

## 小型無人ヘリコプターへのレーザーエネルギー伝送

報告者 リエゾンセンター 副センター長・教授 河島信樹

### 1. 背景

地震や台風、大雪などの自然災害等の発生に見舞われた地域では、電気・ガス・水道や道路等のライフラインが寸断され、外部から被災地への通信や交通アクセスが容易に行えなくなる恐れがある。このような場合、徒歩や航空機を使う方法があるが時間が掛かり大がかりになってしまう。そのようなときに無線式の遠隔操作器が有効である。

我々はこれまでに太陽電池を搭載した電動式のラジコン飛行機に、地上から自動追尾機構を備えた照射装置で半導体レーザーを安定的に照射し太陽光の代わりに発電させ、レーザーエネルギーのみによる長時間の飛行実験に成功している。

(図 1)

しかし、飛行機は同じ空域に留まるためには旋回飛行しながら

常に移動しなければならず、水平距離を得るには高度上げ旋回半径を大きくとる必要があるため観測したい地点の詳細な情報を得るには不向きである。

そこで、飛行機とは運動性能が異なるヘリコプターに着目した。ヘリコプターはその場で空中停止が可能で方向転換も太陽電池の受光面を任意の方向に向けたまま行え、前後左右上下の機体移動が容易である。そのため、飛行機のように旋回飛行することなく直線的に水平移動が可能で観測地点に留まりリアルタイムで情報を送ったり、無線電波等の中継基地としての活用が期待できる。

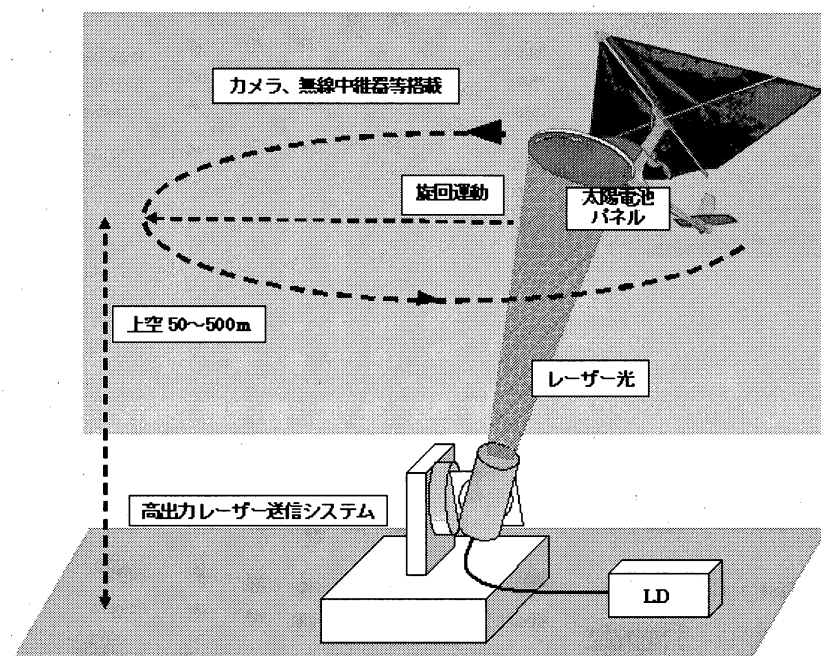


図 1

## 2. 目的

### 2-1 レーザーエネルギー伝送による飛行原理

これまでに被災地の被害情報収集などに用いる手段として、小型ラジコン飛行機を使ったレーザーエネルギー伝送システムの実験に成功し技術を構築してきた。この小型無人飛行機は次のような用途を考えている。

- ・ 自然災害などで人が現地へ近づきにくい場合
  - 現地の情報を収集する
  - 現地の人たちの携帯電話の電波の中継基地として 24 時間飛行する
- ・ 資源探査、環境観測
- ・ 都市部の 24 時間通信中継基地
- ・ 防犯モニター
- ・ レジャーやホビーでの活用

しかし、飛行機は常に動きまわらなければならないという欠点がある。これにより、飛行実験では太陽電池を底面に取り付け、レーザーの入射角は飛行機の機体底面に対しほぼ垂直に近い状態だったが、実際の運用では飛行機の底面に対し水平に近い角度で入射することになる。この水平入射するレーザー光を受け止めるには太陽電池パネルを垂直に飛行機底面に吊り下げる

形になる。しかも

同じ空域に留まるためにはどうしても旋回運動を行わなければならないため(図2)、太陽電池パネルは表面をレーザー入

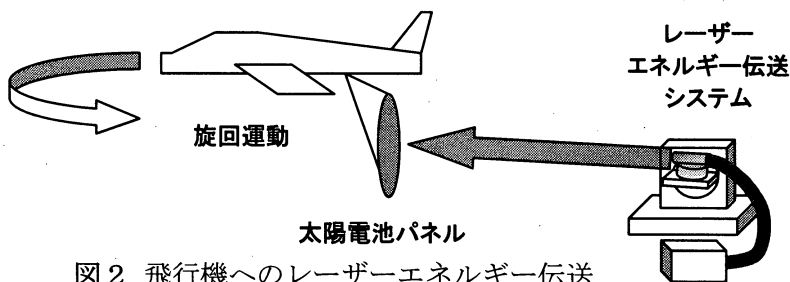


図2 飛行機へのレーザーエネルギー伝送

射方向に常に向ける必要がある。そこで、我々はヘリコプターの使用を考えた。ヘリコプターならばその場でホバーリングが可能である。上記のような使用条件でも、たとえば災害地にてヘリコプターを詳細に観測したい場所へ搭載したカメラを見ながらゆっくりと近づけるなどのオペレートが可能である(図4)。

ヘリコプターの場合も太陽電池パネルを吊り下げる(あるいは機体上部に立てる)ことになるが、レーザー入射方向へ太陽電池パネルの表面を向けるには機体をその場で回転させれば済み、表面を向けたまま前進後進が可能である。(図3)

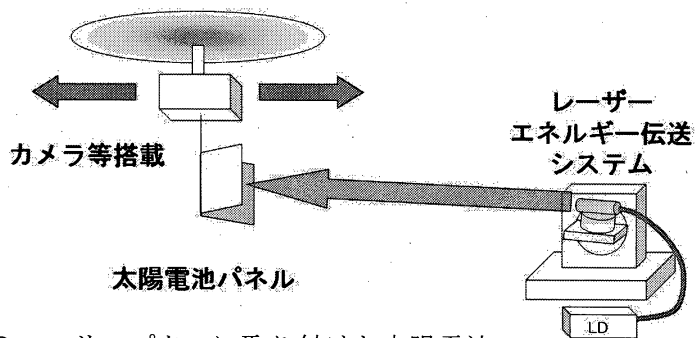


図3 ヘリコプターに取り付けた太陽電池

また太陽電池パネルは温度が上昇すると変換効率が落ちてくるが、ヘリコプターがホバーリング中でもローターは常に回転して風を起こしているので空冷効果が期待できる。また、飛行機ほど激しい動きをしないので、レーザーの追尾が大変楽になる。(我々が製作した小型飛行機の追尾装置は約 0.2 rad/s の角速度までの追尾が可能)

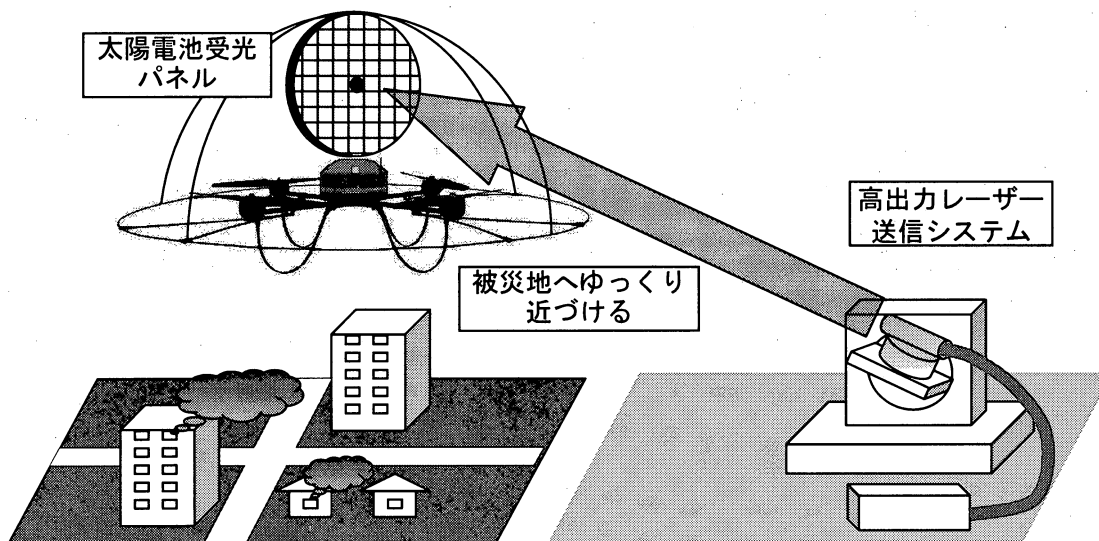


図 4 被災地でのヘリコプターへのレーザーエネルギー伝送

## 2-2 エネルギー伝送に用いるヘリコプター

ドイツの AirRobot 社が開発した 4 ローター方式のヘリコプターを使用することにした

(図 5)。ヘリコプターは操縦が大変むずかしいが、これは初心者でも簡単に姿勢を安定させることが可能である。

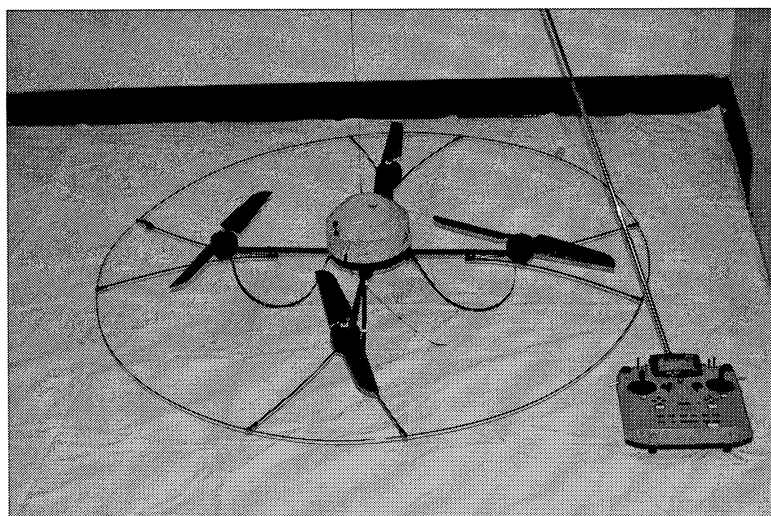


図 5 AIR-ROBOT 社製ヘリコプターと仕様

**General Data**  
 weight < 1 kg  
 size < 1 m d. / Diameter  
 flight duration > 20 min.  
 pay load 200g  
 distance 500 m  
 transport detachable  
 LiPo-Battery (14, 8V, 2, 05 Ah)  
 flight duration approx. 20 minutes  
 wind load up to 4 m/sec

### 2-3 太陽電池パネルの高密度・高変換効率化

ヘリコプターに取り付ける太陽電池パネルは 小型無人飛行機と同様に中央にコーナリフレクターを搭載することになる(図6)。このコーナリフレクターにより、レーザーの入射光の一部を照射装置に反射させ返ってくる光の位置を取り付けた4分割フォトダイオードで解析して飛行機の位置を検出する追尾システムである。

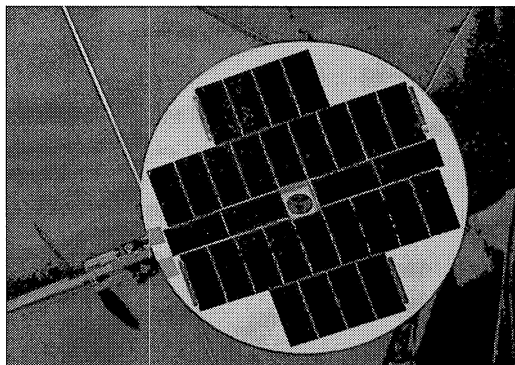


図6 飛行機搭載の太陽電池パネル

太陽電池パネル：φ33cm  
 重量約：150g(SingleJunction-GaAs)  
 太陽電池：30枚(0.9v/cell)  
 接続方法：直列(0.9v×10)を3組の並列接続  
 ードで解析して飛行機の位置を検出する追尾システムである。

照射装置から放たれたレーザーは太陽電池パネルの外形と同等の円形で受光エリアを形成する。四角い太陽電池を太陽電池パネルに配置すると太陽電池が取り付けられない空白部(図6余白部)が存在し、照射されたレーザーエネルギーは十分に電気エネルギーとして活用されていない。また、放射状に放たれるレーザーは受光面に於いて中央部分から外側に向けてエネルギーの強度が異なると考えられる。(図7)

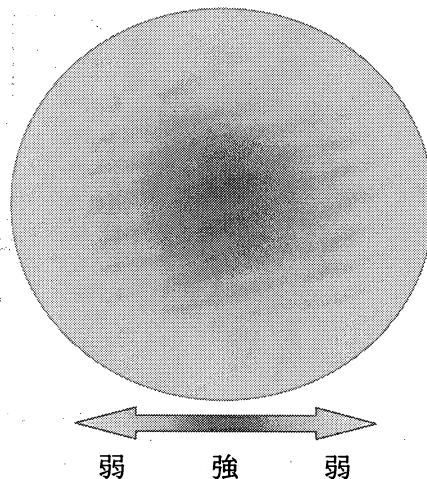


図7 太陽電池パネル受光面強度分布

今回使用するヘリコプターの搭載重量は200gであり、太陽電池パネルの重量にかなりの制限を与える。そこで20枚のGaAs太陽電池セルを基本構成とし、その余白部分を半分にカットした太陽電池12枚を貼り26枚相当(約78g)で形成するものである(図8)。受光面の不均一なレーザーエネルギー分布は太陽電池の発電に影響を与えるため内側と外側では電気変換効率に差が生じることになる。そのためバランスの取れた発電力を得る方法として発電力の弱い箇所の表面積を拡張して補おうとするもので、カットした12枚の太陽電池がその役割を果たし軽量で高効率の発電システムをヘリコプターに搭載し飛行させるものである。

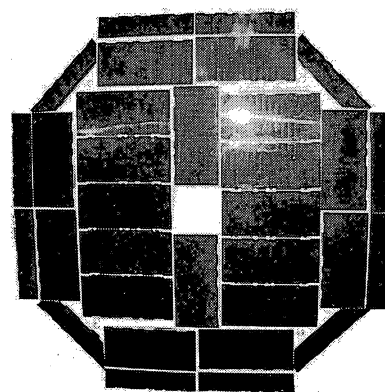


図8 ヘリコプター搭載の太陽電池パネル

3. 研究組織

- ・近畿大学単独（私学助成の申請）
- ・他大学、または企業との共同ミッション
- ・大学発ベンチャー企業の立ち上げ

4. 研究方法

ヘリコプターは搭載重量に制限があるため太陽電池 20 枚（18V）で 90W の出力を得る必要がある。実験では太陽電池 1 枚では変換効率が 50% 近く得られている。しかし、20 枚で太陽電池パネルをシステム化すると（図 9）

レーザー出力：180w 相当

発電出力：45W

システム効率：25%。と変換効率が半減してしまう。どこに問題があるのか、以下の方法で改善を試みた。

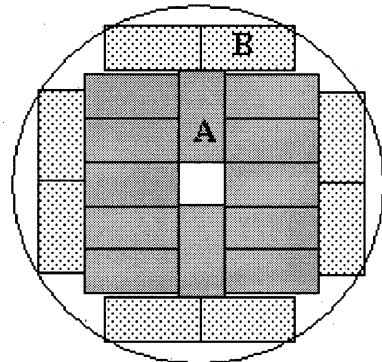


図 9 20 枚配置の太陽電池パネル

- ① 太陽電池パネルの内側と外側では受けるレーザーの強度が異なる。

太陽電池パネルの内側（図 8 A ブロック）と外側（図 8 B ブロック）に分けてブロック単位で計測すると、レーザー出力：180w 相当では

内側(A ブロック)：40.76w (@3.4w)

外側(B ブロック)：20.44w (@2.5w)

合計：61w の電力量が得られている。

ブロック単位では良好な結果が得られているが、二つのブロックを複合させると 73% (45W) に出力が低下している。ロスの原因を解明し改善策を検討する。

- ② 太陽電池パネルの余白部分を半分に切った太陽電池（図 10 C）で埋め、表面積を拡張して純粋に照射されるレーザーエネルギーを無駄なく受光し発電効率を上げる。

A) 20 枚配置の太陽電池パネル（図 9）

パネルの面積：580.77 cm<sup>2</sup>

余白部分の面積：196.77 cm<sup>2</sup>

余白部分の比率：34%

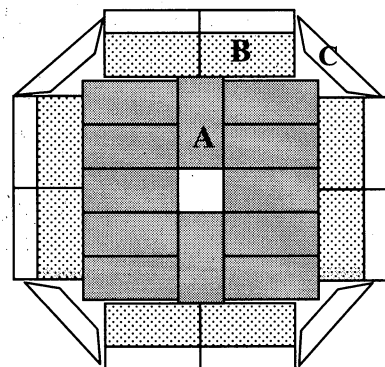


図 10 受光エリアの拡大

B) 高密度化を図った太陽電池パネル (図 10)

パネル面積 : 706.50 cm<sup>2</sup>

余白部分の面積 : 140.74 cm<sup>2</sup>

余白部分の比率 : 20%

上記は A), B) 2つの太陽電池パネルに存在する余白部の面積を比較したものである。高密度化を図ろうとするパネル B)は余白部にハーフセルを取付ることで受光面積が拡がり、これまでは無駄に照射されていたレーザーを取り込みあらたに電力として活用する。その際、図 7 で示すように太陽電池パネルの内側と外側ではレーザーの強度が異なるため発電力の弱い外側の太陽電池に接続して内側と外側の電池性能のバランスを均等にするにより発電効率の向上が図れると考える。

5. 研究成果

5-1. 実験で得られた成果

今回使用するヘリコプターの電源電圧は、負荷の電圧降下を考慮して DC+18V 必要である。その電圧を得るには太陽電池 (@0.9V-max) 20 枚を直列接続する必要がある。前述にあった“20 枚配置の太陽電池パネル”(図 9) が基本構成となるが、レーザー出力 180W 相当を照射した場合、総合電力は 4.5W 程度しか得られない。しかし、レーザーを受ける太陽電池パネルの表面は中央と外側では強度が異なっており(図 7)、レーザーの強度レベルの高い中央と低い外側を個々にブロック分けして計測し、両方を合わせると 60 (40+20)W の発電量が得られるはずである。これは発電力の異なる太陽電池同士を接続することにより低出力の太陽電池が抵抗となって総合電力を低下させていると考えられる。

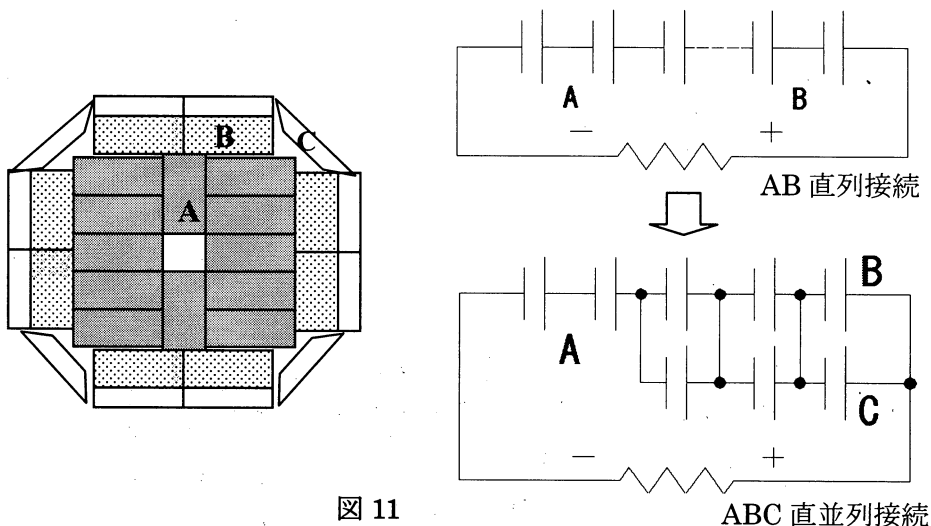


図 11

ABC 直並列接続

そこで、既存 AB 直列回路の太陽電池パネルに C のハーフセルを追加して、外側各 B と各 C を並列接続して受光面積を拡張することにより中央と外側の太陽電池の発電量の差を縮小させることでシステムの総合電力の向上を図ることが出来た。(図 11)

レーザー出力 180W 相当 AB 直列接続 = 45W : ABC 直並列接続 = 63.15W  
変換効率 = 25% 変換効率 = 35%  
レーザー出力 350W 相当 92W (変換効率 = 26%)

発電力の弱い場所の太陽電池を並列接続して表面積を拡張し図 11 のような接続方法にした結果、レーザー出力 180W 相当時においては変換効率 35% を示し、発電力は 20 枚直列接続時(図 9) より 10% 増加した。また、レーザー照射出力 350W 時においては、ヘリコプターに必要な定格を上回る 92W の出力が得られ発電した電力をヘリコプターに供給して浮上することが確認できた。この結果は今後この研究を行う上で大変有意義な成果といえる。また、ヘリコプターの運動性能等決定する太陽電池の発電システムが決定したことでシステム全体がより具体的になりつつある。

### 5-2. 出展

レーザーによるエネルギー供給について、一般の人々に具体的に理解してもらう機会を得られ下記のイベントに出展した。

2006/11/08~11/09 第 19 回東大阪産業展 (会場: マイドーム大阪)

2006/11/30~12/02 CORE-TECH 2006 JAPAN

(国際次世代ロボットフェア) (会場: インテックス・大阪)

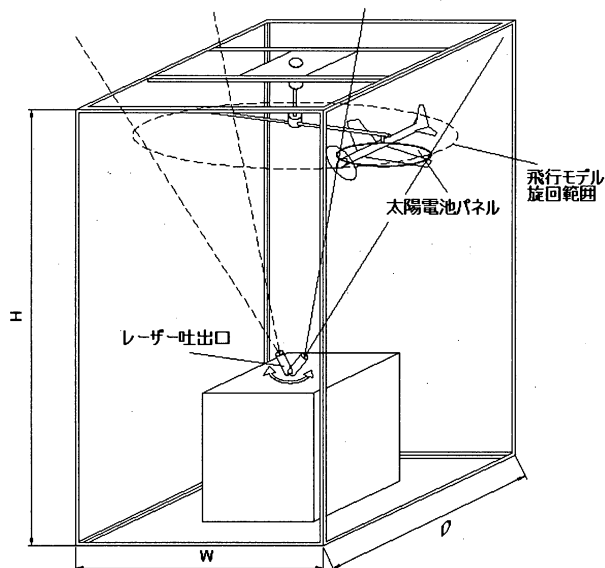


図 12 飛行モデルの概要

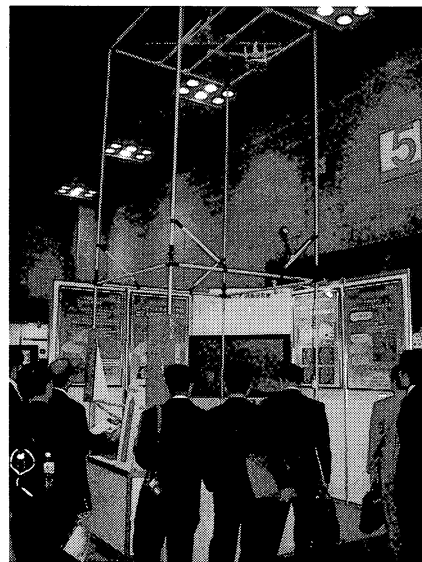


図 13 出展会場風景

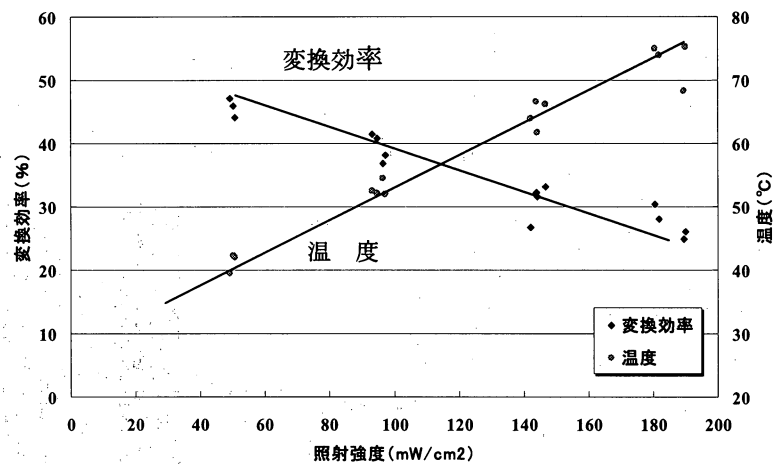
高さ 5 m、奥行きと幅は 2 m のフレームを設置し天板に太陽電池を抱えた飛行機を組み込んで、レーザーを照射して動作させるという小規模であるが「レーザー・エネルギー伝送」技術を公開し、一般の人々に既存にないレーザーの新しい活用方法をアピールすることが出来た。(図 11, 12)

## 6. 今後の展開

レーザー照射出力 180W 相当における変換効率は、発電力の弱い太陽電池の外側のブロックにハーフセルを並列接続して表面積を拡張することにより発電力が向上して、発電力の高い中心部との差を縮めることにより変換効率を 10% 増加できた。しかし、レーザー照射出力 350W 相当では 2.6% と僅か 1% の改善に留まっている。

この原因はレーザー出力に比例して熱エネルギーも増加しているため、その輻射熱により太陽電池表面の温度が上昇し電池の内部抵抗が増加することが起因しているものと考えられる。

この温度上昇を改善することにより、レーザー照射出力は 350W 以下の低出力運転でも十分な電力供給がおこなえるものとする。まずはヘリコプターの下部に太陽電池パネルを取付けて、ローターからの強力な風で強制的に冷却する方法があるが、ヘリコプターの飛行に支障をきたす可能性があるため、飛行試験を行いながら対応を図りたい。グラフ 1 より表面 57℃ 近傍が変換効率の限界点で 20℃ が最大変換効率のポイントを示している。



グラフ 1

冷却システムを構築することにより、システム全体の小型化が可能となる。今後は冷却システムと機体の軽量化を課題とし、今年度後半の報道公開実施に向け研究を継続している。