

シャント抵抗

シャント抵抗器を使用したセンシングラインの PCB レイアウト指南

自動車や産業機器の分野において、電流・電圧制御、過電流制限、バッテリー残量検知等の機能を実現するために電流検出回路が用いられており、シャント抵抗方式が使用される場合があります。シャント抵抗器を使用する場合、抵抗値・定格電力・サイズは重要な検討項目ですが、センシング精度に影響を与える許容誤差についても考慮する必要があります。この許容誤差には常温での抵抗値許容差(例 F 級:±1 %)や抵抗温度係数等が含まれます。さらに、センシングラインの取り出し位置によっては、基板配線や半田の抵抗成分の影響を受けてセンシング精度に誤差が生じる可能性があります。したがって、高精度な電流検出回路を実現するためには、電気回路の各部品選定や定数設計だけでなく PCB レイアウトにも注意が必要です。本アプリケーションノートでは、PCB レイアウト時に注意すべきポイントを紹介し、シミュレーションと実測を通じて検証します。

シャント抵抗器の電圧降下測定方法

電流検出回路には、発熱抑制および検出電流範囲確保の観点から、一般的に数 $\mu\Omega$ ～数 $m\Omega$ 台と非常に低い抵抗値のシャント抵抗を使用します。このような低抵抗の電圧降下を測定する場合、4 端子法(ケルビン接続)*を適用することは一般的に知られています。センシングラインを引き出す際、Figure 1 のようにセンシングラインをシャント抵抗器の実装用パッドよりも外側にレイアウトしてしまうと、Figure 2 に示す基板配線の銅箔や半田の抵抗成分がセンシングラインに含まれてしまうため正確な測定ができません。シャント抵抗器の抵抗値が低くなるほど相対的に影響が大きくなり、誤差要因として無視できなくなります。そこで、Figure 3 のようにセンシングラインをシャント抵抗器の実装用パッドの内側に接続させるようにレイアウトすることで、不要な抵抗成分を含まずに測定することが可能です。センシング精度を確保するためには適切な PCB レイアウト設計が必要です。

* 4 端子法(ケルビン接続)：電圧測定端子と電流導通端子を分離し、電圧測定誤差を排除する手法。

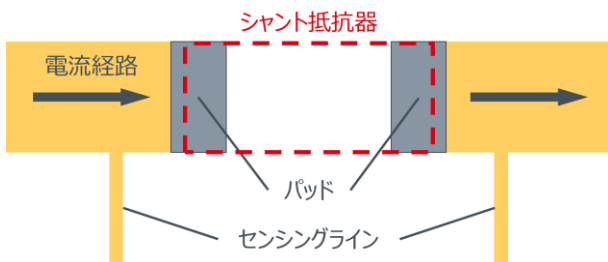


Figure 1. 誤ったセンシングラインのレイアウト例

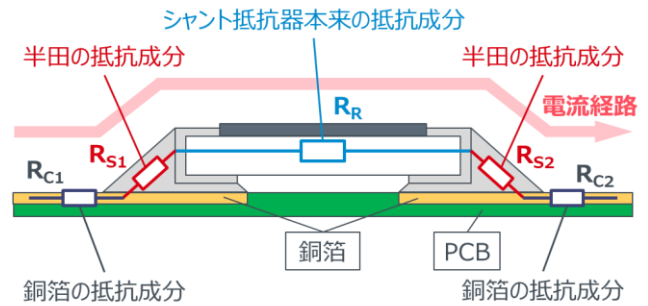


Figure 2. 実装状態での断面図

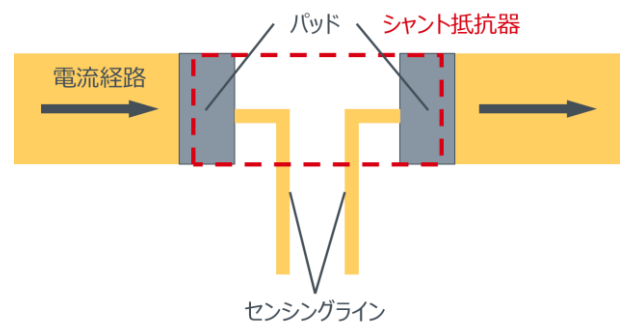


Figure 3. 正しいセンシングラインのレイアウト例

基板配線抵抗の影響

シャント抵抗器の電圧降下を測定するセンシングラインには、シャント抵抗器以外の抵抗成分を含まないように設計することで、精度よく電圧を測定することができます。回路設計が初期段階である、PCB 共通化を検討している棟の理由から、シャント抵抗器の並列接続数が固定されていない場合、実装用ランドパターンを複数設けておく必要がありますが、それぞれからセンシングラインを引き出し共通接続してしまうと、シャント抵抗器の実装用パターンとセンシングラインで抵抗回路

網を形成し、正しい電圧降下測定ができないことがあります。

具体的に、Figure 4 に示す評価基板(BD1422xG-EVK-001)を例として、センシング回路にどのような抵抗回路網が形成されるのかを確認します。本基板は、4 並列までシャント抵抗器を実装でき、センシングラインが各シャント抵抗器の実装パターン内側に接続されているデザインです。Figure 5 の通り、基板中央左側の R12 の箇所に 2.00 mΩのシャント抵抗器を 1 個実装した際に、センシングラインがどのようなのかを抵抗回路網を用いて確認します。Figure 6 に評価基板のパターン形状から算出した配線抵抗を示し、Figure 7 に算出した配線抵抗とシャント抵抗器の抵抗値で構成した抵抗回路網を示します。この回路網においてシャント抵抗器の端子片側に着目すると、Figure 8 に示すように、シャント抵抗器の端子(赤丸)と電圧測定端子(青丸)の間に抵抗回路網を含む形となります。そのため、センシング電圧はシャント抵抗器単体の抵抗成分による電圧降下のみではなく、不要な抵抗成分による電圧降下を含むことになり、センシング精度に誤差を生じさせる要因となります。

まず、Figure 7 の抵抗回路網を用いてセンシング電圧がどのようなのかをシミュレーションで検証します。電流を 1.00 A、シャント抵抗器を 2.00 mΩ、各配線抵抗にはパターン形状から以下の[1]式を用いて算出した値を適用し、センシング電圧を測定します。

$$R [\Omega] = (\rho \cdot l) / (t \cdot w) \quad \dots [1]$$

ρ : 銅の比抵抗 [Ω・m] l : 配線長 [m]

t : 銅箔厚 [m] w : 配線幅 [m]

シミュレーションの結果、センシング電圧は 2.21 mV でした。理論上は 1.00 A x 2.00 mΩ = 2.00 mV ですが、0.21mV(10.5%)の誤差が発生した事になります。

次に、Figure 9 の通り、センシングラインをシャント抵抗器の内側のみに接続させる構成となるよう抵抗回路網に修正し、同様のシミュレーションを実施しました。その結果、センシング電圧は 2.00 mV となり、シャント抵抗器単体の抵抗成分による電圧降下を検出することができました。

以上より、シャント抵抗器の電圧降下を正しく測定するには、センシングラインをセンシング対象とするシャント抵抗器の内側のみに接続させることが必要ことが分かります。シャント抵抗器を並列接続する際や予備パターンを置く場合は、センシングラインの設計に十分に注意してください。

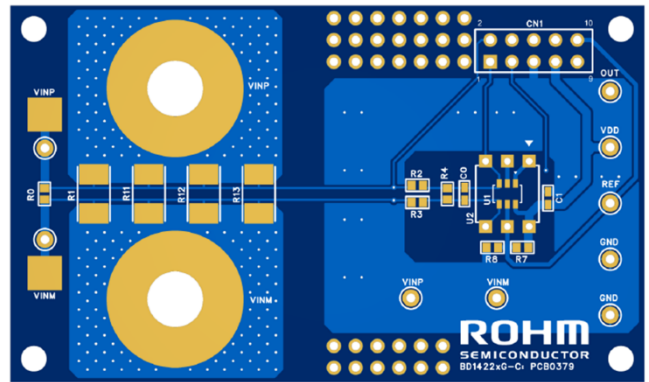


Figure 4. 評価基板 (BD1422xG-EVK-001)

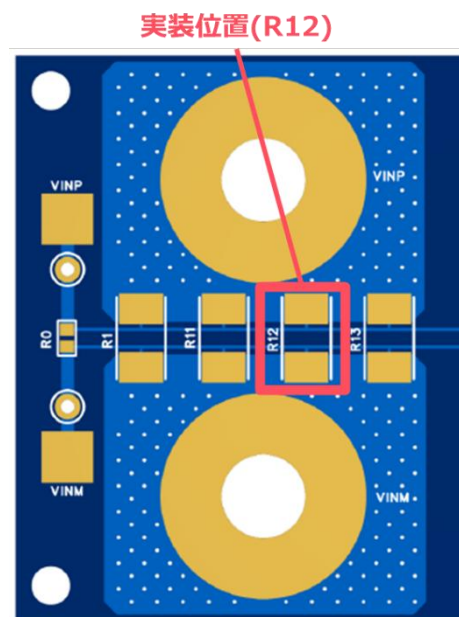


Figure 5. シャント抵抗器の実装位置

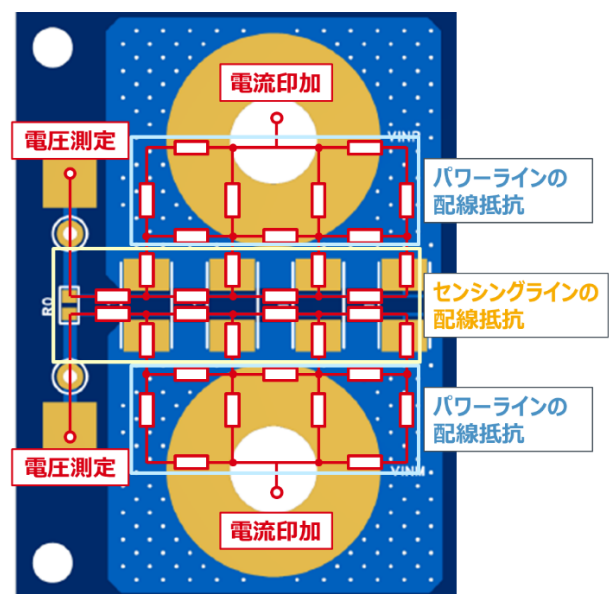


Figure 6. 評価基板から算出した配線抵抗

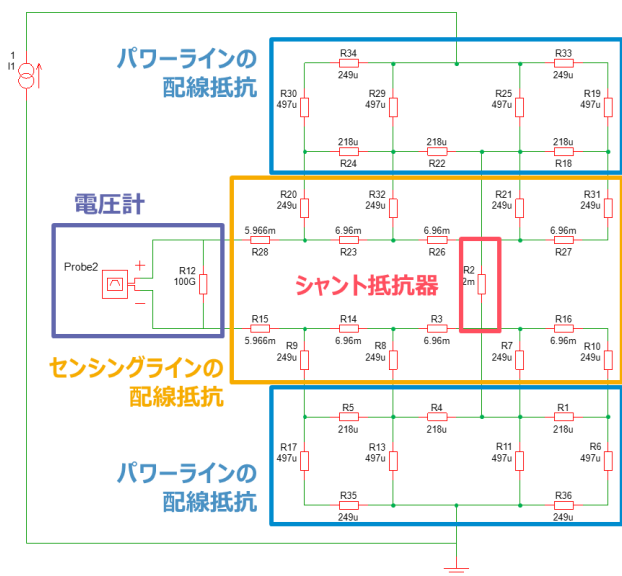


Figure 7. シャント抵抗器 1 個実装時の抵抗回路網

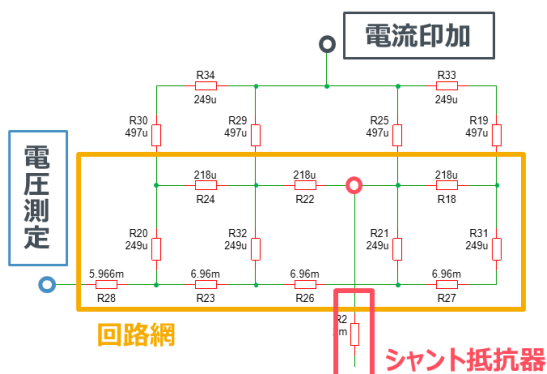


Figure 8. シャント抵抗器実装時のセンシングライン

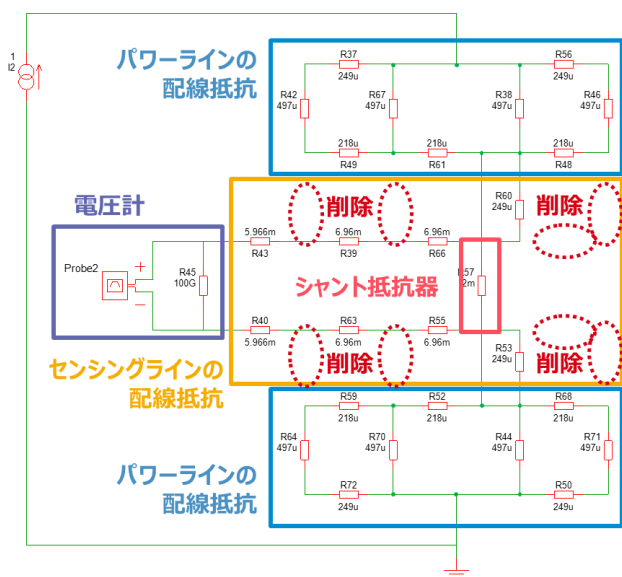


Figure 9. センシングライン修正後の抵抗回路網

センシング精度の検証

前節で示した Figure 4 の評価基板を用いて、実際にシャント抵抗器に電流を印加した際の電圧降下を測定し、センシング精度を確認します。シャント抵抗器(PMR100HZPFV2L00) を 1 個のみ実装した評価基板を Figure 10 に示します。Figure 11 の通り、②の端子で電流を印加し、①の端子で電圧降下を測定しました。5 A・10 A・15 A・20 A の電流を印加した際の電圧降下測定値をプロットし、実測値と理論値を比較した結果を Figure 12 に示します。実測値から抵抗値を算出すると平均 2.36 mΩとなり、実装したシャント抵抗器の抵抗値スペック 2.00 mΩに対して、0.36 mΩ (18 %) の不要な抵抗成分が含まれる結果となりました。本結果から分かる通り、センシング電圧には評価基板に実装されたシャント抵抗器での電圧降下のみではなく、不要な抵抗成分による電圧降下が含まれています。前節で検証した通り、センシングラインにシャント抵抗器の並列接続用ランドパターンが複数接続されていることがこの誤差の原因です。

次に、センシングラインが対象となるシャント抵抗器の実装パターン内側のみに接続されるよう、Figure 13 に示す赤丸の位置で評価基板のパターンカットを行い、前述と同様の評価を実施します。シャント抵抗器の並列接続用のランドパターンに接続される、センシングライン引き出し部をパターンカットしました。本基板を用いて同様の評価を実施した結果を Figure 14 に示します。測定結果から抵抗値を算出すると、平均 2.04 mΩとなり、不要な抵抗成分は 0.04 mΩ (2 %) まで減少しました。本結果から分かるように、センシングラインはセンシング対象となるシャント抵抗器の内側のみに接続されているため、パターンカット無しの場合と比較して理論値に近い値が得られました。

以上より、実機評価においてもシミュレーションと同様に、センシングラインをセンシング対象とするシャント抵抗器の実装パターン内側のみに接続させた場合、高精度にシャント抵抗器の電圧降下を測定することができました。一方で、シャント抵抗器が実装されていない並列接続用ランドパターンがセンシングラインに接続されている場合、配線抵抗によりセンシングラインに抵抗回路網を形成し、センシング精度に誤差が生じることを確認できました。実際の PCB レイアウトにおいてシャント抵抗器の並列接続用ランドパターンが存在する場合、配線抵抗の影響を十分に考慮する必要があります。

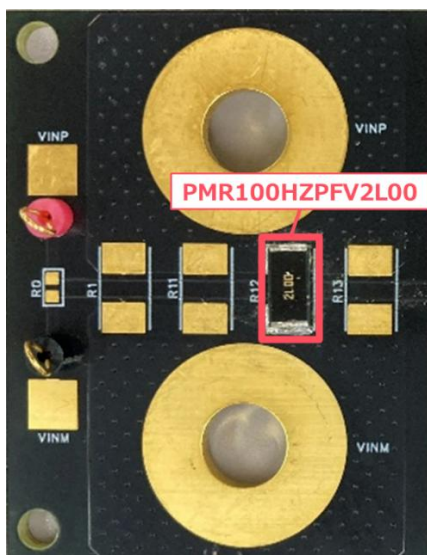


Figure 10. シャント抵抗器 実装位置

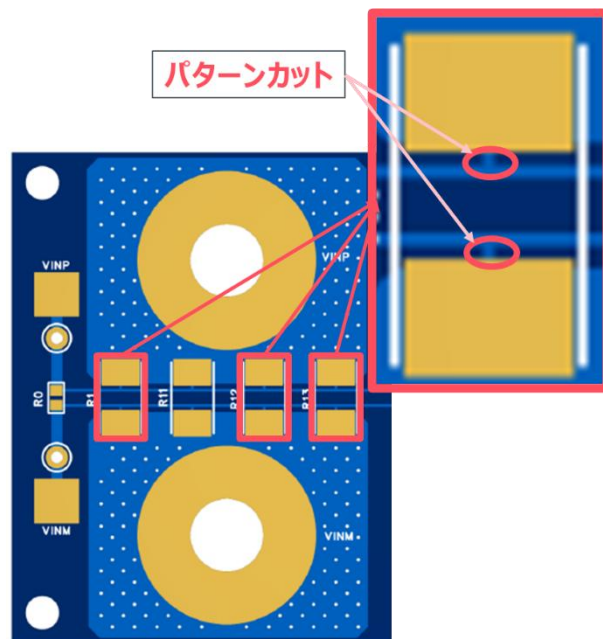


Figure 13. 基板のパターンカット加工の箇所

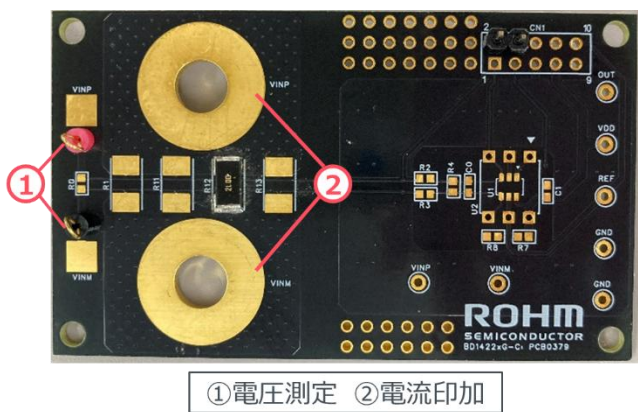


Figure 11. 測定位置

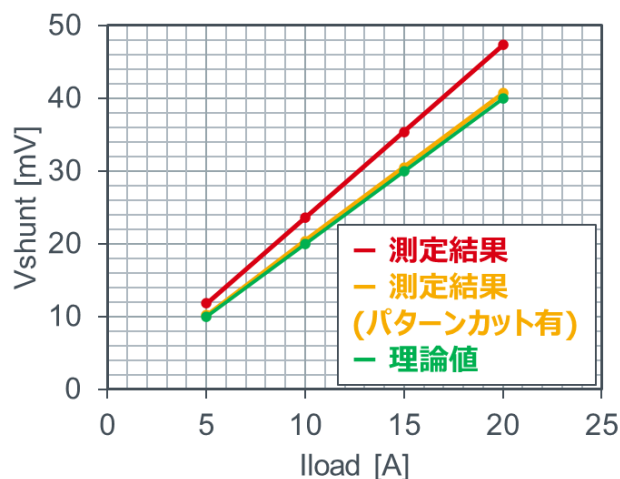


Figure 14. パターンカット前後の Vshunt 実測値比較

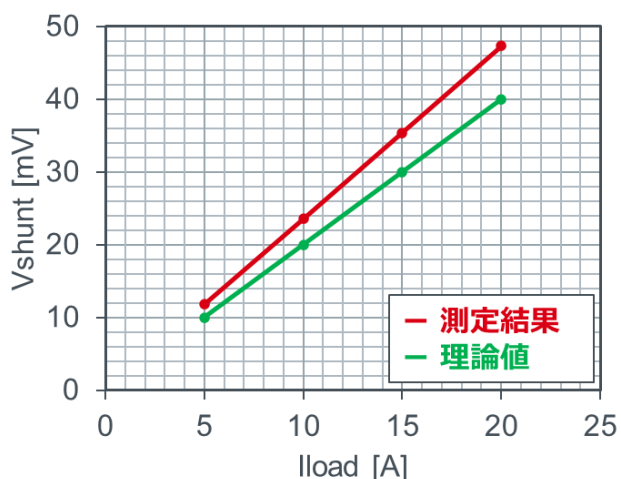


Figure 12. センシング電圧 [mV] vs 印加電流 [A]

まとめ

シャント抵抗器のような低抵抗の電圧降下を測定する場合、センシングラインに基板配線の銅箔や半田の抵抗成分を含ませないために、センシングラインはシャント抵抗器の実装用ランドパターン内側に接続されるようにレイアウトしてください。また、シャント抵抗器を並列接続する場合はセンシングラインの引き出し方には十分注意してください。よく推奨されるセンシングラインの引き出し方で並列接続した場合、シャント抵抗 1 個で 10 %以上誤差が出る結果になりました。

参考資料

- [1] アプリケーションノート「PCB 設計が抵抗温度係数に与える影響」, ローム株式会社
- [2] アプリケーションノート「ローサイド電流センシング回路設計」, ローム株式会社
- [3] アプリケーションノート「シャント抵抗方式電流センシング 設計ガイド」, ローム株式会社
- [4] アプリケーションノート「シャント抵抗方式電流センシング シャント抵抗発熱評価」, ローム株式会社

ご 注 意

- 1) 本資料に記載されている内容は、ロームグループ(以下「ローム」という)製品のご紹介を目的としています。ローム製品のご使用にあたりましては、別途最新のデータシートもしくは仕様書を必ずご確認ください。
- 2) ローム製品は、一般的な電子機器(AV機器、OA機器、通信機器、家電製品、アミューズメント機器等)もしくはデータシートに明示した用途への使用を意図して設計・製造されています。したがって、極めて高度な信頼性が要求され、その故障や誤動作が人の生命、身体への危険もしくは損害、またはその他の重大な損害の発生に関わるような機器または装置(医療機器、輸送機器、交通機器、航空宇宙機器、原子力制御装置、燃料制御、カーアクセサリーを含む車載機器、各種安全装置等)(以下「特定用途」という)にローム製品のご使用を検討される際は事前にローム営業窓口までご相談くださいますようお願いいたします。ロームの文書による事前の承諾を得ることなく、特定用途にローム製品を使用したことによりお客様または第三者に生じた損害等に関し、ロームは一切その責任を負いません。
- 3) 半導体を含む電子部品は、一定の確率で誤動作や故障が生じる場合があります。万が一、誤動作や故障が生じた場合であっても、人の生命、身体、財産への危険または損害が生じないように、お客様の責任においてフェールセーフ設計など安全対策をお願いいたします。
- 4) 本資料に記載された応用回路例やその定数などの情報は、ローム製品の標準的な動作や使い方を説明するためのもので、実際に使用する機器での動作を明示的にも黙示的にも保証するものではありません。したがって、お客様の機器の設計において、回路やその定数及びこれらに関連する情報を使用する場合には、外部諸条件を考慮し、お客様の判断と責任において行ってください。これらの使用に起因しお客様または第三者に生じた損害に関し、ロームは一切その責任を負いません。
- 5) ローム製品及び本資料に記載の技術を輸出または国外へ提供する際には、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」など適用される輸出関連法令を遵守し、それらの定めにしたがって必要な手続きを行ってください。
- 6) 本資料に記載された応用回路例などの技術情報及び諸データは、あくまでも一例を示すものであり、これらに関する第三者の知的財産権及びその他の権利について権利侵害がないことを保証するものではありません。また、ロームは、本資料に記載された情報について、ロームもしくは第三者が所有または管理している知的財産権その他の権利の実施、使用または利用を、明示的にも黙示的にも、お客様に許諾するものではありません。
- 7) 本資料の全部または一部をローム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固くお断りいたします。
- 8) 本資料に記載の内容は、本資料発行時点のものであり、予告なく変更することがあります。ローム製品のご購入及びご使用に際しては、事前にローム営業窓口で最新の情報をご確認ください。
- 9) ロームは本資料に記載されている情報に誤りがないことを保証するものではありません。万が一、本資料に記載された情報の誤りによりお客様または第三者に損害が生じた場合においても、ロームは一切その責任を負いません。



ローム製品のご検討ありがとうございます。
より詳しい資料やカタログなどをご用意しておりますので、お問い合わせください。

ROHM Customer Support System

<https://www.rohm.co.jp/contactus>