

電動台車“ついてくるルンルン”の開発

1. はじめに

来年で80歳になる僕の一人暮らしの祖母は、前に買い物の帰りにキャリーバッグを引いて、「手がふさがった状態で転んで、顔を打って怪我をしてしまう」ということがあった。その事を聞いたとき、僕は「手が塞がらない荷物を運ぶもの」を作ればよいのではないかと思った。例えば新聞の束やゴミを収集所に運んだり、ペットボトルなど重たいものを自動で運んでくれる台車があったら便利ではないだろうか。20kg位の荷物を自動で運べる図1のような台車を開発しようと思った。

2. 動作方法

スイッチ一つで送信機を持っている人と一定の距離を保ち、自動でついてくることを目標にする。

送信機の動作: 定期的に超音波を出す。

受信機の動作: 送信機による超音波と距離をもとに動く。

送信機の出す超音波をどのように処理してどのように進むか。まず、本体の左右に超音波センサーをつける。その様にするると、まっすぐの時に、左右に来る超音波の信号にずれが出ずに、傾くと距離に差が出るので信号のずれが出る(図2参照)。そして、それだけだと方向だけなので、目標までの距離も必要だ。距離を出すには、シャープの赤外線測距モジュールを使う。それにより、目標までどのくらいかという情報を得ることができる。目標距離より現在の距離が長かったら前進して短かったら後退、傾いていたら、距離が短いほうのモーターの速度を遅くし、方向を補正する。

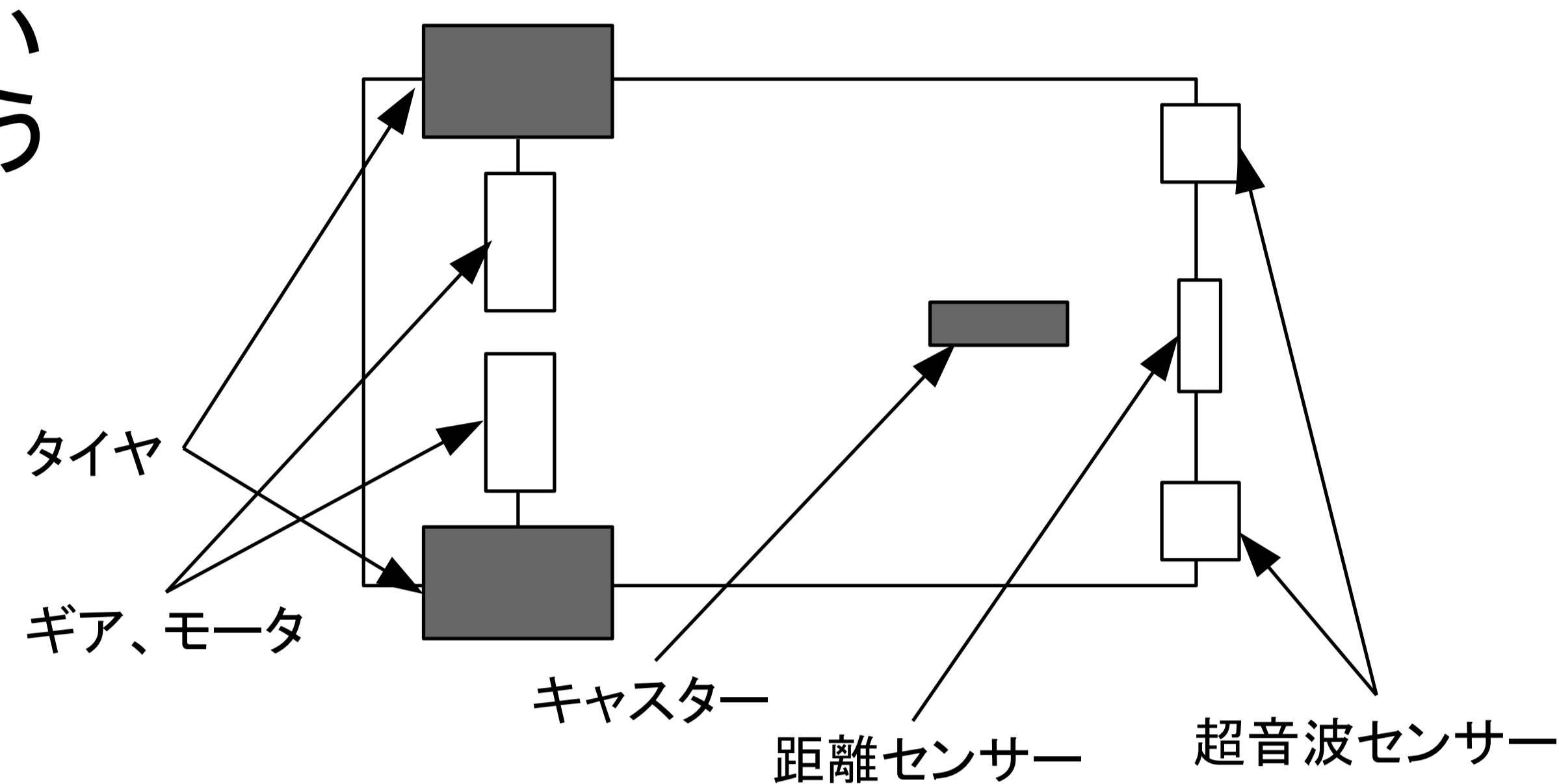


図1: 本体の部品配置

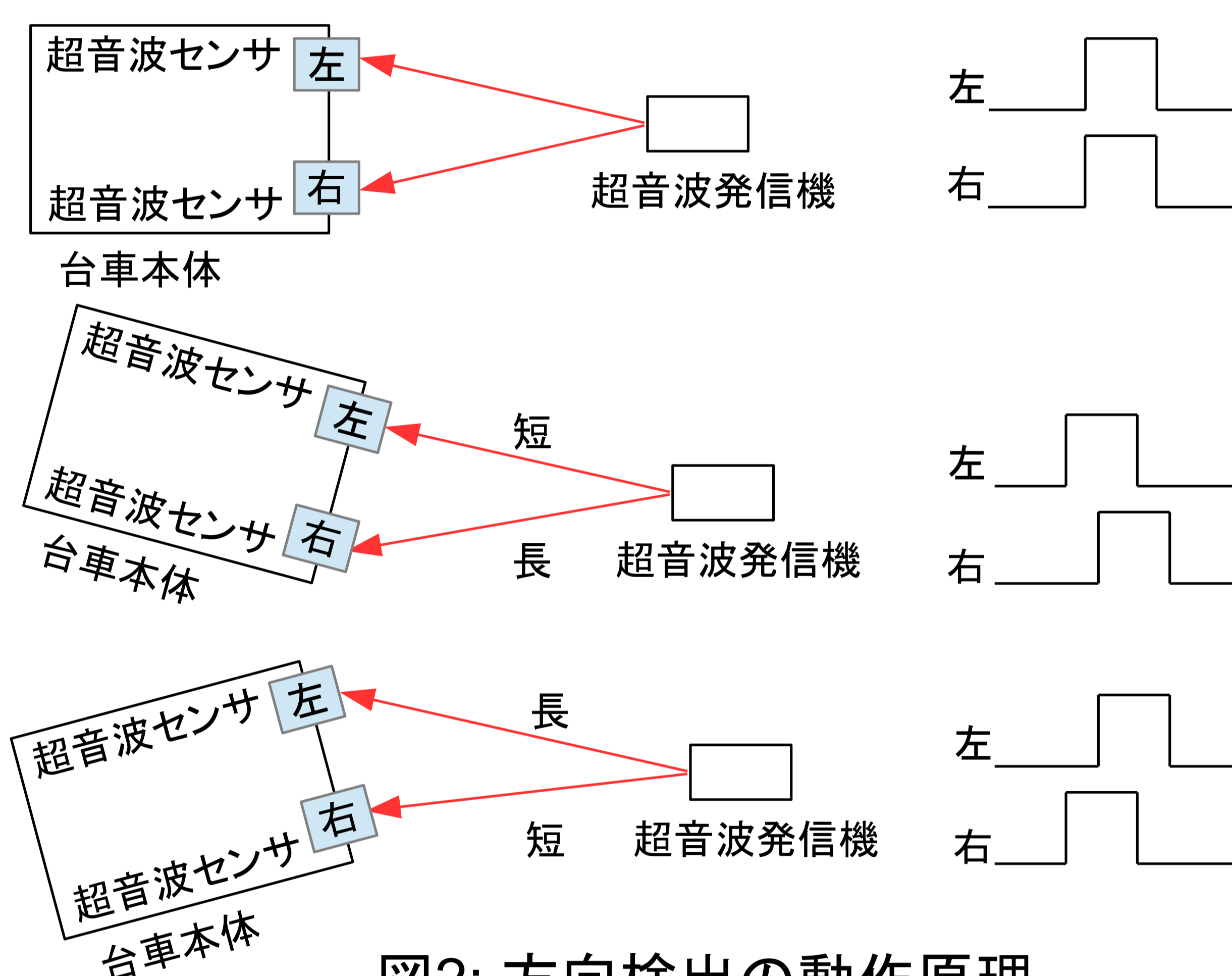


図2: 方向検出の動作原理

3. 設計と製作

上の原理に従って図3,図4の回路図を製作した。送信側は定期的に超音波を出すだけなので、世界最小レベルのマイコン[PIC 10F200]を使った。5Vのロジックだと、超音波スピーカーには弱すぎるので、2つの出力ピンをそれぞれ逆方向にON/OFFさせることで5Vのロジックで、10Vの出力を得ることができ、超音波スピーカーを駆動できている。本体側のマイコンはプログラムの書き易さからArduino Nanoを選択した。超音波センサーが超音波を受けたら、オペアンプにより1段目で100倍、2段目で22倍、合計で2200倍にしている。

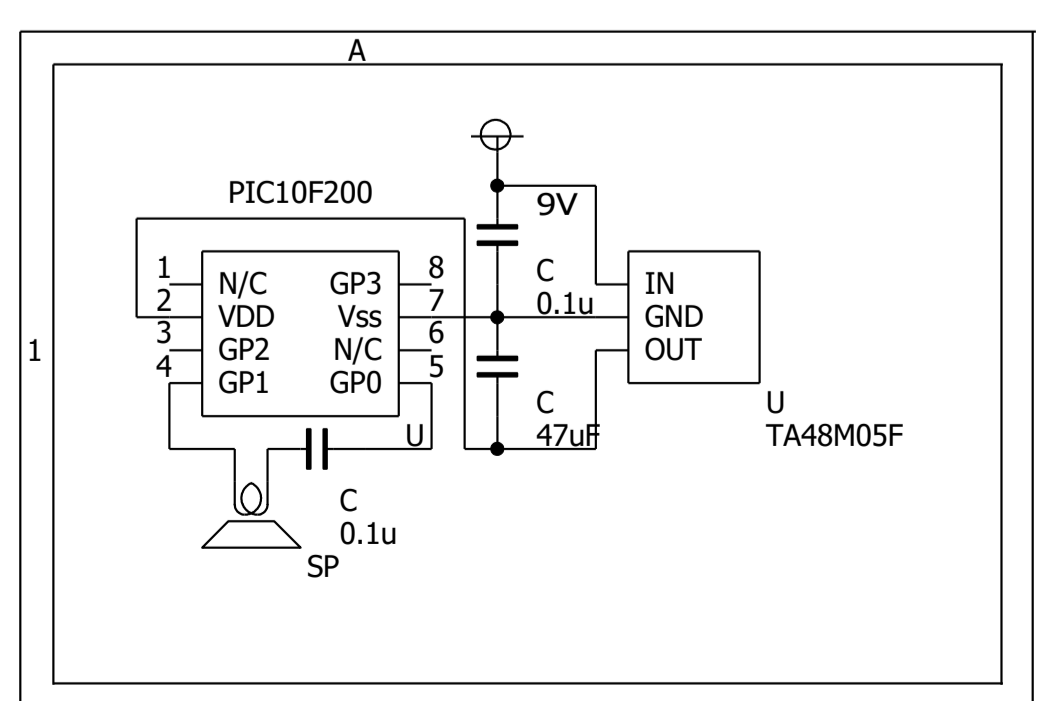


図3: 送信側回路図

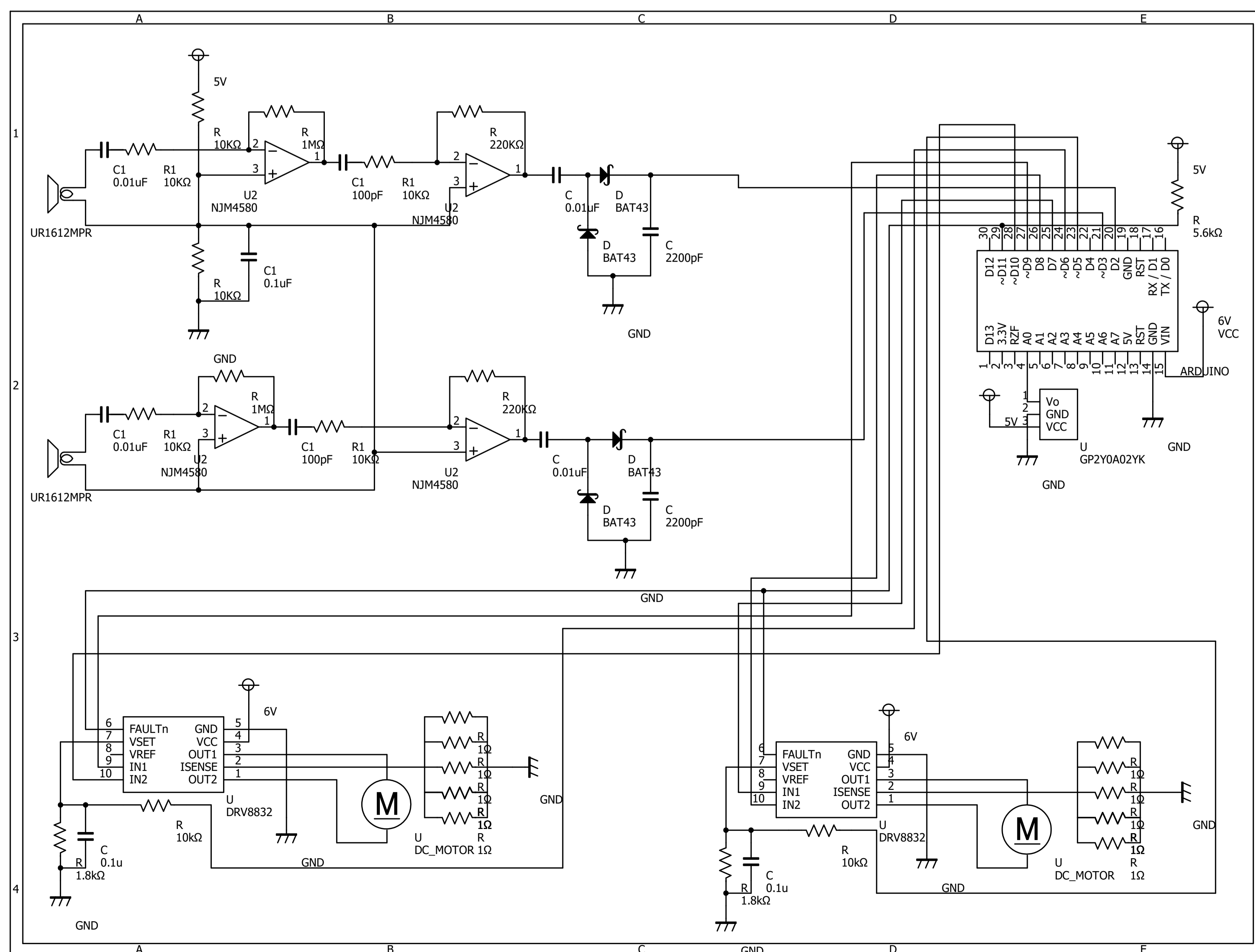


図4: 本体側回路図

そして、このままだと交流なので、整流する。そして、マイコンのデジタル入力に接続する。距離センサーは、マイコンのアナログピンに接続した。モーターは直接マイコンで駆動できないので、モータードライバ[AE-DRV8832]を使って2つのモーターをそれぞれ制御する。正転・逆転を制御するためのIN1/IN2をマイコンのデジタル出力に、速度を制御するために、VSETピンをマイコンのPWM出力に繋いだ。そして、モータードライバーのエラー検出ピンのFAULTnをマイコンのデジタル入力ピンに繋いだ。

送信側のプログラムは、長さ1msの40kHzの信号を100ms周期に送っている。

受信側のプログラムは、超音波の信号を受け取ったら割り込みに入って、時間を取得。メインのループのほうで、2つのセンサーの値の時間差を算出し、距離センサーの値とも照合し、次の式でモーターを制御している。

左モーターの速度 = 距離 - 時間差

右モーターの速度 = 距離 + 時間差

4. Troubleshooting

製作で起きた問題とその解決方法について次の表にまとめた。

項番	問題	原因	解決方法
1	超音波センサーが一回信号を検出したら、レベルが下がらない	2200pFのところを22000pFにしていた	コンデンサと並列に33kΩの抵抗を入れて早く放電するようにした
2	Arduinoに、超音波センサーのアンプの出力をつないだら0のままだった	電圧不足で1と判定しなかった	コンパレータ代わりに同じオペアンプNJM4580を入れた
3	同じオペアンプをコンパレータとして使ったら変な波形が出た	オペアンプが0Vに近い入力で出力を反転してしまうオペアンプだった	コンパレータ代わりにオペアンプをNJU7043に変更した
4	プログラムが検出した超音波の時間差がおかしい	反射波まで拾って超音波を2回検出していた	一度検出したらしばらく(6ms)検出しないようにプログラムを書き換えた
5	モーターを普通にモータードライバー越しに動かしたらモータードライバーがエラーを出した	原因不明	エラーを検出した時にIN1/IN2を0にすることで、エラーを解除するようにした
6	超音波の発信機からの超音波が途切れると、距離が目標値にならない限り止まらない(予想)	切れると、最後の値で動き続ける(予想)	最後に取得した超音波の信号が古い場合は停止するというプログラムに書き換えた
7	床に本体を置いたら動かない	トルクが足りない	ギア比を80:1から400:1に変えた
8	モーターが動くときに、Arduinoのパワーランプが明るくなったり暗くなったりし、モーターがガタガタと動く	電圧降下のせいかArduinoにリセットがかかっている	マイコン/センサー系とモーター系を別電源にした
9	タイヤを固定しているナットがすぐに取れる	振動や軸が回転する力によるものと思われる	スプリングワッシャーとネジ固定剤を入れた。
10	自分に向けて走らせていると勢いがありすぎて怖い	近づいた時の速度が速すぎる	PWMの値を半分にした

項番	問題	原因	解決方法
11	後退の時に遅い	10番の時の対策が、元々遅い後退にも有効になっていた	プログラムで後退の場合は例外にし、その例外の場合はPWMの値を倍にした
12	後退の時に左右にガタガタと動く	角度に影響され過ぎていた	角度の影響を半分にした
13	全速の時に進む方向が変わらない	左右に差があっても最大値が255のため、差がなくなっていた	左右の差が保たれるように、プログラムを変更した

以上の修正を加えた回路を図6に、プログラムを図7に示す。

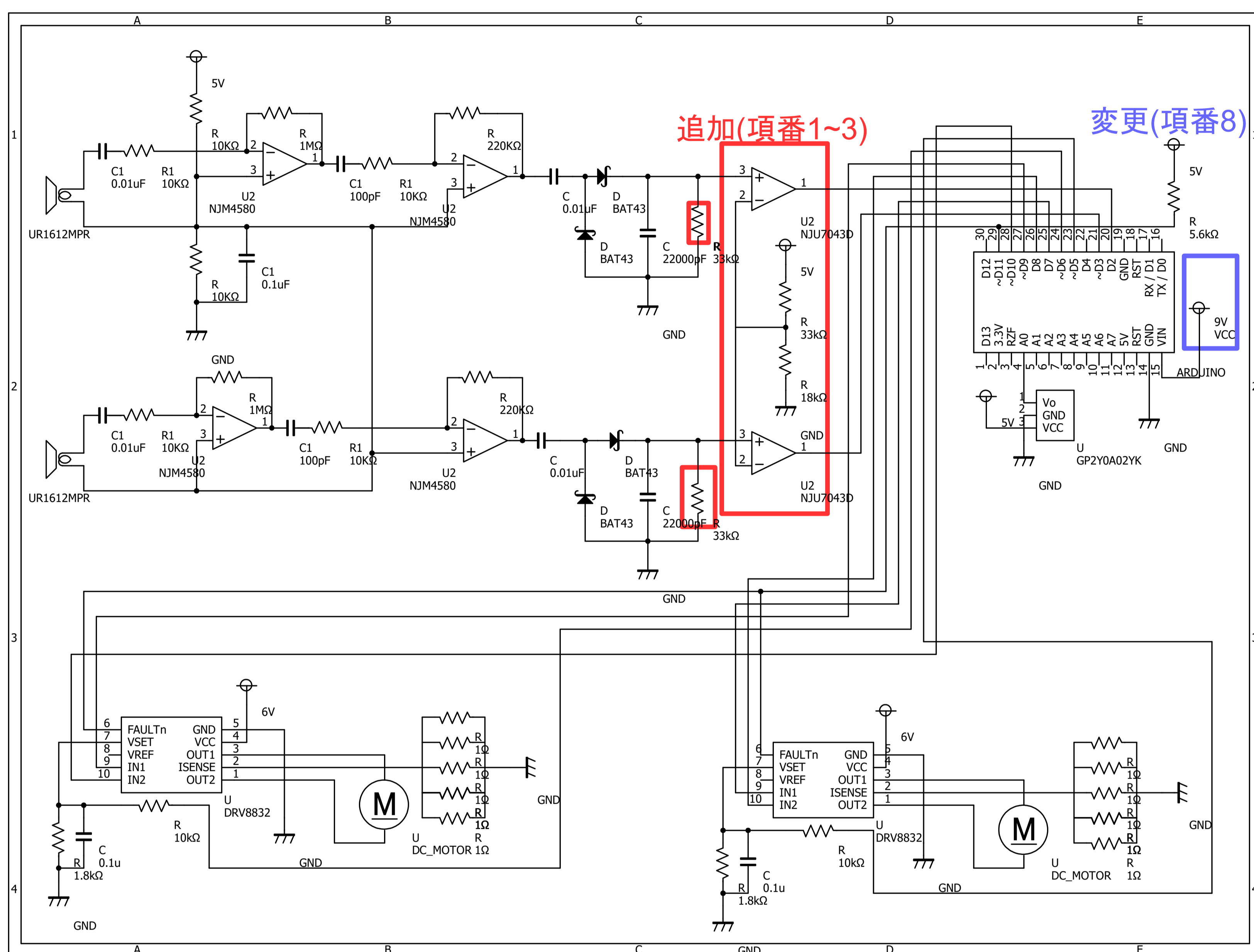


図6: 修正後の回路図

```
void sensor1up(){ /* 割り込み */
  unsigned long time;
  time = micros();
  if(time > time1 + 6000){ /* 項番4の対策 */
    time1 = time;
  }
}

if(kyori > 0){ /* 項番10番の対策 */
  PWML = (kyori - timesa) / 2;
  PWMR = (kyori + timesa) / 2;
}else{ /* 項番11番と12番の対策 */
  PWML = kyori * 2 - timesa / 2;
  PWMR = kyori * 2 + timesa / 2;
}
/* 項番13番の対策 */
maxpwm = max(PWMR, PWML);
if(maxpwm > 255){
  PWMR = PWMR - (maxpwm - 255);
  PWML = PWML - (maxpwm - 255);
}
```

図7: 修正後のプログラム(一部)

未解決の問題と、対策案を以下の表にまとめる。

項番	問題	原因(予想)	対策案
1	足の間の隙間から、距離センサーが距離を取得してしまうと、距離が遠いと判定されぶつかってくる	距離センサーの検出範囲が狭い	距離センサーの数を増やして検出範囲を広げる
2	後ろ向きになると反対方向に進みだす	後ろからの超音波であることを検出できない	超音波センサーを後ろにもつけて、後ろ側のセンサーのほうが、信号の到達が速かったら回転して戻る
3	狭いところに入ると動かなくなる(距離が短いとその場で回転するプログラムになっているはずなのに動かない)	原因不明	
4	重い荷物が載せられない	モーター・ギアの強度とパワーの限界	モーター・ギアをもっと丈夫でパワーのある物に変える

5. まとめ

今回、超音波・距離センサーによる追尾・停止することができる電動台車ができる。方向を超音波で検出するのは今回の実験で予想以上にしっかりと測定出来て、超音波は向きを取得するのに向いているのではないか、と思った。トラブルの解決の過程で、最初のプログラム・回路ではできなかった動作の殆どができるようになった。

だが、当初の目標であった20kgを運ぶ事については、今回のギアボックスの最大のトルクが出るギア比(400:1)でも、その10分の1の2kgしか運べなかった。これは、予算と頑丈なギア・モーターがあれば、更に重い物を持ち運べるものができると思う。未解決の問題項目1の距離センサーの視野が狭いという問題は、超音波の反射で距離を測定すれば、解決するかもしれない。それに、未解決の問題項目2の後ろからの超音波センサーを検知できないというのも、最初からそのようなことが起きるであろうと推測できていれば、このような設計にはならずにもそれも可能だっただろう。今後、今回の経験を生かし、様々な場面で色々な人の役に立つ機械・プログラムを作っていきたいと思う。