

代表理事挨拶

大隅 久

2021 年度より、日本時計学会代表理事を拝命いたしました。2017～2018 年度に引き続き、今回は 2 度目の代表理事就任となります。今回は新型コロナウイルス感染症の影響により、前回とは全く違った状況での就任となりますが、理事・運営委員の皆様と力を合わせてこの難局を乗り越えていく所存です。ご支援のほどよろしくお願い申し上げます。

さて、近年の世界の時計産業は、スマートフォン、スマートウォッチ等といった情報通信機器に大きな影響を受けています。一方、その中で機械式高級時計の売り上げは伸びており、コロナ禍にあってもその流れは続いています。日本時計学会では 2018 年に、「スマートウォッチのこれから・腕時計のこれから」というテーマの座談会を行いました。その中で腕時計の存在意義について議論した際に、スマートウォッチは買い替え製品であるが、腕時計は買い増し製品であるとの話が出ました。機能という点では遥かに拡張性のあるスマートウォッチに対して、腕時計は基本的に時刻を示すのみで、センサを搭載したものでも機能は限られます。しかし、様々なコンセプトの下に生み出された腕時計は、古くなくても捨てられずに手元に置いておかれ、TPO に合わせて使い続けられます。これからの日本ではモノづくりよりコトづくりが大切であると言われますが、まさにモノづくりの技術を使って創り上げられたコトこそが、腕時計の存在意義であると言えます。時計メーカー各社がどんなコトづくりをしていくのか、その中で学会はどのような役割を果たすことができるのか、議論を続けていきたいと思います。

最後になりますが、日本時計学会は日本で唯一の時計技術に特化した学術団体で、これまで毎年 9 月にマイクロメカトロニクス学術講演会を開催し、時計に関する研究や技術開発成果の発表、製品展示等を行ってきました。また、多くの時計エンジニアが一堂に会する貴重な交流の場となってきました。ところが、2020 年度はコロナ禍の影響で全てのイベントが中止となり、人々の集う場がなくなってしまったことは大きな痛手です。しかし、最近は多くの学会でオンラインでの学術講演会を開催しており、国際会議等も自宅から簡単に参加できるというメリットも生まれています。日本時計学会も、人の集まる集会事業に代わる方法を速やかに検討し、2021 年度は会員にとって魅力的な新たな取り組みを始めたいと思います。皆様の積極的なご参加を、心よりお願い申し上げます。

技術報告

女性向けGPSソーラーウォッチの開発

杉本亮, 中島恭央

セイコーエプソン株式会社 WP 開発設計部, 長野県塩尻市塩尻町 390, 〒399-0796

(2021 年 3 月 22 日受付, 2021 年 5 月 10 日再受付, 2021 年 5 月 13 日採録)

Development of GPS Solar Watch for Women

Ryo SUGIMOTO, Yasuo NAKAJIMA

WP Development and Design Department, Seiko Epson Corporation,

390, Shojiri-machi, Shiojiri-shi, Nagano-ken 399-0796, Japan

(Received March 22, 2021, Revised May 10, 2021, Accepted May 13, 2021)

ABSTRACT

We have developed a GPS solar watch for women, Cal.3X. Cal.3X has been downsized by developing a secondary battery and a planar antenna. In the development of the planar antenna, we tried to achieve both downsizing and reception performance of the antenna. Also, the usability of the GPS solar watch has been simplified to realize a simple design. As a result, we have realized a GPS solar watch that is easy for women to use.

1. はじめに

筆者らは、2012 年に地球上どこにいてもボタン操作ひとつで、いつでも現在地の正確な「時」を手にすることができる GPS ソーラーウォッチを開発した。それが GPS ソーラーアストロン第一世代に当たる Cal.7X である。さらに、2014 年に第二世代となる Cal.8X, 2018 年には第三世代 Cal.5X を開発した。その過程では、GPS ソーラーウォッチの使い勝手を追及し、時計の省電力化、小型・薄型化、そして、GPS 電波の受信性能向上を実現してきた。

今回は、女性向け GPS ソーラーウォッチとして Cal.3X (Fig. 1) の開発を行った。開発に当たり、女性向け GPS ウォッチとして、女性にとっても腕馴染みの良い時計サイズや、シンプルなデザインを実現するために機能時計としての印象を抑えることが必要であった。そこで、Cal.3X について、以下の開発課題を挙げた。本論文では、これらの内容を中心に説明を述べる。

- ① 時計の小型化・薄型化
- ② 操作性の簡易化



Fig. 1 SEIKO ASTRON Cal. 3X22.

2. 時計の小型化・薄型化

従来の GPS ソーラーウォッチのサイズを比較すると、まず、Cal.7X では $\phi 47$ mm, t15 mm のサイズを有していた。続いて開発した Cal.8X では、 $\phi 45$ mm, t13.3 mm となったが、これらは、一般的な時計と比較するとまだ大きなサイズ感と言える。その後に開発した Cal.5X では、 $\phi 42$ mm, t12.2 mm のサイズとなり、男性にとっては、腕馴染みの良い十分な小型化・薄型化を実現した。

今回の女性向け GPS ソーラーウォッチ Cal.3X の開発では、二次電池の薄型化と新アンテナの採用により、ムーブメントの大幅な小型化・薄型化を実現している。

Fig. 2, 3, 4 に従来機種 8X, 5X と 3X それぞれの断面構造を示す。構造的な観点からアンテナを比較すると、まず、8X で使用したリングアンテナは、リング形状のアンテナが時計外周部にレイアウトされ、その上をダイアルリングが覆う構造となる。リングアンテナは、受信性能への影響から、ムーブメントのよりガラス側へ配置する必要がある、受信性能が十分に得られるアンテナ

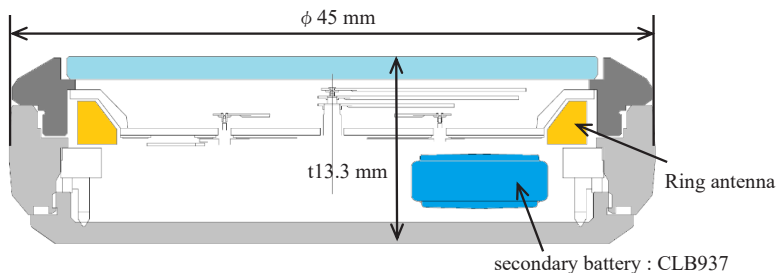


Fig. 2 Cross-sectional view of Cal. 8X.

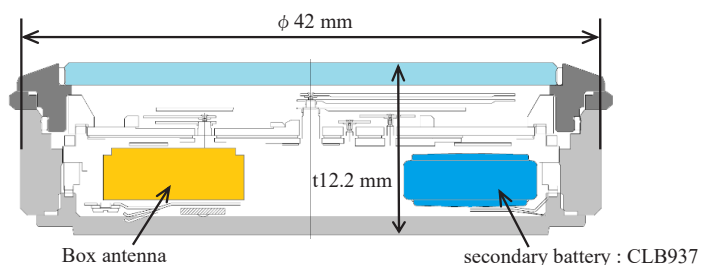


Fig. 3 Cross-sectional view of Cal. 5X.

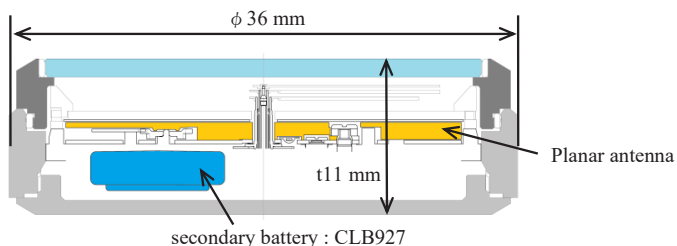


Fig. 4 Cross-sectional view of Cal. 3X.

ナのサイズ（外径寸法や厚み）が要求される．そのため，文字板見切り径が小さくなることや，ムーブメントサイズがアンテナにより決まることで，時計の小型化へは制約を与えてしまう．次に，5X で使用した箱型アンテナは，ムーブメント内部にレイアウトされる構造をとる²⁾が，二次電池同様のサイズを有するため，ムーブメント部品のレイアウトスペースと共存させる必要があった．

一方，3X で使用する平面アンテナは，カレンダー部品のレイアウトスペースに位置しており，文字板／太陽電池の直下にムーブメント全体を覆うような構造をとる．二次電池とは平面的に重なりあうようにレイアウトされ，二次電池を薄くすることにより製品の薄さへ直接的に寄与する．そこで 3X では，従来の 8X や 5X で使用されるリチウムイオン二次電池 CLB937 (ø9.5 mm, t3.8 mm) ではなく，新規に開発を行った CLB927 (ø9.5 mm, t2.8 mm) を使用した．これにより二次電池厚みを 1 mm 薄くすることができ，また，従来のアンテナと比べて薄い特徴を持つ平面アンテナと組み合わせることで，時計の大幅な薄型化 (−1.2 mm) を実現した．これにより，設計値ではø36 mm, t11 mm の時計サイズを可能としており，世界最少サイズのムーブメントを搭載した GPS ソーラーウォッチとなる．次章 3 では，平面アンテナの開発による時計小型化と GPS 受信性能の両立について詳細を述べる．

3. 平面アンテナの開発

5X ではムーブメント内に箱型アンテナを組み込むことで 8X より小型化を実現した．しかし，さらなる小型化を試みた場合，

- ・アンテナとムーブメント内時計部品との干渉の回避
- ・アンテナ小型化による受信性能低下の抑制

という課題があった³⁾．そのため女性向け GPS ソーラーウォッチ Cal.3X の実現には，小型化と受信性能を両立させた新アンテナの開発が必要であった．

新アンテナの開発は，EPSON が GPS ランニングウォッチ（WristableGPS）用に開発した円偏波板状逆 F アンテナの技術を応用し，アナログ時計用として 3X のサイズを満たすために，新たな平面アンテナの開発を行った．

Fig. 5 にムーブメント内での 3X の平面アンテナの構造を示す．新開発の平面アンテナは，樹脂でできた日車押さえにめっきを施して

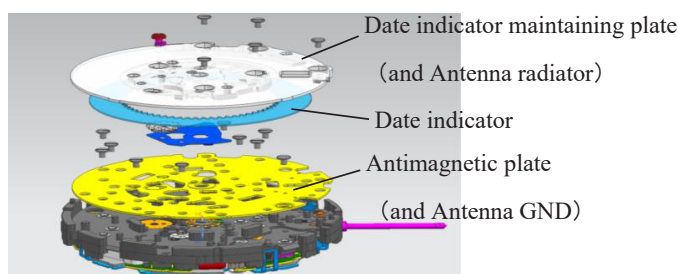


Fig. 5 Planar antenna configuration of the movement.

電極を作成し放射部として利用するとともに、金属でできた耐磁板をアンテナの GND (グラウンド) として利用している。従来のムーブメント部品を利用してアンテナを構成することで、新たなアンテナ部品を不要とし、アンテナとムーブメント部品との干渉というレイアウト上の課題を解決した。

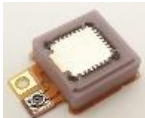
Cal.	5X	3X
Antenna	Box antenna	Planar antenna
		
Size	10 mm × 10 mm t3.7mm	φ 28 mm t1.25 mm

Fig. 6 Antenna comparison of GPS solar watch.

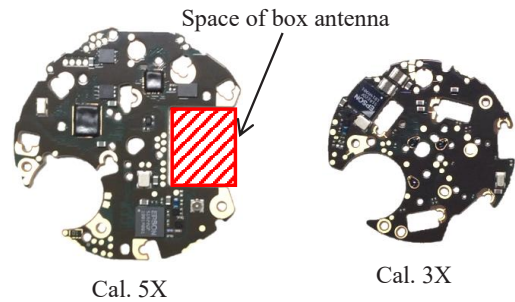


Fig. 7 Circuit board comparison of GPS solar watch.

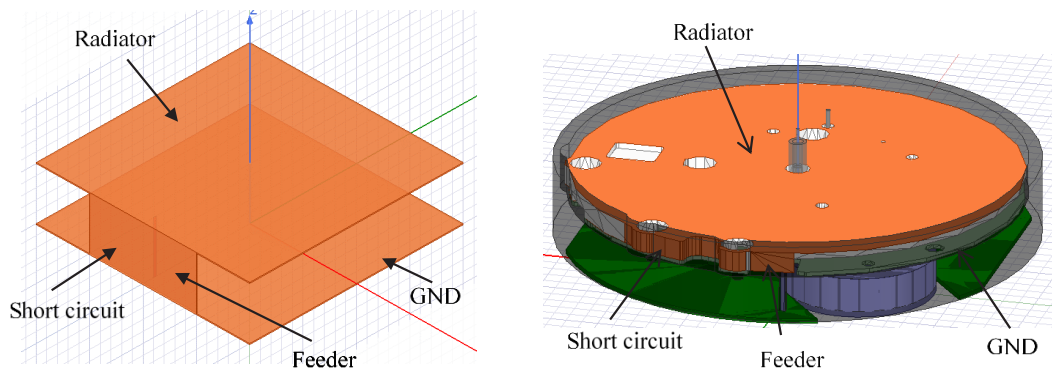
Fig. 6 に従来機種 5X と 3X に搭載されている GPS 電波受信用アンテナの比較を示す。3X では平面アンテナの開発により、箱型アンテナを収納するために必要であったスペースを回路基板の電子部品実装エリアとして利用できるため、5X と同等機能を維持しながら 5X 比 16% の回路基板面積の小型化を可能とした (Fig. 7)。以上によって、ムーブメント外径の 4.6 mm 小型化を実現することができた。

3. 1 平面アンテナの原理

平面アンテナは、放射部、GND 部、両者を短絡する短絡部、及び放射部へ電力を供給する給電部から構成された、板状逆 F アンテナ (Planar inverted F antenna) の原理で受信を行っている⁴⁾。5X で使用した箱型アンテナは 1/2 波長で共振するのに対して、逆 F アンテナは 1/4 波長で共振するため、小型化に有利なアンテナである。この逆 F アンテナは主に携帯電話やスマートフォン等でも採用されており、Wi-Fi 等の直線偏波アンテナとして多く利用されている。

Fig. 8 に、(a)一般的な板状逆 F アンテナと (b) 3X での板状逆 F アンテナの構成を比較した概略図を示す。3X においては、従来のムーブメント部品を利用し、放射部は日車押さえ、短絡部と給電部は日車押さえ側面の電極パターン、GND 部は耐磁板にて構成している。

逆 F アンテナは直線偏波アンテナとして利用されることが多いアンテナであるが、円偏波用としても利用できることが分かっている。ここで、板状逆 F アンテナの円偏波発生原理について説明する。一般的な円偏波用のパッチアンテナでは、パッチ電極上を流れる電流自体が回転し、これにより発生する電界で電波を送受信しているのに対し、板状逆 F アンテナは電極上の電流が回



(a) Typical configuration of planar inverted F antenna. (b) 3X configuration of planar inverted F antenna.

Fig. 8 Concept of inverted F antenna.

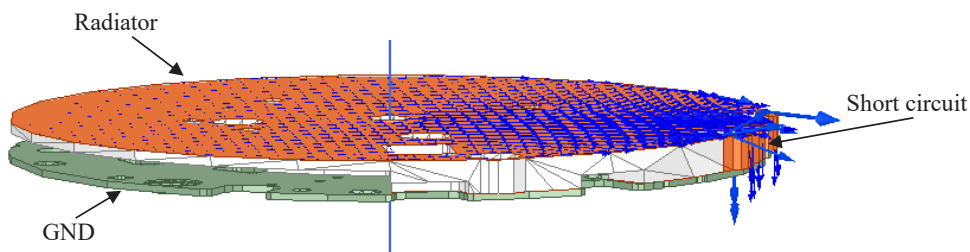


Fig. 9 Current analysis of planar inverted F antenna.

転する事なく円偏波を発生する。

Fig. 9 に板状逆 F アンテナの電流分布を示す。板状逆 F アンテナではアンテナ放射部に流れる電流と、放射部と直交し放射部と GND を短絡する短絡部に流れる電流によって、二つの電界が発生する。この二つの電界は垂直、かつ直交し、位相差は 90° となる。これにより円偏波発生条件を満たすことで円偏波が発生する⁴⁾。

3X の平面アンテナ兼日車押さえの樹脂材の選定には、誘電正接 ($\tan\delta$) の値に注意する必要がある。 $\tan\delta$ の値が大きいほど高周波損失が増えてアンテナ利得は劣化するため、3X では $\tan\delta$ の値が極めて小さい、環状オレフィンコポリマー (COC, 誘電率 $\epsilon_r = 2.27$, $\tan\delta = 0.0006$) を採用している。

平面アンテナとムーブメント部品とのレイアウトで特に注意が必要な部品は、太陽電池導通コイルばねである。平面アンテナの上部に位置する太陽電池と太陽電池導通コイルばね、及び回路基板の GND により寄生アンテナが形成され、感度が低下することが判明した。平面アンテナ短絡

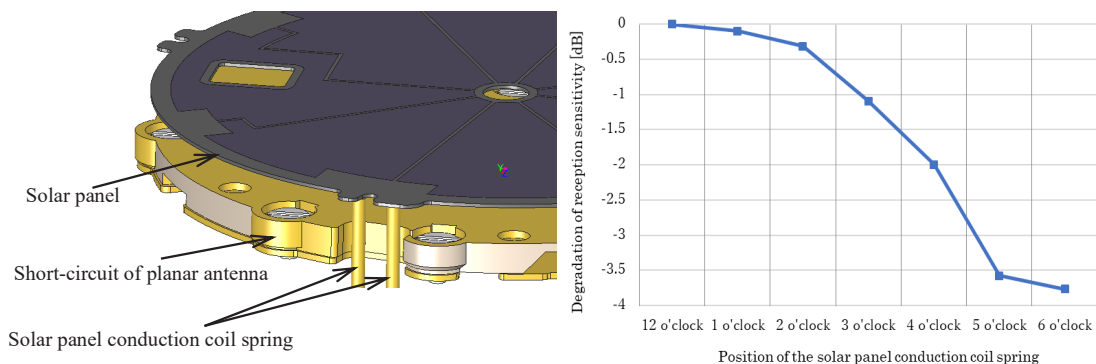


Fig. 10 Position of short-circuit and solar panel conduction coil spring.

部の位置を固定し、太陽電池導通コイルばねの位置を変えて評価した結果、アンテナ短絡部の位置する時計の12時側（この位置に短絡部を配置した理由は後述）に太陽電池導通コイルばねを配置することで、感度低下を抑えられることが分かった（Fig. 10）。3Xでは、太陽電池導通コイルばねをアンテナ短絡部の外側に配置することにより、寄生アンテナによる影響を改善した。

Cal. 3Xは、Fig. 11に示すクォーツアストロン35SQ記念モデルにも搭載されるが、Fig. 1のような一般モデルと同様の平面アンテナが採用されている。一般モデルと35SQモデルの外装における一番の違いは、一般モデルではセラミックベゼルを採用しているのに対し、35SQモデルはベゼルレスのボックス型のガラス仕様となっている点である。Fig. 12にボックス型ガラス仕様の構造断面を示す。セラミックベゼルとボックス型のガラス仕様とでは外装部材による誘電率が異なるため、アンテナの共振周波数に与える影響が異なるが、平面アンテナは共振周波数の調整を、Fig. 13に示す日車押さえ側面にある短絡部の電極パターン幅を変更することで行うことができる。これにより、モデル毎に変動する共振周波数を調整できるため、3Xはモデル展開が容易となる。



Fig. 11 35SQ model.

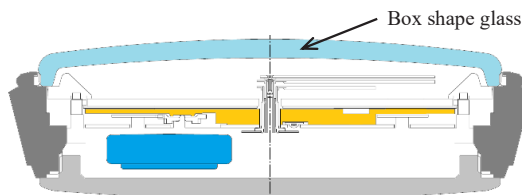


Fig. 12 Cross-sectional view of box shape glass model.

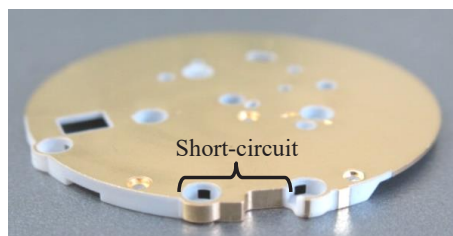


Fig. 13 Short-circuit in planar antenna.

指向性は上下の板状電極のサイズを概ね等しくすると特定の断面にて右旋円偏波（RHCP）と左旋円偏波（LHCP）を 90° おきに交互に発生する特徴がある． Fig. 14 に 3X 平面アンテナの正規化した RHCP 指向性パターンを示す．

GPS 腕時計は人工衛星から送信される RHCP の GPS 電波を受信することで、時刻修正を行っており、天空全域に点在する人工衛星の信号を受信するためには、指向性を天頂に近づけることが最適な指向性だと言える．しかし、腕時計を左手に装着した状態では、腕時計の文字板面ではなく、9 時側側面が天頂を向くこととなるため、時計を装着した状態で最適な指向性が得られるような設計を考えた場合に、アンテナ指向性を 9 時側（ $-X$ 方向）に傾ける必要がある．

3X の平面アンテナは、短絡部の配置によってこの傾きの方向を制御することが可能である．短絡部を 12 時位置に配置することで、RHCP の指向性を 9 時側に向けることができ、腕時計を装着した歩行時に最適な指向性となるように設計されている．

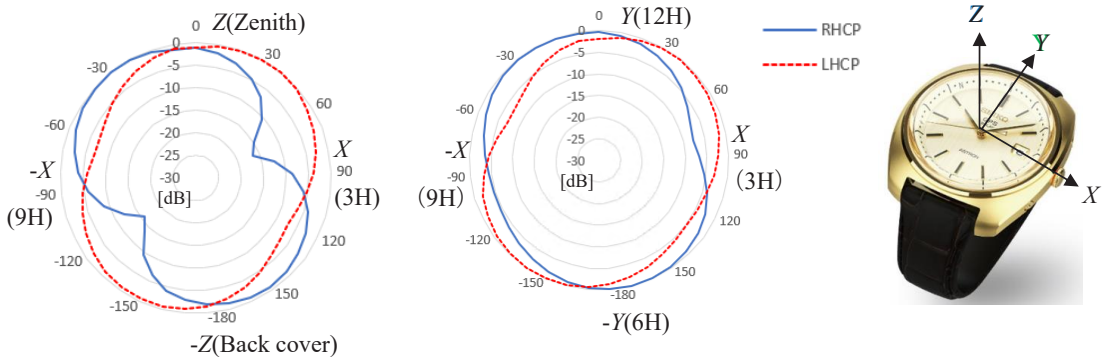


Fig. 14 Radiation pattern of planar antenna.

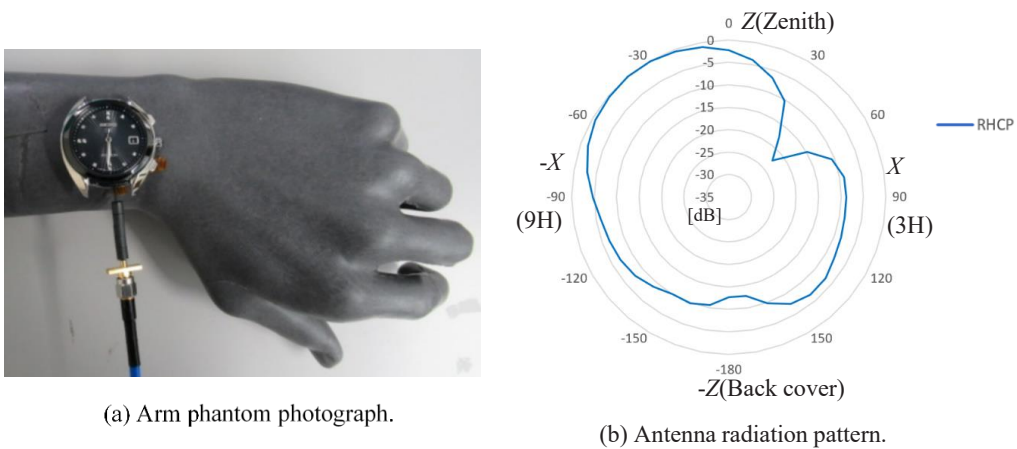


Fig. 15 Evaluation of the watch mounted on the phantom.

もう一つの 3X 平面アンテナの特徴は、一般的な逆 F アンテナ同様 GND の影響を強く受けるアンテナであるということである。腕時計において逆 F アンテナの設計を行う場合、全ての時計部品の GND 影響を考慮する必要がある、アンテナ設計の難易度は高い。しかし、3X ではその性質を利用することで性能の最大化を図っている。腕に装着した際に GND 電位である時計ケースと腕が接触し、アンテナの GND が強化され、アンテナ性能が最大化されている。Fig. 15 は、(a) 人体の電気特性と等価な疑似的な腕（ファントム）に 3X を装着した評価例と、(b) アンテナ放射パターンを測定した結果である。前述の Fig. 14 に示した指向性と比較し、時計の裏蓋側に逃げていた放射パターンが、時計の文字板方向への放射パターンに寄与することで、RHCP のピーク利得を約 2dB 程向上させることができています。

3. 2 平面アンテナの受信性能評価

アンテナの受信性能評価は、4 つの衛星信号を受信させるタイムゾーン受信と、1 つの衛星信号のみを受信する時刻受信の評価を行っている⁹⁾。初めにタイムゾーン受信について説明する。タイムゾーン受信は、Fig. 16 に示すようなビルの谷間などの高い建物が周囲に立つ環境（アーバンキャニオン）にて静止した状態で実施する。アーバンキャニオンは一般的に、建物により GPS 衛星からの電波が遮断や反射されるため、受信が困難な場所での受信性能についての評価である。次に、時刻受信について説明する。時刻受信は、Fig. 17 に示すように時計を腕に装着した状態での歩行動作中に実施する。時計の実携帯使用を想定した受信性能の評価である。

それぞれの評価における受信成功率、受信が成功するまでの時間を記録し、Fig. 18 に従来機種 5X と 3X の受信評価結果を示す。受信時間は 5X の受信時間を 100 とした場合の割合で表している。受信評価の結果、5X、3X 共に受信成功率は全ての条件で 100% の受信ができています。タイムゾーン受信時の受信時間は 5X、3X とほぼ同等の結果となった。3X の歩行中の時刻受信の平均



Fig. 16 Urban canyon.

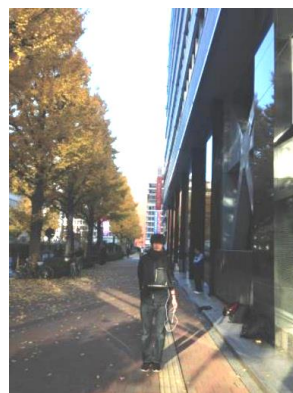


Fig. 17 Walking experiment.

所要時間は、5X との比較で 27%改善する結果となった。

歩行中の時刻受信の時間が改善した理由は、3X に搭載されている平面アンテナは、時計を腕に装着して歩行する状態でピークのアンテナ利得が天頂方向へ指向性を持つように設計しているためである。この受信評価の結果より、3X では小型化・薄型化を実現するとともに、従来の 5X と同等以上の受信性能が確保できていることを示している。

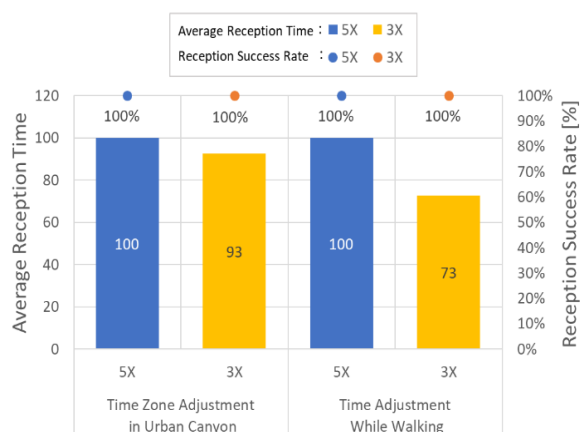


Fig. 18 Reception characteristics of GPS solar watch.

4. 操作性の簡易化

一般的に操作が複雑である GPS ウォッチでは、女性を含めたより幅広いユーザー獲得のために、機能時計としての印象を抑え、一般時計のようなシンプルなデザインと操作性へ落とし込む必要があった。そのために、3X では一般的な時計同様の操作で GPS ウォッチを扱えるよう、従来の操作性を簡易化し操作仕様を構築した。

従来のアナログ GPS ウォッチでは、時計外装に表記された都市やタイムゾーンを針で指示することにより時差修正を行っていた。一方、3X では Fig. 1 の外観からも分かるように、外装上の都市標記を廃止し、機能時計としての印象を抑えることを優先した。Fig. 19 に示すように、時刻修正はりゅうず操作により行い、1 段引きの状態では 1 時間単位の修正ができ、また、2 段引きの状態では 15 分単位の修正ができる仕様とした。これにより、りゅうず操作で時刻修正を行う一般的な時計と同様な操作感が得られる。さらに、この時刻修正方式にすることで、全てのタイムゾーンへの時差修正を網羅できることとなる。また、個々のタイムゾーンでのサマータイムの設定を行う必要をなくし、操作の煩雑さを回避した。

5. まとめ

GPS ソーラーウォッチ Cal.3X では、新たに平面アンテナを開発し、二次電池を薄型化することで「時計の小型化・薄型化」を図り、「操作性



Fig. 19 Time adjustment of Cal. 3X.

の簡易化」により機能時計の印象を脱却しシンプルデザインへ昇華させた，女性にとっても使い勝手のよい GPS ソーラーウォッチを実現することができた．今後は，さらなる柔軟な外装構造への展開と受信性能の両立を目指し，ユーザーにとって GPS ソーラーウォッチがよりスタンダードな時計となるよう開発を追求していきたい．

6. 参考文献

- 1) 三谷敏寛，田村修一，馬場教充：GPS ソーラーウォッチにおける小型化・薄型化技術の開発，マイクロメカトロニクス，Vol. 60, No. 214, pp. 21-26 (2016).
- 2) 秋山利一，木下英治，尾沼篤：GPS ソーラーウォッチにおける小型化・使用感向上技術の開発，マイクロメカトロニクス，Vol. 64, No. 222, pp. 12-20 (2020).
- 3) 馬場教充：「時計技術解説」クォーツ時計－XIV. GPS 衛星電波時計－，マイクロメカトロニクス，Vol. 63, No. 220, pp. 71-87 (2019).
- 4) 相澤直：GPS 腕時計組み込みに適したリングを伴う板状逆 F 型アンテナ，電子情報通信学会論文誌 B，Vol. J102-B, No. 7, pp. 508-521 (2019).
- 5) 本田克行，柳澤利昭：GPS ソーラーウォッチの開発，マイクロメカトロニクス，Vol. 58, No. 210, pp. 1-6 (2014).

解 説

「時計技術解説」 機械式時計

－ III. 輪列 (表輪列のレイアウト) －

田中 佑弥 *

1. はじめに

13 世紀に生まれたばかりの機械式時計は、現在の機械式腕時計と、2 つの点で大きく異なっていた。

第一の相違点は「針の数」である。初期の機械式時計には、針が時針 1 本しかなかった。21 世紀に暮らす我々には想像すら難しいが、何と当時の時計は一日数十分の誤差が当たり前であり、分針を取り付けるのがおこがましい精度だったのである。その後の技術開発に伴う精度向上により、時針、分針の 2 針となり、更に、精度が 100 倍以上向上し、一日数十秒の誤差レベルになることで、秒針がついて 3 針という現在のスタイルが確立されたのである。

第二の相違点は「大きさ」である。初期の機械式時計は、教会などに設置されることが多く、塔時計とも呼ばれているが、現在では同じ機能で腕に装着できる大きさになっている。塔時計の錘が落下する高さを除いても、軽自動車サイズの本体が腕時計サイズにまで、数千分の 1 の大幅なダウンサイジングされていることに驚異の念を禁じえない。

高精度化と軽薄短小化の相反する要求に対して、動力により歯車を回転させ、その歯車の速度を制御することで時間として表示するという当初の機械式時計の基本構造は、変化していない。それどころか、1 本だけの針が、時針、分針、秒針という 3 本にまで増やし、利便性の向上を図っている。本稿では、あまり光の当たってこなかった機械式時計の“歯車の連なり＝輪列”，とりわけ動力からつながるメインなる表輪列のレイアウトについてその変遷と特徴を解説する。

2. 表輪列とは

腕時計の構造を簡単に説明すると、動力ぜんまいにより香箱車内に蓄えられた力によって回転しようとする歯車の回転速度を、てんぷの規則的な往復運動（周期運動）によって一定速度を保ち、輪列の途中にある歯車の軸に取り付けられた分針、秒針をそれぞれ 60 分で一回転、60 秒で一回転させる構造である。規則的に往復運動するてんぷを调速機と呼ぶ。また、香箱車内で巻き上げられたぜんまいが、一気に巻き解けないようにストッパーの役割を果たしつつ、调速機の往復運動を定期的に解除することで輪列を等速で回転させる機能を持つアンクルとがんぎ車から成る機構を脱進機と呼ぶ。この香箱車と脱進・调速機の間にある輪列を表輪列という。上に述べたことから表輪列は次のような機能を持つことがわかる。

*セイコーウォッチ株式会社

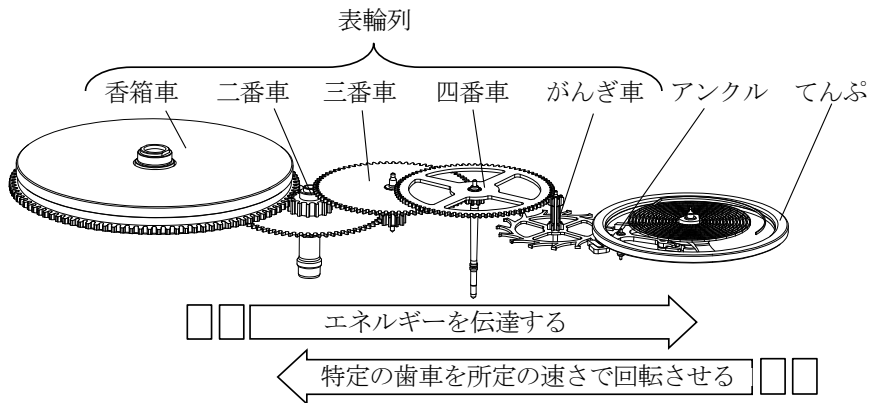


Fig.1 表輪列の構造

(1) ぜんまいの持つ動力を脱進機まで伝える

てんぷが往復運動を持続するには小さな力で充分であり、香箱車内に蓄えられた力は非常に大きい。表輪列は、この大きい力を少しずつてんぷに供給する為、動力側は高トルクで緩やかに回転し、てんぷ側は低トルクで早く回転する。このような輪列を増速輪列と呼ぶ。また、表輪列の歯車には番号が付けられており、香箱車を一番車とし、そこから追番で番号が振られる。これら表輪列の歯車は“番車”と呼ばれており、歯数が多く径の大きい“歯車”と、歯数が少なく径の小さい“かな”によって構成されている。常に歯車からかなに回転が伝えられるように噛み合わせることで増速輪列を実現させている。

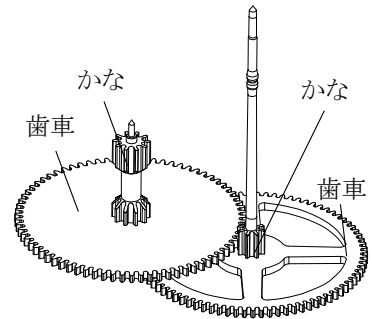


Fig.2 番車の構造

(2) 時を示す指針（分針・秒針）に定められた回転速度を与える

現在市販されている機械式時計の多くが毎秒 5～10 振動である。振動数とは単位時間内の振動周期であらわされるが、時計の場合、がんぎ歯車の歯とアンクルの爪石との衝撃一回を一振動と呼び、毎秒の回数をその振動数と称する。がんぎ歯車の各歯は出入爪に衝撃を与える為、がんぎ車一回転する間にてんぷは“がんぎ歯車の歯数×2”の振動をすることとなる。分針の付く車（二番車）は 60 分一周、秒針の付く車（四番車）は 60 秒で一周することから、振動数を F (振動/sec)、表輪列の歯数を Z 、がんぎ車の歯数を N と置くと振動数と歯数には以下の関係式があることがわかる。

$$F = 2 \times N \times \frac{Z(\text{二番歯車}) \times Z(\text{三番歯車}) \times Z(\text{四番歯車})}{Z(\text{三番かな}) \times Z(\text{四番かな}) \times Z(\text{がんぎかな}) \times 3600}$$

ここで針の取り付けについても触れておく。秒針、分針は表輪列の番車に取り付けられる。針の付く歯車は回転方向をそろえる為、1つ飛ばして配置されることになる。そのため一般的には二番車に分針が、四番車に秒針が取り付けられる。分針は二番車に弾性的にはめ込まれた筒かなに装着され、一方、時針はこの筒かなにかみ合う日の裏車により 1/12 に減速された同軸の筒車に取り付けられる。これらの輪列を裏輪列と呼ぶ。

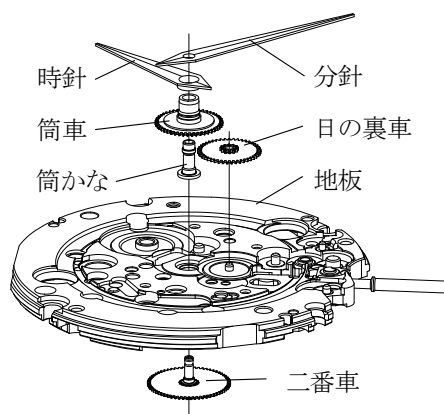


Fig.3 裏輪列の構造

3. 表輪列のレイアウト

時計の基本性能である“精度”と“持続時間”をつかさどる主たる部品は香箱車とてんぷである。香箱車内に収納される動力ぜんまいは、厚みを増やす事で、ぜんまいが蓄えるエネルギー量を増やす事ができ、てんぷに伝える力を大きくすることができる。逆に薄く長くすることで持続時間を増やすことができる。また、てんぷは振動数を上げ、てん輪の慣性モーメントを大きくすると外乱に強くなり精度が良くなるといった特徴を持つが、てんぷの往復運動を持続するために必要な力が大きくなる為、動力ぜんまいの蓄えるエネルギーを多く消費する。よって、決められた香箱の容積に対しては動力ぜんまいを厚く短くする必要があり持続時間の減少につながる。このように精度と持続時間はトレードオフの関係があるので、機械式時計ではてんぷの振動数・てん輪の慣性・香箱車の容積のバランスを考慮しながらムーブメントのサイズに合うよう設計している。

一般に表輪列の歯形効率率は 95～99%程であるが、香箱車～がんぎかなまで 5 段の増速と仮定すると、伝達効率は 5 乗で効いてくる為、香箱が蓄えるエネルギーの 80%程しかてんぷに伝えることができない。また、番車は回転する際に回転軸に摩擦が生じる事、軸のがた分だけ中心距離の変動が起こる事もエネルギー損失となり、歯車を増やす分だけ損失エネルギーが大きくなるという側面を持つ。

時計の着け心地、様々なデザインに対応する汎用性といった点ではムーブメントは薄いほうが好ましい。ムーブメントの厚みを抑える為には断面的な歯車の重なりを避けて表輪列を配置することが望ましいが、平面的に歯車を逃がすためには、歯車の数を増やさなければいけない。いかにエネルギー損失を減らし、大きな香箱とてんぷを配置し、ムーブメントを薄くできるかが表輪列のレイアウトを決める肝となる。薄型化、小型化、長持続化、高精度化等、人々の要望に応えるべく生み出された輪列配置を表輪列レイアウトの開発された順に紹介していく。

3. 1 二針

これは最も基本的な輪列構造であり、二番車に取り付けられた筒かなに分針を、裏輪列の筒車に時針がついており二針となる。この構造は二番車がムーブメントの中心に配置するだけの制約しかないため、小型化や薄型化に適していて、構成部品点数も最も少ない。

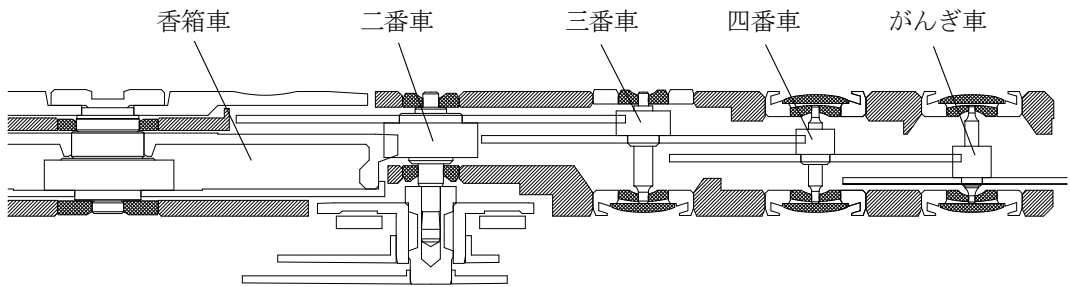


Fig.4 二針断面図

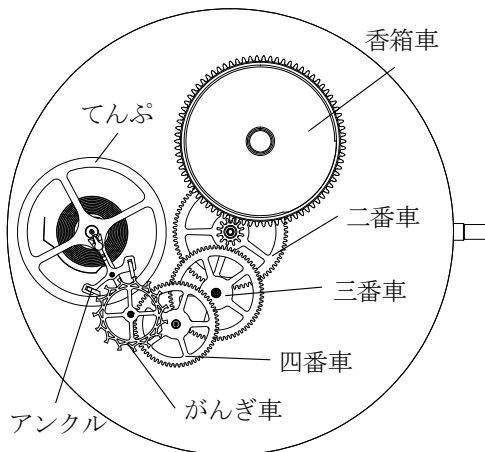


Fig.5 二針平面図

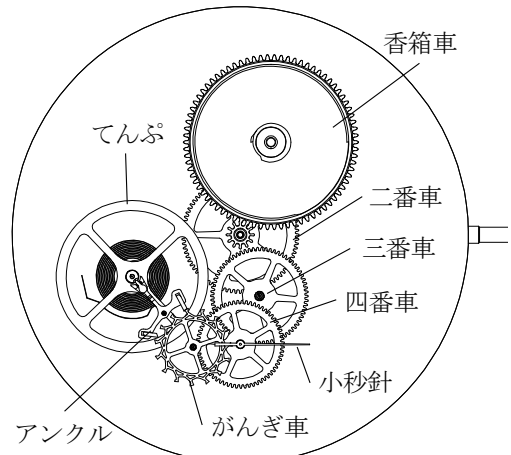


Fig.6 三針（小秒針）平面図

3. 2 三針（小秒針）

機械式時計の精度が上がり、次第に秒の表示も求められてきた。二針構造とほとんど同じ構造であるが、一分間に一回転する四番車をムーブメントの任意の位置（通常は6時位置）に配置することで秒針を取り付けることができ、時分秒を確認できる時計となる。

3. 3 中三針

時針，分針，秒針がいずれもムーブメントの中心に配置された輪列．ほとんどの機械式時計がこの構造であり，時計の中心に針を集めるという表示が一般的な時計の顔となっている．

3. 3. 1 伝え中三針

上三番車式伝え中三針：三番車を延長して上三番車を取り付け秒かなを追加する事で二針構造を容易に中三針に変更できる．変更規模が少なく二針を三針にすることができる為，開発費用を抑えて製品展開の拡充が可能となる．しかし，二針に追加する構造の為，ムーブメントは厚くなってしまう．また，秒かなは三番車のみで回転している為，バックラッシの分だけ容易にふらついてしまう．この秒かなのふらつきを抑える為，押さえばね等の対応が必要になるが，秒かな押さえばねは直接秒かなを押さえるので摩擦によりエネルギーロスが発生する．

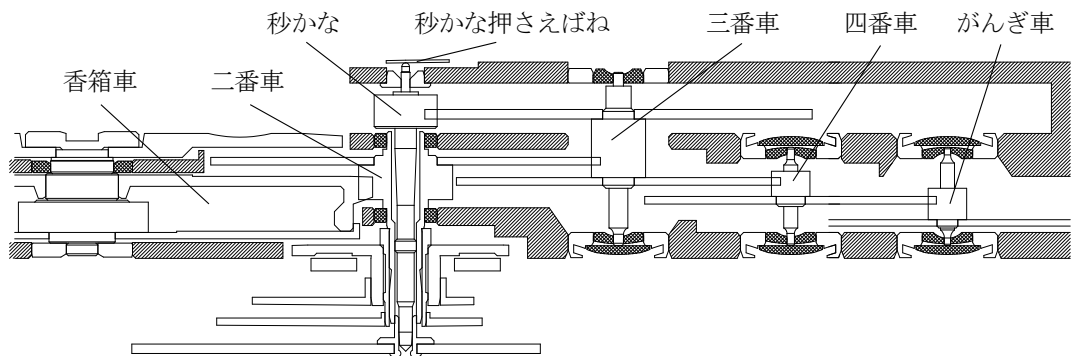


Fig.7 上三番車式伝え中三針断面図

秒かな押さえばね式伝え中三針：三番歯車が四番かなと秒かなを同時に動かす構造。歯車を平面的に配置できるため香箱を厚くすることができる。秒かなは三番車で回されているだけなのでバックラッシの分だけふらついてしまう。上三番車式と同様に秒かながふらつく為、押さえばね等が必要である。

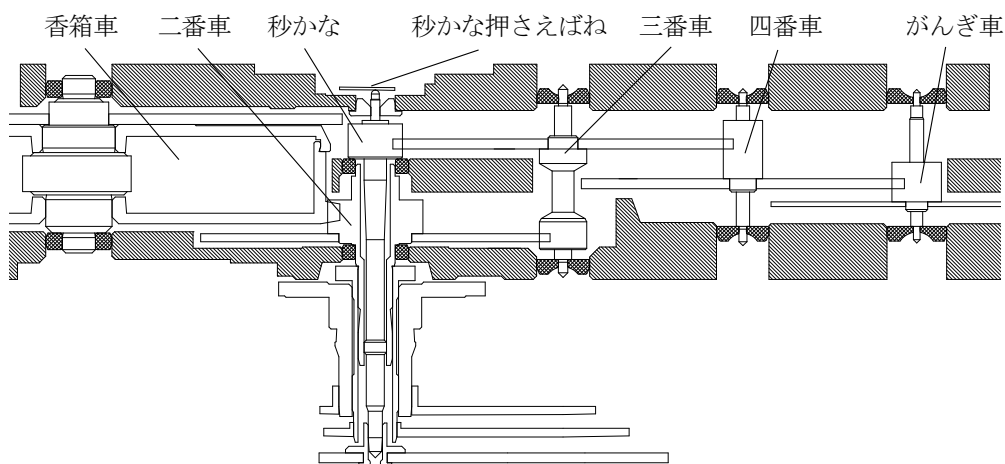


Fig.8 秒かな押さえばね式伝え中三針

三番車往復駆動式伝え中三針：三番歯車を二枚重ねて秒かなと噛み合わせる。一枚がアイドラ（遊び車）となり四番かなを駆動する構造。秒かなも動力伝達経路内にある為バックラッシが生じず、ふらつきが少ないので押さえばねを必要としない。三番車に特徴があり、上三番歯車と下三番歯車が接触しないよう、スペーサーを間に挟んだ構造になっている。

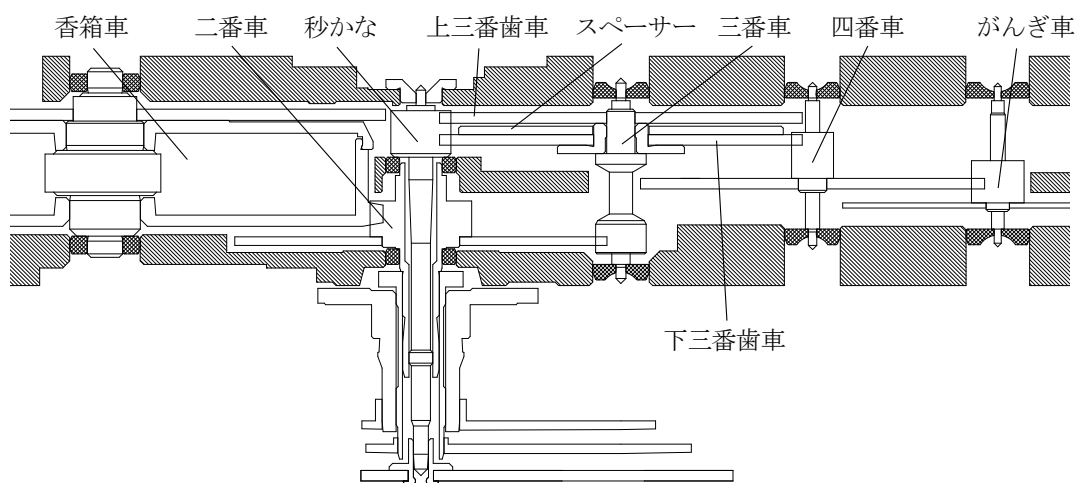


Fig.9 三番車往復駆動式伝え中三針

3. 3. 2 本中三針

二番中心配置：二針構造の輪列の動力伝達経路をたどり、二番車の真を中空にし、ここに四番車真を貫通させた構造。秒かなや押さえばねが無く、最も無駄のない輪列といえる。輪列を中心に集めることで配置はコンパクトにできるが、二番歯車と四番歯車で香箱車を断面的に挟み込むので、香箱車を厚くした分、ムーブメントに厚みが出てしまう構造。

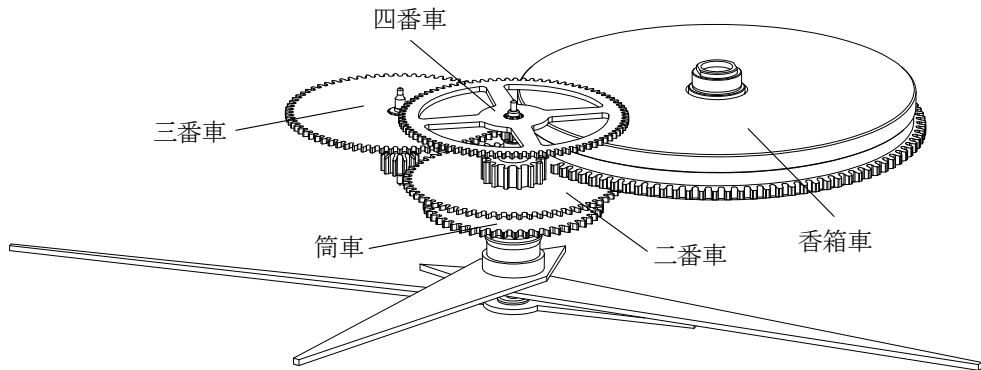


Fig.10 二番中心配置 本中三針

三番かな分針駆動式二番偏心配置：二番車を時計中心から外し、三番車が四番車とムーブの中心に置いた分歯車(+筒かな)を同時に駆動する仕組みをもった輪列構造。二番車を中心から外すことにより大きな香箱と大きなてん輪の採用が可能であり、歯車の重なりも回避できるので薄型化にも適している。

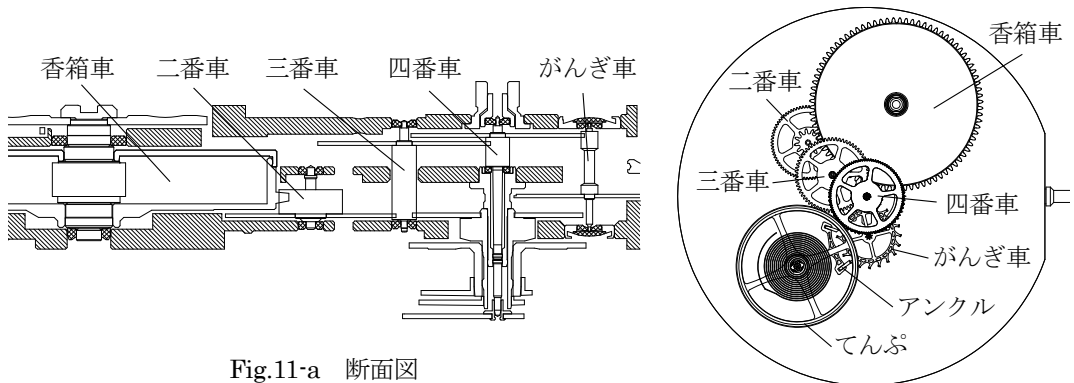


Fig.11-a 断面図

Fig.11-b 平面図

Fig.11 三番かな分針駆動式二番偏心配置 本中三針

摩擦かな駆動式二番偏心配置：二番車を時計中心から外し、二番車の軸に摩擦かなが、抵抗がかかるとスリップできるようにかしめられている（本中三針構造の筒かなと同様の働き）。この摩擦かなから日の裏車を通じて筒かな、筒車を回し、分針、時針を動かす構造。Fig.11の二番偏心配置よりも時計中心での車の重なりが少ない為、ムーブメントをより薄くすることができる。秒針が取り付けられる四番車に噛合う歯車（三番歯車）と分針が取り付けられる筒かなに噛み合う歯車（日の裏歯車）が異なるため、日の裏車に偏心があると一歯当たりの回転角度が変わり、分針と秒針にずれが生じ、指示誤差が発生してしまう。また、摩擦かなから日の裏車を介して分針・時針を回すが、この時、針のふらつきが出ないように日の裏車の一部をばねにより押さえ、バックラッシュによる指示誤差をなくしている。

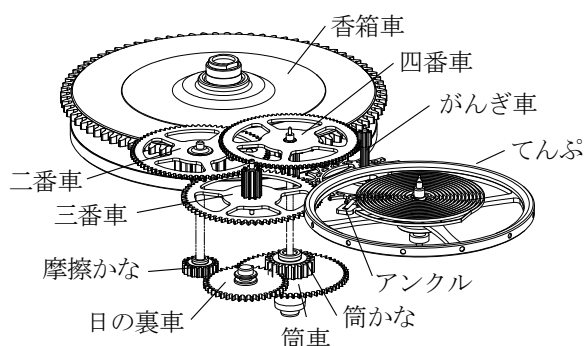


Fig.12-a 模型図

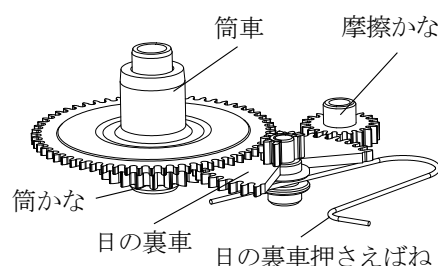


Fig.12-b 日の裏車押さえばね機構

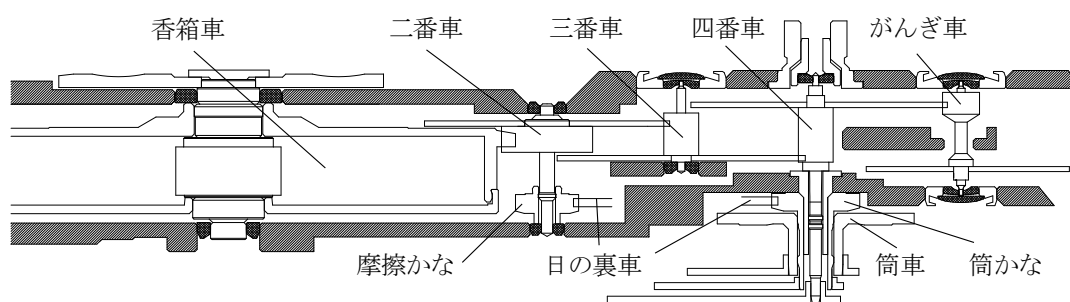


Fig.12-c 断面図

Fig.12 摩擦かな駆動式二番偏心配置

4. 近年の傾向

近年ではより香箱の容積を増やす為、香箱を二つ組み込んだツインバレル構造や、シリコンによる超高振動脱進調速機等、新しい機構を持った時計が生まれている。新しい機構によって表輪列のレイアウトがどう変わっていくのか、その一例を紹介する。

4. 1 セイコー Cal.9SA5 水平輪列機構

二番車を中心から外すといった点は二番偏心配置と同様だが、二番車と香箱車の間にアイドルとなる中間車を設け二番車と香箱との断面的な重なりを外している。これにより香箱の容積を大きくしながらムーブメントの薄型化を実現している。

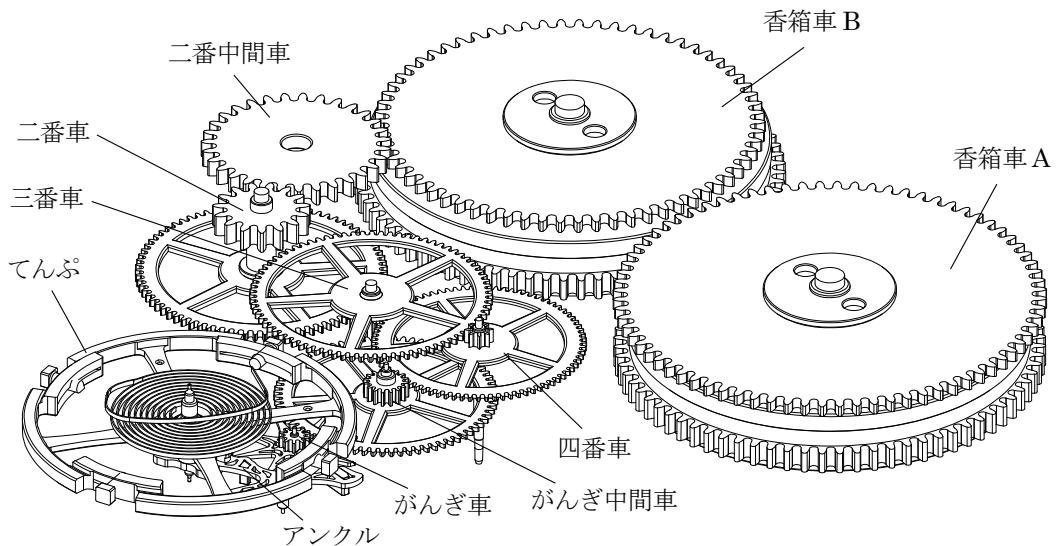


Fig.13 セイコー Cal.9SA5 水平輪列機構

5. まとめ

機械式時計に何が求められ、どう変化していったのか、表輪列のレイアウトに注目すると当時の時計士たちの思想が見えてくる。低コストや性能安定化の為、表輪列のレイアウトを兼用化することも多いが、機能が多様化する現代では、その機能に特化した輪列も存在する。表輪列のレイアウトに注目してみるとメーカーの意思や設計者の苦労が見えてきて面白い発見があるかもしれない。時計の機構としては特殊機構のように派手さはないが、これを機に注目していただけると幸いである。

引用, 参考文献

- 1) 重城 幸一郎：機械式時計の高精度技術の動向と展望 日本時計学会誌 vol.53 No.200 (2009)
- 2) 小牧 昭一郎：機械式時計講座 東京大学出版会 (2014)
- 3) 酒見 鏡一郎：講座 新講機械時計学入門(2) 輪列系(1), マイクロメカトロニクス (日本時計学会誌), 43 巻, 2 号, pp. 73-76, 1999.
- 4) 東谷 宗朗：機械式時計入門講座 第五回 輪列機構②, 世界の腕時計, 第 60 号, pp. 116-119, 2002.

TECHNICAL LECTURE

Isochronism (2): As a Keyword of Japanese Mechanical Horology

Shoichiro KOMAKI

Former General Manager of R&D Department, Seiko Instruments Inc., Japan

PREFACE

This paper is an English version of the 2nd technical lecture(revised) that has been serialized four times¹⁻⁴⁾ since 2000 in the Journal of the Horological Institute of Japan.

本稿は、日本時計学会誌に 2000 年から 4 回連載された技術講義¹⁻⁴⁾の第 2 回を改定し英訳版として発行するものである。

ABSTRACT

Among the adjustment of the balance-spring system of mechanical watches, the balancing of balance wheel is easy to understand and well done in the world. But as far as the adjustment of hairspring, it is difficult to understand its theory, except only the centering of hairspring position is done as the general custom.

Suppose if the inner end starts from the just center of balance pivot, if the outer end reaches at infinite far distant point, and also if the material of hairspring has no problem as the elasticity quality, then the hairspring has the complete isochronism. The restoring force of hair spring is completely proportional to the rotation angle of the balance wheel.

But if the hairspring starts at the collet inside and goes to the limited distant placed outside end as usual, then these two ends arise the not-proportional force to the angle of vibration. For these situations, the mathematical equation of vibration must have the precise correspondence to any case they will be. Here the several mathematical steps are proposed so as to have a precise solution for any case. This is the main purpose of this lecture. In last paragraph is shown the result of the case of free outer end of hairspring.

「時計の調整作業のうち、テンワの片重りを取るという作業は欧米でも理解され、よく実行されているが、ひげゼンマイに関する等時性の修正に関しては、理論面での取り扱いが難しく、一般にはひげの振れ取りが行われているだけであるが、最近のメーカー仕様ではいろいろな開発も行われている。しかし、一般的にはひげの修正に関してあまり理解はされていない。

もしひげの内端が天真からスタートし、外端が無尽遠にあるアルキメデス曲線であるとし、また、ひげ材料に問題がなければ完全にひげの復元力はテンプの回転角に比例し、理想的な等時性となるが、実際のひげは、内端がヒゲ玉で固定され、外端は有限な距離にあり、通常この内外端の部分からの復元力ではテンプの回転角度に比例しない力が発生する。

このような構造に対して、理論上の工夫をしてひげがどのような場合でも一般的な取り扱いができるような精密な振動方程式を作り、等時性の実際の姿を表現することを本稿の主眼としてここでは紹介し、外端が自由外端の場合の振動方程式の結果を示す。

1. Theory of isochronism^{*Note}

1.1 Isochronous errors

The basic equation of the factors which affects the vibration period of the balance-spring system is shown in Eq. (1) of last lecture.

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + F \frac{d\theta}{dt} + K\theta \pm R = 0. \quad (1)$$

Here,

I ; moment of inertia of the balance wheel (kgm²),

F ; viscous damping coefficient (Nms),

K ; spring constant of hairspring (Nm/rad),

R ; solid friction resistance of balance pivot (Nm).

The actual vibration also follows this equation, but in fact it is not clear in order to discuss it for the accuracy required for the watch precise level only with the expression of Eq. (1). For example, the restoring force of hairspring does not change as with the precise constant of K , and changes along with the two ending types.

This means K changes with the rotation angle of the balance wheel, with changing because of the type of both endings. When to discuss this, we can recognize them as such errors as the result of external forces and make it possible to discuss generally what kinds of effect these external forces perform. And let's make a formula that can generally express such external forces on the vibrating equation. Here it is necessary to change the form of equation (1).

When changing Eq. (1), first consider the case of $F = R = 0$.

The equation above becomes as follows:

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + K\theta = 0 \quad (2)$$

and the vibration period T_0 for this case is represented by Eq. (3)

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{K}}. \quad (3)$$

This Eq. (3) means that the vibration period is constant even if the amplitude-changes any, then the isochronism is maintained. When a disturbance torque is added to this, consider how the vibration period of the balance-spring system will be. If the disturbance torque expressed as $f(\theta)$ arises, the equation of vibration at this time can be expressed as Eq. (4) from Eq. (2). The physical meaning of Eq. (4) is the force added to the vibration system. Then when the outer force comes here, such as the $f(\theta)$ is set to the right side of this equation.

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + K\theta = f(\theta). \quad (4)$$

The solution form must be almost equal to the solution of Eq. (2) then it is expressed as Eq. (5).

$$\theta = A_0 \sin \left[\sqrt{\frac{K}{I}} (1 + \delta) t \right]. \quad (5)$$

And if the disturbance is sufficiently small and the period shift is also small, let us call the vibration period as T , then

$$T = \frac{1}{1 + \delta} T_0 = \frac{2\pi}{1 + \delta} \sqrt{\frac{I}{K}}. \quad (6)$$

Eq. (7) can be calculated from Eq. (3) and Eq. (6).

$$\delta = \frac{T_0 - T}{T}. \quad (7)$$

Since δ is the ratio of the period deviation from the vibration system of $f(\theta) = 0$ case, this must be called as the isochronous error. This expression is followed as the Japanese custom of The Institute of Horology of Japan. Multiplying this δ by 86,400 gives a rate of a day. Next, let's find the relation of this δ to other items. Substitute Eq. (5) for Eq. (4).

$$[-K(1 + \delta)^2 + K]\theta = f(\theta)$$

is obtained. Since δ^2 is extremely small, it can be ignored, then this equation can be transformed into Eq. (8).

$$\delta \cdot \theta = -\frac{f(\theta)}{2K}. \quad (8)$$

On the other hand, Eq. (9) can be obtained from Eq. (5).

$$\int_0^T \theta^2 dt = A_0^2 \int_0^T \sin^2 \left\{ \sqrt{\frac{K}{I}} (1 + \delta) t \right\} dt = A_0^2 \int_0^T \frac{1}{2} \left[1 - \cos \left\{ 2 \sqrt{\frac{K}{I}} (1 + \delta) t \right\} \right] dt = \frac{1}{2} A_0^2 T \quad (9)$$

When both sides of Eq. (8) are multiplied by θ and integrated, it becomes

$$\delta \cdot \frac{1}{2} A_0^2 T = -\frac{1}{2K} \int_0^T \theta f(\theta) dt.$$

So, Eq. (10) is shown as:

$$\delta = -\frac{1}{A_0^2 T K} \int_0^T \theta f(\theta) dt. \quad (10)$$

If the disturbance is expressed by $f(\theta)$, it is possible to know the effect on isochronism by calculation of Eq.(10). This is the common expression as hoped for any type of endings or problems inside of hairspring. Here, the disturbance does not necessarily have to be the torque from the outside as mentioned above. For example, if the hairspring is fixed at collet inside and limited outer place, the forces that is not proportional to the rotation angle appears from these fixation portions, they are, non-linear parts. If these disturbances can be treated in the form as $f(\theta)$, the effect to the period of vibration is analyzed as the solution of general Eq. (10) for any case.

In the following chapters, we will clarify what kind of function this $f(\theta)$ is for each factor.

1.2 Introduction of the theory of the hairspring

- If
- 1) the hairspring is a perfectly elastic material,
 - 2) the shape is a complete theoretical Archimedes curve, and
 - 3) the inner end starts from the center of rotation and the outer end is also infinity aside,

then a restoring force completely proportional to rotation angle is generated in the hairspring, Then the complete isochronism is obtained¹. In reality, the hairspring is fixed with a certain radius point as collet at the inner end, and the outer end is also fixed at a finite point sometimes with a special curve.

Therefore, a torque component that is not proportional to the rotating angle of balance wheel is generated from these ends. In addition, when in the vertical position, the unbalance weight of hairspring causes a rotating torque, as the positional error. This is the basic problem with hairspring.

It has not been confirmed whether the constant elastic material widely used for the hairspring which has elasticity with the high precision level required for watches or not and is an elastic body that complies with Hook's law. This is still interesting problem in the case of assemblies and services.

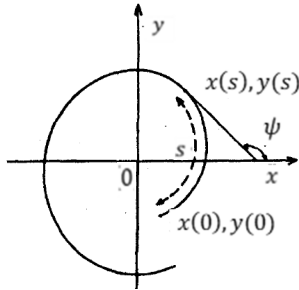


Fig. 1 Complex coordinate display of points on the hairspring.

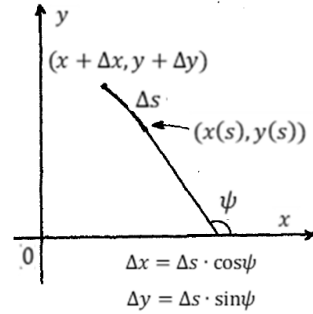


Fig. 2 Complex coordinate display (part 2).

And then, how to handle isochronous error with the hairspring has been analyzed by J. Haag⁵⁾, S. Gouldsmit and M. Wang⁶⁾. I will describe their thinking way.

Consider the orthogonal coordinates where the center of rotation of balance is the origin point, where the distance from the inner end point to the arbitrary point of the hairspring is called as s , the coordinates of that point can be represented by $x(s)$, $y(s)$. Since the arbitrary curve is a continuation of minute portion line segments shown in Fig. 2, $x(s)$ and $y(s)$ can be expressed by Eq. (11) and Eq. (12), respectively.

$$x(s) = x(0) + \int_0^s \cos \psi(s) \, ds, \quad (11)$$

$$y(s) = y(0) + \int_0^s \sin \psi(s) \, ds. \quad (12)$$

Here, ψ is the angle between tangent of the arbitrary point and the positive direction of the x -axis (See Fig. 1). That is, the arbitrary point of the hairspring is expressed as the tangent angle ψ and the distance s from the inner end point of hairspring. Thus, any general shape is expressed. Subsequently analysis for all cases will be proceeded by this method.

Now, using this complex coordinate system above, assuming that $z(s)$ can be written as

$$z(s) = x(s) + iy(s).$$

Eq. (13) can be obtained.

$$\frac{dz(s)}{ds} = \frac{dx(s)}{ds} + i \frac{dy(s)}{ds} = \cos \psi(s) + i \sin \psi(s) = e^{i\psi(s)}. \quad (13)$$

Also, Eq. (14) can be obtained from Eq. (13).

$$z(s) = z(0) + \int_0^s e^{i\psi(s)} \, ds. \quad (14)$$

This is the complex coordinate expression of hairspring. The curvature $1/\rho$ of the arbitrary position of the hairspring is expressed from Fig. 3.

$$\frac{1}{\rho} = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta \psi}{\Delta s} = \frac{d\psi}{ds}. \quad (15)$$

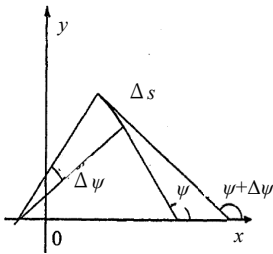


Fig. 3 Line segment Δs and angle ψ of hairspring.

Then, when the balance-spring system turns θ , the inner point of hairspring, the complex coordinate of inner point $z(0)$ goes to $z(0)e^{i\theta}$ and tangent angle at arbitrary position of the hairspring changes to $\psi(s) + \varphi(s)$, then the arbitrary position is expressed by Eq. (16)

$$z(s) = z(0)e^{i\theta} + \int_0^s e^{i\{\psi(s)+\varphi(s)\}} \, ds. \quad (16)$$

And Eq. (16) can be written as

$$x(s) = x(0) \cos \theta - y(0) \sin \theta + \int_0^s \cos (\psi + \varphi) \, ds,$$

$$y(s) = y(0) \cos \theta + x(0) \sin \theta + \int_0^s \sin (\psi + \varphi) \, ds.$$

Therefore, the change in the curvature of the hairspring when the balance-spring system rotates by θ can be written as $\varphi'(s)$. At this time, if the bending moment given to the hairspring is M and the moment of inertia of area of hairspring is J , the energy stored in the hairspring is shown by Eq. (17).

$$V = \frac{1}{2} \int_0^L \frac{M^2}{EJ} ds. \quad (17)$$

If EJ is constant, Eq. (18) is obtained⁷⁾.

$$V = \frac{EJ}{2} \int_0^L \varphi'^2(s) ds. \quad (18)$$

$$\therefore \frac{M}{EJ} = \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} = \varphi'(s). \quad (19)$$

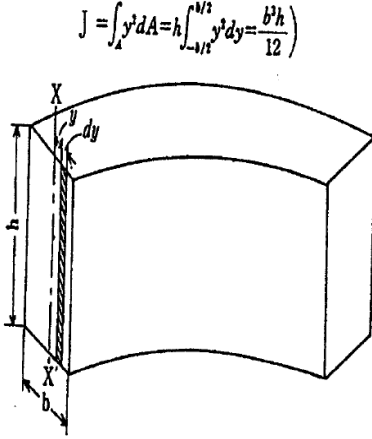


Fig. 4 Moment of inertia of area of the hairspring.

Here,

L is the total length of the hairspring,

E is the Young's modulus of the hairspring material, and,

$J = (hb^3)/12$ is the moment of inertia of area related to the neutral axis XX' of the hairspring (see Fig.4).

When the balance-spring system is rotated by an angle θ , the shape of hairspring should minimize the energy stored in it.

Therefore, the shape of hairspring is determined so

as to minimize Eq. (18).

In addition, the energy stored in the hairspring is expressed as a function, and the equation of vibration is determined. Then, Eq. (10) can be derived as a concrete function. As a result, the effect on isochronism should be clear.

1.3 In case of the hairspring with free outer end

The free outer end means that the outer end of the hairspring can be moved completely freely to the radial direction but does not move to the tangential direction. The coordinates $z(s)$ and the change of tangent angle $\varphi(s)$ at any place of the hairspring are written as $z_f(s), \varphi_f(s)$ respectively. When the balance-spring system rotates by θ , the inner end point of hairspring is represented by $z_f(0) = z(0)e^{i\theta}$. The tangent angle of the outer end points do not change, but the tangent angle of the inner end point changes by θ , resulting in Eqs. (20) and (21).

$$\varphi_f(L) = 0, \quad (20)$$

$$\varphi_f(0) = \theta. \quad (21)$$

By using this as the boundary condition and minimizing the energy of Eq. (18), the restoring force and shape of the hairspring can be calculated. Assuming that φ_f minimizes V , since $\delta\varphi_f$ is an arbitrary function, the first-order

effect of $\delta\varphi_f$ must be 0, that is, $\delta V = 0$. Of course, the boundary condition must be $\delta\varphi_f(L) = \delta\varphi_f(0) = 0$.

With calculating the differential of Eq. (18), then,

$$\begin{aligned}
\delta V &= V(\varphi_f(s) + \delta\varphi_f) - V(\varphi_f) = \frac{EJ}{2} \int_0^L [(\varphi_f'(s) + \delta\varphi_f')^2 - \varphi_f'^2] ds \\
&= EJ \int_0^L \left[\varphi_f' \delta\varphi_f' + \frac{1}{2} (\delta\varphi_f')^2 \right] ds = EJ \left[\varphi_f' \delta\varphi_f + \frac{1}{2} \delta\varphi_f' \delta\varphi_f \right]_0^L - EJ \int_0^L \left[\varphi_f'' \delta\varphi_f + \frac{1}{2} \delta\varphi_f'' \delta\varphi_f \right] ds \\
&= -EJ \int_0^L \left[\varphi_f'' \delta\varphi_f + \frac{1}{2} \delta\varphi_f'' \delta\varphi_f \right] ds. \tag{22}
\end{aligned}$$

$\therefore \quad \delta\varphi_f(0) = \delta\varphi_f(L) = 0.$

In order for $\delta\varphi_f$ to minimize V , only the micro change in the function of $\delta\varphi_f$ is considered. Since the change in V caused by this change needs to be small enough, then $\varphi_f'' = 0$.

Furthermore, since a high-order minute change amount $\int_0^L (\delta\varphi_f')^2 ds$ or $\int_0^L \delta\varphi_f'' \delta\varphi_f ds$ is positive function, a minimum amount of V is guaranteed. This is very similar to the condition $f'(x) = 0$, $f''(x) > 0$ for minimizing the function $y = f(x)$. Eq. (23) can be obtained from Eqs. (20), (21) and $\varphi_f''(s) = 0$.

$$\varphi_f(s) = \theta \left(1 - \frac{s}{L} \right). \tag{23}$$

Moreover, when the amount of movement of the outer end point is calculated using the relationship of Eq. (13) and Eq. (24) can be obtained.

$$\begin{aligned}
\Delta &= z_f(L) - z(L) = z(0)e^{i\theta} + \int_0^L e^{i\{\psi + \theta(1 - \frac{s}{L})\}} ds - z(L) \\
&= z(0)e^{i\theta} + \left[\left(\int e^{i\psi} ds \right) e^{i\theta(1 - \frac{s}{L})} \right]_0^L - \int_0^L \int e^{i\psi} ds \cdot \left(-i \frac{\theta}{L} \right) e^{i\theta(1 - \frac{s}{L})} ds - z(L) \\
&= z(0)e^{i\theta} + z(L) - z(0)e^{i\theta} + i \frac{\theta}{L} e^{i\theta} \int_0^L z(s) e^{-i(\frac{\theta}{L})s} ds - z(L) \\
&= i \frac{\theta}{L} e^{i\theta} \int_0^L z(s) e^{-i(\frac{\theta}{L})s} ds. \tag{24}
\end{aligned}$$

Since $\varphi_f' = -\theta/L$ from Eq. (23), this is substituted into Eq. (18), and the potential energy V becomes Eq. (25).

$$V = \frac{EJ}{2} \int_0^L \frac{\theta^2}{L^2} ds = \frac{EJ}{2L} \theta^2. \tag{25}$$

And the equation of vibration at this time is obtained from $\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} \theta'^2 + V \right) = 0$ and becomes Eq. (26).

$$I \frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{EJ}{L} \theta = 0. \tag{26}$$

The left side of this equation is similar as the Eq. (2), then the vibration period is constant, and isochronism is

maintained. It is actually impossible to attach the free outer end and the inner end to the center of vibration as described before.

When the hairspring is wound up, the pitch of the hairspring becomes narrow and contracted concentrically to the inner end, and the outer end point approaches the balance pivot. When the hairspring is unwound, the outer end point goes away to the balance wheel, but at that case the hairspring is unwound concentrically, so to speak, no uncentering movement occurs. This is just like the rolled-up hairspring.

The rolled-up hairspring is a practical implementation of such free outer end mounting, this is why the rolled-up hairspring shows good isochronism.

Acknowledgement: I would like to express the deepest appreciation to Mr. Ryuzo Okamoto and Mr. Kenji Noguchi for valuable efforts in translating into English and to Mr. Takashi Sasaya for revisions over all

References

- 1) Shoichiro Komaki: Isochronism (1), *Micromechatronics*, Vol. 44, No. 4, pp. 86-90 (2000) , (in Japanese).
- 2) Shoichiro Komaki: Isochronism (2), *Micromechatronics*, Vol. 45, No. 1, pp. 48-52 (2001) , (in Japanese).
- 3) Shoichiro Komaki: Isochronism (3), *Micromechatronics*, Vol. 45, No. 3, pp. 43-49 (2001) , (in Japanese).
- 4) Shoichiro Komaki: Isochronism (4), *Micromechatronics*, Vol. 46, No. 1, pp. 67-75 (2002) , (in Japanese).
- 5) J. Haag: La Theorie du Spiral et ses Applications a la Chronometrie; *Proceedings of 3rd International Congress for Applied Mechanics*, 2, pp. 96-98 (1931)
- 6) S. Goudsmit and M. Wang: Introduction to the problem of the isochronous hairspring, *Journal of Applied Physics*, Vol. 11, pp. 805-815 (1940).
- 7) T. Utoguti, Y. Kawada, and M. Kuranishi: *Mechanics of Materials (Vol. I)*, The Japan Society of Mechanical Engineers, p. 33 (1957), (in Japanese).

*Note:

Here, an explanation about the word “isochronism”. Original meaning would be a co-incidence of display of time between clocks and the time of nature. But for such co-incidence of the display for the timepiece should have the technology. Thus it is necessary to have such technology of which name is easy to remind isochronism. Isochronism became a name of technology around these area, Above all, for the mechanical timing equipment the amplitude of regulating vibration system become the fundamental factor, then the difference of timing rate between two amplitudes became to be said as a value of isochronism of two horizontal amplitudes or simply isochronism value.

In case of watch technology, the gravity direction changes the period of regulating system, then the positional errors will often occur. These regions must be taken into account in the technology of isochronism.

Thus the word isochronism became a technology term of horology.

注:

ここで等時性という用語について解説をしておきたい。”isochronism”とは本来の意味は時間がいつも合っている、時計の時刻表示がいつも正確な時刻となっている、が本来の意味である。これに対してこの講義ではそのような時計の状態となるような技術の総称と理解していただきたい。日本ではそうした理解がすでに一般化されているが、さらに用語が進化して、特に機械式時計にあつては歩度の振り角特性を等時性あるいは等時性値ともいう。それが平姿勢に関していう場合は平等時性などと通称して表現する。腕時計の場合は時計の姿勢を変えれば重力の方向が変化してテンプの振動周期が変化したりするからこうしたものも含めて調速機系の振動周期に関する技術を等時性技術と理解すればよいであろう。

製品紹介

製品紹介

シリーズ最薄のスタイリッシュな“G-STEEL”

進化したモジュールを採用し薄型と高機能を両立

カシオ計算機株式会社



GST-B400

カシオ計算機は、耐衝撃ウォッチ“G-SHOCK”より、異素材の融合が特徴の“G-STEEL”シリーズの新製品として、シリーズ最薄※1の『GST-B400』を5月21日に発売しました。

※1 “G-STEEL”シリーズにおいて。2021年3月17日現在、カシオ計算機調べ。

今回ご案内します『GST-B400』は、これまでの“G-STEEL”で最も薄型となるケース厚12.9mmとスタイリッシュなデザインを実現。モジュール内の部品数を減らし小型化すると同時に、配列を最適化し高さ方向を抑えた高密度実装により、薄型化と高機能を両立した新モジュールを搭載しています。また、新モジュールの採用によるシンプルな2針化とBluetooth®システムのローパワー化で、従来モデル※2に比べ消費電力を55.7%低減させました。これにより、文字板に取り込む光が少なくなったため、ソーラー透過率を抑えた文字板への自由なデザインが可能となり、ブリッジパーツをあしらうな

どメタルの質感が増すフェイスの表現力が広がりました。さらに、9時位置にはモードやバッテリー状態を表示するディスク針を備えるなど、視認性にもこだわっています。

※2 「GST-B200」と比較して

『GST-B400AD／B400BD』には、高発色で個性的なカラーリングを実現する多層膜蒸着文字板を採用しています。透明な膜を何層にも重ね合わせ、光の見え方をコントロールして蒸着色を表現する手法を用い、試作を重ねながらシックなブルーと新開発の深みのあるレッドの蒸着色を施しました。

機能面では、専用アプリとの連携による自動時刻修正機能や、ボタン操作で時刻と位置をアプリの地図上にログとして管理できるタイム&ブレイス機能、アプリで作成した予定を時計がリマインド通知するリマインダー機能、暗所での視認性を確保する高輝度ダブルLEDライトなど、利便性にも優れています。

型番	フェイスカラー	バンド素材	メーカー希望小売価格	発売日
GST-B400	ブラック	樹脂	49,500 円（税込）	2021 年 5 月 21 日
GST-B400D	シルバー	ステンレス	55,000 円（税込）	2021 年 5 月 21 日
GST-B400AD	レッド×ブラック	ステンレス	59,400 円（税込）	2021 年 5 月 21 日
GST-B400BD	ブルー	ステンレス	68,200 円（税込）	2021 年 5 月 21 日



GST-B400



ケース側面



GST-B400D



GST-B400AD



GST-B400BD

GST-B400の主な仕様

構造		耐衝撃構造
防水性		20 気圧防水
通信仕様	通信規格	Bluetooth® low energy (※)
	通信距離	～2m (環境により変化)
ワールドタイム		世界 38 都市 (38 タイムゾーン、サマータイム自動設定付き) + UTC (協定世界時) の時刻表示、ホームタイムの時刻入替機能
ストップウォッチ		1/100 秒計測 (00'00"00～59'59"99) / 1 秒計測 (1 : 00'00"～23 : 59'59")、24 時間計、ラップ/スプリット切替付き
タイマー		セット単位 : 1 秒、最大セット : 60 分、1 秒単位で計測
アラーム		時刻アラーム 5 本、時報
その他の機能		モバイルリンク機能 (自動時刻修正、簡単時計設定、ワールドタイム約 300 都市、タイム&プレイス、リマインダー、携帯電話探索)、針退避機能、パワーセービング機能、日付表示 (月/日表示入替)、曜日表示 (英・西・仏・独・伊・露の 6 カ国語切替)、フルオートカレンダー、12/24 時間制表示切替、操作音 ON/OFF 切替、バッテリーインジケーター、ダブル LED ライト (スーパーイルミネーター、残照機能付き、残照時間切替 : 1.5 秒/3 秒)
使用電源		タフソーラー (ソーラー充電システム)
連続駆動時間		フル充電時からソーラー発電無しの状態で機能使用の場合 : 約 7 ヶ月 パワーセービング状態の場合 : 約 18 ヶ月
大きさ		46.6×49.6×12.9mm
質量		GST-B400 : 約 80g GST-B400D/B400AD/B400BD : 約 160g

※ Bluetooth®ワードマークおよびロゴは、Bluetooth SIG, Inc. が所有する登録商標であり、カシオ計算機 (株) はこれらのマークをライセンスに基づいて使用しています。

会 報

一般社団法人 日本時計学会
2021年度 事業計画書
(自 2021年1月1日～至 2021年12月31日)

I. 事業計画

1. 学術講演会, 研究会, 見学会等の開催

[1] マイクロメカトロニクス学術講演会

マイクロメカトロニクス学術講演会を9月中旬, 中央大学 後楽園キャンパスで開催する.
研究論文発表12件程度を予定する.

[2] 研究会

時計及び時計応用技術に係わる最先端のテーマを選定し, 専門の講師を招いての研究会を, 4月及び11月の2回, 中央大学 後楽園キャンパスで開催する.
また, 特別研究会を年2回程度開催する.

[3] 見学会

会員の研修のため, 産業界, 特に時計技術に関連する分野において顕著な業績を挙げている工場, 研究機関等の見学会を6月に行う.

2. 時計及び時計応用技術に関する研究調査分科会

時計及び時計応用技術に関する研究調査を行うため, 過年度より進行中の研究調査分科会1件を継続して進める予定である. 研究調査分科会の成果は報告書または学会誌の記事によって報告する.

[1] 名称:「機械式時計の組立・修理を行うAIロボット」

(主査: 木村 南 神奈川工科大学非常勤講師・本学会理事)

「機械式時計の組立・修理を行うAIロボットの可能性」をテーマとした先端技術研究・調査を継続して実施する.

2021年度はAI技術の応用事例・AIロボット研究について特別研究会を実施する.

3. 学会誌, 学術図書等の刊行

[1] 学会誌「マイクロメカトロニクス」を下記のとおり年2回発行する.

Vol. 65, No. 224: 2021年6月, 280部

Vol. 65, No. 225: 2021年12月, 280部

学会誌を魅力的なものとする取り組みとして特集記事を掲載する.

[2] 学術講演会講演論文集を年1回発行する.

マイクロメカトロニクス学術講演会講演論文集: 2021年9月, 150部

4. 研究の奨励及び研究業績の表彰

[1] 青木賞.

青木賞表彰委員会を設け、2019 年度および 2020 年度の日本時計学会誌「マイクロメカトロニクス」に掲載された研究論文の中から、当学会初代会長青木保博士を記念した第 55 回青木賞受賞の対象として研究論文を 1 編選考する。

マイクロメカトロニクス学術講演会の際、第 55 回青木賞贈呈式を行う。

[2] ベストプレゼンテーション賞

マイクロメカトロニクス学術講演会における優秀な講演発表者に対し、第 3 回ベストプレゼンテーション賞をマイクロメカトロニクス学術講演会の技術交流会において授与する。

5. 内外関係機関等との交流及び協力

[1] 国内機関との交流

国立国会図書館へ学会誌「マイクロメカトロニクス」およびマイクロメカトロニクス学術講演会講演論文集を納本する。

科学技術振興機構へ学会誌の電子データを提供する。

日本時計学会は平成 18 年 5 月 9 日付けで日本学術会議より協力学術研究団体として指定を受けている。

[2] 外国機関との交流

スイス時計学会 SSC: Société Suisse de Chronométrie との機関誌等の情報交換を行なう。

[3] 関係学会との協賛

研究会および学術講演会を、一般社団法人エレクトロニクス実装学会、一般社団法人日本機械学会、公益社団法人精密工学会、一般社団法人電気学会、公益社団法人応用物理学会、公益社団法人計測自動制御学会、一般社団法人電子情報通信学会、公益社団法人日本設計工学会、一般社団法人日本ロボット学会、公益社団法人日本磁気学会等、関係学協会の協賛を得て開催する。

II. 会議に関する事項

1. 理事会を 6 回以上開催する。
2. 定時社員総会を 3 月に開催する。
3. 各研究調査分科会を 4 回程度開催する。
4. 企画委員会を 3 回程度開催する。
5. 青木賞表彰委員会を 2 回程度開催する。
6. 編集委員会を 4 回程度開催する。

収支予算書

一般社団法人日本時計学会

自 2021年 1月 1日 至 2021年12月31日 (単位: 円)

科 目	予 算 額	前年度予算額	増 減	備 考
〔事業活動収支の部〕				
〔事業活動収入〕				
【基本財産運用収入】				
基本財産利息収入	100	100	0	
【入金収入】				
入会金収入	10,000	10,000	0	
【会費収入】				
正会員会費収入	800,000	800,000	0	
学生会員会費収入	4,000	4,000	0	
賛助会員会費収入	2,125,000	2,125,000	0	
【事業収入】				
事業収入(研究会)	200,000	200,000	0	
事業収入(講演会)	760,000	760,000	0	
広告収入	297,000	237,000	60,000	
【雑収入】				
受取利息収入	50	50	0	
雑収入	60,000	60,000	0	
事業活動収入計	4,256,150	4,196,150	60,000	
〔事業活動支出〕				
【事業費支出】				
臨時雇用賃金支出	1,100,000	1,100,000	0	
広報活動費支出	132,000	132,000	0	
旅費交通費支出	60,000	60,000	0	
通信運搬費支出	60,000	60,000	0	
消耗品費支出	10,000	10,000	0	
印刷製本費支出	500,000	500,000	0	
光熱水料費支出	25,000	25,000	0	
賃借料支出	550,000	550,000	0	
諸謝金支出	100,000	100,000	0	
雑支出	100,000	100,000	0	
会議費支出	300,000	300,000	0	
【管理費支出】				
臨時雇用賃金支出	450,000	450,000	0	
会議費支出	1,000	1,000	0	
旅費交通費支出	30,000	30,000	0	
通信運搬費支出	50,000	50,000	0	
消耗品費支出	100,000	50,000	50,000	
印刷製本費支出	2,000	2,000	0	
光熱水料費支出	25,000	25,000	0	
賃借料支出	550,000	550,000	0	
租税公課支出	80,000	80,000	0	
雑支出	10,000	10,000	0	
事業活動支出計	4,235,000	4,185,000	50,000	
事業活動収支差額	21,150	11,150	10,000	
当期収支差額	21,150	11,150	10,000	
前期繰越収支差額	3,536,935	1,656,246	1,880,689	
次期繰越収支差額	3,558,085	1,667,396	1,890,689	

一般社団法人 日本時計学会
2020年度 事業報告書
(自 2020年1月1日～至 2020年12月31日)

I. 事業の状況

1. 学術講演会、研究会、見学会等の開催

[1] マイクロメカトロニクス学術講演会

新型コロナウイルス感染症の影響により開催中止

[2] 研究会

新型コロナウイルス感染症の影響により開催中止

[3] 見学会：

新型コロナウイルス感染症の影響により開催中止

2. 時計及び時計応用技術に関する研究調査分科会

2020年度は次の1件で、概要は以下の通りである。

[1] 名称：「機械式時計の組立・修理を行う AI ロボット」

(主査：木村 南 神奈川工科大学・本学会理事)

2020年度は、新型コロナウイルス感染症の影響により特別研究会の開催中止

3. 学会誌、学術図書等の刊行

[1] 学会誌「マイクロメカトロニクス」を下記のとおりに年2回発行した。

Vol. 64, No. 222 : 2020年6月, 280部

Vol. 64, No. 223 : 2020年12月, 280部

[2] 学術講演会講演論文集の発行中止。

新型コロナウイルス感染症の影響に伴う、マイクロメカトロニクス学術講演会中止により発行中止

4. 研究の奨励及び研究業績の表彰

[1] 青木賞

第54回青木賞選考は、2018年度および2019年度の日本時計学会誌「マイクロメカトロニクス」に掲載された論文11編に対して、選考委員9名による予備審査と表彰委員4名による本審査の2段階で行われた。その結果、下記論文を第54回青木賞として推薦することで、表彰委員全員の賛同及び理事会の承認を得て、表彰した。

・第54回青木賞表彰論文：「新型時計用潤滑油“AO-オイル”の開発」

- 学会誌掲載：Vol.62, No.219 (2018年12月)
- 著者：赤尾 祐司氏 (シチズン時計(株))
- 推薦理由：予備審査を通過した論文は、どれも優れたものであったが、本論文は、本学会の学術論文として独創性、有用性、困難性のすべてにおいて高い評価を受け、総合評価でも最高得点を得た。

[2] ベストプレゼンテーション賞

2018年度より、優秀な講演発表者を表彰する日本時計学会ベストプレゼンテーション賞(英文名：HIJ Best Presentation Award)を新設した。第3回ベストプレゼンテーション賞は、新型コロナウイルス感染症の影響に伴う、マイクロメカトロニクス学術講演会中止により選出無し。

5. 内外関係機関等との交流及び協力

[1] 国内機関との交流

国立国会図書館へ学会誌「マイクロメカトロニクス」を納本した。また、科学技術振興機構へ学

会誌の電子データを提供した。

日本時計学会は平成 18 年 5 月 9 日付けで日本学術会議より協力学術研究団体として指定を受けている。

[2] 外国機関との交流

スイス時計学会(SSC: Société Suisse de Chronométrie)へ学会誌を寄贈した。

[3] 関係学会との協賛

研究会および学術講演会は、新型コロナウイルス感染症の影響により開催中止した為、協賛なし。

6. その他、学会の目的を達成する為に必要な事業

特に無し。

Ⅱ. 処務の概要

1. 役員等に関する事項

一般社団法人 日本時計学会 役員名簿

2020年12月31日現在

役職	氏名	常・非常勤	就任年月日	年間給与	担当	所属
代表理事	木原 啓之	非常勤	2019年3月4日	無し	業務総括	シチズン時計（株）
業務執行理事	大隅 久	非常勤	2019年3月4日	無し	代表理事補佐 事務局（経理）	中央大学
業務執行理事	常葉 輝久	非常勤	2019年3月4日	無し	事務局（総務）	カシオ計算機（株）
理事	足立 武彦	非常勤	2019年3月4日	無し	編集担当	
理事	飯田 謙司	非常勤	2019年3月4日	無し	編集担当	セイコーエプソン（株）
理事	今村 美由紀	非常勤	2019年3月4日	無し	編集委員長 青木賞・企画担当	セイコークロック（株）
理事	梅田 和昇	非常勤	2019年3月4日	無し	事業委員長 企画担当	中央大学
理事	大谷 親	非常勤	2019年3月4日	無し	青木賞委員長 事業・企画担当	
理事	木村 南	非常勤	2019年3月4日	無し	企画委員長	神奈川工科大学
理事	佐々木 健	非常勤	2019年3月4日	無し	編集担当	東京大学
理事	滝澤 勝由	非常勤	2019年3月4日	無し	事業・企画担当	盛岡セイコー工業（株）
理事	中島 悦郎	非常勤	2019年3月4日	無し	広報・企画担当	ブイテックインターナシ ョナル（株）
理事	増田 純夫	非常勤	2019年3月4日	無し	編集担当	一文機工（株）

監事	山本 尚	非常勤	2017年2月24日	無し	—	一般社団法人 日本時計協会
監事	吉村 靖夫	非常勤	2019年3月4日	無し	—	

2. 職員に関する事項

業務を担当する職員はいない。

3. 理事会及び総会に関する事項

[1] 理事会

開催年月日	主な議事事項	会議の結果
第1回理事会 2020年2月28日 (定時社員総会前)	・定時社員総会議案についての確認 - 1号議案 2019年度収支決算及び事業報告 - 2号議案 2020年度予算及び事業計画 - 3号議案 理事および監事の選任 ・出版編集関係 ・新入会員の承認	提案内容承認 承認 承認
第2回理事会 同 2月28日 (定時社員総会后)	・定時社員総会議案についての確認 ・新任の運営委員の選任 ・2020年度の体制について ・出版編集関係 ・2020年度春季研究会について ・2020年度特別研究会について ・2020年度見学会について ・2020年度理事会の日程について	確認 承認 審議・承認 承認 審議・承認 審議・承認 審議・承認 承認
第3回理事会 (WEB) 同 4月17日	・出版編集関係 ・企画委員会検討課題について ・2020年度春季研究会について ・マイクロメカトロニクス学術講演会について ・第54回青木賞選考について ・2020年度見学会について ・新任の運営委員の選任 ・新入会員の承認	承認 継続審議 審議・承認 審議・承認 承認 審議・承認 承認 承認
第4回理事会 (WEB) 同 6月19日	・出版編集関係 ・第54回青木賞選考の経緯と表彰論文の推薦について ・マイクロメカトロニクス学術講演会について ・企画委員会検討課題について ・英語化された原稿の掲載について	承認 審議・承認 審議・承認 継続審議 継続審議
第5回理事会 (WEB) 同 9月18日	・出版編集関係 ・企画委員会検討課題について	承認 継続審議
第6回理事会 (WEB) 同 11月6日	・出版編集関係 ・定時社員総会議案検討 ・2020年度事業報告, 2021年度事業計画 ・青木賞規定改訂 ・新任の運営委員の選任 ・新入会員の承認	承認 継続審議 継続審議 継続審議 承認 承認
第7回理事会 (WEB) 同 12月18日	・出版編集関係 ・定時社員総会議案検討 ・2020年度決算見込, 2021年度収支予算案 ・2020年度事業報告, 2021年度事業計画 ・青木賞規定改訂 ・2021年度研究会・見学会幹事について ・新入会員の承認	承認 継続審議 継続審議 継続審議 承認 承認 承認

[2] 総会

開催年月日	主な議事事項	会議の結果
定時社員総会 2020年2月28日	・1号議案 2019年度収支決算及び事業報告・監査報告 ・2号議案 2020年度予算および事業計画 ・3号議案 理事および監事の選任	承認 承認 承認（選任）

4. 許可，認証，承認，証明などに関する事項

該当なし.

5. 契約に関する事項

契約年月日 : 2019年5月23日（2021年5月22日まで）

相手方 : 株式会社 エム・シーリース

契約の概要 : 事務局として朝日九段マンション522号室の賃貸借契約

6. 主務官庁指示に関する事項

該当なし.

7. 会員数動向

会員種別	2020年度末	2019年度末	増減数
正会員	150（名）	161（名）	-11（名）
賛助会員	16（社）	17（社）	-1（社）
学生会員	1（名）	3（名）	-2（名）
計	167	181	-14

*2020年度末の会員数は12月度理事会承認後

8. その他重要事項

該当なし.

収支計算書

一般社団法人日本時計学会

自 2020年 1月 1日 至 2020年12月31日 (単位:円)

科 目	予 算 額	決 算 額	差 異	備 考
〔事業活動収支の部〕				
〔事業活動収入〕				
【基本財産運用収入】				
基本財産利息収入	100	30	70	
【入会金収入】				
入会金収入	10,000	4,200	5,800	
【会費収入】				
正会員会費収入	800,000	780,000	20,000	
学生会員会費収入	4,000	0	4,000	
賛助会員会費収入	2,125,000	2,075,000	50,000	
【事業収入】				
事業収入(研究会)	200,000	0	200,000	
事業収入(講演会)	760,000	0	760,000	
広告収入	237,000	267,300	△ 30,300	
【雑収入】				
受取利息収入	50	330	△ 280	
雑収入	60,000	2,482,769	△ 2,422,769	
事業活動収入計	4,196,150	5,609,629	△ 1,413,479	
〔事業活動支出〕				
【事業費支出】				
臨時雇用賃金支出	1,100,000	1,062,477	37,523	
広報活動費支出	132,000	132,000	0	
旅費交通費支出	60,000	25,070	34,930	
通信運搬費支出	60,000	61,890	△ 1,890	
消耗品費支出	10,000	16,500	△ 6,500	
印刷製本費支出	500,000	442,640	57,360	
光熱水料費支出	25,000	23,479	1,521	
賃借料支出	550,000	506,616	43,384	
諸謝金支出	100,000	0	100,000	
雑支出	100,000	86,020	13,980	
会議費支出	300,000	0	300,000	
【管理費支出】				
臨時雇用賃金支出	450,000	441,029	8,971	
会議費支出	1,000	0	1,000	
旅費交通費支出	30,000	10,744	19,256	
通信運搬費支出	50,000	50,440	△ 440	
消耗品費支出	50,000	267,917	△ 217,917	
印刷製本費支出	2,000	0	2,000	
光熱水料費支出	25,000	23,479	1,521	
賃借料支出	550,000	506,616	43,384	
租税公課支出	80,000	70,000	10,000	
雑支出	10,000	2,023	7,977	
事業活動支出計	4,185,000	3,728,940	456,060	
事業活動収支差額	11,150	1,880,689	△ 1,869,539	
当期収支差額	11,150	1,880,689	△ 1,869,539	
前期繰越収支差額	1,656,246	1,656,246	0	
次期繰越収支差額	1,667,396	3,536,935	△ 1,869,539	

正味財産増減計算書

一般社団法人日本時計学会

自 2020年 1月 1日 至 2020年12月31日 (単位: 円)

科 目	当 年 度	前 年 度	増 減
〔一般正味財産増減の部〕			
〔経常増減の部〕			
〔経常収益〕			
【基本財産運用益】			
基本財産受取利息	30	1	29
【受取入会金】			
受取入会金	4,200	2,000	2,200
【受取会費】			
正会員受取会費	780,000	790,000	△ 10,000
学生会員受取会費	0	1,000	△ 1,000
賛助会員受取会費	2,075,000	2,100,000	△ 25,000
【事業収益】			
事業収益(研究会)	0	263,000	△ 263,000
事業収益(講演会)	0	456,000	△ 456,000
事業収益(広告収入)	267,300	265,140	2,160
【雑収益】			
受取利息	330	602	△ 272
雑収益	2,482,769	128,337	2,354,432
経常収益計	5,609,629	4,006,080	1,603,549
〔経常費用〕			
【事業費】			
臨時雇用賃金	1,062,477	1,116,477	△ 54,000
広報活動費	132,000	130,200	1,800
旅費交通費	25,070	64,730	△ 39,660
通信運搬費	61,890	62,096	△ 206
消耗品費	16,500	7,760	8,740
印刷製本費	442,640	571,525	△ 128,885
光熱水料費	23,479	24,322	△ 843
賃借料	506,616	547,716	△ 41,100
諸謝金	0	144,781	△ 144,781
雑費	86,020	15,755	70,265
会議費	0	301,033	△ 301,033
【管理費】			
臨時雇用賃金	441,029	441,029	0
旅費交通費	10,744	26,070	△ 15,326
通信運搬費	50,440	49,282	1,158
消耗品費	267,917	55,280	212,637
印刷製本費	0	1,102	△ 1,102
光熱水料費	23,479	24,322	△ 843
賃借料	506,616	547,716	△ 41,100
租税公課	70,000	80,000	△ 10,000
雑費	2,023	12,262	△ 10,239
経常費用計	3,728,940	4,223,458	△ 494,518
評価損益等調整前当期経常増減額	1,880,689	△ 217,378	2,098,067
当期経常増減額	1,880,689	△ 217,378	2,098,067
税引前当期一般正味財産増減額	1,880,689	△ 217,378	2,098,067
当期一般正味財産増減額	1,880,689	△ 217,378	2,098,067
一般正味財産期首残高	7,596,246	7,813,624	△ 217,378
一般正味財産期末残高	9,476,935	7,596,246	1,880,689
正味財産期末残高	9,476,935	7,596,246	1,880,689

貸借対照表

一般社団法人日本時計学会

2020年12月31日現在 (単位: 円)

科 目	当 年 度	前 年 度	増 減
〔 資 産 の 部 〕			
【 流 動 資 産 】			
現 金 預 金	3,891,935	1,766,246	2,125,689
流 動 資 産 合 計	3,891,935	1,766,246	2,125,689
【 固 定 資 産 】			
(基 本 財 産)			
基 本 財 産	500,000	500,000	0
基 本 財 産 合 計	500,000	500,000	0
(その他固定資産)			
敷 金	140,000	140,000	0
定 期 預 金	5,300,000	5,300,000	0
その他固定資産合計	5,440,000	5,440,000	0
固 定 資 産 合 計	5,940,000	5,940,000	0
資 産 合 計	9,831,935	7,706,246	2,125,689
〔 負 債 の 部 〕			
【 流 動 負 債 】			
前 受 会 費	355,000	110,000	245,000
流 動 負 債 合 計	355,000	110,000	245,000
負 債 合 計	355,000	110,000	245,000
〔 正 味 財 産 の 部 〕			
【一般正味財産】			
その他一般正味財産	9,476,935	7,596,246	1,880,689
一般正味財産合計	9,476,935	7,596,246	1,880,689
(うち基本財産への充当額)	(500,000)	(500,000)	(0)
正 味 財 産 合 計	9,476,935	7,596,246	1,880,689
負債及び正味財産合計	9,831,935	7,706,246	2,125,689

財産目録

一般社団法人日本時計学会

2020年12月31日現在 (単位:円)

貸借対照表科目		場所・物量等	使用目的等	金額
【流動資産】	現金	金		34,164
	現金	金		34,164
	預金	金		3,857,771
	普通預金(りそな銀行)			3,558,741
	郵便振替貯金			299,030
流動資産合計				3,891,935
【固定資産】 (基本財産)	基本財産			500,000
	定期預金(りそな銀行)			500,000
	敷金			140,000
	その他固定資産			5,300,000
	定期預金(りそな銀行)			5,300,000
その他固定資産合計				5,440,000
固定資産合計				5,940,000
資産合計				9,831,935
【流動負債】	前受会費		2021年度会費	355,000
				355,000
流動負債合計				355,000
負債合計				355,000
正味財産				9,476,935

一般社団法人 日本時計学会 2020 年 11 月度 理事会議事録
－ 2020 年度 第 6 回理事会 －

（記録：常葉 輝久 2020 年 11 月 6 日）

1. 開催日時：2020 年 11 月 6 日（金）

コロナウイルス影響により WEB ミーティングでの開催 （事前メール共有）

2. 場所：

3. 出席者：WEB ミーティング

<理事>木原、大隅、足立、飯田、今村、梅田、大谷、木村、滝澤、中島、増田、常葉

（以上 12 名）

<監事>山本、吉村（以上 2 名）

理事総数 13 名の過半数につき理事会成立

<運営委員>岩崎、橘田、重城、鈴木、槌谷、土肥、永田、廣川、藤沢、横山（以上 10 名）

4. 審議事項

（1）2020 年 9 月度理事会議事録確認

9 月度（第 5 回）理事会の議事録（案）に問題無いことが確認された。

（2）出版編集関係（別紙資料配布：今村理事）

マイクロメカトロニクス 2020 年 12 月号(Vol.64, No.223)に向けて、今村理事（編集委員長）より入稿状況等の説明がされた。

- ・投稿規定（原則 12 ページ）を超える 16 ページの入稿済み原稿に関して、検討の結果、掲載可能とすることが承認された

（3）年度末に向けての確認

- ・定時総会、理事会の日程

2021 年 3 月 5 日（金）、開催予定

- ・定時総会議題について

2020 年事業報告、2021 年事業計画等の資料の初校が展開され、大きな問題が無い事が確認された。

次回理事運営委員会で、修正した内容を報告予定

- ・来期の理事、運営委員候補案に関して会話がなされた。

（4）青木賞規定改訂（別紙資料配布：大谷理事）

選考対象論文の定義が分かりにくい表現となっていた「2.3 審査対象」に関する記述変更提案がされた。更に明確化に向けて、継続検討する事になった。

（5）新任の運営委員の選任

新たに以下の運営委員の選任が提案された。特に異議はなく一同これに同意し承認された。

新任運営委員 鳴野 彰従氏（リズム（株））

（6）新入会員の承認

- ・1 名の正会員の入会申し込みがあり承認された。

正会員 鳴野 彰従 リズム（株）

10/7 届出

（7）次回理事会

第 6 回理事会：2020 年 12 月 18 日（金）16:00～17:00

コロナウイルス影響により、WEB ミーティングでの開催（事前メール共有）

または、会議室と WEB の併用も検討

5. 報告事項

（1）会員数状況（2020 年 11 月 6 日承認後）

- ・正会員 152 名（-2）、学生会員 1 名（±0）、賛助会員 16 社（±0）（83 口（±0））
- ・入会：正会員 1 名
- ・退会：正会員 3 名

（2）その他

- ・日本学術会議の協力学術研究団体であることの明記に関して
今後、今まで記述の無かった、学会誌、事業報告書、事業計画書に明記することになった。
- ・持続化給付金の申請が完了した。
- ・2月15日の週に、会計監査を行う予定。
- ・コロナ影響を見ながら、会議室とWEB併用での理事運営委員会の開催について議論がされた。
中央大学 製図室が、広い会議室として活用できる見込み。

以上

一般社団法人 日本時計学会 2020 年 12 月度 理事会議事録 － 2020 年度 第 7 回理事会 －

(記録：常葉 輝久 2020 年 12 月 18 日)

1. 開催日時：2020 年 12 月 18 日 (金)

コロナウイルス影響によりWEBミーティングでの開催 (事前メール共有)

2. 場所：

3. 出席者：WEB ミーティング

<理事>木原，大隅，足立，飯田，今村，梅田，大谷，木村，佐々木，滝澤，中島，増田，常葉

(以上 13 名)

<監事>山本，吉村 (以上 2 名)

理事総数 13 名の過半数につき理事会成立

<運営委員>岩崎，橘田，嶋野，重城，鈴木，槌谷，土肥，永田，廣川，藤沢，横山 (以上 11 名)

4. 審議事項

(1) 2020 年 11 月度理事会議事録確認

11 月度 (第 6 回) 理事会の議事録 (案) に問題無いことが確認された。

(2) 出版編集関係 (別紙資料配布：今村理事)

マイクロメカトロニクス 2021 年 6 月号 (Vol.65, No.224) に向けて，今村理事 (編集委員長) より入稿状況等の説明がされた。

- ・技術報告論文の著者名の英語表記が間違っていた状態で製本がされた為，ご本人承諾の上，シールを貼る対応を行った。(印刷会社様ご厚意により，無償対応)
- WEB 版は正しい名前表記に修正済み。

(3) 定時社員総会議案確認 (別紙資料配布 常葉業務執行理事より説明)

- ・定時社員総会の議題，日程が確認された

日時：2021 年 3 月 5 日 (金) 17:00 - 18:00

(4) 2020 年度決算見込，2021 年度収支予算案 (別紙資料配布 大隅業務執行理事より説明)

- ・2020 年度決算見込，2021 年度収支予算案が展開され，問題無い事が確認された。
- ・新型コロナウイルス感染症影響
イベント未開催による事業収入減があったが，持続化給付金，家賃支援金をいただけた。
- ・賛助会費の内訳が見える記述に，資料フォーマットを変更する。

(5) 2020 年度事業報告，2021 年度事業計画 (別紙資料配布 常葉業務執行理事より説明)

2020 年事業報告，2021 年事業計画等の資料の修正版が展開され，問題無い事が確認された。

(6) 青木賞規定改訂 (別紙資料配布：大谷理事)

選考対象論文の定義が分かりにくい表現となっていた「2.3 審査対象」に関しての記述変更提案がされ，議論の上，承認された。

(7) 2021 年度の研究会、見学会幹事の件 (別紙資料配布 大谷理事より説明)

以下の幹事会社が提案され，承認された。

- ・研究会（春）：シチズン時計（株）
- ・研究会（秋）：セイコーエプソン（株）
- ・見学会：カシオ計算機（株）

（８）新入会員の承認

- ・１名の正会員の入会申し込みがあり承認された。
正会員 小川 浩良 カシオ計算機（株）

12/15 届出

（９）次回理事会

- ・第１回理事会：2020年３月５日（金）16:00～17:00
- ・定時社員総会：2020年３月５日（金）17:00～18:00
- ・第２回理事会：2020年３月５日（金）18:00～19:00
中央大学 後楽園キャンパス

５．報告事項

（１）会員数状況（2020年12月18日承認後）

- ・正会員 150名（-2），学生会員 1名（±0），賛助会員 16社（±0）（83口（±0））
- ・入会：正会員 1名
- ・退会：正会員 3名

（２）その他

- ・中島理事が、スイスの時計雑誌 Europa Star に、日本時計学会のコロナ禍での活動についてのコメント投稿を行い、掲載記事に関して共有がされた。

以上

一般社団法人 日本時計学会 2021年３月度 理事会議事録 － 2021年度 第１回理事会 －

（記録：常葉 輝久 2021年３月５日）

１．開催日時：2021年３月５日（金）16:00～17:00

２．場所：中央大学 後楽園キャンパス ２号館 ２階 2221号室（製図室），オンライン同時開催

３．出席者：

<理事>木原，大隅，足立，飯田，今村，梅田，大谷，木村，佐々木，増田，常葉（以上 11名）

<監事>山本，吉村（以上 2名）

理事総数 13名の過半数につき理事会成立

<運営委員>岩崎，橘田，嶋野，重城，鈴木，槌谷，土肥，永田，廣川，藤沢，横山（以上 11名）

４．審議事項

（１）2020年12月度理事会議事録確認

12月度（第７回）理事会の議事録（案）に問題無いことが確認された。

（２）定時社員総会議案について

下記，定時社員総会の議案について内容の確認を行った。

- ・１号議案：2020年度決算及び事業報告（別途資料配布）

2020年度決算報告書について，経理担当 大隅理事より説明報告がされ，総会議題として承認された。

2020年度事業報告について，総務担当 常葉理事より説明報告がされ，総会議題として承認された。

- ・２号議案：2021年度予算及び事業計画（別途資料配布）

2021年度収支予算書について，経理担当 大隅理事より説明があり，総会議題として承認された。

2021年度事業計画について，総務担当 常葉理事より説明があり，総会議題として承認された。

- ・３号議案：理事及び監事の選任

理事 13名並びに監事 1名について，本定時社員総会の終結と同時に任期満了し，退任することとなった。については，理事改選の必要があり，議長より，別紙資料の通り，理事並びに監事候補が

提案され、総会議題として承認された。

新任理事：重城 幸一郎 氏

新任理事：鈴木 紀寿 氏

新任監事：岸 良一 氏

退任理事（任満了）：木原 啓之 氏

退任理事（任満了）：滝澤 勝由 氏

退任監事（任満了）：山本 尚 氏

（３）出版編集関係（別紙資料配布 今村理事より説明）

- ・マイクロメカトロニクス 2021 年 6 月号(Vol.65, No.224)に向けて、今村理事（編集委員長）より入稿状況等の説明がされた。
- ・英訳して掲載予定の講座に関して、元となる和文の講座での誤記が見つかった。
 - － J-STAGE の電子データ：誤記が見つかった場合の訂正に関して編集委員で確認をする
 - － 学会誌：英訳版のみ掲載
 - － 時計学会 HP 掲載：和文の訂正版の掲載方法に関して、広報委員会のWEB担当で検討

（４）新入会員の承認

- ・ 1 名の正会員の入会申し込みがあり承認された。
正会員 柳田 直人 (イビデン㈱) 届出 1/17

（５）次回理事会

第 2 回理事会：2021 年 3 月 5 日（金）18:00～19:00（定時社員総会後）
中央大学 後楽園キャンパス 2 号館 2 階 2221 号室（製図室），オンライン同時開催

5. 報告事項

（１）会員数状況（2021 年 3 月 5 日承認後）

- ・正会員 148 名（-2），学生会員 1 名（±0），賛助会員 16 社（±0）（83 口（±0））
- ・入会：正会員 1 名
- ・退会：正会員 3 名

（２）その他

- ・特になし

以上

一般社団法人 日本時計学会 2021 年度 定時社員総会議事録

（記録：常葉 輝久 2021 年 3 月 5 日）

1. 開催日時：2021 年 3 月 5 日（金）17:00～17:30

2. 場所：中央大学 後楽園キャンパス 2 号館 2 階 2221 号室（製図室），オンライン同時開催

3. 出席状況：以下の出席状況であり、定款の規定により本定時社員総会は成立

議決権ある社員総数 150 名，総社員の議決権の数 150 個，出席社員数 91 名（委任状 66 名を含む），この議決権の総数 91 個，

出席理事：木原，大隅，足立，飯田，今村，梅田，大谷，木村，佐々木，滝澤，増田，常葉

出席監事：山本，吉村

4. 議題

（１）1 号議案：2020 年度決算及び事業報告（別途資料配布）

1)2020 年度決算報告書について、経理担当 大隅理事より説明報告がされ、また、監事より適正であ

ることの監査報告があり、異議なく承認された。

2)2020 年度事業報告について、総務担当 常葉理事より説明報告がされ、異議なく承認された。

(2) 2号議案：2021 年度予算及び事業計画（別途資料配布）

1)2021 年度収支予算書について、経理担当 大隅理事より説明があり、異議なく承認された。

2)2021 年度事業計画について、総務担当 常葉理事より説明があり、異議なく承認された。

(3) 3号議案：理事及び監事の選任

理事 13 名並びに監事 1 名について、本定時社員総会の終結と同時に任期満了し、退任することとなった。ついては、理事改選の必要があり、議長より、別紙資料の通り、理事並びに監事が提案された。異議なく一同賛成したので可決確定した。

新任理事：重城 幸一郎 氏

新任理事：鈴木 紀寿 氏

新任監事：岸 良一 氏

退任理事（任期満了）：木原 啓之 氏

退任理事（任期満了）：滝澤 勝由 氏

退任監事（任期満了）：山本 尚 氏

なお、被選任者は、席上その就任を承諾し、総会欠席者は理事就任承諾書を提出した。

以上

一般社団法人 日本時計学会 2021 年 3 月度 理事会議事録
－ 2021 年度 第 2 回理事会 －

（記録：常葉 輝久 2021 年 3 月 5 日）

1. 開催日時：2021 年 3 月 5 日（金）17:40～18:30

2. 場所：中央大学 後楽園キャンパス 2 号館 2 階 2221 号室（製図室） ， オンライン同時開催

3. 出席者：

<理事>大隅、重城、足立、飯田、今村、梅田、大谷、木村、佐々木、鈴木、増田、常葉（以上 12 名）

<監事>岸、吉村（以上 2 名） 理事総数 13 名の過半数につき理事会成立

<運営委員>岩崎、小川、嶋野、槌谷、土肥、永田、廣川、藤沢、横山（以上 9 名）

4. 審議事項

(1) 定時総会議案についての確認

定時社員総会で下記各議案が提案通りに承認されたことを確認した。

・1 号議案 2020 年度収支決算及び事業報告

・2 号議案 2021 年度予算及び事業計画

・3 号議案 理事及び監事の選任

(2) 新任代表理事及び業務執行理事、新任運営委員の選任

新たに以下の代表理事、業務執行理事、運営委員の選任が提案された。

特に異議はなく一同これに同意し承認された。

新任代表理事 大隅 久 氏 （中央大学）

新任業務執行理事 重城 幸一郎 氏 （セイコーウオッチ（株））

新任運営委員 小笠原 健治 氏 （セイコーウオッチ（株））

新任運営委員 小川 浩良氏 （カシオ計算機（株））

(3) 2021 年度の体制について（別紙資料配布 常葉理事より説明）

定時社員総会の議決に基づき 2021 年度の業務体制について協議した結果、別紙一般社団法人日本時計学会組織図、及び業務体一覧のとおり承認された。

(4) 2021 年度春季研究会について (鈴木理事より説明, 幹事会社: シチズン時計 (株))

昨年承認されたが, 新型コロナウイルス感染症の影響により開催中止となった,
以下の内容で開催可能見込み.

- テーマ: 光無線給電のインパクト – 最新動向と課題, 展望 –

新型コロナウイルス感染症の状況に合わせて, 第3回理事会(4月23日)で開催タイミングを検討する.

(5) 見学会について (廣川運営委員より説明, 幹事会社: カシオ計算機 (株))

昨年承認されたが, 新型コロナウイルス感染症の影響により開催中止となった,
以下の内容で開催可能見込み.

- 見学先: 「羽田クロノゲート」

現在, 施設自体は見学中止となっているが, 緊急事態宣言解除後に見学可能となる見込み.

新型コロナウイルス感染症の状況に合わせて, 第3回理事会(4月23日)で開催タイミングを検討する.

(6) 2020 年度理事会の日程について

- ・ 2021 年 3 月 5 日 (金) : 第 1 回理事会, 定時社員総会, 第 2 回理事会
- ・ 2021 年 4 月 23 日 (金) : 第 3 回理事会, (春季研究会)
- ・ 2021 年 6 月 18 日 (金) : 第 4 回理事会, (見学会)
- ・ 2021 年 9 月 17 日 (金) : 第 5 回理事会, 学術講演会
- ・ 2021 年 11 月 5 日 (金) : 第 6 回理事会, 秋季研究会
- ・ 2021 年 12 月 17 日 (金) : 第 7 回理事会

(7) 前期監事からの提案について

学会誌の状況を中心に監事から提案があり, 第3回理事会(4月23日)以降で, 詳細を検討, 審議を行っていくこととなった

(8) 次回理事会

第3回理事会: 2021 年 4 月 23 日 (金) 16:00~17:00

中央大学 後楽園キャンパス

※新型コロナウイルス感染症影響を考慮して, オンライン同時開催の可能性有り

5. 報告事項

(1) その他

- ・ 2021 年度日本時計学会メーリングリストの更新

以上

編集後記

2019 年に始まった新型コロナ感染症の拡大により、企業活動のあり方や、生活様式、消費行動などが新常态へ移行する中、時計業界も少なからず影響を受けています。

また、コロナを発端として半導体の需給バランスが崩れ、更に拍車をかけるように起きた北米の大寒波や工場火災による操業停止により、半導体不足は深刻化しており、時計の製造にも影響が出始めています。

しかし、我々は困難に直面しても常に最適な解決手段を見出して、障害を乗り越える能力を備えていると信じています。ゲームチェンジャーと言われるウイルスの摂取も始まっており、この先は国内の景気も回復傾向になるものと期待しています。

時計学会においてもコロナ禍に適応すべく、研究会や学術講演会をオンラインで開催することで活動を再開しようとしています。

皆さまにおかれましても健やかに過ごされることをお祈りするとともに、論文の投稿や学術講演会での発表など時計学会の活動への参加を心よりお待ちしております。

(今村 美由紀 記)