



CQ インバータ・キット 2

組み立て説明書

(Ver. 1.3)

CQ出版社

ご使用前に必ずお読みください。

製品を安全にご使用いただき、人命や財産への損害を未然に防止するための説明です。

 警告	この表示の内容を無視した取り扱いをすると、人が死亡または重症を負う可能性が想定される内容であることを示しています。
 注意	この表示の内容を無視した取り扱いをすると、人が負傷を負う可能性が想定される内容および物的損害の発生が想定される内容であることを示しています。

警告

- ★本インバータ・キットは、ブラシレス DC モータのインバータの構造・動作原理を学習するために設計・作製されたものです。プログラムをカスタマイズすることで理解を深める事が可能です。しかし、不適切なプログラムによる意図しない誤動作や接続のミスなどによって製品の故障、生命に関する事故や火災が発生する可能性があります。その事をご理解いただき、本製品使用の際は使用者自身の判断で十分な安全対策を実施してください。
- ★本製品を説明書と異なる組み付け方法、部品の変更、改造を施して動作させた場合、部品の破裂や火災が起こる可能性があります。電源を接続する前に説明書のチェック・リストを参考にして、組み付けに間違いがない事を十分に確認してください。特にマイコン基板へのコネクタの誤挿入、電源の逆接続には注意してください。
- ★本製品の組み立てには、はんだ付け作業が必要です。はんだごてのこて先温度は非常に高温です。火傷・火災の原因となる恐れがあります。はんだごての取扱説明書をよく読み、使用方法や注意事項をよく理解し、下記内容を守って作業を行ってください。
 - ・加熱状態のはんだごてを不用意に放置しない。
 - ・引火性の液体やガス等を取り扱う場所では作業をしない。
 - ・加熱状態のはんだごては、専用のこて台に置き、電源線は通路近くへ配置することは避ける。また、体や物が当たってこて台から脱落しないように配置する。
 - ・はんだごては電源を切った後も、十分に冷却されるまで目の届く安全な場所に置く。
 - ・付近に人がいる場合は、はんだごてが加熱状態である事と危険性を十分に周知する。お子様が付近にいる、または往来する可能性がある場所では作業を行わない。
 - ・十分な喚気がされている場所で作業を行う。
 - ・保護メガネ、マスクを着用する。
 - ・作業後は必ず手を洗う。
- ★下記に該当する方、及びその方の付近での使用は、生命に関する事故の原因になる恐れがあります。
 - ・操作や危険性が理解できない方、お子様や認知症、またはその疑いのある方。
 - ・心臓ペース・メーカー、その他生命維持装置や医療機器等、電磁波ノイズに影響を受ける可能性のある装置を使用している方。
- ★下記の状態での取り扱い・使用は、火災の原因になる恐れがあります。
 - ・モータをロックさせた状態や過負荷での連続運転。
 - ・ガソリン・灯油・シンナーなどの可燃性の液体・可燃性ガスの近くでの作業及び使用。
 - ・接続ミスや設定ミス、部品の誤った組み付け。
 - *部品が破裂、発火する可能性があります。
- ★下記の状態での取り扱い・使用は、感電・漏電や火災の原因になる恐れがあります。
 - ・コイルやワイヤ・ハーネス(電線)の絶縁被覆が傷ついている。
 - ・水などに浸けたり、水などをかけたりする。
 - ・製品が濡れた状態での使用。
 - ・濡れた手での作業。
 - ・基板や端子を適切に絶縁せずに使用。 (例)導電性のゴミが落ちている机に基板を直置き。
 - *電子部品の入った青い袋は導電性です。基板や端子に袋が接触した状態で使用しないでください。

⚠注意

★怪我を防止し、安全にご使用いただくために、必ず下記内容をお守りください。

- ・モータを運転する際には固定台へしっかりと固定し、固定台は机など安定した台に固定する。
- ・部品の鋭利な箇所にご注意する。
- ・ニッパやカッタ等の工具を使用する際には、工具の取扱説明書をよく読み注意して作業する。
 - ＊怪我の予防のため（保護メガネ、手袋等）保護具を着用することを推奨します。手袋を使用する場合は、巻き込まれの心配がない作業に限って着用してください。
- ・感電の恐れがあるため通電中や電源遮断直後の除電が不十分なインバータには触れないこと。また回転中のモータに触れたり異物を入れたりしない。
 - ＊モータやインバータに触れる際は、安全を十分に確認してから行ってください。
 - ＊本製品は教育・学習用の組み立てキットであり、安全のための機構やフェール・セーフ機能は限定されています。使用者の自己の責任において安全に配慮して使用してください。
 - ＊調整や加工等の作業をする際は必ず、主電源を切って下さい。また、基板に電荷が残っていないことを確認してください。

★下記環境での保管は故障の原因になる恐れがあります。

- ・ストーブや直射日光の当たる場所等、熱源近くの高温になる場所
- ・凍結の可能性のある低温の場所
- ・振動や衝撃のかかる場所
- ・腐食性ガスがある場所
- ・高湿度の場所
- ・塵や埃が多い場所
- ・自動車の車内

目次

第1章 本キットを組み立てる前に	1
第1節 本キットを組み立てるにあたっての注意事項.....	1
第2節 本キットでのモータ制御方法について	3
第1項 ブラシレスDCモータ.....	3
第2項 3相ブラシレスDCモータの構成.....	3
第3項 ホール・センサIC.....	3
第4項 MOSFET.....	3
第5項 半導体スイッチによる転流.....	4
第6項 120° 矩形波駆動.....	4
第7項 PWMによる速度調整.....	5
第3節 本キットのマイコン基板の仕様.....	6
第1項 マイコン基板 STM32 Nucleo-64.....	6
第4節 メイン基板	7
第5節 FETの損失	8
第1項 損失とは.....	8
第2項 主な損失の種類.....	8
第3項 オン抵抗損失.....	8
第4項 スイッチング損失.....	9
第5項 ダイオード損失.....	9
第6節 ゲート・ドライブ IC.....	10
第7節 DC-DCコンバータ	10
第2章 インバータ・キット部の組み立て	11
第1節 はんだ付け作業の注意	11
第2節 メイン基板の作製手順	12
第1項 部品一覧.....	12
第2項 抵抗を実装する.....	12
第3項 ピン・ソケット38Pの実装.....	14
第4項 セラミック・コンデンサを実装する.....	14
第5項 ダイオードを実装する.....	14
第6項 ゲート・ドライブICを実装する.....	15
第7項 アルミ電解コンデンサを実装する.....	16
第8項 DC-DCコンバータ実装.....	17
第9項 ジャンパピンとコネクタの実装.....	17
第10項 ヒューズの取り付け.....	18
第11項 FETの取り付け.....	19
E) FETをはんだ付けする.....	21
第12項 リード線の取付け.....	22
第13項 センサ線の取付け.....	23
第14項 ボリューム(可変抵抗器)の接続.....	25
第15項 トグルスイッチ(MAIN_SW, DIRECTION)の接続.....	25
第16項 メイン基板完成.....	26
第3章 組み合わせ.....	27
<<注意>> 電源につなげる前の「チェック・リスト」 ..	28
第4章 動作確認.....	29
第1節 用意するもの	29

第2節 モータ・キットとインバータ・キットの接続.....	29
第3節 確認手順	30

第1章 本キットを組み立てる前に

第1節 本キットを組み立てるにあたっての注意事項

本インバータ・キットは、モータ・ドライバ基板、マイコン基板、放熱板から構成されます。これらをすべて組み立て接続し、サンプル・プログラムをダウンロードすれば、すぐにモータを駆動できるのが特徴です。CQ ミニカーなどの小型電気自動車走行にも活用できます。

STM32 Nucleo ボードを搭載しており、Mbed 開発環境に対応しているので、開発環境をインストールしなくても USB ケーブルで PC と接続するだけでプログラミングが可能です。STM32 Nucleo-64 boards シリーズの基板なら、そのまま差替えて使えます。(ボードによって若干ピン配置が違うので事前に確認して接続してください。)

<注> 本キットには、モータ駆動用の電源は含まれていません。特に動作確認の際は破損と事故防止の為、電流制限機能を持つ「**直流安定化電源**」の使用を強く推奨します。

【全体注意事項】

- 1) 本商品はプラスレス DC モータ用インバータの製作を体験、学習するための部品キットです。
- 2) 授業、実習、講義等でご使用の際は指導者の注意、作業指示を守って作業してください。
- 3) はんだ付け作業にあたっては、火傷(やけど)をする危険があります。はんだ付け作業の安全指導をうけ、指導内容を守って作業してください。
- 4) 加熱状態のはんだごてを不用意に机上に置くと、物が焦げ、さらには火災が発生する危険があります。安全な置き台を用意し、加熱状態のままその場を離れないように注意してください。
- 5) ニッパ等で部品を切断する際、破片が飛ぶことがあります。保護メガネを使用してください。
- 6) はんだ付けの際に発生する煙は有害です。換気を心掛け、防塵マスクを着用してください。作業後は手を洗ってください。
- 7) 試運転にあたっては、モータ本体を確実に固定して(モータ固定台に付けて)ください。
- 8) モータは高速で回転します。回転部分を触ったりつかんだりすると怪我をする可能性があります。

補足【電源に関する注意事項】

動作確認の際は必ず**安定化電源**を使用し、電流値を適切に設定してください。

電源として**バッテリー**を使う場合、安定化電源と違って**放出するエネルギーに制限が掛けられません**。最悪の場合発火し、火災を引き起こす可能性があります。バッテリーを使用する前に安定化電源で十分確認を済ませてください。接続する際には**極性**、電圧に注意して使用してください。また、**バッテリーの端子はむき出しのまま放置しない**でください。導電性の工具などが落下した際に破損、火災の危険があります。

マイコン基板部品表

カテゴリ	リファレンス	仕様	QTY.	備考
マイコン基板	—	NUCLEO-F302R8	1	Nucleo-64 boardsSTM32F302R8

モータドライバ基板部品表

カテゴリ	リファレンス	仕様	QTY. ハイグレード	QTY. エコノミー	備考
メイン基板	—	170mm×150mm	1		メイン基板(面実装部品のみ実装済み)
コンデンサ	C14,C15,C16,C19,C20,C21	10μF 25V	6		ゲート駆動 IC 用積層セラミック・コンデンサ
	C26,C27,C28,C30,C31,C32,C33,C29	820μF 63V	8	4	電源平滑用アルミ電解コンデンサ
ダイオード FET	D16,D17,D18	200mA 100V	3		ファスト・リカバリ・タイプ ブートストラップ回路充電用
	Q1,Q2,Q3,Q4,Q5,Q6	高性能	6	0	ロットによって型番が変わる事があります。 (TO-247AC パッケージ)
	Q1,Q2,Q3,Q4,Q5,Q6	安価	0	6	
ゲートドライバ IC	U3,U4,U5	ハイ・サイド電圧 600V ゲート電圧 10V~20V 電流 (ソース/シンク) 1.9A/2.3A	3		IR21834PBF (14-Pin DIP パッケージ) ハイ&ロー・サイド駆動ゲートドライバ
DC-DC コンバータ	U1	3W 12V 250mA	1		ATA00B18-L 制御系電源 12V 生成用(入力範囲 9~36V) または、同等品(SPBW03F-12 等)
		DCDC 基板	1		DCDC 実装用基板
抵抗	R47,R48,R59,R60, R69,R70	22Ω	6		ゲート電流制限抵抗
	R51,R52,R63,R64,R73,R74	1MΩ	6		ゲート・プルダウン抵抗
	R34,R35,R36	68kΩ	3		デッドタイム調整用抵抗(68kΩ:2us, 47kΩ:1.5us)
ジャンパ	JP1,JP2,JP3,JP4	3ピン・ピンヘッダ	4		機能選択用ジャンパ
メス・ソケット・ コネクタ	CN1,CN2	2.54mm ピッチ 38-Pin	2		マイコン基板接続用
	P1,P2,P3,P7	2ピン・コネクタ	4		B2B-XH-A
	P4,P5	3ピン・コネクタ	2		B3B-XH-A
	P6	5ピン・コネクタ	1		B5B-XH-A

基板外部品

カテゴリ	名称	仕様	QTY. ハイグレード	QTY. エコノミー	備考
ヒートシンク	ヒートシンク	A5052,t4	1	0	
	放熱シート	TO-247 用	6	0	ハサミでカットして使う
塩ビカバー	透明塩ビ・カバー	透明塩ビ、t3	1	0	
六角スペーサ ワッシャ ねじ	六角スペーサ	M3x7	4	0	ヒートシンクと基板の接続、黄銅オスメス
	六角スペーサ	M3x30	0	4	基板の足 黄銅メスメス
	六角スペーサ	M3x30	4	0	基板と塩ビ・カバーの接続、黄銅またはジュラコン オスメス
	座金付 M3 なべねじ	M3x6	8		メイン基板固定用、DCDC 基板固定用
	座金付 M3 なべねじ	M3x10	6		FET 固定用
座金付 M5 なべねじ	M5x8	7		電線固定用、ヒューズ固定用	
ヒューズ	FUSE	100A	1		自動車用ボルト・マウント
動力線	BATT+, GND	自動車用薄肉低圧電線 AVS-5	500mm		BATT+(赤), GND(黒)
	U, V, W	自動車用薄肉低圧電線 AVS-5	300mm		U(赤), V(白), W(黒)
圧着端子	BATT+,GND,U,V,W	5.5sq, M5 用	5		電線にカシメて使用する
絶縁キャップ	BATT+,GND,U,V,W	5.5sq 用	5		圧着端子に被せる
ハーネス類	スイッチ用ハーネス	2芯ハーネス、XHP-2 付	2		トグル・スイッチを付けて使用する
	ボリューム用ハーネス	3芯ハーネス、XHP-3 付	2		ボリュームを付けて使用する
	センサ用ハーネス	5芯ハーネス、XHP-5 付	1		センサ基板に接続する
	トグル・スイッチ	ON-OFF	2		メイン・スイッチ用、正転・逆転スイッチ用
	ボリューム	10kΩ, B カーブ	2		アクセル用、回生ブレーキ用

第2節 本キットでのモータ制御方法について

第1項 ブラシレス DC モータ

このモータ・キットで製作するのは「アウト・ロータ型ブラシレス DC モータ」です。ブラシレス DC モータ (Brushless DC Motor) とは、DC モータのブラシ(Brush)と整流子(Commutator)を半導体に置き換えたもので、同期モータ(Synchronous Motor)の一種です。特性は、DC モータと同様にモータ電圧に比例した回転数と、モータ電流に比例したトルクを発生します。

このモータの一般的な通電方式としては、「120° 矩形波駆動」と「180° 正弦波駆動」があります。正弦波駆動は家電などに広く用いられていますが、この解説では、エコラン/ソーラーカー用モータの制御に広く採用されている120° 矩形波駆動についてご紹介します。

第2項 3相ブラシレス DC モータの構成

図 1-1(a)に 3 相ブラシレス DC モータの基本的な構造を示します。このモータは内側のステータ(鉄心とコイル)が静止したまま周りのロータ(ヨークとマグネット)が回転します。このように回転部分であるロータが外側にあることからアウト・ロータ型と呼ばれます。ロータの両側に N 極と S 極のマグネットが配置され、コイルは三つそれぞれ 120° おきに配置されています。三つのコイルをそれぞれ U 相、V 相、W 相と呼び、中心(中性点)で結線されています。

図 1-1(b)の状態のモータに U 相端子から V 相端子に向かって電流を流すとします。このときコイルの右ネジの法則(注1)から U 相ポールの外周側は N 極、V 相ポールの外周側は S 極に磁化します。逆に電流を流すとそれぞれの N 極と S 極が入れ替わります。この原理を利用して外周のマグネットを吸引、反発を繰り返すことでロータを回転させることができます。

第3項 ホール・センサ IC

ブラシレス・モータでは第2項で解説したようにロータ(マグネット)とステータの位置に対して適切なコイルに適切な向きの電流を流す必要があります。ブラシレス・モータではこの回転位置の検出にホール・センサ、エンコーダ、レゾルバなどが使われています。

ブラシレスモータキット用センサ基板に採用しているホール・センサ IC は、ホール素子を用いた非接触の磁気センサの一種です。ホール素子はホール効果という物理現象を利用して磁気を検出するための半導体で、ホール・センサ IC にはこのホール素子のほかに電源回路や増幅回路などが内蔵されています。

ブラシレスモータキット用センサ基板に付属のホール・センサ IC(Melexis 製 US4881)は、電源電圧 2.2~18V/オープン・コレクタ出力型です。その出力はプルアップしてマイコンに入力します。印刷面に N 極のマグネットを近づけると“H”レベル、S 極を近づけると“L”レベルとなりマグネットを遠ざけても直前の状態を保持(ラッチ)します。また磁界の変化中には約 2~6mT(ミリテスラ)のヒステリシス特性を持っています。

第4項 MOSFET

MOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)は金属酸化絶縁膜電解効果トランジスタの頭文字をとった名前です。MOSFET には大別すると「P チャネル」と「N チャネル」と呼ばれるタイプがありますが、この項では本キットで使用している N チャネル・タイプについて解説します。

MOSFET の回路図記号を図 1-2 に示します。三つの端子はそれぞれ D: ドレイン、G: ゲート、S: ソースと呼びます。ゲートに加える電圧が作る電界によって半導体中を流れるキャリア(電子)の量を制御します。一般のバイポーラ・トランジスタと同じように電子スイッチや信号増幅用として広く利用されています。

モータ駆動などに使われるパワー MOSFET には、通常図 1-2 のように D-S 間

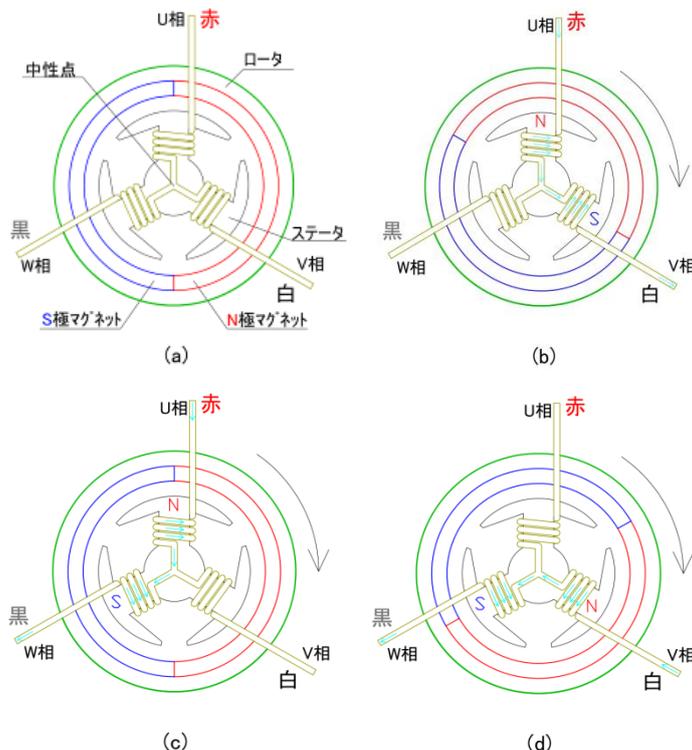


図 1-1 3相ブラシレス DC モータ基本構造と動作

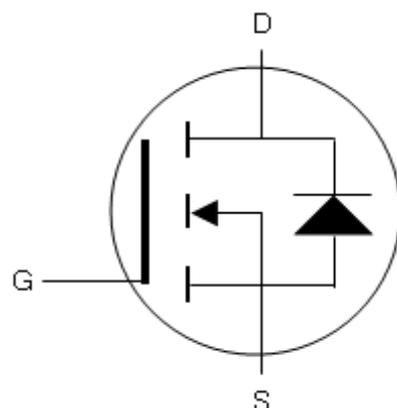


図 1-2 N チャネル・パワー MOSFET の回路図記号

注1 右手を握って親指を立てたときの 4 本の指を電流が流れる向き、親指を磁界の向きと考える。

に寄生ダイオードが形成されています。このダイオードは内蔵ダイオードやボディ・ダイオードとも呼ばれ、モータ駆動時にはモータの逆起電流を流すフリーホイール・ダイオードとして重要な役割を果たします。

簡単に動作の解説をします。ゲートとソースの電位に差がない状態ではドレインからソースに向かう電流は遮断されています。逆にソースからドレインに向かう電流はボディ・ダイオードを通して流れることができます。例として照明(ランプ)のスイッチとして動作させる場合を想定します。ソース端子を接地しドレイン側に+電源に接続されたランプを繋ぎます。ここでドレインからソースに向かう電流は遮断されている状態なのでランプは消灯状態となりますがゲート端子に電圧を加えることによって、ドレインからソースに向かう回路でスイッチを入れるように導通させることができます。つまりゲートに加える電圧によって照明などを点灯・消灯させる制御ができるということです。

第5項 半導体スイッチによる転流

まず、一般的なDCブラシ付きモータ駆動によく用いられる「Hブリッジ回路」を図1-3に示します。

図1-3中のMはDCブラシ付きモータです。図のようにFETをスイッチとしてモータの上段と下段にそれぞれ二つ用意します。①のスイッチと④のスイッチを同時にONさせると青い矢印のように電流が流れ、モータが回転します。逆に②のスイッチと③のスイッチを同時にONさせるとモータに対して先ほどとは逆に電流が流れ、モータが逆回転します。これだけでモータを正逆回転させることができるのは、ブラシ付きモータの中にブラシと整流子が存在し、機械的に回転角度に応じて適切なコイルに適切な方向に電流を流す「転流」を行っているからです。

第2項で述べたようにブラシレス・モータを駆動させるためには、回転角度に対して適切なコイル電流を流す必要があります。ブラシ付きモータと違いブラシレス・モータの場合は、ブラシと整流子の役割をホールICによる回転角度検出とFETのスイッチングで実現します。ではモータ・キットを例に挙げてセンサ位置、センサ入力パターンとFETスイッチング・パターンを考えてみます。まずブラシレス・モータを駆動するために図1-4の回路を用意するとします。

図1-4は3相のフルブリッジ回路です。モータよりも電源に近い(図で上側の)三つのFETを「ハイ・サイドFET」と呼び、逆にGNDに近い側(図で下側の)三つのFETを「ロー・サイドFET」と呼びます。この回路によってモータの「U-V」、「V-W」、「W-U」間に電流の向きを変えて6パターンの通電が実現できます。

第6項 120° 矩形波駆動

ロータが図1-1(b)の位置にあるとき、V相がS極となればマグネットのN極を吸引し、S極を反発してロータが矢印の向きに回転することがわかるのでモータ電流は小さな矢印のように流す必要があります。つまり図1-4①U相ハイ・サイドと⑤V相ロー・サイドをONさせます。ロータが60°回転し、図1-1(c)の位置になったらU相をN極にする必要がありますが、前回の通電ですでにN極となっているのでスムーズに電流を流すことができます。コイルは一度電流を流すとその方向に流れ続けようとする性質があるため、瞬間的に逆方向に電流を流すことができないためです。前回の通電でV相をS極にするためにW相→V相ではなくU相→V相に電流を流したのはそのためです。このことから次の通電にあわせてV相の通電をやめ、W相に切り替えます。つまり、U相ハイ・サイドはONのまま、W相のロー・サイドをONさせます。同じように図1-1(d)のようにW相のロー・サイドをONしたままU相のハイ・サイドをOFFし、V相のハイ・サイドをONさせます。こ

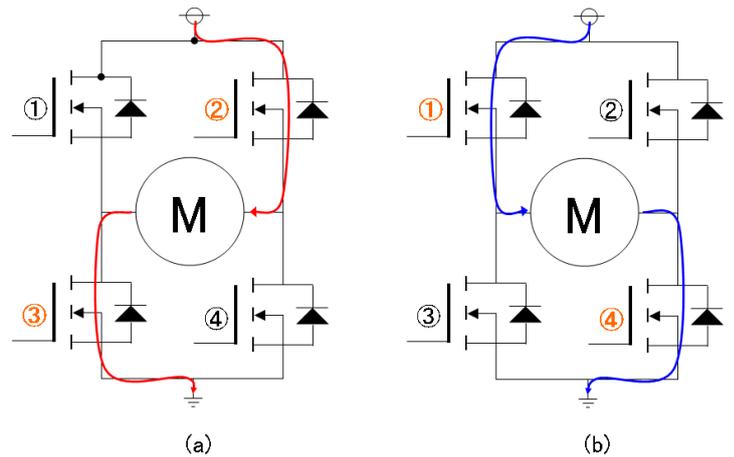


図 1-3 DC ブラシ付きモータ駆動 Hブリッジ

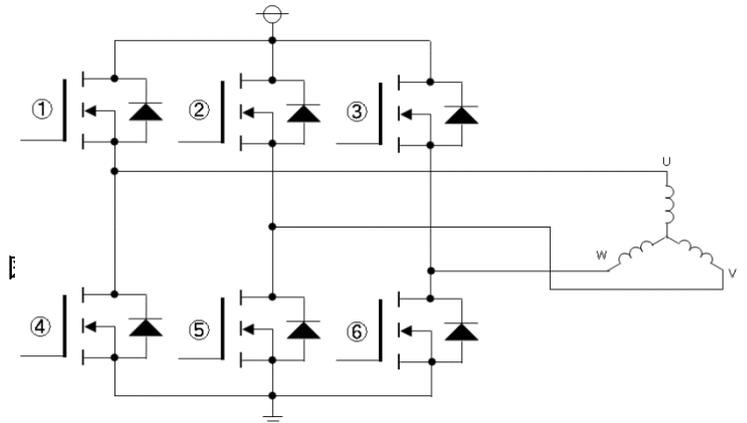


図 1-4 DC ブラシレス・モータ駆動 3相フルブリッジ

図1-4①U相ハイ・サイドと⑤V相ロー・サイドをONさせます。ロータが60°回転し、図1-1(c)の位置になったらU相をN極にする必要がありますが、前回の通電ですでにN

表 1-1 真理値表

ホールIC			出力信号					
U	V	W	UH	UL	VH	VL	WH	WL
0	0	1	0	0	0	1	1	0
0	1	0	0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	1	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0	0	0	1
1	0	1	1	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	1	0	0	1

のようにモータが360° (注2)回転するうちに、一つの相は120°の区間通電し、加える電圧波形が矩形波であるので、120°矩形波通電と呼ばれています。

以上のことを踏まえてセンサ入力に対するスイッチング・パターンをタイミング・チャートと真理値表に直すと図1-5、表1-1のようになります。図1-5のタイミング・チャートは、三つのセンサからの信号に対して、ハイ/ロー・サイドとU/V/W相の六つの出力を切り替えています。ここで1~6の番号はモータの電気角360°を60°ごとに分割して表しています。この図1-5を見れば、それぞれの出力で120°通電している様子がわかります。

表1-1は三つのセンサの“H”レベル(1)，“L”レベル(0)と六つの出力の“H”レベル(1)，“L”レベル(0)とを対応させた一覧表になります。

組み立てたブラシレス・モータに対して、この通りに通電すればモータは回転をはじめます。

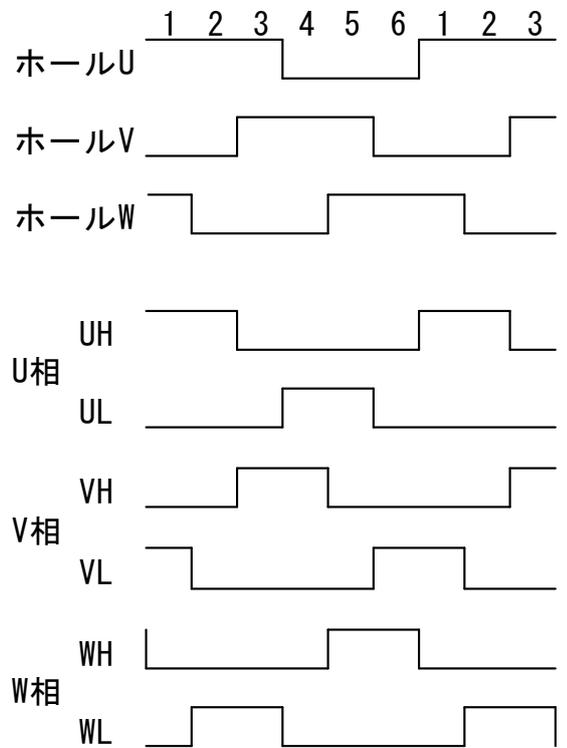


図 1-5 タイミング・チャート

第7項 PWMによる速度調整

PWM(Pulse Width Modulation), つまりパルス幅変調は負荷に対して高速にON/OFFをスイッチングする制御法です。スイッチングを行う周期を「キャリア周期」, ON時間とOFF時間の比を「デューティ比」といいます。PWMは、このデューティ比を変えることによって、等価的に出力電圧をデューティ比に比例した電圧に下げるという手法です。モータはインダクタンス負荷なので図1-6のように置き換えられます。ここでFETを高速にスイッチングすると電圧は断続的になりながらも、フリーホイール・ダイオード(FET内部の寄生ダイオード)の作用により電流は連続的に流れます。

ボリュームの入力によってデューティ比を変えることにより、モータへ入力される電圧が制御されてモータの速度調整ができます。

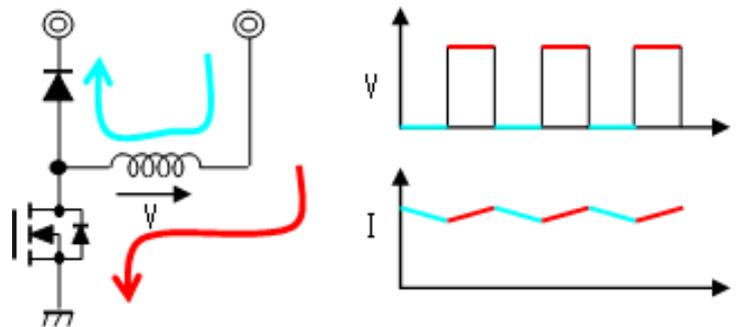


図 1-6 インダクタンス負荷のスイッチング

注2 この360°は電気角といい多極のモータはこの回路がいくつも入っているためモータ1回転の360°と電気角360°が同一とは限りません。

第3節 本キットのマイコン基板の仕様

第1項 マイコン基板 STM32 Nucleo-64

本キットでは、STマイクロエレクトロニクス製 32bit マイコンボード STM32 Nucleo-64 シリーズを採用しています（詳細は表 1-2 を参照）。このボードに搭載されているマイコン STM32F302 は、72MHz で動作する Arm® Cortex®-M4 コア（FPU および DSP 命令対応）を搭載した ミックスド・シグナル・マイコンで、以下の特徴があります。

- 最大 4 つの超高速コンパレータ（25ns）
- 最大 2 つのプログラマブル・ゲイン・オペアンプ
- 12bit DAC
- 最大 2 つの超高速 12bit ADC（5MSPS）
- カウント・クロック 144MHz の高速モータ制御タイマ（タイマ分解能 7ns 未満）
- USB FS インタフェースおよび CAN 2.0B 通信インタフェース

標準でデバッグ基板を搭載しているので USB ケーブルで PC と接続するだけでプログラミング、デバッグが可能です。

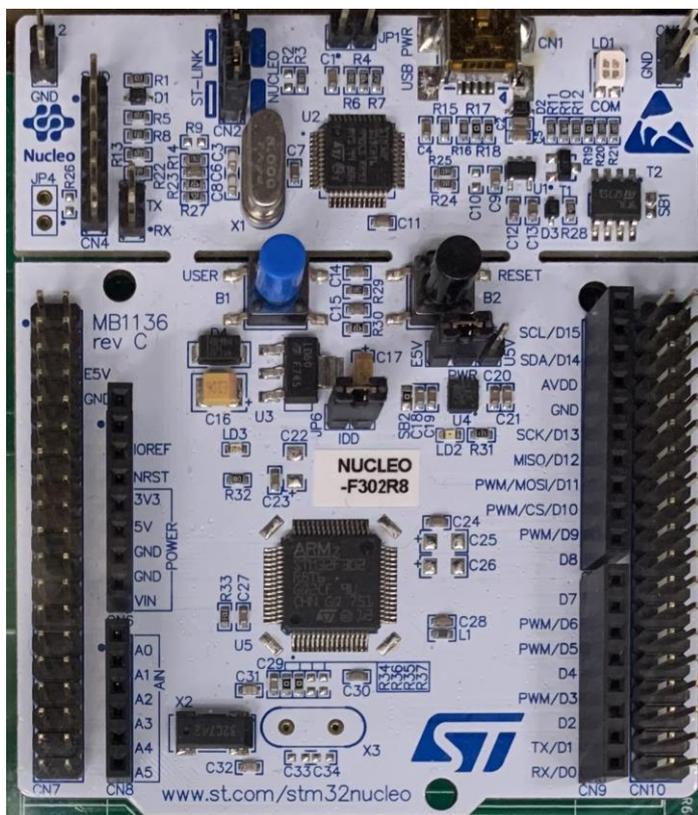


図 1-7 マイコン基板

表 1-2 概略仕様一覧

品名	シリーズ	STM32 Nucleo-64
	型式	NUCLEO-F302R8
端子	メイン端子	38 ピン・ピンヘッダ X2
	Arduino シールド	Arduino UNO 互換端子
	デバッグ	USB インタフェース
マイコン	型式	STM32F302R8
	CPU	Arm Cortex-M4 32bit
	最大クロック	72MHz
	ROM	64Kbyte
	RAM	16Kbyte
	PMW チャンネル	18
	通信	SPI, I2C, USART, USB, CAN2.0B
	GPIO	26ch
	ADC	12-bit X 1ch
	AD 入力端子	15ch
	コンパレータ	3ch
	電源電圧	2.0~3.6V
	パッケージ	LQFP64

第4節 モータ・ドライバ基板

本キットのメイン基板は、MOSFET、ゲート駆動回路、電流検出回路、電圧検出回路、その他入出力回路で構成され、大電流を流すことを考慮し、配線パターンに105 μ mの厚銅を使用しています。ヒートシンクを取り付けることで連続50A、短時間100Aの大電流を流すことができます。

電源入力部には安全のために100A定格のヒューズが設定されています。

電源電圧は標準のDCDCコンバータで9~36V。高電圧用のDCDCコンバータに変更することで18~60V、更にMOSFETとアルミ電解コンデンサを変更することで18~75Vまで使用することができます。

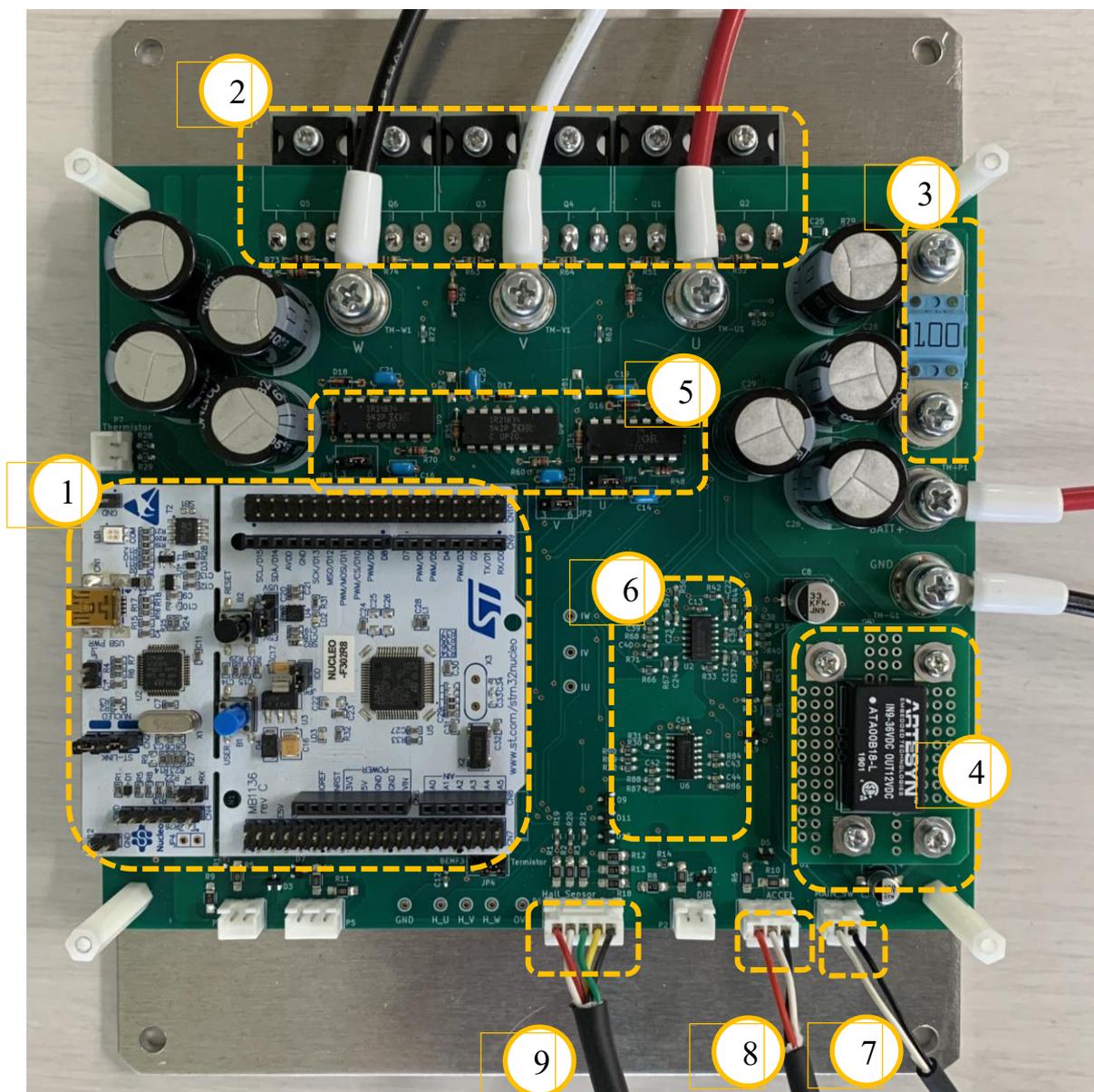


図 モータ・ドライバ基板

モータ・ドライバ基板上的の主な部品は以下の通り、

- ① マイコン基板(NUCLEO-F302R8)
- ② MOSFET(TO-247 x 6 個)
- ③ ヒューズ(100A)
- ④ DCDC コンバータ(9~36V)
- ⑤ ゲート・ドライブ回路
- ⑥ 電流検出回路(オペアンプ, コンパレータ)
- ⑦ メイン・スイッチ
- ⑧ アクセル・ボリューム
- ⑨ ホール・センサ入力

第5節 FETの損失

第1項 損失とは

損失とは素子の入力と出力の間に素子自身が動作するために必要な電力や、構造上発生する熱などで、出力は必ず入力された電力よりも小さくなります。この目減りした分が損失であり、**損失の多くはジュール熱となって各部の温度上昇をまねき**、素子に悪影響を及ぼします。

モータを作動させようとするとき、インバータでは電力の損失が発生します。つまりインバータに入力された電力とモータへ出力される電力は損失によってイコールになりません。この損失のほとんどはFET(駆動素子)で発生しています。FETは理想的には抵抗値ゼロのスイッチとして働きますが、実際にはON状態の時でも必ずドレイン-ソース間には抵抗があります。そのため、モータへ流れる電流は必ずこの抵抗を通ることになるので、ここで損失が発生します。この損失は熱に変わり、熱量が大きくなればそれによってFET自身が壊れてしまう事もあります。

モータを安全に作動させるため、ここではFET周辺の損失計算について解説します。

第2項 主な損失の種類

理想的にはPWMによる損失はないので、電源電流と電源電圧 V_s 、モータ電流 I_m 、モータ電圧 V_m の間には(1)~(3)式の関係が成り立ちます。

(ただし、 $DUTY$: $PWM.DUTY$ 比[%])

$$I_m = I_s \div DUTY \quad (1)$$

$$V_m = V_s \times DUTY \quad (2)$$

$$P = I_s \times V_s = I_m \times V_m \quad (3)$$

現実でのPWM時に発生するFETの損失には、下記のものがあります。

- ・ オン抵抗損失 (P1)
- ・ スイッチング損失 (P2)
- ・ ダイオード損失 (P3)

第3項 オン抵抗損失

これはFETのオン抵抗による損失で、飽和損失とも言われます。オン抵抗損失P1は(4)式で計算可能です。(ただし、 I_m : モータ電流, R_{on} : FETのオン抵抗, $DUTY$: $PWM.DUTY$ 比[%])

$$P1 = I_m^2 \times R_{on} \times DUTY \quad (4)$$

この損失はFETのオン抵抗を下げるか、モータ電流を下げることで低減可能です。モータは電流に比例したトルクを発生しますので、(4)式の通り損失は電流(トルク)の2乗で増えることになります。負荷が大きくなると損失が増え、発熱対策が必須であることに注意してください。

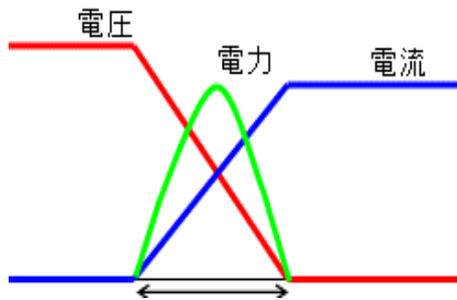


図 1-9 スイッチング損失

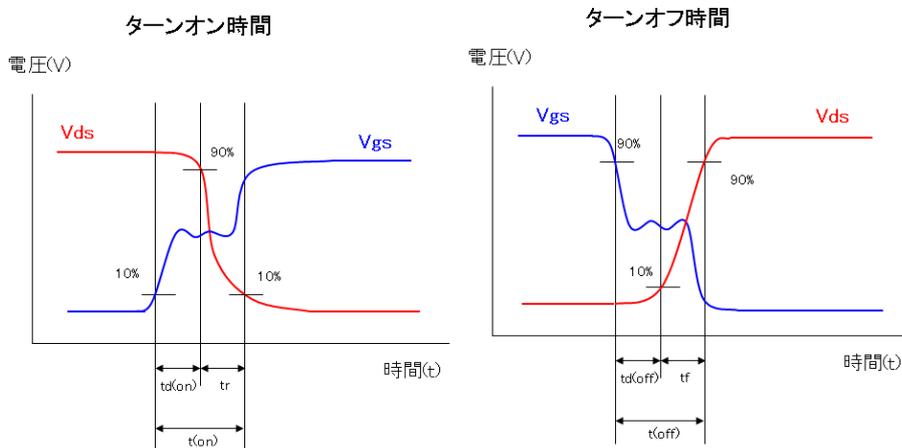


図 1-8 ターンオン、ターンオフ時間

第4項 スイッチング損失

これはFETがターンオン(オフ→オン)またはターンオフ(オン→オフ)する時に発生する損失です。FETがオフしている時はソース-ドレイン間に流れる電流はほぼ0なので、損失はないと考えられます。また、FETがオンしている時は、その損失は①のオン抵抗損失に等しくなります。しかしターンオンまたはターンオフする時は図1-9、図1-8のように、電圧と電流が変化しています。このときの電力=電圧×電流の値が大きくなり、この電圧×電流の積分がスイッチング損失となります。スイッチング損失P2は(5)式で計算可能です。

$$P2 = 1/6 \times Vs \times Im \times (t(on) + t(off)) \times f \quad (5)$$

スイッチング損失はFETのターンオン/オフ時間を減らす(ゲート抵抗を小さくする)ことで低減可能ですが、高速なスイッチングはノイズ発生の原因にもなります。

第5項 ダイオード損失

ダイオード損失はFETがオフしてフリーホイール・ダイオードを通して還流電流が流れている時(図1-6の青の矢印)に発生する損失です。ダイオード損失P3は(6)式で計算できます。

(ただし、 Im : モータ電流, Vf : ダイオードの順方向電圧, $DUTY$: $PWM.DUTY$ 比[%])

$$P3 = Im \times Vf \times (1 - DUTY) \quad (6)$$

ダイオード損失は、 $PWM.DUTY = 100\%$ で動作すれば発生しません。また、相補PWM(≒同期整流)を行うことでP3をP1のオン抵抗損失と同等まで下げることが可能です。

例えば $Vf = 0.9V$, $Im = 50A$, $Ron = 4.5m\Omega$ の場合ダイオード損失(P3)は

$$Pd = 0.9(V) \times 50(A) = 45(W)$$

対してオン抵抗損失(P1)は

$$P(on) = (50(A))^2 \times 4.5(m\Omega) = 11.25(W)$$

となり、損失を約1/4に低減可能と計算できます。注³

注³ ただし、 $Vf > Im \times Ron$ の場合

第6節 ゲート・ドライブ IC

第2節 の最初に述べたように FET を ON させるにはその FET のソース端子を基準にゲート端子に電圧を加える必要があります。ここで問題になるのがハイ・サイド FET(図 1-4 の①~③)です。ロー・サイド FET が単純に GND 基準でゲート端子に電圧を掛けることができるのに対して、ハイ・サイド FET はソース端子基準(U,V,W)で電圧を加え必要があります。しかし、U、V、W 端子はロー・サイド FET がオンの時はほぼ GND レベル、ハイ・サイド FET がオンの時はほぼ電源電圧レベルの電圧へと激しく電圧が変動するためハイ・サイド FET のゲート駆動用にフローティングの電源を用意する必要があります。

方法は、いくつかあります。DC-DC コンバータなどを使って絶縁された別電源を用意する方法もありますが、このキットではゲート・ドライブ専用の IC を使っています。この IC はフローティング部の電源としてブートストラップ回路を使用します。これはロー・サイドの FET が ON している間にハイ・サイドのブートストラップ・コンデンサに電荷をチャージし、ハイ・サイド FET を駆動する場合はそのチャージした電荷を使う方法です。別紙のドライバ基板回路図の C19、C20、C21 がそれぞれ U 相、V 相、W 相のブートストラップ・コンデンサです。この方式では、初期状態でブートストラップ・コンデンサに電荷がないと、ハイ・サイド FET を ON させることが出来ませんが、最低一つのロー・サイドがオンすることでモータ巻線→ロー・サイド FET の経路でブートストラップ・コンデンサがチャージされるので特に意識する必要はありません。ただし、ハイ・サイド FET を連続でオンさせるとブートストラップ・コンデンサのチャージが低下する場合がありますので、その場合はハイ・サイド FET を一瞬(数 μ sec)オフすることで、ロー・サイド FET の寄生ダイオードがオンするのでブートストラップ・コンデンサがチャージされます。同様に、PWM DUTY が 100%でない時は PWM オフ時にチャージされるので特別な制御は必要ありません。

ゲート・ドライブ IC のもう一つの役割として、信号の増幅があります。マイコンの出力ポートをそのまま FET のゲート端子につなげても、うまくスイッチングできません。大電流用の FET の多くは 10V 以上の電圧で完全に ON になる(オン抵抗が飽和する)ため、5V 程度の電圧では中途半端な ON 状態(能動領域)となってしまうことがあります(5V で駆動できる FET もあります)。また、FET のゲートは容量性負荷でありコンデンサと似た特性を持っているため、容量性負荷を高速に充放電するためには瞬間ですが数アンペアの電流を流す必要があります。また大型の FET ではこのゲート・チャージ容量が大きくなるため、本キットでは余裕を見て大型の FET にも対応できる IC を選定しています。

第7節 DC-DC コンバータ

本キットに付属の DC-DC コンバータ(ATA00B18-L)は昇降圧式で 9~36V までの入力を許容します。出力は 12V で出力電力の容量は 3W です。

48V など、より高電圧で使用する場合は DC-DC コンバータを変更お願いします。18~75V までの入力電圧に対応するピンコンパチの DC-DC コンバータ(ATA00B36-L)が使用できます。

第2章 インバータ・キット部の組み立て

第1節 はんだ付け作業の注意

ここでの作業の中心ははんだ付け作業です。すでに第1章、第1節で述べましたが、**火傷・怪我、また火災に十分に気をつけて作業を進めてください。** はんだ付け作業をうまく行う、コツがあります。コテと付ける対象物それぞれの温度の見極めがとくに重要です(高価なはんだごては温度制御ができる)。安価なはんだごてでも慣れれば作業に支障はありません。ただし、本書でもはんだ付けについての説明をしますが、慣れていない方は**慣れた方の指導を受けながら行う**ことを、ぜひともお勧めいたします。はんだの量が不足すると接触不良を起こします。また、多すぎる場合や形が崩れると隣の配線とショートすることがあります。初心者の方が「少し不安だけれどたぶん大丈夫だろう」と思う箇所は、不良箇所の可能性が非常に高いと言えます。不安な箇所は面倒でも手直しをして、確実に仕上げるようにしてください。うまく動作しない原因の9割以上は、はんだ付けの不良です。

【用意する道具類】

※作業前に以下のものをご用意ください。

1)糸はんだ	適量
2)はんだごて(60~100W)注	1個
3)はんだごて用置き台	1個
4)はんだ吸い取り器(はんだ吸い取り線、はんだ吸引器など)	1個
5)ニッパ(または同等品)	1個
6)ラジオペンチ	1個
7)カッターナイフ	1個
8)絶縁用テープ(ビニール・テープ、熱収縮チューブ等)	適量
9)ワイヤストリッパ(5.5sq、AWG22)	
10)+ドライバー(No.2)	
11)保護メガネ	

注：慣れていない方は、はんだごての発熱量が大きい品(60W以上)と小さい品(20W~30W)を用意されるとよいかもありません。または、発熱量を調整できるはんだごてを使われることをお勧めします。

はんだ付けに慣れていない方は、はんだ吸い取り線もあったほうが便利です。

上記道具は、DIY店または、通販などでも購入できます。

第2節 モータ・ドライバ基板の作製手順

第1項 部品一覧

部品表を確認いただき、部品に欠品がないかご確認ください。

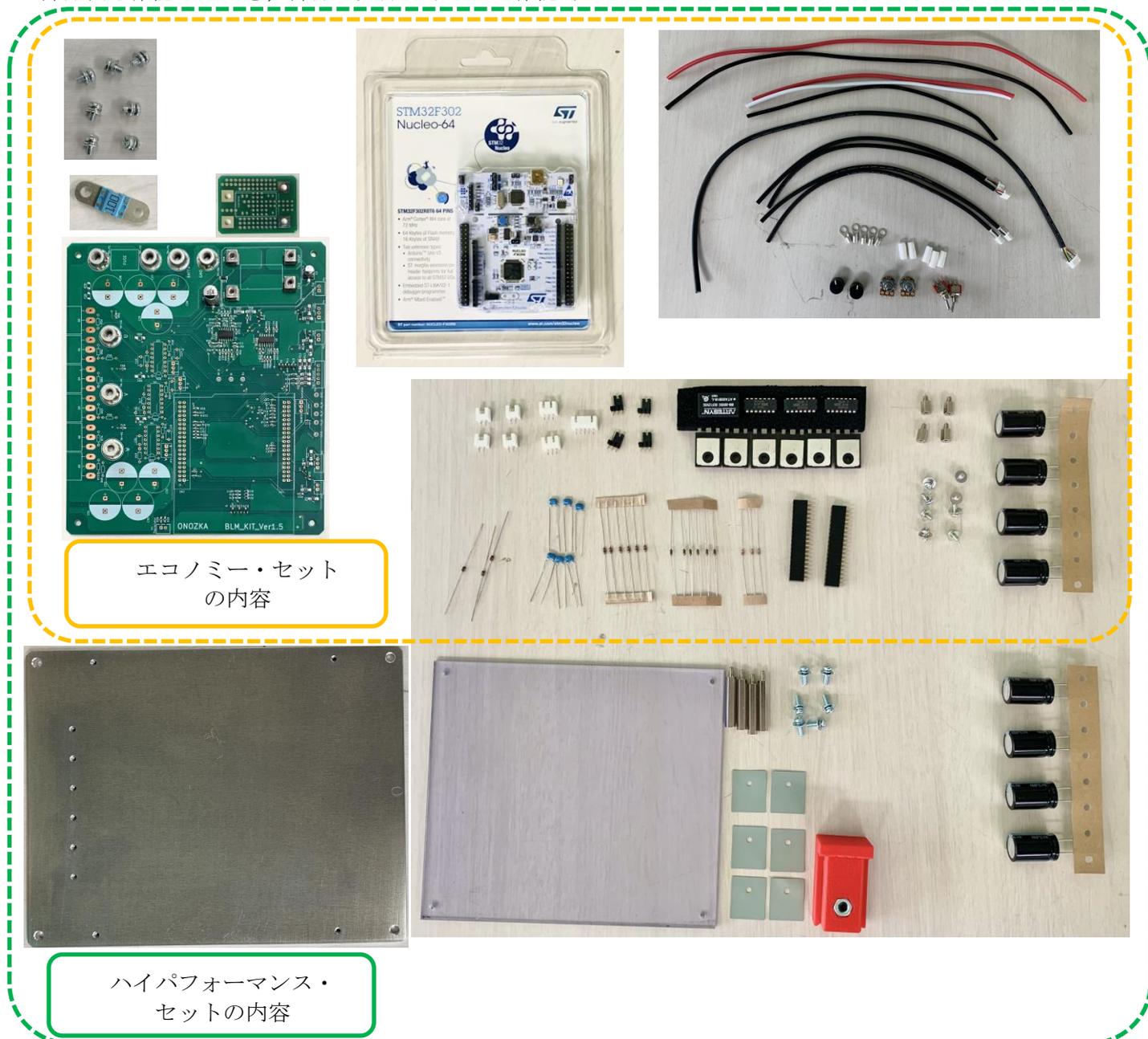


図 2-9 部品一覧 モータ・ドライバ基板，マイコン基板，電子部品，リード線他

第2項 抵抗を実装する

本製品にはあらかじめ表面実装部品が実装済みです。挿入部品(抵抗，コンデンサ，ダイオード，ゲート・ドライバ IC，コネクタ)をお客様の手で実装し，完成させます。

まずは抵抗の実装から始めます。3種類計15本の抵抗が入っています。向きはないですが，種類を間違えないよう実装してください。

(1) リード加工

抵抗の穴ピッチは全て 7.62mm になっています。実装できるよう，まずリードを折り曲げ加工してください。



図 2-10 R47,R48,R59,R60, R69,R70 :
22Ω 1/4W

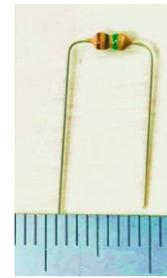


図 2-11 R51,R52,R63,R64,R73,R74 :
1MΩ 1/4W



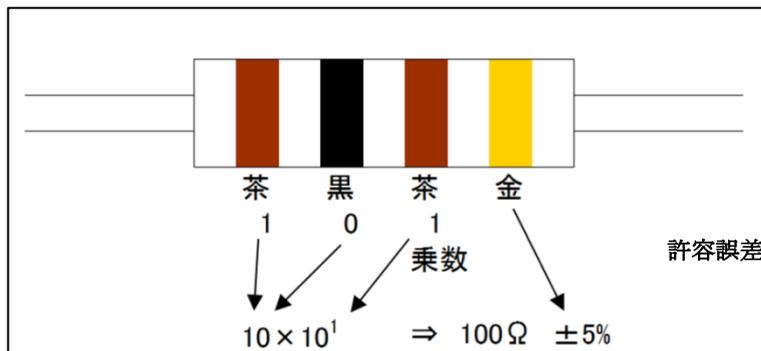
図 2-12 R34,R35,R36 : 68kΩ 1/4W

参考：抵抗値の読み方

カラー・コード

例

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
黒	茶	赤	橙	黄	緑	青	紫	灰	白

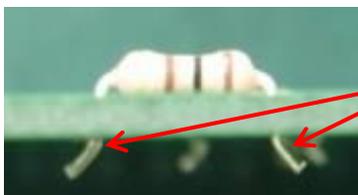


許容差
茶：±1%
金：±5%
銀：±10%

図 2-13

(2) 抵抗を基板に挿入し、リードをカットする。

抵抗を基板に挿入し、リードをカットします。



リードを広げカットする

図 2-14

(3) はんだ付け

下の図を参考に適量のはんだを付けます。表面につやが無くなった場合はフラックスを足します。



フィレットができるようはんだ付け
(富士山の裾野のような形)



はんだが少ない



はんだが多い

図 2-15 はんだ付けの良否

第3項 ピン・ソケット 38Pの実装

CN1, CN2にピン・ソケットを取り付けてはんだ付けします。向きはありません。基板から浮かないように注意してください。基板から浮いた状態ではんだ付けすると、制御（マイコン）基板が組み付けできない可能性があります。

失敗してからの修正が困難になりますので最初に対角の2箇所を仮固定のためにはんだ付けして浮きがないのを確認してから残りのピンをはんだ付けするとトラブルが少なくなります。足が3本以上ある部品に共通する方法です。

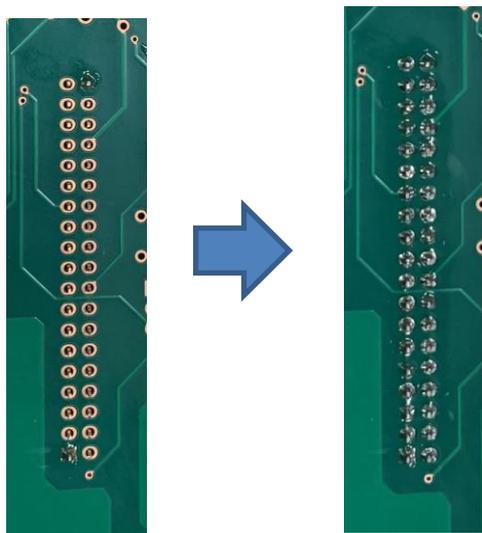


図 2-16 最初に両端（1番と38番ピンまたは2番と37番ピン）からはんだ付けするとよい。

図 2-17

第4項 セラミック・コンデンサを実装する

図のようなセラミック・コンデンサ計6個をリードピッチはそのままで基板に挿入します。抵抗と同様にリードをカットし、はんだ付けします。

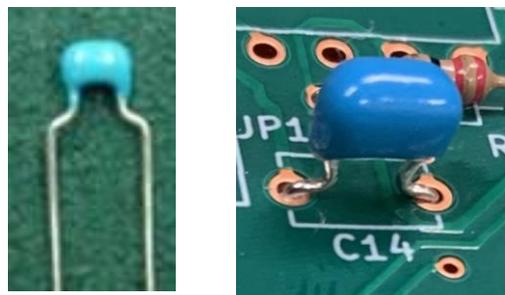


図 2-18 C14,C15,C16,C19,C20,C21

第5項 ダイオードを実装する

図のようなダイオード計3個を実装します。

(1) リード加工

穴ピッチは7.62mmになっています。実装できるようにリードを折り曲げ加工してください。

(2) ダイオードの挿入

ダイオードには向きがあります。目印の帯の付いている方がカソードです。基板のシルク印刷にあわせて向きを間違えないように実装してください。



図 2-19 D16,D17,D18

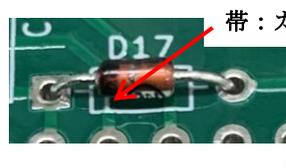


図 2-20 D16,D17,D18

(3) はんだ付け

抵抗と同様にリードをカットしてはんだ付けします。

第6項 ゲート・ドライブ IC を実装する

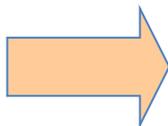
(1) IC 端子の向きを整える

IC の足をやや広がった状態から真っ直ぐになるように少し曲げます。



出荷状態は端子が広がっていて
ソケットに入らない

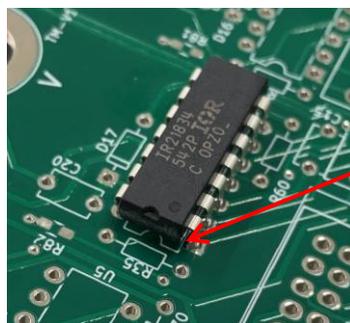
図 2-21 U3,U4,U5



基板の穴に入るように調整します。
強く曲げてしまうと足(端子)が折れるので注意！
ていねいに曲げてください。

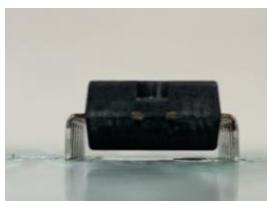
図 2-22 成形後

(2) IC を基板に挿入する



向きに注意
シルクと IC の切り欠き位置を左図のように合わせる

図 2-23 IC1~IC3



基板から浮かないように注意し、
はんだ付けします。



先に対角 2ヶ所をつけて固定, 浮きがないか確認して
から全部のピンをはんだ付けするとやりやすい。

図 2-24 はんだ付け

第7項 アルミ電解コンデンサを実装する

アルミ電解コンデンサには極性が存在しますので逆接続しないように注意してください。表面に白帯の印刷がある側でリードの短い方がマイナス端子です。

注意! 電解コンデンサは、逆に接続すると、「液漏れ、または破裂する」可能性があるため、絶対に向きを間違えないでください。電解コンデンサはべたパターンに接続されているため、一度はんだ付けすると取り外すのは困難です。

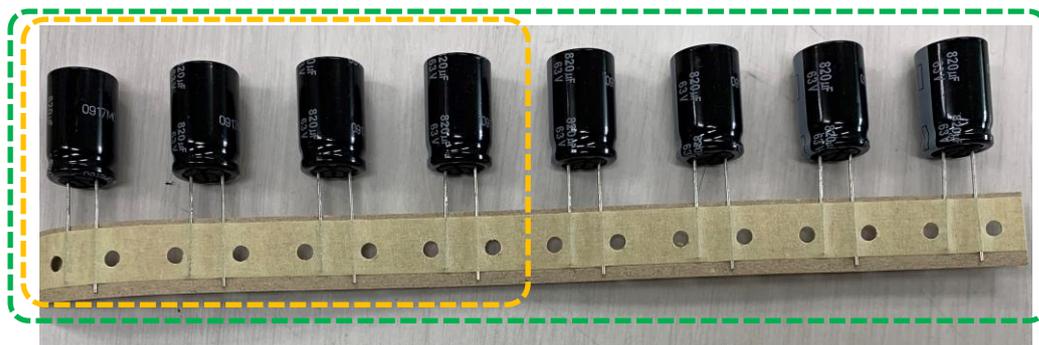


図 2-25 C26~C33(エコノミーは C26~C29)

(1) アルミ電解コンデンサを挿入

基板のシルクに合わせ、アルミ電解コンデンサを挿入します。

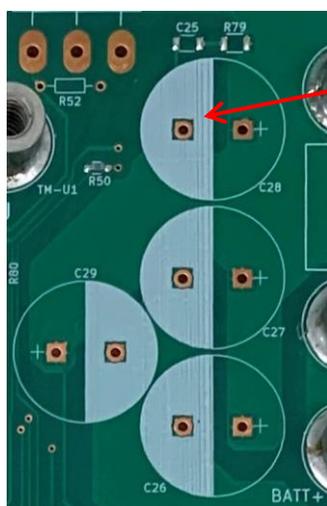


図 2-26

マイナス極を表すマーク

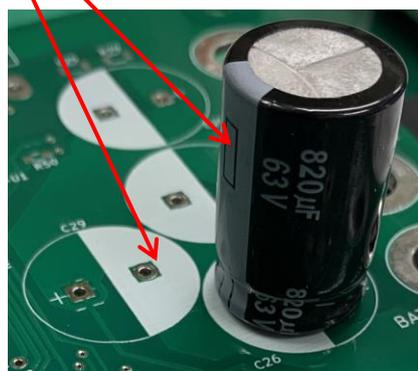


図 2-27

(2) はんだ付けする

抵抗と同様にはんだ付けします。GND など、パターンが広い部分は熱が拡散して失敗しやすい為、基板を充分コテで予熱してからはんだを流し込みます。はんだ付け部にフィレットができれば OK です。



図 2-28 フィレット



図 2-29 コンデンサの向きに注意

第8項 DC-DC コンバータ実装

(1) DC-DC コンバータを DC-DC 基板に挿入し、はんだ付けします。

DC-DC コンバータは足が2列の DIP と1列の SIP の2タイプがありますが、基板は共通です。シルクに合わせて挿入し、はんだ付けします。

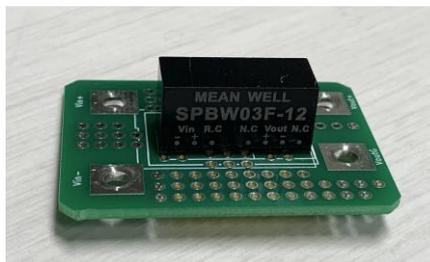


図 2-30

(2) モータ・ドライバ基板に取り付ける

モータ・ドライバ基板の M3 端子に M3x6 のねじで固定します。DC-DC 基板にはユニバーサル・エリアがあり、付属の DC-DC コンバータを使用せず、3 端子レギュレータなどでオリジナル電源回路を作ることできます。



図 2-31 M3x6 ねじで固定

第9項 ジャンパ・ピンとコネクタの実装

(1) ジャンパ・ピンを取り付ける

サンプル・プログラムで使うために、ジャンパ JP1~JP3 は 6PWM 用の「6」側を短絡し、JP4 は「Thermistor」側を短絡する。

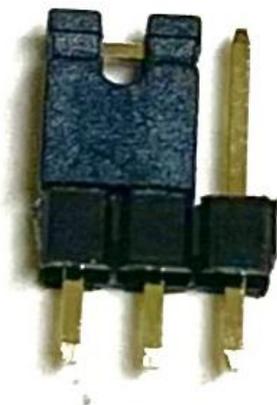


図 2-32 ジャンパ・ピン JP1, JP2, JP3, JP4

(2) コネクタを取り付ける

コネクタは2ピン, 3ピン, 5ピンの3種類があります。

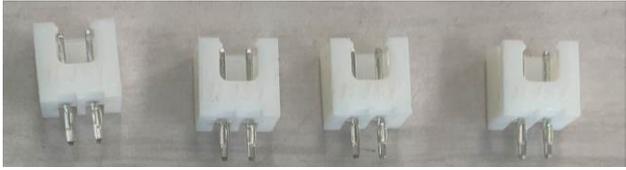


図 2-33 2ピン(P1,P2,P3,P7)



図 2-34 3ピン(P4,P5)



図 2-35 5ピン(P6)

シルクの切り欠きとコネクタ・ハウジングの切り欠きの向きを合わせて基板に挿入し、はんだ付けします。

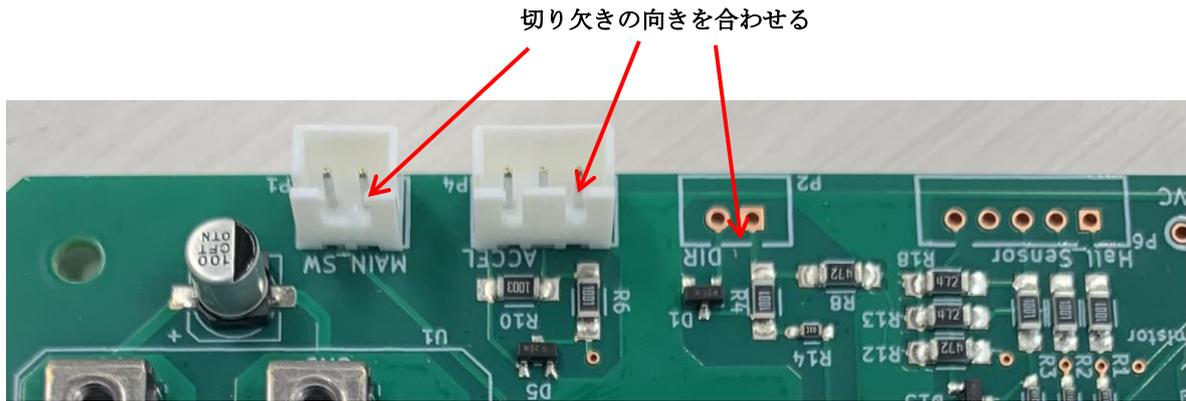


図 2-36 コネクタの実装

第 10 項 ヒューズの取り付け

(1) ヒューズを取り付ける

F1,F2 端子に M5x6 ねじでヒューズを取り付けます。(ヒューズの向きは関係ありません。)

付属のヒューズは 100A です。このヒューズは電線の焼損を防ぐことは出来ませんが、FET の焼損を完全に防ぐことは出来ません。必要に応じて 50A, 30A などの小さい容量のヒューズに交換することが可能です。

○ヒューズ

メーカー：Littelfuse Inc.

定格電流	型式
100A	142.5631.6102
50A	142.5631.5502
30A	142.5631.5302
23A	153.5631.5232

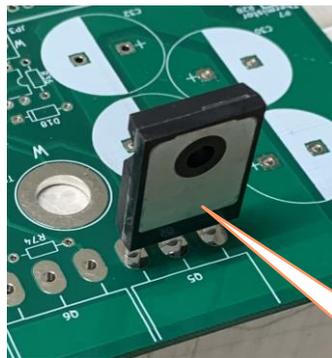


図 2-37 ヒューズ

第 1 1 項 FET の取り付け

(1) ヒートシンクを使用しない場合

本キットに付属する FET の場合、ヒートシンクを取り付けない状態で 10A 程度を流せる容量になっています。それ以上の負荷をかけたい（電流を流したい）場合は、ヒートシンクを取り付けてください。



放熱面を基板の外側に向けて実装する。

注意！
向きをよく確認して取付けてください。
ヒートシンクを使わないときは表面(上面)に取り付けます

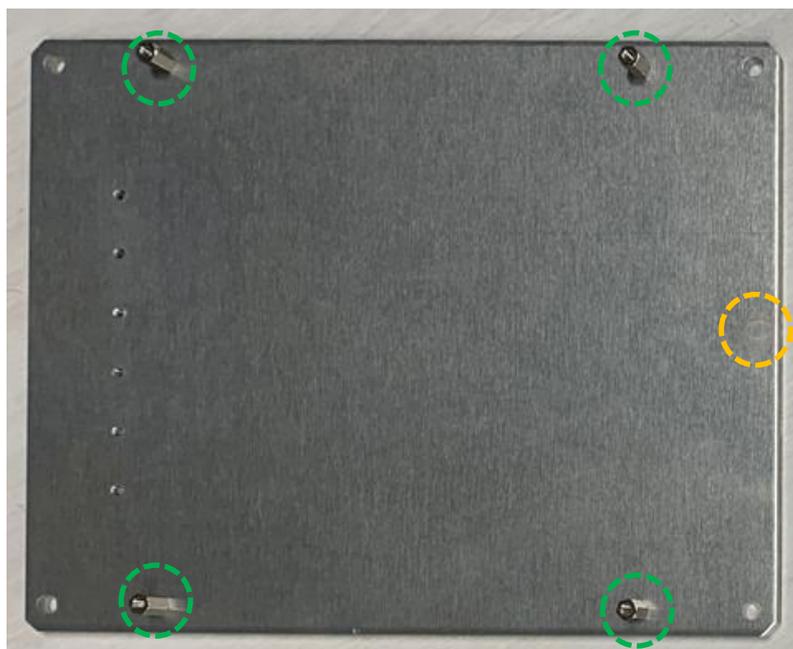
FET の放熱面

図 2-37 FET を挿入する様子

(2) ヒートシンクを使用する場合(ハイパフォーマンスのみ)

モータに負荷を掛けたい(大きな電流を流したい)場合は、ヒートシンクを取り付けます。基板の固定と放熱板を兼ねたヒートシンクが標準品として用意されています。

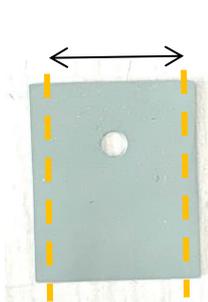
A) ヒートシンクに高さ 7mm のスペーサを取り付ける。



「0」の刻印がある方が表

図 2-38 スペーサの取り付け

B) 放熱シートをヒートシンクに並べる。



① 幅 16mm にカット

② ネジ穴を合わせて並べる

③ スティックのりを少量つけると作業性 up

- C) FET のリードをフォーミング(成形)する。
 付属のリード成型機で FET のリードを曲げます
 図 2-39 スペーサの取り付け

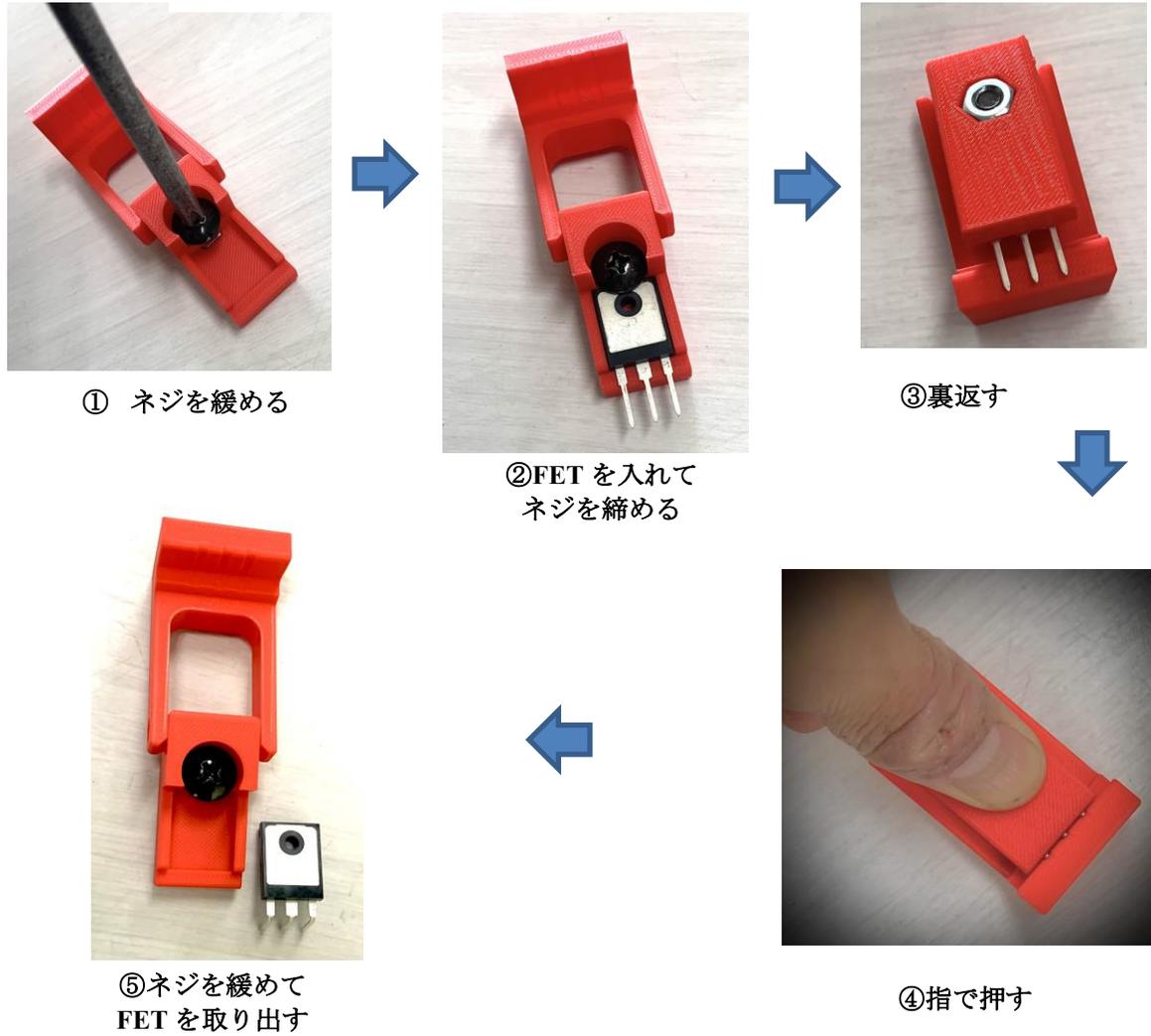
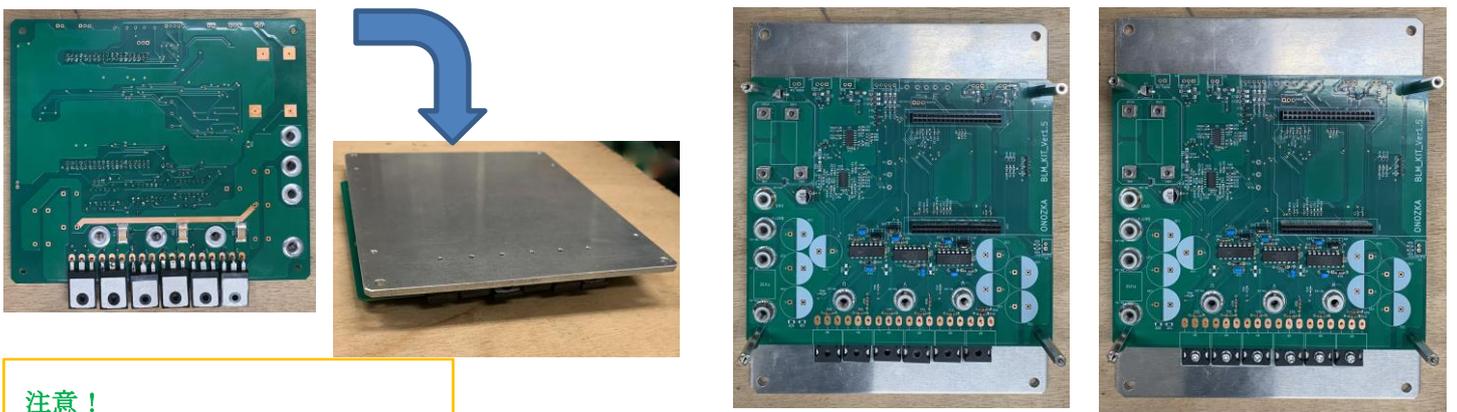


図 2-40 FET リードの成形

- D) FET をヒートシンクにねじ止めする。



注意！
 基板の裏面に取り付ける。
 まだ、はんだ付けをしないこと。

- ① 基板を裏返して FET を挿入し、ヒートシンクを上からかぶせて表向きに戻す
- ② ヒートシンクに基板を固定する ③ FET をねじ止めする

図 2-41

E) FETをはんだ付けする。

FETをしっかりねじ止めしてからはんだ付けをし、余分なリードを切断する。

ネジ締め前にはんだ付けをしてしまうとリードに無理な力がかかり、故障の原因となる。

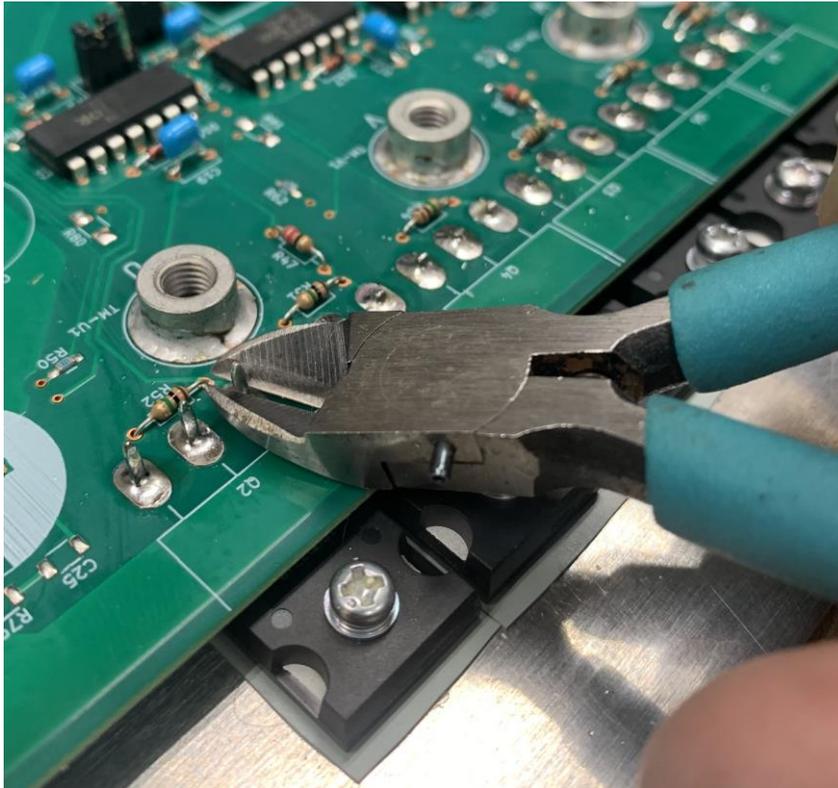


図 2-42 はんだ付け後、余分なリードを切断する。
(仕上がり高さ 1mm 程度)

おもて面のはんだ付けが終わったら、一旦ねじを取り外し、裏側のはんだ状態を確認する。
裏側まではんだが出ていればOK(図 2-42)。はんだが上がっていなければNGなので裏側からはんだを追加して仕上げる(図 2-43)。



図 2-42 はんだ OK



図 2-43 基板裏面からのはんだを追加する

第12項 リード線の取り付け

モータ接続用リード線，電源接続用リード線を取り付けます。

モータ接続用のリード線は **5sq×300mm**，電源接続用のリード線は **5sq×500mm** のリード線です。sq はスクエア(2乗)を表し，線の断面積(mm²)の表記に使われます。

モータ接続用のリード線は3色付属しています。それぞれ赤色⇒U相，白色⇒V相，黒色⇒W相と接続してください。電源接続用のリード線は赤色を BATT+，黒色を GND に接続してください。



sq はスクエアの意味。
5sq : 断面積約 5mm²

AVS-5
5sq(ゴスケ) リード線

図 2-44 リード線サイズ表記

接続手順

① ワイヤ・ストリッパを用いて被覆をおよそ 8mm はがす。



図 2-45 被覆はがし

② 丸型圧着端子(R5.5-5)を取り付ける。



図 2-46 端子圧着

③ 絶縁キャップを取り付ける。



図 2-47 絶縁キャップ

④ M5x6mm のねじで固定する。

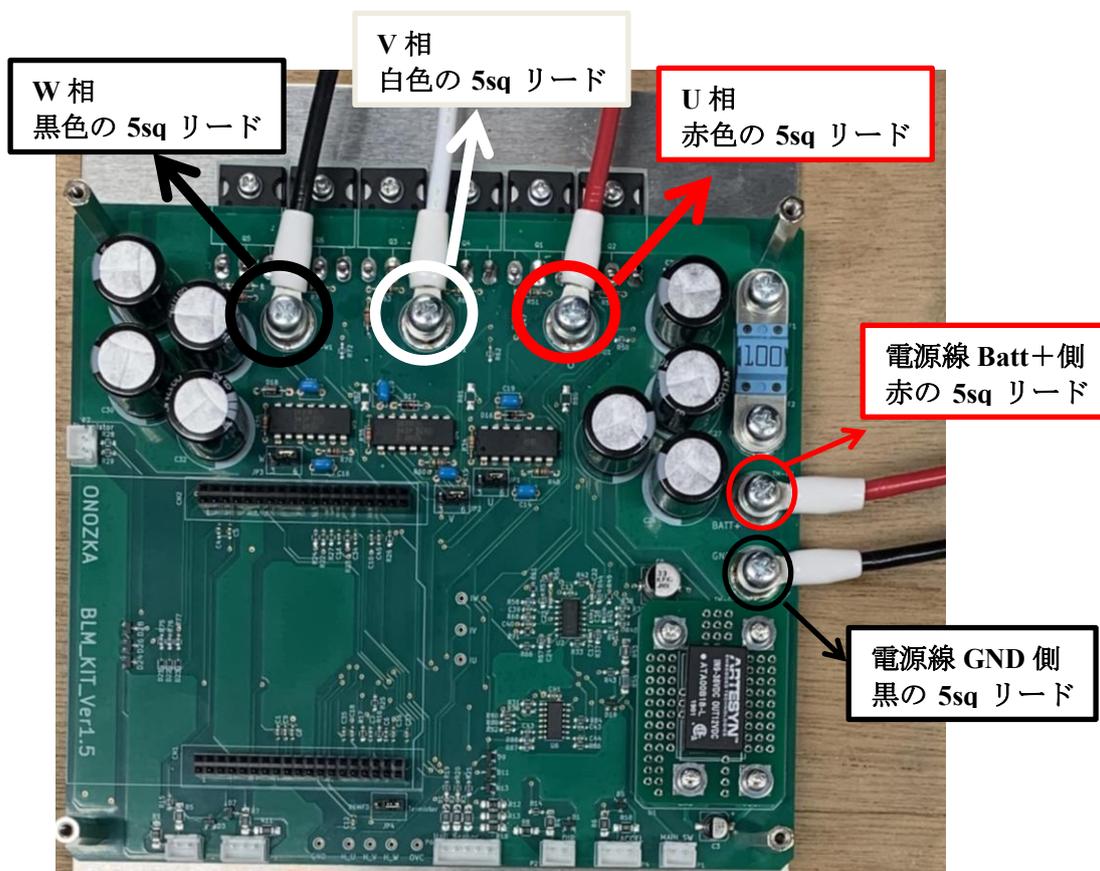


図 2-48 モータ・ドライバ基板にリード線を取り付ける

第 1 3 項 センサ線の取付け

(a) ケーブルの黒の被覆を剥き、リード線を出す

ケーブルは 5 芯(または 6 芯)になっていますので黒の被覆を 25~30mm 程度剥きます。5 色(黄、黒、赤、白、緑)のリード線が出てきます(6 芯の場合は更に 1 色(茶)ありますが未接続です)。このとき内部のリード線の被覆を傷つけないように注意します。

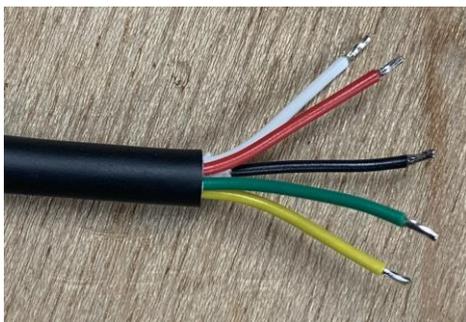


注意！
黒の被覆を剥くときに内部のリード線の被覆を傷つけないように注意してください。

図 2-49

(b) 予備はんだをする

リード線の被覆を 3mm 程剥き、予備はんだを付けます。このとき温め過ぎると、被覆が溶けて芯線が露出しショートする可能性があるため注意してください。



注意！
リード線は温めすぎると被覆が溶けて芯線が露出しショートする恐れがあります。

図 2-50 予備はんだ

(c) モータのセンサ線とはんだ付けする

モータ・キットに付属のセンサ線とはんだ付けをします。まずは熱収縮チューブを用意します。



熱収縮チューブ
Φ6 . . . 60mm 1本
Φ1.5 . . . 15mm 5本

図 2-51 熱収縮チューブ

予備はんだをしたセンサ線に熱収縮チューブを差し込みます。



図 2-52 熱収縮チューブを挿入

モータ・キットのセンサ線と同じ色のリード線をはんだ付けします。

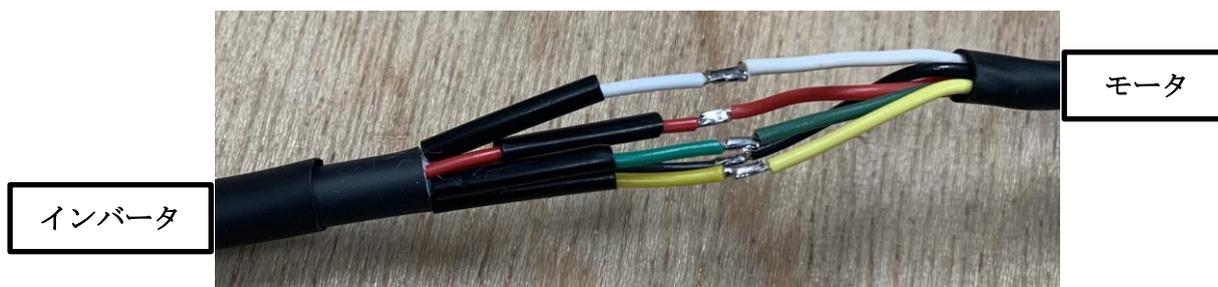


図 2-53 同じ色同士をはんだ付け

リード線の熱収縮チューブを被せて、ヒート・ガンまたはドライヤなどで熱して固定。



図 2-54 リード線の熱収縮チューブを固定

Φ6 の熱収縮チューブを被せて、熱して固定。



図 2-55 Φ6 の熱収縮チューブを被せて完成

第14項 ボリューム(可変抵抗器)の接続

キットには動作確認用に $10k\Omega$ の可変抵抗器が付属しています($5k\Omega$ の可変抵抗器でも動作します). 図を参考にはんだ付けしてください.

可変抵抗に限らず白線-黒線間に $0\sim 3.3V$ の電圧を印加して動作させる事も可能です. また **3.3V 以上または負電圧を印加すると故障する可能性があります** ですのでご注意ください.

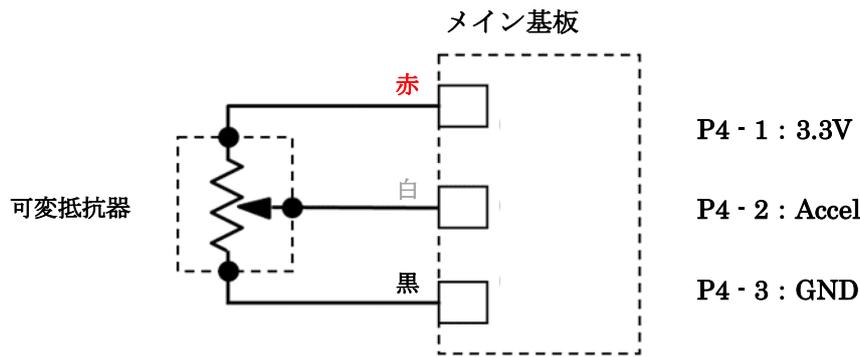


図 2-56 ボリュームの接続回路

作業はセンサ線ケーブルと同様に 3 線を束ねる黒い被覆を 30mm ほど剥がし, リード線を出します. それぞれのリード線の被覆を 8mm 剥き, 軽くねじって先端にはんだを付け, かぎ型に曲げます.



図 2-57 ボリュームに取り付けるケーブルの加工

ボリュームの端子にかぎ型に曲げたリード線を引っ掛けて, はんだ付けします.



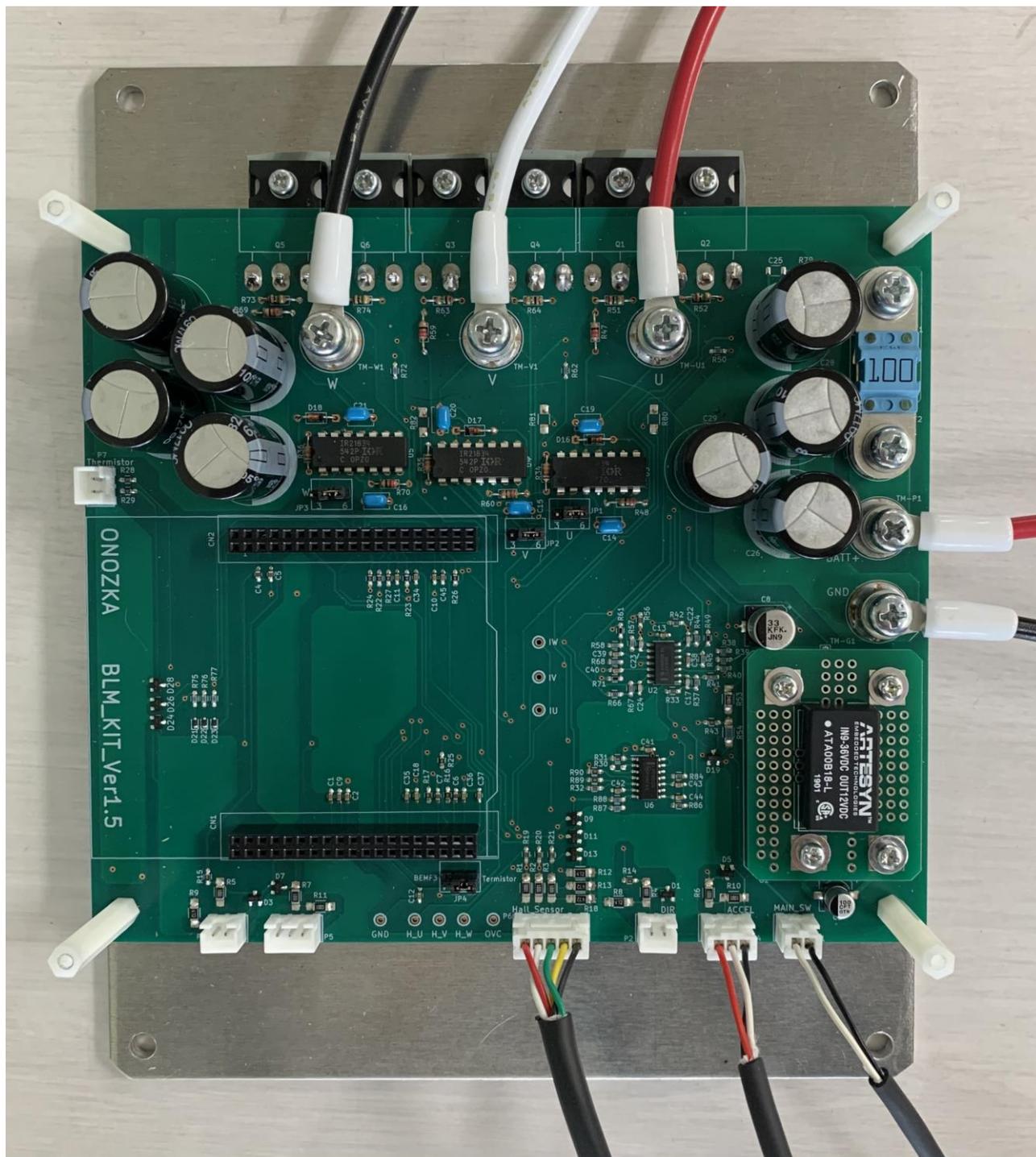
図 2-58 ボリュームはんだ付け

第15項 トグルスイッチ(MAIN_SW, DIRECTION)の接続

電源を切り切りする MAIN_SW と, 回転方向を変更する DIRECTION 用のトグルスイッチをケーブルに接続する. 黒い被覆を 30mm 程剥がし, 白と黒のリード線を出します. リード線の先端を 3mm 程剥がし予備はんだをします. トグルスイッチの真ん中と外側のどちらかの端子にも予備はんだをし, リード線をはんだ付けします.



図 2-58 トグルスイッチをはんだ付け



(正回転のみの場合 DIRECTION スイッチは不要です)
図 2-59 完成したモータ・ドライバ基板

以上でモータ・ドライバ基板の完成です。未接続部品、ねじの緩みがないことを確認してください。

第3章 組み合わせ

マイコン基板を図のように基板上に印刷されたシルクの向きに従って差し込みます。差し込む時に向きを間違えると、通電時に**マイコンが壊れます**のでご注意ください。

透明塩ビのカバーを M3x6 のねじで固定して完成です。

ソフトウェア説明書に従って、プログラムを書き込めば、モータを回す準備完了です。

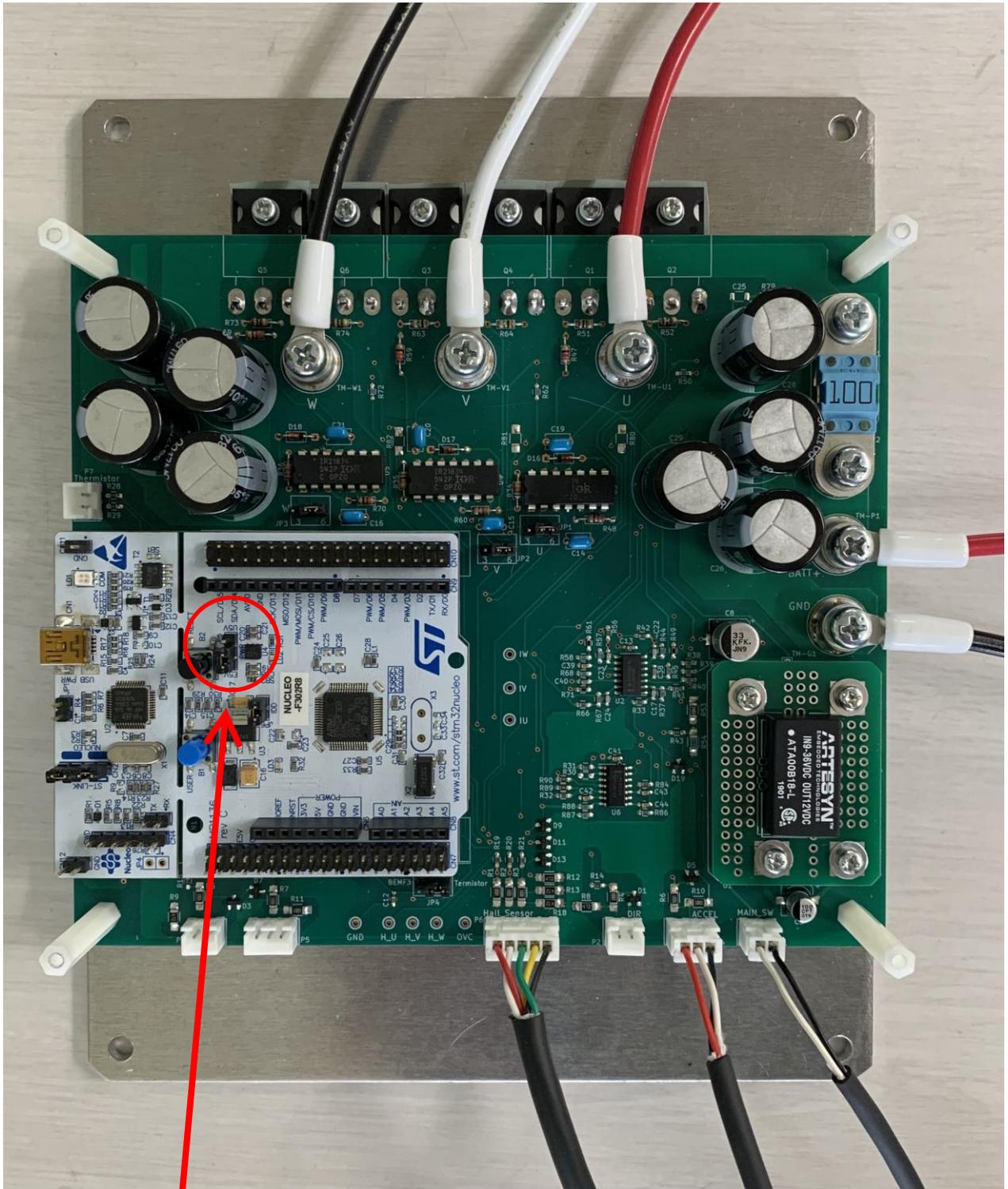


図 3-1 完成したインバータ・キット
(撮影のため透明塩ビカバーは外してあります)

※注意

プログラムを書き込む時は「U5V」、モータを回す時は「E5V」側にジャンプを変更する。
キット・モータ以外のブラシレス DC モータを使用する場合、**プログラムの変更が必要になる**可能性があります。ブラシレス DC モータの動作原理をご理解いただき、各自でプログラムの作成にトライしてください。

<<注意>> 電源につなげる前の「チェック・リスト」

安定化電源につなげてスイッチを入れる前に、次のチェックを行います。

■基板関連について

30p. の図 3-1 を見ながら確認してください。

●電子部品の向きチェック

向きが間違っていると、**爆発したり**(コンデンサ等)、**壊れたり**(制御基板等)しますので、図 3-1 の写真と製作した基板とを見比べるなどして、入念にチェックしてください。

- 「電解コンデンサ」の向きは合っていますか？
 - 大型電解コンデンサ 8 本(または 4 本)は、マイナス極(白帯)側の向きを写真と比較。
- 「ゲート・ドライブ IC」3 個は正しく挿入されていますか？
- 「MOSFET」6 本の向きはあっていますか？
- 「ダイオード」3 本の向きはあっていますか？
- 「マイコン基板」の向きは合っていますか？
- 「ジャンパ」4 個の位置は合っていますか？(JP1~3 は「6」側, JP4 は「Thermistor」側)

●配線の向き/順番

- 「モータにつながるパワー系リード線, U, V, W」の順番 (3 色の順番) は合っていますか？
- 「安定化電源につながる電源線, +, -」の順番 (黒と赤) は合っていますか？
- 「センサ基板につながるモータ回転センサ線, 5 本」の色は合っていますか？
- 「ボリュームにつながる 3 本の線」は合っていますか？ (図 2-58 を参照)

●はんだ付けについて

- 「はんだ不良」 はんだ付け面を見て、はんだ不良箇所、怪しい箇所はありませんか？
 - はんだ付け箇所が丸くなっているイモはんだ状態のときは、再度、はんだごてを当ててください。
 - 基板のべたパターン周りは、基板内の銅層で熱が逃げ易いため、十分にはんだごてを当てて熱量を与えないとはんだ不良になります。
- 「短絡箇所」 はんだやリード線が不用意に接触 (ショート) していそうな箇所はありませんか？
 - 怪しければ接触箇所を直したり「はんだ吸い取り線」か「はんだ吸引器」で不要なはんだを吸い取ったりしてください。

第4章 動作確認

第1節 用意するもの

(1) 安定化電源

9V, 3A 以上出力できる電流制限付きの電源をご使用ください。電圧はご使用になりたい電圧まで出力できる物を選定してください。

(2) 直流電圧計,電流計

30V, 3A 程度が測定できる物を選定してください。安定化電源に電圧、電流の表示がある場合は必要ありませんが、より精度の高い測定を行いたい場合はご準備ください。

第2節 モータとモータ・ドライバ基板の接続

組み合わせて動作確認をしますので図のようにそれぞれの配線を接続してください。モータは固定台に確実に固定してください。また回転部にハーネスが当たらないようにご注意ください。モータ・ドライバ基板には逆接続保護機能はありませんので逆接した場合インバータ・キットが故障します。

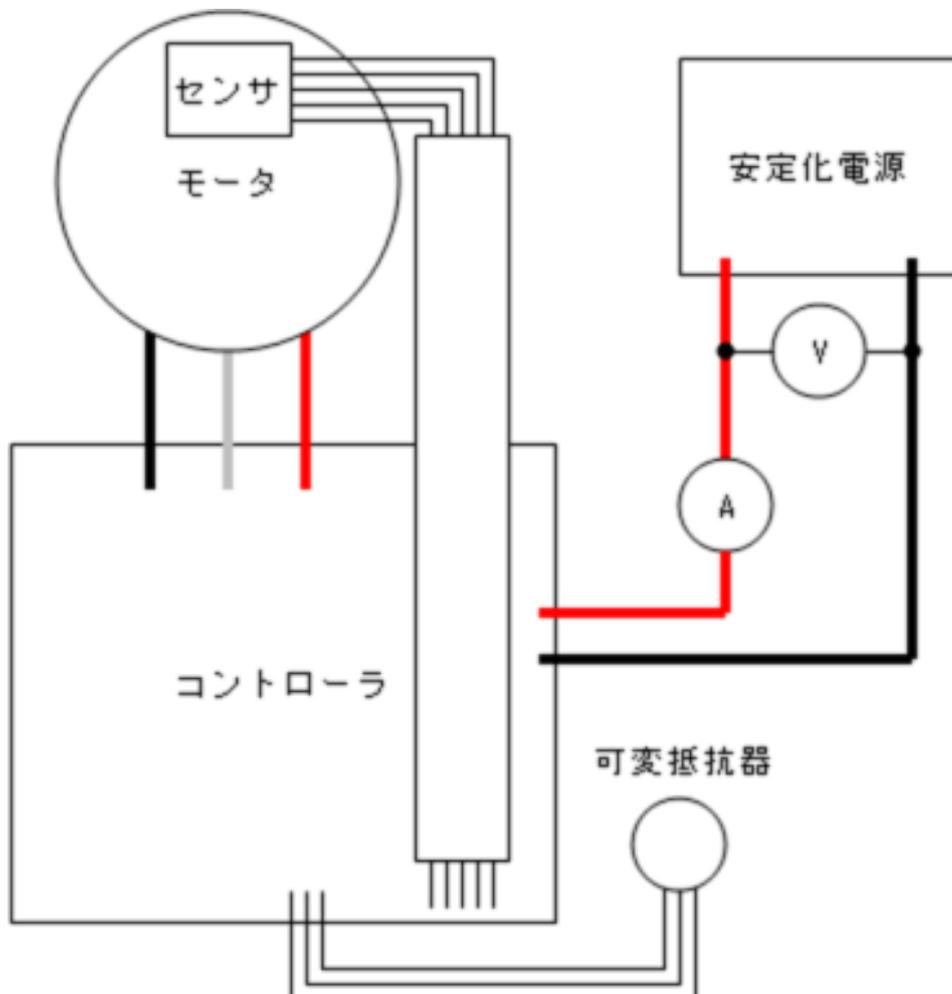


図 5-1 接続図

第3節 確認手順

(1) 出力 OFF 確認

暴走防止のため、コントローラの MAIN_SW (トグル・スイッチ) が OFF になっていること、基板のボリューム・ハーネスが接続された端子 P4 の白-黒間の抵抗値がほぼ 0Ω になっていることを確認してください。なっていない場合は出力減少方向に突き当てまでボリュームのつまみを回して再度抵抗値を確認してください。抵抗値が数 Ω 以下にならない場合は、配線やはんだ箇所を見なおして修正してください。

手で軽くモータを回した時に回転部に干渉するものが無いかを確認してください。また干渉している物がないにも関わらず回りづらい、抵抗を感じる、ブレーキが掛かったようにモータがスルスルと回らないなどの異常現象がある場合は、FET の向き、モータのターン数のバラ付きがないか、モータの端末処理に間違いがないか確認してください。これらに異常がない場合は FET の故障か、モータのレアショートが考えられます。モータとインバータを切り離れた時に異常現象が無くなる場合は FET の故障、モータ単体でも現象が起きる場合はレアショートです。レアショートの場合は巻線をほどいて、新しいマグネットワイヤで巻き直してください。

(2) 安定化電源の設定

出力電圧=電圧制御値(C.V.)を 24V、電流制御値(C.C.)を 1A にそれぞれ設定してください。

C.V. : Constant Voltage(電圧一定制御) C.C. : Constant Current(電流一定制御)

※安定化電源に OUTPUT スイッチが無い場合

電源本体のメイン・スイッチを投入するとすぐに出力してしまうタイプの安定化電源はキットに接続する前に電圧・電流の設定をして、一度電源を OFF してからコントローラに接続してください。

(3) 安定化電源の出力を ON にする。

電源に電流値の表示がある場合は値を確認し、表示の最小値以下、または概ね数 mA 以下であることを確認してください。また電流制限が働いたことを示す C.C.のインジケータが反応していないことを確認してください。電流値の確認ができない電源でも C.C.のインジケータを確認してください。

※C.C.が反応している場合は異常です。すぐに電源を OFF して安全を確認してから全体をチェック (特に FET やコンデンサの向き) し、異常の原因を修正してください。

(4) メイン SW を ON する

インバータ・キットの MAIN_SW(トグル・スイッチ)を ON 側に倒します。マイコン基板の赤い LED が点灯することを確認してください。この時の消費電流は概ね 100mA であれば正常です。

※点灯しない場合は一度安定化電源の出力を OFF にして接続ミスやねじの締め忘れが無い事を確認してください。接続に異常がない場合は、DCDC コンバータの出力側(OUT+, OUT-)の電圧をテスタで測定して $12V \pm 5\%$ の電圧が出力されていることを確認してください。

- ・12V が出力されている場合は、はんだの不良かマイコンボードの故障が考えられます。
- ・12V が出力されていない場合は DCDC コンバータ基板を確認してください。

(5) 動作確認

可変抵抗器のつまみをゆっくり回してください。モータがゆっくり回転を始めます。異音や回転ムラがないことを確認し、つまみを戻してください。モータが確実に停止したら、メイン SW を OFF してください。※電流制限が動作し続ける(C.C.が点灯したまま)場合は異常です。チェックと修正をしてください。特にセンサ基板の位置がモータの手順に記載した位置になっているか、センサの配線、インバータ側 UVW の配線、モータのリード線とコイル接続部で UVW が間違っていないかを確認してください。

※電流制限は動作せずモータが回転しない場合、一度出力を OFF してからモータをほんの少しだけ回転させます。手でゆっくりモータを回すと細かくコリコリとトルクのムラ(コギング・トルク)を感じますが、このトルクの山を一つ越える分だけ回転させます。もう一度ボリュームをゆっくり開けて動作を確認します。動かない場合はさらに場所を1つずつ変えて何度か試してください。

- ・全く動かない場合、P4 の白-黒間の電圧がつまみを回した時に $0V \sim 3.3V$ に変化することを確認してください。異常がない場合で、かつ以下の確認をしても異常がない場合は、マイコンにソフトウェアが書き込まれていないか、消えている可能性があります。
- ・動くときと動かないときがある場合は FET の故障、または FET のゲート駆動回路の異常が考えられます。まずははんだを修正してください。はんだに不良がない場合、モータのリード線を一旦基板から取り

外し(センサ配線はそのまま), センサ線の入力電圧を確認します。P6の赤-黒間の電圧をテスタで測定しながらモータをゆっくり回して電圧が0V⇔3.3Vで変化するか確認します。正常なら白-黒間, 緑-黒間も同様に確認します。3本とも変化しない場合は, P6黄か黒またはモータのセンサ基板が疑わしい。どれか1本または2本変化が見られない場合はP6赤, 白, 緑の接続に問題があるか, モータのホールICの実装に問題がある事が疑われます。

☆異常がない場合はゲート・ドライブ ICの入力を確認します。モータのリード線を外したまま, ボリュームを全開にし, JP1~3の「6」がハイ・サイド, 「3」がロー・サイドの信号です。手でモータをゆっくり回してください。0Vと3.3Vが定期的に切り替わることを確認してください。3つのジャンパでそれぞれ2つの信号, 合計6つのピンで同じく測定します。信号が切り替わらない場合ははんだの不良, マイコンの故障が考えられます。すべての信号が切り替わる場合は, ICからFET側を重点的に点検してください。コンデンサ, ダイオードの向き, 抵抗値等。異常がない場合は, FETの故障です。

- ・異常の原因を修正したら取り外したリード線を取り付け, (1)から確認をやり直してください。

表 5-1 真理値表

ホールIC			出力信号					
U	V	W	UH	UL	VH	VL	WH	WL
0	0	1	0	0	0	1	1	0
0	1	0	0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	1	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0	0	0	1
1	0	1	1	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	1	0	0	1

※可変抵抗器を急激に操作すると短時間だけ電流制限がかかる場合が有りますが, モータの回転数変動が落ち着いた時点で電流値が下がる場合は異常ではありません。

上手く動作できない場合や滑らかに回転しない場合は組み立て説明書を確認してください。また, はんだ付け時の接続不良などが無い, 面倒でも全てのはんだ箇所を確認してください。

<<本キットに関する問い合わせ先>>

製作上のお問い合わせは、弊社オンライン・サポート・サイト

<https://interface.cqpub.co.jp/cqmotor2/>

パスワード kit2qw

からお願いいたします。

または、

CQ 出版(株)

Interface 編集部

TEL: 03-5395-2122

Email: supportinter@cqpub.co.jp

まで。

本キット開発協力：小野塚精機株式会社



CQ ブラシレス・モータ&インバータ・キット2 組み立て説明書 (VER. 1.1)

2021年8月18日 第1版発行

小野塚精機(株), CQ 出版社 2021

発行所 CQ 出版(株)

〒112-8619 東京都文京区千石 4-29-14

編集担当：野村 英樹／佐藤 英司

