マイクロメカトロニクス
（日本時計学会誌）Vol. 62, No. 218

研　究

GPS と気圧センサーを用いた高精度標高計測技術

佐野 史和, 山形 整功, 前澤 秀和
セイコーエプソン株式会社 WP 企画設計部, 長野県塩尻市塩尻町 390, 〒399-0796

（2017 年 3 月 17 日受付，2018 年 5 月 14 日再受付，2018 年 5 月 20 日採録）

High-Precision Altitude Measurement Technology Using GPS and a Barometer

Fumikazu SANO, Yoshitaka YAMAGATA, and Hidekazu MAEZAWA
SEIKO EPSON CORPORATION, 390, Shiojiri-machi, Shiojiri-shi, Nagano-ken 399-0796, Japan

（Received March 17, 2017, Revised May 14, 2018, Accepted May 20, 2018）

ABSTRACT

We developed high precision altitude measurement technology for a watch. The technology uses barometer and GPS together in which barometer calibrated with GPS altitude. We optimized the intake part of the air to improve the accuracy of the barometer. Moreover, we developed an automatic correction method of barometer using the temperature formula based on the statistical data and the altitude data acquired by a GPS receiver. With combining these methods, we realized high precision altitude measurement on a watch.

１．はじめに

富士山の世界遺産登録や山の WEB サイトの利用者の急増に象徴されるように, 近年では登山を楽しむ人が増えている．登山では目的地までの標高差を基に，ペース配分や休憩のタイミングを決定するため正確な標高計測が必要となる．

セイコーエプソン株式会社では，自社製高精度 GPS を搭載したランナー向けリスト機器 WristableGPS を 2012 年に発売し, 高精度な水平（2D）距離計測とペース計測により多くのランナーから支持を得た．

さらに 2015 年には，GPS と気圧計を搭載した登山向けリスト機器 MZ-500 を新たに発売した（Fig. 1）．この MZ-500 では，GPS と気圧計による高精度な標高計測と 3D 距離計測を実現している．

Fig. 1　WristableGPS for Trek (MZ-500).

リスト機器における気圧を利用した標高計測には, これまでいくつかの課題が存在してきたことから, 高精度で安定的な計測が困難であった．我々は，これらの課題を解決し，リスト機器においても高精度で安定的な標高計測の手法の開発に成功した．

本論文では，それら課題の詳細と，開発した新手法について述べる。

２．気圧標高計測の原理と課題

２．１　気圧標高計測の基本原理

気圧は標高に対して一定の割合で変化し，その変化率は主に気温で決まる．気圧による標高計測（以下，気圧標高計測）はこの原理を用い，ある標高における気圧と気温を基準とし，現地の気圧により算出する．算出にあたっては，気圧計で一般的に利用される ICAO（International Civil Aviation Organization, 国際民間航空機関）標準大気を利用した次式を用いる：

$$h = \frac{T_0}{b}\left(1 - \left(\frac{P}{P_0}\right)^{\frac{Rb}{gM}}\right) \tag{1}$$

h：現在地標高 [m], P：現在地気圧 [hPa], P_0：海面気圧 [hPa],
T_0：海面気温 [K], g：重力加速度 9.8 [m·s^{-2}], R：気体定数 8.31 [J·K^{-1}·mol^{-1}]
M：空気のモル質量 2.89×10^{-2} [kg·mol^{-1}], b：気温減率 6.5×10^{-3} [K·m^{-1}]

式(1)により現在地標高hを算出するには，海面気温T_0及び海面気圧P_0が必要となる．これは MZ-500 に搭載されている GPS 受信機，温度センサー，そして気圧センサーを用い， GPS 受信機で計測した現在地標高h，温度センサーで計測した現在地気温 T，さらに気圧計で計測した現在地気圧 P で次式により求める：

$$T_0 = T + bh \tag{2}$$

$$P_0 = P\left(\frac{T_0}{T_0 - bh}\right)^{\frac{gM}{Rb}} \tag{3}$$

このように海面気温と海面気圧を求めることを本論文では“基準値取得”と呼び，この基準値取得に利用した現在地標高を“基準標高”と呼ぶこととする．一度，基準値取得ができれば，以降は式(1)を用いて気圧計のみから標高の算出が可能となる．

気温減率は実際には地域によって異なるがこの差が標高に与える影響は少ないため, ICAO 標準大気の固定値を用いている [(1)].

標高は GPS 受信機により計測することは可能だが，GPS の電波環境に依存して，計測精度が著しく不安定であるという問題がある．一方で，気圧計で計測する気圧は，電波環境等に依存することなく正確な値を得ることが可能であるが，その値から(1)式を用いて正確な標高を計算するには，基準値取得時の正確な気温計測と標高計測が必要となる．また，2.4 項で後述するが，一度正

確な基準値を取得しても大気変動で海面気圧等が変動すると気圧計による標高計測に誤差が生じるため，定期的に正確な基準値の取得が必要となる．リスト機器においてこれらを正確に計測することは，以下に述べる通り，3 つの課題が存在してきた．すなわち，１：静圧計測における風の影響，２：気温計測における体温の影響，３：基準標高計測における GPS 精度の影響が存在する．以下，これらの課題について順に述べる．

２．２　課題１：静圧計測における風の影響

一つ目の課題は，気圧計測における風や腕ふりの影響である．リスト機器では，風や腕ふりの影響を受け，静圧が正確に計測できない．

我々は，機器に対する風の影響を検証するため，機器を腕に装着した状態で 5 つの方向から風速 15 m/s の風を当て，各方向に対する風の影響度合いを検証した（Fig. 2）．

結果を Fig. 3 に示す．検証の結果，気圧の取り込み口がある 6 時方向からの風の影響度合いが最も高く，その影響は標高換算で 2.5 m の計測誤差に相当することが判明した．我々はこの影響を 1 m 以下に抑えることを開発目標とした．

Fig. 2　Experimental method to evaluate wind effects. Five arrows show directions of airflow.

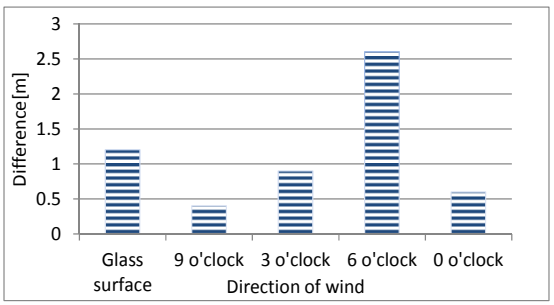


Fig. 3　Experimental result of errors in altitude measurement by wind on each direction shown in Fig. 2.

２．３　課題２：気温計測における体温の影響

二つ目の課題は，リスト機器における気温計測の課題である．リスト機器における温度センサーは，体温の影響を受け，外気温を正確に計測できない．

機器に対する体温の影響を検証するため, 恒温室における同温環境下で, 腕に装着した状態と，装着していない状態で，機器内の温度センサー値を測定した．

結果を Table 1 に示す. 装着していない機器の温度センサーの値は室温に完全に一致する. 一方，装着した機器では，室温 0°C の環境で測定値が 25°C，室温 20°C の環境で測定値が 28°C となり，室温と大幅に違う温度を示している．

これは，まぎれもなく体温の影響によるもので，同様の結果は，実際の富士山登山においても発生した（Table 2）．当日の山頂の気温は 4.3°C であったが，装着した機器の温度センサーの計測値は 22～23 °C と大幅に違う値となった．

Table 1　Constant temperature room inspection. A watch that was not worn on a wrist measured correct temperature. Instead of that, a watch that was worn on a wrist measured incorrect temperature because the watch was heated by a body.

Room	0°C	20°C
Watch worn	25°C	28°C
Watch not worn	0°C	20°C

Table 2　Mt. Fuji inspection: Temperature at the top of Mt. Fuji was 4.3°C(August, 2014). However, watches that were worn on wrists measured higher temperatures such as 22°C and 23°C.

Top of the Mt. Fuji	4.3°C
Watch worn #1	22°C
Watch worn #2	23°C

この課題に対し，機器に対する体温の影響を取り除く目的で，機器内における温度センサーの位置を腕から離すことを試みたが，改善には至らず，さらなる課題解決手段が求められた（Fig. 4）．

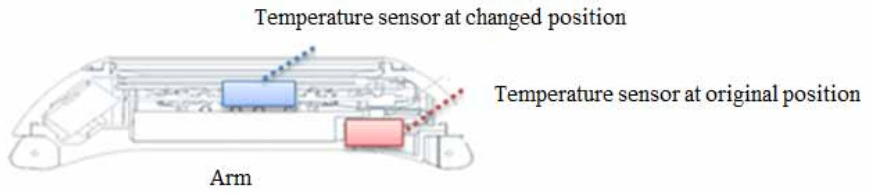


Fig. 4　Temperature sensor place：Body temperature effects temperature measurement even if a sensor placed far from a wrist.

２．４　課題３：基準標高計測における GPS 精度の影響

三つ目の課題は，正確な基準値を得るための GPS の計測精度の課題である．GPS では周囲に障害物があると信号が遮蔽，または反射され正確な計測が困難となる．登山における山岳地帯の谷合や森林地帯は，まさにこの環境に該当する[(2)]．

稜線のような周囲に障害物がない環境では，GPS の標高計測誤差は数 m 未満であるが，森林地帯のような周囲に障害物がある環境での計測誤差は場合によっては数 10 m に達する．

基準標高の誤差は，基準値の誤差となり，そのまま気圧標高の誤差となる．一度間違った基準

標高を取り込んでしまうと，新たな基準標高で基準値を更新しない限り，気圧標高の誤差は解消されず，誤差が継続する．この状況を具体的に示したのが Fig. 5 である．始めに取り込んだ基準標高としての GPS の標高誤差がそのまま継続的に気圧標高の誤差となっていることが見て取れる．

一方で，たとえ正確な基準標高で正確に基準値が決定されても，気象の変化や大気の変動によって，基準値が実際の値と乖離していくため，時間の経過に従い気圧標高の誤差は徐々に大きくなっていく[(1)]．

従って，良い精度の GPS 標高を慎重に選択しつつも，一方ではなるべく多くの頻度で基準標高を取り込んでいくことが，高精度な標高計測を実現していく上では重要な課題となる．

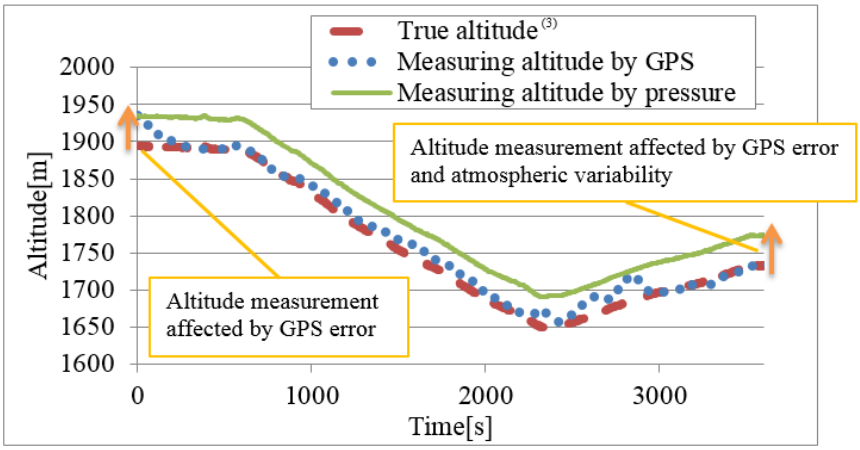


Fig. 5　Simple GPS calibration error :Altitude calculated using pressure with simple GPS calibration has big error.

３．高精度標高計測への取り組み

前章では 3 つの課題を解述べた．以下，それら課題に対する取り組みについて述べる．

３．１　取り組み１：空気取り込み口位置の最適化

2.1 節で述べた，機器に対する風の影響の課題に対しては，最も風の影響を受けない取り込み口の位置を模索することで解決をおこなった．

さまざまな取り込み口の位置を検証した結果，機器本体とベルトの隙間が最も風の影響を受けない位置であるとの結論に達した（Fig. 6 の After）．

取り込み口をこの位置に配置することで, 風速 15 m/s の風に対し, 位置変更前（Fig. 6 の Before）は標高換算で 2.5 m の影響を受けていたが，位置変更後では 0.6 m 程度に抑えられた．これにより目標値の 1.0 m 以下を達成した．

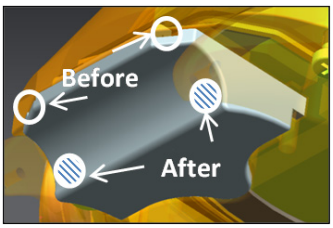


Fig. 6　Positions of air-intake holes for the pressure sensor before and after the improvement.

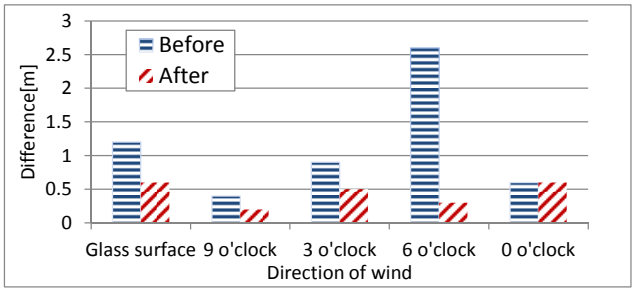


Fig. 7　Effect “Before” and “After” replacement of inspiration : Wind effects are reduced with intake hole replacement “Before” to “After”.

３．２　取り組み２：気温モデルによる気温取得

2.2 節で述べた温度センサーへの体温の影響の課題に対しては，直接的な温度計測を断念し，のべ 10 年の統計的な平均気温を基に我々が作成した平均気温モデルを用いることで解決した．なお統計的な気温は，気象庁公表データを利用した[4]．この平均気温モデルは，緯度と月，更に一日における時刻を指定することで，それに対する気温を取得できるモデルである．まさに GPS 搭載機器ならではの手法である．

モデルは，緯度と月ごとの気温テーブルと一日における気温変化式で構成される．気温テーブルは各緯度と各月に対する統計的な平均気温を持ち，気温はすべて海面に換算した値となっている．GPS の計測が成功すれば，計測地点の緯度と，時刻が完全に決定されるが，これをモデルに適用すれば，計測地点の気温が決定される．

ここで，標高計算における，統計的平均値を用いることの妥当性と効果を検証しておく．これを考察するには，気温誤差に対してどの程度標高がずれるのかを求めればよい．式(1)に具体的な数値を代入して誤差を見積もることも可能であるが，基準値を取得した標高（つまり，基準標高）がどこであったかによってさまざまなケースを検討しなければならない．そこで，基準標高によらずに誤差を記述できる，汎用的な標高誤差の式を求めておく．

式(1)において，温度に着目すると，温度は絶対温度であるから，想定される十数℃程度の誤差であれば誤差率は 10%以下である．よって，標高誤差は，温度誤差近傍における線形式であるとすることは十分妥当であり，気温誤差 ΔT と単位気温当たりの標高変化率 $\partial h/\partial T_0$ を用いて，標高誤差 Δh は，

$$\Delta h = \frac{\partial h}{\partial T_0}\Delta T \tag{4}$$

と書ける．$\partial h/\partial T_0$ は式(1)より，

$$\frac{\partial h}{\partial T_0} = \frac{1}{b}\left(1 - \left(\frac{P}{P_0}\right)^{\frac{Rb}{gM}}\right) = \frac{h}{T_0} \tag{5}$$

となるが，$T_0 = T_{\text{true}}$（海面気温の真値），基準標高と現在地標高の差分を h_{diff} として式(1)を再び上式に適用すれば，

$$\frac{\partial h}{\partial T_0} = \frac{h_{\text{diff}}}{T_{\text{true}}} \tag{6}$$

と求まる．従って，気温誤差 ΔT に対する標高のずれ Δh は，

$$\Delta h = \frac{h_{\text{diff}}}{T_{\text{true}}}\Delta T \tag{7}$$

と表せる．この式は，基準標高に関係なく，あくまでも基準標高と現在標高の標高差に応じてどの程度の標高誤差が生じるかを記述しており，本論文の対象としている機器の使用状況に即した適切な式となっている．

Fig. 8 に，式(7)より求めた標高誤差 Δh をプロットした．各々の線は，気温誤差 ΔT が，4°C, 8°C, 12°C，16°C に対するもので，海面気温の真値 T_{true} は 30°C とした．グラフの横軸は基準標高から現在地点までの標高差 h_{diff}，縦軸は標高誤差 Δh となっている．

Fig. 8 を見てみると，どの気温誤差の線も原点を通っている．これは，基準値を取得した基準標高地点においてはどのような温度誤差を持とうとも，標高誤差は 0 m であるという，しごく当然な結果を示している．一方，登山（もしくは，下山）により，基準標高地点から離れていくと，次第に標高誤差は大きくなっていき，その増分は，温度誤差が大きいほど，大きいということがグラフより読み取れる．

さて，以上までの準備を踏まえ，統計的平均値を用いることの妥当性について，前節の富士山登山の例に基づいて考えてみる．

この富士山の例であるが，温度センサーの温度誤差は海面換算で 12°C ほどであった．従って，Fig. 8 に照らして標高誤差を見積もると，基準地点より 1000 m 登った地点で標高誤差は 40 m にもなっていたことがわかる．

一方，気温モデルを用いた場合は，前節の富士山登山の 8 月で見ると，月内誤差平均が 4°C 程度であった（気象庁の過去気象データの 1 時間ごとの値[4]と，気温モデルで取得した気温との誤差を平均，データは 2012 年～2014 年の過去 3 年分の 8 月を利用）．これを考慮すると，基準点より 1000 m 上った地点の標高の計算誤差は 13 m ほどであることがグラフよりわかる．従って，気温モデルを用いることで大幅に誤差が抑えられていることがわかる．

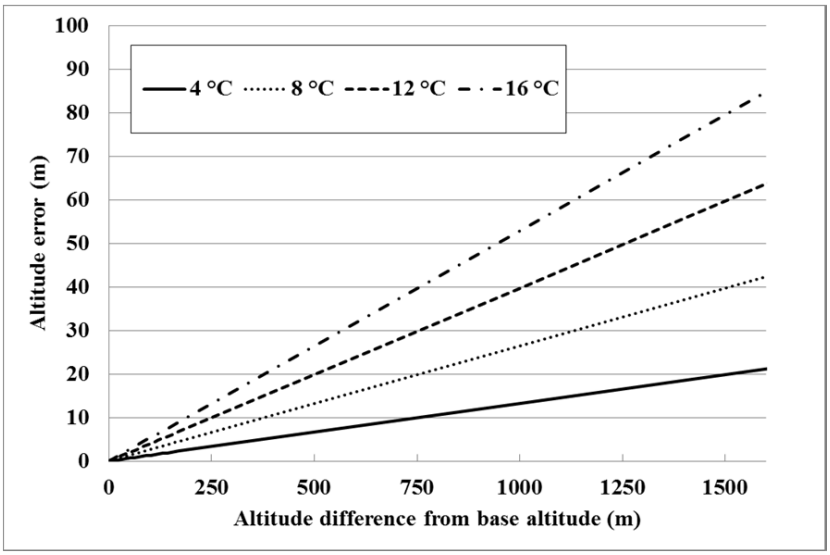


Fig. 8　Graph showing errors of altitude calculations using four different temperature errors.

３．３　取り組み３：確率的逐次更新法の開発

2.3 節において，たとえ正確な基準標高を取り込んだとしても，気象状況の変化や大気変動により，時間経過とともに気圧標高は徐々に誤差を持つことを課題として述べた．さらに，前節で述べた温度モデルを用いた場合も，やはり温度が完全には正確ではないため，基準標高からの標高差が広がるにつれ一定の標高計算誤差が発生する．一方で，最大の問題は，同じく 2.3 節で述べたとおり，基準標高となる GPS の計測値が環境要因により大きな誤差を持ってしまうことである．従って，GPS の誤差要因を最大限に省きつつ，かつ，相応の頻度で基準値を更新していくことが，高精度な気圧標高計測においては重要となる．

もっとも単純には，GPS 標高の計測値とその地点での気圧の計測値を保存しておき，十分な計測値が確保できた段階で最小二乗法や最尤推定法などを用いればよい．そうすれば，一回一回の計測誤差に引きずられることない精度の高い海面気圧を求めることができる．一度求められた海面気圧は，台風などよほど大気変動が激しくない限り，1～2 時間程度は有効であるから，その間は正確な気圧標高を計算することができる．

しかし，この方法では計測値の保存が必要であるため，MZ-500 のようなメモリーに限りがある機器には不向きである．そこで，計測値を保存せずに，上記の最小二乗法や最尤推定法と同等の効力を発揮する手法が必要となる．

実は，こういったことを実現する手法として，対象の変数や計測値を確率変数とみなし逐次的

に解を収束させていく手法が数多く提案されている．こういった手法では，計測値の保存は一切必要がなく，代わりに，変数や計測値を確率変数として表すためのパラメーターが必要となる．例えば，変数や計測値を，正規分布とみなすのであれば，中心値と分散がそのパラメーターである．逐次的に計測値を取り込みながら，パラメーターを収束させていくのである．

こういった逐次的な手法のメリットは，メモリーの節約以外にも，解をシームレスに出し続けられる点にある．保存による一括計算の場合は，保存している間は同じ海面気圧，海面気温を使い続けることになり，どうしても切り替え前後での値の不連続性が発生する．これらの不連続性は，算出される標高の不連続性として現れてしまい，計測器としてあまり望ましくはない．逐次的な手法ではこういった問題は起きない．

さまざま手法が提案されている逐次推定の手法の中から，我々は逐次ベイズ推定を採用し，問題に適用した．

逐次ベイズ推定においては，まず事前分布が登場する．事前分布とは，ある時点 k において，それ以前の計測値 $h_{\mathrm{GPS}}(k-1), h_{\mathrm{GPS}}(k-2), \ldots, h_{\mathrm{GPS}}(1)$を取り込むことで確定された推定値 $x(k-1) = [P_0(k-1), T_0(k-1)]^T$ の確率分であり，次のように表記する：

$$p\left(x(k-1)\middle|h_{\mathrm{GPS}}(k-1), \ldots, h_{\mathrm{GPS}}(1)\right)$$

続いて，この事前分布から予測分布を求める．予測分布とは，$k-1$ から k における時間発展を事前分布に織り込んだ分布である．つまり，$k-1$ から k における大気変動の影響や推定値をモデルとして表したものである．モデルの内容は，尤度関数と呼ばれる分布として表され，予測に係わる尤度であるから，予測尤度関数と呼ぶ．形式的には $p(x(k)|x(k-1))$と表すことができ，この尤度関数を使えば，予測分布は，

$$p\left(x(k)\middle|h_{\mathrm{GPS}}(k-1), \ldots, h_{\mathrm{GPS}}(1)\right) = \int p\left(x(k)\middle|x(k-1)\right) p\left(x(k-1)\middle|h_{\mathrm{GPS}}(k-1), \ldots, h_{\mathrm{GPS}}(1)\right) dx(k-1)$$

として与えられる．

さて，いよいよ，時点 k における計測値 $h_{\mathrm{GPS}}(k)$を分布に反映させる．ここで再び必要となるのが尤度関数である．先ほどは，予測に対するモデルとして尤度関数が登場したが，今度は，計測値に対する誤差モデルを表す尤度関数が必要である．GPS の誤差モデルは，非常に多くの研究がなされ未だに決定的なものはないが，一般的には，信号強度，捕捉衛星数，衛星配置といったものを組み合わせて誤差モデルを作成する．先ほどの，予測尤度に対し，こちらは観測尤度と呼ばれ，形式的には $p(h_{\mathrm{GPS}}(k)|x(k))$と表すことができる．この観測尤度関数，さらに先ほどの予測分布を用いて，計測値 $h_{\mathrm{GPS}}(k)$を取り込んだ推定 $x(k)$の分布は次の通り与えられる：

$$p\left(x(k)\middle|h_{\mathrm{GPS}}(k),\dots,h_{\mathrm{GPS}}(1)\right)=\frac{p\left(h_{\mathrm{GPS}}(k)\middle|x(k)\right)p\left(x(k)\middle|h_{\mathrm{GPS}}(k-1),\dots,h_{\mathrm{GPS}}(1)\right)}{\int p\left(h_{\mathrm{GPS}}(k)\middle|x(k)\right)p\left(x(k)\middle|h_{\mathrm{GPS}}(k-1),\dots,h_{\mathrm{GPS}}(1)\right)dx(k)}$$

この分布は，計測値を取り込んだ後の分布という意味から事後分布と呼ばれるが，当然，次の時点 $k+1$ においてはこの分布は事前分布となり，再び同じ計算手順を繰り返すことで $k+1$ の事後分布が求まるわけである．このように，計算を逐次的に行いながら，推定値がより正しいところに収束していくことが原理的には保証されている．

ただし，そのためには，二つの尤度関数，予測尤度と観測尤度を適切に与えなければならない．モデルが完全に正しい必要はないが，実態とモデルが大きくかけ離れていると正しい収束は望めず，より良いモデルは，より良い精度を与える．従って，モデルの作りこみが大きな鍵を握ることになる．しかし，モデル作成に関する完全なフレームワークといったものは存在せず，実際は多くのデータを検証しながらの膨大な調整作業が必要となるわけである．

この逐次更新を含む MZ-500 における標高計算の全システム構成は Fig. 9 の通りである．

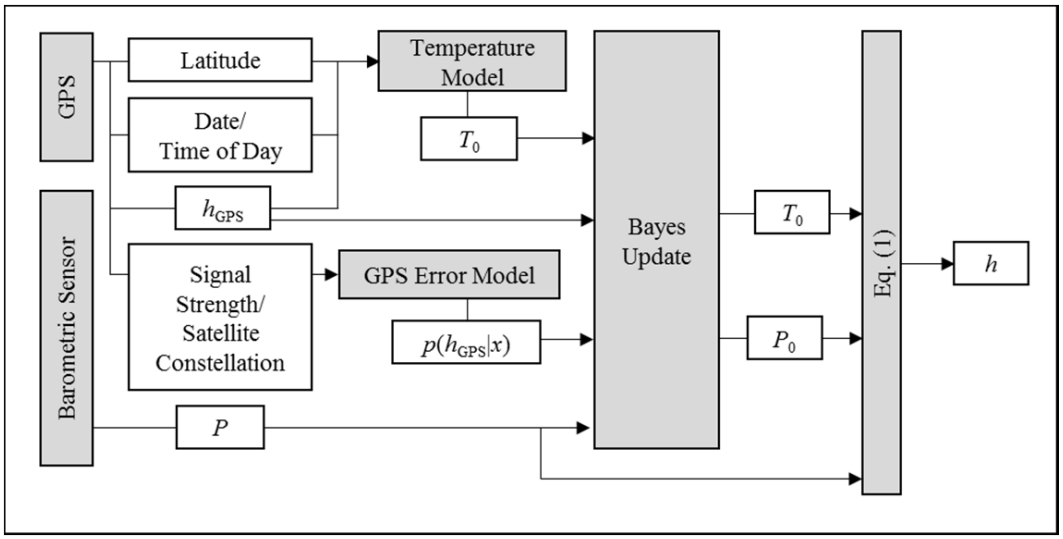


Fig. 9　Block diagram showing the whole system of altitude calculation on MZ-500.

最後に，この計算手法により計算した標高の結果を Fig. 10 に示す．計算の初めは GPS 程度の誤差を持っていたが，次第に精度が向上し，最終的には真値とほぼ変わらない標高精度を実現している．

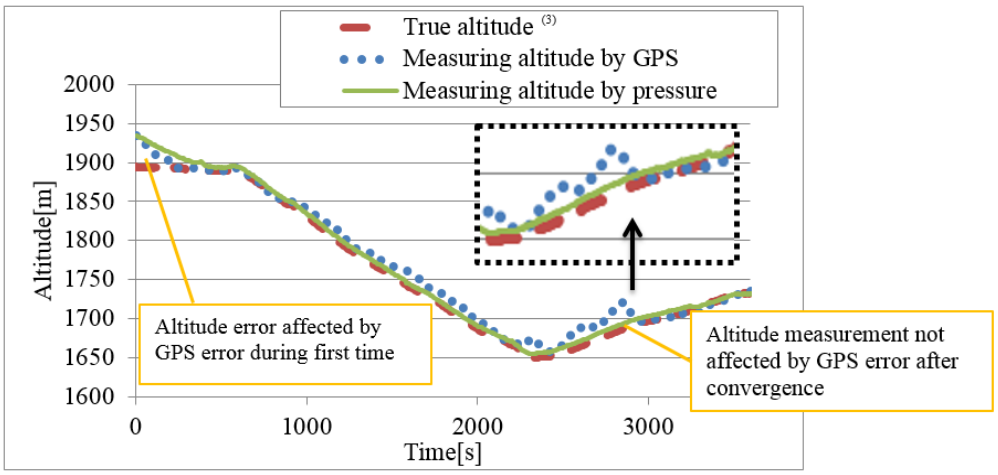


Fig. 10　Calculation results using the stochastic altitude measuring method.

４．結果

前章で述べた計測手法の性能検証結果を Fig. 11 に示す.

検証は実際の登山にて行った. あらかじめ決めておいた複数の計測地点において標高を計測し, その標高を，三角点標高，もしくは国土地理院公表[3]の標高と比較し精度を求めた. 比較対象として, GPS と気圧センサーを搭載した一般製品を用いた.

すべての山において，比較対象の製品に対し，大幅な高精度を達成する結果となっている.

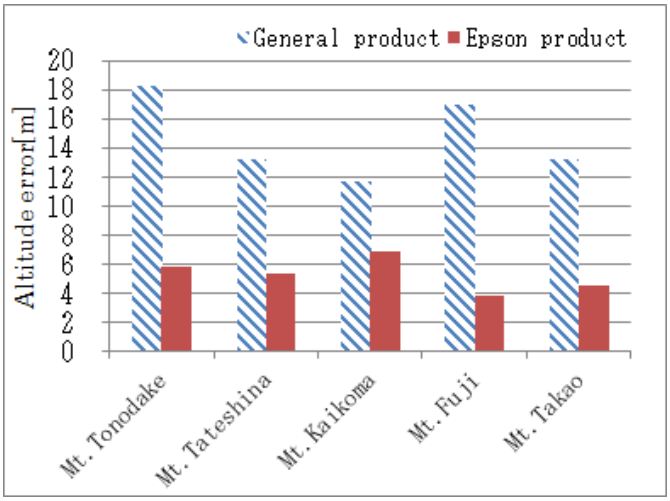


Fig. 11　Altitude accuracy comparison of MZ-500 and general product.:MZ-500 shows better accuracies than a general product.

５．まとめ

リスト機器における気圧による標高計測において，3 つの課題とそれら課題への取り組みを紹介した．最終的には，それら取り組みにより，MZ-500 では高精度な標高計測を実現した．

時計という非常に小さな機器においても，複数のセンサーを巧みに組み合わせることで，その可能性は無限に広がっていく．今回取り組んだ GPS や気圧計測以外にも，さらに多くのセンサーを組み合わせる技術開発を行い，今後も時計の可能性を広げていきたいと考えている．

６．参考文献

1) 並木渉，市野将嗣，笠原弘樹，吉井英樹，吉浦裕：スマートフォンの気圧センサと気象情報を用いた高度推定手法，マルチメディア，分散，協調とモバイル(DICOM2013)シンポジウム，pp. 1133-1139, 2013.
2) 小林裕之 : SA 解除後の森林内外での単独測位と DGPS の比較試験，日本林學會誌，Vol. 84, No. 4, pp. 276-279, 2002.
3) https://maps.gsi.go.jp
4) http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php

マイクロメカトロニクス
（日本時計学会誌）Vol. 62, No. 218

研　究

Édouard Phillips によるヒゲゼンマイの理論の詳解およびその実際の効果

菊池悠介，小牧昭一郎，笹谷卓史，菊野昌宏，居内友宏

時計理論サロン

（2017 年 3 月 20 日受付，2018 年 5 月 7 日再受付，2018 年 5 月 13 日採録）

Detailed Explanation and Analysis of Actual Effect on Timekeeping Accuracy of the Theory of Hairspring by Édouard Phillips

Yusuke KIKUCHI, Shoichiro KOMAKI, Takashi SASAYA, Masahiro KIKUNO, and Tomohiro IUCHI

Salon of horological theory

（Received March 20, 2017, Revised May 7, 2018, Accepted May 13, 2018）

ABSTRACT

Édouard Phillips, a theoretician of 19th century, advocated the conditions of inner and outer end of Archimedes spiral, which is referred to as Conditions of Phillips. However, Phillips developed the expression for conditions using approximation, actual effect has not been adequately evaluated. We conduct holomorphic computation and it is realized that conditions of Phillips improve significantly not only isochronism of horizontal position but also that of vertical position.

1. はじめに

機械式時計はその調速機系をテンプ振動系としている．このテンプというシステムはテンワと呼ばれる円環状の物体がヒゲゼンマイと呼ばれる渦巻き状のバネの復元力により回転往復運動を行うことで現代においても優れた等時性を達成している．ヒゲゼンマイ（以下ヒゲと略記）は 17 世紀の科学者 Christiaan Huygens によって発明製作されたものであるが(Phillips 1859, p. 984)，18 世紀にはさらなる等時性向上のために，Abraham-Louis Breguet はアルキメデスヒゲの，John Arnold は提灯ヒゲの端部に実験的な形状改良を施した(Vermot et al., 2011, p. 201)．以降一部の時計師の間では等時性を高める端部形状が経験的に知られていた．

そして 19 世紀のフランスの鉱山学者 Édouard Phillips（以下 É. Phillips と記す）が 1859 年から 1878 年にかけてこの性能の改良に関する理論を構築し，ヒゲゼンマイが満たすべき端末曲線の条件として下記の条件を提唱した(Phillips 1861, pp. 46-47)．この条件はそれまで時計師たちが発見した高精度を得るためのヒゲゼンマイの形状と整合するものであり，今日では **Phillips の条件**と呼ばれている．

1° 端末曲線の重心はヒゲ本体部分との接続点からヒゲ玉の中心周りに 90 度の方向に位置する．
2° ヒゲ玉中心と端末曲線の重心の距離はρ_0^2/lと表せる．ρ_0は開始地点の半径，lは端末曲線の長さ．

この条件を満たす端末曲線は Phillips カーブと呼ばれ(Fig. 1), その形状を一覧にした実務指針冊子が刊行された(1962) (Fig. 2). Phillips の条件は高度な数学なしに理解できる平易な結論であったため, クロノメータ調整者をはじめとする多くの実務者に利用された. また É. Phillips の理論は Jules Grossmann, Samuel Goudsmit などの後世の時計理論家に大きな影響を与えた.

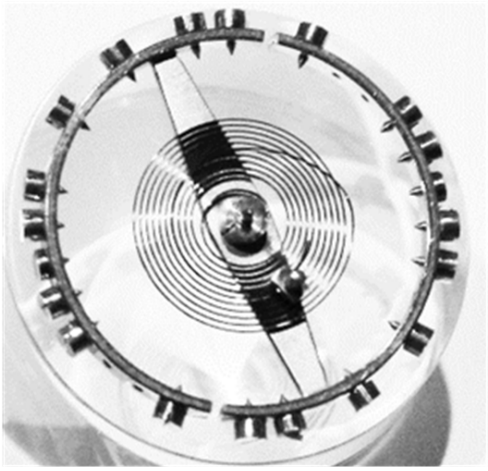


Fig. 1　Hairspring with Phillips terminal curves. Photo taken by the author in march 2016 at Musée International d'Horlogerie.

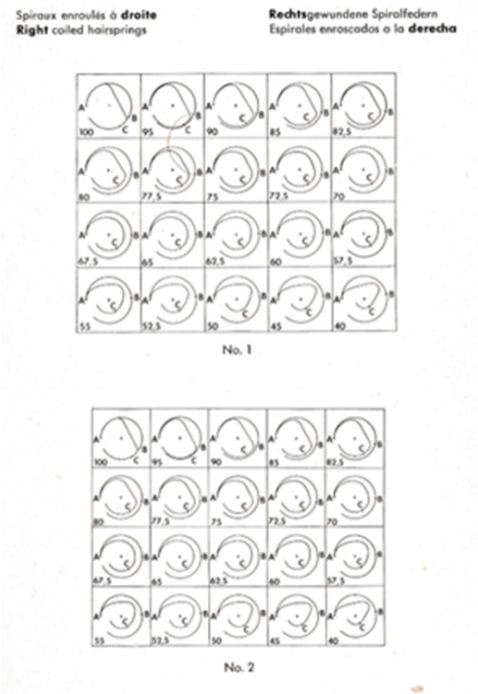


Fig. 2　Guide for Phillips' curves. Courbes terminales Phillips pour spiraux Breguet, ÉD. HORLOGÈRE CHS ROHR & CIE SA, Bienne. 1962

2. E. Phillips の生涯と業績

É. Phillips の略歴と時計理論に関する業績を時系列で下記の表(Table 1)にまとめた. É. Phillips は 1821 年 Paris において, イギリス人の父とフランス人の母の間に誕生したフランス人である. 鉱山学校を卒業し, 1832 年材料技師として西部鉄道(Compagnie des Chemins de Fer de l'Ouest)に就職した. 後に教職へと転向し 1864 年から École Centrale des Arts et Manufactures で, 1866 年から École Polytechnique において力学の教鞭を執った(Léauté 1897, pp. 213ff). この頃から Dieppe に住むクロノメータ製作者 Jacob や海軍付時計師の Garnier と交流しながら, 時計に関する理論を発表するようになる(Phillips 1861).

1864 年から 1871 年までニューシャテル地方を度々訪問し, 当時のル・ロックル時計学校校長の Grossmann や現地のクロノメータ調整者と交流した. また Grossmann のアルキメデス曲線の重心座標の計算法を利用し 1878 年にヒゲゼンマイと等時性の理論を完成させた.

本論文ではヒゲゼンマイの端末形状と等時性に関わる Table 2 の著作についてその内容を詳解する.

É. Phillips のヒゲゼンマイ理論は複数の論文にわたっているため, 全ての論文を精読しなければ全貌を把握することは極めて難しい. Phillips の条件の背後にある彼の理論が正確に理解されてこなかったのは, そうした事情も関係しているのかもしれない. そこで Phillips のヒゲゼンマイ理論の骨子をチャートにまとめたところ Table 3 のようになった. 二部構成になっていて, 一つ目が提灯ヒゲに関する理論, 二つ目が渦巻きヒゲに関する理論である. 両者ともヒゲゼンマイのトルクがテンワ回転角と厳密に比例するという目的から出発し, 最終的にこれを達成するためにはヒゲゼンマイの端末曲線の形状が Phillips の条件を

満たせばよいということを証明している.

Table 1　Life of É. Phillips (Léauté 1987, pp. 213ff).

Year	Age	Event	Paper
1821	0	Born in Paris Parisに生まれる	
1840	19	Enter École Polytechnique École Polytechnique入学	
1846	25	Graduate from École des Mines École des Mines卒業	
1852	31	Enter Compagnie des Chemins de Fer de l'Ouest 西部鉄道に就職	
1859	38		Paper on the regulating hairspring of chronometers and watches (Part1/2) クロノメータ及び携帯時計における調速ヒゲゼンマイ その１
1860	39		Paper on the regulating hairspring of chronometers and watches (Part2/2) クロノメータ及び携帯時計における調速ヒゲゼンマイ その２
1861	40		(Book)Paper on the regulating hairspring of chronometers and watches, first edition (書籍)クロノメータ及び携帯時計における調速ヒゲゼンマイ 第1版
1864	43	Teach mecanics in École Centrale des Arts et Manufactures École Centrale des Arts et Manufacturesで力学の教鞭	Paper on the adjustment of chronometers and watches in the vertical positions and inclined position 垂直と傾姿勢におけるクロノメータ及び携帯時計の調整
			(Book)Paper on the regulating hairspring of chronometers and watches, second edition (書籍)クロノメータ及び携帯時計における調速ヒゲゼンマイ 第2版
1866	45	Teach in École Polytechnique École Polytechniqueで教鞭	
1868	47	Elected to Science Academy of France フランス科学アカデミーに選出される	Influence of the shape of balance wheel with compensation mechanism of chronometers and watches on the isochronism, unrelated with the variation of temperature 温度補正テンワの形状が温度と無関係にもたらす等時性への影響
			Calculation of the influence of the elasticity of the bimetallic ring of compensating balance wheel of chronometers and watches, on the isochronism, unrelated with the variation of temperature テンワ外周バイメタルの弾性が等時性にあたえる影響計算
			(Book)Paper on the regulating hairspring of chronometers and watches, third edition (書籍)クロノメータ及び携帯時計における調速ヒゲゼンマイ 第3版
1871	50		Theorem on the regulating hairspring of chronometers (Part1/2) クロノメータにおける調速ヒゲゼンマイの定理　その1
1872	51		Theorem on the regulating hairspring of chronometers (Part2/2) クロノメータにおける調速ヒゲゼンマイの定理　その2
1874	53		Note on a new regulating hairspring of chronometers and watches クロノメータ及び携帯時計の新たなヒゲゼンマイ形状の覚書
1875	54	Retirement from École Centrale des Arts et Manufactures École Centrale des Arts et Manufacturesを退官	
1878	57		Note on a new regulating Archimedes spiral hairspring of chronometers and watches クロノメータ及び携帯時計の新たな渦巻きヒゲゼンマイ形状の覚書
1879	58	Retirement from École Polytechnique École Polytechniqueを退官	Spherical regulating hairspring of chronometers クロノメータにおける球形ヒゲゼンマイについて
1880	59		Thermal compensation in the chronometers クロノメータにおける温度補正について
1881	60		Conical regulating hairspring of chronometers and other hairsprings クロノメータにおける円錐ヒゲと種々のヒゲ形状について
1882	61	Elected as inspector general of mines by the government 政府より鉱山総検査官に任命	
1889	68	Decease 逝去	
1891			(Publication after decease)Isochronous pendulum clock (没後発表)　等時性振り子について

Visit to Neuchâtel Interaction with Grossmann
ニューシャテル訪問　グロスマンと交流

Table 2　É. Phillips' articles concerning the terminal curves and isochronism.

Year	Age	Paper
1859	38	Paper on the regulating hairspring of chronometers and watches (Part1/2)
		クロノメータ及び携帯時計における調速ヒゲゼンマイ　その1
1860	39	Paper on the regulating hairspring of chronometers and watches (Part2/2)
		クロノメータ及び携帯時計における調速ヒゲゼンマイ　その2
1861	40	Paper on the regulating hairspring of chronometers and watches, first edition
		(書籍)クロノメータ及び携帯時計における調速ヒゲゼンマイ 第1版
1871	50	Theorem on the regulating hairspring of chronometers (Part1/2)
		クロノメータにおける調速ヒゲゼンマイの定理　その1
1872	51	Theorem on the regulating hairspring of chronometers (Part2/2)
		クロノメータにおける調速ヒゲゼンマイの定理　その2
1874	53	Note on a new regulating hairspring of chronometers and watches
		クロノメータ及び携帯時計の新たなヒゲゼンマイ形状の覚書
1878	57	Note on a new regulating Archimedes spiral hairspring of chronometers and watches
		クロノメータ及び携帯時計の新たな渦巻きヒゲゼンマイ形状の覚書

2．1 1859 年論文(Phillips 1859), 1860 年論文(Phillips 1860)及び 1861 年書籍(Phillips 1861)について

1861 年書籍は 1859 年論文 1860 年論文の内容を修正し加筆したものなので，以降 1861 年書籍の内容を詳解する．

先ほども述べたとおり，É. Phillips のヒゲゼンマイ理論のそもそもの目的は，ヒゲゼンマイの生み出すトルクをテンワの回転角と厳密に比例させることである．M をヒゲゼンマイの曲げ剛性，L をその全長，x_1, y_1 をその重心座標，テンワの回転角をα，天真軸からヒゲゼンマイにかかる半径方向の力(もしくはヒゲにかかる側圧と呼ぶ)の成分をそれぞれ X, Y とすると，ヒゲゼンマイの生み出す合計のトルク G は次のように表せる (Phillips 1861, p. 6).

$$G = \frac{M\alpha}{L} + (Xy_1 - Yx_1) \tag{1}$$

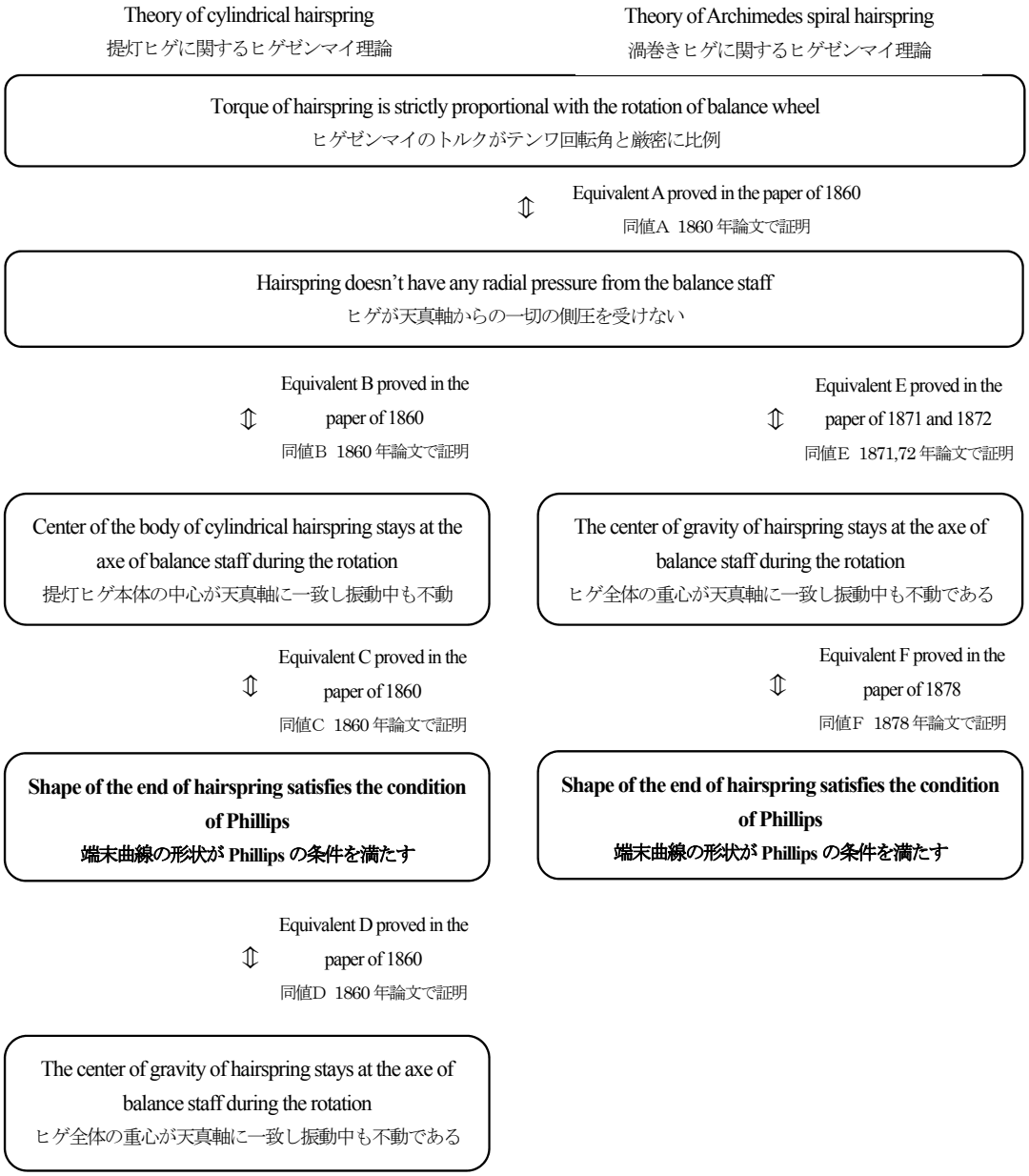
括弧で括られている右辺第二項はヒゲが天真軸から受ける側圧による悪影響を意味している．この項がゼロになりさえすればトルク G はテンワの回転角αと完全に比例的な関係となることは明らかである(同値A)．

次に Phillips は X と Y がともにゼロ，つまりヒゲにかかる側圧がゼロとなるための端末曲線が満たすべき幾何学的条件を求めている．ヒゲゼンマイの任意の点における変形前の曲率半径を ρ_0，変形後を ρ とするとき，(2)式 (Phillips 1861)に従ってヒゲゼンマイが変形することを自由端変形と呼ぼう．

$$\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} = \frac{\alpha}{L} \tag{2}$$

というのもヒゲゼンマイのすべての点をこの式に従って変形させるとき，ヒゲにかかる側圧がゼロのままヒゲゼンマイを収縮することができることからこのような名前がついている．さてヒゲゼンマイの一端がヒゲ玉に固定されていて，他端はヒゲ持ちに固定されていない自由な状態であるとする．この状態からヒゲゼンマイを自由端変形させて，後者がヒゲ持ちの位置と一致すれば，このヒゲゼンマイは実際の時計に搭載しても側圧がゼロの状態で振動すると言えるだろう．

Table 3　Framework of Phillips' theory.



ここからは提灯ヒゲとアルキメデスヒゲで理論の展開が異なる．まず提灯ヒゲの場合を説明しよう．上端下端の二つの端末曲線が同形状であることを前提とし, その幾何学的な対称性から次の条件を導いて

いる (Phillips 1861, p. 12) （同値 B）.

あらゆる振り角 α において $1/\rho - 1/\rho_0 = \alpha/L$ の法則で変形し，提灯ヒゲ本体の中心の位置が不変となるようにヒゲゼンマイを作ればこの問いは解けたと言える.

以降は幾何学的な手続きを経て先に述べた Phillips の条件を導いているがその過程で近似計算を行っていることに注意が必要である(Phillips 1861, p. 21)（同値 C）. この近似は $l/L \ll 1$ が根拠である. ここで L は提灯ヒゲ全長，l は端末曲線長である. 提灯ヒゲ全長 L が小さい場合はこの近似に起因する誤差が大きくなることを意味している. また L が十分に大きい場合においても，ヒゲにかかる側圧は非常に小さい値になるがゼロにはならないということになるが近似による誤差について論文中で詳細に言及している箇所は無い. なお Phillips の条件と提灯ヒゲ全体の重心が天真軸と一致することが同値であることを補足として証明している（同値 D）.

続いて Phillips は自身の理論の効果を評価するために実験をしている. Phillips の条件を満たす提灯ヒゲとそうではない提灯ヒゲを比較することで, テンワの回転に運動による提灯ヒゲ全体の重心について前者の方が後者より変動が小さいことを確認している (Phillips 1861, pp. 61-62) (Fig. 3) .

Fig. 3 では Phillips の条件を満たす端末曲線を付けた左の図は綺麗な同心円収縮をしているが，右側はヒゲにかかる側圧によって偏心収縮となっていることがわかる. また Phillips によれば，左の提灯ヒゲは本体の半径が 142 mm もある巨大なものであるが，テンワの回転角が $\alpha = 5$ rad のときでも提灯ヒゲ全体の重心点は 0.5 mm ほどしか変動しておらず，対して右側の提灯ヒゲは 2.6 mm も変動している. ここで Phillips の条件によって提灯ヒゲ全体の重心の変動が大きく低減され，等時性の向上が示唆されている. しかしここでは，$\alpha = 0, \pm 5$ radの時の提灯ヒゲ形状とその重心が作図されているだけで，重心移動の軌跡が示されていないことに注意を払いたい.

次にアルキメデスヒゲに関する理論であるが，この書籍においては以下記述にある通り未完成となっている (Phillips 1861, p. 55).

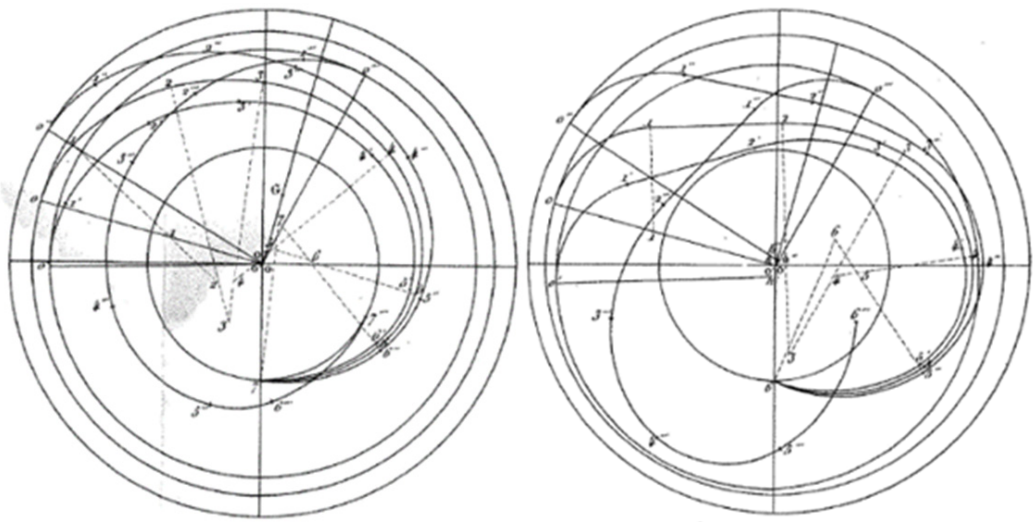


Fig. 3　Cylindrical hairspring with theoretical curves (left) and the one with non-theoretical curves (right) in case of $\alpha = 0, \pm 5$ rad.　(Phillips 1861).

上記の条件（同値 B を指す）は通常のアルキメデスヒゲだと低振り角のみ成立するが，高振り角においては経験と整合する理論的条件は何も見つからなかった (Phillips 1861).

2．2 1871 年論文(Phillips 1871), 1872 年論文(Phillips 1872), 1878 年論文(Phillips 1878)について

1871 年および 1872 年論文ではアルキメデスヒゲについて，振り角によらず，以下の条件が同値であることを証明している(Phillips 1871)（同値 E）.

1° 振動中ヒゲが天真から一切の側圧を受けない
2° 振動中ヒゲ全体の重心が天真軸に留まる

前者は平等時性を向上させるということで，後者は立等時性を向上させるということである．すなわち É. Phillips の理論では**平等時性を向上させるも立等時性を向上させることも同値であり，等しく Phillips の条件を満たせば良いと提唱している**．続く 1878 年の論文においてヒゲを内端曲線部分，アルキメデス曲線部分，外端曲線部分に分けて考え，全体の重心が天真軸に一致するために端末曲線が満たすべき形状条件を求めた（同値 F）．その条件は内端についても外端についても，提灯ヒゲで求めた Phillips の条件と同様のものであった．しかしここでも導出過程において $a/r_0 \ll 1, a/r_1 \ll 1$ を根拠とする近似が施されていることに注意したい (Phillips 1878, p. 30)．ただし a をアルキメデス曲線の係数，r_0 を内端曲線とアルキメデス曲線部分の接続点半径，r_1 を外端曲線とアルキメデス曲線部分の接続点半径とする．このため厳密な意味では Phillips の条件を満たす内端曲線及び外端曲線が付いていても等時性誤差が完全にゼロになることはない．この近似による実際効果の評価を欠いたままではあるものの，E. Phillips はこの 1878 年の論文においてアルキメデスヒゲの端末曲線理論を完成させたと言える.

また 1871 年には上記証明後に Grossmann の法則なる定理の証明が付録されている．提灯ヒゲの上端と下端を，**Phillips の条件は満たす互いに異なる形状の端末曲線としても**ヒゲにかかる側圧はゼロとなり等時的となるという内容である(Phillips 1878, p. 30)．これは Phillips の提灯ヒゲに関する理論の重要な補題といえる．また 1878 年の論文中においてアルキメデス曲線の重心の算出については Grossmann の研究を参考にしたとの記述がある(Phillips 1878, p. 28)．ここで登場する Grossmann とは当時ル・ロックル時計学校の校長であった Jules Grossmann 氏のことであり，É. Phillips と親交を結んでいた様子が伺える.

2．3 1874 年論文(Phillips 1874)について

この論文では冒頭で É. Phillips がヌーシャテル州を訪れた際の所感を次のように述べている(Phillips 1874, pp. 667-668).

> 1871 年の秋にヌーシャテル州を訪れて，優秀な時計師，そして Le Locle の調整者，そして何より Le Locle 時計学校校長の Grossmann 氏と交流し，アルキメデスヒゲに外端曲線だけでなく内端曲線も付与することでより理論に即したものとなり等時性誤差が小さくなることを確認した.

次に Phillips は自身の理論が実際の時計の精度向上にどれだけ寄与したのか評価を行っている．Phillips の条件に即した端末曲線を持つヒゲの搭載は 1864 年に始まったとされるが，この年ヌーシャテル天文台の検定を通過した時計の平立差の平均は 8.21 秒であった(Table 4)．1872 年にはこの数値は 1.99 秒にまで改善していることから，Phillips の条件が広まるにつれ時計の等時性が改善されていることが推察される．また 1872 年には外端曲線のみを備えた 88 個の時計の平立差の平均が 1.97 秒であったのに対し，内外端

曲線を備えた 6 個の時計は 0.67 秒であったとのことである．このことからPhillipsの理論通り外端のみならず内端曲線も付与することで等時性が大幅に向上することが示唆されている．しかし平立差のみが紹介されているため，平等時性と立等時性がそれぞれどの程度改善されたか明らかではない．

Table 4　Variation from horizontal position to vertical position with respect to pocket chronometers that passed the concours of Neuchatel Observatory.　(Phillips 1874)

	Variation du plat au pendu.
En 1864	8s,21
1865	6,18
1866	3,56
1867	3,57
1868	2,44
1869	2,43
1870	2,37
1871	1,90
1872	1,99

3. Phillips の条件の実際の効果

3. 1 Phillips の内外端曲線を有するヒゲにかかる側圧

Phillips の条件を満たす端末曲線が内端および外端に付与されたアルキメデスヒゲについて，振動中にヒゲが天真から受ける側圧を計算しよう．É. Phillips の理論とは逆方向になるが，今ヒゲの内端点がヒゲ玉に一定の角度で固定されていて，ヒゲ玉は天真軸を中心として自由に回転できるものとする．また外端点はヒゲ持ちに接続せずに自由に移動することができるが接線の傾きだけは一定であると仮定する．このヒゲの内端点を角度 α だけ回転すると，ヒゲ全体は自由端変形，すなわち式(2)にしたがって変形し，外端点はあるべきヒゲ持ちの位置から $\Delta(\alpha)$ ずれたところに位置する．この $\Delta(\alpha)$を自由外端変位と呼ぶ．実際時計に搭載する際はこの Δ の距離だけ外端点をヒゲ持ちに向かって引っ張る必要があることから，自由外端変位の大きさ $|\Delta|$ は時計搭載時のヒゲゼンマイにかかる側圧の大きさに比例している．さて内端点からのヒゲに沿った距離を s とし，その点の x 座標を $x(s)$，y 座標を $y(s)$とすると，ヒゲの形状は複素平面で $z(s) = x(s) + \mathrm{i}y(s)$と簡潔に表現することができる．またヒゲの全長を L とするとき，自由外端変位 Δ は次のように表される(Goudsmit and Wang 1940, p. 810).

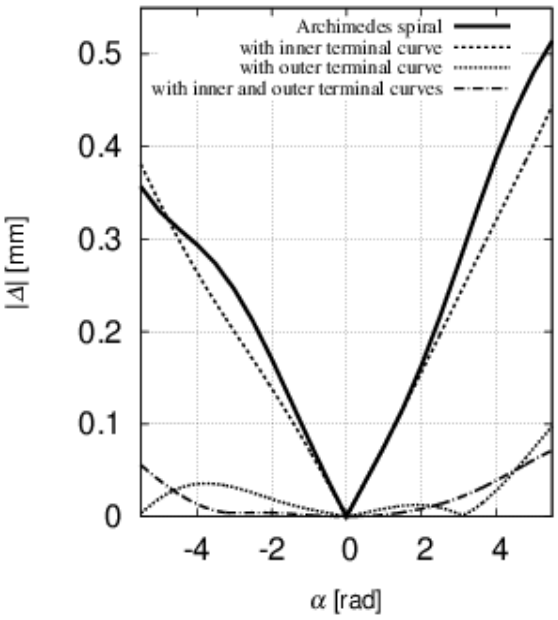


Fig. 4　Displacement of the outer end of a hairspring with Phillips terminal curves in free-end deformation.

$$\Delta = \mathrm{i}\frac{\alpha}{L}e^{\mathrm{i}\alpha}\int_0^L z(s)\, e^{-\frac{\mathrm{i}\alpha s}{L}}\, ds \qquad (3)$$

平等時性誤差がゼロであるということはα によらず$|\Delta| = 0$ となることを意味する。

筆者らは上式をもとに，懐中時計用ムーブメント ETA 6497 のヒゲゼンマイの諸元を用いて$|\Delta| - \alpha$のグラフの作図をおこなった(Fig. 4). 先に述べたように縦軸 $|\Delta|$ はヒゲにかかる側圧の大きさを表している．

結果として，Phillips の条件を満たす内端曲線及び外端曲線が付いているヒゲ(図中一点鎖線部分)は通常のアルキメデスヒゲ(図中実線部分)に比べて自由外端変位 Δ が顕著に低減されることがわかった．また, 外端理論曲線のみを付与した場合(図中鎖線部分)と内端理論曲線のみを付与した場合(図中点線部分)の作図から，$|\Delta|$ すなわちヒゲにかかる側圧を低減するには外端曲線の方が内端曲線よりも効果的であることがわかる．平等時性誤差を改善するのは主に Phillips の条件を満たす外端曲線である，と言い換えてもよいだろう．

3. 2 Phillips の条件を満たす内外端曲線を有するヒゲの重心移動

任意形状の自由端ヒゲの重心座標 G は複素数平面上で次のように表される(Goudsmit and Wang 1940, p. 815). Δは自由外端変位.

$$G = -\mathrm{i}\frac{\partial \Delta}{\partial \alpha} \tag{4}$$

立等時性誤差がゼロであるということはα によらず $G = 0$ となることを意味する。

この式をもとに，筆者らは Fig. 4 同様 ETA6497 のヒゲの諸元を用いてヒゲの重心移動の様子を作図した(Fig. 5)．

このグラフから通常のアルキメデスヒゲ(図中実線部)と比べ，Phillips の条件を満たす内端及び外端曲線が付いたヒゲ(図中一点鎖線部)の重心移動は顕著に小さくなっている．また Phillips の条件を満たす外端曲線のみついたヒゲ(図中小鎖線部)の重心移動のグラフから，外端曲線は自由端変形時ヒゲの重心移動を原点周りに移動させる役割を持っていることがわかる．同様に内端曲線のみ付けたグラフ(図中大鎖線部)から内端曲線は自由端変形時重心移動の軌跡を小さくする役割を持っている．

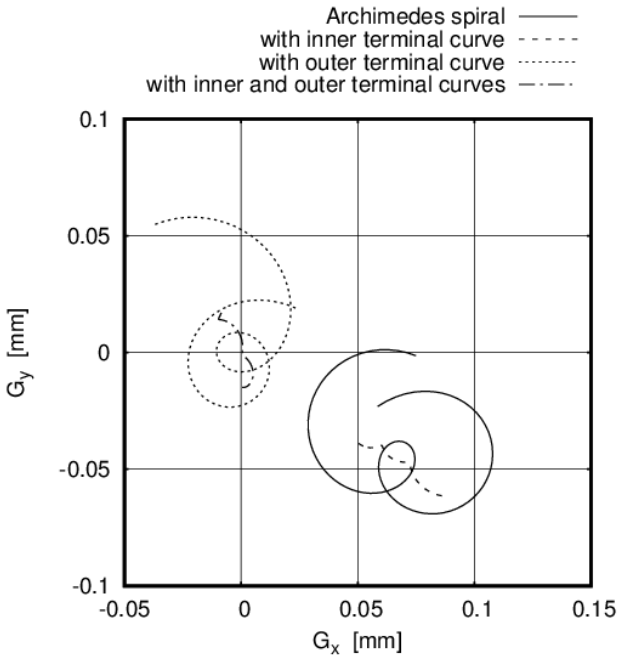


Fig. 5 Displacement of the center of gravity of a hairspring with Phillips terminal curves in free-end deformation.

4. まとめ

Édouard Phillips は 1878 年にアルキメデスヒゲに関して，その内端及び外端の形状が満たすべき Phillips の条件を導出した．これは平等時性誤差および立等時性誤差の両方をゼロにするための条件であったが，そ

の導出過程において近似が多数存在していた．それにもかかわらず，Phillips は自身の実際的な効果について厳密な計算をせず，実機時計の歩度を測定することで精度向上について一定の心証を得るにとどまっていた．Phillips の条件の実際的な効果は厳密には計算，評価されてこなかったといえる．

今回 Phillips の条件を満たす内端及び外端曲線を持つヒゲの実際の性能について，近似を施さない厳密な計算を行った．天真軸からかかる側圧(|Δ|)が通常のアルキメデスヒゲに比べて顕著に小さくなること，また重心移動の軌跡が小さくかつ原点周りになることを確認した．上記ヒゲの平等時性誤差と立等時性誤差の算出は今後の課題であるが，Philipps の条件が平等時性誤差および立等時性誤差をほぼゼロにする効果があり，その有用性は疑う余地のないものであると結論付けることができよう．

参考文献

引用文の翻訳は執筆者による．

M. Bossart (1962): Courbes terminales Phillips pour spiraux Breguet, Chs. Rohr & Cie SA, Bienne, Suisse.

S. Goudsmit, M. Wang (1940): Introduction to the problem of the isochronous hairspring, *J. Appl. Phys.*, 1940, Vol. 11, pp. 806-815.

H. Léauté (1897): Biographie de E. Phillips, *Livre du Centenaire (Ecole Polytechnique), Band 1*, Gauthier-Villars et fils, Paris, pp. 213ff.

É. Phillips (1859): Mémoire sur le spiral réglant des chronomètres et des montres, *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, Vol. 48, pp. 984-986.

É. Phillips (1860): Mémoire sur le spiral réglant des chronomètres et des montres, *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées 2^{e} série*, tome 5, pp. 313–366.

É. Phillips (1861): Mémoire sur le spiral réglant des chronomètres et des montres, *Annales des Mines*, Tome 20, pp. 1–107.

É. Phillips (1871): Théorème sur le spiral réglant des chronomètres, *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, Vol. 73, pp. 1131-1136

É. Phillips (1872): Théorème sur le spiral réglant des chronomètres, *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, Vol. 74, pp. 581-583.

É. Phillips (1874): Note sur un nouveau spiral réglant des chronomètres et des montres, *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, Vol. 78, pp. 667-668.

É. Phillips (1878): Note sur un nouveau spiral réglant plat des chronomètres et des montres, *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, Vol. 86, pp. 26-31.

M. Vermot, P. Bovay, D. Prongué, S. Dordor, V. Beux (2011): Traité de construction horlogère, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.

マイクロメカトロニクス
（日本時計学会誌）Vol. 62, No. 218

研　究

X-Z 駆動機構を用いたインチワーム式ピエゾステージの開発

堤　博貴，上島雄高*

東京工業高等専門学校　機械工学科，八王子椚田町 1220-2，〒193-0997

*東京工業高等専門学校（同上，現名古屋大学）

（2017 年 11 月 28 日受付，2018 年 5 月 21 日再受付，2018 年 5 月 24 日採録）

The Design and Development of Inch Worm Type Micro Positioning Stage with X-Z Moving Mechanism including Piezo Actuators

Hirotaka TSUTSUMI, Yuko KAMISHIMA,*

National Institute of Technology, Tokyo College, Department of mechanical engineering, *1220-2 Kunugida-machi, Hachioji-shi, Tokyo 193-0997, Japan*

* National Institute of Technology, Tokyo College, (currently Nagoya University)

（Received November 28, 2017, Revised May 21, 2018, Accepted May 24, 2018）

ABSTRACT

Inch worm mechanism using piezoelectric actuators is one of the driving mechanisms for precision positioning devices or stages, because high precision and long stroke motion can be achieved simultaneously, and the motion is smooth without backlash. However, one of the problems of conventional inch worm mechanisms is that it cannot hold large load on the guide rail. A new inch worm mechanism proposed in this study utilized linear ball guide and four micro X-Z positioning units with eight piezoelectric elements to solve this problem. Motion characteristics of the proposed mechanism were evaluated by various driving voltage wave patterns.

１．はじめに

近年，積層形圧電素子を用いた精密な位置決め装置・ステージが開発されている．インチワーム（尺取虫）機構もその一つであり [1)~9)]，移動用・クランプ用の圧電（ピエゾ）素子を交互に変位させて，尺取虫のように移動することができる．この特徴を生かし，ロングストロークで超精密な位置決めによく用いられる．通常，インチワーム機構は移動用・クランプ用の圧電素子を一つの機構に内蔵し，高精度なレールに沿って移動する手法が一般的である．この方法は，摩擦によるバックラッシュがなくスムーズな動きが可能である一方，レールに対して垂直な力に弱いという欠点がある．そこで本研究では，案内機構にボール駆動式のリニアガイドを採用して剛性を

高め，*X-Z* 方向へ微小変位するアクチュエータを搭載した新方式のインチワーム式ピエゾステージを設計・開発した．本報では，様々な電圧波形を印加した際のステージの動作特性を調べたので報告する．

２．インチワーム式ピエゾステージの設計

２．１　動作原理

本研究で開発したインチワーム式ピエゾステージの動作原理を Fig. 1 に示す．スライダーに対して対向するように，4 つの *X-Z* 駆動ユニットを配置する．*X-Z* 駆動ユニットは 2 個の圧電素子を搭載した．圧電素子に電圧を印加すれば，*X-Z*(水平，垂直)の 2 方向へ変位させることができる．圧電素子は Act.1～Act.4 とし，Act.1, 3 はクランプ，Act.2, 4 はスライド動作をする．

Step1：リニアガイドのレールを駆動ユニットでクランプ（Act.1：ON）し，Step2：そして，スライダーをスライド（Act.2：ON）させる．Step3：さらにもう一方の駆動ユニットをクランプ（Act.3：ON）させ，Step4：スライダーをスライド（Act.4：ON）させる．この動作を交互に繰り返すことで，スライダーを精密に変位させることができる．

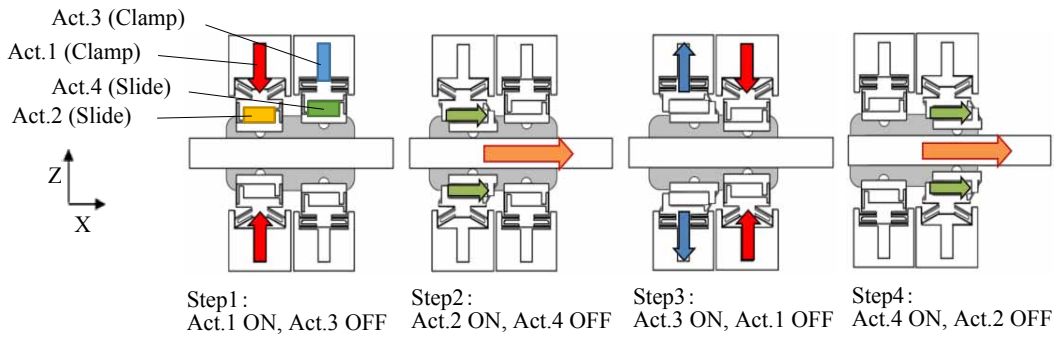


Fig. 1　Moving principle of inch worm stage.

２．２　動作波形

本インチワーム機構の動作波形を Fig. 2 に示す. クランプの圧電素子 Act.2,4 は常にステップ駆動にて動作させ，スライド波形を変化させることとした．矩形波駆動はもっともシンプルな駆動方法であり，ステップ状のスライドが可能となる．Act.1～3 に至るまでに矩形の半分だけ位相のずれることがわかる．一方，三角駆動は圧電素子が定速で伸縮するため，ステージは定速での動作が可能となる．サイン波駆動は三角波と形状は似ているが，単純波形であることから電気的なノイズ低減が期待できる．これらに加えて，動作試験においてはのこぎり波も実験した．

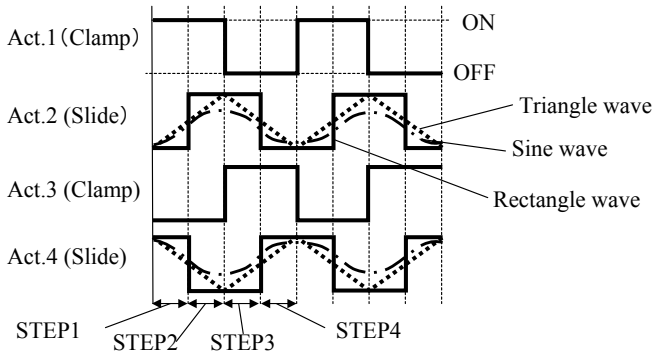


Fig. 2　Control wave of each piezo actuators.

２．３　基本構造

インチワーム式ピエゾステージの構造を Fig. 3 に示す．ボール式のリニアガイドによって，スライドブロックは支持され，*X* 方向にのみなめらかにスライドする．左右には X-Z 駆動ユニットがスライドブロックをクランプするように配置した．この構造のメリットは，案内部(負荷支持)と駆動部を大きく分けることで，垂直方向の高荷重を受けられることにある．また，リニアガイドのなめらかなスライド特性を生かしつつ，精密な運動が期待できる．スライドブロックと X-Z 駆動ユニットの位置はねじで精密に調整した．

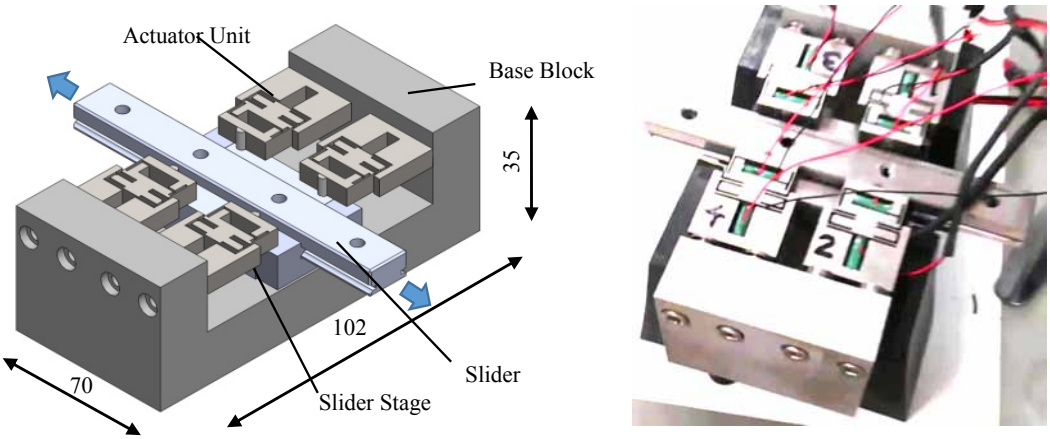


Fig. 3　Components of inch worm stage.

２．４　X-Z 駆動ユニット

２．４．１　基本構造と動作原理

X-Z 駆動ユニットのしくみを Fig. 4 に示す．二つの圧電素子(TOKIN AE023D08)を *X*，*Z* 方向にそれぞれ配置し，*X* 方向は送り動作を，*Z* 方向はクランプ動作をする．ばね構造により平行変位

するように設計した．クランプ圧を高めるため，クランプ部は円弧形状による線接触とし，材料はスライダより硬い炭素工具鋼(スライダーはステンレス鋼)を採用した．ユニットは横 20 mm，縦 25 mm とし，コンパクト化した．変位量は印加電圧 120 V において，*X* 方向 3.8 μm，*Z* 方向 5.5 μm である [10].

Fig. 5 に各方向に圧電素子が駆動した場合の駆動ユニットのモデル図を示す．圧電素子が *Z* 方向に駆動すると，駆動ユニットの溝部分が平行ばねの役割を果たして上方向へ変位することが可能である．また，圧電素子が *X* 方向に駆動すると，駆動ユニット上部の平行板ばねにより横方向に変位することができる．

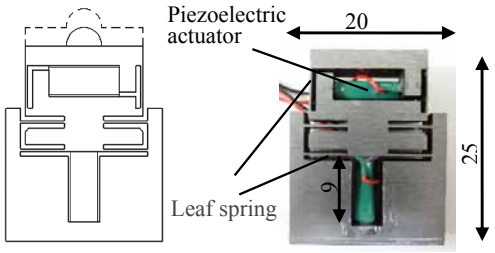


Fig. 4　Structure of actuator unit.

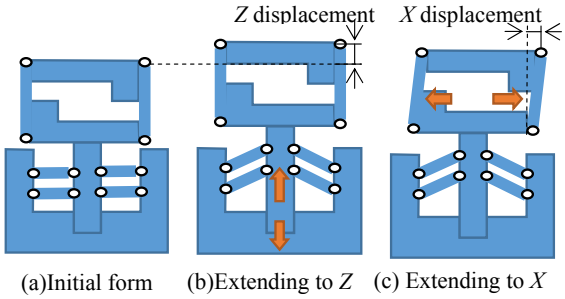


Fig. 5　Expanding mechanism of actuator unit.

２．４．１　変位解析

Fig. 6 には変位解析結果を示す. 圧電素子の最大発生力に相当する 200 N の荷重を加えるものとして変位解析を行った．平行板バネにより，*X*,*Z* 方向へ平行変位していることがわかる．*X* 方向へ 650 μm, *Z* 方向へ 300 μm であり十分な変位が得られることが分かった．

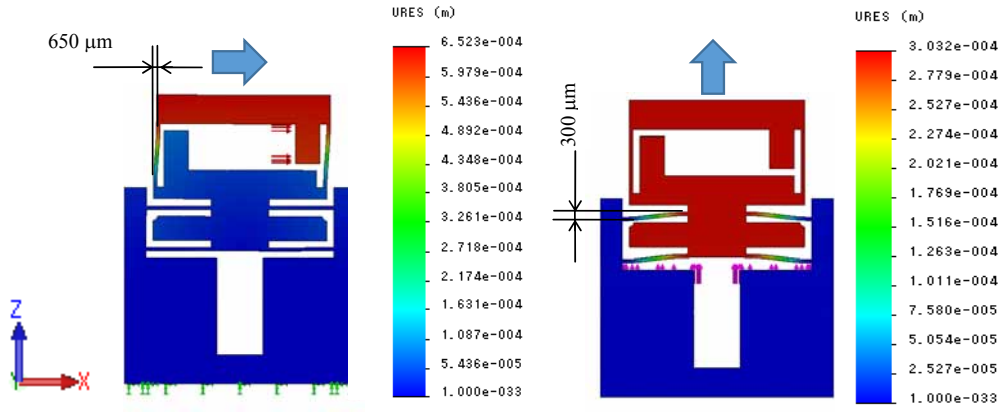


Fig. 6　Expanding mechanism of actuator unit.

２．４．２　圧電素子の変位特性

Fig. 7 は圧電素子の変位特性を示したものである．圧電素子はヒステリシス特性を持つため，印加電圧に対して非線形に変位する．本圧電素子は 60 V の印加電圧で約 12 μm 変位し，約 1 μm の非線形による誤差を有することがわかる．

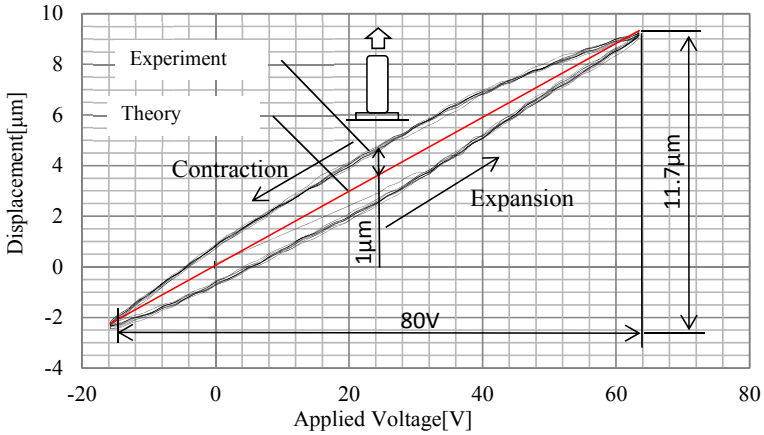


Fig. 7　Relation between applied voltage and displacement of piezo electric device.

３．実験装置と実験方法

Fig. 8 に実験装置の構成を示す．制御装置は PC，ピエゾドライバ，ステージ，静電容量センサで構成される．PC で波形を生成しピエゾドライバを介して電圧を X-Z 駆動ユニットへ送ることによりステージが駆動する．ステージの変位を静電容量センサで測定し，そのデータを PC に送り，ステージの動作特性を測定した．ピエゾドライバ(MESS-TEK M-2629B)は 150 V まで電圧印加できる．静電容量型変位センサ(IWATSU ST-3511)の測定分解能は 0.01 μm である．Z 方向の基本動作形は駆動振幅 80V の矩形波とした．一方，X 方向の駆動波形は実験にごとに圧電素子への印加電圧の波形形状，駆動周波数，駆動振幅を変更した．

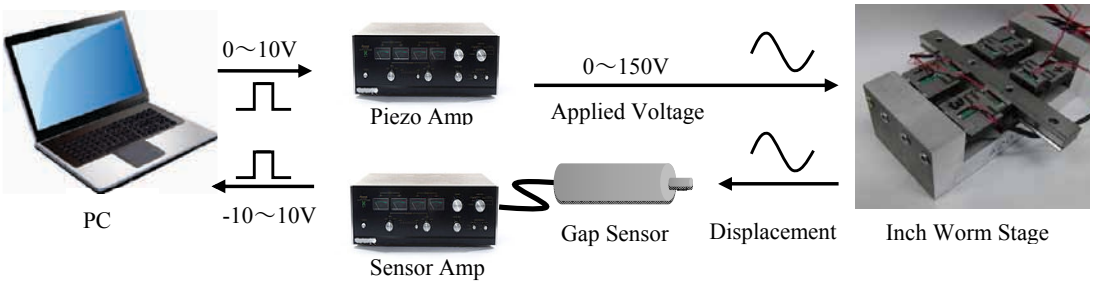


Fig. 8　Measurement and controlling system of inch worm stage.

４．実験結果と考察

４．１　駆動波形とステージの変位特性の関係

印加電圧の波形形状とステージの変位を Fig. 9 に示す. *X* 方向に振幅 78.2 V, 周波数 1 Hz とし，駆動波形としてそれぞれ，矩形波，正弦波，三角波，のこぎり波を圧電素子に印加した．矩形波の変位が最も大きい．矩形波では時間積分したときのクランプ力が最も大きいため，クランプの摩擦すべりの影響を受けにくいからと考えられる．しかし，圧電素子が急速に動くため，オーバーシュートによる変位誤差も大きいことがわかる．一方，三角波は最も直線的であり，直線からの誤差はおおむね 1 μm である．その際の誤差は圧電素子がヒステリシス特性により電圧に比例して変位していないことが原因と考えられる．

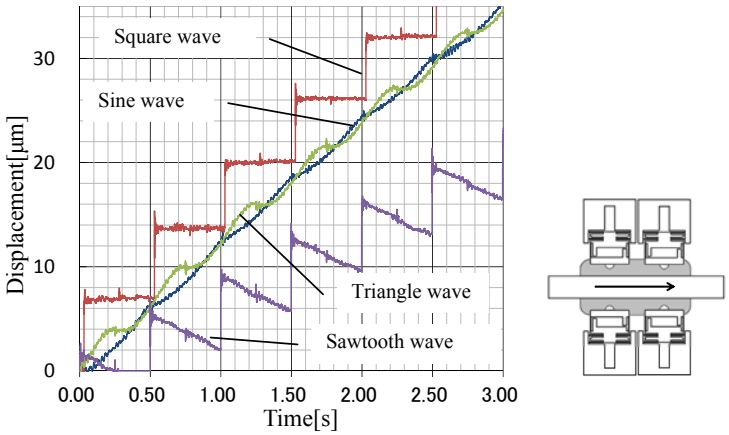


Fig. 9　Movement property of each wave type of applied voltage.

４．２　駆動波形の振幅と変位特性の関係

駆動波形の振幅と変位の関係を Fig. 10 に示す．*X* 方向駆動波形を三角波とし，波形振幅をそれぞれ，8，40，80 V とした．駆動振幅 8 V において変位の傾斜が大きく高速(94 μm/s)であった．そして，高い直線性が得られた．これは，8 V では 1 回の動作変位が小さいために，圧電素子の伸縮時に発生する直線誤差も小さく，同時に発生する振動誤差も小さくなったためである．

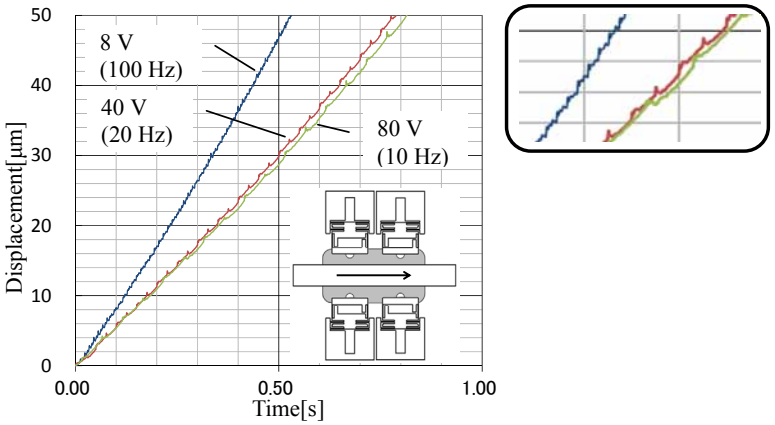


Fig. 10　Movement properties of different frequency and voltage applied waves.

４．３　耐荷重性能

本ステージに搭載したウエイトとスライド速度の関係を Fig. 11 に示す．荷重が大きくなるにつれてスライダの移動速度が緩やかに低下することがわかる．荷重 10 kgf までは最高速に近い 60 μm/s で移動し，速度が低下するものの荷重 22.5 kgf まで動作することを確認した．

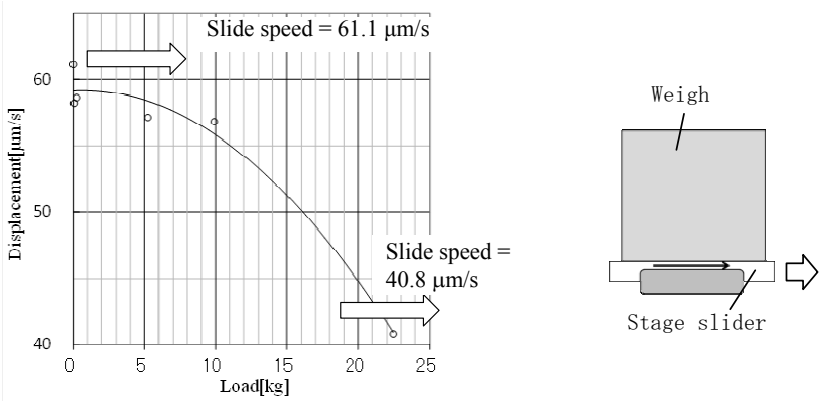


Fig. 11　Movement properties of different frequency and voltage applied waves.

５．結論

X-Z 方向へ微小変位するアクチュエータを搭載した新方式のインチワーム式ピエゾステージを設計・開発し，以下の結論を得た．

1)　矩形波において高速駆動，三角波において一定速駆動を実現した．

2)　小さい振幅・高周波の駆動において高速で一定速の動作を確認した.

3)　20 kg 以上の高荷重に対し，十分な運動性能を持つことを確認した.

以上より，本研究で開発されたステージは，直線的な動作が可能であることが確認できた.
今後の課題としては，実用化に向けて分解能をさらに小さくし微小変動を低減するフィードバック制御装置の搭載すること，駆動ユニット取り付け方法の改善，ダウンサイジング・コストダウンのために圧電素子数を減らした機構の検討などがある.

謝辞: 本研究では株式会社 翔栄システムからの装置のご提供をいただいた. ここに記して謝意を表する.

参考文献

1)　大塚二郎, 坂戸啓一郎:精密位置決め機構設計, 工業調査会, p. 196 (1996).

2)　内野研二:圧電／電歪アクチュエータ, 森北出版, p. 86 (1986).

3)　丸文(株), Burleigh 微小位置決めシステムカタログ, p. 31(1992).

4)　古谷克司, 樋口俊郎, 山形豊, 毛利尚武:インパクト駆動機構の潤滑面上における移動特性, 精密工学会誌, Vol. 61, No. 3, pp. 401-405 (1995).

5)　樋口俊郎, 山形豊:圧電素子の急速変形を利用した超精密位置決め機構(第 2 報), 精密工学会誌, Vol. 58, No. 10, pp. 1759-1764(1992).

6)　内野研二:圧電素子によるマイクロメカニズム, 日本ロボット学会誌, Vol. 8, No. 4, pp. 495-497(1990).

7)　鳥井昭宏, 板津佑樹, 西尾光広, 植田明照, 道木加絵:鉛直振動による浮上を用いたインチワーム, 電気学会論文誌C, Vol. 132, No. 12, pp. 1919-1924(2012).

8)　社本英二, 申興哲, 山口貴洋, 森脇俊道:Walking Drive による精密送り機構の開発 (第 2 報), 精密工学会誌, Vol. 61, No. 8, pp. 1106-1110 (1995).

9)　大岩孝彰, 朝間淳一:インチワーム式アクチュエータ, 特許第 5764845 号(2013).

10)　村井優:X-Z 駆動機構を用いたインチワーム式ピエゾステージの基礎的研究, 東京工業高等専門学校研究報告書, Vol. 45, pp. 9-13(2013).

特　集

スマートウォッチ

ースマートウォッチとはー*

中川　誠**

1. 諸　言

スマートウォッチと呼ばれる腕時計の定義は曖昧だが,ここでは,スマートフォンとの無線通信手段を持ち,さらにスマートフォンと連携することで機能を確立する腕時計とする.

スマートウォッチが本格的に普及したのは,2014年にGoogleよりスマートウォッチ向けOSとして「Android Wear」が公開されたことがきっかけとなった.[1)]

それを下支えする技術革新として,2009年12月にBluetooth(R) Special Interest Group (SIG)より公開されたBluetooth4.0にコイン電池で数年間の通信を可能とするBluetooth Low Energy (BLE)が追加されたことがある.[2)]これにより,腕時計サイズのデバイスに無線機能を搭載することが可能となった.

スマートウォッチには,時計機能以外に単独で実現する機能として,GPSによる位置計測や歩数/脈拍数を計測する機能がある.またカラーLCD表示を搭載するモデルでは,スマートフォンと連携する事で,着信メールやSNSの内容を表示する機能や,スケジュールの通知,スマートフォンにインストールされているアプリケーションの情報を表示する機能を持つ製品もある.

また,アナログ針を搭載するモデルも存在する.

本稿では,スマートウォッチを実現するBLEの技術説明と,スマートウォッチを3つのタイプに区別し,其々が特徴とする機能について解説する.

2. Bluetooth Low Energy

2.1 原理

BLEの特徴は,Connection Interval (図1)と定義されるConnection Eventの間隔を秒単位で設定できることで,RFICのフロントエンドを間欠駆動させ,スリープ期間の比率を高めることで,低電力化を実現した.

図2にBLEのプロトコルスタックを示す.

また,スマートウォッチの各種機能を実現させるために,各種Profileをスマートウォッチ,スマートフォン双方に実装する必要がある.このプロファイルは各社独自に策定することも可能であるが,本稿ではBluetooth(R) SIGがウェアラブルデバイス策定した代表的なProfileについて解説する. (表1)

図1. Connection Interval

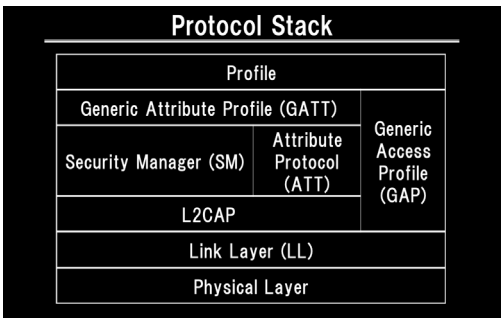


図2. BLE Protocol Stack

表1. 主要Profile

ANP	Alert Notification Profile
TIP	Time Profile
FMP	Find Me Profile
PASP	Phone Alert Status Profile

* 原稿受付 平成30年4月27日
** カシオ計算機(株)

2.2 Alert Notification Profile

図3. Alert Notification Service

本 Profile を実装する事によりスマートフォンへの通話着信やメール着信があった場合に,スマートウォッチへ通知することが可能となる.さらに着信件数や未読のメール件数の取得も可能となる.

Apple が提供する iOS には,このプロファイルをさらに高機能化した独自のプロファイルとして,Apple Notification Center Service (ANCS) が標準搭載されている.[3] iPhone に対応するスマートウォッチは ANP だけはなく,ANCS に対応しているものが数多くある.

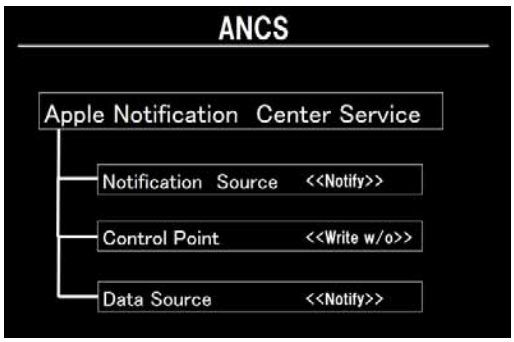


図4. Apple Notification Center Service

2.3 Time Profile

スマートフォンの時刻情報をスマートウォッチへ転送する為のプロファイル.現在の UTC 時刻と,ユーザーが使用する地域のタイムゾーン (15 分刻み) と DST 情報を併せて送信する事で,スマートウォッチにおいて正確なローカルタイムの表示が可能となる.

本プロファイルはAppleが提供するiOSに標準実装されている.[3]

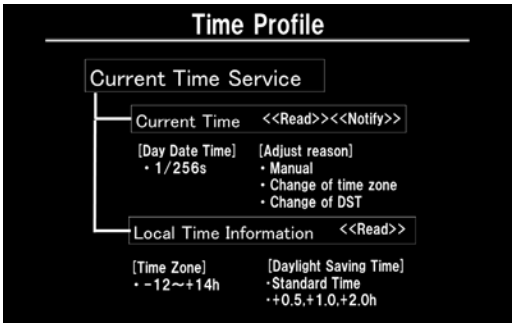


図5. Time Profile

2.4 Find Me Profile

図6. Find Me Profile

このプロファイルを実装すると,スマートウォッチを操作することで,スマートフォンを鳴動させることが可能となる.一般的には携帯電話探索機能と呼ばれている.また,スマートフォンを操作しスマートウォッチを鳴動させることも可能である.

このプロファイルは紛失防止用タグにも広く活用されている.

2.5 Phone Alert Status Profile

図7. Phone Alert Status Profile

スマートフォンの鳴動設定を送信するプロファイル.また着信や着メールによるスマートフォンの鳴動の停止や通常モード⇔マナーモードの切替をスマートウォッチの操作で可能となる.

3. スマートウォッチの分類

スマートウォッチでは,用途・機能に合わせたデザインを採用している.ここでは,デザインを 3 種類に区別し解説する.

3.1 タッチスクリーンタイプ

Apple watch に代表されるタッチスクリーン＋カラー表示を装備したモデル.Android Ware もここに分類される.

ユーザーはスマートフォン同様に好みのアプリケーションの追加や削除を行える.また,高精細な有機 EL パネルや液晶を搭載することで,スマートフォンを取り出さずにスマートウォッチ画面にて着信メールや SNS の内容,さらに,スマートフォンで管理しているスケジュールの通知と内容確認も可能である.

その一方,表示デバイスの消費電流が大きい為,常時時刻を表示させることができない為,腕を一定の角度に傾斜させた場合や,タッチスクリーンや側面に配置されたスイッチを操作することで,一定期間時刻が表示されるモデルが一般的である.

2016 年 3 月にカシオ計算機（株）より発売された「WSD-F10」は二層構造ディスプレイ（図 8）を採用することで,時計本来の機能である時刻を常に表示させることを可能にしている.[4)]

図８．WSD-F10「二層構造ディスプレイ」

モノクロ液晶とカラー液晶を重ねて実装し,二層構造にすることで,使用シーンや周囲の状況に応じ,最適な液晶で表示を行うことで,カラー液晶のみの場合と比較し,電池寿命を２倍以上持続可能にしている.

また,フルドットのカラー表示を採用しているモデルでは,「着せ替え」と呼ばれる文字板の表示デザインを自分の好みの色や形に自由に変更できるのも,特徴の一つである.

3.2 リストバンドタイプ

その名の通り,リストバンドのような形状で,表示機能を一切持たないか,小型の表示を搭載している.（図９）

図９：GARMIN vivofit® 2

表示機能で消費する電力が少ない為,小型電池を使用しているにも関わらず,タッチスクリーン型よりも電池寿命が長い.また,活動量や脈拍,睡眠時間等の生体情報を収集し,健康管理やトレーニングに活用することを目的としているのが特徴.

腕に直接装着されている利点を生かし,常に生体情報を取得・可視化することでスマートフォン単独では出来ない健康管理が可能となる.

活動量計測には加速度センサが使用され,気圧センサ,光学式脈拍センサ,GPS を併用することで,より正確な運動強度を測定可能なモデルも一般的になっている

スマートフォンへの着信通知に対応しているモデルもある.

3.3 アナログ時計タイプ

通常のクオーツ時計のサイズ,デザイン,質感を維持しているのが最大の特徴.時計としての価値をキープしたまま,スマートフォンと連携することで,新たな価値を提供している.

機能付きアナログ時計は,操作が分かりづらく,特定の機能を利用する再は,その都度,取扱説明書を確認する必要があった.しかし,スマートウォッチ化することでスマートフォンのアプリケーションを利用して簡単に,時計

の設定や操作が行えるようにしている.

また, ピュアアナログタイプや小型の液晶や OLED を搭載したコンビネーションのモデルもあるが, 機能表示には制約がある. その為, スマートフォンへの着信をアナログ文字板と針で表現したり, 活動量データは, 時計画面ではなく, スマートフォンに転送し, 専用アプリケーションで確認することで対応している.[4] (図 10)

図 10 : G-SHOCK GBA-800

また,Bluetooth 通信用の RFIC デバイスの大幅な低電力化により,アナログ時計タイプでは,充電不要な太陽光発電に対応したモデルもある.[5] (図 11)

図 11 : エコ・ドライブ Bluetooth

4. 結　　言

スマートウォッチは,Apple Watch Series3 の登場により, スマートフォンのコンパニオンデバイスからの脱却を実現した.

しかし, 独立動作時の電池寿命は, 十分とは言えず, 今後は各デバイスの省電力化と電池やエナジーハーベストの技術革新が望まれる.

またヘルスケア機能においては, センサやアルゴリズムの進化により, 血圧, 血糖値の測定が可能となれば, 病気治療中の患者にも有用なデバイスとなり, 新たな市場の開拓が可能になるであろう.

参考文献

1) https://www.google.com/
2) https://www.bluetooth.com
3) https://developer.apple.com
4) https://casio.jp/
5) http://citizen.jp/

特　集

スマートウォッチ　世界の動向*

中島　悦郎**

1.　世界の時計市場と スマートウォッチのインパクト

“腕につける情報機器”．かつて新たな機能がついた時計を開発するたびにメーカーはこのような表現で市場を喚起しようとした．ただ，それが一時的に売れたとしても長続きしたものは少ない．しかしここ数年の“スマートウォッチ”の台頭で，市場に大きな変化が生じている．スマートウォッチを代表とする，スマートフォンと無線で繋がる時計，つまり“コネクテッドウォッチ”はすでに 1 億本を超えたと想定される（図 1）．手首という絶好のポジションを争奪しようとする新勢力が現れたのだ．

Unit : pcs

	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Quartz/Mecha Watch	1450M	1400M	1300M	1300M	1200M	1100M
Smart Analog/Hybrid*	-	1M	5M	10M	20M	30M
Smartwatch*	20M	30M	60M	65M	70M	80M
Applewatch	11M	9M	18M	16M	20M	30M
Kid's Smartwatch	-	10M	20M	25M	20M	15M
Smart Wrist band*	50M	50M	40M	40M	30M	30M
Connected TTL*	70M	81M	105M	115M	120M	140M

図 1　世界の時計市場規模想定

まず、本稿では時計の種類を次のように分類した．従来のクォーツタイプと機械式の時計の合計を 2017 年で 13 億個と想定しているのに対し，針式のコネクテッドのスマートアナログと，針と表示の両方をもつスマートハイブリッドの合計は 5 百万本，全面表示タイプのスマートウォッチが 6 千万本，アクティビティトラッカーのようなスマートリストバンドが 4 千万本で，合計するとコネクテッドウォッチの総数が 1 億 5 百万本となる．従来時計の 13 億本に対しては，まだ少ないような印象を受けるかもしれないが，欧米や，アジアの香港や上海などの，新しいものに敏感な人が集まる都市部では，コネクテッドウォッチはすでに定着した感がある．

この新勢力の共通点は何か？その多くがスマートフォンメーカーや非時計メーカーで，かつ海外メーカーであるということだ．また商品の機能的な特徴として，サードパーティアプリが時計の上で動くものから，アラート通知などの単機能に絞った商品まで様々である．価格帯も販売価格 20 ドルくらいのリストバンドタイプから 3000 ドルを超えるブランド品まで幅が広い．この新しい潮流は徐々にではあるが従来時計市場を侵食しており，どこまで進むのか目が離せない．この変化が，人々が時計に対して抱く価値観や暮らしに，これからも影響を与え続けるのであろうか．あるいは一過性な流行にしか過ぎないのだろうか．2018 年に登場した商品や市場トレンドをベースに，今後の流れを予測し，その対応について考えてみたい．

2.　米国コンシューマエレクトロニクスショーでのウエアラブル動向　(2018 年 1 月)

図 2　CES2018 会場

今回の CES2018(図 2)で目立って増えたものは電気自動車と自動運転，大小のロボット，ドローンで，時計などのウエアラブルは減少傾向にあった．昨年展示していたいくつかのスマートウォッチブランドが撤退し，アクションカメラメーカーの GoPro が縮小し，ウエアラブルやフィットネス関連ブースが軒並み縮小または撤退していたのは残念であった．特に驚いたのは fitbit が出展せずに，小部屋で特定顧客のみに対応していたことであろうか．また家電でいうと，日本勢のシャープと東芝が見当たらなかったのは当然とはいえ，SONY や PANASONIC と，SAMSUNG と LG の韓国勢を比較すると，入場者数に雲泥の差があり，勢い

*　原稿受付　平成 30 年 5 月 10 日
**　ブイテックインターナショナル株式会社

の違いを痛感した。韓国メーカーが米国市場でブランドを確立し，コンシューマーの関心は完全に韓国ブランドに向いていることを改めて認識させられた．

時計メーカーで目についた展示としては，GARMIN や SUUNTO、POLAR などのフィットネス系ブランド，フランスの WITHINGS を取り込んだ NOKIA や，コネクテッドに命運をかける勢いの FOSSIL グループ，日本からは CASIO と，香港や中国のブランドまたは OEM などであった．

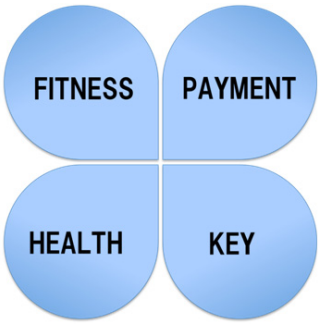


図 3　スマートウォッチの４分野の用途

スマートウォッチに搭載される機能として期待されている分野は，フィットネス，ヘルスケア，キー，ペイメントなどがあるが(図 3)，その中でも今回 CES で出展されていた機能として，ヘルスケアの血糖値と血圧に注目したい．血糖値計測はかなり以前から光学センサーを使った，針を使わない，非侵襲タイプの機器が望まれていた．今回の展示(図 4)内容がどれほどの信憑性があるものかはわからないものの，これが本当に実現すると，世界で４億人の市場に劇的なインパクトを与える可能性がある．特に腕で測定できるとなれば，高齢者や子供を含む多くの糖尿病患者に歓迎されることに違いない．また，腕につける血圧計も出展されていたが，こちらは世界で 10 億人の市場がある．このように億単位のマーケットを狙って，ヘルスケアからキーやペイメントの分野にわたり，時計への応用が拡大していくと思われる．

図 4　血糖値計測ウォッチ

3.　スイス BASEL WORLD 2018 の コネクテッドウォッチ新作（2018 年 3 月）

今年のバーゼルワールドは，出展者数半減に伴い，入場者も大幅に減ったと言われているが，メインの展示会場であるホール 1.0 の，スイス高級ブランドのフロアは，昨年同様の賑わいで，週末にはかなりの入場者を見かけた．ホール 1.0 の中でもローレックス，パテックフィリップ，ルイヴィトングループ（タグホイヤー，ウブロ，ゼニス，ブルガリなど）とスウォッチグループ（ブレゲ，オメガ，ハリーウィンストン，ブランパン，ラドー，ティソ，ハミルトン，ロンジンなど）は健在ぶりをアピールしていた．

SWATCH グループ内にムーブメントを供給する ETA 社と，数社の時計メーカーから聞いたところによると，ここ 2-3 ヶ月で注文が急増しているらしく，ムーブメント販売は昨年比 60 パーセント増，ブランド売上は 30 パーセント増で推移しているとのことで，これまでのどん底と言われていた状況から，脱しはじめている印象である．とはいえ，好調なのはホール 1.0 のメインブランドに限るのかも知れず，スイス全体のマクロ的な姿は年末の販売シーズンを終えないと見えてこないであろう．また高額な出展料が災いしてか，2020 年以降の出展契約を見直す動きが出ており，とある有名ブランドが契約更改をしないという噂も聞こえてきている．

スイスブランドの多くは，スマート化について否定的で，例えば FOSSIL の強気な戦略に対しては，今年も，昨年同様に難しいだろうという意見が多かったが，そのような中でも貪欲にスマート化にチャレンジしているメーカーが数社あった．まず LVMH の HUBLOT がスマートウォッチを展示(図 5)，また FREDERIQUE CONSTANT は，新しいコンセプトの，機械式とスマートの融合商品 HYBRID MANUFACTURE を展示していた(図 6)．これは，自動巻のムーブに，加速度センサーとアナリティックスモジュールと Bluetooth を融合したもので，このように，メカニカルでありながら，コネクテッド機能を組み合わせる試みは，他のブランドからも登場するものと思われる．また新しいところでは，スウェーデンの KRONABY がラインアップを充実させて出展していたのが印象的であった(図 7)．

図 5 HUBLOT

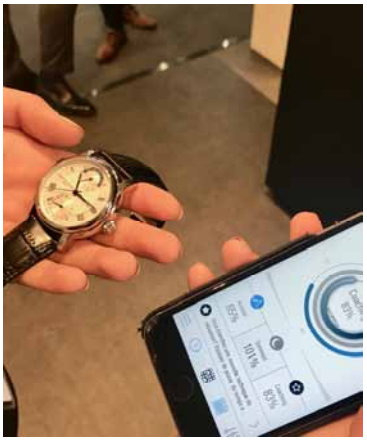


図 6 FREDERIQUE CONSTANT

図 7 KRONABY

4. 香港でコネクテッドウォッチを探す (2018 年 4 月)

2018 年の実際の時計市場の動きに変化はあるのだろうか．筆者が訪れた 4 月第 2 週の香港は，すでに最高気温が 28 度近くまで上がり，大勢の観光客でごった返していた．昨年までは、時計店の店員が，暇そうにしていたものだが，今回は，高級ブランド店から普及価格帯の小売店までの店舗に，お客が少しは戻ってきているように感じた．ただし香港では，為替レート変動と度重なる値上げによって，全ての値段が割高になっているために，日本人観光客を時計店で見かけることはほとんどない．

香港で，スマートウォッチを値段の高い方から探してみると，売れ行き好調のルイヴィトンの TAMBOUR HORIZON（図 8），次に TAG HEUER の CONNECTED が目立った（図 9）．この下の価格帯では売上で世界最大の時計ブランドになったアップルの APPLE WATCH SERIES 3 があり，さらに SAMSUNG，HUAWEI，ASUS，FOSSIL，EMPORIO ARMANI，DIESEL，SKAGEN，MICHAEL KORS，GARMIN，FITBIT などと，電気店と時計店を見ると，殆どのブランドをカバーすることができる．スマートウォッチに限ると，香港のローカルの人たちの間では，APPLE WATCH をしている人が圧倒的に多いが，他のスマートウォッチやリストバンドタイプを腕にしている人もよく見かける．

図 8 LOUIS VUITTON

図 9 TAG HEUER

香港で手に入るコネクテッドウォッチは，前述の上位３ブランドを除くと，残念ながらいずれも魅力に欠ける．どれも大振りで，外装がお粗末に思えるのは，筆者が，それらのブランドに対して持つ先入観が要因の一つなのかもしれない．それに対し APPLE WATCH は，小振りな割りには高機能で，外装の出来が極めて高く，かつ価格はリーズナブルだ．当面，一人勝ちの状況は続きそうである．毎年アップルの製品発表の時期には，どんな新製品が出てくるか気になる．今年も 6 月の WWDC で何らかの新しい APPLE WATCH，または新技術やアプリの発表があるはずだ．その発表次第では，Fig.1 の規模想定を見直さなくてはならなくなるかもしれない．それに対して，特筆すべき機能や，デザイン要素などの質感に乏しいコネクテッドウォッチは，これからも拡大できるのであろうか？

5. コネクテッドウォッチの拡大

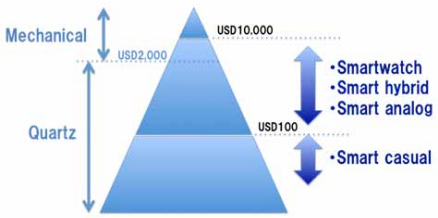


図 10 スマートウォッチの影響を受ける価格帯

クォーツ市場をスマートウォッチなどの新勢力に侵食される前に，時計メーカーとしてコネクテッドウォッチで拡大し，生き残るにはどのような発想が必要となるであろうか(図 10)．時計の価値を決めるものはブランド，デザイン，価格と，UX(user experience) 言い換えると機能や使い勝手などの要素である．アップルが仕掛けた流通革命とも言える，時計流通をほとんど通さないというビジネスモデルが成り立つのは，最強のブランドと，見事な出来栄えの，優れた UX を兼ね備えた商品があるからだ．

しかし，e コマースの発展に従い，状況が変わりつつあるのも確かである．時計ブランドのネット販売額が急増しているのはメディアでも紹介されている通りである．その中で，価格を抑えつつ，優れたデザインのコネクテッドウォッチを開発していくには，数量の背景が必要となってくる．一つの手段としては，クォーツで経験したように，ムーブメントメーカーが，スマートアナログやスマートハイブリッドのムーブメントアソートメントを低価格で揃え，アプリも合わせて，時計メーカーに提供する役割を果たしてはどうか．アプリは，スマートフォンの OS が更新されるたびにアップデートが必要であるが，パッケージとしてムーブメントメーカーがサポートすれば，世界の時計メーカーにとって扱い易い商品となるであろう．日本のムーブメントメーカーは，Bluetooth やセンサーなどのコネクテッドに必要な電子技術に長けている．電源は，１次電池と２次電池タイプを揃え，最先端の実装技術でいろいろなサイズに対応できる．使用するセンサーや，BLE チップ，振動モーターなどは，低電流タイプが必要となろう．

また，オンリーワンの独自路線を突き進むのも大いにありだ．アラート通知機能だけではなく，4 分野の用途(図 2)に果敢にチャレンジして，時計からデータの収集を行い，AI を駆使したサービスを，ユーザーに提供するところまで，自前でやっていく．データセンターの構築のためのリソースを，単独で賄うか，シェアするかの議論も必要かもしれない．スマートフォンはこれからも無くならないし，スマートウォッチも然りである．日本の時計メーカーの強みは，ムーブメントを，電子技術をベースに，より薄く，より小さくまとめて，デザインバリエーションの拡大を可能にする，様々なノウハウを持っていることである．腕につける道具，装飾品を作ってきたメーカーこそが，ユーザーの心をつかむ事ができる．この強みを生かし，海外の新勢力に負けない発想と体制で，是非この大きな波を乗り越えてほしい．

中島悦郎
1976 年大阪大学基礎工学部機械工学科卒業．同年カシオ計算機株式会社入社．時計事業部にてモジュール企画，モジュール開発，商品企画に従事．
現在ブイテックインターナショナル株式会社顧問，日本時計学会理事．

特　集

国内メーカーのこれまでの取り組み１*

－　セイコーインスツル株式会社　－

1. 緒　　言

弊社では時刻同期や時計の機能設定の以外に，ユーザーにとって魅力のあるスマートウォッチとはどのようなものか考え，それらを形にした商品をもって市場にアピールすることを行ってきた．かつてスマートウオッチの黎明期とも言える時期にウェアラブルリストデバイスとして，ポインティング入力デバイスや高精細表示とユーザーアプリケーション開発環境を統合した腕型コンピュータ，ラピュータや，リスト型 PHS 端末であるリストモを商品化したように時計の機能を超えることをイメージして商品化してきた歴史がある．これらを踏まえ現状のセイコーインスツルにおけるスマートウオッチに関する取り組みを紹介する．

2. コンテンツ

スマートフォンと接続することで出来ることのキーワードとして，“楽しめる”ということをキーワードとしている．また，スマートフォンがあるからこそ出来るということも重要なポイントと考える．また，ターゲットを明確に絞ることも，ユーザーからの選択のし易さに繋がるものとして，アウトドアカテゴリから「山」を選択し，SEIKO PROSPEX ブランドから陸（LAND）カテゴリへのラインナップとして商品開発を行った．

図１　Cal.S830 Alpinist®

2. 登山ウオッチ Cal.S830Alpinist®

Bluetooth®通信を搭載したセンサー計測（気圧高度/温度/方位計測機能）搭載登山ウオッチ Ca.S830 と，スマートフォンアプリ PROSPEX APP により，登山の楽しみと，安全をユーザーに提供する商品．Cal.S830 とアプリ PROSPEX APP により，登山の目的地に対して計画的に到達するための登山ペースを管理する「登高スピード表示機能」を利用することが出来る．この登高達成率機能は，目的地までに予定されている高低差が，どの程度進んでいるかをパーセント表示することが出来る．これにより，「予定の時間までに目的地に到達できるペースか」を知る目安となり，計画のコントロールに役立つ．

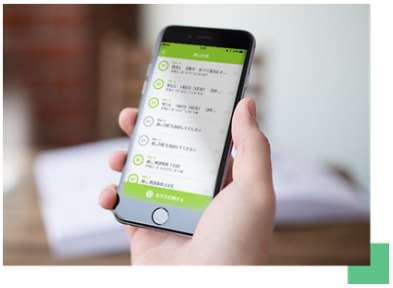


図２　アプリ PROSPEX APP

図３　アプリ PROSPEX APP 登山データ，高度グラフ

記録した登山データは，アプリでデータ管理および高度グラフで，登山の後にも振り返りの楽しみがある．

3. 登山ウオッチ Cal.S810/811Alpinist®

Cal.S830 のスマートフォンアプリ PROSPEX APP が利用可能な Bluetooth®通信機能と，センサー（気圧高度/温度/方位計測機能）を小ぶりのケースに収め，女性の登山ユーザーにもお勧めできる商品として Cal.S810/811Alpinist®を商品化した．

＊　原稿受付　平成３０年　４月２０日

図４　Cal.S810/811ALPINIST®

4.　アウトドアウオッチ Cal.S833LAND TRACER®

Cal.S833LAND TRACER®では，Bluetooth®通信機能のさらなる活用によりスマートフォンアプリとの連携を強め，スマートフォンの持つリソース活用によりシステム全体のパフォーマンスを高めることで，ソーラーウオッチでありながら，GPS 位置／気圧センサー高度のフィールドログ機能を実現した．

図５　Cal.S833LAND TRACER®

フィールドログを構成する位置ログデータと気圧高度ログデータにより三次元データを生成し，マップ上の空間に展開することで，ユーザーのアクティビティを 3D マップとしてビジュアル化する．

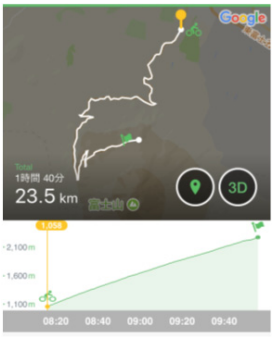


図６　アプリ LANDTRACER®高度 2D グラフ

さらに，アウトドアライフをサポートするための機能として要望の高い天気情報をウオッチで常時表示することが出来ることも，スマートフォンとの連携により実現出来る大きなユーザーベネフィットである．最新の天気データ更新タイミングは，

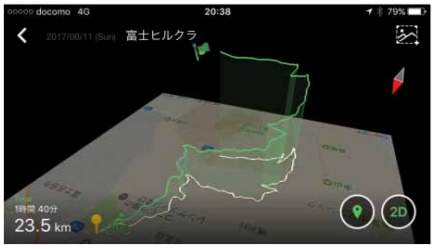


図７　アプリ LANDTRACER®高度 3D グラフ

・任意操作で更新
・自動同期機能で更新
・フィールドログ記録中随時更新（30 分間隔）

にて行う．

図８　アプリ LANDTRACER®天気データ

5.　結　　言

本稿では，セイコーインスツルにおけるスマートウオッチ製品への取り組みについて述べたが，引き続き弊社ではコネクト技術をベースによりユーザーベネフィットに優れたウオッチ製品の開発を進め，魅力ある商品を提供して行きたい．

参考文献

1)　セイコーウオッチ株式会社
プロスペックス　（陸 LAND）ホームページ
https://www.seiko-watch.co.jp/prospex/land

マイクロメカトロニクス
(日本時計学会誌)Vol. 62, No. 218

国内メーカーのこれまでの取り組み２*

－セイコーエプソン株式会社－

1. 緒　　言

現在のスマートウオッチの形では無いが，エプソンでは，同様な幾つかの製品を展開してきている．本稿では，弊社がこれまで取り組んできたスマート機能を搭載したウオッチ/リスト機器を紹介する．

2. これまでの歩み

2.1 テレビ付き腕時計「テレビウオッチ」(1982 年)

1982 年に発売した世界初、世界最小の液晶表示のテレビ付き腕時計．ポケットに入るほど小型なチューナーは持ち運びに適し，単三アルカリ電池 2 本で連続して 5 時間視聴することが可能．

図１　テレビウオッチ

2.2 リストコンピューター「RC-20」（1984 年）

1984 年に発売したリストコンピューター「RC-20」は，スケジューラ/メモ帳/ワールドタイム/電卓機能を搭載し，タッチパネルによる入力を実現，PC が無くとも単体での操作が可能となっている．

図２　リストコンピューター「RC-20」

2.3 腕時計型携帯情報端末「クロノビット」(2000 年)

RC-20 を更に進化させ、上記に加え，ToDO/アドレス帳/タイマ/世界時計の PDA 機能を実装．本体を付属のシンクロステーションに乗せ，ボタンを押すことで簡単にパソコンとのデータ共有/転送を可能にした．入力インタフェースに回転ベゼル式キーボードを搭載する．

現在のスマートウオッチの標準となる，バイブレータによるサイレントアラーム機能，“時計職人”と言うアプリケーションによりユーザーによるデジタル時計表示のカスタマイズや時計表示の背景選択機能などを搭載し，非接触充電機能により日常生活防水性能を実現している．

図３　クロノビット

2.4 ランナー用脈拍トレーニングツール「パルスグラフ」（1995 年）

ジョギングやランニング等のトレーニングを支援するためのスポーツウォッチ．センサーを人指し指に装着し，本体と接続することで脈拍の測定ができる．心肺機能と最大酸素摂取量をアップさせる脈拍トレーニングを支援する．PC へデータを転送し，収拾したデータをグラフ化するなど管理・分析できる．

図４　パルスグラフ

3. 現在の展開

3.1 健康保険組合向け「生活習慣改善支援サービス」（2011 年～）

脂肪燃焼ゾーン/消費カロリー/歩数などを常時測定・把握できる小型・軽量のリスト型脈拍計を手首に着けることで，液晶表示や音により自身で脂肪燃焼に適した運動強度などを常時測定・把握する．通勤時のウオーキングなど日常生活の範囲で効率的に脂肪燃焼を図ることが可能となっている．

* 原稿受付 平成 30 年 4 月 20 日

継続して楽しくメタボ改善に取り組めるよう，簡単に利用できる運動プログラム/食事プログラム，行動変容プログラムからなる多彩なウェブ・アプリケーションを用意している．

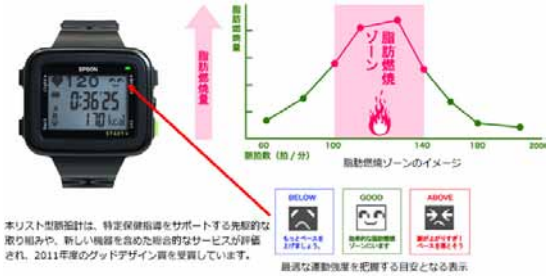


図５　健康保険組合向け「生活習慣改善支援サービス」

図６　ウェブ・アプリケーションの利用イメージ

3.2　WristableGPS（2012 年～）

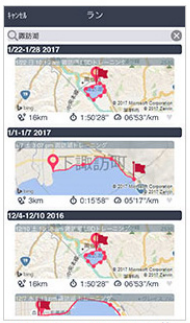
GPS 機能により，ランニング時の走行距離やペースなどを正確に計測し記録を保存することを可能にする GPS 機能付きウオッチ「WristableGPS」を 2012 年より展開し，現在ではアスリート層向けから GPS ランニングウオッチ初心者のエントリーモデルまで，多彩なモデルを取り揃えている．

図７　WristableGPS(J-300T)

Bluetooth®での常時接続により本体の計測を終了させると，「Epson View」へ計測データが自動でアップロード(図６機種は対応)され，走行後すぐに走行軌跡をはじめとした計測データを確認することが可能．

またスマホ着信通知機能としてメールや電話，SNS 着信お知らせが本体画面で確認できる．

ワークアウト計画画面（スマホアプリ）



©2017ZENRIN CO.,LTD（Z13LB第64号）
ワークアウト検索画面
（スマホアプリ）

図８スマホアプリケーションの利用イメージ

3.3　TRUME（2017 年～）

2017 年 7 月，最先端技術でアナログウオッチを極めることを目指すブランド「TRUME」（トゥルーム）を新たに立ち上げた．

TR-MB8001

エクスパンデッドセンサー

図９　TRUME

1st モデルは，ウオッチ本体に搭載された GPS センサー，気圧・高度センサー，方位センサーを稼動させながら，さらに，オリジナルの外部センサーであるエクスパンデッドセンサーとのデータ通信を行う．エクスパンデッドセンサーは，さまざまな情報を計測するアクセサリーで，温度/紫外線/歩数/消費カロリーを計測する．ウオッチ本体とセパレートしたことで，温度などのデータも体温の影響を受けずに精度よく測定できる．スマートフォンとの連携ではないものの、外部センサーを替えることで様々な計測データの表示を実現できる点から，ハードウエアのスマート化と換言でき，市場への新たな提案となる商品である．

4.　結　　言

弊社では技術の進化と共に様々な機能を搭載した製品を世に送り出してきた．今後もスマート機能を搭載するウエアラブル機器の開発及び商品化を継続して行っていく．

特　集

国内メーカーのこれまでの取り組み 3*

－シチズン時計株式会社－

1. 緒　　言

シチズン時計では，2006 年 8 月に世界初の Bluetooth®搭載腕時計 i:VIRT を発売して以降，携帯電話と連動する腕時計の製品開発を継続している．i:VIRT の機能は現在のスマートウオッチの先駆けとなる製品であり，それ以前からも取り組みは始まっていた．本稿では，シチズン時計におけるスマートウオッチの取り組みの歴史を紹介する．

2. 用途開発のためのプラットフォーム

2001 年にシチズン時計は，IBM 社と WatchPAD1.5 を共同開発した．

図１　WatchPAD1.5

本モデルは 32bit コントローラをコアに，

- QVGA モノクロ LCD
- Bluetooth®
- 指紋センサ
- タッチパネル
- 加速度センサ
- 振動モータ
- スピーカ／マイク
- りゅうずスイッチ

など，取り込めるものを全て取り込み，次世代の時計の用途を検討するためのプラットフォームとして開発され，研究機関や学校などにも研究目的で提供を行った．

3. 携帯電話連動 i:VIRT／i:VIRT M

2004 年頃，Bluetooth®を搭載した携帯電話が市場に出始めた．携帯電話を出さなくても，発信元を確認できる機能は，腕時計の特徴にあったものである．このころから，携帯電話への着信を腕時計に通知するという環境が整ったといえる．

2006 年 8 月に発売した i:VIRT は，表示画面には有機 EL を使用し，着信時に発信者の氏名を表示，防水性を担保するために充電は非接触充電方式を採用し，専用のクレイドルで簡単に充電ができる仕様とした．

当初，この機能は，ポケットに携帯電話を入れることの少ない女性がターゲットであったが，当時の技術的な制約から，小型・薄型化に限界があったため，女性向けのデザインにはしていない．

対応する携帯電話がまだ少なかったこと，Bluetooth®プロファイルの制約からメールへの対応ができなかったことなどから，広い購入層を獲得するに至らなかった．

図２　i:VIRT

図３　i:VIRT M

当時，携帯電話で発生するイベントの中で，メール通知の重要性は増していた．その流れを取り込み，2007 年 11 月，時計単体でメール本文も読める i:VIRT M を発売．i:VIRT M は，電話着信通知，メール着信通知，ニュース通知，カメラシャッターなどの機能を実装した．メール本文を時計で読むことを考えると，モノクロ液晶では絵文字の識別が難しいことから，カラー液晶を採用している．液晶は常時時刻を表示するために，半透過型の 96×48 ドットマトリクス低消費電力カラー液晶を採用し，通常のデジタルとは異なる表現で時刻表示を行った．

*　原稿受付　平成 30 年 4 月 18 日

4. Eco-Drive W760

図４　W760

スマホなどの携帯端末と連動する場合には，時計画面に情報表示を行おうとするとどうしてもデジタル時計のテイストになってしまう．普段使いの時計については，アナログ式の丸い時計が好まれているという傾向もあり，時計に必要なものは何であるかということを再検討した結果，時計での情報表示は全て針で行うというアナログ時計で行い，時計としてのデザインを優先することとなった．当時，スマートフォンと接続できる腕時計はまだ市場に少なかったが，シチズンの特徴を明確に出すために，エコドライブを必須条件として製品開発が始まる．

電力を減らすために，Bluetooth Low Energy（以下BLE)を採用したが，対応スマホはあまり市場に広がっていなかった．2011 年秋に発売された iPhone4s が爆発的に売れ，市場に対応スマホが広がったことで，接続対象機を iPhone®に限定した W760 を 2012 年 10 月発売．

BLE 対応の周辺機器がほとんどない中で，スマホ側の実装も手探りであり，OS 更新に合わせて修正が繰り返された．

主な特徴

：充電不要(光発電)
：スマホイベント(電話着信・メール着信)通知
：置き忘れ防止
：スマートフォンサーチ
：時計 Firmware 更新機能

5. Eco-Drive W770

その後，Android® OS も標準で BLE API を提供するようになり，2015 年頃から対応端末も増えてきたことで，iOS®／Android®双方に対応する時計の要求が高まってくる．スマートウオッチも種類が増え始め，脈拍や活動量などを収集するものが多く発売されていた．シチズンでは，今までにないログデータとして，時計が動き続けるためのエネルギーである光の量を収集することにした．腕時計は腕に装着され外界に対してほぼむき出しの状態にあることから，他の携帯端末に比べて人と同等の外部環境にある．通常の時計に比べて電力を消費する時計に対して，充電の効果をわかるようにすることで，楽しみながら充電をしてもらうことを期待した．

従来の時計においても光の量を表示する時計はあったが，スマホと連携することで，その瞬間だけではなく時間に対する変化を確認できるようになっている．

また，W760 では電話着信・メール通知全てに対して時計が報知していたが，ユーザーの要望を取り入れる形で，電話着信などをフィルタリングする機能を追加し，緊急性のある相手からの連絡のみユーザーに通知が可能とすることで利便性を上げた．

図５　W770

W760 から追加された主な付加機能

：発電量ログ収集機能
：通知フィルタリング機能
：アプリによる　ローカルタイム設定
　　アラーム設定
：スマホ 3 台との接続切り替え可能

時計とは直接関係がないが本 Cal からアプリの UI にも力を入れ，特徴的な UI を採用している．例えば，ローカルタイムを設定する地図では，昼と夜の色の境界を現実世界に合わせて時間や季節により切り替えているなど，細かなところへのこだわりを持っている．これらはブランドの世界観を構築・提示する上では重要なことであると考えている．

6. 結　　言

本稿では，2000 年から始まったシチズン時計のスマートウオッチへの取り組みと，その歴史について記載した．紙面の都合上取り上げきれなかった内容も多く存在するが，一貫しているのは，新しい機能を追求しながらも美しさが最優先である『美と技術の融合』というシチズンの DNA である．今後も美しさを求めながら，時計らしいスマートウオッチを市場提供していく．

マイクロメカトロニクス
(日本時計学会誌)Vol. 62, No. 218

国内メーカーのこれまでの取り組み 4*

－カシオ計算機株式会社－

1. 緒　　言

商品ラインナップの各ブランドの持つ世界観をスマートフォンと連携することで強化する「既存の時計のスマート化」.様々なアクティビティ,アウトドアなど「用途を特化したスマートウォッチ」.２つの路線での開発について紹介する.

2. 既存時計のスマート化

2.1 基本思想

弊社ではスマートフォンと時計を連携させることで,“時計の時刻合わせをいつでもどこでも簡易的に行うことができる”,“時計内の設定をスマートフォンから簡便に行うことができる”,“時計内に保存されているデータをスマートフォンでより詳細に表現することができる”といったスマートフォンを『時計機能を補完する機器』としてとらえた使い方を提案し,スマート化させたウォッチを商品展開している.

また, 弊社が展開するブランド毎の利用シーンに合うようなスマートフォンとの連携機能を展開し,製品やブランドイメージに合わせた様々なアプリケーションを提供している.

実際の製品を紹介しながら,その具体的な内容を紹介する.

2.2 EDIFICE 『EQB-800』

モータースポーツにインスパイアされたデザインと機能を併せ持つクロノグラフ(図 1).

時計で計測したラップタイムは専用アプリ上(図 2)でリスト表示やグラフ表示が可能. 目標タイムを上回った周回のハイライト表示もでき, スマートフォンとの連携により時計単体では難しい多彩な表現を実現.

立体的なレトログラード針が目を引く 9 時側のインダイアルでは, 1／20 秒単位のストップウオッチやスマートフォンとの接続状況を表示. モード切り替え時には, 針が緩急をつけて上下し, 車のエンジンをかけた際のタコメーターの動きを表現する.

12 時側のインダイアルには, 日本のプロレーシングチームのアドバイスを受け, 目標タイムに対するラップタイムの差を直感的に把握できるターゲットタイムインジケーター機能を搭載. 目標タイムの 10 秒前からカウントダウンを開始し, ハイスピードで走行するレーシングカーが戻るタイミングを計れるため, チームスタッフはドライバーに的確なサインボードの掲出を, 観戦者は応援する車が目の前を通過するタイミングを把握できるなど, 実用的な機能に仕上げている.

図 1 EQB-800

図 2 EQB-800 専用アプリ

2.3 OCEANUS 『OCW-G2000』

世界中どこにいても正しい時を刻み続けることを追求した製品(図 3). スマートフォンとの連携に加えて標準電波と GPS 衛星電波の受信による 3 つの時刻取得システム「Connected エンジン 3-way」を搭載.

スマートフォンを介してタイムサーバーに接続することで, 世界中どこでも正確な時刻を取得し, さらにサマータイムやタイムゾーンの情報も自動更新できる「Connected エンジン」を搭載. 海外へ渡航した際や時刻ルールの変更があった際など, 自動で時刻修正可能.

* 原稿受付 平成 30 年 4 月 20 日

専用アプリ「OCEANUS Connected」(図 4)との連携により,約 300 都市から選べるワールドタイムの簡単設定や, 時刻取得履歴(図 3),ソーラー充電量,バッテリーレベルなど時計の状態を把握できる表示も可能.時を刻む時計として高い信頼性,安心感をユーザーに与えるアプリケーションを提供している.

図 3 OCW-G2000(左) 時刻取得履歴表示(右)

図 4 OCEANUS Connected

2.4 SHEEN 『SHB-100』

女性用ウォッチで初めて Bluetooth 通信によるモバイルリンク機能を搭載.女性らしいデザインにこだわった専用アプリケーション「CASIO WATCH+」(図 6)と連携することで,自動での時刻合わせが可能となり,ワールドタイムの設定もスマートフォン上から簡単にできる.

フェイスデザインはつながりをテーマに,リングをモチーフにし,ホームタイムとワールドタイムがひと目で把握できるよう配置,世界の時とのつながりや遠く海外にいる大切な人との絆を感じられるようなモデルに仕上げている (図 5).

図 5 SHB-100

図 6 CASIO WATCH+

2.5 G-SHOCK 『GBA-400』

スマートフォンと連携することで,周りで流れている楽曲のタイトル検索 (楽曲のタイトル検索機能には SoundHound Inc.の技術を使用) や音質のコントロール,コンサート会場にいるようなライブ感の設定など,音楽を楽しむ機能を大幅に強化したモデル(図 7).

新たに開発した音楽アプリケーション「G'MIX App」により,音質のコントロールやコンサート会場にいるようなライブ感の設定ができるほか,聞こえてきた楽曲のタイトルを検索して“G-SHOCK”の液晶部に表示する曲名検索を実現.

スマートフォンを取り出さなくても,時計のロータリースイッチを回すだけで,リモートで曲名を検索が可能.また,あらかじめ内蔵されている音や,自分で用意した音を,時計のボタン操作でスマートフ

ォンから鳴らすことができるなど遊び心のある機能も備え,聴くという音楽の楽しみ方に加えて,音楽を知る,音で遊ぶなど様々な楽しみ方を提供している.

図 7 GBA-400

3. 用途を特化したスマートウォッチ

3.1 基本思想

スマートウォッチ（腕時計型情報端末）市場は 2015 年前後から大手の参入が始まったが,用途や目的が不明確なものも多く,消費者が購入する理由を見出しづらいという市場全体の課題があった.

弊社が参入するにあたっては,あえて用途を特化することで,実用性に基づく新たな需要を喚起する必要があると考えた.そこでスマートフォンを扱いづらく,腕で情報を見たいシーンとして,アウトドアに着目した.

2016 年 3 月,弊社はアウトドア用途に特化した堅牢性の高いハードと専用アプリを備えたリストデバイス「Smart Outdoor Watch WSD-F10」を発売.アウトドアにおけるウェアラブルの利点を見出し,真に実用的なリストデバイスとして,好評を博した.

本稿では,後継機「PRO TREK Smart WSD-F20」について,その具体的な内容を紹介する.

3.2 Smart Outdoor Watch PRO TREK Smart『WSD-F20』

アウトドアシーンで役立つ 5 気圧防水性能を備え,MIL 規格（※1）に準拠したリストデバイス(図 8).

低消費電力 GPS とオフラインで使えるカラー地図機能を搭載し,単独での使い勝手を前機種より格段に向上させた.

行先の地図を事前に『WSD-F20』にダウンロードしておけば,GPS 情報と組み合わせ,オフラインでも自身の位置を確認できる. スマートフォンの電波が届かないアウトドアフィールドや,スマートフォンを手に持てないウォータースポーツなどにおいても,単独で活用でき,アクティビティを幅広く強力にサポートする.

図 8 WSD-F20

低消費電力 GPS とカラー地図を活用し,アウトドアで役立つ多彩なオリジナルアプリを開発した.

・ロケーションメモリー

サイドボタンでダイレクトに起動し,瞬時に現在地の確認ができるアプリ.行動の軌跡を残せるのはもちろん,地図上に目印のない場所でもメモを残したり,マークを選択して記録などができる(図 9).ナビゲーション機能やリマインド機能も備え,メモを記録した場所に再訪する際に役立つ.また,多彩な地図デザインを用意しており,アクティビティの種類や使用目的に合わせて選べる.

図 9 地図上にマークを記録

・アクティビティ

トレッキング,サイクリング,フィッシング,スノー,パドルなどの各アクティビティ中に,計測データをリアルタイムで表示するアプリ. GPS とカラー地図を活用し,軌跡や最高速度なども表示する.

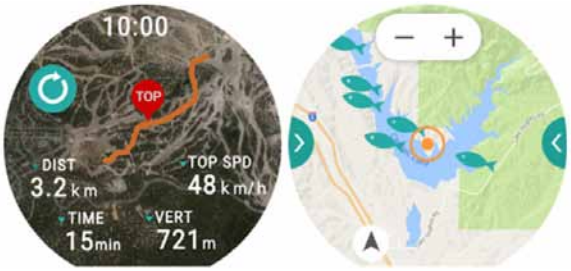


図 10 アクティビティ

・MOMENT SETTER
各アクティビティ中に,夢中になって気づかないようなタイミングを通知してくれるアプリ.釣れ時,休憩のタイミング,日の出日の入りなど,あらかじめ設定した条件に基づき,必要な情報を自動で通知する.

図 11 MOMENT SETTER

ディスプレイには,モノクロ液晶とカラー液晶を重ねた二層構造を採用. モノクロ液晶で時刻を常時表示し,カラー液晶で地図や計測情報,アプリを表示.シーンに応じて常に優れた視認性を提供すると同時に,消費電力を抑制するため,長時間のアウトドアシーンで役立つ.

図 12 消費電力を抑制する独自の二層液晶

アウトドアから日常生活まで幅広いシーンで使えるデザインのオリジナルウォッチフェイスを多数用意している.ストアからの追加も可能.

図 13 オリジナルウォッチフェイス

OS には Wear OS by Google (旧称 : Android Wear) を採用し,アプリを追加して様々なアウトドアシーンに合わせて機能を拡張することも可能. 発売時より,アウトドア愛好家に人気の各種アプリと連携している.以下は国内向けアプリの例. (※２)

・トレッキング用 GPS アプリ「YAMAP」
スマートフォンが圏外でも,トレッキング専用の地図を呼び出し表示できる GPS アプリ.

・お天気アプリ「Go 雨！ 探知機」
現在地付近の雨の様子が一目で分かる新感覚のお天気アプリ.最新型の気象レーダ(X バンド MP レーダ)のリアルタイムの雨量情報から,現在地の周囲の雨量を瞬時に表示する.

また発売後,アウトドアやスポーツ分野における利便性をさらに高めるべく,グローバル大手アプリ 9 社とオフィシャルパートナー契約を締結した.登山用地図や登山ガイドの表示アプリ「ViewRanger」,釣り時予測,釣りスポット表示アプリ「Fishbrain」,スキー・スノーボードの距離・スピード測定アプリ「Ski Tracks」など. (※２)
アウトドアという特化した用途の中にも,ユーザーごとに多様なニーズがある.それらのニーズに応えるべく, スマートウォッチのプラットフォームを活用し,今後も商品を進化させていく.

※１ 米国国防省が制定した米軍の物資調達規格 (正式名称 : A United States Defense Standard)
※２ アプリメニュー内の「注目アプリ」から追加インストールが必要. iOS 接続時には非対応のアプリがある.

※Bluetooth は,Bluetooth SIG, Inc. の登録商標です.
※Android, Wear OS by Google, Android Wear およびその他のマークは,Google LLC. の商標です.
※IOS は米国シスコの商標もしくは登録商標です.
※その他のサービス名,製品名などは各社の商標または登録商標です.

特　集

（座談会）スマートウォッチのこれから，腕時計のこれから*

（出席者）ブイテックインターナショナル株式会社　中島悦郎，カシオ計算機株式会社　時計事業部　常葉輝久，西尾豊一，シチズン時計株式会社　時計開発本部　寺嶋一彦，荒木将之，和泉　輝，セイコーインスツル株式会社　ウオッチ事業本部　中村千秋，ムーブメント事業部　滝澤勝由，セイコーエプソン株式会社　ウエアラブル機器事業部　小池邦夫，松崎　淳，千葉工業大学　工学部　機械工学科　大谷　親，玉川大学　工学部　エンジニアリングデザイン学科　木村　南，中央大学　理工学部　精密機械工学科　新妻実保子，大隅　久**（司会）

1.　座談会の概要

2018年2月23日に，標記題目をテーマとした座談会を中央大学後楽園キャンパスで開催しました。座談会では，まず世界の時計業界の現状とスマートウォッチの影響，魅力について，大学生に行ったアンケート結果等も参考にしながら，それぞれご紹介をいただきました。次に，国内のウォッチメーカの取り組みについてのご紹介をいただき，その特徴，課題について議論すると共に，腕時計の価値について検討しました。最後に，本日の議論を踏まえて，腕時計の将来像について各社から感想をいただきました。短い時間ではありましたが，議論を通じてスマートウォッチの本質，アップルウォッチの脅威，そして時計の価値とは何かについての認識を共有することができました。議論にご参加いただきました出席者の皆様には感謝申し上げます。

座談会の様子

2.　座談会

まず，参加者の自己紹介と配布された資料（アンケート結果2つ，時計売り上げ統計他）の説明があり，次に本題として，まずスマートウォッチの現状，各社の取り組み，最後に時計の価値についての議論が行われました。

（時計業界とスマートウォッチの現状）

司会：本日は13:00-15:00という限られた時間ではありますが，スマートウォッチの現状と今後，さらに腕時計は将来どうなっていくのか等，最近気になっているテーマについて皆様のご意見を伺い，理解を深めていきたいと思います。

まずは，スマートウォッチの現状に対する共通認識を持っていただくために，中島さんから現状のご報告をお願いいたします。なお，中島さんはカシオで40年近く時計企画をご担当され，2015-2016年に日本時計学会会長もされていらっしゃいます。また，海外の動向についても精通されていらっしゃいます。ではよろしくお願いいたします。

中島：まず，最近の世界的な時計市場では，売り上げが大きく落ち込んでいます。その原因として考えられるのは，もっとも大きなものは中国のぜいたく禁止令だと思いますが，スマートウォッチの台頭も大きな原因の一つだと思います。その他にも，為替相場，オイルマネー，テロ，そして国内ではインバウンドの売り上げ減少等も影響しています。国内のインバウンドの方は少し戻ってきたようですが，世界的に見るとスイスの高級腕時計の在庫がまだかなりダブついています。例えば毎年春に開催されるバーゼルワールド（時計・宝飾の世界最大の見本市）の今年度の出展者数は昨年度からほぼ半減しています。スイスの情報は各社の皆さんの方が詳しいのではないかと思いますが，有名ブランドで大規模なリストラもされているようです。これまで売り上げの多くを占めていた香港の時計店も閑古鳥が鳴いているといった状況です。底を打ったという人もいますが，まだまだ在庫の山がありそうです。次にスマートウォッチの影響ですが，時計の価格帯で考えた時，100万円以上の高級腕時計の購買層は変わりませんので，在庫が捌けてしまえば市場は維持されます。一方1万円から100万円の層の時計はスマートウォッチの影響をまともに受けてしまうのではないかと思っています。100万円のスマートウォッチはありませんが，アップルウォッチを購入したのでロレックスを買うのを辞めたというのは十分にあり得ると思います。アップルウォッチは3万から十数万円ですが，この価格帯の時計で100万円までの時計市場に影響を及ぼしていることは十分に考えられます。

次にスマートウォッチの方ですが，私はカシオに勤めていた間はそこでの時計をしていましたが，引退をして生まれて初めて自分のお金で時計を買いました。それはアップルウォッチです。1年ほど使い，その後妻にあげ

*　原稿受付　平成30年4月2日
**　中央大学理工学部

ました。今は機械式時計をしています。でも，使っている 1 年の間に，もはや手放すことができない気分になりました。購入する前に欲しいと意識していた機能というわけではないのですが，日々表示される情報，例えばその日の気温がすぐわかる，あるいは Suica など便利機能，といったもので，無くなると物足りなくなる，と言いますか無しではいられない，という気持ちになります。今はあえて手放していますので不便は感じていますが，アップルウォッチはあった方が良いけどなくてもいいや，という部分がわかった気がします。

次に，時計そのものの動向ですが，世界の時計出荷台数は年間およそ 13〜14 億個程度と言われています。その中で伸びているセクターがどこかは正直よくわかりません。ただ，まだ数量的には非常に僅かですが，従来の時計がコネクティッドになった時計，私はスマートファッションと呼んでいますが，フォッシルのように一見トラディショナルですがスマート機能の付いたもの，カシオでしたらエディフィスのような，従来の時計がコネクティッドになって機能の強化されたもの，そのようなものが少しずつ増えています。それと，アクティビティートラッカーのようなリストバンドも時計にカウントすると，従来の時計の 13〜14 億とは別に 4000 万個程が出ています。これはフィットビットと最近ではシェアでフィットビットを抜いたシャオミで 8 割を占めています。ただしこちらの市場は縮小気味です。スマートファッションの方は増加傾向ですので，時計メーカーの頑張り次第でまだまだ伸びる余地はあると思います。ただし，なんと言っても大きいのがやはりスマートウォッチです。アンドロイドウェアの方は規模が小さく，せいぜい 500 万台程度です。アップルウォッチの昨年の出荷台数は 1800 万台程と推定されます。

司会：アップルウォッチはスマートウォッチの中でも圧倒的な存在なのでしょうか。

中島：圧倒的です。昨年の想定数量 1800 万個に単価を掛け合わせてみれば，その売り上げ規模の大きさがわかります。これはロレックスよりも間違いなく上です。

司会：国別のアップルウォッチの数量はどうですか。

中島：具体的にはよくわかりませんが，アメリカ，ヨーロッパ，香港では，すごく普及しています。スイスですら同様です。他のブランドはどうかというと，アンドロイドウェアは今一つですが，Google なのでこれから何かするのではないでしょうか。それと無視できないのがキッズ用のスマートウォッチです。中国ではキッズ用に開発された 1 個 49 ドルのものが 2500 万個売れており，これはすごい数です。単価は低いですが市場に与えている影響は無視できません。ただ，今のところ中国独特の市場といった印象です。他にもサムスンなどもありますので，スマートウォッチ全体の市場はもう少し大きくなるものと思います。

中島悦郎氏（ブイテックインターナショナル）

司会：中島様，どうもありがとうございます。ご質問のある方はいらっしゃいませんか。

木村：先ほどアップルウォッチをやめたとのお話でしたが，もう一度買い直す可能性はありますか。

中島：その機能には大変満足していました。四角いデザインに飽きてしまったのですが，今後例えば丸形の新たなデザインのものなどが出たらまた買います。

司会：新妻先生もアップルウォッチが手放せないとおっしゃっていましたが，どのような理由でしょうか。

新妻：私はロボットがネットに繋がる環境を前提とし，ロボットと人のコミュニケーションの在り方を研究対象としています。私がアップルウォッチを初めて購入したのは，ニューヨークに留学していた時です。ニューヨークの地下鉄に乗ると，iPhone ユーザは全員アップルウォッチをしているのではないかと思うほど皆がアップルウォッチをしています。私は特にアップルウォッチに興味があったわけではないのですが，自分の運動中の活動を測りたいと思ったのがきっかけです。ところが使ってみると，その便利さに驚かされたのです。特にアップルウォレットはとても多様なチケットに対応しており，映画館のチケットから航空券までスマートフォンを出すことなく利用でき，その利用範囲は日本とは比べ物になりません。日本でもスマートウォッチを開発するのであれば，各社がオリジナルの機能を競うのではなく，共通のプラットフォームに繋がるものとする，といった視点が重要だと思います。天気予報なども，ニューヨークでは天候の変化が目まぐるしく，知りたいその瞬間にローカルな予報を調べられるというのもとても便利な点でした。これらの利便性は学生よりも忙しい社会人こそが実感できるものだと思います。また，男性にはご存知ない方も多いかと思いますが，女性の洋服はデザイン的にポケットの小さなものが多く，また，スカートにもポケットがなかったりするため，男性のようにスマートフォンをポケットに入れることができません。そのため，いつも手に

持って歩かなくてはならないのですが，アップルウォッチをすることでその悩みから解放されました。

新妻実保子氏（中央大学）

司会：中村さんもアップルウォッチユーザとお聞きしましたが，いかがでしょうか。

中村：私も 1～2 年ほどアップルウォッチを利用していますが，今お話があった点に同感です。欲しい情報は個人やシーンによって違っていても，色々な情報を見る時に，腕という最も身近な場所に必要な情報が瞬時に表示される。この便利さは使ってみないとわからないかもしれません。

（アンケート結果）

司会：ありがとうございます。ユーザの皆さんから良さについて語っていただきましたが，学生のアンケート結果がありますので，ご紹介をお願いしたいと思います。

滝澤：このアンケートは私が非常勤講師を務めている機械系学科の授業で 3 年生に行ったものです。学生は 100 名強です。2014 年から行っており，質問項目は概ね毎年同じです。まず，腕時計を付けているか，という質問には 2014 年は No が 23%でしたが 2017 年は 37%と，付けていない学生の増加がみられます。また，付けていない理由は 6 割以上がスマホがあるから，という回答です。また，時計が欲しいと思うのはどういう時か，との問いでは，上位 2 つがファッション 21%，試験の時 14%となっています。試験の時という回答の理由は，ネットに繋がる時計の使用はカンニング防止のため禁止されているからです。一方，スマートウォッチが欲しいか，という質問では，2014 年は Yes が 24%で，年によって若干の増減があるといった感じです。2017 年度は Yes の回答が 56%と跳ね上がりましたが，これは質問のやり方を少し変え，No の場合は欲しくない理由を書かせることにしたためだと思われます。因みにその理由は既にスマホがあるから，という回答がほとんどでした。それと，今年初めて持っているという学生が一人いましたが，基本的には学生の間に買ってまで付けたいと思う人はまだ少ないようです。また，スマートウォッチに求める機能では，Suica など電子マネー，ルート検索，音楽再生等が多く，学生らしい回答だと思います。その他あったら良いと思う機能の方は自由回答として記入にしてもらいましたが，ゲーム，翻訳，音声認識など，真面目に回答していただけたのではないかと思います。以上がご報告です。

司会：ありがとうございました。引き続き，玉川大学の工学部 3, 4 年生を対象に行ったアンケートの結果について，木村先生よりご報告をお願いいたします。

木村：それでは報告させていただきます。まず，腕時計をいくつ持っていますか，という質問を行いました。回答は，持っていない：19%，1 個：44%，2 個：19%，3 個：6%，4 個以上：13%で，平均すると一人 2 個持っています。また腕時計が欲しいと思うのはどんな時かについての質問（複数回答可）では，就活・インターンシップ；88%，試験：50%，外出時：44%等となっています。また，時計ブランドに関する質問では，およそ 4 割の学生が全く知らないか興味が無いと回答しています。所持する携帯電話についての質問では，ガラケー：6%，iPhone：63%，アンドロイド：38%となっていて，必ず 1 台は持っていることがわかります。アップルウォッチを知っているかとの質問では，知っている：81%，名前だけ：19%，知らない：0%，スマートウォッチの同じ質問では，知っている：38%，名前だけ 19%，知らない：38%となっており，アップルウォッチの知名度が絶大です。最後の腕時計につけて欲しい機能は何か，との問では，実は時間が分かれば良い，という回答が 1 番でした。ただしこの質問では iPhone ユーザとアンドロイドユーザの回答に，大きな違いがありました。iPhone ユーザの多くは，時刻が分かれば良く，あとはデザインや見やすさを重視すると回答しているのに対して，アンドロイドユーザの方は，天気予報，Suica 機能等，情報端末としての機能の充実が要求項目に上がっています。

司会：ありがとうございます。大変興味深い結果だと思います。たぶん学生の皆さんが時計を持つモチベーションとして，デザインというのが一番大きい要素なのではないかと思いました。

木村南氏（玉川大学）

（スマートウォッチに対する各社の取り組み）

司会：では続きまして，国内ウォッチメーカの皆様から，各社でのスマートウォッチに対する取り組みについてご紹介をお願いしたいと思います。席順で，カシオ計算機西尾様，セイコーエプソン松崎様，シチズン時計荒木様，SII 滝澤様の順で，お願いいたします。

西尾：スマートウォッチと呼べるかどうかわかりませんが，カシオ計算機では Bluetooth を利用した腕時計として，既存の時計のスマート化，それと用途を特化したスマートウォッチ，という２つの路線で開発を進めています。前者は弊社商品ラインナップのそれぞれのブランドの持つ世界観を，スマートフォンと連携することで強化する，といったもので，具体的にはエディフィスやオシアナスなどがあります。エディフィスは F1 のようなモータースポーツの世界観をイメージしたもので，フェースデザインだけでなく，スマートフォンで連携するアプリケーションを作ることで，その世界観をビジュアライズしています。時計側で測ったラップタイムをスマートフォン側に転送して，ラップタイムの履歴を見ることなどができます。このように時計のスマート化は，時計の持っている機能をスマホで補完するといった意味合いと考えています。また，時計の基本機能は時刻を正確に表示し続けることですので，一日 4 回ネットと自動でつながり補正を行っています。また，ワールドタイムもアプリで簡単に設定できるようになっています。もう一つのオシアナスはカシオのメタルアナログにおける最高級ブランドで，高級感，安心感を売りにしています。このため，時刻補正は GPS，電波とスマートフォンの３つを併用しており，スマートフォンとしての機能も時刻補正を中心に謳っています。更に，時計が正しく動作しているかを確認できるよう，時刻補正の履歴なども確認できるようになっています。この他，時計の内部で予め持っているサマータイムの情報等，変更があった場合にも自動で更新がされるようになっています。後者の用途を特化したものとしましては，プロトレックスマートがあります。これはアウトドア用の腕時計です。うたい文句は GPS とフルカラーマップで，出かけた時に自分がどこにいるのかが一目でわかるようになっています。アンドロイドウェアを採用していて，これにフィッシング，スキー等，様々な目的に応じて作られたサードパーティのアプリをダウンロードして利用できます。

松崎：エプソンでは，所謂スマートウォッチと称される商品は作っていませんが，機能的に準じた商品のご紹介ということでご容赦下さい。まずは配布いたしました資料の1ページ目のランナー用のリスタブル GPS があります。これまでの取り組みから，ランナーの方の要望に合わせ，高い精度で長時間の走行履歴が取れることを特徴とした開発・商品化を行っております。みちびきにも対応した高精度な GPS 測位機能を持つウォッチで，ランニング時のラップ・速度などの計測情報を PC やスマートフォンに取り込んで，専用アプリにて閲覧し，解析していくことができます。次に 2 ページ目の TRUME と言う新たなサブブランドで展開する高機能アナログウォッチを発売しました。上位機種に付属するエクスパンデッドセンサーでは，計測データを無線通信により本体である腕時計に送り，アナログ針による計測データ表示が特徴です。こちらはスマートフォンと連携する商品ではありませんが，ハードウェアのスマート化と位置付け新たな提案として考えています。エクスパンデッドセンサーは腕時計とは別に身に着けるアクセサリで，加速度計，紫外線計量計と温度計がついていて，加速度計による運動消費カロリーと歩数を計測します。センサ部を腕部と分けた理由は，温度センサは時計内にあると体温に近い計測結果になることや紫外線は開口が必要なので文字板の装飾を損なうこと，加速度計はソーラーの電力では十分には賄えないことから別体としています。また，センサ部を変えることで色々な情報も表示することができます。

西尾豊一氏（カシオ計算機）

松崎淳氏（セイコーエプソン）

荒木：シチズン時計での取り組みは日本時計学会誌マイクロメカトロニクスのスマートウォッチ特集号の記事に書いた通りですが，私共は 2006 年から Bluetooth を利用し，携帯で発生したイベントを報知する機能を持つ腕時計を市場に出し続けてきました。そもそもの始まりは 2001 年に IBM と共同でウォッチパッドを開発した時で，そこでは，腕端末に多くの機能を詰め込み，何に使える

のかを検討しました。当時はガラケーでしたが携帯電話の通知を表示するのが良いのではないかということで方針を決めました。その時のターゲットは先ほどの話にもありましたように女性です。当時，電車の中などで女性が携帯を手に持って着信を待っている姿をよく見かけたこともあり，これが決め手となりました。しかし実際に作ってみると，大きくなってしまい女性用とは言えないものになってしまったのですが，ユーザのお話を聞くと機能としては女性にも受け入れられたようです。その後，着信メール等も見ることができるようにしたのですが，液晶表示となるためにどうしても時計が四角くなってしまいました。時計は丸型が基本で数も出ることもあり，何が本当に重要かを基本に立ち返って考え直しました。そこで丸形で針を使った表示，更にシチズンらしいエコドライブで行くという方針を決定し，2012 年にアナログタイプの Bluetooth ウォッチを発売しました。その後も，スマホと接続できる時計において，針だけの表示で何ができるのかを検討し続けています。また，昨年発売した製品では，ユーザにしっかりと充電をして欲しいので，充電への意識付けを期待して，発電した量をスマートフォンに送ってそのグラフを表示する機能を設けています。以上のように，シチズンの時計は基本的な路線として，美と技術の融合をスローガンとして時計としての美しいデザインを基本とした開発を行っています。

滝澤：SII では，まだ始めたばかりといった状況ですが，2016 年の 6 月にプロスペックのアルピニストの中で始めまして，その後半年のスパンで商品を投入しています。最新のものはプロスペックのランドトレーサーで，自転車やマウンテンバイクをやっている人向けのものです。GPS は搭載していませんが，スマートフォンとリンクさせることで，3D の軌跡をスマホ画面に表示する機能などを搭載しています。また，スマートフォンの位置情報と天気予報から現在地の天気予報を表示できる機能が付いています。

司会：どうもありがとうございました。今，4 社の方からご紹介をいただきましたが，先ほど新妻先生のお話にありましたような共通プラットフォームに繋がる，というよりは，ブランドや特定機能に特化し，それを強化するといった位置付けのものがほとんどではなかったかと思います。ウォッチメーカがこのように同様の位置づけで開発を進めているというのは意外な感じがしたのですが，技術的な問題など，何か背景があるのでしょうか。

中島：日本のウォッチメーカはこれまで腕時計技術の開発でしのぎを削ってきました。そこでは，ソーラー発電の利用など，電池交換不要という点が日本のユーザから好まれるため，省電力技術がどんどんと進化をしてきました。一方，アップルウォッチなどスマートウォッチは，毎日充電することを前提としており，消費電力についての制約がありません。これまで，日本の時計メーカーは電力の縛りを前提条件として商品開発を行ってきたため，時計という商品の中でスマートウォッチを扱うという発想が起きなかったのだと思います。この制約を前提条件としている限り，いつまでもスマートウォッチのような製品は出てこないのではないかと思います。ただし一方で，アップルウォッチが巨大化しすぎてしまい，時計メーカーはどうしてもニッチな部分を狙うしか無いという現実もあります。その点で中国のキッズ用のものはうまくやっています。また，アップルウォッチはこれまでの時計の流通にも大きな変革をもたらしています。アップルウォッチはアップルストアやオンラインで直接購入できますので流通を通す必要がありません。そのため 1 台当たりの利益率もこれまでの時計メーカーとは比べ物にならない位高いのです。このような現状で，これからどうするかという大きな判断が時計会社には求められているのです。従来の時計技術を手放すわけにもいきませんし，本当に難しい状況だと思います。

中村：アメリカはアップルだけでなくアマゾン等もあり，流通に関しては世界で最も激しい変革が起きています。どう作るかだけでなくどう売っていくかも重要です。

司会：アップルに対抗することは，絶対に無理な話なのですね。

左から荒木将之氏，和泉輝氏（シチズン時計）

左から中村千秋氏，滝澤勝由氏（SII）

中島：それはブランド力，そして資金力とそれによる開発パワーが圧倒的に違うからです。更にスケールメリットの大きな効果も得ることができます。例えば中国のどこかには CNC マシンが 3 万台並んだ工場があると言われています。この規模に単独のメーカーで挑むのは無理でしょう。

司会：アップルウォッチが広まることで，アップルウォレットに様々なサービスが統合されると共に，情報通信インフラが整備される可能性があります。アップルウォッチより使い勝手の良い時計をどんどんと開発するという方向性は無いのでしょうか。

中島：アップルの開拓した領域に参加していくことは絶対に必要なことだと思います。それが生き残るための道ではないでしょうか。

司会：これに対応しないと時計は全部アップルウォッチになってしまうとお考えですか。

中島：そんなことはありません。時計はデザインだけでも売れる部分があります。大事なのはデザイン，ブランド，価格です。ですから，皆がアップルを買うということにはなりません。時計には CD が無くなっていくのと同じような極端なことは起こりません。

司会：たしかに，最近の若者は昔ほど腕時計をしなくなったとは思いますが，している学生の時計はオシャレだと感じます。時刻のわかる携帯電話が普及した時点で時刻表示機能だけの腕時計は不要になったわけですが，その時から今日まで売り上げが極端に落ちた感じは統計を見てもそれほどしません。今回の影響も限定的だとすれば，時計のブランド強化のためにコネクティッドを利用するという方向性は十分理解できます。例えば，ルイヴィトンも日本のメーカーのように，特定の用途に特化したコネクティッドウォッチを出しているようですね。

中島：ルイヴィトンのルーツは荷造り職人で，アートオブトラベルをコンセプトとしたコネクティッドウォッチ，タンブールホライゾンを販売しています。この時計はフライト情報，レストランやホテル等のシティガイドを提供してくれます。機械式時計のタンブールというカラフルできれいな時計を出しているのですが，機械式時計はサマータイム情報を表現しづらいという欠点があります。これをスマート化して使い勝手を上げ，価格はそれまでの半値程度の 30 万円程度にしたことで，かなり売れているようです。

司会：さすがルイヴィトンです。その値段でもよく出るということは，やはり時計にはブランド力が大事ですね。

中島：そうです。スマートウォッチとしては一番高い部類と思いますが，この価格帯でのコネクティッドではベストセラーになっています。やはりデザイン，ブランドの力は絶大です。先ほど私がアップルウォッチを使うのを止めたとお話しましたが，その大きな理由は，四角いデザインに飽きてしまった他に，海外であまりにも皆が付けているのを見て，おしゃれ感や希少価値が無いと感じたからです。ただしアップルのことですから，次を準備していると思います。仮にアップルが針の付いた丸いスマートウォッチを出してきた時は，時計業界としても本当に勝負の時です。アップルの資金力があれば歯車などの部品は自前で揃えることは簡単です。出さないとは思いますが，もし出るとすれば，その時までが時計メーカーに許された時間になるでしょう。

司会：腕時計はハードを売って儲けるビジネスモデルと伺ったことがあります。これに対してアップルウォッチはひとつの情報端末に過ぎないという見方もあります。情報端末があれば時間はわかりますので，時間がわかれば良いという人にとっては，そもそも時計は不要とも言えます。しかし一方，先ほどのアンケートでは，iPhone ユーザの多くはアップルウォッチに時計機能だけあれば良い，と回答しています。やはりデザインが良ければ，市場は縮小しながらも時計は時計で残るのでしょうね。

（スマートウォッチに死角はないか？）

司会：さて，次にスマートウォッチのポテンシャルと課題というテーマを設定していました。私がスマートウォッチについて学生に聞くと，持っていないとか興味がない，という返事がほとんどですし，自分でも必要と思ったことは無いのでこのように設定したのですが，どうも一度利用してその利便性に慣れた時に初めてその良さに気が付くようで，ポテンシャルどころか，既に十分大きな脅威となっていることがわかりました。しかも時計メーカーはこれからもハードを売って商売するとなると，最後は腕の場所の奪い合いですね。利便性，デザイン，ブランドの兼ね合いでの勝負になりそうですが，利便性という点で，スマートウォッチは充電を毎日しなくてはならない点が，個人的にはかなり面倒な印象です。その点はいかがでしょうか。

中島：充電に関して特に不便は感じません。利便性のためと思えば手間は当然ですし，スマホと同じです。

司会：新妻先生は充電に関して面倒は感じませんか。

新妻：充電は寝ている間に行いますので，慣れてしまえば全然面倒だとは思いません。寝る前に充電器の上に置くだけです。寝ている間のログは取れませんが。

中島：睡眠中のログを取るアプリも出ています。アップルウォッチは薄型ですので，寝ている間の違和感がセンサ満載の腕時計と比べてずっと少ないという点も利点です。それと，もう一つスマートウォッチの良い点として，機能の発展性，つまり購入後も機能がどんどんと追加で

きる点が挙げられます。アップデートするたびに機能が拡大するというのはこれまでの時計にはありません。自動車のテスラと似ています。

滝澤：逆に普段使われていて不便な点はありませんか？

中島：細かい点はたくさんあります。しかしそれらは搭載されたアプリの欠点にすぎません。機能も新たなものが日々追加できますし，欠点も，ある段階では修正され自動でアップデートされます。いつも，明日はもっと良くなっているかもしれないという期待感も持てます。

司会：日本の時計メーカーの小型化技術，省エネ技術は世界でもトップクラスだと思うのですが，アップルウォッチにその技術を適用することで，もっと良くなるということは考えられないでしょうか。

中島：これまでの技術はいかにエネルギを使わないかに注力してきたので，スマートフォンの技術とは違います。今ソーラーで扱っている電力は本当に小さいので，センサを使うのも大変です。ソーラーの発電量が100倍，1000倍となれば話は別ですが，それは考えられません。

（腕時計の価値）

司会：アップルウォッチの脅威は良くわかりました。そのような中，なかなか解決策の見つからない難しい局面だと思いますが，次に，これからの話に移りたいと思います。

中島：最近ディスラプションという言葉が良く使われます。これは，トラディショナルな業種に対するパラダイムシフトといった単なる世界観のシフトではなく，完全な破壊を意味します。時計業界にも起き始めている可能性もあります。

司会：他業種の参入というのが大きいのでしょうね。時計業界の今後についてですが，私が思うには，アップルウォッチといえども，デザイン，ブランド，どちらが欠けても今のように普及はしなかったと思います。スマートウォッチはこれからも機能的にどんどんと進化していくものと思いますが，一方で時計として培ったブランド，信頼はとって替わられるものではないと思います。今はスマホで時刻が分かるにもかかわらず，時計をしている人はたくさんいます。また，精度ではクォーツにはるかに及ばない高級機械式腕時計の需要も伸びています。このような状況を踏まえ，時計メーカーはこれからどんな時計を作っていけば良いのでしょうか。

木村：スマートウォッチと腕時計の違いとして，買い替えを前提とした商品かそうでないか，という点が挙げられると思います。アップルウォッチは数年も使えば故障や製品の機能向上に伴い買い替えが必要になりますし，それを前提とした商品です。一方，これまでの腕時計はそのような短いスパンでの買い替えは想定されていません。それぞれの時計が別々のコンセプトでデザインされています。

荒木：普通，家電製品は新製品が出た段階で旧製品は大きく値崩れします。しかし腕時計の場合にはそのようなことは起きません。これは，新製品も旧製品も機能にほとんど違いがないからです。また，新しい時計を買ったからといってそれまでの時計を廃棄することもありません。思い出ものとして大切に保管します。アップルウォッチは商品寿命が明らかに存在した商品で，時計とはコンセプトの異なる製品だと思います。この点が消費者に訴える切り口になるかと思います。

新妻：私ももともとアップルウォッチのデザインが気に入って買ったわけではなく，時計もしたいという気持ちはあります。しかし，付けていない間の情報欠落の方が気になって今は変えることができません。外見が時計で，今と同じ情報が手に入るのでしたら持ち替えたいですね。時計の楽しみ方はその場その場に合わせて交換できることにもあると思います。

中村：腕時計は身に着けるもので，洋服と同じです。その日の行動や目的に合わせて服や靴を選ぶのは人間の潜在的欲求としてあるのだと思います。これと同じで，時計も目的に合わせて複数欲しくなります。この点も大きな違いではないでしょうか。

司会：以前，何かの読み物に書かれていたのですが，腕時計は自己表現である，というのがありました。自分のしている時計のデザインを通じて，自分の好み，自分がどんな人間であるのかを他人にアピールしているというのです。私はこれに同感します。天体観測を趣味にしている知り合いがいるのですが，彼は月の石の付いた時計なら是非身に着けたい，と言っています。興味の無い人から見ればただの石ですが，それを身に着けることによって自分が天文に強い拘りのある人間であることを潜在的に表現したいという思いが伝わってきます。高級機械式腕時計のブランドを選ぶのも同じだと思います。これからの時計の在り方ではないかもしれませんが，こういうところにも時計の価値があると思います。そしてその時に大事なのはブランドイメージだと思います。このような点からは各社の取り組みはそれぞれ理にかなっていると思います。

（まとめ）

司会：さて，そろそろ終了時刻が迫ってまいりました。皆様，色々なご意見をいただきありがとうございます。これまでの内容を総括しますと，アップルウォッチは時計業界にとっては本当に脅威であること，一方腕時計には腕時計の良さがあり，情報端末としてのアップルウォッチには無い存在価値のあることがわかりました。ただ，商品コンセプトが違うといっても身に着ける場所は１か

所なので，最後は場所の取り合いです。アップルウォッチと同じ機能をトラディショナルな時計に与えるのは難しい課題ですが，最後にこれまでの議論を通じて感じたこと，これからの腕時計についてどう思うかなど，個人のご意見で構いませんので各社から一言ずつお願いいたします。先ほどと同じく席順でお願いいたします。

西尾：私は時計企画を担当する前には，PDA（パーソナルデータアシスト），それから携帯電話の事業に関わってきましたが，これらは全て外からの攻勢に会い，日本企業の居場所がなくなってしまいました。それに対して腕時計はこれまで国内に一定の市場があり，業界内の皆で守ってきた成熟した領域だと感じています。そこに，進化した技術を携えた外の企業が目を付けたことで，初めて外からの脅威に晒されています。時計の事業の中にいると，外の世界ではこんなに大変なことが起きているのになぜこの範囲で議論するのか，といったことがしばしばありました。しかし，外からの脅威に晒され続けることでだんだんと意識も変わって来ていると思います。先ほど話に出ましたが，ソーラー発電の電力を前提とした時計技術だけの議論には限界を感じています。その一方，次の一歩を踏み出すことも躊躇されます。これはどこの会社も同じかと思います。スマートウォッチではどうしてもスマホとの連携を前提とする必要があり，スマートフォンを握っている会社の下請け的な存在にならざるを得ません。また，スマートフォン上でのサービス提供の一形態というニッチな領域にはまり込んでしまう恐れがあります。この領域でアップルウォッチと正面切って戦うのは無理と判断せざるを得ません。レガシーとして残る時計の部分は基本としつつ，スマートウォッチに対する戦略を練っていくしかありません。ただし，現状では誰も明確に語れる人はいないのではないでしょうか。

松崎：先ほどの議論にありましたが，私もスマートウォッチは買い替える商品，時計は買い増す商品という認識です。時計には様々な思い出が詰まっていて，これはスマートフォンにはありません。時計はこれまで国内市場では安定した売り上げがありました。しかしこのままでは海外で戦っていくのは厳しいと改めて感じました。我々もこれまではスマートウォッチの方向にはあまり踏み出してはいませんでしたが，今後真剣に考える必要があることを改めて痛感いたしました。今日は大変貴重な議論に参加させていただきありがとうございました。

和泉：これまで親機となる通信機器はポケベル，携帯電話，スマートフォンと変わってきましたが，腕に着ける時計の部分は，おしゃれであったり思い出ものだったりと，大きく変わらない環境にいました。そこに情報端末の機能を持ったものが新たに腕への装着の対象として出てきたことで，時計が置かれている環境でのバランスを考える機会がいよいよ来たと感じます。これまでは世界も含め時計産業全体が守られた環境にあったと思いますが，外を見てみたら大変なことが起こっていることがわかりました。この先，市場が消滅することはないとは思いますが，このままではいけないという危機感は各社共通に持っているものと思います。レガシーの時計には時計の良さがありますが，今の若者世代は生まれた時から携帯電話があり，スマートウォッチに対する抵抗は全く無いと思います。これまでの時計の世界だけの話ではいけないという点を改めて認識できた点で今日の議論は貴重でした。これから解決すべき技術的課題もあると思いますが，各社切磋琢磨して解決し，共存できる方向を探っていきたいと思います。

滝澤：今日の議論からもわかりますが，各社もはや静観できない状況に置かれていることは明らかだと思います。今後ですが，スマートウォッチの領域だけで対抗するというわけにはいかないと思います。時計も機械式，アナログクォーツ等色々なものがありますので，それぞれの良さを再確認し，どこに軸足を置くのかを真剣に考えていく必要があると思います。

司会：皆様，ありがとうございました。最後に，各社からのコメントを伺った上で，中島さんに総括をお願いできませんでしょうか。

中島：時計業界の置かれた今の状況は本当に大変だと感じています。しかし一方，これからどのような変革が起きるのか，実はとてもワクワクしているのです。今までの機械式時計はこれからも残ると思います。また，アナログクォーツは用途の特化したコネクティッドウォッチに，デジタルクォーツはスマートウォッチに置き換わっていき，これまでの腕時計の分類が変わるほどの業界再編が起きるのではないかと思います。そのような中で各社がどのような戦略で戦い生き残り，また発展していくのか，引退した身で無責任かもしれませんが，本当に楽しみです。逆境を糧として是非頑張って欲しいと心から願っています。

司会：今日のお話を伺って，アップルウォッチの脅威を痛感すると同時に時計の良さも改めて認識いたしました。これからの時計メーカーの奮闘に最大限のエールをお送りし，本日の座談会を終了させていただきます。参加いただきました皆様には感謝申し上げます。

（文責：大隅　久）

特　集

スマートウォッチに関する学生アンケート*

木村　南**

1. 緒　　言

スマートウォッチなどのデジタルギアについての消費者の動向調査についての研究例はほとんどなくマーケティング会社が Web アンケートを報告している [1)~5)]. ここでは大学生のウェアラブル機器への意識調査の一環として腕時計, スマートウォッチ, それらと競合するスマートフォンの影響について調べた. スマートウォッチアンケートの実施結果を報告する.

2. アンケート設計

アンケートの作成に当たって次のことについて配慮した.

1) アンケートの趣旨と結果の公表について明示する.
2) 個人情報保護に配慮して氏名の記述欄を無くす.
3) A4 サイズ 1 枚で設問と回答が行えること.
4) 選択肢の番号とアンケート集計ポイントが一致するようにして, 選択肢は原則 5 つまでとした.
5) どちらともいえないという項目を無くして Yes か No をはっきりしてもらう.
6) フォントはメイリオを使用.

・　スマートウォッチアンケート　　2018年
一般社団法人 日本時計学会
編集委員会 木村　南

日本時計学会誌マイクロメカトロニクス　2018年vol.62-No.218号では特集:スマートウォッチを企画しております。スマートウォッチアンケートにご協力をお願いいたします。○をつけてください。

1.腕時計を持っていますか
持っていない　②1個　③2個　④3個　⑤4個以上(　　個)

2.腕時計を使うときや腕時計が欲しいとおもうのはどんな時ですか(複数回答OK)
①使いたくない　②試験　③アルバイト　④就活・インターンシップ　⑤冠婚葬祭　⑥レジャー(海、山、アウトドアスポーツ) ⑦ジョギング　⑧デート　⑨外出時
⑩日常生活　⑪24時間つけっぱなし　⑫その他(　　)

3.腕時計のブランドについて
①全く知らない　②興味がない
③知っている(ブランド名　　)

4.携帯電話について(複数回答OKです)
①持っていない　②ガラケー　③iPhone　④アンドロイド
⑤windows phone

5.スマートフォンという言葉を知っていますか。
知らない　②大体知っている
③詳しく知っている
(　　)

6.アップルウォッチについて
①知らない　②名前だけ聞いたことがある　③知っている　④欲しい　⑤持っている

7.スマートウォッチについて
①知らない　②名前だけ聞いたことがある　③知っている　④欲しい　⑤持っている

8.腕時計につけて欲しい機能は何ですか(複数選択可能)
①なし(時間がわかれば良い) ②メール　③歩数　④体温　⑤心拍数　⑥消費カロリー
⑦ストップウォッチ　⑧アラーム　⑨タイマー　⑩GPS　⑪太陽電池　⑫電池寿命48時間　⑬電池寿命168時間(1週間)
⑭ブルートゥース　⑮Wi-Fi　⑯インターネット接続　⑰電話　⑱天気予報　⑲スイカ・クレジット機能　⑳カメラ・テレビ電話　21その他(　　)

よろしければ教えてください　学年　　年齢
男・女　学科名

アンケートにご協力ありがとうございます。

3. アンケート結果

3.1 調査対象

玉川大学工学部機械系学科(エンジニアリングデザイン学科および機械情報システム工学科)の 2 年生, 3 年生, 4 年生の 41 名(在籍者 150 名)から回答を得た.

3.2 腕時計の所有数

腕時計の所有個数では 1 個が一番多く 41%であった. 最大 7 個所有するものが 1 名いた. 平均の腕時計所有個数は 1.38 であり, 全く所有しないものも 10 名(24%)いた. 従って腕時計所有者の平均本数は 1.77 個であった.

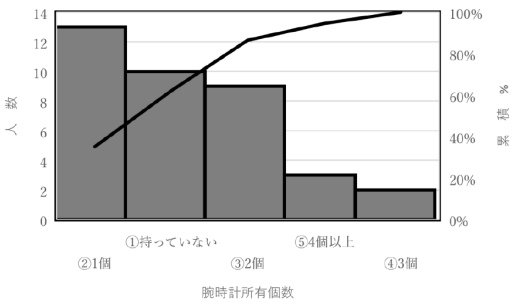


図 1　腕時計の所有数

* 原稿受付 平成 30 年 5 月 31 日
** 玉川大学

3.3　腕時計を必要とするシーンについて

図2に腕時計を使うときや腕時計が欲しいと思うのはどんな時か(複数回答可)という質問に対して，試験，就活・インターンシップ，外出時が上位であった．定期試験の場合にはスマホやスマートウォッチも持ち込み禁止なので，腕時計へのニーズが高い．また3,4年生では就活・インターンシップで腕時計が必要になることが覗えた．2年生ではアルバイトやデート，外出時で腕時計が必要とする意見が多かった．レジャーやジョギング等での腕時計使用のニーズはあまり高くなかった．一方使いたくないという意見は4名(10%)でそれほど多くはなかった．試験や就活のようにスマートフォンが使えないときに腕時計を必要とする消極的理由が主であった．

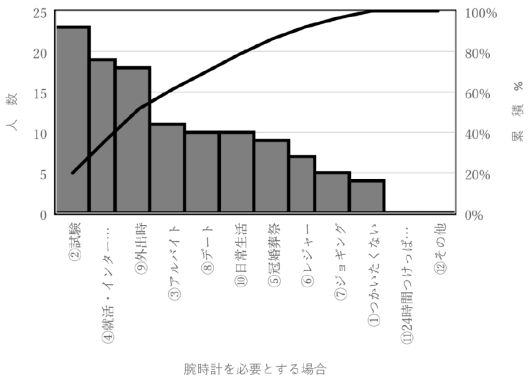


図2　腕時計を必要とする場合

3.4　腕時計ブランドの認知について

腕時計ブランドについてのアンケート結果を図3に示した．興味がない31.7%，全く知らない19.5%この両者で50%異常が腕時計ブランドについて知らない．この結果はスイス時計協会の消費者動向とは全く異なっている．ブランド数21個が最大であった．図2に示した腕時計の必要シーンとしては試験や就活などスマートフォンが使えない場合である．腕時計ブランドについて興味のある学生は非常に少ない．

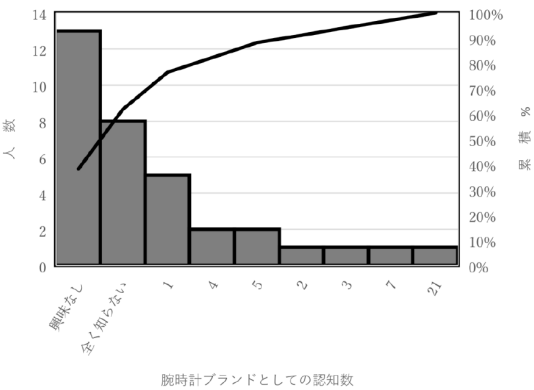


図3　腕時計ブランドの認知数

3.5 携帯電話の所有状況

図4に所有する携帯電話の状況を示した．iPhoneが75.6%，Androidが22%，ガラケーが5%であった．iPhoneの所有率は2年生が92%，携帯3・4年生が63%であった．2年生が高校に入学した2014年4月には電話キャリア3社がそろってiPhoneを取り扱っておりiPhoneユーザの拡大した時期に相当する．

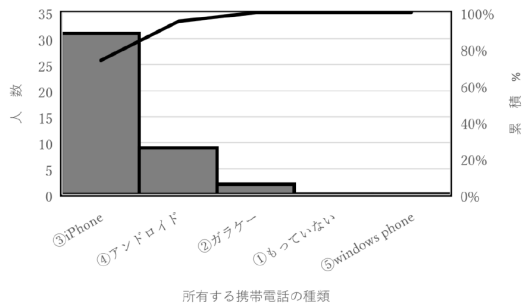


図4 携帯電話の所有状況

3.6 スマートフォンという言葉について

図5にスマートフォンという言葉について大体知っている85.3%，詳しく知っている8.9%であった．この設問は後のスマートウォッチという言葉についての設問との対比のために設定した．スマートフォンという言葉はよく認知されていることがわかった．

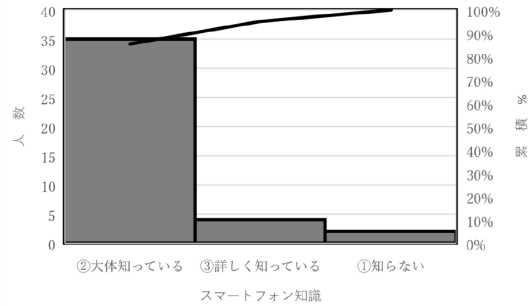


図5 スマートフォンの知識

3.7 アップルウォッチについて

図6にアップルウォッチについてのアンケート結果を示した．知っている55%，名前だけ30%，欲しい15%で全員がアップルウォッチを認識していた．

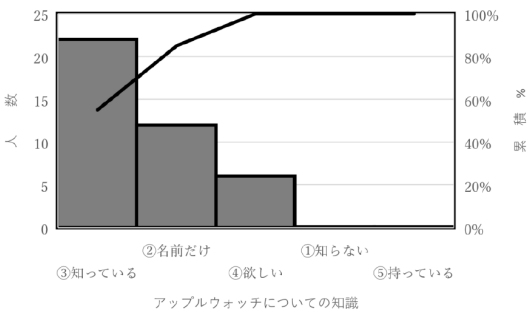


図6 アップルウォッチの知識

3.8　スマートウォッチについて

図 7 にスマートウォッチについてのアンケート結果を示した．スマートウォッチについて知らない 43%，知っている 29%，名前だけ 23%，欲しい 5%であった．スマートフォンに比べてスマートウォッチという言葉の認知は低い．アップルウォッチが欲しいといった 6 名中スマートウォッチが欲しいというのは 1 名のみでアップルウォッチとスマートウォッチは別のものという認識であった．

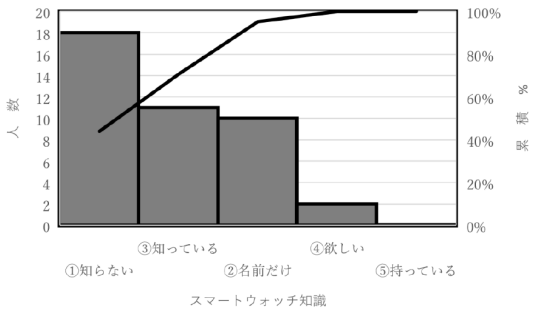


図 7 スマートウォッチの知識

3.9 腕時計に望む機能

図 8 に腕時計について望む機能の結果を示した．一番多いのは時刻表示のみ 37%であった．何らかの機能を付ける場合には電源関係の太陽電池 20%，電池寿命 48 時間 10%，電池寿命 168 時間 5%であった．これら電源関係の機能要望は合計 35%と非常に大きいニーズであった．

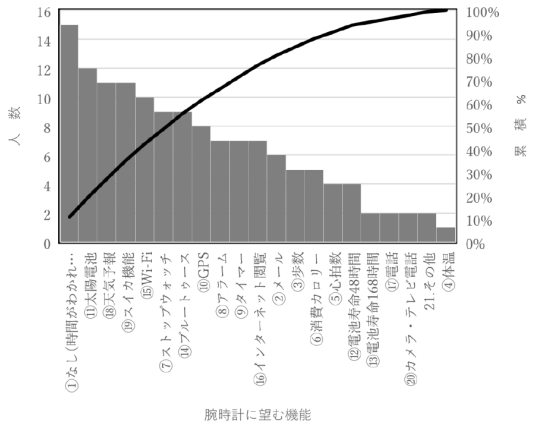


図 8　腕時計に望む機能

4. 考察

4.1 従来のスマートウォッチアンケートとの比較

スイス時計協会が実施した腕時計に関する消費者意識調査 2016[6]では消費者 1500 人(男女とも 750 人)を対象にした調査では既にスマートウォッチを購入した層は男性では 6.3%，女性では 3.3%であった．男女ともにスマートウォッチの購入希望者は 32%程度であった．一方今回の学生アンケートでは図 6 に示されるように「持っている」は 0%，「欲しい」は 14.6%であった．スイス時計協会では調査対象を 30 万円以上の腕時計に関心がある消費者 1500 名を調査対象としたことから経済的に余裕のない学生に比べて 2 倍程度の購入希望者がいたとみられる．学生アンケートでは腕時計を持っていないものが 24%いたがスイス時計協会の調査対象者は腕時計を持っていない人が 0%なので腕時計に対して正のバイアスがかかっていたと考えられる．一方 2018 年 4 月 5 日の ecclab では「スマートウォッチやフィットネストラッカー（運動量や睡眠の質などを自動計測するリストバンド型・クリップ型などの活動量計），またその他のリストバンド型デバイスからの消費者離れが進んでいる．」[4]また iPhone Mania の公式 Twitter アカウント（ @iPhoneMania_jp ）での Apple Watch3 の購入希望アンケート(2017 年では購入希望者は 27%で 73%が購入しないと回答した．[5]

4.2iPhone ユーザと Android ユーザが望む腕時計機能の違い

スマートウォッチについての知識について iPhone ユーザと Android ユーザのアンケート結果をそれぞれ図 9 と図 10 に示した．iPhone ユーザはスマートウォッチについて知っている 29%，名前だけ 22%，欲しい 3%と合計 54%がスマートウォッチを認識しているが，Android ユーザはそれぞれ 22%,22%,11%で合計 55%が認識しておりスマートウォッチについての認識については所有する携帯電話の影響は少ない．

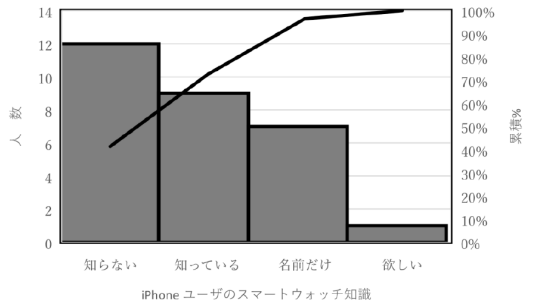


図 9　iPhone　ユーザのスマートウォッチ知識

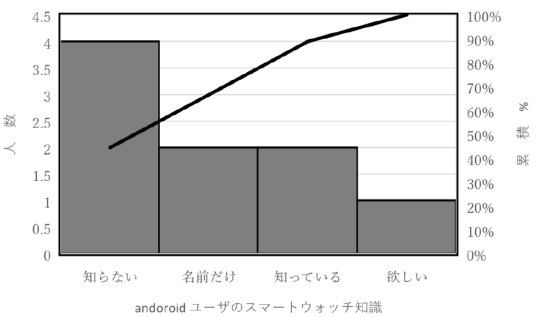


図 10　Android ユーザのスマートウォッチ知識

腕時計に望む機能について iPhone ユーザの場合は図 11 に示すように時刻のみが最大多数の 39%であったが，太陽電池 32%を除けば iPhone それ自体が持っている機能であった．一方 Android ユーザが腕時計に望む機能としてはあまり多機能は望んでいないことが明らかになった．アップルウォッチを認識しているがスマートウォッチを知らない方が 44%存在した．太陽電池 10 名(32%)，天気予報 10 名(32%)，Wi-Fi 機能 10 名(32%)，カード決済機能 9 名(29%)，GPS，

インターネットでのアンケートではスマートウォッチに対してメール通知機能や心拍数、歩数などの健康管理機能への要望が大きいが今回の学生アンケートでは iPhone の機能をそのまま腕時計に望んでいた．

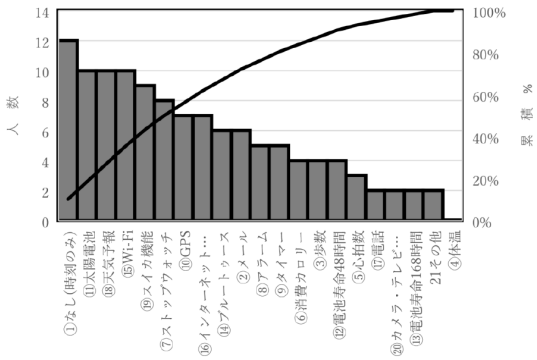


図 11　iPhone ユーザが腕時計に望む機能

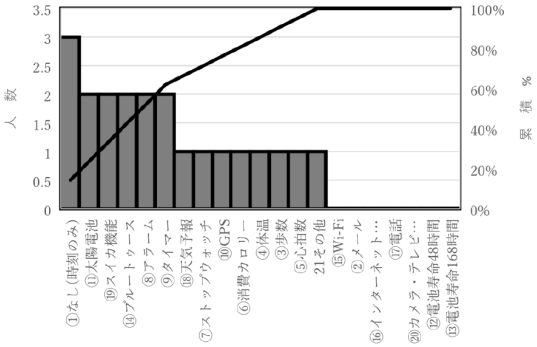


図 12　Android ユーザが腕時計に望む機能

4.3 スマートウォッチ企画の課題

アップルウォッチの認識は非常高く，スマートウォッチという言葉の認識は少なかった．またアップルウォッチとスマートウォッチは別の概念として考えられている．腕時計を持っていない人にとって初めて使用する腕時計は試験，就活に使える時刻表示のみが適していると考えられる．腕時計を複数所持する場合の選択肢としてアップルウォッチとスマートウォッチが存在すると考えられる．またランニングやサイクリング，登山などの専用機能スポーツウォッチとすべての機能を満載したスマートウォッチも 2 個目以降の腕時計として選択肢にあるように考えられる．スマートウォッチという言葉はあまり浸透していないようである．アップルウォッチと競合しないことも重要である．

5. 結言

スマートウォッチアンケートを玉川大学工学部学生 41 名に対して実施した．腕時計の平均所有本数は 1.38 本で，10 名(24%)が腕時計を所有しなかった．腕時計は試験，就活・インターンシップ，外出時に使われ，低学年ではアルバイト，デートなどでの使用が多かった．アップルウォッチ認識率は 100%であるがスマートウォッチ認識率は 56%であった．スマートウォッチの認知度はあまり高くない．携帯電話所有率は 102.4%で iPhone ユーザ:75.6%，Android ユーザ:22%，その他 5% であった．腕時計は時刻表示だけでよいとする意見が 15 名(37%)で最大で，iPhone ユーザと Android ユーザでは腕時計に求める機能については差があり，前者は腕時計に多機能を求め，太陽電池，天気予報，Wi-Fi，カード決済，GPS などは 20%以上の要望があった．前者は充電機能への要望が高かった．一方後者は太陽電池，カード決済，ブルートゥース，アラームなどについては 20%程度の要望率であった．

謝辞

スマートウォッチアンケートの実施に際して玉川大学工学部エンジニアリングデザイン学科教授川森重弘博士に多大なご協力いただいたことに感謝いたします．

参考文献

1) MarkeZene:　**スマートウォッチに興味がある人の 8 割超が「Apple Watch」に関心あり【ジャストシステム調査】**
https://markezine.jp/article/detail/22369

2) スマートウォッチは多機能が良いのかデザイン重視か
http://bto-pc.jp/btopc-com/etc/smartwatch-wena-weired.htm

3) ReadWrite Japan「ウェアラブルに求めるもの」は男女で異なる？ https://thinkit.co.jp/story/2015/03/22/5772

4) ecclab:スマートウォッチ停滞の一方、スマートウェアが急増の兆し https://iphone-mania.jp/news-185998/

5)IDC **株式会社**: 2021 年までのウェアラブルデバイスの世界・国内出荷台数予測を発表
https://www.idcjapan.co.jp/Press/Current/20170928Apr.html

6)スイス時計協会:腕時計に関する消費者意識調査 2016,
http://www.fhs.jp/file/121/2016_Japan_Consumer_Survey_-_Summary_-_Jpn.pdf#search=%27%E8%85%95%E6%99%82%E8%A8%88%E3%81%AB%E9%96%A2%E3%81%99%E3%82%8B%E6%B6%88%E8%B2%BB%E8%80%85%E6%84%8F%E8%AD%98%E8%AA%BF%E6%9F%BB2016%27

木村　南
1979 年早稲田大学大学院工学修士,1990 年長岡技術科学大学大学院博士課程修了(工学博士),1979 年オリエント時計(株)入社．外装技術課長・商品企画部長・企画部長,2002 年東京工業高等専門学校機械工学科教授,2017 年東京工業高等専門学校名誉教授,
現在玉川大学工学部エンジニアリングデザイン学科非常勤講師
神奈川工科大学工学部機械工学科非常勤講師．所属学会:日本時計学会,日本塑性加工学会,日本機械学会,日本材料学会,自動車

研究会報告

ヘッドマウントディスプレイがもたらす新しい世界

～エプソンスマートグラスの応用事例～

講師　　津田　敦也　氏　　セイコーエプソン株式会社　HMD 事業推進部　部長

参加者　　１９名　　（正会員　１４名，　賛助会員１名，　非会員４名）

中央大学　理工学部	２名（正会員）
千葉工業大学	１名（正会員）
玉川大学	１名（正会員）
鹿児島工業高等専門学校	１名（協賛学会員）
カシオ計算機株式会社	１名（正会員）
シチズン時計株式会社	１名（正会員）
セイコークロック株式会社	２名（正会員）
セイコーインスツル株式会社	１名（正会員）
セイコーエプソン株式会社	３名（正会員）
ブイテックインターナショナル株式会社	１名（正会員）
ラピスセミコンダクタ株式会社	２名（非会員）
他	

司会　　古川　常章　　セイコーエプソン株式会社　ウエアラブル機器事業部

＊2017 年 11 月 24 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

１．エプソンの取り組み

エプソンは，自社で持つコア技術，コアデバイスと垂直統合型のビジネスモデルでお客様の期待を超える商品を創出することを，プリンティング・ビジュアルコミュニケーション・センシング・ロボティクスの各事業領域でめざしている．エプソンのスマートグラスは，マイクロディスプレイ技術で革新する領域“ビジュアルコミュニケーション”において，ビジネスと生活のあらゆる場面で感動の映像体験と快適なビジュアルコミュニケーション環境を創造するために開発を進めてきた．

１．１　スマートグラス“MOVERIO”の歴史

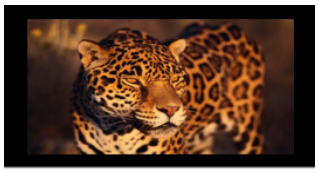
2011 年末に HTPS（高温ポリシリコン）マイクロディスプレイをコア技術とした「MOVERIO BT-100」を発売開始，それ以降，さまざまな市場のお客様からフィードバックをいただき，ウエアラブル商品として最も重要である装着性の改善とセンシング機能を充実させた「BT-200」を 2014 年に開発．大幅な小型・軽量化を実現し，BT-100 に対して重量比で約 1/3 となる 88g という重量を実現した．その後 BT-200 の光学プラットフォームを応用し，BtoB 向けの防塵・防水といった堅牢性を向上した，「BT-2000 シリーズ」を 2015 年に発売．さらに，Si-OLED マイクロディスプレイをコア技術とした「BT-300」を 2016 年に開発，軽量化だけではなく 10 万対１以上の高コントラスト・高精細化を実現し飛躍的に性能を向上させた．

２．光学技術と AR

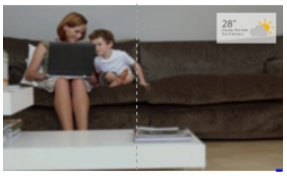
２．１　スマートグラス製品の表示比較

現在市場に展開されているスマートグラス製品は，クローズ型，セミクローズ型，シースルー型と 3 種に分類され，それぞれ両眼と単眼が存在している．クローズ型は，外光が一切入ることがなく外界を視認することはできないが，大画面で臨場感のある映像を体験することができる.セミクローズ型は,表示部分をのぞき込むタイプで外界は別の視野によって確保されるが，表示部分は小さく限定された情報提供のみとなる．シースルー型は，外光を透過し映像とともに外界の視野を確保することができ，比較的大画面が実現できるため，必要十分な情報を提供することが可能である．単眼型は，片方の目に対してのみ情報を提供する方法で，小型化が可能であるが，視野闘争が発生し視認性は低下する．両眼型は，両方の目に対して情報を提供する方法で，光学エンジンを 2 個持つ分重量には不利であるが，視認性は飛躍的に向上する．

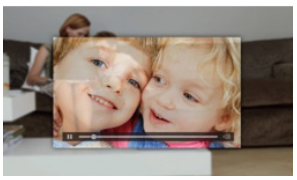
代表的な方式の表示イメージを図１に示す．



クローズ・両眼型



セミクローズ・単眼型



シースルー・両眼型

図1　代表的な方式の表示イメージ

2．2　ひずみのない導光

画像をクリアに表示するためには，光を導く部品すべての精度を確保し，映像をひずませない工夫が必要となる．一般的なメガネに利用されているレンズは，少なからずひずみを持っているが，視力を矯正する時のひずみは視認性に対しあまり大きな影響を感じないが，正常視力の状態で感じるひずみは酔いなど人体に影響を与える可能性がある．そのためスマートグラスに使用する部品は，精度の高い光学設計技術と，それを作り出す生産技術が非常に重要になる．図２に，一般的な視力矯正用レンズの種類とひずみを示すが，あくまでもイメージとして捉えていただきたい．

	実像	球面 レンズ	両面 非球面 レンズ	乱視用 レンズ	遠近両用 （近用部）
近視系					
		歪みが大きい	歪みを補正 倍率は縮小	度数により ｱｽﾍﾟｸﾄが変化	近用部で ｱｽﾍﾟｸﾄが変化
遠視系					
		歪みが大きい	歪みを補正 倍率は拡大	度数により ｱｽﾍﾟｸﾄが変化	

図2　一般的な視力矯正用レンズの種類とひずみ

次に重要な点は，両眼型を設計する際，左右の光を同一の光として目に届けることである．そもそも人は，視界にある光を二つの瞳でとらえることで認識している．スマートグラスの場合，左右のディスプレイは異なるものであることと，それを導く部品も別のものとなる．左右に配置された異なる部品から伝達される光が整わないと，画像は正

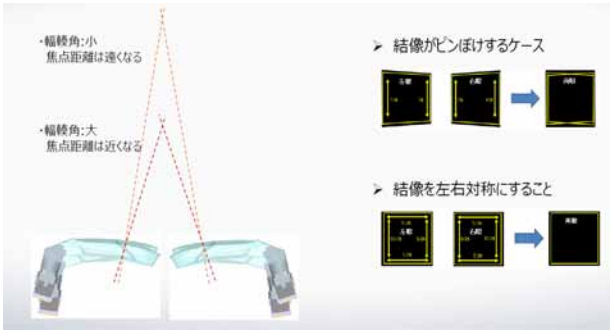


図3　輻輳角と結像

確に結像されず，ピンボケなどの課題が起こる．また，輻輳と呼んでいる角度についても確実に調整されないと，同様に映像が結像されない．光学設計の技術はもちろん，製造段階においても部品のばらつき，軸の調整などがスマートグラス製品を作るうえで求められる．図３に，結像課題のイメージを示す．

２．２　Augmented Reality と Virtual Reality

スマートグラスを活用することで，現実の世界に加えデジタル情報によって仮想の世界の実現が可能となる．

・仮想世界：「Virtual Reality」（以下 VR）と呼ばれる，デジタル情報によって作られる仮想の世界

また，スマートフォンやシースルー型のスマートグラスが誕生したことにより，現実の視野にデジタル情報を重ねる新しい世界の実現が広がりつつある．

・拡張現実：「Augmented Reality」（以下 AR）と呼ばれ，現実の視野にデジタル情報を重ねる世界

・複合現実：「Mixed Reality」（以下 MR）と呼ばれ，現実の視野をデジタル化し仮想の情報を重ねる世界

図4　拡張現実と仮想現実（画像提供：近畿日本ツーリスト）

２．３　エプソン独自の光学技術

MOVERIO BT-300 は，これまでのスマートグラス製品開発で培った光学設計技術だけでなく，光学部品の内製化で培ったものづくりとしての生産技術をベースに開発されている．

当社が保有する主要な光学関連技術は次の通りである．

① 光学設計技術
② 光学導光技術
③ 射出成形技術
④ 多層膜設計技術
⑤ マイクロディスプレイ技術

図５に，シースルー光学系の構成を示す．光路上の光学部品構成としては，マイクロディスプレイ（Si-OLED）⇒非球面+自由曲面投射レンズ⇒平面+自由曲面導光板⇒ハーフミラーという構成になる．ヘッドセットの左右側頭部であるメガネのつるに相当する部分に組み込まれており，超小型のプロジェクターが搭載されているというイメージである．

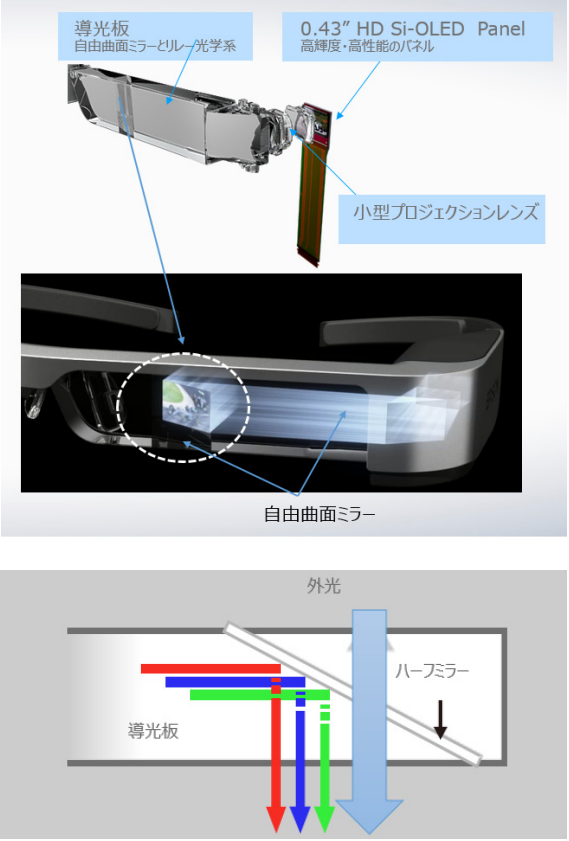


図5 独自の光学技術

光学シースルーの原理は，自発光 Si-OLED で映像信号に合わせてフルカラーの映像光に変調され，小型のプロジェクションレンズに入射される．プロジェクションレンズと自由曲面導光板は，所望の解像度，画角(画面サイズ)になるように一体で設計されている．Si-OLED からの映像光は，自由曲面導光板の中で反射を繰り返し，目の前の位置に配置されたハーフミラーに導かれる．ハーフミラーで映像光が反射して目に入射されると同時に，外光の一部はハーフミラーを透過して目に入射される．以上のような原理で，実視野に映像が重ねられて表示されることで両眼シースルースマートグラスを実現している．

ウエアラブル商品であるスマートグラスは，まずは身に着けないと使えない商品のため，小型・軽量化による快適な装着性，スマートなデザイン性が最も重要となる．当然のことながら，表示性能という観点で，光学特性面での大画面化，高解像度化なども重要であるが，現状，小型・軽

量化とのトレードオフとなっているのも事実である． MOVERIO BT-300 のメガネ部分の重量は 69g であるが，その約半分を光学系(導光板，投射レンズ，Si-OLED ディスプレイ)が占めている．それ以外は筐体と回路部品である．筐体部品は重量のある光学系を一定の精度で保持するために強度が必要となる．言い換えれば，光学系を軽量化すれば筐体部品も軽くすることが可能になる．従って，小型・軽量化のためには光学系の大部分を占める導光板の薄型化が重要な技術開発となる．

導光板内にある光取り出し部(図５のハーフミラー面)は設計性能に寄与する自由曲面であると同時に，導光板内を伝搬してくる光束を瞳の方向に“取り出す”役割がある．この光取り出し部は全反射条件を満たしながら伝搬する光束を瞳に導くため所定の角度に傾斜されている．さらに光取り出し部の大きさは最大画角光束幅が決まれば，一意的に決められる．よって傾斜角度と最大画角(画面サイズ)により導光板厚みがほぼ決まってしまう．言い換えれば導光板をさらに厚くすれば，画角を広げることは可能であるが，当然重量が増加する．BT-300 は両眼シースルーとして必要十分な画面サイズと重量バランスを試作などにより検証を重ね，画角 23° と導光板厚み約 10mm を決定し設計されている．

２．４　マイクロディスプレイ　Si-OLED

BT-300 に搭載されているディスプレイは，新たに開発した Si-OLED と呼んでいる自発光型の高精細ディスプレイとなる．解像度は７２０ピクセルとなっており，０．４３インチのサイズで開発されている．画素ピッチは７．５μで設計され，精細度は約３５００ppi と非常に高精細なディスプレイである．また，自発光型のディスプレイのため，従来の液晶とは異なりバックライトを必要とせず，薄型化が可能であることと，バックライトのように常時点灯する光がないため黒を確実に黒として表現することができる．さらに，このディスプレイは Si ウエハーに蒸着することで生成しており，駆動に必要な回路機能はすべてディスプレイ内部に作りこめるため，外付け部品を不要とし製品の小型・軽量化に大きく寄与している．図６に，従来の液晶モジュールと Si-OLED モジュールの比較を示す．

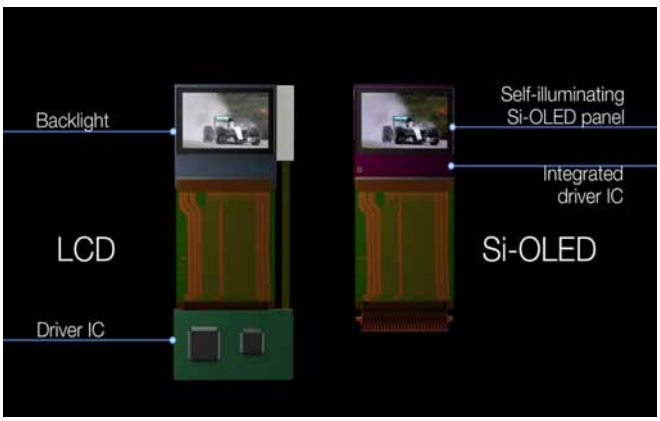


図6　液晶(LCD)との比較

前述の２．３項で説明した通り，ディスプレイの映像光は小型プロジェクションレンズが受光し導光板へ導いている．液晶はバックライトの光を利用しているため，光の方向を制御することができない，そのためプロジェクションレンズはすべての光を受光するため，ディスプレイサイズより大きく設計するのが通例であった．しかし，BT-300 向けに開発された Si-OLED は，スマートグラス専用設計となっており，自発光の特性を生かして画素の位置によって発光方向を制御している．具体的には，画面上部・下部の画素は中心に向かって発光するように工夫されている．この結果，光の発散を抑えることでプロジェクションレンズの小型化を実現している．　図７に，発光方向と小型化のイメージを示す．

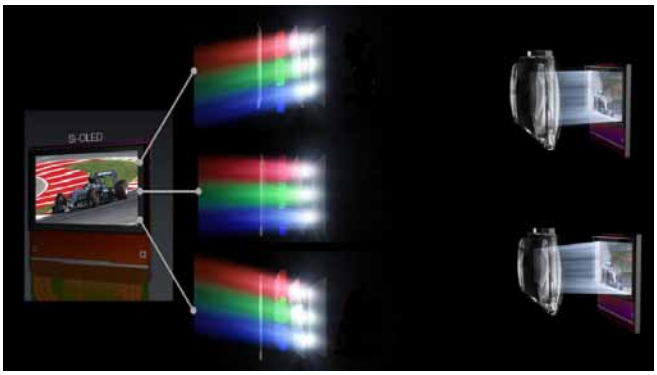


図7　発光方向とレンズの小型化

液晶のようにバックライトを利用しない自発光型のディスプレイは，飛躍的にコントラストを向上できる．BT-200 に採用していた液晶ディスプレイのコントラストは２３０対１，一方 Si-OLED は，１０万対１を超える性能を持っている．２．２項で述べた，実際の視界にデジタル情報を重ねる AR の世界を実現するためには，このコントラストが非常に重要な特性となる．その理由は，光を導光して映像を瞳に届けているため，必要のない情報（黒データ）は瞳に入射されると現実の世界を邪魔することになるからである．AR の理想は，現実の世界にクリアなデジタル情報が表示されることであり，現実の空間に浮かび上がる表現を求められる．非常にコントラストの高い自発光型の Si-OLED は，シースルースマートグラスにとって重要かつなくてはならない表示デバイスと言える．図８に，各ディスプレイでの AR 表示比較イメージを示す．

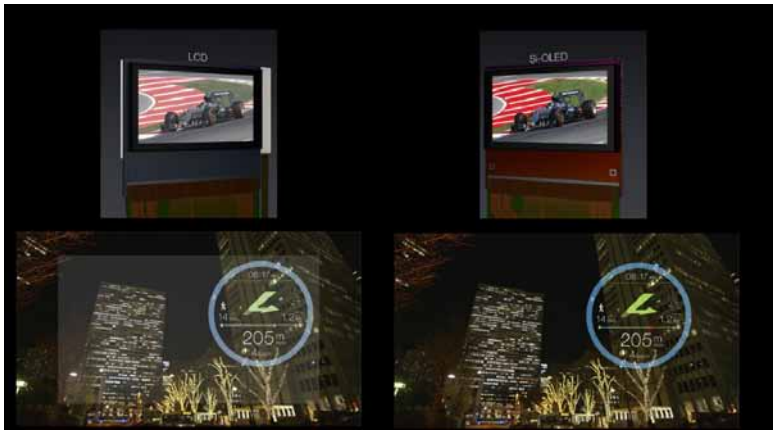


図8　真の AR を実現する高画質（LCD・Si-OLED の表示比較）

２．５　BT-300 の製品構成

BT-300 は，映像を表示するヘッドセット部と，機能を制御するコントローラー部の２体構成で開発されている．ヘッドセット部は，前述でこれまで述べてきたマイクロディスプレイと光学エンジンに加え，頭部の動きを検知するジャイロセンサー，環境の明るさを検知する照度センサー，現実の視野を認識するカメラが搭載されている．また，コントローラー部は，さまざまなソリューションの情報処理を行う CPU，無線環境への接続を可能にする WiFi モジュール，微弱電波を送受信する Bluetooth モジュール，位置を把握する GPS モジュールが搭載されており，多種多様な用途への展開を可能としている．２体で製品を構成している理由は，重量のバランスを確保するためである．スマートグラスは装着性が非常に重要であり，全体の重量を分散することで頭部に装着するヘッドセットの軽量化を図っている．また，身に着ける製品のため，発熱には最大限の配慮を必要とする．人の肌に触れる部分の温度制御についても，製品構成上非常に重要な要素となる．

図9　BT-300 の製品構成

図９に，BT-300 の製品構成を示す．

３．スマートグラスの応用事例

エプソンのスマートグラスは，お客様を３つの領域に分けて展開している．

①　個人領域：一般のお客様が日常生活の中で活用

②　産業領域：作業現場など，業務を推進する現場で活用

③　サービス領域：観光や映画館などの施設における新たな活用

本章では，領域毎に活用事例を紹介する．

３．１　個人領域

さまざまなアプリケーションがあるなか，インタラクティブなゲームや，動画配信サイトなどからの映像コンテンツを，いつでも・どこでも大画面で楽しんでいただく用途が広がりつつある．特に，昨今はやりとなっているドローンとの連携が注目されている．

図10　HMD を活用した飛行イメージ

現在のドローンは，従来のラジコンを飛ばす楽しみ方ではなく，ドローンに搭載されているカメラによって一人称視点でさまざまな撮影を楽しむことができることで人気を得ている．例えば，低空で空を飛ぶ鳥の目線での映像や，人が入り込めない場所の映像を撮影することが多い．ドローンを飛ばし撮影を行うためには，機体を視認し安全に操縦しつつ，カメラ映像を確認するという両方の行為を実現する必要がある．これを実現できるのは，現実の視野と情報の両方を提供できるシースルー型のスマートグラスだけである．多くの事故が発生した背景もあり，航空法によって厳格に飛行が管理されるようになってきているのもスマートグラスを活用する大きな要因である．

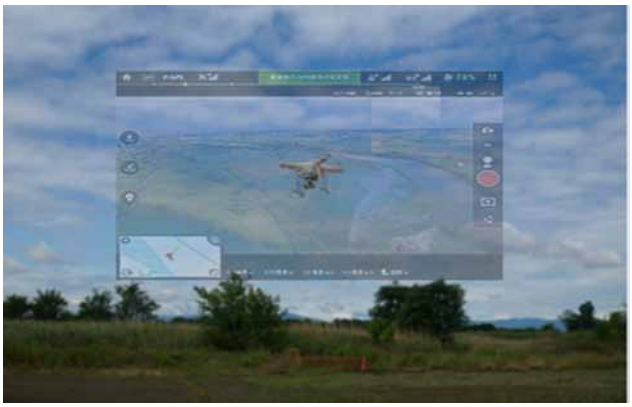


図11　BT-300 で視認される情報

図１０，図１１に，飛行スタイルのイメージと，実際に BT-300 で視認される情報を示す．

参考：国内航空法などに記載されている文章

ガイドラインのコメント抜粋

・目視（直接肉眼による）範囲内で無人航空機とその周囲を常時監視して飛行させること

（目視外飛行の例：FPV（FirstParson’s View），モニター監視）

無人航空機に係る規制（航空法第１３２条の２）記載の抜粋

・目視により常時監視を行いながらの飛行に限定すること

３．２　産業領域

2011 年に初期モデルとなる BT-100 を発売以来，さまざまな産業分野でお客様と共同の実証実験に取り組み，製品やソリューションの改善を重ねてきた．これらの結果から得られたニーズを開発にフィードバックし，産業領域に向けたスマートグラスに必要な機能を搭載，スマートヘッドセットとして 2015 年に BT-2000/2200 の販売を開始．産業領域のお客様は，安全第一を目的にヘルメットを使用して業務に取り組む方が全体の 40%を占めているため，同一機能の製品を通常使用だけではなくヘルメットに装着できる構造を検討．また，必須の要件として，落下への対応など高い堅牢性と防塵・防水機能を実現．

さらに，実装されているセンサーについては，個人用途のヘッドセットより高精度なデバイスが実装されている．この特別なスマートヘッドセットにより，安全な環境を損なうことなく，ハンズフリーで必要な情報を提供することで業務効率の向上が図られている．

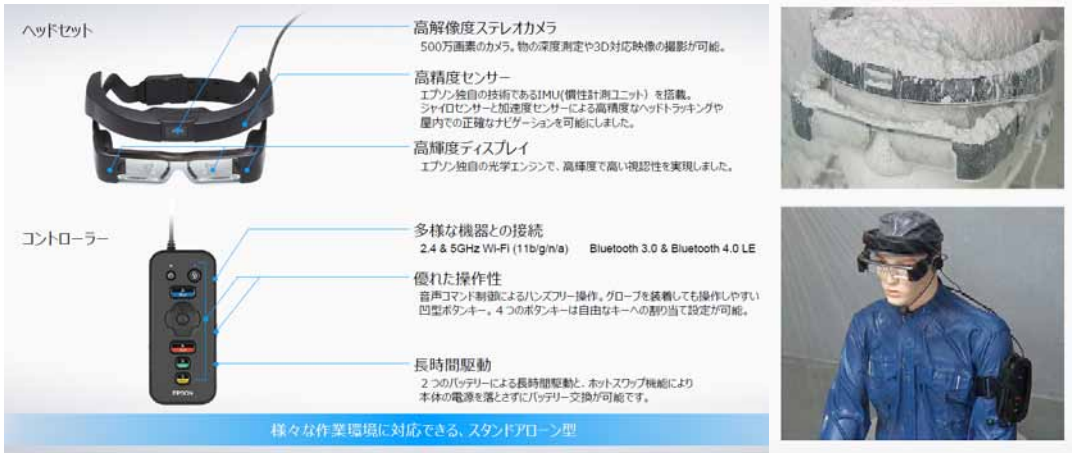


図12　BT-2000/2200 の製品概要

事例１：作業支援

多種多様な種類の部品を組み立てたり修理する工程において，各々の部品のマニュアルを見ながら作業するスタイルを改善．音声コマンドによる指示で，作業方法と作業後のチェックなどについて自動的に情報を切り替え円滑に業務推進することで作業効率を向上．

図13　作業支援活用イメージ

事例２：遠隔支援

装置トラブルの際に，熟練者のサポートを必要とする場面において，遠隔地にいる作業者とサポートセンターで映像を共有しながらトラブル解決に対応．サポートセンターでは，作業者の状況をモニターで確認，一方現場の作業者は音声コマンドを用いてマニュアルなど表示させながらハンズフリーで業務推進することが可能．どこにいても，常にサポートを受けられる安心感とともに，業務効率を向上する活用が進んでいる．

図14　遠隔支援活用イメージ

３．３　サービス領域

新しい市場として,サービス領域を定義している.一般的にBtoBtoCと呼ばれる市場において,スマートグラスを利用した映像情報提供のニーズが拡大している．代表的な施設とその考え方について述べる．

・美術館　【聴くだけのガイダンスから聴きながら見るガイダンスへ】
　これまでの音声ガイダンスに，映像表現を加えてより分かりやすい展示によるサービス向上
・映画館　【映像・言語をバリアフリーに．みんなで感動を共有.】
　聴覚障害者に対する世界的な法整備により，映画への字幕対応が義務付け
　多言語への対応を可能とし，インバウンドへのサービス向上
・観光地　【ツアー客に新しい体験・経験を提供するスマートツーリズム】
　世界的に伸びている観光需要に対し，インバウンドへのサービス向上
　ツアーガイドや通訳の業務効率向上
・テーマパーク　【アトラクションは体験型から参加型へ】
　現行施設を利用し，ARを活用した体験型のアトラクションが拡大
　設備更新の費用を低減し，世代を超えたきめ細かな顧客対応を実現
・スタジアム　【変わる観戦スタイル．知りたい情報をいつでも.】
　実際に観戦している臨場感を損なうことなく，必要な情報を提供する新しいファンサービスの実現

ARを活用した空間演出により，公共のスタジアムのエンターテイメント性を向上

４．最後に

本稿の中で述べたように，両眼シースルースマートグラスは，個人領域，産業領域だけではなく，サービス領域においても新たな使用シーンを創造できる可能性を秘めており，特に AR 的な使用シーンに対する期待は大きい．個人用途では，スマートフォンの普及で日々のライフスタイルが変わったように，両眼シースルースマートグラスを装着すると，見えている視野にさまざまな付加情報が表示されることで，現実の世界とバーチャルな世界が融合され，新たなライフスタイルが生まれ，生活空間が無限に広がっていく．また，産業領域では，従来の業務スタイルが大幅に革新され，高度化する業務への対応が容易になり，ますます業務の質が上がっていく．当社は，両眼シースルースマートグラスの先駆者として，製品の更なる進化を継続的行うとともに，新しい市場の創出にむけ引き続き取り組みを行っていく．

第２部　　質疑・応答

質問１：　シースルーグラスにはマイクとスピーカーは入っているのか？

回答１：マイク付きのイヤホンを取り付けることができる．また，ブルートゥースのヘッドセットを使うこともできる．Wifi は対応しているが LTE は対応していない．

質問２：　最大の問題として，デバイスは軽薄短小化が可能だが電池が難しいと思うがいかがか？

回答２：　おっしゃる通り．小型化のために電池メーカーと話をしている．グーグルグラスはケーブルがないシンプルな構造をしているが，１０分しか動かない．スマホ用のバッテリーの小型化も進んでいない状況．ウエアラブルメーカーが強い要望を出していかないと小型化は難しい．一体型のヘッドセットを作ろうとしたときの最大の課題と考える．しかし，１００ｇを超えると邪魔になるため，いずれ無線給電の技術ができて電池が小さくなればベスト．ソーラー駆動に向けた技術的ハードルは高い．

質問３：　映画を一本観たときの疲労度は大きいのではないか？

回答３：　疲労度は通常の LCD と変わらないはず．3D を見た場合は 1 画面タイプのものはフィールドシーケンシャルでフリッカーが出るので元々左右異なる信号が出るので疲労度が低いという報告がある．

　　もう一つの特長として，フォーカスポイントが遠いので老眼の影響を受けないことがあげられる．

質問４：　今後のアプリケーションを考えたときに，見たものが何かを認識できるとそれに対してメッセージをのせることができると思うが，認識機能は計算量的に大変なのか，それともどこかへ送信して処理するのか？

回答４：　認識機能はソフトウェアレベルで持っているが学習が必要．今後機械学習の世界が進化していくと，計算式で出せるようになると思うが，現状では覚えさせなければいけない手間が必要．

質問５：　長時間見ていると酔ってしまうことはないか？

回答５：　身体にかかわることなので絶対はない．VR は 5 感の内ひとつの感覚だけ違う世界にして，かつ歪んだりしているので影響を受けるが，AR は周りが見えており，人間はずっと見ていなくてもたまにフォーカスポイントをずらして見ているときもあるので，シース

ルーグラスの方がその点は低減されていると思う.

質問 6： 自転車で走っている時に動画でマンホールや段差を認識して赤いマークで注意を促すとかはできるか？

回答 6： 技術的にはできるが遅延をどこまで許容できるかが課題. 自転車の前の安全を検知するのは難しい.

質問 7： アプリケーションが多く出ると普及していくと思うが, アプリケーションをユーザー側で作ってもらう環境はどの程度整っているのか？

回答 7： アプリケーションは自由に開発できる. WEB 上に SDK の提供はある. 基本的にはアンドロイドの開発環境を使っていただくことになる

以上

解　説

「時計技術解説」　クオーツ時計

－　XII. クオーツ時計の高精度化　－

樋口　晴彦 *

１．はじめに

現代社会において「正確な時間」を得ることの重要性は，全世界的なネットワークの構築やそれに伴う商取引の拡大等により以前にもまして高まってきています．私たちの身の周りにおいてはインフラのもつ正確な時間情報をネットワークに接続可能な携帯端末や時計などのデバイスから容易に取得出来るようになってきています．

古くは「時」をつかさどることは権力の象徴でした．また大航海時代，欧州の列国が海外への覇権を求め大海原へ乗り出すに至っては，「正確な時間」を確保することは安全な航海を保証する為に非常に重要な要素を占めていました．この場合，正確な時間は自ら持ち歩くしかない為，時計職人たちはより高い精度の時計を目指し様々な研究，開発を繰り返していました．

私たちはクオーツ時計の登場により，日常生活の実用領域においては十分な時間精度を確保しましたが，それ以降も「時計」という製品の本質価値である精度追及の手は緩まず，様々な進歩を続けてきました．近年は外部時間情報の取得，すなわちＧＰＳ衛星からの信号や長波標準電波の受信，スマートフォン等の携帯端末との連携により，標準時刻とのズレを補正することで正しい時刻表示を行う腕時計が，高い時刻表示精度を実現する手段の主流となってきています．これは人工衛星や電波発信局などのインフラの整備が進んだことに加え，エレクトロニクス技術の向上による電子デバイスの小型化，低消費電力化，電池の高容量化等が進んだことが大きく寄与しています．一方でクオーツ時計の黎明期は外部時刻情報源に頼ることは出来なかった為，時計単体での自律的な精度向上を目指して積極的な開発がなされ，その流れは現在に至っても継続しています．本号ではクオーツ時計の自律的な高精度化に関して，どのような進歩を遂げ現在に至っているかを説明します．

２．高精度時計の定義

「高精度時計」という言葉に明確な定義はありませんが，ここでは他からの時刻情報を得ず，自律的に高い時刻表示精度を実現する腕時計について説明します．

クオーツ時計の表示精度については，ＩＳＯやＪＩＳにおいて定義されています．「ＪＩＳ　Ｂ７０２５　時計－精度表示」では表示精度に関する試験方法と表示精度の呼称を定める計算方法が規定されていますが，試験方法としては歩度の長期安定性を確認するエージング試験と周辺温度影響による歩度の変化を確認する温度試験の２つがあります．それらの試験から得られる結果，すなわちエ

* シチズン時計株式会社

ージングによる１年間の日差の累積値と温度の季節変化による１年間の日差の累積値より表示精度を導き出しています.

月差表示の場合は温度の季節変化による１年間の日差の累積値を１２等分した値，年差表示の場合は，さらにエージングによる１年間の日差の累積値を加えた値を算出した結果より，平均月差○○秒，または平均年差○○秒（○○は,±3 秒・±5 秒・±10 秒・±15 秒・±20 秒・±30 秒　より選択）として表示精度を定めます.

規格上ここで着目すべき点は温度の季節変化による１年間の日差の累積値に対する考え方です．季節による温度変動の影響について四季の環境における周辺温度を春と秋は２５℃，夏は３５℃，冬は１５℃と定め，それぞれの温度環境下に９０日時計が存在することを前提としています．それぞれの季節の温度環境における歩度値を測定し，存在日数を乗じたものを加算した結果を年間の日差の累積値としています．したがって，例えば夏の暑い時期に時計が進み，冬の寒い時期に遅れが生じるような特性の場合，遅れ／進みが相殺され年間の累積値としては小さな値となります．極端な例では１５℃の環境に９０日放置した結果３０秒の進みが生じたとしても３５℃の環境で９０日放置された結果３０秒の遅れが生じた場合，２５℃の進み遅れが０秒であれば，温度試験結果としては，高い表示精度を呼称値とすることができます．実際にはこのような製品はなかなか存在しませんが，累積の日差は時計外部の温度環境に加え，１日どのくらいの時間，腕に装着しているかなどによって大きく影響を受けることから保証内容については必ずしも公的規格を準拠しているだけでは足りず，温度変化に対する歩度のズレ量の最大値など独自の設定がされています．また使用環境変化により進み，遅れが大きく影響を受けることから，例えば年差±１０秒の時計であっても月に２秒程度までのズレが発生することを想定している場合が見受けられます.

以下，各種高精度時計についての説明をしますが，製品の発売が規格制定前であったり，月差／年差の表示精度に関する考え方が一様でないことから，精度の表記については発売元の公表値をそのまま記載します.

３．高精度化の序章・・・クオーツ時計の登場

時計の精度はクオーツ時計の登場により飛躍的な進歩を遂げました．最初のクオーツ時計は 1927 年，ベル研究所の Warren Marrison と J.W.Horton によって作成されましたが，能動素子に真空管を使用していたことから，時計自体はタンスほどの大きさがあったようです．当時は一般的には時計に対する精度要求が現在ほど高くなかったことから，特に高い時間精度が必要とされる放送局などの施設においてのみ使用されていました．クオーツ時計が一般に広く使われるようになるには，半導体技術の進歩によりデジタル回路が小型，かつ安価に利用できるようになった 1970 年代以降になります.

1967 年，世界初のクオーツ時計のプロトタイプが登場しました．スイスの Centre Electronique Horloger（CEH）による Beta1，及び日本のセイコーから発表されたアストロンのプロトタイプです．世界初の市販クオーツ腕時計は 1969 年のセイコーから発売された「セイコークオーツアストロン SQ35」で，発売価格は４５万円と当時の小型乗用車並みの非常に高価な製品でした．「アストロン」は 8,192Ｈｚの水晶振動子を用い，月差±５秒という従来の機械式時計では不可能な精度を実現，高精度時計の先駆けとなりました．また音叉型の水晶振動子，ステップモーターの採用や秒停止機能など，後のクオーツ時計の原型となる要素を数多く搭載していました．電子回路については，複数のトランジスタや抵抗，コンデンサーを組み合わせたハイブリットＩＣで，小型の基板に実装する為には職人の技を要したとのことです．その後，半導体技術の進歩によりＣＭＯＳ－ＩＣで発振，分周，モーター駆動制御といったクオーツ時計に必要な機能を実現することが出来るようになり，大量生産，コストダウンが大幅に進みクオーツ時計の市場拡大が加速されました．

Fig.1　セイコー　アストロン

４．クオーツ時計の高精度化の流れ

現在市販されているクオーツ時計は，平均月差±１５秒～３０秒程度が一般的ですが，「アストロン」は初のクオーツ腕時計でありながら月差±５秒の精度を実現していました．クオーツ腕時計の進化は必ずしも精度向上ということだけではなく，実用的な精度を満足しつつ，如何に合理的に低コストで製造できるか，また小型，薄型の時計が実現できるかという多面的な観点で進められており，これらの要求を満足する為に様々な技術が開発されてきました．ただ「精度が良い」ということでは時計としての総合的な完成度としては不十分であり，通常精度のクオーツ時計が歩んだデザイン性，経済性を如何に兼ね備えるかという視点が重視されています．その結果として精度としては必ずしも向上の一途を辿ったわけではなく，あえて精度は落としても薄型化・小型化の為の新技術を投入し，時計としての総合的な完成度を目指してきた経緯があります．

精度に関わる要素の低コスト化については，主たる部品単体（水晶振動子，ＩＣなど）の低価格化によるところが大きいですが，周辺部品の削減や製造工程の合理化も大きく貢献しています．製造工程における時計歩度の調整について言えばクオーツ時計が発売された初期のころは，Fig.2 のようにＣＭＯＳインバータアンプタイプの水晶発振回路に付加された歩度調整コンデンサー（トリマコンデンサー）により歩度を調整する方法がとられていましたが，その後ＩＣ内部でデジタル的に周波数調整を行う論理緩急方式が開発されました．歩度の測定を１０秒程度で出来るよう考慮した結果，合わ

せ込みの分解能は比較的粗い値で（理論的には±0.13 秒／日以下）月差程度の精度が限界となりましが調整の自動化が容易で調整に関わる付属部材も不要であることから，現在のクオーツ時計においては本方式が周波数調整の主流となり，生産の合理化も進みクオーツ時計の普及に多大な貢献を果たしました.

一方で，時計本質の追及である高精度化の流れとしてはクオーツ時計が商品化されてからわずか６年で月差±５秒から年差±３秒へと進化を遂げています．次に高精度化に関わる技術について簡単に説明します.

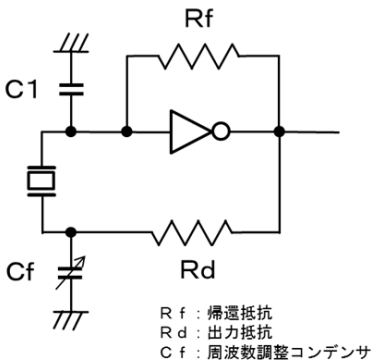


Fig.2　水晶発振回路

５．高精度時計を実現する為の要件

クオーツ腕時計において，「高精度」を実現する為には，先に述べたＩＳＯ／ＪＩＳの要求項目も含め下記の要件等を満足する必要があります.

①周辺の温度が変化しても歩度の変化が小さいこと
②歩度を精度良く合わせ込む
③歩度が長期間安定であること（エージング特性）
④電池の電圧が変動しても歩度が安定であること
⑤衝撃が加わっても歩度の変化が小さいこと
⑥周辺雰囲気の湿度が変化しても歩度の変化が小さいこと

これらの項目については，部品単体の性能や品質の問題，製造におけるバラつき，使用環境等様々な要因が影響します．また目標とする時計精度によっては影響の度合いが異なり，重視する必要のある項目やある程度は許容できる項目もあります．以下高精度時計実現に特に影響の大きい①，②の項目を中心に説明します.

５．１　周辺の温度が変化しても歩度の変化が小さいこと

クオーツ時計に使用される水晶発振器は，非常に安定した周波数で発振しますが，温度変化により発振周波数が変化します．温度に対する発振周波数の変動は，水晶振動子に用いられている振動子片の結晶構造に対するカット角に

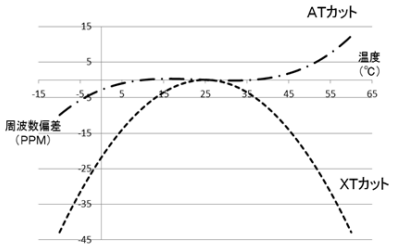


Fig.3　周波数―温度特性

大きく依存しますが，現在，主として用いられているＡＴカットタイプとＸカットタイプの水晶振動子を用いた水晶発振器の温度特性を Fig.3 に示します.

温度変化に対して歩度の変化量はカット角，振動モードにより異なりますので，温度変化の小さい水晶振動子を選択するのが，最もシンプルな高精度化の方法です．Fig.3 に示したＡＴカットの水晶振動子は室温付近で温度特性が平坦な３次の温度特性を実現することが出来ます．またＡＴカット以外で温度特性の良い水晶振動子を使用した時計や，別の方法として時計内部の温度を測定し，温度影響による歩度変化分を補正するという温度補償型と呼ばれる高精度化の方式の時計も有ります．以下，歩度の温度特性の改善技術について個別に説明します.

５．１．１　温度補償コンデンサーによる温度特性の改善

Fig.2 の水晶発振器に使用されるＣ１に，水晶発振器の温度特性を相殺する容量変化特性を持つ温度補償用コンデンサーを使用して水晶発振回路の温度特性を平坦化する方法があります．コンデンサーの容量と発振周波数の関係は，Fig.4 のように容量が大きくなると周波数が低くなる傾向にありますので，Fig.5 のように室温に対して温度が高くなっても，低くなっても容量が減少する特性をもつコンデンサーを発振回路に使用することで，歩度の温度特性を平坦化することが出来ます．容量－温度特性はチタン酸バリウム系の材料に添加する材料の量や種類で制御することが出来ますが，水晶発振器の温度特性を補償する為に必要なコンデンサーの温度特性を厳密に得ることは難しく，実際には

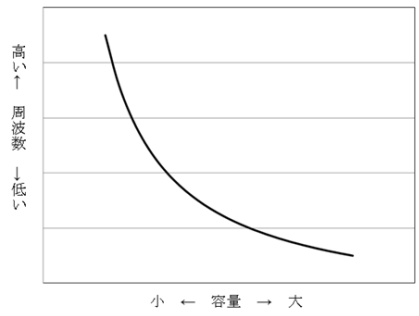


Fig.4　周波数―容量特性

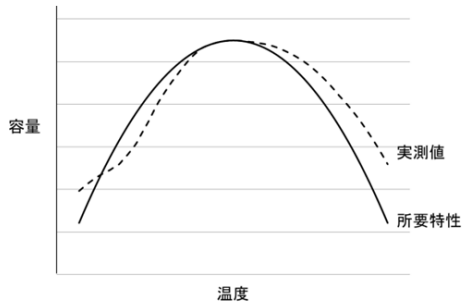


Fig.5　容量－温度特性

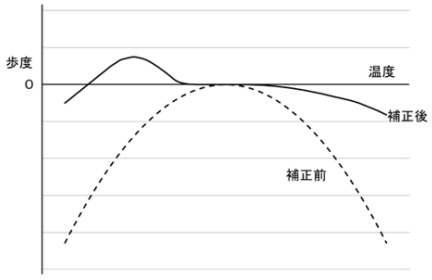


Fig.6 歩度－温度特性

Fig.5 の所要の容量－温度特性からのズレが生じる為，補正された温度特性としては Fig.6 のようになりました．部品の特性がそのまま歩度の温度特性に影響する為高い精度の実現は困難でしたが温度補償用コンデンサーの付加という簡素な構成で一定の効果が期待できます．ただし特殊な温度特性のコンデンサーが必要なことから，現在ではこの方式は用いられていません．

５．１．２　ＡＴカット高周波水晶振動子の使用

メカ時計で精度向上の為振動数を上げるのと同様に，クオーツ時計でも高周波水晶振動子を用いた高精度化は，初のクオーツ腕時計が登場してからほどなく商品化されています．ＡＴカットの水晶振動子は，Fig.3 のように室温付近で周波数－温度特性がほぼ平坦な良好な発振回路を構成することが可能ですが，ＡＴカットの水晶振動子をはじめて搭載したのはオメガより 1973 年に発売された「メガクオーツ 2400」で，発振周波数は 2,359,296Ｈｚでした．発振器の周波数が高くなるとそれに応じて消費電力は上昇しますので電池寿命としては非常に不利な方向に影響しますが，水銀電池１個で電池寿命１５カ月，時計精度は月差±１秒を実現していました．

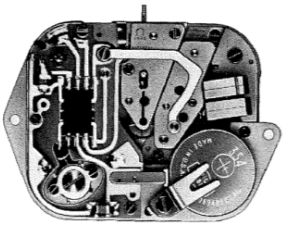


Fig.7 メガクオーツ 2400

ＡＴカットの水晶振動子はサイズも大型であり，消費電力が大きいことから比較的大型の電池を搭載する必要があり時計の小型化／薄型化に対しては不利ですが，時計精度を月差から年差へ飛躍的に向上させる手段として，また歩度の長期安定性にも優れる為その後も改善が進められました．低消費電力化の為に，発振器や高周波領域の分周段の電力消費を抑える様々な工夫がなされて，年差±３秒という，現在に至っても最高レベルの精度で１年以上の電池寿命，厚さ 2.5㎜ のムーブメントを搭載した時計が製品化されています（シチズン：CAL.1730：1981 年）

５．１．３　ツインクオーツ（温度論理補正方式）

ＡＴカット高周波振動子を使用した高精度時計は，消費電力，サイズの面での不利は否めない為，さらなる持続時間の長寿命化，薄型化，小型化を目指した他の方式が登場します．

その１つが温度論理補正方式のツインクオーツ（セイコー　CAL.9983A：1978 年）です．２本の水晶振動子を用い，１本を時計の時間基準に，もう１本を感温素子として使用しており２つの水晶発振器の発振周波数の差分は Fig.8 のように温度に比例し，この値を２乗して適当な係数を乗じることで，周辺温度に応じた補正量を算出することができます．この値に基づき時間基準用の水晶発振器の周波数を調整することで温度特性を平坦化しています．Fig.9 に演算処理の為のブロック図を示します．３２ｋＨｚの水晶振動子の小型化も進んでいたことから振動子を２本搭載したとしても高周波タイプとくらべ十分な小型化が実現可能でした．さらに，発振周波数が低いことから消費電力も低く抑える

ことが可能な為小型電池で十分な電池寿命が確保できることで，時計の小型化に大きく寄与しています.

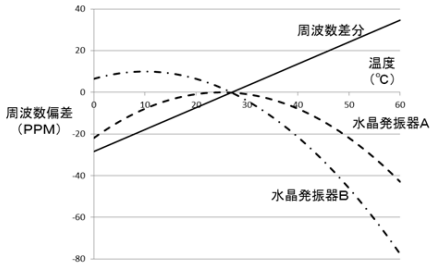


Fig.8　周波数―温度特性

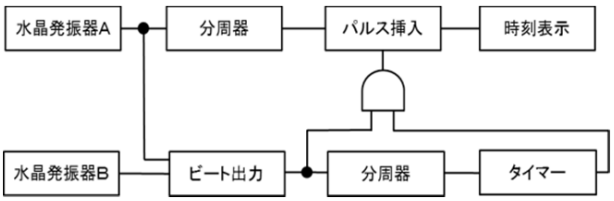


Fig.9　回路構成ブロック図

５．１．４　ツインクオーツ（自己補償方式）

おなじく水晶振動子を２本使用した方式として，自己補償型ツインクオーツ（セイコーCAL.9256A：1978 年）があります．こちらの方式は，Fig.10 のように零温度係数の異なる 2 本の水晶振動子を並列接続する状態で発振回路を構成しており，発振回路の温度特性としては，それぞれの水晶振動子の温度特性が合成されることで，室温付近で平坦な温度特性を実現しています.

本方式では，水晶発振器の構成する際に２本の振動子が接続される点で設計的な配慮が必要ですが，その他は特別な演算処理が不要な為シンプルな回路構成とすることができます．この方式についても，発振周波数自体は低い為，温度論理補正方式のツインクオーツと同様に小型化，薄型化，長寿命化が実現されています.

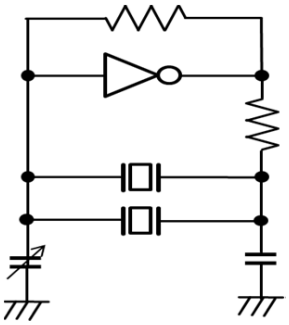


Fig.10　発振回路

５．１．５　ＩＣ温度補償方式

ここまで説明した高精度時計については，基本的に回路が完成した後に温度特性を平坦化させる為の調整要素は少なく，温度特性の良し悪しは主に搭載されたデバイス自体の特性に依存しています．その結果，回路製造工程は容易に行える反面，最終製品の特性がデバイスの出来ばえで決まることから，部品自体には高い精度

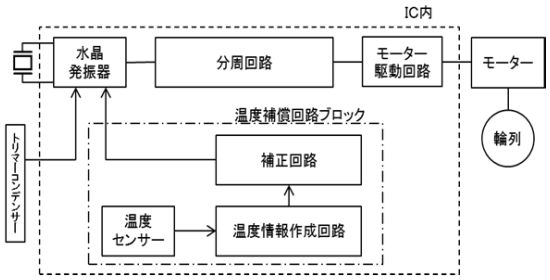


Fig.11　ＩＣ温度補償システム

が要求されます.

これに対して，個々の部品のばらつき影響は回路が完成した後に調整を行い，温度特性を向上させる方式が登場します．ＩＣに内蔵された温度センサーによって時計内部の温度を測定し，水晶振動子の温度特性を補償する時計が商品化されました．（シチズン　CAL.1930：1981 年）

本方式では温度センサーをＩＣの中に作り込み，水晶振動子は時間基準用の１本のみで高精度時計を実現しています．ＩＣ外部に温度センサーが不要な為，回路構成としては水晶振動子とＩＣ（＋周波数調整用のトリマコンデンサー）で通常の月差時計と同等の部品点数で高精度化が可能となりました．また３２ｋＨｚの水晶振動子を使用している為，消費電力的にも有利です．温度センサーの動作は，時計内部の温度がケースに密封されていることから急峻な変化は起こらないことを前提とし，１分毎の間欠的な温度測定を行っています．この為時計全体の消費電力に大きく影響をあたえることはありません．ＩＣ外部に温度センサーが不要な反面，ＩＣに内蔵された温度センサーや水晶振動子のマッチングをとる調整が必要となる為製造工程はやや複雑となります．また温度センサーの調整値の設定は，ＩＣの端子（１４本）に接続された配線パターンをカットして行う方式であった為，ＩＣサイズが大きくなり配線スペースも必要で小型化への障害となりました．しかしながら半導体技術の進歩により不揮発性メモリがＩＣ搭載可能となった 1980 年代後半にはこの問題も解決し，小型化，薄型化がさらに促進します．その結果，ブレスレットタイプの時計など通常月差精度品と同等サイズの時計が実現可能となりました．

５．１．６　ツインモード水晶

温度特性に優れた水晶振動子を用いた高精度化は，回路構成的にはシンプルに構築できる為，ＡＴカット高周波水晶振動子を用いた製品が商品化された以降も開発が続きました．1987 年には屈曲振動と捻じれ振動の２つの発振モードをもつツインモード水晶振動子を搭載した製品が発売されます．（セイコー　CAL.9061A:1983 年）この水晶振動子は屈曲振動モードと捻じれ振動モードのそれぞれが持つ温度特性が合成され，室温付近では平坦な周波数－温度特性を示しています．発振周波数は 192ｋＨｚと一般的な振動子に対して高く消費電力的には若干不利でしたが，ＡＴカットのＭＨｚ領域に比較すれば低い周波数であり，水晶発振器の消費電流は 0.3μＡと低い値を実現しています．

５．１．７　温度特性改善手段のまとめ

以上，歩度の温度特性を改善する為に製品に搭載された各種手法を簡単に説明しましたが大別すれば，①温度特性が平坦な水晶振動子自体を用いて発振器を構成する方法　②水晶振動子自体は通常品を用い，時計内蔵温度センサーの温度測定結果に応じて歩度のズレ量を補正する　の２つの方法となります．

①の方法は，回路製造工程での歩度の温度特性を平坦化させる為の調整は簡素ですが，特殊な部品を使用する必要が生じる為，部品の入手性やコストという面が課題となりました．②の方法は，歩度の温度特性を平坦化させる為の調整工程が必要となり専用のＩＣが必要ではありますが，水晶振動子は通常の部材が使用でき，他に特殊部品が不要なこと，発振周波数も３２ｋＨｚで低消費電力化も容易であることから小型化，薄型化には有利です．

現在の自律型高精度時計は，消費電力やサイズの面であまり問題とならないクロックではＡＴカットの４ＭＨｚ振動子が使用されていますが，ウオッチにおいては，消費電力が低く，デザイン性（大きさ，厚さ）電池寿命，部品入手性に優れた，ＩＣ温度補償型が主流となっています．また通常の月差精度の時計と部品構成や消費電力的に遜色がない為，月差品で先行して進んでいたソーラー化も進められました．

５．２　歩度を精度良く合わせ込む

歩度の合わせ込みについて，誤差がそのまま時刻ズレにつながることから，高い精度が要求されます．例えば年差±１０秒の時計を実現する為には，単純計算で１日のズレ量が１０秒÷365 日＝0.028 秒以下に抑えることが必要となります．この値は通常の１０秒周期で測定が可能な論理緩急方式の 0.26 秒／日の調整分解能に対し 1／10 程度の値ですが，温度特性やエージングなど他にも時計精度に与える要因があることを考慮すれば，歩度の誤差は可能な限りゼロに追い込むことが望ましくなります．この為通常の月差時計に対して，年差クラスの高精度時計では，特殊な調整方式を採っている製品もあります．以下に，高精度時計の歩度の調整について説明します．

５．２．１　トリマコンデンサー方式

初期のクオーツ時計は高精度時計に限らずこの方式を採用していました．Fig.2 のように水晶発振回路を構成するコンデンサーを容量調整が可能な超小型半固定型にすることで回路完成後に歩度の調整を行います．トリマコンデンサー方式の回路構成は非常にシンプルで歩度についても連続的に調整が出来ることから，原理的には歩度の誤差をゼロに合わせ込むことは可能です．しかしながらトリマコンデンサーの調整は，調整用ドライバーを差し込んだだけでも歩度が変化したり調整後も機械振動など使用環境の影響により歩度の変化が起きやすいなど問題もありました．また調整は人の手に頼っていた為，生産の合理化が難しいことや，超小型のトリマコンデンサー自体が特殊な部品で入手性にも問題がありました．さらに小型とはいっても基板実装面積は必要な為，時計の小型，薄型化を進める障害の１つとなっていたため，トリマコンデンサー方式は他の方式が開発されるとともに採用されなくなっていきます．

５．２．２　内蔵コンデンサー切替方式（時分割コンデンサー切替）

トリマコンデンサー方式と同様に発振回路のコンデンサー容量を変化させて歩度を可変させますが，コンデンサー自体はＩＣの内部に作り込み，半導体スイッチによって，調整用コンデンサーの接続／非接続を行うことで，歩度の調整を行う方式です．コンデンサー自体は，複数の容量の異なるコンデンサーを選択的に切り替えて調整分解能と調整幅を確保する手法もありますが，この方法ではコンデンサーや半導体スイッチが多く必要になりＩＣに内蔵することが難しくなります．この為１つのコンデンサーの接続／非接続の時間比を変える時分割方式が採用されています．調整分解能の設定は接続／非接続の時間比の変化量で調整出来る為容易に行えます．

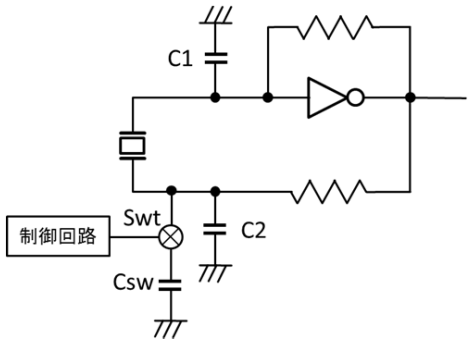


Fig.12　時分割周波数調整回路

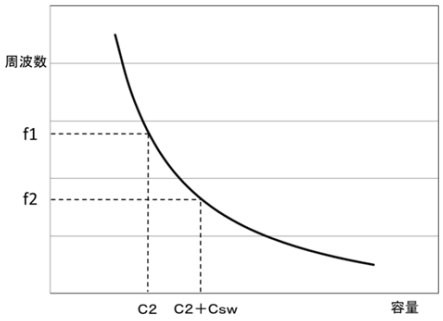


Fig.13　周波数―容量特性

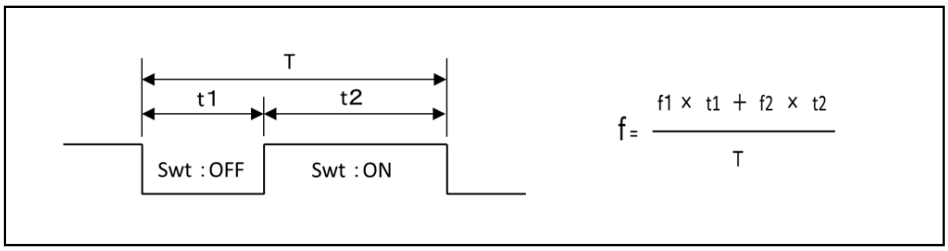


Fig.14　周波数調整量

５．２．３　長周期論理緩急方式

コンデンサー切替による調整方式は，水晶発振器のコンデンサー容量が周波数調整量に応じて変化する為，発振特性（安定性，消費電力，動作電圧範囲等）に影響を与えることがあります．水晶発振器としての理想状態を維持しつつ高精細な調整を可能にする為に考案されたのが，長周期論理緩急方式です．月差品ですでに採用されていた論理緩急方式の動作周期を長周期化することで調整分解能を細密化しています．（セイコー　CAL.8N40：1987 年）通常月差品は動作周期が１０秒の場合，調整分解能は約 0.26 秒／日ですが，長周期論理緩急方式を採用した本製品では，動作周期は 640 秒で調整分解能を 1/64 の 0.004 秒／日まで細密化しています．

水晶発振器自体には手を加えない為，低消費電力や安定性の面で理想的な発振回路を構築できます．一方で測定の面では 640 秒の長周期論理緩急にした場合，一般的な歩度測定器での歩度測定が不可能となります．これを解決する為に本製品では特殊な歩度測定モードを搭載しています．

歩度測定は，リューズが首引きされると出力される歩度測定用のパルスを測定することで行いますが，歩度パルスを出力する際，ＩＣ内部で高周波信号（約 2．1ＭＨｚ：ＣＲ発振器）を発生させ設定された歩度調整量に応じて歩度パルスの出力タイミングを微調整することで，通常の１０秒周期の歩度測定でも擬似的に高分解能の測定を可能にしています．

５．２．４　論理緩急，内蔵コンデンサー切替併用方式

論理緩急は通常の１０秒周期の月差精度の方式を用い，論理緩急では調整できない微細な調整は内蔵コンデンサー切替方式で実現する方式です．コンデンサーの切替による総調整幅が 0.26 秒／日と小さな値に設定することが出来る為，発振特性に対する影響は最小限に抑えることが可能で，かつ論理緩急方式での広範囲の調整量が確保できることから，高精度時計の歩度調整方式の主流となりました．

水晶発振器の調整分解能の微細化は先に述べたＩＣ温度補償型で水晶発振器の温度特性を補正する場合でも重要であり本技術の採用が進みました．

５．２．５　調整量の設定

歩度調整について内蔵コンデンサー切替方式では調整手段をＩＣへ内蔵することが出来，デジタル的な処理が可能となりましたが，調整分解能を細分化すると設定する調整データが増えることになります．例えば調整幅　±２秒／日，調整分解能　0.002 秒／日の調整値を設定した場合，1000 ステップの調整量となり 10bit の設定が必要となります．月差品レベルでは同レベルの調整範囲を 4bit 程度でカバー出来る為基板上の配線パターンをカットする方法でも設計が可能ですが，調整量が多くなると基板上の専有面積が大きくなり小型化での課題となります．

この問題を解決したのが，調整データを記憶させるメモリのＩＣ搭載で，1980 年代に電気的な書換えが可能なメモリが時計用ＩＣに混載できるようになりました．これにより完全に電気的な調整が可能となり，製造における調整工程の全自動化や，省スペース化により小型化／薄型化のバリエーション展開が進展しました．

５．３　その他の高精度時計の実現に必要な要件

先に述べた③～⑥の要件について以下簡単に説明します．

５．３．１　歩度が長期間安定であること（エージング特性）

水晶発振器の経時変化については水晶発振子の自体の長期安定性（エージング特性）が大きく影響します．歩度が経時変化する要因として一般には以下の様な項目が挙げられます．

①振動子片が真空封止されているパッケージ，封止管内部の真空度の低下
②製造工程で水晶片に加わった応力の時間経過による緩和
③パッケージ，封止管内のガス発生
④振動子片からのゴミの脱落，付着

水晶振動子のエージング特性は一般的に 0.1ppm/年～10ppm/年程度です．先に述べた合わせ込み精度の最大値の目安が 0.028 秒／日（0.32ppm：年差±１０秒の場合）であることから，エージング特性はそれより低い数値であることが必要です．

エージング特性を向上させるには，水晶振動子の設計，製造工程の改善等様々な手法がありますが，それでも出来合いで良い特性の水晶振動子を得ることが難しい場合があります．このような場合，一定の期間放置または発振動作をさせ水晶振動子が十分に安定してから製品化するような手法がとられます．さらに安定した時計を得る為には実際に時計を使用してから数年後に再度歩度の調整を行うことが望まれます．

５．３．２　電源（電池）の電圧が変動しても歩度が安定であること

水晶発振器は駆動電源変動により，水晶振動子の励振レベルが変化する等によって周波数が変化します．腕時計に使用される電池としては１次電池では酸化銀電池，リチウム電池といったコイン型電池が主流です．酸化銀電池は電池の使用が進み容量が減少しても，電圧変動がほとんど発生しない為電源としては大変優れています．他方リチウム電池やソーラー時計に用いられるリチウムイオン２次電池などは，容量の減少に伴い電池電圧が低下し水晶発振器の発振周波数に影響を与えます．

周波数－電圧特性の改善としてはＩＣ内に定電圧回路（レギュレータ回路）を搭載し水晶発振回路にかかる電圧を一定にすることで，外部の電源電圧変動に依存しない水晶発振器を実現しています．

５．３．３　衝撃が加わっても歩度の変化が小さいこと

時計に対して衝撃が加わると，水晶振動子そのものや水晶振動子を支持するムーブメント構造などによる影響により歩度が変化する場合があります．

水晶振動子自体は，パッケージや封止管内部で固定されていますが，衝撃が加わると水晶振動子の支持の状態が変わること等により，発振周波数が変化する場合があります．また時計の水晶発振器は，

回路基板に水晶振動子，及びＩＣが実装されて構成されますが，ムーブメントや裏蓋など金属部材との位置関係が変動することによる浮遊容量の変化が，発振周波数に影響することもあります．この為水晶振動子や回路基板を支持する構造，回路基板の周辺部材等についても外部から衝撃が加わった際に歩度への影響を受けにくくする構造をとる工夫が必要となります．

５．３．４　周辺雰囲気の湿度が変化しても歩度の変化が小さいこと

時計の水晶発振器は，回路基板に水晶振動子，及びＩＣが実装されている為，周辺雰囲気の湿度の変化でも歩度が変化します．主には回路基板に使用する基材の吸湿による影響ですが，これを抑える為吸湿しにくい基材（セラミック基板など）を用いる，吸湿しても影響を小さくする為に水晶振動子とＩＣ間の配線を最短となるようにレイアウトするなどの配慮が必要となります．腕時計のムーブメント自体はケースに密封されていますが，防水時計であったとしても長い期間においては外気とケース内部の水蒸気の出入りによりケース内部湿度は変化しますので湿度影響対策は必要となる場合があります．

６．　まとめ

これまでに，発売された主な高精度時計を Table.1 に記します．この表から判るように電波修正時計が商品化され活発に新製品が登場した 1990 年台後半から 2010 年頃までは新たな自律型の高精度時計はほとんど商品化されませんでした．電波さえ受信できれば１秒の狂いもない時計が実現できることから，年差±１０秒程度の精度では「高精度時計」というインパクトが薄れた感がありました．

精度については，時計の本質機能であることは今も昔も変わりはありませんが，携帯端末などの普及で身の回りに正確な時間が多数存在することから，腕時計における「時間の精度」の機能的な価値は薄れてきているように見受けられます．そのような中，精度の高い時計は，自分の時計が正しい時間を刻むという喜びの観点で情緒価値を生み出す要素に変貌しているかもしれません．

時計という製品は，装飾性，ファッション性という情緒的価値を重視する視点については，今も昔も変わりませんが，高精度時計の開発の歴史をみれば，ただ「最高の精度」を追うのではなく，他の要素とのバランスを考えた「最良の精度」を追求し，その為に技術者は様々な知恵や工夫により製品を生み出してきました．自律型の高精度時計は現在の電波修正時計では実現できない小型化や薄型化などを達成しており，時計としての総合的な完成度という観点でみれば決して劣っているものではありません．

最近では，時間基準信号の高精度化のみならず電波修正時計の発展で培われた指針位置補正機能に加え，強磁界中のモーターの止まりによる表示ズレを補償する機能が搭載された高精度時計の商品化がされました．また自律型としては最高レベルの年差±１秒の精度を持ったソーラー腕時計の製品化

も予定されています．閉ざされた空間の中で自己完結できる機能を如何に高めるかということが「腕時計」の魅力の一つとして，あらためて注目される要素となってきているかもしれません．

発売年	型番	精度	方式	発売元	サイズ	周波数	電池寿命
1973年	1510	月差±1秒	凸レンズ上水晶振動子使用	オメガ	3.1×25.6 t=6mm	2,359,296Hz	15か月
1975年	8650A	年差±3秒	ATカット水晶振動子使用	シチズン	Φ2.64 t=6.17mm	4,194,304Hz	約1年
1978年	9983A	年差±5秒	ツイン・クオーツ	セイコー	Φ26mm t=3.7mm	32,768Hz	約2年
1978年	9256A	年差±10秒	ツイン・クオーツ	セイコー	Φ25.6×25.0 t=3.4mm	32,768Hz	約2年
1981年	1730	年差±3秒	ATカット水晶振動子使用	シチズン	Φ26×24.4×21.4 t=2.5mm	4,194,304Hz	約2年
1981年	1930	年差±10秒	IC温度補償	シチズン	Φ26×20.8×23.7 t=1.95mm	32,768Hz	約2年
1982年	2730	年差±10秒	IC温度補償	シチズン	Φ22×18×18 t=1.9mm	32,768Hz	約2年
1983年	9061	年差±20秒	FTｶｯﾄ水晶(ツインモード)	セイコー	φ24.3 t=2.2mm	196,608Hz	約3年
1987年	8N40	年差±20秒	IC年差(長周期論理緩急)	セイコー	φ22×16 t=1.6mm	32,768Hz	約3年
1993年	03系	年差±10秒	IC年差	シチズン	φ21.6×18×21 t=1.6mm	32,768Hz	約3年
1995年	4220	年差±10秒	IC年差	シチズン	φ14.0×10.35×13.2 t=1.45mm	32,768Hz	約2年
1997年	A735	年差±10秒	IC年差(ソーラー)	シチズン	φ27.7 t=2.73mm	32,768Hz	約5ヵ月
1997年	A610	年差±5秒	IC年差(ﾊﾟｰﾍﾟﾁｭｱﾙ)	シチズン	φ26.6 t=2.74mm	32,768Hz	約5年
2010年	P112	年差±10秒	三脚振れモード水晶 ｽｲｰﾌﾟ運針	ブローバ	φ22.6×20.6 t=4.18mm	262,144Hz	約3年
2011年	A010	年差±5秒	IC年差(ソーラー・パーペチャル)	シチズン	φ30.7 t=3.10mm	32,768Hz	約7ヵ月

Table.1　主な高精度時計

引用，参考文献

（1）国立科学博物館産業技術史資料情報センター編：「技術の系統化調査報告共同研究編第 10 集」「時計技術の系統化調査」 p82-p89（2017）

（2）山田邦晴：水晶時計の温度補正について　日本時計学会誌 No.78　p64-p71（1976）

（3）赤羽好和　他：ツィンクォーツによる高精度腕時計の開発　日本時計学会誌 No.89　p1-p19 (1979)

（4）井上裕一　他：全論理緩急方式の年差時計　日本時計学会誌No.127　p3-p15　1988）

（5）政木広幸：年差時計の技術動向と展望　マイクロメカトロニクスNo.200　p74-p83（2009）

（6）国際時計通信社：国際時計通信 Vol.11　No.116　p26-p28（1970）

（7）国際時計通信社：国際時計通信 Vol.16　No.118　p126-p128（1975）

（8）国際時計通信社：国際時計通信 Vol.19　No.223　p368-p371（1978）

（9）国際時計通信社：国際時計通信 Vol.20　No.225　p32-p35（1979）

（１０）国際時計通信社：国際時計通信 Vol.24　No.283　p396-p399（1983）

（１１）株式会社ワールドフォトプレス：エレキウオッチ大図鑑（1997）

（１２）日経マグロウヒル社：日経エレクトロニクス　1979 年 11 月 26 日号　p 146- p 167

（１３）グノモン社：グノモン　1979 年 4 月号　p 60- p 63

（１４）セイコーミュージアム：https://museum.seiko.co.jp/index.html

（１５）ＣＩＴＩＺＥＮのキセキ：http://citizen.jp/locus/

解　説

日本の時計産業の概況

2017年

目　次

ウオッチ完成品（グローバルオペレーション）

1-1　日本のウオッチ完成品総出荷（輸出＋国内出荷）数量の推移　[機種別]
1-2　日本のウオッチ完成品総出荷（輸出＋国内出荷）金額の推移　[機種別]
1-3　日本のウオッチ完成品輸出の推移　[機種別]
1-4　2017年の日本のウオッチ完成品輸出　[地域別構成比]
1-5　日本のウオ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　2017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

*2016年データは2017年10月19日に訂正されました。

2018年 3月

一般社団法人 日本時計協会

ウオッチ完成品（グローバルオペレーション）

1-1　日本のウオッチ完成品総出荷（輸出＋国内出荷）数量の推移　［ 機種別 ］

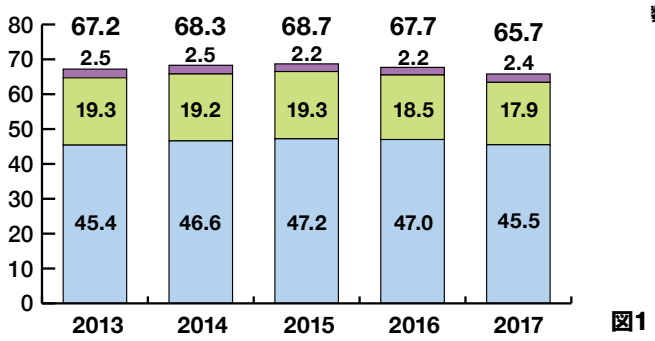


図1

1-2　日本のウオッチ完成品総出荷（輸出＋国内出荷）金額の推移　［ 機種別 ］

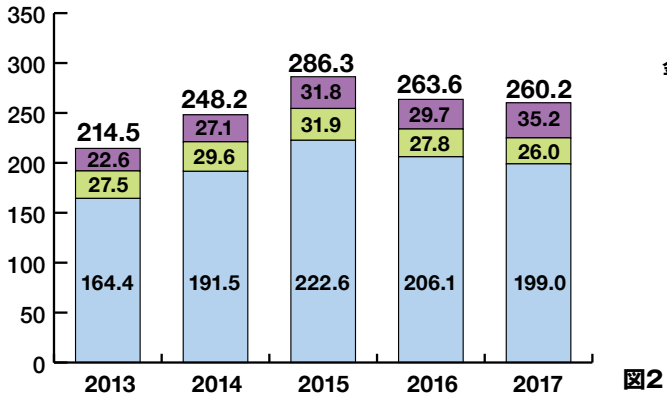


図2

●2017年日本の時計メーカーによるウオッチ完成品の総出荷（海外からの出荷を含む）は、数量65.7百万個で前年比3%減、金額2,602億円の同1%減であった。

●機種別数量では、水晶アナログが前年比同３%減、水晶デジタルが同３%減、機械式は同８%増であった。

●参考値として、2017年の完成品とムーブメントの合計の出荷は、数量507.5百万個（前年比4%増）、金額3,236億円（同1%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　日本のウオッチ完成品輸出の推移　[機種別]

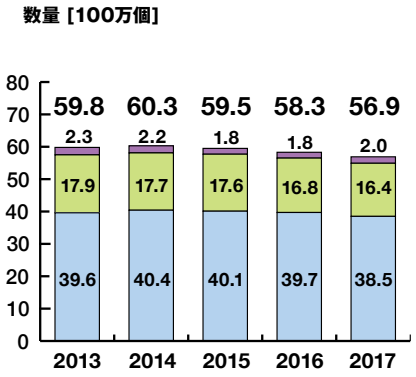


図3

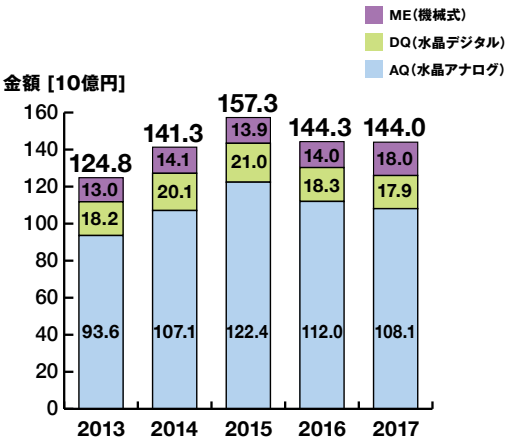


図4

1-4　2017年の日本のウオッチ完成品輸出　[地域別構成比]

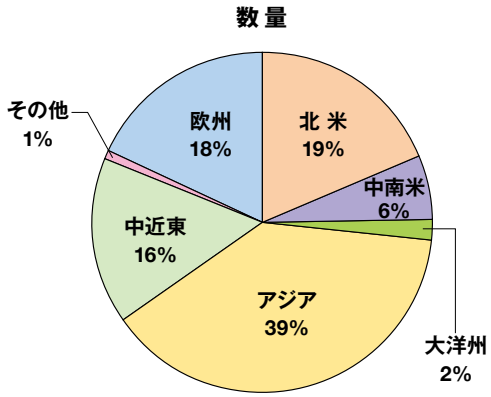


図5

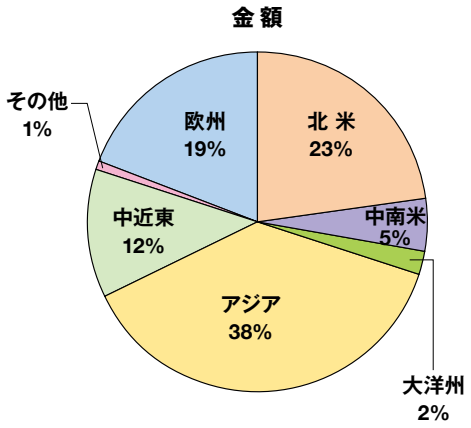


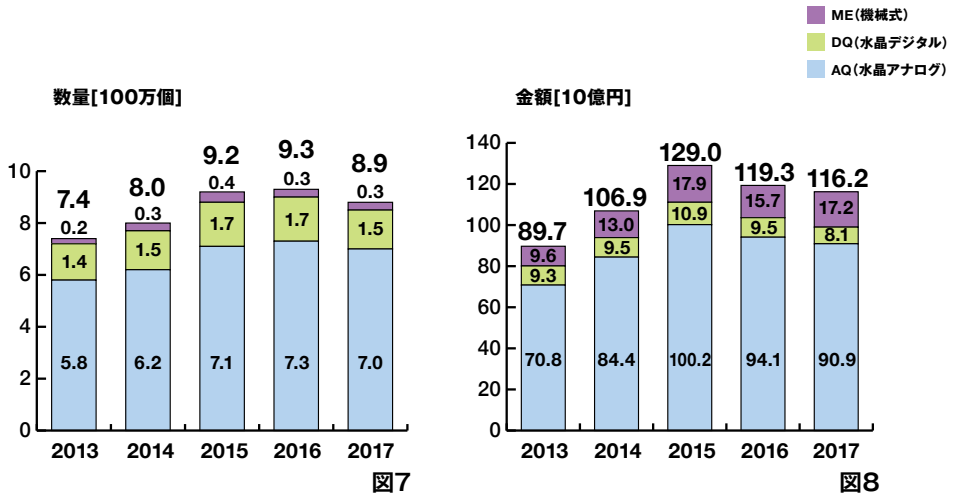
図6

●2017年日本の時計メーカーによるウオッチ完成品の輸出は、数量56.9百万個で前年比3％減、金額1,440億円で前年並みであった。

●完成品の主な輸出先の対前年金額比較ではアジアのみが前年比5％増で、他の全て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　日本のウオッチ完成品国内出荷の推移　[機種別]



●2017年日本の時計メーカーによるウオッチ完成品の国内出荷は、数量8.9百万個で前年比5%減、金額1,162億円で同3%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。

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］

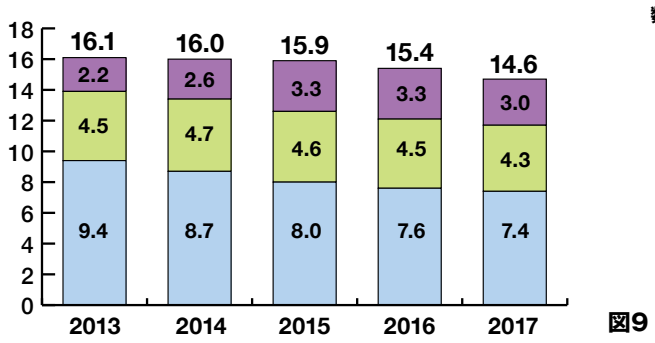


図9

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］

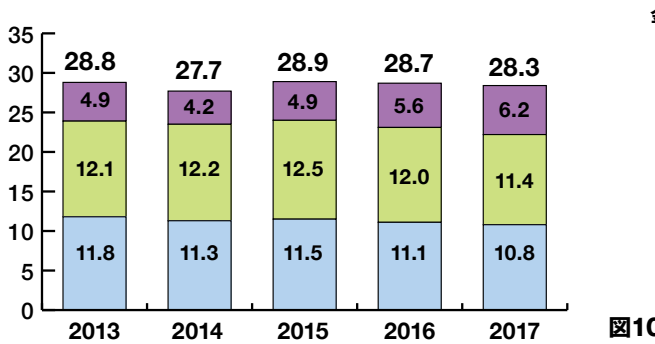


図10

●計器板・その他は、計器板及びその他のクロックを含む。

●2017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14.6百万個で前年比5%減、金額は283億円で同1%減となった。

●機種別数量では、置時計が前年比3%減、掛時計が同4%減であった。

●参考値として、2017年の完成品とムーブメントの合計の出荷は、数量16.8百万個（前年比6%減）、金額290億円（同3%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]

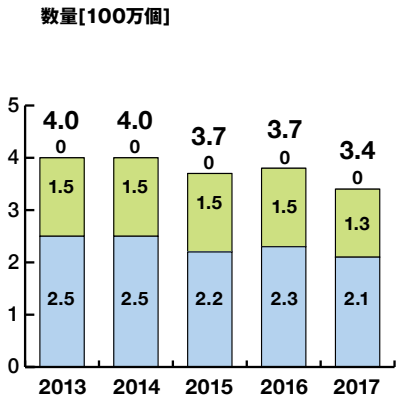


図11

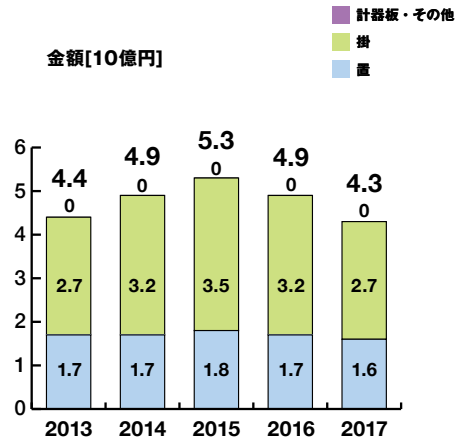


図12

2-4　2017年の日本のクロック完成品輸出　[地域別構成比]

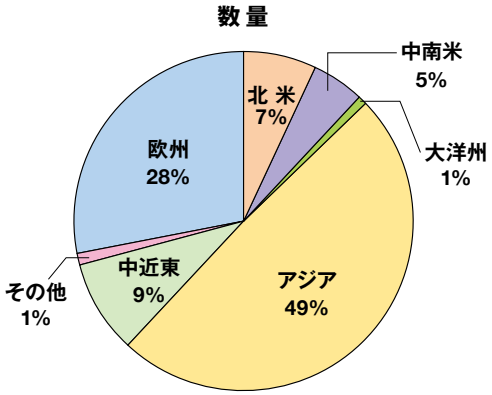


図13

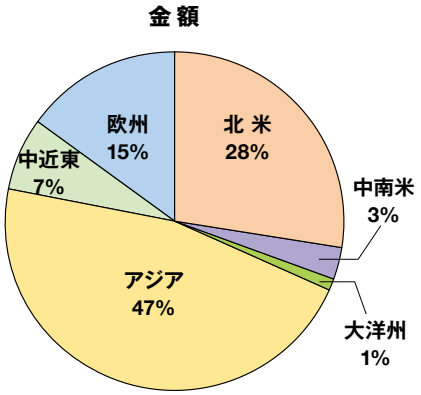


図14

●2017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3.4百万個で前年比10%減、金額43億円で同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、全ての地域向けは減少した。

*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]

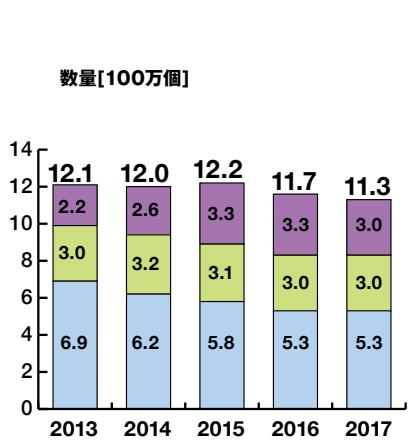


図15

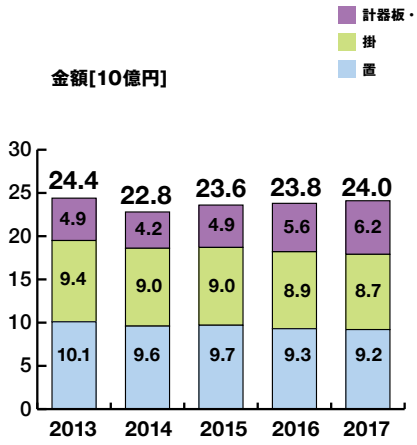


図16

●2017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11.3百万個で前年比4％減、金額は240億円で同1％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。

製品紹介

製 品 紹 介

ソーラーアシスト GPS ナビゲーション機能を搭載した“G-SHOCK”

カシオ計算機株式会社

G-SHOCK　「RANGEMAN」シリーズ　GPR-B1000-1

カシオ計算機は、耐衝撃ウオッチ“G-SHOCK”より、サバイバルシーンで真価を発揮する“RANGEMAN（レンジマン）”シリーズの新製品として、ソーラーアシストによるGPSナビゲーション機能を搭載した『*GPR-B1000*』(2モデル）を2018年3月9日に発売しました。

“RANGEMAN”は、極限状態での使用を想定した“Master of G（マスターオブG）”シリーズの中でも、「サバイバルタフネス」をコンセプトに、方位・気圧/高度・温度を計測するトリプルセンサーを搭載したモデルです。

今回新たに発売した『*GPR-B1000*』は、トリプルセンサーに加えGPSナビゲーション機能を搭載しました。GPS衛星から位置情報を取得することで、目的地までのルート上の現在地や、目的地の方向をリアルタイムで表示します。また、実際に通過したルート、ポイントの情報（緯度/経度、高度や

温度など）をメモリーすることができます。

充電方式は、ワイヤレス充電とソーラー充電の 2 方式を採用。ワイヤレス充電が使用できない屋外の環境で GPS 機能が使用できないバッテリーレベルになっても、ソーラー充電により一定時間再駆動ができるという技術を搭載しています。また、時刻表示はソーラー充電で駆動するため、GPS 機能の使用状況に関わらず時刻表示を継続します。

さらに、スマートフォンアプリ「G-SHOCK Connected」と連携することで、GPS 衛星電波受信と合わせ、世界中で正確な時刻データを受信します。また、アプリ上で活動の記録を管理する機能を備えており、メモリーしたルートやポイントなどのデータを 3D マップやタイムラインで表示します。

防塵・防泥のマッドレジスト構造やカーボンファイバーインサートバンドなど、構造・素材もタフネスを追求。究極のサバイバルタフネスを目指し、進化を遂げた新しい“G-SHOCK”です。

製品名	ベルトカラー	メーカー希望小売価格	発売日
GPR-B1000-1	ブラック	100,000 円＋税	2018 年 3 月 9 日
GPR-B1000-1B	カーキ	100,000 円＋税	2018 年 3 月 9 日

＜ GPS ナビゲーション機能 ＞

●ルートナビゲーション&ログ機能

GPS 衛星から位置情報を取得し、目的地までのルート上の現在地と目的地の方向をリアルタイムで表示します。また、ナビゲーション機能を作動させると通過したルートを自動的にメモリーします。（4 秒もしくは 1 分間隔、最大 20 本までメモリー可能）

目的地までのルートを表示

目的地の方向を表示

リコールモードでログデータを表示

●バックトラック機能

出発地点に戻りたいとき、メモリーした往路の情報を用いて元の地点までのルートを表示。その方向を表示することでガイドします。

往路のルート

バックトラックモードで元の地点までのルート＆方向を表示

●ポイントメモリー機能

ボタンをワンプッシュするだけで、通過ポイントの情報（日時、緯度/経度、高度、気圧、温度など）をメモリーします。また、アイコンの設定によりそのポイントの特徴を記憶させることも可能です。（最大 60 ポイントまでメモリー可能）

ワンプッシュでポイントの情報をメモリー

リコールモードでポイントの情報を表示

アイコン

＜ Bluetooth®でスマートフォンアプリ「G-SHOCK Connected」と連携 ＞

●世界中で正確な時刻を受信

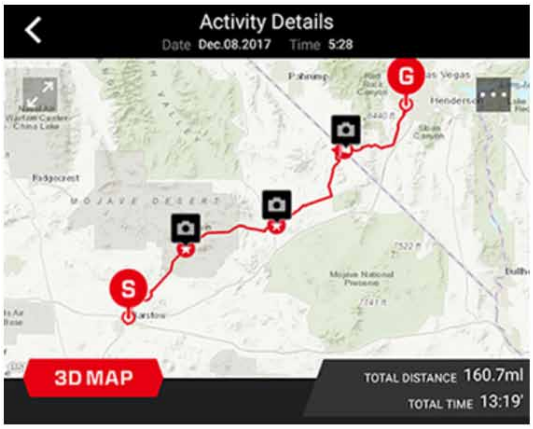
スマートフォンを介してタイムサーバーに接続することで、世界中で正確な時刻データを受信します。ワールドタイムの都市設定や、アラーム/タイマーの設定もアプリ側から簡単に行うことができます。

●出発地／目的地、ルート設定

GPS ナビゲーション機能の出発地と目的地、並びにルートの設定を行います。

●通過ルートを地図で表示

メモリーしたルートをアプリ画面上の 2D、もしくは 3D マップで表示します。

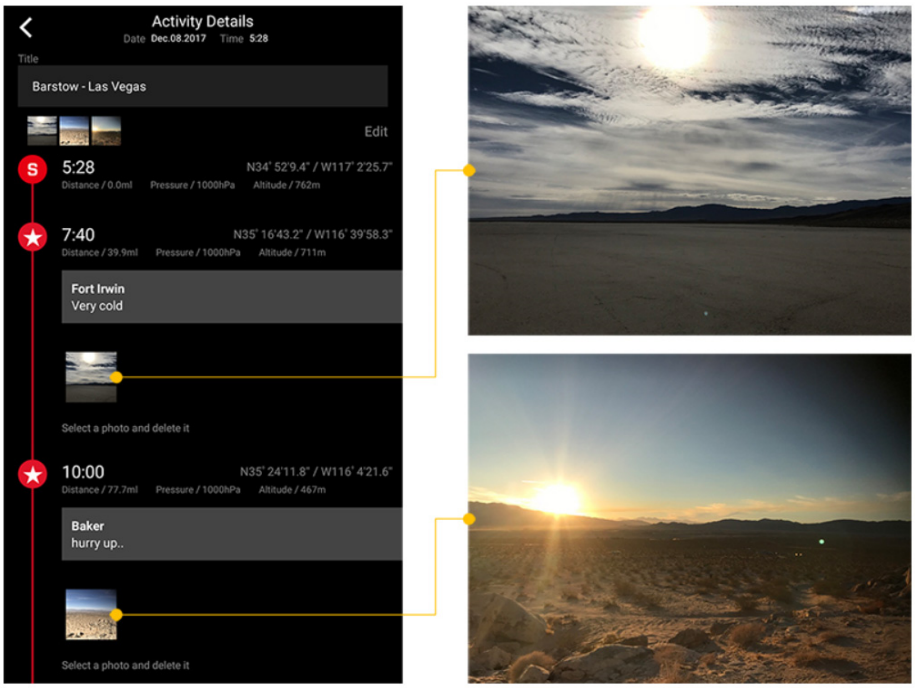


２Ｄマップによる表示

３Ｄマップによる表示

●通過ポイントの情報をタイムラインで表示

メモリーしたポイントの情報を時系列に表示します。GPS ナビゲーション作動中にスマートフォンで撮った写真と共に振り返ることができます。



＜ ソーラーとワイヤレス 2 つの充電方式 ＞

ワイヤレス充電とソーラー充電の 2 つの充電方式で、屋外での活動を強力にサポートします。GPS ナビゲーション機能は、ワイヤレス充電による約 5 時間の充電で約 33 時間の使用が可能。ワイヤレス充電が使用できない屋外の環境で GPS 機能が使用できないバッテリーレベルになっても、高照度のソーラー充電により一定時間再駆動ができます。50,000 ルクスで約 4 時間のソーラー充電で、GPS 機能を約 1 時間使用可能です。また、時刻表示はソーラー充電で駆動するため、GPS 機能の使用状況に関わらず表示を継続します。

＜ G-SHOCK 初のセラミックケースバック ＞

セラミック製の裏蓋を採用したことで、ワイヤレス充電に対応し、また GPS 電波を高感度で受信します。厚さ 2.3mm のセラミック素材を使用したことで、耐衝撃性能、20 気圧防水性能を保持しています。

＜ 過酷な環境での使用に耐えるタフネス構造 ＞

防塵・防泥のマッドレジスト構造を採用。－20°C までの耐低温仕様（時計表示）やカーボンファイバーインサートバンド、サファイアガラスなど、過酷な状況での使用を想定した仕様に仕上げました。

GPR-B1000-1

GPR-B1000-1B

GPR-B1000 の主な仕様

構造		耐衝撃構造、耐低温仕様（時計表示、－20° C）、防塵・防泥構造
防水性能		20 気圧防水
受信電波		GPS 電波：1575.42MHz
電波受信方法		自動受信（時刻受信、最大 1 回／日）、手動受信（位置受信、時刻受信）
通信仕様	通信規格	Bluetooth® low energy（※１）
	通信距離	～2m（環境により変化）
GPS ナビゲーション機能		行動ログ取得（最大 20 本）、行動軌跡表示（広域／詳細表示切替付き）、 ゴール、スタート地点までの直線距離表示機能、及び方向表示機能、 ゴール設定機能（ポイントメモリーからの呼び出しによる）、 バックトラック機能、行動時間計測機能、ログ使用状況表示機能
ポイントメモリー機能		時刻、年月日、緯度経度、高度、気圧、温度を最大 60 本、 アイコン設定機能付き
方位計測機能		方位の角度（0～359°）を計測、16 方位表示、方位連続計測（60 秒）、 北をグラフィック表示、ベアリングメモリー、自動水平補正機能、 方位補正機能、磁気偏角補正機能
気圧計測機能		計測範囲：260～1,100hPa、1hPa 単位、 気圧傾向グラフ（過去 48 時間分を表示）、 気圧傾向インフォメーションアラーム（特徴的な気圧の変化が起こった 場合に矢印と報音でお知らせします）
高度計測機能		相対高度計（計測範囲：－700～10,000m、1m 単位）、高度傾向グラフ、 高度差計測（－3,000m～3,000m）
温度計測機能		計測範囲：－10° C～60° C、計測単位：0.1° C
ワールドタイム		世界 39 都市（39 タイムゾーン（※２）、サマータイム自動設定機能付き） ＋UTC（協定世界時）の時刻表示
ストップウオッチ		1 秒計測、1,000 時間計、スプリット
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 4 本（スヌーズ機能付き）
その他の機能		モバイルリンク機能（自動時刻修正（サマータイム自動切替機能）、 約 300 都市のワールドタイム設定機能、携帯電話探索機能、 GPS ナビゲーション機能におけるルート設定／ログデータ管理、 タイドグラフ、ムーンデータ）、日付・曜日表示、 フルオートカレンダー、高輝度 LED バックライト（オートライト、残照 機能、残照時間切替：1.5 秒／3 秒）、 バッテリーインジケーター、12／24 時間制表示切替、機内モード、 操作音 ON／OFF 切替機能、日の出・日の入時刻表示
使用電源		ソーラーパワー（ソーラー充電システム）、 ワイヤレス充電器による充電システム（USB 端子（Type-A）のある機器が 必要です）

連続駆動時間	<GPS を使用した場合> ・NORMAL（間欠受信）：約 33 時間（※３） ・HIGH RATE（連続受信）：約 20 時間（※３） <GPS を使用しない場合> パワーセービング状態（※４）で 29 カ月
大きさ	60.3 × 57.7 × 20.2 ㎜
質量	約 142g

※１ Bluetooth® の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 スマートフォンとの連携により更新される場合があります。

※３ GPS 以外の機能はそこから更に約 2 カ月使用可能。

※４ 暗所で一定時間が経過すると表示を消して節電します。

会　報

一般社団法人　日本時計学会
平成３０年度（２０１８年度）事業計画書
（自　平成３０年１月１日～至　平成３０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．

[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]「時計エネルギーに関する研究調査分科会」

（主査：佐々木　健　東京大学教授・本学会理事）
平成 30 年度は，時計に要求される電源の新しい要求仕様の調査結果をまとめ，報告書を作成する．

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. 62，No. 218：平成 30 年 6 月，280 部
Vol. 62，No. 219：平成 30 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：平成 30 年 9 月，150 部

４．研究の奨励及び研究業績の表彰

青木賞表彰委員会を設け，平成 28 年度および平成 29 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 52 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 52 回青木賞贈呈式を行う．

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 2 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30年 1月 1日　至　平成30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	
【入会金収入】				
入会金収入	3,000	3,000	0	
【会費収入】				
正会員会費収入	800,000	800,000	0	
学生会員会費収入	4,000	4,000	0	
賛助会員会費収入	2,150,000	2,150,000	0	
【事業収入】				
事業収入（研究会）	100,000	100,000	0	
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	1,000	1,000	0	
雑収入	30,000	25,000	5,000	
事業活動収入計	3,808,100	3,803,100	5,000	
〔事業活動支出〕				
【事業費支出】				
臨時雇用賃金支出	1,040,500	1,040,500	0	
広報活動費支出	129,600	129,600	0	
旅費交通費支出	100,000	147,000	△ 47,000	
通信運搬費支出	85,000	35,000	50,000	
消耗品費支出	20,000	20,000	0	
印刷製本費支出	500,000	450,000	50,000	
光熱水料費支出	25,000	0	25,000	
賃借料支出	497,400	450,000	47,400	
諸謝金支出	80,000	80,000	0	
雑支出	115,000	115,000	0	
会議費支出	300,000	300,000	0	
【管理費支出】				
臨時雇用賃金支出	409,000	409,000	0	
会議費支出	10,000	10,000	0	
旅費交通費支出	50,000	100,000	△ 50,000	
通信運搬費支出	70,000	20,000	50,000	
消耗品費支出	50,000	80,000	△ 30,000	
印刷製本費支出	10,000	10,000	0	
光熱水料費支出	25,000	0	25,000	
賃借料支出	497,400	450,000	47,400	
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	4,098,900	3,931,100	167,800	
事業活動収支差額	△ 290,800	△ 128,000	△ 162,800	
当期収支差額	△ 290,800	△ 128,000	△ 162,800	
前期繰越収支差額	2,414,667	3,351,859	△ 937,192	
次期繰越収支差額	2,123,867	3,223,859	△ 1,099,992	

一般社団法人　日本時計学会

平成２９年度（２０１７年度）　事業報告書

（自　平成２９年１月１日～至　平成２９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　　：平成 29 年 9 月 15 日（金）9:45～19:30
会　場　　：中央大学理工学部　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　　：10 件
・製品展示セッション：5 社
・特別講演　　：１件
テーマ：「装飾時計の制作技法（エングレーバーが引き出す時計の魅力)」
講師　：K CRAFTWORK JAPAN　金川 恵治氏
・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　　：68 名

[2]　研究会

① 春季研究会：

日時　：平成 29 年 4 月 21 日（金）13:00～14:40
会場　：中央大学理工学部　2 号館 2735 号室
テーマ　：「V-LOW マルチメディア放送の今後の可能性について」
講師　：東京マルチメディア放送株式会社 営業推進部長
星名 信太郎氏
参加者　：13 名

② 秋季研究会：

日時　：平成 29 年 11 月 24 日（金）14:00～15:40
会場　：中央大学理工学部　2 号館 2735 号室
テーマ　：「ヘッドマウントディスプレイの現状と今後の展望」
講師　：セイコーエプソン株式会社　HMD事業推進部　部長
津田 敦也　氏
参加者　：19 名

[3]　見学会：

日時　：平成 29 年 6 月 29 日（木）13:30～16:00
見学先　：専門学校 ヒコ・みづのジュエリーカレッジ （東京都渋谷区神南）
参加者　：25 名

２．時計及び時計応用技術に関する研究調査分科会

平成 29 年度は次の 1 件で，概要は以下の通りである.

[1]　名称：「時計エネルギー研究調査分科会」（主査：佐々木　健　東京大学教授・本学会理事）

平成 29 年度は，時計に要求される電源の新しい要求仕様の調査結果をまとめ，報告書の作成を進めた.

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. 61，No. 216：平成 29 年 6 月，280 部
Vol. 61，No. 217：平成 29 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：平成 29 年 9 月，150 部

４．研究の奨励及び研究業績の表彰

第 51 回青木賞選考は，平成 27 年度および平成 28 年度の日本時計学会誌「マイクロメカトロニクス」に掲載された論文 11 編に対して，選考委員 9 名による予備審査と表彰委員 5 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 51 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 51 回青木賞表彰論文：「低周波振動切削技術「LFV」の開発」
- 学会誌掲載：Vol.60，No.215 (2016 年 12 月)
- 執筆者: 北風 絢子，野口 賢次，村松 正博，加藤 聖子，三宮 一彦，中谷 尊一
- 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．

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．
国立情報学研究所（NII）の「日本時計学会誌」および「マイクロメカトロニクス」電子データの科学技術振興機構への移行が終了し, 2017 年 11 月 9 日に J-STAGE のホームページに公開された．

[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

平成２９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	平成29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	平成29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	平成29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	平成29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	平成29年2月24日	無し	青木賞委員 企画担当	セイコークロック（株）
理事	梅田　和昇	非常勤	平成29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	平成29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	平成29年2月24日	無し	編集担当	玉川大学
理事	佐々木　健	非常勤	平成29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	平成29年2月24日	無し	事業担当 企画担当	セイコーインスツル(株)
理事	中島 悦郎	非常勤	平成29年2月24日	無し	広報担当 企画担当	ブイテックインターナショナル(株)
理事	楢林　達雄	非常勤	平成29年2月24日	無し	編集担当	東海大学
理事	増田　純夫	非常勤	平成29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
理事	吉澤　弘	非常勤	平成28年2月26日	無し	企画委員長	
監事	山本　尚	非常勤	平成29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	平成27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 平成29年2月24日 （定時社員総会前）	・定時社員総会議案についての確認 - 平成28年度収支決算及び事業報告 - 平成29年度予算及び事業計画 - 理事および監事の選任 ・出版編集関係 ・新入会員の承認	提案内容承認 審議・承認 承認
第2回理事会 同　　2月24日 （定時社員総会後）	・定時社員総会議案についての確認 ・平成29年度の体制について ・平成29年度春季研究会について ・平成29年度理事会の日程について ・平成29年度の見学会について ・学会事務所移転の提案	確認 承認 承認 審議・承認 承認 審議・承認
第3回理事会 同　　4月21日	・出版編集関係 ・J-STAGEでの閲覧記事について ・編集委員会・企画委員会検討課題について ・マイクロメカトロニクス学術講演会について ・青木賞選考の進め方について ・春季研究会実施報告（速報） ・見学会について ・新入会員の承認	承認 審議・承認 審議・承認 審議・承認 承認 承認 承認 承認
第4回理事会 同　　6月29日	・出版編集関係 ・J-STAGEでの閲覧記事について ・マイクロメカトロニクス学術講演会について ・春季研究会実施報告 ・見学会実施報告（速報） ・青木賞選考の経緯と表彰論文の推薦について ・新入会員の承認 ・学会事務所移転の報告	承認 審議・承認 審議・承認 承認 承認 審議・承認 承認 確認
第5回理事会 同　　9月21日	・出版編集関係 ・平成29年度秋季研究会について ・マイクロメカトロニクス学術講演会実施報告 ・見学会実施報告 ・新入会員の承認	承認 承認 承認 承認 承認
第6回理事会 同　　11月24日	・出版編集関係 ・定時総会議案検討 ・学術講演会会計報告 ・秋季研究会実施報告（速報） ・新入会員の承認	承認 継続審議 承認 承認 承認
第7回理事会 同　　12月22日	・出版編集関係 ・定時総会議案検討 ・秋季研究会実施報告 ・平成30年度研究会・見学会幹事について ・新入会員の承認	承認 継続審議 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 平成 29 年 2 月 24 日	・平成 28 年度収支決算及び事業報告・監査報告 ・平成 29 年度予算および事業計画 ・理事および監事の選任	可決・承認 承認 可決・承認

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　：平成 29 年 5 月 23 日（平成 31 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	平成 29 年度末	平成 28 年度末	増減数
正会員	163（名）	165（名）	-2（名）
賛助会員	17（社）	18（社）	-1（社)
学生会員	4（名）	4（名）	±0（名）
計	184	187	-3

＊平成 29 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29年 1月 1日　至　平成29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	90	10	
【入会金収入】				
入会金収入	3,000	1,800	1,200	
【会費収入】				
正会員会費収入	800,000	812,500	△ 12,500	
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	86,000	14,000	
事業収入（講演会）	550,000	432,000	118,000	
広告収入	170,000	174,960	△ 4,960	
【雑収入】				
受取利息収入	1,000	1,781	△ 781	
雑収入	25,000	66,574	△ 41,574	
事業活動収入計	3,803,100	3,651,705	151,395	
〔事業活動支出〕				
【事業費支出】				
臨時雇用賃金支出	1,040,500	1,143,077	△ 102,577	
広報活動費支出	129,600	142,992	△ 13,392	
旅費交通費支出	147,000	68,012	78,988	
通信運搬費支出	35,000	43,749	△ 8,749	
消耗品費支出	20,000	30,000	△ 10,000	
印刷製本費支出	450,000	500,190	△ 50,190	
賃借料支出	450,000	516,823	△ 66,823	
諸謝金支出	80,000	55,685	24,315	
雑支出	115,000	363,312	△ 248,312	
会議費支出	300,000	290,988	9,012	
【管理費支出】				
臨時雇用賃金支出	409,000	449,429	△ 40,429	
会議費支出	10,000	5,423	4,577	
旅費交通費支出	100,000	28,732	71,268	
通信運搬費支出	20,000	27,771	△ 7,771	
消耗品費支出	80,000	154,610	△ 74,610	
印刷製本費支出	10,000	0	10,000	
賃借料支出	450,000	516,990	△ 66,990	
租税公課支出	80,000	80,000	0	
雑支出	5,000	31,114	△ 26,114	
事業活動支出計	3,931,100	4,448,897	△ 517,797	
事業活動収支差額	△ 128,000	△ 797,192	669,192	
〔投資活動収支の部〕				
〔投資活動支出〕				
【敷金・保証金支出】				
敷金支出	0	140,000	△ 140,000	
投資活動支出計	0	140,000	△ 140,000	
投資活動収支差額	0	△ 140,000	140,000	
当期収支差額	△ 128,000	△ 937,192	809,192	
前期繰越収支差額	3,351,859	3,351,859	0	
次期繰越収支差額	3,223,859	2,414,667	809,192	

正味財産増減計算書

一般社団法人日本時計学会

自　平成29年 1月 1日　至　平成29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	90	90	0
【受取入会金】			
受取入会金	1,800	3,600	△ 1,800
【受取会費】			
正会員受取会費	812,500	777,500	35,000
学生会員受取会費	1,000	1,000	0
賛助会員受取会費	2,075,000	2,100,000	△ 25,000
【事業収益】			
事業収益（研究会）	86,000	92,000	△ 6,000
事業収益（講演会）	432,000	581,000	△ 149,000
事業収益（広告収入）	174,960	174,960	0
【雑収益】			
受取利息	1,781	1,286	495
雑収益	66,574	50,887	15,687
経常収益計	3,651,705	3,782,323	△ 130,618
〔経常費用〕			
【事業費】			
臨時雇用賃金	1,143,077	1,080,291	62,786
広報活動費	142,992	129,600	13,392
旅費交通費	68,012	377,294	△ 309,282
通信運搬費	43,749	34,224	9,525
消耗品費	30,000	3,562	26,438
印刷製本費	500,190	523,532	△ 23,342
賃借料	516,823	300,000	216,823
諸謝金	55,685	55,685	0
雑費	363,312	30,456	332,856
会議費	290,988	347,034	△ 56,046
【管理費】			
臨時雇用賃金	449,429	427,663	21,766
会議費	5,423	0	5,423
旅費交通費	28,732	42,947	△ 14,215
通信運搬費	27,771	18,718	9,053
消耗品費	154,610	58,388	96,222
賃借料	516,990	300,000	216,990
租税公課	80,000	80,000	0
雑費	31,114	11,658	19,456
委託費	0	32,400	△ 32,400
経常費用計	4,448,897	3,853,452	595,445
評価損益等調整前当期経常増減額	△ 797,192	△ 71,129	△ 726,063
当期経常増減額	△ 797,192	△ 71,129	△ 726,063
税引前当期一般正味財産増減額	△ 797,192	△ 71,129	△ 726,063
当期一般正味財産増減額	△ 797,192	△ 71,129	△ 726,063
一般正味財産期首残高	9,151,859	9,222,988	△ 71,129
一般正味財産期末残高	8,354,667	9,151,859	△ 797,192
正味財産期末残高	8,354,667	9,151,859	△ 797,192

貸借対照表

一般社団法人日本時計学会

平成29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	2,784,667	3,709,367	△ 924,700
流動資産合計	2,784,667	3,709,367	△ 924,700
【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	0	140,000
定期預金	5,300,000	5,300,000	0
その他固定資産合計	5,440,000	5,300,000	140,000
固定資産合計	5,940,000	5,800,000	140,000
資産合計	8,724,667	9,509,367	△ 784,700
〔負債の部〕			
【流動負債】			
前受会費	370,000	345,000	25,000
預り金	0	12,508	△ 12,508
流動負債合計	370,000	357,508	12,492
負債合計	370,000	357,508	12,492
〔正味財産の部〕			
【一般正味財産】			
その他一般正味財産	8,354,667	9,151,859	△ 797,192
一般正味財産合計	8,354,667	9,151,859	△ 797,192
（うち基本財産への充当額）	(500,000)	(500,000)	(0)
正味財産合計	8,354,667	9,151,859	△ 797,192
負債及び正味財産合計	8,724,667	9,509,367	△ 784,700

財産目録

一般社団法人日本時計学会

平成29年12月31日現在　（単位：円）

貸借対照表科目		場所・物量等	使用目的等	金額
【流動資産】				
	現金			194,046
	現金			194,046
	預金			2,590,621
	普通預金（りそな銀行）			1,550,382
	郵便振替貯金			1,040,239
流動資産合計				2,784,667
【固定資産】				
（基本財産）				
	基本財産			500,000
	定期預金（りそな銀行）			500,000
基本財産合計				500,000
（その他固定資産）				
	敷金			140,000
	その他固定資産			5,300,000
	定期預金（りそな銀行）			5,300,000
その他固定資産合計				5,440,000
固定資産合計				5,940,000
資産合計				8,724,667
【流動負債】				
	前受会費		2018年度会費	370,000
流動負債合計				370,000
負債合計				370,000
正味財産				8,354,667

一般社団法人 日本時計学会 平成 29 年（2017 年）11 月度 理事会議事録

― 2017 年度 第 6 回理事会 ―

（記録：小池　邦夫　2017 年 11 月 24 日）

１．開催日時：平成 29 年（2017 年） 11 月 24 日（金）16:00-17:20

２．場所：中央大学理工学部　後楽園キャンパス　新 2 号館 2735 号室

３．出席者：

＜理事＞　大隅，今村，大谷，木村，佐々木，滝澤，中島，増田，小池　（以上 9 名）

＜監事＞　（以上 0 名）　　理事総数 14 名の過半数につき理事会成立

＜運営委員＞　寺嶋，土肥，常葉，藤田，古川，横山（以上 6 名）

４．審議事項

（１）平成 29 年（2017 年）9 月度　第 5 回理事会議事録の確認

（２）出版編集関係（寺嶋編集委員長より説明）

・マイクロメカトロニクス 2017 年 12 月号（Vol.61，No.217）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事項（小池業務執行理事より報告）

・定時社員総会　平成 30 年（2018 年）2 月 23 日（金）17:00－18:00　中央大学後楽園キャンパス

・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実施報告（土肥運営委員（事業委員）より報告）

（５）秋季研究会報告（速報）（古川運営委員（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

・2017 年 12 月 22 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

・学会誌データの J-STAGE への移行について：J-STAGE ホームページの学会誌記事閲覧リンク紹介

５．報告事項

（１）会員数状況（2017 年 11 月 24 日承認後）

・正会員　163 名（±0），　学生会員 4 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）

以上

一般社団法人 日本時計学会 平成 29 年（2017 年）12 月度 理事会議事録

― 2017 年度 第 7 回理事会 ―

（記録：小池　邦夫　2017 年 12 月 22 日）

１．開催日時：平成 29 年（2017 年） 12 月 22 日（金）16:00-17:40

２．場所：中央大学理工学部　後楽園キャンパス　新 2 号館 2735 号室

３．出席者：

＜理事＞　大隅，木原，今村，大谷，木村，佐々木，滝澤，楢林，増田，吉澤，小池　（以上 11 名）

＜監事＞　吉村（以上 1 名）　　理事総数 14 名の過半数につき理事会成立

＜運営委員＞　小水内，鈴木，寺嶋，常葉，古川，横山（以上 6 名）

４．審議事項

（１）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：鈴木　紀寿　氏（シチズン時計株式会社）

（２）平成 29 年（2017 年）11 月度　第 6 回理事会議事録の確認

（３）出版編集関係（寺嶋編集委員長、増田理事（編集委員）より説明）

・マイクロメカトロニクス 2018 年 6 月号（Vol.62，No.218）の入稿および校閲状況等について.

・6 月号の特集記事について.

（４）秋季研究会報告（古川運営委員（秋季研究会幹事）より報告）

（５）平成 29 年度事業報告（案），平成 30 年度事業計画（案）の確認（小池業務執行理事より説明）

（６）平成 29 年度決算見込み，平成 30 年度予算（案）の確認（木原業務執行理事より説明）

（７）平成 30 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）

平成 30 年度　研究会および見学会の幹事	
春季研究会（4 月頃）	カシオ計算機（株）
秋季研究会（11 月頃）	セイコーインスツル（株）
見学会（6 月頃）	セイコーエプソン（株）

（８）新入会員の承認

（９）次回理事会

・平成 30 年度第 1 回理事会開催日：2018 年 2 月 23 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

５．報告事項

（１）会員数状況（2017 年 12 月 22 日承認後）

・正会員　163 名（±0），　学生会員 4 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）

以上

一般社団法人 日本時計学会 平成 30 年（2018 年）2 月度 理事会議事録

― 2018 年度 第 1 回理事会 ―

（記録：小池　邦夫　2018 年 2 月 23 日）

１．開催日時：平成 30 年（2018 年） 2 月 23 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 2 階 2221 号室

３．出席者：

＜理事＞　大隅，木原，今村，大谷，木村，佐々木，滝澤，中島，増田，吉澤，小池（以上 11 名）

＜監事＞　佐藤，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，重城，鈴木，寺嶋，土肥，常葉，藤田，古川，横山（以上 9 名）

４．審議事項

（１）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：大村　竜義　氏（カシオ計算機株式会社）

（２）平成 29 年（2017 年）12 月度理事会議事録確認

（３）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 29 年度収支決算及び事業報告

２号議案　平成 30 年度予算及び事業計画

３号議案　理事の選任

（４）出版編集関係（寺嶋運営委員長より説明）

・マイクロメカトロニクス 2018 年 6 月号（Vol.62，No.218）の入稿および校閲状況等について.

・6 月号の特集記事について.

（４）新入会員の承認

（５）次回理事会

・2018 年 2 月 23 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（2018 年 2 月 24 日承認後）

・正会員　158 名（-5），　学生会員 3 名（-1），　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）

以上

一般社団法人 日本時計学会　平成 30 年（2018 年）度 定時社員総会議事録

（記録：小池　邦夫　2018 年 2 月 23 日）

１．開催日時：平成 30 年（2018 年）2 月 23 日（金）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 2 階 2221 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 158 名，総社員の議決権の数 158 個，出席社員数 97 名（委任状 75 名を含む），この議決権の総数 97 個,

＜出席理事＞　大隅（議長），木原，今村，大谷，木村，佐々木，滝澤，中島，楢林，増田，吉澤，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 29 年度収支決算及び事業報告

1)「平成 29 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 29 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：平成 30 年度予算及び事業計画

1)「平成 30 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)「平成 30 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：理事の選任

1） 理事 1 名について，定時社員総会の終結と同時に任期満了し，退任することになるため改選の必要があり，議長より下記新任理事 1 名が提案された．一同異議なく，承認された．

新任理事：常葉　輝久　氏（カシオ計算機株式会社）

2017 年度で退任する理事

退任理事（任期満了）：吉澤　弘　氏

以上

一般社団法人 日本時計学会 平成 30 年（2018 年）2 月度 理事会議事録

― 2018 年度 第 2 回理事会 ―

（記録：小池　邦夫　2018 年 2 月 23 日）

1．開催日時：平成 30 年（2018 年） 2 月 23 日（金）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 2 階 2221 号室

3．出席者：

＜理事＞　大隅，木原，今村，大谷，木村，佐々木，滝澤，中島，楢林，増田，常葉，小池（以上 12 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＞　大村，重城，鈴木，寺嶋，土肥，藤田，古川，横山（以上 8 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）2018 年度の体制について（小池業務執行理事より説明）

a）2018 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．（2017 年度からの変更なし）

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

b） 2018 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　重城委員

・ 編集委員会：委員長　寺嶋委員

・ 事業委員会：委員長　梅田理事

・ 青木賞委員会：委員長　大谷理事

・ 企画委員会：委員長　木村理事

（3）春季研究会計画（常葉理事（春季研究会幹事）より説明）

（4）平成 30 年度見学会の提案（古川運営委員（見学会幹事）より説明）

（5）2018 年度理事会の日程について

（6）ベストプレゼンテーション賞の実施について（吉澤元理事より説明）

・ベストプレゼンテーション賞を 2018 年度のマイクロメカトロニクス学術講演会から実施することとなった.

（7）2018 年度分科会企画提案について（木村企画委員長より説明）

・「機械式時計の組立・修理を行う AI ロボット」の研究調査分科会の提案があり、企画案を進めることとなった.

（8）秋季研究会計画（重城運営委員（秋季研究会幹事）より説明）

（9）学会誌特集号の宣伝について（重城広報委員長より説明）

（１０）次回理事会

・2018 年 4 月 26 日（木）16:00～17:00　　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

編集後記

今年は世界初の民生用クオーツ式掛時計が発売されてから、ちょうど 50 年目にあたる節目の年となります。クオーツ式と言っても当時の水晶振動子は現在普及している音叉型とは形状も構造も大きく異なり、水晶は渦巻状に形成され、真空管に収められていました。このスパイラル水晶振動子に関する論文は学会誌 42 巻（1967 年）に収録されており、本学会のホームページを介して閲覧することが出来ます。

50 年経った現在も時計の心臓部である調速装置には水晶振動子が用いられていますが、その大きさやコストは大きく変りました。更に水晶振動子の誤差を補正するしくみとして、長波標準電波や衛星電波の時刻情報受信機能、更には近距離無線通信を用いた時刻同期機能など時刻修正方式も大きく進化しています。

この先の 50 年で時計がどの様に進化し、その存在意義がどの様に変わっていくのかを予想するのは困難ですが、未来を想像するのは楽しく夢のある事と思います。

日本時計学会では学会を更に魅力あるものにするため、今後も様々な企画やイベントを検討して参ります。加えて皆様からの論文の投稿、学術講演会での発表および参加、研究会・見学会へのお申込みを心よりお待ちしております。

（今村 美由紀　記）