

研究資料 (Research material)

樹洞内観察記録装置の改良

松岡 茂

An improved tree cavity viewer using a wireless CCD camera

Shigeru MATSUOKA^{1)*}

Abstract

It is necessary to inspect cavity nests excavated by woodpeckers during studies of the relationships between woodpeckers and secondary cavity users. I previously developed a device to inspect these cavities (a "tree cavity viewer"). The viewer is a pole-mounted wireless CCD video camera (remote-control head type) and a light source encased in an aluminum pipe, a wireless video signal receiver, and a video recorder (a camcorder or portable video deck). I modified the original tree cavity viewer, especially in terms of the assemblage of pole-mounted parts, to improve its performance. To do so, I (1) changed the pipe thickness from 23 x 25 mm (inner and outer diameters) to 20 x 22 mm; (2) changed the light source from a small incandescent light bulb to white light-emitting diodes (LEDs); (3) added switches to control the number of LEDs; and (4) enabled rotation of the aluminum pipe that encased the CCD camera around the major axis of the pipe. These improvements made it possible to inspect cavities with entrance diameters as small as 22 mm, markedly reduced the frequency of light-source changes due to bulb failures, provided adequate light intensity for the CCD camera by controlling the number of LEDs that can be turned on, and made it possible to inspect cavities extending in any direction into the tree, including the upward-leading cavities used by bats.

Key words : woodpeckers, tree cavity viewer, wireless CCD video camera, LED lighting, extension pole

要旨

キツツキ類が掘った樹洞内部を観察するための装置を以前に開発したが、より使い勝手のよい装置とするためにいくつかの改良を行った。無線式の電荷結合素子 (CCD) ビデオカメラと光源をアルミパイプに仕込み、伸縮ポールの先端につけたパイプを樹洞に入れ、映像を地上で記録するという基本システムはそのままに、1) CCD カメラを収納するパイプ径をより細くし、2) 光源を白熱電球から白色の発光ダイオード (LED) に変更し、3) LED の点灯個数を変えることができるようにし、そして4) カメラを収納したパイプを、パイプの長軸を中心に回転できるようにした。その結果、より小さな樹洞内部の観察も可能となり、またコウモリ類が利用するような上向きの樹洞内の観察もできるようになるなど、観察対象となる樹洞が増え、装置の利用範囲を広げることができた。

キーワード : キツツキ類, 樹洞内観察装置, CCD ビデオカメラ, LED, 伸縮ポール

はじめに

キツツキ類が掘った巣穴を利用する動物種間の関係を見る過程で、樹洞内部を観察しその利用状況を調査する必要性が生じた。当初は、小さな鏡と光源を使った巣穴内観察ツール (松岡, 2003) を製作し、はしごで巣穴のところまで登って目視で巣内を観察していた (Kotaka and Matsuoka, 2002)。しかし、この方法には、ツール自体小型で安価に製作できるといった長所もあったが、安全性や調査効率の面で短所も認められた。そこで、フィールド調査においてもっとも考慮すべき安全性や調

査効率の確保に重点を置き、著者は樹洞内を観察し映像として記録する装置を新たに開発した (松岡, 2002, 2003)。装置の概要は、小型の電荷結合素子 (CCD) ビデオカメラと映像信号送信機を組み込んだアルミニウムのパイプを伸縮ポールに付け、このパイプを樹洞入り口から挿入し、カメラで捕らえた映像を地上で受信し記録する方式である (Fig. 1)。

装置の開発後、大学、試験研究機関から数件の製作に関する問い合わせがあり、また報告 (松岡, 2002, 2003) のみを基にして装置を製作したという例も聞き

原稿受付:平成21年11月2日 Received 2 November 2009 原稿受理:平成22年1月12日 Accepted 12 January 2010

1) 森林総合研究所北海道支所 Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

* 森林総合研究所北海道支所 〒062-8516 札幌市豊平区羊が丘7番地 Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), Hitsujigaoka 7, Toyohira, Sapporo 062-8516, Japan; e-mail: shmatsu@affrc. go.jp

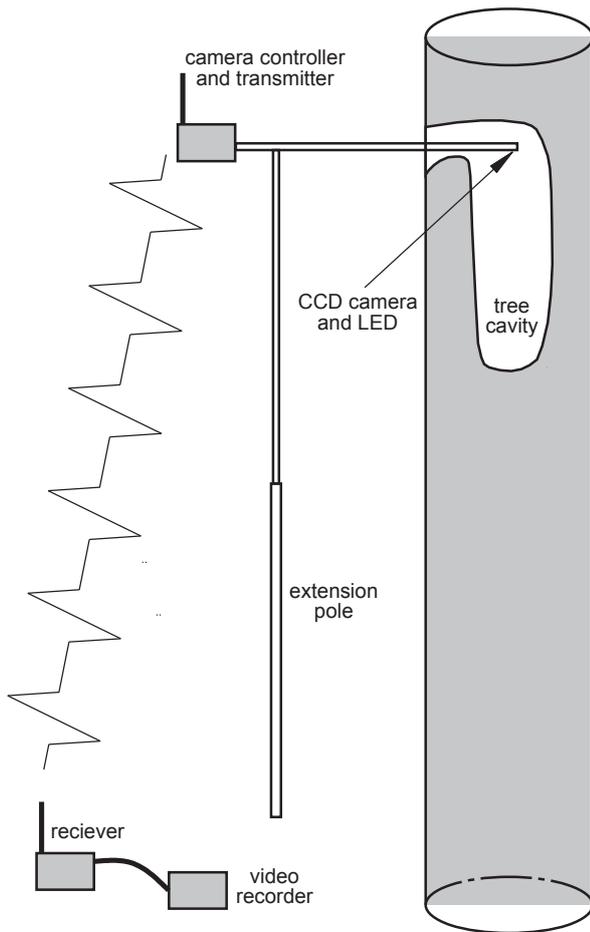


Fig. 1. 樹洞内観察記録装置の概要図
Schematic diagram of a tree cavity viewer.

及んでいる。一方、マスコミ関係機関からは装置の借用の依頼が数回あった。樹洞営巣性鳥類を対象とした調査・研究は多いとはいえませんが、はしごの持ち運びやはしごを使用した高所作業を必要としないこと、またはしごを架けることで倒壊するような樹洞も観察対象になるなどのいくつかの利点（松岡，2003）により、開発された樹洞内観察装置は研究推進の有効なツールとして使用されている。

一方、報告（松岡，2002，2003）では、装置の利用範囲をさらに広げるために、いくつかの改良すべき点を指摘しておいた。今回、その一部について改良を行い、さらに樹洞内の観察範囲を広げる工夫も行ったので報告する。あわせて、観察装置の製作を容易にするため、製作に必要な部品リストおよび製作手順の概略も記載した。

改良点

1) 小型 CCD カメラを収納するパイプ径をより細くする。初期型のパイプ内径 23 mm（外径 25 mm）を 20

mm（同 22 mm）にする。

2) 樹洞内を照らす光源を小型発熱電球（ニップル球）から白色発光ダイオード（LED）に変更する。

3) 光源の回路中にスイッチを加え、LED の点灯個数を変えて明るさを調節できるようにする。

4) カメラを収納したパイプを、パイプの長軸を中心に回転できるようにし、任意の位置で固定できるようにする。

部品リストおよび使用工具類

装置製作に使用する部品リストを Table 1 に示す。装置運用のためには、このほかに、受信したビデオ信号を記録するカムコーダあるいはポータブルビデオ録画装置、これらと受信機をつなぐ信号ケーブル、そして伸縮ポールが必要である。消耗品として、半田、ビニール絶縁電線、エポキシ系接着剤、ヒートシュリンクチューブ、ビニールテープが必要である。工具は、アルミパイプの切断のための金切り鋸、パイプカッター（必需品ではないがあれば作業がはかどる）、ヤスリ、パイプに穴をあけるためのドリルドライバー（電動あるいは手動）とドリルビット、CCD カメラヘッドの面取りのためのカッター、スパナあるいはボックスレンチ、そして半田ごてを使う。その他、ペンチ、ニッパー、ワイヤストリッパー、ピンセットがあれば、効率的に作業を進めることができる。

製作

1. CCD カメラおよびパイプの加工

この観察装置に使用する CCD カメラは、カメラヘッド部とコントロール部（無線送信装置を含む）が分離したものである（Photo 1）。カメラヘッド部の大きさは、現在まで販売された製品についてみると、12 x 15 x 30 mm（Fig. 2 A の a x b x c）、11 x 17 x 29 mm、13 x 20 x 28 mm の 3 種であった。カメラヘッドをアルミパイプに仕込む際の制限要因は、a, b のサイズであり、上の 3 種についての計算上のパイプ内径は、Fig. 2 B のようになる。前 2 種のカメラヘッドは、工作により内径 20 mm のパイプに収納することが可能であるが、後者は内径 23 mm のパイプが必要となる。ここでは、著者が保有している 11 x 17 x 29 mm のカメラヘッドを持つ CCD カメラを使った工作例を紹介する。以下の加工は、販売者が行わない限り、故障等については加工者の自己責任となる。また、著者は、ここで紹介するカメラヘッド部や LED の加工によって損害が発生したとしても一切の責任を負わない。

1) Fig. 2 B から明らかなように、内径 20 mm のパイプにカメラヘッド（11 x 17 x 29 mm）をそのまま収めることはできない。そのため、プラスチック製のヘッドの上側の角を削り、またヘッドの下側に突出するプラスチック製のレンズホルダーの側面の角をカッターで削

Table 1 樹洞内観察記録装置に使用するパーツリスト
Parts list for the tree cavity viewer

	品目	個数	仕様等	参考メーカー (品番) 等	備考および参考単価
1. CCD カメラ・ 送受信 機・電源	1 CCDカメラ (CCD videocamera)	1台	ヘッド分離型	インターナショナル電子	CCDカメラと送信機は、注文により一体化が可能 ¥120,000/セット
	2 ビデオ信号送受信機セット (video signal transmitter and receiver)	1組		インターナショナル電子	
	3 乾電池ケース (battery case)	3個	単3電池 10本用		アルカリ電池使用の場合は、8本用 送信機予備ケース・受信機用を含む ¥300 送信機予備ケース・受信機用を含む ¥400
	4 ニッケル水素乾電池 (Nickel-metal hydride battery)	30本	単3電池	三洋電機 (HR-3UTG)	
	5 電池スナップ (9V battery snap connector)	3個	006P用リード線付き		送信機予備ケース・受信機用を含む ¥50
	6 トグルスイッチ (toggle switch)	2個	単極双投 ON-ON	NKK (M-2012)	受信機側スイッチも含む ¥400
	7 L型 DCプラグ (right angle DC plug)	2個	標準極性 2.1 mm 径	マル信無線電機 (MP-136L)	送信機 DC 12 V 入出力端子用 ¥70
	8 DCプラグ (DC plug)	3個	標準極性 2.1 mm 径	マル信無線電機 (MP-121C)	送信機予備ケース・受信機用を含む ¥70
	9 DCジャック (DC inline jack)	2個	標準極性 2.1 mm 径 インライン	マル信無線電機 (MJ-077N)	受信機用を含む ¥70
	10 プラスチックケース (plastic case)	1個			受信機用 ¥100
2. 光源	1 白色 LED (white LED)	6個		日亜化学工業 (NSPW500DS, 27 cd, 15°), 石塚電子 (CRD E-153, E-183)	より広い指向特性を選択するなら (NSPW510DS 6.1 cd, 45°) ¥300 ¥100
	2 定電流ダイオード (current regulative diode)	3個			
	3 押ボタンスイッチ (pushbutton switch)	2個	単極双投 ON-ON	NKK (EB-2065)	¥400
	4 ユニバーサル基板 (universal circuit board)	1枚		サンハヤト (ICB-288)	¥90
3. カメ ラ保持バ イブ	1 アルミパイプ (aluminum pipe)	1本	外径 22 mm, 内径 20 mm, 60 cm		¥1000 / m
	2 アルミパイプ (aluminum pipe)	1本	外径 25 mm, 内径 23 mm, 13 cm		¥1000 / m
	3 L型ブラケット (L bracket)	2個	25 x 25 x 100 mm		¥100
	4 立管バンド (pipe clamp)	2個	ステンレス (ボルト・ナット・座金付)	太陽産業 (20A)	¥200
	5 ボルト (bolt)	3個	4 mm 径, 長さ 30 mm		¥20
	6 蝶ボルト (wing bolt)	1個	4 mm 径, 長さ 40 mm		¥30
	7 ナット (nut)	4個	4 mm 径		¥20
	8 蝶ナット (wing nut)	1個	4 mm 径		¥30
	9 座金 (washer)	6枚	4 mm 径		¥10
	10 蝶ナット (wing nut)	1個	5 mm 径		立管バンドのナットと交換 ¥30
	11 金属厚板 (steel plate)	1枚	140 x 18 mm, t = 2.0 mm		¥100
	12 ブラケット (bracket)	1個	10 x 55 mm, t = 1.5 mm (長さ 40, 15 mm の L型に加工)		メインスイッチ用 ¥30
	13 ブラケット (bracket)	2個	10 x 40 mm, t = 1.5 mm		LED 点灯個数変更スイッチ用 ¥30
	14 ゴム栓 (rubber plug)	1個	上径 20 mm, 下径 16 mm		¥30
	15 面ファスナー (hook-and-loop fastener)	4本	3 x 25 cm 程度		両面ファスナーが便利 ¥200 / m

る (Fig. 2 C)。後のメンテナンスを考慮して、大きな力を加えることなくパイプ内部を移動させることができる程度に削っておく必要がある。

2) LEDの光とレンズのための開口部を、金切り鋸とドリルドライバーを使って、パイプ先端に設ける (Fig. 3)。5 mm 径の LED を 2 列使用する場合は、パイプの下半分を先端から 1 cm 切り取る。また、レンズ用として、ピンホールレンズが位置するパイプ下面に、径 5 - 6 mm の穴を開ける。先端には、LED やカメラヘッドを保護し、木屑等が入らないようなキャップを装着することも考えられる。しかし、キャップを付けない状態で現在まで使用しているが、とくに問題は発生していない。レンズの位置からパイプ先端までの距離は、コゲラの巣穴のような小さな樹洞を観察する場合に制限要因となり得る。レンズ部分が穴に入る前に、パイプ先端が樹洞内壁にあたる場合がある。このため、レンズからパイプ先端までの距離は短いにこしたことはない。もし、キャップを装着するにしても、パイプ先端部を覆う厚さには配慮が必要である。

3) CCD カメラを収納するパイプの長さは、カメラヘッドとコントロール部を結ぶ信号線の長さによって制

限され、その範囲内で調査の目的により決めればよい。初期型のパイプ長は 90 cm であったが、現在使用している 50 cm でも樹洞の観察にはまったく問題はない。パイプが長いほど、伸縮ポールを上下させる際に、木の枝などとの干渉が増え、取り扱いが困難になる。パイプの切断は、パイプカッターを使うと簡単に行うことができる。切断後、怪我を防ぐ意味でもヤスリでバリを取り除いておく。

4) カメラを収納したパイプ (これをパイプ C と呼ぶ) を回転させる工夫として、パイプ C とこれより一回り太いパイプ (これをパイプ H と呼ぶ。外径 25 mm, 内径 23 mm, 長さ 130 mm 程度) の 2 重構造にする (Fig. 4)。パイプ C の前後の動きは、パイプ C を貫通するボルト、ナット (Fig. 4, A) と蝶ボルト、蝶ナット (Fig. 4, B) で抑える。パイプ C の回転の制御は、蝶ナット (Fig. 4, B) を緩めてパイプを任意の角度に回転させ、再び蝶ナットを締め込むことで行う。そして、パイプ H と伸縮ポールをそれぞれ立管バンド (pipe clamp) で固定する。それらを細い金属厚板 (Fig. 4, D) で連結固定するが、パイプ H に固定した立管バンドと金属板は蝶ナット (Fig. 4, C) で締め付ける。これを緩めることで、



Photo 1. 小型 CCD ビデオカメラ（カメラヘッド部とカメラコントロール部の分離型。カメラコントロール部に映像信号送信機を内蔵）
Remote-head wireless miniature CCD video camera, with the transmitter built into the camera controller.

伸縮ポールに対するパイプ C の角度を調整することができ、傾斜した木に穴あけられた樹洞の観察が容易になる。また、カメラヘッド側を下方に 90 度回転させることで、パイプと伸縮ポールが平行となり、収納、運搬が容易になる。パイプ C のボルトを通す穴は、ドリルドライバーを用いて開ける。

5) パイプ C 後方には、コントロール部と電池ケースの大きさに合わせた L 型ブラケット (25 x 25 mm, 長さ 100 mm) をボルト、ナットで取り付ける。ブラケットとパイプの間に、マジックテープを入れ込み、コントロール部や電池ケースを固定する (Photo 2)。コントロール部のアンテナはスイッチ操作の障害となるため、コントロール部はスイッチとは反対側に取り付ける。

6) 主電源用のスイッチを固定するため、電池ケースマウントとパイプ C の間に L 型ブラケット (10 x 40 x 15 mm, 10 x 55 mm x 1 mm 厚のアルミ板を加工) を入れてねじ止める (Fig. 4, E)。LED 点灯数調節用の 2 個のスイッチを固定するためのフラットブラケット (10 x 40 mm, 1.5 mm 厚) は、Fig. 4, A のボルトをナットで止めてから、ブラケット 2 枚を入れさらにナットで止める (Fig. 4, F ; Photo 2)。ブラケットは、2 つのスイ

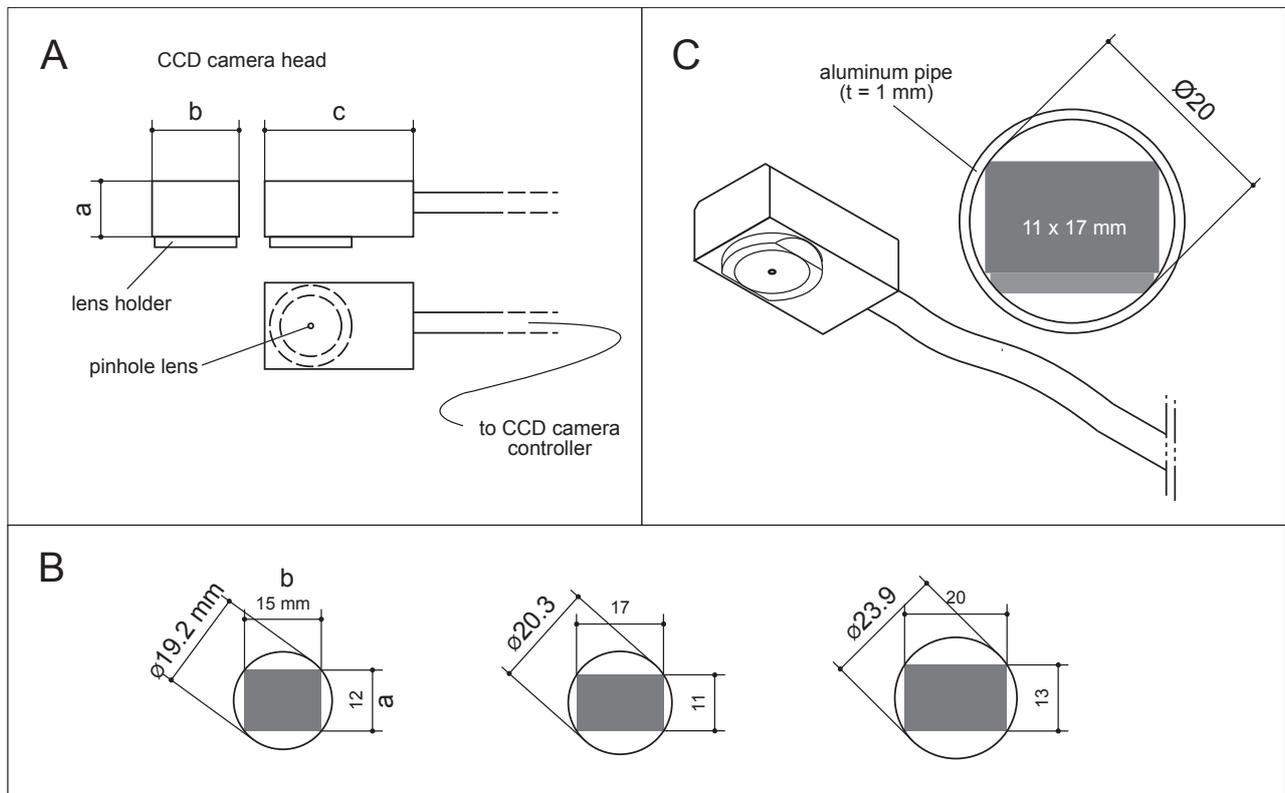


Fig. 2. CCD カメラヘッド部の大きさとそれを収納するアルミパイプの太さとの関係. A: カメラヘッド部の三面図. B: カメラヘッド部が収まるパイプ内径. C: パイプに収めるために角を落としたカメラヘッド部.
Relationships between the size of the remote CCD camera head and the inner diameters of the aluminum pipes. (A) Orthographic projections of the camera head. (B) Minimum inner diameters of the aluminum pipes used to insert three types of camera head. (C) Beveled camera head and pinhole lens holder.

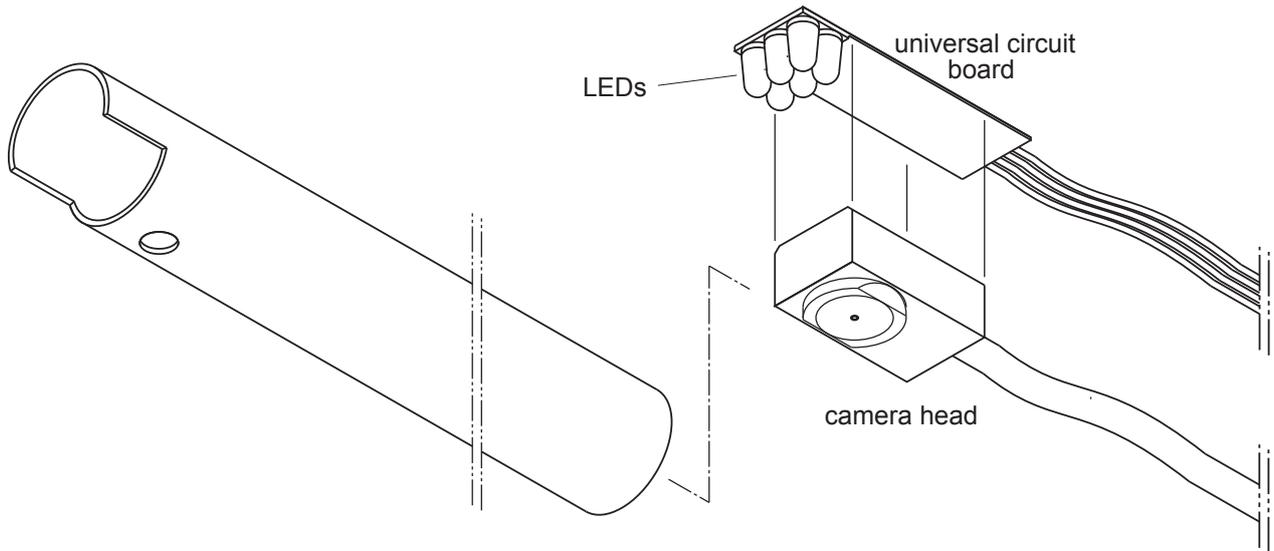


Fig. 3. カメラヘッド部と LED 光源を収めるパイプ先端部の形状

Shape of the pipe end that holds the camera head and the assembled LED lights. To assemble this part of the device, cut out half of the pipe end to allow light from the LEDs to pass through and drill a small hole for the camera lens.

ッチが互いに干渉しないように、角度をつけて固定する。利き腕によっては、操作しやすいように、電池ケースとカメラコントロール部を入れ替え、スイッチも反対側に配置することも可能である。

2. LED 光源の製作

1) LED 点灯のための回路図を Fig. 5 A に示す。所定の抵抗を使って LED に流れる電流を調節する方法もあるが、ここでは電圧変動に影響されない定電流ダイオード (CRD) を利用する。LED, CRD 共に極性があるので、配線には注意が必要である。著者が保有するカメラのコントロール部には、出力端子 (12 V DC) があるので、DC プラグ (L 型) を使って、ここから光源全体への電源供給を行う。途中の 2 つのスイッチ (プッシュスイッチ) で、LED の点灯数を切り替える。ここでは、プッシュスイッチを使用したが、他の型式のスイッチでもよい。2 灯および 4 灯のオンオフをそれぞれ独立して制御するため、オンオフの組み合わせで 2, 4, 6 灯の 3 段階の光度調節が可能である。主電源スイッチは、後述のように電源とコントロール部の間に入れるが、コントロール部に出力端子がなければ、このスイッチに LED の配線もつなぐ。

2) LED は、ユニバーサル基板 (ピッチ 2.54 mm, 穴径 1 mm, 厚さ 1.6 mm, 片面・紙フェノール) を 15 x 45 mm の大きさにカットし、2 行 3 列で収める (Fig. 3)。LED の高輝度化が進んでいるため、LED の数を少なくすることが可能かもしれない。LED の数は対象とする樹洞の深さに応じて変えてよいであろう。LED の基部の外径は 5.6 mm であるため、それぞれの LED を

基板に垂直に載せるために、LED 基部の互いに接する部分を削る必要がある。また、LED 脚を基板に通すために、脚のストッパーも削る必要がある。配線 (Fig. 5 B) を考慮して LED を配置し、エポキシ系接着剤で基板に固定する。

3) 基板の裏面では、配線図に従って脚を曲げ、適切な長さに切り、半田付けで結線する (Fig. 5 B)。パイプとの導通を避けるため、半田付け終了後にエポキシ系接着剤で結線部分を覆い固める。基板を、CCD カメラヘッドとパイプ間の隙間に通すため、半田付けおよび樹脂の覆いはできるだけ高さを抑えるようにする。また、同じ理由から、定電流ダイオードは基板やカメラヘッド部を避けた位置に取り付ける。このとき、ヒートシュリンクチューブ (あるいは、ビニールテープ) で半田付け部分を覆い、パイプとの導通を避ける。回路の結線は、以下のスイッチ部も含めてすべて半田付けで行う。カメラヘッド部と光源部をパイプに収めるために、場合によっては、カメラヘッド部が接する基板部を削って薄くする必要がある (Fig. 3 の基板は薄く削った状態で描いてある)。基板の材質は、加工しやすい紙フェノールがよい。

3. 電源および送信機

1) カメラコントロール部の電源入力 (DC 12 V) 用に DC プラグ (L 型) を使う。この DC プラグと DC ジャックを結線し、途中に主電源スイッチ (トグルスイッチ) を入れる (Fig. 5 A)。プラグは、コントロール部の入力端子に、ジャックには、電池ケースからのプラグをつなぐ。

2) カメラコントロール部の入力電圧は 12 V なので、

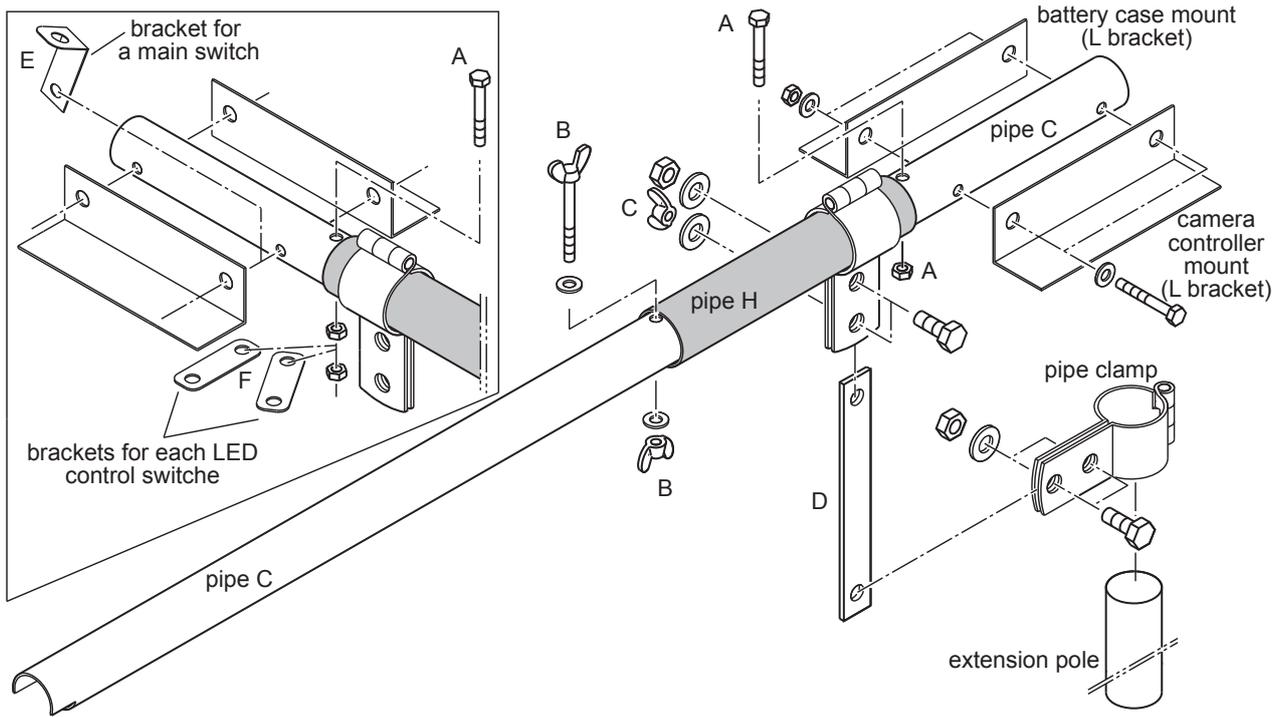


Fig. 4. 樹洞内観察装置のパイプ周りの組み立て構成
 Assembly of the tree cavity viewer. To rotate the pipe C use wing bolt and nut B to tighten and loosen.

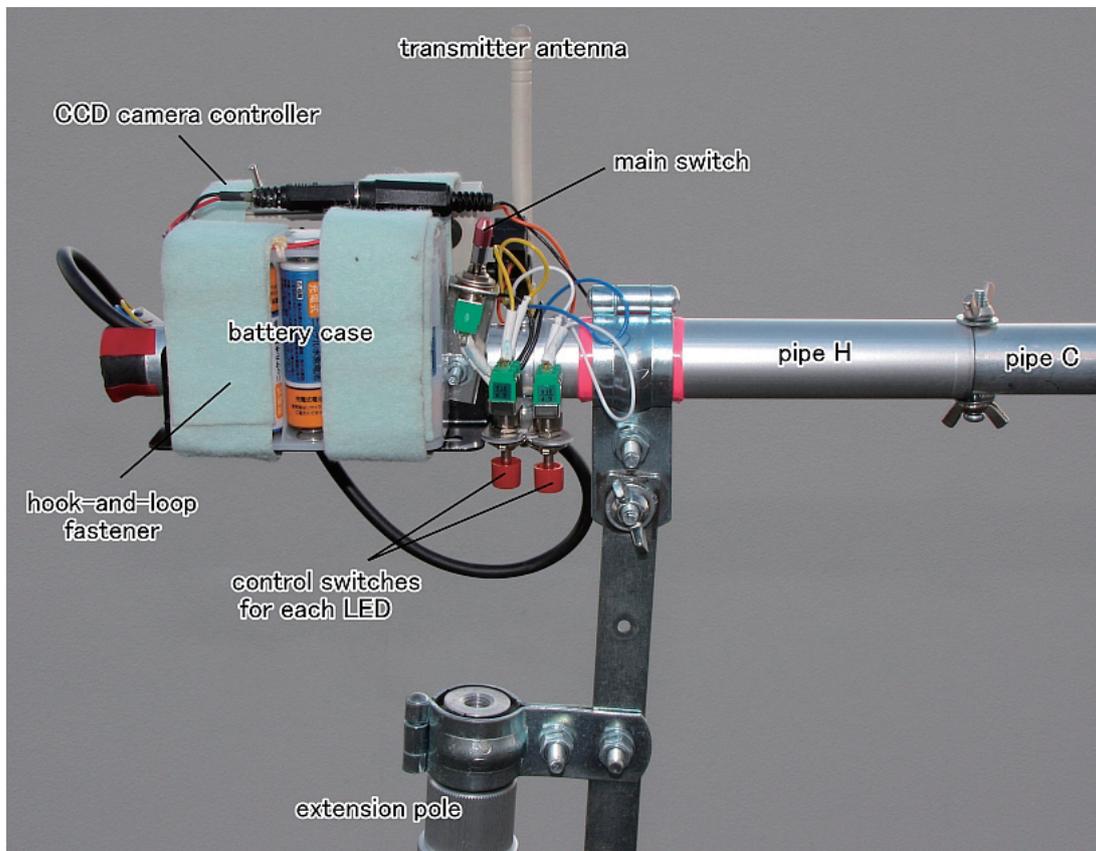


Photo 2. 電源やスイッチを中心とした樹洞内観察装置の組み上げ
 The assembled tree cavity viewer and power supply, showing the CCD camera controller and the main and LED switches.

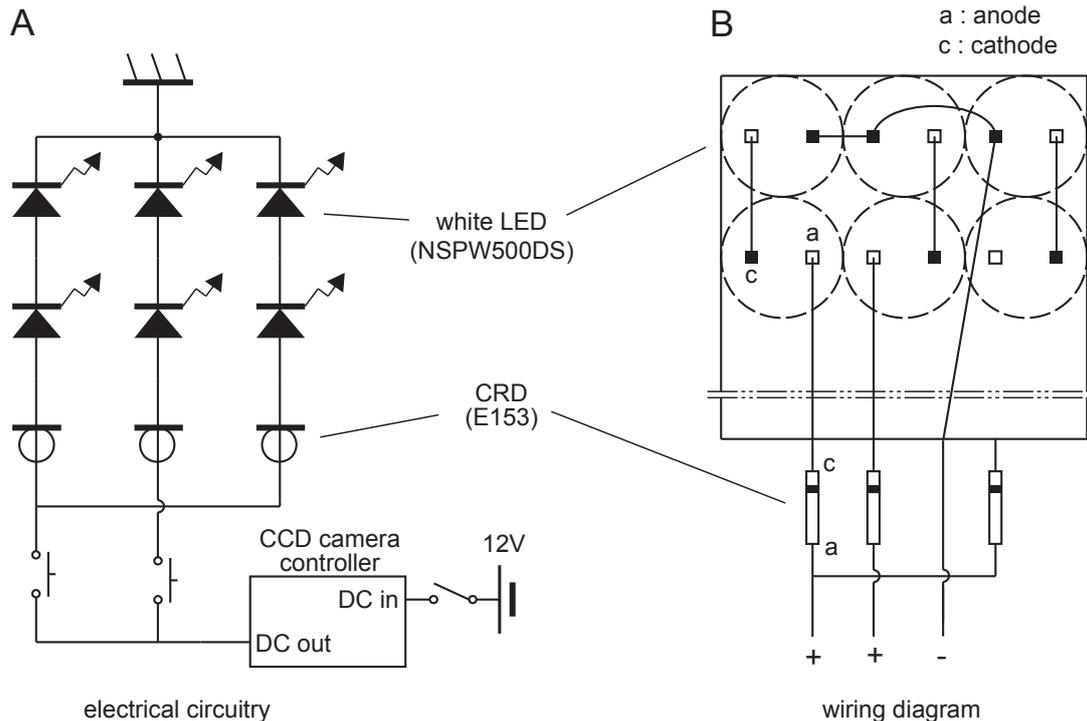


Fig. 5. LED 光源周りの回路. A: カメラコントロール部, LED 光源部および LED 点灯数調節スイッチの回路図. B: LED の配線図.
(A) Electrical circuitry and (B) wiring diagram for the LED lights. Current-regulating diodes (CRDs) were used to supply regulated current to the LEDs.

充電可能なニッケル水素電池(1.2 V)を利用する場合は、単3電池10本用の電池ケースを、通常の一次電池(1.5 V)を使用する場合は、8本用を使う。電池ケースはスナップ端子付きを使ったが、後述の理由で、端子に配線を半田直付けしてもよい。スナップの配線端にDCプラグを付ける。コントロール部の電源入力には極性があるので、注意が必要である。電池ケースは、調査途中でも交換する必要にせまられる。スナップをはずして交換することも考えられるが、経験上この部分は壊れやすく、電源供給の障害となりうる。そこで、上で作ったDCプラグ付きの電池ケースを2個用意しておき、これらに電池を入れておく。これで、プラグとジャックの抜き差しだけで容易に電池交換が可能となる。余裕があれば、受信機用の予備電池ケースも用意するとよい(Table 1には含まれていない)。

4. 組み立てと調整

1) 一般的に、アルミニウムパイプの切断や穴あけ加工は比較的容易であるので、高度な加工技術を必要としない。また、光源回路は単純で、細かな半田付け場所もないので、簡単な半田付けができれば、作業を進めることができる。ただ、LED、CRDの結線やコントロール部への入力の際に、極性に注意する必要がある。

2) 半田付け部分の保護とショートを回避するため、半田付け部分を適宜ヒートシュリンクチューブで覆う

(Photo 2のスイッチの半田付け部分など)。また、半田付け終了後に全体の配線状態に問題がなければ、DCプラグなどから配線が出る部分を適宜エポキシ樹脂で固定し、断線を回避する。

3) カメラヘッド部とLED光源がパイプCの先端で前後に動いたり回転したりしないよう固定するため、LED基板とパイプの隙間に適宜スポンジ片をつめる。

4) カメラヘッド部とLED光源部をパイプに通した後に、ボルトA、BをパイプCに貫通させるが、その際信号線や配線を損傷しないように注意する。

5) パイプC内に通すLEDからの配線とCCDカメラヘッドからの信号線は、パイプの後端から出すが、パイプ後端にゴム栓を挿入しこれらの線を固定する(Photo 2)。ゴム栓は、ビニールテープで抜けないように固定する(Photo 2)。

6) パイプHや伸縮ポールに固定する立管バンドは、必ずしもパイプやポールの径と一致しないので、ビニールテープや薄いゴム板を巻いて調整する(Photo 2)。

7) 実際の使用に当たっては、露出している配線が枝などに引っかからないように、コントロール部やスイッチ等をビニール袋で覆う。立管バンド間を連結する金属厚板(Fig. 4, D)があたる部分でビニール袋に切れ目を入れ、パイプHで袋の口を紐などで軽く止める。スイッチ類の操作は、袋の上から行う。

8) カメラを仕込んだパイプ部分の大きさは (Fig. 4. で伸縮ポールを除く部分)、長さ 51 cm, 横幅 10 cm, 高さ 20 cm (送信機のアンテナの突出を除く) で、重さは電池と電池ケースの 300 g を含め、約 1 kg であった。

9) 受信機は、プラスチックケースに入れる。カメラコントロール部と同様に、電源入力 (DC 12 V) 用に DC プラグ (L 型) を使う。DC プラグと DC ジャックを結線し、途中で電源スイッチ (トグルスイッチ) を入れ、スイッチはケースに付ける。ジャックには、電池ケースからのプラグをつなぐ。電池ケースの細工は、カメラコントロール部に使用するものと同じである。ビデオ録画装置への信号線を通す穴をケースに開けておく。

改良の効果

1) 今回、CCD カメラを収納するパイプ径を、内径 23 mm (外径 25 mm) から 20 mm (同 22 mm) と、わずか 3 mm 細くしただけであるが、ゴジュウカラや小型のカラ類 (ハシブトガラやヒガラ) が利用する小径の入り口をもつ樹洞でも観察可能となる例が増え、調査対象が広がった。海外でも、市販の樹洞内観察装置の使用例 (Richardson et al., 1999) や製作の報告があるが (Proudfoot, 1996; Huebner and Hurteau, 2007)、これらの装置のカメラヘッド部は最小でも 25 mm 径の樹洞にしか対応していない。

2) 光源を小型発熱電球から寿命の長い白色 LED に変更したことで、光源部の交換頻度が大きく低下した (使用頻度にもよるであろうが、装置製作後 6 年以上経過しても LED の交換や修理は行っていない)。また、定電流ダイオードを用いて LED に流す電流の制御を行うため、小型 CCD カメラと電源 (12V) を共用することが可能になった。

3) LED の点灯個数を変えることで明るさの調節ができるようになったので、近接撮影時の画像の白抜けが軽減できるようになった。

4) カメラを収納したパイプを、パイプの長軸を中心に回転できるようにしたため、どの方向にのびている樹洞も観察の対象となった。とくに、上側にのびる樹洞を利用するコウモリ類についても容易に観察記録することが可能になった。

光源の選択について

1) 観察装置に使用する LED は、CCD カメラが感知するほどに十分な光度と照射範囲 (指向特性) を持つものでなければならない。ただ、照射角度が大きければ光度は小さくなるという相反関係にあるので、観察する樹洞の深さ、内径に適した LED を選択する必要がある。アカゲラの巣穴を例にすると、深さはおよそ 26 cm、内径は 10 cm (Matsuoka, 2008) であるので、底部全体を映像として捉えるには、約 22 度の照射角があればよい。CCD カメラの画角は、レンズ焦点距離などによっ

て異なるが、小型 CCD カメラでは対角でほぼ 50 度以上あるものが多く、映り込む範囲は十分に広い。したがって、対象とする樹洞に合わせて、必要な照射角をもつ LED を選択すればよい。必要な光度は、CCD カメラの感度、レンズの明るさ、観察対象までの距離などによって決まるが、おもに対象とする樹洞の大きさを想定して実験的に求めるのがよいであろう。ただ、同じ大きさの樹洞で同じ光源を使ったにしても、映り方は内部の状態 (色調や乾燥程度) により異なる。LED の点灯数を制御するスイッチもつけているので、可能であれば光度に余裕も持った光源があったほうがよいであろう。

2) 一般に CCD 素子は、幅広い波長領域で感度を示す。このため、CCD カメラを用いた樹洞内観察装置では、光源として不可視光 (近赤外線 LED) を使う例と (Huebner and Hurteau, 2007)、可視光 (白熱電球, 白色 LED) (Proudfoot, 1996; Richardson et al., 1999; 松岡, 2002) を使う場合がある。Huebner and Hurteau (2007) は、近赤外線 LED を使う理由として、対象とする鳥による光の感受を最小にするためとしている。人間の可視光波長領域に比べて鳥のそれはより広いとされているが (Campbell and Lack, 1985; Goldsmith, 2006)、とくに短波長 (紫外) 領域で広いものの、長波長 (赤外) 領域での差はそれほど大きくない。したがって、Huebner and Hurteau (2007) が使った近赤外線 LED (940 nm) は、鳥にとっても不可視と考えられる。この場合、鳥は光源を認識することはなく、樹洞内観察装置は入り口から入ってきた物体で、入り口の光を背景にした黒い影と彼らに映るであろう。雛にとっては親以外の、あるいは抱卵中の親鳥にとってはつがい相手ではないこうした影は、樹洞内に侵入しようとする蛇などの捕食者であると考えることができる。巣内の雛や親鳥が、もしこの影を捕食者として認識し、なんらかの生得的な反応を示す場合のストレスはどのようなものであろうか。一方、可視光を使う観察装置は、樹洞内では光源の光が強いため、鳥はただまぶしいだけで何が樹洞に入ってきたかの認識は困難と思われる。進化的には、樹洞営巣性の鳥がこのような状況を経験することはなかったはずであり、この刺激と結びつくなんらかの生得的な反応を示すことはないと考えられる。とはいえ、経験したことのない強い刺激にさらされるといふストレスは当然考えられる。鳥の種や同じ種でも生育段階によって、観察装置を樹洞に挿入した際のストレスは異なる可能性があるが、光源の種類によるストレスの多寡が計量できるなら、よりストレスの少ない光源を利用すべきであろう。筆者は、現段階では、生物的な刺激と結びつかないと思われる可視光を観察装置に利用する立場をとっている。また、近赤外線 LED を利用した場合記録できる映像が白黒映像なのに対し、可視光を光源として利用した場合のカラー映像は、樹洞内の状況の確認や動物種の判定により有効でもある。

謝辞

原稿を読んで貴重な意見をいただいた森林総合研究所の東條一史氏に、また内容に関するコメントをいただいた匿名の査読者および森林総合研究所北海道支所の平川浩文担当編集委員に感謝する。

引用文献

- Campbell, B. and Lack, E. (1985) A Dictionary of Birds, T & AD Poyser, 670 pp.
- Goldsmith, TH. (2006) What Birds See, Scientific American, July 2006, 68-75.
- Huebner, D.P. and Hurteau, S.R. (2007) An economical wireless cavity-nest viewer, J. Field Ornithology, 78, 87-92.
- Kotaka, N. and Matsuoka, S. (2002) Secondary users of great spotted woodpecker (*Dendrocopos major*) nest cavities in urban and suburban forests in Sapporo City, northern Japan, Ornithological Science, 1, 117-122.

松岡茂 (2002) キツツキ類の営巣穴内部の観察記録装置の開発, 日本鳥学会誌, 51, 125-128.

松岡茂 (2003) 樹洞内観察記録装置の開発 — 生物多様性の保全をめざして —, 森林総合研究所北海道支所研究レポート, No. 71, 1-6.

Matsuoka, S. (2008) Wood hardness in nest trees of the great spotted woodpecker *Dendrocopos major*, Ornithological Science 7, 59-66.

Proudfoot, G.A. (1996) Miniature video-board camera used to inspect natural and artificial nest cavities, Wildlife Society Bulletin, 24, 528-530.

Richardson, D.M., Bradford, J.W., Range, P.G. and Christensen, J. (1999) A video probe system to inspect red-cockaded woodpecker cavities, Wildlife Society Bulletin, 27, 353-356.

