

光絶縁型シグマ - デルタ変調器を用いた高精度な電流検出用シャント抵抗器の選択



Isolation Products Division, Broadcom Limited

ホワイトペーパー

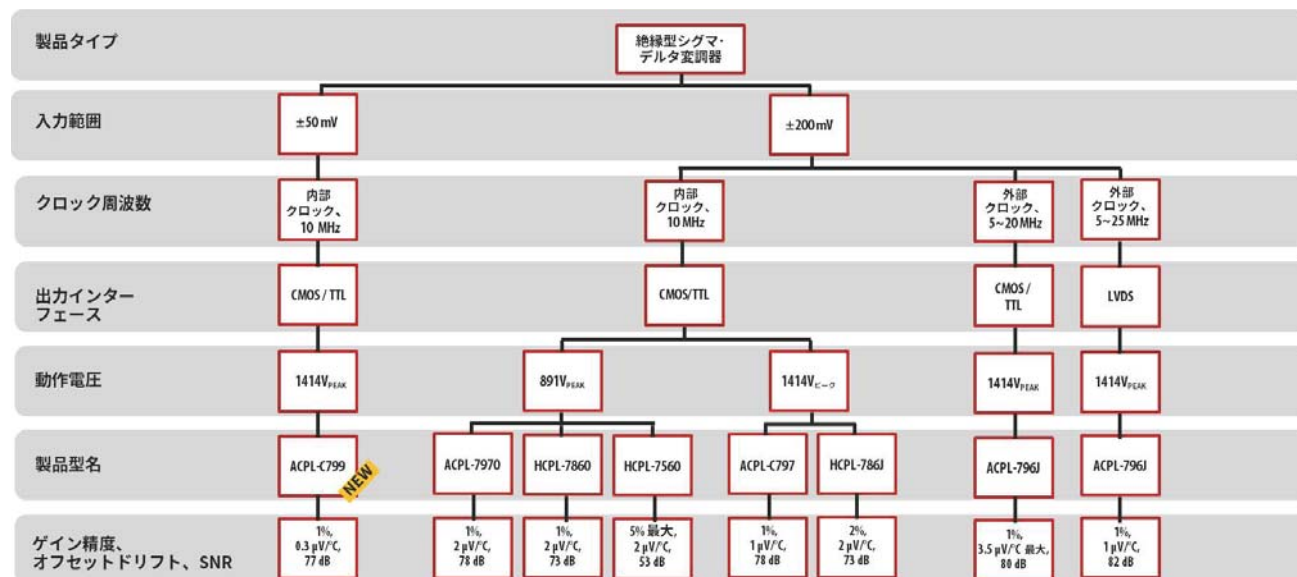
概要

最近の工場の自動化 (サーボモータ装置、産業用ロボット、コンピュータ数値制御 (CNC) マシンを含む) における精度、パワー、速度、多軸、多方向などへの要求は高まる傾向にあり、モータ相電流の正確な検出に対する要求も高まる一方です。従来、電流検出は、カレントトランス (CT) やホール効果電流センサ (HES) で行われてきましたが、これらのソリューションは、スペース、コスト、そして動作温度範囲などに課題がありました。より小型で低コストなソリューションが、シャント抵抗器をシグマ-デルタ変調器に直接接続することにより、容易に実現できます。相電流は、最大電流がシグマ-デルタ変調器の最適推奨入力電圧範囲と対応するよう抵抗値が選択されたシャント抵抗器を流れます。この入力電圧が低いことにより、シャント抵抗器による電力損失は最小限に抑えられます

Broadcom 光絶縁型シグマ - デルタ変調器

Broadcom は、様々な量産向け小型表面実装パッケージの光絶縁型シグマ-デルタ変調器を提供しています。優れた光学絶縁技術との組合せにより、Broadcom シグマ-デルタ変調器は、絶縁モード過渡に対する高いノイズマージンと、優れた耐性を備えています。最小 0.5mm の絶縁物厚 (DTI) を持つこれらのシグマ-デルタ変調器は、高信頼の二重保護とフェイルセーフ設計に最適な高い動作電圧を提供します。この実績ある絶縁性能は、DTI が僅か 0.1mm の 3 分の 1 に過ぎない磁気または容量式アイソレータを凌駕しています。さらに、信号は絶縁層を介して光学的に伝送されるため、Broadcom のシグマ-デルタ変調器は外部磁界に対する耐性が高く、また外部磁界が除去されたときのヒステリシス残存効果がありません。図 1 は、シグマ-デルタ製品系統図です。

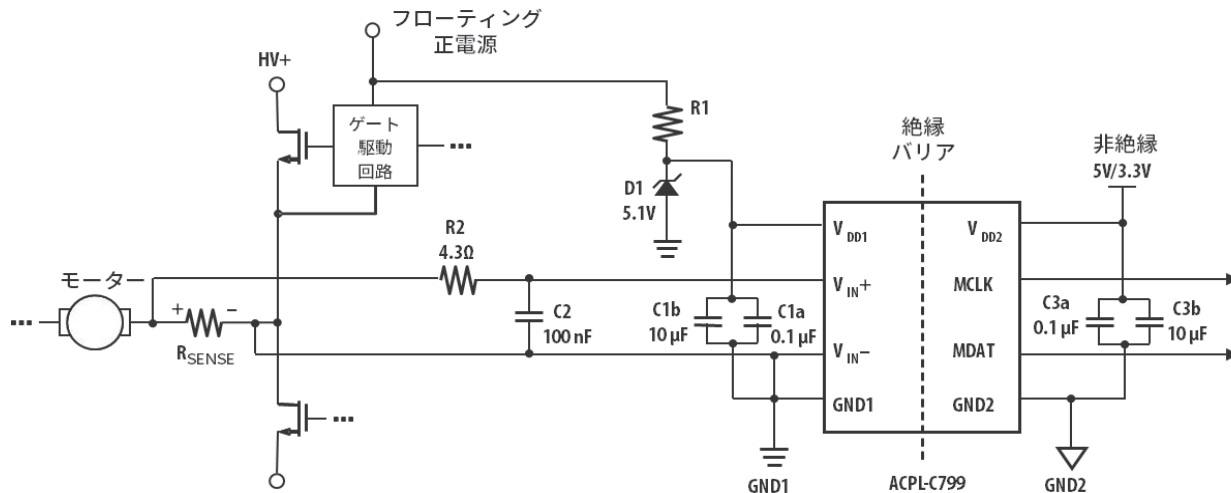
図 1: Broadcom 絶縁型シグマ - デルタ変調器製品系統図



ACPL-C799 ±50mV 入力、内部クロック型シグマ - デルタ変調器

Broadcom ACPL-C799 は、業界初の ±50mV 入力光絶縁型シグマ-デルタ変調器です。この製品の特長は、±50mV の低差動入力電圧範囲により、サーボドライブおよびモータ制御用途における電流検出シャント抵抗器での電力損失を削減することが可能なことです。図 2 は、モータ相電流検出に ACPL-C799 を使用する場合の一般的な応用回路例です。

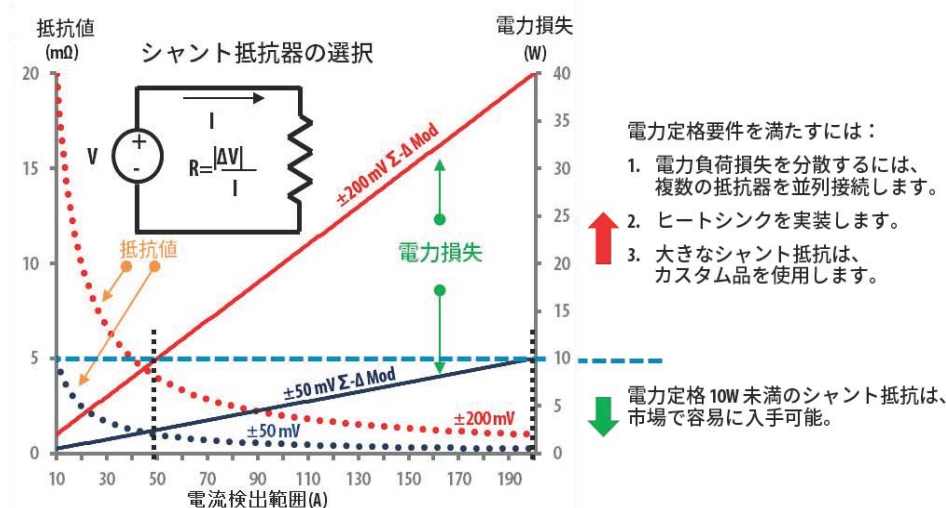
図 2: ACPL-C799 を用いたモータ相電流検出応用回路例



市場をリードする Broadcom の光絶縁型電流検出器のポートフォリオに加わったこの製品は、シャント抵抗器の小型化による効率の向上を可能にしながら、類まれな堅牢性を備え、性能の向上を実現しています。入力電圧範囲が ±200mV の前世代製品と比較すると、ACPL-C799 は抵抗値が 4 分の 1 の小型シャント抵抗を使用することができ、シャント抵抗器の電力損失を 75% 削減します。低い入力電圧に関わらず、この製品は優れた SNR、ENOB、およびオフセットドリフト性能を実現し、スペースに制限がある高温環境での高精度なモータ制御を可能にします。

一般的にシャント抵抗器の連続定格電力は 10W 未満です。図 3 は、±50mV と低い入力電圧範囲の ACPL-C799 と、低価格で容易に入手可能なシャント抵抗との組合せにより、最大 200A の大電流を検出できることを示しています。

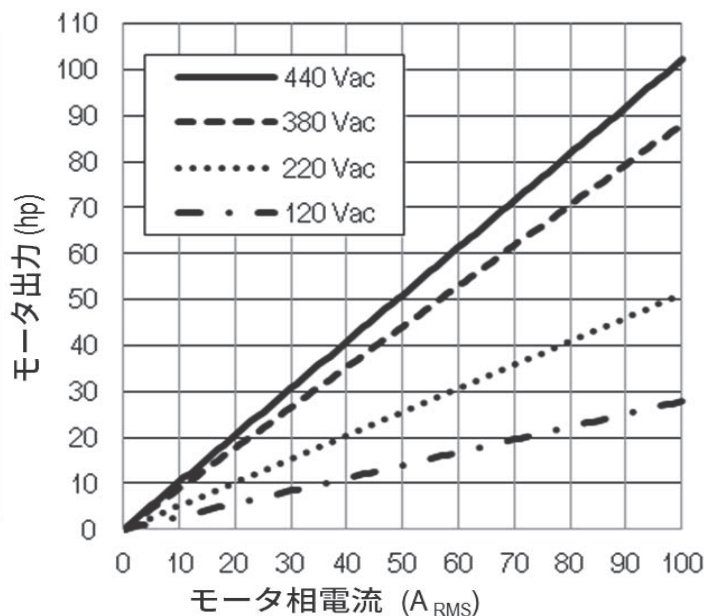
図 3: シャント抵抗値および定格電力要件 vs. 電流検出範囲



シャント抵抗の選択

電流検出用シャント抵抗は、電力損失を最小限に抑える低抵抗、動作に悪影響を及ぼす恐れのある di/dt 誘導電圧スパイクを最小限に抑える低インダクタンス、および全体的な回路精度を維持するための合理的な公差を必要とします。具体的なシャント抵抗値を選択する際、一般的には電力損失の最小化と精度の最大化の間に最適な値を決定します。シャントの抵抗値を小さくすると電力損失が減少し、また抵抗値を大きくすると、絶縁型変調器の入力電圧範囲全体を使用することにより、回路精度を向上させることができます。

図 4: モータ出力馬力 vs. モータ相電流および電源電圧



シャント抵抗値の決定

シャント抵抗を選択するための最初のステップは、シャント抵抗が検出する電流の大きさを決めることです。図 4 のグラフは、3 相誘導モータの各相における RMS 電流を、平均的なモータの出力パワー (馬力) およびモータ駆動電源電圧の関数として示したものです。シャント抵抗の最大値は、測定する電流と絶縁型変調器の最大推奨入力電圧で決まります。最大シャント抵抗値は、最大推奨入力電圧を通常動作中にシャント抵抗が検出するピーク電流で除して求めることができます。

例

あるモータの最大 RMS 電流が $70 A_{RMS}$ で、通常作動中に起り得る過負荷が最大 50% とします。電流検出に ACPL-C799 を使用する場合、シャント抵抗値は $0.5 m\Omega$ と算出されます。シャント抵抗における最大平均電力損失は、シャント抵抗値に最大 RMS 電流の二乗を乗じて算出することができ、約 2.45W です。以下に計算の詳細を示します。

- ACPL-C799 推奨リア入力電圧範囲: $\pm 50 mV$
- ACPL-C799 推奨フルスケール入力電圧範囲 (FSR): $\pm 80 mV$
- モータ最大 RMS 電流: $70 A_{RMS}$
- ピーク電流: 100A
- 通常作動中の過負荷: 50%

シャント抵抗値の計算:

- シャント抵抗計算値 $0.5\text{m}\Omega$ ($50\text{ mV}/100\text{A}$)
- シャント抵抗器電力損失 2.45W ($70\text{ A}_{\text{RMS}} \times 70\text{ A}_{\text{RMS}} \times 0.5\text{m}\Omega$)
- 過負荷時の ACPL-C799 入力電圧 $\pm 75\text{mV}$ (ACPL-C799 FSR 内) ($100\text{A} \times 1.5 \times 0.5\text{m}\Omega$)

シャントの電力損失が大き過ぎる場合、シャントの抵抗値を最大値よりも小さくすることにより、電力損失を減らすことができます。シャントの最小値は、設計上の精度要件により制限されます。シャント抵抗値を小さくすると、シャントの両端電圧も低下することから、オフセットおよびノイズ (いずれも固定) が信号振幅に占める割合が大きくなります。シャント抵抗値は、最小値と最大値の間で、具体的な設計の要件に見合う値を選択します。

シャント抵抗器の温度係数について

検出する電流が、シャントの発熱を著しく高めるほど大きい場合、シャント抵抗の温度係数 (tempco) が、信号電流に起因した温度上昇が原因で非線形になる場合があります。この効果は、シャントから環境への熱抵抗が大きいと顕著になります。この効果を最小限に抑えるは、シャントの熱抵抗を低減するか、または温度係数が小さいシャント抵抗を使用します。熱抵抗を低減するには、PC ボード上のシャント抵抗の配置見直しや、より広い PC ボード配線を使用して放熱を高めること、或いはヒートシンクを使用します。

2 端子と 4 端子のシャント抵抗器

2 端子抵抗器の場合、シャント抵抗値を小さくすると、リード部の抵抗がシャント抵抗値全体に占める割合が大きくなります。このことが、シャントの精度に 2 つの主な影響を及ぼします。第一に、シャントの有効抵抗値は、リードの長さや曲げ形状、基板への挿入深さ、および実装時のリードへの半田濡れ上り量などの要因に依存します。第二に、一般的にリードの材料には抵抗素子自体の材質よりも温度係数が高い銅などが使用されているため、結果としてシャント抵抗全体の温度係数が高くなっています。いずれの影響も、4 端子シャントを使用することで低減することができます。4 端子シャント抵抗には、抵抗素子自体に直接ケルビン接続された 2 本の追加端子があり、これらの端子を使用して抵抗素子の両端電圧を測定する一方、別の 2 本の端子に負荷電流を流します。ケルビン接続により、負荷電流が通るリード部で電圧降下は、測定電圧に影響しません。図 5 は、2 端子と 4 端子のシャント抵抗器の例です。

図 5: 2 端子と 4 端子シャント抵抗器の [2]

2 端子シャント 4 端子シャント

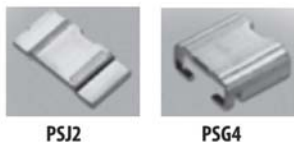


表 1 最大 70 A_{RMS} (71hp または 53kW) のモータ駆動における電流検出に適した 2 端子および 4 端子の表面実装 シャント抵抗器の例を表 1 に示します。

表 1: 最大 70 A_{RMS} のモータ駆動に適した 2 端子および 4 端子シャント抵抗器の例

メーカー / シャント抵抗器 型名	シャント抵抗器 タイプ	シャント抵抗値	最大 RMS 電流	モータ出力レンジ 120 V _{AC} ~ 440 V _{AC}	
				mΩ	A
KOA—CSR シリーズ	4 端子	5	7	1.8 ~ 6.7	1.4 ~ 5
Isabellenhütte—BVS シリーズ	2 端子				
Vishay—WSL4026 シリーズ	4 端子	2	17	4 ~ 17	3 ~ 13
Isabellenhütte—BVE シリーズ	2 端子				
KOA—PSG4 シリーズ	4 端子	1	35	9 ~ 36	7 ~ 27
KOA—PSB シリーズ	2 端子				
Isabellenhütte—BVR シリーズ	4 端子	0.5	70	19 ~ 72	14 ~ 54
KOA—PSJ2 シリーズ	2 端子				

電流検出用高精度シャント抵抗器の供給メーカー一覧:

- Isabellenhütte Isotek
- KOA
- Micron Electric
- Powertron
- Precision Resistor
- TT Electronics
- Vishay

シャント抵抗器の電力軽減曲線

電流がシャント抵抗器を流れるとき、一般的に熱は伝導、対流、および IR 放射の 3 通りの経路で周囲に放散されます。熱はシャント抵抗器に接続された端子から周囲に伝導し、伝導量は端子のサイズに応じて増加します。対流は周囲環境への自然な放熱により発生し、抵抗器の総表面積に応じて増加します。3 番目の経路は IR 放射によるもので、対流と同様に抵抗器の総表面積に応じて増加します。表面実装型 シャント抵抗の場合、熱の 90% が PC 基板 に実装されたシャント抵抗器の端子を通して放散されます。そのため、シャント抵抗器の端子温度に基づいて測定される電力軽減曲線は、シャント抵抗器の周囲温度に基づく従来の JIS/IEC の軽減曲線法よりも正確です。このことは、以下の意味合いを含みます:

- 電力定格要件を正確に決定できることによる SMT シャント抵抗器の小型化
- 電力定格の設計マージンを決定する際により大きな安全係数
- より高い電力定格を実現するための 2 個以上の抵抗器を並列にする場合に使用する抵抗器の数を削減

シャント抵抗器の電力定格が高温用途に十分かどうか判断する際、シャント抵抗器メーカーが提供する温度軽減曲線の詳細により、設計マージンと安全係数を大きくする検討を行います。

応用例

- 最大相電流: 70 A_{RMS}
- シャント抵抗器の値: 0.5mΩ、ACPL-C799 (±50mV 入力)
- シャント抵抗器の電力定格: 10W (KOA PSJ2)
- 基板の周囲温度: 100°C
- 表面実装抵抗器の端子温度: 120°C
- 実電力負荷: 2.5W

定格未満の要求安全マージン - 設計者内部のガイドラインに基づく: 50%

図 6: KOA PSJ2 シャント抵抗器の温度 - 電力低下曲線 [2]

軽減曲線

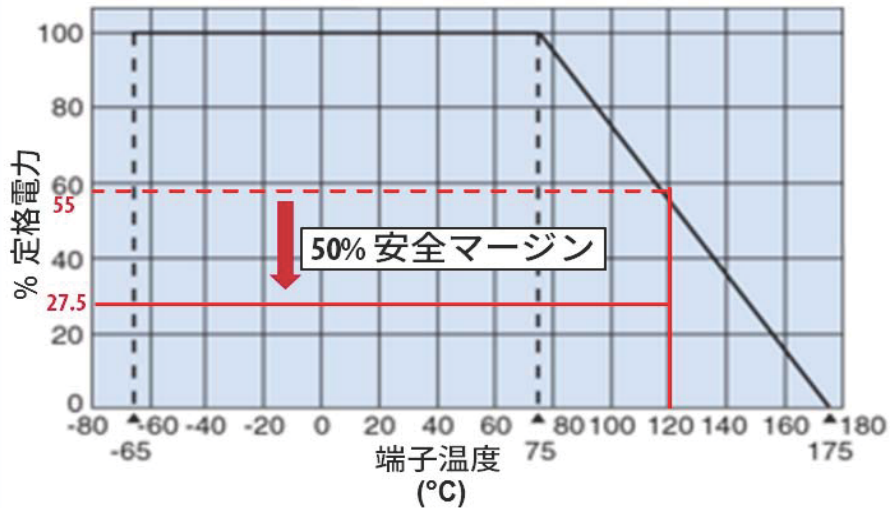


図 6 より:

要求定格電力 (2.5W/27.5%) = 9.1W (PSJ2 定格電力以内)

過負荷状態 = ピーク電流の 50%

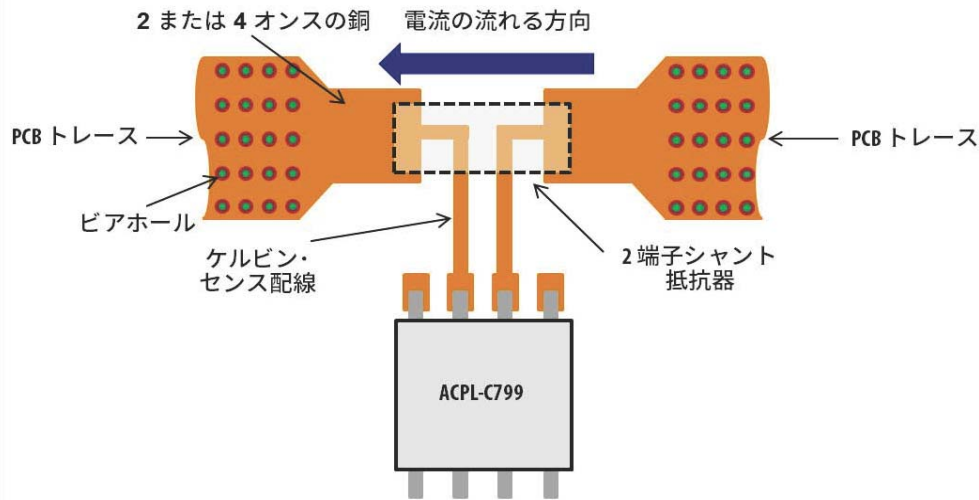
電力負荷サージ = $(70 A_{RMS} \times 1.414 \times 1.5)^2 \times 0.5m\Omega = 11.02W$ (PSJ2 は 5 秒間 30W のサージに対応可能)

PC 基板レイアウト設計の注意点

シャント抵抗用に PC 基板レイアウト設計を行う際、注意すべきポイントが 2 つあります。

- シャント抵抗本体の下にシャントへのケルビン接続をまとめ、それぞれをお互いに近接させながら絶縁型変調器の入力まで通します。これにより入力ラインのループ面積を最小限に抑え、浮遊磁界が測定信号に干渉する可能性を低減することができます。シャントが絶縁型変調器とは別の PC 基板上にある場合、しっかりと撚られたツイストペア線を使用することで同じ効果を実現できます。
- 電流容量を大きくするには、PC 基板の複数の配線層を使用します。数多くのスルービアをシャントの非ケルビン端子周辺に配置し、PC 基板の層間に電流が分散するようにします。PC 基板の各層には 2 または 4 オンスの銅を使用し、電流容量が 20A を超えるようにします。PC 基板上の比較的広い電流トレースは、ヒートシンクとして作用することでシャントの電力損失能力を向上させることができます。負荷電流が PC 基板を流れる部分には、ビアホールを十分に多く設けてください。図 7 は、2 端子シャント抵抗器を使用する際の PC 基板 レイアウト例です。

図 7: 2 端子シャント抵抗器の PCB レイアウト設計例



参考

1. Avago Technologies, *ACPL-C799 Optically Isolated ± 50 mV Sigma-Delta Modulator Data Sheet*, pub-005830, August 26, 2016.
2. KOA Speer Electronics Inc., *Introduction of the Derating Curves Based on the Terminal Part Temperature*, Technical Note, April 12, 2014.
3. Avago Technologies, *Optoisolation and Optical Sensor Products Selection Guide*, AV00-0254EN_042916, April 29, 2016.

製品情報と販売代理店の一覧については当社の Web サイトをご覧ください:www.broadcom.com。

Broadcom、パルスロゴ、Connecting everything、Avago Technologies、および A ロゴは、米国内およびその他各国および/または EU における Broadcom の商標です。

Copyright © 2016 Broadcom. All Rights Reserved.

「Broadcom ム」は、Broadcom Limited および/またはその系列会社を指します。詳しくは、www.broadcom.com をご覧ください。

Broadcom は、信頼性、機能、または設計の向上のために、ここに記載する製品およびデータを事前の通知なく変更する権利を留保します。

Broadcom が提供する情報は、正確かつ信頼できるものと考えられるものです。ただし、Broadcom は本情報の適用および利用、またはここに説明されるいかなる製品または回路の適用および利用から生じる責任を負うものではなく、またその特許権あるいは他者の権利の下にあるライセンスを付与するものではありません。

ACPL-C799-WP – 2016 年 10 月 4 日

