

ハンドガンの重心の周りの慣性モーメント測定
Measuring Moment of Inertia about the Center of Gravity
Nov 13, 2025 by Masaki Shishiba

0 背景：

わたしはエアーピストル(以下 AP)を約 40年間撃つて來たが、高齢になつたためか成績が悪くて AP の所持推薦を受けられなくなり、仕方なく AP をハンドライフル(以下 HR)に改造した。HR を撃つたのは約 2年前が初めてだつた。この時に感じ、いまでも感じてゐる AP と HR の違ひの一つに「HR の慣性モーメントは AP のそれより遙か(数倍か?)に大きい」がある。このために HR ではアプローチ(鉄砲を持ち上げ開始からサイトアラインを整へ、次にサイトとターゲットのアラインが 6 Ring 辺りに達する)に長い時間を要する。HR では AP の場合に比べ 1.5 - 2.0 秒余計に時間がかかる。この時間の差は HR の慣性モーメントが大きいことによるのは明らかだ。そこでその値を知りたひとかねてから感じてみた。

HR の構え方としてストックの外側面を前腕(fore arm)に接触させる方法があるが、これをすると安定性は上がるが操縦性が下がるので私は触れないやうにしてゐる。

ピストルを片手で握り、標的に向ける際の向きの操縦のしやすさ(操縦性)は手首を軸としたピストルの慣性モーメントと手の慣性モーメントの和の小ささに依存する。手と云ふ非剛体を含んだ、しかも手首関節と云ふ曖昧な部位にある軸の周りの慣性モーメントの測定は困難なので、今回はそれは諦めピストル單體でしかも重心を軸とした慣性モーメントを測定してみた。

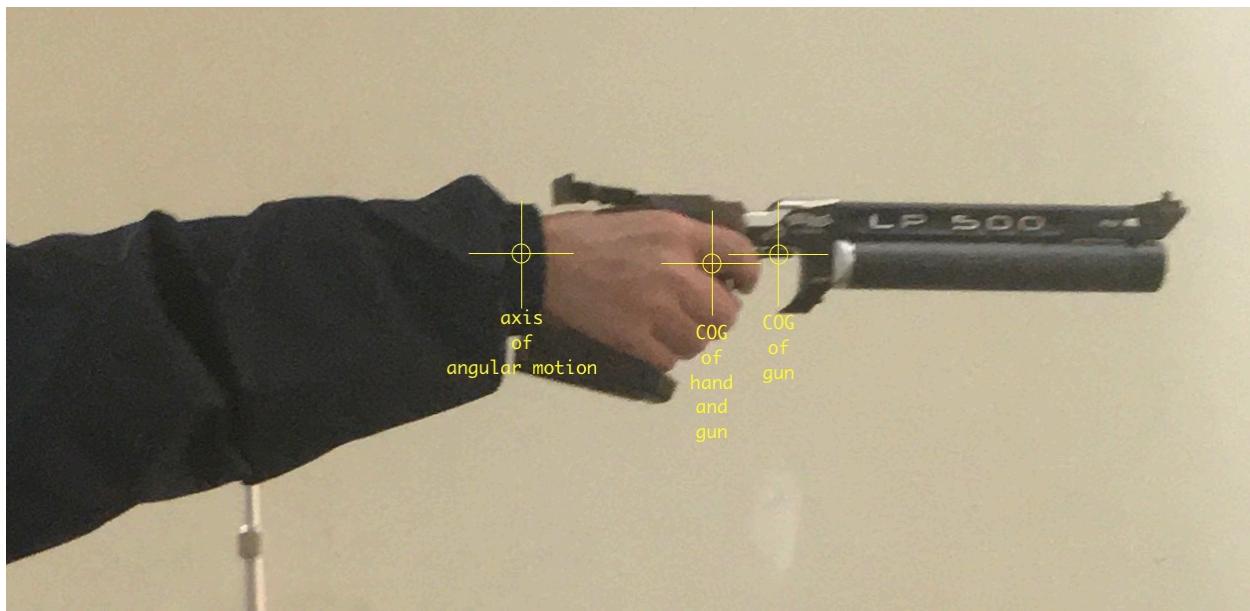


Fig. 0 本来議論すべき角運動の軸、手 + ピストル の重心(COG)、ピストルのみのCOG の位置
鉄砲の重心と手首関節は約 170mm 離れてゐる。

1.0 測定方式(原理) :

trifilar pendulum 別名を three-string torsional pendulum(3本紐ねじれ振り子)と呼ばれる等長の3本の糸でプラットフォームを固定天井から吊り捻じれ振り子運動をさせその周期から慣性モーメントを求める方法がある。このための装置は一般家庭にある材料で容易に組み立てることができるので今回採用した。この方法には大きい問題點があり、それは重心の周りの慣性モーメントの測定に限定されることだ。

以下の図と式は *Theory of Machines and Mechanisms, Fifth Edition, New York Oxford, OXFORD UNIVERSITY PRESS [0]*内の 12.10 Measuring Mass Moment of Inertia から無断借用した。

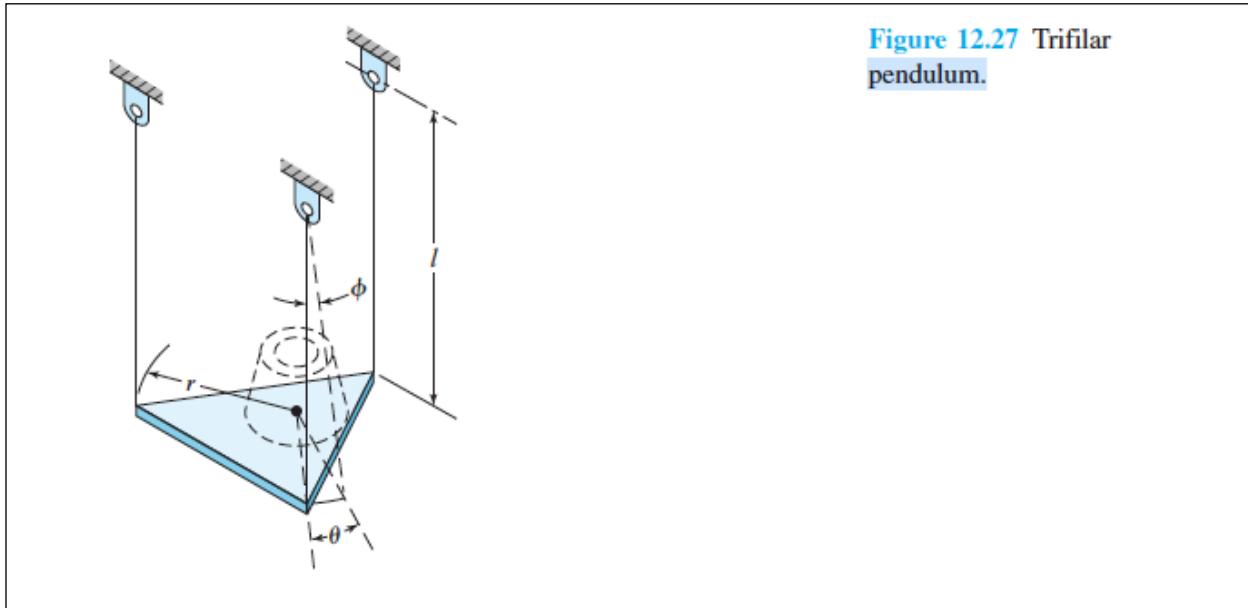


Fig. 1.0a 3本紐ねじれ振り子の仕掛け

$$I_G + I_p = \frac{(m+m_p)gr^2}{l} \left(\frac{\tau}{2\pi} \right)^2. \quad (12.105)$$

Eq. 1.0 三本紐ねじれ振り子の周期から慣性モーメントを求める

ここで I_G と I_p はそれぞれ被測定物とプラットフォームの慣性モーメント, m と m_p はそれぞれ被測定物とプラットフォームの質量である。

1.1 測定装置の製作 :

固定天井として C-clamp などで作業机に固定できる MDF の厚さ 21mm, 内径約 220mm の中空の円板(つまりリング)が捨てずに取つてあつたので利用した。

プラットフォームには 120° 間隔の3本の木のはり、厚さ 3mm、外径約 130mm の円板二枚の化粧合板を糊付けで組み立てた。これら二枚の円板がはりをは挟む構造になつてゐる。プラットフォーム単体の質量は 60 grams。円板の中心からはりの先端の穴までの距離は 108mm。この形状にしたのは軽量化のため。

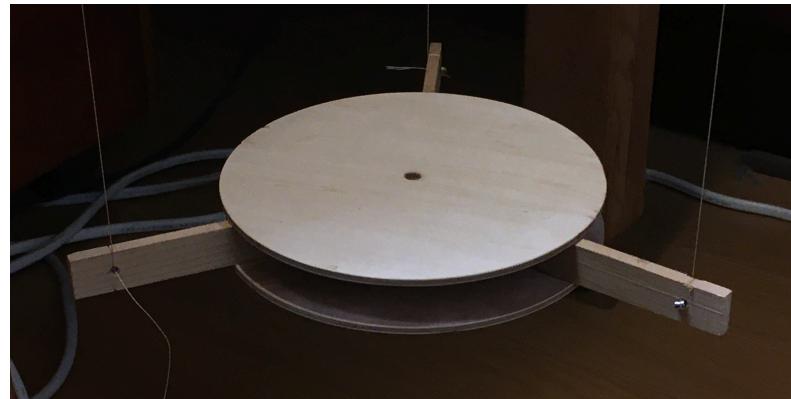


Fig 1.1a プラットフォーム

紐として始めは手近にあつた一番細い針金としてヴァイオリンの E線(耐破壊強度は数10kgf)を使ふ予定でゐたがこれの剛性が大きすぎることに気づき、紐のプラットフォームや天井板への取り付け方法のみでヴァイオリンの仕掛けを真似たが紐としてはケブラー糸(耐破壊強度は約 5kgf)を用いた。プラットフォームのはりの先端の穴にこの紐を通す

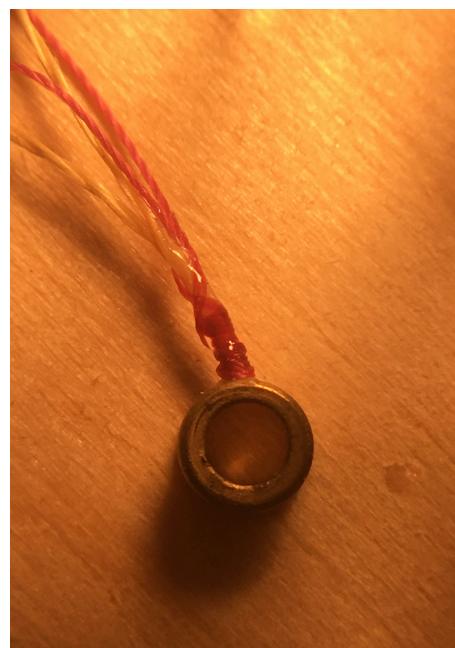


Fig 1.1b ケブラー糸をヴァイオリンの“ボール”に巻きつけた様子

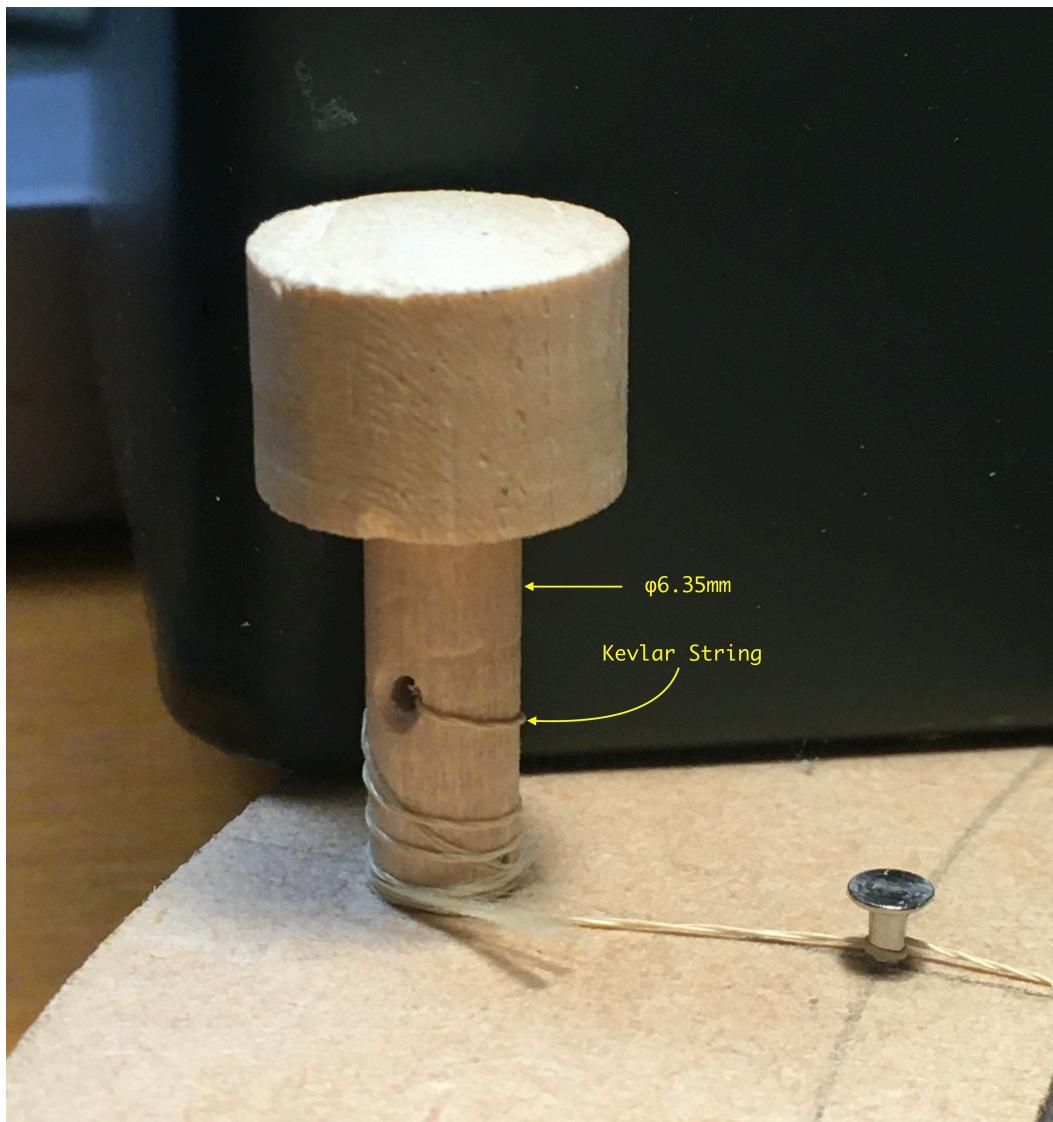


Fig 1.1c 天井側円板上の糸巻き

1.2 測定準備(装置の調整) :

手頃な天井円板固定先として高さ約 80cm の作業机を選び、その上に C-clamp でなくておもり(約 5kg の ammo box)で天井円板を固定し、振り子として有効な長さ 530mm の高さにプラットフォームを吊り下げた。

水平器をプラットフォームの中心に置き、天井円板上の糸巻きを操作して糸の有効長を微調整してプラットフォームを水平にした。

おもりとして使用した ammo box の上にレーザーポインターがマウントされたマグネットスタンドを置き、レーザービームが糸と並行かつプラットフォームの中心に達するやうに調整した。



Fig. 1.2a 装置の全景

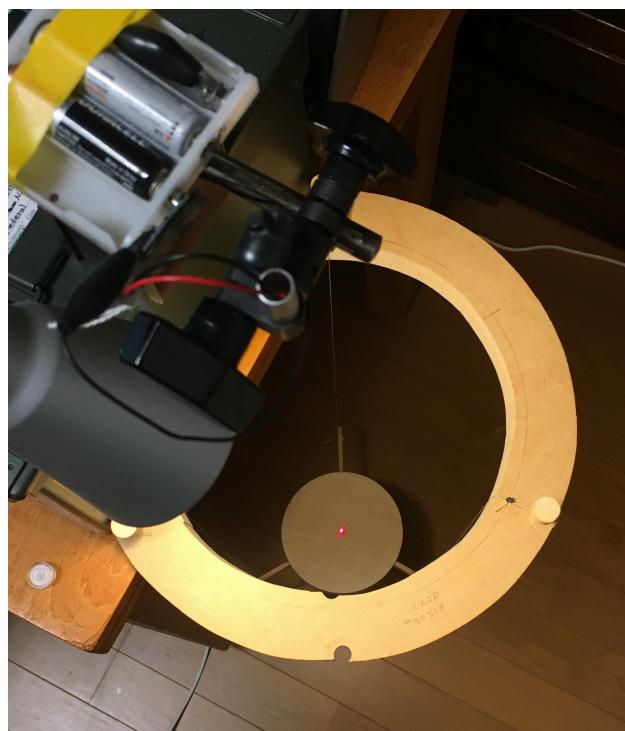


Fig. 1.2b 装置の全景, 照明を暗めにして上から撮影

2.0 プラットフォームのみの慣性モーメントの測定：

プラットフォームの円板に何も置かれてない状態でそれに指で初期振幅が数度の円運動を励起させ、その円運動が 50回繰り返す時間をストップタッチで測り Eq. 1.0 の式上の τ を求める。その値は 0.72[sec] だった。

Eq. 1.0 の式を Common Lisp の函数で書くと

```
;;
;; moment of inertia measurement by means of tortional pendulum
;;
(defun moi-by-tortionalPendulum (m mp g r l tau)
  (* (+ m mp) g (expt r 2)(expt (/ tau 2 pi ) 2) (/ l))
)
;;
```

Eq. 2.0 I_G と I_P の和を求める Common Lisp による関数。

この函数に引数として $m = 0$, $mp = 0.06$, $g = 9.8$, $r = 0.108$, $l = 0.530$, $tau = 0.72$ をわたすと

```
> (moi-by-tortionalPendulum 0 .06 9.8 .108 .530 .72)
1.6992382E-4
```

が求まる。つまり I_P の値は有効桁を3として $1.70\text{e-}4[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$ だ。

2.1 測定方法の検証：

上述の装置と計算式がおよそ正しいか否かをチェックするために(物理学や機械工学のハンドブックや web 計算機等に式が載つてゐるやうな)單順な形状である手元にあつた PVCの中空円筒(annular cylinder: $m=0.385\text{kg}$, $od=178\text{mm}$, $id=164\text{mm}$)で計算式($I_{xx} = m(a^2 + b^2)/2$)で求めた値と測定で求めた値を比較した。

計算式による慣性モーメント = $28.2\text{e-}4[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$

本装置による実測で得た慣性モーメント = $28.8\text{e-}4[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$

これらを比較すると今回の装置で得られる測定値が含む誤差は、回転の周期をヒトがストップタッチを見ながら 50往復の振動から測ると云ふあやうさはあるが 2% 前後と云へる。

2.2 実測

CMC製造のErma Luger .380 の亜鉛製不可発射モデルとWalther LP500 を改造した HR のそれぞれで重心の周りの慣性モーメントを測定を行つてみた。重心の位置は下の写真のとおり。



Fig.s 2.2a(左) and b(右) 重心の位置

この CMC 製造の亜鉛製不可発射モデルは寸法と質量においては実物とほぼ同じに作られてゐると思はれる。3個入った状態で 881 grams だつた。

2.3 測定結果：

結果は Table 2.2 のとおり。残念ながら今は AP の姿の Walther LP500 は手元に存在しないので測定できない。

	Erma Luger	Walther LP500 HR	Walther LP500 AP
overall length[m]	0.205	0.810	0.420
mass[kg]	0.881	1.063	0.945
τ[sec]	0.77	2.01	n.a.
moment of inertial[kg · m²]	0.00288	0.0246	n.a.

Tab. 2.2 測定結果

測定中の振り子の動きのムービーを [立川ライフル射撃協会 web 頁/寫眞集](#) の中の ”ハンドガンの重心の周りの慣性モーメント測定/捻じれ振り子の動き(Moment of Inertia Measurements)” に置いてあります。

2.4 測定結果に対する感想：

HR の慣性モーメントは想像してみた通り大きい値だ。

4 課題:

近日中に AP の推薦申請を行い、AP の姿の Walther LP500 についても測定をしたい。

今回の測定は鉄砲の重心の周りの慣性モーメントを測定したに過ぎない。本来求めたいのは鉄砲の重心から約 170mm 後ろに位置する手首関節の周りの慣性モーメントだ。その場合、手のみの慣性モーメントも求める必要があり、これは趣味の範囲のプロジェクトとしては相当に手強い。手のことは脇において、鉄砲のみで回軸を手首関節の辺りとして測定する方法の目処は立つてゐる。この測定を HR を AP に戻す改造前に行へればよいがどおなることか。

5 補足:

今回作成した装置は軽くて折り畳めるので自分のピストルの重心まわりの慣性モーメントを測定したい方(但し日本國内在住者のみ)に喜んでお貸します。さらに、測定結果を教えていただければ大変にありがとうございます。 shishiba@w2.dion.ne.jp 宛てにご連絡をお待ちしてゐます。

今回測定した HR 化された Walther LP500 は銃砲店による改造からさらに、重心が(理想とわたしが思ふ位置より)あまりにも後ろにあつたのでストックをくり抜いたりおもりをエアーシリンダーの先端につけました。この様子は [立川ライフル射撃協会 web 頁/記事集/ハンドライフル\(HR\)をエアーピストル\(AP\)の氣分で撃つための改造履歴](#) に書いてあります。今回測定に供した HR 化された LP500 はこの記事のリリースから2年弱の間にさらにストックの軽量化とそれに伴ふエアーシリンダー先端につけた錘の減量がされてゐます。これらの軽量化で現在の総重量は 1.063kg になつてゐます。

6 参考文献：

[0] *Theory of Machines and Mechanisms, Fifth Edition, New York Oxford, OXFORD UNIVERSITY PRESS*

おわり