

課 題 情 報 シ ー ト

テ ー マ 名 :	電気機関車の製作		
担当指導員名 :	稲木 謙嗣	実施年度 :	26 年度
施 設 名 :	北海道職業能力開発大学校		
課 程 名 :	専門課程	訓練科名 :	生産技術科
課題の区分 :	総合制作実習	学生数 :	6 人
		時間 :	12 単位 (216h)

課 題 制 作 ・ 開 発 の ポ イ ン ト

【開発（制作）のポイント】

生産技術科で学んだ知識・技能をベースに設計から製作までの作業を行うことで、CAD／CAM 技術、NC 機械加工技術、汎用機械加工技術、板金、溶接技術、機械保全技術等の向上を目指します。直接メカニズムに触れることが少ない現在の環境の中で、頭の中でイメージするのは難しいので、を進めながら「モノづくり」の面白さや発展性を理解するとともに、学生自ら考える力を向上させることを目的としました。

【訓練（指導）のポイント】

CAD で設計し実際に製作しても、1 回で思い通りになることは少なく、細かなミスの修正、組立・調整、設計変更を繰り返すことで、どうすればうまくいくのかを考えさせるようにしました。結果として徐々に同じようなミスは繰り返さなくなり、組立・調整の重要性などを理解することができました。また、製作部品数が多いため、主担当を明確にすることで、責任感を持たせ作業することができ、進捗状況に応じてグループ内で助け合いながら作業を進めることができました。

課 題 に 関 す る 問 い 合 わ せ 先

施 設 名 : 北海道職業能力開発大学校
住 所 : 〒047-0292 北海道小樽市銭函 3 丁目 190 番地
電話番号 : 0134-62-3553 (代表)
施設 Web アドレス : <http://www3.jeed.or.jp/hokkaido/college/>

課 題 制 作 ・ 開 発 の 「 予 稿 」 お よ び 「 テ ー マ 設 定 シ ー ト 」

次のページ以降に、本課題の「予稿」および「テーマ設定シート」を掲載しています。

電気機関車の製作

1. はじめに

本製作では電気機関車製作を通して、汎用・NC 加工技術、組立・調整技術等の総合的な実践力を身に付けるとともに、CAD による構想・設計、メカニズムの理解を通して、設計能力の向上を図り、「モノづくり」の面白さや発展性を理解するとともに、自ら考える力を向上させ最終的にはイベント等で走行させることを目的として製作を行った。製作にあたり、作業分野が数多くあるため6人で役割分担し、製作を行った。

2. レールの軌間

レールの軌間（レール幅）は、模型の規格に合わせて5 インチ（127mm）とし、図1のように基準ゲージを製作した。詳細を以下に示す。

軌間 直線レール：127.5mm
曲線レール：128.5mm



図1 製作したゲージ

3. 直線レール

3.1 直線レールの仕様

直線レールは1m×50本製作した。

3.2 直線レールの製作

直線レールは、製作する本数が多いため溶接構造で製作することとし、二人一組で製作した。当初は、定尺 3mのレールと枕木を溶接し製作しようとしたが、レールが長く、ひずんで形状が安定しないため 1mまで短くし、溶接した。それでも、ひずみが発生するため、溶接をするときの溶接時間を短くすることやレールと枕木を垂直に溶接することに気を付けた。そのため、レールと枕木を固定する必要があると考え、図2のように固定治具の製作を行った。治具で固定し、固定するときもレールと枕木を強く締めすぎるとひずみが出てしまうので注意し、条件を満たしていくとひずみが軽減され、溶接も安定し、直線レールを完成することができた。

それでも多少のひずみが出てしまったときは、万力で固定し手曲げでひずみを修正した。



図2 溶接部と治具

4. 曲線レール

4.1 曲線レールの仕様

曲線レールは、定尺 3m で 1/4 円の曲線を曲がるレールを4本制作し、直線レールと連結すると1周回れるようにした。そして、曲線レール部でのコーナーRは次の式から求め、外Rと内Rを決め、図3のように基準ゲージをレーザ加工機で製作した。

$$\pi R \div 2 = 3000\text{mm より}$$

$$\text{外 R} = 6000 \div \pi = 1910$$

$$\text{内 R} = 1910 - 128.5 (\text{曲線レールの軌間}) = 1781.5$$



図3 外R、内Rのゲージ

4.2 曲線レールの製作

曲線レールの製作については、全体的に曲線になるよう手曲げしていく手法にした。曲線部は図4のように基準となるゲージを使いレールを万力で固定し、ゲージを当てながら曲げていく方法や、図5のように万力の口金部分に挟むだけで曲線になるような曲げ治具を取り付けるなど試行錯誤しながら曲線レールを製作した。



図4 曲線レール製作中

当初は、手曲げがうまくいかず、慣れるまでに時間がかかった。曲げているときに気を付けることは、曲がりが大きい部分はひずみが出てしまうことから、出ないように注意し、両端の直線レールとの連結部は、曲げ治具を使用し細かく曲げていくことにより曲線から直線にかけての走行を安定するように慎重に製作を進めていった。



図5 万力の口金部の曲げ治具

4.3 曲線レールと枕木の固定

曲線レールと枕木を固定するとき、直線レールの様な固定治具の製作は、曲線レールの長さや曲がりなどで難しいと考え、数個の軌間ゲージをレールに直接はめ込む形で、仮に固定し、枕木との固定を行うこととした。しかし、このままでは枕木が固定できないため枕木に穴をあけ、ゲージに合わせながらレール幅を調整し、図6のようにレールと枕木をボルトと留め金具を使い固定した。



図6 曲線レールの枕木部

5. 連結部

レールをすべて連結し1周分のレールを完成させた。直線レールと曲線レールの両端にドリルで連結器（ジョイナー）を取り付ける穴あけをした。穴あけした角度が斜めになったり、位置がずれたことが原因で数本ねじが入らなかったところがあったが、穴を大きくあけ直し改善した。

6. 試験走行

試験走行した結果、何度も脱線することがあり、原因は直線レールにも曲線レールにもそれぞれあることがわかり、どれくらいのひずみで走行に影響がでるか、レール幅が多少広くても影響がでないことや狭いと走行に支障をきたすことがわかり調整を行った。

6.1 直線レールの脱線原因

直線レールのレール幅が基準よりも狭くなっていることやひずみが大きいことで車輪が脱線することがあったのでレールと枕木を溶接し固定した部分を削り落とし溶接し直す方法をとった。それで、レール幅は改善されたが、ひずみが多少残ってしまったので手曲げして改善した。それでもひずみが大きい場合は、曲げレールと同様に枕木に穴をあけ、ねじで固定した。

6.2 曲線レールの脱線原因

直線レールと連結した際に図7のように若干の隙間が空き、走行時に曲線から直線になる連結部を通ると多少の衝撃があり、衝撃音とともにレールから脱線してしまうことがあったので枕木をはずし、レール長さの調整をし、両端のレールの長さを揃えて隙間が出来るのを抑えることで改善した。



図7 連結部の隙間

6.3 その他の脱線原因

その他に、ボギー台車のばね部の締め付け高さが均等ではなく、曲線レール部での車体の揺れが激しく、片側に荷重がかかり脱線したことから、ボギー台車を安定して走行できる高さになるまで調整した。

何度も走行試験していると直線レールのひずみが多少大きくなっているところを発見したり、曲線レールではレール幅が広がっているところや狭くなっているところなど幅が変わっていたところが見つかった。連結部では、振動等によりねじが緩まっているところが見つかり、特に曲線レールの連結部は緩むのが早いこともわかり、一定の周回数ごとに、レールの調整を行い、脱線の原因を改善することで安定した走行をできるようになった。

7. ボギー台車の製作について

最初に、車軸間の距離及び台車の高さを 150mmと決め三次元 CAD で台車本体の設計を始めた。図 11 のように各部品が干渉しないように注意しながら接続部の穴位置を決め、重量を軽くするため角材ではなく一部に角パイプを使用することとした。ボギー台車とは、車体に対して水平に回転することのできる装置を持つ台車のことを示す。カーブの際に車体と独立して回転するため通過が容易で距離を広げても支障が出にくいのが特徴である。回転が必要な理由は走行時のカーブにある。台車と乗車部が完全に固定されている場合、図 8 のようにカーブではレールの曲がりについていけないため脱線するが、回転によって曲がることできるようになる。

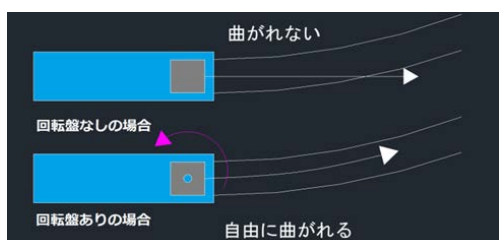


図 8 回転盤の役割

今回の製作ではボギー台車の役割を果たす機構として、乗車部と台車をそれぞれ固定できることに加え簡潔な構造とするため、図 10 のように回転椅子に使用される回転盤を使用した。乗用台車の前後に1つずつ取り付けるため、カーブ時はそれぞれ独立して回転するため、図9のように曲がることが可能となる。

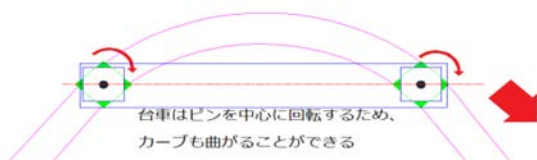


図 9 曲線でのボギー台車の働き



図 10 使用した回転盤

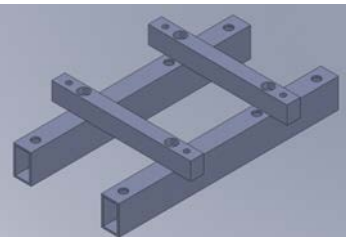


図 11 三次元構想図

8. ばねの選定について

台車を製作するにあたり、走行安定性と乗り心地を考慮しばねを取り付けることとした。車両部分のばねがどのくらい

たわむのかを考えるが、安定走行や乗り心地を計算によって求めるのは難しいので長さや、ばね定数の異なるばねを3種類用意して実際に取り付けて乗車したところ、締め付けによっては負荷がかかりすぎてねじが曲がってしまうものや、上下に大きく沈んで危険な場合もあった。それらを調整しながら最適なばねを選定することとした。



図 12 選定したばね



図 13 取り付けた図

9. 車軸について

車軸の材質はS45Cで、旋盤で切削加工した。模型の5インチゲージでも軌間の寸法によって、軌間と車輪の標準寸法が厳密に決められているため製作の誤差が大きいと、脱線などの事故に直結するため製作時には特に注意することと測定を徹底した。

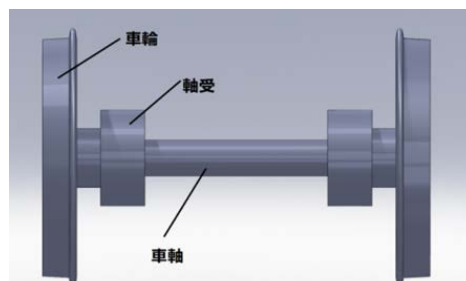


図 14 車軸の組み付け写真

10. 車輪の設計について

車輪は動力車の分も合わせ全部で 24 個の製作が必要で、寸法公差も厳しい箇所が多く製作に手間がかかるため、ターニングセンタによる加工を行った。製作は2工程に分けて行うこととした。また、車輪の片側がテーパ形状になっていることや車輪の大きさに対してつかみ代が 3mm 程度しかないためチャッキングも工夫が必要だと判断し、先に図 15 のように治具を製作した。また、ターニングセンタでは回転工具を用いての加工が可能のため、図 16 のようにエンドミルを用いて車輪の軽量化とデザインとして複数の穴をあけて肉抜きを行った。



図 15 車輪用治具

図 16 車輪のデザイン

そして、図 17 のように車輪とレールとの接触面は 3° 傾けたテーパ形状となっている。

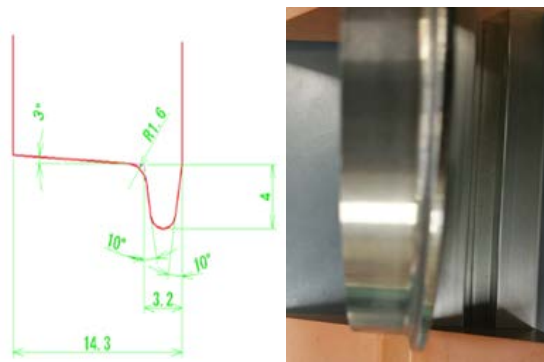


図 17 車輪の図面（左）と実際に加工したもの（右）

理由は台車がカーブの走行時に内輪差が発生してしまうためである。電車での内輪差とは、軸のカーブの際の内レールと外レールでは弧の長さが異なるために内側の車輪と外側の車輪の回転数に差が生じてしまい、両端の車輪の回転数が同じだと曲がることができなくなってしまうことを指している。図 18 のように外輪のほうが内輪より進行距離が多いことがわかり、これが電車における内輪差となる。

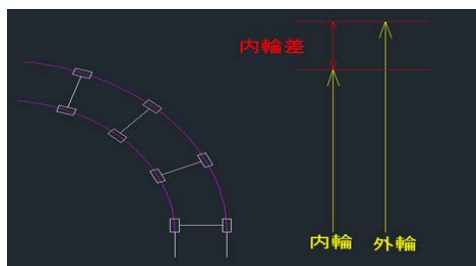


図 18 車輪の内外の移動距離の差

そのため、車輪の接触面がテーパ形状となっていると遠心力によって台車が外側に寄り、当たる位置によって円周が細かく変わりその差を小さくできる。実際の電車にも用いられている機構のため同様に加工を行った。

しかし、今回製作した曲線レールの半径が小さいため内外の円周差が大きいこと、模型の車輪での 3° の傾きでは車輪の円周差はほとんど変わらないことに加えて、傾きを大きくすると直進時での走行安定性が悪くなるため、このテーパ加工だけでは曲がることができないことを想定した。そこで、

片輪を軸とは固定せずにワッシャとボルトで抑えて独立して回転できる機構とし、両輪の回転数に差をつけることができる構造とした。

また、ワッシャで留める側の車輪は軸やワッシャと密着していると軸の回転が伝わってしまうため、図 19 のように軸とは、すきまばめにし、車輪端面とワッシャとの間にわずかに隙間を開くように設計した。

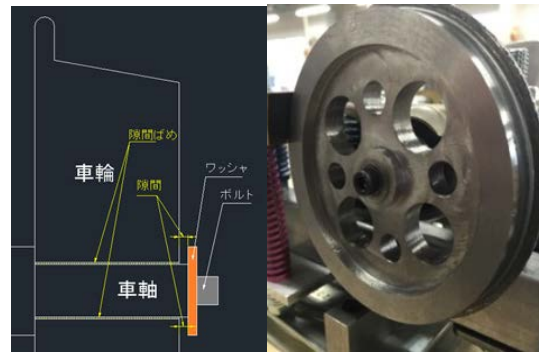


図 19 自由回転車輪

図 20 ワッシャ留めした車輪

11. 製作時での問題点

完成イメージは図 21 のようになり、完成品は図 22 のようになった。実際の製作では、ボルトを通すための穴の大きさの指示の不適や、加工による穴位置のずれが組立に大きな影響を与えたり、角パイプの穴の内側にできたバリ処理方法など設計の過程では想定していなかった問題も発生したが、人を乗せて走行するため、安全を考慮して厳しく点検し、合わない場合はすぐに修正と調整を繰り返して完成させた。

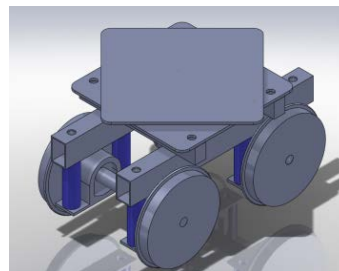


図 21 完成イメージ



図 22 完成品

12. 台車本体について

図 23 のように乗用台車は 2 台製作した。前車両にはブレーキがあるため、それぞれ大人 3 人と 4 人、子供であれば 4 人と 5 人ずつ乗車できるように検討したところ、全長が短いと乗る際に窮屈になってしまい、また、長すぎてしまうとコーナを曲がった時にバランスを崩し、脱線してしまう恐れがあるため、全長 1500 mm と 1800 mm が適正な長さであると判断した。図 24 のように底板に T 字型の同じ長さの木を組み立

て、作成した。左右の固定にはL字金具を取り付けた。左右同じ位置に取り付けてしまうと、ねじ同士がぶつかってしまうため、左右多少ずらして取り付けた。前後の固定は当初、T字型に沿って金具を取り付けて補強した。しかし、カーブに差し掛かった時に多少のぐらつきが生じ補強が弱かったため、最終的には面全体で補強することとし、デザイン性を向上させるという目的も含めてジグソーを使用し木材を切断して台形型の板を取り付けた。



図 23 乗用台車

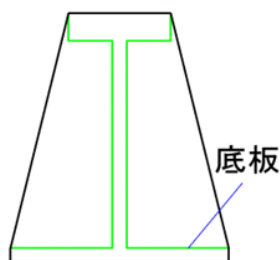


図 24 台車の構造

13. 塗装

今年3月で廃止となる北斗星をイメージして塗装部の配色を考え塗装を行った。主にスプレーを使用した。一度スプレーで塗装するだけでは一部色が薄かったり、濃くなってしまったり、ムラができてしまうためスプレーの塗装は何度も繰り返して塗装した。ベースは青色で、図 25 のように側面の金のラインや星形部分の塗装はマスキングテープをその形に切って貼り、ラインはスプレー、星形部分は刷毛を使用して塗装した。マスキングテープの貼りが弱く、テープの中に色が入り込み、重なってしまった部分はその上から塗り直そうとしたが、色が混ざってしまったため、あわてず一度色を落としてから新しく塗り直した。



図 25 側面のデザイン

14. 座席

座席部分を製作するにあたり、乗り心地をよくするため、クッション材を取り付けた。当初は、図 26 のように実習場にあるスポンジの使用を試みたが、柔らかすぎると判断し、図 27 のようにある程度厚みのある耐久性の高いスポンジを使用した。座席の長さに沿ってスポンジを切りその上に皮生地を覆いかぶせて金具で固定した。座席の上部分だけではなく図 28 のように横部分も乗る際の負担を軽減するため少しスポンジに切り込みを入れ、コの字型にし、乗車部分全体にクッションが当たるようにした。表面部分にしわをなくすため、最初に位置決めをしてから軽く仮止めをしたあと、さらに皮部分を引っ張ることによってしわがなく、図 29 のように見た目も良い座席部分が完成した。



図 26 実習場にあったスポンジ



図 27 実際に使用したスポンジ

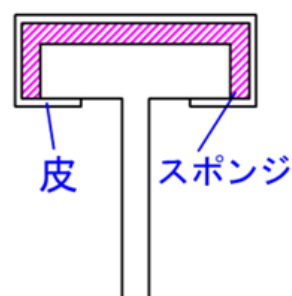


図 28 クッション構造



図 29 完成した座席

15. 手すり

前車両には操作盤を設置しているため、後部車両のみ手すりを取り付けることにした。当初、先に取り付け金具を台車に固定してから取っ手部分を取り付けようと試みたが、ねじを下から刺すような形になってしまい、台車本体が邪魔してしまうので取り付け金具と取っ手部分を固定してから台車本体に取り付けた。取り付け金具の高さが高いと固定しやすかったのだが、大人も子供も乗ることを考えて図 30 のように今回取り付けの高さが最適な高さと考えた。



図 30 手すり

16. ボギー台車の製作

16.1 ボギー台車

各車両にそれぞれ 2 台ずつ、製作部品は約 12 種類ほどだが、部品によっては数個作らなければならなかったのが、製作してみるとかなりの数になった。設計された 2 次元図面をもとに製作を始める前に、製作台数が多いため試作品を製作して確認することとした。簡単に切断、穴あけできる樹脂で試作品を製作し、干渉、不具合等がないか確認すると穴位置が干渉し、組立不能な箇所が見つかったり、指示された穴の大きさが大きすぎるなどの不具合が見つかったため、設計変更を行い改善することとした。このような作業を繰り返し行うことで、不具合箇所をなくして、図 31 のようにボギー台車の製作を完了させた。

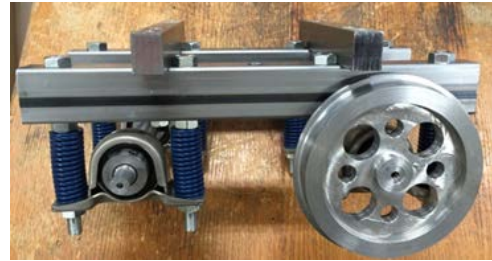


図 31 ボギー台車

16.2 ブレーキ

ブレーキを取り付けるにあたり、操縦席でも速度を制限できるが冗長性設計を採用しブレーキを取り付けることとした。冗長性設計とは、故障が発生したとしても、もう一つあるいはそれ以上の余分な手段を備えておき、機能が果たせるように工夫をほどこすことである。製作については、乗用台車の運転席側にブレーキを取り付けることとし、形状を設計する上で車輪の寸法が R50 のため、ブレーキの寸法も車輪と同じ R50 とし、車輪と木材との摩擦でブレーキをかける仕組みとした。レーザー加工機でブレーキを製作し、そこにバネとボルトを通しワイヤで運転席側まで繋げた。ワイヤを通す隙間が狭いのとワイヤの固定がしっかりと固定できていなかったため、ブレーキの制動が安定しなかった。そこで、フレームにガイドを固定することにより、これらを改善し図 32 のようにブレーキを完成させることができた。

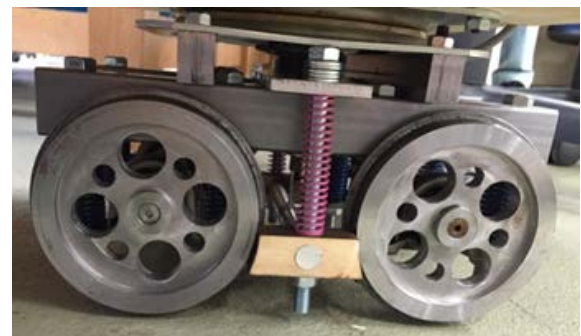


図 32 ブレーキ

16.3 連結器

連結器の役割として、引張力の伝達・連結の確実さ、容易な連結・解放、圧縮力と衝撃の吸収、左右・上下動への追従があり、今回のレールは、一般のレールと比べてカーブの際のコーナ半径が小さいため、安定した走行を目的としてスムーズな追従に重点を置き製作をはじめた。はじめは乗用台車に連結器を取り付け繋げてみたが、カーブを曲がる際にコーナ半径が小さく、台車間の干渉を避けるために連結器を長くするしかなく、スムーズに追従させるのが困難だったため、図 33 のようにボギー台車間に連結器を取り付ける構造とした。ボギー台車間の距離はカーブの際でも一定で変化がないため、連結器を取り付けてもスムーズに追従させることができた。



図 33 連結器

17. 中間発表後の調整

17.1 ブレーキ

図 34 のようにバネ定数の異なるものを数種類用意しそれぞれ取り付け、ブレーキをかける時の反発や速度を落としていくかどうかを確認しバネを選定し直した。

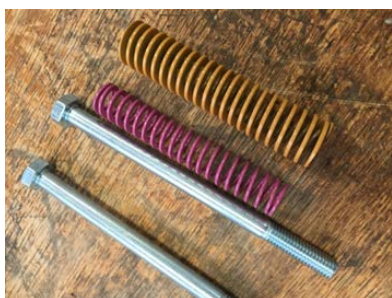


図 34

17.2 サスペンション

走行安定性と乗り心地を向上させるため、図 35 のようにサスペンションを取り付けた。実際の最適バネ高さは乗車して判断しなければわからないので、数種類のバネを用意してテストした。当初は 55mm の高さにセッティングしたが、テストを重ねることで 50mm の高さに調整すると、最も安定することがわかった。



図 35 サスペンション

18. モータの選定について

今回の構想は大人 7~8 人程度 (台車込 600kg) を乗車させて走行する事を想定し、モータを選定した。

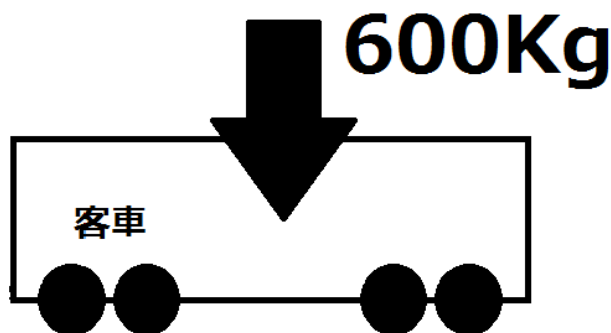


図 36 客車の重量

乗用車側のけん引力を求めるには、 $F = \mu mg \times 1.3$ でけん引力を求める。 μ は転がり摩擦係数で 0.01 とした。 m は客車の総質量 600kg で g は重力加速度 9.8。始動抵抗は走行抵抗の 1.3 倍として計算した。この数式に値を代入し、けん引力を求めると 78N となった。

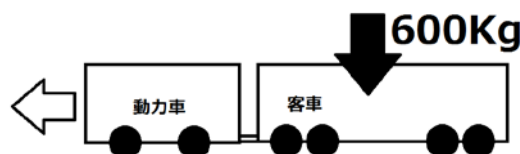


図 37 動力車のけん引

動力車に必要なけん引力 78N を発生させるための車軸上の荷重は、 $m = \frac{F}{\mu'g}$ で求める。 F は 78N。 μ' は車輪とレール

間の摩擦係数 0.2 とした。これを数式に値を代入し荷重を求めると 39.8kg となり、約 40kg の荷重をかけることにより必要なけん引力が発生してもスリップ等なく走行できると考えられる。

次に車輪のトルクを求めていく。車輪の直径を大きくするとモータにかかる負荷が大きくなる。今回の構想では動輪の直径を 100mm とする。車輪のトルクは動力車のけん引力 (F) × 動輪半径 (mm) / 1000 で求められる。式に値を代入しトルクを求めると 3.92Nm となる。これをモータ 2 つで駆動すると考えると、1 つ当たり 1.96Nm となる。

次にモータのトルクを求めていく。今回の構想では減速比を 1/5 とした。モータのトルクは車輪のトルク Nm × 減速比 1/5 で求められる。式に値を代入し値を求めると 0.392Nm となる。

モータの選定にはトルクだけではなく速度も考えなければならない。最適なバランスを得るためにはギアの減速比で決まる。今回の構想ではモータの回転数を 2500min^{-1} で減速比を 1/5 とする。速度は、回転数 $\times 2\pi r \times$ 減速比で求められる。式に値を代入し値を求めると 157m/min となり、時速 9.4km/h となる。

次に動力を求めていく。式は $P=2\pi NT/60$ となる。この式に値を代入し値を求めると約 100W となった。

このことにより、100W モータを 2 つ使用することで 600kg の台車をけん引することが可能と判断した。

実際に台車に 3 人 (80kg+80kg+70kg) + 台車 30kg の約 260kg をバネばかりで始動抵抗、走行抵抗を測定した。測定結果を表 1 に示す。

測定結果の平均 (10 回測定)	
始動抵抗	走行抵抗
$3.2 \times 9.8 = 31.36(\text{N})$	$1.3 \times 9.8 = 12.74(\text{N})$

表 1 測定結果の平均

この結果を 600kg 換算したものが表 2 となった。

600kg 換算した結果	
始動抵抗	走行抵抗
$6.6 \times 9.8 = 64.68(\text{N})$	$2.6 \times 9.8 = 25.48(\text{N})$

表 2 600kg 換算した結果

始動抵抗は最初に計算した乗用車側のけん引力の値に近い値になった為、モータの選定に問題はなかったと判断した。

19. 動力車の構想について

19.1 フレームと機構



図 38 駆動部のフレーム

今回の構想では、図 38 のように乗用台車で使用したボギー台車及びフレームをベースに設計・製作を行った。

人が乗る構想にしていけないので、バネを使わずに、軸受を固定する金具は六角ボルトとナットで挟む形で固定するようにした。モータからの動力を車軸に伝える為に、デファレンシャルギアを使用し、4 輪とも動力を伝える構造とする為、モータ側からの動力をベルト駆動で伝導することにした。

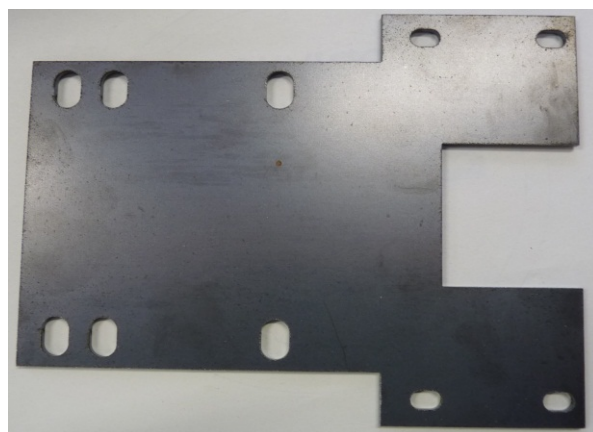


図 39 モータ取り付け金具

モータと台車を固定するために図 39 のように厚さ 3.2mm の鉄板で固定金具を設計した。

フレームの設計に当たり、ベルト駆動にするうえで、車軸間距離を 146mm から 150mm に変更し設計を行った。

19.2 電源と制御盤

モータを制御するにあたって電気エネルギー制御科の先生の下、図 40 のように操作盤を製作した。リレー回路を使って前進や後進、急停止を出来るようにし、スピード調節や電圧・電流計を取り付け、走行をより安定するようにした。



図 40 操作盤

19.3 車両本体のデザインと制作



図 41 デザインの参考画像

今回デザインしたのは、図 41 のように今年の 3 月に廃止になる「北斗星」をイメージし、設計・製作を行った。

モータを回転させる為の 12V バッテリーを 2 台と、制御盤を設置するための場所を作るため、今回は前後にバッテリーを置き、中間に制御盤を置く設計にした。制御盤からモータの線を取り付けるため、底板に穴を開けて線を通した。

本体は加工の関係で木材を使用し、角材を柱として各角に L 字金具で固定し、ベニヤ板をレーザー加工機で加工し側面に釘で固定させた。前後の屋根はベニヤ板をレーザー加工機で加工し、位置がずれないように内側に角材を接着剤で取り付けた。中間の屋根は図 42 のような骨組みをレーザー加工機で加工し、薄いアルミ板を骨組みに合わせながら手曲げをし、接着剤で固定した。

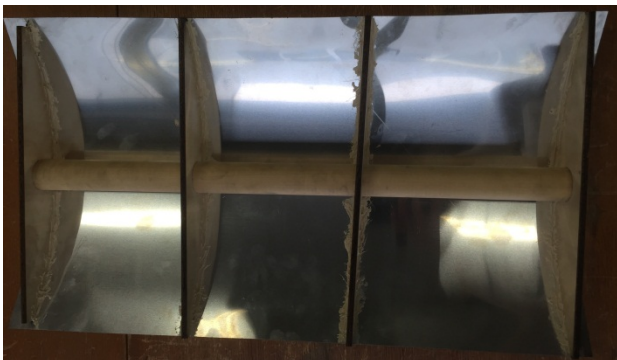


図 42 中間屋根の骨組み

塗装はスプレーで行い、最初に青色を塗り、その上からマスキングテープを使い金色のラインやマークを塗装した。

装飾は針金やベニヤ板を使用し、図 43 のようにヘッドマークやプレートはベニヤ板をレーザー加工機で加工し、細かいパーツを塗装した後、接着剤で組み立てをした。骨組みは針金で寸法通りに手曲げをし、針金同士を接着剤で固定し制作した。



図 43 ヘッドマーク

本体への取り付けは、ヘッドマークは底板の裏面に金具で固定させ、側面の装飾は針金が入る程度の穴を開け接着剤で固定させた。前方にはライトを 2 つ取り付け、車載カメラを取り付けるために直径 27mm の穴を開けてカメラで撮影可能にした。完成図を図 44 に示す。



図 44 完成図

20. 試験走行と耐久走行

20.1 試験走行について

試験走行中に発生した問題はいくつかある。1 つ目は発進する時に急激に速度を上げると、車輪が空回りする問題が発生した。これは遅く発進すれば問題ないことがわかった。2 つ目はカーブを走行する際、速度を上げて走ると脱線する問題が発生した。これはある一定以上（操作盤で 30%）速度

を出さなければ脱線しないことが分かった。3 つ目は脱線時にモータがレールと接触し、脱線の勢いでモータの取り付け金具が曲がってしまう問題が発生した。この問題に関しては、脱線しないよう安全運転をすることにしたが、解決案としては、取り付け金具の板厚を厚くすることで解決するのではないかと考察した。

20.2 耐久走行について

イベント等で使用する為、バッテリーの耐久走行も行った。速度は約 3km/h（人がゆっくりと歩く程度）で走行し、10 周毎に車両に問題がないか点検した。結果は、台車 2 台をけん引し、運転手を乗せて 160 周（約 8.6km）走行しても問題ないことが分かった。しかし、車両点検をしている際に問題が発生した。車両の連結部のナットが走行中の振動によって緩んでしまう問題が発生した。これはダブルナットでしっかりと固定することで外れないことがわかった。

21. 動力車のボギー台車

21.1 デファレンシャルギア

動力車も乗用台車と同じくボギー台車を用いるが、乗用台車では車軸と片側の車輪を固定し、片側の車輪をフリーにすることによりカーブの内輪と外輪の差に対応させることができるのに対して、動力車ではモータからの動力を伝えながら内輪と外輪の差に対応しなければならなかったため、図 45 のようにデファレンシャルギアを採用した。



図 45 デファレンシャルギア

デファレンシャルギアはリングギア・サイドギア 2 つ・ピニオンギア 2 つで構成されており、通常時はモータからの動力を受けリングギアとピニオンギア・サイドギアを収めた枠が一緒に回り、カーブ時など片側に負荷がかかるとピニオンギアが互いに逆に回転し、回転差を吸収することで左右独立した回転ができるようになっている。また、デファレンシャルギアの車軸は 2 つに分かれていないと機能しないため、乗用台車に使われている車軸をそのまま使うことはできないので、図 46 のように個別に設計を行い製作した。

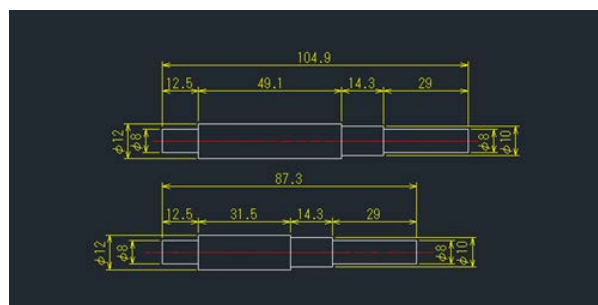


図 46 デファレンシャルギア用車軸

また、デファレンシャルギアの噛み合わせは緩すぎると動力の伝達に支障が出て、硬すぎるとモータに負担がかかり回路の保護機能が作動し、モータが停止してしまうため適切な噛み合わせに調整する必要がある、何度も試験走行をしてその都度調整していった。

21.2 ベルト駆動

動力車は 2 台のボギー台車から成り立っており、1 台に 1 個モータを搭載した。また、デファレンシャルギアからの動力をベルトで伝達し 4 輪とも動力を伝える構造としたため、車軸にプーリーを取り付け、従属側の車輪が左右独立した回転になるよう、従属側の車輪の片側とプーリーを車軸と固定し、もう片側の車輪とプーリーを固定し軸に対して回転できる構造とした。また、図 47 のようにプーリーを取り付けるために車軸の両端を延長したものも設計・製作した。

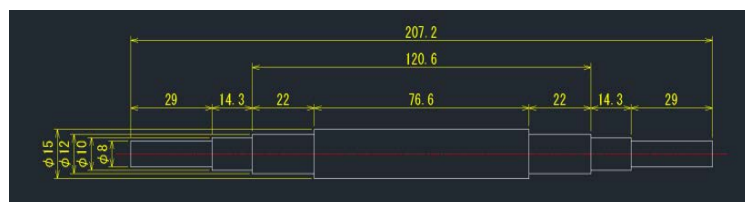


図 47 両端を延長した車軸

試作の際には軸間距離が短くベルトが張らず駆動時にベルトがプーリーと噛み合わさらずに弾いてしまい動力の伝達がうまくいかなかったが、図 48 のように軸間距離を当初の 146mm から 150mm に調整することにより改善することができた。

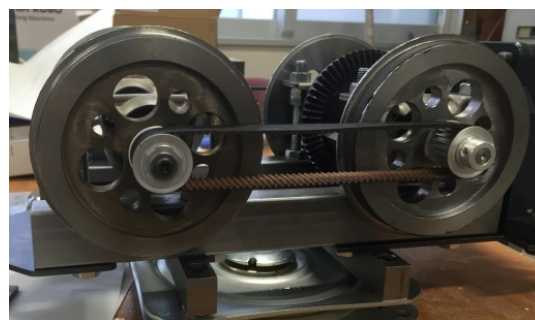


図 48 軸間距離を 150mm にした際のベルト

プーリーと軸の固定には止めねじを使用していたが、荷重がかかった際に滑ってしまい固定しきれないため、軸側にも穴をあけ、止ねじを軸まで通して固定することで解決した。また、車軸両端にベルトを付けたためデファレンシャルギア側の車軸が両端から引っ張られ、真直にならなくなってしまい、デファレンシャルギアの噛み合わせに支障をきたしていたが、軸受けとホルダ間にズレが生じないように調整したり、軸受けホルダを固定する金具のねじ穴を長穴にして微調整できるようにするなどで解決した。

21.3 モータ取り付け金具

モータのボギー台車への取り付けは鉄板を使用することとなり、試作段階では3.2mmの鉄板をレーザー加工機で切り取り、図49のようにL時に曲げてそこにモータを取付けボギー台車と組み合わせる方法で製作を行ったが、鉄板を曲げた際にずれが生じて正確な寸法が出にくい、完全な90°に鉄板を曲げるのが難しい、ギアの噛み合わせの調整がしにくいなどの問題が出たため変更となった。



図49 試作時の取り付け金具

その結果、図50のようにモータ付属の金具を3.2mmの鉄板と組み合わせて製作した金具で取り付けることとした。また、鉄板にあける穴は長穴にして組み付け時のモータのギアとデファレンシャルギアのかみ合わせの左右のずれを調整できるようにした。

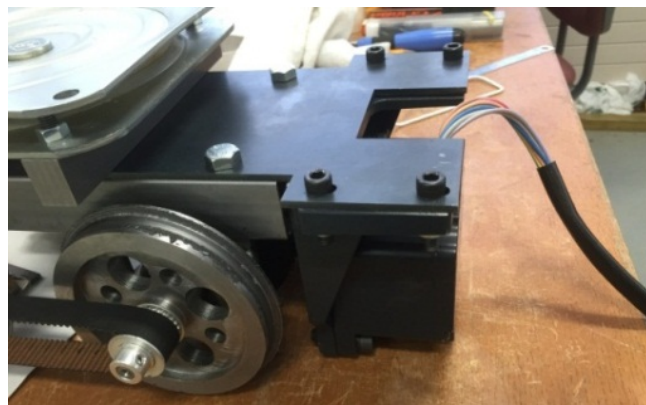


図50 ボギー台車・モータと組み合わせた金具

また、金具の3.2mm分、ボギー台車のフレーム部分と回転盤取付け部分の片側に隙間が発生し動力車本体との組み合わせに支障が出るため反対側にワッシャーを3.2mmの厚さ分挟むことで解決した。

21.4 回路・配線について

モータの制御回路を車体内部に配置するために制御基板を固定する台とバッテリーを置くスペースを用意した。モータを駆動させるための回路はモータ付属の制御基板を使用し、電気エネルギー科の先生の指導を受け、図51のようにリレー等を使用し回路を組んだ。

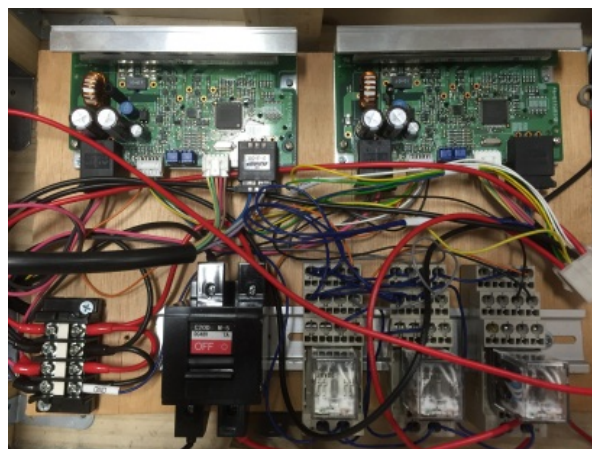


図51 モータ制御回路

制御基板はモータ1つにつき1つで、モータが互いに違う向きに取り付けられているため回転方向が逆になるので、片側のモータを逆回転になるように回路を組む必要があった。また、運転用の操作盤を用意し、動力車後部の乗用台車に操作盤を着脱可能にするための金具を図52のように取り付けた。



図 52 操作盤を取り付ける金具

21.5 操作盤

操作盤も同様に指導を受け作成し、前進・後進の切り替え、ブレーキ・警笛・スピード調節などの機能をつけ、電圧計・電流計を取り付け走行時の電圧・電流の異常にいち早く気付けるようにした。また、操作盤のカバーはレーザー加工機で製作を行い、図 53 のようにメンテナンスをしやすいように一部を開閉可能な作りになっている。

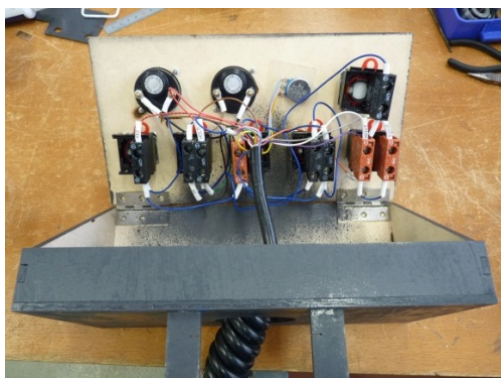


図 53 操作盤配線

操作盤製作の途中では 1 つの機能を回路に追加すると回路の一部を作り替えなければ正しく機能しなくなることがあったため何度か回路の組み直しを行いました。

21.6 ボギー台車フレーム

もともとボギー台車は軸間距離 150mm で設計されていたが、台車のフレームとネジの頭が干渉してしまうため 146mm に変更して製作されていたが、ベルトの張り合わせの調整のために軸間距離を 150mm に戻さなければならなくなり、そのためフレームとネジの頭が干渉する問題を解決する必要性ができたため、図 54 のようにフレームの干渉する部分をフライス盤で削り取り、干渉を防ぐことで問題を解決した。

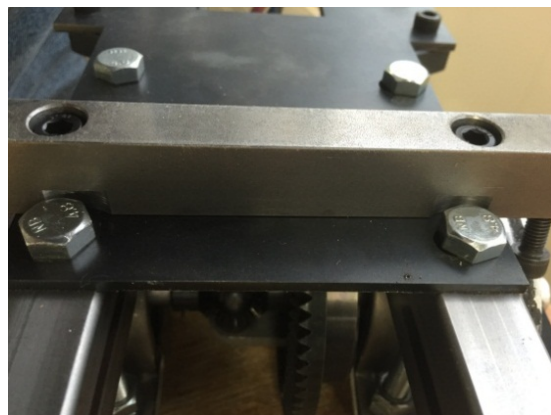


図 54 改良後のボギー台車フレーム

21.7 動力車荷重

動力車本体とバッテリーの重さだけでは走り出す際の摩擦力が不足し、車輪が滑ってしまうため 12 個で 20.4kg 分の重りを製作し 6 個ずつバッテリーの下に敷き詰めることで重さを確保した。

22. おわりに

約 1 年の総合製作実習で、電気機関車の製作を行ってきました。レールの製作からスタートし、電気機関車の製作に入るまでに約 3 ヶ月かかりました。そしていざ電気機関車の製作に入ると、設計の段階で苦労したり、干渉・不具合の連続で次のステージに進めないなど、数多くの苦難を体験しました。こうしたものづくりの難しさを前に、班全体で協力することですこしずつ解決していき無事製作を終えました。製作に関しては、レーザー加工機、NC 工作機械、旋盤、ボール盤を主に使い作業を進めました。設計チームと製作チームに分かれ、それぞれが協力して行えたことで 1 年という短い期間で完成までもっていかれたとおもいます。今回の経験をこの先の応用課程進学後や、就職に活かしていきたいです。



図 55 実際にイベントで使用した駅表

課題実習「テーマ設定シート」

作成日：11月14日

科名：生産技術科

教科の科目		実習テーマ名	
総合制作実習		電気機関車の製作	
担当教員		担当学生	
生産技術科 稲木 謙嗣			
課題実習の技能・技術習得目標			
電気機関車製作を通して、汎用・NC加工技術・CAD/CAM技術、組立・調整技術等の総合的な実践力を身に付けるとともに、構想・設計、メカニズムの理解を通して、設計能力の向上を図ることを目標とします。			
実習テーマの設定背景・取組目標			
実習テーマの設定背景			
実際の動作の仕組みを目で見て確認することができます。また、力学の基本的な知識から導き出せる設計要素も多く、直接メカニズムに触れることが少ない現在の環境の中、制作を進めながら「モノづくり」の面白さや発展性を理解するとともに、学生自ら考える力を向上させることを目標とします。			
実習テーマの特徴・概要			
今回の実習では電動の動力車、乗用台車、レールの製作を行います。動力車はモータで駆動させるだけではなく、機関車を狭い空間内で安全に走行させるため、駆動部に差動歯車（デフ）を使用した構造に工夫しています。乗用台車はきついコーナーでも脱線しない工夫を行います。レールは、直線レールと曲線レールを治具等活用し、手曲げ、溶接等で製作します。			
No	取組目標		
①	個人毎に目標を掲げ、その目標の達成に向かって創意工夫して取り組みます。		
②	図面通りに製作し、各種性能の確認を行います。		
③	想定した動作が行われなかった場合には、問題を分析し、その問題の解決に取り組みます。		
④	課題を通して、汎用・NC加工技術力の向上を目指します。		
⑤	組立て調整により、安全走行を実現する。		
⑥	5S（整理、整頓、清掃、清潔、躰）の実現に努め、安全衛生活動を行います。		
⑦	報告書の作成、製作品の展示及び発表会を行います。		
⑧	実習の進捗状況や、発生した問題等については、担当教員へ報告します。		
⑨			
⑩			