

7月8日（土）の技術史教育学会でのからくり実演の件

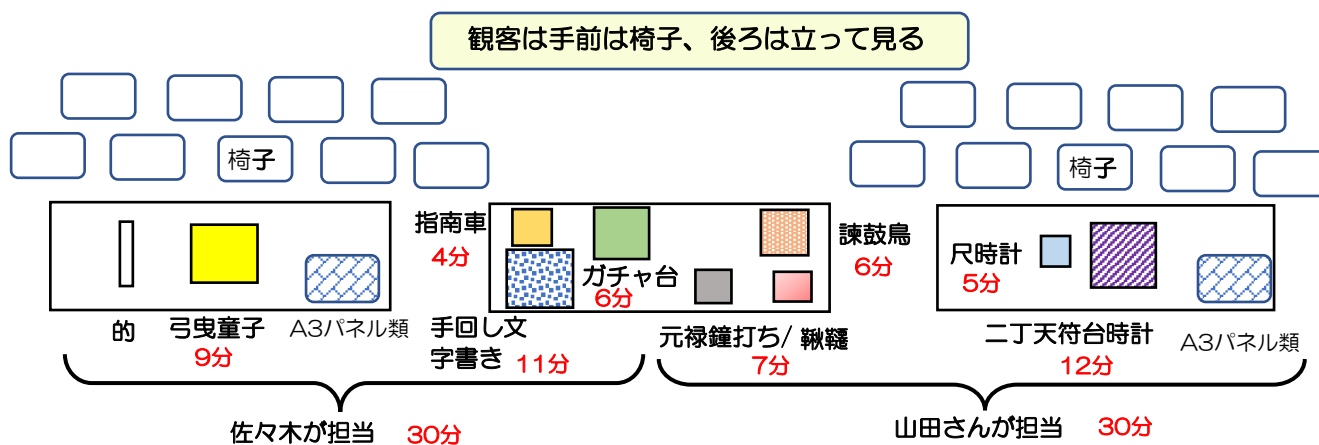
2023年6月3日（土）

佐々木三郎

- (1) 演題は『「^{からくり}機巧」の復元と展示』となっています。
- (2) 荷物搬送は佐々木が担当（宅急便で7月7日着で送る）
からくり、名前のプレート、説明用パネル（A4、A3）
- (3) 学会に登録している実演からくり（機巧）と、実演・説明担当者
 - ① 二丁天符台時計・・・山田さん
 - ② 弓曳童子・・・佐々木
 - ③ 手回し文字書き人形・・・佐々木
 - ④ 指南車・・・佐々木
 - ⑤ 元禄鐘打ち・・・山田さん
 - ⑥ 諫鼓鳥・・・山田さん
 - ⑦ 組紐手組台の内記台（ガチャ台）・・・佐々木
- (4) 学会に登録していない予備のからくり（補足説明に使用）と実演・説明担当者
 - ⑧ 尺時計（二丁天符の補足用）・・・山田さん
 - ⑨ 鞆鞆（元禄鐘打ちの補足用）・・・山田さん

(5) レイアウト及び説明の仕方（案）

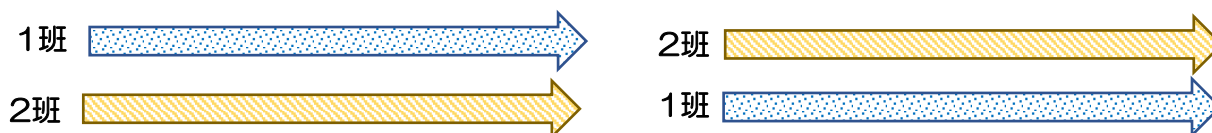
※テーブル3台は用意依頼済み、
真ん中を物置にし、左右のテーブルに持ってきて説明・実演する



(A) 見学者が少ない時



(B) 見学者が多い時 2組に分ける（1班、2班）



同時に佐々木30分、山田さん30分実演・説明し、班を入れ替えてもう一度行う

弓曳童子

顔の動きに重点
が置かれている

矢をつまむ

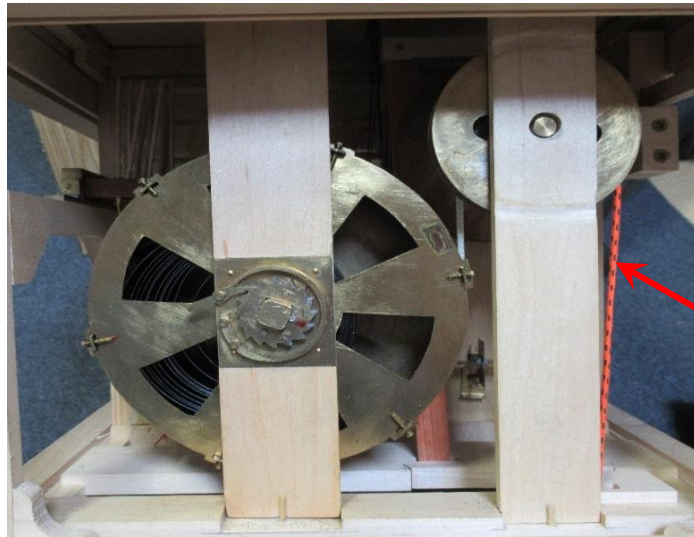
弓

矢台

唐子



駆動部



出力部

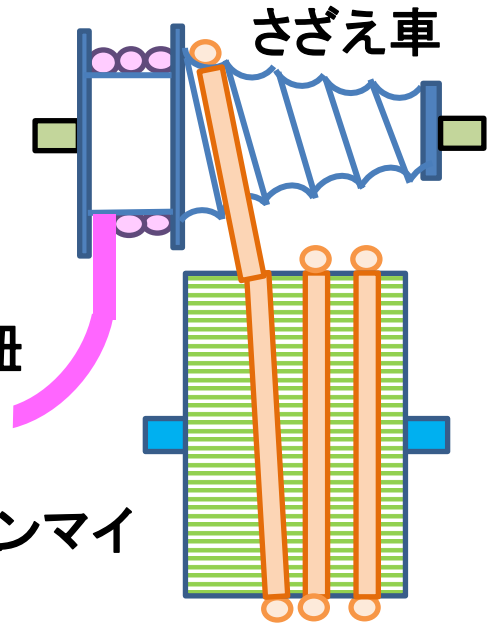
巻き上げ紐

ゼンマイ部

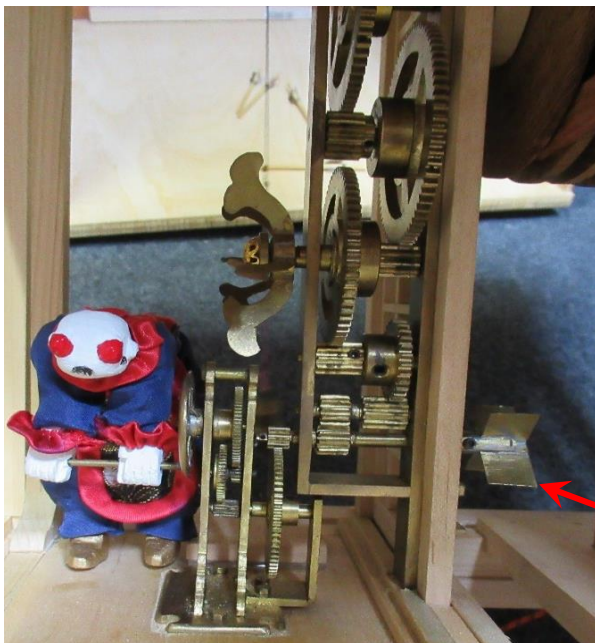


出力部側面

さざえ車を使った出力機構



風切り車を使った调速機構

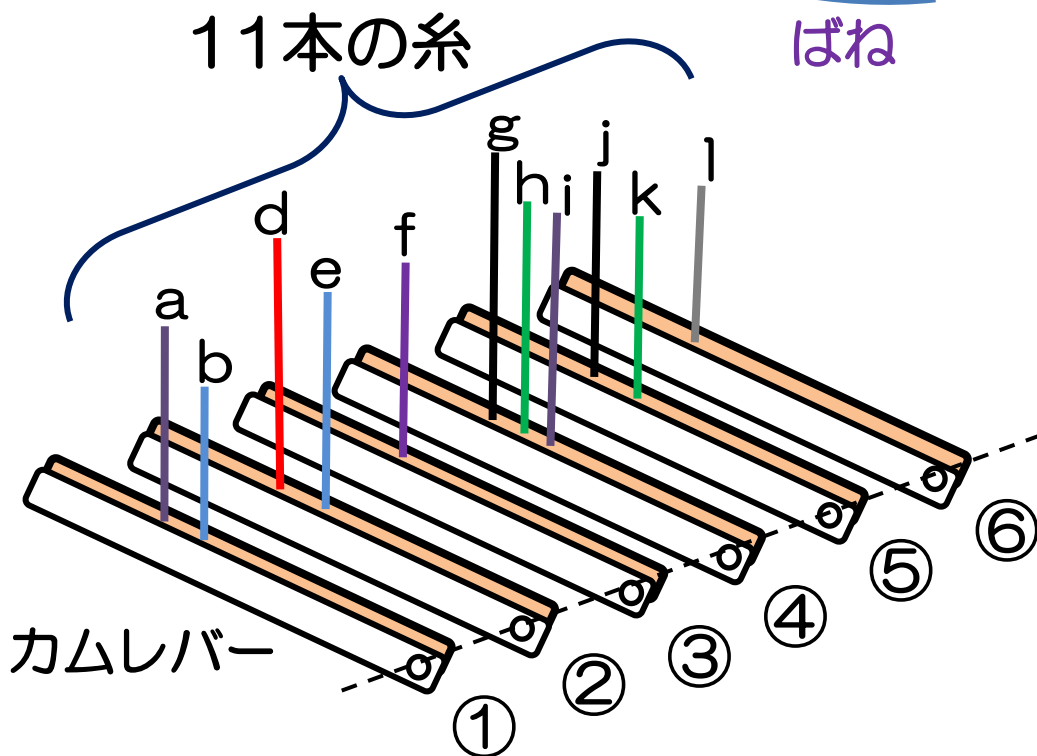
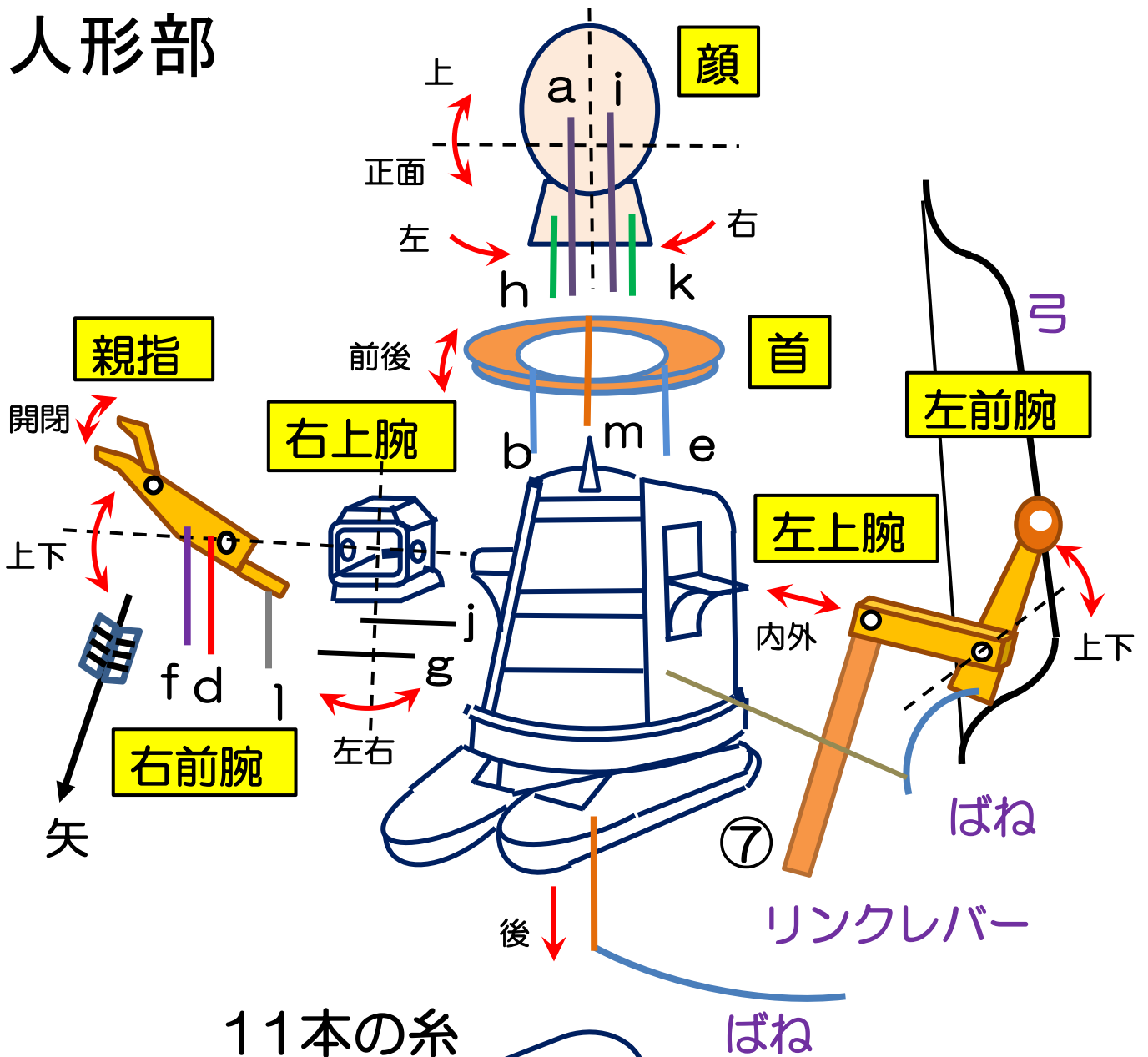


一の輪から風切り車
までの増速比は

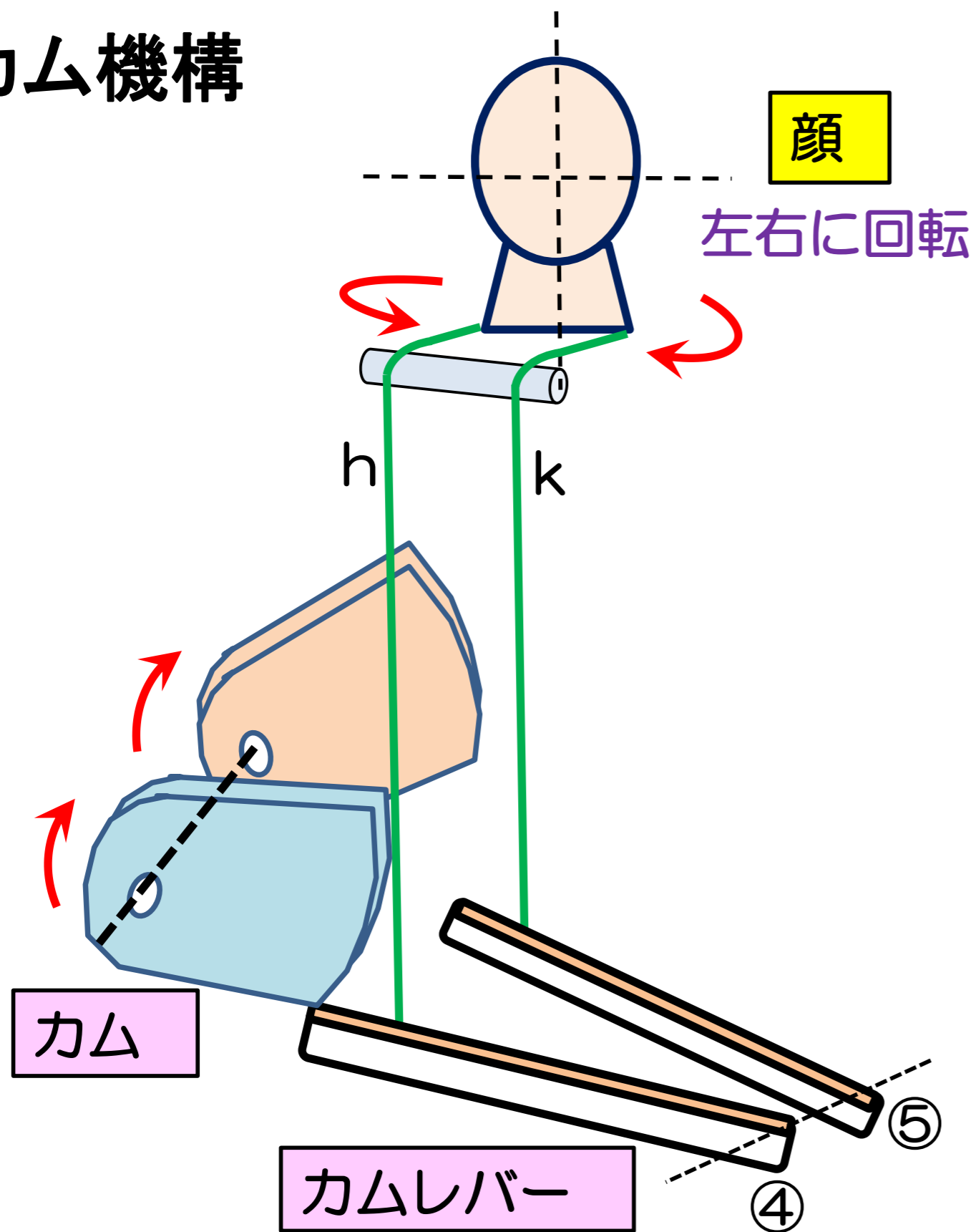
968倍

風切り車

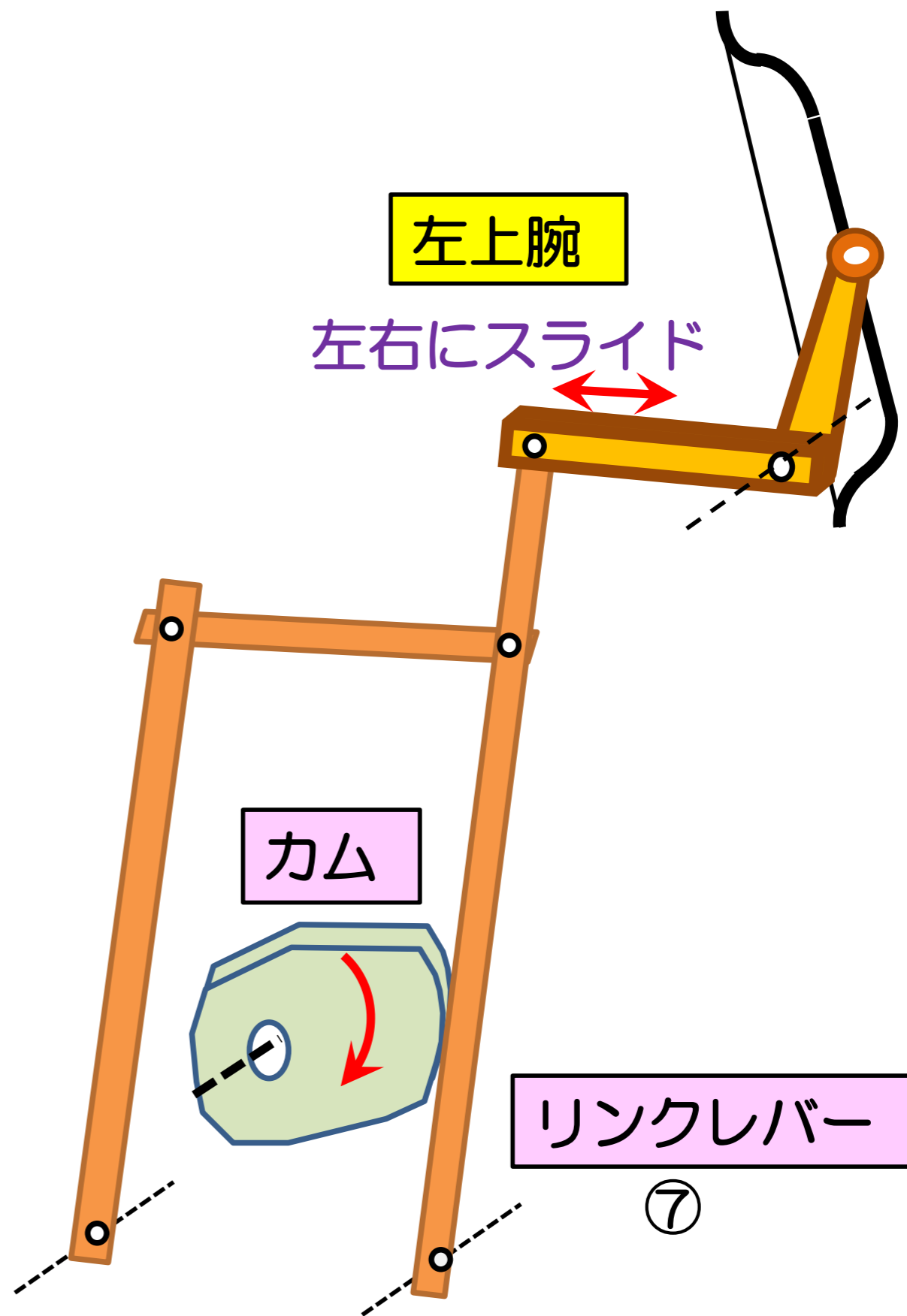
人形部



カム機構



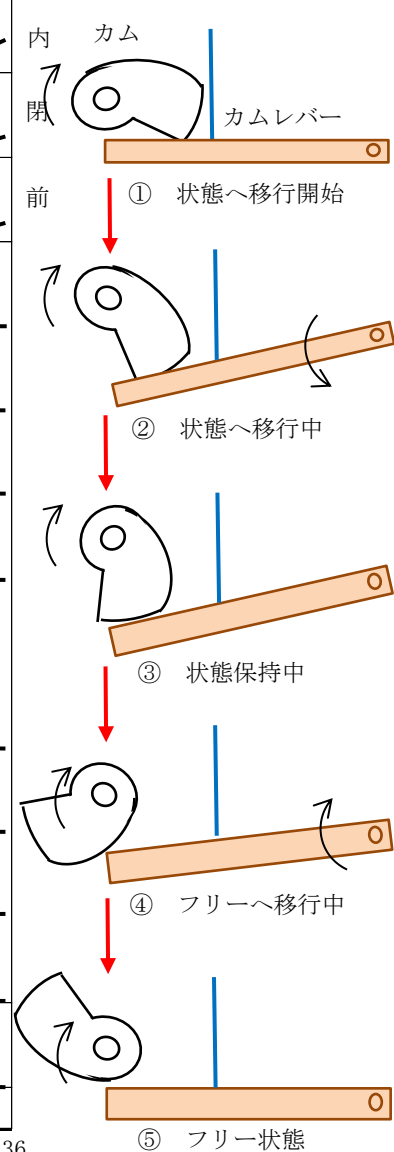
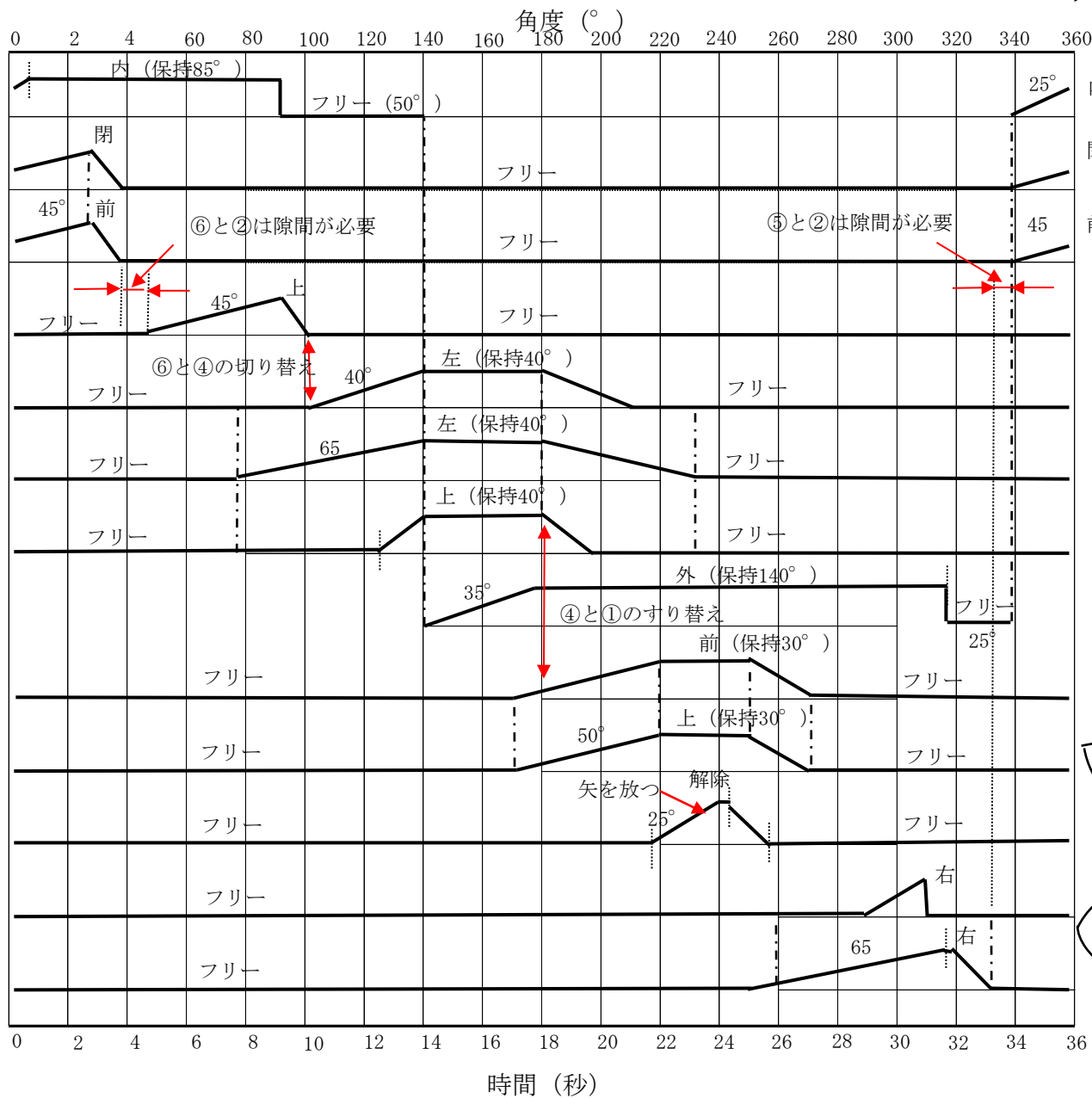
リンク機構



カムレバーとリンクの作動タイミングチャート

カムとカムレバーの関係

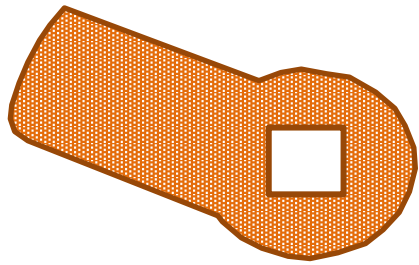
カムレバー番号	繰り糸記号	部位 (方向)	カムレバー変位 (mm)
⑦	リンク	左上腕 (内)	16
②	d	親指 (閉)	13
	e	首 (前)	
⑥	l	右前腕 (上)	16
④	g	右上腕 (左)	31
	h	首 (左)	
	i	頭 (上)	
⑦	リンク	左上腕 (外)	16
①	b	首 (前)	21
	a	頭 (上)	
③	f	親指 (解除)	4
⑤	j	右上腕 (右)	32
	k	首 (右)	



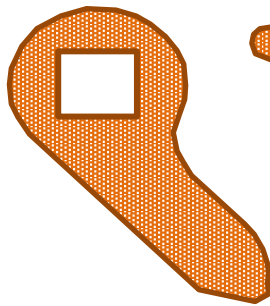
他のレバーやばね・錘で上に上がる場合がある

カムの形状

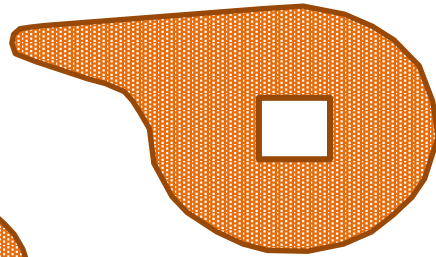
カム1



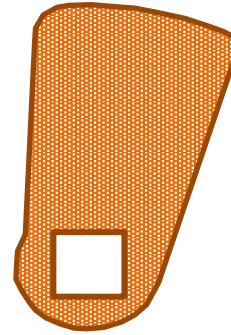
カム2



カム3



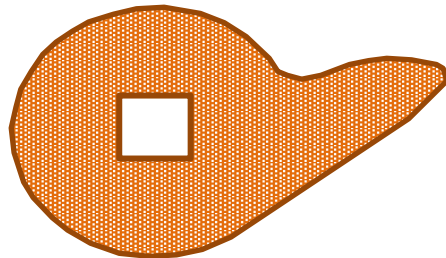
カム4



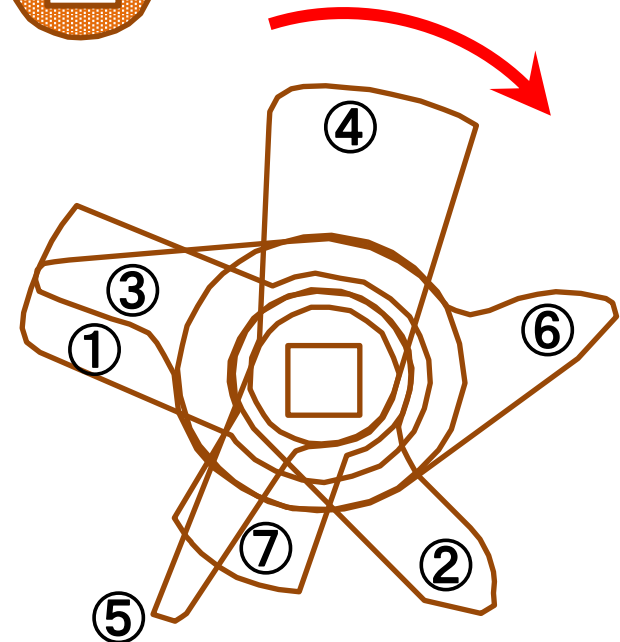
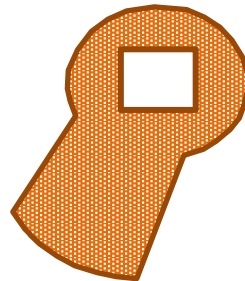
カム5



カム6



カム7



全体構成

元禄鐘打ち

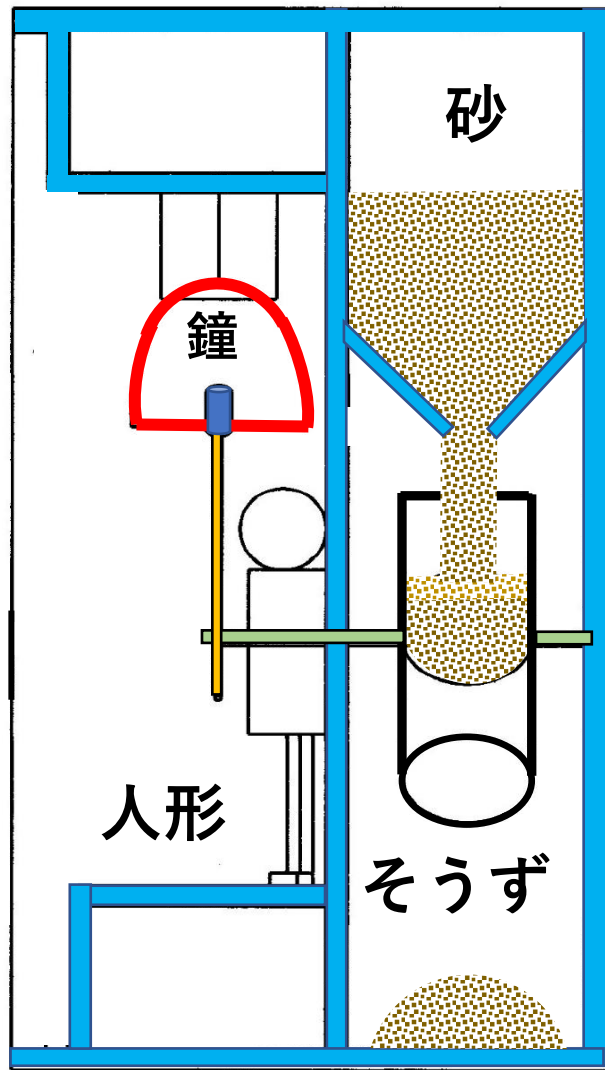


かんしょう
喚鐘

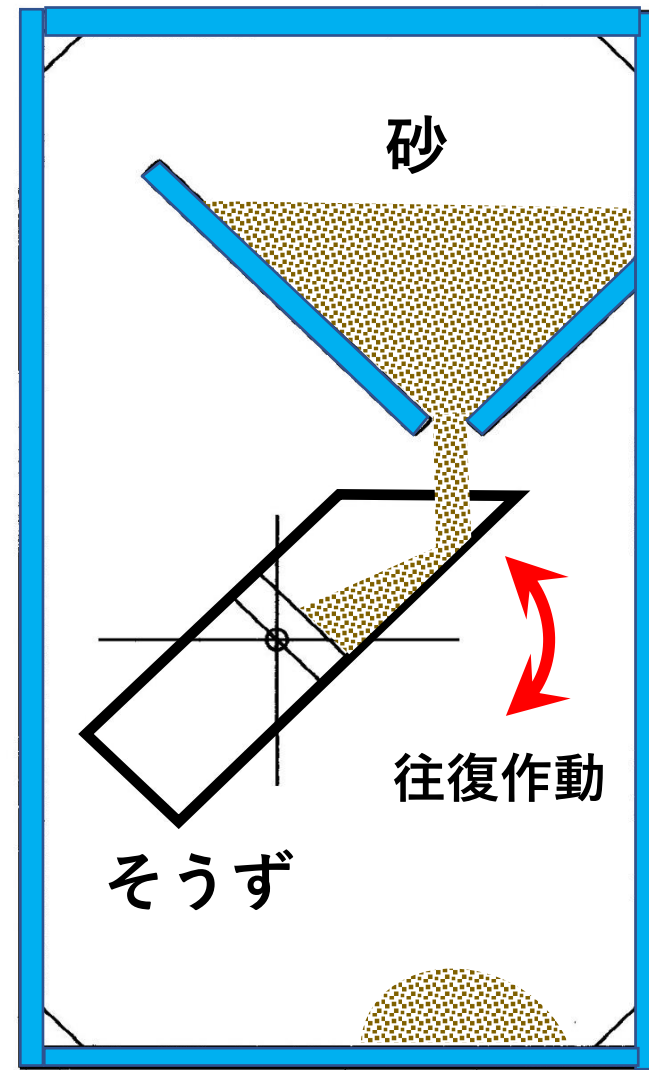
しゅもく
撞木

唐子

元禄鐘打ち

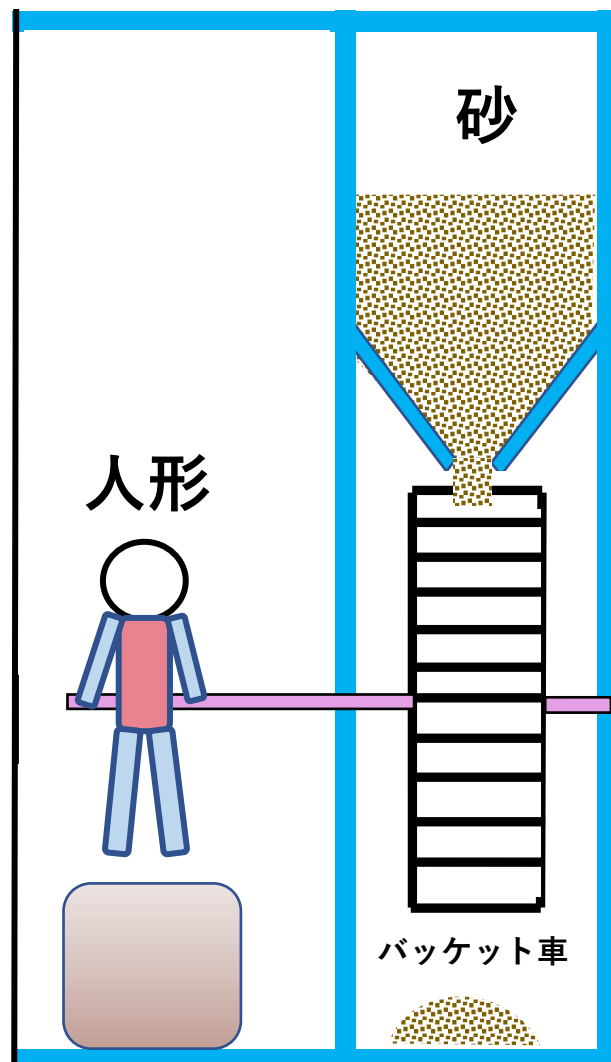


《側面》

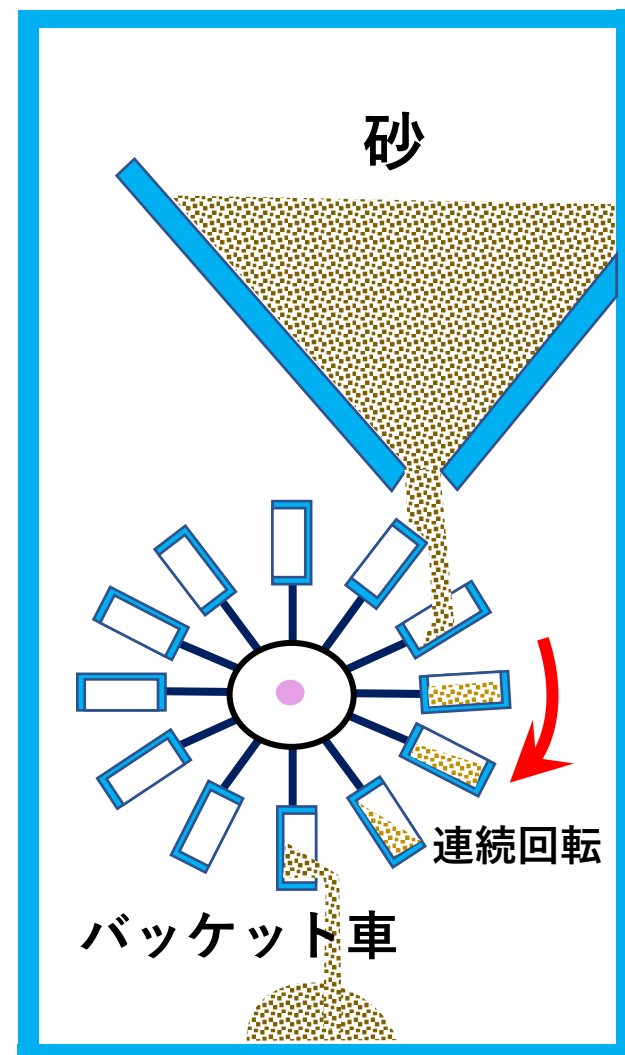


《背面》

鞦 鞆



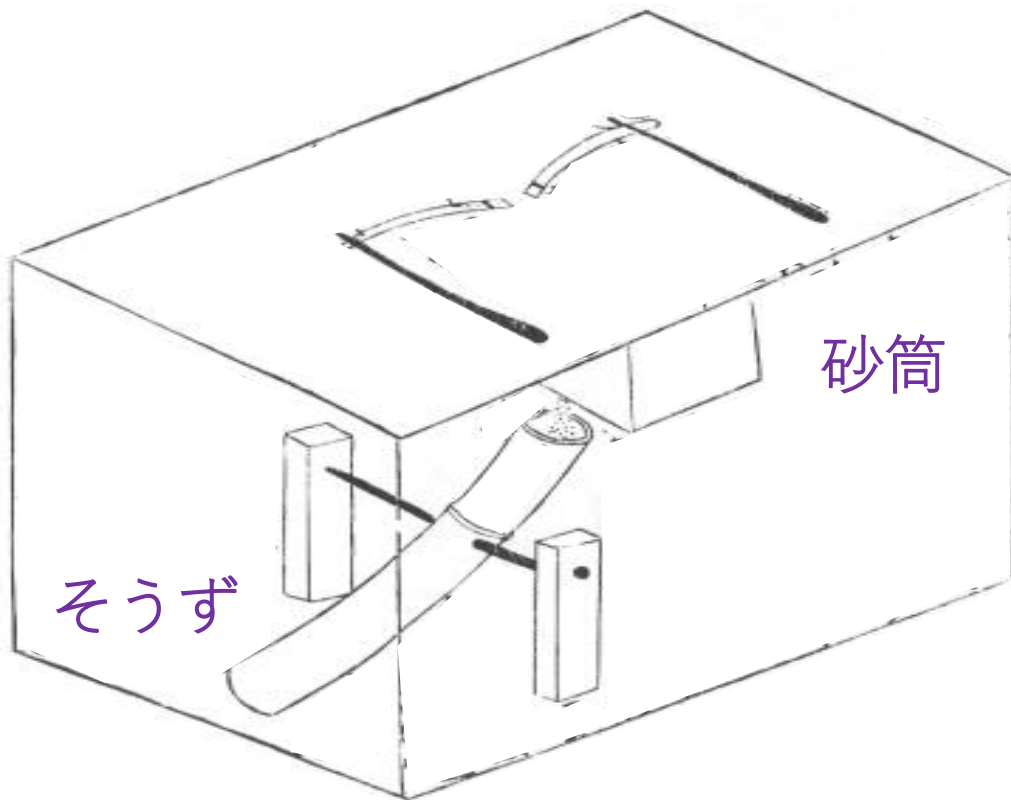
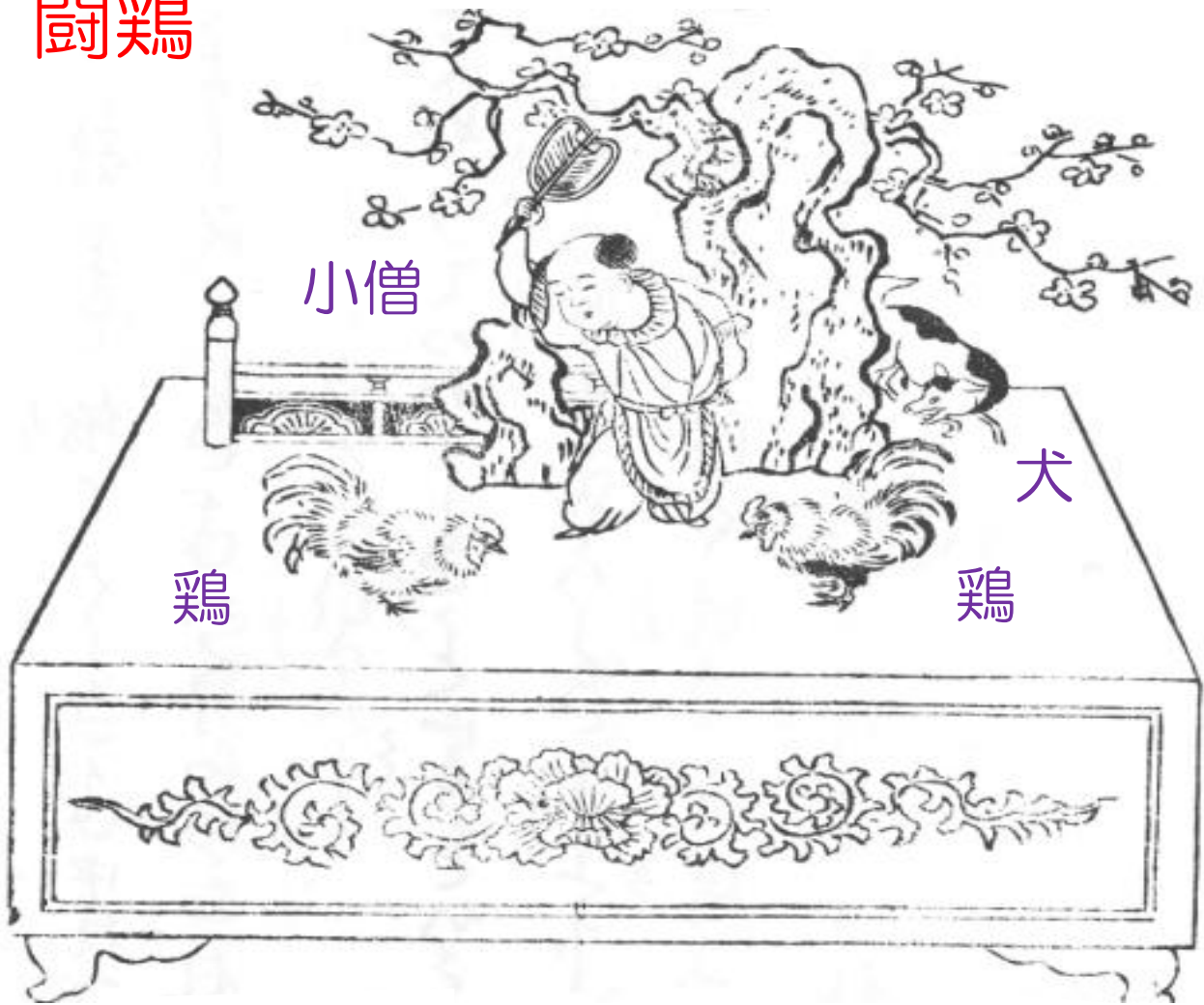
《側面》



《背面》

『機巧図彙』 の砂からくり (1)

闘鶏



『機巧図彙』の砂からくり (2)

魚釣り人形



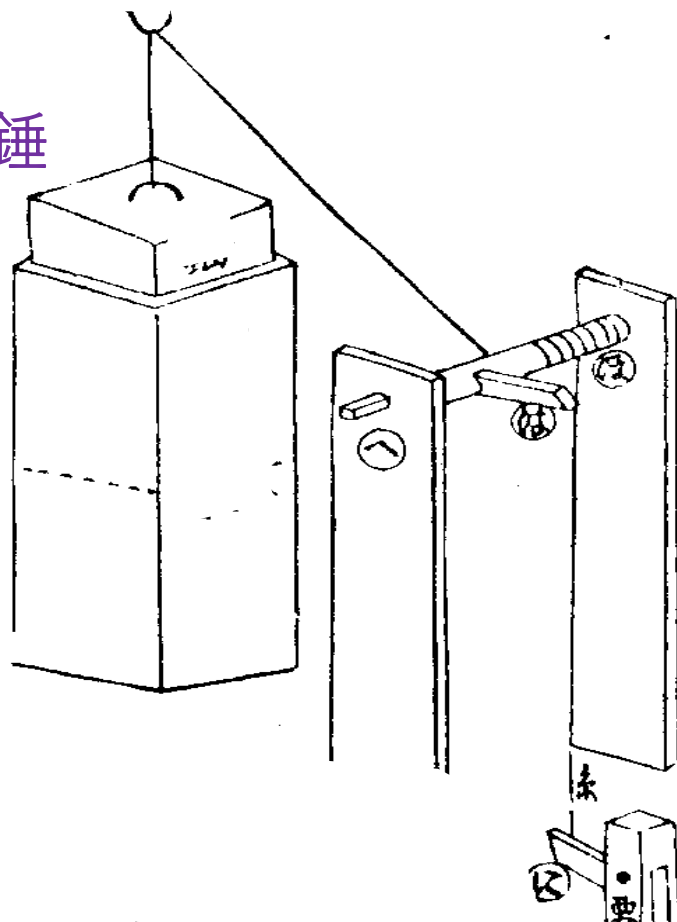
神功皇后

旗持の家来



錘

砂箱

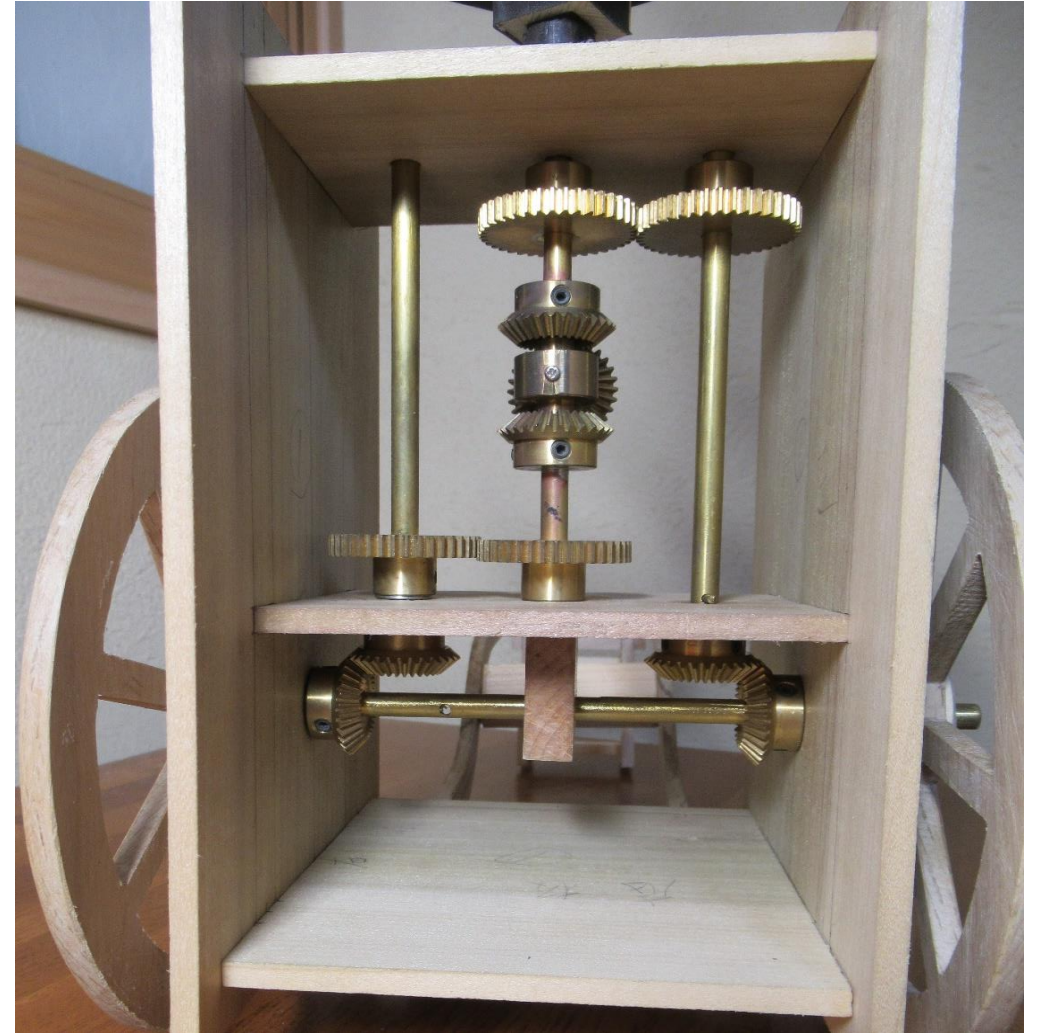


指南車

常に一定の
方向を指す



二輪車

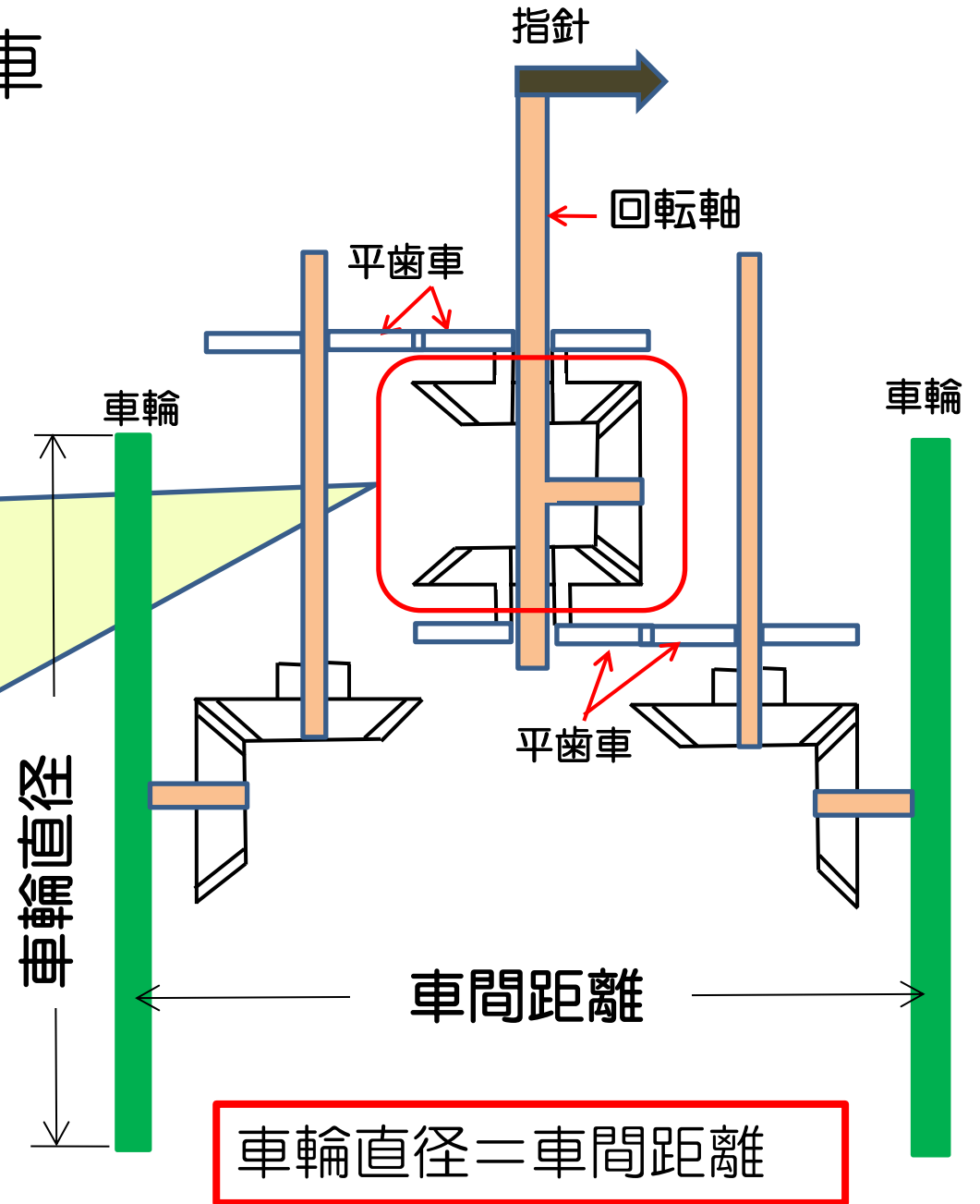
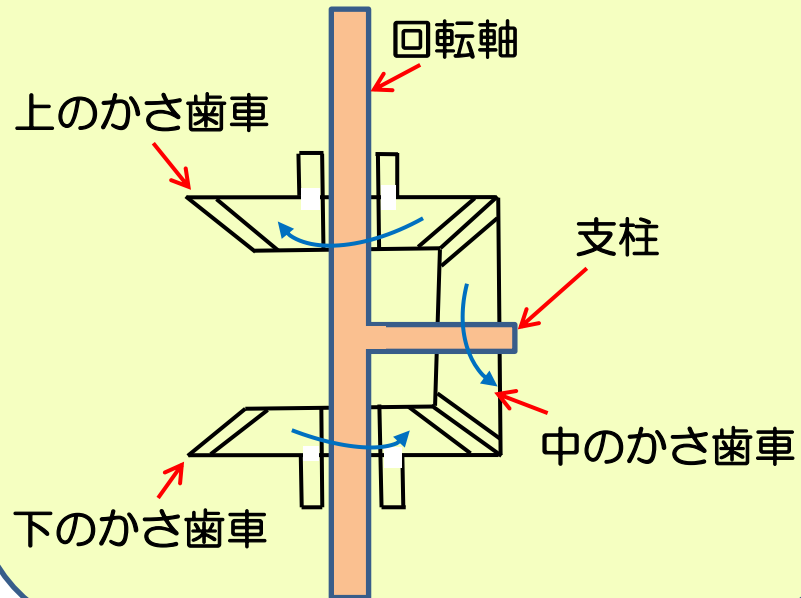


内部機構

ランチェスター型指南車

差動歯車機構

上のかさ歯車が1回転した時支柱の付いた回転軸は1/2回転します。



諫鼓鳥



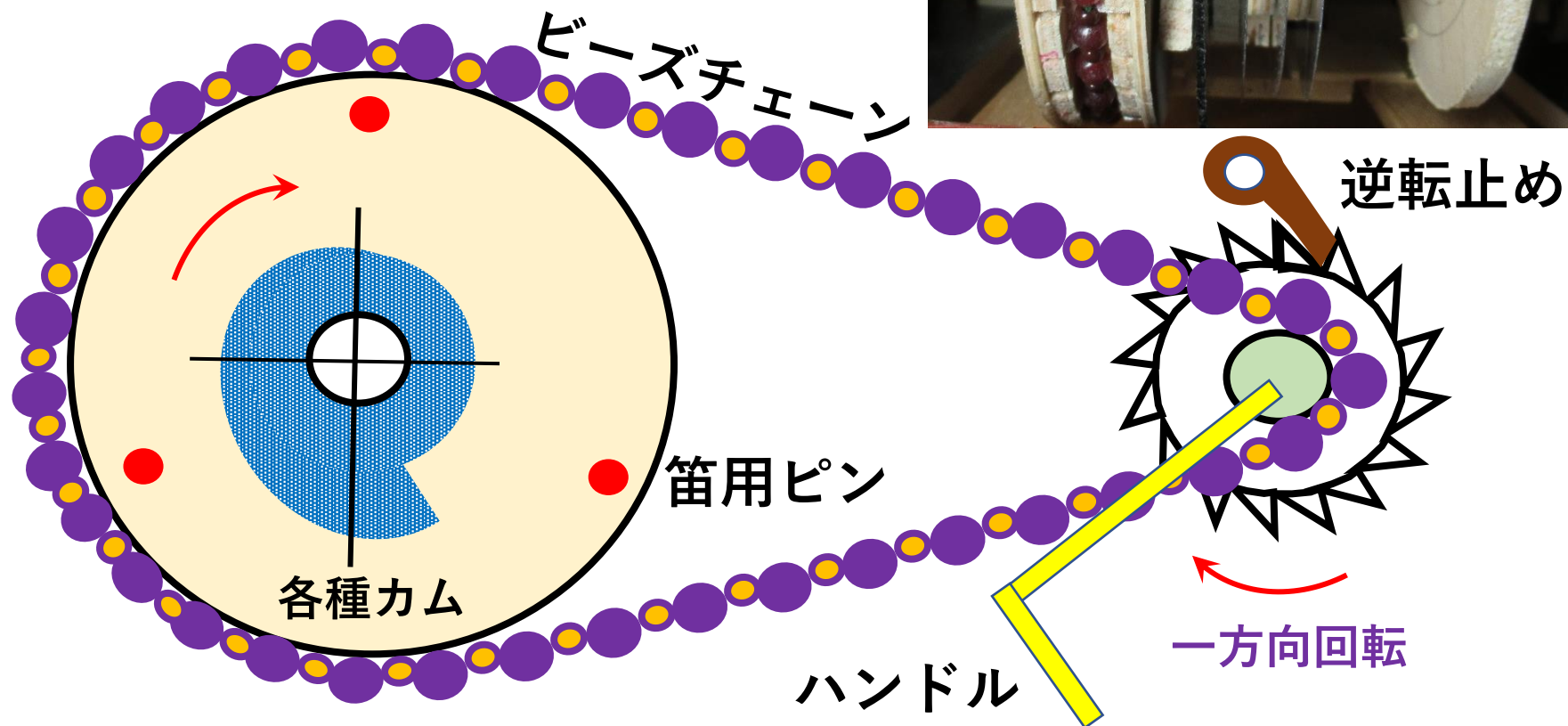
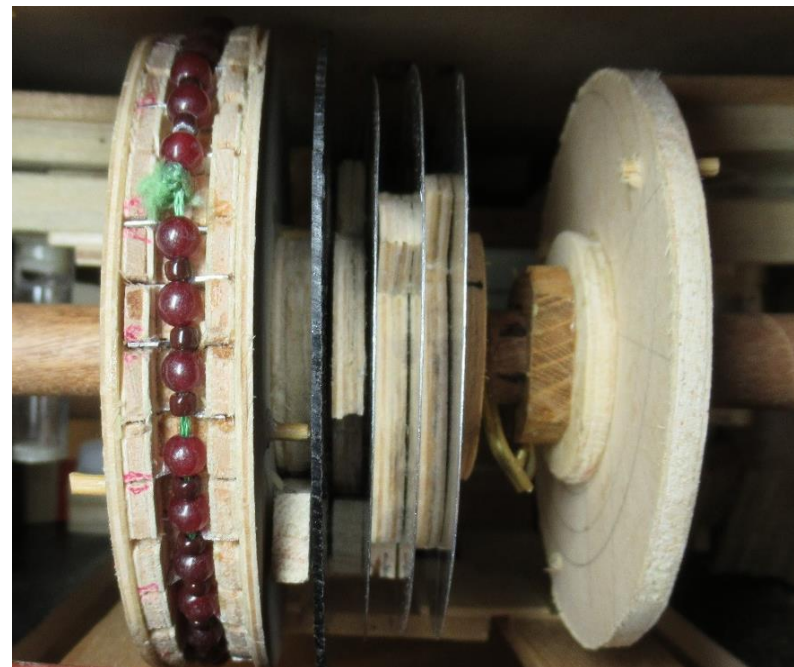
音がする

左右に動きながら
羽ばたいて鳴く

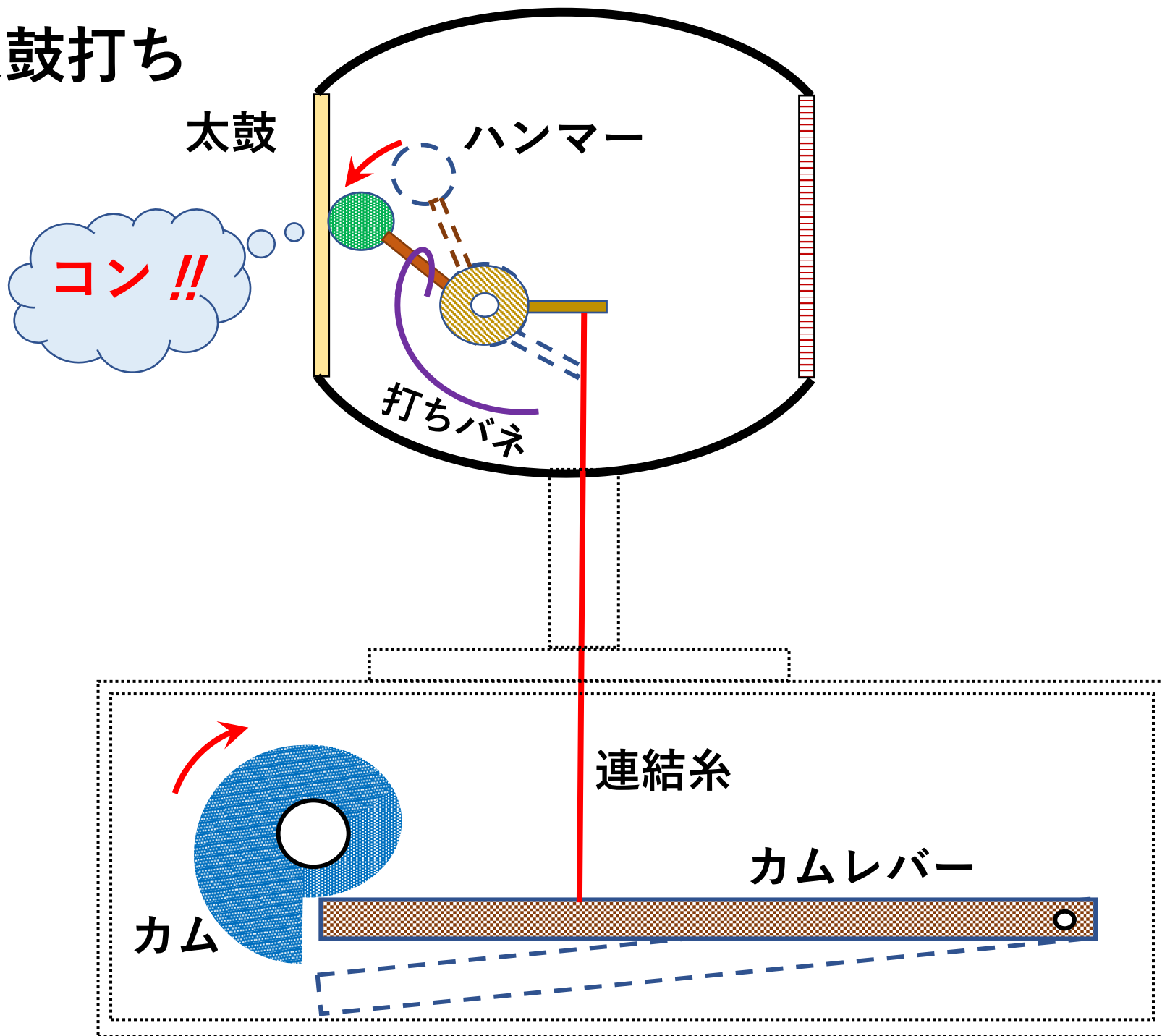
弦の音がする

ハンドル

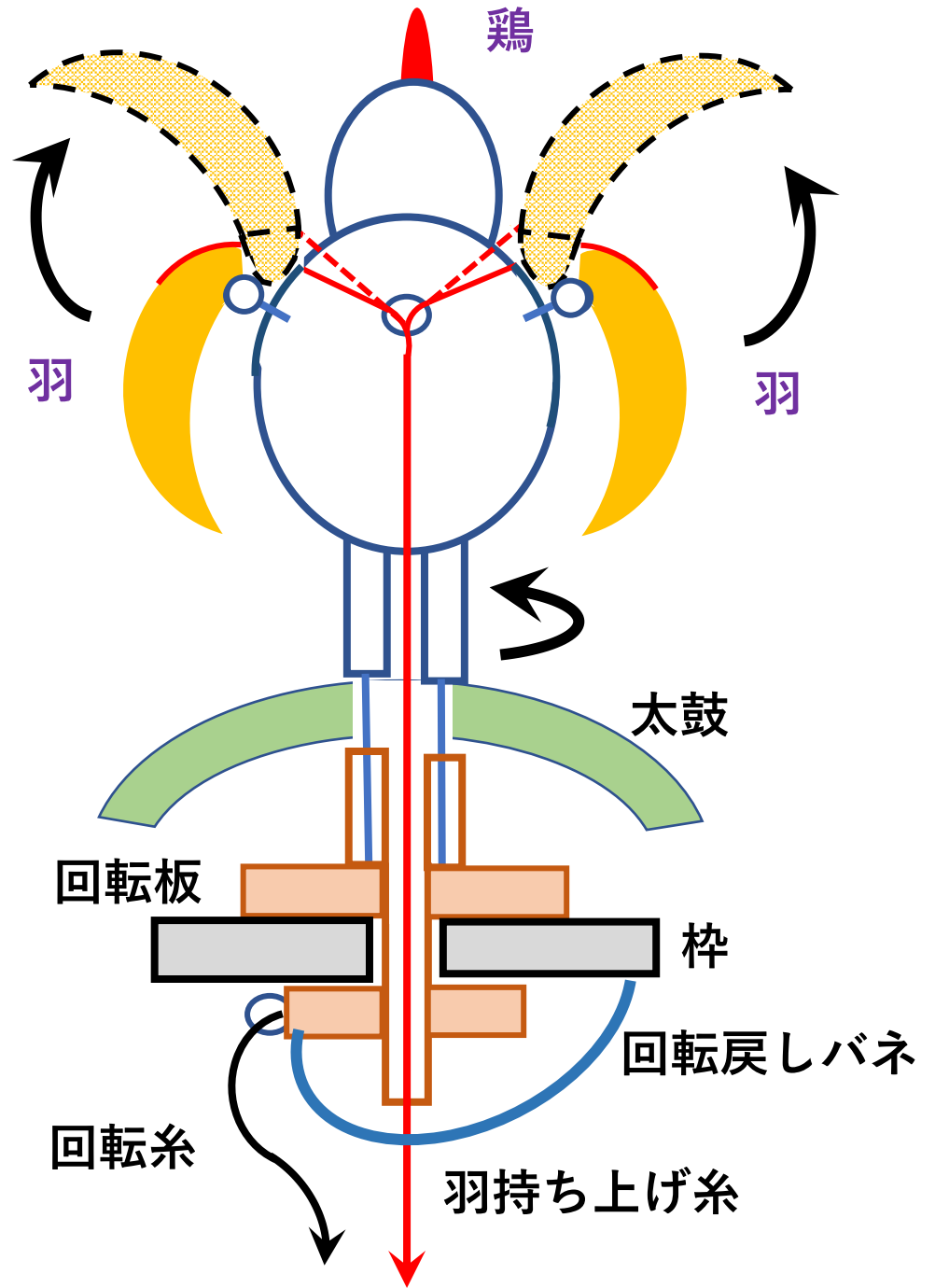
ハンドル駆動機構



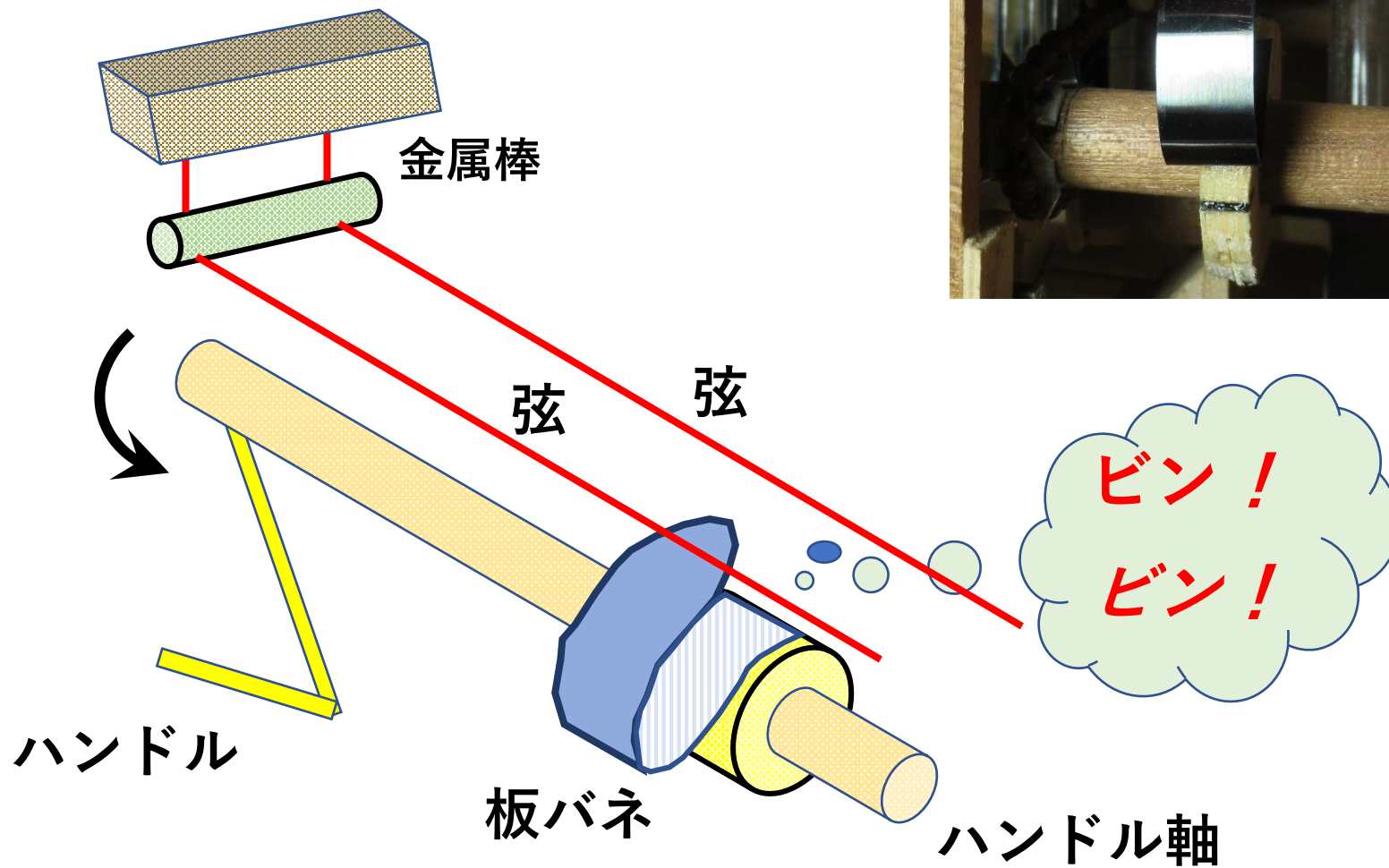
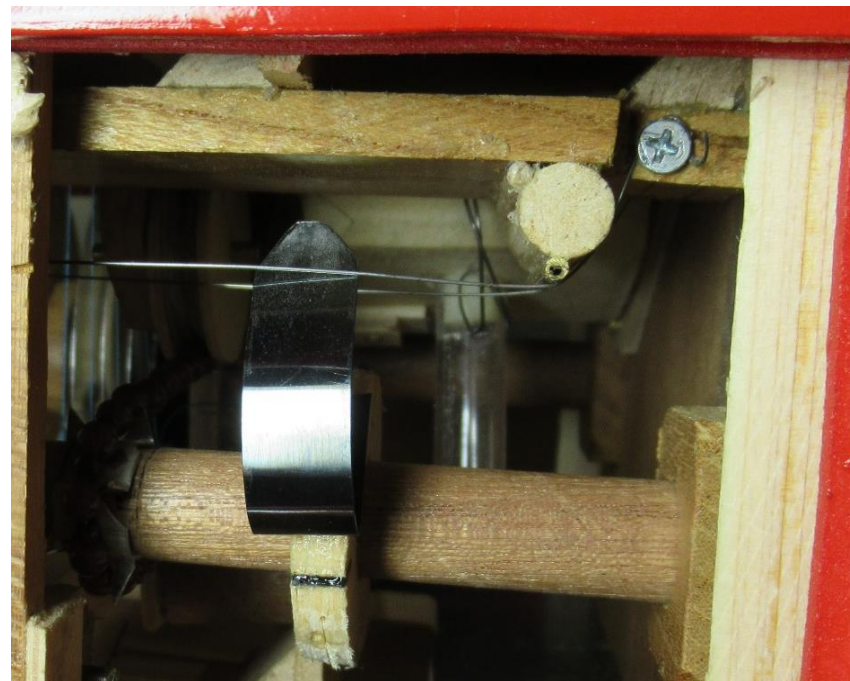
太鼓打ち



鶏の回転と羽作動



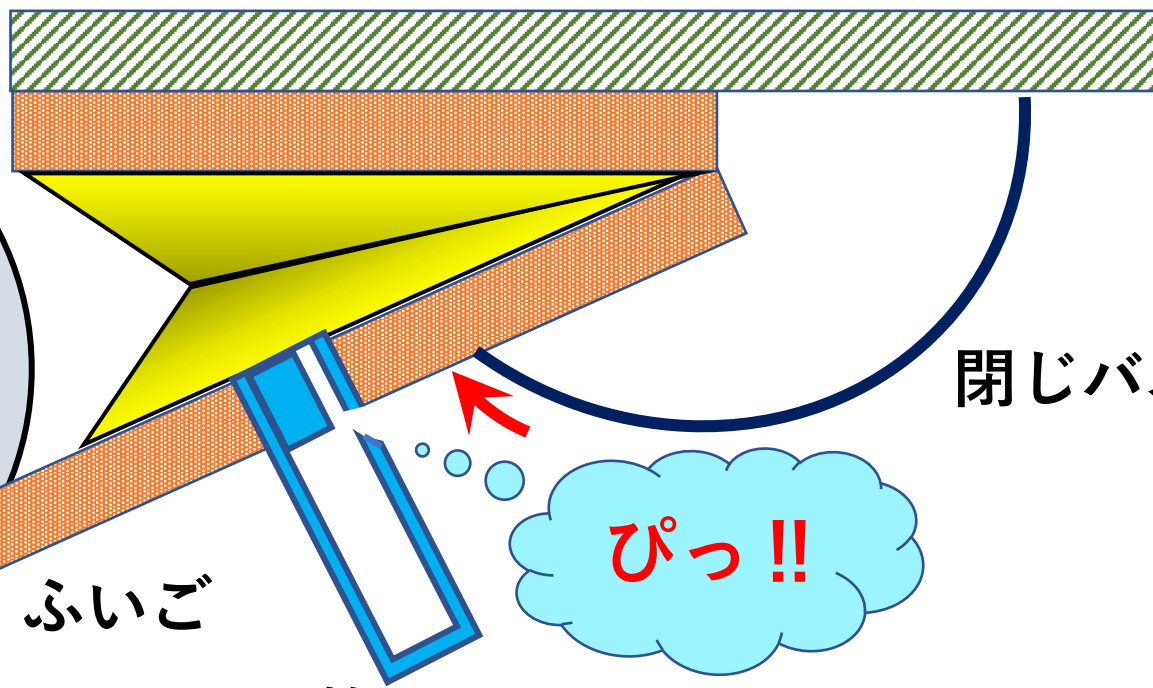
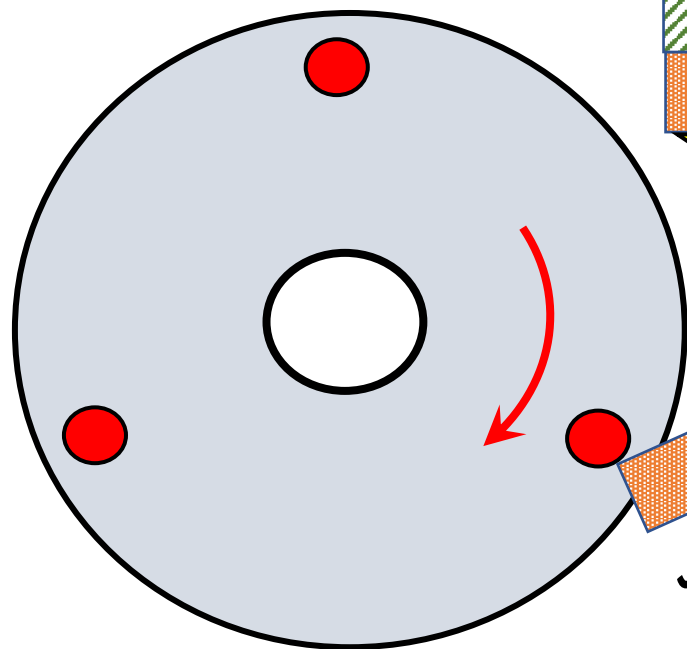
弦はじき



笛吹き



笛用ピン



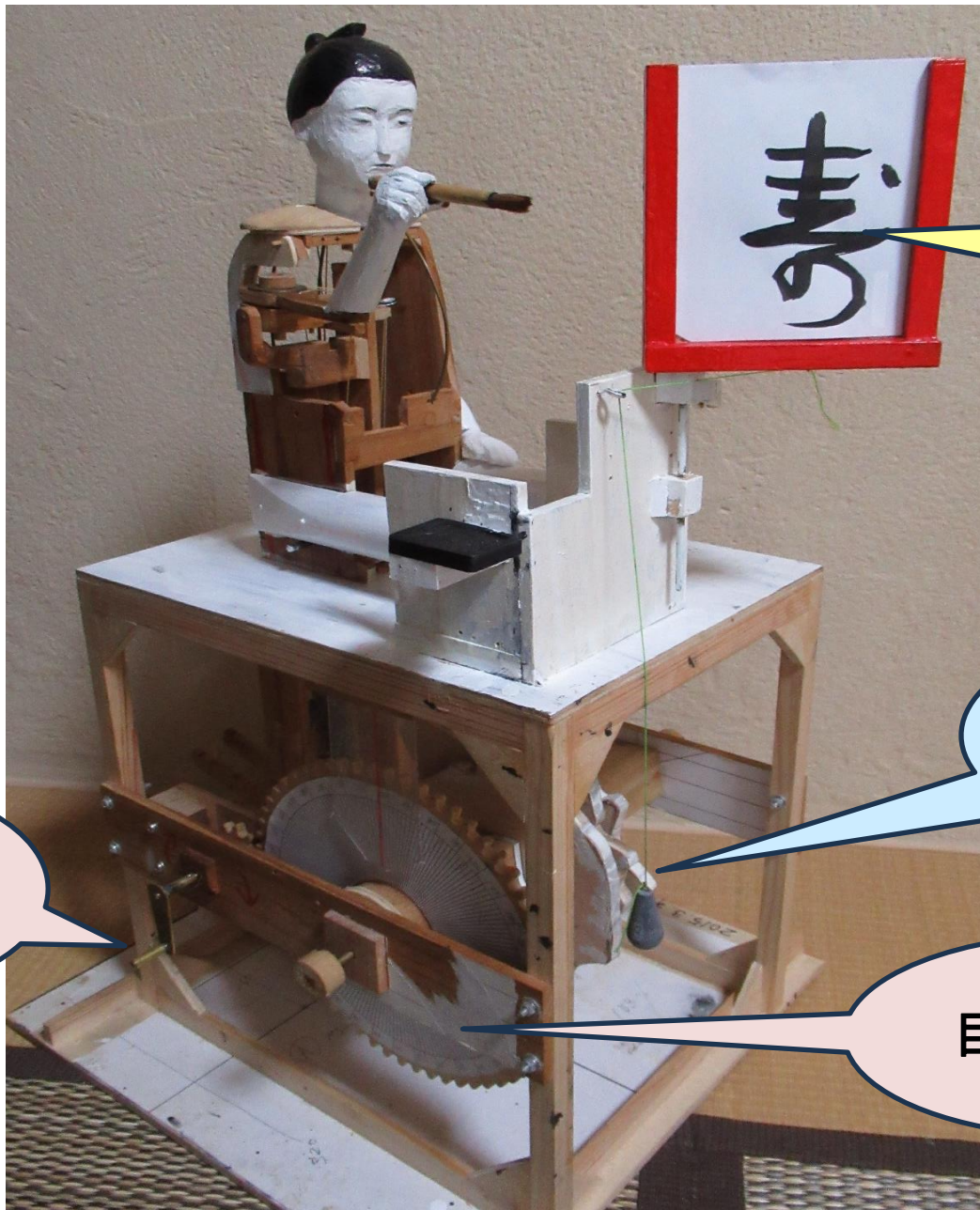
ふいご

笛

閉じバネ

ぴっ!!

手回し文字書き人形



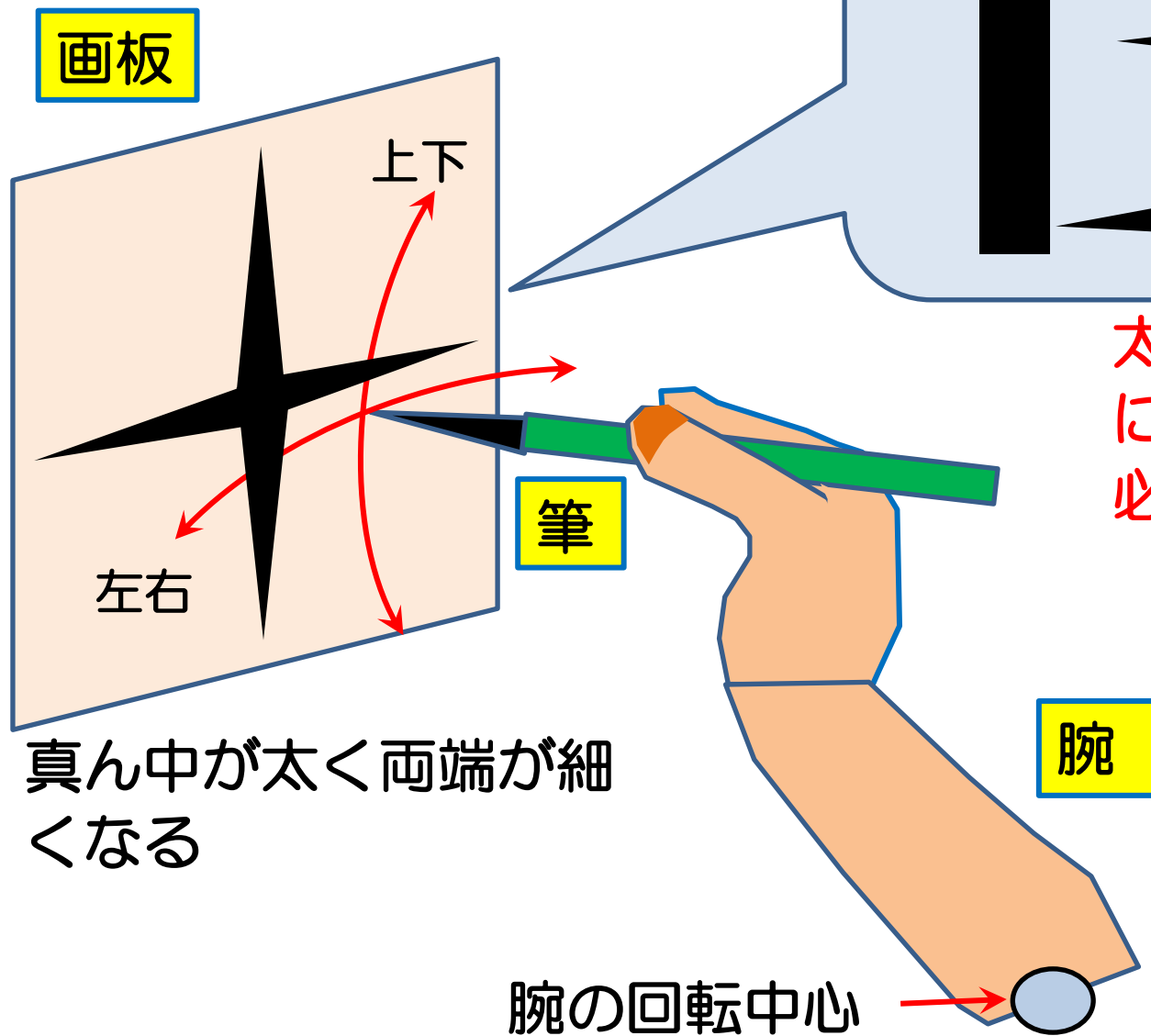
筆に墨を付けて書く
(今回は水で書く)

カム製作のため
簡単に外せる

目盛盤付き

ハンドル
を回す

文字書きについて



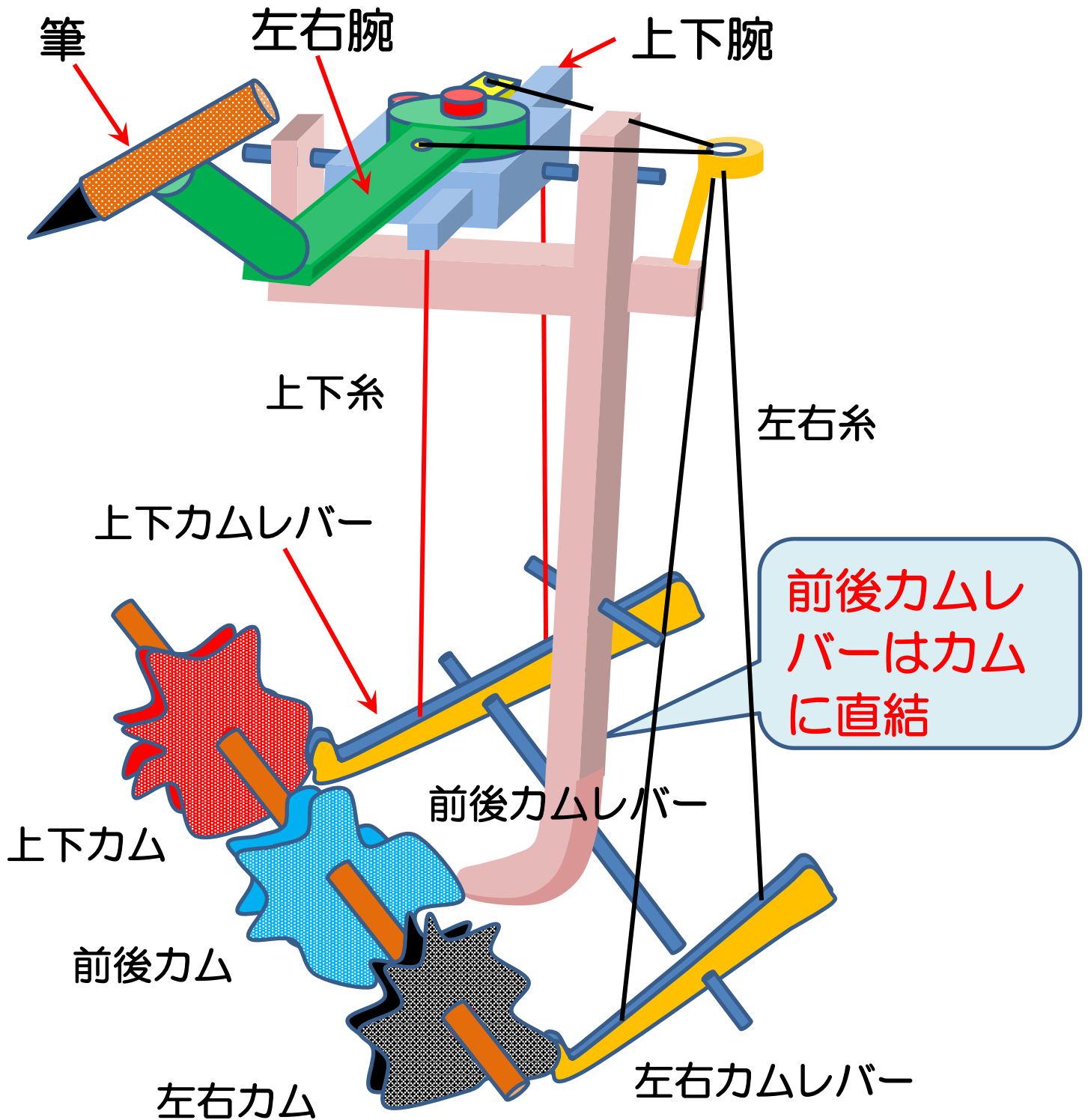
押す

引く

押す

太さを一定にするには前後の動きが必要かつ重要！

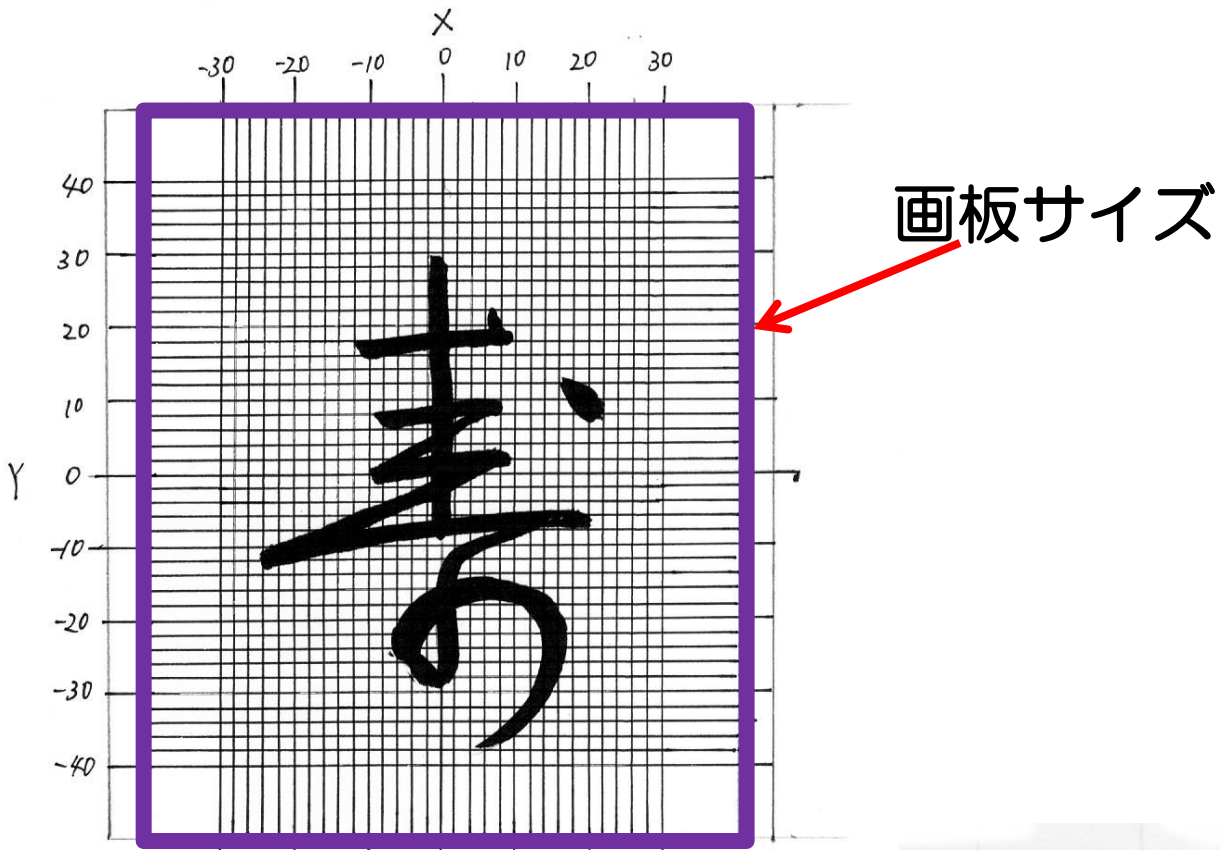
腕部機構



カム270度回転で1文字を書く
(90度は画板の回転に必要)

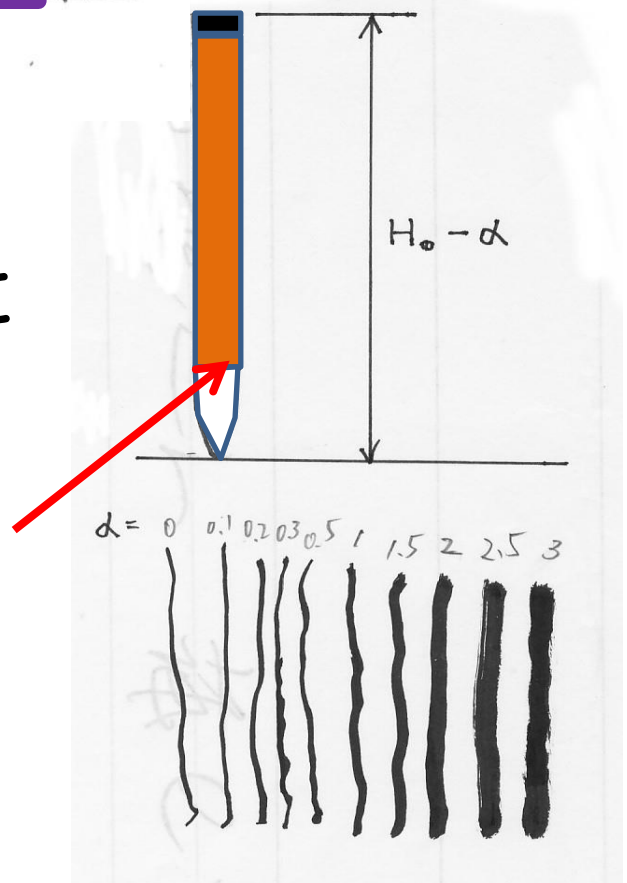
文字の設計

① 方眼紙に筆で文字を書く

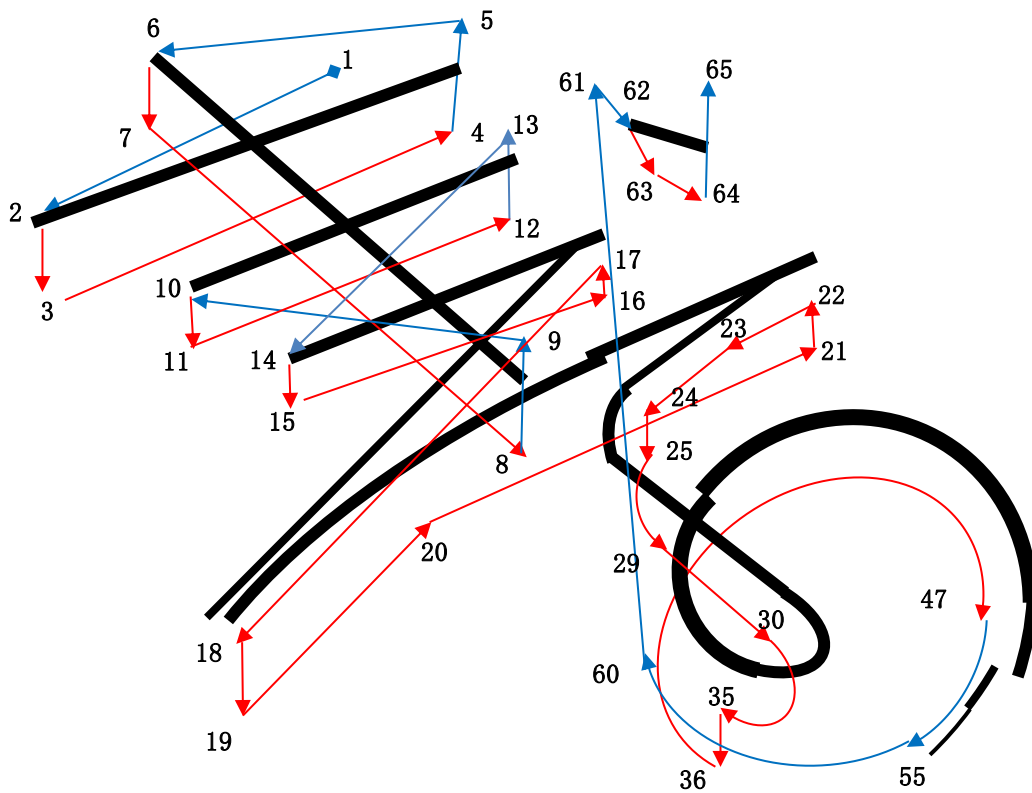


② 筆の押し込み量と太さを調べる

筆



③各ストロークと回転角度を算出

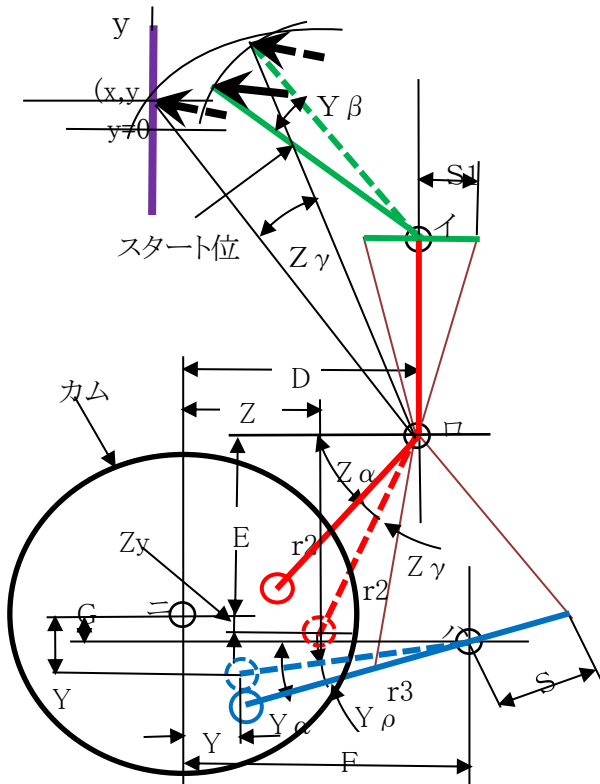


No.	内容	座 標			普通速		1.5倍速		累積カム 回転角度
		X	Y	Z	ストローク	カム回転角	ストローク	カム回転角	
1	スタート	9	13	7	0	0.0			0.0
1.1		-1	15	3.5			10.8	4.83	4.8
2	1番目の横棒始点へ	-11	17	0			10.8	4.83	9.7
3	2mm押し込み	-11	17	-2	2	1.3			11.0
3.1		-6	17.5	-2	5	3.4			14.4
3.2		-1	18	-2	5	3.4			17.7
3.3		4	18.5	-2	5	3.4			21.1
4	1番目の横棒終点へ	9	19	-2	5	3.4			24.4
5	6mm持ち上げ	9	19	4	6	4.0			28.5
5.1		5.3	22	2.7	4.1	2.8			31.2
5.2		2.7	25	1.4			4.1	1.83	33.0
6	縦棒始点へ	0	28	0			4.1	1.83	34.9
7	2mm押し込み	0	28	-2	2	1.3			36.2
7.1		0	22	-2	6	4.0			40.2
7.2		0	16	-2	6	4.0			44.3
7.3		0	10	-2	6	4.0			48.3
7.4		0	4	-2	6	4.0			52.3

270度（文字書きの回転角）を
全ストロークで割ると単位長さ当
りの回転角が決まる

④各レバーの先端位置を計算する

上下(Y)・前後(Z)カムレバーのカム座標



固定値	
r2=	167.7 mm
r3=	100 mm
r4=	100 mm
D=	88 mm
E=	165 mm
F=	135 mm
G=	30 mm
Xα0=	13°
Yα0=	10°
Zα0=	79.7°
S1=	20 mm
S2=	40 mm
S3=	37 mm
S4=	40 mm

設計値15mm

設計値14mm

(1) Z座標計算

$$Z_x = D - r_2 \cos(Z\alpha_0 + Z\gamma)$$

$$Z_y = E - r_2 \sin(Z\alpha_0 + Z\gamma)$$

(2) Y座標計算

$$Y_\rho = S_1 / S_2 \times Y_\beta$$

条件1 Yα0 > Yρ の時

$$Y_x = F - r_3 \cos(Y\alpha_0 - Y_\rho)$$

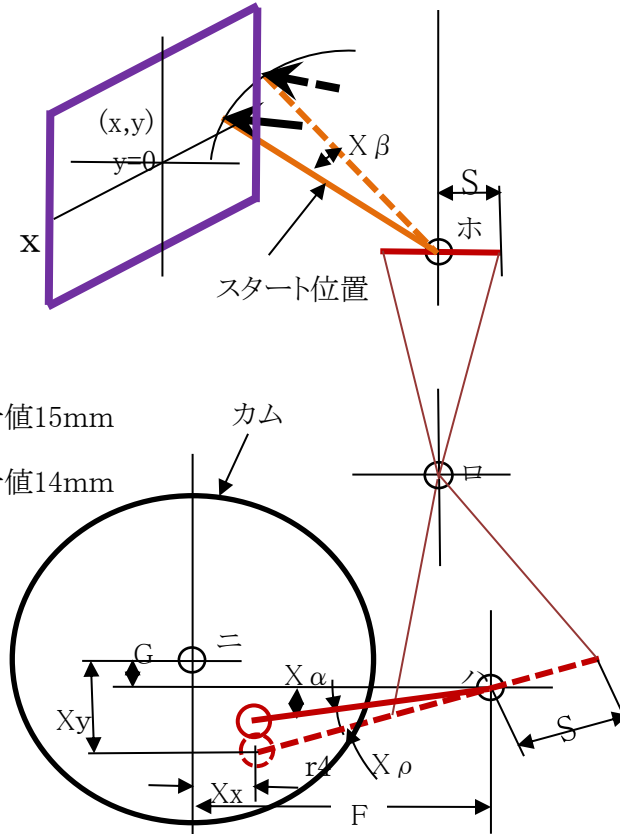
$$Y_y = -(G + r_3 \sin(Y\alpha_0 - Y_\rho))$$

条件2 Yα0 < Yρ の時

$$Y_x = F - r_3 \cos(Y_\rho - Y\alpha_0)$$

$$Y_y = -(G - r_3 \sin(Y_\rho - Y\alpha_0))$$

左右(X)カムレバーのカム座標



(3) X座標計算

$$X_\rho = S_3 / S_4 \times X_\beta$$

条件1 Xρ がプラスの時

$$X_x = F - r_4 \cos(X\alpha_0 + X_\rho)$$

$$X_y = -(G + r_4 \sin(X\alpha_0 + X_\rho))$$

条件2 条件Xρ がマイナスの時の時で Xα0 > |Xρ| の時

$$X_x = F - r_4 \cos(X\alpha_0 + X_\rho)$$

$$X_y = -(G + r_4 \sin(X\alpha_0 + X_\rho))$$

条件3 Xρ がマイナスの時の時で Xα0 < |Xρ| の時

$$X_x = F - r_4 \cos(|X_\rho| - X\alpha_0)$$

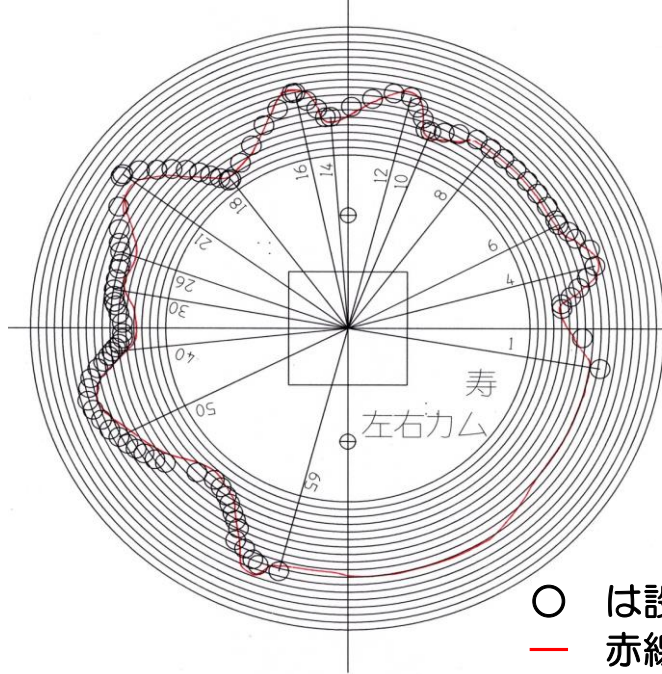
$$X_y = -(G - r_4 \sin(|X_\rho| - X\alpha_0))$$

0.671

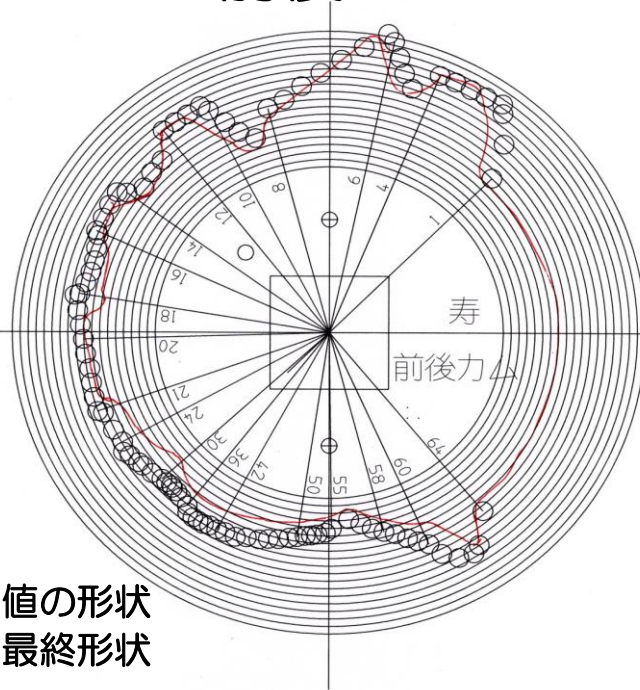
No.	内容	座標			普通速		1.5倍速		累積カム 回転角度	表より読み取り			補正角度		左右カムレバー		上下カムレバー		前後カムレバー	
		X	Y	Z	ストローク	カム回転角	ストローク	カム回転角		Xβ	Yβ	Zγ	Yρ	Xρ	Xx	Xy	Yx	Yy	Zx	Zy
1	スタート	9	13	7	0	0.00			0.00	0.0	0.0	0	0.0	0.0	37.6	-52.5	36.5	-47.4	58.0	0.0
1.1		-1	15	3.5			10.8	4.83	4.83	-3.6	5.0	3	2.5	-3.3	36.4	-46.8	35.9	-43.1	66.7	-1.3
2	1番目の横棒始点へ	-11	17	0			10.8	4.83	9.66	-7.2	7.0	5.1	3.5	-6.7	35.6	-41.0	35.6	-41.3	72.8	-2.0
3	2mm押し込み	-11	17	-2	2	1.34			11.00	-7.2	7.0	5.8	3.5	-6.7	35.6	-41.0	35.6	-41.3	74.8	-2.2

⑤カム形状をCADで図形化する

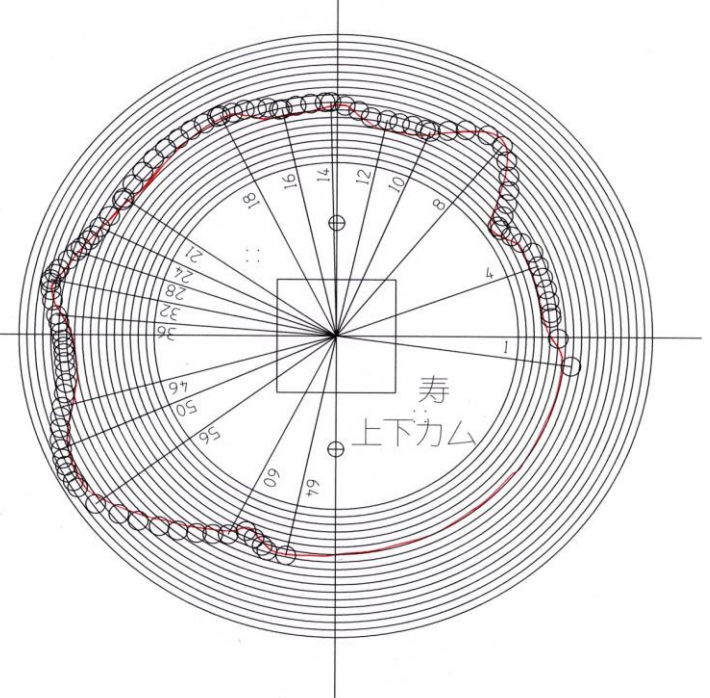
左右カム



前後カム



上下カム



○ は設計値の形状
— 赤線は最終形状

設計値のカムによる「寿」



33回カム修正した「寿」



寿

いとしなま



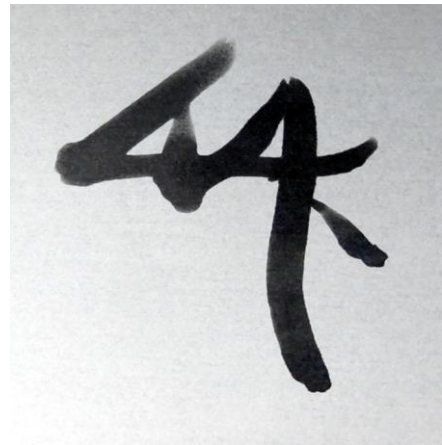
松

まつ



竹

たけ



梅

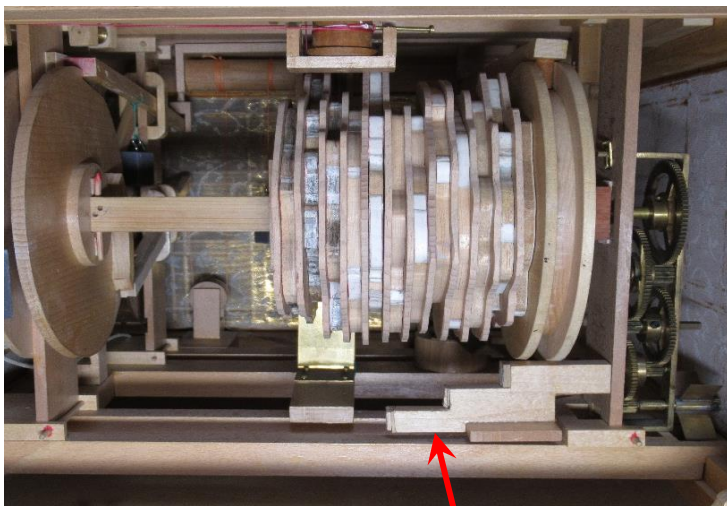
うめ



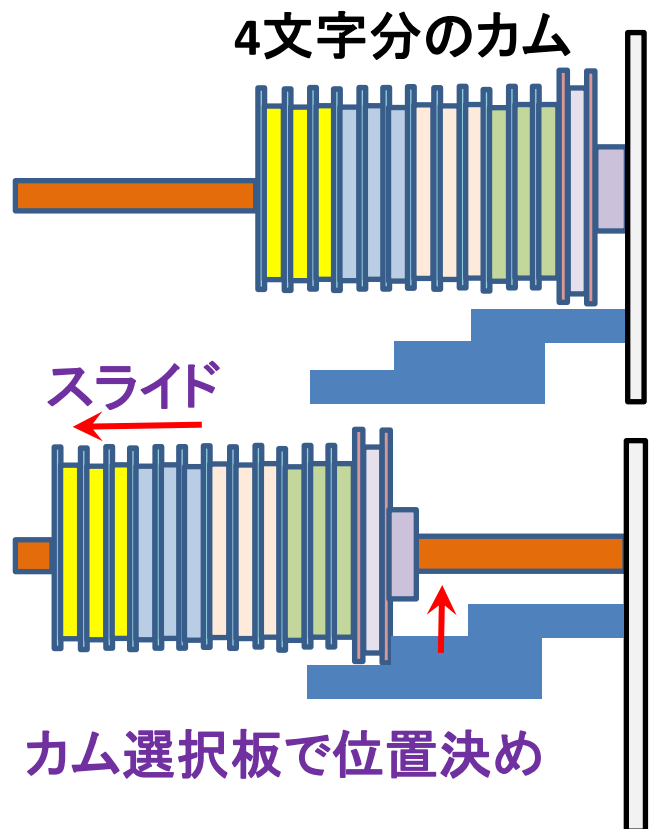
完成文字書き人形



文字の切り替え機構



カム選択板



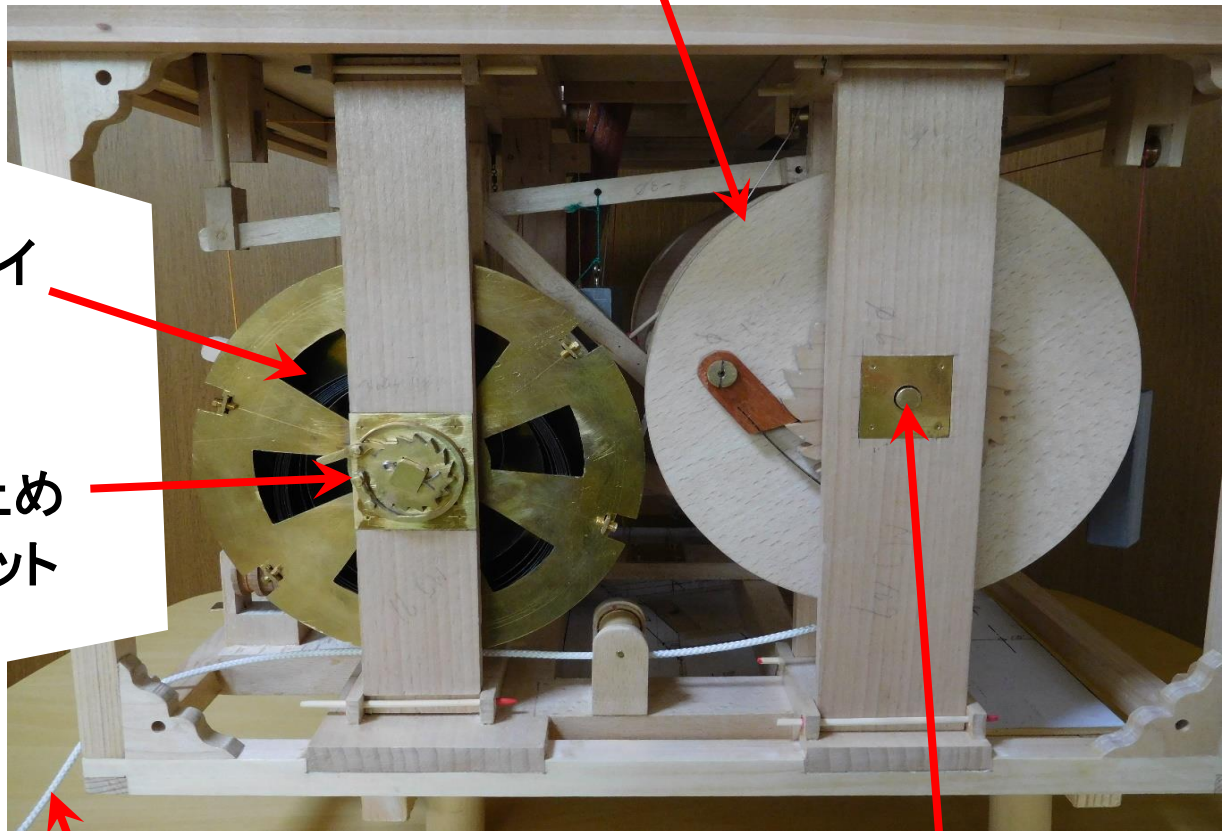
カム選択板で位置決め

文字書き人形 ゼンマイ部と调速機構部

ゼンマイに巻き付けた紐を巻き取る筒

ゼンマイ

逆転止め
ラチェット

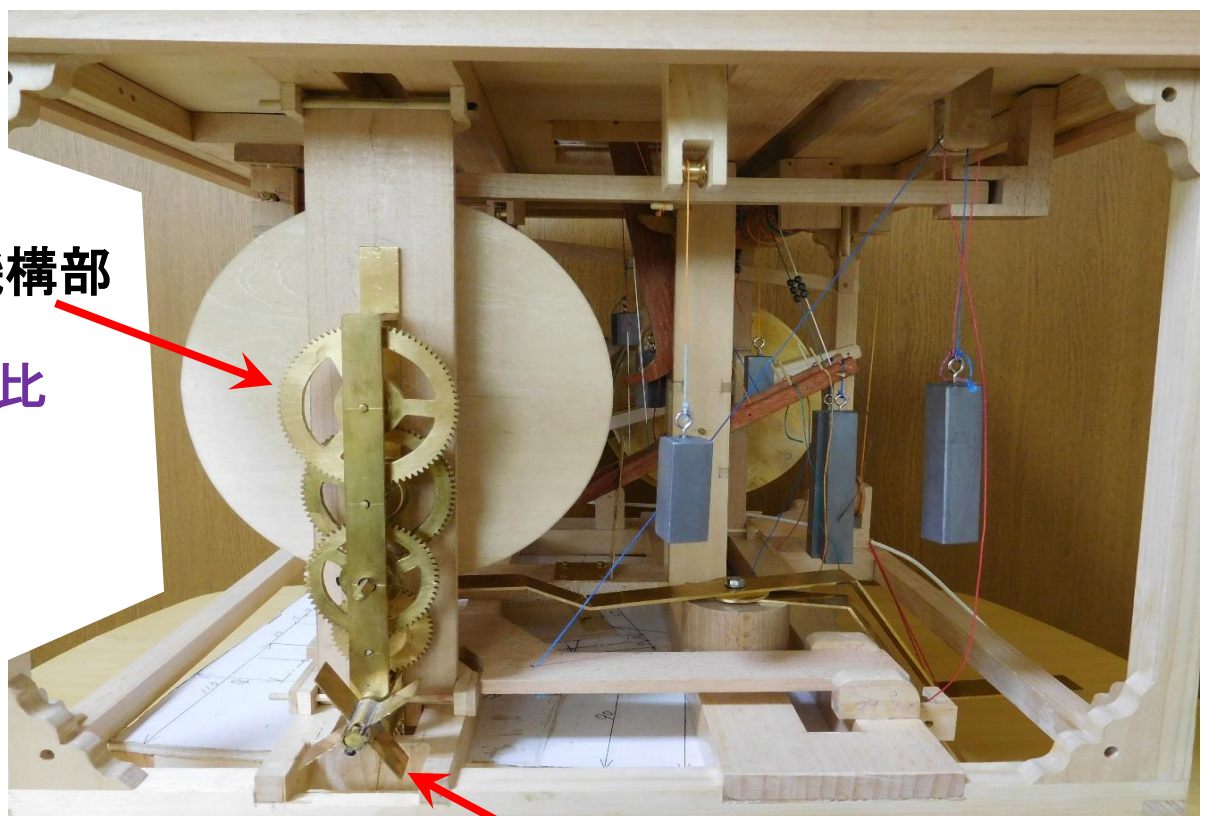


紐を引っ張って巻き取り筒を回転させる

カム軸

调速機構部

増速比
1185



風切り車

組紐（ガチャ台）

32個の糸巻きの糸を
ハンドルを前後させ
て糸を組み上げます

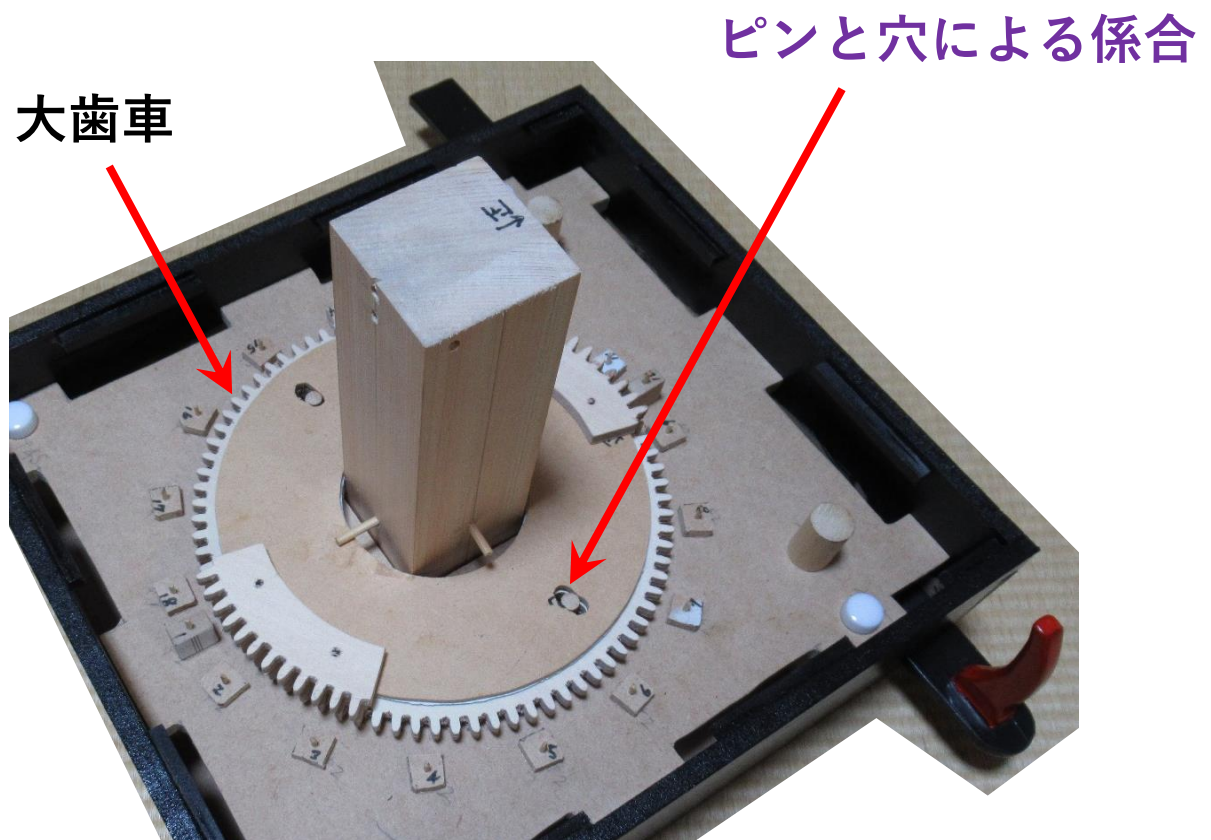
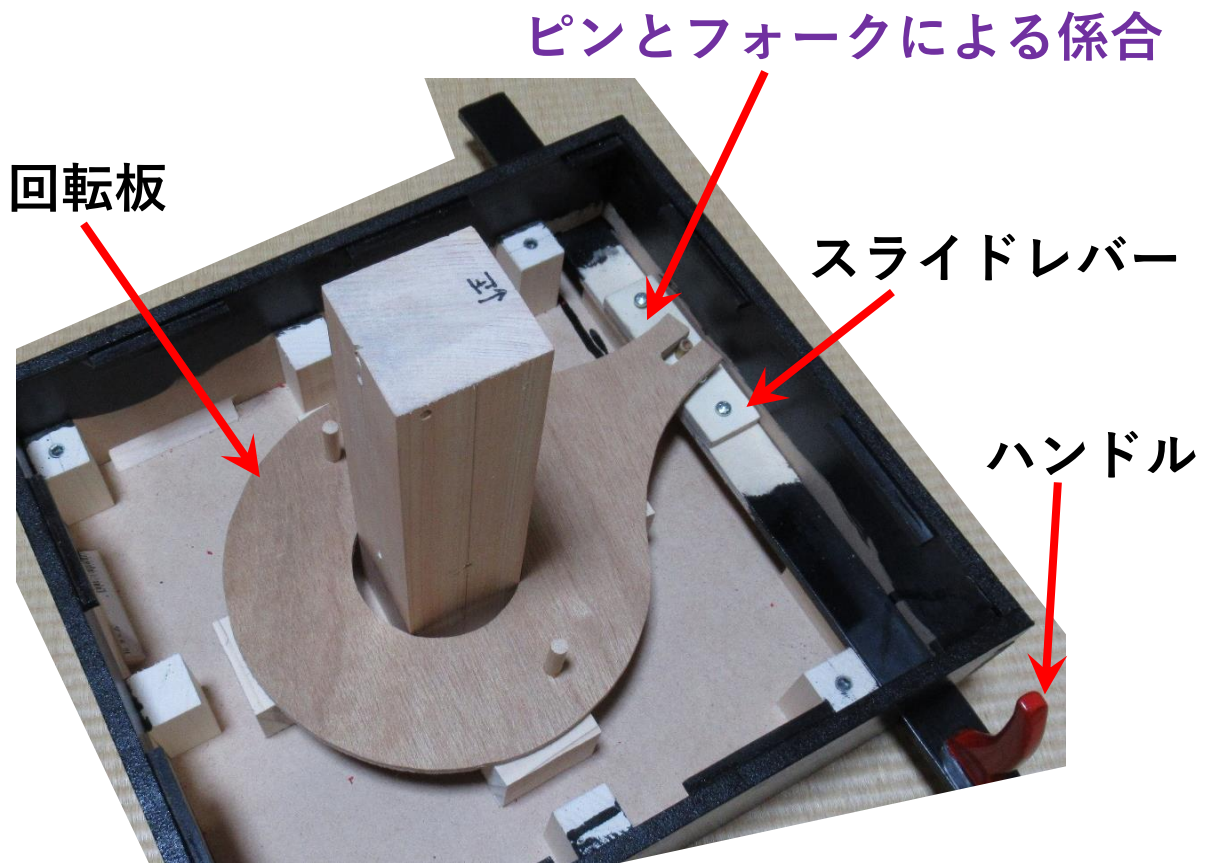
糸巻き

ハンドル

完成品

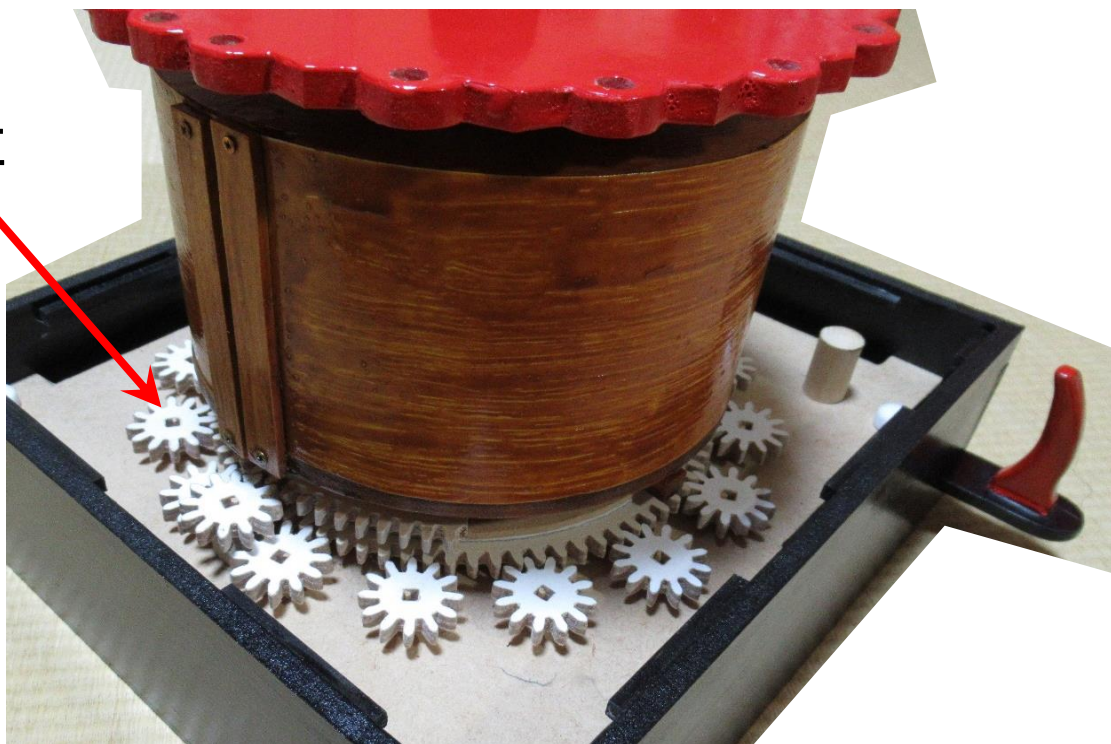


ガチャ台の駆動

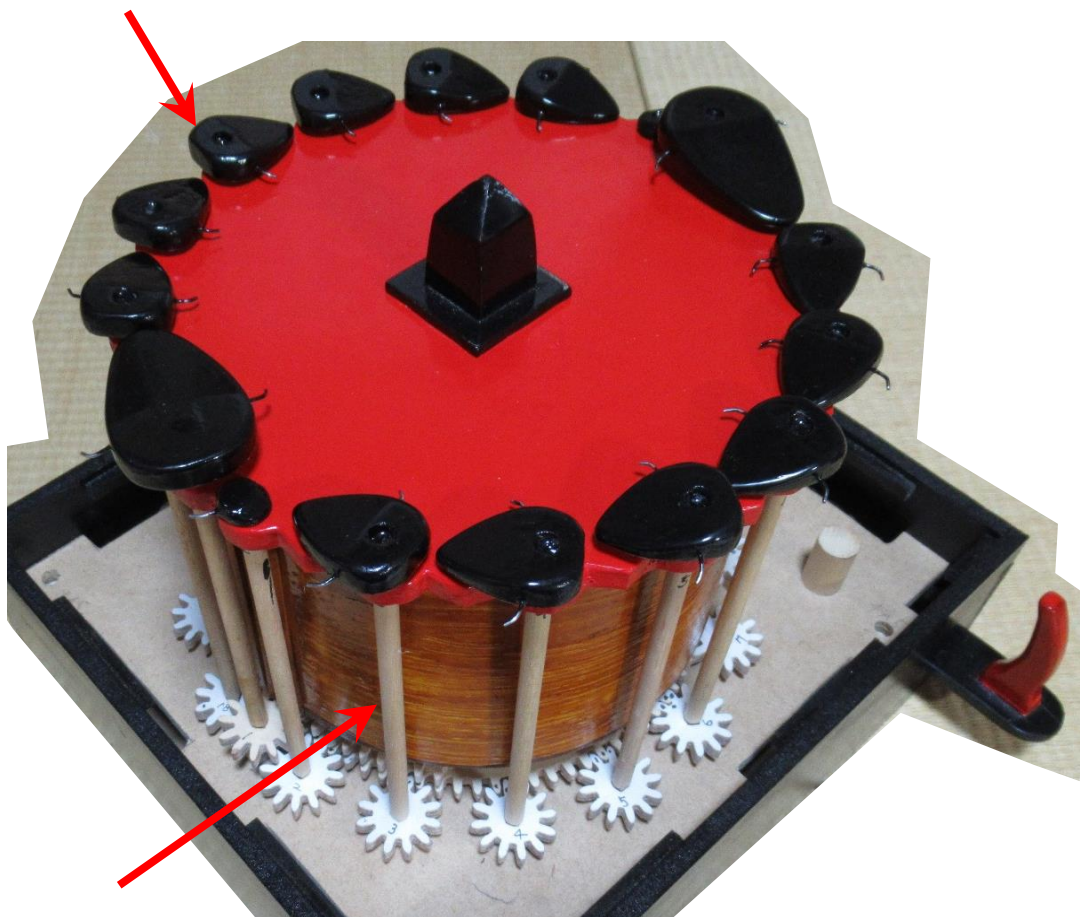


小歯車

歯車による係合

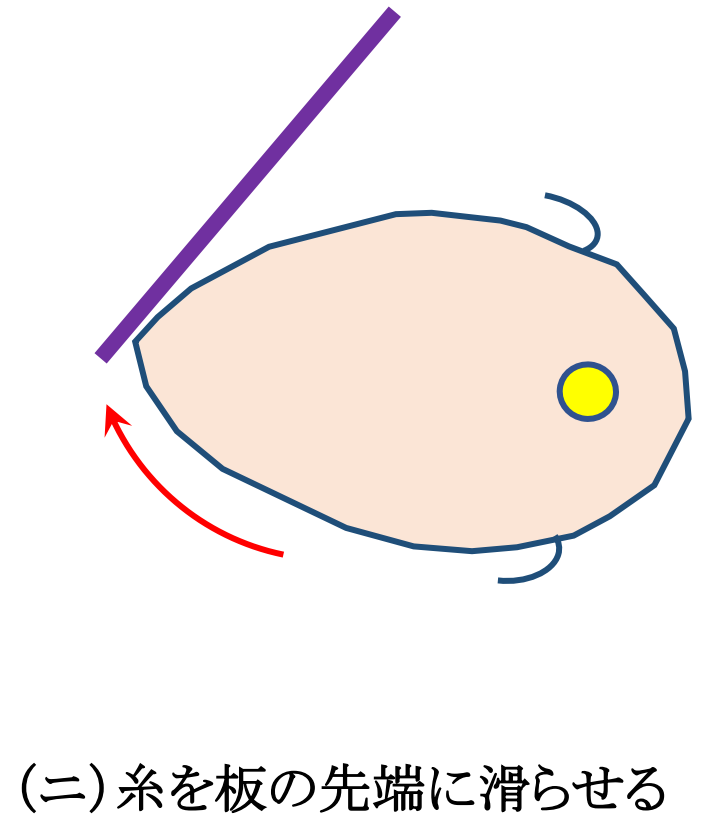
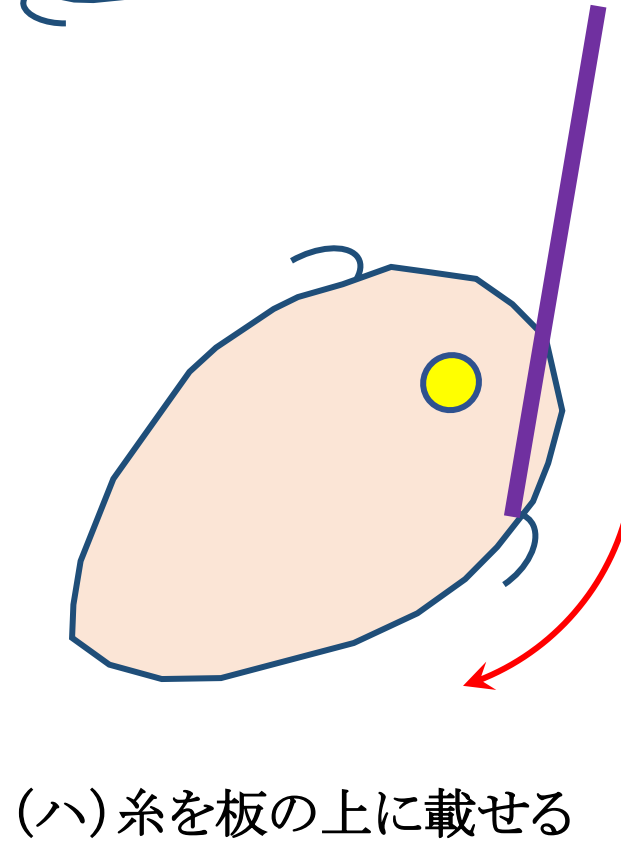
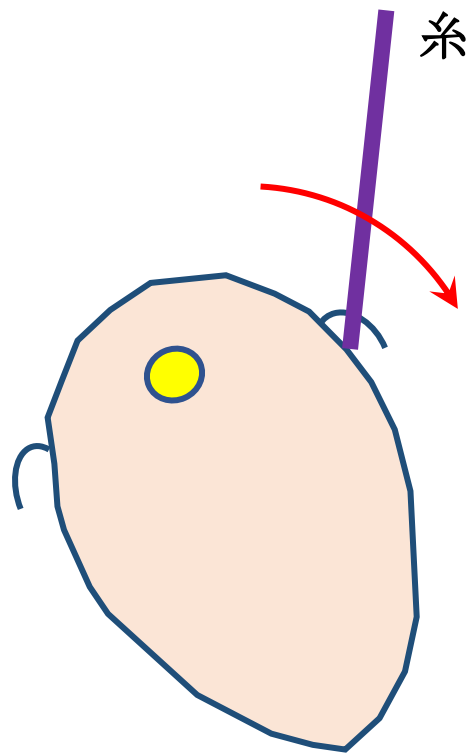
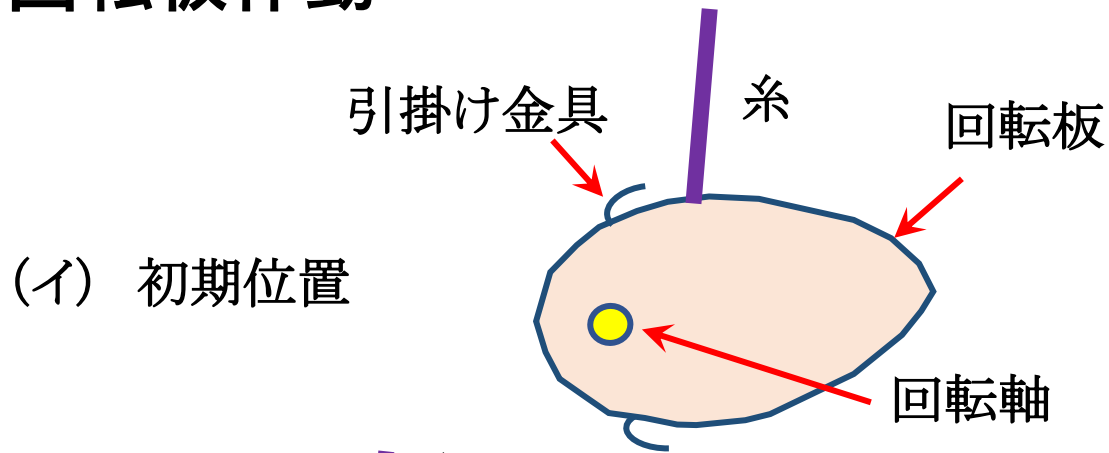


大2、中12、小4個の三種類の回転板



連結軸による一体化

回転板作動

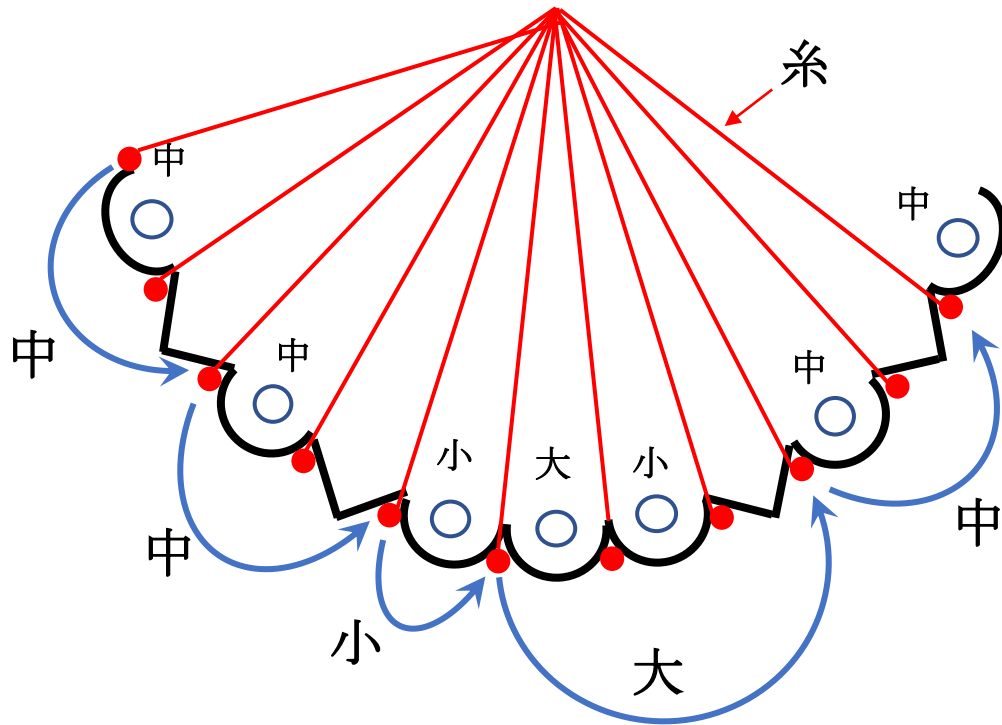
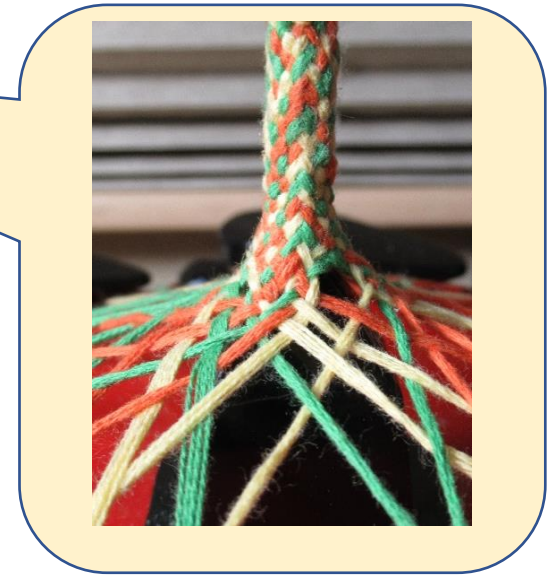


糸送り

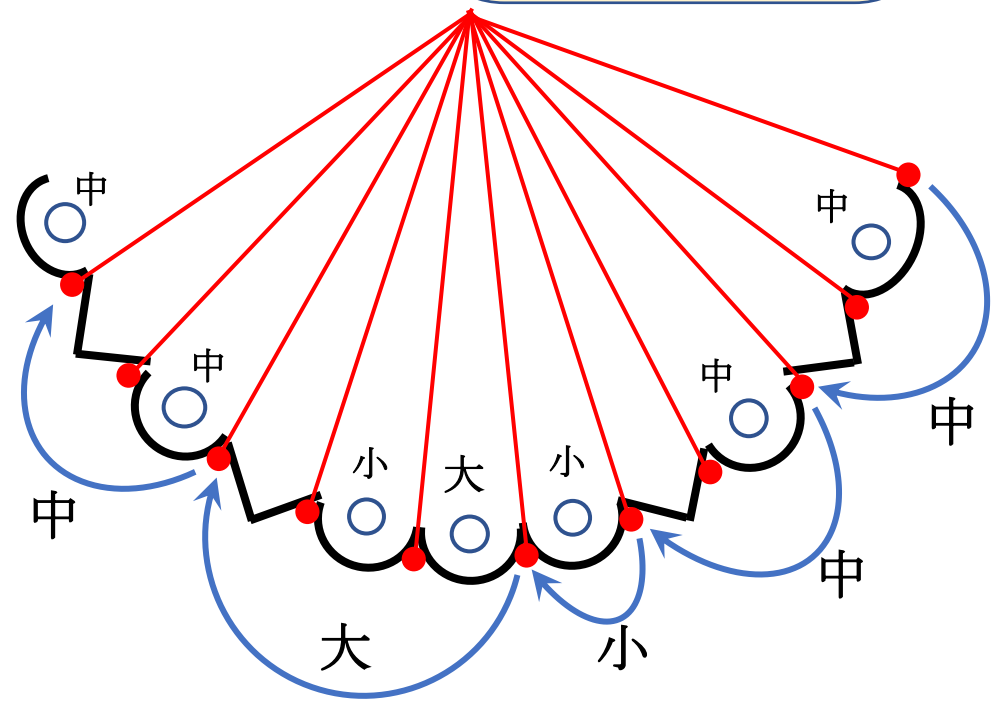
回転板小：1個送り

回転板中：1個飛ばし

回転板大：2個飛ばし

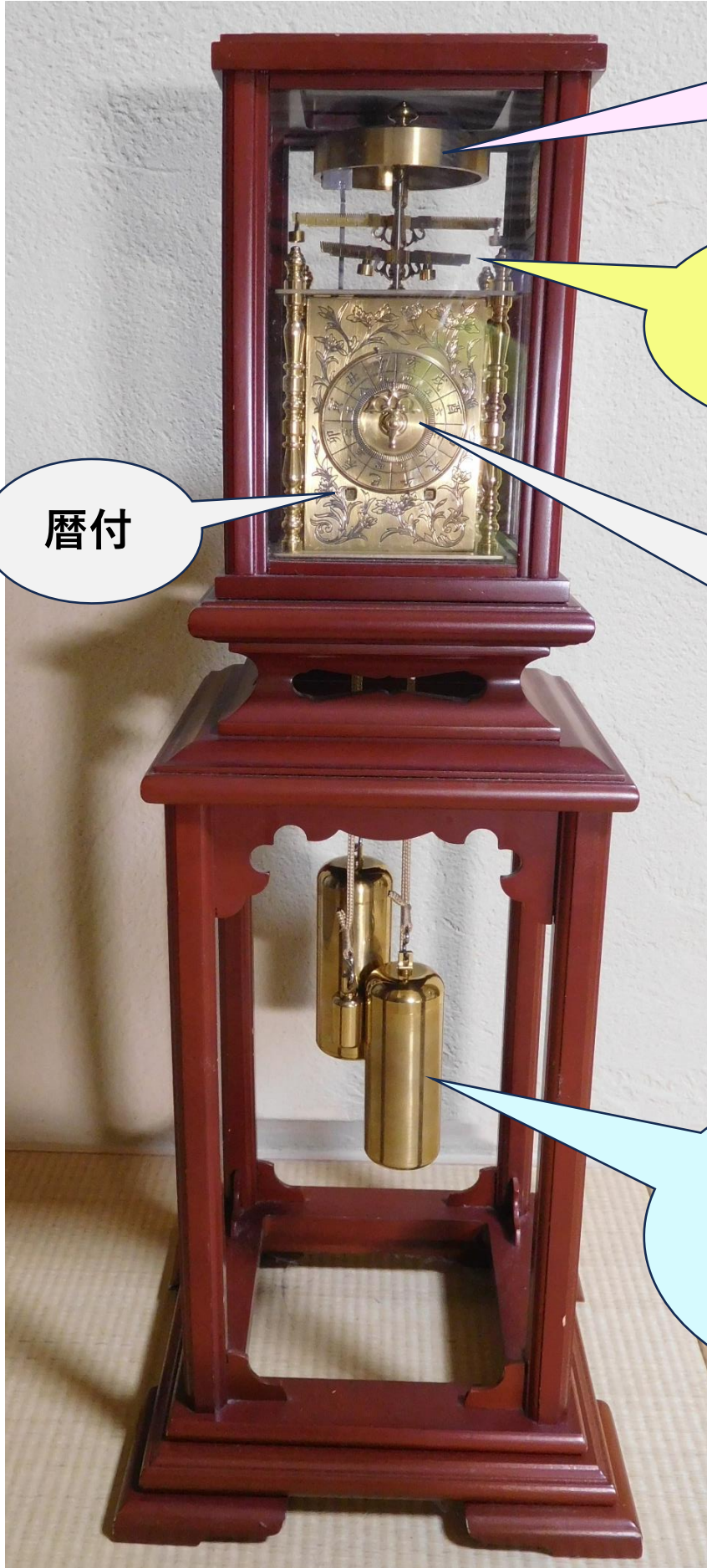


ハンドルを引く ←



ハンドルを押す →

二丁天符台時計



時刻になると鐘が鳴る

昼と夜の天符付きで自動切替

暦付

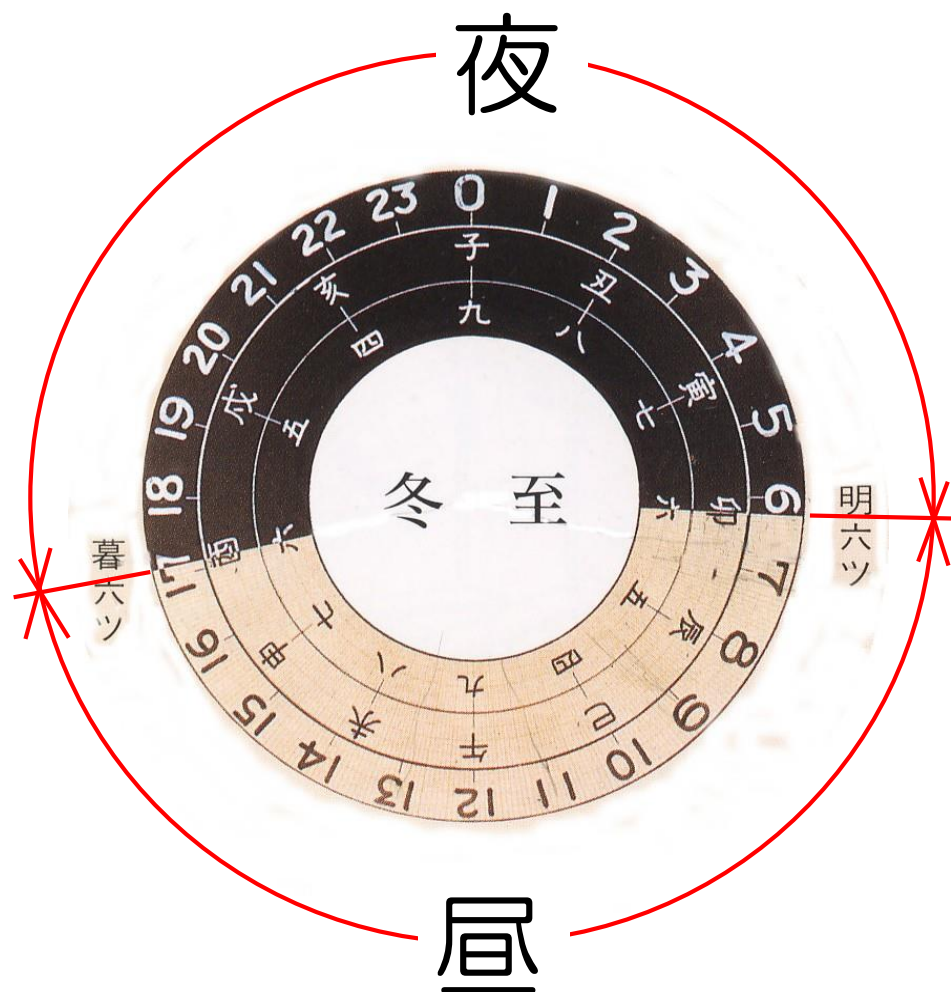
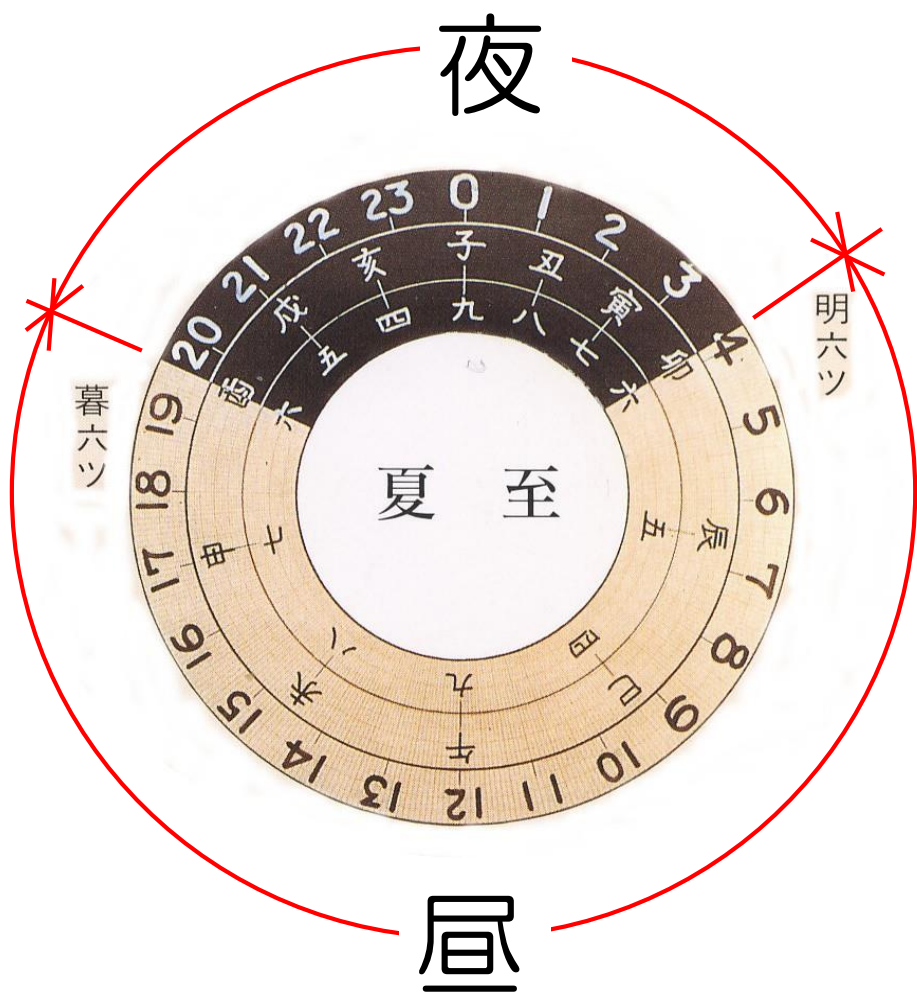
指針は固定で文字盤が回転

錘1回の持ち上げで約17時間作動
(約1Kg)

不定時法

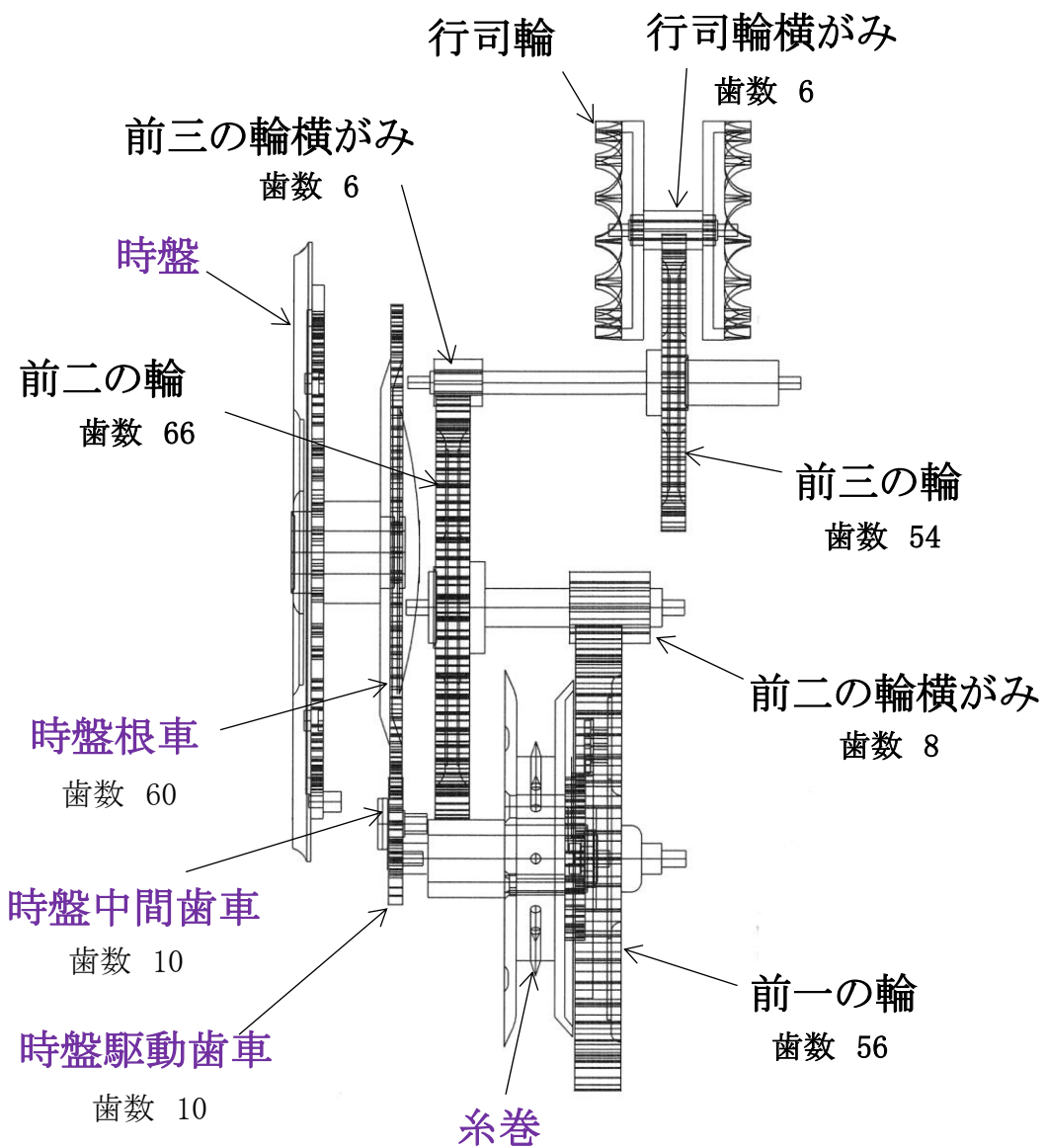
1日を昼と夜に分け、その各々を等分に分割するのを不定時法と言う。
江戸時代は各々六等分した。

セイコー資料館蔵「和時計図録」より



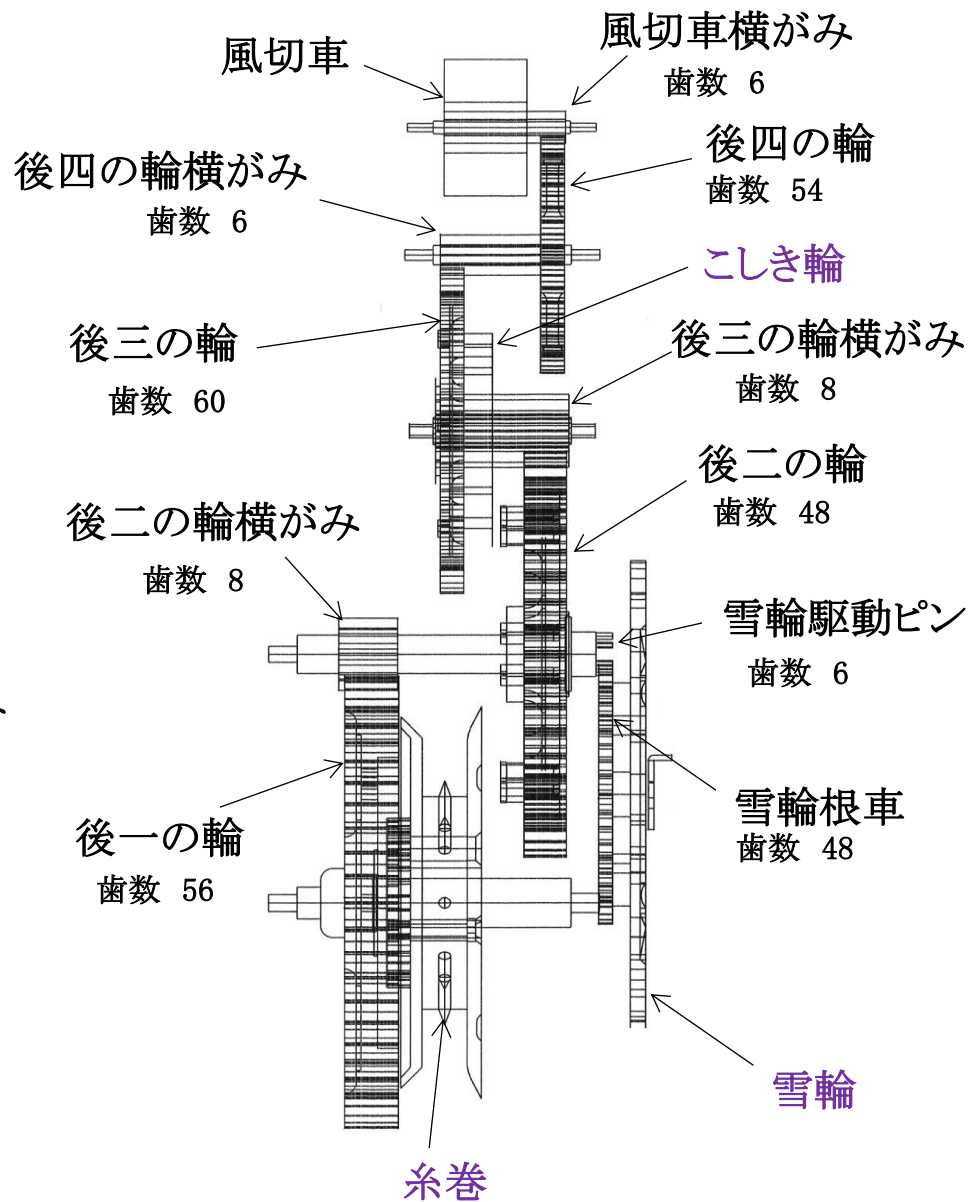
時用歯車輪列

行司輪から前一の輪までの増速比は693倍

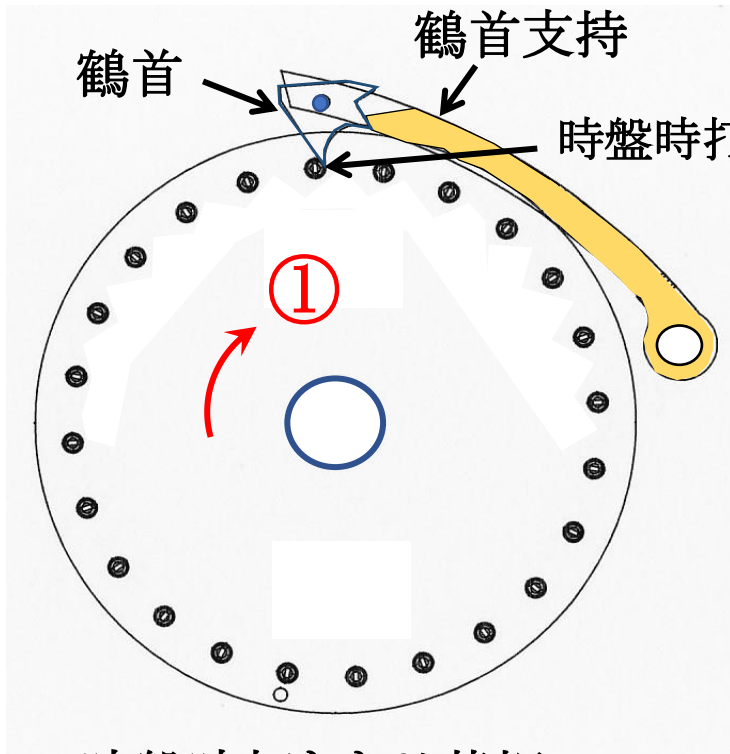


時打ち用歯車輪列

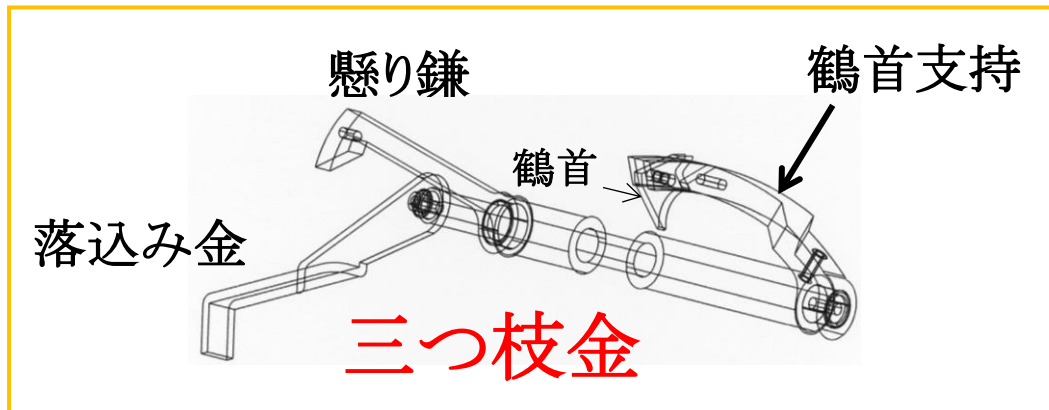
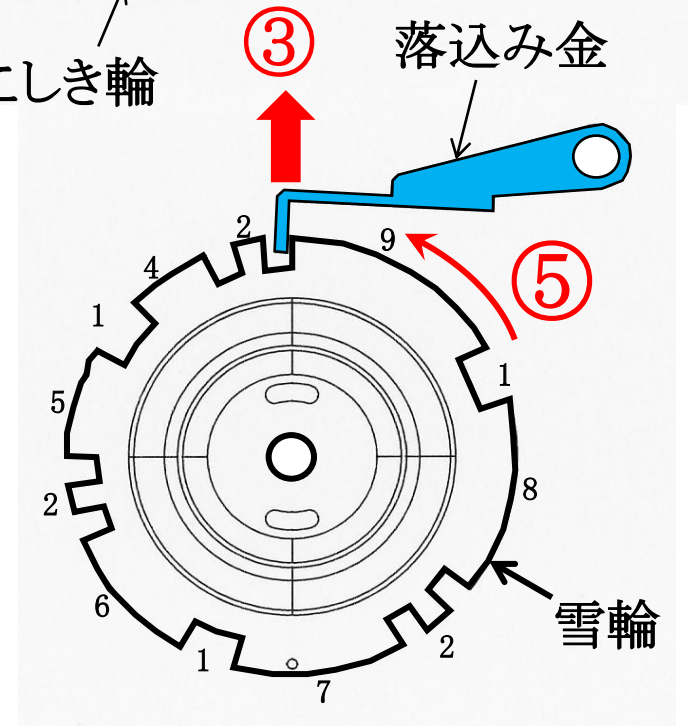
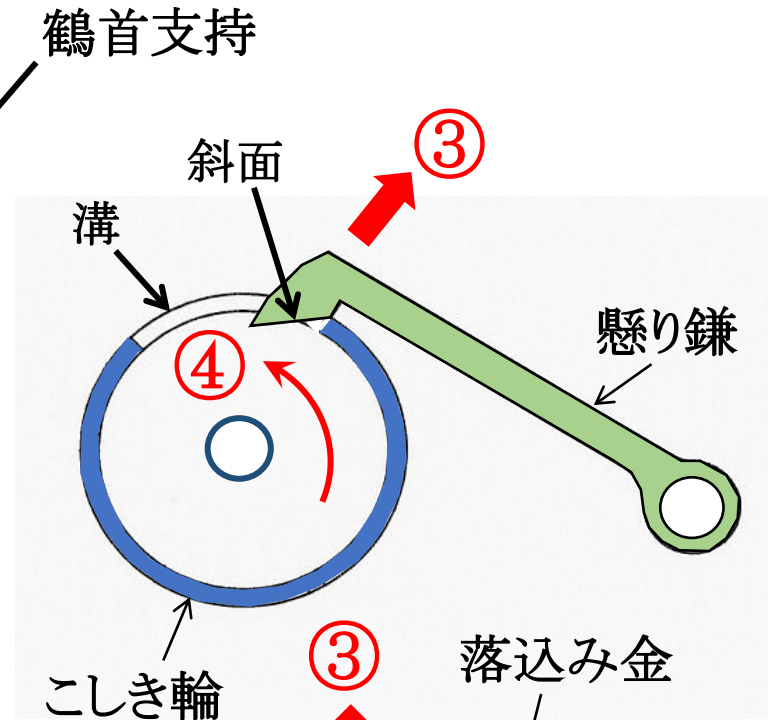
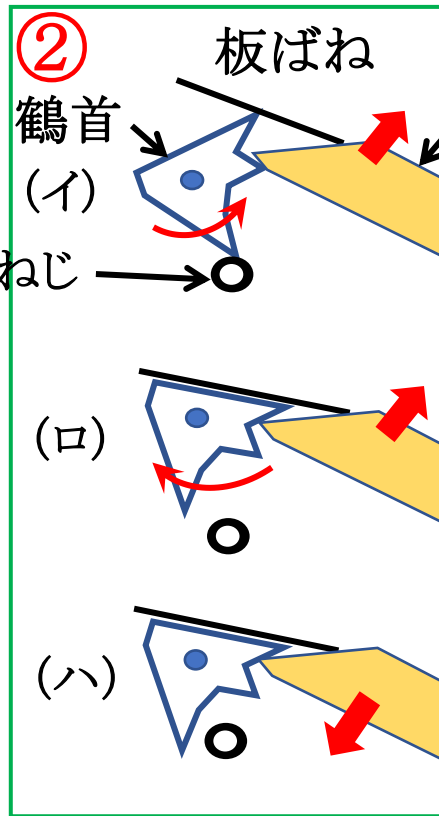
風切車から後ろ一の輪までの増速比は3780倍



時打ちのからくり



時盤時打ちねじ基板



天符切替のからくり

天符切替保持ばね

雪輪のピン

②

①

天符切替歯車

雪輪

上天符

下天符

⑤

⑤

上天符軸

下天符軸

④

天符切替板

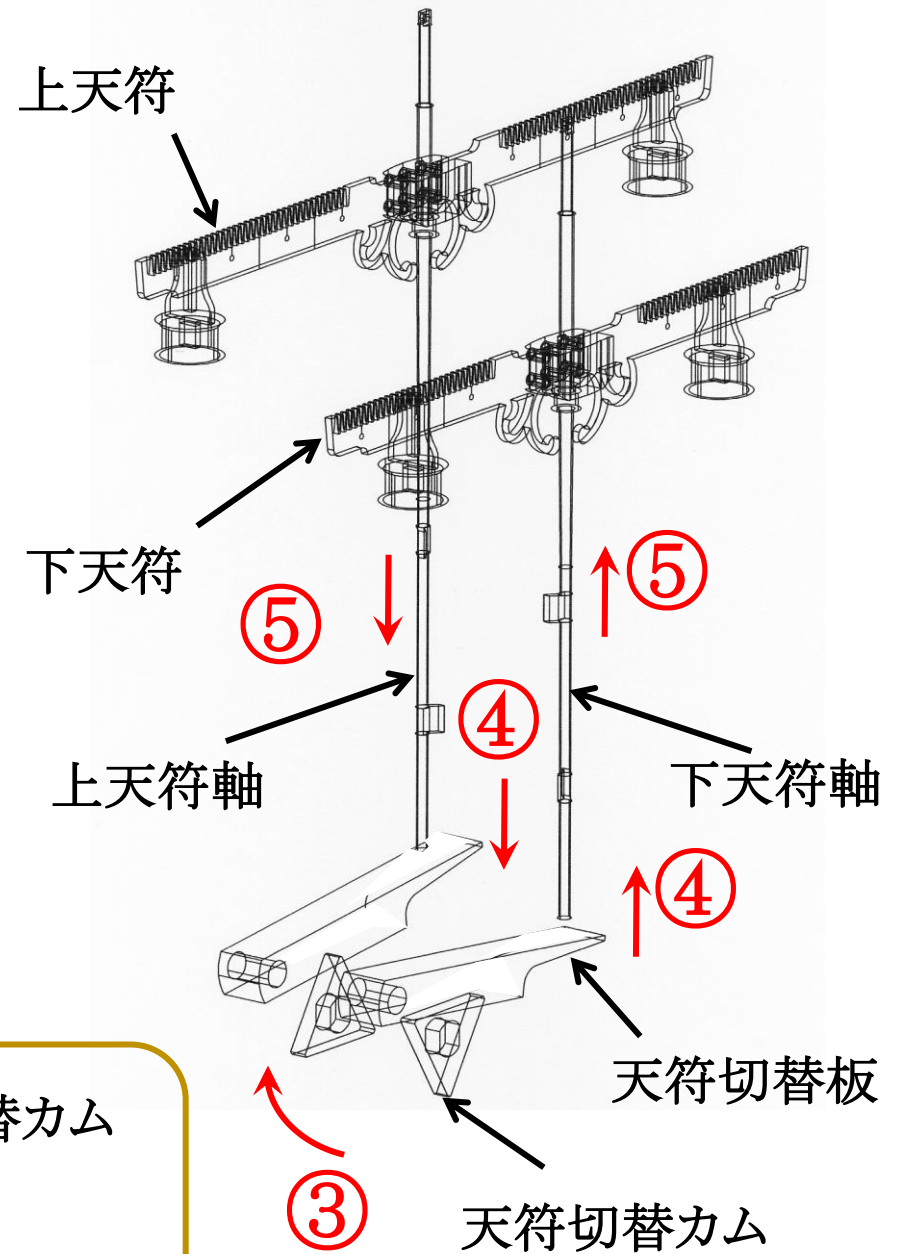
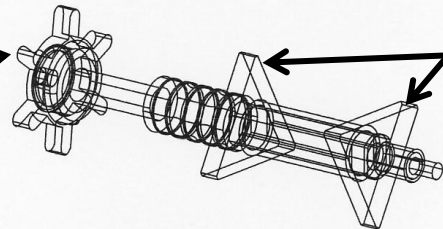
③

天符切替カム

天符切替歯車

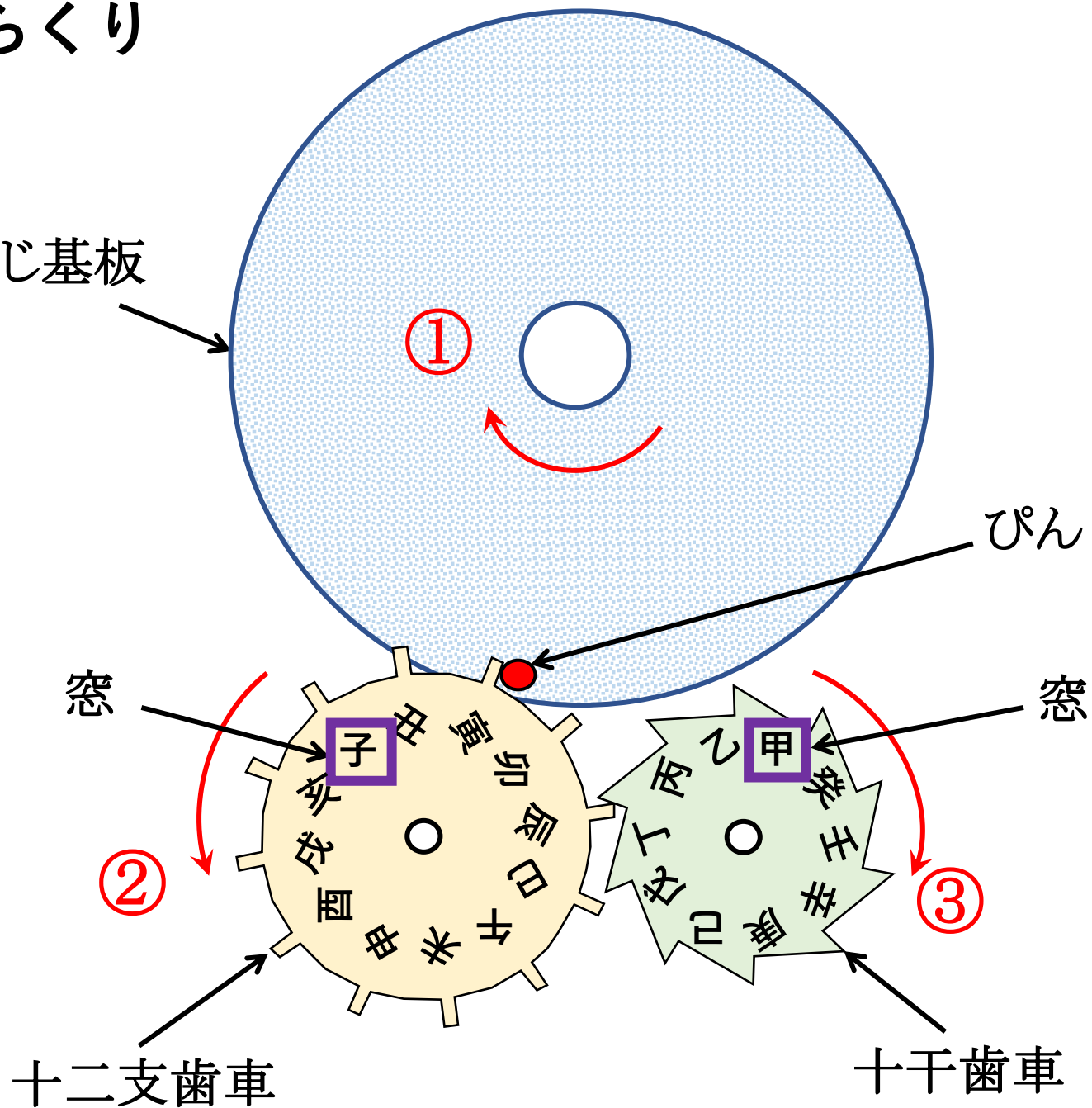
天符切替カム

カム付き天符切替歯車



暦切替のからくり

時盤鈴打ちねじ基板

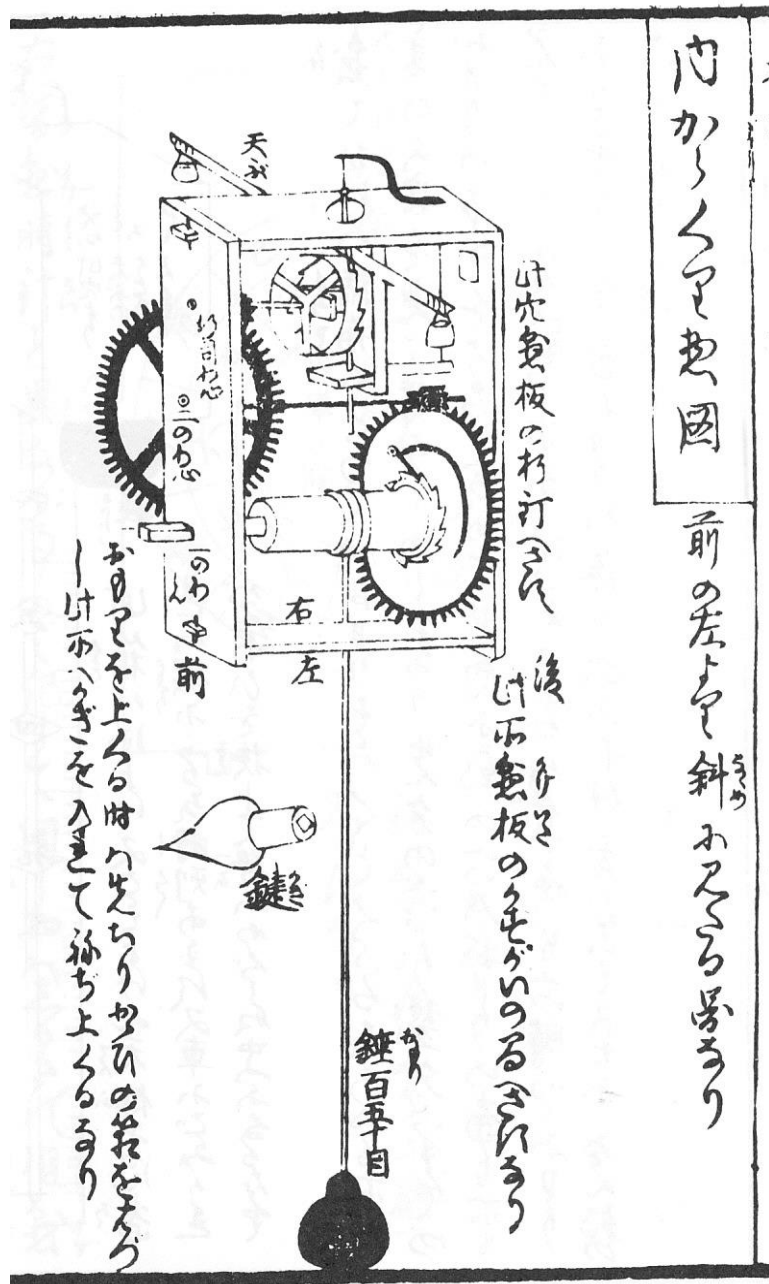


59	壬戌 (みずのえ・いぬ)	60	癸亥 (みずのと・い)
57	庚申 (かのえ・さる)	58	辛酉 (かのと・とり)
55	戊午 (つちのえ・うま)	56	己未 (つちのと・ひつじ)
53	丙辰 (ひのえ・たつ)	54	丁巳 (ひのと・み)
51	甲寅 (きのえ・とら)	52	乙卯 (きのと・う)
49	壬子 (みずのえ・ね)	50	癸丑 (みずのと・うし)
47	庚戌 (かのえ・いぬ)	48	辛亥 (かのと・い)
45	戊申 (つちのえ・さる)	46	己酉 (つちのと・とり)
43	丙午 (ひのえ・うま)	44	丁未 (ひのと・ひつじ)
41	甲辰 (きのえ・たつ)	42	乙巳 (きのと・み)
39	壬寅 (みずのえ・とら)	40	癸卯 (みずのと・う)
37	庚子 (かのえ・ね)	38	辛丑 (かのと・うし)
35	戊戌 (つちのえ・いぬ)	36	己亥 (つちのと・い)
33	丙申 (ひのえ・さる)	34	丁酉 (ひのと・とり)
31	甲午 (きのえ・うま)	32	乙未 (きのと・ひつじ)
29	壬辰 (みずのえ・たつ)	30	癸巳 (みずのと・み)
27	庚寅 (かのえ・とら)	28	辛卯 (かのと・う)
25	戊子 (つちのえ・ね)	26	己丑 (つちのと・うし)
23	丙戌 (ひのえ・いぬ)	24	丁亥 (ひのと・い)
21	甲申 (きのえ・さる)	22	乙酉 (きのと・とり)
19	壬午 (みずのえ・うま)	20	癸未 (みずのと・ひつじ)
17	庚辰 (かのえ・たつ)	18	辛巳 (かのと・み)
15	戊寅 (つちのえ・とら)	16	己卯 (つちのと・う)
13	丙子 (ひのえ・ね)	14	丁丑 (ひのと・うし)
11	甲戌 (きのえ・いぬ)	12	乙亥 (きのと・い)
9	壬申 (みずのえ・さる)	10	癸酉 (みずのと・とり)
7	庚午 (かのえ・うま)	8	辛未 (かのと・ひつじ)
5	戊辰 (つちのえ・たつ)	6	己巳 (つちのと・み)
3	丙寅 (ひのえ・とら)	4	丁卯 (ひのと・う)
1	甲子 (きのえ・ね)	2	乙丑 (きのと・うし)

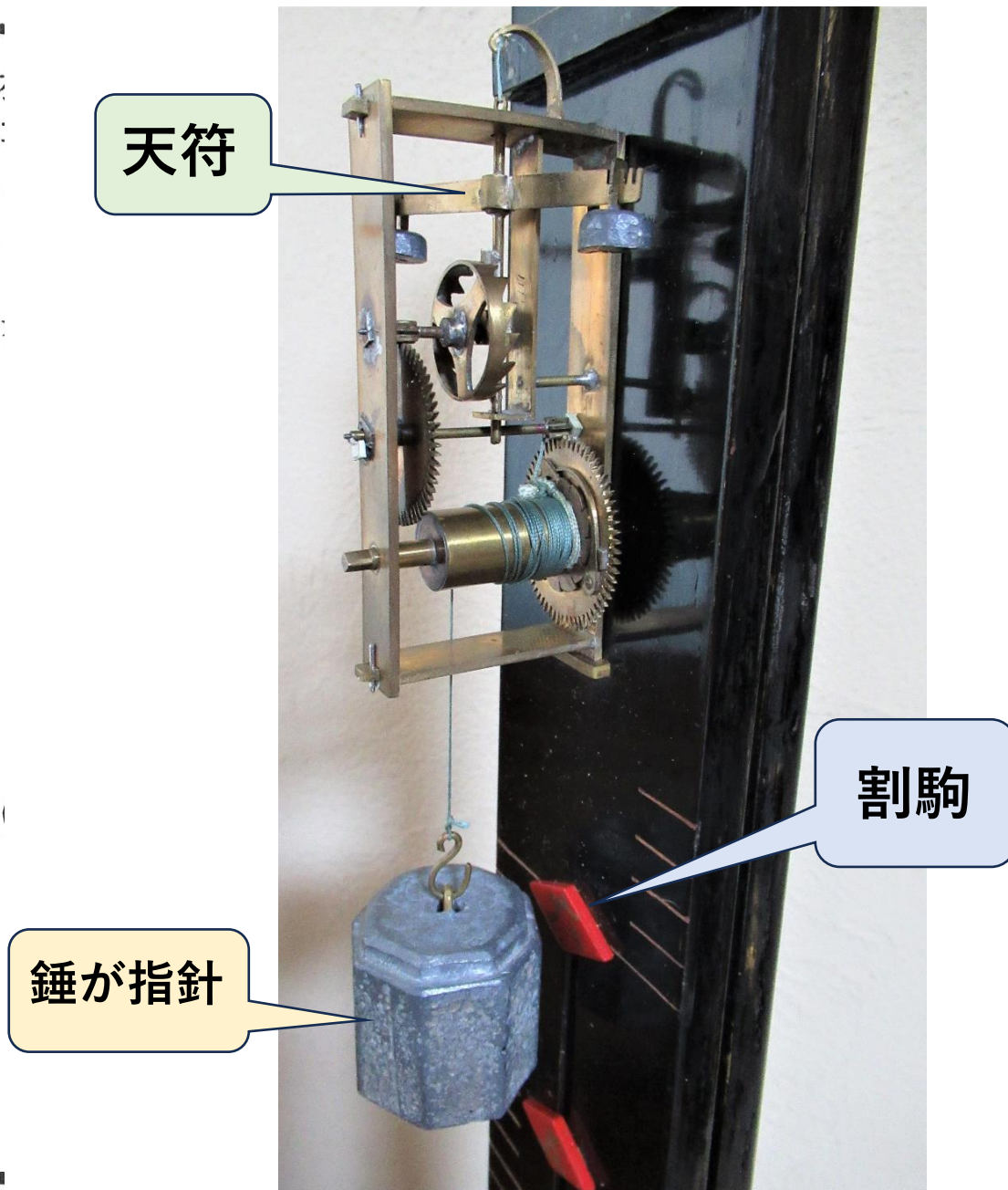
(注)「古時計」よりコピー

図2 六十干支

機巧図彙の尺時計



復元した尺時計



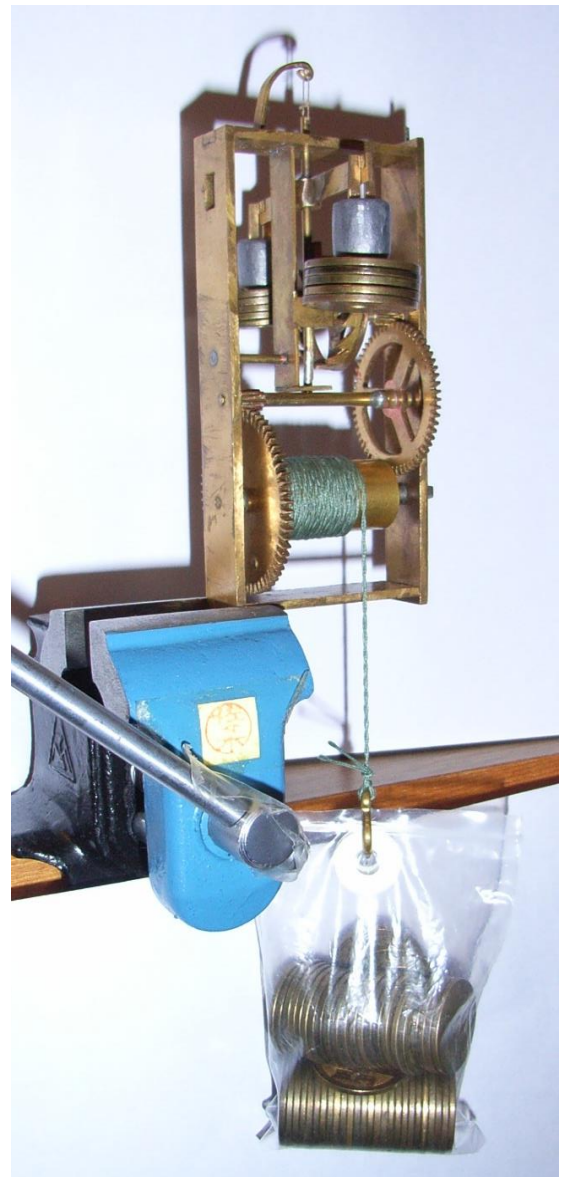
尺時計精度実験

【条件】

メインの錘：205 g

天符錘：30 g / 1個

天符錘掛け位置：端



【結果】

経過時間	移動量(mm)	行司輪周期(秒)	誤差 (分)
スタート時	0	40.38 41.19	
2時間後	85	43.07 42.97	+2.4分
5時間後	211	42.19 42.14	+3.8分
7.08時間後	299	— —	+5.7分
13.03時間後	541	42.42 42.75	-2.8分
14.03時間後	584	— —	-0.8分
15時間後	627	42.24 42.60	+2.9分
22.5時間後	940	— —	+3.6分
24.03時間後	1000	43.27 44.07	-2.0分