

# 身近な材料で作る LED 光空間 通信機

## 学習ポイント

- ① 光空間通信とは
- ② 輝度変調とは
- ③ 光送受信機の作りかた

● 予算：2,000円 ● 難易度：★★★★☆



エレサイくらぶ 塚原 英成



筆者が所属する「エレサイくらぶ」では、2002年頃より電子工作入門として、「LEDを使った光空間通信」または「光糸電話」と称する光ファイバー通信の工作やフィールド実験を行ってきました。音声信号の強弱をLEDの明るさの変化に置き換え、それを受光素子で受け、簡易なアンプで増幅しスピーカーを鳴らすというごく単純なものです。

この記事では入門者も工作できるよう、変調方式はアナログ式振幅変調（輝度変調）に限定、使用するフォトデバイスも入手が容易なLEDとフォトトランジスタのみとしました。マイクを通してのリアルな音声通信も可能ですが、今回は片道通信のみとしました。

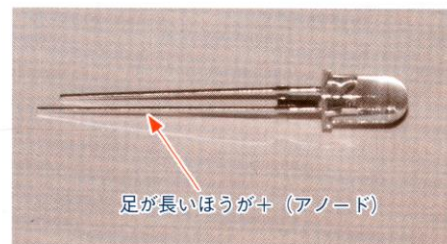
## 基礎実験から始めよう

まず、LEDに輝度変調をかける光送信機を作っ

てみましょう。回路は第1図に示した単純な回路です。高輝度LEDを定格内の電流で光らせ、それに、ラジオやスマホなどのイヤホン端子からの低周波出力を重畳させる仕掛けです。イヤホン端子に不要なDC成分が影響しないようにコンデンサを入れますが、 $1\mu\text{F} \sim 47\mu\text{F}$ 程度の適当なもので構いません。LEDに加わる電圧が上下することでそれに合わせて電流も変化し、輝度の変化に置き換えることができます。LEDは安価で入手容易な赤色の「OS5RKA5111P」（写真1）を用いましたが、特に指定はありません。できれば指向角の狭いものがよいでしょう。

本記事の実験に必要な部品の一覧を第1表に示します。

次に、輝度変調された光信号を受け取り、耳に聴こえるようにする受信機を作ってみましょう。（第2図）。フォトトランジスタに適度な電流を流し、負荷抵抗の両端に生じる電圧の変化をセラ

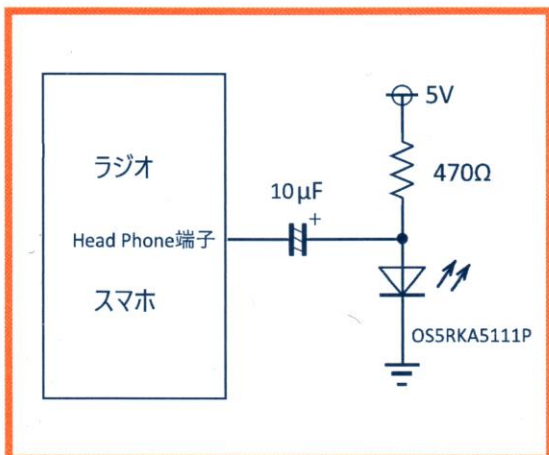


《写真1》使用したLED（OS5RKA5111P）



# チャレンジ!! 電子工作大作戦

チャレンジ!! 電子工作大作戦

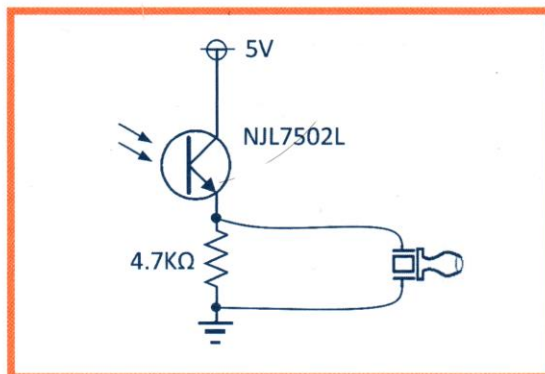


《第1図》単純な光送信機の回路

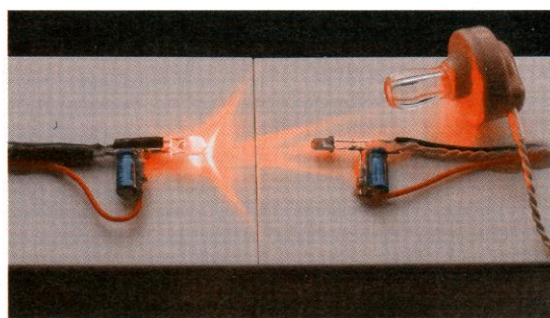
ミックイヤフォンで音声に換えます。負荷抵抗をフォトトランジスタのコレクタ側、エミッタ側のどちらにつけてもかまいません。セラミックイヤフォンにはある程度のDC電圧がかかりますが、通常の圧電素子では特に問題なく変調信号が聴こえます。気になる方は1µF程度のコンデンサを一つ挟むとよいでしょう。

以上のような簡単な回路であっても、1m程度の距離であれば信号を確認できます(写真2)。

ここで受信部をさらに簡単なものにするひとつの方法をご紹介します。送信部に使ったLEDと同じものを使用して、両端子をそのままセラミックイヤフォンにつなぐだけ!電源すら不要です。LEDは小さな太陽電池のように入射光



《第2図》単純な光受信機の回路



《写真2》単純な回路での実験のようす

によって電圧を発生させるので、その変化する出力で直接イヤフォンを鳴らします。フォトトランジスタのような感度は得られませんが、送信部の傍に置けばある程度の音量が得られます。

## 光ビーコンを作ろう

今後の実験を続ける上で、写真3と第3図に

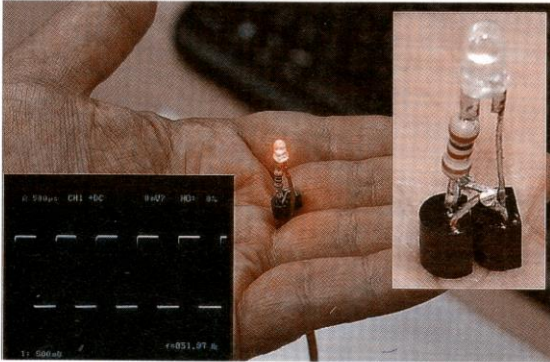
《第1表》本記事の実験に必要な部品

部品名	型番・定格・仕様	個数	参考価格(単価)	備考
<b>光送信機</b>				
発光ダイオード	OS5RKA5111P	1	100円	10個入り
フォトトランジスタ	NJL7502L	1	100円	2個入り
TA7368 使用小型アンプキット	AE-7368	2	300円	
カーボン抵抗	4.7kΩ (黄紫赤金)	1	100円	100本入り
	220Ω (赤赤茶金)	1	100円	
電解コンデンサ	10µF 50V	1	10円	
電池ボックス	単3×4本 スイッチ付き	2	120円	
小型スピーカー	ダイナミック型	1	100円	
合計予算 1,350円				
<b>光ビーコン</b>				
発光ダイオード	OS5RKA5111P	1	100円	10個入り
トランジスタ	2SC1815GR	1	100円	20個入り
三端子メロディー IC	UM66T	1	150円	5個入り
カーボン抵抗	1kΩ (茶黒赤金)	1	100円	100本入り
	300Ω (橙黒茶金)	1	100円	
電池ボックス	単3×2本 スイッチ付き	1	120円	
合計予算 670円				

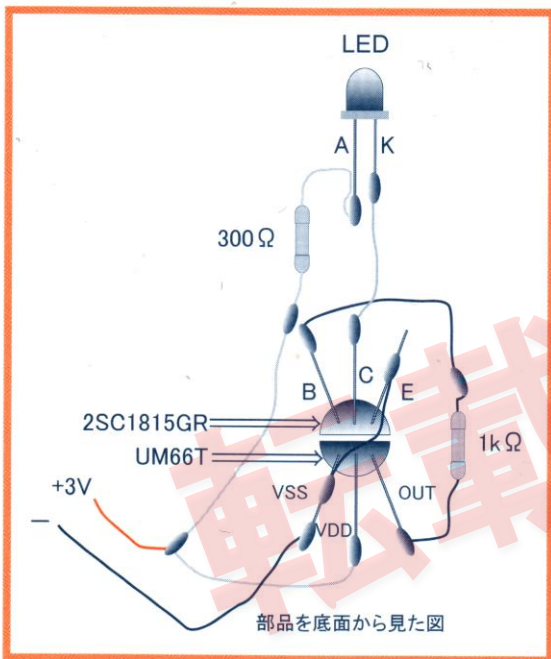
※ 表中の単価は現時点でのもので、秋月電子通商を例にとっています。単純実験にはこの他にセラミックイヤフォンなどが必要です。



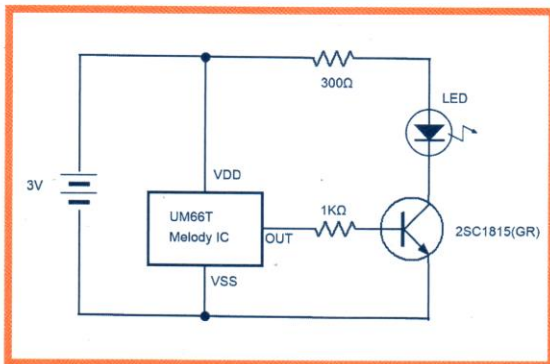
# チャレンジ!! 電子工作大作戦



《写真3》作成した光ビーコンとその実験のようす



《第3図》光ビーコンの実体配線



《第4図》光ビーコンの回路

示すような送信機テスター（光ビーコン）を一つ作っておくととにかく便利です。原理は至ってシンプル。オルゴール IC の出力でトランジスタを

スイッチングし、それで LED を光らせます（第4図）。振幅変調というよりはスイッチングによるパルス変調のようなものですが、メロディーをループ演奏してくれる光ビーコン装置として使えるので便利です。

## 送受信それぞれにアンプをつけてみよう

基礎実験ではせいぜい 1m ぐらいの通信距離が限界でした。受信機の感度を上げスピーカーも鳴らしたい、マイクも含めさまざまな入力ソースに対応したいなど、より通信機モデルに近づけようとする、どうしても送受信共にアンプが必要になります。

今回は手軽に実験できるように秋月電子で販売している「TA7368 使用小型アンプキット」（写真4）を採用してみました。TA7368 という IC チップは、かつてトランジスタラジオの工作によく使われたものです。低い電圧から動作し、ゲインも高いのでコンデンサマイクなども直付けで使える便利な IC です。他の LM386 などポピュラーなアンプ IC なら何でも使えますが、BTL 接続でパワーを稼いでいる種類のもの、今回の回路ではそのまま置き換えできませんので要注意です。

## 送信部

TA7368 の出力には電源電圧のほぼ半分の電圧が出ています。これで LED を光らせる基準電圧とし、それをプラス側、マイナス側にスイングさせる方式を採用しました。LED の保護抵抗の値によって輝度は大きく変化するし、変調信号の直線性にも影響がでます。

秋月電子のキットでは、組み立てる際、470  $\mu$ F の電解コンデンサ（C3）を抵抗で置き換えます（写真5、第5、6図）。

ここは各自で受信側の音量や音質を確かめながら、100 ~ 500  $\Omega$  程度の抵抗を入れ替えて（写真5）最良値を求めてください（筆者は 220  $\Omega$  を使いました）。コンデンサマイクなどを接続する場合には、VCC から抵抗を介しマイク用の電圧を供給し、カップリングのコンデンサを介して入力端子に接続します。筆者の実験では、特別なマイクアンプも必要なくそのまま使うことができました。

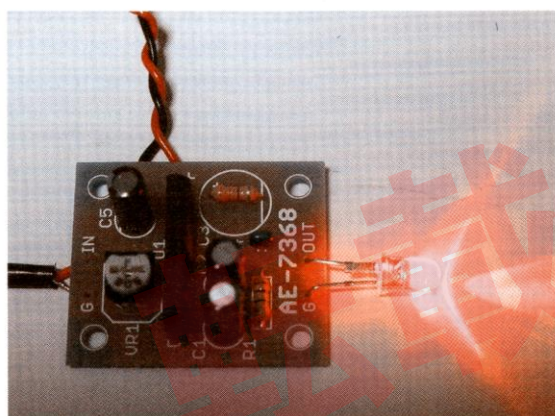


# チャレンジ!! 電子工作大作戦

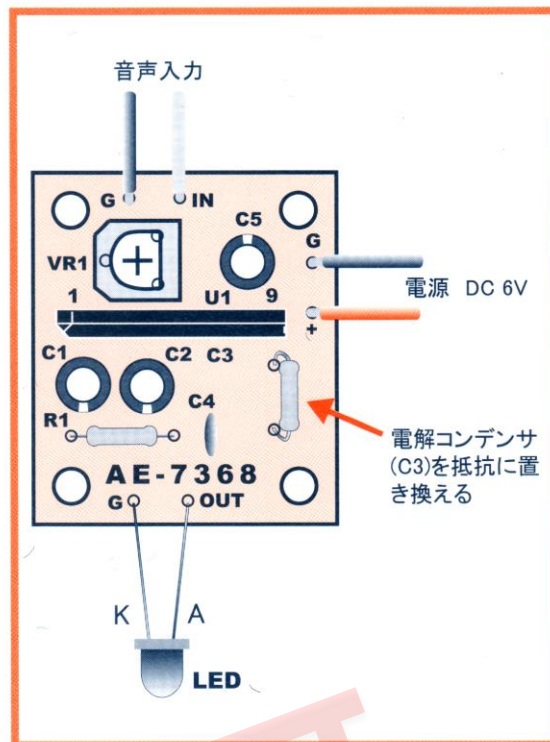
チャレンジ!! 電子工作大作戦



《写真4》秋月電子の「TA7368 使用小型アンプキット」を製作する



《写真5》コンデンサを 100 ~ 500 Ω の抵抗と入れ替える。筆者の場合 220 Ω にした



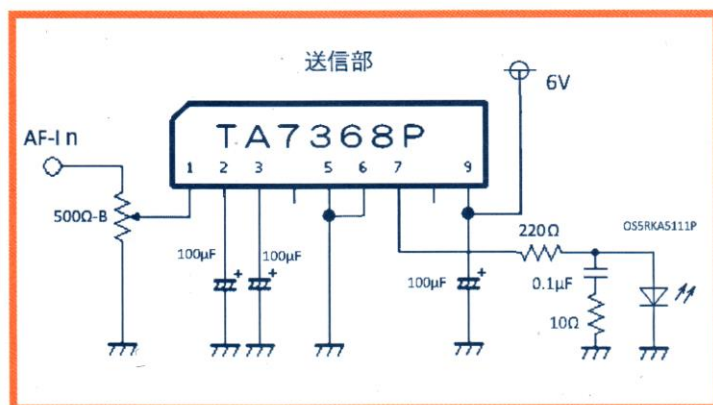
《第6図》送信機へのキットの改造方法。送信機では C3 はハンダ付けせず、抵抗に置き換える

## 受信部

心臓部ともいえる受光素子として、今回は照度センサーとして販売されているフォトトランジスタ「NJL7502L」（写真6）を使用しました。人間の視感度特性に近く、また広い範囲の照度に対応する扱いやすい素子です。

受光スペクトルの感度分布は黄緑色にピークがあるのですが、送信側の LED が赤色でも感度差はほとんど感じられません。光の応答速度や、特別高い感度を求めるわけでもないので、今回はフォトダイオードやフォトICとして売られているものは避け、照度センサーなどに使われる一般的な素子を採用しました。調整が必要なのはフォトトランジスタの負荷抵抗のみ。500Ω ~ 50kΩ の間でいろいろ差し替えて、使う環境に応じて最善の音質や音量を求めるとよいでしょう。

筆者の実験では抵抗値を低くするほど歪は少なくなり暗い場所での感度は



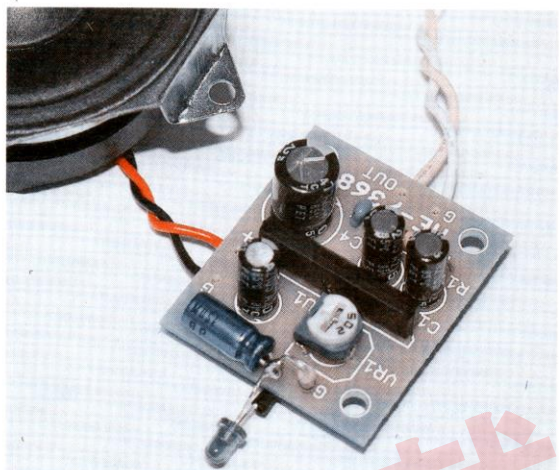
《第5図》秋月のキットを使った送信機の回路



# チャレンジ!! 電子工作大作戦



《写真6》フォトトランジスタ「NJL7502L」。足の長いほうがコレクタ

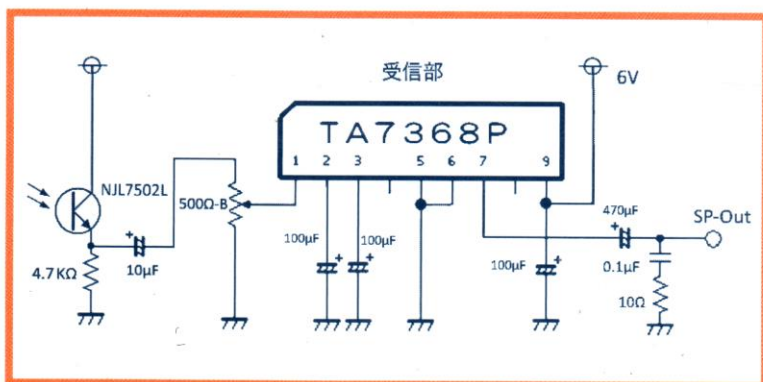


《写真7》光受信機に改造した秋月のキット

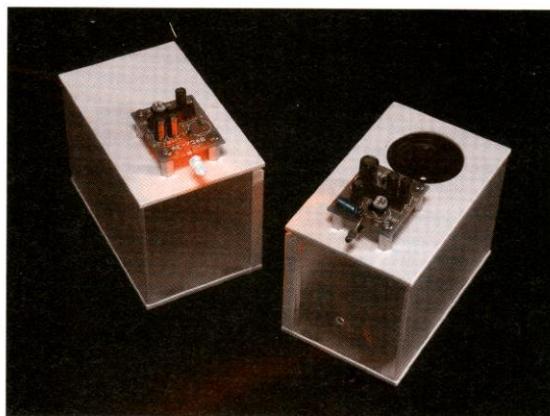
低下するという結果を得ました。とりあえず5KΩ前後から出発するとよいでしょう。

秋月電子のアンプキットを写真7のように改造します。改造後の回路は第7図のようになります。第8図に改造部分の実体配線を示します。

さて、送信基板、受信基板が完成したらさっそく机上でミニ通信実験を行ってみましょう。裸の基板どうして向い合せての実験では、光ビームがしっかり固定できないので、小型のプラスチック



《第7図》秋月のキットを改造した光受信機の回路



《写真8》小型のケースに収めて実験中の光送受信機

ケースに収めてやることにしました(写真8)。電池ボックスやスピーカーが適度な錘となって安定した通信実験が行えます。こんな簡単なものでも数mの通信ができるから驚きです。

## 信号を遠くまで飛ばしてみよう

LED 光空間通信の楽しみの一つは、より遠くまで信号を飛ばして通信することですが、その中心になる技術は光学系です。大きなパワーLEDを使うよりも、小さな虫メガネを送受信機のフロントに配置するだけで、通信距離は飛躍的に伸びます。それはアマチュア無線家が送信パワーの増大や受信機の感度アップよりも指向性の強い利得の高いアンテナに力を入れるのに似ていますね。

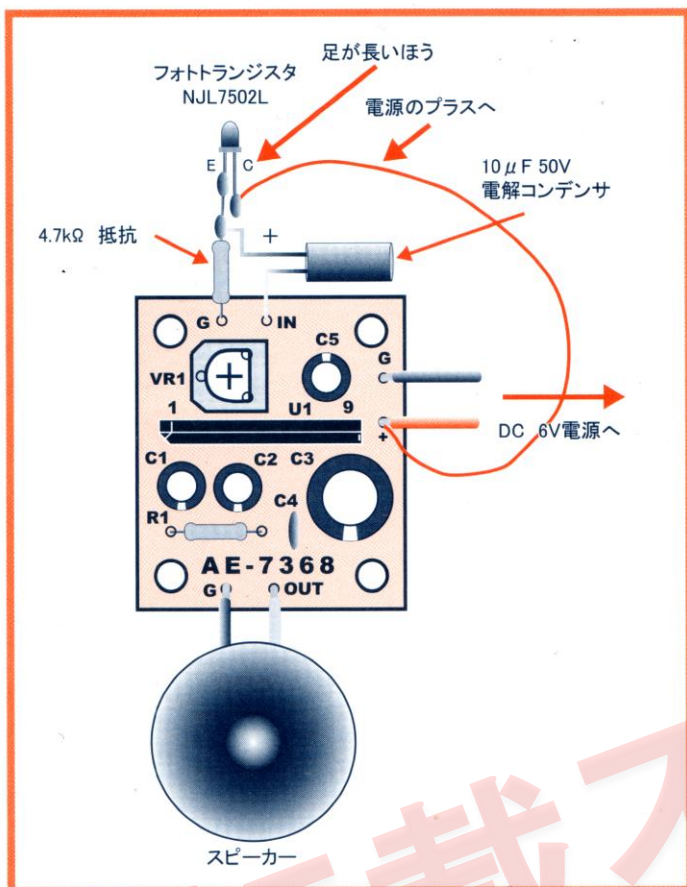
筆者もさまざまな光学的な機構を試してきましたが、本稿においてはその中で最も安上りで効果的だった、古い一眼レフカメラを流用する方法をご紹介します。

カメラは遠くからやってくる光をフィルム上の一点に集めます。また可逆的に、焦点に置いた点光源を遠方に投影することができます。LEDや受光素子をレンズの焦点上に置くことにより、送信&受信共に伝達効率を高めることができるというわけです。

フィルム式の一眼レフを用いるメリットを箇条書きします。

- ①ピント合わせ機構が堅牢で正確な焦点調整ができる。





《第8図》受信機へのキットの改造方法

- ②明るく焦点精度の高いレンズを手軽に使うことができる
- ③望遠レンズやズームレンズを選ぶことで適当な光ビーム角度を選択できる
- ④レンズ口径に合致したカラーフィルターの入手が容易
- ⑤三脚等にそのまま固定ができ、フィールド実験等に便利
- ⑥ファインダーを覗くことで、通信相手の位置をつかみやすい
- ⑦フィルムカメラの衰退により、ネットオークション等を通じて、大変安価に入手できる

筆者が最終的に選んだカメラは1960年代に大量に製造されていたASAHI PENTAXのS2、S3、SVなどのメカニカルシャッター式一眼レフでした。これらはシャッターダイヤルにT（タイム）のポジションがあり、ファインダーを使わない状態ではシャッターを開いた状態をキープでき

ます。

B（バルブ）ポジションしかないSPタイプなどでも、リリースを使えばシャッターオープン状態を保持できます。レンズは焦点距離50mmの標準レンズや200mm程度までの望遠レンズを入手します。さらに焦点距離の長い望遠レンズは、明るさが確保できませんし、ビームも鋭角すぎて使いにくいものです。写真を撮るわけではありませんので、レンズの汚れや黴などがあっても大丈夫です。

工作のポイントは、LEDやフォトトランジスタをいかに正確にレンズ焦点上に固定するかですが、筆者は、カメラ裏蓋の中央部にドリルで穴をあけ、そこに光素子を固定しています（写真9）。それらの先端部分がシャッター幕に触れないぎりぎりのところに来るようにセットするのがやや難しいですが、これまた写真撮影が目的ではないので、多少の誤差は問題ありません。

送受信のアンブ基板は、机上実験に用いたものから光素子を外し、そこからリード線を出して使います。

これらの装置を使って行ったフィールド実験については、詳しく記すスペースがありませんが、わずか数mAの電流を流したLEDで1km以上



《写真9》カメラの裏蓋に穴をあけてセンサーを挿し、エポキシ接着剤で固定した



## チャレンジ!! 電子工作大作戦



〈写真 10〉ビームを安定的にとらえるため、三脚で固定

の通信ができました。

実験は辺りが暗くなり始める夕方の方が、通信距離も延びるのですが、日中の晴れた野外での通信も可能です。要するに送信機側の光が目視できれば何とかできると考えていただければよいのです。

送信機に使ったLEDと同じ色のカラーフィルタを、受信機側のレンズ前面につけてやればベターです。余分な光スペクトルを排除することも通信距離を延ばす重要なポイントになります。

いずれにしても、遠距離通信する場合、送受共光のビームを正確に捉えることが最大の要点になります。可視光を使っているので人の目でターゲットをキャッチできるという利点がありますが、なお、一眼レフのメリットを活用してファインダーでターゲットをしっかりと捕捉してからシャッターを開けるようにするといいでしょう。長距離を狙う場合、当然、カメラは三脚などで固定します(写真 10)。

### 発展編に向けて

この記事では身近に転がっている安価なパーツを使って光空間通信の基本モデルを組み上げようと試みました。しかし、このレベルにとどまらずにさらに進化させることができます。その可能性についていくつかを箇条書きにしてみましょう。

①パワーLEDによる出力増強や、より大がかりな

光学機構を使用するなどしてより遠距離通信を狙う

②空に浮かぶ雲や水面など自然の反射物、人工的な建造物などの反射・屈折を利用した遠距離通信

③2way化の実験。例えばLEDは受光素子としても働く。送受一素子のトランシーバーの可能性などを追求

④より質の高い音声通信を狙った変調方式への挑戦(直線性の向上を意図した可変電流変調、PWMやPAMなどのパルス変調、高周波を乗せたサブキャリア方式、FM変調など)

⑤赤外域、紫外線など可視光線以外の通信、レーザー光線などの活用など

⑥アナログ技術を使った多重通信。一例としてRGB-LEDとカラーセンサーフォトダイオードを組み合わせたステレオ放送など

その他、デジタル処理のノウハウを使えば、通信の可能性は無限に広がることでしょう。エレサイくらぶでこれまでに取り組んだいくつかの工夫を、次にあげるWEBページに掲載しています。ご覧いただければ幸いです。

<https://kn.org/h>

\*

読者の中にはアマチュア無線やライセンスフリー無線を楽しんでいらっしゃる方が多いと思われます。人間の感覚が及ばない遠くの人たちと繋がる無線趣味は、モバイル機器が発達した現代にあってもなお健在であり、多様な楽しみを与えてくれます。

しかし、精緻を極めたメーカー製通信機を購入し、交信活動にばかり身を置いていると、つながることが当たり前になり、通信趣味の原点でのロマンや感動を見失いがちになります。LED光空間通信のようなプリミティブな通信は、それを私たちに思い出させてくれるでしょう。

まずは机上の実験から始め、様々のアイデアを盛り込みながら技術を深めていただければ幸いです。