

# サイエンスショー「あっ！落ちるっ～ 落下と重力サイエンス」実施報告

久松 洋二\*

A working report of “free fall and gravity”  
Yoji Hisamatsu

Gravity have been captured the unavoidable force on the earth. Usually, we merely recognize the existence when we support something to prevent from falling or we saw a result caused falling. We have little interest in the middle of the falling motion. However, falling motion that occur in an instant is presented the rich appearance. It is reported that the substance of the demonstration of various figures caused falling motion in Ehime pref. science museum.

## はじめに

好む好まざるにかかわらず、われわれは常に重力の元で生活している。身体の構造も基本的な思考の概念も重力がある前提の上に発達している。「落ちる」という言葉はその力が下向きであることを表す。支持されないものはすべて下向きに運動を始めるので、それを避けるさまざまな工夫が存在する。われわれはあたりを簡単に見回すことで、相当数の落下を阻止する工夫を見つけることができる。同時に、運動を停止させ物体を固定する摩擦が有効に作用することも、重力が万有であり地球上のすべてのものに地球による重力が作用する結果である。

「落ちる」ことは、すなわち運動を意味している。にもかかわらず、日常では、「落ちるかも知れない」可能性（しばしばそれは危険性をあらわす）や「落ちてしまった」ために引き起こされたこと（ほとんどの場合悲劇的結果）のように、つり合いや結果しか注目しない。過程は心理的描写に使われることが関の山である。そのため本実験は「落ちる」過程を扱うことで、日常の「落ちる」現象を科学として見直してもらうことを目的とした。「落ちる」自然な姿とは何か。それはどのような点に注目して観察すれば統一的に見られるのか。落下の本質的な運動とはどのようなものなのか。落下で引き起こされる現象には何があるのかななどを、親しみやすい例を実演して解説した。本質を抜き出すために非日常的な実験をも行うが、自然な仮定の検証として提供した。

本稿は愛媛県総合科学博物館において、平成13年9月から12月の間に行われたサイエンスショー「あっ！落ちるっ～ 落下と重力サイエンス」の実施報告である。実

験は1回20分程度行われた。来館者一般が対象で、3ヶ月の間に約200回実演された。

## 実験項目

- ・重さと重いこと
- ・地球での常識
- ・空気がないと
- ・モンキーハンティング
- ・重さがなくなる

## 実験の構成と内容

落下に伴う物理現象を実験した。重力は恒常的に感じる力であり、落下は日常的に目撃する運動であるが、その現象を改めて考える習慣は一般的にない。落下とそれを引き起こす「重さ」について整理をすることで、見ているにも関わらず見過ごしていたことについて考える機会を提供することが目的である。

実験の構成は次のとおりである。まず、落とす力である「重さ」を説明し、空気のある中での落下を観察する。次に空気がなければ落下はどのように変わるかを観察した後に等価原理に簡単に触れる。最後に無重力下での振り舞いを実験する。重さをなくするためには落下が関係する。重さがないと日常と何が違うのかを調べるのである。

## 重さと重いこと

落ちることは下に引っ張る力が存在する。その力の大きさを重さという。「重さ」は日常で使う言葉でありながら、そこには物理的な意味も含んでいることを強調した。一方で「重い」は程度を表す修飾語、または重さを

\* 愛媛県総合科学博物館 学芸課 科学技術研究科  
Dept. of Science and Technology Ehime Pref. Science Museum

支える身体の負担についての主観的な感想なので、似たような使い方をする言葉である。これらの言葉を対比させながら、「落ちること」その原因である「重さ」といった実験のテーマを明確にさせた。

重さは測定場所に対して一定値が得られるが、重く感じることは、体験者がどのように物体を支えるかに依存するところに大きな差があることを実験で示した。観覧者の「重さ」に関する意識を調整する役割である。実際に観覧者が体験することも、意識の統一に一役かっている。

### 地球での常識

重いものと軽いものを同時に落とすとどちらが速く下に落ちるか？一般的には重いものの方が速い。地球上での常識である。自然現象（たとえば、雨粒の大きさで雨の降り方や雨音が違って聞こえるなど）から紙を舞い落とすゲームに至るまで、この常識はよく目にされる。自然がわれわれに見せる姿はこの姿である。落下の本質である「そのものの質量によらず平等な加速度（重力加速度）を得る」ことを理解する前に、ありのままの姿を確認する必要があると考えて行った。重いものや断面積の小さいものが速く落下することは、即ち空気抵抗の大きさを表すのだが、それはよく分からない効果ではなく、ある程度簡単に評価できる<sup>1)</sup>ことも簡単な実験を交えて印象づけた。

### 空気がないと

紙や羽を落下させ、その落ちる姿を見ることで、空気抵抗の存在をよく印象づけることができる。空気のあるところで人形と紙を同時に落として、落下にかかる時間と落下の軌跡を観察した。落下すると空気が影響することを示した後に、空気がないところで同じ実験を行った。結果は2つが同じ落ち方を示す。このことから、空気さえなければ、または空気の影響が無視できるときは、落下に個性は乏しく、平等であることを説明した。

### モンキーハンティング

同時に落ち始めたものは、その初速度に関係なく、同じ時刻で同じ距離を落下する。落下だけ抜き出せば、運動状態に関わらず平等であることを示す実験として行った。打ち上げられた弾と落ち始めたサルが衝突することは、目にすると不思議な印象を与える。

### 重さがなくなる

自由落下で無重力を作り、無重力下での振る舞いを観察した。実験を始める前に、無重力は自由落下で作れることを説明した。無重力ではないが、加速度運動で体重が軽くなったり重くなったりする経験は誰にでもあるは

ず。短い上り下りのある道や下り坂が終わるところ、またはカーブを高速で走り抜ける時、膝を後ろから折られる位などはその例である。普通は、体が軽くなる重くなるを意識するより、気持ち悪い感覚を記憶している。その日常的な記憶を理科で解釈し、落下と無重力の話へと導いた。

無重力での振る舞いを見せる対象物は、ゴムで支持されたボールや水に浮かんだスーパーボールなどである。

### 実験機材と解説

展示室内にある実験ショーブースのステージで落下実験するために、落下している時間は非常に短い。それは1秒にも満たない。観覧者は実験を見るだけ。まして自分でストップウォッチを持っているわけでもないのだから、その実験時間であるべく集中しやすい工夫を心がけた。具体的には、落下物を大きくすること。少しでも落下時間をかせぐこと。実験を見る視線を少しでも高くすること（これらのことは結果的に実験装置を大型にした）。落下物の色味をはっきりさせること。落下させる瞬間を明確にすること。落下物と落下のどこに注目すればよいかを明確にすることが挙げられる。実験とその機材は以下のとおりである。

### 微妙に重さの違うおもり

5 kgf 程度のおもりを3種類用意した（写真1）。どれも同じ重さにしなかったのは、観覧者に体験してもらい、自分の感覚で感じてもらいたかったからである。どれも同じ重さかも知れないと疑いながら体験する場合と、最初から重さが違うことを明らかにされてから体験する場合では、重さを感じ取る感覚が心理的に異なる。予備実験の結果から、後者の方が自分の感覚に正直になることが期待されたために、異なる重さのおもりを用意した。

用意したおもりは綿のつまった布団袋と鉄の塊、砂袋である。それぞれ数グラムの誤差を含むが5.2kgf、5.5kgf、4.8kgfとした。「同じ重さの綿と鉄では、綿の方が体に負担される力のモーメントの関係で、体積の大きな綿をより重く感じるはず」という知識を持っている人は意外に多い。しかし、袋に入った綿はあまり変形しないこと、この程度の重さを上半身で分担して支えることで特定の関節に大きな負荷がかからないことから、200gfの差があったとしても綿の方を軽く感じてしまう。知識をほんの少し裏切るために重さを設定した。体験者の大多数の感想は、重い順に鉄、砂袋、綿とする印象を受けた。もちろん、持ち上げる姿勢にも依存する。実験に使った3種類のおもりは床におかれていた。指名されて慌てて体験すると、腰を曲げてほんの少しだけ持ち上げる

ので、肩と腰の負担を重視してしまったことも記しておく。

### 空気抵抗を評価しやすいもの

実験はすぐ終端速度に達するほど軽量で断面積が大きい物がよい<sup>2)</sup>。終端速度を比較することで、身の回りにある物の多くが速度の2乗に比例し断面積に比例する抵抗を持つこと、質量の平方根と運動方向に垂直な代表的長さに比例する終端速度を持つことを実感してもらう。今回は紙風船を使用した(写真2)。脚立を使用して4枚重ねの紙風船を2mから、1枚の紙風船を1mから同時に落下させ、同時に着地することを実験した。そのほか折り畳んでセロテープで接着し、直径を半分にした紙風船とそのままの紙風船で、やはり高さの差を2倍にして同時に落ちることを確認した。

身の回りの空気抵抗について、紙や羽、雨粒の落下の振る舞いや質量と速度の関係についても解説した。空気抵抗のおかげで雨にうたれても我々は平気であるが、雹は時に大きな被害をもたらすこと、スカイダイビングの落下速度や落下を始める時間差があっても空中で追いつくことができることなど、代表的な数値を引き合いに出しながら簡単に解説した。

### 真空落下

本当に空気抵抗がなければ、同じ加速度で落下することを示すための実験である。空気中で紙とビニルの人形(写真3)を落下させ、圧倒的に紙の落下時間が大きいことを示してから、デシケータ(写真4, 5)の中に入れ真空にひいた後、同時に落下することを実験した。落下距離は1m。時間にして0.3秒も満たないが、落とす物を大きくすることで、落下物への注意を引いた。デシケータは直径300ミリ、厚さ10ミリのアクリル円筒を用い、上下に15ミリ厚のアクリル板で吸着させた。接合部はゴムシートとグリスのみを使用した。落下物の固定はコイルを使った(図1, 2)。

1mの落下距離は短いため、デシケータは高さ800ミリの台車の上に置いて高い視線で落下を観察できるようにしている。空気がなくなることは目に見えないので、落下物に空気で膨らまずビニル人形を用いた。微量の空気を封入した人形が真空度が上がるにつれて膨れだす。十分に人形が膨らむことで、高い真空度が達成されたことの指標とした。

紙と人形の上部にはワッシャーとボルトをそれぞれ貼りつけて、コイルの磁場で固定する(写真6)。紙に貼り付けたワッシャーはなるべく軽い物を使用した。

真空ポンプを止めた後に実験を行いたかったが、自作のデシケータはリークとの戦いで、ポンプを止めるとすぐ実験結果に影響が出た。そのため、ポンプを動かさな

がらの実験を強いられたことが残念であった。

### モンキーハンティング

床面の距離で約3m離れた標的を打ち落とす実験を行った(写真7)。標的は約2mの高さから落下し、床から600~900ミリあたりで命中する。装置を設置したステージは観覧者の床面から200ミリほど高くなっているので、1mほどの高さが命中位置となる。

名前に従ってサルキャラクターを標的に使った(写真8)。標的は林のジオラマを製作し、張り出した木に取り付けたコイルにサルが吸着する。打ち落とすための発射装置には犬の造形を施し(写真9)、武器の印象を和らげてある。弾はピンポン玉を使用した。落下物を大型(約250ミリ)にしたので、実験装置全体はかなり大がかりな印象を持つ。カラーのピンポン玉が命中判定を容易にさせた。

弾が発射した瞬間にサルが落下を始めると必ず命中することは、ベクトルの合成で説明した。正確に狙われていれば、重力がないなら必ずあたる。サルと弾の落ち方(重力加速度)が同じだから、弾はサルにあたる運命にある。重力があるかないかで起こる過程は、サルにとってはまわりの風景が変わるか変わらないかの差でしかない。という意味のCGを制作し、説明に用いた。

弾の発射装置はプラモデルのランチャーを改造した。サルを固定するコイルの電源が、弾が発射した瞬間に切れるように接点(写真10)を製作した<sup>3)</sup>。落下している間、標的のサルはほぼ自由落下するが、ピンポン玉は軽すぎて、サルに命中するまでの間にはほぼ終端速度に達する。そのため、正直に狙えばまずあたらない。サルの少し下を狙うことになる。その誤差を埋めるために、ランチャーの先端には照準器としてレーザーを取り付け、レーザー光はサルを狙うように調整した。ショーであって見るのが重要であること、定量的な実験でないことから、演出を優先させた。真空落下での説明との対比から、実験中にこの実験が精密でなく、命中するように調整をしていることは明言した。

また、この実験は失敗しづらかった。説明の検証なので裏切る結果は印象が悪いことに加え、実験のセッティングに時間がかかるので流れが止まるという一般的な理由もさることながら、動物を標的にして何度も撃ち落とすことは観覧者の気持ちを、特に子どもをつらくさせるからである。

### 自由落下

最後は重さからの解放を観察する実験である。1辺300ミリ立方体のアクリルケースを落下させる(図3, 4)。そのケースの中に落下物を入れて、落下中の振る舞いを見る。落下するケースにはCCDカメラを取り付

け(写真11, 12), 装置が見えにくい遠くの観覧者もモニタできるように配慮している。落下距離は1.2m程度である。落下物はゴムにぶら下がる球, 振り子, 水に浮いているスーパーボールである。落下物が小さく, 落下に伴って視線を移動させながら, ごく短時間にその振る舞いを観察することはまず不可能である。なるべく色のコントラストをつけたものを用意した。どこを見るか前もって注意しても, 予備知識のない状態から変化を発見し, その変化に集中するには, 時間があまりにも短すぎる。実際に行う落下運動は, 観客に実験を見たという現実感と満足感を与えるための演出の側面が大きい。現象を説明するために, あらかじめ撮影しておいた映像を10%のスローモーションとして編集した映像を見せながら解説した。

## ま と め

すべてのものは落ちる。そのことは地球上で生活しているわれわれにとってあまりにも自然なことであり, 逃れることのできないことである。重力に抗するためにさまざまな工夫を行い, 気づかないうちに利用していたりする。水平なところは固定しやすいことや, ものをつくり組み立てるより壊すことの方が簡単であることも重力の影響なのである。何かが落ちれば, われわれは普通, 落ちた結果のことが気になる。落ちて割れたこと壊れたことや支えがはずれたこと, 汚れたことだけが気になる。結果が悲劇的であればあるほど経過を忘れてしまう。もちろん, このことは落ちている過程が一瞬であることとも無縁ではない。実験ならば, 落とすことを予告しているので, 安心してその過程を観察することができる。落ちたことや落としたショックで頭が真っ白になっている瞬間, 本来物体はどのような姿をしているのか, いつもより感覚的にゆっくり移動する姿に思いをめぐらせてもらったのではないかと考える。落ちることはあまりにも身近であるから, いつでもその気になれば, 損害が気にならないまたは発生しない時に限り, 今回の実験で触れた着眼点を検証することができる。

ショーを行っていてひとつ気になったことがあった。紙風船の落下の実験である。この実験は, 著者が学生の時, 理科教育法の講義の中で講師によって指摘された重要な事を思い出しながら加えた実験である。その指摘とは, この問題に答えられない理由が流体力学の初歩を知らないためであってはならない, ということであった。まず, 自然の姿があり, 次にその中の本質を抽出するモデルがこなければ, 理科は教科書の中だけの知識になってしまう。この実験と質問は, 当時受講していた物理専門の学生ほどよく間違えた問題であった。実験の内容もさることながら, ショーで出題すると来館者はどのよう

に答えるかの興味もあった。正しく調査したわけではないが, 「同時」と答える観客が意外に多い印象を持った。突然質問されたことによる判断力の低下なのか, ガリレイの実験に関わる話の印象があまりにも強力なのか。正確なスタイルで調査することも興味深いと思われる。本質を抽出した原理や法則, 印象深い派手な姿も大事であるが, 自然な姿を確認する作業もショーに取り入れるべきであると考えている。

## 謝 辞

本実験で使用した実験装置の一部は, 当館の進学芸員に製作していただいた。ここに感謝の意を表します。

## 引用文献

- 1) 今井功 数学セミナー 422 (1996) 50 - 56 日本評論社
- 2) 兵藤俊夫 日本物理学会誌 56 (2001) 277 - 279
- 3) 池本義夫編 三訂増補物理実験事典 (1973) 97 - 99 講談社

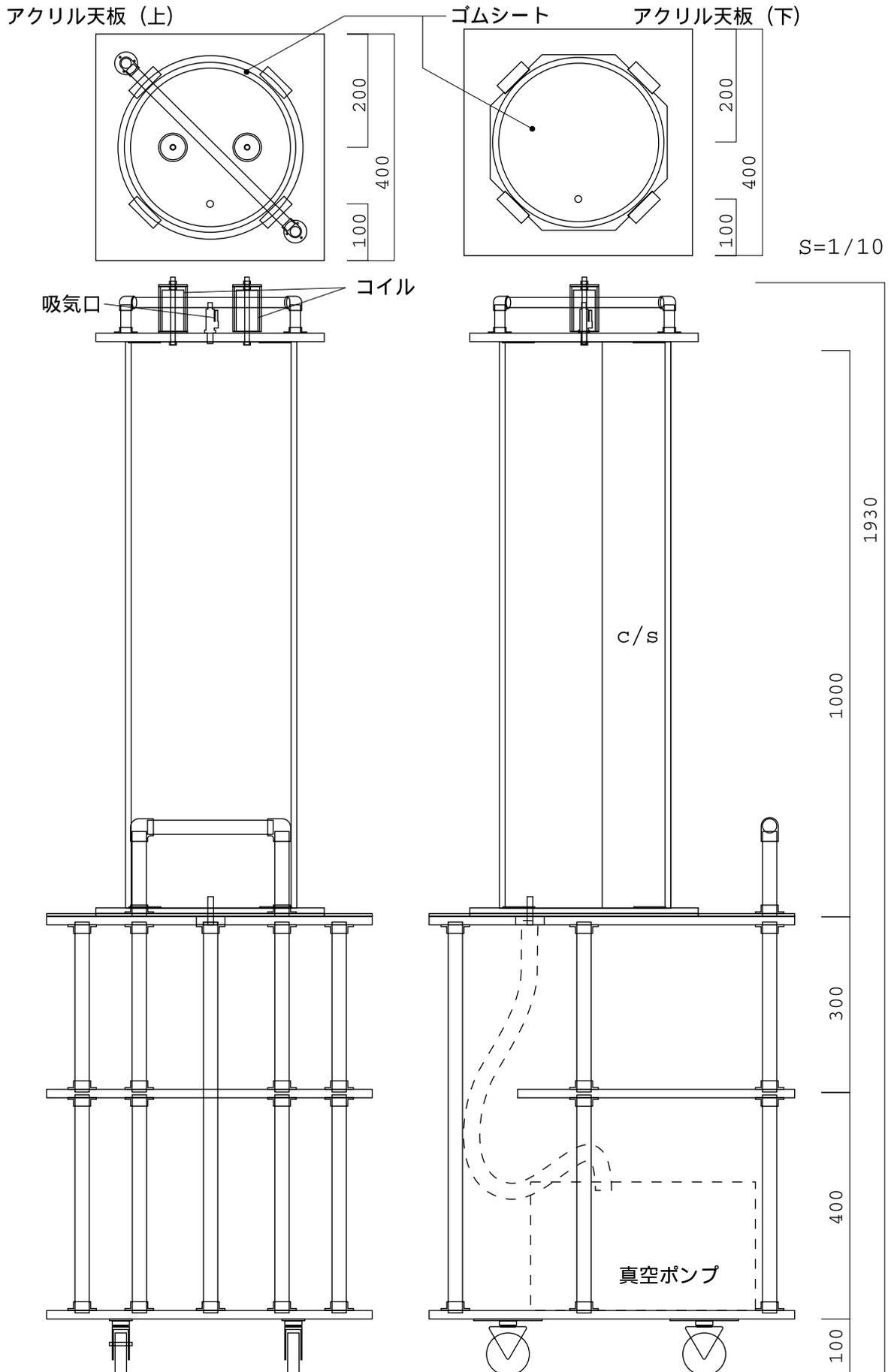
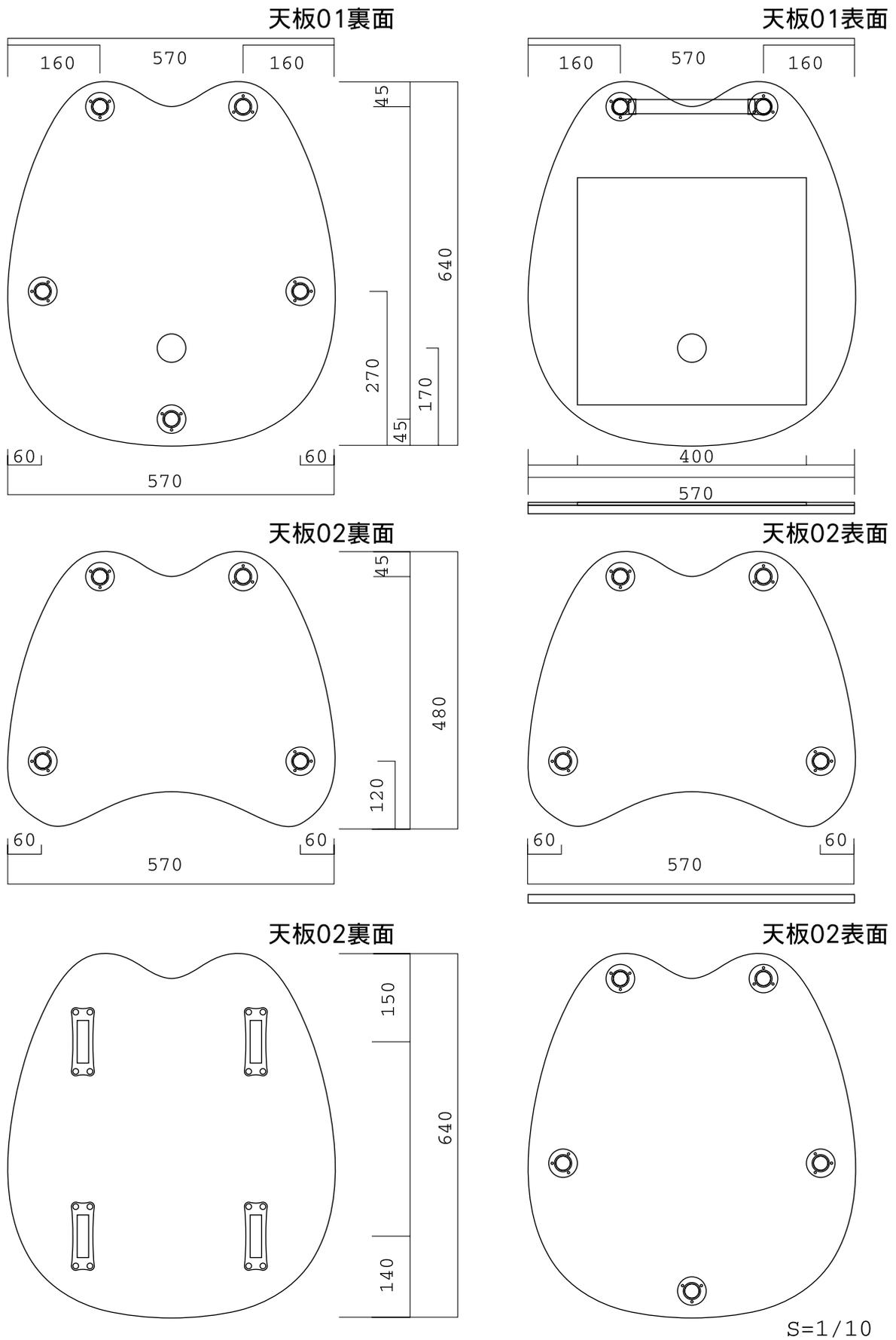
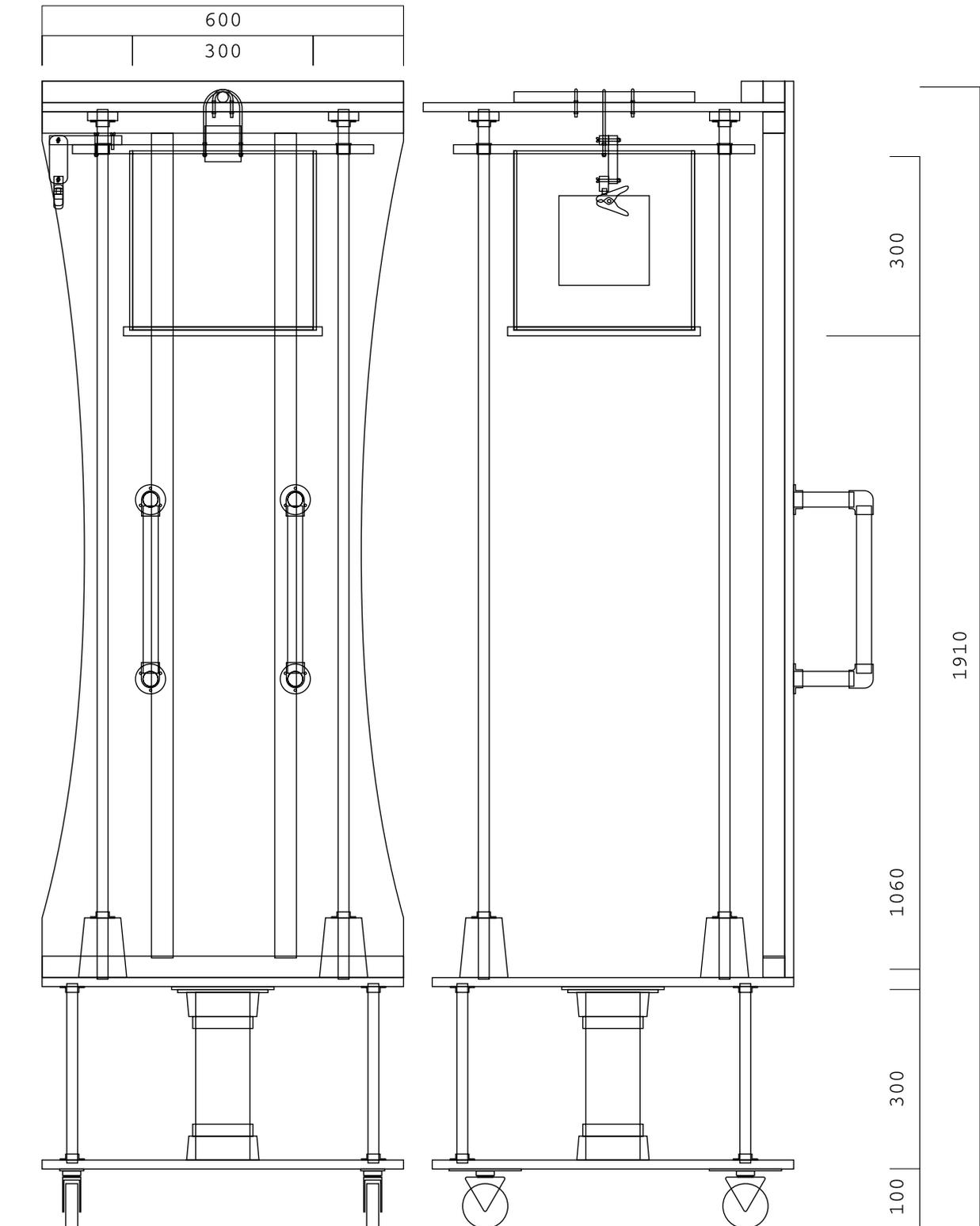


図1 真空落下装置図面. 300 の円筒を利用した. アクリル接合面は固定金具を取り付けずにゴムシートとグリスで対応した. 真空度が上がると自然に圧着する. アクリル天板に穴を開けたところには, シリコンゴムでシールした. 全高は搬入出の関係で2000ミリまでの制約がある元で設計した.



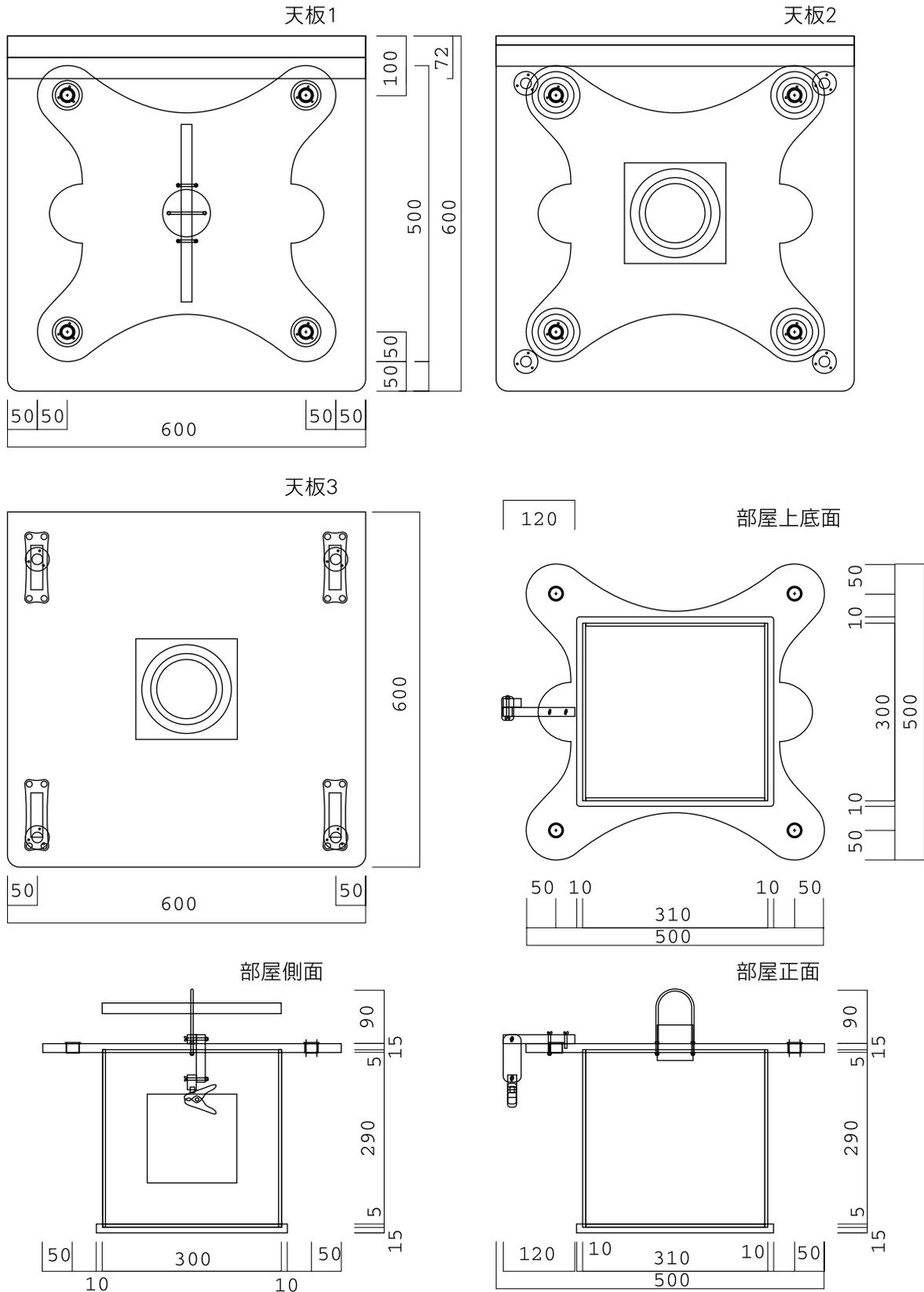
S=1/10

図2 デシケーターをのせるワゴンの天板．ショーで使うので見た目も考慮して四角形は避けている．



S=1/10

図3 無重力観察装置図面 4本の支柱は強度を考えてステンレスを使用した。低摩擦樹脂によるフランジをケースに取り付けて支柱を通している。全高の制約は真空落下装置と同じ。



S=1/10

図4 天板及び落下部屋図面．安定性重視から天板は四角い．ケースの天板は，なるべく重量を減らすために，支柱を通す部分とカメラを設置する部分以外取り除いた．



写真1 身体で支持する感覚と重さの違いを知るためのおもり。綿の入った布団袋，砂袋，鉄の塊を用意した。5 kgf 程度でも綿は抱えるほどの体積になるのだが，肩の強い負担などの方が印象的であるため，鉄の塊の方を重く感じてしまう。



写真2 空気抵抗の大きさを評価するための紙風船。質量が小さいためほぼ終端速度に達する時間と落下距離が短く，その間の誤差が小さいので実験が容易である。



写真3 真空落下に使用した落下物。羽やティッシュペーパーなどのきわめて軽い素材に金属片を固定すると，金属片に落下が引きずられてきれいに舞い落ちないので，少し重めの紙を使用した。人形はデシケーターの真空度を観覧者にも確認できるように，ビニル人形を使用した。



写真4 正面から見たデシケーター。落下を見やすくするため落下物を大きくしたので，装置も大型になった。来館者の視線を上げるために，背の高いワゴンに設置した。

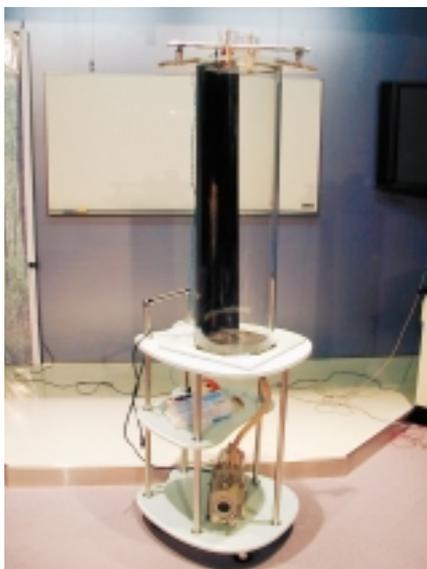


写真5 デシケーター側面。搬入出用の手すりを製作している。アクリル筒の背景はカッティングシートを使用した。

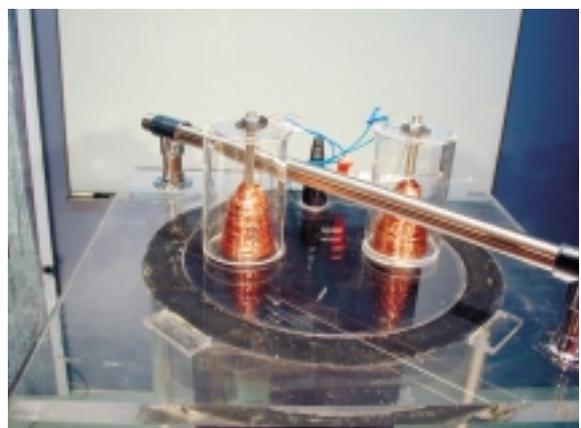


写真6 落下物固定装置。コイルの心棒がデシケーター内部に突き出て，金属片を貼りつけた落下物を吊り下げて固定する。落下物が軽すぎると金属片の残留磁化や磁場の減衰時間も影響する。



写真7 モンキーハンティング実験装置。ショーの演出上、標的と弾を大きく、射出距離を長くするために、大きな装置になった。ジオラマは天井吊り下げ、張り出した木の模型にコイルを設置して標的を吊り下げた。



写真8 標的。実験名からサルに標的にこだわった。ゲームのキャラクターは人気を呼んだ。



写真9 犬ランチャー。サルを撃つ装置。全体を犬の造形で覆い兵器らしく見えないようにした。

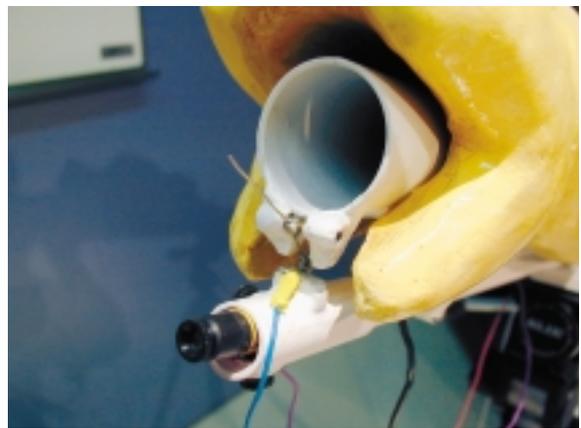


写真10 実験開始スイッチ。飛び出した弾が接点を開いて、サルを吊り下げていたコイルの電源を切る。物理的な接点なので接触不良が多かった。接点の下には、照準用のレーザーが取り付けられている。



写真11 無重力観察装置正面。300ミリ立方の部屋を落下させる。部屋には CCD カメラを取り付けて、モニターで拡大した映像も映し出した。下の天板には衝撃吸収シートとゴムシート、わたのクッションを設置して落下衝撃を吸収した。実験は一瞬なので大半は見逃してしまう。実験後にあらかじめ撮影しておいた映像のスロー再生で検証した。



写真12 無重力観察装置側面。最上面の天板を固定するのは落下軌道を直線にする4本の柱と背板である。やはり来館者の視線をあげるために背板を底上げして、部屋が落下する範囲を高くしている。

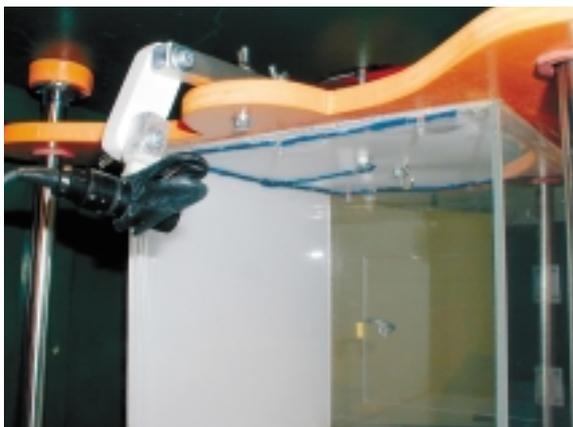


写真13 CCD カメラ取り付け部．カメラを取り付けると多少ウエイトバランスが崩れる．部屋の中には高輝度発光ダイオードによる照明装置も取り付けた．

