

研究論文

時計用 AO-オイル添加剤の高耐久性を活かした 環境対応型 “AO-工業油” の開発

赤尾 祐司, 乾 純

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

(2023年9月19日受付, 2024年4月4日再受付, 2024年4月12日採録)

Development of Eco-friendly "AO-Industrial Oil" Using AO-Oil Stabilizing Additives

Yuji AKAO, Jun INUI

Citizen Watch Co., Ltd., 6-1-12, Tanashi-cho, Nishi-Tokyo-shi, Tokyo 188-8511, Japan

(Received September 19, 2023, Revised April 4, 2024, Accepted April 12, 2024)

ABSTRACT

This industrial oil is based on "AO-oil," the stabilization technology of watch lubricating oil. The plant-derived hydrocarbon is applied to this industrial oil instead of the synthetic hydrocarbon PAO. The plant-derived substance is also adopted to the functional additives which are necessary to industrial oil. Cyclic regeneration is enabled by combining the adsorption and distillation process. 95% of this "AO-industrial oil" is composed of the base oil. At least 3.1 kg of CO₂ is absorbed to produce 1 kg of plant-derived hydrocarbon base oil. On the other hand, about 2.7 kg of CO₂ is generated for the synthesis, storage and transportation of the oil. As a result, -0.35kg of CO₂ can be accumulated since the amount of CO₂ absorbed to produce 1kg of base oil exceeds it generated in the production sequences. Therefore, a greater environmental effect can be expected by cyclic regeneration of this plant-derived AO-industrial oil.

1. はじめに

シチズン時計株式会社では、時計を長期間メンテナンスすることなしに動作することのできる時計用潤滑油 (AO-オイル) の開発を行った。第1世代の潤滑油は、粘度の温度依存性が小さいため動作可能な温度範囲が広い他、金属腐食性も低く、炭化水素系の基油を採用しているので樹脂製の部品との相互作用が少なく、対応部品の範囲が広いといった特徴を有したものであった¹⁾。また、第2世代の潤滑油は、潤滑性能向上を目的とし、添加剤の機能部位を1つの分子内に2つ有する分子構造にするなど添加剤の機能向上を実現する為に構造と種類の最適化を行ったものであった²⁾(本稿ではこの第2世代の潤滑油を新型 AO-オイルと表記する)。新型 AO-オイルでは、構成成分の分子を守る機能が付加された。分子を守る添加剤が存在すると潤滑油の寿命が延び高耐

久性を付与することができる。油膜を形成する分子が壊れにくいことから初期の油と比較して摩耗量は摩耗痕径で比較すると約 20%減少した。

一方で近年、社会では地球温暖化の進行を抑制する為に温室効果ガスの排出量を低減することを提案³⁾している。例えば、SDGs (No.13 気候変動に具体的な対策を)⁴⁾、カーボンニュートラル^{5,6)}、サーキュラーエコノミー⁷⁾といった活動が提唱されており、シチズン時計株式会社においてもこの取り組みを行っている⁸⁾。

本報告では、新型 AO-オイルの分子を守り高耐久性を実現する添加剤を用いて作製した工業油の特性について報告する。また、得られた工業油の循環再生方法と、環境負荷特性についても報告する。

2. 植物由来機能添加剤を含有した工業油の検討

2. 1 工業油の構成と油膜強度

2. 1. 1 設計思想

一般に市販されている工業油の構成は、基油と機能添加剤とからなる。工業油の基油は、時計用潤滑油に採用されている合成基油とは異なり、一般に鉱油が用いられている。この為、時計用潤滑油と比較して安価である。

時計用潤滑油 AO-オイルは基油に炭化水素系の PAO (ポリアルファオレフィン) を用い、これに添加剤を加えて構成されている。鉱油と PAO は共通して炭化水素系の基油であることから、安定性に係る添加剤を工業油に適用すれば、AO-オイルと似た特性を有する油を作製することができると考えられる。

AO-オイルと AO-工業油の構成を Fig. 1 に示す。AO-オイルでは、基油に合成油(PAO)を用いた。工業油では鉱油を用いる。AO-オイルの添加剤は鉱油の安定化剤として活用することとし、鉱油と組み合わせて工業油の基油と考えた。

工業油とするには、大型機械の摺動や、切削加工等に適合する機能添加剤を改めて添加する必要がある。言い換えると、鉱油でできている AO-オイルを基油として、これに機能添加剤を加えるということが、提案の工業

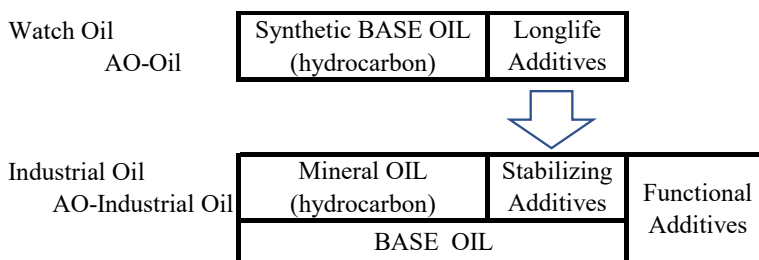


Fig. 1 Composition of watch lubricating oil (AO-Oil) and AO-Industrial Oil.

油の設計思想である。

2. 1. 2 基油

工業油の基油は原油から精製処理された鉱油が使用される⁹⁾。原油から基油を得るまでのプロセスを Fig. 2 に示す。基油を得るためには、まず原油を常圧で蒸留を行う。この時、留点に応じてガス、ガソリン・ナフサ、灯油、軽油に分けられる。残分は重油となる。基油は重油に含まれるため、潤滑油成分を抽出し、蠟分を取り除くなどして減圧蒸留を行い目的の潤滑油基油を得る。



Fig. 2 Outline of the process from crude oil to extraction of lubricating base oil.

工業油は目的に応じて適合する粘度が異なる。これにともない工業油には目安となる粘度が設定されている。潤滑油基油は、蒸留精製過程で、粘度グレードを目安に分離されたものが基油として生産されている。工業油の ISO 粘度の場合は次のように定義されている。基油の粘度は、2 から 3200 mm²/s の範囲で、1 から 10, 10 から 100, 100 から 10000, 10000 から 100000 mm²/s を対数グラフで 6 等分した時の粘度を基準の粘度として、範囲は±10%と定めている。また、この時の測定温度は 40°C としている（日本産業規格 K2001-1993）。ISO 粘度を Table 1 にまとめる。

Table 1 ISO viscosity grade (Industrial lubricating oil).

Grade No.	Viscosity mm ² /s (40°C)			GradeNo.	Viscosity mm ² /s (40°C)		
	ISO VG	minimum	midpoint		maximum	ISO VG	minimum
2	1.98	2.20	2.42	100	90	100	110
3	2.88	3.20	3.52	150	135	150	165
5	4.14	4.60	5.06	220	198	220	242
7	6.12	6.80	7.48	320	288	320	352
10	9.00	10.0	11.0	460	414	460	506
15	13.5	15.0	16.5	680	612	680	748
22	19.8	22.0	24.2	1000	900	1000	1100
32	28.8	32.0	35.2	1500	1350	1500	1650
46	41.4	46.0	50.6	2200	1980	2200	2420
68	61.2	68.0	74.8	3200	2880	3200	3520

工業油は目的に見合った最適な粘度がある。例えば機械油（摺動面）に適合する粘度は、ISO VG32 から ISO VG68 が主に用いられる。また、切削油の場合は、ISO VG10 から ISO VG32 が主に用いられる。この様に、基油は用途に応じて選定される。

本開発では、主に40°Cの粘度が、10, 32, 68 mm²/s 付近の3種類の基油を使用することとした。基油は、原油や蒸留設備などによって異なるため一定の粘度の幅を持つ。例えば潤滑油基油の製品粘度を Table 2 に示す。実験では、表中の最上段の基油(NT)を使用した。

Table 2 Various base oils with kinematic viscosities around 10/32/68 mm²/s @40°C

around 10 mm ² /s @40°C			around 32 mm ² /s @40°C			around 68 mm ² /s @40°C		
	kinematic viscosity (mm ² /s)			kinematic viscosity (mm ² /s)			kinematic viscosity (mm ² /s)	
Base Oil	40°C	100°C	Base Oil	40°C	100°C	Base Oil	40°C	100°C
NT	9.6	2.6	NT	28.5	5.0	NT	74.0	9.3
M	10.5	2.7	M	28.3	5.0	M	71.0	8.9
K	9.5	2.6	K	28.8	5.0	K	75.2	9.3
			B	26.3	4.8	B	68.1	8.8

2. 1. 3 機能添加剤

油膜を形成する為の添加剤は、油性剤¹⁰⁾、耐摩耗剤¹¹⁾、極圧添加剤¹²⁾などと呼ばれる。更にそれぞれの開発も進められている。工業油の場合、時計用潤滑剤よりも高压に耐える添加剤が必要である。これに対応する機能添加剤としては、例えばリン系、塩素系、硫黄系が知られている¹³⁾。ハロゲン系である塩素系の添加剤は、廃油として焼却処理することを考えると好ましくない¹⁴⁾。リン系と硫黄系を比較すると硫黄系の方が強度の高い油膜が得られることから、本開発では硫黄系の添加剤を用いることとした。また、硫黄系の添加剤としては石油由来のオレフィン系とせず植物由来の材料を用いることとした。添加剤の仕様を Table 3 に示す。硫黄の総添加量はそれぞれ約 11%、約 15%となり Vegetable2 の方が硫黄の総添加量は大きかった。

Table 3 Property table of plant-derived functional additives.

	Total Sulfur mass%	Density 15°C g/cm ³	Kinematic Viscosity 40°C mm ² /s	Kinematic Viscosity 100°C mm ² /s	Pour Point °C	Flash Point °C
Vegetable1	11.3	0.984	91	1000	5	228
Vegetable2	14.5	0.980	-	34	0	176

2. 1. 4 油膜強度

一般に精密加工を前提とした場合、機械油に求められる油膜強度は、おおよそ 160 kgf から 200 kgf である。また、切削油の場合は、おおよそ 250 kgf 以上が好ましい。油膜強度はシェル 4 球試験 WL(EP) ASTM D2783 で測定できる。この方法は、金属表面同士の接触圧力が大きい場合に、金属同士の接触をどの程度の圧力まで防止できるかの油膜強度を測定するのに有効な方法である。具体的には、4 つの鋼球をピラミッド状に重ね、下の 3 球を固定しておき、上部の 1 球を回転させながら荷重をかけ融着する荷重を測定することで油膜の強さを計測するものである。

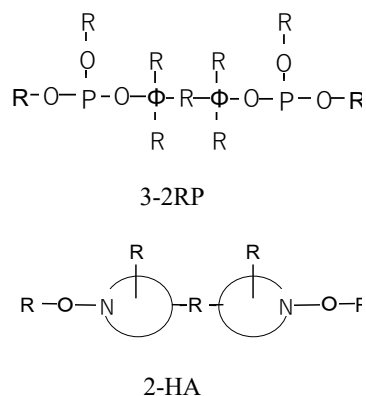


Fig. 3 Stabilizing additives.

2. 2 工業油の試作

工業油の基油としては、鉱油として、Table 2 に示した上段の NT を使用した。AO-安定化剤としては、Fig. 3 に示した新型 AO-オイルで使用しているバイファンクショナルな亜リン酸エステル (3-2PR)，酸化防止剤 (2-HA) およびフェノール系酸化防止剤を加えた。図中 R はアルキル基誘導体，Φ は芳香族誘導体を示す。

機能添加剤は、Table 3 に示した Vegetable1 および Vegetable2 を用いた。

作成方法としては、鉱油を測り取り、これに安定剤を加えて工業油用基油を作製する。次に、機能添加剤を加え、常温で 30 分攪拌して添加剤成分が溶解していることを確認して工業油を得ることができる。

2. 3 工業油の物性と考察

作成した工業油の組成と、油膜強度の関係を Table 4 に示す。鉱油 NT に安定化剤を 0.7wt% 含有した基油に、機能添加剤 Vegetable1 を 1, 4, 7wt% を加えた結果に着目する。添加量が増加すると油膜強度が 160 kgf, 250 kgf, 400 kgf と上昇している。これは、機能添加剤濃度が上昇したことで、添加剤が、金属表面と接触するチャンスが増加し、油膜が形成しやすくなったためと考

Table 4 Relationship between concentration of functional additives and EP value.

Mineral Oil (BL)	Stabilizing Additives (wt%)	Functional Additives (wt%)		EP (kgf)
		Vegetable1	Vegetable2	
NT around 10 mm ² /s @40°C	0.7	Vegetable1	1	160
			4	250
			7	400
		Vegetable2	1	160
			4	315
			7	620

えられる。また、Vegetable1 と Vegetable2 を比較すると Vegetable2 の方が同じ濃度でも油膜強度が、同等以上になっている。このことから、硫黄濃度が高く極性が高い方が、より金属と結合しやすく同濃度であっても効率よく油膜を形成できることが解った。ここで、極性とは、原子の持つ電気陰性度の違いと分子構造により分子内で電子の偏りが起こっている状態を指す。以上のことから、植物由来の機能添加剤の濃度と極性を調整することで目的に応じた工業油の油膜を形成できることが解った。

精密機械加工で使用される代表的な機械油と切削油と、開発した工業油との比較表を Table 5(A)に示す。この結果、油膜強度、物性共に仕様を満たす精密加工用工業油が得られた。

Table 5 Characteristics table of various industrial oils.

category	category	name	Density @15°C g/cm ³	Flash Point °C	Kinematic Viscosity @40°C mm ² /s	T.A.N. mgKOH/g	Copper corrosion	EP kgf
(A): Comparison of developed oil and commercial product.	Machine oil	Vegetable2-1	0.872	202	28.6	0.03	1a	250
		Vegetable2-4	0.875	194	30.2	0.03	1b	250
		Vegetable1-4	0.877	204	36.1	0.01	1b	250
		product E	0.873	228	32.0	0.16	1b	160
		product I	0.868	226	33.2	0.14	1a	200
	product M	0.872	222	31.0	2.50	1a	160	
	Cutting oil	Vegetable2-7	0.857	168	11.5	0.04	1a	620
		Vegetable1-7	0.857	180	12.8	0.04	1a	400
		product I	0.866	170	8.5	0.04	1a	160
		product Y	0.872	178	11.6	1.61	1a	250
product E		0.873	226	28.3	0.20	1b	315	
(B): Comparison of developed oil and recycled oil.	Machine oil	development oil	0.876	218	33.4	0.01	1a	200
		recycled oil	0.874	202	33.0	0.01	1a	200
(C): Characteristics table of plant-derived AO-industrial oil.	Cutting oil	SN4-Vegetable1-7	0.829	222	24.1	0.05	1a	315
		SN4-Vegetable2-7	0.828	214	22.3	0.05	1a	500
	Machine oil	SN9-Vegetable2-4	0.838	238	57.3	0.03	1a	315
(D): Comparison of physical properties before and after recycle oil (plant-derived oil).	SN4-Vegetable2-4	initial	0.825	220	21.2	0.03	1a	250
		recycled	0.825	220	21.2	0.04	1a	315

3. AO-安定化剤を活用した循環再生方法の検討

工業油は地球環境を考慮して廃油の処理について様々な検討が行われてきた。2006年の文献には塩素系の添加剤を含有した廃油の課題について紹介されている¹⁵⁾。塩素化パラフィンを含有する廃油を燃料とするとダイオキシンの発生や焼却炉を破損する課題がある。切削油製造会社に於いては、性能・コスト両面に優れた添加剤である塩素化パラフィンを使用しない環境配慮型の切削油を開発するに至った¹⁶⁾。こうして無駄なく、廃油を効率的に回収し、再生重油として燃料化することができるようになった。

2019年には、使用済み潤滑油（廃油）の73万kLのうち、50～60万kLが燃料としてリサイクルされるようになった¹⁷⁾。この廃油による温室効果ガスCO₂排出量は約162万トンにも及ぶ¹⁸⁾。温室効果ガスの発生を抑制する為に例えば、廃油になる前の潤滑油の粘度を下げ、摺動抵抗を下げ、燃費を向上¹⁹⁾させてハイブリッド車に適合させるなど²⁰⁾の対応も考案されてきた。

しかし、最も効果的な方法は廃油を発生させないことである。現状では廃油から基油を再生する本格的な潤滑油への水平リサイクルは国内では行われていない²¹⁾。2019年の再生基油を原料として製造された潤滑油の量は0となっている²²⁾。この環境の中で、廃潤滑油の実態把握から再生技術の確立を目指す企業も現れた²³⁾。一般工業油の廃油は、基油と添加剤の分解物と残留分など、様々な分子が混ざり合いこれを再生することは非常に難しい。これを再生するには、水素化精製などの化学処理を伴う大型の特別な再生装置が必要となる。この為再生が進まなかったのも理解できる。

一方、潤滑油を長く使用するという考え方もある²⁴⁾。この考えは、“油の管理は機械を守ることにあるわけだから、その為には潤滑油を守る必要がある”といったものである。これを実現する方法は使用中の潤滑油を浄化し、更に消耗した添加剤を添加するなどして維持しようというものである。

以上の様に、工業油は原料に使用する原油由来の鉱油を使用している。これを廃油にすると燃料としてリサイクル活用されることで温室効果ガスの発生につながってしまうことになる。以上のことからAO-工業油では循環再生することを考えた。

AO-工業油の基油は、Fig. 1にあるように安定化剤が含まれる基油であり、機能添加剤が存在していて、基油に負担がかかりにくい状態では、基油はほぼ安定に存在すると考えられる。工業油を使用することで優先的に消費されるのは金属と優先的に作用する機能添加剤である。基油は、工業油全体のおおよそ90%以上含有している。機能添加剤を使い尽くす前に交換すれば、機能添加剤の一部が消費されただけで、残りの成分は継続使用することが期待できる。

3. 1 添加剤の除去

ここで構成している成分を考えると、AO-工業油は、鉱油と AO-安定化剤とかなる基油と、機能添加剤とからできている。機能添加剤は、金属表面に油膜を形成する役割を有する為に極性を有している。一般には硫黄系の添加剤が加工油等ではよく用いられる。硫黄系の添加剤は、金属表面に吸着して例えば摺動面では、金属同士が直接触れないように油膜が金属同士の直接接触を防ぎ、摩耗を防止している。

鉱油や PAO の様な炭化水素系の化合物は無極性である。これに対して、硫黄系の機能添加剤は極性を有する。無極性の油から、極性のある分子を除去するにあたっては、吸着剤を用いて除去することができる。

3. 1. 1 吸着剤

吸着処理に用いる吸着剤としては、例えば白土が知られている²⁵⁾。白土には、酸性白土²⁶⁾、活性白土²⁷⁾がある。酸性白土は、シリカアルミナシリカの三層構造を有するモンモリロナイト系粘土鉱物と可溶性ケイ酸とを主成分とする粘土である。活性白土は、天然に産出する酸性白土（モンモリロナイト系粘土）を硫酸などの鉱酸で処理して得られ、大きい比表面積と吸着能とを有する多孔質構造を有する化合物である。この他、シリカマグネシア系製剤²⁸⁾は、シリカ成分とマグネシア成分とを含有している。シリカマグネシア系製剤では、シリカ成分層がマグネシア成分層をサンドイッチした三層構造部分をシリカの微粒子からなるマトリックス相が包含した状態を形成している。吸着剤は、極性基を有する物質を選択的に吸着することができる。

処理方法としては、使用後の油の中に吸着剤を入れ、一定時間攪拌する。この時、極性分子が吸着剤に吸着する。吸着が完了後、吸着剤を遠心分離や、ろ過して取り除くことで、吸着処理による再生油を得ることができる。

・活性白土と酸性白土との比較

酸性白土と活性白土を用意した。機能添加剤として硫化ラードを使用した AO-工業油を作製した。この工業油の硫黄濃度を ICP（高周波誘導結合プラズマ）発光分析法で測定した結果 0.69mass%であった。これに白土を 30wt%加え 5 分間攪拌した。その後、遠心分離機で白土を沈降させ、上澄み液を回収した。回収した上澄み液の硫黄濃度を ICP 発光分析法で測定したところ、酸性白土は、0.59mass%、活性白土は、0.46mass%であった。吸着処理によって減量した硫黄分は酸性白土が 0.10mass%にあるのに対し、活性白土は 0.23mass%と、2.3 倍も効果が大きいことが解った。これは、活性白土の有するマイクロポアによって表面積が増え吸着能力が増大したためと考えられる。

・活性白土とシリカマグネシア系製剤との比較

活性白土とシリカマグネシア系製剤を用意した。機能添加剤として硫化ラードを使用した AO-工業油を作製した。この工業油の硫黄濃度を ICP で測定した結果 0.74mass%であった。これに活

性白土または、シリカマグネシア製剤を 10wt%加え 5 分間攪拌した。その後、遠心分離機で白土を沈降させ、上澄み液を回収した。回収した上澄み液の硫黄濃度を ICP で測定したところ、活性白土は、0.63mass%、シリカマグネシア製剤は、0.61mass%であった。吸着処理によって減量した硫黄分は活性白土が 0.11mass%にあるのに対し、シリカマグネシア製剤は 0.13mass%と、20%程度効果が大きいもののほぼ同等の性能であることが解った。

以上の結果、酸性白土・活性白土・シリカマグネシア製剤を吸着剤として比較した場合に、活性白土とシリカマグネシア製剤が適することが解った。

3. 1. 2 吸着処理

硫黄系機能添加剤を含んだ油を活性白土 30wt%で吸着処理を複数回実施した。機能添加剤には硫黄が含まれているので、硫黄濃度で添加剤の除去状態を観察した。測定結果を Table 6 に示す。処理前の油には 0.77mass%の硫黄が検出された、処理を繰り返すことで硫黄濃度は徐々に低下する。また、この時使用した基油には原油由来の硫黄分が 0.33mass%含まれていた。このことから、機能添加剤に含まれる硫黄は 0.44mass%であることが解る。処理回数ごとに添加剤由来の硫黄濃度を測定し、除去率を算出した。その結果、1 回の処理で約 50%が除去でき、2 回処理すると再生油を得るためには十分な 70%以上の添加剤除去ができていくことが解る。

Fig. 4 に吸着処理前後の GPC（ゲル浸透クロマトグラフィー）法で測定したデータを示した。処理することにより添加剤が無くなり基油だけになっていることが確認できる。

Table 6 Relationship between adsorption treatment and functional additive (sulfur) concentration.

		initial	number of cycles			
		oil	1	2	3	4
Sulfur content	mass%	0.77	0.57	0.40	0.36	0.33
Sulfur from base oil	mass%	0.33				
Sulfur from additive	mass%	0.44	0.24	0.07	0.03	0
Removal rate	%	-	45.5	84.1	93.2	100.0

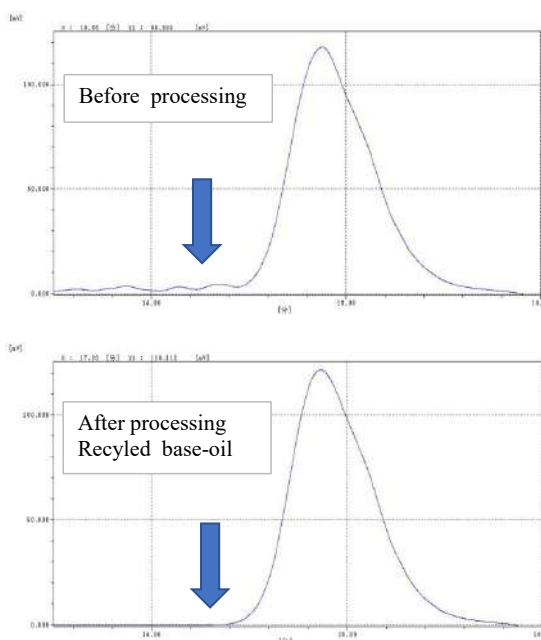


Fig. 4 GPC data of before and after processing.

3. 1. 3 循環再生油の作製

吸着処理により再生した油を用いて、再生油を作製した。再生前後の油の物性を Table 5(B)に示す。再生前後で物性にほぼ変化はなく、再生前と同様の使用可能な循環再生油を得ることができた。



mineral oil mineral oil +
stabilizing additives

Fig. 5 Stability test at 280°C.

3. 2 蒸留

同じ種類の工業油を循環再生することを考える。使用した油を回収する際に、粘度が異なる油の混入や、循環再生した場合には基油の分解物の混入も考えられる。これらの混合物を良好に循環再生するには、これらの成分を分別して回収することが望まれる。これを実現する方法が蒸留である。炭化水素の場合、沸点が上昇すると、これに併せて粘度も上昇する傾向があるので、蒸留が最適な手段と考えられる。

工業油に使用する基油は、常圧では沸点が高く蒸留には向かない。沸点は引火点を超えるからである。そこで、沸点を下げて蒸留する減圧蒸留が必要となる。

減圧蒸留を想定して 280°C で 30 分間の安定性を確認する試験を行った。添加剤の入っていない基油と AO-安定化剤が添加された工業油に使用した基油とを比較した(Fig. 5)。基油だけのものは分解が進み変色が始まったが、安定剤を含有したものはほぼ変化がなかった。この結果、安定化剤を含有する AO-工業油であれば蒸留ができることが解った。

Table 7 Vacuum distillation of industrial oil.

Distillate fraction	Distilled weight g	Pot temperature °C	Distillation temperature °C	Distillate	Pressure Pa
Fr.-1	3.1	200-231	78-100	solvent	300
Fr.-2	20.8	234-241	100-135	low molecular HC	300
Fr.-3	86.5	248	135-164	BaseoilA	400
Fr.-4	82.9	250	164-166	BaseoilA	300
Fr.-5	82.5	249	166-168	BaseoilA	300
Fr.-6	45.4	249	162-167	BaseoilA	300
Fr.-7	80.4	257	164-175	BaseoilA	300
Fr.-8	83.3	259	175-182	BaseoilB	300
Fr.-9	82.2	260	182-186	BaseoilB	100
Fr.-10	41.4	261	184-186	BaseoilB	100

安定化剤と、粘度の異なる基油 A (VG10)と基油 B (VG32)の 2 種が混合された油の減圧蒸留を行った。蒸留初期に溶媒や、低沸点の炭化水素が留出し、続いて基油 A、基油 B の順に留出した。この時の釜の温度と留出部分の温度、圧力など蒸留に係る測定値を Table 7 に示す。蒸留後の油に変色は見られず安定して蒸留することができた。このように、目的の基油を沸点ごとに分けて回収できることが解った。

以上前述の吸着処理と蒸留処理を組み合わせることで、AO-安定化剤を含んだ工業油を循環再生できることが解った。

4. 植物由来の炭化水素基油と機能性添加剤を含有する環境対応型 A0-工業油の開発

ここまで得られた工業油は、基油に鉱油を用いている。この工業油を循環再生した場合を考える。油の回収時や、再生処理に係るロスによる不足分は、鉱油を使用している新規の油で補充することになる課題がある。

一方で、原油から得られる製品は、本研究で使用している基油の他、ガソリン・ナフサ等の製品が同時に得られる。これらの生産量の比は決まっており、原油から基油だけを生産することはできない。工業用の基油に使用できる材料は原油の一部である。その為、今後原油の生産量が減った場合、工業油に使用する基油の供給も減ることが予想される。

特に精密加工を主力とする精密機械工業に於いては精密部品を生産する為の工業油を得ることは重要である為、原油に頼らない工業油とすることは更に重要になってくる。

4. 1 植物由来基油の検討

原油由来の鉱油を除外して工業油の原料として適用可能な材料としては、植物由来のエステル油が挙げられる。エステルは、潤滑性の他、添加剤の溶解性も高まり、鉱油代替材料として期待できるが、プラスチックや、パッキンへの膨潤等の影響も懸念される。工業油に活用するには、やはり炭化水素系の材料が好ましい。本報告の工業油の基油に使用する安定化剤も炭化水素系 (PAO) での実績がある。

近年、脱炭素社会の実現へ向けて、植物油を還元し、重合することで、従来の原油由来の炭化水素を代替する植物由来の炭化水素油の研究開発が進んでいる^{29,30)}。また、植物由来の基油を用いてエンジンオイルを提案した例もある³¹⁾。この植物由来を化学処理して得られる炭化水素油は、プラスチック等の膨潤を誘発するエステル基を含まないことから、この植物由来の炭化水素を鉱油の代替油として試作油を作製することとした^{32,33)}。

Table 8 に植物由来の油の粘度を示す。鉱油の代替品として、Table 8 の SN4 と SN9 を用いた。これに安定化剤 0.7wt%と機能添加剤 Table 3 の Vegetable1 と Vegetable2 を加えて工業油を作製し

た. 得られた AO-工業油 (cutting oil / machine oil) の性状を Table 5(C)に示す. 開発したいずれの AO-工業油も Table 2 に示した従来の機械油の粘度, 油膜強度としては精密加工用の 160 kgf~200 kgf, 切削油の場合は 250 kgf のスペックを満たしている. 以上の様に, 良好な植物油由来の工業油を得ることができた.

Table 8 Kinetic viscosities of plant-derived oils.

oil	kinematic viscosity	
	40°C	100°C
SN4	19.0	4.3
SN9	58.5	9.5

4. 2 循環再生性の確認

4. 2. 1 吸着処理

次に, 循環再生性について確認した. 植物油由来の油として SN4, AO-安定化剤を 0.7wt%, 機能添加剤として Vegetable2 を 4wt% 加えた工業油を作製した. この油の硫黄濃度は 0.52mass%であった. 得られた油を活性白土 30wt%の濃度で, 3-1-2 項と同様に 2 回処理を行った. この時の硫黄濃度を ICP で測定した. 結果を Table 9 に示す. この結果, 1 回の処理で約 50%が除去でき, 2 回処理すると再生油を得るために十分な 70%以上の添加剤除去ができた. 植物油由来の油を用いた場合も鉱油の場合と同様に極性を有する添加剤を吸着剤で効率よく除去できることが解った.

Table 9 Relationship between adsorption treatment and functional additive (sulfur) concentration.

	initial oil	processing time	
		1	2
Sulfur content mass%	0.52	0.24	0.14
Removal rate %	-	53.8	73.1

4. 2. 2 循環再生油の作製

吸着処理を行って再生した基油に, 安定化剤 0.7wt%と機能添加剤 Vegetable2 を 4wt%添加して再生油を作製した. 再生前後の油の性質を Table 5(D)に示す. 再生前後では, 再生後は前に比較して同等以上の物性を示しており, 吸着による循環再生処理ができたことが解った.

4. 2. 3 蒸留

Table 8 の SN4 と SN9 を重量比で 1:1 で混合したものに, 安定化剤 0.7wt%を加え混合基油を作製した. 次にこの混合基油を, 減圧蒸留した. この時の釜温度と留出温度と圧力との関係を Table 10 に示す. 減圧蒸留装置内は, おおよそ 260 Pa で一定しており, 釜温度を調整することで, 目的物 SN4 と SN9 をそれぞれ留点 210°C と 245°C で分取精製することができた.

Table 10 Vacuum distillation of plant-derived oil.

Pot temperature °C	Distillation temperature °C	Distillate	Pressure Pa
150	-	-	260
240	203 - 213	SN4	260
280 - 290	244 - 249	SN9	260
320	185	-	260

5. AO-工業油の環境負荷

AO-工業油の基油に使用した植物由来の炭化水素油は、1 kg あたり 3.12 kg の CO₂ からなる原料に 2.61 kg の CO₂ を消費して合成されている。更に工場からシチズン時計に納品されるまでの保管や輸送する為にかかる CO₂ の総排出量は 0.135 kg である。よっておおよそ基油ベースで 1 kg あたり 0.37 kg 程度の CO₂ を貯蔵していることになる。

この AO-工業油を吸着処理により循環再生すれば、合成に係る CO₂ の排出を更に抑制できる。

以上のことから時計用潤滑剤に用いている AO-安定化剤を使用した AO-工業油は CO₂ 排出量を抑制できる環境対応型の工業油であることが解る。

6. まとめ

植物由来の機能添加剤を用いた、工業油を作製することができた。

新型 AO-オイルの分子を守ることで高耐久性を実現する添加剤（AO-安定化剤）を用いて作製した工業油は、吸着処理と減圧蒸留の組み合わせで循環再生できることを見出した。

植物由来の炭化水素油と AO-安定化剤からなる基油に、植物由来の機能添加剤を添加した AO-工業油を開発した。

開発した AO-工業油は CO₂ 排出量を抑制することのできる環境対応型であることが示唆された。

参考文献

- 1) 赤尾祐司：時計用潤滑油の開発，マイクロメカトロニクス，Vol. 45, No. 1, pp. 27-33(2001).
- 2) 赤尾祐司：新型時計用潤滑油“AO-オイル”の開発，マイクロメカトロニクス，Vol.62, No.219, pp. 1-12(2018).
- 3) 西村学：環境影響評価制度の動向，環境アセスメント学会誌，Vol. 20, No. 1, pp. 62-64(2022).
- 4) 苦瀬雅仁：SDGs と気候変動，SDGs と環境法・政策，Vol. 47, pp. 23-41(2022).
- 5) 板岡健之：「カーボンニュートラル」とは何か，グリーン・エージ，Vol. 48, No. 9, pp. 8-12(2021).
- 6) エネルギー総合工学研究所 編著：図解でわかるカーボンニュートラル・脱炭素を実現するクリーンエネルギーシステム，技術評論社，東京，pp. 17-30(2021).
- 7) 梅田靖：サーキュラーエコノミー，勁草書房，東京，pp. 123-140(2021).
- 8) <https://www.citizen.co.jp/sustainability/environment/vision.html>
- 9) 館内研也：石油精製技術概論：その歴史と代表的な石油精製プロセス，ペトロテック，Vol. 39, No. 4, pp. 273-278(2016).
- 10) 浜口仁：世界の潤滑油／潤滑油添加剤技術と市場・規格動向，S&T 出版，東京，pp. 71-98(2014).

- 11) 清水湧太郎：新規無灰型摩耗防止剤の開発，潤滑経済，No. 671, pp. 36-40(2021).
- 12) 鷺津仁志：分子シミュレーションによる潤滑油添加剤の設計－極圧添加剤の事例－，潤滑経済， No. 695, pp. 8-12(2023).
- 13) 柳原章仁：極圧剤および摩耗防止剤，ペトロテック，Vol. 41, No. 3, pp. 233-236(2018).
- 14) 似内昭夫：トライボロジー設計マニュアル，テクノシステム，東京，pp. 207-211(2015).
- 15) 鈴木和彦：使用済み潤滑油リサイクルの動向，トライボロジスト，Vol. 51, No. 4, pp. 282-287(2006).
- 16) 岡野知晃，小矢俊亮：安全と環境を意識した切削油の開発とその特徴，潤滑経済，No. 696, pp. 1-5(2023).
- 17) 内藤康司：使用済み潤滑油からの基油再生の世界動向と日本の現状，潤滑経済，No. 692, pp. 2-8(2022).
- 18) 一般社団法人潤滑油協会：令和3年度安定供給対策に関する調査等事業（潤滑油の安定供給に向けた原料確保の多様化に関する調査・分析事業）調査報告書（公表用），(2022).
- 19) 村上靖宏：自動車のカーボンニュートラルとトライボロジー，潤滑経済，No. 694, pp. 17-23(2023).
- 20) 星野秀隆：自動車エンジン油の環境対策技術動向，トライボロジスト，Vol. 65, No. 2, pp. 69-74(2020).
- 21) 池田寿文：使用済み潤滑油のリサイクルの動向，トライボロジスト，Vol. 65, No. 2, pp. 99-104(2020).
- 22) 兼松直弘：潤滑油のリサイクルや原料代替によるサステナビリティの推進，潤滑経済，No. 695, pp. 24-27(2023).
- 23) 坂根康夫，佐藤直也，萩原稜：カーボンニュートラルの実現に貢献する潤滑油・グリースの開発，潤滑経済，No. 695, pp. 2-7(2023).
- 24) 佐々木徹：潤滑油の長寿命化，トライボロジスト，Vol. 45, No. 11, pp. 809-814(2000).
- 25) <https://www.juntsu.co.jp/tribo-glossary/claytreatment.php>
- 26) 小松秀和：酸性白土による簡便な灯油の脱硫・脱色技術，化学工業，Vol.72, No. 6, pp. 363-366(2021).
- 27) https://toshin-kasei.co.jp/active_clay/
- 28) <https://www.mizusawa-chem.co.jp/product/mizukalife.html>
- 29) 炭化水素成分の製造方法，特許公報，特許第 5281409 号(2013).
- 30) 基油を製造するプロセス，特許公報，特許第 5325777 号(2013).
- 31) 斉藤琢磨：カーボンニュートラル対応バイオマス基油 100%のディーゼルエンジンオイルの開発，潤滑経済，Vol. 694, pp. 24-28(2023).
- 32) 野村太一，熊谷崇志：カーボンニュートラルを実現する天然由来の潤滑油ベースオイル，潤滑経済，Vol. 692, pp. 21-23(2022).
- 33) Jeffery A Brown: 天然由来の潤滑油ベースオイルでカーボンニュートラルと潤滑性向上を実現，潤滑経済，Vol. 694, pp. 40-43(2023).

付録 CO₂ 排出量 (CFP 値) の計算について

本報告で使用した工業油の基油に関わる CO₂ 排出量(CFP 値)を計算する。

CO₂ 排出量を計算するにあたっては、基油が得られるまでの工程を上げ、それぞれの工程毎の CO₂ 排出量をすべて合計することで、最終的な製品の CFP (Carbon Footprint of Product) 値を求めることができる。今回の計算では、基油 1 kg あたりの CFP を求めることにした。

基油は、植物から得られた原材料に化学処理を施すことで、目的とする基油としている。工場から原材料から基油になるまで(Cradle to Gate)の CO₂ 排出量と、出来上がった基油を東京まで運んでくる輸送に関わる CO₂ 排出量の合計となる。

基油が製造されるまでの炭素排出量は CFP の計算ルールに基づいて算出する。日本では経済産業省、環境省の発行するカーボンフットプリントガイドライン(2023.3)に基づき算出する。本報告で用いた基油はアメリカで製造されたもので、例えば Lubricants Life Cycle Assessment and Carbon Footprinting - Methodology and Best Practice (2023.5)に基づき計算されている。基油の製造会社の発表によると、植物より採取した原材料(-31.2 kgCO₂e/kg Base oil)を用いて、化学反応させて基油へ合成する過程で 2.61 kgCO₂e/kg Base oil を使用している。よって、基油の CFP (Cradle to Gate)は、 $-3.12 + 2.61 = -0.51$ kgCO₂e/kg Base oil となる。この数値は、第三者機関によって監査され承認されている。

次に、輸送について、40 ft コンテナで輸送したことを前提として計算する。基油の生産工場から港までの距離は約 2,600 km で CO₂ 排出量は 1.03 t。輸出港から東京港までの輸送は 9,028 km で 0.87 t の CO₂ 排出量、輸入港から倉庫を経て東京まではおおよそ 45 km として 0.05 t の CO₂ 排出量。以上合計 1.95 t の CO₂ 排出量となる。1 ドラムあたり 200 kg で 1 コンテナ当たり 72 ドラム (14,400 kg) の 40 ft コンテナで運ばれるので、1 kg あたりの CO₂ 排出量は、 $1,950 \text{ kg} \div \text{製品重量 } 14,400 \text{ kg} = \text{輸送時に発生する CO}_2 \text{ 排出量 } 0.135 \text{ kg}$ となる。尚、輸送に関しては、MS CO₂ Navigator (三井倉庫グループ) https://www.mitsui-soko.com/sustainalink/emissions_calculator/を参考にした。

CFP を算出するにあたり初めの基油製造工程と輸送工程を合計すると、 $-0.51 + 0.135 = -0.375$ kgCO₂e/kg Base oil となった。

研究論文

CFRP 製スプリングの簡易成形技術

木村 南

東京工業高等専門学校名誉教授・東京都立産業技術高等専門学校^{*1},

^{*1} 東京都品川区東大井 1-10-40. 〒140-0011

(2023 年 10 月 18 日受付, 2024 年 4 月 15 日再受付, 2024 年 4 月 27 日採録)

Simple Molding Technology for CFRP Springs

Minami KIMURA

Professor Emeritus, National Institute of Technology, Tokyo Metropolitan College of Industrial Technology^{*1},

^{*1} 1-10-40, Higashi Ohi, Shinagawa Ku, Tokyo, 140-0011, Japan

(Received October 18, 2023, Revised April 15, 2024, Accepted April 27, 2024)

ABSTRACT

Carbon fiber reinforced plastic (hereafter abbreviated as CFRP) is lightweight and has high strength and has been put to practical use in aircraft fuselages, supercar bodies, and wind turbine blades. In order to reduce the weight of the bottom, attempts have been made to use CFRP for leaf springs for bogies and coil springs for automobiles. As the coefficient of thermal expansion of CFRP is almost zero, it is expected to be a precision spring. As a molding technology, we developed a method of manufacturing a CFRP coil spring with a silicone rubber mold using a carbon fiber cloth. Coil spring constant was 7.0 N/mm.

1. はじめに

CFRP は軽量 (比重 1.8) で比較的高強度 (擬似等方性 600~800 MPa) のため航空機, 自動車, 風車翼, 自転車・ゴルフクラブなどのスポーツ用品に用いられている¹⁾. ばね下重量軽減による燃費向上のため車両用板ばねの繊維強化プラスチック (FRP) 化の研究開発が行われてきた¹⁻⁴⁾. CFRP 製コイルスプリングの量産化の報道があった^{5,6)}. 木村らは 3D プリンタとシリコーンゴム型を用いた簡易成形⁷⁾により CFRP 製スプリングを試作した^{8,9)}. また熱可塑性樹脂をマトリックスとした短繊維炭素繊維強化プラスチック (CFRTP) を用いた高圧力ホットプレスでのぜんまいばねも発表された. CFRP は熱膨張係数が非常に小さく精密ばねとしての応用が期待されている. ここでは CFRP 製スプリングの簡易成形技術として炭素繊維クロスを用いてシリコーンゴム型による加圧成形法による CFRP 製コイルスプリングについて報告する.

2. 実験方法

2. 1 CFRP の物性について

一般的に複合材料では強度および縦弾性率について複合則が成立することが知られている^{1,2)}.

$$\sigma_{\text{CFRP}} = \sigma_f V_f + \sigma_m V_m, \quad (1)$$

$$E_{\text{CFRP}} = E_f V_f + E_m V_m. \quad (2)$$

上式において σ_f , σ_m はそれぞれ炭素繊維, エポキシ樹脂の引張強さ, E_f , E_m は炭素繊維, エポキシ樹脂のヤング率であり, V_f , V_m は炭素繊維, エポキシ樹脂の体積含有率である. 上式において平織の炭素繊維クロス (疑似等方性) を用いる場合には一方向に炭素繊維がそろっている UD 材(uni direction)に比べておおむね 50%程度の引張強さと 50%程度の縦弾性係数となることが知られている. CFRP 材料メーカーのホームページでは UD 材と疑似等方性材の引張強さはそれぞれ 2400 MPa と 600 MPa であり, 縦弾性係数についてはそれぞれ 130 GPa と 62 GPa となっている. 鉄鋼材料の引張強さは 400~1800 MPa で縦弾性係数は引張強さにほぼ関係なく 204 GPa である. これに対して CFRP ではベースとなる炭素繊維の物性・体積含有率・繊維方向が引張強さと縦弾性係数に影響を及ぼしている. 特に CFRP の縦弾性係数はマトリックスのエポキシ樹脂のそれが炭素繊維に比べて著しく低くおおむね 1/100 程度であるため鉄鋼に比べて半分から 1/3 程度に低下する.

CFRP 製コイルスプリングでは平織炭素繊維生クロスを用いた.

炭素繊維平織 3K 生クロスを用いて炭素繊維の体積含有率 V_f と成型型材料および成形荷重の影響を調べた.

2. 2 実験材料

炭素繊維は Fig. 1 に示す東邦テナックス製 3K 生クロス, エポキシ樹脂は Axson Technologies 製, 成型型用のシリコーンゴムには信越シリコーン KE-12 (Fig. 2), PP シート (Monotaro 製厚さ 0.2 mm) を用いた. 主剤と硬化剤を 100:40 の割合で混合し炭素繊維に所定量を含浸させ, 22°C ± 1°C で 24 時間静置し硬化させた. 炭素繊維(CF と略す), ガラス繊維(GF と略す), エポキシ樹脂および比較のために機械構造用炭素鋼 S45C の特性を Table 1 に示した. 炭素繊維の引張強さは S45C に比べて 5~8 倍高く, 伸びも 2%程度で S45C の 8~25%に比べて低く, 塑性変形しにくいことから炭素繊維強化プラスチック(CFRP)はばね材として優れた特性が期待された.



Fig. 1 3K Carbon Fiber cloth.



Fig. 2 Silicone rubber KE-12.

Table 1 Material properties.

Properties	Material			
	CF	GF	steel	epoxy
Name	Toho Tenax	E-glass	JIS S45C	z-2/h-07
Tensile strength [MPa]	4100	2500	569 - 686	68 - 78
Tensile Modulus [GPa]	240	73	190 - 210	3.45
Elongation [%]	1.7	4.9	8 - 25	2
Density [g/mL]	1.77	2.5	7.8	1.05-1.10

2. 3 CFRP 試験片の作製

Fig. 3 にシリコーンゴムによる CFRP 試験片の製造工程を示した。Fig. 3(a) は JIS Z 2201 の 13 号に準拠した標点間距離 50 mm，幅 12.5 mm，厚さ 2.3 mm のアルミニウム試験片を原型としてシリコーンゴム型（上型・下型）を作製した。(b)炭素繊維 3K 生クロスを所定の大きさに切断後シリコーンゴム下型に静置し，その上に硬化剤を混合したエポキシ樹脂を注ぐ。(c)シリコーンゴム上型を載せて所定の面圧が得られるようにデッドウェイトを載せて 22°C ± 1°C で 24 時間静置後に硬化した CFRP 製引張試験片を取り出す。



(a) Silicone rubber mold (b) Carbon fiber 3K cloth (c) 24 hours hold at 22°C

Fig. 3 Molding method of CFRP tensile test piece.

2. 4 CFRP 製コイルスプリングの形状・寸法

代表的な CFRP コイルスプリングの形状・寸法として 2×5 サイズ(断面形状幅 2 mm×厚 5 mm)を Fig. 4 に，5×2 サイズ(断面形状幅 5 mm×厚 2 mm)を Fig. 5 に示した。炭素繊維クロスをほどいて 3K(炭素繊維 1 本が直径 7 μm でこれが 3000 本集まったものを 3K と略す)の炭素繊維束をコイルに沿って配置したものを UD 材とした。また炭素繊維平織 3K 生クロスを所定寸法の幅に切断したものを MAT 材と略した。Table 2 に作製する CFRP コイルスプリングの寸法を示した。

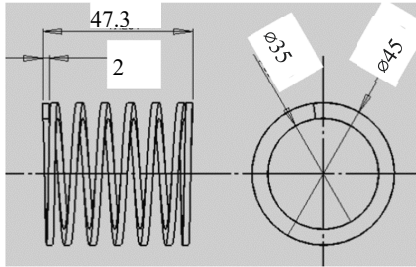


Fig. 4 CFRP coil spring UD(2×5).

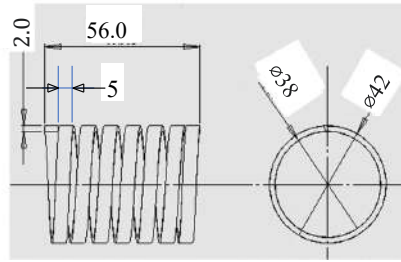


Fig. 5 CFRP coil spring UD(5×2).

鋼製コイルスプリングの設計法として，最大せん断応力 τ は次式で求められる¹⁰⁾．

$$\tau = \frac{rP}{k_1 ab^2} = \frac{aG\delta}{2\pi k_1 nr^2}, \quad (3)$$

$$P = \frac{k_2 ab^3 G\delta}{2\pi nr^3} = \frac{k_1 ab^2 \tau}{r}. \quad (4)$$

ただし， τ ：最大せん断応力， G ：横弾性係数， r ：平均コイル半径， a ：板幅， b ：板厚， P ：荷重， n ：巻き数， δ ：たわみ， $k_1, k_2: a/b$ が $1.0 \sim \infty$ において $k_1 = 0.208 \sim 0.333$ ， $k_2 = 0.140 \sim 0.333$ となる係数．

異方性材料である CFRP では縦弾性係数 E_{CFRP} ，横弾性係数 G_{CFRP} は引張方向と繊維方向のなす角度や炭素繊維の強度・縦弾性係数などの物性値さらに CFRP として炭素繊維の体積含有率 V_f の影響を大きく受けることから，実際の引張試験結果から実験的に縦弾性係数 E_{CFRP} ，横弾性係数 G_{CFRP} もとめることにした．そして作製した CFRP 製コイルスプリングでのばね定数の実測値から CFRP 製コイルスプリングの設計基準を求めることとした．

成形前には炭素繊維はほぼひずみゼロの状態であり，炭素繊維がしなやかに動く状態である．そこにエポキシ樹脂が炭素繊維間に含浸した後に硬化したために炭素繊維一本一本に加わる成形時のねじりひずみは発生しない．また CFRP 製コイルスプリングは弾性範囲で使用されるため伸びひずみ・ねじりひずみも弾性範囲であるため炭素繊維一本一本に発生するねじりひずみも弾性範囲である．それらは最大でも概ね 10^{-6} 程度と見積もられる．

2. 5 CFRP 製コイルスプリングの成形方法

シリコーンゴムを用いた CFRP の簡易成形方法を開発⁸⁾したので，当初は市販の鋼製コイルスプリングを原型としてシリコーンゴムに転写成形することを試みたが，鋼製コイルスプリングを

Table 2 CFRP coil spring size.

Height[mm]	Width[mm]	Symbols
4	5	UD(4×5)
4	5	UDMAT(4×5)
5	2	UD(5×2)
2	5	UD(2×5)

シリコーンゴムから離型する時にシリコーンゴムが破損してしまうという問題が解決できなかった。そこで FDM 方式の 3D プリンタにより ABS 樹脂でコイルスプリングの原型を作ることで、原型を離型する際のシリコーンゴムの破損を避ける方法を試みた。Fig. 6 は 3D プリンタ製 ABS 製(5×2)コイルスプリング原型である。

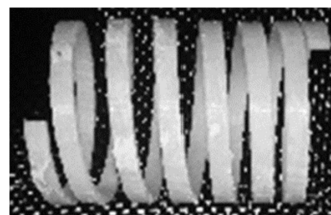


Fig. 6 3D printed ABS coil spring.

Fig.7は ABS 製コイルスプリングを原型としたシリコーンゴム型である。ABS コイルスプリング原型をテフロン®シートで巻き付けてから万力で外周部を固定し、そこに硬化剤を添加したシリコーンゴム KE-12 を流し込み室温で 8 時間以上静置して固化させた。その後 ABS 製コイルスプリング原型を取り出したものが Fig. 7 に示したシリコーンゴム型である。

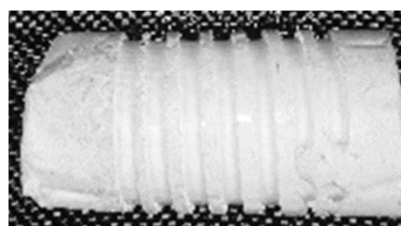


Fig. 7 Silicone rubber mold by medium pressurizing cone cylinder.

シリコーンゴム型の内円筒面に割り箸を所定の本数を差し込むことでシリコーンゴムが外側に膨らむ力を利用して炭素繊維クロスにエポキシ樹脂を含浸させる方法で CFRP 製コイルスプリングを作製した。加圧のためにテーパ状のプラスチック製コーンを使う方法も試みた。

3. 実験結果

3. 1 シリコーンゴム型で成形した CFRP 引張試験

Fig. 8 にシリコーンゴム型で作製した CFRP 引張試験の応力-ひずみ線図を示した。UD 材および UD 材/MAT 材の引張強さはそれぞれ 130 MPa と 120 MPa であり縦弾性係数は 3.2 GPa であった。

Fig. 9 にシリコーンゴム型で成形された CFRP 製コイルスプリングを示す。Fig. 10 にシリコーンゴム型から取り出した CFRP 製コイルスプリングを示した。Fig. 10(a) は UD(4×5), Fig. 10(b)は(4×5)の UD と MAT 材の混合, Fig. 10(c)は UD(2×5), Fig. 10(d)は UD(5×2)である。Fig. 10(a), Fig. 10(c),

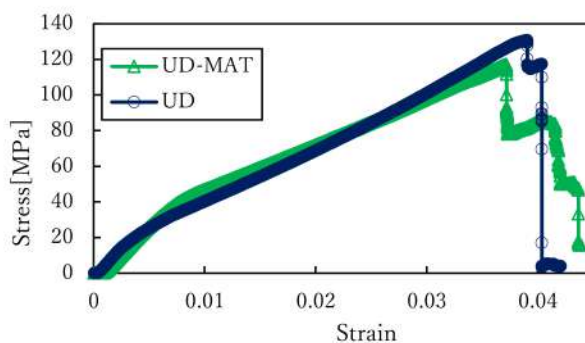


Fig. 8 Relationship of CFRP tensile test between stress and strain.

Fig. 10(d)ではシリコンゴム型からの離型時にはみ出したエポキシ樹脂が薄いバリとなっているのが確認された。CFRP コイルスプリングの性能評価試験ではこれらのバリを削除した。



Fig. 9 Molded CFRP coil spring
UD (2×5).

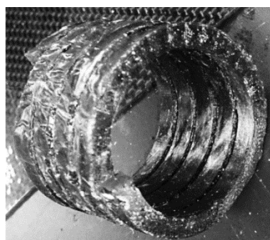


Fig. 10(a) CFRP coil spring (4×5) type UD. Fig. 10(b) CFRP coil spring (4×5) type UD/MAT.

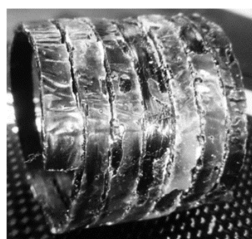


Fig. 10(c) CFRP coil spring (2×5) type UD. Fig. 10(d) CFRP coil spring (5×2) type UD.

3. 2 CFRP 製コイルスプリングの外観・寸法

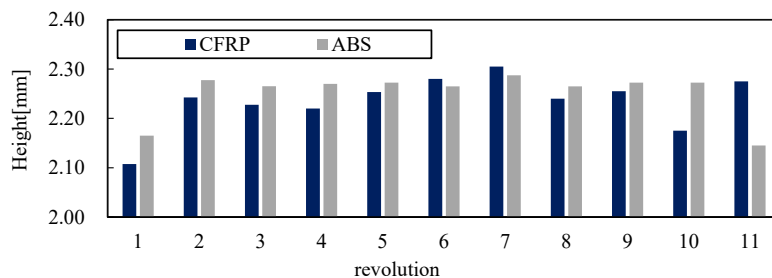


Fig. 11 Cross-sectional height comparison of CFRP coil springs and
3D-printed ABS coil springs.

Fig. 11 に(2×5)の 3D プリンタで作製した ABS コイルスプリングの原型と CFRP 製コイルスプリングの各巻き数におけるコイル断面の高さを示した. CFRP の方が ABS 原型よりも 0.05 mm 程度小さかった.

Fig. 12 に UD(2×5)の CFRP コイルスプリングの断面の幅を示した. 幅は 5.25 ± 0.10 mm であった.

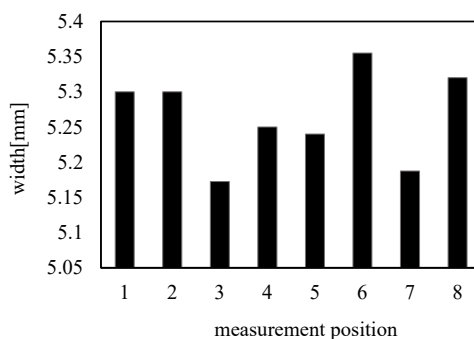


Fig. 12 Cross-sectional width of CFRP coil spring per number of turns.

3. 3 コイルスプリングの評価

CFRP コイルスプリングの評価のために Fig. 13 に示す実験装置を用いた.

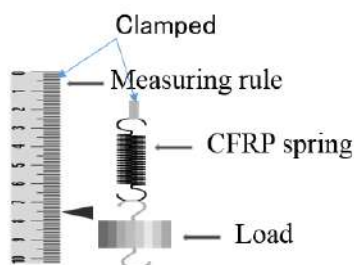


Fig. 13 Schematic apparatus of load and displacement of CFRP coil spring.

Fig. 14 に (4×5)サイズの UD 材と UD 材/MAT 材の荷重-変位の関係を示した. UD 材の方がばね定数が高かった. 作製した CFRP 製コイルスプリングの繰り返し荷重負荷-除荷試験を行いその結果を Fig. 15 に示した.

Fig. 15 に (4×5)サイズの CFRP コイルスプリングの 1500 回までの繰り返し荷重試験における荷重-変位の関係を 500 回ごとに示した. 20 N までの荷重の負荷では変位は 3 mm で繰り返し回数によらず同一の挙動であった.

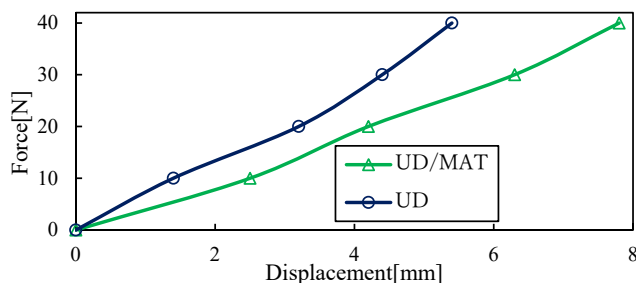


Fig. 14 CFRP coil spring force - displacement UD/MAT-CF (4×5).

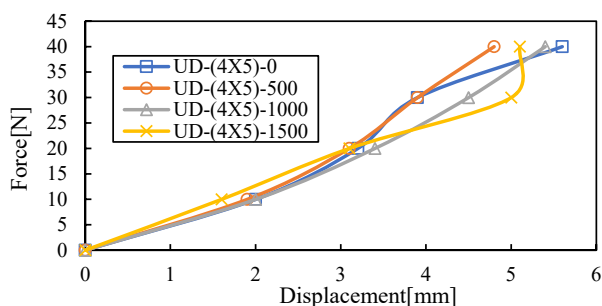


Fig. 15 Force-displacement UD-CF (4×5).

Fig. 16 に(2×5)サイズの CFRP コイルスプリングの 1500 回までの繰り返し負荷試験における荷重-変位の関係を 500 回ごとに示した。荷重に対する変位もばらつきが大きかった。

Fig. 17 に CFRP 製コイルスプリングのばね定数を示した。コイルスプリングばね定数は UD/MAT 材(4×5), UD(4×5)ではそれぞれ 4.9 N/mm と 7.0 N/mm であり, UD(2×5)と UD(5×2)ではそれぞれ 0.9 N/mm と 0.4 N/mm であった。コイルスプリングの断面積が大きい(4×5)サイズの方がばね定数は大きい傾向にあった。

Fig. 18 に繰り返し負荷-除荷試験におけるばね定数の変化を示した。いずれも 1500 までの繰り返し試験においてばね定数の変化はほとんどなく UD 材(4×5)と UD 材(2×5)ではそれぞれのばね定数は 7.0 N/mm と 1.0 N/mm と安定していた。

3. 4 CFRP 曲げ試験

Fig. 19 に 3 点曲げ試験を模式図で示した。

応力 σ_f は次式で与えられる。ここで P は荷重, l は支点間距離, b は梁の幅, h は梁の高さを示す。

$$\sigma_f = \frac{3Pl}{2bh^2}$$

縦弾性係数 E は次式で求められる。 δ は梁のたわみである。

$$E = \frac{Pl^3}{4\delta bh^3}.$$

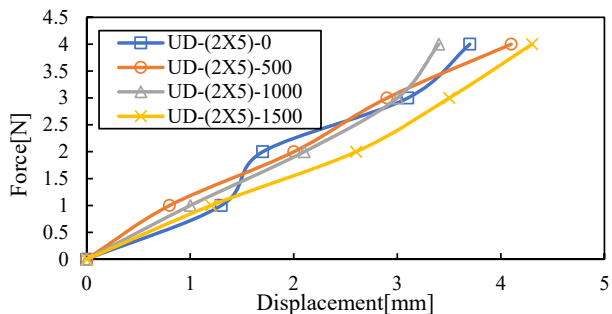


Fig. 16 Force-displacement UD-CF (2×5).

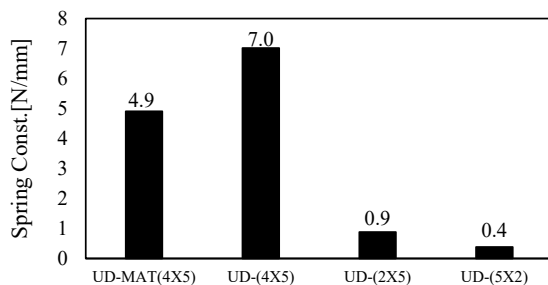


Fig. 17 Result of spring constant of CFRP coil spring.

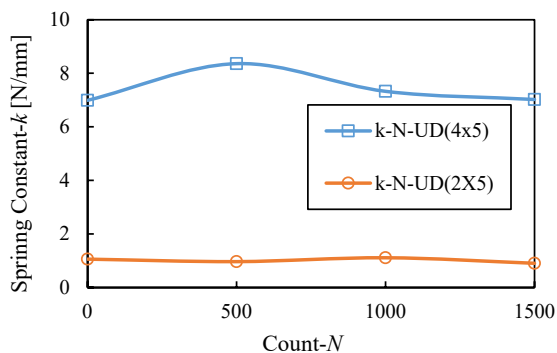


Fig.18 Change in spring constant in cyclic loading-unloading test of CFRP coil springs.

ひずみ ϵ_f は次式で求められる。

$$\epsilon_f = \frac{6\delta h}{l^2}$$

Fig. 20 に CFRP 製コイルスプリングの 3 点曲げ試験における応力と変位の関係を示した。曲げ強さ以降は CFRP 製コイルスプリングに発生した亀裂が緩やかにつながり徐々に応力が低下する様子が観察された。

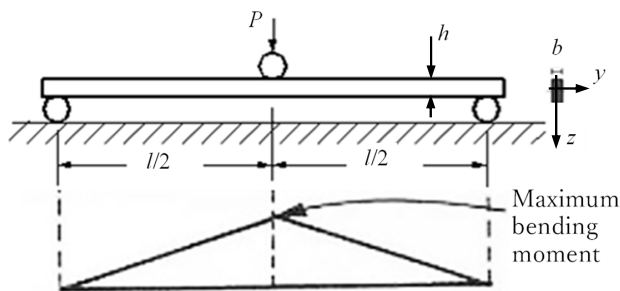


Fig. 19 Three-point flexural test theory.

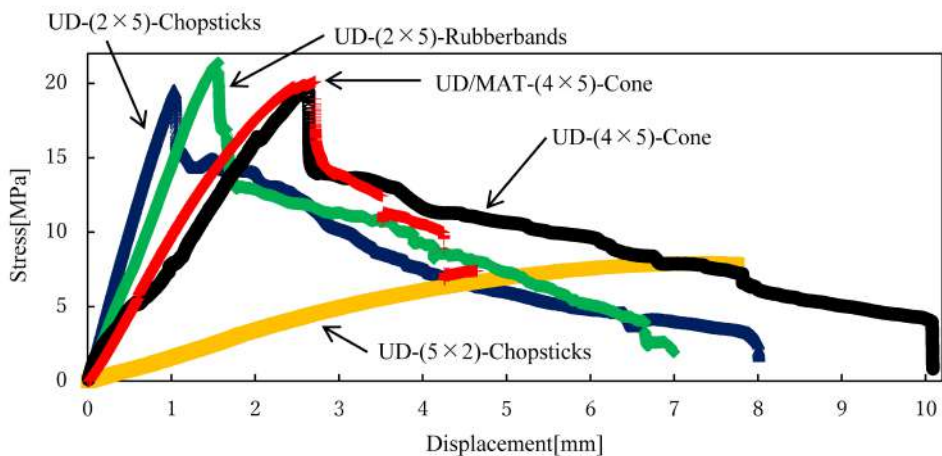


Fig. 20 Relationship between stress and displacement in three-point bending test of CFRP coil spring.

4. 考察

4. 1 CFRP コイルスプリングの成形条件

CFRP を成形する際に加圧力をかけてエポキシ樹脂を炭素繊維生クロスに含浸させるので加圧力の影響を見るために、4 kPa の加圧力を付加した場合の引張試験後の CFRP の破断面を走査型電子顕微鏡 (SEM 観察の中心を X で示した) で観察した結果を Fig. 21 に示した。直径 $7\ \mu\text{m}$ の炭素繊維同士の間にはエポキシ樹脂 (白色部分) が含浸している様子がはっきりと確認された。炭素繊維がエポキシ樹

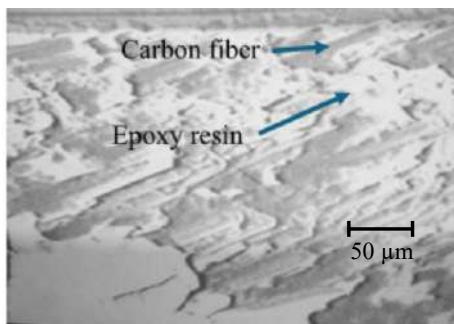


Fig. 21 Silicone rubber molding at pressure of 4 kPa.

脂の中から引き抜かれる pull-out もほとんど観察されていなかった。比較のためにシリコーンゴムの代わりに市販の油粘土にアルミニウム合金の JIS 13 号試験片を押し当てて凹みを作りそこに炭素繊維クロスを敷き詰めてからエポキシ樹脂を無加圧のままエポキシ樹脂を含浸させたものの引張試験後の破断面を SEM 観察した結果を Fig. 22 に示した。炭素繊維の間にエポキシ樹脂(白色部分)はなく、炭素繊維が飛び出した pull-out 状態となっていた。無加圧の場合は炭素繊維がエポキシ樹脂が「天ぷら」の衣のように炭素繊維の周りに存在するだけで、炭素繊維とエポキシ樹脂の接着は期待されないことが確認された。

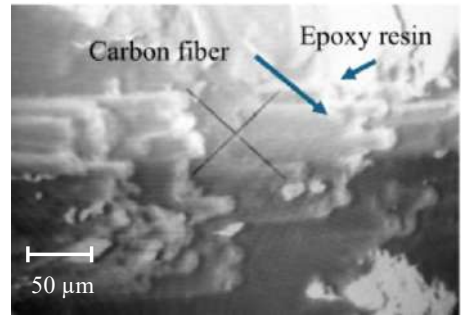


Fig. 22 Clay molding at pressure of zero.

そこでシリコーンゴム型を用いて 0.5 kPa~8 kPa までの加圧力で $V_f = 5\% \sim 20\%$ で CFRP 製引張試験片を作製し、引張試験に供した。その結果と同時に破断面の SEM 観察を行い Fig. 23 にまとめた。CF1 はおよそ $V_f = 5\%$ 、CF2 は $V_f = 14\%$ 、CF3 は $V_f = 20\%$ であった。 $V_f = 20\%$ の場合は 2 kPa で引張強さが最大となり 140 MPa 程度が得られた。それ以上に加圧力が増加すると引張強さは逆に低下した。エポキシ樹脂が流失していることが観察された。

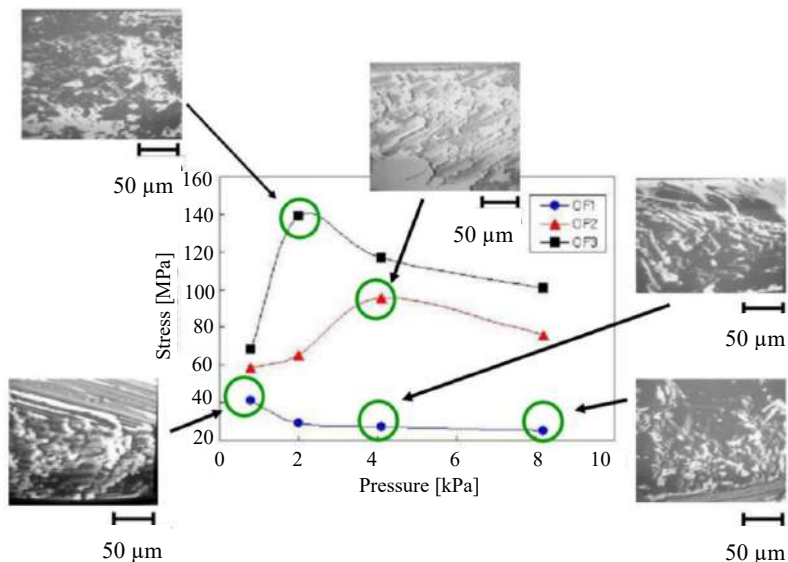


Fig. 23 Relationship between tensile strength and molding pressure of CFRP and SEM observation at each fracture.

4. 2 CFRP コイルスプリングの設計基準

今回作製した CFRP 製コイルスプリングの V_f は 20% であった。炭素繊維の引張強度は 3.0 GPa だったので UD 材として $V_f = 20\%$ 、エポキシ樹脂の引張強さ 70 MPa とすると複合則(1)式より

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{CFRP}} &= \sigma_f V_f + \sigma_m V_m = 3.0[\text{GPa}] \times 0.2 + 70[\text{MPa}] \times (1 - 0.2) \\ &= 600[\text{MPa}] + 60[\text{MPa}] = 660[\text{MPa}]\end{aligned}$$

となるはずであるが、実際は 130 MPa であったので 4 倍程度の乖離が存在している。

MAT 材の場合には引張方向に対して UD 材の 40% 程度と見積もることができるので、260 MPa と考えられるがまだ 2 倍程度の違いが存在する。

CFRP コイルスプリングの設計基準としては、複合則ではなく、コイルスプリングと同一の成形条件で作製した引張試験での引張強さ・縦弾性係数の実測値を代入することにした。

$V_f = 20\%$ の引張強さ $\sigma_{\text{CFRP}} = 130$ MPa、縦弾性係数 $E_{\text{CFRP}} = 3.2$ GPa を $G = 0.33E$ の関係から横弾性係数

$$G_{\text{CFRP}} = 1.1 \text{ GPa},$$

$$\tau = \sigma_{\text{CFRP}} / \sqrt{3} = 130 [\text{MPa}] / 1.732 = 75 [\text{MPa}].$$

(2×5) サイズの場合 $r = 20$ mm, $a = 5$ mm, $b = 2$ mm の場合 $a/b = 2.5$, $k_1 = 0.2576$ なので

$$P = \tau k_1 a b^2 / r = 75 [\text{MPa}] \times 0.2576 \times 5 [\text{mm}] \times (2 [\text{mm}])^2 \times 1 / 20 [\text{mm}] = 19 [\text{N}].$$

実験的に得られたばね定数は 1 N/mm, たわみ $\delta = 19 [\text{N}] / 1 [\text{N/mm}] = 19 [\text{mm}]$ となる。

(4×5) サイズの場合 $r = 20$ mm, $a = 5$ mm, $b = 4$ mm の場合 $a/b = 1.25$, $k_1 = 0.221$ なので

$$P = \tau k_1 a b^2 / r = 75 [\text{MPa}] \times 0.221 \times 5 [\text{mm}] \times (4 [\text{mm}])^2 \times 1 / 20 [\text{mm}] = 66 [\text{N}].$$

実験的に得られたばね定数は 7 N/mm, たわみ $\delta = 66 [\text{N}] / 7 [\text{N/mm}] = 9.4 [\text{mm}]$

等方性の鋼を対象としたコイルスプリングの設計基準に CFRP 引張試験での引張強さと縦弾性係数の実測値を代入することで CFRP 製コイルスプリングの設計基準となることがわかった。

また 3% 塩水中に 100 時間浸漬した場合でもばね定数に変化は見られなかった。

5. 結言

3D プリンタでコイルスプリングの原型を作製し、シリコンゴム型を作製し、炭素繊維 3K 生クロスを用いた CFRP 製コイルスプリングの簡易成形方法を開発した。CFRP の引張試験での引張強さ・縦弾性係数を実験的に求めることで、鋼製コイルスプリングの設計基準を適用することで CFRP 製コイルスプリングの設計基準が得られることがわかった。

CFRP 製コイルスプリングの断面が (高さ 4 mm×幅 5 mm) の場合ばね定数が 7.0 N/mm であった。

参考文献

- 1) 日本複合材料学会複合材料活用辞典編集委員会編：複合材料活用辞典，産業調査会辞典出版センター (2001).
- 2) 栗原信哉，弘元修司：GFRP 製板ばねについて，日本複合材料学会誌，Vol. 12, No. 3, pp. 97-102 (1986).
- 3) 宮入裕夫，後藤卒土民：製品開発に役立つ強化プラスチック材料入門，日刊工業新聞社，pp. 199-201 (2007).
- 4) 新谷紀雄ら：圧縮コイルばねのへたりに関する研究委員会報告，ばね論文集，No. 59, pp. 47-62 (2014).
- 5) 高田憲一：川崎重工、サスペンション機能を持つ CFRP フレームを採用した鉄道車両台車を開発，日経ものづくり，<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20130624/289559/?SS=imgview&FD=-1787914766> (2013/6/29 閲覧) .
- 6) 窪野薫：7割軽いサスばね ニッパツが CFRP で製造，<http://www.nikkei.com/article/DGXMZO16831590V20C17A5000000/> (2017/5/25 閲覧) .
- 7) 木村南：高専・専攻科における炭素繊維強化プラスチックを用いたものづくり，塑性と加工，Vol. 52, pp. 1296-1297 (2011).
- 8) 木村南，マンボ ベルビル ポール: 3D プリンタ成形品から転写したシリコーンゴム型による CFRP コイルスプリングの作製 (アディティブ・マニュファクチャリングの生産システム)，機械学会生産システム部門講論，Vol. 2015, pp.101-102(2015).
- 9) 佐野弘：CFRP 製巻きばねの試作，東京高専平成 28 年度卒業研究論文.(2017).
- 10) 日本機械学会編：機械実用便覧改訂第 7 版，p. 545 (2016).

技術論文

1/100 秒計測機能付き ソーラクロノグラフウォッチの開発

及川亮太, 井橋朋寛

セイコーウォッチ株式会社, 東京都中央区銀座1丁目26番1号, 〒104-8118

(2023年12月1日受付, 2024年4月22日再受付, 2024年5月3日採録)

Development of Solar Chronograph Watch with 1/100 Second Measurement Function

Ryota OYOKAWA, and Tomohiro IHASHI

Seiko Watch Corporation, 1-26-1, Ginza, Chuo-ku, Tokyo 104-8118, Japan

(Received December 1, 2023, Revised April 22, 2024, Accepted May 3, 2024)

ABSTRACT

We have developed a new solar chronograph watch, Cal.8A50. This watch is equipped with four independent dials and corresponding measuring hands, allowing stopwatch measurements in 1/100 second increments. When measuring with a stopwatch, each measuring hand moves at high speed to display the measured time. The GEAR BOX structure provides an independent dial layout and high-speed movement of multiple hands. The special drive system suppresses the drop in battery voltage during high-speed movement.

1. はじめに

世界初のアナログクォーツクロノグラフの誕生¹⁾からすでに40年が経過し, 今日ではクロノグラフ機能のみならず, アラーム・タイマーなど各種計測機能を備えた製品²⁾や, アナログクォーツクロノグラフでありながら瞬間帰零機構を備えた製品³⁾など多種多様なアナログクォーツクロノグラフが製品化されている.

アナログクォーツクロノグラフは1秒未満を正確に計測でき, さらに電子制御によるステップ運針を用いることで, 判読性の高い1秒未満の表示を実現し易いといった利点がある.

セイコーウォッチ株式会社は, 世界初のアナログクォーツクロノグラフ誕生40周年を記念し, 視認性・判読性に優れたストップウォッチ計測機能を搭載したソーラアナログクォーツクロノグラフ Cal.8A50^{4,5)}を開発した. Cal.8A50は4つの独立したダイヤルと計測用の指針を備え, 1/100秒単位の計測を行うことができる. 本技術報告では Cal.8A50 の機能及び技術内容について報告する.

2. ストップウォッチ機能

Cal.8A50 は時刻表示モードとストップウォッチモードの 2 つのモードを備えている。Cal.8A50 を搭載した製品 SBER001[®]を Fig. 1 に示す。Cal.8A50 ではストップウォッチモードの視認性・判読性を追求し計測単位別のダイヤルと指針を搭載した。



Fig. 1 Cal.8A50 (Ref.SBER001).

時刻モードでは 6 時位置のダイヤルで時刻を表示する。ストップウォッチモードでは 6 時位置のダイヤルで分桁、12 時位置のダイヤルで秒桁、9 時位置のダイヤルで 1/10 秒桁、3 時位置のダイヤルで 1/100 秒桁を計測し表示する。(Fig. 2)

ストップウォッチ計測中はそれぞれの指針が表示桁に合わせた速度で運針し、計測ストップ操作を行うことで運針が停止し計測結果を確認することができる。計測単位ごとに表示を独立させたことで視認性が向上した。

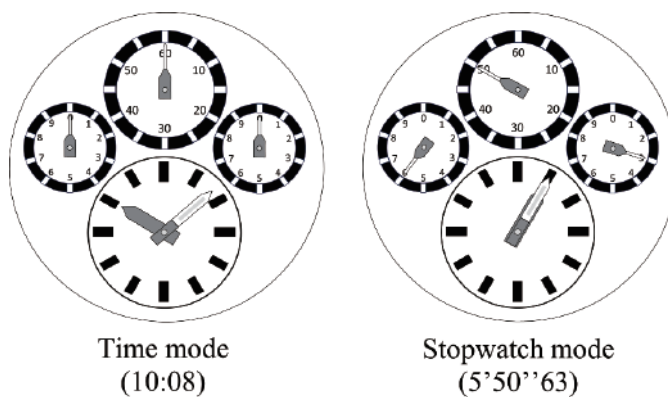


Fig. 2 Example of time mode and stopwatch mode.

またストップウォッチモードでは計測時間の表示を離散的（デジタル的）に表示する．これにより指針の指示位置は常にダイヤルの目盛上となるため判読性が向上している．例えば時刻表示のような連続的な表示の場合，5分50秒の計測値は分析針の指示位置は6分に近い位置となるが，今回は離散的な表示形式を採用したため，Fig. 2 のストップウォッチモードの表示例に示すように5分0秒から5分59秒までは，5分の目盛りを指示し続ける．デジタル式の表示を確認するときのような読み方が可能となり，計測結果の判読が容易となる．

3. ソーラ発電

独立ダイヤルのデザイン性を活かし，ダイヤル以外の部分は金属文字板を採用した．Fig. 3 に示すようにソーラ発電は各ダイヤルの内側のみで行っている．

発電電圧と発電電流のバランスを考慮してソーラパネルは5セルを設定した．ストップウォッチモードは複数針の高速運針を行うため消費電流が大きい．電力収支を考慮した結果，発電電流量を多く確保する必要があったためである．ソーラパネルは各セルの発電面積が均等な状態が最も効率が良い．ダイヤルの開口形状に合わせセルの分割を最適化した結果，Fig. 4 に示すような形状の分割線となった．例えば左側のセルは9時位置と12時位置ダイヤルの2か所の開口部から発電を行う．



Fig. 3 Solar power generation areas and metallic dials.

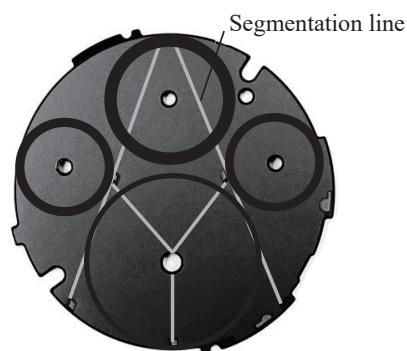


Fig. 4 Solar panel segmentation line.

4. GEAR BOX 構造

計測単位別独立ダイヤルのレイアウトと，1/100 秒表示のような高速運針を実現するため，本機種はレイアウト自由度の高い2 コイルモータ GEAR BOX を4 機配置する構造を採用した．(Fig. 5)

GEAR BOX とはモータと指針軸までの輪列が一組になったモジュールで、外部からのパルス信号入力により指針の駆動制御が可能である。基板上に自由な配置が可能のため、本機種のような特徴的なデザインが実現できた。2 コイルモータは正転及び逆転の高速運針が可能で、複数針を同時に駆動させることができ、モード遷移時の所要時間を短縮している。

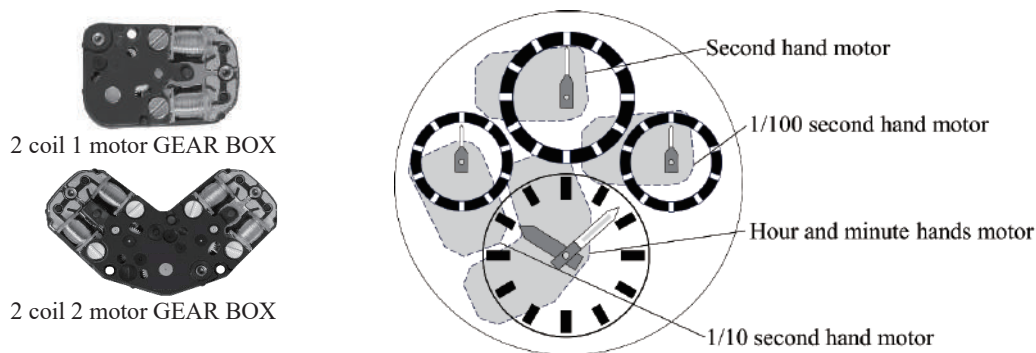


Fig. 5 GEAR BOX layout.

5. 電池電圧低下を抑制した駆動方式

本機種は GEAR BOX を 4 機（2 コイルモータ 5 機）搭載し、各モータがそれぞれのストップウォッチ計測値を表示する。各モータの駆動条件を Table. 1 に示す。

Table 1 Drive conditions for stopwatch mode.

Motor	Number of scales	Number of steps per lap	Driving cycle
1/100 second hand	10	20 steps	2 steps / 10 ms
1/10 second hand	10	20 steps	2 steps / 100 ms
Second hand	60	60 steps	1 step / 1 s
Minute hand	60	360 steps	6 steps / 1 min
Hour hand	60	360 steps	6 steps / 1 min

最も駆動周期の早い 1/100 秒針を 10 ms 間隔で 2 steps 駆動させながら、桁上りのタイミングでは 1/100 秒針以外の複数のモータを同時に駆動させる必要がある。例えば 1 分の桁上り時には最大 5 モータを同時に駆動させる必要がある。さらに離散的（デジタル的）な運針を実現するため、1/10 秒針と時分針も一度に 2 steps 以上運針する必要があり、複数モータを複数 steps 同時駆動する必要が生じる。

2 コイルモータはピーク電流が大きく、5 モータのパルスを同時に出力した場合、電池電圧が

著しく低下し、モータや IC の動作電圧を下回る恐れがある。

1 分析上がり時に複数モータを同時に駆動させた場合の駆動パルス出力タイミングと電流波形を Fig. 6 に示す。このタイミングでは、1/100 秒針が 2 steps、1/10 秒針が 2 steps、秒針が 1 step、時分針がそれぞれ 6 steps 駆動する。1/100 秒針が 2 steps 駆動後も駆動を継続しているのは、ストップウォッチの計測が継続しているためである。また秒針は輪列構造の違いにより、他のモータと比較して長めのパルスを設定している。

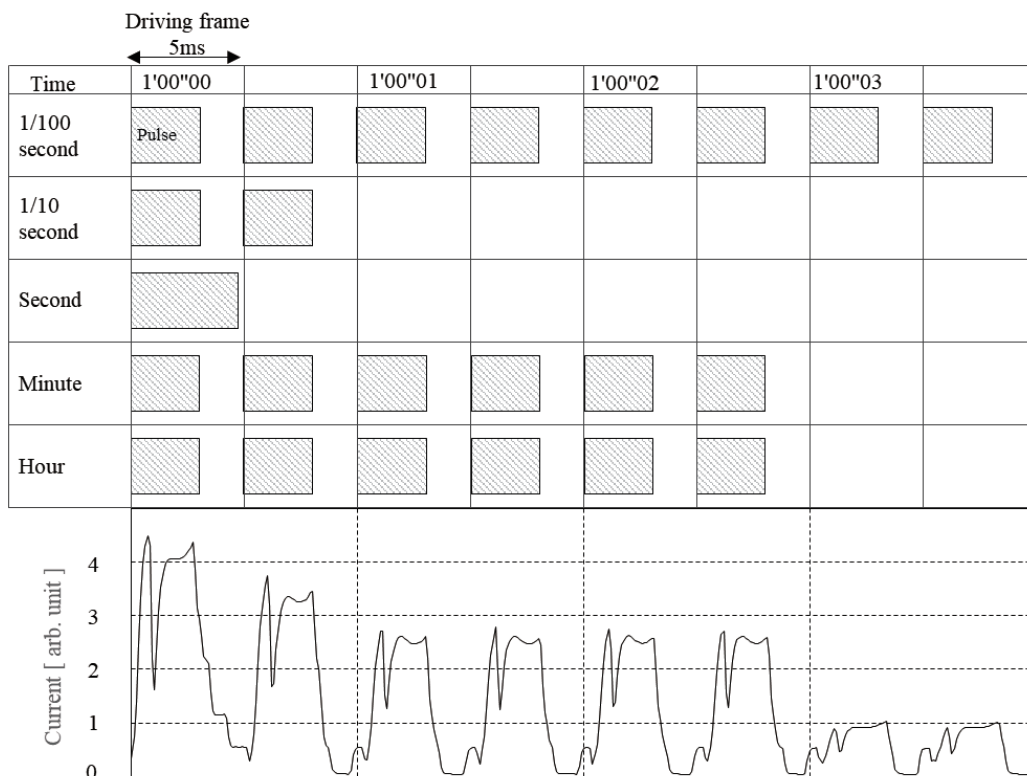


Fig. 6 Driving pulse and current waveform chart.

5 モータが同時に駆動するフレームでは、1 モータのみ駆動するフレームと比較して約 4 倍以上電流波形のピークが大きくなっていることが確認できる。この状態では電池電圧の大幅な低下が懸念される。これらの課題に対応するため本機種では以下に示す駆動方式を採用した。(Fig. 7)

- 駆動フレーム内に同時出力できるモータ数を 2 つまでに制限。計測単位の小さいモータを優先的に駆動する。

- 2 モータそれぞれの出力開始タイミングをずらし、各モータのピーク電流重複を避ける。
- 2 モータのパルス出力後に休止区間を設け、電池電圧の回復を図る。

Fig. 8 は本制御方法による 5 モータ連続駆動時の駆動パルス出力タイミングチャートと電池電圧波形である（例：ストップウォッチ計測時間 1'00"00）。本制御方法を用いることで電池電圧ドロップの最も大きい部分を約 1/3 まで抑制することができた。

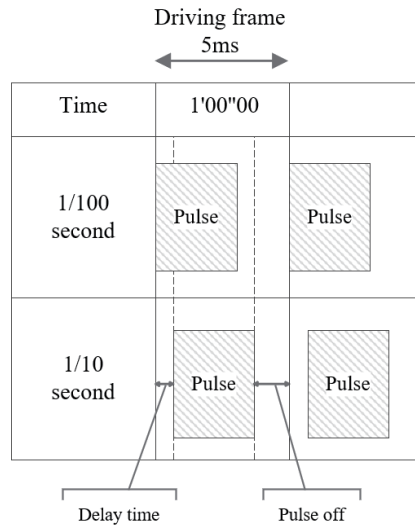


Fig. 7 Drive system with reduced battery voltage drop.

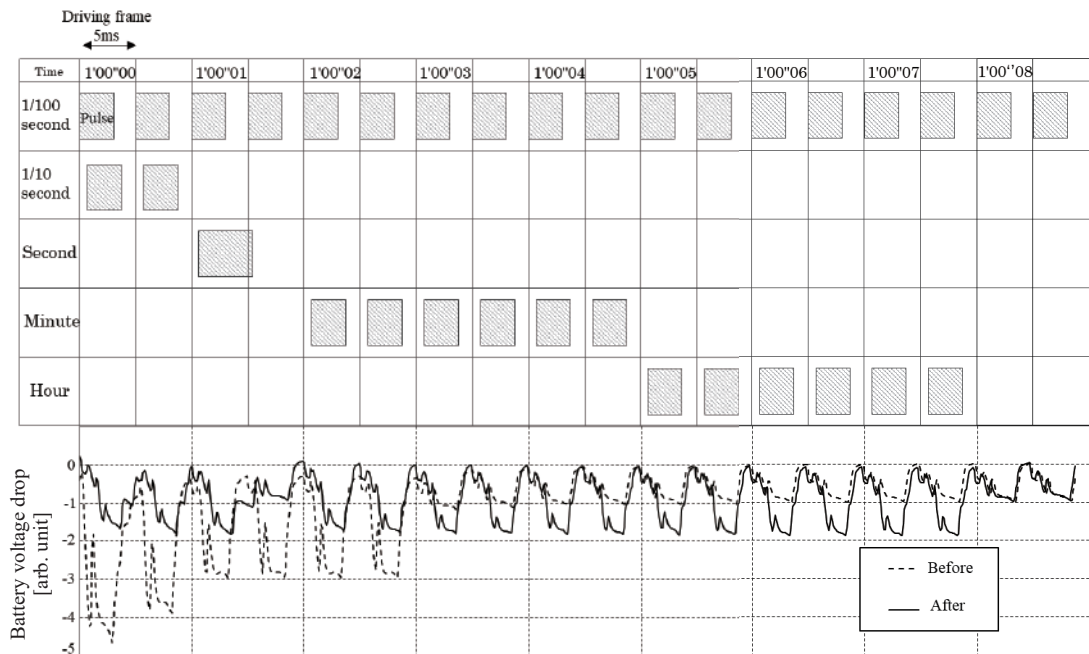


Fig. 8 Drive pulse and battery voltage drop chart by new driving system.

6. まとめ

GEAR BOX を使用したことで、判読性向上に寄与するダイヤルレイアウトの実現と高速運針に対応することができた。

ストップウォッチ計測中のモータ駆動数制限、ピーク電流のタイミング調整を図ることで電池電圧の低下を効果的に抑制しつつ、視認性・判読性の高いストップウォッチ運針を実現した。

これらはユーザーにとって「わかりやすさ」や「使い勝手の良さ」の向上に結び付いていると考える。今後もユーザビリティの高い製品開発を行っていきたい。

7. 参考文献

- 1) 池上敏正, 守屋達雄, 牛越健一: アナログクォーツクロノグラフ, 日本時計学会誌, Vol. 108, pp. 30-41 (1984).
- 2) 増田重行, 中村千秋: アナログ多機能時計の開発, 日本時計学会誌, Vol. 139, pp. 38-46 (1991).
- 3) 平野圭, 河田正幸, 小野保: アナログクォーツ式クロノグラフ時計における瞬時帰零機構の開発 (技術報告), マイクロメカトロニクス, Vol. 56, No. 207, pp. 38-48 (2012).
- 4) セイコーウォッチ株式会社: <https://www.seikowatches.com/jp-ja/news/20230605>.
- 5) セイコーウォッチ株式会社: https://www.seikowatches.com/instructions/html/SEIKO_8A50_JP/index.
- 6) セイコーウォッチ株式会社: <https://www.seikowatches.com/jp-ja/products/prosper/sber001>.

解 説

「時計技術解説」 機械式時計

— IX. 巻上機構（自動巻き） —

小島 博之 *

1. はじめに

機械式時計の動力源であるゼンマイを腕の運動を利用して巻き上げる機構を自動巻き機構と呼ぶ。

本稿では自動巻き機構の歴史の紹介，自動巻き機構理論における構造諸元の簡単な解説，様々な種類の巻き上げ機構について説明する。

2. 自動巻き機構の歴史

自動巻き機構に関して，その歴史は非常に古い。最初の自動巻き機構は 1770 年にスイスの時計師 Abraham Louis Perrelet により，懐中時計に搭載された。Brequet もその Perrelet の発明を改良し，完成度の高い自動巻き懐中時計を作っている。腕時計に自動巻き機構を最初に採用したのは，1924 年のイギリスの John Harwood であった。これはムーブメント中心を軸に回転する回転錘がストッパー間を往復運動することによってゼンマイを巻き上げる構造となっていた。その後，スイスでは様々な自動巻き機構の патент が提出されたが，現在の自動巻き機構の主流となるのは，1931 年にロレックスの創業者 Hans Wilsdorf の発明したパーペチュアル機構である。このロレックスの半月型の回転錘を両方向に全周回転させるという発想が，結局最も合理的なものであり，現在の自動巻き機構のほとんどがこの方式を採用している。¹⁾²⁾

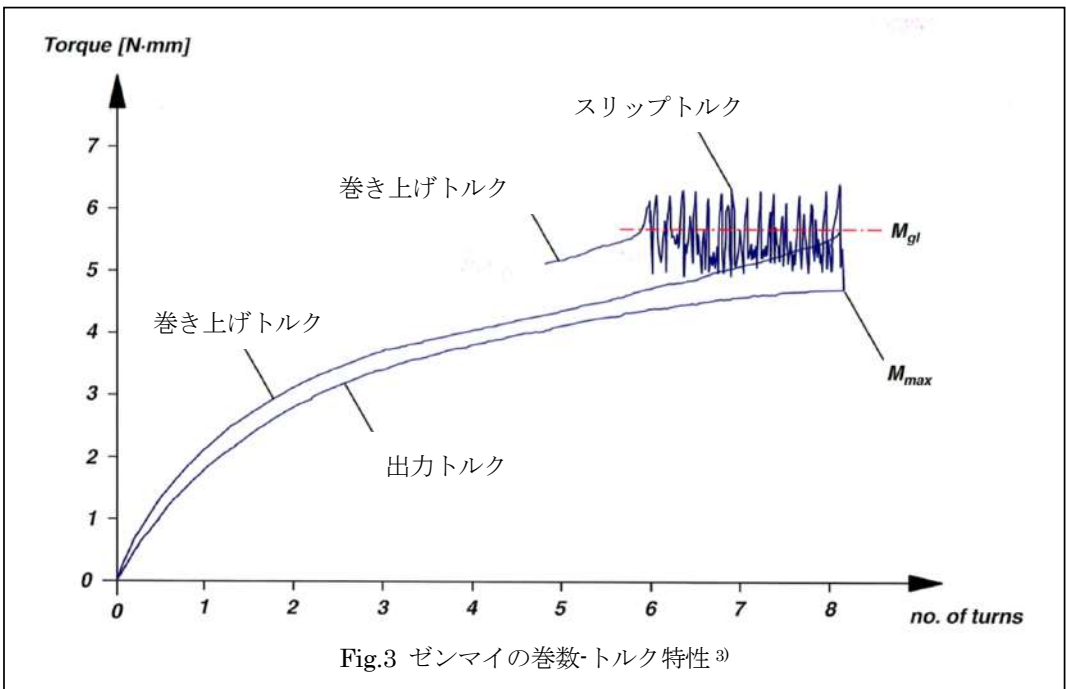
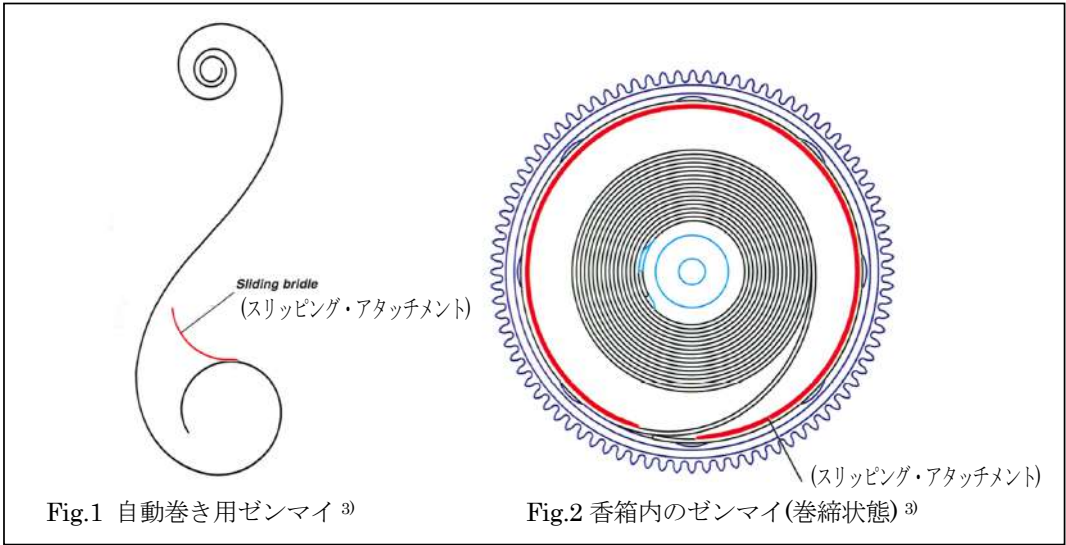
3. 自動巻き機構の特徴

回転錘の回転運動を利用して動力ゼンマイの巻き上げを行う場合，両方向の回転運動からゼンマイを巻き上げるための一方方向の回転運動に変換する必要がある。また，回転錘の 1 次モーメントにより発生するトルクを減速輪列等により，ゼンマイを巻き上げることが可能なトルクまで増幅する必要がある。これらを実現しているのが自動巻き機構である。

自動巻き機構を採用する場合，ゼンマイは巻き過ぎ防止のためゼンマイと一体化されたスリッピングアタッチメント(以下 S.A.)が取り付けられる(Fig.1 と Fig.2)。この S.A.によりゼンマイが巻締められたときに香箱内壁との間で滑りを発生させ，ゼンマイ切れを防止している。

Fig.3 にゼンマイの巻数-トルク特性を示す。ゼンマイが香箱内壁と滑る際のスリップトルクを適切に設定することが重要である。スリップトルクが高すぎると時計精度や耐久性への悪影響が発生する。逆にスリップトルクが低すぎるとゼンマイが解けてしまうスリップダウン現象が発生する。

* セイコーエプソン株式会社



自動巻き時計がユーザーにより実際に使用された時、十分なゼンマイ巻き上げができるように構造諸元を決めることは、ユーザーの習慣・職業など携帯条件のばらつきが非常に大きいため、難しい問題である。ムーブメントをできるだけ薄型・小型にまとめられるよう構造を考えると共に、巻き上げに対する安全率を運動量の少ないユーザーに対しても巻き上げ不足とならないように確保する必要がある。このとき、回転運動を伝達する構造の減速比、ゼンマイトルクと回転錘の1次モーメントとの

関係であるトルク比，携帯時間に対する巻き上げ量を示す巻き上げ係数などが重要な特性となる．
以下，簡単に各特性を説明する．

・減速比

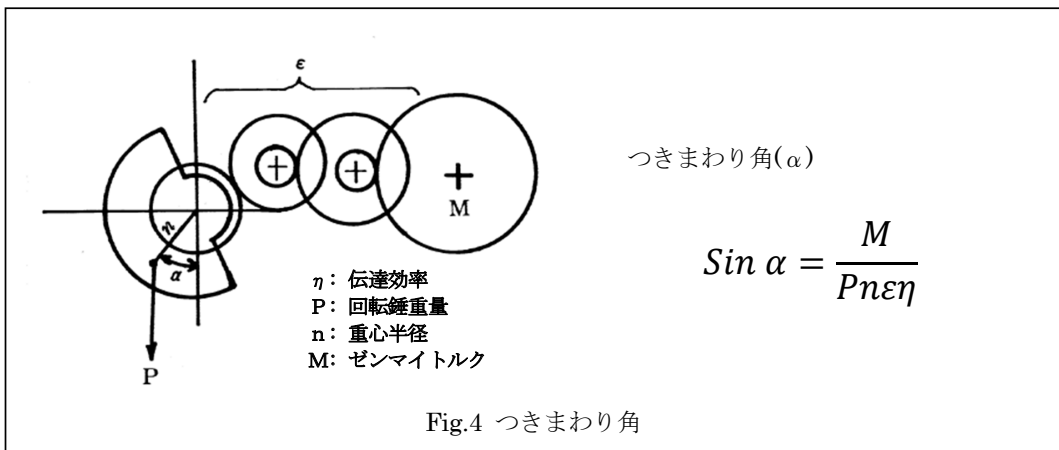
回転錘の回転がどのくらいの比率で減速され角穴車に伝達されるかを示し，角穴車を1回転させるために必要な回転錘の回転数を減速比と呼ぶ．減速比を大きくするとゼンマイを巻き上げるトルクは大きくなるが，ゼンマイを最後まで巻き上げるまでに必要な回転量が多くなるため，長い携帯時間が必要となる．当然ながら，逆に減速比を小さくするとゼンマイを巻き上げるトルクが小さくなるため，巻き上げ難くなる．適切な減速比を選択することが重要である．

・トルク比

回転錘の回転トルクは減速輪列等によって増幅され角穴車まで伝達される．この増幅されたトルクとゼンマイトルクとの比をトルク比と呼ぶ．トルク比が大きいほど巻き上げ性能に余裕のある設計となるが，回転錘が大きくなると当然ながらムーブメントが厚く，もしくは大型化する．

・つきまわり角

ムーブメントを立て姿勢にして回転させたとき，回転錘はある角度をもって釣り合う．この傾き角を回転錘のつきまわり角と呼び(Fig.4)，ゼンマイトルクが最大となった時でも，つきまわり角が90°をこえてムーブメントと同時に回転しないことが必要である．また，回転錘の回転トルクを効率良く伝達するために，伝達経路の摩擦等によるエネルギー損失に対する配慮が重要である．



・あそび角

回転錘の回転方向が一方から他方向に変化した時、ゼンマイを巻き始めるまで機能していない回転錘の回転角度をあそび角と呼ぶ。巻き上げ機構によってあそび角は変化するが、巻き上げ性能を上げるため、できるだけあそび角を小さくすることが望ましい。

・巻き上げ係数(巻上比)

自動巻き時計を携帯したとき、携帯時間に対する巻き上げ量の比を巻き上げ係数、または巻上比と呼び、その時計の巻き上げ性能の良否を判断する目安としている。巻き上げ係数はトルク比、減速比など構造上の違いだけでなく、携帯者 1 人 1 人の活動状況によって変化する。1 日のゼンマイ解け量 24 時間分に対して、1 日の平均巻き上げ量が 24 時間分以上あれば時計の止まりは発生しないが、それを下回ると時計が停止してしまう。Fig.5 に携帯評価の 1 例を示す。1 日毎の携帯時間と携帯開始前後の巻き上げ量を集計し、総和の比率により巻き上げ係数は計算される。Fig.5 の場合、巻き上げ量が ΔH 分だけ足りていないため、携帯を続けていても n 日後に時計の止まりが発生している。

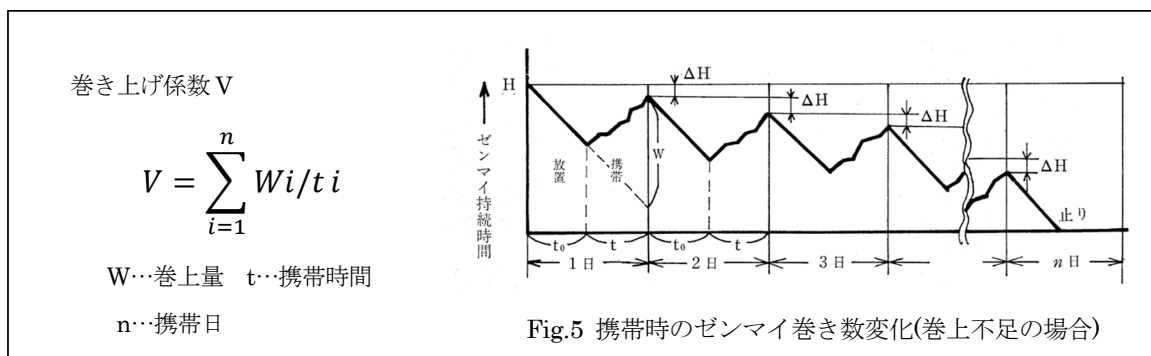
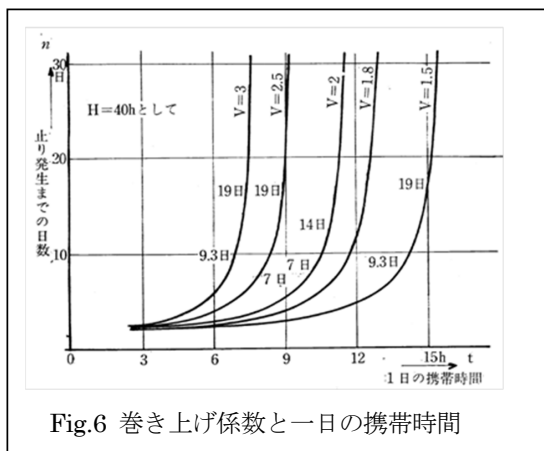


Fig.6 に巻き上げ係数ごとの 1 日の携帯時間と時計が止まるまでの日数を示す。

1 日の携帯時間が 8 時間である場合、巻き上げ係数 3 以上を確保することができれば、時計が止まることはない。巻き上げ係数 2 の場合、12 時間の携帯時間が必要であることが分かる。自動巻き機構を設計する際には、運動量の少ない人が時計を携帯したときでも、巻き上げ係数 3 以上を確保できるように設計諸元を決める必要がある。



4. 自動巻き機構の事例紹介

ここからは様々な自動巻き機構について紹介していく。

・遊動車式片方向巻き上げ機構(Fig.7)

回転錘(1)は、回転錘歯車(2)とネジ固定などにより一体化されて、ボールベアリング軸により支持されている。回転錘歯車はトラック穴に案内された遊動車(3)と噛合っており、遊動車は停止車(4)と噛合っている。停止車は停止爪(5)によって回転を一方方向に制限されている。制御ばね(6)は遊動車をトラック穴長手方向への移動を規制しつつ、一方で停止爪に対して右回転方向のモーメントを付与している。停止車は減速輪列(7,8)を介して角穴車(9)と噛合っている。

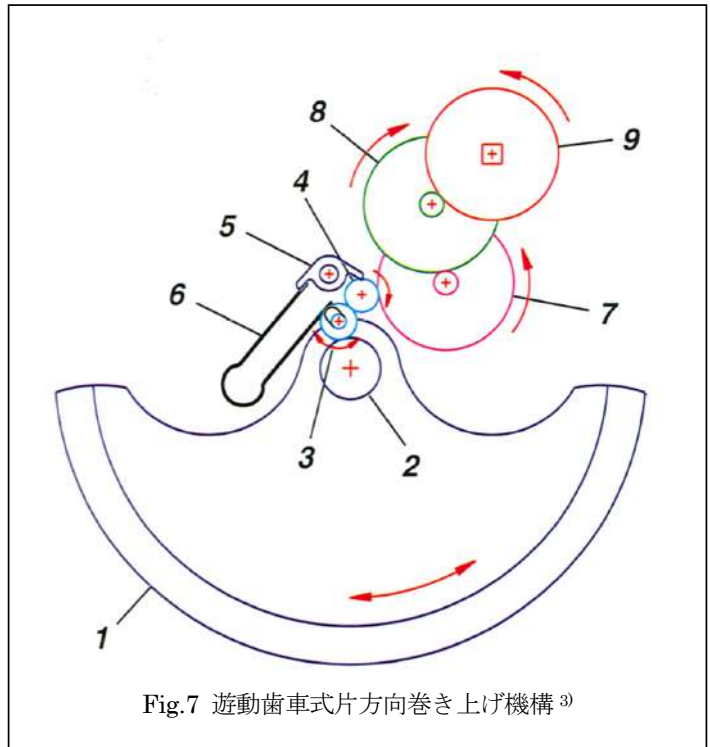


Fig.7 遊動歯車式片方向巻き上げ機構³⁾

回転錘が右回転した場合、角穴車まで回転トルクが伝達され、ゼンマイが巻き上げられる。一方、回転錘が左回転した場合、停止車は停止爪によってロックされているため、遊動車はトラック穴に沿って回転錘歯車から遠ざかる方向へ移動することで、回転錘歯車の回転は遊動車以降の歯車に伝達されない。

回転錘が右回転した場合、角穴車まで回転トルクが伝達され、ゼンマイが巻き上げられる。一方、回転錘が左回転した場合、停止車は停止爪によってロックされているため、遊動車はトラック穴に沿って回転錘歯車から遠ざかる方向へ移動することで、回転錘歯車の回転は遊動車以降の歯車に伝達されない。

・遊動車式両方向巻き上げ機構(Fig.8)

回転錘(1)は回転錘歯車(2)と一体化されている。回転錘車は第1遊動車(3)と噛合っており、第1遊動車は第2遊動車(4)と噛合っている。この2つの遊動車は常に噛合った状態で、遊動台座(5)に収納されており、遊動台座は左右両方向に回転することができる。遊動車は減速輪列(6)を介して、角穴車(7)と噛合っている。回転錘が右回転した場合(Fig.8 左図)、遊動台座は第1遊動車に加わるモーメントによって左回転することで、第1遊動車が減速輪列と噛合い、第2遊動車と減速輪列は噛合わない。従って、角穴車に回転トルクを伝達し、ゼンマイを巻き上げることができる。

回転錘が左回転した場合(Fig.8 右図)、遊動台座は第1遊動車に加わるモーメントによって右回転す

ることで、第1遊動車と減速輪列の噛合いが外れ、第2遊動車と減速輪列とが噛合うことで、ゼンマイを巻き上げることができる。また、爪(8)とばね(9)により減速輪列の逆転を防止している。

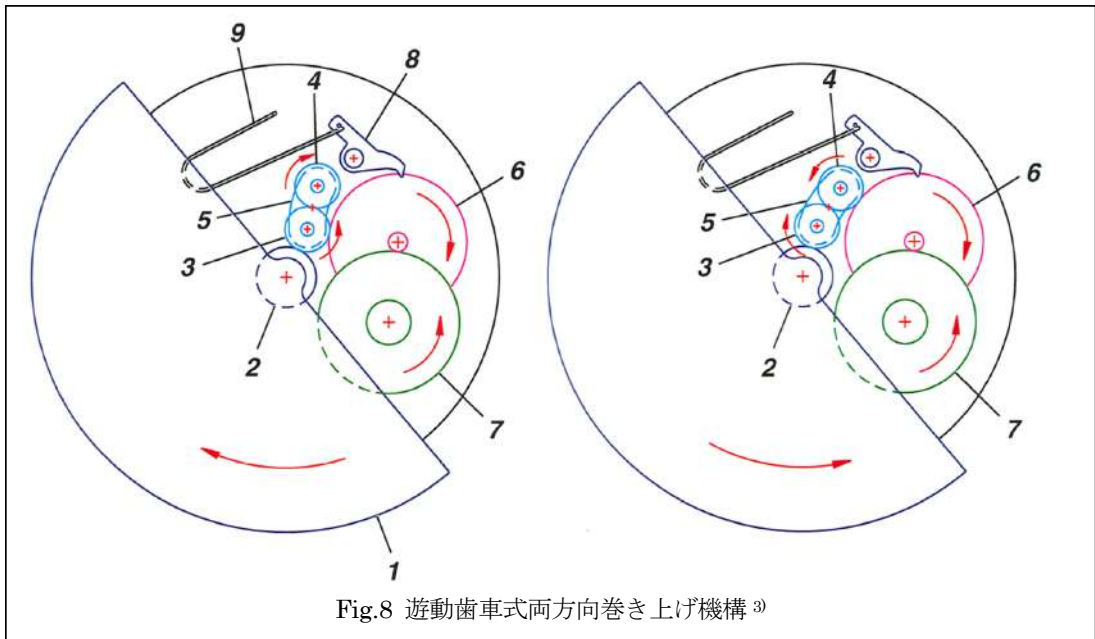


Fig.8 遊動歯車式両方向巻き上げ機構 ③

・カム&レバー式両方向巻き上げ機構(Fig.9)

回転錘(1)にはカム(2)が固定されている。カムには爪レバー台座(3)が接しており、回転錘が回転すると台座が伝え車(7)に対して微小な前後運動を行う。台座には押し爪(4)と引き爪(5)がばね(6)を介して固定されている。伝え車は減速輪列(8)を介して、角穴車(9)と噛合っている。

回転錘が右回転した場合でも、左回転した場合でも、カムにより爪レバー台座は微小な前後運動を行い、前進するときは押し爪が伝え車を左回転させ、後退するときは引き爪が伝え車を左回転させる。こうして、回転錘がどちらに回転した場合でも伝え車は常に左回転することになり、ゼンマイを巻き上げることができる。

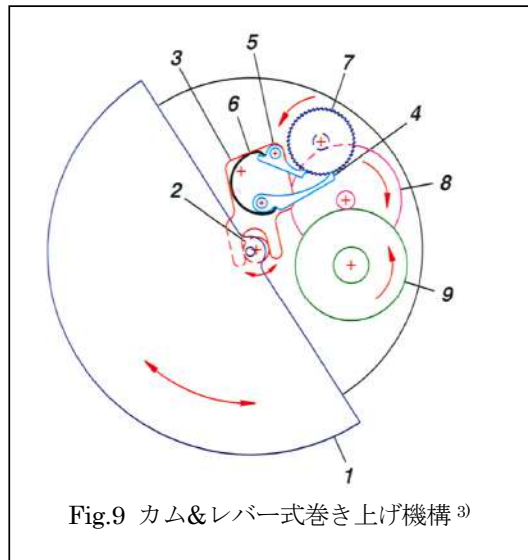
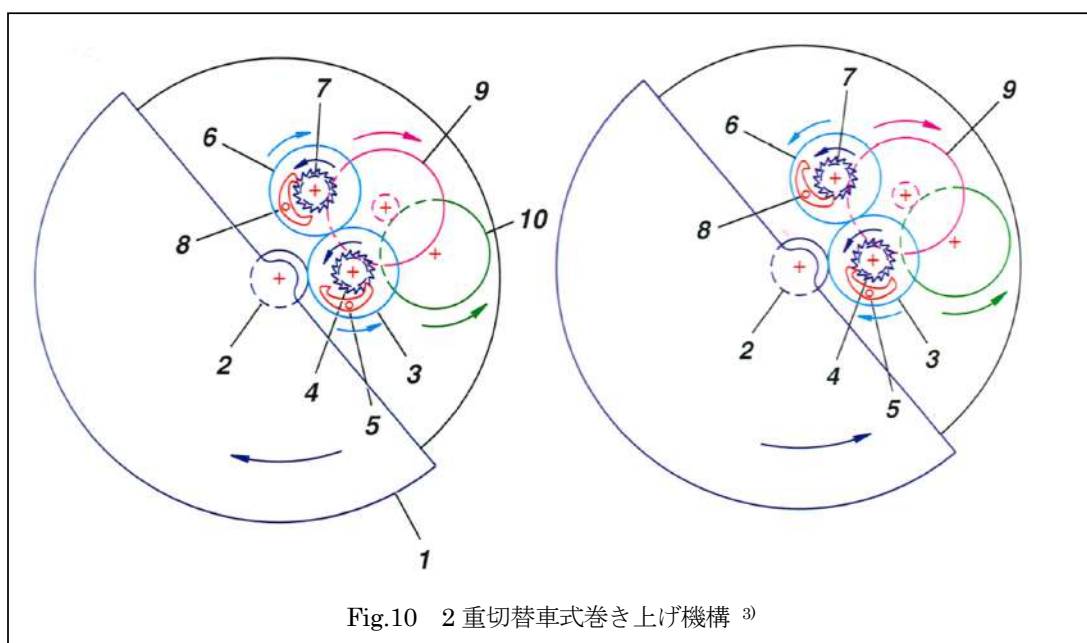


Fig.9 カム&レバー式巻き上げ機構 ③

・2重切替車式両方向巻き上げ機構(Fig.10)

回転錘は回転錘歯車と固定されており、回転錘歯車は、第1切替車(3)と噛合っている。第1切替車は第2切替車と噛合っており、それぞれの切替車は通常の歯型を持つ歯車とラチェット型の歯型を持つ歯車(4と7)により構成されている。ここで、通常歯型の歯車とラチェット車は、一つもしくは複数の爪(5と8)により、ラチェット歯車の回転方向が規制された状態で一体化している。下図において、ラチェット歯車は回転可能方向が左回転のみに規制されている。各切替車はラチェット歯車と一体化したカナを介して減速輪列(9)と噛合っている。



回転錘が右回転したとき(Fig.10左図)、第1切替車のラチェット歯車は通常歯車と同じ方向に左回転する。この回転運動を減速輪列に伝達することでゼンマイを巻き上げることができる。このとき、第2切替車は第1切替車と噛合う通常の歯車は右回転するが、ラチェット歯車と爪が滑ることで減速輪列の駆動力により左回転することで、第2切替車は空回りする。

回転錘が左回転した場合は(Fig.10右図)、上記内容の逆の状態となることで第1切替車が空回りし、第2切替車を介して、ゼンマイを巻き上げることができる。

・マジックレバー式両方向巻き上げ機構(Fig.11)

最後に、カム&レバー方式の派生ともいえるマジックレバー方式の巻き上げ機構を紹介する。この方式は 1959 年に諏訪精工舎により開発された自動巻き機構である。この機構の特徴は非常にシンプルな機構であり、構成部品数が非常に少ないことにある。

回転錘(1)と一体化された偏心軸(2)により、回転錘の回転運動を爪レバー(3)の微小な前後運動に変換する。爪レバーに設けられた引き爪(4)と押し爪(5)により、爪レバーが伝え車(6)に対して前進するときは、押し爪により伝え車を回転させ、後退するときは引き爪により伝え車を回転させることで常に同じ方向に伝え車を回転させることで、ゼンマイを巻き上げることができる。なお、Fig.11 下図では、見易いように爪レバーを平面方向にずらした位置に図示している。

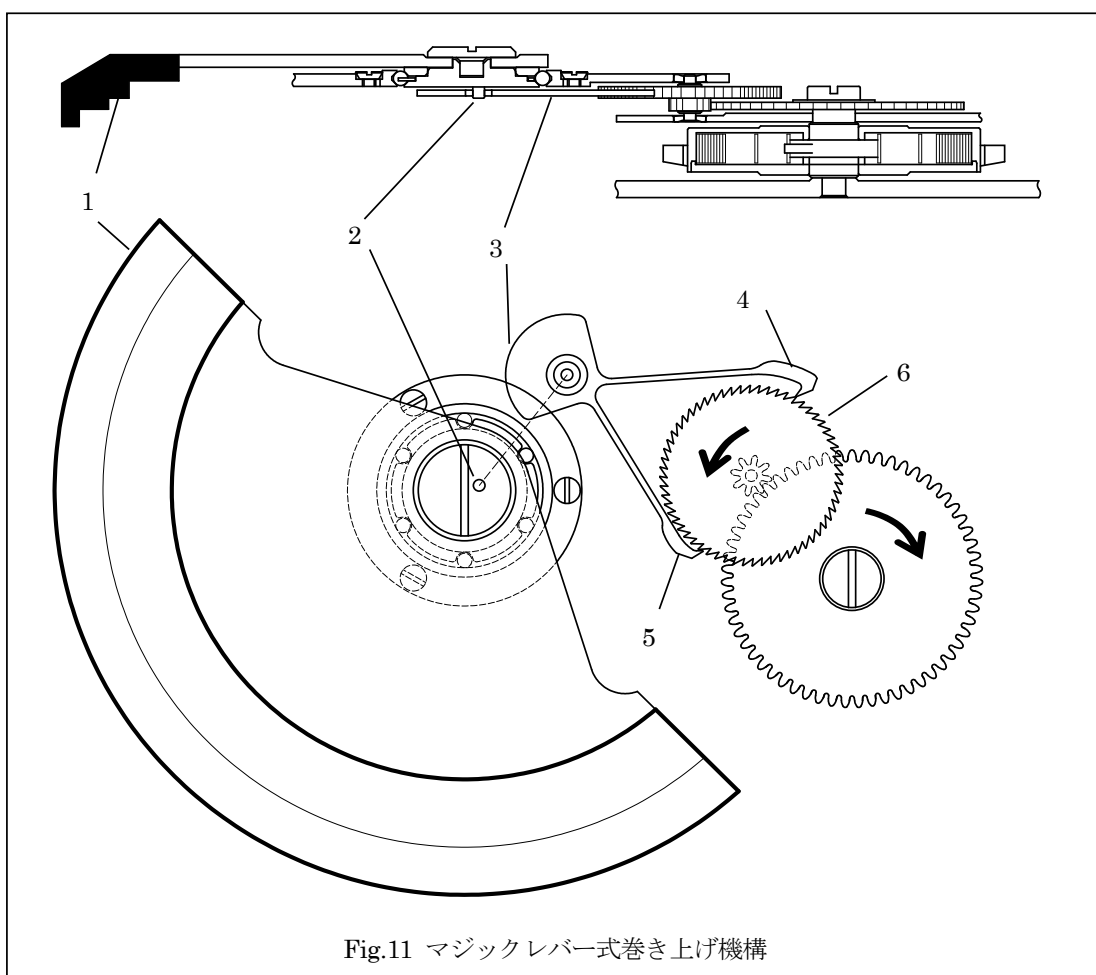


Fig.11 マジックレバー式巻き上げ機構

ここまでは自動巻き機構の機構面の違いに着目して各機構を紹介してきたが、すべて回転錘がムーブメントの裏蓋側に積み重ねられたレイアウト前提の自動巻き機構であった。

自動巻き機構の分類方法として、回転錘の配置違いによる分類も可能であり、簡単に紹介する。

Fig.12は、マイクロローター方式と呼ばれる自動巻き機構である。自動巻き機構を駆動用ゼンマイ、駆動輪列や调速脱進機と同じ高さにレイアウトすることで、ムーブメントの薄型化を実現している。当然ながら回転錘の1次モーメントは小さくなるため、駆動用ゼンマイトルクを小さくするなどの工夫が必要となる。

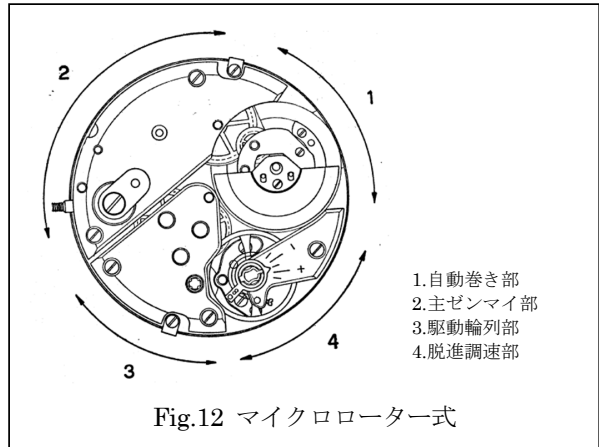


Fig.12 マイクロローター式

Fig.13は、ペリフェラルローター方式と呼ばれる自動巻き機構を説明する図面である。回転錘をムーブメント外周位置にレイアウトすることで、ムーブメントの薄型化を実現している。この構造を採用する場合、回転錘が回転する際の摩擦負荷が大きくなりやすく、巻上性能の低下につながるため、摩擦負荷を下げるための回転錘の案内構造が重要である。

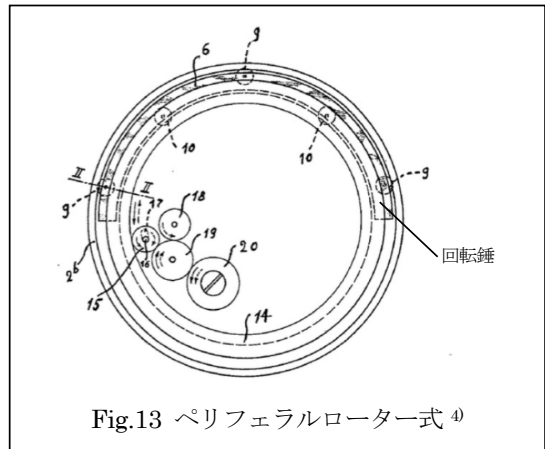


Fig.13 ペリフェラルローター式 ④

マイクロローター方式、ペリフェラルローター方式ともに、回転錘の両方向の回転運動をゼンマイ

巻き上げのための一方方向の回転運動に変換するため、自動巻き機構には前述の各種巻き上げ機構が採用されている。

また、ムーブメントの薄型化を実現する以外に裏蓋側からムーブメントが見える外装構造を採用した際、自動巻き機構以外のムーブメント部品がユーザーから確認し易くなり、部品の加飾要素をユーザーにアピールできる利点もある。そのため、高級ブランドを中心に両方式の巻き上げ機構を採用した時計を見ることができる。

5. 自動巻き機構搭載時の手巻き機構

自動巻き機構を採用した時計であっても、竜頭を使った手巻き機構を搭載していることが一般的である。ただし、自動巻き機構と手巻き機構を同時に採用する場合、注意が必要である。一般的な手巻き機構をそのまま搭載すると自動巻き機構にとって大きな負荷となり、巻き上げ性能の低下を招く。これは自動巻き機構により角穴車を回転させると角穴車と噛合っている竜頭を含めた手巻き機構の輪列を回転させようとするためである。

この対策として、自動巻き機構と同時に搭載される手巻き機構には単純なクラッチ機構が採用されることが一般的である。詳しく Fig.14 を使って説明する。

竜頭～巻真を使ってゼンマイを手巻きで巻き上げる場合、Fig.14 左図に示すように、丸穴車(1)～第1中間車(2)～第2中間車(3)～角穴車(4)の順に回転トルクが伝達される。第2中間車は軸受部がトラック穴形状で案内されており、手巻き機構側から巻き上げた場合は、第2中間車は角穴車側に移動した状態を保持しながら回転することで角穴車と噛合い、竜頭からの回転トルクがゼンマイまで伝達される(Fig.14 左図)。

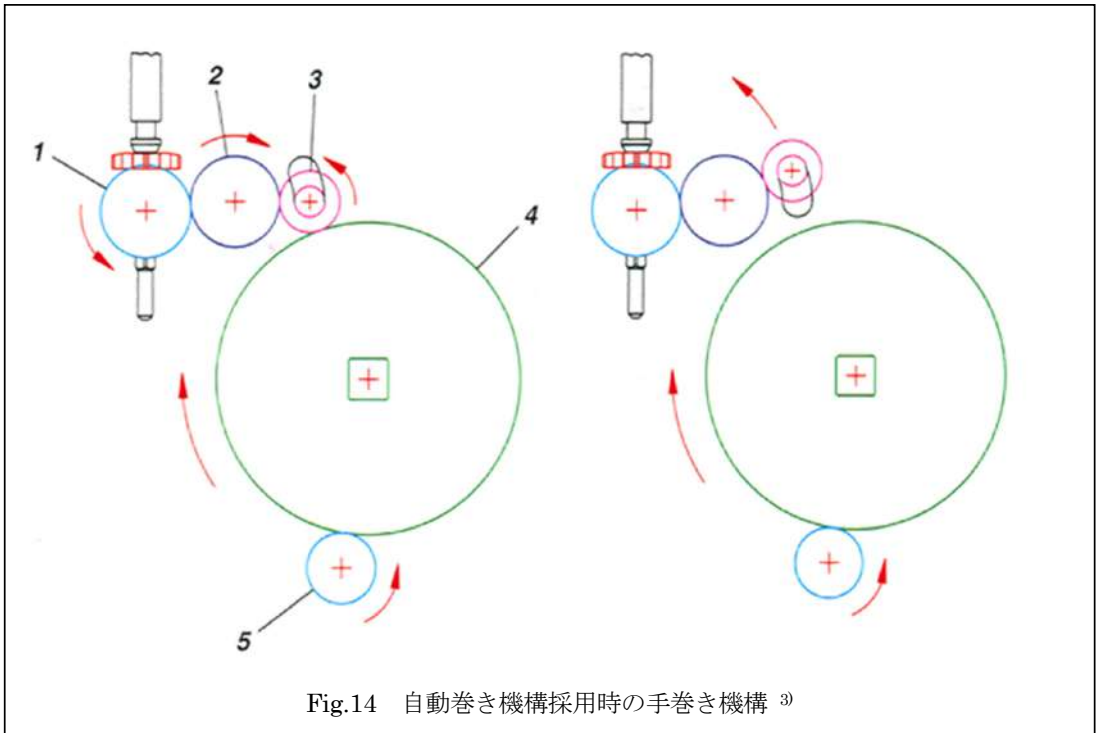


Fig.14 自動巻き機構採用時の手巻き機構³⁾

一方、自動巻き機構側(5)から角穴車が回転させられた場合は、第2中間車は角穴車から逃げる方向に移動することで角穴車との噛合いが外れ、手巻き機構の輪列は駆動されない(Fig.14 右図)。

なお、第2中間車の位置を安定させるため、ばねによる負荷を与えることが一般的である。このばね力は自動巻き機構に対する負荷となるため、ばね力はできるだけ弱くすることが望ましい。また、ここで紹介したクラッチ機構以外にも丸穴車を揺動させることで、手巻き時と自動巻き時の切り替えを行う手巻き輪列機構も多く採用されている。

6. まとめ

機械式腕時計の大半を占める自動巻き時計であるが、本稿において紹介した機構以外にも多くの自動巻き機構が搭載されており、各メーカーの個性が出ており大変興味深い状況である。一つの方式に統一されていないということは、いずれの機構も決定的に優れているわけではなく、各メーカーの考え方や目指す方向性の違いが出ていると考えられる。

本稿では触れていないが、巻き上げ性能を向上させるための細部の工夫や技術開発を各社が実施している。それは摩擦による損失を低減するためや、腕の運動をできるだけ効率良く回転錘の運動エネルギーに変換するためのものである。また機構の改良に留まらず、素材・潤滑油の開発、表面処理技術の開発など多岐に及んでいる。一方、自動巻き機構に使われる各部品には比較的大きな側圧がかかるため、耐久性を向上させるための技術開発も活発に行われている。例としてセラミック素材の採用や無注油化といったものが挙げられる。こういった開発は今後も継続していくであろう。

引用, 参考文献

- 1) B. HUMBERT : SWISS SELF-WINDING WATCHES, pp.2, (1956)
- 2) MEN'S CLUB BOOKS 15 腕時計 THE WRIST WATCH. 婦人画報社, pp.88-89, (1987)
- 3) CHARLES-ANDERE REYMONDIN, GEORGES MONNIER, DIDIER JEANNERET, UMBERTO PELARATTI : The Theory of Horology, Swiss Federation of Technical Colleges, pp.177-182, 185-186, (1999)
- 4) [http : //thewatchblog.net/](http://thewatchblog.net/)

解説

日本の時計産業の概況

2023年

目次

ウォッチ完成品（グローバルオペレーション）

- 1-1 日本のウォッチ完成品総出荷（輸出+国内出荷）数量の推移 [機種別]
- 1-2 日本のウォッチ完成品総出荷（輸出+国内出荷）金額の推移 [機種別]
- 1-3 日本のウォッチ完成品輸出の推移 [機種別]
- 1-4 2023年の日本のウォッチ完成品輸出 [地域別構成比]
- 1-5 日本のウォッチ完成品国内出荷の推移 [機種別]

クロック完成品（グローバルオペレーション）

- 2-1 日本のクロック完成品総出荷（輸出+国内出荷）数量の推移 [機種別]
- 2-2 日本のクロック完成品総出荷（輸出+国内出荷）金額の推移 [機種別]
- 2-3 日本のクロック完成品輸出の推移 [機種別]
- 2-4 2023年の日本のクロック完成品輸出 [地域別構成比]
- 2-5 日本のクロック完成品国内出荷の推移 [機種別]

注)

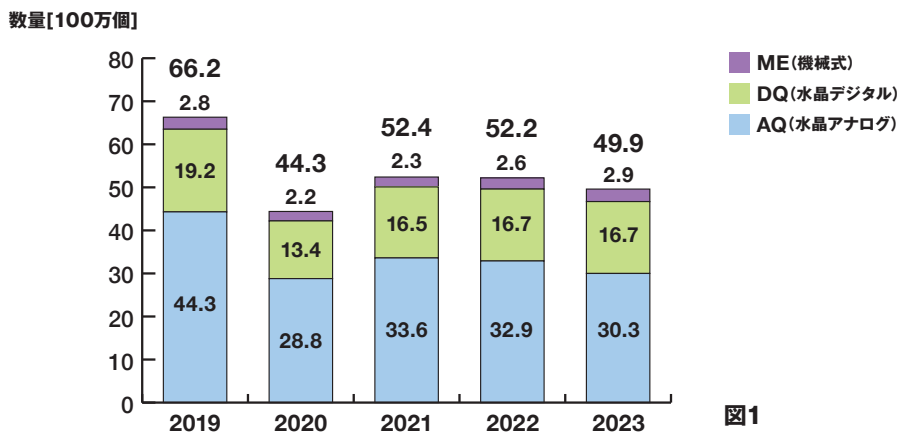
- 1. 日本のグローバルオペレーション：日本の時計企業の海外生産・出荷を含む事業活動
- 2. 図1~8、9~16は日本時計協会の統計データに基づく
- 3. 金額は、輸出はFOB、国内出荷は税抜き売り渡し価額
- 4. AQ は水晶コンビネーションを含む水晶アナログ、DQ は水晶デジタル、ME は機械式時計

2024年 3月

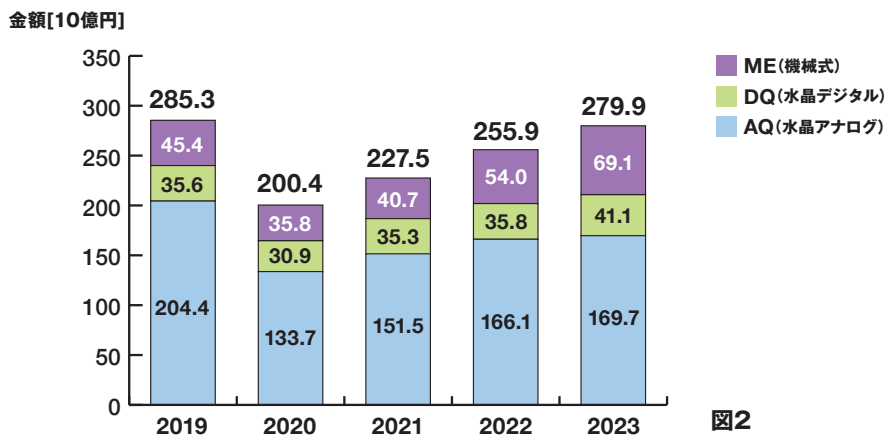
一般社団法人日本時計協会

ウォッチ完成品（グローバルオペレーション）

1-1 日本のウォッチ完成品総出荷（輸出+国内出荷）数量の推移 [機種別]



1-2 日本のウォッチ完成品総出荷（輸出+国内出荷）金額の推移 [機種別]



- 2023年日本の時計メーカーによるウォッチ完成品の総出荷（海外からの出荷を含む）は、数量49.9百万個で前年比4%減、金額2,799億円で同9%増であった。
- 機種別数量では、水晶アナログが前年比8%減、水晶デジタルが前年並み、機械式は前年比10%増であった。
- 参考値として、2023年の完成品とムーブメントの合計の出荷は、数量224.4百万個（前年比16%減）、金額3,212億円（同6%増）であった。

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

1-3 日本のウォッチ完成品輸出の推移 [機種別]

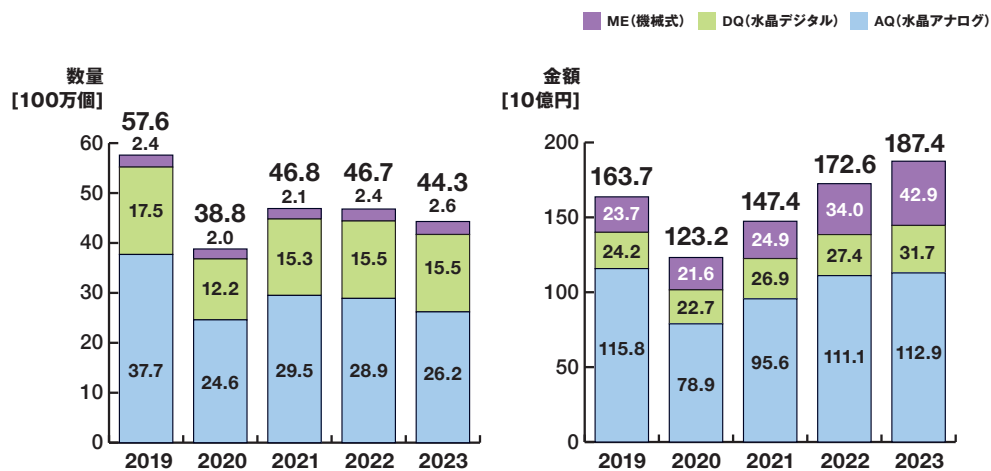


図3

図4

1-4 2023年の日本のウォッチ完成品輸出 [地域別構成比]

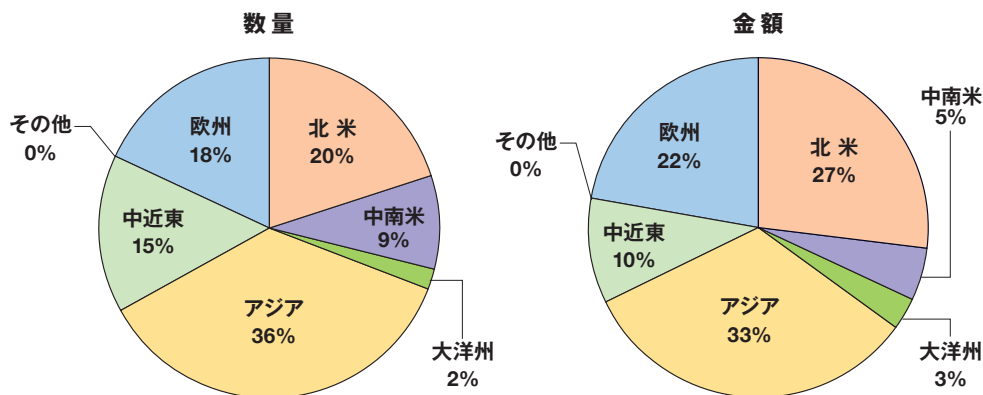


図5

図6

- 2023年日本の時計メーカーによるウォッチ完成品の輸出は、数量44.3百万個で前年比5%減、金額1,874億円で同9%増であった。
- 完成品の主な輸出先の対前年金額比較では、欧州が19%増、北米が5%増に対し、アジアは1%の増であった。

*輸出は海外からの出荷を含む。

1-5 日本のウォッチ完成品国内出荷の推移 [機種別]

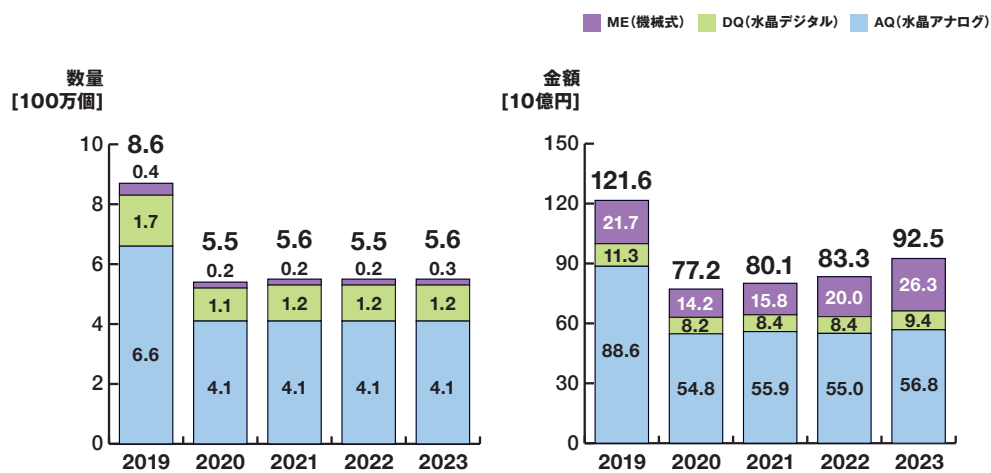


図7

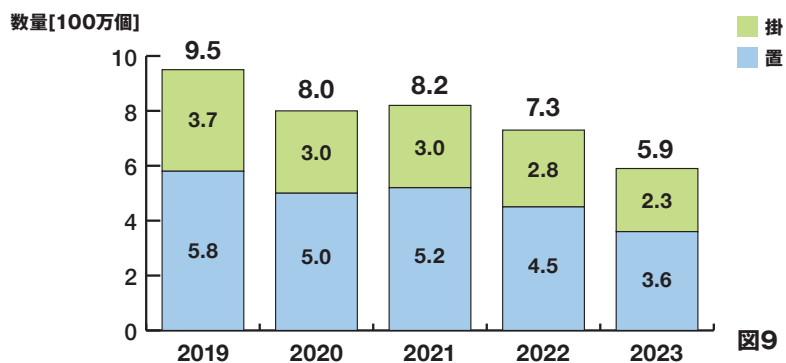
図8

- 2023年日本の時計メーカーによるウォッチ完成品の国内出荷は、数量5.6百万個で前年比2%増、金額925億円で同11%増であった。

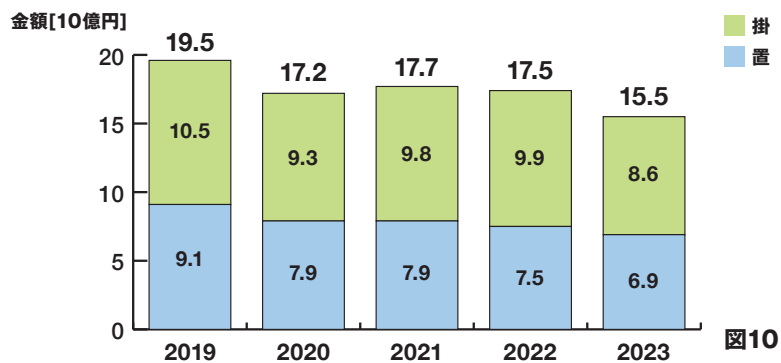
*四捨五入された数値を表示しているため、実際の計算結果と表示されている合計数が合わない場合があります。

クロック完成品(グローバルオペレーション)

2-1 日本のクロック完成品総出荷(輸出+国内出荷)数量の推移 [機種別]



2-2 日本のクロック完成品総出荷(輸出+国内出荷)金額の推移 [機種別]



- 計器板・その他は含まない(前年比較も同様)。
- 2023年日本の時計メーカーによるクロック完成品の総出荷(海外からの出荷を含む)は、数量が5.9百万個で前年比19%減、金額は155億円で同11%減となった。
- 機種別数量では、置時計が前年比21%減、掛時計は同17%減であった。
- 参考値として、2023年の完成品とムーブメントの合計の出荷は、数量7.0百万個(前年比18%減)、金額158億円(同11%減)となった。

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

2-3 日本のクロック完成品輸出の推移 [機種別]

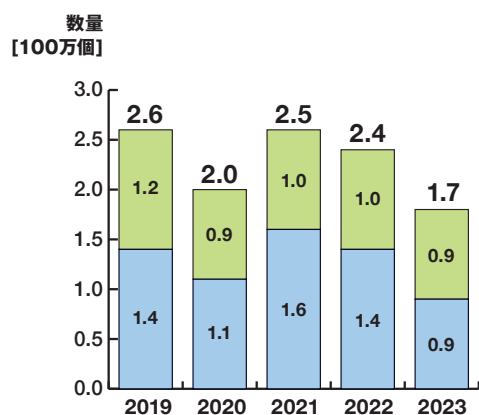


図11

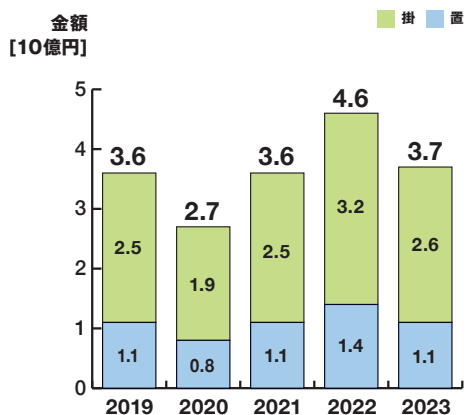


図12

2-4 2023年の日本のクロック完成品輸出 [地域別構成比]

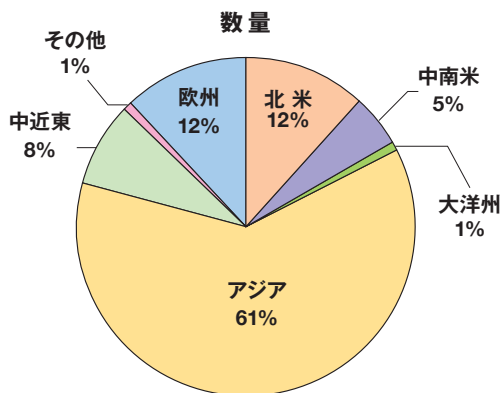


図13

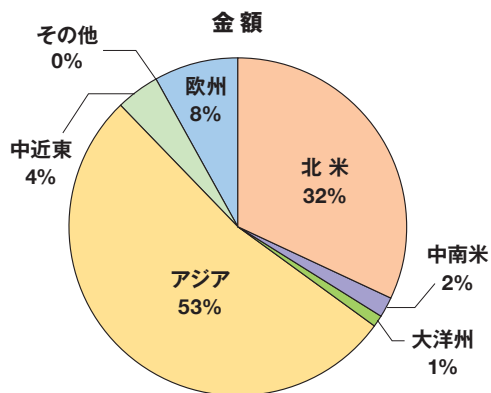


図14

- 2023年日本の時計メーカーによるクロック完成品の輸出（海外からの出荷を含む）は、数量1.7百万個で前年比27%減、金額37億円で同20%減であった。
- 完成品の主な輸出先の対前年金額比較では、北米が28%減、アジアが6%減であった。

*輸出は海外からの出荷を含む。

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

2-5 日本のクロック完成品国内出荷の推移 [機種別]

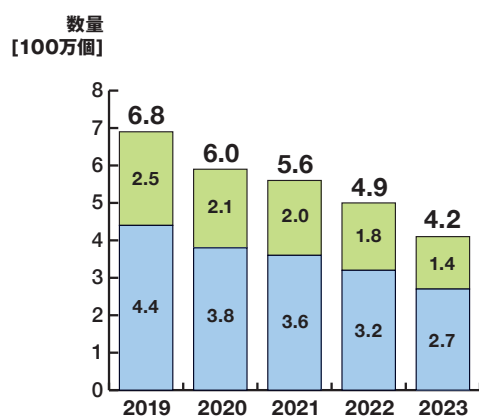


図15

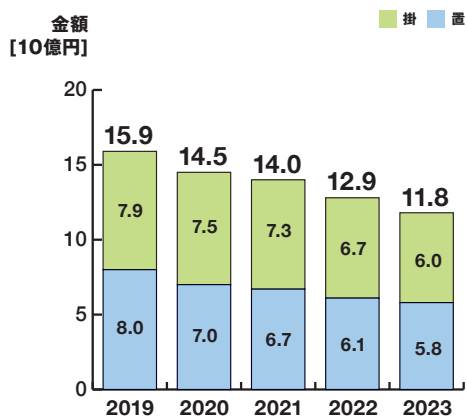


図16

- 2023年日本の時計メーカーによるクロック完成品の国内出荷は、数量4.2百万個で前年比16%減、金額は118億円で同8%減であった。

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

見学会報告

羽田クロノゲート

松島怜志
カシオ計算機株式会社

見学先 : 羽田クロノゲート
<https://www.yamato-hd.co.jp/facilities/haneda-chronogate/>
〒144-0042 東京都大田区羽田旭町 11-1

運営会社 : ヤマトホールディングス株式会社

日時 : 2023年12月15日(金) 10:00~11:30

スケジュール : 10:00 ~ 11:00 見学コース案内
11:00 ~ 11:30 展示ホール自由見学

参加者 : 5名

本年度は日本時計学会見学会が上記の要領で開催された。

見学先の羽田クロノゲートは、スピード輸送に最適な陸海空の結節点である『羽田』に位置し、ヤマトグループの多彩な物流機能を支える重要な役割を担う、日本最大級の物流ターミナルである。見学コースでは、普段我々が目にすることのない宅急便の仕組みや設備、システムに関して映像や展示、荷物が実際に動いている様子を6つのゾーンを見て体験することができる。



見学会は、アテンダントの解説付きの見学コースの案内からスタートした。

最初の見学は、『100THANKS』と『企画展示コーナー』となっていた。ここでは、ヤマトグループのここまでの主だった歴史や、ヤマトグループが今行っている企業広告やCMについて映像や展示物を通して学ぶことができた。個人的に興味深かった話は、「宅急便」という言葉はヤマト独自のもので、「魔女の宅急便」というタイトルはヤマトがスポンサーになることで実現した、という世間に浸透させる言葉をヤマトが生んだという内容のものだ。

次に『見学者ホール』に移動して、次のコースでの注意点の案内とともに、ヤマトグループの宅急便

に込めた想いや今後のビジョンに関して映像を通して理解することができた。

次に『見学者コリドー』へ移動して、実際にトラックから回収した荷物が「クロスベルトソータ」というベルトコンベアによって、高速で運ばれ、仕分けされていく様子を見学した。フル稼働すると一時間で 48000 個の荷物を仕分けすることもできるほど高速で仕分けできるだけではなく、荷物の大きさが小さくても大きくても形も異なっても仕分けすることができるような仕組みになっていることに私含め見学者一同感心させられた。

そして次に『集中管理室』に移動し、羽田クロノゲート内の各システムのセキュリティに対する取り組みや、効率化を追求する様子を見学した。機器の故障が無いかの他にもトラックが何台とまっているか、ベルトコンベアから荷物の落下が無いかなど様々な情報が大量のモニタに表示されていて、担当者がその情報を確認することで効率的に施設の管理ができている様子を体感することができた。

最後に『展示ホール』に移動して、ヤマトグループが考える物流の社会価値や貢献について映像と自由見学の時間で理解を深めた。自由見学では、ヤマトグループのサービスの社会的価値を、それぞれに合った見せ方で 30 個の「キーワード」と「引き出し」で体験することができる。写真のように、キーワード一つ一つに対して、その内容の理解を深める様々なコンテンツが引き出しの中に収められていて、見学者たちは自由にその引き出しを開けてコンテンツを楽しみつつヤマトグループや物流への理解を深めることができる仕組みになっている。

また、見学コースの最後にはヤマトグループの実際の業務を模した作業を体験し、お土産をもらうことができた。



羽田クロノゲートの見学では「6つのゾーンでヤマトの『はこぶ』を体験できる」というコンセプト通り、見学コースを回することで様々な角度からヤマトグループの物流を見学、体験できる物流の知見を深めるのに最適な内容だった。

最後にこの場をお借りして、見学コースで丁寧かつ分かり易いご説明をしていただいた担当の方々や、快く写真撮影をしてくださったに担当の方々に深く感謝する。

会 報

一般社団法人 日本時計学会
2024年度 事業計画書
(自 2024年1月1日～至 2024年12月31日)

I. 事業計画

1. 学術講演会, 研究会, 見学会等の開催

[1] マイクロメカトロニクス学術講演会

マイクロメカトロニクス学術講演会を9月中旬, 中央大学 後楽園キャンパスで開催する。
研究論文発表12件程度を予定する。

[2] 研究会

時計及び時計応用技術に係わる最先端のテーマを選定し, 専門の講師を招いての研究会を, 4月及び11月の2回, 中央大学 後楽園キャンパスで開催する。
また, 特別研究会を年2回程度開催する。

[3] 見学会

会員の研修のため, 産業界, 特に時計技術に関連する分野において顕著な業績を挙げている工場, 研究機関等の見学会を6月に行う。

2. 時計及び時計応用技術に関する研究調査分科会

時計及び時計応用技術に関する研究調査を行うため, 過年度より進行中の研究調査分科会1件を継続して進める予定である。研究調査分科会の成果は報告書または学会誌の記事によって報告する。

[1] 名称:「機械式時計の組立・修理を行うAIロボット」

(主査: 木村 南 東京都立産業技術高等専門学校非常勤講師・本学会理事)
「機械式時計の組立・修理を行うAIロボットの可能性」をテーマとした先端技術研究・調査を継続して実施する。

2024年度はAI技術の応用事例・AIロボット研究について特別研究会を実施する。

[2] 時計技術解説

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

2024年度は, マイクロメカトロニクス Vol. 68, No. 230 と Vol. 68, No. 231 において, 2回の連載を実施する。

3. 学会誌, 学術図書等の刊行

[1] 学会誌「マイクロメカトロニクス」を下記のとおり年2回発行する。

Vol. 68, No. 230 : 2024年6月, 250部

Vol. 68, No. 231 : 2024年12月, 250部

学会誌を魅力的なものとする取り組みとして特集記事を掲載する。

[2] 学術講演会講演論文集を年1回発行する。

マイクロメカトロニクス学術講演会講演論文集：2024年9月，電子配布

4. 研究の奨励及び研究業績の表彰

[1] 青木賞.

青木賞表彰委員会を設け，2022年度および2023年度の日本時計学会誌「マイクロメカトロニクス」に掲載された研究論文の中から，当学会初代会長青木保博士を記念した第58回青木賞受賞の対象として研究論文を1編選考する。

マイクロメカトロニクス学術講演会の際，第58回青木賞贈呈式を行う。

[2] ベストプレゼンテーション賞

マイクロメカトロニクス学術講演会における優秀な講演発表者に対し，第7回ベストプレゼンテーション賞をマイクロメカトロニクス学術講演会の技術交流会において授与する。

5. 内外関係機関等との交流及び協力

[1] 国内機関との交流

国立国会図書館へ学会誌「マイクロメカトロニクス」およびマイクロメカトロニクス学術講演会講演論文集を納本する。

科学技術振興機構へ学会誌の電子データを提供する。

日本時計学会は平成18年5月9日付けで日本学術会議より協力学術研究団体として指定を受けている。

[2] 外国機関との交流

スイス時計学会 SSC: Société Suisse de Chronométrie との機関誌等の情報交換を行なう。

[3] 関係学会との協賛

研究会および学術講演会を，一般社団法人エレクトロニクス実装学会，一般社団法人日本機械学会，公益社団法人精密工学会，一般社団法人電気学会，公益社団法人応用物理学会，公益社団法人計測自動制御学会，一般社団法人電子情報通信学会，公益社団法人日本設計工学会，一般社団法人日本ロボット学会，公益社団法人日本磁気学会等，関係学協会の協賛を得て開催する。

II. 会議に関する事項

1. 理事会を6回以上開催する。
2. 定時社員総会を3月に開催する。
3. 各研究調査分科会を4回程度開催する。
4. 企画委員会を3回程度開催する。
5. 青木賞表彰委員会を2回程度開催する。
6. 編集委員会を4回程度開催する。

2024年度 収支予算計算書

一般社団法人 日本時計学会

新会計基準（新科目）	2023年度		2024年度	備考
	予算額	決算額	予算額	
【収入の部】				
売上高	3,201,000	3,349,000	3,392,000	
受取入会金	5,000	9,000	5,000	新規入会5名×@1000
正会員受取会費	670,000	620,000	650,000	会員数現状維持（130名）
学生会員受取会費	1,000	1,000	2,000	会員数現状維持（2名）
賛助会員受取会費	2,000,000	1,975,000	2,000,000	会員数増加（1口1社増、計80口14社）
研究会収入	100,000	118,000	120,000	開催数（3回/年）想定人数：会員10人、非会員5人
講演会収入	410,000	606,000	600,000	ハイブリッド開催（2023年並）
学会誌収入	15,000	20,000	15,000	2冊減（計3書店6冊×@2500）
営業外収入	652,320	552,180	552,200	
受取利息	120	216	200	2023年並み
雑収入	652,200	551,964	552,000	
広告収入	550,000	440,000	440,000	2023年並み（カラー1頁+白黒4頁）
著者抄録使用料	2,200	1,760	2,000	
著作権等使用料	100,000	110,204	110,000	2023年並み
収入計	3,853,320	3,901,180	3,944,200	
【支出の部】				
販売管理費	4,287,218	4,413,135	4,442,607	
事務委託費	1,500,000	1,470,096	1,500,000	
雑給	22,000	66,410	72,000	学生アルバイト時給増（1200円化）
外注費	474,000	395,120	434,000	
J-STAGE変換	100,000	21,120	60,000	2023年1号分のみ、2024年は3号分計上
会計事務所	374,000	374,000	374,000	2023年継続
広告宣伝費	132,000	132,000	132,000	
旅費交通費	30,000	29,440	30,000	
通信費	156,536	148,338	181,336	
NTT&ネット	51,000	51,416	51,000	
学会誌発送送料	33,000	28,152	33,000	
会計ソフト	52,536	52,536	72,336	会計ソフト値上げ
その他	20,000	16,234	25,000	総会案内用往復はがき値上げ他
消耗品費	30,000	18,982	30,000	
水道光熱費	60,200	47,846	50,000	
電気代	38,000	25,670	28,000	
水道代	22,200	22,176	22,000	
支払手数料	10,000	36,960	15,000	事務所の更新料減
賃借料	1,109,482	1,082,312	1,005,312	事務所の更新料減
租税公課	70,000	80,023	70,000	都税のみ、理事登記費用減
諸謝金	78,000	77,959	77,959	特別講演1回@33411+研究会2回@22274
印刷製本費	600,000	630,322	630,000	
制作費	600,000	630,322	630,000	2023年並ページ数、250部
会議費	0	176,500	200,000	学術講演会時の懇親会
雑費	15,000	17,771	15,000	青木賞メダル、ベストプレゼン賞賞状など
保険料	0	3,056	3,496	
営業外支出	0	0	0	
支出計	4,287,218	4,413,135	4,442,607	
収支差額	-433,898	-511,955	-498,407	

一般社団法人 日本時計学会
2023年度 事業報告書
(自 2023年1月1日～至 2023年12月31日)

I. 事業の状況

1. 学術講演会、研究会、見学会等の開催

[1] マイクロメカトロニクス学術講演会

日時 : 2023年9月15日(金) 13:00～17:00
会場 : 中央大学 後楽園キャンパス 5号館 5335号室
および、オンラインによるハイブリッド開催

プログラム

- ・講演発表 : 6件
- ・特別講演 : 1件
テーマ:「天文ライフから生まれた天体時計」
講師 : 元シチズン・アクティブ(株) 上原 秀夫 氏

参加者 : 71名

[2] 研究会

① 春季研究会 :

テーマ : 和光 ～誰もが知っている和光の知られざる世界～

講師 : 株式会社 和光

デザイン部 部長 武蔵 淳 氏

日時 : 2023年6月16日(金) 14:00～16:00

会場 : 中央大学 後楽園キャンパス 2号館 2215・2221号室(製図室)
および、オンラインによるハイブリッド開催

参加者 : 20名

② 秋季研究会 :

テーマ : バイタルセンシングが変えるヘルスケアと半導体の今

講師 : アナログ・デバイセズ(株)

ヘルスケアディレクター 山口徳寛 氏

日時 : 2023年11月10日(金) 14:00～15:30

会場 : 中央大学 後楽園キャンパス 2号館 2215・2221号室(製図室)
および、オンラインによるハイブリッド開催

参加者 : 12名

[3] 見学会 :

見学先 : 「羽田クロノゲート見学コースアテンダントツアー」

日時 : 2023年12月15日 9:50～11:30

参加者 : 5名

2. 時計及び時計応用技術に関する研究調査分科会

2023年度は次の特別研究会1件で、概要は以下の通りである。

- [1] 名称：「生成系 AI の展望! -画像解析の基礎～AI カメラ活用 外観検査・マーケティング-」
(主査：木村 南 東京都立産業技術高等専門学校・本学会理事)
講師：株式会社神戸デジタル・ラボ

Digital Intelligence チーム 佐伯佳則 氏

日時：2023 年 10 月 27 日(金) 13:20～15:00

会場：中央大学後楽園キャンパス 5 号館 1 階 5138 号室

および、オンラインによるハイブリッド開催

参加者：12 名

[2] 時計技術解説

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

2023 年度の連載は、以下の通りである。

- ・調速機（調速機の基本） : マイクロメカトロニクス Vol. 67, No. 228
- ・巻上機構（手巻き） : マイクロメカトロニクス Vol. 67, No. 229

3. 学会誌, 学術図書等の刊行

- [1] 学会誌「マイクロメカトロニクス」を下記のとおり年 2 回発行した。

Vol. 67, No. 228 : 2023 年 6 月, 250 部

Vol. 67, No. 229 : 2023 年 12 月, 250 部

- [2] 学術講演会講演論文集を年 1 回発行した。

マイクロメカトロニクス学術講演会講演論文集(pdf) : 2023 年 9 月, オンラインで配布

4. 研究の奨励及び研究業績の表彰

[1] 青木賞

第 57 回青木賞選考は、2021 年度および 2022 年度の日本時計学会誌「マイクロメカトロニクス」に掲載された論文 7 編に対して、選考委員 7 名による予備審査と表彰委員 5 名による本審査の 2 段階で行われた。その結果、下記論文を第 57 回青木賞として推薦することで、表彰委員全員の賛同及び理事会の承認を得、マイクロメカトロニクス学術講演会において表彰した。

- ・第 57 回青木賞表彰論文：

「脱進機効率向上のためのシリコンがんぎ車開発」

2022 年度 Vol.66, No.227

著者：舟川 剛夫氏, 永坂 栄一氏（セイコーエプソン株式会社）

- 推薦理由：予備審査を通過した論文は、どれも優れたものであったが、本論文は、本学会の学術論文として独創性、有用性、困難性のすべてにおいて高い評価を受け、総合評価でも最高得点を得た。

[2] ベストプレゼンテーション賞

2018 年度より、優秀な講演発表者を表彰する日本時計学会ベストプレゼンテーション賞（英文名：HIJ Best Presentation Award）を新設した。下記の講演に対して、第 6 回ベストプレゼンテーション賞を授与した。

タイトル：グランドセイコー Kodo：機械的エネルギーと感性価値の伝達

所属：セイコーウオッチ（株）

講演者：川内谷 卓磨氏

また下記の講演について選考委員特別賞を授与した。

タイトル：時計用 A0 オイル添加剤の高耐久性を活かした環境対応型 A0 工業油の開発

所属：シチズン時計(株)

講演者：赤尾 祐司氏

5. 内外関係機関等との交流及び協力

[1] 国内機関との交流

国立国会図書館へ学会誌「マイクロメカトロニクス」を納本した。また、科学技術振興機構へ学会誌の電子データを提供した。

日本時計学会は平成18年5月9日付けで日本学術会議より協力学術研究団体として指定を受けている。

[2] 外国機関との交流

スイス時計学会(SSC: Société Suisse de Chronométrie)へ学会誌を寄贈した。

[3] 関係学会との協賛

研究会および学術講演会を、一般社団法人エレクトロニクス実装学会、一般社団法人日本機械学会、公益社団法人精密工学会、一般社団法人電気学会、公益社団法人応用物理学会、公益社団法人計測自動制御学会、一般社団法人電子情報通信学会、公益社団法人日本設計工学会、一般社団法人日本ロボット学会、公益社団法人日本磁気学会等、関係学協会の協賛を得て実施した。

6. その他、学会の目的を達成する為に必要な事業

特に無し。

II. 処務の概要

1. 役員等に関する事項

一般社団法人 日本時計学会 役員名簿

2023年12月31日現在

役職	氏名	常・非常勤	就任年月日	年間給与	担当	所属
代表理事	大隅 久	非常勤	2023年3月3日	無し	業務総括	中央大学
業務執行理事	重城 幸一郎	非常勤	2023年3月3日	無し	代表理事補佐 事務局（経理）	セイコーウォッチ（株）
業務執行理事	横山 正尚	非常勤	2023年3月3日	無し	事務局（総務）	セイコータイム クリエーション（株）
理事	足立 武彦	非常勤	2023年3月3日	無し	編集担当	
理事	今村 美由紀	非常勤	2023年3月3日	無し	編集委員長 青木賞・企画担当	セイコータイム クリエーション（株）
理事	木村 南	非常勤	2023年3月3日	無し	企画委員長 広報担当	東京都立産業技術高等専門学校
理事	佐々木 健	非常勤	2023年3月3日	無し	編集・事業担当	
理事	土肥 徹次	非常勤	2023年3月3日	無し	事業委員長 編集担当	中央大学
理事	永田 洋一	非常勤	2023年3月3日	無し	編集副委員長	シチズン時計（株）
理事	中川 誠	非常勤	2023年3月3日	無し	事業担当	カシオ計算機
理事	中島 悦郎	非常勤	2023年3月3日	無し	広報・企画担当	ブイテック インターナショナル（株）
理事	中宮 信二	非常勤	2023年3月3日	無し	広報・編集 事業担当	セイコーエプソン（株）
理事	増田 純夫	非常勤	2023年3月3日	無し	編集担当	

監事	岸 良一	非常勤	2023年3月3日	無し	—	一般社団法人 日本時計協会
監事	吉村 靖夫	非常勤	2023年3月3日	無し	—	

2. 職員に関する事項

業務を担当する職員はいない。

3. 理事会及び総会に関する事項

[1] 理事会

開催年月日	主な議事事項	会議の結果
第1回理事会 2023年3月3日 (定時社員総会前)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定時社員総会議案についての確認 - 1号議案 2022年度収支決算及び事業報告 - 2号議案 2023年度予算及び事業計画 - 3号議案 理事および監事の選任 ・ 出版編集関係 ・ 新入会員の承認 ・ 監事からの提案について 	<p>提案内容承認</p> <p>承認 承認 継続審議</p>
第2回理事会 同 3月3日 (定時社員総会后)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 定時社員総会議案についての確認 ・ 新任の運営委員の選任 ・ 2023年度の体制について ・ 2023年度春季研究会について ・ 2023年度見学会について ・ 2023年度理事会の日程について ・ 監事からの提案について 	<p>確認 承認 審議・承認 継続審議 継続審議 承認 継続審議</p>
第3回理事会 同 4月21日	<ul style="list-style-type: none"> ・ 新入会員の承認 ・ 新任運営員の承認 ・ 出版編集関係 ・ 2023年度春季研究会について ・ 2023年度見学会について ・ マイクロメカトロニクス学術講演会について ・ 青木賞選考について ・ 監事からの提案について ・ 特別研究会について 	<p>承認 承認 承認 継続審議 継続審議 継続審議 承認 継続審議 継続審議</p>
第4回理事会 同 6月16日	<ul style="list-style-type: none"> ・ 出版編集関係 ・ 第57回青木賞選考の経緯と表彰論文の推薦について ・ マイクロメカトロニクス学術講演会について ・ 2023年度春季研究会実施報告(速報) ・ 2023年度見学会について ・ 特別研究会について ・ 監事からの提案について 	<p>承認 審議・承認</p> <p>審議・承認 承認 継続審議 承認 継続審議</p>
第5回理事会 同 9月15日	<ul style="list-style-type: none"> ・ 出版編集関係 ・ 2023年度春季研究会実施報告 ・ 2023年度見学会について ・ 2023年度秋季研究会について ・ 特別研究会について ・ インボイス制度について ・ 新入会員の承認 ・ 監事からの提案について 	<p>承認 承認 継続審議 審議・承認 承認 承認 承認 継続審議</p>
第6回理事会 同 11月10日	<ul style="list-style-type: none"> ・ 出版編集関係 ・ 定時社員総会議案検討 ・ マイクロメカトロニクス学術講演会実施報告 	<p>承認 継続審議 承認</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ・ベストプレゼンテーション賞の審査結果報告 ・特別研究会実施報告 ・2023 年度秋季研究会実施報告（速報） ・2023 年度見学会について ・新入会員の承認 	承認 承認 承認 継続審議 承認
第 7 回理事会 同 12 月 15 日	<ul style="list-style-type: none"> ・出版編集関係 ・定時社員総会議案確認 ・2023 年度決算見込，2024 年度収支予算案 ・2023 年度事業報告，2024 年度事業計画 ・2023 年度秋季研究会実施報告 ・2023 年度見学会実施報告（速報） ・2024 年度研究会・見学会幹事について ・2024 年度春季研究会について ・新任運営委員の推薦 ・新入会員の承認 	承認 継続審議 継続審議 継続審議 承認 承認 承認 継続審議 承認 承認

[2] 総会

開催年月日	主な議事事項	会議の結果
定時社員総会 2023 年 3 月 3 日	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1 号議案 2022 年度収支決算及び事業報告・監査報告 ・ 2 号議案 2023 年度予算および事業計画 ・ 3 号議案 理事および監事の選任 	承認 承認 承認（選任）

4. 許可，認証，承認，証明などに関する事項

該当なし。

5. 契約に関する事項

契約年月日：2023 年 5 月 23 日（2025 年 5 月 22 日まで）

相手方：株式会社 エム・シーリース

契約の概要：事務局として朝日九段マンション 522 号室の賃貸借契約

6. 主務官庁指示に関する事項

該当なし。

7. 会員数動向

会員種別	2023 年度末	2022 年度末	増減数
正会員	132（名）	130（名）	+2（名）
賛助会員	13（社）	14（社）	-1（社）
学生会員	3（名）	2（名）	+1（名）
計	148	146	+2

*2023 年度末の会員数は 12 月度理事会承認後

8. その他重要事項

該当なし。

収支計算書

一般社団法人 日本時計学会

自 2023年1月1日 至 2023年12月31日

新会計基準（新科目）	予算額	決算額	差異	コメント
【収入の部】				
売上高	3,201,000	3,349,000	148,000	
受取入金	5,000	9,000	4,000	
正会員受取会費	670,000	620,000	-50,000	会員数減少
学生会員受取会費	1,000	1,000	0	
賛助会員受取会費	2,000,000	1,975,000	-25,000	賛助会員1社(1口)減
研究会収入	100,000	118,000	18,000	特別研究会1回増
講演会収入	410,000	606,000	196,000	協賛金増
学会誌収入	15,000	20,000	5,000	
営業外収入	652,320	552,180	-100,140	
受取利息	120	216	96	
雑収入	652,200	551,964	-100,236	
広告収入	550,000	440,000	-110,000	カラー広告減影響
著作権等使用料	50,000	110,204	10,204	著作権等使用料に変更
複写使用料	50,000	-		
著者抄録使用料	2,200	1,760	-440	
収入計	3,853,320	3,901,180	47,860	
【支出の部】				
販売管理費	4,287,218	4,413,135	125,917	
事務委託費	1,500,000	1,470,096	-29,904	
雑給	22,000	66,410	44,410	アルバイト費用増
外注費	474,000	395,120	-78,880	
J-STAGE変換	100,000	21,120	-78,880	1号分のみ
会計ソフト	-	-	-	科目変更（外注費⇒通信費）
会計事務所	374,000	374,000	0	
広告宣伝費	132,000	132,000	0	
旅費交通費	30,000	29,440	-560	
通信費	156,536	148,338	-8,198	
NTT&ネット	51,000	51,416	416	
会計ソフト	52,536	52,536	0	
学会誌送送料	33,000	28,152	-4,848	
その他	20,000	16,234	-3,766	総会案内用往復はがき他
消耗品費	30,000	18,982	-11,018	
水道光熱費	60,200	47,846	-12,354	
電気代	38,000	25,670	-12,330	事務所訪問頻度減
水道代	22,200	22,176	-24	
支払手数料	10,000	36,960	26,960	事務所更新手数料の科目変更
賃借料	1,109,482	1,082,312	-27,170	事務所更新手数料の科目変更
保険料	0	3,056	3,056	更新時の火災保険計上漏れ
租税公課	70,000	80,023	10,023	理事の登記費用増
諸謝金	78,000	77,959	-41	
印刷製本費	600,000	630,322	30,322	印刷単価増
会議費	0	176,500	176,500	学術講演会時の懇親会費用増
雑費	15,000	17,771	2,771	
営業外支出	0	0	0	
支出計	4,287,218	4,413,135	125,917	
収支差額	-433,898	-511,955	-78,057	

決算報告書

2023 年度

自 2023年 01月01日

至 2023年 12月31日

貸借対照表

2023年12月31日 現在

一般社団法人 日本時計学会

(単位： 円)

資 産 の 部		負 債 の 部	
科 目	金 額	科 目	金 額
【流動資産】	2,946,409	【流動負債】	261,000
現金及び預金	2,941,386	未払法人税等	70,000
前払費用	5,015	前受会費	190,000
未収入金	8	前受入金	1,000
【固定資産】	5,941,959	負債の部合計	261,000
有形固定資産	500,000	純資産の部	
定期預金(基本財産)	500,000	【株主資本】	8,627,368
投資その他の資産	5,441,959	利益剰余金	8,627,368
敷金	140,000	その他利益剰余金	8,627,368
長期前払費用	1,959	繰越利益剰余金	8,627,368
定期預金(固定)	5,300,000	純資産の部合計	8,627,368
資産の部合計	8,888,368	負債及び純資産の部合計	8,888,368

損益計算書

2023年01月01日 ~ 2023年12月31日

一般社団法人 日本時計学会

(単位：円)

科 目	金 額	
【売上高】		
受 取 入 会 金	9,000	
正 会 員 受 取 会 費	620,000	
学 生 会 員 受 取 会 費	1,000	
賛 助 会 員 受 取 会 費	1,975,000	
研 究 会 収 入	118,000	
講 演 会 収 入	606,000	
学 会 誌 収 入	20,000	
売 上 高 計		3,349,000
売 上 総 利 益		3,349,000
【販売管理費】		
販 売 管 理 費 計		4,343,135
営 業 利 益		-994,135
【営業外収益】		
受 取 利 息	216	
雑 収 入	551,964	
営 業 外 収 益 計		552,180
経 常 利 益		-441,955
税 引 前 当 期 純 利 益		-441,955
【法人税等】		
法 人 税 等	70,000	
法 人 税 等 計		70,000
当 期 純 利 益		-511,955

販売費及び一般管理費内訳書

2023年01月01日～2023年12月31日

一般社団法人 日本時計学会

(単位：円)

科 目	金 額	
事 務 委 託 費	1,470,096	
雑 給	66,410	
外 注 費	395,120	
広 告 宣 伝 費	132,000	
会 議 費	176,500	
旅 費 交 通 費	29,440	
通 信 費	148,338	
消 耗 品 費	18,982	
水 道 光 熱 費	47,846	
支 払 手 数 料	36,960	
貸 借 料	1,082,312	
保 険 料	3,056	
租 税 公 課	10,023	
諸 謝 金	77,959	
印 刷 製 本 費	630,322	
雑 費	17,771	
販 売 管 理 費 計		4,343,135

個 別 注 記 表

2023年01月01日～2023年12月31日

一般社団法人 日本時計学会

1. この計算書類は、「中小企業の会計に関する基本要領」によって作成しています。
2. 重要な会計方針に係る事項に関する注記
 - ・消費税等の会計処理
 消費税等の会計処理は、税込方式によっています。

損益計算書

一般社団法人 日本時計学会

自 2023年1月1日 至 2023年12月31日

勘定科目	収益	非収益	合計	備考
売上高による部門割合	25.80%	74.20%	100%	
[売上高]				
受取入金	0	9,000	9,000	
正会員受取会費	310,043	309,957	620,000	
賛助会員受取会費	119,789	1,855,211	1,975,000	
学生会員受取会費	4,698	-3,698	1,000	
研究会収入		118,000	118,000	
講演会収入		606,000	606,000	
学会誌収入	20,000	0	20,000	
売上高合計	454,530	2,894,470	3,349,000	
[売上原価]	0		0	
期首商品棚卸高			0	
当期商品仕入高			0	
合計			0	
期末商品棚卸高			0	
売上原価			0	
売上総損益金額	454,530	2,894,470	3,349,000	
[販売管理費]				
事務委託費	379,284	1,090,812	1,470,096	
印刷製本費	630,322	0	630,322	
諸謝金	0	77,959	77,959	
雑給	33,410	33,000	66,410	
外注費	117,612	277,508	395,120	
広告宣伝費	34,056	97,944	132,000	
会議費	4,257	172,243	176,500	
旅費交通費	7,171	22,269	29,440	
通信費	59,059	89,279	148,338	
消耗品費	4,895	14,087	18,982	
水道光熱費	12,339	35,507	47,846	
支払手数料	9,529	27,431	36,960	
賃借料	279,234	803,078	1,082,312	
保険料	788	2,268	3,056	
租税公課	2,580	7,443	10,023	
雑費	575	17,196	17,771	
販売管理費計	1,575,111	2,768,024	4,343,135	
営業損益金額	-1,120,581	126,446	-994,135	
[営業外収益]				
受取利息	55	161	216	
雑収入	551,964	0	551,964	
営業外収益合計	552,019	161	552,180	
[営業外費用]			0	
営業外費用合計				
経常損益金額	-568,562	126,607	-441,955	
[特別利益]				
特別利益合計			0	
[特別損失]				
特別損失合計			0	
[当期純損益]			0	
税引前当期純損益金額	-568,562	126,607	-441,955	
法人税等	70,000	0	70,000	
当期純損益金額	-638,562	126,607	-511,955	

一般社団法人 日本時計学会 2023 年 11 月度 理事会議事録
－ 2023 年度 第 6 回理事会 －

(記録：横山 正尚 2023 年 11 月 13 日)

1. 開催日時：2023 年 11 月 10 日 (金) 16:00～17:00
2. 場所：中央大学後楽園キャンパス 2 号館 2215・2221 教室，オンライン開催 (Web 会議システムとして Zoom を使用)
3. 出席者：

<理事>今村 美由紀，木村 南，土肥 徹次，中川 誠，中島 悦郎，永田 洋一，横山 正尚 (以上 7 名)

以下の出席者は Web 会議システムを用いて参加した。

<理事>大隅 久，重城 幸一郎，足立 武彦，佐々木 健，中宮 信二，増田 純夫 (以上 6 名)

<監事>

監事 web 会議システムを用いて参加した。

岸 良一，吉村 靖夫 (以上 2 名)

理事総数 13 名の過半数につき理事会成立

<運営委員>，小川 浩良，嶋野 彰従，萩田 拓史 (以上 3 名)

以下の出席者は Web 会議システムを用いて参加した。

<運営委員>岩崎 洋介，小笠原 健治，藤沢 照彦 (以上 3 名)

定刻，議長 代表理事 の大隅 久が開会を宣言した。議長は理事大隅 久，重城 幸一郎，足立 武彦，佐々木 健，中宮 信二，増田 純夫および幹事 岸 洋介，吉村 靖夫が Web 会議の方法により本理事会に出席する旨を説明し，Web 会議システムにより，出席者の音声と映像が即時に他の出席者に伝わり，出席者が一堂に会するのと同等に適時的確な意見表明が互いに行える状態となっていることを確認し，議事に入った。

4. 議事の経過の要領及びその結果

(1) 2023 年 9 月度理事会議事録確認

9 月度 (第 5 回) 理事会の議事録 (案) に問題ないことが確認された。

(2) 出版編集関係 (別紙資料配布 今村理事より説明)

マイクロメカトロニクス 2023 年 12 月号 (Vol.67, No.229) に向けて，入稿状況等の説明がされた。

- ・研究/技術報告 校閲中 2 件，入稿待ち 2 件
- ・依頼原稿関連 入稿済み 9 件，校正中 1 件，入稿待ち 1 件

既存の研究/技術報告の呼称変更は投稿規定の変更が間に合わず 12 月号では実施せず。

(3) 年度末末に向けての確認

- ・定時総会，理事会の日程
定時総会：2024 年 3 月 1 日 (金) 開催予定。
2024 年度の理事運営委員会開催日を決定した。

(4) マイクロメカトロニクス学術講演会実施報告 (土肥理事より説明)

- 参加者 : 71 名 (会員 39 名，一般 32 名)
- 講演発表 : 6 件 (第 1 セッション：3 件，第 2 セッション：3 件)
- 特別講演 「天文ライフから生まれた天体時計」
講師 元シチズン・アクティブ (株) 上原 秀夫氏

Google forms による参加申し込み一覧のファイルに一時トラブルが発生し，集計が遅れたため正式には次回報告されることとなった。運用方法等をマニュアル化する等，予防の必要がある。

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

2023 年度日本時計学会ベストプレゼンテーション賞の選考結果の詳細について報告がされた。

受賞：グランドセイコー Kodo：機械的エネルギーと感性価値の伝達，セイコーウオッチ(株) 川内谷 卓磨 氏
また，以下の発表に対し選考委員特別賞を授与した。

時計用 AO オイル添加剤の高耐久性を活かした環境対応型 AO 工業油の開発，シチズン時計(株) 赤尾 祐司 氏*

※第 1 回受賞者

規定上，ベストプレゼンテーション賞の受賞は原則 1 度となっているため，講演申込時に既受賞者はベストプレゼンテーション賞の対象とならない旨を伝達することとした。

(6) 特別研究会について (別紙資料配布 木村理事より説明)

- タイトル：生成系 AI の展望! 画像解析の基礎～AI カメラ活用 外観検査・マーケティング
- 講師：株式会社神戸デジタル・ラボ 佐伯 佳則氏
- 日時：10/27 (金) 13:20～15:00
- 会場：中央大学理工学部 5 号館 1 階 5138 号室
- 参加者：11 名 (会員 4 名，一般 3 名，学生 4 名)

(7) 秋季研究会開催報告(速報) (小川運営委員より報告)

- テーマ：ウェアラブルヘルスマニタリングの最前線
- 講師：アナログ・デバイセズ (株) ヘルスケアディレクター 山口徳寛氏
- 日時：2023 年 11 月 10 日 14:00～16:00
- 会場：中央大学後楽園キャンパス 2215・2221 教室，オンライン開催
- 参加者：14 名 (会員 8 名，一般 6 名)

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

「羽田クロノゲート」の施設の団体見学申込は依然不可，最大 10 名の一般枠を利用しての予約が可能であればという条件で 12/15 (金) AM10:00～11:00 の開催提案があり，承認された。

(9) 新入会員の承認

2 名の正会員の入会申し込みがあり，承認された。

阿部 浩士 (セイコーエプソン)	9/26	届出
川西 孝朋 (大阪府時計高等職業訓練校)	11/8	届出

(10) 次回理事会

・2023 年 12 月 15 日 (金)：第 7 回理事会，

5. 報告事項

・会員数状況

入会：上記の通り

退会：正会員 1 名

堤 博貴 (東京高専)	9/28	届出
-------------	------	----

会員数増減 (2023.11.10 承認後)

正会員 133 名 学生会員 2 名 賛助会員 13 社 (79 口)

以上をもって議案の審議等を終了したので，議長が午後 17 時 00 分に閉会を宣言し，解散した。
本日の Web 会議システムを用いた 2023 年 11 月度第 6 回理事会は，終始異状なく議題の審議を終了した。

以上

一般社団法人 日本時計学会 2023 年 12 月度 理事会議事録
— 2023 年度 第 7 回理事会 —

(記録：横山 正尚 2023 年 12 月 15 日)

1. 開催日時：2023 年 12 月 15 日 (金) 15:00～16:40
2. 場所：中央大学後楽園キャンパス 2 号館 2215・2221 教室，オンライン開催 (Web 会議システムとして Zoom を使用)
3. 出席者：
<理事>大隅 久，重城 幸一郎，今村 美由紀，木村 南，土肥 徹次，中川 誠，永田 洋一，横山 正尚 (以上 8 名)
以下の出席者は Web 会議システムを用いて参加した。
<理事>足立 武彦，中宮 信二，増田 純夫 (以上 3 名)
<監事>岸 良一 (以上 1 名)
理事総数 13 名の過半数につき理事会成立
<運営委員>岩崎 洋介，小笠原 健治，嶋野 彰従，萩田 拓史，藤沢 照彦 (以上 5 名)
以下の出席者は Web 会議システムを用いて参加した。
<運営委員>小川 浩良，(以上 1 名)

定刻，議長 代表理事 の大隅 久が開会を宣言した。議長は理事足立 武彦，中宮 信二，増田 純夫 Web 会議の方法により本理事会に出席する旨を説明し，Web 会議システムにより，出席者の音声と映像が即時に他の出席者に伝わり，出席者が一堂に会するのと同様に適時的確な意見表明が互いのできる状態となっていることを確認し，議事に入った。

4. 議事の経過の要領及びその結果

(1) 2023 年 11 月度理事会議事録確認

11 月度 (第 6 回) 理事会の議事録 (案) に問題ないことが確認された。

(2) 出版編集関係 (別紙資料配布 今村理事より説明)

マイクロメカトロニクス 2024 年 6 月号 (Vol.68, No.230) に向けて，入稿状況等の説明がされた。

- ・研究/技術報告 入稿済み 2 件，校閲中 1 件
- ・依頼原稿関連 校正中 1 件，入稿待ち 8 件

既存の研究/技術報告の呼称変更について投稿規定，校閲規定，原稿連絡票の改訂案が提示され，それぞれ承認された。

マイクロメカトロニクス学術講演会で発表済みで，学会誌未掲載のものについて論文投稿を推進するよう各社に要望があった。

(3) 2023 年度決算見込，2024 年度予算 (重城理事より説明)

2023 年度決算，2024 年度予算について説明があった。2024 年度予算について，資料の参照先に誤りがあったためメールにて追加報告することとなった。

(4) 2023 年度事業報告，2024 年度事業計画 (横山理事より説明)

2023 年事業報告，2024 年事業計画等の資料の修正版が展開され，問題無い事が確認された。

(5) 2023 年度秋季研究会実施報告 (別紙資料配布 小川運営委員より説明)

- テーマ：バイタルセンシングが変えるヘルスケアと半導体の今
- 内容：世界における疾病の状況や課題，その解決に向けた各種技術の説明とそれを可能とする半導体進化の紹介
- 講師：ヘルスケアディレクター 山口徳寛 氏
- 日時：2023 年 11 月 10 日 (金) 14 時 00 分～15 時 40 分
- 会場：中央大学 後楽園キャンパス 2 号館 2 階製図室 (2215・2221 室) およびオンライン開催

- 参加者：14名（正会員：8名，非会員：6名）
- 収入：40,000円／支出：28,634円（講師謝礼、交通費，学生アルバイト）／差額：+11,366円

(6) 2023年度見学会開催報告（速報）

- 場所：羽田クロノゲート
- 日時：12/15（金）9:50～11:30
- 参加者：5名

(7) 2024年度の研究会，見学会幹事の件（別紙資料配布，藤沢運営委員より説明）

以下の幹事会社が提案され，承認された。

- ・研究会（春）：セイコーエプソン（株）
- ・研究会（秋）：リズム（株）
- ・見学会：セイコーウォッチ（株）

(8) 2024年度春季研究会について（中宮理事より説明，幹事会社：セイコーエプソン（株））

以下の開催案が提案され，承認された。

- テーマ：次世代電源 全固体電池の現状と今後の展望
- 概要：

持続可能社会の実現に向け，全固体電池の開発が加速しています。全固体電池は，高容量，高出力をはじめ発火しない安全性と温湿度に対する長期信頼性に優れた特長を持ち，従来のリチウムイオン電池が適用できず一次電池を使用している，あるいはリチウムイオン電池では安全性に懸念が残る用途において，付加価値向上とともに，社会課題解決に貢献できる次世代電源として期待が高まっています。今回は，硫化物系固定電解質を使用したコイン型やセラミックパッケージ型の全固体電池開発でご活躍されているマクセル株式会社山田様をお招きし，全固体電池の現状と今後の開発動向についてご講演いただきます。

- 講師：マクセル 株式会社 新事業統括本部 ビジネス開発部 部長 山田 将之 氏
- 日時：2024年4月12日（金） 14時00分～15時40分
- 会場：中央大学 およびオンライン開催

(9) 新任運営員の推薦

木村理事より，2024年度からの運営委員として以下の2名の推薦があり，承認された。

- 安原 鋭幸 氏（日本工業大学）（非会員のため，入会予定）
- 越地 福朗 氏（東京工芸大学）（正会員）

(10) 新入会員の承認

1名の正会員の入会申し込みがあり，承認された。

- ・パトハック サーサク（中央大学） 届出 11/17

(11) 学生アルバイト時給について

令和5年10月1日より東京都の最低賃金が1,113（円/時）となっていることから，学生アルバイトの時給を2024年度より以下のように改正することとなった。

現行：1,000（円/時） → 新：1,200（円/時）

(12) 次回理事会

- ・2024年3月1日（金）：第1回理事会，総会，第2回理事会

5. 報告事項

・会員数状況

- 入会：上記の通り
- 退会：正会員2名

1. 廣川 潤一 (カシオ) 届出 12/4
 2. 真壁 友 (長岡造形大)
- 会員数増減 (2024.12.15 承認後)
正会員 132 名 学生会員 3 名 賛助会員 13 社 (79 口)

以上をもって議案の審議等を終了したので、議長が午後 16 時 40 分に閉会を宣言し、解散した。
本日の Web 会議システムを用いた 2023 年 12 月度第 7 回理事会は、終始異状なく議題の審議を終了した。

以上

一般社団法人 日本時計学会 2024 年 3 月度 理事会議事録 — 2024 年度 第 1 回理事会 —

(記録：横山 正尚 2024 年 3 月 1 日)

1. **開催日時**：2024 年 3 月 1 日 (金) 16:00～16:50
2. **場所**：中央大学後楽園キャンパス 2 号館 2215・2221 教室，オンライン開催 (Web 会議システムとして Zoom を使用)
3. **出席者**：
<理事>大隅 久，重城 幸一郎，今村 美由紀，木村 南，土肥 徹次，佐々木 健，中川 誠，中宮 信二，永田 洋一，横山 正尚 (以上 10 名)
以下の出席者は Web 会議システムを用いて参加した。
<理事>足立 武彦，中島 悦郎，増田 純夫 (以上 3 名)
<監事>岸 良一，吉村 靖夫 (以上 2 名)
理事総数 13 名の過半数につき理事会成立
<運営委員>岩崎 洋介，小笠原 健治，小川 浩良，鳴野 彰從，藤沢 照彦 (以上 5 名)
以下の出席者は Web 会議システムを用いて参加した。
<運営委員>萩田 拓史 (以上 1 名)

定刻，議長 代表理事 の大隅 久が開会を宣言した。議長は理事足立 武彦，中島 悦郎，増田 純夫，監事 岸 良一，吉村 康夫が Web 会議の方法により本理事会に出席する旨を説明し，Web 会議システムにより，出席者の音声と映像が即時に他の出席者に伝わり，出席者が一堂に会するのと同様に適時的確な意見表明が互いのできる状態となっていることを確認し，議事に入った。

4. 議事の経過の要領及びその結果

(1) 2023 年 12 月度理事会議事録確認

12 月度 (第 7 回) 理事会の議事録 (案) に問題ないことが確認された。

(2) 定時総会議案について

以下の各議案について最終確認を行い，問題ないことが確認された。なお，理事・監事については全員中間期かつ新任者がいないことが確認された。

- ・ 1 号議案 2023 年度決算及び事業報告
- ・ 2 号議案 2024 年度予算及び事業計画
- ・ 3 号議案 理事及び監事の選任

(3) 出版編集関係 (別紙資料配布 今村理事より説明)

マイクロマカトニクス 2024 年 6 月号 (Vol.68, No.230) に向けて，入稿状況等の説明がされた。

- ・ 研究／技術報告 入稿済み 3 件，校閲中 3 件
- ・ 依頼原稿関連 校正中 1 件，入稿待ち 8 件

23 年 9 月に入稿された研究論文が本会メールシステムの不具合によって入稿確認できず，著者に状況の説明と謝罪を行った旨が報告された。

(4) 新入会員の承認

以下の入会申し込みがあり、承認された。

- | | | | |
|---------|-------------|----|------------|
| 1. 正会員 | 松島 怜志 (カシオ) | 届出 | 2024/1/30 |
| 1. 賛助会員 | 東静工業 (株) | 届出 | 2023/12/28 |

(5) 監事からの提案について

次回より、出版編集関係での「論文投稿インセンティブ向上について」で報告することとした。

(6) その他

大隅代表理事より、これまで学会誌「マイクロメカトロニクス」に連載した「時計技術解説」を書籍化、一般販売してはどうかという提案があり、企画委員で具体化の検討を行うこととなった。

5. 報告事項

入会：上記の通り

退会：正会員 6 名

- | | | | |
|--------|-------------|----|------------|
| 1. 正会員 | 泉井 一浩 (京都大) | 届出 | 2023/12/25 |
| 2. 正会員 | 西脇 眞二 (京都大) | 届出 | 2023/12/25 |
| 3. 正会員 | 彦坂 直孝 (カシオ) | 届出 | 2023/12/28 |
| 4. 正会員 | 深田 茂夫 (信州大) | 届出 | 2023/12/28 |
| 5. 正会員 | 小川 浩良 (カシオ) | 届出 | 2024/2/21 |
| 6. 正会員 | 林 庄平 | 届出 | 2024/2/29 |

・会員数状況

正会員 127 名 学生会員 2 名 賛助会員 14 社 (80 口) (2024/3/1 承認後)

以上をもって議案の審議等を終了したので、議長が午後 16 時 50 分に閉会を宣言し、解散した。
本日の Web 会議システムを用いた 2024 年 3 月度第 1 回理事会は、終始異状なく議題の審議を終了した。

以上

一般社団法人 日本時計学会 2024 年度 定時社員総会議事録

(記録：横山 正尚 2024 年 3 月 1 日)

1. 開催日時：2024 年 3 月 1 日 (金) 17:05~17:40
2. 場所：中央大学後楽園キャンパス 2 号館 2215・2221 教室、オンライン開催 (Web 会議システムとして Zoom を使用)
3. 出席状況：以下の出席状況であり、定款の規定により本定時社員総会は成立
総会招集時に議決権ある社員総数 132 名、総社員の議決権の数 132 個、出席社員数 82 名 (委任状 61 名を含む)、この議決権の総数 82 個 (内 Web 会議によるもの 8 個)、
出席理事：大隅 久、重城 幸一郎、今村 美由紀、木村 南、土肥 徹次、佐々木 健、中川 誠、
中宮 信二、永田 洋一、横山 正尚 (以上 10 名)
Web 会議による出席理事：足立 武彦、中島 悦郎、増田 純夫 (以上 3 名)
Web 会議による出席監事：岸 良一、吉村 康夫 (以上 2 名)

定刻、議長 代表理事 の大隅 久が開会を宣言した。議長は 理事足立 武彦、中島 悦郎、増田 純夫、監事 岸 良一、吉村 康夫が Web 会議の方法により本理事会に出席する旨を説明し、Web 会議システムにより、出席者の音声と映像が即時に他の出席者に伝わり、出席者が一堂に会するのと同様に適時的確な意見表明が互いのできる状態となっていることを確認し、議事に入った。

4. 議題

(1) 1号議案：2024年度決算及び事業報告（別途資料を提示）

- 1)2023年度決算報告書について、経理担当 重城理事より説明報告がされた。
- 2)2023年度事業報告について、総務担当 横山理事より説明報告がされた。
特に異議なく、監事より適正であることの監査報告がされた。報告事項につき採決なし。

(2) 2号議案：2024年度予算及び事業計画（別途資料を提示）

- 1)2024年度収支予算書について、経理担当 重城理事より説明があった。
- 2)2024年度事業計画について、総務担当 横山理事より説明があった。
特に異議なく、採決の結果満場一致で承認された。

(3) 3号議案：理事及び監事の選任

理事13名と監事2名について、全員中間期であり、新任者もないことが報告された。

以上をもって議案の審議等を終了したので、議長が午後17時40分に閉会を宣言し、解散した。本日のWeb会議システムを用いた2024年定時社員総会は、終始異状なく議題の審議を終了した。

以上

一般社団法人 日本時計学会 2024年3月度 理事会議事録 － 2024年度 第2回理事会 －

（記録：横山 正尚 2024年3月1日）

1. 開催日時：2024年3月1日（金）17:50～18:20

2. 場所：中央大学後楽園キャンパス 2号館 2215・2221 教室，オンライン開催（Web会議システムとしてZoomを使用）

3. 出席者：

<理事>大隅 久，重城 幸一郎，今村 美由紀，木村 南，土肥 徹次，佐々木 健，中川 誠，中宮 信二，永田 洋一，横山 正尚（以上10名）

以下の出席者はWeb会議システムを用いて参加した。

<理事>足立 武彦，中島 悦郎，増田 純夫（以上3名）

<監事>岸 良一，吉村 靖夫（以上2名）

理事総数13名の過半数につき理事会成立

<運営委員>岩崎 洋介，小笠原 健治，小川 浩良，鳴野 彰従，藤沢 照彦，松島 怜志，藤井 浩司（以上7名）

以下の出席者はWeb会議システムを用いて参加した。

<運営委員>越地 福朗（以上1名）

定刻，議長 代表理事 の大隅 久が開会を宣言した。議長は理事足立 武彦，中島 悦郎，増田 純夫，監事 岸 良一，吉村 康夫が Web 会議の方法により本理事会に出席する旨を説明し，Web 会議システムにより，出席者の音声と映像が即時に他の出席者に伝わり，出席者が一堂に会するのと同等に適時的確な意見表明が互いのできる状態となっていることを確認し，議事に入った。

4. 議事の経過の要領及びその結果

(1) 定時総会議案について

以下の各議案について，定時社員総会について異議なく承認・確認されたことを確認した。

- ・ 1号議案 2023年度決算及び事業報告
- ・ 2号議案 2024年度予算及び事業計画
- ・ 3号議案 理事及び監事の選任

(2) 新任運営委員の選任

以下の新任運営委員の選任が提案された。

特に異議はなく一同これに同意し承認された。なお、被選任者は席上その就任を承諾した。

新任運営委員	藤井 浩司	氏	((一社) 日本時計協会)
新任運営委員	松島 怜志	氏	(カシオ計算機 (株))
新任運営委員	越地 福朗	氏	(日本工芸大学)

また、以下の運営委員の退任が報告された。

新任運営委員	岩崎 洋介	氏	((一社) 日本時計協会)
新任運営委員	小川 浩良	氏	(カシオ計算機 (株))

(3) 2024 年度の体制について (別紙資料配布 横山理事より説明)

運営委員の交代に伴い、2024 年度の業務体制について協議した結果、別紙一般社団法人日本時計学会組織図、及び業務体一覧のとおり承認された。

(4) 2024 年度春季研究会について (中宮理事、幹事会社：セイコーエプソン (株))

以下の開催案で予定通り開催準備が進んでいることが報告された。

- テーマ：次世代 電源 全固体電池 の 現状 と 今後の展望
- 日時：2024 年 4 月 12 日 予定

(5) 見学会について (重城理事 監事会社：セイコーウオッチ (株))

- テーマ：専門学校 ヒコ・みづのジュエリーカレッジ
次回第 3 回理事会で詳細を提案することが確認された。

(6) 2024 年度特別研究会・見学会について (木村理事より説明)

木村理事より以下のテーマによる特別研究会・見学会の同時開催が提案された。

- テーマ：
特別講演：「熟練者による手先作業や目視による色検査の自動化を可能にする独創のテクノロジー」
見学会：「力覚センサ・分光ビジョンシステムとロボット融合技術」
- 会場：セイコーエプソン株式会社・豊科事業所 (長野県安曇野市豊科田沢 6925)
開催が承認され、日程の調整を進めることとなった。

(7) 2024 年度理事会の日程について (第 3 回以降)

- ・ 2024 年 4 月 12 日 (金) : 第 3 回理事会, (春季研究会)
- ・ 2024 年 6 月 14 日 (金) : 第 4 回理事会, (見学会)
- ・ 2024 年 9 月 20 日 (金) : 第 5 回理事会, (学術講演会)
- ・ 2024 年 11 月 15 日 (金) : 第 6 回理事会, (秋季研究会)
- ・ 2024 年 12 月 13 日 (金) : 第 7 回理事会

5. 報告事項

特になし

以上をもって議案の審議等を終了したので、議長が午後 18 時 20 分に閉会を宣言し、解散した。
本日の Web 会議システムを用いた 2024 年 3 月度第 1 回理事会は、終始異状なく議題の審議を終了した。

以上

会員募集

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

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

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

講演募集

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

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

編集後記

これまで「マイクロメカトロニクス」に掲載する学術論文の種別は、「研究論文」と「技術報告」とに区分していましたが、この内「技術報告」を本号より「技術論文」へと改名いたしました。

これにより「技術論文」が査読付きの論文であることがより明確になり、著者の実績をアピールする手段としても活用しやすくなったのではと思います。

また、一昨年12月より論文をオープンアクセスとするまでの期間、いわゆるエンバーゴ期間を2年間から1年間に短縮しましたので、会員以外の方でもJ-Stageなどの電子ジャーナルプラットフォームを利用して、より短時間で論文を閲覧することが可能となりました。

更に最近では海外からの論文利用件数も増えており、時計という比較的特殊な分野における研究および技術への関心が高まっているのでは無いかと期待しております。

時計産業および時計学会の更なる発展のためにも、学術講演会での発表および論文投稿をこれまで以上にお願ひ出来ればと思います。

(今村 美由紀 記)