

3Dプリンターを利用する機械式時計の製作

システム科学技術学部 機械知能システム学科
2年 松永 佳子

指導教員 システム科学技術学部 機械知能システム学科
教授 杉本 尚哉
指導補助 4年 加納 亘

1. 目的

現在、世の中には様々な機械式時計が出回っており、その精度もそれぞれである。将来は時計の製作会社で技術者として働きたいと考えており、そのためには機械式時計の精度や誤作動について学ぶ必要がある。機械式時計の精度を上げるために必要な条件や、誤作動が起こる原因について学ぶためには、実際に自ら機械式時計を製作し、動作を確認したり、手直ししたりする過程でそれらを発見していく方法が、有効だと考える。そこで、本研究では、自ら機械式時計を製作するとともにその動作の様子を詳細に調査し、機械式時計の精度に大きく関わってくる要素や、機械式時計が上手く動作しない場合の原因について、明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

本研究では、市販されている機械式時計の図面データを基に部品を製作、あるいは購入し、振り子時計を組み立てる。部品の製作は、3Dプリンターを用いて行う。用いた3DプリンターはStratasys Dimension SST 1200esである。

まず、購入した機械式時計の図面データを、3Dプリンターで使用できるように、3DCADを使用してファイル形式を変換する。具体的な内容としては、DXFファイルの図面データをSLDDRWファイルに変換して3DCADに取り込み、厚みを付けて大きさを調整して部品データを製作する。製作したSLDDRWファイルの部品データを、STLファイルに変換して保存する。図1、図2に、3DCADに取り込んだ図面データと3DCADで編集した部品データの例を示す。

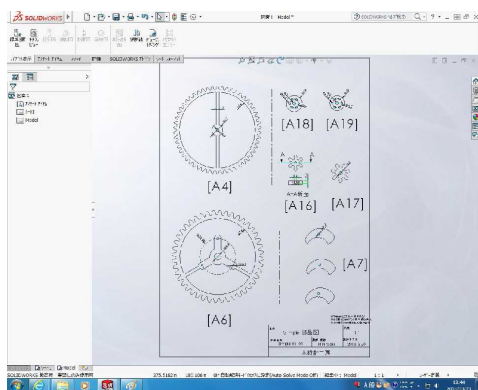


図1 図面データ (SLDDRW ファイル)

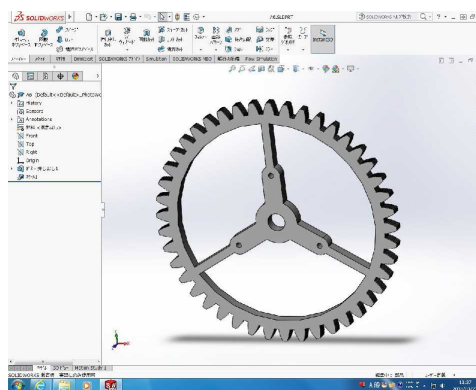


図2 部品データ (SLDDRW ファイル)

製作した STL ファイルの部品データを、ドライバソフトの CatalystEX4.4 に取り込み印刷位置を決定し、3D プリンターにそのデータを送信して部品を印刷する。3D プリンターでの印刷作業の様子を図3～図5に、購入した部品を図6に示す。

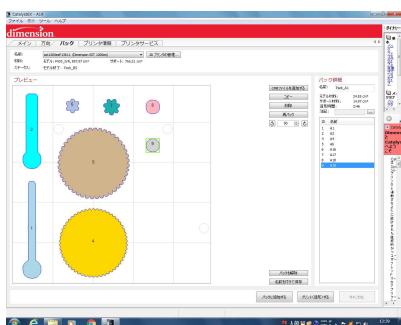


図3 印刷位置の決定の様子

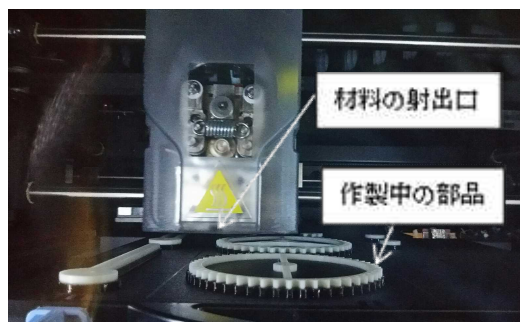


図4 3Dプリンターでの印刷の様子

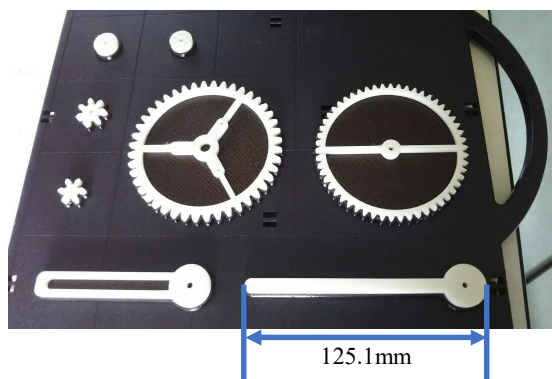


図5 3Dプリンターで作製した部品

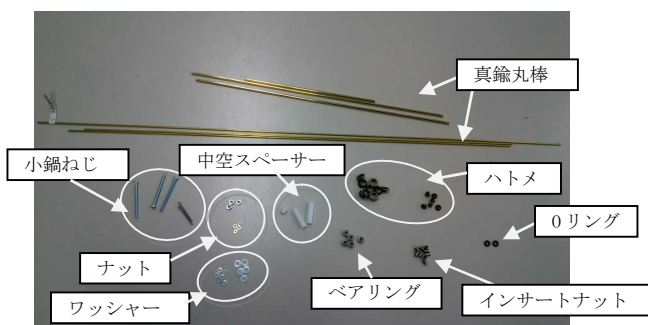


図6 購入した部品

印刷した部品とその他に購入した部品で、振り子時計を組み立てて動作確認を行う。上手く動作しない部分を調べて、その原因について考察を行う。改良できる部分は改良し、上手く動作しなかった理由を明確にする。改良できなかった部分に関しては、改良方法について検討する。

3. 研究結果

製作した機械式時計を、図7に示す。完成時の動作確認では、製作した機械式時計はすぐに停止した。そこで、製作した機械式時計の動作を細かく調査し、以下の様にいくつかの問題点を発見した。

- ①歯車と歯車の中心軸との間に隙間が無いと、歯車と歯車の中心軸とが固定されて動かなくなる。
- ②図8に示すがんぎ車が、少し進んだ後、元に戻ってしまう。
- ③指で歯車を回転させると、動きにくい部分がある。
- ④中心軸に固定されるべき歯車と、中心軸とは独立して回転



図7 製作した機械式時計

すべき歯車とがあるが、固定されるべき歯車は中心軸との固定が弱く、独立して回転すべき歯車は中心軸との摩擦が大きいため、本来の機能を果たしていない。

⑤原動力となる振り子の振幅の減衰が早い。

4. 考察

研究結果にまとめた問題点①～⑤について、以下にその原因や改良方法、事前対策について考察する。

①の問題点に関しては、ヤスリがけで中心軸を挿す穴の直径を大きくすることで問題が解決される。事前対策としては、あらかじめ使用する中心軸の直径を正確に測定してから歯車の中心軸が通る穴の直径をそれに合わせて製作することが考えられる。

しかし、今回の研究の製作精度では、その方法は非効率的である。製作した歯車の中心軸が入る穴の直径が小さければヤスリがけをし、逆に大きければ接着剤等で一旦穴の直径を狭めてからヤスリがけをして形や大きさを整えるのが良いと考える。

②の問題点に関しては、がんぎ車の次の歯車である第三歯車や第二歯車の動きが硬い、もしくは動かないため、その反力によってがんぎ車が戻ると考えられる。また、振り子の力が弱いことも原因として考えられる。改良方法としては、問題点①の改良によって第三歯車や第二歯車の動きを軽くすることや、振り子の力を強めることが考えられる。これについては、問題点⑤の考察で深く掘り下げる。

③の問題点に関しては、図8中に丸で示すような、歯車に円を描くように均等に挿したピンと歯車がかみ合わさっている部分があるが、ピンを挿す際に、ハンマーで叩いたり、ペンチでねじ込んでしまったせいで、ピンが傾いてしまったり、多少変形してしまったりしたことが原因として考えられる。そのためにピンが歯車と上手くかみ合わない部分で、歯車が止まる。また、中心軸の固定が弱く、わずかに中心軸の位置が変動することが、歯車のかみ合いに影響を及ぼすことも考えられる。一度変形してしまったピンを元の形に戻すことは非常に困難なため、変形するほどの力を加えなくても組み立て出来るよう寸法を調整したり、ハンマーで叩く際は間に板を挟んで弱い力で叩いたりする必要がある。

④の問題点に関しては、中心軸とは独立して回転するべき歯車にはハトメを使用していたが、そのハトメがきつく、あまりスムーズに動かなかったことが原因として考えられる。問題点①の場合と同様に、部品同士がぴったり組み合わさるよう寸法に注意することが重要であることが分かる。改良方法としては、ハトメを加工して穴を広げるか、中心軸を細くすることが考えられる。

⑤の問題点に関しては、問題点②によって、がんぎ車を動かすのにより大きな力が必要になったことが考えられる。また、振り子の上下に取り付ける丸棒の素材や長さを変更したため、バランスが取れていないことなどが考えられる。改良方法としては、丸棒の長さを変更したり、問題点②の解決により必要な力を減らすことが考えられる。

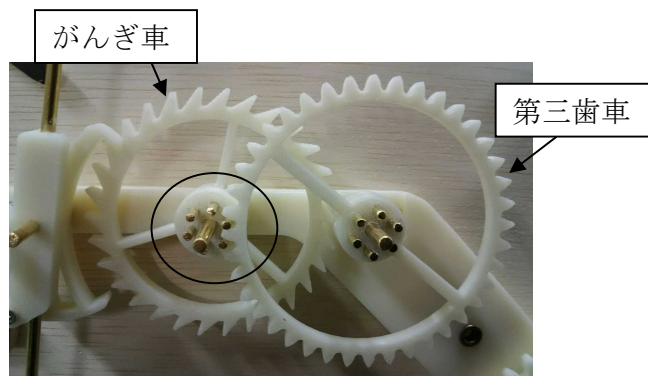


図8 がんぎ車と第三歯車

5. 改良結果

【改良した点】

問題点①に対する改良として、中心軸を通す穴をヤスリがけで広げた。また、問題点⑤に対する改良として、振り子の丸棒の上下の長さを、同じ長さにした。さらに、歯車の動きを促すための重りを 168.820g から 418.740g に変更することによって、問題点③による影響を軽減した。

【改良できなかった点】

問題点③での原因として考えられるピンの変形は、加工が難しく元に戻すことは出来なかった。

【改良した結果】

歯車の中心軸を通す穴の部分のヤスリがけによって弱い力でも歯車がスムーズに動くようになり、問題点①は解決した。また、歯車の動きを促すための重りを重くすることによって歯車の動きを助け、問題点③の影響がほぼ無くなった。問題点②は問題点③の影響も受けていたが、問題点①の解決と問題点③の影響がなくなったため解決した。しかし、問題点⑤の振り子の減衰については、丸棒の長さを揃えることで多少減衰は遅くなったが、問題の解決までには至らなかった。

全体的にみると、動きは大分スムーズになったが、問題点③のピンの変形や、振り子の減衰の問題がまだ解決していないため、時計としての機能は不十分であった。特に振り子の減衰の問題が大きく、振り子自体が 10 秒経たずに停止してしまうため、時計もそれと同時に停止してしまった。

6. まとめ

今回の実験で、機械式時計は軽微な問題で機能しなくなることが良く分かった。また、一つの問題が他の問題の原因となる場合が多いことが判明し、様々な部分に影響が及ぶことも明らかとなった。このことから、機械式時計では、部品同士の連動が重要であることが分かる。また、部品の変形を直すのは容易ではないので、部品を傷つけずに組み立てる必要があることも分かった。

機械式時計の多くは金属を加工して作られているが、部品を 3D プリンターで製作してみると、様々な部分で摩擦によるエネルギーの損失が大きかった。購入した図面は、木材で製作することを想定した図面であり、元々あまり精度を求める時計ではなかったが、木材や、3D プリンターで製作した樹脂製の部品のように摩擦の大きい部品を使うと、高い精度を得るのがさらに困難になることが分かった。機械式時計の製作においては、摩擦によるエネルギーの損失を減らすことが、精度を上げるために重要であることが明らかになった。