

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	万年時計の分解調査からみた幕末西洋技術受容に関する研究 - 万年時計の技術的限界と田中久重の技術者への転換 -
Title(English)	
著者(和文)	木下泰宏
Author(English)	Yasuhiro Kinoshita
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10045号, 授与年月日:2015年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:中島 秀人,梶 雅範,妹尾 大,岩附 信行,武田 行生
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10045号, Conferred date:2015/12/31, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

学位論文

万年時計の分解調査からみた幕末西洋技術受容に関する研究
－万年時計の技術的限界と田中久重の技術者への転換－

社会理工学研究科 経営工学専攻

技術構造分析講座 中島研究室

木下泰宏

Abstract

This thesis is to discuss the process of the acceptance of the western technology in Edo period, especially Wadokei (Mechanical clock for Japanese temporal time system). Here in particular, it focuses on the Man-nen-dokei made by TANAKA Hisashige as a masterpiece of wadokei in the end of Edo period. TANAKA Hisashige is known as a skillful karakuri craftsman and as representing engineer in the Japan's Meiji industrial revolution.

The thesis starts with a critical review of the Japan's Meiji industrial revolution and the history of the mechanical clocks in Japan. This part is to prepare a background to reinterpret the model of the technology transfer from the West to Japan, from an engineering process perspective. When engineers mimic a product, they need to mimic (1) the shape and the behavior (defined as 'craftsman mimic method'), (2) the design intent behind the structure (defined as 'engineer mimic method'). It is necessary to apply these two methods to transfer technology successfully.

Secondly, this thesis discusses the "Man-nen dokei" itself. "Man-nen dokei," that literally means a clock that works for ten thousand years, is a historic perpetual chronometer that was built in 1851 by TANAKA Hisashige. It is said that "Man-nen dokei" is one of the best works in Japanese traditional clocks. Recently, it has been disassembled and restored in a national project as a one of the most original symbols of Japanese manufacture. By the analysis of the result of this project, the thesis shows that (1) the Man-nen-dokei was not a magnificent work but an immature product, (2) TANAKA Hisashige didn't fully understand the technology of the western mechanical clocks, especially in the power supply, (3) in 1851, he used only the 'craftsman mimic method' for the Man-nen-dokei.

Thirdly, this thesis shows the way how his idea of designing product changed. His idea went through a critical change in 1847-1854 (including production year with Man-nen-dokei, 1851). It used to be said that Hisashige changed from craftsman to the engineer by his task for Saga domain (1854). But this research elucidate that the change took place before 1854, i.e. after his experience of the production of Man-nen-dokei.

1. 序論	1
1.1 はじめに	1
1.2 先行研究	5
1.2.1 技術と職人・技術者に関する先行研究	5
1.2.2 江戸幕末～明治期の西洋技術導入に関する先行研究	9
1.2.3 からくりと和時計に関する先行研究	13
1.2.4 田中久重と万年時計に関する先行研究	16
1.3 論文の構成	18
2. 日本における機械技術史としての時計史	19
2.1 日本におけるからくり史と和時計	19
2.2 時刻制度略史（日本を中心として）	23
2.3 機械式時計略史	29
2.4 日本における時計史	31
3. 和時計における西洋技術受容	39
3.1 技術者による製品開発製造プロセス	40
3.2 幕末～明治期の日本における西洋技術移転プロセス	44
3.2.1 近代織機技術移転の場合	44
3.2.2 大砲の場合	45
3.2.3 西洋技術導入による産業化に必要な条件	46
3.2.4 職人と技術者との違いからみた西洋技術導入	49
3.3 和時計における西洋技術受容形態と限界	51
3.4 製造技術の模倣が進まなかった理由について仮説	54
3.5 3章まとめ	60
4. 田中久重略歴	61

5. 万年時計完成に至るまで（1847 年～1850 年）	67
5.1 知識の習得	67
5.2 須弥山儀の製作	69
6. 万年時計の技術的側面から見た 1851 年の久重	71
6.1 万年時計概要	71
6.2 各時計面の機能	75
6.3 全体動力伝達構造	88
6.4 時計各部詳細および検討	95
6.4.1 洋時計部詳細	95
6.4.2 洋時計部における設計上の問題点	99
6.5 天球儀部詳細	101
6.5.1 天球儀部構成	101
6.5.2 天球儀と暦法	107
6.5.3 須弥山儀との比較	111
6.6 和時計部詳細	112
6.6.1 和時計部の機構	112
6.6.2 和時計の正確性	116
6.7 動力部	120
6.7.1 ゼンマイ	120
6.7.2 木杵にかかる力	124
6.7.3 フュージ機構	127
6.8 久重関与の文献に見られる万年時計記述	133
6.9 6 章まとめ	135
7. 万年時計製作後，佐賀藩精煉方着任までの久重（～1854 年）	136

8. 田中久重の職人から技術者への転換	139
9. 結論	144
9.1 技術者による製品開発プロセスからみた江戸幕末の西洋技術受容	144
9.1.1 江戸幕末から明治期の西洋近代技術流入による産業化プロセスの再解釈	144
9.1.2 技術者と職人	145
9.1.3 職人的模倣と技術者の模倣	145
9.1.4 和時計の技術開発	146
9.2 万年時計の実力	148
9.2.1 万年時計の概要と従来説との比較	148
9.2.2 万年時計の性能	149
9.3 田中久重の職人から技術者への転換	151
9.4 おわりに	153
参考文献	154
謝辞	163

1. 序論

1.1 はじめに

本論文は、筆者が田中久重作「万年時計」¹の分解・調査に関わったことにより得られた知見^{2,3}を中心に、その後の調査・検討を加味して構成されている。万年時計の分解・調査は、文部科学省科学研究費補助金・特定領域研究「我が国の科学技術黎明期資料の体系化に関する調査研究」（通称 江戸のモノづくり）の中で行われ、同時に愛知万博の日本館でのレプリカの展示およびその動作説明を企図して、「万年時計復活プロジェクト」体制が組まれることになったものである。筆者は其中で主に機構分析担当として活動したが、同時に万年時計の歴史的背景や田中久重自身の活動について独自に調査・検討を加えた。

本プロジェクトにおいて、大規模分解・調査が行えるのは今回が最後の機会になるかもしれないと言われていた。なぜなら、万年時計は、国の重要文化財に指定される可能性があり、指定されれば分解まで行うような調査は行いにくくなると考えられたからである。機械式時計の構造に精通し、なおかつからくりや和時計⁴などの構造に詳しい熟練技術者の確保が可能であったことなど種々の問題をクリアにした上で行われた貴重な機会となった。

国家プロジェクトとしての「江戸のモノづくり」は、類例のない巨大プロジェクト⁵であると同時に、それが故に課題が残されていた。主として江戸時代に日本で行われた科学や技術の諸分野の記録や事物と知識とを結び付けて、明治期に至るまでの科学技術黎明期の再検討を行うことを目的⁶としたのであるが、対象があまりに広範で、資料の「体系化」や、

¹ 1851年に田中久重が製作した和時計。萬歳自鳴鐘、萬年自鳴鐘、万年時計など種々の呼び方がなされているが、本論文では簡潔さを旨として「万年時計」と呼ぶことを基本とする。

² 横田泰宏、鈴木一義、吉田充伸、羽藤武宏、久保田裕二 “万年時計の機構解明：第1報 天球儀と和時計”，日本機械学会論文集 C編 73(729), pp.1529-1536, 2007

³ 羽藤武宏、鈴木一義、富井洋一、吉田充伸、横田泰宏、久保田裕二 “万年時計の機構解明：第2報、動力部”，日本機械学会論文集 C編 73(729), pp.1537-1544, 2007

⁴ 和時計とは、主に江戸時代に日本で作られた不定時法に則った表示機能を持つ時計のことである。

⁵ 文部科学省 科学研究費助成事業 特定領域研究 事後評価書

http://www.mext.go.jp/a_menu/shinkou/hojyo/1300688.htm (2015年4月27日閲覧)

審査部会における所見

⁶ 文部科学省 科学研究費助成事業 特定領域研究 事後評価書

http://www.mext.go.jp/a_menu/shinkou/hojyo/1300688.htm (2015年4月27日閲覧)

以下、斜体文字部は前記事後評価書からの引用

研究領域の目的及び意義

本研究は主として江戸時代に我が国で行われた科学や技術の諸分野における活動に関する古文書、記録、また輸入書などの文献類及び、具体的に製作された様々な測量器具、天

日本独自の「モノづくり」についての歴史的、文化的背景の検討までには至っていない⁷のである。

今回「江戸のモノづくり」において、特に万年時計の調査に白羽の矢が立ったのは、和時計の最高傑作と評価されていたことに理由がある。和魂洋才の日本のモノづくりの独創性を語る好事例とされており、江戸時代の日本の技術力や独創性を検証することに良いと判断されたからである。

しかし、万年時計の実力がわかった上で選定されたものではない。万年時計の分解・調査は、修理も含めると記録に残っているもので4回行われているものの、その構造および動作、評価については未解明の部分が多く残されていた。約35年前となる1969年の国立科学博物館小田幸子らによる分解・調査では、それまで全く未解明であった和時計部分の構造を図案化することも行われたが、その構造による動作の解明や評価についてはなされることなく、公表もされていなかったのである。また、力学的な検討は、ほとんど行われていない状況であり、万年時計が時計として成立していたのかどうかは不明の状態であった。したがって、万年時計の実力を探ることも重要な目的である。

また、製作者である田中久重の技術的な系譜や変遷は興味深いテーマである。田中久重は、からくり儀右衛門とも呼ばれる当代随一のからくり師であると同時に、江戸幕末から

文観測器具、医療器具、銃砲、エレキテル、望遠鏡、ガラス、時計などの資料を我が国の科学技術黎明期資料と位置付け、この知識と実践の相関関係から「江戸のモノづくり」の実態を明らかにしようとしたものである。分野によっては、資料が我が国の科学や技術の発展形態に特徴的な視点を加味し、江戸以前や明治以降の資料及び関連する周辺の資料も対象とした。

従来の研究が科学史、洋学史や実学史等のフィールドで、医学、天文学、和算、鉱山、本草学、銃砲、測量術等の個別の知識体系として、文献は文献、器物は器物として個々に取り扱われる傾向があったのに対して、本研究では、科学的知識（理論的なもの）とモノづくりの技術（実践的なもの）を一括して取り扱い、さまざまな視点から総合的に再検討した。そのため、歴史を研究対象とする者ばかりでなく保存科学や美術史、技術史、芸能史、再現技術などの各分野における大学・研究機関等に勤める研究者、器物を扱う博物館、保存修復についての専門機関である東京文化財研究所、さらには、技術や資料を伝承する市民を、有機的に結びつける仕組みを考案し、従来にない手法、研究交流、新たな資料の発掘を行った。

⁷文部科学省 科学研究費助成事業 特定領域研究 事後評価書

http://www.mext.go.jp/a_menu/shinkou/hojyo/1300688.htm (2015年4月27日閲覧)

審査部会における所見

明治にかけて機械技術者として西洋の技術に取り組み、日本の西洋技術受容期から産業化に至る時期に技術者として中心にいた人物である。

江戸幕末から明治期にかけての西洋技術導入に伴う産業化までの変化を明治産業革命ととらえる見方は多く、明治産業革命のけん引力がいくつか指摘されている。その一つに、機械工学技術が明治産業革命以前に職人によって担保されていたことが良く挙げられる⁸。腕の良い優秀な職人がいたから明治産業革命がおこせたというのである。田中久重はその代表例である。しかし、優秀な職人がいたことは重要な条件ではあるが、そのことが明治産業革命に直結するわけではない。

本論文の執筆中に、ユネスコの世界遺産条約に基づく「明治日本の産業革命遺産 九州・山口と関連地域」の世界遺産登録登録が決定された^{9,10}。これらは幕末から明治後期にかけての日本における重工業の急速な産業化を証言する産業遺産群から構成されている。「日本に西欧の産業革命が移植され、極めて短い間に、西欧の先進技術が理解咀嚼され、日本が国内に適した技術を開発が行われた」¹¹のであり、世界的にも注目されている事実である。

言うまでも無く、田中久重は明治初期を代表するエンジニアとなった。しかし、江戸期に始まる彼の人生は、からくり師としての活動から出発し、時計師（器械製造）になり、和時計の最高傑作である万年時計を製作していたのであり、その時点までは職人として活動していたのである。

⁸ 林武編 中岡哲郎、石井正、内田星美著、近代日本の技術と技術政策、東京大学出版会、1986

⁹ 首相官邸 WEB Page 稼働資産を含む産業遺産に関する有識者会議（第3回）の開催について

内閣官房 地域活性化統合事務局 平成25年8月20日

<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/tiiki/yuushikisya/kadouisan03/>

以下、斜体文字部は前記通達からの引用

審議案件の概要について

「明治日本の産業革命遺産 九州・山口と関連地域」について

（2）世界史的意義

重工業（製鉄・鉄鋼、造船、石炭産業）は、日本経済の屋台骨を支える基幹産業である。幕末から明治後期にかけて、日本は工業立国の経済的基盤を築き、奇跡とも呼ばれる急速な産業化を果たした。20世紀初頭には、非西欧地域において、他に先駆け、最初の産業国家として国家の質を変革した。アメリカ軍東インド艦隊の江戸湾来航以降、徳川幕府が開国の方針に改めた後、僅か半世紀で、重工業の急速な産業化を進め、国家の質を変革し、産業国家の礎を築いたことは、技術、産業、社会経済に関わる世界の歴史的発展段階において、極めて、歴史的価値、技術的価値、文化的価値の高い特筆すべき類稀な事象である。

¹⁰ ドイツのボンで開催された第39回世界遺産委員会において、2015年7月5日、「明治日本の産業革命遺産」の世界文化遺産への登録が決定された。

¹¹ 首相官邸 WEB Page 稼働資産を含む産業遺産に関する有識者会議（第3回）の開催について

内閣官房 地域活性化統合事務局 平成25年8月20日

<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/tiiki/yuushikisya/kadouisan03/>

万年時計を製作した田中久重は、江戸期・明治期それぞれの時期を代表する江戸期には職人として、明治期にはエンジニアとしての評価がある。田中久重が職人からエンジニアに変化するためには、相応の時間がかかったと考えるべきである。

万年時計は、その一部の機能の素晴らしさのみが強調され、多々ある不十分な点は見過ごされてきた。実際に分解調査をし、詳細にその構造を調査すると、決して時計として、和時計として当時の最高水準の性能ではないことがわかるのである。そして、万年時計の構造における不十分な点からは、彼の職人からエンジニアへ変化していく途中経過の痕跡を見てとることができる。

すなわち、本論文の目的は、田中久重の製作した万年時計を和時計における西洋技術受容という観点から再評価し、その技術的限界を示したうえで、田中久重が職人から技術者へと転換した時期を新たに提示することである。

以上を踏まえ、本論文では、次のように議論を展開する。

（万年時計開発時の背景）西洋技術導入からスタートした和時計開発と、幕末から明治期にかけて産業化を果たした他の諸産業との間の違いを概観した上で、

（万年時計の実力）万年時計の分解調査により、万年時計が当初目標を満たしておらず、製品としては完成していないことを示し、

（田中久重の技術者としての現状）万年時計製作時点で田中久重は西洋の時計技術について完全に吸収しきれておらず、職人と技術者の定義および万年時計の実力などから判断して、エンジニアと言える状態では無かったことを提示する。

その結果、

（田中久重の技術者への変化）万年時計製作を挟んだ数年間は、田中久重が職人から技術者に転換する過渡期であったと考えるべきであることを提案する。

1.2 先行研究

1.2.1 技術と職人・技術者に関する先行研究

万年時計は技術移転の例である。西洋で発達してきた機械式時計の技術が日本国内に導入され、和時計として製品化されたのであり、万年時計は和時計の一つだからである。

本論文では、技術移転について2つの段階を設定することが必要であることを論じる。そのために技術とは何かを論じたうえで、技術移転を2段階に区別する必要性を明らかにする。

技術の定義は、これまで様々な議論がなされている。古いものとしては、ディドロの「同じ目的に協力するもろもろの道具と規則の体系」¹²との規定がある¹³。この規定について、三枝¹⁴は、「道具の体系」ではなく、「道具と規則（法則ではない）の体系」としたところに注目すべきと言っている。

第二次世界大戦前から戦後にかけての日本において、技術の定義を巡り激しい論争が行われている¹⁵。これは、唯物論研究会の「労働手段体系説」¹⁶と労働手段体系説を批判する武谷による意識的適用説との間でなされた論争である。

前者の労働手段体系説は、「技術とは、史的唯物論にしたがえば、人間社会の物質的生産力の一定の発展段階における、社会的労働の物質的手段の複合体であり、一言でいえば、労働手段の体系にほかならない」¹⁷。というものである。これに加えて、三枝は、「技術は過程としての手段」¹⁸であるとした。単純な労働手段体系説に基づいて「存在する物としての道具や機械のこと」¹⁹のみ考えていては、「自然と人間との間の媒介」²⁰を見落とすと指摘した。

一方の武谷は、「技術とは人間実践（生産的实践）における客観的法則性の意識的適用」²¹であると規定している。「生産的实践は人間の自然にたいする働きかけなのであり、この実践は自然の法則性の場においておこなわれ、自然の法則性がこの実践を保証するもの

¹² ディドロ編（桑原武夫訳編）、百科全書 序論および代表項目、「技術」項目、岩波文庫、1995

¹³ 荒川泓著、近代科学技術の成立、北海道大学図書刊行会、1973、p.240

¹⁴ 三枝博音著、技術の哲学、岩波書店、1951、pp.78-84

¹⁵ 渡辺雅男著、「技術論の反省」、一橋大学研究年報、社会学研究 24、p.167

¹⁶ 久野国夫著、「技術と労働、生産力構造」、経済学研究、vol.77、5,6、p.109

¹⁷ 相川春喜著、技術論、三笠書房、1935

¹⁸ 三枝博音著、技術史、東洋経済新報社、昭和 15、p.7

¹⁹ 三枝博音著、同掲書昭和 15、p.8

²⁰ 三枝博音著、同掲書昭和 15、p.8

²¹ 武谷三男著、弁証法の諸問題、理論社、1964、p.190

である。科学は認識であり技術は適用である」²²とし、技術とは科学の適用であると説明されている。

星野は武谷の技術論をさらに説明し、技術と技能との差について、意識的に自然法則性を適用するかどうかにおいている。「技能とは、生産実践における主観的な法則性の意識的適用」²³と定義される。つまり自然法則性を、知識として客観化し他人へ伝えられる形をとらえているか、主観的な感覚として他人へ伝えられる形としてとらえているのかが技術と技能との差であるとしている。

内田は、技術を情報であるとしている。情報であるから「多くの場合、言語で表現し文書に記載することができ」²⁴、人から人へ移すことが可能なものだという。これは、客観化を進めた結果であろう。

Cardwell は、技術は、「アイデアを科学から引き出し、科学に寄生するというような、従属変数であると考えるべきではない。むしろ技術は対等のパートナー」²⁵とし、技術と科学とを分け、経験的なものも技術の範疇とした。

また、経済学の分野においても技術とは何かが議論された。「現実の経済社会に作用する技術を考える場合、(中略)技術は、実態として捉えるよりも、機能として捉えたほうが技術の姿がより分かるし实际的である。技術は、人間、機械装置、情報の三つに体化された経済的欲求を満足させる手段であり、人間生活の質を改善する方法である。」²⁶とし、目的を重要視する意見も出た。

しかし、技術を一つの定義で規定するというのは非常に難しいのも事実である。そこで技術というものをカテゴライズし、理解しようという試みがなされている。中島は、

Figure 1.1 のように、「伝統技術の上に発達する近代の技術を、さらに時期や内容から二つに分け」て、三つの発展段階に区分している。これによれば、技術は、近代技術（伝統技術の延長）までは、科学の適用であるかどうかには拠らないということが提示されている。ワットの蒸気機関が、「ニューコメンの蒸気機関を職人ワットが改良したものであり、それを科学の応用ということはできない」²⁷ことを一つの例として挙げている。

ここに至り、技術の定義に武谷のいうような科学（的知識）が必ずしも必要ではないということが示された。しかし、技術の定義をそのまま職人・技術者の区別に用いて良いのであろうか。前記の「職人ワットが・・・」という言い方は、職人の条件として科学が必要ないということを前提として成り立つ。仮に科学が必要でないことが正しいとしてもワ

²² 武谷三男著、弁証法の諸問題、理論社、1959、pp.108-109

²³ 星野芳郎著、基礎工学 技術の体系、岩波書店、1970

²⁴ 内田星美著、産業技術史入門、日本経済新聞社、1974、pp.11-12

²⁵ D.S.L., カードウェル著、金子務訳、技術・科学・歴史、河出書房新社、1982、p.10

²⁶ 小林達也著、技術移転 歴史からの考察・アメリカと日本、文真堂、1981、p.11

²⁷ 中島秀人著、日本の科学／技術はどこへいくのか、岩波書店、2006、p.102

ットを単なる職人として良いのか疑問がある。例えば、弘文堂の「科学史技術史事典」では、ワットを「機械技術者」²⁸としている。これらの混乱は、技術者と職人の定義が曖昧であったが故に発生しているものであろう。ワットを技術者ではなく、職人とするためには、技術者と職人の定義をしておく必要がある。

職人とは、「工業、建設業に、または対人サービスの供給に携わる独立自営業者のこと」²⁹、と定義される見方もあるが、これは、職人の仕事が細分化できるということに重点を置きすぎている。この定義では職人と技術者とをわけることができない。

徒弟制度の元で「棟梁の輩下」³⁰にあり、「正規の教育を受けていない」³¹者を職人とする考え方も多い。しかし、これもまた徒弟制度という外形的な状態に依存しすぎており、職人と技術者とをわけない定義としては不十分であろう。

技術に関わるものとしての職人の最も大きな特徴は、技能者ということであろう。技能は、「ほとんどすべてが「体化」されて」³²いるため、腕の良い職人の技能は個別的であり、定型化することが難しく、その技能を体系的に伝習できるとは限らない³³。つまり、技能は属人的な項目である。その能力が自己完結的であり、原理的には特定の仕事に対して職人同士で完全に代替的だ³⁴ということである。

対して技術者は通常、英語の **technologist** もしくはフランス語に語源をもつ **engineer** の訳語として用いられ、工学分野の専門的技術を持ち、その技術を用いて活動している者と解釈できる。しかし、これらの定義では、職人は独立自営業者である技術者であるということもできてしまい、特徴表記が不十分である。したがって別の観点から両者の相違を示しておく必要がある。

中世においては、「職人の指導者」³⁵が技術者と認識されていたという見解がある。これは「特に、教会や城郭を設計し、工事を監督する石工や大工の親方は、アーキテクト（建築家）と呼ばれ」³⁶た技術者だったからというものである。しかし、この議論ではアーキテクトが誕生した古代にも技術者がいたことになってしまう³⁷。

²⁸ 伊東俊太郎、山田慶児、坂本賢三、村上陽一郎編、科学史技術史事典、弘文堂、1994

²⁹ 南亮進、清川雪彦編、日本の工業化と技術発展、東洋経済新報社、昭和 62、p.215

³⁰ 村上陽一郎編、技術思想の変遷、朝倉書店、1981、p.106

³¹ ピーター・ディア著、高橋憲一訳、知識と経験の革命 科学技術の現場で何が起こったか、みすず書房、2012、p.94

³² 南亮進、清川雪彦編、同掲書、p.216

³³ 南亮進、清川雪彦編、同掲書、pp.215-216

³⁴ 南亮進、清川雪彦編、同掲書、p.215

³⁵ R.J.フォーブス・E.J.デイクステルホイス著、科学と技術の歴史、みすず書房、1987、p.135

³⁶ R.J.フォーブス・E.J.デイクステルホイス著、同掲書、p.135

³⁷ たとえば、紀元前 1 世紀のローマにおけるウィトルウィウスによる「建築書」

一方、近代に現れた技術者に着目し、技術者を2つに大別できるとする議論もある。一つは「発明家と呼ばれる技術者であり、第2のタイプは教育機関で養成された専門技術者」³⁸である。

前者の発明家のほとんどは、職人や工場の経営者であり、その技術的知識は経験や独学で身に付けていた³⁹。経験などによる知識の習得は、職人の特徴と差がないように思われるが、新しい機械や方法を考案するにあたっては、あらかじめ実験を行うなどの自然科学者の態度により行っていた⁴⁰。後者の専門技術者は、系統化された科学知識などを教育されている。

しかし、この職人と技術者との定義もまた、うまくいっていない。前記したように技術には、科学が必ずしも含まれている必要は無いのであり、したがって技術者の定義に科学知識や科学知識の系統的な教育を受けているかどうかを必須とするような定義はすべきではない。技術者は科学者の特殊な形態ではないのである。

	実 例	組織的特徴	技術上の特色	台頭の時期
伝統技術	建築(建物・橋・水道など) 武器・船舶・織造・冶金	ギルドの基盤 (閉鎖性・秘教性・徒弟的)	ゆっくりとした発展または停滞 小規模な商業との結合	
近代技術 (伝統技術の 延長)	建築・武器・船舶・織造 冶金(製鉄)・織造 ・蒸気機関	ギルドからの転出組(獨立的) 専門技術教育 (技術学の誕生)	伝統技術の体系化・数理化 製図の利用 経験の蓄積による突然の飛躍 産業(資本)との結合	産業革命期 (第二の科学革命)
科学的技術 (新規技術)	有機化学(合成染料)・ 電気化学・電気・電子	専門科学教育 専門技術教育 (大学への定着) 企業や国の研究所	科学と技術の結晶 科学による技術の対象の創出 (例えば電流) 独占的な産業資本との結合 (巨大装置)	19世紀中葉 (第三の科学革命)

Figure 1.1 技術のカテゴリー化⁴¹

³⁸ 転法輪圭，廣政直彦編，教養のための技術論，東海大学出版会，p.62，1986

³⁹ 転法輪圭，廣政直彦編，同掲書，p.62

⁴⁰ 転法輪圭，廣政直彦編，同掲書，p.62

⁴¹ 中島秀人，同掲書 p.102

1.2.2 江戸幕末～明治期の西洋技術導入に関する先行研究

前節で触れたように、科学と技術は関連があるものの一体として議論すべき対象ではない。したがって、日本における西洋技術の導入について検討する場合にも、科学なのか技術なのか明確に意識して議論する必要がある。

科学と技術の違いを明確にしないまま議論している例として以下のようなものがある。「日本における近代科学の導入ないし西洋の学術文化の摂取には、基本的に三つの問題点があるように思われる。すなわち、(1) それを生み出した思想的・文化的基盤を顧慮することなしに、単に技術的に導入し模倣し利用してきたこと」⁴²のようなものが挙げられる。西洋技術がどのように受容されていったかを検討する立場からすれば、技術が科学の付属物であるかのような視点は受け入れ難い。

西洋技術の導入は、技術移転として考えることが可能である。技術移転は、「質的比較が中心となり伝播または伝播現象として据えられるもの」⁴³、「人間、機械装置、情報の3つに随伴して移動し、生産され、機能する形態」⁴⁴、「技術がその起源と異なる文脈で獲得され、開発され、利用されること」⁴⁵、「単純であれ複雑であれ、ある仕事を遂行するために必要な技術や情報の計画的合理的な移転」⁴⁶など様々な定義がなされている。しかし、実際に技術移転の問題を考える際には、技術の問題のみを考えるのでは足りず、経済的な条件や実際の技術移転手法などを一緒に考えることが必要である。

日本の江戸幕末から明治期に行われた西洋近代技術の導入は、経済学的な面と技術移転という面の二つの面から検討が加えられている。一つは主に古典派経済学⁴⁷の面からリカードによる比較生産費説をもとにした輸入代替工業化プロセスであるという説明、もう一つは独自の後発工業化プロセス（技術移転）であったという説である。

前者は、リカードによる比較生産費説をもとに、まず一次産品の輸出と、その一次産品を利用した軽産業品の輸入、その軽産業品の国産化を目指して技術移転が進むというプロセスである。日本の幕末から明治の状況に当てはめると、まず、粗銅や石炭・生糸などの1

⁴² 渡辺正雄著、日本人と近代科学、岩波書店、1976、p.7

他の二つの問題点として「(2) 西洋の学術文化の諸分野の相互間にわたる密接な関連性を顧慮することなしに、専門細分化した各分野を個々別々に学び取ってきたこと。(3) 導入した西洋の学術文化と日本在来のものとの間に何らの関連もつけることもなしに、両者を無関係のまま併存させていること。」を挙げている。

⁴³ 斉藤優著、技術移転論、文真堂、1979。

⁴⁴ 小林達也著、同掲書、p.11。

⁴⁵ Rosenbloom 著、"Technology in the Twentieth Century", Oxford University Press, 1967 (小林達也監訳、20世紀の技術下巻、東洋経済新報社、1976)。

⁴⁶ Spencer, "Technology Gap in Perspective", Spartan Books, 1970 (小沼敏・栗山盛彦訳、テクノロジー・ギャップ、日本生産性本部、1973)。

⁴⁷ 大塚勝夫著、「経済発展と技術選択：日本の経験と発展途上国」、文真堂、1991、p.8

次産品が輸出され、綿織物や毛織物などの軽工業品や金属加工品が輸入されていた。その輸入品の国産化を目指し、新産業を興したとなる⁴⁸。しかし、経済論的な観点からの検討は、あくまで産業化の動機が語られており、世界的な貿易のネットワークの中で製品の市場が存在したというマクロ的な視点からの理解は可能であるが、技術が受容されていた過程実際に技術移転がどのように進んだのか、なぜ可能だったのか⁴⁹は触れられていない。

また、国産化を目指したのが誰なのか、という点も問題であろう。明治期であれば、明治政府が、ということになるが、幕末の段階では、徳川幕府なのか、藩（領国）なのかが不明である。

さらに大砲や造船のような重工業品においては、そもそも一次産品の輸出と、その一次産品を利用した軽産業品の輸入という形態が崩れている。したがってリカードによる比較生産費説をもとにした技術移転プロセスでは説明できない。

後者は、西欧より後れて工業化する国にとっては、共通の独自性をもった「後発工業化」が進むという技術移転論としての立場である。それは輸入代替工業化のような一種の歪んだ工業化ではなく、在来 of 経済や社会体制に根差す要素が、ヨーロッパ工業経済の強烈な力に反応して相互に絡み合いながら混血型構造をもちつつ発展するということである⁵⁰。

小林によれば、初期の技術移転は「土着の職人層が移転技術に巧みに反応して適法的改良を加えた」⁵¹のだとする。中岡⁵²は、個別の技術移転の実態を調査し更なる検討を加えている。中岡による技術移転の段階をまとめると

1. 製品などによる模倣
2. 製造技術の模倣
3. 市場ニーズに適合した技術開発

となる。1, 2が技術の模倣, 3が経済的な条件への技術の適応である。

技術移転においては、シューマッハーの中間技術論に代表される「現存する伝統技術の

⁴⁸ 福島昌則, “我が国外資政策の実証的考察—累積債務問題に寄せて—”, 経営と経済, 1984, 63(4), pp.1-22

⁴⁹ 後藤は, 「新産業の多くは, 当初は官営として出発したものの, 徐々に民間に移譲されていく。新産業の移譲が可能だった理由として, 徳川時代末期から引き継がれた人材（テクノクラートとしての士族と高い能力の職人層, 高い識字率など）による前段階の活動の蓄積による」との見方を示している。

後藤邦夫, 異文化間技術移転と社会的葛藤—日本における近代産業成立期の事例—, 国際高等研究所 研究プロジェクト「設計哲学—俯瞰的価値理解に基づく人口罪の創出と活用による持続可能社会を目指して」講演資料, 2015-6-26

⁵⁰ 中岡哲郎著, 日本近代技術の形成 <伝統>と<近代>のダイナミクス, 朝日新聞社, pp.3-4, 2006

⁵¹ 小林達也著, 同掲書, pp.94-95.

⁵² 中岡哲郎著, 日本近代技術の形成 <伝統>と<近代>のダイナミクス, 朝日新聞社, 2006

延長線に存在し、資本・労働生産性の点で、先端的近代技術と伝統技術との中間の技術」⁵³が広く言われている。このことは、中岡においては、「中間レベルの技術の重要性」⁵⁴の概念としても強調されている。

中岡による個別の技術移転の実態を調査によって、個別の産業についての技術受容プロセスは説明されているが、なぜそのような受容プロセスが進んだのかについての統一的な検討はなされていない。具体的な個別の事実にとらわれすぎて細かすぎるのである。

西洋技術の受容に江戸幕末の日本が成功した理由について、黒岩⁵⁵は次のように 5 つの条件を掲げて説明している。

1. 蘭学の高度な発達
2. 日本の伝統技術が一定の水準に達していたこと：彼の文脈で言えばつまり優秀な職人がいたこと
3. 当時の科学技術の発展段階：幕末時に日本に導入されたのは経験や勘の蓄積で何とかやれた産業革命期の技術だったから（図面だけを頼りに成功できたという事例）
4. 社会・経済的条件：幕末期に、「海防」という共通の課題のため、藩と藩との間の技術情報の流れが阻止されなかった
5. 優れた指導者：優れた開明的な指導者（藩主）がいたこと

しかし、これらにしても十分な検討がなされているとは言えない。1の蘭学の高度な発達は、科学的知識の共有であって、技術情報とは別に考える必要がある。これは、科学と技術との差を意識しなかったために起こった混同であろう。2、3は、優秀な職人であれば技術移転が可能となるということの意味しているが、職人による製品の模倣には限界があったからこそ、試行錯誤をしているのではないか。そこには、従来の職人とは異なる思考・行動があったのではないかと検討が不十分であろう。「近代技術の特徴として、エンジニアと呼ばれる技術者集団が出現し、その技術者を教育していくシステムが作られること」⁵⁶を挙げている指摘もあり、職人と技術者との違いを検討する必要もあろう。4は幕末になって初めて技術情報の流れが阻止されなかったかのような指摘である。

3の技術導入時の技術レベルについては、「ある技術を導入する場合に、むこうとこちらの技術の落差が大きすぎないこと」⁵⁷と別の表現で同様のことを言っている研究もある。

⁵³ Scumacher, “Small is Beautiful”, Sphere Books, 1974, (斉藤志郎訳, 人間復興の経済, 佑学社, 1976)

⁵⁴ 中岡哲郎・石井正・内田星美著, 近代日本の技術と技術政策, 東京大学出版会, 1986, p.108

⁵⁵ 黒岩俊朗著, 現代技術史論, 東洋経済新報社 1987年, pp.42-44

⁵⁶ 中岡哲郎著, 日本近代技術の形成 <伝統>と<近代>のダイナミクス, 朝日新聞社, pp.430-445, 2006

⁵⁷ 紫藤貞昭・矢部一郎編, 近代日本その科学と技術, 弘学出版, 1990, p.6

しかし、技術の落差とは何かということを示していない。

4の技術情報の流れの活発化については、「海防」という共通の課題のために起こったとあるが、他にも指摘がある。たとえば5の開明派藩主の役割をとらえ、「蘭癖大名たちによるネットワークにより藩を越えて情報が全国的に共有されていた」⁵⁸、「大名の蘭癖に支えられて発展した蘭学のネットワークが・・・そのまま、洋式軍艦・大砲・小銃製造のネットワークに移行したと考えるとよい」⁵⁹というように、蘭学のネットワークに重きを置く研究もある。しかし、いずれも幕末の事情のみを見ており、その前の期間を「江戸幕藩体制はその閉鎖性・非公開性のために、科学や技術の発展にとってはまことに不都合な体制であったが、300年近くも閉ざされていた」⁶⁰というように否定的な視点で書かれているものが多く、江戸時代を通して技術情報が流通していたことについては触れていない。

一方、先の黒岩によれば、模倣の段階から独自技術創造の段階への発展には次の四段階が想定される⁶¹。

「第一段階（製品輸入の段階）

後半に修理や一部の部品の生産などが始まる

第二段階（国産開始、技術移植の段階）

外的条件と内的条件

外的条件とは、政治・経済・社会的諸条件

内的条件とは、技術者の成長、生産手段の購入、生産活動を行うための資本蓄積の進行、部品生産などを経験し関連技術が発達。後半には、技術の習得と蓄積が進み、製品を一つ購入すれば、分解などにより生産が可能になる、

第三段階（技術自立への過渡段階）

第四段階（創造的技術確立の段階）」

しかし、この模倣プロセスでは、第一、第二段階における模倣の結果のみを記しており、模倣をする際に何が必要なのか、実際の模倣の性格が判然としない。

また、模倣という点では、プロイセンドイツの産業発展と幕末日本とを比較することも可能だが、事情が異なっており、単純に同一視することは難しい。プロイセンドイツにおける産業発展も模倣からスタートしたとし、「第一に機械という労働手段、モノの「最新、かつ最良」の機械の入手、第二にそのモノから知識を得ること。すべての部品に分解し、図面を作る、分析する。試験をする。そして模型を作る。第三に、そのものに関する知識の伝達。公表公開する。第四に知識の受け皿、人づくり。記述や図面を見て模造品を作る

⁵⁸松田清著、薩摩のものづくり研究会「中間まとめ」2005

⁵⁹中岡哲郎著 近代技術の日本的展開 蘭癖大名から豊田喜一郎まで 朝日新聞出版、2013, p.11

⁶⁰紫藤貞昭・矢部一郎編、同掲書、pp.5-6

⁶¹黒岩俊朗著、同掲書、pp.5-6

ことが出来る人材」⁶²を必要としたという指摘がある。しかし、幕末日本で行われた模倣は、図面を作るにも十分な図面製作の技術もなく、分析技術も存在していないのである。つまり、日本の江戸幕末では、基本的な科学・技術の基盤が西洋との間で共有されていないことに注意が必要である。

以上、日本の江戸から明治期にかけて行われた技術移転についての先行研究をみてきたが、技術移転時の模倣プロセスを詳しく技術者の行動プロセスという観点から検討を行ったものはほとんどないことをここで指摘しておきたい。職人たちが、西洋の技術を前にしてどのように考え、模倣していったのか、その動機として幕府や藩の方針など為政者側の事情のみが言われているが、職人たちが主体的に技術者へと変化していったのではないか、という分析はみられない。

1.2.3 からくりと和時計に関する先行研究

和時計は機械技術史の中で「からくり」と一緒に語られることが多い。これは、機械式時計の技術がからくりに転用され、その結果として時計とからくりが同様の機構をもつことによる部分が大きいの。したがって、万年時計の機構を調査する上では、「からくり」史との関連を無視することはできない。江戸時代の機械の発達がからくりの世界で突出⁶³していると言われていることを考慮すれば、からくり史（機械技術史）における時代背景および技術を議論することも重要であろう。

江戸時代のからくりについての本格的な研究は、1967年（昭和42年）の立川による茶運び人形の復元が最初である⁶⁴。立川らは、1796年に細川頼直による「機巧図彙」に記されている茶運び人形の作り方に忠実に作成し、実際に動作することを確認することとした。このことにより、各地に残されていた各種のからくり人形や、江戸時代の文献に登場するからくりたちが現実に動作していた可能性が示され、からくりについての実証的研究が始まったと言える。立川は、茶運び人形にとどまらず、「機巧図彙」の内容について検討し、明治前機械技術史において顧みられることのなかったからくりについての研究が必要であることを訴えている⁶⁵。さらに立川は、1969年に「からくり」⁶⁶、1980年に「遊びの百科

⁶²宮下晋吉著、「模倣から「科学大国」へ 19世紀ドイツにおける科学と技術の社会史」, 世界思想社, 2008, pp61-63

⁶³ 立川昭二著, からくり, 1969, 法政大学出版局

⁶⁴ 立川昭二, からくりの世界, バイオメカニズム (1), A1-A4, 1972-03-25

⁶⁵ 立川昭二, 『機巧図彙』の周辺—明治前機械技術史の一側面—, 日本科学史学会, 科学史研究, No.83, 1967, 岩波書店, pp.113-123

⁶⁶ 立川昭二著, 同掲書, 1969

全書「からくり」⁶⁷など一般向けに江戸時代のからくりを紹介する書籍を記し、世の中に江戸時代のからくりを認知させている。この書籍「からくり」は、現在に至るまで再編集や出版社を変えつつも再版され、からくり研究の基本文献の一つとなっている。

その後のからくり研究は、国立科学博物館の鈴木一義氏により学術的に進展する。鈴木は各地に残る人形を調査し、その構造を比較するなど実証的研究⁶⁸を行っている。その鈴木により、からくり人形について記した「からくり人形」⁶⁹という書籍が刊行された。この書籍は、網羅的にからくりについて記されており、今日、日本のからくりについて知ろうと思った際には最適なものと筆者は考える。後述の日本のからくり史についても、この2冊、および著者である鈴木との話によるものが多い。

和時計の研究は、古くは山口隆二氏⁷⁰により、現在は国立科学博物館の研究官であった佐々木勝浩氏や和時計学会の会員らにより精力的に研究がつづけられている。佐々木は、「江戸のモノづくり」でも研究代表者としてプロジェクト全体の取りまとめに尽力されている。

しかし、従来の和時計の研究は、個別の時計の構造や和時計自体の歴史的系譜に視点を置いたものがほとんどである。これは、和時計の普及が日本独自のものである⁷¹と同時に1873年（明治6年）に太陽暦が採用⁷²されたと同時にその役割を終えて消えて行ったことがその理由として挙げられる。和時計は、開発に当たり不定時法に則するという制約条件を加えたことによる必然として、西洋の時計には見られない独特な機構や工夫が用いられている。そのことをもって、和時計が江戸時代日本の到達した西洋にも劣らない素晴らしい技術であるという解説がなされることがほとんどである⁷³。

したがって、和時計が西洋技術をどのように受容していったのかという江戸幕末から明治期に起こった西洋近代技術移転と同様の文脈の中で検討している例はほとんどない。

また、からくり研究において江戸時代は技術の停滞が起こった、それは「新規法度」⁷⁴のために江戸時代には発明・創作活動が禁じられていたからであった⁷⁵という論説が良くお

⁶⁷ 立川昭二編、遊びの百科全書：人形からくり、1980、日本ブリタニカ

⁶⁸ 鈴木一義、＜研究報告＞江戸時代の「機巧」技術に関する実証的研究、Bulletin of the National Science Museum. Series E, Physical sciences & engineering, 11, 41-61, 1988
国立科学博物館

⁶⁹ 鈴木一義著、からくり人形、学習研究社、1994

⁷⁰ 山口隆二著、日本の時計：徳川時代の和時計の研究、日本評論社、1942

⁷¹ 日本のように普及したわけではないが、西洋においても不定時法に則った機械式時計開発の事例はある。

⁷² 1872年（明治5年）11月9日に太陽暦採用の詔が出され、1872年12月3日を1873年（明治6年）1月1日とした。

⁷³ たとえば澤田平、和時計—江戸のハイテク技術—、淡交社、1996

⁷⁴ 一般に「新規法度」と言えば、次の「享保6年7月5日の触」「享保6年閏7月の触」を指す。

こなわれている。この新規法度のが本当に発明禁止規定であるのであれば、和時計開発において、西洋技術積極的な流入が起こっていない理由の一つとなる。もし発明禁止規定があり厳格に守られていたのであれば、江戸幕末になるまで和時計とからくりだけではなく様々な産業において西洋の技術の積極的な受容が進まなかった理由ともなりえる。

しかし、この新規法度を発明禁止規定とするには異論があり、いくつかの解釈が提示されている。代表的なものとして「日本の技術が江戸時代に停滞した大きな理由として 1721 年に華美を禁止し、武士の経済的な窮乏を防ぐために、全ての新しいものの作出を禁止する触れが出された。そしてその後全ての発明が禁止されたので、江戸時代は停滞する社会となった」⁷⁶（発明禁止令）、「本来、ぜいたく禁止の意味合いで作られたが、制度的には技術の発達をも禁止することになったのである。（中略）見せ物等だけはこの中に含まれなかった。（中略）幕府としても庶民の娯楽まではその束縛の対象としなかったようである」⁷⁷（奢侈禁止の結果として発明禁止）、「これらの触は物価抑制のために出された触である。新規法度は、有来物の安定供給・物価抑制を企図した幕府の経済政策」（物価抑制例）、「こんなお触れが出たら、人びとの創造性が破壊され、経済も完全に停滞してしまうに違いな

「享保 6 年 7 月 5 日の触」（辻達也，撰要類集，続群書類従完成会，第 3，p.48,）

一 惣而新規之儀，器物，織物之類一切仕出候事可為無用候，
一 書物，草紙之類，是又新規ニ仕立候儀無用，但，不叶事ニ候ハヽ，奉行所江相窺候上可申付候，尤当分之儀早速一枚絵等ニ令板行商売可為無用候
右之品々有来物ニ而も，最初ニ其仕形之品軽く候而は，段々仕形を替，花美をつくし，潤色を加へ，甚費なる儀になり候間，最初之質朴を用候様ニ可仕候，但御役筋之儀ニ付候而之儀ニ而ハ無之候，以上
見せ物等之儀ハ新規之事不致候而ハ如何ニ候間，此段は可為格別事

享保六年丑七月五日

右御書付，丑七月五日，於竹之間御列座ニ而寺社奉行，御勘定奉行江御渡被成，委細ハ町奉行江可承合旨被仰渡候由にて，牧野因幡守御書付見せ被申候間，爰・記之。

「享保 6 年閏 7 月の触」（辻達也，撰要類集，続群書類従完成会，第 3，1979, p.51,）

覚

呉服，諸道具，書物類ハ不及申，諸商売物菓子類にても，新規ニ巧出し候事，自今以後堅ク停止たり，若無抛子細有之ハ，役所江訴出，ゆるしを請可仕出候事
諸商物之内，古来之通ニ而事済候处，近年色品を替，物数奇ニ而仕出し候類ハ，追而遂吟味停止可申付候間，兼々其旨可相心得事

享保六年丑閏七月

右ハ丑閏七月七日，御用番水野和泉守殿御渡被成候，写中山出雲守へも遣ス，翌八日町年寄喜多村彦兵衛に写相渡，町触申付ル

⁷⁵ たとえば小林聡，“江戸時代における発明・創作と権利保護”，パテント，(2008) 48 Vol. 61 No. 5

⁷⁶ 特許庁編，特許制度 70 年史（1955），発明協会

⁷⁷ 鈴木一義，江戸時代の「機巧」技術に関する実証的研究，国立科学博物館研究報告 E 類理工学，11（1988），pp.41-61

い。これは創造を仕事とする理系の人びとにはとくに気になる政策である。五代将軍・綱吉の〈生類憐れみの令〉は悪法として有名だが、この吉宗の〈新規製造物禁止令〉と比べるとまだいいほうだと言えるだろう。江戸時代は、この吉宗の〈新規製造物禁止令〉によって、完全に停滞社会とされるようになったわけである」⁷⁸（発明禁止令）などである。

以上のように、新法度凡そ以下の3つに分類することが可能である。

①発明禁止令②奢侈禁止令③物価抑制令

この新法度を幕末から明治にかけておこった西洋技術移転の文脈の中で、どのような意味があるかについて記したものはない。

1.2.4 田中久重と万年時計に関する先行研究

田中久重作「万年時計」は、これまでいくつかの和時計に関する書籍や田中久重の伝記で触れられており、前出の鈴木による「からくり人形」にも登場する。しかしながらそれらは、万年時計の機能の説明でとどまっており、より詳細な報告としては、前回分解時に報告されている国立科学博物館の朝比奈による論文⁷⁹と、それを受けての三代田中久重による万年時計についての記述⁸⁰があげられる。

万年時計は、久重の死後これまでに記録に残っている分解修理・分解調査が4度行われている。それ以外にも修理をしようと数度試みられているようだが、失敗に終わっているようである⁸¹。1度目は1884年(明治17年)に二代田中久重の依頼により、初代久重の門弟であった田中精助が担当して分解修理している。この際、銀座1丁目の近常時計店にあった真鍮製ゼンマイを譲り受けてゼンマイを取り換えたとされている。次に、第二次世界大戦後まもない1949年(昭和24年)に東京科学博物館(現 国立科学博物館)の朝比奈貞一らにより大規模な分解調査が行われ、やはり壊れていたゼンマイの修復を行っている。この時の分解調査の結果が朝比奈による論文(7)であり、広く世に万年時計の構造が知られるようになった。さらに、3度目として1955年(昭和30年)にやはり朝比奈らによる分解調整が行われ、4度目として1969年国立科学博物館小田幸子らによる分解調査が行われ、時計部品の形状寸法が記録されている。この小田らによる調査で特筆すべきは、これまで複雑なため手を付けていなかった和時計部分についても分解していることである。しかし、

⁷⁸板倉聖宣著、日本史再発見 理系の視点から、朝日新聞社、1993、p.191、

⁷⁹ Tei-ichi Asahina and Miss Sachiko Oda, “” Myriad-Year Clock”” Made by G.H.Tanaka 100Years Ago in Japan,国立科学博物館(東京)研究報告 Vol.1,No.2(No.35),1954

⁸⁰三代田中久重著、万年時計(未刊行)、国立科学博物館蔵

⁸¹ Tei-ichi Asahina and Miss Sachiko Oda, “” Myriad-Year Clock”” Made by G.H.Tanaka 100 Years Ago in Japan”, 国立科学博物館(東京)研究報告, Vol.1, No.2 (No.35), 1954

残念ながらその構造や精度などは公表されることがなかった。そして5度目の分解修理・調査が今般の江戸のモノづくりにおいて行われた調査である。

今回の江戸のモノづくりにおける調査までに万年時計に関して行われた研究報告は、前出の朝比奈論文が最初であり、その後の万年時計に関する記述はほとんどこれに拠っていると考えてよい。その朝比奈論文では、以下の点が指摘されている。

- ① 鋳製ゼンマイの成分分析結果
- ② 一度まけば1年間動作し続けるとされていたが、実際には225日程度
- ③ 天球儀部が京都からみた太陽と月の動作を表現していること
- ④ スイス製の16石懐中時計が洋時計として使われている
- ⑤ 各種時計面の表示機能
- ⑥ 時報用鐘の成分と音色

これらに付随し、内部の機構写真が掲示されているものの、それら部品のつながりや動作を記したものではなかった。詳細な機構についての研究報告は、著者ら⁸²⁸³⁸⁴⁸⁵⁸⁶によるものが最初と考えられる。

田中久重自身の研究は、事実を挙げていく形の研究がなされている⁸⁷が、それ以外は伝記的な記述が多く、久重の思想や考え方の変化について触れられているものはほとんどない。田中久重を「職人からエンジニアへ」⁸⁸変化していったという捉え方をしているものもあるが、外形的な「からくり」職人から佐賀藩精煉方そして明治期の起業家への移行により語っているものにとどまっている。

⁸² 吉田充伸，久保田裕二，横田泰宏，羽藤武宏，橋本毅彦，鈴木一義 “万年時計の機構解明 その1：和時計”，日本機械学会年次大会講演論文集 2005(5)，pp. 51-52，2005

⁸³ 横田泰宏，久保田裕二，吉田充伸，羽藤武宏，橋本毅彦，鈴木一義 “万年時計の機構解明 その2：天球儀”，日本機械学会年次大会講演論文集 2005(5)，pp. 53-54，2005

⁸⁴ 羽藤武宏，久保田裕二，吉田充伸，横田泰宏，富井洋一，鈴木一義 “万年時計の機構解明 その3：動力部”，日本機械学会年次大会講演論文集 2005(5)，pp. 55-56，2005

⁸⁵ 横田泰宏，鈴木一義，吉田充伸，羽藤武宏，久保田裕二 “万年時計の機構解明：第1報 天球儀と和時計”，日本機械学会論文集 C編 73(729)，pp. 1529-1536，2007

⁸⁶ 羽藤武宏，鈴木一義，富井洋一，吉田充伸，横田泰宏，久保田裕二 “万年時計の機構解明：第2報，動力部”，日本機械学会論文集 C編 73(729)，pp. 1537-1544，2007

⁸⁷ 今津健治編，田中近江大掾，思文閣出版，1993年復刻（2011年東芝科学館より再復刻）

⁸⁸ 鈴木一義 “田中久重一からくり儀右衛門・職人からエンジニアへ”，ウォルフガング・ミフェル，鳥井裕美子，川蔦真人編 九州の蘭学一越境と交流一，pp. 231-238，思文閣出版，2009

1.3 論文の構成

序論で述べたように本論文の主張は、

- (1) 和時計の技術開発の歴史を、西洋技術の受容から始まった明治期の種々工業の産業化の文脈で概観すると、西洋技術受容のプロセスに差異が存在すること
 - (2) 万年時計は、和時計部の機構や動作可能な状態で多くの部品を立体的に組み上げるなど独創的で技術的に難易度の高い製品であった一方で、野心的な当初目標性能を満たしていないこと。目標性能達成のためには力学的な理解が不足していたこと。
 - (3) 万年時計に使用されている西洋技術を久重は理解しきれていないこと。
 - (4) 田中久重が万年時計製作時期を挟み、職人から技術者への転換が図られつつあったこと
- である。

以上を示すために本論文では次のような構造をとる。

まず第 2 章で本論文の背景となる基本的知識の整理として日本における時計史を概説する。次に第 3 章で、田中久重が万年時計を製作した幕末の時期における一般的な和時計開発の社会的状況を他の技術移転例との比較の中で整理する。続く第 4－7 章で田中久重の略歴から万年時計製作年（1851 年）を挟んだ数年間を扱う。この期間は、田中久重が職人から技術者へ徐々に移行していく転換期である。万年時計には職人久重と技術者久重の双方のスタイルが反映されていることとともに、過渡期であるが故に久重が技術者として西洋技術を吸収しきれていない限界をここで示し、第 8 章で第 4－7 章をまとめる。

2. 日本における機械技術史としての時計史

本章では、本論文の理解に必要な背景とも言うべき基本的事項を記載する。

2.1 日本におけるからくり史と和時計⁸⁹

日本における機械技術史を語る上で、特に江戸時代のからくりを外すことはできない。今日、からくりと言えば狭義にはからくり人形に代表されるものを指し示すが、より広義には時計や水車など複数の部材を組み合わせて何らかの動きを実現させているものとも言える。日本では、機械による大量生産の概念が江戸時代末期以降にならないと出てこない状況を見ると、日本における機械技術史は近世までからくり史と同値であると言っても間違いではないであろう。

日本におけるからくりに関する最古の記録は日本書紀に、からくり人形は平安時代にある。具体的には、658年に指南車を作った⁹⁰ことが記されているが、詳細は不明である。からくり人形が登場するのは、平安時代後期に成立した今昔物語集の中であり、かやの皇子がからくり人形を作ったことが記されている⁹¹。しかしながら、今昔物語集は説話集であるため似たようなことが実際にあったのかどうかはわからない。その後の文献には、操り人形師に関する記述が多々見られ⁹²、技術は受け継がれていたと考えられる。その後、からくりが大きな変化を示すのは戦国時代から織豊時代にかけて、そして江戸時代のからくり技術の発展となる。

戦国時代から織豊時代にかけて、西洋から機械式時計が日本にもたらされている。機械式時計がもたらされてすぐに時計の修理や製造を行う時計師ともいえるべき職人がいたことを考えると、からくりの技術（機械技術・加工技術）を持った職人が時計師となったと考えて良いだろう。

からくり技術の中に当然ながら機械式時計で得られた技術が入ってくる。そうなればからくりに応用されてくる。特に直接的に影響を受けたと考えられる技術は、「ぜんまい (spring)」と「冠型脱進機 (crown-shaped escapement)」である。前者の「ぜんまい」は、言うまでも無くエネルギーの貯蔵装置であり、これにより単体で動作するからくりが出てきた。また、脱進機を組み込むことにより、固定動作シーケンスを行うことに成功している。最も有名な例として、「茶運び人形」と呼ばれるからくり人形がある (Figure 2.1)。この茶運び人形は、ゼンマイ駆動でテンプを具えており、おおよそ次のようなシーケンス

⁸⁹ Yasuhiro Yokota, “An Historical Overview of Japanese Clocks and Karakuri”, Proceedings of HMM 2008, pp.175-188, 2009

⁹⁰ 国史大系 1-2 日本書紀 吉川廣文館, 1967, pp.268-291

⁹¹ 国史大系 17 今昔物語集 吉川廣文館, 1967 pp.641-642

⁹² 鈴木一義, “江戸時代の「機巧」技術に関する実証的研究”, Bull. Natn. Sci. Mus. Tokyo., Ser.E 11, p.42, 1988

動作を行う。

1. 人形が手に持っているお盆に茶碗を置く。
2. 客に向かって移動(あらかじめ客の方に人形を向けておく)
3. 客の前で停止(あらかじめ設定しておいた距離で停止する)
4. 客が飲み終わった茶碗をお盆に戻すと、方向転換し、出発点まで戻る。

この茶運び人形の初見は、1675年と言われている⁹³。茶運び人形は、細川半蔵頼直が1796年に記した『機巧図彙』⁹⁴の中に製作方法が記載されている(Figure 2.2)。これによれば、ゼンマイ駆動である点、および棒天府(と冠型脱進器)を使用していることがわかり、明らかに時計の影響を受けていると考えてよいだろう。ただし、ゼンマイについては、金属で製作する技術が無く、鯨のひげを用いていた。このように、同等の技術を保有した人を介して、からくり→時計→からくりという技術の流れが起こったのである。

からくり人形としての有名なものとして田中久重が製作した弓射り童子がある(Figure 2.3)。弓射り童子は、人形が矢を台から取り、弓に矢をつがえて、的に向かって射る動作を繰り返すからくりである。ゼンマイとフュージ(Fusee)、カムとテコ、調速機構、人形で構成されており、人形の各部はカムによってテコに付けられた糸により動作する。鈴木一義氏(国立科学博物館)は、「万年時計を見てもわかるように十分な歯車技術を持っていたにもかかわらず、あえて糸を使用したのは、微妙な動きを実現し、調整が容易に出来るようにしたからではないか。」⁹⁵と語っている。ここでは、ゼンマイ、Fusee、調速機構が存在し、機械式時計と同じ技術が使われている。

また、最近になり発見され修復された文字書き人形というからくりがある。これも同じく田中久重が製作したと言われている。海外をみるとスイスのヌーシャテルにあるMuseum of Art and HistoryにJaquet-Drozの作った”The Writer”というautomataがあり、それに近い。だが、The Writerは文字を書くときに肘から先が動き、プロッタのように思えるのに対し、文字書き人形は肩から先が動き、実際に人が文字を書く動作に近い。しかも、文字書き人形は毛筆を用いており、筆圧、速度にも大きな変化を与えている。腕の動きに合わせて動く顔の絶妙な動きと合わせて、人間らしい動作を実現している。ここでもやはりゼンマイや調速機構とともに歯車が使用されており、シーケンス動作を行うという目的を達成している。

このようにからくりの技術と時計を作る技術には共通点があり、田中久重のように時計

⁹³ 立川昭二他著、図説からくり 遊びの百科全書、河出書房新社、2002年、p.38

⁹⁴ 細川頼直著、“機巧図彙”，1796，国立国会図書館蔵

⁹⁵ 鈴木一義，からくり人形，学習研究社，1997年，p.76

師でもありからくり師でもある人物がいること、「機巧図彙」には和時計とからくりとが記されていることなど、両者の歴史は不可分の関係にある。江戸時代の日本の機械技術の発展を考える上で、和時計の発展に注意を向け考察を加えることは必然性が存在する。



Figure 2.1 茶運び人形の例⁹⁶

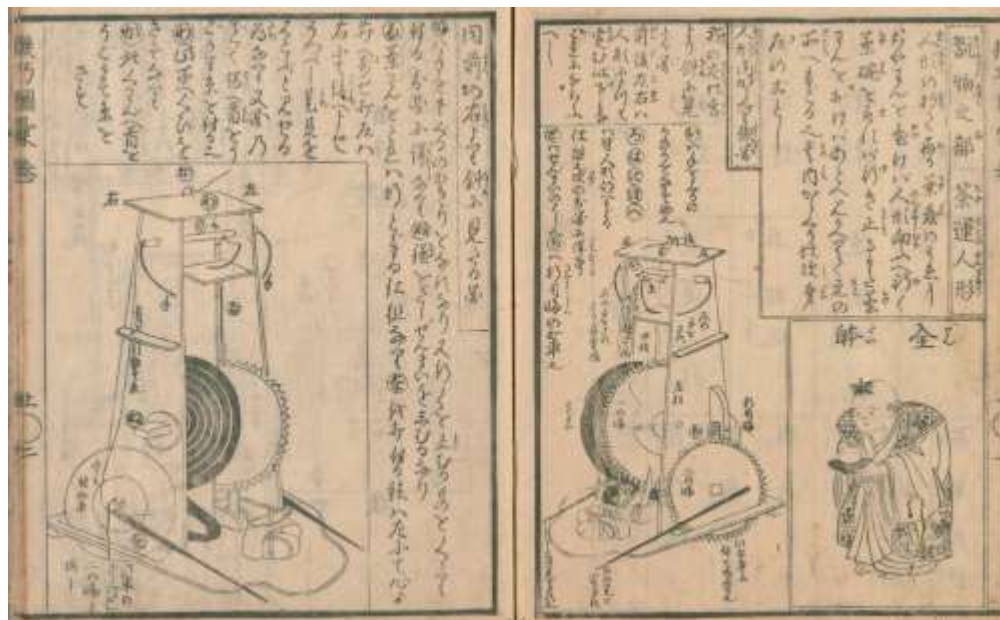


Figure 2.2 茶運び人形の製作法⁹⁷

96 東芝未来科学館提供

97 細川頼直，同掲書



Figure 2.3 弓曳童子⁹⁸

⁹⁸ 東芝未来科学館提供

2.2 時刻制度略史（日本を中心として）

時計が現在の時刻を知るために発達してきた以上、その時代の時刻制度がどのようなになっていたのかは、時計史と不可分の問題である。また、時刻制度を1日の中の時の分割制度と考えれば、1日の長さを決定する際に天体の運行と密接な関連が認められ、広く暦法の問題と考えられるのである。ここでは、まず日本における時刻制度について歴史的経緯を示す。

日本の暦は、554年（欽明天皇15年）2月に百済から暦博士固德王保孫が来朝したという日本書紀の記述より始まる⁹⁹。また、602年（推古天皇10年）にも百済の僧観勒が来朝して歴本を献じたとの記述¹⁰⁰も見られる。しかし、この二つの記述では暦法および暦本が日本に伝えられたとの記述のみで、どのような暦が伝来し、実際に使われたのかどうかはわからない。その後の記述は、暦では無く時計として出てくる。日本最初の時計として、660年（斉明6年）に当時まだ中大兄皇子であった後の天智天皇が命じて漏刻（水時計）を作ったこと¹⁰¹、そして671年には、新しい台に設置し、鐘を打ち鳴らしたことが¹⁰²記されている。

実際に暦を使ったという記録が出てくるのはさらに下り、690年になる。690年（持統天皇4年）11月に勅令により元嘉暦と儀鳳暦を施行したとある¹⁰³。なぜ同時に異なる暦を使ったと書かれているのかの解説は別資料に詳しい¹⁰⁴。701年（文武天皇大宝元年）の大宝律令制定時には陰陽寮が設置され、暦の作成などを司る暦博士が設置され、暦が制度としても運用され始めたことがわかる。その後、大衍暦、五紀暦などが使われ、862年（清和天皇貞観4年）から宣明暦が使われることになる。この宣明暦は、1684年（貞享元年）に渋沢（安井、保井）春海の造暦による貞享暦が使われるようになるまで823年間使われ続けることとなった¹⁰⁵。

⁹⁹ 経済雑誌社編、国史大系 第1巻 日本書紀、経済雑誌社、1897、p.336

¹⁰⁰ 経済雑誌社編、同掲書、pp.375-376

¹⁰¹ 日本古典文学大系、日本書紀（下）岩波書店、1993、p.343、「皇太子初造漏刻 使民知時」

日本古典全集刊行会、日本書紀：訓読下巻、昭和7年、p.426、「又皇太子初めて漏刻を造り、民をして時をしらしめたまふ」

¹⁰² 日本古典文学大系、日本書紀（下）、岩波書店、1993、pp.376-377、

「夏四月丁卯朔辛卯、置漏刻於新台。始打候時。動鐘鼓。始用。此漏刻者、天皇為皇太子時、始親所製造也」

日本古典全集刊行会、日本書紀：訓読下巻、昭和7年、p.443、「夏四月丁卯朔辛卯、漏刻を新台に置く。始めて候時を打ち、鐘鼓を動らし、始めて漏刻を用いる。此の漏刻は、天皇の皇太子為りし時に、始めて親ら製造したまへる所なり」

¹⁰³ 経済雑誌社編、同掲書、p.557

¹⁰⁴ 渡辺敏夫著、近世日本天文学史（上）、恒星社厚生閣、昭和61年、pp.10-11 参照

¹⁰⁵ 渡辺敏夫著、同掲書、pp.11-12

この渋川春海による貞享暦は、それまで採用されていた暦と大きく異なる点がある。それは、貞享暦より前の暦は中国（王朝は変わっているが、通例として用いられており、本論文でも使用する）での暦をそのまま使用していたのに対し、貞享暦は当時の中心地である京都を基点として、実際に日本で測定したデータを用い計算しなおした日本人による日本に対応した暦となったという点である。この貞享暦を含め江戸時代には4回の改暦が行われている。

- ① 貞享の改暦（1684年宣下）
- ② 宝暦の改暦（1754年宣下）
- ③ 寛政の改暦（1797年宣下）
- ④ 天保の改暦（1842年宣下）

それぞれの改暦の特徴について、以下に簡単に記し、重要な書籍についてまとめておく。

① 貞享の改暦¹⁰⁶（1685年施行）

800年余り使われていた宣明暦の誤り（二日遅れ）が明らかになる。元の授時暦、明の大統暦が候補に挙がり、大統暦が一旦採用されるも、渋川春海による「大和暦」（授時暦を日本の位置にあわせた暦）の精度が高く大和暦を採用した。このとき、大統暦を推したのは土御門泰福。これがもとで渋川春海を幕府天文方として登用、以後関東天文方に編歴移る。ただし、形式上春海は土御門家天文生であり、暦法も土御門家が与えたということになっている。渋川春海は日本暦学の開祖とも言うべき人物である。

授時暦を基にしていることから消長法が取り入れられている。

《改暦において重要な書籍》

『貞享暦』：渋川春海編著，陰陽頭安倍泰福校正

『天経或問』：明後期に書かれた西洋天文学に関する本。基本的には天動説であり，プトレマイオス系の宇宙観である。

② 宝暦の改暦¹⁰⁷（1755年）

天文暦学に熱心であった吉宗が西洋法による改暦を行おうとしたもの。しかし江戸天文方渋川家には人材すでに無く，西川正休に白羽の矢を立てる。土御門家においても泰邦が改暦作業に加わる。しかし，政治的・心情的対立により西川が失脚し，土御門泰邦が主導権を握ることとなる。大掛かりな観測などを行ったものの，泰邦には西洋暦法を行うだけの実力無く，また天文方にも実力無く，最終的に貞享暦の

¹⁰⁶ 渡辺敏夫著，同掲書，pp.45-72

¹⁰⁷ 渡辺敏夫著，同掲書，pp.91-149

法数をわずかに手直ししただけのものに終わる。

《改暦において重要な書籍》

『暦算全書』：清初期の西洋暦算に関する本（1723 年）

『天経或問』訓点 3 卷：西川正休による訓点。（1730 年）

『宝暦 暦法新書』：暦法記載。宝暦四年（1754）安倍泰邦著

③ 寛政の改暦¹⁰⁸（1798 年）

宝暦の改暦が不調に終わっていることから再度改暦を試みたが、やはり幕府天文方には人材無く、麻田剛立門下の高橋至時・間重富を登用している。西洋流天文学を使用した改暦であり、多大の貢献が成されている。ただし、未だに土御門家天文生であり、土御門家が仕切るという形は残っていた。

《改暦において重要な書籍》

『暦象考成』上下編：清に伝えられた西洋天文学の集大成。ティコ・ブラーヘ系（天動説と地動説の折衷。円運動）

『暦象考成』後編：太陽・月はケプラーの楕円軌道説，カッシーニの結果。

『暦法新書（寛政）』（1797 年）：高橋至時編，安倍泰栄校正

『寛政暦書』（1844 年）：渋川景佑著

④ 天保の改暦¹⁰⁹（1844 年）

1803 年に入手したラランデ天文書，その他蘭書を基にして、『新巧暦書』を編み十分な準備の下に着手。渋川景佑を中心に行われる。天文方は実力をつけて来ており，土御門家に無関係に改暦を進めることが出来た。太陽・月以外の 5 星についても楕円軌道説を導入，地球の楕円説など最新の情報を基にした暦法である。

《改暦において重要な書籍》

『ラランデ暦書』（1803 年）：高橋至時，景保が翻訳

『新巧暦書』（1836 年）：ラランデ暦書をもとにした暦書

これらの暦はいずれも太陰太陽暦と呼ばれるものである。

万年時計が製作された 1851 年には，最後の太陰太陽暦である天保暦（いわゆる旧暦）が使用されていた。万年時計を製作した田中久重が当時見ていた暦は天保暦であるから，天保暦の考え方を考慮に入れて主に時計の表示機能を検討する必要がある。

次に，時刻制度として採用されていた不定時法は，和時計の機能を知るうえで欠かすことのできない知識である。本節の最後に，江戸時代に採用されていた不定時法を概説しておく。

江戸時代に一般に用いられていた不定時法の基本は，1 日を昼と夜に 2 分割し，昼と夜

¹⁰⁸ 渡辺敏夫著，同掲書，pp.189-227

¹⁰⁹ 渡辺敏夫著，同掲書，pp.351-389

それぞれをさらに 6 分割して時(その一つ分の時間を 1 刻という)を表現したことである。ここで注意したいのは、昼と夜の 2 分割は日出と日没がおおよそその目安であったため、当然ながら季節によって昼の時間と夜の時間が不均等であったこと、さらにそれぞれを 6 等分する際には均等割りを行ったために、1 刻の長さは季節によって異なり、同日中でも昼の 1 刻と夜の 1 刻の長さが異なっていたことにある。結果として 1 日を 12 分割していることになるため、誤解を恐れずに書けば 1 刻はおおよそ現代の時間で 2 時間程度ということになる。この際の時刻表記としては、数字による表現と十二支を使用した表現が行われていた。前者は、今日でいう深夜 0 時(夜の時間の中間)を九つとし、明け方に向かって順に八つ、七つ、と数字を減じ、夜と昼との境を六つ(明け六つ)とした。次に昼に入ると五つ、四つとさらに数字を減じ、昼 12 時(昼の中間)を九つ、その後日没に向かってまた八つ、七つと数字を減じ、昼から夜に変わる時を六つ(暮れ六つ)、夜に入って、五つ、四つとなり深夜 0 時の九つに戻るという表記を行っていた。これに対し、後者の表記は、前記の数字による表記に十二支を一对一に対応させたものであり、夜九つを子と固定して、明け方に向かって丑、寅と進み、昼九つを午、日の入りに向かって未、申とした。

以上の説明で分かるように 不定時法においては昼と夜との境、つまり明け六つと暮れ六つをどのように定義するかが最も重要なポイントとなる。その境界は、日の出、日の入ではなく、それよりも前もしくは後の徐々に明るくなり始める時、徐々に暗くなり完全に暗くなったときを「明け六つ」「暮れ六つ」としたのである。前記過渡状態を、「薄明」「黄昏」と呼ぶ。薄明、黄昏は、大気による屈折および散乱によることは自明である。

現在、薄明については大きく分けて 3 つの定義(はっきりとした定義ではない)がある¹¹⁰。

① 市民薄明(常用薄明)

太陽高度 -50 分 ~ -6 度。まだ十分に明るさが残っていて、明かりなしで屋外で活動ができる明るさ。(50 分は太陽の半径)

② 航海薄明

太陽高度 -6 度 ~ -12 度。海面と空との境が見分けられる程度の明るさであり、六分儀で水平線が観測できる最大限度。

③ 天文薄明

太陽高度 -12 度 ~ -18 度。太陽からの光が完全になくなり、6 等星が肉眼で見分けられるようになる明るさ。

一般に言われている明け六つ、暮れ六つは、屋外で活動できる明るさかどうかが重要なので、常用薄明の始まりである太陽高度が地平線下 6 度程度のときが妥当であろう。江戸時代の庶民からすればその程度の認識で十分だったと思われる。ただし、暦象年表によれば、

¹¹⁰ 国立天文台 暦計算室 トピックス 薄明(2015 年 5 月 15 日閲覧)
<http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/topics/html/topics1992.html>

江戸時代の明け六つ暮六つは、太陽中心が地平線下 7 度 21 分 40 秒に当たる時刻¹¹¹であるとされている。しかし、正確を期せば、寛政 9 年（1769）の寛政暦より前は、日の出前および日没後それぞれ二刻半（36 分）の時刻をそれぞれ明け六つ、暮れ六つと定義し、その後は京都における春分秋分時の日の出前日没後の二刻半における太陽の俯角を用いた。前者のように六つの定義を時間によって行くと、当然ながら季節による変動が生じ、地平線下何度というような固定値では表現できないのに対し、後者では固定角度で表現できる。これが先の 7 度 21 分 40 秒である。

不定時法と定時法の対応を Table 2-1 不定時法と定時法の対応 に示しておく。

本節で詳細に暦と不定時法の説明をしたのは、田中久重が万年時計を製作するに当たり、暦や不定時法を重要視していたからである。そのことは、万年時計を説明するために久重自らが作成した万年時計図弁中に、「太陽運行及時刻之弁」という一頁をもうけて説明していることから明らかである。この「太陽運行及時刻之弁」は、6.5 節において説明する万年時計の天球儀の説明も兼ねられている。

Table 2-1 不定時法と定時法の対応¹¹²

Numerical designation of the temporal hour		Designation with Junishi or 12 sings of zodiac	Time of the present hour system corresponding to the mid-point of the hour
Morning	9 Kokonotsu	子 Ne (rat)	Midnight
	8 Yatsu	丑 Ushi (bull)	2 a.m. approximately
	7 Nanatsu	寅 Tora (tiger)	4 a.m. approximately
	6 Mutsu	卯 U (hare)	Dawn
	5 Itsutsu	辰 Tatsu (dragon)	8 a.m. approximately
	4 Yotsu	巳 Mi (serpent)	10 a.m. approximately
After-noon	9 Kokonotsu	午 Uma (horse)	Noon
	8 Yatsu	未 Hitsuji (goat)	2 p.m. approximately
	7 Nanatsu	申 Saru (ape)	4 p.m. approximately
	6 Mutsu	酉 Tori (cock)	Dusk
	5 Itsutsu	戌 Inu (dog)	8 p.m. approximately
	4 Yotsu	亥 I (boar)	10 p.m. approximately

以下に、「太陽運行及時刻之弁」を全て書き出す。旧漢字、仮名遣いは読みやすいように一部改めている。また、引用文中の①～⑨の数字は、説明のために筆者が記入した文の番号である。△は判然としない文字である。

太陽運行及時刻之弁¹¹³

¹¹¹国立天文台 暦計算室 トピックス 薄明（2015 年 5 月 15 日閲覧）

<http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/topics/html/topics1992.html>

¹¹² T.Asahina and S.Oda, “Myriad-Year Clock” Made by G.H.Tanaka 100 Years Ago in Japan, Bulletin of the National Science Museum(Tokyo), Vol.1, No.2 (1954)

①天体ノ至遠ナレドモ其運旋必定度アリ ②太陽ハ赤道以北以南二十三度余ヲ偉行シテ一年ヲナシ東ヨリ西ヘ一昼夜ニ一周シ又西ヨリ東ヘ一度弱ヲ廻リ三百六十五日余ニテ黃道環ヲ一周スル

○③地球ハ円形ナレドモ其一所ヲアラハシ其面ヲ廣クシ日本ノミヲ図シ地平東西ノ△ナヲ出沒限リトス④東国モ西国モ其△△ヲ日本ノ真中ニ心ヲオイテ必定メミル

○⑤方位盤ニ十二支ヲ記スルノ環即チ晨昏限ニアレハ朝暮ノ六ツ時ナリス⑥子午線ニアル時ハ正午也

○⑦南極近傍ニアル孟形ノ器ニ二十四節ヲ記シアリ⑧太陽正午ニアタルトキ右ノ記ヲ照準シテ其季節ヲ知ルベシ

○⑨月ハ二十九日半余ニメ南北ヲ緯行シ一月ヲナシ每朔必太陽ト同度をナスナリ

① において、天体の運行には規則性があることを示している。しかも、「運旋」という言葉は回転ということを意味しており、回転機構により天体の動きを表すことの正当性を担保している。

② において、太陽が地上から見てどのように移動するか（視運動）の説明である。緯度や1年の周期（365日と少し）に対して正確な知識を有していることがわかる。

③ 地球は円形であると記しているが、これは明らかに球形ということの意味している。なぜなら、そのあとに観測点を一つ定めて、その接面上に日本地図を描くことに言及しているからである。

④ 日本全体を中心（京都）からみて統一的に考えることを指摘している。現在の標準時に近い考え方であろう。

⑤ と⑥で太陽の運行と時刻とが関係あることを説明している。また不定時法の時刻決定において重要な六つについて述べられている。万年時計図弁で述べられている六つは、太陽が地平線下の決まった位置を通過した時であるとされており、寛政暦以降の六つの定義が反映されていると考えて良いだろう。

⑦ ⑧では、太陽の高度差と季節との関連性を示している。

⑨ では、月の視運動における周期や太陽との関係についても記している。

以上のように、田中久重は万年時計を作るに当たり、当時の暦学や天文学について学んだうえで時計（天球儀）に反映できるものは盛り込んでいたと考えられる。

したがって、万年時計を調査する際には、暦学や天文学の知識が反映されているかもしれないという前提をもって行うことが必要である。

2.3 機械式時計略史

最初の機械式時計の記録は存在しないが、1300 年ごろ、祈りの時間を知るために修道院で最初に作られたと言われている¹¹⁴。そういう目的であったため、時刻を知らせるための鐘が当初よりあったと言われており、時計を意味する Clock はラテン語の鐘を意味する CLOCCA から来ていると言われている¹¹⁵。14 世紀前半にはフランス、ドイツ、イタリア各地に広まっている。これらの時計は教会の塔に設置されており、錘が下がる力を利用して駆動軸を動かし、針によって文字盤に時刻を示す錘時計である¹¹⁶。

14 世紀中ごろ最初の公共用時計がイタリアのパドアに作られた。これはヤコブ・ドンディと息子ヨハネス・ドンディによる一種の天文時計（1344 年）であり、24 時間に分けた文字盤、太陽と月、水金火木土の運行、教会の祝日、春分、秋分を示している¹¹⁷。もう一つ、現存する英国最古（こちらも世界最古とも言われている）機械式時計がソールズベリー大聖堂にある塔時計である。こちらは 1386 年に設置されたといわれており、文字盤の無い鐘だけで時刻を知らせる形式である¹¹⁸。しかしながら 16 世紀～17 世紀初中ごろまでは時計の針は 1 本であり、現在の時計の形態にはまだなっていない。17 世紀中ごろまで時針 1 本の状態が続いていた¹¹⁹。

その後の時計の発展に大きな影響を及ぼす変化がオランダのクリスチャン・ホイヘンスによりもたらされた。一つは 1656 年の振り子時計の製作であり、もう一つは 1674 年のひげぜんまいの時計への応用である。前者の振り子時計により精度の飛躍的な向上が見られた。振り子時計以前の錘時計は同じリズムで振れる棒テンプの回転軸（バージ）に取り付けられた 2 つの爪が、冠型の歯車の歯に交互にあたることによって、一定の速度で時を刻むことが出来るようにしたバージ脱進機（冠型脱進機 **Figure 2.4**）を使用していた。後者のひげぜんまいは、1654 年にイギリスのロバート・フックがその振動の等時性を示していたが、1674 年実際に時計に応用して製作したのはホイヘンスである。このひげぜんまいの時計への適用により、小型化が進むと同時に、振り子時計のような時計の姿勢に影響されない時計が可能となり、持ち運びできる懐中時計の製作へと繋がっていく¹²⁰。

幾つかの発明により精度の向上が著しい時計であったが、航海術において重要な正確な経度測定のためにはより高精度な時計が求められたのは必然であった。ジョン・ハリスン

¹¹⁴ 角山榮著、時計の社会史、吉川弘文館、2014 年、p.11

¹¹⁵ 角山榮著、同掲書、p.11

¹¹⁶ 角山榮著、同掲書、p.11

¹¹⁷ 角山榮著、同掲書、p.12

¹¹⁸ <http://www.salisburycathedral.org.uk/visit-what-see/medieval-cloc> (2015 年 1 月 30 日閲覧)

¹¹⁹ 有澤隆著、図説時計の歴史、河井出書房新社、2006、p.24

¹²⁰ 有澤隆著、同掲書、p.17, 20

が 1761 年に製作したクロノメーター「H4」が 81 日間で誤差 5.1 秒という精度を記録している¹²¹。

中世ヨーロッパでは、不定時法が用いられていたが、早くも 14 世紀初めにはイタリアで 1 日を 24 等分する定時法が用いられ始めている¹²²。機械式時計の普及とその精度の向上が進んでいくと、実生活で不定時法を採用していた場合には双方の時間が合わず不都合が生じてくることは想像に難くない。

欧州では、定時法が機械式時計の発明がされたかなり初期の段階で、不定時法から定時法への移行が図られ、時計の精度向上と時刻表現の細分化が進むように移っていった。機械式時計の構造上、針の進み方は一定速度であるほうが作りやすく、まるで機械式時計に合わせるかの如く社会構造を変化させているとの意見もあり、定時法システムの成立によって、等価等質の労働時間を単位とする商品生産、産業資本成立の基礎的条件が出来上がったとも言える¹²³。



Figure 2.4 バージ脱進機例¹²⁴

¹²¹ 有澤隆著，同掲書，p.25

¹²² 角山榮著，同掲書，p.19

¹²³ 角山榮著，同掲書，pp.18-25

¹²⁴ 有澤隆著，同掲書，p.25

2.4 日本における時計史

日本史上、最初に時計の記述が現れるのは720年ごろに成立したとされる日本書紀においてである。この日本書紀に記された時計は、660年（斉明6年）に当時まだ中大兄皇子であった後の天智天皇が命じて漏刻（水時計）を作ったこと¹²⁵そして671年には、新しい台に設置し、鐘を打ち鳴らしたことが¹²⁶記されている。この漏刻（以後、慣例に従い漏刻と記す）の形について有名な絵がある。Figure 2.5である。漏刻を説明するためにこの図は非常に良く使われているが、もともとは桜井養仙が1748年に記した「漏刻説」中の想像図であり、このようなものであったかどうかは定かではない。

最初の時計が設置された年代は、日本書紀の記述にだけでなく遺跡からも確認されている。奈良県明日香村にある水落遺跡はその特異な構造と出土した土器の年代から、660年に中大兄皇子が造った水時計である漏刻台と考えられていたが、2010年に行われた発掘調査により斉明朝以前・斉明朝・天武朝の遺構がそれぞれ確認され、ほぼ確定したと考えられている¹²⁷。この水時計（漏刻）については、日本律令下、陰陽寮の漏刻博士を中心に機械式時計の技術が入ってくるまで管理・運用がなされていた¹²⁸。

日本に機械式時計が入ってくるのは、戦国、織豊時代にまで下る。文献上の初見は「大内義隆記」に見える1551年（天文20年）にフランシスコザビエルが献上した¹²⁹というものである。「十二時ヲ司ルニ夜昼ノ長短ヲチガヘズ響鐘ノ声ト十三ノ琴ノ絲ヒカザルニ」¹³⁰とあり、鐘のなる時計であったことがわかる。その後、「フロイスの書簡」には1569年信長¹³¹に時計が献上されたこと、大友宗麟の命令でローマ教皇に拝謁するために派遣されていた天正訪欧使節が帰国して1591年（天正19年）には、秀吉¹³²にそれぞれ機械式時計が献上

¹²⁵ 日本古典文学大系，日本書紀（下）岩波書店，1993，p.343，「皇太子初造漏刻 使民知時」

日本古典全集刊行会，日本書紀：訓読下巻，昭和7年，p.426，「又皇太子初めて漏刻を造り，民をして時をしらしめたまふ。」

¹²⁶ 日本古典文学大系，日本書紀（下），岩波書店，1993，pp.376-377

「夏四月丁卯朔辛卯，置漏刻於新台。始打候時。動鐘鼓。始用。此漏刻者，天皇為皇太子時，始親所製造也」

日本古典全集刊行会，日本書紀：訓読下巻，昭和7年，p.443，「夏四月丁卯朔辛卯，漏刻を新台に置く。始めて候時を打ち，鐘鼓を動らし，始めて漏刻を用いる。此の漏刻は，天皇の皇太子為りし時に，始めて親ら製造ちたまへる所なり。」

¹²⁷ 奈良文化財研究所，奈良文化財研究所ニュース，No.40,2011年3月，p.2

¹²⁸ 川嶋宗継著，日本最古の水時計―漏刻，化学と教育，44巻1号，1996，p.20

¹²⁹ 塚田泰三郎著，和時計，東峰書院，昭和35年，p.24

¹³⁰ 塚田泰三郎著，同掲書，p.24

¹³¹ Luis Frois，Historia de Iapam, established in 16C, Japanese translation：Nihon-shi (History of Japan), 2, Chuuo-u-kouron-shinsya, 2000, pp.154 in Japanese

¹³² Luis Frois，Historia de Iapam, established in 16C, Japanese translation：Nihon-shi (History of Japan), 5, Chuuo-u-kouron-shinsya, 2000, pp.121, in Japanese

されたことが確認できる。

次に、江戸期に入ると時計の資料が豊富になってくる。1606 年家康がロドリゲス師より献上された時計を伏見の城楼に掲げる¹³³とあり、それは日月の運行を示す自鳴鐘であった。また、1611 年には家康へ金時計がゴア総督より献上されたとの記録¹³⁴もある。

日本に現存する最古の機械式時計は、1612 年（慶長 17 年）スペイン皇帝（メキシコ総督）から家康に送られたものであり、久能山東照宮宝物の枕時計である。この時計には製造者と製造年が記録されており、1581 年スペイン マドリッドでハンス・デ・エヴァロにより製造されたことがわかっている。この時計はゼンマイ式の時計であり、鐘も付属している¹³⁵。

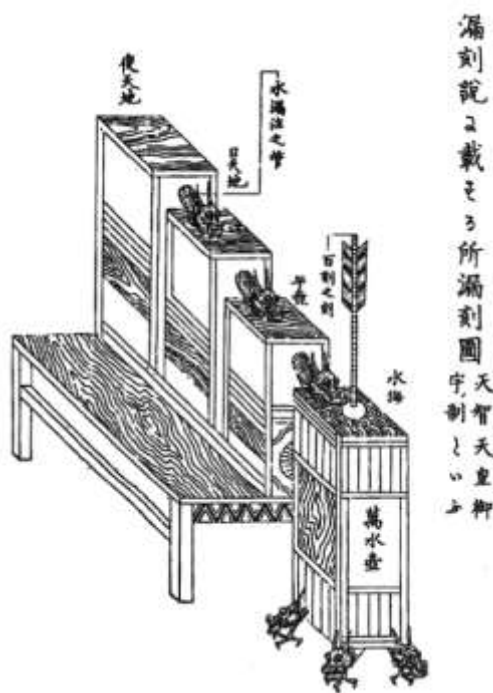


Figure 2.5 漏刻想像図¹³⁶

¹³³ R. P. Crasset, Histoire de l'Eglise du Japon / par le R. P. Crasset de la Compagnie de Jesus. - Seconde ed. - A Paris : Chez Francois Montalant , 1715. Japanese translation : Nihon-Seikyou-shi 2, Hakubunsha, Tokyo, 1878, pp.342, National Diet Library Collection

¹³⁴ 塚田泰三郎著，同掲書，p.28

¹³⁵ 角山榮著，同掲書，p.47

¹³⁶ 塚田泰三郎著，同掲書，pp.36-37

日本で最初に時計を作ったのは、現在の名古屋に居住していた津田助左衛門と言われている。すでに数多く流入していた西洋時計を修理しているうちに、仕組みを理解し、独自に製作するようになったとのことである¹³⁷¹³⁸。その時期について山口隆二は、1598年（慶長3年）以前と指摘している¹³⁹¹⁴⁰¹⁴¹。また、1600年頃には、日本に来ていた宣教師たちにより時計の製作法が教えられていたということもあり、時計を作る技術が普及していった。尾張は日本における時計・からくり産業の盛んな地域となっていく。

日本では、新しい機構を組み入れることにより、もともと定時法に最適化されている時計を不定時法に対応させて実用としてしまう¹⁴²現象が起きる。大量の時計が流入し始めたものの、江戸時代は不定時法が採用されていたために、そのままの定時法の時計では役に立たず、飾りや道楽の域を出なかったのだが、西洋のように社会制度を時計に合わせることを考えず、和時計と呼ばれる不定時法に対応した時計を作るのである。

江戸徳川時代中期には、時計がかなり一般的に目にすることができる状態であったことをうかがわせる記述がある。江戸期を代表する百科事典である『和漢三才図会』（1715）には、「自鳴鐘（とけい） 俗言時計」¹⁴³という項目があり、ゼンマイ・懐中時計の記述がある¹⁴⁴。また浮世絵中にも時計が描かれており、お抱えの時計師をもつ大名だけではなく、金銭的に余裕のある大店などにはあった。また、土佐の細川半蔵が記した機巧図彙¹⁴⁵（1796）の首巻には和時計の製作法が記されており、この本を見ることにより誰でも時計を作ることすら可能となったのである。

和時計においては、多くの場合冠型脱進器と棒テンプレ（バージ脱進器 Figure 2.4, Figure

¹³⁷ 塚田泰三郎著、同掲書、pp.36-38

¹³⁸ 坂詰勝著、「産業教育講座第1輯 時計工業の話」産業経済調査所 昭和5年 p.12
尾張志（1832年）「自鳴鐘、俗に時計と云ふ。常磐町津田助左衛門是を作る。先祖助左衛門京都に住せし時、東照宮へ朝鮮国より奉りし自鳴鐘損毀せしかば洛中に触れて之を修復すべき者を尋ね給ひしに助左衛門細工を好みしかば深田正皇と議して駿府に参り直して奉りけるがその間に新しく一飾を造つて奉りけり」

¹³⁹ 山口隆二著、日本の時計、日本評論社、1950

¹⁴⁰ 佐々木勝浩他、「津田助左衛門の和時計と特徴」、Bull. Natl. Mus. Nat. Sci., Ser. E, 31, December 22, 2008, pp. 1-14

¹⁴¹ ただし、この時期については異論がある。根拠が後年に書かれた尾張志であることからその記述に疑念があり、1623年とすべきという指摘がある。

たとえば、河本信雄、「日本での機械時計製作開始時期の考察」、和時計, No.47 May 2015, 和時計学会, 2015

¹⁴² 鈴木一義著、同掲書、1997, p.44

¹⁴³ 寺島良安編、和漢三才図会、1712、国立国会図書館蔵

¹⁴⁴ 塚田泰三郎著、同掲書、pp.30-40

¹⁴⁵ 細川半蔵頼直、「機巧図彙」1796、国立国会図書館、大阪府立中之島図書館を始めとして公共図書館にて閲覧可能だが、現代語訳が出版されている。

村上和夫、完訳 からくり図彙（注釈付き）、並木書房、2014

2.8 には2つ用いられている) が用いられた。この構造は、Figure 2.1 の茶運び人形でも見られる構造であり、江戸時代を通して調速機構として最も使われた構造となっている。西洋においてより時刻精度を高めることが出来る脱進器が次々に開発され、バージ型脱進器が使用されなくなってくるのに比べると、技術開発および西洋からの技術移転が止まったかのようである。

和時計（例として Figure 2.6, Figure 2.7）は、大きく分けて二つのタイプ¹⁴⁶が作られた。一つは時計の針は一定速度で動くが、時刻間隔を不定時法に合わせた文字盤を用意する方法であり、もう一つは文字盤の時刻表示は等間隔であるが、針の移動速度を変化させる方法である。不定時法の場合に問題となるのは、1 日のうちで昼と夜の時刻間隔が異なることであり、しかも1 年を通して連続的に変化することである。前者の時計は、その季節に合わせた文字盤を用意し付け替える、または時刻を示す文字を書いたプレートのそれぞれの間隔を調節することにより対応した。欠点は非常に多くの枚数の文字盤を用意しておく必要があることや、定期的な文字盤のつけ外し、時字プレート間隔の調整などが必要であったことである。後者の時計は、脱進機の振動数を錘の位置を変えることにより変化させている。あらかじめ多くのプレートを準備しておく必要はないものの、やはり欠点は、昼と夜、季節に応じて錘を架け替える必要があることである。このように定時法の時計を不定時法に対応させたものの、その運用には非常に手間のかかるものであった。

1780 年ごろに前記の欠点を改良した「二丁天府時計 (Figure 2.8)」が作られた¹⁴⁷。これは、昼と夜に合わせて錘の位置を変えた2つの天府を用意し、自動的に切り替えるという時計である。この時計により、1 日のうちで錘の位置を変えるという手間を省くことができるようになった。

和時計において、実は、完全に西洋技術の移転が止まったわけではない。バージ脱進器が多かったと前述したが、実際には他の形式も存在した。円テンプと冠型脱進器を組み合わせたものや、垂揺球儀¹⁴⁸のように高精度であることが求められた天体観測用時計には振り子も用いられている。また、万年時計のように西洋時計の調速機をそのまま利用した時計も存在¹⁴⁹している。和時計において、西洋の時計と同じような発展をなぜしなかったの

¹⁴⁶ さらに、不定時法に対応した時計として鐘打ち（時打ち）間隔を制御するための雪輪があることをもって和時計とする意見もあり、最初の和時計はこの雪輪を備えたものとも考えられている。山口隆二，同掲書，1942，p.102

¹⁴⁷ 角山榮著，同掲書 pp.50－52

¹⁴⁸ 小曾根淳著，“垂揺球儀(天文観測用時計)の起源について－西洋文化の模倣か創造か－”，数理解析研究所講究録，No. 1739，Vol.2011，pp.157-167

¹⁴⁹ 佐々木勝浩，岡田和夫，加藤實，“和時計における自動割駒式文字盤機構とその幾何学的誤差”，国立科学博物館研究報告 E 類 理工学 30，2007-12，pp.1-13 において、和時計のムーブメントに広東時計が使用されている例がいくつか紹介されている。広東時計は、西洋の機械式時計が中国に輸入され、ムーブメントはそのままに文字盤や装飾を中国で変

か、もしくは積極的に技術導入をしなかったのかは別に検討が必要であろう。

和時計は、1851 年に田中久重が製作した万年自鳴鐘(万年時計)をもって頂点に達する。万年自鳴鐘(1851) 広告¹⁵⁰によれば「ゼンマイヲ巻ク一年ニ四五度に過ズ 車ノ製方蘭ノ製ト同法ナリ 時計ノ体ハ千般ニ製出ス予始テ發明スル所ノ奇巧ナリ」というように、ゼンマイの性能や独特の機構としては西洋に負けない精密機械技術がつかわれている¹⁵¹とする。

田中久重が万年時計製作時点で、和時計をどのようにみていたのかを知る資料として万年時計図弁中の「時計優劣弁」という一頁を挙げることができる。以下に、時計優劣弁全文を掲載する。仮名漢字は、一部読みやすいように変更している。

時計優劣弁¹⁵²

○夫時計ハ製作ノ精粗ニ目テ其機関大ニ異ナリ古昔用ル時計ハ天フリノ重リヲ朝暮毎ニ出シ入レー日ニ兩度ノ煩ヒアリ

○二挺振ノ如キ昼夜掛替煩キ免ルト雖モ装置ヲ怠レバ必差ヲ生ス也二挺振ハ天明寛政年間ノ發明ト見ユ

○節時計ハ凡キ時盤中ニ十二時ノ駒ヲ並べ毎月兩三度ヅツ昼夜刻数ヲ割合スト雖モ暫ク怠レバ差ヲ生ズ

○精製ハ發條(ゼンマイ)を巻テ十日或半月許ヲ保ツノ機巧ハ有レドモ数百日保ツ未ダ聞カズ

○今般新製ノ時計ハ四季昼夜長短ニ随テ自然ト廻リ○面ノ通り尽ク用ヲ為ス 發條ハ一年ニ一度巻ノミ然ドモ一月二月ヲ経テ時刻ノ遅速分秒ノ差ガ見ハルルコトアリ然ルトキハ用法ヲ照シテ之ヲ処置スヘシ

時計優劣弁を現代語訳すると次のようになる。

(時計優劣弁 現代語訳)

時計の優劣とは

○そもそも時計は、どれほどの精度で製作するかによりその構造は大いに異なる。古い時計は天振りの重りを朝と夕の2度調整しなければならない面倒があった。

○二丁天府時計は、昼夜に行う(重りの)掛け替えをしなくて良いけれども、調整を怠れ

更し流通していた機械時計。

¹⁵⁰ 鈴木一義著、同掲書、1997、p.73

¹⁵¹ 鈴木一義著、同掲書、1997、p.74

¹⁵² 田中久重著、万年時計図弁、1851、国立科学博物館蔵

ば必ず差が生じてしまう。二丁天府時計は天明寛政年間（1781 - 1801年）の発明¹⁵³らしい。○節時計は、時盤の上に十二個の割駒を月に2, 3回の頻度で昼と夜の割合に合わせるが、暫く調整を怠ると必ず差を生じる。

○精密に作ったものには、ゼンマイを1度巻けば10日から半月程度もつ機構はあるけれど、数百日もつものは聞いたことがない

○今回新しく製作した時計（万年時計のこと）は、四季の昼夜の長短に自動的に調節される。ゼンマイは1年に1度巻けばよいが、1, 2か月たつと時刻と分や秒単位で遅れたり進んだりすることがあるので、その時は説明書を読んで対照すること

この時計優劣弁をみてわかるのは、久重が時計の精度を非常に気にしていることである。それまでの和時計の工夫は、手間を省く工夫はされているが、時刻表示の精度向上は目指していないことを指摘している。そして、そのことが時計として劣っていると言っているのである。時計の精度と不定時法表示の精度、不定時法表示のための手間の削減とは、明らかに異なる認識を持っていることがわかる¹⁵⁴。

このように和時計は、不定時法に合わせる工夫はいろいろ考えられていたが、時刻表示の精度を向上させるような工夫はほとんどなされてこなかった。そのような状態のまま明治時代を迎え、不定時法が廃止されると共に必要性が無くなり、和時計は作られなくなっていく。

¹⁵³ 製作年の明らかな最古の二丁天府式和時計は、1773年である（佐々木勝浩、「図説時計の歴史」読売新聞社、1989）。実際にはもう少し遡り、17世紀後半との意見もある（北野進、「和時計技術転換期の研究 一挺天府式から二挺天府式へ」、玉川大学出版部、2000）。

¹⁵⁴ 佐々木勝浩、橋本毅彦、土屋榮夫、近藤勝之、岡田和夫、“和時計における不定時法自動表示機構”，*Bulletin of the National Science Museum. Series E, Physical sciences & engineering* 28, 2005 , pp. 31-47,において、「時計機構は、常に精度の追求を課題としてが発展してきた。しかし、和時計の不定時法への対応は、操作性の改良も重要な課題であった。西洋の機械時計を不定時法に対応させるため発明された二挺天符機構や割駒式文字盤機構は、複雑な不定時法時刻表示における操作性の改良という課題の解決手段として生まれたと考えられる。今回取り上げた不定時法時刻表示自動化機構は、和時計の発展過程に於いて、精度の追求とともに、操作性に対する要求から工夫され生まれたものであると言えよう」と書かれているが、これは時計の精度と不定時法表示の精度、不定時法表示のための手間の削減との区別がはっきりしていない。



Figure 2.6 尺時計の一例¹⁵⁵



Figure 2.7 割り駒式時計の一例¹⁵⁶

¹⁵⁵ (株)東芝提供

¹⁵⁶ (株)東芝提供

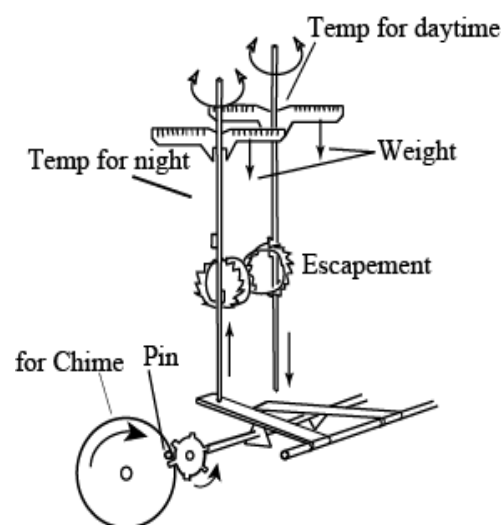


Figure 2.8 二丁天府構造¹⁵⁷

¹⁵⁷ 塚田泰三郎著，同掲書，図を基に著者改変

3. 和時計における西洋技術受容

日本は、江戸幕末期から始まる西洋近代技術の流入により、明治期にまたがる急速な産業工業化プロセスが始まったことは疑う余地がない。第1章で示した先行研究では、製鉄・紡績・造船などの個別の産業化が達成された事例について、産業化までの間に西洋近代技術がどのように受け入れられたかが検討されている。

しかし、技術者が科学知識や技術を用いて、製品¹⁵⁸を設計・製造¹⁵⁹していくのかという観点ではほとんど記述されていない。今日の技術者が日ごろ行っている生産活動を思い浮かべると、日本において幕末から明治期にかけて起きた西洋技術移転プロセスは、現在の設計者・技術者が行う設計・製造プロセスと比較すると、その取組プロセスにそれほど大きな違いが無いことに気付くのである。

本章では万年時計製作時点（1851年）での時計に関する西洋技術受容状況を明らかにする。まず、技術者による設計や製品開発がどのように進められていくのか、職人とは進め方が異なるのか、特に製品の模倣という点に注目して整理する。次に、日本の江戸幕末から明治期における西洋技術導入から産業化に至るプロセスについて、これまでに検討されてきたいくつかの事例を、前項の技術者による製品開発プロセスという点から再解釈を試みる。最後に江戸時代和時計の製品開発における西洋技術受容について前記再解釈に基づき整理し、幕末、具体的には万年時計製作(1851年)時点での和時計製作に関わる技術的背景がどのようなものであったのかを示す。

¹⁵⁸ 製品と便宜上書くが、ここでは一般消費者が購入するような製品のみを意味していない。製造設備・機械なども製品に含まれている。

¹⁵⁹ 実際に技術者自身が手を動かして設計・製造するかどうかは問題ではない

3.1 技術者による製品開発製造プロセス

本論文では、1.2.2 で触れたように江戸時代の職人が主体的に技術者へと変化していったという視点に加え、日本における西洋からの技術移転を製品開発プロセスと比較して再整理する。

研究から販売までの一連の製品開発プロセスで何が行われているかを検討することが重要である。江戸時代の職人または初期技術者は、製品開発¹⁶⁰において、今日でいう研究から開発、生産まで一貫して携わっている。したがって、本論文の目的に鑑みて、ファーガソン¹⁶¹のように設計だけに注目することは適切ではない。

本節では、イノベーションプロセスを手掛かりに議論を進める。研究から販売までの一貫した製品開発プロセスは、企業の研究開発モデル・イノベーションプロセスとしてまとめられてきた経緯があるからである。

1930年代から1980年代まで研究開発から製品化までのプロセス、特にイノベーションを起こすための構造として、リニアモデル¹⁶²が提唱されてきた。リニアモデルは、基礎研究から得られた成果を基に応用研究、開発、生産、販売（マーケティング）と時系列に進み、製品が誕生するとするものである。このリニアモデルは企業における製品開発プロセス、特に企業内の部門構成に合致しやすく、直感的に理解しやすい。

研究が最上流に位置し、その後は関わらないというリニアモデルに対し、研究が至る所に関与し、情報・知識のフィードバックループを構成しているとする連鎖モデル^{163,164}（Figure 3.1）が提唱されている。この連鎖モデルはイノベーションプロセスモデルとしては、市場の発見を起点としていることも特徴的である。しかし、本節では技術者の関与する製品開発製造プロセスに注目すると、それぞれの工程間でフィードバックループが組み込まれていることのほうが重要である。

設計プロセスでは、ブロック線図（Figure 3.2）で表されている過程が理想的な工程として提案されているが、連鎖モデルで指摘されているように、実際には情報のフィードバックという点でさらに複雑な過程を通る。Figure 3.1, Figure 3.2, のいずれでも情報のフィードバックが行われている。これは技術的知識や科学的知識である。その知識のフィードバックが何度も、色々な階層で行われることで初めて製品までたどり着くことが可能とな

¹⁶⁰ 脚注 159 と同じだが、模倣も含める。

¹⁶¹ E.S.ファーガソン著、藤原良樹・砂田久吉訳、技術屋の心眼、平凡社、1995

¹⁶² 馬淵浩一著、技術革新はどう行われてきたかー新しい価値創造に向けて、日外アソシエーツ、2008, pp.29-32

¹⁶³ S.J.クライン著、嶋原文七訳、イノベーション・スタイルー日米の社会技術システム変革の相違、アグネ承風社、1992

¹⁶⁴ 小池一成著、産学官連携による研究開発の課題ー地域産業と大学による研究開発を中心にー、「地域政策研究」（高崎経済大学地域政策学会）第8巻第3号、2006, pp.277-280

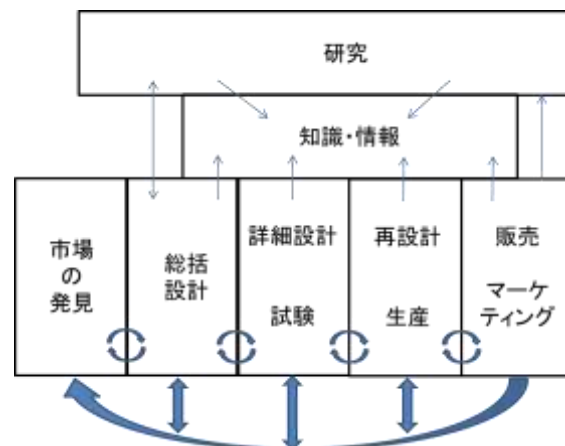


Figure 3.1 連鎖モデル¹⁶⁵ (矢印は情報の流れ)

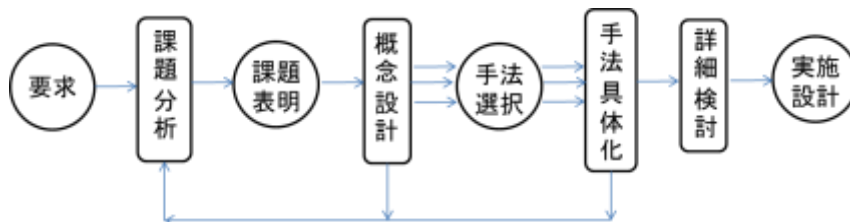


Figure 3.2 設計プロセスのブロック線図¹⁶⁶ (←は情報)

る．ここでの情報フィードバックは，例えば総括設計・概念設計時には可能に思われた構造が詳細設計，実施設計，生産の段階で実際には不可能であったり，大幅なコスト上昇を招くなどの失敗情報やその対案などの情報，試作してみたら実際には想定通りの動作をしなかったという情報，その原因と結果の情報など様々な情報や知識がやり取りされるのが通常である．

今日の設計図面には，記述ルールが整備されているが，何を記述するかは技術者（設計者）の技量による．良い設計図面とは，技術者が反映したい意図をすべて盛り込んでおり，さらに設計図面を見て生産するときの使用工具や生産方法を踏まえたうえでの図面指示がなされ，その図面を見て製作すれば，誰が作っても同じ製品が出来るものである．

しかし，実際には技術者の意図を全て図面に反映することは難しく，暗黙知が重要な地位を占めていることが多々ある．記述ルールが整備されている今日でさえ最後は，図面を見て加工・生産する製造者が使用場面を想像し，経験などを補間したうえで製作している．例えば，機械設計において穴に軸を通す，または回転軸を支持する，または蓋をかぶせる

¹⁶⁵ S.J.クライン著，嶋原文七訳，同掲書 および 一橋大学イノベーション研究センター編，イノベーション・マネジメント入門，日本経済新聞社，2003，p.70 の図をもとに作成

¹⁶⁶ E.S.ファーガソン著，同掲書，p.55

ような構造があった場合、軸と穴とのはめあいをどの程度に設定するかというのは難しい問題である。ずっと吸い付くようなはめあいを目指すのか、もっときつくするのか、液体がこぼれないようにする目的なのか、など図面に表現されにくい情報というのは存在し、現在でも暗黙知として処理されている。技術者、職人の経験や技能に依拠する情報が実は重要なのである。

次に、目標となる製品が目の前に存在している時のことを考える。本論文で題材としている西洋技術移転プロセスにおいては、多くの場合、製品（実物）または実物についての図面や書籍などをもとに、模倣をしながら作り上げているからである。

今日の産業界でも、リバースエンジニアリングと呼ばれることは行われている。例えば、実物を見ながらその機能を検討し、分解して構成要素は何か、どのように作られているのか、など調査¹⁶⁷する。

リバースエンジニアリングは、当該対象物に対し、似たものや同じ目的を達成するための製品を設計したことがあるなどの技術的専門性を持った人があたるべきである。リバースエンジニアリングを行ったからと言って、必ずしもすぐに同じものが作れるかということではない。面の粗さや公差などわかりにくいものはもちろんのこと、材質や大まかな形状、動作などのわかりやすい数値データに至っても、当該対象物の目的を達成するためにそれら数値データがどの程度重要なのか、というのを理解するのは難しい。

その他にも、ある製品の部品を設計した担当者が不在のために、設計意図がわからないということがある。この場合は、図面はあるものの、そこに記されている指示や形状などが部品の目的に対してどの程度寄与しているのかわからないということがある。この場合、新しい設計者がコストダウンなどの目的のために、実は重要な設計意図があったにもかかわらず、気が付かずに従前の図面を変更したところ、目的通りに動作しないということは失敗事例としてよくあるのである。

失敗ということに注目した研究として畑村による失敗学¹⁶⁸というものがある。失敗学では、技術者が失敗から学んで新しい知識を得ていく必要があることを指摘している。このことは逆に言えば、その失敗をするまでは、技術者は自らの所持している知識や経験などの範囲内で活動を行っているが、ひとたび失敗した場合には、なぜ失敗したのか、その原因はなんなのかという追求が始まり、新たな工学知識を得ていくのである。ここであえて工学知識と言ったのは、新たな知識は科学知識とは限らないからである。

以上述べたことを踏まえると、技術者が何らかの製品のような実物を模倣する際には 2

¹⁶⁷ リバースエンジニアリングを行い、実際に模倣して製品化するかどうかは、知的財産権や商道德上の別の問題である。

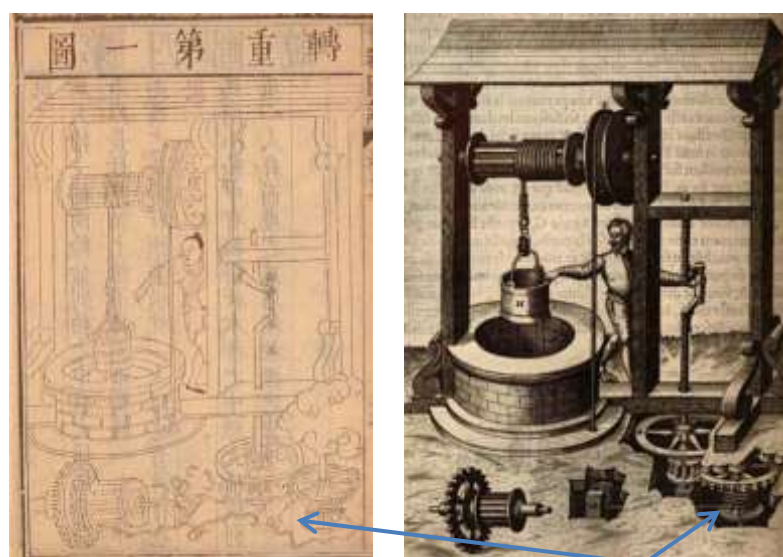
¹⁶⁸ たとえば、畑村洋太郎著、失敗学のすすめ、講談社、2000 や畑村洋太郎他著、続々 実際の設計—失敗に学ぶ、日刊工業新聞社、1996 など。

段階の模倣が必要だということがわかる．一つは、「形の模倣」であり，もう一つは「設計意図や思想の模倣」である．

「形の模倣」は，実物や図面などをそっくりそのまま模倣しようとする行為であるが，限界がある．理想的には，あるものと同じものを作るには形の模倣で十分であるが，実際には全く同じものを再現することは不可能である．したがって，必ず省略される部分や意図的ではない抜けが発生する．これらの不完全な部分が，偶然にも実物の目的を達するのに重要ではなければ，結果的に形の模倣だけで済むことがあるだけである．

もう一つの「設計意図や思想の模倣」は，形の模倣で足りない部分を補うだけでなく，改変や改善など将来的な変更をする際にも重要となる．形の模倣で，設計意図や思想を斟酌することなく形の省略が行われ，重要な部分の模倣が抜けてしまえば，模倣の目的である製品の機能を満たさなくなる．模写に失敗している例として Figure 3.3 が挙げられる．右側の西洋で描かれた本来の図には，矢印部分に滑車と歯車とをつなぐロープがあるが，中国において模写された左図からは無くなっている¹⁶⁹．これでは，力の伝達が行えない．図が何を示しているのかわからないままに模写した結果であろう．

設計意図や思想の模倣のためには，知識や経験が必要である．設計意図や思想は，科学的な知識や経験に基づいて組み立てられているものであるからである．



(a) 中国において(b)を模写¹⁷⁰ (b) 西洋で描かれた元図¹⁷¹

Figure 3.3 模写の失敗例

¹⁶⁹ 橋本毅彦著，描かれた技術 科学のかたち サイエンス・イコロジーの世界，東京大学出版会，2008，p.52

¹⁷⁰ 王徵著，遠西奇器図説録最，1627，v.1 pp.256-257，京都大学附属図書館所近衛文庫蔵

¹⁷¹ Agostino Ramelli 著，Le diverse et artificiose machine del capitano（種々の精巧な機械），1588，LYON 図書館蔵

3.2 幕末～明治期の日本における西洋技術移転プロセス

本節では、これまで先人により明らかにされてきた西洋技術移転プロセスについて、3.1の考え方をもとに再解釈してみる。下記に示す近代織機も大砲（反射炉による鉄の生産）のいずれも、西洋の技術・製品・製造設備を模倣することから始まり、産業化まで進んでいく。

3.2.1 近代織機技術移転の場合

まず、西洋近代織機技術の日本への移転は、2つのルートがあった。一つは、近代織機そのもの、すなわち広幅鉄製織機を輸入、導入すること、もう一つはジャカードおよびボタン技術の導入である¹⁷²。

前者の近代織機輸入においては、さらに2つのルートに分けられる。一つは、鹿児島紡績から二千錘紡績に至るルート、もう一つは大阪紡績の事例である。

鹿児島紡績ルートでは、1866年に紡績設備だけを導入し、関連する技術伝達がなされず、購入先メーカーからの技術指導すらないまま、日本国内での試行錯誤だけを頼りに発展したことが分かっている。その際、生産が軌道に乗るまで非常に苦勞をしているが、その一つの原因として、原綿である日本綿や中国綿が繊維の長さという点で輸入した織機に適合していなかったことが挙げられている。

もう一方の大阪紡績の事例では、大阪紡績が購入した精紡機が短繊維綿であるインド綿用機械であり、同じ短繊維綿である日本綿に適合したことが指摘されている。大阪紡績が当初から生産に成功したのは、技術指導も要因ではあったが、機械の構造自体が異なっていたことがわかる。

この2つの事例では、機械の構造には何らかの意図があるという考えが重要であることが示されている。機械の構造が原綿と密接な関連があることに気が付いているかどうかは技術移転の際の困難さに決定的な差をもっていたのである。

次に、ジャカードおよびボタン技術の導入では、フランスのリヨンに派遣された伝習生が蒸気動力の鉄製織機ではなく、すでに旧式の技術であったボタンを持ち帰っている。これは、鉄製織機を持ち帰っても、原理がわからず、使用している材料も手に入れにくい上に加工技術が伴わず、利用することができないという判断があったと考えられている¹⁷³。ここでは、形だけの模倣をしてもうまくいかないという意識がすでに存在している。

この織機の発展においては、中間技術の存在が重要であったと指摘されている。鉄製の織機が製造できるようになるまで、在来技術である木製の織機が利用され、普及したのである。

¹⁷² 中岡哲郎・石井正・内田星美著、近代日本の技術と技術政策、国際連合大学、1986,p.108

¹⁷³ 中岡哲郎・石井正・内田星美著、同掲書、p.108

実は、この中間技術の導入は、重要ではあるが、職人や技術者にとってはあまり珍しいことではない。ある目的を達するためのモノを作るために、代替技術を持ってくる、もしくは代替材料を用いるというのは良くおこなわれる。当然ながら、本来あるべき姿とは異なるため、まったく同じというわけにはいかない。たとえば、繰り返し精度が落ちる、寿命が短くなるなどのマイナス面が出てくるが、通常はそのマイナス面を理解した上で、その範囲内で目的を達するのであれば十分実用に耐えるのである。

この中間技術の導入は、大規模広範囲な技術移転時に特有の行為ではない。江戸時代からくりや和時計の開発においても同様の行為が行われている。たとえば、エネルギー貯蔵器としてのぜんまいが挙げられる。日本に西洋から伝わったぜんまいは金属製であった。ところが、日本においては金属製ぜんまいを作成・入手することは難しかったため、金属の代わりにクジラのひげを用いてぜんまいを構成することが行われた。金属ほどのトルクが得られない、安定しないなどのデメリットがあるが、適用先を制限することで利用したのである。

つまり、形だけの模倣と同時に適切な設計意図・思想の理解がないと、技術・製品の模倣は成功しないということである。

3.2.2 大砲の場合¹⁷⁴

大砲製造は、オランダ人に教えを乞いながらオランダから輸入された青銅砲を真似て、佐賀藩が鑄造したことから始まっている。この青銅砲の鑄造はうまくいったものの、大量の銅を使用することで高価な銅がさらに値上がりし、銅不足に陥ったために鉄製の鉄砲を作る要求が出た。

鉄製大砲の鑄造は、オランダのヒュゲーニン著「リエージュ砲兵工廠における大砲の鑄造法」という本をもとに開始されている。佐賀藩だけではなく幾つかの藩がほぼ同時期に鉄製大砲を作るためにまず反射炉を建設することを始めているが、ここでは装置の輸入も外国人技術者による指導も行われていない。

ヒュゲーニンの本に書かれてある通りの反射炉建設を目指したがうまくいかなかった。書籍には、反射炉の図面も書いてあり、確かに書かれてあることは反映したようであるが、実はすんなりとはうまくいかず、何度も失敗し、試行錯誤しながら建設を進めていったことがわかっている。

反射炉の建設だけでなく、その操業や大砲の製造でも非常に苦労し、失敗を重ねている。その失敗の例としては、反射炉の基礎構造がまずくて傾く、台風で煙突が倒壊するなど力学的な考察が足りないこと、実際の炉の運用の方法で銑鉄の溶け方をどう判断したら

¹⁷⁴ 中岡哲郎著、日本近代技術の形成＜伝統＞と＜近代＞のダイナミクス、朝日新聞社、2006、pp.18-26

よいかわからずに実験を何度も重ねなければならない、砲身の中ぐりが中ぐり機の故障が相次ぎうまくできないなど数多く記されている。

つまり、本に書かれてあること（実物をみることも同じであるが）は技術の一部でしかなく、実際に模倣する際には書籍には書かれていないこと、たとえば共通の基盤知識やノウハウ、運用方法、製造方法などが重要であるということである。

3.2.3 西洋技術導入による産業化に必要な条件

第1章の先行研究においてわかるように、日本の江戸幕末に西洋技術導入による産業化のプロセスの代表的な例として中岡¹⁷⁵の指摘が挙げられる。中岡による技術移転の段階をまとめると

- (1) 製品などによる模倣
- (2) 製造技術の模倣
- (3) 市場ニーズに適合した技術開発

となる。(1)、(2)が技術の模倣、(3)が経済的な条件への技術の適応である。これは、模倣により技術の基本を習得し、応用へ進むという技術開発の一つのパターンを示している。

しかし、模倣において実際に何をしているのかはわからない。たしかに、結果を見ると製品や書籍の記述をもとに模倣して、同じものを作ろうとしている。しかし、3.1節で考えたように、ここには、何をすれば製品の模倣になるのか、という技術者・設計者からの視点からの整理が抜け落ちている。製品の模倣の段階では、その製品の製作に必要な製造技術がわかっておらず、同じ製造方法をとれないことが多いのだから、製品の模倣とは言っても、まったく同じものを作れるわけではない。さらに言えば、江戸幕末期に受容を始めた西洋技術では、技術的な共通の土台を西洋と日本とで共有しておらず、模倣はより困難なものとなる。したがって製品の模倣という段階では、何を模倣していたのかを体系的に捉える必要がある

- (1) 製品の模倣は、さらに①形の模倣と②設計意図・思想の模倣とに分けられる。

①形の模倣は、実物や書籍などをもとに形や動きを模倣することである。この際、在来知識や経験に基づいた範囲内で模倣が行われることがほとんどである。したがって、自分たちの知識外、経験外の知識に基づく構造は、理解できないまま無視されてしまうことがある。その結果、必要な科学的知識や工学的知識の無い状態での試行錯誤による経験に基づく検討を続けざるを得ない。また、設計・製造時において、例えばその形状が目的達成のためにどの程度重要なのかどうかという判断は経験のみによる。

- ②設計意図・思想の模倣は、科学知識・工学知識や共有経験の導入により、形状や動き

¹⁷⁵中岡哲郎著、日本近代技術の形成　＜伝統＞と＜近代＞のダイナミクス、朝日新聞社、2006

の意味を理解しながら行うことである。この段階では、目的達成のための設計・製造時における重要度判断が科学知識・工学知識や批判的態度に基づく論理的判断のもとに行われ、失敗の原因も追求されることになる。この設計意図・思想の理解と重要度判断は、(2)製造技術の模倣、(3)社会ニーズ適合や、そのための製品、製造技術、製造装置の改良などに必須の知識となる。

(2)製造技術の模倣は、製造手法や製造装置の模倣である。加工精度の向上や省力化などを進めるに当たり、製造手法や装置が重要な地位を占めているという認識は重要である。特に、日本の江戸時代は、省力化を良いものとする普遍的価値評価に乏しく、同時代の人々にとって、製造装置の重要性認識は、現在のわれわれが考えるよりもハードルの高いものだったと思われる。

さらに、製造技術の模倣は、(1) ②設計意図・思想の模倣とリンクしていることが多い。特殊な形状というだけではなく、材料の選定などが製品として性能を発揮する際に重要な位置を占めている場合、ある特定の加工技術や製造技術を用いなければ、設計意図・思想を理解したとしても再現することが難しいことがある。現代でも、製造技術・加工プロセスなどが秘匿されていることから理解できるであろう。

そして、(3)生産される製品の市場ニーズとその市場ニーズに対して適合しうる知識蓄積が揃うことにより産業化が可能になる。

ただし、ここで(1)、(2)、(3)はあくまで必要条件であり、十分条件ではないということは気を付けておく必要がある。

そのほかの条件として黒岩¹⁷⁶の言う西洋技術の受容に江戸幕末の日本が成功した理由を再掲する。

1. 蘭学の高度な発達
2. 日本の伝統技術が一定の水準に達していたこと：彼の文脈で言えばつまり優秀な職人がいたこと
3. 当時の科学技術の発展段階：幕末時に日本に導入されたのは経験や勘の蓄積で何とかやれた産業革命期の技術だったから（図面だけを頼りに成功できたという事例）
4. 社会・経済的条件：幕末期に、「海防」という共通の課題のため、藩と藩との間の技術情報の流れが阻止されなかった
5. 優れた指導者：優れた開明的な指導者（藩主）がいたこと

これら条件における問題点は、1.2.2節で指摘した通りであるが、このうち、4と5の技術情報の流れの活発化については、再検討を要する。なぜならば、幕末期に藩と藩との間の技術情報の流れがあったことは事実であるが、それまで技術情報の流れが全く無かった

¹⁷⁶ 黒岩俊朗著、現代技術史論、東洋経済新報社 1987年、pp.42-44

のかというところではなく、それ以前からも技術情報のやり取りがなされていたことがわかってきたからである。

その一例として、**1.2.3** 節において触れた新規法度の影響により技術開発が停止したという解釈と、実際の和時計において技術伝搬がされているという事実との間の齟齬が挙げられる。

この新規法度は全国令¹⁷⁷であったことが明らかとなっている。したがって、新規法度が実効性のある規制であったのならば、全国的に技術開発が進まず、新しいものが生まれないうのだから、技術情報のやり取りも行われないう状況になったと思われる。

しかし、新規法度によって「新しいもの」を生み出すことを規制できたという状況にはなっていない¹⁷⁸。そのことは、江戸時代を通して奢侈禁止令を何度も繰り返し出し続けなければならなかった、つまり守られていなかったという事実、新規法度の条文にも取り上げられているお菓子でさえ、新規の工夫がなされていることなどから示されている。

新規の工夫が行われれば、新しい技術が生まれることは想像に難くない。そして、もし技術情報が藩の垣根を越えて伝搬されないのであれば、藩と藩の間で使われる技術に差が出るのが予想される。ところが、複数の人物の手による自動割駒式文字盤機構を備えた和時計の構造が、「一年一往復の動作を実現する年周カム、往復運動を各々の割駒に伝えるスリット状の切り込みを持つ惰円板、さらに放射状の駆動腕で構成される」¹⁷⁹という共通の機構を持っていること、新規法度が1721年に出されているにもかかわらず、和時計やからくりの機構を解説した「機巧図彙」¹⁸⁰が1796年に、多賀谷環中仙によるからくり解説本である「機訓蒙鑑草」¹⁸¹が1730年に出版されていることを考えれば、職人の間で幕末に限らず、より早い時期から技術的なやりとりが藩を越えた形で存在したと考えて良い。

¹⁷⁷ 木下泰宏，“江戸期における技術開発（新規法度の影響に関する一考察）”，日本機械学会論文集，80(810)，LH0036-LH0036，2014 「享保6年7月5日の触」は、全国令たる惣触の形式(荃田，1977)を取っていること，「享保6年閏7月の触」では，京都(京都町触研究会，1983)・大坂(大阪市参事会，1911)でも同様の触れが出されている上，間違えて新規の品を送ってこられた場合の対処法まで指示されていることなどから全国令と判断される。

¹⁷⁸ 木下泰宏，同上論文

¹⁷⁹ 佐々木勝浩・岡田和夫・加藤實，和時計における自動割駒式文字盤機構とその幾何学的誤差，Bul.Natl.Mus.Nat.Sci.，Ser.E，30，December 21，2007，pp.1-13

¹⁸⁰ 細川頼直著，“機巧図彙”，1796，国立国会図書館蔵

¹⁸¹ 多賀谷環中仙，機訓蒙鑑草，1730

3.2.4 職人と技術者との違いからみた西洋技術導入

まず職人と技術者との違いについて再度述べる。職人の特徴は、その能力が自己完結的であり、原理的には特定の仕事に対して職人同士で完全に代替的だ¹⁸²ということである。ただし、腕の良し悪しはあり、腕の良い職人の技能は個別的であり、定型化することが難しく、その技能を体系的に伝習できるとは限らない¹⁸³。つまり、技能は属人的な項目である。

一方、1.2.1でも論じたが、近代に現れた技術者は、2つに大別できる。一つは発明家と呼ばれる技術者であり、もう一つは教育機関で養成された専門技術者である¹⁸⁴。

前者の発明家のほとんどは、職人や工場の経営者であり、その技術的知識は経験や独学で身に着けていた¹⁸⁵。経験などによる知識の習得は、職人の特徴と差がないように思われるが、新しい機械や方法を考案するにあたっては、あらかじめ実験を行うなどの自然科学者の態度により行っていた¹⁸⁶。後者の専門技術者は、系統化された科学知識などを教育されている。

しかし、技術には科学が含まれている必要はないことが示唆されており、職人と技術者との違いを科学知識の有無で説明することは適切ではない。

以上を考慮して、職人と技術者を次のように定義することが可能であろう。

職人：属人的な経験や技能に基づき、その職能¹⁸⁷の範囲内で生産活動を行う者

技術者：科学知識・工学知識の利用や批判的態度による考察を前提とした技術の行使により生産活動を行う者

江戸時代においては、ほとんどが職人であったと考えて良い。幕府による身分固定策や経済政策（株仲間、新規法度など）¹⁸⁸により、限られた職分内での活動が奨励されていた。したがって、技能を磨くことが中心であり、自らの職分外のことに踏み出す発想は持ちにくい状況であったからである。

ところが、その江戸時代の職人たちが、西洋技術の受容において、科学的知識の勉強をし（洋学の学習）、工学知識の習得（試行錯誤による技術習得）を行い、数々の実験を行いながら、西洋近代技術の含まれた製品などの模倣を行い、ついには産業化まで成し遂げ、

¹⁸² 南亮進・清川雪彦編、日本の工業化と技術発展、東洋経済新報社、昭和62年、p.215

¹⁸³ 南亮進・清川雪彦編、同掲書、pp.215-216

¹⁸⁴ 転法輪圭・廣政直彦編、教養のための技術論、東海大学出版会、1986、p.62

¹⁸⁵ 転法輪圭・廣政直彦編、同掲書、p.62

¹⁸⁶ 転法輪圭・廣政直彦編、同掲書、p.62

¹⁸⁷ 職業を遂行するために必要な機能であり、それぞれの職に付随している

¹⁸⁸ 木下泰宏、“江戸期における技術開発（新規法度の影響に関する一考察）”，日本機械学会論文集，80(810), LH0036-LH0036, 2014

今日からみて技術者としか言えないような姿に成長を遂げる．純粋な職人から技術者への変化が確かに存在し，その境目を示すことは難しいまでも，何が変わったかは示せるのである．

現代においては，職人と技術者を明確にわけるとは難しい．なぜなら，今日職人と呼ばれている人は，自らの技能に関わる科学知識を所有していることが多く，批判的態度による思考も行えるからである．

だが，本稿がそれ以前の時代を扱うことを考えて，先のように職人と技術者とを定義づけると， **3.2.3** で示した産業化までの必要条件

(1) 製品などによる模倣

① 形の模倣

② 設計意図・思想の模倣

(2) 製造技術の模倣

(3) 市場ニーズに適合した技術開発

のうち，(1)の①は，「職人的模倣」，②は「技術者の模倣」と言い換えることができる．

多くの優秀な職人がおり，製品の模倣を始めたとしても，職人的模倣つまり形の模倣でとどまっていたら，技術移転が進まず，産業化の段階に移行できない．技術者の模倣を行える状態に移行することが重要なのである．つまり，江戸幕末から明治期に起こった西洋技術移転において，優秀な職人がいたことが重要なのではなく，その職人たちが技術者へ移行していったことが重要なのだということが理解される．

3.3 和時計における西洋技術受容形態と限界

和時計は日本特有の技術であるが、その発展も西洋技術を受容し、日本に移転されたとみることが可能である。和時計は西洋から機械式時計が入ってきたことから始まっている。第2章でふれたように、その構造は200年間にわたり、棒テンプレと冠型脱進器がほとんどであるが、その間に発展した西洋機械時計の技術が日本に入ってこなかったわけではない。

和時計を時計と考えるのであれば、明治初期もしくはそれよりも前の段階で時計産業が日本でも立ちあがる可能性が考えられる。大砲や織機よりもかなり早い時期から、時計そのものが日本に大量に輸入されており、時計に使われている技術に触れる機会は多かった。幕末の時点で輸入されている西洋時計は、すでに大量生産方式で生産された時計であるが、織豊時代から継続的に輸入され続けている以上、同様の時計を国内で生産開始する素地は、実物に触れてみる機会のなかった大砲に比べれば格段の差があったと言える。

時計の産業化（江戸時代は和時計であったが）へ進むために、他の重工業品・軽工業品に比べると有利な点がいくつかあった。たとえば、かなりの数の時計が輸入され使われていた、しかも継続的に時計そのものが流入し、西洋機械時計の技術に触れる機会があった、多くの時計師と呼ばれる職人がいたなどの点である。

しかし実際には、時計の産業化はなかなか進まなかった。日本で時計の本格的な産業化が始まったのは、完全に明治期に入っている。日本における最初の企業による時計の工場による製造は、1875年の金元社（東京）¹⁸⁹もしくは1887年の時盛社（名古屋）¹⁹⁰と考えられている。これら工場において機械式時計の国産化が始まったのである。同様に1889年には大阪時計製造株式会社、1892年に精工舎（服部時計店）などの時計工場が相次いで作られている¹⁹¹。したがって、日本における時計の産業化は1875年の金元社の例はあるものの、1887年（明治20年）ごろから本格化し始めたと言ってよい。

では、なぜ時計の産業化が他に比べて先んじることがなかったのであろうか。

その一つの解は、「和時計師の技術では市場で競争することなど到底不可能なまでに技術格差が広がっていた」¹⁹²というものである。「機械・工場による互換性大量生産体制によって製造された機械時計は、当時の我が国の和時計より格段に精度が高くかつ安価な製品」¹⁹³であったがゆえに、「輸入時計に競合し得る品質と原価を示すことのできる加工機械の

¹⁸⁹ 久保田浩司，“時計産業近代史 スイスと日本、夫々の特徴”，マイクロメカトロニクス（日本時計学会誌），Vol.51，No.197，2007，pp.89-99

¹⁹⁰ 愛知時計電機 85 年史編纂委員会，愛知時計電機 85 年史，1984，p.10

¹⁹¹ 内田星美著，時計工業の発達，1985

¹⁹² 馬淵浩一著，技術革新はどう行われてきたかー新しい価値創造に向けて，日外アソシエーツ，2008，p.50

¹⁹³ 馬淵浩一著，同掲書，2008，p.49

開発に成功」¹⁹⁴するまで産業化が進まなかったというのである。これは、先行研究 1.2.2 節において触れた、リカードの比較生産費説による国産化プロセスとよく符合しており、合点しやすい説明である。

しかし、そもそもなぜ江戸幕末・明治初期の段階でそれだけの技術格差が生まれたのかが重要である。

その原因をいわゆる鎖国政策に求める意見がある。「鎖国による技術伝来の制約により、テクノロジーの発達はとぼしく、ヨーロッパ諸国でのフック・ホイヘンスによるひげ・てんぷ方式や、トーマス・マッジのレバーエスケイプメントなども知らないまま、旧来の冠脱進機と棒てんぷによる方式で、手工業的につくられていた」¹⁹⁵からであるという主張がなされてきた。しかし、2.4 節でも触れたように、円天府（ヒゲゼンマイ）方式を用いた和時計も存在し、多くの西洋時計が輸入されている状況からすれば、鎖国による技術伝来の制約が主たる原因であるとは言えない。

また、機械をおもちゃのように考えていたからだという意見もある。機械図彙の序を引用しつつ、「機械発明の要点はたえざる注意によって奇智を働かすことであるとしている。機械がこうした意味でしか理解されず、単なる玩具的のものとしきみなされなかった当時の風潮をよく反映している」¹⁹⁶ことを挙げている。しかし、すでに飾り物・人を驚かすだけのものといったものから実用品へと歩みだしていた和時計を、からくり人形や同書内で取り上げている平賀源内のエレキテルを例にだし、「平賀源内の奇智が単なる奇巧を作るのみに終わったのと全く同一」¹⁹⁷としてしまうのは、少しばかり無理があろう。前述したが、複数の人物の手による自動割駒式文字盤機構を備えた和時計の構造が、「一年一往復の動作を実現する年周カム、往復運動を各々の割駒に伝えるスリット状の切り込みを持つ惰円板、さらに放射状の駆動腕で構成される」¹⁹⁸という共通の機構を持っていることから、ただ単に奇巧を求めたのであれば、他人と同じ構造のものを作ることには意味がないのである。

しかし、筆者は違う観点からの提案をしたい。まず、3.1 および 3.2 節で検討した技術受容プロセスに当てはめてみることにより、和時計において西洋機械式時計の技術受容がどの程度行われていたのか整理することから始める。

まず、形の模倣は行われていると考えて良い。和時計初期から続いている棒テンプ＋冠型脱進器の組み合わせは、形の模倣であり、ほとんど同一の形が和時計のみならずからくり人形の世界でも使われている。円テンプや西洋時計の機構をそのまま流用するという行

¹⁹⁴ 馬淵浩一著、同掲書、2008,p.51

¹⁹⁵ 久保田浩司、「時計産業の比較産業史的考察」,日本時計学会誌(152),1995,pp.70-80,

¹⁹⁶ 吉田光邦著、日本科学史、講談社、昭和 51 年、p.253

¹⁹⁷ 吉田光邦著、同掲書、pp.248-253

¹⁹⁸ 佐々木勝浩・岡田和夫・加藤實、和時計における自動割駒式文字盤機構とその幾何学的誤差、Bul.Natl.Mus.Nat.Sci., Ser.E, 30, December 21, 2007, pp.1-13

為は、形の模倣と同じことである。

次に、設計意図や思想の模倣は、追及が中途半端に終わっていると考えられる。棒テンプ+冠型脱進器は、使用されている部品を日本で製作することが出来る上に、最終的な目的である一定間隔での振動の生成は、錘の位置で後から調整可能であった。そのため、未知の科学知識がなくてもその機構を利用することが可能だったため、設計意図や思想の模倣にまで入り込む必要性が乏しかった。

時計開発において設計意図や思想の模倣が生まれるためには、形の模倣だけでは模倣しきれない、より複雑な機構をもった西洋の時計を模倣するという動機・目的が無くてはならない。この動機・目的は、西洋の時計の目指す方向、つまり高精度化と生産の効率化を目指すというベクトルと一致することである。

時計の高精度化は、不定時法を採用し続けた社会においては、あまり重要ではないであろう。そのことは 2.4 において既述した久重の和時計開発の歴史に対する評価をみてもわかる。

不定時法を、基本的に一定速度で動く調速機を用いた時計で構成しようとすれば、

- ① 調速機の色度を可変とし、文字盤の時字は等間隔
- ② 調速機の色度を一定とし、文字盤の時字間隔は不等

とするかの 2 択が考えられる。①であれば、調速機の設定を不定時法の時刻表示に合わせて変化させる必要がある。実際に、一丁天府時計では 15 日（半月）間隔で錘の位置を変えろという行為をおこなっていた。このような状況では、1 日で発生する誤差がどのくらい、という議論は意味がない。次に、②であれば、文字盤を定期的に付け替えるということになる。これもまた①と同様に時刻表示の厳密性は要求されにくい。つまり、時計の高精度化の要求は生まれにくいということである。

以上の議論をまとめると、和時計は、機械式時計という西洋技術を早期に受容し、模倣がスタートしたものの職人的模倣の段階にとどまり、技術者の模倣がほとんど進まなかったという新たな見解が導かれる

なぜ、技術者の模倣が進まなかったのか。それは、不定時法時計という事情により、時刻表示の高精度化欲求が生まれにくかった。その結果、3.2 節でみたように職人から技術者への移行が進まず、和時計という市場があるにもかかわらず、時計の産業化へつながらなかったのである。時計の機構を奇巧とし、おもちゃや見世物的なからくりと同一視することで、技術の停滞が起こったのだとする意見¹⁹⁹を採用することはできない。

このような和時計の状況を考えると、1851 年に製造された万年時計は、和時計の歴史の中でほとんど最後期であり、和時計の到達点を調べるうえで最適である。同時に、当代随

¹⁹⁹ 吉田光邦著、同掲書、pp.248-253

一の職人としてすでに名声を得ており、なおかつ明治期を代表する技術者の一人であった田中久重が製作したことを踏まえると、万年時計の調査を行うことは、技術の到達点を見るだけでなく、職人から技術者への移行実態を知る上でも多大な価値がある。

3.4 製造技術の模倣が進まなかった理由について仮説

残る課題は製造技術の模倣が行われなかった理由である。前節までで、和時計（機械式時計）の製作に当たり、技術者の模倣が進まなかった理由は示されたが、職人の手仕事を中心とした分業体制が維持され、作業の効率化が進まなかった理由は明らかではない。

製造技術の模倣は、「技術者の模倣」とリンクすることが多々ある。なぜなら、3.1 節で触れた連鎖モデルのように、設計と生産とは無関係ではないからである。あえて二元論的な言い方をすれば、「技術者の模倣」には、製造技術の模倣と関連のあるものとないものとにわけることができる。となれば、製造技術の模倣が進まなかった理由の一つに、製造技術の模倣に関連のある技術の「技術者の模倣」が進まなかったからとも言える。

従来、1.2.3 節で触れたように、からくり研究を中心として、いわゆる新規法度が技術の発展を止めたのだという議論がなされることがある。そのことを拡張し、広く一般の技術開発に対し、新規法度を技術発展阻害の主要因とすることは適切であろうか。3.3 で示したように、「時計の機構を奇巧とし、おもちゃや見世物的なからくりと同一視することで、技術の停滞が起こったのだとする意見を採用することはできない」のであるから、からくりの技術発展に対し行われた新規法度の評価は用いるべきではない。

それよりも、本節で詳しく検討するが、新規法度を江戸時代の現状維持政策とその手段としての省力化忌避政策のため²⁰⁰の法令と考え、製造技術の模倣のための技術者の模倣が進まなかった一つの原因とするほうが良い。

以降、省力化忌避政策を視点として、既述した「新規法度」について検討する。

まず、「新規法度」の目的に関して検討を加える。従来、発明禁止令である、いや奢侈禁止令である、いや物価抑制令であるという様々な解釈がなされてきた²⁰¹。

新規法度により発明が禁止されたとの立場から新規法度を悪法であると最も強く批判し、経済停滞の原因であるとしているのは板倉²⁰²である。板倉は、経済規模の停滞に対応するために、発明を禁止し、経済活動を停滞させて現状維持を図ろうとしたとの見解を示

²⁰⁰ 木下泰宏、江戸期における技術開発（新規法度の影響に関する一考察）、日本機械学会論文集、80(810), LH0036-LH0036, 2014

²⁰¹ 本論文先行研究 1.2.3 参照

²⁰² 板倉聖宣著、日本史再発見 理系の視点から、朝日新聞社、1993, p.191

している²⁰³。その根拠として、相馬藩を例に藩の年貢収納量を検証し、1720年ごろまでは藩の収入が増えて豊かになったが、以降は急速に悪化していること、佐渡金銀山産出銀が1720年を境に減少、別子銅山の銅産出量も1720年ごろから横ばい、土木工事件数が1660年-70年をピークとして1710年-20年に激減していることなどを挙げ、1720年ごろを境に経済環境が激変したことを受けて、新規定度により発明を禁止し、経済停滞を企図し、思惑通り経済が停滞した²⁰⁴とのことである。しかし、この論は次の理由から成り立たないと考えられる。第一に、新規定度が出された1721年前半の段階では、相馬藩の年貢量推移・佐渡金銀山の銀産出量推移を見て経済の減速を把握することは困難であること、第二に「新規定度」は1721年に出されているが、同様の触が1704年²⁰⁵、1720年²⁰⁶にも出されており、経済停滞を意図して発明を禁止したとの説明は受け入れがたい。1720年頃から経済に変調を来とし、経済規模が停滞したことは板倉の指摘通りと考えられるが、その原因を新規定度に求めることの説明には無理があるだろう。

富田²⁰⁷は、新規定度は奢侈禁止令であるとする。不景気の時代に突入し、当時清貧の哲学は儒教思想とも合ったので、幕府によって取入れられ、贅沢禁止令となった、という。鈴木²⁰⁸も、奢侈禁止令であるが結果として発明禁止につながったとしている。つまりこれは質素儉約・奢侈禁止という武家の風潮に基づく禁令²⁰⁹であったという解釈である。新規定度を奢侈禁止令とする考え方は、新規定度およびその前後の同様の触の条文から最も素直に受け取れる解釈である。たとえば、「段々仕形を替、花美をつくし、潤色を加へ、甚費なる儀になり候間」²¹⁰、「近年色品を替、物数奇ニ而仕出し候類」²¹¹とあるように商品が華美・珍奇を衒う傾向にあることを問題視していることがわかる。しかし、新規定度が質素儉約・奢侈禁止令であるというのは正しいとしても、江戸時代を通して繰り返し發布された他の奢侈禁止令とは異なるこの新規定度の特異性を説明することはできない。何より、「見せ物」を例外として規制対象としていないことも単なる奢侈禁止令とは考えにくい点である。もちろん、奢侈禁止令と考えている富田も、新規定度が江戸時代の技術発達の停滞の原因とは考えていない。

²⁰³ 板倉聖宣著、同掲書、pp.191-193

²⁰⁴ 板倉聖宣著、同掲書、pp.180-193

²⁰⁵ 高柳=石井編、御触書寛保集成、岩波書店、1958、p.1017

²⁰⁶ 高柳=石井編、同掲書、p.1017

²⁰⁷ 富田徹男、知的所有権雑考8:歴史と物の保存など、通商産業調査会『特許ニュース』、1995.JAN.25.

²⁰⁸ 鈴木一義、江戸時代の「機巧」技術に関する実証的研究、国立科学博物館研究報告 E 類 理工学、11、1988、pp.41-61.

²⁰⁹ 同脚注 202

²¹⁰ 辻達也編、撰要類集 第3、続群書類従完成会、1979、p.48.

²¹¹ 高柳=石井編、同掲書、p.1018

小林によれば、幕府が江戸時代を通して諸物価の上昇に神経をとがらせていたことを下地とし、物価抑制のために新規法度を出すとともに、同業者間で組合を結成させ、組合による価格の監視と価格の維持・抑制を行わせることにしたものである²¹²と説明している。小林は、享保 11 (1726) 年 5 月 12 日の記録に「新規仕出し物不致候ため、又ハ火事以後高直ニ為不致候」²¹³とあり、享保 12 (1727) 年 2 月の記録に「近年諸商売人組合被仰付候故、諸色高直ニ成不申、新規仕出シ等も無御座、能しまり申候」²¹⁴とあることをその根拠としている。しかし、筆者は新規法度が発布されて何年も経過した後に出された享保 11 (1726) 年 5 月 12 日・享保 12 (1727) 年 2 月の触よりも、新規法度発布の数カ月後に出された享保 6 年 11 月御触書²¹⁵にて、江戸町中のあらゆる商人・職人に仲間を積極的に結成し、組合ごとに月行事を行い、「新規之品若拵出し候ハバ、互致吟味」とあることに注目する。ここではあくまで、組合に対し、相互チェックを求めているだけである。株仲間は物価統制のためだけに存在したわけではなく、治安や取り締まりの維持に役立つときに認められたのであり、外国貿易品の統制と警察的取締りの念慮、産業や市場を助長し開発するためなどの意味²¹⁶があったことに留意すべきである。したがって、新規法度が物価抑制を目的とした法律であるというのはいささか言いすぎである。また、小林は「新規法度」が奢侈禁止令であったのであれば、見せ物そのものが禁止されたはずであり、物価抑制のためと考えれば、生産や物価と直接関係のない見せ物の新規創作については規制の対象とされなかったとし、「新規法度」が奢侈禁止令であったことを否定している²¹⁷。筆者も奢侈禁止令であれば見せ物が禁止されたであろうという点は同意する。ただし、後に述べるが、見せ物を規制対象としなかった理由として考えられうるものは物価抑制だけではない。

筆者は、徳川実紀中に新規製造禁止の背景が記されていることを確認した。「享保 6 年 7 月 5 日の触」、「享保 6 年閏 7 月の触」の 2 つの触れは、徳川実紀に以下の記載がある。いずれも実際に発布されている約一週間前に記述されていることから徳川実紀での発布日付と触中の発布日付の違いは、手続等による情報伝達の遅延であると考えられる。

「(享保六年六月二十八日) 今諸物足らざるものもなければ、このうへ新しき製造あるべからず。」²¹⁸

²¹² 小林聡, “江戸時代における発明・創作と権利保護”, パテント, Vol. 61(2008) No. 5, pp.48-55

²¹³ 近世史料研究会, 江戸町触集成 第四卷, 塙書房, 1995, p.250.

²¹⁴ 近世史料研究会, 同掲書, p.276

²¹⁵ 高柳=石井編, 御触書寛保集成, 岩波書店, 1958, pp.1019-1020.

²¹⁶ 宮本又次編, 日本経営史講座 1 江戸時代の企業者活動, 日本経済新聞社, 1977, pp.234-242.

²¹⁷ 小林聡, 同上論文

²¹⁸ 経済雑誌社編, 国史大系 第 13 巻 徳川実紀, 経済雑誌社, 1905, p.697.

「(享保六年閏七月十一日) 令し下さるは、たとえ器材書籍をはじめ菓子類に至るまでも、新に作り出すこと、かたく禁ぜらる。」²¹⁹

そして享保6年6月28日の項には「今諸物足らざるものもなければ、このうへ新しき製造あるべからず。おのおの分限をこえ、猥に財を費さば国の衰となるべし」²²⁰とあり、さらに、理由なく物価を高くし、徒に利益を追い求めることには調査をすること、人々が分限を守って奢侈をしないことが大事であると記されている。このことから当時の考えでは、分をわきまえて身の丈以上のものを求めないようにすることが大事だったのである。当時「侍、町人、農民はそれぞれ着装がちがっていた。さらに町人でも旦那、番頭、丁稚では衣装が異なり、婦人でも奥方、内儀、乳母、下女では区別があり(中略)一見してその職場が識別できた」²²¹のであり、武家には武家の、町人には町人の規範が存在した。「現状で足りないものはないのだから」²²²という言葉は、その枠組みから逸脱せずに現状維持を続けることを求めている。つまり、奢侈を求めること、徒に新しいものを求めることは現状からの逸脱を意味しているとの認識であることをうかがわせる。そのことはまた、結果的に物価の上昇という現状からの逸脱をまねくのである。したがって、新規法度の目的は現状維持であり、その手段としての奢侈禁止、結果としての物価抑制であったと言うべきである。そして、この現状維持政策の最終的な目的は、発達した貨幣経済と土地経済に立つ幕府諸侯との矛盾の顕在化に伴う武家の困窮を、奢侈禁止・物価抑制による貨幣経済の発達の抑制によって救おうとしたのである。

国内経済が成長しないという条件下では、生産の効率化は失業問題に直結する。まさに江戸時代の経済は、国内の需要のみに支えられた成長しないという状態であった。新規法度の性格は現状維持であり、その他の奢侈禁止令や物価抑制策、さらには身分固定策などが同時に実行されていたのであるから、新規法度は生産の効率化を図るような技術開発を抑制する効果を持ったことは想像に難くない。

しかも、江戸時代の人々、特に為政者側の機械技術への態度の例として以下がある²²³。

(1)「麦こく手業もとけしなかりしに、尖竹をならべ是を<後家倒>と名付け、古代は二人して穂先を扱きけるに、力も入れずしてしかも一人して手廻りよく是をはじめける」

²¹⁹ 経済雑誌社編、同掲書、p.700

²²⁰ 経済雑誌社編、同掲書、p.697

²²¹ 精園俊介、”現代社会と個人の欲望(第一報):人間関係よりみた衣・食・住に対する一考察”,東海学園大学 紀要,創刊号,1965, pp.47-53.

²²² 経済雑誌社編、同掲書、p.697

²²³ 板倉聖宣著、同掲書 および高梨生馬著、からくり人形の文化誌,学藝書林,1990にも記述がある

（1688 年井原西鶴著 “日本永代蔵”）²²⁴ 麦を扱く作業者であった後家の職を奪うものという認識からの命名と考えられる

（2）荷車の上に荷物ではなく人間を乗せて運ぶ人力車や馬車のようなものを幕府に提案するが、失業者が出るため却下（1789 年中井竹山著 “草芽危言”）²²⁵

（3）現在の愛知県枇杷島で行われた祭礼において、1802 年に山車からくりが完成したもの、役所の許可が出ず動かすことが出来なかった。1812 年に山車を動かすことは許可されたが「からくり」を動かせず、翌年 1813 年に人形からくりも動かすことができた（高力種信著「猿猴庵日記」）²²⁶

以上の例から浮かび上がるのは、省力化による現状からの変化に対する忌避、具体的には機械化による失業・就業者構造の変化を避けている姿である。

就業者構造の変化は、身分制度を含む社会構造の変化を招く恐れがある。そのような背景のもと、その根本に省力化・合理化の発想がある機械技術の発達に為政者側が警戒するのは理解可能な反応である。当時の領国経済には、兵農分離と農商分離²²⁷という身分固定化・商業固定化を原則とする政策があった。前者は、商人は城下町に集住し、農村は農民のみにより成る純粹農村を設定、農村からは貨幣・商品経済の発展をさせない、田畑の仕事をないがしろにして、商いや賃仕事に身を入れるものを農村から追放すべきというものである。後者は、認可した物資を指定した地域において売買せしめること、農民を怠惰、奢侈に導く品物の売買を禁じ、またたとえ認可された必要物でも農村内部、近傍で勝手に売買することは禁止、農民の売買行為そのものの禁止ではなく、商人の農村内居住禁止、農民の商人化の禁止、領外商人の出入りは規制、城下町との特定商人との取引が許されているだけであり、その商品内容も統制されているというものであった。この意図は明白であり、幕府が現状固定化をその政策の基本理念に持っていたとすれば、省力化に繋がる機械化には慎重になる一方で、無尽燈や和時計・見せ物としてのからくりなど便利なもの・娯楽要素の高いものに対する機械化は許容し、それゆえ独自の発展を遂げた理由を説明することが可能である。

以上の議論から、新規法度が他の幕府による現状固定化策と相まって、生産効率向上（省力化）のための技術発を停滞し、そのための「技術者の模倣」が進まなくなった一つの要因となった可能性が示唆される。省力化という発想が長年にわたり阻害されてきたのであるから、製造技術に対する技術者の模倣の必要性も軽視されてしまったと考えられる。

²²⁴ 井原西鶴著、塚本哲三編、西鶴文集 上、有朋堂書店、1927、p.423

²²⁵ 中井竹山、草芽危言、第 3（角）、懷徳堂記念館、1942、pp.16-18。

²²⁶ 高力種信著、名古屋叢書三編 / 名古屋市蓬左文庫編、金明録 猿猴庵日記、1986、名古屋市教育委員会。

²²⁷ 宮本又次編、日本経営史講座 1 江戸時代の企業者活動、日本経済新聞社、1977、pp.89-94

その一例を佐賀藩における大砲製造における砲腔製作にみることができる。中岡は、この砲腔製作を単純に単純な失敗の連続と製作の困難さを示すために用いている²²⁸が、それだけでは説明のしようがない行動を当時の人たちはとっている。ここでは中岡の書をもとに検討を加えてみる。①、②の記述は中岡²²⁹による。

- ① 佐賀でヒュージェニンの本の図面にもとづいてつくられた、水車で動くボーリングマシン＝鑽開台が使われはじめたのは三年目の三月でした
- ② 機械さえ順調に動けば一週間はかからなかったと思われる砲身の仕上げに一月半もかけて

これらの記述を再検討すると、

- ① 反射炉そのものはヒュージェニンの本の図面を忠実に再現することを当初から行っていたにもかかわらず、ボーリングマシンの使用は3年も経った後である
- ② 順調に動かないボーリングマシンを使い続け、途方もない時間をかけている

とても反射炉の製造にあたり、精緻な記録を残し実験を繰り返していた人たちと同一とは思えない行動である。時間さえかければ、加工機械（技術）が未熟であっても同じものが得られると考えていたのではないか。このような製造技術に対する軽視ともみられる行動が散見されるのである。

製造技術にかかわる技術者の模倣を行う発想が長い間の現状維持政策の結果、閉ざされてしまったがゆえに、技術者の模倣を行うことから始まる「職人が技術者へ変化するきっかけ」が生まれる障害となった。そしてその原因の一端を新法度法は担ったという可能性を指摘しておきたい。

²²⁸ 中岡哲朗著，同掲書，p.24

²²⁹ 中岡哲朗著，同掲書，p.24

3.5 3章まとめ

日本における江戸幕末から明治期の西洋技術の導入から産業化に至るプロセスの再解釈を行った。技術者が設計（開発）を進めていくプロセスに従って整理すると、産業化までに必要な条件として次の3点に集約可能である。1. 西洋の技術・製品の模倣，2. 製造技術・装置の模倣，3. 市場ニーズと適合である。これら3点は産業化のための必要条件ではあるが、十分な条件ではない。

1. 西洋の技術・製品の模倣では、さらに形の模倣と設計意図・思想の模倣に分けることができる。職人と技術者との違いを明確にすることにより、形の模倣を職人的模倣、設計意図・思想の模倣を技術者の模倣というように概念の導入を図った。

和時計の開発は、幕末の段階でも技術的限界に直面していた。江戸時代に行われた和時計の技術開発は、設計意図や思想を新たな科学知識などを導入して理解することが十分に行われず、和時計の開発の歴史と産業化のための必要条件とを比較すると不足した部分があったのである。

和時計の産業化が進まなかった理由として、技術者の模倣が進まなかったことが挙げられる。まず不定時法のための時計という条件下で高精度化の要求が生まれにくく、西洋機械式時計の発展とは違う方向の技術発展がなされた。このことは、時計自体の性能向上を目指す技術者の模倣が進まなかった理由となる。次に、機械による省力化への忌避が挙げられる。省力化忌避は、江戸幕府の現状維持政策の影響によるものであり、その一つである新規法度は、現状維持を企図することにより、結果的に省力化のための技術開発を止める効果を持った。そのため、製造技術と関係のある技術者の模倣を行うことへの意識が非常に希薄であり、ここでもまた技術者の模倣を行う障害となった可能性がある。

技術者の模倣の抑止は、結果的に職人が技術者へ自発的に変化していくことを妨げることにつながった可能性を指摘する。

4. 田中久重略歴^{230, 231, 232}

ここで、田中久重の略歴を記す。田中久重は万年時計の製作者であると同時に、前半生は時計を含むからくり製作者（からくり義右衛門）として、後半生は江戸幕末から明治初期にかけて活躍した一線級の機械技術者、そして株式会社東芝の創業者の一人として知られている。そのため、伝記・記録はこれまでにいくつかまとめられたものが存在するが、佐賀県において郷土の偉人であるがゆえに脚色されたものも多い。ここでは、伝説的な部分は極力排除した記述を心がける。

田中久重は、1799（寛政 11）年 9 月 18 日に久留米の鼈甲職人の子として生まれている（幼名：岩次郎、初名：儀右衛門）²³³。久重は幼少期からからくりに対して興味を持っていたらしく、久重は数え 9 歳（1807 年、文化 4 年）のときに手習い所（寺子屋）に行っているが、同じ年に硯箱を製作し、翌年には箱細工を色々作成したと記録²³⁴にある。この硯箱は、細工がしてある「開かずの硯箱」であり、手習い所の子供たちを驚かせたという話が良く伝えられているが、事実かどうかは不明²³⁵である。

久重数え 15 歳（文化 10 年、1813 年）には、緋に絵を入れる機構を発明した²³⁶とされている。この緋は今日では、久留米緋と称され、国の重要無形文化財に指定されている²³⁷。久留米緋は一般に江戸時代末期の井上传創案²³⁸によるものとされているが、絵（模様）を入れる技法は田中久重が関与したと記している文献²³⁹が多い。ただし、その文献も「相談を受けた」というものから「発明した」というものまで幅広く、久重自身によるものとされている年譜にも、「絵がすり発明」²⁴⁰とあるだけで実際にどの程度関与したのかは定かではない。田中久重の甥にあたる田中吉太郎氏による談話²⁴¹として残っているだけである。その後、20 代から 30 代にかけて久重は地元の五穀神社を始め、肥前・肥後・江戸・大坂

²³⁰ 田中近江翁顕彰会著、田中近江大掾、田中近江顕彰会、昭和 6 年、2011 年東芝科学館により復刻

²³¹ 今津健治著、からくり儀右衛門－東芝創立者田中久重とその時代－、ダイヤモンド社、1992

²³² 鈴木一義監修、「万年時計ものがたり」編集委員会編、万年時計ものがたり、東芝科学館、2010

²³³ 田中近江翁顕彰会著、同掲書、pp.1-5

²³⁴ 田中近江翁顕彰会著、同掲書、p.2（翁手記の年譜）

²³⁵ 今津健治著、同掲書、pp.25-26

²³⁶ 鈴木一義監修、「万年時計ものがたり」編集委員会編、同掲書、p.16

²³⁷ 文化庁 国指定文化財等データベース

http://kunishitei.bunka.go.jp/bsys/index_pc.asp 久留米緋 2015 年 3 月 5 日閲覧

²³⁸ 文化庁 国指定文化財等データベース

http://kunishitei.bunka.go.jp/bsys/index_pc.asp 久留米緋 2015 年 3 月 5 日閲覧

²³⁹ 鈴木一義監修、「万年時計ものがたり」編集委員会編、同掲書、p.16

²⁴⁰ 田中近江翁顕彰会著、同掲書、p.2（翁手記の年譜）

²⁴¹ 田中近江翁顕彰会著、同掲書、pp.20-21

などでからくり興行を行っている²⁴²。

久重 35 歳（天保 5 年，1834 年）の時，一家は大坂に移住している．その大坂で製作したのが「懷中燭台」（Figure 4.1）であり，折り畳みの出来る持ち運び容易な燭台である．1837 年には大阪の大塩平八郎の乱により被災し，伏見に移っている．このころの製作品としても一つ有名なものに「無尽灯」（Figure 4.2）²⁴³がある．これは，空気銃の構造を応用して油を常に供給することによって長時間の連続点灯を可能としたものであった．「無尽灯」の製作時期ははっきりしたことはわからない²⁴⁴が，長期にわたり製作していることは明らかで，現存している数も多いことから，かなり好評を博した製品だったようである．

久重 48 才の時，1847（弘化 4）年になると，京都の戸田久左衛門通元（算数玄機に分類）に師事し，その紹介で京都梅小路の土御門家へ入門し，天文・暦道を修めたといわれている²⁴⁵．土御門家は，天文・暦道を司る役所である陰陽寮の博士を代々受け継いできた家系ではあったが，すでに天文学および暦作成は江戸の幕府天文方に実体が移っており²⁴⁶，権威および関係する「お墨付き」を与えるような承認機構のような状態であったと思われる²⁴⁷．1847 年と言えば，すでに日本における最後の太陰太陽暦である天保暦が採用²⁴⁸されており，その天保暦が土御門家と無関係に作成されていることを考えると，久重が土御門家より当時の最高の天文・暦の知識を得たという状態では無かったことは明らかであろう．久重年譜²⁴⁹によれば，1847 年（弘化 4 年）須弥山儀とある．須弥山儀とは，「須弥山の須弥とは梵字「Sumeru」（スメール）の音写で妙高と訳される．古代インドの宇宙観で，一須弥世界の中心にある高山を指す．仏教ではこの須弥山説を踏襲しており，江戸末期にはこれを一般に易しく理解させるため，リンが鳴り太陽と月が時計仕掛けで動く模型」²⁵⁰である．この須弥山儀は 1847 年に久重に製作依頼され，1850 年（嘉永 3 年）に完成している．この須弥山儀に引き続き，1850 年（嘉永 3 年）に本論文の主題である万年

²⁴² 田中近江翁頭彰会著，同掲書，p.2（翁手記の年譜）

²⁴³ 鈴木一義監修，同掲書，pp.16-17

²⁴⁴ 今津健治著，同掲書，p.50

²⁴⁵ 鈴木一義監修，同掲書，p.15

²⁴⁶ 渡辺敏夫著，近世日本天文学史（上），恒星社厚生閣，昭和 61 年，p.52

「土御門家にしてみれば，春海の新暦法を実行することになれば，編暦の実権は関東に移るという心配があったわけである．それを敢て許し，幕府に新しく天文方という役職が設けられて，事実編暦の権が関東に移ったことは」

²⁴⁷ 渡辺敏夫著，同掲書，p.360

²⁴⁸ 渡辺敏夫著，同掲書，p.360

²⁴⁹ 田中近江翁頭彰会著，同掲書，p.2（翁手記の年譜）

²⁵⁰ 龍谷大学 広報「龍谷」2007 No.63 シリーズ龍谷の至宝「須弥山儀」

https://www.ryukoku.ac.jp/about/pr/publications/63/05_treasure/index.htm 2015 年 3 月 9 日閲覧

時計の製作を開始し、翌 1851 年に完成²⁵¹させている。

須弥山儀製作期間中、久重は嵯峨御所より「近江大掾」の宣旨を受け、以後は「田中近江大掾源久重」または、「田中近江大掾」と称することが多くなり、通称「近江」または「田中近江」と呼ばれることがある²⁵²。「近江大掾」については、天文家として²⁵³、時計師として、職人として²⁵⁴など授けられた理由について文献により差異がある。「近江大掾」を授けられた者は他に、からくり人形師の初代竹田出雲²⁵⁵、刀匠の近江大掾忠広²⁵⁶、菓子屋の虎屋光富²⁵⁷などが挙げられる。このことから、「近江大掾」が天文家としての称号では無いことは明らかであり、御用商人、優れた職人と思ったほうが良いであろう^{258, 259}。嘉永 3 年に久重がしるした「無尽灯用法記」²⁶⁰には御用時計師 田中近江大掾久重と記名があることから、少なくとも久重自身は御用時計師（優れた職人）として宣旨を受けたと考えていたと解釈するのが良いと思われる。それは同時に、世間の認識でもあったと考えられる。

このころ、京都に移り住んだ久重は機巧堂という店を構えることになる。この機巧堂の引き札（広告）には、「万年自鳴鐘」や「無尽灯」のほかに消防ポンプである「雲龍水」や天文道具類などを扱っていることが記されている²⁶¹。この事実は、時計師田中久重というよりも、金属加工技術およびからくり芝居に端を発する機構設計・発明家として活動をしていた職人であることを意味している。

京都にいた久重は、蘭学者であった広瀬元恭の開いていた私塾「時習堂」に出入りする

²⁵¹ 田中近江翁顕彰会著、同掲書、p.2（翁手記の年譜）

²⁵² 田中近江翁顕彰会著、同掲書、pp.52-53

²⁵³ 浅野陽吉著、田中近江、中原明文堂、昭和 5 年、p.48

²⁵⁴ 鈴木一義監修、「万年時計ものがたり」編集委員会編、同掲書、p.15

²⁵⁵ 鈴木一義著、からくり人形、学習研究社、1997、p.15

²⁵⁶ 佐賀県庁 HP 肥前刀豆知識

https://www.pref.saga.lg.jp/web/kankou/bunkazai/zai_top/_21354/_21363.html 2015 年 3 月 24 日閲覧

²⁵⁷ とらや HP とらやの歴史 <https://www.toraya-group.co.jp/corporate/cor03.html>

2015 年 3 月 24 日閲覧

「※近江大掾とは近江国を治めた国司の役人の第三位の官職名。江戸時代には実態がなくなり、名誉的称号として朝廷より御用商人へ授与された。なお、宮家や公家から授与される場合もあった。」

²⁵⁸ 鈴木一義著、同掲書、1997、p.80、「当時芸能・技術分野に与えられる最高の称号、近江大掾を受領し」とある。

²⁵⁹ 宮崎来城、近江大掾、堀江恒三郎、明治 38 年、p.46

土御門家にて天文暦道を習得したことで天文家として列せられた結果、参内を許されたこと、その後近江大掾を受けたことが書かれており、あくまで天文家と近江大掾は別の事として記載されている。後世、この部分が混同した可能性がある。

²⁶⁰ 今津健治著、同掲書、p.48

²⁶¹ 鈴木一義著、同掲書、p.73

ようになる。この時習堂には後に久重を佐賀藩精煉方として勧誘することになる佐賀鍋島藩の佐野常民、精煉方として一緒に働くことになる中村奇輔や石黒寛二も門下生であり、その後の人生に大きな変化を与える場となった。

久重は時習堂に出入りしていた時期から蒸気力を用いた機構を作り始めている²⁶²。1852年（嘉永5年）には、蒸気船雛形を製作し、関白鷹司卿の前で走らせたようである。その関白鷹司卿からは、日本第一細工師の招牌²⁶³を受けており、先の「近江大掾」と合わせて、機械加工・工作の第一人者であるという評価を当時受けていたというのは間違いない。

その後、かねてより招聘をうけていた佐賀藩精煉方として着任するため、京都を後にして佐賀に向かっている。この時期は諸説あるようで、久重年譜²⁶⁴には「安政元年肥前へ下る」とあり、1854年（安政元年）とするほか、1852年（嘉永5年）、1853年（嘉永6年）の説²⁶⁵がある。

佐賀藩精煉方において久重が製造にかかわったものとして、1855年蒸気船と汽車の雛形、幕府注文の大砲、1858年アームストロング6ポンド砲、1862年電流丸、凌風丸、機械ケートル（蒸気ボイラー）²⁶⁶などがある。凌風丸は1865年に成っているもので、ここではその蒸気機関部分にかかわっているということと思われる。1864年には、久留米藩にも召し抱えられ、両藩兼務にて技術開発にあたっており、1866年にアームストロング砲の試射を行ったと書かれている^{267, 268}。

明治維新を迎えて本格的な近代化の時代、1873年（明治6年）久重は久留米から東京に上京し、1875年（明治8年）には銀座の煉瓦街に店舗兼工場を開設している。この1875年の工場開設をもって、今日の東芝の創業と認識されている。この時期、報時器・電話機を製作・試作するなど電信技術への進出を行いが、1881年（明治14年）11月7日、田

²⁶² 今津健治著、同掲書、p.48

²⁶³ 浅野陽吉著、同掲書、p.60-61

²⁶⁴ 田中近江翁顕彰会著、同掲書、p.2（翁手記の年譜）

²⁶⁵ 田中近江翁顕彰会著、同掲書、pp.83-90

²⁶⁶ 田中近江翁顕彰会著、同掲書、p.2（翁手記の年譜）

²⁶⁷ 田中近江翁顕彰会著、同掲書、p.2（翁手記の年譜）

²⁶⁸ 現在手に入る久重の伝記などは、上記記述を反映して久重がアームストロング砲を製造したと書かれているものが多い。しかしながら、近年の研究で疑義が呈せられていることを指摘しておく。当時、日本では铸铁しかできていないという技術的課題があった。アームストロング砲の製造には、鍛鉄が必要*であり、鍛鉄を製造する技術がまだ確立していなかった**国内においては不可能だったろうという見解である。おそらく、久重はアームストロング砲の情報を知り、それを参考に作ったのであり、アームストロング砲そのものではなかったと考えるのが妥当である。

* http://en.wikipedia.org/wiki/Armstrong_Gun 2015年3月24日閲覧

** 菅野利猛，“葦山反射炉の大砲復元鑄造について”，日本鑄物技術協会誌「JACT NEWS」1998年9月，pp.16725-16733

中久重は永眠した²⁶⁹。

以上の略歴から田中久重の経歴を3期に分けることが可能であろう。

まず第一期は、からくりを中心とした職人として過ごした時期である。佐賀藩精煉方として佐賀に赴くまでの期間と考えてよいだろう。この時期の久重はからくり儀右衛門とまで言われるからくり師であり、近江大掾や日本第一細工師という称号をもらえるほどの名声をすでに得ている。京都に機巧堂という店を構え、万年時計を製作している姿はまさに優れた職人というとらえ方が正しい。

第二期は、金属加工技術を背景とした機械技術者として、佐賀藩精煉方など藩の役職に属して活動していた技術者としての時期である。主な活動は大砲や蒸気船など藩の要請に従って研究・製造を行っていたのであり、期間としては、佐賀藩精煉方となってから(1854年ごろ)、東京へ上京する1873年(明治6年)までと考えられる。

第三期は、企業家として会社を経営しながら電信機の製造などを行っていた企業家兼技術者としての時期である。期間としては1873年から没年までである。この時期の活動は、電信機などに代表される国からの製造依頼や輸入品の販売など民間企業としての活動である。

万年時計は、和時計の最後を飾る製品であるとともに、田中久重の転換点を示す製品でもある。田中久重の転換点は、からくり職人から技術者と呼べる存在になっていく第2期から第3期の間を挟んだ時期であり、その時にちょうど万年時計を製作しているのである。



折りたたんだ状態



広げた状態

Figure 4.1 懐中燭台²⁷⁰

²⁶⁹ 鈴木一義監修、「万年時計ものがたり」編集委員会編、同掲書、p.19

²⁷⁰ (株) 東芝提供



Figure 4.2 無尽灯²⁷¹

²⁷¹ (株) 東芝提供

5. 万年時計完成に至るまで（1847 年～1850 年）

5.1 知識の習得

4 章の久重略歴でわかるが、万年時計を製作する直前の久重は京都にて自らの知識を積極的に増やす行動を 2 つ行っている。一つは土御門家入門による天文暦法の習得であり、もう一つは広瀬元恭の時習堂での洋学修学である。

須弥山儀の製造着手と久重が土御門家へ出入りした時期は同年であることから、土御門家への入門は須弥山儀を作るためだったのではないかと考えられる。須弥山儀は、1847 年（弘化四年）²⁷²に製造着手²⁷³されている。それに先立ち、長州の僧晃厳が僧円通の須弥山儀図を見て、動作するものを作りたいという依頼があり、それに応じたものである²⁷⁴。須弥山儀は、時計の構造知識だけでは作ることが出来ず、天体の公転周期などの知識が不可欠であるからである。

須弥山儀や万年時計には、当時の最先端の天文学ではなく、暦学の知識が必要であったために土御門家へ久重は入門したと考えられる。須弥山儀や万年時計で表現されている天体の動きは、自分たちから見た動きであり、天動説でも問題なく、そもそも須弥山儀は天動説を示すためのものであり、必要な知識は暦学である。天体の動きと同様に時刻についても必要なのは暦学である。また、土御門家に認められるということ²⁷⁵は、暦学の知識があるということであり、久重の作る時計に対する箔をつけるという意味でも価値があったと思われる。

続いて広瀬元恭の時習堂に入門して、蘭学洋学を修学し、蒸気機関もしくは水蒸気の理論について学んだと考えられる。残念ながらこの時の実際の修学内容は伝わっていない。しかし、1853 年（嘉永五年）に蒸気船雛型を製作していることから考えると理学や蒸気機関についての理論も得ていた²⁷⁶と考えるのが妥当であろう。1853 年と言えば、浦賀にアメ

²⁷² 田中近江翁顕彰会著、「田中近江大掾」、田中近江顕彰会、昭和 6 年、2011 年東芝科学館により復刻、p.2（翁手記の年譜）

²⁷³ 田中近江翁顕彰会著、同掲書、p.55

²⁷⁴ 田中近江翁顕彰会著、同掲書、p.55

²⁷⁵ 渡辺敏夫、近世日本天文学史（上）、恒星社厚生閣、昭和 61 年、pp.56-57

「春海は改暦の功により、天文方に任ぜられて幕臣に取り立てられ（中略）。これほどの春海ですら、格式を重んじた時代では、なお土御門家に対しては一門人として取扱われ、（略）」

「世襲によって、天文方に実力がなくなり、ことに宝暦改暦が西川正休の失敗によって、関東の天文方が全く勢力を失墜してからは、宝暦改暦後天文方は土御門家に対し（中略）誓約書を納めて門人の礼を余儀なくされたのであった。」

「寛政の折にも、幕府が主導した改暦で、江戸時代の大暦学者、天文方高橋至時ですら、土御門に対して、（中略）どこまでも天文生として待遇せられたものである。」

²⁷⁶ 広瀬元恭が 1854 年（嘉永 7 年、安政元年）に著した「理学提要」（Figure 5.1 広瀬元恭著 理学提要）には、二之巻として水が扱われている。その中には水蒸気について解説されている部分があり、水を温めることにより気体となった水蒸気は、体積が膨張し一

リカ東インド艦隊司令官であるペリーが開国を求めて浦賀に蒸気船にてやってきた年であり、事前に蒸気船の構造について情報を得ていた久重が広瀬元恭から水蒸気の理論など指導されたことを活かし、蒸気機関の実物を見ずに製作したものと考えられる。実物を見ていないものを製作するには理論的理解が必要であり、久重は必要な知識を得ようとしていたのであろう。

製品を作るために専門外の知識を系統的に習得する必要があるという意識がすでに万年時計製作前の段階で芽生えていたと言える。



Figure 5.1 広瀬元恭著 理学提要²⁷⁷

定容器内の圧力が上昇することなど記されている。

²⁷⁷ 広瀬元恭著、理学提要、1854（嘉永 7）、京都大学附属図書館蔵

（<http://hdl.handle.net/2433/271>）水が熱せられて水蒸気になると体積が膨張することが記載されている

5.2 須弥山儀の製作

万年時計製作に先立つ 1847 年から 1850 年にかけて、久重は須弥山儀を製作したと記録にあり、今日でもいくつかの久重製作と言われる須弥山儀が残されている。須弥山儀は、仏教の宇宙観のうち須弥山説に基づいて作られているオーレリークロックの一種であり、太陽と月以外に星座などの動きを示していることが特徴である。

久重が製作依頼を受けた時点でもすでに須弥山儀は存在していた。円通が製作させた須弥山儀（Figure 5.2）は、錘を動力として歯車伝導によって回転させる装置であったのに対し、久重の須弥山儀はゼンマイ駆動であること²⁷⁸が大きく異なるものの、天体周期や外観などはすでに参考になるものがあつたはずである。



Figure 5.2 円通 須弥山像銘並序²⁷⁹

²⁷⁸ 山田慶兒，龍谷大学大宮図書館所蔵 縮象儀一図・説および模型一について，日本研究第 16 集，国際日本文化研究センター，1997，pp.68-69

²⁷⁹ 円通，須弥山儀銘並序，1813，早稲田大学図書館蔵 田中久重作と言われている須



Figure 5.3 司馬江漢銅版画・屋耳列礼図解²⁸⁰

Figure 5.2 の円通による須弥山儀は、久重が須弥山儀を製作する際に参考になっているはずである。Figure 5.3 で紹介されている西洋のオーレリークロックは、これだけ形態が酷似していれば円通がすでに参考にした可能性がある。どちらにも共通しているのは、移動する惑星・星を表している球が 2 次元平面上を回転する構造となっている点である。

須弥山儀は、一つだけではなく複数造られたことがわかっている。しかし、それぞれの須弥山儀においては、惑星などの回転周期を生み出す歯車の構成が異なっており²⁸¹、同じものを作るというよりも、試行錯誤しながら作っていたことがわかる（6.5.3 須弥山儀との比較 参照）。

つまり、既存品の模倣に止まらず、天体運行周期を理解した上で最終的に作りたい機能があり、その実現のために試作を繰り返していたと考えられる。

弥山儀と外見は類似。

²⁸⁰ 京都大学附属図書館所蔵 古典籍 『屋耳列礼図解(1)』司馬江漢銅版画・屋耳列礼図解，1796

²⁸¹ 土屋栄夫，田中久重作，大橋時計店蔵，須弥山儀調査報告，2000

6. 万年時計の技術的側面から見た 1851 年の久重

本章では、万年時計の分解調査を通して浮き彫りになった万年時計の実力と 1851 年の久重の技術者としての実力を示す。万年時計の目指した性能・通説と実力との差、久重の西洋技術に対する理解と限界を示し、当時最高のからくり職人として認められていた²⁸²久重が、和時計としての頂点となる製品を作ったらどうなったのか、を明確にする。そのことにより当時一般の時計技術を推し量ることが可能である。

具体的には、万年時計において、職人的模倣、技術者の模倣が行われていたのか、またその先の製造技術の模倣が行われていたのかを検討する。

6.1 万年時計概要²⁸³²⁸⁴

1851 年（嘉永 4 年）に田中久重により製作された「万年自鳴鐘」（以下、万年時計：東芝所有、国立科学博物館寄託管理）は和時計の最高傑作といわれている。そのため、2005 年に愛知県で開催された愛・地球博でも紹介され、2006 年 6 月に国指定重要文化財として、2007 年度には日本機械学会から機械遺産として指定を受けている。

万年時計は、驚異的な性能を持っていると言われ続けてきた。この万年時計の主な特徴は、6 面の時計表示部と太陽と月の運行を示す天球儀、そして一度のゼンマイ巻き上げで 1 年間の無調整連続駆動を行うことである。さらに七宝、蒔絵、螺鈿等の装飾が施された外装部、時報としての鐘が備わっている。他に残されている和時計が和時計表示部 1 面しかないにもかかわらず頻繁な調整が必要であること、西洋においてもゼンマイで 1 年間駆動し続ける時計は無かったことなどからすると、その言われている性能が正しければ、群を抜いた性能である。

万年時計の外観写真を Figure 6.1 に、Figure 6.2 に全体構成図を示す。万年時計の大きさは全高約 60 c m、重さ 38 k g で、外観は、時計 6 面に合わせた六角柱と頭頂部の天球儀を収めた半球状ガラス、動力であるゼンマイを収めた台座により構成されている。ゼンマイは真鍮製で、主に時計への動力供給（時方動力）用として 1 組、主に鐘突き用動力（打方動力）用として 1 組の計 2 組（計 4 個）が使用されている。

万年時計の時計 6 面は以下の通りである。どの面を第何面とするかは決まっていないが、ここでは最も技術的に複雑で興味深い和時計を第 1 面とする。

第 1 面：自動割駒式和時計

²⁸² 鷹司関白から「日本第一細工師」の招牌を受けている。嵯峨御所より近江大掾の官位を頂いているという二点から判断される。

²⁸³ 横田泰宏、鈴木一義、吉田充伸、羽藤武宏、久保田裕二、“万年時計の機構解明：第 1 報 天球儀と和時計”，日本機械学会論文集 C 編 73(729), pp.1529-1536, 2007

²⁸⁴ 鈴木一義監修，万年時計ものがたり」編集委員会編，万年時計ものがたり，東芝科学館 2010 年，pp. 24-25

第 2 面：二十四節気表示板

第 3 面：七曜と時打ち表示

第 4 面：十干十二支表示

第 5 面：旧暦日付と月齢表示

第 6 面：洋時計

以上の 6 面の時計部とは別に、

頭頂部：天球儀

下部：時打ち用の鐘

があり、それぞれに別の「時」を表現している。

時計面の表示機能は次の通りである。第 6 面の洋時計の洋時計は、フランス製（もしくはスイス製）と思われる懐中時計を改造して使用している。この時計の出力が他の時計面に分配され時刻の制御がなされている。第 1 面の和時計は、自動割駒式和時計に分類され、江戸時代の標準時制であった季節により一刻の長さが変化する不定時法に則った時計である。第 2 面は駆動部が無く、その年の二十四節気の日付を書き付けるメモ盤である。第 3 面は、七曜表示と鐘打ち数表示。第 4 面は、十干十二支による日付表示である。第 5 面は、旧暦の日付を示すと同時に銀色と黒色とに色分けした球を月に見立てて回転させ、月齢を表示している。天球儀部では、京都から見た太陽と月の動きを立体的に表示している。

外装部は装飾がなされている。特に、下部ゼンマイ収納部の 6 面に貼られた七宝焼きによる絵と蒔絵、螺鈿はかなりの腕の職人の手によるものである。



Figure 6.1 万年時計全体写真²⁸⁵

²⁸⁵ (株) 東芝提供

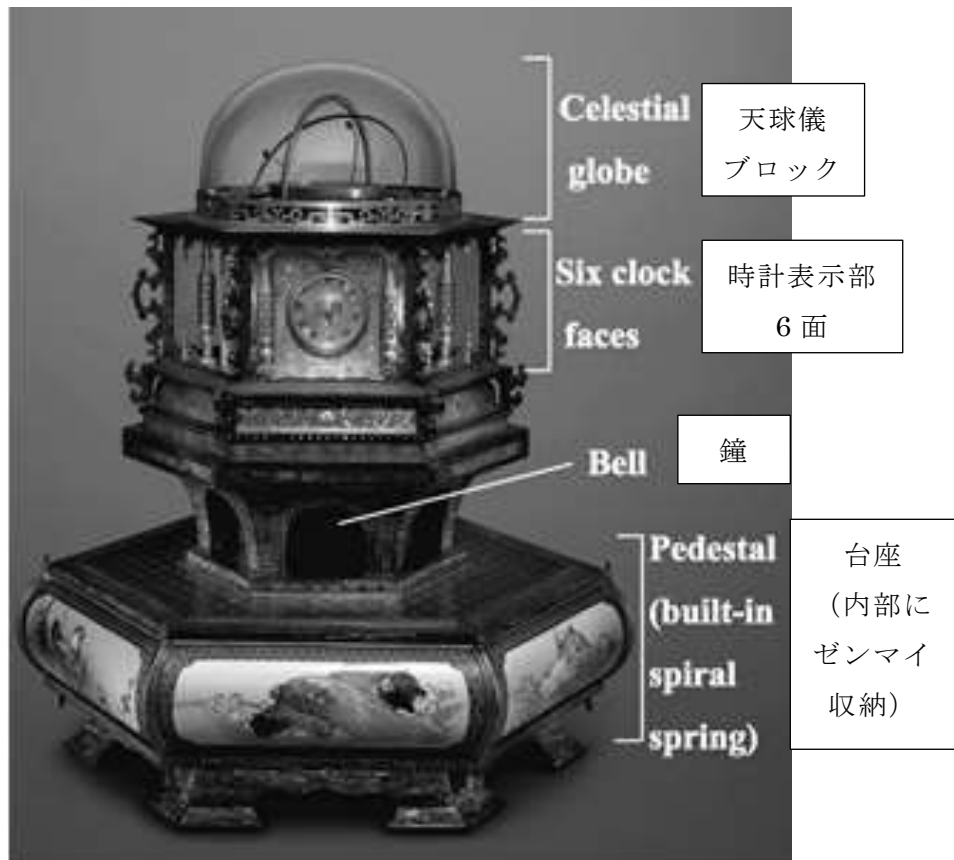


Figure 6.2 万年時計 全体構成図²⁸⁶

²⁸⁶横田泰宏，鈴木一義，吉田充伸，羽藤武宏，久保田裕二 “万年時計の機構解明：第 1 報 天球儀と和時計”，日本機械学会論文集 C 編 73(729), pp.1529-1536, 2007

6.2 各時計面の機能²⁸⁷

本節では各面の機能を示す。Figure 6.2 に示した時計表示部 6 面 (Six clock faces) の部分の各面である。各面の説明ではそれぞれの写真とともに、田中久重が書いたと言われている万年時計説明書きともいべき万年時計図弁の各項目も示す。

第 1 面：和時計 (Figure 6.3)

形式としては自動割駒式和時計である。

割駒式和時計とは、その割駒の間隔を調整することにより不定時法に対応した和時計のことである。割駒とは、針が指し示す時刻の数字（「六」や「五」）を将棋の駒のようなプレートの上に書いたもので、万年時計は、割駒の間隔調整を自動で行っているためにこう呼ばれている。

時刻の表示方法は、現在の針時計とは全く異なる。時刻を指し示す針は上部に固定されていて、割駒の乗っている文字盤全体が左回りに 1 日で 1 回転することにより時刻を表している。現在の時計のように文字盤が固定で針が回転するものとは反対であることに注意が必要である。時刻を示す割駒は、4.2 節で記した数字による記述方式を採用しているが、昼九つと夜九つだけはそれぞれ午、子と記載され、十二支による記述法が採用されている。これは昼と夜を区別するためと思われる。

また、割駒の内側には二十四節氣が刻まれている。中央（今日の時計の針と同じ場所）の針が文字盤に対して左回りに 1 年で 1 回転することで、二十四節氣を示している。

万年時計図弁 (Figure 6.4) には、以下の点が記されている。「

- ・ 世の中に流布している時計と異なり、四季の昼夜の長短を自動的に時刻に随って動く。
- ・ 二十四節氣を指して廻る剣先（針先）は、3 6 5 日で一周する仕様なので 5 年経つと一日遅れる。

剣（針）を順にまわして合わすこと。

- ・ 冬至から夏至に合わせるために、剣先を順に回して夏至にすると駒は自動的に昼 6 6 刻夜 3 4 刻となる。遊びで回さないこと」²⁸⁸。

²⁸⁷ 鈴木一義監修、「万年時計ものがたり」編集委員会編、同掲書、pp.26-29

²⁸⁸ 不用意に剣先を回すと壊れるということであろう。また、すべての時計機能が和時計とつながっていることから、一度ずれると時刻合わせをすることが面倒になることを意図している可能性もある。



Figure 6.3 和時計面（第1面）拡大図²⁸⁹



Figure 6.4 万年時計図并和時計説明部²⁹⁰

²⁸⁹ (株)東芝提供:筆者撮影

²⁹⁰ 田中久重著, 万年時計図弁, 1851, 国立科学博物館蔵

第2面：二十四節気表示板

Figure 6.5 に写真を，Figure 6.6 に対応する万年時計図弁を示す。

内側に二十四節気が刻まれ，その外側にはその年の日付を書き入れることができる空欄がある。これは，その年によって二十四節気と日付が大きくずれる太陰太陽暦を使用していた江戸時代ならではの配慮と考えられる。現代の太陽暦では，あまり大きくずれることはなく，せいぜい1日ずれる程度である。また，文字盤中央にある針はこれを手で動かしてゼンマイを巻いた日を記録しておくためのものであり，この面の形態から万年時計が実用を目的として作られたことが非常に強くうかがえる。

万年時計図弁（Figure 6.6）には，以下の点が記されている。

「・今年の二十四節季の日をちを書き入れるところである。時盤にのっている二十四節に剣先が向かっていることを確認するためである。

・ゼンマイを巻いた節に剣先を回して，その節季に向けておくこと。後日，ゼンマイの日数を考えるためである。

・ゼンマイは一年一度巻きである。」

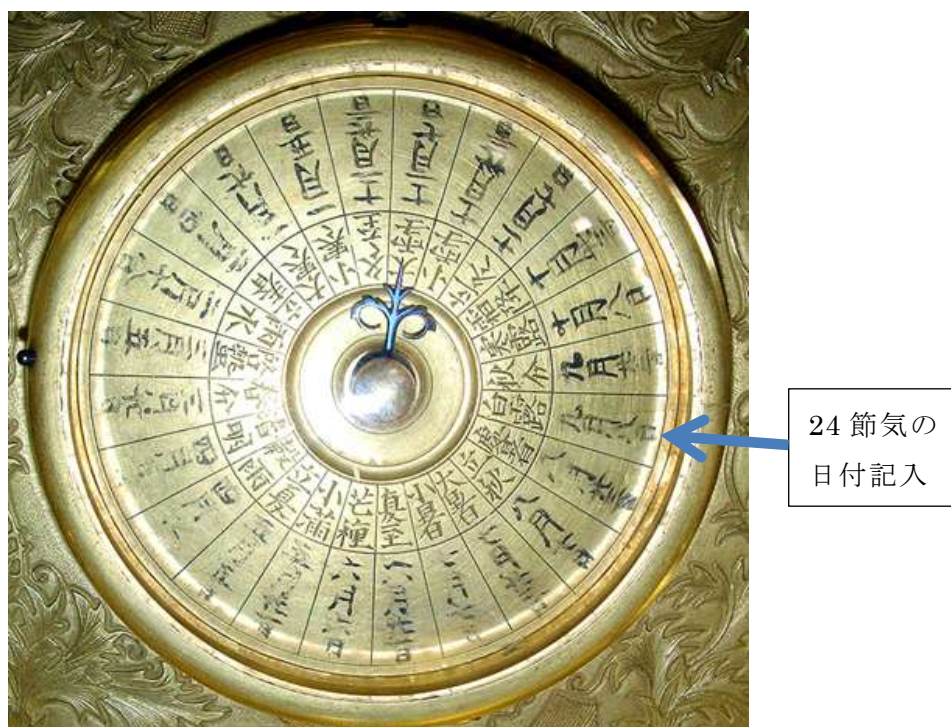


Figure 6.5 二十四節気表示板（第2面）拡大図²⁹¹

²⁹¹ (株)東芝提供 筆者撮影



Figure 6.6 万年時計図弁二十四節氣表示板説明部分²⁹²

²⁹² 田中久重著，万年時計図弁，1851，国立科学博物館蔵

第3面：七曜と時打ち表示

Figure 6.7 に写真を，Figure 6.8 に対応する万年時計図弁を示す．

内側には七曜（日月火・・・）が刻まれ，外側には時刻（九つ，八つ・・・）が刻まれている．中央には長針と短針があり，短針が内側の七曜を，長針が外側の時刻を示している．ここでいう外側の時刻は，時打ちの数を示しており，鐘打ちの数と一致している．そのため，この長短針は後述する時打ち用の動力源から接続されており，それぞれの周期でステップ上に動くように構成されている．

興味深いことに Figure 6.8 のように，万年時計図弁では七曜表示のことが記されていない．しかし，図には七曜表示しているな内側の部分は空いたままになっており，万年時計図弁を記したときに七曜表示が無かったわけではないと考えられる．これは，七曜を示すことが当時の庶民には不必要で，理解されないと考えたからあえて記さなかったのではないかと推察する．

万年時計図弁（Figure 6.8）には，以下の点が記されている．

「鐘の音にしたがって剣先が廻る．もし，打ち抜けや打ち越しがあった場合には，この剣先を順に回して合わせること．時刻が正午ならばこの剣もまた九つに合う．時刻が移るにしたがって鐘もまた時刻に従う」

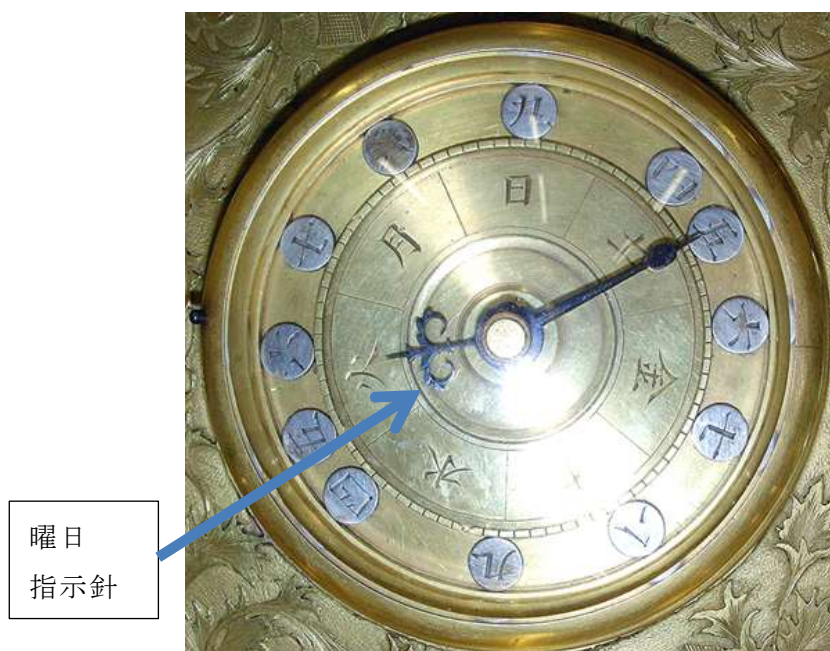


Figure 6.7 七曜・時打ち表示（第3面）拡大図²⁹³

²⁹³ (株)東芝提供：筆者撮影



Figure 6.8 万年時計図弁時打ち説明部分²⁹⁴

²⁹⁴ 田中久重著，万年時計図弁，1851，国立科学博物館蔵

第4面：十干十二支表示

Figure 6.9 に写真を，Figure 6.10 に対応する万年時計図弁を示す．

十干十二支による日付の表示を行っている面である．この面の文字盤も内側と外側の二重構造と針からなっており，内側には十二支が，外側には十干が刻まれている．内側の十二支は固定であり，外側の十干の刻まれたリング部が1日に6度右回りに回転する．さらに，中央の針は左回りに1日に30度回転する．こうすることで針の示した位置の十二支と十干を合わせることでその日の日付を表している．

万年時計図弁（Figure 6.10）には，以下の点が記されている．

「毎日，干支を指して廻る．剣先は順に廻り，十干は逆行する．60日経つと元の干支に戻る．もし合わせる必要があるならば剣先を順に回して合わせる事」



Figure 6.9 十干十二支表示面（第4面）拡大図²⁹⁵

²⁹⁵ (株)東芝提供：筆者撮影



Figure 6.10 万年時計図弁十干十二支説明部分²⁹⁶

²⁹⁶ 田中久重著，万年時計図弁，1851，国立科学博物館蔵

第5面：旧暦日付と月齢表示

Figure 6.11 に写真を，Figure 6.12 に対応する万年時計図弁を示す．

旧暦における日付（1日～30日）と月齢表示である．もっとも，旧暦においては日付と月齢はほぼ等しいため，同じものを表現していると思ってよい．この面で目立つのは，中央の銀色と黒色に半分ずつ塗り分けられた球の存在であろう．実は，この球が月を表しており，1月に1回回転し，正面から見える色分けの比率が変化していき，銀色の部分がその日に見える月の形を表している．それと連動して，球を取り囲む位置にある針も1月で一回転し，外側に刻まれている旧暦日付を指し示す．

万年時計図弁（Figure 6.12）には，以下の点が記されている．

- ・ 毎日を指して廻る剣は，小の月はそのままにして置いて，大の月は一日（朔日）になったら一日進めて合わせる．合わせるには毎日指して廻る剣を楊枝で送ること．
- ・ 月体盈虚は，その日にしたがって廻る．朔望上弦下弦は速やかに正しく月を見るがごとくわかる．

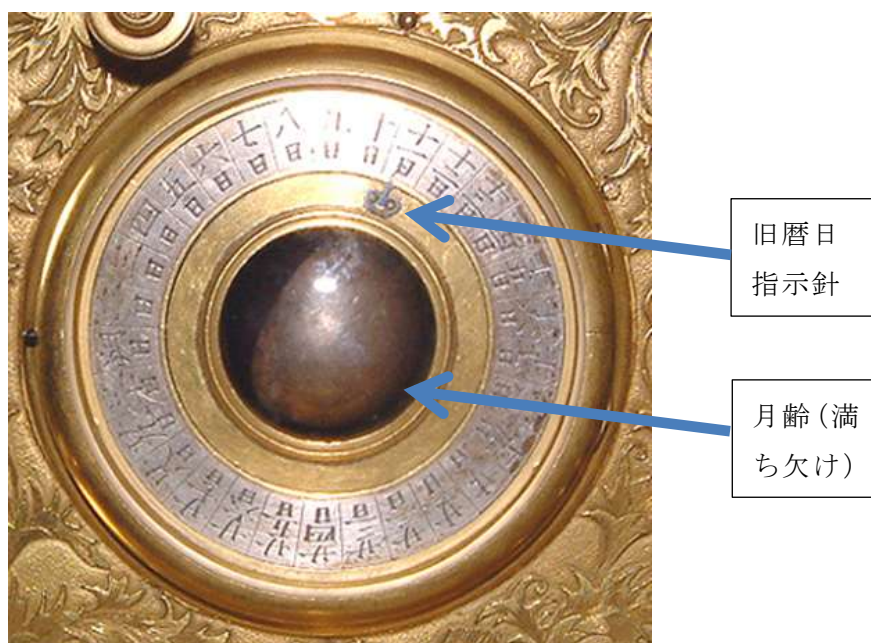


Figure 6.11 旧暦日付と月齢表示（第5面）拡大図²⁹⁷

²⁹⁷ (株)東芝提供：筆者撮影



Figure 6.12 万年時計図弁旧暦日付と月齢表示説明部分²⁹⁸

²⁹⁸ 田中久重著，万年時計図弁，1851，国立科学博物館蔵

第 6 面：洋時計

Figure 6.13 に写真を，Figure 6.14 に対応する万年時計図弁を示す．

洋時計は，フランス製（またはスイス製）と思われる懐中時計を改造して使用している．ゼンマイから送られた動力はこの洋時計に送られ，この時計の出力が他の時計面に分配され時刻の制御がなされている．従って，この洋時計が万年時計全体の時計の進みを決めるタイムキーパーのような役割を果たしている．

万年時計図弁（Figure 6.14）には，以下の点が記されている．
オランダフランスの時計である

時刻の遅速を合わせるには，この唐草を上の方へ上げて，この頭を回して合わせる

一昼夜

短剣 2 周

長剣 2 4 周

早廻 1 4 4 0 周



Figure 6.13 洋時計（第 6 面）拡大図²⁹⁹

²⁹⁹ (株)東芝提供：筆者撮影



Figure 6.14 万年時計図并洋時計説明部分³⁰⁰

³⁰⁰ 田中久重著，万年時計図并，1851，国立科学博物館蔵

頭頂部 天球儀 (Figure 6.15)

京都から見た動きを表現している。地平面上には日本地図が描かれており、その上には半円が二つ取り付けられている。日本地図は京都（北緯 35 度，東経 136 度）を中心として描かれており，南北の半円は京都での子午線，もう一方は天の赤道を示している。天の赤道と地平面との角度は約 55 度であり観測値と一致している。二つの小球が回転移動する構成となっており，赤球は太陽を，銀球は月を表している。太陽と月是一日の動きと季節による軌道の変化にも対応している。

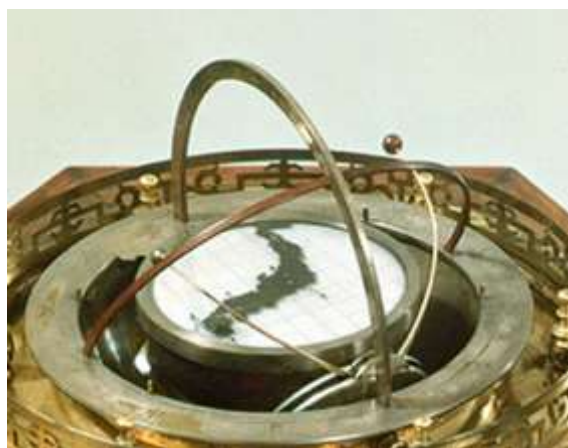


Figure 6.15 万年時計天球儀（ガラスカバー外した状態）³⁰¹

下部 鐘

6 面の時計部下側には時打ち用の鐘がある。この鐘はいわゆるお鈴と同じ音色である。なお，材質は青銅である。



Figure 6.16 万年時計鐘³⁰²

³⁰¹ (株)東芝提供

³⁰² (株)東芝提供

6.3 全体動力伝達構造³⁰³³⁰⁴

本節では、万年時計の構造を主に駆動力の伝播に従って解説する。Figure 6.17 に歯車の連結状態を示した万年時計動力伝達図を示す。各構造の詳細は別項で記載する。

万年時計は動力としてゼンマイ 2 個を一組として二組、つまり全部で 4 個のゼンマイを用いている (Figure 6.17, Figure 6.18)。このゼンマイはそれぞれ時方用と打方用に二分されており、時方用として第 1 面、第 4 面、第 5 面、第 6 面、天球儀へ、もう一方は打方用として、第 3 面および時報としての鐘突きへと動力が分配されている。

同一組の二つのゼンマイは、それぞれの香箱（ゼンマイケース）上に金属鎖が巻かれており、その鎖を介して連結されている。その結果、一方のゼンマイから出力された回転力はフュージ機構を介して、時方動力側では洋時計に、打方動力側では時打ち部へそれぞれ入力される。一組のゼンマイのうち、一方のゼンマイの軸が X 字型の金属板に固定され、もう一方のゼンマイ軸は、出力軸として上部のフュージ機構と同一軸で接続されている (Figure 6.18, Figure 6.21)

万年時計では、ゼンマイ 2 つの出力が、フュージ 2 つ介して、それぞれ時方と打方の動力とするような構造となっている。ゼンマイ出力軸は、六脚台座の脚の中を通り、Figure 6.17, Figure 6.19 に示すフュージ部に接続され、動力を伝えている。ゼンマイ出力軸には下向きのフュージ（入力側フュージ）が同一軸上に取り付けられており、鎖が巻かれている。この鎖は、上下反対向きのフュージ（出力側フュージ）上にまかれており、二つのフュージが鎖を介して連結されている。洋時計の駆動源となる一番車への動力は、出力フュージの歯車を介して供給されている。通常、フュージ機構は駆動力（トルク）の均力化を目的としている機構である。したがって、万年時計の二つのフュージもトルク均力化のために設置されたと考えられる。

2 個の香箱を並列にチェーンでつないだ場合の利点と欠点は以下のとおりである。出力軸の回転数は、それぞれの香箱に半分ずつ分配される。つまり 1 個の香箱と出力トルクは同じだが出力軸の巻き戻し回数が見かけ上 2 倍のゼンマイ装置ができ、1 個のゼンマイで 2 倍の回転数のものを作るよりもスペースファクターが良くなってコンパクトな収納が可能になるが、この構造にするとゼンマイを巻くときに出力が途切れないという香箱入りゼンマイの特徴が失われる³⁰⁵。

時方動力側では、洋時計のテンプ部分に回転駆動力が伝達されており、時計全体の時間は洋時計が担っていることがわかる。この洋時計からの出力がそのまま後段の各種時計へ

³⁰³羽藤武宏，鈴木一義，富井洋一，吉田充伸，横田泰宏，久保田裕二 “万年時計の機構解明:第 2 報，動力部”，日本機械学会論文集 C 編 73(729), pp.1537-1544, 2007

³⁰⁴ 鈴木一義監修，「万年時計ものがたり」編集委員会編，同掲書，pp.32-35

³⁰⁵ 土屋栄夫，“田中久重「万年時計」調査報告”，日本時計学会誌，マイクロメカトロニクス, vol.50, No.194, 2006, pp.58-68

伝達している．洋時計により調速された回転は，和時計，月の満ち欠け表示・月齢旧暦表示，十干十二支，天球儀部へと伝達されていく．

もう一方の打方動力側は，和時計部と連結して間欠動作を行う．時打ちや曜日表示部というような，間欠動作は和時計の時刻表示と連動しているのである．したがって，打ち方動力側にある風切り車は，通常の調速機構という目的からするとあまり意味がなく，不必要な構造となっている．

フュージは，螺旋状の形状をしている（Figure 6.20）．この形状は，ゼンマイの開放時に発生するトルクの変動に応じたプロファイルで構成される．したがって，トルク均力化のために，本来はフュージのらせん形状は計算により求められ，その結果に応じて精度よく加工されている必要がある．しかし，万年時計のフュージは，手作りであるため4つの形状が微妙に異なる．フュージの中心を通るある断面における各段の寸法（直径）を Table 6-1 に示す．

各フュージの軸は，次のように支持されている．まず，4つのフュージは楕円状の金属板（フュージ受板：Fusee support plate）と台座枠により支持されている．フュージ受板は2本の金属柱と，台座から伸びた斜めの板（柱受板：Column support plate）が接続されている2本の金属柱という計4本の金属柱により支持されている（Figure 6.20）．この柱受板の役割は，フュージ受板の回転を防ぐためと考えられた．

また，Figure 6.20 フュージ部拡大のように，入力側と出力側フュージの支持高さは，出力側フュージの歯車の厚さ分だけずれている．入力側フュージの下から2～3段目と出力側フュージの一番下の段がチェーンで繋がっており，フュージ全体を活かすような設計・構造にはなっていない．

また，万年時計の稼働日数は225日であることが再確認された．出力側フュージ軸の上には勾玉形状のカムがついており，レバー形状の部品とともに巻量調節機構を形成している．巻き量調節機構は，ゼンマイのネジの巻き過ぎを防止するための機構であり，ゼンマイ・フュージ機構では一般的に用いられている³⁰⁶．万年時計では，出力側フュージが約6回転したときにロックがかかるようになっている．万年時計の動作スピードを決める洋時計の一番車の回転速度から計算すると，出力側フュージは37.5日で1回転する．このことから，万年時計の機構的な最大連続稼働日数は，約225日であることがわかる．この連続稼働日数は以前の朝比奈らによる分解調査で明らかにされているが³⁰⁷，朝比奈らはその理由を鎖の長さとはねの香箱のサイズより計算したと記している．しかし，この巻きすぎ防止機能としてのロック機構が存在することから，設計の意図としては明確にこのロック機

³⁰⁶ 青木保，時計学，丸善株式会社，(1938)，pp. 114

³⁰⁷ T.Asahina and S.Oda, “Myriad-Year Clock” Made by G.H.Tanaka 100 Years Ago in Japan, Bulletin of the National Science Museum(Tokyo), Vol.1, No.2 (1954)

構が働く状態までを稼働期間としたと考えられる。最大稼働日数の結果は同じであるが、今回改めて稼働日数とその推測理由も明確に確認することができた。

さらに、今回の分解調査の結果、フュージ機構には、フュージ上の傷の状態から2巻程度しか巻かれた形跡がないことが判明している。2巻とすると約75日しか連続駆動させていない。1年間連続動作が性能と伝えられているが、実際には動作させていないことがわかった。

以上のことから、これまで言われていた1年連続稼働（Figure 6.6 万年時計図弁二十四節気表示板説明部分参照。万年時計図弁にもゼンマイは1年1度巻との記載がある）の日数より少ないことが明らかである。

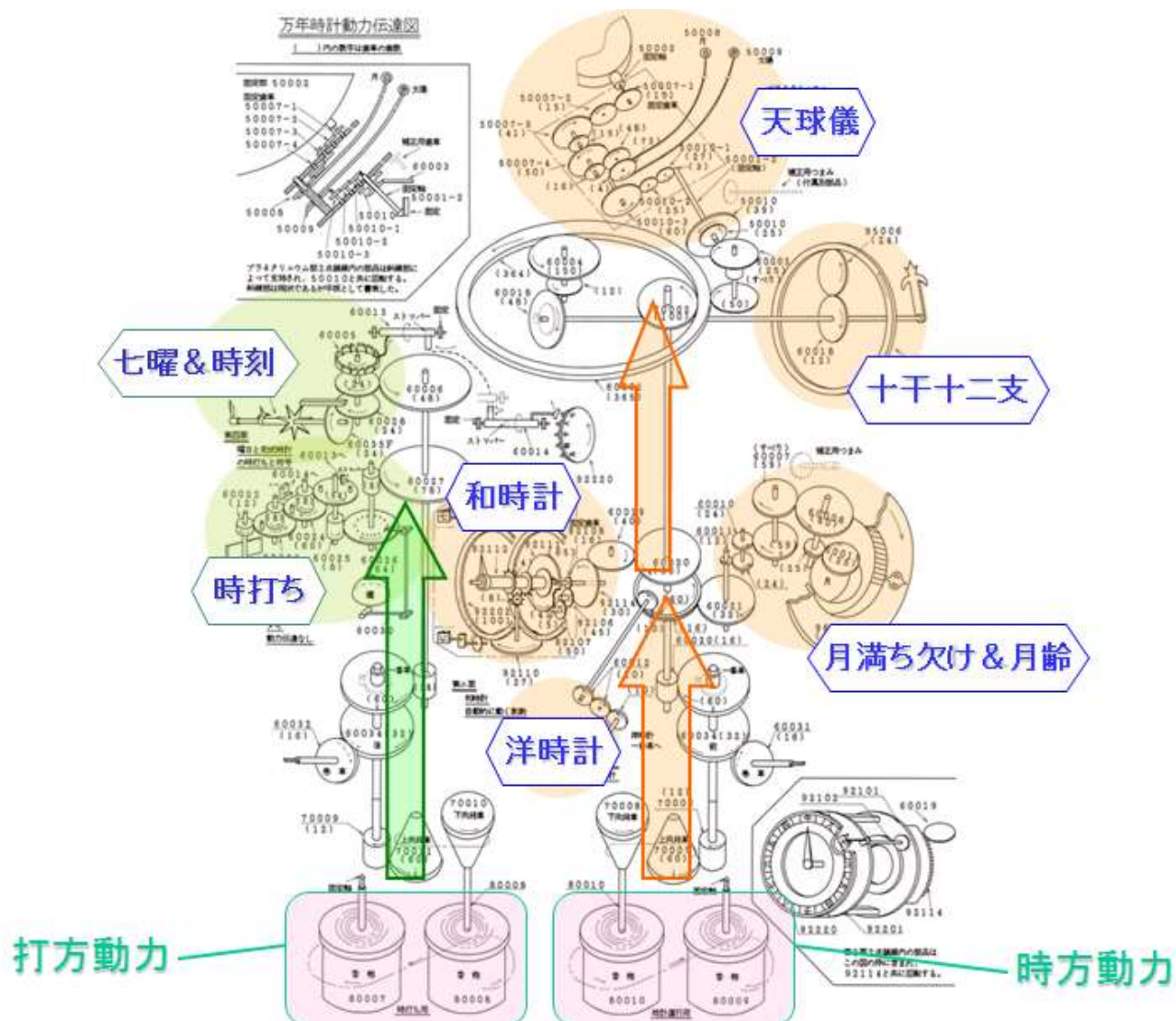


Figure 6.17 万年時計動力伝達図³⁰⁸

³⁰⁸ 1966 年の国立科学博物館小田幸子らによる分解調査時につくられたスケッチを基に、今回分解調査によって判明した歯車の歯数の訂正を行った図面に著者による説明を加筆

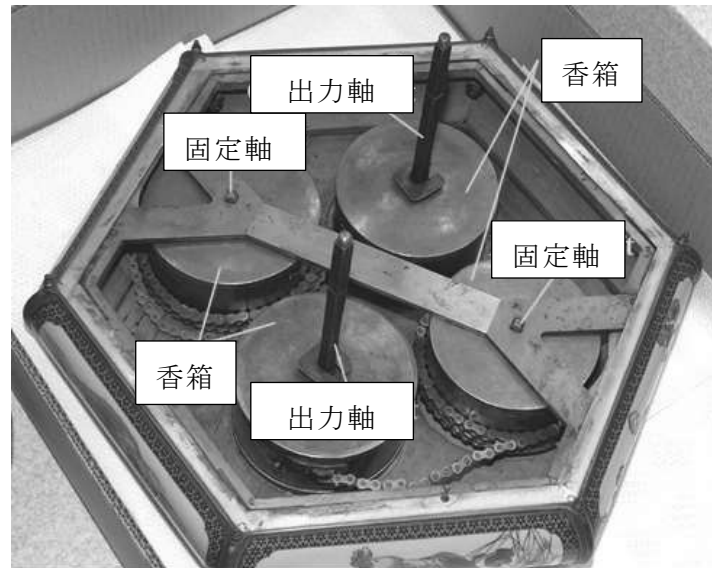


Figure 6.18 万年時計ゼンマイ部写真（台座内部）³⁰⁹

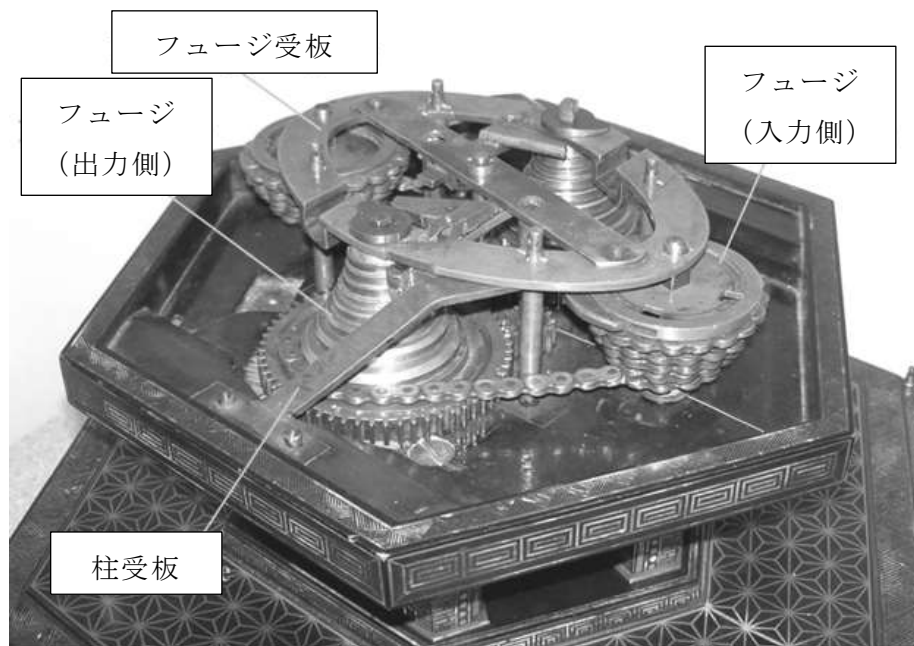


Figure 6.19 万年時計フュージ部写真³¹⁰

³⁰⁹ (株) 東芝提供：羽藤武宏，鈴木一義，富井洋一，吉田充伸，横田泰宏，久保田裕二 “万年時計の機構解明：第 2 報，動力部”，日本機械学会論文集 C 編 73(729), pp.1537-1544, 2007

³¹⁰ 同上論文

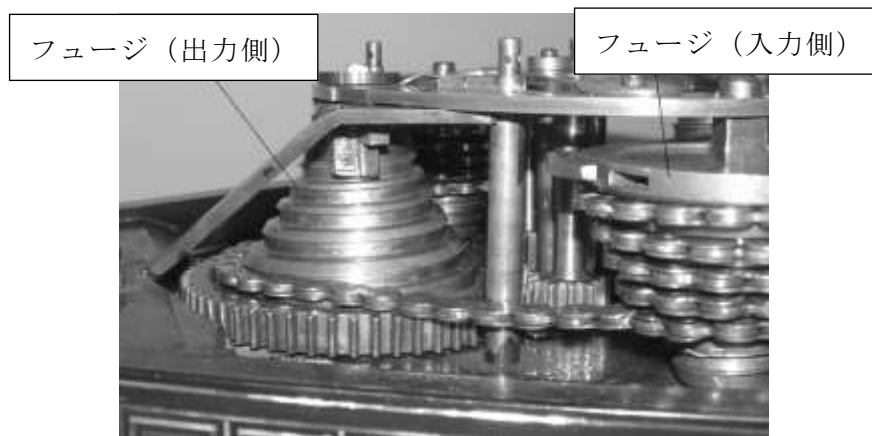
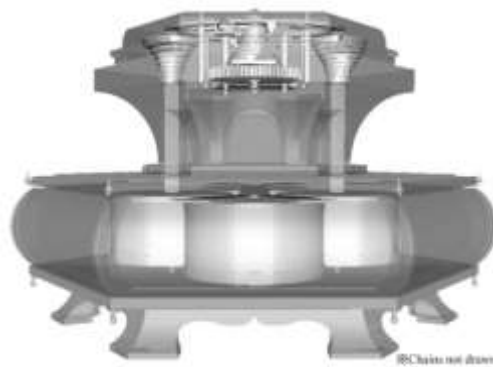


Figure 6.20 フュージ部拡大³¹¹



(a) 万年時計ゼンマイからフュージ部構造断面（C G）



(b) ゼンマイ香箱とチェーンおよびフュージ部（C G）

Figure 6.21 ゼンマイからフュージ部構造（C G）³¹²

³¹¹ 同上論文

³¹² 同上論文

Table 6-1 フュージ形状寸法³¹³

フュージ 段数	時方 フュージ		打方 フュージ		平均 [mm]
	ゼン マイ 側 [mm]	出力 側 [mm]	ゼン マイ 側 [mm]	出力 側 [mm]	
1	62.3	62.5	60.7	61.0	61.6
2	61.6	52.7	57.0	57.0	57.1
3	45.7	44.9	50.7	49.7	47.8
4	39.1	38.5	44.2	43.4	41.3
5	33.8	33.1	38.1	38.9	36.0
6	29.5	29.3	31.9	31.5	30.6
7	26.3	27.5	29.3	29.1	28.1
8	23.7	25.7	26.9	26.5	25.7
9	22.3	21.0	24.3	24.7	23.1

³¹³ 同上論文

6.4 時計各部詳細および検討

6.4.1 洋時計部詳細

洋時計は、フランス製（もしくはスイス製）³¹⁴と思われる懐中時計を改造して使用している。Figure 6.22 万年時計洋時計部（表側：時盤を外した状態）、Figure 6.23 万年時計洋時計構造（裏側）に写真を示す。ゼンマイから送られた動力はこの洋時計に送られ、この時計の調速機構（テンプ部）を介して出力が他の時計面に分配され時刻の制御がなされている。従って、この洋時計が万年時計全体の時計の進みを決めるタイムキーパーのような役割を果たしている。時計の要ともいえる部分に輸入時計を使用したことは、その正確性を利用するためにあえて使用したといわれており³¹⁵、久重の合理性を示す一例とも言われてきた。

洋時計は輸入された時計をそのまま利用していることから、これまでの調査でもあまり顧みられることがなかった。この洋時計は輸入された 16 石懐中時計が埋め込まれている³¹⁶。その性能は、現在とほぼ同構造のクラブツース脱進器（別名スイスレバー、アンクル）と 5 振動のチラネジ付テンプが使われている³¹⁷ことから高い精度があったものと推測できる。今回の調査でも、本洋時計は分解を含む詳細検討を行えなかったものの鮮明な写真を撮ることができ、いくつかの検討を行うことが可能となった。

この時計は従来スイス製と言われていた^{318 319}。1957 年に 3 代田中久重が記した「万年時計の構造」という文書には、より具体的に「スイス ファーブルブランツ社製」³²⁰と書かれてあった。しかし、今回の調査で「万年時計図弁」³²¹では、フランス製（正確には、和蘭フランスと書かれているが、1851 年当時はまだいわゆる鎖国中であり、長崎のオランダ商館を通じて入ってきたためと考えられる）と記されていることを確認した。そのほかにも万年時計の引札中³²²にも和蘭フランス製と書かれている。そのため本調査後の万年時計記述資料にはフランス製（スイス製説もあり）など 2 か国の併記がなされるようになっている。時計の製造者は文字盤や裏蓋、内部などどこかに銘が記されている場合が多いが、残念ながら、万年時計に使用されている懐中時計は文字板が交換され、裏蓋も外されてお

³¹⁴ 鈴木一義監修、「万年時計ものがたり」編集委員会編、同掲書、pp.26-29

³¹⁵ 鈴木一義著、からくり人形、学習研究社、1997、p.74

³¹⁶ Asahina, S., Oda, Y., "Myriad-Year Clock" made by G.H. Tanaka 100 years ago in Japan, Bulletin of the National Science Museum, Vol.1, No.2 (No.35), 1954

³¹⁷ 土屋栄夫、「田中久重「万年時計」調査報告」、日本時計学会誌、マイクロメカトロニクス、vol.50 No.194, 2006, P.59

³¹⁸ 鈴木一義著、同掲書、1997、p.74

³¹⁹ Asahina, S., Oda, Y., 同上論文

³²⁰ 3 代田中久重著、万年時計の構造、国立科学博物館蔵

³²¹ 田中久重著、万年時計図弁、国立科学博物館蔵（（株）東芝複製所有）

³²² 鈴木一義著、同掲書、1997、p.73

り製造者が確認できなかった。

ここで本洋時計の製造者（製造国）について考察する。手がかりは、久重自身による万年時計図弁のフランス製という記述、3代田中久重のファールブルブランド社製という記述、そして分解調査時の写真である。

まず容易に3代田中久重のいうファールブルブランド社製というのは否定されうる。なぜなら、ファールブルブランドというのは、有名な商館時計の一つであり、1863年にスイス使節団のエーメー・アンペール一行の随員として来日したジェームス・ファールブルブランドが1864年に横浜に開業したファールブルブランド商会の時計³²³³²⁴ということであり、ファールブルブランド自身も来日が1863年であるから、1851年に完成した万年時計に使われたはずはないと考えられるからである。ただし、1884年（明治17年）に2代田中久重が、田中精助に命じて万年時計の修理を行ったときに洋時計を入れ替えて、ファールブルブランド時計³²⁵を使用したと可能性は残るが、これまで洋時計を修理に際して交換したという記録は見つかっていない。また、土屋によれば、外部に出ている操作部と懐中時計部をつなぐ部分の設計には苦心している様子がうかがえる、というように設計上非常に難しい部分であり、簡単に時計が交換できるようなものではないことから、過去の修理時に交換された可能性は低いと考えられる。

次に、分解調査時の洋時計内部構造写真から推測してみる。筆者は、本内部構造写真を持って、2007年、スイスのヌーシャテルへ赴き Antoine Simonin 氏へのインタビューを行った。Antoine Simonin 氏は、時計学校 WOSTEP の元校長であると同時に、スイスコレクター協会の名誉会長や時計博物館理事、自身で時計関係の出版社を主宰するなど時計の構造と歴史に非常に造詣が深い³²⁶。Simonin 氏によれば、

「1851年以前という時期、および構造からみて、スイス製と考えてよいであろう」

「ル・ロクル（Le Locle）周辺で作られたもので、ユルゲンセン（Jurgensen）Type の

³²³ 三宅宏司，“本学所蔵の望遠鏡をめぐって - ファールブルブランド商会との関連を中心として -”，大阪教育大学教育研究所報，24，2010，pp.11-16

³²⁴ 坂詰勝著，産業教育講座第1輯 時計工業の話，産業経済調査所，昭和5年，p.12

³²⁵ ファールブル紹介が中心となったスイス時計の輸入は20世紀に入る直前までは市場の86%を占めていたとの記述（森田保一編，日本とスイスの交流 幕末から明治へ，山川出版社，2005，p.19）もあり，アメリカ時計を除き，時計＝ファールブルブランドという認識が広まっていたことは否定できない。

³²⁶ スイス時計協会 FH Web Page 2015年3月25日閲覧

<http://websvr182-93-120-17.alpha-prm.jp/News/WatchTechnicumLecture/WatchTechnicumLecture.htm>

アントワヌ・シモナン氏は1976年から2003年まで WOSTEP の校長を務めた後，現在はスイス・ロレックスが日本とアメリカで運営する時計学校の顧問兼教授陣指導者として活躍するかたわら，ラショードフォン国際時計博物館およびルロクル時計博物館の理事や，時計のスイス・コレクター協会 CHRONOMETROPHILIA の名誉会長

Caliber をベースとしている」

とのことであった。また、本時計の質について尋ねたところ「中の上」との回答があった。

Figure 6.24 ユルゲンセンタイプの懐中時計構造に万年時計が造られた 1851 年とほぼ同年代のユルゲンセンタイプの機械式時計写真を示す。比較すれば、非常に近い構造であることがわかる。ル・ロクル³²⁷は、隣のラ・ショードフォン（La Chaux-de-Fonds）とともに時計製造の町としてユネスコの世界文化遺産にも登録されている場所であり、スイス時計産業の中心地として発展した都市である。このル・ロクルは地域としてはフランスとの国境にほど近く、国境を越えたフランス側にはやはり時計産業で有名なブザンソン（Besançon）がある。距離にして 30km ほどしか離れていない。このような事情から久重がフランス製と考えていたのも不思議ではないように思われる。

以上のことから、まとめると、万年時計に使われている洋時計は、スイス製であること、質の良い時計を使っていたことがいえる。



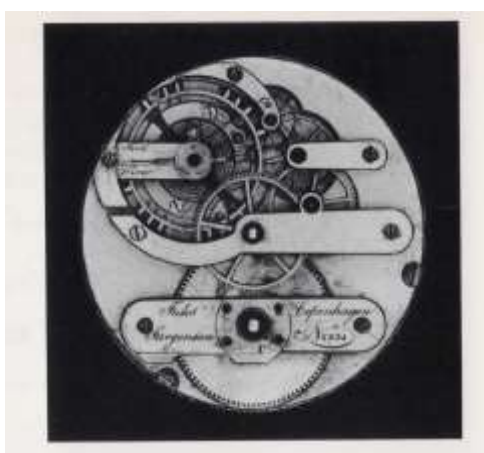
Figure 6.22 万年時計洋時計部（表側：時盤を外した状態）³²⁸

³²⁷ 実は、ル・ロクルは、ファールブル・ブランツの出身地でもある。ファールブル・ブランツがアンペール使節団と共に来日するよりも早く、1859 年にジュラ山中カントン・ヌシャテル時計業界は、日本開国の知らせを受けて、時計組合の輸出事務局アジア支部主任としてリンダウを日本に派遣し、市場調査を行っている。アンペールもまた、ラ・ショード・フォン出身であり、スイスは時計産業界が日本との交易に中心的な役割をしていることがわかる。（森田保一編、日本とスイスの交流 幕末から明治へ、山川出版社、2005、pp.16-19, pp.44-54）

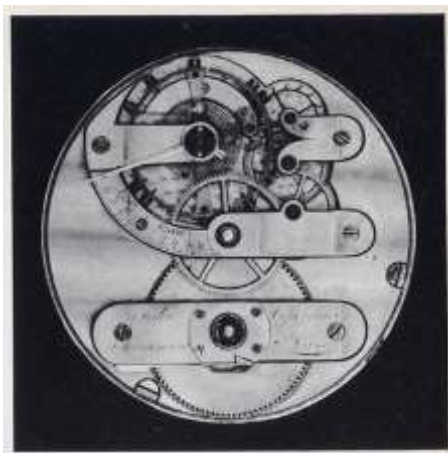
³²⁸ (株)東芝提供



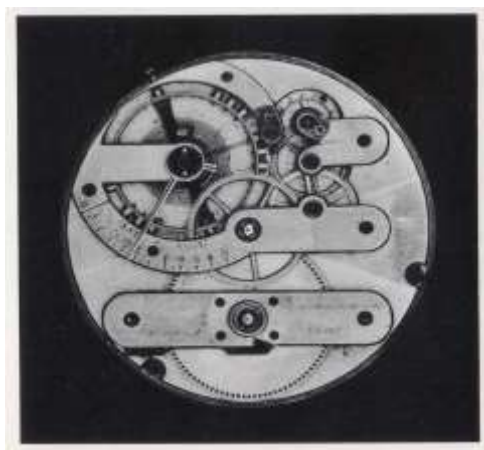
Figure 6.23 万年時計洋時計構造（裏側）³²⁹



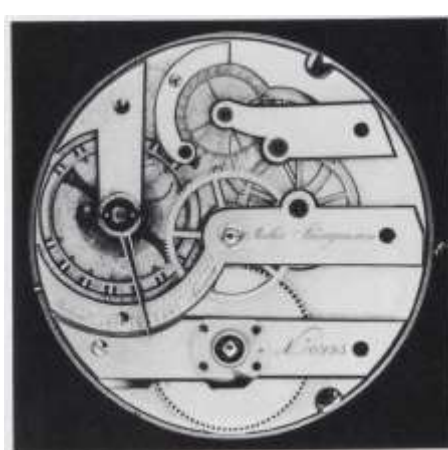
(a) 1855 年



(b) 1858 年



(c) 1864 年



(d) 1865 年

Figure 6.24 ユルゲンセンタイプの懐中時計構造³³⁰

³²⁹ (株)東芝提供

³³⁰ Edition du Musée d'horlogerie du Locle - Château des Monts, Switzerland , LES JURGENSEN une dynastie de grands horlogers, 1974, pp.30-31

6.4.2 洋時計部における設計上の問題点³³¹

久重は、洋時計と他の機構との接続に非常に苦労しているようである。洋時計は、スイス製の当時標準的な性能であったと考えられる懐中時計を利用している。この洋時計は最高級品ではないため、最先端の技術がつかわれているわけではないが、1851年の日本からすると十分最新技術を用いた時計である。からくり、和時計では、脱進機としてほとんどバネ式が使われ、時計の構造を解説した教科書的な書物も輸入されていなく状況下では、その構造を理解し、機能を損なわないように他の機構と接続するのは容易ではなかったであろう。

今回の分解調査の結果、いくつか機構として不自然な部分が洋時計を中心とした部分に集中していることがわかった。

まず一つは、洋時計の進みを調整する緩急装置の不整合である。緩急装置は Figure 6.13, Figure 6.14 の右上部にあり、ダイヤル付緩急装置が認められる。しかし、彫られている数字と緩急量が一致しておらず、洋時計の設計意図を理解していたわけではないことがわかる。

次に、針回し部にも不整合がある。通常、針回し部は、わかりやすくするために針回しの方向と実際の時分針の動く方向を同一にする。しかし、万年時計では時計方向に回すと時分針が反時計回りに回転してしまう。意図したのかどうかはわからないが、洋時計の設計意図を理解していなかったのであろう。

動力は、かさ歯車による直交変換（Figure 6.25 の丸印部）が行われているが、無理のある構成である。大かさ歯車は黄銅製であり、インボリュート歯型、小かさ歯車は鋼製であり手作りである。インボリュート歯車なのは噛み合っている歯車の片側だけであり、正常な噛み合いではない。しかも、大かさ歯車の歯元に小かさ歯車の歯先が食い込んだ跡が見つかっている。噛み合い不良で止まると考えられる。おそらく、歯車は減速・増速機構であるという理解のみしており、歯の部分にかかる力の大きさや噛み合いという設計上の要点を理解していなかったのではないかと思われる。

つまり、久重は、西洋時計の構造を完全には理解してはいなかったということである。特に、時計の構造の背後にある、設計思想や細かい技術的背景はわからないまま利用しているということである。

³³¹土屋栄夫 「田中久重「万年時計」調査報告」日本時計学会誌 マイクロメカトロニクス, vol.50 No.194, 2006, P.59 緩急装置の不一致, 針回し部の不整合, かさ歯車の歯先食い込みについて記述がある。

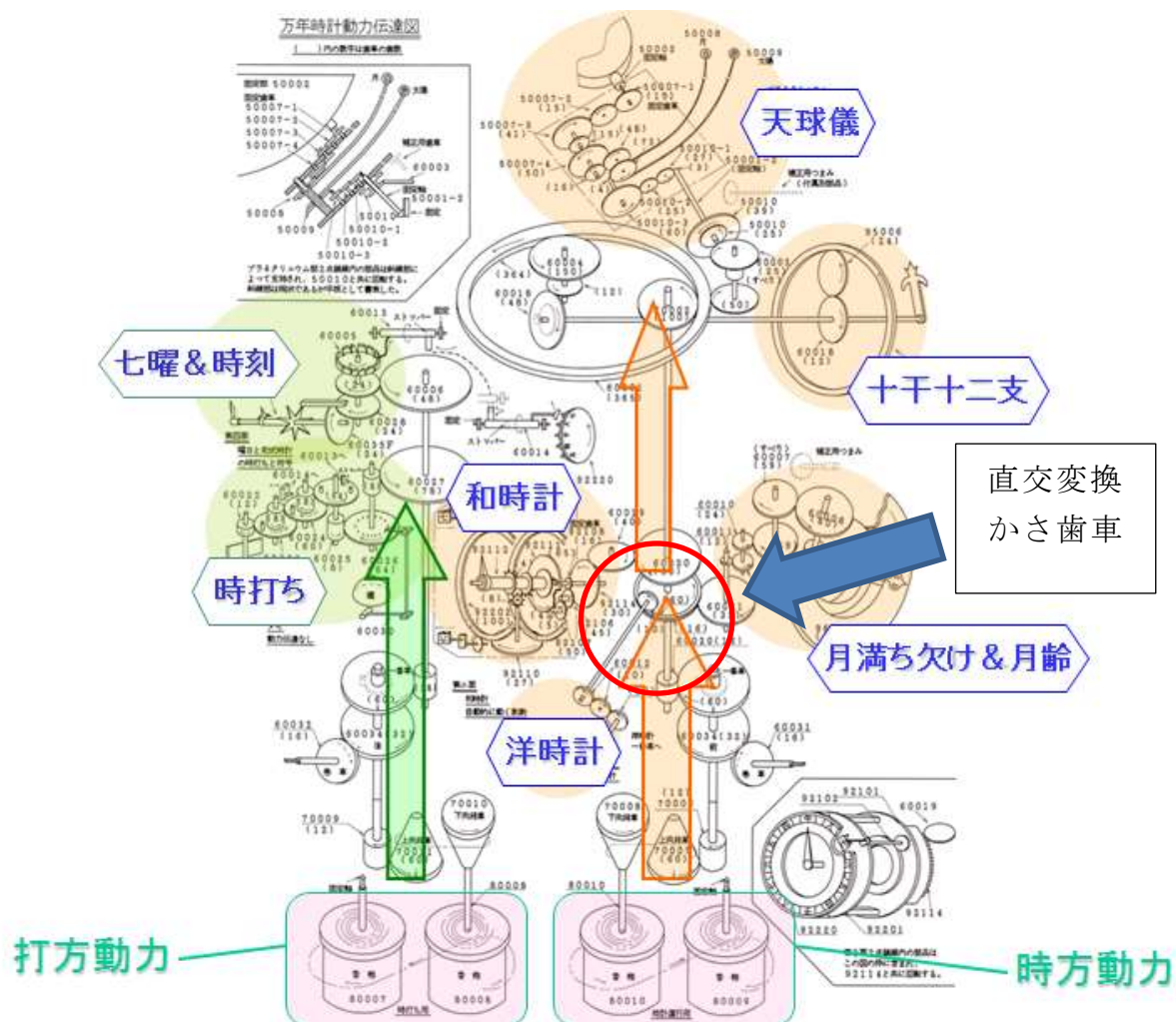


Figure 6.25 洋時計と動力との直交変換³³²

³³² Figure 6.17 を筆者改変

6.5 天球儀部詳細³³³

6.5.1 天球儀部構成

天球儀部の写真を Figure 6.26 に示す．地平面上には日本地図が描かれており，その上には半円が二つ取り付けられている．日本地図は京都（北緯 35 度，東経 136 度）を中心として描かれており，北（東）は北海道の一部から南（西）は九州までを含む範囲がおさまられている．この地図は漆を重ね塗りして立体感のある絵として描かれているのが特徴である．地図上部にある南北の半円は京都での子午線，もう一方は天の赤道を示している．天の赤道と地平面との角度は約 55 度であり観測値と一致している．

また，二つの小球が回転移動する構成となっており，赤球は太陽を，銀球は月を表している．太陽と月是一日の動きと季節による軌道の変化にも対応している．子午線である半円部品上には，Figure 6.27 に示すように「北極三十五度」と指示している線があることから京都での観測結果に沿うように小球動作を設計したことが窺える．

天球儀の動力伝達図を Figure 6.28(a) に，歯車配置を CG により Figure 6.28(b) に示す．なお，Figure 6.28 (a) の括弧内の数字は歯車の歯数を示している．動力は図の下方より伝達されており，第 6 面の洋時計からの制御を受けて，Figure 6.28. (a) 中の 100 歯の歯車に対し，1 回転で 48 時間という周期が入力される．太陽と月を表す赤球と銀球は二枚の盃状プレート（プレート自身も回転運動を行う）に挟まれ支持された歯車機構により動作する．

Figure 6.28 (a) の二点鎖線に囲まれた構造が盃上プレート上に構成されている機構である．前記盃状プレートを支持している回転軸は，日本地図中心（京都）に向けて約 35 度（北緯に相当）の傾きをもって配置され，約 23 時間 56 分 3 秒という周期をもって回転する．これは地球の自転周期とほぼ一致している（23 時間 56 分 4 秒）が，この周期を実現するために内歯 364 歯，外歯 365 歯という特異な歯車（Figure 6.28 の下方，幅のある歯車）を使用している．

Figure 6.28 (a) から分かるように盃状プレート内の太陽と月の減速比はプレートに対してそれぞれ $1/365$ ， $1/27.3$ である（Figure 6.29，Figure 6.31 参照）．また，これら太陽と月の回転方向は前記プレートの回転方向とは逆になっている．プレートが約 23 時間 56 分で 1 回転し，その上の太陽が逆方向に減速比 $1/365$ で回転することから，太陽が南中してから次に南中するまでに約 24 時間かかることがわかる（Figure 6.30 参照）．月についても，太陽に対して 29.5 日周期で回転することがわかり，双方とも実際の天体運動を正確に表現している．

天球儀では，季節による太陽高度変化の表現も実現している．Figure 6.32(a) に季節別

³³³ 横田泰宏，鈴木一義，吉田充伸，羽藤武宏，久保田裕二 “万年時計の機構解明:第 1 報 天球儀と和時計”，日本機械学会論文集 C 編 73(729), pp.1529-1536, 2007 から転載 (6.5.1 天球儀部構成 6.5.2 天球儀と暦法)

の太陽の軌道, (b)に前出の盃状プレートと太陽の位置関係について夏至と秋分を具体例として示す. プレートの中心軸が地平面に対して約 35 度傾いていることは前記したが, 太陽と月を示す小球の回転中心がプレート中心軸から約 23 度ずれた位置 (地軸の傾きを表す) にあり, 季節に応じてプレートと小球との位置関係が変わることで軌道の高度差を実現している. また, **Figure 6.33** からわかるように, 天球儀の子午線を表す半円上に春分と夏至, 冬至の太陽通過位置が示されている. このことから太陽高度変化の忠実な再現が設計上重要な要素であったことが推察される.

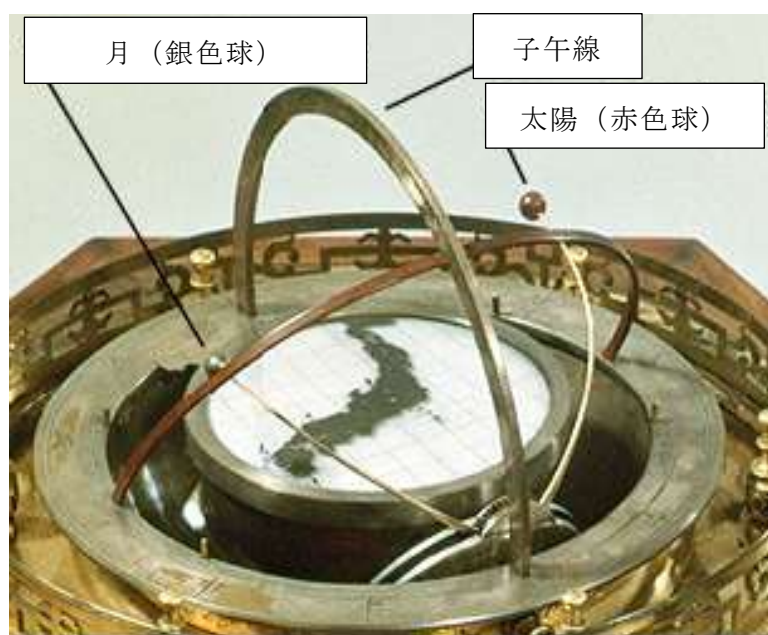
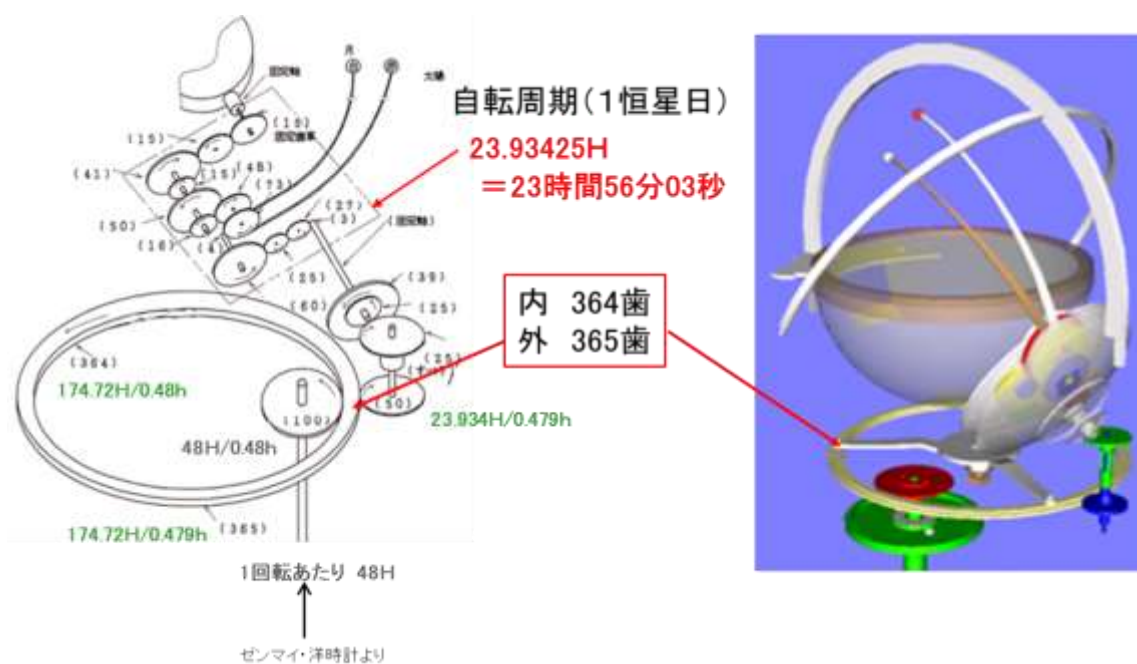


Figure 6.26 天球儀部写真 (カバーを取った状態) ³³⁴

³³⁴ (株)東芝提供: 筆者改変



Figure 6.27 子午線上の北緯 35 度を示す³³⁵



(a) 天球儀部歯車連結構造

(b) 天球儀部歯車位置 (CG)

Figure 6.28 天球儀の機構

³³⁵ (株)東芝提供：筆者撮影に情報記入

天球儀部の構成 (太陽)

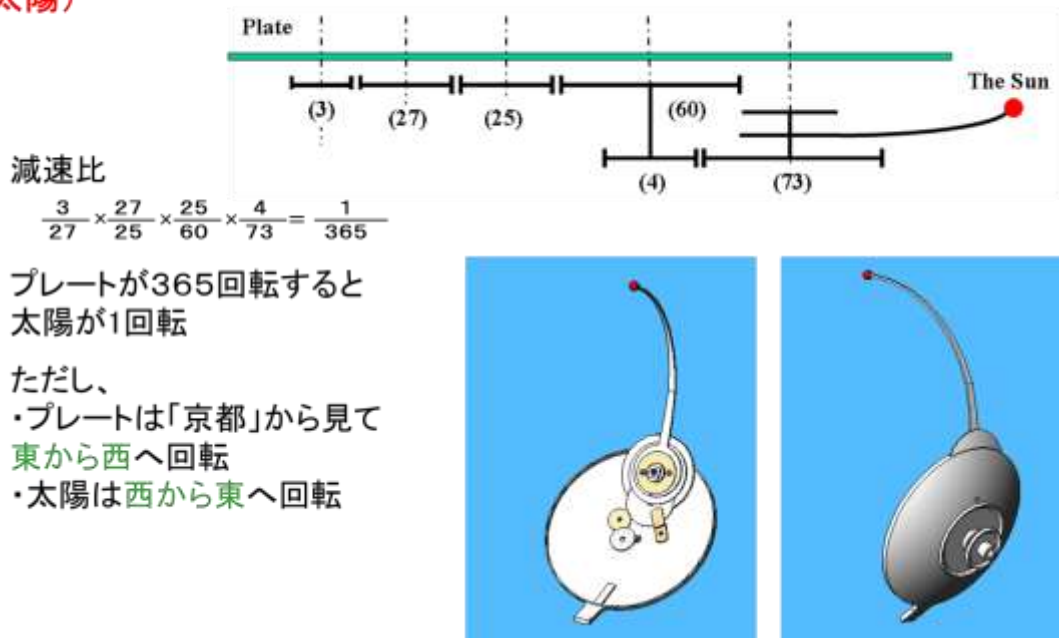


Figure 6.29 天球儀部（太陽）の構造の説明

- ・ 1恒星日(23時間56分)から1太陽日(24時間)へ

1恒星日＝地球の自転

恒星が南中して次に南中するまで

1太陽日＝地球の自転＋地球の公転

太陽が南中して次に南中するまで

$$A \sim B: \text{約} \frac{360^\circ}{365} = 0.986^\circ$$

太陽はプレートとは逆方向に回転しているので
23時間56分後にはBの位置。
BからAまで太陽を移動させるためには約4分かかる
結果、太陽の周期は1太陽日(24時間)

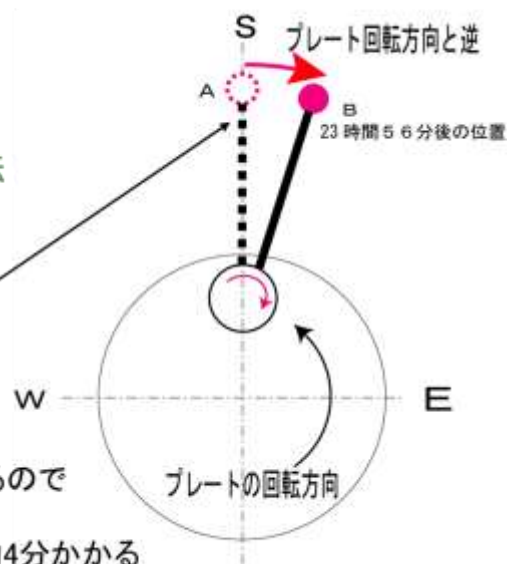
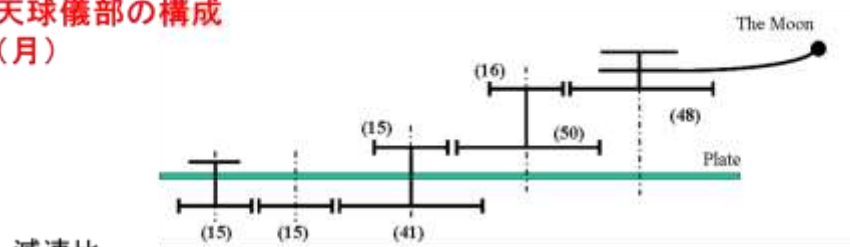


Figure 6.30 1 恒星日から 1 太陽日への変換説明

天球儀部の構成 (月)



減速比

$$\frac{15}{15} \times \frac{15}{41} \times \frac{15}{50} \times \frac{16}{48} = \frac{1}{27.3}$$

プレートが27.3回転すると
月が1回転

ただし、

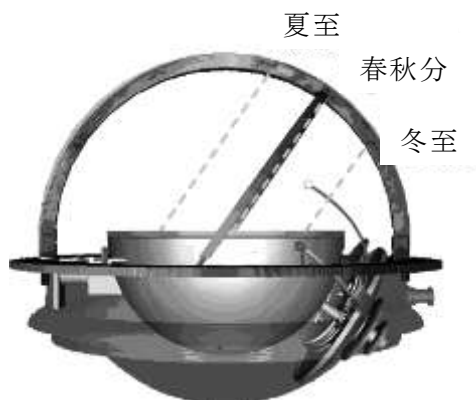
- ・プレートは「京都」から見て
東から西へ回転
- ・月は西から東へ回転



月は太陽に対して29.5日周期



Figure 6.31 天球儀部（月）の構成



(a) 太陽の高度差



(b) 夏至の時



(c) 秋分の時

Figure 6.32 太陽の高度差を表現するための機構



Figure 6.33 太陽の高度差を示している子午線上表示³³⁶

³³⁶(株)東芝提供：著者撮影・改変

6.5.2 天球儀と暦法

久重の持っていた天文暦法の知識が天球儀の構造に与えた影響について考察する。

Figure 6.28 に示したように太陽と月は、一種の遊星機構を用いて実現されている。太陽と月の周期を生み出す機構は西洋にも類例があるが、三次元的に天体を動かすよう仕上げたことが特徴である。

この太陽と月の動きは、太陽と月の視運動に関して一般的に言われている構造を反映している。たとえば、「太陽は地球の自転運動のため毎日 1 回東から出て西へ沈む日週運動の外に、地球の公転のため、毎日西から東へ平均 1 度足らず動いて行く」「太陰は白道に沿って恒星の間を一日約 13 度づつ西から東へ動いて行く」³³⁷と説明される。久重自身が記したと思われる諸器考案図³³⁸中にも「日輪ノ〇行ハ一日ニ一度 月ノ遅ヒコト十三度也」とあり、万年時計図弁³³⁹にも「東ヨリ西ヘ一昼夜ニ一周シ又西ヨリ東ヘ一度弱廻リ三百六十五日余ニテ黄道環ヲ一周スル」「月は…毎日十三度後れてメクル」とあることから、久重自身が太陽と月の運行についてこのような理解をしていたことがわかる。同様の記述は、1796 年（寛政 8 年）に司馬江漢が西洋の天文書を基に記した「和蘭天説」³⁴⁰中や、江戸時代に入り最初に行われた改暦を主導した渋井春海が著した「天文成象」³⁴¹（1700 頃、成立年不詳）にも見られる。久重は時計を作るにあたり、1847 年（弘化 4 年）陰陽総司土御門家に入門し、暦法を伝授されており、この時にこうした知識を得たと考えられる。なお、土御門家は、古来より暦法を司った賀茂家を継いで暦法を司った家系である。

また、江戸時代の不定時法では、正確な時刻算出のためには、昼と夜との境となる「六つ」の定義が重要となってくる。「六つ」の定義は時代とともに変化しているが、1769 年（寛政 9 年）の寛政暦以降は、京都における春分秋分時の日の出前日没後の二刻半における太陽の俯角（地平線下 7 度 21 分 40 秒）を太陽中心が通過する時刻とされた³⁴²。万年時計が製作された 1851 年は寛政暦より後の天保暦を採用しており同様の定義がなされている。

ここで Figure 6.33 をみると、子午線を示している半円が取り付けられている面は、日本地図の描かれている地平面よりも少し下方に位置していることがわかる。この天球儀の面の位置関係を示した断面図を Figure 6.34 に示す。万年時計図弁にはこの面に関して、「方位盤十二支ヲ記スルノ環即チ晨昏限ナリ太陽晨昏限ニアレハ朝暮ノ六ツ時ナリ」「此ノ

³³⁷ 渡辺敏夫著、暦、恒星社、1940、pp. 47-48、

³³⁸ 田中久重著、諸器考案図、江戸東京博物館蔵

³³⁹ 田中久重著、万年時計図弁、国立科学博物館蔵

³⁴⁰ 司馬江漢著、和蘭天説、1796、早稲田大学図書館蔵

³⁴¹ 渋井春海著、天文成象、1700?、早稲田大学図書館蔵

³⁴² 渡辺敏夫著、同掲書、1940

平面ヲ晨昏際ト云フ」³⁴³とあり (Figure 6.35), 「六つ」の定義を意識して設計したことがわかるが, 実際に地平面の中心位置からこの面までの俯角 (Figure 6.34 中の α) を測定すると約7度である. このように地平線下に一定の境界を設けて「六つ」とすることは, 寛政暦以降の「六つ」の定義により可能となるものであり, 久重が寛政暦もしくは天保暦に関する知識を身につけていたと考えられる.

また, 晨昏際を表す面を上部より写した写真を Figure 6.36(a)に, その破線に囲まれた部位の拡大図を Figure 6.36(b)に示す. この面には方位が記されているが, Figure 6.36(b)に見られる「夏至明六ツ」と同様に, 「夏至暮六ツ」「冬至明六ツ」「冬至暮六ツ」の位置がピンを打った上で明示されており, 六つの定義と太陽の動きに対し, 非常に注意を払って設計したことが推察される.

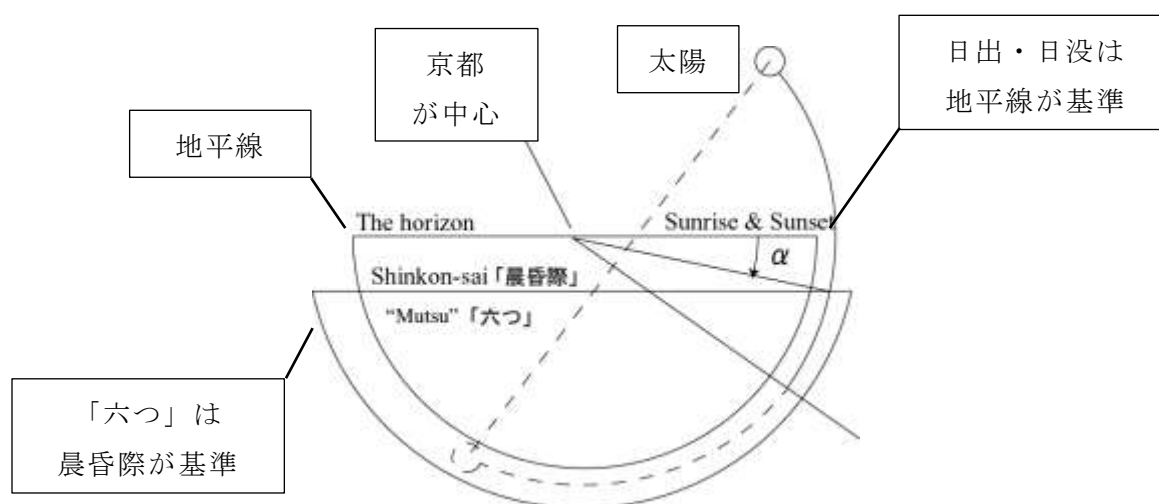


Figure 6.34 天球儀上に表されている六つの定義³⁴⁴

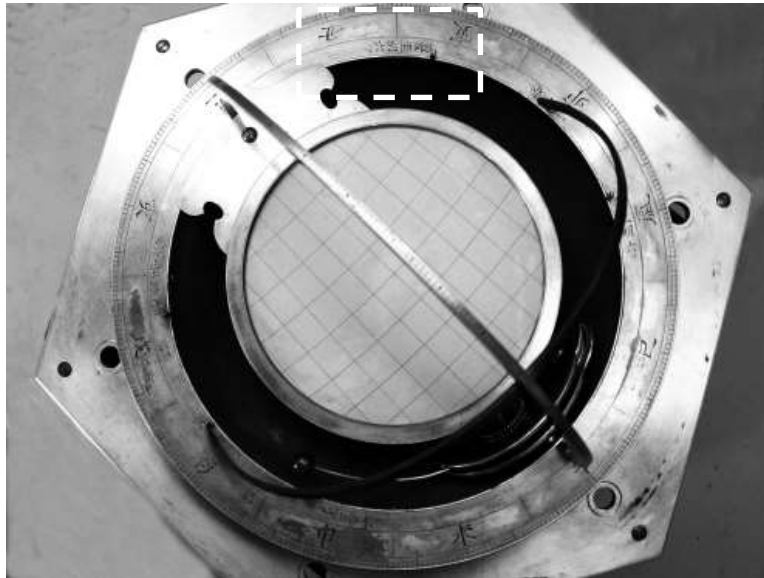
³⁴³ 田中久重著, 万年時計図弁, 国立科学博物館蔵

³⁴⁴ 横田泰宏, 鈴木一義, 吉田充伸, 羽藤武宏, 久保田裕二, 同掲論文



Figure 6.35 万年時計図弁 天球儀部³⁴⁵

³⁴⁵ 田中久重著，万年時計図弁，国立科学博物館蔵



(a) 全体写真（上方から）



(b) 拡大図（a の破線部）

Figure 6.36 天球儀の上方からの写真³⁴⁶

³⁴⁶横田泰宏，鈴木一義，吉田充伸，羽藤武宏，久保田裕二 “万年時計の機構解明：第 1 報 天球儀と和時計”，日本機械学会論文集 C 編 73(729), pp.1529-1536, 2007, 筆者撮影を改変

6.5.3 須弥山儀との比較

万年時計の天球儀部と須弥山儀とでは、決定的な差が存在する。それは、万年時計においては京都から見た太陽と月の動きを表現し、3次元的な動き（高さの表現）をしているが、須弥山儀や同様のものとしてのオーレリークロックは平面的な動きをしているということである。前述したようにいくつかの久重製作と言われる須弥山儀が残されているが、そのうち、大橋時計店須弥山儀と龍谷大学所蔵須弥山儀については分解され、構造が明らかとなっている。

須弥山儀に比べ、はるかに複雑な機構を有している万年時計の製作期間と須弥山儀にかけた期間はバランスが悪い。須弥山儀の製作で天体の動きを表現する機構について十分練習を積んだから製作期間を短縮できたとも考えられる。

天球儀部の動作を表現するにあたり最も重要なのは、自転周期（1 恒星日）と太陽日、朔望月の値である。ただし、少なくとも須弥山儀においては、天動説に則っているため自転周期という考え方は存在しないことに注意が必要である。それぞれの値を Table 6-2 に示す。これによると、今日知られている観測値と最も近いのは万年時計天球儀であることがわかる。複数ある須弥山儀の正確な製作時期は不明であるが、この結果からすると

大橋時計店須弥山儀→龍谷大学須弥山儀→万年時計天球儀
という製作順序だったのではないかと考えられる。

このことは、自転周期（恒星日）と太陽日との変換を行っている歯車にも表れており、大橋時計店須弥山儀は時計の歯車を 1：1 で使用することで、時計の 24 時間と自転周期とを一致させているのに対し、龍谷大学須弥山儀では、360 歯の歯車と 359 歯の歯車とを噛み合わせることで自転周期の近似を実現している。さらに精度を高めた万年時計では、内歯 364 歯・外歯 365 歯の歯車一つを設けることで近似を実現するとともに省スペース化も図っていると考えられる。

Table 6-2 須弥山儀と万年時計天球儀周期比較

項目	観測値	大橋時計店須弥山儀	龍谷大学須弥山儀	万年時計天球儀
自転周期(恒星日)	23時間56分04秒	24時間	23時間56分	23時間56分03秒
太陽日	24時間	24時間03分57秒	23時間59分57秒	23時間59分59秒
朔望月	29.53日	29.78日	29.55日	29.55日

大橋時計店須弥山儀と龍谷大学須弥山儀の値は土屋の報告による³⁴⁷

³⁴⁷ 土屋栄夫，“田中久重作 大橋時計店蔵 須弥山儀調査報告”，2000

6.6 和時計部詳細³⁴⁸

6.6.1 和時計部の機構

和時計面の写真を Figure 6.37 に示す．和時計とは，江戸時代の不定時法による時刻を示すための時計である．不定時法は，夜明け，日暮れの時刻をそれぞれ「明六つ」，「暮六つ」とし，夜明けから日暮れまでを 6 等分，日暮れから夜明けまでを 6 等分して時刻を定めている．そのため時刻の間隔は昼夜，季節によって異なる．万年時計の和時計は，定速で 1 日 1 回転する円板（文字盤）の周上に各時刻を表示する割駒（プレート）を配し，和時計を支持する固定板上の固定針で指し示される割駒で時刻を示す．時針は固定，文字盤は定速回転するので割駒の間隔を変化させることにより，不定時法に対応している．各割駒はゼンマイの動力と歯車のみで駆動され，1 年を通じて自動的に調整される³⁴⁹．

Figure 6.38 に和時計の歯車列構成を，Figure 6.39 に割駒動作機構を，Figure 6.40 に Figure 6.39 の一部の拡大図を示す．図中の括弧内の数字は歯車の歯数を表す．和時計には万年時計本体に取り付けられた和時計駆動歯車を通じて動力が与えられ，ケースは和時計駆動歯車とともに固定軸を中心に 1 日 1 回転する．動力はケース内を歯車伝達され，ケースを基準にして約 1 年(365.625 日)で 1 回転する割駒駆動歯車に入力される．

割駒駆動歯車の軸上には，180 度の位相で取り付けられた 2 枚の歯数 4 の部分歯車があり，歯数 8 の異形歯車（以下，虫歯車）を挟んで対峙（Figure 6.38 参照）している．部分歯車が交互に虫歯車と噛み合い，虫歯車には 1 年 1 往復の運動が生じる．虫歯車の出力は，横軸歯車（27 歯）を介して午前歯車と午後歯車に入力され，それぞれ反対方向に回転する．割駒のうち，子（夜九つ）と午の刻（昼九つ）は文字盤上に固定されているが，それ以外の割駒は，駒の背面にある溝に沿って動くクランクピンにより往復運動を行える構造となっている．夜八つ，暁七つ，明六つ，朝五つ，昼四つのクランク軸は午前歯車に，残りのクランク軸は午後歯車にそれぞれのクランク軸歯車（25 歯）を介して連結され，午前・午後歯車の往復回転運動がクランク軸の往復回転運動に変換される．その結果，割駒も往復運動を行う．なお，その振幅はクランク軸に対するクランクピンの偏心量で決定される．（Figure 6.41 参照）

また虫歯車は上下方向に動かすことが可能であり，部分歯車との噛み合いを調整することが可能な構造となっている．

³⁴⁸横田泰宏，鈴木一義，吉田充伸，羽藤武宏，久保田裕二 “万年時計の機構解明:第 1 報 天球儀と和時計”，日本機械学会論文集 C 編 73(729), pp.1529-1536, 2007 から転載

³⁴⁹ Kubota, Y., Mechanism of "Man-nen dokei", Toshiba Review, Vol. 6, No. 7(2005), pp 116-119.

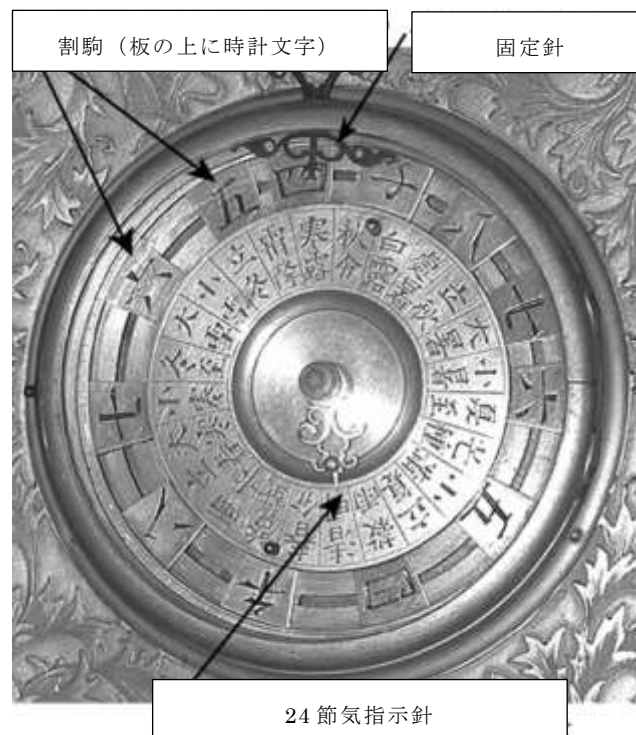


Figure 6.37 和時計面³⁵⁰

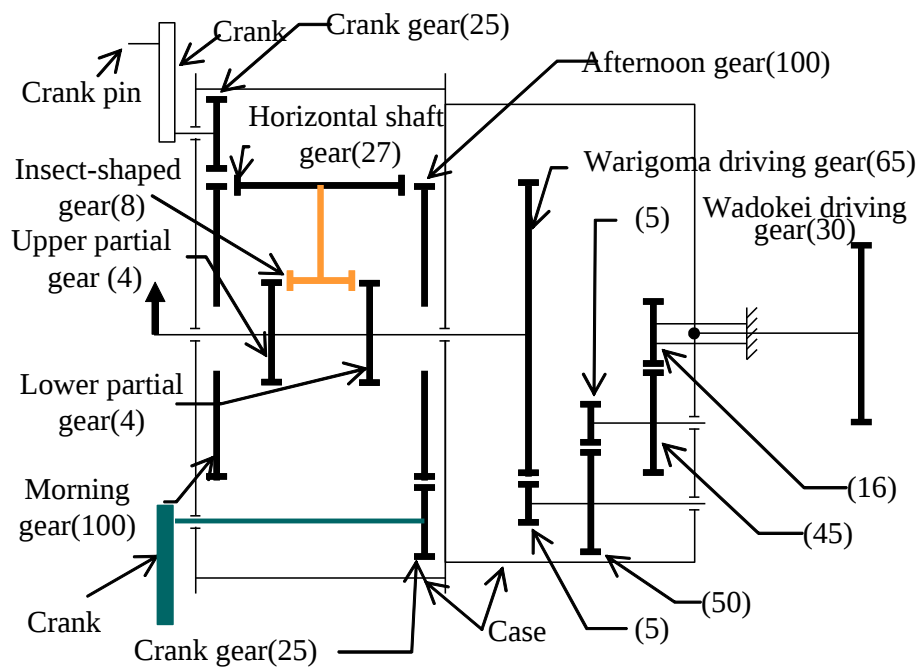


Figure 6.38 和時計における歯車連結図³⁵¹ () は歯数

³⁵⁰ (株) 東芝提供, 筆者改変

³⁵¹ 吉田充伸, 久保田裕二, 横田泰宏, 羽藤武宏, 橋本毅彦, 鈴木一義 “万年時計の機構解

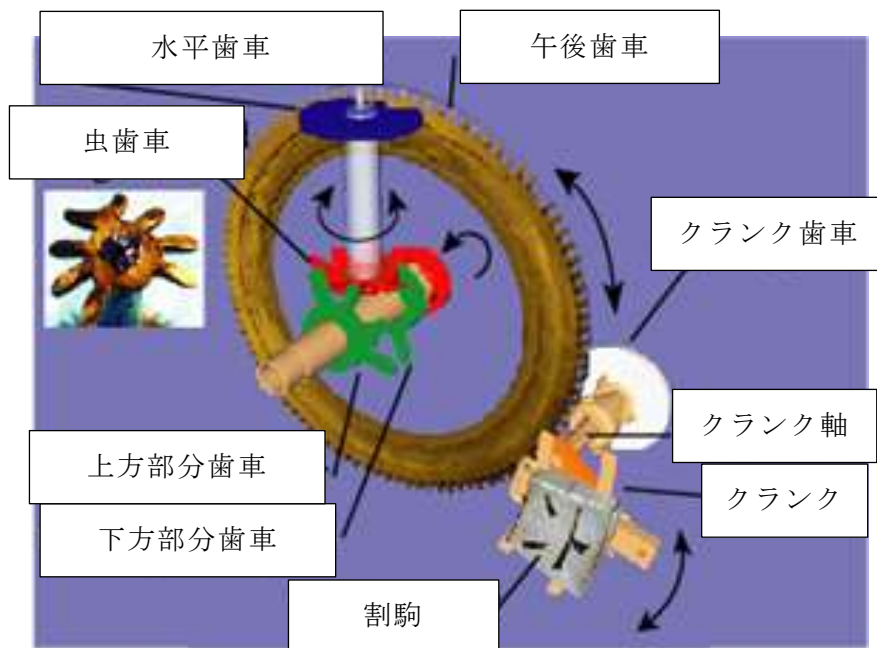


Figure 6.39 “割駒” 動作の構造³⁵²

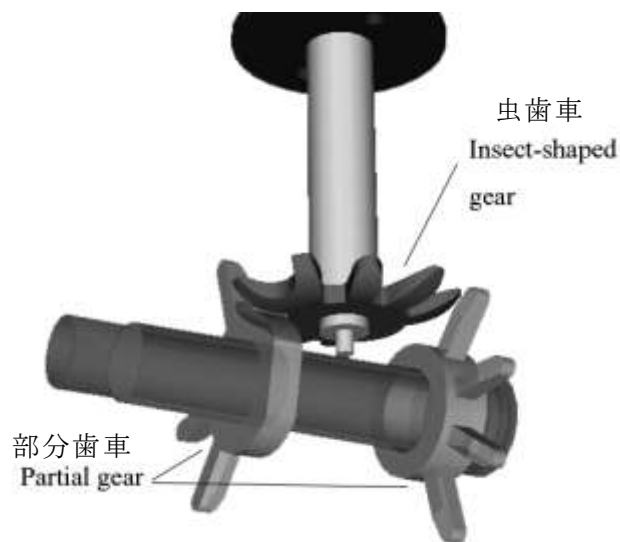


Figure 6.40 虫歯車と部分歯車（拡大図）³⁵³

明 その 1：和時計”，日本機械学会年次大会講演論文集 2005(5), pp.51-52, 2005

³⁵²横田泰宏，鈴木一義，吉田充伸，羽藤武宏，久保田裕二 “万年時計の機構解明：第 1 報 天球儀と和時計”，日本機械学会論文集 C 編 73(729), pp.1529-1536, 2007

³⁵³横田泰宏，鈴木一義，吉田充伸，羽藤武宏，久保田裕二 “万年時計の機構解明：第 1 報

割駒の往復運動を生み出す機構

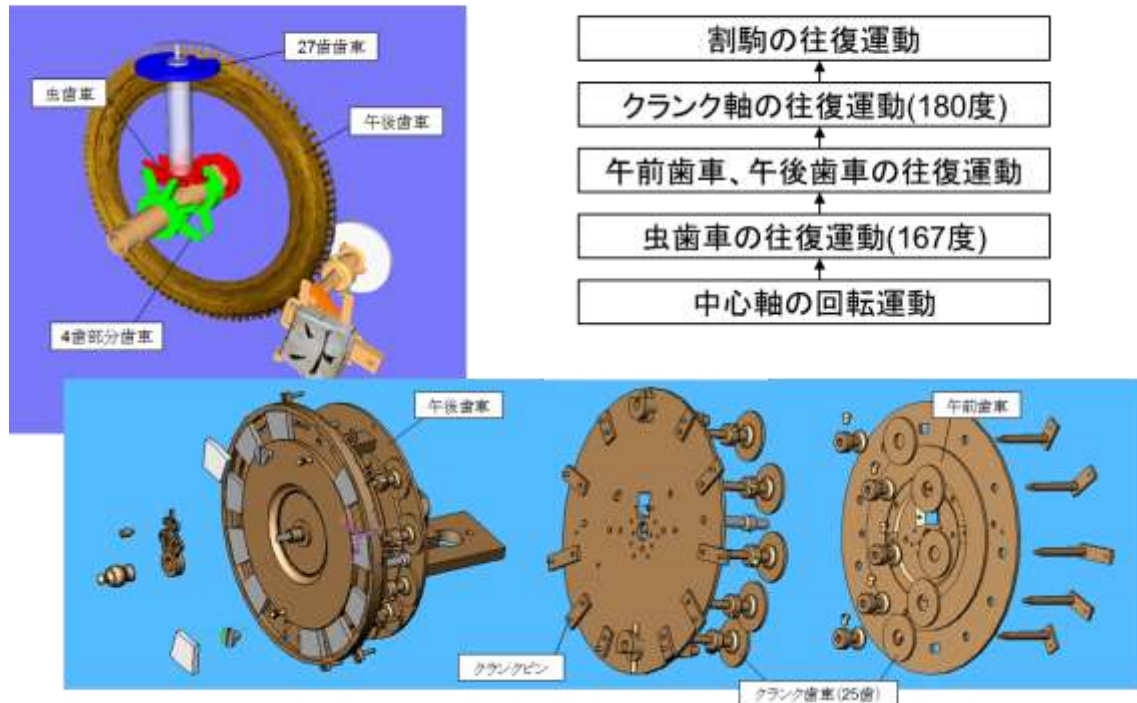


Figure 6.41 和時計部割り駒の動きを実現する機構説明³⁵⁴

天球儀と和時計”, 日本機械学会論文集 C 編 73(729), pp.1529-1536, 2007

³⁵⁴ 鈴木一義監修, 「万年時計ものがたり」編集委員会編, 万年時計ものがたり, 東芝科学館, 2010

6.6.2 和時計の正確性

この季節により変化する時刻を一年を通して自動的に表示する和時計を設計する上で重要な点は、(ア)クランク軸の配置(駒の振幅中央位置)と(イ)クランク軸に対するクランクピンの偏心量、(ウ)割り駒の滑らかな移動である。(ア)は基準時刻(春秋分)の設定を意味し、(イ)は駒の振幅を決定する。(ウ)は、機械としての完成度に関わる問題である。

そこで、まず(ア)と(イ)の点が何に基いて設計されているか知るために、「六つ」の割り駒の位置変動に着目して「昼」の時間を計算し、万年時計の動きと万年時計製作当時に得られたであろう不定時法に関する資料との比較を行った(Figure 6.43)。比較対象は、天体運動に基いて計算した1851年の京都(東経136度、北緯35度)における日中時間3種(日没基準:日出から日没まで、市民薄明基準:地平線下6度を太陽が通過、六つ基準:明け六つから暮六つまで)と当時の資料三種、和漢三才図会³⁵⁵(1712年)、西洋時辰儀定刻活測³⁵⁶(1838年)、伊勢暦³⁵⁷(嘉永三年、1850年 万年時計設計着手の年)である。ここで万年時計の日中時間の算出に使用したクランク長の実測値をTable 6-3に、クランク軸が通る穴位置をFigure 6.42 クランクシャフトの位置に示す。Figure 6.43を見てわかるように万年時計の和時計は、計算で求めた「六つ」を基準とした値にもっとも近く、不定時法に忠実な設計がされていることがわかる。この結果から、久重が高度な暦に関する知識を持って、和時計の設計をしたようにとらえられる。しかし、1850年の伊勢暦による日中時間は非常に正確であり、計算値との一致が見られることに注意すると、和時計の設計においては、特別な観測結果などを用いることなく、日中時間を基準として、暦を用いて設計することも可能であったと推察され、必ずしも高度な知識を久重が持っていた証拠とはならないと考える。なお、夏至においては完全な一致が見られたことを付記しておく。

次に、(ウ)割り駒の滑らかな移動について検証^{358,359}する。割り駒は、1年を通じて正弦波的に滑らかに動くことが目標と考えられる。Figure 6.39, Figure 6.41 からわかるように、割り駒のクランク軸に180°の往復回転運動を与えるには、横軸歯車が27歯、クランク歯車が25歯であるから、

$$180 \times \frac{25}{27} = 166.7^\circ \quad (1)$$

より、虫歯車の振幅が166.7度の等角速度往復運動である必要がある。また同時に、上下

³⁵⁵ 寺島良安編、和漢三才図会、1712、国立国会図書館蔵

³⁵⁶ 小川友忠著、西洋時辰儀定刻活測、1838、国立天文台蔵

³⁵⁷ 嘉永三年伊勢暦、1850、大阪市立科学館蔵

³⁵⁸ Yoshida, M. et al., Mechanism of the Man-Nen Dokei, A Historic Perpetual Chronometer; Part 1: Wadokei", Proceedings of Mechanical Engineering Congress, Vol. 5, 2005, pp 51-52

³⁵⁹ Kubota, Y., Mechanism of "Man-nen dokei", Toshiba Review, Vol. 6, No. 7(2005), pp 116-119.

の部分歯車と虫歯車との噛み合い伝達精度が良いことも必要である．そこで，虫歯車を持つ入出力特性を調査するために，実物の虫歯車を模して製作した歯車と，虫歯車の理想動作である振幅 166.7 度の等角速度運動を行うように新たに設計した歯車との比較を行った．Figure 6.44 に前記二つの歯車の写真，Figure 6.45 に実験装置の虫歯車周辺の拡大写真を示す．実験は，実際の万年時計と同等の入力をモータにより行い，出力軸に取り付けたロータリエンコーダ出力を取得した．Figure 6.46 に歯車の入出力特性試験結果を示す．実線は田中久重が設計した歯車特性，点線は虫歯車の理想動作に近くなるように新たに設計した歯車特性である．Figure 6.46 からわかるように，実際の虫歯車は動作反転時に静止動作が入るものの，等角速度時の動作は非常に滑らかな直線であると同時に，二つの歯車特性は非常に近いことがわかる．

久重の不定時法を忠実に表現した和時計を作ろうという意図が強く感じられる．虫歯車の形状は，その不思議で不格好さに似合わず高精度な動きを再現し，またその噛み合い位置の調整機構が備わっているのである．

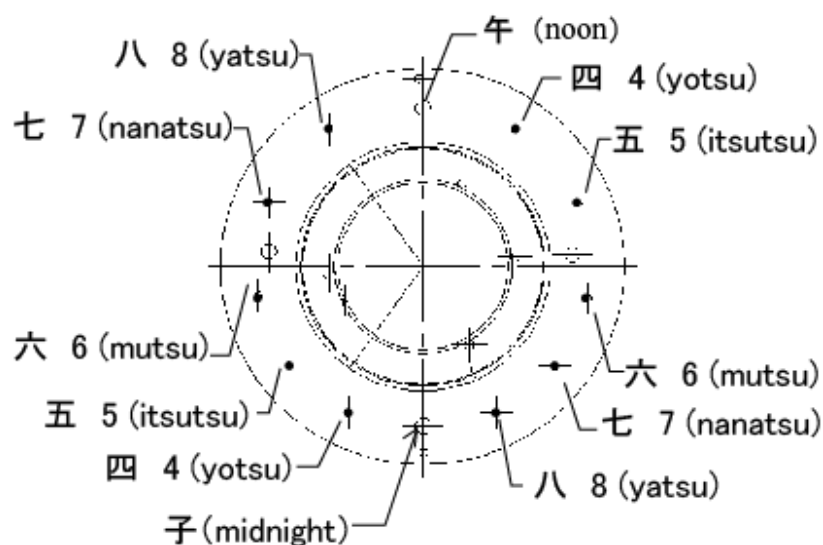


Figure 6.42 クランクシャフトの位置

Table 6-3 和時計部クランクシャフト長[mm]

	四つ	五つ	六つ	七つ	八つ
測定値 (午前)	2.31	4.20	6.05	4.16	2.08
測定値 (午後)	2.23	4.17	6.31	4.25	2.24

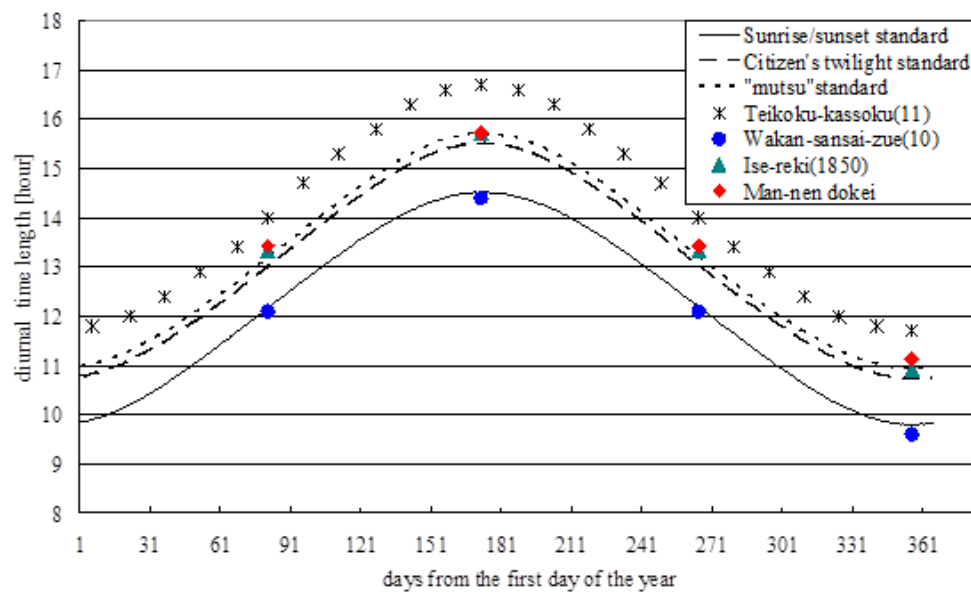


Figure 6.43 日中時間の比較³⁶⁰



Figure 6.44 虫歯車³⁶¹

³⁶⁰横田泰宏, 鈴木一義, 吉田充伸, 羽藤武宏, 久保田裕二, “万年時計の機構解明:第 1 報 天球儀と和時計”, 日本機械学会論文集 C 編 73(729), pp.1529-1536, 2007

³⁶¹横田泰宏, 鈴木一義, 吉田充伸, 羽藤武宏, 久保田裕二, 同上論文

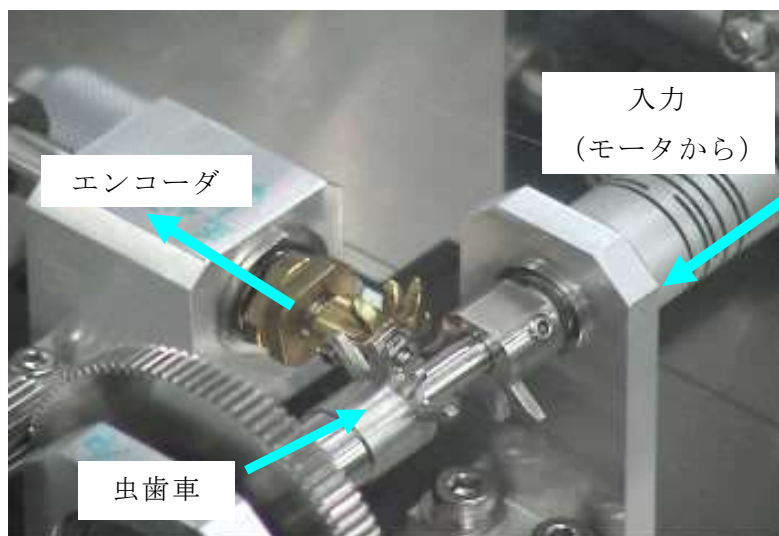


Figure 6.45 実験装置³⁶²

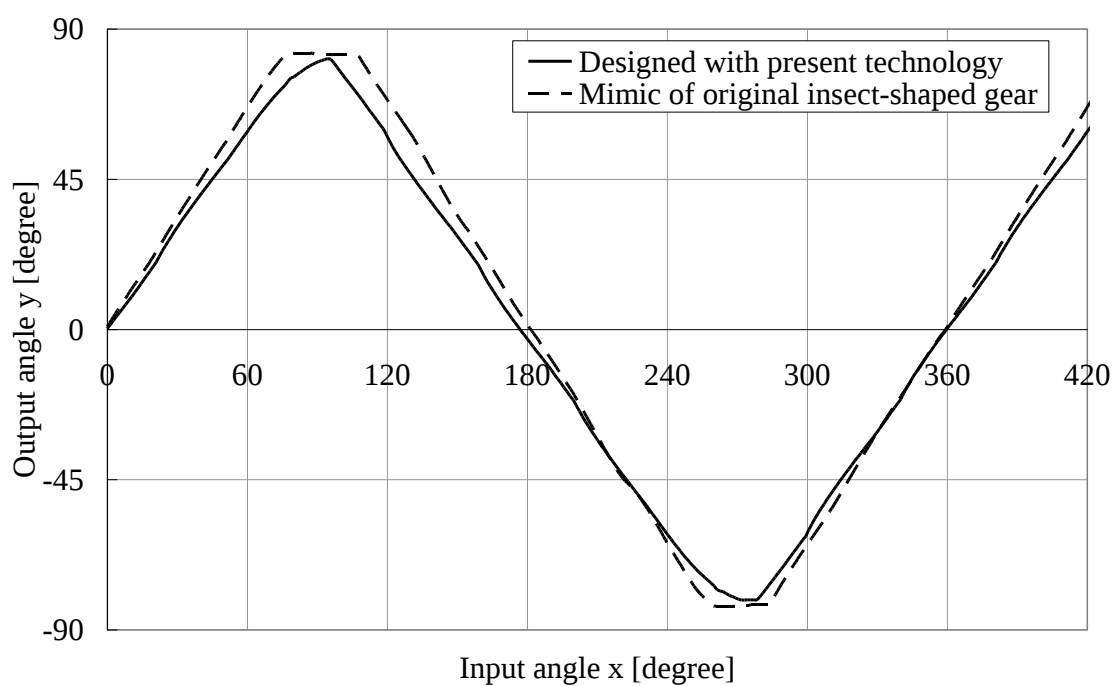


Figure 6.46 虫歯車の入出力角度関係³⁶³

³⁶²横田泰宏, 鈴木一義, 吉田充伸, 羽藤武宏, 久保田裕二, 同上論文

³⁶³横田泰宏, 鈴木一義, 吉田充伸, 羽藤武宏, 久保田裕二, 同上論文

6.7 動力部

6.7.1 ゼンマイ³⁶⁴

(ア) 形状と材料

現在万年時計に装着されているゼンマイは、3代目である。初代のゼンマイは、田中久重が刀鍛冶に依頼して製作したと言われているゼンマイである。2代目のゼンマイは、明治17年（1884年）に二代目田中久重が初代久重の門弟であった田中精助に依頼して修理を行った際に、ゼンマイに亀裂が入っていたために交換したものである。壊れていたゼンマイを銀座の近常時計店が所有していたゼンマイと交換した記録³⁶⁵が残っている。ここで言う近常時計店とは、新居常七が明治6年に開業した「近江屋」のことである。通称「近常（キンツネ）」と言われていたことから、このような記述となったものと思われる。明治17年ごろには日本橋蛸殻町に工場³⁶⁶もあった。3代目のゼンマイは、昭和24年（1949年）に東京科学博物館の朝比奈貞一らにより行われた万年時計の分解調査において、交換されたものである。このときも、ゼンマイに亀裂が入っていたため、材料分析のうえで同質のものを製作し交換した。ゼンマイが交換されたという記述³⁶⁷は、この二回以外にはないため、現在3代目のゼンマイが万年時計に装着されている。3代目ゼンマイの写真を Figure 6.47 に示す。

今回の調査でこの3代目ゼンマイの寸法測定及び材料分析を新たに行った。その結果を Table 6-4 に示す。また、Table 6-4 のゼンマイ寸法値から、ゼンマイの有効巻数が約 3.8 [回] 程度であることが求まる。

(イ) トルク特性

3代目ゼンマイのトルクを実際に計測した。トルク測定は Figure 6.48 に示すように、ゼンマイの香箱を固定し、開放した状態からゼンマイの中心軸を回転させていき、各回転数におけるトルクを記録した。トルクの測定結果を Figure 6.49 に示す。今回は香箱の外側を補強して測定実験を行っている。なぜなら、香箱の厚さは1mm厚しかなく、香箱の変形が予想されたからである。実験は、香箱の現状保存を考えて1.5回転までとした。このため1.5回転以上のトルクは推定値である。前述したように、3代目ゼンマイの有効巻数は約 3.8 [回] であるので、Figure 6.49 の結果では、3.8回転までのトルクを示してある。

³⁶⁴羽藤武宏，鈴木一義，富井洋一，吉田充伸，横田泰宏，久保田裕二 “万年時計の機構解明:第2報，動力部”，日本機械学会論文集 C編 73(729), pp.1537-1544, 2007 をもとに著者らの了承のもと再構成している

³⁶⁵ 三代田中久重著，万年時計の歴史，1960(未刊行)，国立科学博物館蔵

³⁶⁶ 明治18年刊，「東京商工博覧会」，早稲田大学図書館蔵

³⁶⁷ 三代田中久重著，同掲書，1960(未刊行)，国立科学博物館蔵



Figure 6.47 ゼンマイ (時方動力,3 代目ゼンマイ)³⁶⁸

Table 6-4 ゼンマイの諸元³⁶⁹

ばねゼンマイ 長さ	3050 [mm]
幅	65 [mm]
ばね 厚さ	1.9 [mm]
香箱径	ϕ 120.5 [mm]
軸径	ϕ 27.0 [mm]
材料組成	7-3 Brass (Cu:73.08%, Zn:26.20%, Sn:0.35%, Pb:0.15%, Fe:0.22%)

³⁶⁸ (株)東芝提供

³⁶⁹羽藤武宏, 鈴木一義, 富井洋一, 吉田充伸, 横田泰宏, 久保田裕二, 同上論文

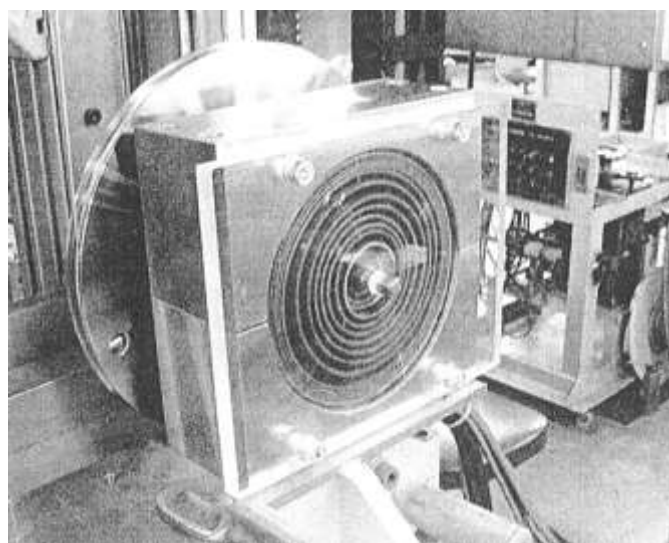


Figure 6.48 ゼンマイトルク計測装置³⁷⁰

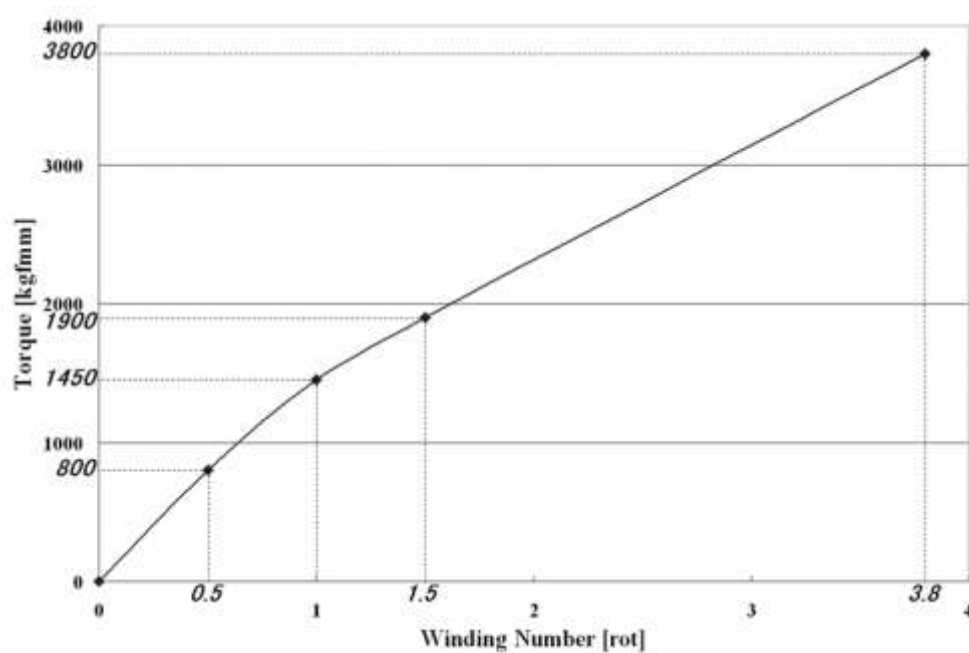


Figure 6.49 ゼンマイトルク³⁷¹

以上のゼンマイの形状を見て、時計技術者である土屋氏も「ゼンマイの板厚 2mm に対して、それを巻き取る軸径が 25mm ではゼンマイの中心部の曲率半径が小さすぎて許容応力

³⁷⁰羽藤武宏，鈴木一義，富井洋一，吉田充伸，横田泰宏，久保田裕二，同上論文

³⁷¹羽藤武宏，鈴木一義，富井洋一，吉田充伸，横田泰宏，久保田裕二，同上論文

値をはるかに越えてしまう。ゼンマイは明治 17 年 (1884), 昭和 24 年 (1949) の解体の際いずれも亀裂が見つかって交換されている。どちらの場合も長時間動かし続けていたとは考えにくいにもかかわらず, である。巻き軸径が 25mm では現在の材料でも早晩問題が発生するであろうし, 巻き軸径を許容応力値に納まるように太くすれば香箱外径を大きくしなければならず, ゼンマイ収納部の大きさにまで影響が及ぶ。なお香箱の肉厚もゼンマイの半分の 1mm しかない, ゼンマイを一杯巻いたら破損することは確実³⁷²と, 設計者としての経験上, 強力なゼンマイと周囲の香箱などのバランスが悪いことを指摘している。

香箱の破損可能性については, Figure 6.50 の図からわかる。Figure 6.50 は香箱真が固定で, 香箱が回転する構造となっており, 万年時計のゼンマイとは固定と回転との関係が逆であるが, ゼンマイと軸, 香箱の関係は同一である。ゼンマイの片側は香箱側面に接続されており, 軸を回転させゼンマイを巻き上げていくと Figure 6.50(a)から(b)の状態に移行し, 香箱とゼンマイとの接続部では, ゼンマイにより香箱が引っ張られていく。

以上のことから, 久重はゼンマイに関して, 職人的模倣は出来ていたものの, 技術者の模倣は不完全であったと考えて良い。ゼンマイの幾何的 (外形的) な設計は行えており, 巻き数などの面では 1 年間の駆動を実現できるが, 材料強度の問題など実際に 1 年間動作させるために新たに考慮しなければならない要素に対しての見積もりが出来ていないのである。

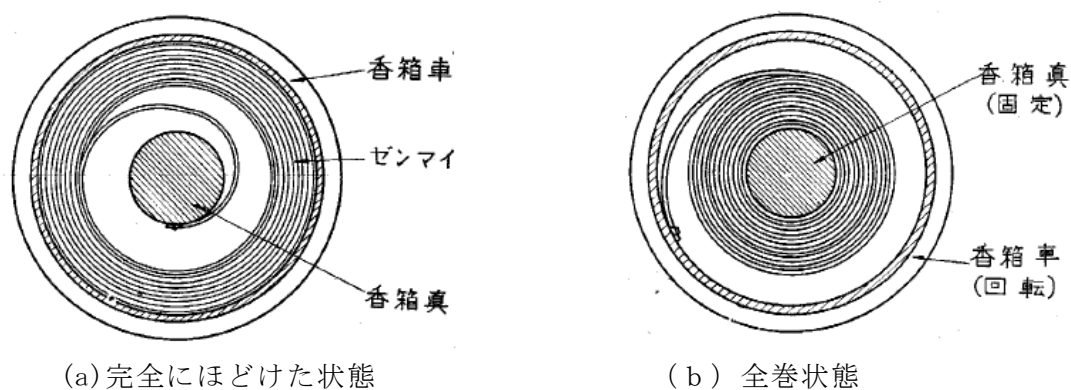


Figure 6.50 ゼンマイと香箱との関係³⁷³

³⁷² 土屋栄夫 田中久重「万年時計」調査報告 マイクロメカトロニクス, Vol.50 No.194

³⁷³ 佐藤二郎・池田国男・鎌田伸男, “腕時計用動力ゼンマイに要求される諸性質とその材料について”, 東京大学生産技術研究所, 生産研究. 11(11), 1959.11.01, pp. 535-539

6.7.2 木枠にかかる力³⁷⁴

Figure 6.19 で示した柱受板は、フュージ受板の補強のための構造と考えられる。その取り付け方向と形状から考えてフュージ受け板の捩れを防止する目的である。一般の腕時計や柱時計にくらべて巨大なゼンマイが使用されていることから、ゼンマイから発生トルクも大きく、その結果、フュージにも相応の力がかかることが予想される。そこで、本節ではフュージ受板及び木枠の幾何学的関係をもとに、フュージや木枠にかかる力を計算した。

Figure 6.51 にフュージ受板と木枠の幾何学的な関係を示す。ここで、各点間の距離を示すと以下の通りである。

点 O から入力側フュージの回転中心である点 A までの長さ：88 [mm]

点 O から出力側フュージの回転中心である点 B までの長さ：56 [mm]

点 O からフュージ受板側の柱受板受点である点 C の x 成分（点 C_x ）の長さ：37 [mm]

点 O から点 C の y 成分（点 C_y ）の長さ：54 [mm]

このとき、点 A において、フュージ受板を回転させようとする力 F_{Ax} は、次式のように表せる。

$$F_{Ax} = \frac{\overline{OB}}{\overline{AB}} F_A = 0.537 F_A$$

この回転力の反力が柱受板に作用するので、木枠に作用する力 F_D は、次式のようにになる。

$$F_D = \frac{\overline{OA}}{\overline{OC}} F_{Ax} = 0.722 F_A$$

そして、最終的に求めたい木枠に作用する引張り力 F_{Dx} と剪断力 F_{Dy} は、次式のように決まる。

$$F_{Dx} = \frac{\overline{OC_y}}{\overline{OC}} F_D = 0.596 F_A \quad (6.7.1)$$

$$F_{Dy} = \frac{\overline{OC_x}}{\overline{OC}} F_D = 0.408 F_A \quad (6.7.2)$$

フュージ受板、フュージ、ゼンマイは、Figure 6.52 のような位置関係にあり、ゼンマイにより発生する力 F_A は、フュージ間に働く引張り力（入力側フュージの回転中心に作用する力） F_A とほぼ等しいと考えられる。

ゼンマイのトルク T_Z は、次式のように表せる。

$$T_Z = M_0(\Omega - \alpha) \quad (6.7.3)$$

Ω ：ゼンマイの最大巻き角度

α ：ゼンマイの開放角

M_0 ：ゼンマイの単位角度当たりのトルク

³⁷⁴羽藤武宏，鈴木一義，富井洋一，吉田充伸，横田泰宏，久保田裕二，同上論文をもとに著者らの了解のもと再構成している

したがって、力 F_A は、次式のようになる。

$$F_A' \cong \frac{T_z}{R} \quad (6.7.4)$$

ここで、ゼンマイの巻き数を N として、ゼンマイを N 回巻いた初期状態 ($\alpha=0$) を考えると、式 (6.7.4) は次式となる。

$$F_A' \cong \frac{2\pi M_0}{R_N} N \quad (6.7.5)$$

ゼンマイのトルク実測値 (Figure 6.49 参照) より、

$$M_0 \cong 1450[\text{kgfmm}] = 14.2[\text{Nm}]$$

と、ゼンマイを 1 回巻いたとき ($N=1$) の測定結果より $R=29.3[\text{mm}]$ であるから、力 F_A' の値は

$$F_{A,N=1} \cong 311[\text{kgf}] = 3.05 \times 10^3[\text{N}]$$

となる。

この結果を式 (6.7.1) 及び (6.7.2) に代入すると、引張り力 F_{Dx} と剪断力 F_{Dy} は、以下のよう求められる。

$$F_{Dx} \cong 185[\text{kgf}] = 1.82 \times 10^3[\text{N}]$$

$$F_{Dy} \cong 127[\text{kgf}] = 1.24 \times 10^3[\text{N}]$$

木杵の強度はばらつきが大きく、万年時計の木杵に使用されている木の実測値も不明であるが、Table 6-5 に建築用木材の基準強度を参考のために記す。表によれば、木材において最も基準強度の低いのはせん断強度であり、他の曲げや圧縮に比べて一桁小さい。たとえばアカマツでは、せん断強度は 2.4N/mm^2 であり、木杵にかかっている引張り力 F_{Dx} と剪断力 F_{Dy} と比較すると十分な面積がないとささえることができないことがわかる。

実際、木杵などにはゼンマイを巻いたときに発生したものと考えられる亀裂が入っている。また、今回の結果から柱受板がフュージ受板の振れを防ぐために取り付けられた部品であることも推定できる。

ゼンマイとフュージは離れすぎており、あまり良い設計とは言えない。ゼンマイの巻軸とフュージの中心軸は、一つの軸で共有されているが、これだけの巨大ゼンマイを用いるのであれば、少なくとも設計方針としてゼンマイとフュージを可能な限り近づけ、共通軸は短くしておくのが普通であろう。

作って見たら予想以上のトルクが発生し、フュージ受け板や木杵に力がかかり慌てたのではない。

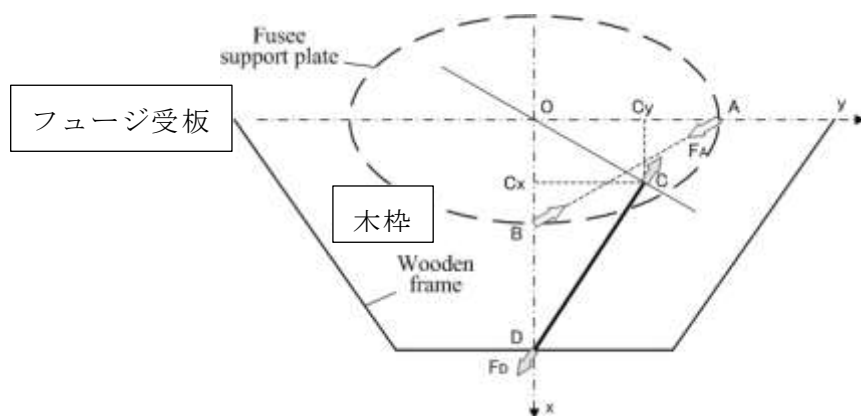
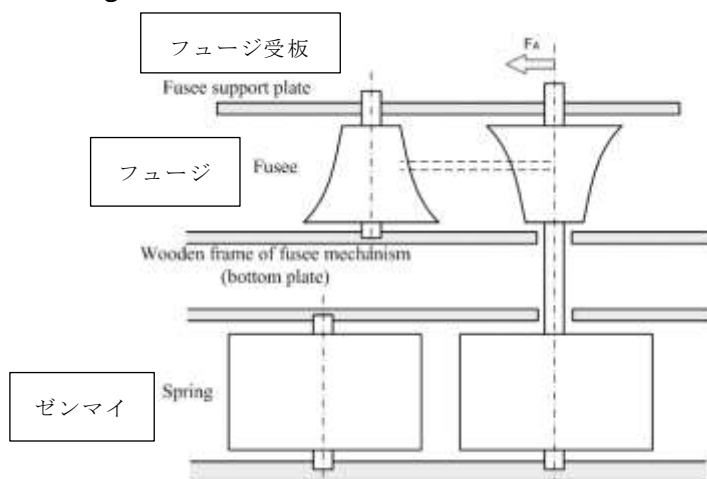
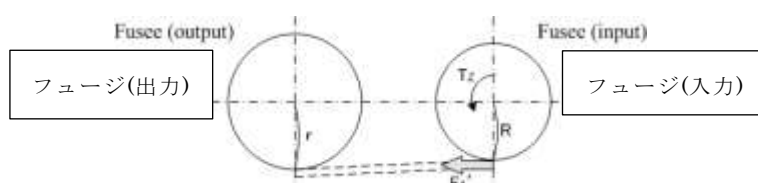


Figure 6.51 フュージ受板と木枠の幾何学的な関係³⁷⁵



(a) 動力機構部を横から見た図



(b) フュージを上から見た図

Figure 6.52 動力供給部の位置関係³⁷⁶

³⁷⁵羽藤武宏, 鈴木一義, 富井洋一, 吉田充伸, 横田泰宏, 久保田裕二 “万年時計の機構解明:第2報, 動力部”, 日本機械学会論文集 C編 73(729), pp.1537-1544, 2007

³⁷⁶羽藤武宏, 鈴木一義, 富井洋一, 吉田充伸, 横田泰宏, 久保田裕二, 同上論文

Table 6-5 木材の基準強度³⁷⁷

樹種	区分	等級	基準強度(単位 1平方ミリメートルにつきニュートン)			
			F _c	F _t	F _b	F _s
あかまつ	甲種構造材	一級	27.0	20.4	33.6	2.4
		二級	16.8	12.6	20.4	
		三級	11.4	9.0	14.4	
	乙種構造材	一級	27.0	16.2	26.4	
		二級	16.8	10.2	16.8	
		三級	11.4	7.2	11.4	

F_c:圧縮の基準強度 F_t:引張りの基準強度F_b:曲げの基準強度 F_s:せん断の基準強度

6.7.3 フュージ機構³⁷⁸

ゼンマイから発生するトルクは、巻かれた状態から開放されるときに一定ではない。フュージ機構は、この変動トルクを均一化するためのものである。通常、フュージ機構は均力車（フュージ）と円筒（ゼンマイを納めた香箱の場合が多い）との組み合わせで構成される（Figure 6.53）³⁷⁹。しかし、万年時計では Figure 6.19 や Figure 6.20 のように上下逆向きにした 2 個の均力車を鎖でつないで構成されている。

本節では、万年時計に特徴的な均力車を 2 個用いた場合の動力特性を解析的に求め、この構造を採用した理由について検討した。

（ア）万年時計動力部の特性

万年時計と同様に（Figure 6.54），上下逆さまの均力車同士が鎖によって連結されている場合を考える。鎖がゼンマイ側の均力車の半径 $R(\alpha)$ の位置と出力側均力車の半径 $r(\beta)$ の位置に架かっているとする。このとき、ゼンマイのトルクは、式（6.7.3）のように表わせるので、出力軸に伝わるトルク T_{out} は、

³⁷⁷ 国土交通省告示第 1524 号，建築基準法施行令（昭和 25 年政令第 338 号）第 89 条第 1 項の規定に基づき，木材の基準強度 F_c,F_t,F_b,及び F_s を次のように定める。平成 19 年 11 月 27 日

³⁷⁸羽藤武宏，鈴木一義，富井洋一，吉田充伸，横田泰宏，久保田裕二，同上論文をもとに再構成

³⁷⁹ 青木保，時計学，丸善株式会社，1938，pp. 114

$$T_{out} = \frac{r}{R} M_0 (\Omega - \alpha) \quad (6.7.6)$$

となる．

ここで，鎖が微少量 $R \cdot d\alpha$ だけゼンマイ側の均力車から開放されると，出力側均力車に同じ長さ $r \cdot d\beta$ 分だけ巻きとられる必要があるので

$$\int_0^\alpha R(\alpha) d\alpha = \int_0^\beta r(\beta) d\beta \quad (6.7.7)$$

が成立する．

ここで，

ゼンマイの最大巻き数： N

ゼンマイが最大に巻かれたときからのゼンマイ軸の回転数： n

出力軸の回転数： m

とすると

$$\Omega = 2\pi N, \quad \alpha = 2\pi n, \quad \beta = 2\pi m \quad (6.7.8)$$

となる．

式 (6.7.8) を式 (6.7.6)，(6.7.7) に用いると次式の関係を得る．

$$T_{out} = 2\pi \frac{r(m)}{R(n)} M_0 (N - n) \quad (6.7.9)$$

$$\int_0^n R(n) dn = \int_0^m r(m) dm \quad (6.7.10)$$

出力軸のトルク特性は， $R(n)$ と $r(m)$ が式 (6.7.10) の関係を満たすという条件下で，式 (6.7.9) を計算すれば求めることができる．

式 (6.7.9)，(6.7.10) より出力軸の特性を求めた．計算は，数式処理計算ソフトウェアの Mathematica™³⁸⁰ を用いている．均力車の形状 $R(n)$ ， $r(m)$ は，表 7.5 の実測値を三次多項式で補完することにより求めている．1 年連続稼働させるためにゼンマイ軸を 8 巻きした場合と現在の構成で可能な 5 巻きした場合について計算を行った．その結果を Figure 6.55 に実線と点線で示す．

³⁸⁰ Wolfram Research 社の登録商標

Table 7.5 ゼンマイ諸元³⁸¹

ゼンマイ 長さ	3050 [mm]
ゼンマイ 幅	65 [mm]
ゼンマイ 厚さ	1.9 [mm]
香箱 径	φ 120.5 [mm]
軸径	φ 27.0 [mm]
材料組成	7-3 Brass (Cu:73.08%, Zn:26.20%, Sn:0.35%, Pb:0.15%, Fe:0.22%)

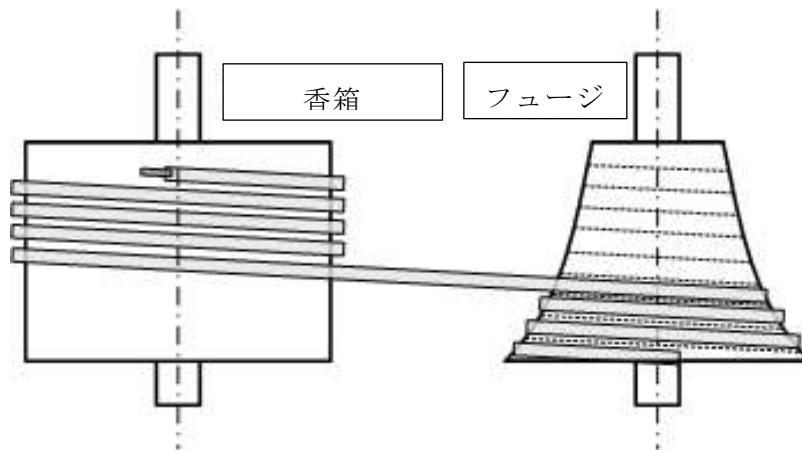


Figure 6.53 フュージとゼンマイの良く見られる構成³⁸²

³⁸¹羽藤武宏, 鈴木一義, 富井洋一, 吉田充伸, 横田泰宏, 久保田裕二, 同上論文

³⁸²羽藤武宏, 鈴木一義, 富井洋一, 吉田充伸, 横田泰宏, 久保田裕二, 同上論文

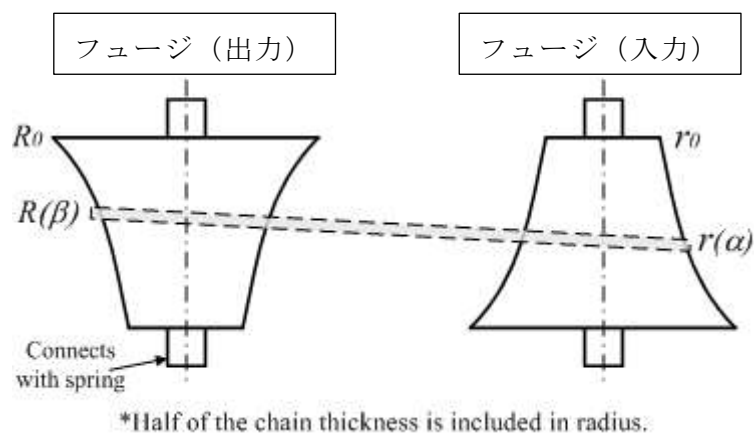


Figure 6.54 万年時計におけるフュージ構成³⁸³

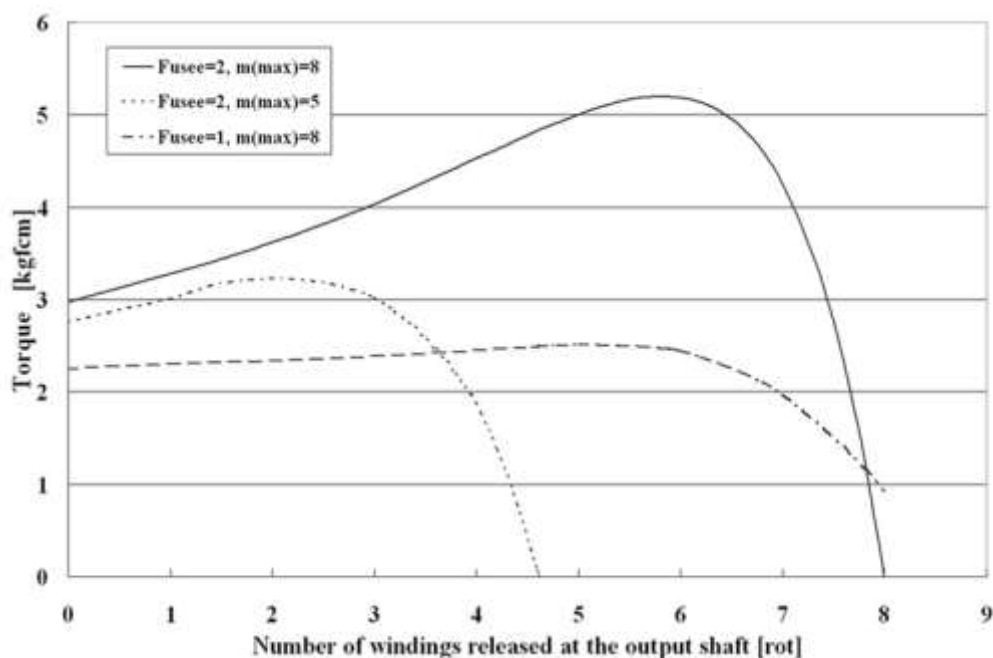


Figure 6.55 ゼンマイトルク（計算値）³⁸⁴

(イ)フュージ 2 個を使用することについての考察

ここでは、田中久重が万年時計で均力車を 2 個使った理由について考察する。久重が本来のフュージの役割を正しく理解し、設計手法を理解していれば、フュージを 2 個使用することもトルクの均力化がなされていなければならない。そこで、フュージを 2 個使用し

³⁸³羽藤武宏，鈴木一義，富井洋一，吉田充伸，横田泰宏，久保田裕二，同上論文

³⁸⁴羽藤武宏，鈴木一義，富井洋一，吉田充伸，横田泰宏，久保田裕二，同上論文

た際の利点があるかどうか調べた。

まず、通常のフュージ機構の構成である円筒と均力車との組み合わせで、どのような出力特性が得られるかについて検討を行った。フュージ機構が収められている木枠内に収まることを設計上の制約条件とし、円筒の半径を R_0 、均力車の最大半径を r_s として

$$R_0 + r_s \leq 70 [\text{mm}]$$

を制約条件としている。

出力トルクを一定とする均力車の半径は次式により求められる³⁸⁵。

$$r_m = \frac{r_0}{\sqrt{1 - \frac{2r_0}{R_0} \frac{m}{N}}} \quad (6.7.11)$$

ここで、 r_0 は実際の均力車と同じ 12.3 [mm] とする。また、出力軸の回転数 m の最大値は 1 年連続稼動を想定して $m_{\max}=8$ とする。

前節で検討したように木枠の強度が不足していることから、ゼンマイ軸の巻き数 N を極力小さくすることが必要である。しかし、 N を小さくすると式 (6.7.11) 右辺の分母から R_0 を大きくする必要があるため、ここでは $N=6$ として仮想設計を進める。この場合、出力軸が 8 回転したときにゼンマイが全て開放されるとすると、式 (6.7.11) 右辺の分母がゼロとなる条件より

$$R_0 = 32.8 [\text{mm}]$$

を得る。したがって、制約条件より r_s を 37.2 [mm] まで大きくすることができる。

式 (6.7.11) より r_k ($k=1,2,\dots,7$) を求めると以下ようになる。

$$r_1=13.1 [\text{mm}]$$

$$r_2=14.2 [\text{mm}]$$

$$r_3=15.6 [\text{mm}]$$

$$r_4=17.4 [\text{mm}]$$

$$r_5=20.1 [\text{mm}]$$

$$r_6=24.6 [\text{mm}]$$

$$r_7=34.8 [\text{mm}]$$

この均力車の形状を三次多項式で補完し、出力軸のトルク特性を計算すると図 7.32 の一点鎖線のようになる。Figure 6.55 が示すように、通常のフュージ機構構成の方が、不必要に大きな力を木枠に作用させずに均一な出力トルクを得られ、時計の動力系としては適していることがわかる。田中久重が、均力車を 2 個使ったフュージ機構を用いるべき理由はない。田中久重が均力車について、その原理を誤解し、フュージを二つ使うことで、一つの時よりも均力化が図れると考えた可能性がある。

そのほかの可能性として、フュージを 2 個使用することにより、ゼンマイ部と時計部と

³⁸⁵ 青木保，時計学，丸善株式会社，(1938)，pp. 114

を分断させ、メンテナンスを行いやすくした可能性も考えられるが、あえてフュージを 2 個使用する理由はなく、その可能性もない。

つまり久重は、フュージ機構について設計意図や思想を正確には理解していなかったと考えられる。

6.8 久重関与の文献に見られる万年時計記述

久重が直接関与したと思われる万年時計の記述は、主に3つある。一つは、これまでも出てきている万年時計図弁、Figure 6.56 の万年時計引き札、Figure 6.57 の機巧堂引き札である。

上記3点を比較すると特に稼働時間について記述が異なっていることがわかる。Figure 6.6 の万年時計図弁と Figure 6.56 の引き札ではゼンマイは1年に1回まけば良いという記述があるにもかかわらず、Figure 6.57 では1年に、4,5度まけばよいという記述になっている。6章のこれまでの検討から、万年時計は1年間連続駆動することを目標としてきたと考えられるが、フュージの使用痕跡から結果的に75日程度しか動かしていないという推測を述べてきた。75日が連続可動時間だとすると、1年に4,5度まけばよいという記述と齟齬は無くなる。

現在の万年時計は未完成品だったと考えられるだろう。久重は万年時計を1度のゼンマイ巻き上げで1年間動かし続けることを意図し、そのように製作したが、作ってみたところ1年分のゼンマイを巻くことは出来ず、75日程度しか動かせないことに気が付いたということではないだろうか。

万年時計は引き札にも印刷され、売り物としての扱いを受けているにもかかわらず、2台目が作られた記録も無く、売られた記録も無い。実際に買おうとした大名もいたようであるが、あまりに高価であったため家臣らから止められ、売られることは無かったと言われている。しかし、久重にとって万年時計は未完成品であったという認識があったとすれば、あえて売らなかったという解釈もできるだろう。

また、万年時計を作るに当たり、西洋の製造技術を使ったということが書かれている。Figure 6.57 には、「歯車はオランダの作り方と同じである。体は旋盤を使った。」と記載されており、万年時計を実現するためには、これら製造技術が必要だという認識は持っていたようである。



Figure 6.56 万年時計引札(嘉永 4 年)³⁸⁶



Figure 6.57 機巧堂時計引札 (嘉永 5 年) ³⁸⁷

386 国立科学博物館蔵

387 国立科学博物館蔵

6.9 6 章まとめ

万年時計の分解調査を行い、万年時計の時計としての実力および西洋の時計技術を久重がどの程度理解していたのかを検討した。

6.3 では、仕様上は 1 年間の連続駆動を目指したが、現存の万年時計の最大連続可動日数が約 225 日であること、現実に関動したのはさらに少なく 75 日程度であることを示した。

6.4 では、洋時計部の来歴と先端的な洋時計と他の機構との接続に苦労していることを示し、十分な接続ができていないことを示した。

6.5 では、天球儀が太陽と月の動きが天文知識と合致するよう三次元的に構成された特徴ある時計であること、暦法に則った不定時法の六つの定義が盛り込まれていること、また和時計でも暦法の不定時法に忠実な設計がなされているを示し、久重が天球儀部を製作するために新たな知識を得たうえで、その知識を十分反映した構成となっていることを示した。

6.6 では、和時計部の構造を示し、他に類を見ない独特の構造をしていること、また不定時法を忠実に再現しようとしており、十分に成功していることを示した。

6.7 では、ゼンマイ、フュージなどを、1 年連続駆動を目指して設計しなおしているものの、十分な力学的理解ができておらず、構造的な無理を生じさせ、要求性能を発揮できていないことを示した。

6.8 では、万年時計を 1 年間連続駆動させようとしたものの、作った後に不可能であることに気が付いている可能性を示した。

全体的に、動力伝達機構としての歯車の理解が中途半端である印象を受ける。久重の歯車に対する理解は、あくまで回転数変換装置であり、回転数の変換に伴ってトルクも変換される、さらに歯や軸にも力がかかるという意識が希薄だったのではないか。そのように考えれば、万年時計の歯車として 3 歯や 4 歯のような極端に歯数の少ない歯車を利用し、1 段で 10 倍以上の減速比を達成させるような機構を当たり前のように使用していることも納得できる。

明らかに職人的模倣しか行われておらず、技術者の模倣は達成されていない。からくり人形などでは、見かけの動きが実現できれば良いので問題なかったのであろう。しかし、金属を利用したエネルギー貯蔵装置であるゼンマイのような新しい要素が入ってきた場合に、一見これまで利用してきた歯車と同じ構造があるからといって形だけ模倣をしても、うまくいかない。それは、それまで行ってきた開発が、材料強度として耐えうる範囲内でのみ（偶然か意図的かは問わず）されてきただけにも関わらず、一般化できると錯覚したために起こったのであろう。

7. 万年時計製作後、佐賀藩精煉方着任までの久重（～1854 年）

ここでは、田中久重と薩摩藩士によるそれぞれの西洋技術に対する見方が記されている同時期の二つの文献を比較し、1854 年の時点で、田中久重が西洋技術取り込みに先進的と考えられていた薩摩藩よりも科学的知識と技術に対する深い認識を持っていたこと、および、万年時計製作をきっかけとして前記認識を持つように至った可能性を指摘する。

この時期の薩摩藩士たちの認識は、西洋の技術書さえあれば反射炉や大砲が可能であるように蒸気船も作れる³⁸⁸というものであった。久重が蒸気船雛形を製作したのと時を同じくして、1853 年（嘉永六年）に薩摩藩主島津斉彬は洋式帆船と蒸気船からなる艦隊建設計画を開始³⁸⁹している。この時、薩摩藩が参考にしたのは、箕作阮甫による「水蒸船説略」^{390, 391}である。この本の末尾には薩摩藩士 横山安容による跋文が書かれており、理屈がわかった以上蒸気船であっても作れるという意味の楽観的見通し³⁹²を立てている。これは、西洋技術に対する浅薄な理解が書かせたものであると同時に、一冊の書籍を頼りに反射炉や蒸気船などの建設に突き進んでしまう状況を考えれば一般的な意見であったものと思われる。大砲を作ることと船を作ることその間にある専門的知識の違いの大きさ、書籍にかかれていない技術の多さに気が付いていないのである。

一方、田中久重は蒸気機関砲の雛形製造に関し、雛形を作ることと実用に供することとの間には大きな技術的隔たりが存在し、西洋の書籍を見るだけではできないことを指摘している。久留米半田久隆が 1853 年（嘉永六年 10 月）に写したとされる「蒸気砲会心録」は、1853 年（嘉永六年 8 月）に田中久重自身が口述し、内容を確認した旨記されており、当時の久重の技術に対する認識がよくわかる資料³⁹³である。

以下に「蒸気砲会心録」中の「蒸気銃略記」³⁹⁴から重要な部分を抜き出す（下記、①－⑦斜字³⁹⁵）。ただし、読みやすいように一部改変している。

³⁸⁸ 中岡哲郎著、日本近代技術の形成＜伝統＞と＜近代＞のダイナミクス、朝日新聞社、p.32, 2006

³⁸⁹ 中岡哲郎著、同掲書、p.31

³⁹⁰ 中岡哲郎著、同掲書、p.31

³⁹¹ 「水蒸船説略」は、オランダの Verdam.G.J による Volledige verhandeling over de stoomwerktuigen.を箕作阮甫が訳したもの

³⁹² 中岡哲郎著、同掲書、p.31 による意識「ヨーロッパ人たちが世界を横行しているが、彼らのたよりにしているのは軍艦と大砲の二つだけだ、その大砲はわれわれはもうつくれるようになった、蒸気で動く軍艦のほうはまだつukれない・・・しかし、箕作先生の手でこの本が出、理屈がわかった以上もう大丈夫」

³⁹³ 田中近江翁顕彰会著、同掲書、昭和 6 年、2011 年東芝科学館により復刻、p.100-106 「蒸気砲会心録」は田中近江翁顕彰会が入手した旨記されている。

³⁹⁴ 「蒸気砲会心録」は、蒸気砲の図と「蒸気銃略記」とからなる。

³⁹⁵ 田中近江翁顕彰会著、同掲書、p.101-105

① この図器は小型の雛型なり。武具に具る全器はこれに 5 倍或いは 10 倍して、その製造精密なり。

② 右器、畢竟試験の略器にして、実用のために造らず

③ 排気管の機の如きも、最も肝要なれども、此れ其の大略を示すのみ

④ 諸具銅鉄の厚薄より鍛錬に至るまで、別に愚考あり。

（略）微細の要極に至りては、此の小器の得て盡（つく）す所にあらず。且つ筆墨の状すべきにあらず

⑤ 実用の器に製せんと欲せば、よく芸術家と面話、愚説を呈して、其の用をなさんと欲す。

⑥ 余未だ西洋蒸気砲説を知らず。此の器多年の愚考を持って創意製造す

⑦ 若し西洋書の蒸気砲の緒を書するものを得て、熟読せば、なお詳細を得て何ぞ西蕃の工に譲らんや。

以上の 7 項目を検討してみると次のようなことがわかる。

（ア）雛形と実用品との間には大きな技術的差が存在し、単純に大きく作れば良いものではない（①，②）

（イ）設計図（書）に書ききれない、書くことのできない技術が存在し、実用にするためには、その技術こそが重要である（③，④，⑤）

（ウ）材料やその製造法が重要である（④）

（エ）職人に対し、理論的裏付けを持ったうえで説明し、適切な指示を与える必要がある。（⑤，⑦）

（オ）西洋の蒸気砲にかかわる実物または書籍から設計したものではなく、今現在自らの持っている知識をもとに設計した。西洋の書籍があったならば、さらに補完できてより良いものができる。つまり西洋の蒸気砲の書籍があったからといって実物ではない（⑦）

以上のような姿勢は、万年時計製作時にはまだ明確にはなっていない。万年時計では、製造法が大事であることや、新しく学んだ知識をもとに設計を行うなど、一部において同様の姿勢がみられる（6.8 節）ものの、力学的知識の無さからくる材料選択の無頓着性、西洋時計利用時の配慮の無さなど、まだまだ上記のような姿勢は不足している。

万年時計製作後、わずか 2 年の間に久重の技術に対する認識が大きく変化している。前記した『蒸気砲会心録』は、1853 年（嘉永六年 8 月）口述したとされており、万年時計の製作完了が 1851 年である。この間、1852 年（嘉永五年）に久重は蒸気船の雛型を作っ

た記録³⁹⁶がある。1853年の時点では、『蒸気砲会心録』に記している蒸気砲の雛型は実際にはまだ製作されていない。したがって、『蒸気砲会心録』の雛型を作る時の注意事項は1852年に製作した蒸気船雛型での経験が反映されているものと思われる。

以上を時系列にまとめると、1851年から1853年の間に起きた田中久重の技術に対する認識の変化は、次のようになる。1851年の万年時計の製作とその不完全な出来栄を通じ、本論文でいう技術者の模倣および製造技術の重要性を認識し、翌年1852年に、蒸気船の雛型を作る際に技術者の模倣を実行し、製造技術についても考慮に入れて製作した。その経験を1853年の『蒸気砲会心録』に反映した、ということであろう。

『蒸気砲会心録』の（エ）において、久重自身が職人との差を意識している記録が残っているのは重要である。久重が、職人とは異なる立場（今日でいう技術者）に自らを認識していたという証拠になる。これは、1851年の『万年時計図弁』で「万年自鳴鐘師」を自ら名乗り、1852年に関白鷹司卿から「日本第一細工師」という称号を頂いた職人としての位置づけとは明らかに異なっているのである。

³⁹⁶ 田中近江翁顕彰会著、同掲書、翁手記の年譜

8. 田中久重の職人から技術者への転換

田中久重が職人から技術者へ変化したのは、佐賀藩精煉方として活動を始めてからしばらく経った後のことと捉えられることが多い³⁹⁷。これは、技術者にとって系統的科学知識が必須だという考え方にとらわれた結果、久重が佐賀藩精煉方に職人として参加したあとに、精煉方として本格的技術習得制度のもと技術習得をし、長崎海軍伝習所などでの系統的技術導入があったから、技術者になったのである、というストーリーが描かれてきたからである。

また一方、田中製造所（株）東芝の源流）を起業したことに注目し、初期の技術者企業家とみなす³⁹⁸ことがなされている。確かに、企業家でもあり、そのように分類することは間違いではない。しかし、技術者を、「発明家と呼ばれる技術者であり、第2のタイプは教育機関で養成された専門技術者」³⁹⁹分類できるとする観点を持ち出し、初期の技術者企業家が発明家であった多くの例をもって、企業家としての成立時期を技術者の確立時期と同一視するような議論は行えない。

しかし、本論文では、久重の技術者への転換は、佐賀藩精煉方へ出仕するよりも前の段階からすでに始まっており、万年時計製作にあたる1851年を挟んだ数年間に大きな変化が起こっていることを指摘する。前記のように佐賀藩精煉方以降に技術者となったのだという解釈は、技術者にとって系統的科学知識が必須だという考え方にとらわれ過ぎていると筆者は考える

以下に、「1847年よりも前」、「1847年～1850年」、「1851年」、「1852年～1854年」という4つの期間に分けて、それぞれの期間における久重の職人または技術者としての評価を与える。

（1847年よりも前）

田中久重を職人としてとらえることができる。1847年は、田中久重が須弥山儀の製作依頼を受けた年であり、それまでの時期は、からくり儀右衛門とまで言われるからくり師であると同時に、近江大掾や日本第一細工師という称号をもらえるほどの時計師・器械製作

³⁹⁷ たとえば、鈴木によれば、「精煉方に職人として参加したのである」「技術者の田中久重らがさまざまな研究を開始した」とし、精煉方に参加した時には職人であったと解釈している。：ヴォルフガング・ミフェル他編、九州の蘭学―越境と交流―，2009，pp.235-236 また、中岡も「佐賀藩の精煉方のような本格的な技術習得制度」などが田中久重らを技術者としたという解釈をしている。（中岡哲郎著、同掲書）

³⁹⁸ 中岡哲郎著、同掲書，2006，「田中製造所（東芝の源流）の田中久重のような初期の技術者企業家が生まれた」

³⁹⁹ 転法輪圭，廣政直彦編，教養のための技術論，東海大学出版会，p.62，1986

者である。京都に機巧堂という店を構え、時計や無尽灯を製作し販売している、まさに職人である。

(1847 年～1850 年)

続く、1847 年から 1850 年は、須弥山儀の製作依頼を受けて完成させ、万年時計製作にとりかかるまでの時期である。この時期の田中久重は京都にて、それまでとは異なる行動をとっている。それは、職人としての製造技術を学ぶということではなく、自らの知識を積極的に増やす行動を 2 つ行っている。一つは土御門家入門による天文暦法の習得であり、もう一つは広瀬元恭の時習堂での洋学修学である。これらは、当時時計職人であった久重にとって、職人とは直接関係ない行動である。

すでに、本文で記載したが、須弥山儀の製造着手と久重が土御門家へ出入りした時期は同年であることから、土御門家への入門は須弥山儀を作るためだったのではないかと考えられる。須弥山儀は、時計の構造知識だけでは作ることが出来ず、天体の公転周期などの知識が不可欠であるからである。

しかし、久重が須弥山儀製作依頼を受けた時点で、すでに須弥山儀は存在していた。単純に同様の須弥山儀を作るだけであれば、すでにある須弥山儀を職人的模倣により真似ればよいのであり、暦学まで学ぶ必要はない。それをあえて、費用と時間をかけて暦学を学び、1 年間で製作したと伝えられている万年時計に比べて簡単な構造である須弥山儀を製作するのに 3 年を費やし、構造を変えながら試行錯誤しているのは、職人的模倣にとどまるつもりはないという意思の表れと思われる。

続いて広瀬元恭の時習堂に入門して、蘭学洋学を修学している。このときには蒸気機関もしくは水蒸気の理論について学んだと考えられる。1853 年（嘉永五年）に蒸気船雛型を製作していることから考えると理学や蒸気機関についての理論も得ていたと考えるのが妥当である。1853 年は、浦賀にアメリカ東インド艦隊司令官であるペリーが開国を求めて浦賀に蒸気船にてやってきた年であり、事前に蒸気船の構造について情報を得ていた久重が広瀬元恭から水蒸気の理論など指導されたことを活かし、蒸気機関の実物を見ずに製作したものと考えられる。実物を見ていないものを製作するには理論的理解が必要であり、久重は必要な知識を得ようとしていたのであろう。

製品を作るために専門外の知識を習得する必要がある、同様の製品があってもその職人的模倣にとどまらないという意識がすでに万年時計製作前の段階で芽生えていたと言える。

しかし実際には、須弥山儀は、歯車列の構成を変えるなどは行っているだけであり、まだこの時点では職人として活動していたとみるべきである。

(1851 年)

1851 年は、万年時計製作の年である。

分解調査により、万年時計は目指していた仕様を満たしていないことがわかった。

万年時計の特筆すべき性能として言われてきた、巨大ゼンマイによる 1 年間の連続駆動は、実際には 75 日程度であり、その原因としてゼンマイの設計における力学的な考え方がまったくなされておらず、技術的に先行していた西洋技術を吸収しきれていない、つまり職人的模倣はしているものの、技術者の模倣は成し遂げられていないことがわかった。同様のことがトルク平準化機構としてのフュージの利用において、目的を達成できない設計をしてしまっている点にみられる。

また、洋時計と他の機構との接続に苦勞しており、十分な動力伝達機構を構成できておらず、最先端洋時計の構造の理解が追い付いていないことを想起させる。

全体的に、動力伝達機構としての歯車の理解が中途半端である印象である。久重の歯車に対する理解は、あくまで回転数変換装置であり、回転数の変換に伴ってトルクも変換される、さらに歯や軸にも力がかかるという意識が希薄だったのではないか。そのように考えれば、万年時計の歯車として 3 歯や 4 歯のような極端に歯数の少ない歯車を利用し、1 段で 10 倍以上の減速比を達成させるような機構を当たり前のように使用していることも納得できる。

明らかに職人的模倣しか行われておらず、技術者の模倣は達成されていない。からくり人形などでは、見かけの動きが実現できれば良いので問題なかったのであろう。しかし、金属を利用したエネルギー貯蔵装置であるゼンマイのような新しい要素が入ってきた場合に、一見これまで利用してきた歯車と同じ構造があるからといって形だけ模倣をしても、うまくいかない。それは、それまで行ってきた開発が、材料強度として耐えうる範囲内でのみ（偶然か意図的かは問わず）されてきただけにも関わらず、一般化できると錯覚したために起こったのであろう。

以上のことから、1851 年の万年時計の製作段階では、久重はまだ職人として活動しているとみなせる。

しかし、1851 年の時点で久重は一部ではあるが技術者の思考もまたスタートしていると考えられる。たとえば、時計の精度確保のためには製造技術が重要であることを認識しており、そのためには見合った加工機械も必要であることに気が付いている。また、結果的に職人的模倣しか行えていないフュージの二個使いであるが、フュージの機能を考えたうえで（間違いではあったものの）応用を考え、単なる形状のまねではないことを試している。このことは、技術者の模倣の先駆と言える。

残念ながら万年時計には数々の設計上の問題があり、失敗作と断じてても良い状況である。久重は明らかに技術者の模倣の必要性を認識してはいるものの、自身の持つ在来技術を利

用し、その範囲内で新しい設計に挑戦したため、製品として完成したとは言えない状態になっているが、この失敗に久重自身は気付いていることから、この経験が次の開発に生かされたと考えてよいだろう。

(1852～1854 年)

1851 年の万年時計完成から 1854 年までの期間の出来事に注目する。1854 年は、田中久重が佐賀藩精煉方として出仕した年である。精煉方として赴いてからは本格的技術習得制度のもと技術習得をスタートさせていることは確かであり、技術者へ変化するための要素が提供されていた。

田中久重は、1853 年の自身の口述録『蒸気砲会心録』中の「蒸気銃略記」において、蒸気砲の雛形を作るときの注意事項を述べている。「蒸気銃略記」の記述内容についてはすでに 7 章において詳細に検討をしているが、図面に書くことができない知識の重要性、材料の選択、職人への指示、雛形と実物との違いが非常に大きいことなどをうたっている。さらに直接的に、西洋の書籍さえあればすぐにおなじものが作成できるという考えが間違っていることを指摘している。これらの姿勢は、万年時計製作時の 1851 年時には明確に意識していなかった項目であり、万年時計製作後、わずか 2 年の間に久重の技術に対する認識が大きく変化していることがわかる。

1851 年万年時計完成から 1853 年の『蒸気砲会心録』までの間、1852 年（嘉永五年）に久重は蒸気船の雛型を作ったという記録⁴⁰⁰がある。1853 年の時点では、『蒸気砲会心録』に記している蒸気砲の雛型は実際にはまだ製作されていない。したがって、『蒸気砲会心録』の雛型を作る時の注意事項は 1852 年に製作した蒸気船雛型での経験が反映されているものと思われる。

この 2 年間で久重が気付いた項目は、職人的模倣から明確に踏み出し、技術者の模倣の領域に達していると考えてよい。

以上を時系列にまとめると、1851 年から 1853 年の間に起きた田中久重の技術に対する認識の変化は、次のようになる。1851 年の万年時計の製作とその不完全な出来栄えを通じ、本論文でいう技術者の模倣および製造技術の重要性を認識し、翌年 1852 年に、蒸気船の雛型を作る際に技術者の模倣を実行し、製造技術についても考慮に入れて製作した。その経験を 1853 年の『蒸気砲会心録』に反映した、ということであろう。

さらに『蒸気砲会心録』において、久重自身が職人との差を意識している記録が残っているのは重要である。久重が、職人とは異なる立場（今日でいう技術者）に自らを認識していたという証拠になる。これは、1851 年の『万年時計図弁』で「万年自鳴鐘師」を自ら

⁴⁰⁰ 田中近江翁顕彰会著、同掲書、翁手記の年譜

名乗り、1852年に関白鷹司卿から「日本第一細工師」という称号を頂いた職人としての位置づけとは明らかに異なっているのである。

以上のことから、田中久重は1847年から1854年にかけて徐々に、職人から技術者へ転換していったと考えられる。「1847年よりも前」の時期は、久重は職人であった。続く「1847年～1850年」は、従来の職人としての知識だけでは不足しているものがあることを自覚し、新たな知識を求めていることから、職人から技術者へ転換する胎動みられた期間であった。万年時計を製作した「1851年」は、万年時計の製作において技術者の模倣を試み、さらに製造技術の重要性を認識するも力及ばず失敗に終わった年であり、「1852年～1854年」に至って、万年時計の失敗の経験をきっかけとし、技術者として必要な思考方法や技術に向かう態度を理解していったのである。

9. 結論

9.1 技術者による製品開発プロセスからみた江戸幕末の西洋技術受容

9.1.1 江戸幕末から明治期の西洋近代技術流入による産業化プロセスの再解釈

日本の江戸幕末期から始まった西洋近代技術の流入による産業化プロセスを今日の技術者が日ごろ行っている生産活動と比較することにより、再解釈を行った。

これまでは、西洋技術受容から産業化へ至るプロセスを

1. 西洋の技術・製品の模倣、
2. 製造技術・装置の模倣、
3. 市場ニーズと市場への適合

という三段階⁴⁰¹で説明してきた。

本論文では、1の西洋の技術・製品の模倣について、模倣した内容により二つの段階に分けることを提案した。日本において幕末から明治期にかけて起きた西洋技術移転を、現在の設計者・技術者が行う設計・製造プロセスと比較することにより、これまで単なる製品の模倣として片づけられてきた模倣プロセスを、

① 形の模倣

② 設計意図・思想の模倣

に分けることを提案する。

①形の模倣は、実物や書籍などをもとに形や動きを模倣することである。この際、在来知識や経験に基づいた範囲内で模倣が行われることがほとんどである。したがって、自分たちの知識外、経験外の知識に基づく構造は、理解できないまま無視される。

②設計意図・思想の模倣は、科学知識・工学知識や共有経験の導入により、形状や動きの意味を理解しながら行うことである。この段階では、目的達成のための設計・製造時における重要度判断が科学知識や批判的態度に基づく論理的判断のもとに行われ、失敗の原因も追求されることになる。

この、形の模倣と設計意図・思想の模倣がそろわない限り、技術の模倣はうまくいかない。このことは、現在の技術者の製品設計・開発プロセスの失敗事例から示される。

形の模倣、および設計意図・思想の模倣という二段階に分けることにより、日本において幕末から明治期にかけて起きた西洋技術移転が、特殊な事例ではなく、技術者の思考に沿った自発的なプロセスであることを示唆した。

⁴⁰¹ 中岡哲郎著、日本近代技術の形成＜伝統＞と＜近代＞のダイナミクス、朝日新聞社、2006

9.1.2 技術者と職人

技術者、職人の定義を提案した。従来は、職人を技術者の一形態とする解釈が多く職人と技術者とを区別することなく、安易に使用することが多かった。(1.2.1節参照)，そこで、本論文では次のように定義しなおすことを提案した。

- ・職人：属人的な経験や技能に基づき、その職能の範囲内で生産活動を行う者
- ・技術者：科学知識・工学知識の利用や批判的態度による考察を前提とした技術の行使により生産活動を行う者

である。

この定義の要点は、

- ・職人の生産活動を職能の範囲内としたこと
徒弟制や職人の仕事の代替可能な性質などを踏まえると、他の職人の領分を冒すことはしない
- ・技術者の定義に科学知識の利用を必須としなかったこと
技術の定義に科学は必須ではないことが明らかとなってきたため
- ・技術者の技術行使の前提に、批判的態度による考察を加えたこと
自らが所有している知識や経験では理解しきれない出来事に遭遇した場合には、既存の知識や経験のみにとらわれない活動が必要。

である。

9.1.3 職人的模倣と技術者の模倣

職人と技術者とを定義づけると、

- ① 形の模倣
- ② 設計意図・思想の模倣

は、それぞれ

- ① 職人的模倣
- ② 技術者の模倣

と整理しなおすことが可能となる。なぜならば、形の模倣においては、模倣する側がすでに所有している知識や経験で理解できる範囲内で模倣を行うからである。

このように捉えなおすことにより、江戸幕末から明治期にかけて行われた西洋からの技術移転において、職人が技術者へと変化していく様子がわかり理解しやすくなる。このことの効果として、西洋近代技術の移転が進んだ理由の一つと言われていた、「日本の伝統技術

が一定の水準に達していたこと」⁴⁰²、つまり彼の文脈で言えばつまり優秀な職人がいたことが、職人がいたことでは無く、職人が技術者へ移行していったことこそが重要であったという認識が得られる。

9.1.4 和時計の技術開発

和時計の江戸時代における発展を、時計に関する西洋技術を受容し日本にその技術が移転されたとの視点から検討を行った。

西洋の機械式時計は、戦国・織豊時代から日本に流入しており、日本において他の機械技術にくらべて早い時期から修理や製作などが行われていた。江戸期には多くの時計職人がすでに活動しており、明治初期の段階もしくはそれよりも前の段階で時計産業が日本でも立ちあがる可能性もありえたと考える。

しかし、実際には幕末から明治初期にかけての期間、日本において時計産業は立ち上がらなかった。

日本の時計職人たちは、西洋の機械式時計の実物を見て形の模倣を行ったものの、設計意図や思想の模倣は、追求が中途半端に終わっていた。西洋が進めてきた時計開発の目指す方向、つまり高精度化と生産の効率化は、日本の時計職人たち、特に和時計を製作している者にとっては不必要なものであった。

時計の高精度化は、不定時法という時刻制度そのものが毎日基準の変動する時刻制度であり、その不定時法を採用し続けた社会にとっては、目指すべき方向では無かった。したがって、より複雑な機構をもった西洋の時計を模倣するという動機・目的が生まれにくく、設計意図や思想の模倣にまで踏み込むことはなされなかった。

時計生産の効率化では2つの視点がある。一つは、高精度化のための加工機械利用による加工精度の向上と時計の大衆化に伴う省力化である。前者は高精度化が進まなかったことにより進まず、後者も省力化を忌避する制度や風潮のために積極的な技術の取り込みが行われなかった。

つまり、和時計は、機械式時計という西洋技術を早期に受容し、模倣がスタートしたものの職人的模倣の段階にとどまり、技術者の模倣がほとんど進まなかった。したがって和時計という市場があるにもかかわらず、時計の産業化へつながるような動きには至らなかったのである。和時計の開発は、幕末の段階でも技術的限界に直面していた。江戸時代に行われた和時計の技術開発は、設計意図や思想を新たな科学知識などを導入して理解することが十分に行われず、和時計の開発の歴史と産業化のための必要条件とを比較すると不足した部分があったのである。

⁴⁰²黒岩俊朗著、現代技術史論、東洋経済新報社 1987年、pp.42-44

省力化忌避は、江戸幕府の現状維持政策の影響によるものであり、その一つである新規法度は、現状維持を企図することにより、結果的に省力化のための技術開発を止める効果を持った。そのため、製造技術と関係のある技術者の模倣を行うことへの意識が非常に希薄であり、ここでもまた技術者の模倣を行う障害となった可能性がある。

技術者の模倣の抑止は、結果的に職人が技術者へ自発的に変化していくことを妨げることに繋がった可能性を本論文では指摘する。

9.2 万年時計の実力

9.2.1 万年時計の概要と従来説との比較

万年時計 1851 年（嘉永 4 年）に田中久重により製作された和時計の一種である。万年時計の外見上の特徴は、6 面の時計と、頭頂部の天球儀、下部の時打ち用の鐘で構成されていることである。

第 1 面：自動割駒式和時計

第 2 面：二十四節気表示板

第 3 面：七曜と時打ち表示

第 4 面：十干十二支表示

第 5 面：旧暦日付と月齢表示

第 6 面：洋時計

がその 6 面である。

万年時計の性能についてこれまで言われていたことと本調査から判明した万年時計の実力を対比して、本研究で判明した特に異なっている部分を記す。

① （従来）一度ぜんまいを捲けば 1 年間動作し続ける

（実際）・ゼンマイの巻きの中心軸と軸を共有しているトルク均等化機構であるフュージに巻き過ぎ防止機構のラチェットが存在し、その巻止め機構が働くまでの回転数を測定すると、万年時計の連続動作可能日数は 225 日程度となり、1 年間の連続稼働は不可能である。

・さらに、万年時計を分解したところ、フュージ機構に掛かっている鎖が巻き取られた形跡として 2 巻きほどしかなかった。2 巻きということは、連続稼働日数 75 日ということになる。

② （従来）スイス製の 16 石懐中時計が洋時計として使われている。

（江戸のモノづくり）スイス製またはフランス製

（実際）スイス製、ル・ロクル（Le Locle）周辺で作られたもので、ユルゲンセン（Jurgensen）Type の Caliber を使用している。

・洋時計の来歴については、従来スイス製と言われ続けてきたが、江戸のモノづくりの調査の中でフランス製説が浮かび上がった。その理由として万年時計の広告である引札のみならず、久重自身が書いた万年時計の説明書である万年時計図弁中に時計が和蘭フランス製との記述があることが改めて確認されたからである。

・江戸のモノづくり後に書かれた万年時計説明においては、前記再発見を基に、洋時計はスイス製（フランス製説もあり）というように両論併記されることが多くなった。

・筆者の調査の結果、万年時計洋時計はスイスのル・ロクル周辺で作られたと考えられ、スイス製と考えて良いことが明確になった。

9.2.2 万年時計の性能

(天球儀部)

太陽と月の周期を生み出す機構は西洋にも類例があるが、三次元的に天体を動かすよう仕上げたことが特徴である。

この天球儀の太陽と月の回転周期は、実際の天体運動の視運動の周期とほぼ一致している。

さらに、季節による太陽高度変化の表現も実現している。天球儀の子午線を表す半円上には、春分と夏至、冬至の太陽通過位置が示されており、このことから太陽高度変化の忠実な再現が設計上重要な要素であった。

また、天球儀には、不定時法における基準時刻となる六つを決める太陽通過位置を示すために、晨昏際という地平線とは異なる面がわざわざ設定されている上、夏至冬至における六つ時の太陽通過位置を明確にしている。

田中久重は、陰陽総司土御門家に入門し暦法を学んでいる。そこで学んだことを忠実に再現しようという強い意志が働いていると考えて良いだろう。

(和時計面)

万年時計の和時計の構造を明らかにし、その動作を初めて明らかにした。

和時計部は、定速で1日1回転する円板（文字盤）の周上に各時刻を表示する割駒（プレート）を配し、自動で各割駒間の間隔を調整することで不定時法に対応し、和時計を支持する固定板上の固定針で指し示される割駒で時刻を示している。

割駒駆動歯車の軸上には、180度の位相で取り付けられた2枚の歯数4の部分歯車があり、歯数8の異形歯車（以下、虫歯車）を挟んで対峙（Figure 6.38 参照）している。部分歯車が交互に虫歯車と噛み合い、虫歯車には1年1往復の運動が生じる。その1往復の運動を最終的に割駒に接続されたクランク軸の往復運動とすることで、駒間の自動調整を達成している。

この和時計の正確性を調べるため、シミュレーションと実験により、1年間の駒の動きと文献や暦などとの比較を行った。その結果、天体シミュレーションに基づく時刻決定法と最も近い値であることが判明し、久重は和時計の割駒の動きを実際の時刻制度と同じになるよう苦心していたことが判明した。

(洋時計)

洋時計部には、機構上問題のある設計がなされている。

- ① 洋時計の進みを調整するダイヤル付緩急装置の彫られている数字と緩急量が一致していない
- ② 針回しの方向と実際の時分針の動く方向が逆
- ③ 動力伝達に使われているかさ歯車による直交変換（Figure 6.25 の丸印部）正常な噛み合いではなく、歯先の食い込みが見られる。

（ゼンマイ）

ゼンマイのトルクを実測した。トルクの測定結果を Figure 6.49 に示してあるが、香箱の現状保存を考えて 1.5 回転までにとどめた。

ゼンマイの形状から、このゼンマイでは全巻き状態に持つていくことは不可能である。ゼンマイの板厚と巻き取る軸径、香箱の肉厚のバランスが非常に悪く、ゼンマイを巻くと香箱の破損、ゼンマイの破断が考えられる。

（木杵へかかる力）

Figure 6.19 で示した柱受板は、フュージ受板の補強のための構造と考えられる。その取り付け方向と形状から考えてフュージ受け板の振れを防止する目的である。フュージ受板及び木杵の幾何学的関係をもとに、フュージや木杵かかる力を計算した。

その結果、木杵の強度はばらつきが大きく正確な強度がわからないものの、木杵に働くせん断力を支えることは難しいことがわかる。

実際、木杵などにはゼンマイを巻いたときに発生したものと考えられる亀裂が入っている。強度的に十分な構造では無かったのである。

（フュージ）

フュージ機構は、ゼンマイから発生する変動トルクを均一化するためのものである。万年時計では Figure 6.19 や Figure 6.20 のように上下逆向きにした 2 個の均力車を鎖でつないで構成されている。

万年時計に特徴的な均力車を 2 個用いた場合の動力特性を解析的に求めたところ、通常の間筒・フュージという形状に比べて力学的にメリットが無いことが判明した。

以上、万年時計の性能で判明した部分をまとめた。天球儀や和時計のように回転数や位置の調整が出来ていれば良いという部位の出来は非常に良い。一方、洋時計やゼンマイ、フュージなどの力が設計する際の重要な条件となる部位に関しては、非常に問題のある設計を行っている。このことは、久重が時計作りに必要な力学的検討を十分行えていないこ

との表れである。

つまり、1851年当時の田中久重は、職人的模倣は非常に高度にこなしていたものの、技術者の模倣を十分行えないまま、万年時計の製作に取り掛かったことがわかる。

田中久重は万年時計を完成させるために何がなかを全部ではないにしろ認識していた。暦学の習得や洋学からの科学知識の習得を製品の作成のために行うという職人とは異なる行動を開始し、歯車などの製造にオランダと同様の製造技術を使っていると宣言するなど、製造技術の重要性を認識していた。つまり技術者として、時計職人という枠を越えた行動をとりつつあったのである。

万年時計について、久重は製品としては未完成品であったことを認識していたと考えられる。そのことは万年時計の広告の表現の変化によりわかる。

9.3 田中久重の職人から技術者への転換

万年時計の製作時期を挟んだ田中久重は職人から技術者への転換を徐々にスタートさせている。従来言われているように、佐賀藩精煉方に採用されたことが契機なのではない。

(1847年より前)

職人であると考えることが妥当である。からくり儀右衛門とまで言われるからくり師であると同時に、近江大掾や日本第一細工師という称号をもらえるほどの時計師・器械製作者である。京都に機巧堂という店を構え、時計や無尽灯を製作し販売している。

(1847年～1850年)

万年時計を製作する直前の久重は京都にて自らの知識を増やす行動を積極的に2つ行っている。一つは土御門家入門による天文暦法の習得であり、もう一つは広瀬元恭の時習堂での洋学修学である。これは、当時時計職人であった久重にとって、職人とは直接関係ない行動である。

製品を作るために専門外の知識を習得する必要性があり、同様の製品があってもその職人的模倣にとどまらないという意識がすでに万年時計製作前の段階で芽生えていたと言える。

しかし実際には、須弥山儀は、歯車列の構成を変えるなどは行っているだけであり、まだこの時点では職人として活動していたとみるべきである。

(1851年)

万年時計を製作した年である。

万年時計は自らのそれまでの職人としての知識から思考できる職人的模倣が行われている。

目指していた仕様を満たしておらず、技術者の模倣は成し遂げられていないものの、製造技術の重要性や機械式時計の構造とは異なる機構に挑戦するなどを考慮すれば、技術者の思考もまたスタートしていると考えられる、

(～1854年)

田中久重は、自身の口述録「蒸気砲会心録」中の「蒸気銃略記」において、図面に書くことができない知識の重要性、材料の選択、職人への指示、雛形と実物との違いが非常に大きいことなどをうたっている。

そしてさらに直接的に、西洋の書籍さえあればすぐにおなじものが作成できるという考えが間違っていることを指摘し、自らを職人とは異なる存在と意識してる。

(新しい久重像)

以上からわかるように、田中久重は万年時計を製作する前後で職人から技術者へとゆくりと変化を遂げており、万年時計の製作そしてその失敗がきっかけの一つとなっていると考えられる。

Figure 9.1 に、筆者の論考による新しい久重像を提案する。須弥山儀の製作依頼を受けた1847年ごろから1854年までの間に徐々に職人から技術者へと変わったのだという新しい久重像である。田中久重の職人から技術者への転換点は、佐賀藩精煉方へ出仕したときという従来の解釈に変更を加えるものである。



Figure 9.1 田中久重の職人から技術者への転換時期（筆者の論考に基づく提案）

9.4 おわりに

万年時計の分解調査という稀有な経験からスタートした本論文の執筆であったが、分解調査および万年時計そのものの考察というところから、結果的に大きく踏み出すことになった。

万年時計を起点とし、技術移転論（江戸期から明治期の西洋技術移転）、技術とは、職人・技術者とは、田中久重の技術者への変化など幅広い検討をおこなったが、残された課題も多い。

たとえば、次のようなものが挙げられる。

1. 本稿で提案した職人的模倣と技術者の模倣をより多くの事例を利用し検討する必要がある
2. 江戸時代の技術開発が停滞した原因として、生産製造技術への軽視による技術者の模倣の停滞であった可能性を示唆したが、江戸時代の生産技術の発展についてより精緻に様々な技術・製品を調べる必要がある
3. 田中久重以外の職人の技術者への変化を追跡する必要がある

これらを進めることにより、江戸期および江戸期から明治期に跨る日本の技術発展の様相を明らかにしていきたいと考えている。

また本稿では、日本の江戸から明治期に起こった西洋技術の技術移転問題を扱ったが、現在進行形の問題として先進国から発展途上国への技術移転をどのように進めていくか、という課題がある。技術移転では、中間技術や適正技術の考え方が使われるが、いずれも技術の供与側が「中間技術は」「適正技術は」と選択権をもってしまう場合が多い。適正技術は、技術受入側における社会的環境に適合した技術とは何か、を重視するが、本稿でみたように技術受入側に積極的な意思があれば、適正技術が自発的に選択されていくことが示唆されている。また、中間技術にしろ適正技術にしろ、その技術を導入し、国内への適合性のみを追求しては、特異的な技術の発展しか望めないことも示唆されている。中間技術・適正技術はあくまで短期間のつなぎでしかないことを再認識すべきであり、中間技術・適正技術の普及を目的としては駄目で、その先の技術の発展を目的としなくてはならない。そのためには、職人から技術者への自発的な変化が、その後の技術移転の進展および発展に大きな関与を果たしたことから、技術受入側の人材育成において適切な動機・目標を与え、自発的な行動をとれる状態に導くことが重要である。

参考文献

1. 論文・報告書等

- ・ Kubota, Y., Mechanism of "Man-nen dokei", Toshiba Review, Vol. 6, No. 7(2005), pp 116-119.
- ・ Takehiro HATO, Kazuyoshi SUZUKI, Yoichi TOMII, Mitsunobu YOSHIDA, ○ Yasuhiro YOKOTA, Yuji KUBOTA, Mechanism of “Man-nen dokei,” a Historic Perpetual Chronometer Part2 : Power Supply , 12th IFToMM World Congress, Besançon (France), June18-21, 2007
- ・ Tei-ichi Asahina and Miss Sachiko Oda, “” Myriad-Year Clock”” Made by G.H.Tanaka 100Years Ago in Japan,国立科学博物館（東京）研究報告 Vol.1, No.2(No.35), 1954
- ・ Yasuhiro Yokota, “An Historical Overview of Japanese Clocks and Karakuri”, Proceedings of HMM 2008, pp.175-188, 2009
- ・ Yasuhiro YOKOTA, Kazuyoshi SUZUKI, Mitsunobu YOSHIDA, Takehiro HATO, Yuji KUBOTA, Mechanism of “Man-nen dokei,” a Historic Perpetual Chronometer Part1 : Celestial Globe and Japanese Traditional Clock, 12th IFToMM World Congress, Besançon (France), June18-21, 2007
- ・ 綾部誠, “国際技術移転における技術受容サイドの捉え方に関する考察”, 日本福祉大学経済論集, Vol. 32, 日本福祉大学経済学会, 2006, pp.201-213
- ・ 小野寺英輝, “幕末期の西欧技術導入と在来技術（盛岡藩の高炉水車を例として）”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.74, No.746, 2008, pp.29-36.
- ・ 川嶋宗継, “日本最古の水時計一漏刻”, 化学と教育, 44 巻 1 号, 1996, p.20
- ・ 河本信雄, “日本での機械時計製作開始時期の考察”, 和時計, No.47 May 2015, 和時計学会, 2015
- ・ 木下泰宏, “江戸期における技術開発（新規法度の影響に関する一考察）”, 日本機械学会論文集, 80(810), LH0036-LH0036, 2014
- ・ 荃田佳寿子, “「触」・「惣触」および解釈についての覚書 - いわゆる「流地禁止令」をめぐって - ”, 明治大学刑事博物館年報, 8(1977), pp.1-24.
- ・ 久保田浩司, “時計産業近代史 スイスと日本, 夫々の特徴”, マイクロメカトロニクス（日本時計学会誌）, Vol.51, No.197, 2007, pp.89-99
- ・ 久保田浩司, “時計産業の比較産業史的考察”, 日本時計学会誌(152), 1995, pp.70-80
- ・ 小池一成, “産学官連携による研究開発の課題～地域産業と大学による研究開発を中心に～”, 「地域政策研究」（高崎経済大学地域政策学会）第 8 巻第 3 号, 2006, pp.277-280

- ・小曾根淳, “垂揺球儀(天文観測用時計)の起源についてー西洋文化の模倣か創造かー”, 数理解析研究所講究録, No. 1739, Vol.2011, pp.157-167
- ・後藤邦夫, 異文化間技術移転と社会的葛藤ー日本における近代産業成立期の事例ー, 国際高等研究所 研究プロジェクト「設計哲学ー俯瞰的価値理解に基づく人口罪の創出と活用による持続可能社会を目指して」講演資料, 2015-6-26
- ・小林聡, “江戸時代における発明・創作と権利保護”, パテント, (2008) 48 Vol. 61 No. 5
- ・佐々木勝浩他, “津田助左衛門の和時計と特徴”, Bull. Natl. Mus. Nat. Sci., Ser. E, 31, December 22, 2008, pp. 1-14
- ・佐々木勝浩・岡田和夫・加藤實, 和時計における自動割駒式文字盤機構とその幾何学的誤差, Bul.Natl.Mus.Nat.Sci., Ser.E, 30, December 21, 2007, pp.1-13
- ・佐々木勝浩, 橋本毅彦, 土屋榮夫, 近藤勝之, 岡田和夫, “和時計における不定時法自動表示機構”, Bulletin of the National Science Museum. Series E, Physical sciences & engineering 28, 2005, pp. 31-47
- ・佐藤二郎・池田国男・鎌田伸男, “腕時計用動力ゼンマイに要求される諸性質とその材料について”, 東京大学生産技術研究所, 生産研究. 11(11), 1959.11.01, pp. 535-539
- ・菅野利猛, “葦山反射炉の大砲復元鑄造について”, 日本鑄物技術協会誌「JACT NEWS」, 1998年9月, pp.16725-16733
- ・鈴木一義, “<研究報告>江戸時代の「機巧」技術に関する実証的研究”, Bulletin of the National Science Museum. Series E, Physical sciences & engineering 11, 41-61, 1988
国立科学博物館
- ・精園俊介, “現代社会と個人の欲望(第一報): 人間関係よりみた衣・食・住に対する一考察”, 東海学園大学 紀要, 創刊号, 1965, pp.47-53.
- ・立川昭二, “『機巧図彙』の周辺ー明治前機械技術史の一側面ー”, 日本科学史学会, 科学史研究, No.83, 1967, 岩波書店, pp.113-123
- ・千田靖子, “からくり人形の機械技術”, 日本機械学会誌, Vol.97, No.913, 1994, pp.39-41.
- ・土屋榮夫, “田中久重「万年時計」調査報告”, 日本時計学会誌, マイクロメカトロニクス, vol.50 No.194, 2006, pp.58-68
- ・土屋榮夫, “田中久重作 大橋時計店蔵 須弥山儀調査報告”, 2000
- ・富田徹男, 知的所有権雑考8: 歴史と物の保存など, 通商産業調査会『特許ニュース』, 1995.JAN.25.
- ・羽藤武宏, 鈴木一義, 富井洋一, 吉田充伸, 横田泰宏, 久保田裕二 “万年時計の機構解明: 第2報, 動力部”, 日本機械学会論文集 C 編 73(729), pp.1537-1544, 2007

- ・羽藤武宏，久保田裕二，吉田充伸，横田泰宏，富井洋一，鈴木一義，“万年時計の機構解明その 3：動力部”，日本機械学会年次大会講演論文集 2005(5), pp.55-56, 2005
- ・久野国夫，“技術と労働，生産力構造”，経済学研究，Vol. 77（5，6 合併号）
- ・福島昌則，“我が国外資政策の実証的考察—累積債務問題に寄せて—”，経営と経済，1984，63(4), pp.1-22
- ・前島正裕，“明治初期の電気産業と職工”，国立科学博物館研究報告 E 類 理工学 30，2007
- ・三宅宏司，“本学所蔵の望遠鏡をめぐって - ファーブルブランド商会との関連を中心として -”，大阪教育大学教育研究所報，24，2010, pp.11-16
- ・山田慶兒，“龍谷大学大宮図書館所蔵 縮象儀一図・説および模型一について”，日本研究第 16 集，国際日本文化研究センター，1997，pp.68-69
- ・横田泰宏，鈴木一義，吉田充伸，羽藤武宏，久保田裕二 “万年時計の機構解明:第 1 報 天球儀と和時計”，日本機械学会論文集 C 編 73(729), pp.1529-1536, 2007
- ・横田泰宏，久保田裕二，吉田充伸，羽藤武宏，橋本毅彦，鈴木一義，“万年時計の機構解明その 2：天球儀”，日本機械学会年次大会講演論文集 2005(5), pp.53-54, 2005
- ・横田泰宏・吉田充伸・羽藤武宏・久保田裕二・鈴木一義，万年時計の機構解明，日本 IFToMM 会議第 12 回シンポジウム
- ・吉田充伸，久保田裕二，横田泰宏，羽藤武宏，橋本毅彦，鈴木一義，“万年時計の機構解明その 1：和時計”，日本機械学会年次大会講演論文集 2005(5), pp.51-52, 2005
- ・渡辺雅男，“技術論の反省”，一橋大学研究年報，社会学研究，24，p.167

2. 書籍

- ・Agostino Ramelli 著，Le diverse et artificiose machine del capitano（種々の精巧な機械），1588，LYON 図書館蔵
- ・R. P. Crasset, Histoire de l'Eglise du Japon / par le R. P. Crasset de la Compagnie de Jesus. - Seconde ed. - A Paris : Chez Francois Montalant , 1715. Japanese translation : Nihon-Seikyou-shi 2, Hakubunsha, Tokyo, 1878, National Diet Library Collection
- ・Luis Frois , Historia de Iapam, established in 16C, Japanese translation : Nihon-shi (History of Japan), 2, Chuouou-kouron-shinsya, 2000, in Japanese
- ・Luis Frois , Historia de Iapam, established in 16C, Japanese translation : Nihon-shi (History of Japan), 5, Chuouou-kouron-shinsya, 2000, in Japanese
- ・Edition du Musée d'horlogerie du Locle - Château des Monts, Switzerland , LES JURGENSEN une dynastie de grands horlogers, 1974

- ・相川春喜著，技術論，三笠書房，1935
- ・愛知時計電機 85 年史編纂委員会編，愛知時計電機 85 年史,1984
- ・青木保，時計学，丸善株式会社，1938
- ・青木直巳，図説 和菓子の今昔，虎屋文庫，2000
- ・浅野陽吉著，田中近江，中原明文堂，昭和 5
- ・荒川泓著，近代科学技術の成立，北海道大学図書刊行会，1973
- ・有澤隆著，図説時計の歴史，河井出書房新社，2006
- ・石川英輔，大江戸えねるぎー事情，講談社，1993
- ・板倉聖宣著，日本史再発見 理系の視点から，朝日新聞社，1993
- ・伊東俊太郎，山田慶児，坂本賢三，村上陽一郎編，科学史技術史事典，弘文堂，1994
- ・井原西鶴著，塚本哲三編，西鶴文集 上，有朋堂書店，1927
- ・今津健治著，からくり儀右衛門－東芝創立者田中久重とその時代－，ダイヤモンド社，1992
- ・ヴォルフガング＝ミヒェル・鳥井裕美子・川寫真人著，九州の蘭学－越境と交流－，思文閣出版，2009
- ・内田星美著，産業技術史入門，日本経済新聞社，1974
- ・内田星美著，時計工業の発達，服部セイコー，1985
- ・内山淳一著，江戸の好奇心 美術と科学の出会い，講談社，1996
- ・円通，須弥山儀銘並序，1813，早稲田大学図書館蔵
- ・大阪市参事会編，大阪市史，Vol.3，大阪市参事会，1911
- ・大塚勝夫著，経済発展と技術選択：日本の経験と発展途上国，文真堂，1991
- ・王微著，遠西奇器図説録最，1627，v.1 pp.256-257，京都大学附属図書館所近衛文庫蔵
- ・小川友忠著，西洋時辰儀定刻活測，1838，国立天文台蔵
- ・角山榮著，時計の社会史，吉川弘文館，2014
- ・D.S.L.，カードウェル著，金子務訳，技術・科学・歴史，河出書房新社，1982
- ・川瀬武彦著，まねる（テクノライフ選書），オーム社，1995
- ・京都町触研究会編，京都町触集成，第 1 巻，岩波書店，1983
- ・近世史料研究会，江戸町触集成 第四巻,塙書房,1995
- ・黒岩俊朗著，現代技術史論，東洋経済新報社 1987 年
- ・S.J.クライン著，嶋原文七訳，イノベーション・スタイルー日米の社会技術システム変革の相違，アグネ承風社，1992
- ・経済雑誌社編，国史大系 第 1 巻 日本書紀，経済雑誌社，1897
- ・経済雑誌社編，国史大系 第 13 巻 徳川実紀，経済雑誌社,1905

- ・高力種信著, 名古屋叢書三編 / 名古屋市蓬左文庫編, 金明録 猿猴庵日記, 1986, 名古屋市教育委員会
- ・国史大系 1-2 日本書紀 吉川廣文館, 1967
- ・国史大系 17 今昔物語集 吉川廣文館, 1967
- ・国土交通省告示第 1524 号, 建築基準法施行令 (昭和 25 年政令第 338 号) 第 89 条第 1 項の規定に基づき, 木材の基準強度 F_c, F_t, F_b , 及び F_s を次のように定める. 平成 19 年 11 月 27 日
- ・小林達也著, 技術移転 歴史からの考察・アメリカと日本, 文真堂, 1981
- ・三枝博音著, 技術の哲学, 岩波書店, 1951
- ・三枝博音著, 技術史, 東洋経済新報社, 昭和 15
- ・佐賀新聞社報道局編, 幕末佐賀藩改革ことはじめ, 佐賀新聞社, 2004
- ・斉藤優著, 技術移転論, 文真堂, 1979.
- ・坂詰勝著, 産業教育講座第 1 輯 時計工業の話, 産業経済調査所, 昭和 5 年
- ・澤田平, 和時計—江戸のハイテク技術—, 淡交社, 1996
- ・三代田中久重著, 万年時計 (未刊行), 国立科学博物館蔵
- ・三代田中久重著, 万年時計の歴史, 1960 (未刊行), 国立科学博物館蔵
- ・三代田中久重著, 万年時計の構造, 国立科学博物館蔵
- ・紫藤貞昭・矢部一郎編, 近代日本その科学と技術, 弘学出版, 1990
- ・司馬江漢, 『屋耳列礼図解(1)』 司馬江漢銅版画・屋耳列礼図解, 京都大学附属図書館所蔵, 古典, 1796
- ・司馬江漢著, 和蘭天説, 1796, 早稲田大学図書館 蔵
- ・渋井春海著, 天文成象, 1700?, 早稲田大学図書館蔵
- ・タイモン=スクリーチ著, 江戸の英吉利熱 ロンドン橋とロンドン時計, 講談社, 2006
- ・鈴木一義著, からくり人形, 学習研究社, 1994
- ・鈴木一義著, “田中久重—からくり儀右衛門・職人からエンジニアへ”, ウォルフガング・ミフェル, 鳥井裕美子, 川蔦真人編 九州の蘭学—越境と交流—, 思文閣出版, 2009
- ・鈴木一義著, からくり人形, 学習研究社, 1997
- ・鈴木一義監修, 見て楽しむ江戸のテクノロジー, 数研出版, 2006
- ・鈴木一義監修, 「万年時計ものがたり」編集委員会編, 万年時計ものがたり, 東芝科学館, 2010
- ・Spencer, “Technology Gap in Perspective”, Spartan Books, 1970 (小沼敏・栗山盛彦訳, テクノロジー・ギャップ, 日本生産性本部, 1973).
- ・Scumacher, “Small is Beautiful”, Sphere Books, 1974, (斉藤志郎訳, 人間復興の経済, 佑学社, 1976)

- ・高橋利衛著，工学の創造的学習法—工学の見方と考え方—第2版，オーム社，昭和44
- ・多賀谷環中仙，璣訓蒙鑑草，1730
- ・高梨生馬，からくり人形の文化誌，学藝書林，1990
- ・高柳=石井編，御触書寛保集成，岩波書店，1958
- ・武谷三男著，弁証法の諸問題，理論社，1964
- ・武谷三男著，弁証法の諸問題，理論社，1959
- ・立川昭二著，からくり，1969，法政大学出版局
- ・立川昭二他著，図説からくり 遊びの百科全書，河出書房新社，2002
- ・立川昭二，からくりの世界，バイオメカニズム (1), A1-A4, 1972-03-25
- ・立川昭二編，遊びの百科全書：人形からくり，1980，日本ブリタニカ
- ・田中近江翁顕彰会著，田中近江大掾，田中近江顕彰会，昭和6，2011年東芝科学館により復刻
- ・田中久重著，万年時計図弁，国立科学博物館蔵（(株)東芝複製所有）
- ・田中久重著，諸器考案図，江戸東京博物館蔵
- ・塚田泰三郎著，和時計，東峰書院，昭和35
- ・塚本学，生類をめぐる政治一元禄のフォークロアー，平凡社，1983
- ・辻達也編，撰要類集，続群書類従完成会，第3，1979
- ・ピーター・ディア著，高橋憲一訳，知識と経験の革命 科学技術の現場で何が起こったか，みすず書房，2012
- ・ディドロ編（桑原武夫訳編），百科全書 序論および代表項目，「技術」項目，岩波文庫，1995
- ・寺島良安編，和漢三才図会，1712，国立国会図書館蔵
- ・転法輪圭，廣政直彦編，教養のための技術論，東海大学出版会，1986
- ・特許庁編，特許制度70年史，発明協会，1955
- ・中井竹山，草芽危言，第3（角），懷徳堂記念館，1942
- ・中岡哲郎著，日本近代技術の形成 <伝統>と<近代>のダイナミクス，朝日新聞社，2006
- ・中岡哲郎著，近代技術の日本的展開 蘭癖大名から豊田喜一郎まで，朝日新聞出版，2013
- ・中岡哲郎・石井正・内田星美著，近代日本の技術と技術政策，国際連合大学，1986
- ・中島秀人著，日本の科学／技術はどこへいくのか，岩波書店，2006
- ・中島秀人著，社会の中の科学，放送大学教育振興会，2008
- ・中村幸八，発明五十年史，東京出版，1944
- ・仲村政文著，科学技術の経済理論，青木書店，1986
- ・中山茂著，天の科学史，朝日新聞社，1984

- ・奈良文化財研究所，奈良文化財研究所ニュース，No.40,2011 年 3 月
- ・日本科学史学会編，日本科学技術史大系 機械技術，第一法規出版，1966
- ・日本学士院内日本科学史刊行会編，明治前日本科学史総説・年表，日本学術振興会／丸善，1968
- ・日本学士院内日本科学史刊行会編，明治前日本機械技術史，日本学術振興会／丸善，1973
- ・日本機械学会編，新・機械技術史，日本機械学会，2011
- ・日本古典文学大系，日本書紀（下）岩波書店，1993
- ・日本古典全集刊行会，日本書紀：訓読下巻，昭和 7
- ・橋本毅彦著，描かれた技術 科学のかたち サイエンス・イコロジーの世界，東京大学出版会，2008
- ・畑村洋太郎著，失敗学のすすめ，講談社，2000
- ・畑村洋太郎他著，続々 実際の設計―失敗に学ぶ，日刊工業新聞社，1996
- ・林武編・中岡哲郎・石井正・内田星美著，近代日本の技術と技術政策，東京大学出版会，1986
- ・久野国夫著，“技術と労働，生産力構造”，経済学研究，vol.77，5,6
- ・一橋大学イノベーション研究センター編，イノベーション・マネジメント入門，日本経済新聞社，2003
- ・広瀬元恭著，理学提要，1854（嘉永 7），京都大学附属図書館蔵
(<http://hdl.handle.net/2433/271>)
- ・藤並省自，江戸時代史―武士の支配と町人の生活―，東和書房，1962
- ・E.S.ファەرガソン著，藤原良樹・砂田久吉訳，技術屋の心眼，平凡社，1995
- ・R.J.フォーブス・E.J.デイクステルホイス著，科学と技術の歴史，みすず書房，1987
- ・深満池源次郎，東京商工博覧絵，1885，早稲田大学図書館蔵
- ・星野芳郎著，基礎工学 技術の体系，岩波書店，1970
- ・細川半蔵頼直，「機巧図彙」1796，国立国会図書館，大阪府立中之島図書館を始めとして公共図書館にて閲覧可能
- ・マイケル・ポラニー著，佐藤敬三訳，伊東俊太郎序，暗黙知の次元 言語から非言語へ，1980
- ・マイケル・ポラニー著，慶伊富長編訳，創造的想像力，1986
- ・マイケル・ポラニー著，中桐大有・吉田謙二訳，科学・信念・社会，1989
- ・本田修郎・鈴木高明著，技術学概論，朝倉書店，1974
- ・本間誠二著，機械式時計【解体新書】，大泉書店，2003
- ・松田清著，薩摩のものづくり研究会「中間まとめ」2005

- ・馬渕浩一著，技術革新はどう行われてきたかー新しい価値創造に向けて，日外アソシエーツ，2008
- ・箕作阮甫著，水蒸船説略，1848，早稲田大学図書館蔵，Verdam.G.J による Volledige verhandeling over de stoomwerktuigen. の訳
- ・南亮進，清川雪彦編，日本の工業化と技術発展，東洋経済新報社，昭和 62
- ・宮崎来城，近江大掾，堀江恒三郎，明治 38
- ・宮下晋吉著，「模倣から「科学大国」へ 19 世紀ドイツにおける科学と技術の社会史」，世界思想社，2008
- ・宮本又次編，日本経営史講座 1 江戸時代の企業者活動，日本経済新聞社，1977.
- ・三輪修三著，工学の歴史 機械工学を中心に，筑摩書房，2012
- ・村上和夫，完訳 からくり図彙（注釈付き），並木書房，2014
- ・村上陽一郎編，技術思想の変遷，朝倉書店，1981
- ・村上陽一郎著，工学の歴史と技術の倫理，岩波書店，2006
- ・森田保一編，日本とスイスの交流 幕末から明治へ，山川出版社，2005
- ・山口隆二著，日本の時計：徳川時代の和時計の研究，日本評論社，1942
- ・山口隆二著，日本の時計，日本評論社，1950
- ・吉田光邦著，日本科学史，講談社，昭和 51
- ・Rosenbloom 著，” Technology in the Twentieth Century”， Oxford University Press, 1967,（小林達也監訳，20 世紀の技術下巻，東洋経済新報社，1976）.
- ・渡辺敏夫著，近世日本天文学史（上），恒星社厚生閣，昭和 61
- ・渡辺敏夫著，暦，恒星社，1940
- ・渡辺敏夫著，暦入門一暦のすべて，雄山閣出版，1994
- ・渡辺正雄著，日本人と近代科学，岩波書店，1976
- ・嘉永三年伊勢暦，1850，大阪市立科学館蔵
- ・尾張志，1832，愛知県図書館蔵

3. Web Page

- ・文部科学省 科学研究費助成事業 特定領域研究 事後評価書

http://www.mext.go.jp/a_menu/shinkou/hojyo/1300688.htm（2015 年 4 月 27 日閲覧）

審査部会における所見・研究領域の目的及び意義・審査部会における所見

- ・首相官邸 WEB Page 内閣官房 地域活性化統合事務局 平成 25 年 8 月 20 日

<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/tiiki/yuushikisya/kadouisan03/>

稼働資産を含む産業遺産に関する有識者会議（第 3 回）の開催について

- ・ <http://www.salisburycathedral.org.uk/visit-what-see/medieval-cloc> (2015 年 1 月 30 日閲覧)
- ・ スイス時計協会 FH Web Page , 2015 年 3 月 25 日閲覧
<http://websvr182-93-120-17.alpha-prm.jp/News/WatchTechnicumLecture/WatchTechnicumLecture.htm>
- ・ 国立天文台 暦計算室 トピックス 薄明 (2015 年 5 月 15 日閲覧)
<http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/topics/html/topics1992.html>
- ・ 文化庁 国指定文化財等データベース http://kunishitei.bunka.go.jp/bsys/index_pc.asp
 久留米絃 2015 年 3 月 5 日閲覧
- ・ http://en.wikipedia.org/wiki/Armstrong_Gun 2015 年 3 月 24 日閲覧
- ・ 龍谷大学 広報「龍谷」2007, No.63 シリーズ龍谷の至宝「須弥山儀」
https://www.ryukoku.ac.jp/about/pr/publications/63/05_treasure/index.htm , 2015 年 3 月 9 日閲覧
- ・ 佐賀県庁 HP 肥前刀豆知識,
https://www.pref.saga.lg.jp/web/kankou/bunkazai/zai_top/_21354/_21363.html , 2015 年 3 月 24 日閲覧
- ・ とらや HP とらやの歴史 <https://www.toraya-group.co.jp/corporate/cor03.html> , 2015 年 3 月 24 日閲覧

謝辞

本論文を上梓するにあたり、(株) 東芝とともに調査を行い、論文共著者でもある久保田裕二氏（現 日本機械学会）、吉田充伸氏、羽藤武宏氏の 3 人に感謝を送りたい。筆者による論文化に対し、共著論文の使用を快く許可していただいた。吉田氏、羽藤氏の両氏が居なければ万年時計のCG化はできなかったであろう。東芝の研究開発センターが携わる意義はそこにあったと言える。そして、この万年時計の分解調査を行うことになったプロジェクト「江戸のモノづくり」において、研究を主導された国立科学博物館の鈴木一義先生には、様々な助言をいただきました。鈴木先生の博覧強記ぶりに驚きつつ、その情熱の強さに引っ張られて研究を進めることができました。同時に、東京大学の橋本毅彦教授、セイコープレジジョン株式会社及び株式会社インターデザイン・テクノロジー（当時）の本橋聖一氏、サンコースプリング株式会社などの協力がなければ分解調査は進まなかった。感謝いたします。国立天文台の中村士助教授（当時）、大阪市立科学館の嘉数次人学芸員には、江戸時代の天文知識、暦についてインタビューや資料提供などご協力をいただきました。ここに特記して深謝の意を表します。ゼンマイは、元京都大学の富井洋一教授により材料分析が進められました。感謝いたします。

博士論文として仕上げたいという筆者の挑戦に対し、理解を示し、研究室へ迎え入れてくれた東京工業大学技術構造分析講座の中島秀人教授、論文審査委員を引き受けていただき、的確なご指摘・ご助言をして頂いた東京工業大学 岩附信行教授、武田行生教授、梶雅範教授、妹尾大准教授に感謝いたします。

論文の構成に悩んでいた時、筆者の大学時代の恩師である早稲田大学理工学部機械工学科名誉教授の川瀬武彦先生の著書「まねる」（オーム社）をたまたま読み返したところ、目の前に道が開けました。川瀬先生は故人となられましたが、助けていただきました。筆者の研究者としてのベースは、川瀬先生と研究室の先輩でもあり川瀬先生と一緒にご指導頂いた早稲田大学の吉村浩明教授にあります。感謝いたします。

最後に、博士論文を書くという筆者のわがままに文句も言わず理解を示し、応援をしてくれた家族に最大級の謝辞を贈ります。