

# 万年時計の機構解明

Mechanism of “Man-nen dokei,” a Historic Perpetual Chronometer

久保田 裕二

■ KUBOTA Yuji

東芝の創業者である田中久重が1851年に製作した“万年自鳴鐘”（以下、万年時計と呼ぶ）は、わが国のモノづくりの独創性を物語る好事例とされる。6面の時表示部と太陽と月の運行を示す天球儀が連動して動き、ぜんまいを一度巻くことにより1年近くの連続稼働が可能である。

東芝は、国家プロジェクトとして行われた万年時計の分解調査及び複製の製作活動と連携して、万年時計の機構の解明を行い、それに基づく機構シミュレータを作製した。機構解明を通して見えるのは、田中久重の技術者としての“飽くなき探究心と情熱”である。

The “man-nen dokei,” that literally means a clock that works for ten of thousands of years, is a historic perpetual chronometer that was built in 1851 by Hisashige Tanaka (1799-1881), who founded the predecessor of Toshiba Corporation. One of the most original symbols of Japanese manufacture, it has six multifunctional clock faces and is crowned with a celestial globe that shows the positions of the sun and the moon. It runs almost a year with only a single winding.

Toshiba has conducted an investigation on the mechanism of the “man-nen dokei” and has developed a simulator for its mechanism in cooperation with a national project to disassemble, restore, and reproduce this clock. The “man-nen dokei” is an embodiment of Tanaka’s engineering spirit: insatiable curiosity and a ceaseless quest for innovation.

## 1 まえがき

東芝の創業者である田中久重が1851年に製作した万年時計（図1）は、わが国のモノづくりの独創性を物語る好事例とされる。国家プロジェクトである文部科学省科学研究費補助金の特定領域研究「江戸のモノづくり」の中でも象徴的な存在として取り上げられ、分解調査が行われた。また、この調査結果をもとに複製品が製作され、2005年3月から愛知県で開催されている愛・地球博のシンボルパビリオンであるグローバル・ハウスに展示されている。

万年時計については、過去にも分解調査が行われているが<sup>(1)</sup>、機構や動作を詳細に報告している資料はない。そこで、当社の研究開発センターの機械系技術者が集まり、万年時計の機構・動作の解明と、それに基づく機構シミュレータの作製を行うことになった。活動を始めた動機は、機構解明を通し、万年時計に込められた田中久重の技術者としての思いに触れたいということであった。

ここでは、万年時計の動作の概要について紹介するとともに、万年時計においてもっとも独創性に富んでいると言われる和時計の機構について述べる。

## 2 万年時計の概要

万年時計は、螺鈿（らでん）や蒔絵（まきえ）などの装飾を



図1. 万年時計の外観 — 6面の時表示部と、天頂部に天球儀があり、高さは約60 cm（置台は含まず）である。

Man-nen dokei

施した外装と、種々の機構と機能を持つ、高さ約60 cm（置台を含まず）の和時計である。6面の時表示部と、天頂部に太陽と月の運行を示す天球儀を持つ（図2）。

表示部の第1面は、第4章で詳述する自動割駒式の和時計である。中心にある針は二十四節気を示す。第2面は、内側に二十四節気が刻まれており、外側は二十四節気に対応したその年の日付を書き込むようになっている。中心の針を手動で動かし、ぜんまいを巻いた時期を記録するために用いられた。第3面は、時刻と七曜の表示盤で、時刻の変わり目



第1面 和時計



第2面 二十四節気



第3面 七曜



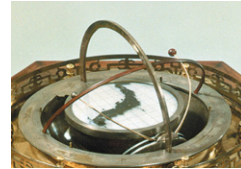
第4面 十干十二支



第5面 月の満ち欠け



第6面 洋時計



天球儀

図2. 万年時計の時表示部と天球儀 — 第2面を除く五つの面と天球儀が連動して動く。

Six multifunctional clock faces and celestial globe of man-nen dokei

と曜日の変わり目に針がステップ状に動く。この第3面は、機構的には打鐘機構の一部である。第4面は十干十二支で日付を表すカレンダー面である。内側の十二支は固定されており、外側の十干が1日に6°右回りに回転し、中心の針が1日に30°左回りに回転する。針が指した十干と十二支でその日の日付がわかる。第5面は、月の満ち欠けと月齢を表す面である。黒と銀色に塗り分けられた球体が回転することで月の満ち欠けを表す。現存の状態は、20日間で1回転するようになっているが、これは、過去の分解調査又は修理の際にまちがって歯車を取り付けられたためと思われる。球体の外周部には30日間の旧暦の日付が刻まれた文字盤があることから、球体は29.5日周期又は30日周期で回転したものと推測される。第6面は、フランス製とされる懐中時計である。

天頂部にある天球儀では、京都(東経136度、北緯35度)から見た太陽と月の動きが表示される。太陽は季節により高度を変え、夏至で78.5°、春分・秋分で55°、冬至で31.5°となる。月は太陽に対して約29.5日の周期で相対位置を変える。

第2面を除く五つの面と天球儀は、第6面の洋時計を基準時間としてすべてが連動して動き、和時計の示す各時刻に、その時刻に対応した回数の打鐘を行う。動力は、下部木箱に収められた4個のぜんまいにより供給される。2個1組で、1組は天球儀の動作及び時刻表示用で、他の1組は打鐘用である。ぜんまいは、厚さ1.9mm、幅65mm、長さ約3mの黄銅製の板を巻いて作られており、直径120.5mmである。機構的には、ぜんまいを最大6回(最長連続稼働日数は約225日)程度巻くことを考えた構成になっている。

### 3 作製した機構シミュレータ

分解調査時に得られた二次元の部品データや写真データなどから、第6面の洋時計と動力部を除く万年時計の機構シ

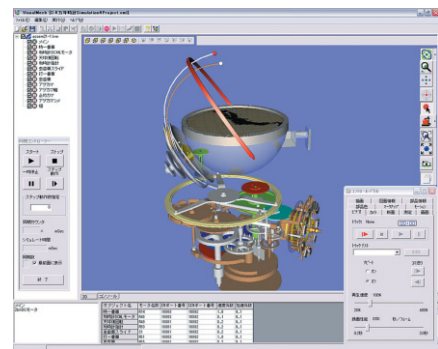


図3. シミュレータ画面 — 任意の視点から万年時計の動作シミュレーションを行うことができる。

Simulator for mechanism of man-nen dokei

ミュレータを VisualMech<sup>TM</sup>(注1)上に構成した(図3)。入力した部品数は約560点である。部品間の相対動作関係は論理式により記述されており、任意の視点からの動作シミュレーションが可能である。

## 4 和時計の動作と機構

万年時計が製作された当時、時刻の表示には不定時法が用いられていた。不定時法では、夜明けから日暮れの間を昼としてその間を6等分し、六つ(夜明け)、五つ、四つ、九つ(正午)、八つ、七つ、六つ(日暮れ)とした。同様に、日暮れから夜明けまでの夜の間も6等分して時刻を定めた。明六つは実際の日の出より早い、空が明るみ始める時刻であり、暮六つは日の入りより遅い、完全に暗くなる時刻である。不定時法では、一時(いっとき)の間隔は季節により異なる。

不定時法で時刻を表示する時計が和時計である。当時の(注1) VisualMechは、(株)インターデザイン・テクノロジー社の商標。

和時計は、季節により変化する時刻に対して手動で対応するものであり、時刻を表示する駒を自動的に動かす万年時計は画期的な和時計であったと言える。ここでは、万年時計の自動割駒式和時計の機構について述べる。

#### 4.1 動作

第1面の和時計は、文字盤全体が左回りで1日に1回転し、上部に固定されている針の位置で時刻を示す。また、文字盤の内側には二十四節気が刻まれており、中心にある針が示した位置で季節がわかるようになっている。この針は、文字盤に対して左回りで1年に1回転する。

時刻を表示する駒は、春分・秋分のときの位置を中心に、1年で1往復する。夏至では昼の駒の間隔が広くなり、夜の駒の間隔が狭まる。冬至では昼の駒の間隔が狭まり、夜の駒の間隔が広がる(図4)。しかし、冬至における昼と夜の駒間隔の違いは夏至ほど顕著ではない。これは、春分・秋分における明六つ及び暮六つの駒の位置が、昼と夜が同じ長さとした場合よりそれぞれ11°(約44分)程度夜側に寄っているため、田中久重が実際の日の出及び日の入りに対してその分ずらした時刻を明六つ及び暮六つと考えていたことがわかる。

#### 4.2 機構の構成

和時計の機構構成を図5に示す。子(ね)の刻(夜九つ)と午の刻(昼九つ)の駒は文字盤に固定されているが、他の

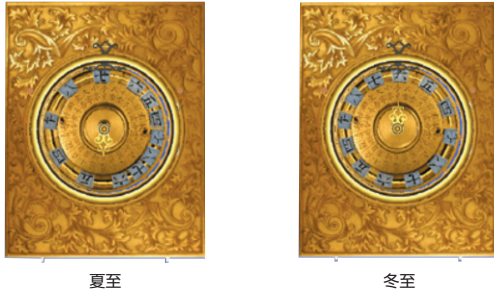


図4. 和時計の文字盤—夏至及び冬至における、現代の時刻で18:02の駒位置である。

Traditional Japanese clock face at summer and winter solstices

10個の駒は、駒の背面にある溝に沿って移動するクランクピンにより、1年に1回の往復運動をする。往復運動の振幅は、クランク軸に対するクランクピンの偏心量で決まる。

クランク軸には歯数25の歯車を取り付けられており、夜八つ、暁七つ、明六つ、朝五つ、昼四つのクランク軸歯車は午前歯車(図5)に連結され、昼八つ、夕七つ、暮六つ、宵五つ、夜四つのクランク軸歯車は午後歯車(図5)に連結されている。午前歯車と午後歯車は反対方向に回転し、各クランク軸は180°の範囲で往復回転する構造となっている。

反対方向に往復回転する午前歯車と午後歯車の動きを作り出しているのが、歯数8の異形歯車(以下、虫歯車と呼ぶ)と180°の位相で取り付けられた2枚の4歯部分歯車とを組み合わせた機構である(図6)。1年に1回転する軸に取り付けられた2枚の4歯部分歯車の回転運動により、虫歯車は1年に1往復の回転運動を行う。虫歯車には、午前歯車と午後歯車に連結した歯数27の歯車を取り付けられており、駒のクランク軸に180°の往復回転運動を与えるためには、虫歯車は $166.7^\circ (= 180 \times 25 / 27)$ の振幅で往復回転運動を行う必要がある。

#### 4.3 虫歯車の形状と動作

虫歯車は、通常の歯車とは大きく異なる形状であり、同一方向の回転に寄与する四つの歯の取付け角度間隔も一定で

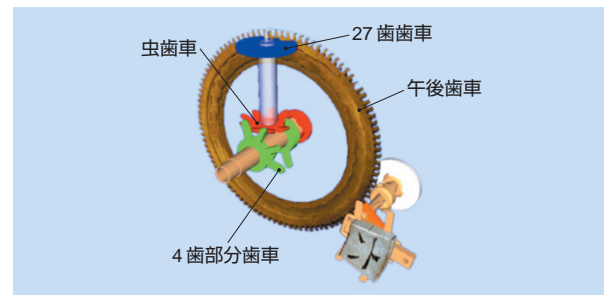


図6. 虫歯車部の構成—4歯部分歯車の回転運動により往復回転運動を行う虫歯車が、時表示駒の往復運動を生み出している。

Configuration of insect-shaped gear system

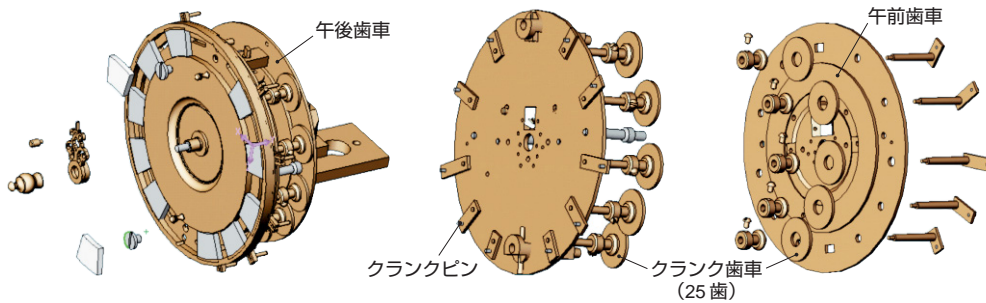


図5. 和時計の機構構成—時表示駒を往復運動させるクランク軸は、五つずつの組で午前歯車と午後歯車に連結されている。

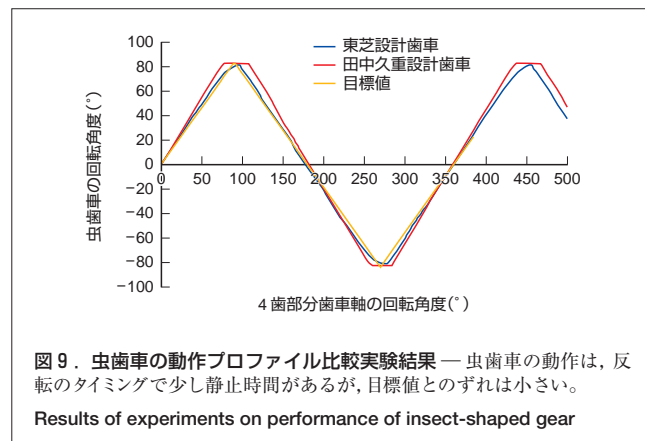
Mechanism of traditional Japanese clock face

はない(図7)。そこで当社は、虫歯車が実際にどのような動きをするのかを確認するための実験を行った。

文字盤の接線方向の動きが正弦波的になるように割駒を動かすことが目標だと仮定すると、虫歯車に求められる理想的な動作は、等角速度で動く振幅 $166.7^\circ$ の往復回転運動となる。当社は、現在の技術において常識的と思われる考え方に沿ってこの目標動作プロファイルを満たす歯車を設計・製作し、実物の万年時計に使われている虫歯車を模して製作した歯車との比較を行った(図8)。当社が製作した歯車は $41.0^\circ$ の等間隔で歯が設けられているのに対し、虫歯車の歯の取付け間隔は平均 $36.8^\circ$ で、しかも等間隔ではない。

図9が動作プロファイル比較実験の結果であり、当然のことながら、当社が設計・製作した歯車のそれは目標値とよく一致している。しかし、虫歯車の動作プロファイルも、反転のタイミングで静止期間が少しあるものの、目標値とのずれは小さく、途中の回転も滑らかである。虫歯車の片側4歯の取付け角度は約 $147^\circ$ 程度しかないにもかかわらず、往復回転運動の振幅は目標値とほぼ等しく約 $168^\circ$ である。この動作を実現するためには、4歯部分歯車の歯と虫歯車の歯とが長い時間かみ合うように、歯を深くかみ合わせる必要がある。その場合、歯が抜けにくくなるという問題が生じるが、虫歯車の不思議な形状は、歯を深くかみ合わせることで歯を抜くことを両立させることを考えた末に得られた、必然の結果であったと考えられる。

歯車を手作業で製作していた当時の技術レベルを考えると、虫歯車の動作プロファイルは驚異的であり、田中久重の技術レベルの高さに感嘆させられるとともに、目標を達成す



るための執念を感じる。

## 5 あとがき

田中久重作の万年時計についてその機構解明を行い、機構シミュレータを製作した。紙面のつごうで、詳細は和時計部についてだけ記述したが、そのほかの部分にも田中久重の独創性があふれている。

例えば、天球儀では、24時間周期で動く時計部と天球儀との間に直径10cmほどの歯車(内歯364枚、外歯365枚)を挿入し、地球の自転と公転に相当する動きを作り出すことで太陽の高度変化を生み出している。天文学も学んだ田中久重のこだわりを感じる。また、1年近い連続稼働を実現するために製作した巨大なぜんまいは、当時としてはまったく類を見ないものであり、田中久重のチャレンジ精神をかいま見る思いがする。各部の独創性とアイデアもさることながら、全体が連動して動くシステムを構想した創造力にも感心させられる。

万年時計の機構解明を通して感じるのは、田中久重の“飽くなき探究心と情熱”であり、これが技術者としての実行力の源であるということを再認識させられた。

## 謝 辞

万年時計の機構解明を行うにあたり、国立科学博物館 主任研究官の鈴木一義氏にご指導とご協力をいただきました。ここに、深謝の意を表します。

## 文 献

- (1) Asahina, T.; Oda, S. "Myriad-Year Clock" Made by G. H. Tanaka 100 Years Ago in Japan. Bulletin of the National Science Museum (Tokyo). 1, 2, 1954, p.1 - 12.



久保田 裕二 KUBOTA Yuji, D.Eng.

研究開発センター 機械・システムラボラトリー技監, 工博。情報機器などの研究・開発に従事。日本機械学会フェロー。Mechanical Systems Lab.