

技術報告

静電誘導発電機／モーター搭載ウォッチの開発

前田俊成, 渡邊真, 木村将吾, 池田智夫, 高橋雅人, 白井琢矢, 星雄大, 野田昌弘

シチズン時計株式会社, 東京都西東京市田無町 6-1-12, 〒188-8511

(2022 年 12 月 14 日受付, 2023 年 4 月 17 日再受付, 2023 年 4 月 18 日採録)

Development of a Watch Equipped with Electrostatic Induction Generator and Motor

Toshinari MAEDA, Makoto WATANABE, Shogo KIMURA, Tomoo IKEDA,
Masato TAKAHASHI, Takuya SHIRAI, Yudai HOSHI, and Masahiro NODA

CITIZEN Watch Co., Ltd., 6-1-12, Tanashi-chou, Nishitokyo-shi, Tokyo 188-8511, Japan

(Received December 14, 2022, Revised April 17, 2023, Accepted April 18, 2023)

ABSTRACT

Development of an electrostatic induction generator began in 2009. Since it was known that the electrostatic induction mechanism had the advantage of being highly resistant to magnetic fields, the development of a motor was also initiated in 2015. As a result, Cal.NS30 movement, equipped with an electrostatic induction generator/motor, was developed. ACCUTRON SPACEVIEW 2020, equipped with this movement, was launched to commemorate the 60th anniversary of the release of the “ACCUTRON”. The technical outline of the Cal.NS30 movement is reported as below.

1. 時計のコンセプトと開発の経緯

2008 年シチズングループ入りした BULOVA は、振動数の安定する音叉に着目し、1960 年に世界初の音叉式時計「ACCUTRON」を発売した。その BULOVA の DNA を受け継ぎ、2020 年生誕 60 周年を機に新ブランド「ACCUTRON」を立ち上げ、新開発の Cal.NS30 ムーブメントを搭載した「ACCUTRON SPACEVIEW 2020」を発売した。Cal.NS30 ムーブメントは月差±5 秒で、腕時計製品として世界で初めて、静電誘導を利用した「静電誘導発電機」と「静電誘導モーター」を搭載している。(Fig. 1)

シチズンでは 1976 年にアナログ式光発電時計を発売し、以降も継続的に発電技術の研究開発を行っている。2009 年当時の環境発電技術調査の結果、静電誘導発電技術に着目し、まず発電機の開発に着手した。また静電誘導機構は耐磁性能が高いメリットもあり、2015 年にモーターの開発にも着手し 2020 年に発売に至った。開発にはおよそ 10 年かかっている。

2. 時計の概要とムーブメントの全体構造

文字板の5時と7時位置に搭載した静電誘導発電機のツインローターが、腕の動きに連動して回転錘が動き、増速輪列を介して高速回転することで、電力を発生する。発生した電力は二次電池に蓄えられ、その電力を利用し10時位置にある静電誘導モーターを駆動する。モーターの回転に連動して、秒針がスワイプ運針する。また電磁ステップモーターで時分針を駆動する。(Fig. 2)



Fig. 1 ACCUTRON SPACEVIEW 2020.

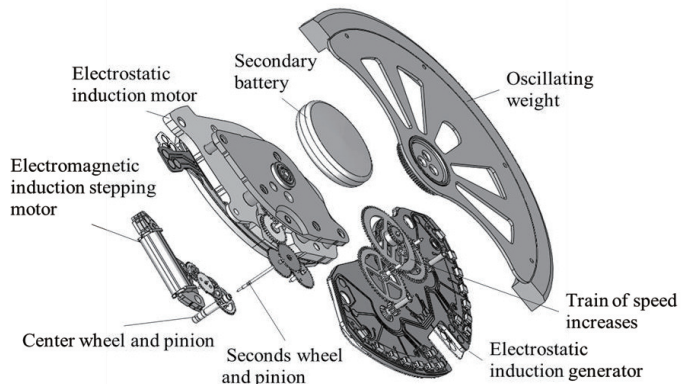


Fig. 2 Development view of Cal.NS30 movement.

この時計は、発電から運針という時計機能と、発電機／モーターそれぞれのローターの独特な回転動作とが連動した機能美を楽しむことのできる魅力的な腕時計となっている。

3. エレクトレットについて

3. 1 用語の説明とコロナ帯電処理と帯電量の管理

エレクトレット¹⁾は、半永久分極した誘電体のことで、電石とも呼ばれ、磁石やマグネットに対して用いられる用語である。エレクトレットシートは、帯電部と導体より構成され、帯電部にはフッ素樹脂を使用、導体の材質はアルミであり、帯電処理をする際に GND 電位に設定する。

また静電誘導²⁾とは導体に電荷を帯びた物体を近づけると電荷の作る電界によって、導体内の電荷が誘起される現象であり、発電機、モーターの駆動原理となる。

エレクトレットはコロナ帯電処理装置で、数千 V をコロナ／グリッド電極に所定時間、所定雰囲気中で印加することでマイナスに帯電する。発電や駆動の性能に大きく影響する帯電量は、帯電処理後に表面電位計で測定、管理している。

3. 2 エレクトレットシートからローターへ

この時計の製品化に必要な技術開発の一つが両面に帯電部を有するローターである。このローターはアルミ基板に対し、帯電部となるフッ素樹脂を両面に貼り付けた厚み 150 μm のエレクトレットシートから放射状のブレードを有するローターをプレス加工によって製作する。最終的にこのエレクトレット材を選択した大きな理由が、この加工性の良さにある。

アルミ基板にしたこと、及び放射状のローター形状にした目的は、主に軽量化である。発電機であれば起動性を改善することで、少しの腕の動きでも発電し、発電量を増やすことができる。また、モーターであれば軽量化することで有効なトルクの割合を増やすことができる。更に放射形状にすることで、ローターの外周まで帯電領域を積極的に利用し、発電機やモーターの性能（発電電流、トルク）を向上させることができる。

帯電部は両面にあるが、コロナ帯電処理、表面電位測定を量産では両面同時に行う。（Fig. 3）

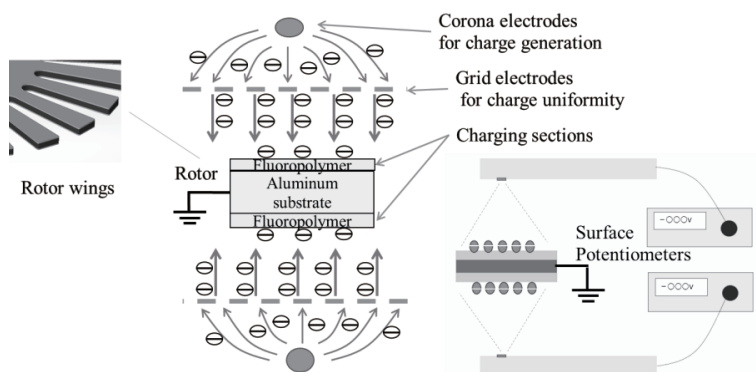


Fig. 3 Electret sheet with charged areas on both sides, radial blade shape and mass production facilities for charging both sides.

4. 静電誘導機構について

4. 1 発電機の構造と動作原理と時計内での動作の説明

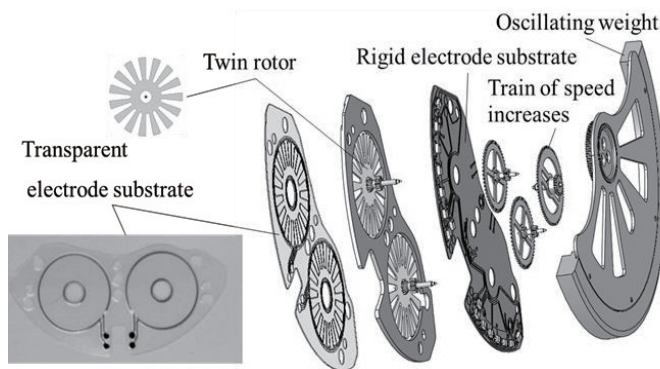


Fig. 4 Development view of generator.

Fig. 4 は発電機の展開図である。回転錘の動きに連動して回転するツインローターの動作が見えるように文字板側には透明電極基板を、裏蓋側にはリジッド電極基板を設置し、その間にツインローターを回転可能に保持している。ローターと各電極基板との隙は $100\ \mu\text{m}$ 程度である。回転錘とツインローターとは増速輪列を介してつながっている。

Fig. 5 は発電機部の断面図であり、各ブレードと電極との位置関係を示している。マイナスに帯電したローターが電極に接近した時に電極には逆極性（プラス）の電荷が引き寄せられる。ローターの移動に伴い、電極表面の電荷密度が変化し、電荷も移動するため、この移動経路に整流回路を入れて発電電流として取り出す仕組みが静電誘導発電機の動作原理である。

Fig. 6 は発電のシステムブロック図である。回転錘の回転に伴い、ツインローターが回転する。発生した発電電流が各電極基板で全波整流され、充電回路で $1/6$ 倍に降圧し、二次電池に蓄電、その電力で時計 IC を駆動する。発電量の目安は 1 日 1 時間（6000 歩）以上時計を腕に着けた場合、1 日分の電気を蓄える仕様となっている。

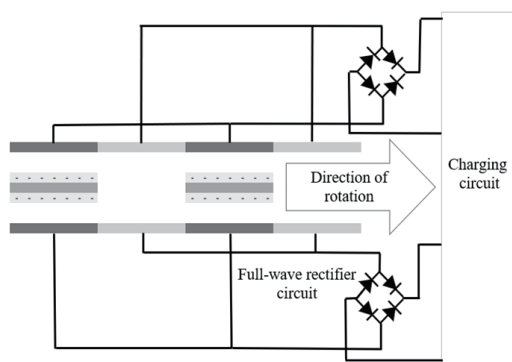


Fig. 5 Positioning of rotor wings and electrodes.

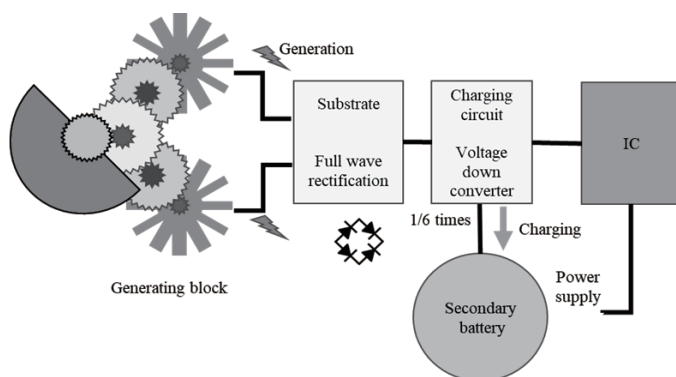


Fig. 6 System block diagram of generating block.

4. 2 モーターの構造と動作原理と時計内での動作の説明

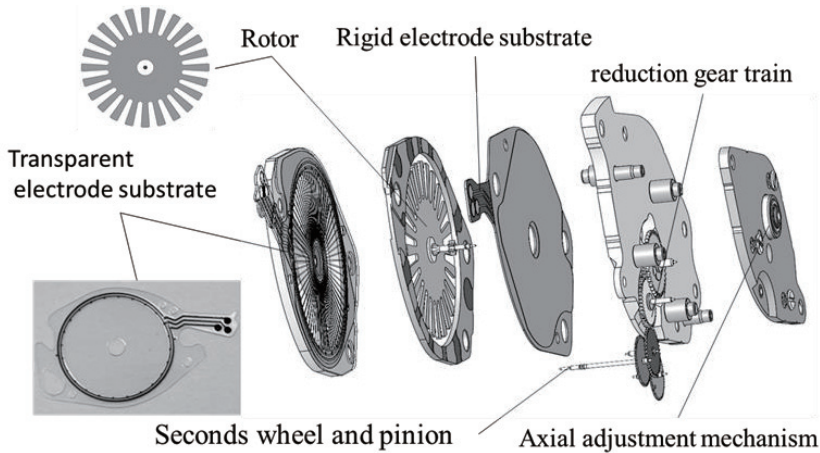


Fig. 7 Development view of motor.

Fig. 7 はモーターの展開図である。ローターの回転動作とスイープ秒運針の動きが連動して見えるように文字板側には透明電極基板を、裏蓋側にはリジッド電極基板を設置し、ローターを回転可能に保持している。ローターと各電極基板との隙は $100\ \mu\text{m}$ 程度である。モーターなどの駆動機構部品に高抵抗の透明電極基板を利用できるのは、電圧駆動する静電誘導機構ならではの特徴であり、デザイン上のメリットが大きい。

Fig. 8 はモーター部の断面図であり、各ブレードと電極との位置関係を示している。電極側にローターと逆極性（プラス）の電圧を印加することでマイナスに帯電したローターを電極に引き寄せる現象を利用したのが、静電誘導モーターの動作原理である。

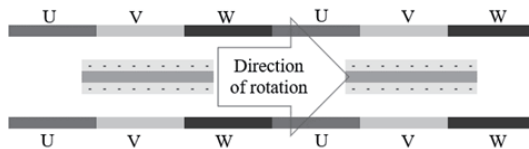


Fig. 8 Positioning of rotor wings and electrodes.

Fig. 9 は指針駆動系のシステムブロック図である。通常運針状態ではモータードライバで電池電圧を $30\sim 40\ \text{V}$ にまで昇圧した駆動信号を静電誘導モーターに印加することで、秒針をスイープ運針する。通常運針状態での駆動信号は Fig. 10 のような $12\ \text{Hz}$ の三相駆動信号であり、ローターは $180^\circ/\text{s}$ の速度で回転する。一方、時分針は電磁ステップモーターによりステップ運針する。発電のしばらくしない状態が続くと、節電機能が働き、秒運針及び静電誘導モーターは停止するが、

時分針は運針を続ける。再び発電を検出すると、節電状態から復帰し、時計 IC はモータードライバーを動作させ、静電誘導モーターを駆動する。復帰直後には Fig. 10 の 6 Hz の三相駆動信号を印加し、遅い回転速度とすることで、時計内部で管理された時刻に秒針位置を修正する。修正後は 12 Hz で駆動し通常運針状態にする。

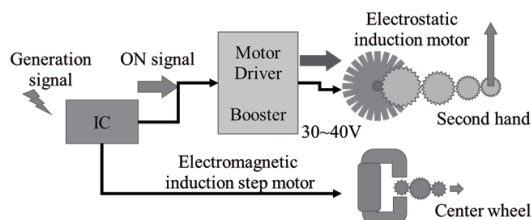


Fig. 9 System block diagram of driving block.

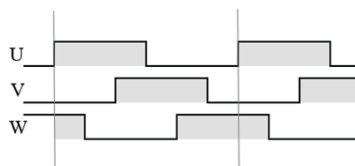


Fig. 10 Drive pulse for electrostatic induction motor.

5. 静電誘導機構搭載ウォッチの製品化にあたっての課題と開発のポイント

以下、製品化にあたっての課題と開発のポイントについて説明する。

課題① 時計品質を満たす帯電性能の確立（＊）

開発のポイント (1) エレクトレット材とローターの開発 (2) 時計構造全体での対策

課題② 携帯発電性能と時計仕様の確立

開発のポイント (3) 携帯時の発電効率改善（＊） (4) 充電収支の管理

課題③ 性能を引き出す組立技術の確立

開発のポイント (5) 狭ギャップの実現 (6) モーターの負荷トルク低減（＊）

課題④ 機能美のアピール

開発のポイント (7) 発電と運針機能の見える化（透明電極基板導入）

以下では、（＊）印の特に重要な 3 項目について、得られた性能／特性とあわせて説明する。

5. 1 時計品質を満たす帯電性能の確立

まず課題の一つが時計品質を満たす帯電性能の確立である。エレクトレットがどの程度の期間電荷を維持しているのか、またそれが時計製品としての品質を満たせるレベルのものなのか、まったく知見のない状態から開発をスタートしている。帯電性能は、エレクトレットつまり帯電材料の種類、材料の厚さ、基材の種類、帯電治具構造、帯電条件、ローター構造、ローターの加工方法など様々な要因により変化する。また、帯電部だけではなく、周辺構造、組立環境によっても帯電性能維持期間や耐環境性能が変わってくる。製品化のためには、これらに対しての知見、ノウハウを得ていく必要があった。

Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13 は、横軸は時間で、縦軸は正規化した表面電位の値である。それぞれ

のプロットは各評価サンプル数での平均値であり、その対数近似線も示している。また、Table 1、Table 2、Table 3 に各サンプル条件のパラメータを示す。Fig. 11 の結果が示すように、エレクトレット材料は厚いほど表面電位は高くなるが、ローター加工方法及びコスト面での課題があり、また加工後のローター反り量管理の課題も考慮し、最終的に厚みの薄い Condition 1 を選択した。

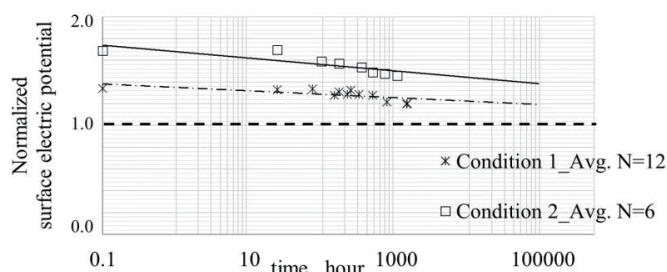


Fig. 11 Effect of material thickness.

Table 1 Parameters for effect of material thickness.

Conditions	Additional processings	Movement structures	Material thickness	Humidity environments
Condition 1_Avg. N= 12	Once	Nonexistence	Thin	Normal lab. environment
Condition 2_Avg. N= 6	Once	Nonexistence	Thick	Normal lab. environment

また、Fig. 12 の結果が示すようにローター加工において、ある追加処理により表面電位、つまり基本的な帯電性能に差が出る。追加処理回数を増やした Condition 5 では、更に帯電性能改善を見込めるが、量産コストや品質の安定性などを考慮し、最終的に Condition 4 を選択した。

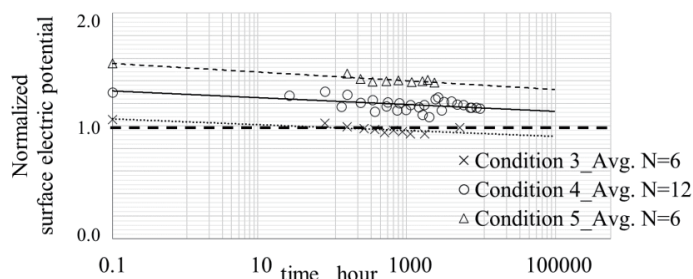


Fig. 12 Improvement of basic performance.

Table 2 Parameters for improvement of basic performance.

Conditions	Additional processings	Movement structures	Material thickness	Humidity environments
Condition 3_Avg. N= 6	Non	Nonexistence	Thin	Normal lab. environment
Condition 4_Avg. N=12	Once	Nonexistence	Thin	Normal lab. environment
Condition 5_Avg. N= 6	Twice	Nonexistence	Thin	Normal lab. environment

Fig. 13 の結果が示すように、ローター周辺構造、ムーブメント構造の改善も行うことで、高湿度環境に対しても帯電性能を改善できる。設計上、完成時計状態で数十年以上帯電性能を維持できると考えている。

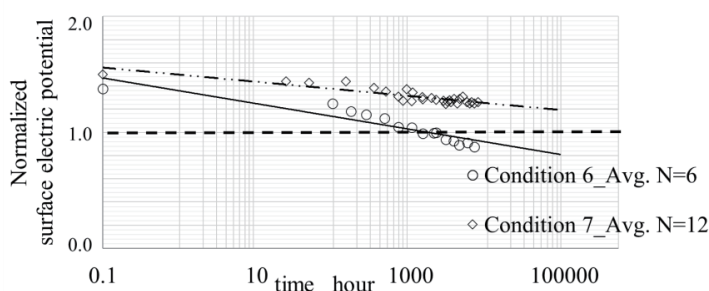


Fig. 13 Improvement of moisture resistance in high-humidity environment.

Table 3 Parameters for improvement of moisture resistance in high-humidity environment.

Conditions	Additional processings	Movement structures	Material thickness	Humidity environments
Condition 6_Avg. N= 6	Once	Nonexistence	Thin	High
Condition 7_Avg. N=12	Once	Existence	Thin	High

5. 2 携帯時の発電効率改善（錘の動き易さと発電電流向上のバランス）と発電機性能

発電機は携帯時の人の腕振り動作で効率的に発電する必要がある。そのためには、単純に発電電流を向上させれば良いというわけではない。発電電流を増加させると、回転負荷トルクが増え、人の腕振り動作で回転錘が動きにくくなってしまう。入力エネルギーとなる回転錘の動き易さを確保した上で、発電電流を高効率で取得することが開発のポイントとなる。

まず静電誘導発電機の基本的な特性について説明する。静電誘導発電機は Fig. 14 に示すようにローターの表面電位が一定の時に、回転錘の回転速度に比例した発電電流を発生する。Fig. 14 の縦軸は、回転錘が 60 rpm での発電電流値を 1 とした時の相対値で示す。なお、Fig. 15, Fig. 16 の発電電流も同じ相対値で示す。

回転錘に対して別途用意したサーボモーター軸を接続することで、一定速度で回転錘を回転させる。回転速度を振り、所定の電源電圧源に対して、直列に挿入した電流計で測定した発電電流の実験結果をプロットしている。また、静電誘導発電機は Fig. 15 に示すように回転錘の回転速度が一定の時に、ローターの表面電位に比例した発電電流を発生する。表面電位はコロナ帯電処理での帯電条件を振ることで調整した。

これらのグラフに示すように、発電機の発電電流は表面電位と回転速度にそれぞれ比例する。表面電位は帯電量に比例するため、仮に発電定数と名前を付けて、帯電量と同じ単位の係数を設定すると静電誘導発電電流は電磁誘導発電電圧と同様に、(1)式のように表現できる。

$$\begin{aligned} \text{静電誘導発電電流[A]} &\propto \text{発電定数[As/rad = C/rad]} \times \text{回転速度[rad/s]} \\ (\text{電磁誘導発電電圧[V]} &\propto \text{逆起電力定数}^3[\text{Vs/rad = Wb/rad}] \times \text{回転速度[rad/s]}) \end{aligned} \quad (1)$$

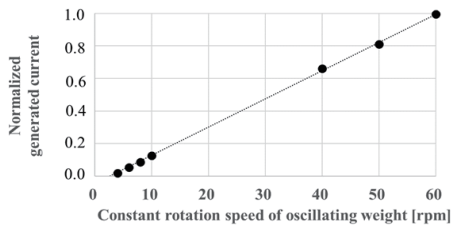


Fig. 14 Rotation speed vs. generated current at a fixed surface electric potential.

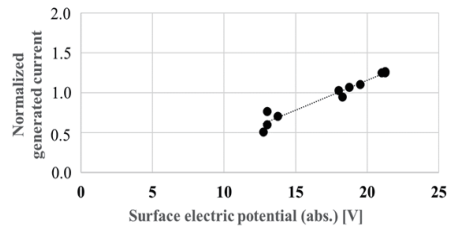


Fig. 15 Electric potential vs. generated current at a fixed rotation speed.

以上のような発電機の基本特性を把握した上で、携帯時効率的に発電するための、パラメータ調整を行っていった。ツインローター化についても、メカ的なパラメータ調整の取組の一つであり、同じ発電量となる一つのローターにした場合よりも、慣性量が下がり、起動性が改善する。

発電電流が増えると発電ブレーキが作用するために回転錘が動きにくくなる傾向については、携帯試験の実施とともに、回転錘を所定位置から動かしたときの動き易さと発電電流との関係を Fig. 16 のように把握し、パラメータ調整のための目安の一つとした。Fig. 16 の縦軸はローターが非帯電時の回転錘の動き易さを 100% として、動き易さを相対値で示した。

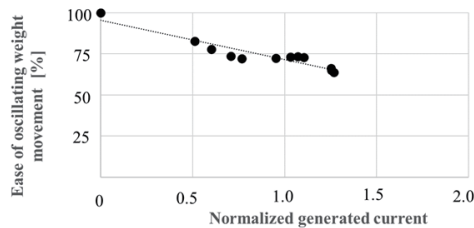


Fig. 16 Generated current vs. ease of weight movement.

機械式時計の場合とは異なり、回転錘の動きを増速して発電する。人の腕振り動作の画像解析を行い、回転錘の動作の傾向を把握した上で、ロボットアームの動作シミュレーションを作成し、試験機での動作パターンを模擬する方法も検討した。しかし、人の腕振り動作には、歩行時や机に座っているだけの時など様々な状態があり、携帯日数差による影響や個人差も大きく、最終的に社内各部署での携帯試験を何度も実施した結果、時計の仕様を決めていった。

5. 3 軸方向調整機構によるモーター負荷トルク低減とモーター性能

モーターはトルクを増やすために、帯電量を増やす必要があり、発電機よりも更に径が大きくなる。この大きな慣性量のローターを動かすために、特に組立工程でのシビアなギャップ管理をして負荷トルクを低減し、トルク性能を引き出すことが開発のポイントであった。組立技術の確立のために、ローター構造と組立治具の検討や各部品の反り矯正手段の検討、反りに応じた部品層別管理なども行っているが、モーター側にのみついている軸方向隙間調整機構での微調工程の導入が、特に重要な対策である。

この軸方向隙間調整機構は、ローターの軸方向の位置を調整する機構であり、必要なあがき量、つまり軸方向の遊び量を確保した上で、更に軸方向の位置を微調整するためのものである。負荷トルクはクーロン力の軸方向成分で発生するものであり、電極基板にローターが近づくほど、大きくなる。ローターの軸方向位置を両面電極基板の中央付近に合わせこむことで、負荷トルクを低減し、トルク性能を改善できる。

まず静電誘導モーターの基本的な特性について説明する。静電誘導モーターは Fig. 17 に示すようにローターの表面電位が一定の時、印加する駆動電圧に比例した駆動トルクを発生する。Fig. 17 で縦軸は一般的な腕時計用電磁ステップモーターのトルクの代表値を 1 とした時の相対値で示す。なお、Fig. 18, Fig. 21 のトルクも同じ相対値で示す。本静電誘導モーターは駆動周波数に同期した動作をするモーターで、駆動周波数を 6 Hz に落としても駆動トルクは変わらない。駆動周波数を 12 Hz より上げた場合には、ローターが脱調しない周波数まで追従するが、印加電圧によってその限界は異なる。また、静電誘導モーターは Fig. 18 に示すように駆動電圧一定の時に、ローターの表面電位に比例した駆動トルクを発生する。表面電位は帯電条件を振ることで調整した。

これらのグラフに示すように、モーターの駆動トルクは表面電位と印加電圧にそれぞれ比例する。表面電位は帯電量に比例するため、トルク定数として帯電量と同じ単位の係数を設定すると静電誘導モータートルクは電磁誘導モータートルクと同様に、(2)式のように表現できる。

$$\begin{aligned} \text{静電誘導モータートルク[Nm]} &\propto \text{トルク定数[As/rad = C/rad]} \times \text{駆動電圧[V]} & (2) \\ (\text{電磁誘導モータートルク[Nm]} &\propto \text{トルク定数}^3 [\text{Vs/rad = Wb/rad}] \times \text{駆動電流[A]} \end{aligned}$$

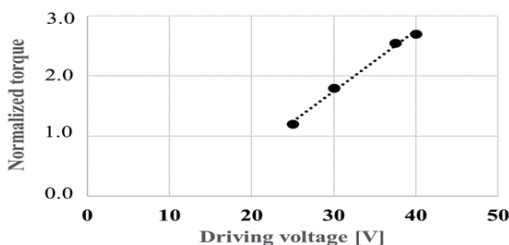


Fig. 17 Driving voltage vs. Torque
at a fixed surface electric potential.

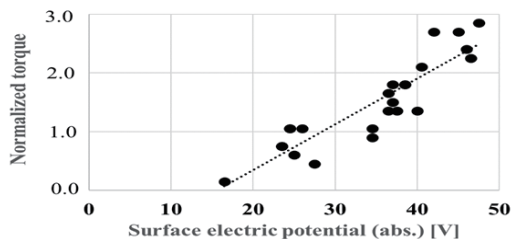


Fig. 18 Electric potential vs. Torque
at a fixed driving voltage.

以上のようなモーターの基本特性を有するが、磁石を有する電磁誘導モーターでも、ローターの磁石自身の磁力により、ステーターの磁性体に引き付けられる力が発生すると同様に、ローターが帯電することにより、ステーターの導体に吸引されるクーロン力が発生する。クーロン力は帯電量の二乗に比例し、ギャップの二乗に反比例するが、このクーロン力は負荷トルクとして作用する。本モーターはローターの上下両側に電極基板があるため上下方向のクーロン力が作用する。この負荷トルクの傾向を示したのが Fig. 19 (概念図) であり、横軸は上下のギャップ間の距離を示しており、縦軸はクーロン力による負荷トルクである。ローターのギャップが上下の電極基板の一方に近づきすぎると大きな負荷トルクが発生し回転できなくなるが、中央付近にローターの位置をもっていくと、負荷トルクが小さくなる。この中央付近にローターの位置を調整するための機構が軸方向調整機構であり、Fig. 20 のような構造で微調整を行う。

上下にあるギャップは 100 μm 程度しかなく、径の大きなローターや電極などの各部件の反りを低減し、更に温度による部品の変形も考慮した必要なあがき量を確保する必要がある。そのため調整できる量はわずかしかなが、軸方向調整機構による微調工程を導入する効果は大きい。Fig. 21 はその効果を示すもので、軸方向調整機構による調整作業量を規定化する前後の Phase1 と Phase2 での駆動トルク（駆動電圧一定）を比較すると 30%程度改善しており、この機構による重要性が確認できる。Table 4 は、駆動トルクを比較した各フェーズの条件の比較である。

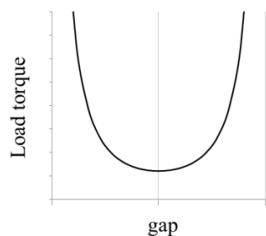


Fig. 19 Image of load torque by coulomb force.

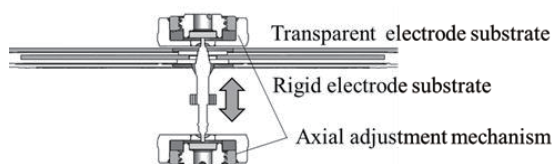


Fig. 20 Axial adjustment mechanism.

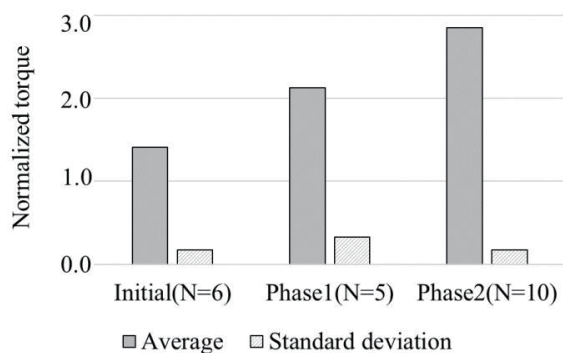


Fig. 21 Effects of axial adjustment mechanism.

Table 4 Improvement process of drive torque.

	Axial adjustment mechanism	Prescribing the amount of adjustment work	Other Improvements
Initial (N= 6)	Nonexistence	-	Nonexistence
Phase 1 (N= 5)	Existence	Before	Existence
Phase 2 (N=10)	Existence	After	Existence

6. まとめ

エレクトレットの技術開発は初めて挑戦する技術課題ばかりであったが、いくつかの改善策を積み上げていくことで、製品化に向けた道筋をつけることができた。その結果、発電から運針までの機能美を楽しめる、ユーザーにとって大変魅力的な時計を提供できたと考える。

今回静電誘導機構が腕時計で製品化できた意義は、今後の静電誘導技術普及に対しても大きく、今後も新たな帯電材料調査や静電誘導機構技術の水平展開について取り組んでいきたい。

7. 参考文献

- 1) 小田哲治:エレクトレット(電荷の磁石)ーその基礎と応用ー, 電気学会誌, Vol. 113, No. 9, pp. 751-759 (1993).
- 2) 工藤勝利, 磯田八郎, 松瀬貢規: 電気磁気学入門, オーム社, p. 44 (2011).
- 3) 見城尚志, 永守重信: 新・ブラシレスモータ, 総合電子出版, p. 9 (2000).

技術報告

次世代型スプリングドライブ Cal. 9RA の開発

佐藤直, 平谷栄一, 牧内佳樹

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

(2023 年 3 月 17 日受付, 2023 年 5 月 8 日再受付, 2023 年 5 月 11 日採録)

Development of the Next Generation SPRING DRIVE Cal. 9RA

Tadashi SATO, Eiichi HIRAYA, and Yoshiki MAKIUCHI

WP PRODUCT DEVELOPMENT & DESIGN DEPARTMENT, Seiko Epson Corporation,

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

(Received March 17, 2023, Revised May 8, 2023, Accepted May 11, 2023)

ABSTRACT

The authors developed the Cal. 9RA as the next generation of the Cal. 9R6, which has been the core caliber of automatic SPRING DRIVE since 2004, aiming for higher accuracy, lower profile, and longer duration time. The Cal. 9RA movement has a low-power temperature compensation circuit and a VACUUM PACKAGED IC to reduce the effects of temperature and humidity to ± 10 s/month. Cal. 9RA also features a thickness of 5.0 mm and a duration of 120 hours thanks to the use of a DUAL SIZE BARREL and an OFFSET MAGIC LEVER.

1. はじめに

スプリングドライブは制御システム概略図を Fig. 1 に示す通り, 機械ぜんまいを動力源として, ぜんまいが解ける力で発電し, IC と水晶振動子を駆動させている. IC は水晶振動子の振動数と輪列の回転速度を比較し, 電磁ブレーキをかけ調速している. つまりスプリングドライブはぜんまい駆動でクォーツ制御を行う独自の制御システムを持ったウォッチである^{1,2)}.

セイコーエプソン株式会社 (以下セイコーエプソン) は 2004 年に基幹 Caliber として自動巻スプリングドライブ Cal.9R6 を開発・発売した³⁾. その後約 20 年でクロノグラフや GMT (Greenwich Mean Time) 機能を搭載した派生機種を展開してきた⁴⁾.

我々は, スプリングドライブの完成形を追求するために Cal.9R6 から改良すべき点を抽出して, 次世代型スプリングドライブとなる Cal.9RA の開発を行った. Cal.9RA は基本性能向上のために高精度化及び長持続化を行いさらにウォッチの装着感向上が得られるように薄型化を実現した. 上記の内容について報告する.

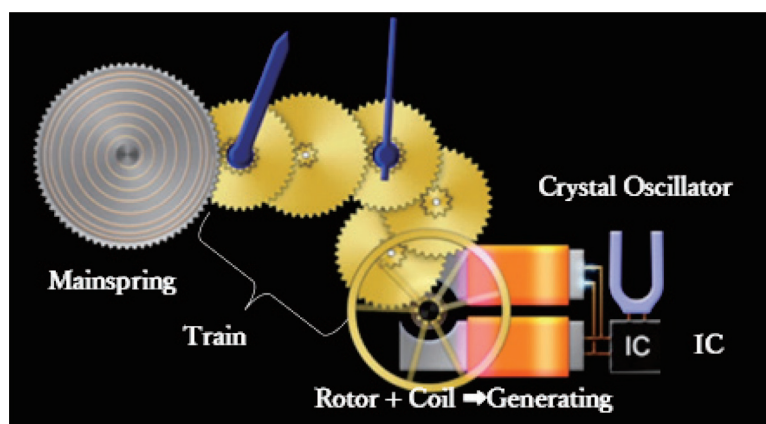


Fig. 1 Spring drive control system.

2. 従来品の課題と目標設定

ウオッチの開発の歴史は、精度・持続時間の追求と、装着性向上のための小型薄型化の追求である。2000 年当初は、径大で厚みがあるウオッチがトレンドであり、Cal.9R6 開発においても 72 時間持続と高い巻上性能を最優先したムーブメントとして開発を行った。

しかし、近年は薄型化回帰のトレンドもあり、新しいムーブメント開発においての重要要素となっている。我々は、従来の基幹 Cal.9R6 の設定値から技術課題を抽出し、各機能について開発した。その内容を Table 1 に示す。

Table 1 Comparison of movement specifications.

Cal.	Cal.9R6	Cal.9RA
Time accuracy	±15 s/month	±10 s/month (With temperature compensation)
Movement Thickness	5.8 mm	5.0 mm
Duration	72 hours	120 hours

3. スプリングドライブの精度向上

3. 1 精度向上への課題

スプリングドライブで使用している水晶振動子も一般クォーツウオッチと同じ 32768 Hz の振動数を持っており、精度変化の主要因としては温度変化による振動数変化が挙げられる。

その精度影響は大きく、温度の変化に対して歩度（ウオッチの精度、一日に何秒ズレが発生するか。）が二次関数的に変化する。また、水晶振動子が受けるその他の要因としては、湿度変化がある。

水晶振動子と IC 間の回路パターン部の寄生容量変化が Fig. 2 に示す横軸の負荷容量変化となり振動数が基準値から変化（偏差）するため，結果として歩度変化に繋がる．これらの課題に対する改善例として，セイコーエプソンで展開している一次電池駆動高精度クォーツウオッチ Cal.9F では，IC 内部に温度補正機能と，精度安定化発振用コンデンサを 2 つ設けている．

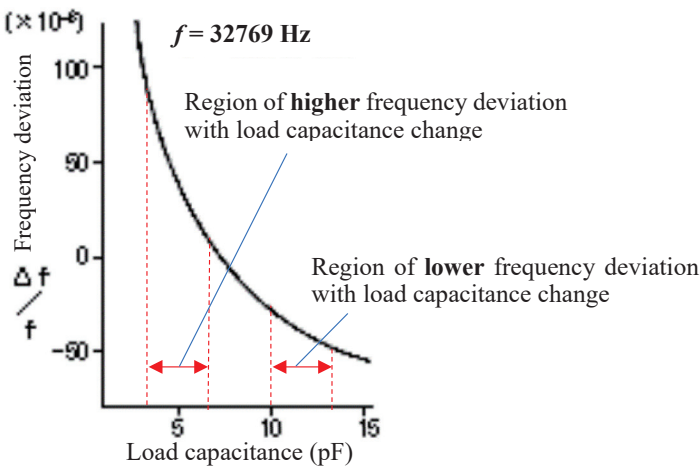


Fig. 2 Load capacitance and frequency characteristics⁵⁾.

一般に，水晶発振回路では負荷容量が大きくなるほど消費電流が大きくなる．Cal.9F は動力源が一次電池で電流供給能力が高いため，温度補正機能と大きな容量の精度安定化発振用コンデンサを搭載できている．精度安定化発振用コンデンサを搭載し，基準となる負荷容量を増やすことで，Fig. 2 に示す振動数の変化が少ない曲線の右側領域に設定することができる．

Cal.9R6 は，ぜんまいによる発電のため電流供給能力が低く，エネルギー収支確保のために Table 2 に示す通り IC の消費電流を小さくする必要があった．低消費電流化のため IC に搭載されている精度安定化コンデンサは Cal.9F より小さい容量であり，湿度の影響軽減を実現することが困難であった．

Table 2 Performance comparison.

	Cal.9F	Cal.9R6	Cal.9RA
Powered	Primary battery	Mainspring	Mainspring
IC Current Consumption	150 nA	35 nA	45 nA
Stabilized oscillation capacitor A	9 pF	4 pF	4 pF
Stabilized oscillation capacitor B	6 pF	2 pF	2 pF

3. 2 精度向上への取り組みと効果

Cal.9RA で高精度化を実現するために、新微細 SOI^(a)プロセスを用いて Cal.9F と比較し 1/2 の消費電流で制御できる温度補正機能を搭載した IC を開発した。さらにこの IC と水晶振動子を一つの真空パッケージ内に収めた「高精度真空パッケージ IC」を新たに開発した。

Fig. 3 に概略図を示す。IC と水晶振動子を結ぶ回路パターンごと真空パッケージ内に封入することで、湿度・寄生容量変化を最小限にする構造を実現した。

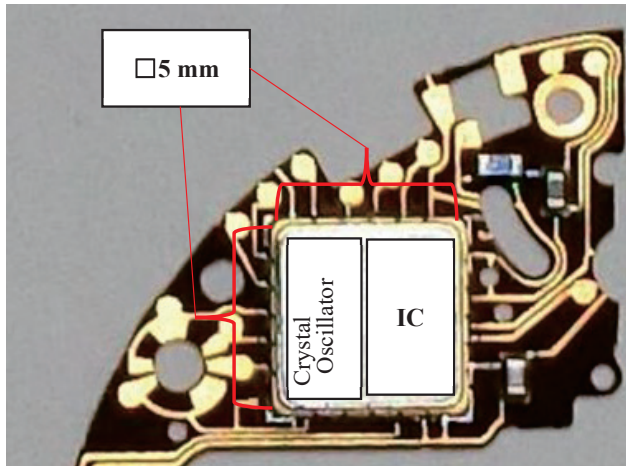


Fig. 3 Package-IC.

高精度真空パッケージ IC 開発で得られた湿度に対する精度改善効果を Fig. 4 に示す。真空パッケージ内に IC と水晶振動子があるため、横軸の外部湿度の変動に対して縦軸の歩度変動がほぼ無いことが分かる。

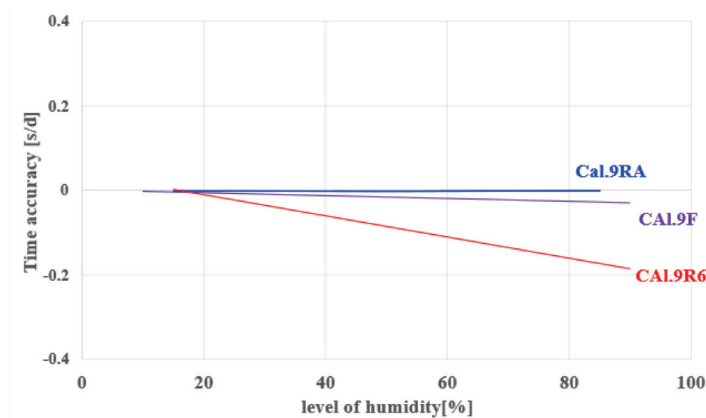


Fig. 4 Humidity effect on accuracy.

^(a) SOI (Silicon on Insulator): シリコン基板上に絶縁膜を設けてリーク電流を減らす。⇒消費電流軽減

続いて温度に対する精度改善効果を Fig. 5 に示す。温度補正機能を搭載することができたことにより、横軸の温度変化に対して縦軸の歩度の歩度が安定していることが分かる。

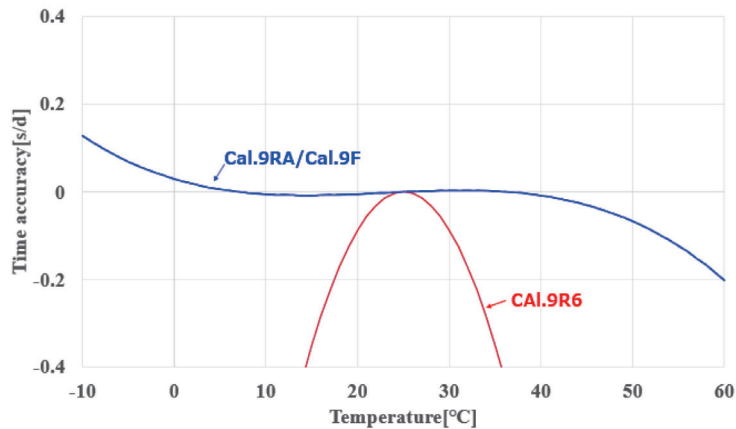


Fig. 5 Temperature effect on accuracy.

このような対策構造を盛り込むことによって、電流供給能力が低いスプリングドライブにおいて、IC 消費電流を 10 nA 増加させたのみで月差±10 秒（温度補正付き）の高精度を実現することができた。

今後の課題となるが、更なる精度向上を目指す上での改善点は、ウオッチの精度表示規格 JISB7025⁶⁾ (時計-精度表示) に記載されている以下の式(1)及び(2)の通り、 V_a 項目である。

$$\text{平均月差表示値 } A_m: A_m \geq |V_t/12| \quad (1)$$

$$\text{年差表示値 } A_y: A_y \geq |V_t + V_a| \quad (2)$$

ここに、 V_t : 温度の季節変化による 1 年間の日差の累積値(s)

V_a : エージングによる 1 年間の日差の累積値(s)

Cal.9RA は月差表示の為、JIS の規格上はエージングによる累積値 V_a を考慮する必要は無いが、お客様の実携帯における時刻のずれと、精度表示との差を出来るだけ小さくしたいとの考えから、エージングによる累積値 V_a を考慮に入れた精度表示となっている。また、Cal.9RA が年差表示ではなく月差表示且つ±10 秒なのは、現段階では本開発における水晶振動子のエージング特性について、数年後までの実力把握は出来ておらず、ばらつきに十分な安全率を設けるためである。

4. 薄型化への課題

薄型化を達成するためには、部品同士が断面的に重ならないレイアウトにする必要がある。

Cal.9RA では後述する 2 項目について開発し、Cal.9R6 に対して計 0.8 mm のムーブメント薄型化を達成した。上記の内容が分かる図を Fig. 6 に示す。

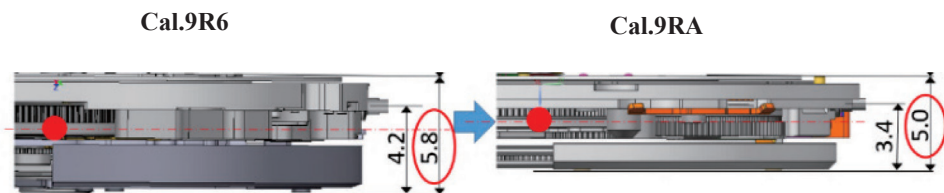


Fig. 6 Thinner movement.

4. 1 デュアルサイズバレルの効果

薄型化に貢献している構造の一つが、「デュアルサイズバレル」である。長持続化を実現した構造も担っており、詳細は5. 2にて後述する。

この構造では第二角穴車の歯外径を小さくすることで、第二角穴車と同じ層に三番車・四番車をレイアウトすることができるようになり薄型化を実現した。第二角穴車の歯外径が小さいため両香箱間のトルク伝達は香箱中間車を追加している。上記の内容が分かる図を Fig. 7 に示す。このデュアルサイズバレル構造により 0.2 mm の薄型化に繋がった。一方、本来であれば歯車間の伝達ロス为了避免のため、輪列段数は少ない方が好ましいが、歯形噛み合い効率を最大限高めることで持続時間への影響を最小限に抑えている。

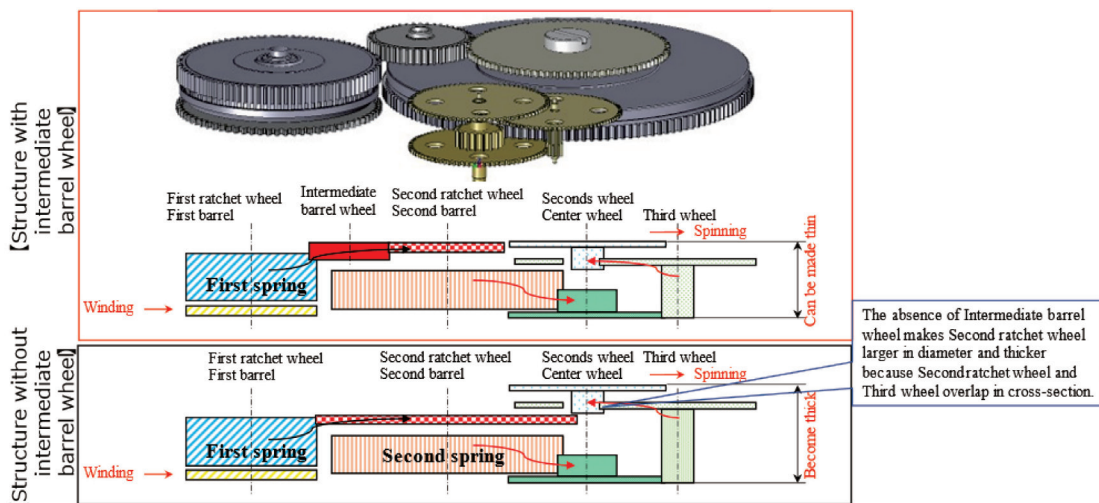


Fig. 7 Thinner with dual size barrel.

4. 2 オフセットマジックレバーの効果

薄型化に貢献しているもう一つの新規構造が、

Fig. 8 に示すオフセットマジックレバーである．マジックレバーとは少ない部品点数で回転錘両方向巻上を可能とした，セイコーエプソンが開発した独自の自動巻機構である⁷⁾．

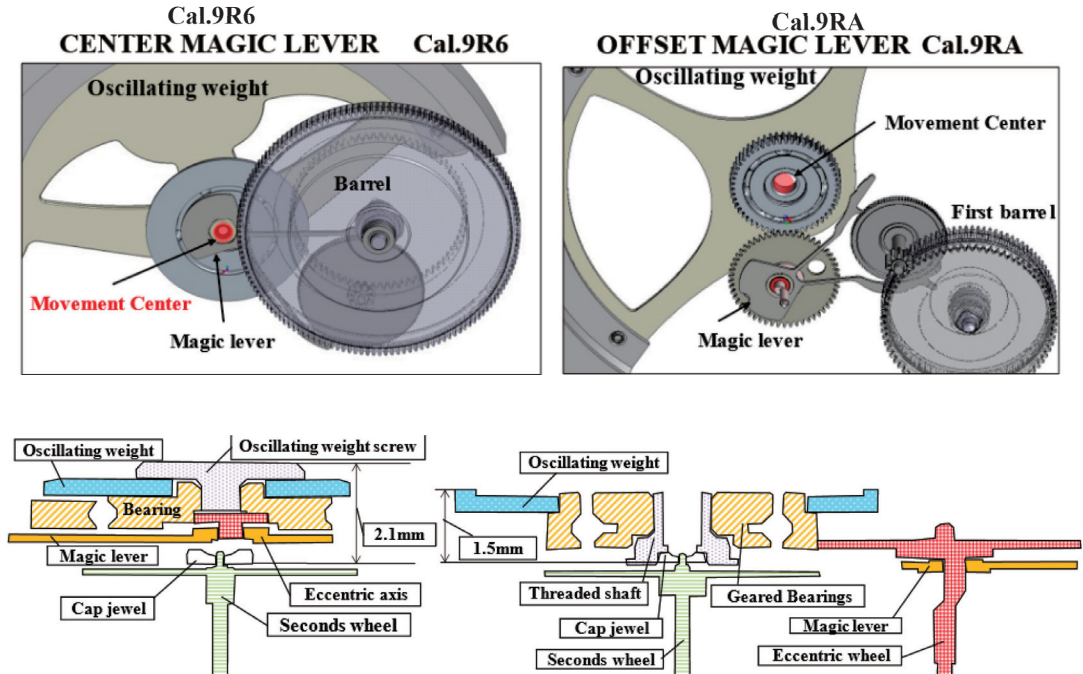


Fig. 8 Structure of the offset magic lever.

Cal.9R6 では回転錘の回転とともに、ムーブメント中心部のベアリングに設けられた偏心軸が回転してマジックレバーを動かし巻上を行っていた．つまり、回転錘・ベアリング・マジックレバーと、3層構造になっている．

Cal.9RA ではマジックレバー構造をムーブメント中心から外したオフセットマジックレバー構造により、0.6 mm の薄型化を達成している．このオフセットマジックレバー構造を実現できた技術的要素として、マジックレバーを案内するクランク車が挙げられる．

従来の加工方法で作られた偏心軸と、クランク車を表した図を Fig. 9 に示す．

Cal.9R6 の偏心軸は、案内径が $\phi 0.55$ mm であることに対して、従来の加工方法の偏心車では、偏心量を確保するために案内径が大きく、約 2 倍となってしまう．負荷トルクは「力 $F \times$ 摩擦係数 $\mu \times$ 半径」となるので、軸径が太いほど大きくなることが分かる．つまり、従来の加工方法では

Cal.9R6 に対して約倍の負荷増となる。

仮にこの負荷増分を解消するために回転錘のアンバランス量を増やすと、回転錘の厚みを 0.4 mm 増やす必要があり、薄型化に繋がらないという検討結果が得られた。

この課題を解決するために、偏心部の径を Cal.9R6 と同等の $\phi 0.55$ mm にする極座加工の技術検討を行った。偏心部の軸と通常の軸をそれぞれ切削する、専用のカッターツールを用意してクランク車を精密に加工するようにした。これにより、巻上性能確保と薄型化の両立のためのオフセットマジックレバーが実現できた。

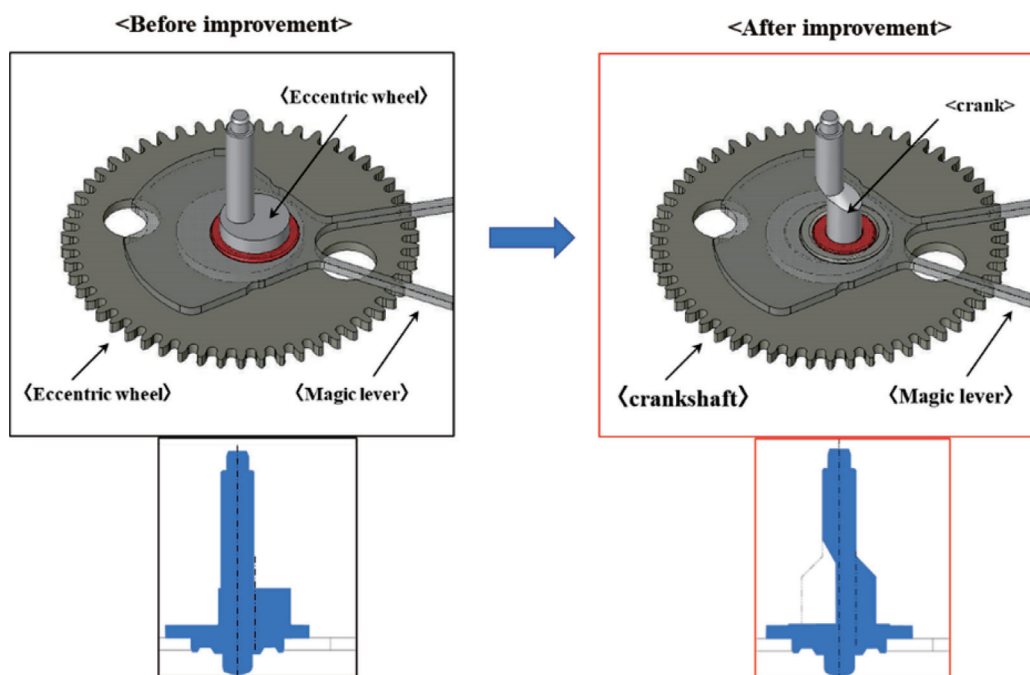


Fig. 9 Crank gear shape.

4. 3 オフセットマジックレバーの巻上性能評価

4. 2で示したオフセットマジックレバーの実力を携帯評価で確認した。一般の自動巻ウオッチ（48 時間持続）を着用した際に、一週間かけて巻上がる携帯者 A・B と、なかなか巻上がらない携帯者 C と、すぐ巻上がる携帯者 D の 4 人に協力を依頼し、下記条件の元 Cal.9R6 と Cal.9RA の同時携帯を行った。

【条件】

- ・携帯者の業務形態は皆デスクワークとする。

- ・ 始業前と終業後にパワーリザーブ針の角度から持続時間を読み取り記録する。
- ・ 就業時間は人により異なる。
- ・ Cal.9R6 と Cal.9RA の同時携帯は Fig. 10 に示す図の通り同じ腕にする。携帯位置は日毎に入れ替える。
- ・ 終業後は始業まで運針放置とした。
- ・ 携帯者 A~D の携帯期間は異なる。
(グラフの線が切れている期間は携帯者休日)
- ・ 休日後は任意の巻上量まで手巻上し携帯開始する。

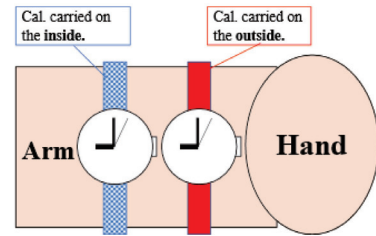


Fig. 10 Simultaneous mobile evaluating method.

Fig. 11 に示すのは、Cal.9R6 と Cal.9RA を同時携帯した際に持続時間残量が就業時間の間にどのように変化したのかを表す結果である。実線が Cal.9RA で、破線が Cal.9R6 を示している。線が途切れている部分は携帯者の休日の期間であり、携帯者 A~D は同じ日付では携帯していないため、途切れのタイミングが異なっている。この結果から巻上性能の分析を行った。

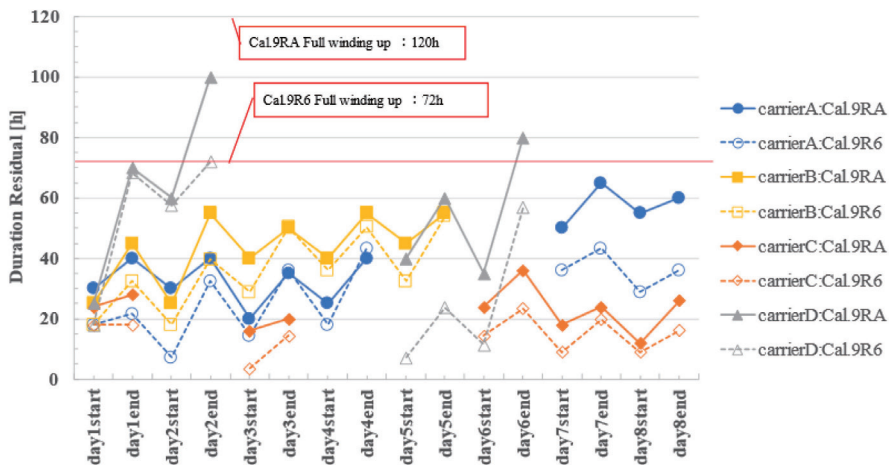


Fig. 11 Evaluation results of carrying Cal.9R6 and Cal.9RA at the same time.

巻上性能の比較をするために、携帯した単位時間(h)当たりの巻上量を表す指標を「巻上比 R_w 」と定義して、式(3)及び式(4)から式(5)を算出する。

$$T_E - T_S = T_W - T_C \quad (3)$$

$$T_W = T_E - T_S + T_C \quad (4)$$

ここに、 T_E : 終業時の持続時間残量(表示値)

T_S : 始業時の持続時間残量(表示値)

T_C : 携帯時間, 且つ携帯中の巻戻量

T_W : 巻上量 (h)

$$R_W = T_W/T_C = (T_E - T_S + T_C)/T_C \quad (5)$$

Fig. 11 で得られた情報から巻上比 R_W を算出し, Table 3 に示す. Cal.9RA は Cal.9R6 に対して性能が向上しているとは言えないが, 携帯者が同じであれば Cal.9RA と Cal.9R6 の巻上比はほぼ同じ (Cal.9RA は Cal.9R6 に対して 91%~99%) であることが分かった.

Table 3 Winding ratio of evaluation carrying Cal.9RA and Cal. 9R6 at the same time.

Winding ratio	Carrier A		Carrier B		Carrier C		Carrier D	
	Cal.9RA	Cal.9R6	Cal.9RA	Cal.9R6	Cal.9RA	Cal.9R6	Cal.9RA	Cal.9R6
day1	2.97	1.71	6.22	4.76	1.47	1.00	5.35	5.88
day2	2.12	3.83	4.27	3.36	—	—	4.43	—※
day3	2.29	2.86	2.17	3.52	1.48	2.31	—	—
day4	2.58	3.65	2.76	2.69	—	—	—	—
day5	—	—	2.18	3.54	1.89	2.60	4.81	4.15
day6	—	—	—	—	2.80	2.35	4.70	4.73
day7	3.50	2.20	—	—	1.75	2.35	—	—
day8	2.76	3.54	—	—	2.56	1.80	—	—
AVERAGE	2.70	2.97	3.52	3.57	1.99	2.07	4.82	4.92
Ratio of winding ratio of Cal.9RA to Cal.9R6	91%		99%		96%		98%	

※携帯者 D, day2 の Cal.9R6 は携帯中にフル巻上となり, 巻上比が出せないため除外する.

以上の評価結果から, Cal.9RA のオフセットマジックレバーは, Cal.9R6 のセンターマジックレバー構造に対して巻上性能がほぼ同等であるということが確認できた.

5. スプリングドライブの長持続化

5. 1 長持続化への課題

機械式ぜんまいを駆動源とするウォッチにとって持続時間を最大化するためには, ぜんまいが入る香箱車体積をいかに大きくするかがポイントとなる. 二番車がムーブメント中心にある本中三針の構造の場合, 香箱車の直径はムーブメント直径の 1/2 以下となるが, さらなる長持続化のために Cal.9RA はムーブメントスペース効率を最大限生かした 2 つの香箱車を採用する構造とした.

また、さらなる持続時間向上実現のため、各ぜんまいのトルクバランスと香箱間の伝達効率の最適化をする必要がある。

5. 2 長持続化の取り組みと効果

Fig. 12 に示すのは Cal.9RA で長持続化を実現するために開発した、「デュアルサイズバレル」である。

他社でも見られる香箱車を2つ繋いだ「ツインバレル構造」ではあるが、特徴的なのは第一香箱と第二香箱でサイズが大きく異なることである。この構造を取った狙いとしては、ウオッチ体という限られたスペースの中で最大限香箱体積を増やすことと、もう一つは第二香箱に第一香箱の出力を最大限伝えることにある。

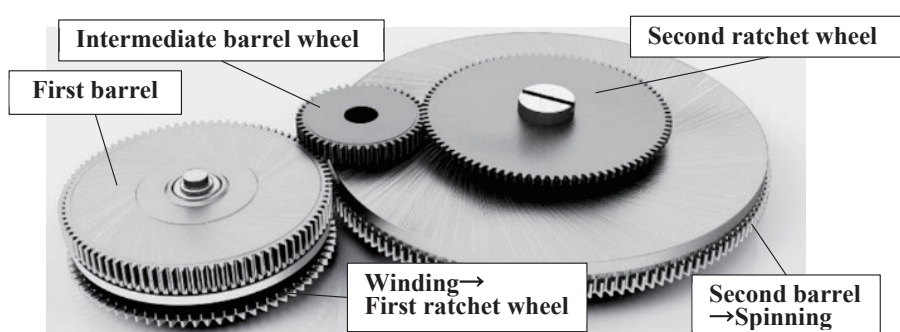


Fig. 12 Dual size barrel.

ぜんまいの形状で得られる要素を簡易的に説明した表を Table 4 に示す。これらのバランスを取りトルクを保持しつつ持続時間を確保できるように設計している。

Table 4 Mainspring torque element.

Shape elements of mainspring	Elements that change with shape
Thickness	The thinner it is, the more rolls it takes. ➡Duration increases.
Length	The longer it is, the more rolls it takes. ➡Duration increases.
Width	The wider the width, the more thickness of the movement.

第一香箱はレイアウトの関係で平面方向に余裕がない一方、断面方向に余裕がある。そのため、ぜんまい幅を広くしてトルクを高めた分、ぜんまい厚みを薄くし巻数を増やすことで持続時間を伸ばしている。

対して第二香箱はレイアウト上平面方向に最大化できるが、4. 1 で説明した薄型化の関係で断面方向への余裕がない。そのため、ぜんまい厚みを増しトルクを高めた分、ぜんまい幅を減ら

して香箱を薄くしながら、長さを最大化し巻数を増やすことで持続時間を伸ばしている。

また、Fig. 12 に示す通り、輪列の構造は第一香箱の力が香箱中間車、第二角穴車を介して第二香箱のぜんまいを巻上げる構造となっている。2つの歯車伝達効率はいずれも最低 95%以上になるように設計されている。そのため、第一香箱と第二香箱の保有トルクは常に釣り合いが取られている。第二香箱が基本輪列に動力を伝え巻解かれて保有トルクが下がると、釣り合うように第一香箱が巻解けていく。

上記の様子が分かるデュアルサイズバレルのトルク設定を Fig. 13 に示す。左側が第一香箱のトルクカーブであり、右側が第二香箱のトルクカーブである。各グラフの破線は巻上時に要するトルクであり、実線が巻解け時に出力されるトルクである。横軸のぜんまい巻解け数が 0 の状態、つまりぜんまいが最大まで巻かれた状態から巻解け数が増えた際の保有トルクを縦軸に示している。

スプリングドライブでは持続時間を確保した上で、IC と水晶振動子が安定して動作ができるぜんまいトルクで輪列にメカロックをかけて強制的に止めて、運針時の精度を確保している⁷⁾。

Cal.9RA の設定は、第二香箱 1 巻きで 8 時間の持続時間としているため、計 15 巻き以上で 120 時間持続を達成している。

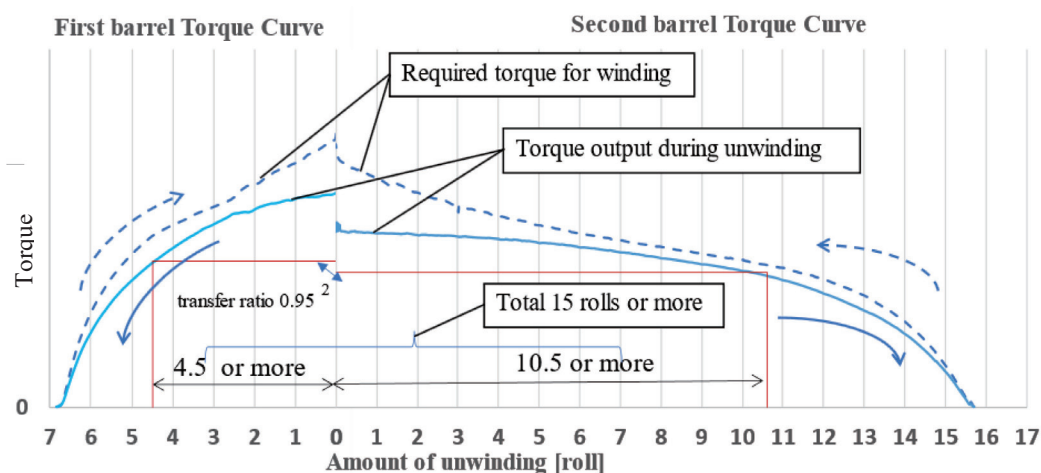


Fig. 13 Torque setting for dual size barrels.

6. まとめ

以上の開発により Cal.9RA は、Table 1 のように高精度化・薄型化・長持続化を達成した。

Cal.9RA は、セイコーウオッチ株式会社⁹⁾から 2020 年に Cal.9RA5 ダイバーモデルとして発売。

続く 2021 年に、Cal.9RA2 が発売された。それぞれを Fig. 14 に示す。今後も様々なモデルが展開予定されている。



Fig. 14 Cal.9RA Models⁹⁾.

参考文献

- 1) 小池邦夫, 茂木正俊;ゼンマイ駆動高精度ウオッチの発電・制御システムの開発, マイクロメカトロニクス, Vol. 44, No. 1, pp. 15-24 (2000).
- 2) 小池邦夫:時計エネルギーー自動巻き発電機能付き時計(キネティック)とぜんまい駆動式電子調速時計(スプリングドライブ), マイクロメカトロニクス, Vol. 63, No. 221, pp. 34-39 (2019).
- 3) H. Nakamura: The development of self-winding watch SPRING DRIVE Cal.9R, Société Suisse de Chronométrie Journée d'Etude 2005 (2005).
- 4) 永坂栄一:スプリングドライブの技術動向と展望, マイクロメカトロニクス, Vol. 53, No.200, pp. 84-99 (2009).
- 5) エプソン水晶デバイス技術情報: インフォメーション・用語の説明
https://www5.epsondevice.com/ja/information/technical_info/glossary/na_ha_code.html.
- 6) 日本工業標準調査会:JIS 時計ー精度表示 JISB7025ー1995, 日本規格協会, (1995).
- 7) エプソン技術情報:マジックレバー
<https://corporate.epson/ja/technology/search-by-products/wearable/magic-lever.html>.

- 8) 原辰男:SPRING DRIVE ウオッチの巻過ぎ防止と運針停止機能., マイクロメカトロニクス, Vol. 45, No. 3, pp. 1-9 (2001).
- 9) グランドセイコーホームページ. セイコーウオッチ株式会社 <https://www.grand-seiko.com/jp-ja>.
- 10) 樋口晴彦;「時計技術解説」クォーツ時計ーXII. クォーツ時計の高精度化 ー, マイクロメカトロニクス、Vol. 62, No. 218, pp. 75-88 (2018).
- 11) 小牧昭一郎:機械式時計講座, 東京大学出版会 (2014).
- 12) 青木茂:時計技術の系統化調査 共同研究編 第 10 集 ～機械式時計からクォーツ時計へ, 更なる高精度を求めて～, 国立科学博物館 (2017).

解 説

「時計技術解説」 機械式時計

－ VII. 調速機 (調速機の基本) －

野村 寛志 *

1. はじめに

調速機とは機械製品における回転運動の速度を一定に保つ制御装置と定義される。機械式、空気式、油圧式、電気式といった多種多様の方法があり、エンジンをはじめとしたあらゆる機械製品に使用されている。機械式時計においては"てんぷ"が調速機の役割を担っており、表輪列や裏輪列が駆動する速度を制御している。すなわち時計の精度を司る部品である。主な構成ははずみ車の役割である"てん輪"と螺旋状のばねである"ひげぜんまい"で、脱進機から動力が伝えられることで回転往復運動を行う (Fig.1)。腕時計を購入する際、製品仕様の欄に 6 振動(毎時 21,600 振動)や 8 振動(毎時 28,800 振動)といった表現が見受けられるが、それらはてんぷの単位時間当たりの回転往復運動数のことを指している。1 秒間にてんぷが 3 往復するものを 6 振動、4 往復するものを 8 振動と呼ぶ。この周期の正確さがすなわち時計の精度であり、設定された振動周期に対して実際の周期が長くなるほど表示する時刻は遅れ傾向となり、短いほど進み傾向となる。これら調速機の基本構成は、約 370 年前にオランダの数学者クリスティアーン・ホイヘンス(1629～1695 年)によって発明されており、以来大きく構成を変えることなく、現代にいたるまで使用されている。

本稿では調速機の基本と題して、てんぷの基本的な構造や理論について解説する。

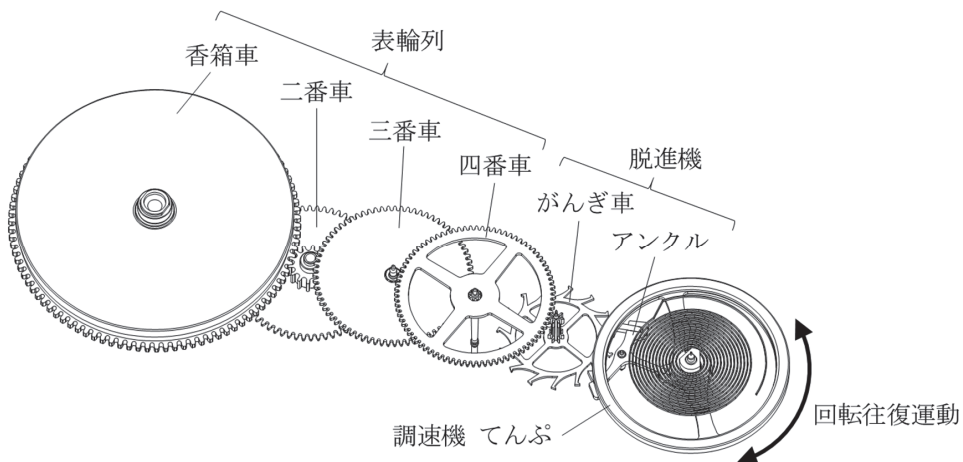


Fig.1 表輪列から調速機までの動力伝達経路

*セイコーウオッチ株式会社

2. 調速機の構造

2. 1 てんぷの構造

てんぷの基本的な構造を Fig.2 に示す。各部品を支える軸となる部品がてん真で、その中央部にてん輪、下部には振り石の付いた振り座が、上部にはひげ玉を介してひげぜんまいが取り付けられる。ひげぜんまいは内端がひげ玉へ固定され、外端はひげ持へ固定される。このひげ持がてんぷ受(図示せず)側で保持されるため、てんぷ一式が吊り下げられる形で固定される。各構成部品の詳細について次節で説明する。

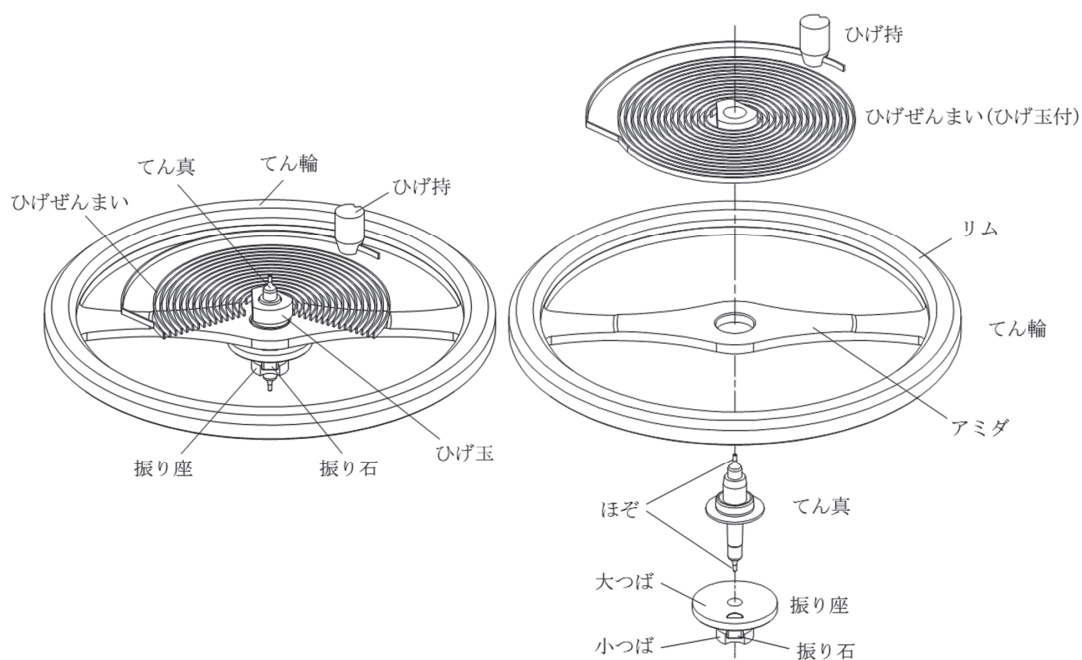


Fig.2 てんぷの基本構造

2. 2 てん輪

てん輪は、外周のリング状の部分であるリムと、回転軸から伸びリムを支えるアミダの2つから構成されている。てん輪は「はずみ車」の役割を担っており、振動中のエネルギーが大きいほど、振動周期を乱す要因となる様々な外乱の影響を受けにくくなり、正確に時を刻むことができる。ここで、エネルギーは、てんぷの慣性モーメント、振動数、振り角によって決まる。特に、ムーブメントの限られたスペースの中で最大限のエネルギーを得るためには、慣性モーメントの大半を決めるてん輪の材質や形状が重要となる。

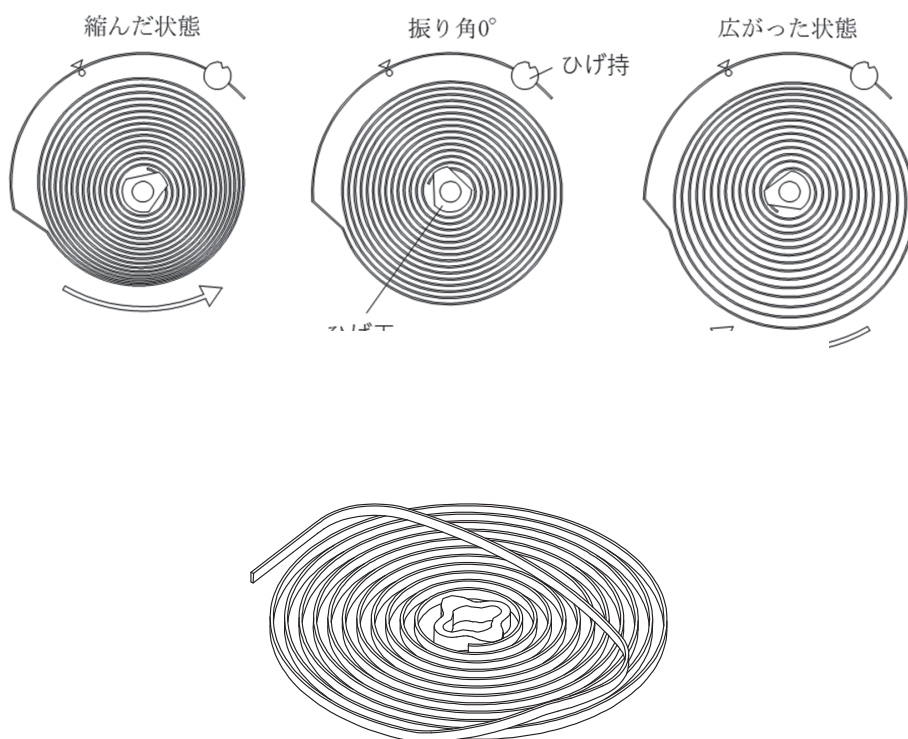
材質は、比較的密度の大きい真鍮やニッケル、ベリリウム銅などの金属材料が主流となっている。この金属製のてん輪は、ごくわずかではあるが温度変化により膨張・収縮するため、時計の使用温度により慣性モーメントが変化し精度へ影響を及ぼす。これを抑制するために、2種の金属を使用したバイメタルてんぷが開発され、慣性モーメントの変化をキャンセルする特性を持つひげぜんまい材料が開発されるまで、高精度な時計に使用されてきた。なお、現在主流の単一材料で作られたてん輪については、バイメタルてんぷと区別するためにモノメタルてんぷとも呼ばれる。

てん輪はその形状も工夫されている。慣性モーメントを大きくするためには、リムを太くし質量を増やすことで達成できる。しかし、増えた質量が摩擦抵抗の増加、すなわち振り角の低下につながるため、エネルギーを単純に増やすことができない。そこで、同じ質量であってもリムが回転軸から離れるほど慣性モーメントは大きくなる性質があることから、リムをできるだけ大きな直径にすることが良いてんぷとされる。

2. 3 ひげぜんまい

ひげぜんまいの形状は、Fig.2 に示すような同一平面上に、アルキメデス曲線に沿って巻かれたものが一般的である。これを平ひげぜんまいと呼ぶ。振動に従って拡張した際は、Fig.3 の形状変化を示すが、拡張の仕方は均一にはならず精度へ影響を及ぼす。拡張時に形状が不均一になる点を改善したものに、Fig.4 に示す巻上げひげや、シリコンを用いた特殊形状を含む平ひげがあり、全方向に対して均一に近い状態で拡張することが可能である。

ひげぜんまいの材質は、初期のころはスチール材であったが、現在は恒弾性材料であるコエリンバー、エリンバー、ニバロックス、スプロンなどが発明され使用されている。これらの発明により、周囲温度の変化によるてんぷの振動周期への影響や腐食も抑えられ、高精度な時計作りが可能となった。近年では、軽量で耐磁性や形状自由度に優れるシリコン製のひげぜんまいも登場している。



2. 4 てん真

てん真は軸受と共に振動体であるてんぷを支える役目をする。例えば、8 振動のてんぷは 1 年間に 2 億回を超える回転往復運動を行う。このため、てん真の材料は、熱処理して硬度を上げた耐摩耗性の優れる鉄系の材料が使用されることが多い。

一方で、てん真の特徴的な形状として、軸受との摩擦抵抗を小さくするために、上下のほぞは可能な限り細くしており、一般的に直径 $\phi 0.10\text{mm}$ 程度となっている。この細いほぞで重いてんぷを支えるため、少しの衝撃で折れてしまうことがある。よって、ほぞを支える軸受には衝撃を逃がす構造を持つ耐振軸受が用いられる。

2. 5 振り座

2 か所のつばそれぞれを大つばと小つばと呼ぶ。大つばには振り石が取り付けられ、アングルから動力を受け取る役目がある。小つばは、脱進機の作動において安全作用の役目がある。その詳細な役割については「時計技術解説」 機械式時計 V. 脱進機（必要な機能と作動）を確認していただきたい。

3. てんぶの振動について

3. 1 振動周期について

てんぶの運動はてん真を中心とした回転運動として表現することが可能であり，振動中のてんぶの回転角度 θ は下記の式で与えられる．

$$\theta = A \sin \sqrt{\frac{K}{I}} t \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで， A ：てんぶの振り角， K ：ひげぜんまいのばね定数， I ：てんぶの慣性モーメント， t ：時間 である．この式を横軸に時間 $[t]$ ，縦軸にてんぶの回転角度 $[\theta]$ をとったグラフで表現すると，Fig.5 の通り正弦波と呼ばれる形となる．振り角とはてんぶの回転角度の最大値であり，正弦波でいう振幅を意味する．各瞬間におけるてんぶの作動状態を説明する．

- ① 回転せず振り石がアングル側を向いているときにてんぶの回転角度が 0° となる
- ② 力が伝達され+方向へ回転する
- ③ 振り角 A まで回転し瞬間的に停止する
- ④ ひげぜんまいの復元力により再び①の状態へ回転し戻る

そして再度アングルから力が伝達され②とは逆方向に回転しつつ同じ動きを繰り返すこととなる．

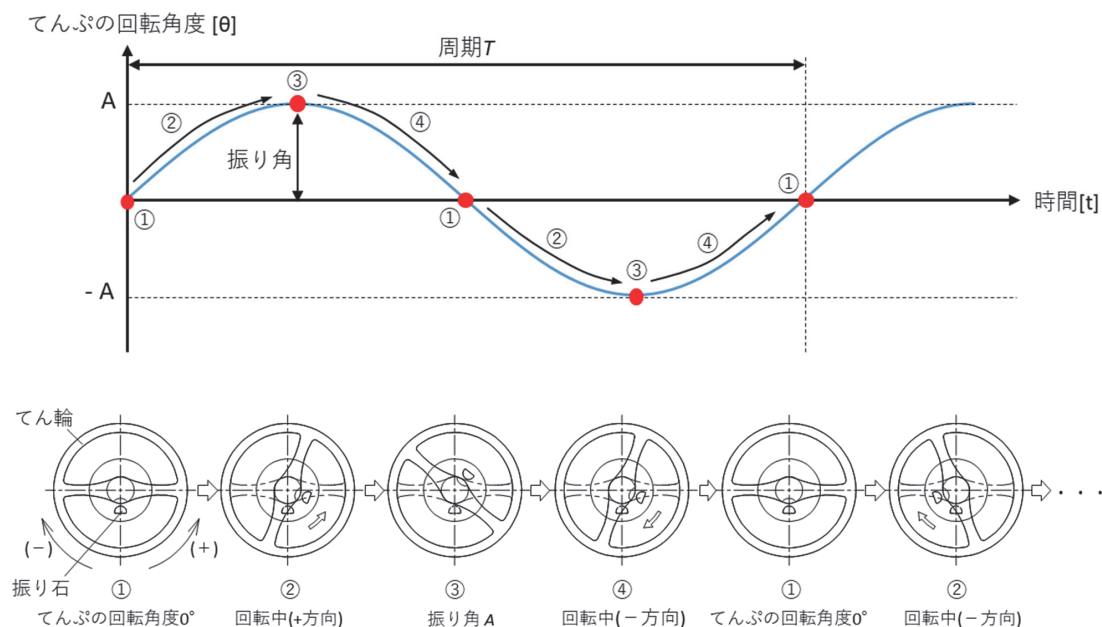


Fig.5 てんぶの振動周期とてんぶ回転状態

このようにてんぷが 1 往復する時間を周期 T という。 (1)式は $\sin$ 関数であり 2π 毎に同じ値となることから周期 T は(2)式で表される。

$$\sqrt{\frac{K}{I}} \times T = 2\pi \rightarrow T = 2\pi \times \sqrt{\frac{I}{K}} \dots\dots\dots(2)$$

(2)式よりてんぷの周期はてんぷの慣性モーメント I とひげぜんまいのばね定数 K で決まることがわかる。また、てんぷの振り角が式に入っていないことから、振り角の大きさに関わらず周期が一定に保たれることになる。これを等時性という。

3. 2 振動数について

冒頭で述べたように、振動数はてんぷの単位時間当たりの回転往復運動数のことを表している。1 秒間あたりの振動数(例：6 振動，3Hz)や 1 時間あたりの振動数(例：毎時 21,600 振動，21,600vph，21,600bph)で表現される。今では上記の様々な表現が使用されているが、時計業界では 6 振動や 8 振動の表現を従来使用しており、これは物理学で使用されるものと異なる。両者には次のような関係性がある。

$$\text{時計業界の振動数} = \text{物理学における振動数} \times 2$$

物理学における振動数 f は(3)式で表現される。

$$f = \frac{1}{T} \dots\dots\dots(3)$$

Fig.6 は 1 秒間にてんぷが 3 往復しているグラフである。この場合、1 往復の周期 T は $1/3$ [sec] となる。つまり、物理学でいう振動数は(3)式より 3 振動(3 Hz)となり、時計業界では 6 振動と表現される。

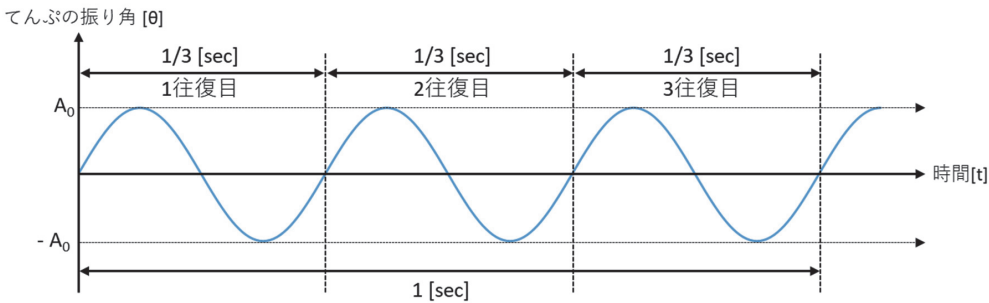


Fig.6 6 振動てんぷの振動周期

ここで、機械式時計において精度の指標として使用される歩度について説明する。歩度とは測定された短時間の精度状態が維持された場合に、時計が1日当たりの何秒進みや遅れが生じるかを表現したものである。実際は、時計の調整された振動周期と振動数で決まる理想の振動周期との誤差を1日分に換算した値で、下記のように算出される。

例えば、てんぷが1往復する時間が1/2.999 [sec]となった6振動の時計があったとする。その場合、理想の振動周期は上述した通り1/3 [sec]であるため1秒ごとに生まれる誤差はおおよそ-0.000333[sec]となる。

$$1 \text{ 秒ごとに生まれる誤差} = \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{2.999} \right) \times 3 \approx -0.000333 \text{ [sec]}$$

1日は86400秒であるため誤差を1日分に換算する。計算例の場合、1日で28.8秒の進みを意味する。

$$\text{歩度} = -0.000333 \times 86400 = -28.8 \text{ [sec/day]}$$

一般的に8振動以上の時計は高振動と呼ばれる。高振動数であるほど外乱の影響を受けにくくなり精度が優れる時計となるが、てんぷを動かすのに必要なエネルギーも大きくなるため機械式時計の駆動時間(パワーリザーブ)が減ってしまう。また、輪列にかかる負荷も大きくなり部品摩耗のリスクが大きくなる。高精度を追い求める時計メーカーはこのジレンマと向き合いながら技術力を競い合っている。

3. 3 振動周期の調整について

実際の時計作りにおいて、時計の進みや遅れ具合を所望の規格内へ追い込む精度調整が行われる。精度の調整はてんぷの振動周期を調整することと同義である。振動周期は(2)式よりてんぷの慣性モーメント I とひげぜんまいのばね定数 K で決まると説明した。精度調整においてはこの I と K を調整する方式に大別される。一般的には調整の容易さや安価な製造コストから後者のばね定数を調整する方式が用いられる。

ひげぜんまいのばね定数 K は(4)式で与えられる。

$$K = \frac{1}{12} \times \frac{Ehe^3}{L} \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここで、 E : ひげぜんまい材料のヤング率、 h : ひげぜんまいの幅、 e : ひげぜんまいの厚み、 L : ひげぜんまいの有効長である。幅と厚みは Fig.7 に示す。

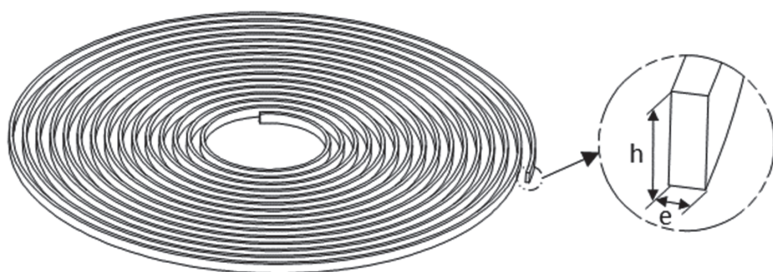


Fig.7 ひげぜんまいの幅 h と厚み e

(4)式を(2)式へ代入することで(5)式を得られる.

$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{12IL}{Ehe^3}} \dots\dots\dots(5)$$

(5)式のいずれかの値を変えることで周期 T の調整が可能となるが、ひげぜんまいの幅 h や厚み e 、ヤング率 E などは部品製造の段階で決まるため、調整することは不可能である。よって、ひげぜんまいの有効長 L を変更することで周期の調整を行う。

一般的に長さの調整は、緩急針を用いて行われる。Fig.8 に緩急針の基本的な部品構成を示す。緩急針にはひげぜんまいを挟み込むようにひげ棒とひげ受が付いており、てんぶを中心として回転できる構造となっている。ひげ棒とひげ受によって、ひげぜんまいの拡張の動きを途中で止めていることから、ひげぜんまいの有効長はひげ玉の巻き出し部から緩急針までの長さとなる。Fig.9 に模式図を示す。この挟み込む位置をひげ持側へ動かすと、有効長 L が長くなるため振動周期 T は大きくなり遅れとなる。逆へ動かすと進みとなる。

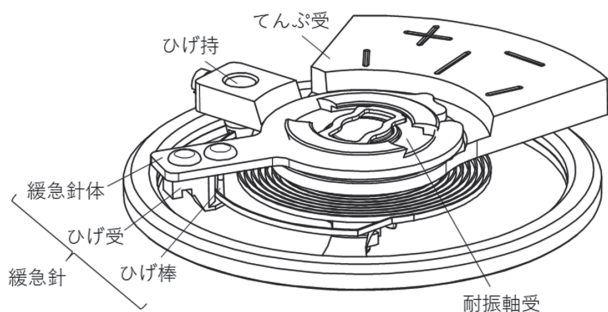


Fig.8 緩急針の部品構成

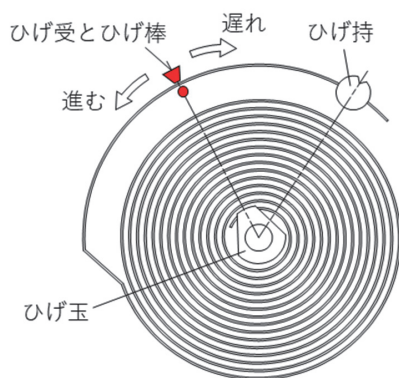


Fig.9 緩急針構造の模式図

続いて慣性モーメントを変化させる方式について説明する。有名なものはパテックフィリップが開発したジャイロマックスやロレックスのマイクロステラナット、グランドセイコーやオメガをはじめとした多くの高級ブランドが採用しているチラねじ方式などが上げられる(Fig.10)。

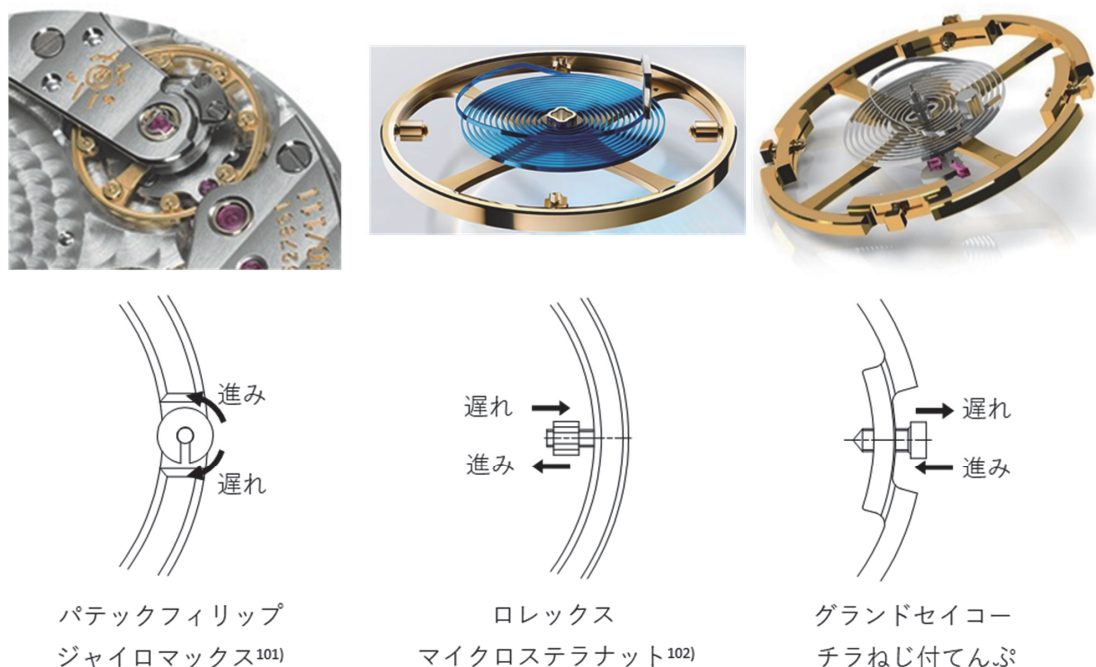


Fig.10 慣性モーメント調整方式のてんぶ(上) と 調整方法の模式図(下)

これらはてん輪に取り付けられた重りの位置や向きを変更し、慣性モーメントを調整するという点で調整メカニズムは共通している。ジャイロマックスは、切込みの入った回転可能な重りが取り付けられている。この切込みの入った方が軽く、その反対側が重くなっているために向きを変更することで慣性モーメントを調整することが可能となっている。マイクロステラナットはナット状の重りを回すことで回転軸からの距離を調整する。同様の思想であるチラねじ方式は、ねじを回すことでねじ位置を調整し慣性モーメントを変更する。

これらの方式は緩急針が無い場合、ひげぜんまいの自由な拡張が阻害されず、高精度を安定的に維持することができる。一方で、高精度な部品製造と調整が求められるために採用することは容易ではない。

4. 等時性について

4. 1 等時性とは

等時性とは、てんぷの振動周期が振り角の大きさに関わらず一定に保たれる性質であると説明した。しかし、実際の時計は振り角の大きさによって振動周期が変化し、歩度は変わってしまう。これは腕時計を取り巻く外部要因や、腕時計自体が持つ内部要因の影響があるためである。

＜外部要因＞

- ・ 温度
- ・ 湿度
- ・ 気圧
- ・ 磁気
- ・ 衝撃
- etc...

＜内部要因＞

- ・ てん輪やひげ玉の片重り
- ・ ひげぜんまいの重心移動
- ・ ひげぜんまいの巻込角
- ・ てん真端面の形状
- ・ てんぷの空気粘性摩擦抵抗
- ・ 脱進機誤差
- etc...

また、先に提示した(2)式はてんぷに加わる様々な要因を無視した最も理想的な理論式となっている。摩擦抵抗を加味した振動の運動方程式から、振り角によって周期 T は変わることを説明できるが少々複雑となる。振動体としてのてんぷの基本的な原理を理解するには(2)式で十分であるため、基本と称した本稿では省略する。

振り角の大きさは、香箱車から出力されるトルク(=香箱トルク)の大きさによって決まる。香箱車に収められた動力ぜんまいは、ユーザーが竜頭を回す手巻き操作や、ユーザーの腕振り運動で回転錘が作動する自動巻き機構によって巻き上がる。巻き上げに伴い香箱トルクが上昇し振り角も大きくなる。一方で、デスクワークなど動きの少ない状況や就寝中に腕時計を外している状況では、ぜんまいは解けていき振り角は低下していく。つまり、さまざまなぜんまい巻き上げ状態で時計は使用される。

Fig.11 を等時性曲線と呼ぶ。縦軸に歩度、横軸に振り角をとったもので振り角が変化したときの歩度の変化の様子を表す。上述した通り振り角は、香箱トルクの大きさやぜんまいの巻上状態と読み替えることもできる。理想的な等時性曲線は、振り角によらず歩度が一定の値となる A の線となるが、上述した通り実際は様々な要因によって B の線のように変化する。時計業界においては、このような歩度と振り角の関係性も等時性と呼ぶ。

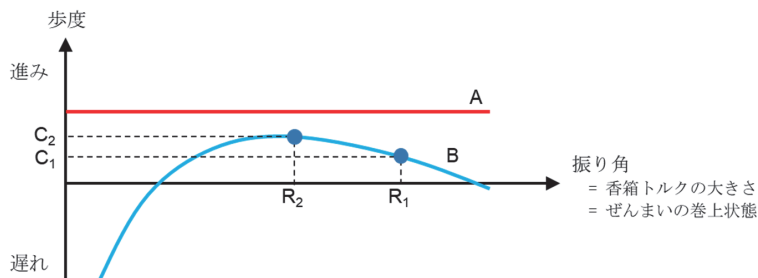


Fig.11 等時性曲線

実際の時計の出荷調整工程においては、等時性値 Is を用いて等時性の状態を確認することが多い。等時性値とは 2 つの異なる振り角における歩度の差を表す。Fig.10 における振り角 R_1 と R_2 間の等時性値 Is はそれぞれの歩度 C_1 と C_2 を用いて表現すると(6)式のようになる。

$$Is = C_2 - C_1 \quad \dots\dots\dots(6)$$

Is がプラスの値であれば振り角が R_1 から R_2 へ低下するにつれて歩度は進み傾向へ変化し、マイナスの値であれば遅れ傾向へ変化する。また、等時性値を広い振り角範囲で確認し、 C_1 と C_2 の歩度の差を抑えるような調整することで、長時間安定した精度を維持できる。その際、等時性曲線は B の線のように線形的に変化するわけでないことに注意していただきたい。

4. 2 等時性の調整について

等時性曲線は先に述べた様々な内部要因により、同一仕様の製品においても一定の形状にならない。そこでムーブメントを組立後に等時性の調整を行い、要求される精度品質に追い込む必要がある。

一般的には緩急針方式のてんぷは等時性調整が可能であり、アオリ調整という技法が用いられる。この技法を駆使することで、等時性曲線の形状を変えることができる。はじめに用語としてのアオリとアオリ幅について説明する。Fig.12 にアオリの様子を示す。てんぷが振動しひげぜんまいが拡張縮小した際に、ひげぜんまいはひげ棒とひげ受の隙間の分だけ往復する。この隙間を往復する運動のことをアオリという。また、Fig.13 に示す通りアオリ幅とは、ひげ受やひげ棒とひげぜんまいの隙間の大きさを意味している。



Fig.12 ひげぜんまいのアオリの様子

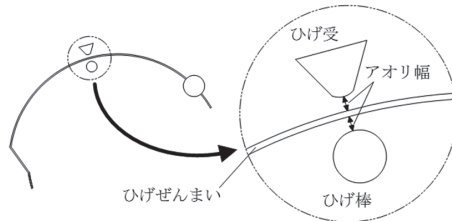


Fig.13 アオリ幅

ひげぜんまいが縮んだ際はひげ棒と接触し、広がった際はひげ受と接触する。接触している間はひげぜんまいの有効長 L は内端から緩急針(ひげ受とひげ棒)までとなる。一方で、ひげ棒とひげ受のどちらも触れずアオリしている時間は、ひげぜんまいの有効長は内端からひげ持まで伸びることになる。その間は式(5)からもわかるように振動周期 T が大きくなり遅れ要因となる。

ひげぜんまいがひげ受やひげ棒と

A : 接触している時間 $\Rightarrow$ ひげぜんまいの有効長が短い : 進み要因

B : 接触していない時間(アオリ) $\Rightarrow$ ひげぜんまいの有効長が長い : 遅れ要因

アオリ調整とはアオリ幅を変えることでてんぷが 1 往復する間の上記 A と B の割合をコントロールすることである。

Fig.14 にアオリの種類を示す。アオリには両アオリと片アオリがあり、それぞれ使用方法が異なる。両アオリとは、ひげぜんまいの振動中心がアオリ幅の中央になるように調整された状態のことを表す。片アオリとは、振動中心がひげ受やひげ棒を触っている状態で、ある一定以上の振り角になるとアオリ始める状態を表す。各アオリ状態でどのような等時性に調整することが可能か説明する。

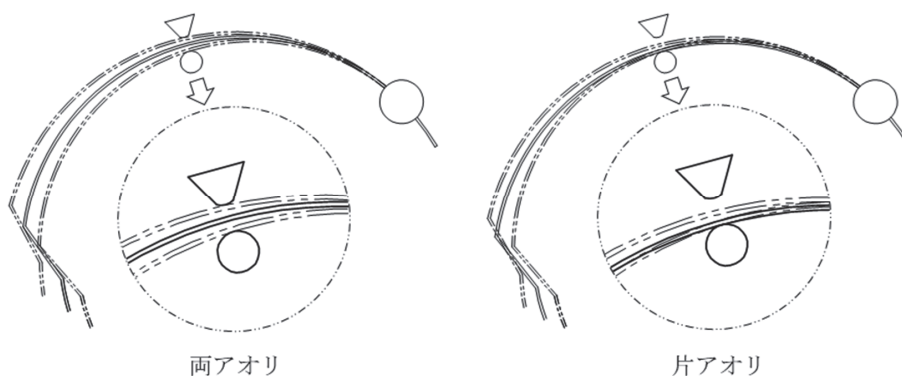


Fig.14 アオリの種類

(i) 両アオリ

一般的な時計は、両アオリを用いることで良い等時性が得られるようになっている。具体的には Fig.15 に示すように、アオリが無い状態で振り角の低下に伴い歩度が進み傾向となるように、ひげぜんまいの形状要因(巻込角)で決まる等時性が粗調整されている。この状態からアオリ幅を変えることで所望の等時性に追いつくことが可能となる。

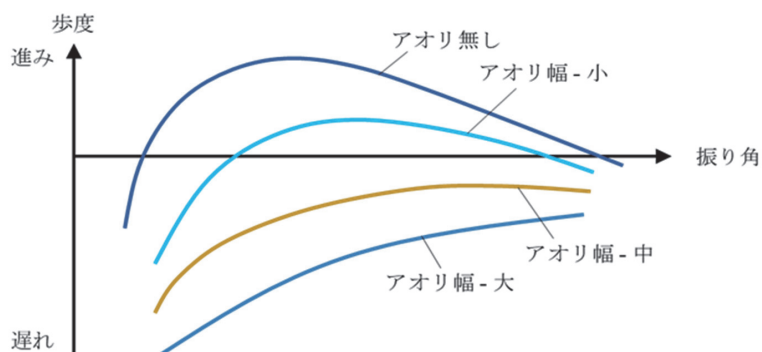


Fig.15 両アオリの等時性曲線

Fig.16 に振り角とアオリに関する模式図を示す。A と B は上述した通りで、ひげぜんまいがひげ受やひげ棒と接触している時間(A)とアオっている時間(B)を表す。振り角の低下に伴い、てんぷが 1 往復する間の B の割合が増えて歩度の遅れ影響が大きくなる。よって、アオリをつけることで、振り角の低下とともに歩度を遅れ方向に変化させることが可能となる。

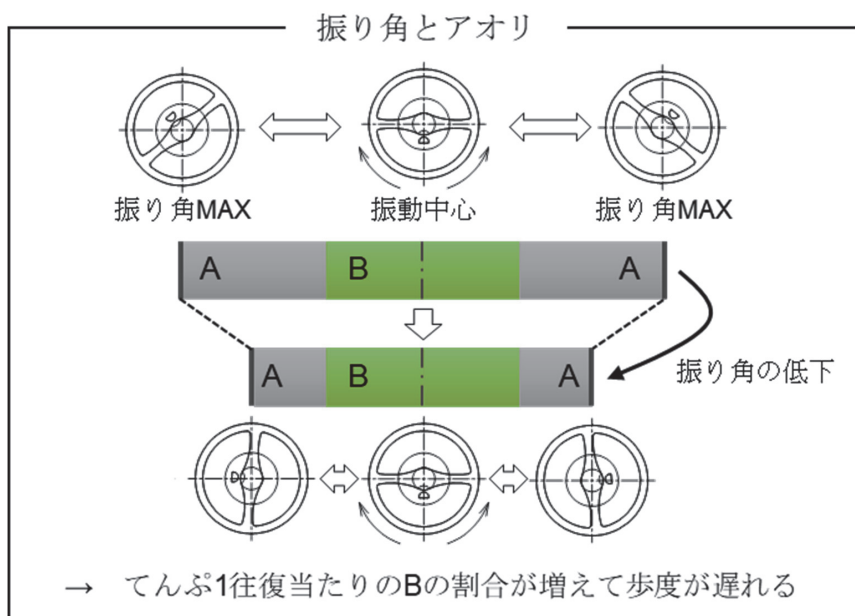


Fig.16 振り角とアオリに関する模式図

さらに、アオリ幅を変えることで、歩度の遅れ具合を変えることができる。Fig.17 にアオリ幅とアオリに関する模式図を示す。アオリ幅を大きくすることで、てんぷが1往復する間のBの割合を増やすことができる。また、遅れの影響度は振り角の低下とともに増していく。振り角とアオリの関係性も踏まえると、アオリ幅を広げることで振り角低下とともに歩度を大きく遅らせることが可能となる。

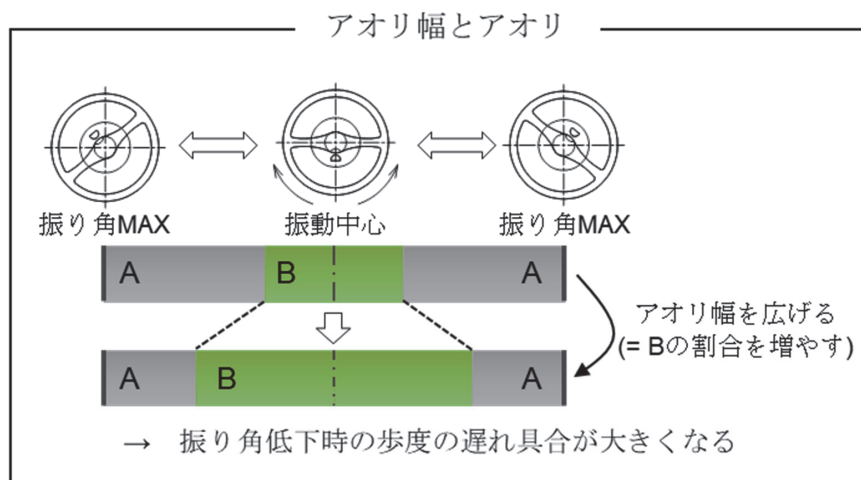


Fig.17 アオリ幅とアオリに関する模式図

(ii) 片アオリ

片アオリは、アオリ開始角度を調整することで等時性を調整する方法で、やや難易度の高いものとなっている。具体的な作業としては、ひげぜんまいをひげ受やひげ棒への当たり具合を調整する。片アオリにすることで Fig.18 に示すような等時性曲線を得ることもできる。

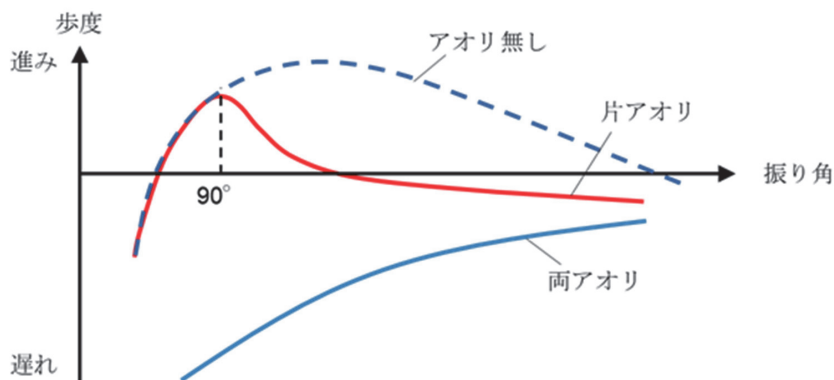


Fig.18 片アオリの等時性曲線

5. おわりに

機械式時計が世の中に誕生して以来、精度向上のために調速機であるてんぷは様々な形で進化している。実用性を高める目的もあるが、クォーツ時計が主流となった現在においてその意義は、作り手のこだわりや技術力をユーザーに感じてもらう役割が大きいと筆者は考える。てんぷは、他の機構である表輪列や脱進機よりも目立つ機構であり、機械式時計において主役のような存在である。興味を持っていただけた方は、ぜひ店頭やホームページで様々なメーカーの"てんぷ"に注目していただきたい。そこで、本稿で紹介した基本的な理論を思い出していただければ、少し違った見方ができるのではないだろうか。

～引用、参考文献～

- 1) 依田和博:講座 新講機械時計学入門(6) 調速機(1), マイクロメカトロニクス(日本時計学会誌), Vol.44, No.2, pp. 83-86, (2000)
- 2) 依田和博:講座 新講機械時計学入門(7) 調速機(2), マイクロメカトロニクス(日本時計学会誌), Vol.44, No.3, pp. 74-77, (2000)
- 3) 小牧昭一郎:機械式時計講座, 東京大学出版会, (2014)
- 4) 中村清尚:ウオッチムーブメント ハンドブック 第5回 調速機(上), 世界の腕時計, ワールドフォトプレス, No.91, pp. 120-123, (2008)
- 5) 中村清尚:ウオッチムーブメント ハンドブック 第6回 調速機(下), 世界の腕時計, ワールドフォトプレス, No.92, pp. 112-115, (2008)

～画像引用元～

101) Patek Philippe :

<https://www.patek.com/en/collection/movements/manual-winding>

102) ROLEX : <https://www.rolex.com/ja/watchmaking/features/movement>

日本の時計産業の概況

2022年

目 次

ウォッチ完成品（グローバルオペレーション）

- 1-1 日本のウォッチ完成品総出荷（輸出＋国内出荷）数量の推移 [機種別]
- 1-2 日本のウォッチ完成品総出荷（輸出＋国内出荷）金額の推移 [機種別]
- 1-3 日本のウォッチ完成品輸出の推移 [機種別]
- 1-4 2022年の日本のウォッチ完成品輸出 [地域別構成比]
- 1-5 日本のウォッチ完成品国内出荷の推移 [機種別]

クロック完成品（グローバルオペレーション）

- 2-1 日本のクロック完成品総出荷（輸出＋国内出荷）数量の推移 [機種別]
- 2-2 日本のクロック完成品総出荷（輸出＋国内出荷）金額の推移 [機種別]
- 2-3 日本のクロック完成品輸出の推移 [機種別]
- 2-4 2022年の日本のクロック完成品輸出 [地域別構成比]
- 2-5 日本のクロック完成品国内出荷の推移 [機種別]

注)

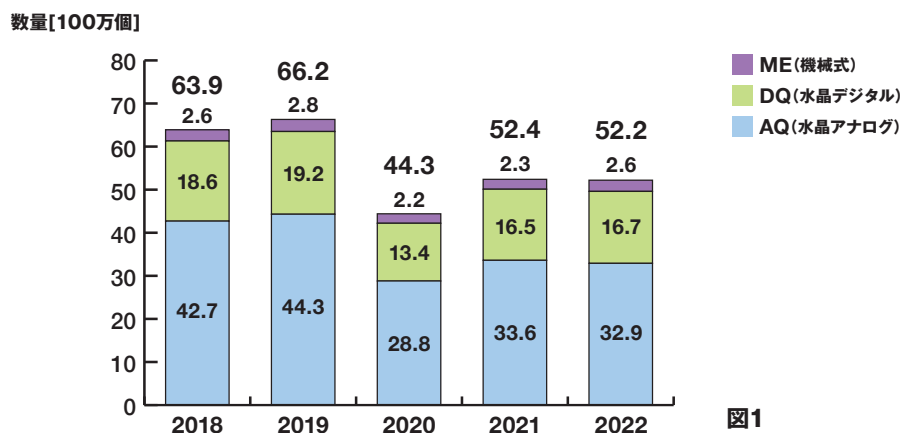
- 1. 日本のグローバルオペレーション：日本の時計企業の海外生産・出荷を含む事業活動
- 2. 図1～8、9～16は日本時計協会の統計データに基づく
- 3. 金額は、輸出はFOB、国内出荷は税抜き売り渡し価額
- 4. AQ は水晶コンピネーションを含む水晶アナログ、DQ は水晶デジタル、ME は機械式時計

2023年 3月

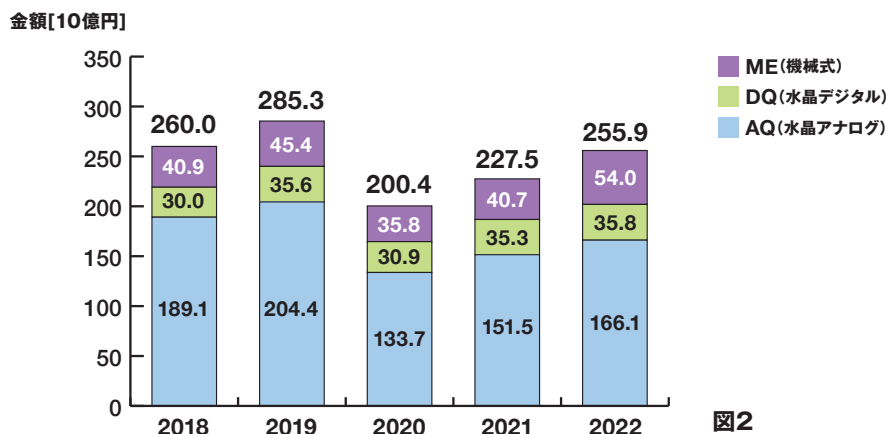
一般社団法人 日本時計協会

ウォッチ完成品（グローバルオペレーション）

1-1 日本のウォッチ完成品総出荷（輸出＋国内出荷）数量の推移 [機種別]



1-2 日本のウォッチ完成品総出荷（輸出＋国内出荷）金額の推移 [機種別]



- 2022年日本の時計メーカーによるウォッチ完成品の総出荷（海外からの出荷を含む）は、数量52百万個で前年並み、金額2,559億円で前年比12%増であった。
- 機種別数量では、水晶アナログが前年比2%減、水晶デジタルが同1%増、機械式は同15%増であった。
- 参考値として、2022年の完成品とムーブメントの合計の出荷は、数量 266百万個（前年比13%減）、金額3,018億円（同11%増）であった。

*四捨五入された数値を表示しているため、実際の計算結果と表示されている合計数が合わない場合があります。

1-3 日本のウォッチ完成品輸出の推移 [機種別]

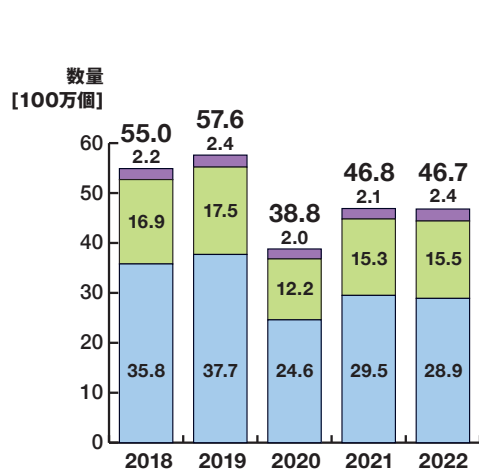


図3

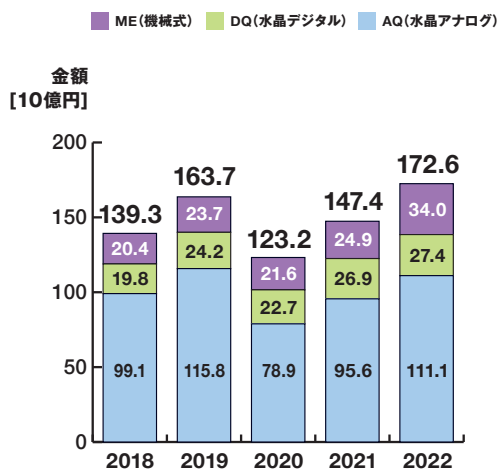


図4

1-4 2022年の日本のウォッチ完成品輸出 [地域別構成比]

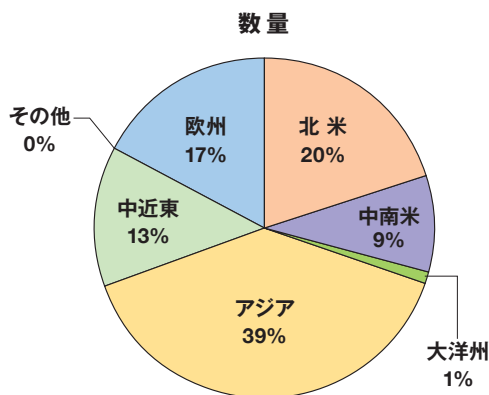


図5

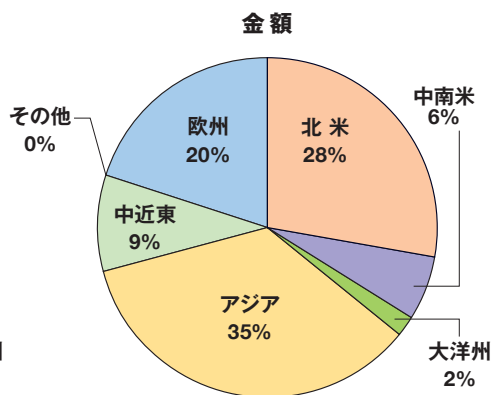


図6

- 2022年日本の時計メーカーによるウォッチ完成品の輸出は、数量47百万個で前年並み、金額1,726億円で同17%増であった。
- 完成品の主な輸出先の対前年金額比較では北米が48%増加したが、アジアは6%減となった。

*輸出は海外からの出荷を含む。

1-5 日本のウォッチ完成品国内出荷の推移 [機種別]

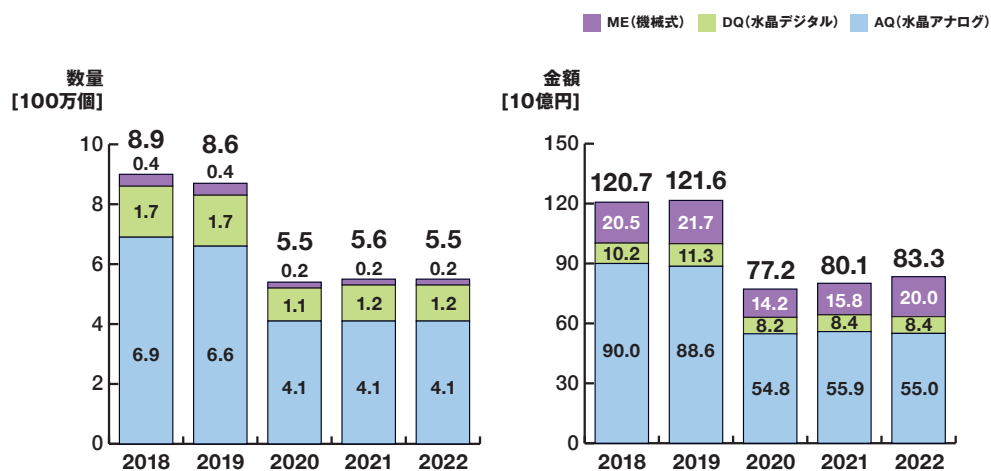


図7

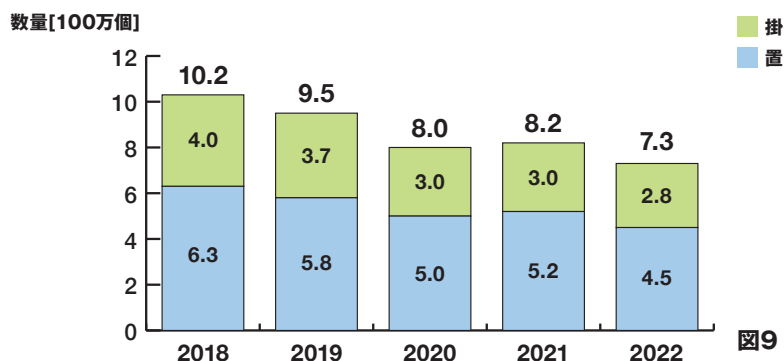
図8

- 2022年日本の時計メーカーによるウォッチ完成品の国内出荷は、数量5百万個で前年比1%減、金額833億円で同4%増であった。

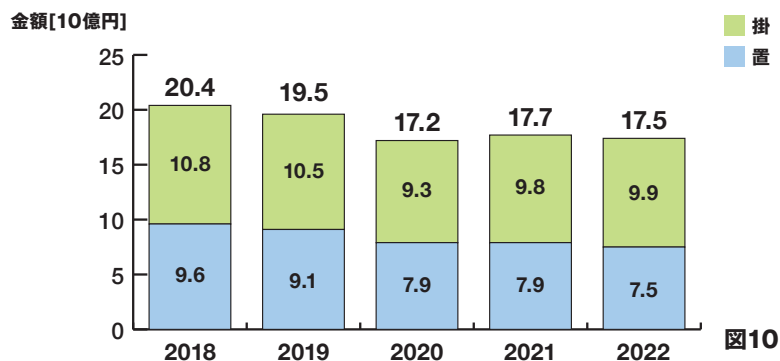
*四捨五入された数値を表示しているため、実際の計算結果と表示されている合計数が合わない場合があります。

クロック完成品(グローバルオペレーション)

2-1 日本のクロック完成品総出荷(輸出+国内出荷)数量の推移 [機種別]



2-2 日本のクロック完成品総出荷(輸出+国内出荷)金額の推移 [機種別]



- 計器板・その他は含まない(前年比較も同様)。
- 2022年日本の時計メーカーによるクロック完成品の総出荷(海外からの出荷を含む)は、数量が7百万個で前年比11%減、金額は175億円と同1%減となった。
- 機種別数量では、置時計が前年比12%減、掛時計は前年比8%減であった。
- 参考値として、2022年の完成品とムーブメントの合計の出荷は、数量9百万個(前年比13%減)、金額178億円(同1%減)となった。

*四捨五入された数値を表示しているため、実際の計算結果と表示されている合計数が合わない場合があります。

2-3 日本のクロック完成品輸出の推移 [機種別]

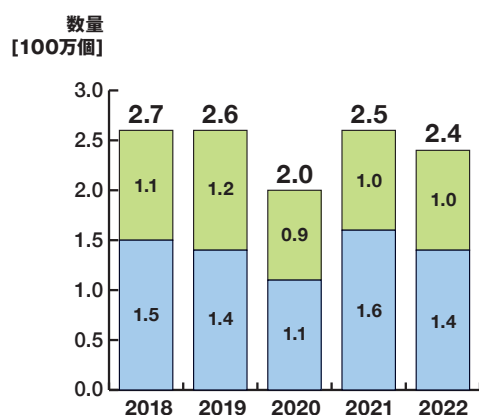


図11

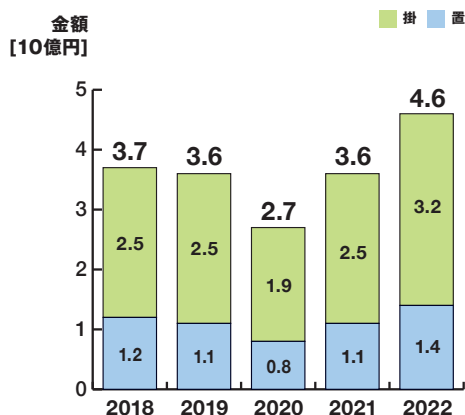


図12

2-4 2022年の日本のクロック完成品輸出 [地域別構成比]

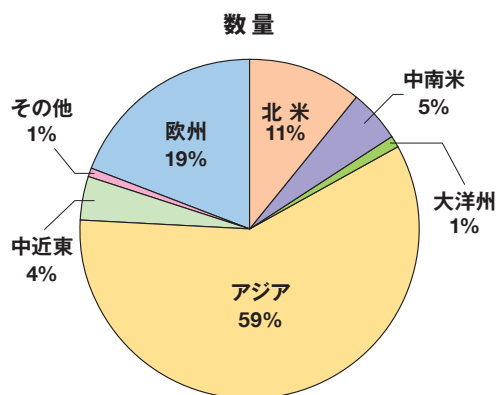


図13

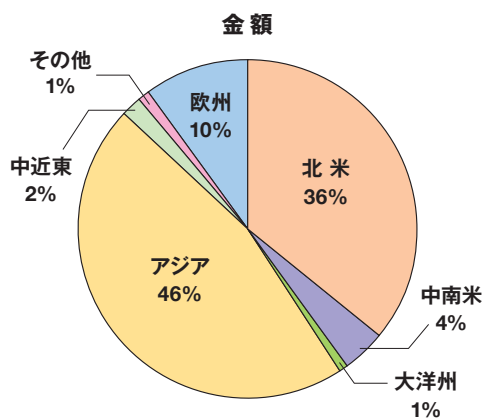


図14

●2022年日本の時計メーカーによるクロック完成品の輸出（海外からの出荷を含む）は、数量2百万個で前年比7%減、金額46億円で同27%増であった。

●完成品の主な輸出先の対前年金額比較では、北米・アジアが共に29%増であった。

*輸出は海外からの出荷を含む。

*四捨五入された数値を表示しているため、実際の計算結果と表示されている合計数が合わない場合があります。

2-5 日本のクロック完成品国内出荷の推移 [機種別]

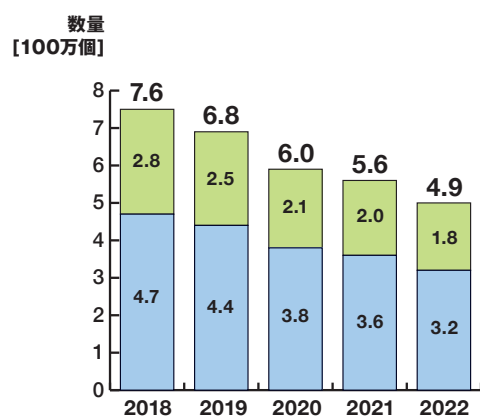


図15

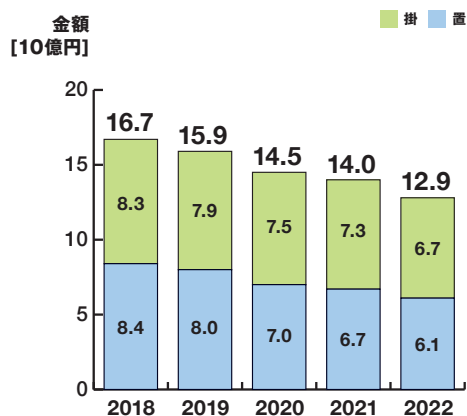


図16

- 2022年日本の時計メーカーによるクロック完成品の国内出荷は、数量5百万個で前年比12%減、金額は129億円で同8%減であった。

*四捨五入された数値を表示しているため、実際の計算結果と表示されている合計数が合わない場合があります。

会 報

一般社団法人 日本時計学会
2023年度 事業計画書
(自 2023年1月1日～至 2023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。

2023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。

[2] 時計技術解説

機械式時計の技術を後世に残すことを目的に, 「時計技術解説シリーズ機械式時計」として, 学会誌マイクロメカトロニクスにおいて12回の連載を実施する。

2023年度は, マイクロメカトロニクス Vol. 67, No. 228 と Vol. 67, No. 229 において, 2回の連載を実施する。

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. 67, No. 228 : 2023年6月, 250部

Vol. 67, No. 229 : 2023年12月, 250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：2023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，2021年度および2022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57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57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5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。

2023年度 収支予算計算書

一般社団法人 日本時計学会

	2022年度		2023年度	
新会計基準（新科目）	予算額	決算額	予算額	備考
【収入の部】				
売上高	3,661,000	3,178,000	3,201,000	
受取入会金	5,000	5,000	5,000	新規入会5名×@1000
正会員受取会費	700,000	670,000	670,000	会員数現状維持（134名）
学生会員受取会費	1,000	1,000	1,000	会員数現状維持（1名）
賛助会員受取会費	2,075,000	2,000,000	2,000,000	会員数現状維持（80口14社）
研究会収入	100,000	72,000	100,000	開催数（2回/年）想定人数：会員10人、非会員5人
講演会収入	760,000	410,000	410,000	ハイブリッド開催
学会誌収入	20,000	20,000	15,000	3書店×各2冊/年×@2500（2冊減）
営業外収入	337,150	614,738	652,320	
受取利息	150	118	120	昨年並み
雑収入	337,000	614,620	652,200	
広告収入	297,000	396,000	550,000	カラー2頁+白黒3頁（27.5万×2回）手数料△10%込
著作権等使用料		112,485	50,000	2022年度の増加理由が不明
著者抄録使用料	40,000	2,200	2,200	
複写使用料		103,935	50,000	2022年度の増加理由が不明
収入 計	3,998,150	3,792,738	3,853,320	
【支出の部】				
販売管理費	4,385,000	4,025,354	4,287,218	
事務委託費	1,480,000	1,503,506	1,500,000	
雑給	70,000	19,000	22,000	ハイブリッド講演会(1.6万)+研究会（0.3万×2回）
外注費	409,000	382,976	526,536	
J-STAGE変換	85,000	121,440	100,000	
会計ソフト	44,000	52,536	52,536	
会計事務所	280,000	209,000	374,000	月額2.2万×12ヶ月+決算11万/年
広告宣伝費	132,000	132,000	132,000	
旅費交通費	90,000	21,178	30,000	
通信費	110,000	103,282	104,000	
NTT&ネット	-	50,966	51,000	
学会誌送送料	-	32,340	33,000	
その他	-	19,976	20,000	総会案内用往復はがき他
消耗品費	26,000	33,380	30,000	
水道光熱費	50,000	50,228	60,200	
電気代	-	28,052	38,000	2021/12vs2022/11=1.35倍として
水道代	-	22,176	22,200	昨年並み
支払手数料	10,000	5,383	10,000	
賃借料	1,020,000	1,013,232	1,109,482	賃借料(共益費、振込手数料込)=84,436 更新料（96,250）
租税公課	70,000	70,012	70,000	
諸謝金	100,000	55,685	78,000	特別講演1回@33411+研究会2回@22274
印刷製本費	502,000	621,324	600,000	
制作費	-	621,324	600,000	280部/回→250部、2022年並ページ数
会議費	301,000	0	0	ハイブリッドのため、開催なし
雑費	15,000	14,168	15,000	青木賞メダル、ベストプレゼン賞賞状など
営業外支出	0	0	0	
支出 計	4,385,000	4,025,354	4,287,218	
収支差額	-386,850	-232,616	-433,898	

一般社団法人 日本時計学会
2022年度 事業報告書
(自 2022年1月1日～至 2022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

日 時 : 2022年9月16日(金) 13:30～17:55
会 場 : 中央大学 後楽園キャンパス 3号館 3300号室
および、オンラインによるハイブリッド開催

プログラム

- ・講演発表 : 6件
- ・特別講演 : 1件

テーマ:「スイス時計産業のラグジュアリー化: 工業と戦略のチャレンジ(2000-2022年)」

講師 : 大阪大学 教授 ピエール=イヴ・ドンゼ氏

参加者 : 58名

[2] 研究会

① 秋季研究会 :

テーマ: 国内クロック技術の歴史と展望

講師: 産業技術史資料情報センター 元主任調査員

セイコーミュージアム アーカイブズ担当/鈴木 哲郎 氏

日時: 2022年11月4日(金) 14:00～15:30

会場: 中央大学 後楽園キャンパス 5号館 5133号室
および、オンラインによるハイブリッド開催

参加者: 24名

[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

2022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)

2022年度は、文献研究を中心に進め、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

[2] 時計技術解説

機械式時計の技術を後世に残すことを目的に、「時計技術解説シリーズ機械式時計」として、学会誌マイクロメカトロニクスにおいて12回の連載を実施する。

2022年度の連載は、以下の通りである。

- ・脱進機(必要な機能と作動) : マイクロメカトロニクス Vol. 66, No. 226
- ・脱進機(様々な脱進機) : マイクロメカトロニクス Vol. 66, No. 227

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2回発行した。

Vol. 66, No. 226: 2022年6月, 280部

Vol. 66, No. 227: 2022年12月, 280部

[2] 学術講演会講演論文集を年1回発行した。

マイクロメカトロニクス学術講演会講演論文集(pdf)：2022年9月、オンラインで配布

4. 研究の奨励及び研究業績の表彰

[1] 青木賞

第56回青木賞選考は、2020年度および2021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6編に対して、選考委員6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56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、マイクロメカトロニクス学術講演会において表彰した。

・第56回青木賞表彰論文：

「女性向け GPS ソーラーウォッチの開発」

- 学会誌掲載：Vol.65, No.224 (2021年6月)
- 執筆者：杉本 亮氏，中島 恭央氏（セイコーエプソン（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。下記の講演に対して、第4回ベストプレゼンテーション賞を授与した。

タイトル：次世代型スプリングドライブ Cal.9RA の開発

所属：セイコーエプソン（株）

講演者：佐藤 直氏

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実施した。

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

2022 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	大隅 久	非常勤	2021 年 3 月 5 日	無し	業務総括	中央大学
業務執行理事	重城 幸一郎	非常勤	2021 年 3 月 5 日	無し	代表理事補佐 事務局（経理）	セイコーウォッチ（株）
業務執行理事	常葉 輝久	非常勤	2021 年 3 月 5 日	無し	事務局（総務）	カシオ計算機（株）
理事	足立 武彦	非常勤	2021 年 3 月 5 日	無し	編集担当	
理事	飯田 謙司	非常勤	2021 年 3 月 5 日	無し	広報委員長 編集担当	セイコーエプソン（株）
理事	今村 美由紀	非常勤	2021 年 3 月 5 日	無し	編集委員長 青木賞・企画担当	セイコータイム クリエーション(株)
理事	梅田 和昇	非常勤	2021 年 3 月 5 日	無し	事業委員長 広報・企画担当	中央大学
理事	大谷 親	非常勤	2021 年 3 月 5 日	無し	青木賞委員長 事業・企画担当	
理事	木村 南	非常勤	2021 年 3 月 5 日	無し	企画委員長 広報担当	神奈川工科大学
理事	佐々木 健	非常勤	2021 年 3 月 5 日	無し	編集・事業担当	東京大学
理事	鈴木 紀寿	非常勤	2021 年 3 月 5 日	無し	編集副委員長	シチズン時計(株)
理事	中島 悦郎	非常勤	2021 年 3 月 5 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	2021 年 3 月 5 日	無し	編集担当	

監事	岸 良一	非常勤	2021 年 3 月 5 日	無し	—	一般社団法人 日本時計協会
監事	吉村 靖夫	非常勤	2021 年 3 月 5 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 2022年2月25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 2021年度収支決算及び事業報告 - 2号議案 2022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 ・ 監事からの提案について	提案内容承認 承認 承認 継続審議
第2回理事会 同 2月25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 ・ 2022年度の体制について ・ 2022年度春季研究会について ・ 2022年度見学会について ・ 2022年度理事会の日程について ・ 監事からの提案について	確認 承認 審議・承認 継続審議 継続審議 承認 継続審議
第3回理事会 同 4月22日	・ 出版編集関係 ・ 2022年度春季研究会について ・ 2022年度見学会について ・ マイクロメカトロニクス学術講演会について ・ 青木賞選考について ・ 監事からの提案について	承認 継続審議 継続審議 継続審議 承認 継続審議
第4回理事会 同 6月17日	・ 出版編集関係 ・ 第55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 ・ 2022年度夏季研究会について ・ 2022年度見学会について ・ 監事からの提案について	承認 審議・承認 審議・承認 審議・承認 継続審議 継続審議
第5回理事会 同 9月16日	・ 出版編集関係 ・ 2022年度夏季研究会について ・ 2022年度見学会について ・ 2022年度秋季研究会について ・ 新入会員の承認 ・ 2022年度ベストプレゼンテーション賞について ・ 監事からの提案について	承認 承認 継続審議 審議・承認 承認 審議・承認 継続審議
第6回理事会 同 11月4日	・ 出版編集関係 ・ 定時社員総会議案検討 ・ 2022年度秋季研究会実施報告（速報） ・ マイクロメカトロニクス学術講演会実施報告 ・ ベストプレゼンテーション賞の審査結果報告 ・ 2022年度見学会について ・ 会計ソフト更新について ・ 監事からの提案について	承認 継続審議 承認 承認 承認 継続審議 継続審議 継続審議

第7回理事会 同 12月16日	・出版編集関係 ・定時社員総会議案確認 ・2022年度決算見込, 2023年度収支予算案 ・2022年度事業報告, 2023年度事業計画 ・2023年度研究会・見学会幹事について ・2022年度秋季研究会実施報告 ・2023年度春季研究会について ・監事からの提案について	承認 継続審議 継続審議 継続審議 承認 承認 承認 継続審議
--------------------	---	--

[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 2022年2月25日	・1号議案 2021年度収支決算及び事業報告・監査報告 ・2号議案 2022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 : 2021年5月23日 (2023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	2022年度末	2021年度末	増減数
正会員	130 (名)	139 (名)	-9 (名)
賛助会員	14 (社)	16 (社)	-2 (社)
学生会員	2 (名)	2 (名)	±0 (名)
計	146	157	-11

*2022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 2022年1月1日 至 2022年12月31日

旧会計基準（旧科目）	予算額	新科目先	新会計基準（新科目）	予算額	決算額	差異
I 収入の部			【収入の部】			
1 基本財産運用収入			売上高	3,661,000	3,178,000	-483,000
基本財産利息収入	100	営業外収益	受取入会金	5,000	5,000	0
2 入会金収入			正会員受取会費	700,000	670,000	-30,000
入会金	5,000	売上高	学生会員受取会費	1,000	1,000	0
3 会費収入			賛助会員受取会費	2,075,000	2,000,000	-75,000
正会員	700,000	売上高	研究会収入	100,000	72,000	-28,000
学生会員	1,000	売上高	講演会収入	760,000	410,000	-350,000
賛助会員	2,075,000	売上高	学会誌収入	20,000	20,000	0
4 事業収入			営業外収入	337,150	614,738	277,588
事業収入（研究会）	100,000	売上高	受取利息	150	118	-32
事業収入（講演会）	760,000	売上高	雑収入	337,000	614,620	277,620
広告収入	297,000	営業外収益	収入 計	3,998,150	3,792,738	-205,412
5 雑収入			【支出の部】			
運用財産利息収入	50	営業外収益	販売管理費	4,385,000	4,025,354	-359,646
雑収入	60,000		事務委託費	1,480,000	1,503,506	23,506
（学会誌販売）	(20,000)	売上高	雑給	70,000	19,000	-51,000
（著作権等使用料）	(40,000)	営業外収益	外注費	409,000	382,976	-26,024
当期収入合計	3,998,150		広告宣伝費	132,000	132,000	0
II 支出の部			旅費交通費	90,000	21,178	-68,822
1 事業費	2,897,000		通信費	110,000	103,282	-6,718
消耗品費	10,000	販売管理費	消耗品費	26,000	33,380	7,380
光熱水料費	25,000	販売管理費	水道光熱費	50,000	50,228	228
賃借料	510,000	販売管理費	賃借料	10,000	5,383	-4,617
広報活動費	132,000	販売管理費	広告宣伝費	1,020,000	1,013,232	-6,768
臨時雇用賃金	1,100,000		賃借料	70,000	70,012	12
（事務員給与）	(1,030,000)	販売管理費	租税公課	100,000	55,685	-44,315
（アルバイト料）	(70,000)	販売管理費	諸謝金	502,000	621,324	119,324
通信運搬費	60,000	販売管理費	印刷製本費	301,000	0	-301,000
印刷製本費	500,000	販売管理費	会議費	15,000	14,168	-832
会議費	300,000	販売管理費	雑費	0	0	0
旅費交通費	60,000	販売管理費	営業外支出	4,385,000	4,025,354	-359,646
雑費	100,000		支出 計	-386,850	-232,616	154,234
（J-STAGE変換）	(85,000)	販売管理費	収支差額			
（青木賞メダル他）	(15,000)	販売管理費				
諸謝金	100,000	販売管理費				
2 管理費	1,488,000					
消耗品費	60,000					
（会計ソフト保守）	(44,000)	販売管理費				
（その他）	(16,000)	販売管理費				
光熱水料費	25,000	販売管理費				
賃借料	510,000	販売管理費				
臨時雇用賃金	450,000					
（事務員給与）	(450,000)	販売管理費				
通信運搬費	50,000	販売管理費				
印刷製本費	2,000	販売管理費				
会議費	1,000	販売管理費				
旅費交通費	30,000	販売管理費				
雑費	290,000					
（会計事務所）	(280,000)	販売管理費				
（振込手数料）	(10,000)	販売管理費				
租税公課	70,000					
（都税均等割）	(70,000)	販売管理費				
（利子用源泉税）	(0)	販売管理費				
当期支出合計	4,385,000					
当期収支差額	-386,850	経常利益				

一般社団法人 日本時計学会 決算書

2022年01月01日～2022年12月31日

貸借対照表

2022年12月31日現在

(単位：円)

科目	前期	当期	前期比
資産の部			
流動資産			
現金及び預金	3,691,939	3,491,318	94.57
未収入金	0	5	
流動資産 計	3,691,939	3,491,323	94.57
固定資産			
有形固定資産			
定期預金（基本財産）	500,000	500,000	100.00
有形固定資産 計	500,000	500,000	100.00
投資その他の資産			
敷金	140,000	140,000	100.00
定期預金（固定）	5,300,000	5,300,000	100.00
投資その他の資産 計	5,440,000	5,440,000	100.00
固定資産 計	5,940,000	5,940,000	100.00
資産 計	9,631,939	9,431,323	97.92
負債の部			
流動負債			
未払金	0	22,000	
未払法人税等	0	70,000	
前受会費	190,000	200,000	105.26
流動負債 計	190,000	292,000	153.68
負債 計	190,000	292,000	153.68
純資産の部			
株主資本			
利益剰余金			
その他利益剰余金			
繰越利益剰余金	9,441,939	9,139,323	96.79
その他利益剰余金 計	9,441,939	9,139,323	96.79
利益剰余金 計	9,441,939	9,139,323	96.79
株主資本 計	9,441,939	9,139,323	96.79
純資産 計	9,441,939	9,139,323	96.79
負債及び純資産 計	9,631,939	9,431,323	97.92

損益計算書

2022年01月01日～2022年12月31日

(単位：円)

科目	前期	当期	前期比
売上高			
受取入会金	0	5,000	
正会員受取会費	0	670,000	
学生会員受取会費	0	1,000	
賛助会員受取会費	0	2,000,000	
研究会収入	0	72,000	
講演会収入	0	410,000	
学会誌収入	0	20,000	
売上高 計	0	3,178,000	
売上総利益	0	3,178,000	
販売管理費			
販売管理費 計	0	4,025,354	
営業利益	0	-847,354	
【営業外収益】			
受取利息	0	118	
雑収入	0	614,620	
営業外収益 計	0	614,738	
経常利益	0	-232,616	
税引前当期純利益	0	-232,616	
【法人税等】			
法人税等	0	70,000	
法人税等 計	0	70,000	
当期純利益	0	-302,616	

販売費および一般管理費明細書

2022年01月01日～2022年12月31日

(単位：円)

科目	前期	当期	前期比
事務委託費	0	1,503,506	
雑給	0	19,000	
外注費	0	382,976	
広告宣伝費	0	132,000	
旅費交通費	0	21,178	
通信費	0	103,282	
消耗品費	0	33,380	
水道光熱費	0	50,228	
支払手数料	0	5,383	
賃借料	0	1,013,232	
租税公課	0	70,012	
諸謝金	0	55,685	
印刷製本費	0	621,324	
雑費	0	14,168	
販売管理費 計	0	4,025,354	

損益計算書

一般社団法人 日本時計学会

自 2022年1月1日 至 2022年12月31日

勘定科目	収益	非収益	合計	備考
売上高による部門割合	28.54%	71.46%	100%	
[売上高]				
受取入会金	0	5,000	5,000	
正会員受取会費	317,542	352,458	670,000	
学生会員受取会費	124,228	-123,228	1,000	
賛助会員受取会費	6,070	1,993,930	2,000,000	
研究会収入		72,000	72,000	
講演会収入		410,000	410,000	
学会誌収入	20,000	0	20,000	
売上高合計	467,840	2,710,160	3,178,000	
[売上原価]	0		0	
期首商品棚卸高			0	
当期商品仕入高			0	
合計			0	
期末商品棚卸高			0	
売上原価			0	
売上総損益金額	467,840	2,710,160	3,178,000	
[販売管理費]				
事務委託費	429,119	1,074,387	1,503,506	
印刷製本費	621,324	0	621,324	
謝礼金	0	55,685	55,685	
雑給	0	19,000	19,000	
外注費	196,086	186,890	382,976	
広告宣伝費	37,674	94,326	132,000	
旅費交通費	6,044	15,134	21,178	
通信費	52,588	50,694	103,282	
消耗品費	9,527	23,853	33,380	
水道光熱費	14,336	35,892	50,228	
支払手数料	1,536	3,847	5,383	
賃借料	289,189	724,043	1,013,232	
租税公課	70,000	12	70,012	
雑費	0	14,168	14,168	
販売管理費計	1,727,423	2,297,931	4,025,354	
営業損益金額	-1,259,583	412,229	-847,354	
[営業外収益]	42.91%	57.09%		
受取利息	34	84	118	
雑収入	614,620	0	614,620	
営業外収益合計	614,654	84	614,738	
[営業外費用]			0	
営業外費用合計				
経常損益金額	-644,929	412,313	-232,616	
[特別利益]				
特別利益合計			0	
[特別損失]				
特別損失合計			0	
[当期純損益]			0	
税引前当期純損益金額	-644,929	412,313	-232,616	
法人税等	70,000	0	70,000	
当期純損益金額	-714,929	412,313	-302,616	

一般社団法人 日本時計学会 会計基準変更に関する注記

1. 会計基準の変更について

一般社団法人 日本時計学会の会計基準を、会計管理の簡便化を目的に、2022 年度（2022 年 1 月 1 日～2022 年 12 月 31 日）から、「公益法人会計」を「企業会計」へ変更する。

2. 会計基準変更に伴う各種変更

(1) 事業区分の新規設定

会計基準の変更に伴い、学会誌関連(書店への学会誌販売、会員への学会誌発行、学会誌への広告掲載料収入、著作権使用料収入など)を収益事業、上記以外の学術講演会関連、研究会関連、見学会関連などを公益目的の非収益事業と定める。

(2) 収益事業と非収益事業の売上・収入に関する区分け

売上・収入の事業区分については、下記の一覧表に準じるものとする。なお、会費収入については、収益事業としての学会誌発行だけでなく、非収益事業として各種活動を支える原資となっていることから、下記に定める方法で按分するものとする。

区分	収益事業	非収益事業
概要	学会誌に関連する内容	学会誌以外の内容
項目	会費収入の一部を学会誌販売(会員向け)として充当する(計算方法は下記)	会費収入のうち、収益事業分を除く残り
	学会誌販売(外部向け)	学術講演会参加費
	著作権使用料	学術講演会協賛金
	著者抄録使用料	研究会参加費
	複写使用料	見学会参加費
	(学会誌への) 広告掲載料	その他学会誌関連以外
	その他学会誌関連	—

会員向け学会誌販売総額＝1冊あたりの単価×会員への発送部数

一冊あたりの単価＝(印刷費+振込手数料+発送料)÷印刷部数

(3) 収益事業と非収益事業の費用・支出に関する区分け

費用・支出については、前項(2)で定めた収益事業と非収益事業のそれぞれの売上・収入割合を按分率として採用し、それぞれの事業が按分率に応じた負担するもの。なお、下記一覧記載の項目については、用途が特定の事業に限定されるため、一覧表通りの事業負担とし、按分率は摘要されないものとする。

区分	収益事業	非収益事業
概要	学会誌に関連する内容	学会誌以外の内容
項目	印刷製本費	謝礼金
	通信費のうち、学会誌発送費用	雑給
	外注費のうち、データ変換費用	雑費
	租税公課のうち、都税均等割	—

(4) 事業区分に関するその他取り決め

前記(2)、(3)に定めた事業区分に該当しない項目は、理事会で協議の上、決定する。

3. 財務状況報告用決算資料について

会計基準の変更に財務状況報告用の決算資料を下記のように変更する。

従来	今後
～2021 年度	2022 年度～
収支予算書	収支予算書
貸借対照表	貸借対照表
収支計算書	収支計算書
正味財産増減計算書	損益計算書（全体版） 損益計算書（事業按分版）
財産目録	財産目録は作成しない

以上

一般社団法人 日本時計学会 2022 年 11 月度 理事会議事録
－ 2022 年度 第 6 回理事会 －

（記録：常葉 輝久 2022 年 11 月 4 日）

1. 開催日時：2022 年 11 月 4 日（金）16:00～17:30

2. 場所：中央大学 後楽園キャンパス 5 号館 1 階 5133 号室 ， 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，中島，増田，常葉（以上 13 名）

<監事>（以上 0 名） 理事総数 13 名の過半数につき理事会成立

<運営委員>小笠原，小川，嶋野，土肥，永田，萩田，廣川，藤沢，横山（以上 9 名）

4. 審議事項

（1）2022 年 9 月度理事会議事録確認

9 月度（第 5 回）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 2022 年 12 月号（Vol. 66, No. 227）に向けて，入稿状況等の説明がされた。

・研究／技術報告 入稿済み，校閲中 2 件。

校閲結果 1 件不採録となったが，次号に向けて継続修正予定。

・依頼原稿関連 入稿済み 4 件，入稿待ち 1 件

（3）年度末に向けての確認

・定時総会、理事会の日程

2023 年 3 月 3 日（金），開催予定

・定時総会議題について

2022 年事業報告、2023 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）秋季研究会実施報告（速報）（横山運営委員より報告，幹事会社：セイコータイムクリエーション）

－ テーマ：国内クロック技術の歴史と展望

－ 日時：2022 年 11 月 4 日（金）14:00～15:30

－ 参加者：24 名

（5）マイクロメカトロニクス学術講演会実施報告（土肥運営委員より説明）

－ 参加者：58 名

－ 講演発表：6 件（第 1 セッション：3 件、第 2 セッション：3 件）

－ 特別講演 「スイス時計産業のラグジュアリー化：工業と戦略のチャレンジ（2000-2022 年）」

講師 大阪大学 教授 ピエール＝イヴ・ドンゼ氏

（6）ベストプレゼンテーション賞の審査結果報告（別紙資料配布 木村理事より報告）

2022 年度日本時計学会ベストプレゼンテーション賞の選考結果の詳細について報告がされた

受賞 次世代型スプリングドライブ Cal. 9RA の開発 セイコーエプソン（株） 佐藤 直氏

（7）見学会について（廣川運営委員より報告，幹事会社：カシオ計算機（株））

「羽田クロノゲート」の施設の団体見学の人数枠がまだ少ないため，施設の見学状況を継続確認し，

見学会の開催タイミングを継続検討する事となった。

（8）会計ソフト更新について

今回は，審議無し．継続検討．

（9）監事からの提案について

日本時計学会投稿規程の改定案と，その元となるマイクロメカトロニクス誌への投稿の質及び量を向上させるための考察に関して審議された。

日本時計学会投稿規程の改定に向けて，次回理事運営委員会に向けて継続検討となった。

（10）新入会員の承認

新入会員は無し．

（11）次回理事会

第7回理事会：2022年12月16日（金） 16:00～17:00

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（2022年11月4日承認後）

- ・正会員 132名（-2）， 学生会員3名（±0）， 賛助会員14社（±0）（80口（±0））
- ・入会： 0名
- ・退会： 2名

（2）その他

2021年事業報告書の誤記に関して確認がされ、HP掲載資料の差替えを行うこととなった。

以上

一般社団法人 日本時計学会 2022年12月度 理事会議事録

－ 2022年度 第7回理事会 －

（記録：常葉 輝久 2022年12月16日）

1. 開催日時：2022年12月16日（金）16:00～17:30

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. 出席者：

<理事>大隅，重城，足立，今村，大谷，木村，鈴木，増田，常葉（以上9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>小川，嶋野，土肥，永田，萩田，廣川，藤沢，横山（以上8名）

4. 審議事項

（1）2022年11月度理事会議事録確認

11月度（第6回）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2023年6月号（Vol. 67, No. 228）に向けて，入稿状況等の説明がされた。
 - ・研究／技術報告 入稿済み1件，入稿待ち3件。
 - ・依頼原稿関連 入稿済み1件，入稿待ち2件。
- ・日本時計学会誌の広告のカラー化に関して，経緯共有と実施計画の報告がされた。
従来はモノクロのみであったが，2022年12月号（Vol. 66, No. 227）からカラー化がスタートした。
カラー化による印刷費のアップ分は掲載メーカーが負担することとする。
- ・編集委員会の開催内容に関して報告がされた
論文投稿インセンティブ向上について，各メーカーの編集員での審議状況の共有がされた。
今後，他議題を含めた6議題に関して，継続して編集委員会を開催し議論を進めていく。

（3）定時社員総会議案確認

- ・定時社員総会の議題，日程が確認された。

日時：2023年3月3日（金）17:00 - 18:00

（4）2022年度決算見込，2023年度予算

詳細検討中の為，次回理事運営委員会までの継続審議となった。

（5）2022年度事業報告，2023年度事業計画

- ・2022年事業報告，2023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。
- ・来期の理事，運営委員候補案に関して会話がなされた。

（6）2023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）：セイコーウオッチ（株）
- ・研究会（秋）：カシオ計算機（株）
- ・見学会：カシオ計算機（株）

(7) 2022 年度秋季研究会実施報告 (別紙資料配布 横山運営委員より説明)

- テーマ：国内クロック技術の歴史と展望術
- 内容：国立科学博物館 産業技術史資料情報センター発行の「クロック技術の系統化調査報告」をもとに機械式から電子式へ、更に多様化するクロックの技術について講演いただいた。
- 講師：鈴木哲郎氏 セイコムミュージアム 銀座 アーカイブズ担当
国立科学博物館 産業技術史資料情報センター 元主任調査員
- 日時：2022 年 11 月 4 日 (金) 14 時 00 分～15 時 30 分
- 会場：中央大学 後楽園キャンパス 5 1 3 3 号教室およびオンライン開催
- 参加者：24 名 (正会員：12 名，非会員：12 名)
- 収入：72,000 円／支出：25,274 円 (講師謝礼:22,724) ／差額：+46,726 円

(8) 2023 年度春季研究会について (重城理事より説明，幹事会社：セイコーウオッチ (株))

以下の開催案が提案され，承認された。

- テーマ：(仮) 和光とセイコーハウス銀座
- 日時：2022 年 4 月 21 日 予定

(9) 新入会員の承認

新入会員無し

(10) 監事からの提案について

日本時計学会投稿規程の改定案の最終稿に関して審議がされ，内容が承認された。

日本時計学会 HP に掲載されている投稿規定の改定を行う。

(11) 次回理事会

- ・第 1 回理事会：2023 年 3 月 3 日 (金) 16:00～17:00
- ・定時社員総会：2023 年 3 月 3 日 (金) 17:00～18:00
- ・第 2 回理事会：2023 年 3 月 3 日 (金) 18:00～19:00

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 (2022 年 12 月 16 日承認後)

- ・正会員 130 名 (-2)，学生会員 2 名 (-1)，賛助会員 14 社 (±0) (80 口 (±0))
- ・入会：0 名
- ・退会：3 名

(2) その他

- ・第 3 回理事会：2023 年 4 月 21 日 (金) 16:00～17:00
中央大学 後楽園キャンパス 2 号館 2 階 2221 号室 (製図室)

以上

一般社団法人 日本時計学会 2023 年 3 月度 理事会議事録
— 2023 度 第 1 回理事会 —

(記録：常葉 輝久 2023 年 3 月 3 日)

1. 開催日時：2023 年 3 月 3 日 (金) 16:00～17:10

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
(Web 会議システムとして Zoom を使用)

3. 出席者：

<理事>大隅 久，重城 幸一郎，今村 美由紀，大谷 親，木村 南，鈴木 紀寿，増田 純夫，
常葉 輝久 (以上 8 名)

以下の出席者は Web 会議システムを用いて参加した。

<理事>足立 武彦，佐々木 健，中島 悦郎 (以上 3 名)

<監事>岸 良一, 吉村 靖夫 (以上 2 名 Web 会議システムによるオンライン出席)

理事総数 13 名の過半数につき理事会成立

<運営委員>小川 浩良, 土肥 徹次, 永田 洋一, 萩田 拓史, 藤沢 照彦, 横山 正尚 (以上 6 名)
以下の出席者は Web 会議システムを用いて参加した。

<運営委員>岩崎 洋介, 小笠原 健治, 嶋野 彰従, 廣川 潤一 (以上 4 名)

4. 議事の経過の要領及びその結果

定刻、代表理事の大隅久が議長となり、開会を宣した。

議長は理事足立 武彦, 佐々木 健, 中島 悦郎、及び監事岸 良一, 吉村 靖夫は Web 会議の方法により本理事会に出席する旨を説明し、Web 会議室システムにより、出席者の映像と音声が即時に他の出席者に伝わり出席者が一堂に会すると同時に適時的確な意思表示を相互に行い得る状態であることを確認し、議事に入った。

(1) 2022 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：2022 年度決算及び事業報告 (別途資料配布)

2022 年度決算報告書について、経理担当 重城理事より説明報告がされ、総会議題として承認された。

2022 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：2023 年度予算及び事業計画 (別途資料配布)

2023 年度収支予算書について、経理担当 重城理事より説明があり、総会議題として承認された。

2023 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、理事並びに監事候補が提案され、総会議題として承認された。

新任理事：中川 誠 氏

新任理事：中宮 信二 氏

運営委員から理事就任：土肥 徹次 氏

運営委員から理事就任：永田 洋一 氏

運営委員から理事就任：横山 正尚 氏

退任理事 (任期満了)：常葉 輝久 氏

退任理事 (任期満了)：飯田 謙司 氏

退任理事 (任期満了)：梅田 和昇 氏

退任理事 (任期満了)：大谷 親 氏

退任理事 (任期満了)：鈴木 紀寿 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 2023 年 6 月号 (Vol.67, No.228) 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。
- ・ 研究／技術報告 校閲中、入稿待ち 4 件
- ・ 依頼原稿関連 校閲中、入稿待ち 3 件

(4) 新入会員の承認

- ・ 3 名の正会員の入会申し込みがあり承認された。

(5) 監事からの提案について

追加検討報告は無し。次回理事運営委員会に向けて継続検討となった。

(6) 次回理事会

第 2 回理事会：2023 年 3 月 3 日 (金) 18:00～19:00 (定時社員総会後)

中央大学 後樂園キャンパス 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 (2023 年 3 月 3 日承認後)

- ・正会員 130 名 (±0) , 学生会員 2 名 (±0) , 賛助会員 13 社 (-1) (79 口 (-1))
- ・入会 : 正会員 3 名
- ・退会 : 正会員 3 名, 賛助会員 1 社(1 口)

(2) その他

- ・特になし

以上をもって議案の審議等を終了したので、議長が午後 17 時 10 分に閉会を宣言、解散した。

本日の Web 会議システムを用いた 2023 年 3 月度第 1 回理事会は、終始異状なく議題の審議を終了した。

以上

一般社団法人 日本時計学会 2023 年度 定時社員総会議事録

(記録: 常葉 輝久 2023 年 3 月 3 日)

1. 開催日時: 2023 年 3 月 3 日 (金) 17:20~17:55

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 130 名, 総社員の議決権の数 130 個, 出席社員数 84 名 (委任状 62 名を含む), この議決権の総数 84 個,

出席理事: 大隅, 重城, 足立, 今村, 梅田, 大谷, 木村, 佐々木, 鈴木, 中島, 増田, 常葉

出席監事: 岸, 吉村

4. 議題

(1) 1号議案: 2022 年度決算及び事業報告 (別途資料配布)

- 1)2022 年度決算報告書について、経理担当 重城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)2022 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: 2023 年度予算及び事業計画 (別途資料配布)

- 1)2023 年度収支予算書について、経理担当 重城理事より説明があり、異議なく承認された。
- 2)2023 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 名と監事 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、改選の必要があり、議長より、別紙資料の通り、理事 (重任 8 名, 新任 5 名)

並びに監事 (重任 1 名) 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: 土肥 徹次 氏	新任理事: 中川 誠 氏	新任理事: 中宮 信二 氏
新任理事: 永田 洋一 氏	新任理事: 横山 正尚 氏	重任理事: 大隅 久 氏
重任理事: 重城幸一郎 氏	重任理事: 足立 武彦 氏	重任理事: 今村美由紀 氏
重任理事: 木村 南 氏	重任理事: 佐々木 健 氏	重任理事: 中島 悦郎 氏
重任理事: 増田 純夫 氏		
重任監事: 吉村 靖夫 氏		

なお、被選任者は、席上その就任を承諾した。

退任理事（任期满了）：常葉 輝久 氏	退任理事（任期满了）：飯田 謙司 氏
退任理事（任期满了）：梅田 和昇 氏	退任理事（任期满了）：大谷 親 氏
退任理事（任期满了）：鈴木 紀寿 氏	

以上の決議を明確にするため、この議事録を作成し、議長及び出席理事がこれに記名押印する。

以上

一般社団法人 日本時計学会 2023 年 3 月度 理事会議事録 － 2023 年度 第 2 回理事会 －

（記録：横山 正尚 2023 年 3 月 3 日）

1. 開催日時：2023 年 3 月 3 日（金）18:00～18:40
2. 場所：中央大学後楽園キャンパス 製図室、オンライン開催（Web 会議システムとして Zoom を使用）
3. 出席者：

<理事>

大隅 久、重城 幸一郎、今村 美由紀、木村 南、土肥 徹次、中川 誠、中宮 信二、永田 洋一、増田 純夫、横山 正尚（以上 10 名）

以下の出席者は Web 会議システムを用いて参加した。

<理事>足立 武彦、佐々木 健、中島 悦郎（以上 3 名）

<監事>岸 良一、吉村 靖夫（以上 2 名 Web 会議システムによるオンライン出席）

理事総数 13 名の過半数につき理事会成立

<運営委員>梅田 和昇、小笠原 健治、小川 浩良、萩田 拓史、藤沢 照彦（以上 5 名）

以下の出席者は Web 会議システムを用いて参加した。

<運営委員>岩崎 洋介、鳴野 彰従（以上 2 名）

4. 議事の経過の要領及びその結果

定刻、代表理事の大隅久が議長となり、開会を宣した。

議長は理事足立 武彦、佐々木 健、中島 悦郎、及び監事岸 良一、吉村 靖夫は Web 会議の方法により本理事会に出席する旨を説明し、Web 会議システムにより、出席者の映像と音声が即時に他の出席者に伝わり出席者が一堂に会すると同時に適時的確な意思表明を相互に行い得る状態であることを確認し、議事に入った。

（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 2022 年度収支決算及び事業報告
- ・ 2 号議案 2023 年度予算及び事業計画
- ・ 3 号議案 理事及び監事の選任

（2）代表理事、業務執行理事、新任運営委員の選任

以下の代表理事、業務執行理事、新任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。なお、被選任者は席上その就任を承諾した。

重任代表理事	大隅 久	氏	（中央大学）
重任業務執行理事（経理）	重城 幸一郎	氏	（セイコーウオッチ（株））
新任業務執行理事（総務）	横山 正尚	氏	（セイコータイムクリエーション（株））
新任運営委員	梅田 和昇	氏	（中央大学）

（3）2023 年度の体制について（別紙資料配布 横山理事より説明）

定時社員総会の議決に基づき 2023 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) 2023 年度春季研究会について（重城理事，幹事会社：セイコーウオッチ（株））

以下の開催案で開催予定。詳細についてはメールで連絡する。

- テーマ：(仮) 和光とセイコーハウス銀座
- 日時：2022 年 4 月 21 日 予定

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

「羽田クロノゲート」の施設の団体見学の人数枠がまだ少ないため，施設の見学状況を継続確認し，見学会の開催タイミングを継続検討する事となった。

(6) 2023 年度理事会の日程について

- ・ 2023 年 3 月 3 日（金）：第 1 回理事会，定時社員総会，第 2 回理事会
- ・ 2022 年 4 月 21 日（金）：第 3 回理事会，（春季研究会）
- ・ 2022 年 6 月 16 日（金）：第 4 回理事会，（見学会）
- ・ 2022 年 9 月 15 日（金）：第 5 回理事会，学術講演会
- ・ 2022 年 11 月 10 日（金）：第 6 回理事会，秋季研究会
- ・ 2022 年 12 月 15 日（金）：第 7 回理事会

(7) 前期監事からの提案について

追加検討報告は無し。次回理事運営委員会に向けて継続検討となった。

(8) 次回理事会

第 3 回理事会：2023 年 4 月 21 日（金）16:00～17:00

中央大学 後楽園キャンパス または オンライン開催

5. 報告事項

特になし

以上をもって議案の審議等を終了したので，議長が午後 18 時 40 分に閉会を宣言し，解散した。

本日の Web 会議システムを用いた 2023 年 3 月度第 2 回理事会は，終始異状なく議題の審議を終了した。

以上

会員募集

日本時計学会は時計技術で培った微小化・省電力化技術をベースに、マイクロメカトロニクス技術を基礎から応用までカバーするべく活動中です。活動の幅をより広げるためより多くの方の入会をお待ちしております。

入会されますと会員専用ページよりマイクロメカトロニクスの最新号が閲覧可能となります。また、紙媒体のマイクロメカトロニクスはモノクロ印刷ですが、電子データ版はカラー表示ですので写真や図表も鮮やかで判りやすく、印刷では見にくい細かい文字も拡大して見る事が可能です。

詳細につきましてはホームページ (<http://hij-n.com/>) の入会案内をご覧ください。

講演募集

日本時計学会では毎年9月に学術講演会を開催しており、常時講演を募集していますので、研究発表を希望される方は下記へお申し込みまたはお問い合わせください。2021年よりオンライン開催またはオンラインと会場とのハイブリッドで開催しておりますので、遠方からの参加も容易になりました。

〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 精密機械工学科 土肥 徹次
Tel : 03-3817-1832 Fax : 03-3817-1820 e-mail : tokei@msl.mech.chuo-u.ac.jp

編集後記

参加して以降、ほとんどオンラインだったとある会合がハイブリッド開催となり、都内の会場にリアル参加させていただく機会がありました。知ってはいるのに初めましてだったり、画面を通してではなかなかできないようなお話ができたりと、リアルならではの充実した時間を過ごすことができました。その帰りの乗換駅でのごと、乗ろうとした電車が人で溢れかえっており、とても乗車できそうにないので一本やり過ごす、ということは何年かぶりにしました。かつてはごく普通だったそんなことからコロナ禍の終息を実感した一日でした。

新型コロナの経験を通じて対面の価値が再認識され、人々の行動範囲が以前のように戻ることによって、時計産業をはじめ世の中全体に活力が戻ることを願ってやみません。時計関連の研究発表をしていただけますと弊学会も活性化しますので、引き続きのご協力をお願い申し上げます。

(永田 洋一 記)