭載の TV カメラからの偵察映像
2. レーザー駆動状態を明示する TV カメラ

レーザー光は、赤外線で見えないので見易いようにレーザーの光が見える映像をモニターに表示する

2-1 カラー CCD カメラ 全体のカラー画像とレーザー光が照射されている

また後ろへの影が撮像可能

2-2 白黒 CCD カメラ

レーザービームの軌跡が撮像可能

5-1-3 公開実験手順 :

i) 公開実験説明

ii) ヘリコプターを固定してレーザーを照射し、プロペラを駆動する。

レーザー光を人為的に遮断するとプロペラが停止することに確認試験

iii) ヘリコプターは、安全のために小型電池を搭載している。

この電池は、レーザー追尾装置が、レーザー照射に失敗したときにヘリコプターが

地面に激突しないように安全な着地まで暫く自立飛行ができるものである。

この電池だけでは、ヘリコプターは、辛うじて飛び上がるかぎりぎりである。

プロペラは回転しているが飛び上がることはないことを確認した。

Iv) 500W レーザーを使用して

水平距離 30 m

垂直距離 5-10 m での長時間飛行実験 (ビデオ 3)

5-1-4 公開実験結果

i) 長時間飛行試験

1時間以上飛行が可能であることを実地に示した。

搭載した安全用の小型電池も1時間以上飛行後も常に充電状態を維持していることが確認された。

ii) 模擬の災害現場を構築し、ヘリコプターはその上部から接近し、模型の被害者を探し撮像した。

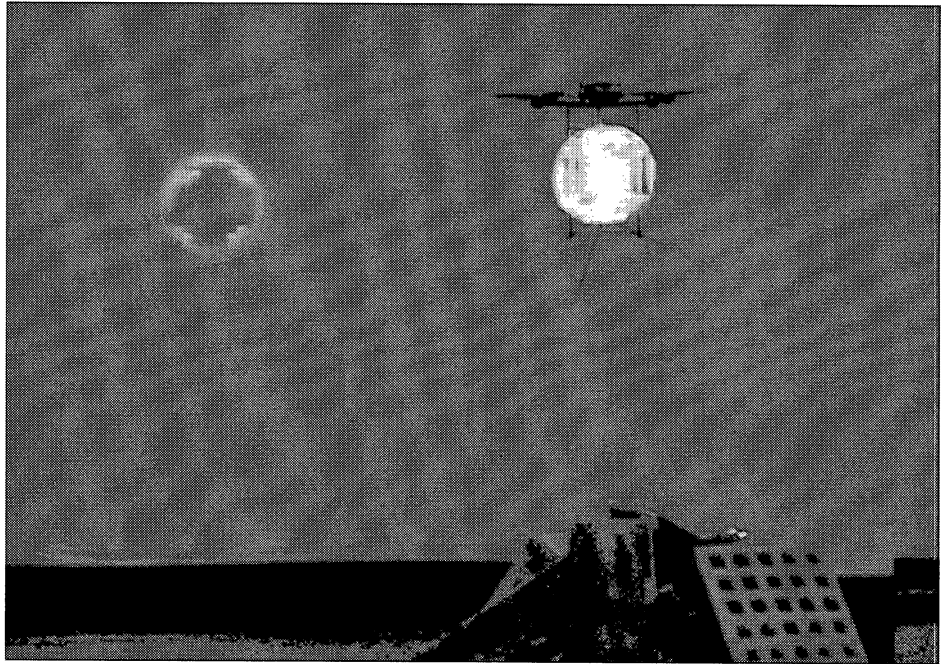


図6 レーザーエネルギーを受け
飛行中のヘリコプター

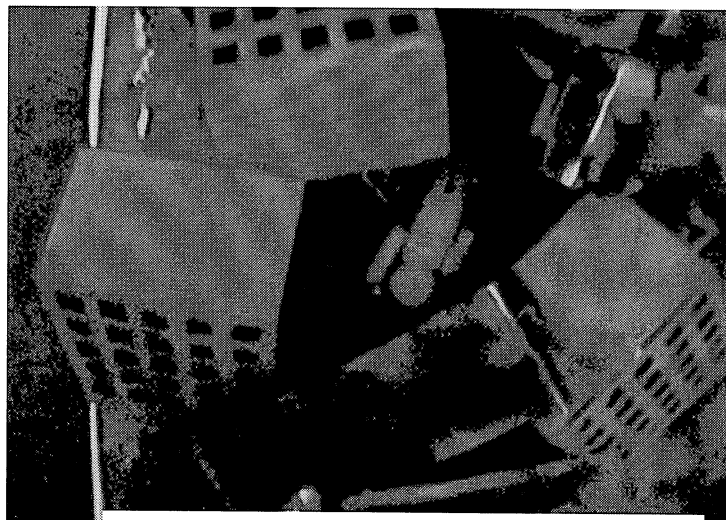


図7 撮像し伝送してきた被災地画像

5-1-4. 公開実験総括

公開実験は 多数の報道関係者の参加を得て、予定通り行われ成功であった。

NHKや読売TVなどTVニュースに取り上げられたほか、新聞各紙の紙面に報道された

6. 今後の展開

6-1 今後この実験結果が実用化されるために、以下の課題を解決していく必要がある：

- i) 消防関係への関心の喚起
- ii) 搭載能力を 太陽電池パネルを除いて、最低 100g を確保する。
3月18-23日 Airrobot 社を訪問して、この改良について交渉し
前向きな感触を得た。
- iii) 屋外試験をして耐風 耐雨等の能力を向上させる。
- iv) 上記 ii) iii) を行うための 大型助成金の獲得

6-2 宇宙エレベータ

最近、宇宙エレベータという構想が、宇宙開発のなかで注目されている。いつまでたっても宇宙開発が安価にできないところ すなわち 重力に逆らってロケットで衛星などを宇宙へ運ぶ効率が悪いのである。静止軌道の少し外にステーションを置き、そこを地上をワイヤで結ぶと、ステーションは遠心力で引っ張られてワイヤをピンとのびる。このワイヤにつかまりながら物体を宇宙に上げることによって宇宙へ物体を運ぶエネルギーをはるかに少なくできる という構想である。

技術的には、軽くて強いワイヤが本当にできるかなど課題が多いが、NASAが毎年倍増する懸賞金（次回は4億円）を出して技術コンテストを行っている。このなかで ワイヤにそって物体を宇宙へ運ぶエレベータのエネルギー供給手段としてレーザーエネルギー伝送が重要視されている。現実には、NSST という団体がこれまで 10kWのレーザーを用いて 25kg のものを秒速 1.8 m/秒で 100m持ち上げるに成功している。

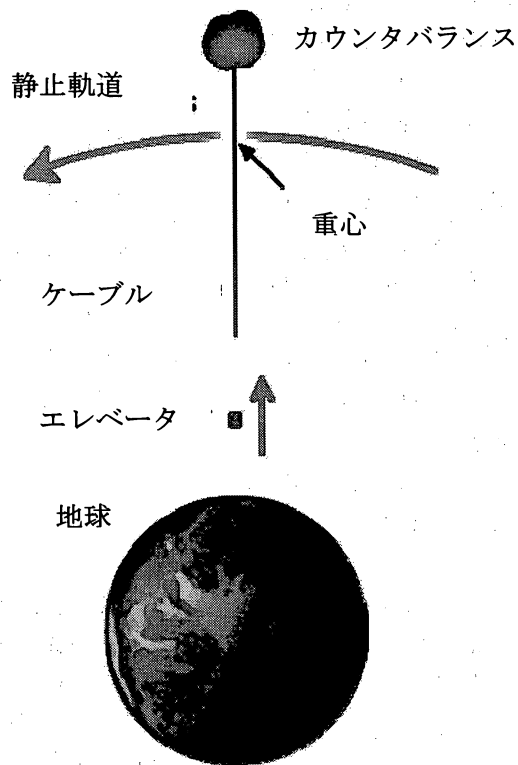


図 8 宇宙エレベータ構想図

6-3 レーザーエネルギー伝送の技術的な課題

6-3-1 レーザー

最初に述べたように、レーザーエネルギー伝送はかなり前から研究は行われていたが、半導体レーザーが利用できるようになるまでは、電気エネルギーをレーザーに変換する効率がせいぜい 10%程度であり、装置も大がかりであったので、実用化にはほど遠く、構想や予備的な実験に終わるものが多かった。半導体レーザーが使用

できるようになって、エネルギー変換効率が 30%を超えるようになり、また、装置の小型化

が実現して 実用化がみえるようになってきた。

とくに 光ファイバーで出力する方式ができて、大変使いやすくなっている。著者らのヘリコプター飛翔実験でも 530W のレーザーを使用した。kW クラスのレーザーも使用ができるようになって、電気⇒レーザー光変換の効率が上がって実現性が増してきた。kW クラスのコンパクトな発振器がコア径 1mm 以下のファイバーから出射できるようになってきた。

レーザーだけでいえば、一番新しいファイバーレーザーは、電気⇒レーザー変換効率が、将来的には 80% 近く期待できるし、長距離伝送に対してもファイバーのコア径が半導体レーザーに比して 数 10 分の 1 ではるかに優れている。ただ、現状では、波長が 1 ミクロン以上で 以下に述べる レーザー⇒電気への変換をする太陽電池の変換効率が高い素子が商業的に得られていないところが問題である。

6-3-2 エネルギー変換

伝送されてきた光は、太陽電池などと半導体素子で電気に変換されて目的の作業をする。2008 年に行ったヘリコプター駆動実験では、GaAs の太陽電池を使用した。使用した半導体レーザー（波長 808 ナノメートル）に対して、素子自体のレーザー⇒電気変換効率は、50% に近い。ただ実際には、決まった形の素子を組み合わせるため、全ての領域を利用できないことやレーザー光強度の空間分布が一様でないことから、素子の接続を最も効率が上がるように工夫してもシステムとしては 30% を少し切るレーザー⇒電気変換効率が精一杯である。

GaAs の太陽電池の特性では、波長が 900 ナノメートルを超えると変換効率が急激に下がる。したがって現状では、ファイバーレーザーを活用することは難しいが、将来的には、レーザーエネルギー伝送に適した変換素子の開発が必要である。

6-3-3 レーザービームの収束とトラッキング

レーザーエネルギー伝送を有効にするには、伝送する対象の動きに併せて太陽電池パネルに正確に照準を合わせてレーザービームを当てなければならない。

半導体レーザーは、一般のレーザーと異なり、自身の収束性は悪いし、レーザー一般の特色であるコヒーレントな特性はもっていない。従って光学機器を設計するときに、地上の応用では、単純な幾何光学が適用される。まず、光が射出されるファイバーの口径（200W 出力で 400 ミクロン）と受講する太陽電池パネルの径 伝送距離が決まるとレンズの焦点距離が決まり、普通ファイバーから角度で 0.2 ラジアン（半角）位で拡がって出てくるのでこれからレンズの径が決まり、光学系全体の大きさが決まる。

トラッキングの方法には、いろいろの方法が考えられるが、筆者等はカイトプレーン、ヘ

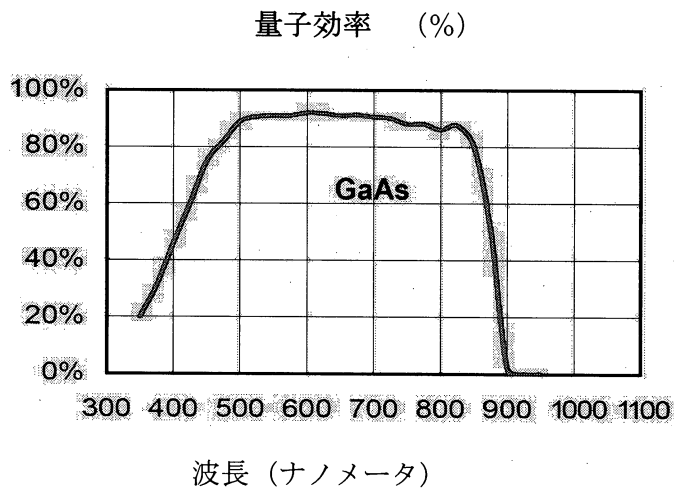


図 9

リコプターともに太陽電池パネルの中央にコーナーキューブを置き、その反射光をレーザー側で受けて??ダイオードに収束させ、いつも反射光が??の中心に位置するように制御した。2006 年の大阪ドームでのカイトプレーンのトラッキングでは、0.2 ミリラジアン (50 m で 1 cm) の精度で、??ラジアン/秒の動きに安定に対応したが、現在の制御技術では、精度ではあと 2 桁近く (数マイクロラジアン) までは比較的容易に実現可能である。したがって災害時に要求され、レーザーエネルギー伝送がもっとも実力を発揮する数 km 程度の距離までは、いつでも実現可能な範囲である。

また、ファイバー・レーザーは、光出射のコア径が 10~50 ミクロン程度であるので、収束やトラッキングの精度、光学装置の小型化には寄与する。

6-3-4 熱の排除

電気=>レーザーの変換効率 また、レーザー=>電気の変換効率が上がったとはいえ、大部分のエネルギーは熱として放散される。半導体レーザーができて確かにレーザー発振器は大変小型になったが、200W以上になると冷却に水冷を要し、その大きさと重量が本体の 100 倍くらいになる。

また、太陽電池パネルもコンパクトに作ると廃熱が大きな問題になる。カイトプレーンやヘリコプターでは 飛翔や自身のプロペラの風による冷却効果が期待できたが、他の動きの遅い対象では、温度上昇で太陽電池の変換効率は大幅に下がるので冷却は大きな課題になる。

6-3-5 安全性

レーザーの直進性やコヒーレント特性は、運用の安全性に厳しい条件をつける。幸い、半導体レーザーは、コヒーレント特性が殆どないが、それでも超高輝度の光源として考えなければならない。

上記の熱的な問題もあり、対象物付近での光の強度は 太陽を直視する場合の 3 倍程度以上には難しいので 対象物付近では短時間の被爆が大きな障害を起こすことはない。しかし、光源付近では、大変厳しくなるので 運用に対する規制を十分にしなければいけない。

6-3-5 実用化に向けて

初期の構想や予備実験から、レーザーの技術の進歩に沿って実用化をめざしたデモンストラクションもできるようになったが、レーザーエネルギー伝送の地上での真の実用化への壁は、まだ厚い。例えば災害時の情報収集のためのヘリコプターでも もともと短時間運用でもそれほど使用されていないので、長時間運用の利点が生かされない。

この種の技術は、すぐに軍事利用に結びつけられ、我が国には不向きであるが、軍事的には、赤外線を使用しており容易に検知されてしまうところが大きな弱点である。

災害時の情報収集のなかでも、ワイヤレス伝送がなくてならない状況として上げられるのが、原子力発電所の事故のように、事故探査ロボットが一度災害領域にはいると放射線で被爆してエネルギー補給に戻ってこれない 例である。その際には、探査ロボットや中継ミラー基地を駆使したシステムが考えられる。

将来に向けた宇宙での活用では、地上とはかけ離れた遙かに長距離が検討されている。ここでは、真のレーザーの特色 (コヒーレント、補償光学システムなど) を生かした活用が可能になるが、技術的にはハードルは高い。ただ、現実には、アインシュタインの一般相対論から帰結される重力波検出では、宇宙空間での 10^6 km の伝送とサブナノラジアン ($<10^{-9}$ nanorad.) の制御が実現されようとしている。

また、宇宙での活用で注目される研究は、太陽光励起レーザー技術の進歩である。総合変換効率 40%が実現できる見通しが立てられている。宇宙でのエネルギー源を太陽光とすると太陽光=電気=レーザーの総合変換率は大変低いことを考慮すると今後の発展が望まれる。

- (1) W.J.Robinson, Jr. ; The feasibility of wireless power transmission for an orbiting astronomical station, NASA Technical Memorandum X-53701 (1968)
- (2) G.A.Landis : Moon night power by laser illumination, AIAA Journal of Propulsion and power, Vol 8 No. 8 ?? (1992)
- (3) 新野正之、湯上浩雄、江口邦久、嵐 治夫、高橋秀明、毛呂明夫 : レーザー光による宇宙でのエネルギー利用、0 plus E
- (4) 小型ローバーによる月極地方氷探査ミッション 月面基地検討部会報告書 (月・惑星協会) (1997)
- (5) N.Kawashima and K.Takeda : 1.2 km laser energy transmission for the development of a lunar rover confirming the presence of ice on the moon, Suppl. Advances in the Astronautical Science Vo; 108 pp 291-296 (2003)
p291-296 (2003)
- (6) D.Bushman : Aircraft demonstration of lase power beaming, Proc; International Workshop on the Laser Energy Transmission for Space Exploration and Ground Applications, p. 20, (2004)
- (7) N.Kawashima, K.Takeda and K.Yabe : Application of the laser energy transmission technology ot drive a small airplane, Chinese Optics Letters, Vol 5 Suppl. Pp. 109-110 (2007)awashima, K. Takeda, and K. Yabe :
武田和也、河島信樹、矢部恭一 : レーザーエネルギー伝送の小型無人飛翔体への応用、宇宙技術 Vol. 7 pp. 27-32 (2008)
- (8) 河島信樹 : レーザーでヘリコプターにエネルギーを送る、国際技術情報誌 M & E pp. 40-42 (2008).
- (9) Space Foundation : <http://www.spacefoundation.org/>
- (10) Power Beaming Competition 2009
<http://www.spaceward.org/elevator> 2010-pb
- (11) USST : <http://www.usst.ca/page.php?id=12>
- (12) 佐伯拓、今崎一夫、中塚正太、太陽光直接励起レーザーの現状と将来、レーザー研究 Vo. 37 No.2 pp 120 (209)