# ルネサス RA ファミリ
# サブクロック発振回路設計ガイド

## 要旨

サブクロック発振回路は、消費電力を抑えるために低ゲインであり、ノイズにより MCU が誤動作する危険性があります。本資料では、低容量負荷（CL）な水晶振動子を使用した場合に、このリスクを最小化する方法を説明します。

## 動作確認デバイス

RA ファミリ

## 目次

1. コンポーネントの選択 ..... 2
1.1 外部水晶振動子の選択 ..... 2
1.2 負荷コンデンサの選択 ..... 3

2. 基板設計 ..... 4
2.1 コンポーネントの配置 ..... 4
2.2 最適な配線 ..... 4
2.2.1 XCIN と XCOUT のルーティング ..... 4
2.2.2 グランドシールド ..... 8
2.2.3 ボトムグランド ..... 10
2.2.3.1 厚さ 1.2mm 以上の多層基板 ..... 10
2.2.3.2 厚さ 1.2mm 未満の多層基板 ..... 14
2.2.4 その他のポイント ..... 15
2.2.5 メインクロック用振動子 ..... 15
2.3 配線 - 避けるべきポイント ..... 16
2.4 基準発振回路の定数と振動子の動作確認 ..... 18

改訂記録 ..... 20

# 1. コンポーネントの選択

コンポーネントの選択は、RA ファミリの正確な動作を保証するために重要です。以下の章では、コンポーネントの選択を支援するためのガイダンスを提供します。

## 1.1 外部水晶振動子の選択

サブクロックの発振源として、外部に水晶振動子を使用することができます。この水晶振動子は、MCU の XCIN ピンと XCOUT ピンに接続されます。サブクロック発振器の水晶振動子の周波数は、正確に 32.768kHz でなければなりません。詳細については、ユーザーズマニュアル ハードウェア編の「電気的特性」を参照してください。

ほとんどの RA ファミリでは、水晶振動子をメインクロックの発振源として使用することができます。水晶振動子は、MCU の EXTAL ピンと XTAL ピンに接続されます。メインクロック用の水晶振動子の周波数は、メインクロック用発振器の周波数範囲である必要があります。本書はサブクロック発振器に焦点を当てていますが、これらの選択と設計のガイドラインは、水晶振動子を使用したメインクロックの設計にも適用することができます。

水晶振動子の選択は、独自の基板設計に大きく依存します。 RA ファミリとの使用に適した多くの水晶振動子が利用可能なため、選択した水晶振動子の電気的特性を注意深く評価し、具体的な実装要件を確定する必要があります。

図 1 は、サブクロック用水晶振動子の典型的な接続例を示しています。

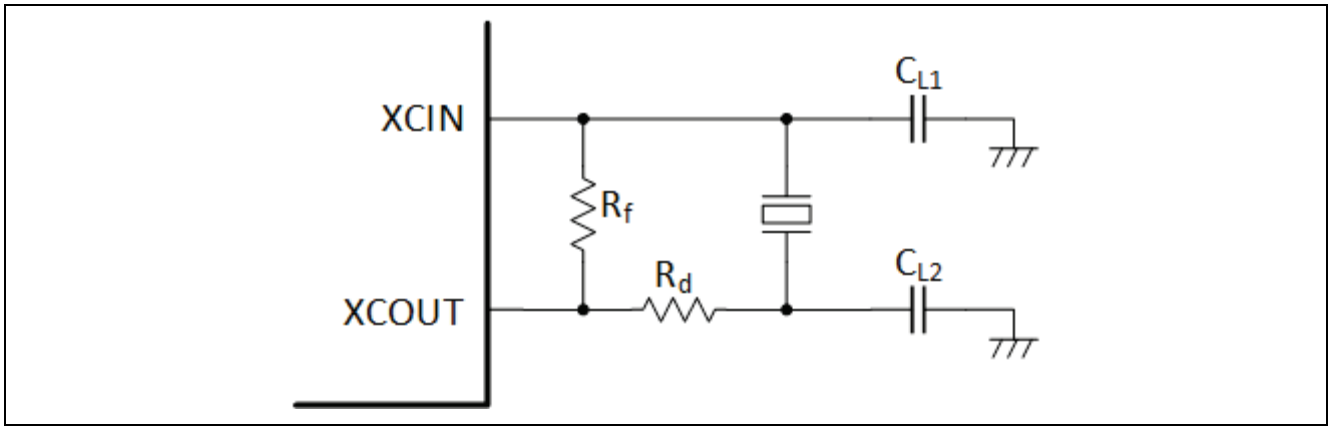



**図 1. サブクロック用水晶振動子の接続例**

図 2 は、サブクロック用水晶振動子の等価回路を示しています。

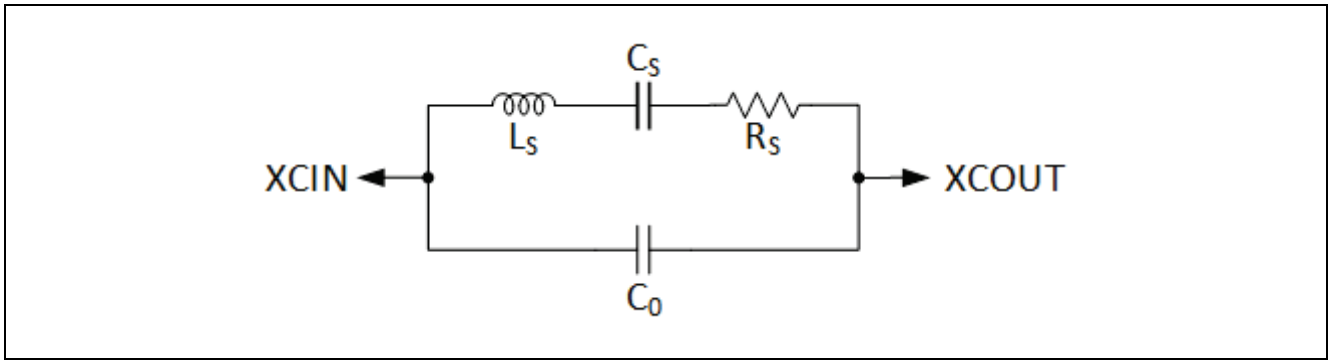



**図 2. サブクロック回路用水晶振動子の等価回路**

図 3 は、メインクロック用水晶振動子の接続例を示します。

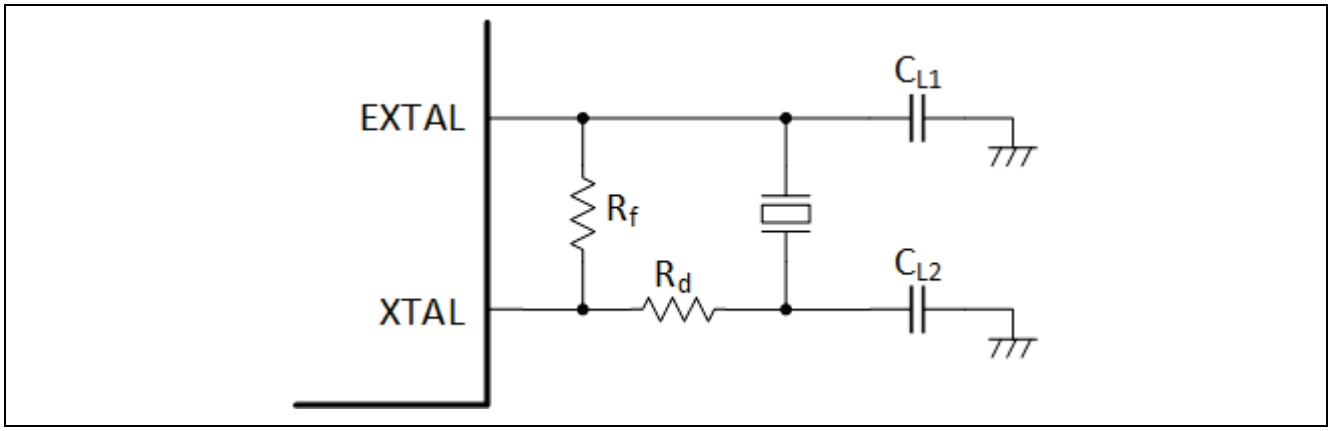



**図 3. メインクロック用水晶振動子の接続例**

図 4 にメインクロック用水晶振動子の等価回路を示します。

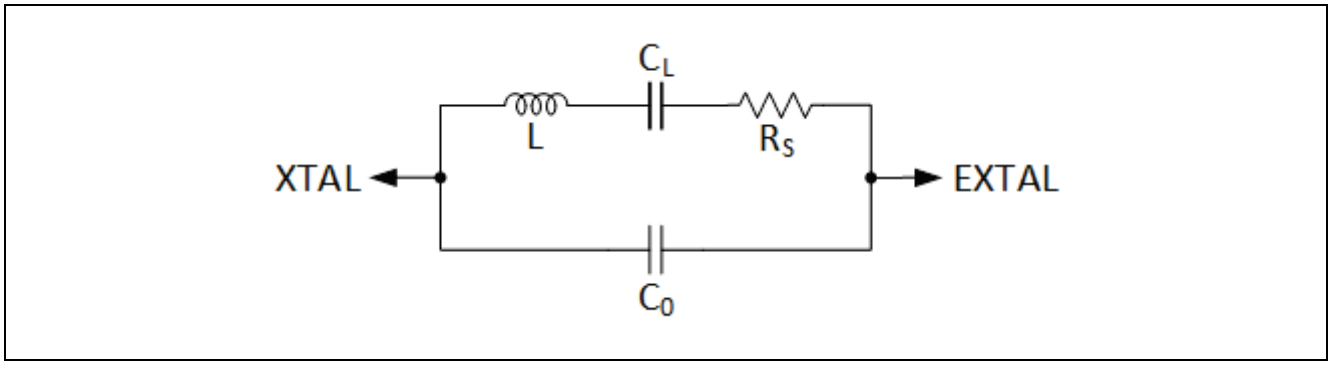



**図 4. メインクロック用水晶振動子の等価回路**

水晶振動子と関連するコンデンサを選択する際には、慎重な評価が必要です。水晶振動子メーカが推奨する場合、外部帰還抵抗（Rf）とダンピング抵抗（Rd）を追加することもあります。

CL1 と CL2 のコンデンサ値の選択は内部クロックの精度に影響を与えます。CL1 と CL2 の値の影響を理解するには、上図の水晶振動子の等価回路を用いて回路をシミュレーションする必要があります。より正確な結果を得るためには、水晶振動子の配線に関連する浮遊容量も考慮に入れてください。

水晶振動子によっては、MCU から供給される最大電流に制限がある場合があります。これらの水晶振動子に供給される電流が高すぎる場合、水晶振動子が損傷する可能性があります。この場合、水晶振動子への電流を制限するため、ダンピング抵抗（Rd）を追加することができます。この抵抗値を決定するには、水晶振動子メーカ様にご相談願います。

## 1.2　負荷コンデンサの選択

水晶振動子メーカ様は通常、各水晶振動子の負荷容量（CL）定格を提供します。水晶振動子回路を適切に動作させるためには、基板設計を水晶振動子の CL 値に合わせる必要があります。

負荷コンデンサ CL1 および CL2 の適切な値を計算するための方法はいくつかあります。これらの計算では、負荷コンデンサの値と基板設計の浮遊容量（CS）（銅配線と MCU のデバイスピンの静電容量を含む）を考慮します。

CL を計算する 1 つの式は以下の通りです：

$$C_L = \frac{C_{L1} \times C_{L2}}{C_{L1} + C_{L2}} + C_S$$

例として、水晶振動子メーカが CL=14pF と指定し、基板設計の CS が 5pF の場合、CL1 と CL2 は 18pF となります。本書の 2.4 章では、いくつかの水晶振動子の選択と、適切な動作のための関連回路定数の詳細を説明しています。

水晶の性能に影響を与える要因は他にもあります。温度、部品の経年変化、その他の環境要因は、時間とともに水晶振動子の性能を変化させる可能性があり、具体的な設計において考慮する必要があります。

正常な動作を確保するためには、各回路は予想される環境条件下でテストされ、正確な性能を保証する必要があります。

# 2. 基板設計

## 2.1 コンポーネントの配置

水晶振動子、負荷容量、オプションの抵抗の配置は、クロック回路の性能に大きな影響を与える可能性があります。

本資料内の「部品面」とは基板上で部品を実装する面を指し、「はんだ面」とは基板の裏面を指します。

水晶振動子回路は、PCB の部品面の MCU ピンのできるだけ近くに配置することを推奨します。負荷容量とオプションの抵抗も部品面に配置し、水晶振動子と MCU の間に配置する必要があります。別の配置として、水晶振動子を MCU ピンと負荷容量の間に配置することもできますが、追加のグランド配線を考慮する必要があります。

低 CL 水晶振動子は温度の変動に敏感で、サブクロック回路の安定性に影響を与える可能性があります。サブクロック回路への温度の影響を減らすため、水晶振動子から過度の熱を発生する可能性のある他の部品を遠ざけてください。他の部品のヒートシンクとして銅の部分を使用する場合は、銅のヒートシンクを水晶振動子から離してください。

## 2.2 最適な配線

この章では、RA ファミリの水晶振動子回路の適切なレイアウトのポイントについて説明します。

### 2.2.1 XCIN と XCOUT のルーティング

以下のリストは、XCIN と XCOUT の配線に関するポイントを説明しています。図 5、図 6、図 7 に XCIN と XCOUT の最適な配線を示しています。図 8 は、XCIN と XCOUT の配線の代替例を示しています。図中の番号は、以下のリストと連携しています。

1. XCIN と XCOUT 配線は他の信号線と交差させないでください。
2. XCIN や XCOUT 配線に観測用ピンやテストピンを追加しないでください。
3. XCIN と XCOUT の配線幅を 0.1mm～0.3mm にしてください。MCU のピンから水晶振動子のピンまでの配線長は 10mm 以下にしてください。10mm が不可能な場合、配線長はできるだけ短くしてください。
4. XCIN ピンの配線と XCOUT ピンの配線は、できるだけ間隔を空けてください（最低 0.3 mm 以上）。
5. 外付けコンデンサはできるだけ近くに接続してください。コンデンサの配線は、部品面のグランド配線（以下、グランドシールド）に接続します。グランドシールドについては、2.2.2 項を参照してください。推奨配置でコンデンサを配置できない場合は、図 8 に示す配置でコンデンサを配置してください。
6. XCIN と XCOUT 間の寄生容量を減らすため、振動子と MCU の間にグランド配線を入れてください。

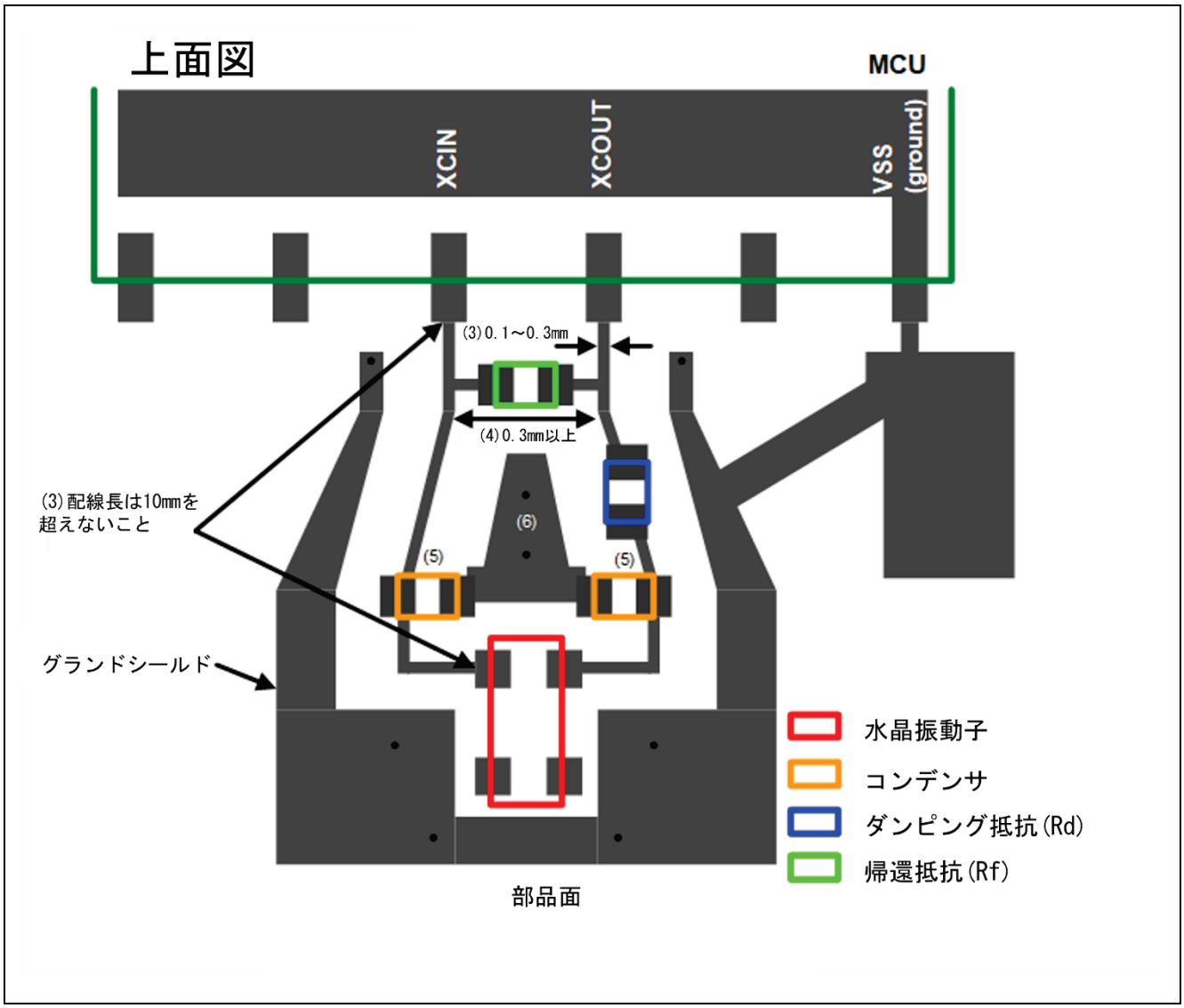



**図 5. LQFP パッケージの推奨配置と配線例**

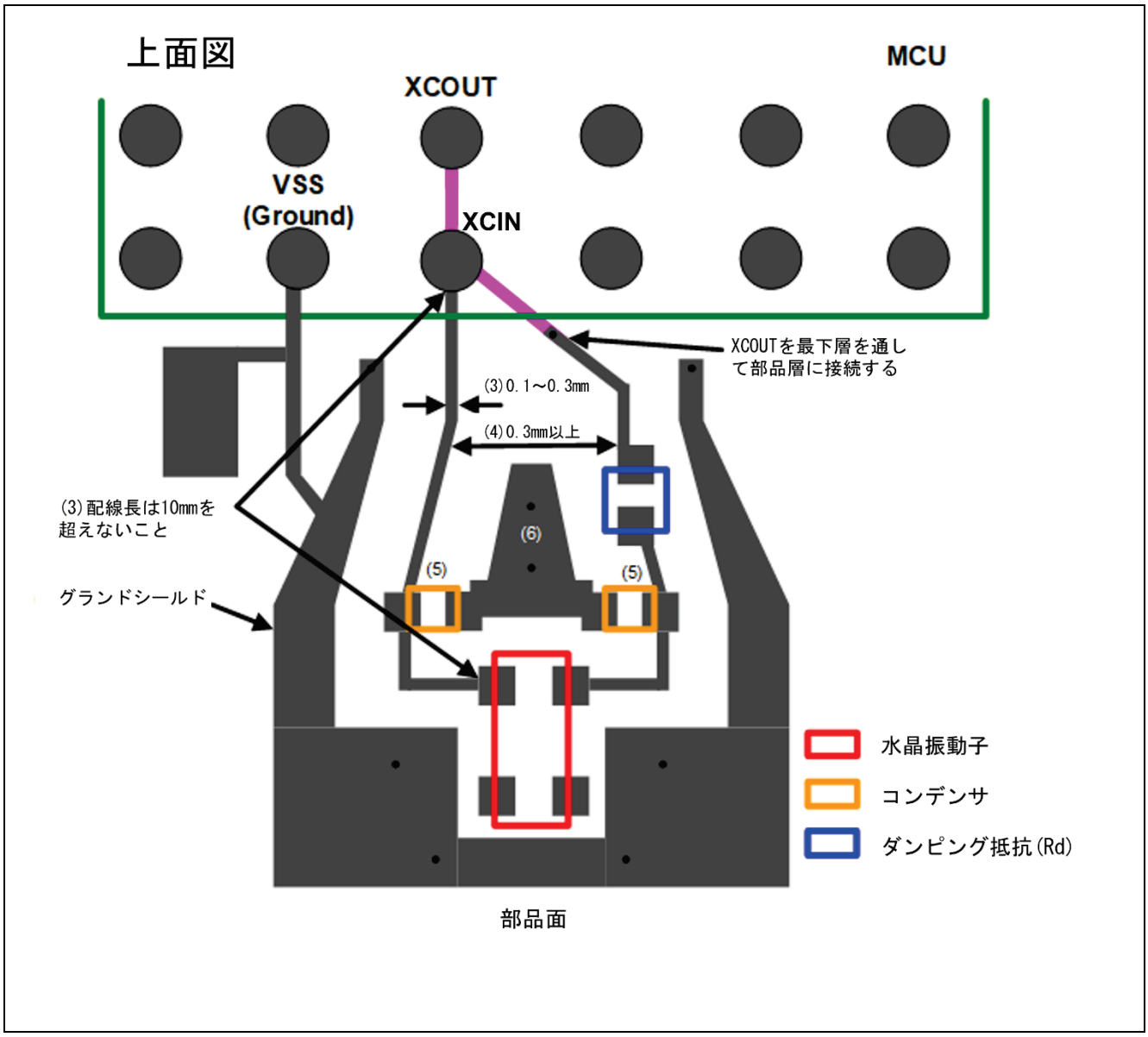



**図 6. LGA パッケージの推奨配置と配線例**

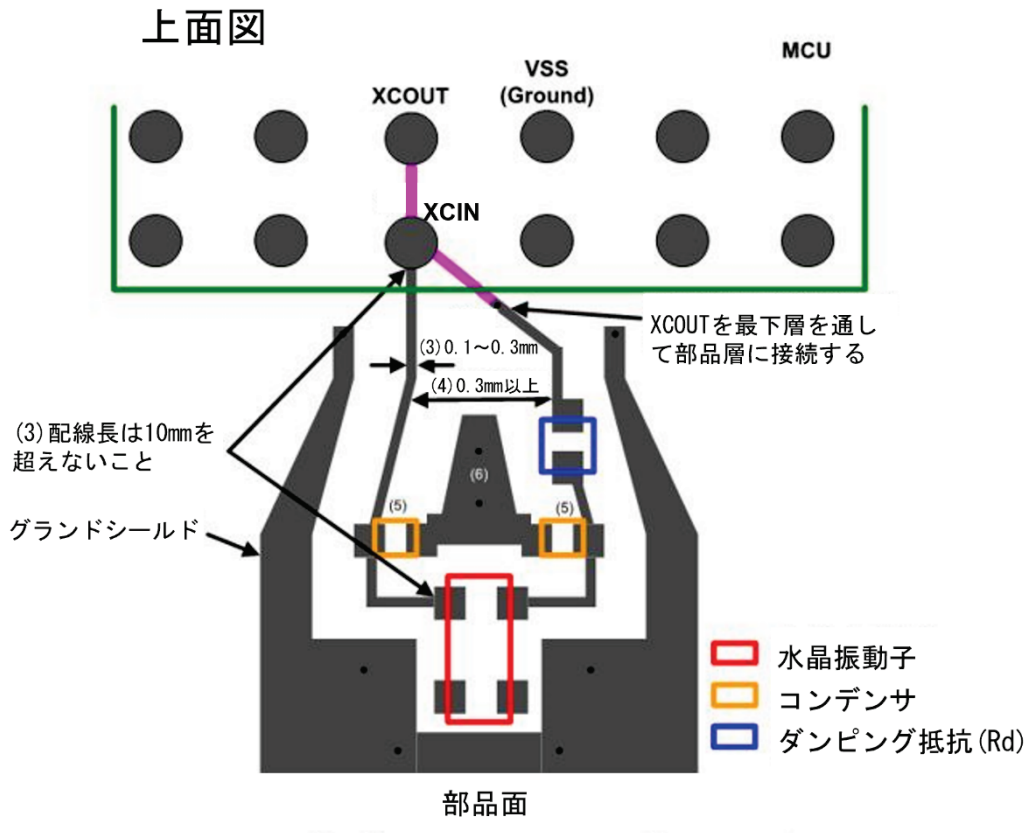



**図 7. BGA パッケージの推奨配置と配線例**

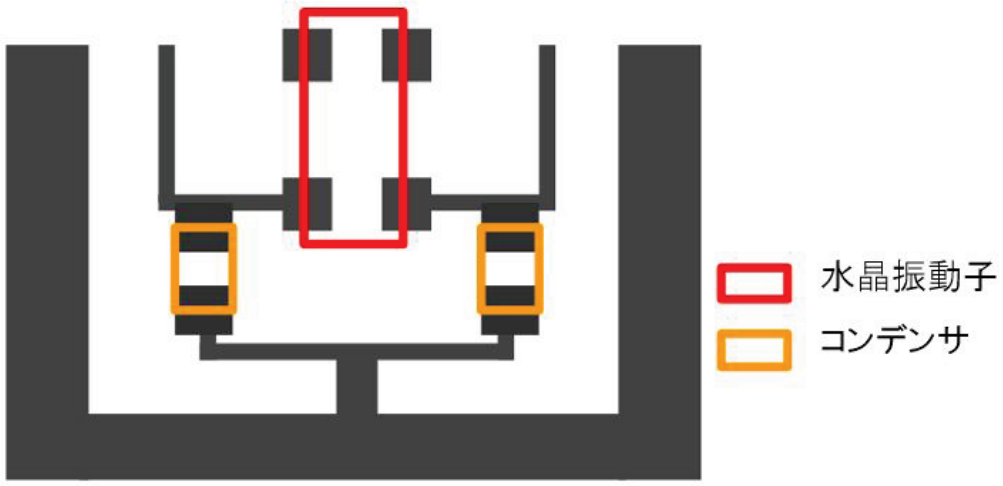



**図 8. XCIN と XCOUT の代替配置と配線例**

### 2.2.2 グランドシールド

水晶振動子をグランド配線でシールドします。グランドシールドのポイントを以下に示します。図 9、図 10、図 11 に各パッケージの配線例を示します。図中の番号は、以下のリストと連携しています。

1. 水晶振動子の配線と同じ層にグランドシールドを配置してください。
2. グランドシールドの配線幅を少なくとも 0.3mm にし、グランドシールドと他の配線との間に 0.3 から 2.0mm の間隔を空けてください。
3. グランドシールドは、MCU の VSS ピンのできるだけ近くに配線し、配線幅を少なくとも 0.3 mm になるようにしてください。
4. グランドシールドに電流が流れるのを防ぐために、グランドシールドと基板上のグランドは基板上の VSS ピン付近で分岐させてください。

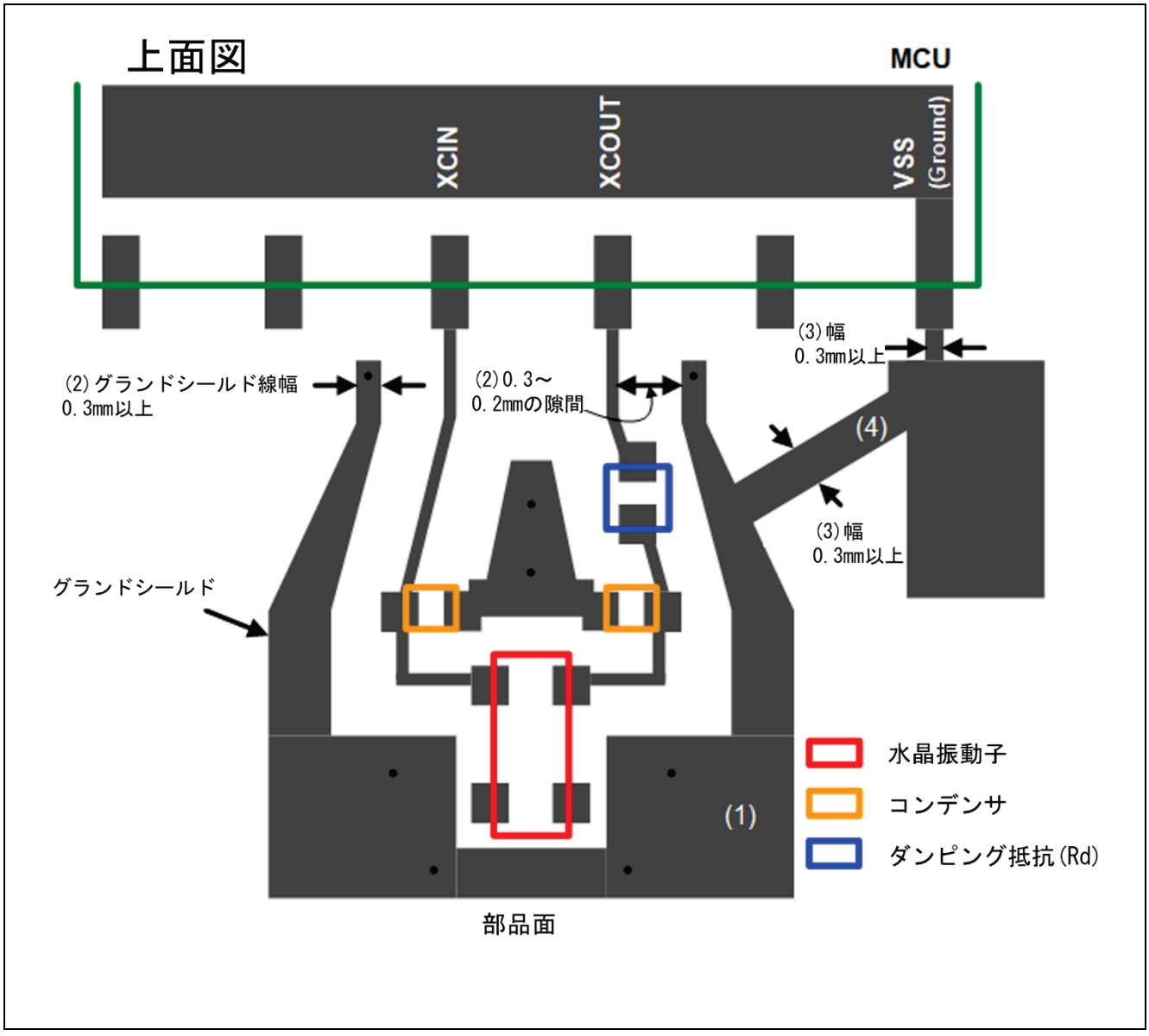



**図 9. LQFP パッケージの配線例**

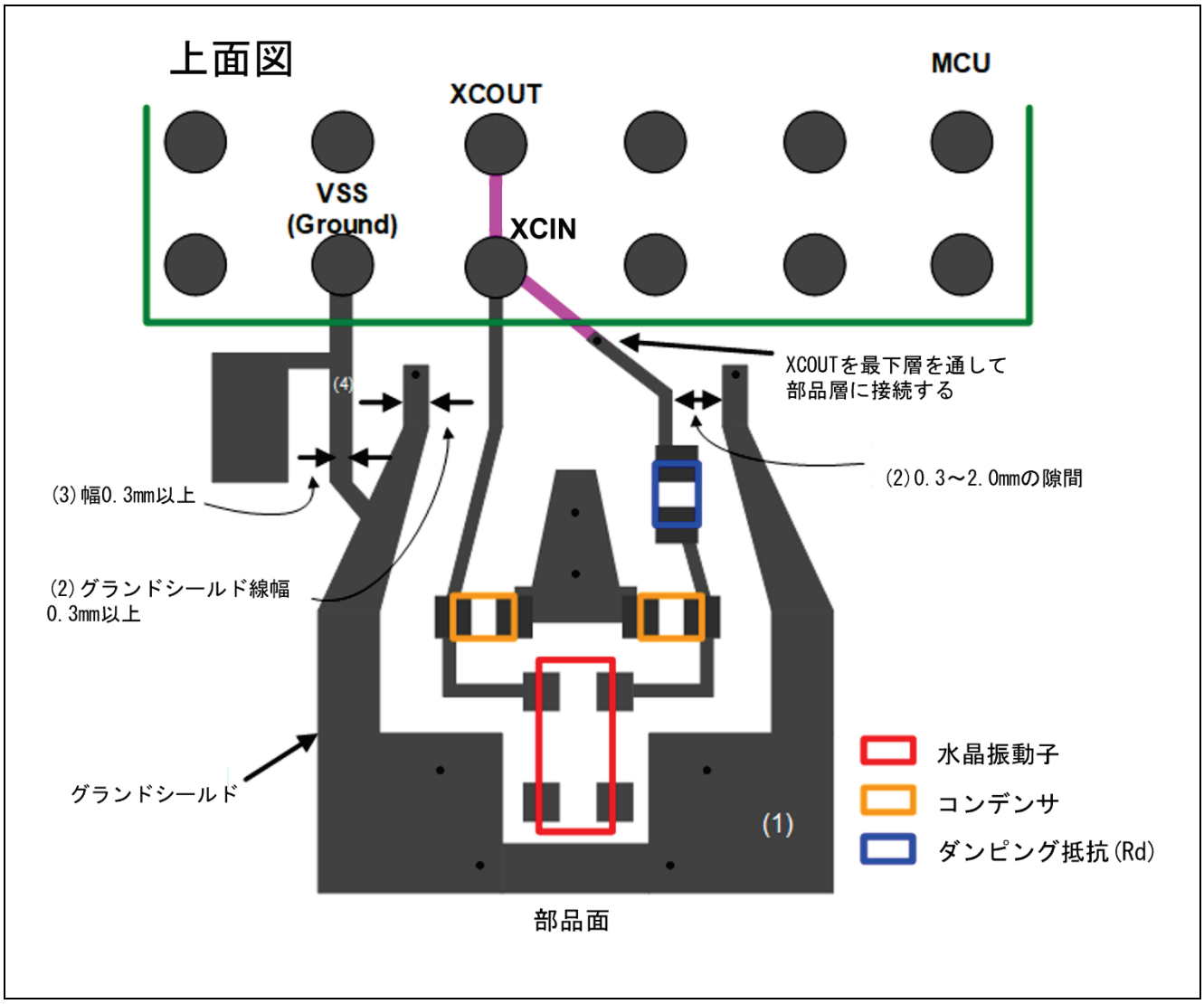



**図 10. LGA パッケージの配線例**

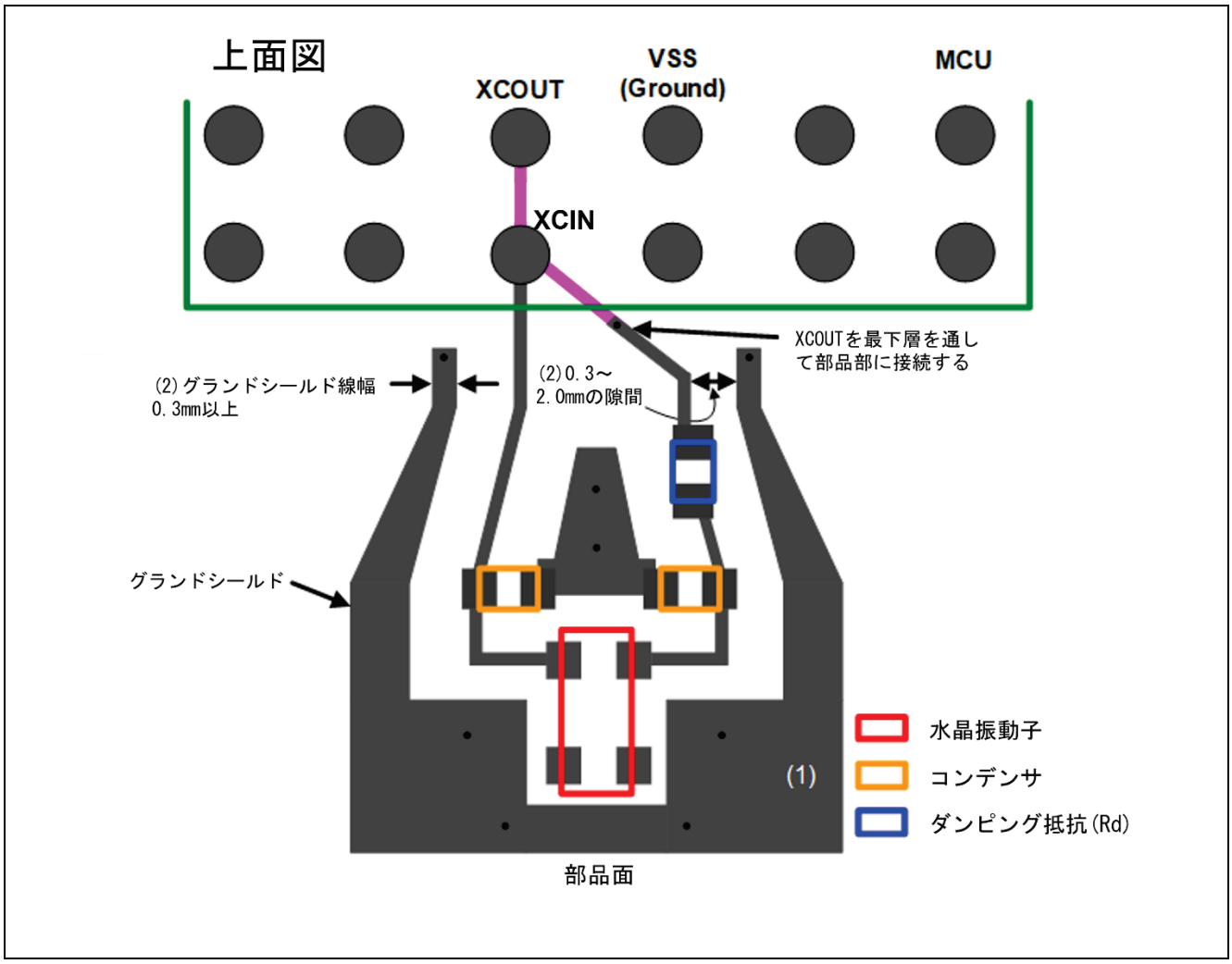



**図 11. BGA パッケージの配線例**

### 2.2.3 ボトムグランド

#### 2.2.3.1 厚さ 1.2mm 以上の多層基板

厚さ 1.2mm 以上の基板では、水晶振動子部分のはんだ面にグランド配線を配置してください（以下ボトムグランドとする）。

以下のリストは厚さ 1.2mm 以上の多層基板を作成する際のポイントを記載しています。図 12、図 13、図 14 に各パッケージタイプの配線例を示します。図中の番号は、以下のリストと連携しています。

1. 水晶振動子領域の中層には配線を配置しないでください。この領域には電源やグランド配線を配置しないでください。信号配線はこの領域を通過させないでください。
2. ボトムグランドはグランドシールドより 0.1mm 以上大きくしてください。

   VSS ピンに接続する前に、はんだ面のボトムグランドのみを部品面のグランドシールドに接続してください。

追加の注意事項:

- LQFP と TFLGA パッケージの場合、グランドシールドは部品面のボトムグランドのみに接続してください。ボトムグランドはグランドシールドを介して VSS ピンに接続してください。ボトムグランドやグランドシールドを VSS ピン以外のグランドに接続しないでください。
- LFBGA パッケージの場合、ボトムグランドを直接 VSS ピンに接続してください。ボトムグランドやグランドシールドを VSS ピン以外のグランドに接続しないでください。

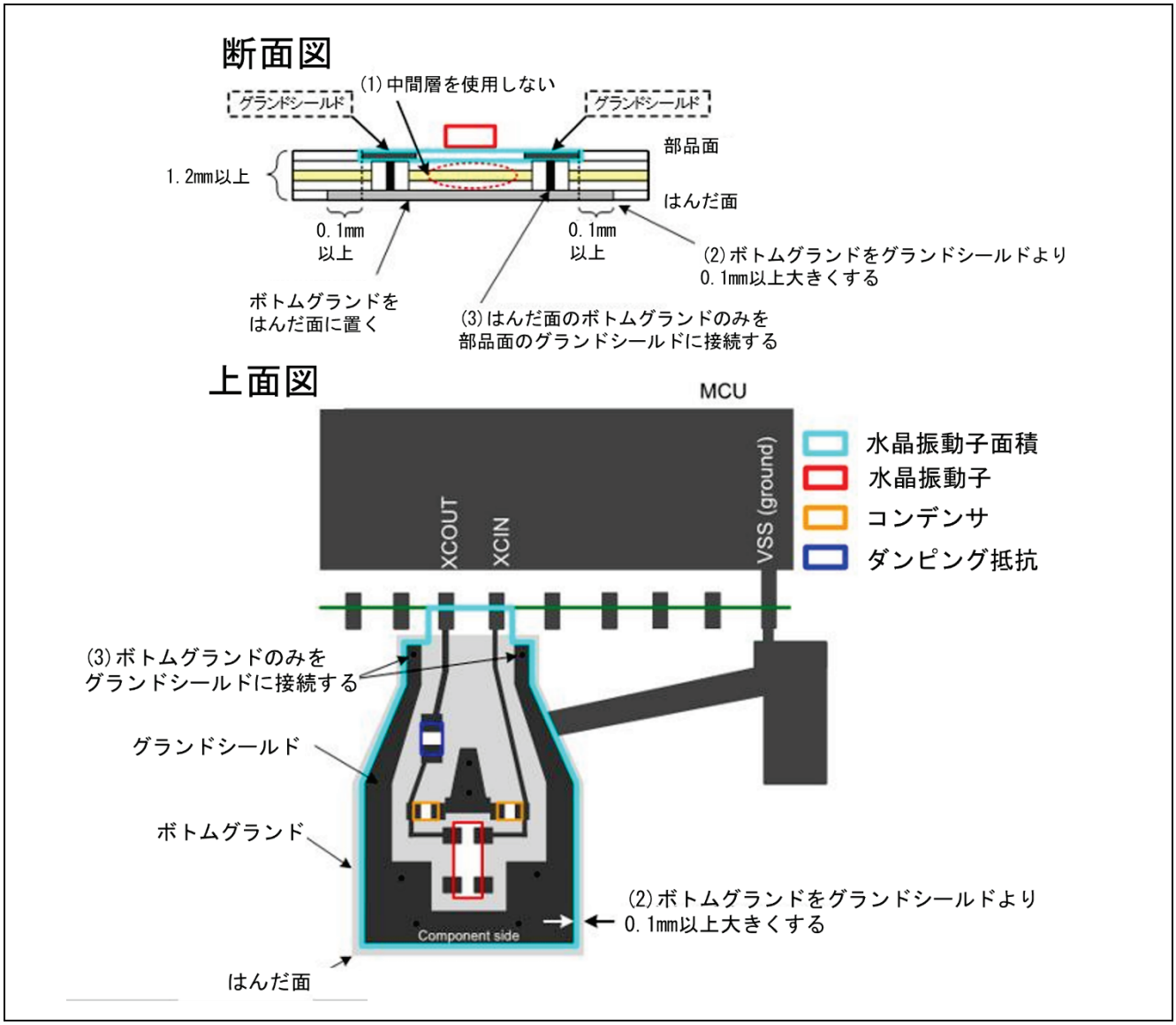



**図 12. 多層基板で厚さが 1.2mm 以上　LQFP パッケージの場合の配線例**

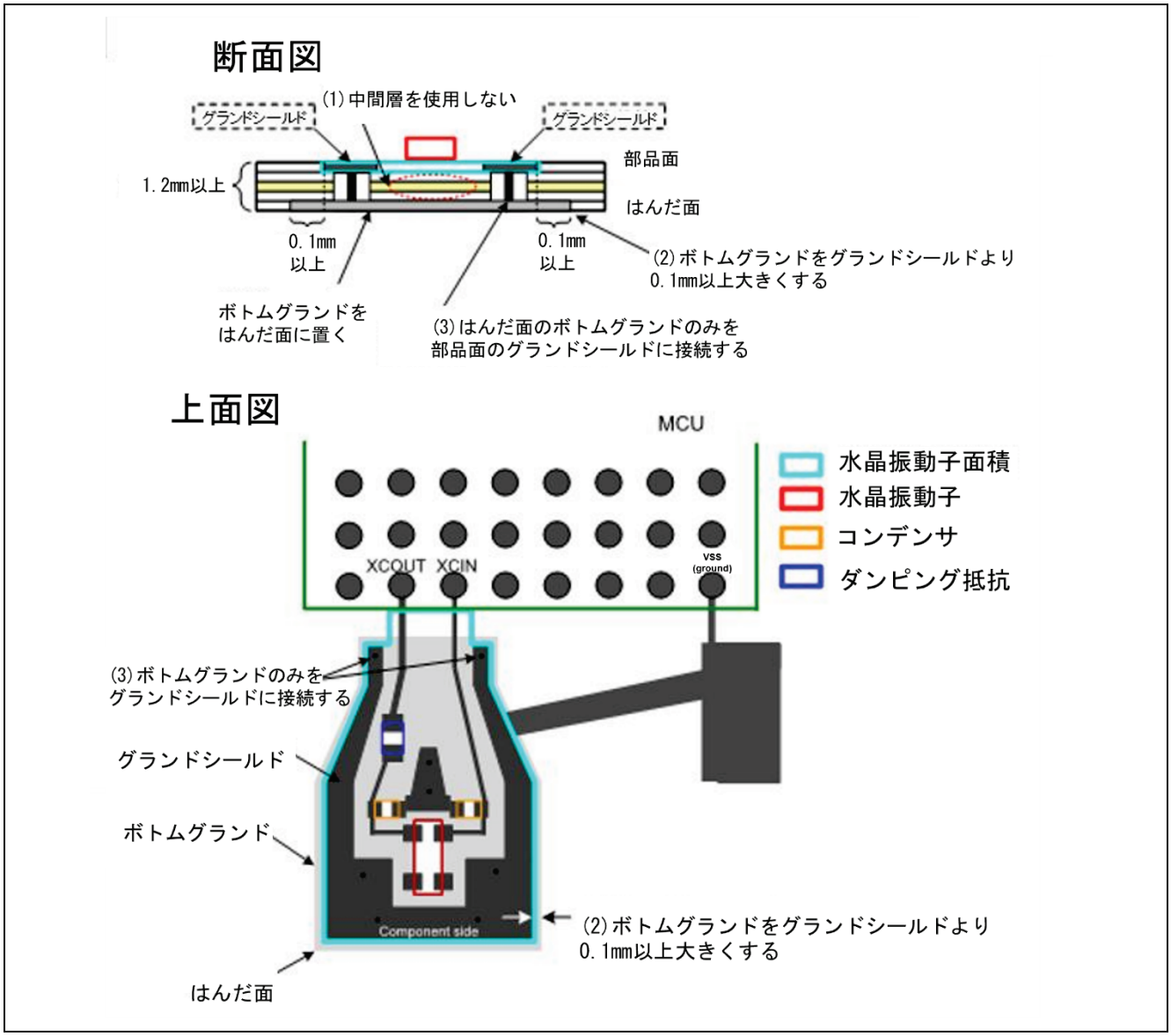



**図 13. 多層基板で厚さが 1.2mm 以上　LGA パッケージの場合の配線例**

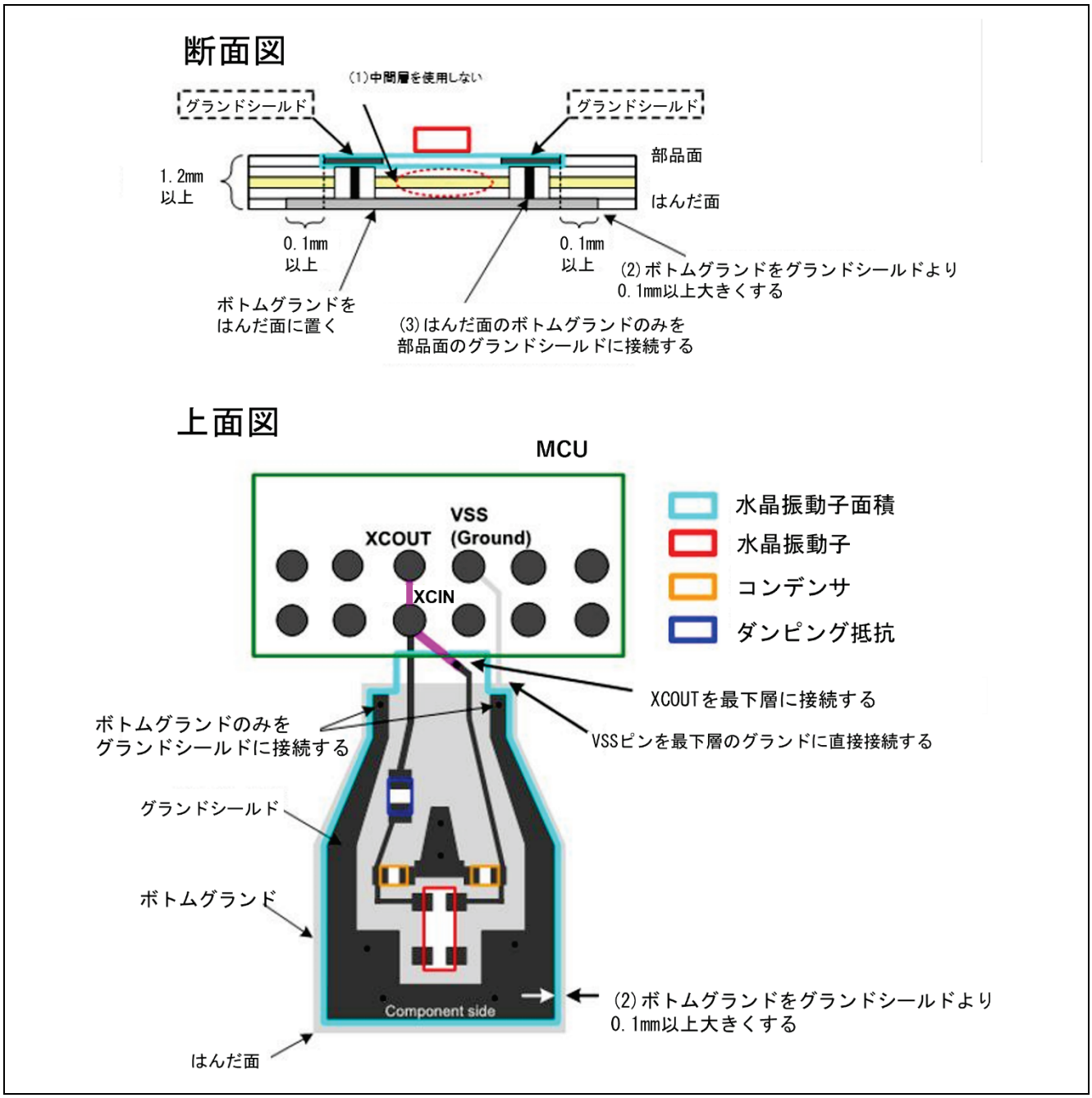



**図 14. 多層基板の厚さが 1.2mm 以上　BGA パッケージの場合の配線例**

### 2.2.3.2 厚さ 1.2mm 未満の多層基板

以下は、厚さ 1.2mm 以下の多層基板を作る場合のポイントです。図 15 に配線例を示しています。

- 水晶振動子の領域は、部品面以外の層には配線しないでください。この領域には電源とグランドを配線しないでください。この領域に信号線を通過させないでください。

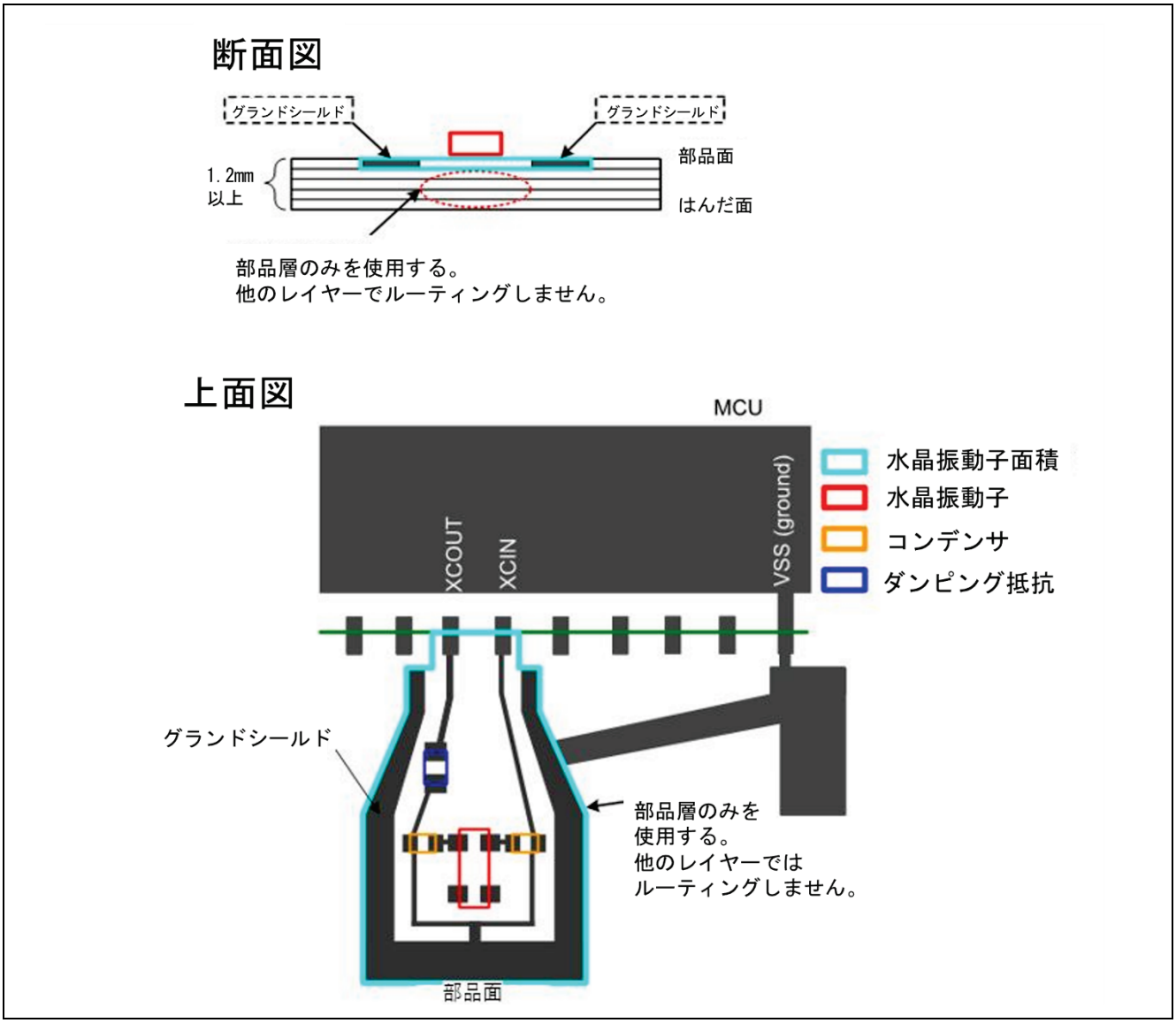



**図 15. 多層基板で厚さ 1.2mm 未満、LQFP パッケージの場合の配線例**

### 2.2.4 その他のポイント

以下のリストではその他の留意点を説明し、図 16 に LQFP パッケージ使用時の配線例を示します。どのパッケージタイプにも当てはまります。図中の番号は、以下のリストと連携しています。

1. XCIN と XCOUT 配線は、電流が大きく変化する配線の近くに配置しないでください。
2. XCIN と XCOUT 配線は、隣接するピンなど他の信号配線と平行に配線しないでください。
3. XCIN ピンと XCOUT ピンに隣接するピンの配線は、XCIN ピンと XCOUT ピンから離して配線してください。最初に MCU の中心に向かって配線し、次に XCIN ピンと XCOUT ピンから離して配線してください。これは、XCIN と XCOUT 配線と平行に配線することを避けるために推奨されます。
4. MCU の下側にできるだけ多くのグランド配線を配置してください。

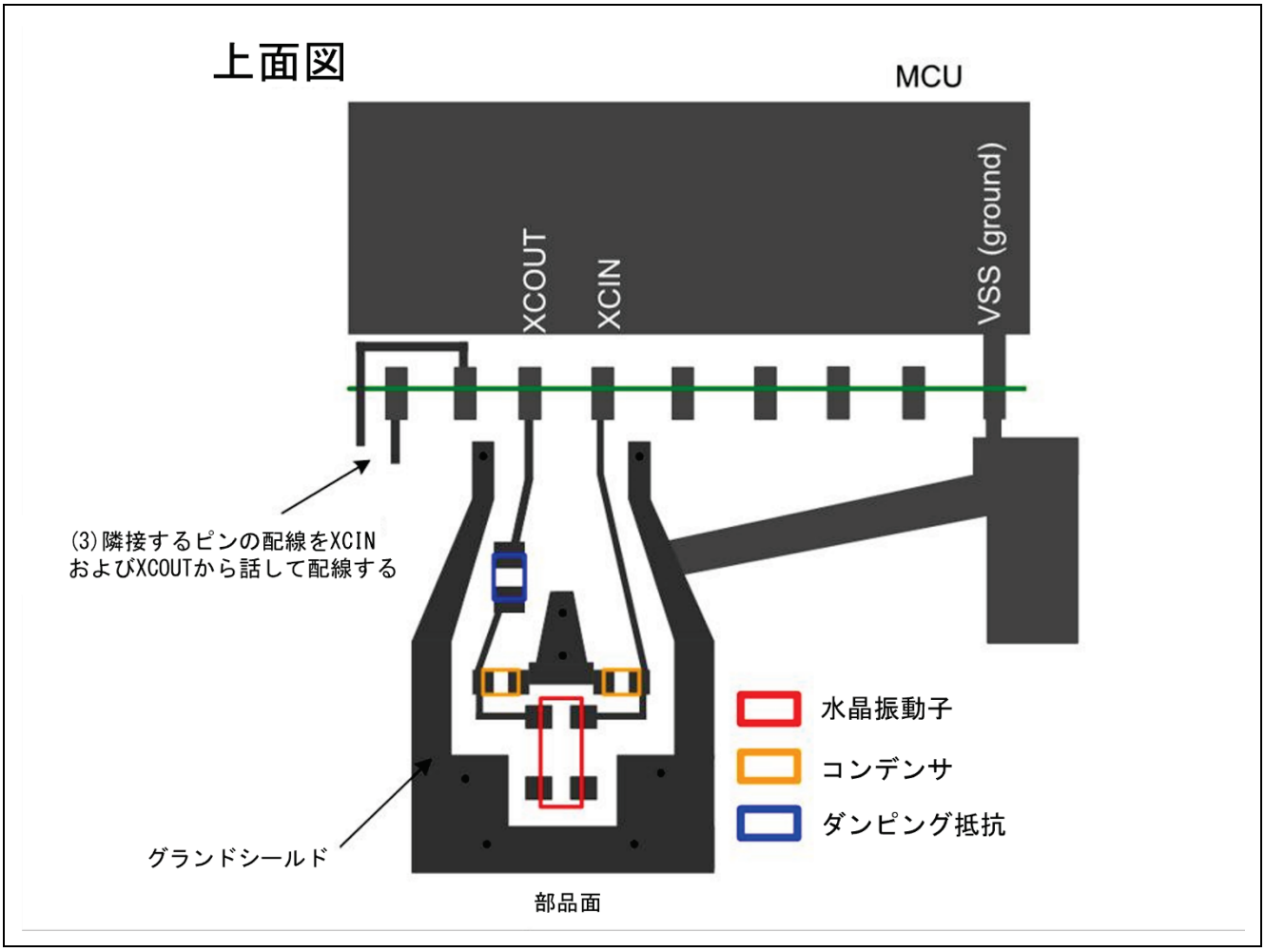



**図 16. その他のポイントの配線例、LQFP パッケージの例**

### 2.2.5 メインクロック用振動子

本章では、メインクロック用振動子の配線のポイントを説明します。図 17 に配線例を示します。

- メインクロック用振動子をグランドでシールドしてください。
- メインクロック用振動子のグランドシールドをサブクロックのグランドシールドに接続しないでください。メインクロックのグランドシールドをサブクロックのグランドシールドに直接接続すると、メインクロック用振動子からのノイズが伝わり、サブクロックに影響を与える可能性があります。
- メインクロック用振動子を配置、配線する際は、サブクロック発振器の説明と同じガイドラインに従ってください。

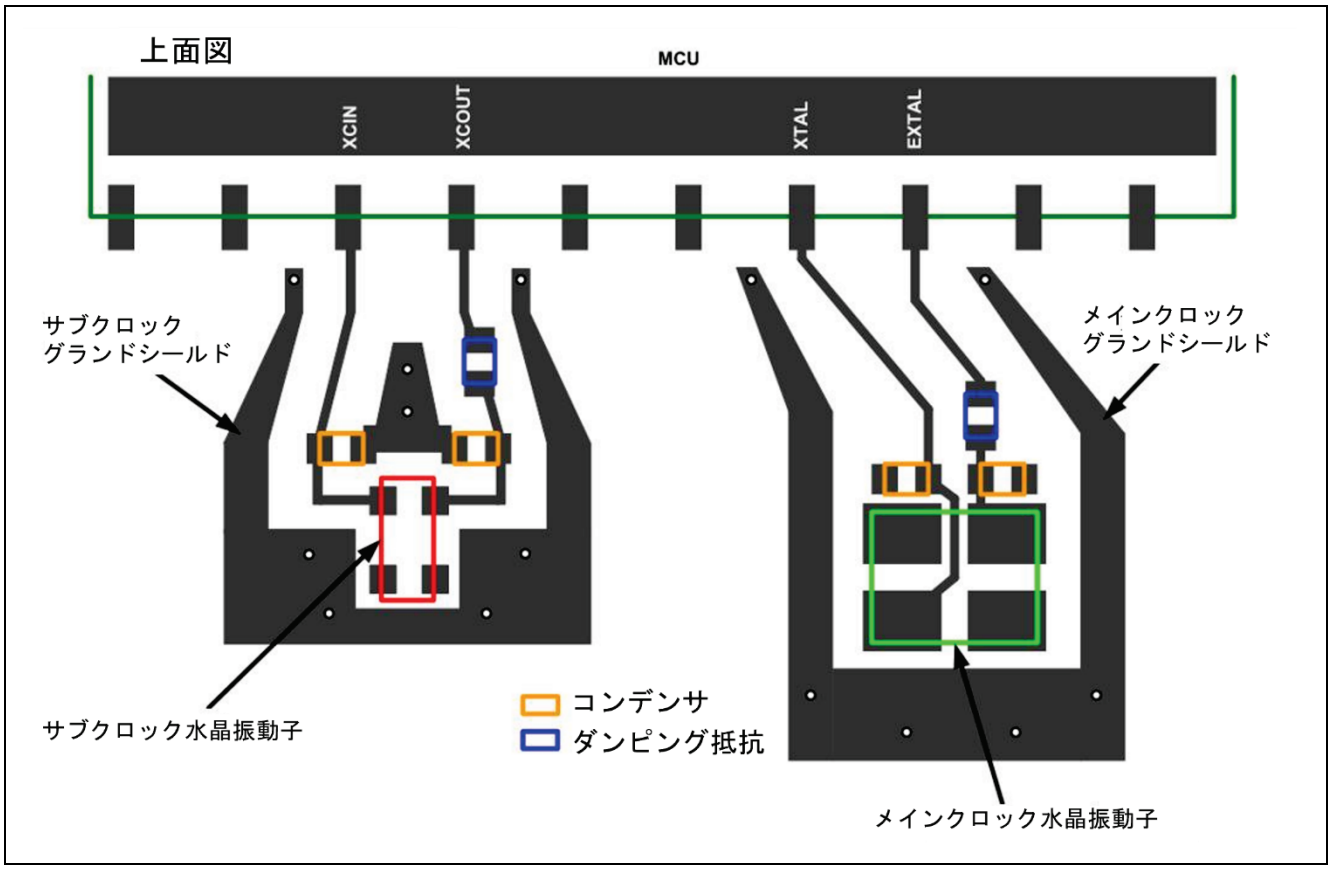



**図 17. メインクロック用振動子をグランドシールドでシールドする場合の配線例**

## 2.3　配線 - 避けるべきポイント

サブクロック回路を配線する際には、以下の点に注意してください。これらの配線をすると、低 CL 振動子が正しく発振しない可能性があります。図 18 に配線例を示し、配線で避けるべきポイントを指摘しています。図中の番号は、以下のリストと連携しています。

1. XCIN と XCOUT の配線が他の信号配線と交差しています。(誤動作の恐れがあります)
2. XCIN と XCOUT に観測ピン（テストポイント）が接続されています。(振動停止の恐れがあります)
3. XCIN と XCOUT の配線が長いです。(誤動作や精度低下の恐れがあります)
4. グランドシールドが全面を覆っておらず、グランドシールドがあるところは配線が細長いです。(ノイズの影響を受けやすく、MCU や外付けコンデンサから発生するグランド電位差により精度が低下する恐れがあります。)
5. グランドシールドは VSS ピン以外に複数の VSS ピンがあります。(グランドシールドに MCU 電流が流れて誤動作する恐れがあります。)
6. XCIN と XCOUT の下に電源またはグランド配置されています。(クロックの喪失、振動停止の恐れがあります。)
7. 大電流を持つ配線が近くに通っています。(誤作動の恐れがあります。)
8. 隣接ピンの配線が長い距離を平行しています。(クロックの喪失、振動停止の恐れがあります。)
9. 中間層が経路に使用されています。（振動特性の低下や信号の誤作動の恐れがあります。）

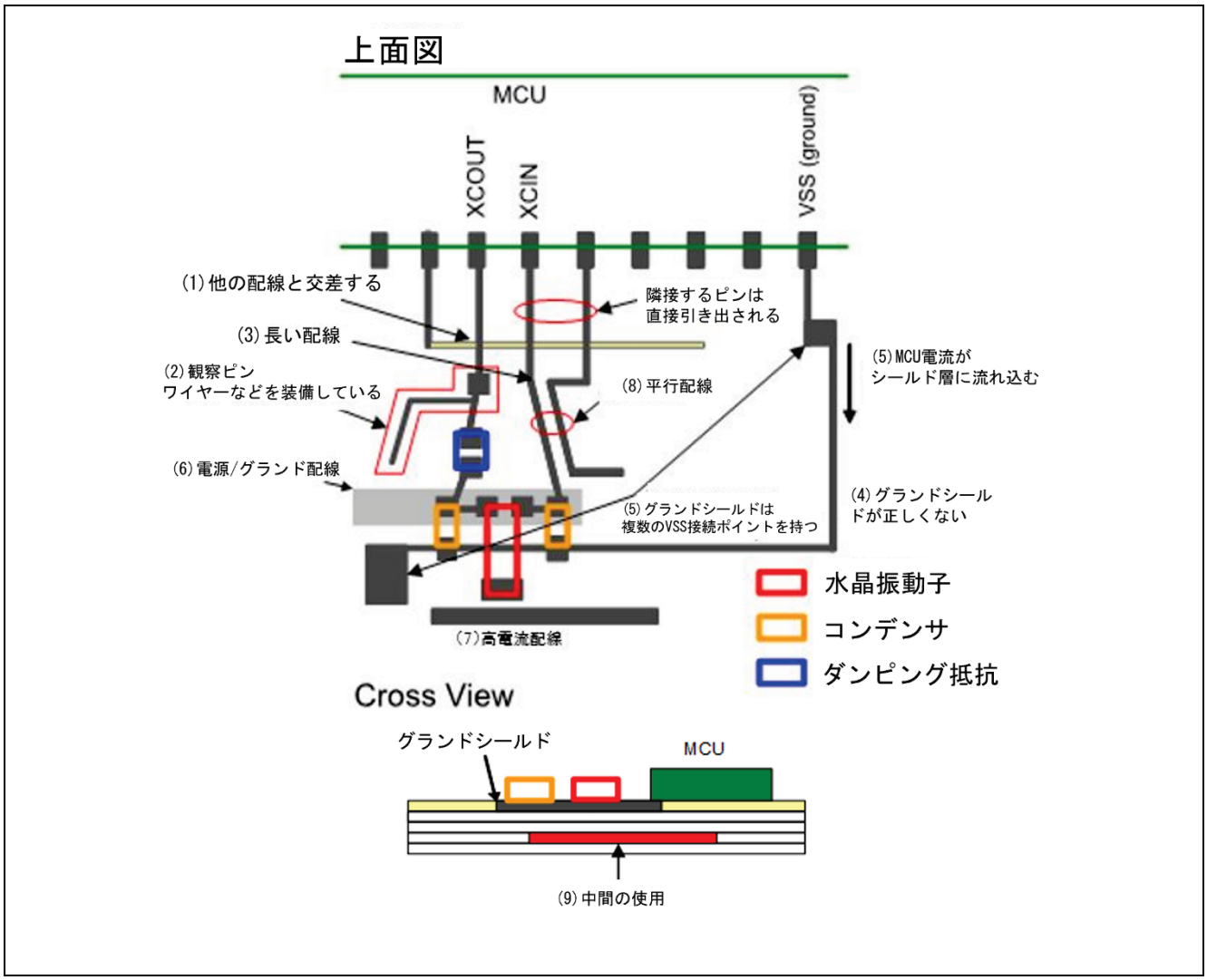



**図 18. ノイズによる誤動作の危険性が高い配線例**

## 2.4　基準発振回路の定数と振動子の動作確認

表 1 に水晶振動子動作確認時の基準発振回路定数を示しています。本資料冒頭の図 1 に、動作確認済みの水晶振動子の回路例を示しています。

**表 1. 水晶振動子動作確認用基準発振回路定数**

| メーカ | シリーズ | SMD/リード | 周波数 (kHz) | $C_L$ (pF) | $C_{L1}$ (pF) | $C_{L2}$ (pF) | $R_d$ (kΩ) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 京セラ | ST3215SB | SMD | 32.768 | 12.5 | 22 | 22 | 0 |
| | | | | 9 | 15 | 15 | 0 |
| | | | | 6 | 9 | 9 | 0 |
| | | | | 7 | 10 | 10 | 0 |
| | | | | 4 | 1.8 | 1.8 | 0 |

すべての RA ファミリが京セラのウェブサイトに掲載されているわけではなく、ほとんどの RA ファミリのサブクロック発振器の推奨値は掲載されていないことに注意してください。この表のデータには、他の同等のルネサス MCU デバイスの推奨値が含まれています。

ここに記載されている振動子の動作確認値および基準発振回路定数は、振動子メーカ様からの情報に基づいており、保証するものではありません。基準発振回路定数は、メーカ様が一定の条件下で測定したものであり、ユーザーシステムで測定した値とは異なる場合があります。実際のユーザーシステムで最適な基準発振回路定数を得るためには、振動子メーカ様に問い合わせ、実際の回路で評価を行う必要があります。

図中の条件は、MCU に接続された振動子を発振させるための条件であり、MCU 自体の動作条件ではありません。MCU の動作条件の詳細は電気的特性の仕様を参照してください。

## ウェブサイトとサポート

以下の URL にアクセスして、RA ファミリの主要な要素を学び、コンポーネントや関連するドキュメントをダウンロードし、サポートを受けることができます。

| | |
|---|---|
| RA 製品情報 | www.renesas.com/ra |
| RA 製品サポートフォーラム | www.renesas.com/ra/forum |
| RA フレキシブルソフトウェアパッケージ | www.renesas.com/FSP |
| ルネサスのサポート | www.renesas.com/support |

## 改訂記録

| 改訂版 | 日付 | 概要 | |
|---|---|---|---|
| | | ページ | 要約 |
| 1.00 | Nov.20.23 | – | 初版リリース |
| | | | |

# ご注意書き

1. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合、お客様の責任において、お客様の機器・システムを設計ください。これらの使用に起因して生じた損害（お客様または第三者いずれに生じた損害も含みます。以下同じです。）に関し、当社は、一切その責任を負いません。
2. R 当社製品または本資料に記載された製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズム、応用回路例等の情報の使用に起因して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権に対する侵害またはこれらに関する紛争について、当社は、何らの保証を行うものではなく、また責任を負うものではありません。
3. 当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
4. 当社製品を組み込んだ製品の輸出入、製造、販売、利用、配布その他の行為を行うにあたり、第三者保有の技術の利用に関するライセンスが必要となる場合、当該ライセンス取得の判断および取得はお客様の責任において行ってください。
5. 当社製品を、全部または一部を問わず、改造、改変、複製、リバースエンジニアリング、その他、不適切に使用しないでください。かかる改造、改変、複製、リバースエンジニアリング等により生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
6. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」および「高品質水準」に分類しており、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使用されることを意図しております。
   標準水準：コンピュータ、OA 機器、通信機器、計測機器、AV 機器、家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット等
   高品質水準：輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通制御（信号）、大規模通信機器、金融端末基幹システム、各種安全制御装置等
   当社製品は、データシート等により高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、直接生命・身体に危害を及ぼす可能性のある機器・システム（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの等）、もしくは多大な物的損害を発生させるおそれのある機器・システム（宇宙機器と、海底中継器、原子力制御システム、航空機制御システム、プラント基幹システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、これらの用途に使用することは想定していません。たとえ、当社が想定していない用途に当社製品を使用したことにより損害が生じても、当社は一切その責任を負いません。
7. あらゆる半導体製品は、外部攻撃からの安全性を 100%保証されているわけではありません。当社ハードウェア／ソフトウェア製品にはセキュリティ対策が組み込まれているものもありますが、これによって、当社は、セキュリティ脆弱性または侵害（当社製品または当社製品が使用されているシステムに対する不正アクセス・不正使用を含みますが、これに限りません。）から生じる責任を負うものではありません。当社は、当社製品または当社製品が使用されたあらゆるシステムが、不正な改変、攻撃、ウイルス、干渉、ハッキング、データの破壊または窃盗その他の不正な侵入行為（「脆弱性問題」といいます。）によって影響を受けないことを保証しません。当社は、脆弱性問題に起因しまたはこれに関連して生じた損害について、一切責任を負いません。また、法令において認められる限りにおいて、本資料および当社ハードウェア／ソフトウェア製品について、商品性および特定目的との合致に関する保証ならびに第三者の権利を侵害しないことの保証を含め、明示または黙示のいかなる保証も行いません。
8. 当社製品をご使用の際は、最新の製品情報（データシート、ユーザーズマニュアル、アプリケーションノート、信頼性ハンドブックに記載の「半導体デバイスの使用上の一般的な注意事項」等）をご確認の上、当社が指定する最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他指定条件の範囲内でご使用ください。指定条件の範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障、誤動作の不具合および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
9. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めていますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は、データシート等において高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、耐放射線設計を行っておりません。仮に当社製品の故障または誤動作が生じた場合であっても、人身事故、火災事故その他社会的損害等を生じさせないよう、お客様の責任において、冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、お客様の機器・システムとしての出荷保証を行ってください。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様の機器・システムとしての安全検証をお客様の責任で行ってください。
10. 当社製品の環境適合性等の詳細につきましては、製品個別に必ず当社営業窓口までお問合せください。ご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようご使用ください。かかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は、一切その責任を負いません。
11. 当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器・システムに使用することはできません。当社製品および技術を輸出、販売または移転等する場合は、「外国為替及び外国貿易法」その他日本国および適用される外国の輸出管理関連法規を遵守し、それらの定めるところに従い必要な手続きを行ってください。
12. お客様が当社製品を第三者に転売等される場合には、事前に当該第三者に対して、本ご注意書き記載の諸条件を通知する責任を負うものといたします。
13. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを禁じます。
14. 本資料に記載されている内容または当社製品についてご不明な点がございましたら、当社の営業担当者までお問合せください。

注 1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサス エレクトロニクス株式会社およびルネサス エレクトロニクス株式会社が直接的、間接的に支配する会社をいいます。

注 2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注 1 において定義された当社の開発、製造製品をいいます。

(Rev.5.0-1 October 2020)

## 本社

豊洲フォレシア、豊洲 3-2-24、
135-0061 東京都江東区豊洲 3-2-24 豊洲フォレシア
www.renesas.com

## お問い合わせ先

製品、技術、ドキュメントの最新版、最寄りの営業所などに関する詳しい情報は、こちらをご覧ください: www.renesas.com/contact/.

## 商標

Renesas および Renesas ロゴは、ルネサス エレクトロニクス株式会社の商標です。すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。.

© 2023 Renesas Electronics Corporation. All rights reserved.