

KIT_ARDMKR_AMP_40W に関するアプリケーションノート

Arduino互換オーディオアンププラットフォームの設計

About this document

Scope and purpose

このドキュメントでは、I²S オーディオ再生をサポートする Arduino ボードと互換性のある、オーディオアンププラットフォームについて説明します。より具体的には、このアプリケーションノートでは、ハードウェア (PCB 設計) とファームウェア (Arduino コード) の両方での KIT_ARDMKR_AMP_40W ボードの設計について説明します。このボードには、インフィニオンの **MA12070P** マルチレベルアンプが含まれます。これについては、後で詳しく説明します。このドキュメントは、プロのエンジニアおよび DIY ユーザーのどちらも、プロトタイプを作成、デザインの複製、または製品設計プロセスの一部としてさらなる開発のための、デザインのピックアップをできるようにします。このデザインは汎用的であり、I²S オーディオ再生をサポートする任意のオーディオボードと組み合わせて使用できます。

Intended audience

このドキュメントは、オーディオシステムの構築に関心のある、プロのエンジニア、DIY ユーザーまたは教育目的の人を対象とします。

Table of contents

About this document	1
Table of contents	1
1 はじめに	2
2 一般的な概要	4
2.1 ボードの概要	4
2.2 システム概要	5
2.3 機能と電氣的仕様	6
3 ハードウェア設計	7
3.1 回路図	7
3.1.1 電源とボードのインターフェース	8
3.1.2 昇圧コンバーター	8
3.1.3 クラス D アンプと構成	9
3.2 PCB 設計	11
3.3 部品表	15
4 ファームウェア	17
4.1 起動	17
4.2 メイン	17
4.3 音量調節	18
改訂履歴	19

はじめに

1 はじめに

Arduino プロジェクトは、イタリアのイブレアにあるイブレアインタラクショナルデザイン工科大学の学生プログラムとして 2005 年に開始され、高度なマイクロプロセッサ、コントローラ、センサー、トランスデューサを使用しながら、環境と相互作用するデバイスを手頃な価格で簡単に作成する方法の提供が目的です。

2005 年以来、Arduino ボードは、ゲーム機やドローンコントロールからさまざまなスマートホームオートメーションプロジェクトまで、幅広いプロジェクトを開発してきたメーカーや DIY 愛好家の間で着実に人気が高まっています。

Arduino ボードは、オープンソースのハードウェアとソフトウェアに基づいており、GNU Lesser General Public License (LGPL) または GNU General Public License (GPL) に基づいてライセンスされており、誰でもボードの製造とソフトウェアの配布が可能です。これにより、高性能の組み込みコンピューティング能力の開発が、専門的なハードウェアまたはソフトウェアのバックグラウンドを持たない人々を含む、非常に幅広い対象者にまで広がります。

DIY プロジェクトの種類を見ると、多くの人々がオーディオ接続を中心に展開されることがわかります。例えば、IoT オーディオインタラクションやスタンドアロンオーディオプレーヤーなどです。最近まで、このようなシステムを実現するためには、いくつかの個別のボードまたは「シールド」を一緒に追加する必要がありました。

これは、Arduino が I²S バス、SD カードオーディオの読み出し/書き込み、Alexa 音声制御の互換性などのオーディオ機能を追加した MKR ファミリのリリース以降に変更されました。これにより、Arduino プラットフォームは、インフィニオンの高性能統合クラス D オーディオ IC の完璧なデモンストレーション伝達手段にもなります。

インフィニオンは、クラス最高のオーディオパフォーマンス、低消費電力、高効率を備えた、さまざまなスピーカーを駆動するために十分な出力電力を備えた完全互換のアンプボードをリリースすることで、Arduino エコシステムにさらにもう 1 つの有用なビルディングブロックを提供します。

インフィニオン Arduino ボードには、次の主要なパラメータと機能があります。

- MERUS™ **MA12070P** 独自のマルチレベルアンプ搭載
- 電源入力: 5V/2.5 A - 同じ単一の USB-C 電源またはバッテリーパックから供給
- 外部または追加の電源は不要
- USB-C 電源またはバッテリーパックで最大 40W の瞬時ピーク出力電力
- Arduino MKRZERO および MKR1000 Wi-Fi と互換
- Arduino プログラミングフレームワークによる完全なハードウェア制御、カスタマイズ、エラー監視

はじめに

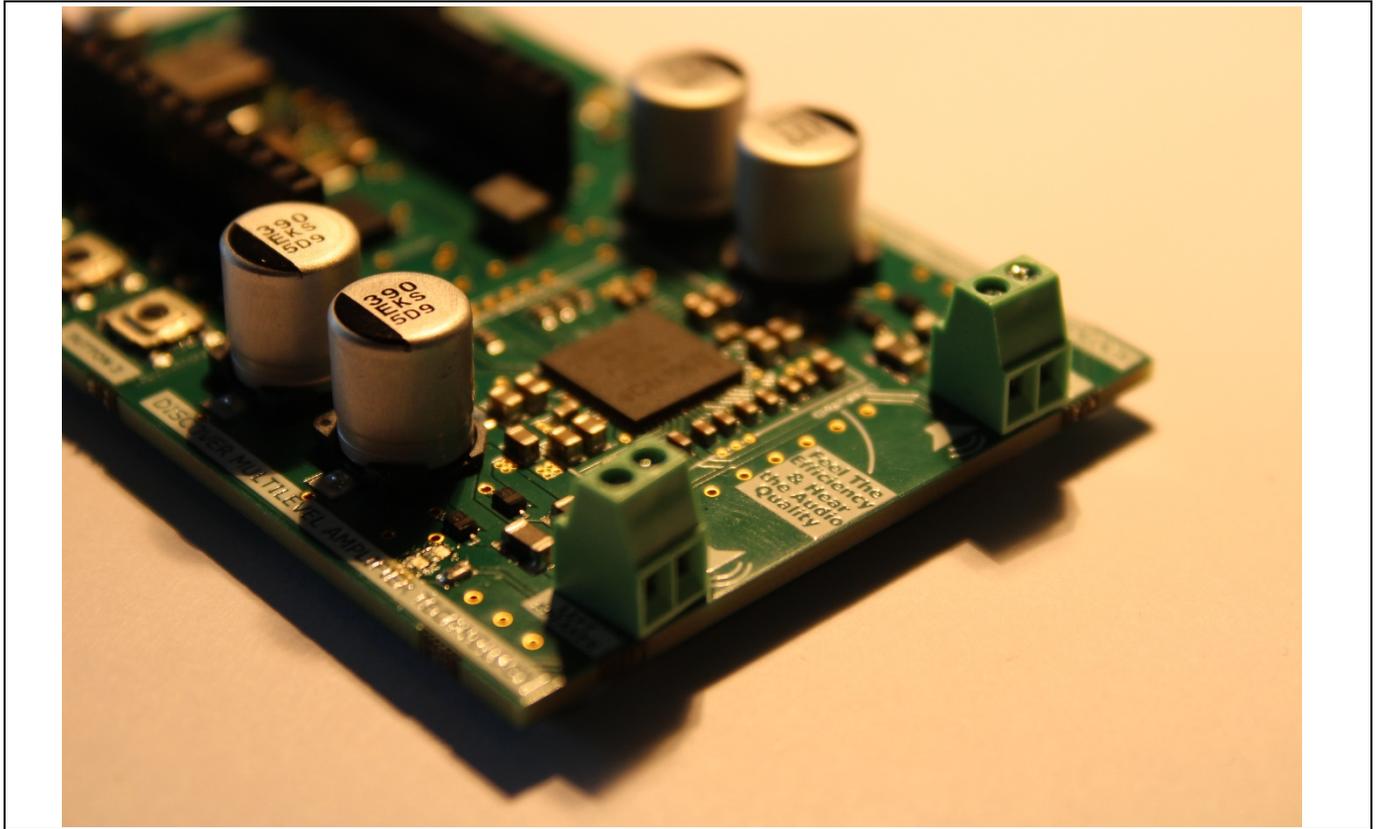


Figure 1 KIT_ARDMKR_AMP_40W

これにより、世界中の Arduino ファンがついに独自のハイエンドワイヤレスオーディオプレーヤーを構築できます。最近 Arduino Amazon Alexa スキルが追加されたことで、Alexa を Arduino IoT クラウドプロジェクトに接続することも可能です。追加のコーディングは必要ありません。

その結果、本格的な Alexa 搭載のワイヤレススピーカーを人気の DIY プロジェクトのリストに追加できるようになりました。

一般的な概要

2 一般的な概要

2.1 ボードの概要

KIT_ARDMKR_AMP_40W ボードは、Arduino の MKRZERO ボードと互換性があり、インフィニオンの MERUSTM MA12070P マルチレベルアンプを中心に構築されたオーディオアンプボードです。Figure 2 では、次の主要なシステムコンポーネントが識別されます。

1. USB-C 電源入力
2. 昇圧コンバーター
3. バルクキャパシタンス
4. オーディオアンプ
5. ユーザーインターフェース
6. Arduino マイクロコントローラー

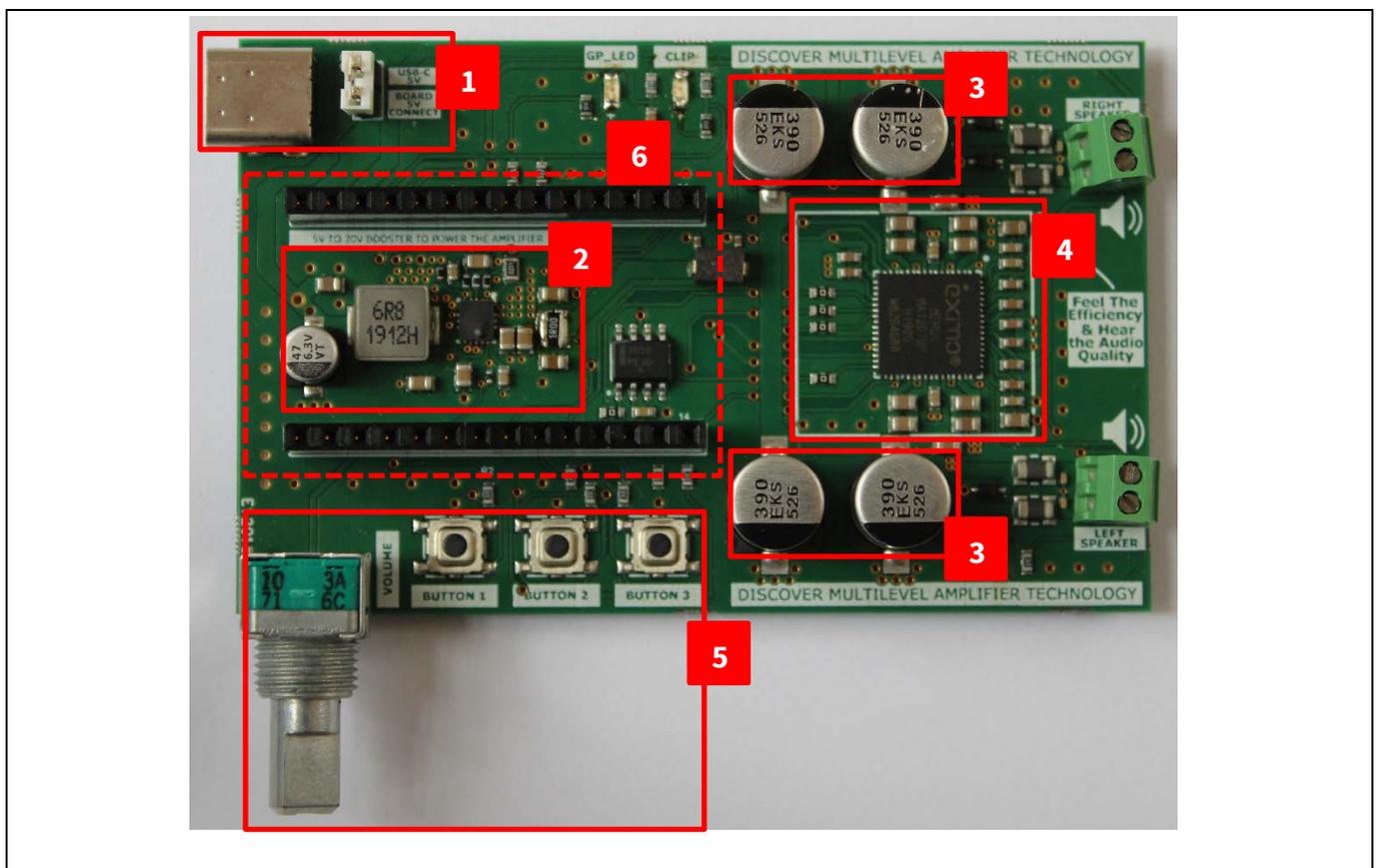


Figure 2 ボードの概要

このボードは主に、Arduino MKRZERO ボードとの優れたオーディオ品質と簡単な互換性を提供するように設計されます。より具体的には、ボードは、ポータブルスピーカー、スマートスピーカー、DIY Hi-Fi スピーカー、またはあらゆる種類の消費者向けオーディオプロトタイピングなどのアプリケーションに対応します。

インフィニオンの MERUSTM MA12070P マルチレベルアンプは、「中間的な」平均出力電力レベルの効率を重視しながら、「高い」ピーク出力電力レベルを提供できるため、これらのアプリケーションに特に適します。

一般的な概要

2.2 システム概要

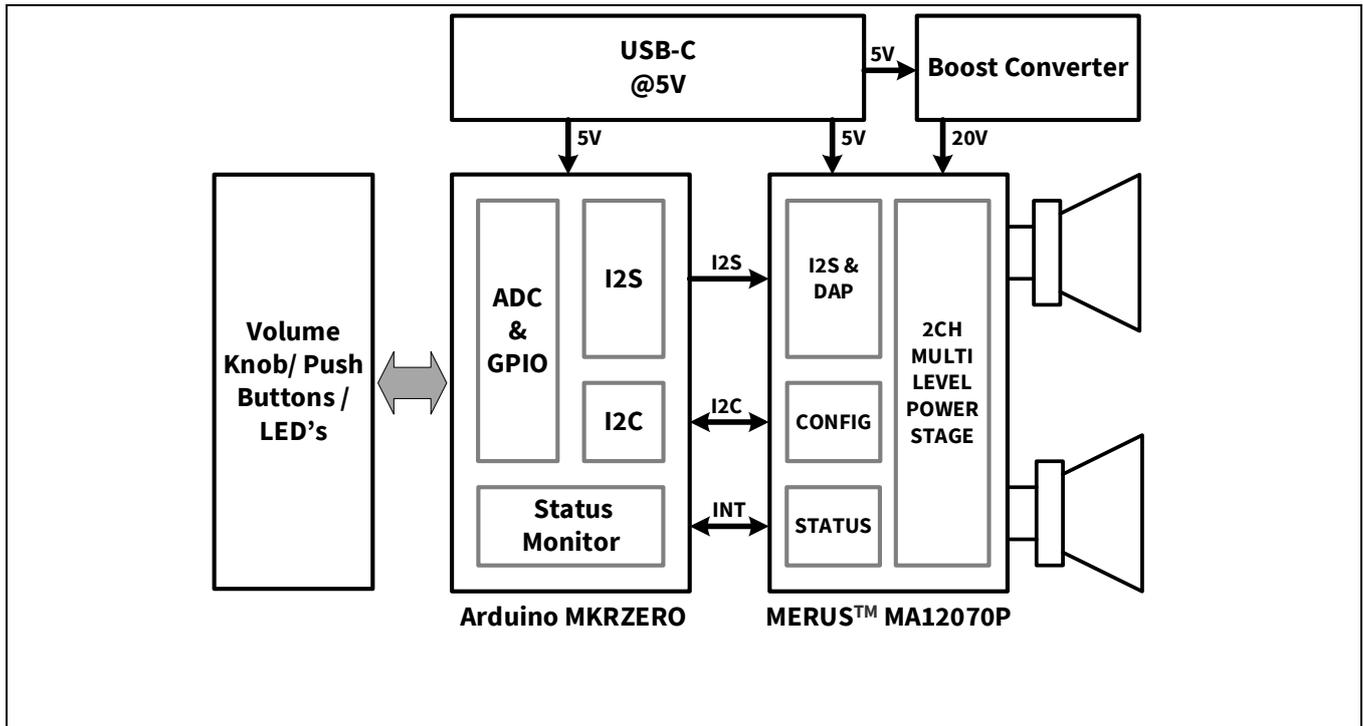


Figure 3 システム概要

さらに詳細なシステムの概要を **Figure 3** に示します。電力セクションは、オーディオ設計に関連する一般的な問題、つまり、ピーク出力電力と十分な電圧ヘッドルームと組み合わせた十分な連続電力を軽減するように設計されます。この目的のために、ボードには、単純な USB-C 入力電源アダプターまたはバッテリーからの電圧を 5V から 20V にブーストする昇圧コンバーターが組み込まれます。ブーストされた 20V は、パワーアンプセクションの電源として使用されます。バルク容量は、ショートバーストピーク電力供給のためのピークエネルギーを蓄積します。

MERUS™ **MA12070P** は、2つのスピーカーを駆動するように構成されます。電力セクションとアンプは、チャンネルごとに最大 20 W の瞬時ピーク電力を供給できます (合計 40 W)。公称スピーカーインピーダンスは、通常 4~8Ω の範囲で変化します。後のセクションで説明する特定の条件下でも、原則として低インピーダンスまたは高インピーダンスが可能です。アンプは、ボリュームコントロールとリミッター機能を含むデジタルフロントエンドを備えます。後者は、後のセクションで説明するように、入力電力が制限される場合に役立ちます。最後に、アンプ構成には、I²C 通信プロトコルを使用してアクセスできるレジスタとステータスレジスタがあります。

システムのメインプロセッサユニットは、Arduino MKRZERO (または同じファミリの同様のボード) です。このマイクロコントローラボードは、I²S オーディオをストリーミングすると同時に、I²C を介したアンプレジスタ構成や割り込みベースのステータス監視などのハウスキーピング機能を処理します。さらに、ADC と GPIO を使用して、ボリュームコントロール、汎用プッシュボタン、LED などの一部のユーザーインターフェース機能が実装されます。

一般的な概要

2.3 機能と電氣的仕様

- MERUS™ MA12070P 独自のマルチレベルアンプを搭載
- 電源入力: 5V/2.5A - 同じ単一の USB-C 電源またはバッテリーパックから供給
- 外部または追加の電源は不要
- USB-C 電源またはバッテリーパックで最大 40W の瞬時ピーク出力電力
- Arduino MKRZERO および MKR1000 Wi-Fi と互換
- Arduino プログラミングフレームワークによる完全なハードウェア制御、カスタマイズ、エラー監視

Table 1 電氣的仕様

入力電力	5V USB-C 電源アダプターまたはバッテリーパック - 最小 2A
スピーカーインピーダンス	4Ωから 16Ω
アイドル時の消費電力	1W 5V 入力時
1W 出力の電源入力	1.2W 5V 入力時
瞬時ピーク出力電力	チャンネルあたり 20W
バースト出力電力	100 Hz でのチャンネルあたり 10W (1 サイクル)
連続出力電力	チャンネルあたり 5W
最大 SPL	110dB at 1m 能率 86dB リファレンススピーカーにおいて

ハードウェア設計

3 ハードウェア設計

3.1 回路図

デザインのメインボードの回路図を **Figure 4** に示します。利便性と読みやすさのために、回路図のデザインを次のサブデザインに分割します。

- 電源とボードのインターフェース
- 昇圧コンバーター
- クラス D アンプと構成
- ユーザーインターフェース

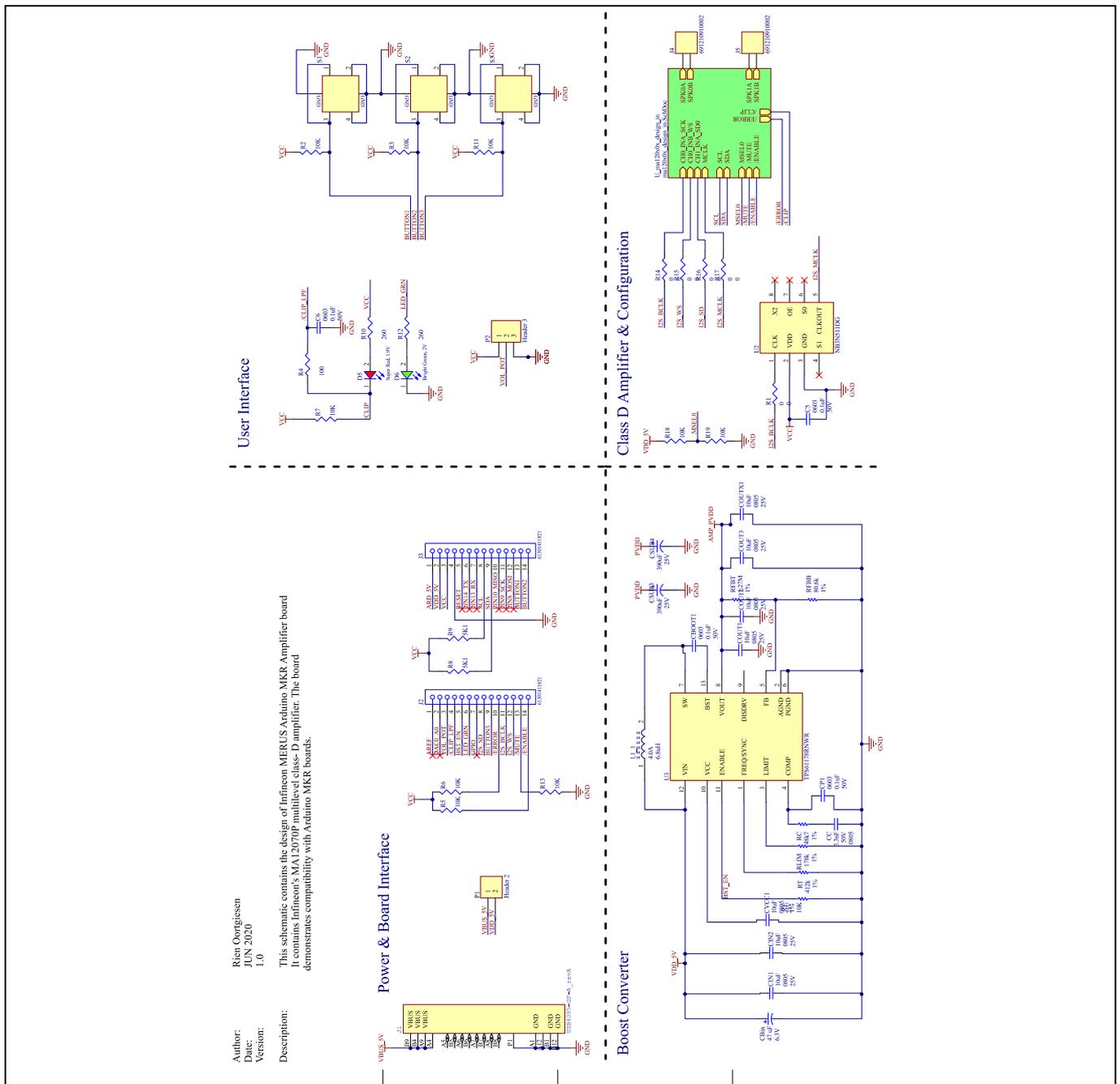


Figure 4 メインボードの回路図

ハードウェア設計

3.1.1 電源とボードのインターフェース

入力電源と Arduino MKRZERO ボードへのインターフェース接続の回路図セクションを **Figure 5** に示します。回路図デザインは、USB-C コネクタからは電源接続のみが使用されることを示します。これは、USB データ通信または電力供給ネゴシエーションが不可能であることを意味します。USB-C を選択した理由は、5V で USB-C 電源の可用性が向上したためです。さらに、USB-C を使用することで、標準のパワーバンク (携帯電話の充電に使用) から十分な電力を得られ、プロトタイプやプロジェクトを真のワイヤレスソリューションに変えられます。

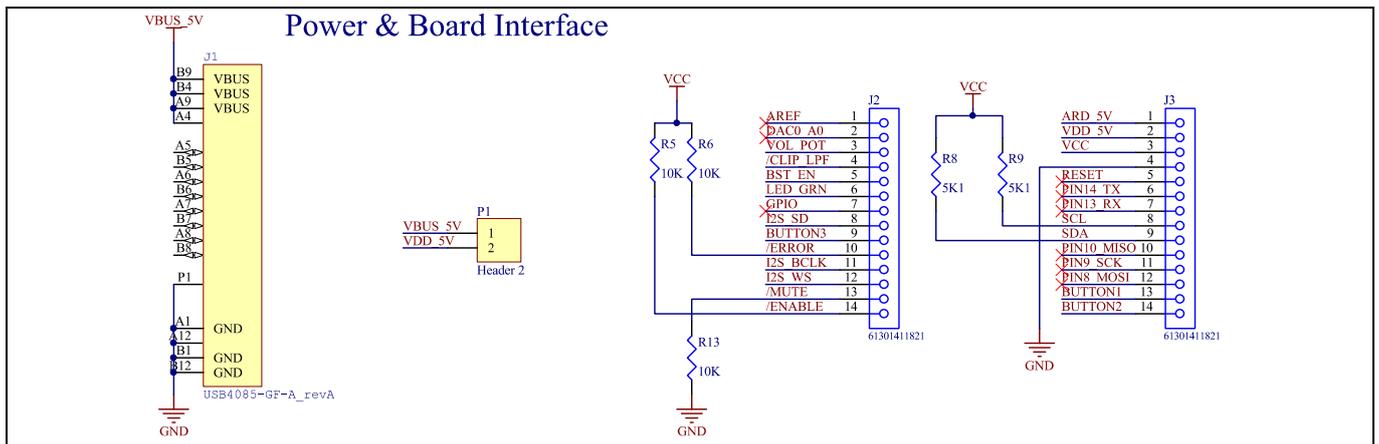


Figure 5 電源とボードのインターフェースの回路図

3.1.2 昇圧コンバーター

昇圧コンバーターセクションは、主に TPS61178 完全統合同期昇圧コンバーターを中心に構築されます。このコンバーターは、4.5V から 20V までのブースト機能と軽負荷効率のために選択されており、このアプリケーションに最適です。回路全体を **Figure 6** に示します。TPS61178 アプリケーションノートの設計ガイダンスに従っています。出力電流制限は、4A ピークおよび 500mA RMS 電流に設定されます。これは、汎用 USB-C 電源アダプターを使用する場合に使用可能な入力電力と一致します。周囲のコンポーネントは、この仕様に従って選択されます。さらなる電流出力も可能です。

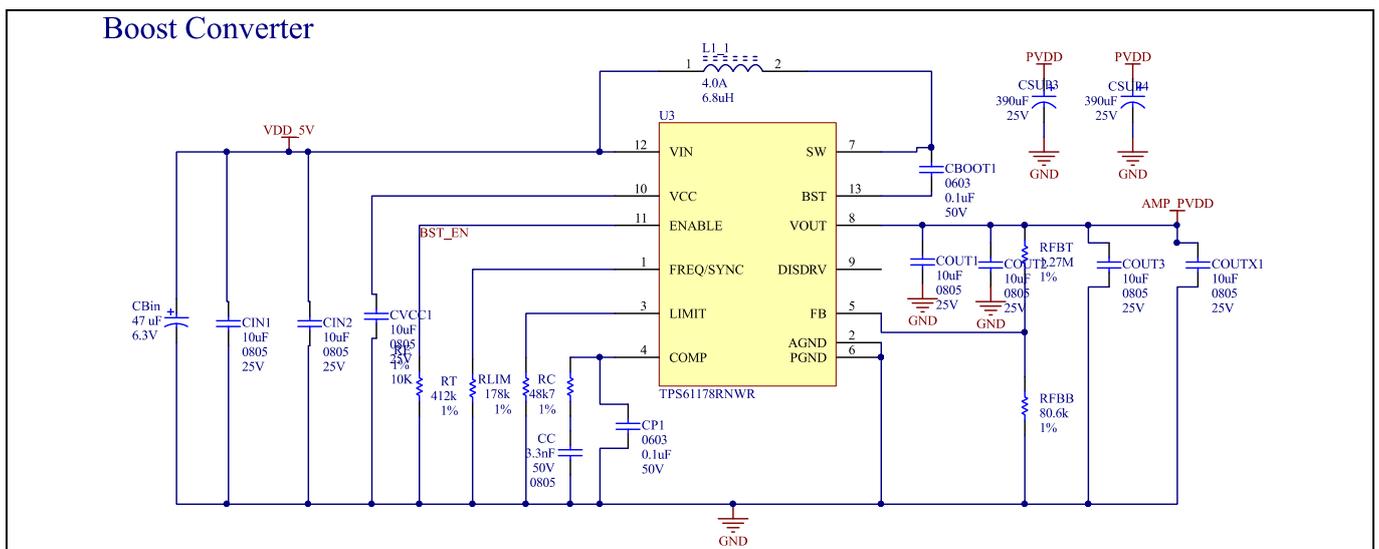


Figure 6 昇圧コンバーターの回路図

ハードウェア設計

3.1.3 クラス D アンプと構成

クラス D アンプは、スピーカーに電気エネルギーを供給する役割を担う設計のセクションです。スピーカーは次に、この電気エネルギーを振動板の動きに変換して、音楽を聞くことができるように周囲の空気を動かします。音楽信号は非常に動的です。つまり、一般的な音楽信号のピーク値と平均値の間には高い比率があります。これは、アンプがピーク電力を供給できる必要がある一方で、「アイドル」(つまり平均出力電力レベル)での消費電力は低くなければならないことを意味します。これにより、オーディオシステムの効率が大幅に向上します。

インフィニオンのマルチレベル **MA12070P** クラス D アンプは、アイドル時の消費電力が低く (20V で 400mW)、かつ LC フィルターレスであるため、このアプリケーションに最適です。後者は、ソリューション全体のサイズを小さくし、部品表 (BOM) のコストを低く抑えます。

概略構成と設計の詳細をそれぞれ **Figure 7** と **Figure 8** に示します。

Arduino ボードへのインターフェース接続は、**MA12070P** 構成およびステータス監視用の I²S オーディオインターフェースと I²C (SCL、SDA)、/MUTE、/ENABLE、/ERROR、および /CLIP です。I²S データおよびクロックラインと直列の抵抗は、ラインインピーダンスの不一致によって引き起こされる「リングング」を減衰させるために使用されます。これらの抵抗の標準値は 33Ω の範囲です。

MSEL0 は、回路図でプルアップ抵抗とプルダウン抵抗に接続されます。最終的なボードには、抵抗が 1 つだけ取り付けられています (プルアップがデフォルトです)。このピンは、アンプの出力構成を 2 チャネルブリッジタイドロード (BTL) (MSEL0=プルアップ) またはシングルチャネルパラレルブリッジタイドロード (PBTL) (MSEL0=プルダウン) に設定します。PBTL 構成では、2 つの BTL チャネルを並列に接続すると、より多くの出力電力が得られます。詳細については、**MA12070P データシート**を参照してください。

さらに、このデザインには、NB3N511DG の形式の「クロックダブリング」コンポーネントが含まれます。目的は、Arduino I²S トランスミッターからのビットクロック (I2S_BCLK) を 2 倍にすることです。現在、このクロック周波数はサンプル周波数 (FS) の 32 倍に制限されます。このクロック周波数は、**MA12070P** のマスタークロックとして使用するためには低すぎるため、サンプル周波数の少なくとも 64 倍が必要です。NB3N511DG には、このクロックを **MA12070P** に提供するための高品質の構成可能な PLL が含まれます。

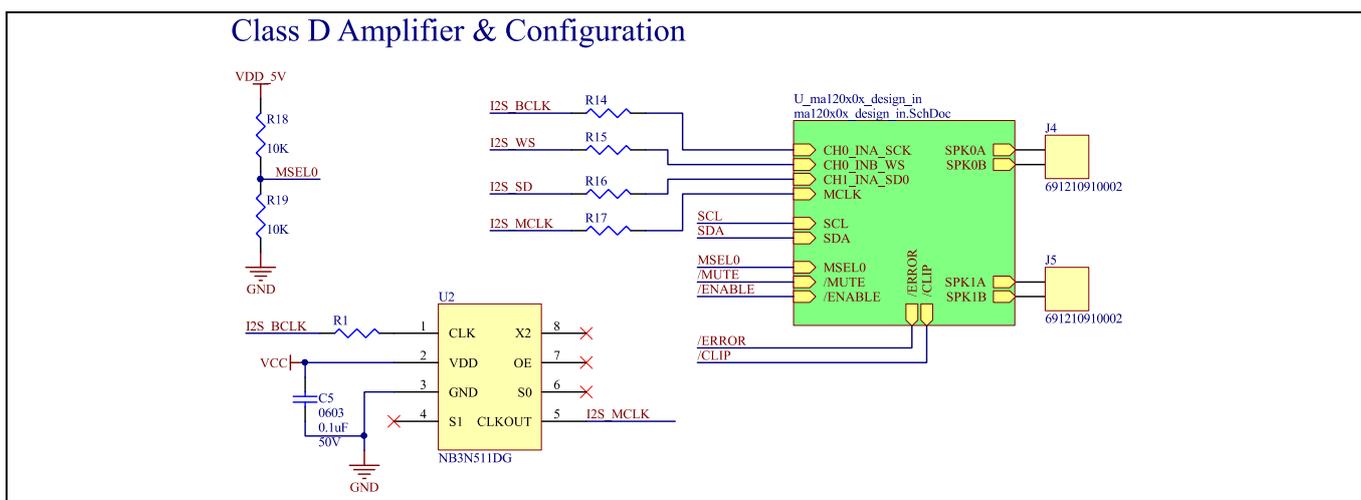


Figure 7 クラス D アンプと構成回路図

ハードウェア設計

3.2 PCB 設計

Figure 9、Figure 10、Figure 11、および Figure 12 に示すように、PCB 設計は比較的容易です。MA12070P のアンプの設計 (PCB 設計と回路図の両方) は、リファレンス設計 REF_AUDIO_D_MA12070P から正確に取得できます。

ボードデザインは、標準の 1 オンスの 2 層で構築されます。銅の厚さ。設計時には、アンプと昇圧コンバーターに十分なサーマルリリーフを確保するように注意する必要があります。PCB 銅箔は、アンプと昇圧コンバーターのメインヒートシンクであり、主にボトム層銅箔を通過します。したがって、十分なビアと熱流を保証する必要があります。より厚い銅箔 (2 オンス) または 4 層 PCB 設計 (追加の層をヒートシンクとして使用できる場合) を使用すると、熱性能を向上させられます。

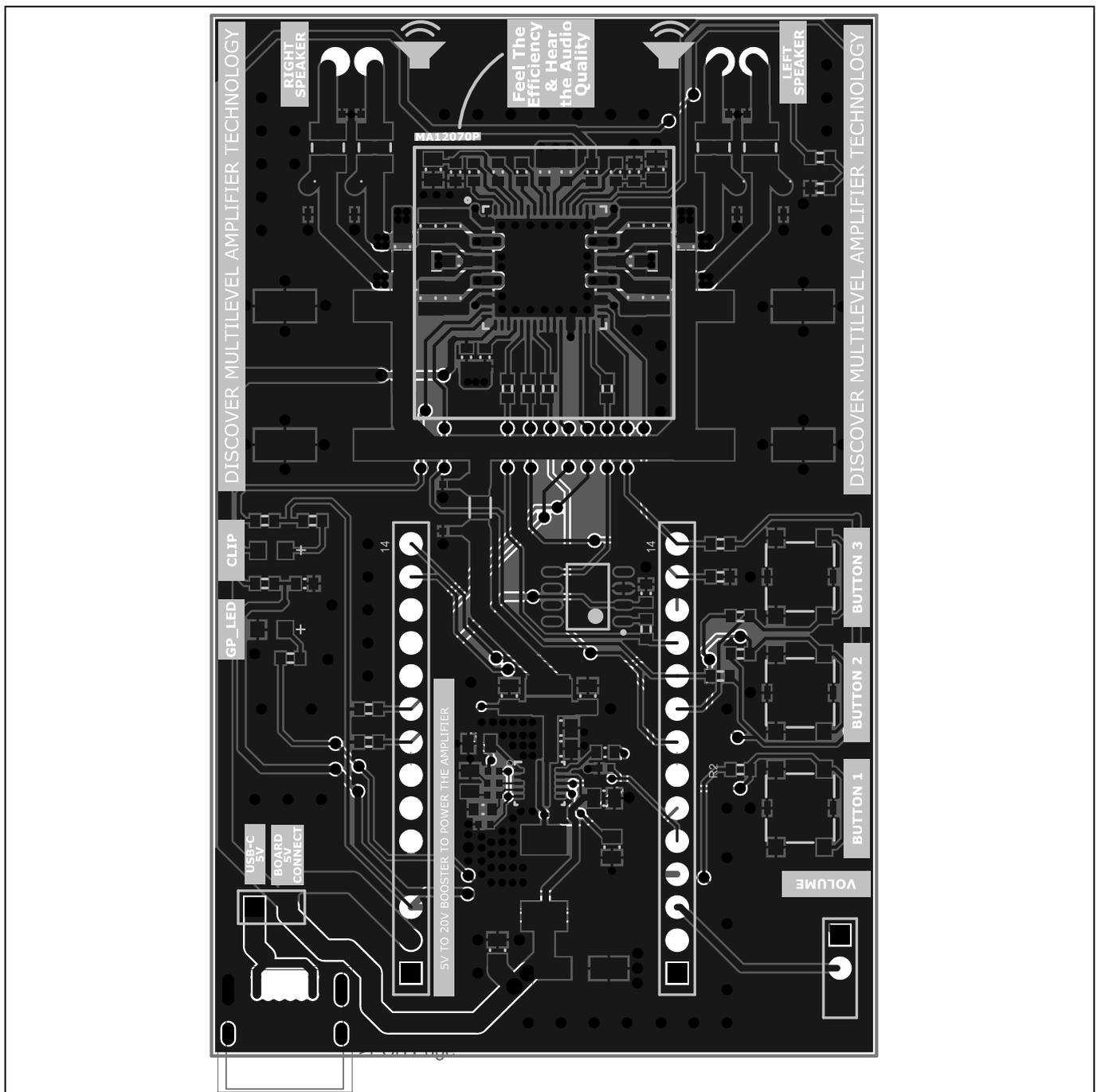


Figure 9 PCB レイアウト - スタック

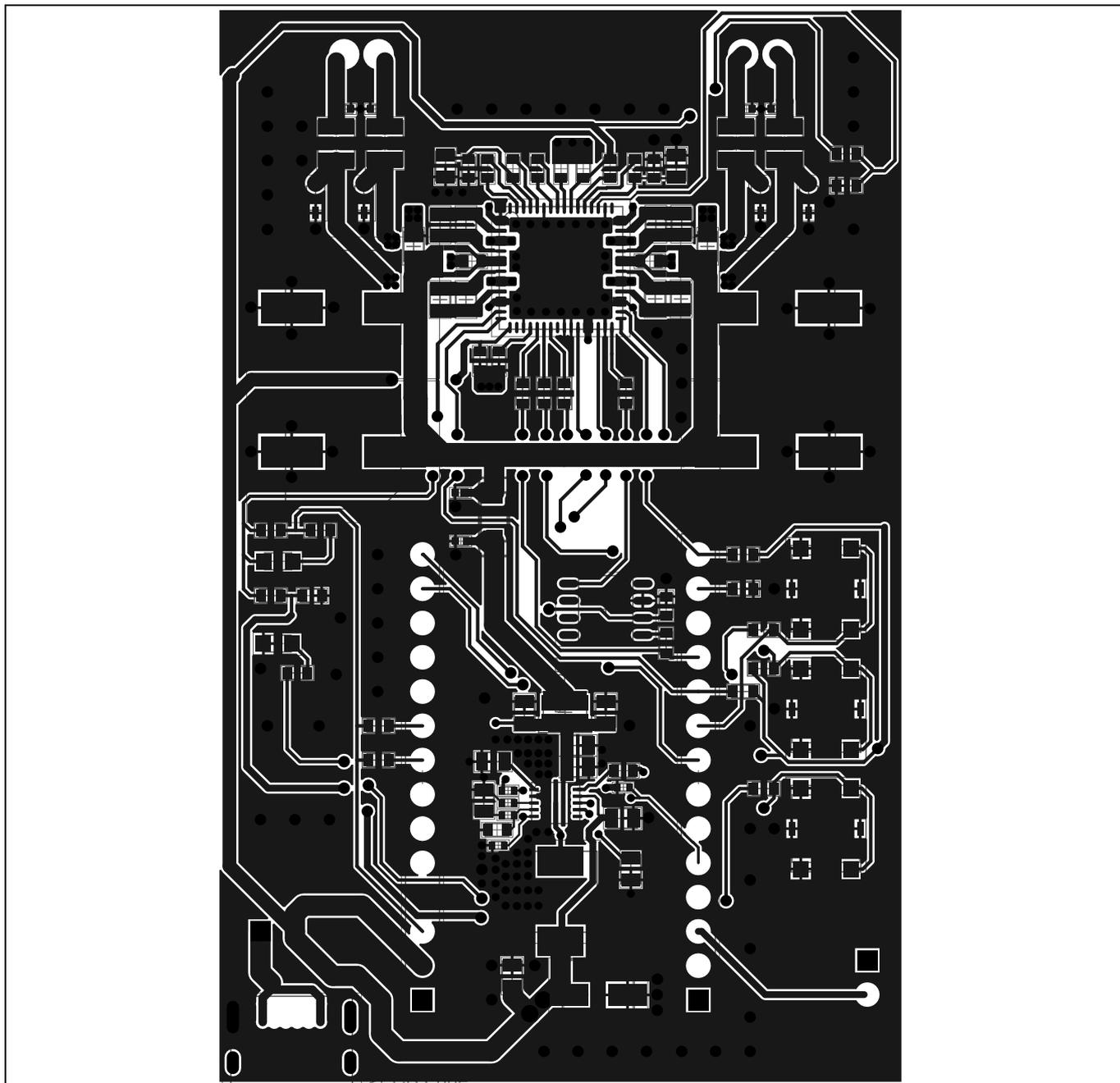


Figure 10 PCB レイアウト - トップ層

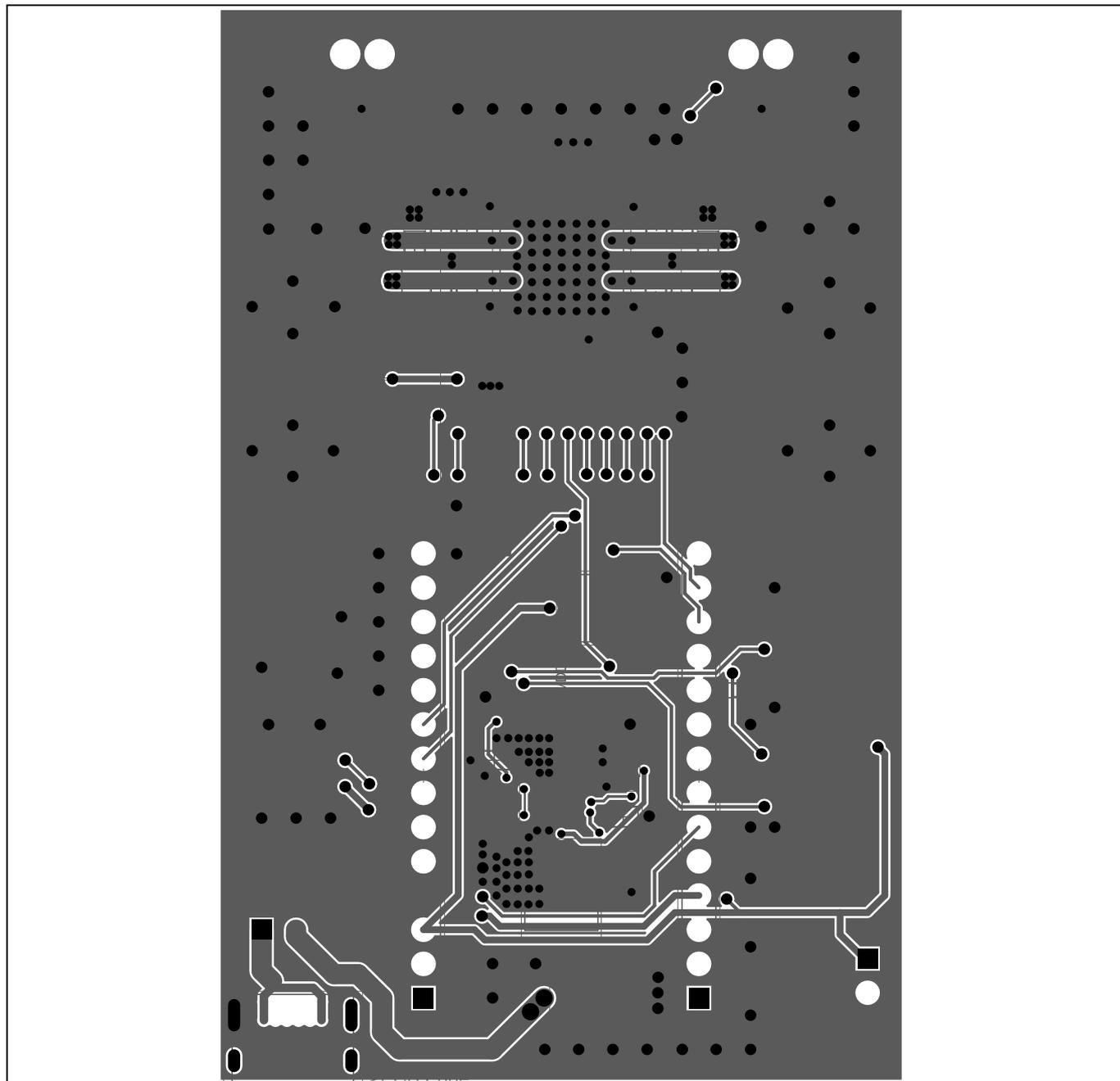


Figure 11 PCB レイアウト - ボトム層

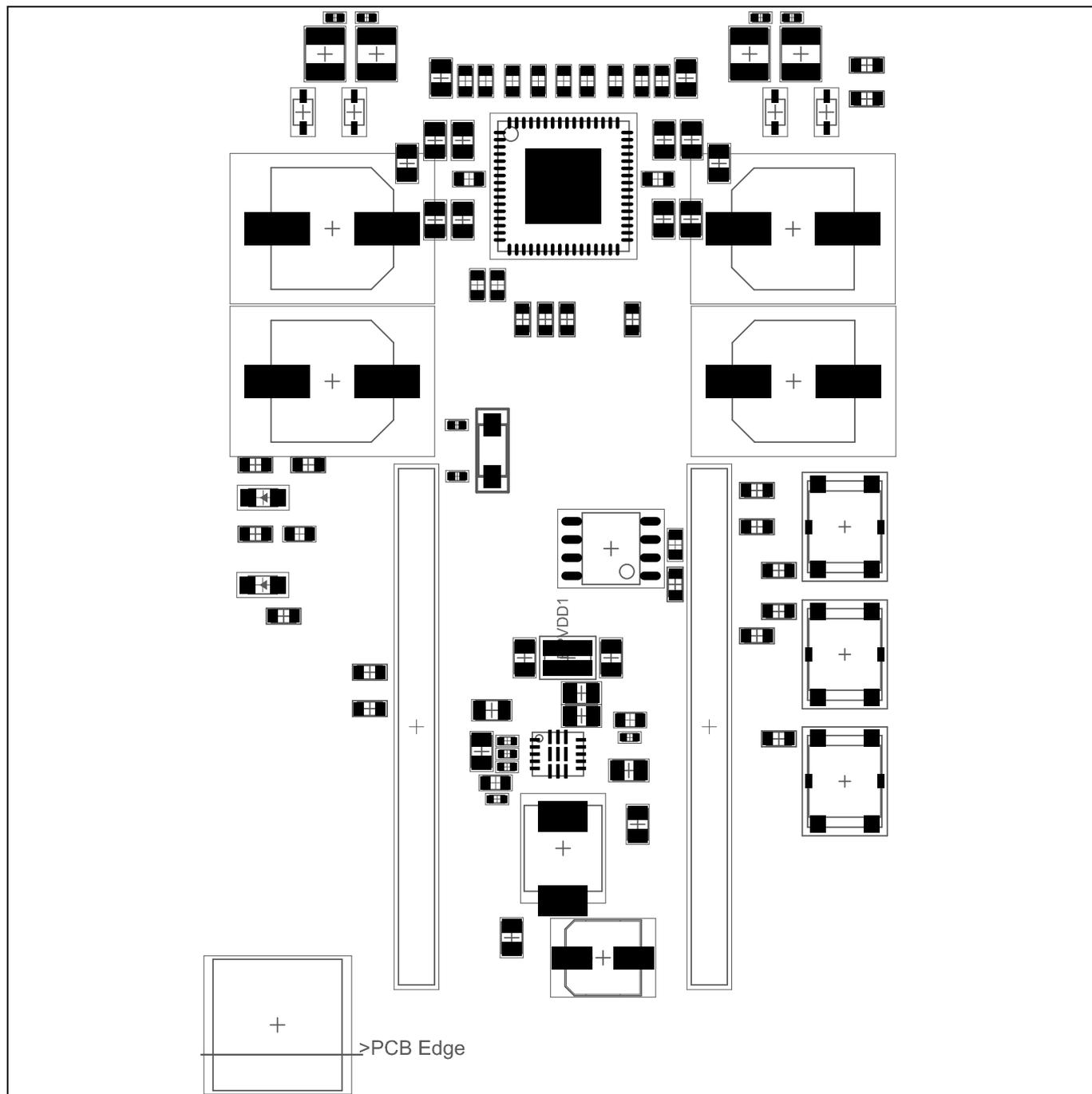


Figure 12 PCB レイアウト - コンポーネント層

3.3 部品表

Table 2 ボードの部品表

指示子	説明	メーカー	製品番号	数量
U2	3.3V/5.0 V 14 MHz~200 MHz PLL クロックマルチプライヤ	On Semi	NB3N511DG	1
S1, S2, S3	5 x 5 mm SMD、接地終端 WS-TASV、高さ 1.5mm、160 GF	Würth Elektronik	4311810158 16	3
U3	20V _{OUT} 完全統合同期昇圧コンバーター内蔵スイッチ電流 8A、RNW0013A	Texas Instruments	TPS61178RN WR	1
RC	0402 [1005 メトリック], 48.7 kΩ, MCMR series, 50 V	Multicomp	MCMR04X48 72FTL	1
RFBB	0402 [1005 メトリック], 80.6 kΩ, CRCW e3 series, 50 V	Vishay-Dale	CRCW04028 0K6FKED	1
CBin	アルミ電解コンデンサ、47 F +/- 20 %、16 V	Multicomp	MCVVT6R3M 470DA1L	1
CSUP1, CSUP2, CSUP3, CSUP4	アルミ電解コンデンサ 390μF、25 V	パナソニック	EEEFK1E391 SP	4
CINS1, CINS2	コンデンサ、0.022μF、±10 %、X7R、50 V、0402 [1005 メトリック]	村田製作所	GRM155R71 H223KA12D	2
C5, C6, CBOOT1, CFGD1, CGD1, CGD4, CP1, CPVDD2, CPVDD3	コンデンサ、0.1μF、±10 %、X7R、50 V、0603 [1608 メトリック]	Multicomp	MC0603B104 K500CT	9
CGD2, CGD3, CPVDD1, CPVDD4	コンデンサ、1 μF、50 V、±10 %、X5R、0805 [2012 メトリック]	Multicomp	MC0805X105 K500CT	4
CAVDD1, CCDC1, CCREF1, CFDC1, CGD5, CGD6, CVGDC1, DVDD1	コンデンサ、1μF、±10 %、X5R、16 V、0603 [1608 メトリック]	TDK	TMK212BJ10 5KG-T	8
CF1, CF2, CF3, CF4, CF5, CF6, CF7, CF8, CIN, CIN1, COUT, COUT1, COUT2, COUTX, CVCC	コンデンサ、10μF、±10 %、X5R、25 V、0805 [2012 メトリック]	村田製作所	GRM21BR61 E106MA73L	15
C1, C2, C3, C4	コンデンサ、1000 pF、±10 %、X7R、50 V、0402 [1005 メトリック]	TDK	C1005X7R1H 102K050BA	4
CC	コンデンサ、3300 pF、50 V、0805 [2012 メトリック]、±10 %、X7R	Walsin	0805B332K5 00CT	1

KIT_ARDMKR_AMP_40W に関するアプリケーションノート

Arduino 互換オーディオアンププラットフォームの設計



ハードウェア設計

指示子	説明	メーカー	製品番号	数量
U1	マルチレベルクラス D アンプ	Infineon	MA12070P	1
L1_1	パワーインダクタ (SMD)、6.8 μ H、4.5 A、8 A、シールド付き	Bourns	SRP7028C-6R8M	1
RPVDD1	Resistor 0.1 R/1 W/1 パーセント	Rohm	LTR18EZPJL R10	1
RLIM	抵抗器、0402 [1005 メトリック]、75 k Ω 、CRCW e3 シリーズ、50 V	Vishay-Dale	CRCW04027 5K0FKED	1
R2, R3, R5, R6, R7, R11, R13, R19, R20	抵抗器、0603 [1608 メトリック]、10 k Ω 、MCWR シリーズ、50V	Multicomp	MCWR06X10 02FTL	9
RE	抵抗器、0603 [1608 メトリック]、10 k Ω 、MCWR シリーズ、50V	Multicomp	MCWR06X10 02FTL	1
RT	抵抗器、0805 [2012 メトリック]、412 k Ω 、ERJ6EN シリーズ、150 V	パナソニック	ERJ6ENF412 3V	1
RFBT	厚膜抵抗器、1M27、1%、0.63 W、0402	Vishay-Dale	CRCW04021 M27FKED	1
R4	厚膜抵抗器、100 R、1%、0.1 W、0603	Multicomp	MC0603SAF1 000T5E	1
R10, R12	厚膜抵抗器、261 R、1%、0.1 W、0603	Vishay	CRCW06032 61RFKEA	2
D1, D2, D3, D4	ショットキー整流器、40 V、1 A、シングル、SOD-323F、2 ピン、570 mV	NXP	PMEG4010C EJ	4
R1, R15, R16, R17, R18	SMD チップ抵抗、0603 [1608 メトリック]、0 Ω 、MCWR シリーズ、厚膜、100 mW	Multicomp	MCWR06X00 0 PTL	5
R8, R9	SMD チップ抵抗、0603 [1608 メトリック]、5.1 k Ω 、MCWR series, 50 V, thick film, 100 mW	Altium Limited	MCWR06X51 01FTL	2
F1, F2, L1, L2	SMD EMI 抑制フェライトビーズ WE-CBF、Z = 50 Ω	Fair-Rite	2512065007 Y6	4
LSUP1	SMD フェライトパワービード、Z = 47 Ω	Fair-Rite	2743019447	1
J1	USB 2.0 タイプ C レセプタクルディップタイプ、PCB トップマウント	Global Connector Technology	USB4085-GF-A	1
D6	WL-SMRW SMD 単色リバースマウントウォータークリア、サイズ 1205、ブライツグリーン、2 V、140 度	Würth Elektronik	156125VS75 000	1
D5	WL-SMRW SMD 単色リバースマウントウォータークリア、サイズ 1205、赤、2 V、140 度	Würth Elektronik	156125RS75 000	1

4 ファームウェア

4.1 起動

Code Listing 1

```
1 // Start-up sequence
2 // make sure everything is disabled init state
3 digitalWrite(mute_n, LOW);
4 digitalWrite(enable_n, HIGH);
5 //digitalWrite(A3, LOW); //boost disable
6 delay(1000);
7 digitalWrite(enable_n, LOW);
8 delay(1000);
```

4.2 メイン

Code Listing 2

```
1 volume = analogRead(VOLUME); // read the analog input pin
2 if ( volume != volume_curr )
3 {
4   volume_curr = volume;
5   change_volume();
6 }
7 clip = analogRead(CLIP); // read the analog input pin
8 if ( clip < 256 )
9 {
10  //set_limiter();
11 }
```

4.3 音量調節

Code Listing 3

```
1 void change_volume ()
2 {
3   analogWrite(GP_LED, volume);
4   Wire.beginTransaction(byte(0x20));
5   Wire.write(byte(0x40));
6   Wire.write(byte(84-volume));
7   Wire.endTransmission();
8 }
```

改訂履歴

改訂履歴

Document version	Date of release	Description of changes
1.0	2021-09-08	本版は英語版 AN_2007_PL88_2007_102945 について、CYPRESS DEVELOPER COMMUNITY の参画者によって日本語に翻訳されたドキュメントです。

Trademarks

All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

Edition 2021-09-08

Published by

Infineon Technologies AG

81726 Munich, Germany

© 2021 Infineon Technologies AG.

All Rights Reserved.

Do you have a question about this document?

Email: erratum@infineon.com

Document reference

AN_2007_PL88_2007_102945_JA

重要事項

本文書に記載された情報は、いかなる場合も、条件または特性の保証とみなされるものではありません（「品質の保証」）。本文に記載された一切の事例、手引き、もしくは一般的価値、および／または本製品の用途に関する一切の情報に関し、インフィニオンテクノロジーズ（以下、「インフィニオン」）はここに、第三者の知的所有権の不侵害の保証を含むがこれに限らず、あらゆる種類の一切の保証および責任を否定いたします。

さらに、本文書に記載された一切の情報は、お客様の用途におけるお客様の製品およびインフィニオン製品の一切の使用に関し、本文書に記載された義務ならびに一切の関連する法的要件、規範、および基準をお客様が遵守することを条件としています。

本文書に含まれるデータは、技術的訓練を受けた従業員のみを対象としています。本製品の対象用途への適合性、およびこれら用途に関連して本文書に記載された製品情報の完全性についての評価は、お客様の技術部門の責任にて実施してください。

本製品、技術、納品条件、および価格についての詳しい情報は、インフィニオンの最寄りの営業所までお問い合わせください (www.infineon.com)。

警告事項

技術的要件に伴い、製品には危険物質が含まれる可能性があります。当該種別の詳細については、インフィニオンの最寄りの営業所までお問い合わせください。

インフィニオンの正式代表者が署名した書面を通じ、インフィニオンによる明示の承認が存在する場合を除き、インフィニオンの製品は、当該製品の障害またはその使用に関する一切の結果が、合理的に人的傷害を招く恐れのある一切の用途に使用することはできないこと予めご了承ください。