

研究

スマートグラスを用いた機械式時計の組立支援システムの試作

小柴瑞樹, 山崎純弥, 大隅久

中央大学大学院理工学研究科, 東京都文京区春日 1 丁目 13-27, 〒112-8551

(2021 年 11 月 16 日受付, 2021 年 11 月 29 日再受付, 2021 年 12 月 1 日採録)

Development of a Mechanical Watch Assembly Support System Using Smart Glasses

Mizuki KOSHIBA, Zyunya YAMAZAKI, and Hisashi OSUMI

Graduate School of Science and Engineering, Chuo University, 1-13-27, Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8551, Japan

(Received November 16, 2021, Revised November 29, 2021, Accepted December 1, 2021)

ABSTRACT

We have developed a prototype system to support the repair and assembly of mechanical watches using smart glasses with AR functions. The proposed system displays a translucent image from a stereo camera in the center of the screen of smart glasses. By shooting small parts at hand with a stereo camera, the operator can see the surrounding scenery through the glasses and a magnified 3D image in the center of the screen at the same time. To evaluate the effectiveness of the proposed system, some fundamental experiments were conducted. Several subjects first performed a handling task of very small screws with the naked eye, with a binocular stereomicroscope, and with the developed system using binocular stereomicroscope images in order to investigate technical issues. We also conducted experiments using two smart glasses, an old system with a larger video delay and a new system with a smaller video delay. As a result, it is revealed that both the work efficiency and the stereoscopic effect decrease if video delay occurs in the magnified image. It is also revealed that it is difficult to feel the sense of distance by the smart glass systems because the actual scenery and the magnified image which subjects can see at the same time represent spaces with different scales. Finally, it is investigated how the stereoscopic effect changes by changing the convergence angle from 12° to 20° in order to obtain a guideline for determining the convergence angle of the small cameras whose sizes fit a hand. As a result, the contradictory results were obtained that the subject's sensitivity in the depth direction was high when the optical axis of the camera was about 12° , while the subjective stereoscopic effect was highest when it was 20° . It is necessary to consider the way to use the system to determine the convergence angle.

1. 序論

近年高級機械式時計の需要が高まっておりその生産性, サポート体制の向上は, 国内時計業界の発展に大きく寄与するものと考えられる. しかし機械式時計はその構造の複雑さゆえ, シンプルなもので 100 パーツ, 複雑なものだと 2800 パーツ以上の部品から構成されている. これらの修理は, 現状では全て手作業で行われ

ている。部品のなかには肉眼で確認することが困難なほど小さいものも多く、非常に高度なスキルが求められる。多くの時計職人は双眼実体顕微鏡やキズミと呼ばれるルーペなどを用いて作業を行っている。しかしこれらのツールでは、設計図などを参照する際に作業が滞ったり、作業対象の拡大映像と実物を同時に見ることができない。

作業支援などを目的として、VR や AR を使用した様々なシステムが産業分野において数多く開発されている¹⁾。カメラで撮影した映像に情報を重畳し、ヘッドマウントディスプレイやタブレット端末で表示する AR システム²⁻⁴⁾では、AR 映像と実物を同時に見ることに適さない一方、スマートグラスと呼ばれるヘッドマウントディスプレイでは、透明なガラスなどに映像を投影するため、AR 映像と実物を同時に見ることができる。そこで先行研究として、山崎ら⁵⁾はスマートグラスを用いて、拡大映像と実物を同時に見ることのできる組立支援ツールを試作した。システムはスマートグラスと指でつまんで把持することのできる単眼小型カメラからなる。グラスを装着すると、全体の視野を保ちながら、画面中心に提示された小型カメラの映像を見ることができるので、このカメラを左手に持ち、組付け対象となる微細部品を拡大して映すことにより、右手での微細部品のハンドリングを支援することができる。スマートグラスの視野内に必要な情報を提示することで作業支援を行う AR システムはこれまで数多く開発されている^{6,7)}が、微細作業への応用として拡大映像を提示するシステムはまだ開発されていない。この試作機を、時計職人の方に装着していただきヒアリングを行ったところ、カメラ映像が単眼カメラのものであったことから、ピンセットの操作を行うための立体情報が不足しており、このままでは作業支援としての利用は難しいとの指摘があった。そこで本研究では、2 台の小型カメラにより撮影した立体拡大映像をスマートグラス上に映すことによって組立作業を支援するシステムの開発を目指す。まずは 2 台のカメラを双眼実体顕微鏡に取り付け、その映像をスマートグラスに提示するシステムを試作し、実験により有用性を調べることで、提案システムの課題を明らかにする。次に、スマートグラスで立体映像を知覚しやすいカメラ間の幾何的な関係を調べ、カメラを指先で扱うことのできる大きさにする際の、スマートグラスに適したカメラ配置について考察を行う。

2. スマートグラスを用いた立体拡大映像提示システム

2.1 人間が取得している立体情報

2 つのカメラ映像がどのような条件を満たすと立体感を効果的に提示できるかを調べる。人間が視覚により 3 次元空間を認識するために得ている立体情報は主に以下の 6 つであると言われている⁸⁾。

- (1) 両眼視差(両眼で知覚される対応点の水平位置のずれに基づいて奥行きが計算される)
- (2) 輻湊(両眼の角度)
- (3) 水晶体の焦点調節
- (4) 運動視差(物体からの距離に依存して移動に伴う相対的な位置ずれが異なる)
- (5) 隠蔽

(6) 大きさの恒常性

これらの中で、最も重要な情報とされているのは両眼視差であり、立体視を扱う際には、この両眼視差を取り上げることが多い。また James E. Cutting⁹⁾らは様々な立体知覚要因における観察距離に応じた奥行き知覚度合いを報告しており、これによれば、観察者からの距離が近い場合、両眼視差や輻輳と水晶体の調節、運動視差などが大きく影響することがわかる。よって本研究で開発する立体拡大映像提示システムでは、両眼視差や輻輳を取り入れることが、有効な手段になるのではないかと考えられる。

そこで、今回のシステムではこの両眼視差を利用して立体的な拡大映像をスマートグラス上に提示することのできるツールの開発を行った。

2.2 立体視提示装置の概要

まずはカメラを固定した状態で、スマートグラスを利用するために何が課題となるかを調べるため、Fig. 1 に示すシステムを作製した。2 台のカメラを双眼実体顕微鏡に取り付けてステレオカメラとする。この 2 台のカメラからの映像を PC に取り込み、ソフトウェアで映像を処理し、作業者の装着しているスマートグラス上に映す。作業者はグラス中央で半透明に提示されたこの立体拡大映像と、視野全体の両方を同時に見ることができる。

2.3 立体映像作成処理手順

スマートグラスにはセイコーエプソン社製の MOVERIO BT-30E を使用した。モニター機能に特化しており、既存のシステムに有線で接続することで手軽に使用できる。解像度 1280px × 720px、アスペクト比は 16:9 となっている。対応している 3D フォーマットは SideBySide 方式¹⁰⁾である。3D 映像を映す際は Fig. 2 のように、表示される画面を半分に分割し MOVERIO の左レンズに左半分の映像を、右レンズに右半分の映像を出力することによって 3D 映像を提示することができる。

フレームレートは利用するカメラに依存する。以降の実験では、System1 として 15 fps の DN3V-500（解像度 2592px × 1944px, QSXGA）を、System2 として 60 fps の DN3V-130（解像度 1280px × 1024px, SXGA）を利用し、それぞれの作業者に及ぼす影響について考察する。

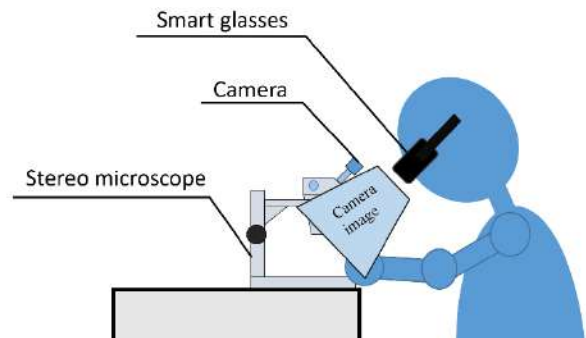


Fig. 1 Micro parts assembly support system.

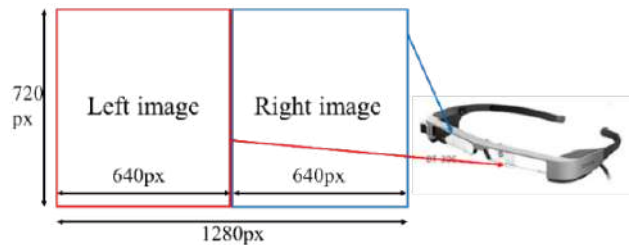
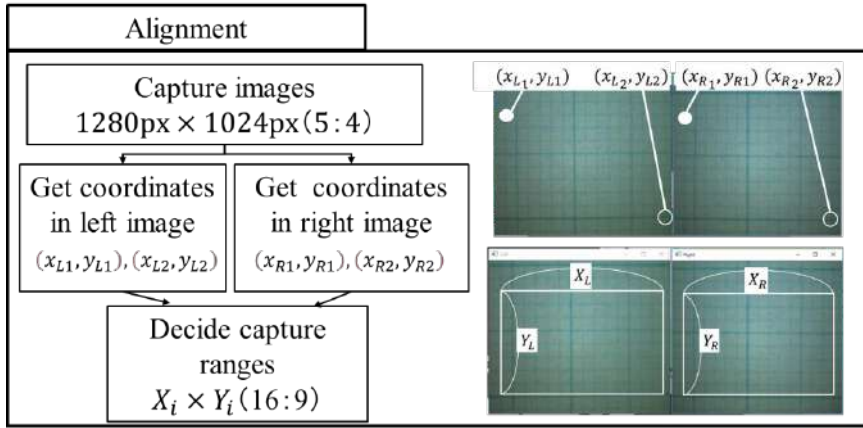
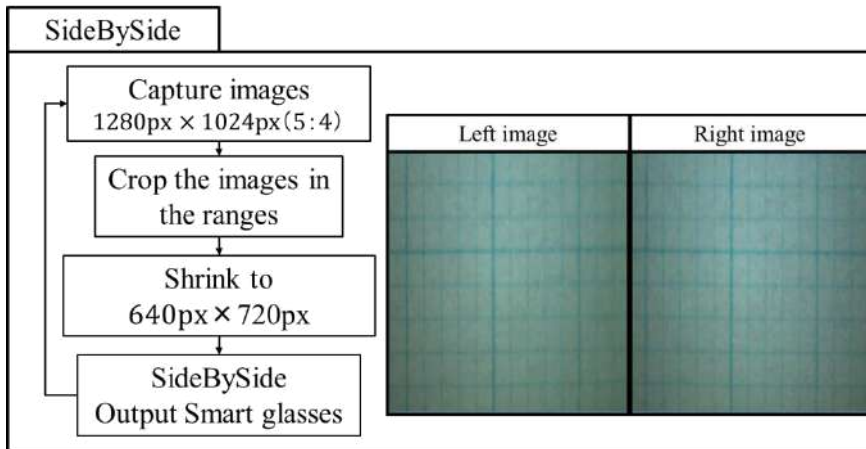


Fig. 2 Displayed image on smart glasses.



(a) Flow of the alignment process part.



(b) Flow of the alignment process part.

Fig. 3 Procedure for creating SideBySide image.

The resolution of the captured images in this figure is that of System 2.

On System 1, the resolution is 2592px x 1944px.

次に 2 つの映像を SideBySide 形式の映像に変換する手順を示す. この変換には OpenCV¹¹⁾を利用した. 立体映像作成の際にカメラの設置角度のずれ等により映像にずれが生じると, 映像の立体視の際に眼精疲労や視野闘争といった問題が発生する. そこで SideBySide 変換処理の前にカメラのキャプチャ範囲のずれを無くすためのアライメント処理を加える. これらの処理手順の詳細を Fig. 3 に示す. まず, カメラ映像をキャプチャする. 次に, 左映像と右映像の一致する映像上の座標をマウスでクリックすることにより取得する. Fig. 3 (a) で, 観察対象の左端と右端の基準点に対応する, 左側カメラ画面上の 2 点の座標 $(x_{L1}, y_{L1}), (x_{L2}, y_{L2})$, 右側カメ

ラ画面上の 2 点の座標 $(x_{R1}, y_{R1}), (x_{R2}, y_{R2})$ を決める. MOVERIO BT-30E の解像度は $1280\text{px} \times 720\text{px}$ (16:9)であるので, 左右それぞれの映像において, キャプチャ範囲の水平解像度 X_L, X_R が決まれば, 垂直解像度 Y_L, Y_R を式(1)で求めることができる. アライメント処理によって得られた $(X_L, Y_L), (X_R, Y_R)$ を用いて, 左右それぞれの映像で $(x_{L1}, y_{L1}), (x_{R1}, y_{R1})$ を範囲の左上基準点として, トリミングをする.

$$\begin{cases} X_i = x_{i2} - x_{i1}, \\ Y_i = X_i \times \frac{9}{16}. \end{cases} \quad (1)$$

MOVERIO BT30-E の解像度が $1280\text{px} \times 720\text{px}$ で, SydeBySyde 方式では左右映像の水平解像度はディスプレイ解像度の半分となる. そのため, トリミングした左右映像を $640\text{px} \times 720\text{px}$ まで縮小し, 横方向に結合する必要がある. そこで水平解像度に $640/X_i$ 倍し, 垂直解像度には $720/Y_i$ 倍することによって, 左右映像の解像度を $640\text{px} \times 720\text{px}$ まで縮小する. Fig. 3 (b)に示すように, 縮小した左右映像を並べ一つの映像として作成し直すことで SideBySide 映像を作成する.

3. 試作システムの評価実験

試作システムの評価を行うため, 以下の実験を行った.

3.1 試作システム

利用するシステムには, Table 1 に示す 2 つを利用した. システム 1 は初号機で, フレームレートは 15 fps, 映像遅延が 310 ms である. システム 2 は使用するカメラを変更したもので, フレームレートは 60 fps, 映像遅延が 140 ms である. 表示遅延の詳細を Fig. 4 に示す. カメラで撮影した映像を PC に転送するために 30 ms, PC か

Table 1 Specifications of prototype systems.

	SmartGrasses	Display image size	Microscope	Camera	Input image size	Frame rate	System delay
System1	MOVERIO BT-30E	1920×1080 FHD	NSZ-405	DN3V-500	2592×1944 px QSXGA	15 fps	310 ms
System2				DN3V-130	1280×1024 px SXGA	60 fps	140 ms

らスマートグラスに表示するまでに 100 ms の遅延が発生する. また, システム 1 では PC での処理に 180 ms を要していたが, システム 2 では最適化を行い 10 ms の遅延発生に留まっている.

3.2 実験方法

本実験では, 縦横 15 mm 高さ 8 mm の容器に入っている機械式時計用小ネジ(M0.7, ネジ部 0.85 mm)を, 10 mm 離れた別の同サイズの容器にピンセ

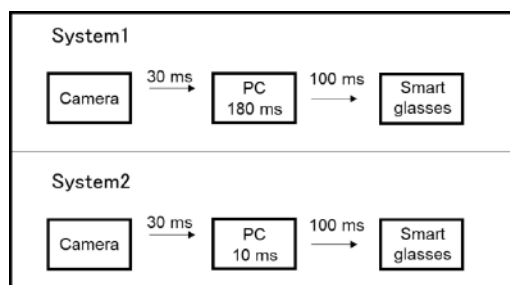


Fig. 4 Details of time delay in the system.

ットを用いて移し替える作業を行ってもらった。この作業を以下の 3 つの方法で各 5 回行いその比較を行った。

- (a)何もツールを用いない方法(裸眼)
- (b)双眼実体顕微鏡を用いる方法
- (c)今回開発した立体拡大映像提示システム

(b), (c)の倍率はともに 20 倍で行い、実験前には作業に慣れるために 5 分間練習を行った。なお、提案システムによる作業の際は、スマートグラスに表示された映像と、スマートグラス越しに見える全体視野を被験者が適宜使い分けて作業を行った。

3.3 評価方法

本実験の評価項目として被験者の 1 分間あたりの作業達成数平均 $\bar{\mu}$ pcs/min, ピンセットで掴むのに成功した割合 $p\%$ とした。尚 p は式(2)のように定義した。 n_s , n_t はそれぞれピンセットで掴むのに成功した回数, ピンセットの先を閉じた回数とする。

$$p = \frac{n_s}{n_t}. \quad (2)$$

また被験者には作業後に主観的な評価として Fig. 5 のような質問に対して 7 段階で評価を行った。スコアが大きくなるほどポジティブであることを意味する。

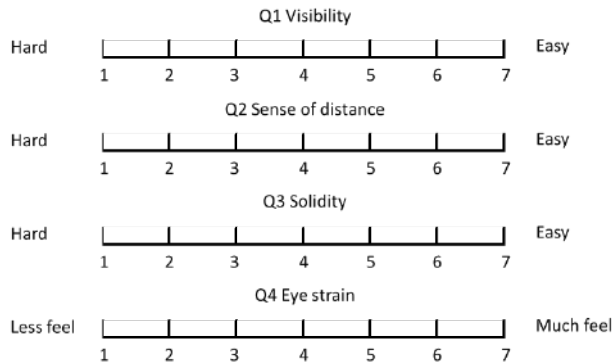


Fig. 5 Subjective evaluation of usability for experimental systems.

4. 実験結果と考察

4.1 実験結果

始めにシステム 1 による実験結果を示す。正常な両眼立体視機能を有する被験者は 20 代の学生 4 名で行った。作業達成数と成功率を Table 2 に示す。また被験者の主観的な評価の平均値を Fig. 6 に示す。

Table 2 より、1 分間あたりの作業達成数平均は(a)の何もツールを用いない方法が最も多く、作業成功数平均は(b)の双眼実体顕微鏡を用いる方法が最も高くなった。(c)の今回提案したスマートグラスを用いた立体拡

大映像提示システムは、どちらも一番低くなる結果となった。また被験者の主観的な印象もどれも(c)が低くなる結果となった。

Table 2 Average number of handled parts and percentage of success (system1).

	$\bar{\mu}$ [pcs/min]	p [%]
(a) Without support tools	14.1	50.8
(b) Use stereo-microscope	9.5	69.8
(c) Use assembly support system	6.2	50.4

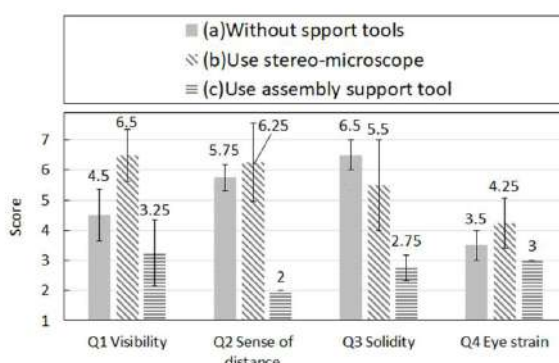


Fig. 6 Results of the subjective evaluation of the experiment (system1).

続いて、システム2による実験結果を示す。被験者はシステム1の実験とは異なる20代の学生4名で、いずれも両眼立体視機能は正常である。作業達成数と成功率をTable3に示す。また被験者の主観的な評価の平均値をFig.7に示す。

Table3より、1分間あたりの作業達成数平均は、今回何もツールを用いない(a)の方法が最も多く、作業成功数平均は(c)の今回提案したスマートグラスを用いた立体拡大映像提示システムを用いる方法が最も高くなった。

また、被験者の主観的な印象については、映像の見やすさは(b)が最も高く、(c)が最も低かった。距離感の掴みやすさでは、(a)と(b)が同率となり、(c)が最も低かった。立体的に見えるかという質問では3種類で大きな差が見られなかった。目の疲労を感じるかという質問では、(b)が最も疲労を感じ、次いで(c)であった。

Table 3 Average number of handled parts and percentage of success (system2).

	$\bar{\mu}$ [pcs/min]	p [%]
(a) Without support tools	27.7	66.5
(b) Use stereo-microscope	26.8	66.9
(c) Use assembly support system	21.3	69.2

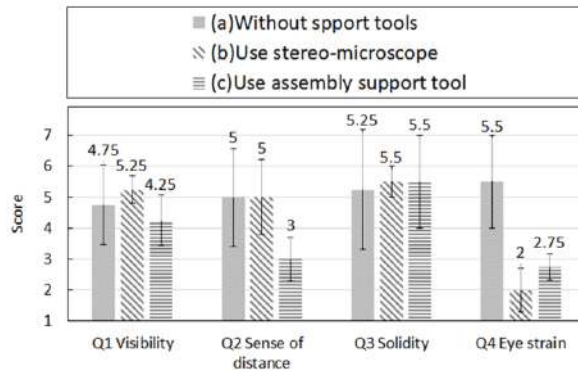


Fig. 7 Results of the subjective evaluation of the experiment (system2).

4.2 考察

(1) 作業回数と成功率について

まず、作業回数、成功率の実験結果を見ると、システム 2 による実験では裸眼での作業回数がシステム 1 による実験と比較して 2 倍近くになっており、実態顕微鏡を利用した場合では 2.8 倍となっている。どちらも同じ条件での実験であることから、被験者の対象作業への向き、不向きがかなり異なることがわかる。次に、裸眼と実態顕微鏡との比較では、システム 1 による実験ではおよそ 67% にまで回数が減少しているのに対して、システム 2 による実験の被験者では 97% と、裸眼とほぼ同じ回数となっている。これは、拡大映像中でピンセット先端を動かすことに対する慣れが、人によって異なっていることを表していると考えられる。裸眼と提案システムとを比較すると、システム 1 では提案システムを利用した場合 18% 程度にまで低下した作業回数が、システム 2 では 77% 程度とかなり改善されていることがわかる。以上より、2 種類のシステムを用いたそれぞれの実験での被験者の特性が大きく異なる一方、提案システムに関しては、システム 1 では効率にかなりの低下が見られるが、システム 2 では大幅な改善が見られる。ただし、いずれの場合にも立体映像と裸眼による全体視野を併用することができるにもかかわらず、作業回数には明らかな低下が見られる。この理由としては、部分拡大映像と全体視野の 2 つの異なる視野空間を作業者の頭の中で切り替える際に、なんらかの作業の遅れが発生するためだと考えられる。一方で、裸眼や双眼実態顕微鏡ではそのような切り替えが発生しないため、結果として作業達成回数に差が出たものと思われる。

(2) 主観的評価について

次に主観的評価を見ると、システム 1, 2 で提示した立体映像は双眼実態顕微鏡から得られる映像とほぼ同じであるにもかかわらず、システム 1 では距離感、立体感が大幅に低下していることがわかる。システム 2 では距離感の項目のスコアが低くなっているが、立体感は裸眼、実態顕微鏡とほぼ同じ値となっている。提案システム 1, 2 共に、中心部に小さく提示している拡大映像が全体視野と重畳されており、空間的な連続性が無い。このため、ピンセットの横方向の移動時には、手を動かすにつれて突然画面中央にピンセット先端の拡大映像

が出現する、といった応答となり、この空間の不連続性により距離感が掴みにくなっていると考えられる。ただし、システム 2 では立体感が裸眼、双眼実体顕微鏡と同等な評価となっており、立体感の提示には成功している。ただし、被験者はそれぞれ 4 人ずつであり、より詳細に調べるには被験者の数を増やす必要がある。

(3) システム 1 とシステム 2 の比較

システム 1 とシステム 2 を比較すると、距離感の評価はどちらも低くなっているが、立体感はシステム 2 でかなりの改善が見られ、また、作業回数と成功率の点からもかなりの改善があったと考えられる。システム 1 とシステム 2 の違いは、カメラの fps と映像遅延のみであることから、これらと結果の関係を考察する。

1) 映像遅延(レイテンシ)の存在

レイテンシと作業効率には深い関係があり、佐藤ら¹²⁾ および米田ら¹³⁾の報告によるとレイテンシが増加すると作業効率に低下が見られやすい。今回開発したシステムでは 140 ms のレイテンシが発生していた。被験者に感想を聞いたところ、手を素早く動かすと遅れて見えると回答があった。このことから素早いピンセットの位置決めが裸眼や顕微鏡を用いた場合と比較して困難になり、作業効率が低下し作業達成数が低くなったと考えられる。これがシステム 1 と 2 の差の大きな要因と考えられる。

2) 映像のフレームレート

フレームレートと作業効率には深い関係があり、黒川ら¹⁴⁾の報告によるとフレームレートが高いほど遠隔操縦での奥行き方向での到達誤差が低くなる。システム 1 で使用したカメラは 15 fps であるのに対してシステム 2 のカメラでは 60 fps の出力が可能である。フレームレートの向上により、提案システムの作業効率が向上したと考えられる。

5. 輻輳角と奥行き知覚の関係についての検討

今回の実験では、双眼実体顕微鏡と同じ輻輳角である 12°の角度を持たせたカメラ映像をスマートグラスに投影した。その結果システム 2 において、レイテンシと fps の影響をほぼ排除できたことにより、双眼実体顕微鏡とほぼ同じ程度で立体感覚を与えることに成功した。一方、これから開発を予定しているシステムでは、2 つのカメラを片手で持ち、手元の拡大映像をスマートグラスに投影しながらもう一方の手で微細部品のハンドリングを行うことを想定している。このように手元を拡大する際の視点とパーツの距離が

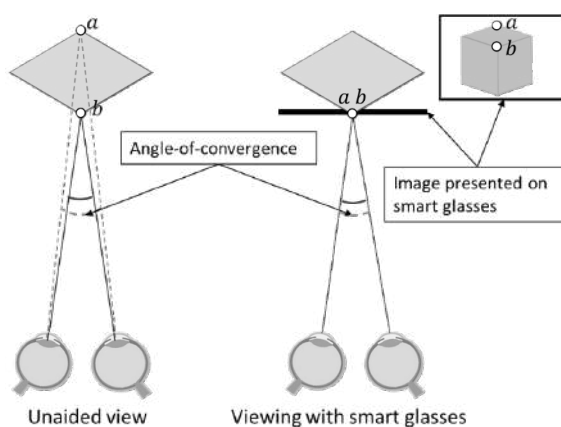


Fig. 8 Cause of lack of stereo information on screen image.

大幅に異なってくる場合、 12° という値が最適な輻輳角とは限らない。そこで輻輳角を何度に設定するのが望ましいのかについて、人間の知覚に対する輻輳角の影響を予め調べ検討する。

人間は主に 2 章で説明した 6 つの立体情報を得ているが、スマートグラス上での立体映像だと Fig. 8 に示すとおり、水晶体厚さが変化しないので、水晶体の厚さ変化による筋肉制御系の立体情報は与えることができない。ただし、これらの影響は今回の実験結果より影響が少ないことが示されている。一方、人間は近くを見るときは自然と眼球が内側を向き輻輳角が大きくなることから、輻輳角が大きいほうがより立体感が増すのではないかと考えられる。そこで、輻輳角が大きくなると奥行きの検出の閾値が小さくなる、すなわち奥行き方向の感度が高くなると予想し、以下の実験を行った。

5.1 実験方法

奥行きの検出の閾値の測定方法と使用した実験機を Fig. 9 に示す。2 つの白い円柱突起(間隔 $d = 10.0$ mm, 直径 1.0 mm, 基準高さ $h_1 = 1.0$ mm)のある白い板を用意し、実験機を用いて立体映像を撮影する。白い板にある 2 つの円柱突起の高さに差がないパターンと高さに徐々に差を持たせたパターンを用意した。円柱の高さに差を持たせるパターンは、奥行きの対比 s が 0.5 刻みで変化するように円柱の高さ h_2 を 1.0 mm から 4.5 mm まで変化させた。なお、奥行き対比 s は式(3)で定義される。

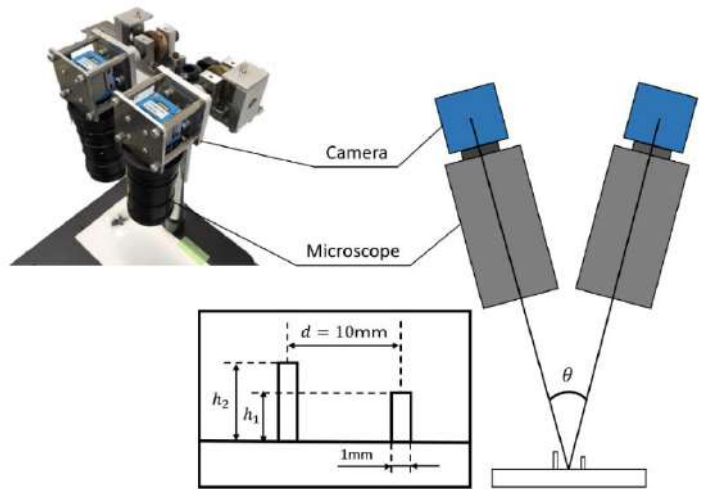


Fig. 9 Measurement method for investigating depth threshold.

$$s = \frac{h_2 - h_1}{h_1}. \quad (3)$$

輻輳角 θ は 12° から 20° まで 2° 刻みで変化させ実験を行った。撮影範囲はおおよそ 20 mm 四方が映るように拡大し、撮影した立体映像をスマートグラスを用いて被験者に見せ、円柱の高さに差があるか水平であるかの二股強制選択法で選択してもらった。これにより被験者が円柱の高さの差を検知できた際の奥行き対比 s が輻輳角 θ での奥行き検出の閾値となる。奥行き対比 s が小さいほど、奥行き方向の感度が高いことを意味する。

また 3 章の実験で用いたのと同じ機械式時計用の小ネジを並べた映像を、輻輳角を変更して撮影した映像を被験者に見せ、以下のような 2 つの質問を行った。スコアが大きくなるほどポジティブな印象を抱いていることを意味する。

Q1. 立体感を 7 段階で評価してください。

Q2. 見やすさを7段階で評価してください。

5.2 実験結果

被験者は20代の男女15名で行った。実験結果をFig. 10, Fig. 11に示す。奥行き検出の閾値は輻輳角が小さくなるにつれて高くなった。また被験者が感じた立体感は 18° の時がもっとも高くなった。映像の見やすさは輻輳角が小さい時がもっとも高く、輻輳角が大きい時がもっとも低くなった。

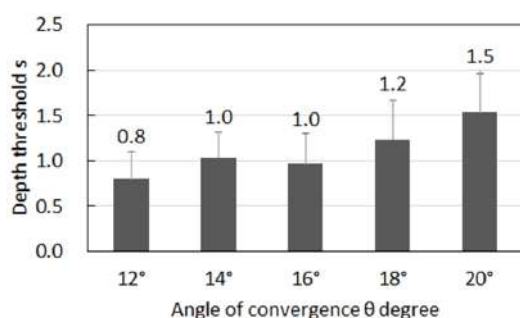


Fig. 10 Relationship between depth threshold and convergence angle (lower is better).

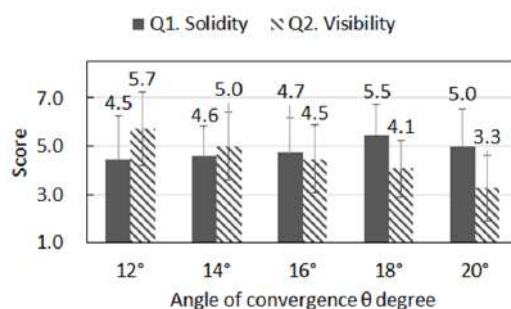


Fig. 11 Results of the subjective evaluation of the experiment (higher is better).

5.3 考察

輻輳角が小さい方が奥行き検出の閾値は小さくなる結果となったにもかかわらず、立体感は輻輳角が大きい方がより感じられたのは、コンバージェンスポイントが変化するからではないかと考えられる。コンバージェンスポイントとは2つのカメラの光軸の交点のことであり、Fig. 12(c)の示す通りコンバージェンスポイントを被写体の奥に設定すると立体像はより手前に再生される。Fig. 13のように輻輳角が大きくなると、輻輳角が小さい時よりもコンバージェンスポイントが相対的に手前に設定されるので、スマートグラス上での像が、より飛び出て見え立体感を感じたのではないかと考えられる。また見えやすさについても輻輳角が大きくなるほど、キーストーン歪みと呼ばれる画面端での垂直方向のずれが大きくなることから実験結果のよう輻輳角が大きくなるほど下がっていったと考えられる。

提案システムでは手元を真上から撮影・提示するため、奥行き方向を正しく把握できるかが作業する上で重要である。したがって、主観的評価である立体感の点数ではなく、奥行き検出の閾値をもとに設計を決定すべきと考えられる。本システムが運用される作業ごとに輻輳角は決定すべきではあるが、今回の実験条件では輻輳角 12° が最も適した値であると考えられる。

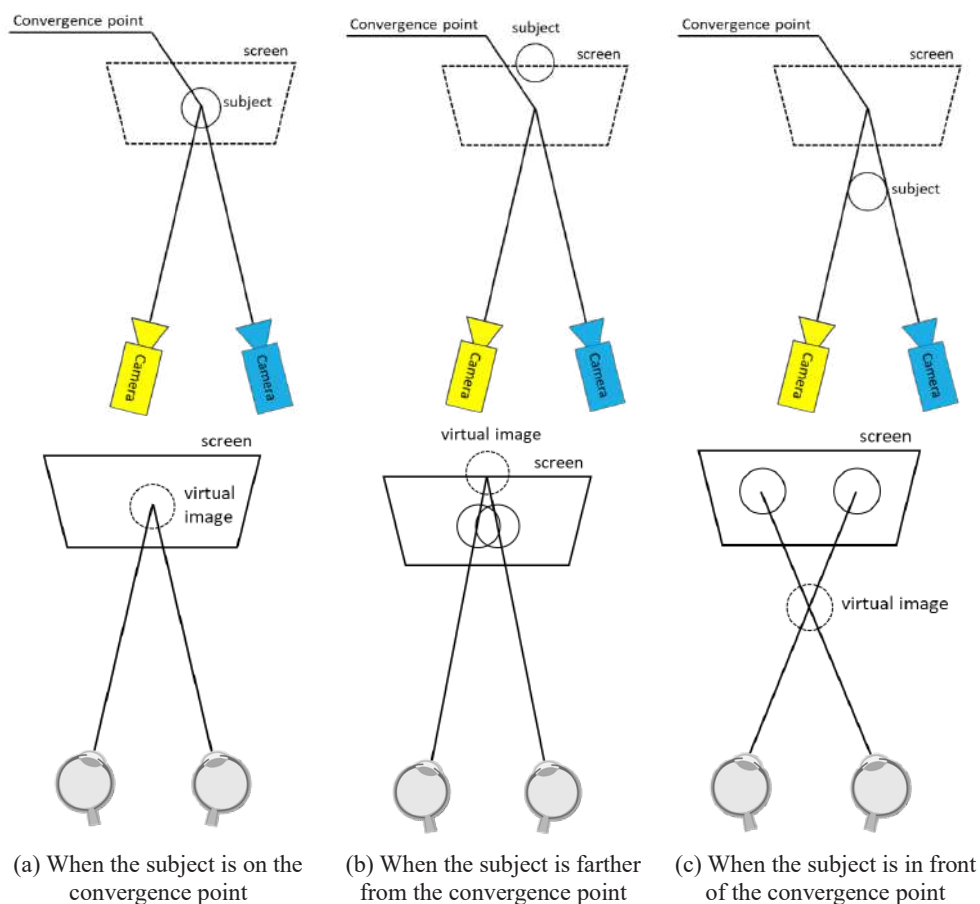


Fig. 12 Convergence point.

6. 結論

AR 機能を持つスマートグラスを用いて、機械式時計の修理、組立を支援するための試作システムを開発した。更に、これを利用した基礎実験を行い、その有効性、実用機の開発に向けた課題を明らかにした。

提案システムは、左手に

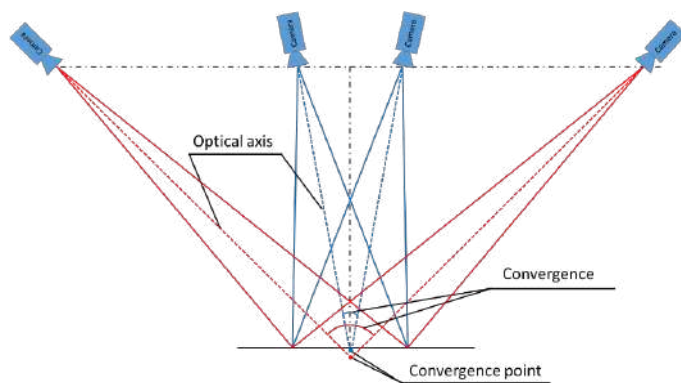


Fig. 13 Relationship between convergence angle and convergence point.

持った小型ステレオカメラからの半透明の映像を、スマートグラスの画面中央に提示するもので、作業者は眼鏡を通した周囲の景色と視野中央の小型カメラからの拡大映像の両方を同時に見ることができる。この提案システムを実現するに当たり、まず開発課題を調べるため、裸眼による作業、双眼実体顕微鏡による作業、そして双眼実体顕微鏡映像を利用したスマートグラスによる作業を、数名の被験者で実施した。また、スマートグラスとして、映像遅延の大きい旧システム、小さい新システムの2つを利用し、それぞれ実験を行った。その結果、スマートグラスを利用する場合、拡大映像に映像遅延が発生すると作業効率が低下すると共に立体感も低下してしまうこと、実際の景色と拡大映像が異なる空間を表すため利用中に距離感を感じにくい点が明らかとなった。

最後に、カメラを左手でつまんで持てる大きさとした場合の、カメラの輻輳角を決定するための指針を得るため、輻輳角を 12°から 20°まで変化させて立体感がどのように変化するかを調べた。その結果、カメラの光軸がおよそ 12°の時に被験者の奥行き方向の感度が高くなる一方、主観的な立体感は 18°の時が一番高いという相反する結果が得られた。よって、奥行方向の精度が求められる作業においては 12°とするのが望ましい。ただし、どちらを利用して設計を行っていくかは、今後本システムを運用していく際の具体的な作業毎に検討する必要があると思われる。

ただし、今回は被験者がどの実験でも 4 名と少なく、また、作業に対する適応性にもばらつきが見られた。設定した実験条件も限られた範囲となったため、詳細な設計のためには更なる検証が必要と考えられる。

謝辞：本研究で利用した微小ネジはセイコーウオッチ株式会社よりご提供いただいた。また、日本時計協会 竹岡一男氏には研究を進めるに当たり貴重なご助言をいただいた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 星貴之, 檜山敦, 稲見昌彦:VR/AR/MR の産業分野への応用展開, 精密工学会誌, Vol. 83, No. 6, pp. 485-488 (2017).
- 2) 石井裕剛:拡張現実感を応用した解体廃棄物の運搬・仮置き作業検証支援, 精密工学会誌, Vol. 83, No. 6, pp. 485-488 (2017).
- 3) 田原孝, 矢吹信喜:3 次元モデルを用いた AR システムの工事施工計画への活用の検討, 土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol. 71, No. 2, pp. I_123-I_133 (2015).
- 4) P. Fraga-Lamas, T. M. Fernández-Caramés, Ó. Blanco-Novoa, and M. A. Vilar-Montesinos: A review on industrial augmented reality systems for the Industry 4.0 Shipyard, *IEEE Access*, vol. 6, pp. 13358-13375 (2018).
- 5) 山崎純弥, 大隅久:スマートグラスを用いた機械式時計の組み立て支援ツールの試作開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020 講演論文集, 2A2-M14 (2020).

- 6) 加藤晴久, 小林達也, 辻智弘, 菅野勝, 柳原広昌: スマートグラスの AR 表示による遠隔フィールド作業支援システムの開発, 映像情報メディア学会誌, Vol. 71, No. 1, pp. J35-J43 (2017).
- 7) H. Heinonen, S. Siltanen and P. Ahola: Information design for small screens: Toward smart glass use in guidance for industrial maintenance, *IEEE Trans. Prof. Commun.*, pp. 1-20 (2021).
- 8) 河合隆史, 盛川浩志, 太田啓路, 阿部信明: 3D 立体映像表現の基礎 基本原理から制作技術まで, オームオーム社, 東京, pp. 9-24 (2010).
- 9) J. E. Cutting and P. M. Vision: Perceiving layout and knowing distances: The integration, relative potency, and contextual use different information about depth, *Handbook of Perception and Cognition*, Vol. 5, pp. 69-117 (1995).
- 10) <https://www.iodata.jp/fun/digital/pc/3d/method.htm>
- 11) <https://opencv.org>
- 12) 佐藤隆宣, 伴野明, 岸野文郎: 運動視表示の遅延による仮想空間操作への影響, テレビジョン学会誌, Vol. 45, No. 2, pp. 281-282 (1991).
- 13) 米田巖根, 小木哲朗, 当麻哲哉: 遠隔手術を想定した映像遅延が上肢の微細な位置決めおよび押し下しに与える影響, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 22, No. 1, pp. 61-69 (2017).
- 14) 黒川正崇, 古川正紘, 近藤大祐, 安藤英由樹, 前田太郎: 高フレームレートによる遠隔操縦の作業効率, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2A1-I08 (2017).

解 説

「時計技術解説」 機械式時計

－ IV. 歯形 －

福田 匡広, 井上 祥太郎 *

1. はじめに

歯車は伝動車の周囲に歯をつくり、その歯がかみあうことによって動力を伝達する機械要素である。

歯車の歴史はかなり古く正確な起源は不明であるが、一説では紀元前 2600 年頃から水くみ上げ用の機構として歯車のような伝達機構があったと言われており、確実な記録としては紀元前 350 年頃ギリシャの哲学者アリストテレスの著書において歯車が重要な機械要素として挙げられている。また、紀元前 250 年頃には、同じくギリシャのアルキメデスがウォームギヤを用いた巻き上げ機を考案し、この頃から徐々に現代の歯車の形に近い形状をとるようになっていったとされている。

西暦 850 年頃にはイタリアのパシフィカスとシルベステルⅡ世が歯車式時計を発明し、中世になると歯車は時計に使われるようになる。特に 15 世紀後半にはレオナルド・ダ・ビンチが図 1 に示されるような現在の歯車の原形となる多くの歯車を考案するなど特筆すべき業績を残している。

このように歯車は古くに起源を発しているが、現代においても、高強度化、高効率化、低振動化、長寿命化などの特性を追及しながら更なる発展を続けている。その中であって、時計に使用される歯車は一般的な工業機械と比べると、歯の大きさが極めて小さく、また歯数比も大きいものが多い。それゆえ求められる特性も異なるため、独自の発展を遂げてきている。

本稿では、このように長い年月をかけて発展してきた歯車の内、主に機械式時計に用いられている歯形の種類やその特性などについての解説を行う。

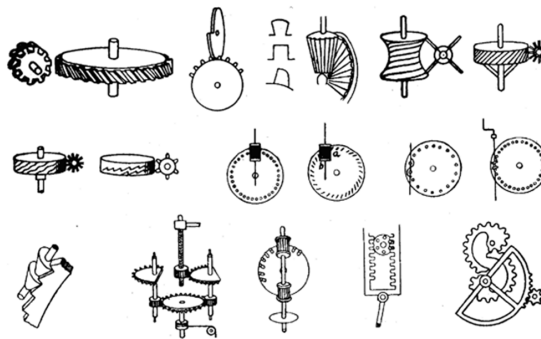


図 1：レオナルド・ダ・ビンチが考案した歯車装置

* シチズン時計株式会社

2. 歯の各部名称

歯形に関する一般的な名称を図2に示す。

図2は例として歯数 $Z_1=20$ ， $Z_2=15$ のインボリュート歯形のかみあいの様子を示している。
ここでモジュール m は歯の大きさを表す指標で、モジュールが大きいかほど歯の大きさは大きい。

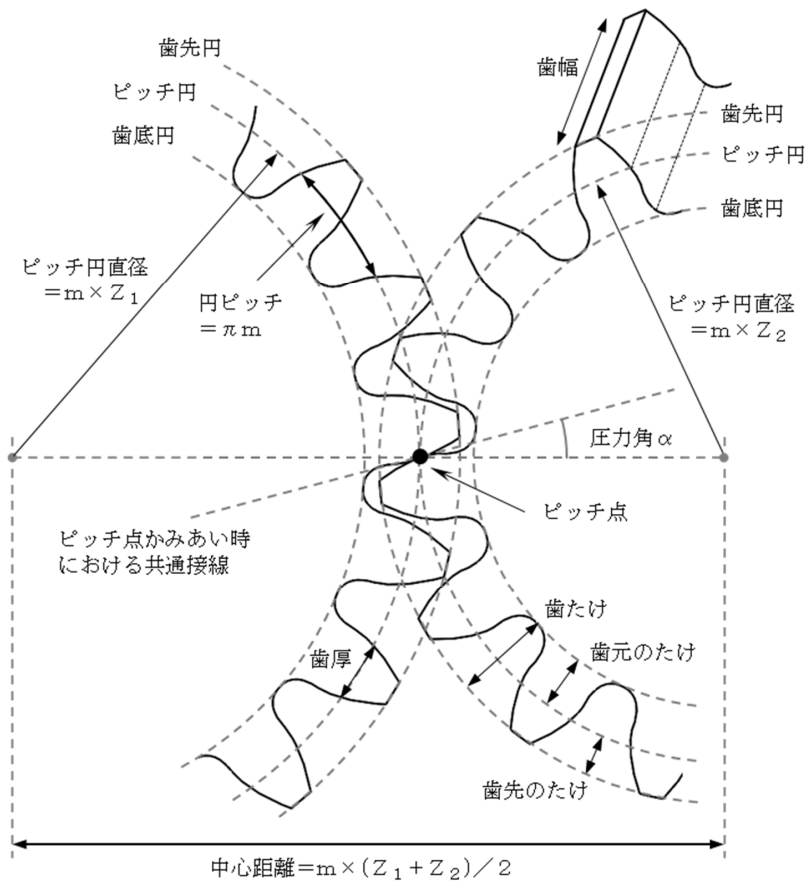


図2：歯の各部名称

3. 歯形創生

歯車に歯形を創生する方法には切削やワイヤー放電等、様々なものがある。

特にホブを用いた切削は加工時間が短く、歯の再現性も高いため多く用いられている。とりわけインボリュート歯形の場合は、異なる歯数でもモジュールと圧力角が等しければ同じホブで加工が可能であるため、ホブによる加工は汎用性も高い。ホブとは、図3(a)の様な形状であり、円筒に刃(バ

イト) がねじ (らせん) 状に配置されている切削工具である。ホブを回転させると刃の波が進行するので、これを利用して円形の素材に歯を創生する。

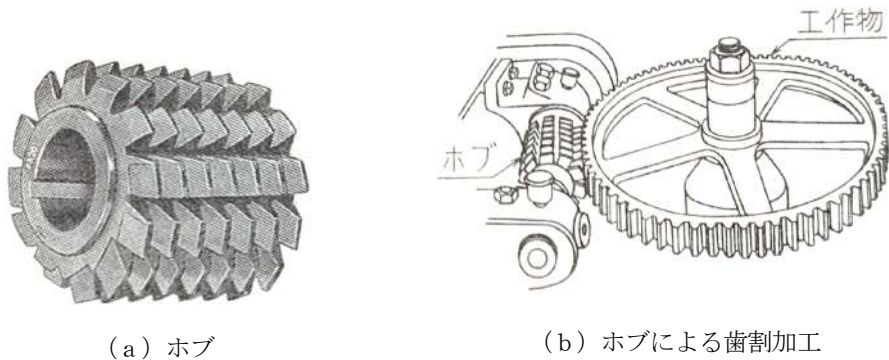


図 3 : ホブによる歯割加工のイメージ

実際の加工では、ホブと被削材は図 3 (b) の様にセットされる。互いに独立して回転するが、その回転速度は、ホブの刃の波の進行速度と歯車のピッチ円での周速度が等しくなければならない。

図 4 は歯の創生のメカニズムを示す。創生の様子を分かり易くするため被削材の歯車側を固定し、相対的なホブの軌跡を表している。

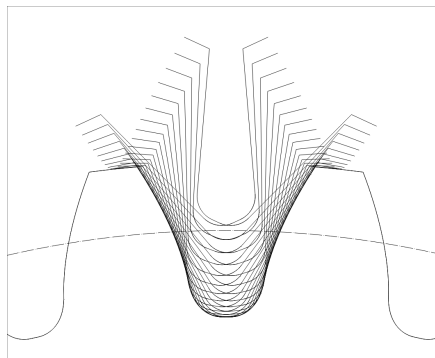


図 4 : 歯形創生のメカニズム

通常、加工時の切り込み量は浅くても深くても歯形が乱れてしまう。しかしながらインボリュート歯形の場合に限り、切り込み量を調節することができる。この調整を転位と呼び、図 5 の様に切り下げ(アンダーカット)の緩和や中心距離の調整などを行うことができる。

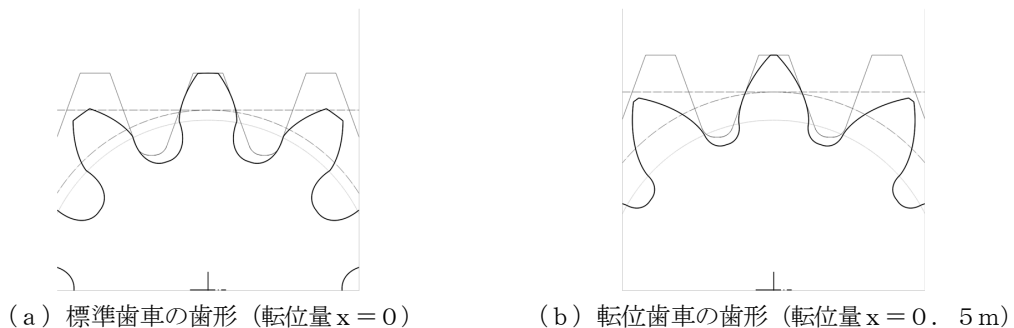


図5：標準平歯車と転位平歯車の比較（工具圧力角 $\alpha = 20^\circ$ ，歯数 $z = 10$ ）

また、一般的にホブによる歯割加工だけでは歯形誤差や歯面粗さが大きいため、砥石などを用いて歯面研削を行うことが多い。歯面研削では、歯形誤差の追い込みのほか、バックラッシの調整や歯形修正（歯のたわみによる影響の緩和）なども行われている。

4. 歯形の種類

歯形には多くの種類があるが、大別すると「等速な歯形」と「非等速な歯形」の2つに分けられる。

「等速な歯形」とは、一つの歯のかみあい始めから終わりまでの回転速度比（速比）が一定な歯形のことである。この特徴により、同時に複数の歯で滑らかに回転を伝達できる。この状態を「かみあい率が1より大きい」という。かみあい率とは、同時にかみあっている歯数の平均値であり、設計により値を調整できる。（平歯車で2を超えるものも存在する。）かみあい率が1より大きいと、荷重を複数の歯で分担できるので、より高い荷重を担うことができ、徐々にかみあいが移行することから振動も少なくなる。また、歯面の滑りのかみあいの始まりと終わりで大きく、中央のピッチ点付近では小さいため、歯先と歯元で摩耗が進行しやすい。この摩耗しやすい領域を複数の歯で分担できるため、歯面の摩耗も均一になり、長期間にわたり機械特性が維持できる。しかしながら、これは歯がたわむ程の高荷重環境下や高速回転下でのメリットであり、機械式時計にはあまり当てはまらない。

一方、「非等速な歯形」とは、一つの歯のかみあい始めから終わりまでの速比が変動する歯形のことである。この特徴により、回転を伝達する際は常に1つの歯のみが使用される。この状態を「かみあい率が1である」という。メリットとしては、速比が一定という制約を無視して歯形の最適化を行えるため、伝達トルクの変動を抑制しやすい事が挙げられる。機械式時計の主輪列においては、てんぶの振幅を安定させるために伝達されるトルクの変動を出来るだけ抑える必要があり、この種類の歯形がよく使用される。

トルク変動を抑える手法として、機械式時計の主輪列では上述のように「非等速な歯形」を用いて

歯形を最適化する手法をとっているが、これは潤滑油を使用しないことにも起因している。てんぷの振幅が油の粘度や表面張力の影響を受けたり、油の変質によって等時性などの特性が変化したり、摩耗粉のような異物の排出が油に妨げられたりする恐れがあるため潤滑油を用いることは好ましくないとされる。一方、工業機械では上述のような恐れはなく、「等速な歯形」と適切な潤滑油によってトルク変動（振動）を抑えることができる。仮に摩擦係数が0の場合、「等速な歯形」では速比とトルク比は逆数の関係となり、かみあいにおけるトルク変動を0とすることができるため、潤滑により如何に摩擦係数を低減するかも工業機械では大きなテーマとなっている。

以下に、代表的な歯形をいくつか紹介する。

4. 1 インボリュート歯形（等速な歯形）

世の中の中のほとんどの歯車がこの歯形を使用している。

インボリュート曲線とは、円に巻き付けられた糸を張ったまま解いたときに、糸の先端が描く曲線である。（この巻き付け円を基礎円と呼ぶ。）

この歯形には2つの大きな特徴がある。1つ目は中心距離が変化しても速比が変わらないことであり、このことで取付け精度が甘い場合でも滑らかに作動できる。（かみあい率やバックラッシは変化する。）もう1つはホブの刃形が直線であることであり、このことにより同じモジュールを持つ場合は歯数が異なっても、共通のホブを使用して歯割加工ができる。

以上のように他の歯形と比べて扱いやすく汎用性もあり広く普及しているため、インボリュート歯形以外は特殊歯形として扱われている。

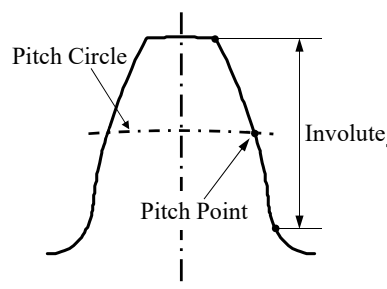


図6：インボリュート歯形

4. 2 サイクロイド歯形（等速な歯形）

等速な歯形ではインボリュート歯形の次に有名な歯形であるが、ピッチ点での接触応力が理論上無限大となり、大きく摩耗するため実用には向いていない。

かみあいを使用される曲線は、ピッチ円の外側を円が転がって描かれるエピ（外転）サイクロイドと、ピッチ円の内側を円が転がって描かれるハイポ（内転）サイクロイドの2つの曲線で構成されている。この歯形の長所は、ピッチ点以外は凸と凹のかみあいになるため

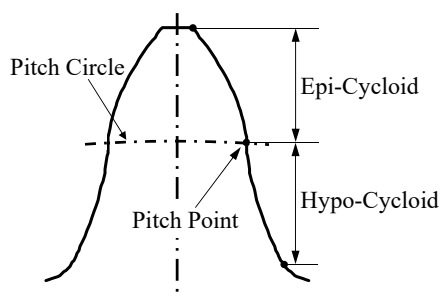


図7：サイクロイド歯形

歯面強度が有利な事や、歯元が太いため曲げ強度がインボリュート歯形よりも強い事が挙げられる。

4. 3 時計用サイクロイド歯形（非等速な歯形）

歯数を6程度まで少なくすることが可能なため、限られた空間で大きな変速が必要となる時計によく使用されている。

この歯形は、歯先側は外転サイクロイド、歯元側は直線で構成される。歯先側の外転サイクロイドを描く転がり円は、かみあい相手のピッチ円半径を直径とする円である。そして歯元側は直線であるが、これは自身のピッチ円半径を直径として内転サイクロイドを描いたときの結果でもあるため、歯形の構成としては4. 2サイクロイド歯形と同じものになる。このため、歯形の名称も同じ「サイクロイド歯形」となるが、区別のためここでは「時計用サイクロイド歯形」と称している。

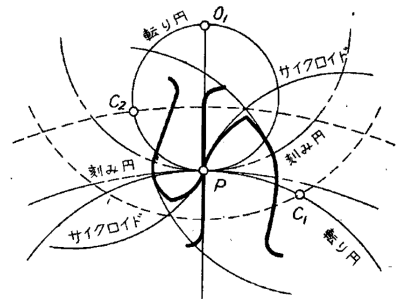


図8：時計用サイクロイド歯形

時計用サイクロイド歯形の場合、主に歯先側のエピサイクロイド同士で凸と凸のかみあいがなされるため、動力の伝達形態はサイクロイド歯形とは異なる。

4. 4 円弧歯形〔修正サイクロイド歯形〕（非等速な歯形）

現在、時計用歯形として広く使用されている歯形である。

この歯形は歯先側が円弧、歯元側が直線で構成される。かみあいは、円弧と円弧もしくは円弧と直線でなされる。単純な図形で構成されているため、設計計算や製図、製造における形状の管理が容易である。特に時計用歯車は極小部品であり、歯形誤差の測定は投影図で管理することが多く、この歯形が広く普及している大きな要因になっていると考えられる。機械式時計としては、伝達するトルク変動が小さいことが求められ、最適なパラメータの探索が必要になる。

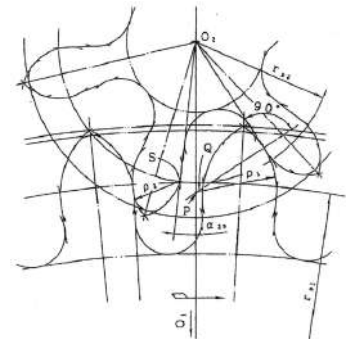


図9：円弧歯形

また、かみあい率1でのかみあいを、一歯で一歯を送るカムのように解釈することで、あらゆる歯形に対してかみあわせることが可能となる。例えば、歯車対のうち一方を共通部品にしてもう一方のみを新規に設計することでコストを削減したり、古時計などの修復時に失われてしまった部品の代替品として円弧歯形を持つ部品を採用したりすることが可能である。

4. 5 N I H S 歯形（非等速な歯形）

N I H S（スイス時計工業規格）で定められた円弧歯形である。

4. 4の円弧歯形は設計の自由度が高いがゆえ最適化の難易度が高く、最適化の結果は設計者の思想や熟練度によって異なることが多い。そのため、ある程度最適化されたこの規格が広く普及している。特殊歯形の場合はホブも設計・製作する必要があるため、規格に基づき入手できる点でもメリットは大きい。

外観については、円弧歯形と異なり歯先は尖っており、歯丈は長くて歯元が細い。歯先の尖り部での噛みあい効率の変動が大きく、歯元も細いため強度が比較的低いことから、機械特性としては円弧歯形よりも劣る。しかしながらメリハリのついた外観であるため、審美性の求められる時計の歯形には適しているといえる。

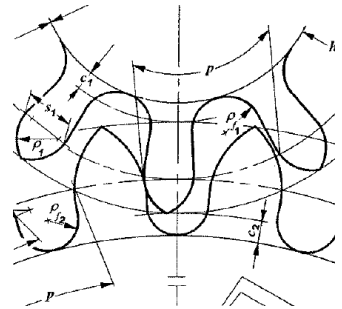


図10：N I H S 歯形

4. 6 E T A 歯形（非等速な歯形）

スイスの時計会社であるE T A社が使用している歯形である。外観上はインボリュート歯形に似ているが、小歯車（かな）側は切り下げがみられ、切り下げでえぐられる変曲部分はアールで丸められている。観察した限りでは、大歯車（歯車）側は一つの曲線を使用し、小歯車（かな）側は前述したアール部分と歯先側の曲線の2種の曲線を使用して噛みあいを行っている。この歯形は中心距離の変化に対して伝達トルクが鈍感であるという優れた特徴をもつようである。

5. トルク比曲線（円弧歯形）

前項でも触れられているが、機械式時計、特に主輪列における歯形に求められる特性として、噛みあい時に伝達するトルク変動が小さいことが求められる。

図11は、駆動車（中心： O_1 ）と従動車（中心： O_2 ）の噛みあいの様子を示しており、(a)は近寄り噛みあい、(b)は遠のき噛みあいの様子を示している。このとき従動車は駆動車に掛かっているトルクにより、歯形の接点Cにおいて歯面の法線方向に力 f を受ける。また摩擦力として歯面の接線方向に μf （ μ は摩擦係数）が働くため、法線方向から摩擦角 λ だけ傾いた方向に合力 F が働いている状態である。接点Cから合力 F 方向に引いた直線と中心点 $O_1 O_2$ を結んだ直線との交点を Q 、直線 CQ に対して O_1 、 O_2 からそれぞれ引いた垂線との交点を L_1 、 L_2 とすると、駆動側に掛かっているトルク T_1 と従動側の受けるトルク T_2 のトルク比は、

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{\overline{L_2 O_2}}{\overline{L_1 O_2}} = \frac{\overline{O_2 Q}}{\overline{O_1 Q}}$$

で表される.

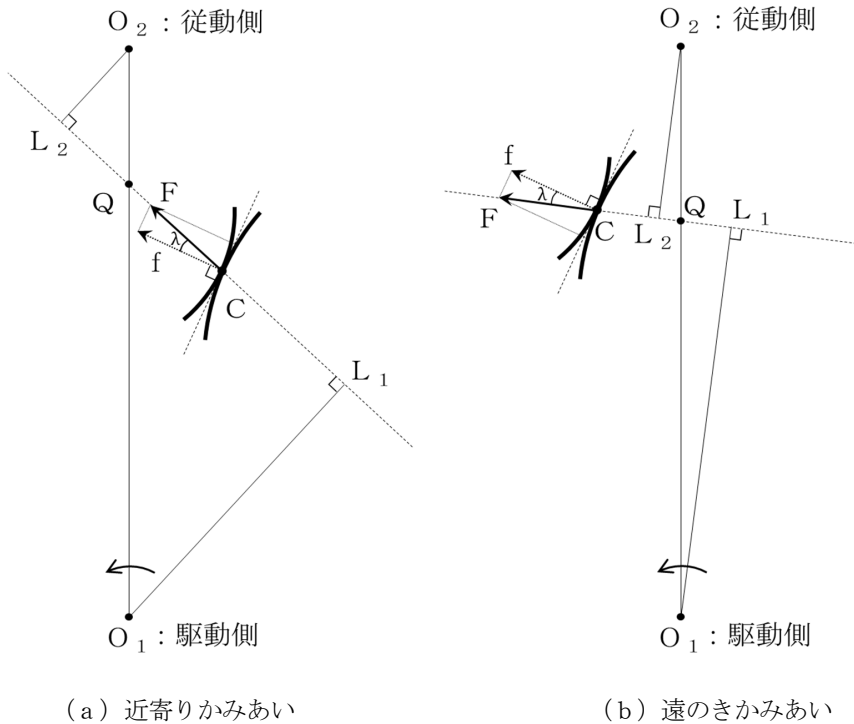


図 1 1 : トルク比

本解説では説明を割愛するが、ここにかみあい方程式を解くことによりトルク比曲線を描くことが出来る．円弧歯形において，駆動側が歯車，従動側がかなの場合においてはかみあいのモードが以下の3つあることに留意したい．

- i) 近寄りかみあい（歯形曲線の円弧同士が接触）
- ii) 遠のきかみあい（歯形曲線の円弧同士が接触）
- iii) 遠のきかみあい（歯車歯形の円弧とかな歯形の直線部が接触）

図 1 2 に円弧歯形のかみあいにおけるトルク比曲線の一例を示す．図 1 2 は駆動側として歯車 $Z_1 = 60$ ，従動側としてかな $Z_2 = 9$ ，摩擦係数 $\mu = 0.2$ とした場合の計算結果であり，縦軸はトルク比 (T_2/T_1) に歯数比 (Z_1/Z_2) を掛けた値 (= トルク伝達率) としている．ここで，かみあい範囲におけるトルク伝達率の最大と最小の差がトルク変動率であり，先に述べたように機械式時計の

歯形としては、トルク伝達率平均（＝伝達効率）が高いことはもちろんのこと、トルク変動率が小さい歯形設計が求められる。

円弧歯形の場合、トルク伝達率が1を上回ることもあるが、これはかみあい中の速比が異なるためであり、当然のことながらエネルギー伝達率が1を上回るということではない。

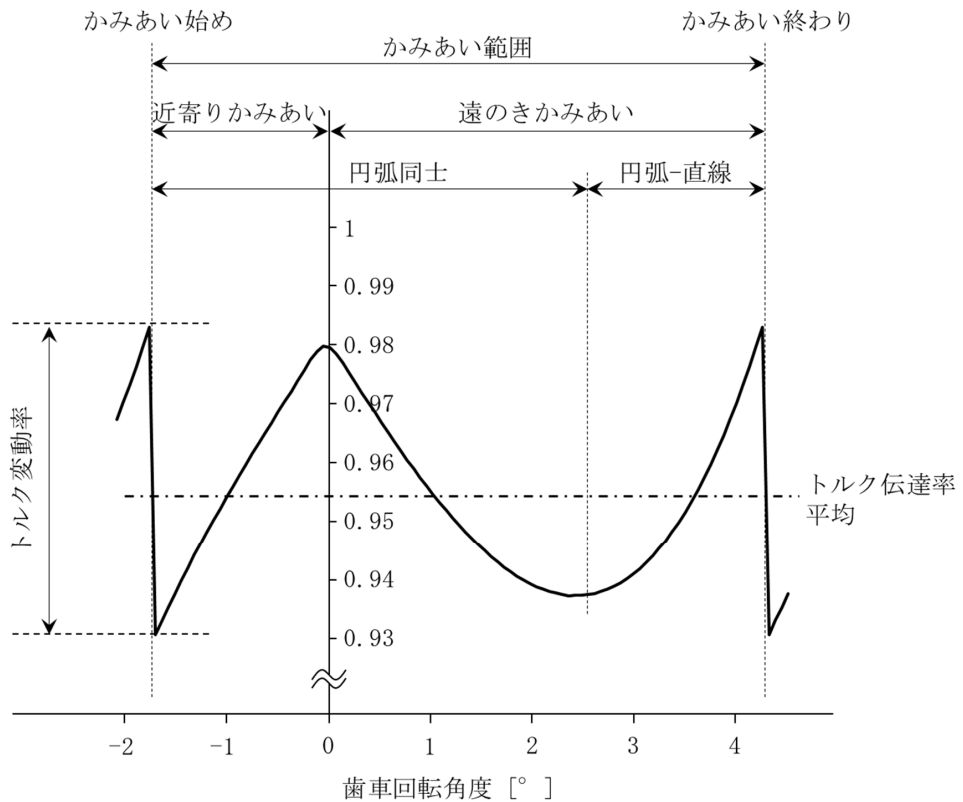


図12：トルク比曲線（円弧歯形の例）

6. まとめ

本解説に記載したように、歯形にはそれぞれ異なる長所や短所があり、非常に個性が豊かである。残念ながらその魅力が世間一般に十分伝わっているとは言い難いが、歯車は機械（機械式時計）の性能を左右する非常に重要な要素であり、滑らかな動力伝達を達成するためには、設計から製造・組立に至るまで、細やかな気配りが必要である。そして歯車だけに限らず、機械式時計へのこのような細やかな気配りこそが、スマートウォッチの台頭してきた現代において、その魅力が衰えない大きな要

因となっているとも言えるのではないだろうか.

最後に, 歯車は古い歴史を持ちながら今もなお進化を続けており, 今後も更なる発展が期待される.
これを機に少しでも注目していただければ幸いである.

参考文献

- 1) 松川 洋二 他: 歯車の歴史とその発展経緯に関する考察 (2008 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集)
- 2) 酒見 鏐一郎: 新講機械時計入門 (2) (3) 輪列系 (1) (2), マイクロメカトロニクス (日本時計学会誌), Vol. 43, No. 2-3
- 3) 津村 利光 他: JIS にもとづく機会設計製図便覧 第 10 版, (2001), pp6-20, 理工学社
- 4) 酒井 高男: 計器用歯車, (1951)
- 5) 土屋 榮夫: 円弧歯形歯車の設計, (1994), 日本時計学会誌 No. 148

解 説

日本の時計産業の概況

2020 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]
- ▶ 1-4：2020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）

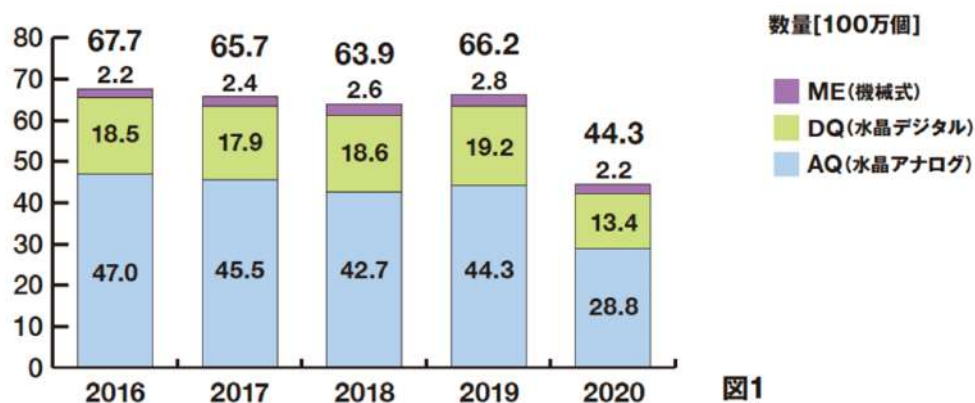
- ▶ 2-1：日本のクロック完成品総出荷（輸出＋国内出荷）数量の推移 [機種別]
- ▶ 2-2：日本のクロック完成品総出荷（輸出＋国内出荷）金額の推移 [機種別]
- ▶ 2-3：日本のクロック完成品輸出の推移 [機種別]
- ▶ 2-4：2020年の日本のクロック完成品輸出[地域別構成比]
- ▶ 2-5：日本のクロック完成品国内出荷の推移 [機種別]

- 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

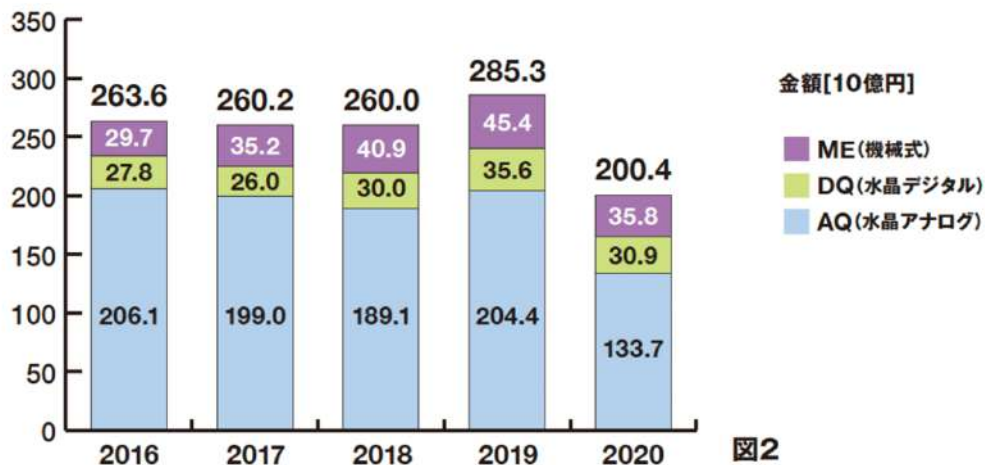
2021年 4月
一般社団法人 日本時計協会

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]



- ▶ 2020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44百万個で前年比33%減、金額2,004億円で前年比30%減であった。
- ▶ 機種別数量では、水晶アナログが前年比35%減、水晶デジタルが同30%減、機械式は同21%減であった。
- ▶ 参考値として、2020年の完成品とムーブメントの合計の出荷は、数量231百万個（前年比44%減）、金額2,335億円（同31%減）であった。

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

1-3 日本のウォッチ完成品輸出の推移[機種別]

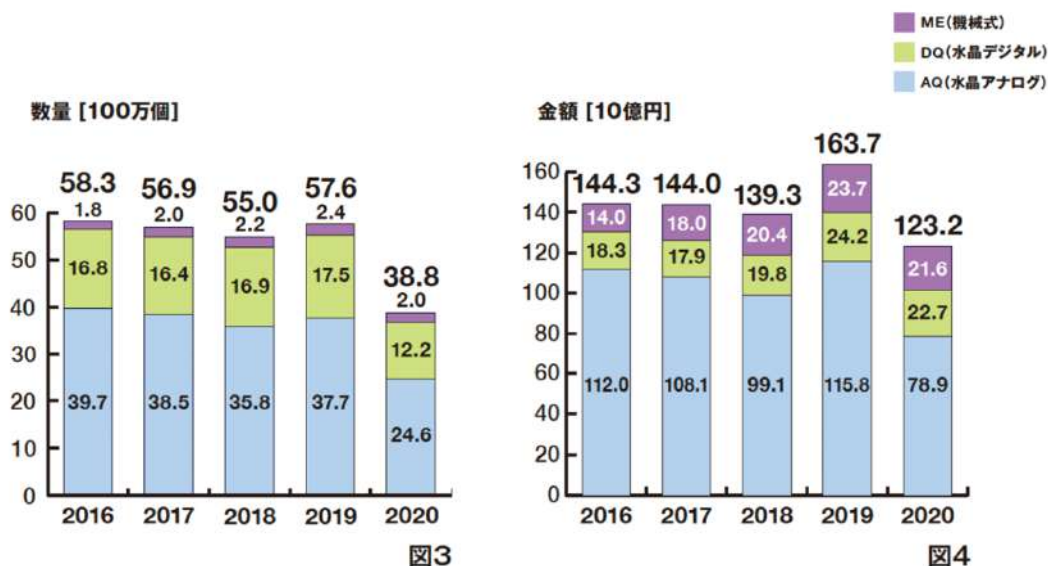


図4

1-4 : 2020年の日本のウォッチ完成品輸出[地域別構成比]

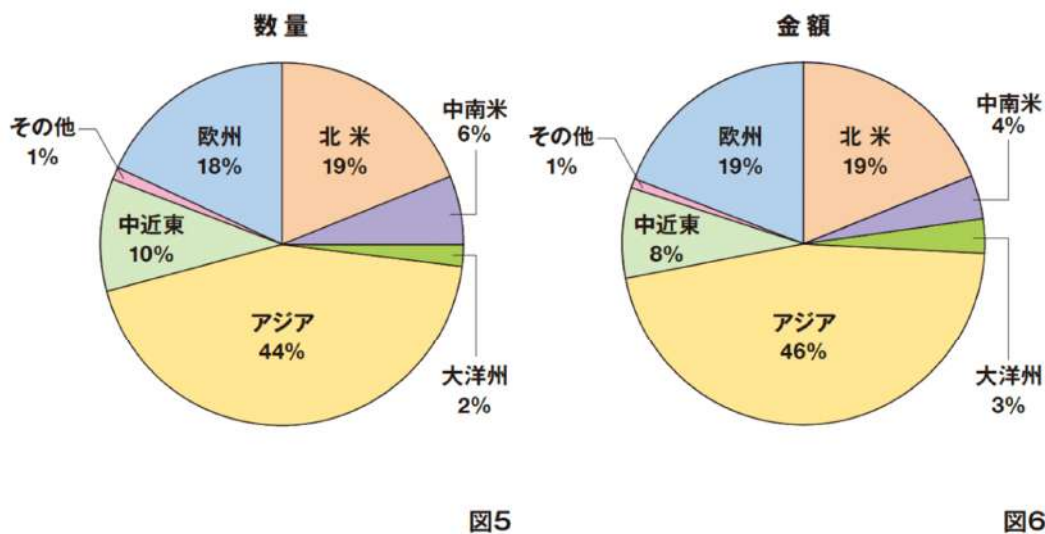
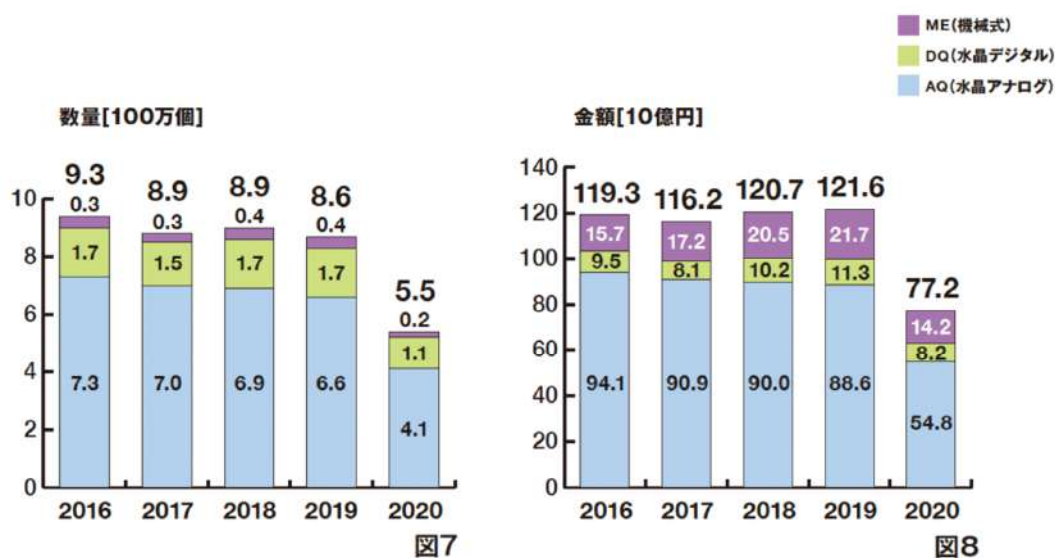


図6

- ▶ 2020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39百万個で前年比33%減、金額1,232億円と同25%減であった。
- ▶ 完成品の主な輸出先の対前年金額比較ではアジアが21%減で、他の地域向けも減少した。

*輸出は海外からの出荷を含む。

1-5：日本のウォッチ完成品国内出荷の推移 [機種別]

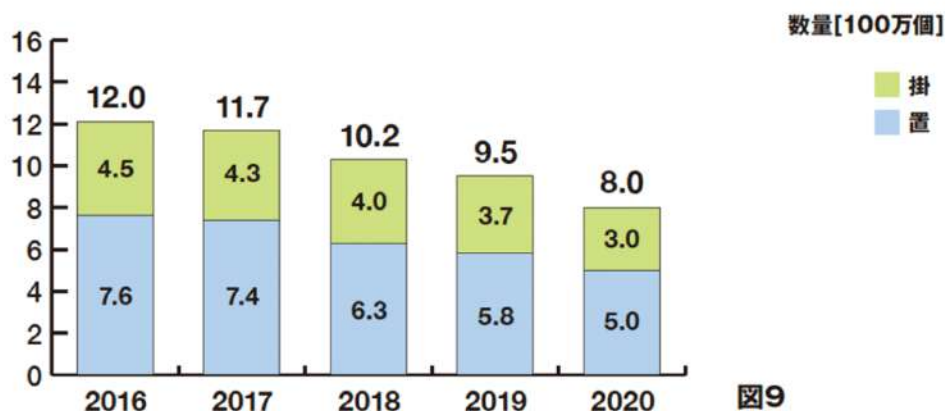


※ 2020年日本の時計メーカーによるウォッチ完成品の国内出荷は、数量5百万個で前年比3.7%減、金額77.2億円で同3.6%減であった。

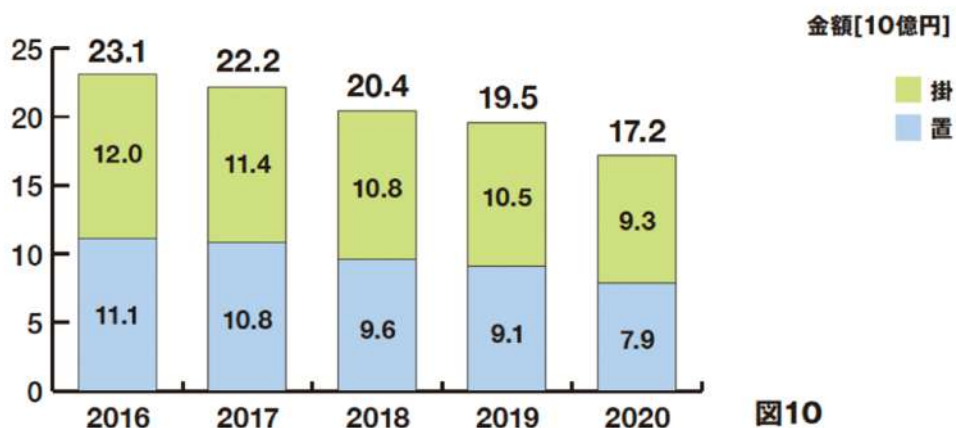
*四捨五入された数値を表示しているため、実際の計算結果と表示されている合計数が合わない場合があります。

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）。

▶ 2020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8百万個で前年比16%減、金額は172億円で同12%減となった。

▶ 機種別数量では、置時計が前年比15%減、掛時計は同18%減であった。

▶ 参考値として、2020年の完成品とムーブメントの合計の出荷は、数量9百万個（前年比16%減）、金額174億円（同12%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]

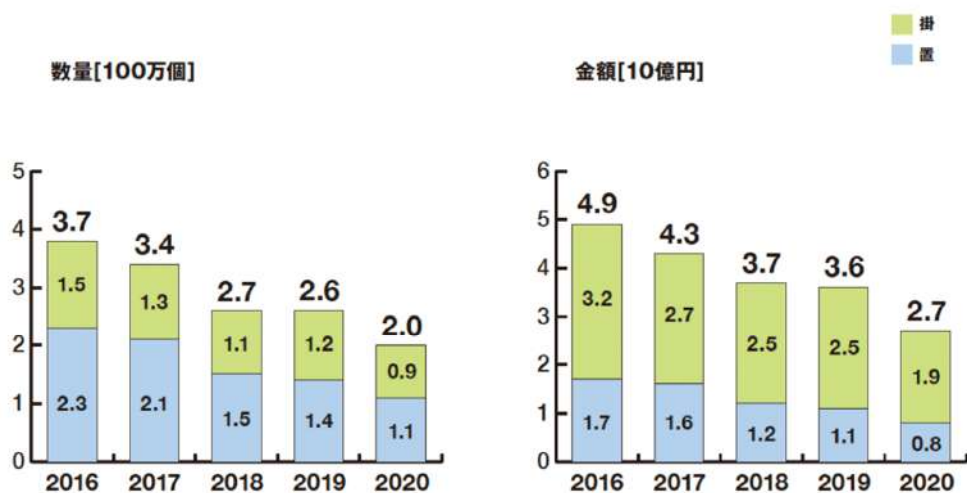


図11

図12

2-4：2020年の日本のクロック完成品輸出[地域別構成比]

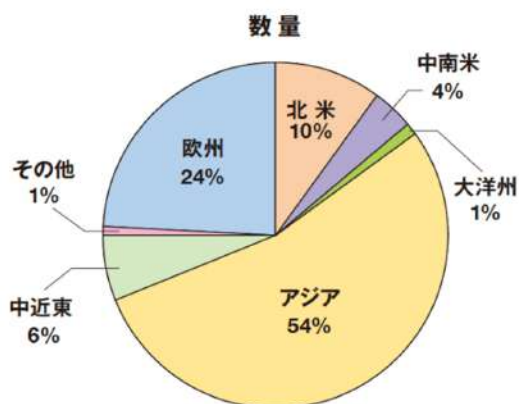


図13

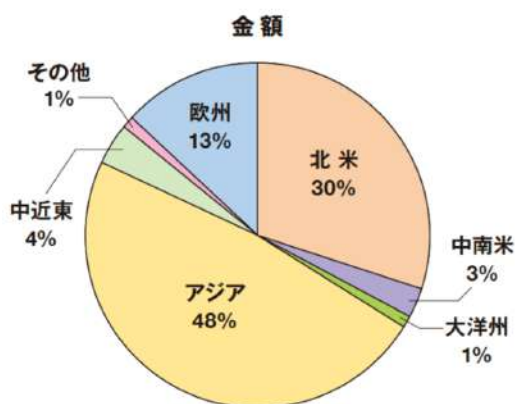


図14

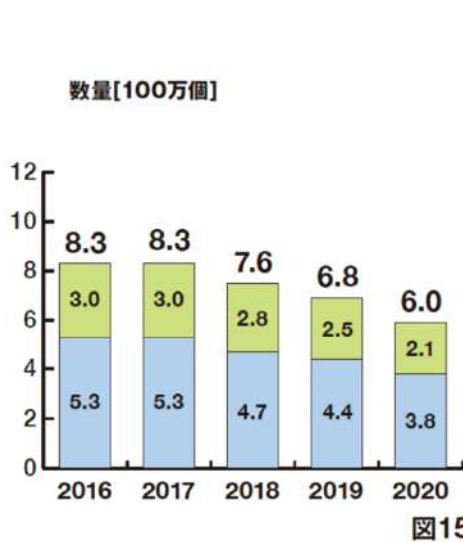
▶ 2020年日本の時計メーカーによるクロック完成品の輸出（海外からの出荷を含む）は、数量2百万個で前年比23%減、金額27億円で同26%減であった。

▶ 完成品の主な輸出先の対前年金額比較では北米が28%減、アジアは20%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]



▶ 2020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6百万個で前年比13%減、金額は145億円で同9%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。

研究会報告

光無線給電のインパクト ―最新動向と課題，展望―

講師：

東京工業大学 科学技術創成研究院 未来産業技術研究所

宮本 智之 様（准教授，博士（光学））

参加者：

20 名（正会員 15 名，賛助会員・非会員 5 名，学生会員 0 名）

シチズン時計（株）	7 名（正会員 6 名，非会員 1 名）
セイコータイムクリエーション（株）	4 名（正会員 2 名，非会員 2 名）
セイコーウォッチ（株）	2 名（正会員 1 名，非会員 1 名）
セイコーエプソン（株）	2 名（正会員 1 名，賛助会員 1 名）
神奈川工科大学	1 名（正会員 1 名）
東海大学	1 名（正会員 1 名）
その他	3 名（正会員 3 名）

日時・会場：

2021 年 7 月 2 日（金）14:20～15:30， オンライン（Webex ミーティング）にて開催

司会：

永田洋一 シチズン時計（株） 研究開発センター 開発部

協賛団体：

（一社）エレクトロニクス実装学会，（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

講演概要：

極微小電力のセンサー端末等からドローンなどの大きな電力を利用する機器などに対して，配線を用いず，レーザなどの光ビームを利用する光無線給電が注目を浴び始めてきている．この光無線給電に関する技術や取組の最新動向と課題，今後の展望についてご講演いただいた．

内容詳細：

1. 給電の現状と無線給電の期待

通信の無線化に対し給電は有線が基本である。バッテリーも有線の充電が必要なため配線の手間や移動利用などに制約が多い。配線不要な環境発電の利用も広がっているが、バッテリーとともに利用可能電力量の制約で高性能・新機能の搭載が強く制限されているといえる。

このため配線を用いないため手間もなく移動可能で、多くの電力まで対応する高い自由度の給電方式として無線給電が重要となる。すでに無線給電は実用されているが、既存の電磁誘導方式やマイクロ波方式などは、極短距離給電や電磁ノイズ干渉の課題があり応用が限られている。

2. 光無線給電とは

そこで図1のレーザなどのビーム光源と受光デバイス（太陽電池）を利用する光無線給電（OWPT; optical wireless power



図1 光無線給電の基本構成

transmission) が有望である。長距離給電が可能、小型軽量の構成、直流動作で電磁ノイズ干渉がないなど、既存無線給電の多くの課題を解決できると期待されている。

光無線給電の基本デバイスは既存のため高い実現性を持つ。しかし、その研究事例は非常に限られていた。近年、必要な性能や機能の実現の見通しが見え始め、また機器の無線化の要望が高まるなど、関連技術、周辺環境が揃ってきたことで光無線給電が注目を浴び始めてきたといえる。

光無線給電に必要な機能要素を図2に示す。光源、太陽電池の他、光ビーム形成・制御、ビーム方向走査、給電対象検知、給電関連通信などが必要である。なお、これらを利用して不要ビーム照射を抑制する安全技術、また、複数機器への給電やビーム遮蔽時のビーム代替など、高性能化の構成や制御も必要である。

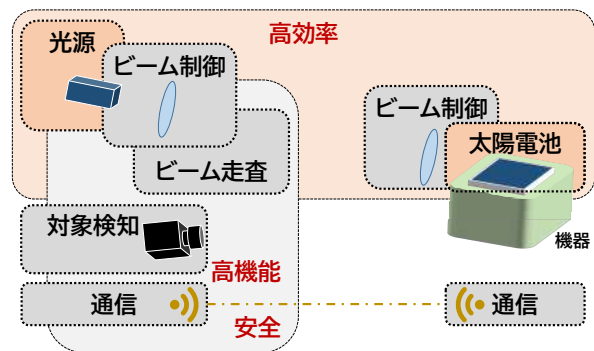


図2 光無線給電の機能要素

主要な要素である光源の半導体レーザ

は高出力応用が増えており、数mm角チップで数W、複数チップで数10Wから数kWまでが利用可能である。この光出力により多くの機器の電力量はカバーできる。また効率も、近赤外（波長700-1000nm）で75%超も報告されている。受光側の太陽電池も単色光照射は太陽光照射の2-3倍の効率で動作し、近赤外で70%近い効率も報告されている。さらに太陽光向けでは不要な短波長向け太陽電池は単色光で高効率が期待されるため、光無線給電向けに研究も始まっている。

以上のように光源も太陽電池も高効率動作だが、光無線給電は両者の掛け算が給電効率となる。

このため市販デバイスで 20%以下、将来的な高性能デバイスで 50%程度に制限される。これは十分に高い効率と言えないため、無線であること、長距離対応などの特徴を活かした応用が重要である。

このほかの光学系や対象検知技術などの様々な機能要素に対する研究も少しずつ始まっている。これらは光無線給電に適した構築が必要であるが、光源や太陽電池などと同じように既存技術を活用可能なためやはり高い実現性といえる。

3. 光無線給電の研究開発動向

要素技術と並行して、様々な応用に向けた取り組みも始まっている。光無線給電はすべての機器へ適用可能といえるが、給電電力や給電距離、また対象の移動性などによりシステム構成は異なる。このため図 3 のような分類で研究動向を説明する。

超小型機器は、極微小電力のセンサー等 of IoT 端末や体内埋込機器などとして、いくつかの研究例がある。膨大な端末数や電池交換などが困難な設置場所から光無線給電が有効となる。

情報端末などの小型機器は、移動利用が可能、充電の手間削減などから期待される。図 4 は著者らによるスマートフォンの光無線給電による充電実験の様子である。これも含めいくつかの取組例が出始めている。ただし、バッテリー運用が進んでおり、他の無線給電などの競合も多いため、光無線給電の特徴を活かした利用法の開拓が期待される。

中大型機器は電力量が大きく固定設置機器なども多いため検討事例は少ない。光無線給電自身も大電力の実験はまだ容易とは言えないことも影響している。ただし、100-400W 程度の取組も数例が報告され始めた。なお、次の大型移動機器の初期試験として小型移動機器による報告が出始めている。

ロボットや自動搬送車 (AGV)、電気自動車 (EV)、またドローンなどの移動機器は、バッテリーによる稼働時間の制限、バッテリーの重量、サイズ、コストなどが大きな課題である。遠隔からの光無線給電により移動中給電が可能になればバッテリー搭載量も極小化できるなど、総合的にエネルギー利用を改善できる可能性がある。図 5 に将来の大型移動機器の初期試験として実施している光無線給電を用いた小型



図 3 光無線給電(OWPT)の応用範囲

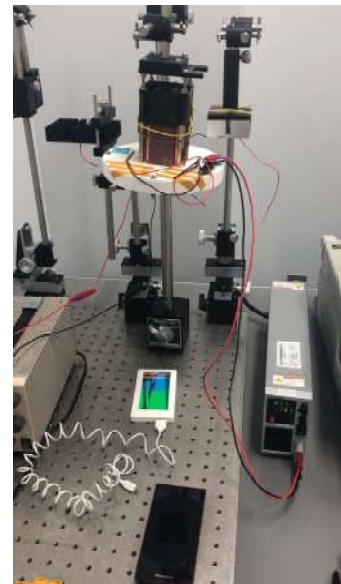


図 4 携帯端末の充電実験

(玩具)の自動車の走行やドローンの浮遊実験の様子である。これらは数 10W の光出力を利用しているが、将来的にサイズに比例した数 100W, 数 kW への拡張で実際の移動体の動作も見込める。

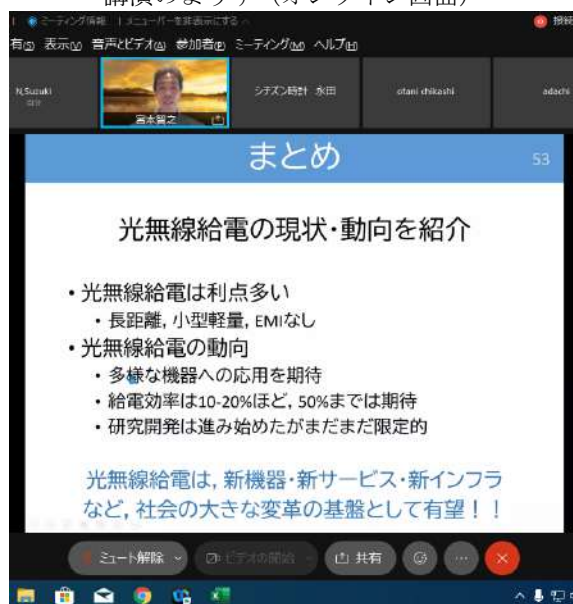


図 5 玩具自動車, 玩具ドローンの光無線給電による移動中給電

4. まとめ

光無線給電に関する技術や取組の最新動向と課題、今後の展望について紹介した。まだ世界的にも本手法への取り組みは多いと言えないが、要素技術から応用までの取り組みのほか、安全機能への取り組みなども進み始め、急速な活性化が感じられるため、近い将来に実用システムも現れるであろう。この光無線給電により、新機器・新サービス・新インフラなど、社会、経済の大きな変革につながることが期待される。

講演のようす (オンライン画面)



学術講演会報告

2021年度マイクロメカトロニクス学術講演会実施報告

小川 浩良*

*カシオ計算機株式会社, 東京都羽村市栄町 3-2-1, 郵便番号 205-8555

2021年9月17日、オンラインにて2021年度マイクロメカトロニクス学術講演会を開催いたしました。昨年はコロナ禍の影響で開催を見送っており2年ぶりの開催となりました。初めてのオンラインでの開催となり、例年からプログラムや事務手続きなどが一新された学術講演会でしたが、会員参加者36名、一般参加者33名、時計メーカー、大学、メディア等から合計約70名の参加があり、例年同様の盛り上がりとなりました。

今年度の学術講演会は13時から行われた第1セッションで5件、途中休憩を挟み15時から行われた第2セッションで4件、合計9件の研究成果が発表されました。

17時からは特別講演として、東京大学大学院工学系研究科物理学専攻の香取秀俊教授が登壇されました。香取教授は、2021年9月にブレイクスルー賞の一部門、「基礎物理学ブレイクスルー賞」を受賞され、「光格子時計が社会に与えるインパクト」について、光格子時計の可能性や「相対論」が日常的に利用される未来など、光格子時計の普及で実現できる世界について熱く語られました。

学術講演会の最後に青木賞受賞式が行われ、マイクロメカトロニクス誌 Vol.64, No.223 に掲載され

た「ウェアラブル機器へ適用するための最大酸素摂取量推定方法の検討」が受賞され、代表して笹原英夫氏が表彰されました。

オンライン上でも例年と同様に質疑が活発に行われ、発表者と聴講者による意見交換で理解が深まっていく様子が見られました。発表者にはWEBシステムの拍手機能で称賛を送るなど、オンラインでもオフラインと同等のコミュニケーションを取ることができました。

今年度の学術講演会は初のオンライン開催ということで、通信障害を初めとする様々なトラブルが懸念されましたが、ご参加いただいた皆様、理事運営委員、スタッフの皆様のご尽力により大きなトラブルなく無事に終わることができました。例年実施していた製品展示や技術交流会が実施できなかったことは残念でしたが、オンラインでは遠方からでも容易に参加できるなどのメリットを実感した会となりました。今年度の経験を基に、来年以降の学術講演会の運営に活かして参ります。

マイクロメカトロニクス学術講演会は、関係各社、大学が集まり業界動向や革新技术に触れる貴重な機会ですのでこれからも積極的にご参加いただけますようお願いいたします。



Fig.1 チャットを使った質疑



Fig.2 拍手の様子



Fig.3 青木賞表彰

学術講演会報告

特別講演報告

学術講演会の特別講演では、東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻の香取秀俊教授に「光格子時計が社会に与えるインパクト」という題目で御講演いただきました。

光格子時計はストロンチウム原子の遷移周波数を基準として従来の原子時計とは異なる方式で周波数を計測するもので、香取教授はその基本的なアイデアを 2001 年に発表されました。その後の研究開発によって現在では従来の原子時計の不確かさ 10×10^{-15} を上回る 10×10^{-18} の不確かさを実現されています。これは 1 秒ずれるのに最先端のセシウム原子時計で 6000 万年かかるのに対して光格子時計なら 300 億年かかることに相当します。実験装置も当初は実験室がいっぱいになるような規模だったものが、現在ではワンボックスカーで運べる程度にまで小型化されています。

不確かさ 10×10^{-18} の精度になると、重力加速度の大きさによって時間の進み方が変わるという相対性理論によって示されている現象を実測することができるようになります。その分解能は極めて高く、標高差 1cm の重力加速度の違いが時間の進み方の違いとして計測可能です。そのことを実証するために東京都文京区の東京大学本郷キャンパスと埼玉県和光市の理化学研究所にそれぞれ光格子時計を設置し、その間を光ファイバで接続して時間の進み方の違いを計測し、その違いが標高差 15m に相当することが確認されました。さらに東京スカイツリーにおいて標高差 450m に対する相対性理論の効果も実証されています。

このような高精度な時間計測技術が社会に与えるインパクトは大きい。従来とは異なる方法により地球規模の測量が可能になり災害対策等に役立つ他、高精度の時間同期が可能になることにより、新しい通信方法や電波による計測が実現できるようになります。このように光格子時計は、今日のインターネットや GPS に匹敵するような新しい社会インフラを構築する基盤技術となることが期待されています。
(特別講演報告担当：佐々木 健)

なお、本報告の作成において下記文献を参考にいたしました。

<参考文献>

- 1) 香取秀俊, 「新しい時間をつくる」, 精密工学会誌, Vol. 80, No. 1, pp. 13-17, (2014)
- 2) 香取秀俊, 「イーサクロック ―どこでも光格子時計―」, 電子情報通信学会誌 創立 100 周年記念特集 今後の ICT 活用と社会の発展, Vol. 100, No. 11, pp. 1303-1308, (2017)

報 告

日本時計学会 2021 年度マイクロメカトロニクス学術講演会 ベストプレゼンテーション賞について

日本時計学会企画委員会 木村 南**

2021 年度マイクロメカトロニクス学術講演会は初の Web 開催となったが 9 件の学術講演が発表された。10 名の審査員により講演論文・発表・質疑応答・総合の 4 項目で審査を行った。その結果「年差±1 秒の光発電ムーブメントの開発」を発表されたシチズン時計長瀬智氏が最高評価を得て一般社団法人日本時計学会 2021 年度マイクロメカトロニクス学術講演会ベストプレゼンテーション賞に選ばれた。

表彰の様子を写真 1 に示す。また受賞後の長瀬氏より「この度はマイクロメカトロニクス学術講演会ベストプレゼンテーション賞を授与していただき、誠にありがとうございます。大変光栄に思うと同時に身の引き締まる思いです。この栄誉は私個人の力ではなく、これまで自分を指導して育てて頂いた先輩社員の皆様と、自分を支えてくださった同僚の皆様のお陰であると実感しております。

今回、受賞の対象となった「年差±1 秒の光発電ムーブメントの開発」は、時計の本質である「精度」を追求することから始まりました。それにはまず、「精度をより高め、正確な時刻を表示することで、ユーザーにどのような価値を提供できるのか？」を考える必要がありました。そして、1 秒の美学：『研ぎ澄まされた「1 秒」に宿る美と、それを身に着ける人の美意識との間に共鳴関係をつくりだす。』というコンセプトが生まれました。

このコンセプトを軸として、デザイン・外装・ムーブメント・システムがそれぞれ横断的に時計を開発し、Cal.0100 が開発されました。今回、発表したのはその一部のシステム設計です。新たに規格を設けたこと、その規格を満たすために設計したこと、これらを発表という形で第三者に伝えられたことは、自分にとって良い機会となりました。

最後になりましたが、このような栄誉ある表彰を授与できたことを心から感謝するとともに、今後とも、多くの人たちにお力添えを頂きながら、開発を邁進していきたいと思います。」のコメントをいただいた。

Web 開催でのベストプレゼンテーション賞審査にあたり講演者の方々、審査委員の方々、システム管理していただいた中央大学土肥徹次先生のご協力に感謝する。



写真 1

* 原稿受付 2021 年 11 月 25 日

** 神奈川工科大学

製品紹介

「ORIENT STAR」70周年を記念し、新技術を搭載して登場した 『スケルトン』時計のご紹介 -シリコン製がんぎ車で70時間パワーリザーブを実現した新開発ムーブメントを搭載-

セイコーエプソン株式会社

「ORIENT STAR」は2021年に70周年を迎えました。その節目の新製品として、新たに自社開発したシリコン製がんぎ車を搭載し、今年3月に発売した『スケルトン』をご紹介します。また、「ORIENT STAR」70周年を記念した限定1モデルも2021年10月14日より発売しています。



1951年に誕生した「ORIENT STAR」は、「輝ける星」と呼ばれる機械式時計を理想に掲げ、伝統的な職人技と、最新の時計製造技術とを融合したMADE IN JAPANの高品質時計を一貫して生産し続け、2021年に70周年を迎えました。その「ORIENT STAR」から、「NOWHERE, NOW HERE（どこにもないもの。それがいま、ここにある。）」をテーマに、独自の審美眼と技術を生かした新製品を、今年発売して参りました。その代表となるモデルが、伝統的なスケルトンのデザインと、70時間以上のパワーリザーブが備わる新開発の手巻きムーブメントを融合させた、クラシックコレクションの『スケルトン』です

ムーブメントの地板や部品の骨格を残し、オープンダイヤルから内部の機構全体が見えるようにした『スケルトン』は機械式ならではの表現として多くの人に親しまれてきました。百数十点に及ぶ精密パーツから成る美しいムーブメントは、長くオリエントスターを造り続けてきた秋田の地で専任技能者により手作業で組み立てられ、卓越した技術と想いが込められています。新しい『スケルトン』は、クラシカルなデザインに先端技術を駆使した画期的なムーブメントを組み合わせた、まさにオリエントスターの70周年を記念する逸品です。

<商品の特徴>

●自社開発のシリコン製がんぎ車

エプソンの高精度プリンターヘッドの製造にも使われている MEMS 加工技術を活かすことで、従来の金属製に比べ軽く、成形精度の向上したシリコン製がんぎ車を開発し、駆動持続時間の向上を実現しました。また、シリコン製の歯車と軸（かな）の固定では、金属製の歯車のように軸を圧入すると歯車が割れてしまうため、新たにばね性を持たせた独自の固定構造を開発しました。さらにこのシリコン製がんぎ車には、エプソンの半導体技術も活かされ、ナノメートル単位の膜厚をコントロールすることで光の反射率を微調整し、鮮やかに反射するブルー色を実現しました。スケルトン構造で常に眺められる鮮やかなブルーの渦巻状の形は、70 周年のテーマ 「宇宙」に通じる天の川銀河系をイメージにしています。



ばね性を持たせた新開発のシリコン製がんぎ車。形状のイメージは天空に輝く銀河系。

●「輝き」を造り込んだスケルトンムーブ

ムーブメントパーツの表面には、より繊細に美しく光が輝くよう、緻密な切削加工を施しています。ダイヤル側から見えるムーブメント裏物押さえ部品には渦目模様、ケースバック側から見えるムーブメント地板面には線状の波目模様と表と裏で異なる表現を施し、さらに丁寧にダイヤモンドカットされた部品端面が美しく光のコントラストを演出します。また、9 時位置にあるテンプ周辺のムーブメントパーツは、二つの尾を持ち天空を流れる彗星をモチーフにデザインし、銀河系を模したブルーのシリコン製がんぎ車とともに、オリエントスターの宇宙感を表現しています。



ダイヤル側は渦目模様、ケースバック側は波目模様と異なった表情を堪能できます。

ダイヤル側 9 時位置のテンプ周辺には彗星をモチーフにしたムーブメント部品をレイアウト。

●スケルトン専任技能者による丹精込めた作り込み

今回の新しい『スケルトン』は、ムーブメント組み立て～文字板・針の取り付け～ケース組み込みまで、秋田の地においてスケルトン専任の技能者が手作業で丹念に組み込んでいます。特に、百数十点に及ぶムーブメント部品の組み立ては、スケルトンゆえに、部品のキズ、ゴミやケバの混入が無いよう、細心の注意を払って慎重に組み立てられます。



秋田にある ORIENT STAR 『スケルトン』専用工房で、専任の技能者が手作業で丹念に組み立て。

●普段使いできる時計として基本性能の作り込み

- ・フル巻き 70 時間以上駆動の為、金曜日の夜に時計を外しても月曜日の朝まで動き続けます。
- ・緻密な強度計算のもと、ムーブメント部品の削り量を割り出し、日差+15 秒～-5 秒の高精度と、スケルトンならではの「透ける」美しさの両立を実現しています。
- ・表ガラスには両球面サファイアガラスに両面無反射コーティングを施し、時刻の判読性向上とともに、美しく装飾されたムーブメントを隅々までくっきりと堪能することができます。
- ・革バンドは、上下 2 本の糸をハンドワークで縫製しており、下側の糸をやや強めに縫いつけることで購入したときから自然に内側へカーブするよう、腕馴染みの良さを作り込んでいます。

<商品ラインナップ>

ORIENT STAR
70 周年記念限定 200 本



RK-AZ0001S
¥319,000
(¥290,000+税)



RK-AZ0002S
¥319,000
(¥290,000+税)



RK-AZ0003L
¥352,000
(¥320,000+税)

概仕様	
ムーブメント機種コード	F 8 B 6 2(金色)/F 8 B 6 3 (銀色)
駆動方式／巻き上げ方式	機械式／手巻き
石数	2 2 石
駆動時間	7 0 時間以上
時間精度	日 差 + 1 5 秒 ～ - 5 秒
ケース材質	ステンレススチール (S U S 3 1 6 L)
ガラス (表)	両球面サファイアクリスタル S A R コーティング (両面無反射コーティング)
ガラス (裏)	サファイアクリスタル
バンド	本ワニ皮革
バンド幅 (かん幅)	2 0 mm
バンド中留	プッシュ三つ折式
ケースサイズ	縦 4 6 . 0 mm × 横 3 8 . 8 mm 厚み 1 0 . 6 mm
防水性能	日常生活用強化防水 (5 気圧)
耐磁性能	耐磁 1 種

会 報

一般社団法人 日本時計学会 2021 年 4 月度 理事会議事録 － 2021 年度 第 3 回理事会 －

(記録：常葉 輝久 2021 年 4 月 23 日)

1. 開催日時：2021 年 4 月 23 日 (金) 16:00～18:30

2. 場所：オンライン開催

3. 出席者：

<理事>大隅, 重城, 足立, 飯田, 今村, 梅田, 大谷, 佐々木, 鈴木, 中島, 増田, 常葉 (以上 12 名)

<監事>岸 (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, 小笠原, 小川, 嶋野, 槌谷, 土肥, 永田, 廣川, 藤沢, 横山 (以上 10 名)

4. 審議事項

(1) 2021 年 3 月度理事会議事録確認

3 月度 (第 1 回, 総会, 第 2 回) 理事会の議事録 (案) に問題無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)

マイクロメカトロニクス 2021 年 6 月号 (Vol.65, No.224) 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 1 件, 入稿待ち 1 件

- ・J-STAGE での発行済み記事の訂正方法に関して調査報告があった。

J-STAGE 推奨基準：エラータ (正誤表) により訂正する。

今後, J-STAGE データはそのままとし, 改訂版は日本時計学会 HP に掲載する。

HP 掲載方法は, 広報委員の WEB 担当と検討を行い理事運営委員会で報告を行う。

- ・マイクロメカトロニクス裏表紙の賛助会員のロゴの刷新を行う

(3) 春季研究会について (別紙資料配布 永田運営委員より報告, 幹事会社：シチズン時計 (株))

- － テーマ：光無線給電のインパクト ー最新動向と課題, 展望ー

- － 内容：レーザーなどの光ビームを利用する無線給電が注目を浴び始めています。

極微小電力のセンサー端末等からドローンなどの大きな電力を利用する機器のほか, 今までに給電に課題があった機器や環境への適用も通して, サービス, 文化にまでに大きな影響を与える可能性があります。この光無線給電の技術や取組の最新動向と課題, 今後の展望についてご講演いただきます。

- － 講師：東京工業大学 科学技術創成研究院 未来産業技術研究所

宮本 智之 様 (准教授, 博士(工学))

- － 日時：調整中 (日程が決まりしだい, 開催案内を行う)

- － 会場：オンライン開催

- － 定員：100 名

※初のオンライン開催イベントとなる為, 下記の内容が会話された。

- ・会費徴収：日本時計学会の口座を使用 (郵便口座の場合, 入金がありしだいメール連絡が入る)

- ・入金確認後に参加者にオンライン開催 URL を連絡する

- ・開催日前に参加者向けに開催 URL での試用を行う

- ・当日トラブルに備えて, 当日の問合せ先を案内しておく

- ・次のオンラインでのイベント開催に向けて, 手順書を作成する

(4) 見学会について

新型コロナウイルス感染症の影響により中止決定。

(5) 学術講演会について

学術講演会の講演の件について（別紙資料配布：土肥運営委員）

- ・会場とオンラインの同時開催を第一候補として検討を進める。
新型コロナウイルス感染症の状況、大学の受入れ方針に合わせて、
今後、会場のみ、オンラインのみに関しても継続検討を行う。
- ・実施：学術講演，特別講演，理事運営委員会，青木賞表彰
- ・非実施：製品展示セッション，技術交流会，談話室サービス
- ・プログラムの最後に，ベストプレゼンテーション賞の表彰式を行う。
- ・講演申込締切：7月16日（金），原稿締切：8月20日（金）。
- ・各社協賛金：重城理事が今年度予算を確認し，次回理事運営委員会で報告
- ・予稿集：製本での配布，電子データでの配布等を学術講演会委員で検討を行い，
次回理事運営委員会で報告

(6) 青木賞選考について

- ・5月に選考委員，表彰委員の選出
- ・6月に表彰候補論文の決定

(7) 監事からの提案について

岸監事から内容趣旨の説明があった。吉村監事が欠席の為，詳細は継続審議となった。

(8) 次回理事会

第4回理事会：2021年6月18日（金）16:00～17:00

新型コロナウイルス感染症の状況に合わせて，会場，オンライン，併用を検討する
オンラインの場合は，中央大学アカウントでのZoomを使用する

5. 報告事項

(1) 会員数状況（2021年4月23日承認後）

- ・正会員 148名（±0），学生会員1名（±0），賛助会員16社（±0）（83口（±0））
- ・入会：なし
- ・退会：なし

(2) その他

なし

以上

一般社団法人 日本時計学会 2021年6月度 理事会議事録 － 2021年度 第4回理事会 －

（記録：常葉 輝久 2021年6月18日）

1. 開催日時：2021年6月18日（金）16:00～18:30

2. 場所：オンライン開催

3. 出席者：

<理事>大隅，重城，足立，飯田，今村，梅田，大谷，木村，佐々木，鈴木，中島，増田，常葉（以上13名）

<監事>岸，吉村（以上2名）

理事総数13名の過半数につき理事会成立

<運営委員>岩崎，小笠原，小川，鳴野，槌谷，土肥，永田，廣川，藤沢，横山（以上10名）

4. 審議事項

(1) 2021 年 4 月度理事会議事録確認

4 月度（第 3 回）議事録（案）に問題無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）

マイクロメカトロニクス 2021 年 12 月号(Vol.65, No.225)に向けて、入稿状況等の説明がされた。

- ・研究／技術報告 入稿待ち 1 件
- ・時計関連資料の時計学会 HP への掲載に関して、広報委員の WEB 担当で検討を行い理事運営委員会で報告を行う。

(3) 青木賞について（別紙資料配布 大谷理事より説明）

- 第 55 回青木賞選考の経緯について、大谷理事（青木賞表彰委員長）より説明があり、次の論文が推薦された。出席理事より異議なく、下記論文が青木賞表彰論文として決定した。

「ウェアラブル機器へ適用するための最大酸素摂取量推定方法の検討」

2020 年度 Vol.64, No.223

著者：笹原 英生

(4) 学術講演会について

学術講演会の講演の件について（別紙資料配布：土肥運営委員）

- ・会場とオンラインの同時開催を第一候補として検討を進める。
新型コロナウイルス感染症の状況、大学の受入れ方針に合わせて、
今後、会場のみ、オンラインのみに関しても継続検討を行う。
会場は、通常使用している 5 号館は工事予定の為、3 号館での開催予定となり、
理事運営委員と講演者が会場での参加を基本とする。
- ・オンラインツールは、Webexを使用する。
- ・ベストプレゼンテーション賞は、下記の内容で実施する。
会場とオンラインの同時開催の場合：理事運営委員が審査し、表彰者はプログラムの最後に発表
オンラインのみでの開催の場合：木村理事が審査員を選出し、表彰者は後日 HP で発表
- ・予稿集は、PDFデータでの配布とする。
製本には日程面で難しい。国立図書館、他学会等への納本、配布の必要が無い為。
- ・参加費、各社協賛金：重城理事の検討結果の内容により、参加費、各社協賛金共に、従来通りの金額と同様とする。
- ・講演申込締切：7 月 26 日（月）、原稿締切：8 月 20 日（金）

(5) 夏季研究会について（永田運営委員より報告、幹事会社：シチズン時計（株））

初のオンライン開催イベントに向けて、進捗状況の共有と下の内容の会話がされた。

- ・会費徴収
- ・当日開催、事前試行の実行方法
- ・当日トラブルに備えたメール連絡
- ・チャットを活用した質疑応答

(6) 監事からの提案について

- ・第 3 回理事運営委員会での岸監事に続いて、今回吉村監事から論文の内容、掲載数を中心に、気付いた点に関して説明があり、今後、理事運営委員の中で検討を進めて欲しい提案があった。
- ・代表理事、代表理事補佐、他 2 名（代表理事と代表理事補佐が選出）のメンバーで実行委員会を設置して、検討の上、理事運営委員会で継続検討を行う。

(7) 次回理事会

第5回理事会：2021年9月17日（金） 学術講演会終了後

5. 報告事項

(1) 会員数状況（2021年6月18日承認後）

- ・正会員 146名（-2）， 学生会員1名（±0）， 賛助会員16社（±0）（83口（±0））
- ・入会： なし
- ・退会： 2名

(2) その他

理事運営委員の全体で業務手順書作成を行う提案がされた。

各イベント等を担当した方が各自手順書作成を行い、共有をする。

以上

一般社団法人 日本時計学会 2021年9月度 理事会議事録 － 2021年度 第5回理事会 －

（記録：常葉 輝久 2021年9月17日）

1. 開催日時：2021年9月17日（金）10:30～11:45

2. 場所：オンライン開催

3. 出席者：

<理事>大隅，重城，足立，飯田，今村，梅田，大谷，木村，佐々木，鈴木，中島，増田，常葉（以上13名）

<監事>岸（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，小笠原，小川，槌谷，土肥，永田，廣川，藤沢，横山（以上9名）

4. 審議事項

(1) 2021年6月度理事会議事録確認

6月度（第4回）議事録（案）に問題無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）

マイクロメカトロニクス 2021年12月号（Vol. 65, No. 225）に向けて，入稿状況等の説明がされた。

- ・研究／技術報告 入稿待ち1件
- ・依頼原稿関連 入稿待ち4件
- ・学術講演会報告記事担当：小川運営委員
- ・学術講演会特別講演記事担当：佐々木理事
- ・時計関連資料の時計学会 HP への掲載に関して，広報委員のWEB担当で検討を行い理事運営委員会で報告を行う。

(3) 会計ソフト更新について（別紙資料配布 重城理事より説明）

- ・現在使用している会計ソフトが2023年9月でサポート終了となる為，後継ソフト選定が必要
- ・複数の代替ソフト候補の検討を進め，次回11月度理事運営委員会で継続審議
- ・代替会計ソフト費用を2022年度予算化予定

(4) 秋季研究会について (藤沢運営委員より報告、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：乾式オフィス製紙機 PaperLab A-8000 の技術概要と今後の展望
- 内容：世界的に持続可能な社会の実現が求められています。紙資源においてペーパーレスを指向した取り組みも進んでいますが、紙の利便性からゼロにすることはできません。そのような中で、エプソンは建物内で大量の水を使うことなくオフィス紙を再生することができる、世界初の製品乾式オフィス製紙機「PaperLab A-8000」を開発しました。今回は、PaperLabの水を使わずに使用済みの紙を繊維化する革新的なドライファイバーテクノロジーの技術概要やお客様による活用事例などと共に、今後の技術展望について講演いただきます。
- 講師：セイコーエプソン株式会社 PL 事業推進部 部長 岡村 岳彦 氏
- 日時：2021 年 11 月 19 日(金) 14:00～15:40
- 会場：オンライン開催(ツールとして Webex を使用予定)

(5) 2021 年度ベストプレゼンテーション賞について

学術講演会が初のオンライン開催となった為、選考方法、発表について下記の変更提案がされ、承認された。

・審査委員

理事運営委員会にて、セッション1、セッション2の審査委員を事前に依頼決定する
選考用紙をメールで審査委員に送信→審査→事務局→企画委員会

・発表

学会誌および本会ホームページにて行い、表彰状は別途郵送する

(6) 監事からの提案について

下記進捗検討状況が共有され、継続検討となった。

発表者のみしか投稿できない表現を中心に論文投稿規定に関して、編集委員会と協力して見直しを検討。

(7) 新入会員の承認

新入会員無し

(8) 次回理事会

第6回理事会：2021 年 11 月 5 日(金) 16:00～17:00

新型コロナウイルス感染症の状況に合わせて、会場、オンライン、併用を検討する

5. 報告事項

(1) 会員数状況 (2021 年 9 月 17 日承認後)

- ・正会員 145 名 (-1) , 学生会員 1 名 (±0) , 賛助会員 16 社 (±0) (83 口 (±0))
- ・入会： なし
- ・退会： 1 名

(2) その他

なし

以上

第55回 青木賞表彰委員会報告

第55回青木賞選考は、マイクロメカトロニクス2019年度 Vol.63, No.220-221 及び 2020 年度 Vol.64, No.222-223 に掲載された研究論文 1 編, 技術報告 11 編, 合計 12 編に対して行なわれた。選考は選考委員による予備審査と表彰委員による本審査との二段階で行なわれた。

選考に先立ち、選考委員 9 名, 表彰委員 6 名の選出を行なった。

予備審査は、各選考委員がそれぞれ与えられた 5 編または 6 編の論文を査読し評価した。その評価を集計、数値化し、合計点数の高い 4 編について、本審査を行なう表彰委員会へ推薦した。

本審査は、これら 4 編の論文を表彰委員が査読し、その評価を予備審査と同様に集計、数値化した。この結果を基に表彰委員会にて議論した結果、最も高い評価を得た下記の論文を第 55 回青木賞表彰論文として推薦することに決定した。この結果を後日開催された日本時計学会理事会で報告し、下記の論文が青木賞表彰論文に決定した。



授賞された前澤秀和氏(左), 笹原英生氏(右)

第 55 回青木賞表彰論文：ウェアラブル機器へ適用するための最大酸素摂取量推定方法の検討
マイクロメカトロニクス, Vol.64, No.223, pp.1-15 (2020)

執筆者：笹原英生*, 崔宇飛**, 黒田真朗*, 前澤秀和*, 永富良一**

所 属：*セイコーエプソン株式会社, **東北大学大学院

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

第 55 回青木賞の授賞式は、2021 年 9 月 17 日にオンライン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にてリモートで行なわれた。

（委員長 大谷親, 幹事 今村美由紀, 藤沢照彦）

編集後記

新型コロナウイルス感染症、度重なる緊急事態宣言により開催が危ぶまれたオリンピックが、1年の延期をされながら開催されました。無観客、ステイホームのもと、沢山の金メダルに日本中が沸きました。

さて、今年度のマイクロメカトロニクス学術講演会は、初のオンライン開催となりました。リモートワーク、オンライン会議が主流になりつつあることも功を奏し、沢山の参加者に恵まれました。ご参加いただいた皆様、ありがとうございました。

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

(常葉 輝久 記)