SOI ウェハの陽極接合法による 可視光領域用マイクロファブリペロー干渉計

土肥 徹次*, 松本 潔**, 下山 勲**

*中央大学, **東京大学

(2012年6月5日原稿受付)

Micro Fabry-Perot interferometer for visible light range fabricated by anodic bonding of SOI wafer

Tetsuji DOHI*, Kiyoshi MATSUMOTO**, and Isao SHIMOYAMA**

* Chuo University, **The University of Tokyo

ABSTRACT

This paper reports on a micro Fabry-Perot interferometer (MFPI) fabricated by anodic bonding of an SOI wafer. Since we design optical and mechanical characteristics of the MFPI by using matrix method, our MFPI can be used in the wavelength ranging from visible light to near-infrared. The movable capacitor with the half mirror of the MFPI was fabricated on the SOI wafer, and this SOI wafer was bonded to the pyrex glass substrate by anodic bonding. The MFPI fabricated in this study can be used in wide wavelength ranging from 550 nm to 950 nm. It transmits the light from 10 to 80 % in that range. The gap of MFPI mirrors calculated by the peak wavelength of transmitting light was change from 1580 nm to 1270 nm by applying the voltage from 0 to 180 V.

1. 研究の背景と目的

医療分野において、生命の基本素子は細胞であり、操作対象が小さくなればなるほど、より生命に 対して本質的な医療行為が行えるということがいわれている.そのため、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)技術への期待も高く、局所計測・治療、非侵襲化・低侵襲化など、幅広い分野で の応用が望まれている.これらの応用分野のひとつに、微小分光デバイスがあげられる.光を利用し た計測は非侵襲・低侵襲な計測法であるため、医療分野で幅広く利用されている.近年ではパルスオ キシメータや光トモグラフィー (OCT: Optical Coherence Tomography) などで盛んに研究が行われてい る.血液などの体液の成分分析には吸光スペクトルを計測する方法が一般的であるが、埋込型センサ に微小分光デバイスを搭載し、体内での局所的な生体情報を取得したいという要望や、ポイントオブ ケアデバイスのセンサとしての需要も近年高まってきている.我々は血液の吸光スペクトルを計測で きる微小な分光デバイスとして、マイクロファブリペロー干渉計 (MFPI: Micro Fabry-Perot Interferometer)の実現に向けて研究を進めてきた¹⁾⁻³⁾.カプセル内視鏡のような埋込型デバイスにおい て、画像を計測しならが血液の吸収スペクトルを計測することを最終目標としているため、¢3 mm 以 下のサイズで、RGB 画像計測用の波長 400~700 nm の範囲と、血液の吸光スペクトル計測で利用され る波長 700~1000 nm の範囲で利用することを想定している.そこで本研究では、可視光~近赤外線 領域で使用可能なマイクロファブリペロー干渉計 の試作手法の確立を目的として研究を行った.

Fig.1 に示すように、ファブリペロー干渉計は2 枚のハーフミラーが光の波長と同程度の間隔で配 置されており、この間隔を調節することで透過す る光の波長を変化させることができる.ファブリ ペロー干渉計を利用した分光法は、平行薄膜の間



Fig. 1 Principle of the Fabry-Perot interferometer.

隔を変化させることで分光できるため、微小化が容易であり、MEMS 技術との相性も良く、微小な分 光デバイスとして多くの研究がなされてきた⁴⁻¹²⁾.例えば,通信の分野における波長分割(WDM: Wavelength Division Multiplexing)による大容量伝送の波長分割デバイスとして利用されたり^{4),5)}, 圧 力・温度センサ⁶⁰や、CO₂及びH₂Oガス濃度センサ^{7,8}として利用されたりしてきた.しかし、これら のファブリペロー干渉計の研究では、使用される光の波長が1.1 um以上の近赤外線領域で使用され、 可視光領域で利用することができなかった.これは、MEMS 技術で代表的な材料である Si, 代表的な アクチュエータである静電アクチュエータ,代表的な試作方法である犠牲層エッチングと 1.1 µm 以上 の波長領域との相性は良いが、波長が短い可視光〜近赤外線の領域では相性が悪く、問題点になって しまうからである.具体的には、Siは1.1 µm以下の波長の吸収係数が大きく、波長1.1 µm以下の光 をほとんど透過しないため、Si 基板をそのままでは利用することができない.また、静電アクチュエ ータとして並行平板型の静電アクチュエータが広く利用されているが、このアクチュエータは初期間 隔の2/3までの範囲でしか制御を行うことができないという制限があり,波長1.1 μm以下での使用が 困難になっている。最後に犠牲層エッチングについては、狭い間隔を試作する際に発生するスティク ションの問題や、可視光領域用の高い平坦度を持つ可動ハーフミラー構造を作ることが困難であると いう問題があった. これに対して, 波長 1.1 µm 以下の範囲で利用できるものとして, 900~1000 nm 程度の範囲の可変波長レーザにおける可変波長反射鏡の研究 9,100や,可視光領域用の研究 11 も行われ ている.しかし、これらの短い波長領域用のファブリペロー干渉計では、誘電体多層膜によるハーフ ミラーが利用されているため、可視光〜近赤外線の領域で使用可能ではあるが、利用できる波長の範 囲が約100nm程度と狭くなってしまう.

そこで、本研究では SOI (Silicon On Insulator) ウェハの陽極接合とロストウェハプロセスを用いるこ とで上記の問題を克服し、波長 1.1 µm 以下の可視光〜近赤外線の領域で使用可能なマイクロファブリ ペロー干渉計を実現する.

2. マイクロファブリペロー干渉計の特性と設計

本研究では血液などの吸光スペクトル計測に利用可能なマイクロファブリペロー干渉計の実現を

目標とするため,分光分析器で利用されている400 ~1000 nm の波長で使用できることを目標として いる.そこで,まずファブリペロー干渉計の光学 特性を理論的に導出し,波長400~1000 nm の範囲 で分光できるように光学設計を行う.さらにこの 結果を利用して,マイクロファブリペロー干渉計 の機械構造を設計する.

2.1 ファブリペロー干渉計の光学特性

Fig. 1 に示すように、ファブリペロー干渉計に振幅 a_0 、波長 λ の光 L_0 が入射角 θ で入射したとする. ハーフミラーでの振幅透過率をt、振幅反射率をr、 ハーフミラー間の媒質の屈折率をn、ハーフミラ ーの間隔をhとすると、透過する光の波長透過率 Tは、式(1)で表される¹²⁾.ここで、強度反射率を $R = r^2$ とした、式(1)において、透過光は $sin(2\pi nhcos\theta/\lambda) = 0$ で最大となる.また、強度反 射率Rが高くなるほど波長の選択性が強くなるこ とがわかる.なお、この透過光が最大となる時の 干渉の次数mは、式(2)によって求められる.

$$T = \frac{1}{1 + \frac{4R\sin^2(2\pi nh\cos\theta/\lambda)}{(1-R)^2}}$$
(1)

$$m = 2nh\cos\theta/\lambda \quad (m = 1, 2, 3...) \tag{2}$$



rig. 4 Relationship between gap of two mirrors and light transmittance of the MFPI.

これより、2 次の干渉によって透過光のピーク波長を 400~1000 nm に変化させるためには、ハーフ ミラーの間隔も $h = 400 \sim 1000$ nm とすればよく、4 次の干渉光の場合にはハーフミラーの間隔を $h = 1200 \sim 1600$ nm とすればよいことが求まる. ただし、入射角は単純化のため $\theta = 0^\circ$ として計算を行った.

次にこの結果を、実際に試作するマイクロファブリペロー干渉計に適応し、ミラー間隔と透過光強度の関係を試算する.本研究で試作するマイクロファブリペロー干渉計の概略図を Fig. 2 に示す.ここで、マイクロファブリペロー干渉計の透過光強度は、Fig. 3 のような多層膜としてモデル化して、マトリックス法¹³により計算を行う.マトリックス法では、電場と磁場の境界条件からマトリックスを求め、マトリックスの積によって多層膜の特性を導出できる.計算式を式(3)に示す.

$$\begin{pmatrix} E_0 \\ H_0 \end{pmatrix} = \left\{ \prod_{j=1}^4 \begin{pmatrix} \cos \delta_j & iZ_0 \eta_j^{-1} \sin \delta_j \\ iZ_0^{-1} \eta_j \sin \delta_j & \cos \delta_j \end{pmatrix} \right\} \begin{pmatrix} E_4 \\ H_4 \end{pmatrix}$$
(3)

ここで、第*j*層中の電場および磁場をそれぞれ E_j , H_j とし、真空の光学インピーダンスを Z_0 , 第*j*層 の膜厚を d_j , 屈折率を n_j , 実効屈折率を η_j とする. なお、 δ_j は *j*層目の膜の光学的厚さであり、式(4) で表すことができる. ここで、 ϕ_j は第*j*層中の屈折角であるが、単純化のために入射角を $\theta=0^\circ$ とする と $\phi_j = 0^\circ$ となり、式(5)のように簡略化できる.

$$\delta_{j} = 2\pi n_{j} d_{j} \cos \phi_{j} / \lambda \tag{4}$$
$$Z_{0}^{-1} \eta_{j} \cong \eta_{j} \cong n_{j} \tag{5}$$

光の透過率 Tは、入射光強度と透過光強度の比で表すことができため、式(6)のように求めることができる. なお、式(6)の m_{11} 、 m_{12} 、 m_{21} 、 m_{22} は多層膜の特性マトリクス Mの要素であり、式(7)により求めることができる.

$$T = \frac{E_4^+}{E_0^+} = \frac{2n_0}{n_0(m_{11} + n_4m_{12}) + (m_{21} + n_4m_{22})}$$
(6)
$$[M] = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} = \prod_{j=1}^4 \begin{pmatrix} \cos \delta_j & in_j^{-1} \sin \delta_j \\ in_j \sin \delta_j & \cos \delta_j \end{pmatrix}$$
(7)

Fig. 3 に記載した条件で、ミラー間隔を h = 400~1000 nm まで変化させた場合の透過率変化の計算 結果を Fig. 4 に示す. Fig. 4 より、ミラー間隔が変化することによって、2 次の干渉の透過光ピーク波 長が 420~950 nm 程度まで変化している.式(1)から導出される結果と比較すると多少の誤差があるも のの、ミラー間隔を h = 400~1000 nm の範囲で変化させることで、問題なく分光できることが確認で きた.ただし、ミラー間隔が広くなると高次の干渉光が混入してしまっていることがわかる.この対 策として、ファブリペロー干渉計の装置関数を計測し、検出された信号と装置関数の逆関数によりデ コンボリューション演算する方法により、元のスペクトルを算出することが可能である³⁾.

2.2 ファブリペロー干渉計の構造設計

次に、マイクロファブリペロー干渉計の機械的構造を設計する.従来のマイクロファブリペロー干

渉計では、ファブリペロー干渉計のハーフミラーを並 行平板型静電アクチュエータとして利用し、ミラー間 隔を制御するものが多かった.しかし、一般的な並行 平板型静電アクチュエータは、初期間隔の2/3までの 範囲でしか制御を行うことができず、それ以下の間隔 では平板同士が吸着してしまう.そのため、従来型の マイクロファブリペローの構造では、ミラー間隔を h =400~1000 nm の範囲で制御することができない.そ



こで、本研究では Fig. 2 に示すように、ミラーを駆動する Si 電極とミラー部を SiO₂の透明な保持層に より分離し、また下部の固定電極もガラス基板の下側に配置することのよって、この問題を解決する こととした.

この構造における各部の寸法を設計するために,試作するファブリペロー干渉計を Fig. 5 のように モデル化した.ファブリペロー干渉計は,4本の長さ*l*,幅*b*,厚さ*c*の梁で支えられており,中心部 に $a \times a$ の面積を持つ駆動電極部がある.上部の可動電極と下部固定電極の間隔を*d*とすると,電圧 印加により,中心部に集中荷重*W*,全体に分布荷重*w*が加わっていると考えられる.この時の中心部 のたわみ*v*は,式(8)となる.ただし,Siのヤング率を*E*=190 GPa,4本の梁の断面2次モーメント を*I*= $bc^3/12$ としている.

$$v = \frac{WL^3}{192EI} + \frac{wL^4}{384EI}$$
(8)

次に、コンデンサの電極間に加わる力から集中荷重 W と分布荷重 w を求める.表面積 S の 2 枚の 電極が距離 d で平行に置かれていた場合の力 F は、式(9)となる.ここで、電極間に印加した電圧を Vとし、 ϵ_0 は真空中の誘電率、 ϵ_{air} は空気の比誘電率、 ϵ_r はガラスの比誘電率である.

$$F = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon_{\text{air}} \varepsilon_0 S}{d^2} V^2 = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon_{\text{air}} \varepsilon_0 S}{\left((t_1 - v) + t_2 / \varepsilon_r + t_3 / \varepsilon_r \right)^2} V^2 \quad (9)$$

なお,2 枚の電極間隔 d は,ファブリペロー干 渉計のミラー間隔である厚さ t₁の空気層と,ミラ ーを支持する厚さ t₂の支持層,厚さ t₃の Pyrex ガ ラス基板層からなっている.この式(9)から中心部 に加わる集中荷重 W,全体に加わる分布荷重 w を 求め,式(8)に代入すると,式(10)となる.

$$v = \frac{\varepsilon_{\rm air}\varepsilon_0}{\left((t_1 - v) + t_2 / \varepsilon_{\rm r} + t_3 / \varepsilon_{\rm r}\right)^2} \frac{a^2 l^3 + b l^4}{4Ebc^3} V^2$$
(10)

以上より、マイクロファブリペロー干渉計の各 部の寸法を Table 1 のように設定し、0~350 V の 範囲で電圧を印加した際の、印加電圧とミラー間 隔の計算結果を Fig. 6 に示す.比較のためミラー 支持梁の長さ *l* を 600,800 µm の場合も計算した. Fig. 6 よりミラー支持梁の長さ *l* = 700 µm におい て、電極間に 160 V 印加した場合にはミラー間隔 が約 3000 nm となり、330 V を印加することでミ

Table 1 Dimensions of the MFPI.

<i>a</i> : length of the center part	350 µm
<i>b</i> : width of the beams	40 µm
<i>c</i> : thickness of the beams	4.0 μm
<i>l</i> : length of the beams	700 µm
t_1 : thickness of the Si spacer	4.0 µm
t_2 : thickness of the insulator	2.0 µm
t_3 : thickness of the substrate	300 µm



Fig. 6 Relationship between applied voltage and displacement of the gap of MFPI.

ラー間隔が 0nm となることが確認できた.

3. マイクロファブリペロー干渉計の試作

前節までに設計された光学特性や構造を持った マイクロファブリペロー干渉計の試作を行う.こ こで,従来のマイクロファブリペロー干渉計では, Si基板が波長400~1000 nmの光を吸収してしまい, また犠牲層エッチングでは高い平坦度を持つ可動 ハーフミラー構造を試作するのが困難であった. そこで,本研究ではFig.7に示すように,SOIウェ ハの陽極接合とロストウェハプロセスを用いて試 作を行った.

マイクロファブリペロー干渉計の基板として, 厚さ 300 µm のパイレックスガラス基板と, SOI ウ ェハ(5/2/670 µm)を利用する. まず始めに, SOI ウ ェハの表面に Si ミラー支持部となる厚さ 2 μm の SiO2 層を熱酸化により成膜する.次にスペーサ層 となる厚さ4 umのSi層をスパッタ法により成膜し、 ICP-RIE 装置 (Inductive Coupled Plasma-Reactive Ion Etching) によるエッチングを行う. さらに, 陽極 接合時の平面を出すために熱酸化(0.1 μm)を行う. ここで、パイレックスガラス基板と共に、可視光 領域でハーフミラーとなる厚さ 60 nm の Si 層をス パッタし, ICP-RIE 装置によりパターニングを行う. この Si 層は平坦な基板上に成膜しているため、高 い平坦度を持っていると考えられる. 次に SOI 基 板における、不要な部分の SiO,を除去したあと、 350℃, -800V の条件で陽極接合を行い、 ウェハを





Fig. 8 Microscopic photograph of the MFPI.

接合する. 接合後, SOIの不要な基板部 Si 層と SiO₂層を除去するロストウェハプロセスを行う. 最後 に可動ミラー部となる Si 層のパターニングを行い,マイクロファブリペロー干渉計が完成する.

Fig. 8 は試作したマイクロファブリペロー干渉計の顕微鏡写真である. 左側の写真は上面から見た場合,右側は下面から見た場合である. パイレックスガラス基板側に成膜した Si ミラー層が一部剥離

しているものの,問題なく構造が試作できている ことが確認できる.また,試作したマイクロファ ブリペロー干渉計をガラス管により強制的に変位 させ,ミラー間の干渉を変化させた様子が Fig.9 である.ガラス管によりミラー間隔が狭くなり, 干渉する光の波長が変化していることがわかる.

4. 特性計測実験

試作したマイクロファブリペロー干渉計の評価 を行うため, Fig. 10 に示す実験セットアップによ って動作確認実験を行った.マイクロファブリペ ロー干渉計の動作としては,電圧印加によるミラ ー間隔の変化を計測することが重要であるが,ミ ラー間隔の直接計測は困難であるため,透過光の ピーク波長からミラー間隔を推定することとした.

Fig. 10 に示す実験セットアップのうち,光源は 可視~近赤外の波長を含むタングステンハロゲン 光源(オーシャンオプティクス社製,LS-1)を利 用し,波長 350~1000 nm に対応した分光器(オー シャンオプティクス社製,USB-2000)を利用した. この光源から出た光はレンズによって集光され, ファブリペロー干渉計のミラー部のみに光が入射 する.ファブリペロー干渉計を透過した光は再度 レンズで集光され,ハーフミラーによって位置合 わせ用の CCD カメラへの入力と,特性計測のため の分光器に入射する.この際,スペクトルの基準



Fig. 9 Change of the interfered light at the central part of the MFPI.





Fig. 11 The relationship between the applied voltage and the light transmittance of the MFPI.

として光源のスペクトルを計測し、この基準スペクトルに対する割合を透過率として計算することで 光源の波長依存性の影響を低減できる.この実験セットアップにより、マイクロファブリペロー干渉 計に0~180Vの電圧を印加した場合の透過率の変化をFig.11に示す.Fig.11より、MFPIを透過する 光のピーク波長は、電圧を印加することで短波長側へシフトするがわかる.また、様々な干渉次数の 光が混合してしまっているが、400~950 nmの範囲で透過光のピーク波長を変化させることが可能で あることがわかった.なお、光の透過率は波長 870 nm では約 80%で最大となり、波長が変化するこ とで透過率が減少しているものの,波長 550 nm で透過率 10%程度であることがわかる.

5. 考察

Fig. 11 より,試作した MFPI では、550~950 nm の波長範囲において,透過光のピーク波長を変化 させることができた.しかし,波長 550 nm 以下の短波長領域では透過率が 10%以下と低くなってし まい,分光することができなかった.これは、ファブリペロー干渉計のハーフミラーとして 60 nm の 膜厚の Si 薄膜ミラーを利用したことにより,Si 薄膜ミラー部で短波長領域の光が強く吸収されたため だと考えられる.そのため、吸収が低い金属薄膜や誘電体多層膜を利用することで改善する必要があ ると考えられる.また、透過率が最大となったピーク波長が 850 nm において、スペクトル半値幅で ある FWHM (Full Width at Half Maximum) は約 70 nm であった.分光デバイスとして利用するために はFWHM が広いため、ハーフミラーの反射率を向上させることで FWHM を向上していく必要がある.

次に、0~180 Vの電圧を印加したことによって、MFPIのミラー間隔がどの程度変化していたかを 推定する.そこで、Fig.11より、電圧印加した際の透過光のピーク波長を読み取り、Table 2 にまとめ た.ここで、透過光のピーク波長は、中心的に変化している m 次の干渉光と、m±1 次の干渉光の、 複数の次数の干渉光が混ざってしまっている.中心となる m 次の干渉光のピーク波長は、790~635 nm まで変化しており、また m±1 次の干渉光がそれぞれ 632~565 nm、950~830 nm まで変化しているこ とがわかる.そこで、式(2)の干渉次数とピーク波長の関係に、m 次と m±1 次の干渉光のピーク波長 を代入し、干渉の次数 m とミラー間隔 h を算出した結果を Table 2 に記載した. Table 2 より、干渉の 次数 m は4.00~4.34 であるため、試作した MFPI では4 次干渉光を中心に干渉していたことがわかる. そこで、干渉の次数 m=4 とした場合に、式(1)と式(2)を利用してミラー間隔 h を求めた結果、ミラー 間隔は 1580~1270 nm の範囲で変化していることがわかる.本来 MFPI のミラー間隔は Si スペーサ層 の厚さである 4.0 μm が初期値となるはずであるが、陽極接合時の残留応力などの影響で 1.6 μm 程度 まで減少してしまったのだと考えられる.また、180 V の電圧を印加した場合、Fig.6 の試算結果では 1.2 μm 程度変位するはずであったが、これも残留応力の影響で大幅に減少してしまったのではないか と思われる.

Applied	Applied [nm]		λ_{m+1} [nm]	Gap of mirrors	Order of Gap of mirrors h [nm]	
Voltage [V] λ_{m-1} [fiff] λ_m [fiff]	λ_m [IIII]	<i>h</i> [nm]		interference m	(calculated by 4th interfering light)	
0	-	790	632	1580	4.00	1580
80	-	752	608	1588	4.22	1504
100	950	732	595	1589	4.34	1464
120	920	698	565	1482	4.25	1396
140	880	672	-	1421	4.23	1344
180	830	635	-	1351	4.26	1270

Table 2 Relationship between applied voltage and peak wavelength of interfered light.

6. 結論

血液の吸光度計測用 MEMS 分光デバイスとして,可視光~近赤外線領域で利用可能なマイクロファ ブリペロー干渉計の設計と試作を行った.試作する MFPI をモデル化し,マトリックス法による光学 特性を求め,また4本の梁で支えられた構造として構造設計を行った.パイレックスガラス基板~ SOI ウェハを陽極接合し,ロストウェハプロセスを行うことで,透明基板上に平坦度の高いハーフミラー を配置した MFPI を試作できた.また,駆動電極と可動ミラー部を離すことで,ミラー間隔を 400~ 1000 nm の範囲でも制御可能な構造を実現した.試作した MFPI に0~180 Vの電圧を印加することで, 550~950 nm の広い範囲で,10~80 %の高い透過率を持つことが計測できた.また,透過光のピーク 波長から,試作した MFPI のミラー間隔は 1580~1270 nm の間で変化していることが確認できた.以 上より,SOI ウェハの陽極接合とロストウェハプロセスを使用して試作することによって,可視光~ 近赤外線の波長領域で使用可能なマイクロファブリペロー干渉計を実現することができた.

参考文献

- Tetsuji Dohi, Kiyoshi Matsumoto, and Isao Shimoyama: The micro Fabry-Perot interferometer for the spectrum endoscope, Proc. IEEE MEMS '05, pp. 830-833, (2005)
- Tetsuji Dohi, Kiyoshi Matsumoto, and Isao Shimoyama: The optical blood test device with the micro Fabry-Perot interferometer, Proc. IEEE MEMS '04, pp. 403-406, (2004)
- 3) 土肥徹次, 松本潔, 下山勲: マイクロファブリペロー干渉計を用いた血液吸光スペクトルの計測, 第 21 回 「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, pp. 319-322, (2004)
- K. Aratani, P. J. French, P. M. Sarro, D.Poenar, R. F. Wolffenbuttel, and S. Midddelhoek: Surface micromachined tunable interferometer array, Sensors and Actuators A, Vol. 43, pp. 17-23, (1994)
- M. Kobayashi, H. Toshiyoshi, and H. Fujita: A micromechanical tunable interferometer for free-space optical interconnection, Proc. IEEE/LEOS Optical MEMS'97, pp. 171-175, (1997)
- 6) A. Saran, D. C. Abeysinghe, P. Deshmukh, R. Flenniken, and J. T. Boyd: Anodic bonding of optical fibers to silicon for integrating MEMS based optical pressure and temperature sensors onto optical fibers, Proc. Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '03), pp. 564-567, (2003)
- M. Noro, K. Suzuki, N. Kishi, H. Hara, T. Watanabe, and H. Iwaoka: CO₂/H₂O gas sensor using a tunable Fabry-Perot filter with wide wavelength range, Proc. IEEE MEMS'03, pp. 319-322, (2003)
- 8) 原仁,鈴木健太郎,岸直輝,野呂誠,渡辺哲也,岩岡秀人: MEMS 型ファブリ・ペローフィルタを用いた CO₂/H₂O ガスセンサ,計測自動制御学会産業論文集, Vol. 3, No. 3, pp. 22-27, (2004)
- F. Sugihwo, M. C. Larson, and J. S. Harris, Jr: Micromachined widely tunable vertical cavity laser diodes, J. Microelectromechanical Syst., Vol. 7, No. 1, pp. 48-55, (1998)
- 10) C. J. Chang-Hasnain: Tunable VCSEL, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., Vol. 6, No. 6, pp. 978-987, (2000)
- M. Blomberg, H. Kattelus, and A. Miranto: Electrically tunable surface micromachined Fabry–Perot interferometer for visible light, Sensors and Actuators A, Vol. 162, pp. 184-188, (2010)
- 12) 澤田廉士他: 光マイクロマシン,オーム社, (2002)
- 13) 吉田貞史, 矢嶋弘義: 薄膜・光デバイス, 東京大学出版会, (1994)

<u>論 文</u>

分光画像計測のための可変波長マイクロ光フィルタの設計

土肥 徹次*,松本 潔**,下山 勲**
 *中央大学,**東京大学
 (2012 年 8 月 7 日原稿受付)

Design of the tunable micro optical filter for measuring spectroscopic image

Tetsuji DOHI*, Kiyoshi MATSUMOTO**, and Isao SHIMOYAMA**

*Chuo University, **The University of Tokyo

ABSTRACT

This paper reports on a tunable micro optical filter for measuring spectral endoscope which can acquire spectroscopic images of a target. We use a micro Fabry-Perot Interferometer (MFPI) as the tunable optical filter. The MFPI with the Si/Si₃N₄/Si multi-layer mirrors and the MFPI prototype were designed and fabricated. This MFPI can be used in the wavelength ranging from 450 nm to 1000 nm. The RGB image of the butterfly was taken by the spectral endoscope, which consists of the MFPI prototype, a CCD, and lenses. The image according to the peak wavelength was also acquired. Thus, we demonstrate the efficiency of the MFPI for the spectral endoscope.

1. 研究の背景と目的

近年,局所計測・治療,非侵襲化・低侵襲化への期待から,MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術の,医療分野への応用が望まれている.また,低侵襲な手法であるため,内視鏡やカテーテルを 用いた低侵襲な検査・診断・治療が盛んに行われている.内視鏡に関する研究開発として,カプセル 内視鏡の実用化や,3次元内視鏡の研究などが行われている.これらの内視鏡では小型 CCD カメラ を使用したり,光ファイバーを利用したりすることで内視鏡の小径化を行っている.一方,光を利用 した検査・診断技術として,血液などの成分分析のための吸光スペクトル計測や,パルスオキシメー タや光トモグラフィー (OCT: Optical Coherence Tomography) などの研究も盛んに行われている.

本研究では、Fig. 1 に示すように、MEMS 技術により小型化したマイクロファブリペロー干渉計

(MFPI: Micro Fabry-Perot Interferometer) と呼ば れる可変波長マイクロ光フィルタを内視鏡の先 端に配置する.これより,分光画像計測ができる デバイスとすることで,光を用いた検査・診断技 術を内視鏡へ取り入れることを考えた.ここで, ファブリペロー干渉計とは,2枚のハーフミラー を光の波長と同程度の間隔に配置し,この間隔に



Fig. 1 Schematics of the spectral endoscope with the micro Fabry-Perot Interferometer.

応じた波長の光を選択的に透過する可変波長光フィルタである.ファブリペロー干渉計を利用した分 光法は、ハーフミラー間隔の変化で透過波長を変えることができるため、微小化が容易で、MEMS 技 術との相性も良く、多くの研究がなされてきた¹⁾⁻⁹⁾.例えば、通信分野における波長分割デバイス^{1),2)} や、圧力・温度センサ³⁾、CO₂・H₂O ガス濃度センサ^{4),5)}の研究が行われてきた.しかし、これらの研 究で使用される光の波長は 1.1 μ m 以上の近赤外線領域であり、可視光領域で利用することができなか った.

これに対して本研究では、分光画像を計測するため、CCD カメラで利用される可視光領域の400~700 nm の波長と、血液の吸光スペクトル計測で利用される 700~1000 nm の近赤外光領域の波長での 画像計測を想定している.従来のマイクロファブリペロー干渉計では、Si 基板や Si 薄膜ミラーを利用 することが多かったが、Si は 1.1 µm 以下波長の光をほとんど吸収してしまうため、400~1000 nm の 波長範囲で利用することは困難であった.また、従来は平行平板型静電アクチュエータを利用するこ とが多かったが、このアクチュエータは初期間隔の 1/3 の範囲でしか動作できず、400~1000 nm の範 囲で制御することが困難であった.ここで波長 400~1000 nm の範囲で利用できるものとして、可変 波長レーザーにおける可変波長反射鏡の研究^{6,7}や、可視光領域用のマイクロファブリペロー干渉計 の研究^{8,9}が行われている.しかし、可変波長レーザー用の研究などでは、誘電体多層膜を利用した 反射率の高いハーフミラーを使用しているため、利用できる波長範囲が約 100 nm と非常に狭くなっ てしまう.また、可視光領域の広帯域で利用できるよう Ag 合金をハーフミラーに利用した研究⁹では、約 400~700 nm の範囲で使用可能としたが、诱渦率が 10~30%と非常に低くなってしまっている.

このような状況の中,我々は広い範囲で分光が可能なマイクロファブリペロー干渉計の研究を進め てきた¹⁰⁻¹²⁾. ミラー間隔が初期間隔の 1/3 の範囲でしか制御できない問題に対しては、ミラーを駆動 する Si 電極とミラー部を SiO₂の透明な保持層により分離し、また下部の固定電極もガラス基板の下 側に配置することで 550~950 nm の波長範囲で利用可能とした¹⁰⁾. また、このマイクロファブリペロ ー干渉計を含めた吸光度計測デバイスの装置関数を求め、その逆関数による演算を行うことで血液の 吸光スペクトル計測に利用できることを示した¹²⁾. しかし、分光画像計測を行うためには、より短い 400~550 nm の波長範囲でも利用可能とする必要がある. さらに、Fig.1 に示すように干渉計のミラー 部に縮小投影して分光することになるため、ミラー部には高い平坦度が必要になる.

この両方の問題を同時に解決することは困難であるため、本研究では、まず、短い波長領域でも使用可能なマイクロファブリペロー干渉計の設計を行う.短い波長領域でも利用可能とするために、シリコン、窒化シリコン、シリコン(Si/Si₃N₄/Si)の多層膜をハーフミラーとして利用することとした. さらに、この多層膜ミラーを持ち、マイクロファブリペロー干渉計と類似した特性を持つ簡易モデル のファブリペロー干渉計を試作し、簡易モデルにより分光画像計測実験を行うことで、マイクロファ ブリペロー干渉計を用いた分光画像計測デバイスの有用性を示すことを目的とする. 2. マイクロファブリペロー干渉計の設計

本研究の実現目標である,分光画像計測を行う ためのマイクロファブリペロー干渉計の概略図と, 試作段階のデバイスの写真を Fig. 2 に示す.この デバイスにより,波長 400~1000 nm の範囲の光を 選択的に透過できるようにする.そのために,ま ず光学特性についての検討を行い,次に構造的な 設計と試作を行うことで,分光画像計測ができる デバイスの実現を目指す.

2.1 ファブリペロー干渉計の光学特性¹³⁾

マイクロファブリペロー干渉計の光学特性を導 出するため、まず単純化した構造であるファブリ ペロー干渉計の光学特性を求める.ファブリペロ ー干渉計に波長λの光が入射角ので入射したとする. ハーフミラーの強度反射率を R,ハーフミラーの 間隔を h,ミラー間の媒質の屈折率を n とすると, 透過する光の波長透過率 T は、式(1)で表される.

$$T = \frac{1}{1 + \frac{4R\sin^2(2\pi nh\cos\theta/\lambda)}{(1-R)^2}}$$
(1)





式(1)において,強度反射率 R が高いほど波長の選択性が強くなり,透過率 T は $\sin(2\pi nh\cos\theta/\lambda) = 0$ で 最大となる. なお,この透過光が最大となる時の干渉の次数 m は,式(2)によって求められる.

 $m = 2nh\cos\theta/\lambda \quad (m = 1, 2, 3...) \tag{2}$

式(2)より,間隔hを固定した状態で透過率を計測した際に,ピーク波長が2波長あれば干渉の次数mを導出できることがわかる.

2.2 マイクロファブリペロー干渉計の光学特性¹⁴⁾

次に、Fig. 2 に示すマイクロファブリペロー干渉計の光学特性を導出する.マイクロファブリペロ ー干渉計は、Si 可動電極、SiO₂絶縁層、Si スペーサ層、ガラス基板、下部電極の 5 層で構成される. SiO₂絶縁層とガラス基板の表面にハーフミラーとなる Si/Si₃N₄/Si の多層膜が配置された構造となって いる.このマイクロファブリペロー干渉計の透過光強度を計算するため、Fig. 3 のような多層膜とし てモデル化し、マトリックス法による計算を行う.マトリックス法では、電場と磁場の境界条件から マトリックスを求め、マトリックスの積によって多層膜の特性を導出できる.計算式を式(3)に示す.

$$\begin{pmatrix} E_0 \\ H_0 \end{pmatrix} = \left\{ \prod_{j=1}^8 \begin{pmatrix} \cos \delta_j & i Z_0 \eta_j^{-1} \sin \delta_j \\ i Z_0^{-1} \eta_j \sin \delta_j & \cos \delta_j \end{pmatrix} \right\} \begin{pmatrix} E_8 \\ H_8 \end{pmatrix}$$
(3)

ここで、第*j*層中の電場および磁場をそれぞれ *E_j*, *H_j*とし、真空の光学インピーダンスを *Z*₀, 第*j*層 の膜厚を *d_j*, 屈折率を *n_j*, 実効屈折率を η_i とする. なお、 δ_j は *j*層目の膜の光学的厚さであり、式(4) で表すことができる.ここで、 ϕ_i は第*j*層中の屈折角であるが、単純化のために入射角を θ =0°とする と ϕ_i =0°となり、式(5)のように簡略化できる.

$$\delta_j = 2\pi n_j d_j \cos \phi_j / \lambda \tag{4}$$

$$Z_0^{-1}\eta_j \cong \eta_j \cong n_j \tag{5}$$

光の透過率 Tは、入射光強度と透過光強度の比で表すことができるため、式(6)のように求めることができる. なお、式(6)の m_{11} 、 m_{12} 、 m_{21} 、 m_{22} は多層膜の特性マトリクス Mの要素であり、式(7)により求めることができる.

$$T = \frac{E_8^+}{E_0^+} = \frac{2n_0}{n_0(m_{11} + n_8m_{12}) + (m_{21} + n_8m_{22})}$$
(6)
$$[M] = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} = \prod_{j=1}^8 \begin{pmatrix} \cos \delta_j & in_j^{-1} \sin \delta_j \\ in_j \sin \delta_j & \cos \delta_j \end{pmatrix}$$
(7)

このマトリックス法を利用することで、マイクロファブリペロー干渉計の光学特性だけでなく、ハーフミラー部分の光学特性も試算できる.ここで、ハーフミラーでは分光したい波長 400~1000 nm の範囲で反射率が高く、吸収が少ないことが求められる.ハーフミラーの反射率を大きくするために は、屈折率が高い材質を使用し、ハーフミラーの光路長を反射光の波長 λ の 1/4 とするのが良い.また、ハーフミラーにおける吸収は、材質の複素屈折率の虚数部にあたる消衰係数が小さければ良い.そこ で、屈折率の高い Si 薄膜と、消衰係数が小さい Si₃N₄薄膜、さらに Si と Si₃N₄を組み合わせた多層膜 について検討を行った.なお、Si と Si₃N₄の屈折率は、波長 600 nm における屈折率である 3.9-0.03*i* と 2.0 を利用した ¹⁵.また、薄膜の膜厚は波長 600 nm で反射率が最大となるように、Si 薄膜は膜厚 40 nm、Si₃N₄薄膜は 70 nm とした.ここで、Si/Si₃N₄/Si の多層膜ミラーは、両端を Si 薄膜とすることで反射率が高くなり、真ん中の層を Si₃N₄ とすることで吸収が抑えられる構成となっている.なお、

Si層を1/4波長とすると吸収が大きくなりすぎるため, Si/Si₃N₄/Si の3層合計で1/4波長となる厚さとすることした.また,試作プロセスの制約から10 nm以下の膜厚を安定的に成膜することが困難であるため,それぞれの膜厚を10 nm/25 nm/10 nmとした.この膜厚で波長400~1000 nmの範囲で薄膜ミラーの反射率を計算した結果をFig.4 に示す.ただし,Si の屈折率は波長依存性が高く,波長400~



Fig. 4 Reflectance of the Si, Si₃N₄, and Si/Si₃N₄/Si multi-layer mirrors.

1000 nm の範囲では消衰係数が 0.372~0.003 まで変 化するため¹⁵⁾, 計算時には波長に応じた複素屈折率 を代入して計算を行った. Fig. 4 より, Si 薄膜ミラ ーは 500 nm 以上の波長では 70%程度の高い反射率 を持つが, 500 nm 以下では吸収の影響と薄膜干渉 の影響で反射率が 10%近くまで下がってしまって いることがわかる. Si₃N₄薄膜ミラーは, 400~1000 nm の範囲で特性が安定しているが,反射率は平均 35%程度と低くなってしまっている. これに対して,



Fig. 5 Transmittance of the MFPI with the Si, Si₃N₄, and Si/Si₃N₄/Si multi-layer mirrors.

Si/Si₃N₄/Si 多層膜ミラーでは,500 nm 以上の波長では 50%程度と Si₃N₄薄膜ミラーより高い反射率を 持ち,また Si の膜厚を薄くしたことで吸収の影響が低減できていると期待できる.

これらの薄膜ミラーを用いたマイクロファブリペロー干渉計の光学特性を、式(6)により計算した結 果を Fig. 5 に示す.計算に使用した各層の膜厚と物性値について、Si は波長に応じた複素屈折率¹⁵⁾を 使用し、それ以外は Fig. 3 の図中に示した数値を利用した.なお、ミラー間隔は 750 nm とした. Fig. 5 より、すべてのデバイスで波長 510 nm 付近と 720 nm 付近に透過光のピーク波長が存在し、波長 600 nm 付近で透過率が最低となることがわかる. Si 薄膜ミラーの場合、透過率は波長 730 nm で最大値 90% をとり、600 nm で最小値 3%となっている.しかし、波長 510 nm のピークでは透過率が 80%、波長 420 nm のピークでは透過率が 20%まで低減しており、波長が短い領域では吸収の影響が大きく、分光 が困難であることがわかる.Si₃N₄薄膜ミラーの場合、透過率は波長 720 nm で最大値 90%をとり、波 長 600 nm で最小値 30%となっている.最大値は 90%と非常に高いが、最低値も 30%と高いため、波 長 選択性が低くなってしまっている.これに対して Si/Si₃N₄/Si 多層膜ミラーの場合、透過率は波長 720 nm で最大値 90%をとり、波長 600 nm で最小値 10%となっている.理想的な特性は、透過率の最大値 が 100%に近く、最小値が 0%に近いことであるが、Si/Si₃N₄/Si 多層膜ミラーを用いることでこの理想 的な特性に近づいていることがわかる.また、多層膜ミラーとしたことで波長 430 nm 近傍の透過率 も 35%程度と増加しており、Si 薄膜ミラーと比較して吸収の影響を低減できていることがわかる.

2.3 ファブリペロー干渉計の構造設計と試作

次に、この Si/Si₃N₄/Si 多層膜ミラーを持つマイクロファブリペロー干渉計の機械的特性について検 討する.ここで、これまで我々が行ってきた SOI(Silicon On Insulator)ウェハの陽極接合とロストウェ ハプロセス¹⁰により、Si/Si₃N₄/Si 多層膜ミラーを持つマイクロファブリペロー干渉計を試作した写真 を Fig. 2 に示す.写真より、試作したマイクロファブリペロー干渉計では、中心のミラー部が大きく 湾曲しているため、リング状の干渉模様が観察できる.これは、Si/Si₃N₄/Si の薄膜ミラーを成膜する 際や,SOI ウェハを陽極接合した際に発生した残留応 力の影響だと考えられる.また,駆動電極のSi層と絶 縁部のSiO2層との間や,Pyrex基板とITO 電極層の間 にも成膜時の残留応力が発生していると考えられる. これらの構造各部の残留応力を低減し,平坦なミラー 部を実現するためには,試作プロセスの各行程で適切 な熱処理を行う必要がある.さらに各行程での熱処理 は互いに影響を及ぼすため,最適な熱処理条件を明ら かにするためには多大な時間が必要となる.

そこで、本研究ではマイクロファブリペロー干渉計 と類似した光学特性と機械特性を持つ簡易モデルを 試作することで、分光画像計測デバイスの有効性を示 すこととした.試作した簡易モデルの概略図と写真を Fig. 6に示す. 簡易モデルは、30 mm×30 mm、厚さ



prototype.





120 μm のカバーガラスの外側に駆動電極となる ITO 薄膜を成膜し、内側にミラーとなる Si/Si₃N₄/Si 多層膜を成膜している. ミラー部はカバーガラスの中央 10 mm×10 mm の領域に成膜してあり、ミ ラーの外周部は構造が変形しやすいように約 20 μm 薄く加工してある. さらにカバーガラス最外周 部に厚さ 1000 nm の Al スペーサ層を成膜しており、この層を介して 2 枚のカバーガラスを重ね合わ せることでマイクロファブリペロー干渉計と類似した構造を実現している.

このような構造を持つ簡易モデルと、マイクロファブリペロー干渉計が、類似した機械特性を持つように設計する. そのため、まずマイクロファブリペロー干渉計を Fig.7 のようにモデル化し、駆動電極に加わった電圧とミラー間隔の変化の関係を試算する. ファブリペロー干渉計は 4 本の長さ l_1 、幅 b_1 、厚さ c_1 の梁で支えられており、中心部に面積 $a_1 \times a_1$ の駆動電極がある. 上部と下部の電極間への電圧印加により、中心部に集中荷重 W_1 、全体に分布荷重 w_1 が加わるとした. この時の中心部のたわみ v_1 は、式(8)となる. ただし、Si のヤング率をE = 190 GPa、4本の梁の断面 2 次モーメントを $I_1 = b_1c_1^{3}/12$ とした.

$$v_1 = \frac{W_1 l_1^3}{48EI_1} + \frac{W_1 l_1^4}{48EI_1} \tag{8}$$

次に、コンデンサの電極間に加わる力から集中荷重 W_1 と分布荷重 w_1 を求める.表面積 S の 2 枚の電極が距離 d で平行に配置されていた場合の力 F は、式(9)となる.ここで、電極間への印加電圧を Vとし、 α_0 は真空中の誘電率、 ϵ_{air} は空気の比誘電率、 ϵ_c はガラスの比誘電率である.

$$F = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon_{air} \varepsilon_0 S}{d^2} V^2 = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon_{air} \varepsilon_0 S}{\left(d_0 / \varepsilon_r + \left(d_4 - v\right) + d_8 / \varepsilon_r\right)^2} V^2 \tag{9}$$

なお、2 枚の電極間隔 d は、ミラーを支持する厚さ d_0 の支持層、ファブリペロー干渉計のミラー間隔である 厚さ($d_4 - v$)の空気層と、厚さ d_8 の Pyrex ガラス基板層 からなっている.この式(9)から中心部に加わる集中荷 重 W_1 、全体に加わる分布荷重 w_1 を求め、式(8)に代入 すると、式(10)となる.

$$v_{1} = \frac{\varepsilon_{air}\varepsilon_{0}}{\left(d_{0}/\varepsilon_{r} + \left(d_{4}-v\right) + d_{8}/\varepsilon_{r}\right)^{2}} \frac{a_{1}^{2}l_{1}^{3} + b_{1}l_{1}^{4}}{4Eb_{1}c_{1}^{3}}V^{2}$$
(10)

次に、簡易モデルの特性を試算するため、 $a_2 \times a_2$ の 面積を持つ平板に、静電引力 F による分布荷重 w_2 が 加わっているものとモデル化する.この際、平板の中 心部でたわみ v_2 は最大となり、この最大のたわみは式 (11)により求めることができる.

$$v_2 = \alpha \frac{w_2 a_2^4}{E_g c_2^3}$$
(11)

なお、カバーガラスのヤング率を E_g 、カバーガラスの 厚さを c_2 とし、また α は平板の縦横比などにより経験 的に決定する係数で、 $\alpha = 0.016$ ある¹⁶. ここで、静電 引力Fは式(9)により求めることができ、分布荷重は、 $w_2 = F/a_2^2$ で求められる.

以上より、マイクロファブリペロー干渉計と簡易モデルの各部の寸法を Table 1 のように設定し、0 ~350 V の範囲で電圧を印加した際の、印加電圧とミラー間隔の計算結果を Fig. 8 に示す. ここで、 簡易モデルでは 2 枚のカバーガラスを重ね合わせただけの構造となっているため、カバーガラスの 歪みやたわみなどの影響でミラー間隔の初期値は Al スペーサ層の厚さ 1 µm よりも大きくなってい ることが予想される. そのため、ミラー間隔の初期値は Al スペーサ層の厚さと同じ 1 µm と、比較 のため 4.0, 5.5 µm の場合も計算した. Fig. 8 よりマイクロファブリペロー干渉計では、電極間に 200 V 印加した場合にはミラー間隔が約 1 µm となり、225 V を印加することでミラー間隔が 0 nm となる ことが確認できた. 簡易モデルでは、初期ミラー間隔が 1 µm の場合には 140 V 印加することでミラ ー間隔が 0 となり、初期ミラー間隔が 4.0, 5.5 µm の場合には 140 V 印加することでミラ ー間隔が 0 となる. この、初期ミラー間隔が 4.0, 5.5 µm の場合には印加電圧が 280, 330 V においてミラー 間隔が 0 となる. この、初期ミラー間隔が 4.0, 5.5 µm の場合とマイクロファブリペロー干渉計を比 較すると、ミラー間隔が 4.0 µm の場合は間隔変化に必要な電圧が 20%程度大きくなり、間隔が 5.5 µm の場合は間隔変化に必要な電圧が 100 V 程度大きくなるが、両方とも類似した特性を持っていること がわかる.

Table 1 Dimensions of the MFPI and the prototype.

l_1 : length of the beams	700 µm
a_1 : length of the center part of the MFPI	350 µm
b_1 : width of the beams	40 µm
c_1 : thickness of the beams	4.0 µm
d_0 : thickness of the insulator	2.0 µm
d_4 : thickness of the Si spacer	4.0 µm
d_8 : thickness of the substrate	200 µm
a_2 : length of the center part of the MFPI prototype	2000 µm
c_2 : thickness of the cover glass	120 µm



3. ファブリペロー干渉計による実験

3.1 簡易モデルの光学特性計測

Fig. 9に示す実験セットアップにより, 試作 した簡易モデルの光学特性を計測した.実験セ ットアップでは, 光源から出た光はレンズによ って集光され, ファブリペロー干渉計のミラー 部に入射する.ファブリペロー干渉計を透過し た光は再度レンズで集光され, ハーフミラーに よって光学特性計測のための分光器と, 分光画 像計測用の CCD カメラへと入射される.ファ ブリペロー干渉計の動作特性として, 電圧印加 によるミラー間隔の変化と, 透過光スペクトル の関係を明らかにすることが重要である.しか し, ミラー間隔を直接計測することは困難であ るため, 透過光のピーク波長からミラー間隔を 推定することとした.

この実験セットアップにより,簡易モデルの ファブリペロー干渉計に 300~330 V の電圧を 印加した場合の透過率の変化を Fig. 10 に示す. Fig. 10 より,透過光のピーク波長は,電圧印加 により短波長側へシフトすることがわかる.ま た,様々な干渉次数の光が混合しているが,450 ~1000 nm の範囲で透過光のピーク波長を変化 させることが可能であることがわかる.なお, 光の透過率は印加電圧 329.7 V の波長 750 nm に



Fig. 10 The relationship between the applied voltage and the light transmittance of the MFPI.

Table 2	Relationship between applied voltage and peak
	wavelength of interfered light.

Applied voltage [V]	λ _{m-1} [nm]	$\lambda_{\rm m}$ [nm]	λ_{m+1} [nm]	Gap <i>h</i> [nm]	Order of interference <i>m</i>
300	-	827	581	977	2.36
305	-	762	536	904	2.37
310	-	695	498	879	2.52
315	882	626	-	1078	3.44
320	883	556	-	751	2.70
325	833	513	-	668	2.60

おいて最大約 50%となり, 波長が変化することで透過率は減少している. 短波長側では, 印加電圧 319.0 Vの波長 450 nm で透過率 10%程度, 550 nm では 35%程度であり, 波長 450~490 nm の青色, 波長 500 ~560 nm の緑色の光を分光できることがわかる. 長波長側では, 印加電圧 324.8 Vの波長 900 nm で透 過率約 40%, 印加電圧 319.0 Vの波長 1000 nm では 10%程度であり, 近赤外線領域でもしっかりと分 光できることがわかる. ここで, Fig. 5 における Si/Si₃N₄/Si 多層膜ミラーの理論計算の結果と印加電圧 304.5 V の結果を比較すると, どちらも波長 520 nm と 740 nm 付近にピーク波長を持ち, 波長 600 nm 付近が谷となっている. しかし, 740 nm 付近のピーク波長の透過率は 90%から 50% へと約 40%低く, 波長 600 nm 付近では透過率が 10%から 16%へと約 6%高くなってしまった.これは, 簡易モデルのミ ラー部は 10×10 mm²と広いため, ミラー間隔を正確に一定とすることができなかったためだと考えら れる.しかし, 透過光のピーク波長は 450~1000 nm の範囲で変化できているため, 分光画像計測用 の可変光フィルタとしては利用可能であると考えられる.

さらに、この結果から印加電圧とミラー間隔の関係を求めるため、印加電圧と透過率のピーク波長 を Table 2 のようにまとめた.印加電圧 300~325 V において、各印加電圧に対してピーク波長が 2 波 長あるため、式(2)によりミラー間隔と干渉次数を算出できる.その結果、ミラー間隔は 977 nm から 668 nm まで減少し、干渉の次数は 2.36~2.70 の範囲であった.ただし、800 nm 以上の波長ではミラ ー間隔の不均一性によると考えられる小さな凹凸が生じてしまっている.印加電圧 315 V では、この 凹凸と透過率のピーク波長が干渉しているため、ピーク波長に大きな誤差が含まれていると判断して 除外することとした.ここで、式(2)は単純なモデルにより導出した式であり、算出される干渉次数は 実際よりも大きいと考えられる.このことを考慮すると、印加電圧 300~325 V の範囲では、干渉の次 数は m=2 を中心に、1~3 次の干渉光による分光が行われていたと考えられる.ここで、印加電圧 300 ~325 V により、ミラー間隔が 977 nm から 668 nm まで減少しているが、これは Fig. 8 における初期 ミラー間隔が 5.5 μm の計算結果と近い値を取っている.このため、間隔変化に必要な電圧を 100 V 程 度小さくすると Fig. 8 における MFPI と類似した特性を持つことになり、MFPI の簡易モデルとして適 した動作特性であったと考えられる.

3.2 RGB 画像計測実験

試作した簡易モデルを利用して,通常の RGB の画素を持つカメラと同様に使用できるか, RGB 画像計測実験を行った. RGB 画像計測の計測対象 として, Fig. 11(a)に示す鮮やかな色の羽を持つア ゲハチョウ(Graphium weiskei)の画像を計測した.

RGB 画像計測実験では, Fig. 11(b)の計測部位を Fig. 9 の Target の場所に配置する. 計測部位で反射 した光はレンズにより縮小投影されファブリペロ ー干渉計に入射し, 特定の波長の光だけが透過す る. ファブリペロー干渉計を RGB の光フィルタと して使用するため, Fig. 11(c)に示すように, 透過 率のピーク波長が 480, 560, 700 nm になるように 設定した. 透過率のピーク波長を青色の 480 nm に



Fig. 11 The RGB images of the butterfly (*Grapheiem wiskei*) by using the MFPI prototype as an RGB filter.

設定した場合の計測画像を Fig. 11(d)に示す.分光前の画像は羽が紫色であるが,計測画像は羽の模様 が青くなっており,青色フィルタとして機能していることがわかる.ただし,Fig. 11(c)に示すように 青色フィルタとしての波長選択性は必ずしも高いとは言えないが,簡易モデルのフィルタ特性に CCD カメラの RGB フィルタ特性と受光素子感度が乗じられた結果,青色フィルタとしての画像が計測で きたのではないかと考えられる.同様に,ピーク波長を緑色の 560 nm に設定した場合の計測画像を Fig. 11(e)に,赤色の 700 nm に設定した場合の計測画像を Fig. 11(f)に示す.赤色のフィルタに設定した 場合は,青色のフィルタの場合と同様に,羽の色が赤くなっていることが確認できた.しかし,緑色 のフィルタに設定した場合,羽の色が薄い紫色になっている.これは羽の色が紫色であるため,緑色 の成分をほとんど持っていないためだと考えられる.最後に各色のフィルタで計測した画像が RGB の各画像に対応していると仮定し,Fig. 11(d)(e)(f)の3枚の画像を加算した画像を Fig. 11(g)に示す.Fig. 11(g)より,画像が全体的に明るくなっているが,デジタルカメラで撮影した Fig. 11(b)と類似した色に なっていることがわかる.これは,簡易モデルの光学特性では透過させたくない波長の光も10%以上 透過してしまうため,全体的に明るい画像になってしまったと考えられる.しかし,RGB の各色のフ ィルタとして利用可能であり,通常の RGB カメラと同様の利用が可能であることが確認できた.

3.3 波長依存画像計測実験

最後に, Fig. 12 に示すように,特定の波長の光を透過させる画像計測実験を行った.これは,赤外 線カメラのように,目では見えない光を画像化することを目的としており,例えば近赤外線の波長の 光によって,血中酸素飽和度の画像化や,見難い血管を見易くするなどの応用を想定した実験である.

画像計測対象として, Fig. 12(a)の示すモルフォ蝶 (Morpho Portis)の羽を計測した. 画像計測領域

は、Fig. 12(b)に示す羽の先端に近い領域とした. この蝶の羽は構造色と呼ばれるナノメートルオー ダの周期構造を表面に持っており、この周期構造 による光の干渉で、青色付近の特定の波長領域の 光を強く反射する.そのため、Fig. 12(c)に示すよ うに、羽を観察する角度を変更すると光の入射角 が変わり、鮮やかな青色が観察できなくなり、羽 の下地の模様が観察できるようになる.そこで、 この羽の模様がある部位をFig. 13(c)の青色のフィ ルタに設定した場合と、赤色のフィルタに設定し た場合の画像計測を行った.それぞれの画像計測



Fig. 12 Change of the image according to the peak wavelength of the MFPI prototype.

結果を Fig. 12(d)と Fig. 12(e)に示す.これより,青色のフィルタの場合には構造色による鮮やかな青色の画像が計測できている.また赤色のフィルタの場合,構造色の青色は観察されず, Fig. 12(c)と同様に,表面構造の下地に部分にある目玉のような模様がよりはっきりと観察できていることがわかる. これより,特定の波長の光を透過させた画像計測を行うことで,通常の RGB 画像計測では観察が困難であった画像も計測できることがわかった.

4. 結論

本研究では、マイクロファブリペロー干渉計と内視鏡を組み合わせた分光画像計測デバイスを提案 し、分光画像計測に適したマイクロファブリペロー干渉計の設計を行った.光学設計として、ハーフ ミラー部に Si/Si₃N₄/Si の多層膜ミラーを利用することで、反射率が高く、吸収の影響を低減できるこ とを確認した.この多層膜ミラーを持つマイクロファブリペロー干渉計の簡易モデルを試作し、分光 画像計測に利用できるかを確認した.簡易モデルに 300~330 V の電圧を印加することで、450~1000 nm の範囲で 10~50%の透過率を持つことを確認した.さらに、この簡易モデルを特定波長の光を透 過するフィルタとして使用した画像計測を行った.RGB フィルタとして利用した場合には、紫色の蝶 の羽の画像を問題なく計測できることを確認した.さらに、蝶の羽表面の青い構造色により隠れてい た模様を、特定の波長の光で画像計測することではっきりと観察できることを確認した.この画像計 測手法を応用することで、見えにくい血管をはっきりと観察できるようにするなど、内視鏡での観察 を高機能化できることが期待できる.

参考文献

- K. Aratani, P. J. French, P. M. Sarro, D.Poenar, R. F. Wolffenbuttel, and S. Midddelhoek: Surface micromachined tunable interferometer array, Sensors and Actuators A, Vol. 43, pp. 17-23, (1994)
- M. Kobayashi, H. Toshiyoshi, and H. Fujita: A micromechanical tunable interferometer for free-space optical interconnection, Proc. IEEE/LEOS Optical MEMS'97, pp. 171-175, (1997)
- A. Saran, D. C. Abeysinghe, P. Deshmukh, R. Flenniken, and J. T. Boyd: Anodic bonding of optical fibers to silicon for integrating MEMS based optical pressure and temperature sensors onto optical fibers, Proc. Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '03), pp. 564-567, (2003)
- M. Noro, K. Suzuki, N. Kishi, H. Hara, T. Watanabe, and H. Iwaoka: CO₂/H₂O gas sensor using a tunable Fabry-Perot filter with wide wavelength range, Proc. IEEE MEMS'03, pp. 319-322, (2003)
- 5) 原仁,鈴木健太郎,岸直輝,野呂誠,渡辺哲也,岩岡秀人: MEMS 型ファブリ・ペローフィルタを用いた CO₂/H₂O ガスセンサ,計測自動制御学会産業論文集, Vol. 3, No. 3, pp. 22-27, (2004)
- F. Sugihwo, M. C. Larson, and J. S. Harris, Jr: Micromachined widely tunable vertical cavity laser diodes, J. Microelectromechanical Syst., Vol. 7, No. 1, pp. 48-55, (1998)
- 7) C. J. Chang-Hasnain: Tunable VCSEL, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., Vol. 6, No. 6, pp. 978-987, (2000)

- M. Blomberg, H. Kattelus, and A. Miranto: Electrically tunable surface micromachined Fabry–Perot interferometer for visible light, Sensors and Actuators A, Vol. 162, pp. 184-188, (2010)
- 9) 廣久保望,小松洋,橋元伸晃,曽根原誠,佐藤敏郎: Ag 合金ミラーを用いた可視光広帯域 MEMS ファブ リ・ペローチューナブルフィルタ,電気学会論文誌 E, Vol. 132, No. 2, pp. 25-30, (2012)
- 10) Tetsuji Dohi, Kiyoshi Matsumoto, and Isao Shimoyama: The optical blood test device with the micro Fabry-Perot interferometer, Proc. IEEE MEMS '04, pp. 403-406, (2004)
- 11) Tetsuji Dohi, Kiyoshi Matsumoto, and Isao Shimoyama: The micro Fabry-Perot interferometer for the spectrum endoscope, Proc. IEEE MEMS '05, pp. 830-833, (2005)
- 12) 土肥徹次, 松本潔, 下山勲: マイクロファブリペロー干渉計を用いた血液吸光スペクトルの計測, 第 21 回 「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, pp. 319-322, (2004)
- 13)澤田廉士,羽根一博,日暮栄治:光マイクロマシン,オーム社,(2002)
- 14) 吉田貞史, 矢嶋弘義: 薄膜・光デバイス, 東京大学出版会, (1994)
- 15) E. D. Palik, "Handbook of optical constants of solids," Academic Press, (1985)
- 16) 日本機械工学会編:機械工学便覧 A4 材料力学,日本機械工学会,(1984)

変位拡大機構付一体型精密直動位置決めステージの開発

堤 博貴, 若槻 哲平*, 吉村 靖夫**

東京工業高等専門学校,*東京工業高等専門学校(現:日本ミシュランタイヤ(株)),**日本時計学会 (2012年9月20日原稿受付)

Development of integral structure type precise linier motion positioning stage with displacement expansion mechanism Hirotaka TSUTSUMI, Teppei WAKATSUKI*, and Yasuo YOSHIMURA** Tokyo National College of Technology, *Tokyo National College of Technology (Currently NIHON MICHELIN TIRE CO., LTD.), **Horological Institute of Japan

ABSTRACT

A piezoelectric actuator is used as a positioning device which produces large force, high speed and high response. In practical use for a micro-positioning system, however, force support and displacement expansion mechanism is required to obtain precise output displacement. This research deals with the integrated-type linear positioning stage having displacement expansion mechanism. This stage consists of 2 piezoelectric actuators, a base stage body, two kinds of hinges, and displacement expansion mechanism. This stage is designed to be driven in the X direction, while two piezoelectric actuators are actuated synchronistically. The basic property of positioning stage and the integral controlling system are described in this report.

1. はじめに

積層型圧電素子は応答性に優れ,発生力・剛性ともに高いことから精密位置決めのためのアクチュ エータとしてよく用いられる.しかしながら,動作範囲は数 µmと小さいため実用においては圧電素 子の変位を拡大する機構が用いられる ^{1)~6)}.変位拡大の方式としては一体構造ですべり摩擦や転がり 摩擦のない弾性ヒンジによるてこ式のものがよく用いられる.これらはカンチレバーなどを用いて変 位拡大するものであり拡大率を大きくする工夫や ⁷⁸⁾,入力方向に対して出力方向を変化させるといっ た工夫がなされてきた⁹⁾.これらの多くは同一材質中に細くくびれたヒンジ部を設けた一体型切欠き 機構と呼ばれるもので,圧電素子と機構部を同一平面内に配置するために圧電素子と出力位置が離れ てしまい,また,変位拡大する一方で発生力が小さくなるという問題がある.

本研究の目的は,圧電素子の変位を拡大する機構を有した一体構造の直動精密位置決めステージを 開発することである.圧電素子・てこ部の上にステージプレートを積層することで出力部と圧電素子 を近距離で配置し,並列に配置された2本の圧電素子を同時駆動することで発生力を高める構造とし た. 高倍率の光学顕微鏡の精密位置決めステージでの利用を想定し,約100µmの動作範囲において 約0.1µmの位置決め分解能を目標とした. 2本の圧電素子を同時に積分制御するシステムを構成し, ステージをサブミクロン精度で位置決めすることを試みた.また,ステージの制御性能を評価するた めに,前述の制御系を用いたときの応答性や外乱抑制性を調べたので報告する.

2. ステージの動作原理

図1に本ステージの動作原理を示す.本装置は①圧電素子,②円弧ヒンジ,③変位拡大ブロック, ④口型ヒンジ,⑤ステージプレートからなる.弾性ヒンジとは力が加わるとその方向にたわむバネで ある.ステージ中心の固定ブロックから上下に連結されたてこを圧電素子が押して変位させる構造と なっている.てこは2種類の弾性ヒンジで本体に連結されており,根元側には剛性の低い円弧ヒンジ を,外側には変形しやすい口型ヒンジを用いた.各々の弾性ヒンジの変形の様子を図1右側に示す. 圧電素子は印加電圧に応じて伸縮する素子であり,アクチュエータとして上下にそれぞれ計2本を配 置した.ステージは上下対称構造であり上下の圧電素子を同時に伸縮させることでX方向への直進動 作が可能である.2本の圧電素子が同じ伸縮量になるように印加電圧を制御した.出力変位と入力変 位の比は変位拡大率と呼ばれている.

図1右下にてこ部の変形図を示す. 圧電素子による入力変位 di がてこによって拡大されて出力変位 do となる. 理論的な変位拡大率はてこ部の寸法から do/di = (b – c)/(a – c)の式で示される.



Fig. 1 Basic positioning principle of prototype linier motion positioning stage with 2 piezo actuators.

3. 実験装置

3.1 ステージの構造と設計

図 2(a)に直動ステージの外観,(b)側面の写真を示す.ステージ寸法は 110×110×35(W×L×H) mm である.本ステージの材質はアルミ(A7075)であり,ねじなどの締結部品を一切使わない一体 構造とした.そのため、すべりなどの摩擦損失が低減され高精度かつ高速な運動が可能となる.ステ ージの上部には位置測定用の参照ブロックを配置した.市販のステージ用の拡大機構が数倍~十数倍 で用いられていることから¹⁰⁾、変位拡大率が 6.42 倍となるようにステージを設計した. 圧電素子と しては積層型圧電素子を用いたメガセラ製 PFB-1040を用いた.主な仕様は,最大駆動電圧 DC150 V, 最大変位量 34 µm 以上、ヒステリシス 15%以内、最大発生力 882 N、共振周波数 15 kHz 以内であ る.FFT アナライザ(小野測器,CF-900)、加速度センサ、インパルスハンマを用いてステージの固 有振動数を求めた結果を図 2(c)に示す.図から固有振動数が 135 Hz であることがわかる.



Fig. 2 Outside appearance of prottype linier motion positioning stage.

3.2 ステージの変位拡大率と拡大効率

てこ部における入力・出力変位をそれぞれ変位センサで測定した結果を図3に示す. 拡大効率とは 実際の拡大率/理論拡大率であり,この値が高いほど機構の損失が低く効率が良いといえる. 圧電素 子の変位約6μmに対して出力部の変位は26.5μmであり,拡大率は約4.4倍であった. 拡大効率は 4.4/6.42 = 0.68, すなわち68%であった. 損失の原因としては,ヒンジ部の剛性により圧電素子の伸 びが押し戻されていることが考えられる.



Fig. 3 Magnification rate measured by step response.

3.3 制御システムの構成

図4に制御システムの構成を示す. コンピュータからの出力電圧はピエゾドライバ (ゲイン 12.5 倍)で増幅され圧電素子に印加される. ステージの駆動変位は静電容量型変位センサ (IWATSU 製, ST-3155 測定精度 0.01 µm)で測定され, AD 変換器 (Interface 製, PIC-3523A 分解能 12bit)で コンピュータに取り込む. 取り込まれた変位量を元にフィードバック制御により操作量を DA 変換器 で信号を出力する. AD/DA 変換器の性能から求められるシステムの位置決め分解能は 0.005 µm, 測 定分解能は 0.048 µmである. なお,制御シミュレーションソフトとしては MathWorks 社の Matlab および Simulink を用いた.



Fig. 4 Flow of the control system.

4. 圧電素子の位置決め制御

4.1 過渡応答法による制御システムの同定

圧電素子にはヒステリシス特性があり印加電圧と変位は非線形の関係になるため、精密に位置決め をするためには変位センサを用いて変位を制御する必要がある.ここでは圧電素子単体の変位のフィ ードバックによる積分制御を試みた.まず,過渡応答法により圧電素子のシステム同定を行い,その 結果を元に運動シミュレーションして最適な積分コントローラを設計した.圧電素子を1次遅れ要素 としてシステム同定し,時定数とゲインを過渡応答法により求めた.圧電素子を約9.2 µm伸ばした時 のステップ応答波形を図5に示す.図より時定数*T*は0.0057,ゲイン*G*は0.92であり,シミュレー ション結果と実験結果がよく一致していることがわかる.



Fig. 5 Step response (Experiment and simulation).

4.2 積分制御システムの特性

システム同定で得られたモデルをもとに積分コントローラを用いた圧電素子の制御シミュレーションを行い、制御系の設計を試みた.図6にステップ応答のシミュレーション結果を示す.例として積分定数 Ki = 10,60,100の3つの結果を示した.積分定数を大きくすると応答速度は速くなるがオーバーシュートが増加する傾向がある.これらを考慮し積分ゲインを60とした.



Fig. 6 Step response property of piezo actuator.

4.3 圧電素子の変位制御実験

積分制御による位置決め制御結果を図7に示す.図6(b)と比べてグラフの傾向がよく一致している ことがわかる.ここでは、位置決め誤差が±3bit幅(1bit=0.048 μm, 3bit=0.144 μm)内に収まった ときを定常状態と判断した.圧電素子が定常状態になるまでの時間は0.06 s であった.圧電素子をス テップ状に微小駆動させた様子を図8に示す.測定系の最小測定分解能である0.048 μmで位置決め 可能であることがわかる.



Fig. 7 Resolution of stage positioning.



- 5. ステージの位置決め実験
- 5.1 過渡応答法による制御システムの同定

圧電素子単体は一次遅れ系として表すことができたが、ステージ本体は後にも示すとおり二次遅れの形で表すことができる.ここでは、積分制御法を応用してステージの制御に適した位置決め制御を 検討した.図9に制御システムの流れを示す.本システムは圧電素子・ステージ本体および積分制御 器で構成される.ここで、Kは積分定数、G1は圧電素子のゲイン、Tは時定数、ζは減衰係数、ωn はステージの固有振動数を、G2はステージのゲインである.



Fig. 9 Block diagram of control system.

5.2 減衰率と固有振動数の測定

図 10 にステージの減衰波形のグラフを示す. このグラフをもとに減衰係数と固有角周波数を求め

た. *ζω*n = 16.5, 減衰波形の周期より*ω*n = 116 Hz であった. 第2章におけるインパルスハンマを用いた実験結果とは値が異なるものの,おおむね一致していることがわかる。また,図 11 にシステム同定によるステップ応答のシミュレーションを示す.図 10 と形状がよく一致していることがわかる. この伝達関数を用いて制御系を組みシミュレーションにより積分コントローラを設計した.



Fig. 10 Damped wave of positioning stage.

Fig. 11 Simulation result.

5.3 積分コントローラの設計

Simulink で作成したブロック線図を図 12 に示す. 基本的な構成は図 9 と同じであるが,入力波 形としてはステップ波を用い,出力波形をグラフ出力するものである.また,積分ゲイン Ki=5,10, 40 の場合の位置決め結果を図 13 に示す.図 13 (c)のグラフから積分ゲインを大きくすると応答性 はよいが,振動的でオーバーシュートが大きくなり,かつ位置決め後も定常状態になるまでに時間を 要することがわかる.図 13 (a)のグラフから積分ゲインを小さくしていくと,応答性は低下するが オーバーシュートがなくなり一次遅れの形になることがわかる.図 13 (b)は(a)(c)両方の特性を有 しており,オーバーシュートが少なく,位置決め速度も速いことがわかる.以上のことから,以後, 積分ゲイン Kiを 10 として制御を行うこととした.



Fig. 12 Block diagram of Simulink.



Fig. 13 Step response property of positioning stage.

5.4 位置決め制御特性

前節で設計した積分コントローラを用いて X 方向のステージ位置決めをした結果を図 14 に示す. 初期位置から 44 µm の位置に位置決めした.定常状態までのステージの位置決め時間は 0.12 s であった.ステージの応答波形形状は前節の図 13(b)のシミュレーション結果とよく一致しており,設計に近い位置決め特性が得られた.図 15 はステージを 1 秒ごとにステップ状に位置決めした結果であり,測定器の 3bit 幅に相当する 0.144 µm の分解能で位置決め可能であることがわかる.



Fig. 14 Experiment result.

Fig. 15 Positioning resolution.

5.5 外乱抑制性

位置決め後にステージに数N程度の力でインパルス状の外乱を負荷し、その後収束時間を測定する ことで、システムの外乱抑制性を調べた.図16に測定結果を示す.グラフから定常状態になるまで に 0.2 s を要したことがわかる.また、同様な実験を何度か行ったところ収束時間がほぼ同じである ことを確認した.このことから、低荷重の外乱であれば短時間での抑制が可能である.



Fig. 16 Disturbance inhibition experiment result.

6. 結論

変位拡大機構付一体型精密直動位置決めステージを試作し、積分制御にて圧電素子単体、ステージ の位置決め制御し、以下の結論を得た.

1) 積分制御による圧電素子の位置決め時間は 0.06 s, 位置決め分解能は 0.048 µm であった.

2) ステージ位置決めにおいて、位置決め時間は 0.12 s, 位置決め分解能は 0.144 µm であった.

3) 軽荷重の外乱においては0.2 s 以内にて外乱抑制が可能であった.

以上のことから,位置決めステージ本体および制御系が構成され,圧電素子単体では比較的良好な 位置決め精度が得られた.また,拡大機構を有する直動位置決めステージ本体および制御系が構成で き,積分制御により良好な位置決め精度が得られた.

参考文献

- 1) 長屋幸助ほか:変位拡大機構を有する圧電アクチュエータの解析と制御,日本機械学會論文集C 編,62(599),pp.2721-2729,(1996)
- 2) 古川英一ほか:リンク機構による変位の拡大と縮小,精密工学会誌,56(10), pp. 1823-1828, (1990)
- 3) 川村光貴ほか: XY 型ナノモーションアクチュエータの高速高精度位置決め制御, Dynamics & Design Conference 2006, pp. 318-1-318-5, (2006)
- 4) 大塚二郎, 坂戸啓一郎: 図解 精密位置決め機構設計, pp. 194-195, 工業調査会, (1996)
- 5) Physik Instrumente 社: Catalogue Edition E.

- 6) 矢野健: 圧電素子変位拡大機構の構造最適化,日本機械学會論文集 C 編, 76(772), pp. 3657-3664,
 (2010)
- 7) 矢野健,福井泉:圧電素子の振幅拡大機構,1991年度精密工学会春季大会講演論文集,p.225 (1991)
- 8) F. E. Scire and E. C. Teague : Rev. Sci. Instrum, 49, p. 1735, (1978).
- 9) 古川英一ほか:リンク機構を利用した圧電駆動並進機構,1991年度精密工学会春季大会講演論文
 集, p. 223, (1991).
- 10) THK ピエゾステージ総合カタログ: http://www.nanocontrol.co.jp/catalog/pdf/catalog_piezo.pdf

技術報告

高振動機械式時計の開発

藤枝 久

セイコーインスツル株式会社 (2012年9月24日原稿受付)

Development of the high-frequency mechanical watch Hisashi FUJIEDA Seiko Instruments Inc.

ABSTRACT

We developed a mechanical watch with high frequency, 5 Hertz movement for the first time in about 40 years (generally mechanical watches have from 2.5 to 4 Hertz movements). It is a fundamental method to increase frequency for improving accuracy, however there are some technical problems to achieve higher frequency. We solved them with UV-LIGA technology and a newly developed material.

1. はじめに

一般的に高精度の証とされるクロノメーター規格(ISO 3159)は、今日に至るまで数度にわたりその規格の改訂が重ねられてきた.1998年、当社では最新のクロノメーター規格を上回る形でグランド セイコー規格(社内規格)の改訂を行い、この新しい規格に基づき高い精度を保証した機械式時計 Cal.9S55を発売した.以後、時差修正機能の搭載(Cal.9S56)や長持続化(Cal.9S67)など実用性 能を向上した製品を開発してきた.

一方で近年,スイスやドイツでも精度の向 上に注力した製品がいくつか登場している. この高精度化への取り組みは機械式時計開発 の一つの流れとして定着・発展しつつある.

こうした市場環境もふまえ,再びグランド セイコーの原点に立ち返り機械式時計のさら なる精度の向上を目指して,約 40 年ぶりに 10 振動ムーブメント Cal.9S85 (Fig.1)を開 発した.



Fig.1 Cal.9S85 (Complete / Movement)

2. 振動数の検討と決定

Cal.9S のさらなる精度の向上を目指すにあたって、高振動化という手法を選択した. 1960 年代の 天文台コンクールにおいても、年を追うごとに高振動数の時計が上位を占めるようになったことから も分かる通り、高振動化は高精度化の基本的手法といえる. 具体的に高振動化の利点を挙げると、

- 静的には立姿勢差の低減
- ② 動的には外乱の影響低減

がある.

ー般に振動数を向上させると, 持続時間とテンプの慣性モーメントのいずれかまたは両方を損なう. テンプの慣性モーメントを減少させると精度を低下させることとなり, 高精度化という目的に反する ことから, テンプの慣性モーメントは 8 振動の Cal.9S と同等とした. この制約条件のもと, 振動数 と持続時間の関係を検討した結果を Fig.2 に示す.



Fig.2 Relationship between frequency and power reserve

よりよい実用時計を目指すグランドセイコーにとって、精度だけでなく持続時間も重要な性能であり、50時間以上を確保できる最適な振動数として、Cal.9S85では10振動(5Hz)を選択した.

3. 高振動化の課題と対策

高振動化に伴って生ずる技術的課題について、以下でその詳細と対策を述べる.

3.1 脱進機の耐久性能

第一の課題として脱進機に起因する振り角低下の加速が挙げられる. ガンギ歯車の歯先とアンクル 爪石の摺動箇所は初期的には油膜が形成されている. しかし時計の使用にともない油膜が切れ, また ガンギ歯先の削れ等により摩擦抵抗が増大し脱進機の効率を損ない振り角が低下する. 高振動化する とガンギ車とアンクルはより大きなトルクで駆動され, 摺動回数も増えるため, 油の消失が加速, 振 り角の経時低下が速まる. テンプは振り角が低いほど保有エネルギーが低くなり, 外乱により振動周 期が乱され易くなる.このため非等時性とも相まって振り角の経時低下は時計の精度に悪影響を及ぼ すことが知られている.

こうした精度に及ぶ悪影響への対策として油の消失を抑制するため、ガンギ歯車の歯先に油だまり となる段差を設けた(Fig.3).またガンギ歯車の材質を UV-LIGA による Ni 電鋳へと変更した.その 結果現流のガンギ車に比べ振り角の経時的な低下を大幅に抑制することに成功した.その結果を Fig.4 に示す.



3.2 エネルギー消費の増大

高振動化の第二の課題として、テンプのエネルギー消費の増大があげられる.また、輪列や脱進機の効率を低減させる要因が内在しており、結果として持続時間をさらに損なう恐れがある.そのため 輪列から脱進機に至るまで高い伝達効率の確保が必要となる.



Fig.5 Relative transmission efficiency from escape wheel to pallet

Cal.9S では 20 枚のガンギ歯車を採用してきたが、スイスでは特に 10 振動 Cal.において 21 枚のガ

ンギ歯車を採用する例も存在する.こうした歯数の多いガンギ歯車は香箱車からガンギ車までの増速 比を抑えることができるため,輪列設計の観点からは高振動化を容易にする.そこでガンギ歯車の歯 数を増やすべきか否かについて検討するため,ガンギ車からアンクルへの伝達効率の比較シミュレー ションを行った.その結果を Fig.5 に示す(歯数 20 枚を基準とした相対効率).

Fig.5 が示すとおり,ガンギ歯車の歯数を増やすと伝達効率は低下する.そこでガンギ歯車は引き 続き歯数 20 枚を採用した.

他方,10 振動化を実現するには4番車からガンギ 車への増速比を12 倍から15 倍にする必要が生ずる. しかし歯車一段当たりの増速比が増えるほど,伝達 効率の変動が大きくなることから4番車とガンギ車 の間に中間車を追加し二段増速とした(Fig.6).こ れらの工夫により伝達効率を維持しながら,さらに 効率変動を約1/4 に抑えることに成功した.



3.3 新開発材料による性能改善

Fig.6 Multiplying gear train for 5 Hertz

動力ゼンマイを従来の SPRON510 から新たに開発した SPRON530 に置き換えることで、当初の 持続時間仕様である 50 時間以上から、55 時間以上にまで延長することに可能となった.

またヒゲゼンマイについても、コエリンバーから 2008 年に発表の SPRON610 に置き換えることで、耐磁性や耐衝撃性が改善された.

4. まとめ、今後の展望

今回の開発により得られた成果は以下の通り.

- UV-LIGA 製段付きガンギ車により振り角の経時低下を抑制し耐久性に優れた高振動製品を開発した。
- 伝達効率を損なわず持続時間の低下を抑制した。
- ・ 新開発材料の搭載により持続時間が延長され、耐磁性や耐衝撃性も改善した.

今後は、より実用的な機能・性能を追求した製品の開発を行っていく.

参考文献

1) 国際時計通信, Vol.9 No.92, pp.8-9, 1968

新輪隆,重城幸一郎,岸松雄,保科宏行,菊地聖士,堀切和幸:UV-LIGA技術の機械時計への応用,マイクロメカトロニクス(日本時計学会誌), Vol.53, No.201, pp.18-23, 2009

技術報告

歩数検出機能を備えた腕時計の開発

酒井 聡, 津端 佳介

セイコーインスツル株式会社

(2012年9月20日原稿受付)

Development of the watch with pedometer function Satoshi SAKAI, and Keisuke TSUBATA* Seiko Instruments Inc.

ABSTRACT

We developed a new watch with pedometer function (Cal.S670). The watch comprises a three-axis acceleration sensor to count steps. Then, we can detect a touchdown impact (landing impact) to occur in the direction that is different from a run in a walk. Also we developed new algorithm to count steps from data of three-axis acceleration sensor. In this way, we can count steps during not only running, walking, but also changing position of the watch. Finally, we were able to achieve the high-precision detection by optimizing a detection condition.

1. はじめに

Fig. 1 の東京マラソンの申し込み者数の推移¹⁾ が示唆する様に,近年のランニング人口は増加を続けている.また,内閣府が行っている「体力・スポーツに関する世論調査」²⁾の最新データでは,これからランニングを始めたいとの回答が種目別の上位に現れてきている.これらのことから,今後もランニング人口は増加を続けると予想される.

ただし、ランニングはウォーキングに比べると身体への負担が大きいため、ランニング初心者では ランニングとウォーキングを交互に行う姿が多く見受けられる.また、ランニング初心者は怪我の予 防のために、ウォーキングを織り交ぜたトレーニングから始めて徐々に身体を慣らすことが望ましい とされている.これらのことから、ランニング人口の増加は、同時にウォーキング人口の増加ももた らすと推察される.

このような、ランニング人口の増加に伴うウォーキング人口の増加も鑑み、ランニングのみならず ウォーキングにも対応可能な歩数検出機能付き腕時計を開発し、商品化するに至った.


Fig. 1 The number of Tokyo marathon applicants.

2. S670 製品紹介

S670の外観および仕様を Fig. 2 に示す³⁾.本製品は走行時および歩行時の歩数検出機能を備えた ランニング用腕時計である.セイコーインスツル株式会社の従来製品は1軸の加速度センサと増幅回 路およびフィルタ回路により検出回路を構成していたが,本製品では3軸加速度センサモジュールを 採用することで検出回路の素子数および実装サイズが抑えられ,製品デザインの自由度が向上した.

	TIME / Automatic calendar (to December 31, 2060)	
	CALENDAR	Auto illumination function
		2 year battery life (CR2025×1)
i CHG. Sta	PEDOMETER	Three-axis acceleration sensor
		Detection in RUNNING / WALKING mode
SEIKO		Detection precision : $\pm 3\%$
		(By the vibration tester based on JIS-S7200)
		Conversion of distance, pace and consumption energy
TOP WATER AF BERGAN MAR	STOPWATCH	Approx. 100 hours in 1/100 second increments
		Target timer function
	MEMORY	Lap memory function (up to 300 LAP)
5	RECALL	Monthly data function (up to 36 month)
		Memory can be held during battery replacement.
	SETUP	Stride length, weight, unit and measurement sensitivity

Fig. 2 Appearance and specifications of "SEIKO S670".

3. 走行および歩行における歩数検出の両立

Fig. 3 は走行および歩行における着地の瞬間に, 腕に装着した時計に働く加速度の向きを示してい るが,走行と歩行で時計に働く加速度の向きが異なっている.これは,走行と歩行で腕の姿勢が異な り,歩数検出に必要な着地衝撃を検出する向きが異なるためである.従って,従来の1軸加速度セン サを搭載したモデルの場合,走行時の歩数検出に適した角度に配置したセンサ,歩行時の歩数検出に 適した角度に配置したセンサというように,走行または歩行に特化したセンサ配置が必要であった. しかし本製品では3軸加速度センサの搭載により1つのセンサモジュールで走行と歩行の歩数検出の 両立が可能になった.



Fig. 3 Angle of acceleration.

4. 回路構成

本製品の回路は Fig. 4 に示すように、センサ、CPU、EEPROM 等で構成される. センサはデジタ ル出力タイプの3軸加速度センサを使用. CPU はセンサの動作制御と加速度データの読み取りおよ び演算を行う. 演算後のデータは EEPROM に保存される.



Fig. 4 Block diagram of the circuit.

5. 歩数検出アルゴリズム

本製品では Fig. 5 に示すように、3 軸加速度センサの 3 つの検出軸のうち X および Y 軸を通常時の 着地衝撃検出、Z 軸を表示確認時の着地衝撃検出となるように検出軸を割り振った。



Fig. 5 Allocation of sensitivity axis.

上記のようにセンサの検出軸を割り振った場合,通常の走行/歩行時は,Fig.6の検出加速度の一例に示すように,X軸又はY軸の検出加速度が着地衝撃に同期して変動する.

走行時および歩行時の人の腕は一般に,進行方向および鉛直方向で構成される面内で,肩を支点として振り子運動をしている.そのため,その面と時計の表示面(XY平面)は常に一致し,通常の走行/ 歩行時はその面に沿った向きに着地衝撃を受ける.



Fig. 6 Acceleration profile with usual running.

一方,実際の使用においては,時計操作や表示確認を行いながら走行/歩行する状況が想定される. そのような状況での検出加速度の一例を Fig.7 に示す.X および Y 軸の検出加速度がほとんど変動し ない一方で,Z 軸の検出加速度が着地衝撃に同期して大きく変動する.表示を確認しながら走行/歩行 するときは時計の表示面が上を向くため,着地衝撃は表示面と垂直な方向(Z 方向)に受ける.



Fig. 7 Acceleration profile with looking at display.

上記のような通常の走行/歩行状態および,表示確認時の走行/歩行状態,の両方の状態での加速度 検出を可能にするため,以下の合成式を設定した.

$$S = \sqrt{X^2 + Y^2} + \left| Z \right| \tag{1}$$

右辺第1項はXY平面内の加速度の大きさを示しており,通常の走行/歩行状態の着地衝撃に同期して変動する.一方右辺第2項はZ方向の加速度の大きさを示しており,表示確認時の走行/歩行状態の 着地衝撃に同期して変動する.

Fig. 6 および Fig. 7 に示されている各軸の加速度波形に対して,式(1)を適用することで得られる合成波形 S を Fig. 8 および Fig. 9 に示す. Fig. 8, Fig. 9 ともに走行時の着地衝撃に同期した合成波形 S が得られている.本製品では,この合成波形 S の移動平均波形を閾値として歩数検出判定を行っているが,移動平均の条件や歩数検出判定のマスク時間を最適化する事で,歩数検出精度を向上させている.



Fig. 8 Combined acceleration profile with usual running.



Fig. 9 Combined acceleration profile with looking at display.

本検出アルゴリズムを適用したプロトタイプによるフィールドテストの結果を Fig. 10 に示す.実際の歩数に対する検出歩数の誤差は走行,歩行ともに 5%以下であり,使用環境においても高い精度で歩数検出が可能であることを確認できた.



Fig. 10 Frequency distribution chart of detection error.

6. おわりに

今回紹介した製品は3軸加速度センサの搭載により,検出回路の小型化に伴うデザイン自由度の向 上および走行と歩行の歩数検出の両立が可能となった.また,加速度信号の合成式の工夫により,通 常の走行/歩行状態に加えて表示確認時の走行/歩行状態の歩数検出にも対応できた.さらに,歩数判 定における移動平均条件やマスク時間の最適化により,高精度の歩数検出を実現できた.

本製品はランニングおよびウォーキングシーンに対応したものであるが、今後はさらに多種多様な シーンに対応した製品作りを目指し、ユーザの健康づくりをサポートしていきたい.

参考文献

- 1)東京マラソン財団. "過去の大会結果".東京マラソン. 2013 <u>http://www.tokyo42195.org/2013/past</u>, (参照 2012-09-20)
- 2)内閣府大臣官房政府広報室. "体力・スポーツに関する世論調". 内閣府. 2009
 http://www8.cao.go.jp/survey/h21/h21-tairyoku/index.html, (参照 2012-09-20)
- 3) セイコーウオッチ株式会社. "プロスペックス ラインアップ". SEIKO. 2011 http://www.seiko-watch.co.jp/psx/lineup/, (参照 2012-09-20)

技術報告

アナログクオーツ式クロノグラフ時計における 瞬時帰零機構の開発

平野 圭,河田 正幸,小野 保 セイコーインスツル株式会社 (2012 年 9 月 24 日原稿受付)

Development of chronograph reset mechanism in analog quarts watch Kei HIRANO, Masayuki KAWATA and Tamotsu ONO Seiko Instruments Inc.

ABSTRACT

We developed an analog quartz-type chronograph watch with new chronograph reset mechanism. This mechanism enabled no adjustment of reset and reduction of the number of the chronograph parts. In addition, by the adoption of the asymmetry heart cam, it became hard to be affected by the coefficient of friction and was able to simplify heart cam production.

1. はじめに

セイコーインスツル株式会社において,従来 のアナログクオーツ式クロノグラフ時計は,複 数モータを駆使し,クロノグラフ計測を行いリ セット時(帰零時)にICから,複数モータへ の高速駆動信号を送り,電子的な帰零を行なう 電子帰零機構を備えた製品を,数多く手掛けて きた.

一方,時計市場の動向として,一時期はアナ ログクオーツに追いやられていた機械式時計が, その機能美,趣き,操作性の心地よさなどから 見直され,現在では,市場で多くのシェアを得 ている.しかし,機械式時計は,アナログクオ



Fig. 1 Cal.VK63A(Complete/Movement)

ーツに比べ,高価であり,また,クロノグラフなどの付加機能を搭載した時計はより高価なもの となっている.

そこで我々は,機械式クロノグラフ時計の動作,操作性をアナログクオーツへ搭載した Cal. 6T/VK シリーズ(Fig. 1)を開発した.従来のアナログクオーツ時計では味わえない本格志向のクロ ノグラフを目指し,機械式クロノグラフ時計の持つ,しっかりしたボタンクリック感と,全クロ ノグラフ針のメカ帰零機構(瞬時帰零)を,アナログクオーツ式クロノグラフ用に新開発する事 で,機械式クロノグラフ時計を彷彿させる製品の普及価格帯での実現を可能とした.

今回は、このメカ帰零機構を中心に従来の帰零機構との違いを交えながら報告する.

2. 従来の帰零機構

ここで、従来の機械式クロノグラフ帰零機構を紹介する.

セイコーインスツル社製 Cal.6S(機械式クロノグラ フ時計)の帰零機構について, Fig. 2に示す.この機 構は秒ハートカム(Second heart cam)と分ハートカム (Minute heart cam),復針レバー(Double hammer)を有し, 秒ハートカムと分ハートカムを,回転タイプの一つの 復針レバーにより帰零する構造であり,時ハートカム (Hour heart cam)用復針レバーは別途設けられている.

この図の様に一つの復針レバーにより2つのハート カム(秒,分)に規正を加える構造の場合,各部品の 形状等,公差ばらつきの影響により,復針レバーとハ



Fig. 2 Fine adjustment of hammer

ートカム部に隙が発生してしまい規制状態にもかかわらずクロノ針がふらつく,または,初期位 置に戻らないといった現象を引き起こす原因となる.

そこで、このような現象を回避する為に、図示のとおり、偏心ピン(Eccentric pin)等で復針レバーと各ハートカムとの隙間を調整する必要があった.

また,他のクロノグラフ構造においては,ハートカム数に対応した数の復針レバーを有し,そ れぞれの復針レバーをばねにより加圧することで,復針機構の無調性化を実現している機構もあ る.

さらに,機械式クロノグラフ帰零機構におけるハートカム側面の仕上げは,機構を満足させる 為だけではなく,耐久品質を十分確保する為にも,非常に重要な要素である.その為,より手間 を掛けた製造工程となっており,高価な部品となっている.

3. アナログクオーツ化実現のための課題

従来の機械式クロノグラフ帰零機構には,

- ・調整行為が必要
- ・調整行為が不要の構造においては、構造がより複雑になり、部品数も増える
- ・部品製造コストが高い
- という課題が挙げられる.
 - そこで, 普及価格帯製品での実現には, 下記項目が必須と考え, 開発を進めた. ①帰零機構の無調整化
 - ②帰零機構部品の簡素化

③部品点数の削減

4. アナログクオーツ化のための帰零機構開発

4.1 無調整型新帰零機構

Cal. 6T/VK では、秒ハートカム、分ハートカム、時ハートカムの3つを一つの復針レバーにて 帰零する、三叉帰零機構を開発した(Fig. 3).



Fig. 3 Three-pointed hammer and heart-cams (cal.6T/VK)

この機構は、同時期に開発を進めていた Cal.8R (機械式クロノグラフ時計)にも搭載している. この三叉帰零機構は、3 つのハートカム規正面を持つ復針レバーと秒ハートカム、分ハートカム、 時ハートカム、復針レバーのスライド動作をガイドする 2 つのガイドピン、復針レバーを作動さ せる復針伝えレバー、復針レバーの位置を決めるリセットばね(図示せず)から構成されている.

この機構の特徴は、復針レバーのガイド溝と2つのガイドピンの遊びである(Fig. 4(b) B,C).帰 零状態での復針レバーとガイドピンの遊びを大きく取ることで、復針伝えレバー(Fig. 4(b) A)によ り作動する復針レバーは、秒ハートカム(Fig. 4(b) D)、分ハートカム(Fig. 4(b) E)、時ハートカム(Fig. 4(b) F)の3つのハートカムとのバランスが取れるところ、すなわちそれぞれが隙間無く接触した 帰零位置で復針レバーが落ち着く構造となっている.

この構造により,復針レバーとハートカムとの隙を調節する行為が,一切不要となり,さらに 一つの復針レバーのみで,3つのハートカムを帰零させることで,クロノグラフの帰零機構にお ける部品点数の削減が可能となった.



(a) Before reset



Fig. 4 Self-alignment function of hammer

4.2 非対称ハートカムの採用

普及価格帯のアナログクオーツで,機械式帰零を実現するためには,いかにハートカムを安価 に製造できるかが,大きな課題である.

従来の機械式クロノグラフ帰零機構で使用されている対称ハートカムでは, Fig. 5(a)に示すよう に、ハートカム表面の摩擦係数 μの値により、ボタン押し力とハートカム位置との関係は大きく 異なる. すなわちボタン操作感は摩擦係数により大きく影響される. このため,切削加工で外形 を形成した後,ハートカム側面を丁寧に磨くことで,ハートカム表面の摩擦係数を低減し,安定 した帰零を実現している. しかし,この製造方法では,多大な加工工数が掛かり,安価なハート カムを製造することが難しく,普及価格帯のアナログクオーツへの採用は不可能であった.



(a) Button push force (with symmetry heart cam)



(b) Button push force (with asymmetry heart cam)

Fig. 5 Button push force that is different in the COF in each heart cam shape

そこで, Cal.6T/VK では, Fig. 5(b)に示す非対称ハートカムにより帰零時の回転モーメントを増 やすことで, 摩擦係数の許容幅を増大させる手段を採用した. 同図に示すように, ボタン押し力 は摩擦係数にかかわらず同様の値を示しており, プレス加工でありながら, 従来のハートカム並 みの帰零力を確保できることを明らかにした.

5. まとめ

以上に説明してきた改良により,

- 帰零機構の無調整化
- 帰零構成部品の簡素化
- ・ クロノグラフ構成部品の削減

を達成することで、メカ帰零機構のアナログクオーツ化の実現と、クロノグラフ機構の自動組立 化をも実現可能とし、しっかりしたボタンクリック感と、全クロノグラフ針のメカ帰零機構によ り本格志向のアナログクオーツ式クロノグラフ時計を、普及価格帯で実現することができた.

今後は、このクロノグラフ機構等をさらに発展させ、帰零機構の省スペース化、他機構への応 用し、魅力ある新たな製品開発を行っていきたい.

通信機能付きヘルスケア機器と健康サービスの融合、その課題

講 師 竹原 克 株式会社 タニタ 未来技術室 MYH 開発課

参加者 20名 (正会員 11名, 非会員 10名)

アナログデバイセズ (株)	1名	(正会員)			
カシオ計算機(株)	2名	(正会員	1名,	非会員	1名)
シチズン・システムズ (株)	1名	(非会員)			
シチズン時計(株)	4名	(正会員	2名,	非会員	2名)
セイコーインスツル (株)	2名	(正会員	1名,	非会員	1名)
セイコーエプソン (株)	3名	(正会員	2名,	非会員	1名)
セイコークロック (株)	2名	(正会員	1名,	非会員	1名)
東京大学	1名	(正会員)			
横浜国立大学	1名	(正会員)			
リズム時計工業 (株)	3名	(正会員	1名,	非会員	2名)

司 会 吉澤 弘 カシオ計算機(株)時計事業部モジュール開発部

*2012年4月20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. はじめに

われわれ株式会社タニタは,

「はかる」を通して、世界の人々の健康づくりに貢献します

を理念としている.この理念を具現化した製品が,体重計,体組成計,歩数計,活動量計,睡眠計な どの健康管理機器である.

商品紹介



QOL(quality of life)向上を健康という観点から見ると、「はかる」だけでは健康維持を行うことは 不可能であり、「適度な栄養の摂取」、「十分な運動による消費」、これらに加え「はかる」を定期的に 行い自分へのフィードバックを得ることで、健康維持に対するモチベーションが生まれる.

1.1 タニタの取り組み

われわれは前述の取り組みを行う子会社として,低カロリーだけでなく満足できる食事を提供する 「タニタ食堂」,短時間で行えるサーキットトレーニングフィットネスジムの「フィッツミー」,健康 機器で測定したデータを管理しダイエット支援を行う「タニタ ヘルスリンク」を立ち上げた. 1.2 「タニタ ヘルスリンク」の取り組み

2007年に子会社としてタニタ ヘルスリンクを設立し、ネットワークを用いた健康管理サービス をスタートした.

現在は大きく分けて2つのサービスがある.一つは健康管理と健康維持支援を目的とした「からだカ ルテ」(Fig.1),もう一つは他社サービスと連携を目的とした「ヘルスプラネット」(Fig.2)である.

会員登録 はコチラ	サービス概要
からだカルテってなに? o	はかったデータを
NER	白動転送
入会の流れ	
コンテンツ紹介 0	クフフ管理して
(#28招介 o	
開入方法 0	健康に 正しくダイエットしたいあたたへ
からだカルテ連携サイト紹介 O	からたかいそれら、自分のからだのリズムや大る原因などがわかるから、 互くダイエットできます。
ネットで健康管理	さらに対応機器を利用すれば、はかったデータが自動でグラフルされるので、 とってもなングン1自然に体重など包括から習慣が用につきます。
ダイエット(きれいにかっこよく)	今まで課めていた方、からだカルテでダイエット考验のませんか?
メタボ改善	
4055 MINT. 2011	

Fig.1 からだカルテ

HealthPlanet	<u>ホーム</u> ログイン ID・パスワードを忘れた方 新規登録
 ○ リイッターに 前がる ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ご用方法はこちら 	ID パスワード 、次回から自動的にログイン <u> ログイン</u> <u> ロ・パスワードを忘れた方</u>
TANITA タニタの無料健康管理サイト からだデータ・運動データを記録すると、プログやSNSサイトに自動でグラフ表示	→ 無料会員登録



「からだカルテ」・「ヘルスプラネット」共に、専用の通信機能付き健康機器を使用することで、ユー ザーは手書きで測定結果を書き留めておくなど面倒なことをせずに、PC経由、専用レシーバ経由、 モバイル端末経由でサーバに測定結果を送信することが可能である.

また送信された測定結果はグラフにまとめられ、トレンドを簡単に把握できる. 歩数計のデータは ユーザーごとに集計され、世界の名所をバーチャルに散策する「歩数イベント」(Fig.3)に反映される. 「歩数イベント」では全参加者・年代ごと等で順位が表示され、モチベーションの向上に役立つ.



Fig.3 歩数イベント

さらに送信された測定結果をもとにダイエット・健康管理支援を専門家より受けることができる (Fig.4). このサービスでは専門家が「生活習慣診断」,「目標設定」,「プランの実施」,「成果分析」と ステップを踏みながらお客様と二人三脚でダイエット支援を行う.



Fig.4 からだカルテサービス

また「ヘルスプラネット」(Fig.5)を経由することで、タニタ提供以外のサービス(たとえば、ルナルナやジョグノートなど)に自身の測定結果を転送することが可能である.



Fig.5 ヘルスプラネット 他サービス連携

2. 通信機能付き健康機器について

世の中には様々な通信メディアが存在するが、それぞれが一長一短であり、どのメディアを測定器 に搭載するかは重要なポイントとなる.

2. 1 通信メディアに求めるスペック

われわれが通信メディアを選択する際の条件を以下に挙げる.

- (1) 安価であること
- (2)低消費電力であること
- (3) 低リソースでも利用可能であること
- (4) 高速通信であること
- (5) 簡便であること
- (6) 通信距離が長いこと

(7) 通信先が数多く存在すること

(1)~(3)は商品価格的に,また,(4)~(7)はユーザビリティの観点から重要視される項 目である.以下にわれわれが商品に現在採用している通信メディアを紹介していく.

2.2 赤外通信

主に価格を重視した製品に搭載される.携帯電話やPC などに搭載されている IrDA ではなく,テレビリモコン方式である.「通信速度が遅い」・「ある程度の位置合わせが必要」などのデメリットがあるが,「低価格である」・「法的な縛りが少ない」などのメリットが存在する.

2.3 特定小電力通信

主にユーザーインターフェイスを考慮する製品に搭載される.「通信距離が長い」・「使い方容易」な どのメリットがあるが、「国内しか使用できない」・「通信相手も自前で用意する必要がある」などのデ メリットがある.

前記のようなデメリットがあるが、すべてを自社で賄うため『簡単な設定のみで、測定するだけで自 動的に測定結果をサーバへ送信』など使用感の良いシステムを構築可能である.

2. 4 Bluetooth $(\mathcal{I}\mathcal{N} - \mathcal{h}\mathcal{J} - \mathcal{h}\mathcal{J})$

Bluetooth SIG と呼ばれる団体が、「規格の策定」・「利用に関する認証」を行っている通信メディア である.数多くの機器が Bluetooth に対応しており、携帯電話やスマートフォンに搭載されているこ とはご存知であろう.

健康機器が Bluetooth に対応することで,携帯電話やスマートフォンの高解像度表示画面を利用する ことが可能となり,健康機器単体では不可能なリッチな表示が可能となる.

2. 5 FeliCa (フェリカ)

FeliCaは「おサイフケータイ」や「Edy」・「Suica」などの電子マネーカードに搭載されている通信 メディアである. 『機器同士を接触させるだけ』という容易さが特徴である.

リーダライタ側,カード側と非対称な構成だが,健康機器をカード側にするのは技術・コスト障壁が 比較的低い.

ただしその使い方故,体重・体組成計などの床置き機器では,使用感の面で他メディアに劣る部分も ある. 2. 6 ANT (アント)

ガーミン社傘下の"Dynastream Innovations Inc."が開発した通信メディアである.フィットネス 関係が強く, ANT+ (アントプラス)と呼ばれる通信互換性を担保したプロトコルが定義されている. 日本国内ではあまりメジャーではないが,消費電力が非常に小さく,プロトコルもシンプルなため海 外では対応機器が各種発売されている.

3. 今後の展開

最後に今後搭載されるであろう通信メディアと, 今後の課題について述べる

3. 1 無線 LAN

無線 LAN は PC やスマートフォンなどに利用されており,近年普及著しい通信メディアである.無線 LAN の一番の特徴は,搭載機器が直接インターネット上のサーバと通信できることである.

これにより途中に PC やスマートフォンを介することなく測定結果を送信できる.したがって、システムの構成が非常にシンプルになる.

ただしデメリットとして、「高価」・「高消費電力」・「初期設定が複雑」などがあるが、初期設定などはWPS(Wi-Fi Protected Setup)と呼ばれる簡単な方法が存在し、今後に大きな期待ができる.

3. 2 NFC

NFC は既存の超近距離通信をまとめた規格であり、前記の FeliCa も NFC の中に含まれる.したがって特徴は FeliCa と同様である.ようやく各種規格が整いつつあり、今後対応機器が普及することが見込まれる.

3. 3 Bluetooth Low Energy(ブルートゥース ロー エナジー)

前記の Bluetooth の新しい通信規格である.Bluetooth の問題であった高消費電力を見直し, バッテ リを利用した機器でも採用可能になるよう設計された通信メディアである.

現在,多数のプロファイルを策定中である.

3. 4 通信機能付き健康機器の課題

やはり一番最初に挙げられるのが『価格』の問題であろう.お客様が最初に直面する壁が導入コストの問題だからである. Bluetooth Low Energy などはこの問題を解決できると期待している.

次には『使いやすさ』の問題である.特にの初期設定の面倒くささが問題となる.通信相手に機器を 登録するペアリングと呼ばれる作業はどの通信メディアでも必要であるが,一般のお客様には敷居が 高いことが多く重要な課題としてあげられる.

上記を解決する手段として健康機器にNFCと無線LANを搭載し、『初期設定はNFC』・『測定結果は無線LAN』を用いるハンドオーバーと呼ばれる手法も存在する.

最後に『通信機能が付いたことによるメリットの見せ方』である.「PC やスマートフォン上でグラフ が見られますよ!」程度ではお客様は納得してもらえない.やはり結果として成果が出ることを期待 される.もちろんこれは機器単体では不可能で,サービスとの連携が必要不可欠である. 第2部 質疑応答

- 質問1 スリープスキャンは、レム睡眠、ノンレム睡眠の違いを判定しているのか?
- 回答1 レム睡眠,ノンレム睡眠といったカテゴリー分けはしていないが,浅い眠り,深い眠りを複 数段階で判断している.
- 質問2 スリープスキャンの測定指標は何ですか?
- 回答2 センサーマットで測定された信号を呼吸,脈拍と体動に分けている.スリープスキャンの正 当性の確認は,病院で使われている睡眠ポリグラフと呼ばれる機器を使う.睡眠ポリグラフ は心電,脳波,鼻と口の呼吸,眼球運動,体動センサなどの信号をから総合的に診断する. スリープスキャンは睡眠ポリグラフとの間に6割程度の相関がある.家庭用としては6割の 相関があれば充分との評価を頂いている.
- 質問3 タニタ食堂のコンテンツと機器をどうつなげる計画はあるか?
- 回答3 測定,運動,摂取は健康に重要.サービスとしては、この3つをお客様にわかりやすく提供 できるサービスは考えている.
- 質問4 メタボが下火とのことだが、今後健康市場は脅迫概念から自主性にまかされていくのか?
- 回答4 私も知りたい.ダイエット,健康維持はかなりのモチベーションがなければできない.最終 的には,強迫観念ではなく,ユーザーの自己判断を後押しするようなことをタニタとしては やっていかなくてはならないと思う.
- 質問5 健康機器の測定精度は?
- 回答5 例えば、インピーダンス、体重、年齢を元にした弊社の脂肪計と、脂肪量を測定可能な専用 機との相関係数は0.9位である.また、加速度センサを用いた弊社の活動量計は、ヒュー マンカロリーメーターとの相関関係は0.8位である.
 商品開発の期間は2~3年.その半分はエビデンスの期間.信頼性を担保するには必要.大 学との共同研究もある.研究成果は、学会で発表している.
- 質問6 健康機器で取得したデータのユーザーの保存方法は?
- 回答6 用途に合わせてローカル(例えばSDカード)とネットワークの両方のデータ保存方法がある.

- 質問7 これまで、健康の新しい指標をお客様に広めていくどのような活動を行ってきたか?
- 回答7 体脂肪計の場合は、当時体脂肪率をマスコミが非常にとりあげてくれたため広がった. また、睡眠の場合は、得られた数字を、睡眠点数のようなわかりやすい形にしてお客様に提供するようにしている.
- 質問8 ブルートゥース・ローエナジーを搭載した健康機器はあるか?
- 回答8 海外では5~6機種かはでていると思う. 国内ではまだない.
- 質問9 最近のスマホには歩数計が入っている. 危機感や差別化はあるか?
- 回答9 確かに歩数計は、スマホにも入ってきている.活動量計は、正しい計測のために胸ポケット に入れて使うことを推奨している.いずれもスマホに比べてサイズや重力が小さく常時持ち 歩くにはスマホより長けている.

独立行政法人 理化学研究所 和光研究所

渡邊 真

シチズン時計株式会社

見学先: 独立行政法人 理化学研究所 「仁科加速器センター」 「大森素形材工学研究室」 〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1

日 時: 2012年6月1日(金曜日) 13:30~16:10

スケジュール:

- 13:30~14:00 : 展示事務棟 AV ホール 理化学研究所概要説明
- 14:30~15:10 : 大森素形材工学研究室 見学
- 15:30~16:10 : 仁科加速器センター 「RIBF サイクロペディア」 見学

参加者数 : 17名

本年も日本時計学会見学会が上記の要領で開催された。

理化学研究所は、1917年(大正6年)に設立された物理、化学、生物、工学など様々な分野を研究する総合研究機関である。さらに今回見学した「仁科加速センター」は珍しく都心に非常に近い場所にある加速器施設である。

理化学研究所は、自身で開発した技術の事業化にも積極的で、さまざまな生産会社を設立している。 (株)リコー、協和発酵工業(株)、(株)リケンなどは理化学研究所由来の会社である。また敷地に隣接し て米軍の通信施設がある。

見学会は、まず展示事務棟で理化学研究所の概要や歴史などの説明を受け、同施設内にある展示ホ ールにて昔に使用していた測定器や研究成果を見学した。説明によると外国人研究者も多く受け入れ ており現在は 1/4 ほどは外国人研究者とのことである。

その後、大森素形材工学研究室を訪問し、ELID 研削の加工装置を見せて頂いた。ELID 研削法は 電界を印加しながらダイヤモンド砥粒で研削することで nm オーダーの研削が容易に行えるというも のである。自動車のエンジンのシリンダー内壁や天体観測用のレンズなどの研磨の実績があるとのこ と。また光ファイバーの先端程度の極小面積の研磨も行った実績がある。従来の装置に電界を印加す る電極などの取り付けを行えば容易に ELID 研削を行えるとのことで多くの企業に技術を提供してい るとのこと。

次に仁科加速器センターを見学した。当初の予定では加速器本体を実際に見学できるとのことだったが緊急の検証実験があるとのことで実験室には入れず、建物のロビーにある展示ルームで施設の説明を受けた。最初のサイクロトロンは仁科博士により 1937 年頃に作製され、その後に作製された 210トンサイズのサイクロトロンは戦後 GHQ によって東京湾に沈められたことなど興味深い話を聞くことが出来た。

施設内にある最大の加速器は東京タワーの約2倍の重量の8300トン。装置は一旦止めると実験に 使用できる RI ビームを取り出すのに約1週間かかるとのこと。加速器は日立製作所製であった。加 速器は4つあり最終的に光速の70%程度まで加速している。特にウランイオンのような重い元素を加 速するのは難しく世界でも珍しい施設とのこと。生成した RI ビームをさまざまな原子核に当てるこ とで中性子の過剰な原子核などを生成することができ、原子核物理や元素合成の研究が行われている。 さらに RI ビームを植物に当てて突然変異を起こさせて品種改良の研究も行われている。これまでに 新しい色の花や吟醸用の酵母などを作製している。また施設の紹介ビデオは 3D 映像になっていて大 変に良く出来ていた。

本見学会では、日本でもかなり古くから有る研究機関の施設や歴史を見ることができ、参加メンバーからも多数の質問があり、盛況のうちに見学会は無事終了した。個人的には加速器を実際に見てみたかったのでその点は残念であった。

最後に、この場をお借りして、今回の見学会をアレンジして頂いた日塔様、ご説明頂いた大森様、 磯部様に感謝申し上げます。

付記

理化学研究所は、和光、筑波、横浜、神戸にあるそれぞれの研究所で毎年一般公開されている。

開催時期などの詳細は、公式ホームページを参照 <u>http://www.riken.go.jp/index j.html</u>

以上

解説

S.I.H.H/バーゼルワールドに見る時計の潮流+α

広田雅将

皆さんこんにちは、時計ジャーナリストの広田と申します、クロノス日本版という時計専門誌で主 筆をやっております、たくさん記事を書くから主筆というだけで、内実はフリーライターですね、い ろいろ書いている関係上、時計はいろいろ見てます、スイスで行われている二つの見本市、SIHH と バーゼルワールドにも、一応毎年参加してます、今回はスイスで行われている時計の見本市、1 月は SIHH、3月はバーゼルワールドですね、この情報と「+α」についてお話ししたいと思います。

1. 時計業界を分かつ3つのグループについて

まずは1月に開催される SIHH について. 主催するのはリシュモン グループです. A.ランゲ&ゾ ーネ, ジャガールクルト, IWC, パネライ, カルティエ, ボーム&メルシエ, ダンヒル, ピアジェ, ヴァシュロン・コンスタンタン, ロジェ・デュブイ, ラルフ ローレンといったメーカーを擁していま す.

長らくリシュモンは,サプライヤーから部品を買ってきて組み立てるというエタブリスールでした. いわば企画屋さんだったわけですね.しかし最近は,自前で工場を持つようになりました.ムーブメ ントメーカーにはヴァル・フルリエ,ケースメーカーにはドンツェ・ボーム,そして文字盤会社には スターン・クリエーション.各社は時計を企画したら,こういった社内の企業を使って時計を作るよ うになったわけです.エタブリスールから,マニュファクチュールへと変貌を遂げたわけですね.

ではなぜこうなったのか.理由は、ライバルのスウォッチ グループが、部品の供給を削減、あるい は停止したからなんです.3月に開催されるバーゼルワールド.この主催者のひとつがスウォッチグ ループです.ブレゲ、ブランパン、ジャケ・ドロー、グラスヒュッテ・オリジナル、オメガ、ロンジ ン、ラドー、ティソ、ハミルトン、スウォッチ、フォリフォリ、CK ウォッチといったブランドを擁 しています.

ただしスウォッチが強いのは、傘下に優れたサプライヤーを擁しているからですね. エボーシュメ ーカーとしては、ETA、フレデリック・ピゲ(現ブランパン)、そしてヌーヴェル・レマニア(現ブ レゲ). ヒゲゼンマイや脱進機の供給元として知られる、ニヴァロックス・ファーもグループに所属し ています.

長年スウォッチは、こういったサプライヤーの部品を、ほかのグループに供給してきました.しか しまずはエボーシュの供給を削減.最近では、ヒゲゼンマイや脱進機の供給も削減、あるいは停止す るようになりました.結果、スウォッチのライバル各社は大変困った状況に追い込まれました.逆に いうと、日本のメーカーにとっては大きなチャンスかもしれませんね.

実際スイスの時計関係者から、日本のメーカーは部品の供給をするつもりはないのか、とは聞かれることはあります. 今年シチズンさんがスイスにあるラ・ジュー・ペレを買いましたね. また SII さんは、タグ・ホイヤーといい関係にある. スイスに部品供給をすればいいんじゃないでしょうか.

ともあれスウォッチ グループというのは, 肝心の部品を握ることで, スイスの時計業界を今もって 支配しているわけです.

リシュモンとスウォッチに並ぶ大グループを挙げるなら, LVMH グループでしょう. モエ・ヘネシ ー・ルイ・ヴィトンですね. 名前の通り, もともとはお酒屋さんとカバン屋さんが連合したブランド・ コングロマリットです. ファッションメーカーが中心ですが, 最近は時計にも力を入れるようになり ました. 傘下にあるのは, ブルガリ, ルイ・ヴィトン, ウブロ, タグ・ホイヤー, ゼニス, そしてシ ョーメなどですね.

もともと LVMH というのは生産設備を持ちたがらない,身軽になりたいグループでした. リシュ モン以上にエタブリスールだった,といえるでしょう. ルイ・ヴィトンなどを例にとっても,イギリ スにあったヌメ革工場を売り飛ばしてしまったぐらいですね.ファッションならそれが通じたし, LVMH は時計でもそのやり方を続けてきた.でもスウォッチが部品の供給を渋るようになると,たち まち時計が作れなくなったわけです.

そこで LVMH は、あわててサプライヤーを買収し始めた. 今傘下にあるのは、ゼンマイなどを作 るジェネラル・リソール、ケースメーカーのアルテキャドなどですね. またブルガリを買収したこと で、ダニエル・ロートとジェラルド・ジェンタの複雑時計工房を加えました. また時計の世界で痛い 思いをしたからでしょうか、今 LVMH は時計以外の分野でも、猛烈にサプライヤーを買収していま す. 例えばルイ・ヴィトン. イギリスの革工場を売り払った同社は、最近ベルギーに革なめし工場を 新設したそうです. 生産設備を手放したことを、後悔しているのかもしれません. 急速な勢いでノウ ハウを蓄積しているのが、今の今 LVMH といえるでしょう.

今家電の世界では、ファブレスが流行っていますね.サムスンとかアップルとかね.でも、時計の 世界は、はるか昔からファブレスでした.時代に先んじていた、と思います.しかしここ 10 年で、 時計業界はファブレスから垂直統合に回帰しつつある.もちろん部品供給という問題はあったでしょ う.しかしそれ以上に、自前で生産設備を持たない限り、質を向上させられない、という危機感を各 グループが持ったことが大きいかもしれません.ファブレスだと、やっぱり質を上げにくいんですね.

ともあれ、リシュモン、スウォッチ、そして LVMH. こういったグループが、だいたいスイスの時 計産業を左右しています. こういうグループの時計は、もちろん1月の SIHH、3月のバーゼルワー ルドで見ることができます.

2. 2012年のトレンドは何か?

ではこういった状況の中で、時計業界のトレンドはどう変わってきたのかをお話ししたいと思いま す.大体トレンドは6つあると思います.まずは3つ、挙げますね.

2.1.長く使えるデザイン

2. 2. 長く使える質感

2. 3. アイデンティティーへの回帰

です.

2.1.長く使えるデザイン

長く使えるデザインとは、簡単にいうと復古調、サイズの縮小です. リーマンショック以前,各時 計メーカーは、3年から5年使えればいいと考えて時計を作っていました. でもリーマンショックの 後は、10年、あるいは20年もつような時計を作ろう、と方向転換しました. 長く使える時計. 結果, 時計のデザインはオーソドックスになりますよね. また長く使えるデザインの一因には、中国市場の 動向もあります.

クロノス中国版の編集長は、クロノス日本版の編集長にこう語ったそうですね、「中国での時計需要 の3割は贈り物である」と、中国の専門誌編集長が話したことですから、まず間違いないでしょう、 贈り物、言い換えると賄賂です、でも相手に贈り物をする場合、相手の嗜好なんて分かりませんよね、 だから買うときは、無難なデザインに落ち着くわけです。私たちなどは、中国人は派手で目立つ時計 を買うのだろう、と思ってしまいます、しかし実際は逆なんですね、

こういう話もあります.中国のような新興市場にとって,時計というのはまだまだ高価です.だか ら時計を買うときは,オーソドックスな物を選ぶわけです.確かに1本しか持てないなら,「冒険」 は出来ないでしょう.逆に日本のような成熟市場では,皆さんすでにいろんな時計をお持ちだから,



変わったデザインでも売れる.日本ではオーソドッ クスな時計が、中国では派手な時計が売れると考え る人は多いようですが、新興市場、成熟市場という 視点で見ると、真逆なんですね.

ではどういうデザインが、長く使えるデザインな のか.眼鏡のフレームに例えてみましょうか(左図). フレームが太いと、カジュアルでスポーティーに見 える.対して細いと、フォーマルでドレッシーに見 えますよね.フレームを時計のベゼル、インデック ス, 針に置き換えてみてください. かつて, 時計メーカーはこういった要素を太くしようとしました. でもリーマンショック以降は細身に, です.

好例がブルガリの「ディアゴノ カリブロ 303」 でしょうか (右図). この時計,初出は 2008 年で す. 2011 年にモデルチェンジされました.新旧を 比較すると,ケースサイズは同じです. ただしべ ゼルが細身になり,文字盤の開口部が大きくなり ました. 旧型は 30.5mm,新型は 32mm と 1.5mm 大きくなった. 昨年発表のモデルですが,最近の デザイントレンドを体現したような時計ですね. 今年のモデルを例に挙げても,シャネルの「J12」 などは,同じようなコンセプトでモデルチェンジ しています. やはりベゼルは細くなっていますね.



●2012年SIHH&バーゼルの傾向

2. 2. 長く使える質感



●2012年 S.I.H.H & バーゼルの傾向

続いては,長く使える質感ですね. 具体的に いうと,ケースの表面を剥く+チリ合わせの統 ーです.かつて,日本の時計メーカーは,外装 の分野において,スイスの時計メーカーに大き なアドバンテージを持っていました.でもここ 数年,それは失われつつありますね.大きな理 由は,iPhoneの出現でしょう.iPhone(左図) というのは大変良くできたプロダクトですね.

これはステンレス製のミドルケースを,アク リル製の蓋でカバーしている.部品同士の隙間

はほとんどありません. チリ合わせがすごく精密なわけですね. 確かに iPhone のケースは,加工し やすいステンレスです.削りにくいステンレスではありません.ただし消費者にとっては,素材が何 であるかは関係ないんですね. iPhone の質感に馴れた消費者が時計を見たとしましょう.500ドルで 買える iPhone より,時計の質感の方が低かったら,誰も手に取らないでしょう?

かつてシチズンの社長さんは「時計のライバルはハンドバッグである」と仰いました. でも僕は, 今や腕時計のライバルは iPhone だと思っています. 事実, スイスメーカーのデザイナーたちは, 皆 さんそう認識しているようですね. コンペティターは, 同価格帯の時計ではなくて, それよりもはる かに安い iPhone. あの質感で 500 ドル. だとしたら時計はもっと良くないと, 消費者は納得しない ということを,スイス人はとてもよく分かっている.だから彼らは,必死で質感を上げようとしている.これは iPhone に価格帯の近い,日本の時計メーカーにとっても深刻な問題になるじゃないでしょうか.

こういった iPhone 以降の時計の例には, グッ チの「G タイムレス」があります(右図). これ はすごく良くできた時計ですね. 確か定価は8万 4000円. スイス製の時計ですが, ケースとブレス レットは中国製です.

皆さんならお分かりでしょうが、大変作りやす い形をしていますね. でもケースと弓管の噛み合 わせを見てください. ほとんど隙間がないでしょ う. チリ合わせがすごく厳密なんです. 日本メー



カーの皆さんは、ケースと弓管の隙間を詰めるのが難しいと仰る. でも、中国のサプライヤーはここまで実現してしまっているわけですね. しかも値段は8万ちょっとです. この価格帯の日本の時計で、 弓管とケースの間がここまで詰まっている物はないでしょう.

ケースサイドを見てみましょう (左図). やっぱり作りやすい形をしていますね. いかにもプレスで打ち抜きやすそうですね. でもね, プレスで抜いてバレルで磨いただけでは, これほどの質感は出せなかったでしょう. ケース全体に筋目を施して, 表面をきちんと剥くことで, 時計に高級感を与えているわけです.

●2012年 S.I.H.H & バーゼルの傾向



iPhone 以降の流れをいうと,時計のケースは ポリッシュからサテンに変わりつつあるように 思います. もちろん深いサテンを入れると仕上 げをごまかせるのが一因です.あるでしょうが, 表面を剥いた方が,精緻な印象を与えるのも事 実です. ともあれグッチの G タイムレスは, iPhone 以降に出現した,新しい外装を持つ時計 の好例といえそうです.

もうひとつ,質感の高い時計を挙げてみましょう. それが今年発表された,アルピナのダイ

バーですね(右図).価格は14万円.日本製の時計と被る価格帯ですね.黒い文字盤は、ラップ研磨 したラッカーです.ラップ研磨とは、文字盤に塗装を吹き付けて、それをラップフィルムで磨く手法 を指します.表面を磨くので,文字盤はツヤツ ヤになりますね.

かつてこの手法は大量生産か、少量生産にし か向かない手法でした.得意としていたのは、 ロレックスとセイコーでしょうか.ほかのメー カーは、やりたくてもできなかった.ちなみに 市場では、ロレックスのスポーツモデル、しか も黒文字盤が人気ですね.なぜ人気があるかと いうと、一因はラップ研磨の文字盤でしょう. オニキスのようなツヤを持つ黒文字盤は、なる ほど高級に見えますね.

●2012年 S.I.H.H & バーゼルの傾向



しかし数年前に、スウォッチグループがラップ研磨の文字盤を作る体制を整えました. ロレックス がうらやましかったんでしょうね. 最近のオメガには、ラップ研磨の文字盤が採用され、今ではロン ジンなども使うようになりました. 以降、様々なメーカーが、ラップ研磨の文字盤を作るようになっ たわけです.

ちなみに今年のアルピナ,文字盤を作っているのは中国のサプライヤーです.オメガがラップ研磨 の文字盤を作るようになってわずか数年で,中国のサプライヤーが作るようになったわけです.皆さ ん,高級な時計の仕上げは私たちには関係ない,とお思いかもしれません.でも今や,わずか数年で, こういった手法は,十数万円のエントリークラスに落ちてくるようになったわけです.決して無視は できないですよ.

またこの時計のブレスレット付きモデルは,エクステンションバックルを備えています.一昨年デ ビューしたロレックスの「サブマリーナ」も,やはりエクステンション付きのバックルを付けていま した.それがわずか数年で,十数万の時計も採用するようになったわけです.ラップ研磨の黒文字盤 にまったく同じですね.

ハイエンドな時計の仕上げや構造が,わずか数年で,エントリークラスに落ちてくる時代になった わけです.スイスの時計の外装が,急激に良くなるはずだし,日本の時計メーカーのアドバンテージ が,わずか数年で失われたはずですよね.

もうひとつ外装の例を挙げると、ブルガリの新しい「オクト」でしょうか(左図). この時計、ケースは110もの面を持っています.このケースを作るために、ブルガリは新しい工作機械を入れました. レコマチック社製の、MR500という機械(右図)です.5軸のCNCで、完全に自動制御でケースを 削ってしまいます.加工している間、人は一切タッチしないそうです.

●2012年 S.I.H.H & バーゼルの傾向



'高級機における外装のスタンダード"

●2012年 S.I.H.H & バーゼルの傾向



"110面を削り出す多軸CNC"

ちなみに日本の時計メーカーはプレスが,ス イスの時計メーカーは切削が得意ですね.正し くいうと,今のスイスにプレスの技術はほとん どありません.じゃあだからダメなのかという と,むしろ逆なんです.スイス人は,得意とす る切削の技術を伸ばすことで,時計の形状を 年々複雑にしてきました.

大量生産には向きませんが,形は立体的にな りますよね.また切削すると,表面をフラット にしやすい.ブルガリというのは鍛造でケース を作ってきた会社ですが,一転してオクトでは 切削に挑戦した.大きな転換とも言えますが, 今のスイスを象徴する転換,でもありましょう.

こういったアプローチは,パネライも同様で す(右図).長年パネライは,ほとんど鍛造だけ でケースを作ってきました.でも昨年のモデル あたりから,鍛造に切削を併用するようになっ てきた.このモデルを例に挙げると,スチール のブランクを9回鍛造して,ケースの大まかな 形を出していきます.今までは鍛造だけでほと

んど形を作っていた. でも最近は、大まかな形を作り、切削で最終形を出すようになりました. 確か

5 軸の CNC にかけて, 35 分間かけて削って いくのかな?パネライのケースは,以前に比 べてはるかに立体的な形状を持つようになり ました.

今までのような鍛造だと、こういった稜線 を出しにくいですね.日本の時計メーカーは 精密なプレスが得意なので、切削を使わずと も、これぐらいは出せるかもしれません.ス イスでは難しかったけど、切削を併用するこ とで、磨いても残るぐらいの稜線を出せるよ うになったんですね.

●2012年 S.I.H.H & バーゼルの傾向



"プレス+切削

2. 2. 補足 個別のモデルに見る, 2012年のトレンド

●2012年 S.I.H.H & バーゼルの傾向



さて個別のモデルを見ていこうと思います (左図).まずはオメガとジャガー・ルクルト. この両者は、ムーブメントはいいけど、外装は もう一息、というメーカーの代名詞でした.で も最近は外装の質感がぐっと上がりましたね. 左は「スピードマスター」の復刻モデルです. 1962年モデルを忠実に再現した物ですね.先ほ ど復古調、サイズの縮小とお話ししましたが、 このモデルはまさにそうです.

右はジャガー・ルクルトの「リザーヴ・ド・ マルシェ」、今までのモデルの焼き直しですが、

やはり今風のリファインが施されている.面白いのはベゼルの処理ですね.幅を 1mm 絞ることで, 時計を小さくし,また意匠をフォーマルに仕立てています.また文字盤も,ドーム状のボンベですね. アンティークではないですが,アンティーク風の意匠を取り入れているのが分かります.

またケースや文字盤の質感も大きく上がっています. 再三お話ししているように, こういった時計 の試みは, 数年後には間違いなく, エントリークラスに落ちてくると思いますよ.

続いては IWC の「マーク XVII」です(右図). このモデルは、定番中の定番ですね.ただしサイ ズは 39mm から 42mm に拡大されました.では 以前のモデルと何が違うのかというと、ブレスレ ットです.バックルには 1mm 単位のエクステン ションがつきました.些細な違いですが、実用性 は大きく高まりました.

ブレスレットに関して言うと、スイスのメーカ ーはどれもよくできていますね.特に高価なモデ ルは、左右のガタが非常に小さい.日本のメーカ ーのブレスレットもよくできていますが、3万円 の時計のブレスレットも、50万円の時計のブレス レットも、左右のガタは基本的に同じですね.毛 をはさまないように、という配慮なのでしょうが、 3万円の時計と同じ感触では、高級感はないでし ょう.

また日本の時計の場合は、どんなに時計が重く ても、ブレスレットのガタを詰めませんね.時計 ●2012年 S.I.H.H & バーゼルの傾向



"質感向上

●2012年 S.I.H.H & バーゼルの傾向



"エクステンションバックル"

が重くなったなら,ブレスレットのガタは詰めるべきでしょう.そのほうが装着感は改善されますし, 重い時計に相応しい質感が得られるはずです.話は脱線しましたが,IWCのブレスレットは,大変に 良くできていますね.時計の重量に比してブレスレットが適度に重いため,装着感にも優れています.

●2012年 S.I.H.H & バーゼルの傾向



"復古調・サイズの縮小、質感向上

もうひとつ挙げると,パテック フィリップの 「カラトラバ Ref.5123」(下図)でしょうか.非 常にシンプルな時計ですね.1950年代の時計を復 刻したモデルだそうですが,ちゃんと今風になっ ている.違いは何かというと,文字盤の仕上げで すね.かつて高級時計の文字盤といえば,ツヤあ りが標準だった.でもこのモデルの文字盤は,ツ ヤ消しなんですね.



復古調でいうと,オーデマ ピゲの「ロイヤル オ ーク」が代表例でしょうか (左図).ステンレスで 180万とかするんですが,でも完成度は高いです ね.続いてはロンジン (右図).このモデルは金無 垢なので高価ですが,ステンレスケースなら,30 万円台で買えます.文字盤はラップ研磨したラッ カーですね.おそらくケースは中国製でしょうが, 磨きはかなり良好です.ムーブメントにも,ETA が改造したエボーシュがのっています.驚くほど 競争力の高い時計,と言えるでしょう.

●2012年 S.I.H.H & バーゼルの傾向



"復古調・サイズの縮小、質感向上'

ッヤ消しの文字盤というと、高級感がないと思 いがちでしょう.でもパテックは上手いんです. 下地処理までは、ツヤありの文字盤と同じ.しか し最後に吹くラッカーをツヤ消しにして、文字盤 をマットにしている.たぶんですが、吹き付ける 際にわざと距離をとることで、表面を少し荒らし ていますね.パッと見ツヤありに見えるんですが、 角度によってはツヤ消しになります.高級感と視 認性を両立した、上手い手法だと僕は思っていま す.

なおこの手法は、もともとパテック フィリップの文字盤メーカーである、フルッキガー社が始めた

ものでした.しかし今では,ブライトリングやホイヤーが模倣するようになりました.ということは, 今後エントリークラスの時計も,この手法を真似するようになるでしょうね.

2. 3. アイデンティティーへの回帰

もうひとつ挙げると、アイデンティティーへの回帰です. つまり、ウチの売りは何なのか、を考え て時計を作るようになったということです. 当たり前かもしれませんが、ここ数年で、時計メーカー のラインナップは大きく整理されましたね.

さてここまで,長く使えるデザイン,長く使える質感,アイデンティティーへの回帰をお話ししま した.続いては残り三つです.ワールドタイマーの流行,マット(ツヤ消し)のブーム,そして高級 なミリタリーへの試みですね.

2. 4. ワールドタイマーの流行

2. 5. マット (ツヤ消し) のブーム

2. 6. 高級なミリタリーへの試み

2. 4. ワールドタイマーの流行

ワールドタイマーが流行した理由は、これがプチコンプリケーションとして妥当だから、です. つまり普通の3針時計と、コンプリケーションの間に置くには、ちょうどいい価格帯なんですね. でも別の理由もあるんです. 昨年だったかな、一昨年だったかな、スイスの高級時計協会が、ある本を出しました. 高級時計協会というのは、リシュモン グループ傘下の組織、ですね.

書名を"Time to Change"といいます.これは時計のマーケティングだけに特化した本でして、どういう層がどんな時計を買うのかとか、どんな宣伝がどんな層に合うのか、ということが延々と書か

●2012年 SIHH& バーゼルの傾向

れています.新興市場と成熟市場の違い,といっ たことも書かれていますね.スイスの時計メーカ ーで,マネージャークラスの人間であれば,皆さ ん読んでいる本です.少なくともリシュモングル ープのマネージャーは,間違いなく読んでいるで しょう.僕は時計メーカーの人間ではありません が,一応読みました.これは日本の時計メーカー の皆さんにも,必読の本だと思っています. 余談はさておき,ワールドタイマーが増えた一因 は,間違いなくこの本にあります."Time to

Change"を読みますと「時計の購買層には国際人が少なからずいる」と定義されています. 国際人

が,一つのジャンルとして区分されている.あくまで僕の私見ですが,"Time to Change"によるカ テゴライズ以降,各メーカーは真剣にワールドタイマーを作るようになったんじゃないか,と思って います.でなければ,ここ数年でワールドタイマーが増えた理由を,十分に説明できません.好例は, ブライトリングの「トランスオーシャン・クロノグラフ・ユニタイム」(左図)でしょうか.

2. 5. マット (ツヤ消し) のブーム

続いてはマット仕上げ、つまりツヤなしのブームです.先ほどお話しした通り、パテック フィリッ プの手法は、高級感と視認性を両立させる、非常に優れたやりかたでした.この手法のおかげかは分 かりませんが、各メーカーは、文字盤をツヤ消しにするようになってきました.以前との違いは、ツ ヤ消しなのに高級感がある点ですね.最近の時計でいえば、ブライトリングの「クロノマット 01」な どが好例でしょう.真正面から見るとツヤありに見える.でも横から見ると、ツヤ無しなんですね.

2. 6. 高級なミリタリーへの試み

視認性と高級感を両立した,ツヤ消し文字盤. その手法が普及した結果,各メーカーはどうなった のか. ミリタリー風時計に可能性を見いだすようになったわけです. そもそも視認性と高級感という のは,相反する要素ですね?視認性を高めたければ,ツヤを殺せばいい. でも高級感はなくなってし まう.

対して高級感が欲しければ,文字盤にツヤを与えればいい.でも視認性は損なわれますね.高級感 と視認性を両立させる手法が普及して以降,各メーカーは,高級感のあるミリタリー風時計を作るよ うになりました.このジャンルは,今後間違いなく伸びるでしょう.そして言うまでもなく,エント リークラスにまで落ちてくるはずです.





+ α 日本メーカーの新作について

さてここまで,今年のトレンド6つをお話しし ました.ここからは,+αをお話ししましょう. 日本の時計に関して,です.ただ日本の時計も, やはりトレンドはキャッチアップしていますね.

まずはシチズン「アテッサ」の 25 周年モデル (左図). 電波ソーラーだけど, なんと文字盤はマ ット仕上げでした. 電波ソーラーというのは光を

通すため、そもそも文字盤の質感を出しにくい.ただシチズンのエクシードなどはすごく良くなって きて、今やいわれない限りは、ソーラーとは分からないでしょうね. でシチズンは、今年ツヤ消し文字盤にチャレンジした.ツヤを殺すと受光能力はかなり落ちるはず ですが、でも挑戦してみた.パッと見、電波ソーラーの文字盤には見えませんね.これには驚かされ ました.ちなみに外装も良くできてますが、弓管とケースの間隔はまだ過大ですね.価格を考えれば、 ブレスレットのガタも、もうちょっと詰めていいんじゃないでしょうか.

続いては、カシオのプロトレック「マナスル」 (右図).よく文字盤と針のクリアランスを詰めた な、というのが正直な感想です.大体日本のメー カーは、文字盤と針のクリアランスを取りすぎる んです.理由はおそらく、針が薄くて簡単にしな るためでしょう.でも隙間が空きすぎると、斜め から見た場合カッコわるいですね.

ところが新しいマナスルは,間隔をきっちり詰 めてきた.ケースの厚さは14mmでしたっけ?薄 くするために,相当努力されたことが分かります.



またこの時計は,針が太いですね.トルクのないクォーツで,よくこれだけ太い針を回したなと思い ます.もっとも太くした分,薄くは作っているんでしょうが,少なくとも太いインデックスにはマッ チして見える.

針に関して言うと、日本のメーカーはトルクのマージンを取り過ぎなんです. だから針が総じて短 い. また共用部品を使うから、針の長さがますますおかしいことになる. 過剰なまでにマージンを取 っているんだから、もうちょっと基準を緩めたらいいんじゃないかと思っているのですが、どうでし ょう. 例えば一般モデルの基準と、高級モデルの基準を分けるだけで、高級な時計のデザインの幅は、 ぐっと広がるんじゃないでしょうか.

確かに問題が何かあったら、という気持ちは分かります. でも、一般モデルと高級モデルは、そも そも売れる数が違いますね. だから同じ基準を当てはめるのはどうかな、とも思うのです. そろそろ、 価格なりに応じて、基準を変えてもいいんじゃないでしょうか. スイスのメーカーは、その点かなり 柔軟ですよ. 針と文字盤のクリアランスもべったべたに詰めているし、トルクのマージンも過剰には 取っていない. だからデザインに幅を持たせられる.

そしてもうひとつが、「グランドセイコー」のスペシャルです(左図).日本の高級品は、総じて光 らせすぎなんです.見返しも光る、針も光る、インデックスも光る、文字盤も光る.一昔前のグラン ドセイコーがそうですね.一見高級に見えますが、光りすぎる時計は飽きが来る.初心者には向くで しょうが、長く使うには不適だと思ってます.
●2012年 S.I.H.H & バーゼルの傾向



ところがこのモデルは,文字盤をツヤ消しにし てきた.見返しやインデックスはダイヤカットの ポリッシュでしょう.ツヤ消しの地に映えて,視 認性はすごくいいですね.しかもツヤ消しなのに 質感も高い.日本の高級時計らしからぬ新しい試 みとして,僕は高く評価しています.

+ α 日本メーカーの未来は?

で,じゃあ今後日本の時計メーカーはどうなるのか.どういう方向を目指したらいいのか,最後に これだけは伝えたいと思います.四つあります.

1:機能の時代の終わり

2:時計は装身具へ

3:物ではなくストーリー

4:高級品で海外に出るしかない

です.スマートフォン,具体的には iPhone の出現によって,多機能だけど使い勝手が良い,とい うのが当たり前の時代になってきています.かつては多機能=使いづらいでしたし,消費者もそれを 認めていた.でも iPhone 以降,そういった考えはまったく通用しなくなった.もし皆さんが多機能 な時計を作るなら,今まで以上に使い勝手が決定的な要素になる,と感じています.

続いては、時計は装身具に変わったということですね.機能が欲しければスマートフォンがあるわけです.だから時計はいっそう装身具にならざるを得ない.しかし装身具になっても、ライバルはやはりスマートフォンなわけです.iPhoneの質感に馴れてしまった消費者を、時計メーカーは納得させられるかどうか.これは非常に深刻な課題だと思っています.特に高級時計の場合、なおさらでしょう.弓管とケースの隙間が空いた時計だと、消費者は納得しない時代になったわけですね.

そして物なり機能を売る時代は終わったということですね.ストーリーに載せていくしかない.乱 暴な言い方ですが,消費者を感動させたら勝ちなんです.スイスの時計メーカーは,その点上手いで すね.技術がなくても,別の呼び名を与えたり,開発責任者を引っ張り出してきて,ストーリーにし てしまうわけです.こういう努力は,日本の時計メーカーに足りないように感じています.技術はあ るんだから,あとはマーケティングですよね.

そして最後は、高級品で海外に出るしかない、です.今日本の時計メーカーは、電波ソーラーが強 みですね. でも間違いなく、これはコモディティー化します. コモディティー化すると、かつてのク オーツと同じで,稼ぐことは難しくなる.中国のメーカーが電波ソーラーとかやり始めると,日本の メーカーは危ないんじゃないでしょうかね.

事実,中国のサプライヤーはものすごく力を付けてきている.今やスイスのメーカーは怖がって, あまり仕事を出したがらないようですね.下手に依頼したら,偽物の質が上がってしまいますからね. それぐらい力を付けてきている.今のところ,彼らはスイスや日本の下請けをしたり,あるいは偽物 を作っている.もし優れた起業家が出てきて,政府の後押しなんかがあれば,たちまち大時計メーカ ーができあがるでしょう.3年から5年後に,そうなるかもしれない.家電と同じですね.

じゃあ日本のメーカーはどうするのか. 高級品を売っていくしかないんじゃないでしょうか. 確か に不慣れな分野だし,あえて日本のメーカーがやる必要はないかもしれません. でもやらないと,未 来は先細りしていくんじゃないでしょうか. 特に中国が台頭して,電波ソーラーがコモディティー化 したら,先はないように感じています. だったら,まだ体力のある今のうちにやるしかない.

ちなみに日本の時計とスイスの時計の違いを述べたいと思います.日本の時計は,それぞれのディ テールはいいんですね.でも,つなぐ部分が弱い.対してスイスの時計は,個々のディテールはそん なに良くないんです.でも,部品同士をきちんとつないでいるから,時計としてまとまりがある.な ぜまとまるかというと,プロダクトマネージャークラスの連中が,時計をきっちり見ているからなん ですね.

具体的にいうと、ケースと弓管の間は詰まっているし、高い時計のブレスレットのガタも小さい. 日本の時計みたいに、3万円と50万円の時計のブレスレットの感触が同じ、ということにはならない んですね.スイス人はつなぐのが上手いですね.ここをきっちりできたら、日本の時計も高級品とし て打って出られる、と思っています.

というわけで、講演は終わりです.ご静聴ありがとうございました.

解說

「時計技術解説」クオーツ時計

──Ⅱ.水晶発振器と電子回路 ─

長尾 昭一*

1. はじめに

前号の「クオーツ時計概論」に続き、クオーツ時計を理解するための入門編として、2回に亘り クオーツ腕時計のしくみを紹介します.今回は、時間精度の源である水晶発振器とそれを制御する 電子回路について,次号では時刻表示針を動かすモーターと指針表示について紹介します.

前号で掲載したものですが、Fig.1 はクオーツ腕時計のムーブメントを時計の裏蓋から見た写真、 Fig.2 は各ブロックの関連を示したものです. 今回は、両図に示される回路ブロックが持つ機能と 動作の説明になります。回路ブロックには水晶振動子と MOS-IC が実装され,電池と接続されるこ とで、ステップモーターの駆動信号を1秒ずつ正確に出力する役目を果たしています.







2. 水晶

振動子に使用される水晶は、SiO2の単結晶で、特定の方向から圧力を加えると電圧を発生し、逆 に電圧を加えるとひずみが生じるという圧電効果(ピエゾ効果)を持っています。従って、水晶が 機械的に振動すると、その動きに同期した電気信号を発生し、その電気信号に合わせて電力を供給 すると水晶は振動を継続することになります。水晶以外にも圧電効果を持つ材料はありますが、水 晶は単結晶で物理的、化学的に安定しているので正確な振動を得ることができ、時間標準源に適し ています.

* セイコーエプソン(株)

大きな水晶の結晶を薄い板状にスライスし,それを 所定形状にカットして振動子を作りますが,水晶には Fig.3 のような結晶軸があります.この軸に対してど の方向から振動子を取り出すかよって,振動状態や温 度特性が変わってきます.クオーツ腕時計で多く使用 されている振動周波数 32,768Hz の水晶振動子は,Z 軸にほぼ直交する面で結晶をスライスし,そこに音叉 型の振動子を形成しています.



Fig.3 水晶の結晶軸

3. 水晶振動子

Fig.4 は筒型の水晶振動子の説明図です.他形状もありますが、クオーツ腕時計が登場してから 現在まで最も多く使用されている形状です.音叉型に切り出され表面に電極を設けられた振動子は、 リード端子に導通をとりながら固定され、筒状のケースに真空封入されています.



Fig.4 水晶振動子

クオーツ腕時計が登場する以前の水晶振動子は,小 さいものでも長さが約50mm だったので,クオーツ腕 時計用に直径4.3mm×長さ18.5mmの水晶振動子が 新たに開発されました.この水晶振動子が,1969年に 発売された最初のクオーツ腕時計に搭載されました. その後さらに改良され,現在は直径1.2~2.0mm×長さ 4.6~6.0mmまで小型化されています.振動周波数が高 いほど振動子が小さくなり小型化に有利ですが,逆に 振動周波数が高いほど消費電力が増大するので,両方 のバランスをとった32,768Hzが主流となりました.

4. 水晶発振器

水晶振動子を継続的に振動させ、水晶振動子から安定した基準信号を得るには、水晶振動子を電 気制御する水晶発振回路と、電力を供給する電源が必要になります. Fig.5 は水晶発振回路の一例 で、水晶振動子以外の素子は IC で構成されています. ここで重要な役割をするのが発振インバー タになりますので、インバータの動作について説明します.

MOS-ICは、P チャンネルと N チャンネルという 2 種類のトランジスタの組み合わせで動作しま すが、これを Fig.6 のように直結したものがインバータです.トランジスタには、ゲート(G)、ド レイン(D)、ソース(S)という端子が あり、図の P チャンネルトランジスタは、ゲート(G) にマイナス電位の信号が入力されたときだけドレイン(D) ~ソース(S)間が接続し,Nチャン ネルトランジスタは,ゲート(G)にプラス電位の信号が入力されたときだけドレイン(D) ~ソ ース(S)間が接続するという逆の特性を持っています.



Fig.5 水晶発振回路

Fig.6 インバータ

Fig.7 はインバータの作動を説明する説明図で、ドレイン(D)~ソース(S)間の接続を便宜 的にスイッチで表現しています.(a)のように入力端子にプラス電位の信号が入ると、N チャン ネル側のスイッチが ON するので出力端子にはマイナス電位の信号が出力されます.逆に、(b) のようにマイナス電位の信号が入ると、P チャンネル側のスイッチが ON しプラス電位の信号が出 力されます.また、出力信号はスイッチ ON の間所定の電圧が加わるので、入力信号が弱くてもそ れを増幅して出力できます。



次に Fig.5 に沿って、インバータを用いた発振回路の作動を説明します.回路に発生する電気的 なノイズや、外部からのわずかなショックで水晶が少し動き始め、水晶振動子のA端にマイナスの 信号が発生したとします.その信号が発振インバータに入ると、電位が反転するとともに所定の電 圧に増幅されたプラスの信号となり、水晶振動子のB端に入力されます.これは、今水晶が動いて いる方向の変形を増幅させるように働きます.変形した水晶がばね力で復元し逆方向に変形を始め ると、今度はA端にプラスの信号が発生し、発振インバータを通りB端に増幅されたマイナスの信 号が入力されます.この場合も水晶の変形を増幅させるように働きます.公園などにあるブランコ に例えるなら、ブランコがどっちの方向に振れているかを素早く検知し、タイミング良く振れてい る方向に押したり引いたりして振りを大きくしているのに似ています.このように、電源と水晶発 振回路でエネルギーをタイミング良く水晶振動子に与えて、水晶振動子を継続的に振動させること が、水晶発振器の役割となります.

5. 分周回路と駆動回路

水晶発振回路によって 32,768Hz の信号が得られますが,その波形形状は回路に容量や抵抗成分 があることで,きれいな矩形形状ではありません.それを,波形整形回路で整えた後,モーター駆 動に必要な 1Hz の信号に変換するのが,分周回路の役割です.周波数の変換は,デジタル的に周波 数を 1/2 に分割する 1/2 分周を繰り返すのが一般的で,Fig.8 のように 32,768Hz から 1/2 分周を 15 回行うと 1Hz の信号が得られます.分周回路は,前述の発振回路と同じように, Pチャンネルと N チャンネルのトランジスタをいくつも組み合わせて構成されますが,具体的な説明は省略します. また,ここでは 1Hz を最終的な信号として説明しましたが,時計の仕様によってはさらに長い周期 が必要になります.例えば,秒針の無い 2 針時計で 1 秒より長い間隔でモーター駆動するような場 合です.このように,分周回路によって,モーターの駆動信号を出力する正確なタイミングが決め られます.



Fig.8 分周波形

ステップモーターを駆動するには、モーターに適した駆動波形を成形し出力する必要があります が、その役割をするのが駆動回路です.クオーツ腕時計の秒針は、ピッ・ピッと1秒間隔で間欠的 に動きますが、動いている時間は1/100秒程度で残りは止まったままの状態です.従って駆動信号 も、1/100秒程度の僅かな時間だけモーターにエネルギーを供給する波形であり、これまでと同じ ようにいくつものトランジスタの組み合わせで成形しています.この駆動信号をモーターへ供給す るわけですが、この部分はこれまでと異なってきます.モーターは針やカレンダー機構を動かす力 を発生させるので、これまでよりはるかに多くの電流を供給する必要があるからです.それはトラ ンジスタが流せる電流量に関係してきます.他のトランジスタは、数マイクロアンペアの電流を流 せる能力で良いのですが、モーター駆動に関しては数ミリアンペアの電流を流す能力が必要になり ます.クオーツ腕時計の平均消費電流が1マイクロアンペア以下であっても、短時間で駆動するモ ーターへは、瞬間的に1ミリアンペアを越える電流が流れています.多くの電流を流すには、トラ ンジスタを大きくする必要があり、ICサイズにも影響を与えています.

6. おわりに

「水晶を時間標準源とした電池で動く正確な時計」というのが、クオーツ時計に対する一般的な 理解ではないかと思いますが、どうやって動くのかを説明できる人はごく僅かでしょう。そして、 目に見えない電子回路の挙動についての説明は、さらに限られてくると思います。実際の制御は、 より複雑で奥深いものだと思いますが、水晶を振動させモーター駆動信号を出力するまでの間に、 電子回路がどんな仕事をしているか概略イメージするための、入門編として紹介させていただきま した。

参考文献

小口 昭,水晶腕時計の現状と展望,日本時計学会誌 No. 83 (1977年)

吉田裕彦,時計用振動子の現状と展望,日本時計学会誌 No. 83 (1977年)

蚊野利雄,西村巌彦,時計用 IC の現状と展望,日本時計学会誌 No. 83(1977年)

製品紹介

Feco-Drive RING I

斎藤明洋

シチズン時計株式会社

1. 「エコ・ドライブ」について

「エコ・ドライブ」とは、シチズンが世界に先駆けて開発した技術で、光を電気 エネルギーに変換して駆動する時計のしくみのことをいいます。この光発電駆 動技術は、光が当たることで電気を発生させるソーラーセルと、電気エネルギー を蓄える二次電池を用いて実現しています。(Fig.1)

エコ・ドライブの機能には、3つの価値が挙げられます。

a)社会的価値

無限にある「光」で発電する地球にやさしい「クリーンエネルギー」 の商品です。

b) 経済的価値

定期的な電池交換不要の時計なので、電池交換の手間やコストを 省きます。

c)心理的価値

止まることなく正確に時を刻み続けるので、「安心感」を提供します。

2. 「エコ・ドライブ」の新しい価値

エコ・ドライブは、開発当初のソーラセルがむき出しで短時間駆動の状態から、ムーブメント・文字板などの 技術向上により、ソーラセルが見えない、長時間駆動で止まらない時計となり、「エコ・ドライブだけども、それ と分からない普通の時計」まで発達してきました。(Fig.2)









ただ、これは機能的な価値は高いが、デザイン上では「エコ・ドライブ」は目に見えない、まるで「縁の下の カ持ち」のような存在でした。

そこで、エコ・ドライブのアイデンティティーを目に見える形で表現し、「エコ・ドライブらしい/エコ・ドライブで なければできない機能とデザインを融合させた価値を創造できないのか?」というさらに高い課題が浮かび あがってきました。

その1つの答えが今回紹介する「Eco-Drive RING」にあります。

3. 商品の特徴

「Eco-Drive RING」の最も大きな特徴は、文字板上面 からの光を取り込んで発電する従来の光発電時計の 常識を覆し、ケース外周部から光を取り込む方式を採 用したことです。(Fig.3)

しかし、ただ単に光の取り込み方法を変更しただけで はなく、「エコ・ドライブの本質を可視化する」をコンセプ トとして、技術的なポイントである側面から見られること を意識したデザイン要素を多く盛り込んでおります。





■ケースサイドからの彩光(ガラス窓外装)

モダン建築をモチーフとしたデザインで、ケース側面に配置されたリング状のソーラーセルを、コインエッジ 風の装飾で覆い、5枚のシリンドルサファイアガラスで包み込む構造です。今まではケースの中に隠されてき た受光構造を、デザイン要素のひとつとして取り入れました。(Fig.4)

また、裏蓋と一体となったラグも側面から光を取り込みやすくするために創り出された、必然から生まれた 造形で、くりぬかれたラグの内側まで丁寧に磨かれています。(Fig.5)



Fig.4



Fig.5

■立体アラビアインデックス(2,4,8,10時位置)

時を示すインデックスは、上から見るとスティック状であるものが、側面から眺めると、立体的なアラビア数字が姿を現します。(Fig.6)



Fig.6

■美錠

ケース、文字板同様にサイドビューを意識したデザインを採用。サイドから窓を 開けた中空形状で、このモデルの世界観をより一層際立たせています。(Fig.7)



■新しいムーブフェイズ(月齢)表現

Fig.7

月と地球の位置関係、光や影がもたらす月の形の変化を視覚化したデザインです。(Fig.8)

ディスクタイプの針には月を覆う影が描かれ、これが月をカバーすることで月の満ち欠けの形状を表現しています。クリアパーツの外周に表記された数字は月齢を表し、ディスクの丸い穴部分で数字を指し示しています。(Fig.9)



Fig.8



■クロコダイルバンド

本モデルのために、クロコダイルの原皮から染め上げたパールコーテン グ入りのブルーグレー色の厚仕立てのストラップに、極太のステッチを施し、 ケースにも負けない重厚感をもたせました。(Fig.10)

■多層文字板

金属とクリアパーツの組みあわせによる立体感と透明感を併せもった 美しい仕上がりとなっています。(Fig.11)



Fig.10



4. 発売情報

Fig.11

「Eco-Drive RING」は 2009 年の BASEL WORLD にて発表したコンセプトモデルをベースに量産化したモデ ルです。

発売は、2012年2月8日、世界限定250本、国内小売価格399,000円です。

5. プロモーション展開

この発売に合せて、2月10日発売の『Casa BRUTUS』の綴じ込み付録として「Real Scale Magazine」を発行 しました。「Eco-Drive RING」から連想される「光」・「リング」をテーマにした映像・デザインなどの話を盛り込み ながら、商品の紹介を行っています。(Fig.12)



Fig.12

また、『Casa BRUTUS』との連動企画による高感度インテリアショップ(5店舗)での期間限定展示・販売を実施し、デザイン価値と話題喚起を狙いました。

6. 反響と効果

①店頭告知や『Casa BRUTUS』との連動企画により国内市場では店頭に並ぶ状態がないまま、ほぼ完売状態となりました。

②新たな媒体・流通への進出により、いままでシチズンを意識/触れていない層へも発信することができました。

③シチズンの高い技術力、デザインカ、開発力のアピールを実現でき、高い宣伝効果が得られ、ブランド価 値の向上に大きく貢献しました。

- 7. 製品情報 (Fig.13)
 - ケース: ステンレススチール
 - 防水: 5気圧防水
 - 直径: φ44.4mm
 - 厚み: 15.8mm
 - ガラス: 両球面サファイア (内面無反射コート付き)
 - バンド: クロコダイル

機能: 光発電「エコ・ドライブ」(フル充電6ヶ月)
 ムーブフェイズ(6H部)
 日付表示(12H部)



Fig.13

8. まとめ

「クリストロン・ソーラセル」は、1976年にシチズン時計より発売された世界初のアナロ グ式太陽光発電時計です。(Fig.14)

当時、技術的な制約があったこともありますが、光発電駆動であることをアピールするために、あえてソーラーセルをむき出しにしています。

それは光発電駆動時計の黎明期のシンボル的デザインでした。

「Eco-Drive RING」は、世界初のアナログ式太陽光発電時計の発売から 36 年の時を 経て、機能をデザインで可視化するという原点に回帰したといえます。

しかも、単に光の取り込み方法を変更しただけではなく、機能とデザインが高次元で融合し、時計らしい上 品さをまとったエコ・ドライブの新しいシンボルになりました。



Fig.14

製品紹介

製品紹介

見やすい新レイアウトのフェイスデザインを採用

ワールドタイムの使い勝手を向上させた"OCEANUS MANTA"

高い機能性と優れた操作性を両立する「Smart Access」搭載

カシオ計算機株式会社



0CW-S2400

カシオ計算機は、ソーラー電波ウオッチ"OCEANUS(オシアナス)"の新製品として、スリムなスタイルと上質 感を追求したプレミアムライン"OCEANUS MANTA(オシアナスマンタ)"より、ワールドタイムの使い勝手を向 上させた**『OCW-S2400』**を9月 30日より随時発売します。

"OCEANUS"は、「Elegance, Technology」をコンセプトにしたフルメタルのソーラー電波ウオッチです。革新的 な技術が生み出す機能性の高さと洗練された優美なデザインが、好評を博しています。 **『OCW-S2400』**は、見やすさを追求した新レイアウトのフェイスと、高い機能性と優れた操作性を両立する 「Smart Access(スマートアクセス)」の採用により、ワールドタイムの使い勝手を大幅に向上させました。デュ アルタイム表示ではホームタイムとワールドタイム両方を同時に確認できるよう、ワールドタイムのインダイア ルを 12 時間表示とし、りゅうず横の 3 時側に大きく配しています。さらに、りゅうずの操作でホームタイムとロ ーカルタイムの都市設定ができるほか、ホームタイム・ローカルタイムの入れ替えをボタンのワンプッシュで 簡単に行えます。また、使用頻度を考慮し、モード/デイト表示、24 時間表示といったそれぞれのインダイア ルの大きさや位置を効率的にレイアウトしました。

文字板はブラックをベースに、陽の光を受けた大海原を表現した透明感のあるブルーをインダイアル部分や 都市コードリングに配しました。風防には両面無反射コーティングサファイアガラスを採用したほか、滑らかな 鏡面に仕上げるザラツ研磨を施したバンドやケースなど、細部にいたるまで上質感にこだわっています。

今回、白蝶貝を用いた文字板に、都市コードリングのピンクゴールドが際立つ上品で華やかな印象の 『OCW-S2400PG』も用意。両モデルともに、洗練された大人の男性にふさわしいモデルに仕上げています。

【主な仕様】

防水性 :10気圧防水

電波受信方法:自動受信(最大6回/1日、中国のみ最大5回/1日)、手動受信

JJY(日本);40kHz(福島局)/60kHz(九州局)、BPC(中国);68.5kHz

WWVB(アメリカ);60kHz、MSF(イギリス);60kHz、DCF77(ドイツ);77.5kHz

機能:ストップウオッチ(1/20秒計測、120分計、オートスタート機能)
 ワールドタイム(世界 29都市+UTC、サマータイム自動設定機能、ホームタイム/ワールドタイム入替機能)
 スの他の燃発、コッカートは、ゲー(日本)四日まニ、 創体器自動技工機能

その他の機能 フルオートカレンダー(日付・曜日表示)、針位置自動補正機能 バッテリー充電警告機能

使用電源 :タフソーラー(ソーラー充電システム)

連続駆動時間:パワーセービング状態※で約27ヶ月(フル充電時)

※暗所で一定時間が経過すると節電します。

- 大きさ : 47.6×42.6×11.7mm
- 重さ :約89g

【ラインアップ】

機種名	文字板	メーカー希望小売価格(税込)	発売日
OCW-S2400	ブラック	150,000 円(税込 157,500 円)	9月30日
OCW-S2400PG	白蝶貝	155,000 円(税込 162,750 円)	10月27日

詳細は、右記ホームページをご覧ください。 http://www.casio.co.jp/release/

製品紹介

機械式クロック

佐藤雄基

セイコークロック株式会社

1. はじめに

セイコークロック株式会社(本社:東京都江東区 代表取締役社長:久良木博史)は、クロックの最高 級ブランド 〈デコールセイコー)から"Japanese Modern"をコンセプトにした高品位の置時計2機種を、 2011 年 7 月に全国で発売いたしました。

今回の製品は、創業以来130年間に積み重ねてきた技術力の結集と今後の新たな飛躍の意志を込め、 ムーブメント自体を「和の精神」でデザインした造形美が最大の特長です。





AZ227S

AZ229S

●スケルトン機械式ムーブメントそのものがデザイン

ムーブメント本体で「和の精神」をデザイン、それぞれ日本文化や歴史の象徴ともいえる「サムラ イ」と「侘び」をキーコンセプトにしました。ムーブメントの製造および完成品組立を、日本国内で 行っています。

$\diamond AZ227S$

デザインコンセプト「サムライ=思考の時」

侍が陣地で威厳を保ちながら、策を練り、采配の決断を思考 している姿を表現。パワーリザーブは軍配を、香箱の彫りの文 様は甲冑を、また後部の地板は影武者をそれぞれイメージして います。



\bigcirc AZ229S

デザインコンセプト「侘び=緊張の時」

戦国時代に流行した文化の「茶道」に欠かせない要素である 「茶室」をモチーフに、ムーブメントが浮いているかのような 横配列で茶室の狭い空間でのもてなしや密談などの張りつめた 緊張感を表現しました。背面地板には枯山水を彷彿させる水の 流れ、庭園の風景をイメージしています。



●高精度ムーブメント

摩擦が少なく安定した角度で噛み合うことで精度や耐久性に 有利な歯車を開発、ゼンマイには定出力が得られる定荷重ばね を採用することで 30 日(1 ヶ月)巻きと日差±2 秒以内(*1)とい う高性能を実現しています。ゼンマイの残量を表示するパワー リザーブも搭載しました。

*1. 気温 10°C~30°C で使用した場合の精度



●製品仕様

品番	: AZ227S					
希望小売価格	:税込 2,467,500円(本体 2,350,000円)					
サイズ	:265×238×139mm(縦×横×奥行き)					
	置き台 21×29	00×210mm(縦×横×奥行き)				
重量	:本体約5.1kg	、置き台 950g				
材質	: ムーブメント	-黄銅、ステンレス				
	ケース	-黄銅、アルミ、ガラス、(正面のみ白板無反射加工カットガラス)				
	台	-木 (MDF)、黒色ウレタン塗装、研磨光沢仕上げ				
機械体	: 30 日巻き機械	式(16 石)、パワーリザーブつき				
精度	:日差±2秒以内	9(気温 10℃~30℃で使用した場合)				

品番	: AZ229S					
希望小売価格	: 税込 2,310,000	円(本体 2,200,000 円)				
サイズ	:224×217×103mm(縦×横×奥行き)					
	置き台 21×27	0×170mm(縦×横×奥行き)				
重量	:本体約4.3kg、	置き台 710g				
材質	: ムーブメント	-黄銅、ステンレス				
	ケース	-黄銅、アルミ、ガラス、(正面のみ白板無反射加工カットガラス)				
	台	-木(MDF)、黒色ウレタン塗装、研磨光沢仕上げ				
機械体	: 30 日巻き機械式	て(16 石)、パワーリザーブつき				
精度	:日差±2秒以内	(気温 10℃~30℃で使用した場合)				

製品紹介

Brooks Brothers in BASELWORLD 2012

伊壺 和俊

セイコーインスツル株式会社 ウオッチデザイン部

バーゼル市で開催される欧州最大の時計・宝飾の国際時計見本市 BASELWORLD. 今年も45ヶ国から、1800 社以上の出展社数を持って盛大に開催された.入場者数は2007 年より10万人越えを続けている.「Brooks Brothers」のデビューとともにフェアの傾向を振り返る.



<u>1. BASELWORLD 2012 のトレンド</u>

ここ数年トレンドは本質を追求する「Classic」に回帰していた.

2012 年もその潮流は変わら ず引き続き「Classic 傾向」. PATEK PHILIPPE は 1950 年代から続いているミュージア

年代から続いているミューシア ム・ピース「カラトラバ」に手 巻き新 Cal: 5123 を搭載.

CORUM もコレクション 「アドミラルズカップ」を トレンドに合わせ若干小さくし て展開.



Classic トレンドの象徴として 「ローマダイアル」が増加. 各ブランド独自のあしらいで ローマ数字を表現. ダイアルカラーとしては 「彩度を落としたブルー」にも 注目したい.

ジュネーブの伝統工芸:エナメ ル.複雑で希少で洗練された仕上 げが出来るアトリエでは注文に追 いつかないようだ.

「こうした技術を継承,存続させ るべくジュネーブ市は一刻も早く 学校を作れ」と言う声も聞かれて いる.

一方テクノロジーを誇示する素
 材や表面処理として、セラミック
 とブラック PVD(黒 IP)を用い
 た展開が多かった.

先駆者 RADO はプラズマ処理 により、明るい白や金属には無い 金色のハイテクセラミックを開発.

OMEGA はセラミックにゴー ルドを象嵌するセラゴールド. (*) PVD:金属の表面処理技術のひ



とつ. 英語で physical vapor deposition の頭文字を取った略称. 物理蒸着などの訳語があてられる. 従来のめっきや 塗装より耐久性に優れ, 切削器具, 半導体素子などのコーティングのほか, 腕時計のケースなどの硬化処理や装飾用に しばしば使われている.

<u>2. SII の独自ブランド「Brooks Brothers」</u>

8月10日に発売された

「Brooks Brothers」.

Classic であり,ファッショナブル. 実に Trendy なデビューを飾り,時計 は「ファッション」であることが Basel で発信できた SII の独自ブランド.

1818 年創業.200 年近い歴史を持つ 「クラシック・エレガンス」を 体現するブランド.

BBのファーストコレクションから 「**ラグジュアリー・コレクション」** Cal:NE78搭載/自動巻クロノ /デュアルカーブサファイアガラス /100m 防水.

メカクロノ搭載で「厚み」が出る課題 をどのように魅力的に処理するかを考 察.ケースサイドに張りを持たせメカ らしい量感のあるケースデザインにま とめた.

ブレスレットの装着感やラグのステ ッチ面,りゅうずなど,細部にも高級品らしいあしらいを施す. ダイアルには伝統的な「オーロラ パターン」にトレンドである「ローマインデックス」をあしらった.



ラッピング仕上げで質感も演出. デュアルカーブサファイアガラスに よって視認性も高めた.

裏蓋はシースルーケースバック. 回転錘には「Brooks Brothers」の 刻印入り.

「コアコレクション・ラウンド」

2 ref の投入. 税抜25万円

Cal: NE35 搭載 / 自動巻き
/ ボックス型ハードレックスガラス
/ 50m 防水.
普遍的な時計の価値観と
Brooks Brothers のクラシックな
世界観との融合.
ベゼルとケース,裏蓋までの立体的
な調和,シンプルなラグの表現を考察.

12h「ゴールデンフリース」を引き 立てる明快なダイアルデザイン.

裏蓋に伝統ある

「Brooks Brothers NEW YORK」 の刻印入り. 4 ref の投入. SS MB:税抜6万円. SS LB:税抜5万円.







「コアコレクション・レクタンギュラー」

Cal: NE35 搭載 / 自動巻き

- | カーブハードレックス
- / 50m 防水

普遍的な時計の価値観と Brooks Brothers のクラシックな世界観との 融合. クラシックを代表する「トノー」 見切りの考察. Brooks Brothers の角 型としてコレクションに華を添える.

トノーのコーナーとバンド幅, 3-9h の平面曲線とラグのポジションを「完 結」させたケースデザイン.

裏蓋に伝統ある

「Brooks Brothers NEW YORK」 の刻印入り.

同じく 4 ref の投入. SS MB:税抜6万円. PGP LB:5万5千円.

「クラシック」を今日的に解釈した モダンな「BLACK FLEECE」

トム・ブラウンを招聘して2007 年にデビュー.

クラシックなアメリカンスタイルに 「よりファッショナブル」な方向性を 加えた革新的なブランド.



「ブラックフリース・コレクション」 Cal:NE35搭載 / 自動巻き / デュアルカーブサファイアガラス / 100m 防水 ブラックフリースのためのスタディー. クラシックでありながらモダン・・. 現代的な「エッジを利かせた」 デザインがテーマ.

ブラックフリースの

「ブランド・タグ」を忠実に再現した 繊細な型打ちケースバック.

レザーバンドや12h略字のトリコロ ール使いで,ファッション性を アピール.

3 ref の投入. 全て税抜8万円. 「ブランド・タグ」をモチーフとした 繊細な型打ちダイアルに,強いバー インデックス.

12h トリコロール略字がオリジナリ ティーを演出する.



お問い合わせは SII ウオッチお客様相談室 TEL: 0120-181-671 営業時間: 9:00~12:00/13:00~17:00(月~金)(※ 祝祭日・年末年始・夏季休暇等は除く)

会報

一般社団法人 日本時計学会 2012 年4月度 理事会議事

(記録:竹中雅人 2012年5月2日)

- 1. 開催日時: 2012 年 4 月 20 日 (金) 16:00-17:30
- 2. 場所:中央大学理工学部(後楽園キャンパス)新2号館7階2735室
- 3.出席者:<理事>佐々木,中島,窪田,足立,久保田,楢林,増田,岩倉,竹中(以上9名)
 <監事>勢〆,日野(以上2名), 理事総数14名の過半数に付き理事会成立
 <運営委員>吉澤,渡辺,後藤,小池,今村,渡井(以上6名)

4. 審議事項

(1) 出版編集関係(別紙資料配付: 楢林理事説明)

(2) 企画委員会検討課題

- 2-1) 定款(「法人会員の正会員」の扱い等)について
- 2-2)編集校閲委員会の体制見直しについて
- (3)研究会報告(吉澤委員より報告)
- (4) 青木賞表彰委員会
- (5) 見学会(別紙資料配付:渡辺委員説明)
- (6) 新入会員の承認
- (7) 議事録名人選出
- (8) 監事の交代について
- (9) 次回理事会

・6月1日(金)17:30-18:30 中央大学理工学部(後楽園キャンパス)新2号館7階2735室

- 5. 報告事項等
- (1) 会員の状況(4月20日承認後)
- (2) 平成 24 (2012) 年 2 月度理事会議事録配付
- (3) その他
 - a) 第10回新機械振興賞の募集案内
 - b)時計学会理事運営委員の名刺作成

一般社団法人 日本時計学会 2012 年 6 月度 理事会議事

(記録:竹中雅人 2012年6月12日)

- **1. 開催日時**: 2012 年 6 月 1 日 (金) 17:30-18:45
- 2. 場所:中央大学理工学部 (後楽園キャンパス) 新2号館7階2735号室
- 3. 出席者: <理事> 佐々木, 中島, 吉村靖, 足立, 梅田, 大隅, 大谷, 増田, 楢林, 岩倉, 竹中(以上 11 名) 理事総数 14 名の過半数に付き理事会成立

〈運営委員〉土肥,後藤,小池,重城,今村(以上5名) 〈監事候補〉佐藤(以上1名)

4. 審議事項

(1) 監事候補,新任運営委員について

a) 監事候補の推薦

- b)新任運営委員の推薦
- (2) 出版編集関係(別紙資料配付: 楢林理事説明)

(3) 企画委員会検討課題について

a)学術講演会について

- (4) 2012 見学会報告(岩倉理事より報告)
- (5) 青木賞について
- (6) 新入会員の承認
- (7) 議事録署名人選出
- (8) 次回理事会開催日

2012年9月7日(金)学術講演会と同日開催,中央大学後楽園キャンパス,青木賞授賞式実施

- 5. 報告事項
- (1) 会員数状況(2012 年 5 月 31 日現在 → 6 月 1 日承認後)
- (2) 平成 24 (2012) 年 4 月度理事会議事録配付
- (3) その他
 - a) 4月度会員状況の訂正

一般社団法人 日本時計学会 2012 年 9 月度 理事会議事

(記録:竹中雅人 2012年9月21日)

- **1. 開催日時**: 2012 年 9 月 7 日 (金) 12:40-13:30
- 2. 場所:中央大学理工学部 (後楽園キャンパス) 5 号館 5236 号室

3.出席者: <理事> 佐々木, 中島, 吉村靖, 窪田, 足立, 大隅, 大谷, 木村, 増田, 楢林, 岩倉, 竹中(以上 12 名)
 理事総数 14 名の過半数に付き理事会成立

〈運営委員〉土肥,後藤,吉澤,渡辺,今村,小池,重城(以上7名)〈監事・監事候補〉(0名)

4. 審議事項

- (1) 出版編集関係(別紙資料配付: 楢林理事説明)
- (2) 企画委員会検討課題について

次回の学術講演会 特別講演の候補について

- (3) 2012年 見学会報告(別紙資料配布:渡辺委員報告)
- (4) 第46回青木賞の選考(別紙資料配布:大谷理事説明)
- (5) 2012 秋季研究会について(重城委員説明)

秋季研究会スケジュールを 2012 年 11 月 9 日 (金) より 11 月 16 日 (金) へ変更

- (6) 新入会員の承認
- (7) 議事録署名人選出
- (8) 次回理事会開催日

2012年11月16日(金) 秋季研究会後、中央大学後楽園キャンパス

- 5. 報告事項
- (1) 会員数状況(2012 年 9 月 6 日現在 → 9 月 7 日承認後)
- (2) 平成 24 (2012) 年 6 月度理事会議事録配付
- (3) その他

以上

第46回 青木賞表彰委員会報告

第46回青木賞選考は、マイクロメカトロニクス Vol. 54, No202-No. 203 及び Vol. 55, No. 204-205 に掲載された研究論文8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8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3編の論文を査読し、その評価を集計し数値化した.二次審査は、表彰委員による第1回の表彰委員会を開催し、一次審査の結果を基に議論し、 二次審査対象論文3編を決定した.

この3編の論文を,表彰委員5名全員が査読し,その評価を一次審査と同様に集計し数値化した. この結果を基に,第2回表彰委員会を開催し議論した結果,最高点の評価を得た下記の論文を第 46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 理事運営委員会で報告し、下記の論文が第46回青木賞表彰論文に決定した.

第46回青木賞表彰論文: ナノインプリント技術を用いた微細光学素子の作成と液晶光学素子への応用,マイクロメカトロニクス, Vol. 55, No. 204, pp. 8-14 (2011)

執筆者:橋本信幸,齋藤友香,栗原 誠 所属:シチズンホールディングス株式会社 推薦理由:独創性」,「有用性(貢献度)」,「困難性(努力度)」という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,独創性に対して, 表彰委員全員からA評価を得ただけでなく,有用性,困難性という項目においても,高い評価を 得た.

第46回青木賞の受賞式は、2012年9月7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 重城)

2012年度 マイクロメカトロニクス学術講演会

- 主 催:一般社団法人 日本時計学会
- 協 替: (一社) エレクトロニクス実装学会, (公社)応用物理学会, (公社)計測自動制御学会, (公社)精密工学会, (一社)電気 学会,

(一社)電子情報通信学会,(公社)日本磁気学会,(一社)日本機械学会,(公社)日本設計工学会,(一社)日本ロボット学会

期	日:2012年9月7日(会	金)	学術講演会		10:00)~15 :	00
			製品紹介セン	ッション	15:20)~1 6:	35
			特別講演		17:00)~18 :	00
			懇親会		18:20)~19 :	50
~	坦,山山十受理工受实达全	5旦欱	F022旦安	5 0 0 <i>1</i> 4	三安 (洛海	「周七」い	(N7)

- 会 場:中央大学理工学部校舎 5号館 5233号室,5234号室(後楽園キャンパス) 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27
- 交通:東京メトロ丸の内線・南北線「後楽園」駅下車徒歩3分, 都営三田線・大江戸線「春日」駅下
 車徒歩5分, JR 中央線(総武線直通各駅停車)「水道橋」駅下車徒歩12分
- 参加費:学術講演会(製品紹介,特別講演含):

正会員 1,000 円 非会員 2,000 円 学生 1,000 円 (いずれも予稿集代含)

(会員は個人会員に限ります。協賛学会員は正会員価格です。)

懇親会: 2,000円

マイクロメカトロニクス講演会 プログラム

講演番号 時間 講演題目

第1セッション(10:00~11:20)

A 室(5233号室) 司会 渡辺 滋(シチズン時計)

A-1. 10:00-10:20 CFRP 製スマートフォン用筐体の試作

東京高専 木村 南

- A-2. 10:20-10:40 重心移動機構を備えたツインロータ式小型へリコプタの試作 東京高専 〇多羅尾進、及川峻尚
- A-3. 10:40-11:00 チタンの陽極酸化を用いた時計用回転錘の開発 セイコーインスツル ○石蔵明子,新輪 隆
- A-4. 11:00- 11:20 レーザー共焦点顕微鏡用液晶収差補正素子の開発 シチズンホールディングス ○田辺綾乃,横山正史,松本健志,栗原誠,橋本信幸 北大 日比輝正,一本嶋佐理,根本知己
- B室(5234号室) 司会 増田純夫(横浜国大)
- B-1. 10:00- 10:20 油圧式変位拡大機構を用いた位置決め装置の開発

東京高専 〇福山 拓也,堤 博貴

- B-2. 10:20- 10:40 歯型梁を用いたL字型マイクロ接合機構 中央大学 〇阿部高明,野口智昭,土肥徹次
- B-3. 10:40-11:00 精密位置決め用複合板ばね機構について 東京高専 〇志村 穣. 小堀敏男 吉村靖夫
- B-4. 11:00- 11:20 インチワーム式ピエゾステージの開発 東京高専 ○村井 優,堤 博貴
- 11:20-11:40 休 憩

第2セッション(11:40~12:40)

A 室 司会 木村 南(東京高専)

- A-5. 11:40-12:00 ディジタル直交検波による電波時計受信回路におけるTADの非直線性に関
- する考察

横浜国立大学	平埜智也,	○増田純夫,	足立武彦	デンソー	渡辺 高 元
--------	-------	--------	------	------	---------------

- A-6. 12:00-12:20 標準電波の多重情報通信への拡張と TAD ディジタル直交検波の応用 横浜国立大学 〇平埜智也,増田純夫,足立武彦 デンソー 渡辺高元,寺澤智仁
- A-7. 12:20-12:40 アナログトリプルセンサー電波ソーラーの開発 カシオ計算機 常葉輝久

B室 司会 楢林達雄(東海大)

B-5.	11:40-12:00	ねじの適正締め付け力計測のためのフレキシブル3軸力センサの研究						
		中央大学 C)伊豆自由,	佐藤拓郎,	土肥征	散次		
В−6.	12:00-12:20	負荷機構を有する水晶子式力センサの基礎的研究						
		東京高専 C	東京高専 〇福山聖也,堤 博貴					
B−7.	12:20-12:40	スクレーピ	ング加工に	こおける	加工力	測定		
		東京高専 C)藤本舜太朗,	,堤博	貴			
	12:40-13:35	休		憩				
	13:35-13:40	青	木賞授	賞 式				
第3七	zッション(13:40~15	00) 司会	後藤義典	(リズム	時計)			
A-11.	13:40-14:00	Bluetooth4	 .0 搭載デジ 	ジタル時	計の関	昇発		
		カシオ計算機	善中川 誠					
A-12.	14:00-14:20	「エコ・ド	ライブ リ	リング」	の開発	č,		
		シチズン時計	シチズン時計 菅野雄大					
A-13.	14:20-14:40	アクティブマトリクスEPDウォッチの開発						
		セイコーエプソン 〇村山 哲朗, 小越 剛, 関 重彰						
A-14.	14:40-15:00	時計からからくり人形への技術の伝播						
		東芝科学館	河本 信雄					
	15:00-15:20	休		憩				
時計費	製品紹介セッション(1	5:20-16:35)	司会 4	〉村美由約	紀 (セイコ・	ークロック)	
1.	15:20-15:35	セイコーク	ロック(彬	朱)	佐藤	雄基	氏	
2.	15:35-15:50	カシオ計算	機(株)		末竹	敦子	氏	
3.	15:50-16:05	セイコーイ	ンスツル	(株)	伊壺	和俊	氏	
4.	16:05-16:20	シチズン時	計(株)		齋藤	明洋	氏	
5.	16:20-16:35	セイコーウ	オッチ(梣	朱)	千田	淳司	氏	
	16:35-17:00	休		憩				

特別講演(17:00-18:00) 司会: 中島悦郎 (カシオ計算機)

17:00-18:00 2012 年 S.I.H.H とバーゼルワールド報告 講師 クロノス 広田雅将 氏 懇親会

18:20-19:50 理工学部 5 号館地下 1 階 生協食堂

講演募集

日本時計学会では毎年9月に学術講演会を開催しております.会誌発行が年2回のため適切な時期に講 演の会告ができず,これまでは小範囲の方だけにお知らせて募集してまいりました.今後は常時講演募集 を致しますので,研究発表を希望される方は下記へお申し込みまたはお問い合わせください.

〒112·8551 東京都文京区春日 1·13·27 中央大学理工学部 精密機械工学科 大隅 久 Tel:03·3817·1824 Fax:03·3817·1820 E-mail Address:osumi@mech.chuo-u.ac.jp

編集後記

4年前のリーマンショック以来、円高、東日本大震災、タイの洪水などがあり、欧米の 回復もさして望めずさらに円高状態と日本企業の悩みは絶えません。また近隣国との関係 にも不安を感じます。文化・経済には大きな影響がないことを願うばかりです。そんな折 ノーベル賞のニュースはいつにもまして明るく感じました。東アジア勢発展の話題の多い 中、基礎研究分野での日本の頑張りを見ました。

9月の学術講演会では時計専門雑誌主筆者による「バーゼルワールド報告」の特別講演 を開催しました。従来の学会誌での各社レポートとは異なった観点での貴重なご意見を拝 聴いたしました。さて、日本時計学会では学会誌に「連載」ものを新たに設けるなどいろ いろな企画を考えております。今後も多くの皆様からのご投稿、講演会発表のお申し込み、 ご意見をお待ちしております。

(岩倉 良樹 記)

複写される方に

本誌に掲載された著作物を複写したい方は、(社)日本複写権センターと包括複写許諾契約を締結されてい る企業の方でない限り、著作権者から複写権等の行使の委託を受けている次の団体から許諾を受けて下さ い.

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル (中法)学術著作権協会

Tel: 03-3475-5618 Fax: 03-3475-5619 E-mail: jaacc@mtd.biglobe.ne.jp 著作物の転載・翻訳のような複写以外の許諾は,直接本会へご連絡下さい.

日本時計学会誌「マイクロメカトロニクス」 Vol.56, No. 207 2012 年 12 月 10 日 発行

 印刷所 ニッセイエブロ株式会社 Tel: 03-5733-5151 〒105-0004 東京都港区新橋 5-20-4
 学会事務局 三浦 敦子 〒102-0073 東京都千代田区九段北 1-9-5 朝日九段マンション 902 Tel: 03-3288-5160 Fax: 03-3288-5175 E-mail: tokei@hij-n.com
 ホームページ http://www.hij-n.com