

「ものづくり」初心者の設計に関する一考察 ～2.5次元立体ディスプレイの設計から～

Consideration of beginner's Creative Design.
-The Case on design of 2.5Dimension Display.-

高橋 等
Hitoshi TAKAHASHI

(平成21年10月7日受理)

要旨

「ものづくり」の経験が少ない者が機械や装置を設計した場合、部品加工や組み立てに障害が発生し目標の機能を持った機器を製作できないことがある。これは、設計時に想定できていない事象があるためで、経験を積むことにより対応が可能となる。

そこで、本論文では、2.5次元立体ディスプレイの機構部分の開発過程を題材にして、「ものづくり」の初心者の設計を支援するために、設計時に考慮しなければならない事項をまとめた。そしてより良い設計をするためには、「逃げ」「遊び」「狂いの吸収」などの数値化しにくい技術や工法を意識することが重要であることを示す。

1. はじめに

本論で題材とする2.5次元立体ディスプレイは、「もの」の構造や機能、造形を学習するための立体造形装置であり、晴眼者のみならず視覚障害者にも「もの」の構造を伝えることができる学習教材として開発研究を進めているものである。また、この研究では装置の設計や組み立て過程において、どのような課題がありそれをどのように解決していくかを把握し、「ものづくり」教育における技術・技能の指導方法についての研究も進めている。

「ものづくり」は、設計・デザイン、加工・組み立て、試験・検査の行程で行われるが、「ものづくり」の経験が少ない者が機械や装置の設計をした場合、加工や組み立てに思わぬ障害が発生し目標の機能を持った機器を製作できないことがある。これは、設計時では正しいと想定した構造や数値が、加工や動作の時には様々な条件の変化によりずれてしまうためである。このずれを「ものづくり」のベテランは熟知しており、設計時に工学的な解析に基づいてより綿密な計算を行い、加工時には経験による暗黙の操作を行って課題を解決している。

そこで、2.5次元立体ディスプレイのプロトタイプモデルの開発過程を題材にして、「ものづくり」の初心者が設計時に気付きにくい事項を示すと共に、「ものづくり」に使う「逃げ」「遊び」「狂いの修正」などの考え方がより良い設計にとって重要であることを考察する。

2. 2.5次元立体ディスプレイの概念と概念設計

概念設計では、「もの」の開発理由、使用目的などを確認しながら、主に機械や装置の機能や仕様を決定していく。2.5次元立体ディスプレイの設計は次のような概念により行われた。

2-1 2.5次元立体ディスプレイの概念

「ものづくり」教育において、実物を教材として学習することが極めて学習効果が高いことは指導経験者のみならず誰でも容易に想像できる。また、実物を使用できない状況、あるいはモデル化することで実物以上に学習効果が期待できる状況では、図や映像、コンピュータグラフィックスやアニメーションによる教材提示も有効であると言える。

しかし、コンピュータを使用した教材は、2次元の平面ディスプレイ表示であるため、空間認知の不得意な学習者では、画像を立体的に認識することが難しい場合がある。また、視覚障害者にとってはまったく認識できないのが現状である。

そこで、できるだけ実物に近い立体を短時間で造形する装置があれば、空間認知が不得意な学習者や視覚障害者が「もの」の構造や機能をより容易に認識することができると考えた。

このような造形装置については、視覚障害者への支援の分野から、ピンによる触覚を使用した3次元触覚ディスプレイ、盲人用マルチメディアパソコン、立体コピーシステムなどの研究開発が行われ、工業製品試作の分野では、光造形システム、紙造形システムなどが研究開発されている。ここで、前者は点字と同様に平面に数ミリ程度の凹凸を作ることを目的とした装置であり、動作速度は速いが立体の造形には及んでいない。また、後者は精密な立体の造形が可能であるが、製作に数時間掛かり、製造コストも高く教育用には適さない。

このように、立体造形の装置開発には、速度、精細度、コストの相反する課題が存在するが、これらの課題は優先順位とバランス取ることで解決することができると考えた。

2-2 概念設計

2.5次元立体ディスプレイの概念を基に、次のように主な仕様を決めた。

(1) 機能

平面に敷き詰めた細いロッドを上下に移動することにより、2.5次元の立体を造形する。
理由 完全な3次元の立体を造形するには加工時間が掛かる。造形時間を短くし、何回でも繰り返し表示するために、立体をロッドという要素の集合で扱うこととした。

(2) ディスプレイ部の大きさ

机上における日用品程度とする。

理由 視覚障害者の使用を想定して、普段手で触れているカバン、文房具、本、パソコンなどの日用品の大きさを目安とした。また、晴眼者にも見やすい大きさと考えた。なお、実際より小さい物や大きい物は、拡大縮小して造形する。

(3) 解像度

1 ロッドの太さは鉛筆程度とする。

理由 解像度を高くすれば滑らかな造形ができるが技術的に困難になる。また、ロッド1本が突き出るような針の形では、手で触れたときに傷つける恐れがある。どの程度の解像度が適切であるかは試用実験で明らかになるが、日用品の形状であれば戸惑いもなく使用できると考え鉛筆程度とした。

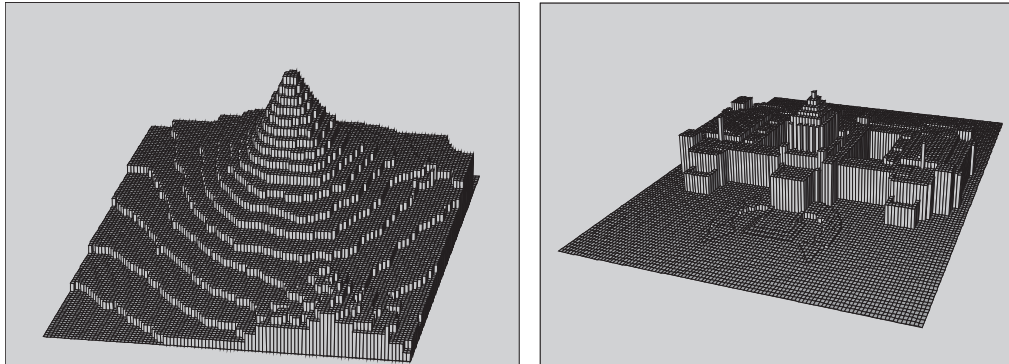


図2-1 2.5次元立体ディスプレイの完成イメージ

3 基本設計

基本設計では、概念設計の構想を実現するために、より具体的な構造や形状を考えていく。

(1) ディスプレイ部の大きさ

縦500mm×横500mm×高さ300mm程度とする。

理由 概念設計のとおり日用品の大きさを目安とし、切りの良い寸法とした。

なお、プロトタイプでは縦200mm×横200mm×高さ200mmである。

(2) 解像度

1 ロッドの大きさが縦5mm×横5mm程度、縦100ロッド×横100ロッド程度とする。

理由 概念設計では、手で触れたときに傷つける恐れがない鉛筆程度の太さのロッドを想定した。ここで実際に使用できる材料を考えると、プラスチック、スチロール、アルミ、鉄などであり、製品としては直径3φ～8φ程度の規格が多い。そこで、5φとし、縦横500mmのディスプレイ部をちょうど100×100本のロッドで表現することとした。なお、プロトタイプでは1ロッドの大きさが縦5mm×横5mm、縦40ロッド×横40ロッドである。

(3) 動作速度

1 造形あたり60秒程度を目標とする。

理由 造形の手速は速いほど良いが、機械の動作のため電子的な表示には到底及ばない。また、部品コストやエネルギーも増えてしまう。ここでは、コンピュータの出力装置であるインクジェット形プリンタで用紙に印字する速度を目標とした。

(4) 機構

ロッドは一旦最上部に持ち上げられ、そこから下降する。目的の位置に来たときはロッドの動きを停止して固定する。固定する機構は列と行によるマトリクス方式を用いる。

理由 各ロッドに上下する機構を備えることは、直径が5φしかないロッドにはスペース的に難しい。そこで、目的のロッドを効率良く制御するために、ロッドを固定する機構を行と列にマトリクス状に配置し、その交点の座標にあるロッドを制御する方式とした。この方式だと行100本、列100本、計10,000本のロッドを行列合わせて200の固定機構で制御することができ工数やコストの面で有利である。ただし、固定動作の制御や機構が複雑になることが予想される。

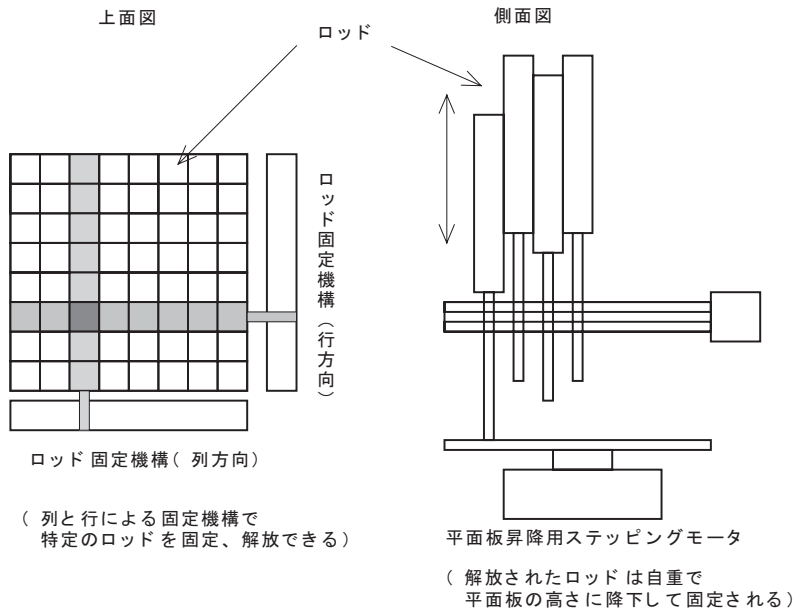


図3-1 機構の基本設計

4 設計における考慮事項と詳細設計

4-1 設計における考慮事項

詳細設計では部品の寸法や材質を具体的に決定していく。しかし、決定に考慮しなくてはならない情報は、寸法や材質と言った目に見えるものだけではない。

- ①重さ、重心、荷重、応力と言った力学的で目に見えない事象
- ②歪みや狂いなどを修正するための、逃げや遊びなど微妙な事象
- ③加工方法や、組み立て手順に影響する事象
- ④耐久性、拡張性、リサイクルなど時間が経過した時に起きる事象、

など、多くの情報を考慮しなければならない。そこで、これらの設計における考慮事項を表4-1にまとめた。

「ものづくり」初心者の設計に関する一考察

なお、設計における考慮事項は、装置全体の設計に考慮すべき事項、その中に使用する部品の設計や選定に考慮すべき事項、さらにそれを構成する材料の選定に考慮すべき事項と、階層に分けて示した。

装置全体の設計に考慮すべき事項	項目	内容	備考
	動作	目的の動きをするか	目視できる項目なので判断し易い
	速度	目的の速度で動くか	
	大きさ	大きさは適切か	
	デザイン	目的のデザインか	
	重量	重量は適切か	重量オーバーになり易い
	雑音	雑音を出さないか	完成後でないと分からない場合が多い
	臭い	臭いを出さないか	
	化学物質	化学物質を出さないか	
	火・煙・塵	火・煙・塵などを出さないか	
	電磁波	電磁波を出さないか	コンピュータ制御への影響を考える
	使用エネルギー	エネルギー源と消費は適切か	省エネを考慮する
	耐久性	時間経過で壊れないか	振動による摩耗や疲労について考慮する
	保守性	修理やメンテナンスはし易いか	機器はいつか壊れることを想定する
	拡張性	機能を追加できるか	機能の追加や変更で長期使用を考える
	コスト	コストは適切か	製造、運転、保守等のコストを考える
	マーケット	商品化ができるか	販売する場合はニーズを考える
製作時間	製作時間は適切か	製作時間はコストに反映される	
安全性	人体に危害を与えないか	物理的、化学的、精神的な影響を考える	
法律	危険物・PL法などの法を遵守しているか	環境対応に関する法律も遵守する	
部品の設計や選定に考慮すべき事項	項目	内容	備考
	機能	目的の機能があるか	目視できる項目なので判断し易い 製品の場合は仕様で確認できる
	強度	目的の強度があるか	
	精度	目的の精度があるか	
	大きさ	大きさは適切か	
	耐久性	耐久性があるか	振動による摩耗や疲労について考慮する
	重量	重量は適切か	重量をオーバーになり易い
	重心	重心は適切か	見落としやすい
	コスト	コストは適切か	製造するか購入するかを決める
	供給量	供給が安定しているか	供給量が生産量を左右する場合がある
	加工技術	加工技術を持っているか	加工技術がなければ完成品を購入する
加工時間	加工時間は適切か	大量の部品製造では加工時間が課題になる	
材料の選定に考慮すべき事項	項目	内容	備考
	強度	目的の強度があるか	材質や形状で判断する
	重量	重量は適切か	大量に使用する場合は考慮が必要
	コスト	コストは適切か	歩留まりも考える
	供給量	供給が安定しているか	供給量が生産量を左右する場合がある
	加工性	加工性は良いか	加工しにくい材料はコストや時間が掛かる
	加工技術	加工技術を持っているか	必要な技術がないと加工できない
加工時間	加工時間は適切か	大量の部品製造では加工時間が課題になる	

表 4 - 1 設計における考慮事項

4-2 詳細設計

詳細設計では、基本設計を基に設計における考慮事項を確認しながら具体的な寸法や材質を決定していく。ここでは、詳細設計に大きく影響した項目を取り上げた。

(1) ロッドの材質：重量とコスト

本装置のディスプレイ部分はロッドで構成され、ロッドには表に現れる太い部分とそれを支え固定する細い部分から出来ている。ここで課題となるのが縦100×横100で計1万本という数に伴う重量とコストである。例えばロッド1本の重さが1gでも全体は10kg、100gなら1,000kg（1t）になる。また、ロッド1本のコストが10円なら10万円、100円なら100万円になる。特に重量は構想時の絵コンテや設計の製図には現れにくいので見落としがちである。ここでは、寸法精度や強度を満足しつつ重量とコストの条件も満たす素材として、肉厚0.5mmポリプロピレン樹脂のパイプをストロー製造会社に特注することにした。これによりロッド1本あたりの重さは約3gで全体では30kg、金額は合計で約150,000円になる。

なお、この全ロッドを昇降する機構には、電動ベッドや医療リハビリ装置に使用されている4000N昇降対応の電動昇降ユニットを用いる。

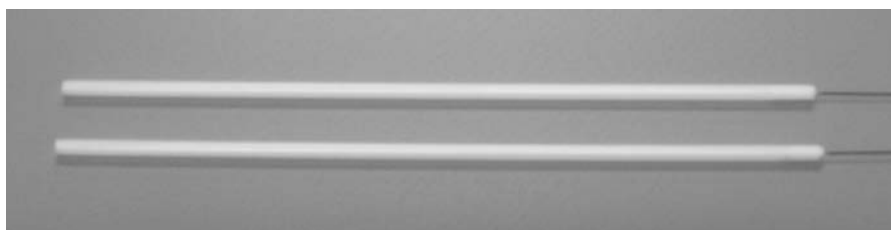


図4-1 ポリプロピレン樹脂とピアノ線を接合したロッド

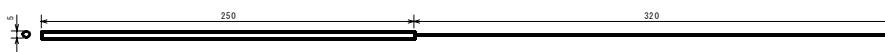


図4-2 ロッドの外形

(2) ロッドガイドの設計：摩擦と遊び

ロッドは図4-3 図4-4のように、ロッドガイドにロッド下部のピアノ線を通すことによりマトリックス状に整列する。ここで要求される機能は、ロッドがきれいに整列することと、上下に滑らかに摺動できることである。ピアノ線の太さと穴の径の差が少なければよりきれいに整列するが、摩擦で動きが悪くなる。また、動きを良くするために差を大きくすればがたつきが生じる。このように、材料が触れながらスムーズに動く部分には必ず適度な「遊び」が必要となる。軸と穴の「遊び」の関係を決定するために「はめ合い」としてJIS規格があり、工業製品としては規格に従うべきである。しかし、精度が出せる工作機械が無いと規格に沿った工作ができない。設計時には精度の高い加工ができるか否かを判断し、対応した設計が求められる。

なお、ここでの設計では軸であるピアノ線がたわんだり、ポリプロピレンが帯電して静電気吸着することも考えられるので、結局いくつか試作を試み、結果として、ロッドの間隔は5.1mm、ガイドの穴の径が1.0mm、ピアノ線のシャフト径が0.6mmから0.8mmになった。

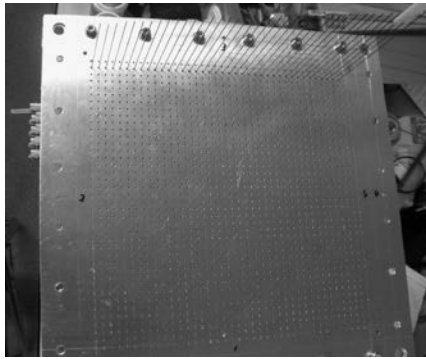


図 4-3 アルミ板製のガイド

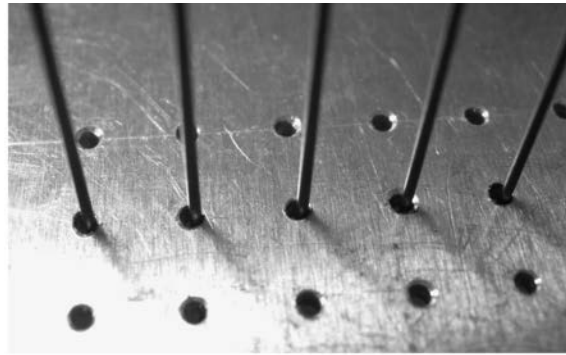


図 4-4 5.1mm間隔のガイド穴

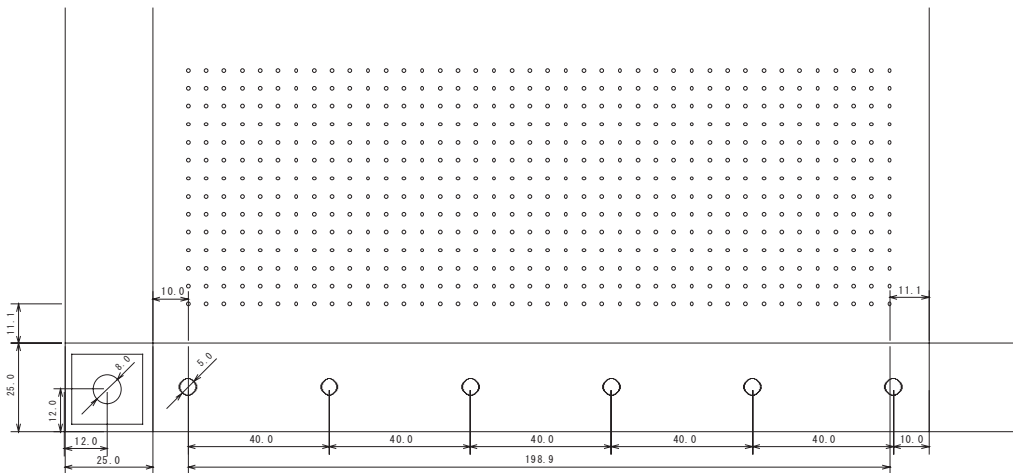


図 4-5 ガイドの外形

(3) ロッド固定材料の選定：摩擦と逃げ

ロッドの固定方法は図 4-6 のように、ロッドガイドの中間に入れた固定用シャフトを数ミリずらすことで摩擦を生じさせて行う。さらに摩擦を高めるために、固定用シャフトの穴には図 4-7 のようにシリコンゴムでできたパイプを埋め込んだ。シリコンゴムは摩擦係数が高く、摩擦熱や油脂への耐性も良い。固定後のロッドは手で触ることを想定しているため、そっと触れる 0.1N 程度から、体重を掛ける 6N 程度の力が掛かると思われるが、ここでは 0.3N 程度の保持力になっている。実際にどれくらいの力が掛かり、どれくらいの力で固定すれば良いかは完成後に調節しなければならないが、注意すべきは強固に固定してはいけないということである。強固に固定した場合、触れた手に傷を負わせる危険性があり、また、ロッドを破壊する危険性もある。このように、想定以上の力が掛かった場合に人体や機構の重要な部分を守る設計が逃げである。逃げには力の分散、変形による吸収、わざと脆弱な部分を作るなどの方法がある。

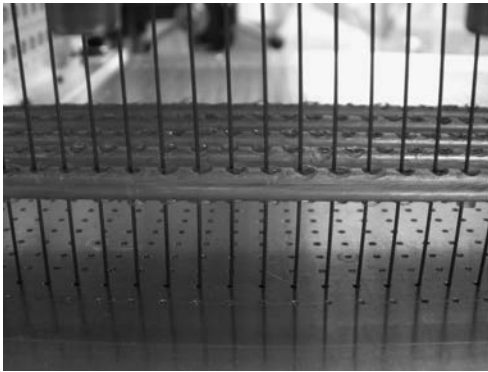


図 4-6 ロッドの固定

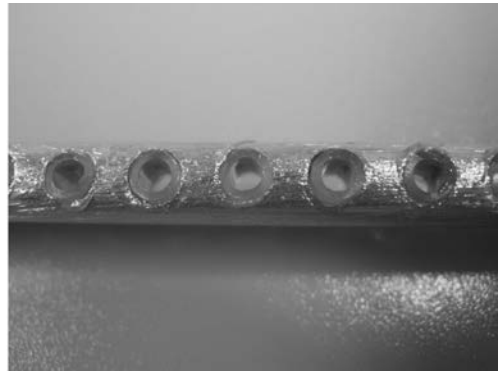


図 4-7 固定用シャフト

(4) ロッドの固定機構の設計：たわみと狂いの吸収

ロッドの固定は前述のようにロッドガイドの中間に入れた固定用シャフトをずらし摩擦を生じさせて行う。この固定用シャフトには一列分のロッドを同時に固定するように穴が空いている。この穴の位置の精度が良い場合は図 4-9 のように全てのロッドを固定できる。しかし、穴の位置の精度が悪いと図 4-10 のように固定されず解放されるロッドがでてしまう。穴の位置の精度を高めれば良いが、穴の位置の精度はロッドガイドの穴の位置、シリコンパイプの取り付け位置に影響を受けるため、求める精度を出すことは難しい。そこで、この狂いを吸収するためにピアノ線のたわみを利用する。図 4-11 のように細くて柔らかいピアノ線を使用すると、固定シャフトの移動でピアノ線が大きいたわむ。すると穴の位置の誤差を吸収し、全てのピアノ線がシリコンパイプと接することができる。

設計にはどうしても高精度にしなければならない部分と、高精度にしようとしても工作の誤差や熱や荷重による変形で誤差が生じてしまう場合がある。この避けられない誤差をベテランは狂いと呼び設計や工作において、伸び、縮み、たわみ、ねじり、ばか穴などの方法で吸収して解決を図っている。

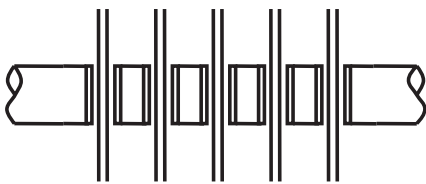


図 4-8 解放状態

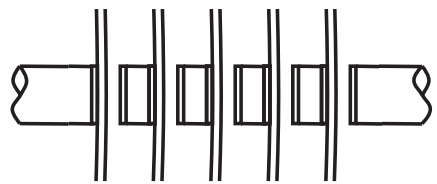


図 4-9 全てのピアノ線が接触

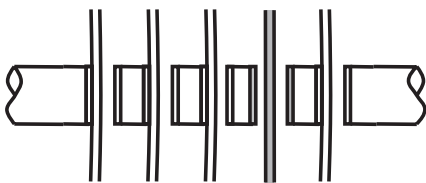


図 4-10 一部のピアノ線が解放

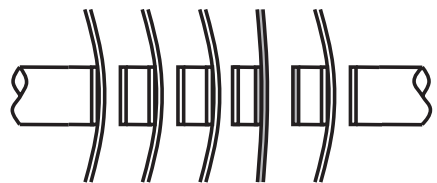


図 4-11 たわみにより全てが接触

(5) 動力伝達部の設計：力の集中と損失

固定シャフトの駆動は、図4-12 図4-13のようにシャフトに付けたカムが筐体の側面を押し、固定シャフトを最大で2mm引く機構になっている。また、このカムはアクチュエータであるラジコン用サーボモータのホーンとピアノ線で連結して動かす。動力を伝達する機構では、負荷に十分な動力が伝わるように設計すると共に、伝達用部品を支える構造物の設計にも注意をしなければならない。このケースでは、カムの軸とカムの側面に最も大きな力が掛かることが予測できるが、さらに全てのカムの力を集中して支えている筐体に掛かる力も考慮しなければならない。力が集中しているカム周辺の部品の強度を高めると共に筐体のアルミアングルも十分な強度が求められる。この筐体には簡易な計算でも側面から10N程度の力が掛かるため、厚さ3mmのCチャンネルを使用している。

また、動力伝達における損失をできるだけ少なくするためには、シンプルな機構と、回転や摺動部の摩擦軽減の対策も求められる。動力伝達の設計ではまず動くことが求められ、製作した機構が動けば完成と思いがやすい。しかし、故障せず安定した動作や損失の少ない省エネルギーの動作を目指すためには、機構を構成する全ての部品について確認する必要がある。



図4-12 カムの動き

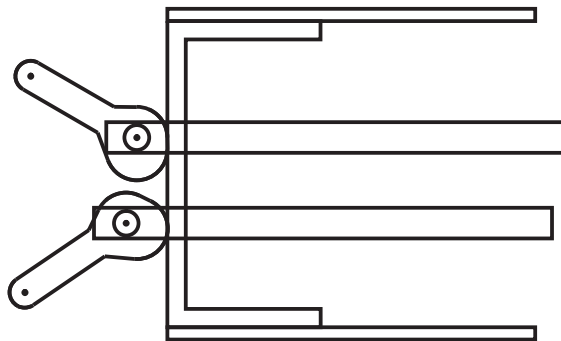


図4-13 カムの形状と機構



図 4-14 プロトタイプ of 全景

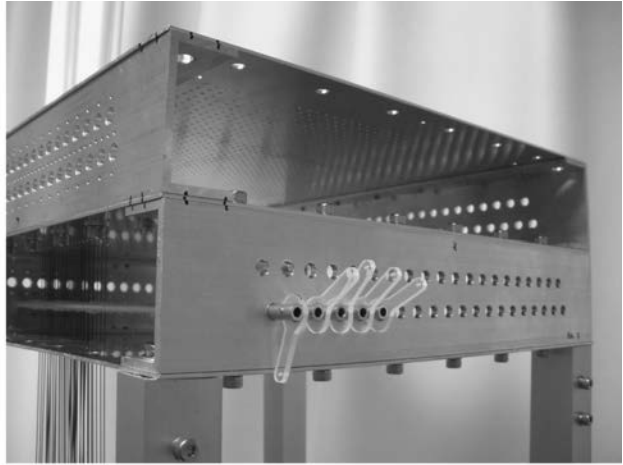


図 4-15 ロッドのガイドと固定機構

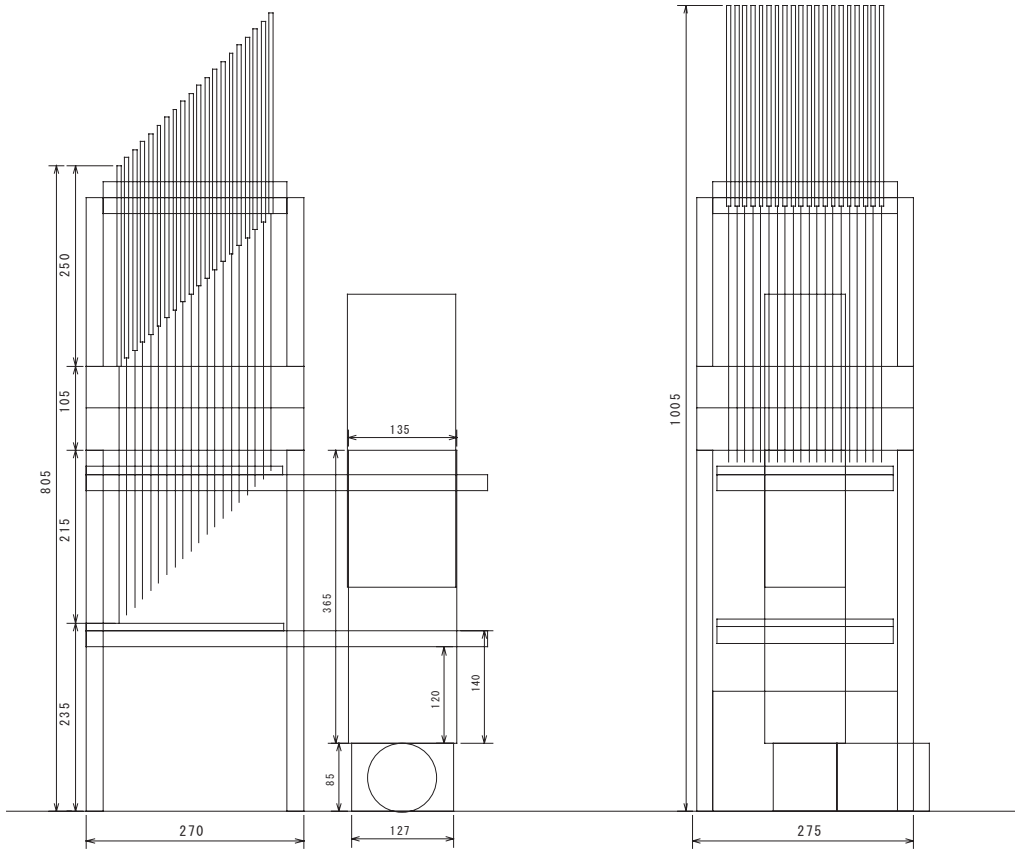


図 4-16 プロトタイプ of 設計図

5. まとめ

「もの」を設計することは、常に意志決定を求められている状態であり、より良い判断をするためには多くの情報が必要である。しかし、「ものづくり」の初心者は「もの」を捉えるときに「かたち」に重点を置き、どうしても目に見える情報だけで判断してしまう傾向がある。そこで、今回作成した「設計における考慮事項」を参考にすることにより、動きとして目に見えない情報、時間が経たないと現れない情報、順番が重要な情報など多方面からの「ものづくり」を捉えさせることができると考える。

また、この「設計における考慮事項」は「もの」をつくる生産者だけでなく、「もの」を使う消費者にとっても有用である。例えば、はさみを購入する場合、同じような形状のものが、刃物専門店、ホームセンター、100円ショップで販売されている。価格だけで判断すれば全員が100円ショップで購入するが、賢明な消費者は、なぜ100円なのか、何か劣っていることがないのか疑問を持つ。この疑問を整理する方法として、「設計における考慮事項」をもとにすれば、見た目のデザインや構造、使用時の切れ味、刃の材質、刃の金属部分と握りのプラスチック部分の割合、耐久性やメンテナンスなど、様々な項目からはさみを捉えることができ、やがて、そのはさみの「つくり」の概念にたどり着く。そして、最後にコストパフォーマンスの判断をすることにより賢明な購入ができる。

今回の設計では、概念設計、基本設計、詳細設計の手順を追ったが、実際には詳細設計に進んだ後に、期待する性能が得られないと判断したり、新たな部品や機構を採用したりして基本設計を何度か変更している。そして、その主な原因が「加工精度の低さ」である。

設計で求めている精度は0.1mmであるが、使用する工作機械は小型の3次元加工機の他はボール盤、チップソー、バンドソーなどの家庭用工具が主であり、0.1mmより高い精度を出すことは難しい。そこで、この「加工精度の低さ」をいかに補うかが設計のポイントであった。例えば、最も精度が高いのはアルミ材やブッシュなどの工業用部材・部品なので、平面や直角が必要な場合は刃物で切断した面ではなく部材の面や角度を使った。また、軸受けもドリルで開けた穴にブッシュを入れてはめ合いを確保した。次に精度が高いのが3次元加工機なので、ガイドの穴の加工に用いた。そして、ボール盤による穴開けやチップソーによる切断は手加工で精度が出にくいので、3次元加工機で下穴を開けるなどの処理をしてから行った。そして、このように加工精度を上げる工夫をしても収まらない「狂い」を、「逃げ」や「遊び」の仕組みで修正したのである。

「狂い」「逃げ」「遊び」などの用語は機械分野だけでなく、古くから建築や他の製品製造の現場で使われてきた。現代のコンピュータによる設計や工作では容易に高精度のものづくりができそうであるが、「ものづくり」の初心者には、さらに高性能なものを作る場合や、センスの良いものづくりのためには「狂い」「逃げ」「遊び」のような数値化しにくい経験による技術が必要であることを理解させたい。

謝辞

本研究は日本学術振興会科学研究費基盤研究（C）No.20500813 の補助を受けている。

参考文献

- 1) 下条 誠ら 1996 「ピンによる触覚を使用した3次元触覚ディスプレイ」電子情報通信学会論文誌D-II情報システムII情報処理
- 2) 清水 豊ら 「触覚伝達機器の設計支援情報」
<http://www.tsukuba-tech.ac.jp/info/kenkyu/kaken/home.html>
- 3) 清水 豊ら 2000「触覚情報制御による盲人用マルチメディア・パソコンの実用化」平成9年度～平成11年度（基盤研究B(1)）の研究報告
- 4) 高橋 等 2009 「一斉授業に対応したフィードバック制御に関する学習教材の研究」日本産業技術教育学会第52回全国大会講演論文集
- 5) 高橋 等 2009 「一斉授業に対応した計測制御教材に関する研究」第25回フェジィシステムシンポジウム講演論文集
- 6) 文部科学省 2000「高等学校学習指導要領解説 工業編」 実教出版
- 7) 文部科学省 2008「中学校学習指導要領解説（技術・家庭編）」 教育図書