

## 代表理事挨拶

木原 啓之

2019年度より、日本時計学会代表理事を拝命いたしました。理事、運営委員そして学会員の方々と共に日本時計学会の発展を目指し、力を尽くして運営していく所存でございます。

日本時計学会は1948年に創設され、大学と時計会社を中心となり、時計産業の発展とともに時計に関する技術を追求し、製品化技術、要素技術、加工技術、エネルギー、センサ、通信など広範囲に及ぶ研究の発表、交流の場として活動してまいりました。

その昔は、時計業界は世間の景気に左右されにくく安定した業界ともいわれていましたが、今では変化のスピードが速くなり、流行や経済の変動に大きく左右されるようになりました。国内では近年のインバウンドによる好景気の波がひと段落し、高級機械式時計とスマートウォッチといったこれまでに時計業界が経験したことのない、対極のカテゴリーが存在感を示す構図となってきています。機械式時計では精度の追求に加えて従来とは異なる新しい発想の機構が数多く発表、製品化され、スマートウォッチでは様々なセンサや通信が用いられたデバイスが広範囲の分野で製品化されており、これまでの時計の概念が広がってきています。このため、今後もより広い技術分野が腕時計に融合し、ますますその規模が大きくなっていくと推測されます。

日本時計学会では、時計に関する幅広い分野にてご活躍の皆さま、興味をお持ちの皆さまの交流の場、技術発展の場としてこれからも積極的に活動し続けたいと考えております。今後とも、ご支援いただきたく、よろしく願いいたします。

技術報告

## デプスゲージへの流体解析応用事例

塚田浩之, 川田祥子

シチズン時計株式会社 研究開発センター, 埼玉県所沢市下富 840, 〒359-8511

(2018年7月9日受付, 2019年1月11日再受付, 2019年5月10日採録)

### An Application Example of Fluid Analysis to a Depth Gauge

Hiroyuki TSUKADA, Sachiko KAWADA

Research & Development Center, CITIZEN Watch Co., Ltd.,

840, Shimotomi, Tokorozawa-shi, Saitama 359-8511, Japan

(Received July 9, 2018, Revised January 11, 2019, Accepted May 10, 2019)

#### ABSTRACT

In this paper, as one of our CAE approaches, we will report fluid analysis results on the water filling process of a depth gauge installed in a divers watch. The analysis was conducted by applying boundary conditions, assuming a sudden water entry during boat diving. As a result, we found that an L-shape in the flow path will easily trap air bubbles. Such CAE approach to predict the behavior of the water flow beforehand contributes to our efforts toward a front-loading design method.

#### 1. はじめに

CAEとはComputer Aided Engineeringの略称であり, コンピュータ技術を活用して製品の設計・製造や工程設計の事前検討の支援を行うこと, またはそれを行うツールを指す. 構造解析の分野ではCAEという言葉が定着しており, 設計・製造のフロントローディングを目的として利用されていることが多い.

本論文では, CAE案件の中から流体解析事例として, 腕時計に搭載されているデプスゲージに対する入水現象の再現検討について報告する.

#### 2. デプスゲージの問題とCAEの目的

デプスゲージの機構は古くから知られており, 片側開口のチューブを沈めることで水圧により水が一定量浸入するしくみである. ここに水深目盛りを刻むことで深度が分かるようになっている.

Fig. 1にデプスゲージを搭載した腕時計の外観図と内装されているリングの形状を示す.

デプスゲージの問題は使用時の状態に起因する。一般にダイビングにはビーチダイビングとボートダイビングがあり、ビーチダイビングでは緩やかな入水になるため安定して水深を測定することができるが、ボートダイビングでは船から飛び込むため入水時に急激な水圧変化が起こる。そのため、ゲージ内に急激に入水して気泡を巻き込む現象や、実際的水深よりも深い目盛りまで一時的に入水してしまう現象が発生することもある。これらの現象は時間が経過して圧力が安定すれば本来の水深位置に戻るが、水滴や気泡がゲージ内部に残り、水深が測れなくなる問題が発生する。この場合、陸上でゲージ内部の水分を除去しなければならない。この点が一番の問題となる。

また、このゲージの形状は時計デザインの一部であるため、様々な形状が考案されてきたが、試作実験なしで入水量を予測することは難しかった。そのため、量産までのリードタイムが長くなってしまいうことも問題であった。また、ボートダイビングのような急激な入水では観察が難しい。

そこでCAEの目的を、これらの問題に対して、デザイン段階で実験を行わずに入水傾向を予測することと設定した。

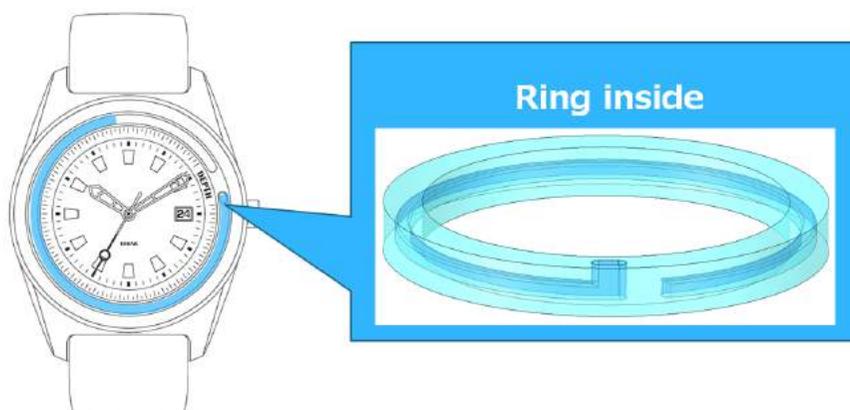


Fig. 1 Structure of depth gauge.

### 3. 流体解析モデル

はじめに解析モデルと実験結果の挙動を検証するステップ、次に入水傾向を予測するステップという2段階でCAEを実施した。

腕時計全体をモデル化すると計算コストがかかるため、構造物の領域は空洞とし、水のみ領域をモデル化して解析を行うこととした。また水の領域はできるだけ小さい容量で均一に圧力をかけられる形状として半球でモデル化した。(Fig. 2 参照)

腕時計部分は圧力による変形はないものと仮定し、ゲージ内の管路のみをモデル化、初期は空

気が充てんされた状態とし、水半球表面に徐々に圧力を印加することで入水現象の再現を試みた。

メッシュ作成では品質を向上させるためにテトラメッシュではなく、多面体メッシュを採用し、圧力変化が大きい箇所にはより細かいメッシュを作成した。

また、解析タイプは流体として空気と水の2相を扱う混相流解析とし、水圧の変化による管路形状の変形はないものと仮定した。混相流の自由表面計算手法であるVOF (Volume Of Fluid) 法を用い、壁面においては表面張力を考慮するとともに、熱伝達を定義することにより圧縮気体の発熱冷却も考慮している。

入水方法として、ビーチダイビング・ボートダイビングそれぞれの入水現象を模擬するために、前者は水深1m相当を1sかけて徐々に加え、後者は水深1m相当の圧力をステップで瞬間的に加える条件とした。

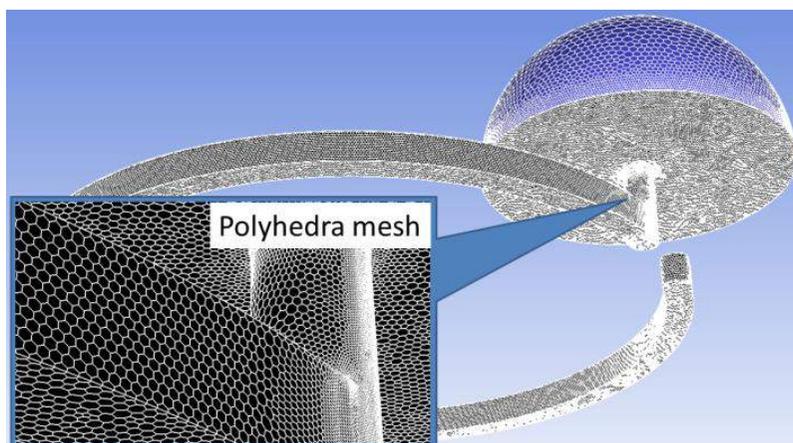


Fig. 2 Simulation model.

なお構造解析のように技術が成熟している分野と比較して、混層流解析で実現象の再現は難しく、傾向の指標として用いられることが多い。また今回のような非定常解析の場合、時間刻み幅が解析精度に重要な影響を及ぼす。Fig. 3 に時間刻み幅のイメージを示すが、実際の入水現象は連続的に起きているのに対し、解析では離散的な計算になるため誤差が生じる。今回の解析では初期の急激な入水現象では特に誤差が大きくなりやすく、また計算が発散しやすい。この誤差は時間刻み幅を小さくすればするほど小さくなるが、その分計算時間が膨大になり解析に限界がある (Fig. 4 参照)。そのため今回の解析では入水量を正確に求めるのではなく、入水初期の傾向予測に重きを置いて検証を進めた。

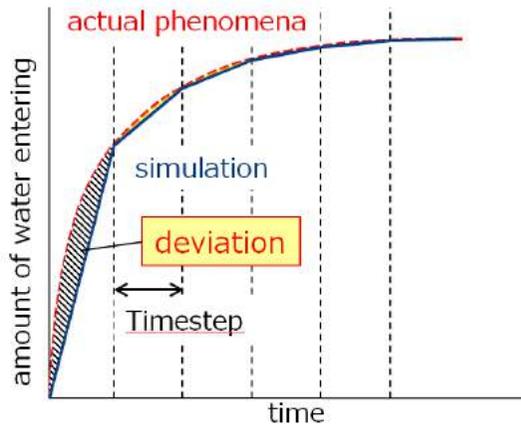


Fig. 3 Image of deviation caused by the timestep used in simulation.

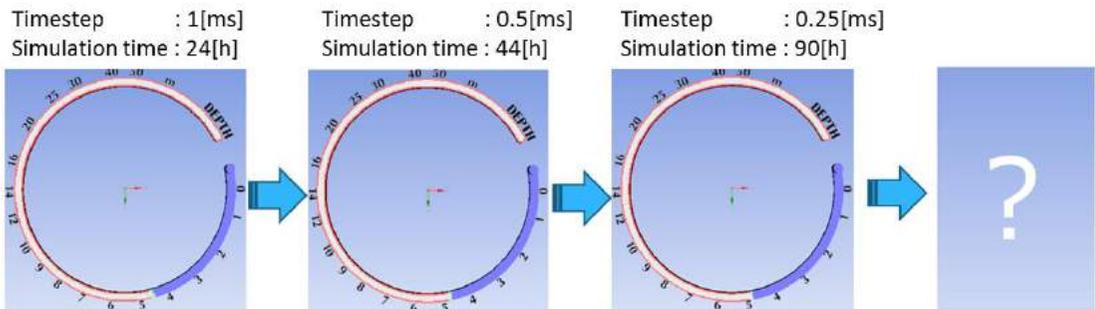


Fig. 4 Simulation time and result change of the water-stop-position with different timesteps.

#### 4. 実現象と解析結果の比較

Fig.5 (a) にビーチダイビングで入水した場合の解析結果を示す。青色が水、白色が空気を表す。入水初期から安定して水／空気の界面を計算することができ、気泡などの巻き込みも起こらないことが分かる。ただし、L字角部では内部圧力低下が見られる。これは水の直進性や管路断面積の変化によって起こるものと考えられる。

Fig.5(b) にボートダイビングで入水した場合の結果を示す。この入水条件ではL字角部の内角・外角に気泡の巻き込みが確認できることから、形状の改善が必要と考えられる。また、ビーチダイビングの場合と比較して、同じ水圧でも水が奥まで浸入しており、実現象のボートダイビングで深い目盛りまで水が進んでしまう現象と一致している。

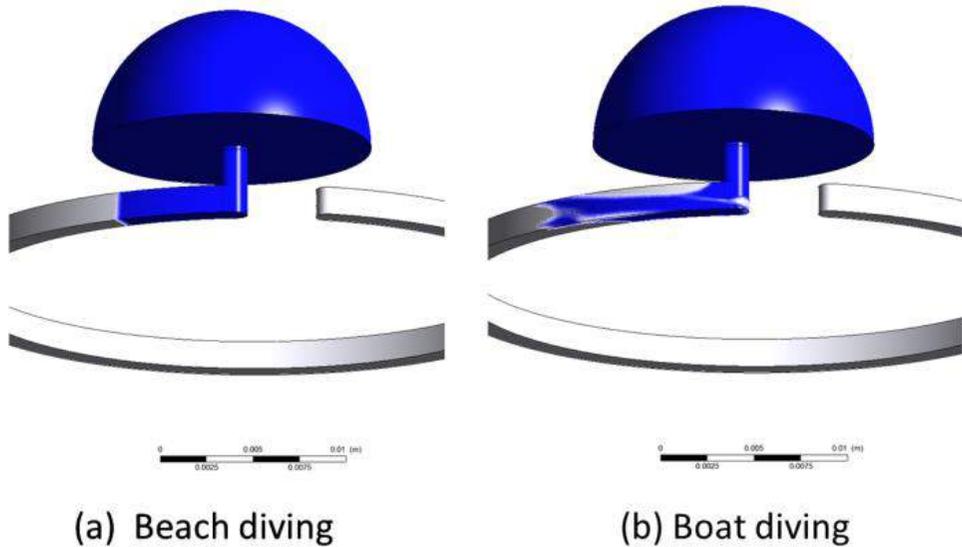


Fig. 5 Comparison of beach diving and boat diving.

この結果を踏まえ、管路の改善を検討した(Fig. 6). 気泡を巻き込みやすいL字部分に傾斜を持たせ、急激な圧力変化の低減を図った. またメンテナンス性を向上させるために開口部を大きく設けた.

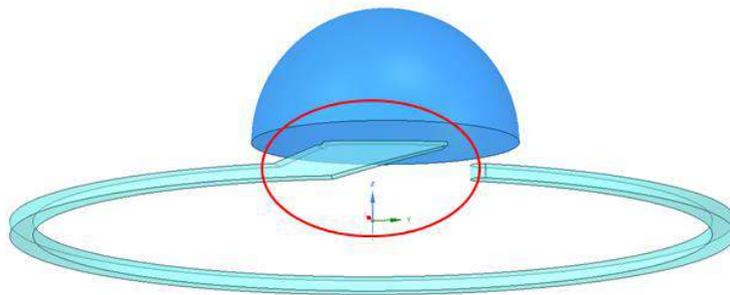


Fig. 6 Improvement of waterway inlet with a downward slope.

Fig. 7にこのモデルでボートダイビングを想定した入水条件を与えた解析結果を示す. L字形状と比較するとこの条件では入水時に内角側で空気を巻き込み易いことが予測された. この結果を受け、さらに開口部のデザインの再設計が行われた.

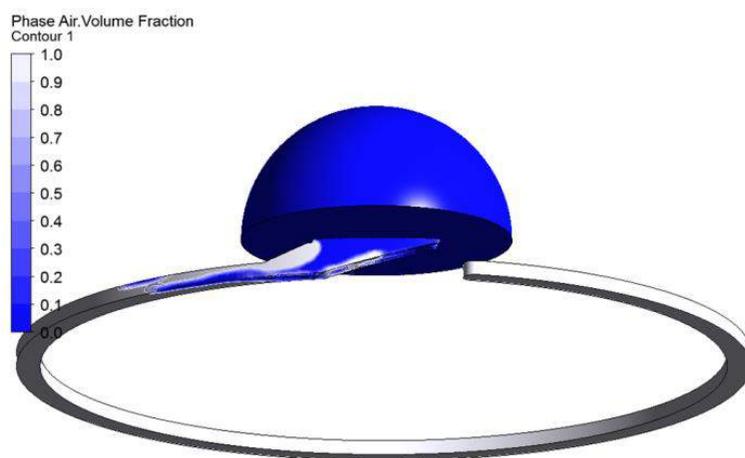


Fig. 7 Simulation model of waterway inlet with a downward slope.

## 5. まとめ

CAEにより、デザイン段階で入水傾向を予測可能となり、デプスゲージ開発のフロントローディング化に貢献できた。

## 6. 参考文献

- 1) 宮井善弘, 木田輝彦, 仲谷仁志, 巻幡敏秋: 水力学, 森北出版, 東京, pp. 96-130 (2016).

## 技術報告

# GPS アンテナの高感度化と 高精細液晶表示の省電力化技術開発

栗原正志, 水口元尊, 川口洋平

カシオ計算機株式会社 開発本部 時計開発統轄部 モジュール開発部

東京都羽村市栄町 3-2-1, 〒205-8555

(2019年3月14日受付, 2019年5月7日再受付, 2019年5月11日採録)

## Development of High-Sensitivity GPS Antenna and High-Definition, Low-Power Display System

Tadashi KURIHARA, Mototaka MINAKUCHI, and Yohei KAWAGUCHI

Casio Computer Co.,Ltd., 3-2-1, Sakaecho, Hamura-shi, Tokyo 205-8555, Japan

(Received March 13, 2019, Revised May 7, Accepted May 11, 2019)

### ABSTRACT

Casio developed the high sensitivity GPS antenna which adopted a bezel of the watch as part of antenna and the high-definition and low power consumption display system which is capable of solar driving. Thanks to this development, the watch which has usability as a conventional watch and advanced functions including GPS tracking has been realized and the positioning of the watch has been expanded.

### 1. はじめに

アップルやガーミンの機能時計をまとめてここではスマートウォッチと呼ぶことにする。

今回、高精細液晶表示と GPS 計測機能とBluetooth接続機能といったスマートウォッチに代表される機能と、時刻表示のソーラー駆動など腕時計としての使い勝手とを併せ持った G-SHOCK 「RANGEMAN」 GPR-B1000 (Fig. 1) を開発したので紹介する。

### 2. 開発の目的とポイント

様々な機能を備えながらファッション面でジャンルのひと



Fig. 1 GPR-B1000.

つとして定着しつつあるスマートウォッチの市場でのポジション拡大に対し、腕時計ブランドとして対抗すべく「時計ポジションの拡大」を開発の目的とした。

この目的を達成するために以下の開発を行なった。

- ・GPS アンテナの高感度化
- ・高精細液晶表示の省電力化

### 3. 時計ポジションの拡大

時刻表示のソーラー駆動や GPS での自動時刻修正や液晶表示の常時点灯など、これまで築き上げてきた時計としての使い勝手をベース性能としながら、GPS を用いた現在地の連続的なトラッキングで実現する GPS ナビゲーション機能など「機能拡張」と、高精細液晶表示での視認性や新ユーザインタフェース(UI) などの「性能向上」を行なった。以下は製品の主な特徴である。

#### 3. 1 ソーラーパワー

高精細液晶表示は時刻表示機能の電力向上の原因となるが、徹底的な省電力化によりソーラーでの時刻表示を実現。腕時計の使い勝手向上に貢献。

#### 3. 2 GPS ナビゲーション

サバイバルシーンを想定し、目的地に辿り着くためのナビゲーション機能を搭載。時計内蔵の GPS で計測した利用者の現在地と設定した目的地の位置関係が液晶表示で確認可能 (Fig. 2)。

ナビゲーション機能と同時に連続的に計測した利用者の現在地を時計内部に保存し、時計内蔵の Bluetooth で連携したスマートフォンへそのデータを転送することで、

行動を振り返るといった使い方 (Fig. 3) も可能。



Fig. 2 Display of GPS navigation mode.



Fig. 3 Activity log.



Fig. 4 Route setting.

その他、連携したスマートフォン上での操作によりあらかじめ行動ルートを作成し (Fig. 4) 時計の液晶表示で確認するといった使い方も可能。

### 3. 3 ワイヤレス充電

GPS ナビゲーション機能の利便性向上のため、ソーラー以外での充電機能を搭載。防水、防泥性能を保つため充電端子を時計から排除する必要があり、裏蓋の材料を従来のステンレスからセラミックに変更することで電磁誘導方式のワイヤレス充電を実現した。

## 4. GPS アンテナの高感度化

GPS ナビゲーション機能の利用可能時間は、電池容量とその機能の消費電力によって決まるが、一般的に電池容量を大きくすることは電池サイズや電池の自己放電電流を大きくするといわれている。RANGEMAN の開発においては、腕時計として許容できる製品サイズと時刻表示のソーラー駆動のために許容できる消費電力とで、電池の容量が決まってしまう。従って機能利用可能時間を満足させるために機能の消費電力の削減が必要であった。そこで従来から時刻修正機能に用いている低消費電力な GPS 用マイコンを採用し、このマイコンであっても十分な精度での現在地計測を可能とする高感度な GPS 用アンテナの開発を行なった。

### 4. 1 ベゼルアンテナの採用

今回の開発において製品の性質上 20 気圧防水の性能が要求されるが、この性能を達成するための気密構造を樹脂部品のみで構成することは困難であり金属部品を必須とした。従来から採用している気密ケース内の基板上に実装されるタイプのアンテナではアンテナ前方に配置される気密構造を構成する金属が感度に影響を及ぼし、ナビゲーション機能で要求される利得を得られないことが分かった。そこで、ケース最外に配置されるガラス保持用ステンレス製ベゼル (Fig. 5) を GPS 用アンテナとして利用する構造を採用することで、感度への悪影響を取り除いた。

アンテナ前方に金属が配置されていないことで、天頂方向の指向性に優れた (Fig. 6) アンテナが実現した。

### 4. 2 共振周波数の調整

ベゼル、ケース、回路基板のグラウンドがそれぞれ放射板、誘電体、グラウンド電極の役割を担いパッチアンテナと同様に動作しているが、単純にこの構造をとるだけでは目的の周波数に対して十分な利得を得られないことが分かった。ベゼルの形状を変更することで共振周波数の調整は可能だが、腕時計としてのデザインとアンテナの性能を両立させる必要があり、調整の手法は限られている。高周波電磁界解析ツ



Fig. 5 Stainless steel bezel antenna.

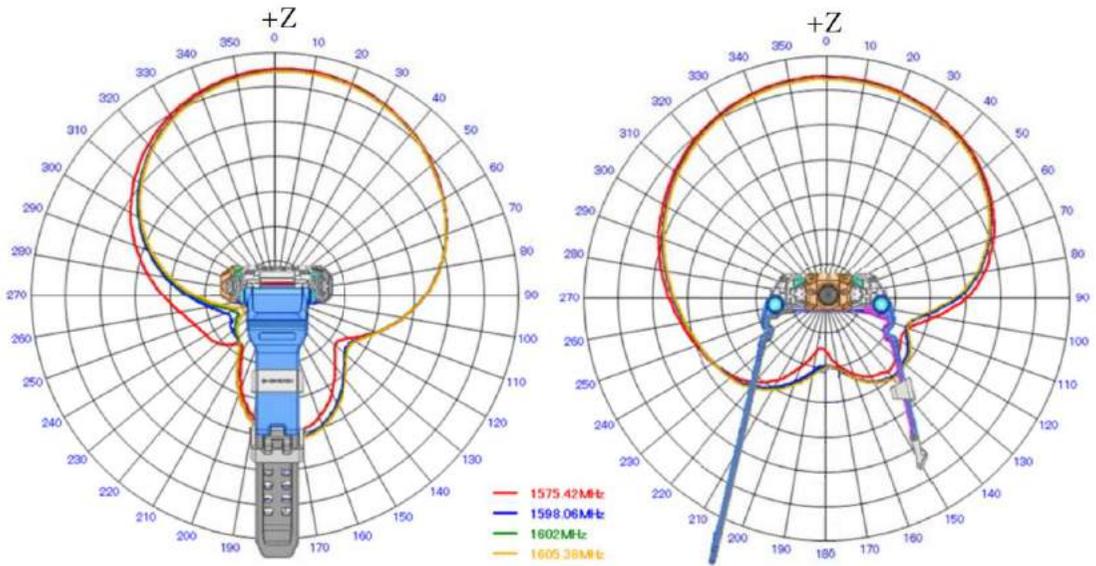


Fig. 6 Directivity of the bezel antenna shown in Fig. 5.

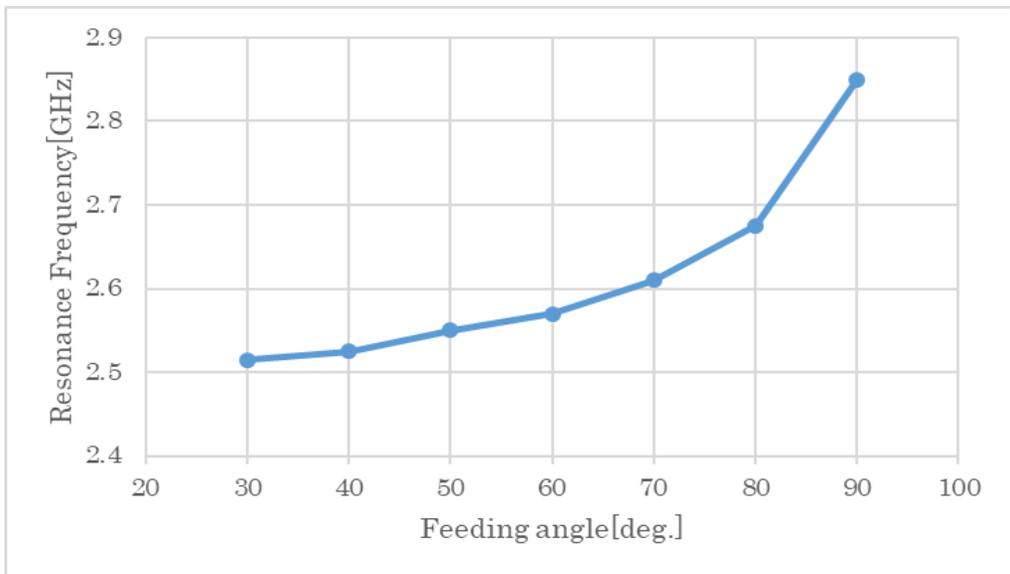


Fig. 7 Simulated relation between the resonance frequency and the angle formed by the straight line connecting the feed point and the center of the bezel and the straight line connecting the center of the bezel and the ground point.

ール ANSYS HFSS<sup>1)</sup>によるシミュレーションを行なった結果、ベゼルが基板から給電される点とベゼルがガラスを保持する円の中心点とを結ぶ直線と、ベゼルがガラスを保持する円の中心点とベゼルが基板に接地する点とを結ぶ直線が作る角度(Feeding angle)を変更することにより共振周波数を十分に調整できることが分かつ

た(Fig. 7).

上記シミュレーションの結果を踏まえ、Feeding angle が調整可能な構造(Fig. 8)を採用し、アンテナの高感度化を実現した。



Fig. 8 Terminals on the circuit board to adjust the resonance frequency.

## 5. 高精細液晶表示の省電力化

GPS ナビゲーション機能の実現や

小さな画面であっても複雑な機能を使いこなせる UI の実現のためには、表示自由度の高い高精細フルドット液晶表示が求められるが、フルドット液晶表示はセグメント液晶表示と比べて消費電力が高く、時計機能の持続時間を縮める要素であり、採用は困難である。そこで MIP (Memory In Pixel) 液晶を用いた表示システムの開発により省電力化を行なった。

### 5. 1 MIP 液晶の特徴

今回開発した MIP は TFT 液晶の画素に SRAM を内蔵した LCD である。画素毎に SRAM を内蔵していない通常の TFT 液晶の場合 1 秒間に 60 回程度の信号を送る必要がある一方で、MIP の場合は SRAM が画素毎の ON/OFF を記憶するため、信号を送り続けなくとも画面を保持することが可能である。そのため画面を保持するための電力が極めて低い。

### 5. 2 システム構成

MIP 液晶のようなフルドット表示を採用するには従来の LCD を用いた時計と比較して表示機能に必要な CPU の仕事量が大幅に増加する。汎用的な表示用ドライバを用いることで表示機能が実現可能となるのだが、これらのドライバは時計用のマイコンと比較して消費電流が大きく時刻表示のソーラー駆動は困難である。

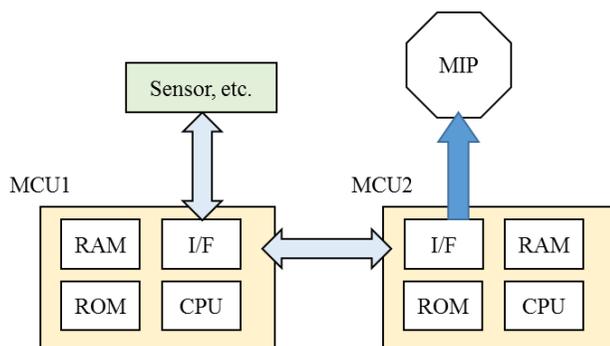


Fig. 9 Diagram of system configuration for MIP.

そこで、時計用のマイコンの2チップ構成 (Fig. 9) を採用した。MCU1 で時計各機能の制御, MCU2 で液晶表示の制御をそれぞれに分担させ役割を分散させた。これにより MCU2 の RAM を表示のみに利用可能となり、CPU の仕事量増加に対応させた。

### 5. 3 表示の部分書き換え

画面保持時に低消費電力という MIP の特長を活かすべく、時刻表示機能では秒桁の表示部分周辺のみを毎秒書き換え、分析の表示部分周辺のみを毎分書き換える仕様とし、表示の書き換えによる電力を減らした。この仕様により期待どおり MIP の性能を活かせるだけでなく、MCU2 の仕事量を削減することができ、大幅な電力削減 (Table 1) を達成した。

Table 1 Comparison of power consumption for each rewrite area.

rewrite area	power ratio for rewriting of MIP	of MCU2
All	100%	100%
minute	10%	1.5%
second	7.0%	0.50%

## 6. まとめ

高感度 GPS 用アンテナの開発と高精細液晶表示の省電力化の達成により、「機能拡張」と「性能向上」を実現し、時計ポジションが拡大した。

今後の課題として、GPS ナビゲーション機能の連続利用時間や製品サイズが挙げられる。これらの課題を解決し、さらに特定の機能を付加することで時計のポジション拡大を進めたい。

## 参考文献

- 1) <https://www.ansys.com/ja-JP/products/electronics/ansys-hfss>

技術報告

## センシング・無線通信機能を搭載した GPS衛星電波時計の開発

野澤 俊之, 近藤 温

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

(2019年3月20日受付, 2019年5月7日再受付, 2019年5月9日採録)

### Development of GPS Radio Controlled Watch with Sensing and Wireless Communication Feature

Toshiyuki NOZAWA, Atsushi KONDO

SEIKO EPSON CORPORATION, 390, Shiojiri-machi, Shiojiri, Nagano 399-0796, Japan

(Received March 20, 2019, Revised, May 7, 2019, Accepted, May 9, 2019)

#### ABSTRACT

We have developed a multifunctional GPS watch which provides automatic time adjustment, altimeter, barometer, compass and unique navigation features. In addition, this watch is equipped with Bluetooth low energy (BLE) function and can extend sensing function by using BLE. The low power consumption design allows the watch to be powered by solar cells. This report gives a technical overview.

#### 1. はじめに

GPS 衛星から放射される電波を受けて時刻を修正する GPS 衛星電波時計は、ケアフリーで正確な時刻を得られることから普及が進んでいる。我々は、GPS 衛星電波時計の基本機能に加え、アウトドアでの活動や旅行に便利なセンシング機能を備えた多機能時計"TRUME" (トゥルーム) Cal. MB8 を開発した (Fig. 1)。この製品は、セイコーエプソン株式会社が自社ブランドで展開する初めてのアナログクォーツ腕時計となる。

この時計は、気圧センサーによる気圧・気圧高度計測機能、磁気センサーによる方位計測機能を備え、さらにはユニークな機能として、方位計測と GPS 測位とを組み合わせた簡易ナビゲーション機能、センシングオプション機器で測



Fig. 1 TRUME Cal. MB8 and sensing option.

定した様々な計測値を Bluetooth® Low Energy (BLE) 通信を介して本体で表示する拡張センシング機能も備える。低消費電力化を徹底することで、多機能でありながらソーラー駆動を実現している。以下では、技術的な概要を報告する。

## 2. 本体のセンシング機能と回路構成

TRUME MB8 は、本体に気圧センサーと磁気センサーを搭載することで、気圧・気圧高度、方位計測機能を実現している。特徴的なのは、これらに加えて GPS 測位を活用した簡易的なナビゲーション機能を搭載していることである。従来の GPS 衛星電波時計においては、測位機能はタイムゾーン特定というあまり精度が必要とされない用途で使われてきたが、本機では高感度リングアンテナの特性を生かして精密な位置測定を行い、ナビゲーションを実現した。

簡易ナビゲーション機能は、出発地点において GPS 測位をして地点登録しておく、移動後の任意地点で GPS 測位を行うことで、現在地から出発地点までの方位と距離を表示する機能である。道迷いの防止や、移動距離の測定などに使うことができる。ナビゲーション時には、指針を使って北方位と出発地点の方位、出発地点までの距離を表示する。機能の概要を Fig. 2 に示す。出発地点までの方位は、地磁気で求めた磁北を基準にして表示しているが、磁北と真北との間には偏角と呼ばれるずれがあるため、磁北を基準にして出発地点の方位を表示すると偏角分の誤差が生じてしまうという問題がある。このため、北方位、出発地点の方位は磁北に対して偏角分を補正して表示する。偏角は地球上の地域によって値が異なり、登山地図や地形図にはその値が記載されているものの、一般的なユーザーには広く知られるとは言い難い。これに対応するため、出発地点の登録時に、GPS 測位で得られた緯経度から偏角を計算して自動設定する機能を備えている。

ナビゲーションにおいては、様々な場所で GPS 測位ができることが必要である。TRUME MB8



Fig. 2 Navigation function of TRUME MB8.

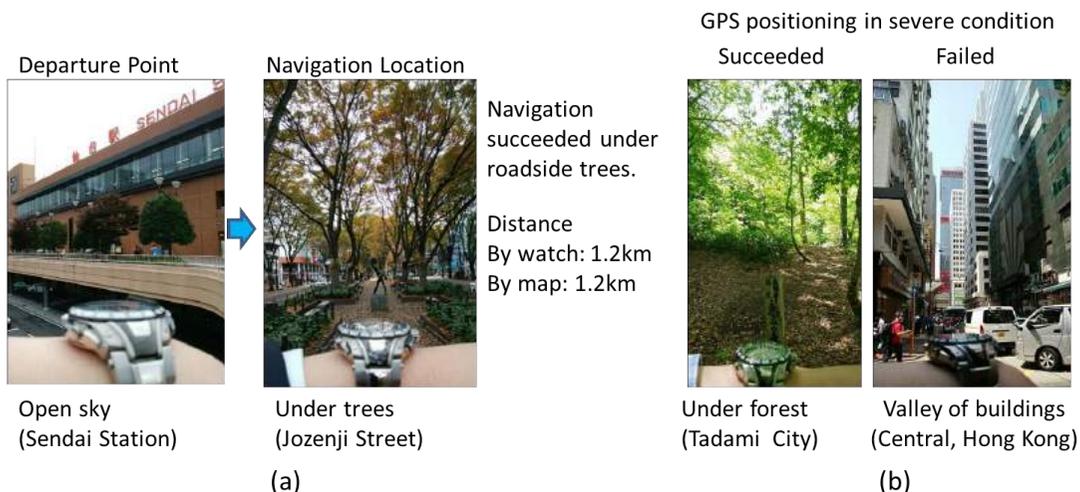


Fig. 3 GPS positioning in severe condition.

(a) Navigation under roadside trees. (b) Example of GPS positioning in severe conditions.

が採用しているリングアンテナは、他のタイプのアンテナと比較して高感度であり、GPS 衛星からの電波を比較的受信しにくい場所でも測位することができる。Fig. 3 に、受信条件が悪いときのナビゲーション例を示す。Fig.3(a) は櫛並木の下でのナビゲーション例である。街路樹の下で GPS 測位をしているにも関わらず、測位に成功するとともに、正確な距離を表示することができた。Fig.3(b) は、その他の悪条件における GPS の測位成功例と失敗例である。Fig.3(a)で示したように、多少の樹木の下では GPS 測位が可能である。樹木の下では電波が減衰するものの、リングアンテナで実現した高受信感度により測位に成功している。一方、空がほとんど見えないビルの谷間では測位に失敗した。GPS の特性上、4 基以上の衛星が見えない状況では測位できない。このケースでは、衛星は 2 基しか捕捉できなかった。このような場所では、本機に限らず、あらゆる GPS 機器で測位ができない。ナビゲーションの利用制約となる。(GPS による時刻合わせは可能である。)

また、GPS 測位は気圧高度計にも使われている。気圧高度計は、気圧から高度を求める性質上、その日の気圧によって高度が大きく変化する。このため、気圧高度計を利用する前には、高度が既知の地点において高度を校正しなくてはならない。一方、本機は GPS 測位による高度計測値を気圧高度計の校正值として設定する機能を備えている。GPS による高度計測は、平面座標の計測と比べて精度が出にくいものの、ユーザーが全く高度をわからない場合に大まかな目安として使うことができる。

ナビゲーションや後述する無線通信の制御は、時計用のマイコンでは処理負荷が重いいため、本機は時計機能や運針を司るメインマイコン (メイン MCU) に加え、センシング処理や通信制御

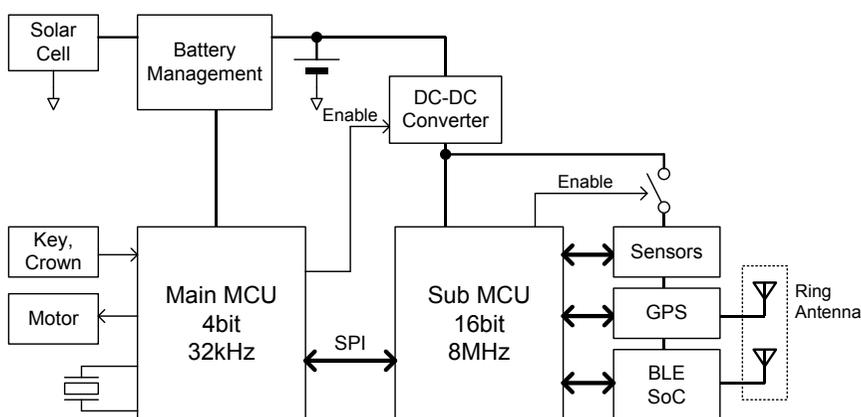


Fig. 4 Circuit block diagram of TRUME MB8.

を司るサブマイコン（サブ MCU）を採用した。サブ MCU を採用したことで、ユーザー操作に対するセンシング処理の応答が早くなり、使い勝手も向上している。回路ブロック図を Fig. 4 に示す。サブ MCU やセンサーは、機能を使っていないときには、メイン MCU からの制御で電源が完全遮断されるように設計されており、通常の時計運針時には一般的なクォーツ時計と同等の消費電流となる。これによって時計としての連続動作時間を向上させている。

サブ MCU やセンサー、GPS レシーバーは消費電流が大きいため、メイン MCU の電源とは別に高効率の DCDC コンバーターを使って生成することで消費電流を低減している。また、GPS レシーバーには自社開発の低パワー品を採用している。

GPS の制御面でも、簡易ナビゲーション時には、出発地点登録の際に衛星情報を保存しておき、ナビゲーション実行時の GPS 測位時間を短縮して消費電力を低減するとともに、ユーザーの待ち時間を短縮して使い勝手を向上させている。

### 3. 無線通信機能とセンシングオプション

TRUME MB8 は BLE による無線通信機能を備えている。これにより、センシングオプション機器 (Fig. 1) を使って本体の機能を拡張できる。オプション機器には加速度センサー、温度センサー、紫外線センサーが搭載されており、温度、歩数、歩数から計算した消費カロリー、紫外線指数 (UV Index) を計測できる。本体を操作すると、オプション機器で計測された値は無線通信で本体に送られ、指針を使って表示される。本体に内蔵する計測機能と操作体系を揃えてあるため、オプション機器での計測も、あたかも本体に内蔵された計測機能のように使うことができる。また、将来的には他の機能を持ったオプション機器と接続することも可能である。

なお、このムーブメントは、ハードウェア的には BLE を使ってスマートフォンと接続すること

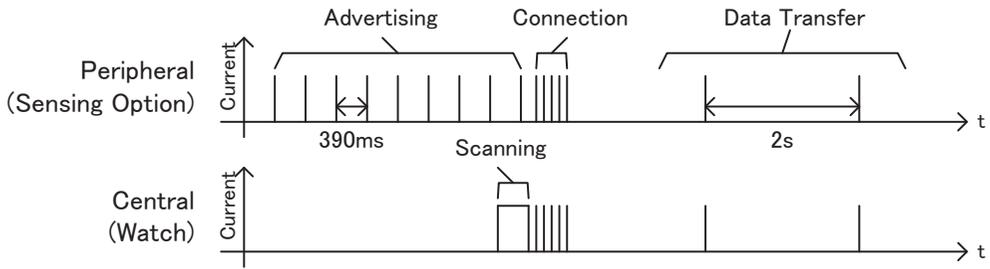


Fig. 5 Current profile of BLE communication.

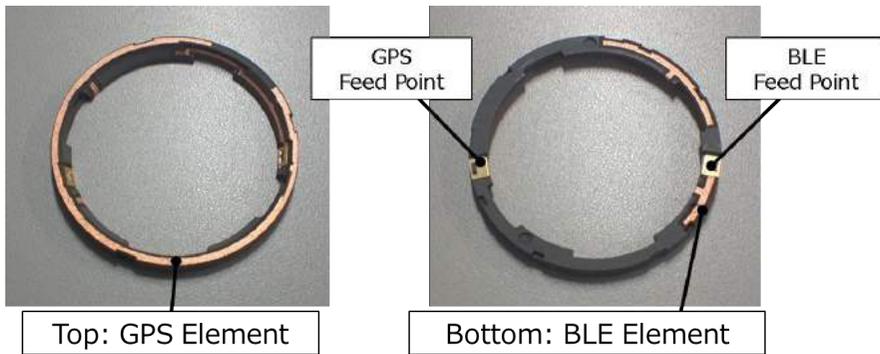


Fig. 6 Dual-band ring antenna for GPS and BLE.

ができる。本製品は時計として長期間にわたって愛用して頂きたいとの考え方から、商品サイクルの短いスマートフォンとはあえて接続しない仕様としたが、商品企画に応じてスマートフォンと連携させることも可能である。

BLE による無線通信は、時計の中では GPS 同様に突出して消費電流が多いため、平均消費電流を下げる設計がなされている。通信していないときには BLE 関連回路の電源は完全に遮断され、ほぼ電力を消費しない。また、オプション機器側がペリフェラルとなっており、本体側でアダプタイズの電力を消費しないようになっている。加えて、オプション機器側のアダプタイズ間隔を短めに設定することで、本体側のスキャン時間を短縮し、スキャンの電力を削減している。オプション機器は電池交換式であることから、ソーラー駆動の本体側よりもオプション機器側に電力を多く負担させるという設計思想である。コネクションが確立すると、コネクションインターバルを2秒に設定することで通信電流を押さえている。BLE 通信に関わる消費電流の概略図を Fig. 5 に示す。通信パラメータの設定においては、操作後の応答や表示更新頻度といったユーザーの使い勝手に加え、本体の電力収支とオプション機器の電池寿命とのバランスも考慮した。時計本体とオプション機器との通信は独自プロファイルを使用している。オプション機器は常時アダプタイズ状態にしていると電力を消費するため、歩数計に使われる加速度センサーを使って、静止時

には自動的にスリープ状態になるように制御されている。

BLE のアンテナは、GPS 用のリングアンテナに BLE 用のエレメントを追加することで実現している。Fig. 6 にこれを示す。BLE と GPS との干渉を低減するために、BLE のエレメントはリングの底面に形成し、BLE と GPS のアンテナの給電位置は円周上で対向する位置に配置している。リングアンテナはムーブメントのメカ体から飛び出して位置しているため、金属ケースを採用しているにも関わらず、GPS、BLE とともに良好な特性を得られている。

#### 4. まとめ

TRUME Cal. MB8 は、上質な質感を損なわない全指針式の時計でありながら、GPS による自動時刻修正に加え、気圧・気圧高度、方位計、簡易ナビゲーション、無線による拡張センシングといった多機能を兼ね備えた、使って楽しめる GPS 衛星電波時計である。高感度なリングアンテナの特性を生かした高精度測位で簡易ナビゲーション機能を実現するとともに、無線による拡張センシング機能を備えている。自社開発の低パワーGPS レシーバーを採用するなど、低消費電力化設計を徹底することで、多機能でありながらソーラー充電のみで動作することができる。

技術報告

## 運動強度計測とスマートフォンとの連携機能を搭載した 腕時計の開発

山崎晋, 松沢晃一, 流田寛史, 久田茂樹

カシオ計算機株式会社時計開発統轄部モジュール開発部, 東京都羽村市栄町 3-2-1, 〒205-8555

(2019年3月20日受付, 2019年5月13日再受付, 2019年5月15日採録)

### Development of a Wristwatch Equipped with Exercise Intensity Measurement and a Link Function with a Smartphone

Susumu YAMAZAKI, Kouichi MATSUZAWA, Hirofumi NAGAREDA, Shigeki HISADA

Casio Computer Co.,Ltd., 3-2-1, Sakaecho, Hamura-shi, Tokyo 205-8555, Japan

(Received March 20, 2019, Revised May 13, 2019, Accepted May 15, 2019)

#### ABSTRACT

CASIO Corporation has developed "GBA-800" as a "G-SHOCK" brand watch targeted at the scene and fashion like athleisure. In order to realize a more practical product sports watch, we have developed an algorithm that enables low-power implementation of a function that constantly measures the number of steps and determines exercise intensity using an accelerometer. And a dedicated smartphone application enables easy management of daily exercise intensity. This paper explains the technical summary of the development of GBA-800.

#### 1. はじめに

カシオ計算機はタフネスをキーワードに「構造, 素材, 機能」を進化させて常に新しい「G-SHOCK」を製品化してきた。

2017年に超低消費電力なシステムで実現した常時歩数計測機能をベースにし, 電力の増加を抑えつつ運動強度判別機能を備え且つ専用スマートフォン用アプリとの連携で運動状態の管理を可能にした男性用ミッドサイズの「G-SHOCK」(Fig. 1)を2018年に発売した。その技術概要について述べる。



Fig. 1 G-SHOCK GBA-800.

## 2. 開発のポイント

今回の歩数計測&運動強度判別機能付き G-SHOCK ではターゲットであるアスレジャーのシーンやファッションを意識するユーザーに対する訴求力を高める為、開発のポイントを以下の4項目に設定した。

- ・低消費電力運動強度算出機能の開発
- ・1日の活動が一目でわかるスマートフォン用アプリとリンク機能の開発
- ・トレーニングシーンに最適な機能の開発
- ・ワークアウト時も邪魔にならないサイズの実現

## 3. 低消費電力運動強度算出機能の開発

新機能を追加してもコイン電池使用で2年寿命の達成は必須の為、如何に電力増加を抑え且つ精度を出すかがアルゴリズム開発のポイントになる。電力、性能のバランスを考慮して時計マイコンでの処理に最適化したアルゴリズムを開発した。

以下にその内容を述べる。

### 3.1 開発アルゴリズムの前提

針運針、無線通信、など時計としての基本機能を搭載した上で目標の製品寿命を達成する為に、演算方法・演算量を時計マイコンの能力に合わせて最適化する必要がある。歩数&運動強度算出機能以外に必要な電力はおおよそ決まっているので、まずは製品寿命を確保する為の目標演算量を設定した。

【 目標演算量 < 歩数検知時演算量の20%増し 】

また、前提として、同じく低消費電力で歩数検知をターゲットにして開発したアルゴリズムを応用する為、歩行・走行時にのみ運動強度を算出する事とする。したがって、算出する値の確からしさの検証も、歩行・走行時に絞る事とする。

### 3.2 開発アルゴリズムの概略

算出する運動強度はMETsの考え方を採用する。METsの値は「歩行 or 走行の判別」とその時の「時速」をベースに算出している。従来の歩数検知のみのアルゴリズムでは、歩行でも走行でも1歩は1歩と判別できれば良かった為、演算量を抑える為に「歩行 or 走行の判別」は実施していなかった。「歩行 or 走行の判別」をする為の材料の一つとして歩行、走行時波形の振幅(例: Fig. 2のA, B)を正確に算出する必要がある。歩数のみ検知するのであれば、この振幅を正確にとらえる必要はなく、極端な言い方をすれば歩行波形以上の振幅であればよい。

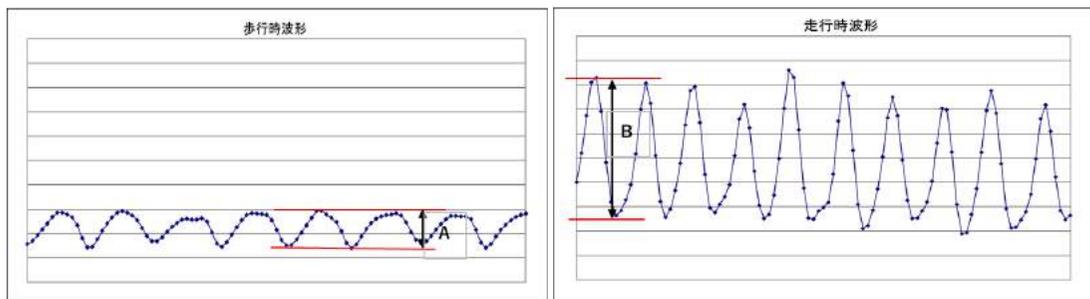


Fig. 2 Acceleration waveform example.

振幅を正確に捉える為には、通常は平方根演算など時計のマイコンにとっては重い演算を実施する必要があるのだが、今回は新たに処理量を抑えた上で振幅を正確に算出する演算方法を開発した。この振幅の情報と幾つかの情報を活用し、「歩行 or 走行の判別」を実施している。

METs 値を算出する要素のもう一つに「時速」がある。GPS を搭載していない中で、加速度センサ情報などの入手出来る情報を活用してこの「時速」を算出する必要がある。今回は「歩行 or 走行の判別」情報と加速度センサ波形を元に算出した各種情報に、ユーザー固有の情報を加えることで「時速」を算出するアルゴリズムを開発した。これら演算の過程においても、時計マイコンの負担を減らすための工夫を凝らすことで、全体の演算量の増加を抑えている。

算出した「歩行 or 走行の判別」と「時速」を使用して METs 値を算出する必要がある。目標である最小の処理量を意識すると各種演算はテーブル対応の方が有利である。しかし、これでは算出誤差が大きくなってしまう為、処理量が少なく且つ精度よく METs 値を算出するアルゴリズムを独自に開発した。

結果、最初に設定した目標の演算量をクリアし、活動量演算の機能を搭載してコイン電池使用で2年以上の寿命を達成する事が出来た。

#### 4. 1日の活動が一目でわかるスマートフォン用アプリとリンク機能の開発

搭載している Bluetooth 通信でスマートフォンと接続すれば専用アプリ「G-SHOCK Connected」(Fig. 3) を活用して機能の拡張が出来る。この接続により当然時刻の修正は実施するが、それに加えてユーザーが無意識のうちに時計で記録した活動を「G-SHOCK Connected」に転送し、その活動結果をより見やすく表現してユーザー自身のフィードバックを簡単に実施できるアプリを開発した。



Fig. 3

#### 4.1 アプリ起動画面

まず、アプリ起動した直後に当日の TOTAL の運動状態と直近 1 週間の運動状態が把握できるようになっており、ここから直観的な操作で欲しい情報が把握できるようになっている。(Fig. 4)

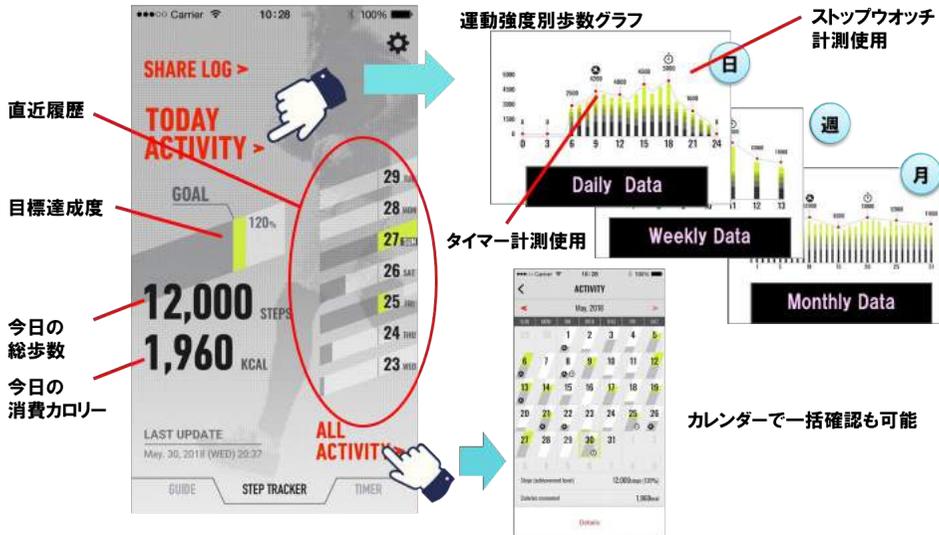


Fig. 4 Application start screen and operation example.

#### 4.2 1日の活動記録グラフ

時計内部で算出した運動強度をあえてゆっくりの歩行～早めのジョギングの5段階に振り分け、この5段階それぞれの運動で行われた歩数値を1時間毎に分割して保存する。このデータをスマートフォン側に送信して、歩数と同時にそのタイミングの運動強度を棒グラフで表現する事で時系列での活動内容が一目で判別可能になっている。歩数の棒グラフは色別に分かれた5段階運動強度を全て重ねた形で表現しており、色の割合が運動強度毎の歩数の割合を表現している。また、棒グラフの下部から上部に行くほど運動強度が高いことを意味している。(Fig. 5)

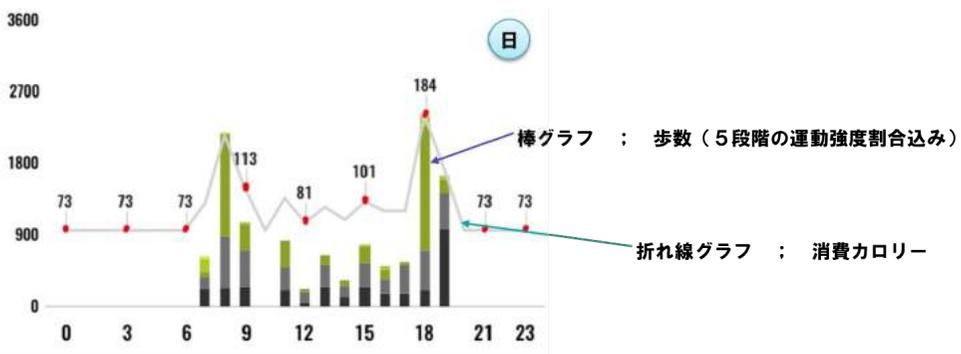


Fig. 5 Daily activity chart.

### 4. 3 スマートフォンの位置情報を活用した活動エリア表現

4. 1 および4. 2の表現はスマートフォンを持ち歩いてなくても時計内で保存したデータをスマートフォンに転送すれば成立する。加えて、スマートフォンを持って活動した場合は、スマートフォンの位置情報を利用して歩行・走行の活動をした範囲を地図上に表現する事が出来る (Fig. 6).

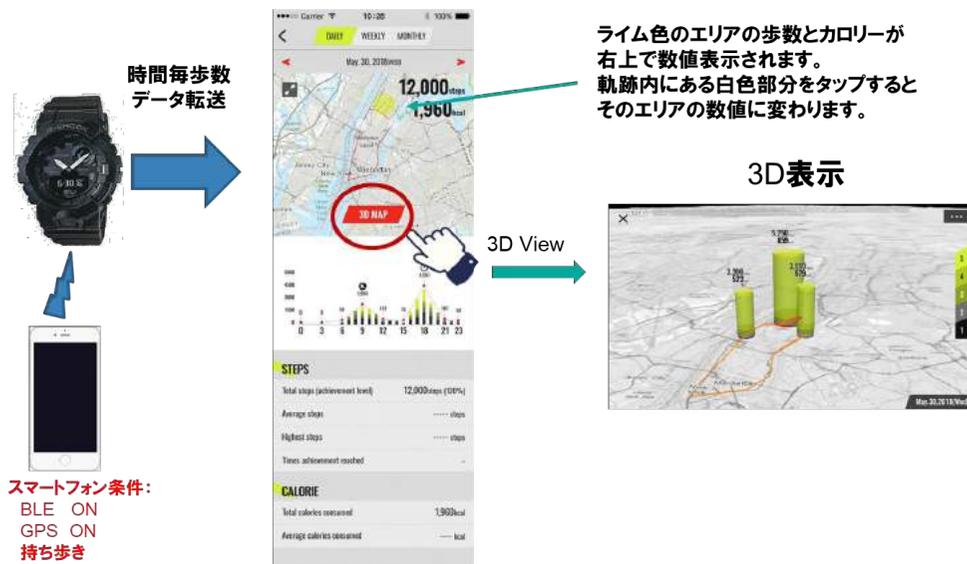


Fig. 6 Application representation utilizing location information.

さらに「3D MAP ボタン」を押すと、5段階の運動強度別の歩数値が3Dで地図上に表現される。これにより、いつ・どこで・どれくらいの運動強度で・何歩活動したかを一目で把握できる。

### 5. トレーニングシーンに最適な機能の開発

この製品のターゲットシーンであるトレーニング時を意識し、従来から搭載されているタイマー機能を拡張して、サーキットトレーニングに対応させた。しかし、複雑な時間管理を必要とするサーキットトレーニングに使うタイマーを時計単体で設定する事は難しい。そこで、この機能の設定は専用アプリを活用する事とし、UIを工夫して有効活用出来る機能に仕上げた (Fig. 7).

1つのセット内に Reset も含めた最大で5段階のトレーニング状態を設定可能で、かつそれぞれの運動時間を1秒単位で設定可能。これを繰り返すセット数も20まで設定可能なので、大体のサーキットトレーニングメニューには対応可能である。

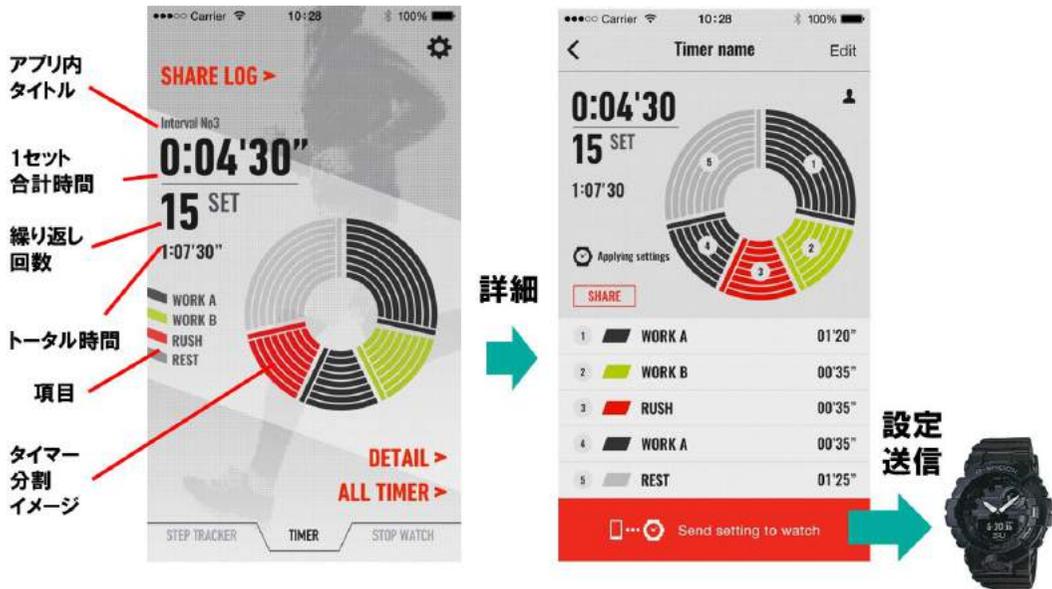


Fig. 7 Timer setting screen.



Fig. 8 Stopwatch setting screen.

アプリを活用して設定を行うことで、ユーザーは複雑なタイマー設定を容易にする事が出来、実用的な機能となっている。

この機能に加え、ストップウォッチ機能を拡張してターゲットタイム機能を追加した。これはストップウォッチを計測中にあらかじめ設定した時間になると報知する機能である (Fig. 8)。

例えば、自身が理想とするラップタイムなどをスマートフォンで設定して、設定を時計に送信した状態でトレーニングを実施した時に、設定した理想とするタイムで報音される。それにより、理想タイムに対する現状のギャップをリアルタイムに認識することが出来る。加えて、実際のラップタイムで時間をメモリするKEY操作をすることで、実際のラップタイムを保存できる。この結果をスマートフォンに送信すると、Fig. 8 のように、実際のラップタイムとターゲットタイムとの差や、ベストラップ、ワーストラップなどが一目で認識できるように一括表示される。

## 6. ワークアウト時も邪魔にならないサイズの実現

このモデルは実際に歩行や走行などの活動をしている時に使用してもらう事を前提としている。搭載している機能を実際に活かす為にも活動時に邪魔にならないサイズで仕上げる事は重要である。ここで、サイズのターゲットにしたのは GA-800 である。このモデルは G-SHOCK としては大きすぎないサイズ感で、薄さ含めて最適サイズと考えた。

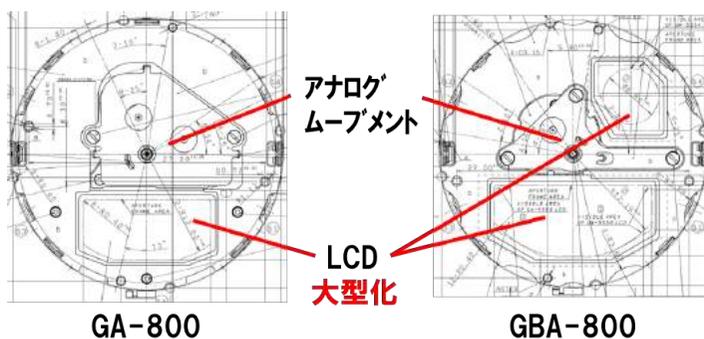


Fig. 9 Size comparison,

Fig. 9 のように GA-800 に対してアナログムーブメントを3針から2針へと変更しスペース確保をした上で LCD の2枚化&大型化、Bluetooth システム追加、歩数計システムを追加させつつ実装レイアウトを最適化することで、GA-800 と全く同じサイズのモジュールに仕上げる事が出来、活動時に活用できる製品サイズで商品化することが出来た。

## 7. おわりに

この様に新規アルゴリズム開発による機能追加，Bluetooth 通信機能を生かしたユーザビリティに優れた専用アプリやスポーツシーン向けの新機能の開発，さらにはデザインとサイズの最適化により，運動時の使用に適した時計を G-SHOCK のラインアップの中の G-SQUAD シリーズ第一弾として開発することができた．今後の課題としては，アルゴリズムを進化させて非歩行シーンの活動量検知や状態判別の性能を向上，更なる低消費電力化・小型化により，時計の利用シーンの更なる拡大を行っていくことである．

特集

時計精度の追求—クォーツ以前の時計—\*

正確な経度の測定を可能にさせた  
天才ジョン・ハリソンの時計

— 18世紀の英国におけるマリンクロノメーター

須賀 信夫\*\*

1. 緒言

「海を制するもの、世界を制す」といわれた時代があった。今でこそこの言葉は古くなってしまったが、海に面した国々、ポルトガルやスペインなどは南米から金銀を持ち出して国の財政を豊かにした。この権利をめぐって二つの国は対立するが、最後にはローマ法王が仲裁に入って南米を二分したと伝えられる。英国は島国であるため、海の安全は英国の繁栄を左右する条件となる。経度を正しく測る案が公募されたことでもその重要性が分かるであろう。

2. 経度を正しく測る国家的努力

その日、1707年の9月29日、英海軍艦隊の21隻は地中海の入口に位置するジブラルタルからの帰路、ドーバー海峡の手前で悪天候に遭遇、次々に岩礁に乗り上げて大勢の犠牲者を出すという惨事となった。ジブラルタルには海拔1,400メートルという絶壁があるので有名であるが、英国は数年前からこの一帯を管理していた。ここは狭い海峡を通して地中海に出入りする全ての船を監視することができる海の要所である。そのため、21隻の英国艦隊がこの近辺に停泊していたのだが、その帰路、彼らは悲劇的な海難に遭遇する。この日は太陽が顔を見せないため、太陽と水平線との角度（緯度）が測れず、どこが何度か決まっていない経度の測定などは論外で、進路を誤り、ドーバー海峡の西に位置する岩礁に乗り上げて、2,000名の犠牲者を出した。



図1. 1707年、英海軍の惨事。犠牲者2000名

3. 経度を正しく測る法令 1714年

多くの死者をだしたこの海難は英国にとってショックとなり、陸の見えない大海の真ん中で経度を正確に測る方法を確立することが海洋国である英国にとって急務となり、1714年には経度を正しく測る方法を公募する法令 LONGITUDE ACT(図3)が発令された。これは広く英国民からの案を募集するもので、高額の賞金が英海軍から用意され、まず、経度1度または60マイルの精度で測れる具体的な方法を提案した者には1万ポンド、その半分の高精度で経度を測る案を出した者にはその倍の2万ポンド、という賞金が提示された。これには条件が付き、英国から大西洋を渡った東インド諸島まで正しく経度が測れることが義務づけられた。応募した者たちの多くは天体や月の角度などを基準にしたが、一人だけ違う考えを持った人物が居た、時計作りの天才ジョン・ハリソンである。彼は地球の自転＝経度＝時間という関係に注目していた。

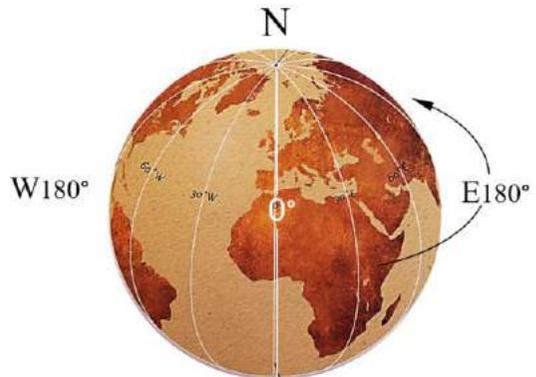


図2. 経度0度は同時にグリニッチ標準時間と一致する

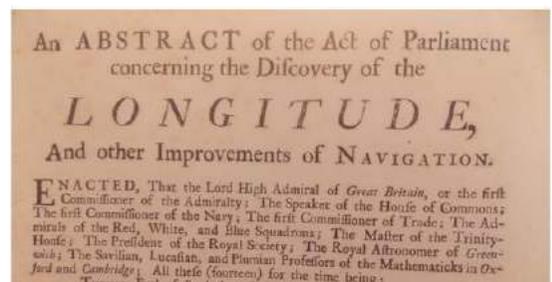


図3. 最高2万ポンドの賞金付き経度測定法令 1714年

\* 原稿受付 平成31年4月25日  
\*\* ミットヨアメリカ計測学院

#### 4. 経度と時間の同期性

この当時、経度0度、すなわち子午線の基準となる線がどの地点であるかはまだ決まっておらず、フランスではパリを通過する北極から南極までの線を経度0度とし、パリの東は東、パリの西は西、と古い地図に書き込まれていた。それが現在のグリニッチ天文台に移ったのは1884年のことで、経度の基準線（本初子午線と呼ばれる）はパリからわずか2度ほど西のグリニッチに移ってしまった。これはワシントンにおける国際会議の多数決によるものである。

前のページの図2によると、地理上の地点であるグリニッチ天文台を通過する子午線は、同じくグリニッチ標準時間 Greenwich Mean Time(GMT)と同一線上に位置している。ここを仮にゼロとすると地球の円周は360度、1日は24時間であるから、1時間経つごとに地球は15度、西から東に自転することになる ( $360/24=15$ )。もしグリニッチ標準時間が正午であって、任意の地点でのローカルタイム、あるいは海上における時間が午前11時であれば、その船は経度西15度に位置しているはずである。すなわち、経度は時間で表すことが可能で、時間の動きと経度の動きは完全に一致する。

マリンクロノメータは常に揺れる船舶専用の時計であるから振り子が使えず、代案が必要になる。それがハリソンの第1号機の場合、4個のボールで、その動きは下図6の通りである。これを周期的に動かすために「つるまきばね」がボールの間に水平にかれている。なお、H1 と呼ばれているハリソンの第1号機の部品点数は全部で1,440点であった。



図4. ハリソンの第1号機(グリニッチ天文台蔵)

#### 5. ジョン・ハリソンの生涯

ハリソンは5人兄弟の長男として生まれた。父の職業が大工であったため幼少の頃からハリソンはものを作るのが得意であった。彼は第1号機 H1 (図4) の前にも時計を作っていたが、H1 は経度法令に対する応募作品であったので、早速、船に積み込まれてリスボンまで



図5. 4番目の時計 H4 とジョン・ハリソン(1693-1776)

往復している。その結果は悪くなかったはずだが賞金を得るに至らず、この次に第2作目の H2 を作り、3番目の H3 まで作ったが、ここから彼のクロノメータのサイズは小さくなり、最終的には第4番目の H4 が認められることになった。これが経度令の厳しい条件を満し、やっと賞金に手が届きそうになった。

#### 6. 大西洋を渡りバハマまでのテスト

カリブ海に浮かぶバハマは元々スペイン領であったのだが、1718年以降、英国の植民地となり、その首都ナソーの経度が正しく知られていたため、ハリソンの4番目の時計 H4 は大西洋を渡り、東インド諸島のバハマまで往復して、その精度が確認されることになった。なかなか賞金が出なかったのは審査員がきわめて慎重であったことによる。

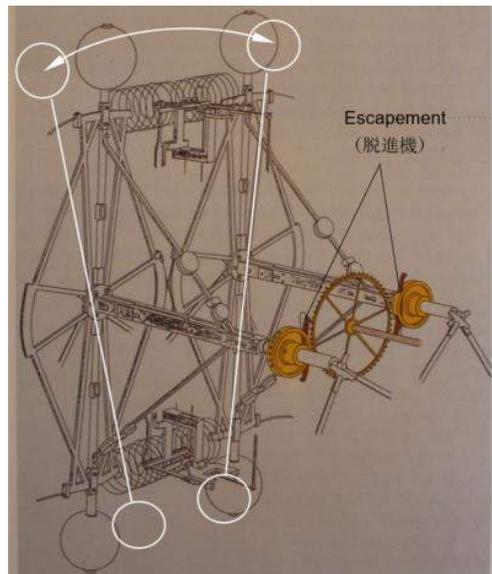


図6. 内部の構造と脱進機ガラスホッパー

## 7. H1 から H4 までの経緯

マリンクロノメータは船舶用の時計で経度を正しく求めるのが目的である。そのため、大きさには関係がなくハリソンの第1号機 H1 の全高は 60 センチ近くもあった。第2作目の H2 を完成させたあと、彼は自分で持ち歩きができる小型の時計が欲しくなり懐中時計のような小型の時計を作った。それが第3作目 H3 であるが、第4番目になる H4 の精度が認められることになり、賞金と引き換えにハリソンはその構造の秘密を公開することになる。

図7

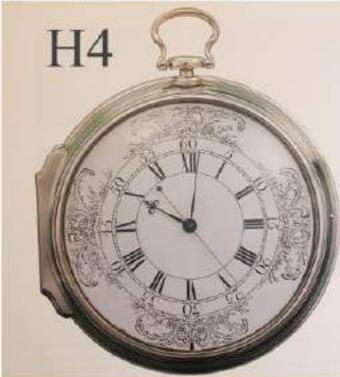


図8

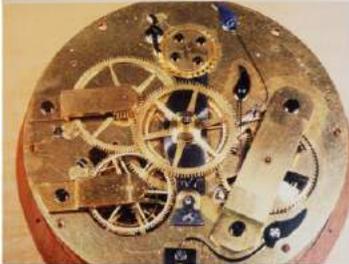


図7. 第4作目 H4 が認められる  
図8. 文字盤を外した中の構造

それはハリソン個人の時計ではなくて、他の時計作りの名工たちが同じものを作れなければ賞金をかけて公募した意味がなくなるからである。賞金を出す立場の海軍経度審議会は高額の公金を手渡すことでもあり、図面や道具類、それに組み立て方法や素材などの説明とデモを要求したため、彼のノウハウの移譲には6日間を要した。審査員にはハリソンが師と仰いだことのあるマジヤ、ハリソンの H4 のデッドコピーを作ることになるケンドルなども同席していた。この過程でハリソンは海軍が資金を出し、自分で工房を設立する案を示したが、知識が一人に集中されてしまうことを恐れて、この提は否定されてしまった。懐疑的な審査員の中で、エドモンド・ハレー（ハレー彗星の）だけはハリソンの能力を認め、便宜をはかってくれた。それでも審議が長引いたため、ハリソンは国王に直訴してやっと賞金を獲得している。

## 8. ケンドルによるハリソンのデッドコピー K1

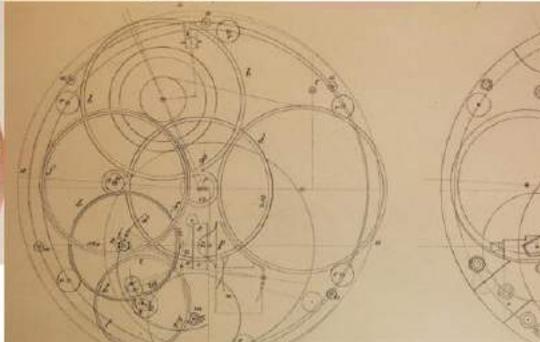
6日間に及んだハリソンの H4 の解説や図面を基にして「ハリソンの時計の原理」という本が編集され、500部が印刷された。彼の知識を広く公開することにより経度の測定に関する理解が深まることを目的とした本である。ハリソンがいた時代のロンドンには幾人かの時計作りの名工たちが住んでいて、その一人ケンドルなる者が選ばれ、ハリソンの仕様書通りのコピーを作ることになった。それがケンドルの頭文字を付けた下図の K1 である。

図9



図10.

H4 の公開図面の一部。ギヤの歯数が示されている



H4 と K1 は完全に同一物であるとして、裏蓋を外すと H1 には John Harrison & Son AD 1759 と刻印され 1759 年の作であったことが分かる。一方、K1 には Larcum Kendall と刻印されており、ここだけが違う。この写真では見えないが、軸受にはルビーが使われている。今でこそ人工ルビーは品質が均一で安価であるが、1759年のルビーは腕の利く宝石商の仕事ではなかったろうか。この作品に取り掛かる前に、ハリソンは英海軍の基金から500ポンドの補助金を得ている。振り返ってみると、最初の作品 H1 から H4 までに、24年という月日が経過していた。

ハリソンはその当時ロンドンには住んでおらず、いわゆる田舎住まいであった。そのため、1714年に発令されていた賞金付きの経度条令のことを知ったのは12年後の1726年であった。それまで彼の時計は主に木製であったが、ここからハリソンは金属製に挑戦することになった。

## 9. ハリソンの作品

ハリソンは2ページ目に紹介した最初の作品A1をいきなり完成させたわけではなかった。それ以前に数種類の時計を作っているが、その素材は硬い樫の木で構成され、年輪の密度や木目の方向に注目しながらギヤを作った。このページの上から2番目の図は最も硬い木を選んで3個で一区切りになるギヤを円周上に植え込んでいたことを示す。

## 10. 脱進機グラスホッパー

時を刻むのはエスケープメント（脱進機）の仕事であるから、これは機械式の時計の心臓部と呼べる。これまでにいくつかの脱進機が使われたとして、ハリソンのH1に用いられていたのは見ていると昆虫のバッタの足のように派手に大きく動いたらしい。そのため、グラスホッパーという愛称が与えられた。上から3番目の図は摩擦係数を小さくさせるための軸受けで、軸を受ける方も回転するので磨耗は少なかったであろう。

## 11. 後継者ケンドル

マリクロノメータというのは箱に入っていることになっているのだが、ハリソンは箱を用意していなかった。ハリソンのコピーを作ったケンドル（図9 K1）はハリソンの構造がきわめて複雑であることに気付き単純化を図った。これは船

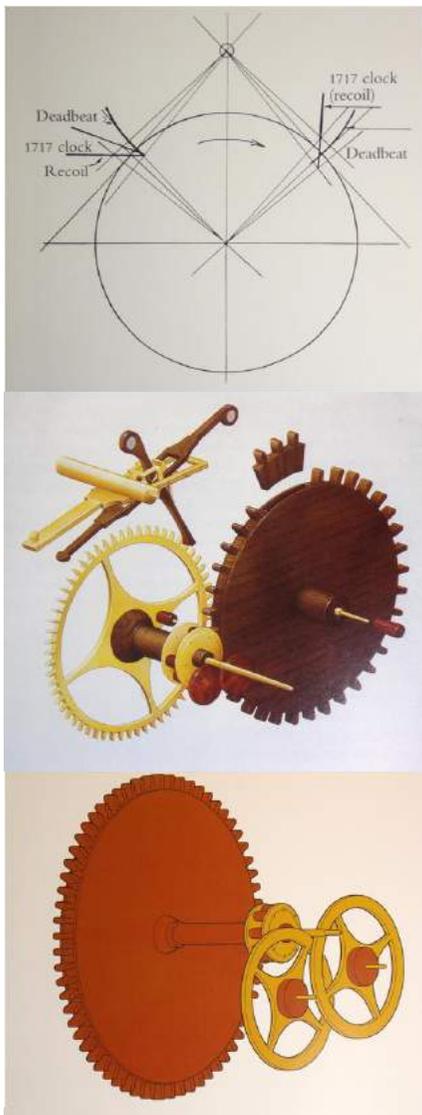


図11, 12, ハリソン脱進機 図13軸受け

舶用であって、携帯するのではないので小さくする必要はない。そこで作りやすさを考えてケンドルは部品は大きくし、それを八角形の箱に収めた。八角形のマリクロノメータの例は他にもあるが、最終的には四角い箱になり、そのスタイルは最後まで変わらなかった。ハリソンの後継者はケンドルー人だけではなく、後にジョン・アーノルドなる人物が出て、部品点数を280点までに簡素化している。

## 12. 振り子時計の精度

それまでに使われていた振り子を基にした時計の精度は1日に1分であったといわれる。それなら役に立ちそうだが、経度令に定められた条件を満足することはできなかった。その条件とは長期間に及び経度1度とか、又はその半分という精度を維持することが要求されていたからである。

仮に1日に1分の誤差を持つ時計があったとすると、60日間では60分の誤差となる。60分あれば、地球、すなわち経度は15度、東に動いてしまう。ということは、秒レベルの精度を持つ時計でないとは合格しないということである。これには賞金を目当てにして多くの提案が出され、審査員でもないのに、高名であったニュートンのところまで提案が送られてきたという。



図14



図15



図16

もう一人の時計作りの名手ケンドルはK1（図9）の後にK2とK3を作り、八角形の箱は最終的に四角い箱に変わった。

### 13. キャプテン・クックの世界三周

マリンクロノメータの恩恵を最初に享受したのは探検家のキャプテン・ジェームス・クックであった。彼はケンドルの時計 K1(図9)を携えて赤道を南下し南アメリカの最南端を通過して西に舵を取り、ヨーロッパの人間として初めて南半球のニュージーランドに到着、正確な地図を描き残している。彼はニュージーランドが二つの島から成立していることを発見し、地図に西径183度という線を書き加えた。グリニッチを経度0度とすればニュージーランドは丁度その反対側に位置することになる。この世界一周の航海に使われたケンドルの時計を彼は絶賛し、二度目の世界一周にはジョン・アーノルドのクロノメータを使った。三度目の航海のとき、彼はハワイに立ち寄り、そこで不幸にして死亡している。

キャプテン・クックの跡を追うようにして、もう一隻、英国を離れた小さい帆船があった。船の名はHMS ビーグルと呼び、この三つの頭文字は Her Majesty's Ship(女王の船)という意味で、英海軍に所属する船であることを示す。ただし、この船は学術調査のために世界一周をする船で、パナマ運河のない時代であったから、大西洋の赤道を南下し南アメリカの最南端を通過してから、今度は太平洋の赤道近くまで北上すると、西に舵をとり、赤道直下のガラパゴス諸島に到着した。

HMSビーグルにはハリソンのクロノメータが経度を正しく測れるかどうかをテストするために備えられてあった。この船に乗り合わせていた学者の一人がこの経験を基にして後に「種の起源」を著し、英国の言論界を揺るがしたチャールズ・ダーウィンであった。

### 14. 謎の5番目の作品ハリソンのH5

1776年、83才にして他界したハリソンは時計作りの天才として名を馳せ、彼のH4の構造が明るみに出るとクロノメータに対する関心が高まった。だが、ハリソンの構造は複雑で高価なものだったので、コストダウンが図られ、その動きはすでにランドルのK3(図15)から始まっていた。彼のK3はねじを一杯にしたときでも、ねじが緩んだときでも均一なトルクが伝えられるように鎖付きの巻取り装置が組み込まれ(図16マル印と下図18)、それは FUSEE と呼ばれ、クロノメータの標準仕様となった。ケンドルは K3 を1774年に作り、それ以後のクロノメータには必ずこの機構が取り入れられるようになった。一方、ハリソンはH4の構造の秘密を公開した11年後の1770年に彼の最高傑作となるH5を作っている。ただし、この時計の精度に関する秘密を彼は一生明かすことがなかった。



図17



図18

### 15. マリンクロノメータの特徴

中央の図18はクロノメータの巻き取り装置とその原理を説明するモデルである。左側の円aの中には渦巻き状をしたコイルが、それに繋いである鎖が右側の円錐状の巻き取り装置であるbにつながっている。その円錐型の先には脱進機と指針が取り付けられることになるのだが、段々と時間が経つとバネが緩んでトルクが減少する。そのため円錐形をした右側の巻き取り装置の直径はバネの力が弱くなるのに反比例して径が大きくなり、トルクを一定に保つ働きをしている。マリンクロノメータと言えば必ずこの方式が採用され、ケンドルのモデルK3(図16マル印)に採用されて以来、これ以外の方法は最後まで出てこなかった。

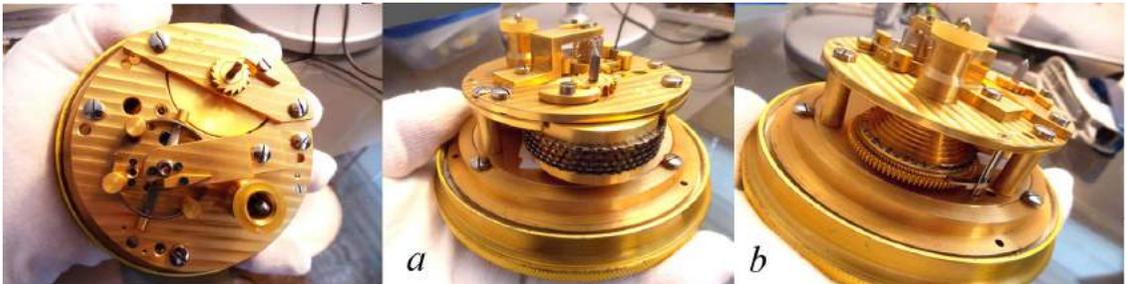


図19, 20, 21 マリンクロノメータの内部。キャップを外して逆さまにして撮影。どの機種も必ず同じ構造になる

## 16. ロシア製のマリנקロノメータ

18世紀に英国で生まれ、英国で育ち、英国で完成したマリנקロノメータはこれによって正しく経度が測れることが証明されると、英国の軍艦全部にクロノメータが配置されることになった。この傾向は他の国にも伝わり、ロシアの海軍にもロシア製のクロノメータが備わった。下がその例であるが、実に素晴らしくできている。通常、文字板はガラス越しに見るのだが、この写真では時計を撮るためガラス部 *a* を開いている。これを閉めると塵芥が中に入らないように工夫されている。時計の本体部を取り巻いているリング *b* はギムボル(Gimbal)とよばれ、これにより船がどの方向に揺れても文字板は必ず上を向くことになっている。製造年代は不明であるが1800年代の後半に製造されたものであろう。

明治維新を西暦で数えると1868年となる。それから40年も経たない1904/5年に日本とロシアは日露戦争に突入する。その直前に日本は英国と日英同盟を結んでいたため、ロシアの台頭に危機感を抱いていた英国はその管理下にあったスエズ運河の通過をバルティック艦隊に許可していない。そのため、彼らは赤道を経由して南下し、南アフリカの最南端からインド洋に入り、石炭を焚きながら、また赤道を通過して北上し、7ヶ月後にやっと対馬海峡に到達する。一方、これを迎え撃つことになる日本海軍のフラッグシップ、戦艦「三笠」はその数年前に英国で建造された最新式の軍艦で、18ノットの俊足を誇り、三笠の砲弾はどの船よりも遠くまで飛んだといわれる。左図のマリנקロノメータはロシア製であるが、これと同じものがバルティック艦隊には配置されていたはずである。

ちなみに、1942年に500台の発注を受けて製造された国産のクロノメータの誤差は1日に0.1秒であった。

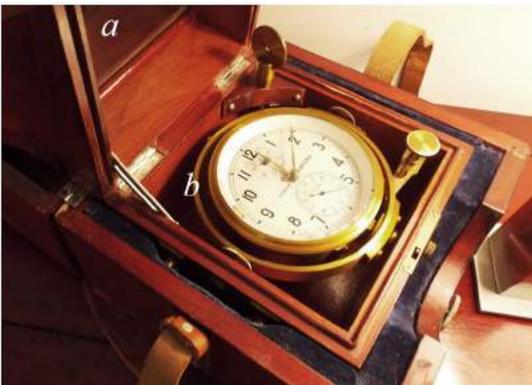


図22. 最も典型的なマリנקロノメータの様式

## 参考文献

- 1) The Quest for Longitude: William J.H. Andrews ISBN 0-9644329-0-0
- 2) The Illustrated Longitude: Dave Sobel and Wm. J.H. Andrews ISBN 1-85702-714-0
- 3) Time's Pendulum: Jo Ellen Bamett ISBN 0-15-600649-9
- 4) Ships, Clocks, and Stars: Richard Dunn and Rebekah Higgitt ISBN 978-0-06-235356
- 5) Russo-Japanese War at Sea 1904-5 Vladimir Semenov ISBN 978-1-78282-342-1
- 6) Greenwich time and the Discovery of the Longitude: Derek Howse ISBN 0 19 215948 8



須賀信夫

東京芸術大学 美術学部卒

1965年よりミットヨアメリカに勤務し主に計測学院を担当。アメリカ全土を縦横に廻り、計測技術の徹底に努力する。この各地のクラスで精密測定を学んだ技術者の数は約1万名。講演をした国々は：カナダ、アメリカ、メキシコ、ドイツ、イギリス、イタリア、ブラジル、オーストラリア、シンガポールなど。

特集

時計精度の追求ークォーツ以前の時計ー\*

ートゥールビヨンー

森 裕一\*\*

1. 緒 言

本稿では機械式時計の複雑機構の1つであるトゥールビヨンについて紹介する。トゥールビヨンの発明から200年、クォーツ時計の誕生による時計の計時精度(以下、精度と呼称統一)の飛躍的な向上と低価格化が実現した今日においても、高級時計メーカー始め各社がこの機構を搭載した時計を作り続けている。その理由はトゥールビヨンが持つ特異な魅力にあると筆者は考えている。読者の皆様も本稿をきっかけにトゥールビヨン、そして機械式時計の魅力の一端を感じていただければ幸いである。

2. トゥールビヨンとは

2.1 トゥールビヨンの仕組み

トゥールビヨンの語源はフランス語の「渦巻き(tourbillon)」である。機械式時計を構成する部品の中でも精度の要である「てんぷ」「アンクル」「がんぎ車」が収められた「キャリッジ」と呼ばれる籠が一定の速度で回転する様からその名が付けられた。その構造はキャリッジ内に軸支されたがんぎ車がベースプレートに固定された「固定車」と噛み合い、キャリッジに固定された「キャリッジかな」が香箱車から輪列を介して動力を受け回転することで、がんぎ車が固定車の周りを遊星運動しながらてんぷにエネルギーを供給する。図1にトゥールビヨンウオッチとそのムーブメント(時計の機械体)を、図2に輪列を示す。

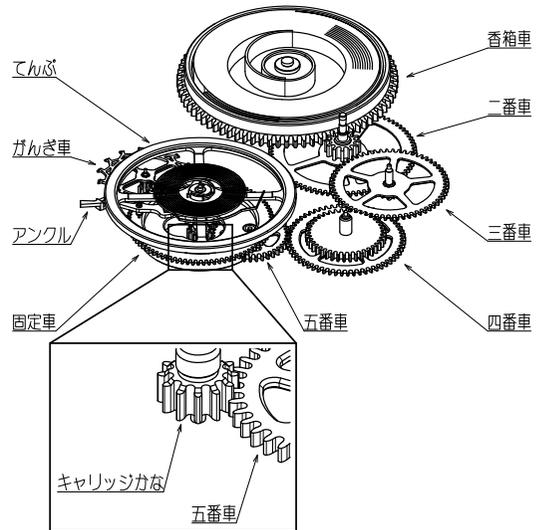


図2 トゥールビヨン搭載ムーブメントの輪列

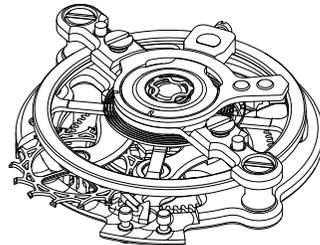


図3 トゥールビヨンキャリッジ



図1 セイコー製トゥールビヨンウオッチ<sup>2)</sup>とムーブメント

2.2 トゥールビヨンの効果

トゥールビヨンは何を目的に生まれた機構なのか。機械式時計はてんぷの往復振動の周期を指針の回転運動に置き換えて時刻を表示している。このてんぷの振動周期は理想的には常に一定であることが望ましいが、実際には様々な原因により変化する。てんぷに供給されるエネルギーの変動、温度変化による部品の伸縮、重力の影響(時計の姿勢変化)、振動や衝撃などの不規則外乱など様々<sup>3)</sup>あるが、その中の「重力の影響」を解消する機構がトゥールビヨンである。時計の文字盤が地面に対して水平である状態を「平姿勢」、垂直である状態を「立姿勢」と呼ぶ。そして立姿勢内の違い(竜頭が向いている方向の違い)による精度のばらつきを「立姿勢差」と呼ぶ。立姿勢差が生じる主な要因は、てんぷのアンバラ

\* 原稿受付 2019年4月19日

\*\* セイコーウオッチ(株)

ンスによるもの、ひげぜんまいの伸縮による重心移動によるものである。すなわち、てんぷ、ひげぜんまいにかかる重力が立姿勢差を生む原因と言い換えることができる。この立姿勢差という課題に対する解決手段として、てんぷ自体をその往復振動軸と平行な軸周りに一定周期で回転させ、ある期間において重力が360度まんべんなくかかるようにすることで、立姿勢差をキャンセルさせるというアイデアが生まれた。ここで注意しなければならないのは、トゥールビヨンにより立姿勢差は解消するが、平姿勢と立姿勢との誤差(平立差)は埋めることができない。図4に通常の機械式時計とトゥールビヨンの立姿勢差を比較した結果を示す。トゥールビヨンの効果により、立姿勢差が10~17%に減少している。<sup>4)</sup>ここで立姿勢差は0ではなく1秒/日程度の差が残っている。これはてんぷ以外の動力伝達機構も重力による影響を若干ながら受けるためである。

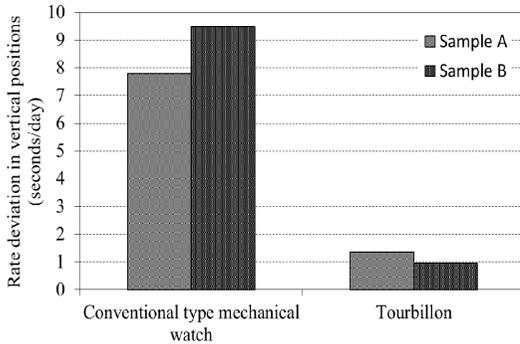


図4 立姿勢差の比較<sup>4)</sup>

### 3. トゥールビヨンの歴史

#### 3.1 トゥールビヨンの発明

トゥールビヨンの歴史についてふれていく。トゥールビヨンを発明したのはスイス・ヌーシャテル出身の時計師アブラアン・ルイ・ブレゲ (Abraham-Louis Breguet) である。<sup>5)</sup>1795年にはトゥールビヨンの発明は完成していたと伝えられているが、その特許が申請されたのは1801年である。ブレゲがパリの内務大臣に宛てた請願書の翻訳を国際時計通信第36巻第11号の著述から引用する。

「拝啓、私はこの書面を貴殿に提出することを名誉とします。この書面には、私が「トゥールビヨン」調速機と名づけた時間測定器に応用できる新しい発明の説明が記載されており、10カ年間にわたるこの調速機の製造権が要求されています。

私はこの発明によって、重心と調速機ムーブメントとのいろいろな姿勢によって生じる誤差を補正することによって抹殺して、摩擦をこの調速機のホズとホズがその中で動くところの穴との全周のすべての部分に分配して、油が凝結していても、接触点の潤滑がいつも同一であるようにして、最後に今日までしばしば苦心に苦心を重ねて試みながら成功の見込みがなかったような、ム

ーブメントの精度に多少とも影響してきた他の多くの誤差の原因を破壊して成功したのです。

これらすべての利益を、私が自由にできる完成された製造方法および、このような方法を獲得するために私が費やした著しい費用を考慮したのちに、私は私の発明の日付を確定し、私が払った犠牲に対する正当な弁償を確保するために、この特権を受けようとして決心したのであります。敬具

パリにて、9年・花の月・24日

ブレゲのサイン」<sup>5)</sup>

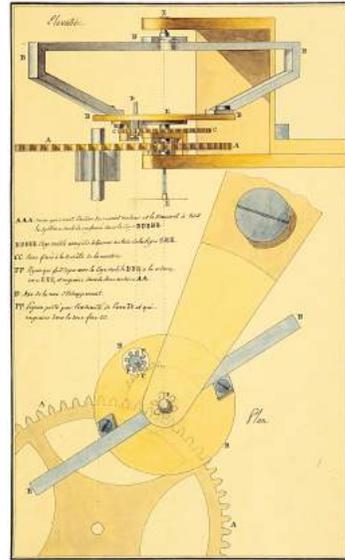


図5 ブレゲのトゥールビヨン説明図<sup>6)</sup>

トゥールビヨンが発明された19世紀初頭において、人が携帯する時計と言えば懐中時計 (Pocket watch) が主流であった。懐中時計はその名前の通り、懐 (Pocket) に入れて持ち歩くため、時計は同じ立姿勢を保たれる時間が長い。しかし、時間の確認のためポケットから出し入れをするたびに、ポケット内での立姿勢は様々に変化するため、1日の間における立姿勢差の影響が大きかった。そのため、ブレゲの発明したトゥールビヨンはその解決の大きな一手となったことであろう。ブレゲが製作した懐中時計型トゥールビヨンの中の一つ、No.169は親交の深かったイギリスのマリン・クロノメーター製作者ジョン・アーノルド (John Arnold) の製作したムーブメントを改造してトゥールビヨンを搭載したものであった。<sup>6)</sup>そしてこのトゥールビヨンはアーノルドの息子のジョン・ロジャー・アーノルドにプレゼントされた。

これより後、ブレゲの発明したトゥールビヨンは様々な時計師の手により研究され進化を遂げる。その中で、てんぷを支持するプレートの様式にも機能・デザインを工夫した様々なものが生まれた。ピゲ型、ペルゴ型、ニールセン型、ペラトン型、ランゲ型、ゴレイ型<sup>6)</sup>など現在作られているトゥールビヨンの中にもこれらの様式に範を取ったものを見ることができる。

### 3.2 カルーセル

トゥールビヨンはその構造の複雑さゆえにブレゲの時代には製造が困難であり、またその部品の緻密さゆえに動作の安定性にも課題があった。この課題の改善策としてデー・バーン・ボニクセン (Däne Bahne Bonniksen) は「カルーセル」と呼ばれる機構の特許を1892年に申請した。⑥カルーセルの語源はイタリア語の「carosello」という説<sup>7)</sup>や、スウェーデン語のメリー・ゴー・ラウンドという説<sup>8)</sup>などがある。てんぷが収められたキャリッジが回転するという点はトゥールビヨンと同じであるが、構造上の大きな違いはトゥールビヨンではベースプレートに固定されている固定車が、カルーセルでは固定されておらずそれ自体も回転するという点である。香箱車からの動力はキャリッジの回転と固定車 (カルーセルにおいては固定されていないが便宜上こう呼ぶ) の回転とに分岐される。カルーセルの特徴はキャリッジが低速 (ボニクセンが製作したものはキャリッジ1周が34分、39分、40分など) であるということである。キャリッジはてんぷ、アングル、がんぎ車を支持しているためどうしても重くなってしまうが、カルーセルはキャリッジを低速かつ大きなトルクで駆動させることで、キャリッジの重量、慣性による動力伝達の損失を軽減させることができた。

### 3.3 腕時計化

20世紀に入り、時計部品の加工技術の進歩とともにトゥールビヨンの小型化が可能となった。世界で初めて腕時計にトゥールビヨンを乗せたのは1930年、フランスの時計ブランドLIPである。⑥これ以降も、オメガやパテックフィリップからトゥールビヨン搭載の腕時計が開発された。しかし精度追求という側面において、懐中時計と違い様々な姿勢において携帯される腕時計の場合、立姿勢差のみをキャンセルするというトゥールビヨンが精度向上に寄与する効果は限定的であった。そして高振動化・てんぷの大型化といった改良が腕時計の高精度化の主流となったこともあり、トゥールビヨンはごくわずかのメーカーのみで製造されるにとどまった。さらに1970年代に始まるクォーツショックの影響もありトゥールビヨンは時計の表舞台から遠ざかることとなった。

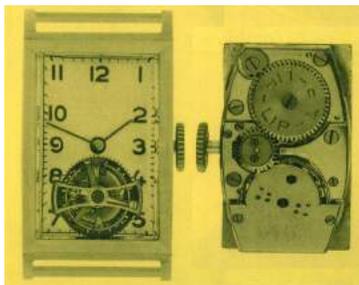


図6 LIP社の腕時計型トゥールビヨン<sup>6)</sup>

### 3.4 復活と量産化

1980年代に入ると、トゥールビヨンが復活を果たす。

1983年にブレゲが腕時計でトゥールビヨンを復活させる。さらに1986年に世界初の自動巻トゥールビヨン (腕時計) がオーデマピゲにより発表される。⑥それ以降も1990年代にかけてブランパンやオメガ、ジラールペルゴ、IWC、フランクミュラーといった名だたるブランドがトゥールビヨン搭載の腕時計を製品化していった。既に時計といえばクォーツ式が全盛の時代であり、精度においてトゥールビヨンはクォーツに到底及ばなかった。ではそんな時代になぜトゥールビヨンが復活できたのか。これは、キャリッジが回転するという動きの面白さ、複雑さ、精緻さ、さらに高級時計に相応しい仕上げの美しさが人々の感性を刺激したからであろう。ブレゲが精度向上を目指して生み出したトゥールビヨンはその後200年近くを経て、違った形で魅力を醸成させることとなった。

### 3.5 さらに進化

既に述べた通り、トゥールビヨンは立姿勢差を解消することができる。一方で時計は平姿勢、斜め姿勢など様々な姿勢において使用されるが、それらの姿勢における重力の影響は解消することができなかった。この課題に対するアプローチとしてキャリッジの回転軸を増やすという発想が生まれるのは必然であったかもしれない。複数のキャリッジ回転軸を有するトゥールビヨンを考案したのはリチャード・グッド (Richard Good) であり、1978年にこの機構を搭載した時計を製作しTokel-Tourbillonと名づけた。⑥その構造は、トゥールビヨンのキャリッジを軸支するユニットがあり、そのユニットがキャリッジの回転軸と直交するもう1つの軸で回転するというものである (図7)。この構造により、てんぷは3次元的に姿勢が変化し、立姿勢だけでなく平立差も軽減される。

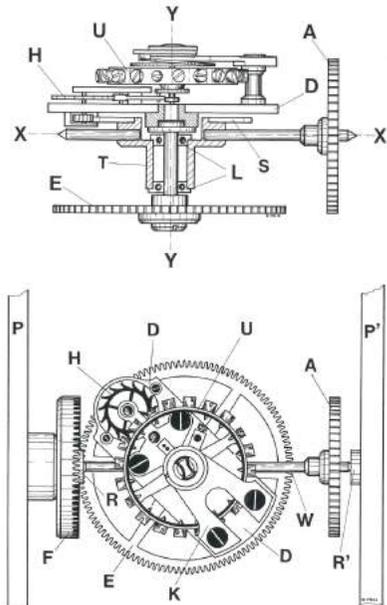


図7 2軸トゥールビヨン<sup>6)</sup>

2003年、フランクミュラーはこの2軸トゥールビオンを腕時計に搭載することに成功した。<sup>8)</sup> Tourbillon Revolution 2 と名づけられたこの時計は1分間で1回転する第1軸を有する内キャリアッジとそれに直交し8分間で1回転する第2軸を有する外キャリアッジからなるものであった。但し、この2軸トゥールビオンも姿勢差の解消という意味で完全ではなかった。第1軸はてんぶの往復振動軸と平行しており、第2軸がそれと直交している。そのため、第2軸と重力の向きが平行となる姿勢の時は、てんぶは常に立姿勢の状態であり、平立差の解消にはならない。フランクミュラーは続く2004年にさらにもう1軸を追加した3回転軸を持つトゥールビオンも製品化した(図8)。理論上はこの3軸トゥールビオンであれば時計がいかなる姿勢であっても姿勢差は解消される。



図8 フランクミュラー製3軸トゥールビオン<sup>9)</sup>

この多軸化による精度向上の試みは2004年にジャガー・ルクルトが発表したジャイロトゥールビオン(Gyrotourbillon)で一つの完成を見る。<sup>10)</sup> この時計はキャリアッジの回転軸は2軸しかないが、第1軸をてんぶの往復振動軸と直交する方向にしている。こうすることで、時計の姿勢に関わらず、常にてんぶの平姿勢と立姿勢とを交互に繰り返すこととなり、フランクミュラーの3軸トゥールビオンに近い効果を発揮することができる。



図9 ジャガー・ルクルト製ジャイロトゥールビオン<sup>10)</sup>

### 3.6 コンクールにおけるトゥールビオン

多軸トゥールビオンの完成は姿勢差の解消による精度向上という目的に対してのゴールと言うことができる。では実際の時計としての精度はどうであったのか。これを示すものとしては時計の精度を競った天文台コンクールの成績が参考になる。

1900年代初頭に行われた英国キュー天文台コンクールにおいて、トゥールビオンとカルーセルがたたき出した最高得点は93.9と92.7であり、トゥールビオンでない通常の機械式時計の最高得点91.2を上回る成績であった。<sup>7)</sup>

1948年にヌーシャテル共和国の100年祭を機に開催されたヌーシャテル天文台コンクールでは、1等賞を獲得したクロノメーター64個の中で約半数の28個がトゥールビオンであった。<sup>5)</sup>

また近年では、2009年にスイス・ルロックル時計博物館の設立50周年を記念し、かつての天文台コンクールを手本としたクロノメーター・コンクールが開催された。主な参加企業はショパール、ジャガー・ルクルト、F.P.ジュルヌ、スウォッチなどである。このコンクールでの1位はジャガー・ルクルトのトゥールビオン(Cal.978)である。さらに2位も同じくジャガー・ルクルトのジャイロトゥールビオン(Cal.174)である。この結果だけで一概にトゥールビオンの精度が通常の機械式時計より優れるとは言い切れないが、公平な審査のもとでトゥールビオンの優位性が評価されたという点で興味深い。

## 4. トゥールビオンの魅力と今後

### 4.1 魅せる時計

一般的に機械式時計の世界において4大複雑機構と呼ばれるものに、トゥールビオン、パーペチュアルカレンダー、ミニッツリピーター、スプリットセコンドクロノグラフの4つがある。<sup>11)</sup> これらはどれも複雑な機構であることには間違いないが、この中では構造が最もシンプル(部品点数という観点で)なものがトゥールビオンである。しかし、見た目の面白さ、精緻さという点ではトゥールビオンが最も魅力的であると筆者は考える。さらにトゥールビオンを特別足らしめる理由の一つは、4つの複雑機構の中で唯一トゥールビオンのみがてんぶで時を刻む機械式時計でしか実現し得ない機構であるということである。てんぶの振動と脱進機が生み出すチクタクという音と、キャリアッジが滑らかに回転する動き、聴覚と視覚の両方で時を楽しむことができるという魅力がトゥールビオンにはある。

トゥールビオンの人気を裏付けるように、スイス時計協会が実施しているアンケートにおいて、トゥールビオンは腕時計に欲しい機能として男性部門で8位、女性部門においては4位(4大複雑機構の中では1位)になっている。(表1)

表1 好きな腕時計の機能<sup>12)</sup>

機能	男性	女性
ダイバーズ (防水)	54.3 (1)	37.1 (1)
カレンダー	50.8 (2)	34.3 (2)
クロノグラフ	36.5 (3)	9.7 (7)
永久カレンダー	18.5 (4)	8.5 (9)
アラーム	17.1 (5)	14.0 (5)
世界時計	16.1 (6)	14.7 (3)
パワーリザーブ	12.7 (7)	5.2 (10)
トゥールビヨン	11.9 (8)	14.1 (4)
GMT	8.9 (9)	9.6 (8)
月齢	8.7 (10)	10.9 (6)
ミニッツリピーター	6.5 (11)	2.9 (11)
その他	4.0 (-)	8.5 (-)

注：表中の数字は割合(%), 括弧内は順位

#### 4.2 トゥールビヨンの薄型化

トゥールビヨンの精度向上は多軸化により一定の完成を見た。すると各時計メーカーはそれまで大振りであったトゥールビヨンから一転、ユーザーにとっての装着性とドレスウォッチとしての審美性、自社の技術力のアピールを目的に、トゥールビヨンの薄型化に取り組むこととなる。ここ数年で製品化された薄型トゥールビヨンを表2に示す。ムーブメント厚みが3mm前後の極薄トゥールビヨンが毎年のように製品化されている。

表2 薄型トゥールビヨン

ブランド	Cal.	ムーブメント厚	巻上	発売年
ピアジェ	600P	3.5 mm	手	2002
ブレゲ	581DR	3.0 mm	自	2013
アーノルド&サン	A&S8200	2.98 mm	手	2013
ブルガリ	BVL268	1.98 mm	手	2014
バルミジャーニフルリエ	PF517	3.4 mm	自	2017
ブルガリ	BVL288	1.98 mm	自	2018
ショパール	L.U.C 96.24-L	3.3 mm	自	2019

手：手巻  
自：自動巻

現在、世界最薄となるブルガリのトゥールビヨンはキャリッジをボールベアリングで外周支持することで、上下の軸受を無くし薄型化をしている。さらに薄型化にともなう動力の非力化を補うため、キャリッジには軽量なチタンを採用し小さなトルクでも駆動することができ

るよう工夫されている。この薄型化の潮流はトゥールビヨンに限らず機械式時計の開発競争においてしばらくは継続することになるであろう。



図10 ブルガリ製薄型トゥールビヨンとムーブメント<sup>13)</sup>

## 5 結 言

本稿を通じてトゥールビヨンの奥深さ、魅力を少しでも感じてもらうことができたであろうか。今では街の高級時計店にいけばほぼ必ずと言っていいほどトゥールビヨンが置いてある。興味を持っていただけたのであれば、ぜひ店舗に足を運び、実際にトゥールビヨンが動く様を目にし、耳を近づけて機械式時計のチクタク音を聞きながら、機械式時計ならではの魅力を全身で味わっていただきたい。

## 参考文献

- 織田一郎：時と時計の雑学辞典，ワールドフォトプレス，2008.
- クレドールホームページ：https://www.credor.com/
- 小牧昭一郎：機械式時計講座，東京大学出版会，2014.
- 森裕一：薄型トゥールビヨンウォッチの開発，マイクロメカトロニクス，Vol.61，No.216，2016.
- 国際時計通信社編集部：国際時計通信，第36巻，第11号，1995.
- Reinhard Meis：Das Tourbillon -Faszination der Uhrentechnik, Latema Magica, 1986.
- J.Eric Hanswell：Horology -The science of time measurement and the construction of clocks, watches and chronometers, Chapman and Hall,LTD., 1928.
- Dominique Flechon：The Mastery of Time -A History of Timekeeping, from the Sundial to the Wristwatch: Discoveries, Inventions, and Advances in Master Watchmaking, Flammarion, 2012.
- フランクミュラーホームページ：https://www.frankmuller-japan.com/
- ジャガー・ルクルホームページ：https://www.jaeger-lecoultre.com/
- 並木浩一：腕時計のこだわり，ソフトバンク新書，2011.
- スイス時計協会：腕時計に関する消費者意識調査2012，スイス時計協会，2012
- ブルガリホームページ：https://www.bulgari.com/



森 裕一

2008年東京工業大学院理工学研究科機械物理工学専攻卒業。同年セイコーインスツル(株)入社。機械式ムーブメントの開発に従事。

## 特集

# 時計精度の追求—クォーツ以前の時計—\*

## —和時計の精度—

横山 正尚\*\*

### 1. 緒言

本稿では和時計が誕生、発達した鎖国という世界から隔絶した状況の日本において、時計というものがどのような役割を果たし、どの程度の精度が求められたのかについて紹介したい。

### 2. 時計の発展と和時計の歴史<sup>1) 2) 3)</sup>

#### 2.1 不定時法の誕生

古代において、人類は太陽が東に昇ることによって始まり、西に没することによって終わる昼と、西に没することによって始まり、東に昇ることによって終わる夜をそれぞれ12等分することで1時間を決めた。

太陽の軌道は季節とともに変わり、また、緯度の違いによっても異なる。これによって、昼夜の始まりは同じ土地でも1年を通じて変動しており、1時間の長さも絶えず変わることになる。これが不定時法の名称の由来である。日中の労働時間を規定するこの方式は利便性が高く、世界各地で姿を変えて使用された。

#### 2.2 時刻の測定

このような不定時法の時刻をどのように測定したのか。太陽が見える昼の間は日時計によって時間を知ることができる。一方、日が沈んだ後や曇りなど太陽が見えない間に時間を知るためには一定の間隔で変化する事象を基準とする必要があり、水時計や砂時計、香時計といった時計が考案された。これらの原始的な時計は教会や富裕者によって用いられ、祈祷時間などを鐘楼によって民衆に知らせる目安として活用された。

#### 2.3 定時法と機械式時計の誕生

やがて14世紀初頭、イタリアではミラノ、フィレンツェ、ローマといった都市国家が群居し、商工業を主体とした都市文化が生まれると、不定時法による時刻制度はいろいろな面で不便を感じると同時に、商工業者にとって利害の対立を生むことが容易に想像された。

また、緯度が高くなるにつれて、季節の変化による1時間の変動が大きくなっていくことも関係し、より正確な1時間を測定する機械式時計が誕生した。なお、機械式時計の歴史についてはマイクロメカトロニクス(日本

時計学会誌) Vol. 61, No. 217 特集 機械式時計に詳しい。

#### 2.4 日本への機械式時計の伝来

1551年(天文20年)宣教師フランシスコ・ザビエルが来日した折、周防の国・山口の探題であった大内義隆にキリスト教布教の許可を願い出た。この時献上した宝物の中に重錘時計あるいは小型のゼンマイ時計が含まれていたという記録があるが、この時計は現存しない。

日本に現存する最古の機械式時計としては久能山東照宮の宝物として保管されているゼンマイ動力式時打付時計がある。これは1616年(慶長11年)スペイン国王フェリペ3世から海難救助のお礼として徳川家康へ贈られたものである。

これらはヨーロッパで製作された定時法を表示する時計であった。当時の日本では不定時法が採用されていたため、時計として用いられることはなかったと考えられる。

#### 2.5 日本における機械式時計の製作

機械式時計がキリスト教とともに伝来したとき、それと合わせてその製作技術も日本へもたらされた。宣教師たちは当時の日本人にキリスト教的教育を施すために神学校を設置し、その付属の職業学校で印刷技術やオルガン、天文機器などとともに時計制作技術を教えた。これらの教えを受けた者たちが各地の日本人鍛冶職などに時計製作技術を伝え、機械式時計が作られるようになったと考えられる。

#### 2.6 和時計の成立と終焉

1832年(天保3年)編纂の『尾張史』によると、名古屋の津田助左衛門が徳川家康の時計を修理し、それを手本に和時計を作って献上した功によって1598年(慶長3年)に召し抱えられたという。

その後まもなく、幕府は1612年の禁教令を皮切りに1635年の第3次鎖国令で外国船の入港を長崎に限定、1639年にポルトガル船の入港を禁止することでオランダ・清朝以外との国交を断った。1858年の日米修好通商条約締結をもって開国されるまでの約200年間日本の時計技術は定時法を取り高精度化していくヨーロッパと切り離され、独自の不定時法に適合していく道を歩むこととなり、後に和時計と呼ばれる時計が生み出された。

開国後、明治維新を経た日本は西洋の様々な制度を導

\* 原稿受付 2019年5月10日

\*\* セイコークロック(株)

入することで文明化を進め、1872年（明治5年）欧米との統一をはかり、太陽暦（グレゴリオ暦）への改暦を実施したことで和時計はその時計としての役目を終えた。

### 3. 和時計の精度<sup>4)</sup>

#### 3.1 初期機械式時計の调速機

最初期の機械式時計の调速機は棒天府、脱進機は冠歯車を使用した冠形脱進機であった。当然、日本に伝来した機械式時計もこの種の调速機、脱進機が用いられており、鎖国中に独自発展を遂げた和時計の多くも同様の冠形脱進機を採用した。

冠形脱進機について改めて紹介したい。今、重錘に蓄えられた位置エネルギーによって回転するドラムに輪列を介して指針車に取り付けられている。重錘が自由落下する場合、ドラムはわずかな時間で回転を終えることになり、指針は高速で回転する。この指針車の回転を長時間一定に保つために用いられるのが调速機である。

物体の落下速度を摩擦や空気抵抗などの負荷で一定に保つことは難しい。そこで、初期の時計技術者はドラムの回転を一定の間隔で止め、重錘をわずかずつ落としていくことを考えた。このために用いられたのが棒天府、冠形脱進機である。冠歯車には奇数枚の歯が切られており、重錘の落下によって一定の方向に回転する。冠歯車の歯にかみ合う位置に2枚の爪を備えた回転軸を設ける。この爪は2枚のうちいずれかが必ず冠歯車の回転を止める位置に設計されている。冠歯車の歯が奥側の爪Aを押し、回転軸はその慣性によって時計回りに回転する。やがて爪Bが手前側の歯にかかり、軸の回転が規制される。続いて冠歯車の手前側の歯が爪Bを押し出すことで、回転軸は反対（反時計）方向に回転し、爪Aが冠歯車を規制する。このようにして回転軸は往復運動を繰り返す。1度の往復で冠歯車は2歯送られ、重錘は2段階下方に移動することになる。つまり、巻き上げられた重錘が完全に落ちてしまうまでに回転軸が何度往復するかを決めることができる。しかし、回転軸が単純な棒形状では慣性が小さく、小刻みに振動をするだけになる。これでは重錘の落下する速度がわずかに遅くなるだけである。そこで回転軸に横木（天秤）を取り付け、分銅をぶら下げることで慣性モーメントを大きくする。これが棒天府である。軸の振動は、より小さい分銅を横木の内側（軸寄り）にかければ早く、より大きい分銅を外側にかければ遅くなる。これにより所望の速度で軸を振動させ、冠歯車の回転を制御することが可能となる。棒天府の往復の周期は天府体の慣性モーメントと冠歯車から伝わるトルクのバランスで決まる。冠歯車のトルクは重錘の動力によって生み出されるが、多くの場合ドラムに直結はされず、歯車などによって増速する。これは、時計の駆動時間を十分に確保するためであるが、歯車の伝達効率や歯車軸の摩擦損失、きしみなどによって冠歯車のトルクが不安定になる要因にもなる。このトルクの不安定さがそのまま棒天府の周期のばらつきにつながり、時間精度を低下させることになる。このため、棒天府と冠歯車を使用した時計の精度は日差15分程度の実力と言われている。

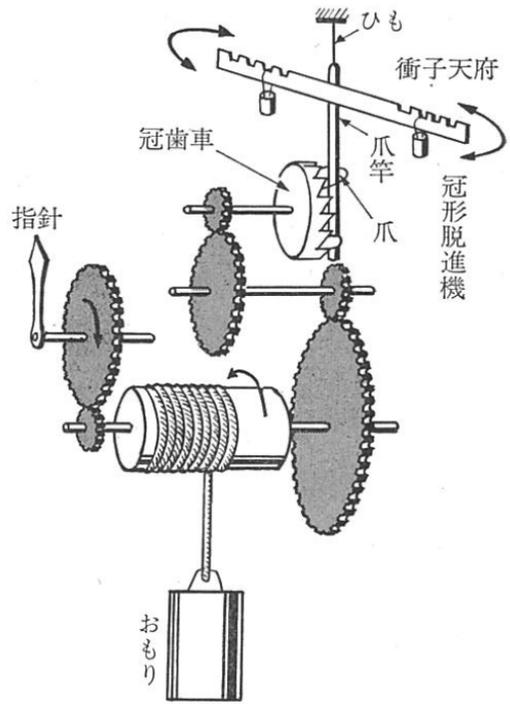


図1 初期機械式時計の構造<sup>4)</sup>

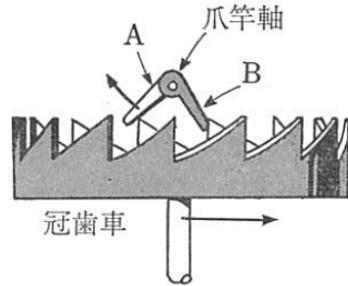


図2 冠形脱進機の作用<sup>4)</sup>

#### 3.2 和時計への適用<sup>5) 6) 7) 8)</sup>

前述の通り、和時計は初期の機械式時計を元に誕生したが、当時の日本社会では日出、日没を基準に昼と夜をそれぞれに6等分したものを一刻とするという不定時法を用いていた。一刻の長さの基準となる日出、日没の時間は季節によって移り替わるため、一刻の長さ自体が昼夜、季節によって変化する。常に同じ時を刻み続ける機械式時計でこの一刻を測るには、天府の周期はそのままにして表示を不定時法に合わせて変える方法と、天府の周期を変えてしまう方法が考えられる。

表示を変える方法を採用した時計には、駒と呼ばれる数字や干支を表す文字を動かせるようにしておく割駒式を用いた櫓時計や枕時計、割駒式、節板式、波板式の文字板を用いた尺時計などがある。

天府の周期を変える方法を採用する場合、昼夜に各 1 回、24 節季に合わせるため約 15 日に 1 回の頻度で調節をする必要がある。半月に一度ならばまだしも、日に 2 回の調節はあまりにも煩雑である。あらかじめ周期の異なる天府を持った時計を 2 台用意して使い分ける方法も考えられるが、1 台の時計で 2 つの天府を自動的に切り替えるという機構が考案された。二挺天府である。構造的には 2 つの冠歯車が同軸かつ背中合わせに取り付けられており、それぞれの冠歯車に対して 2 つの棒天府 f, g が独立して作用するようになっている。棒天府の下にはシーソー状の板 d, e があり、この板は車 c の回転で上下する。今、天府 g と冠歯車がかみ合って時計を駆動しており、天府 f は板 d に持ち上げられた状態のため冠歯車とのかみ合いが外れている。時打の数を管理するための雪車 a に立てられたピン b によって車 c が回転し、板 d, e の位置が入れ替わることで天府 g が冠歯車から外れ、変わって天府 f が冠歯車に作用する。天府 f, g の周期をそれぞれ昼、夜の一刻に合わせる、6 刻置きに切り替えることで昼夜の長短に対応する機構とした。

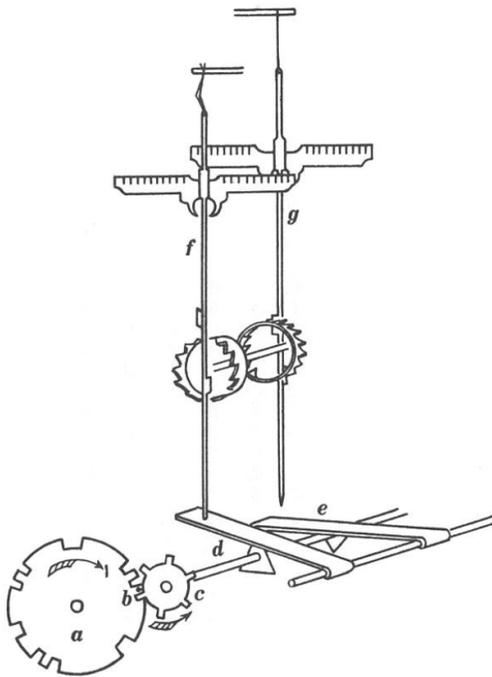


図3 二挺テンプの仕組み<sup>6)</sup>

二挺天府が登場したと言われる 17 世紀頃、西欧ではより精度の高い调速機である振り子 (1657 年)、脱進機としてはアンクル脱進機 (1676 年) が発明されていたが、これらの方式で周期を自動的に変えることは難しく、このような構造は冠形脱進機ならではものと考えられる。

### 3.3 和時計の報時

江戸時代には 1 日のうちに夜明けを告げる明六つ、正

午の昼九つ、日暮れの暮れ六つの 3 回鐘を撞きくことで民衆に時を知らせていた<sup>9)</sup>。時計が一般に普及する以前の時代、民衆が時を知る手段はこのような時の鐘によるものに限られていた。そのため和時計と呼ばれる時計はほぼ必ず鐘を備えている一方、指針は一本しかないものがほとんどである。当時の日本の時刻制度には何分という呼び名はなく、実生活上もそれほど細分化する必要がなかったために指針よりも鐘の音による報時の方がより重要視されていたと言える。

### 3.4 和時計に求められる精度

江戸の町においては城の鐘を用いて時刻を告げ、その鐘を城下の 9 か所に設置された鐘を順次鳴らしていく方法で一刻毎に報時を行っていた<sup>9)</sup>。庶民はこの「時の鐘」を基準として生活を送っており、それ以上に高精度な時刻は必要とされていなかった。「時の鐘」を鳴らす基準として櫓時計などの和時計が利用されていたが、その精度は前述のように棒天府の精度、日差約 15 分を限界とし、実際にはもっと低い精度であったものと考えられる。

## 4 結 言

江戸時代の日本では、日常生活で必要とされる以上の精度追及はなされなかった。現在の高精度、高機能な時計とは異なる和時計の魅力に触れてみてはどうだろうか。

現在でも上野の国立科学博物館や、セイコーミュージアムなどには当時の和時計が展示されている。

### 参考文献

- 1) 大西平三 「時計の歴史」, 1983) 『時計百科事典』精密工業新聞社
- 2) 山口隆二 (1981) 「和時計について」 Vol.255-260
- 3) M. ドラモンド・ロバートソン (1983) 「和時計」 (大西平三訳) Vol.267-276  
以上 2 編 『国際時計通信』 国際時計通信社
- 4) 国友秀夫・佐藤政弘 (昭和 43 年) 「時計の発達」 『わかりやすい最新時計学』 pp.21-22
- 5) 塚田泰三郎 (昭和 35 年) 『和時計』 東峰書院
- 6) 塚田泰三郎・本田親蔵 (1989) 『新装改訂版 古時計』 東峰書房
- 7) 小田幸子編 (1994) 『セイコー時計資料館 和時計図録』セイコー時計資料館
- 8) 上口愚朗 「大名時計」 (1983) 『時計百科事典』精密工業新聞社
- 9) セイコーミュージアム ホームページ <https://museum.seiko.co.jp/>

横山 正尚

2005 年 芝浦工業大学工学研究科機械工学専攻修士課程修了。

同年セイコークロック (株) 入社。

クロック応用製品の開発に従事

特集

時計精度の追求—クォーツ以前の時計—\*

—音叉時計—

鈴木 紀寿\*\*

1. 緒言

音叉時計とは、時計の精度を司っていたテンプレからクォーツに切り替わる間に存在し、十数年の短命で終わった時計である。それゆえ技術文献も多くは見られない。今回紹介する技術内容は、シチズン時計が以前販売していた音叉時計の技術資料を基に紹介する。更に、音叉時計で知られるブローバ社が 50 周年で復刻した際の資料も交えて紹介する。

2. 音叉時計の誕生

1953 年、スイス ビエンヌのブローバ研究所勤務の マックス・ヘツェル (Max Hetzel) 氏が、音叉を用いた計時装置を特許で記載している。そして、同じブローバ社より 1960 年に商品化された音叉時計を「アキュトロン」として販売を開始した。その後、ブローバ社とのライセンス契約で、オメガやラドー等のその他メーカーからも音叉時計が販売され始める。シチズン時計はブローバ社と協業して、ブローバシチズンを設立し、ブローバ社のムーブメント Cal.218 を、Cal.3700 として 1971 年に販売を開始。

この音叉時計の出現により時計精度は日差から月差へと進歩した。

3. 音叉とは

音叉は図 1 に示す様に左右対称の形をしており、先端に永久磁石がついたカップが固定されている可動磁石型である。この 2 個の永久磁石から振動を持続する為のエネルギーが音叉に供給され、1 秒間に 360 振動=360Hz する。この 360Hz の振動数は音叉自体のバネ定数や先端の重さ等で必然的に決まる事になる。

音叉には、必ず等量の姿勢差がある。図 1 の左側の

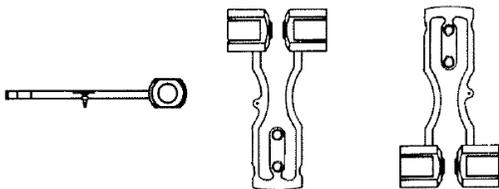


図 1 シチズン Cal. 3700 の音叉

姿勢を水平としてこれを基準とすれば、図 1 の中央の姿勢が上向きとなり重力の影響で遅れ、図 1 の右側の姿勢が下向きとなり進み傾向になる。これは一般的なテンプレ式の腕時計が 5 姿勢で影響を受けるのに対し、音叉式では 2 姿勢となり、振動数が高い事と共に携帯精度が大幅に向上したものであった。

4. 構造および作動

音叉時計の精度解説の前に簡単に構造について説明する。なお基本的な音叉時計の構造や駆動原理等はインターネット上に様々な動画や解説がされているので参考にすると良い。

主な構成を図 2 に示す。図 2 に示す様にボタン型電池を動力源として電子回路から流れる電流で前述の通り 1 秒間に 360 振動=360Hz の固有振動数をもつ小型の音叉を振動させこれを調速機に使い、また振動している音叉に超小型のラチェット機構からなる変換機 (送り爪方式) を施す事により回転運動に変え、この回転から輪列を経て針を動かす。

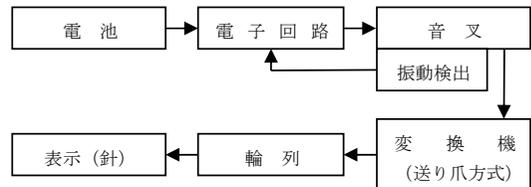


図 2 ブロック図

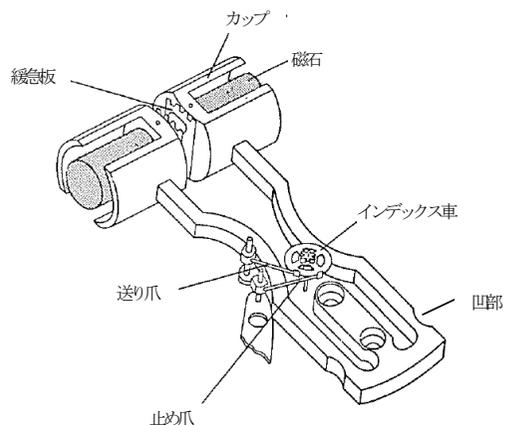


図 3 音叉と変換機

\* 原稿受付 2019 年 5 月 13 日

\*\* シチズン時計

次に図3で音叉近傍の構成を示す。音叉先端の磁石とカップの間には、電子回路から接続された駆動コイルが両端に備わる(図示無し)。更に片方の駆動コイル内には、音叉が振動した事(動いた事)を検出する検出コイルが内蔵されている。この事から電池を組込むと電子回路に音叉を振動させる力(自励発進作用)が発生し音叉は振動を始める。音叉の振動(動く)を検出すると検出コイルから音叉の速度(振幅)に比例した誘起電流が発生し、音叉が振動中心にくるとそれは最大となる。この時駆動コイルに電流を流す事で、音叉の振動を持続させようとする力が発生する。一方、検出コイルと同時に駆動コイルにも音叉の振幅に比例した誘起電圧が発生するが、これは音叉の振幅が大きくなると、駆動コイルに流れる電流を増やし、次の振幅を元に戻す事となる。この様にして、逆起電流となって音叉の異常振幅を正常に保つ働きをする。

超小型のラチェット機構からなる変換機は、音叉に固定された送り爪、超小型のインデックス車、地板に固定された止め爪で構成される。送り爪、止め爪共先端に貴石(送り爪石、止め爪石)が取付けられ、送り爪石、止め爪石は、わずかな接触圧でインデックス車の歯に接している。音叉に固定された送り爪は、音叉が1振動する毎にインデックス車を正確に1歯ずつ送っていく。止め爪はインデックス車が規則正しい回転をする為に、常に逆回転方向に力を作用して、送り爪でインデックス車を送った後、止め爪で規制の位置に止めるという「送る」→「止める」→「送る」という繰り返しを1秒間に360回行なう事になる。参考までにインデックス車、送り爪石、止め爪石のイメージと実際の拡大写真を図4、図5に示す。

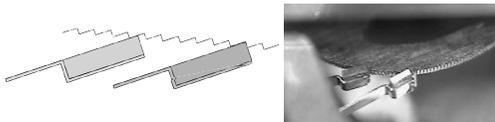


図4 左が「止め爪石」、右が「送り爪石」

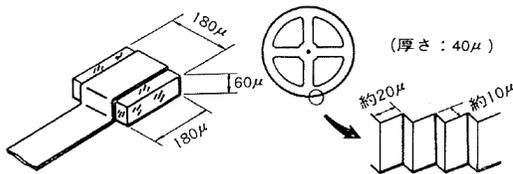


図5 爪石とインデックス歯車のサイズ

## 5. 精度

発売当時「高振動でしかも安定した音叉の振動は、1ヶ月1分以上の誤差を生じない」との事から月差±1分としている。この精度の源は、音叉を如何に360振動させるかに尽きる。ここで再度図3へ戻り説明する。実際

に生産する上では、使用する材料のバネ定数や音叉自体の厚さや形状、更に先端に取り付けたカップや磁石の重さ等を考慮して図3の音叉形状に組立てた時点では360振動よりも早い振動数になる様にする。ここで図3の音叉の根元に「凹部」が左右対称にある事がわかる。この両端の「凹部」を均等に削る事で音叉自体の剛性を下げ、つまりは振動数を下げていくのである。

360振動に音叉を合わせ腕時計になった後からもわずかな精度調整は可能になっている。図3記載の「緩急板」である。音叉の先端に左右対称に1個づつ取り付けており最終の微動緩急装置である。緩急板は回転出来る様に取り付けており音叉の重心位置を移動させる事で進み遅れを可能にしている。緩急板には7つの刻み目がある。1刻みの移動量が日差4秒分に相当し7か所あるので進み遅れの幅として28秒分に相当する。緩急板は、外側に回すと「遅れ」内側に回すと「進み」となる。よって最大の調整量は1日で±14秒分といえる。

次に音叉時計の姿勢差について述べる。冒頭音叉には2姿勢の姿勢差があると説明したが実測データから見てみる。図6から図11はそれぞれの姿勢を表している。この計測に使用した腕時計は、図12のブローパ社の復刻時計である。音叉の方向はスケルトンになっている為理解しやすい。各図より2つのコイルが見て取れるが、コイルの部分が音叉の先端である。



図6 「平」姿勢



図7 「伏せ」姿勢



図8 「3時上」姿勢



図9 「12時上」姿勢



図10 「9時上」姿勢



図11 「6時上」姿勢

表1は、「平」状態を基準とした時の5個の腕時計の平均データである。

平	±0.0 秒/日
伏せ	-0.3 秒/日
3時上	+0.1 秒/日
12時上	-4.6 秒/日
9時上	-0.9 秒/日
6時上	+4.2 秒/日

表1 歩度データ

360 振動の音叉時計の場合、約 9 秒程度の姿勢差である事がわかる。この特徴を知っていると寝る前に時刻を確認して時計の置く向きで時刻の微調整をしていたとの話も聞く。



図12 ブローバ アクエトロン復刻モデル

姿勢と共に時間精度に影響を与えるのが温度である。温度が機械式時計同様、ヒゲゼンマイのバネ定数に影響を与える様に音叉のバネ定数にも影響を与える。更に音叉時計では、コイル抵抗値にも変化を与える。温度が上がるとコイル抵抗値は大きくなり、つまりは電流が流れにくくなるため音叉に与える力は弱くなる。逆に温度が下がるとコイル抵抗値は小さくなり音叉に与える力は強くなる。この時の音叉のバネ定数により振幅が決まってくる。

音叉時計は電源を投入する事により音叉自体の振幅を始めるが、電源投入と同時に 360 振動にはならない。安定した振幅になるまでには一定期間必要になる。これは音叉自体の振幅が安定するのに時間を要する事とムーブメントの振動がケースに吸収され、この吸収された状態が安定するまでに時間が必要になる為と考えられている。過去の事例では音叉自体の安定した振幅を得るまでには 2 日以上必要と考えられている。その為、一番最初に発売されたブローバの音叉時計には電源オフスイッチ（節電スイッチ）が付いていない。電池を投入後、電池がなくなるまで音叉を振動させ続けている。更に音叉の振動

が止まらないと言う事で、「4. 構造および作動」で説明した通りインデックス車を回転し続ける。つまりは、秒針の停止をする事は出来ない。その後、精度の高さをアピールするうえでも秒針停止機構付きの音叉時計が出現する。但し、音叉自体の振動を止めてしまうと安定した振幅までに時間がかかる為、音叉を止めずに、送り爪とインデックス歯車との噛み合いを切り離し音叉自体から来る駆動力を切り離した。これにより秒針までの正確な時刻を合わせる事が出来ると共に、秒スタートの時にも音叉の安定した振幅をそのまま提供できる事としている。更には販売先への輸送時間と電池寿命を考慮して、電源オフスイッチ（節電スイッチ）付も後々登場する。この電源オフスイッチは、時刻修正と秒針停止とは別に付けられている。

## 6. 音叉時計の特徴

音叉時計の特徴は何と云っても耳に近づけると「キーン」という音である。これは 360 振動している音叉から発している。音と同時に特徴があるのは「スイープ運針」をする秒針。6° 刻みの秒目盛に 360 ステップで 1 秒間を移動している為、滑らかな動きとなっている。精度は前述の通り。電池寿命は約 1 年間。また当時のテンブ式とは異なり磁力に強い事も特徴の一つと言える。

当時を振り返ると、機械式時計の精度は「日差」であり駆動時間は「時」単位、テンブ式電子時計は「日差」と駆動時間は「年」単位に代わり、音叉式電子時計で「月差」と「年」単位へと変化した。その単位はクォーツ時計へ引き継がれた。

## 7. 結 言

本稿では、シチズン時計が 1970 年代に発売していた音叉時計の技術解説書を主に記述した。

ブローバ社では 2010 年にアクエトロンの復刻モデル（図 12）を発売しているが復刻製作にあたりブローバ社、シチズン時計共に古い資料を持ち寄り製作にあたったが当時の生産装置は既になく、その様な中で製作する事は困難を極めた事を追記しておく。しかし音叉の固有振動とコイルの駆動力の最適化を図り当時に比べ電池自体も性能が向上した事から寿命は 2 年以上に伸ばしている。

参考に音叉時計は 360Hz の一種の交流磁場を利用して駆動を行っている。昨今は当時では考えられなかった通信技術の発達により交流磁場が身近に溢れている。交通機関の自動改札機や電子マネーの通信、更には携帯通信機器の外部充電も交流磁場となる。先の音叉時計を復刻製作の際に自動改札機からと思われる時刻ずれの影響が起きた事も追記しておく。

### 参考文献

- 1) シチズン時計 Cal.37※※ 技術解説書

## 研究会報告

### 原子時計の2つの方向性：高精度化と小型消費電力化

講師 井戸 哲也 氏

国立研究開発法人 情報通信研究機構 電磁波研究所 時空標準研究室 室長

参加者 24名 (正会員 20名, 賛助会員・非会員 4名, 学生会員 0名)

シチズン時計 (株)	5名 (正会員4名, 賛助会員1名)
セイコーインスツル (株)	4名 (正会員4名)
セイコーエプソン (株)	4名 (正会員2名, 賛助会員2名)
セイコークロック (株)	2名 (正会員2名)
カシオ計算機 (株)	3名 (正会員2名, 賛助会員1名)
横浜国立大学 大学院	1名 (正会員1名)
千葉工業大学	1名 (正会員1名)
(一社) 日本時計協会	1名 (正会員1名)
その他	3名 (正会員3名)

司会 重城 幸一郎 セイコーインスツル (株) 時計設計部 開発グループ

\*2018年11月9日 中央大学 後楽園キャンパス 2号館7階2735号室にて開催

## 第 1 部 講演

### 1. 時刻を刻む方法

時刻を刻むためには、周波数の変動が少ない発振器がまず必要であるが、周波数変動が少ない発振器としては原子時計が広く使われている。原子遷移を周波数の基準とする有用性は半世紀前に既に認識され、国際単位系における 1 秒は 1967 年にセシウム原子の超微細構造遷移の周波数を  $9,192,631,770\text{Hz}$  とすることで定義された。しかし、原子時計は正確な 1 秒間を生成できるが、正確な時刻は生成出来ない。時刻はどの瞬間を 0:00 とするか、という人為的なものであり、現在世界的に共有されている標準時刻は協定世界時(Coordinated Universal Time, UTC)である。あくまで時刻としてはこの協定世界時と同期した時刻を生成する必要がある。NICT では多数台の水素メーザー原子時計やセシウム原子時計を組み合わせることによって冗長性を持ちかつ周波数安定度を高めた UTC 互換の時刻信号 UTC(NICT)を生成しており、衛星リンクによって UTC と同期を取り、必要に応じて信号の歩度を調整することで、UTC(NICT)の 20 ナノ秒以内の UTC に対する同期精度を維持している。日本標準時は UTC(NICT)を 9 時間進めたものであり、これを国民の皆様へ常時供給している。一方で、国家標準時としては他国に依存せず自力で正確に時を刻み続ける能力も必要であり、そのため UTC に対するリンクのみならず、安定して稼働する周波数標準を自ら持つことが重要である。

### 2. 原子の光学遷移を利用する光格子時計

半世紀前にセシウムの原子遷移によって秒の定義がなされたときは、セシウム周波数標準の不確かさが 10 桁程度であり、そのため定義値はそれに対応した桁数となっていた。しかしながら、その後進歩を遂げて現在では  $2 \times 10^{-16}$  程度まで不確かさが小さくなった[1]。しかし、その進歩は直近の 10 年間で停滞しており、かつ 16 乗台前半の不確かさを安定に維持して稼働している原子泉標準はごくわずかとなっている。一方、今世紀に入って開発が本格化した原子の光学遷移を利用する光周波数標準は現在最も小さい不確かさで  $2 \times 10^{-18}$  程度となっている [2]。光周波数標準の方式としては光格子時計と単一イオン光時計の 2 方式があるが、光格子時計については日本発であり、多数の原子を利用するため、一般に高い周波数安定度が得られる。原子遷移の中心周波数を得るためには、狭い共鳴線幅を実験的に得る必要がある。光格子時計では光トラップにおいて時計遷移の上下状態の光シフト量を一致させることで共鳴周波数の光シフトをゼロとし、単一イオントラップ同様のドップラー広がりがない狭い共鳴線幅を実現し、なおかつこれを多数原子に由来する高い信号強度で得ることができる。

光時計の相対的な不確かさがセシウムによる周波数標準をはるかに超えるようになった今、国

際単位系の 1 秒の定義を変えるべきではないか、という議論が生じている。国際度量衡委員会では今世紀に入ってからすでにこの流れを見据えて、Cs 遷移の代替として周波数が高精度に測定されている原子遷移の周波数値を不確かさと共に示して秒の二次表現とし、不確かさを持った形で秒の代わりに使用することを認めている。この二次表現のリストにおいては、世界各国からの周波数測定の数値に基づいて年々不確かさが下がっており、いずれかの時点で秒の定義を変更することが企図されている。現在、多数の二次表現の中で最も小さい不確かさを示しているものはストロンチウム光格子時計であり、その遷移周波数  $429,228,004,229,873.0\text{Hz}$  における不確かさは  $4 \times 10^{-16}$  となっている [3]。この不確かさは値を出すための物差しである Cs 標準の不確かさで制限されていることに注意されたい。

### 3. 光格子時計の応用例

NICT では、最も不確かさの小さい Cs 原子泉周波数標準を超える、確度  $5 \times 10^{-17}$  のストロンチウム光格子時計が稼働しており、これを時刻信号生成に利用することを検討している。2016 年には、水素メーザーの周波数を光格子時計で間欠的に校正し、ここから水素メーザーの周波数変動を高精度に予測してそれを補償することで半年間にあたり信号を生成することができている [4]。この時刻信号は、国際度量衡局が 400 台以上の世界中の商用原子時計や、セシウム原子泉標準による協定世界時の歩度測定結果等、得られる全てのデータを入れて計算する最も高精度な時刻信号 (BIPM 地球時) と比較した結果、2ns 以内の同期精度を 5 ヶ月間にわたり保っていた。光標準に開発の中心が移る中、研究所において原子泉型セシウム原子周波数標準を維持することは困難になりつつあるため、このように光格子時計を利用して時系信号を生成することは今後の協定世界時の精度維持のためにも極めて意義深いことである。

また、光格子時計は最も不確かさが小さいもので  $10^{-18}$  におよび、この不確かさは一般相対論による重力シフトに換算すると cm オーダーとなる。一般相対論によれば、重力ポテンシャル差  $\Delta U$  の 2 地点においた時計は歩度が比率にして  $\Delta U/c^2$  違う。重力加速度  $g=9.8\text{m/s}^2$  とすると、1cm の標高差によって  $(9.8 \times 0.01 / (3 \times 10^8)^2) = 1.1 \times 10^{-18}$  の相対的な周波数差が出てくる。したがってこの 2 地点を光ファイバで繋いで生成される周波数差を測定すると、何らかの重力ポテンシャルの時間変動を迅速に検出することができる。このような実験については、まず最初に 2011 年に NICT と東大の間を光ファイバで結び、両地点の標高差に相当する 2.6Hz 程度の周波数差を 429THz の遷移周波数に生じることが確認された [5]。その後、現在では国内で東大-理研間 [6]、海外ではフランス-ドイツ間 [7] 等でそれぞれ  $10^{-18}$ ,  $10^{-17}$  台で別の標高差計測と整合性のある結果が得られている。

#### 4. 小型原子時計の現状

光周波数標準の性能が従来のマイクロ波域原子周波数標準を超えた今でも、携帯端末に搭載可能なレベルまでの小型化という観点では、マイクロ波原子時計に分がある。前世紀のマイクロ波原子時計は基本的に原子にマイクロ波を照射する必要があるため、必然的にマイクロ波波長程度のアンテナや共振器が必要になるため、mm レベルまでの極小化は不可能と思われていた。しかしながら、レーザーダイオードにマイクロ波周波数で変調を施して、原子遷移に相当する周波数差の 2 つの光周波数成分を発生させ、これを同時に原子と相互作用させることで、変調周波数が原子のマイクロ波遷移と合致しているかを判定可能とすることが提案され、2000 年頃実現された。この技術を利用した原子時計はチップスケール原子時計(Chip scale atomic clock, CSAC)と呼ばれ、現在では Microsemi 社より 40×35×12 mm の商用品も販売されている。しかし携帯端末への搭載を狙うには、現状からの一段の極小化が望まれ、またそれ以上に低消費電力化が望まれている。実際、現行の商用品は 0.12W の消費電力があり、この消費電力では携帯電話向けリチウムイオン電池で 10 時間も持たない。

この消費電力、原子時計の心臓部である量子部やレーザーが支配的かと思いきや、実は現状では 3.4GHz の発振器が 40%を占めている。一般に GHz 帯の高安定な発振器は LC 発振器の周波数を分周して MHz 帯に落とした上で高安定な水晶発振器に PLL することで得られる。しかしこの場合、LC 発振器・水晶発振器・分周回路等多数の構成要素から必然的に消費電力が増えてしまう。また、価格低減のためのもう一つの鍵は量子部の量産性向上である。現行の商用品ではガラスマクロセルを利用し、量子部の組み立て工数が大きい。これを MEMS 技術やシリコンウェハプロセス等、量産性の上がる手法に代替することも必要である。

#### 5. FBAR を利用した GHz 発振器

NICT ではこれらの現在の CSAC の課題を解決すべく、新しいアプローチで CSAC のチップ化を目指している。Film bulk acoustic resonator (FBAR)は GHz 域に高 Q 値の機械共振周波数を持ち、表面弾性波フィルタより更に高い GHz 域の受信フィルタ等に利用されている。NICT では、太陽誘電株式会社から 3GHz 帯 FBAR のサンプル品を提供してもらい、発振器とするための LSI を東工大と共同で設計・製作し、2017 年に消費電力わずか 9mW で発振する 3GHz

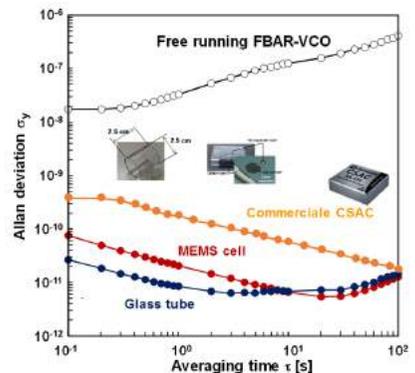


図1:FBAR 発振器を利用した CSAC の安定度

帯発振器を開発した。この発振器は FBAR の高い Q 値のために、発振器としての安定度が高く、分周+PLL で MHz 帯に周波数を落として水晶発振器に安定化することなく、原子の超微細構造遷

移のマイクロ波分光が出来る．図 1 に示すように開発した 3.4GHzFBAR 発振器はフリーランでは  $\sim 10^{-8}$  の短期安定度であるが，Rb が封入してあるガラス管セルを利用して原子線に安定化することで商用品の CSAC よりも 1 桁以上良好な安定度が得られている．NICT では東北大学と共同で MEMS 技術を利用した量産性に優れた極小セルの可能性も追求している．手始めにシリコン基板に穴を明け，これを両方から光学ガラスで挟み込む形で直径 3mm，長さ 3mm のセルを作成し，これに Rb を封入して原子時計動作を実現した．図に示すように得られた安定度はガラス管セルに比べて短期安定度にして数倍悪いが，それでも現行商用品より 1 桁近い安定度の改善が見られる．これら CSAC に関する詳細情報は論文[8]にまとめてあるので参照されたい．

## 6. まとめ

現在の原子時計の開発における 2 つの方向性，すなわち，より小さい不確かさを求める光周波数標準と，携帯電話にも搭載可能なサイズ及び消費電力の極小化を狙う CSAC について概説した．これらの 2 つの方向は一件独立しているように見受けられるが，筆者は将来この両者を組み合わせてシステムとすることで新しい時刻周波数標準を利用するアプリケーションが花開くと考えている．複数の光格子時計が光ファイバネットワークで接続され，またこのネットワークにおいては高精度な時刻周波数標準が常時得られることで，CSAC を搭載したスマートフォン等は CSAC の発振周波数を容易に校正でき，このため携帯端末は高精度な時刻源を持つことができる．このため，極めて効率的に基地局との位置・時刻認証をすることが可能となると推測され，また個々の携帯端末が正確な時刻を自立して持つことによって，通信帯域を時分割共有する 5G 通信等において通信効率が劇的に向上される潜在力も持っている．

## 参考文献

- [1] S. Weyers *et al.*, *Metrologia* **55**, 789 (2018); (open access on preprint server: <https://arxiv.org/abs/1809.03362>)
- [2] M. F. McGrew *et al.*, *Nature* **564**, 87 (2018);(open access on preprint server: <https://arxiv.org/abs/1807.11282>)
- [3] F. Riehle *et al.*, *Metrologia* **55**, 188 (2018).
- [4] H. Hachisu, *et al.*, *Scientific Reports* **8**, 4243 (2018). (open access)
- [5] A. Yamaguchi, *et al.*, *Applied Physics Express* **4**, 082203 (2011). (open access)
- [6] T. Takano *et al.*, *Nature Photonics* **10**, 662 (2016);(OA on preprint server: <https://arxiv.org/abs/1608.07650>)
- [7] C. Lisdat *et al.*, *Nature Communications* **7**, 12443 (2016). (open access)
- [8] M. Hara *et al.*, *Review of Scientific Instruments* **89**, 105002 (2018). (open access)

## 質疑応答

質問 1 : 原子時計が高精度化されることにより、どのような応用事例が想定されるのか？

回答 1 : 例えば、自宅と腕時計のそれぞれに高精度な時計があり、出発前に同期させることで、帰宅時にワンタイムパスワードのように同期した時刻情報を用いたセキュリティが可能となる。あるいは、防災時の高精度な位置情報収集、位置認証など多数の応用が考えられる。

質問 2 : 小型原子時計では、どのような応用事例が想定されるのか？

回答 2 : 加速度計あるいはジャイロセンサーと高精度な原子時計との連動により、GPS 等の外部からの情報無しに、移動距離や移動方向を独立した算出が可能となるため、地下の掘削機、ドローンなど自律的なロボットの実現につながる。あるいは、今後 IoT として多数のセンサが配置された場合、通信に用いられる電波周波数に限りがあるため、混線等の課題が考えられる。これに対して、高精度な時計をセンサに内蔵することで、同じ周波数を使いながらも、送受信を細かい時間分解し対応が可能となる。その他にもいくつかの応用例については、割愛。

質問 3 : 光格子時計などの高精度原子時計をネットワーク化された場合の展望に関する説明があったが、具体的に NICT 内部でネットワーク部門との協業されている例はあるのか？

回答 3 : 現時点では、ネットワーク部門としてそこまで高精度な時計に関してのニーズが無いということで、具体的な共同研究は行われていない。

質問 4 : CSAC (Chip Scale Atomic Clock) に関して、開発ロードマップはあるのか？

回答 4 : 本格的な開発着手が 2016 年であり、研究成果が出始めている状況である。このため、まだキチンとしたロードマップは無いが、今後は必要だと考えている。

質問 5 : 光格子時計による高度差測定事例として、NICT-東大間を接続した研究成果があったが、両者を接続した光ケーブルは、専用の回線なのか？それとも、一般の通信回線なのか？

回答 5 : NICT は以前から、NICT-大手町間の専用光ファイバ回線を事業会社より借り、これを高速光通信の開発のためのテストベッドとして利用している。今回の実験ではこの回線に加えて別途大手町-本郷間を別の事業会社から借りて大手町で両者を接続することで、NICT-東大間を接続した。

その他、多数の質疑が行われましたが、紙面の都合により、一部割愛させていただきます。

## 研究会報告

# CNC 画像測定システムによる寸法/形状自動測定技術の 概要、導入事例とソフトウェア技術

講師 (株) ニコンインステック  
産業機器営業本部 営業サポート室 大家 清  
産業機器営業本部 営業推進部 柴田 秀和  
(株) ニコン  
産業機器事業部 開発部 第三開発課 門元 伸吾

参加者 18名 (正会員 10名, 協賛学会員 1名, 賛助会員 7名, 学生会員 0名)

自営業	1名 (正会員 1名)
カシオ計算機株式会社	2名 (賛助会員 2名)
シチズン時計マニファクチャリング株式会社	4名 (賛助会員 4名)
セイコーウオッチ株式会社	1名 (正会員 1名)
セイコーエプソン株式会社	3名 (正会員 3名)
千葉工業大学	1名 (正会員 1名)
中央大学	1名 (正会員 1名)
長岡造形大学	1名 (正会員 1名)
名古屋大学	1名 (協賛学会員 1名)
セイコークロック株式会社	3名 (正会員 2名, 賛助会員 1名)

司会 横山 正尚 セイコークロック株式会社 技術部

※2019年4月19日 中央大学 後楽園キャンパス新2号館7階2735号室にて開催

## 第1部 講演

### はじめに

射出成型品，精密機械加工品，半導体，電子部品など，同じ品質が要求される大量生産の製造現場を支える高精度な自動測定を実現した CNC 画像測定システム「NEXIV」シリーズ。  
その概要とこれまでの国内外での導入事例について紹介。

## 1. CNC 画像測定機 NEXIV シリーズの概要とソフトウェア

### 1-1 画像測定機とは

CCD カメラにより，測定物の画像を拡大して X, Y, Z の座標軸での寸法・形状を測定する装置。  
CNC 画像測定機では非接触での測定が可能のため，薄い測定物や変形しやすい測定物でも測定することができる。

また，部品の微細な三次元形状を測定することも可能。

原理は測定物のエッジを認識するセンサー部（画像処理キャリパー，レーザーAF キャリパー）を使用して座標値を取り込み（幾何）形状として処理する演算部で直線，円を計算させる。

構成は以下。

1. CCD カメラ XYZ の位置と同期して画像を取り込む
2. ズーム鏡筒 長い作動距離 明るい光学系・低収差レンズ内蔵
3. ステージ プログラムされた位置に高精度で X, Y 方向に移動
4. 周辺ハード レンズを通して照射する TTL (Through The Lens) レーザーオートフォーカス  
(注：VMA ヘッドは外付けのレーザーオートフォーカス)  
LED リング照明 (37° , 55° , 78° の3段階角度可変+8方向切り替え)  
(注:タイプ4とVMAは1段階+8方向切り替え.タイプTZはLEDリング照明無し)
5. パソコン部 **画像処理ソフト** 高速，高性能なエッジ検出機能  
**寸法・形状測定アプリ** 長さ・幾何寸法の測定演算を行なう

画像測定機の特長

1. 光学的拡大
  - ・レンズを用いて測定物を光学的に拡大できる。
  - ・微細部位の測定および高分解能化→高精度化に有利。

## 2. 非接触

- ・接触圧による測定物の変形を防ぐことができ、接触痕をつける恐れがない。
- ・高速化にも適する。

## 3. 画像処理測定

- ・人間の判断によらないため、個人誤差を除去できる。
- ・疲労感がない。
- ・高速・高精度測定で、自動化に適する。

### 1-2 CNC 画像測定機 NEXIV シリーズ

#### VMZ-R

ステージサイズは 3020, 4540, 6555 の 3 種類

ズームヘッドはタイプ A, 標準ヘッド (タイプ 1, 2, 3), タイプ 4, タイプ TZ の 6 種類

#### H3030 (超高精度タイプ)

ステージサイズは 300mmX300mm のみ

ズームヘッドは標準ヘッド (タイプ 1, 2, 3), タイプ 4, タイプ TZ の 5 種類

#### VMA

ステージサイズは 2520, 4540, 6555 の 3 種類

ズームヘッドはタイプ A のみ

各ズームヘッドの光学倍率と視野 (FOV) は以下となる。

	0.35	0.5	0.6	1	1.8	2	3.5	4	7.5	8	15	16	30	32	60	64	120
タイプ1		●	●	●	●	●	●	●	●								
タイプ2			●	●	●	●	●	●	●	●	●						
タイプ3				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			
タイプ4					●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
タイプTZ				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
タイプA	●	●	●	●	●	●	●	●	●								
	13.3 10.0	9.33 7.01	7.8 5.8	4.7 3.5	2.6 1.9	2.33 1.75	1.33 1.00	1.165 0.876	0.622 0.467	0.582 0.437	0.311 0.233	0.291 0.218	0.155 0.117	0.146 0.109	0.07 0.068	$\varnothing$	0.039 0.029

#### 照明

- ・透過照明
- ・垂直落射 (反射) 照明

- ・LED リング照明 (37° , 55° , 78° の3段階角度可変+8方向切り替え)

(注: タイプ4とVMAは1段階+8方向切り替えでタイプTZはLEDリング照明は無し)

### 1-3 NEXIV でできること

- ・画像処理による座標測定・自動測定

キャリパーでエッジ検出(明暗の境目)して寸法測定

(例)

2点間距離, 点と直線の距離(交点座標)

円の直径, 半径, 真円度, 位置度, 2円の中心の距離

直線の角度, 真直度

- ・画像合成

オプションソフト EDF/Stitching Express による画像合成

EDF (Extended Depth of Focus) Z方向の合成で全焦点立体画像を作成

Stitching XY方向の張り合わせで広範囲の画像を作成

EDF/Stitching Z方向+XY方向合成画像で広範囲全焦点立体画像を作成

- ・形状評価ソフト(NEXIV Profiler)での輪郭度測定(チャート測定)

部品の形状をCADデータと比較

- ① サンプルの外形から点群データを取得
- ② CADデータと点群データの誤差を計算  
(原点合わせ, 軸合わせ, ベストフィット等 選択可能)
- ③ 最大誤差の絶対値の2倍を輪郭度として出力  
(サンプル画像と合成してレポート可能)

- ・歯車測定

歯車測定コード(標準搭載)で各評価が可能。対象はインボリュートスプライン歯形

- ・対応歯車

平歯車(転位歯車を含む)内歯平歯車(転位歯車を含む)ラック

- ・評価項目

円ピッチ, 単一, 隣接, 累積ピッチ誤差, 法線ピッチ, 法線ピッチ誤差

歯ミゾフレ, マタギ歯厚(最大, 最小), オーバーピン径(最大, 最小)

歯厚（弦歯厚最大，最小），歯形，歯形誤差

- ・レーザーAF測定
  - ・高さ測定（点と点の高さ，点と平面の高さ）
  - ・倣いレーザー（Scan Laser）オートフォーカス機能(VMA ヘッドは非搭載)
  - ・断面形状測定
    - ① TTL（Through The Lens）レーザーでスキヤニングして点群データを取得
    - ② プロファイラー（標準ソフト）で形状確認
    - ③ XZ, XY 断面の高さ，幅，角度等の簡易計測が可能
  
- ・粗さ評価
  - ① TTL レーザーでスキヤニングして点群データを取得
  - ② 標準機能で1軸の直線粗さ評価が可能（注：標準ヘッドはスポット径約10 $\mu$ m）
    - \*面粗さ評価はオプションソフト(Mountain's map)で可能
  
- ・オプションソフト(Mountain's map)での立体形状評価
  - ① TTL レーザーでスキヤニングして点群データを取得
  - ② オプションソフト(Mountain's map)で読み込み
  - ③ 面のうねりを評価
  - ④ 3D 画像，体積計算，面の切り取り，面粗さ，形状と粗さの分離 評価可能

#### 1-4 共焦点（コンフォーカル）光学系による立体計測

- ・明視野光学系＋共焦点（コンフォーカル）光学系の両方を搭載
- ・視野内一括高さ測定＋2次元寸法測定が1台で可能
- ・ステージ移動をとまなう広範囲の平坦度測定が可能
  - ① 微細な高さ測定が可能
    - ・実力値0.1 $\mu$ mの繰り返し精度
    - ・微小エリアの高さ検出可能
    - ・不定点検出（指定エリア内の最高点，最低点）が可能
  
  - ②ステージ移動を伴う測定精度を保証
    - ・コンフォーカル顕微鏡，白色干渉装置ではできない機能

- ・ プラナリティ，平坦度等，視野外の立体形状評価が可能

## 2. 導入事例

### 2-1 CMM3 次元測定機との違い（CNC 画像測定機の特徴）

#### （1）メリット

- ① 非接触：傷を付けたくない鏡面仕上げ，粘着性物質や柔らかいサンプルも測定可能
- ② 高速：1 ポイント約 1 秒で測定可能
- ③ 高精度： $2\mu\text{m}$
- ④ 解像度： $1\mu\text{m}$  の線幅測定可能（タイプ TZ）

#### （2）デメリット

- ① 上から観察出来る部分のみ測定可能.
  - ・ 逆テーパ一部や横に開いた穴は測定不可.
  - ・ 上面から  $\text{O}^{\circ}\text{Omm}$  下がった位置での測定不可.
- ② 円筒形状や，球形状は光の廻り込みで誤差要因となる.  
対応策：倍率を下げて反射照明で測定

どちらも一長一短があるので，3次元測定機と画像測定機を両方所有しているユーザーが多い。

### 2-2 大量導入ユーザー

スマホ関連に集中

1. マイクロレンズ，カメラモジュール（VCM）
2. コンデンサシートの線幅，高さ
3. タッチパネルシートの外型，配線幅，位置
4. コネクタ用樹脂成形部品と金属プレス部品

コネクタ測定の特長

樹脂成形部品と金属プレス部品の測定がある。

「樹脂成形部品」

- ・ 金型抜き打ち製作後キャビ数分/1 ロット測定が一般的.

- ・安定的に量産する品種と多品種少量品種の測定がある.
- ・R面などエッジポイントの選択が難しい測定もある.
- ・プリズムを使った測定するユーザーもある.

#### 「金属プレス部品」

- ・リールに巻かれた製品をカットして測定.
- ・専用治具に挟んで測定.

### 2-3 今後の成長分野

#### 1. 車載用カメラ（ドライブレコーダー，自動運転，後方確認用）

以下日経テクノロジーHPから抜粋

2020年頃には、クルマ1台あたり19個のカメラが搭載されるようになる

車載CMOSイメージセンサー市場は、2015年は約5億ドル（1ドル=120円換算で約600億円）で、2018年には10億ドル（1200億円）に倍増

#### 2. 車載用 HUD（ヘッドアップディスプレイ）

元々は軍事技術で高級車のみ搭載していたが今後は全車種に普及していく.

R部分をスキャンレーザーで測定.

#### 3. 医療機器（手術用金具，点滴器具，電気部品等）

精度及び検査項目が厳しくなり，自動測定が必要となる.

### 2-4 今までとは違う分野での導入事例

#### 1. 電子タバコ部品

カプセル，カートリッジの全数測定，フィルター部の面積測定

#### 2. ホブカッター

ロータリーインデックスを使用して刃先の角度，R部半径，ピッチ測定（公差は厳しく±1μm）

#### 3. 自動車用エンジン，ミッションのガスケット

大型ステージ6555で形状，周長，穴位置等測定

## 2-5 時計業界測定応用例

### 1. 寸法測定

文字盤の精度確認（回転中心から各インデックスまでの距離）

### 2. 部品の形状を形状評価ソフトで輪郭度測定（チャート測定）

CAD データと比較し最大誤差の 2 倍を輪郭度として出力（画像と合成してレポート可能）

### 3. 文字盤や裏面の刻印の精度評価に形状評価ソフトでの輪郭度測定（チャート測定）

投影機でのチャート測定の自動化

### 4. 形状評価ソフトでの歯車測定（チャート測定）

歯車の精度評価に CAD データと比較

### 5. 歯車測定

歯車測定コード（標準搭載）で各評価が可能. 対象はインボリュートスプライン歯形

### 6. 倣いレーザー機能で断面形状測定

① TTL レーザーでスキヤニングして点群データを取得

② プロファイラー（標準ソフト）で形状確認

③ 断面の高さ，幅，角度等の簡易計測が可能

### 7. 倣いレーザー機能で粗さ評価

① TTL レーザーでスキヤニング（スポット径約 10  $\mu$  m）

② 標準機能で 1 軸の直線粗さ評価が可能

\* 面粗さ評価はオプションソフト(Mountain's map)で可能

### 8. 倣いレーザー機能を使用して表面形状測定

① TTL レーザーでスキヤニングして点群データを取得

② オプションソフト(Mountain's map)で読み込み

③ 表面のうねりを評価

④ 断面の切り取り，面粗さ評価可能

## 9. オプションソフト(Mountain's map)解析事例

3D 画像表示, 体積計算, 形状と粗さの分離, 断面形状の抜き出しが可能

## 2-6 CF-NEXIV 測定事例

PKG (半導体パッケージ) 内の金ワイヤの測定 : ワイヤの最大高さ測定を高速, 高精度で測定

プローブカード測定 : 接点のピンがランダムに数千点~2 万点あり, 位置と高さを高速高精度で測定

## 第2部 質疑・応答

### 1. 他社製品に対する強みは？

- ・使用しているレンズは NA が大きく, レーザーAF とレンズの視野が同じで使いやすい.
- ・対象物との Z 方向距離を保つことができる (標準ヘッドで作動距離 (WD) は 50mm)
- ・ステージの繰り返し精度に優れる
- ・ニコンはステッパーも製造しているメーカーなのでレンズ性能, ステージ精度に強みがある.

### 2. 3D 形状の比較はできるか？

- ・NEXIV 単体で比較することはできないが, csv の点群データを出力することはできるため, 別途他社の 3D-CAD と点群データ比較ソフトを使えば比較できる.

### 3. Z 方向の精度が弱いという話があったが？

- ・レーザーAF は手前から奥に向かって半円錐形に出ているのでスキャン方向に得手不得手がある.  
壁際や深い底部分, 傾斜が強い部分の測定は得意ではない.

## 特別研究会報告

# 日本時計学会 2019 年度特別研究会 「人工知能の基礎 -ノート PC で体験する AI-」

講師 Singular Technologies 代表 森出 茂樹氏

参加者 26名(正会員:13名(応物:1名,計測自動制御:1名),非会員10名,学生3名)

司会 木村 南 玉川大学

※2019年1月15日 中央大学 後楽園キャンパス 5号館 2階 5233号室にて開催

### 1. 歴史と最新動向の両面から学ぶディープラーニング基礎知識

#### 1-1.ディープラーニング基礎知識の確認

ニューラルネットワークの研究から深層学習による猫問題(猫の写真, イラスト, 漫画などを1万件以上学習させても新しく見せた犬の画像を猫と認識しまう)の解決で一気に第三次 AI ブームが巻き起こった. ものづくりへの AI の適用はあまり進んでいない. その理由としては 1)AI 適用の仮説・構想を描けない(何をどう革新するのか?) 2)組織的な取り組みをどうすればよいか分からない. という問題がある.

#### 2.AI の基礎

##### 2-1 機械学習

最も一般的な定義は機械が実行するタスクのパフォーマンスを経験に基づいて向上することである. ここで言うタスク:入力  $X$  に対して出力  $Y$  を求めることで,  $Y=F(X)$ なる関数  $F$ ,  $X$  はベクトルまたはテンソル. パフォーマンス:関数  $F$  の精度, 経験:訓練データ or 周囲の環境情報

##### 2-2 機械学習の分類

- 教師あり学習: $X$  と出力  $Y$  のペアの集合が訓練データとなる. 出力の違いにより 1)分類 (Classification): $Y$  が離散値, 例えば{晴れ, 曇り, 雨} 2)回帰(Regression): $Y$  が連続値, 例えば{気温, 湿度}
- 教師なし学習: $X$  のみの集合が訓練データとなる.
- 強化学習:環境から得た情報  $X$  に対して推定した出力  $Y$  を環境に返すと報酬を得る.

##### 2-3 深層学習

パーセプトロン(ニューラルネットワークの原型)

出力  $Y$  は次式で与えられる

$$Y = \varphi(W_0 + W_1 \cdot X_1 + W_2 \cdot X_2 + \dots + W_n \cdot X_n) \\ = \varphi(W \cdot X + W_0)$$

$\varphi$ :活性化関数,  $W$ :重み係数,  $X$ :入力

ニューラルネット=多層パーセプトロン

一般的に3層以上のニューラルネットをディープという.

##### 1)活性化関数

学習には  $d\varphi/dw$  を利用するので連続関数が好まれる.

a) シグモイド関数(sigmoid):

$$\varphi(w) = 1 / (1 + e^{-w})$$

b) tanh(ハイパータンジェント):

$$\varphi(w) = (e^w - e^{-w}) / (e^w + e^{-w})$$

c) softplus(ソフトプラス):

$$\varphi(w) = \log(1 + e^w)$$

d) ReLU(ランプ関数):

$$\varphi(w) = \max(0, w)$$

## 2) 重み係数の学習

- 最初は適当な重み係数で始める.
- 訓練データ  $(x_i, t)$  から結果  $z_j$  を予測し, 正解  $t_j$  との誤差を求める.
- 誤差がより小さくなるように重み係数を調整する.
- 上記のことを誤差が最小になるまで繰り返す
  - 誤差関数: 二乗誤差を使う場合

$$E = \sum_j E_j = 1/2 \sum_j (t_j - z_j)^2$$

- 最急降下法: (バッチ学習)

$$W \leftarrow W - \alpha \cdot dE/dw \quad \alpha: \text{学習率}$$

- 確率的勾配降下法: (オンライン学習)

$$W \leftarrow W - \alpha \cdot 1/m \sum_j^m (dE_j/dW) \quad m: \text{ミニバッチサイズ}$$

## 3) 学習(バックプロパゲーション 3 層)

- 中間層の重み係数の調整

$$W_{ij} \leftarrow W_{ij} + \alpha \cdot (t_j - z_j) \cdot \partial \phi(w_j) / \partial w_j \cdot y_i$$

- 入力層の重み係数の調整

$$W_{hi} \leftarrow W_{hi} + \alpha \cdot \sum_j n((t_j - z_j) \cdot \partial \phi(w_j) / \partial w_j \cdot W_{ij}) \cdot \partial \phi(v_i) / \partial v_i \cdot x_h$$

## 4) 各種最適化アルゴリズム

- バッチ勾配降下法
- 学習用データセット全体に対して計算
- 確率的勾配降下法(SGD)
- 学習例毎に計算. 演算が早いとあばれる場合もある. 局所最適になる事もある.
- Momentum(慣性)
- 更新ベクトルを加速させることで振動を抑制する.
  - NAG(Nesterov accelerated gradient)
  - 現在ではなく未来の推定位置を予測してパラメータを計算する.
- Adagrad
  - まれなパラメータに対して大きく更新ただし急速に学習率が減る
- Adadelta
  - Adagrad の発展形で勾配の過去の勾配の二乗の減衰平均を用いる.
- RMSprop
  - Adadelta と類似のアルゴリズム.
  - Adam(Adaptive Moment Estimation)
- Adadelta, RMSprop に加えて過去の勾配の減衰平均も保持する.

## 5) 汎化の技術

- ディープネットワークは capacity が非常に大きく, overfitting しやすい.
  - データを訓練用と検証用に完全に分離して overfitting に常に注意する.
  - ノイズ
  - 訓練データにランダムにウソを加え, 訓練データに過敏にならないようにする.
- 正則化(Regularization)
  - ロスにペナルティ項を加える.
$$L^* = L + \lambda \Omega$$
    - $L^1$  正則( $L^1$  norm): 重みの絶対値の総和  $\Omega = \sum | \theta_k |$
    - $L^2$  正則( $L^2$  norm): 重みの二乗の総和  $\Omega = \sum ( \theta_k )^2$ 
      - ⇒ 特定のリンクによる支配を防ぐ
  - ドロップアウト
    - 重み学習時に一定数のノードをランダムに落とす ⇒ 特定のノードによる支配を防ぐ

## 2.4 ニューラルネット復興の三つの理由

### 1) 計算機パワーと物量の桁違いの増強

第二次 AI ブームの頃の手書き数字認識では入力層  $28 \times 28 = 784$  ノード+隠れ層 100 ノード+出力層 10 ノード=約 900 ノード・・・数万の重み係数の最適化問題であった。ところがグーグルの猫認識では入力層  $200 \times 200 \times \text{RGB} = 12$  万ノード、重み係数は億単位、1,000 台の PC (CPU:16,000 個) を使って 3 日間学習させた。

### 2) 教師データサンプルの爆発的な増加

- ・手書き数字画像散布 MNIST:7 万枚
- ・グーグルの猫認識:YouTube の動画 1000 万本から 1 枚ずつランダム抽出した。
- ・Alpha 碁:10 万棋譜+300 万回の試行対戦を行った。

### 3) ネットワークの多層化

- ・第二次 AI ブームでは 2 層
- ・グーグルの猫認識:10 層
- ・Alpha 碁:14 層
- ・ResNet(現在の画像認識のデファクト):100 層以上

## 2.5 多層化の意味

1) パーセプトロンは線形分離可能な問題しか解けないという問題があった。

2) 3 層のニューラルネットは第 2 層に非線形な活性化関数を採用して十分な数のノードを使えば理論的にはあらゆる分類/回帰問題が解ける。

- a) 膨大な変数(重み係数)の最小化問題になってしまう。
- b) 入力層に人間の専門家が考えた「特徴量」を与えることで実用化を目指していた。

3) 多層化すると段階的な抽象化ができるので「特徴量」そのものを学習できる。

a) 勾配消失により誤差逆伝播が難しかった 1 未満の微分係数を多層伝播で掛け合わせると 0 になる。

b) ReLU 関数などの新しい活性化関数が発見された。

$\varphi(x) = \max(0, x)$ : 微分係数が 1 なので掛け合わせても消失しない

c) 残差学習(ResNet)の発見によりネットワークが 100 層以上に激増した。

## 2.6 CNN とは

畳込みニューラルネットワーク CNN(convolutional NN)は全結合ではなく問題の情報構造に応じた結合とする。

1) 画像の場合:2 次元座標の周辺域だけを結合する=フィルタとする。

2) 重み係数が減り、計算量が減り、局所最適解や過学習が緩和される。

例えば  $19 \times 19 = 361$  ノードの 2 層を全結合すれば  $361 \times 361 = 13$  万個となる。周囲の  $5 \times 5$  のみ結合すれば  $361 \times 25 = 9025$  個となる。どの位置でも  $5 \times 5$  の重みは同じ(重み共有)とすれば 25 個

## 3.1 深層学習の基本

### 1) 畳込み層

- ・入力:画像フォーマット  $W \times H \times K$   
W:画像の縦サイズ, H 画像の横サイズ, K:チャンネル数(RGB なら 3)
- ・フィルタ: $P \times P \times K$  ( $P=3 \sim 11$ ) を M 枚
- ・出力: $W \times H \times M$

### 2) プーリング層

- ・入力: $W \times H \times M$ , 出力: $W/s \times H/s \times M$

### 3) 全体構造

- ・入力層+(畳込み層+プーリング層) $\times n$ +全結合中間層 $\times m$ +全結合出力層
- ・出力層のノード数は分類するクラス数
- ・活性化関数は softmax: $\varphi(z)_i = \frac{e^{z_i}}{\sum_j e^{z_j}}$

#### 4)学習

a)誤差関数  $E(W)$ :交差エントロピー  $H(t, \phi_i) = -\sum_i t_i \log \phi_i$

$$W_{ij} \leftarrow W_{ij} - \rho \frac{\partial H}{\partial W_{ij}} = W_{ij} + \rho t_i (1 - \phi_i) y_j$$

b)確率的勾配降下法 vs 最急降下法

(1)確率的勾配降下法(オンライン学習)

- ・訓練データ 1 つ(~数百:ミニバッチ)ずつバックプロパゲーション実行
- ・訓練データを全部実行したら、ランダムにシャッフルして、繰り返す
- ・収束したら終了

(2)最急降下法(バッチ学習)

- ・訓練データを全部実行したら、ランダムにシャッフルして、繰り返す
- ・収束したら終了
- ・モメンタム:前回の修正値の  $\alpha$  倍を加えて、学習を加速する
- ・重み減衰:誤差関数に重みの 2 乗和の  $\lambda$  倍を加えて、重みが過度に大きくなるようにする
- ・学習率, モメンタム係数, 減衰係数はバッチサイズによって調整が必要

(3)学習のトリック

- ・事前学習:全結合層のみの音声認識等で有効. CNN では使われない.

- ・重みの初期値

平均値 0 の正規分布に基づいてランダムに生成. 分散が重要である.

- ・バッチ正規化

入力サンプルに対する中間層出力の共変量シフトを小さくする. 有効性が高い.

- ・ドロップアウト

全結合層と入力層にのみ用いる. 後段の全結合層は全体平均プーリングに置き換えられつつあるので, ドロップアウトの出番はなくなるかもしれない.

- ・学習率, モメンタム係数, 減衰係数はバッチサイズによって調整が必要となる.

#### 3.2 転移学習

十分な訓練データで学修した CNN を使い後段の全結合層の出力を特徴ベクトルとして SVM(サポートベクタマシン)などの分類器で分類する.

#### 3.3 ファインチューニング

1)十分な訓練データで学修した CNN を初期値として学習し直す.

2)出力層を設計し直す.

3)学習は最後の数層だけにするか, 学習率を徐々に低下させる.

#### 3.4 AlexNet(Supervision)

1)ReLU 関数を採用

2)GPU を 2 台利用

3)Local Response Normalization(LRN)

4)Overlapping Pooling 3×3 の Pooling をストライド 2 で実施

5)Dropout

#### 3.5 VGGNet

1)AlexNet の構造をベースに層数を拡張,16 層と 19 層が良く用いられる

2)LRN を廃止

3)フィルタを 3×3(ストライド 1)に固定

4)Max Pooling 2×2(overlap しない)

5)畳込み 3~5 層毎に Max Pooling という多層化の可能性を検証

6)最上位 4 層は全結合

7)最終層は softmax

8)現在もっともよく用いられている

### 3.6 GoogLeNet

- 1)LRN を廃止
- 2)Inception モジュールとプーリング層を積み重ねる.
- 3)全結合は 1 層のみで全体平均プーリング

### 3.7 ResNet

- 1)残差学習
  - ・ 100~1000 層のネットワークの学習ができる
  - ・ 低層の入力をバイパスする構造を取り入れる
  - ・ 低層のパラメータの更新速度を速める
- 2)152 層
- 3)最初の畳込み層の後 3×3 スライド 2 の Max Pooling を行い以降でリング層を持たない
- 4)最終畳込み層を全体プーリングして全結合 1 層で出力層につながる

### 3.8 Network In Network(NIN)

MLPconv 層(多層パーセプトロン+畳込み層)

- 1)従来の CNN は

$$y_{ijm} = \text{ReLU} \left( \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{p=0}^{P-1} \sum_{q=0}^{P-1} x_{i+p, j+q, k} \cdot h_{pqkm} + b_m \right)$$

- 2)線径分離可能なフィルタしか近似していない
- 3)従来の解決方法
  - ・ フィルタの数(M)を大量にしてバリエーションをカバー
  - ・ Maxout → 用意したフィルタの中に正しいものがあれば OK
- 4)アイデア 1 つのフィルタを多層ネットワークで実装する  
=(従来の)フィルタ+クロスチャネル全結合ネットワーク

表 1 代表的なモデルのパラメータ数および演算回数<sup>1)</sup>

モデル		AlexNet	VGGNet	GoogLeNet	ResNet
畳込み	層	5	13	21	151
	重み	380 万	0.15 億	580 万	-
	演算	10.8 億	153 億	15 億	113 億
全結合	層	3	3	1	1
	重み	0.59 億	1.24 億	100 万	200 万
	演算	0.59 億	1.24 億	100 万	200 万
合計	重み	0.62 億	1.38 億	680 万	-
	演算	11.4 億	155 億	15 億	113 億

### 3.9 CNN 基本構造の改良

- 1)畳込み層の改良
  - ・ NIN
  - ・ 受容野を 3×3 ではなく凸型にして向きを各層でバラバラにする.
- 2)プーリング層の改良
  - ・ Fractional Max Pooling(FMP)  
プーリングを 2×2 とせず縦横 1 か 2 を一定の確率でランダムに選ぶ確率を 50%とすれば
- 3)「1.5×1.5」
  - ・ Spectral Pooling  
分散フーリエ変換(DFT)を行い周波数領域でプーリングを実施  
2×2 プーリングよりも圧縮率をマイルドにできる

### 3.10 全結合層の縮小

- 1) AlexNet では最後の全結合層の重みが全体の 9 割以上
- 2) NIN, GoogLeNet, ResNet など畳込み層を強化して最後は全結合層ではなく全体平均プーリングで終わる
- 3) 全体平均プーリング(Global Average Pooling)  
チャンネル数を目的クラス数と同じにして、全ノードの平均を取る(+softmax)

### 3.11 画像の入力方法の多様化

- 1) 位置不変性
  - a) 学習済みの畳込み層とプーリング層は任意の大きさの入力画像を扱える
  - b) 最後の全結合層が問題となるので全体平均プーリングを用いる
- 2) 空間ピラミッドプーリング(SPP: Pyramid Pooling)
  - a)  $2^n \times 2^n (n=0,1,2, \dots)$  に分割してプーリングし、そのすべての結果のベクトルを全結合層への入力とする
  - b)  $K$  を入力チャンネル数とすると出力サイズは画像のサイズによらず  $\sum_n 4^n \cdot K$

### 3.12 物体検出(Object Detection)への応用

- 1) R-CNN(Region-based CNN)
  - a) 何かの方法でリージョンを切り出す
  - b) 切り出したリージョンを CNN で特徴抽出
- 2) SVM で分類
  - a) Faster R-CNN
  - b) SPR を利用してリージョンの切り出しも CNN で一度に行う

### 3.13 CNN の理解と画像合成

- 1) [Zeiler 14]: [畳込み+ReLU+最大プーリング]を一つの層として各層の出力ユニットの値から入力画像を再構築(deconv)し入力画像のどの部分に反応したのかを可視化した. 層毎に以下のような特徴があることがわかった.
  - 第 2 層: コーナーやエッジ・色の交差
  - 第 3 層: メッシュ, テキストといった複雑なパターン
  - 第 4 層: もっと高度なパターン. 犬の顔, トリの足, 等々
  - 第 5 層: 全体のオブジェクト, キーボード, 犬, 等々
- 2) [Simonyan 14a]: AlexNet の出力層の一つのユニットに対してその出力を最大にする入力画像を作成. CNN が何を見ているのかを示唆する.
- 3) [Mahendran 14]: AlexNet の特定の間層に対して入力画像を再現. 第 4 層までは入力画像を忠実に再現.
- 4) [Szegedy 13]: 入力画像を改変し人間には元と同じカテゴリに判断できるのに CNN が別のカテゴリに誤認識する画像を作成

### 3.14 可視化

- 1) t-SNE(t-distributed stochastic neighbor embedding)  
高次元データの次元圧縮をするアルゴリズム. 高次元データを可視化.  
TensorBoard で利用可能

### 2) RNN と言語処理

### 3.15 リカレントニューラルネットワーク(RNN)

接続に戻りがあり閉路を持つニューラルネットワーク

- 1) 入出力データが(長さ不定の)「列」の場合に利用 例: 機械翻訳, 音声認識, 評判分析など
- 2) 隠れノードに”状態”(=過去の履歴を集約した情報)を保持

### 3.16 Sequence-to-Sequence

- 1) 入力データと出力データの長さが異なる場合(機械翻訳など)
- 2) 2 つの RNN(Encoder, Decoder)を context ノードで接続

### 3.17 Long Short-Term Memory (LSTM)

- 1) RNN は  $s_t = \phi(Ws_{t-1} + Ux_t + B)$  により過去の記憶を指数的に忘れてしまう
- 2) "状態"には重みを掛けず代わりに"忘れる"スイッチを付ける

## 4. Playground 実習

### 4.1 基礎・動向の実際の挙動を実習

- 1) 実習環境とツールの操作方法解説
- 2) 中間層とノード数の関係
- 3) 特徴量/ノードの多さと中間層の深さの関係
- 4) 活性化関数の選択と収束性の関係
- 5) 正則化の効果
- 6) ミニバッチ学習と収束性の関係
- 7) ノイズを加えたデータのロバスト性(ノイズ耐性)

### 4.2 Tensorflow Playground

- 1) ブラウザ上で動作する Javascript アプリ  
<http://playground.tensorflow.org/>
- 2) 画面上でグラフィカルにニューラルネットワークを操作
- 3) GitHub 上で Apache License で公開

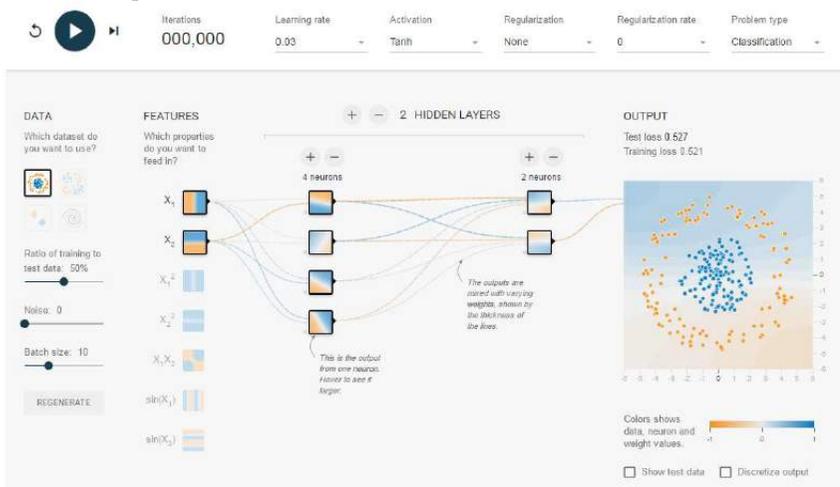


図 1 Tensorflow Playground

### 4.3 問題の種類とデータセット

- 1) 問題はクラス分け(Classification)と回帰(Regression)の 2 種類
  - a) データセットは全部で 6 種類
  - b) データは  $x_1$  と  $x_2$  の属性を持つスカラー値( $x_1$  は X 軸, $x_2$  は Y 軸として表現)
  - c) ブルーは正の値, オレンジは負の値
- 2) 入力 は 7 つの特徴量
  - a) ニューロンへの入力はスカラー値 7 種類から選択
  - b) ブルーは正の値, オレンジは負の値
  - c)  $x_1$  は X 軸, $x_2$  は Y 軸として表現  $\pm 6$  の値をとる
    - ・  $x_1, x_2$  は  $\pm 6$  の範囲をとるので  $\sin(x)$  はほぼ 2 周期分  $\div 2\pi$  分となる

### 4.4 Playground の動作と表示

- 1) データは  $x_1$  と  $x_2$  の属性を持ち, +1 から -1 の値をとる
  - a) 属性値( $x_1, x_2$ )のみがニューロンへの入力として使われる
  - b) 個々のデータ値は教師データとしてのみ参照される

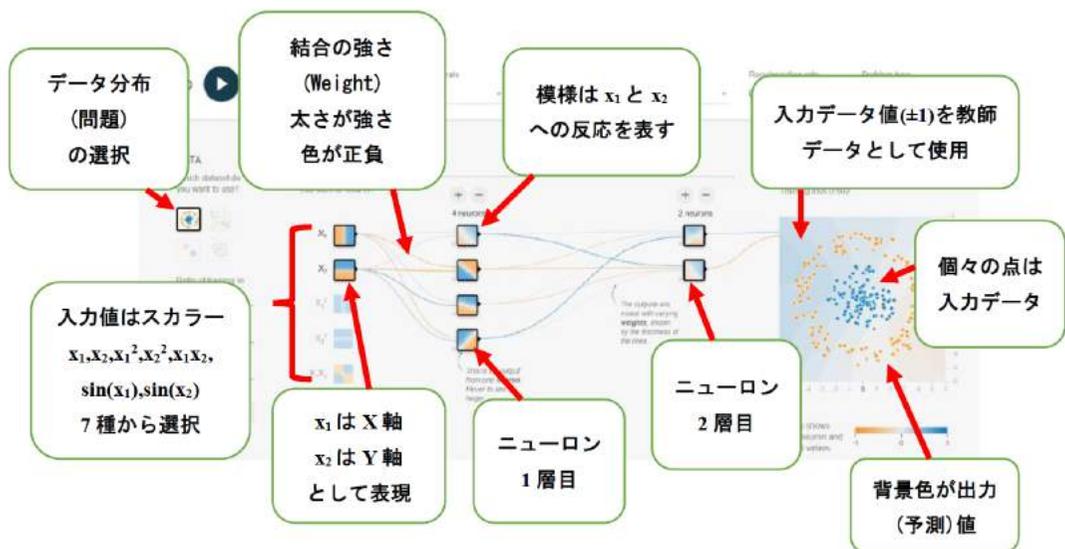


図 2 Tensorflow Playground の動作 ブルーが正の値，オレンジが負の値

#### 4.5 中間層の意味と選び方

1) 中間層の増減で何がかわるか

a) 層数とノード数を増減して挙動がどう変わるか実験・観察

- ・ 中間層 1~2
- ・ ノード数 1~4

2) 市松問題の最小解

a) 中間層 1 層目を 4 ノードにすると安定して収束

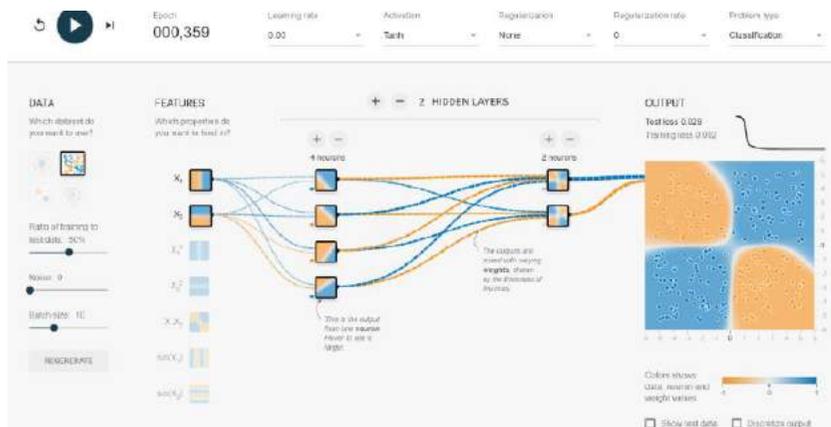


図 3 市松分布問題収束事例

3) 市松は 4 象限に分ける必要がある

- a) 1 層目 4 ノード未満だと  $x_1, x_2$  のみの入力では 4 象限に分別できない
- b) 2 層目 1 ノードだと L 字に収束してしまう場合がある

#### 4) ドーナツ分布問題の最小解

a) ドーナツは中間層 3 ノードあれば 3 直線で閉空間ができるため中間層 1 層だけあれば十分

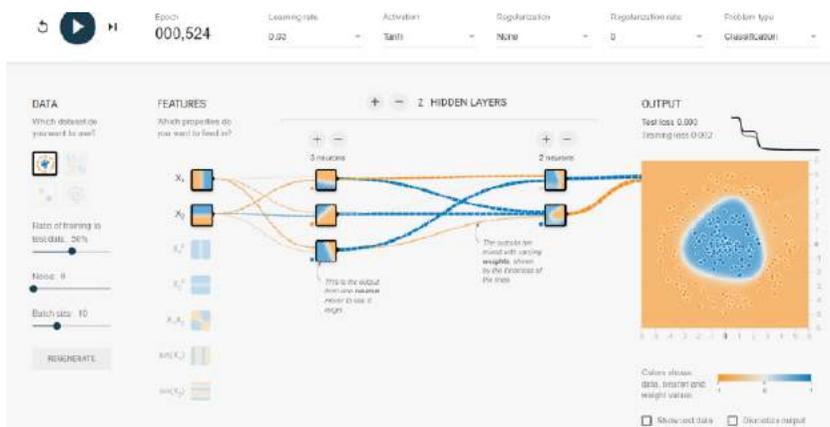


図 4 リング分布問題収束事例

#### 4.6 中間層の増減で何が変わったか

- 1) ドーナツ分布問題は中間層 1 層だけあれば十分
- 2) 市松分布問題は 4 象限に分離するために中間層 1 層目を 4 ノードにすれば収束
- 3) 中間層とノードの増減による反応の連鎖を体感することが重要
  - ・ 現実の問題ではノード数が予測可能な場合は少ない
- 4) 複雑な分離には多様な特徴量が効果的
  - a) 特徴量が豊富なら渦巻きは中間層 1 層 8 ノードで収束可能
  - b) はやければ 200 サイクルほどで収束
  - c) 境界がはっきりせず 600 サイクルほどかかる場合もある

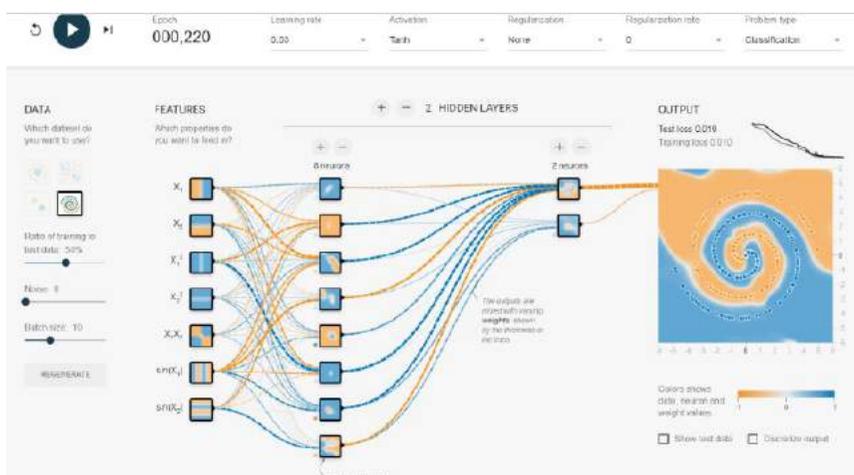


図 5 複雑な分布についての 220 サイクルで収束した事例

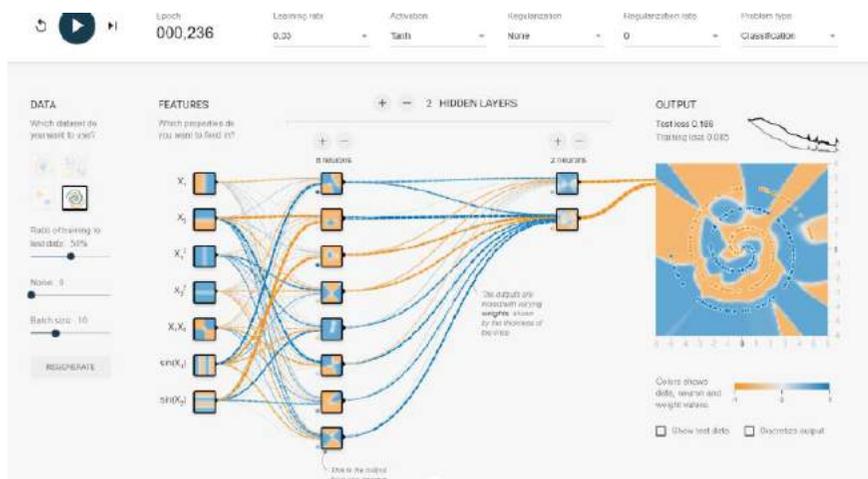


図 6 複雑な分布について 236 サイクルで収束しなかった事例

## 5.まとめ

最近の人工知能の発展は画像認識における GPU の発展による深層学習によるところが大であり、ものづくりの中で品質管理などへの応用が期待される。中間層やノード数についてのチューニングは実験して確認することが必要である。データの取得が一番重要であることからものづくりにおける AI の利用が期待される。

## 参考文献

- 1) 岡谷貴之:画像認識のための深層学習の研究動向,人工知能,vol.32,No.2,(2016),pp.168-179.

## 質疑応答

- 1) 品質管理に AI を応用する場合、不良データがほとんどないのでどうすれば良いか?
  - A) 意図的にノイズを導入する方法がある。
- 2) 設計に AI を応用するにはどうすれば良いか?
  - A) 教師データの与え方がポイントであるが現在の AI は研究開発に適していない。品質管理などのものづくりについてはデータがあれば有効な解析方法である。
- 3) データベースから経験的に知られているキーワードで検索する方が AI よりも早く分類できる場合があるが、AI の可能性についてはどのように考えれば良いか
  - A) 従来法の方が早い場合もあり、深層学習は傾向を推定するだけなのでやってみることが重要である。何かあればご相談に応じます。

## 特別研究会報告

# 日本時計学会 2019 年度特別研究会

-特別講演「経度の測定と時間計測」・ミットヨ測定博物館見学-

講師 ミットヨアメリカ計測学院 須賀信夫氏

参加者 講師を含め 21 名(時計学会会員 10 名,協賛学会会員 1 名,一般 7 名,ミットヨ関係者 3 名)

司会 木村 南 玉川大学

※2019 年 3 月 15 日 株式会社ミットヨ ミットヨ測定博物館にて開催

### 1.テーマ 「世界に誇る精密計測 経度の測定と時間計測

-マリンクロノメータからレーザ測長まで-

第一部 正確な経度の測定を可能にさせた天才ジョン・ハリソンの時計

第二部 長さのコンスタントを求めて:端度器からレーザの波長まで

### 2.講演概要

マリンクロノメータの開発については大航海時代に経度の精密測定のために非常に高精度な時計が必要になりジョン・ハリソンがその生涯に 6 個のマリンクロノメータを開発した。マリンクロノメータの開発については須賀先生による詳しい解説が本号に掲載されている。図 2 は須賀先生所有のソ連製マリンクロノメータを持参され聴講者に触っても良いですよとのことでジンバル機構を体験することができた。非常に良い体験をした。さらに第二部ではレーザ測長の原理を分かりやすく説明された。



図 1 須賀信夫先生ご講演の様子



図 2 ソ連製マリンクロノメータ(須賀先生所有)



### 3.ミットヨ計測博物館および M<sup>3</sup>ソリューションセンター見学

山田秀好館長の案内でミットヨ計測博物館と M<sup>3</sup>ソリューションセンターの見学を行った。320 点にも及ぶ大変貴重な須賀コレクションの数々が示されると同時にミットヨ社におけるマイクロメータ・ノギスなどの国産化の歴史がわかりやすく展示されていた。M<sup>3</sup>ソリューションセンターで最新精密測定機器が説明がされた。



図 3 コレクション寄贈と須賀コレクション(ヨハンソンのブロックゲージ) 図 4 非接触 3 次元自動測定器

正確な時計が経度の測定を可能にして、その計時技術の向上がレーザ測長を可能にしたことが大変よくわかった。時計と精密測長の深い関係を学ぶことができた特別研究会であった。

謝辞 マリンクロノメータと精密測定器について講演されたミットヨアメリカ計測学院須賀信夫先生ならびにミットヨ計測博物館見学会にあたりご尽力いただいた山田秀好館長に謝意を表します。

## 解 説

### 「時計技術解説」 クォーツ時計

#### — XIV. GPS 衛星電波時計 —

馬場 教充 \*

#### 1. はじめに

クォーツ時計の登場により、日常生活においては十分な時刻精度を得ましたが、時計の本質である正確であることを追求し様々な進化を続けてきました。その進化において外部の時刻情報を取得して、その時刻情報から腕時計の時刻を修正することで正確な時刻表示を行っています。近年、外部の時刻情報として GPS 衛星からの信号を利用して、時刻を修正する GPS 衛星電波時計が商品化され、消費者に受け入れられています。本稿では GPS 衛星電波時計に関する技術について説明します。

#### 2. GPS システムの概要

GPS は、Global Positioning System の頭文字を取ったもので、全地球測位システムを意味し、米国によって運用されています (Fig.1)。GPS 衛星は、地球上約 20,200km、傾斜角 55 度の 6 つの軌道に 4 基ずつ計 24 基配置され、約 12 時間で地球を 1 周しています。GPS 衛星の数は予備や保守の関係で変わりますが、約 30 基で運用されています (2018 年現在)。このシステムにより地球上のどこにおいても常に複数個の GPS 衛星が見えることから、その複数個の GPS 衛星からの航法メッセージを受信し、各衛星の軌道情報から三角測量の要領で位置演算 (測位) することで、地球上どこでも自身の現在位置を知ることができます。

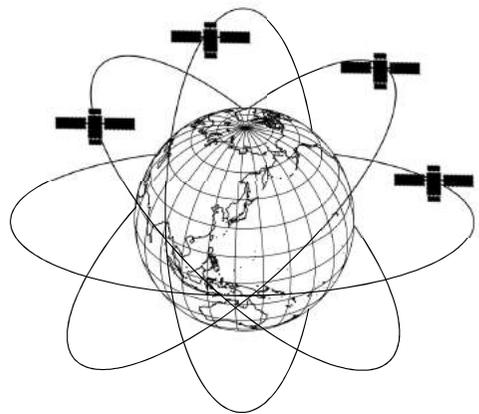


Fig.1 全地球測位システム

GPS 衛星には、クォーツ時計で使われている水晶発振子の精度よりも高い、10 万年で 1 秒以内の誤差という高精度のセシウムやルビジウムの原子時計を搭載しており、協定世界時 (UTC (Universal Time Coordinated)) に同期した時刻情報を常に送信しています。

GPS は 1970 年代に米国国防総省で軍事用に開発が開始されましたが、1990 年代に民生用途にも全世界に開放し、自由に GPS を利用できるようになりました。

---

\* セイコーエプソン株式会社

米国の GPS のみならず、ロシアの GLONASS, 欧州の Galileo, 中国の BeiDou の全地球衛星系と、日本のみちびきの QZSS, インドの IRNSS の地域衛星系, 米国, 欧州, 日本などが持つ衛星型補強系 (SBAS) を含めた衛星測位システムが運用されており, これらを称して GNSS (Global Navigation Satellite System) 全地球航法衛星システムと呼ばれています。

## 2.1 みちびき (準天頂衛星システム)

みちびきとは, 準天頂軌道の衛星が主体となって構成されている日本の衛星測位システムのことで, 英語では QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) と表記されます。

日本上空に長くとどまるようにするために, Fig.2 のように日本上空からオーストラリア上空までを 8 の字を描くような準天頂軌道を描いて, GPS 衛星と一体で利用できる特徴があります。

安定した測位を行うためには, より多くの衛星が見えることが望めます。GPS 衛星は都市部や山間部では高層ビルや樹木などに電波が遮られて見える衛星数が減ってしまいますが, みちびきにより衛星数を確保することができ, 安定した測位を行うことができます。

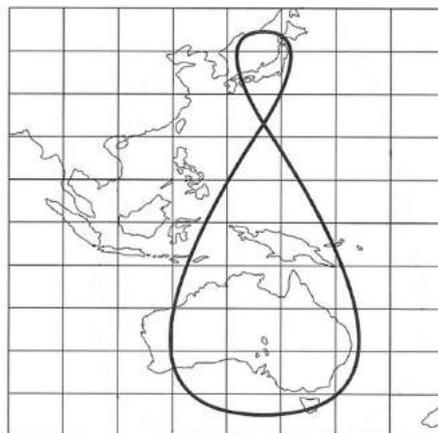


Fig.2 準天頂軌道

2010年9月11日に初号機を打ち上げ, 2018年11月から, 4基体制で運用が開始されました。

## 3. GPS 衛星電波の概要

### 3.1 L1/CA 信号のデータ構造

GPS 衛星電波時計で使用している GPS 信号は, 民生用として利用されている L1 帯の 1575.42MHz になります。この GPS 信号は L1/CA 信号と呼ばれます。各情報が収納された航法メッセージと呼ばれるデータに C/A コード (Gold code と呼ばれる) という擬似ランダム符号が掛け合わされ, L1 帯搬送波にデジタル変調され, GPS 衛星から常時送信されています。L1/CA 信号の様子は詳細に規定され, 文書が公開されています。みちびきでも L1/CA 信号が使われており, GPS 衛星と互換性が保たれています。

Fig.3 は L1/CA 信号のデータ構造で, 航法メッセージ, C/A コードとの関係を示します。

航法メッセージは, 1bit あたり 20msec の長さで 50bps (Bit Per Second) の速度で送信されています。1bit は C/A コード 20 個で構成され, 20 個ごとに航法メッセージのデータにより 180° 位相反転 (0 → 1, 1 → 0) されているので, 1bit の区切りを識別できます。

C/A コードは 1msec の長さで 1,023 チップで構成されます。1,023 個の乱数で構成される擬似ランダム符号で、このパターンは GPS 衛星それぞれ異なったものが割り当てられ公開されているので、どの GPS 衛星の信号であるかを識別できます。

さらに、C/A コードが 180° 位相反転する時に L1 帯搬送波の位相を 180° 変える変調を行う事で L1/CA 信号が作られます。この変調の方式は、BPSK (Binary Phase Shift Keying) と呼ばれます。

擬似ランダム符号を使い BPSK 変調された信号のスペクトラム (各周波数の強さの分布) は広い周波数に拡散されます。これを称して、スペクトラム拡散変調 (Spread Spectrum Modulation) と呼ばれ、この技術によりすべての GPS 衛星が同じ周波数で送信していても、相互に干渉せずに受信することができます。

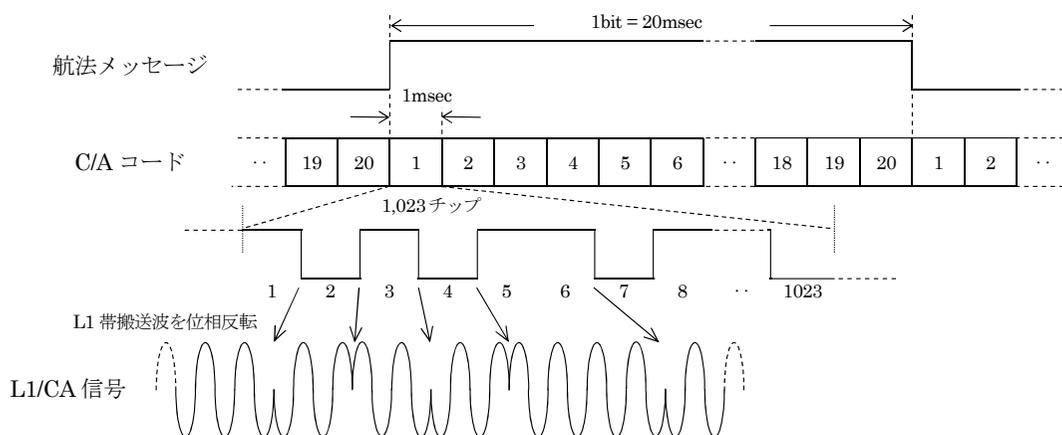


Fig.3 L1/CA 信号のデータ構造

地球上約 20,200km から届くスペクトラム拡散変調された GPS 信号は、自然界に存在するノイズ (空電雑音, 太陽雑音, 宇宙雑音など) に埋もれてしまいますが、C/A コードを手がかりにノイズから信号を取出すことができます。干渉やノイズに強いスペクトラム拡散変調は、3G モバイル通信や無線 LAN などの移動体通信にも使われています。

### 3.2 航法メッセージについて

航法メッセージは Fig.4 のような構成となっており、1 サイクルはフレームという単位になっています。さらに、フレームは 1~5 のサブフレームから構成されており、サブフレーム 1 から順番に送信を始め、サブフレーム 5 を送信し終わると再びサブフレーム 1 に戻ります。サブフレームは 300bit のデータで構成されるので、この送信は 6 秒かかります。1 フレームの送信は、サブフレーム 5 つ分の 30 秒かかります。

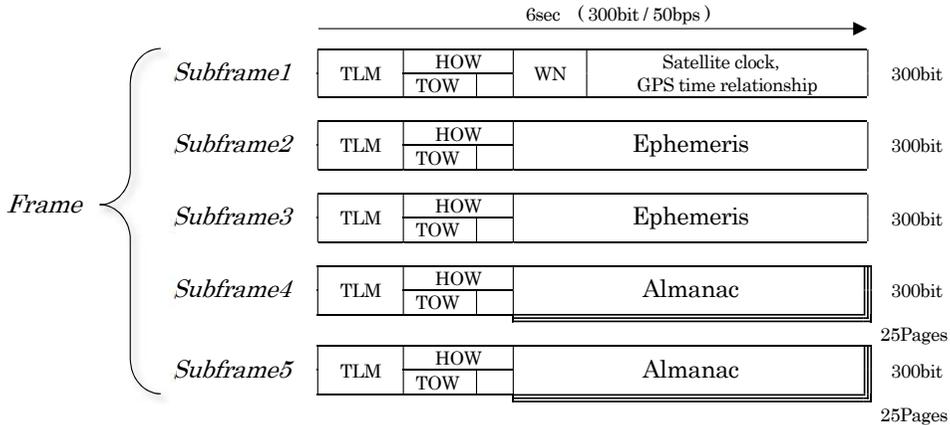


Fig.4 航法メッセージの構成

サブフレームのうち、サブフレーム 1~3 は送信している GPS 衛星自身の衛星状態とクロック補正情報と軌道情報 (エフェメリス) が収納されており、30 秒間隔で送信されます。これに対してサブフレーム 4 および 5 は、すべての GPS 衛星が同じ内容を送信しており、その内容は軌道上のすべての GPS 衛星の概略の軌道情報 (アルマナック) や電離層補正情報です。これらはデータ量が多いため、さらにページ単位に分割されてサブフレームに収納されます。ページは 1~25 ページで構成されており、フレームごとに異なる内容が順番に送信されます。よって、25 フレームすべての送信は 12 分 30 秒かかります。

サブフレームは、30 ビットのデータで構成されるワードが 10 個で構成されています。各サブフレームの先頭には TLM (telemetry) ワード、続けて HOW (hand over) ワードが送信されますが、TLM ワードには同期用のパターン、HOW ワードには TOW (Time Of Week) と呼ばれる時刻情報が含まれています。この時刻情報は、毎週日曜日の 00:00:00 を始点とした経過時間で表され、時、分、秒がわかります。TOW は Z カウントとも呼ばれます。

また、サブフレーム 1 の先頭から 3 つ目のワードには WN (Week Number) というもう 1 つの時刻情報が含まれていて、各週に通し番号が付けられた数字で表され、年、月、日がわかります。

### 3.3 受信方法について

GPS 衛星電波時計では、測位と測時の 2 つの受信方法があります。

「測位」は、各 GPS 衛星のサブフレーム 1~3 を受信して位置演算をおこない、自身のいる場所の位置情報である緯度と経度を算出します。一般的にコールドスタートと呼ばれる受信方法になります。

「測時」は、日常生活で使用されている UTC を得るために必要な情報を受信する方法になります。

UTC にはうるう秒が存在し国際原子時に基づいて作られます。うるう秒は UTC と地球の自転に基づく世界時 (UT1)の間の差を補正するためのもので、差が生じたときに、1 秒を挿入または削除して調整します。これまでのうるう秒は、挿入による調整のみでした (2018 年現在)。

TOW と WN の 2 つの時刻情報から、時刻 (年, 月, 日, 時, 分, 秒)がわかります。この時刻は GPS 時刻と呼ばれます。GPS 時刻は 1980 年 1 月 6 日の UTC を基準として設定され、それまでのうるう秒を反映した国際原子時から 19 秒遅れで送信され続けており、1980 年 1 月 6 日以降に挿入されたうるう秒は反映されていませんので、UTC に比べて秒が進んでいます。

現在の UTC を得るには、これ以降、現在までのうるう秒分の補正をする必要があります。この GPS 時刻と UTC との差分である補正情報は、航法メッセージのページ 18 のサブフレーム 4 にある UTC パラメータとして収納されています。

UTC は、TOW と WN に加え UTC パラメータを受信することで得ることができます。さらに、UTC との時差であるタイムゾーンを加えることで、その地域の時刻がわかります。

Table1 に GPS 衛星電波時計の受信方法と航法メッセージから取得する必要な情報をまとめます。

Table1 受信方法と必要な情報

受信方法	必要な情報	ページ	サブフレーム	送信間隔
測位	衛星状態とクロック補正情報 衛星の軌道 (Ephemeris)	1~25 すべて	1, 2, 3	30 秒
測時	TOW	1~25 すべて	1, 2, 3, 4, 5	6 秒
	WN	1~25 すべて	1	30 秒
	UTC パラメータ	18	4	12 分 30 秒

自然エネルギーで駆動する GPS 衛星電波時計は、充電により二次電池が使われるため、その電池容量を維持するためにできるだけ短時間で受信して消費電力を抑えることが望まれます。

そこで、測時の受信では送信間隔の長い WN と UTC パラメータは、システムリセット後や必要なきのみ受信して、その情報を時計側で保持・管理し、その後の受信は TOW (時, 分, 秒)のみ受信することで、保持・管理した WN と UTC パラメータと、受信した TOW とで UTC を求めることができます。つまり、通常は 6 秒間隔で送られてくる TOW のみを受信すれば良いので、短時間の受信で済みます。

測位は GPS 衛星 4 基以上の情報を必要としますが、測時は最低 1 基の情報で受信可能です。

#### 4. GPS 衛星電波時計のシステム構成

Fig.5 は、光をエネルギーに変換するソーラーセルを搭載した GPS 衛星電波時計のシステム構成になります。

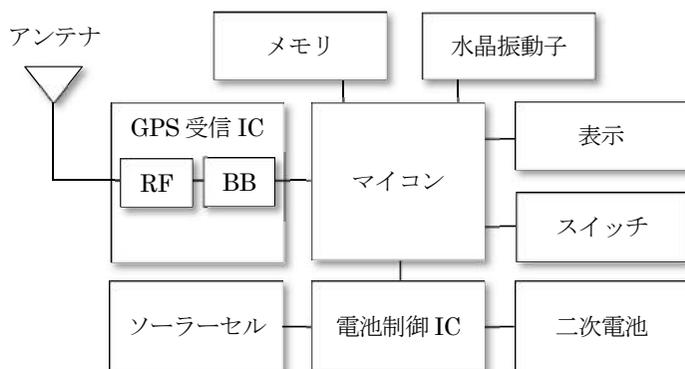


Fig.5 GPS 衛星電波時計のシステム構成

マイコンは GPS 衛星電波時計全体の制御を行っています。水晶振動子の発振を分周した 1Hz の信号で時刻を保持し、カウントを続けています。また、マイコンは GPS 受信 IC の制御を行います。受信方法を選択して受信を開始し、測時では GPS 衛星の信号から得られた時刻情報に基づいてマイコンで保持している時刻を修正します。測位では、位置演算の結果から現在地のタイムゾーンを割り出します。

時刻を表示する表示機能およびボタンやりゅうずが操作されたことを検出するスイッチ機能も備えています。GPS 受信 IC にはアンテナが接続されており、GPS 衛星の信号を受信することが可能になります。

Fig.6 は、GPS 衛星電波時計の回路基板の例です。1 枚の多層基板に複数の電子デバイスが実装されています。従来のクォーツ時計と比較して部品点数が多く配線も複雑であるため、時計のサイズに収めるために、IC の小型化や高密度実装技術が要求されます。

次に、主要な要素である GPS 受信 IC およびアンテナについて説明します。

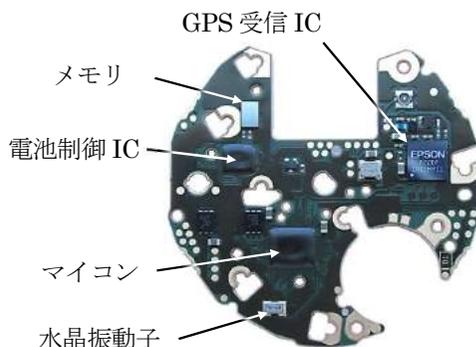


Fig.6 回路基板の例

## 4.1 GPS 受信 IC

GPS 受信機の受信システムは、かつては RF 部の CMOS 化が難しかったため RF 部と Digital 部の 2 つの IC を利用していました。さらに、位置演算は外部の CPU により計算されることも多く、3 つの IC が協調動作していました。

近年は 1 つの IC の中に RF 部と Digital 部を入れることが可能となり、さらに CPU も入れて位置演算も IC 内部で行われ、GPS 受信機は 1 つの IC で構成されることが主流となりました。この IC は GPS 受信 IC と呼ばれます。

Fig.7 に GPS 受信機 (GPS 受信 IC) のブロック構成を示します。受信感度を高めるために、メモリの占める面積はますます増えていく傾向ではありますが、半導体プロセスの進化の恩恵もあり、小型化、低消費電力化を実現することができています。

GPS 受信機は、大きく分けて次の 4 つのブロックに大別されます。

1. RF (Radio Frequency)部 : GPS の高周波アナログ信号を受信し A/D (Analog to Digital)変換
2. Digital 部 : A/D 変換後の信号を利用して、衛星と GPS 受信機の距離を算出
3. Firmware 部 : 衛星探索、ノイズの中から GPS 信号の検出
4. Software 部 : 航法メッセージのデコード、GPS 受信機の位置演算

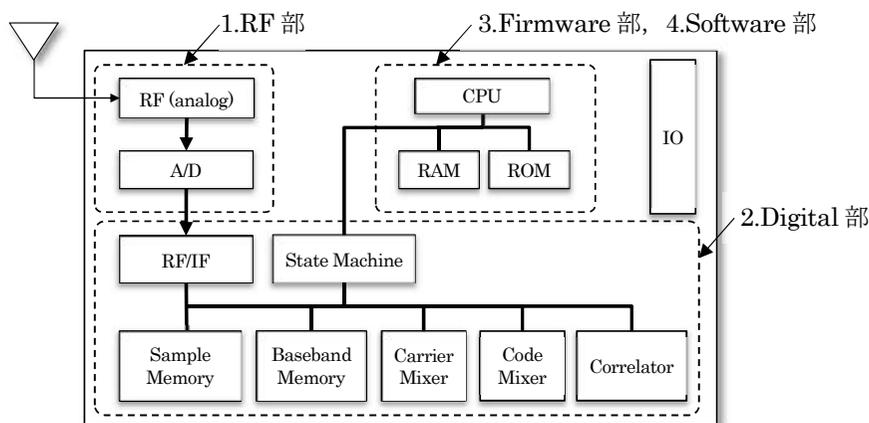


Fig.7 GPS 受信機のブロック構成

以降、各部のシステムについて詳細を説明します。

#### 4.1.1 RF部

民生用として最も多く利用されている GPS 信号は L1/CA 信号ですが、中心の周波数は 1575.42MHz で、デジタル回路で扱うには周波数が高めです。そこでコンベンショナルな GPS 受信機では、周波数をデジタル回路で扱いやすい数 MHz の周波数まで下げる (ダウンコンバートする)機能が RF 部の主な役割となります。RF 部は主に 3つのブロックにより構成されています (Fig.8)。

1. RF : 高周波アナログ信号をダウンコンバート
2. PLL : GHz レベルの高周波を生成
3. IF (Intermediate Frequency) : イメージ除去, A/D 変換し Digital 部へ供給

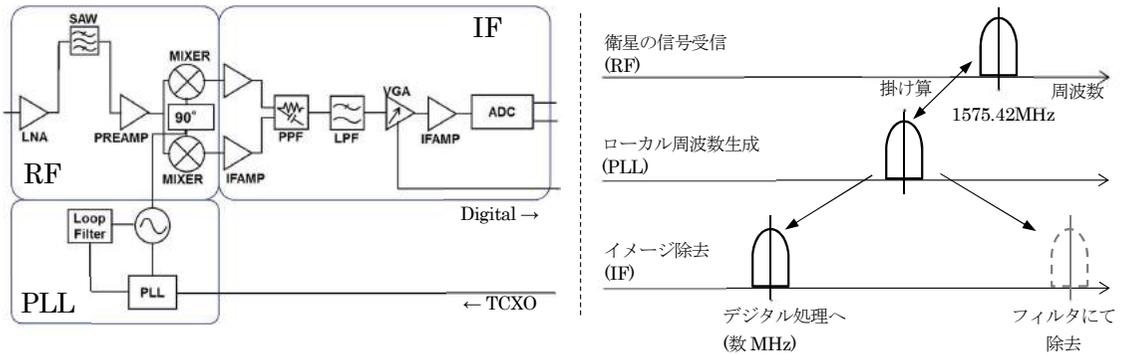


Fig.8 RF部の機能図

#### 4.1.2 Digital部

GPS 信号は、スペクトラム拡散変調がなされており、Gold code と呼ばれる擬似ランダム符号により拡散されていますが、Gold code は、大きく 4つの機能を持っています。

1. 各衛星を識別するための固有のパターンを持っている
2. 同期が取れた時のみ相関値が最大となる (自己相関特性と相互相関特性に優れている)
3. 周期性がある (L1/CA 信号では、1,023 で繰返す)

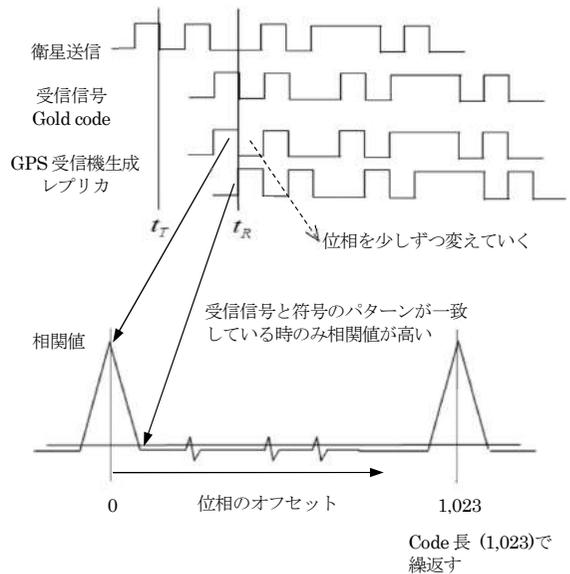


Fig.9 Gold code の特性 (L1/CA 信号)

#### 4. 各衛星の送信する Gold code の先頭のタイミングは GPS 時刻に同期している

各衛星の Gold code は公開されているので、Digital 部では、この Gold code と全く同じ符号列のレプリカを GPS 受信機内で生成し、相関値を計算して、初期位相を少しずつ変えていくことで、最も相関値の高くなるオフセット点を探索します (Fig.9)。この位相のオフセットが、衛星送信時と受信時の時間差を表しており、光の速さを掛け合わせることで衛星と GPS 受信機との距離を算出できます。実際には、拡散後の GPS 信号は熱雑音よりも下のレベルとなるので、Fig.9 のように信号そのものを観測することはできませんので、各オフセットのすべてのパターンで相関値を計算することで衛星を捕捉します。

#### 4.1.3 Firmware 部

コールドスタートでは、受信開始時に衛星に関する情報を全く持っていません。よって Firmware 部では、下記の3つのパラメータに関して探索し、それぞれを解決して衛星のデータを受信する必要があります。

1. 衛星番号：探索する Gold code
2. 周波数方向：衛星と GPS 受信機は相互に移動しているため、ドップラー効果による周波数ずれを検出
3. Code 方向：Gold code の位相差

この3つのパラメータにおいて、決められた解像度ですべての相関値を計算して、ピークの高さから GPS 信号かノイズかを判別します (Fig.10)。

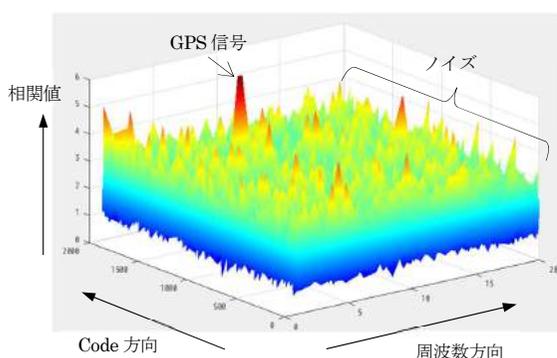


Fig.10 衛星探索時の相関値

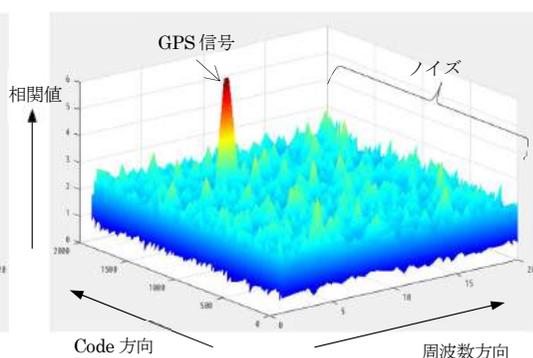


Fig.11 相関値 (長時間積算)

近年の GPS 受信機では、受信信号と相関結果をメモリに保存し、繰り返し相関結果を加算することでノイズレベルを下げて、GPS 受信機の受信感度を向上させています (Fig.11)。

#### 4.1.4 Software 部

RF 部, Digital 部, Firmware 部を経て, 衛星を捕捉すると航法メッセージをデコードできるようになります.

測時の場合は, Table1 にまとめた必要な情報を受信します. 整形した受信データを時計のマイコンが取得したら受信を終了します.

測位の場合は, 各々の衛星から Table1 にまとめた必要な情報であるサブフレーム 1~3 を受信します. 衛星の位置である座標を, 受信した衛星の軌道情報 (エフェメリス) から得て, 各々の衛星との距離を算出して, ようやく GPS 受信機の位置演算に入ります. Fig.12 のように GPS 受信機は衛星との距離を半径とする球面上のどこかに位置します. 衛星 1, 衛星 2, 衛星 3 の 3 つの球の交わる点を算出すると GPS 受信機の位置である座標がわかります. この関係は幾何学的に次の連立方程式で表すことができます.

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2 + (z_1 - z_u)^2} + \varepsilon_{\rho 1}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2 + (z_2 - z_u)^2} + \varepsilon_{\rho 2}$$

$$\rho_3 = \sqrt{(x_3 - x_u)^2 + (y_3 - y_u)^2 + (z_3 - z_u)^2} + \varepsilon_{\rho 3}$$

$(x_u, y_u, z_u)$  : GPS 受信機の座標

$(x_i, y_i, z_i)$  :  $i$  番目の衛星の座標

$\rho_i$  : 算出した  $i$  番目の衛星との距離

$\varepsilon_{\rho i}$  :  $i$  番目の衛星の距離誤差

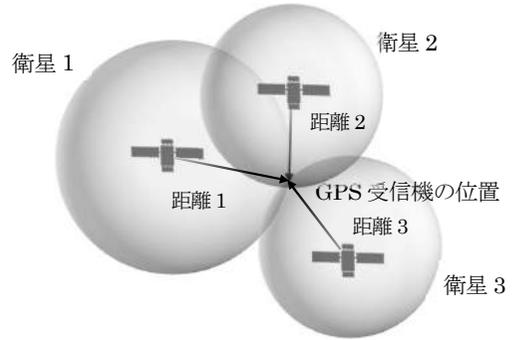


Fig.12 衛星と GPS 受信機の位置関係

水晶発振子を原振とする GPS 受信機の時刻は絶対時刻 (GPS 時刻) と同期していないので, GPS 受信機の時刻誤差をもう 1 つ未知数として追加して, 次の 4 連の方程式を解くことで GPS 受信機の座標と時刻誤差を同時に算出することができます.

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2 + (z_1 - z_u)^2} + cb_u + \varepsilon_{\rho 1}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2 + (z_2 - z_u)^2} + cb_u + \varepsilon_{\rho 2}$$

$$\rho_3 = \sqrt{(x_3 - x_u)^2 + (y_3 - y_u)^2 + (z_3 - z_u)^2} + cb_u + \varepsilon_{\rho 3}$$

$$\rho_4 = \sqrt{(x_4 - x_u)^2 + (y_4 - y_u)^2 + (z_4 - z_u)^2} + cb_u + \varepsilon_{\rho 4}$$

$(x_u, y_u, z_u)$  : GPS 受信機の座標       $(x_i, y_i, z_i)$  :  $i$  番目の衛星の座標

$\rho_i$  : 算出した  $i$  番目の衛星との距離       $\varepsilon_{\rho i}$  :  $i$  番目の衛星の距離誤差

$c$  : 光の速さ       $b_u$  : GPS 受信機の時刻誤差

GPS 受信機として、4 基の衛星を探索し衛星の座標を得て、衛星との距離がわかれば、方程式を解くことで GPS 受信機の位置と絶対時刻を算出することができます。仮に位置の誤差が 1m の場合、 $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $b$  方向に誤差分散したとすると GPS 受信機の時刻の誤差は、約 3nsec のレベルで求められます。このように測位では、測時よりもさらに精度の高い時刻情報を得ることができます。

幾何学的な基本原理としては、先の方方程式で表すことができますが、実際には、サブフレーム 1 に含まれる各衛星のクロック補正値を考慮して計算されます。

こうして、GPS 受信機の位置演算を行い、時計のマイコンが情報を取得したら受信を終了します。

なお、受信中はマイコンと連携を取り、捕捉している衛星数や衛星の信号レベルに応じて低消費電力を配慮した受信制御を行っています。

## 4.2 アンテナ

地上から見た場合に、GPS 衛星は常に移動しているので、電波が送られてくる方向が定まっていません。また、複数の GPS 衛星からの電波を捕らえなければならないので、指向性が均一なアンテナを使用することが望まれます。GPS 衛星から送られてくる電波は、上空すべての方向からやってくるので、その信号を受信するには、広い指向性を持ったアンテナが適しています。さらに、GPS 衛星から送られてくる電波は、右旋円偏波であるので、円偏波用のアンテナが適しています。

GPS 衛星電波時計においては、広い指向性、円偏波を受信可能な特性を兼ね備えたパッチアンテナやリングアンテナが採用されています。以下にこれらのアンテナについて説明します。

### 4.2.1 パッチアンテナ

パッチアンテナは、Fig.13 に示すように、誘電率の高い誘電体基材にアンテナ電極と、グラウンド電極と給電電極を積層した平面アンテナです。平らで薄いという構造上の特徴があります。

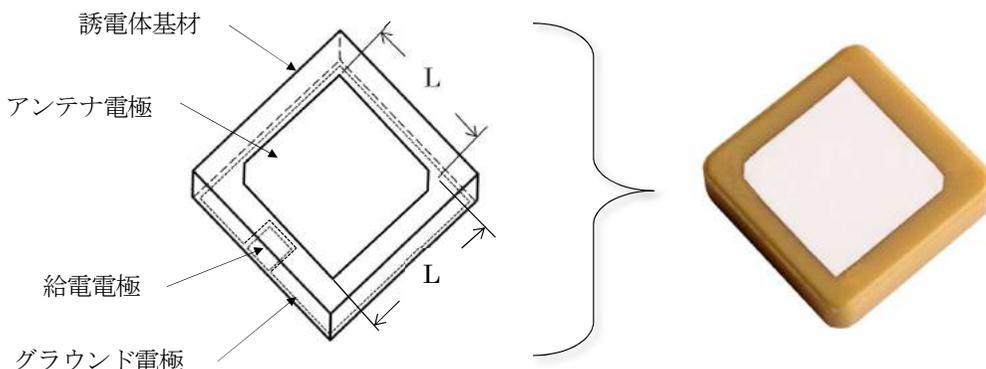


Fig.13 パッチアンテナ

アンテナ電極は誘電体基材の上面に配置され、グラウンド電極と給電電極は、誘電体基材の底面に配置されています。アンテナ電極が、継ぎ当て用の小さい布であるパッチに見えることからパッチアンテナと呼ばれます。誘電体基材は、セラミックスによって直方体状に形成されており、各電極は誘電体基材に銀ペーストを塗布し焼き付けて形成されます。

直方体のパッチアンテナは、アンテナ電極の一边  $L$  が半波長で共振状態となります。パッチアンテナは、誘電体の波長短縮効果により小形化できます。誘電体基材の実効誘電率はその材質やサイズに依存します。また、アンテナ周辺に位置する金属ケースやムーブメントの金属部品が影響するため、 $L$  の変動要因になります。この関係は次式で表されます。

$$L = \frac{\lambda}{2\sqrt{\epsilon}} + \alpha$$

$L$  : アンテナ電極の一边                       $\lambda$  : 自由空間中の波長  
 $\epsilon$  : 誘電体基材の実効誘電率                 $\alpha$  : 金属ケースやムーブメントの金属部品の影響

Fig.13 のパッチアンテナは面実装型であり、グラウンド電極と給電電極は、回路基板に半田で接続されると共に固定されます。サイズは通常 10mm 角程度のパッチアンテナを採用しています。

Fig.14 に時計の断面図を示します。ムーブメントを金属ケースに内蔵する構造で、ダイヤルとソーラーセルの下側にパッチアンテナを収納しています。受信感を確保するため、金属ケースや輪列などのムーブメントを構成する金属部品との干渉を抑えるようにアンテナを最適な位置に配置する必要があります。ムーブメントの各部品のレイアウトには制約が生じます。

また、ソーラーセル内の金属を含む電極とも干渉するので、アンテナの上部に位置するソーラーセルやソーラーセルの電極に切欠きを設ける必要があります。切欠きを設けた分は、発電する面積が減少してしまいます。

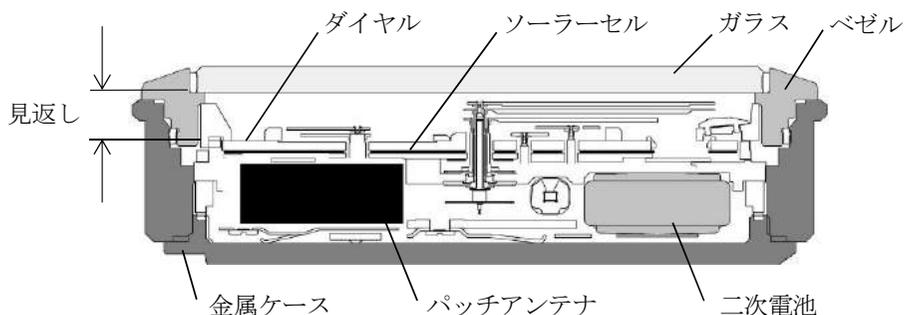


Fig.14 パッチアンテナを採用した時計の断面図

しかし、パッチアンテナを採用することで、見返し（ガラスの下面からダイヤルの上面まで）は通常のアナログクォーツ時計と同等にすることができます。ベゼルはアンテナ上部に配置されないため、金属の影響を受けず、材質は金属やセラミックスを採用することができるので、デザインや材質に制約のない時計を実現することができます。

Fig.15 は、2011 年 9 月にシチズン時計から発売されたエコ・ドライブ サテライト ウェーブ Cal. H990 です。

光をエネルギーとして定期的な電池交換を不要とする光発電式衛星電波時計で、パッチアンテナが採用されています。ケースはセラミックスと金属を組合わせた 2 体構造になっています。

測時機能に加えて、りゅうずの操作で世界中のタイムゾーンに設定できる機能を搭載しています。



Fig.15 Cal.H990

#### 4.2.2 リングアンテナ

Fig.16 にリングアンテナとムーブメントの固定構造を示します。この GPS 衛星電波時計ではダイヤルの上側にダイヤルを囲むようなリング形状のアンテナを配置しています。アンテナは誘電率の高いリング状の誘電体基材に無電解めっきでアンテナ電極と給電電極を形成し、外周のフックでムーブメントに固定する構造です。

リングアンテナの厚みの影響で、見返しが深くなってしまいますが、リングアンテナを覆うダイヤルリングを立体感あるデザインにすることで、独特の奥深いダイヤルデザインを実現できます。さらに、リングアンテナを採用することで、アンテナがムーブメントの外側に配置されるため、ムーブメントのレイアウトに対する制約がなくなり、多軸モデルや多機能モデルなどの商品展開が可能となる効果があります。



Fig.16 リングアンテナとムーブメントの固定構造

Fig.17 に時計の断面図を示します。ムーブメントの上側にソーラーセル、ダイヤルが順番に構成され、その上側にリングアンテナが配置されています。これによりムーブメントを構成する金属部品の干渉を受けづらくすることができ受信感度を高く保つことが可能です。リングアンテナを採用することでソーラーセルやソーラーセルの電極を切欠くことなくダイヤル全体に配置することが可能で、エネルギー収支の改善にもつながっています。リングアンテナの上側にダイヤルリングを配置し、それを覆うベゼルにはセラミックスを配置することで、受信感を確保できます。

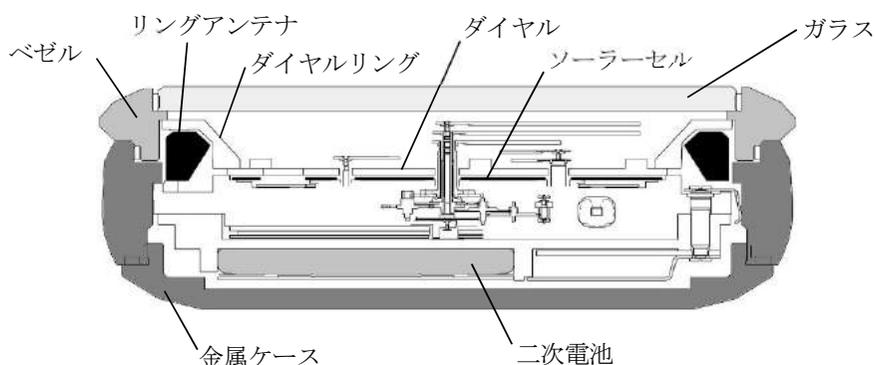


Fig.17 リングアンテナを採用した時計の断面図

Fig.18 は、2012年9月にセイコーウォッチから発売された、測時機能と測位機能を搭載した世界初のGPSソーラーウォッチ セイコーアストロン Cal.7X です。前述のリングアンテナを採用しています。

GPS衛星から信号を受信するためにはエネルギーが必要ですが、従来は、自然エネルギーで発電し駆動する時計を実現することが困難でした。

GPS受信ICの低消費電力化や受信時間を短くする工夫により、ソーラーセルを搭載し外部充電が不要なGPS衛星電波時計を実現することが可能となりました。



Fig.18 Cal.7X

時計として、パッチアンテナおよびリングアンテナは大きな部類に入る部品ですので、アンテナの種類により時計の造形に特徴ができるメリットがあります。しかし、嗜好品である時計において、多くの方にとってもらうには、多種多様なデザインを提供できることも重要です。今後、デザイン自由度の高い時計を実現するためのアンテナ開発が望まれます。

## 5. 位置情報の活用

測位により、算出された位置情報の活用方法を説明します。

GPS 衛星電波時計のメモリには、Fig.19 のように地球上のすべての地域が区画化されたデータベースが内蔵されていて、それぞれの区画にはUTCとの時差であるタイムゾーンが収納されています。

Fig.19 はシンガポール付近を拡大した図ですが、区画サイズは、イメージであり説明のために大きなサイズに簡略化しています。各区画にはタイムゾーンの他にサマータイム情報も収納することができます。サマータイム情報はサマータイムの実施有無、実施期間が含まれます。

測位で算出した位置情報である緯度と経度からどの区画に位置するかを判定して、タイムゾーンとサマータイム情報を割り出します。そして、受信から得られた UTC と割り出したタイムゾーンとサマータイム情報からその場所の時刻に修正し表示します。

例えば、使用者がシンガポールで測位受信した場合、位置情報から区画を判定した結果、タイムゾーンが +8 であることとサマータイムを実施していないことがわかるので、UTC と合わせてシンガポールの時刻に修正することができます。

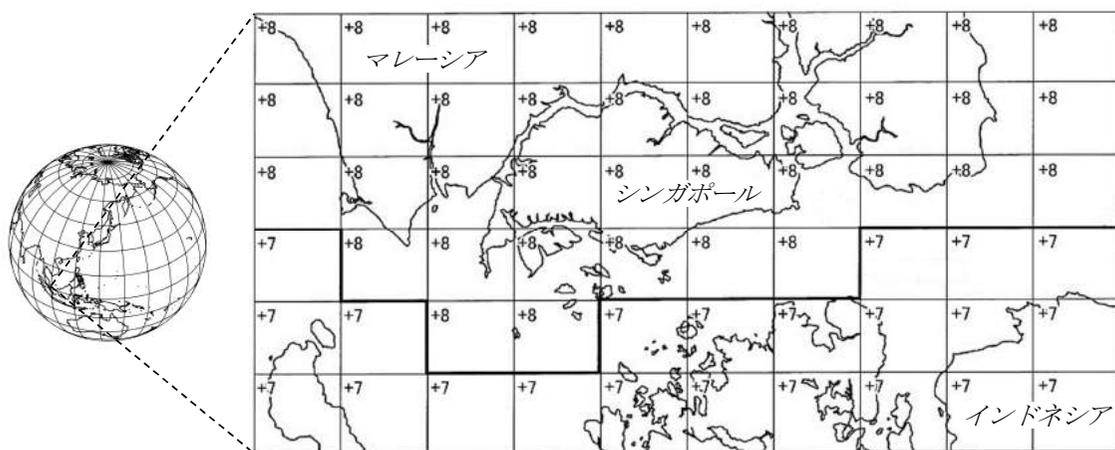


Fig.19 各区画に収納されるタイムゾーン (イメージ)

GPS 衛星電波時計では、使用者がタイムゾーンの変更を必要とする場合と、時刻だけの修正でよい場合に分けて受信方法を選択してエネルギー効率の良い受信が行えるように工夫しています。

具体的には、使用者がタイムゾーンを跨ぐ移動をした場合、使用者の簡単なボタン操作で測位受信を行いその場所に適した時刻に修正します。

一方、タイムゾーンを跨ぐ移動がない日常的な生活の中では、使用者は特定の動作をしなくても、時計が受信可能な環境かどうかを判断して、受信が可能であれば自動で時刻だけの測時受信をします。

このように使用者の生活に合った受信方法を選択して使用することにより、受信時間を短縮してエネルギー収支の改善に貢献しています。

## 6. GPS 衛星電波時計の特徴

Table2 に GPS 衛星電波と電波修正時計が利用している長波の標準電波の比較を示します。

Table2 GPS 衛星電波と標準電波の比較

項目	GPS 衛星電波	標準電波
周波数	1575.42MHz	40k~77.5kHz
送信電力	500W	約 20kW
変調方式	スペクトラム拡散変調	振幅変調 (AM)
受信距離	約 20,200km	1,000~3,000km
受信エリア	地球上のすべての地域	電波塔の近くの地域
データ送信間隔	時刻：6 秒，軌道：30 秒	時刻：60 秒
得られる情報	時刻と位置	時刻
移動中の受信	可	不可

GPS 衛星電波を利用した時計の特徴は、地域に限定されず地球上のすべての地域で受信でき、測位受信した結果からタイムゾーンを判定し時刻表示できることです。また、時刻は短時間で受信でき、カーナビゲーションなどの GPS 機器でも使われているように、屋外での移動中においても受信可能であることがわかります。

Fig.20 は、2014 年 7 月にカシオ計算機から発売された GPS ハイブリッドソーラー電波時計 GPW-1000 です。

GPS 衛星電波時計に長波の標準電波受信機能を搭載して、1つの時計に2つの受信機能を収めています。

2つの受信機能を使い分けてハイブリッド駆動することを特徴としています。

GPS 衛星電波受信機能と長波の標準電波受信機能にスマートフォンを介したタイムサーバ接続を加えて、3つの時刻取得システムを採用した、Bluetooth®搭載 GPS ハイブリッドソーラー電波時計 GPW-2000 も発売されています。



Fig.20 GPW-1000

## 7. おわりに

自然エネルギーだけで発電し駆動する GPS 衛星電波時計は、クォーツ時計の 1 つの進化形として、世界中どこでも正確な時刻を提供し続け、安心感を与えられる機能的な価値を実現しました。

これも、社会的に認知され自由に利用することができる GPS というインフラが整い、技術の進化により GPS 受信 IC の低消費電力化が進み、アンテナの小型化が可能になったからです。

さらに、機能的な価値だけでなく、地球上からはるか遠く離れた宇宙を移動している衛星から送られてくる電波を受信することで、時計と宇宙がつながっているということが想起され、これまでの時計にはないロマンあふれる情緒的な価値が得られていると思います。

今後も、クォーツ時計である衛星電波時計の進化のために技術開発が続けられ、さらに機能面及び情緒的な価値を高めた魅力的な商品となることを期待します。

### (参考文献)

- 1) 寺島真秀:特集 GPS GPS の利用 1 -GPS 受信機の原理-, マイクロメカトロニクス, Vol. 62 No. 219 (2018).
- 2) 馬場教充:特集 GPS GPS の利用 2 -腕時計に納める為の技術-, マイクロメカトロニクス, Vol. 62 No. 219 (2018).
- 3) 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 (2014).
- 4) 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 (2016).
- 5) 特集 GPS 国内メーカーのこれまでの取り組み -カシオ計算機-, マイクロメカトロニクス, Vol.62 No.219 (2018).
- 6) 特集 GPS 国内メーカーのこれまでの取り組み -シチズン時計-, マイクロメカトロニクス, Vol.62 No.219 (2018).
- 7) National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing : Interface Specification “IS-GPS-200G” (2012).
- 8) トランジスタ技術編集部編:GPS の仕組みと応用技術, CQ 出版社 (2009).
- 9) 坂井丈泰:GPS における週番号の決定と時刻表現に関連する諸問題, 測位航法学会論文誌, Vol.2 No.2 (2011).
- 10) 土屋淳, 辻宏道:GPS 測量の基礎, 財団法人 日本測量協会 (1995).
- 11) 内閣府 みちびき ホームページ: <http://qzss.go.jp/index.html>

# 日本の時計産業の概況

2018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 2018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 2018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)

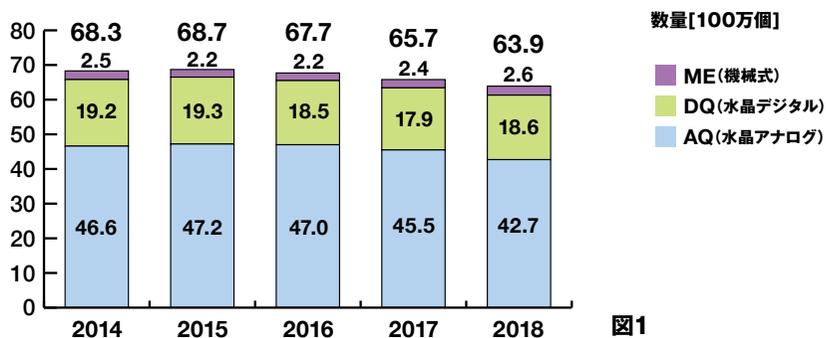
- 1. 日本のグローバルオペレーション：日本の時計企業の海外生産・出荷を含む事業活動
- 2. 図1～8、9～16は日本時計協会の統計データに基づく
- 3. 金額は、輸出はFOB、国内出荷は税抜き売り渡し価額
- 4. AQ は水晶コンビネーションを含む水晶アナログ、DQ は水晶デジタル、ME は機械式時計

2019年 3月

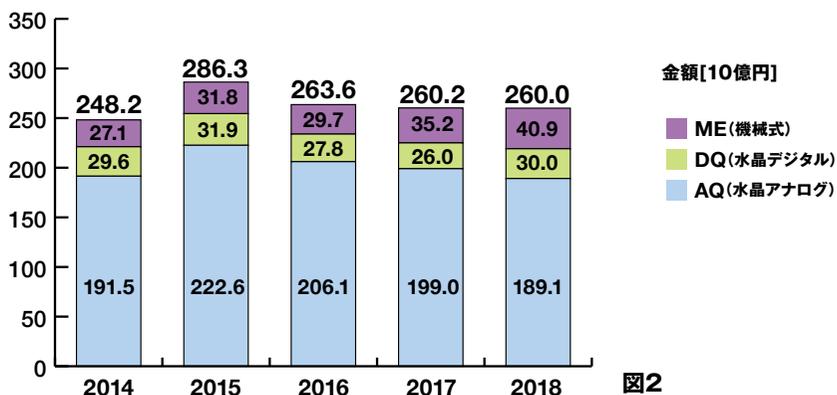
一般社団法人 日本時計協会

## 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]



- 2018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63.9百万個で前年比3%減、金額2,600億円の前年並みであった。
- 機種別数量では、水晶アナログが前年比同6%減、水晶デジタルが同4%増、機械式は同11%増であった。
- 参考値として、2018年の完成品とムーブメントの合計の出荷は、数量455.7百万個(前年比10%減)、金額3,187億円(同2%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。

### 1-3 日本のウォッチ完成品輸出の推移 [機種別]

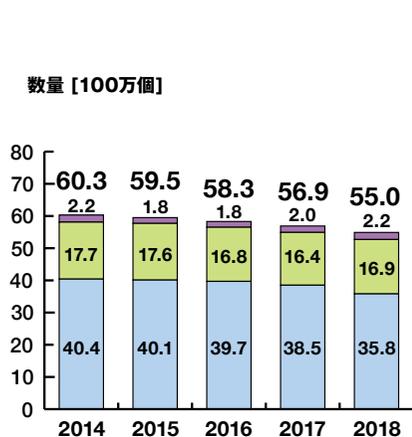


図3

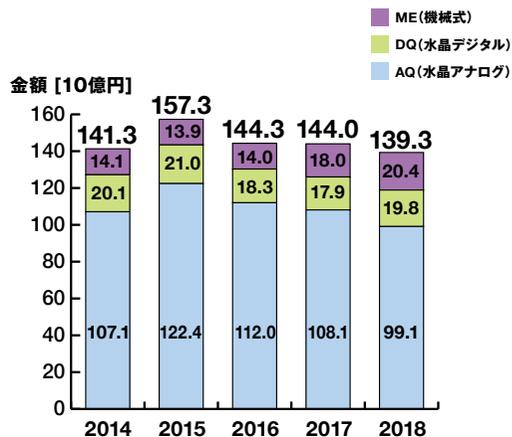


図4

### 1-4 2018年の日本のウォッチ完成品輸出 [地域別構成比]

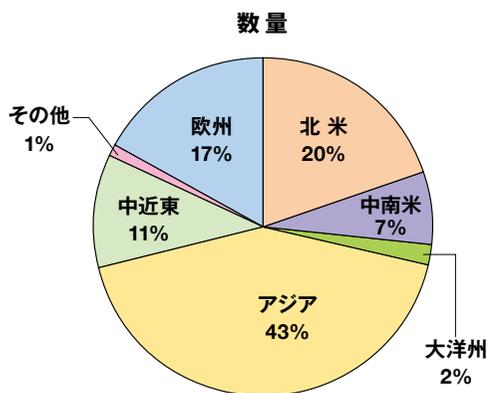


図5

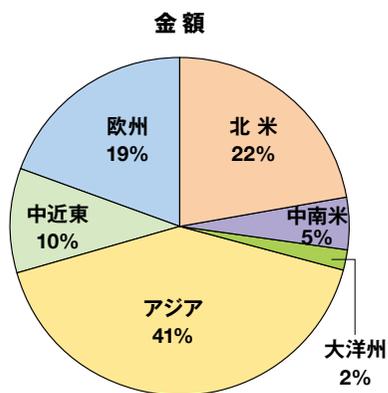
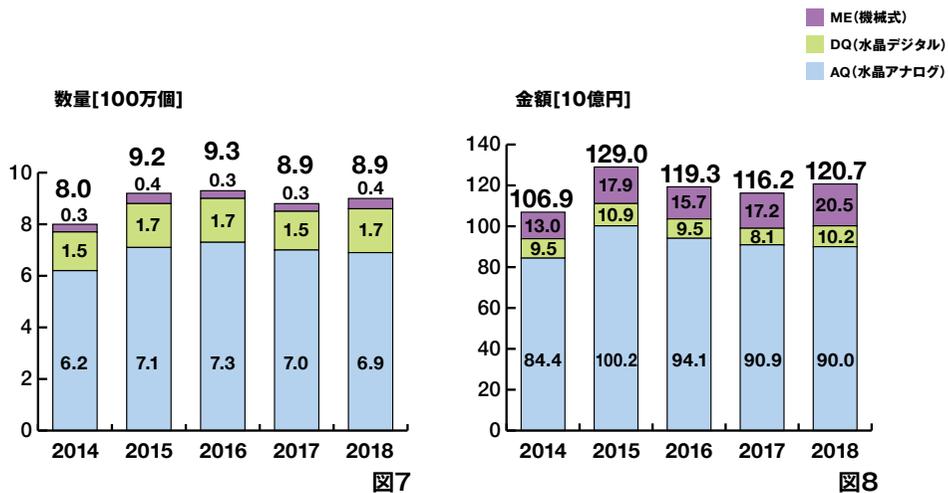


図6

- 2018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55百万個で前年比3%減、金額1,393億円で3%減であった。
- 完成品の主な輸出先の対前年金額比較ではアジアが5%増で、他の地域向けは減少した。

\*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]

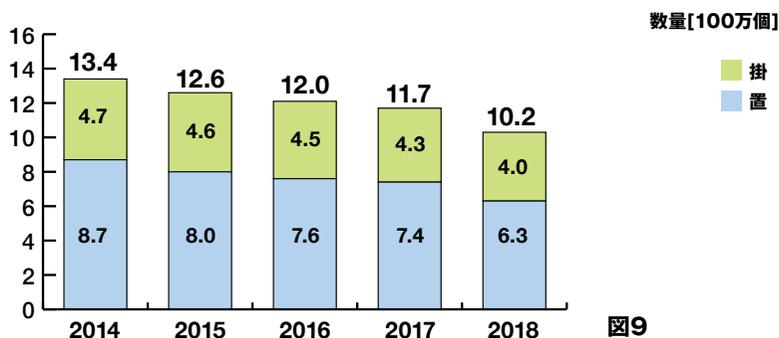


- 2018年日本の時計メーカーによるウォッチ完成品の国内出荷は、数量8.9百万個で前年並み、金額1,207億円と同4%増であった。

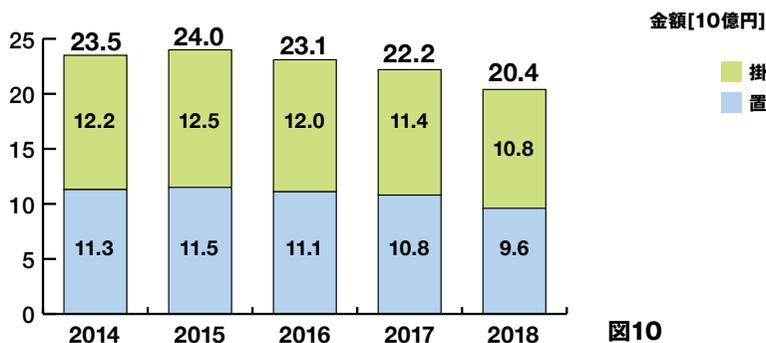
\*四捨五入された数値を表示しているため、実際の計算結果と表示されている合計数が合わない場合があります。

## 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]



- 今年から計器板・その他は含まない(前年比較も同様)。
- 2018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10.2百万個で前年比12%減、金額は204億円で同8%減となった。
- 機種別数量では、置時計が前年比15%減、掛時計が同8%減であった。
- 参考値として、2018年の完成品とムーブメントの合計の出荷は、数量12.0百万個(前年比14%減)、金額209億円(同9%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]

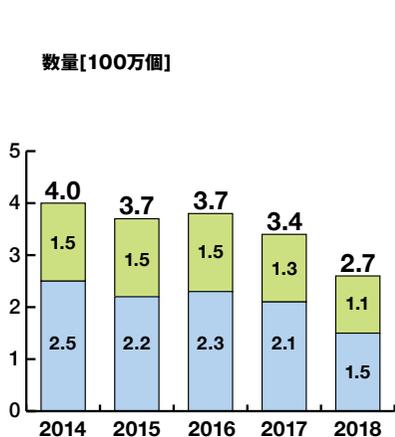


図11

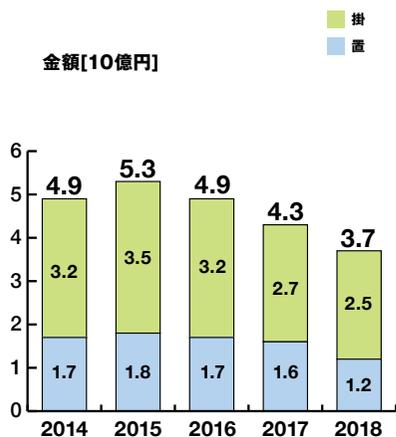


図12

## 2-4 2018年の日本のクロック完成品輸出 [地域別構成比]

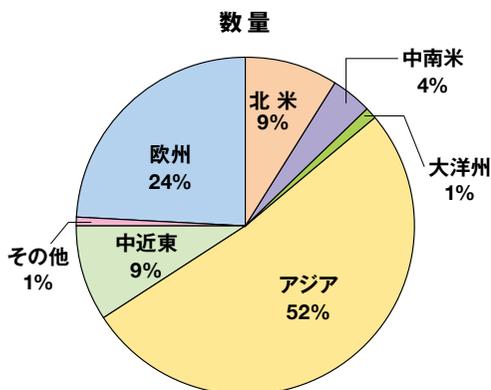


図13

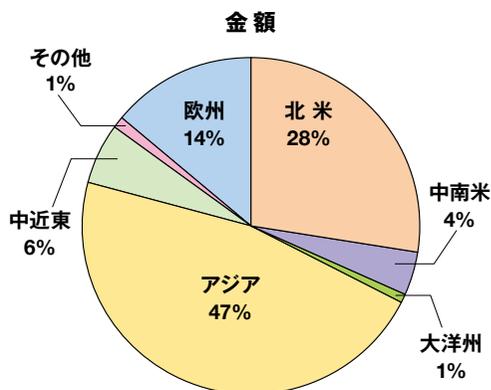


図14

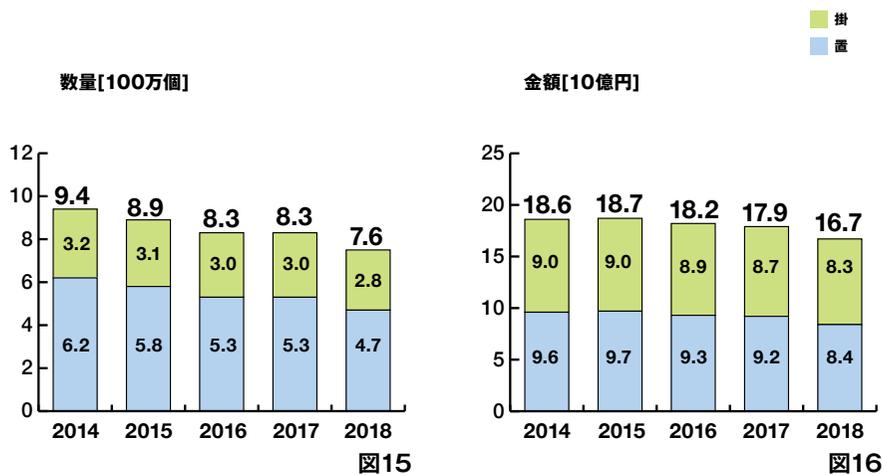
●2018年日本の時計メーカーによるクロック完成品の輸出（海外からの出荷を含む）は、数量2.7百万個で前年比20%減、金額37億円で同13%減であった。

●完成品の主な輸出先の対前年金額比較では中南米が29%増で、他の主な地域向けに減少した。

\*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]



- 2018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7.6百万個で前年比9%減、金額は167億円で同6%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。

## 調査

# 設計工学と製品デザインの融合のための調査研究

春日幸生

玉川大学工学部, 東京都町田市学園 6-1-1, 〒194-8610

## Research and Survey on Complex of Design Engineering and Product Design

Yukio KASUGA

Faculty of Engineering, Tamagawa University, 6-1-1, Tamagawa-gakuen, Machida-shi, Tokyo 194-8610, Japan

### ABSTRACT

One of the prestigious watch & jewelry exhibitions 'Basel world 2019' and some watch museums were surveyed in conjunction with design-oriented ones for aiming at combination design engineering with product design. Watches as precious products show varieties of shape, color, motion, material and so on. This trend is followed by other categories such as architecture and furniture. For students studying either engineering design or product design, it is suggested that they should visit the actual scene, see real products and capture many kinds of many kinds of examples.

### 1. はじめに

筆者が勤務する大学の工学部では、1962年学部創設以来使用してきた「機械」を学科名称として使用しない機械系のエンジニアリングデザイン学科<sup>1)</sup>を2015年に創設した。そして本年3月に第1期生を社会に送り出すことができた。機械工学を掲げない理由には以下のような背景がある。従来の機械工学では四力学と呼ばれる、材料力学、機械力学、流体力学そして熱力学を中心としたカリキュラムが編成されている。入学4年目を迎えた学生の就職活動において、企業からの求人には依然として「機械工学科および機械系学科学生」という形で多く求人が寄せられる。したがって、一見した限りでは現在の機械系の大学教育に課題はないように思われる。

一方、21世紀に入りものづくりには大きな変化も生じている。大量生産される工業製品の代表である自動車は内燃機関からモーターへと動力の主力が移ろうとしている。人手不足解消につながるかもしれないロボットは機械ではあるが、同時にコンピューターとの融合体でもある。スマートフォンに至っては、機構はほとんど使用されていないと言っても過言ではない。売れるものを考えそして作るという観点からすれば、ものづくりは使いやすさ、色の組合せ、便利さ、高級感など、従来の工学的知識だけではカバーできない「デザイン」という要素を含んでいる。そこで我々は工学知識にこれらの分野を加えた総合的な設計ができる人材の輩出を狙いとして新しい学科を創設するに至った。

そもそも日本語で表現している「設計工学」と「製品デザイン」を融合することが可能なのだろうか？英語ではともに「Design」として訳される両者を理解し、そのための教育システムを構築することは重要であり、社会からのニーズも高い。Design と設計の異同<sup>2)</sup>に関して論じられてもいる。日本では微妙な差異があることが記されているが、今回は、これらの一端をうかがい知るべくスイスおよびその近隣国へ飛んだ。時計を中心に、建築や家具についても調査し、その知見の一端を紹介したい。

## 2. 時計

### 2. 1 時計博物館

そもそもなぜ時計なのか？(工学上の)設計と(製品設計の上流に位置する)デザインが見事に同居する工業製品のひとつであるからに他ならない。時計博物館を訪問するにあたり、参考にした「Seven Must-Visit Watch Museums in Switzerland<sup>3)</sup>」によれば、

1. Musée international d'horlogerie  
(La-Chaux-de-Fonds)
2. Musée d'Horlogerie du Locle  
(Le-Locle)
3. Omega Museum(Bienne)
4. Patek Philippe Museum(Geneva)
5. Espace Horloger(Le Sentier)
6. Beyer Clock and Watch Museum(Zurich)
7. IWC Museum(Schaffhausen)



Fig. 1 Visited cities for survey of design

となっている(カッコ内は都市名)。限られた日程で所定の目的を達するには、アクセス、展示の規模それにそれぞれの特徴を把握しなければならず、先述の七つのうち、1, 3, 4, 6, 7を訪問先に選んだ。Fig.1に今回訪問した都市の位置関係を示す。

バイヤー時計博物館<sup>4)</sup>はチューリッヒ駅から南に延びるブランドショップ通りの一角にある。水時計や縦横高さそれぞれ1mはあろうかという最古の機械式時計に始まり、掛け時計、懐中時計が中心のコレクションであった。iPadの貸し出しがあつて理解の一助となった。地の利は訪問した博物館の中でもっとも良いが、ウォッチを目当てに訪問すると満足度は高くはないであろう。

IWC博物館<sup>5)</sup>は日本語のサイトおよび無料貸し出しのiPad(日本語版)が用意されているので、最も日本人にやさしい博物館である。本ブランドは、それまで時計といえば懐中時計であったところに、1915年に腕時計を世に送り出したことを知る。展示はワンフロアであるが広さはバイヤー

博物館の 2.5 倍であろうか。非磁性材料としてベリリウム銅合金から Nb-Zr 合金に移っていったこと、永久カレンダーは 2199 年に部品交換することにより 2499 年まで対応可能であることなど、機械屋としては新鮮で新たな知見を得た。

バーゼルからインターシティーを使ってラ・ショードフォンに向かう際、ちょうど乗換駅となるのがビール（ビエンヌ）である。ここにオメガ博物館<sup>6)</sup>がある。見学科は無料。コアキシャル脱進機を最初に市場へ送り出したブランドであることや、オリンピックでの公式計時用ストップウォッチ、ジェームスボンド 007 そして初めて月に到達した時計の展示など、訪ねるべき博物館である。

パテックフィリップ時計博物館<sup>7)</sup>はジュネーブの街中にありアクセスは悪くない。一階(グランドフロア)から見学を始める。かつて使用されていたマシン類が並んでいる。線引き(ドローベンチあるいは引抜きとも呼ぶ)、穴型圧延にヘッディング。これらはいずれも変形加工と呼ばれる、素形材を二次素形材に加工するマシン類である。筆者の専門でもあり理解は容易である。続いて旋盤やスロッターなどの除去加工に類する切削加工機の一群を、動きと加工プロセスに思いを巡らしながら見る。工房が付設され、作業中の時計師の様子を目にすることができると同時に、使用している手工具類も並べられ、我々でも時計修理ができそうな錯覚に陥る。二階は 1839 年以降に作られたパテックフィリップのコレクションと製品群、三階は製造から 1850 年以前に製造されたアンティーク時計のコレクション群そして四階はアーカイブ室、執務机の再現ルームとなっている。圧倒的な数の時計を目にすることができ、特に七宝を組込んだ時計や、オートマタと呼ばれる仕掛け時計など、貴重な時計が所狭しと展示されている。なお事前に申し込んでおけば、日本語によるガイドツアーへ参加することができるが、館内の写真撮影は不可である。館内見学に際し iPad 貸し出しはあったものの、英語版であったと記憶している。

国際時計博物館<sup>8)</sup>は、フランスと国境を接するスイス側の町ラ・ショードフォンにある。ラ・ショードフォンは世界遺産に指定されており、その登録理由は「時計の町」という位置づけで、整然とした街並みといくつものブランドが本社を構える。時計産業が発達した理由は冬の厳しい気候とも関係があるのかもしれない。

入り口を入ってすぐにある日時計や水時計とともに見学が始まる、時計の長い歴史を時系列で示した時間座標も床に示されている。これによれば、水晶発振式の腕時計の歴史は 5000 年の時計の歴史の中で 1/100 の短いタイムスパンでしかないことを理解させられる。展示品としては多岐にわたり、機械式の時計のルーツとなった航海用の時計、水晶発振式時計のプロタイプ（開発しながら、極東のメーカーに一歩先を越された）、地元の時計師になるための専門学校（Ecole de Mecanique Neuchatel）生が製作した見事な懐中時計、種々のオートマタ（仕掛け時計）、新たに博物館が入手した時計のコレクション、和時計（「国際」と名乗る理由がここにある）など、時計

博物館としては最大規模の展示であった。この博物館の展示手法で注目したいのが、Fig.2に示すその球形のカプセルを1本足で支えた構造であり、より近くで製品を見られるための工夫がなされている。なお、宿泊先ホテルから提供された観光カードは、市内の公共交通は無料、リストアップされた博物館なども無料で入館できる。したがって、国際時計博物館の入館も無料になったことを付記しておく。最寄り駅はスイス国鉄の幹線から外れたローカル線の駅であるが、駅からのアクセスは徒歩圏で問題ないであろう。予想通り訪れるべき博物館である。



Fig. 2 Interior of Musée International d'horlogerie



Fig. 3 Information desk at Basel world 2019

## 2. 2 BaselWorld 2019

ジュネーブサロンとともに新製品の発表とセールスが目的の著名なフェアであるが、旅行者も有料入場が可能である。ホール1, 2, 4に各ブースがひしめいている(日本メーカーはホール1の2階)。なぜかホール2が抜けているが、これはやはりスウォッチグループの不参加が主原因であろうか。スウォッチグループ、すなわちスウォッチやロンジンなどは今回参加していない。ホール1の1階中央にあるメインゲートを入ると、左手前からブルガリ、ウブロ、ロレックス、チューダーそして右手前からタグ・ホイヤー、ゼニス、パテックフィリップ、ショパールと有名ブランドが続く。この中間にインフォメーションがある(Fig.3)。一部のブースには人だかりができていて、新製品の発表を待っているのであろう。運営事務局からの情報として、本ショーで初めて公開された商品をブランド名とともに示すと、STROM(NETHUNS II COLORUM), CZAPEK(SALMON SOCKEYE), ARTYA(SON OF EARTH TOBACCO), CHARRIOL(LADY MARIE-OLGA), RONDA(STARTECH 3500 SERIES), MB&F(Legacy Machine FlyingT), KERBENDANZ(Maximus Royal Tourbillon Jewellery), VOUTILAINEN(Voutilainen 28 E wristwatch), SCHWARZ ETIENNE(Fiji Floral Seconds), MENINTIME(Le Paon), YUNIK(Yunik Bora Bora), BVLGARI(OCTO FINISSIMO TOURBILLON CARBON, SERPENTI SEDUTTORI), BREITLING(BREITLING AVIATOR 8 CURTISS WARHAWK EDITIONS, PREMIER B01

CHRONOGRAPH NORTON EDITION), CHOPARD(L.U.C QUATTRO), CARL F. BUCHERER(PATRAVI SCUBATEC BLACK MANTA SPECIAL EDITION), MUSE(SWISS ART MEN'S WATCHES), PATEK PHILIPPE(REF. 5212A CALATRAVA WEEKLY CALENDAR), HUBLOT(CLASSIC FUSION FERRARI GT), TAG HEUER(AUTAVIA), FREDERIQUE CONSTANT(SLIMLINE MANUFACTURE POWER RESERVE), CHOPARD(HAPPY SPORT OVAL), ALPINA(ALPINERX), ZENITH(DEFY INVENTOR), GUCCI(GRIP)である。ボラボラ島の海をイメージした斬新なフェイスや針の無いウォッチ、さらには新しく立ち上がったブランドなどもある。本フェアの新モデルなどの詳細はすでにネット上で見られるので詳細は参考にされたい<sup>9)</sup>。

ここを過ぎると会場内は落ち着きを見せ、宝飾品をはじめとする他の会場では手持無沙汰のブースも少なからずあったが、AHCI(独立時計師協会)のブースでは脱進機など、目視できる大きさに拡大した様々なメカニズムを展示しており集客があった。同協会の会員でもある日本人出展者である浅岡肇氏のブースもあった。浅岡氏は芸術系大学を卒業後、工業デザイナーなどを経て時計作りの道に入った方である。不在であったため質問の機会を逸したが、お聞きしたかった点もある。時計師になるためのキャリアパス(工学系大学から、あるいは芸術系大学に始まって)において苦労する点は何か?ものづくりがデザイナーの下請けから脱却するには何が求められるか?あるいは表現を変えて、両社が協業できるための条件は何か?などである。会場全体では製品の見せ方にも注目した。我々が国内の工学・工業関連の展示会と異なるのは、ゆったり感、オブジェ(植栽、いすなども含む)の活用ならびに製品を際立たせる手法であり、それらの色調とともにゆったり感を与えていることだ。日本ブランドのディスプレイも現地メーカーに負けず劣らずのプレゼンスを示し、フェア事務局のサイトにも取り上げられている。

ホール1, 3の会場を後にして、通路でつながってはいるものやや離れたところにあるホール4へ。ここにはワイヤ圧延機やレーザーマーカなどの関連デスクトップマシンや、中国、タイ、香港などからの出展がある、ベルト、金庫、収納用ボックス、革ベルトなどの周辺製品が展示されている。また、Hong Kong Pavilion Watch & Clock ブースではウォッチも並べられ、ヨーロッパ、日本製品と比較しても遜色の無い仕上がりに思われる。ただし、日欧メーカーのスタッフによれば、光沢が違うなど差は歴然としているとのこと。今後、自動車のように技術レベルは先行メーカーを脅かすことになるであろうか。

主催者の発表(運営事務局長 Michel Loris-Melikoff氏)によれば、今回はいろいろな意味で変わり目の年であったという。訪問者 81,200名(対前年-20%)、展示ブランド 520(同-20%)そしてメディア関係者 3,300(同-12%)と、残念ながら大幅な減少であったことが報告された。来年はジュネーブサロンとバーゼルワールドは同時期開催が宣言され、従来の活気を取り戻すであろうと期待されている。来年向けのサイトもすでに立ち上がっている。最初にジュネーブで4月26日から

同 29 日までそしてバーゼルで 4 月 30 日から 5 月 5 日までとなっている。海外からの出張は 1 回で済む、とのメリットが強調されている。スウォッチグループの参加は来年あるのか？両会場の振り分けは？など課題も残されている。直近のニュースでは、ブライトリングは show への参加はやめて独自の見本市を開催(チューダーは参加予定)するなど、ちぐはぐな動きもみられる。また、日本に限ればゴールデンウィーク真ただ中でありオリンピックイヤーでもあることから、渡航費用などの高騰は避けられないであろう。本報告が会員に届けられるころには、ホテルの予約を始めることをお勧めする。一連の見学を終えて、筆者自身の目で見えた評価を Table1 にまとめた。趣味の延長で単に旅行者として、そして特に時計にかかわる業務に携わる者にとっては有益な情報が得られると理解したことを付記する。

Table 1 Evaluation of museums and exhibitions on horlogy

	交通 アクセス	入場料 (CHF)	写真撮影	内容	Value for money
Musée international d'horlogerie	○	15(free by card)	OK	◎	◎
Musée d'Horlogerie du Locle	×	10	—	—	—
Omega Museum	○	free	OK	○	○
Patek Philippe Museum	○	10	NG	◎	○
Espace Horloger	△	12	—	—	—
Beyer Clock and Watch Museum	◎	10	OK	△	○
IWC Museum	○	6	OK	○	○
Basel world 2019	◎	45/day	Partly OK	◎	○

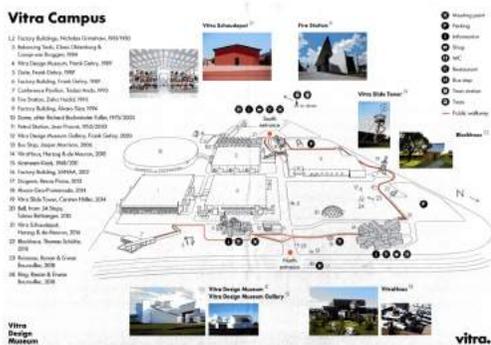


Fig. 4 VITRA Campus



Fig. 5 Sample storage

### 3. 建築構造物ならびに工業製品としての家具

#### 3. 1 VITRA 社

バーゼルのショー会場から国境を越えてドイツ側にわずか 4 km 移動したバイルーアムーライン

に高級家具メーカーの VITRA 社<sup>10)</sup>はある。敷地は広大で、安藤忠雄やザハハディオの設計による建築作品(むろん使用に供している)や家具製造工場(これも、日本の設計事務所 SANAA が担当し 2012 年に完成)、博物館などで構成されている(Fig.4)。ガイド付き工場見学に参加したが、日本の建築事務所スタッフと思われる方々と偶然同行した。製造工場の外壁はコルゲート状の白いアクリル樹脂が使われており、製品デザイン、材料選択ならびに加工技術の見事な連携の成果であることを誇っているようである。膨大な家具のサンプル(Fig.5)は、デザイン学、加工法、色彩などを学ぶための教材になると感じた。

### 3. 2 ル・コルビュジェの作品

ル・コルビュジェは、時計の町ラ・ショードフォン出身であり、家庭環境も含め時計との関わりが少なからずあったが画家、建築家として才能を発揮し歴史に名を遺した天才である。ラ・ショードフォン市内の山の中腹にある、二十歳前後に設計した石の在来建築ならびにジュネーブ市内にある、鉄骨とコンクリートで作上げた近代的なアパートを見学して考えたのが、イノベーションはやはり天才の出現を待たなければならないのか?という思いである。



Fig. 6 Architecture designed by Le Corbusier (left: in La-Chaux-de Fonds, right: in Geneva)

## 4. まとめ

今回、工業製品の設計・ならびにデザインの融合を調査研究する目的でスイスへ出張した。博物館などの訪問内容は上述した通りであるが、観光地で気が付いたのはアジア圏(やはり中国、韓国そして東南アジア)の若者旅行者が多いことである。以前に比べて日本人の若者が減ったように感じた一方で、デザインを学んでいると思しき若い中国人が VITRA CAMPUS まで足を運んで家具のサンプルを前にして熱心に議論しメモを取っていたことは印象的である。

「極東のとある国」で水晶発振式ウォッチが発表された(確か IWC 博物館での説明による)とき、スイスの時計産業が打撃を受けたことは、まぎれもない事実である。およそ 50 年の時を経て、機械式時計が再びその存在力をアピールできている背景には、現地での説明を聞いた範囲では少

なくとも以下の2点が考えられる。まず、時計作りにかかわる技術や人を徹底して守り抜くこと、そしてマーケットやカスタマーに対して製品が素晴らしいことをいかにアピールしていくかということである。日本のものづくりが抱えている課題と被るであろう。

今回の調査では、学科創設にあたり掲げた「グローバル人材」のより明確な具体化も検討課題であった。海外研修を複数用意し、その一つとして語学研修三か月＋時計師養成用の学校での研修三か月合計六か月間海外で研修を実施することである。しかし、時計に関しては関係機関の大半がフランス語圏に位置することから、3か月程度の語学研修ではその成果が限定的であることが判明し、構想の非現実性が判明した。むしろ、筆者のたどったコースを学生が体験することにより味わう非日常も代案として考えられる。中国人学生が経験していたように。

**謝辞：** 国際時計博物館見学に当たっては、木原啓之日本時計学会代表理事の協力を得た。ここに謝意を表す。本稿の執筆を勧めていただいた木村南企画委員長にもお礼申し上げる。

## 参考文献

- 1) <http://www.tamagawa.ac.jp/engineering/ed/>.
- 2) 黒須誠治:デザインと設計の異同, 早稲田大学 WBS 研究センター, No. 46, pp. 1-13 (2015).
- 3) <https://www.watchtime.com/wristwatch-industry-news/lifestyle/must-visit-swiss-watch-museums-switzerland/>
- 4) <http://www.beyer-ch.com/en/museum/portrait/portrait-museum.html>.
- 5) <https://www.iwc.com/ja/company/museum.html>.
- 6) <http://www.omegamuseum.com/>.
- 7) <http://www.patekmuseum.com/>.
- 8) <http://www.chaux-de-fonds.ch/musees/mih>.
- 9) <https://www.rasin.co.jp/blog/baselworld/>.
- 10) <https://www.design-museum.de/de/informationen.html>.

製品紹介

## 製品紹介

### 新開発の「カーボンコアガード構造」を採用した“G-SHOCK”

ボタンガードレスデザインの“GRAVITYMASTER”

カシオ計算機株式会社



GWR-B1000

カシオ計算機は、耐衝撃ウォッチ“G-SHOCK”の新製品として、航空コンセプトの“GRAVITYMASTER（グラビティマスター）”シリーズより、新開発の耐衝撃構造「カーボンコアガード構造」を用いて、高強度かつシリーズ最軽量を実現した『GWR-B1000』を、2019年3月15日に発売しました。

今回ご紹介します『GWR-B1000』は、航空機の機体にも使用されるカーボン素材の特性（耐衝撃性・剛性・耐劣化性）を活かした新しい耐衝撃構造「カーボンコアガード構造」を採用しています。カーボ

ン繊維強化樹脂を用い、ケースと裏蓋を継ぎ目なく一体化させた「カーボンモノコックケース」を使用することで、高強度でありながら“GRAVITYMASTER”シリーズ最軽量を実現しました。

また、ケースの強度向上と回路押さえ板の構造を変更し、ケース側面のボタンを覆うガードが無くて  
も、ボタンシャフトや基板への直接衝撃を抑制できるようになりました。これにより、今までの  
“G-SHOCK”のイメージを一新する大胆な「ボタンガードレスデザイン」が可能になりました。

バンドには引張耐久力に優れたカーボンファイバーインサートバンドを採用し、過酷な環境下でも使用  
が可能で、2時側のボタンにはストップウォッチのダイレクト計測機能を備えるなど、操作性に  
もこだわりました。また、外気に触れる全てのメタルパーツにはチタンを用い、軽量化だけでなく防  
錆性能も備えています。Bluetooth®接続や標準電波受信による時刻修正で航空ミッションに求められる  
時刻精度も確保し、素材・構造・機能の全てにおいて更なる可能性を追求しました。

製品名	カラー	メーカー希望小売価格	発売日
GWR-B1000-1A1	ブルー×ブラック	90,000 円＋税	2019 年 3 月 15 日
GWR-B1000-1A	グレー×ブラック	90,000 円＋税	2019 年 3 月 15 日



GWR-B1000-1A1



GWR-B1000-1A



カーボンベゼル



カーボンファイバーインサートバンド



ケース側面

< 新開発「カーボンコアガード構造」 >



### (1) カーボンベゼル

高強度かつ軽量のカーボン素材を積層・切削し、ベゼルの形状に成形。側面まで織目模様を巡らせた、強く美しい外装に仕上げました。ケースとの間には隙間を設けることで、パーツがしなり、衝撃を吸収するような設計にしています。

### (2) カーボンモノコックケース

耐衝撃性、剛性、耐劣化性に優れ、金属代替樹脂として使用されるカーボン繊維強化樹脂を使用。ケースと裏蓋の継ぎ目がない一体構造にすることで、強度の向上と耐衝撃性を確保しながら軽量化を実現しました。

### (3) ボタンガードレスデザイン

ケースの強度向上と回路押さえ板の構造変更により、ボタンシャフトや基板への直接衝撃を抑制し、ボタンガードのない構造を実現しました。ボタン周囲をパイプで覆うことで、ボタンの強度と押しやすさを向上。高弾性と高硬度を併せ持つ緩衝パーツで、ケースへの衝撃を緩和しています。

## GWR-B1000 の主な仕様

構造	TRIPLE G RESIST (耐衝撃性能、耐遠心重力性能、耐振動性能)、ラストレジスト構造 (防錆構造)	
防水性能	20 気圧防水	
電波受信機能	自動受信 (最大 6 回/日) (中国電波は最大 5 回/日) / 手動受信	
通信仕様	通信規格	Bluetooth® low energy (※1)
	通信距離	~2m (環境により変化)
ストップウォッチ	1 秒、24 時間計、フライバック付き、ダイレクトスタート付き	
タイマー	セット単位: 1 分、最大セット: 24 時間、1 秒単位で計測	
アラーム	時刻アラーム	
その他の主な機能	モバイルリンク機能 (フライトログ機能、自動時刻修正、各種時計設定 等)、バッテリーインジケータ表示 等	
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	パワーセービング状態で約 18 ヶ月 (※2)	
大きさ	50.1×46.4×16.9 mm	
質量	約 72g	

※1 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。

※2 暗所で一定時間が経過すると運針を止めて節電します。

## 会 報

一般社団法人 日本時計学会  
2019年度 事業計画書  
(自 2019年1月1日～至 2019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, 中央大学理工学部で開催する。  
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2件選定し, 専門の講師を招いての研究会を,  
4月及び11月の2回, 中央大学理工学部で開催する。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 玉川大学工学部非常勤講師・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。2019年度は, 分科会メンバーの募集, 他業界での AI 応用技術調査, 特別研究会  
等を実施する。

#### 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. 63, No. 220 : 2019年6月, 280部

Vol. 63, No. 221 : 2019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 : 2019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, 2017年度および2018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53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53回青木賞贈呈式を行う。

## **[2] ベストプレゼンテーション賞**

総会・学術講演会における優秀な講演発表者に対し、第2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。

### **[2] 外国機関との交流**

スイス：スイス時計学会 SSC: Société Suisse de Chronométrie, ドイツ：Technische Informationsbibliothek und Universitätsbibliothek Hannover(TIB/UB)等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、関係学会など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 平成31年 1月 1日 至 平成31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】				
入金収入	2,000	3,000	△ 1,000	
【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	2,075,000	2,150,000	△ 75,000	
【事業収入】				
事業収入(研究会)	150,000	100,000	50,000	
事業収入(講演会)	550,000	550,000	0	
広告収入	170,000	170,000	0	
【雑収入】				
受取利息収入	100	1,000	△ 900	
雑収入	50,000	30,000	20,000	
事業活動収入計	3,801,200	3,808,100	△ 6,900	
〔事業活動支出〕				
【事業費支出】				
臨時雇用賃金支出	1,100,000	1,040,500	59,500	
広報活動費支出	130,200	129,600	600	
旅費交通費支出	80,000	100,000	△ 20,000	
通信運搬費支出	60,000	85,000	△ 25,000	
消耗品費支出	20,000	20,000	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	497,400	497,400	0	
諸謝金支出	80,000	80,000	0	
雑支出	100,000	115,000	△ 15,000	
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	409,000	41,000	
会議費支出	5,000	10,000	△ 5,000	
旅費交通費支出	30,000	50,000	△ 20,000	
通信運搬費支出	50,000	70,000	△ 20,000	
消耗品費支出	50,000	50,000	0	
印刷製本費支出	10,000	10,000	0	
光熱水料費支出	25,000	25,000	0	
賃借料支出	497,400	497,400	0	
租税公課支出	80,000	80,000	0	
雑支出	5,000	5,000	0	
事業活動支出計	4,095,000	4,098,900	△ 3,900	
事業活動収支差額	△ 293,800	△ 290,800	△ 3,000	
当期収支差額	△ 293,800	△ 290,800	△ 3,000	
前期繰越収支差額	1,873,624	2,414,667	△ 541,043	
次期繰越収支差額	1,579,824	2,123,867	△ 544,043	

一般社団法人 日本時計学会  
平成30年度(2018年度) 事業報告書  
(自 2018年1月1日～至 2018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 : 2018年9月14日(金) 11:00～19:30  
会場 : 中央大学工学部 後楽園キャンパス 5号館 5134, 5135, 5136, 5234号室  
プログラム

- ・講演発表 : 7件
- ・製品展示セッション : 5社
- ・特別講演 : 1件  
テーマ:「変化にチャレンジ」  
講師 : 株式会社ビー・ストーム 志村 則彰氏
- ・技術交流会  
\*午後より談話室でのコーヒーの無料サービスを実施し、会員の交流を図った。

参加者 : 73名

#### [2] 研究会

##### ① 春季研究会 :

日時 : 2018年4月26日(木) 13:00～14:40  
会場 : 中央大学工学部 2号館 2735号室  
テーマ : ”触れる”、をデジタルに。～2.5Dプリントシステムの概要と展望～  
講師 : カシオ計算機株式会社 2.5D事業部  
部長 黒澤 諭 氏  
参加者 : 19名

##### ② 秋季研究会 :

日時 : 2018年11月9日(金) 14:00～15:40  
会場 : 中央大学工学部 2号館 2735号室  
テーマ : 「原子時計の2つの方向性:高精度化と小型消費電力化」  
講師 : 国立研究開発法人 情報通信研究機構(NICT) 電磁波研究所 時空標準研究室  
室長 井戸 哲也 氏  
参加者 : 24名

#### [3] 見学会 :

日時 : 2018年6月28日(木) 13:00～15:00  
見学先 : セイコーミュージアム (東京都墨田区東向島)  
参加者 : 22名

### 2. 時計及び時計応用技術に関する研究調査分科会

2018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 玉川大学工学部非常勤講師・本学会理事)

2018年度は、「AIを利用した機械式時計組立ロボットの可能性」をテーマとした先端技術研究・調査を行なった。

### 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回発行した.

Vol. 62, No. 218 : 2018年 6月, 280部

Vol. 62, No. 219 : 2018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 : 2018年 9月, 150部

### 4. 研究の奨励及び研究業績の表彰

#### [1] 青木賞

第52回青木賞選考は, 2016年度および2017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13編に対して, 選考委員10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52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52回青木賞表彰論文: 「EU REACH 規制対応 6価クロム除去剤の開発」

- 学会誌掲載: Vol.61, No.217 (2017年12月)

- 執筆者: 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, 下記の2つの講演に対して, 第1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した.

タイトル	所属	講演者
新型時計用潤滑油 AO-オイルの開発	シチズン時計(株)	赤尾 祐司 氏
GPS アンテナの高感度化と高精度液晶表示の省電力化	カシオ計算機(株)	栗原 正志 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」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.

#### [2] 外国機関との交流

スイス: スイス時計学会(SSC: Société Suisse de Chronométrie),

ドイツ: Technische Informationsbibliothek und Universitätsbibliothek Hannover (TIB/UB) 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

2018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	2017年2月24日	無し	業務総括	中央大学
業務執行理事	木原 啓之	非常勤	2017年2月24日	無し	代表理事補佐 事務局（経理）	シチズン時計（株）
業務執行理事	小池 邦夫	非常勤	2017年2月24日	無し	事務局（総務）	セイコーエプソン（株）
理事	足立 武彦	非常勤	2017年2月24日	無し	編集担当	横浜国立大学
理事	今村 美由紀	非常勤	2017年2月24日	無し	青木賞担当 企画担当	セイコークロック（株）
理事	梅田 和昇	非常勤	2017年2月24日	無し	事業委員長 企画担当	中央大学
理事	大谷 親	非常勤	2017年2月24日	無し	青木賞委員長 事業・企画担当	千葉工業大学
理事	木村 南	非常勤	2017年2月24日	無し	企画委員長	玉川大学
理事	佐々木 健	非常勤	2017年2月24日	無し	企画担当	東京大学大学院
理事	滝澤 勝由	非常勤	2017年2月24日	無し	事業・企画担当	セイコーインスツル（株）
理事	常葉 輝久	非常勤	2018年2月23日	無し	編集・事業担当	カシオ計算機（株）
理事	中島 悦郎	非常勤	2017年2月24日	無し	広報・企画担当	パイテックインターナシ ョナル（株）
理事	檜林 達雄 (6月12日御逝去)	非常勤	2017年2月24日	無し	編集担当	東海大学
理事	増田 純夫	非常勤	2017年2月24日	無し	編集担当	認定NPO法人 富士山 測候所を活用する会

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	2015年2月24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 2018年2月23日 (定時社員総会前)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 新任の運営委員の選任</li> <li>・ 定時社員総会議案についての確認               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1号議案 2017年度収支決算及び事業報告</li> <li>- 2号議案 2018年度予算及び事業計画</li> <li>- 3号議案 理事の選任</li> </ul> </li> <li>・ 出版編集関係</li> <li>・ 新入会員の承認</li> </ul>	承認 提案内容承認  審議・承認 承認
第2回理事会 同 2月23日 (定時社員総会后)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 定時社員総会議案についての確認</li> <li>・ 2018年度の体制について</li> <li>・ 2018年度春季研究会について</li> <li>・ 2018年度見学会について</li> <li>・ 2018年度理事会の日程について</li> <li>・ ベストプレゼンテーション賞の実施について</li> <li>・ 2018年度分科会企画提案について</li> <li>・ 2018年度秋季研究会について</li> <li>・ 学会誌特集号の宣伝について</li> </ul>	確認 審議・承認 承認 承認 承認 継続審議 審議・承認 審議・承認 審議・承認
第3回理事会 同 4月26日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 出版編集関係</li> <li>・ 学会誌特集の宣伝について</li> <li>・ ベストプレゼンテーション賞について</li> <li>・ 2018年度研究調査分科会について</li> <li>・ 2018年度春季研究会実施報告(速報)</li> <li>・ マイクロメカトロニクス学術講演会について</li> <li>・ 2018年度見学会について</li> <li>・ 第52回青木賞選考の進め方について</li> <li>・ 新入会員の承認</li> </ul>	承認 審議・承認 継続審議 継続審議 承認 審議・承認 承認 承認 承認
第4回理事会 同 6月28日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 出版編集関係</li> <li>・ ベストプレゼンテーション賞について</li> <li>・ 2018年度研究調査分科会について</li> <li>・ マイクロメカトロニクス学術講演会について</li> <li>・ 2018年度春季研究会報告</li> <li>・ 2018年度見学会実施報告(速報)</li> <li>・ 第52回青木賞選考の経緯と表彰論文の推薦について</li> <li>・ 新入会員の承認</li> </ul>	承認 審議・承認 継続審議 審議・承認 承認 承認 審議・承認  承認
第5回理事会 同 9月14日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 出版編集関係</li> <li>・ 2018年度秋季研究会について</li> <li>・ 2018年度見学会報告</li> <li>・ ベストプレゼンテーション賞について</li> <li>・ 学会誌の特集について</li> <li>・ マイクロメカトロニクス学術講演会実施報告</li> <li>・ 新入会員の承認</li> </ul>	承認 承認 承認 審議・承認 審議・承認 承認 承認

第 6 回理事会 同 11 月 9 日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 出版編集関係</li> <li>・ 定時社員総会議案検討</li> <li>・ マイクロメカトロニクス学術講演会会計報告</li> <li>・ 2018 年度秋季研究会実施報告（速報）</li> <li>・ ベストプレゼンテーション賞の審査結果報告</li> <li>・ 2018 年度研究調査分科会について</li> <li>・ 学術著作権協会の転載許諾事業開始について</li> <li>・ 新入会員の承認</li> </ul>	承認 継続審議 承認 承認 継続審議 審議・承認 承認
第 7 回理事会 同 12 月 21 日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 出版編集関係</li> <li>・ 定時社員総会議案検討</li> <li>・ 2018 年度研究調査分科会について</li> <li>・ 2019 年度特別研究会について</li> <li>・ 2019 年度研究会・見学会幹事について</li> <li>・ 新入会員の承認</li> </ul>	承認 継続審議 承認 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 2018 年 2 月 23 日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1 号議案 2017 年度収支決算及び事業報告・監査報告</li> <li>・ 2 号議案 2018 年度予算および事業計画</li> <li>・ 3 号議案 理事の選任</li> </ul>	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 : 2017 年 5 月 23 日（2019 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	2018 年度末	2017 年度末	増減数
正会員	155（名）	163（名）	-8（名）
賛助会員	17（社）	17（社）	±0（社）
学生会員	3（名）	4（名）	-1（名）
計	175	184	-9

\*2018 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 平成30年 1月 1日 至 平成30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	280	△ 180	
【入金収入】				
入金収入	3,000	1,200	1,800	
【会費収入】				
正会員会費収入	800,000	772,500	27,500	
学生会員会費収入	4,000	1,000	3,000	
賛助会員会費収入	2,150,000	2,075,000	75,000	
【事業収入】				
事業収入(研究会)	100,000	106,000	△ 6,000	
事業収入(講演会)	550,000	448,000	102,000	
広告収入	170,000	174,960	△ 4,960	
【雑収入】				
受取利息収入	1,000	335	665	
雑収入	30,000	76,766	△ 46,766	
事業活動収入計	3,808,100	3,656,041	152,059	
〔事業活動支出〕				
【事業費支出】				
臨時雇用賃金支出	1,040,500	1,116,477	△ 75,977	
広報活動費支出	129,600	129,600	0	
旅費交通費支出	100,000	64,696	35,304	
通信運搬費支出	85,000	59,335	25,665	
消耗品費支出	20,000	30,223	△ 10,223	
印刷製本費支出	500,000	527,925	△ 27,925	
光熱水料費支出	25,000	23,577	1,423	
賃借料支出	497,400	497,400	0	
諸謝金支出	80,000	55,685	24,315	
雑支出	115,000	161,778	△ 46,778	
会議費支出	300,000	311,876	△ 11,876	
【管理費支出】				
臨時雇用賃金支出	409,000	441,029	△ 32,029	
会議費支出	10,000	0	10,000	
旅費交通費支出	50,000	26,772	23,228	
通信運搬費支出	70,000	47,310	22,690	
消耗品費支出	50,000	76,919	△ 26,919	
印刷製本費支出	10,000	8,340	1,660	
光熱水料費支出	25,000	23,576	1,424	
賃借料支出	497,400	497,400	0	
租税公課支出	80,000	80,000	0	
雑支出	5,000	17,166	△ 12,166	
事業活動支出計	4,098,900	4,197,084	△ 98,184	
事業活動収支差額	△ 290,800	△ 541,043	250,243	
当期収支差額	△ 290,800	△ 541,043	250,243	
前期繰越収支差額	2,414,667	2,414,667	0	
次期繰越収支差額	2,123,867	1,873,624	250,243	

## 正味財産増減計算書

一般社団法人日本時計学会

自 平成30年 1月 1日 至 平成30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	280	90	190
【受取入金】			
受取入金	1,200	1,800	△ 600
【受取会費】			
正会員受取会費	772,500	812,500	△ 40,000
学生会員受取会費	1,000	1,000	0
賛助会員受取会費	2,075,000	2,075,000	0
【事業収益】			
事業収益(研究会)	106,000	86,000	20,000
事業収益(講演会)	448,000	432,000	16,000
事業収益(広告収入)	174,960	174,960	0
【雑収益】			
受取利息	335	1,781	△ 1,446
雑収益	76,766	66,574	10,192
経常収益計	3,656,041	3,651,705	4,336
〔経常費用〕			
【事業費】			
臨時雇用賃金	1,116,477	1,143,077	△ 26,600
広報活動費	129,600	142,992	△ 13,392
旅費交通費	64,696	68,012	△ 3,316
通信運搬費	59,335	43,749	15,586
消耗品費	30,223	30,000	223
印刷製本費	527,925	500,190	27,735
光熱水料費	23,577	0	23,577
賃借料	497,400	516,823	△ 19,423
諸謝金	55,685	55,685	0
雑費	161,778	363,312	△ 201,534
会議費	311,876	290,988	20,888
【管理費】			
臨時雇用賃金	441,029	449,429	△ 8,400
会議費	0	5,423	△ 5,423
旅費交通費	26,772	28,732	△ 1,960
通信運搬費	47,310	27,771	19,539
消耗品費	76,919	154,610	△ 77,691
印刷製本費	8,340	0	8,340
光熱水料費	23,576	0	23,576
賃借料	497,400	516,990	△ 19,590
租税公課	80,000	80,000	0
雑費	17,166	31,114	△ 13,948
経常費用計	4,197,084	4,448,897	△ 251,813
評価損益等調整前当期経常増減額	△ 541,043	△ 797,192	256,149
当期経常増減額	△ 541,043	△ 797,192	256,149
税引前当期一般正味財産増減額	△ 541,043	△ 797,192	256,149
当期一般正味財産増減額	△ 541,043	△ 797,192	256,149
一般正味財産期首残高	8,354,667	9,151,859	△ 797,192
一般正味財産期末残高	7,813,624	8,354,667	△ 541,043
正味財産期末残高	7,813,624	8,354,667	△ 541,043

貸借対照表

一般社団法人日本時計学会

平成30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	2,119,624	2,784,667	△	665,043
流 動 資 産 合 計	2,119,624	2,784,667	△	665,043
【 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	8,059,624	8,724,667	△	665,043
[ 負 債 の 部 ]				
【 流 動 負 債 】				
前 受 会 費	246,000	370,000	△	124,000
流 動 負 債 合 計	246,000	370,000	△	124,000
負 債 合 計	246,000	370,000	△	124,000
[ 正 味 財 産 の 部 ]				
【 一 般 正 味 財 産 】				
その他一般正味財産	7,813,624	8,354,667	△	541,043
一 般 正 味 財 産 合 計	7,813,624	8,354,667	△	541,043
(うち基本財産への充当額)	( 500,000)	( 500,000)	(	0)
正 味 財 産 合 計	7,813,624	8,354,667	△	541,043
負 債 及 び 正 味 財 産 合 計	8,059,624	8,724,667	△	665,043

貸借対照表

一般社団法人日本時計学会

平成30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
<b>【流動資産】</b>				
	現金			78,582
	現金			78,582
	預金			2,041,042
	普通預金(りそな銀行)			1,470,705
	郵便振替貯金			570,337
	<b>流動資産合計</b>			<b>2,119,624</b>
<b>【固定資産】</b>				
(基本財産)				
	基本財産			500,000
	定期預金(りそな銀行)			500,000
	敷金			500,000
	その他固定資産			140,000
	定期預金(りそな銀行)			5,300,000
	その他固定資産合計			5,300,000
	<b>固定資産合計</b>			<b>5,940,000</b>
<b>資産合計</b>				<b>8,059,624</b>
<b>【流動負債】</b>				
	前受会費		2019年度会費	246,000
	<b>流動負債合計</b>			<b>246,000</b>
<b>負債合計</b>				<b>246,000</b>
<b>正味財産</b>				<b>7,813,624</b>

# 一般社団法人 日本時計学会 平成 30 年 (2018 年) 11 月度 理事会議事録

## － 2018 年度 第 6 回理事会 －

(記録：小池 邦夫 2018 年 11 月 9 日)

1. 開催日時：平成 30 年 (2018 年) 11 月 9 日 (金) 16:00-17:30

2. 場所：中央大学理工学部 後楽園キャンパス 2 号館 2735 号室

3. 出席者：

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

(以上 13 名) 理事総数 14 名の過半数につき理事会成立

<監事>山本 (以上 1 名)

<運営委員>大村, 小水内, 重城, 鈴木, 寺嶋, 土肥, 藤田, 古川, 横山 (以上 9 名)

4. 審議事項

(1) 平成 30 年 (2018 年) 9 月度理事会議事録確認

(2) 出版編集関係 (寺嶋運営委員 (編集委員長) より説明)

・マイクロメカトロニクス 2018 年 12 月号 (Vol.62, No.219) の入稿および校閲状況等について.

(3) 年度末に向けての確認 (小池業務執行理事 (総務担当) より報告)

・定時社員総会開催候補日の確認：①2019 年 3 月 8 日 (金), ②3 月 4 日 (月), ③2 月 4 日 (金)

・定時社員総会議題の確認

(4) マイクロメカトロニクス学術講演会会計報告 (土肥運営委員 (事業委員) より報告)

(5) 秋季研究会報告 (速報) (重城運営委員 (秋季研究会幹事) より報告)

(6) 新入会員の承認

(7) 次回理事会

・2018 年 12 月 21 日 (金) 16:00~17:00 中央大学理工学部 後楽園キャンパス

(8) その他

・2018 年度研究調査分科会について (木村理事 (企画委員長) より説明)

・ミットヨ・アメリカ前会長による特別講演会と博物館見学について (木村理事 (企画委員長) より説明)

5. 報告事項

(1) 会員数状況 (2018 年 11 月 9 日承認後)

・正会員 158 名 (±0), 学生会員 3 名 (±0), 賛助会員 17 社 (±0) (84 口 (±0))

(2) その他 (事務局からの報告事項他)

---

一般社団法人 日本時計学会 平成 30 年（2018 年）12 月度 理事会議事録  
－ 2018 年度 第 7 回理事会 －

（記録：小池 邦夫 2018 年 12 月 21 日）

1. 開催日時：平成 30 年（2018 年）12 月 21 日（金）16:00-17:45

2. 場所：中央大学理工学部 後楽園キャンパス 2 号館 2735 号室

3. 出席者：

<理事>大隅，木原，今村，梅田，大谷，木村，佐々木，常葉，増田，小池

（以上 10 名）理事総数 14 名の過半数につき理事会成立

<監事>山本，吉村（以上 2 名）

<運営委員>小水内，重城，鈴木，土肥，藤田，横山（以上 6 名）

4. 審議事項

（1）平成 30 年（2018 年）11 月度理事会議事録確認

（2）出版編集関係（増田理事（編集委員）より説明）

・マイクロメカトロニクス 2019 年 6 月号（Vol.63, No.220）の入稿および校閲状況等について.

（3）定時社員総会議案確認（小池業務執行理事（総務担当）より説明）

・定時社員総会日程の確認：2019 年 3 月 4 日（月）17:00 - 18:00

・定時社員総会議題の確認

（4）平成 30 年度（2018 年度）事業報告，2019 年度事業計画（小池業務執行理事（総務担当）より説明）

・2018 年度事業報告書（案）及び 2019 年度事業計画書（案）について確認を行った.

（5）2018 年度決算見込み，2019 年度収支予算案の確認（木原業務執行理事（経理担当）より説明）

・2018 年度決算見込及び 2019 年度収支予算（案）について確認を行った.

（6）秋季研究会報告（重城運営委員（秋季研究会幹事）より報告）

（7）2018 年度研究調査分科会報告および 2019 年度特別研究会について（木村理事（企画委員長）より説明）

（8）2019 年度研究会・見学会幹事（案）について（大谷理事（事業委員）より説明）

2019年度 研究会および見学会の幹事	
春季研究会（4月頃）	セイコークロック（株）
秋季研究会（11月頃）	リズム時計工業（株）
見学会（6月頃）	シチズン時計（株）

**(9) 新入会員の承認**

**(10) 次回理事会**

- ・2019年度第1回理事会開催日：2019年3月4日（金）16:00～17:00 定時社員総会前  
中央大学理工学部 後楽園キャンパス

**(11) その他**

- ・2019年度の理事、監事及び運営委員の候補について（小池業務執行理事（総務担当）より説明）

**5. 報告事項**

**(1) 会員数状況（2018年12月21日承認後）**

- ・正会員 155名 (-3)，学生会員3名 (±0)，賛助会員17社 (±0) (83口 (±0))

**(2) その他（事務局からの報告事項他）**

- ・転載許諾依頼について
- ・ベストプレゼンテーション賞の学会ホームページ掲載について

以上

**一般社団法人 日本時計学会 2019年3月度 理事会議事録**

**－ 2019年度 第1回理事会 －**

（記録：小池 邦夫 2019年3月4日）

**1. 開催日時：**2019年3月4日（金）16:00-17:00

**2. 場所：**中央大学理工学部 後楽園キャンパス 2号館2735号室

**3. 出席者：**

<理事>大隅，木原，今村，大谷，木村，滝澤，常葉，中島，小池（以上9名）

<監事>山本，吉村（以上2名）

理事総数14名の過半数につき理事会成立

<運営委員>大村，小水内，重城，鈴木，土肥，藤田，横山，寺嶋，古川（以上9名）

#### 4. 審議事項

- (1) 平成 30 年 (2018 年) 12 月度理事会議事録確認
- (2) 定時社員総会議案についての確認 (木原業務執行理事, 小池業務執行理事より説明)
  - 1 号議案 平成 30 年度 (2018 年度) 決算及び事業報告
  - 2 号議案 2019 年度収支予算及び事業計画
  - 3 号議案 理事および監事の選任
- (3) 新入会員の承認
- (4) 次回理事会
  - ・ 2019 年 3 月 4 日 (金) 定時社員総会終了後 中央大学理工学部 後楽園キャンパス

#### 5. 報告事項

- (1) 会員数状況 (2019 年 3 月 4 日承認後)
  - ・ 正会員 161 名 (+6), 学生会員 3 名 (±0), 賛助会員 16 社 (-1) (82 口 (-1))
- (2) その他 (事務局からの報告事項他)

以上

---

### 一般社団法人 日本時計学会 2019 年度 定時社員総会 議事録

(記録: 小池 邦夫 2019 年 3 月 4 日)

1. 開催日時: 2019 年 3 月 4 日 (月) 17:00-18:00
2. 場所: 中央大学理工学部 後楽園キャンパス 2 号館 2735 号室
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 155 名, 総社員の議決権の数 155 個, 出席社員数 90 名 (委任状 70 名を含む),  
定時社員総会議決権の総数 90 個,  
出席理事: 大隅 (議長), 木原, 今村, 大谷, 木村, 滝澤, 常葉, 中島, 小池 (議事録作成)  
出席監事: 山本, 吉村

#### 4. 議題:

- (1) 1 号議案: 平成 30 年度 (2018 年度) 決算及び事業報告
  - 1) 「平成 30 年度 (2018 年度) 決算報告書」について, 経理担当 木原業務執行理事より説明報告があり, 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) 「平成 30 年度 (2018 年度) 事業報告」について, 総務担当 小池業務執行理事より説明報告があり,

異議なく承認された。

## (2) 2号議案：2019年度予算及び事業計画

1) 「2019年度収支予算書」について、経理担当 木原業務執行理事より説明があり、異議なく承認された。

2) 「2019年度事業計画」について、総務担当 小池業務執行理事より説明があり、異議なく承認された。

## (3) 3号議案：理事および監事の選任

1) 理事 13名並びに監事 1名について、定時社員総会の終結と同時に任期満了し、退任することになった。また、常葉理事については辞任届が提出され、承認された。ついで、理事改選の必要があり、議長より、理事 13名（重任 11名、就任 1名、新任 1名）並びに監事 1名（重任）が提案された。一同異議なく、承認された。

新任理事：飯田 謙司 氏（セイコーエプソン（株））

2018年度で退任する理事

退任理事（任期満了）：檜林 達雄 氏

退任理事（任期満了）：小池 邦夫 氏（セイコーエプソン（株））

以上

---

## 一般社団法人 日本時計学会 2019年3月度 理事会議事録

### － 2019年度 第2回理事会 －

（記録：小池 邦夫 2019年 3月 4日）

1. 開催日時：2019年3月4日（月）18:00-19:00

2. 場所：中央大学理工学部 後楽園キャンパス 2号館 2735号室

3. 出席者：

<理事>大隅，木原，今村，大谷，木村，滝澤，常葉，中島（以上8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>大村，橘田，小水内，重城，鈴木，土肥，藤沢，藤田，横山，小池（以上10名）

4. 審議事項

#### (1) 定時社員総会議案についての確認

・定時社員総会で各議案が提案通りに承認されたことを確認した。

#### (2) 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承認された.

新任運営委員 橋田 典幸 氏 (カシオ計算機 (株))  
藤沢 照彦 氏 (セイコーエプソン (株))  
永田 洋一 氏 (シチズン時計 (株))  
小池 邦夫 氏 (セイコーエプソン (株))

- ・2018年度をもって以下の運営委員が退任となった.

退任運営委員 寺嶋 一彦 氏  
古川 常章 氏 (セイコーエプソン (株))

### (3) 2019年度の体制について (小池運営委員より説明)

- a) 2019年度の業務執行体制について協議した結果, 下記の体制で運営することを決定した.

- ・ 代表理事: 木原 啓之
- ・ 業務執行理事 (代表理事補佐・経理担当): 大隅 久
- ・ 業務執行理事 (総務担当): 常葉 輝久

- b) 2019年度の組織体制について協議した結果, 下記の体制で運営することを決定した.

- ・ 広報委員会: 委員長 重城 幸一郎
- ・ 編集委員会: 委員長 今村 美由紀, 副委員長: 鈴木 紀寿
- ・ 事業委員会: 委員長 梅田 和昇
- ・ 青木賞委員会: 委員長 大谷 親
- ・ 企画委員会: 委員長 木村 南

### (4) 出版編集関係 (今村理事 (編集委員長) より説明)

- ・ マイクロメカトロニクス 2019年6月号 (Vol.63, No.220) の入稿および校閲状況等について.

### (5) 秋季研究会報告 (重城運営委員 (秋季研究会幹事) より報告)

### (6) 春季研究会計画 (横山運営委員 (春季研究会幹事) より説明)

### (7) 2019年度見学会の提案 (鈴木運営委員 (見学会幹事) より説明)

### (8) 2019年度理事会の日程について

### (9) 企画委員会より (木村理事 (企画委員長) より説明)

- ・ 特別研究会実施報告
- ・ 2019年度研究調査分科会について
- ・ 2019年度特別研究会開催について

### (10) 次回理事会

- ・ 2019年4月19日 (金) 16:30~17:30 中央大学理工学部 後楽園キャンパス

5. 報告事項

(1) その他（事務局からの報告事項他）

以上

## 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。

〒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

“令和”の時代を迎えました。

時が流れる速さも1日の長さも変わりませんが、AIやIoTなどの技術革新がもたらすライフスタイルの進化と多様化、また甚大化する災害や温暖化をはじめとする地球環境の変化により、私たちが日々の暮らしの中で実感する“時”の長さは、時代とともに大きく変わりつつあると感じます。

これからの時代に社会がどのように進歩・発展していくのか未来を予想するのは困難ですが、“時”の流れ方が変わっても平和で災害のない時代が続くことを願ってやみません。

日本時計学会が創設されて70年が経ちました。この間、学会誌名を日本時計学会誌からマイクロメカトロニクスに変更し、時計応用技術に関する調査研究をウェアラブル情報機器も含めた分野に広げて活動してきました。今後も学術講演会、研究会、見学会、学会誌等を通じて人々の時に寄り添っていきたいと思います。皆様の積極的なご参加を心よりお待ちしております。

(小池 邦夫 記)