

SiC MOSFET 応用 3 相インバーター

リファレンスガイド

RD220-RGUIDE-02

東芝デバイス&ストレージ株式会社

目次

1. はじめに.....	3
2. 仕様.....	4
2.1. 回路ブロック図	5
2.2. 外観と部品配置.....	6
3. 回路図、部品表、PCB パターン図	10
3.1. 回路図	10
3.2. 部品表	10
3.3. PCB パターン図.....	10
4. 動作説明	15
4.1. 各部の名称と機能	15
4.1.1. 3相 AC 入力端子 (AC-DC 基板, CN1, CN2, CN3)	15
4.1.2. FG 端子 (AC-DC 基板, CN4).....	15
4.1.3. DC 出力端子 (AC-DC 基板, CN5, CN6)	16
4.1.4. 制御電源出力端子 (AC-DC 基板, CN7)	16
4.1.5. DC 入力端子 (インバーター基板, CN1, CN2)	17
4.1.6. 3相 AC 出力端子 (インバーター基板, CN6, CN7, CN8).....	17
4.1.7. FG 端子 (インバーター基板, CN9)	18
4.1.8. 制御電源入力端子 (インバーター基板, CN4).....	18
4.1.9. コントローラー接続コネクタ (インバーター基板, CN3)	19
4.1.10. ゲート電圧設定ジャンパー (インバーター基板, JP5, JP7, JP9, JP11).....	20
4.1.11. 温度センサー接続端子 (インバーター基板, J1, J2, J3, J4)	21
4.2. 動作確認	22
4.2.1. 準備	22
4.2.2. 動作確認方法.....	22
4.2.3. 異常検出時の動作	22
4.3. 使用時の注意事項	23
5. 特性.....	24

1. はじめに

本リファレンスガイド（以下、本ガイド）ではSiC MOSFET応用3相インバーター（以下、本インバーター）の仕様、動作手順について解説します。

産業用途で用いられる誘導モーターや同期モーターの駆動には3相インバーターが使用されます。AC 400 Vを出力する場合は従来スイッチング素子として耐圧1200 V程度のIGBTが使用されることが一般的でした。しかしながら、近年開発が進むSiC（炭化ケイ素）を使用したSiC MOSFETは、従来のSi（ケイ素）を使用したMOSFETよりも耐圧を高めつつオン抵抗を低減することが可能になり、インバーターの効率向上を目的に1200 V系IGBTに代わるスイッチング素子として1200 V系SiC MOSFETの採用・検討が始まっています。

本インバーターではSiC MOSFETである[TW045Z120C](#)（TO-247-4L(X)パッケージ）あるいは[TW045N120C](#)（TO-247パッケージ）を使用することで、AC 440 Vモーターが駆動可能な効率の高いインバーターを実現します。ゲートドライバーとして[TLP5774H](#)を使用し、高速な絶縁ゲート駆動を実現しています。またアイソレーションアンプ [TLP7820](#)を使用することで、モーターの相電流センサーやバス電圧センサーなどの絶縁センサーを実現しています。

2. 仕様

表 2.1 に本インバーターの主な仕様を記載します。

表 2.1 SiC MOSFET 応用 3 相インバーター仕様

項目	仕様
電源入力 (AC-DC 基板)	3 相 AC 340 ~ 440 V, 16 A (最大)
電源出力 (AC-DC 基板)	DC 530 ~ 600 V
制御電源出力 (AC-DC 基板)	DC 20 V, 1.5 A (最大)
電源入力 (インバーター基板)	DC 530 ~ 670 V
電源出力 (インバーター基板)	3 相 AC 340 ~ 440 V, 15 A
制御電源入力 (インバーター基板)	DC 20 V
インバーター駆動方式	2 レベル方式
スイッチング周波数	100 kHz (最大) (ソフトウェアで設定)
センサー出力	モーター出力相電流 (U 相/V 相/W 相) バス電圧 ヒートシンク温度
異常検出	過電流異常 (U 相/V 相/W 相) バス過電圧異常 バス過電流異常 過熱異常 (ヒートシンク温度, 突入電流防止リレー温度)
冷却方式	自然空冷, 強制空冷
基板サイズ	250 x 145 mm
基板層構成	4 層スルーホール (外層 70 μ m, 内層 70 μ m)

2.1. 回路ブロック図

図 2.1 に本インバーターのインバーター基板のブロック図を記載します。

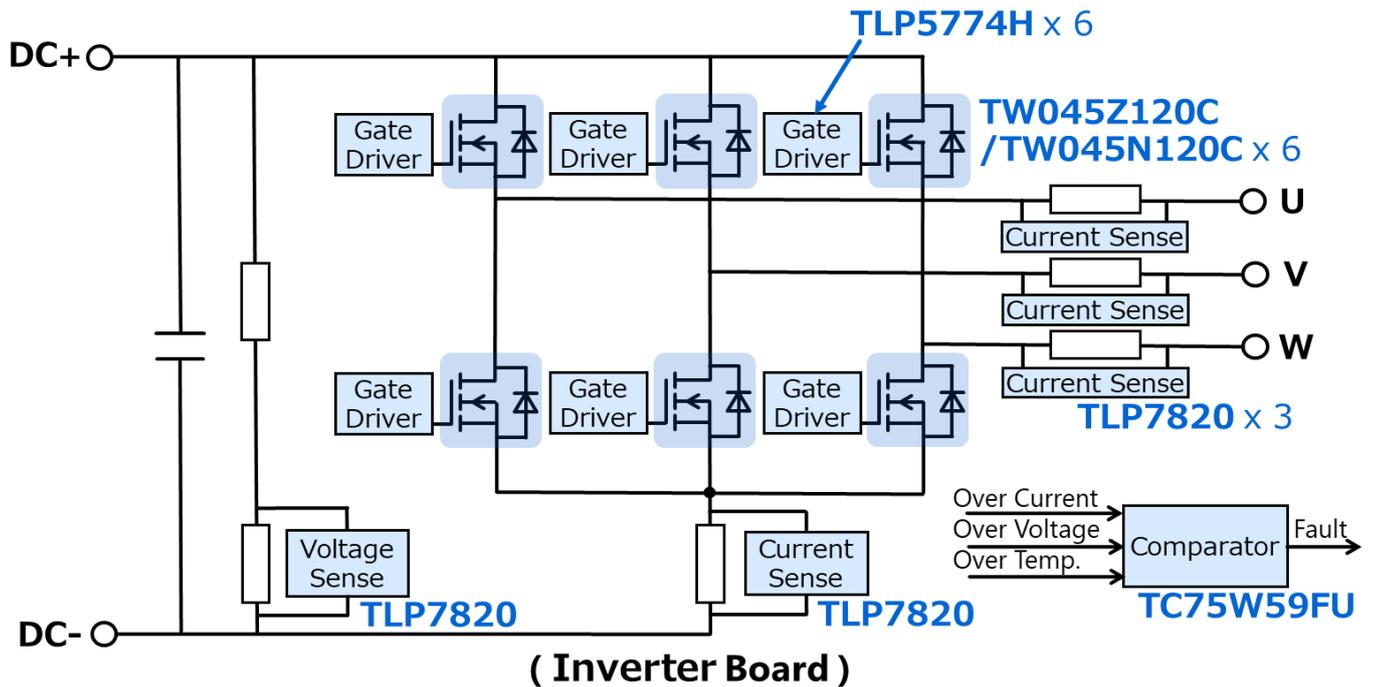


図 2.1 SiC MOSFET 応用 3 相インバーター (インバーター基板) ブロック図

2.2. 外観と部品配置

本インバーターの外観を図2.2から図2.5に、主要部品配置を図2.6から図2.9にそれぞれ示します。

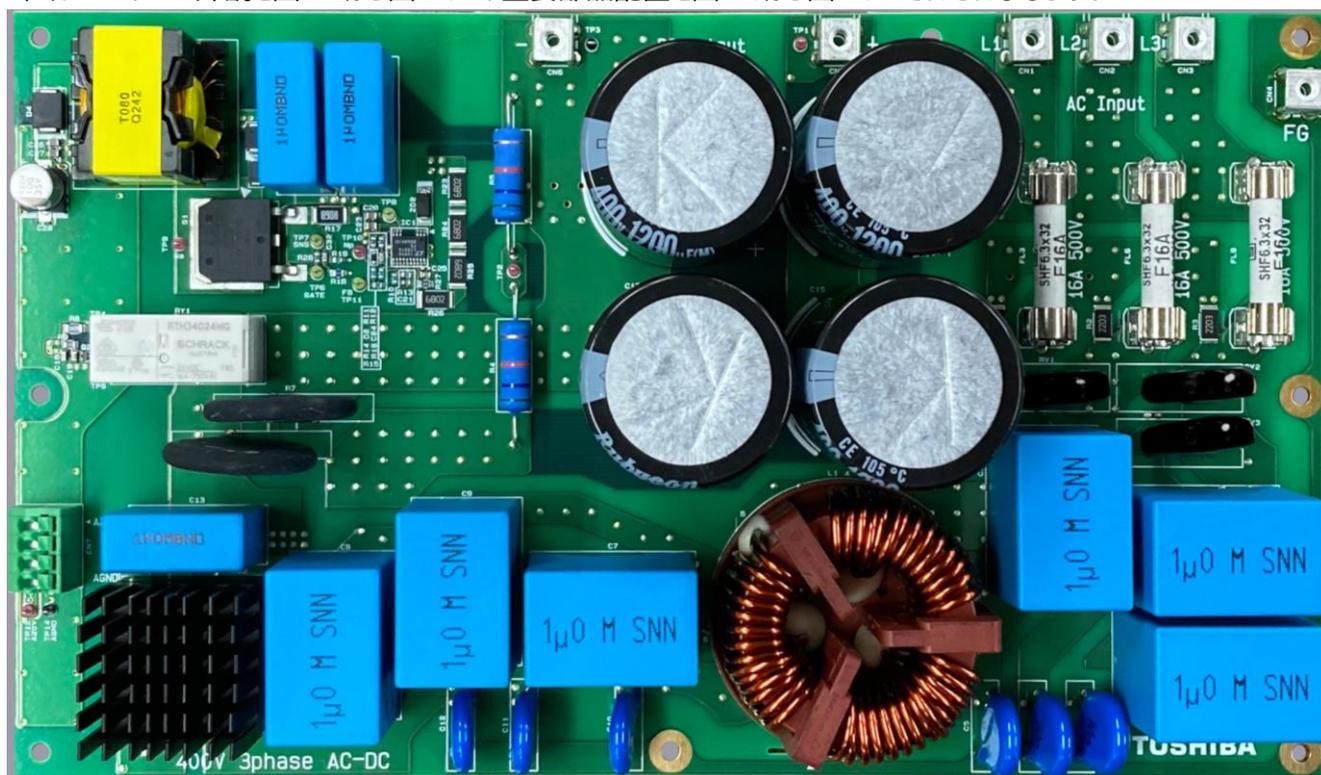


図 2.2 SiC MOSFET 応用 3 相インバーター (AC-DC 基板) Front 側外観

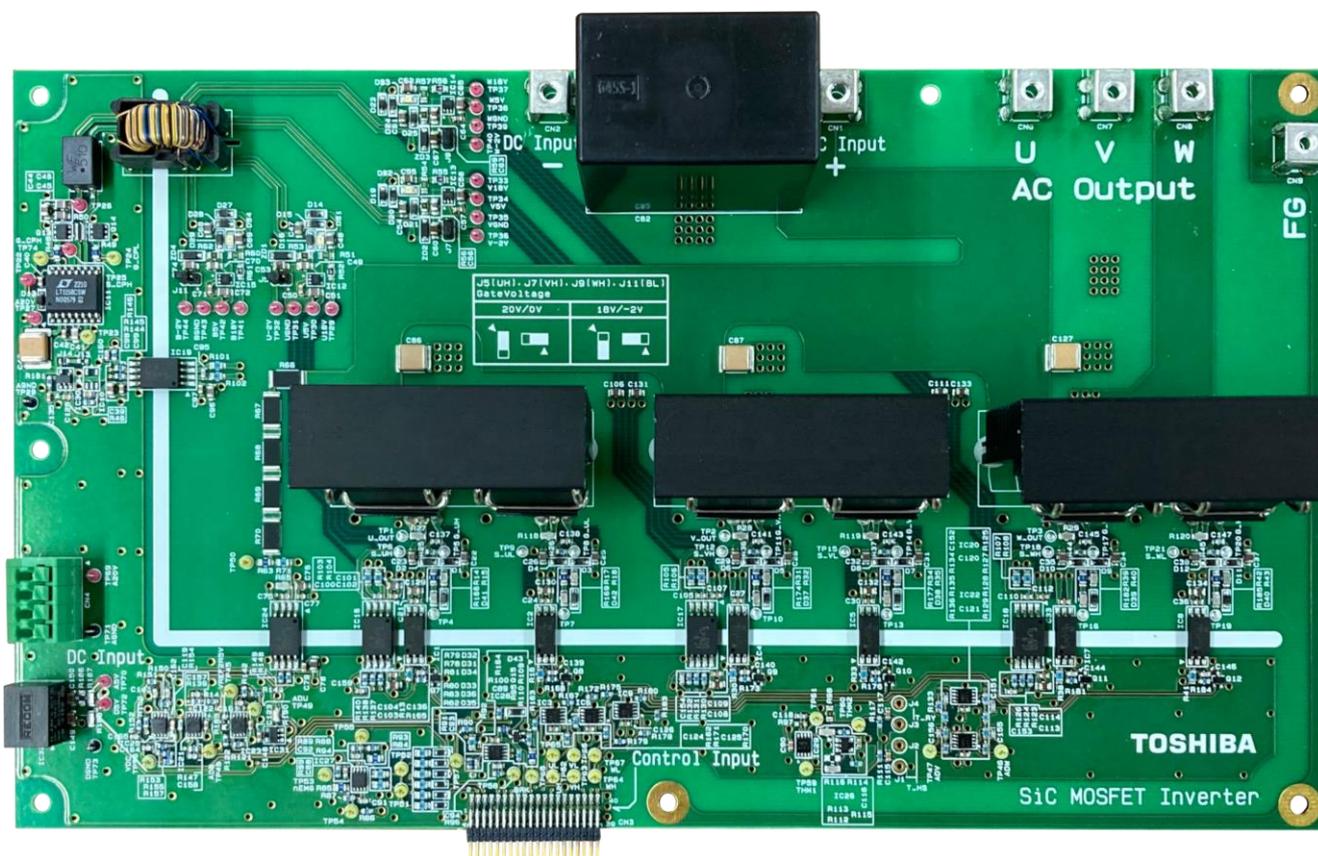


図 2.3 SiC MOSFET 応用 3 相インバーター (インバーター基板) Front 側外観

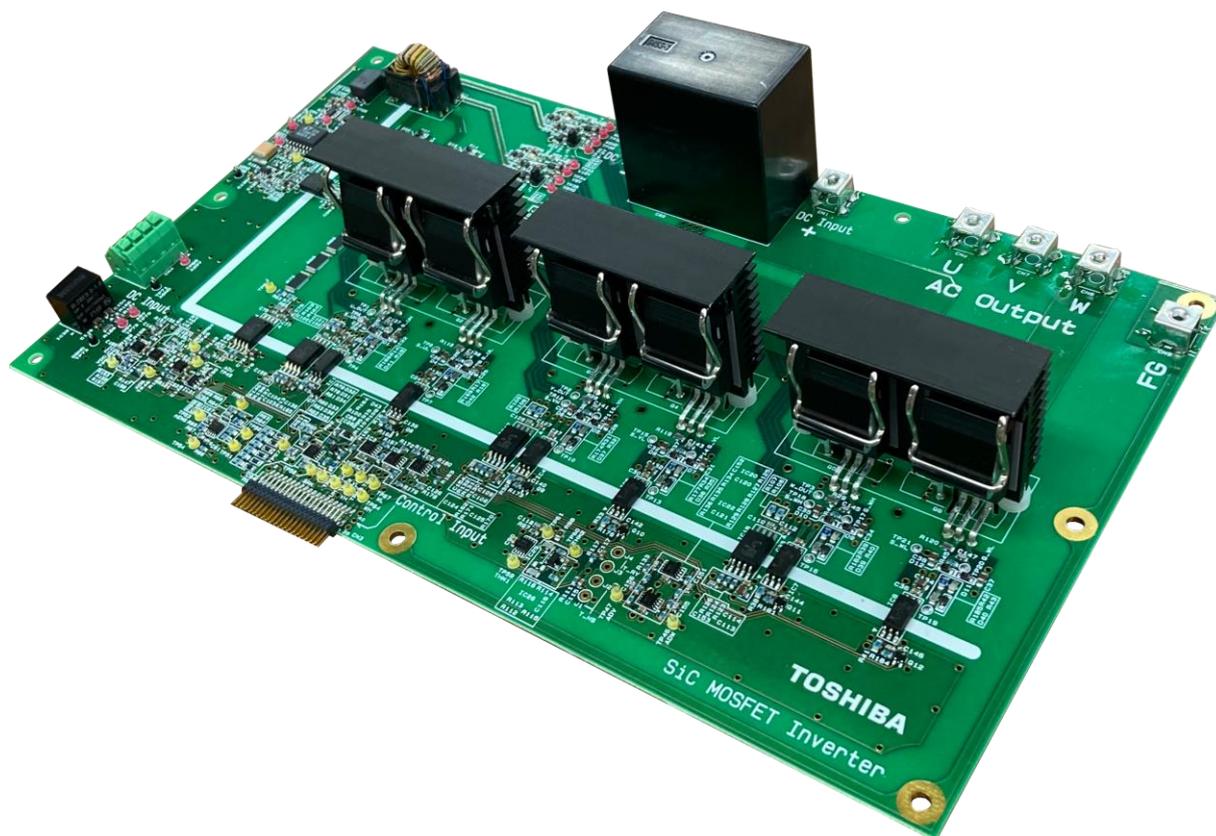


図 2.4 SiC MOSFET 応用 3 相インバーター基板 (インバーター基板, TW045Z120C 搭載) 側面外観



図 2.5 SiC MOSFET 応用 3 相インバーター基板 (インバーター基板, TW045N120C 搭載)側面外観

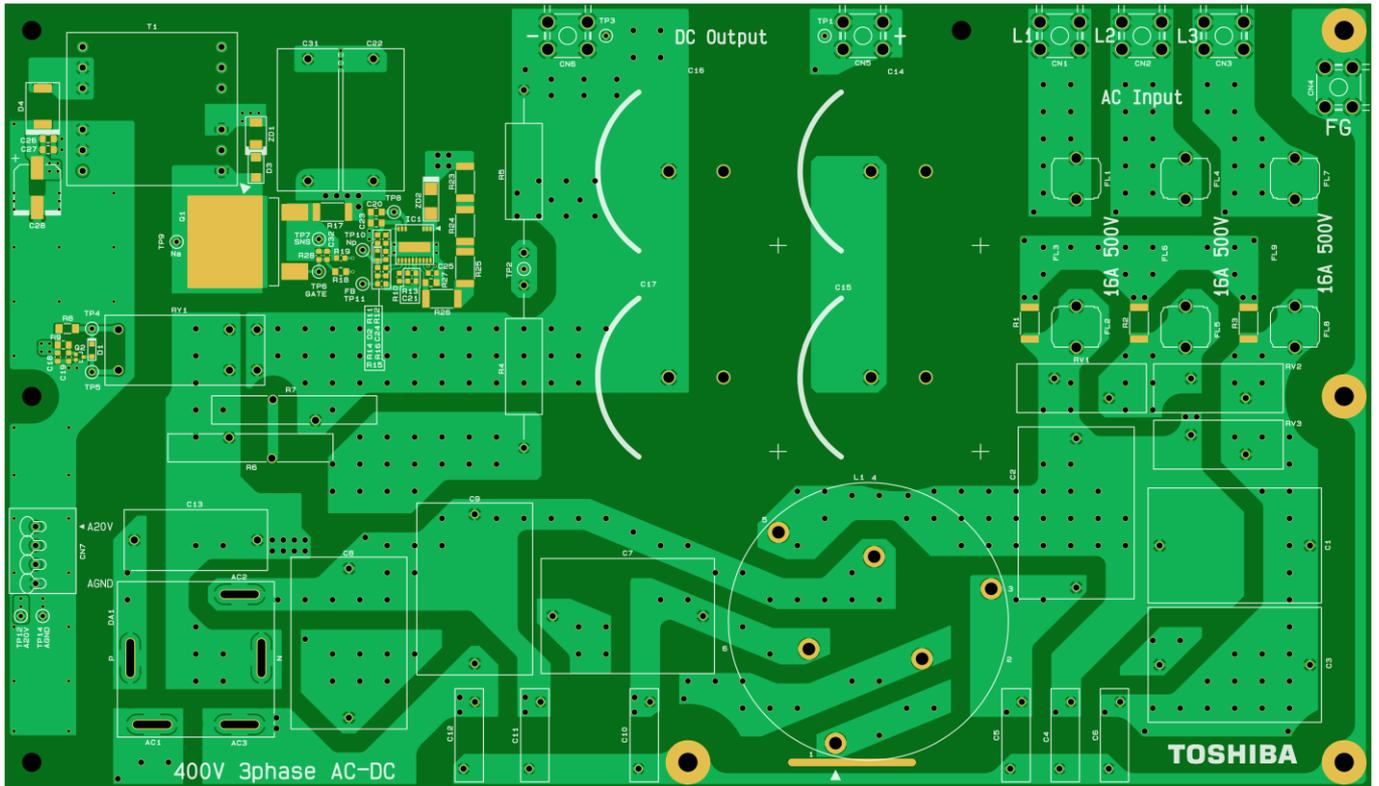


图 2.6 主要部品配置 (AC-DC 基板 Front 側)

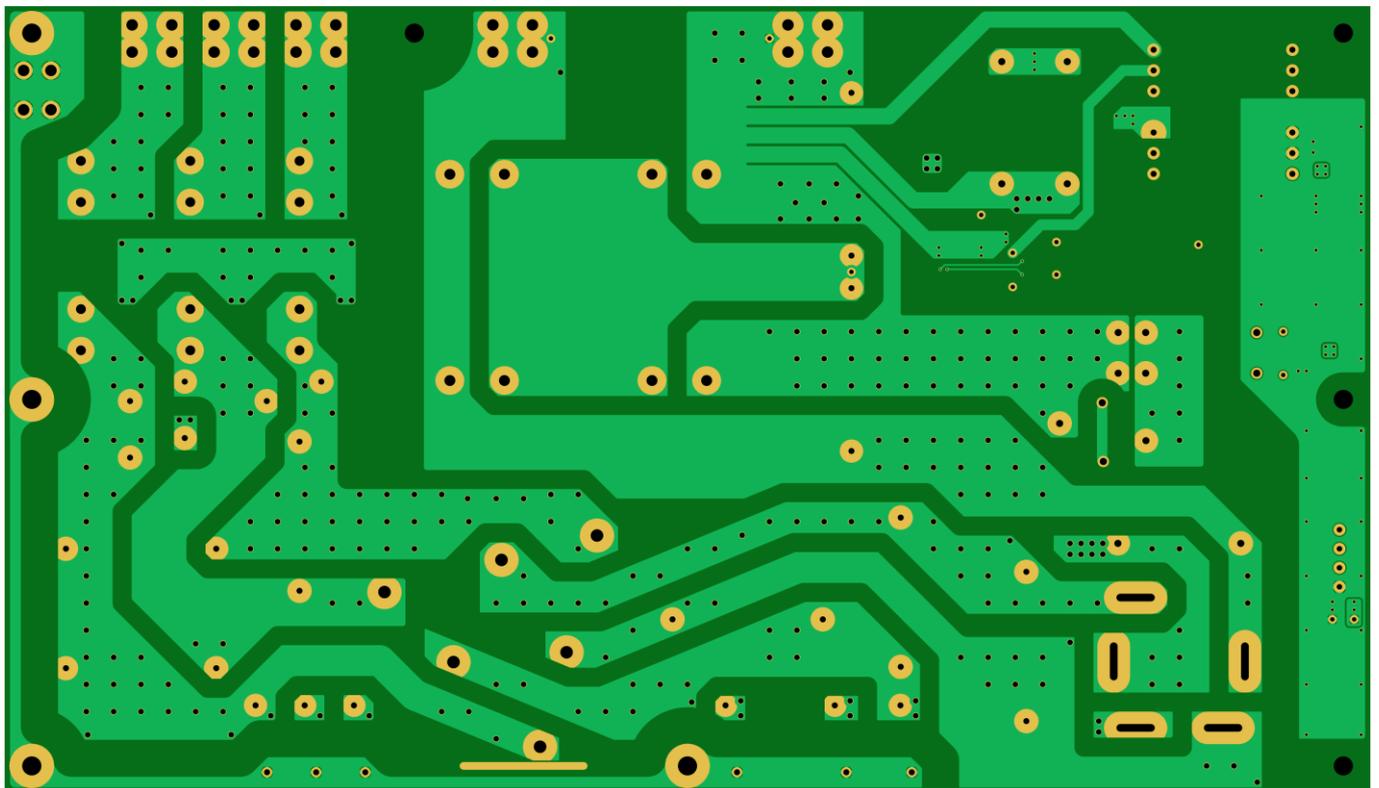


图 2.7 主要部品配置 (AC-DC 基板 Back 側)

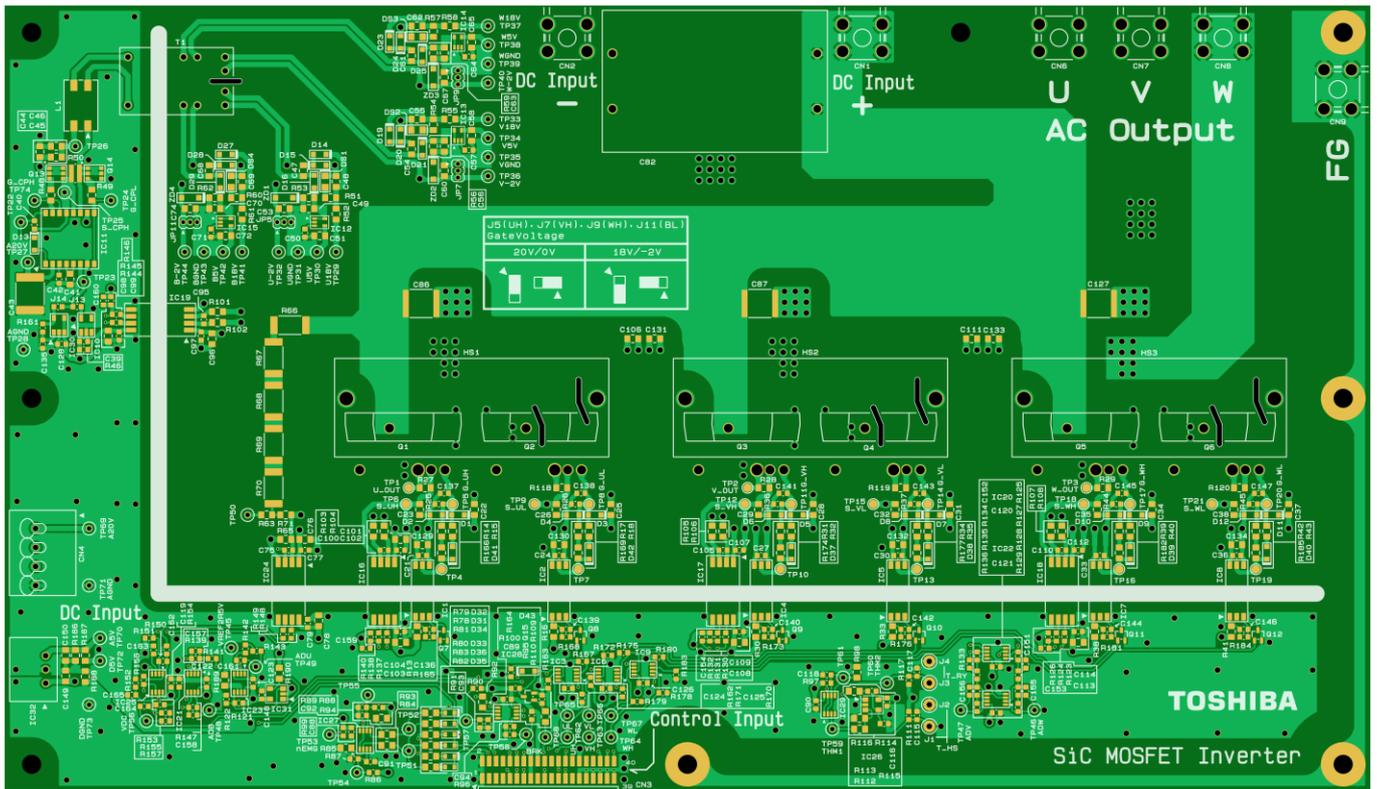


図 2.8 主要部品配置 (インバーター基板 Front 側)

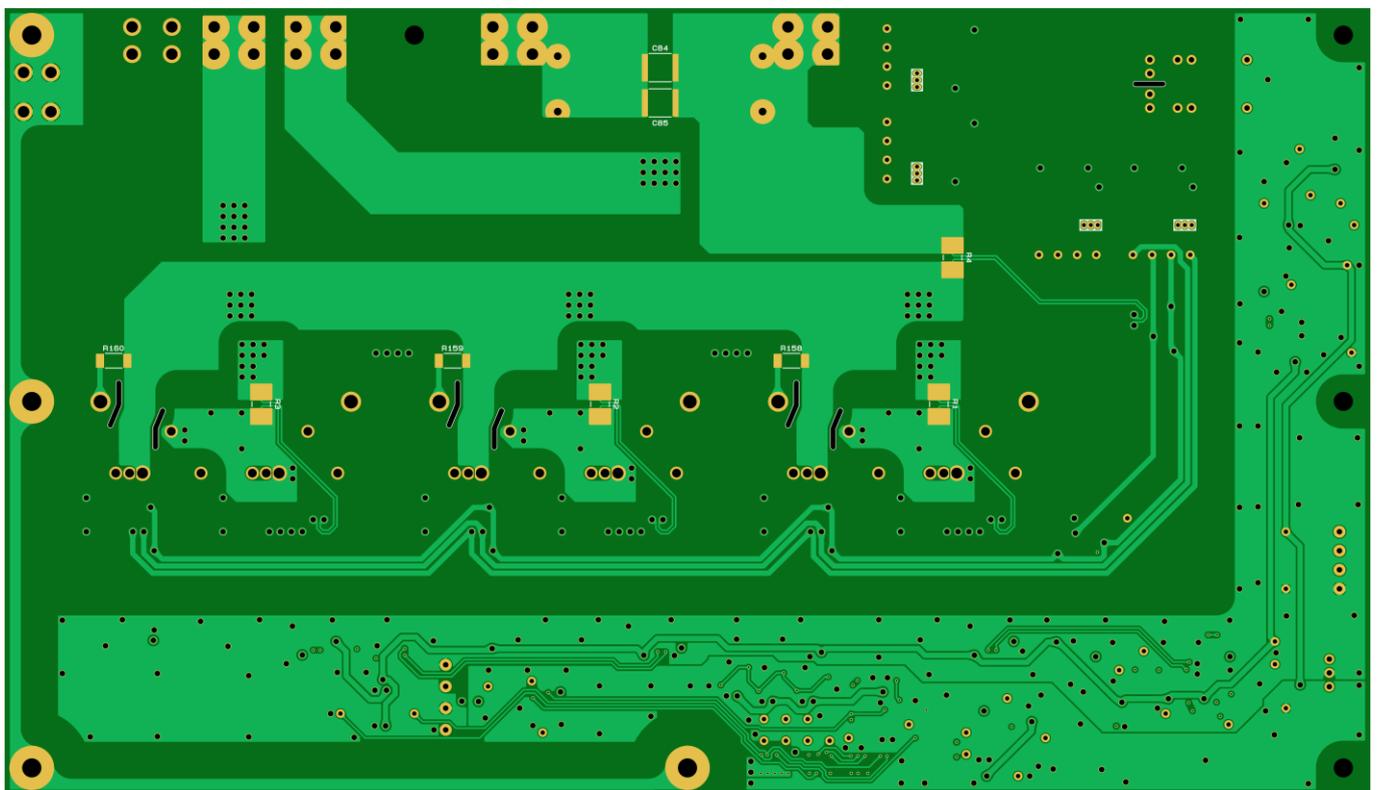


図 2.9 主要部品配置 (インバーター基板 Back 側)

3. 回路図、部品表、PCB パターン図

3.1. 回路図

以下のファイルを参照ください。

RD220-SCHEMATIC1-xx.pdf (AC-DC基板)

RD220-SCHEMATIC2-xx.pdf (インバーター基板)

(xxはレビジョン番号)

3.2. 部品表

以下のファイルを参照ください。

RD220-BOM1-xx.pdf (AC-DC基板)

RD220-BOM2-xx.pdf (インバーター基板)

(xxはレビジョン番号)

3.3. PCB パターン図

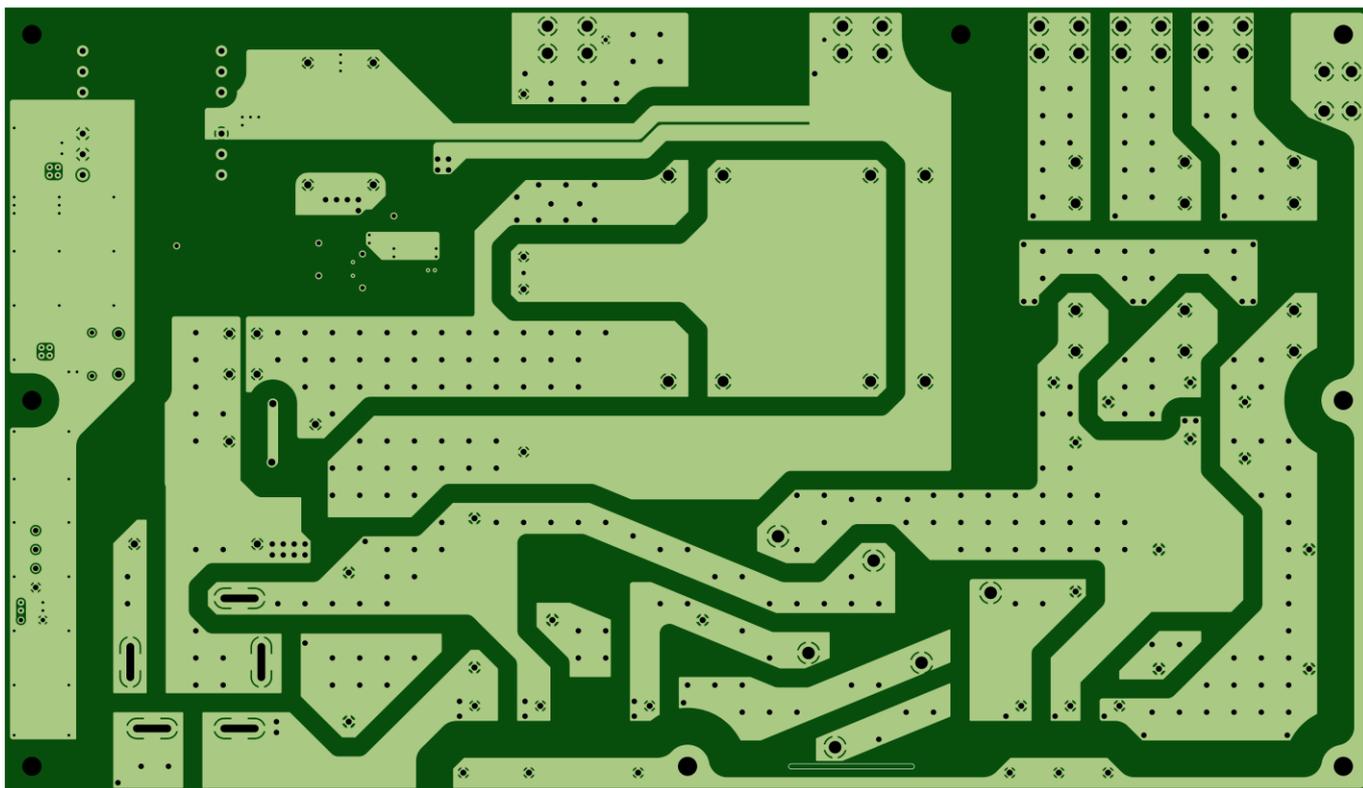
図3.1に本インバーターのパターン図を示します。

以下のファイルも参照ください。

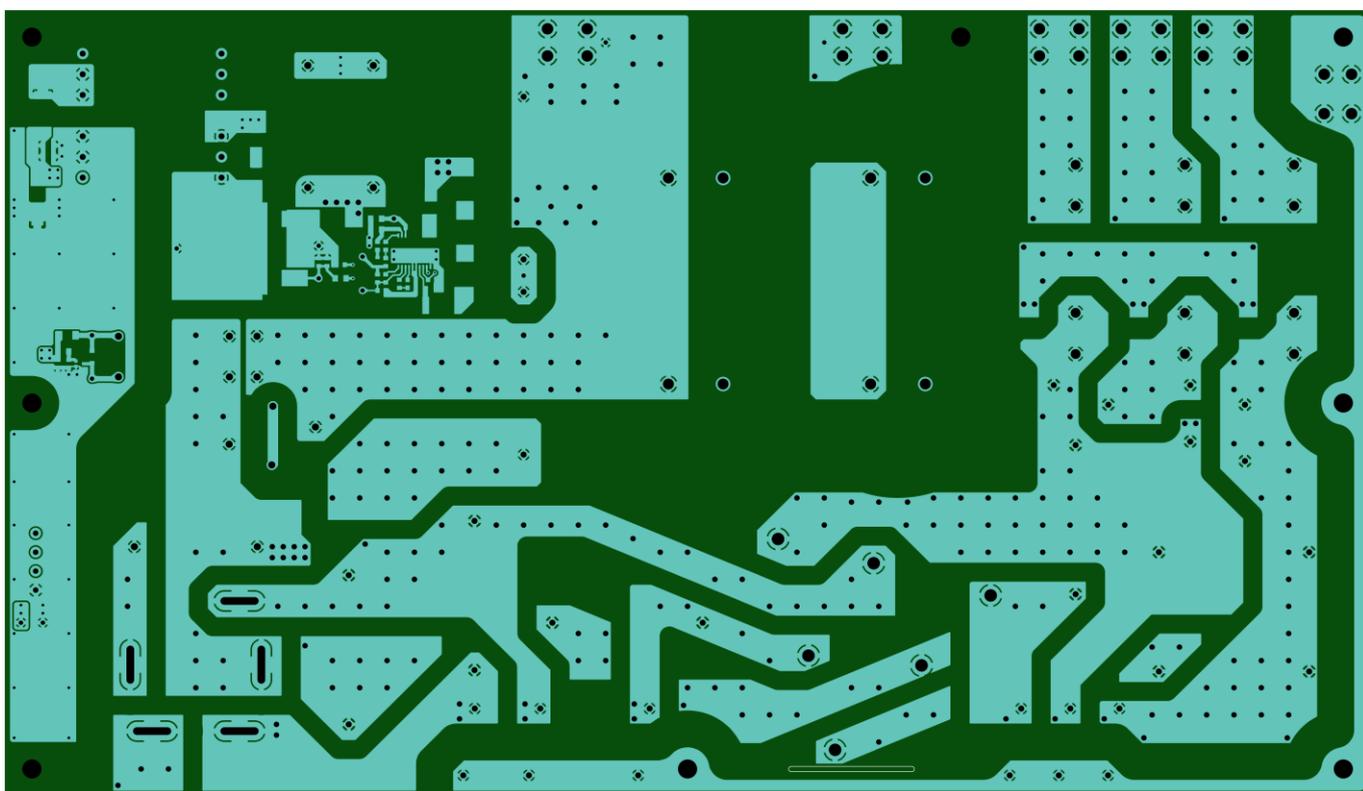
RD220-LAYER1-xx.pdf (AC-DC基板)

RD220-LAYER2-xx.pdf (インバーター基板)

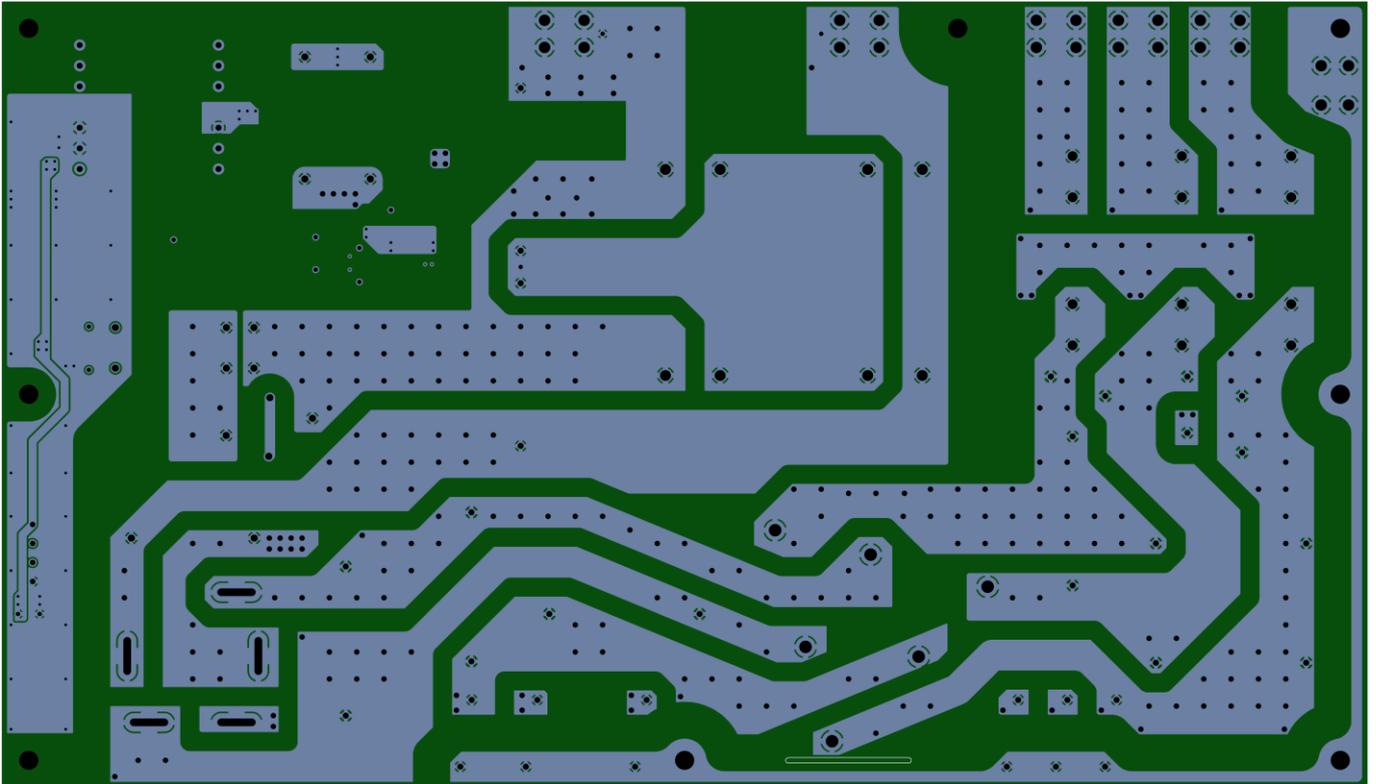
(xxはレビジョン番号)



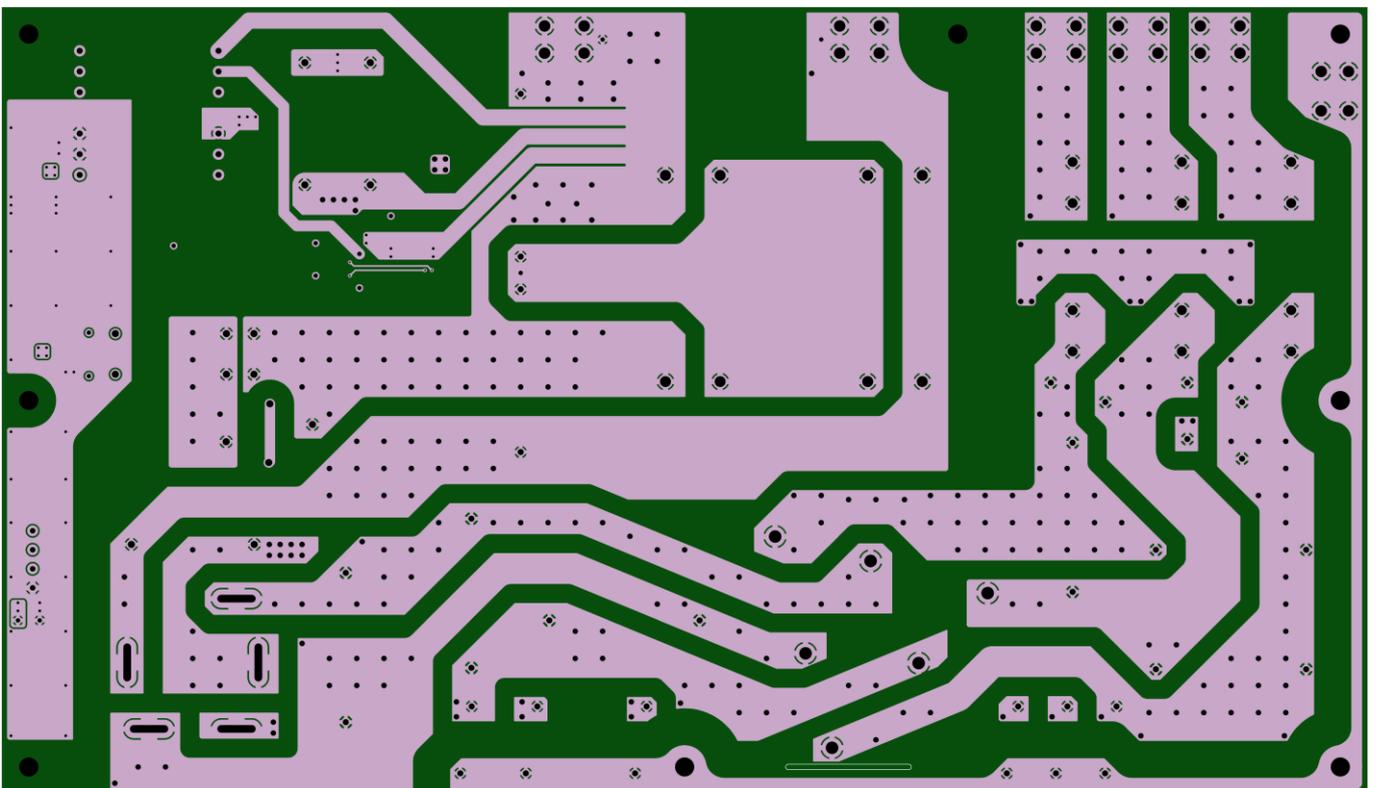
< AC-DC基板, Layer 1 Front側>



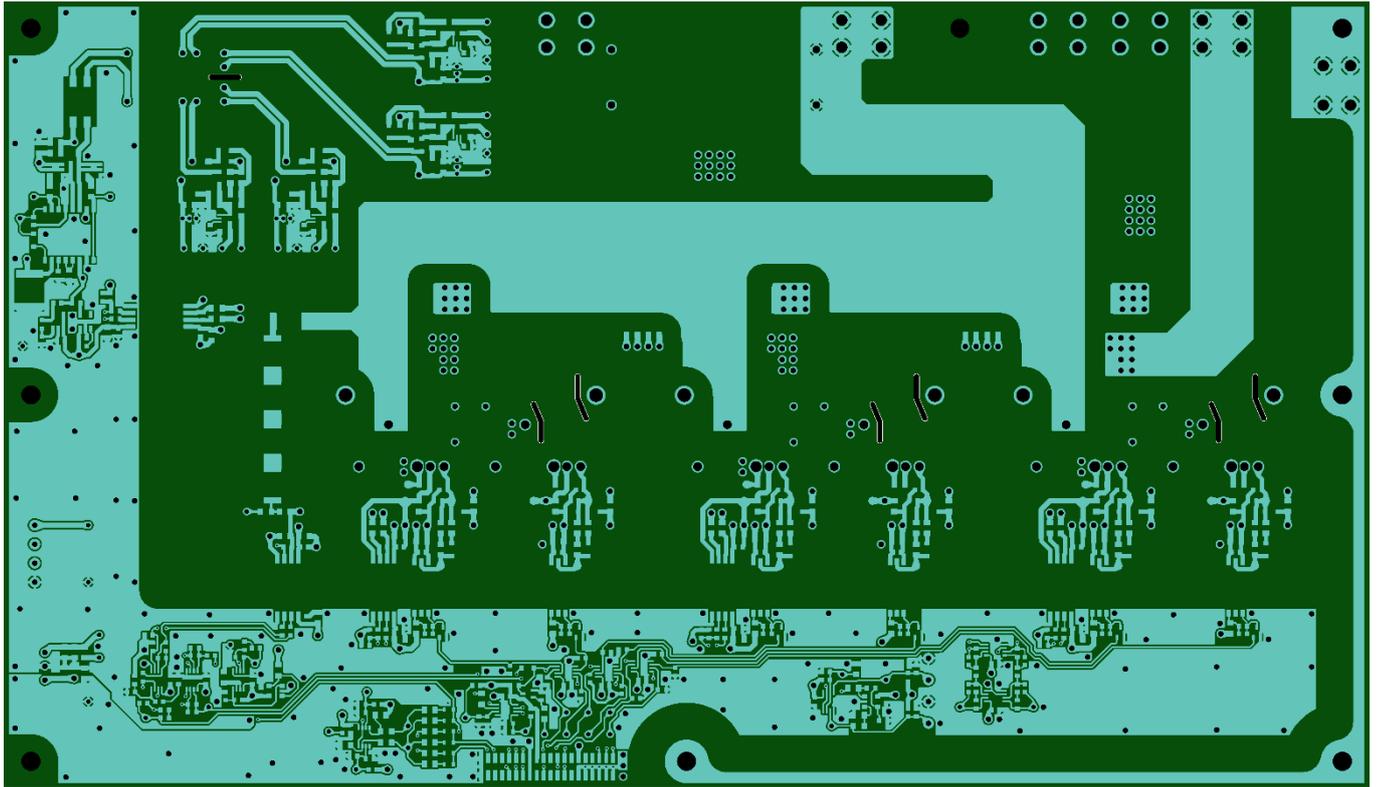
< AC-DC基板, Layer 2>



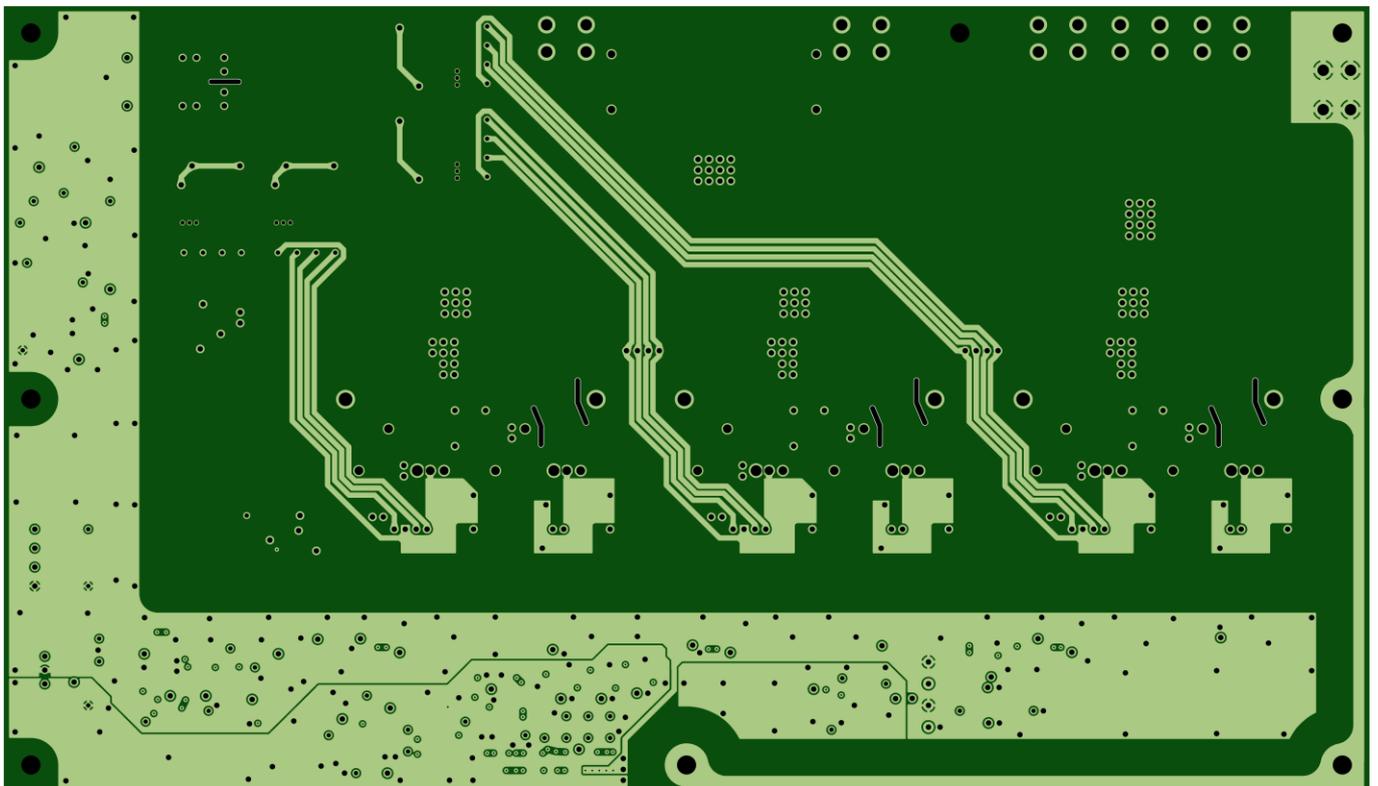
< AC-DC基板, Layer 3 >



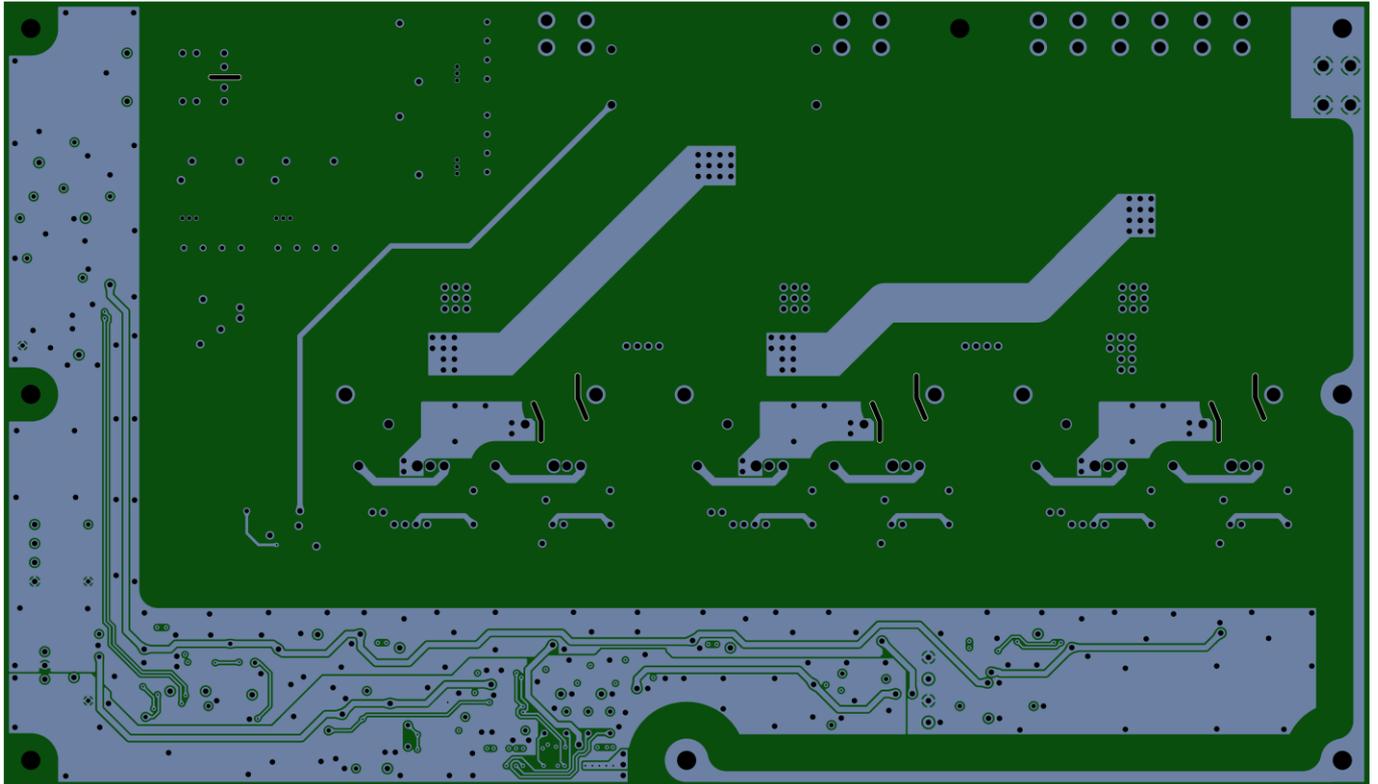
< AC-DC基板, Layer 4 Back側 >



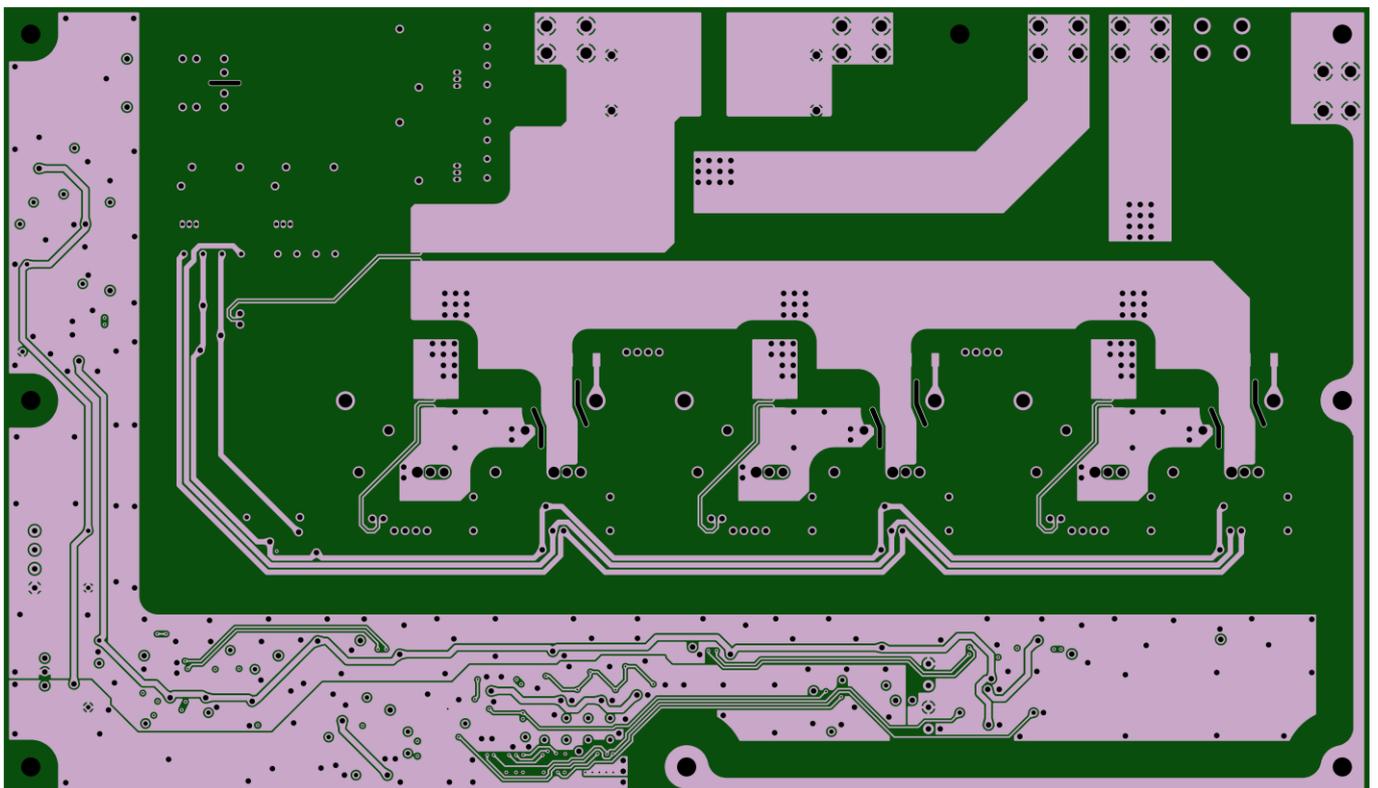
< インバーター基板, Layer 1 Front側 >



< インバーター基板, Layer 2 >



< インバーター基板, Layer 3 >



< インバーター基板, Layer 4 Back側 >

図3.1 基板パターン図 (Front View)

4. 動作説明

4.1. 各部の名称と機能

4.1.1. 3相 AC 入力端子 (AC-DC 基板, CN1, CN2, CN3)

3相 AC 電源を入力する端子です。OT-005 (Osada) を使用しています。M3 リングターミナルなどで接続してください。各ラインは AC 500 V, 16A のヒューズ (FL3, FL4, FL5) 8020.508 (SCHURTER) を介して、AC-DC 変換されます。



図 4.1 3相 AC 入力端子 (CN1, CN2, CN3)

表 4.1 AC 電源入力端子の仕様

コネクタ	信号名	
CN1	L1	3相 AC 入力 (R)
CN2	L2	3相 AC 入力 (S)
CN3	L3	3相 AC 入力 (T)

4.1.2. FG 端子 (AC-DC 基板, CN4)

フレームグランド端子です。OT-005 (Osada) を使用しています。M3 リングターミナルなどで適切なフレームグランドに接続してください。



図 4.2 FG 端子 (CN4)

表 4.2 FG 端子の仕様

コネクタ	信号名	
CN4	GND_F	フレームグランド

4.1.3. DC 出力端子 (AC-DC 基板, CN5, CN6)

DC 電源を出力する端子です。OT-005 (Osada) を使用しています。M3 リングターミナルなどで接続してください。



図 4.3 DC 出力端子 (CN5, CN6)

表 4.3 DC 出力端子の仕様

コネクタ	信号名	
CN5	VP_DC	DC 出力 (+)
CN6	GND_DC	DC 出力 (-)

4.1.4. 制御電源出力端子 (AC-DC 基板, CN7)

制御用の電源出力コネクタです。1984989 (Phoenix Contact) を使用しています。インバーター基板の制御電源入力端子(CN4)に接続してください。



図 4.4 制御電源出力端子 (CN7)

表 4.4 制御電源出力端子の仕様

Pin	信号名	
1	VDD20_A	制御電源出力 (20 V)
2	-	未接続
3	-	未接続
4	GND_A	制御電源出力 (GND)

4.1.5. DC 入力端子 (インバーター基板, CN1, CN2)

DC 電源を入力する端子です。OT-005 (Osada) を使用しています。M3 リングターミナルなどで接続してください。



図 4.5 DC 入力端子 (CN1, CN2)

表 4.5 DC 入力端子の仕様

コネクタ	信号名	
CN1	VP_DC	DC 入力 (+)
CN2	GND_DC	DC 入力 (-)

4.1.6. 3 相 AC 出力端子 (インバーター基板, CN6, CN7, CN8)

3 相 AC を出力する端子です。OT-005 (Osada) を使用しています。M3 リングターミナルなどでモーター等に接続してください。



図 4.6 AC 電源出力端子 (CN6, CN7, CN8)

表 4.6 AC 電源出力端子の仕様

コネクタ	信号名	
CN6	U	3 相 AC 出力 (U)
CN7	V	3 相 AC 出力 (V)
CN8	W	3 相 AC 出力 (W)

4.1.7. FG 端子 (インバーター基板, CN9)

フレームグランド端子です。OT-005 (Osada) を使用しています。M3 リングターミナルなどで適切なフレームグランドに接続してください。



図 4.7 FG 端子 (CN9)

表 4.7 FG 端子の仕様

コネクタ	信号名	
CN9	GND_F	フレームグランド

4.1.8. 制御電源入力端子 (インバーター基板, CN4)

制御用の電源入力コネクタです。1984989 (Phoenix Contact) を使用しています。AC-DC 基板の制御電源出力端子 (CN7) に接続してください。



図 4.8 制御電源出力端子 (CN4)

表 4.8 制御電源出力端子の仕様

Pin	信号名	
1	VDD20_A	制御電源入力 (20 V)
2	-	未接続
3	-	未接続
4	GND_A	制御電源入力 (GND)

4.1.9. コントローラー接続コネクタ (インバーター基板, CN3)

外部 MCU などコントローラーと接続するコネクタです。FTSH-120-04-L-DH-A-C (Samtec) を使用しています。5 V の入出力が可能です。各種センサー出力の仕様はデザインガイド **RD220-DGUIDE** を参照ください。



図 4.9 コントローラー接続コネクタ (CN3)

表 4.9 コントローラー接続コネクタの仕様

Pin	信号名	I/O	用途例	Pin	信号名	I/O	用途例
1	GND_D	-	デジタル信号グランド	2	GND_D	-	デジタル信号グランド
3	-		未接続	4	-		未接続
5	-		未接続	6	-		未接続
7	-		未接続	8	-		未接続
9	UH	DI	U 相ハイサイドゲート信号 (Active High)	10	UL	DI	U 相ローサイドゲート信号 (Active High)
11	VH	DI	V 相ハイサイドゲート信号 (Active High)	12	VL	DI	V 相ローサイドゲート信号 (Active High)
13	WH	DI	W 相ハイサイドゲート信号 (Active High)	14	WL	DI	W 相ローサイドゲート信号 (Active High)
15	GND_D	-	デジタル信号グランド	16	GND_D	-	デジタル信号グランド
17	-		未接続	18	VDD5_D		デジタル系電源出力 (5 V)
19	BRK	DI	ゲート駆動停止 (Active High)	20	-		未接続
21	-		未接続	22	-		未接続
23	-		未接続	24	THM1	AO	温度センサー (T_HS)出力
25	nEMG	DO	異常検出出力 (Active Low)	26	VDC	AO	バス電圧センサー出力
27	-		未接続	28	-		未接続
29	GND_A	-	アナログ信号グランド	30	VDD5_A		アナログ信号電源出力 (5 V)
31	GND_A	-	アナログ信号グランド	32	-		未接続
33	GND_A	-	アナログ信号グランド	34	-		未接続
35	GND_A	-	アナログ信号グランド	36	ADU	AO	相電流センサー出力 (U 相)
37	GND_A	-	アナログ信号グランド	38	ADV	AO	相電流センサー出力 (V 相)
39	GND_A	-	アナログ信号グランド	40	ADW	AO	相電流センサー出力 (W 相)

4.1.10. ゲート電圧設定ジャンパー（インバーター基板, JP5, JP7, JP9, JP11）

ジャンパーピンの設定により SiC MOSFET を駆動するゲート電圧を変更できます。図 4.9 ではすべてのゲート電圧設定ジャンパーピンのピン 2-ピン 3 間をショートしているため、オン時 18 V、オフ時 -2 V でゲート駆動されます。

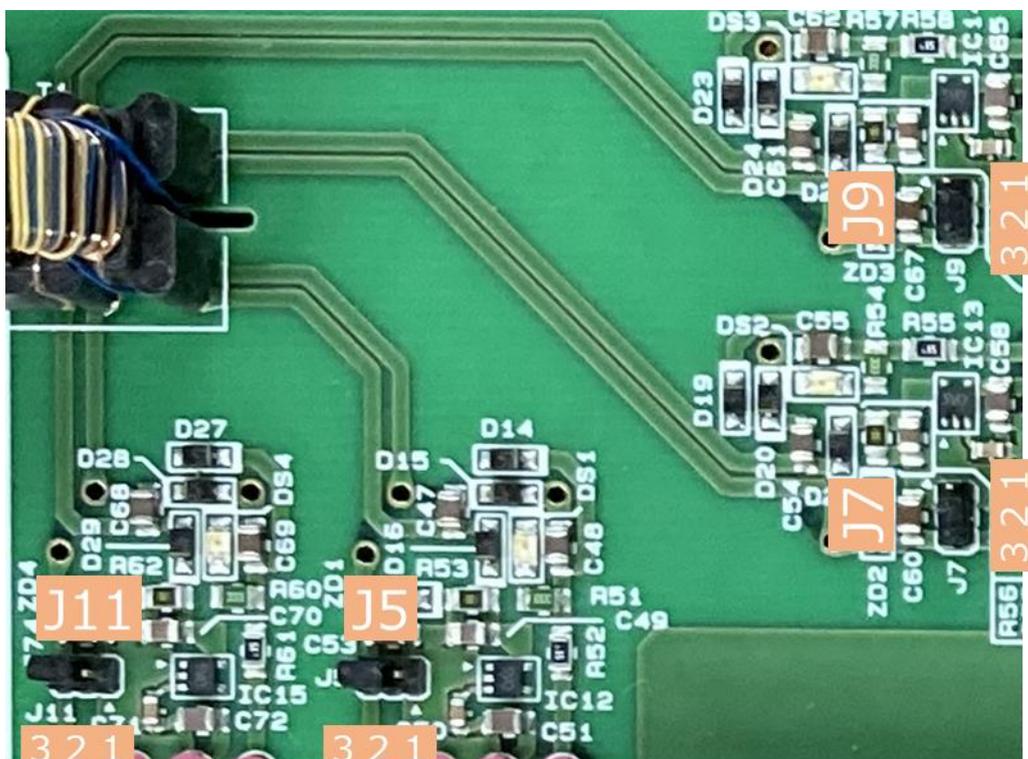


図 4.10 ゲート電圧設定ジャンパー（JP5, JP7, JP9, JP11）

表 4.10 ゲート電圧設定ジャンパーの動作

ジャンパーピン	ゲート電圧設定対象 SiC MOSFET	ピン 1-ピン 2 ショート時 ゲート電圧	ピン 2-ピン 3 ショート時 ゲート電圧
J5	U 相ハイサイド (Q1)	ターンオン時 20 V ターンオフ時 0 V	ターンオン時 18 V ターンオフ時 -2 V
J7	V 相ハイサイド (Q3)		
J9	W 相ハイサイド (Q5)		
J11	U/V/W 相ローサイド (Q2, Q4, Q6)		

4.1.11. 温度センサー接続端子 (インバーター基板, J1, J2, J3, J4)

本インバーターには NTC サーミスター温度センサーを 2 個接続可能です。温度センサー測定対象に取り付け、センサーのリード部分をこの端子にはんだ付けしてください (極性はありません)。推奨温度センサーは 25 °C 時に 1 k Ω , B 定数 3988 K の B57703M0103A017 (TDK) です。



図 4.10 温度センサー接続端子 (J1, J2, J3, J4)

表 4.10 温度センサー接続端子の仕様

温度センサー接続端子	温度センサー名称	温度測定対象 (例)	コントローラー接続コネクタからの出力	異常監視
J1 - J2	T_HS	SiC MOSFET ヒートシンク (インバーター基板)	THM1 から出力	対象
J3 - J4	T_RY	突入電流防止リレー (AC-DC 基板)	-	対象

4.2. 動作確認

4.2.1. 準備

- ・ インバーター基板のゲート設定ジャンパー（JP5, JP7, JP9, JP11）に適切なゲート電圧を設定します。
- ・ インバーター基板の温度センサー接続端子（J1, J2, J3, J4）に温度センサーを取り付けます。
- ・ AC-DC 基板、インバーター基板を固定し、それぞれの FG 端子に適切なフレームグランドを接続します。
- ・ AC-DC 基板の DC 出力端子（CN5, CN6）とインバーター基板の DC 入力端子（CN1, CN2）を接続します。
- ・ AC-DC 基板の制御電圧出力端子（CN7）とインバーター基板の制御電源入力端子（CN2）を接続します。
- ・ インバーター基板のコントローラー接続コネクタ（CN3）に MCU 基板などのコントローラーを接続します。
- ・ インバーター基板の 3 相 AC 出力端子（CN6, CN7, CN8）に 3 相モーターを接続します。
- ・ AC-DC 基板の 3 相 AC 入力端子（CN1, CN2, CN3）に 3 相 AC 電源を接続します。

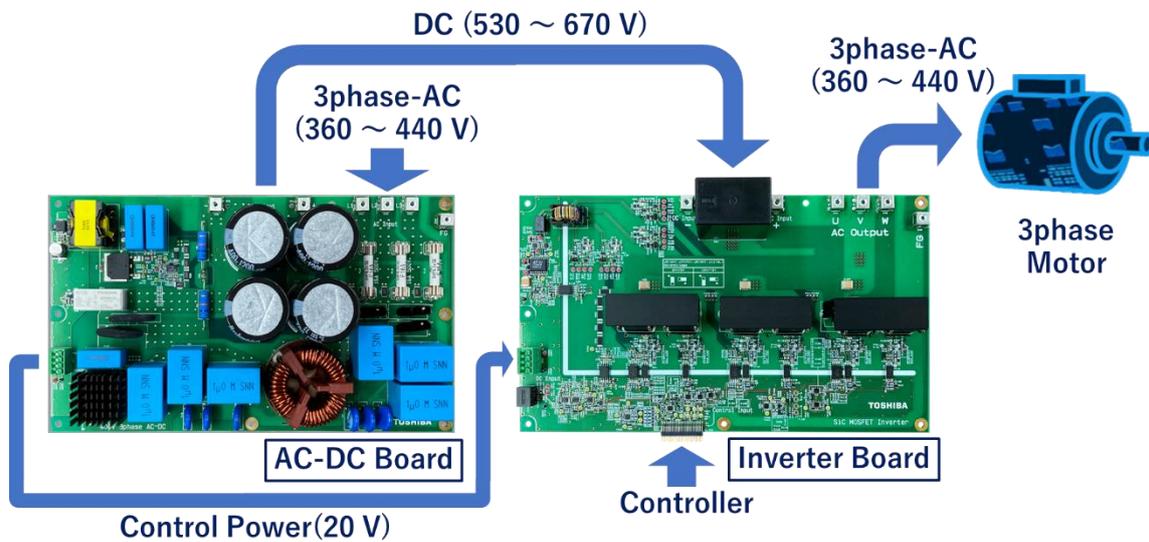


図 4.11 動作確認時の接続例

4.2.2. 動作確認方法

AC 電源投入後、BRK 信号をディセーブル（コントローラーより L レベル信号を出力）し、コントローラーから各相のゲート駆動信号（UH, UL, VH, VL, WH, WL）を出力します。本インバーター上の SiC MOSFET が各ゲート信号に基づきスイッチングします。

4.2.3. 異常検出時の動作

以下の異常を検出するとコントローラー接続コネクタ（CN3）25 ピンの nEMG（Emergency）信号が L レベルとなり、BRK 信号ディセーブル時でもゲート信号が強制的にオフになります。異常検出から復帰すると nEMG 信号は H レベルに復帰します。

- (1) U 相過電流異常：U 相相電流が +45 A 以上 または -45 A 以下になった時
- (2) V 相過電流異常：V 相相電流が +45 A 以上 または -45 A 以下になった時
- (3) W 相過電流異常：W 相相電流が +45 A 以上 または -45 A 以下になった時
- (4) バス過電圧異常：インバーターバス電圧が 800 V 以上になった時
- (5) バス過電流異常：インバーターバス電流が 160 A 以上になった時
- (6) 過熱異常：温度センサー（T_HS, T_RY）のどちらかが 115 °C 以上となった時

4.3. 使用時の注意事項

動作にあたっては特に以下に注意ください。

- ・通電前にコネクタ、端子の極性が正しいことを確認してください。
- ・平滑コンデンサーは高電圧が印加されており、電源オフ後も完全に放電するまで時間がかかります。基板に手を触れる前にコンデンサーが十分に放電したことを確認してください。
- ・動作確認の際は、安全のため基板をアクリルケースで覆うなどして使用してください。
- ・MOSFET 等は動作中に発熱します、取り扱いの際には、火傷等に注意してください。

5. 特性

本インバーターの効率測定結果を説明します。

図 5.1 に SiC MOSFET として TW045Z120C (ゲート電圧 18 V ならびに -2 V) を使用し、AC-DC 基板入力:3 相 400 V 60 Hz, インバーター基板出力:3 相 440 V 60 Hz, スイッチング周波数:5 kHz にて定格 2.2 kW モーターを動作させた場合のインバーター効率測定結果を示します。最大トルク 11.6 N・m 時に 98.6 %の効率となりました。

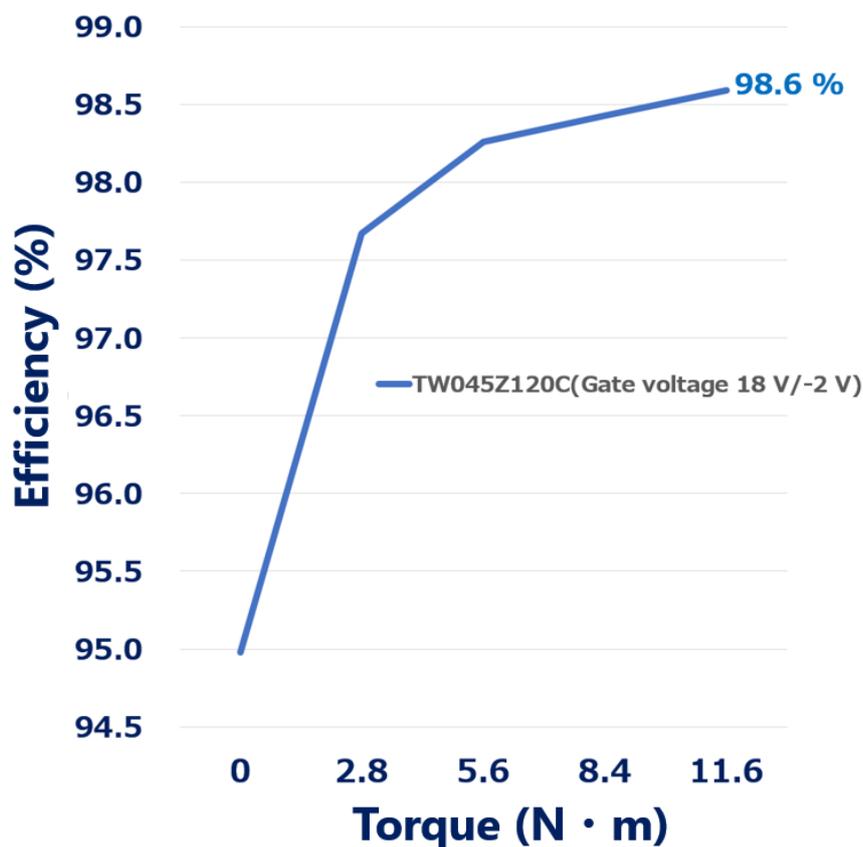


図 5.1 効率測定結果

ご利用規約

本規約は、お客様と東芝デバイス&ストレージ株式会社（以下「当社」といいます）との間で、当社半導体製品を搭載した機器を設計する際に参考となるドキュメント及びデータ（以下「本リファレンスデザイン」といいます）の使用に関する条件を定めるものです。お客様は本規約を遵守しなければなりません。

第1条 禁止事項

お客様の禁止事項は、以下の通りです。

1. 本リファレンスデザインは、機器設計の参考データとして使用されることを意図しています。信頼性検証など、それ以外の目的には使用しないでください。
2. 本リファレンスデザインを販売、譲渡、貸与等しないでください。
3. 本リファレンスデザインは、高温・多湿・強電磁界などの対環境評価には使用できません。
4. 本リファレンスデザインを、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用しないでください。

第2条 保証制限等

1. 本リファレンスデザインは、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
2. 本リファレンスデザインは参考用のデータです。当社は、データ及び情報の正確性、完全性に関して一切の保証をいたしません。
3. 半導体素子は誤作動したり故障したりすることがあります。本リファレンスデザインを参考に機器設計を行う場合は、誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。また、使用されている半導体素子に関する最新の情報（半導体信頼性ハンドブック、仕様書、データシート、アプリケーションノートなど）をご確認の上、これに従ってください。
4. 本リファレンスデザインを参考に機器設計を行う場合は、システム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断して下さい。当社は、適用可否に対する責任を負いません。
5. 本リファレンスデザインは、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証又は実施権の許諾を行うものではありません。
6. 当社は、本リファレンスデザインに関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をせず、また当社は、本リファレンスデザインに関する一切の損害（間接損害、結果的損害、特別損害、付随的損害、逸失利益、機会損失、休業損害、データ喪失等を含むがこれに限らない。）につき一切の責任を負いません。

第3条 契約期間

本リファレンスデザインをダウンロード又は使用することをもって、お客様は本規約に同意したものとみなされます。本規約は予告なしに変更される場合があります。当社は、理由の如何を問わずいつでも本規約を解除することができます。本規約が解除された場合は、お客様は本リファレンスデザインを破棄しなければなりません。さらに当社が要求した場合には、お客様は破棄したことを証する書面を当社に提出しなければなりません。

第4条 輸出管理

お客様は本リファレンスデザインを、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用してはなりません。また、お客様は「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守しなければなりません。

第5条 準拠法

本規約の準拠法は日本法とします。

第6条 管轄裁判所

本リファレンスデザインに関する全ての紛争については、別段の定めがない限り東京地方裁判所を第一審の専属管轄裁判所とします。