

和時計の復元 Restoration of the Classic Clock

金野 茂男
KINNO Shigeo

1 はじめに

江戸時代の機巧(からくり)装置である茶運び人形の復元⁽¹⁾に引き続いて、同時代には同様に機巧装置と呼ばれていた鍾式時計である和時計の復元を試み、それに成功した。機巧装置というと現代では幾ばくか玩具や手品のイメージがあるが、この和時計は現代でも立派に時計として日常生活に使用できるほど当時の技術の粋が込められた精巧な装置である。本稿ではその復元過程を報告する。が、頁数に制限があるので、本稿では復元過程の概要を記述するに止めざるを得ない。復元過程の詳細及び全ての復元図面等は参考文献(2)に掲載しておいた。

茶運び人形は木製の自動制御人形である。人形の両手に茶碗を持たせると、人形は前進して進み、茶碗を取り上げると停止する。飲み終わった茶碗を再び人形の手に持たせると、人形は独りでに方向転換をし、来た道を戻っていく。今回の和時計は時刻を表示し続ける金属製の自動制御装置である。定時刻にはその時刻数の数だけ鈴を打つ仕組みも組み込まれている。

昔の装置を現代において復元し、能動させ、そしてその機構や構造を解明することは、科学者や技術者の知的興味心を大いにそそる。また、遠い過去の時代に実在した科学技術を現代において復元してみることは、当時の学術・工学水準を正確に理解するため、そしてまた、それらの装置で具現化された当時の技術等が、現在に至るまでどのような分野に、どのような姿で生き続けているかを理解することができるようになるからである。

2 概説

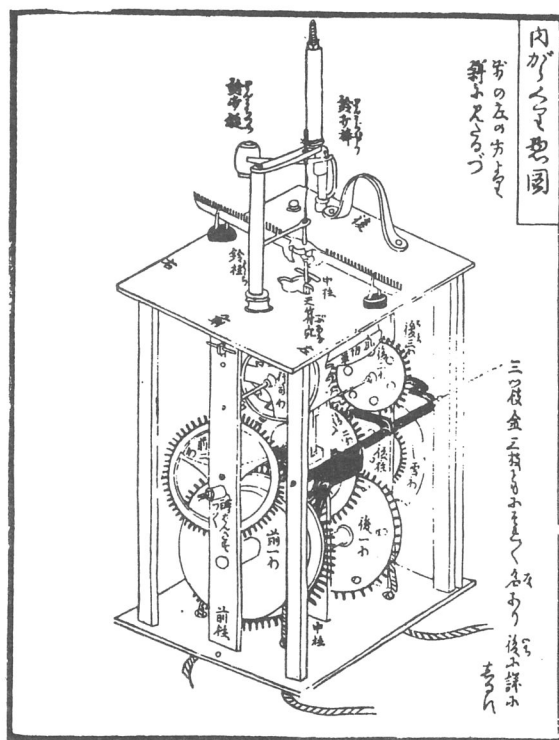
参考文献(3)(以降ではこの参考文献を手引書と呼称する)中の「機巧図彙」の巻中に、今回和

時計復元のために参考とした箇所がある。図1はその箇所の最初の4頁だけを抜粋したものである。図1の(1)には時計を柱に取り付けた状態の挿し絵、(2)には回りの扉(カバー)を取り外し、内部構造の様子を時計の左前から見た状態の挿し絵、(3)には時計の内部を真横から見たときの各輪(歯車の意味)の配位の挿し絵、(4)には時計の右前から見た状態が挿し絵されている。これらの頁以降に挿し絵と文章を用いた機巧の解説が続いている。

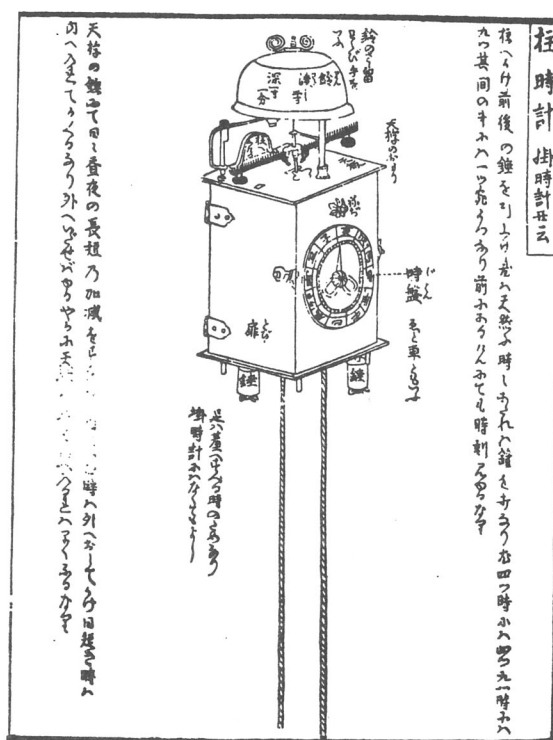
一見してわかるように、原本は江戸時代の筆記体で書かれている。著者には原文を正確に解読する力はなかったが、都合が良かったのは手引書の後半にはこの原文を現代文字で置き換えた文章が掲載されていた(完全ではないが)。いわゆる現代語訳ではなく、原本の筆記体文字を逐次現代文字に置き換えた文章である。原文と現代語訳文の両方を交互に読み、比較しながらこの和時計の機巧の理解をすすめ、復元設計図面を書き上げた。そして、その図面に基づいて各部品を加工し、制作を行った。

図1の挿し絵図面からわかるように、時計本体内部の機構は前部と後部の2つに分かれている。前部には時刻を刻んでいくための機構が納まり、後部には定時刻に鐘を鳴らす機構が納まっている。復元に成功して漸く理解が行ったわけであるが、この時計の動作の概略をここで述べると次のようになる。

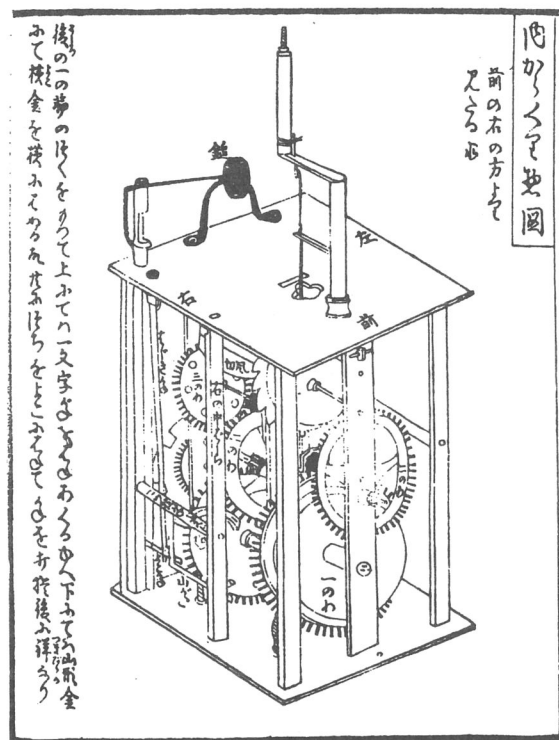
装置を動かすためのエネルギー、即ち時刻を刻むためのエネルギー、鐘を鳴らすためのエネルギーはともに「鍾」の落下による重力エネルギーを用いている。図1の(1)に記載されているように、江戸時代当時はこの時計は柱時計、或いは掛時計と呼ばれていたが、現代の時計の区分に従うと鍾



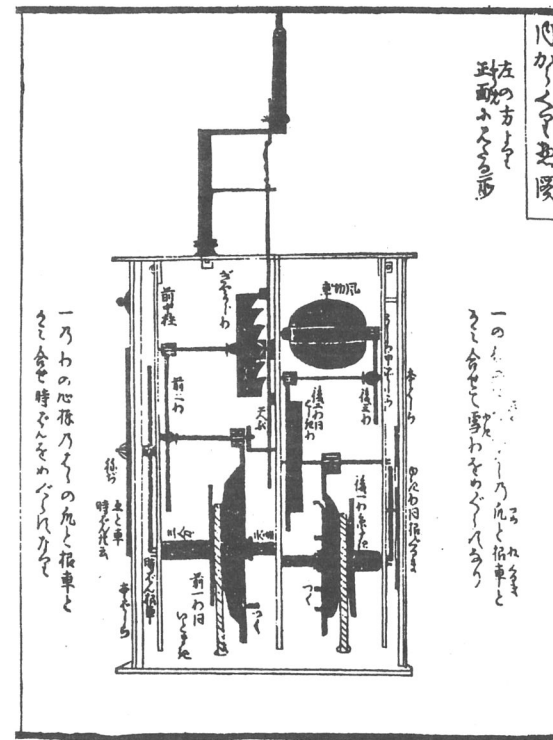
(2)



(1)



(4)



(3)

図1 参考文献(3)の中の関係箇所の複写(抜粋)

式時計となる。

前部の「錘」が落下することで「前一の輪」が回る。この「前一の輪」の心棒（回転軸の意味）の先に「前一の輪根車（根車とは小さい歯車の意味）」があり、「時盤根車」と噛み合っている。この「時盤根車」に「時盤（干支車とも云う）」が取り付けられている。従って、この「時盤」が「錘」の落下に伴い、時々刻々と回転することになる。「時盤」の中央には「時針（剣とも云う）」が上を向いて固定して取り付けられている。従って、「時針」が指し示す「時盤」上の目盛りが時々刻々と動くことになり、それで時刻を教えることになる。

手引書の文章によれば、「時針」を固定し、「時盤」を回転させる方法を干支廻り法と呼び、逆に、「時盤」を固定し、「時針」を回転させる方法を剣廻り法と呼ぶそうである。図1に示されているように手引書では干支廻り法を採用しているが、今回の復元に際しては剣廻り法を採用することにした。「時盤」ではなく、「時針」が巡る時計の方が現代人の通常の時計に関する感覚に合致しているからである。

ところで、これだけの仕組みでは、「錘」はアッと言う間に落ちきり、「時針」は高速で回転してしまい、時計としての「長時間にわたり一定速度での時針の回転」が実現できない。それを実現させるため、茶運び人形と同じ様に「脱進機構」が付加されている。「前一の輪」に「前二の輪」を連絡し、「前二の輪」に「行司輪」を連絡し、更にこの「行司輪」に「天符」を噛み合わせて脱進機構を実現している。この機構により、「錘」は低速で様に落下することになり、「時針」もゆっくりと様に回転することになる。「天符」の回転モーメントを変更する（「天符」に外付けする「錘」の取り付け位置の変更で行う）ことで、「行司輪」の往復運動周期を変更させて「時針」の回転速度の調整ができる。即ち、時計の進み具合を調節できるようになる。

後部の動作は次の通りである。「後一の輪」の回転が「錘」の落下によるのは「前一の輪」の場合と全く同じである。この「後一の輪」の回転は、その輪に連結している「後二の輪」に伝わる。「後二の輪」には更に「後三の輪」が、「後三の輪」には「風切り車」が連結されている。「風切り車」は空気抵抗をわざと大きくし、後の輪全体を低速で、

かつ一定の回転速度で回転させるための機巧である。この「風切り車」は本体前部の「行司輪」と「天符」の機構の脱進作用と同じ機能を果たしている。空気抵抗は速度の2乗に比例するという現代の力学の観点から見ると、この「風切り車」を用いて脱進機構を実現したことは、実に素晴らしい着想であると思う。

図1の(2)、(3)中に描かれている「三ツ枝金（3つの枝がでている金具の意）」と「二ツ枝金」が前の輪及び後の輪全体と一体となって、定時刻に必要な数だけ鐘を鳴らすための機巧を作っている。この機巧の解説には相当数の頁を要するのでここで記述することは省略する。参考文献(2)でこの機巧の解明を行い、更に干支時刻から現代の12時刻への変更についても解説を行っておい

た。この和時計の技術上の一番の素晴らしさ、或いは面白さは、定時刻になると、その時刻の数だけ鐘を鳴らすことができることにあると思う。それを実現するために、この時計には実に巧みな機巧が施されている。これを手引書の文章と挿し絵だけで理解するのはなかなか難しかった。復元に成功して漸く合点がいった。参考文献(2)では極力努力して理解できるように解説はしているが、実際には時計を作り、そして時計が正常に動作した時点で漸く納得し理解ができよう。

3 設計及び制作

本体である長方体の容器の大きさは、手引書では、天地板の寸法を2寸2分（約66mm）四方、厚さを7厘（約2.1mm）、天地板間の高さを3寸（約90mm）としている。これらの値を目安として、復元する時計の大きさを決定した。天地板は70mm四方、厚さ2mm。天地板間の高さ100mmとした。天板、底板そして各種柱からなる本体容器の復元図面が図2である。図面中の底板は地板と同意である。

使用する材料については、金属材料であることは明白であるが、何故か手引書は「錘」（材料は鉄）以外については特に指定をしていない。復元に際しては、入手し易いこと、加工が容易であること、丈夫な材料であること等から真鍮材を使用することにした。また、復元図面作成においては製作時における金属加工を容易に行なえるようにするた

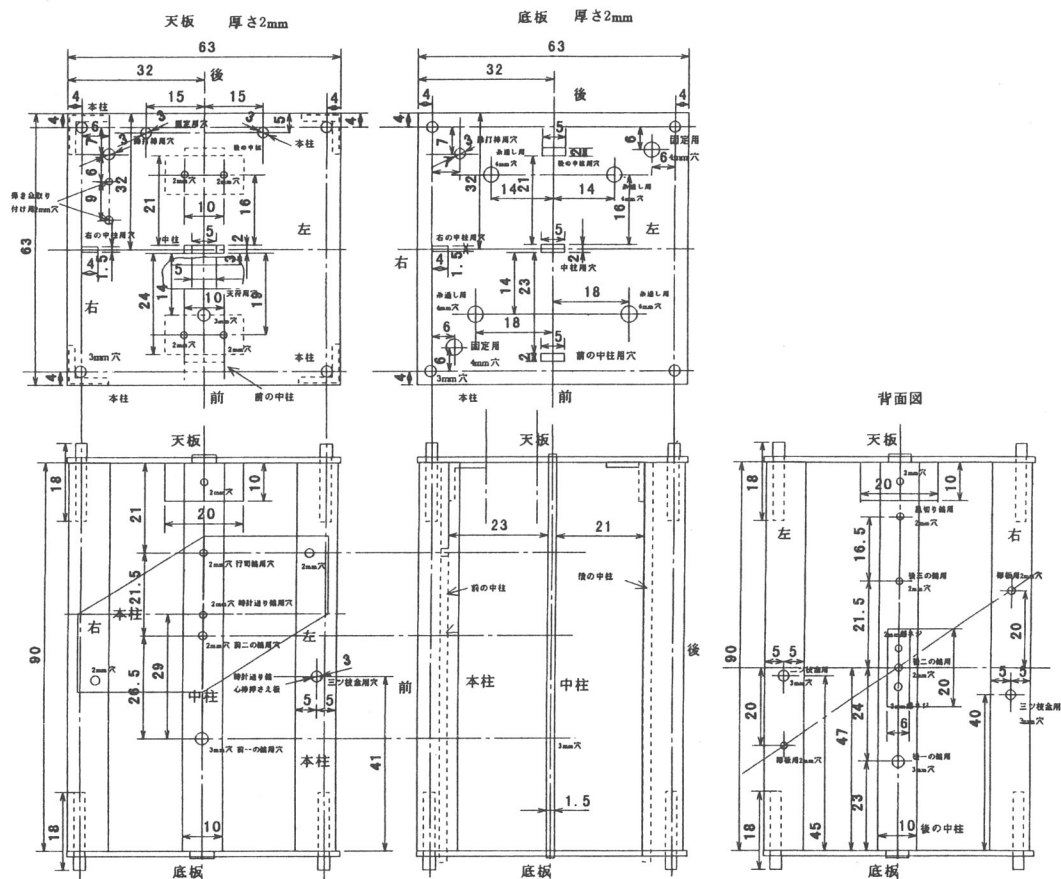
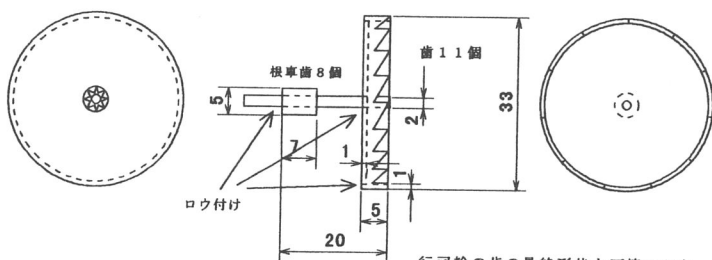


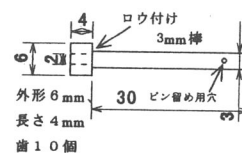
図2 本体容器の復元図面

行司輪とその根車

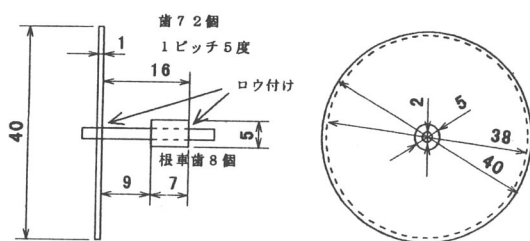


行司輪の歯の最終形状と天符のツクの長さは、実際に噛み合わせながら調整すると良い

心棒付き前一の輪根車



前二の輪とその根車



前一の輪と留め輪

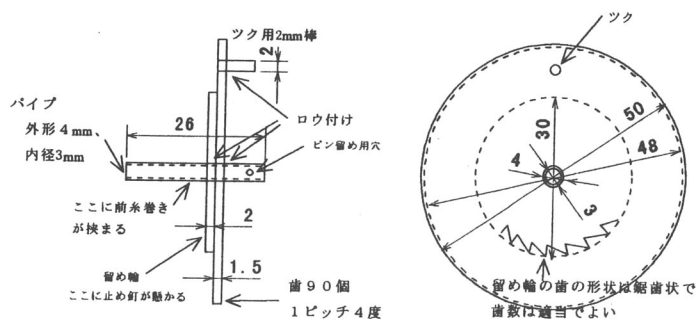


図3 時刻送り部部品図面の一部

和時計の復元

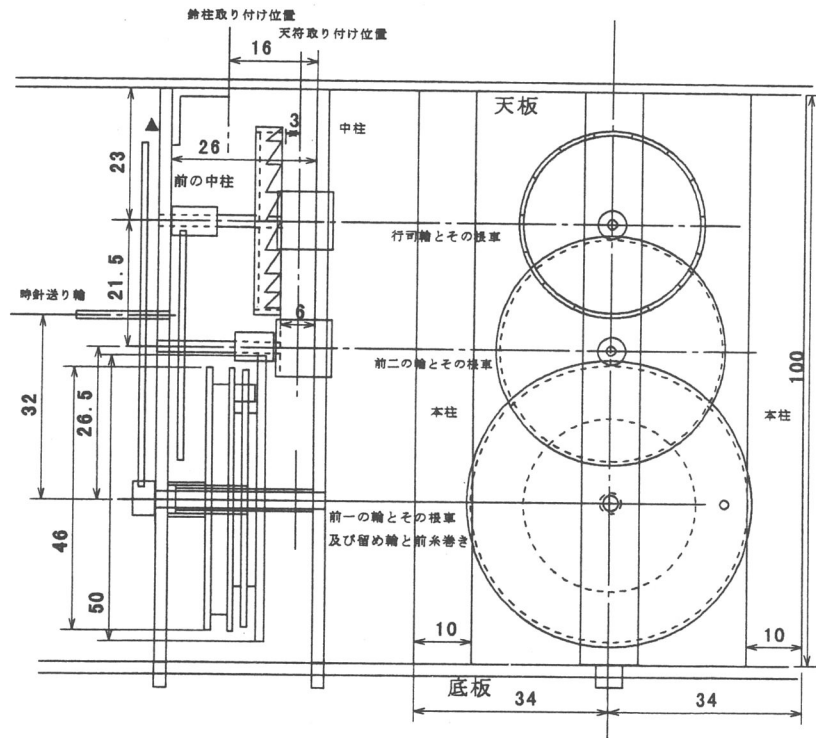


図4 時刻送り部図面の一部

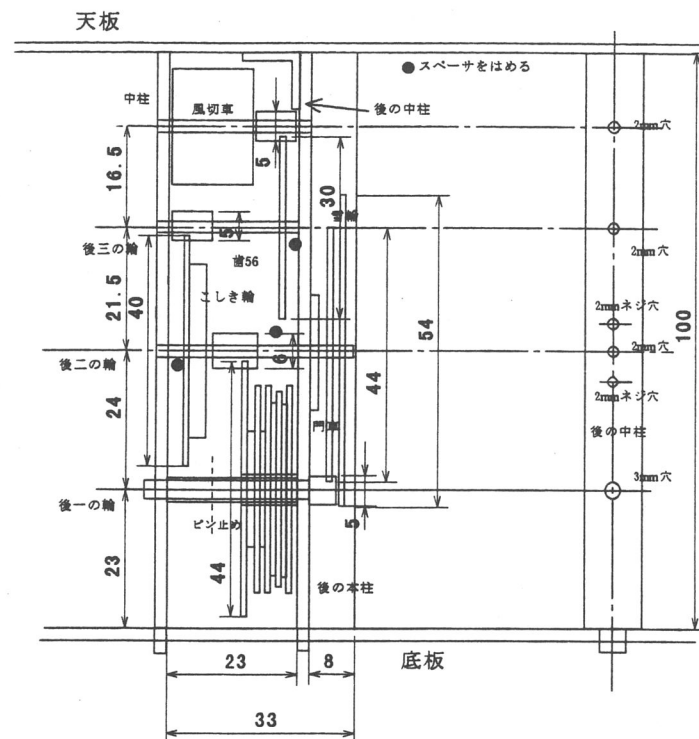


図5 鈴打ち部図面の一部

めに、既製品の真鍮材料の厚さ、太さ、巾の寸法を極力そのまま用いることができるよう考慮して、各部の寸法出しをしている。

参考資料として、復元図面の一部だけであるが、それらを図3～図5に掲載しておく。図3は時刻送り部部品の一部の図面である。製作すべき各輪、心棒、根車の実際の製作寸法、加工法などが

表記された図面である。このような図面をもとにして各部品を製作することになる。図4は時刻送り部図面の一部、図5は鈴打ち部図面の一部である。図4、5から各輪等の配位状態、及び噛み合い状態を読みとることができる。なを、ここでは鈴と鐘は同意である。

前回復元した茶運び人形は木製であった。寸法

出しで $\pm 0.5\text{mm}$ 程度の誤差ならばそれほど問題はなかった。が、今回は金属である。 $\pm 0.5\text{mm}$ の誤差は致命的な誤差になる箇所が圧倒的に多い。寸法出しの精度が要求される箇所では、目測で $\pm 0.2\text{mm}$ 以下になるように極力努力するべきである。罫書き線に沿って正確に切断する。穴を開ける位置にセンターポンチを正確に打つ。等々、正確な寸法を出すために、最大限の注意を払わなければならない。

写真1～写真5に各部品を示している。

写真1は本体容器の部品である。上左が「天板」、中央に開いている穴は「天符」を上から差し入れるためのもの。下左が「底板」。右側の上から4本が本体の4角に立つ「本柱」、5本目が座金の付いた「前の中柱」、6本目が心棒受けの付いた「中柱」、7本目が座金の付いた「後の中柱」、一番下が「右の中柱」である。

写真2は時刻送り部の部品である。上左が「前糸巻き」、上中は「前一の輪」。それに「留め輪（逆転防止歯車の意）」が固着している。上右は「時計送り輪」である。中央左に心棒付き「前一の輪根車」、中央右が「時計針」である。下左は「前二の輪」、下中は「行司輪」、下右は「時計送り輪押さえ板」である。

写真3は鈴打ち部の部品である。上左は「後糸巻き」、上中は「後一の輪」。それに「留め輪」が固着している。上右は螺旋状の「こしき輪」の付いた「後二の輪」。中左は「後三の輪」、中（なか）中央は心棒付き「後一の輪根車」、中右は「雪輪」を固定する「轡板」。下左は4枚羽根の「風切り車」、下中央は「門（かど）車」、下右は「雪輪」である。この輪の円周上に穿ってある溝間の間隔が、定時刻に必要な打数だけ鈴を打つことの重要な役割を担っている。

写真4の上左は「鈴打ち棒」を弾き返す「弾き金」、その右に「鈴」を打つ「鎚」、上右に「天符用錘」2個、その下にこれらの錘をぶら下げる「天符肩」。左下に移って、「二ツ枝金」とその心棒、その右隣りに「鈴打ち棒」とその心棒、中央に「鈴柱」、その右に「天符」、一番右側に「三ツ枝金」とその心棒がある。

写真5の左側には「主錘」が2個、「糸巻き」への糸の絡みを良くするため、「主錘」を取り付けた糸の反対側にぶら下げる軽めの「従錘」が下側に

2個。これらの錘は鉛製である。上中央には時刻目盛りを書き込んだ「前扉」、右上に「3面扉」。右下が「鈴」である。

これら部品の組立手順を写真6～写真12の順で示した。

4 動作

各輪の噛み合いを滑らかにし、穴に差し入れた心棒も滑らかに回転するようにし、極力摩擦を小さくするように努める。特に時刻送り部では摩擦が小さければ小さいほど、「主錘」の質量は小さくて済む。原理的に回転系全体の摩擦が0に近い理想状態とすれば、ぶら下げる「主錘」の質量も0に近いものとすることができるからである。

組立ながら各部の歯車などの噛み合いの調整、「天符」の形状の調整、「天符用錘」、「主錘」の選択を繰り返すことにより、安定して時刻を刻むようにすることができた。そして、時計の進み具合の調整は「天符用錘」の取り付け位置の変更で容易に行えるようになった。

連続12時間動作させるために必要な糸の長さは約2mとなった。時計の設置する高さは人の身長より少し高い所となる。そのため、連続して1日分である24時間動かそうとすれば、4mの長さにしなければならないことになった。時計を吊す場所は天井を突き抜けてしまう。実は、時計を1回転即ち12時間進ませるために必要な糸の長さは前もって設定できる。その詳細は参考文献(2)に記述しておいた。それに従って行えば、糸の長さが1m以内でも、24時間以上の連続動作をさせることができる。

「天符肩」とそれにぶら下げる「錘」は本体外部に露出し、往復運動を繰り返す。風の影響をもろに受けやすく、時計の安定動作に大きな影響を与える。風の当たらない場所に取り付けることになる。

回転動作系全体にわたっての余計な摩擦力、「天符」の動作に対する風の影響を考慮した場合に、時計の安定な連続動作を実現させる一番簡単な方法として、「主錘」及び「天符用錘」をできるだけ重くする方法がある。しかし、余り重くすると機構全体が歪んでしまい逆に不調になる可能性がある。

復元した時計は本体が10cm立方弱の大きさであ

和時計の復元

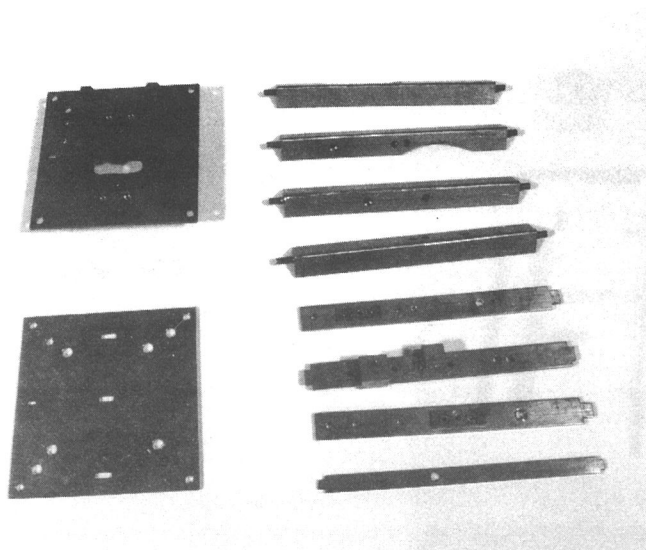


写真 1 天板, 底板と各種柱

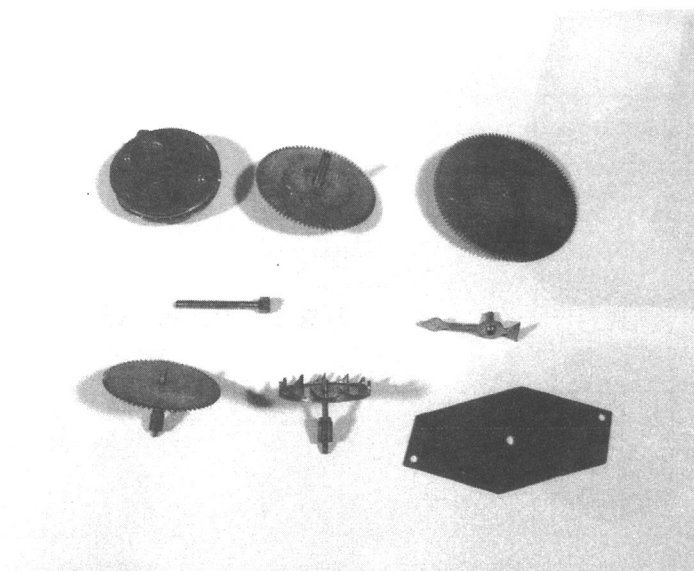


写真 2 時刻送り部部品

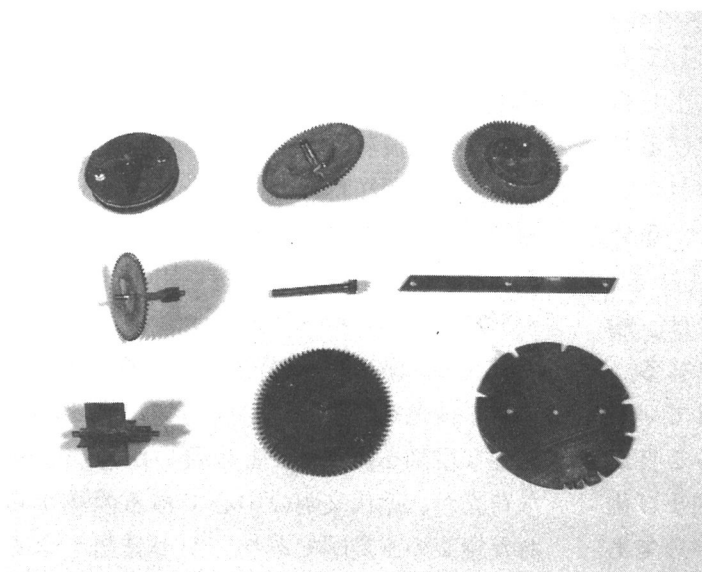


写真 3 鈴打ち部部品



写真4 天符, 各種枝, 鈴柱など

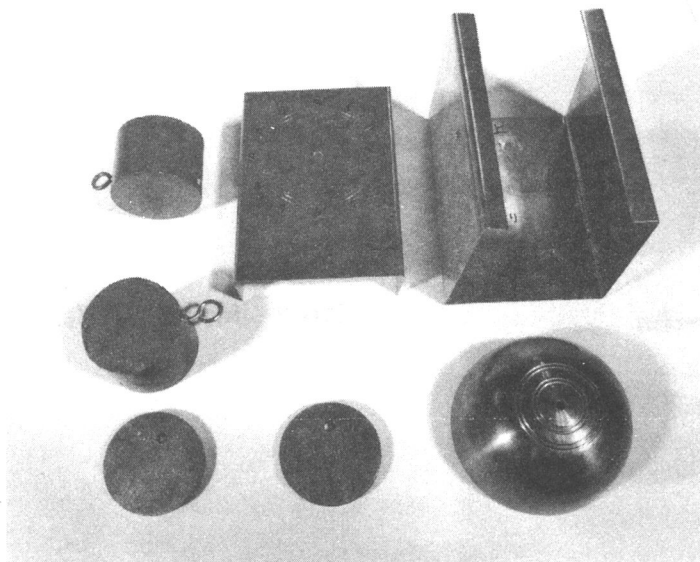


写真5 扇, 鈴, 錘

る。現代の柱時計と比較すると結構小さめである。手引書に従わず、もう少し大きめな時計としても良いであろう。本体を大きくすれば、寸法出しの相対誤差を小さくできるので工作精度を上げることができ、各部品の組み合わせの調整が容易になるからである。また、心棒の直径も太くし、重い錘もぶら下げることができる。天符も大きくでき、回転トルクも稼げるからである。その他には、歯車の直径は大きくなり、歯の加工が容易になる。また、この復元では根車を玩具に使用されているギヤで代用したが、より大きな根車とすることができるので自作が容易となり、好きな寸法及び歯数の根車も作ることができるようになるからである。

5 終わりに

江戸時代の機巧装置である茶運び人形の復元の成功に引き続いて、和時計の復元にも成功した。その機巧・技巧は鎖国時代に長崎の出島を経由して渡来した西洋時計の技術を見本としていたのであろうが、目を見張る所がある。江戸時代にこのような巧妙な自動制御装置を実用化していたという当時の工業・科学技術の水準は、鎖国時代の終了と共に急激に日本に流入した西洋近代文明の工業科学技術を吸収し、自前の物とするのに極めて重要な役割を担ったことは疑いがない。そのような背景が、近代文明の中心である西洋から遠く離れた極東の1島国であり、かつ言語も全く違う日本で西洋の近代工業技術を消化し、かつ構築させ

和時計の復元



写真6 各種柱の取り付け

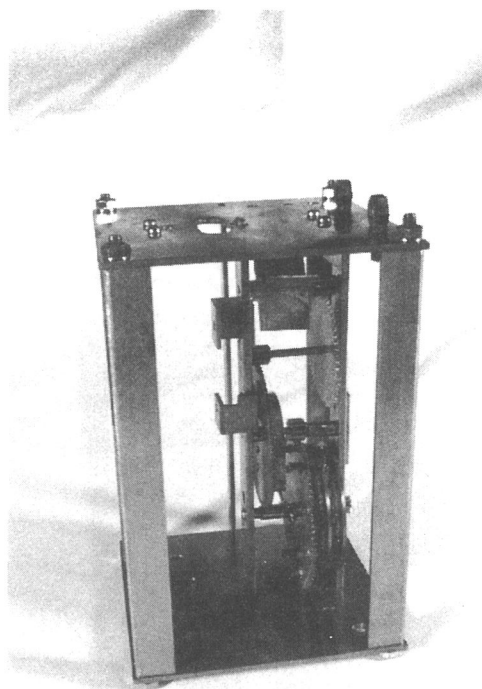


写真7 鈴打ち部部分の組み込み

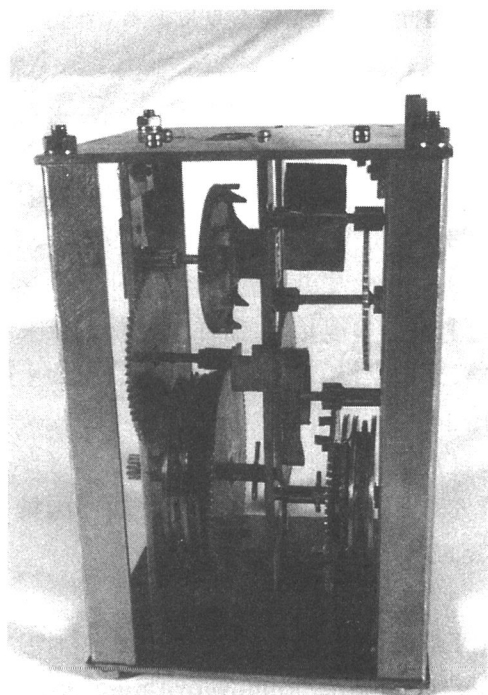


写真8 時刻送り部部分の組み込み

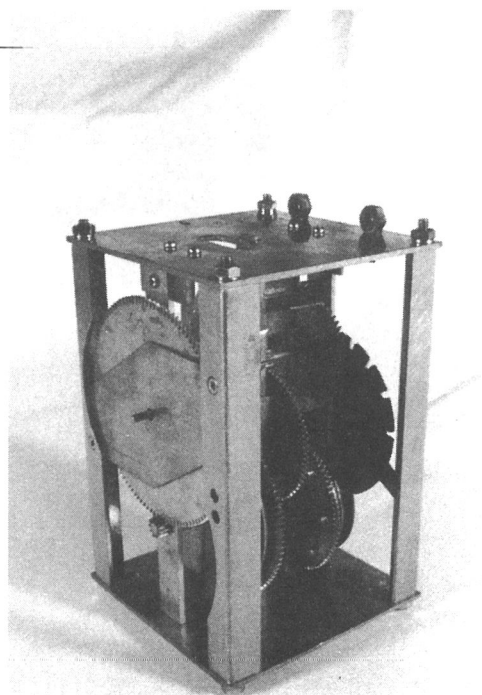


写真9 時針送り輪の取り付け

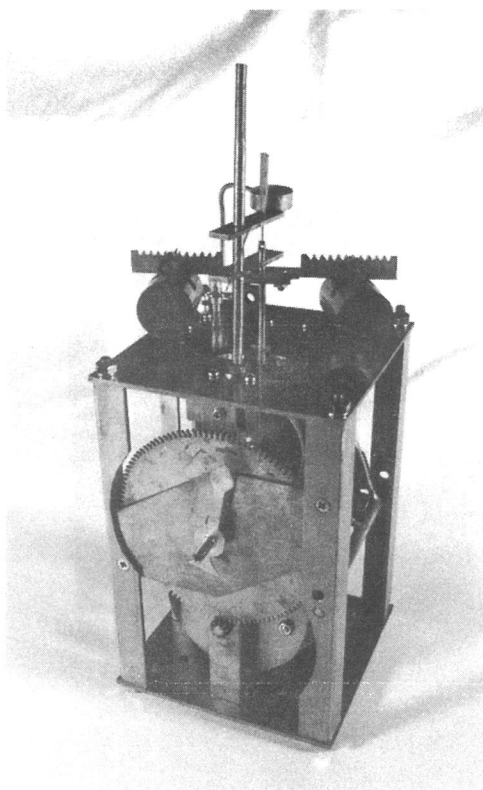


写真10 天符, 鈴柱, 錠の取り付け

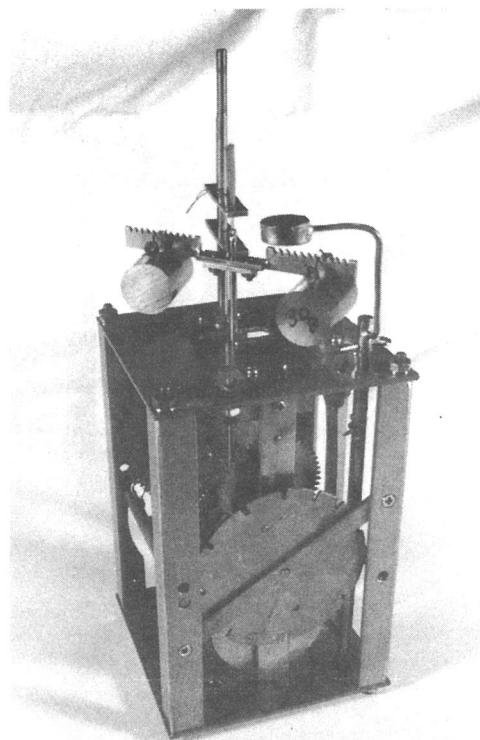


写真11 雪輪の取り付け

てきたのであろう。

今後とも機会を見つけては同様の興味のわく機巧装置を復元して行くつもりである。



写真12 扇, 鈴, 錘の取り付け

参考文献

- (1) 「茶運び人形の復元」、金野茂男、工業安全に関する研究集録 No.18、1997年、P 177～P 196、小山高専工業安全教育研究センター。
- (2) 「和時計の復元」、金野茂男、工業安全に関する研究集録 No.19、1998年（出版予定）、小山高専工業安全教育研究センター。
- (3) 江戸科学古典叢書3 「訓蒙鑑草（からくりきんもうかがみくさ）三巻、機巧図彙（からくりずい）三巻」、恒和出版。

小山工業高等専門学校電子制御工学科

E-mail kinno@oyama-ct.ac.jp

「受理年月日 1999年9月29日」