

研 究

新型時計用潤滑油 “AO-オイル” の開発

赤尾祐司

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

(2018 年 9 月 15 日受付, 2018 年 11 月 5 日再受付, 2018 年 11 月 12 日採録)

Development of New Watch Lubricant “AO-oil”

Yuji AKAO

R&D Center, Development Department, CITIZEN Watch Co., Ltd.

6-1-12, Tanashi-cho, Nishi-Tokyo-shi, Tokyo 188-8511, Japan

(Received September 15, 2018, Revised November 5, 2018, Accepted November 12, 2018)

ABSTRACT

It has been 17 years that we developed the watch lubricant “AO-oil” which resolves the problems of existing watch lubricant, i.e. “gelation”, “metal corrosion”, and “temperature dependence of watch lubricant's viscosity”, caused by time decay. AO-oil has been developed especially with focusing on base oil and viscosity modifier, which extends the life of timepieces and enhances reliability. Furthermore, by enforcing higher lubrication and stability I found that the lifetime can be extended much longer. As to this development, an optimal additive has to be selected by focusing on antiwear/extreme-pressure agent and antioxidation agent. Hence, now I report on this new watch lubricant “AO-oil”.

1. はじめに

現在使用中の時計用潤滑油 AO-オイルを開発してから, 約 17 年が経過する¹⁾.

開発以前に使用していた潤滑油は, 時計に給油後, 経時的に変化して, 時計の停止現象を発生することがあった. 時計が止まる主な原因は, 油のゲル化, 金属部品への腐食や, プラスチック部品との相互作用に起因するものであった. 特にゲル化と金属腐食の問題は, 古くからの慢性課題であった²⁾.

更にこの潤滑油は, 粘度の温度依存性が大きいことから, 低温時の急激な粘度上昇の影響を受けて, 低温時の動作性能が劣る問題点を有していた. 一方, 高温時には粘度低下による油流れが発生する為, 高粘度の潤滑油も併用していた. こうして異なった粘度の 3 油種を注し分けて時計を動作させていた³⁾. この様に潤滑油が時計動作に及ぼす影響は大きい⁴⁾.

これらの経時的変化と粘度の温度依存性の問題点を解決して, 油種の削減と時計動作の信頼性を向

上させ、長寿命化と環境負荷を低減したのが現在の AO-オイルである⁵⁻⁶⁾。

現在の時計用潤滑油 AO-オイルの開発に於いては、最適な基油の構造に着目した。これに適正な添加剤を選び、ゲル化を防止することを第一目標とし、大きな課題であった時計用潤滑油に起因する時計の止まりを解決した⁷⁾。潤滑油の進化により時計性能が向上し⁸⁾、多くの時計に使用されるに至った⁹⁾。そこで、時計の更なる信頼性を向上する為に、本開発では潤滑性能に着目し時計用潤滑油の耐圧範囲の拡大と、摺動持続時間の延長の改善を進めた。

2. 開発指針

時計用潤滑油 AO-オイルの主な特徴は、1.油がゲル化しない、2.金属部品への腐食がない、3.プラスチック部品との相溶性がない、4.時計の低温動作性に優れる、ことが挙げられる。新油の開発を行なうには、現在の AO-オイルの特徴を継承する必要がある。開発以前に課題となっていた信頼性の問題を再発するからである。また、新型に切り替えた場合に、給油時の油の挙動や部品上での油の広がり方等の作業性と、仕様温度内での輪列部の摺動性を合わせる必要もある。この為、物理化学特性も継承するよう設計することが重要となる。継承する具体的な物性としては、温度特性も含めた粘度、表面張力、全酸価などが挙げられる。

一方で、改善したい性能として潤滑性がある。潤滑性にかかわる特性としては、1.耐磨耗・耐圧性の向上、2.長期に亘る摺動持続性がある。これらの潤滑性に関わる機能を高めることで摺動安定性が向上し、結果として時計が長寿命化することが期待できる。また、潤滑性を改善することは、磨耗粉の発生抑制や時計設計の自由度を拡大化させるばかりでなく、幅広い部位に同じ油種を使用できることになり、結果として油種の統合にも貢献できるからである。

本開発では、従来油から新油へ切り換えるだけで、より安定した潤滑性を発現し、より高度な信頼性の時計を具現化する為のアップーコンパチブルな時計用潤滑油とすることを目標とした。

3. 新型 AO-オイルの開発

3. 1 潤滑油の構成

Table 1 Relationship between oil-capability and oil-composition.

Capability	Base-oil	Additives				
		Antiwear agent	Extreme-pressure agent	Viscosity modifier	Antioxidizing agent	Others
Antigelling	directly affect	affect	affect		affect	affect
Polymer-interaction	directly affect	affect	affect			affect
Metal-corrosion		affect	affect			affect
Low temperature operation	directly affect			directly affect		
Consolidate oils	directly affect	indirect affect	indirect affect	directly affect	indirect affect	
Basic lubricating performance	affect	directly affect	directly affect	affect	directly affect	affect

潤滑油の構成要素は大きく分けて基油と添加剤とからなる。基油は、潤滑油のほとんどを占める。よって基油は、潤滑油の粘度や、摺動部品との相性などの基本的特性を決定付ける¹⁰⁻¹¹⁾。添加剤は、基油単独で不足する機能を補う為に加える成分である¹²⁾。具体的には、耐磨耗剤（磨耗を少なくする役割）、耐圧剤（部品同士の接触を防止する役割）、粘度調整剤（目的の粘度に調整する役割）、酸化防止剤（酸化による分子破壊を防止する役割）や、その他必要に応じて添加するものもある。それぞれの組成物は相互作用して時計を摺動する。機能と構成要素との関係を Table 1 にまとめる。

3. 2 基油と粘度調整剤

時計にとって、潤滑油と部品素材との相性や、潤滑油の粘度の影響は寿命や低温動作性に大きく影響する。例えば常温で同じ粘度の潤滑油であっても、低温や高温時に異なった粘度になると、摺動抵抗に差が生じて動作性が異なる。この為、潤滑油の粘度は、温度特性も含めて合わせる必要がある。

粘度の温度依存性は、基油の種類によって異なり、更に粘度調整剤の種類によっても変化する¹³⁻¹⁵⁾。Fig. 1 に粘度調整剤の機能説明図を示す。一般に粘度調整剤は高分子化合物で、基油を溶媒として溶けている。粘度調整剤の基油への溶解度は、温度によって変化する。高温での溶解度は高く、低温では低くなる。この時、基油に溶解している粘度調整剤は、高温では分子鎖が基油中に大きく広がり、常温と比較して粘度上昇に大きく寄与する。逆に低温では、溶解度が低下するので分子は広がらず小さくなり、粘度上昇への影響は小さくなる。この様に、基油と粘度調整剤の溶解性を活用すれば幅広い温度範囲での粘度調整を行なうことができる¹⁶⁾。

Fig. 2 にさまざまな潤滑油の粘度の温度依存性を示す。縦軸は動粘度、横軸は温度である。粘度は JIS K2283 で測定した。エステル系、PAO(炭化水素)系(AO-2)、PAG(ポリアルキレングリコール)系(メービス A-Lube)の潤滑油を例示する。各油種で傾きが異なることから、基油の種類によって粘度の温度依存性が異なることが解る。

今回は、潤滑性を改善することに注目している。潤滑性を

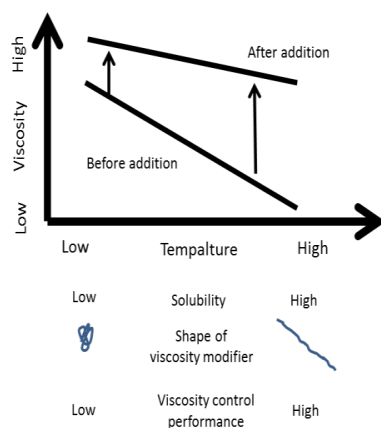


Fig. 1 Function illustration of the viscosity modifier.

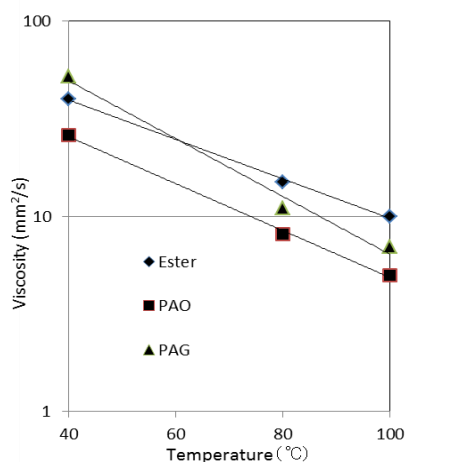


Fig. 2 The temperature dependency of the viscosity of various oils.

考慮すれば分子中に極性を有するエステル系基油を採用することが有利であるが¹⁷⁾、粘度の温度依存性をあわせるという観点からは従来と同種の基油と粘度調整剤を選定することが好ましい。

また、部品との相性を決定付けるのは基油であることから、多様な部品に対してこれまでと変わらない摺動を実現するには同じ種類の基油を選定する必要がある。

本開発の新型潤滑油では、現在の時計用潤滑油 AO-オイルと同系統の材料を引き継ぎ、基油に PAO(炭化水素)を用い、粘度調整剤にも炭化水素系の材料を採用することとした。

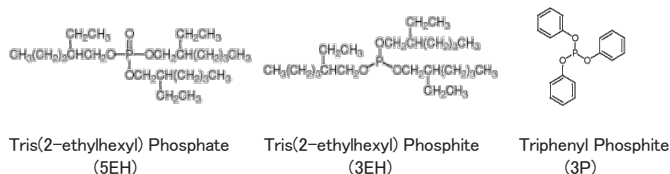
3. 3 潤滑性の向上

潤滑性は部品表面に潤滑剤の被膜を形成し、部品同士を直接接触させないようにすることで発現させる¹⁸⁾。よって、形成された被膜が強く安定なほど大きな圧力が加わっても剥離することなく潤滑することができる¹⁹⁻²⁰⁾。

部品と相互作用して強く吸着する材料としては、例えば硫黄系の材料などが挙げられる²¹⁻²³⁾。このような化合物は金属表面に吸着した後、部品が摺動する時の摩擦で反応し金属表面を覆うことが知られている²⁴⁾。金属同士が接触し摩耗する様な面圧の高い摺動面では微視的な観察も行なわれている²⁵⁻²⁶⁾。時計用潤滑剤においても潤滑被膜を形成する必要がある。潤滑被膜の最適化においては、微視的な観察と、潤滑性能との両面から設計することとした。

時計の摺動を基準に考えた場合、部品同士が摩耗することなく滑るように摺動させる。この為、表面との親和性が緩やかで、しかも摺動面を腐食や変色を発生することなく相互作用している状態が好ましい。部品の腐食や変色は時計にとって、寿命や外観に変化が起こるので好ましくない。この為、硫黄系添加剤は時計に適さない。

金属表面に吸着する化合物としては、オレイン酸、ステアリン酸などの高級脂肪酸や、エステルなどが挙げられる。しかし、単に吸着するだけでは、耐摩耗性の発現は不十分である。よって、適度な強度の被膜を形成することが必要である。そこで時計用潤滑油では、中性で金属腐食性が低く、適度に金属表面と反応して潤滑被膜を形成する中性亜リン酸エステルないし中性リン酸エステルが適していると考えられる。



3. 3. 1 潤滑被膜の形成

中性リン酸エステル、中性亜リン酸エステルが金属表面に形成する被膜を観察した。中性リン酸エステルとして 2-エ

チルヘキシルフォスフェート(アルキル基)(5EH)、中性亜リン酸エステルとして 2-エチルヘキシルフォスファイト(アルキル基)(3EH)、トリフェニルフォスファイト(芳香族)(3P)をモデル物質とした。モデル物

Fig. 3 Structure of the neutral phosphate and neutral phosphite.

質の分子構造を Fig. 3 に示す。潤滑中に形成される被膜の状態を観察するため、モデル物質を 3.0wt% 含む炭化水素系潤滑油を作製し、鉄系部品と作用させた。潤滑被膜を飛行時間型二次イオン質量分析装置(Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry; TOF-SIMS)(装置：アルバック・ファイ製 TRIFTⅢ /1 次イオン Au+/測定領域 200 μm/測定時間 2 分)²⁷⁾で観察した。

Fig. 4 に 5EH, Fig. 5 に 3EH, Fig. 6 に 3P で処理した金属部品から得られた TOF-SIMS スペクトルを示す。上段は負イオンマススペクトル(m/z300 から 600), 下段は負イオンマススペクトル(m/z100 から 300)である。5EH では、m/z321, m/z209 に 5EH 由来のアルキル基が 1 つないし 2 つ離脱したピークを検出した。3EH では、m/z305, m/z193 に 3EH の構造由来のアルキル基が 1 つないし 2 つ離脱したピークを検出した。3P では、m/z249 に 3P の構造由来で、フェニル基が 1 つ離脱したピークを検出した。検出した構造をスペクトル中に表示した。

以上の結果から、燐酸エステル、亜燐酸エステルは金属表面に吸着し、適度に反応して金属と結合して求める被膜を形成することが解った。

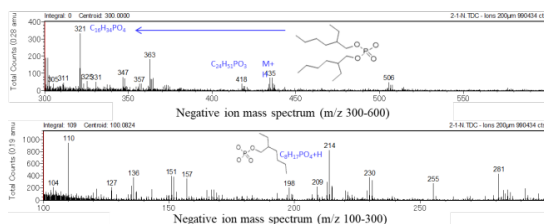


Fig. 4 TOF-SIMS spectrum of Tris(2-ethylhexyl) phosphate treated metal part.

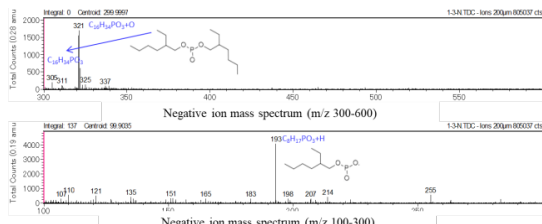


Fig. 5 TOF-SIMS spectrum of Tris(2-ethylhexyl) phosphite treated metal part.

3. 3. 2 分子構造と被膜強度

モデル物質の 3EH, 3P, 5EH を用いて潤滑剤を作製し、摩擦磨耗試験(シエル 4 球 WEAR 試験: ASTM D4172)(試験条件: 初期温度を 40℃ とし、鋼球回転速度 300 rpm, 荷重 30 kgf, 時間 60 分), および耐圧試験(シエル 4 球 EP 試験: ASTM D2783)により油膜が切れる荷重と、磨耗が始まる荷重を計測し、摩擦磨耗性と耐圧性の測定を行なった²⁸⁾。

摩擦磨耗試験の結果(磨耗根径)は、5EH が 0.39 mm, 3EH が 0.30 mm, 3P が 0.34 mm であった。耐圧試験の結果は、油膜が切れる荷重と磨耗が始まる

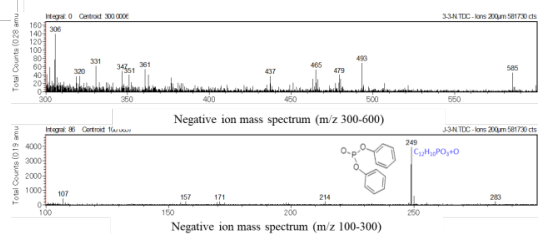


Fig. 6 TOF-SIMS spectrum of Triphenyl phosphite treated metal part.

Table 2 Comparison of the lubrication characteristic of each antiwear/extreme-pressure agent.

antiwear/extreme-pressure agent	5EH	3EH	3P
Wear test	0.39 mm	0.30 mm	0.34 mm
Pressure resistance			
film break pressure	50 kgf	63 kgf	80 kgf
wear start pressure	40 kgf	50 kgf	63 kgf

荷重の順に、5EH が 50 kgf, 40 kgf, 3EH が 63 kgf, 50 kgf, 3P が 80 kgf, 63 kgf であった。各耐摩耗・耐圧添加剤の潤滑特性の比較を Table 2 にまとめる。

3EH と 5EH の結果を比較すると、3EH の方が耐摩耗性と耐圧性ともに優れていることが分かる。これは、磷酸エステルと比較して亜磷酸エステルは磷原子に 2 重結合している酸素原子を含まない分子構造であるので金属表面との相互作用がし易く、強い被膜を形成したためと考えられる。

次に、3P と 3EH の結果に着目する。耐圧性は 3P(フェニル基)の方が高く、耐摩耗性は 3EH(アルキル基)が高い。これは、平面的で硬い構造をしているフェニル基が、金属面を広く覆うことができるのに対し、鎖状構造をしているアルキル基は被覆できる面積が狭くなったためフェニル基の耐圧性が高くなったと考えられる。しかし、摺動によりフェニル基が金属表面から剥離すると、硬い構造故に再び被膜形成しづらく摩耗を引き起こす。一方、C-C 結合が自由に回転できる柔軟なアルキル基の場合は、表面から完全に剥離しにくく継続して被膜を有し、結果として摩耗を抑制したと考えられる。

以上の結果から、理想的な耐摩耗耐圧添加剤の構造としては、亜磷酸エステル構造であって、フェニル基と長鎖アルキル基とを組み合わせ、広い面積で金属表面を覆うことができ、表面から剥離しにくい耐摩耗性を有する両面の構造を有する化合物が最も好ましいと考えられる。

3. 3. 3 亜磷酸エステルの構造検討

油膜を形成する亜磷酸エステルの最適構造を検討した。検討した中性亜磷酸エステルの構造を Fig. 7 に示す。現在の時計用潤滑油 AO-オイルでは、3 つのアルキル基を有する中性亜磷酸エステルを使用している。

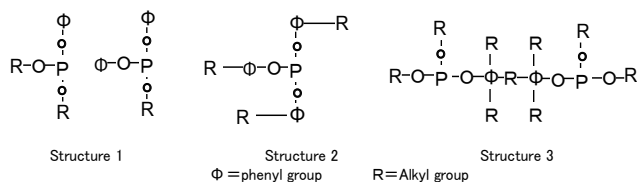


Fig. 7 Molecular structure of the neutral phosphite.

構造 1 は、フェニル基とアルキル基とを組み合わせた構造である。この場合、耐圧は向上するが、長期潤滑安定性は、3 つのアルキル基を有する中性亜磷酸エステルよりも劣ると考えられる。このため潤滑性の改善は見込めない。

構造 2 は、3 つのフェニル基にそれぞれアルキル基を導入した中性亜磷酸エステルである。フェニル基が金属表面から脱離しても、長鎖アルキル基がフェニル基に結合されているために、油膜が切れず長期潤滑性も望める構造と考えられる。しかし、このような構造とした場合、分子量が大きくなることから、潤滑油の粘度を上昇させたり、潤滑油への溶解度が下がることから、低温時に析出するなどの問題が発生すると考えられる。このため粘度と低温動作性が犠牲になり、良好な潤滑性の改善は見込めない。

構造 3 は、2 つのアルキル基と、アルキル基を導入したフェニル基とを有する中性亜磷酸エステルを、

アルキレン基を介して 2 つ結合させた構造である。作用点が 1 分子中に 2 つ有している為、高機能化が期待できる。官能基 1 つ当たりの分子量は、従来の化合物とほぼ同じであるので、基油に対する溶解度も維持することができる。このため粘度への影響もないと考えられる。また、潤滑中にフェニル基が金属表面から脱離してもフェニル基にアルキル基が導入されているので剥離しづらく、潤滑性の維持効果も期待できる。以上のことから本潤滑油では、3 の構造を有する中性亜リン酸エステルを採用することとした。

3. 3. 4 亜リン酸エステルの評価

現在 AO-オイルで使用しているトリアルキルフォスファイトと、Fig. 7 の構造 3 に示した 2 官能フォスファイトを用いて潤滑油を作製し、振動摩擦磨耗試験(Schwingungs Reihugund Verschleiss Test : SRV 試験)(装置:パーカー熱処理工業 SRV3)を行なった。ディスクは鉄系の SUJ2, ボールは Al₂O₃ を用い、試験温度 40℃で、荷重 300 N, 振幅 2.0 mm, 5 Hz で 15 分間、摩擦係数を測定した。

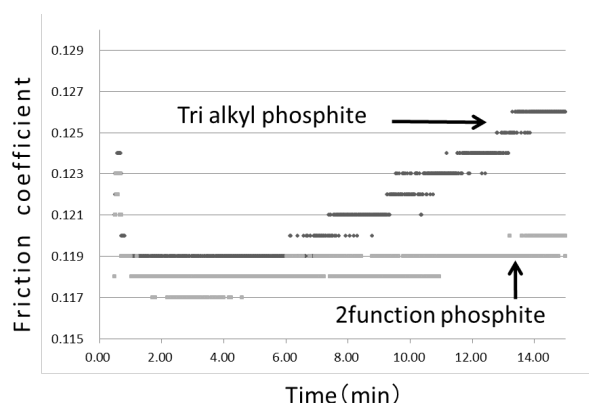


Fig. 8 Relationship between friction coefficient and time, comparison of tri alkyl and 2function phosphite.

Fig. 8 に SRV 試験の結果を示す。縦軸は摩擦係数、横軸は時間(分)である。不安定な摺動初期後、トリアルキルフォスファイトは 0.119 で安定するが、7 分経過すると摩擦係数は徐々に上昇する。これに対し、2 官能フォスファイトは 0.117 から 0.118 で安定後、若干の上昇が確認されるまでに 15 分を要した。

以上の結果から Fig. 7 の構造 3 に示した 2 官能フォスファイトを添加することで、現在の AO-オイルの潤滑性を高められることが解った。

3. 4 酸化防止剤

3. 4. 1 酸化防止剤の構造検討

一般に酸化が考えられる化学製品には酸化防止剤を添加し、これを防止する。このような機能を持つ添加剤としてはフェノール系やアミン系化合物が知られている²⁹⁻³¹⁾。酸化反応は高温で進み易く、反応機構についても解析が進められてきた³²⁻³³⁾。潤滑油は、潤滑中の摩擦による圧力等の物理的要因や、摺動部の部分加熱などの要因より成分の一部が化学的に分解し、他の物質に変化することが考えられる。この変化が起こると、潤滑性能が低下すると推察できる。新型潤滑油 AO-オイルの開発では摺動性に着目している。潤滑油の機能を長期に亘

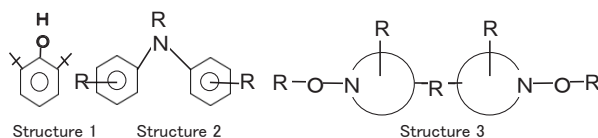


Fig. 9 Molecular structure of the antioxidizing agents.

り持続させる為には、構成成分の化学的変化を抑制する最適な酸化防止剤を添加する必要がある。

Fig. 9 に酸化防止剤の分子構造を示す。これまで潤滑油では、1 分子中に 1 つの機能部位を有する構造 1 や構造 2 に示した酸化防止剤を使用している。酸化防止能を向上させるためには、酸化防止剤の濃度を高める方法が考えられる。しかし、直接潤滑性能に関わらず間接的に機能する酸化防止剤の添加量の大幅な増加は、本来の潤滑機能を低下させる可能性があるため好ましい対策ではない。

少ない添加量で機能を効果的に高める方法として 1 つの分子中に 2 つの機能部位を有する化合物を採用することとした。1 分子中に 2 つの機能部位を存在させることにより機能に関与する部分構造が高濃度化され少量でも機能向上が期待できる。

炭化水素の酸化分解メカニズムを Fig. 10 に示す。本開発の潤滑油は、基油に炭化水素を使用している。炭化水素が分解するきっかけは、結合力の弱い C-H 結合が切れ、ラジカルが生成する(式 1)。これに酸素が作用するとペルオキシラジカルとなり(式 2)，連鎖反応が進み分解が進む(式 3 から式 6)。ペルオキシラジカルは、基油だけでなく、潤滑に重要な中性亜磷酸エステルなどの添加剤にも作用すると考えられ、この連鎖反応を効果的に停止させることが重要である³⁶⁻³⁷⁾。

以上のことから、酸化防止剤として、1 分子に 2 つの機能部位を有する、連鎖反応に効果的に作用する Fig. 9 の構造式 3 に示した化合物を採用することとした。

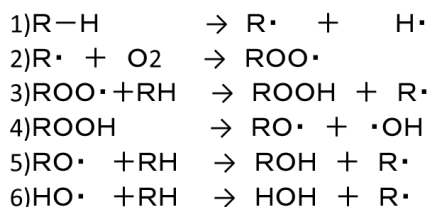


Fig. 10 Relation scheme of oxidation decomposition.

3. 4. 2 酸化防止剤の評価

一般に酸化防止剤の機能評価は触媒を入れた油剤を加熱酸化雰囲気で加速評価する。しかし本研究では潤滑安定性に主眼をおいて添加した。この為一般的な熱安定性試験では評価できない。潤滑油組成物の分子構造を維持する能力が高いと、潤滑中に分子の破壊が起こらず、組成物が継続して機能を果たすため、潤滑性能が向上すると考えられる。潤滑中の微視的な分子破壊を防止するのが本開発の酸化防止剤の役割であることから、潤滑性を測定することで機能評価を行った。

Fig. 9 に示した構造 2 と構造 3 の酸化防止剤を用いて潤滑油を作製し、亜磷酸エステルの評価と同条件で SRV 試験を行なった。Fig. 11 に SRV 試験の結果を示す。縦軸は摩擦係数、

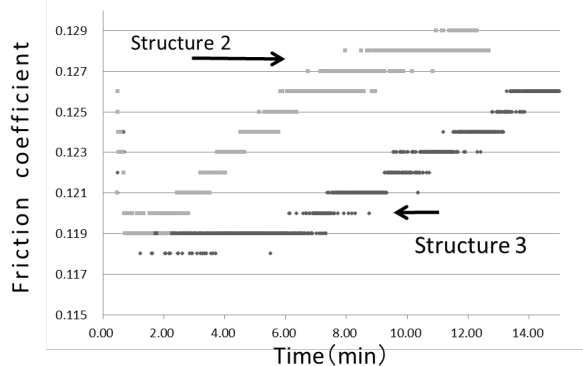


Fig. 11 Relationship between friction coefficient and time, comparison of antioxidizing agent structure 2 and 3.

横軸は時間(分)である。

不安定な摺動初期後 0.119 で安定する。その後、2 分経過すると構造 2 は摩擦係数が徐々に上昇するのに対し、構造 3 の摩擦係数の上昇が確認されるのは 7 分経過後からである。このことから構造 3 は、構造 2 に比較して分子の破壊を防止することで潤滑性を維持する能力に優れることが解った。

この潤滑油を用いて(亜)リン酸エステルの被膜強度の評価と同条件で摩擦磨耗試験と耐圧試験を行なった。結果を Table 3 に示す。構造 2 の場合は、摩擦磨耗量と、油膜が切れる荷重と磨耗が始まる荷重が 0.36 mm, 43 kgf, 32 kgf であったのに対し、構造 3 の場合は 0.30 mm, 63 kgf, 50 kgf と向上した。

以上のことから、構造 3 を添加すること、分子を守る機能が向上し、結果として潤滑機能を間接的に向上させることができることが解った。

Table 3 Comparison of the lubrication characteristic of each Antioxidizing agent.

antiwear/extreme-pressure agent	Structure 2	Structure 3
Wear test	0.36 mm	0.30 mm
Pressure resistance		
film break pressure	43 kgf	63 kgf
wear start pressre	32 kgf	50 kgf

4. 新型 AO-オイル

Table 1 の機能と構成要素との関係を考慮して作製した新型 AO-オイルは、現在の潤滑油の特徴を活かすと同時に、潤滑性能を向上させた潤滑油である。基油と粘度調整剤を現在と同じ PAO(炭化水素)系を用いたことで、部品との相性と粘度の温度依存性を一致させた。添加剤は、耐磨耗・耐圧剤を Fig. 7 の構造 3 に示した 2 官能フォスファイトへ変更し、酸化防止剤を Fig. 9 に示した構造式 3 の化合物に変更し、潤滑性を向上させた。

4. 1 潤滑性能

AO-2 仕様の新型潤滑油と現在の潤滑油を作製し、亜リン酸エステルの評価と同条件で SRV 試験を行なった。Fig. 12 に SRV 試験の結果を示す。縦軸は摩擦係数、横軸は時間(分)である。

現在の AO-2 は、約 0.119 で安定した後、2 分経過すると摩擦係数は徐々に上昇する。新型潤滑油も 0.119 で安定するが、摩擦係数の上昇が確認されるのは約 7 分の 15 分経過後からだった。

(亜)リン酸エステルの被膜強度の評価と同条件で、摩擦磨耗試験と耐圧試験を行った。Table 4 に結果を示す。摩擦磨耗量と、油膜が切れる荷重と磨耗

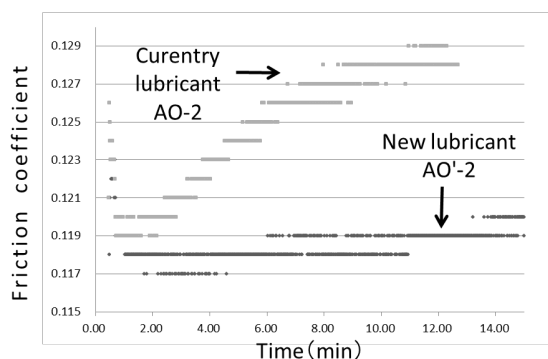


Fig. 12 Relationship between friction coefficient and time, comparison of new and curentry lubricant.

Table 4 Comparison of the lubrication characteristic of new and old AO-Oils.

Antiwear/extreme-pressure agent	NEW	OLD
Wear test	0.29 mm	0.35 mm
Pressure resistance		
film break pressure	63 kgf	40 kgf
wear start pressre	50 kgf	32 kgf

が始まる荷重が，現在の潤滑油の場合は順に，0.35 mm, 40 kgf, 32 kgf であるのに対し，新型の場合は 0.29 mm, 63 kgf, 50 kgf であった．摩耗量は摩耗根径比で約 20%減少し，耐圧性は約 1.6 倍に向上した．

以上の結果から新型潤滑油は，現在の潤滑油と比較して潤滑持続性はもとより，高圧部位にも適用可能で耐磨耗性に優れる潤滑性を有する潤滑油であることが解る．

4. 2 基本物性

Table 5 Physical properties of Watch lubricant AO-Oils.

		New AO-oil			currently used AO-oil	
		AO'-2	AO'-3	AO'-5	AO-2	AO-3
Specific Gravity@15°C	g/cm ³	0.826	0.829	0.831	0.825	0.828
Pore point	°C	-45	-45	-14	-43	-46
Flash point	°C	252	234	240	258	254
Viscosity @40°C	mm ² /s	26	70	117	26	67
Viscosity @100°C	mm ² /s	5.3	12.1	18.5	5.4	11.8
Viscosity Index		145	171	177	148	174
T A N	mgKOH/g	0.04	0.03	0.04	0.02	0.03
refractive index@20°C		1.46	1.46	1.46	1.46	-
surface tension	mN/m	29	29	29	29	29
Copper corrosion test (100°C*3Hr)		1a (none)	1a (none)	1a (none)	1a (none)	-

新型潤滑油と現在の潤滑油の基本物性を Table 5 にまとめる．密度は JIS K2249-1, 流動点は JIS K2296, 引火点は JIS K2265-4, 粘度は JIS K2283, 酸化は JIS K2501, 屈折率は JIS K0062, 表面張力は JIS K2241, 銅板腐食試験は JIS K2513 により測定した．密度，粘度，表面張力の値から給油機の油を入れ替えて給油できることが解る．屈折率が同じことから，給油の確認もできる．粘度は，油種毎にあわせており低温や高温での動作性も変わらない．金属との相互作用に相関のある酸価も，0.1 mgKOH/g 未満であり金属腐食性はない．また，基油が同じであることからプラスチック対応性も変わらない．以上のことから現在の潤滑油から新型潤滑油へ置き換えが可能なことが解る．

以上の結果，新型潤滑油は現在の潤滑油と同様の物性を継承した，潤滑性が向上した潤滑油であることが解る．

5. まとめ

・亜磷酸エステル，磷酸エステルは金属表面に吸着し，適度に反応して金属と結合して求める潤滑被膜を形成することが解った．

・2つのアルキル基と，アルキル基を導入したフェニル基とを有する中性亜リン酸エステルをアルキレン基を介して2つ結合させた構造が粘度の影響がなく，潤滑中にフェニル基が金属表面から脱離して

も剥離しづらく、潤滑性の維持効果も期待できることが解った。

- ・ 2官能フォスファイトを添加することで、現在の AO-オイルの潤滑性を高められることが解った。
- ・ 酸化防止剤として 1 分子に 2 つの機能部位を有するアミン誘導体を添加することで、分子を守る機能が向上し、現在の AO-オイルの潤滑性を高められることが解った。
- ・ 従来の潤滑油と物性が同じで注し換えるだけで機能向上可能な、高圧部位にも適用可能で耐磨耗性に優れる潤滑性を有する新型時計用潤滑油 AO-オイルを開発した。

6. 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:技術の系統化調査報告 第10集 時計技術の系統化調査, 国立科学博物館, 東京, pp. 56-64, pp. 109-111(2017).
- 2) 青木保:時計の潤滑, 時計, Vol. 5, No. 4, pp. 2-4(1955).
- 3) 赤尾祐司:時計駆動部品の潤滑と信頼性, 月刊トライボロジー, Vol. 17, No. 4, pp. 57-61(2003).
- 4) 赤尾祐司:新規精密潤滑油による時計の高機能化ー化学材料の精密機器に及ぼす効果, 化学と工業, Vol. 56, No. 8, pp. 881-883(2003).
- 5) グリーン・サステイナブルケミストリーネットワーク(GSCN) :2007 年度 GSC 賞環境大臣賞 環境負荷削減を実現する高性能潤滑油 AO-オイルの開発, GSCN NewsLetter, No. 28(2008).
- 6) 赤尾祐司:環境負荷低減を実現する高性能潤滑油 AO-オイルの開発, ファインケミカル, Vol. 37, No. 11, pp. 15-19(2008).
- 7) 赤尾祐司:時計用潤滑油の開発, マイクロメカトロニクス, Vol. 45, No. 1, pp. 27-33(2001).
- 8) 赤尾祐司:時計における潤滑技術の進化と潤滑油への要求特性, 潤滑経済, Vol. 460, pp. 22-29(2004).
- 9) 野口真莉子:時計の長寿命化に成功, 国民の生活に貢献 平成29年度・文科大臣賞受賞, HAKUMON CHUO, Vol. 252, pp. 16-18(2017).
- 10) 癸生川實:基油(上), ペトロテック, Vol. 18, No. 6, pp. 479-485(1995).
- 11) 浜口仁:世界の潤滑油/潤滑油添加剤技術と市場・規格動向, S&T 出版, 東京, pp. 53-69(2016).
- 12) 浜口仁:世界の潤滑油/潤滑油添加剤技術と市場・規格動向, S&T 出版, 東京, pp. 73-98(2016).
- 13) 荒井靖夫:粘度指数向上剤, Petrotech, Vol. 40, No. 4, pp. 309-312(2017).
- 14) 由岐剛:粘度指数向上剤の技術動向, 月刊トライボロジー, Vol. 18, No. 12, pp. 44-47(2004).
- 15) 由岐剛:低粘度潤滑油における粘度指数向上剤の潤滑性向上技術, トライボロジスト, Vol. 53, No. 7, pp. 449-455(2008).
- 16) 平田昌邦:潤滑油の粘度特性と粘度指数向上剤, 精密工学会誌, Vol. 56, No. 7(1990).
- 17) 東レリサーチセンター:最新潤滑技術, 東レリサーチセンター調査研究部, 東京, pp. 8-10(2012).
- 18) 柳原章仁:極圧剤および摩耗防止剤, Petrotech, Vol. 41, No. 3, pp. 233-236(2018).

- 19) 日本潤滑学会:潤滑ハンドブック, 養賢堂, 東京, pp. 37-48(1987).
- 20) 似内昭夫:トライボロジー設計マニュアル, テクノシステム, 東京, pp. 121-130(2015).
- 21) 平田昌邦, 渡辺治道:硫黄リン系極圧剤による極圧皮膜, 潤滑, Vol. 28, No. 8, pp. 620-623(1983).
- 22) 平田昌邦, 渡辺治道:四球試験における硫黄-リン系極圧剤の摩擦-摩耗特性, Vol. 28, No. 8, pp. 615-619(1983).
- 23) 山田滋:金属加工油における硫黄系極圧剤の技術動向, 月刊トライボロジー, Vol. 22, No. 7, pp. 19-23(2008).
- 24) 小松崎茂樹, 上松豊翁, 奈良原俊和:リン系極圧剤と素材の反応生成物, 塑性と加工, Vol. 29, No. 331, pp. 830-834(1988).
- 25) Ali Erdemir, Giovanni Ramirez, Osman L. Eryilmaz, Badri Narayanan, Yifeng Liao, Ganesh Kamath and Subramanian K. R. S. Sankaranarayanan: Carbon-based tribofilms from lubricating oils, *Nature*, Vol. 536, pp. 67-71(2016).
- 26) N. N. Gosvami, J. A. Bares, F. Mangolini, A. R. Konicek, D. G. Yablon and R. W. Carpick: Mechanisms of antiwear tribofilm growth revealed in situ by single-asperity sliding contacts, *Science*, Vol. 348, No. 6230, pp. 102-106(2015).
- 27) 星孝弘:表面・深さ方向の分析方法, サイエンス&テクノロジー, 東京, pp. 91-100(2007).
- 28) 似内昭夫:トライボロジー設計マニュアル, テクノシステム, 東京, pp. 131-138(2015).
- 29) 渡辺亨:酸化防止剤の技術動向, 月刊トライボロジー, Vol. 18, No. 12, pp. 40-43(2004).
- 30) 豊口満:潤滑油酸化防止剤について, 有機合成化学, Vol. 13, No. 11, pp. 512-516(1955).
- 31) 大勝靖一:石油製品添加剤の開発と最新技術, シーエムシー, 東京, pp. 12-39(1998).
- 32) 大田暢人:自動酸化と酸化防止の反応機構, 有機合成化学, Vol. 13, No. 11, pp. 501-508(1955).
- 33) 岡田きよみ, 辻井哲也, 山田和志, 西村寛之:FT-IR イメージング法を用いたポリエチレンの熱分解劣化解析, 高分子論文集, Vol. 71, No. 1, pp. 23-30(2014).
- 34) 渡辺亨:酸化防止剤(上), ペトロテック, Vol. 40, No. 5, pp. 418-421(2017).
- 35) 渡辺亨:酸化防止剤(下), ペトロテック, Vol. 40, No. 6, pp. 504-507(2017).
- 36) 大澤善次郎:高分子の光安定化技術, シーエムシー, 東京, pp. 3-22(2000).
- 37) 大勝靖一:高分子安定化の総合技術, シーエムシー, 東京, pp. 33-48(1997).

技術報告

サファイア風防の両面無反射コーティング技術

鈴木克己

セイコーエプソン株式会社 WIP 生産技術部, 長野県塩尻市塩尻町 390, 〒399-0796

(2018 年 4 月 12 日受付, 2018 年 6 月 21 日再受付, 2018 年 11 月 6 日採録)

Both Side Anti Reflection Coating on Sapphire Glass for Watch

Katsumi SUZUKI

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

(Received April 12, 2018, Revised June 21, 2018, Accepted November *, 2018)

ABSTRACT

By applying anti-reflection coating on both sides (front and back) of the sapphire windshield of the wristwatch, we prevent degradation of visibility, color tone and contrast of the dial and hand due to reflection. However, in achieving this coating, there were some problems, especially on the front side coating of the windshield. In this thesis, we will introduce what we have done to solve this problem.

1. はじめに

中, 高級腕時計の風防ガラスには耐傷性を目的にサファイアが多く用いられている. しかしサファイアはその屈折率の高さから光の反射が大きく, 文字板や針の視認性, 色調やコントラストを損なうことになる. そこで反射を抑えるためにサファイア風防の内面や両面(表裏)に無反射コーティング処理が施されるようになってきている. サファイアガラスと空気の境界では入射光の約 8% の反射(視感反射率)があるため, 表裏では 16% もの反射となる. サファイア風防越しに文字板等を見るとこの反射も含まれるため視認性が悪くなる, 本来の文字板の色に見えない, コントラストが下がるなど商品性を低下させてしまうことになる. しかし無反射コーティングをサファイア風防の両面に処理することで, 表裏の反射率を合計で 1% 未満にすることができる.

Fig. 1 にサファイアの場合とサファイア両面に無反射コーティングを施した場合の反射を示す. 無反射コーティングは透明の低屈折率膜と高屈折率膜を交互に積層させた 2~8 層からなり各層の膜厚を 0.1 nm の厚さで制御して成膜する. 一般に腕時計用無反射コーティング膜の片面の総厚は 100~400 nm でスパッタや蒸着法で形成される. サファイアの反射率を片側 1% 以下に抑えるには SiO_2 単層で 100 nm 程度の膜厚が必要となるが, 幅広い波長での更なる低反射化, 色合い調整等のためには必要な層数と膜厚も増えていく. しかし成膜時間も増えるため腕時計の場合 400

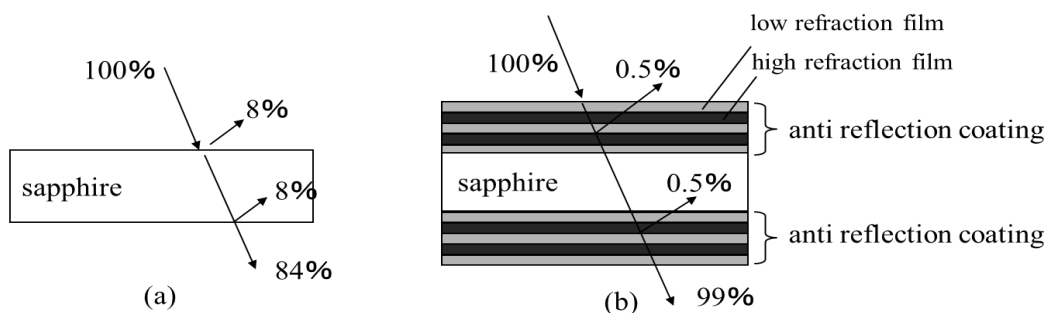


Fig. 1 Reflection of sapphire and Anti reflection coating.
 (a) Sapphire glass (no coating).
 (b) Both side anti reflection coating on sapphire glass.

nm 以上とする要求はない。

Fig. 2 にサファイア風防への無反射コーティングの有無による文字板の見え方を示す。(a), (c)は両面無反射の有無で大きな差があり両面無反射コーティングの効果がよくわかる。(b)は内面にのみ無反射コーティングを施しているが、約 8%の反射が残るため、文字板の見え方は(a)に近い外観となる。文字板の視認性や、色、コントラストを損なわないためには、(c)のように風防での反射率を両面で 1%以下にすることが望ましい。



Fig. 2 Effect of Anti reflection coating.
 (a) Sapphire glass (no coating).
 (b) Back side anti reflection coating on sapphire glass.
 (c) Both side anti reflection coating on sapphire glass.

当社でも 2010 年よりサファイアの両面に無反射コーティングを処理し商品化している。しかし腕時計の風防に両面無反射コーティングを処理するためには開発段階でいくつかの課題があった。本論文ではこの課題解決に向け取り組んだ内容について紹介する。

2. 両面無反射コーティングの課題

2-1 耐傷性

風防表側のむき出しのコーティング膜は傷の原因となる種々の外力にさらされる。例えば装着中に固い物と接触する、引き出し底に風防側を下にして保管され引き出しの開閉で擦られるなどである。それによりコーティングに傷が付いたり最悪の場合剥離したりすると、先の無反射コーティング多層構造が変化しその部分の反射が大きくなるため欠点として目立つ。

2-2 防汚性

生活で使用する腕時計の風防には、傷とは別に水や洗剤など水ジミがしばしば付着する。風防表面が平坦で耐食性の高いサファイアであれば付着後放置しても除去できるため特に問題はないが、無反射コーティング表面には微細な凹凸があるため凹部に汚れが固着し除去できなくなり外観を損なう。

3. 実験方法

3-1 膜基本構造

耐傷性と防汚性を併せ持つ両面無反射コーティング膜として、下記の理由によりスパッタ法による $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$ 積層無反射コーティング膜と、防汚性を向上させるためにフッ素含有有機ケイ素化合物からなる防汚層を積層無反射コーティング膜上に形成することを選択した¹⁾。

- (1) スパッタ成膜方法は成膜の際に与えられるエネルギーが大きいことにより膜密度、圧縮応力、基板面への付着力が高く、さらに極薄の均一膜を成膜する制御性も有することから^{2,4)}膜剥離の起きにくい耐傷性の高い無反射コーティング製造方法に適する。
- (2) 1つの Si スパッタターゲットから低屈折率 SiO_2 膜と高屈折率 SiN_x 膜の両方をリアクティブスパッタにより同一チャンバー内で容易に形成できる。また Si スパッタターゲットについては Nb や Ta 等の遷移金属ターゲットに比較し高純度品を安価に入手できる。
- (3) SiN_x 膜は種々の硬質膜の中でも硬さが大きく³⁾耐傷性の向上が期待できる。
- (4) SiO_2 膜はその他の低屈折率膜として多用される MgF_2 膜と同等以上の硬さを得られ⁴⁾耐傷性で有利である。
- (5) フッ素含有有機ケイ素化合物からなる防汚層は既に当社眼鏡製品で実用化されており、その防汚性と SiO_2 膜との密着性において実績があった。

上記の基本構造のもとに詳細の膜構成を 4. 実験結果で検討し評価を行った。比較ベンチマークは、開発当時に当社腕時計に使用されていた風防内面の無反射コーティングであり、材質と構成は、表層から $\text{MgF}_2(96.5 \text{ nm})/\text{ZrO}_2(114.9 \text{ nm})/\text{Al}_2\text{O}_3(32.4 \text{ nm})/\text{ZrO}_2(10.3 \text{ nm})/\text{Al}_2\text{O}_3(24.8 \text{ nm})$ である。

3-2 評価方法

耐傷性評価に関しては膜硬さ試験と防傷試験、膜密着試験を用いた。膜硬さについてはナノインデント装置を用い、圧子を表層から 30 nm 深さまで押し込みながら硬さを測定する⁵⁾。これは膜の表層から約 150 nm 深さまでの平均硬さと考えられ⁵⁾、2-1 で示した両面無反射コーティング膜の傷深さの多くが 75 nm 以下であったので耐傷性に直接影響する値として設定した。防傷試験については Bayer 試験装置を用い、研磨剤（アランダム）中で試料をストローク 3 inch, 150 cycle/min の速度で 600 cycle 揺動させた後の Haze 増加量により求めた。膜密着については超薄膜スクラッチ試験機を用い、膜表面上にダイヤモンド圧子を 10 $\mu\text{m/s}$ の速度で滑らせながら、300 mN/120 s で荷重を増やしていき膜が破壊もしくは剥離した荷重を測定した。

Bayer 試験では比較的軽微な小傷の評価になるが、膜硬さや膜密着試験では衝撃による打痕傷や膜剥離の評価になる。

防汚性の評価については、2-2 に示したように特に水ジミ対策が求められる。そのため無反射コーティング表面への水の親和性を評価するため純水の接触角で濡れ性を評価した。また水道水を防汚膜上に滴下しオープンで乾燥させて（45°C, 2 h）水ジミを焼き付け、その後スポンジによる水洗浄で剥離できるか防汚性を評価した。

4. 実験結果

4-1 耐傷性

3-1 に示すようにスパッタ法による $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$ 積層膜を選定し評価した。また両面無反射コーティングの耐傷性は、特に表層から 150 nm 程度の深さの膜硬さに左右される。Table 1 に示すように SiN_x は SiO_2 より硬いため、最上層の SiO_2 膜下の SiN_x 膜厚を大きくすれば 150 nm 厚さの硬さも向上する。実際に表層から 150 nm 厚さまで SiN_x 膜厚割合が 32% であると硬さは 27.4 GPa であるが、40% まで増加させると 34.6 GPa まで増加する。

Table 1 Coating hardness by SiN_x thickness ratio from the surface to the depth of 150 nm

Coating material	SiN_x thickness ratio from the surface to the depth of 150 nm	Hardness (GPa)
SiO_2	—	15.7
SiN_x	—	38.0
$\text{SiO}_2 / \text{SiN}_x / \cdots (1)$	32%	27.4
$\text{SiO}_2 / \text{SiN}_x / \cdots (2)$	40%	34.6

膜構成詳細は SiN_x 割合が 32% (Table 1 の(1)) の際 $\text{SiO}_2(102.0 \text{ nm})/\text{SiN}_x(60.0 \text{ nm})/\text{SiO}_2(17.0 \text{ nm})/\text{SiN}_x(37.0 \text{ nm})$ で、40%時 (Table 1 の(2)) は $\text{SiO}_2(90.6 \text{ nm})/\text{SiN}_x(101.3 \text{ nm})/\text{SiO}_2(14.9 \text{ nm})/\text{SiN}_x(30.4 \text{ nm})/\text{SiO}_2(56.9 \text{ nm})/\text{SiN}_x(21.9 \text{ nm})/\text{SiO}_2(34.1 \text{ nm})$ である。

Fig. 3 に SiN_x 割合を増やしていく際の反射特性を示す。32%では4層で低反射を実現できるが、40%以上になると膜総数を多くすることで反射率を抑えられる。しかしそれも45%程度までである。50%を超えると7層でも低反射と色調の維持が難しくなる。40%、7層のバランスがよい。

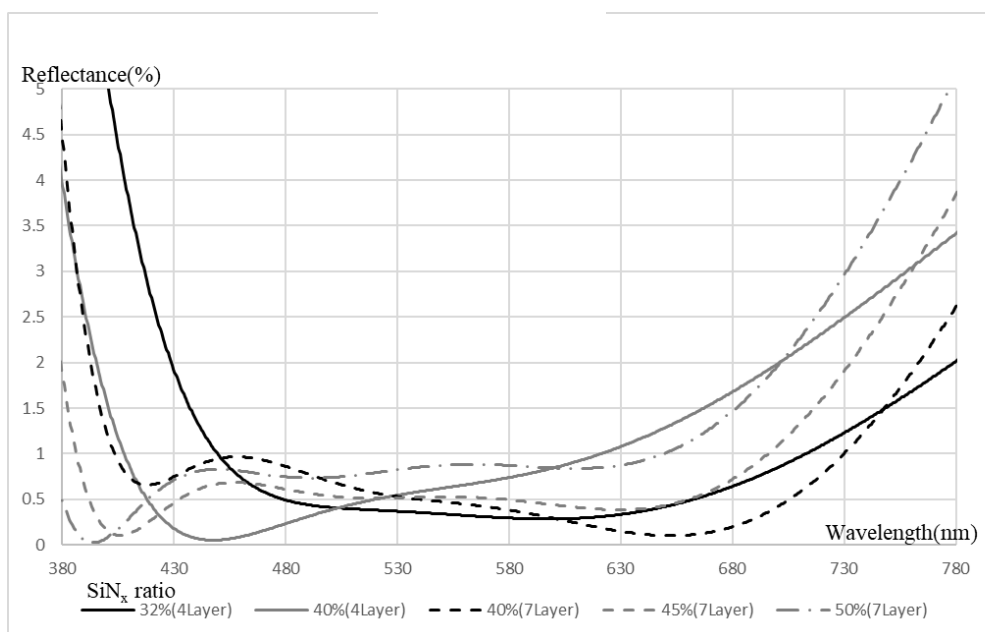


Fig. 3 Reflectance curves vs SiN_x ratio.

Fig. 4に開発当時に当社腕時計の風防内面に使用されていた $\text{MgF}_2/\text{ZrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 蒸着膜、上記 SiN_x 割合が 32%の $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$ 4層膜と SiN_x 割合が 40%の $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$ 7層膜の Bayer テスト後の表面傷の状況を示す。暗視野顕微鏡での観察結果であり、特に $\text{MgF}_2/\text{ZrO}_2$ 5層膜については黒地に白い傷が多く確認でき Haze も大きい。 $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$ 積層スパッタ膜で SiN_x 割合が多くなると耐傷性の結果に大きな効果が出ることがわかる。またスパッタで成膜することで密着強度も大きく改善しており膜剥離も生じにくい (>130 mN は測定限界以上)。

	MgF ₂ /ZrO ₂ (Vacuum vapor deposition)	SiO ₂ /SiN _x (sputtering) SiN _x ratio 32% / 150nm	SiO ₂ /SiN _x (sputtering) SiN _x ratio 40% / 150nm
Surface			
Hardness (GPa)	17.0	27.4	34.6
Haze	0.64	0.22	0.15
Peel strength (mN)	60	>130	>130

Fig. 4 Surface after Bayer test.

4-2 防汚性

Fig. 5 に示すように無反射コーティングの最表層に撥水・撥油性を有するフッ素含有有機ケイ素化合物からなる防汚層を形成した。成膜は加熱蒸着法を用いた。

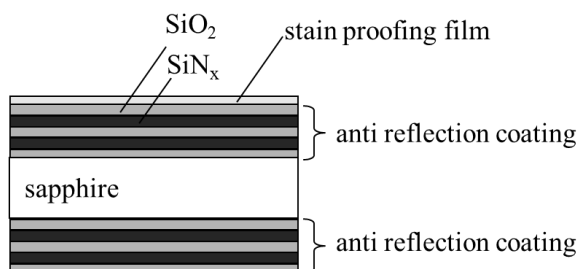


Fig. 5 Structure of both side anti reflection coating on sapphire glass.

防汚層の厚みを 3 nm 程度に制御すれば無反射コーティング上に追加成膜してもほとんど光学特性に影響しないため無視して光学設計を行うことができる。多めに成膜したとしてもそれ以上の膜は密着が悪くアルコール等で容易に拭き取られ SiO₂ 膜と結合している層のみが残る。逆に薄すぎる場合は撥水基がまばらに形成され、一部に SiO₂ 膜が露出するため防汚性は悪くなる。

Fig. 6 に防汚層の想定構造を示す. シロキサン結合により無反射コーティング表面の SiO_2 膜と強固に結合していると考えられ, 摩擦試験によっても容易に剥離しない¹⁾.

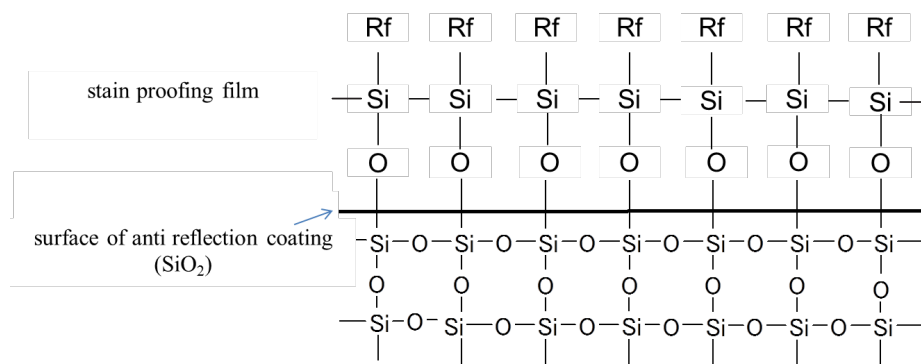


Fig. 6 Structure of stain proofing film. ¹⁾

Fig. 7 に無反射コーティング上の防汚層の有無による純水の接触角の違いを示す. 防汚層がなければ純水の接触角は 10° 以下であるが, 防汚層上では 110° 程度になる. 防汚層を設けることで汚れが付着し難くなり, 無反射コーティング表面のミクロな凹凸に汚れが侵入し難くなる. 付着しても固着し難く, 布で拭くことや水や中性洗剤で洗うことで容易に除去できる.

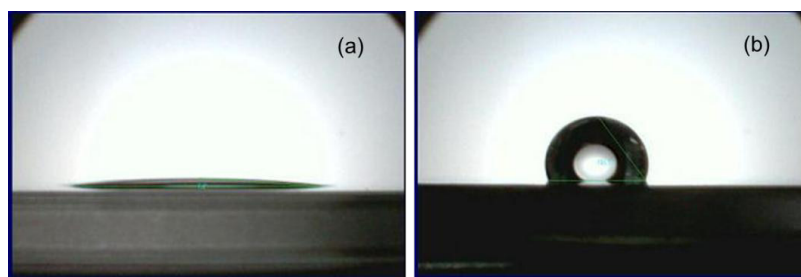


Fig. 7 Droplet on anti reflection coating and stain proofing film.
(a) Anti reflection coating (SiO_2).
(b) Stain proofing film.

Fig. 8 に防汚膜の効果を示す．防汚膜のない SiO_2 上に水道水を滴下し 45°C オープンで 2 h 乾燥させ水ジミを形成した場合はスポンジ水洗浄しても除去できないが，防汚膜上に形成された水ジミは容易に洗浄除去できる．

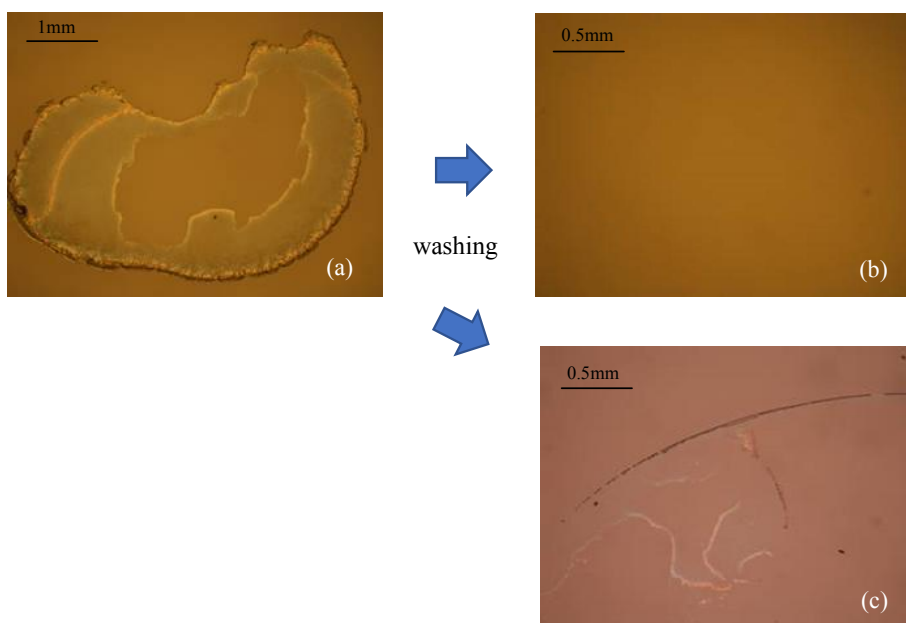


Fig. 8 Effect of stain proofing film.
(a) Stain on stain proofing film on SiO_2 .
(b) After washing stain on stain proofing film.
(c) After washing stain on SiO_2 .

また表面の滑り性が向上するため，4－1の対策に加えてさらに耐傷性が向上するという効果もある．さらに本防汚層は紫外線，弱酸や弱アルカリ液に耐えることができる．

4－3 反射率

SiN_x 比率を 40%に設定した膜構成では前記のように良好な耐傷性を有しながら十分な反射防止特性と自然な色合いを確保することができる．

反射率特性を Fig. 9 に示す．それぞれの反射特性が人間の目を見た際にどの程度の反射に感じるかの指標に視感反射率がある．人は 550 nm 近辺の波長の光を最も感じるが，それぞれの波長の反射率を視感感度で補正し合算した数値が視感反射率である． SiN_x 比率 40%の 7 層膜の視感反射

率は 0.40%, 比率 32%の 4 層膜は 0.53%であり比率 40%の 7 層膜が優れる.

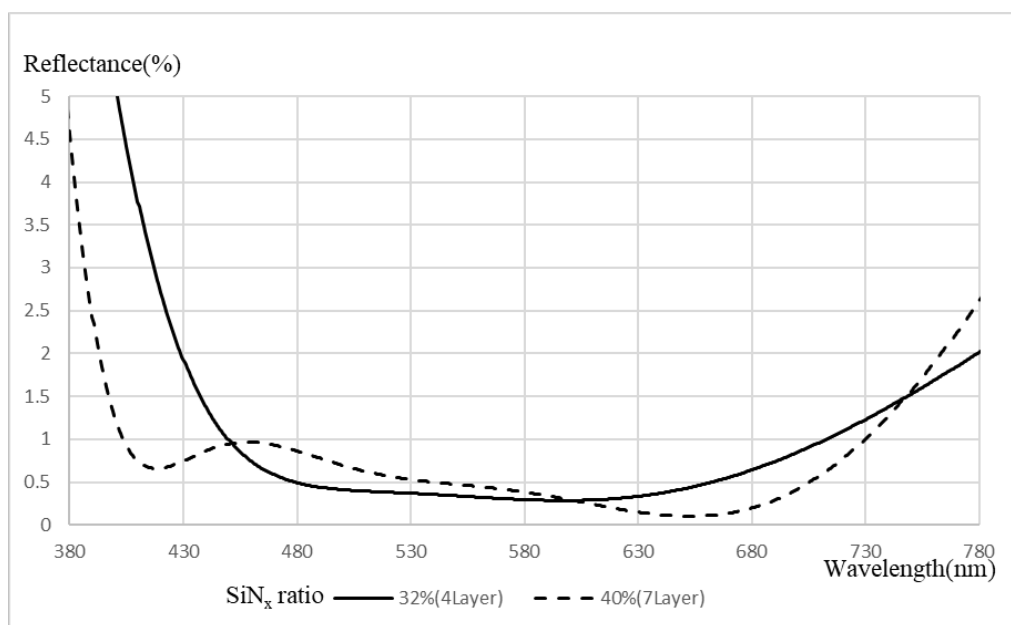


Fig. 9 Reflectance curves vs SiN_x ratio.

また反射色も Fig. 10 に示すように層数を増やすことで自然な色合いに調整できる. 4 層では色調整までの光学設計が難しくギラギラした視感になる.

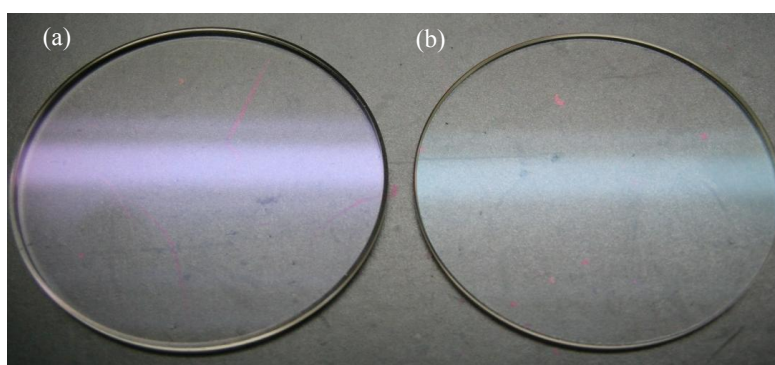


Fig. 10 Color vs layer number.
(a) 4 layer. (b) 7 layer.

5. 考察

表層から 150 nm 深さまでの SiN_x 率を 40%まで増やし、コーティング膜層数を 7 層に増やすことで耐傷性と低視感反射率、自然な色合いを満足できるようになり、また最表面に防汚膜を付加することで防汚性を併せ持たせられる。本両面無反射コーティングが市場に出て 8 年が経つがクレームなどの品質問題も発生していなく、今回示した耐傷性と防汚性の評価方法、取り組みは適正であったと考えている。

6. まとめ

以下の方法により、傷や汚れの付き難い両面無反射コーティングを実現した。

- (1) 耐傷性向上, 低視感反射率, 自然な反射色あい
 - ・膜材質, 構成を $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x/\cdots$ とし, スパッタ成膜による 7 層膜とする
 - ・表層より 150 nm 深さまでの SiN_x 膜厚を 40%程度に増やす
- (2) 防汚性向上
 - ・無反射コーティング表面に防汚膜を形成する

7. 参考文献

- 1) 時計用カバーガラス, および時計, 特許公報, 特許第 5326407 号 (2013).
- 2) 塙輝雄: 実用真空技術総覧, 美巧社, 東京, p.619 (1990).
- 3) 石川宏美, 筆谷秀一, 広橋光治: アークイオンプレーティングにより作製した窒化ケイ素薄膜の特性, 表面技術, Vol. 51, No. 7, pp. 740-744 (2000).
- 4) 青木智則, 猪俣崇: 薄膜の機械的特性の最適化と光学薄膜材料, OplusE, Vol. 30, No. 8, pp. 835-840 (2008).
- 5) <https://www.toyo.co.jp/microscopy/casestudy/detail/id=11479>.

特 集

GPS の利用 1*

—GPS 受信機の原理—

寺島 真秀**

1. 緒 言

本稿では、GPS IC の内部構成と GPS 受信機の基本原理について紹介する。

2. GPS の歴史とハードウェアの進化

GPS(Global Positioning System)は、米国により開発された人工衛星による位置算出のためのシステムであり知名度も高い。昨今では同様に衛星による位置情報を提供している国も多くなっており、日本でも準天頂衛星「みちびき」という名で新しい衛星の整備が積極的に進められている。

人工衛星は、約 2 万 km の上空からわずか 500W と非常に小さい電力で地表に向けて送信している。そのため従来は非常に大きなアンテナを利用し、多大な電力を消費して衛星信号を受信していた。近年では多くの技術革新を経て、時計サイズの商品でも GPS を利用することができるようになってきている。その大きなブレイクスルーはどこにあったのか、主に下記の 3 点が大きく貢献していると考えられる。

1. GPS 受信 IC の RF CMOS 化
2. Digital 信号処理による高感度化
3. 半導体プロセスの微細化

3 については、既に多くの文献で語られているので、本稿では、1, 2 について紹介したい。



図 1 GPS ソーラーウォッチ (Cal.5X)

3. GPS 受信 IC

GPS の受信システムは、かつては RF 部の CMOS 化が難しかったため RF 部と Digital 部の 2 つの IC を利用していた。さらに、受信機の位置演算は外部の CPU に

より計算されることも多く、3 つの IC が協調動作していた。最近では 1 つの IC の中に RF 部と Digital 部の両方のブロックを入れることが可能となり、さらに位置演算も IC 内部で行われる構成が主流となっている。また、メモリが占める面積はますます増えていく傾向ではあるが、半導体プロセスの進化の恩恵もあり、小型化、低消費電力化を実現することができている。

図 2 に GPS 受信 IC のブロック構成例を示す。大きく分けて 4 つのブロックに大別される。

1. RF (Radio Frequency)部: GPS の高周波アナログ信号を受信し Analog to Digital (A/D)変換
2. Digital 部: A/D 変換後の信号を利用して、衛星と受信機の距離を測定
3. Firmware 部: 衛星探索、ノイズの中から信号の検出
4. Software 部: 衛星と受信機の測定距離から、受信機の位置と時刻を計算

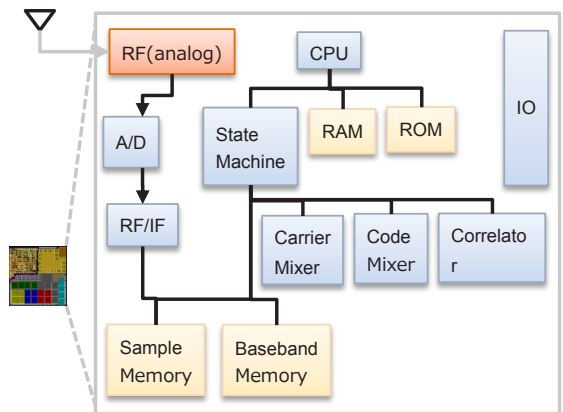


図 2 GPS 受信 IC のブロック構成例

以降、それぞれのシステムについて詳細を紹介したい。

3.1 RF (Radio Frequency)部

民生用として最も多く利用されている GPS 信号は L1/CA であるが、中心の周波数は 1575.42MHz となり、デジタル回路で扱うには周波数が高い。そこでコンベンショナルな受信機では、周波数をデジタル回路で扱いやすい数 MHz の周波数まで下げる(ダウンコンバートする)機能が RF 部の主な役割となる。RF 部は主に 3 つのプロ

* 原稿受付 平成 30 年 10 月 31 日

** セイコーエプソン株式会社

ックにより構成されている。

1. RF 部：高周波の信号をダウンコンバート
2. PLL 部：GHz レベルの高周波を生成
3. IF (Intermediate Frequency) 部：イメージ除去、A/D 変換しデジタル部へ供給

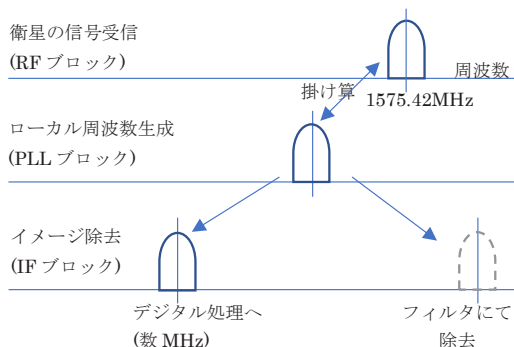
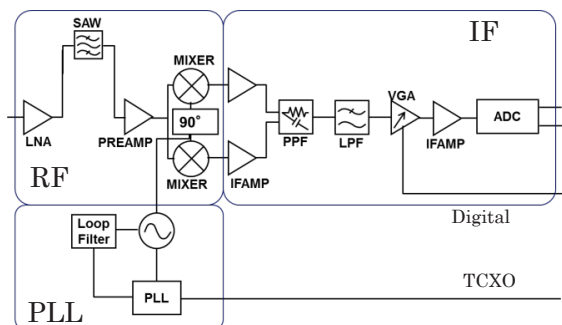


図 3 RF 部の機能図

3.2 Digital 部

GPS は、Spread Spectrum 変調がなされており、Gold code と呼ばれる符号により拡散されている。Gold 符号は、大きく 3 つの機能を持っている。

1. 各衛星を識別するための固有のパターンを持っている
2. 同期が取れた時のみ相関値が最大となる。(自己相関特性と相互相関特性に優れている)
3. 周期性がある(L1/CA では、1023 で繰り返す)

各衛星の Gold 符号は民生用として公開されているので、Digital 部では、この Gold 符号と全く同じ符号列を受信機内で生成し、相関値を計算。初期位相を少しずつ変えていくことで、最も相関値の高くなるオフセット点を探索する(図 4)。この位相のオフセットが、衛星送信時と受信時の時間差を表しており、光の速さを掛け合わせることで衛星と受信機との距離が計算される。

実際には、拡散後の GPS 信号は熱雑音よりも下のレベルとなるので、図 4 のように信号そのものを観測することはできない。各オフセットの相関値を全パターン計

算することで衛星を捕捉する。

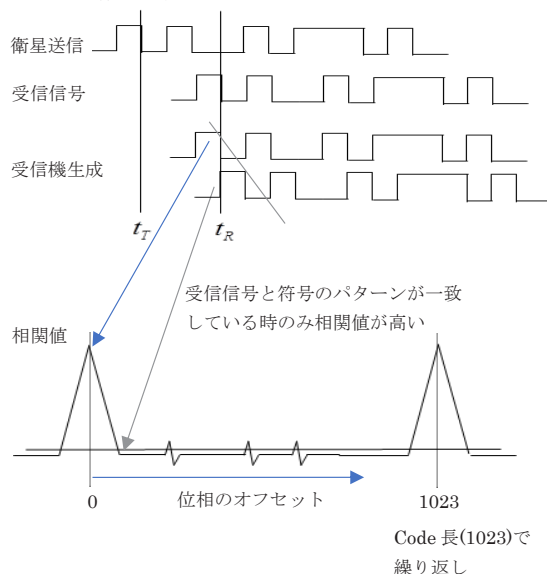


図 4 Gold code の特性 (L1/CA の例)

3.3 Firmware 部

最初に GPS 受信機の電源を入れた状態は Cold Start とよく呼ばれるが、その状態では受信機は衛星に関する情報を全く持っていない。よって Firmware 部では、下記の 3 つのパラメータに関して衛星を探索し、それぞれ解決する必要がある。

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

この 3 つにおいて、決められた解像度で全ての相関値を計算し、Peak の高さから GPS 信号かノイズかを判別する。

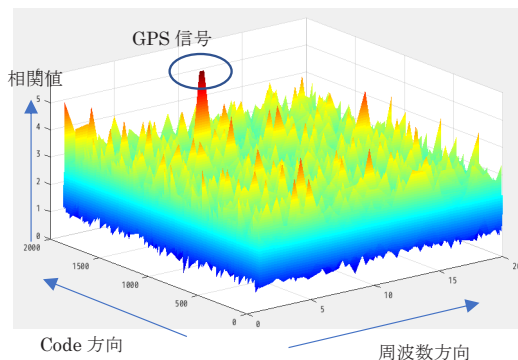


図 5 衛星探索時の相関値

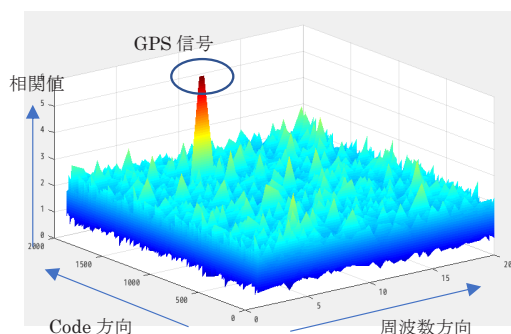


図 6 相関値（長時間積分）

最近の受信機では、受信信号と相関結果をメモリーに保存し、繰り返し相関結果を加算することでノイズレベルを下げ、受信機の受信感度を向上させている。（図 6）

3.4 Software 部

RF 部、Digital 部、Firmware 部を経て、各々の衛星との距離が算出され、ようやく受信機の位置計算に入る。衛星との距離が既に測定されているので、衛星の位置とユーザーの受信機の位置は、幾何学的に次のような連立方程式で表すことができる。

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

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

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

(x_u, y_u, z_u)	: 受信機の座標
(x_i, y_i, z_i)	: i 番目の衛星の座標
ρ_i	: 測定した i 番目の衛星との距離
$\varepsilon_{\rho i}$	: i 番目の衛星の距離誤差

この時の、衛星の位置は衛星の軌道情報(ephemeris)から現在の時刻周辺の衛星座標を求めることができる。ephemeris は各衛星より配信され、受信機は自身で直接衛星からデコードするか、外から情報を得る必要がある。

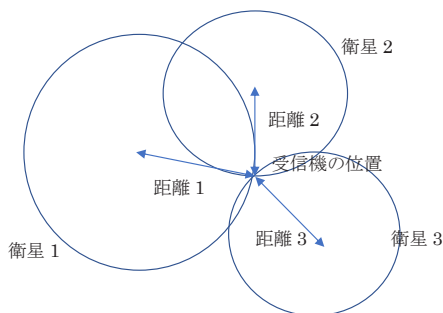


図 7 衛星と受信機的位置関係

受信機の時刻は絶対時刻と同期していないため、受信機の時刻の誤差をもう一つ未知数として追加し、4 連の方程式を解くことで受信機の座標と時刻誤差を同時に算出することができる。

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

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

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

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

(x_u, y_u, z_u)	: 受信機の座標
(x_i, y_i, z_i)	: i 番目の衛星の座標
ρ_i	: 測定した i 番目の衛星との距離
$\varepsilon_{\rho i}$	: i 番目の衛星の距離誤差
c	: 光の速さ
b_u	: 受信機の時刻誤差

受信機として、4 衛星を探し距離を測定することができれば、方程式を解くことで受信機の位置と絶対時刻を算出することができる。

仮に位置誤差が 1m の場合、x,y,z,b 方向に誤差分散したとすると受信機の時刻の誤差は、約 3nsec のレベルで求められる。

幾何学的な基本原理としては、先の方程式で表すことができるが、実際には、信号伝搬時の電離層遅延の補正、対流圏遅延の補正、地球の自転の影響の補正、各衛星のクロック誤差の補正をそれぞれ考慮して計算される。多くは ephemeris の中に補正パラメータとして配信されている。

以上簡単ではあるが、GPS の信号を受信し位置と時刻を計算するまでの GPS 受信機内の過程を紹介した。

参考文献

- 1) 本田克行, 柳澤利昭: GPS ソーラーウォッチの開発, マイクロメカトロニクス, Vol. 58, No. 210, pp. 1-6, 2014.



寺島 真秀
平成 10 年セイコーエプソン株式会社入社、GPS IC の開発に従事。現在も位置情報の開発業務に携わる。

特集

GPS の利用 2*

—腕時計に納める為の技術—

馬場 教充**

1. 緒 言

クォーツ時計の登場により、日常生活においては十分な時刻精度を得たが、時計の本質である正確であることを追求し様々な進化を続けてきた。その進化において外部の時刻情報を取得して、その時刻情報から腕時計の時刻を修正することで正確な時刻表示を行っている。外部の時刻情報として GPS 衛星からの信号を利用して、時刻を修正する GPS ウォッチを実現し発売しており、消費者に受け入れられている。本稿では GPS 衛星から時刻を計測するシステムを腕時計に納めるための技術について解説する。

2. GPS ウォッチ

2.1 概要

図 1 世界初 GPS ソーラーウォッチがソーラーセルを搭載した GPS ウォッチの例である。GPS 衛星から信号を受信するためにはエネルギーが必要である。従来は、自然エネルギーだけで発電駆動するウォッチを実現することが困難であったが、低消費電力化を追求することで外部充電が不要なソーラーセルを搭載した利便性の高い GPS ソーラーウォッチを実現することが可能となった。



図 1 世界初 GPS ソーラーウォッチ Cal.7X

3. 腕時計サイズに収める為の技術

GPS ソーラーウォッチは、GPS(全地球測位システム)を使った測位システムとの融合で、使用者が世界のタイムゾーンのどこにいるのかを判断し、時刻情報を得ることで、その場所の正確な時刻を表示する方式である。GPS 衛星は高精度の原子時計を搭載しており協定世界時(UTC)に同期した時刻情報(GPS 時刻)を送信している。

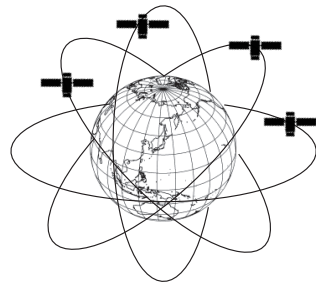


図 2 全地球測位システム

この方式は約 2 万 km 上空からの微弱な衛星信号を受信する必要があり、標準電波を受信して時刻修正を行う電波時計の約 1,000 倍もの電力が必要となるという課題があった。また、通常のクォーツ時計のサイズ、デザイン、質感を維持しつつ衛星信号を受信するアンテナをケース内に搭載するという課題があった。

GPS ソーラーウォッチを実現するうえでとくに大きな開発項目は、

- (1) 低消費電力化の追求
- (2) 外装品位と受信感度の両立

の 2 点であり、以下にシステム構成に引き続きその説明を行う。

3.1 システム構成

図 3 がソーラーセルを搭載した GPS ウォッチのシステム構成の例である。

各ブロックの動作及び役割について説明する。

MCU は、GPS ソーラーウォッチ全体の制御を行っている。時刻を保持しており、水晶振動子の発振を分周した 1Hz の信号でカウントをつづけている。また、MCU は GPS モジュールの制御を行い、GPS 衛星の受信を開始し、GPS 衛星の信号から得られた時刻情報から保持し

* 原稿受付 平成 30 年 10 月 20 日

** セイコーエプソン株式会社

ている時刻を修正する。また、その時刻を表示する針を動かすモータの駆動制御機能およびボタンやリゅうずが操作されたことを検出するスイッチ機能を備えている。

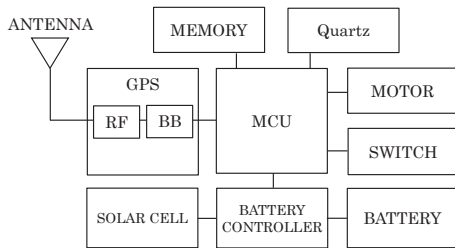


図3 システム構成

電池制御 IC は、二次電池の過充電と過放電状態による劣化を防止するために、ソーラーセルから二次電池への充電と二次電池からの放電の充放電制御を行っている。この電池制御 IC の機能を MCU に内蔵することも可能である。

GPS モジュールにはアンテナが接続されており、GPS 衛星の信号を受信することが可能となる。

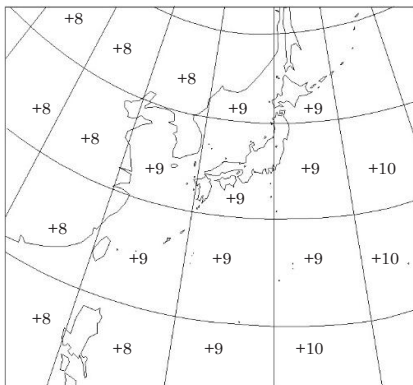


図4 区画ごとのタイムゾーン情報(イメージ)

メモリには、図4の様に区画化された世界の地図が内蔵されていて、それぞれの区画には協定世界時との時差であるタイムゾーン情報が格納されている。図4の区画サイズは、イメージであり実際には1辺が数十キロメートルよりも小さいが、説明のために大きなサイズに簡略化している。各区画にはタイムゾーン情報のほかにサマータイム情報も搭載することができる。GPS 受信で算出した位置情報である緯度と経度からどの区画に位置するかを判定して、タイムゾーン情報やサマータイム期間を割り出す。そして、GPS 受信から得られた時刻情報と割り出したタイムゾーン情報とサマータイム期間とからその場所の時刻に修正し表示する。例えば、東京でGPS 受信した場合、位置情報から区画を判定した結果からタイムゾーンが+9 であることとサマータイムを実施していないことがわかるので、時刻情報とから東京の時刻に修正

することができる。

3.2 低消費電力化の追求

低消費電力化の追求に関しては、効率的な受信システムの構築という視点とデバイスの低消費電力化の視点からアプローチを行っている。

3.2.1 効率的な受信システムの構築

まず効率的な受信システムの構築について説明する。図5に示すようにGPS 衛星からは5個のサブフレームが6秒毎に連続的に送られている。測位をするためにはサブフレームの1番目にある衛星状態とクロック補正係数と、2番目と3番目にある衛星軌道情報(Ephemeris)を読み取る必要があるが、時刻情報は各サブフレームに含まれるTOW(Time Of Week)を読み取ることで取得が可能である。

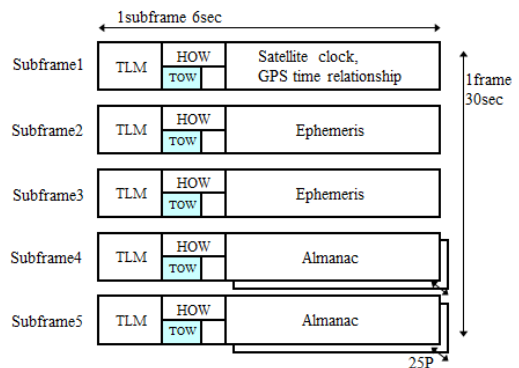


図5 GPS navigation data

そこでGPS ウォッチでは使用者がタイムゾーンの変更を必要とする場合と、時刻だけの修正でよい場合とに分けて受信モードを選択して使用するシステムを採用し、効率的な受信が行えるように工夫している。具体的には、使用者がタイムゾーンを跨ぐ移動をした場合、使用者のボタン操作で通常のGPS 機器と同様に4機以上の衛星の軌道情報を取得し、測位演算することで、前述のとおり使用者のいる位置情報を算出し、それに応じたタイムゾーン情報をメモリから読み出し時刻情報とからその場所に適した時刻に修正する。

この受信は受信環境がよい場所で30秒程度の時間が必要となる。一方タイムゾーンを跨ぐ移動がない日常的生活の中では、使用者は特定の動作をしなくても、ウォッチが受信可能な環境かどうかを判断して受信が可能であれば自動で時刻だけを受信する。この受信は時刻情報だけの取得でよいので、受信環境が良ければ3秒程度の短時間で終了する。このように使用者の生活に合った受信モードを選択使用することにより、受信時間を大幅に短縮しエネルギー収支の改善に貢献している。

GPS 衛星の信号の周波数は、1575.42MHzと高い周波数のマイクロ波を使っているため、衛星放送同様に建物内や地下街では信号が遮られてしまうため、受信が困

難である。自動で信号を受信するためには、空が開けている屋外に使用者がいる必要がある。空が開けているかを判断するために太陽光の照度を検出して判断することが出来る。照度を検出するには、ソーラーセルの出力で検出することが出来るため、新たに照度を検出するための専用センサーを用意する必要はない。GPSソーラーウォッチでは、ダイヤルに当たる太陽光をダイヤルの下に配置されたソーラーセルで検知しており、設定した照度を超えた場合に自動で時刻情報の受信を開始する仕組みを採用している。図6はGPSソーラーウォッチで採用している単セルが数段直列化された構造であるソーラーセルの照度と出力電圧の関係である。ダイヤルに当たる太陽光の照度が高くなるほどソーラーセルの出力電圧が増加する。予め設定した照度を超えたかどうかを判断するために閾値を設定しておき、その閾値を超えた場合に適切な照度であり受信可能である可能性が高いと判断して、時刻の受信を開始する仕組みとなっている。

図6はソーラーセルの出力電圧を示しているがソーラーセルに流れる電流で照度を検出することも可能である。

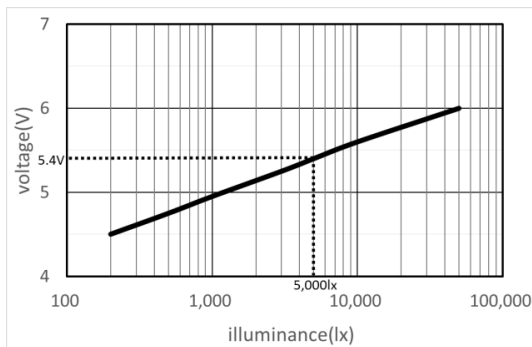


図6 ソーラーセルの照度と電圧の関係

使用者は、タイムゾーンを跨ぐ移動をした場合だけボタン操作を行えばよいので、受信操作を気にする必要はなく非常に使い勝手のよい仕様となっている。

3.2.2 デバイスの低消費電力化

図7にGPSソーラーウォッチの平均消費電流を示す。従来のデバイスを使って構築した場合の平均消費電流は、ウォッチに搭載したソーラーセルでエネルギー収支が成り立つレベルを大きく超えていることがわかる。GPSを受信するためにはGPSモジュールという受信デバイスが必要で、このGPSモジュールと前述の電池制御ICの消費電流が大きいが要因となっている。GPSモジュールについては、半導体のプロセスの進化により、トランジスタサイズの小型化、駆動電圧が低電圧になったことや時刻取得に特化した専用の制御方式を取り入れることで低消費電流化が進んだ。図7に示すGPSモジュールは、従来の汎用的に使われているGPS

モジュールに対して約1/5の平均消費電流となっている。RFとBBが別のICで構成され一つパッケージに納められモジュール化されていたが、最近ではRFとBBが一つのICで構成されており、さらにモジュールと比較して小型化されている。

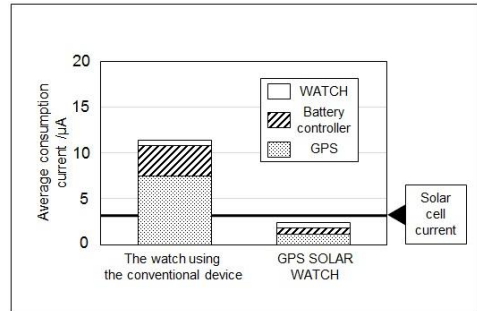


図7 GPSソーラーウォッチの平均消費電流

GPS受信時の消費電流はピークで約10mAと非常に大きく、二次電池は、従来ウォッチで使用していた二次電池とは異なり、重負荷特性を備えた携帯電話機やスマートフォンなどで一般的に使用されているリチウム二次電池が必要となる。

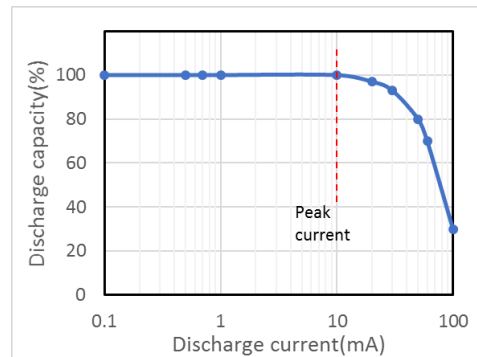


図8 放電電流と容量

GPSソーラーウォッチにおいては複数の電極が積層されたコイン型リチウム二次電池のCLB電池を採用している。図8はCLB電池の放電電流と容量の関係であるが、GPS受信時のピーク電流を流すことが可能な出力特性を備えている。

また、リチウム二次電池を安全に使用するために過充電、過放電の充電制御や過放電状態からの再充電禁止機能が必要となり、電池制御ICにおいてその電圧を監視する制御を行っており、低消費電流化を行っている。

このように効率的な受信モードを採用すること、および低消費電流デバイスの採用により、ダイヤルに配置したソーラーセルの発電だけでエネルギー収支を成り立たせ、光が当たっている限り止まらない商品を実現している。

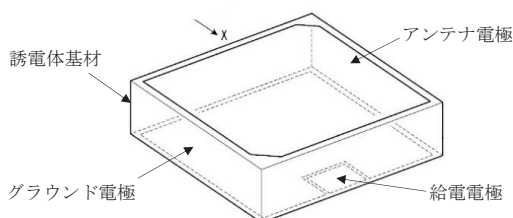
3.3 外装品位と受信感度の両立

地上から見た場合に、GPS 衛星は常に移動しているので、電波が送られてくる方向が定まっていない。また、複数の GPS 衛星からの電波を捕らえなければならないので、指向性が均一なアンテナを使用することが望ましい。GPS 衛星から送られてくる電波は、全ての方向からやってくるので、その信号を受けるためには、上方向に広い指向性を持ったアンテナがウオッチには適している。さらに、GPS 衛星から送られてくる電波は、右旋円偏波であるので、円偏波用のアンテナが適している。GPS ウオッチにおいては、広い指向性、円偏波を受信可能な特性を兼ね備えたパッチアンテナ、リングアンテナが採用されている。以下にこれらのアンテナについて説明する。

3.3.1 パッチアンテナ

パッチアンテナは、図 9 に示すように、誘電体基材にアンテナ電極と、グラウンド電極と給電電極とを積層したアンテナである。アンテナ電極は誘電体基材上面に配置され、グラウンド電極と給電電極は、誘電体基材の底面に配置されている。給電電極は、誘電体基材の側面に給電電極から連続して設けられた側面電極とを備えた帯状のストリップ電極のタイプもある。各電極は誘電体基材に銀ペーストを塗布し形成される。

パッチアンテナ



パッチアンテナが方形の場合は、アンテナ電極の一辺が半波長で共振する。しかし、パッチアンテナは誘電体基材を備えているので、誘電体の波長短縮効果によりパッチアンテナを小形化できる。誘電体基材は、セラミック等の誘電体によって直方体状に形成されている。

図 9 のパッチアンテナは面実装型であり、グラウンド電極と給電電極は、回路基板に半田で接続されると共に固定される。サイズは通常 10mm 角以上のパッチアンテナを採用している。

図 10 にパッチアンテナを使用した GPS ソーラーウオッチのムーブメントの断面図を示す。ムーブメントのダイヤルとソーラーセルの下にパッチアンテナを収納している。ムーブメントを金属ケースに内蔵する構造である。金属外装や輪列などのムーブメントを構成する金属部品との干渉を抑えるためアンテナの配置を最適な位置に置く必要があり、ムーブメントのレイアウトには制約が生じる。また、ソーラーパネルも受信に影響を与えるため、アンテナの上部に位置するソーラーパネルの

電極に切欠き部分を設ける必要があり、切欠きを設けた分、発電する面積が減少してしまう。

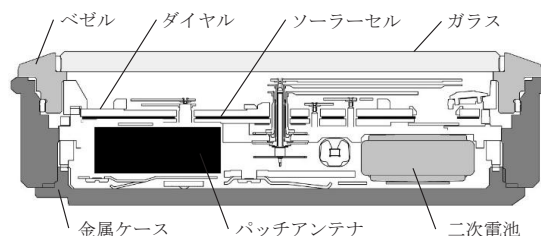


図 10 パッチアンテナを採用したウオッチ断面図

しかし、パッチアンテナを採用することで、見返し(ガラスの下面からダイヤルの上面まで)は通常のアナログウオッチと同等にすることが出来る。ベゼルはアンテナ上面に配置されないため、金属の影響を受けず、材質は金属やセラミックスを採用することが出来るので、制約のないデザインの自由度の高いウオッチを実現することができる。

3.3.2 リングアンテナ

図 11 にリングアンテナを使用した GPS ソーラーウオッチのムーブメントの断面図を示す。GPS ソーラーウオッチではダイヤルの上にダイヤルを囲むようなリング形状でアンテナを配置している。アンテナは誘電率の高いリング状の基材に無電解めっきでアンテナパターンを形成し、外周のフックでムーブメントに固定する構造である。

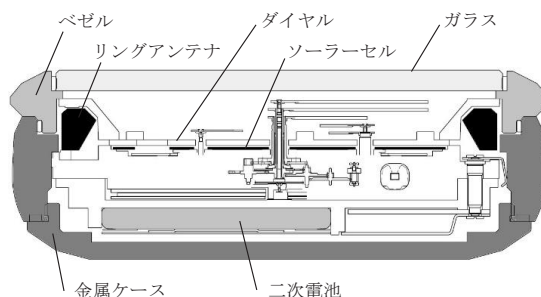


図 11 リングアンテナを採用したウオッチ断面図

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

図 12 にムーブメントの断面構造を示す。ムーブメントの上側にソーラーパネル、ダイヤルが順番に構成され、その上にリングアンテナを配置する。これにより前述し

たムーブメントを構成する金属部品の干渉を受けづらくすることができ受信感度を高く保つことが可能である。リングアンテナを採用することでソーラーパネルをダイヤル全体に配置することが可能で、エネルギー収支の改善にもつながっている。

リングアンテナの上側にダイヤルリングを配置し、それを覆うベゼルには耐擦傷性に優れ、美しい輝きを放つセラミックスを配置することで、GPS の受信感度を確保しながら高品位の外観を実現できる。

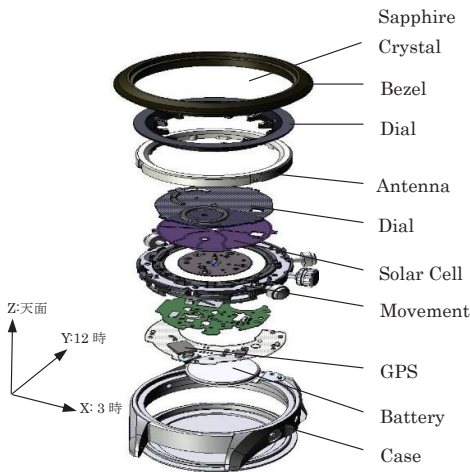


図 12 ムーブメントの断面構造

図 13 にリングアンテナがウオッチ外装に収納された状態の X-Z 平面の指向特性を示す。前述したようにアンテナをダイヤルより上に配置することで、ムーブメントや外装の影響を受けずに、Z 軸方向にほぼ均一な指向特性が得られている。

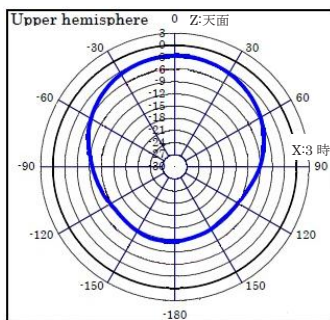


図 13 リングアンテナの指向特性

GPS ソーラーウオッチは、タイムゾーンを跨ぐ移動がない日常的な生活の中では、ウオッチが受信可能な環境かどうかを判断して自動で受信を行うため、受信中にアンテナを天頂方向に向けるなどの安定した姿勢をとることが期待できない。そのため、使用者の様々な使用状況にも対応できるように、図のような広い指向特性が

必要となる。この指向特性により、動作中や移動中などでも使用者が意識せずに受信することが可能となっている。

4. 結 言

本稿では、GPS 衛星から時刻を計測するシステムを腕時計に納める技術について解説した。正確な時刻を知る価値を追求し、世界中どこでも正確な時刻を刻む GPS ウオッチが、エレクトロニクスの進化によって実現することが可能となった。今後もこの進化は続くと考えられる。技術開発を続け、より魅力的な商品となることを期待する。

参考文献

- 1) 本田克行, 柳澤利昭 : GPS ソーラーウオッチの開発, マイクロメカトロニクス, Vol. 58, No. 210, pp. 1-6, 2014.
- 2) National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing : Interface Specification "IS-GPS-200G" (2012).
- 3) 研究会報告 : 高出力コイン形リチウム二次電池の現状と今後の展開, マイクロメカトロニクス, Vol. 59, No. 213, pp. 16-33, 2015.
- 4) トランジスタ技術編集部編 : GPS の仕組みと応用技術, CQ 出版社, pp.77-79, pp.133-137, 2009.



馬場 教充

平成 3 年セイコーエプソン株式会社入社, Cal.7X の開発に従事。現在も GPS ソーラーウオッチの開発業務に携わる。

特集

国内メーカーのこれまでの取り組み*

ーセイコークロック株式会社ー

1. 緒 言

セイコークロックでは2013年7月に衛星電波クロック GP201W (図1) を発売して以来、デジタル表示式置時計や報時機能付き掛時計など様々なラインアップを投入してきた。

クロックの場合は屋外で受信可能なウォッチと異なり、衛星からの電波が届きにくい屋内で使用されるため受信環境に大きな制約がある。一方で大きなアンテナや大容量の電池を使用することが可能なため、受信性能的にはウォッチよりも有利な設計が可能といえる。

本稿ではクロックで衛星電波を利用するためにこれまで取り組んで来た内容について触れる。



図1 オフィス向け衛星電波クロック GP201W

2. 屋内での衛星電波受信

屋内用クロックの場合、仰角の低い衛星からの電波や、建物で反射した電波が窓から侵入した信号を捕捉する必要がある。その際、窓ガラスによる侵入ロスや時計に到達するまでの減衰により衛星電波は著しく微弱なものとなる。

一方で測位はせずに時刻情報のみを取得するのであれば、一つの衛星を捕捉するだけで良い。

開発当初、屋内でどの程度衛星電波の捕捉が可能であるか不明であったため、NMEA データロガーを作製しフィールドテストを行った。

図2、図3は鉄筋建物において窓からの距離が12mと18mの場合の受信継続時間と受信成功率の一例である。

多くのテストポイントで繰り返しデータを取得して以下を結論づけた。

- ・受信継続時間と受信成功率は比例する。
- ・窓からの距離と受信成功率は反比例する。
- ・標準電波よりも鉄筋建物内での受信範囲は広い。

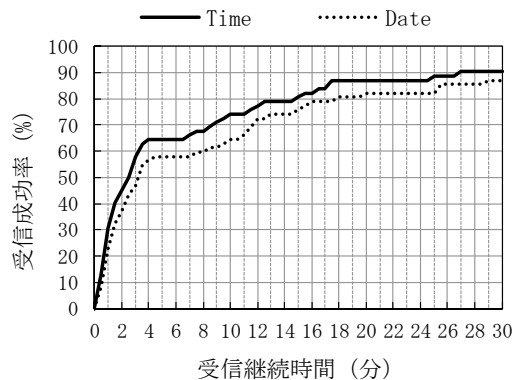


図2 受信継続時間と受信成功率 (窓から 12m)

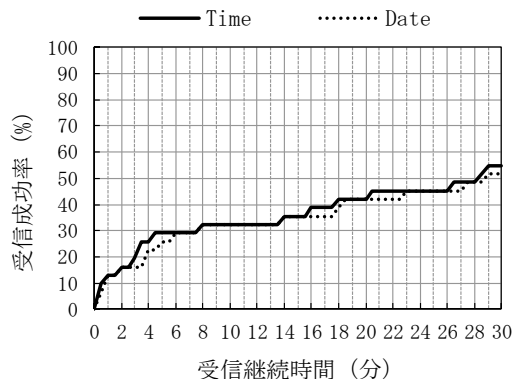


図3 受信継続時間と受信成功率 (窓から 18m)

3. 受信環境に適応した受信制御

汎用 GPS 受信モジュールは標準電波受信回路に比べておよそ 1000 倍もの消費電力を要する。窓から離れた場所では受信を長時間継続した方が受信成功率は上がるが、定期自動受信で毎回長時間受信動作を行うと電池の消耗が早くなる。

このため時計を設置した場所の受信環境に応じて、受信頻度とタイムアウト時間をダイナミックに制御する方式を採用した。

* 原稿受付 平成 30 年 11 月 20 日

例えば毎回 1 分程度で受信に成功する良好な受信環境では 1 日 4 回自動受信を行い、逆に 1 回の受信所要時間が 30 分程度要する受信環境では最大で 6 日に 1 回と受信頻度を下げる。

また偶発的に受信状況が悪化した際に受信頻度が低下しないようにタイムアウト時間を制御している。

これにより単 3 アルカリ乾電池 3 本で電池寿命 1 年を実現している。

4. 衛星配置に同期した受信制御

GPS の配置は刻々と変化するため、特に屋内で受信する場合は信号強度が時間を追って変化する。よって予め設定した時刻に自動受信を行うのでは必ずしも最適な状態で受信を行えない。

そこで GPS の周回周期が 23 時間 56 分 4 秒毎にほぼ同じ衛星配置となる事を利用して受信状態の最適化を行っている。

具体的にはリセット後 2 時間毎に 12 回受信動作を行い、所要時間の短かった時刻を自動受信開始時刻として設定し、以降上述の周期で自動受信を行う。

更に衛星の配置が変化した場合に備えて自動受信開始時刻を再設定する制御も行っている。

これにより 1 回当たりの受信所要時間が短くなり、受信頻度が増えるため時刻表示精度の向上につながることになる。

5. 受信アンテナ

衛星電波の受信にはパッチアンテナを用いているが、屋内に届く信号は非常に微弱であるため、これを捕捉するために大きなグランドプレーンを設けて、レシーバーの性能を最大限に引き出している（図 4）。

掛時計の場合はこのアンテナを針中心と 6 時位置の間に配置して、時計の対向方向から伝播してくる信号をキャッチする。

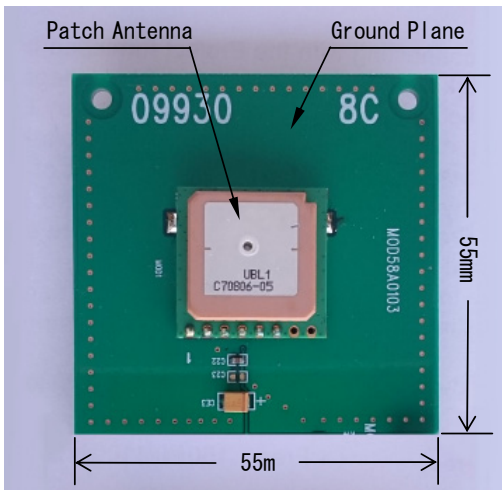


図 4 受信アンテナ

6. 付加機能

アナログ表示の掛時計には裏面に LCD が設けてあり、デジタル式も含めて、全ての衛星電波クロックは時差設定（30 分単位）、サマータイム設定（開始と終了の週を設定）、分単位の時刻調整（±60 分）が可能である。

また LCD の受信結果表示マークにより、過去 24 時間以内、あるいは過去 6 日以内に受信に成功しているか否かが判別可能となっている。

7. 商品ラインアップ

2018 年 11 月現在、オフィスタイプの衛星電波クロックはアナログ式掛時計 5 機種、デジタル式掛時計 1 機種、家庭向けは「セイコースペースリンク」シリーズを含むアナログ式掛時計 7 機種、デジタル式置時計 1 機種を取り揃えている。

2017 年にはクロック製造 125 周年を記念した掛時計 2 機種を発売。

GP301B（図 5）は精工舎創業期を代表するテンプ式八角小型掛時計からインスピレーションを得たクラシカルな意匠で、毎正時に懐かしのメロディで時をお知らせする報時機能付きである。



図 5 GP301B

GP218L（図 6）は「セイコースペースリンク」シリーズのフラッグシップモデルとして、衛星から撮影した地球を商品全体に表現している。



図 6 GP218L

8. 結 言

衛星電波は標準電波と比べて屋内での受信範囲は広く、GLONASS や Galileo などの複数の GNSS の利用により、更に受信範囲は広がると考えられるが、標準電波クロックの様に普及を進めるにはより一層の低コスト化が課題であると考ええる。

特 集

国内メーカーのこれまでの取り組み*

ーカシオ計算機ー

1. 結 言

GPS 電波から受信した時刻情報に加えて、受信した位置情報から高精度の地図データを活用したタイムゾーンとサマータイムの有無を解析し反映することで、常に正確な時刻を表示する「時刻精度の追求」。

GPS 電波から受信した位置情報を元に、目的地までのルート上の現在地や、目的地への方向を表現する「ナビゲーション機能の実現」。

GPS を活用した製品に関して紹介する。

2. G-SHOCK 『GPR-B1000』

サバイバルシーンで真価を発揮する“RANGEMAN（レンジマン）”シリーズの製品に、ソーラーアシストによるGPSナビゲーション機能を搭載。

“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。



図1 GPR-B1000

今回新たに搭載したGPSナビゲーション機能は、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する(図2)。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る(図3)。

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。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する。

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する。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(図4)やタイムライン(図5)で表示する。タイムラインでは、メモリーしたポイントの情報を時系列に表示し、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る。

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”。

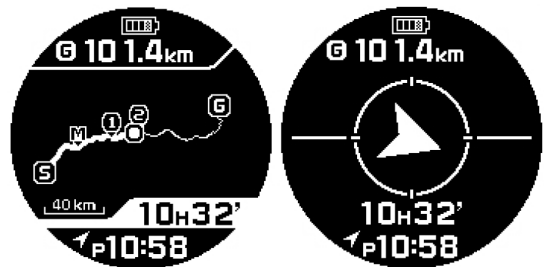


図2 ルートナビゲーション

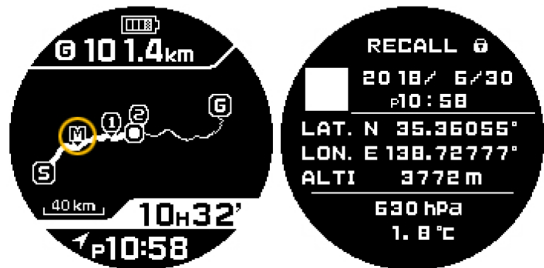


図3 ポイントメモリー

* 原稿受付 平成 30 年 10 月 29 日



図4 G-SHOCK Connected 3D マップ

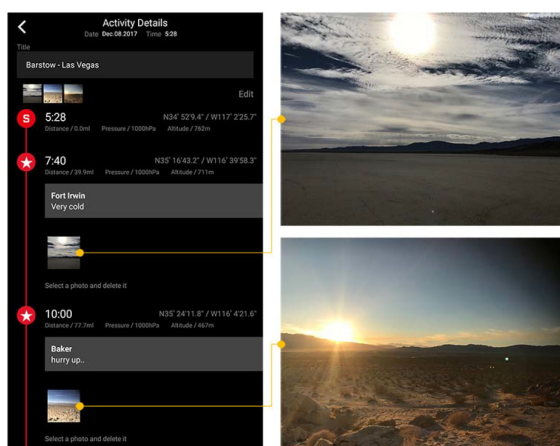


図5 G-SHOCK Connected タイムライン

3. G-SHOCK 『GPW-1000』

精度と強度を徹底的に高めた究極のタフネスウォッチ。GPS電波受信機能と世界6局の標準電波受信機能によるハイブリッドの時刻取得システムを搭載。密林や砂漠、海上、さらには都会のビル群や屋内まで、全世界エリアでGPS電波受信機能と世界6局の標準電波受信機能を使い分け、正確な時を確実に刻む“G-SHOCK”。

世界地図を500m単位に分割した高精度の地図データを時計に内蔵しており、GPS電波から受信した時刻情報に加えて、位置情報からタイムゾーンとサマータイムの有無を解析して自動で時刻修正を行う。

針駆動用に超小型モーターを採用することにより、ハイブリッドの時刻取得システムを実装するスペースを確保。また、低消費電力GPS用受信LSIと、高効率で発電する新形状のソーラーセルを採用し、消費電力の増大にも対応した。さらに、セラミック製のGPSアンテナや、ケースに配したファイバーレジンにより、高い受信感度と耐衝撃性を両立している。

衝撃、遠心重力、振動の3つの重力加速度に耐える“TRIPLE G RESIST”に加え、引張耐久力の高い“カーボン

ファイバーインサートバンド”、耐摩耗性に優れたDLCコーティングを施したベゼルなど、過酷な環境に耐え得るタフネス性能も充実させた。



図5 GPW-1000

4. OCEANUS 『OCW-G1000』

「Elegance, Technology」をコンセプトにしたフルメタルの電波ソーラーウォッチ“OCEANUS（オシアナス）”。エレガントなデザインを施したフルメタルケースに、GPS電波受信機能と世界6局の標準電波受信機能によるハイブリッドの時刻取得システムを搭載した。



図6 OCW-G1000

ワンプッシュで位置情報を取得し、タイムゾーンとサマータイムを判別する。地域に合わせてGPS電波と標準電波を使い分け、正確な時刻に素早く修正を行う。また、2都市の時刻を一目で確認できる「Dual Dial World Time（デュアルダイアルワールドタイム）」を採用し、ワールドタイムの使い勝手を高めている。

さらに、少ない面積で高い受信感度を保てる高効率ソーラーセルを採用することで、質感のあるフェイスデザインを実現。フェイスには視認性の高い両面無反射コーティングデュアルカーブサファイアガラス、ケースには最高峰の研磨技術であるザラツ研磨を施すなど、仕上げにもこだわった。

特集

国内メーカーのこれまでの取り組み*

ーシチズン時計株式会社ー

1. 緒 言

シチズン時計では、2011年9月に世界初の光発電式衛星電波時計であるエコ・ドライブ サテライト ウェーブを発売して以降、衛星電波時計のユーザビリティやデザイン性を一層向上させることを目的とした開発を継続している。本稿では、シチズン時計における衛星電波時計の取り組みについて紹介する。

2. 世界初の光発電式衛星電波時計の誕生

2011年9月に発売したエコ・ドライブ サテライト ウェーブは、世界初の光発電式衛星電波時計である。光をエネルギーとして定期的な電池交換を不要とする光発電時計「エコ・ドライブ」であることに加え、地球を周回する人工衛星の時刻信号を受信して正しい時刻を表示するという、革新的なシステムを実現した Cal. H990 を搭載する。

人工衛星を用いることで全世界で受信が可能となるだけでなく、最短6秒という短い受信時間に加えて、リ्यूズの操作だけで世界中の時差に設定できる機能「ダイレクトフライト」を搭載したことで、簡単に素早く、かつ正確に世界中の時刻に合わせることが可能である。

また、時間帯や発電・充電状態などの特定の条件を満たした場合に自動的に受信を開始する自動時刻受信機能や、最大で12.5分の受信時間を要する閏秒を、受信で設定できるだけでなく、手動でも設定できる機能を搭載し、衛星電波時計としての利便性を高めた。



図1 Eco-Drive Satellite Wave

外装は、コンセプトモデルとして宇宙・太陽・地球・衛星・光をキーワードにデザインされ、地球をイメージ

した丸いケースには宇宙の艶やかな漆黒を表現するために高硬度セラミックスを採用した。指し色のグリーンは、宇宙から地球に降り注ぐ太陽の光と信号を、オーロラの美しい光に重ね合わせて表現しており、本製品はプロダクトポリシーである「技術と美の融合」のもと、革新的な技術と、美の象徴であるデザインを融合させたものであった。

3. 世界初のフルメタルケース化

2013年9月には、Cal. H990の受信感度を大幅に向上させた Cal. H909 を搭載し、世界初のフルメタルケース光発電式衛星電波時計となるエコ・ドライブ サテライト ウェーブ エアを発売した。フルメタルケース化により、衛星電波時計は腕時計としてよりベーシックなデザインへ近づいた。

受信時間は最短4秒に短縮し、当時世界最速の受信時間を実現してユーザビリティも向上した。



図2 Eco-Drive Satellite Wave Air

4. 薄型化と基本性能の向上

2014年10月、受信時間や指針の動作など、ユーザーが体感する「スピード感」の向上をコンセプトに、ユーザビリティとデザイン性をさらに向上させたエコ・ドライブ サテライト ウェーブ F100 を発売した。

本製品は、薄型化のためにムーブメントの構造を一新した Cal. F100 を搭載し、完成時計厚が12.5mmで当時世界最薄の光発電式衛星電波時計を実現した。

また、指針を全て独立駆動としたことで時刻や時差の修正時間が短縮され、操作性が一層向上した。

さらに、受信システムも改良したことで受信時間は最短3秒に短縮した。

携帯精度は、温度補正システムを搭載することで従来の日差±15秒から月差±5秒に向上し、腕時計としての

* 原稿受付 平成30年10月11日

基本性能を高めた。



図3 Eco-Drive Satellite Wave F100

5. 世界最薄の光発電式 GPS 衛星電波時計の実現

2015年にはCal. F100にGPS衛星からの測位機能を追加したCal. F150を開発し、同年8月、最先端技術を搭載し、グローバルに活躍するビジネスマンをサポートする当社ブランド「シチズン アテッサ」から当時世界最薄となる光発電式GPS衛星電波時計を発売した。

ボタン一つで現地時刻に自動修正可能な測位機能に加えて、ストレスフリーな最短3秒の受信時間と指針の素早い動作、操作性の高いダイレクトフライト機能、月差±5秒の高い携帯精度、薄型構造による高い装着性を兼ね備えたGPS衛星電波時計が実現した。



図4 ATESSA F150

6. 光発電式GPS衛星電波時計の多針化と多機能化

シンプルでスタンダードな機能をもつCal. F150に対して、より多針化・多機能化を図ったCal. F900を2015年に開発し、同年10月にエコ・ドライブ サテライト ウェーブ F900として発売した。

本製品は、完成時計厚13.1mmであり、2018年10月時点において世界最薄の多機能光発電式GPS衛星電波時計である。

多針化・多機能化による構造的制約から、Cal. F150とは異なり、分針と時針を1個のモーターで連動駆動する構造を採用したが、新開発の高速ツインコイルモーターを分針・時針駆動に採用することで、時刻や時差修正のスピード感を損ねることなく、薄型かつ多針化・多機能化を実現した。



図5 Eco-Drive Satellite Wave F900

7. ユーザビリティとデザイン性の更なる追及

2018年3月のバーゼルワールド2018にて、時刻や時差修正時の指針動作をさらに高速化したサテライト ウェーブ GPS F990を発表した。

本製品は、Cal. F900をベースに、更なる省電力化と指針の高速駆動化等の改良を加えたCal. F990を搭載する。分針・時針を連動駆動する高速ツインコイルモーターは、Cal. F900より約70%省電力化しながらも、約2倍の高速駆動を実現した。また受信の省電力化や、ソーラーセルの発電能力の向上を図り、文字板の外観性やデザイン性が向上した。

外装は、2011年に発売して好評であった初代サテライト ウェーブのデザインコンセプトを継承しながらも、ケースには純チタニウムに当社独自の表面硬化技術であるデュラテクトを施したスーパーチタニウムを採用してフルメタルケース化し、より軽量で装着性に優れ、独創性とデザイン性の高い製品に仕上げた。



図6 Satellite Wave GPS F990

8. 結 言

本稿では、シチズン時計における衛星電波時計への取り組みと、その歴史について述べた。シチズン時計では、引き続き「技術と美の融合」というプロダクトポリシーのもと、ユーザビリティとデザイン性を追及した腕時計製品の開発に取り組み、お客様に新たな価値の提案と魅力ある商品を提供していく。

特集

国内メーカーのこれまでの取り組み*

ーセイコーエプソン株式会社ー

1. 緒 言

セイコーエプソンでは、セイコーブランド及びエプソンブランドで GPS 機能を搭載した商品開発を展開してきている。

本稿では、弊社が商品化した GPS 機能搭載ウォッチ/リスト機器を紹介する。

2. セイコーブランド商品

2.1 初代 GPS ソーラーウォッチ Cal.7X (2012 年)

2012 年 9 月にセイコーアストロンとして発売した Cal.7X は、世界初の 4 衛星受信による自動時差修正機能付きウォッチである。自社開発によるリングアンテナにより、あらゆる条件下で良好な受信性能を得られる商品である。(図 1)



図 1 Cal. 7X

2.2 第二世代 GPS ソーラーウォッチ Cal.8X (2014 年)

2014 年 9 月に受信性能を維持したまま大幅な低消費電力化により、ムーブメントを小型化し、ウォッチヘッドの体積ではこれまでのモデルと比べ約 30%という劇的なダウンサイジングを実現した。さらに、意識することなく常に正しい時刻に合わせられる機能「スマートセンサー」や直感的に操作できる電子式リゅうずの採用など、使い勝手を向上した商品である。(図 2-1)



図 2-1 Cal. 8X
(Chronograph)

また、プラットフォーム設計されたムーブメントにより、クロノグラフ仕様のみならず、多くのバリエーションを展開している。(図 2-2)



(Dual Time)



(Big Date)



(World Time)

図 2-2 Cal. 8X バリエーション展開

2.3 第三世代 GPS ソーラーウォッチ Cal.5X (2018 年)

これまでの実績をベースに、さらなる小型・薄型化を実現した。また、従来のスマートセンサーを進化させ、自動受信の信頼性を向上した「スーパースmartセンサー」を搭載。その他、圧倒的な運針スピードによる「高速タイムゾーン修正機能」、ホーム/ローカルタイムの切り替えが瞬時に可能な「タイムトランスファー機能」など、使い勝手の大幅な向上を行った。(図 3)
(小型化の変遷)

	Cal.5X	Cal.8X	Cal.7X
製品外径	φ 42.9mm	φ 45.0mm	φ 47.0mm
製品厚み	12.2mm	13.3mm	16.8mm



図 3 Cal. 5X

* 原稿受付 平成 30 年 10 月 31 日

3. エプソンブランド商品

3.1 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」(図 4-1)を 2012 年 8 月より展開し、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、さらにはトレッキングに対応したものなど、多彩なモデルを取り揃えている。(図 4-2)

Bluetooth®によるスマートフォンとの常時接続によりスマートフォンアプリ「Epson View」へ計測データが自動でアップロードされ、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である。さらに、走行データにスマートフォンで撮影した写真を重ね合わせて SNS 投稿も可能である。

またスマートフォン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。



図 4-1 初代 WristableGPS (SS-700S)



図 4-2 WristableGPS (J-300T) for Trek (MZ-500MS)

3.2 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)を立ち上げた。(図 5-1、図 5-2)

1st モデルは、GPS 機能のみならず、気圧・高度センサー、方位センサーをウオッチ本体に搭載し、さらに外部センサーとして「エクспанデッドセンサー」とデータ通信を行う。エクспан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で、温度/紫外線/歩数/消費カロリーを計測する。

また現在では、4 種類のシーン(空、海、街、陸)をイメージしたデザイン/機能を搭載し、幅広いモデル展開を行っている。



図 5-1 TRUME 本体



図 5-2 エクспанデッドセンサー

4. 結 言

弊社は 1942 年の創業以来、76 年間ずっと腕時計をつくり続けてきた。また、GPS をはじめとしたセンシングについての高い技術を有しているため、この融合商品の代表例が GPS ウオッチであり、今後も可能性を追求し続けていく。

解 説

「時計技術解説」 クォーツ時計

－ VIII. 電波修正機能付き時計 －

高田 顕斉 *

1. はじめに

人類がまだ農耕種族であったころから日時計や天体の動きから種植えの時期を知るなど、より豊かに生きていくために時間を知ることは非常に重要であった。

現代社会においては、交通インフラ、特に日本の公共交通機関においては緻密な運行ダイヤが分、秒単位で設定され、それらが正確に運用されることで、人はまさに分刻みの行動ができるような社会になっている。その行動のためには自身がこの正確な時間社会に同期する必要があり、その最も身近なツールは腕時計である。

腕時計は機械式時計から始まりクォーツ、電波修正時計、GPS 衛星電波修正時計、スマートフォンと接続しスマートフォンの時刻と同期する時計へと進化した。大航海時代においては正確な時計は国家予算なみの投資によって作成されていたが、今では多くの人が簡単に手にすることができる程安価で入手しやすいものとなっている。

正確な時間の利用は、時間を知る事のみにとどまらない。例えば GPS システムでは、30 数基ある各衛星に原子時計を搭載している。各衛星がもつ高精度の時間基準が位置情報の演算には不可欠であり、それが前提に成立するシステムとなっている。

以上のように大昔から現在に至るまで、人間社会と時間は切り離せないものであり、正確な時を測る、知る、ということは今も歩みを止めない人類の永遠のテーマである。

本稿ではクォーツショック以降、精度の面でエポックメイキングとなった長波電波時計に関する技術についてまとめる。

2. 電波時計が受信する長波電波について

長波電波時計が受信する電波はその名の通り、長波帯（30kHz～300kHz）の電波である。長波は遠方まで伝搬する特性があり、送信アンテナ 1 局で 1000km を超える地点でも 50dB μ V/m 以上の電界強度が観測できる。

電波の伝播は、地表に沿って伝わる地表波と電離層に反射して伝わる反射波があり、送信所から 500km 程度までは地表波が安定して伝播し、さらに遠方になると距離に応じて地表波が弱まり反射波による伝播が強くなっていく。ただし反射波は電離層に反射して伝播するため電離層の状態の影響を

* シチズン時計株式会社

受ける．例えば昼間と夜間では反射する電離層の高度が変わり，地表波との干渉から電界の変動が発生し，電波の到達距離や電界強度の変化をもたらす．特に日の出，日の入時刻付近では，電離層が不安定で長波の伝播も不安定となる．電離層は太陽活動の影響を受けるため四季によっても変動がある．

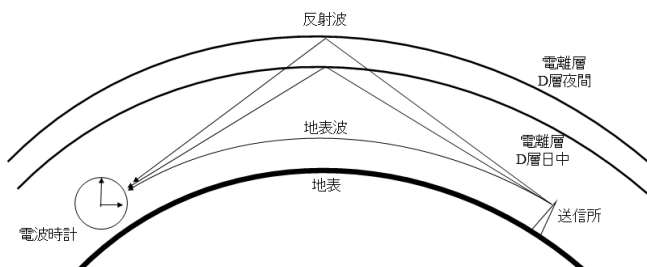


Fig.1 長波電波の伝播

日本では独立行政法人情報通信研究機構が送信元となり，福島県から搬送波周波数 40kHz，福岡県と佐賀県県境から同 60kHz の 2 局体制にて送信している（名称 JJY）．日本における標準電波の役割は周波数標準及び標準時刻の提供があり，2 局体制にて相互補完し 24 時間送信体制を維持している．また他国で代表的なところではドイツ（DCF77：77. 5kHz），アメリカ（WWVB：60kHz），イギリス（MSF：60kHz），中国（BPC：68. 5kHz）でも運用され，いずれも時刻情報が重畳されている．時刻情報（以下，タイムコード）は 2 値化されたデジタル信号に置き換えられている．JJY の電界強度分布を Fig.2，JJY のタイムコード配列を Fig.3 に示す．



Fig.2 JJY の電界強度分布

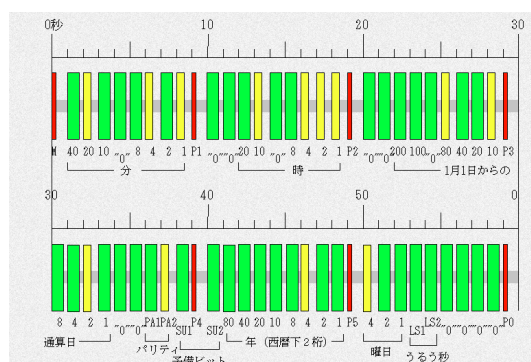


Fig.3 日本のタイムコード例

（引用：NICT ホームページ：<http://jiv.nict.go.jp/jiv>）

1 秒 1bit で 1 分間に 60bit 送信され、送信データは現在時刻を送信している。送信されるデータは 0, 1 の他、P コードと呼ばれるマーカーが送信される。P コードはデータの先頭マーカーとして 00 秒に配置され、その他 9 秒, 19 秒, 29 秒, 39 秒, 49 秒, 59 秒の各位置に配置されている。1 秒～8 秒の位置に分データ, 12 秒～18 秒の位置に時データ, 22 秒～28 秒及び 30 秒～33 秒の位置に 1 月 1 日からの通算日, 41 秒～48 秒の位置に西暦下 2 桁, 50 秒～52 秒の位置に曜日のデータが配置されている。その他、うるう秒情報 (53 秒位置 LS1, 54 秒位置 LS2), 時データ及び分データの誤り検出パリティ (36 秒位置 PA1 : 時パリティ, 37 秒位置 PA2 : 分パリティ), 夏時間情報などの予備情報用 (38 秒位置 SU1, 39 秒位置 SU2) がある。

データは AM 変調で重畳し (変調度 90%), 0, 1, P コード各データは変調時間幅で区別されており, 0 は無変調部分が 0ms～800ms (変調部分 800ms～1000ms), 1 は同 0ms～500ms (同 500ms～1000ms), P コードは同 0ms～200ms (同 200ms～1000ms) となっている。

他国についても同様に AM 変調となっているが、変調度、変調時間幅、データ送信配列などは各国独自の形式となっている。

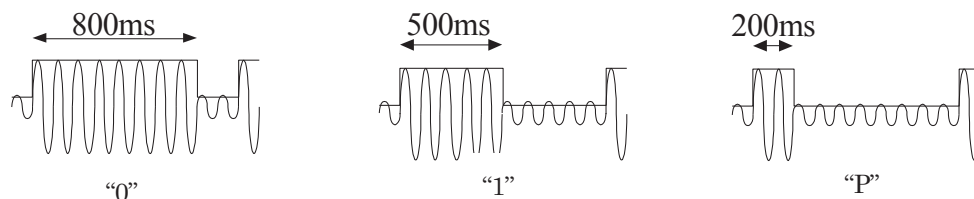


Fig.4 JJY の変調パルス幅

3. 長波電波時計の仕組み

まず始めに受信システムの概略について説明する。

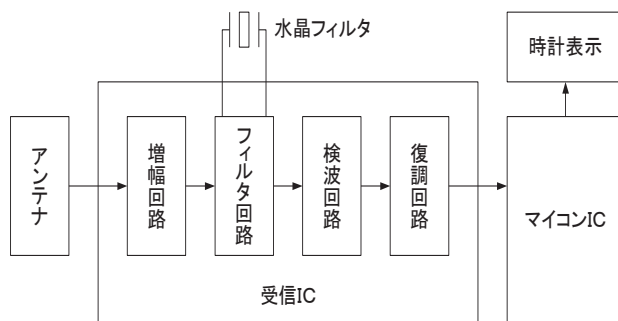


Fig.5 電波時計システム概略図

長波電波の波長は数 km に及ぶため、腕時計では波長に合わせたアンテナの使用は不可能である。そのため、微小ループアンテナを利用することになる。この微小ループアンテナは高透磁率でうず損の無いコアを用い、そのコアに巻線されたコイルが基本的な構造である。アンテナで受信した信号は受信 IC に入力され信号処理されていく。

受信 IC はアンテナからの微小信号を増幅するが、送信アンテナ近傍での電界強度は $100\text{dB}\mu\text{V/m}$ を超える反面、 1000km 以上の遠方では $40\text{dB}\mu\text{V/m}$ 程度まで減衰するため、電界変動に追従するようオートゲインコントロール（自動利得制御）回路が搭載されている。オートゲインコントロールにより適切に増幅された信号はフィルタ回路で所望周波数を抽出し、検波回路を通過し復調回路で重畳された時刻信号を復元し出力する。具体的には前述の 0, 1, P 各コードで表される信号が出力される。その後はマイコン等で信号処理を行い時刻データを生成し表示に反映させる。

長波電波の受信 IC は、RF 回路として考えるより、低ノイズ回路としての側面が重要である。アンテナからの信号は非常に微小であるにも関わらず、低ノイズで増幅し、希望周波数を選択してタイムコードを復調するが、変調方式が振幅変調であるためノイズがそのまま復調信号に影響してしまう。これらの条件を解決できる受信 IC は、長い間バイポーラ構造のものが一般的であった。なかでもドイツの TEMIC 社（1990 年後半）の受信 IC は、ノイズも少なく消費電流も現在と遜色ない低いものであり、クロックをも含め広く使用されてきた。その後 BiCMOS や CMOS による低消費、低ノイズの受信 IC も開発が進められていった。

以下、各主要エレメントについて詳述する。

3. 1 アンテナ

3. 1. 1 アンテナのコア材料

コア材は高透磁率であればあるほどアンテナの感度は向上する。フェライトは高透磁率かつ安価に製造が可能であり、長波電波クロック用にも広く利用されている材料である。腕時計用アンテナとしてフェライトコアを用いた設計をする場合、焼結材料であるが故、衝撃への脆弱性が懸念事項であったため極端な小型化はできず、また使用温度範囲が広い腕時計において温度特性がフラットではないフェライトは、高感度・小型化を進めていく中では不向きであった。

その解決としてアモルファス材へと切り替わっていくことになる。アモルファス材は温度特性がフラットで耐衝撃性にも優れており、小型化設計をする上では有利な材料であった。アモルファス材を使用したアンテナコアは、薄板状のアモルファス材を積層することでうず損を抑制させるように配慮されたものが一般的である。

3. 1. 2 アンテナの設計

アンテナから出力される起電力 E_{ANT} は

$$E_{ANT} = hQE F$$

で表される． h はアンテナ高(m)， Q は先鋭度， $E F$ は電界強度 ($\mu V/m$) で，アンテナ高 h は

$$h = 2\pi AT\mu / \lambda$$

で求められ， A はアンテナ開口面積 (m^2)， T はコイル巻線回数， μ はコアの実効透磁率， λ は受信信号の波長 (m) である．

アンテナ設計において検討できるパラメータは Q ，巻き数 T ，開口面積 A ，実効透磁率 μ である． μ はコア材料特性や形状により決まるが前述の通り感度面よりも製品仕様によって，材料選択，形状規制が入る．よって感度に着目したアンテナ設計のうち，検討できるパラメータは残りの Q ， T ， A となる．

Q は次式で計算される値である．

$$Q = \omega L / R$$

L はアンテナのインダクタンス(H)， R は直流抵抗 (Ω) である．

式の通り Q はインダクタンスが高く，直流抵抗が低い程良い．つまり，直流抵抗が大きくならないよう線径の大きいコイル線でたくさん巻くこととなる．これはアンテナに許されるスペースが大きい場合には有効であるが， Q が高いとシビアなアンテナ同調が必要となる．腕時計のケースはプラスチック，金属，セラミック等が用いられるが，プラスチックやセラミックはアンテナに対しうず損を発生しない材料であるため Q の低下は見られないが，金属では大きな低下を引き起こしアンテナ利得が低下する．そのため金属ケースを使う上で Q を改善する方策が各種考えられた．

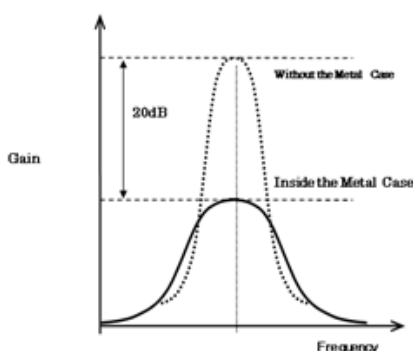


Fig.6 金属ケース内の Q 値

その方策はいくつかあるが、構成は違えど基本的な考え方はうず損の低減である。以下の図のように、金属ケースの内壁や裏蓋に磁性部材を張り付けたり (Fig.7)、アンテナコイルを覆うように磁性部材を配置し、金属外装の手前で磁力線をバイパスさせることでうず損低減を図った (Fig.8)。ただし、コイルが巻線されているコアとバイパスする磁性部材との磁気結合が強いと閉磁路となり外部磁界を取り込めなくなる。外部磁界を取り込みつつ、磁力線ループが金属ケースにより阻害されないようなバランス設計が必要となる。

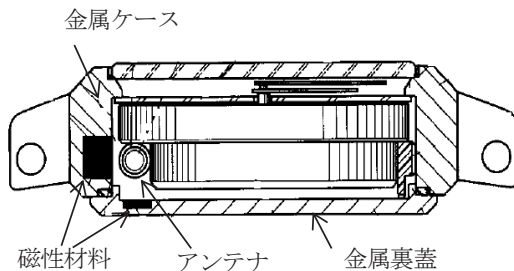


Fig.7 磁性材料配置 断面図

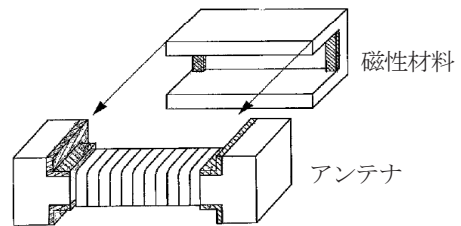


Fig.8 アンテナコイルカバー

アンテナ利得は巻き数 T に比例するため、巻き数を増加させれば感度をあげることができる。しかし巻き数の増加はアンテナサイズを大きくすることにつながる。サイズ制約がある場合は巻き線線径が細いものを利用せざるを得ないが、同時に抵抗分が増加するため Q 低下を招く。さらに巻き数を増加するとインダクタンスが高くなるため、線間に存在する浮遊容量分がアンテナの共振パラメータとして計算上考慮する必要が出てくるところまで巻き数を上げた場合は配慮が必要である。以上のように Q 値と巻き数 T 、アンテナに許されるサイズから最適条件を見出していく必要がある。

開口面積 A は、アンテナコイルを通過する磁束に関するパラメータである。開口面積は大きい程コイル内を通過する磁束が大きくなりアンテナ利得が向上する。しかし前述までの通り、アンテナコイルの開口を大きくする、つまりアンテナコア断面積を大きくすることはサイズ大となり、巻線の線長も長くなることで直流抵抗分が増加するデメリットを生じる (Fig.9)。この解決案として、単純なストレートコアに対し、両端部を大きくしたアンテナコアが考案された (Fig.10)。巻線部分の断面積を抑えることで巻き数を上げて直流抵抗を抑えることができ、且つ両端部を大きくすることで磁束の集中を図った。

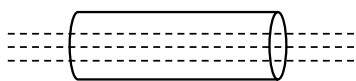


Fig.9 ストレートコア

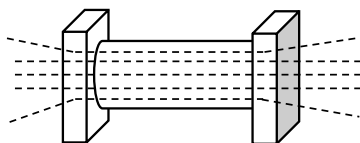


Fig.10 端部拡大コア

別の方法として、磁界をより効果的に集めるためにアンテナコイルとは別体となる補助部材、具体的にはアモルファス箔を積層した部材とこの積層部材とアンテナコアの間に磁性材を配置し、磁氣的に結合させることでアンテナの感度を上げる手法が取られた (Fig.11). 主に金属ケースを使った電波時計で見られる構造であり、アモルファス箔を積層した部材を裏蓋から離れた文字板側に配置することでうず損を回避しつつ、磁束を集めることを可能にした構造であり、金属ケース内のアンテナ利得は飛躍的に向上した。

このようなアンテナ感度向上のアプローチ、特に金属ケースに特化したアプローチは、オール金属ケース電波時計のさらなる感度向上や、女性用サイズの小型化へとつながり電波市場拡大へとつながった。

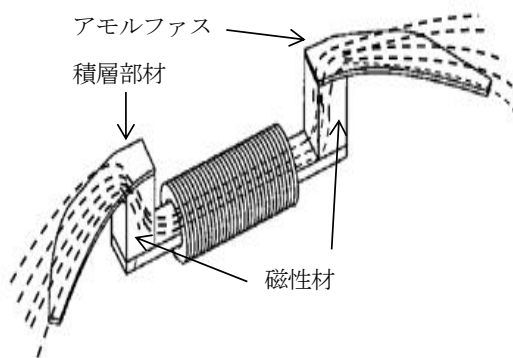


Fig.11 別体補助部材

3. 2 ケース材質・構造による感度へのアプローチ

今でこそ金属ケースを使用した電波時計が発売されているが、黎明期には時計に使用される金属部材、磁性部材の影響をいかに受けないようにするか、という視点で開発されてきた。1990年、ユンハンスはバンド内部にアンテナを配置したデジタル電波時計 Mega1 を発売。(これが腕時計型として最初の電波時計となる。) バンド以外のところでは、1993年にシチズン時計から発売された Cal.7400 は風防ガラス内にアンテナを配置し且つベゼルをセラミックにした電波時計を発売した (Fig.12)。



Fig.12 Cal.7400

別の配置方法としては、ケースの 12 時位置にアンテナ用スペースを設けデザイン上アンテナを意識させないものも発売された。しかし、いずれの対応も課題を抱えていた。バンド内蔵アンテナは専用バンドとなり劣化による交換時に選択の余地が無いこと、アンテナが見えるものは独創的なデザインのためニッチな範囲に留まり、時計ケースに収めたものは当時は樹脂ケースであった。電波時計であっても金属ケースを使用し時計としての質感・デザインが求められていたのは、黎明期においても周知のことであった。

そして 2003 年以降、金属ケースの電波時計が発売されるが、金属のケース自体にも感度向上のための施策が考えられ、導入されている。

3. 2. 1 金属ケースの感度向上施策

時計のケースを金属で製造する場合、ベゼル、中胴、裏蓋の 3 体構造が基本である。製品に要求される防水性により、それぞれを固定する方法にはいくつかの方法があるが、本稿では裏蓋と中胴との固定と感度の影響について触れる。

代表的な裏蓋固定方法には以下の 3 つが挙げられる。

- ①裏蓋の中子部分に固定ダボを構成し、中胴と嵌合させる方法
- ②樹脂製のパッキンで中胴と裏蓋を固定させる方法
- ③裏蓋中子部分にねじを切り中胴と固定させる方法

裏蓋と中胴が金属であっても磁気結合が弱ければその隙間から電波が侵入する経路ができる。①の構造の場合、ダボにより中胴と裏蓋が固定している部分の磁気結合が強く、ダボから離れるに従い磁気結合は弱まってくる。よって電波時計においてはダボ位置にも配慮がなされ磁束の入り口となるアンテナ両端付近にはダボが来ない様にし、感度改善を図っている。

また、②の構造は、中胴と裏蓋の間が全周に渡り樹脂パッキンが挟まる構造のため①～③の中では最も磁気結合が弱く、電波時計外装構造として最も適している。しかし、②の方式は時計全体の厚みは比較的大きくなる（より薄いケース構造が取れるのは①の方法である）。

③の方法は裏蓋と中胴が全周に渡り電氣的に導通されており、磁気結合も上記に上げた中では最も強い構造である。この③の構造はスクリューバックと呼ばれる固定方法であり、高い防水性を必要とされるダイバー時計に多く使用されている構造である。本原稿執筆時点においてもダイバー仕様の電波時計は難易度の高さからごく一部となっている。

上述は主に外装構造に触れたものだが、別の方法としてはアンテナに近い中胴部分を切削しアンテナと金属の距離を離すように加工したものや、裏蓋外周は金属で中心部分はガラスとした 2 体構造にして渦電流損の低減を狙ったものもある。

3. 3 アンテナ同調

アンテナの同調は LC 直列共振回路モデルとなる。

電波時計黎明期においては、前述の通り Q が高くなる設計となっていた。そのためアンテナコイルの損失を抑える様、コイル線径は現在より比較的太いものを使用していた。そのためサイズ面からは巻き数は多くはできなかった。結果としてインダクタンスは数 mH となり、同調に必要な容量分は半導体で構成できる値ではなく、チップ部品を使用していた。その後、金属ケースで使用しているアンテナは選択度よりも利得向上に重きを置いた設計思想となり、巻き数を多くした。その結果インダクタンスは数十 mH となり容量は半導体で構成できるようになった。これは実装スペース面でも有利に働いている。また同調させる周波数が複数ある場合、チップ部品にて容量分を構成していた時代ではメカニカルな切替スイッチにより容量の選択と同時に使用地域を選択させる方法を取っていたが、半導体スイッチに置き換わり、さらに半導体容量となるとスイッチは無くなり容量選択だけで同調するようになった。

3. 4 多局対応した受信回路

1999 年に日本で 40kHz の搬送波による長波送信局(福島県おおかたかどや山)が正式運用が開始し、引き続き 2000 年には 60kHz 搬送波の送信局(福岡県と佐賀県の県境にあるはがね山)が開局したことで電波時計はマルチバンド化対応が加速した。それ以前は各国ごとに送信局は 1 つであったため、国別の電波時計を製造・販売するスタイルであったが、日本で 2 局の正式運用が始まったことでマルチバンド化は必須要件となった。

マルチバンド化は、1993 年にすでにシチズン時計から英・独・日(40kHz 実験局)対応の電波時計が発売されていた。

日本 2 局対応を進めていく中で、日本以外の電波を受信局に加え、アメリカ、ドイツ、中国、イギリスの報時局を組み合わせた開発が進んでいき、現在は主要な腕時計メーカーの新製品のほとんどは日本以外のエリアでも受信できる仕様となっている。マルチバンド化対応はいくつかの方策がとられている。

3. 4. 1 ストレート方式受信 IC に周波数チャンネル毎にフィルタとなる水晶振動子を使用する

この方式は受信 IC に外付けする水晶フィルタを 2 周波受信対応する場合は 2 種類(例えば 40kHz と 60kHz)用意し受信 IC に並列に接続する構成をとる。この方式のメリットは、回路構成がフィルタを追加することだけで対応可能という簡素な構成が取れる点にある。しかし、水晶振動子の並列容

量分をキャンセルしなければ同相ノイズが後段回路に流れていく．この対応として受信 IC 供給メーカーは周波数選択機能（水晶振動子切替スイッチを追加し並列容量キャンセル相当の容量を内蔵）を追加し、且つ水晶振動子のキャンセル容量を開示することで、利用者が最適な水晶振動子を選択できるようにした．他にもユーザーがキャンセル容量を選択できるようにする機能が搭載されているものもある．デメリットは周波数分の水晶振動子を用意する必要があり、省スペースが要求される女性用等には不向きであった．この課題の解消のためヘテロダイン方式等が開発の主流となる．

3. 4. 2 スーパーヘテロダイン方式の導入

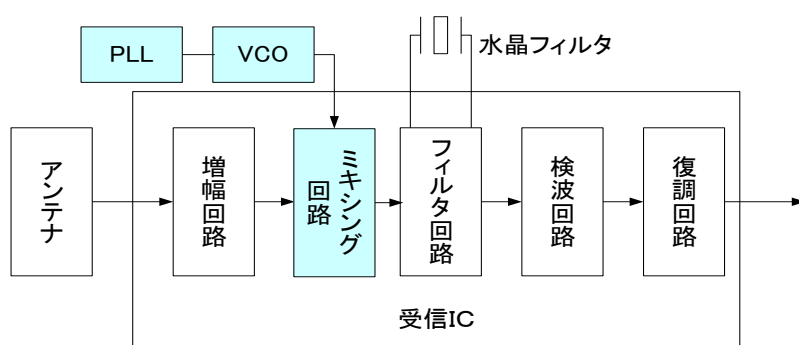


Fig.13 スーパーヘテロダイン受信回路

スーパーヘテロダイン方式の回路ブロック図を示す (Fig.13)．ストレート方式との違いは PLL シンセサイザを有している点にある．

電圧制御可変発振器 (VCO) で生成される周波数と受信周波数（例えば JJY の 40kHz）をミキシング回路で混合し、受信周波数よりも低い中間周波数に変換する．VCO で生成される周波数は可変可能であり、違う受信周波数（例えば JJY の 60kHz）を受信してもミキシング回路からは同じ中間周波数が出力されるよう VCO の発振周波数が変更される．これらの機能により後段のフィルタ回路は単一の周波数に対してフィルタ処理すればよく、ストレート方式をベースとした多局対応では受信周波数の数の外付け水晶振動子フィルタを用意していたがその必要が無くなり、中間周波数の水晶振動子フィルタだけがあればよい．PLL シンセサイザはどの周波数を受信対象するのかをマイコンからの指令を受け、相応の周波数を出力するよう制御される．PLL シンセサイザは高い周波数精度でなければ感度に影響が出るため、精度の高い基準クロックを必要とする．時計の水晶発振回路から得られる 32. 768kHz は高精度であり、これを基準クロックとすることで新たな源振を必要としないものがあり、省スペースの腕時計に適したシステムとなっている．

また、外付けフィルタを必要としない受信 IC も開発、商品に搭載されている．

以上の通り電波腕時計という小さな世界であるが、いかに時計らしく仕立てられるか、それが電波の障害となるもの（金属ケース）であっても必須条件と捉え、乗り越えられるかといった検討をメーカー各社が切磋琢磨しながら高めあってきた結果、現在の電波時計の地位が確立されたといっても過言ではない。

3. 5 信号処理

弱電界になるに連れ、受信 IC から出力される復調信号は、パルス幅の揺らぎ、不要パルスなどが発生するようになり正常な信号の識別ができなくなってくる。このような不具合は、例えば日本のタイムコードにおいてはマーカーとなる P コード（00 秒位置）が検出できず、別の位置に検出をしてしまうことで時刻情報の抽出が不可能となったり、0, 1 のデータを誤って別のデータと認識することで誤受信する等の影響が出る。誤った時刻情報を表示することは時計として致命欠陥である。

このようなハードウェアの限界感度領域において、信号処理は、その処理方法によって感度向上を図ることが可能であり、誤受信とならないように正しい時刻を作り出す重要な要素となっている。

3. 5. 1 信号処理詳細

信号処理はまず信号の開始点、日本の場合、パルスの立ち上がり位置を検出することから始まる（Fig.4 参照）。この開始点がずれると後述するパルス幅の検出にも影響が出る。開始点検出は、数十 Hz で復調信号をサンプリングし、開始点の出現地点を繰り返し検出することで最も再現性のある立ち上がり位置を信号の開始点とする方法が一般的に行われる方法である。

開始点が決まるとパルス幅の検出を行うが、ここでも如何に正しく信号種別を判別できるかが重要になる。そのやり方はさまざまであり、パルスの時間幅を検出したり、理想パターンとのマッチングにより信号を判別したり、ハードウェアの特性を踏まえパルス幅が可変することを前提としてパルス幅の選別基準を変更する方法など、各種手法が考案されている。

次にパルス幅の判別ができる状態となると、タイムコード配列の検出に処理が移行する。具体的にはタイムコード配列の先頭となるマーカー（日本の場合は P コード）の検出を行う。前述したように、この検出を誤ると時刻情報が取り出せない。よって、この処理の精度を高めるため、例えばマーカー以外の P コードの位置が所定位置に検出できているか等の判定も合わせて行われている。

タイムコードの先頭が分かると時刻情報の抽出が可能となる。この抽出方法も多種多様な方法が考案されている。一例を挙げると、時計が持つ時刻と、受信時刻とを比較することで比較的少ない受信データ量で受信成功とする方法や、複数フレームを受信しそれらが一致しているかを見る方法、複数フレームのデータを分析し誤り部分を除去する方法等がある。また、データの正確性判断には、パリ

ティ情報も重要である。パリティは、誤り検出として用意されている。パリティ情報がある電波、無い電波もあり、さらには全情報に対して用意している電波もあれば、一部の情報にのみ適用されている電波もある。送信情報は誤り検出といった簡単な意味づけであっても、誤受信に対しての抑止力はある。

以上のような処理を行うことでソフトウェアでも感度向上、受信品質向上に寄与している。

4. メンテナンスフリーへの足掛かり～電波受信とソーラー発電

金属ケースが採用できたことで質感・デザインが飛躍的に向上したことは、現在の電波時計の拡大の大きな出来事の1つではあるが、感度以外の機能面の進化も伴ってこそ現在の地位が確立されている。

時計に求められる本質は、旧来より「止まらない、狂わない」である。いつも正確で止まることなく動き続けてくれることが、機械式時計の時代より求められている不動の要求事項である。まさにメンテナンスフリー時計ということになるが、電波受信技術向上、ソーラー発電技術やその周辺仕様、さらには針の表示機構の信頼性向上といった仕様を組み合わせることにより、電波時計はこの要求に最も近い商品となった。これら仕様は具体的には、

- ・定間隔で受信を実施し（夜中に自動で受信する）、いつも正確。時間を合わせる手間が無い。
- ・定期的な電池交換が不要。
- ・定期的に針の位置を検出し自動で補正する。（光学式による、針と連動した歯車の位置検出）
- ・衝撃が加わり針ズレ発生の可能性が出ると、ずれないようにロック信号を出力する。
- ・耐磁一種

等である。

以上のように、ユーザーにいつでも正確な時刻を提供し安心感を与えられるかという仕様の積み重ねも長波電波時計発展を下支えすることとなっている。

5. まとめ

長波電波腕時計は、その登場からまもなく 30 年を迎えようとしているが、常に時刻が正しい腕時計として近年もっとも普及し認知された技術だろう。現在の地位が確立されたのは、時計としてのデザイン性を損なうことなく、外装素材選択の幅を拡大させつつも受信品質を向上させ、さらには時刻の正確さ以外にも時計としてあるべき姿を追求してきたことにより、時計トータルの完成度を上げたことに他ならない。価格帯についても日常使いとなるボリュームゾーンに適用し、実用面においては

最良の腕時計である。

しかしながら，薄型時計，極小ドレスウォッチといった特殊な仕様には対応できていない。またここまでの開発の中で，インフラ，市場動向も大きく様変わりしてきており，長波電波時計より手軽で時刻精度が良く，長波電波では成し得ない商品がいつ出てもおかしくない時代となっている。

長波電波技術は，今の社会背景を鑑みただ中でメリット，デメリットを明確にし，今後の長波電波技術開発の方向性を考える時が来ている。

引用，参考文献

- 1) 八宗岡 正：ウォッチ電波時計の技術動向と展望 日本時計学会誌 vol.53 No.200 (2009)
- 2) 川合 茂一：電波時計（長波受信用）フレキシブルアンテナの開発 日本時計学会誌 vol.48 No.4 (2004)
- 3) シチズン時計 ホームページ：<https://citizen.jp/locus/product/191.html>
- 4) NICT ホームページ：<http://jjy.nict.go.jp/jjy/>

研究会報告

**“触れる”，をデジタルに
～2.5D プリントシステムの概要と展望～**

講師 黒澤 諭氏 カシオ計算機株式会社 デジタル絵画事業部 部長

参加者 19 名 (正会員 13 名, 非会員 6 名)

中央大学	1 名
日本時計協会	1 名
Cubic Micro 株式会社	1 名
シチズン時計株式会社	2 名
セイコーインスツル株式会社	3 名
セイコーエプソン株式会社	4 名
セイコークロック株式会社	2 名
カシオ計算機株式会社	2 名
他	3 名

司会 常葉 輝久 カシオ計算機株式会社 開発本部 時計開発統轄部 モジュール開発部

※2018 年 4 月 26 日(木) 中央大学 後楽園キャンパス 2 号館 7 階 2735 号室にて開催

第一部 講演

1. 35 年前からあった凹凸プリンター技術

2.5D プリントシステムは完全に 0 からカシオが開発したものではなく、35 年前に技術が存在していた。コニカミノルタが出しているパートナービジョン紙の上に黒いインクを載せてそのインクに熱をかけると細かいインクのカプセルが発泡して立体的に立ち上がる技術で主に視覚障がい者、全盲の方や弱視と呼ばれる方々や全国の約 60 の盲学校でも現在でも使われている。



図 1 立体コピー出力例

2. カシオの取り組み

カシオは今ある既存の凹凸プリンター技術に対してさらに発展させることで単なる凹凸の表現だけでなく、“凹凸の高さを制御し、色を付けることができたなら”何ができるようになるかを考えた。例えば実際に触れることができない世界遺産であるエジプトの壁画やアフリカにしか生息していないような動物等の実際に触れることが難しいものを凹凸で再現することで、質感を再現することができ、視覚障害の方々をはじめ触れる経験をしたことがない方々にとって新たな触覚という体験を与えることができる。こういった触れるという触覚による体験をデジタル技術によって達成し、社会貢献を実現することが開発の原点となっている。

3. 電磁波造形技術

電磁波造形技術とは熱で膨張するマイクロパウダー塗布されたデジタルシートに電磁波を照射すると輻射熱を持つカーボンのプリントを施すことで、カーボンの分子量に比例した熱量がマイクロカプセルに伝わり、カーボンの分子量に比例して高さを制御することができる技術である。面上・造形・加飾における世界初の新しい表現手法における技術である。

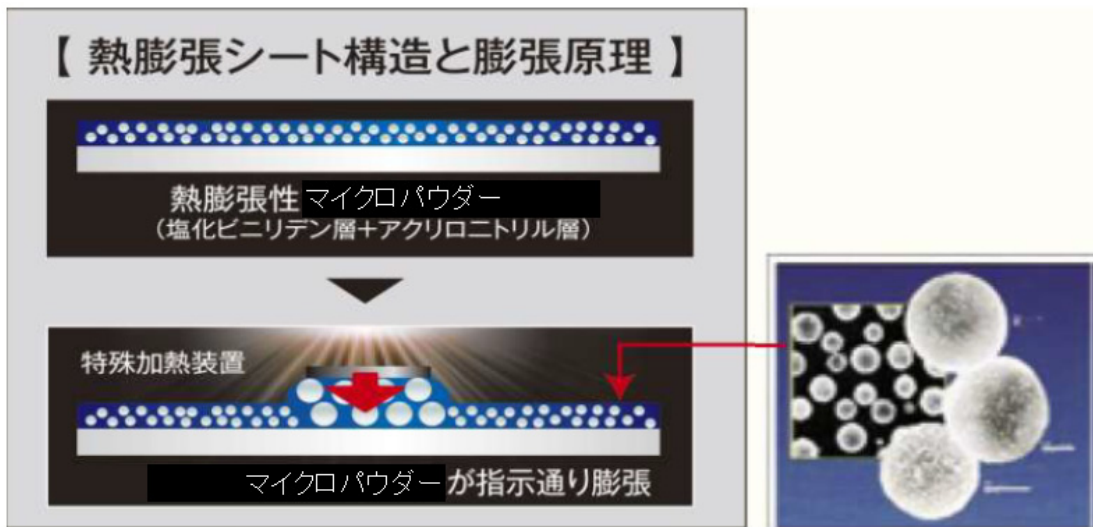


図2 熱膨張シート構造と膨張原理

4. 電磁波造形技術を支える3つの要素

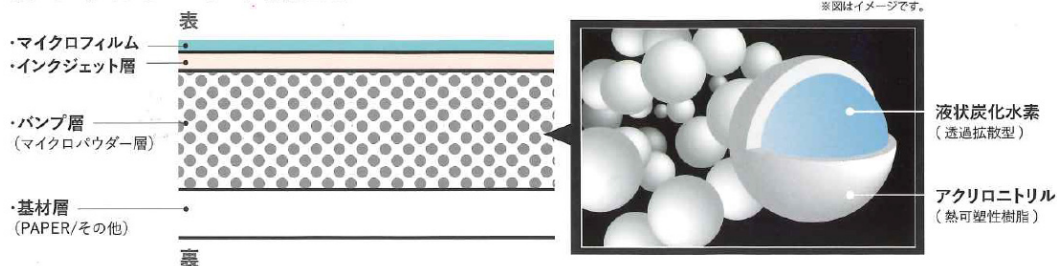
デジタルシート・ハード・ソフトの3つの要素が電磁波造形技術を支えている。

- ・デジタルシート…カラー表現の為にマイクロフィルムを採用
- ・ハードウェア…11のセンサーによる均一な配熱・配光技術 他
- ・ソフトウェア…ターゲットであるデザイナーが使えるツールになっている。

5. 基本的なデジタルシートの構成

デジタルシートは表側からマイクロフィルム、インクジェット層、バンブ層(マイクロパウダー層)、基材層の構成で出来上がっている。色付けと隆起を同時に実現するため、熱量によって隆起をするマイクロパウダーの層の上に色付けを行えるインクジェット層を設け、さらにその上に熱量を調整するカーボンを付けるためのマイクロフィルム層がいる構成となっている。

[デジタルシートの構造]



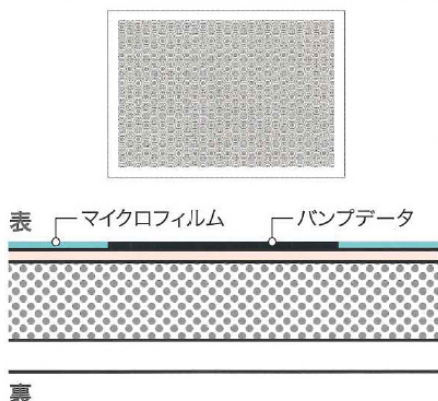
パンプ層は多層構造となっており、各層、独自調整された密度でマイクロパウダーを含有させています。

図3 デジタルシートの構造

6. 基本的な 2.5D 表現プロセス

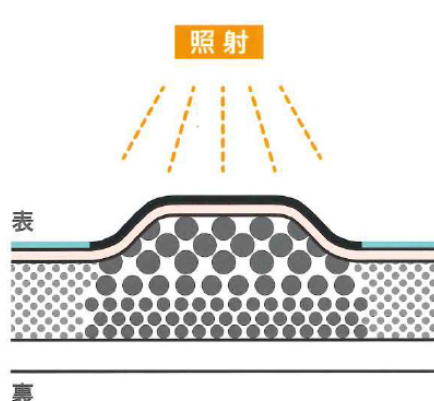
基本的な 2.5D 表現プロセスを説明する。まず表面へパンプデータ(カーボン)を印刷する。そのカーボンに対して電磁波を照射するとマイクロフィルムにのっているカーボンの分子が輻射熱によって熱を持つ。その熱がマイクロパウダーに伝わって1つ1つが膨らむ。カーボンの中の分子量が多ければ多いほど高く盛り上がる。分子量は見た目でいうところの濃さである。

1 表面へパンプデータ(カーボン)を印刷



共有結合の分子構造により、電磁波を吸収するカーボン分子の特性を利用。

2 電磁波を放射しパンプを形成



均一な配光の電磁波を照射。カーボン分子の発熱によりマイクロパウダーが膨張し、パンプを形成する。カーボンの量によりパンプの制御を行っている。

図4 パンプ形成のプロセス

表面のマイクロフィルムをはがしてカーボンを除去し、表面へカラーデータを印刷することで完成となる。

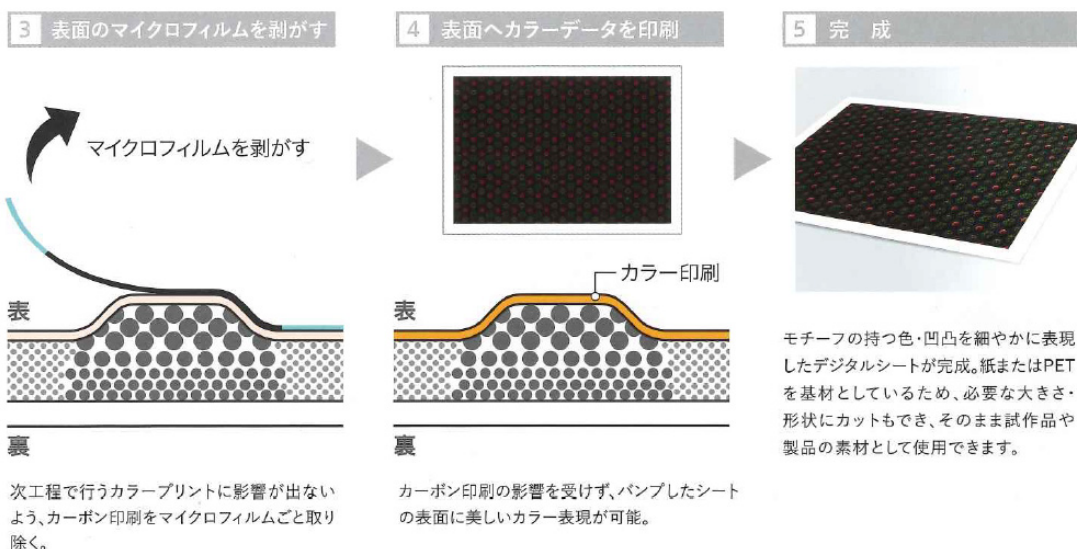


図5 パンプ形成後の着色プロセス

A4 サイズで約 5～6 分ほどで出来上がる。素早く容易に平面上の凹凸を再現できることから、製品の試作等で非常に有用。このようなプロセスで面状を造形、加飾で疑似素材の作成が可能である。

7. デジタルシートの基材の種類

デジタルシートの基材の種類を紹介する。使用用途によって基材の種類を変えることにより、多岐にわたる用途で利用できる。

- ・紙基材…表面試作，エンボス模倣
- ・PET(プラ)基材…水はけ試験，劣化試験
- ・伸縮基材…立体曲面への貼り付け

特に伸縮素材は形状の再現が得意な 3 D プリンターと合わせて使用することで、よりリアルな質感を再現させることができる。

8. 触感のデジタル化の研究

電磁波造形技術とは熱で膨張するマイクロパウダーが塗布されたデジタルシートに、電磁波を照射すると輻射熱を持つカーボンのプリントを施すことで、カーボンの分子量に比例した熱量が

マイクロパウダーに伝わり、カーボンの分子量に比例して高さを制御することができる。面上・造形・加飾における世界初の新しい表現手法における技術である。

9. 電磁波造形技術の『未来像』

電磁波造形技術の『未来像』

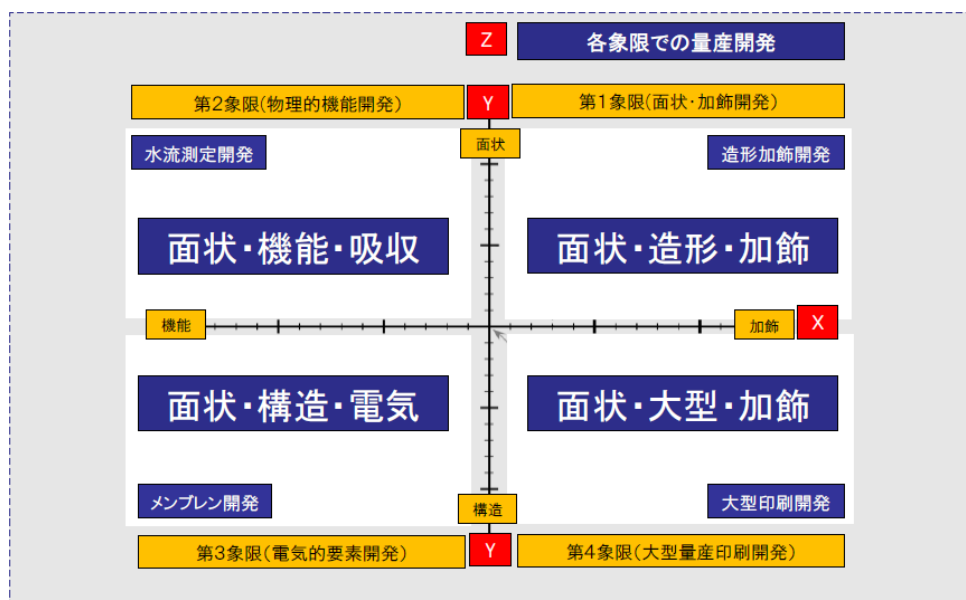


図6 電磁波造形技術の未来像

●物理的機能開発

2.5D のプリントした試作上に水流を流し、流れ方を検証するなど、実際の動きを試作段階の評価で使用できる

●電氣的要素開発

プリント基板にパターンを印刷するのと同じように、プリンターでパターン印刷まで行うことができるようなものを目指している

●大型量産印刷開発

色＋凹凸＋光沢、高級な質感の再現により、さらにリッチな表現が可能になる

第二部 質疑・応答

質問：解像度はどのくらいか

回答：高さはシートの種類別に3種（紙 / PET / PO それぞれ最大約 1.2mm / 1.2mm / 0.6mm）で再現でき、バンプの解像度は約 25dpi で、何ミリかでいうと大体 0.5mm ぐらい。約 17 ミクロンのマイクロパウダーの小型化や電磁波照射条件の改善などで今後さらなる解像度の向上を図っていくことを考えている。

質問：mofrel でデータの入力はできるか

回答：mofrel は出力機能だけなので、お客様によってご準備いただく Adobe PhotoshopTMにオリジナルのソフト (Mofrel サーフェーサー) をインストールし、出力用のデータを作成していただく。作成されたデータは mofrel に LAN などを通して送信し出力していただく。

質問：光沢はつけられるか

回答：現状は色と凹凸表現だけ、ただ、デジタルシート自体を光沢にすることで全体的にもう一つの質感を付けることができるようになっている。あとは、インク塗布後の後処理でつやや透明感を与えることができるメディウム等を塗ることは可能。

質問：基材の材料を選べば防水も可能か

回答：可能。マイクロカプセルやマイクロカプセルを満たしているバインダーは樹脂なので問題ない。裏の基材を PET 等にすれば破れにくくであったり、水をはじいたり是可以するようになって

質問：一度膨らんだシートに対して再び熱が加わるとどうなるか

回答：ある一定の温度であれば再び膨らまないようになっている。厳密にいうと今はバンプのスタートが 80℃付近になっている。バンプのスタートする温度をさらに上げることでより、反応しないようなものを目指している。ただし、熱を加えるハード自体が現在のものと同じ形では難しくなり工業用といった形で使用してもらう形になる。

質問：長期安定性・劣化・信頼性は？

回答：1 年。触るものなので触れていく汚れていく可能性ある。現段階では試作用途で使ってもらう前提。最終製品でも使えるような信頼性のものは現在開発中。

質問：シートの色は白だけか

回答：現状は白だけ、需要があれば開発するが、印刷において白いインクは難しいので、現状は、白は紙の色を使用するのが一番いいと考えている。

質問：マイクロパウダーの改良は今後どうしていくか

回答：小さくしていく、粗さを均一にしていく等の改良をしていく。

質問：マイクロパウダーの大きさが 17 ミクロンなのはなぜか

回答：17 ミクロンの大きさが一番制御しやすかったため、大きさを小さくしたときにマイクロカプセルを包んでいるバインダーの伝導率をどうするかが課題。

質問：マイクロカプセルが小さくなると表現できる質感は増えるのか

回答：解像度は上がるので、より表現できる幅は広がる。

以上

見学会報告

セイコーミュージアム

古川 常章

セイコーエプソン株式会社

見学先： セイコーミュージアム

〒131-0032 東京都墨田区東向島 3-9-7

日時： 2018 年 6 月 28 日 (木) 13:00～15:00

スケジュール：

13:00～13:40 : セイコーミュージアムの紹介

13:40～14:50 : 見学 (説明員による展示品説明)

14:50～15:00 : 質疑応答

参加者 : 22 名



セイコーミュージアム外観

本年も日本時計学会見学会が上記の要領で開催された。

セイコーミュージアム(旧セイコー時計資料館)は、セイコー創業 100 周年を記念して 1981 年、昔ながらの下町情緒漂う近代工業発祥の地、墨田区に「時と時計」に関する資料・標本の収集・保存と研究を目的として設立された。2012 年 4 月にリニューアルを行い、時・時計の研究とセイコーの情報発信の施設として広く一般に公開されている。収蔵品は非展示品を含めると 12,000 点を超え来館者は子供の来館数だけで年間 4,000 人を超えるとのことであった。



来館者を出迎える和光時計塔
文字板のレプリカ

見学会では、はじめにセイコーミュージアムの紹介があり、時計と暦の誕生から機械式時計誕生までの時計技術の変遷が説明された。17 世紀、ホイヘンスが振り子時計を発明してのち急速に発展した時計技術は、その後、ぜんまい式機械式時計により精度が追及され、その過程においては時計師が保有する技術が産業革命に大きく寄与したことな



ミュージアム紹介



ミュージアム紹介

ど、時計の発展と社会の関わりについて理解を深めることができた。併せて、季節・経度によって一時の長さが変わる不定時法を用いた日本独自の和時計についても資料でわかりやすく説明された。さらに、回転錘がどちらに回ってもゼンマイが 1 方向に巻き上がるマジックレバーによるぜんまいの巻き上げ動画など、セイコー創業以来のイノベーションの数々がビデオで紹介された。

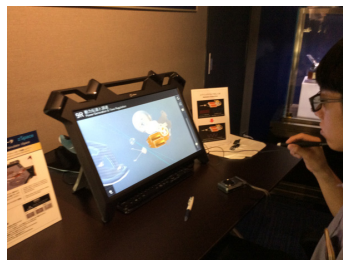
ミュージアムの紹介後、2 班に分かれて館内の見学を行なった。



展示品の見学



展示品の見学



時計の分解組立体験
(シミュレーション)

見学は、創業者服部金太郎氏の、「常に一步先を急がず休まず」の創業の精神の紹介にはじまり、日本最初のテレビCM（7 時の時報）や 1964 年の東京オリンピック公式計時を担当した際の逸話などを盛り込みながら、収蔵品の数々が時代の変遷に合わせて説明され、一同有意義で楽しい時間を過ごすことができた。また、見学途中の質問にはその場で回答をいただくことができ疑問点をその場で解決することができた。

見学の最後には、時計の分解組立を体験できる 3DVRシミュレーターの操作により、セイコーの代表的なムーブメントのてんぶやぜんまいなどの部品をつかんで回転して観察したり、組み立てる工程をバーチャルで体験した。

見学会当日は 2 階のみの見学であったが、1 階には初期の頃からの「時計の進化」を体現できる展示コーナー、3 階には「図書閲覧室」もあり、改めて見学に訪れてみたいとの声が多く聞かれた。セイコーミュージアムは、事前に予約すればどなたでも見学することができる施設で、また時計組立などを通して楽しめるので、まだ訪れたことがない方々には、是非、足を運んでいただきたい。



展示品（日時計）

最後に、この場をお借りして、今回の見学会を受け入れていただいたセイコーミュージアムの関係者の皆様、ミュージアムのご紹介と展示品を丁寧に分かりやすくご説明いただいたご担当者の方々に深く感謝申し上げます。

学術講演会報告

2018 年度マイクロメカトロニクス学術講演会実施報告

土肥 徹次*

*中央大学, 東京都文京区春日 1-13-27, 〒112-8551

2018 年 9 月 14 日、中央大学後楽園キャンパスにて 2018 年度マイクロメカトロニクス学術講演会を開催いたしました。今年度は、会員 40 名、一般参加者 33 名、講演・展示参加 13 件で、時計メーカー、大学等から合計約 90 名近い参加をいただきました。

今年度の学術講演会では、午前中の第 1 セッションで 4 件、午後の第 2 セッションで 3 件、合計 7 件の研究成果発表が行われました。学術講演会は、途中休憩と青木賞授賞式を挟んで実施されましたが、今年度の青木賞は、「EU REACH 規制対応 6 価クロム除去剤の開発」という論文を投稿されたシチズン時計の赤尾祐司氏が受賞されました。

研究成果発表に引き続き、時計メーカー 5 社による製品展示セッションを行い、最新の製品紹介や注目の新技術が展示・紹介されました。

その後の特別講演では、カシオ計算機で多岐にわたる商品開発を指揮されてきた、現株式会社ビー・ストームの志村則彰様より、「変化にチャレンジ」という題目で

ご講演いただきました。志村様からは、これまでの製品開発経験に加え、これからの時計業界を牽引する技術者への熱いメッセージをいただきました。

最後に食堂へ場所を移し、各セッションの講演者や特別講演の志村氏を囲んで技術交流会を行いました。技術交流会では、各社の多くのエンジニアが参加し、活発な意見交換が行われておりました。

なお、今年度の学術講演会からの新しい試みとして、ベストプレゼンテーション賞を新設しました。記念すべき第 1 回の受賞者として、「新型時計用潤滑油 AO-オイルの開発」を発表されたシチズン時計の赤尾祐司氏と、「GPS アンテナの高感度化と高精細液晶表示の省電力化技術開発」を発表されたカシオ計算機の栗原正志氏が選ばれ、技術交流会の中で表彰を行いました。

2018 年度も盛会のうちに学術講演会を終えることができましたが、関係各社・大学が一堂に会して意見交換が行える貴重な機会ですのでこれからも積極的にご参加いただけますようお願いいたします。



Fig.1 青木賞を受賞されたシチズン時計の赤尾氏

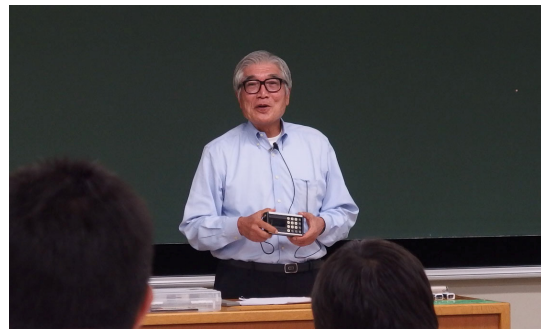


Fig.3 熱のこもった講演をしてくださった志村則彰氏



Fig.2 毎年盛況な製品展示セッションの様子



Fig.4 ベストプレゼンテーション賞を受賞された栗原氏

特別講演 変化にチャレンジ

志村則彰

代表取締役会長

国立大学法人電気通信大学発ベンチャー 株式会社 B-STORM,

〒182-0026 東京都調布市小島町1丁目1番1号 UEC アライアンスセンター409号

(2018年10月31日受付)

1964年にリレー計算機の素晴らしさに憧れてカシオ計算機株式会社に入社しましたが、その後のトランジスタからIC、さらにLSIへとつながる半導体革命に遭遇し、その変化を先取りしながら、電卓、時計、楽器、デジカメなどをタイミングよく世界へ送り出すことができました。入社時、カシオ計算機は売上10億円の町工場に過ぎなかったのが、30年で3,000億円の大企業に変身し、さらに日本の半導体産業が1990年代に世界No.1になった基盤作りに貢献できたのではないかと考えております。

最初は設計エンジニアとして入社しましたが、樫尾4兄弟の次男の樫尾俊雄という天才の凄さ、半導体の変化のスピードの凄さに触れ、この天才と若いチームと半導体メーカー各社とをコントロールする技術プロデューサーとして活躍しました。さらに一人の天才だけではなく、チームで新製品を生み出す体制作りを目指し、羽村技術センターに研究開発エンジニア1,000人体制を構築しましたが、これこそが最大の貢献だったのではないかと思います。

時計について今でも思い出すのは、スイスのバーゼルでデジタルウォッチのカシオトロンを展示した時に、「メモリー付きの時計」という発想に驚かれたことがあります。LSIの技術を駆使すれば当たり前のことですが、当時としては従来時計の概念を大きく変えるほどのインパクトがありました。

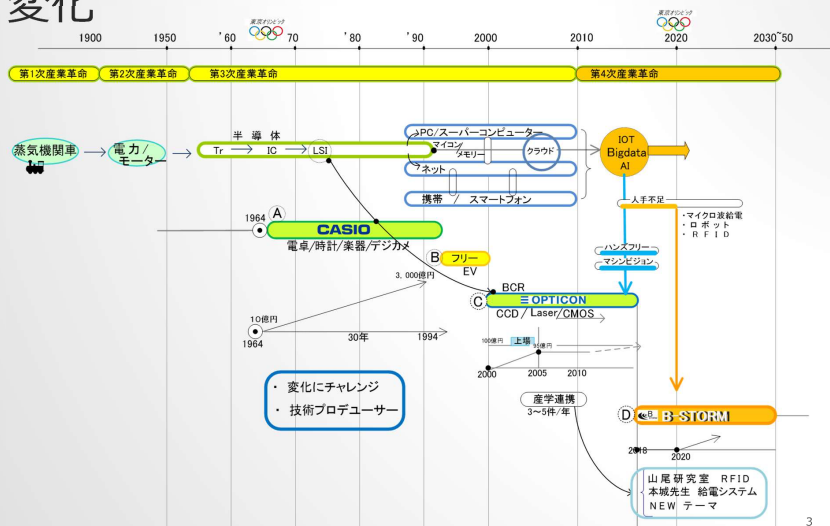
これらの経験により、技術革新のあるところには大企業、中小企業、ベンチャー、若い人等すべてスタートラインは同一であると確信しました。その後、私のビジネス信念は「変化にチャレンジ」になったのです。現在も、新しい技術に挑戦するために、電気通信大学発ベンチャーの株式会社B-STORMを設立し、新たなテーマにチャレンジしつつ、変化にチャレンジできる人材育成を目指しております。

目次

- 1) 変 化
 - 2) 携帯 / スマートフォン
 - 3) CASIO
 - 4) BCR / RFID
 - 5) コンシューマーと B to B
 - 6) 研究開発における人材
- ⇒ 今後の展開

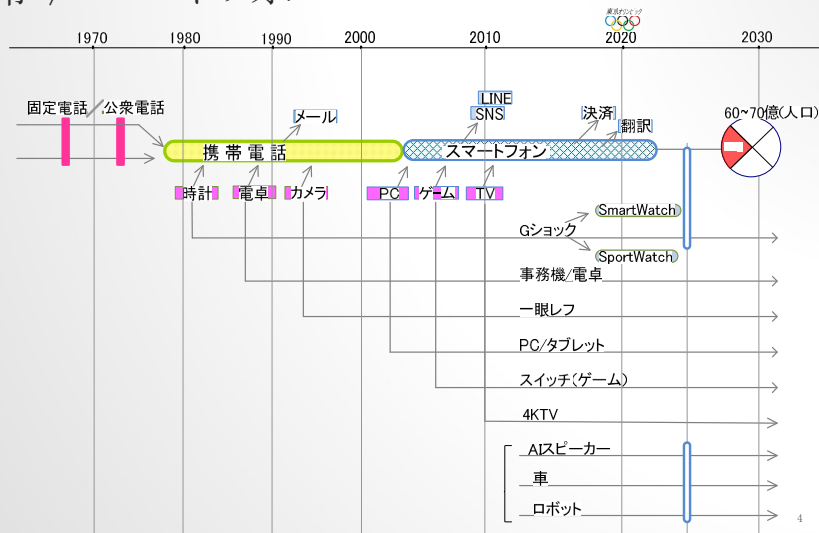
2

1) 変化

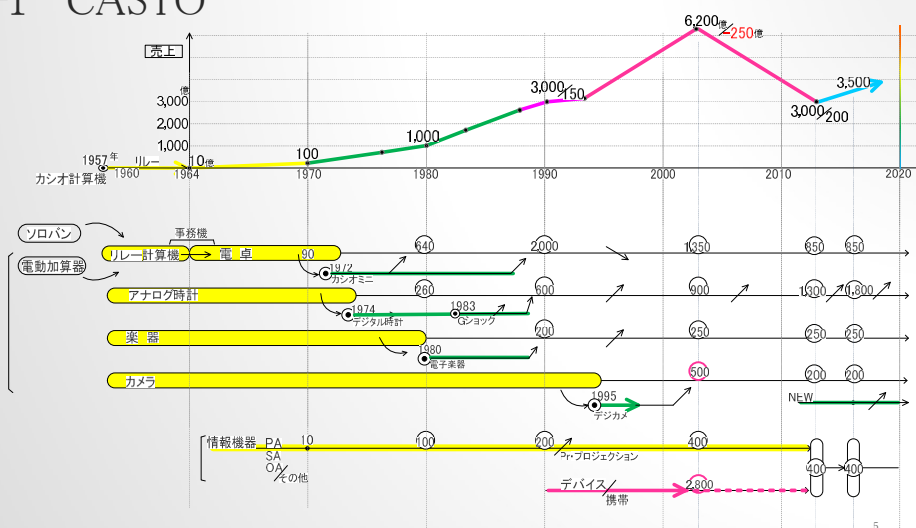


3

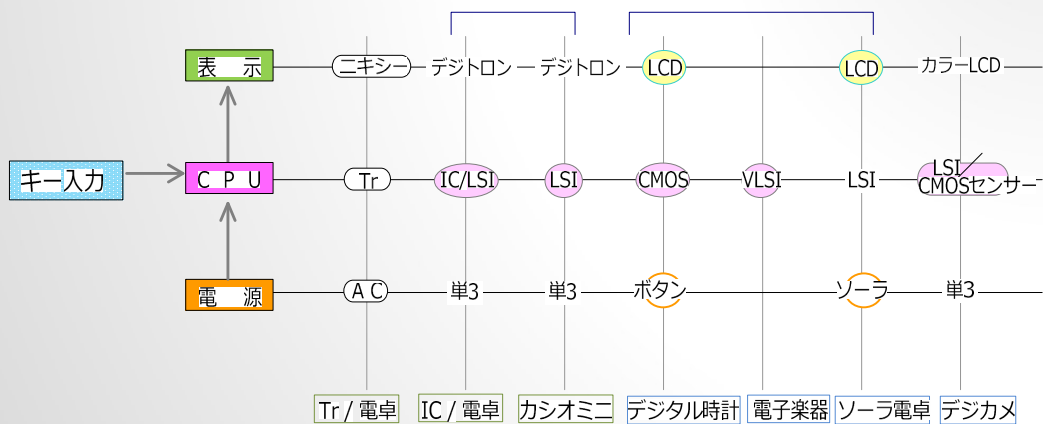
2) 携帯 / スマートフォン



3)-1 CASIO

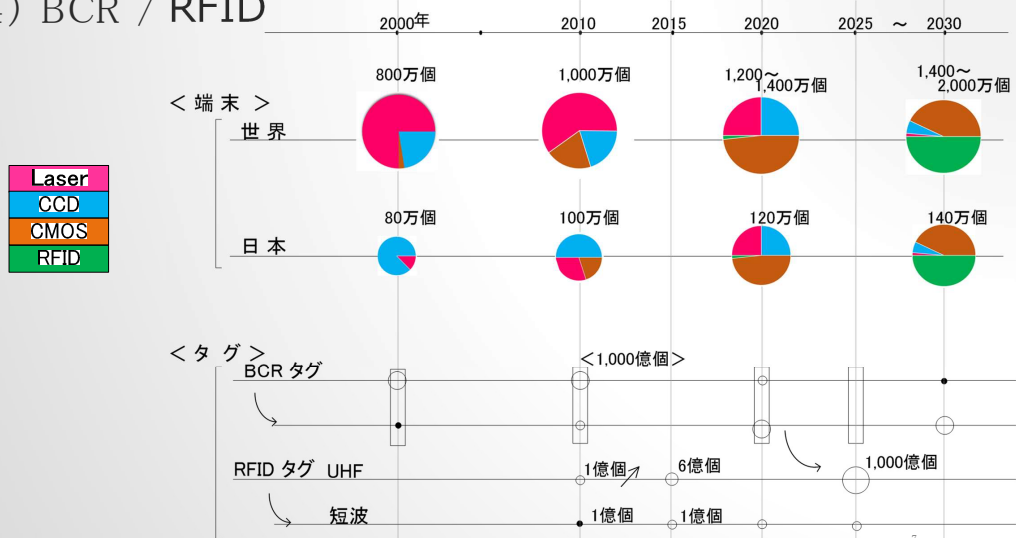


3)-2 CASIO



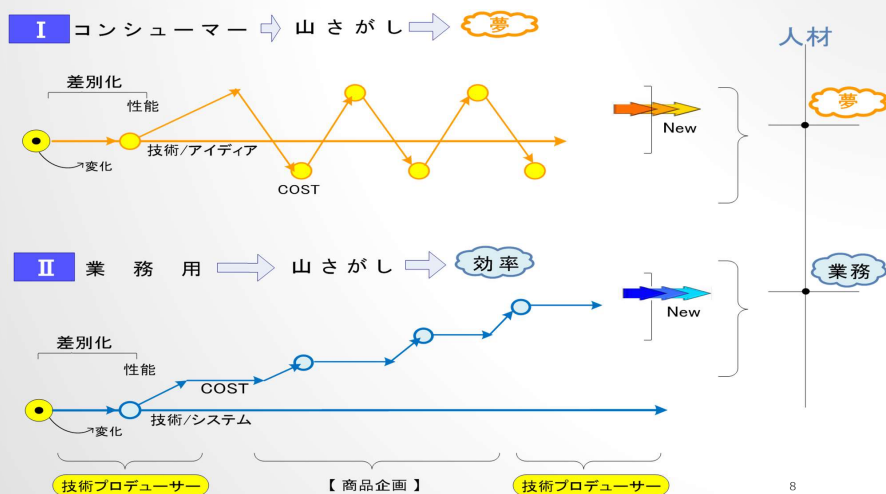
6

4) BCR / RFID

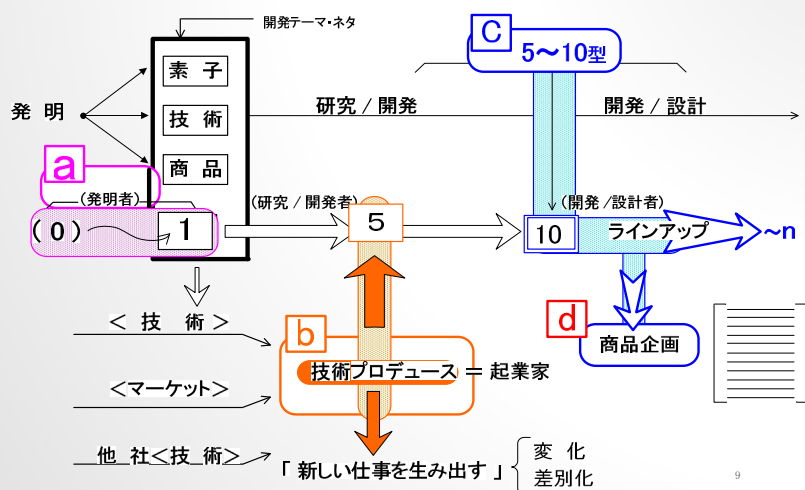


7

5) コンシューマーと B to B



6) 研究開発における人材



会 報

一般社団法人 日本時計学会 平成 30 年 (2018 年) 4 月度 理事会議事録

－ 2018 年度 第 3 回理事会 －

(記録：小池 邦夫 2018 年 4 月 26 日)

1. 開催日時：平成 30 年 (2018 年) 4 月 26 日 (金) 16:00-18:00

2. 場所：中央大学理工学部 後楽園キャンパス 2 号館 2735 号室

3. 出席者：

＜理事＞ 大隅, 木原, 今村, 大谷, 木村, 佐々木, 滝澤, 常葉, 中島, 増田, 小池 (以上 11 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, 小水内, 志村, 重城, 寺嶋, 土肥, 藤田, 古川, 横山 (以上 9 名)

4. 審議事項

(1) 平成 30 年 (2018 年) 2 月度 第 1 回, 第 2 回理事会議事録の確認

(2) 出版編集関係 (寺嶋運営委員 (編集委員長) より説明)

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

(3) 学会誌特集の宣伝について (重城運営委員 (企画委員長) より説明)

・日本時計学会ホームページ上での学会誌特集の宣伝方法及び費用について.

(4) ベストプレゼンテーション賞について (木村理事 (企画委員長) より説明)

・「日本時計学会ベストプレゼンテーション賞規定 (案)」について.

(5) 2018 年度研究調査分科会について (木村理事 (企画委員長) より説明)

・2018 年度の研究調査分科会「機械式時計の組立・修理を行う AI ロボット」について.

(6) 春季研究会報告 (速報) (常葉理事より報告, 幹事会社：カシオ計算機 (株))

(7) マイクロメカトロニクス学術講演会について (土肥運営委員 (事業委員会) より説明)

・2018 年度マイクロメカトロニクス学術講演会の講演募集等について.

(8) 2018 年度見学会について (古川運営委員より説明, 幹事会社：セイコーエプソン (株))

(9) 新入会員の承認

(10) 次回理事会開催日

・2018 年 6 月 28 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) 会員数状況 (2018 年 4 月 26 日承認後)

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

(2) その他(事務局からの報告事項他)

- ・2018年度の青木賞選考について(大谷理事(青木賞委員長)より説明)
- ・“切手の博物館”の展覧会について(事務局より案内)
- ・特別講演会:「光格子時計:時空のゆがみを見る時計」について(増田理事より説明)

以上

一般社団法人 日本時計学会平成30年(2018年)6月度 理事会議事録

ー 2018年度 第4回理事会 ー

(記録:小池 邦夫 2018年6月28日)

1. 開催日時:平成30年(2018年)6月28日(金)17:00-18:15

2. 場所:中央大学理工学部 後楽園キャンパス 2号館2735号室

3. 出席者:

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

(以上13名)

理事総数14名の過半数につき理事会成立

<監事> 山本, 吉村(以上2名)

<運営委員> 大村, 小水内, 鈴木, 土肥, 藤田, 古川, 横山(以上7名)

- ・審議に先立ち,6月12日にご逝去された日本時計学会理事 檜林 達雄 氏に対して出席者全員で黙祷をささげ哀悼の意を表した。

4. 審議事項

(1) 平成30年(2018年)4月度 第3回理事会議事録の確認

(2) 出版編集関係(増田理事(編集委員会)より説明)

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

(3) ベストプレゼンテーション賞について(木村理事(企画委員長)より説明)

- ・「日本時計学会ベストプレゼンテーション賞規定」の承認。

(4) 2018年度研究調査分科会について(木村理事(企画委員長)より説明)

(5) マイクロメカトロニクス学術講演会について(土肥運営委員(事業委員会)より説明)

- ・2018年度マイクロメカトロニクス学術講演会の講演募集及び準備状況について。

(6) 春季研究会報告(常葉理事より報告,幹事会社:カシオ計算機(株))

(7) 2018年度見学会について(速報)(古川運営委員より報告,幹事会社:セイコーエプソン(株))

(8) 青木賞について(大谷理事(青木賞委員長)より説明)

- ・第52回青木賞選考の経緯について説明があり青木賞表彰論文を決定した。

(9) 新入会員の承認

(10) 次回理事会

- ・2018年9月14日(金) 12:30~13:30 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6月28日承認後)

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

(2) その他(事務局からの報告事項他)

- ・学会誌封筒の表書きについて(事務局より)

以上

一般社団法人 日本時計学会 平成30年(2018年)9月度 理事会議事録

— 2018年度 第5回理事会 —

(記録: 小池 邦夫 2018年9月14日)

1. 開催日時: 平成30年(2018年) 9月14日(金) 12:20-13:20

2. 場所: 中央大学理工学部 後楽園キャンパス 5号館1階5133号室

3. 出席者:

<理事> 大隅, 木原, 足立, 今村, 大谷, 木村, 滝澤, 常葉, 中島, 増田, 小池(以上11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, 小水内, 重城, 鈴木, 寺嶋, 土肥, 藤田, 横山(以上8名)

4. 審議事項

(1) 平成30年(2018年)6月度 第4回理事会議事録の確認

(2) 出版編集関係(寺嶋運営委員(編集委員長)より説明)

- ・マイクログメカトロニクス2018年12月号(Vol.62, No.219)の入稿及び校閲状況等について。

(3) 秋季研究会について(重城運営委員より説明, 幹事会社: セイコーインスツル(株))

(4) 2018年度見学会報告(小池理事より報告, 幹事会社: セイコーエプソン(株))

(5) 新入会員の承認

(6) 次回理事会

- ・2018 年 11 月 9 日（金）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) 会員数状況（2018 年 9 月 14 日承認後）

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

(2) その他（事務局からの報告事項他）

- ・ベストプレゼンテーション賞について（木村理事（企画委員長）より説明）
「日本時計学会ベストプレゼンテーション賞規定」の配布・説明，及びマイクロメカトロニクス学術講演会における審査方法等について.
- ・2018 年度研究調査分科会について（木村理事（企画委員長）より説明）
- ・学会誌の特集について（大隅代表理事より説明）
学会誌 2019 年 6 月号の特集について.
- ・マイクロメカトロニクス学術講演会について（土肥運営委員（事業委員会），事務局より報告）
理事会当日のマイクロメカトロニクス学術講演会の参加状況等について.

以上

訃報

本会理事の檜林達雄先生（東海大学精密工学科教授）には，平成 30 年 6 月 12 日にご逝去されました．ここに，先生のご冥福を祈り，謹んで哀悼の意を表します．

日本時計学会での履歴

理事：平成 15 年～平成 30 年

2018 年 9 月 14 日

第52回 青木賞表彰委員会報告

第52回青木賞選考は、マイクロメカトロニクス平成28年度 Vol.60, No.214-215 及び平成29年度 Vol.61, No.216-217 に掲載された研究論文2編、技術報告11編、合計13編に対して行なわれた。選考は選考委員による一次審査と表彰委員による二次審査との二段階で行なわれた。

選考に先立ち、選考委員10名、表彰委員5名の選出を行なった。

一次審査は、各選考委員がそれぞれ与えられた4編の論文を査読し評価した。その評価を集計、数値化し、合計点数の高い3編について、二次審査を行なう表彰委員会へ推薦した。

二次審査は、選考委員の推薦を受け、表彰委員会による議論の結果、二次審査対象論文3編を了承した。

これら3編の論文を表彰委員が査読し、その評価を一次審査と同様に集計、数値化した。この結果を基に表彰委員会にて議論した結果、最も高い評価を得た下記の論文を第52回青木賞表彰論文として推薦することに決定した。この結果を後日開催された日本時計学会理事会で報告し、下記の論文が第52回青木賞表彰論文に決定した。



写真 上:授賞の様子

下:受賞者挨拶

第52回青木賞表彰論文：EU REACH 規制対応 6価クロム除去剤の開発
マイクロメカトロニクス, Vol.61, No.217, pp.1-12(2017)

執筆者: 赤尾 祐司

所属: シチズン時計株式会社

推薦理由: 「独創性」, 「有用性(貢献度)」, 「困難性(努力度)」の3項目に関して評価が行われ、各項目及び総合評価として、A, B, Cの3段階で採点された。その結果、本表彰論文は独創性、有用性、困難性のすべてにおいて高い評価を受け、総合評価でも表彰委員から最高点を得た。

第52回青木賞の授賞式は、2018年9月14日に開催された日本時計学会、マイクロメカトロニクス学術講演会会場で行なわれた。

(委員長 大谷, 幹事 今村, 古川)

2018年度 マイクロメカトロニクス学術講演会プログラム
(講演会場：5134号室，展示会場：5136号室，
懇談会場：5135号室，特別講演会場：5234号室)

学術講演会（5134号室）

第1セッション(11:00～12:20) 司会 小水内 正勝（日本時計協会）

- | | |
|----------------|--|
| 1. 11:00-11:20 | 新型時計用潤滑油 AOOオイルの開発
シチズン時計 ○赤尾 祐司 |
| 2. 11:20-11:40 | 3軸加速度計による手首部運動について
-機械式時計パワーリザーブ計による活動量の推定-
玉川大学 ○木村 南 |
| 3. 11:40-12:00 | 運動強度計測とスマートフォンとの連携機能を搭載した腕時計の開発
カシオ計算機 ○山崎 晋，松沢 晃一，流田 寛史，久田 茂樹 |
| 4. 12:00-12:20 | シチズン独自の表面硬化技術デュラテクト®の新色「サクラピンク®」の開発
シチズン時計 ○長尾 見侑，○石井 美称，塚原 由紀子，菅沼 有紀 |
| 12:20-13:50 | 休 憩 |
| 13:50-14:00 | 青木賞授賞式 |

第2セッション(14:00～15:00) 司会 鈴木 紀寿（シチズン時計）

- | | |
|----------------|---|
| 5. 14:00-14:20 | 婦人用高精度自動巻付き機械式時計の開発
セイコーインスツル 荒川 康弘，○木村 怜次 |
| 6. 14:20-14:40 | GPS アンテナの高感度化と高精細液晶表示の省電力化技術開発
カシオ計算機 川口 洋平，水口 元尊，○栗原 正志 |
| 7. 14:40-15:00 | センシング・無線通信機能を搭載した GPS 衛星電波時計の開発
セイコーエプソン ○近藤 温，野澤 俊之 |
| 15:00-15:10 | 休 憩 |

製品展示セッション（5136号室，15:10～16:10）

- | | |
|-------------------|--------------------------------|
| A-1. シチズン時計（株） | 表面処理技術製品の紹介、エコドライブ・ワン商品展示 |
| A-2. セイコーエプソン（株） | 独創の高機能アナログウォッチ：“TRUME”の展示と商品説明 |
| A-3. セイコーインスツル（株） | 伝統工芸・有線七宝を使った文字板の開発 |
| A-4. セイコークロック（株） | クロックならではの面白さを体感できる新製品 |
| A-5. カシオ計算機（株） | アクティビティをサポートする G-SHOCK の展示 |
| 16:10-16:20 | 休 憩 |

※午後から、懇談会場（5135号室）にてコーヒーなどのサービスを予定しています。

特別講演（5 2 3 4 号室，16:20-17:20）司会 中島 悦郎（ブイテックインターナショナル）

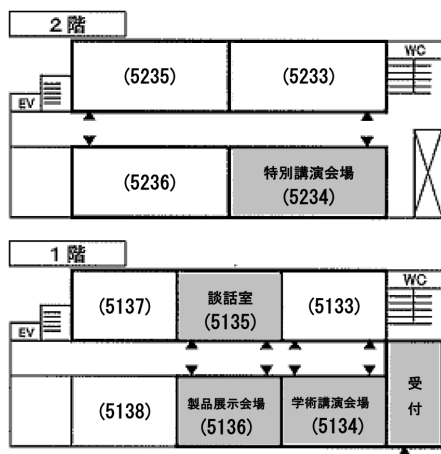
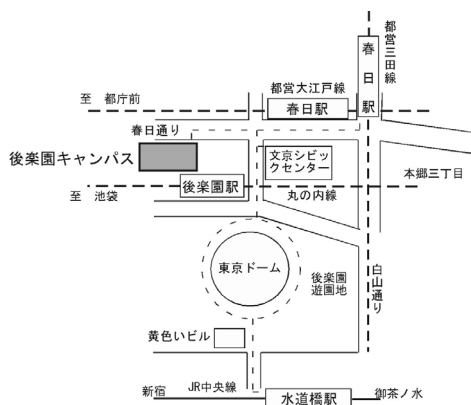
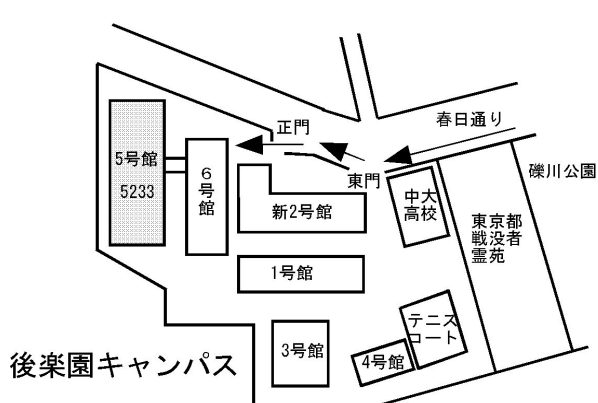
「変化にチャレンジ」

講師 株式会社ビー・ストーム 志村 則彰氏

技術交流会

17:30-19:30

理工学部 5 号館地下 1 階



【5 号館案内図】

編集後記

テニスグランドスラムの一つ全米オープンでの日本人選手の初制覇に、日本中が沸きました。想像を超える努力のもとで、この快挙を成し遂げられたのではないかと思います。

さて、今年度のマイクロメカトロニクス学術講演会では、講演発表者へのベストプレゼンテーション賞を新たに設けました。この新たな取組みが、発表者の活力だけでなく、発表件数増加、学会活動の活性化につながる事を期待しています。

今後も様々な企画を検討して学会を更に魅力あるものにして参りますので、研究会、見学会をはじめとしました学会行事への会員の皆様のご参加を心よりお待ちしております。

(常葉 輝久 記)