

グラスホッパー脱進機 (Grasshopper escapement)

translated from

”http://en.wikipedia.org/wiki/Grasshopper_escapement”

& ”http://en.wikipedia.org/wiki/Maintaining_power”

by S. Yamauchi

2014年8月20日

目次

1	歴史	2
2	動作	2
3	限界	3
4	動力維持機構	4
5	すのこ形振り子	5

グラスホッパー脱進機は、1722年頃英国の時計製作者 John Harrison により発明された珍しい低摩擦の振り子時計用脱進機である。脱進機は全ての機械式時計で用いられており、一定の時間間隔で一定の距離だけ時計の歯車を前へ進め、また、振り子（またはテンプ）のスイングを維持するために間歇的にプッシュするための機構である。グラスホッパー脱進機は John Harrison により発明され、かれの時代にいくつかの正確な時計に用いられ、いくつかの時計では何年にもわたって用いられたが、広く用いられたわけではない。”グラスホッパー（バッタ、いなご）”という呼び方は、パレットが蹴るような動作をすることから来ているが、19世紀の終わり頃の”時計ジャーナル (The Horological Journal)”で最初に現れている。

1 歴史

グラスホッパー脱進機は John Harrison により発明され、彼はそれを振り子時計で用い、また、彼の最初のマリンクロノメータ、H1 から H3 でも用いた。当時、緯度を測定することが海洋航海において重要な課題であり、Newton は天文学的な位置決定法が使えると論じているが、より簡単な理論的方法としては、現地点と標準地点との正確な時刻差を知る方法があった。現地点の時刻（これは太陽を観測して容易に測ることができる）と基準地点の時刻との差は、両地点の経度の差となる。時間の 24 時間の時間差が経度の 360 度の差に相当する。この問題の解決のために多額の賞金がかげられ、Harrison は高度に正確な時計の考案と製作に彼の人生を捧げた。正確さと摩擦低減が主な課題であった。グラスホッパー脱進機の二つの利点は、動作の再現性が高いことと潤滑を必要としないこととであった。動作の再現性はその設計に固有のものであった。一方のパレットは他方のパレットがかみ合うことによるのみ外され、振り子に与えられるインパルス（力）はその間、完全に規則的である。Harrison の時代の潤滑剤は粗悪で短寿命であった。これは、当時の普通の時計は頻繁に止めて、清掃して油をさす必要があったことを意味する。Harrison は、彼の完全な絶対的に安定なグラスホッパー脱進機を用いて、幾年にもわたって時計の改良に携わり、温度変化の影響をゼロにするすのこ形振り子 (gridiron pendulum) を発明した [1]。彼が改良した時計が高性能であったことで、彼は、マリンクロノメータのテストにおいてもこれらを正確な簡便な基準として使うことができた。

2 動作

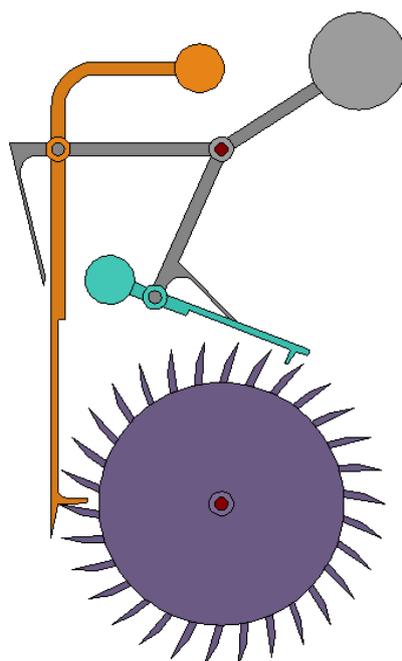


Fig. 1 グラスホッパー脱進機の動作

アニメーション (Grasshopper-escapement_colored.gif)

Harrison は、Lincolnshire の Brocklesby 公園の塔時計 (turret clock) を安定に動作させるために彼が作った簡便なアンクル脱進機をもとにして、グラスホッパー脱進機を開発した。アンクル脱進機は信頼できず、終始調整しなければならず、Harrison は代金を得られなかった。そこで、1722 年頃、彼はアンクルの各アームの中ほどにヒンジを追加して脱進機を改良した。Fig 1 のアニメーションで示す脱進機は後代の版 (Harrison によるものではない) であるが、グラスホッパー脱進機の動作を示している。図のグラスホッパー脱進機には 2 つ別々のヒンジ軸とばねのストッパーがついている。

ヒンジのついた二つのパレットがガンギ車に交互にかみ合う。今、左側のパレットとガンギ車がかみ合っていると考える。ガンギ車が順方向 (時計回り) に回ってかみ合っている (左側の) パレットを押すと、そのパレットは上へ押されてアンクルを少し回す。アンクルが回ると、そのパレットとストッパーの間に隙間ができる。同時に、他の (右側の) パレットがガンギ車に近づき、ガンギ車に接触して少し逆方向へ (反時計周りに) ガンギ車を回す。これにより、ストッパーから外れている第 1 のパレットがピボットの周りで回転して、ガンギ車から外れる。ガンギ車は少し逆方向に回転した後、駆動力により順方向 (時計回り) に回転して、第 2 の (右側の) パレットを押して、アンクルを反時計方向に少し回転させる。アンクルが回ると、第 2 のパレットとストッパーの間に隙間ができ、同時に、第 1 のパレットがガンギ車に近づき、接触してガンギ車を逆方向へ少し回す。これにより、ストッパーから外れている第 2 のパレットがピボットの回りに回転して、ガンギ車から外れる。ガンギ車は駆動力により順方向 (時計回り) に回転して、最初の状態に戻る。

両方のパレットは重り (またはばね) により、ストッパーの方向へ押されている。したがって、ストッパーとの間に隙間があり、他方のパレットがガンギ車を受け止めれば、自然にガンギ車から外れる。ヒンジの回りのパレットの小さい動きは、通常の脱進機のすべり接触より、遥かに摩擦が少なくなり、潤滑を必要とせず、**摩擦もほとんどないので**、Harrison はパレットを木材で作ることができた。Brocklesby Park の最初のパレットのひとつは、今も動いており、他のパレットは 1880 年の事故により取り換えられただけである。Harrison は後ほど、脱進機のレイアウトを、一方のパレットは押すのではなく引く動作をするよう変更し、ピボットアームの端にガンギ車の歯に接触する小さなフックを付けた。彼はまた、両ヒンジの軸を共通にした。

パレットを止めるストッパーは極めて巧妙である。パレットがガンギ車を逆方向へ押ししているとき、パレットはストッパーに強く押しつけられている。摩擦または損傷を防ぐには、ストッパーは逃げを持つように設計される。各ストッパーは、パレットと同じ軸まわりにヒンジで取り付けられる。パレットは後部を重くしているが、ストッパーは前部を重くし、ガンギ車の方へ自然に落ちるようにしている。ただし、ストッパーの前部が落ちる位置はアンクルに取り付けたピンで受け止めるようになっている。ピンがストッパーを支え、ストッパーがパレットをガンギ車にきれいかみ合う正しい位置に保持する。パレットがガンギ車に接触しパレットがガンギ車を逆方向へ押すとき、ガンギ車がパレットを持ち上げ、ストッパーはピンから浮き上がる。ガンギ車がその後パレットを押し返すとき、ストッパーはピンの上に戻り、パレットとの接触が外れる。それぞれのストッパーは、パレットが当たる運動量で、各サイクルで 1 回だけピンから持ち上がる。

3 限界

パレットはガンギ車の歯先から外れようとするので、このことが幾つかの不都合な結果を引き起こす。

第 1 に、時計のねじを巻く際、ガンギ車の駆動力が無くなると常に、パレットはガンギ車に接触しなくなり、次に駆動力が回復したとき、ガンギ車は拘束されていないため急速に加速して制御できなくなる。時計のねじを巻く際にこれを防ぐために、Harrison は "maintaining power" と呼ばれるある機構を発明した。それは、重りまたはスプリングで直接駆動されるバレルと計時部に繋がる輪列の第 1 歯車との間に、特殊なディス

クを挟んだ構造であり、ばねとラチェット機構を組み合わせ、スプリング（または重り）を巻き上げている間も、第1歯車やそれに繋がるガンギ車等には常に一定の駆動力が作用する仕組みとなっている（詳細は4節参照）。この機構は、その後の時計（clocks and watches）で現在にいたるまで、使用され続けている。

パレットがガンギ車の歯先から外れようとする事による第2の問題は、時計がとまってしまったとき、自分で再始動できないことである。両方のパレットがストッパーの方へ戻ってしまうと、ガンギ車はパレットとかみ合うことなく、自由に走ってしまうであろう。ストッパーのヒンジが汚れていて持ち上がった位置で止まってしまっても、同じ問題が生じ得る。

その時代の他の脱進機と同じく、グラスホッパー脱進機もサイクルの間を通じて振り子を前後にブッシュしており、自由にスイングさせていたわけではない。これは振り子の調和振動子としての自然の動きを乱す。George Grahamはこの影響を小さくするデッドビート脱進機を導入し、この実用的で単純な脱進機が正確な regulator clocks の標準となった。

これらのさまざまな特性のために、グラスホッパー脱進機は広く使われることはなかった。Harrisonはこの脱進機を彼のプロトタイプのマリンクロノメーター H1 から H3 に使用し [2]、Justin and Benjamin Vulliamy は Harrison の設計を用いた少数の制御装置を作成した [3] が、今日では、輝かしいユニークな骨董品となっている。

4 動力維持機構

John Harrison は 1720 年代の半ば、maintaining power の一形式を発明した。その時期の彼の時計はグラスホッパー脱進機を使っていた。それは、時計のねじを巻いている間など、連続的に均一に運転されていなければ不調となる特徴があった。要点を述べると、maintaining power は時計の駆動ドラムと great wheel の間のディスクで構成されている。ガンギ車の駆動力が無くなると常に、パレットはカンギ車に接触しなくなり、次に駆動力が回復したとき、ガンギ車は拘束されていないため急速に加速して制御できなくなる。時計のねじを巻く際にこれを防ぐために、Harrison はある機構 ”maintaining power” を発明した。この機構は、その後の時計（clocks and watches）で現在にいたるまで、使用され続けている。通常、その構造は、ゆっくり回転する第1歯車（GREAT WHEEL; 輪列の第1歯車）と他端に重りまたはスプリングを取り付けたフュージー（FUSEE）の間に、同じ軸上に特別なディスク（maintaining power wheel）挟んだ構成となっている（Fig.2）。通常はスプリングまたは重りの力が FUSEE を反時計回り（こちらを順方向とする）に回し、パワー維持ディスク（maintaining power wheel）、第1歯車が一体となって順方向に回り、その先のガンギ車にトルクを加えている。ディスク周囲はラチェット歯車となっており、時計の枠に取り付けた爪（DETENT）がかみ合うことにより、ディスクは逆方向には回らない構造となっている。maintaining power wheel と FUSEE の間にはもう一つのラチェット機構（CLICK AND CLICKSPRING と FUSEE RACHET）で繋がれており、FUSEE からディスクへ順方向のトルクを伝えるが、逆方向のトルクは伝えない構造となっている。また、第1歯車とディスクの間にはばねを介して回転を伝えており、トルクに応じてばねが変形した状態でトルクを伝えている。

時計のねじを巻く（または重りを引き上げる）ときはフュージーを逆方向へ（時計回りに）回し、スプリング（または重り）を巻き上げる。ディスクが逆方向に回らないため、ディスクに取り付けた爪（CLICK AND CLICK SPRING）がフュージーラチェット歯車（FUSEE RACHET）の上を滑って、FUSEE だけが回転する。このとき、第1歯車にはディスクとの間のばねの力により常に順方向のトルクが加わり、その先の計時機構（ガンギ車等）を回し続ける。時計のねじを巻く力を除くと、巻き上げたスプリングの駆動力でフュージー

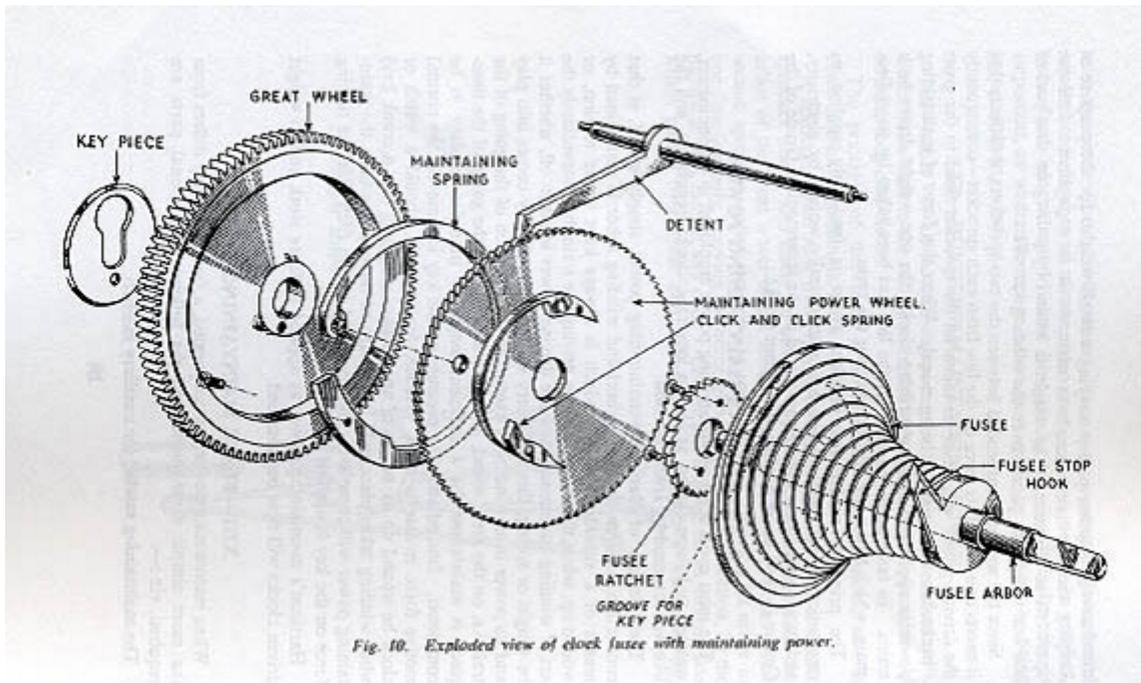


Fig. 2 clock_maintaining

に順方向のトルクが加わり、ディスクを回して、第1歯車との間のばね（少し緩んだばね）に再度トルクを加えて、元の変形状態に戻す。この機構により、駆動用のスプリングまたは重りを巻き上げる間も、計時機構には常に同じ駆動力が作用することになる。

5 すのこ形振子

http://mail2.nara-edu.ac.jp/asait/kuiper_belt/time2/gridiron_pendulum.htm

参考文献

- [1] Laycock, William, "The Lost Science of John "Longitude" Harrison", Brant Wright Associates Limited(1976), p. 28. ISBN 978-0-903512-07-7.
- [2] Betts, Jonathan , "Time Restored: The Harrison timekeepers and R. T. Gould" , Oxford University Press (2006), p. 444. ISBN 0-19-856802-9.
- [3] Betts, Jonathan, "Regulator Clock", in Bud, Robert; Deborah Jean Warner (1998), "Encyclopedia of Time: A Historical Encyclopedia", Taylor & Francis. pp. 122-123. ISBN 0-8153-1561-9.
- [4] Barr, Robert Cambridge's fantastical new clock even tells time, MSNBC, retrieved September 19, 2008