

『時計技術の系統化調査』～機械式時計からクォーツ時計へ、更なる高精度を求めて～

1

Systematic Survey on Watch and Clock Technology in Japan From Mechanical Movements to Quartz – the Quest for Precision

青木 茂 Shigeru Aoki

■ 要旨

社会生活の基本となっている時間、日の出から日没を一日とした時代から、いつでもどこでも正確な時刻を手に入れられる時計が発明され、さらに便利で新しい機能を付加したウェアラブル機器へと進化している。

わが国における近代的時計の製造は、ヨーロッパの機械式腕時計を模倣して作るところから始まり、時計の部品を購入して組立てる方法から、国内で加工できる部品は国内製造し、主要部品をヨーロッパから調達して組立てる方法へと移る。模倣だけでは性能、品質の良い時計はできないと国産化への動きが高まり、1956（昭和31）年わが国初めて、独自の設計による機械式腕時計が発売された。狙いは、いかに高精度を出せるか、部品製造、組立・時間調整・修理等をし易くできるかという点であり、更に、多くの人々が購入できる価格を目指した。小型薄型化はもとより、耐振機構、自動巻機構の搭載等品質向上や利便性を考えた機械式腕時計の技術開発活動がスタートした。作りやすい時計、精度の良い時計、品質の良い時計を目指して改良改善を続け、機械式腕時計でスイスに劣らない腕時計を完成するに至った。

日本の機械式腕時計が世界に認められ、生産数量が拡大する中、時計技術者は更なる高精度を可能にする多くの技術に挑戦した。そして、1969年スイスに先駆けて、世界で初めてクォーツ腕時計の開発・発売を実現する。クォーツ時計の持つ高精度、高品質、小型薄型、リーズナブルな価格が市場に受け入れられ、急速にクォーツ化が進み腕時計の主流はクォーツ式になった。同時に日本の電子部品、素材産業の進歩も目覚ましく、クォーツ腕時計の小型薄型化の速度は早まる。また、電子技術との組合せによる多くの高付加価値商品が上市された。

本報告書では、腕時計に的を絞り精度の高い時刻情報を得られる高精度化技術を中心とした技術の系統化について、独自設計の機械式腕時計からクォーツ腕時計、更なる高精度化技術について報告する。また、腕時計が低消費電力であるが故に可能となった小型発電の技術、腕時計の多機能化にも触れる。

第2章では、機械式時計、電子時計であるてんぶ式電子時計、音叉式電子時計、クォーツ時計、およびセシウム原子時計をもとに作られる標準時刻情報の電波を受信し、時刻を修正する電波修正時計の各機構別の構造について述べる。

第3章では、わが国における初めての独自設計による機械式腕時計の誕生と、その設計に盛り込まれた時間精度、品質、部品加工・組立作業性向上の技術について述べる。

第4章では、時間精度を向上させるための、機械式腕時計からクォーツ腕時計に至る過程での、ぜんまいを巻く煩わしさの解消を目指し、ぜんまいエネルギーを一次電池エネルギーに置き換えた、てんぶ式電子腕時計、音叉式電子腕時計について述べる。

第5章では、機械式時計の100倍の精度を実現した世界初のクォーツ腕時計の開発技術、腕時計サイズへの小型化に挑戦した技術活動、およびクォーツ時計ならではの高付加価値商品等多機能化技術について、アナログ式、デジタル式各々について述べる。

第6章では、クォーツ腕時計が出現し、その後の小型薄型化、多機能化への進化を可能にした低消費電力化技術、特に消費電流の大きいステップモーターの改良技術、電子素子の小型化技術、生産加工技術、および長年スイスに頼っていた時計用潤滑油の開発技術について述べる。

第7章では、クォーツ腕時計の省電力化が画期的に進み、微弱電力での時計駆動が可能となった結果、一次電池エネルギーに代わる、腕時計用の特徴ある小型発電技術として実現されてきた、太陽電池、熱発電、手巻き発電、自動巻発電、ぜんまい駆動発電の原理、特徴について述べる。

第8章では、クォーツ腕時計の時間精度の更なる高精度化を目指して、月差レベル、年差レベル、数十年レベルの高精度を可能にする以下の技術について述べる。

- ①時間標準である一般的な32kHz音叉型水晶振動子の周波数温度特性を補正する方式
- ②高周波数帯のATカット水晶振動子を採用する方式
- ③セシウム原子時計の標準時刻情報により時刻補正する方式

第9章では、日本の時計産業の歴史を、「東洋のスイス」を目指し日本独自の時計作りをスタートし、現在に至るまでの現代日本時計産業の推移と、現在（2015年）の概況として纏める。

付表としてクォーツ腕時計用発電技術および高精度化技術、時計に関する公的規格、高精度化・高機能化の製品の流れ、時計メーカー各社製品推移を掲載する。

尚、本報告書における機械式時計、クォーツ時計の時計用語は、一般社団法人日本時計協会「時計用語：Horological vocabulary」2015年版に準ずる。

■ Abstract

Timekeeping is the foundation of life in society, and has been evolving since the era when the time between sunrise and sunset was designated as a day, through the invention of watches and clocks that kept the time accurately anytime and anywhere, toward useful feature-rich wearable devices.

Modern watch manufacturing in Japan began with the copying of mechanical watches from Europe, first by buying and assembling watch components, then by manufacturing components that could be made domestically and assembling them with critical components from Europe. The trend toward domestic production increased because watches with good performance and quality could not be built by copying Western watches, and the first mechanical watch to be designed entirely in this country was released in 1956. The aim was to see what degree of precision could be attained, whether component manufacturing and tasks such as assembly, adjustment and repair could be made easier, and to make it for a price that many people could afford. From that point forward, the technical development of mechanical watches began in earnest; watches were equipped with shock-resistant mechanisms, self-winding mechanisms, and so on, always with miniaturization, quality improvement and convenience in mind. The watch manufacturers continued refining their creations with easy-to-make watches, precise watches, and high-quality watches, until they reached a level of mechanical watch quality that was not inferior to that of the Swiss.

Japanese mechanical watches gained international recognition, and as production increased, Japanese watch engineers attempted to master technologies that would enable even greater precision. Then, in 1969, ahead of the Swiss, Japan succeeded in developing and bringing to market the first quartz watch in the world. As the quartz watch was enthusiastically received by the market on account of its great accuracy, high quality, compact size, and reasonable price, quartz rapidly became the mainstay of the watch industry. At the same time, with the spectacular advancement of the Japanese electronic component and raw material industries, the miniaturization of quartz watches accelerated. Moreover, the incorporation of electronics allowed the commercialization of many products with high added value.

This report will focus on the systematization of high-precision timekeeping technologies for watches, from Japan-designed mechanical watches to quartz watches, and on to even more accurate technologies. We will also touch on the subject of micro power generators and the increase in the functionality of watches afforded by their low power consumption.

Chapter 2 will describe the construction of mechanical watches, electronic balance-wheel watches, electronic tuning-fork watches, quartz watches, and radio-controlled watches that are synchronized with a time standard based on cesium atomic clocks.

Chapter 3 will give an account of the birth of the first mechanical watch to be designed in Japan, and will describe the technologies that were incorporated in the design to enhance accuracy, quality, component processing, and assembly.

Chapter 4 will describe the process of improving accuracy that led from mechanical watches to quartz watches, the attempts to dispense with the trouble of winding them up, and the replacement of the energy of a spring with that of a primary battery in electric watches with balance-wheels or tuning-forks as timekeeping elements.

Chapter 5 will explore the technologies behind the world's first quartz watch – a timepiece one hundred times more accurate than a mechanical watch– and its miniaturization. It also looks at the possibilities that quartz watches offer in terms of multifunctional technology with high added value, and the respective features of analog and digital.

Chapter 6 will describe the low power consumption technologies that were developed after the release of the quartz watch that made miniaturization and a variety of new features possible (with particular regard to the improvements made in stepper motor technology) and will also describe the miniaturization of electronic components, the development of industrial processing technologies, and the end of our long dependency on the Swiss for watch oil.

Chapter 7 will describe the principles and characteristics of solar, thermoelectric, kinetic direct drive, self-winding, and micro spring-drive electricity generation alternatives to primary batteries that became possible due to the revolutionary energy efficiency of quartz watches and movements powered by extremely low

electric currents.

Chapter 8 will describe technologies that promise to supersede the accuracy of quartz watches and achieve extremely high accuracy on the order of seconds per month, per year, and even per decade; namely:

- (1) Methods of compensating for the frequency-temperature characteristics of the standard 32 kHz tuning-fork quartz oscillator.
- (2) Methods of adopting high-frequency band AT-cut quartz oscillators.
- (3) Methods of correcting time with time codes based on cesium atomic clocks.

Chapter 9 will recount the history of the Japanese horological industry that aimed to be the “Switzerland of the East” up to its present state as of 2015.

Attached is an appendix covering technologies for recharging quartz watches and increasing their accuracy, public standards relating to watches, advancements that have been made in terms of accuracy and functionality, and the evolution of the products of the various manufacturers.

The horological terminology for mechanical watches and quartz watches in this report conforms to the 2015 edition of Horological Vocabulary (Japan Clock & Watch Association).

■ Profile

青木 茂 *Shigeru Aoki*

国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任調査員

昭和 47 年 3 月 国立長野工業高等専門学校機械工学科卒業
昭和 47 年 4 月 (株)諏訪精工舎(現セイコーエプソン株式会社)時計設計部入社
腕時計のムーブメント開発および設計に従事
腕時計の組立技術および品質保証に従事
平成 23 年 11 月 セイコーエプソン(株) ウォッチ事業部定年退職
平成 28 年 4 月 国立科学博物館 産業技術史資料情報センター主任調査員

■ Contents

1. はじめに	4
2. 時計の機構別構造	5
3. 国産独自設計の機械式腕時計の誕生	23
4. 電子腕時計の出現	31
5. 世界初クォーツ腕時計の開発と多機能化	35
6. アナログクォーツ腕時計の進化を支えた技術	56
7. クォーツ腕時計用発電技術	65
8. クォーツ腕時計の更なる高精度化	82
9. 日本時計産業の変遷および生産推移について	97
10. むすび・謝辞	103