

時計からからくり人形への技術の伝播 ～脱進調速機構を中心に～

河本 信雄

東芝科学館

(2012 年 10 月 17 日原稿受付)

Technology transfer from Clock to Karakuri Ningyo (Mechanical Doll)

～Mainly study about units of escapements and governors～

Nobuo KAWAMOTO

Toshiba Science Museum

ABSTRACT

European mechanical Clock came to Japan while end of Muromachi period. This Clock was developed as Japanese unique Clock (Wa-dokei) which has old Japanese way of time counting. Furthermore inside mechanism of Clock has been transferred to Karakuri Ningyo (Mechanical Doll) which is for people's entertainment in peaceful Edo Period. The author investigated and researched mainly technology transfer of units of escapements and governors from Clock to Karakuri Ningyo.

1. はじめに

江戸時代に人気のあったからくり人形は、時計の技術を応用しているとよく言われる。

これはからくり人形にゼンマイ、歯車、カムなど時計に使用されている機械部品・機構があることからである。しかしながら、一つ一つの部品・機構を取り上げての調査・研究はあまりなされていない。

からくり人形の中で、一番ポピュラーな「茶運び人形」(Fig.1)と、最高傑作といわれる「弓曳童子」(Fig.2)には、他の多くのからくり人形とは異なり、

時計の心臓部ともいえるスピードをコントロールするための機構が組み込まれている。

本論では、この 2 種類のからくり人形と時計を通じて、時計からからくり人形への技術の伝播を論じていく。



Fig.1 Tea-cup carrying Dolls

その技術の伝播に関して、まずは技術史を専門とされている山田慶児氏（京都大学名誉教授／龍谷大学客員教授）の文章を以下に引用する。

「自然にはまったく存在しない物を作り出すのが発明ですが、そういう物は、ごく単純なものを除いてほとんど、一人のひとが作り出したものであって、その発明は人類の歴史のなかで一回しか起こらなかった。すくなくとも近代になって科学と技術と情報が共有されるようになるまではそうだった、という際だった特徴をそなえています。（中略）

すこし複雑な物はある時、世界のどこかでだれかが発明し、それが一定の地域、さらには世界へと広がっていった。技術の歴史について考えるばあい、これが肝心な点です。」¹⁾

このことを本論のテーマにそって解釈すると、ある部品・機構はまずはある地域で発明されて、それが各地に広まる。あるいはある製品に使われ、他の製品に応用される。偶発的に複雑な構造を持つ部品・機構が異なる2つの地域で発明され、発展をとげることは無い。故に複雑な部品・機構が同じ構造を有していれば、それはある技術が他方に伝播あるいは応用されたと考えてよい、となる。

時計、からくり人形の部品・機構は複雑であり、そして前近代の技術である。

機械時計は13世紀ごろ西洋で、その機構とともに発明され発展をとげた。一方からくり人形は17世紀以降、江戸時代の日本において広まった。この時代差から複雑な構造を持つ同一の機構が使われていたなら、その技術は、時計からからくり人形に伝播したとして間違いはない、と思われる。

最後に時計およびからくり人形による技術の継承が社会にどのような影響を与えたかを考察した。

2. 和時計とは

西洋の機械時計から、直接、からくり人形に技術が伝播した訳ではない。まず、西洋の時計を模倣して、日本で時計が製作された。これを経てからくり人形に技術が伝播した。この江戸期に製作された時計は、和時計と呼ばれる。和時計とはその名の通り、日本風の時計である。

何故日本風かというと、江戸時代、人々は不定時法の時の体系の中で暮らしていた。現在、世界中で使われているのは定時法である。言うまでもないが、1日24時間、1時間は60分、もちろん、昼も夜も、夏も冬も変わらない。一方、不定時法は太陽の運行に基づき、昼・夜および季節によって単位時間当たりの長さが変わる方式である。江戸時代の不定時法は、昼は日の出と日の入を六等分(夜は日の入りと日の出を六等分)したのが一刻(いっとき)であった。

一刻は約2時間であるが、日の出と日の入りの時刻は移り変わるので、季節毎で一刻の長さが変化



Fig.2 Arrow-shooting Boy

した。ただし、毎日この変化に対応していた訳ではない。春分や大寒など二十四節季ごとに調整された。つまり、年に 24 回、変化点があった。例えば、昼間が最も長い夏至の日は、昼と夜の一刻の長さは 1 時間以上の差があった。

このような変化する時刻を表示するのが、世界でも稀な不定時法の時を刻む和時計である。

西洋でも機械時計が発明される前は、不定時法の時の中で人々は暮らしていたが、機械時計の発明とともに、定時法へと切り替わっていった。世界中がそうであったが、唯一の例外が江戸時代の日本であった。機械時計のほうを不定時法に合わせようとした。

室町時代末期に西洋より機械時計がもたらされた。もちろん定時法である。やがて、日本人は文字盤を日本風に直し、そして二十四節季ごとに文字盤を取り換えることにより、不定時法の時を表した。別の工夫もした。文字盤を取り換えることはせず、時を刻むスピードのほうを変化させた。つまり、毎日、朝夕にそして二十四節季ごとに時を刻むスピードの調整を行った。これらが和時計の始まりである。

西洋では 13 世紀ごろに最初の機械時計である塔時計(Fig.3)が棒テンブ(洋時計の場合はテンブ、和時計の場合は天符と表記する)と冠形脱進機のセットからなる脱進調速機構とともに発明された。

1583 年(1581 年の説もあり)にガリレオが振子の等時性の原理を発見し、1656 年にホイヘンスが振子時計(Fig.4)を発明したのちは、テンブは振子にとって代わられる。振子の機構はクォーツ、電波が登場するまで、長く使われていた。

室町時代末期から江戸時代初期にかけて日本に伝来した置時計類には棒テンブ+冠形脱進機が使われており、檣時計、台時計(Fig.5)、掛時計など江戸時代初期より製作された和時計には、この機構が組み込まれていた。

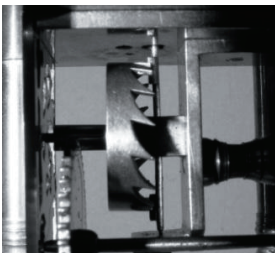


Fig.6 Verge Escape-
ment in Wa-dokei

伝来した時計の動力は錘とゼンマイ双方があったが、これらの和時計には錘が使われていた。

後に製作される置時計の一種である枕時計、懐中時計の一種である印籠時計など小型の和時計には、テンブに変わる機構として、1675 年にこれもホイヘンスが発明したひげゼンマイが採用される。しかしながら、比較的大型の檣時計、台時計などは、この棒天符+冠型脱進機(Fig. 6)が使われ続



Fig.3 Turret Clock
(The Seiko Museum)



Fig.4 Pendulum Clock
(The Seiko Museum)



Fig.5 Dai-dokei

け、この機構を中心に発展を遂げていった。

この棒天符+冠型脱進機を備えた和時計の時を刻むスピードの調整は、棒天符の両端に下げられた鍾(Fig. 7)の位置を変えることによる、振れのスピードの変化によりなされた。

また、毎日、朝夕2度調整する煩わしさから逃れるため、後には二丁天符(Fig.8)が発明された。振れのスピードが異なる二つの棒天符を備え、朝夕に棒天符が自動に切り替わる機構である。この機構は、不定時法を刻む機械時計は和時計のみなで、当然といえば当然なのだが、江戸時代の日本にしか存在しなかった。棒一つは一丁天符と呼ばれる。

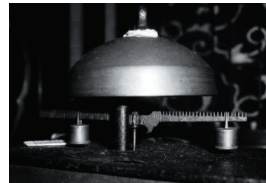


Fig.7 Bou-tempu & Weight in Wa-dokei



Fig.8 Nicyo-tempu in Wa-dokei

3. からくり人形とは

からくり(機械、メカニズムとも言ってよいかもしれない)に関する記事は古くからの文献に登場する。『日本書紀』(720 成立)には、斉明天皇 4 年(658)に「造_二指南車_一」²⁾とあり、車の上に置いた人形が磁石でなく機械の仕組みで常に南を指す構造を持つ「指南車」のこと³⁾、『今昔物語集』(12 世紀初め成立)には、高陽親王(かやのみこ(794~871)、桓武天皇の第七皇子)が身長四尺ほどの水くみ人形をつくり人々の興味をひいた、との話⁴⁾がでてくる。しかしながら、その構造、形状、動きなどについては想像の域を出ない。

時代が下ると、豊臣秀吉の子秀頼が、銭貨を入れると動く仕掛けの人形を輿の先に置いた、という話⁵⁾も残るが、より具体的な記録が残るのは江戸時代からである。

江戸時代に入ると、からくり興行が盛んになる。その始まりは寛文 2 年(1662)に大坂道頓堀で旗揚げした竹田近江による竹田からくり芝居(Fig.9)であるといわれている。舞台全体や道具を動かす大からくり、水からくり、ゼンマイからくりなど機械仕掛けを駆使したからくり人形芝居を興行し、歌舞伎、浄瑠璃と並ぶ、人気の芝居小屋であった。

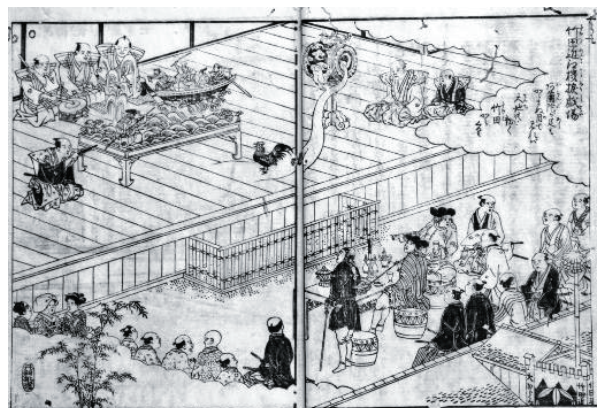


Fig.9 Takeda-Karakuri-Shibai (Settu-Meisho-Zue)

江戸時代の大坂の名所案内である『摂津名所図会』(1798 刊行)には「竹田唐繰(からくり)

を見ねば大坂に来たりし験(しるし)なし」⁶⁾ (竹田からくりを見なければ大坂に来たかいがない)と書かれるほどであった。また、竹田からくりの仕掛けは歌舞伎、浄瑠璃の舞台装置や仕掛けにも大きな影

響を及ぼした。

からくり人形は2種類ある。江戸時代に書かれた百科事典とも言える『和漢三才圖會』(わかんさんさいずえ, 1712 ごろ成立)の「木偶(にんぎやう)」の項には、「用_レ線者稱_一文操_一」「不_レ用_レ線稱_一巧機_一」⁷⁾とある。線を用いるのを文操(あやつり)、線を用いないのを巧機(からくり、機巧とも書く)としている。つまり、糸であやつる人形が文操(あやつり)、糸を用いず自動で動く人形が機巧(からくり)である。本論で論述するのは後者の「機巧(からくり)」である。

また、その用途による分類もある。

興行などで行われる、あやつり、からくり(自動)を問わずたくさんの観衆を対象とした大がかりな仕掛けでスケールの大きなものを「芝居からくり」と呼ぶ。先の竹田からくり芝居がそうであり、また、現在にも伝えられているものの代表としては、福岡県八女市の福島灯籠人形屋台(Fig.10)がある。

この福島灯籠人形屋台は年に1回、秋の祭礼の時に披露され、この時のみ建てられる仮設の小屋は、高さ8メートル、幅14メートル、奥行き6メートルで3層(2階建)の規模である。屋台という名称が似合わない本格的な芝居小屋である。人形芝居に合わせて伴奏お囃子もかなでられる。灯籠人形とあるが、これは江戸時代初期には灯籠人形を実際に飾っていたことによる。時代が下ると灯籠人形は飾られなくなり、より派手な動きのある人形芝居へと変化していったが、灯籠人形の名称は残ったという。



Fig.10 Yame-Fukushima-Tourou-Ningyo-Yatai

次に「山車からくり」がある。山車の上部にある人形が山車の中の人にあやつられパフォーマンスをする。飛騨高山の祭礼での山車が有名である。人形が雲梯のように棒から棒へ移る動作をする「離れからくり」と呼ばれる、一見、自動のように見える仕掛けもあるが、これも糸で操られており自動ではない。京都の祇園祭りの山車の一つである「蟬螂山」も「山車からくり」の範疇に入る。

最後が「座敷からくり」である。サイズは屋内で使われるので、こぶりであり、ゼンマイ、錘などを動力源として、歯車、ばねなど機械部品・機構と組み合わせて自動で動くからくりである。

ポイントはこの自動で動くことであり、『和漢三才圖會』の「巧機」(機巧、からくり)にあたる。代表的な「座敷からくり」の人形である茶運び人形は、ゼンマイを動力として、人形が持っている茶托にお茶碗を置くと人形が自動的に動き、お茶碗をとると自動的に止まり、再びお茶碗を置くと、再度人形は動き出し、ユーターンして戻っていくという動きをする。

座敷のみならず、芝居からくりでも人気があった。井原西鶴は「茶を運ぶ人形の車はたらきて」⁸⁾と、小林一茶は「人形に茶を運ばせて門涼み」⁹⁾(門涼みとは門口に出て涼むこと)と、俳句の題材に取り上げており、人気のほどがわかる。

4. 茶運び人形とテンプ・冠形脱進機

機械時計の中核をなす機構は脱進調速機構で、和時計には主に棒天符+冠型脱進機が使われていた。ゼンマイを動力源とした茶運び人形には、ゼンマイのパワーを徐々に開放するため、また、人形が一定の速度で歩くため、その材質は金属から木製に変わっているが、この棒天符+冠型脱進機の機構がそっくりそのままに使われている (Fig.11)。

このことは寛政 8 年(1796)に細川半蔵頼直によって著された『機巧圖彙』(からくりずい)からも明らかである。

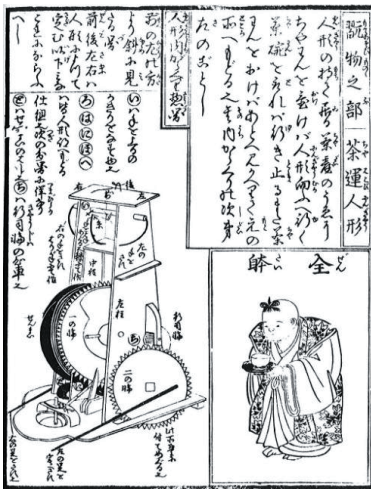


Fig.12 Tea-cup carrying Doll in Karakuri-zui



Fig.14 Shinatama-Ningyo in Karakuri-zui

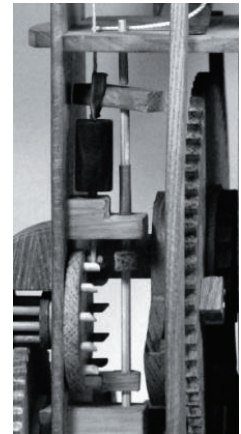


Fig.11 Bou-temp + Verge Escape-ment in Tea-cup carrying Doll

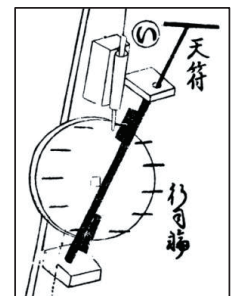


Fig.13 Bou-temp + Verge Escape-ment in Karakuri-zui

『機巧図彙』は和時計 4 種記載の首巻、からくり人形 9 種記載の上巻、下巻からなる。製法とともに、図面、部品・機構図も描かれており、江戸時代最高の技術書とも称されている。また、西洋にも、この時代これほどの内容の技術書は無かったとも言われている。

なかでも茶運び人形 (Fig.12) は他の人形が 4~10 頁なのに対し、12 頁の紙数が割かれ、段返り人形 (水銀の重心移動を利用して階段をバク転しながら降りる人形) とともに詳述されている。棒天符+冠型脱進機の機構も図示されている (Fig.13)。

首巻(時計の部)の最後に「諸機巧専ら此天符行司輪(冠形脱進機のこと)を用いる故に時斗(時計のこと)は諸機巧の根本なり」¹⁰⁾とある。機巧はからくりと読むこともあり、この文章自体が時計からからくり人形への技術の伝播を如実に物語っている。

これに続く上巻の最初が茶運び人形である。茶運び人形は『機巧圖彙』に記載の他の人形と異なり、品玉人形 (Fig.14) ととも

に、「此天符行司輪」つまり、和時計の天符+冠形脱進機が使用されている。

そして、「諸機巧の根本」、換言すれば、からくり人形の技術の根本は和時計にある、ので、著者は意図的に茶運び人形を冒頭に配置したのではなかろうか。

著者細川半蔵頼直は文筆家ではない、暦学を学び、数学・物理に精通し、天球儀・時計・測量器を製作し、寛政6年(1794)、幕府に改暦の計画があった際、5人の改暦助手の内の一人に選ばれた人で科学者・技術者である¹¹⁾。からくり人形の技術の根本は時計からきていることを認識していたのであろう。

この棒天符+冠形脱進機の組み合わせの脱進調速機構は、茶運び人形以外に、童子盃台(Fig.15)、茶酌娘(Fig.16)など自走するからくり人形にも使われているが、いずれも茶運び人形を応用したものと考えてよい。

また、座っている人形が、台の上にある物体をすり替え手品のようなことをおこなう品玉人形にも組み込まれているが、脱進調速の機構は同一である。



Fig.15 Douji-haidai



Fig.16 Chasyakumusume

5. からくり人形の最高傑作

弓曳童子は文字書き人形と並んで、からくり人形の最高傑作である。

いずれも、江戸時代後期から明治初期にかけて、職人・発明家・エンジニアとして活躍し、明治8年(1875)に現在の東芝の始まりとなる工場兼店舗を銀座の地に創設した田中久重(1799~1881)の作だと言われている。

最高傑作と言われる理由は、その動作が他のからくり人形が2次元であるのに比べて3次元の動きをすることにある。

弓曳童子は矢台から矢を取る動作に続いて矢を弓の弦にセットする、それを射

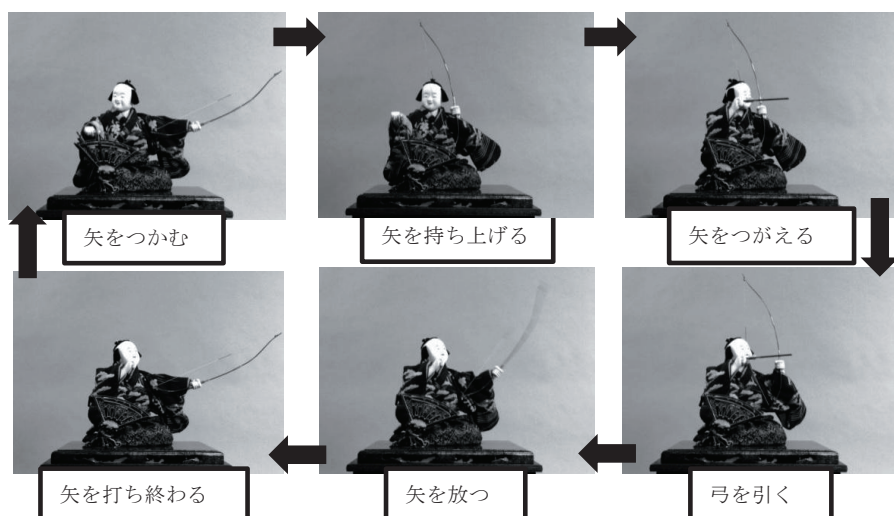


Fig.17 Movement of Arrow-shooting Boy

放つ、また、矢台から矢を取りに行く、この動作を4回繰り返す(Fig.17)のだが、この際の右腕の動きが前後、左右、上下という3次元の動きをする。

文字書き人形(Fig.18)は垂直に立てた紙に筆で字を書くのだが、その字は一筆書きではない。紙に筆を接しある字画を書き、一旦筆を紙から離し、次いで再び紙に筆を接し次の字画を書く。この動きは言うまでもなく3次元である。

その他にも部品・機構が他のからくり人形に比べ複雑あるいは高度なものが使用されている。2体とも金属の大型ゼンマイが使われている。

金属は江戸時代では高価であり、通常の木製のからくり人形に使用されているゼンマイは金属の代用品として鯨のひげ(生物学的には歯)が使われていた。また、カムは茶運び人形が1枚に対して、弓曳童子は7枚、文字書き人形は12枚使われている。なお、文字書き人形は3枚一組のカムで一つの文字を書く。これが4組あり、切り替えることにより「松」「竹」「梅」「寿」の4つの文字を書く。

更に、弓曳童子には他の木製からくり人形には見られない调速機構が組み込まれている。次項にて説明する。

6. 田中久重の作品とフュジー機構

弓曳童子には2種類の调速機構が3箇所に組み込まれている。空気抵抗を利用したエアガバナーが矢台の錘の落下の速度を遅くするため、および人形全体の動きのスピードを調整するため、計2箇所に使われている。そしてゼンマイと糸で連動したフュジー機構(円錐滑車、栄螺車)が1箇所に組み込まれている(Fig.19)。

このフュジー機構は金属製でなく木製である(Fig.20)。主



Fig.20 Wooden cone pulley in Arrow-shooting Boy

に木製の部品が使われているからくり人形にフュジー機構が組み込まれていたのは、この弓曳童子だけだと思われる。

フュジー機構は和時計にも組み込まれている。枕時計の中にもそれが見える(Fig.21)。



Fig.18 Writing Doll

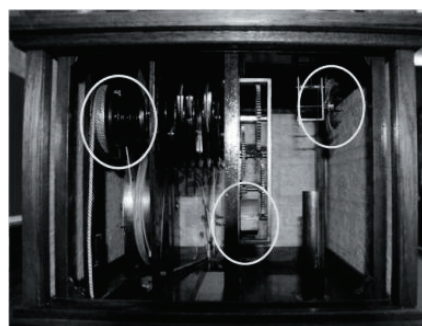


Fig.19 Inside of pedestal of Arrow-shooting Boy
○ : Governors

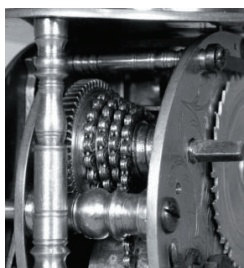


Fig.21 Fusee in Makura-dokei

田中久重はこの機構を独自の工夫の和時計にも組み込んでいる。その一つは仏教の僧侶に製作を依頼された須弥山儀(Fig.22)である。田中久重は弘化4年(1847)に49歳(数え年)で天文・暦学を、嘉永3年(1850)、52歳の時に蘭学を学び始め、西洋の知識も自分のものにした。須弥山儀はちょうどこのころに製作された。

仏教の宇宙観では、世界は須弥山を中心に立体に広がっているとしている。須弥山儀はこれに基づき、中央に須弥山を配置し、その周りを太陽や月などの天体が運行するいわば天球儀のしかけを持つ時計である。地動説に則った動きにはなっていないものの、太陽や月の運行を再現するには西洋の天文学の知識を必要とした。田中久重作のゼンマイを動力とした須弥山儀にはフュジー機構が組み込まれている。

もう一つは和時計の最高傑作といわれ、2006年に国の重要文化財にも指定された万年時計(Fig.23)である。



Fig.22 Syumisen-gi



Fig.23 Mannen-dokei

万年時計は定時法、不定時法の時刻の表示、月の盈虧(えいき)など6面の表示部を備え、江戸時代のあらゆる時の概念を表している。一度ゼンマイを巻くと約1年動作が可能である。通常、和時計は不定時法に対応するため、季節ごとにマニュアルでの調整が必要なのだが、万年時計は自動で対応する仕組みとなっている。また、七宝焼、彫金などが施され工芸的にも非常に優れている。嘉永4年(1851)に製作された¹²⁾。

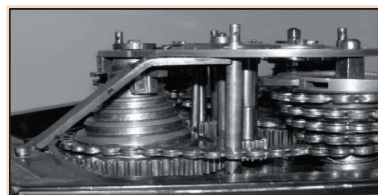


Fig.24 Picture of Fusees in Mannen-dokei

動力がゼンマイの和時計は、通常時計運行用のゼンマイと時打ち(鐘を鳴らす)用ゼンマイの2つを持つのだが、この万年時計は約1年間動作するために時計運行用2個、時打ち用2個、計4個の大型ゼンマイが組み込まれている。これに連動し、時計運行用に2個、時打ち用に2個、計4個のフュジーが取り付けられている¹³⁾(Fig.24, Fig.25)。

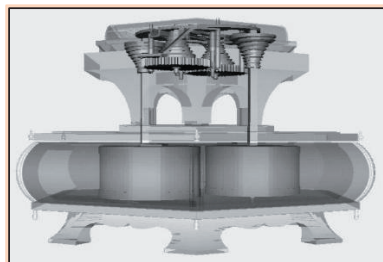


Fig.25 Drawing of Fusees and Springs inside of Mannen-dokei

田中久重は九州久留米の生まれだが、天保5年(1834)に大坂

に移り住み、天保 8 年(1837)に伏見に、更には京都に移住し(正確な移住時期は不明)、佐賀藩にエンジニアとして招かれる嘉永 5 年(1852)まで、20 年近く上方に在住していた。

時計の修理そして製造を手掛け、時計職人としての技能に磨きをかけ、更には暦学、蘭学を学び、西洋の知識をもバックグラウンドにした超一流の時計師となっていた。また、からくり人形、灯器、諸器械の製造・販売も手掛けており、京都では「機巧堂」という名の店を営んでいた。



Fig.26 Picture of Arrow-shooting Boy in Karakuri-emaki

日本で確認されている伝世品の弓曳童子は僅か 2 体であるが、その内の 1 体は久重が住んでいた伏見で発見された。伏見は京都とも近い。また、弓曳童子の記録は、田中久重自筆の絵巻(からくり絵巻, Fig.26, Fig.27)や田中久重の事を綴った文献類などに表れるが、これら以外にはほとんど見当たらない。このことから、弓曳童子は田中久重によって製作されたものであり、伏見・京都に在住していた時代(1837~1852)の作品と推定される。



Fig.27 Karakuri-emaki

この時期は、須弥山儀、万年時計の製作年代と重なる。独自の時計にフジ機構を組み込んだ田中久重は、弓曳童子の大型ゼンマイのトルクを均一化するため時計のフジ機構を応用した、として間違いないであろう。

茶運び人形は広く世に知られており、茶運び人形の脱進调速機構と時計のその類似性は、従来よりも指摘されてきたが、弓曳童子のフジ機構と時計のそれとの類似性の指摘はあまりなされていない。

それは弓曳童子の存在自体が確認されたのが 1990 年ごろと比較的最近で、それまでは研究対象となりえなかったこと、日本で現存品が僅か 2 体であること、また、複製品も多くは作られていないことが要因であると思われる。

7. おわりに

時計とからくり人形の部品・構造の共通性について考察したが、時計とからくり人形の部品の最大の違いはその材質である。時計が鉄、真鍮といった金属によって作られたのに比して、多くのからくり人形は木や竹といった金属以外の材料が用いられている。これは、からくり人形は時計ほど製作コ

ストをかけることが出来ず、高価な金属は使えなかったためであったと思われる。

木製からくり人形に組み込まれているゼンマイの多くは、金属の代替品として鯨のひげ(生物学的には歯である)が材料として使用されていた。鯨のひげのゼンマイの弾性そしてパワーは、金属のそれに比べると大幅に劣る。それを補うため、全体の自重を軽くする必要があった。木材等が使用されたのはこのこともあったと思われる。加工のし易さも理由の一つであったであろう。木材は金属より加工がし易かったのは言うまでもない。

からくり人形は西鶴、一茶のみならず、絵図(Fig.28)¹⁴⁾にも描かれており、江戸時代、幅広く受け入れられていたと思われる。

製造のし易さと相俟って、からくり人形は時計より製造台数は多く、また、製造に携わる職人の数も多かったであろう。このことは、西洋の機械技術を継承する職人の裾野を増やすことに繋がったと思う。

江戸時代、室町時代末期に伝来した西洋技術である鉄砲をはじめとした武器・造船などの技術は幕府の平和政策の方針のもと停滞していた。

しかしながら、一部の技術は絶えることなく伝承され、そして発展していった。時計の技術はその一つである。日本では和時計として独特の工夫が施され、更には長崎経由での伝来品や情報によって新たな技術も取り入れられていった。そして、からくり人形はその技術の裾野を広げることに貢献した。

もうひとつの江戸時代の技術の流れで忘れてはいけないのが、享保5年(1720)に徳川吉宗によって行われた西洋科学関係の書物解禁である。これ以降、多くの学者が損得抜きで西洋科学に挑戦していった。そして、これも西洋科学を知る知識人の裾野を広げることに繋がった。

西洋技術を継承した職人たちの後継者は、幕末・明治初期に科学知識を身につけエンジニアとなり西洋技術吸収の受け皿となった。田中久重はこの2つを自家薬籠中にし、職人からエンジニアに変身し、双方の分野で一流の業績を成し遂げた稀有の人である。

明治維新そして日本の近代化は、坂本龍馬や西郷隆盛のような幕末の志士や政治家だけによって成し遂げられたのではない。

法律、金融、流通、産業、教育などあらゆる分野での近代化が必要だった。なかんずく技術の近代化は西洋に追いつくため急務であった。西洋技術を短期間で吸収・国産化したからこそ、日本はアジアの中でいち早く近代化を成し遂げることが出来たのである。



Fig.28 Ehon-Kikukasane (絵本菊重ね), Book in Edo-period

それを支えていたのは江戸時代、技術を継承し発展させた多くの無名の職人たちである、そしてそれを成し遂げたのは、その職人たちの後継者で科学知識も身につけた多くの無名のエンジニアたちだったと思う。

本論では、技術的な視点では脱進調速機構の技術の伝播に絞りで考察したが、材料も含めて時計とからくり人形の機能・性能の比較、および時計とからくり人形の業界の様子・交流の調査は今後の研究課題である。

参考文献

- 1) 山田慶児『技術からみた人類の歴史』 pp.14～15, 編集グループ SURE(2010).
- 2) 黒板勝美他編『新訂増補 国史大系 第1巻下 日本書紀 後篇』 p.268, 吉川弘文館(2007).
- 3) 鈴木一義『微笑に隠された江戸ハイテクの秘密 からくり人形』 p.21, 学研(2002).
- 4) 小峰和明校注『新日本古典文学大系 36 今昔物語集 四』 p.384, 岩波書店(1994).
- 5) 立川昭二『からくり』 p.17, 法政大学出版局(1969).
- 6) 森修編『日本名所風俗図会 10 大坂の巻』 p.153, 角川書店(1980).
- 7) 寺島良安編『和漢三才圖會 卷第二十』 pp.375～376, 中外出版社(1901).
- 8) 校注・訳者金子金治郎他『蓮歌集・俳句集 新編日本古典文学全集 61』 p.462, 小学館(2001).
- 9) 信濃教育委員会編『一茶全集／第六巻 句文集・選集・書簡』 p.139, 信濃毎日新聞社(1976).
- 10) 菊池俊彦解説『江戸科学古典叢書 3 璣訓蒙鑑草 三巻 機巧図彙 三巻』(原文読解) p.43, 恒和出版(1976).
- 11) 著者発行者田中瀧治『細川半蔵頼直』 p.9(1996).
- 12) 「万年時計ものがたり」編集委員会編『万年時計ものがたり』 pp.24～29, 東芝科学館(2010).
- 13) 編集発行「江戸のモノづくり」研究班『万年時計復元・複製プロジェクト』 pp.16～20(2005).
- 14) 中村幸彦, 日野竜夫編『新編稀書複製会叢書 第36巻』 pp.126～127, 臨川書店(1991).

技術報告

ケース側面で受光し駆動するリングソーラー時計の開発

菅野 雄大, 古布 諭, 斉藤 明洋

シチズン時計株式会社

(2012 年 10 月 15 日原稿受付)

Development of the watch using ring-shaped solar cell driven by the light of the case side

Yudai KANNO, Satoshi KOBU and Akihiro SAITOH

CITIZEN WATCH CO., LTD.

ABSTRACT

We developed the solar powered watch of the free dial design that placed a ring-shaped solar cell in the case side. We designed it from the experiments such as the light receiving efficiency by the posture difference, illuminance distribution in the solar cell, the shape of the transmissive ring. Furthermore we demonstrated that enough balance was provided from data by the actual use of this new concept solar watch.

1. はじめに

シチズン時計(株)では、ソーラー発電をエネルギー源とする時計「エコ・ドライブ」の製品化を行ってきた。しかし、一般的なソーラー発電時計は腕時計のフェイス部分にソーラーセルが配置された構造であるため、文字板のデザイン制約が大きく特に金属調の文字板の使用が難しかった。そこで、腕時計のフェイス部分以外で光発電させる構造を検討し、ケースの側面内部にソーラーセルをリング状に配置し、ケースの側面部分で光発電する斬新なデザインの「エコ・ドライブ リング」(Fig. 1)を提案するに至った。新構造を実現することにより、文字板のデザイン制約を無くし自由なデザインの文字板を持つエコ・ドライブという新しい価値を創造できることが期待される。

エコ・ドライブ リングは文字板のデザイン制約を無くせるが、ソーラー発電時計であるため、時計システムの消費電流とソーラーセルの発電量とのエネルギー需給のバランスを確保できるかが課題となる。そこで、エコ・ドライブ リングの受光効率の調査を行い、エネルギー需給のバランスを推測し開発を行った。また、



Fig. 1 Eco-Drive Ring

発電量を多くするための最適な構成を検討したので、これらの技術内容についての報告を行う。

2. エコ・ドライブ リングの構造

Fig. 2 はエコ・ドライブ リングの断面図である。サイドガラスで覆われたケース側面内部にポリカーボネート製の半透過リングを配置し、その内側にソーラーセルをリング状に配置した構造である。ソーラーセルは、フィルム上にアモルファスシリコン層を形成した細長い帯状のフレキシブルなソーラーセルであり、半透過リングの内面へ文字板に垂直に丸めて収納し、ソーラーセルが広がろうとする張力で半透過リングの内壁に張り付いている。セルの構成は過去に行ったリングソーラー時計の開発¹⁾から、単セルが有利であることが判明していたため、単セルを採用している。半透過リングは、Fig. 3 に示すように外側にコインエッジ風の溝と金属蒸着で装飾し、光を取り込むケース側面の外観を向上させている。

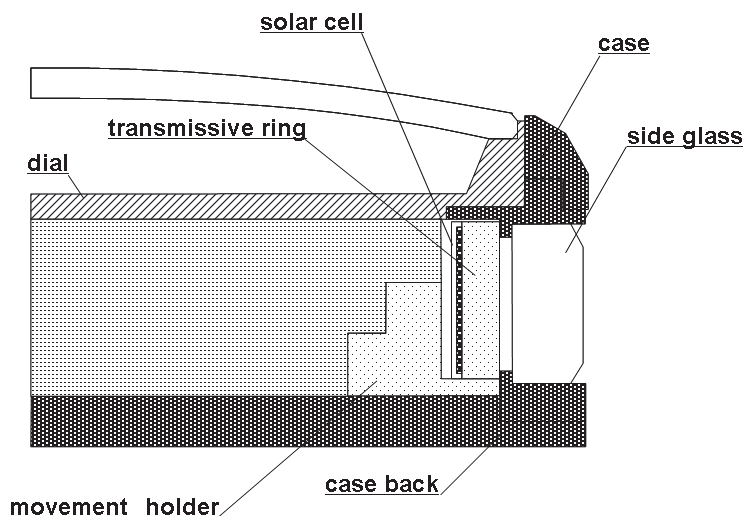


Fig. 2 Cross section of Eco-Drive Ring



Fig. 3 The appearance of the case side

3. エコ・ドライブ リングの受光効率

本構造を用いたソーラー発電時計のエネルギー需給のバランスを把握するため、平均的なオフィスの環境で半透過リングを配置していないエコ・ドライブ リングを装着した時の受光効率の調査を行った。受光効率とは、同一環境でソーラーセルを平置きにした場合の発電量とソーラーセルをケース内に配置した場合の発電量の比率である。

Fig. 4 にオフィス環境でエコ・ドライブ リングを装着した時の受光効率を示す。携帯者は朝 9 時 30 分過ぎから時計を装着し、17 時 30 分ごろに時計を外している（12 時から 12 時 45 分は休憩時であり、太陽光等の環境の異なる光が入射する恐れがあるため、暗箱に保管している）。この結果より、装着時の平均受光効率は約 20%であることがわかり、これを基準に開発を行った。

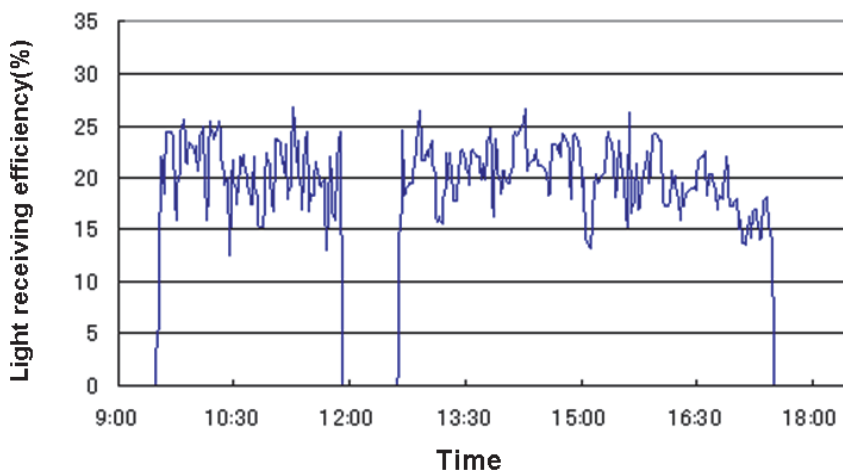


Fig. 4 Light receiving efficiency at the time of the wearing

また、上記の結果からエコ・ドライブ リングは過去に報告したリングソーラー時計¹⁾に比べ、装着時の受光効率の変化が少ないことが推測された。これは、エコ・ドライブ リングは側面に受光面があることにより、通常天井面にある光源からの直接光を受けるだけでなく、屋内での各方向からの反射光を主に受けていることから、時計の傾斜角度の影響を受けにくいと考えられる。そこで、これを証明するために、オフィスの環境で、Fig. 5 のようにエコ・ドライブ リングを天井面に平行な配置場所に対して

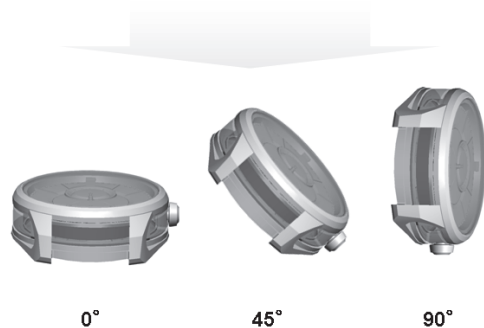


Fig. 5 Angle of inclination of the watch

傾斜角度を変えた場合の受光効率の調査を行った。Fig. 6 にはケース側面が向く各方向での受光測定結果を示す。この結果より、腕時計が平面に対し傾斜角 45° の場合で受光効率是最も高いが、角度を変化させても受光効率に大きな変化は見られなかった。よって、平均的なオフィス環境では反射等で散乱する光が多く、光源と異なる向きのケース側面にも光が照射するため、エコ・ドライブ リングの受光効率は傾斜角度に依存しにくい構造であることがわかった。

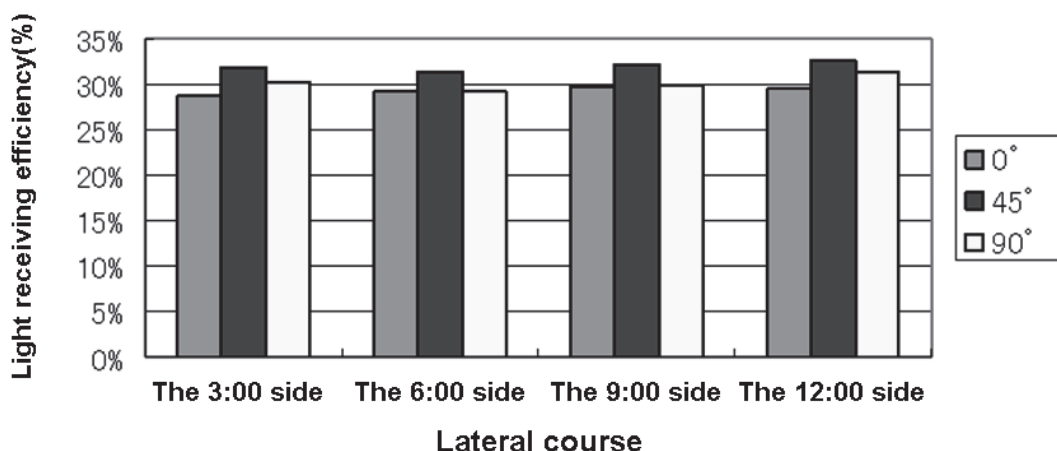


Fig. 6 Relations of an angle and the light receiving efficiency

4. ソーラーセルの照度分布

Fig. 7はエコ・ドライブ リングのケースであり、サイドガラス及び巻真を保持するため、柱が5本あることが特徴である。12 時側と 3 時側にある柱の中心をソーラーセルの基準位置として、ケース側面内部にリング状にソーラーセルを配置し、平均的なオフィスの環境で使用した場合のソーラーセルの照度分布のシミュレーションを行った。

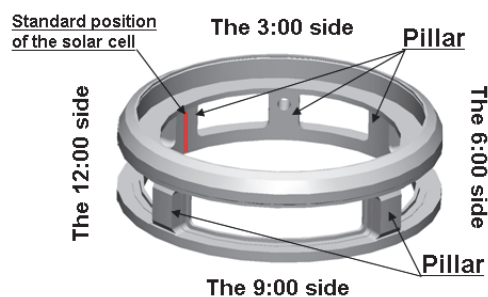


Fig. 7 Case of Eco-Drive Ring

Fig. 8 はソーラーセルの照度分布のシミュレーション結果で、ケース側面内部にリング状に配置して

いたソーラーセルを細長い帯状のソーラーセルに戻した図であり、色の濃淡で照度の強さを表している。短手方向ではケース上面のほうが下面よりも厚く入射する光を遮るため、ケースの上面に近づくにつれ、照度が低くなるよう分布が生じている。また、長手方向ではケースの柱で光を遮り、柱の位置に応じて照度の低い部分が生じている。この結果より、エコ・ドライブ リングの受光効率はケー

スの形状に依存するため、発電量を平均化できる単セルのほうが優位であることがわかった。

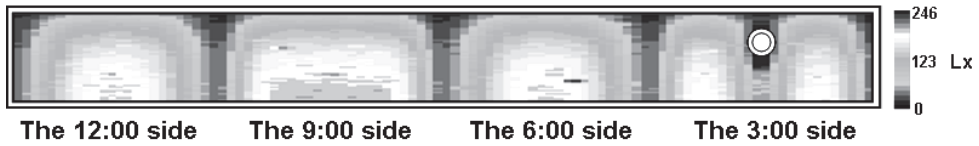


Fig. 8 Illuminance distribution of the solar cell in the case

5. 半透過リングの最適形状

半透過リングは、デザイン性を高めるため、外側にコインエッジ風の溝を施している。今回、Fig. 9 の半透過リングの断面図に示す溝の深さ d による発電特性への影響について調査を行った。Fig. 10 は半透過リングにコインエッジ風の溝がない状態の発電量を基準として、溝の深さ d を変えた場合の発電量の比率を示している。この結果から、溝の深さが大きくなるほど、発電量が低下することがわかった。しかし、0.5 mm の溝幅に比べ、比較的小さい 0.2 mm の高さであればほとんど溝の影響はなく、溝がない場合と比べて著しく発電量が低下しないことから、溝の深さ d は 0.2 mm を採用した。

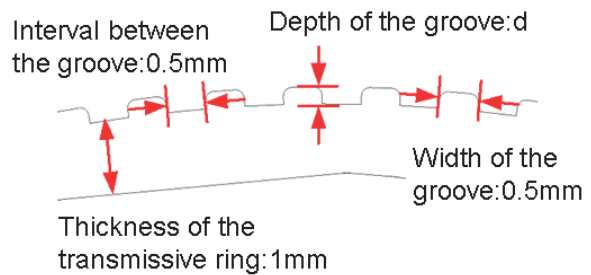


Fig. 9 Cross section of the transmissive ring

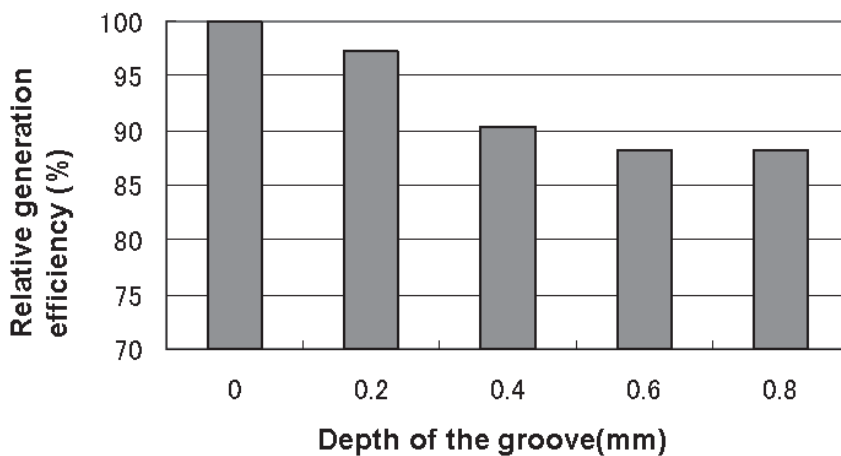


Fig. 10 Relations between depth of groove and quantity of generation

6. 携帯試験結果

以上より開発を行ったエコ・ドライブ リングで年間を通しての携帯試験を実施した。被験者 15 人に 1 ヶ月の携帯期間における電池残量変化の結果より、携帯中の電力収支を測定した。Fig. 11 は月毎の電池残量の増加分で時計が何日駆動可能かを示すグラフである。

この結果から、冬の期間は服装の変化（長袖）及び日照量の影響により、駆動可能日数が減少しているが、1 年間を通していずれの月においても駆動可能日数は正の値を示し、今回の商品化した構成においてはソーラー発電時計として十分な仕様を満たす結果を得られた。

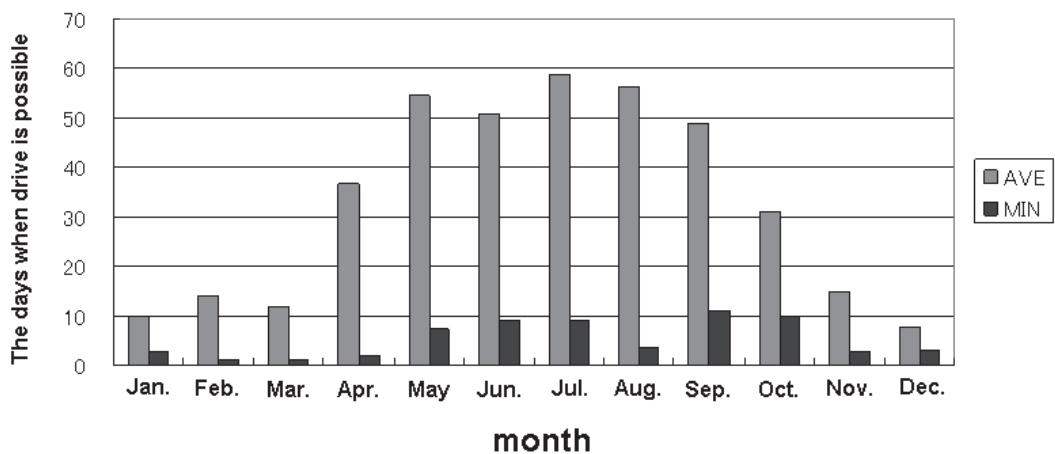


Fig. 11 Monthly result of the practical test

7. まとめ

エコ・ドライブ リングというソーラーセルをケース側面に配置した腕時計を提案し、その実現性を検討した。従来のエコ・ドライブとは異なる方向から光を受ける構造ではあるが、比較的高い受光効率を有するとともに、方向の依存性も少なく安定した受光ができていたことが判明した。実際に作成した腕時計には、年間を通して連続して駆動することが出来るに足るエネルギーが得られ、エコ・ドライブ リングが実用的に十分な性能を持つことが証明できた。これにより、自由なデザインの文字板を持つソーラー発電の腕時計が実現できるとともに、エコ・ドライブに新たな広がりを持たせることが出来ると考えられる。

参考文献

- 1) 長, 山田, 田中, 村上, 永田: リングソーラー時計の開発, マイクロメカトロニクス, Vol. 46, No. 3, pp. 32-42 (2002).

技術報告

トリプルセンサー電波ソーラーアナログウォッチの開発

常葉 輝久

カシオ計算機株式会社

(2013 年 3 月 18 日原稿受付)

Development of the analog watch

with radio controlled, tough solar powered, and with triple sensor

Teruhisa TOKIWA

CASIO COMPUTER CO., LTD.

ABSTRACT

The "PROTREK" is the wrist watch series that CASIO has been producing for outdoor use which has advanced sensor technologies to measure various data. We proudly announce the newly developed analog wrist watch PROTREK PRX-7000T. This analog wrist watch is an atomic watch with solar powered and with three sensors to measure atmospheric pressure for altimeter and barometer, magnetic field for compass and temperature for thermometer. PRX-7000T is targeted to develop as a practical tool with the high visibility even at 8,000 meters altitude peaks in the Himalayan Mountains. This paper explains the technical summary of the development of PRX-7000T.

1. はじめに

カシオ計算機では高度なセンサー技術を駆使して自然界の様々な情報を計測するアウトドアウォッチ「プロトレック」を製品化してきた。

デジタル主体のラインナップに対し、アナログユーザーに向けて本物の上質なアナログ時計であり、ヒマラヤの 8000m 峰でも実用性のある道具となる製品の開発を目指し、今回、トリプルセンサー電波ソーラーアナログウォッチ (Fig.1 PRX-7000T) を製品化した。その技術概要について述べる。



Fig.1 PRX-7000T

2. 開発のポイント

プロトレックの様な多機能センサーアナログ時計を開発する上では次の様な課題がある。

(1) 指針状態の認識や、操作、設定が複雑で難しい

自分でキー操作したにも関わらず一見して何を示しているか分からない場合や、設定変更の仕方が分からない場合がある。

(2) 部品点数が多く、部品配置の制約条件が存在する

通常のウォッチに比べて、センサーを含む多くの部品を搭載しなければならない、さらに、磁気センサーを搭載している事により、部品配置の制約条件がある。

そこで、これらの課題をふまえた上で、以下の内容を達成する事が目標とされた。

- ・ユーザビリティの優れた製品仕様
- ・多機能を直感的に操作できるシステム
- ・高密度実装による製品適正サイズ

3. ユーザビリティの優れた製品仕様

3. 1. モード針

モード針を時針、分針、秒針と同じ中軸とする事で、表記位置が大きな円周上に確保でき、モードを表すだけでなく、設定状態（ON/OFF、単位）、曜日、符号も同時に指針する事ができるようにした。



Fig.2 Mode hand

3. 2. センサー指針（時針，分針，秒針）

ベゼルに 0～9 の数字を印字し，独立駆動する 3 針でセンサー計測値を指針するようにした。すなわち，全ての計測共通で，時針→分針→秒針の順に針が示したベゼルの数字を読む方法により，それぞれの計測種（高度，気圧，温度）に対して，測定値を読み取ることができ，各種の測定値が判読しやすく，読み取り操作が覚えやすい表現になった。たとえば，図 3 の温度測定の例では，時針の指す 1，分針の指す 4，秒針の指す 5，モード針の指す単位（℃）を読んで，14.5℃と読み取ることができる。

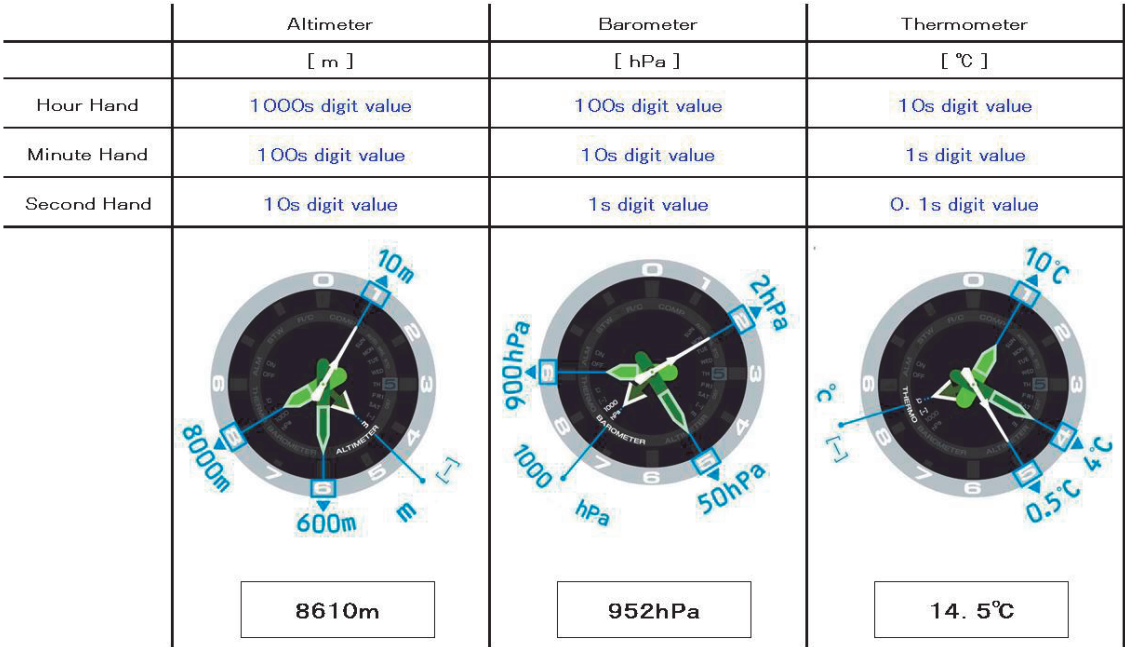


Fig.3 Hand indicator (sensor)

3. 3. りゅうず

ボタン操作ではイメージしにくかった，高度補正，時刻修正，都市切替などの設定を，りゅうずを「引く」，「回す」の操作の組み合わせにより実現し，直感的な操作が可能となった。

3. 4. フルオート LED ライト

アナログ時計ではライトがついていない場合が多いが、プロトレックが使われるシーンを想定して、フルオート LED ライトを搭載した。また、周囲の明暗を検知し、腕を傾けるだけで高輝度 LED ライトが発光するようにしたことで、煩わしい操作なしでアウトドアや夜間などにおける視認性を向上させた。

4. 多機能を直感的に操作できるシステム

りゅうずと独立駆動アナログの組合せにより、多機能でありながら、シンプルな操作性とスムーズな表示切替を実現した。

4. 1. りゅうず

引く、回す動作を実現するだけでなく、回転した事をクリック感（1 回転で 4 クリック）によって感覚的に認識出来るような機構を実現し、操作性を向上させた。クリック感を発生させる機構を以下に説明する。

りゅうずの回転に連動して CORRECTING WHEEL が回転する。PLATE が CORRECTING WHEEL に押されていない時、PLATE SPRING-2 のばねによって PLATE は基準位置にある。りゅうずが回転すると CORRECTING WHEEL の凸部が PLATE を押す。さらにりゅうずが回転し CORRECTING WHEEL の凹部に到達すると、PLATE への荷重がなくなりクリック感を得る事が出来る。その際に、PLATE SPRING-2 のばねによって PLATE が基準位置に戻される。

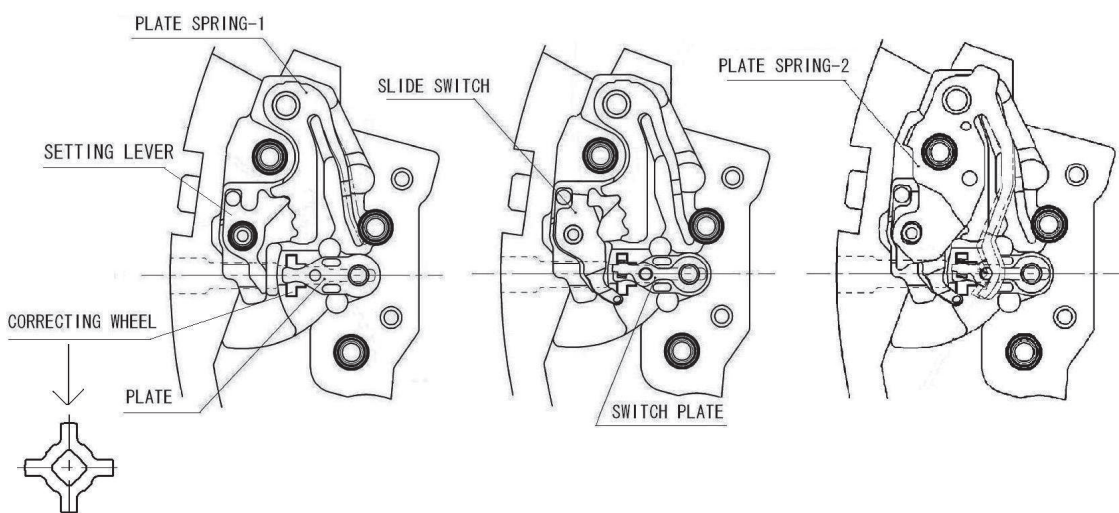


Fig.4 Crown switch mechanism

4. 2. 独立駆動アナログモーター

中4軸の独立駆動では、モード針と時針が隣接している為、モード針が動くとき針が連れ動いてしまう現象が起こる。これにより、ボタン操作をしてモード遷移をした場合に、モード針が動き、時針が連れ動くことで異なる位置を時針が示す事になり、見かけ上、間違った時刻を認識させてしまう様な挙動となる。対策として、モード針が動くたびに、時針をわざと振り動かす様な不自然な動作をさせて連れ動きを解消するような事が必要になる。そこで、図5に示したように、ダブルセンタチューブを採用する事により、モード針と時針を切り分け、連れ動きを防止する事により、スムーズな針の動き、運針品位の向上を実現した。

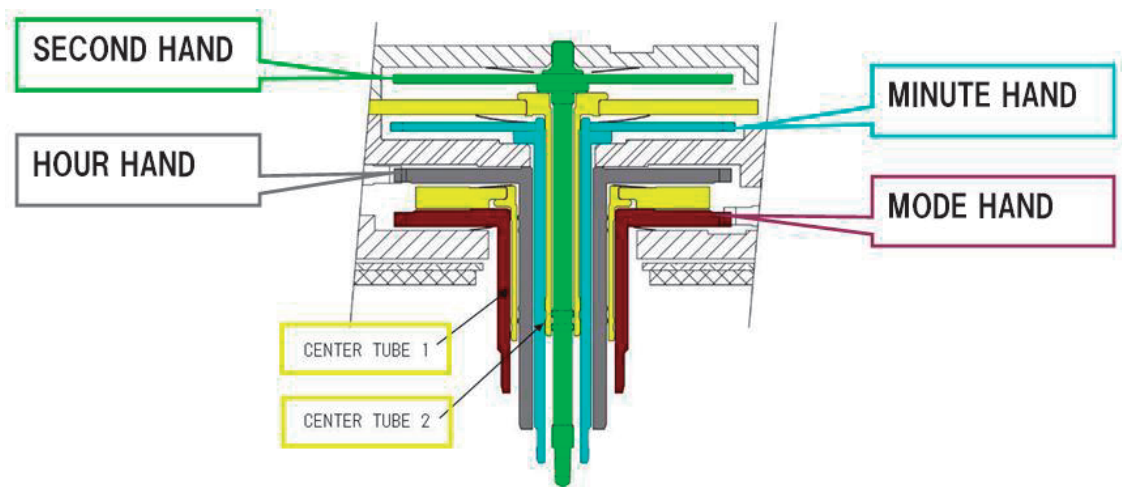


Fig.5 Center tube

5. 高密度実装による製品適正サイズ

通常のウォッチに比べて、3つのセンサー、5つのモーター等部品点数が多く、また、センサーを駆動する為の大きな電池、電波受信アンテナ等、大きな部品を搭載する必要がある。更に、精度の高い方位計測を実現する為に磁気センサーと各部品の距離条件が以下の様に規定されている。それらの制約条件を満足した高密度実装により、製品適正サイズを実現した。

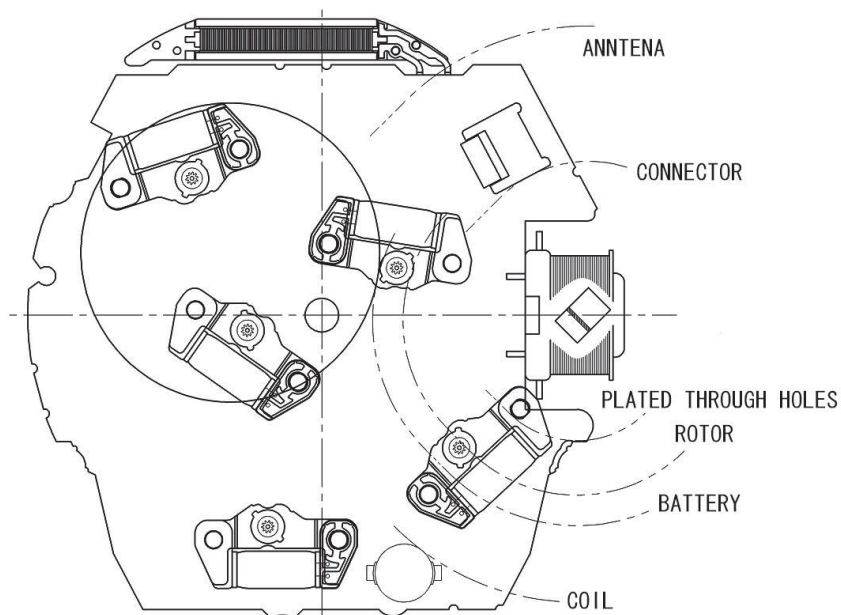


Fig.6 Magnetic sensor – distance

5. 1. 磁性部品と磁気センサー

磁気センサー周辺の磁性部品が着磁していない状況では、磁気センサーは地磁気をそのまま検出するが、強い磁場を発生する環境で磁性部品が着磁されると、磁気センサーが検出する地磁気に影響を与え、誤差が大きくなる。磁性部品が同じだけ着磁しても、磁気センサーとの距離が離れていると、磁気センサーへの影響が小さくなり、誤差が小さくなる。各磁性部品ごとに磁気センサーとの距離条件を規定して、ある磁場環境までは精度を確保する耐着磁規格を定めた。

5. 2. モーターと磁気センサー

今回の機種では、時針、分針、秒針、モード針、日車と、5つのモーターを搭載しており、モーターにはローター磁石が使われている。このローター磁石は、地磁気よりもはるかに強い磁場を発生させる為、ローターが磁気センサーに近いと、磁気センサーの測定レンジを超えてしまい地磁気の検出が行えなくなってしまう。その為、ローターと磁気センサーの距離を規定し、磁気センサーの測定レンジを超えない距離を確保した。

6. おわりに

今回, 多機能でありながらユーザビリティに優れ, 適正サイズでの商品開発を実現した. 今後の課題として, センサーの高性能化, 計測時間の短縮, 運針の高速化により, 指針表現, ユーザビリティの更なる向上が必要である. また, センサー, モーターの低消費電力化による小型電池で駆動可能なシステムの開発, 各部品の小型化を達成し, デザイン自由度の向上や女性サイズでの商品開発が求められている.

7. 参考文献

- (1)長谷川幸佑, 山崎晋, 常葉輝久: トリプルセンサー電波ソーラーコンビネーションの開発, マイクロメカトロニクス, Vol.55, No.204, pp.43-48, 2011

技術報告

アクティブマトリクス EPD ウォッチの開発

村山 哲朗, 小越 剛, 関 重彰

セイコーエプソン株式会社

(2013 年 03 月 19 日原稿受付)

Development of active matrix EPD watch
Tetsuro MURAYAMA, Tsuyoshi KOGOSHI, and Shigeaki SEKI
SEIKO EPSON CORPORATION

ABSTRACT

We report two key points about development of active-matrix EPD watch. The first point is to improve display response on user operation. We found that it is enough for reading menu or time on the screen to drive at least 90% of saturated white reflectance. The other is how to ensure display quality to drive a part of screen in the long term. We decided to select suitable EP sheet lot to use through testing reflectance-writing times.

1. はじめに

書籍の電子化が進むとともに、その表示媒体として電子ペーパーが注目されている。中でも電気泳動ディスプレイ(Electro Phoretic Display : 以下 EPD)は、世界中で多くの電子書籍端末が商品化されている。

EPD の持つ特長として下記が挙げられる。

- ① 白と黒の高コントラスト
- ② 表示保持性 (表示のみでは電力を消費しない)
- ③ 視野角 $\approx 180^\circ$

この EPD に高精細な TFT(Thin Film Transistor)基板を組み合わせ、2010 年にアクティブマトリクス EPD ウォッチ(Cal.S770)、さらに 2011 年に派生機種(Cal.S771, Fig. 1)を商品化した。以下、EPD ウォッチの開発におけるポイントを 2 つ報告する。

- ① 操作性向上
- ② 部分駆動における長期表示品質の確保



Fig. 1 SEIKO SPIRIT SMART (Cal.S771)

2. EPD の駆動方法

EPD ウォッチには E Ink Holdings Inc 製のマイクロカプセル型 EPD 材料を用いた。基本構成を断面図で Fig. 2 に示す。マイナスに帯電した白色微粒子と、プラスに帯電した黒色微粒子がそれぞれ溶媒とともに数十マイクロメートルのマイクロカプセル内に封入され、このマイクロカプセルが画面上に敷き詰められる。マイクロカプセルを上下に挟むように電極を配置し、表示面側の透明な共通電極と TFT 上の画素電極の間に電位差を与えることにより、白色の微粒子と黒色の微粒子がそれぞれ上下に移動することで表示が切り替わる。例えば、共通電極に GND 電位、画素電極にプラスの電位を印可すると、マイナスに帯電した白色微粒子が画素電極側に、プラスに帯電した黒色微粒子が共通電極側に移動する。

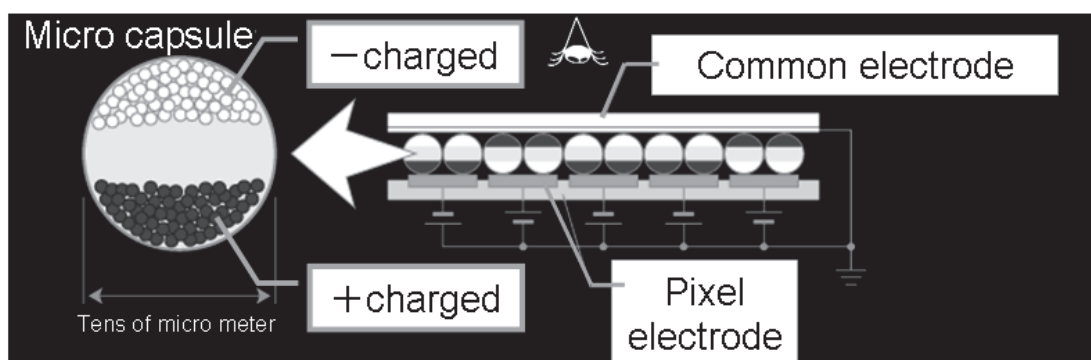


Fig. 2 Cross section drawing of EPD

EPD を駆動する際の注意点として”DC バランス”がある。DC バランスとは EPD に印加する電位差の向きおよび時間を正負で等しくすることである。液晶ディスプレイの駆動では液晶の劣化を防ぐために交流駆動を行うが、EPD でも同様の考え方が必要となる。DC バランスがとれていないと EPD が劣化し、反射率の低下や表示の焼き付きなど、デバイスへのダメージに起因した表示への悪影響が現れる。この DC バランスを確実にとる駆動方法として、我々はそれぞれ「全面駆動」、「部分駆動」と呼ぶ駆動方法を開発した。全面駆動は画面全体に対し、白色と黒色を同時に書き換える駆動方法であり、部分駆動は表示している画像の一部を、白色または黒色へと書き換える駆動方法である。

【全面駆動】 Fig. 3 に駆動パルスの詳細を示す。表示したいデザインに合わせて複数の画素電極を電氣的に 2 種類に区切り (PIXEL 1, PIXEL 2)、それぞれに GND 電位およびプラス電位を印可する。さらに共通電極 (Vcom) に GND 電位とプラス電位を交互に繰り返し印可する。これにより画素電極と共通電極の間に電位差がある場合、例えば画素電極がプラス電位、共通電極が GND 電位のタイミング①では PIXEL2 は黒色に変化する。一方、GND 電位を印加した画素電極 PIXEL1 では、共

通電極との間に電位差がないため表示が切り替わらない。次のタイミング②では共通電極がプラス電位となるため、プラス電位を印加した画素 PIXEL2 では表示が変化せず、GND 電位を印加した画素 PIXEL1 は白色に変化する。EPD には電位差が発生しない限り表示を保持する特性があるため、これら黒色への書込みと白色への書込みを時分割的に交互に繰り返すことで画面全体を書き換えられる。各書込みを例えば 20Hz で繰り返すことにより、人の目には画面全体が同時に切り替わっているように変化させることができる²⁾。

ここで、前述の DC バランスをとるために反転表示での全面駆動と正転表示での全面駆動を連続して行う。つまり、本来表示したい画像の反転画像が表示されるように画素電極に電位を印加して全面駆動を行った後、画素電極に印加する電位を逆にして、もう一度全面駆動を行う。これにより任意の画素において DC バランスが取られた状態になり、EPD の劣化を防ぐことができる。

【部分駆動】 駆動パルスの詳細を Fig. 4 に示す。この例では、“11:50”から“11:52”までの表示の切り替わりを抜き出している。より詳細に

は“11:50”の 1 桁である“0”を消去した状態から“1”を書込み(Fig. 4 (A))、1 分後の“11:52”へ切り替えるために“1”を消した状態(Fig. 4 (B))までを示している。

部分駆動では画素電極を「書き換える領域 (PIXEL1)」と「表示を保持する領域 (PIXEL2)」を電氣的に区切る。駆動期間(A)では、PIXEL1 の画素電極にはプラス電位、PIXEL2 の画素電極と共通電極には GND 電位を印加する。この駆動により PIXEL1 すなわち書き換える領域に指定した部分のみ黒色に変化し、その他の領域では元々表示されていた画像が保持される。次に、駆動期間(B)において、各電極には駆動期間(A)とは逆の電位を印加する。こうすることにより、PIXEL1 の領域のみが白に変化し、“1”の表示を消すことができる。このとき、“1”という領域において正方向の電位差と負方向の電位差が印加されている時間は等しい (すなわち、DC バランスが取られている)。以上のように、書込みと消去を対で行うことにより DC バランスを取るようにしている。

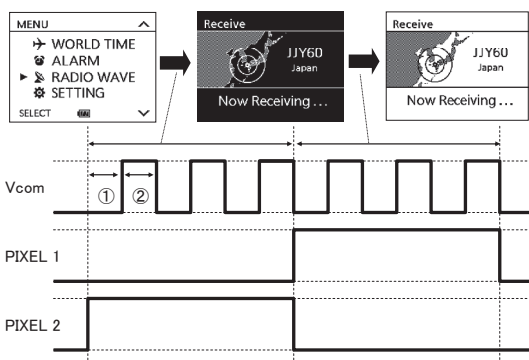


Fig. 3 A part of pulses which drive full screen

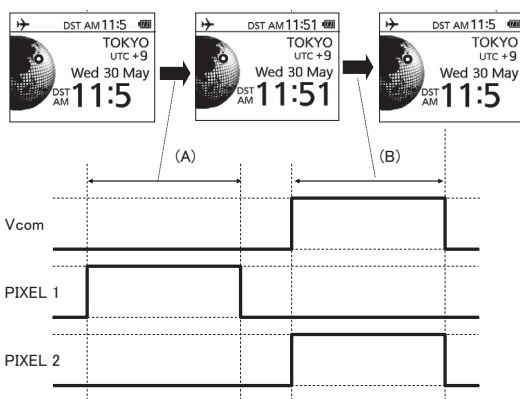


Fig. 4 A part of pulses which drive part of screen
(Changing only one digit of the minute)

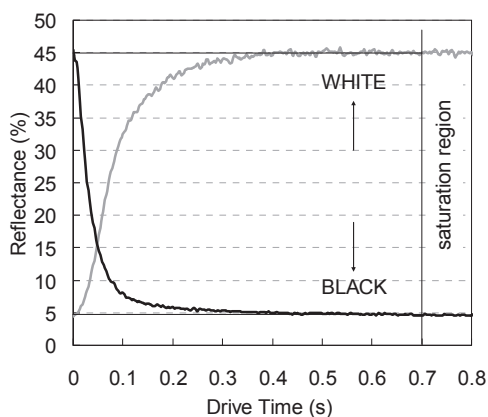
3. ポイント①「操作性の向上」

EPD の特徴として、表示切り替わりの速度が遅いことが挙げられる。Fig. 5 に EPD の応答特性を示す。Fig.5 (A) は黒から白への応答および、白から黒への応答を示している。また Fig. 5(B) は反射率の低い領域を拡大した図である。ここで、白黒の反射率差が白側で 4%以上、黒側で 0.4%以上の反射率差が生じた場合を前画面の影響すなわち残像と定義した。この残像が発生しないためには、白から黒へ変化するのに必要な時間で律速し 0.7 秒以上の駆動時間が必要となる。ここで、全面駆動では白色への駆動と黒色への駆動を交互に行うため合計 1.4 秒を要し、更に DC バランスを取るために反転・正転の 2 回の駆動を行うため、1 回の画面更新に要する時間は 2.8 秒となる。

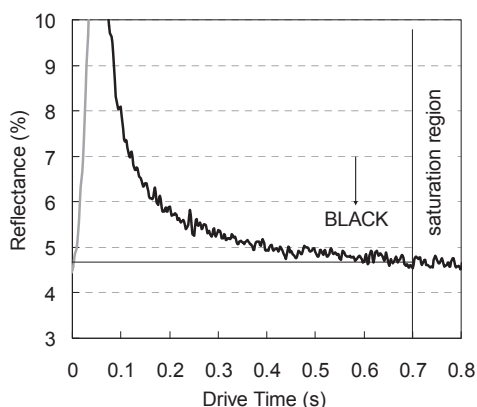
以上の駆動を行うことにより、前画面の残像のないきれいな表示を実現することができる。

一方、ユーザがボタン操作でモード切り替えをする場合、2.8 秒の待ち時間は長い。そこでボタン操作時に限り、表示書き換え時間の短縮化を図った。

Fig. 6 は黒から白側への応答において、0.7 秒の駆動時間で到達する反射率を 100 % (到達反射率)としたときの応答特性を示している。Fig. 7 に到達反射率に対し、応答途中の状態とどめた場合の表示例を示す。90%の状態では残像は残るが、メニューやカーソルはくっきりと表示され十分に判読可能である。一方 80%の状態ではコントラストが低く、残像と文字の重なり部分で判読しにくい。そこで我々は、短い応答時間が要求されるボタン操作時に限り、反射率を到達反射率の 90%に



(A) White and black side



(B) Enlargement of black side

Fig. 5 Reflection characteristic of our EPD

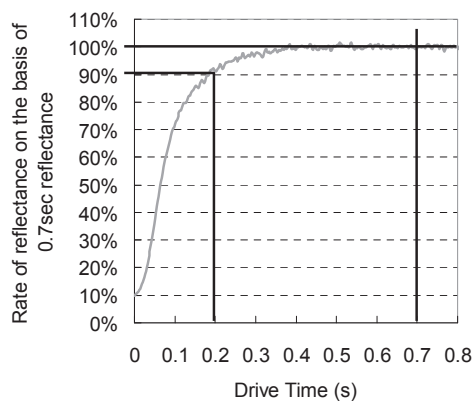


Fig. 6 Rate of reflectance on the basis of 0.7sec

設定した。この結果、表示切り替え時間は $0.2 \text{ 秒} \times 2(\text{全面駆動}) \times 2(\text{DC バランス}) = 0.8 \text{ 秒}$ となり、2.8 秒から大幅に短縮でき、ボタン操作時の快適性を向上した。



Fig. 7 Screen at the time of short drive

4. ポイント②「部分駆動における長期表示品質の確保」

腕時計には、簡単に時刻を確認できる必要があり、ユーザが時刻を確認するタイミングはいかなる時もありうる。つまりユーザが時計を操作していない間も表示を更新する必要がある。

腕時計における画面の更新回数を数えると、1 分に 1 回の表示更新とした場合、1 日では 1440 回の表示更新回数となる(Table 1)。ここで、同じ電気泳動ディスプレイを用いた電子書籍端末にこの表示更新回数を当てはめて考えてみる。書籍 1 冊を 360 ページとすると、実に 4 冊分の表示切り替え回数となる。これだけの書籍を毎日読み切る生活は一般的ではない。時計では電子書籍端末に比べ、表示更新回数に対する耐久性が非常に高いレベルで要求される。

Fig. 8 に示す時刻更新シーケンスは、低消費電力性に優れた画面更新方法である。毎分の時刻更新では、1 分桁のみを更新する「部分駆動」を用いている。その他の領域は 10 分桁を更新するタイミングに「全面駆動」にて更新する。毎分の更新において、必要な領域だけが更新されるため、画面更新時における消費電力が少ない。

Table1 Number of screen update for each product

Number of updating	Watch	e-Reader
1,440	1day	4 books
43,200	1month	120 books
525,000	1year	1,460 books
5,250,000	10years	14,600 books



Fig. 8 Drive sequence of Cal.S770

しかしながら，この方法では部分駆動で更新される 1 分析の領域と全面駆動で更新されるその他の領域において 10 倍の更新回数の差が生じる．Fig. 9 に EPD ウォッチにおける駆動回数(1 日は 1440 回)と反射率の変化の関係を示す．Fig.9 (a)は黒側の到達反射率，Fig. 9 (b)は白側の到達反射率の特性である．白・黒いずれの到達反射率も駆動回数が増えるにつれて変化することが分かった．1 分析の領域はこの特性のように反射率が変化すが，その他の領域は 1/10 の速度で変化する．一画面内における更新回数の違いにより，到達反射率の違いが顕著になると残像として現れる．

1 分析の領域と，その他の領域の反射率の差を ΔR とし，黒側での差を ΔR_{Black} ，白側での差を ΔR_{White} とする． ΔR と EPD ウォッチの使用時間との関係を Fig. 10 に示す． ΔR_{Black} は 10 日までに負の値でピーク値となり，1 分析の領域の黒色が濃くなる．また，100 日以降では正の値となり，1 分析の領域の黒色が薄くなる．一方 ΔR_{White} は，10 日までは差がほとんどないが，100 日程度までに反射率差が大きくなる．100 日以降では反射率の差が一定となる結果が得られた．

ところで，EPD ウォッチの製造後にユーザの手に渡るまでには，概ね一ヶ月必要となる．従って我々は，10 日以降の領域に着目した．

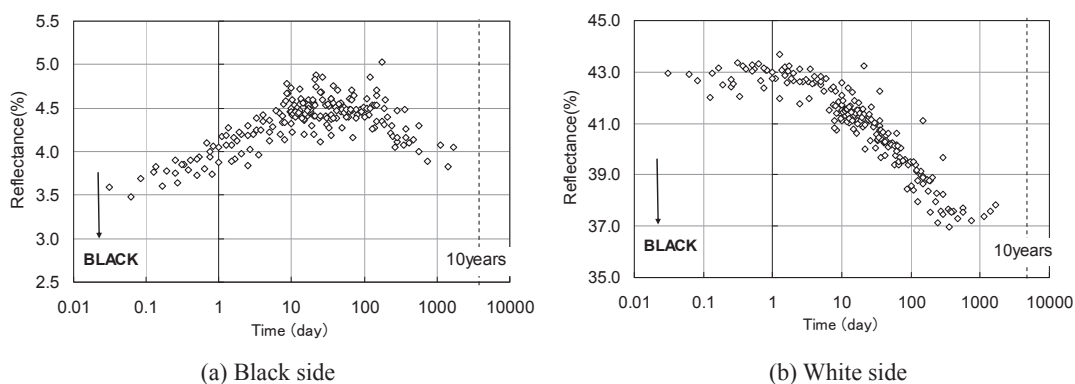
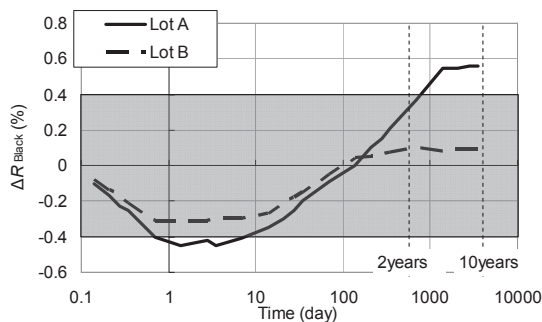
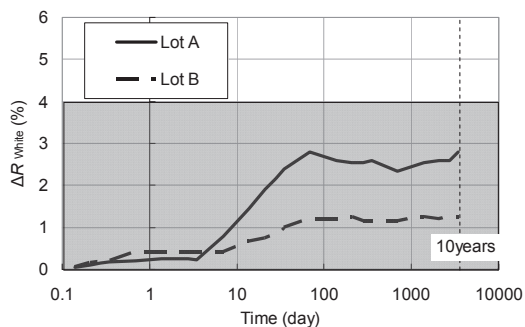


Fig. 9 Change of attainment reflectance



(a) Black side



(b) White side

Fig. 10 Difference in reflectance in one screen

図中に灰色で示した領域は、残像のない、すなわち反射率の差を目で見て感知できない領域である。 ΔR_{White} では10年相当の使用においても感知できる反射率の差は発生しなかった。一方、 ΔR_{Black} では、EPD材料ロットAを用いたサンプル(Lot A)において、2年程度でこの領域を超える反射率差が生じることが分かった。一方、ロットBのサンプル(Lot B)では10年相当の使用日数においても感知できる反射率差に達していない。以上から、EPD材料には到達反射率の変化について、ロットによる特性の差異があることが分かった。Lot Bといった反射率差が大きくなりえないロットを選択して使用することで、低消費電力性に優れた駆動シーケンスと、長期的に美しい表示を実現している。

5. まとめ

腕時計にEPDを用いる上で工夫した点を紹介した。

ポイント①. ボタン操作時にはEPDの反射率を飽和値の90%に留め、操作性を向上させた

ポイント②. 画面内で駆動回数の違いが生じると残像が発生する。反射率差の経年変化が少ない

ロットを使用することで、部分駆動を使用した場合の長期表示品質を確保した

EPDウォッチは高解像度のディスプレイを持ちながら、太陽電池による電力供給が可能なほど少ない電力で動作する腕時計である。この表示性能を活かし、EPDウォッチの可能性を更に広げていく。

参考文献

- 1) 小越剛, 関重彰, 村山哲朗: アクティブマトリクス EPD ウォッチの駆動技術開発, マイクロエレクトロニクス, Vol.55, No.205, pp.10-17, 2011.
- 2) 宮崎淳志: 電気泳動表示装置の駆動方法, 電気泳動表示装置, 及び電子機器, 特開 2009-058801.