

**フォトボルカプラー+MOSFET による  
メカニカルリレー置換**

**デザインガイド**

**RD048-DGUIDE-01**

---

**東芝デバイス&ストレージ株式会社**

## 目次

1.	はじめに .....	3
2.	応用回路例、部品表 .....	5
2.1.	応用回路例 .....	5
2.2.	部品表 .....	5
3.	応用事例 .....	6
3.1.	回路事例 .....	6
3.2.	動作波形 .....	7
3.3.	MOSFET のチャネル温度と SOA .....	8
4.	素子概要 .....	10
4.1.	TLP3906 .....	10
4.1.1.	概要 .....	10
4.1.2.	外観と端子配置 .....	10
4.1.3.	構造パラメーター .....	10
4.2.	TPH1R306PL .....	11
4.2.1.	概要 .....	11
4.2.2.	外観と端子配置 .....	11

### 1. はじめに

各種機器内の電気回路のオン/オフや切り替えなどのスイッチには、メカニカルリレーが広く使用されてきました。メカニカルリレーは①高絶縁・高耐圧である、②サージ・ノイズに強い、③接点構成が豊富であるなどの特徴により広く使用されてきました。リレーによるスイッチングには二種類の動作モードがあります。ひとつは Hot Switch と呼ばれ、電圧が印加した状態でスイッチが作動するモードです。他は Cold Switch と呼ばれ、電圧を印加しない状態でスイッチが作動するモードです。メカニカルリレーは先にあげた特徴を持つ反面、Hot Switch 動作で使用した場合にはスイッチが閉じた瞬間に負荷に電流が流れて接点が消耗し、スイッチが開く際には、電流が遮断されてアークが発生します。これらは接触不良や開閉寿命が短くなるなどの原因となります。

産業用機器内でのスイッチのように高い信頼性が求められる応用や HVAC（Heating, Ventilation and Air Conditioning：暖房, 換気および空調用）システム・セキュリティーシステム内でのスイッチのようにメンテナンス頻度を下げていくことが重要であるような応用においては、これらメカニカルリレーの持つマイナス部分を避け、安定した動作や長寿命を実現するためにメカニカルリレーの半導体化が進んでいます。これは半導体リレーと総称されます。表 1.1 にメカニカルリレーと半導体リレーの比較（メリット・デメリット）を示します。半導体リレーの最も優れた点は、①長寿命、②高信頼性（接点トラブルがない）、③静粛性であるといえます。

表 1.1 メカニカルリレーと半導体リレーの比較（メリット・デメリット）

	メリット	デメリット
メカニカルリレー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高絶縁・高耐圧</li> <li>・サージ・ノイズに強い</li> <li>・接点構成が豊富</li> <li>・オン抵抗がほとんど無い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・接点接触不良の可能性がある</li> <li>・チャタリング・バウンスがある</li> <li>・機械動作音がある</li> <li>・接点アークが発生する</li> <li>・動作寿命がある（数十万回～数千万回）</li> </ul>
半導体リレー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長寿命である</li> <li>・低消費電力</li> <li>・微小信号の開閉可能</li> <li>・接点トラブルがない（接触信頼性が高い）</li> <li>・振動・衝撃に強い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・定格値を超えると破壊される場合がある</li> <li>・温度依存性がある</li> <li>・オン抵抗がある（損失大）</li> </ul>

半導体リレーには入力側（一次側）と出力側（二次側）間の電気的絶縁のためにフォトカプラーが使用されます。このような用途に対するフォトカプラーには二種類あり、ひとつは出力段に MOSFET が内蔵されているもの（フォトリレー）であり、他は外付け MOSFET のゲートをドライブするためにフォトダイオードアレイを出力段に持つもの（フォトボルカプラー）です。図 1.1 にフォトリレーとフォトボルカプラーの構造を示します。

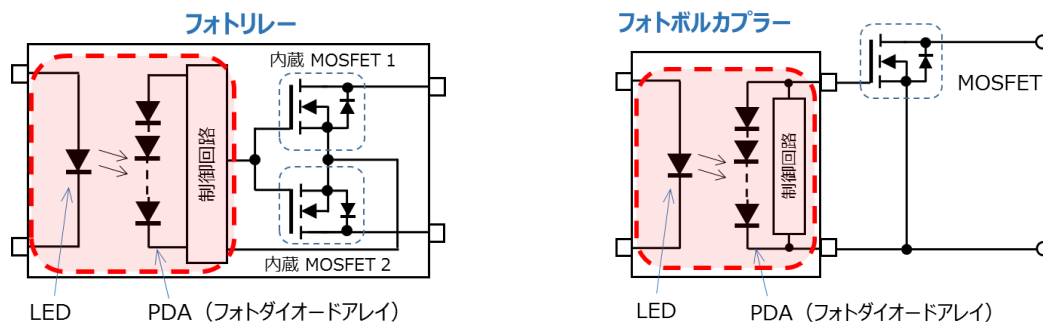


図 1.1 フォトリレーとフォトボルカプラーの構造（構成）比較



図1.1においてフォトボルカプラー（赤色の破線内）とMOSFETをワンパッケージ化したものがフォトリレーです。フォトリレーは出力段に2個のMOSFETがソースコモンで接続されています。このため、フォトリレーを使用する場合には、フォトボルカプラーとMOSFETを組み合わせるよりも、スペースを大幅に削減することが可能です。その反面、パッケージの大きさ・形状により内部に実装できるチップサイズに制約があるため、フォトリレーの場合には小型表面実装パッケージを選択した場合、オン電流定格が数A以下とより限定的になります。しかしながら、交流/直流の両方の信号をオンオフさせる応用に対してはフォトボルカプラーと比較して設計の省力化と省スペース化を図る面で有利となります。必要なオン電流に応じてフォトボルカプラーとMOSFETを組み合わせて使用する場合にはスペース面で不利であってもフォトリレーを使用する場合より回路設計の自由度は大きいといえます。

また、セット内部回路にリレーを使用する際には基礎絶縁、ユーザーインターフェースからのパワーラインを制御する際には強化絶縁を必要としますが、当社は強化絶縁タイプ（絶縁電圧 3.75 kV）のフォトリレーやフォトボルカプラーをラインナップしており、様々な応用セット内での絶縁レベル要求を満たすことができます。

### フォトボルカプラーの種類について

MOSFET のゲート駆動にはゲートに電荷を蓄積するのみならず、ゲートから電荷を抜き去る必要もあります。フォトボルカプラーにはこの電荷の抜き去りをおこなう放電回路の内蔵・非内蔵の二種類があります。それぞれの特徴を表 1.2 に示します。放電回路非内蔵タイプの場合には出力段に放電用抵抗を並列接続させる必要があります。一方で、放電回路内蔵タイプでは放電抵抗の外付けは不要となります。放電回路内蔵有無でそれぞれ一長一短がありますが、より一層リレー回路をシンプルに構成したい場合には放電回路内蔵タイプをお勧めします。TLP3906 は放電に抵抗ではなく、オフ時のみ放電用のクランプ回路が働く機能を内蔵しており、LED オン時にはフォトダイオードアレイの能力を減衰すること無く十分に出力し、オフ時にはより高速にゲート電荷を放電するため、設計の容易さや、特性面に優れます。お客様が必要な仕様に合わせて MOSFET と組み合わせ、セット基板内で半導体リレーとして使用することができます。

表 1.2 フォトボルカプラーの種類と特徴

種類	メリット	デメリット
放電回路非内蔵 (TLP3905) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>放電抵抗を小さくすることでオフを早く</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>放電抵抗が小さいとリークでオンが遅くなる</li> <li>放電抵抗の外付けでスペース増</li> <li>放電抵抗により起電力は低め</li> </ul>
放電回路内蔵 (TLP3906) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>放電抵抗の外付けスペース不要</li> <li>起電力は高め</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>放電抵抗を追加するとオン時間が遅くなる</li> </ul>

本デザインガイドでは、①放電回路内蔵により  $t_{OFF}$  が 0.3ms（標準）と現行ラインアップ中最も速いこと、②外付け抵抗が必要なく省スペース化と設計の省力化ができることからフォトボルカプラーとして TLP3906 を選定し、MOSFET との組み合わせの例として、DC スイッチングに近い使用条件下でメカニカルリレーを置換する応用について解説していきます。

TLP3906の詳細は、製品データシートをご参照願います。

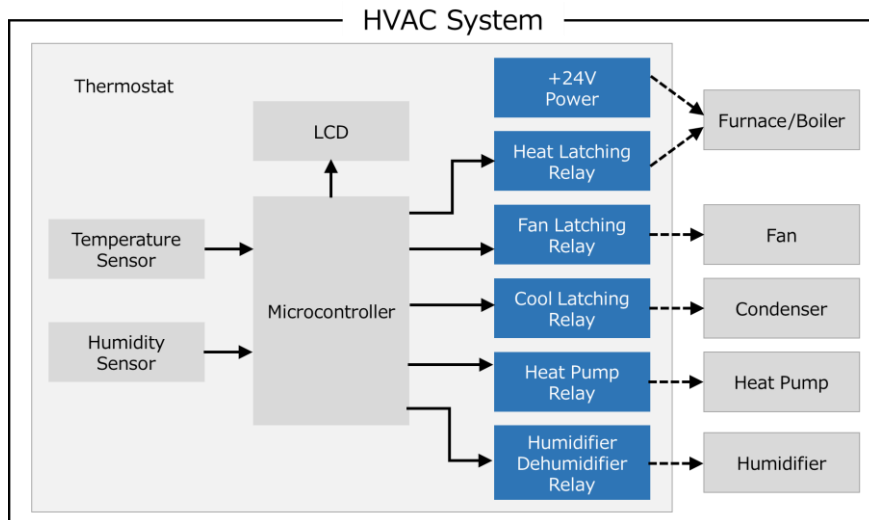
TLP3906のデータシートダウンロードはこちらから →

[Click Here](#)

## ターゲットアプリケーション：

- 暖房、換気および空調 (HVAC : Heating, Ventilation and Air Conditioning) システム
- セキュリティーシステム
- ファクトリーオートメーション (FA) 制御機器
- 計測器

## HVAC システムでのリレー使用例



## 2. 応用回路例、部品表

### 2.1. 応用回路例

図 2.1 は、フォトボルカプラーと MOSFET を組み合わせたメカリレー置換応用回路例です。

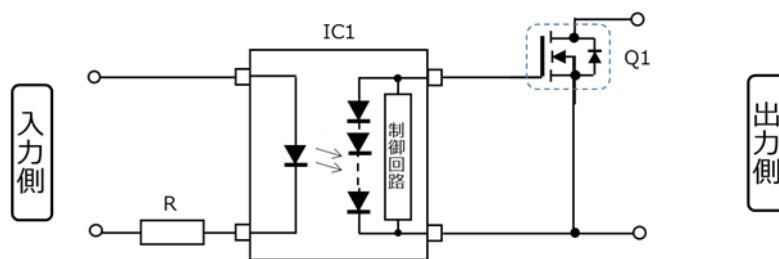


図 2.1 フォトボルカプラーと MOSFET の組み合わせによる応用回路例

### 2.2. 部品表

表 2.1 部品表

アイテム	部品	数量	値	部品名	メーカ	説明	パッケージ名称	標準寸法 mm(inch)
1	IC1	1	—	TLP3906	Toshiba	フォトボルカプラー	SO6	3.7×7.0
2	Q1	1	—	TPH1R306PL	Toshiba	MOSFET	SOP Advance	5.0×6.0
3	R1	1	200Ω	—	—	0.1W ±5%	1608	1.6 × 0.8 (0603)

### 3. 応用事例

ここでは、DC スwitchングに近い使用条件下でのメカニカルリレー置換応用の回路事例を説明します。

#### 3.1. 回路事例

本例では、フォトボルカプラーは外付け放電用抵抗の必要がない放電回路内蔵の TLP3906 を選定しています。  $T_a=85^\circ\text{C}$  までの動作を想定しますので、外付け MOSFET を駆動するための  $T_a=85^\circ\text{C}$  でのフォトボルカプラーの出力開放電圧 ( $V_{OC}$ ) を求めます。図 3.1 に示すように、TLP3906 の  $V_{OC}-T_a$  特性は負の温度特性を持っています。規格では  $T_a=25^\circ\text{C}$  のときの  $V_{OC}$  は 7V (最小値) ですから、まず、図 3.1 の  $V_{OC}-T_a$  特性の直線 (A) を  $V_{OC}=7\text{V}$ 、 $T_a=25^\circ\text{C}$  の交点に平行移動させ直線 (B) とします (赤色の破線)。この直線 (B) の  $T_a=85^\circ\text{C}$  での  $V_{OC}$  の値を読み取ります。本例では  $V_{OC}=5\text{V}$  となります。

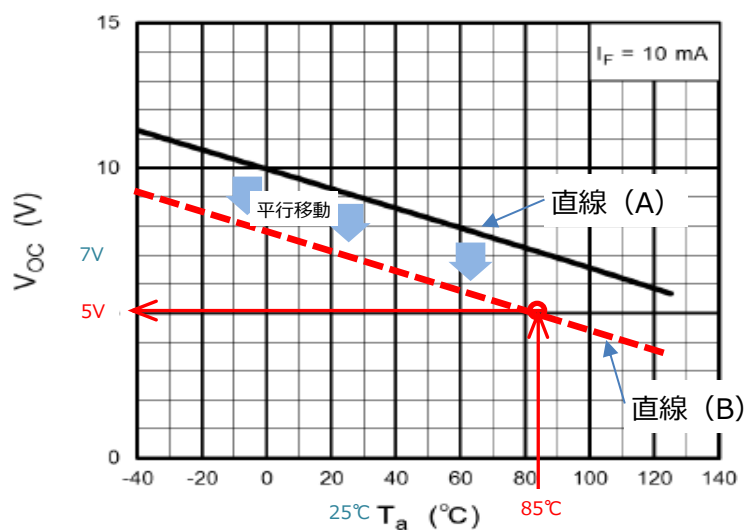


図 3.1 TLP3906 の  $V_{OC}-T_a$  特性

次に、フォトボルカプラーで駆動する MOSFET を選定します。

MOSFET 選択において、ドレイン・ソース間電圧 ( $V_{DS}$ ) の定格は重要です。定格以上の電圧が加わると MOSFET を破壊する可能性があります。素子の耐圧は実際の使用電圧に対して十分余裕をもって選ぶ必要がありますが、MOSFET は耐圧が高いほどドレイン・ソース間オン抵抗 ( $R_{DS(ON)}$ ) が高くなる傾向にあり、過剰に高耐圧の製品を選択すると素子導通時の損失を増やすこととなります。本例では  $V_{DS}=24\text{V}$  で使用を想定し、MOSFET の耐圧は 60V とします。

MOSFET の推奨ゲート電圧は  $R_{DS(ON)}$  の測定条件にて確認できます。  $V_{OC}=5\text{V}$  であることから  $V_{GS}=4.5\text{V}$  が  $R_{DS(ON)}$  の測定条件になっている MOSFET を選定します。適合する MOSFET は当社品で何種類かありますが、後述する安全動作領域 (SOA) を考慮して損失を低く抑えるためにゲート抵抗 ( $r_g$ ) が低い TPH1R306PL を選定しています。

TLP3906とTPH1R306PLを用いて回路を構成し動作波形の確認を行ないますが、その際の測定回路例を図 3.2 に示します。

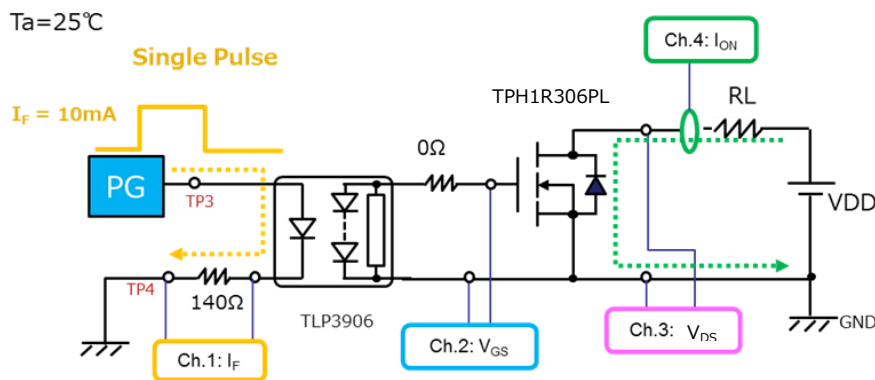


図 3.2 測定回路例

### 3.2. 動作波形

図 3.2 に示した回路例の動作波形例を図 3.3 に示します。

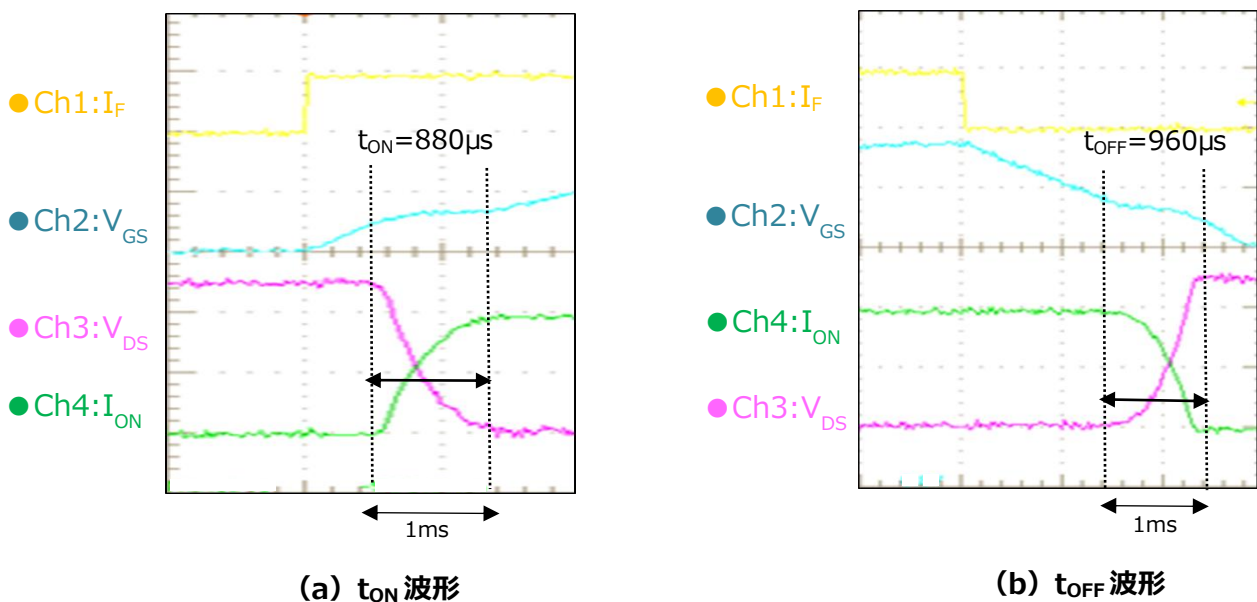


図 3.3 動作波形例

MOSFET のスイッチング時の損失 ( $P_{W(sw)}$ ) の波形は、 $I_{ON}$  波形と  $V_{DS}$  波形の交差するポイントにピークを持つ三角波になります。このような三角波を矩形波に変換する場合、正確には積分しなければなりません。図 3.4 のように近似することができます。本例ではこのような近似による概算をおこないます。

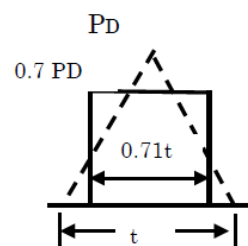


図 3.4 近似波形

### 3.3. MOSFET のチャネル温度と SOA

図 3.2 に示した測定回路および図 3.3 に示した動作波形から、MOSFET のチャネル温度を概算し定格を超えないことを確認します。

図 3.2 の回路での測定条件は以下の通りです。

周囲温度 :  $T_a=25^\circ\text{C}$ 、 LED 順電流 :  $I_F=10\text{mA}$ 、  $V_{DD}=24\text{V}$ 、  $I_{DS(on)}=3.5\text{mA}$  (最大) 、  
 $R_L=2.4\Omega$  ( $I_{ON}\div 5\text{A}$ )

また、図 3.5 に評価用基板に実装した場合の過渡熱抵抗特性例を示します。この特性を使用して MOSFET のチャネル温度を算出します。

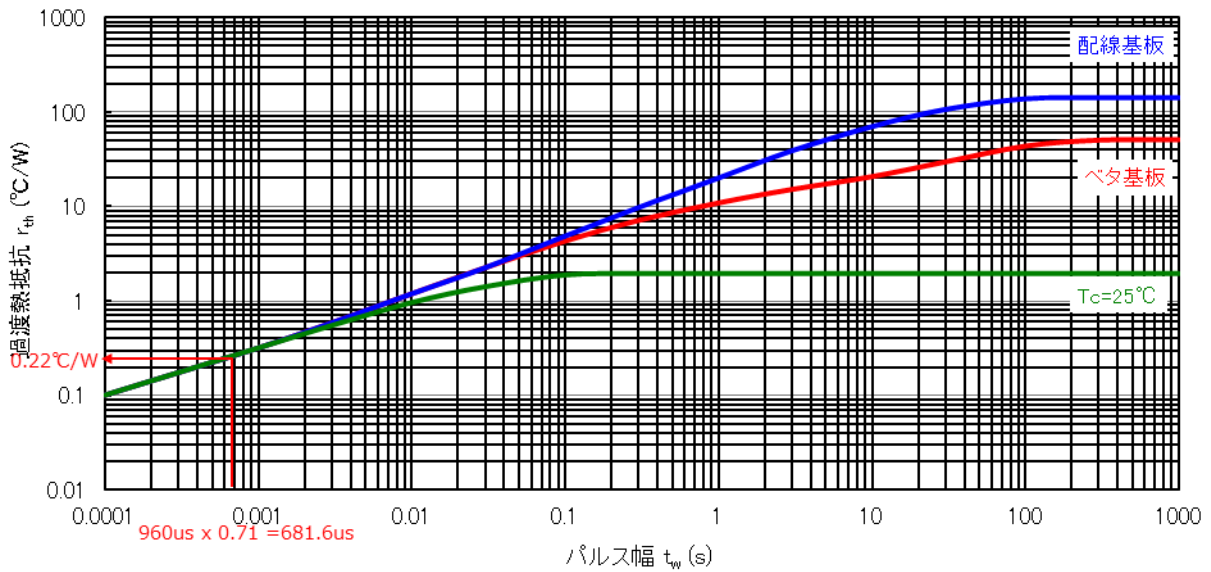


図 3.5 評価用基板に実装した場合の過渡熱特性例

周囲温度  $T_a$  の最大値は  $85^\circ\text{C}$  とします。

MOSFET のチャネル温度  $T_{ch}$  は  $T_a$  に  $I_D$  ( $I_{ON}$ ) を定常的に流すことによる温度上昇 ( $\Delta T_{ch(bias)}$ ) と MOSFET のスイッチング損失による温度上昇 ( $\Delta T_{ch(SW)}$ ) を加えて以下の式により算出されます。

$$T_{ch} = T_a + \Delta T_{ch(bias)} + \Delta T_{ch(SW)}$$

ここで、

$$\Delta T_{ch(bias)} = P_{D(bias)} \times R_{th(ch-a)(bias)} = (I_{ON}^2 \times R_{DS(on)}) \times R_{th(ch-a)(bias)}$$

$$\Delta T_{ch(SW)} = (P_{D(SW-ON)} \times R_{th(ch-a)(SW-ON)}) + (P_{D(SW-OFF)} \times R_{th(ch-a)(SW-OFF)})$$



### 定常状態での温度上昇

図 3.5 から定常熱抵抗  $R_{th(ch-a)(bias)} = 50^\circ\text{C}/\text{W}$ 。したがって定常状態での損失と温度上昇は以下のように概算されます。

$$\begin{aligned} \Delta T_{ch(bias)} &= (I_{ON}^2 \times R_{DS(on)}) \times R_{th(ch-a)(bias)} \\ &= 5\text{A} \times 5\text{A} \times 3.5\text{m}\Omega \times 50^\circ\text{C}/\text{W} = 0.0875\text{W} \times 50^\circ\text{C}/\text{W} \approx 4.5^\circ\text{C} \end{aligned}$$

### スイッチング時の温度上昇

まず、図 3.3, 図 3.4 および図 3.5 からスイッチング時の損失を求めます。

$t_{ON}$  時の過渡熱抵抗  $R_{th(ch-a)(SW-ON)}$  はパルス幅  $880\mu\text{s} \times 0.71 = 625\mu\text{s}$  のときの熱抵抗となり、図 3.5 から  $0.21^\circ\text{C}/\text{W}$ 。  
 $t_{OFF}$  時の過渡熱抵抗  $R_{th(ch-a)(SW-OFF)}$  はパルス幅  $960\mu\text{s} \times 0.71 = 682\mu\text{s}$  のときの熱抵抗となり、図 3.5 から  $0.22^\circ\text{C}/\text{W}$ 。  
 $P_{D(SW-ON)}$  と  $P_{D(SW-OFF)}$  が最大になるのは  $I_{ON} = 2.5\text{A}$  および  $V_{DS} = 12\text{V}$  のときなので、図 3.4 より

$$P_{D(SW-ON)} = P_{D(SW-OFF)} = 2.5\text{A} \times 12\text{V} \times 0.7 = 21\text{W}$$

よって、

$$\begin{aligned} \Delta T_{ch(SW)} &= (P_{D(SW-ON)} \times R_{th(ch-a)(SW-ON)}) + (P_{D(SW-OFF)} \times R_{th(ch-a)(SW-OFF)}) \\ &= (21\text{W} \times 0.21^\circ\text{C}/\text{W}) + (21\text{W} \times 0.22^\circ\text{C}/\text{W}) = 4.41^\circ\text{C} + 4.62^\circ\text{C} \approx 9.0^\circ\text{C} \end{aligned}$$

これらから  $T_a = 85^\circ\text{C}$  のときの MOSFET のチャネル温度は、

$$T_{ch} = T_a + \Delta T_{ch(bias)} + \Delta T_{ch(SW)} = 85^\circ\text{C} + 4.5^\circ\text{C} + 9.0^\circ\text{C} = 98.5^\circ\text{C}$$

と概算できます。

TPH1R306PL の  $T_{ch}$  の定格値は  $175^\circ\text{C}$  ですから、今回の例では  $T_{ch}$  は定格を超えないことがわかります。

図 3.6 に TPH1R306PL の安全動作領域 (SOA) を示します。図中の赤線は、 $T_{ch} = 100^\circ\text{C}$ 、パルス幅  $T_W = 1\text{ms}$  の場合の SOA を示します。赤色の丸印はスイッチング時の最大損失のポイント ( $I_D = 2.5\text{A}$ 、 $V_{DS} = 12\text{V}$ ) を示します。このポイントが SOA 内に入っていることが確認できます。

MOSFET の SOA のデレーティング方法についてはアプリケーションノートがありますので、そちらも参照してください。

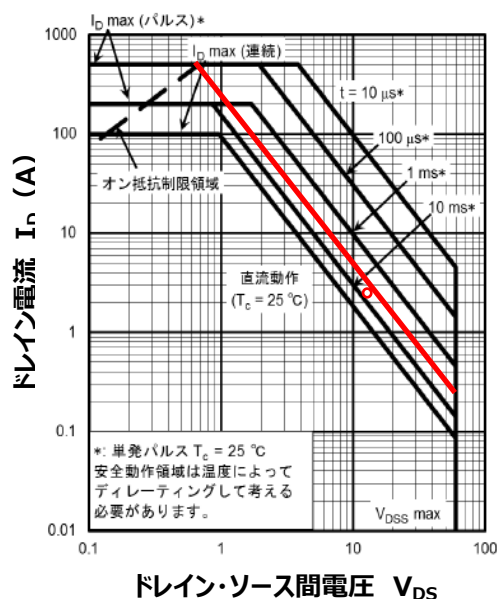


図 3.6 TPH1R306PL の安全動作領域 (SOA)

### 4. 素子概要

#### 4.1. TLP3906

##### 4.1.1. 概要

TLP3906は、フォトダイオードアレイと赤外発光ダイオードを光結合させたSO6パッケージのフォトカプラーです。各フォトダイオードは直列接続されており、MOSFETのゲート駆動に適しています。このカプラーは受光側に制御回路を内蔵していますので、外付けの放電抵抗の接続は必要なくなり、またスイッチングスピードを改善します。

- 開放電圧: 7 V (最小)
- 短絡電流: 12  $\mu$ A (最小)
- 絶縁耐圧: 3750 Vrms (最小)
- 安全規格

UL認定品 UL1577、ファイルNo.E67349

cUL認定品 CSA Component Acceptance Service No.5A ファイルNo.E67349

VDE認定品 EN60747-5-5、EN60065、EN60950-1 (注1)

注 1: VDE 認定品を採用する場合は“オプション (V4) 品”とご指定ください。

##### 4.1.2. 外観と端子配置

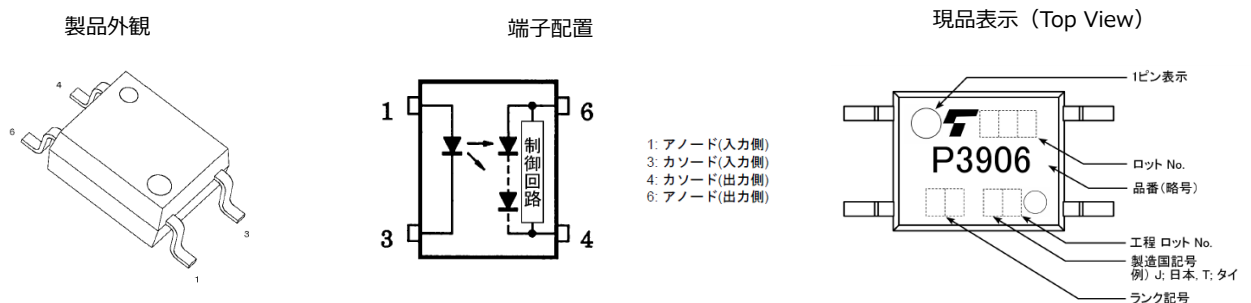


図 4.1 TLP3906 の製品外観と現品表示

##### 4.1.3. 構造パラメーター

表 4.1 TLP3906 の構造パラメーター

項目	最小	単位
沿面距離	5.0	mm
空間距離	5.0	
絶縁物厚	0.4	

## 4.2. TPH1R306PL

### 4.2.1. 概要

TPH1R306PL は、当社の MOSFET プロセス U-MOSIX-H を採用し SOP Advance パッケージに搭載したシリコン N チャンネル型 MOSFET です。低オン抵抗、低漏れ電流を実現し、DC-DC コンバーター・スイッチングレギュレーター・モータードライブ用など幅広くご使用いただけます。

- スwitchングスピードが速い。
- ゲート入力電荷量が小さい。:  $Q_{SW}=22 \text{ nC}$  (標準)
- 出力電荷量が小さい。:  $Q_{OSS}=77.5 \text{ nC}$  (標準)
- オン抵抗が低い。:  $R_{DS(ON)}=1.0 \text{ m}\Omega$  (標準) ( $V_{GS}=10 \text{ V}$ )
- 漏れ電流が低い。:  $I_{DSS}=10 \text{ }\mu\text{A}$  (最大) ( $V_{DS}=60 \text{ V}$ )
- 取り扱いが簡単なエンハンスメントタイプです。:  $V_{th}=1.5\sim 2.5 \text{ V}$  ( $V_{DS}=10 \text{ V}$ ,  $I_D=1.0 \text{ mA}$ )

### 4.2.2. 外観と端子配置

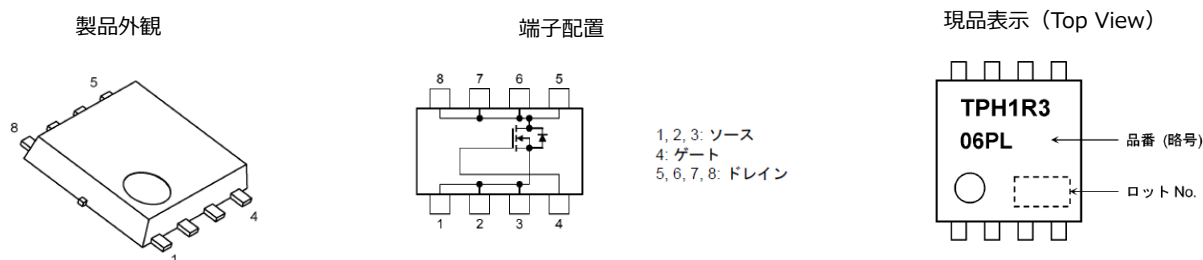


図 4.2 TPH1R306PL の製品外観と現品表示

## 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。本リファレンスデザインをダウンロードすることをもって、お客様は本規約に同意したものとみなされます。なお、本規約は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。またお客様が本規約に違反した場合は、お客様は、本リファレンスデザインを破棄し、その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、高低温・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、データおよび情報の正確性、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また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、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 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4条 準拠法

本規約の準拠法は日本法とします。