



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	落下型無重力実験のための動物行動観察装置
Author(s)	土田, 義和; 下澤, 楯夫
Citation	北海道大学電子科学研究所技術部技術研究報告集, 2, 13-39
Issue Date	1994
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/1452">https://hdl.handle.net/2115/1452</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	KJ00000697029.pdf



# 落下型無重力実験のための動物行動観察装置

土田 義和, 下澤 楯 夫\*

( \* 電子科学研究所 電子情報処理部門神経情報研究分野 教授 )

## 1. はじめに

上砂川町に、閉山した炭鉱の立て坑跡を利用して、世界最大の落下型無重力実験施設「(株)地下無重力実験センター」(Japan Microgravity Center :JAMIC)が開所(1991.7.17)した。施設は実験装置を搭載したカプセルを立て坑(全長710m)内で自由落下させて、カプセルを無重力(正確には微小重力 $10^{-4}G$ )状態にする。その無重力持続時間は10秒間である。

同センターを利用して無重力下における宇宙産業に関わるいろいろな実験が地上で試みられている。同センターの上部機関「(財)宇宙環境利用推進センター(Japan Space Utilization Promotion Center :JSUP)」や上砂川町の主催によるオープンイベントとしてデモンストレーション実験が計画・実行された。その初期デモンストレーションプログラムに電子科学研究所神経情報研究分野のテーマ「動物の姿勢制御における重力感覚器の役割」が採択され、実験のはこびとなった。

落下実験は、ショウジョウバエ、アフリカツメガエルの幼生(オタマジャクシ)と小型成体、アメリカザリガニ、クロコオロギと実験動物を換えて、5回行った。

本、報告はJAMICの設備に搭載し、上記テーマを実現するため製作した動物行動観察用装置について、主に報告する。

## 2. 落下型無重力発生装置<sup>1, 2)</sup>

### 2.1 無重力発生装置

落下カプセルは全長710m(自由落下部490m, 制動部220m)の立て坑内を実験装置を搭載して、自由落下する。図2.1.1に落下型無重力発生装置の概略図を示す。

落下カプセルは内カプセルと外カプセルの二重構造で構成されている。図2.1.2に落下カプセルの構成図を示す。

外カプセルは3つのモジュール(バスモジュール:データ記録装置, スラスタ制御装置等搭載部, ペイロードモジュール:内カプセル収納部, スラスタモジュール:ガススラスタ搭載部)で構成されている。内カプセル内は大気圧に置かれ、実験支援機器を備えた実験用ラックを搭載する。図2.1.3に実験用ラックの外形を示す。

ペイロードモジュールとカプセルの間は真空に引かれ、内カプセル内への振動等を遮断する。落下中は真空中を落下する内カプセルを、外カプセルがガススラスタをふかして追いかける。このため、内カプセルは外カプセル内に浮いた状態になる。

カプセルの落下には実験装置の実験用ラック組み込み・カプセルの組立・移動・機能チェック・落下・回収・分解の作業手順を要する。ユーザはJAMIC側へ実験装置を引き渡してから、手元に戻るまでの作業時間(1時間30分, 初期では3時間)を十分考慮する必要がある。落下システムの諸性能を表2.1.1に示す。

### 2.2 無重力発生装置と実験装置の インタフェース

無重力発生装置と実験装置のインタフェースは

機械的なものと電氣的（電源系，通信系）なものがある。

実験装置は準備されている実験用ラック内に納め，固定する必要がある。実験用ラックは5種類の使用形態が用意され，それぞれに応じた実験装置全体の容積や実験装置搭載用棚板の材質・サイズ・ネジ取付け位置等が指定されている。図 2.2.1 に実験装置搭載容量と重量，標準ラック棚板の寸法を示す。

実験装置は J A M I C 側から電源の供給を受けることが出来る。電源は外部電源（実験準備作業），搭載電源（実験前・中・後）に分けられ，それら

の仕様に沿った利用が可能である。表 2.2.1A, 1B に搭載電源系の仕様ならびに動作タイムチャートを示す。電源用インタフェースパネルには大電力用 A (DC 28 V) 2 個，大電力用 B (DC 28 V) 1 個，小電力用 (DC 28 V 無瞬断用) 2 個，交流用 (AC 100 V) 2 個の 4 種 7 個の電源用コネクタが用意されている。無重力発生装置はアナログおよびデジタルの実験データ，ビデオ信号の伝送，記録機能と実験装置へのコマンド信号伝送機能を備えている。伝送信号は地上の制御モニター室でリアルタイムでモニターできる。伝送ラインは当初ケーブルで行い，落下直前に光

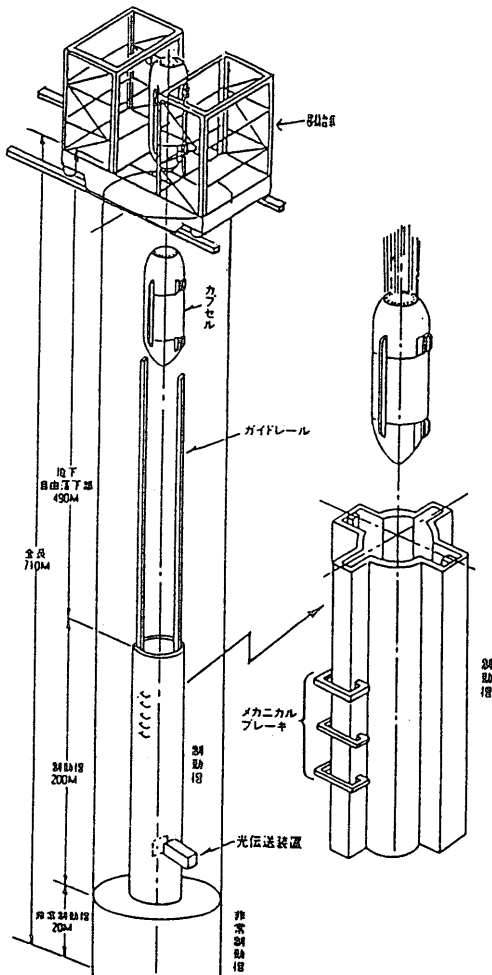


図 2.1.1 落下型無重力発生装置の概略図

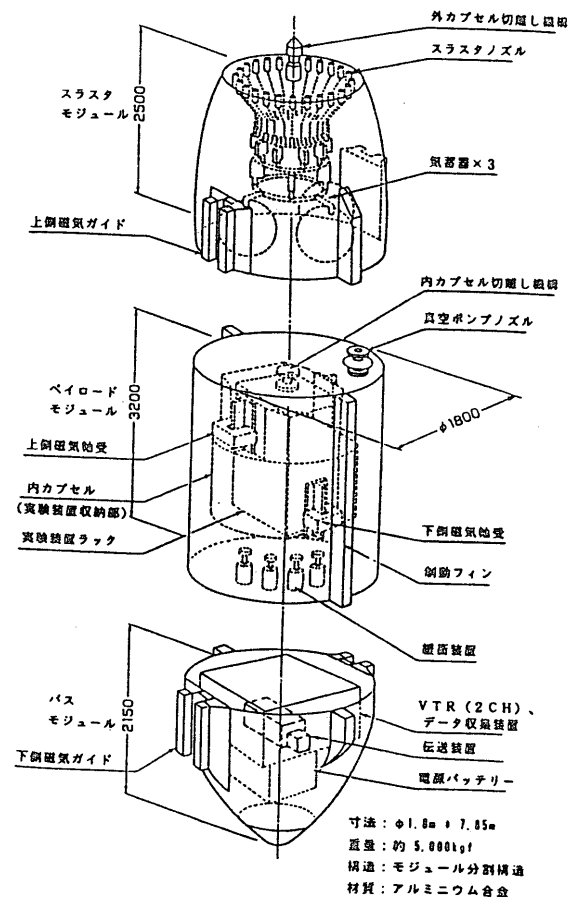
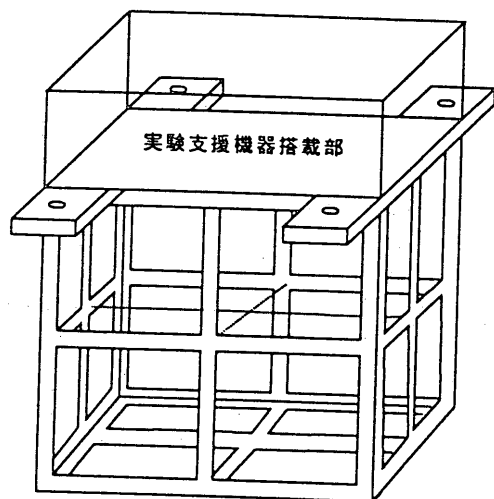


図 2.1.2 落下カプセル構成図

による伝送に切り替える。光伝送による実験データ数はアナログ・デジタル共に8チャンネル、画像・2チャンネルを備える。同コマンド数はアナログ・1チャンネル、デジタル・8チャンネルを備える。通信用のインタフェースパネルは実験ラックに2つ備えられ、1つのパネルに1/4ラック2台相当の各コネクタ（アナログ、デジタル、ビデオ）が用意されている。表 2.2.2A, 2B に通信系の仕様ならびに動作タイムチャートを示す。図 2.2.2 に実験ラックに備えるインタフェースパネルのコネクタ配置図を示す。

内カプセル内の環境情報はJAMIC側から提供される。環境情報は実験用ラック上部に設置された共通実験支援機器に設置されている各種のセンサ（ $\mu$ -gセンサ、制動加速度センサ、温度センサ、圧力センサ、騒音計）によって測定され、地上に伝送する。表 2.2.3 に共通実験支援機器によって測定される環境情報を示す。伝送された情報は制御モニター室の画像ディスプレイや環境情



実験装置搭載部

寸法：900W × 900L × 1400H (mm)  
 構造：金風骨組み、溶接構造  
 材質：アルミニウムおよびステンレス鋼

図 2.1.3 実験用ラックの外形

報ディスプレイに直ちに表示し、記録する。落下実験終了後、記録されたデータや画像は記録用紙、フロッピディスク、やビデオテープとして、ユーザーに提供される。

電源・通信系は落下後30秒で全て遮断される。

### 3. 実験装置

#### 3.1 実験動物

実験動物には小型で入手が容易だった「ショウジョウバエ」、「アフリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」、「アメリカザリガニ」、「クロコオロギ」を使用した。

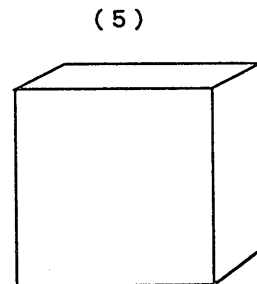
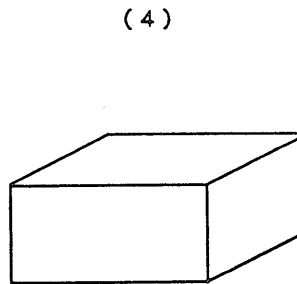
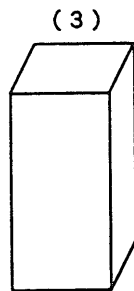
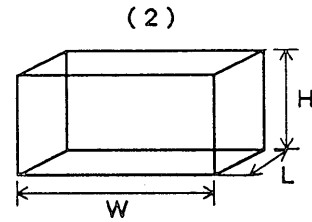
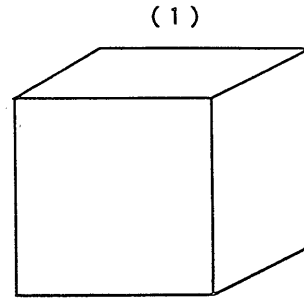
実験は無重力下での実験動物の行動観察が主であるため、実験動物は空気槽や水槽に納められ、ビデオカメラによって撮影・記録した。図 3.1.1 に無重力下での実験装置への要求と各実験動物の注目点を示した。

微小重力レベル	10 <sup>-4</sup> g以下
微小重力時間	10秒
制動時減速度	10 g以下
実験部環境	
気圧	1 atm (大気圧)
温度	20~40℃
地場環境	4 Gauss以下
ペロイド最大容積	1.3mφ (直径) * 1.4m
最大重量	1,000 kg f
落下環境	大気中
落下カプセル	二重カプセル構造
空気抗力補償	ガススラスト方式
制動方式	エアブレーキと メカニカルブレーキの併用

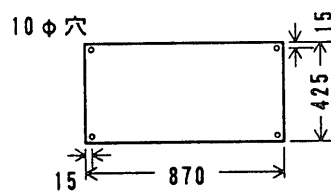
表 2.1.1 落下システムの諸特性

- (1) 1 / 1 エンベロープ  
可能容積：870W\*870L\*918H (mm)  
可能重量：総重量500kgf
- (2) 1 / 4 (横置き) 標準ラック  
可能容積：870W\*425L\*443H (mm)  
可能重量：総重量125kgf
- (3) 1 / 4 (縦置き)  
可能容積：425W\*425L\*918H (mm)  
可能重量：総重量125kgf
- (4) 1 / 2 (横置き)  
可能容積：870W\*870L\*433H (mm)  
可能重量：総重量250kgf
- (5) 1 / 2 (縦置き)  
可能容積：870W\*425L\*918H (mm)  
可能重量：総重量250kgf

◎標準ラック以外の使用では1000kgfまで可能。



「棚板」 (1/4標準ラック寸法)

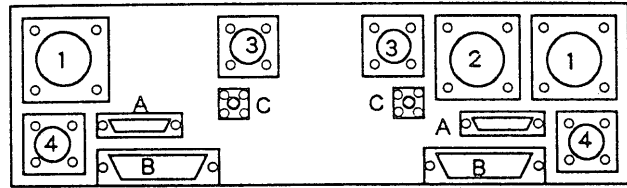


材質	板厚
アルミニウム合金	9mm以上
ステンレス鋼	8mm以上
炭素鋼	8mm以上
木製合板	20mm以上

図 2.2.1 実験用ラックの外形，搭載実験装置・棚板の機械的寸法



図 2.2.2 インタフェースパネル  
のコネクタ配線図



電力系

- 1 : 大電力用 A (DC 28V) コネクタ
- 2 : 大電力用 B (DC 28V) コネクタ
- 3 : 小電力用 C (DC 28V) コネクタ
- 4 : 交流用 D, E (AC 100V) コネクタ

通信系

- A : デジタル信号用コネクタ (25ピンDサブ)
- B : アナログ信号用コネクタ (50ピンDサブ)
- C : ビデオ信号用コネクタ (BNC)

μ-g センサ	実験環境の微小重力度を測定する 3 軸センサ。 測定範囲 : $1 \times 10^{-5} \sim 10^{-2}$ g、分解能 : $1 \times 10^{-5}$ g
制動加速度センサ	内カプセル内の制動加速度を測定する 3 軸制動 加速度センサ。 計測範囲 : $\pm 15$ g、分解能 : $1 \times 10^{-3}$ g 以下
温度センサ	実験環境の温度を測定するセンサ。 測定範囲 : $0 \sim 100$ °C、計測精度 : $\pm 0.5$ °C
圧力センサ	実験環境の圧力を測定し、かつ内カプセルの 気密チェックの役目も担うセンサ。 計測範囲 : $0 \sim 30$ psia 計測精度 : $\pm 0.1$ %FS 以内 測定感度 : $\pm 0.01$ %FS 以内
騒音計	実験環境の騒音を測定するセンサ。 測定範囲 : $31.5 \sim 8000$ Hz 騒音レベル : $31 \sim 130$ dB(A) (レンジ切換) 計測精度 : $0.1$ dB(A)

表 2.2.3 共通実験支援機器による環境情報

実験動物	実験装置への要求	注目点
「ショウジョウバエ」	VHSビデオカメラの設定 (電源、シャッタ速度、オートフォーカス) 照明用ランプ・時計 温度制御 空気槽	飛行行動(特に翅の動き)と行動の観察
「アフリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」	VHSビデオカメラの設定 (電源、オートフォーカス) 照明用ランプ(蛍光灯) 空気遮断装置動作 水槽	游泳行動の観察
「クロコオロギ」	8ミリビデオカメラ・照明(蛍光灯) 筋電図用プリアンプ等 筋電図用記録計 空気槽	飛行行動の観察・筋電図の記録
「アメリカザリガニ」	8ミリビデオカメラ・照明(蛍光灯) 照明用蛍光灯の制御 水槽	游泳行動の観察(平衡石の有・無) 照明の影響

図 3.1.1 無重力下での実験装置への要求と各実験動物の注目点

### 3.2 ビデオカメラ<sup>3, 4, 5, 6)</sup>

ビデオカメラによる撮影は落下の前後数分(落下時間10秒間)も行えば十分である。しかし、ビデオカメラの使用にはその機能や操作手順、JAMIC側への実験装置引き渡し時間等を配慮する必要がある。

当初のビデオカメラはS-VHSC方式(ビクター製, GR-LT7:以後, VHSビデオカメラという。)を、後では8ミリ方式(ソニー製, HANDAYCAM(Hi-8)TR900:以後, 8ミリビデオカメラという。)を使用した。VHSビデオカメラと8ミリビデオカメラの主な仕様を表3.2.1に示した。VHSビデオカメラは実験当初に手元にあり、前半2件の落下実験に使用した。VHSビデオカメラは電源投入時には必ず全自動(オートフォーカス, シャッタ速度1/60秒, 等)になる。そのため、手動動作の場合は電源投入後、設定操作、撮影の手順を経る必要がある。VHSビデオカメラの撮影時間は標準速度で最大30分である。8ミリビデオカメラは後半2件の落下実験に使用し

た。8ミリビデオカメラのフォーカスとシャッタ速度は手動設定機能により、電源投入後、すぐに撮影に入れる。撮影時間は最大2時間。

落下実験ではJAMIC側への引き渡し時間が1時間30分前(一回目の実験では落下3時間前)であることから、VHSビデオカメラの設定・撮影操作は落下直前に行う必要がある。VHSビデオカメラの設定作業は①ビデオカメラ電源オン、②シャッタ速度の設定(シャッタ速度の変更が必要な場合)、③オートフォーカスオフ、④録画スタート、⑤録画ストップ、⑥ビデオカメラ電源オフ、を行う。設定にはVHSビデオカメラ専用リモコン(RM-V50)を利用する。制御はリモコン(①, ④, ⑤, ⑥)やビデオカメラ本体(②, ③)のスイッチのオン・オフ動作を制御装置で代行して行う。スイッチ端子はリモコン用ICのハンダ付け端子部位やビデオカメラ本体のスイッチ用分圧抵抗器ハンダ付け部位にハンダ付け接続したリード線で外部に取り出す。そして、リード線は制御装置の出力インタフェース(半導体アナログス

イッチ)へ接続する。図 3.2.1 に VHS カメラとリモコンスイッチの配線図(配線パターンより作図)を示した。

落下前コマンド信号(落下30秒前: PL-0.3秒幅リレーオン)によって、制御回路(4.2参照)を動作させ、シーケンス制御方式でビデオカメラの設定を行う。「ショウジョバエ」を用いた飛翔状態の撮影で、翅の動きを注目することから、ビデオ撮影時のシャッタ速度は1/4000秒に設定する。

8ミリビデオカメラでは撮影時間が2時間あるため、JAMIC側引き渡し直前に撮影用の光源を点灯後、電源を投入して、撮影状態にする。JAMIC引き渡し直後から、カプセルの組立、落下、回収の間の映像が全て録画される。

「ショウジョバエ」を用いた落下実験では同一ラック(1/4ラック)に2台のVHSビデオカメラを用いた。他の落下実験では1/4ラックに1台のVHSビデオカメラまたは8ミリビデオカメラを用いた。「アメリカザリガニ」の1回目の

落下実験ではVHSビデオカメラの他に小型CCDカメラ(JAMIC側より借用)を同一ラックに搭載した。CCDカメラの画像はビデオチャンネルを使用してカプセル内でのVTR録画および制御モニター室のVTR録画・ディスプレイ表示する。最終落下実験では8ミリビデオカメラの他に実験ラックに搭載した1/4分割ビデオ装置を共同実験者と共に利用し、そのうちの1チャンネルを使用した。

### 3.3 光 源

実験ラックの納まっている内カプセル内には支援用機器用のパイロットランプ以外の発光源はない。しかし、共同実験者が光遮蔽を施していない実験装置で光源を使用することがある。その光源の種類や使用状態はまちまちである。我々の実験装置は他光源からの影響や自光源の他への影響を除くため、アルミホイルや黒紙で内張りされた発泡ポリスチレンフォームで囲い、光遮蔽をしている。(3.6 参照)

機能	S-VHSビデオカメラ GR-LT7 (ビクター)	8ミリビデオカメラ HANDAYCAM(Hi-8)TR90 (ソニー)
スタンバイSW	5分継続で電源自動オフ。	
フォーカス	自動/手動	自動/手動
最大撮影時間	30分(3倍モード可)	120分
シャッタ速度	1/60*-1/100-1/250-1/500- -1/1000-1/4000-秒	1/60*-1/100-1/250-1/1000- -1/2000-1/4000-1/10000-秒
マクロ撮影	1.5cm以上	1cm以上
設定表示時間	日 時 分	時 分 秒
備考	電源オン時に必ずフルオートにセットされる。その後、手動に切り換える必要がある。	オートロック機構がある。事前の手動セットが可能。
その他 倍率 テープ幅 カセットサイズ 水平解像度	6倍 1/2インチ(12.7mm) 92 * 59 * 23 (mm) 400本以上	10倍 8mm 95 * 62.5 * 15 (mm) 400本以上

( \* 通常 )

表 3.2.1 VHSビデオカメラと8ミリビデオカメラの主な仕様

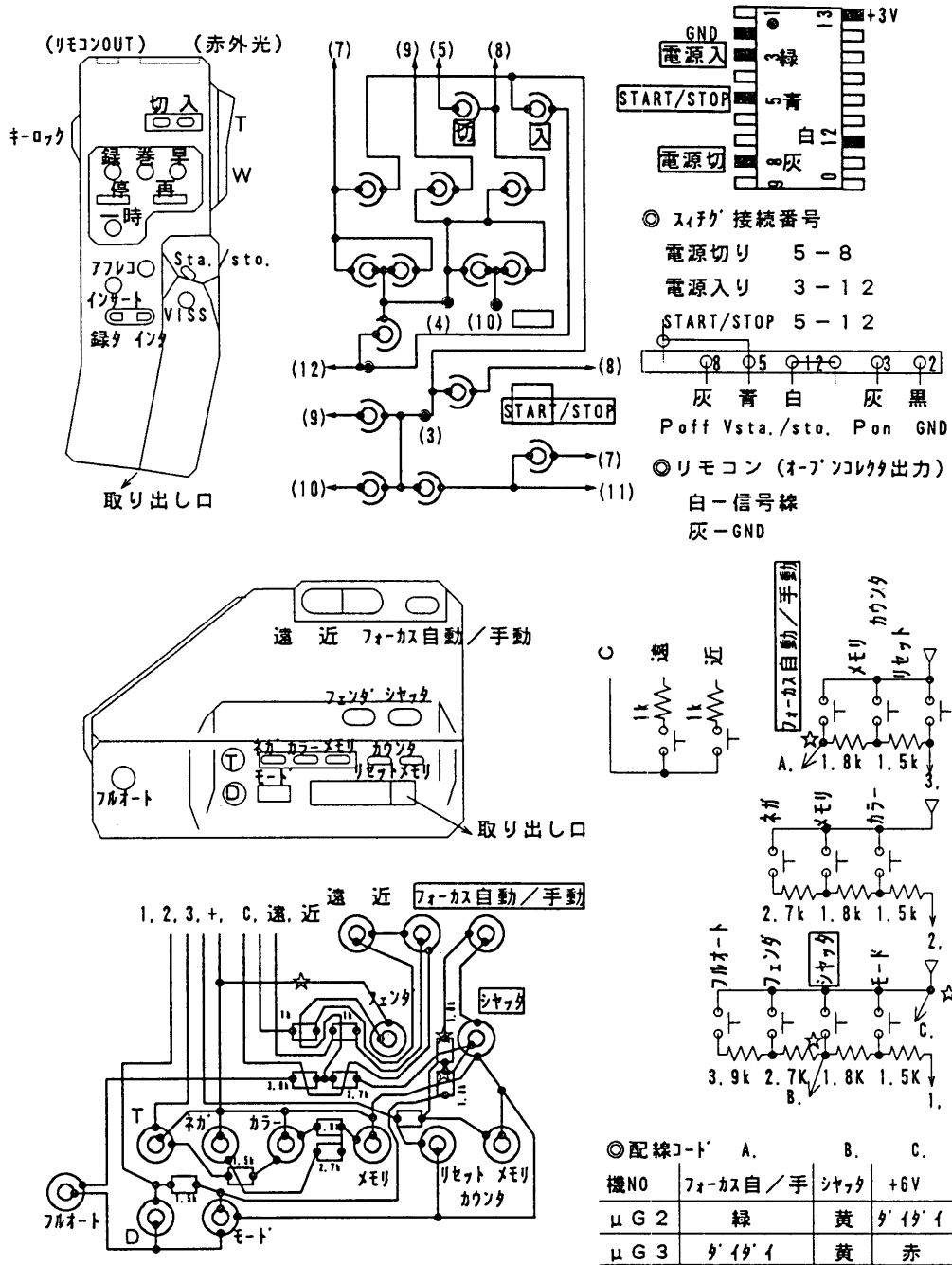


図 3.2.1 VHSビデオカメラとリモコン (RM-V50) のスイッチ配線図

ビデオ撮影には照明用の光源を必要とする。

「ショウジョバエ」を用いた落下実験ではビデオ撮影時のシャッタ速度を $1/4000$ 秒に設定する必要がある。この高速シャッタに伴う光量不足を補うため、照明は高輝度のハロゲンランプ（自動車用白色フオグランプ、 $12V-55W$ ）を2灯使用した。ハロゲンランプは空気槽の前面のVHSビデオカメラ上方に設置した。他の実験では $12V$ バッテリー駆動用蛍光灯（ $4W$ ）を2組使用した。蛍光灯は水槽または空気槽の上部と下部に設置した。

光源は実験の内容に応じてプログラムされた制御装置で点灯・消灯を行う。

### 3.4 実験装置搭載電源

実験装置はJAMIC供給電源を使用することが出来る。（表 2.2.1A, 2B 参照）しかし、これらの電源は落下24分前からの使用や瞬停などの使用制限がある。また、共同利用において、共同実験者がどのような電源使用を行うか落下実験前日の打ち合わせまではっきりしないケースが多い。これらのことから、JAMIC供給電源はAC100V用電源および落下当日の緊急用としての利用を考え、実験装置の直流電源は自前とした。

VHSビデオカメラ用電源は2回の落下実験共に、付属ACパワーアダプタ（AA-V3, AC100VはJAMICより供給）を用いた。8ミリビデオカメラ用電源は初め付属ACパワーアダプタ（AC-S10）を用い、実験用ラックに新たに搭載した支援用電源（DC-AC）でAC100Vを供給した。次回の8ミリビデオカメラ用電源は使用時間2時間10分用（NP-77H）の専用バッテリーパックを用いた。

自前直流電源としては容易に入手できる自動車用バッテリー（ $12V$ 用）で、無重力下での液漏れを防ぐため密封型を使用する。

「ショウジョウバエ」落下実験では光源のハロゲンランプと保温用ヒーター（温度制御器付き）に大きい電力を必要とする。ハロゲンランプの使用時間を2分程度とすると、2灯で約 $0.3Ah$

の電力消費となる。保温用ヒーター（ $12V-6W$ ）はJAMIC引き渡しから回収までの稼働時間3時間とすると、約 $1.5Ah$ の電力消費となる。電源を共用するとバッテリーには約 $1.8Ah$ 以上の容量が必要になる。我々は入手が容易だった完全密封型、 $12V \cdot 10Ah$ （YTX12-BS,  $152L \cdot 88W \cdot 131H$  mm,  $4.2Kg$ ）のバッテリーを使用した。このバッテリーは以後の落下実験の光源（蛍光灯 $4W \cdot 2$ 組または4組）用電源などとして使用した。また、落下実験は急きょケーブル通信によるデジタルコマンド使用になったため、3分間タイマーを使用した。タイマー電源はJAMIC供給AC100Vを用いた。

「アメリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」落下実験に用いる水槽には無重力下でまるまって大きな気泡になるを防ぐため、空気遮断用の網を用意し、落下直前にソレノイド（DC-SOLENOID SHINDENGEN SIZE 75S PUSE  $30.9\Omega$ ）で、水面に接触させる。ソレノイドの動作電圧は $12 \sim 24V$ 仕様。動作を確実なものとするため、ソレノイド用の電源はバイク用 $12V$ バッテリー（GT4B-5 $\cdot 2Ah$ ,  $85.5L \cdot 38W \cdot 113H$  mm,  $1.05Kg$ ）2個直列接続した、 $24V$ を使用した。

「クロコオロギ」落下実験ではコオロギの筋電図（EMG）測定用回路と筋電図記録目的のデータレコーダを備える。EMG回路、データレコーダ（録音再生器）の動作電源電圧は $\pm 12V$ と $12V$ 。電源はバイク用バッテリー2個でプラス電圧を共用した。

1回目の「アメリカザリガニ」の落下実験ではJAMIC用意のCCDカメラとVHSビデオカメラの2台、使用した。CCDカメラ電源はJAMIC供給AC100Vを使用した。

### 3.5 空気槽・水槽

実験動物を収容する容器は動物の種類や実験条件によって、サイズや材質が異なる。ビデオ撮影を行うものは、内部が見える透明アクリル製とした。

「ショウジョウバエ」は市販透明アクリル箱

(外形 66W\*42H\*24D, 1t mm) 3個を用い, 1個と2個の2組として, 2台のビデオカメラで撮影した. 図 3.5.1 に「ショウジョウバエ」用小型空気槽の外形を示す.

「オタマジャクシ」, 「アメリカザリガニ」, 「クロコオロギ」用は空気・水両用として, 手製の透明アクリル箱 (外形 240W\*210H\*80D, 10t mm) 2個 (ラックA, ラックB) 用意し, 使用ラック数に応じて使い分けた. Aタイプは上蓋の固定をボルト (最大27本) で行う (他講座より入手). Bタイプは上蓋の固定をバックル (4個) で行う (自作). 図 3.5.2 に空気・水兼用槽の外形を示す.

「クロコオロギ」の筋電図測定用収容容器はビデオカメラの台数やラックのスペース制限によって撮影できないことから, 電磁シールドを兼ねてアルミ製の箱 (140W\*60H\*95D, 1t mm: EMG用プリアンプ部を含む) を用いた. 図 3.5.3 に「クロコオロギ」の筋電図測定用収容容器の外形を示す.

### 3.6 実験装置の外形

実験装置の大きさは標準実験装置エンベロープ (横置1/4ラック) 内で構成する. 実験装置搭載用棚板は木製合板 (シナランバ, 23mm厚) を使用. 実験装置は棚板上に鉄アングルで骨組みを作り, その回りを光遮蔽や保温目的でアルミホイルや黒紙で内張りされた発泡ポリスチレンフォーム (スタイロフォーム) で囲う. 空気槽または水槽, ビデオカメラ, 光源, バッテリ電源, 制御装置等が内部に配置する.

1/4ラックを2台同時使用の場合, 制御装置, バッテリ電源は一方側のラック (A) だけに置かれ, 他方 (B) と共用する.

図 3.6.1 に「ショウジョウバエ」の実験装置の見取り図を示す. 実験装置の総重量は24Kg.

図 3.6.2 に「アフリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」ラックA・「アメリカザリガニ」ラックB実験装置の見取り図を示す. ラック

A, Bの実験装置の総重量は29.5Kgと20.5Kg.

図 3.6.3 に「クロコオロギ」の実験装置の見取り図を示す. 実験装置の総重量は29.6Kg.

図 3.6.4 に「クロコオロギ」ラックA・「アメリカザリガニ」ラックBの実験装置の見取り図を示す. ラックA, Bの実験装置の総重量は29.6Kgと20.5Kg.

### 3.7 記録・その他

「ショウジョウバエ」の実験装置には保温用ヒータ (12V-6W), 液晶時計を備える. 保温用ヒータは温度センサと共に後部パネル (銅板とアルミ板の張り合わせ) の後ろに固定. 図 3.7.1 に温度制御回路を示す. 液晶時計は1個用小型空気槽の左・下部に位置する後部パネルに穴をあけ固定. 落下実験当日, 落下カプセルの光通信不良のため通信ケーブルを用いて落下前コマンドを得た. このため, 現場で作成した3分間タイマーを実験ラックと実験装置のインタフェース間に設置した. 図 3.7.2 に3分間タイマーの回路配線図を示す.

「アメリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」水槽には落下開始と同時に水の表面張力による水の動き (水面が丸まる) を抑えるための, 網 (プラスチック防虫網, 2mmメッシュ) とそれを水面に降ろし空気を遮断するソレノイドを備える. プラスチック枠に固定された網は一方を水面に接するような位置で蝶番を用いて, うわ蓋に固定. 他方はバネで水面の上に押し上げた状態にして, ソレノイドの動作で水面に接触させる. 図 3.7.3 に空気遮断装置の構造を示す.

「クロコオロギ」の落下実験ではクロコオロギの足からの筋電図を採取し, データレコーダに記録する. 図 3.7.4 に自作筋電図用プリアンプ回路図を示す. データレコーダは市販の録音再生ボード (SST-8100A, ユニテック電子株式会社製<sup>7)</sup>) を用いた. 記録はREC-START端子をハイレベル (TTL) にすることによって行う. 記録時間は

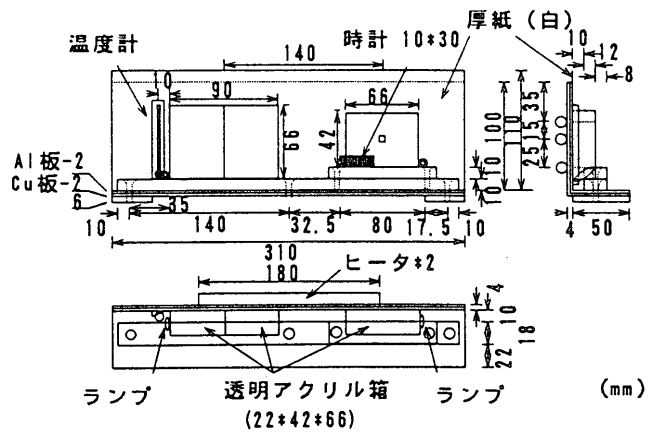


図 3.5.1 「ショウジョウバエ」用小型空気槽

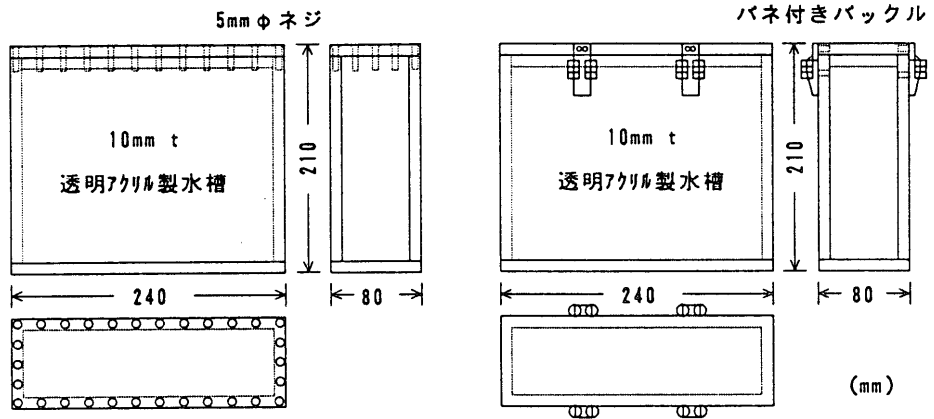


図 3.5.2 空気・水兼用アクリル槽

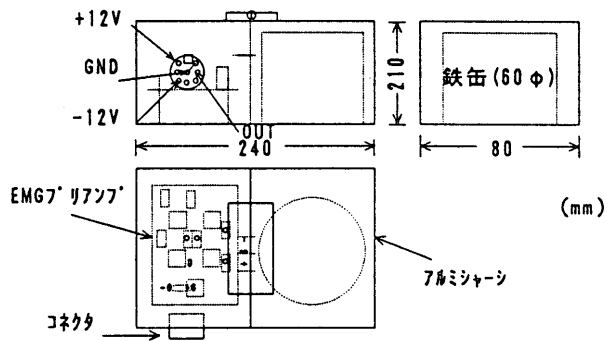


図 3.5.3 「クロコオロギ」筋電図測定用收容容器

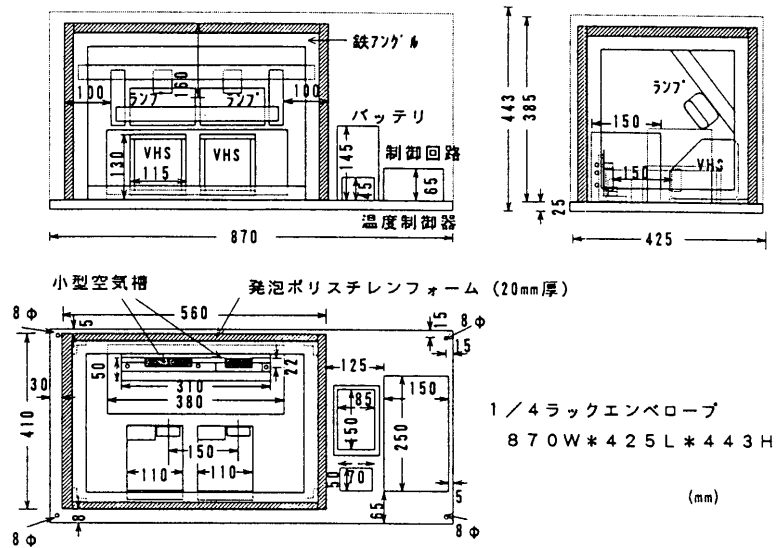


図 3.6.1 「ショウジョウバエ」実験装置見取り図

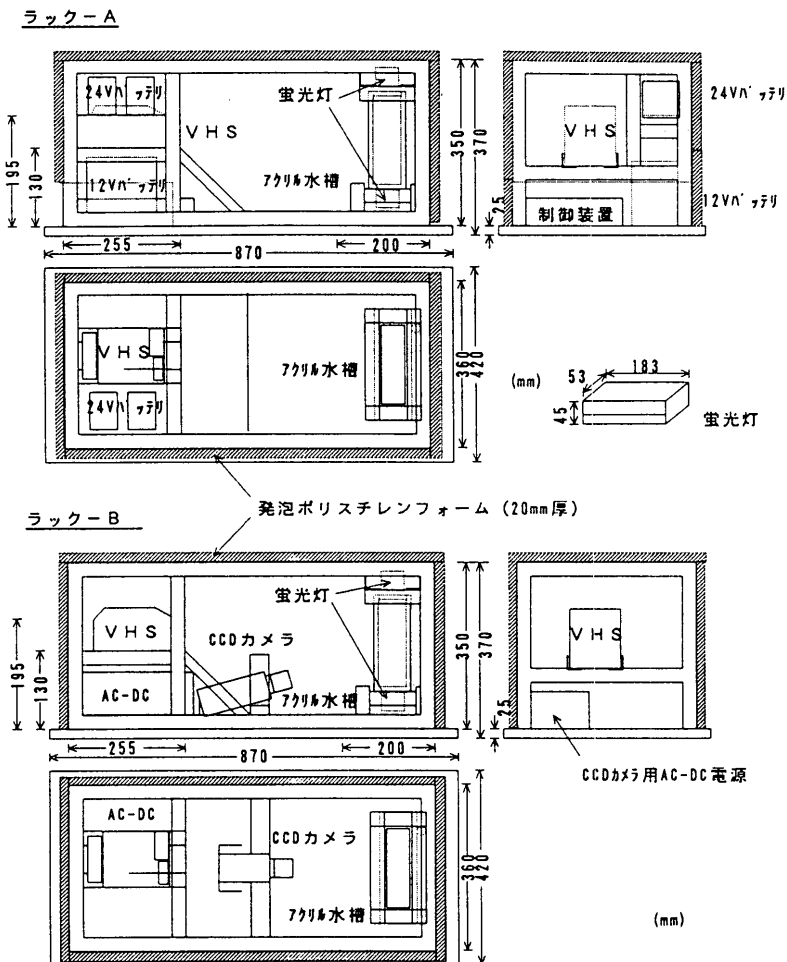


図 3.6.2 「アフリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」ラック A と「アメリカザリガニ」ラック B の実験装置見取り図

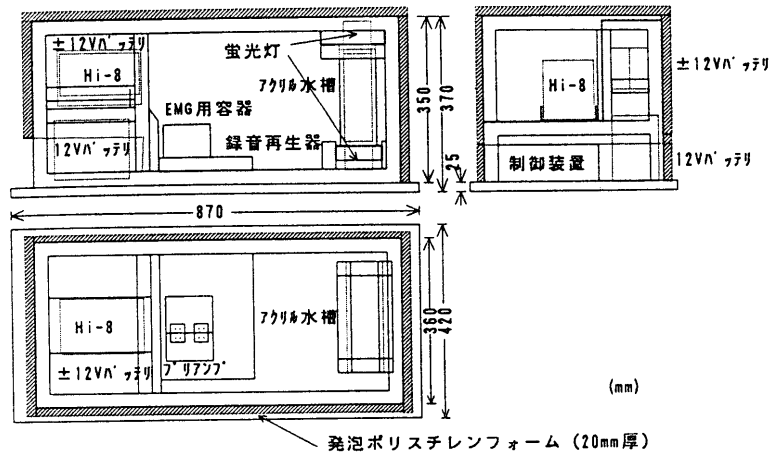


図 3.6.3 「クロコオロギ」実験装置見取り図

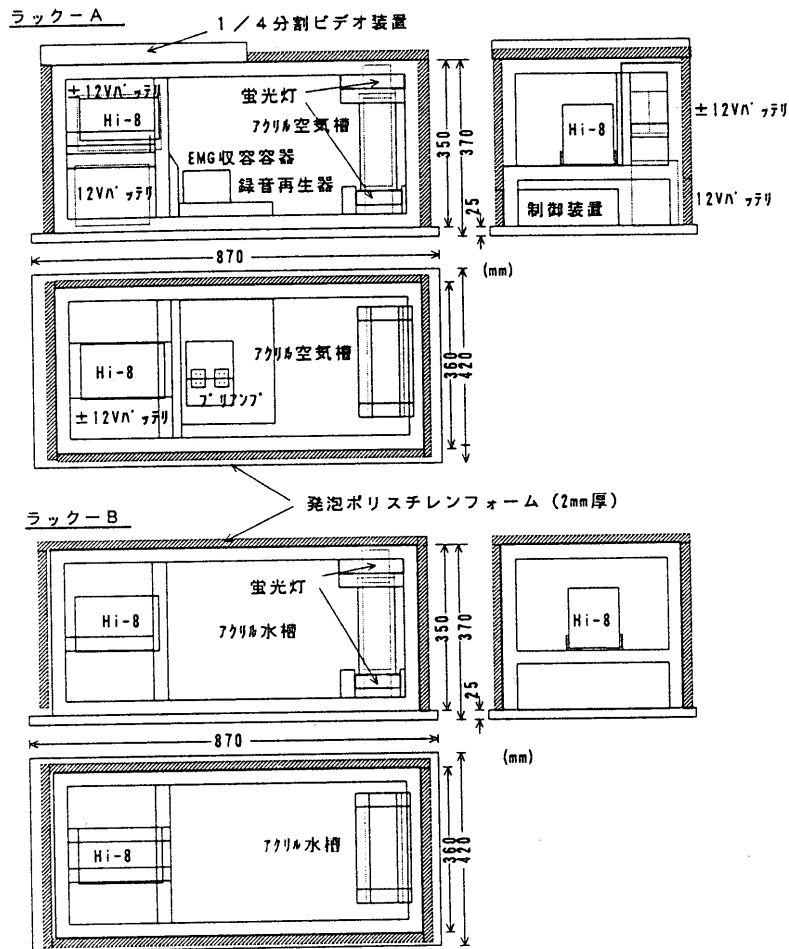


図 3.6.4 「クロコオロギ」ラックと「アメリカザリガニ」Bラックの見取り図

16秒間 (A/D12bit, 16kHzサンプル)。図 3.7.5 に録音再生ボード起動回路および外形を示す。

表 3.7.1 に録音再生ボードの使用条件を示す。

合成方式	A D P C M方式
チャンネル数	1チャンネル
サンプル周波数	16kHz
録音再生時間	16秒
ライン入力・出力	600Ω
スピーカー出力	圧電スピーカ
制御方法	T T Lレベル
電源電圧	1.2 (208mA) ~1.5V
基板寸法	230W * 140D * 30H (mm)

表 3.7.1 録音再生ボードの主な特性

## 4. 制御装置

### 4.1 落下型無重力発生装置 (JAMIC)

#### とのインタフェース

ユーザが利用できる信号には実験データとコマンドがある。(表 2.2.2A, 2B 参照) 我々の落下実験では制御装置からのシーケンス制御によって機器を操作することを基本としている。したがって、外部からの信号は制御装置への動作開始コマンドを必要とする。直接、制御モニター室から落下内カプセルへの伝送はデジタル信号 (リレーのオン: 0.3秒幅パルス) 1チャンネルを用いた。他に、JAMIC側から提供される落下開始デジタル信号 (リレーのオン: 1秒幅パルス) を使用する。

JAMICとのインタフェース用コネクタはDサブ25ピン・オスを使用した。

### 4.2 制御回路

制御回路は半導体メモリに書き込まれた規則に

従って、制御対象物をシーケンス (逐次) 制御する。回路は入力インタフェース、制御回路 (クロック、メモリ、デコーダ)、出力インタフェース等で構成する。

図 4.2.1 に制御回路のブロックダイアグラムを示す。落下前コマンド信号ラインではクロック回路を動作 (クロック発振器と周波数カウンタのリセット解除) し、ROMにプログラムされた内容でシーケンス制御を始める。落下開始コマンド信号ラインでは落下期間中の表示ランプ点灯やストップウォッチを動作する。各RS-FFはプログラム中にセットされているリセット信号でリセット状態へ反転し、各制御を終了する。

図 4.2.2 にインタフェース、制御回路の回路図を示す。制御装置への入力信号は落下前コマンド信号、落下開始コマンド信号とリセット信号 (制御回路を初期化-半自動) である。回路の入力インタフェース部にはRSフリップ・フロップ回路 (TC4011 Quad 2-Input NAND または SN74279 Quad RS FF で構成) 2組で構成する。2つのコマンド信号はそれぞれのセット信号となる。リセットは電源投入後、1回は回路的に発生するリセット信号で行われる。以後のリセットは手動 (リセットスイッチ) で行う。

落下前コマンド信号ラインではRSフリップ・フロップがセット状態になるとクロック回路を動作 (クロック発振器と周波数カウンタのリセット解除) する。クロックの発生はプログラマブル水晶発振器 (8640AN, 1MHz) を使用した。クロック周波数は2Hz (0.5秒周期) にセットした。クロック信号は周波数カウンタ (TC4520 Dual Binary Up Counter) でカウントする。カウント数は8ビットのバイナリ (2進数) 信号として出力され、メモリのアドレス信号になる。メモリはUV-E PROM (HN27C256AG-12 32,768-word X 8-bit, UV Eraseable & Programable Read Only Memory) を使用した。UV-E PROMは紫外線の照射により書き込み内容の消去ができ、ROMライターによって電氣的にプログラムができる読みだし専用メモリであることから、実験項目に応じたプログ

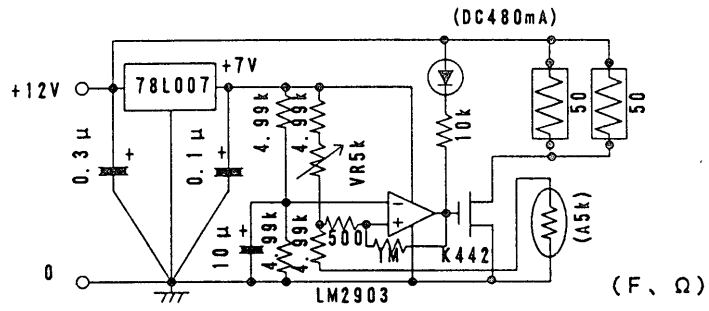


図 3.7.1 温度制御回路

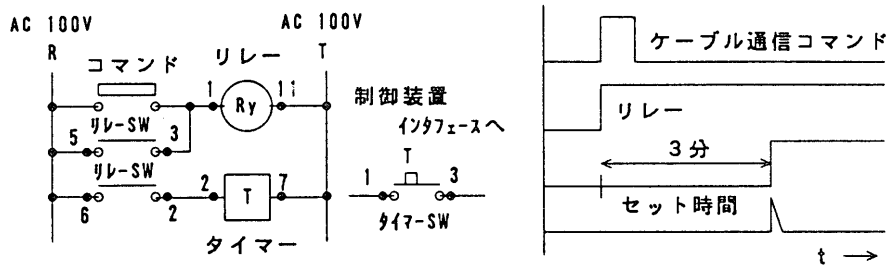


図 3.7.2 3分タイマー配線図とタイムチャート

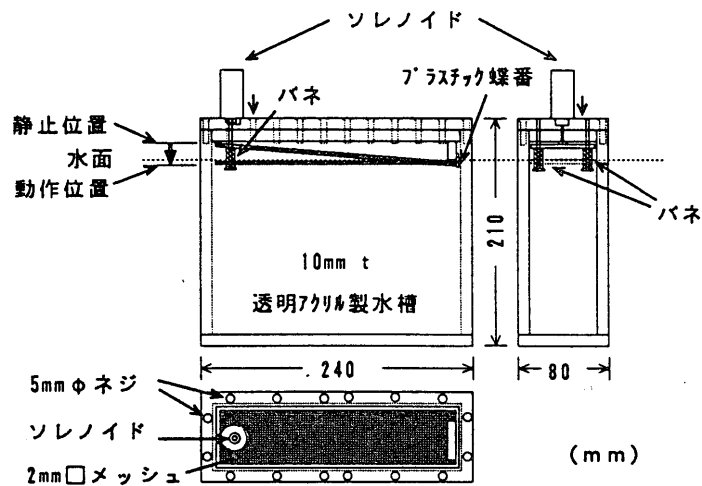


図 3.7.3 「アフリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」用空気遮断装置

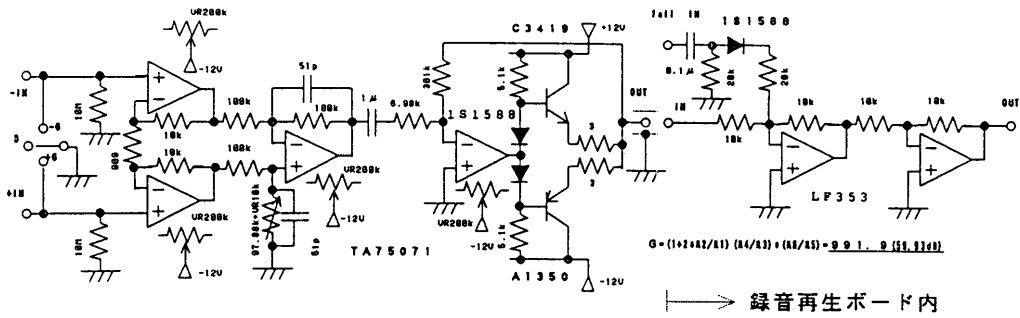


図 3.7.4 「クロコオロギ」 筋電図用前置増幅器回路図

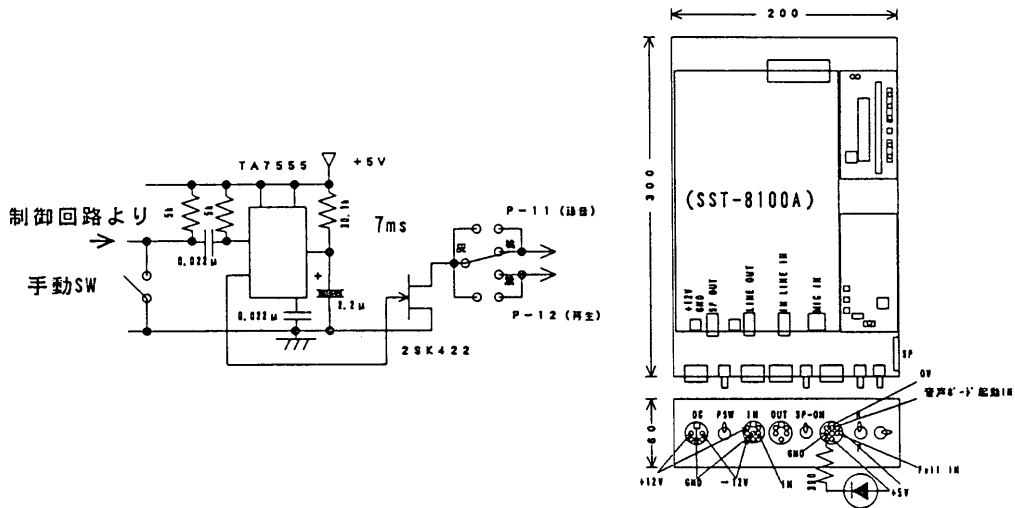


図 3.7.5 録音再生ボ一下起動回路と録音再生器の外形

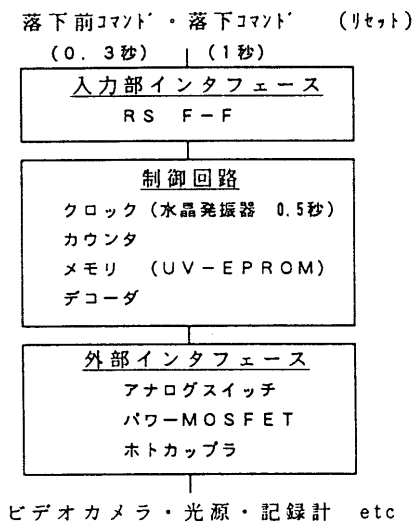
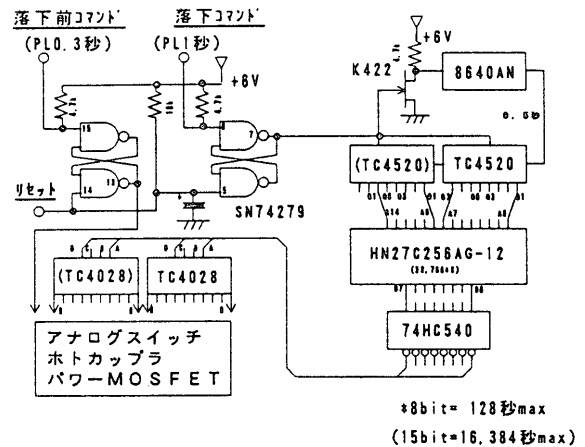


図 4.2.1 制御回路のブロックダイアグラム

ラムをその都度書換えて使用する。メモリへの書き込みはアドレスに対応したメモリ上の場所に1 (ハイレベル) または0 (ローレベル) を記憶させることによって実現する。メモリの読みだしはアドレスの設定 (A0-A14) によって行われ、先の周波数カウンタの出力信号8ビットを下位 (A0-A7) アドレスに用い、8ビットのプログラム内容を入力する。したがって、シーケンス制御可能時間はクロック周波数2Hzで最大128秒となる (15ビットアドレスでは最大16,384秒)。UV-ROMの紫外線消去によって、メモリ出力はFF (8ビットを16進数表示) にセットされる。このことから、ROMライターでのプログラム書き込みはインバータ (0を1, 1を0に反転) 信号をシーケンス制御時間に対応するアドレスだけ設定する。メモリ出力8ビットはインバータ・バッファ (74HC540 Inverting Octal 3 state Buffer) で反転し、デコーダで各チャンネルに分配し、出力インタフェース (アナログスイッチ) を動作する。素子数は実用制御項目数を考



- SN74279 : Quad RS FF
- 8640AN : Programmable Crystal Oscillator
- TC4520 : Dual Binary Up Counter
- NH27C256AG-12: UV-Eraseable & Programmable Read Only Memory
- 74HC540 : Inverting Octal 3 State Buffer
- TC4028 : BCD to Decimal Decoder

図 4.2.2 インタフェース、制御回路の回路図

慮し、デコーダに10チャンネル用 (TC4028 BCD to Decimal Decoder) 1個、出力インタフェースのアナログスイッチに4チャンネル用 (TC4066 Quad Bilateral Switch) 2個を使用する。

図 4.2.3 に各落下実験で使用した出力インタフェース回路を示す。出力インタフェースは制御項目に応じて、アナログスイッチの後にホトカップラやパワーMOSFET等を備える。ホトカップラは大電力制御 (例えば、ヒータ、照明用ライト、ソレノイド)、パワーMOSFETは中電力制御に用いる。

制御回路、電源 (6.0V, アルカリ電池 単2x4本)、VHSビデオ用リモコン、出力インタフェース素子はアルミシャーシ (70H\*230W\*14D mm) 内にしつかりと固定する。

図 4.2.4 に制御装置の外形を示す。アルミシャーシには入力用コネクタ、出力用コネクタ、動作チェック用スイッチ、電源スイッチを備える。入力コネクタにはDサブ25Pピン・コネクタ (JAMIC指定 : 14-15 落下開始コマンド、

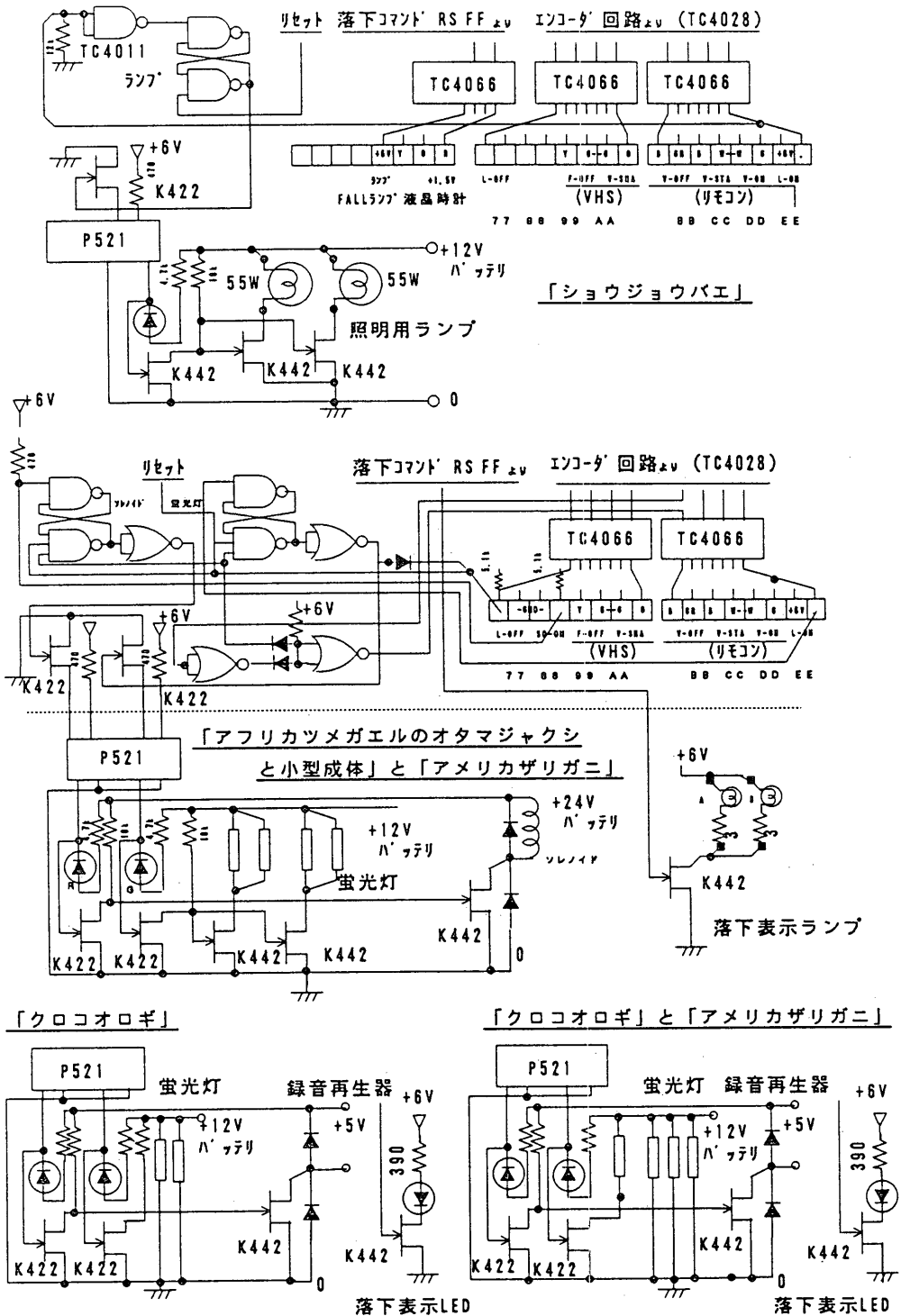


図 4.2.3 各実験装置の出力部インタフェース

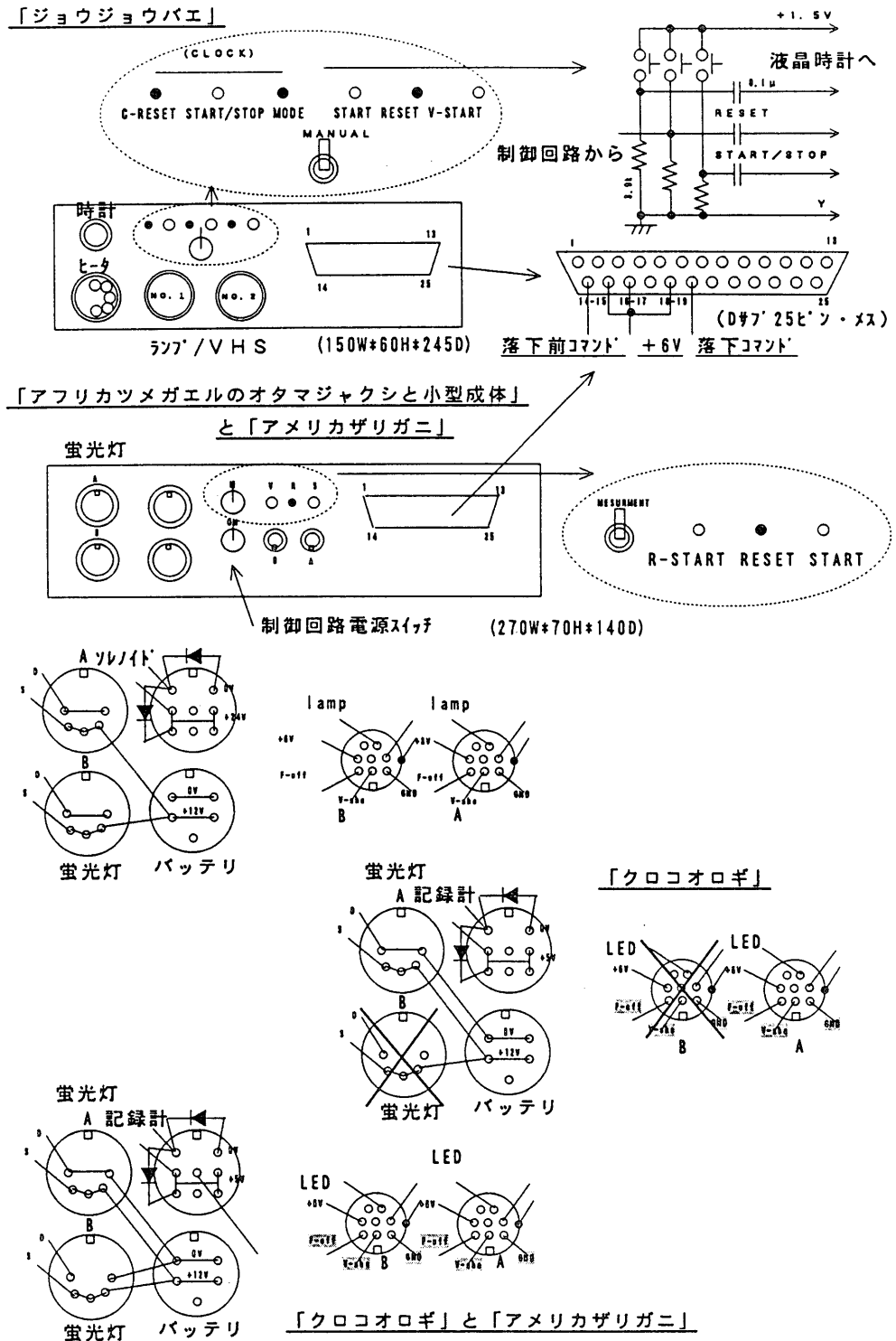


図 4.2.4 各実験装置の制御装置パネル

18-19 落下前コマンド), D I N 5 P (ランプ用電源入力)を備える. 出力コネクタにはD I N 5 P (ランプ接続用) 2組, D I N 8 P (ソレノイド用), D I N 5 P (ランプ用電源入力), ミニD I N 8 P (ストップウォッチ等) 2組を備える. 動作チェック用スイッチはJ A M I C側のコマンドに対応した押しボタンスイッチ(2個)とリセット押しボタンスイッチを備える. 電源スイッチは制御回路電源オンと, ランプ・ソレノイド用電源を出力インタフェース素子に接続する.

### 4.3 制御プログラム

制御プログラムは実験内容に直接関わる重要な部分である. 図 4.3.1 に各実験動物の落下実験の制御プログラムのタイムチャートを示す. 図中の時間表示は落下時間を0秒, 落下前を-(マイナス), 落下後を無符号(プラス)で示した.

「ショウジョウバエ」実験装置の制御プログラムは落下-30秒で制御モニター室で手動で(自動可)デジタルコマンドをオンする. 以下, 制御内容を示す. 照明用ランプオン:-2.9秒, VHSビデオカメラ電源オン:-2.7秒, シャッタ速度スイッチオン:-2.5秒(1/60), -2.4秒(1/100), -2.3秒(1/250), -2.2秒(1/500), -2.1秒(1/1000), -2.0秒(1/4000), オートフォーカス切り:-1.8秒, VHSビデオカメラ撮影開始:-1.6秒, VHSビデオカメラ撮影停止:1.8秒, VHSビデオカメラ電源オフ:4.1秒, 照明用ランプオフ:4.3秒.

「アフリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」と「アメリカザリガニ」実験装置の制御プログラムは落下-30秒で制御モニター室からデジタルコマンドをオンする. 以下, 制御内容を示す. 照明用ランプオン:-2.9秒, VHSビデオカメラ電源オン:-2.6.5秒, オートフォーカス切り:-2.4.5秒, VHSビデオカメラ撮影開始:-2.0.5秒, VHSビデオカメラ撮影停止:9.9秒, VHSビデオカメラ電源オフ:10.2秒, 照明用ランプオフ:10.4秒.

「クロコオロギ」実験装置の制御プログラムは

落下-5秒で制御モニター室からデジタルコマンドをオンする. 照明用ランプオンと8ミリビデオカメラ電源オン・撮影開始はJ A M I C引き渡し時に操作する. 以下, 制御内容を示す. データレコーダオン:-4.5秒.

「クロコオロギ」と「アメリカザリガニ」実験装置の制御プログラムは落下-5秒で制御モニター室からデジタルコマンドをオンする. 照明用ランプオンと8ミリビデオカメラ電源オン・撮影開始はJ A M I C引き渡し時に操作する. 以下, 制御内容を示す. データレコーダオン:-4.5秒, 「アメリカザリガニ」の上部照明オフ:5秒, 「アメリカザリガニ」の上部照明オン:15秒.

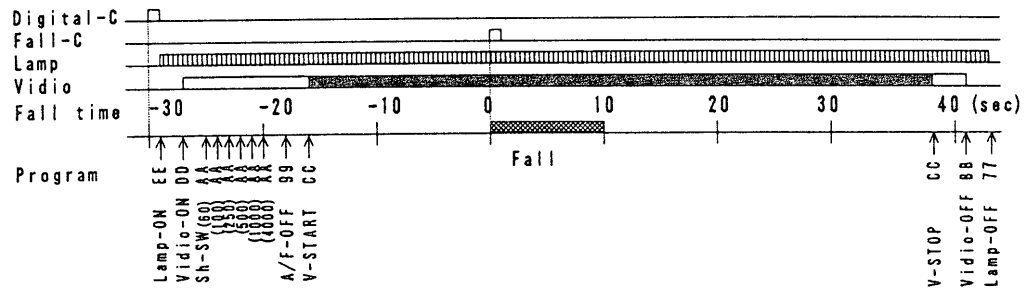
## 5. 実験結果

「ショウジョウバエ」落下実験はショウジョウバエの飛行状態(特に羽の動きに注目), を2台のVHSビデオカメラで撮影した. 照明, 2台のビデオカメラ制御は順調に作動し, 良好な映像が得られた. 温度制御はJ A M I C引き渡し時から作動していたがビデオ映像から温度計は2.8℃を示しており, 目標値(2.8~3.0℃)に達していた. 落下表示ランプと液晶時計は誤動作をした. 内カプセル内の周辺電磁ノイズの影響か?(制御装置の入力インタフェース回路にCMOSを用いた.) 微小重力レベル, 制動重力レベルは0.00044gと7.5g(最大値)であった.

「アフリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」と「アメリカザリガニ」落下実験はラックA(前者)に制御回路を搭載し, ラックA, ラックB2台を同時に制御した. 前日(92'8.11)の同じ落下実験ではフォーカスがずれたままフォーカスロックし, ビデオ撮影に失敗した. 今回(8.12)の落下実験ではビデオカメラ制御は順調作動し, 良好な映像が得られた. ラックAの空気遮断装置は正常に動作し, 水の動きによる気泡の発生は見られなかった. ラックBではJ A M I Cから借用したCCDカメラでの撮影も良好に行われ, カプセル搭載VTR, 制御モニター室VTRに録画さ

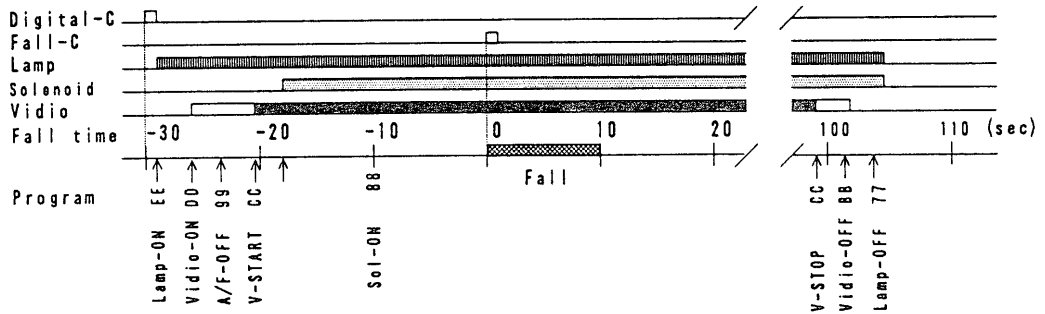
「ショウジョウバエ」

(91' 10. 31)



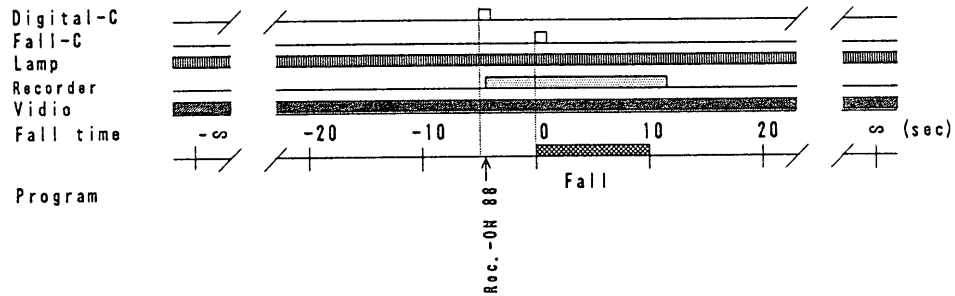
「アフリカツメガエルのおたまジャクシと小型成体」と「メリカザリガニ」

(92' 8. 12)



「クロコオロギ」

(92' 9. 7)



「クロコオロギ」と「アメリカザリガニ」

(92' 10. 22)

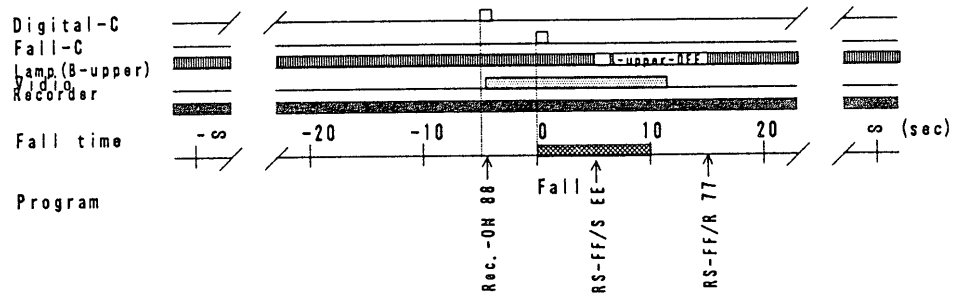


図 4.3.1 各落下実験の制御プログラムのタイムチャート

れた。微小重力レベル、制動重力レベルは0.0004gと7.9g（最大値）であった。

「クロコオロギ」落下実験は映像撮影に8ミリビデオカメラを用いた。8ミリカメラは手動ピン調整が可能で、撮影時間が2時間あるので、JAMIC引き渡し時から蛍光灯、8ミリビデオカメラを撮影状態とした。制御は音声再生器を起動は制御回路で落下4.5秒前動作した。ビデオ撮影の他に「クロコオロギ」の足に筋電図電極を挿入し落下前後16秒間発生した筋電図を音声再生器に記録した。良好な筋電図波形が得られた。筋電図電極の測定部位を図5.1に示す。測定した筋電図波形を図5.2に示す。微小重力レベル、制動重力レベルは0.00066gと8.9g（最大値）であった。

落下実験（「アフリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」&「ザリガニ」92'8.12）でのJAMIC環境支援データ（内カプセル）の例を以下に示す。落下開始時刻は12時31分53秒。

図5.3Aは落下前から落下終了後までの内カプセル内の騒音を騒音計でモニターした結果を示した。（時間範囲35秒、相対騒音量）落下開始と同時に共同実験者のウズラの羽ばたき音が記録されている。羽ばたき音はビデオカメラのマイクによって、映像と共に録音されている。

図5.3Bは落下中（10秒）の微小重力（Z軸方向）を $\mu$ -gセンサでモニターした結果を示した。落下中の微小重力は落下約0.5秒後から終了まで0.0004g以内を示している。

図5.3Cは落下直前から落下終了後の制動重力を制動重力センサでモニターした結果を示す。（時間範囲15秒）制動ブレーキが段階的にかけられている。最大制動重力は7.94g。

「クロコオロギ」と「アメリカザリガニ」落下実験で映像撮影は前回と同様に8ミリビデオカメラをラックA、ラックBに2台使用した。良好な映像が得られた。また、「クロコオロギ」も映像の他筋電図の記録を行った。「アメリカザリガニ」は落下開始5秒から上部照明を10秒間消灯する。制御は筋電図記録開始信号と照明の消灯・消灯・

点灯動作の3項目で、良好な筋電図波形が記録され、ビデオ映像から照明の動作も確認された。2台の8ミリビデオカメラのモニタ映像信号は1/4分割ビデオ装置を介してカプセル搭載VTRと制御モニタ室VTRに良好に録画された。微小重力レベル、制動重力レベルは0.0004gと8.5g（最大値）であった。

無重力での実験動物の行動変化<sup>8)</sup>を以下に示す。「ショウジョウバエ」は無重力状態では羽ばたきをしなない。「アフリカツメガエルのオタマジャクシ」は頭から腹部方向へ回りこんで円を描いて泳ぐ。変態完了後の小型成体は体をねじりながら水中を上昇した。「アメリカザリガニ」は2回の実験で特記すべきことがない（高畑）。「クロコオロギ」は2回とも空中に浮き上がり、特に羽ばたきはない。筋電図は無重力と同時に発生した。

図5.4に落下実験の要約を示した。

## 6. おわりに

本実験は電子科学研究所電子情報処理部門神経情報研究分野（下澤楯夫教授）の教職員・大学院学生全員が関わった。高畑雅一助教授（現・理学部教授）は実験責任者として常に落下実験にたずさわわり、「アメリカザリガニ」による実験を提案された。馬場欣哉助手はスタッフとして落下実験にたずさわわり、「ショウジョウバエ・アフリカツメガエルのオタマジャクシと小型成体」、「クロコオロギ」と同筋電図測定を提案され、実験動物の実験条件などのソフト面を担当された。大学院学生諸君（丹羽三佳子、清水 利伸、岡田 康夫、中村 秀樹、中村 信通、増田 宏、熊谷 恒子、菊川 峰志）は実験スタッフとして常に数人が交代で落下実験に参加し、実験動物の実験条件決定などのソフト、ハード面に参加した。下澤楯夫は研究実施責任者として落下実験の総指揮を執った。土田義和は落下実験に初めから参加し、直接ハード面を担当したことから、今回の技術部技術発表となつた。

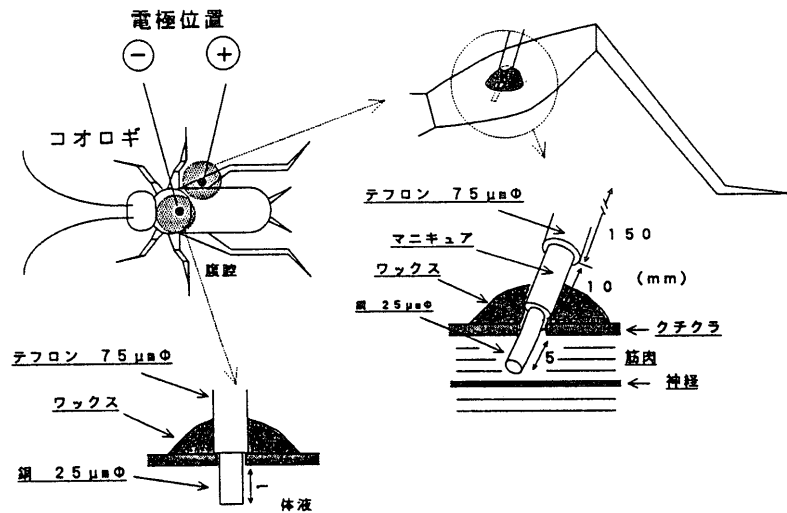
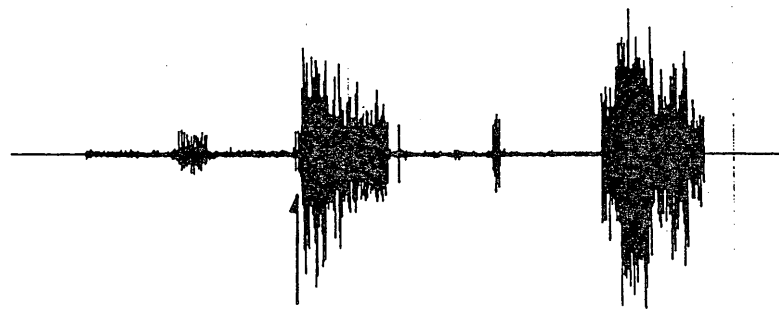
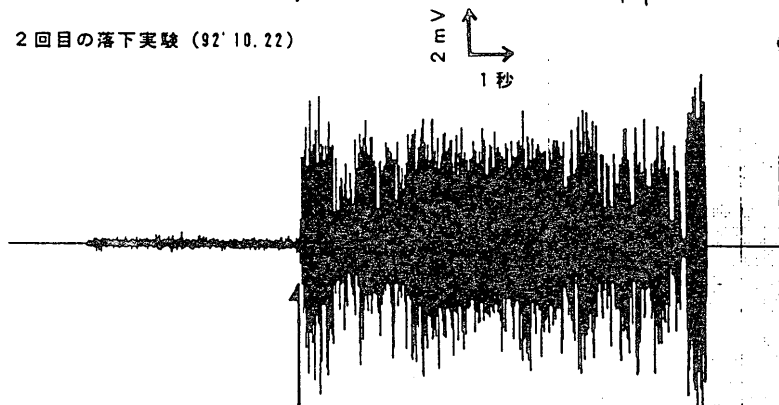


図 5.1 「クロコオロギ」の筋電図 (EMG) 測定電極部位

1 回目の落下実験 (92' 9.7)



2 回目の落下実験 (92' 10.22)



落下

200 020: 30

図 5.2 「クロコオロギ」の筋電図波形

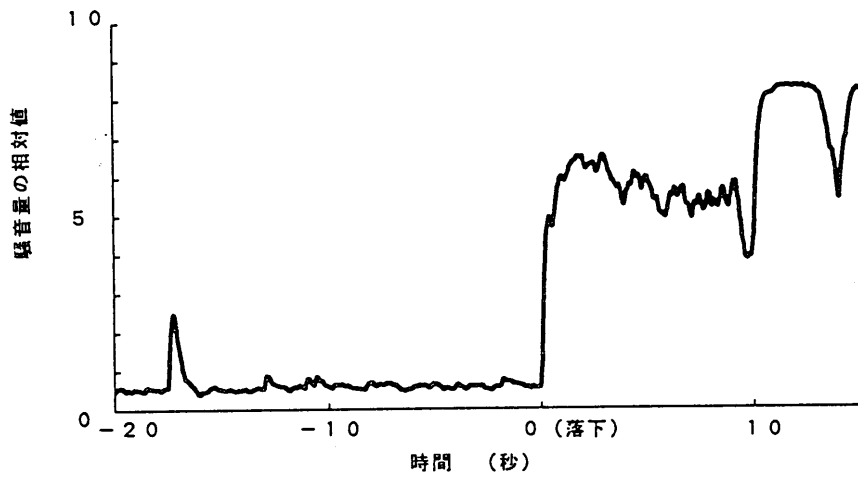


図 5.3A 落下中の内カプセル内の騒音モニタ結果

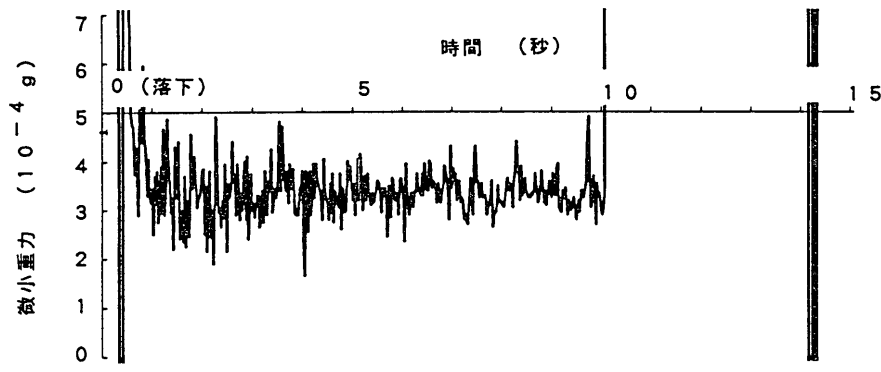


図 5.3B 落下中の $\mu$ -gセンサ (微小重力) のモニタ結果

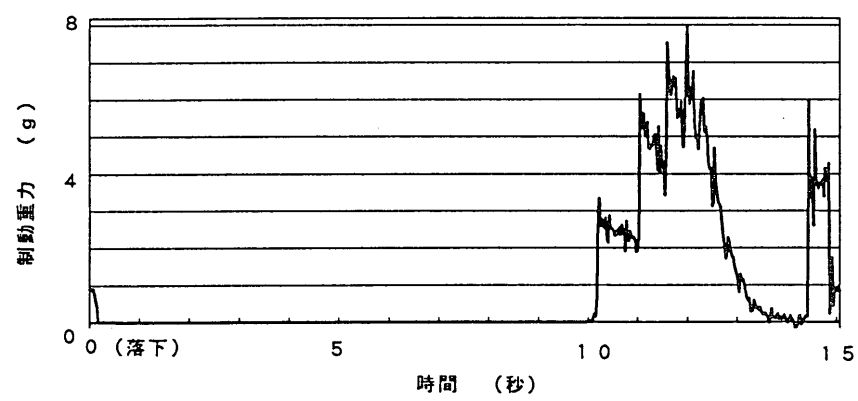


図 5.3C 制動重力センサのモニタ結果

主催 団体名	J S U P (財)宇宙環境利用推進センター (JAPAN SPACE UTILIZATION PROMOTION CENTER)		平成4年度 先端技術研究施設 啓蒙イベント事業落下実験 上砂川町	
実験年月日	91'10.31	92'8.12	92'9.7	92'10.22
実験対象動物	ショウジョウバエ	オタマジャクシ フナ	コオロギ	コオロギ フナ
全体寸法 (使用コンテナ)	A 1/4777	A 1/4777 B 1/4777 425Lx870Wx433H (mm)	A 1/4777 [1/4777]	A 1/4777 B 1/4777
槽種	空気槽 (1,2ヶ用) 24Lx66Wx42H, 1t (mm)	水槽-A 水槽-B	空気槽-B 240Lx210Wx80D, 10t (mm)	空気槽-A 水槽-B
総重量	24Kg	29.3Kg 20.5Kg	29.6Kg	29.6Kg 20.5Kg
微小重力レベル	0.00044 G	0.0004 G	0.00066 G	0.0004 G
制動重力レベル MAX	7.5275 G	7.9425 G	8.9325 G	8.5425 G
制御対象 1.ビデオカメラ	S-VHSC (GR-LT7) *2	S-VHSC (GR-LT7) S-VHSC (GR-LT7) CCD(JAMIC借用)	HANDAYCAM(Hi-8) (TR900)	HANDAYCAM Hi-8(TR900) #3 HANDAYCAM Hi-8(TR900) #2
電源	ビデオ専用バッテリー	ビデオ専用バッテリー CCD-JAMIC搭載 AC100V電源	JAMIC側搭載 AC100V電源	共にビデオ専用(2h)バッテリー 1/4分割ビデオ装置 (JAMIC搭載AC100V電源) 1 2
2.光源(ライト)	ハロゲン球 55W*2	蛍光灯 4W*2	蛍光灯 4W*2	蛍光灯 4W*2 蛍光灯 4W*2
電源	12Vバッテリー ( YTX12-BS;10Ah、152Lx88Wx131H mm)			
3.記録 その他	保温用ヒーター サーモスタット付き (6W)	空気遮断用ソレノイド (DC-SOLENOID SHINDENGEN SIZE 75S PUSE 30.9Ω)	アルミ製コウロギ収容箱 (EMG用フタ)を含む。 & (140Lx95Wx60H, 1t mm) デューティコウロギ SST-8100A (300Lx200Wx60H, 1t mm)	
電源	光源用バッテリーと兼用 (12Vバッテリー)	24Vバッテリー	±12Vバッテリー (12Vx2 GT4B-5;2Ah, 85.5Lx38Wx113H mm)	
利用コマンド (デジタル)	落下前 30 sec (光15-16) PL-0.3 sec		落下前 5 sec (光15-16) PL-0.3 sec	
	落下コマンド (JAMIC側起動) (光18-19) PL-1sec			
コントローラインタフェースIC 主な使用IC	CMOS CMOS, UVROM	TTL CMOS, UVROM	TTL(LS) CMOS, UVROM	TTL(LS) CMOS, UVROM
電源	6.0V (単2x4)			
備考	*JAMIC側光伝送不良 の為 JAMIC側が準備 した 3minタイマーを用 いて ケーブル通信でデ ジタルコマンドを起動。	*フナAのコントローラで2台を制御。 *8/11 S-VHSCカメラ 2台ともフォー カスがズレの状態へ動き、そのま まフォーカスロックした為、ビデオ撮影 に失敗した。(8/12と同実験)	*コオロギのEMGは落下5 秒前のデジタルコマンド から16秒間記録。 (録音再生モード SST-8100A)	*コオロギのEMGは 前回と同じ。 *フナ水槽の上部照明を落下 開始 5秒後から消灯。 (10秒間) @落下5分前にLEDが点灯。 (カメラ用ライト起動時のノイズ) @ライト電源はAC100Vよりスイ ッチレギュレータを使用。
共同実験者	A: 伊藤 隆 B: 山本 隆 C: ショウジョウバエ * D: 金魚 :佐原 隆	フナ * ウズラ :富田 名大 隆 ウズラ :富田 名大 隆 オタマジャクシ *	コオロギ :荒磯 電 コオロギ :飯塚 農 コオロギ :佐原 農 コオロギ *	コオロギ * フナ * 気泡(コオロギ) :八田 工 カメラ :最上 お茶大

図 5.4 落下実験の要約

## 参 考 文 献

- 1) 伊藤 献一；地下無重力落下実験－実験施設・実験概要紹介－IN SPACE '92－宇宙環境利用交際 シンポジウム－前刷集.
  - 2) 「地下無重力実験センター ユーザガイド」  
初版 平成3年3月，改訂1版 平成4年3月  
(株)地下無重力実験センター発行.
  - 3) 「VHSビデオムービー GR-LT7 取扱説明書」 日本ビクター株式会社.
  - 4) 「ビデオカメラレコーダHi8 CCD-TR900 取扱説明書」 ソニー株式会社.
  - 5) 「AV用語集」 ビデオSALON 11月号付録  
(1993) 玄光社.
  - 6) 「最新AV入門－高画質ビデオから衛星放送まで－」 林正義著 啓学出版.
  - 7) 「SST-8100A 扱い説明書」 ユニテク電子株式会社.
  - 8) 「平成3年度無重力落下実験施設利用デモンストレーション実験成果報告書」  
財団法人 宇宙環境利用推進センター.
-