

アンティーク時計学叢書

マッジのタイムキーパー

TIME-KEEPER by MUDGE

トーマス・マッジ 著

THOMAS MUDGE, 1763

フュゼ

本書について

本書は、外洋を航海する船上で経度を決定するときに重要な役割を果たす高精度な時計についての本である。その時代に《タイムキーパー》と呼ばれた時計は、いまでは概ね《クロノメーター》と呼ばれている。イギリスが1714年に制定した経度法の基準を充たすべく産み出されたこの最新鋭の時計については、ジョン・ハリソンのストーリーが有名であり、その波瀾万丈の人生についての本もおおい。そのハリソンとほぼ同じ時代、同じように経度法の名誉と懸賞金に晩年の人生をかけた人物がいる。この本はそのトーマス・マジ（1715-1794）にまつわるドキュメントをあつめたものだが、政治的な話はたまかな流れが感じられる程度にとどめ、メカニズムとその具現者の発想や感性、技術的なプレゼンテーションにフォーカスする試みである。

時計師マジが発明したタイムキーパーに関する一連の事件は込み入った事情にあり、それについて深く立入る事は訳者の力量を大きく越える。興味のある読者は、巻末に整理した一連のパンフレットと文献資料に目を通されたい。訳出したのはその中の最後のパンフレットのごく一部になることから、全体を見通すための情報には何等かの片寄りが生じている可能性がある。このようなバイアスは、弁護士として成功したと言われる息子のマジがパンフレットを執筆した時点

でかかっていそうなので、読者には注意していただきたいと思う。なお、本文に登場するパンフレットはタイトルがたいへん長いので、『論考』、『実録』、『反論』、『反論への回答』、『経度発見法』と略記した。正式なタイトルは本書p.157の「時系列パンフレット一覧」を参照していただきたい。

さて、今日、機械式の腕時計の世界ではほぼ業界標準となったレバー脱進機の生みの親であるマッジ。歴史的には花を咲かせることなく、ハリソンやアーショウの影で忘れ去られてしまった幻のメカニズム。商売に腐心せず、愛情を注ぎ過ぎたがゆえの徒花^{あだばな}だったのか。肖像画からは想像もできない繊細なコンポジションと、力強い独創性には、一種の美学や哲学がにじむ。まとまった形で扱われることが少なかったこの異端児の、美の極意に少しでも光をあてられたら、現代の我々の頭のなかに、マッジの頭脳に写し出されたヴィジョンの申し子が、新たなかたちとなって投影されるかもしれない。

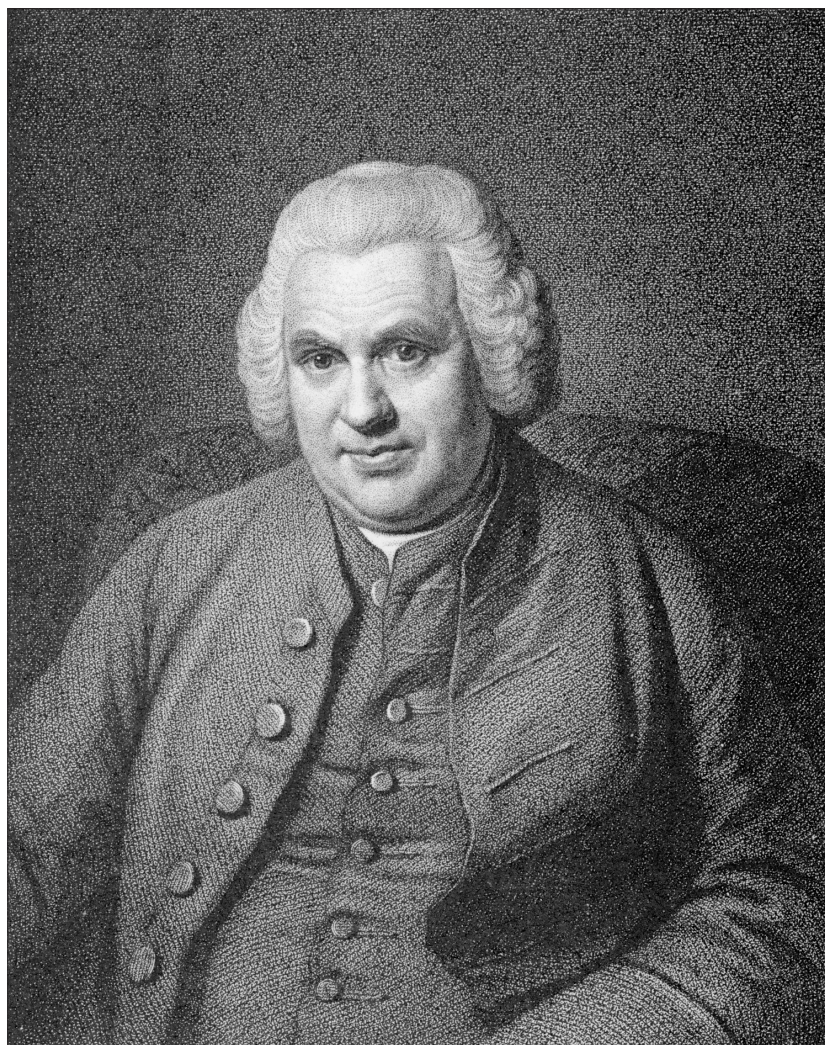
孤高の存在の感も強い、このマッジのタイムキーパーにはまだまだ解明されていないところが多いと思う。最新の脱進機であるレバー式を発明しておきながら、どうして旧式なヴァージ式の発展形に見えるものを貫き通したのか。また、ハリソンとは違ってマッジの機械は最初からほぼ構造が変わっていない。王室おかかえの時計師という、いわばその道の頂点にまで上り詰めたマッジの能力をすれば、改良のための時間もアイデアもたくさんあったはずである。あれこれ理論を展開することもなく、最初から完成されていたものを、マッジはただ、直感

的に手本を作ってみせ、凡人が作れるかどうかを見守っていた、という事なのだろうか？

この本が書かれたのは18世紀末から19世紀初頭であるが、時計学に関する本では、DTPの発達した現在のようにテキストとイラストを自在にレイアウトしたものがほとんどない。エッチング技法を主としたイラストはすべて巻末にまとめられるため、文字と図面を突き合わせてくわしく見ることが多い技術ドキュメントだとなかなか読むのも大変である。テキストのほうも全体をつかむのも難しいように切れ目なく続き、読みつづける辛抱がままならなくなるところも多々あるため、見通しがよくなるよう、訳者が底本にはないセクションだてなどの工夫を適宜くわえ、フォーカスをぐつと絞り込んで、全体のごく一部だけを抄訳のかたちでまとめ直すことにした。結果として、見た目にずいぶんな変更を加えることになったが、文章そのものについては、原則底本通りに順番に訳出している。著者の意図する内容のエッセンスをよりよく読者に伝えることに逆らうことなく、少しでも知的好奇心を充たすお手伝いができたなら幸いである。

無雑な訳出にはいろいろと不備が隠れており、至らない部分もままあると思われることは、前もってお詫びしたい。

訳者 識



マッジの肖像画

〈原画はDance、エッチングはSchiavonettiによる〉

目次

本書について	3
時計の改良について	11
序にかえて	13
時計の改良方法	15
脚注一覧	23
ペニントンによる構造解説	25
主輪列	27
フリクションローラー	33
緩急針	35
温度補正	36
脱進機の構造	40
脱進のシーケンス	42
文字板の様式	48
参考：マジジのレバー脱進機	50
参考：精密に再現するムーンフェーズ	52

小マジによる弁明（抄訳）	57
緒言	59
はじめに	61
コストと実装の難しさ	65
月距法とタイムキーパー	69
先覚性と保護政策	77
クロノメーターの黎明期	85
リースによるメカニズム詳解	109
全体のあらまし	111
香箱と動力部	112
主輪列	114
テンプガードの構造	117
緩急針のメカニズム	121
温度補正のしくみ	122
ガンギ支持部	125
脱進機のメカニズム	126
脱進のシーケンス	128
脱進機のチューニング	132
メカニズムの分析	133
経度委員会とトライアル	136
マジ最後の言葉	138

参考資料	141
『ヘリオスコープ』あとがき（フック、1676年）	143
メカニズム解説の補足	150
マジ略年表	152
時系列パンフレット一覧	157
参考文献	160
人名綴りと生没年	172
主要人名索引	176
歴代のイギリス王室天文官	179
英仏君主の在位と和暦	180
基本単位等	182
底本について	183

時計の改良について

トーマス・マッジ

1763

序にかえて

二年から三年前になりますが、洋上の船で経度を決めるための時計の原理と構造をすべて開示し、しかるべく選ばれた人物へ口頭で説明すれば、ハリソン氏に賞金5,000ポンドを即時支払いする法案が可決しました〔訳注：この法案は1763年4月8日に成立し、ハリソンは1765年8月14日に自宅にてマッジやマスケリン立会いのもとH4を分解した〕。はからずもその人選にあずかりました私が召喚された折り、時計作りに必要な改良についてなにかしら自分で温めていた案件があったなら、ハリソン氏の開示を出し抜くような真似になってはならない、との考えがもたげました。もしそれを忘れて、この取組みに関する《わたくし》の考えが《ハリソン氏》と偶然の一致をみた場合、私はどうあっても剽窃家ひょうせつかにされてしまうだろうと危惧きぐしたわけです。かりに、取り組みに相応しい頭脳ふさわを二人が持ちあわせ、二人が同じ課題にむきあっていたとして、私がこれから諸氏と会う予定の数時間前に机にむかい、その課題にかんする考察を急ごしらえの論文にまとめ上げ、それを王立協会の秘書に預ける、などという状況はありえません。しかしながらそのあと開示はされず、次なる会合の開催もしばらく先送りされ、(筆無精のわたくしが) やっつけで仕上げたんだと思われるよりは首尾よく整える時間がとれましたことから、このあとに載せます論文を書き上げるわけですが、王立協会には提出をせず、すぐさま名のとった機械工学の士数名に精読をおねがいしました。その写しをとられた方も数名おられますが、そのあと、今回の要点を含むものの、ずっと短かった予稿はしまい込んだわけです。いまわたくしが、本稿を印刷というかたちで出版する理由とは、何部かは外国に渡っていくでしょうし、

新聞社や雑誌社に渡れば自分が書いた以上に誤りが増えるでしょうし、また加筆されるものも続出しそうだからなのです。オリジナルの原稿から本にしておけば、この二三年の間に書いたこともはっきりそうだと公言できますし、わずかな時間で書き上げたものでないことも示せますし、(多くの人手を渡ってしまう)紙切れが相当くたびれてしまつてほとんど読めなくなることもなくなり、また正直なところ、メカニックとして卓抜であられ、私もたいへん尊敬しております方々が、これが出版されることを待ちわびておられたことも、気持ちを後押ししたといえます。ハリソン氏は開示を済ませられ、しごく当然のこととして、まもなく賞金も授与される運びですから、同氏へのやっかみだと思われる事もないでしょう。事実、ハリソン氏のメカニズムの素晴らしさは、本件についてわたくしなり、私の知人なりが何か印刷したところで、なにかしらん傷つくような、そんなちっぽけな代物^{しろもの}ではありません。本稿を一字一句《ありのままの形で》印刷することに決めました都合上、よりよく御理解いただくために必要だと思えるものを、脚注〔訳注:本書では末尾の23頁にまとめた〕の形で付け加えたことだけ、申し添えさせていただきます。

1765年10月25日

時計の改良方法 [脚注⑦]

時計を動かしている一つ一つの原理とは、私の理解するところ、どれも同じものであり、また完全なものです。それゆえ、時計で生じる誤差はその原理からくるのではなく、原理からはずれることであり、機械を動かすことと切っても切れない不完全さから生じるのです。その原理はシンプルそのもので、同じ力をかければ常に同じおおきさの運動が起こる、ということ以上ではないのです。そしてその運動の量とは、物体の分量と速さをかけ算したもののなので、物体の分量が変わらなければ速さも変わらないのです。それゆえ、力が与えられるといつでも、同じ時間をかけて同じ速さとなるわけです。この原理に基づけば、自動力のない物体がある軸で支えられて完全に平衡がとれた状態のところへ、動かせる向きに力をかけると、決まった時間に決まった速さに達するのであります。これと全くおなじ力を反対向きに交互に加えると振動というものになります。もし振動に毎回同じ力をかければ、その速さも同じになります。この原理に基づいて時を計る機械を作り上げるには、このテンプにかける力が交互に反対向きになる工夫が必要です。またそれが実用となるには、24時間といったある程度の長い時間、外から何かに補ってもらわずに力をかけ続けなければなりません。そのような狙いから、テンプが一振りする力を、補充なしで時計が動きつづける時間でかけ算しただけ、増やさなければなりません。そのように大きくした力を、一連の歯車を経てテンプまで伝わるようにさせますが、テンプにかけるべき力として当初想定した強さと等しくなるまで、速さの上がり具合に比例してこの力の強さは落ちてゆくのです。

最初はこの程度の理屈で時計が作られたわけですが、作り方はたいへん雑なもので、無いよりはましとはいえ、どうやっても原理の完全性には遠く及ばない精度の能力しか出せなかったのです。力が輪列を伝わっていくところに病の脈があります。どれほど作り方が完全であっても、メカニズムが不完全ですし、避けられない摩擦もありますから、至るところに間違いが付いてまわるのです。これらが渾然一体となり、期待すべき均一な力からほど遠い、はなはだ不均一で不規則な力となるのです。

この間違いにたいして、分かり切っている一番の対処法は、(私には雑に見える)メカニズムの改良だと思います。これといった改良もなく立派に作り込まれた後世の時計を数台見ましたが、一日の長はあっても、病魔については蔑ろです。それゆえ、改良の方法として別の道を探る必要があるわけです。その方向性ではじめて名案だといえる改良は、私の知るかぎりではフック博士とホイヘンス氏による、俗にいう振子バネ(この名はその周期性を指していると思われる)をテンプに取付けることでした。これは、熟練というものを理論の単純性にまで手繰り寄せた、偉大な一歩でした。なぜなら、テンプが回転する少なくとも $\frac{2}{3}$ は、この時をもつて、新しく追加されたこのバネが回すことになったからです。これはシンプル極まりなく、残ったのは不規則な力が混ぜこぜになった $\frac{1}{3}$ の運動です。結果として不均一な力がテンプにかかる、この力の不規則性が誤差の $\frac{1}{3}$ を生むわけであり、それは経験にも裏打ちされております。

以上述べたことから導かれる私の結論とは、主ゼンマイから主輪列を経てテンプへと伝わる力は、必然的に不均一かつ不規則であり、その影響力は完全には払拭できない、という事です。時計の規則正しさを改善するために我々にできるのは、テンプに伝える力の運動量のズレをどれくらい低く抑えられるか、に尽きるのです。その理由は、この力によって生まれる動きがどうあれ、完全にシンプルな振子バネの影響下にあるテンプには、振子と重力の関係とおなじ力がかかる、から

なのです。私は、この力はテンプの人工重力といってもおかしくない、
と思います。期待を託すのぞみがあるとするなら、それこそが時計を
改良する合理的な方法だと、私は信じるのであります。しかしながら、
その方法には、設計する機械の使われ方、といった種類の要件がつい
てまわります。それを次に検討していきます。

懐中時計においては主ゼンマイの生む力は、静止状態からテンプを動か
かせるほど、振子バネの力はいつでも強くなければならぬため、非
常に狭い限界にあります。そうでないと（テンプの動きが止まるほど機
械が動いてしまうたびに）時計は何度も止まってしまいますが、そんな
ことはとうてい許されません。しかしながら、（可能な限り主ゼンマイ
の力に比例してテンプに最大限の動きを与え、テンプへの影響を比例させ
るという上記の方法論が緩くても良くなる）目覚ましい改良がなされてい
ることには満足しており、思った以上に良くなるに違いないとも思
います。しかし上に述べました制限は、すぐさま越えられるような障壁
ではないと私は信じるのです。そしてそのことが、海上での経度決定
といった特殊な目的にかなう精度を阻むのです。

いまここで、主ゼンマイに極力比例した力でテンプを動かすという、
同じ改良方法の流れにそって、特殊な目的をもつ時計に課せられた限
界について考えます。さて、この船が時計を動かすといっても、テン
プの動きには遠く及ばないことは分かり切っていますから、主ゼンマ
イの役割も懐中時計とはいくぶん異なって来る、とみてよいわけです。
すなわち、懐中時計ではそつと置いた状態からテンプが動けばよかつ
たのですが、船舶時計は外から一旦動きを与えたら、それを死守する
ことが全てなのです。振子バネを付けたシンプルなテンプを動かして
みますと、相当な時間その動きが続きはしますが、一振り一振りじわ
じわと回転角が落ちていって、最後には停止します。この時に主ゼン
マイという外部からもらう力は、この動きの損失をおぎなうぶんに過
ぎず、この外部の力の利用が少なければ少ないほど時計はシンプルに
なり、その結果高い精度が期待できます。しかし、時計を動かないよ
うに固定しますと、この動きをただ持続させるより少し強い力が必要

になってきます。船に据付けられますと船の動きをまともに受けますから、結束を少し狭くするという制限が出ます。

この結束を見積もるため、なんらかの方法で、テンプを平均 180° の振幅で1秒間に5回振動させたと考えてみましょう。なお、テンプは水平に振れるとします（水平姿勢がどれにもまして適している強い理由はたくさんあります）。船の揺れからくる時計本体の揺れは、テンプ自体の相対的な動きには影響しませんが、向きが一致したり正反対になると、その向きに余計に振れます。テンプは水平面で回りますので、動きに一番大きな影響を受けるのは、船が円を描くときに限られます。さて、水平面での船の回転運動が一番大きくなるのは、間切り走り〔訳注：ジグザグに向かい風を進む〕しているときに突風を受けたときでしょう。また（単なる想像ですが）、そうした状況にある船の速度は、せいぜい1秒間に 90° 回るだけでしょう〔脚注④〕。上に述べたように、テンプは1秒間に5回 180° 振れますから、船の動きに比べると10倍も速いわけです。ここで、絶対的な船の動きに、相対的なテンプの動きを足し算引き算してみると、平均的な振幅の $1/10$ とみなせば 18° の計算になります。ということは、振幅の平均は、脱進するのに十分な角度よりも 18° 大きくないといけません〔脚注⑤〕。そうでないと止まりやすくなってしまうわけです。また平均より 18° 大きく振れても、バンクに当る〔脚注⑥〕手前におさまるようにしておかないと、何度もそれを叩き付けることになって動きに乱れが混じります。最初の仮定のもとでは、以上のような制約をうけるわけです。脱進するのに必要な角度を越えてテンプが振れる角度が小さければ小さいほど、主ゼンマイから同じ力をもらっても大きく動かせ〔脚注⑦〕、またその結果、船の中で避けようもない攪乱かくらんにさらすよりも、機械を据付けてしまった方が完成度も大幅に上がる、と思われまから、わたしはこの制約を営倉えいそう入り〔訳注：軍の違反者を監禁する懲罰〕と呼んでおります。以上述べたところから、テンプが振れる角度は（許されるものなら）最大でおよそ 200° で、最少は 160° になります。船の動きはその範囲におさまっておりますし、その動きもテンプだけに影響することから、テンプの振れはそのあいだを上下に揺らぎ続けます。

その次に考えるべきことは、この大小の振角^{ふりかく}のバラツキが時間の等しさに影響するかどうかであります。私はあつたとしても大変小さいものだと思像します。というのは、振子バネ以外に何も付いていないテンプの場合、物理の原理によれば、振角が大きくても小さくても同じ時間で振れるからです。それがいつでも真であれば（私にはやや疑問ですが）、この特性を壊さない方法で外から力を加える点に注意すべきです。もしそれが絶対でなくても、そうなるべく外力を加えるべきなのです。私はさきほど1秒間にテンプを5回180°振らせるとしましたが、これが1秒間に4回の振動で平均225°振らすということにしますと、(船との) 相対的な動きと絶対的な（テンプの）動きの割合がさきほどと同じになり、おなじ制限がかかってきます。振動が速くなり、それゆえ、振幅が大きくなるほど、絶対的な動きと相対的な動きの差が広がっていきますし、主ゼンマイの力に比例するというだけでも動く量が増えていきます。しかし、ここにもまた限界があります。すでに述べたことですが、テンプが大きく振れれば振れるほど、脱進させるための角度も大きくなるからです。そして、不都合を無視して大きくできるわけもなく、避けようとしている以上の誤差も招くでしょう [脚注④]。さらに、一定時間の振動回数がある境を越えてしまうと、うまく作動させられません。なぜなら、すぐ想像できるように、主ゼンマイの力をテンプに伝えるガンギ車の速さを上げる必要が生じ、摩擦が増えることに加え、増えた勢いをバネがすべて吸収してしまい、その結果、テンプに届くべく計算された力ではなく、全くでたらめな力が届くことになるからです。このような理由から、さきほど振幅を平均180°（検証実験はまだですが、現実にはたいした精度も要求されないため、おそらくもう少し大きくできるかと思いますが）とし、1秒あたり5回の振動としましたが、それが今のところ私には最もよい数値に思われます。

以上の方法をもってすれば、主ゼンマイから輪列を経てテンプへと至る力の不均一性のもたらす病魔に最もうまく対処できる、と理解しております。しかし、目指すべきは、能うかぎり完全な機械^{あた}を作ることです。そのゴールへ向かっていくために、そうすべき場所で、可能な

限り力を等しくすべきなのです。そして、主ゼンマイが24時間で指針を一周させるがごとく、主ゼンマイに弱いバネを短時間で巻上げさせれば、さらに均一性を高められます。そうすることで、摩擦も、主ゼンマイから弱いバネへと至るまでの不均一性も、すべて微々たるものとなるのです。さらにテンプに影響を与えそうな外力から生じるバラツキも、小さなバネからくるものだけとなり、おなじバラツキの繰返しも誤差が感知できないほどの短い時間に丸め込まれ、感じ取れなくなります。

ここまでは、(シンプルな) 振子バネの力は完全に均一であり、またいついかなる時も等しい、という仮定のもとで進めてきました。しかし経験上そうでないことは分かっており、寒暖の差というものが力をかなり変えてしまうのです。温度が上がれば弾性が弱まり、冷めれば強まります。真夏の暑い日と真冬の寒い日では6分以上の差がつくほど、その違いは大きいのです。ですから、これには対処しなければなりません。天才達の多くの実験によって、金属はすべて高温で膨張して低温では収縮し、かつ伸び縮みする比率もそれぞれ異なることはよく知られています。私の知る限りでは、寒暖の差が生むこの悪さを直すため、種類の異なる金属の膨張と収縮の違いを応用することを思いついた最初の人物はグラハム氏です。真鍮しんちゅうと鉄という2つの金属を(実際には必要な程度にあわせて) 敏感に反応する形に作るのです。そして金属の動きと誤差を生む原因は同じわけだから、互いに打ち消すように作ればよいだろう、と考えるようになっていきます。グラハム氏がこの問題に関する考察を実行に移したかどうかは、私にはわかりかねますが、おなじ考えに至ったハリソン氏は、非常な精度でもって具体化することで、それが実現可能なことを示しました。

こうして、思いつくかぎりのテンプ式タイムキーパーの改良方法について、現段階でわたくしが理解するところにもとづいて、はっきりした形でその根拠を述べたわけです。ここに認めしんためたものが理知的であるかどうかについては、わたくしにはわかりかねます。私は書くことが専門ではありませんし、実のところ達者でなくてよかったと思っ

ておりますゆえ。わたくしが海洋上での利用に供する時計を改良するのに必要だと考えてきた事項の全体像を、ざっとまとめておきましょう。

○テンブは水平面で振動すべきである。その姿勢だと細い軸でよく、船からの衝撃にも安全であり、結果として摩擦が少なくなります（どのような方法を使ってもこの摩擦は失くせないでしょう）。また（しかるべき部分はある程度）こすれて摩耗してしまったほうがテンブの平衡は崩れにくくなる、^{へいこう}というのはあります。またその場合でも、船が動いてもテンブの乱れは少ない、と理解しております。鋼も鉄も磁化しやすいので、テンブにはこれらの金属をゆめゆめ使うべきではありません〔訳注：純粋な鉄に不純物として炭素を加えたものを《はがね》《スチール》と呼ぶ〕。

○振動は速く大きくしますが、船の旋回にあわせて無理のない範囲で、できるだけテンブ速度をあげることに。

○（船の動きによって）遅れがちになるため、減衰を見込んで余裕をもたせながらも、停止するおそれのない範囲で、可能な限り小さな力でテンブが止まらないようにすること。これを言いかえると、テンブはできるだけ大きな角度で振らせるべきであり、外力の影響の大きさ、もしくは、主ゼンマイから伝わる力に合わせてやります。

○主ゼンマイから伝わる力は、テンブのなるべく近くに小さなゼンマイをもう一つおき、短い時間間隔で主ゼンマイにそれを巻上げさせて、可能なかぎり均一にするべきである。振子バネさながらに、テンブが振れるごとに毎回この小バネを巻上げることが非現実的だとは思っておりません。小バネは瞬時にテンブに作用すべきで、テンブにはたらく合力を極限までシンプルにし、その力の強さも振角に合わせなくては^{ふりかく}いけません〔脚注②〕。

○寒暖に対しては（よく知られた方法を使って）対処すべきですが、とくに振子バネに接するところには、いっさい摩擦があつてはなりません。

○テンプの直径はその重さに見合ったものになっているべきである〔脚注⑦〕。実験による確認はまだですが、私が考え信じるころのものは、この方法以外にはなく、ごく簡単な実験によつてすぐに決められるでしょう。

○時計は巻上げている最中も動きつづけなくてはならない。

○全体は破損しにくい素材で作る。とくに摩耗しやすいパーツと、摩擦が避けられない部分がそうです。もしオイルを必要とするなら（そうなるでしょうが）、時と場合によってはある種の誤差が生じるでしょう。

○すべてのパーツがよく仕上がっていなければならないことは、言うまでもないと思います。

1763年6月25日

脚注一覧:

[訳注] 以下に訳した脚注は、底本ではすべて該当ページの下部に記されているものである。なお、これら脚注は「序にかえて」の末尾の記述からは父親であるマッジが書いたように読めるが、小マッジが加筆したものが3つ含まれている [⑦⑧⑨]。

⑦ 本論は『チェンバーズ百科全書』の項目「バネと振子の時計」の末尾において次のようなかたちで触れられている。「ここで、いかなる構造のタイムキーパーであつても従うべき真の原則が、トーマス・マッジ氏の『Thoughts on the Means of Improving Watches』と題された優秀なる論文〔訳注:『論考』のこと〕として開陳され、改良方法までもがあまざす書かれていることを付け加えておこう」

⑧ これが現実にはそった数字かどうか、また90度という角度にかかる時間が1秒か1分か数分間なのかについては問われません。必要な限界には違いがあつても、話の筋には差が付きません。

⑨ 脱進とは、歯車を前進させるためにテンプが回らなければならない角度、を意味します。

⑩ バンキングとは、テンプが大きく回り過ぎてしまうと機械になんらかの損傷が起してしまうので、それを防ぐために止める、という意味です。

⑪ 主ゼンマイの力は歯車を経てテンプへと伝わっていきます。歯車には摩擦があり、また慣性の力〔注:原文はvis inertiae〕も働らくわけですが、それに打ち勝つために、主ゼンマイの力の一部が使われてしまいます。そこで使われた分だけ、本来ならゼンマイからテンプへ与えられるはずの衝撃力〔注:力積〕は引き算されます。衝撃力を与えるとき、歯車が動くべき速さもまちまちなので、引き算される量も上下します。振幅の最大値からみて脱進する角度が小さければ、大きいときよりテンプに衝撃を与える時間が短くなりますから、歯車を動かすのに使われる力の割合が増えます。しかし、テンプが歯車からの作用を全くうけていない時間帯には歯車は止められているため、それで話が終るわけではありません。テンプが受け取った運動量だけ歯車は逆向きにもっていかれますし、ゼンマイからの力だけではなく、摩擦と慣性の力を足しあわせたゼンマイの力にも打ち勝たなければなりません。脱進角が小さければ、大きな角度で脱進するよりも、振幅の全体からみたこれらの力の割合も馬鹿にならなくなります。このような理由から、わたくしは、脱進角は大きくする必要があると見ています。どれほど大きくすべきかについては具体的に言えませんが、摩擦の効果分だけテストする方法も分かりませんので、実験して決めるしかないと思います。以上から、テンプに作用させる補助的の力は、純粋な(vivis vivaという能動的な原理の言葉を使うなら)活力〔注:現代のエネルギーの定義の2倍にあたる〕になりまして、脱進する角度の大小によって結果は変わらず、また、いずれにしてもテンプに生じる速度はおなじになる、と考えております。

② これまで小さな機械において実践されてきましたところでは、摩擦を持ち込まずにゼンマイの力をテンプへ伝える方法、というものはありませんでした。いま、脱進角がある限度を超えますと、振角が増したことによって得られた力の影響に比例して、設計を台なしにするくらい急速に摩擦（㊦）が増える、ということが起こってくるでしょう（実際そうなります）。

㊦ ここでいう摩擦とはパレットに生じるもので、一般的に輪列を通してもたらされるものとは別物です。

② 読者は、このあと説明するタイムキーパーの発明は、小さなヒゲゼンマイを応用したものとして捉えてください。その優秀さは父の創意からもたらされたメカニズムによるもので、まともに動くようになるより11年も前に発見し、指摘していたものです。

⑦ テンプの動きを妨げる二大要素とは、空気と摩擦であります。テンプを動かす角度が決まっているという仮定では、直径を大きくして軽くしてもよいし、重くして直径を小さくしてもよいわけです。前者の場合、空気からうける抵抗が増え、後者では摩擦が増えます。あらゆる条件を考えた時に、どのような状況にあっても、マシンの運転がいつでも完全となるのは、どのような塩梅にしたときに最高となるかを決めるのが厄介なのです。わたくしは実験するよりほかには決められないという認識ですが、やればすぐ分かるものだろうと了解しております。

こうした空気から生じる抵抗についてしっかり学ぶことは当たり前だと思います。空気の密度というものは揺らぎますが、その限界はわかっておりますし、平均してしまえば年ごとの違いもほとんどありません。また、時計がどんな姿勢になろうが、空気から生じる抵抗はおなじです。しかしながら、こすれた結果でできる抵抗というのは、時計の姿勢が変わりますと大きく差がつきます。またその摩擦は増えていくものであり、どこまで増えるかは見てみない事にはわからないのです。それは、ほとんど想像するしかない原因によって、千差万別なのであります。

ペニントンによる構造解説

ロバート・ペニントン : 解説・作図

1799

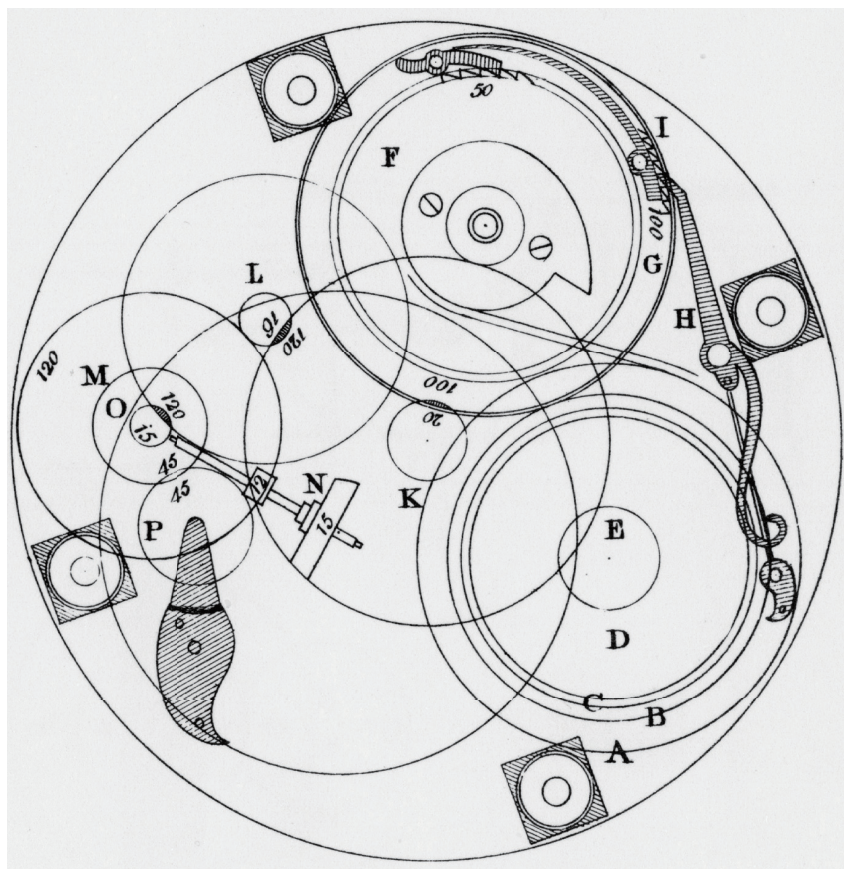


図1: 主輪列の構成 (約1.2倍に拡大)

主輪列

図1は、手本となるタイムキーパーの主輪列の配置を原寸大で表している〔訳注：本書では見やすさを優先して約1.2倍してある〕。輪列をまっすぐ引き延ばして、横から見たものが図3-Fig.1であり、両図において記号は共通である。

- Ⓐ チェーンを巻き付ける香箱〔訳注：チェーンバレル〕の外周部
- Ⓑ ラチェット歯車
- Ⓒ 香箱〔訳注：スプリングバレル〕の外縁部
- Ⓓ 香箱の内側スペース
- Ⓔ 香箱真
- Ⓕ フュージ
- Ⓖ 巻上げ中でも時計を止めないためのラチェット機構
- Ⓗ デテント（Ⓖに落ち込む爪）
- Ⓘ 大車（フュージ歯車）
- Ⓚ 2番車（センターホイールとピニオン）
- Ⓛ 3番車とピニオン
- Ⓜ 冠歯車の4番車
- Ⓝ ガンギ車

備考：主輪列は、通常の時計とは逆回転になっている。これは指針を正しい向きに回すためである。冠歯車4番車の軸に歯数45の歯車Ⓚが固定され、それが同じ歯数の別の歯車Ⓘを回すことで、その軸に固定した秒針が回る。

図2はアッパープレートの裏側の様子であり、^{こうばこ}香箱とガードストップとそのポテンズである〔訳注：^{かぎ}鍵をさす方の基板をアッパープレートと呼び、文字板のすぐ下にある基板を（ベース）プレートとか《地板》と呼ぶ〕。

香箱は点線の円で示したパーツを使ってこのプレートに固定される。

これは図3-Fig.2を見た方がよくわかる。このパーツは2本のネジ①でプレートの表側から固定する。香箱〔訳注：スプリングバレル②〕は、ゼンマイのセットアップ位置を決めるため、かるく回り、かつ、爪③で止まる。

- ① ポテンス〔訳注：ガンギ車用の〕を上から見た様子
- ② フリクションローラーが4個入ったフレームを支える柱で、土台は四角い。ポテンスの大部分が隠れてしまうため、そのフレームは単に円③で表してある

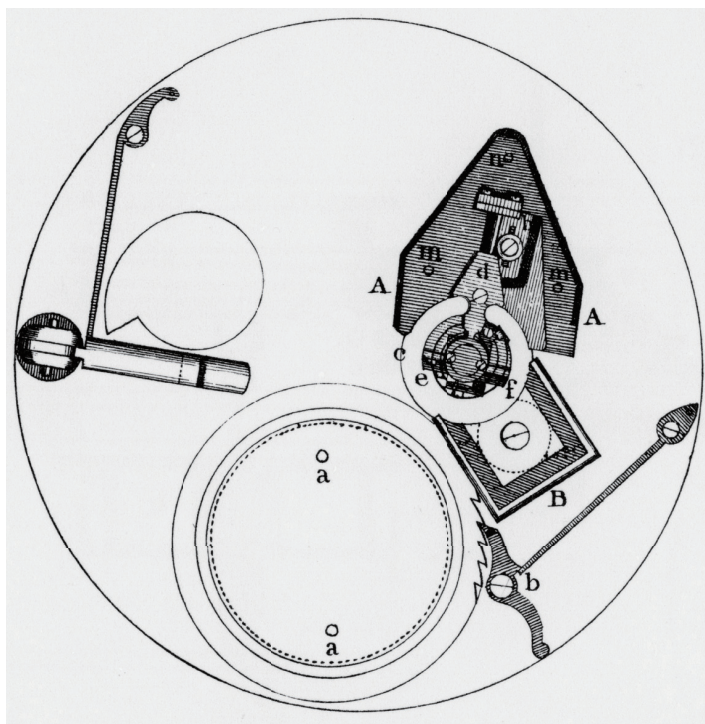


図2: アッパープレートの裏面

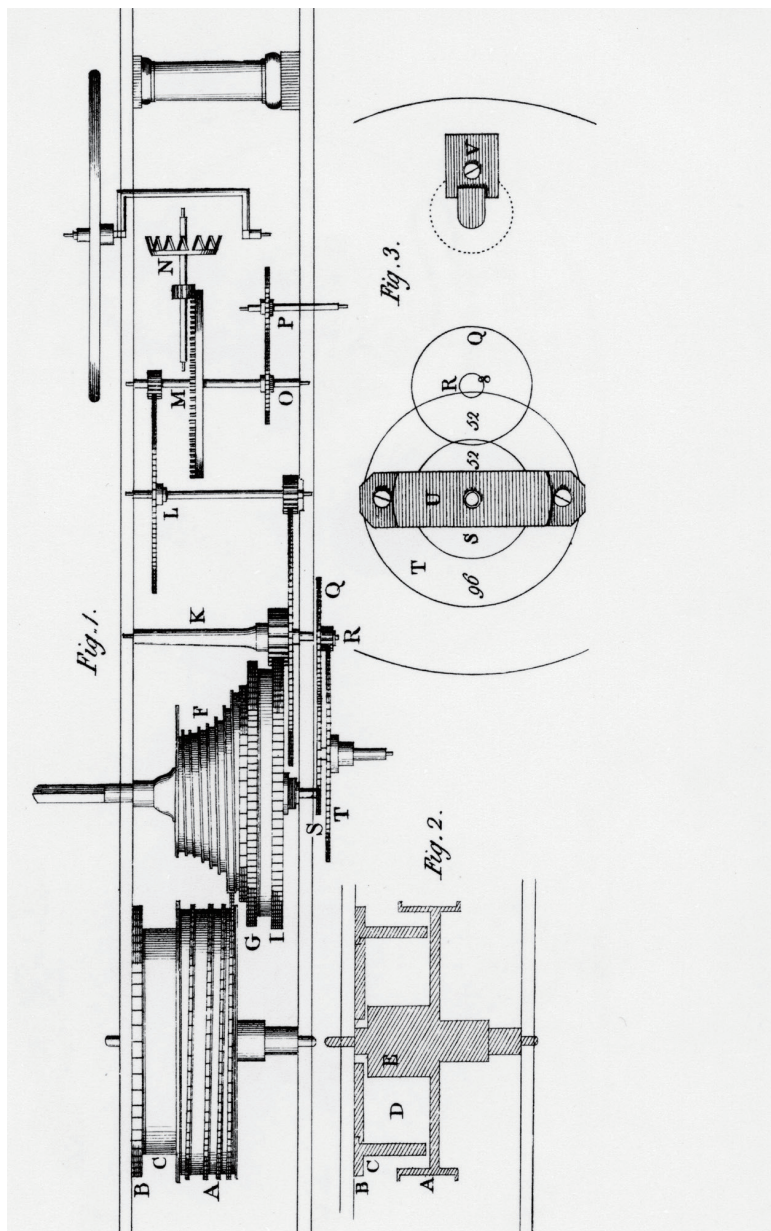


図3: 主輪列の構成 (側面引延し)

- ④ 上バレットの軸受。これと全く同じ形の軸受がもう一つあるがこの図では「反対側にあるため」見えない
- ⑤ ポテンス先に付けるキャップで、ガンギ車と上下のバレットのホゾは至近距離である
- ⑥ ガンギ車の軸受（前側）
- ⑦ ガンギ車の軸受（後ろ側）
- ⑧⑨ ポテンス〔訳注：ガンギ車用〕をアッパープレートに固定するための3本のネジ

図3-Fig.1は歯車とそれに付随するパーツの側面図であり、次にそれらの説明にうつる。日ノ裏輪列とその関連パーツは図1には描かれていない。

センターホイールである2番車⑫の軸には、歯数52の平歯車と歯数8のピニオンからなる歯車⑬があり、針合わせできる程度にキツくピンでとめてある。歯車⑬は同じ歯数構成の歯車⑭を回し、その歯車⑭に分針がつく。ピニオン⑮は歯数96の歯車⑯を回し、その歯車⑯に時針がつく。

図3-Fig.2は香箱の断面であり、軸と一体化したチェーンバレルの外側にチェーンが巻き付く。

図3-Fig.3は図1で説明した日ノ裏輪列をおさえ込むパーツの様子である。⑰はアワーホイールを支えるブリッジで、⑱は秒針を支える受けである。

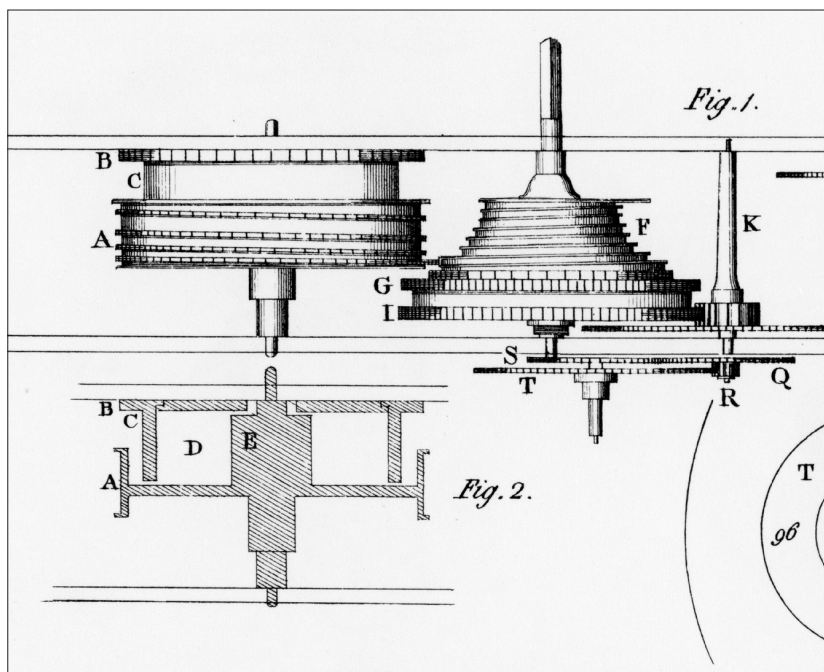


図3- Fig.2 部分拡大：香箱の断面

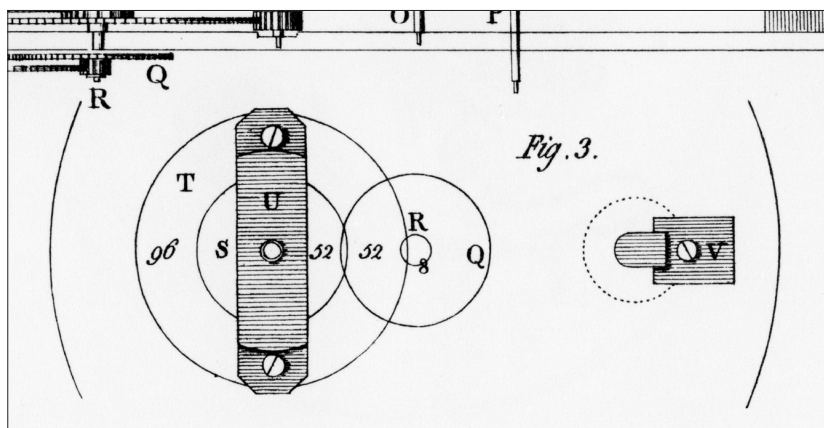


図3- Fig.3 部分拡大：日ノ裏輪列

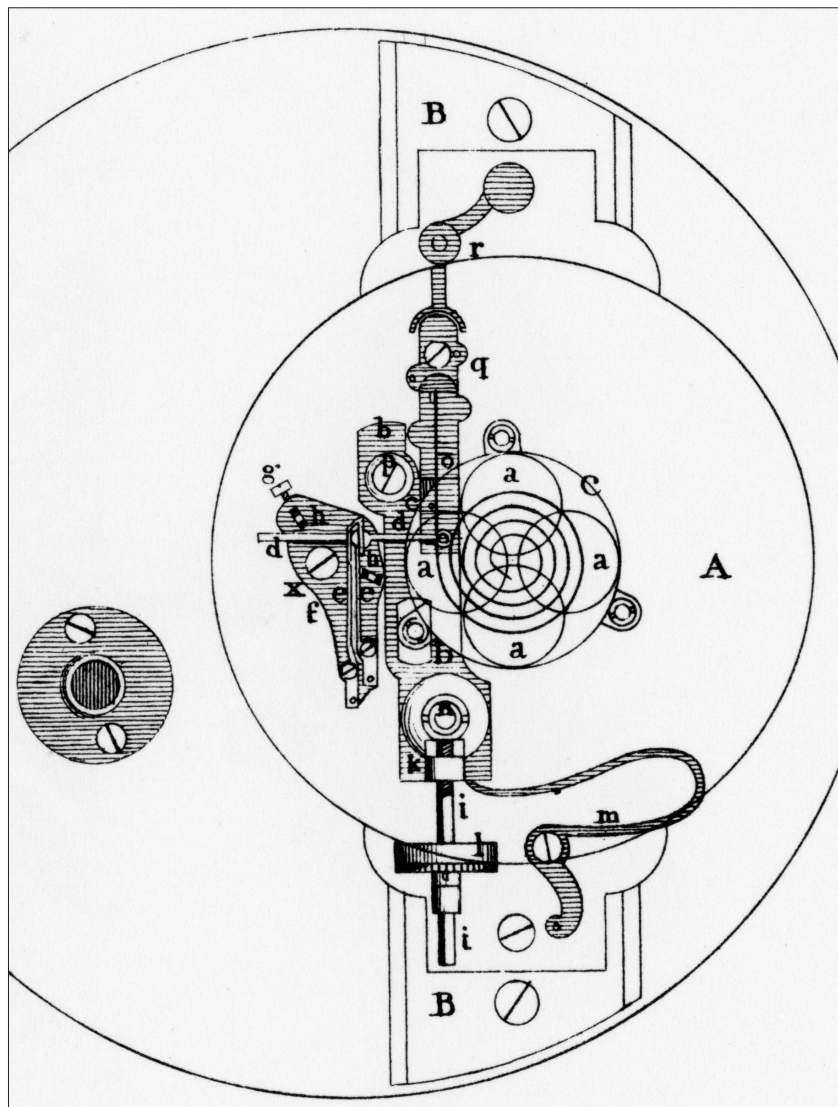


図4: フリクションローラーと緩急針メカニズム

フリクションローラー

図4はアッパープレートの上側にテンプガードが載った状態を表しており、その上に上段側のヒゲゼンマイとその受け、及びこのタイムキーパーの調速をつかさどるパーツがつく。

- ④ ヒゲゼンマイ用のテンプガード
- ⑤ プレートにネジ止めされるパーツで、テンプガード④はこれにネジで止める
- ⑥ 三本の柱で支えられるこのフレームには、④で示した4個のフリクションローラーを内蔵する。テンプ軸の片方はこのローラーの中を回転する（図5参照）。フレームとフリクションローラーとテンプガードを動く状態に組立てるとテンプが隠れてしまうため、この図ではそのフチだけを表している

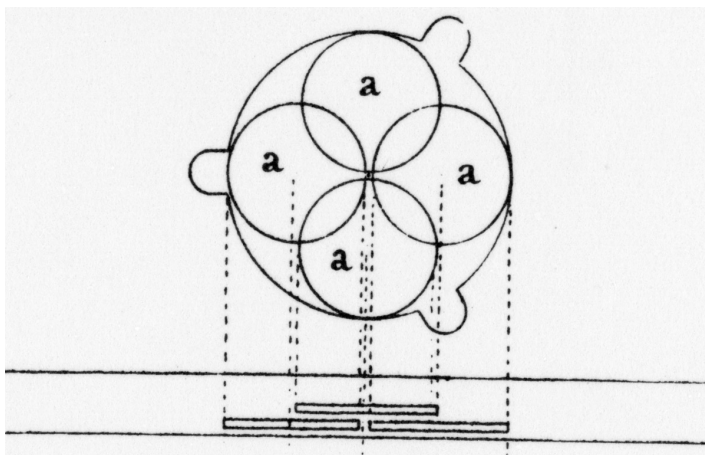


図5: フリクションローラー

Fig.3.

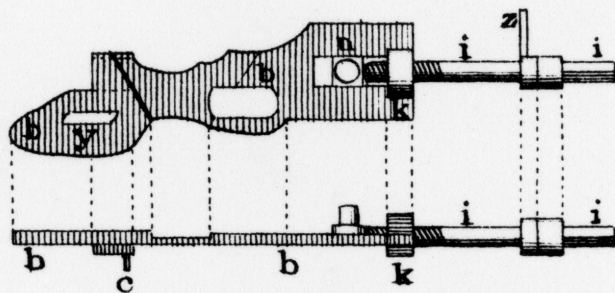


Fig.4.

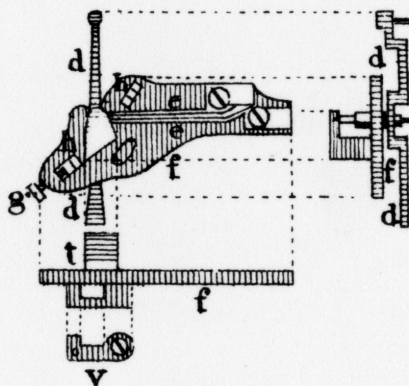


図6: 緩急針メカニズム

緩急針

図6-Fig.3は、図4にあるスライド部品⑩の正面と側面の図で、見てのとおり参照記号は共通である。この部品はテンプガード④の上を滑るもので、タイムキーパーの緩急の調整をつかさどるヒゲ棒の一本が③点から飛び出ている。③点にねじ込むネジ①がピン⑧を押すことで、このスライド本体⑩が移動調整できる。このネジは周囲に目盛を入れた半円形パーツ①〔訳注：図4参照〕を貫通しており、ネジと共にびったり回る針②が目盛をさす。スライドはテンプガードにネジ止めされたピン⑧がスライド本体の溝にはまることで横ズレを防いでいる。さらには、左側の一部〔訳注：ヒゲ棒が刺さっている部分〕は③点に潜り込ませ、またスライド本体の右側はピン⑧にコレットを挟んでクサビで止める形式で縦方向の浮きをなくし、左端はネジとコレット⑩で浮きを抑えている〔訳注：図4参照〕。調整しやすくするため、小判穴⑤を通るネジは手前からねじ込む形式になっている。ネジ①の力はスライドを手前に引っ張るだけなので、ネジを反対側へ回すためのために、スライドはバネ⑩で突っ張らせている。

もう一本のヒゲ棒はレバー④上にある。図6-Fig.4の三面図にあるとおり、このレバーの軸受けは①と⑤である。ホゾの片方は部品⑥の上側、他方は下側で支える。反対向きに動く2本のバネ⑥によって支えるこのレバーの目的は、振子バネとヒゲ棒が一切擦れないようにすることである。レバーとバネはどちらも真鍮部品⑥上にあり、ネジ⑧及びテンプガードにネジ込まれた2本のピン⑧の案内で微調整できる。これが部品⑥の溝にフィットしてスライドするわけだが、ブレないように小判穴を通るネジ⑧〔訳注：図4参照〕で全体を押さえつけている。この調整は、振子バネに適切なアソビを与えるのが目的である。⑨は振子バネ本体の固定ピンである（⑥はテンプガード上にあつてテンプガード固定ネジを覆う部品で、振子バネ用ピン⑨を外さないかぎり⑥は動かさない。振子バネが外れたり壊われたりしないよう、ピン⑨を外さないとテンプガードが外れないフェールセーフである。ヒゲ棒③のまわりは、③の部分で余裕をもってえぐってある）。

温度補正

図7はアッパープレートのすぐ上面の様子であり、テンプと、下段の振子バネ〔訳注：温度補正用〕、および高温時と低温時の補正をつかさどる部分である。〔訳注：図4からテンプガードを外したもののだが、図4には図7の③④は描かれていない〕

① テンプ

② 3本のネジ③でアッパープレートにネジ止めした真鍮の台

④ 真鍮とスチールを溶接して作った温度を補正する部品で、ネジ⑤を2本ずつ使って部品④に固定する

この部品④と⑤は、かんきゅうしん緩急針となる十字レバー⑥に対して逆向きに作用し、また十字の左右のアームにアソビが出ないよう、軽く力をかけたままになっている。④の右側面は真鍮であり、⑤の右側面はスチールである。部品④は④と⑤を固定する部分で、ネジ⑤を使って部品④の上をスライドさせることで補正量が調整できる。以上の可動部品はピン⑦によって位置決めされ、コレット⑧を使ってネジで押さえつける。十字レバー⑥は受け⑧にある軸で回るが、これは図8の側面図を見る方がわかりよい。この図だとネジは一直線に並ぶので一本に見える。⑥の受けである⑨の部分はアッパープレートの穴にはまり込む。

ここから先は、補正部品がどのように動くかの説明になる。

真鍮は高温になると膨張し低温になると収縮するが、その程度はスチールよりも大きいため、貼り合わせた部品は高温では真鍮側がふくらみ、低温ではスチール側がふくらむ。このことにより以下のような作用をおよぼす。部品④は右側面が真鍮で、部品⑤の右側面はスチールなので、高温になるとそれぞれ以下のような影響をうける。部品④がこの影響を受けると真鍮側が膨らむように反り返り、それにより⑥の

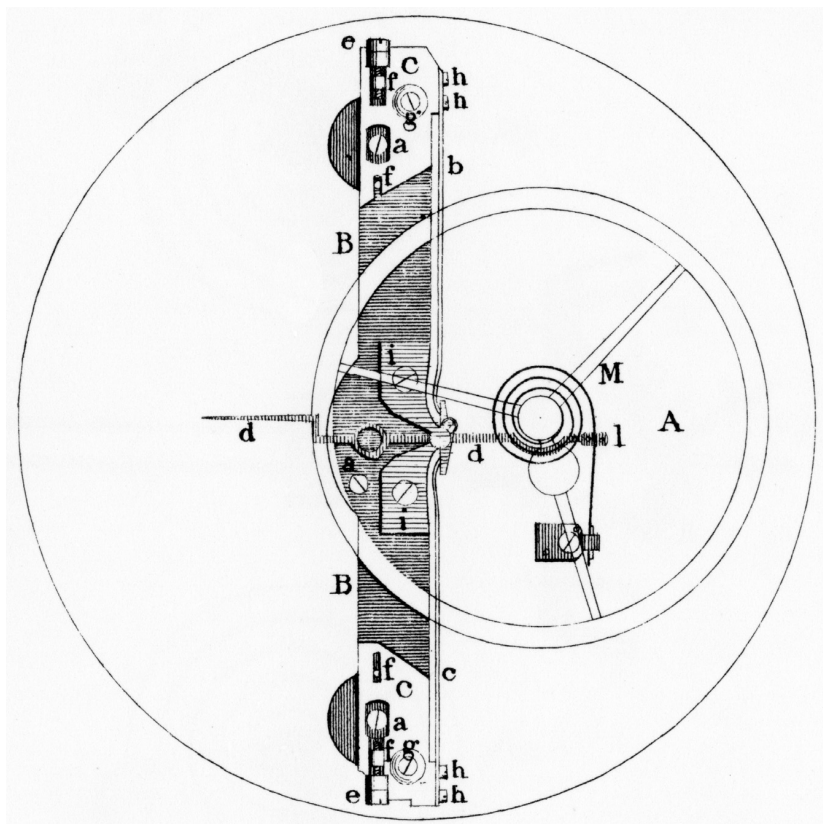


図7: 温度補正のメカニズム

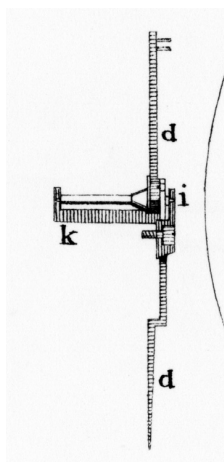


図8: 緩急針とヒゲ棒

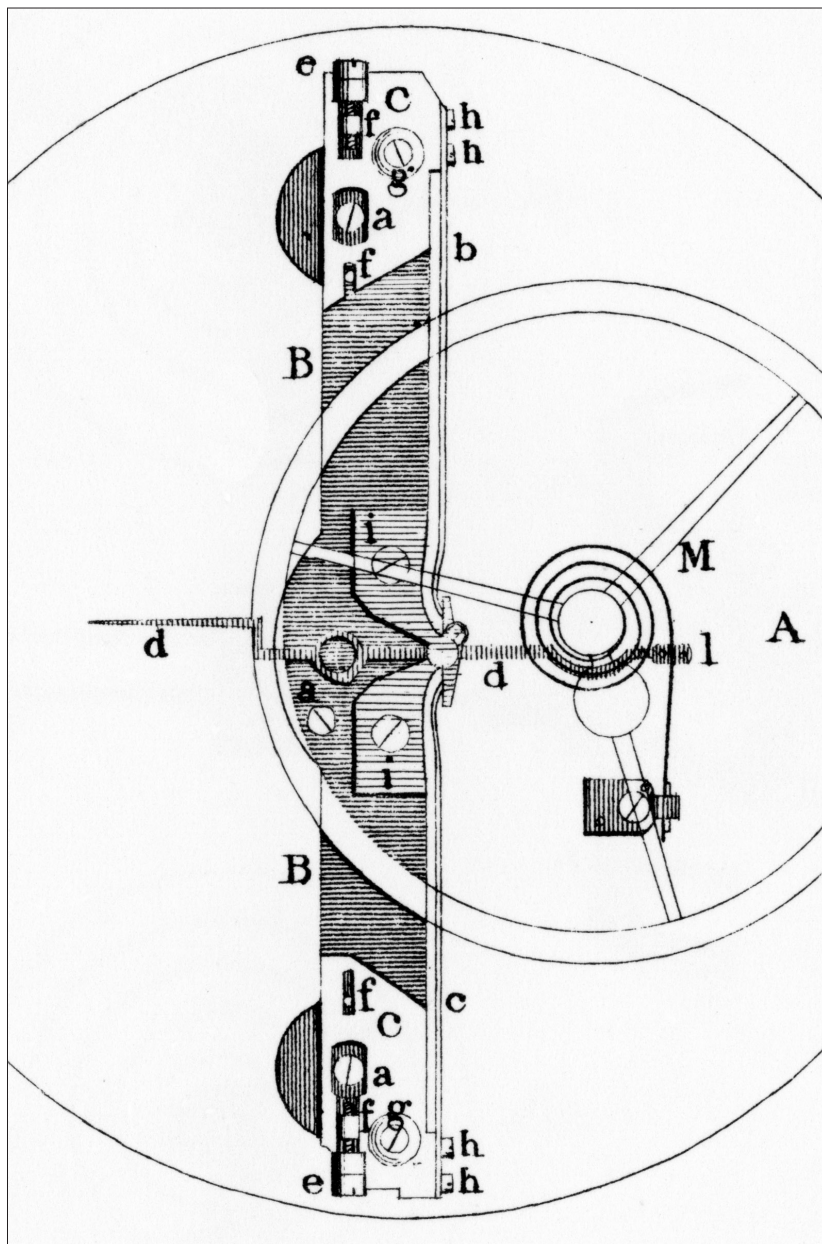


図7拡大: 温度補正のメカニズム

先端部分は十字レバーの上側のアームから左へ離れていこうとする。いっぽう部品③は、おなじ影響を受けてもスチール側が凹むように反り返り、③の先端は下側のアームを右側へ押さえつけていくため、緩急針である①はMの向きへずれていく。その結果、ヒゲゼンマイの動く部分は《短く》なり、バネの力は《増す》。反対に低温になってこれらが反対向きに曲がると、こんどは部品③の先端が引っ込んでいき、部品④の先端は十字レバーの上側のアームを右に押す。この動きによって緩急針は反対向きにズレ、その結果、ヒゲゼンマイの動く部分は《伸びて》バネの力は《弱まる》。テンプの運動量は、高温では自然に落ち、低温では増える〔訳注：これは正しくない。p.124参照〕。温度補正用の部品を使って、振りバネの力を上述のごとく加減するのは、温度の影響によってタイムキーパーの運転に生まれる効果を打ち消すのが目的なのである。

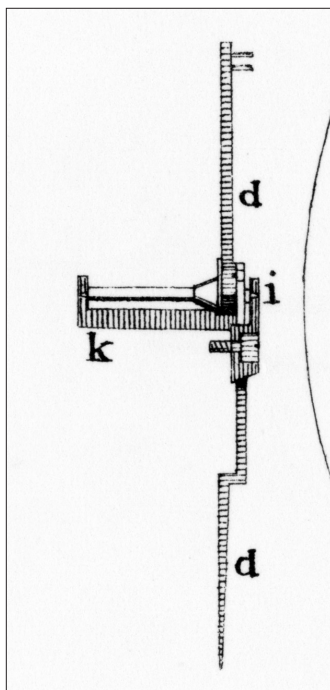


図8拡大: 緩急針とヒゲ棒

脱進機の構造

図9と図10は脱進機^{だっしんき}を異なる角度から見たもので、実寸にたいして4倍に拡大してある。この2枚の図では、部品の記号は共通である。

- ④ ガンギ車
- ⑤ テンプ。軸はクランク③になっている
- ⑥ 振子バネ。これを使ってタイムキーパーを調速する
- ⑦ テンプガードにネジ止めるヒゲゼンマイ⑩用のヒゲ持ち
- ⑧ 振子バネ。温度補正を担う
- ⑨ アッパープレートにネジ止めるヒゲゼンマイ⑩用のヒゲ持ち

④⑤⑥⑦⑨と⑧⑩⑪⑫はガンギ車の動きをテンプへと伝える複合パーツで、次のような部分から構成される。つまり、飛び出した形のパレット⑪と⑫はガンギ歯に作用する部分で、オリジナルのタイムキーパーはフロント製だが、ルビーやサファイア等の固い石でもかまわない。⑤と⑥はスチール製のアームで、テンプのクランク部にあるピン③と④に作用する。⑤と⑥は衝撃用バネで、内端はどちらもパレット軸に付けられ、外端はヒゲ持ち⑦と⑧に付く。⑨と⑩はパレットを挟み込むスチール製部品であり、小ネジの⑪と⑫を使って軸に固定する。

図9のFig.2とFig.3は、ヒゲゼンマイとパレットだけの状態を表している。

脱進機の各部について説明しおえたので、このあと脱進機の動作について解説していく。

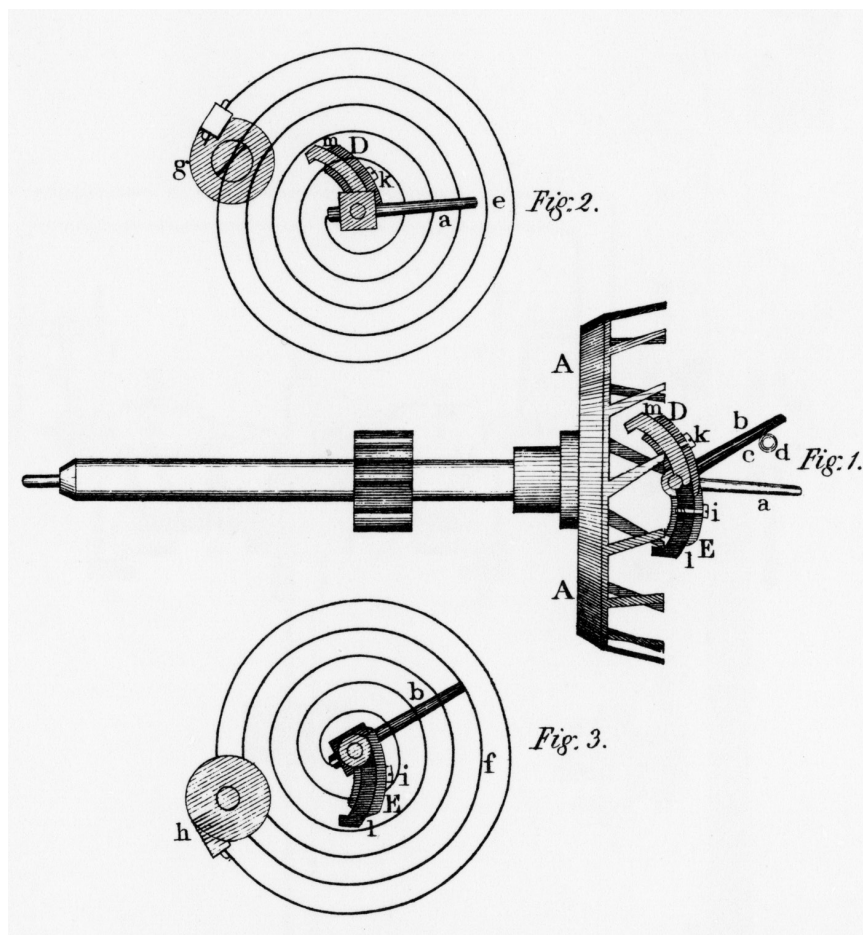


図9: ガンギと補助パネの詳細 (拡大率=4)

脱進のシーケンス

いまガンギ車がパレット①（図9の奥側、図10では左側）の持上げを終えた状態にあるとする。クランクにささったピン④がアーム⑥にあたるまでは、先端のフックに引っかかったこの状態で待機している。これは、この後クランクがアーム⑥といっしょになって左に回り出すタイミングで、このガンギ歯を上記フックから外したい、という理由による。そのあとクランクが反転して右回りで振りもどってくるまでの間、バネ①の力がかかっているアーム⑥はクランクに衝撃力を伝えるのである。そしてパレット①は、ガンギ車の歯の一つに当たったところで停止し〔訳注：ここまで⑥と④は接触したままだが、この瞬間に⑥と④

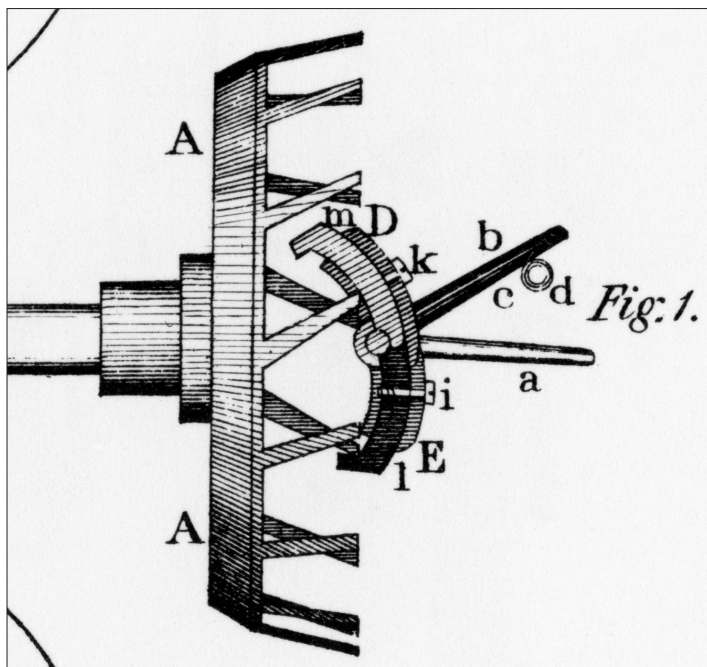


図9部分拡大：ガンギと補助バネの詳細

————— フェゼの既刊書より —————
『アンティーク時計学』シリーズ（第一期六巻）

I 『時計発達史 一校訂版—』

1924年 高林兵衛 著

ソフトカバー271頁、A5版(21×15×1.5cm)、旧字旧仮名

世界的に知られた、国内初となる本格的な和時計解説書の復刻。

初版発行 2015年6月:ISBN978-4-9906922-6-1

II 『漏刻とルモントワール』

1820年 アブラハム・リース 著

ソフトカバー195頁、A5版(21×15×1cm)

リースの『百科全書』から水時計とルモントワール、及び脱進機を精選。

初版発行 2016年3月:ISBN978-4-9906922-9-2

III 『ブレゲの生涯』

1921年 デイヴィッド・L・サロモンズ 著

ソフトカバー290頁、A5版(21×15×1.5cm)

ブレゲ研究必携、記念的私家版の基礎資料。テキスト及びその抄訳。

初版発行 2016年4月:ISBN978-4-908795-00-8

IV 『マッジのタイムキーパー』

1763年 トーマス・マッジ 他著

ソフトカバー184頁、A5版(21×15×1cm)

経度法懸賞金にかけた幻のタイムキーパーの全貌を多角的に見る試み。

初版発行 2016年10月:ISBN978-4-908795-01-5

V 『フック博士と時計学』

1696年 ウィリアム・デアラム 他著

ソフトカバー140頁、A5版(21×15×1cm)

懐中時計用の調速子や脱進機発展に貢献したフックの時計学を俯瞰。

初版発行 2017年12月:ISBN978-4-908795-03-9

VI 『リピーターの歴史としくみ』

1820年 アブラハム・リース 著

ソフトカバー142頁、A5版(21×15×1cm)

複雑機構の代名詞リピーターの歴史と初期のメカニズムを詳細に解説。

初版発行 2018年4月:ISBN978-4-908795-04-6

※訳者略歴：1964年三重県生れ。1988年名古屋大学理学部物理学課卒業、1990年同理学部修士課程修了。専門は高エネルギー物理学（トリスタン実験プロジェクト）。民間企業にてデジタル通信機器のプログラマを経てテクニカルライティングに従事。2012年末から《フュゼ》の名称で出版活動を開始。理工学書の翻訳等。浜松市在住。

アンティーク時計学
マッジのタイムキーパー

TIME-KEEPER by MUDGE

発行日	2016年10月3日 初版	First Revision
	2016年9月22日 印刷 (1.15/15)	
	2021年3月6日 オンデマンド版	Print on Demand
発行者	フュゼ	FUSÉE
発行所	434-0031 浜松市浜北区小林450-1	Hamamatsu
著者	トーマス・マッジ	Thomas Mudge
	トーマス・マッジ (ジュニア)	Thomas Mudge
	ロバート・ペニンントン	Robert Pennington
	アブラハム・リース	Abraham Rees
訳者	松下 健治	MATSUSHITA Kenji
印刷製本	株式会社ブックフロント	
	176-0012 東京都練馬区豊玉北6-13-3 上野ビル4F	

FUSÉE <http://www.cam.hi-ho.ne.jp/kenjim2/>
©2016 MATSUSHITA Kenji, All rights reserved. Printed in Japan.
ISBN978-4-908795-01-5 C0053