



# 腕時計



## ●シリーズ● 材料の素顔に迫る

### 時計とはいったい何か

時間の長さの単位はどのように決められているのでしょうか？昔の人々は太陽の昇沈を基準に生活してきました。そのため、「日」、「年」などの時間の長さは、地球の動きをもとに定義づけられています。すなわち、「一日」とは地球の自転に、「一年」とは地球の公転に基づいています。「一日」を二十四で割ったものを「一時間」、その一時間を六十で割ったものを「一分」、一分をさらに六十で割ったものを「一秒」と定義しています。実際には、地球の自転も公転も一定ではありませんので、いろいろ補正して「世界時」を決めています。時間を計る道具として時計が生まれたもとは、ガリレオの「振り子の等時性」の発見がありました。彼は教会の天井のランプが揺れているのを見て、そのランプが大きく揺れても、小さく揺れても、往復にかかる時間は同じであることに気づきました。これを利用することにより時計が大きく進歩しました。このような時間を計る時計、中でも腕時計の内部を見てみましょう。最近の腕時計は機械式とクォーツ式、さらに電波時計に大別されます。

### 1 機械式時計

機械式はゼンマイを動力源としたものです。機械式腕時計は図1<sup>1)</sup>や図2<sup>2)</sup>に示すような次の部品から構成されています。香箱車(こぼこくるま):時計の動力源のゼンマイが入っています。リュースを巻くとゼンマイは強く巻きしぼめられます。ほどけようとするゼンマイの力が香箱車を回します。ゼンマイバネは動力主軸を回すためにゆっくりとほどけてゆくのですが、このばねがほどけきつてしまうと時計は止まってしまうため、巻き直しが必要になります。最近では自動巻きが主流ですので、手動巻きはほとんど見かけませんが、原理は同じです。

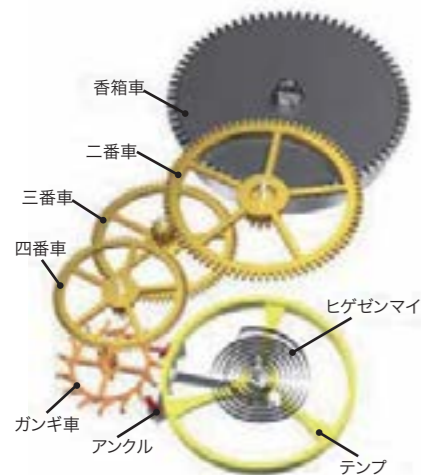


図1 機械式時計の仕組み

二番車:分針がつきます。時計の中心にあり、一時間に一回転します。  
三番車:仲介役の歯車です。  
四番車:秒針がつきます。  
ギャング車:ゼンマイ香箱車からの力をアンクルに伝えます。  
アンクル:ギャング車の回転運動を往復運動に変換し、テンプに力を伝えます。  
テンプ(テン輪):腕時計の中で忙しくクルクルと回っている部分。往復回転運動をして時間をつかさどるものです。振り子時計では振り子がテンプの役目をしています。テンプの等時性を利用して時間を計ります。  
ヒゲゼンマイ:渦をまいている部分。ヒゲゼンマイの伸縮でテンプが規則正しい振動を繰り返します<sup>3)</sup>。

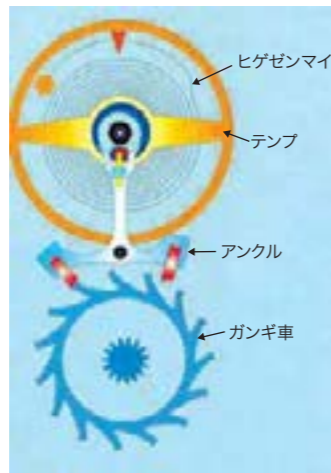


図2 テンプと调速機構

巻き上げられたゼンマイの動力は香箱車を回転させ、二番車、三番車、四番車に伝わりまします。隣の歯車の中心の「カナ」と呼ぶ歯数の少ない歯車と噛み合うことで順に回転数を上げていき、スピードの違う分や秒の針を回転させることができます。時計によって差がありますが、例えばそれぞれの歯数が表1のような場合、二番車が1回転する間に四番車は60回転し、最後に到達するギャング車は600回転することになります。この一連の車の連絡を「輪列」といいます。こうしてゼンマイの動力は車を回転させていきますが、このままでは、巻き上げられたゼンマイが一気にほどけてしまい、輪列が高速回転するだけで、正しく時を刻むことはできません。そこで、四番車のあとに、図2に示すようなギャング車以降の调速機構が連絡します。四番車の回転を引き継いだギャング車が回ろうとすると、その歯がアンクルの入り爪に当たり停止します。ここで、テンプの振動により、アンクルの右側の爪が持ち上がったたり、左側の爪が持ち上がったたりしてギャング車の停止・解除が規則的に起こります。これによりギャング車は規則正しく回転することになります。

大阪大学 接合科学研究所 教授  
工学博士 小溝 裕一

表1 輪列の歯車

種類	香箱車 (ゼンマイ)	二番車 (分針)	三番車	四番車 (秒針)	ギャング車
カナの歯数	なし	12	10	10	8
歯車の歯数	72	80	75	80	15
回転数	1/6	1	8	60	600

このほかに部品を固定する押さえ板や歯車、回転軸のようないろいろな機械部品からできています。解体した代表的部品を図3に示します。

部品Aはキー部品であるヒゲゼンマイです。ヒゲゼンマイは幅0.154mm×厚さ0.032mmの線材からできていました。材質はEPMAによる半定量測定において(以下成分は同じ測定法による。数値はmass%)Fe-26.1Co-16.6Ni-10.0Crの特殊合金でした。昼夜や四季の寒暖の差によってヒゲゼンマイが伸びたり縮んだりすると、時計の精度が狂ってしまいます。そのため、熱膨張係数の小さな特殊合金が用いられます。

部品Bは香箱車で図4のような複雑な構造をしており、中央軸部品(B2)と歯車外装部品(B1)とその内装の板状コイル(ゼンマイバネ)(B3)からできています。中央軸部品(B2)の成分はFe-C-0.3Si-0.87Mn鋼で、図5に示すように硬いマルテンサイト組織(650HV)でした。歯車外装部品(B1)はCu-38.7Zn-4.3Pbの快削黄銅です。その内装の板状コイル(ゼンマイバネ)(B3)は、38.3Co-22.3Fe-16.8Ni-11.5Cr-Mo-Wの特殊合金で、731HVの高硬度部品でした。

部品CはCu-29.9Zn-2.8Sn-2.9Pbの快削黄銅です。部品Bも部品Cも歯車部には、図6に見られるように表面処理は施されていませんでした。このように時計の部品には、ステンレス鋼、ばね鋼、高炭素鋼などの鉄鋼材料や黄銅、特殊合金などが利用されています。図7に時計の外側の解体部品を示します。機械を保護するために用いられるケースは、直接肌につけられるものですから、ほこりや湿気が入らないよう、また、汗のために汚れたり錆びたりしないよう、材質や構造が工夫されています。

外部のケースやバンドには、金、銀、白金などの貴金属も用いられますが、一般的には強度と耐食性を兼ね備えたステンレス鋼やチタンが広く用いられています。これらの構成材料の加工法は、従来の鍛造法や切削法から精密鑄造法や射出成型法に代わってきています。ケースの表面にチタン、クロムなどの金属粒子を蒸着させるイオンプレーティングなどの表面処理技術も進歩しています。

### 2 クォーツ式時計

クォーツ式は水晶振動子が時刻を刻みまします。水晶は電圧を加えると振動(1秒間に



図3 解体した時計の部品

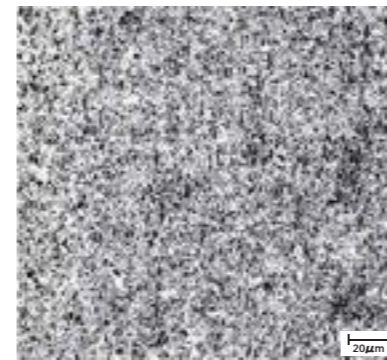


図5 部品B2のミクロ組織

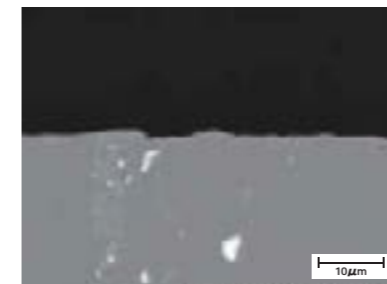


図6 部品C 歯車部に表面処理なし

32768回振動)します。これをピエゾ効果といいます。振動をカウントし、時間を割り出して時を刻むというのが、クォーツ式時計の基本的仕組みです。さらに水晶は振動すると発電するという特性も持っています。電圧を加えられて振動した水晶の振動数から1秒を割り出し、それを標準に、コイルに1秒1パルス信号として電流を流します。電流が流れたコイルに発生する磁力でローターを回転させ、歯車を1秒1秒回転させているのです。図8にクォーツ式時計の仕組みを示します。機械式の秒針は連続的に動いていますが、クォーツ式時計で



図7 解体した時計のケースなど

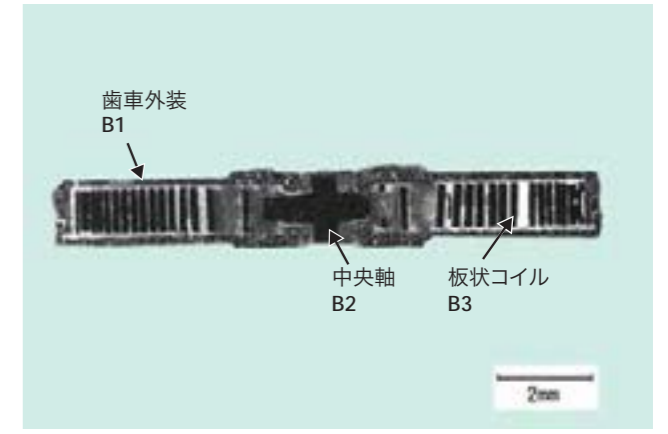


図4 部品Bの内部断面

は、秒針は1秒1秒運行しています。それは機械式時計では、テンプの振動はアンクルを伝わってそのまま秒針の運行を制御していますが、クォーツ式時計では、上記のような機構で秒針の運行を制御しているからです。

1964(昭和39)年に開催された東京オリンピックでは、クォーツ式時計が公式時計として採用されました。それまでの機械式時計は日に10秒~1分程度の誤差を生じていましたが、クォーツ式時計は誤差を1/100程度に小さくした画期的な時計でした。1969(昭和44)年になると、腕時計にもクォーツ式が登場しましたが、当時の価格は自動車(カローラ)より高かったそうです。しかし、予想もできない速度でコストダウンがはかられ、瞬間に世界中に普及しました。

### 3 電波時計

地球の動きから求められる世界時が「時刻」の標準となっていますが、これは正確には一定の歩度で進むものではありません。そこで正確な「時間の長さの単位」が決められています。それが「原子時」(原子の振動数によって定められる秒)です。セシウム(Cs)原子の振動数は一定不変と考えられているため、セシウム原子が、91億9263万1770回振動するのに要する時間の長さを「一秒」としたものを「原子時」といいます。セシウム原子時計は誤差が10万年に1秒といわれ、ほとんど誤差がありません。このセシウム原子時計が設置されている送信局が、日付・時刻情報のデジタル信号を電波の信号に変換して送信しています。この送信局から送られてくる信号を、電波時計に内蔵された

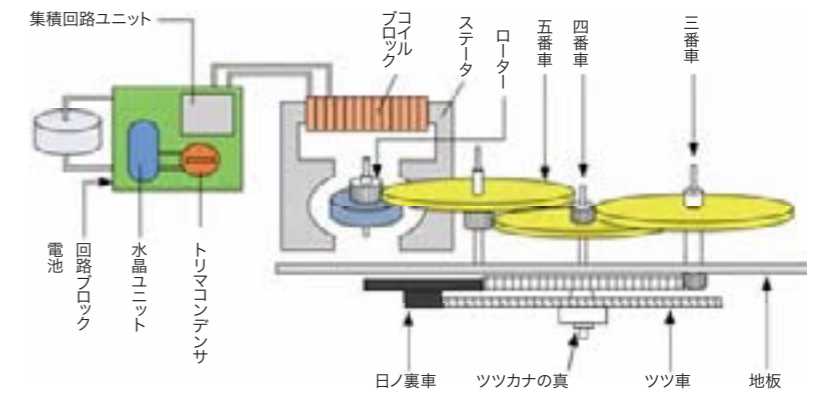


図8 クォーツ式時計の仕組み

受信機が一定時間ごとに読み取り、自動的に時刻を合わせています。このため、電波時計では電波が正常に受信できる限り、時刻合わせなどの手間を省きつつ、秒単位で正確な時刻を知ることができます。

最近の時計は方位・気圧・高度・温度を計測するセンサ機能、世界6局標準電波受信機能、さらにソーラ発電機能など様々な機能を備えたものが登場しています。種々の機能を小さな時計内に詰め込むため、高密度実装が必要で<sup>4)</sup>。また、センサの磁気対策など高度な技術が埋め込まれています。材質的にも、外部磁場を遮断するパーマロイ合金や、ポリエーテルイミドとガラス繊維の複合材料など特殊な材料が出現しています。

### ●おわりに

クォーツ式や電波時計が出現したため、腕時計の精度は飛躍的に向上しました。機械式時計はこれらに圧倒された感があります。しかし、スイスには伝統を守り、機械式時計を作り続けてきたメーカーもあります。今でも機械式の魅力は人々を惹きつけています。

#### 参考文献

- 1) <http://kawai3.hp.infoseek.co.jp/wheels.html>
- 2) <http://homepage1.nifty.com/ito/tech/mecha.html>
- 3) 機械式時計解体新書、本間誠二、大泉書店
- 4) 細淵博幸、日本機械学会誌、2010.6、Vol.113、No.1099、日本機械学会誌、2010.6、Vol.113、No.1099