



TOSHIBA

すぐにわかる！ ディスクリット半導体の基礎 ～電源IC、アイソレーター/ソリッドステートリレー編～

2024年5月

東芝デバイス&ストレージ株式会社

半導体応用技術センター

半導体応用技術企画部

Contents

01 パワーマネージメント用ICの基礎

(電源ICの種類、各種電源ICの動作と機能)

02 アイソレーター/ソリッドステートリレーの基礎

(アイソレーター/ソリッドステートリレーの種類、各種デバイスの動作と特性)

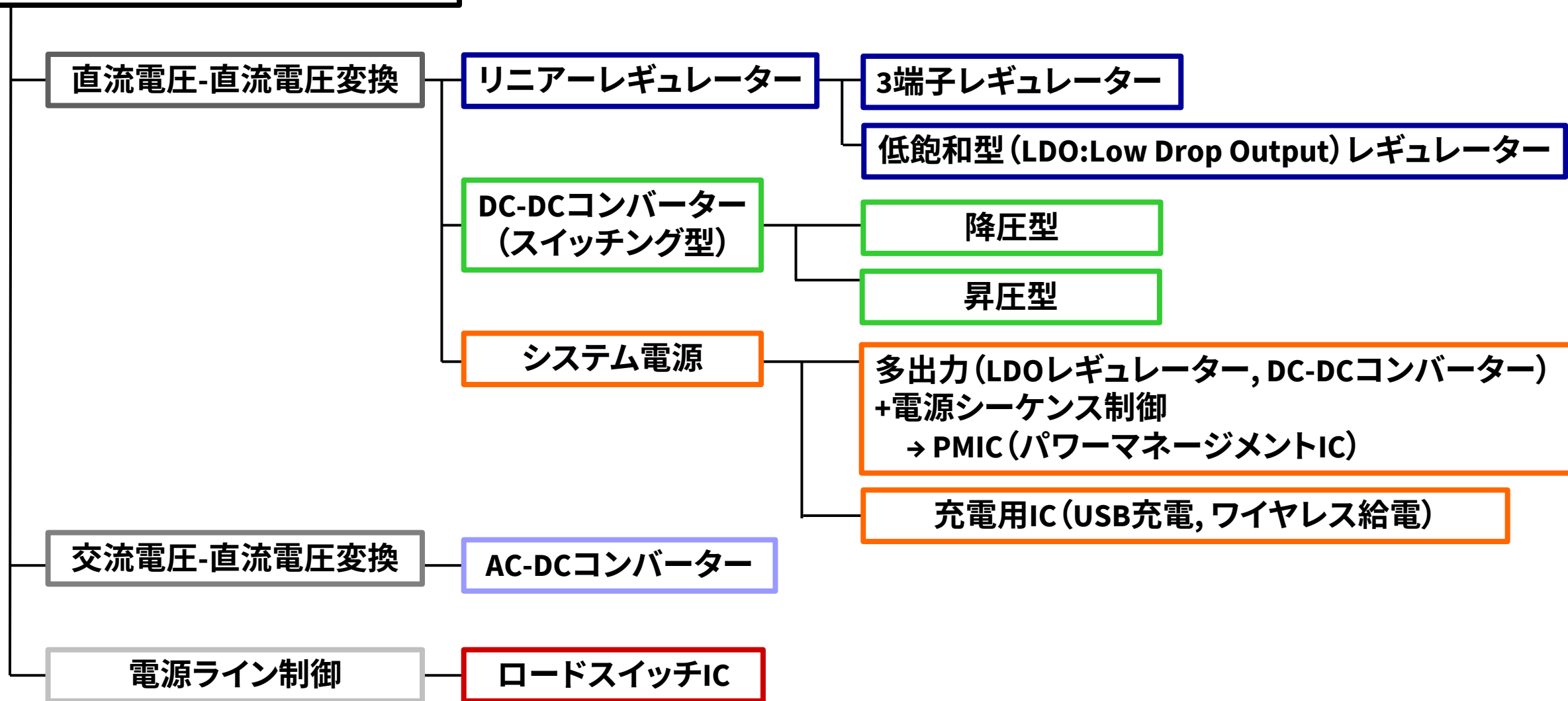
03 e-ラーニングのご紹介

01

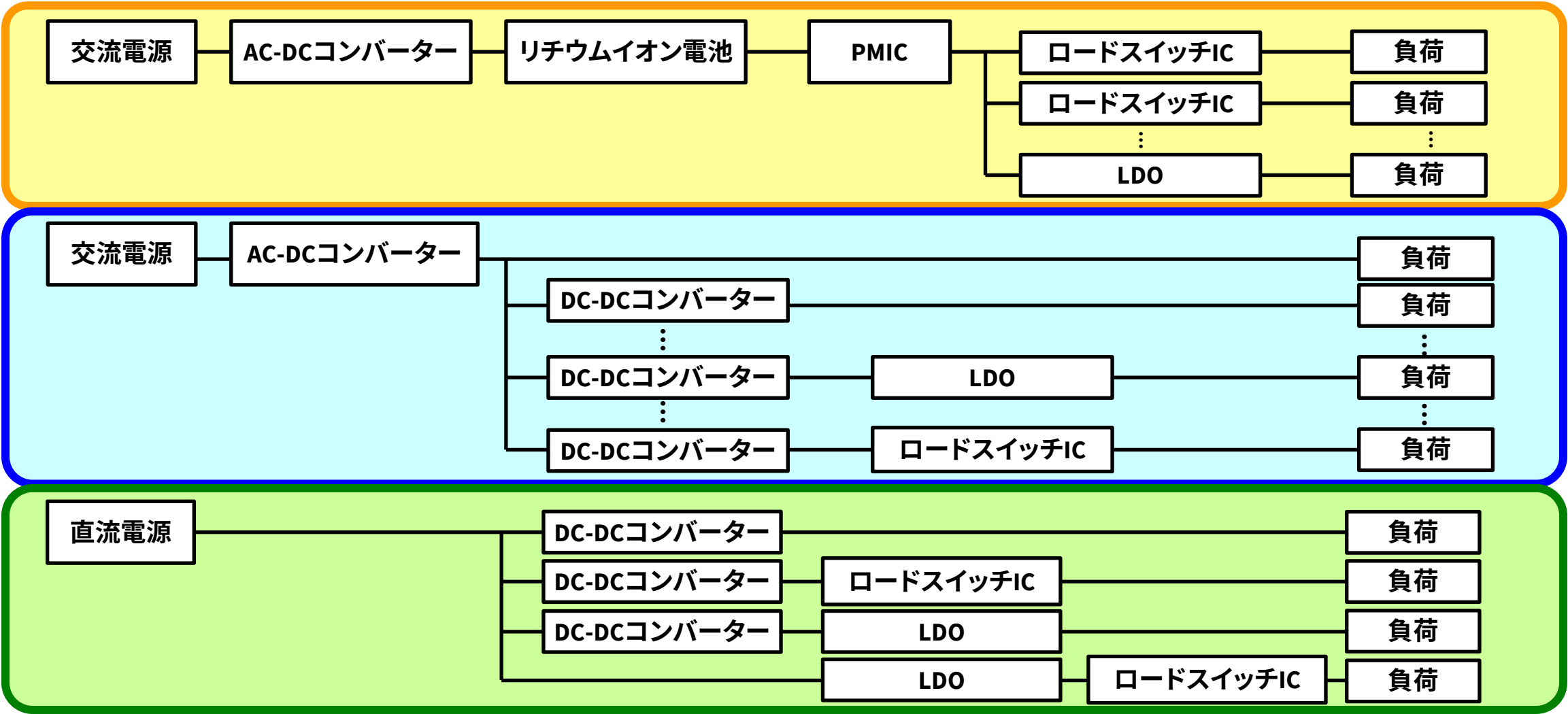
パワーマネージメント用ICの基礎

パワーマネージメント用IC

パワーマネージメント用IC

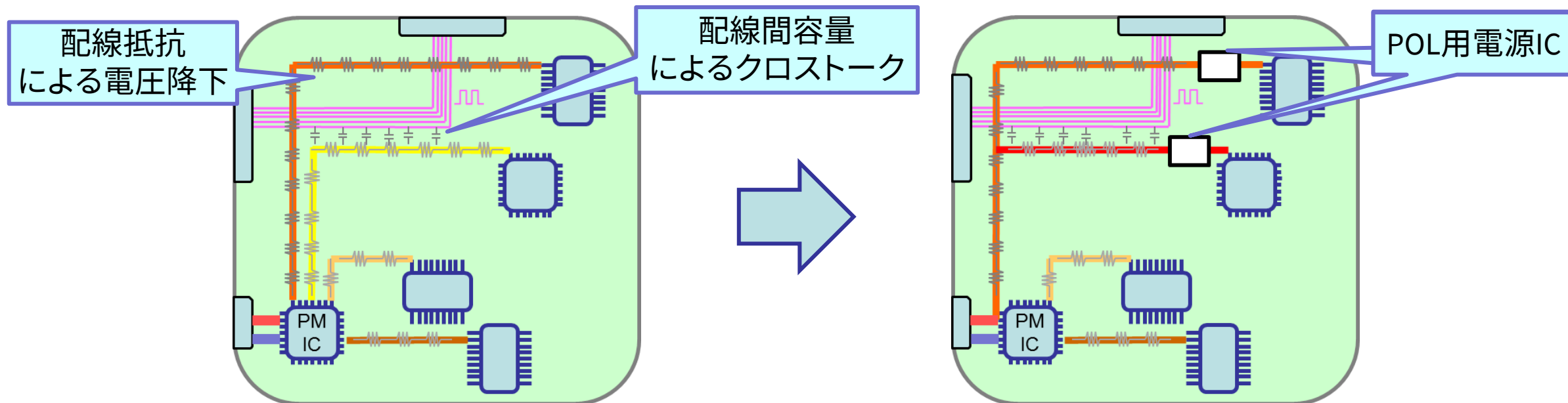
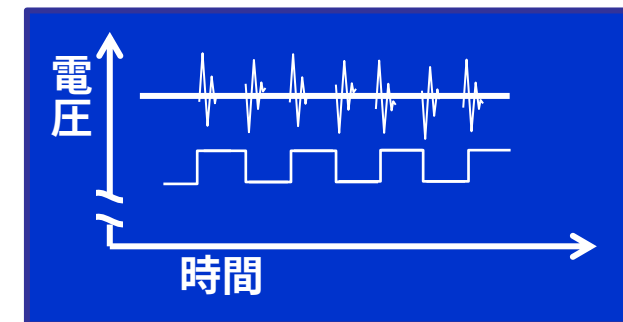
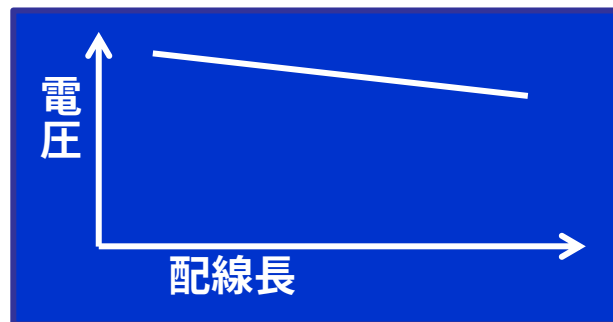


機器の電源構成例



POL用電源IC

【POL (Point of Load)用電源IC】
負荷端 (使用される回路ブロック) 近傍で
電圧を作成し供給する電源IC

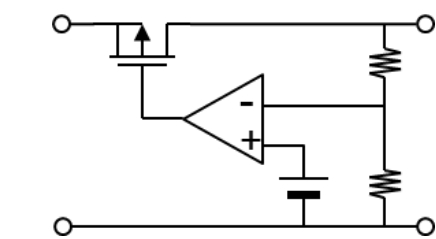
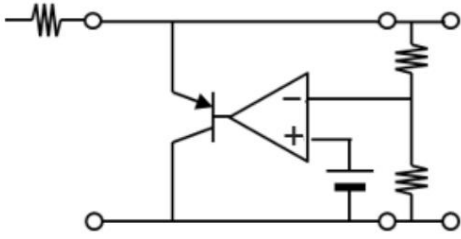
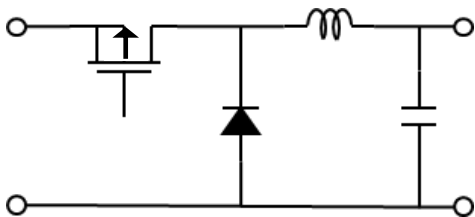
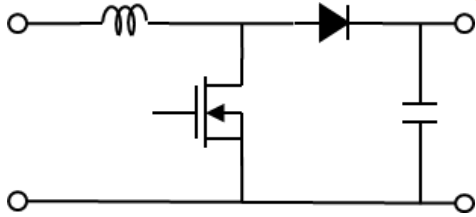


PMICのみで構成した場合、電圧降下やノイズ
によりシステムが誤動作することもある

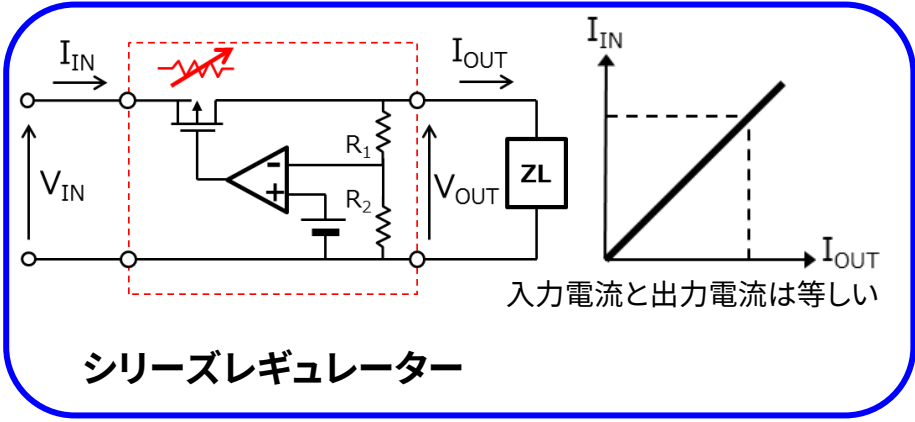
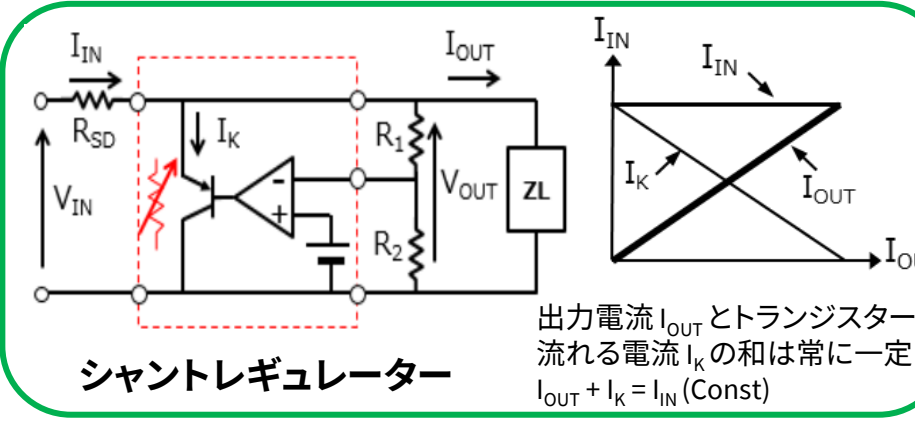
配線長の長い部分や、ノイズに厳しい回路
では電源ICをLSI近傍に配置する

製品基板における電源イメージ

電源ICの種類

		損失	ノイズ	変換	
電源IC	リニア型	大	低	降圧のみ	<div><div><p>シリースレギュレーター</p></div><div><p>シャントレギュレーター</p></div><p>リニア型</p></div>
	スイッチング型	小	大	昇圧・降圧 どちらも可	<div><div><p>降圧</p></div><div><p>昇圧</p></div><p>スイッチング型</p></div>

リニアレギュレーター

		動作	
リニアレギュレーター	シリーズレギュレーター	<p>外付け部品は不要です。</p> <p>V_{OUT} が一定となるように、MOSFETが可変抵抗器として動作し、出力電圧が定電圧化される仕組みです。</p> <p>MOSFETのドレイン・ソース間の電位差 $(V_{IN} - V_{OUT}) \times$ 入力電流 (I_{IN}) がロスとなります。</p>	 <p>入力電流と出力電流は等しい</p> <p>シリーズレギュレーター</p>
	シャントレギュレーター	<p>外付け抵抗3点が必要です。</p> <p>$I_K + I_{OUT} = I_{IN} = \text{一定}$ になるように内蔵のトランジスターが可変抵抗器として動作し、R_{SD} に発生する電圧が一定となり出力電圧が定電圧化される仕組みです。</p> <p>出力電流以外にトランジスターに流れるカソード電流が必要です。また、入力側の抵抗 R_{SD} で電圧降下があり、効率は低くなります。</p>	 <p>出力電流 I_{OUT} とトランジスターに流れる電流 I_K の和は常に一定 $I_{OUT} + I_K = I_{IN} (\text{Const})$</p> <p>シャントレギュレーター</p>

LDOの機能

(1)低電圧誤動作防止機能 (Under voltage lock out : UVLO)

入力電圧が低下したときに、内部回路が不安定となり誤動作しないよう、設定された入力電圧以下となった場合にICをスタンバイ状態にする機能です。

(2)過電流保護回路 (Current limit)

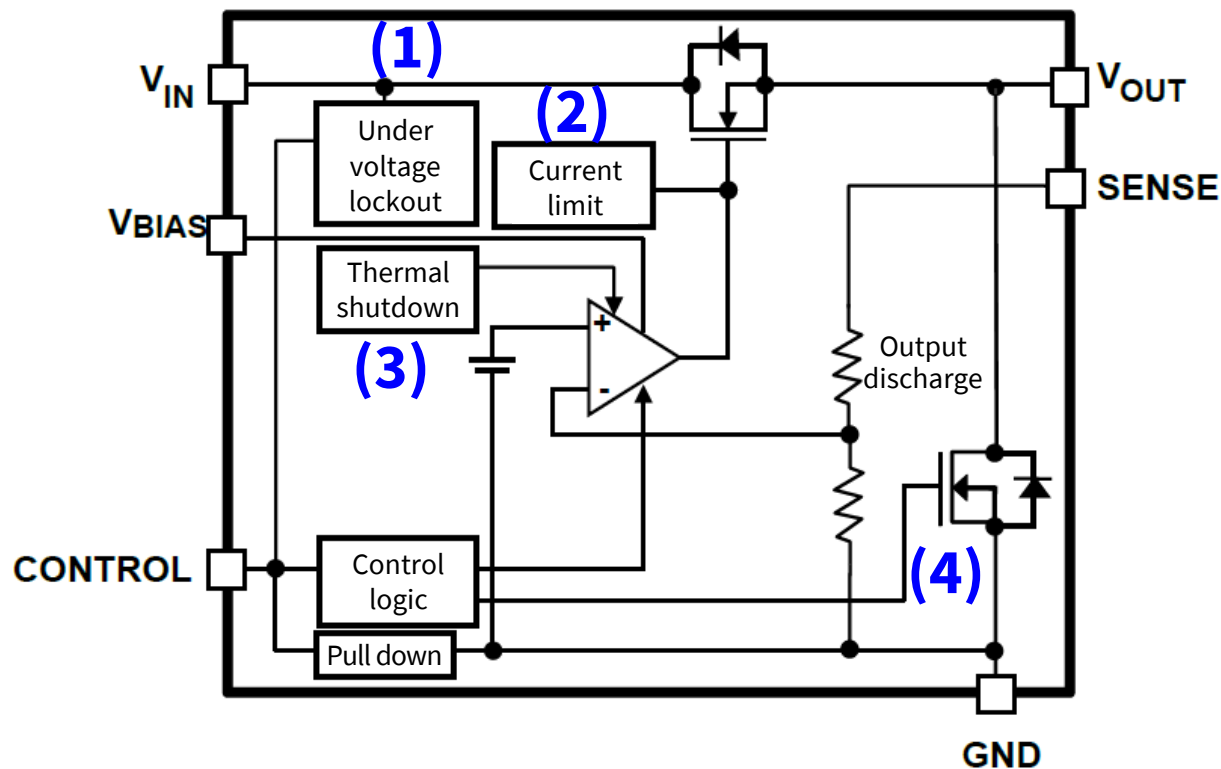
出力端子 V_{OUT} が意図しないショートモード状態となった場合、デバイス自身の発熱による劣化や破壊を保護する機能です。過電流保護の方式には設定値以上の電流が流れると、出力電流と出力電圧を同時に低下させるフォールドバック(フの字)方式や、出力電流は一定で出力電圧を低下させる垂下方式があります。

(3)過熱保護回路 (Thermal shut down : TSD)

著しい周囲温度の上昇や、意図しない大電流負荷にてデバイス自身の発熱などにより、劣化・破壊を防ぐ回路です。内部の温度検出回路により、規定の温度を検出すると、出力トランジスタのON/ OFFを制御します。

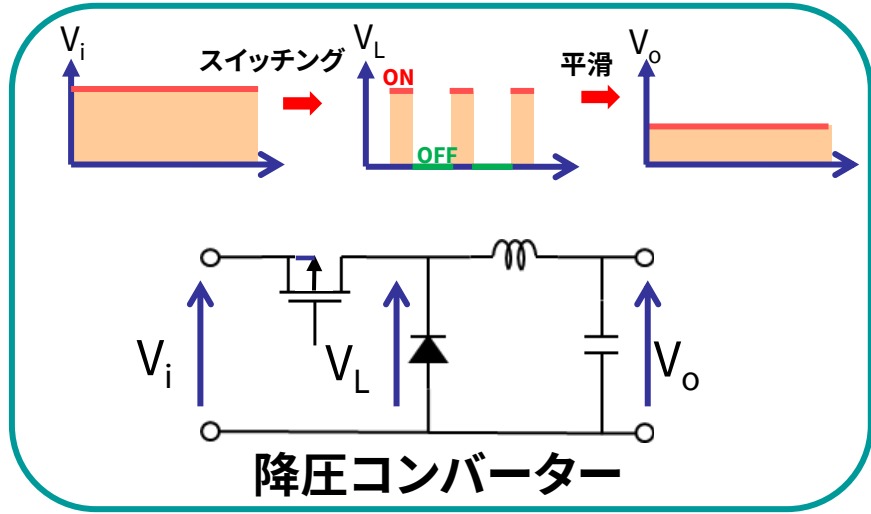
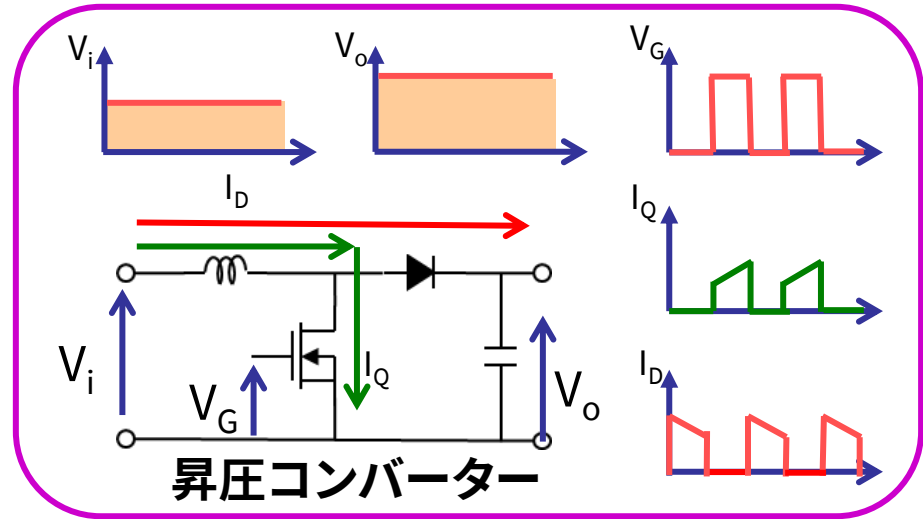
(4)出力ディスチャージ回路 (Output discharge)

出力トランジスタがOFF状態となった場合、出力端子に接続された負荷容量によって V_{OUT} の端子電圧が一定時間残存するようなときに、負荷側に蓄積された電荷を急速に引き抜き V_{OUT} 端子電圧を0V近傍まで落とす回路です。



LDOのブロック図例

スイッチングレギュレーターの動作

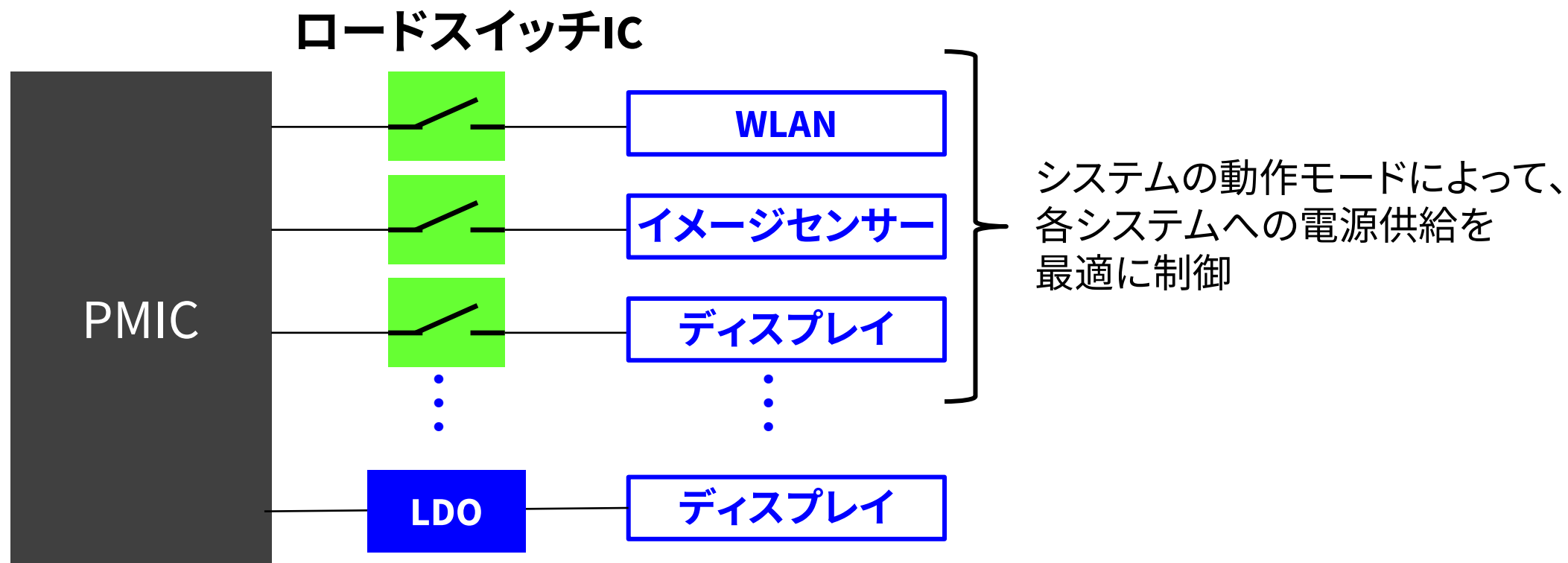
		動作	
スイッチングレギュレーター	降圧コンバーター	<p>MOSFETがON/OFFを繰り返す事により、矩形波の電圧がコイルに印加されます。</p> <p>この矩形波の電圧を平滑化(平均化)することで、所定のDC電圧が得られます。</p> <p>矩形波のDuty比により出力電圧が決定されます。</p>	
	昇圧コンバーター	<p>MOSFETがON時には主にMOSFETに流れる電流がコイルに流れています。この時コイルにはエネルギーが蓄積されます。</p> <p>コイルは電流の変化に対し蓄積されたエネルギーを放出して電流の変化を抑えるように動作します。</p> <p>MOSFETがOFFになった瞬間にコイルに電流は流れる今までの経路を失いますが、コイルは電流を継続する性質があるので、電流はダイオードを流れ、コンデンサーが充電される事で入力電圧を超える電圧が発生します。</p>	

ロードスイッチIC

【ロードスイッチIC】

電源と負荷 (Load) となるICやLSIの間に配置され、システムの動作モードによってICやLSIに供給される電源ラインのオン/オフを制御して、消費電力を削減するパワーマネージメントICです。

低消費電力、かつ、さまざまな保護機能を内蔵しており、システムの信頼性向上が期待できます。



ロードスイッチICの機能

(1)低電圧誤動作防止機能 (Under voltage lock out : UVLO)

入力電圧が低下したときに、内部回路が不安定となり誤動作しないよう、設定された入力電圧以下となった場合にICをスタンバイ状態にする機能です。

(2)過熱保護回路 (Thermal shut down : TSD)

著しい周囲温度の上昇や、意図しない大電流負荷にてデバイス自身の発熱などにより、劣化・破壊を防ぐ回路です。内部の温度検出回路により、規定の温度を検出すると、出力トランジスタのON/OFFを制御します。

(3)逆流防止回路 (True reverse current blocking)

入力電圧 $V_{IN} < 出力電圧 V_{OUT}$ の状態になったときに、 V_{OUT} 端子から V_{IN} 端子への逆流を防止し、 V_{IN} 端子に接続された電源などの破壊などを防止します。

(4)過電流保護回路 (Over current limit)

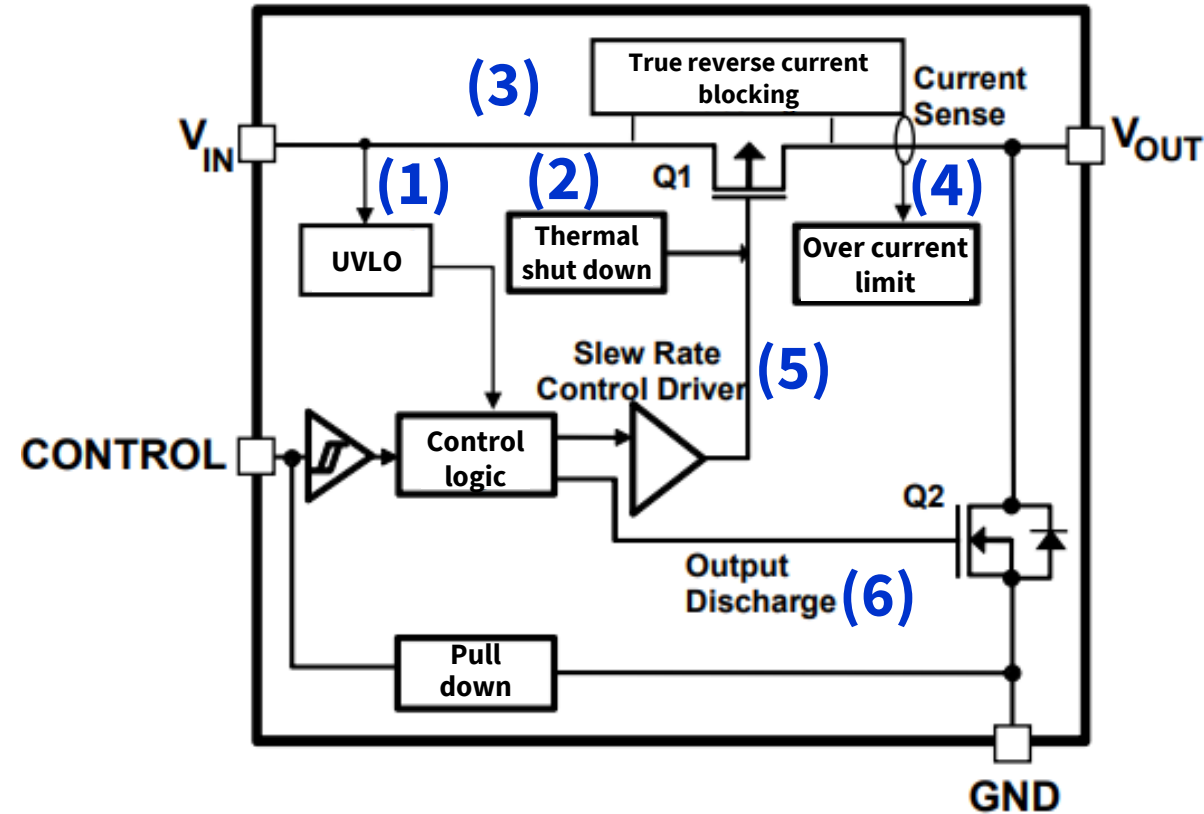
出力端子 V_{OUT} が意図しないショートモード状態となった場合、デバイス自身の発熱による劣化や破壊を保護する機能です。

(5)突入電流抑制回路 (Slew rate control driver)

スイッチング過渡時に生じる突入電流(ラッシュ電流)を抑制する回路です。

(6)出力ディスチャージ回路 (Output discharge)

出力トランジスタがOFF状態となった場合、出力端子に接続された負荷容量によって V_{OUT} の端子電圧が一定時間残存するようなときに、負荷側に蓄積された電荷を急速に引き抜き V_{OUT} 端子電圧を0V近傍まで落とす回路です。



ロードスイッチICのブロック図例

02

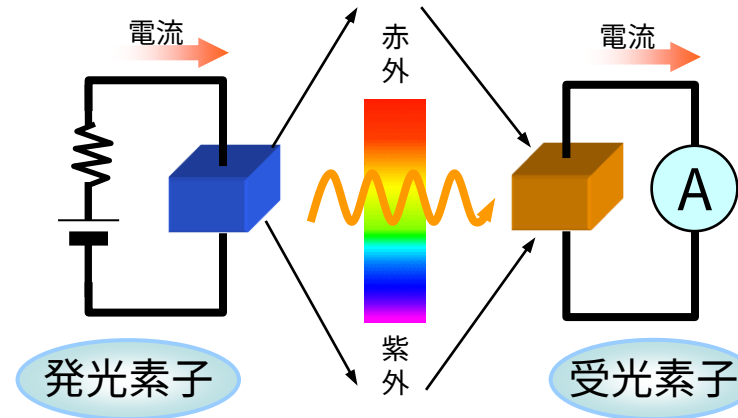
アイソレーター/ソリッドステートリレー

光半導体の種類

光半導体の種類

- ① **発光素子** ……可視光LED、赤外LED、紫外LED、レーザーダイオード
- ② **受光素子** ……光センサー、太陽電池、CMOSセンサー
- ③ **複合素子** (発光素子と受光素子の組み合わせ) ……フォトカプラー、ファイバーカプラー

電気を
光に
変換する
半導体



光を
電気に
変換する
半導体

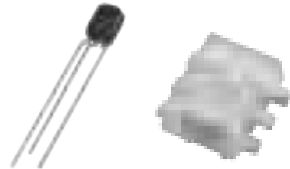
LED

紫～赤や白色など、人間の目に見える光を放射する発光素子。



受光素子

フォトダイオード、受光ICなど。光の変化を電気信号として出力する製品群。



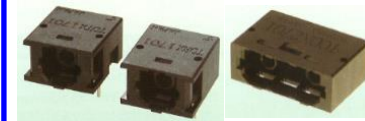
フォトカプラー

発光素子と受光素子をパッケージした複合素子。電氣的に絶縁したまま電気信号を伝達する製品。



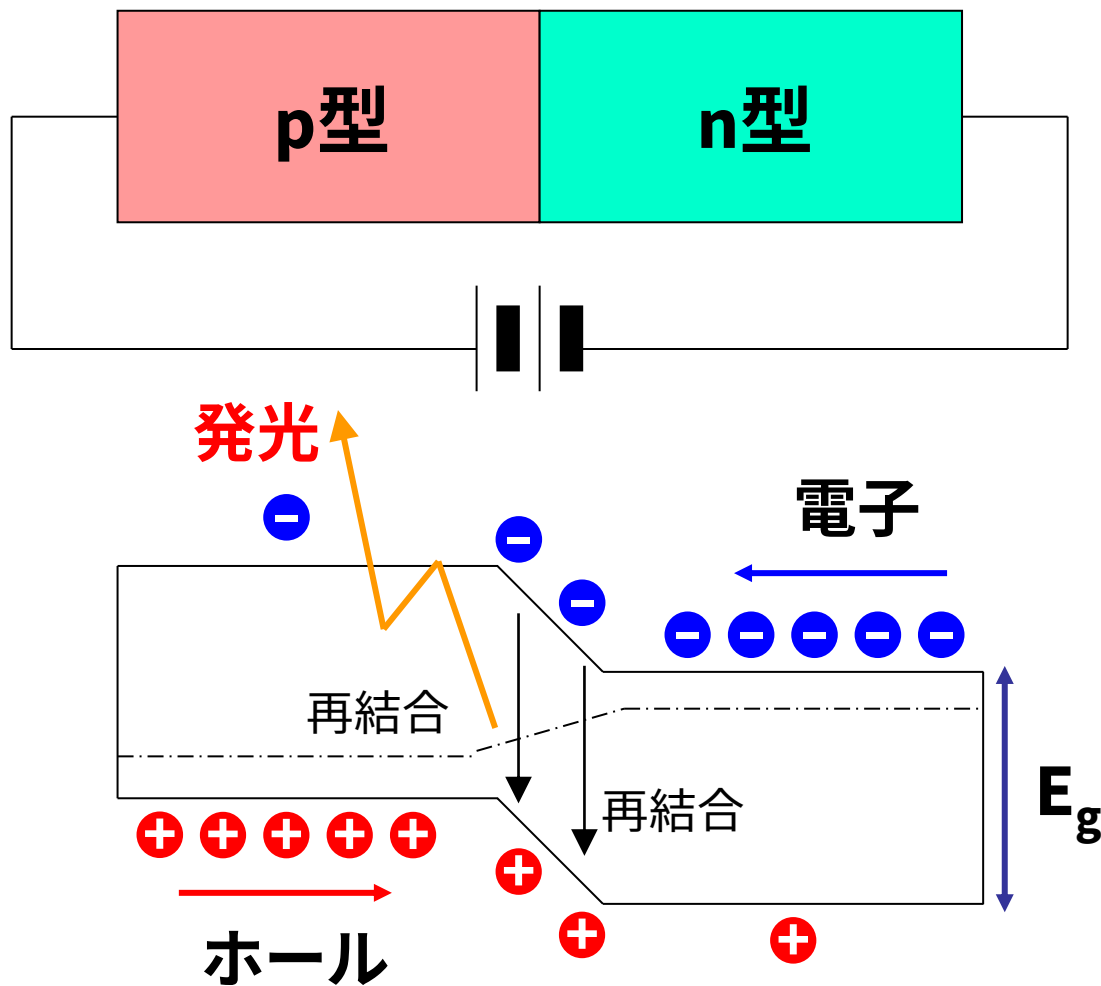
ファイバーカプラー

光ファイバーを利用して通信を行うための電気⇄光変換を行う製品。

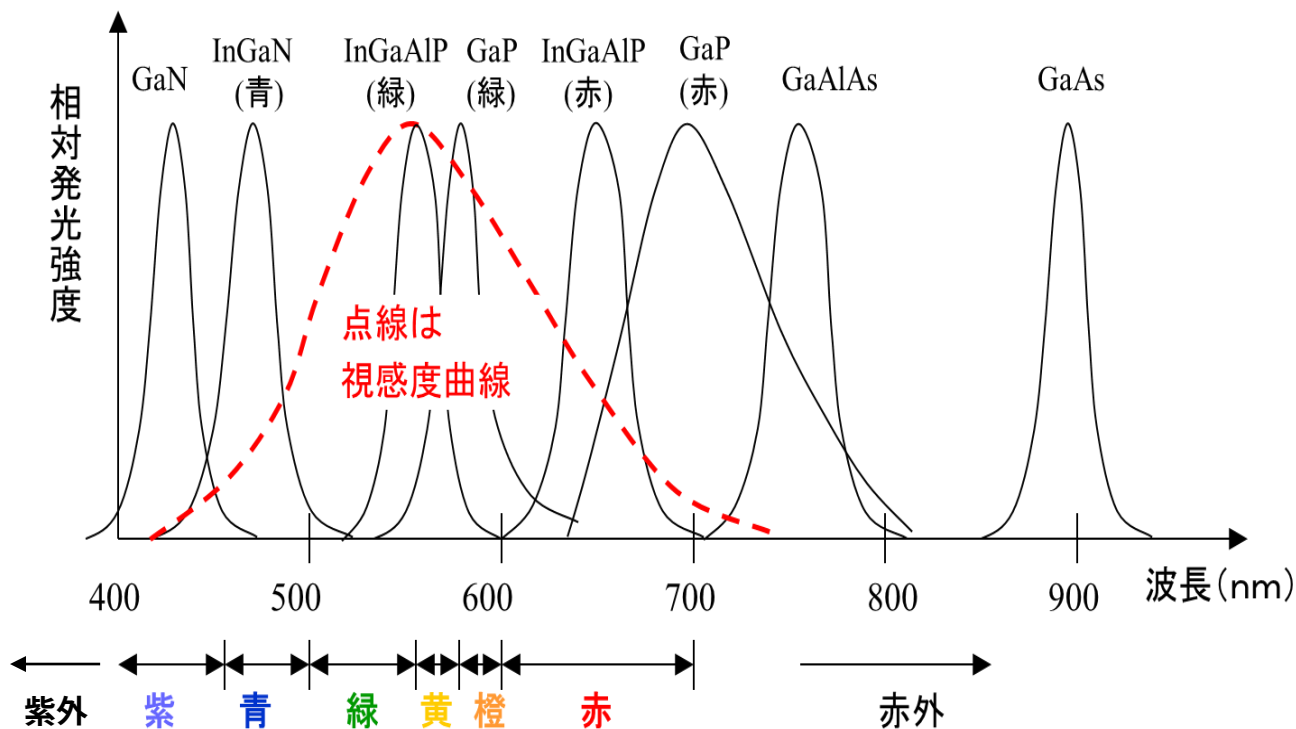


LEDの発光原理

LED (Light Emitting Diode) は、化合物半導体のpn接合に順方向電流を流すことにより発光します。



LEDの発光波長



発光波長（λ）は、化合物半導体材料のエネルギーバンドギャップ（E_g）を用いて、次の式で表されます。

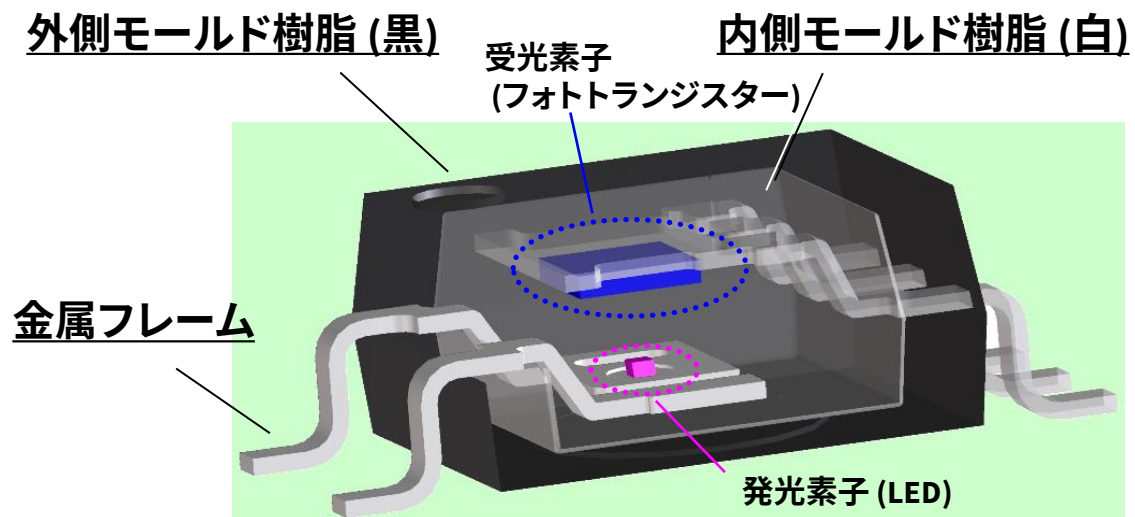
$$\lambda \text{ (nm)} = 1240 / E_g \text{ (eV)}$$

材料	エネルギーバンドギャップ E _g @300K (eV)	発光波長(λ)	発光色
GaAs	1.4	885 nm	赤外
GaP	1.8～2.26	549～700nm	緑～赤
InGaAlP	1.9～2.3	539～653 nm	緑～赤
InGaN	2.1～3.2	388～590 nm	紫外～緑
GaN	3.4	365 nm	紫外～青

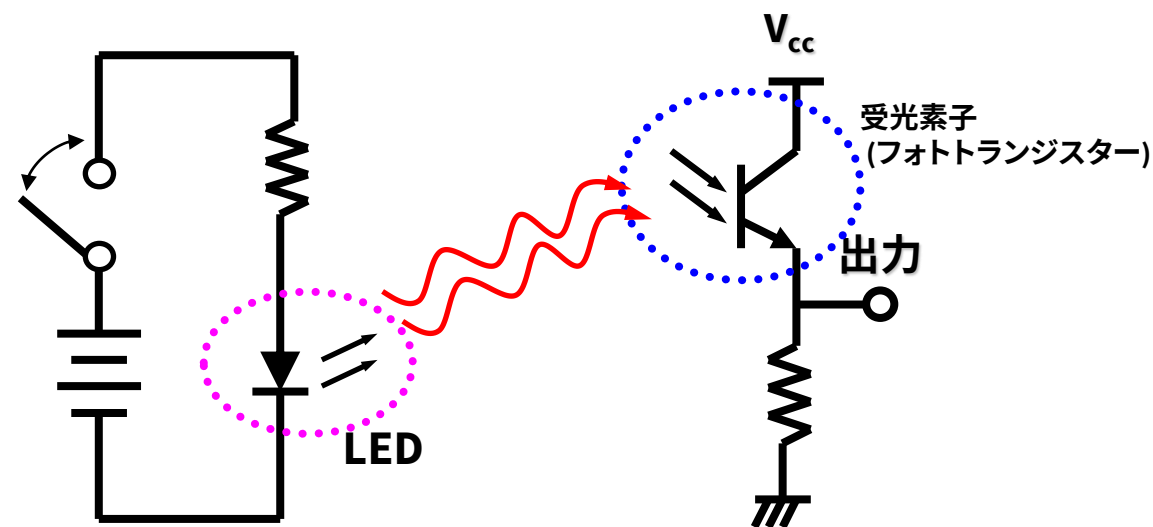
フォトカプラーとは

【フォトカプラー】

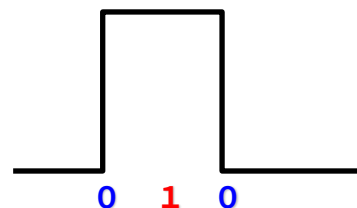
発光素子 (LED) と受光素子を同一パッケージに内蔵したデバイスです。



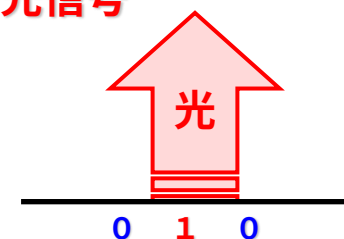
対向型ダブルモールド構造のトランジスタ出力カプラー



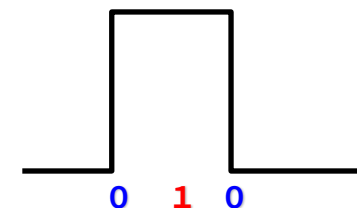
電気信号



光信号



電気信号

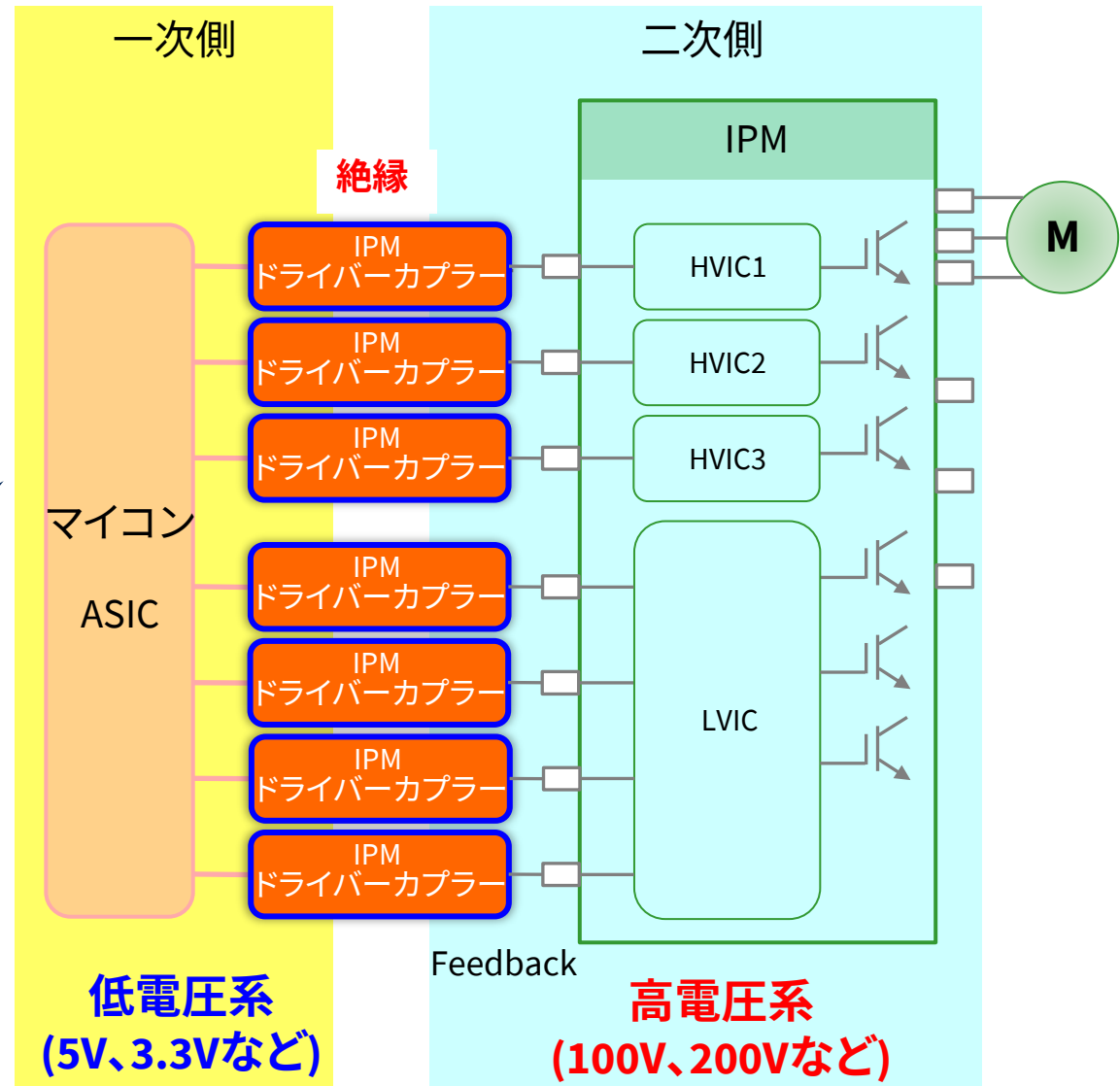


フォトカプラーはなぜ必要か

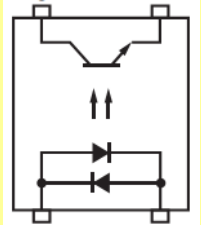
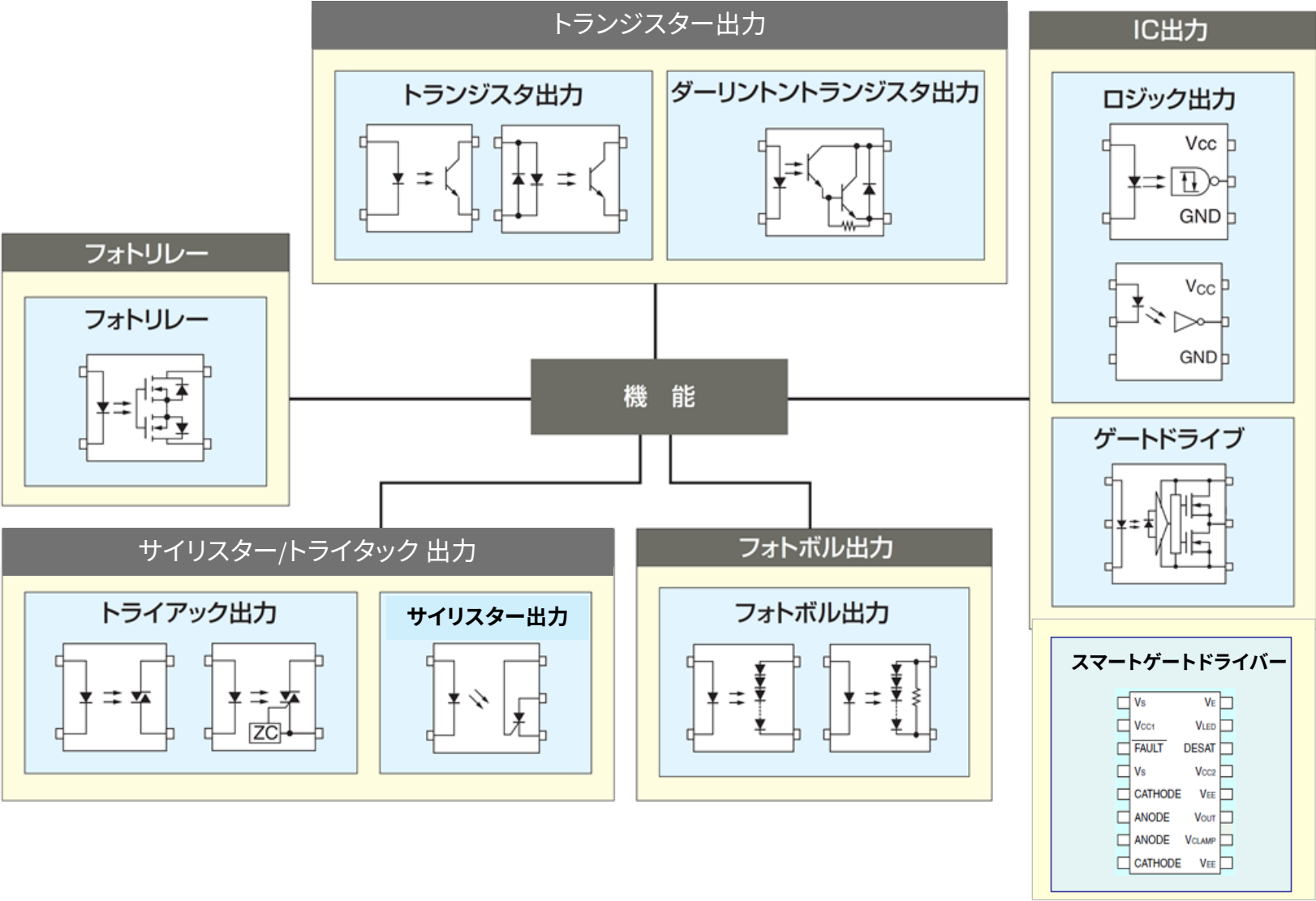
フォトカプラーは、一次側(入力側:LED側)と二次側(出力側:受光素子側)が、電氣的に絶縁されているため、一次側と二次側の電位が異なる(GNDレベルなども)場合でも、一次側の電気信号を二次側に伝えることができます。

マイコンなどの制御部は通常数Vの低電圧にて動作します。
このマイコンからの信号を、カプラーを介して200Vなどの高電圧で使用されるIPMやIGBTへ伝達することで、高電圧系の部品をマイコンから直接制御することが可能となります。

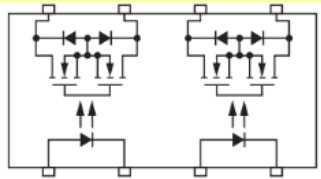
インバーターへの応用例



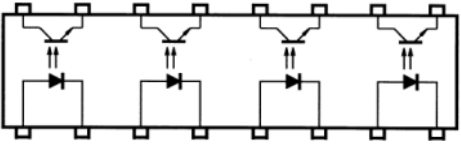
フォトカプラーの種類と機能



LEDを逆並列に接続し、AC入力に対応した製品もあります。



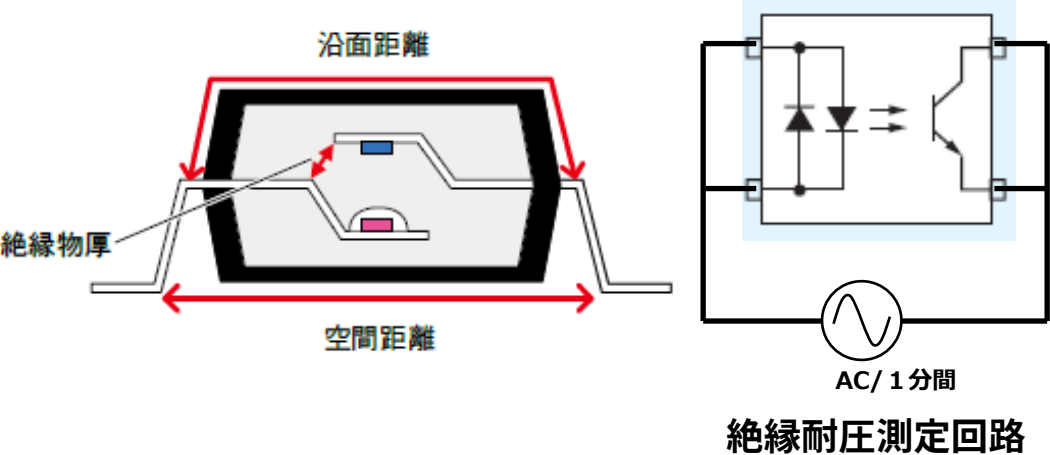
2回路や4回路を1パッケージ化した、多チャンネル品もあります。



パッケージと安全規格

- 沿面距離 (Creepage Distance)**
絶縁物に沿った2つの導体間 (1次-2次間) の最短距離
- 空間距離 (Clearance)**
空気中での2つの導体間の最短距離
- 絶縁物厚 (Insulation thickness)**
2つの導体間の絶縁物の最小距離
- 絶縁耐圧 (Isolation Voltage)**
2つの導体間の絶縁電圧*
ULでは、交流1分間で絶縁が破壊されない電圧で規定しています

* 2,500 Vrms~5,000 Vrmsの製品が一般的

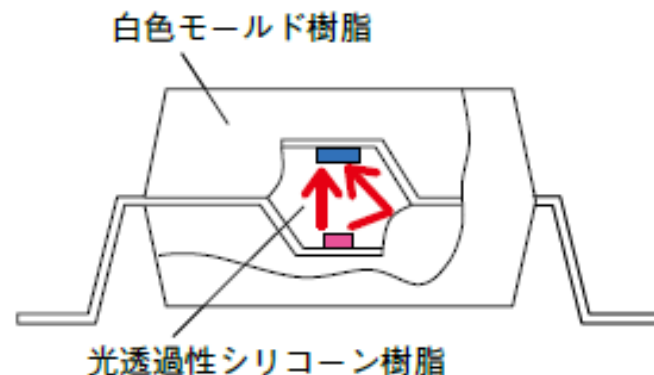


DIP4	DIP6	・汎用パッケージ
DIP8	DIP16	・面実装リードフォーミング対応可能
SDIP6	・沿面・空間距離 ≥ 7 mm、絶縁物厚 ≥ 0.4 mm ・面実装6ピン(リードピッチ = 1.27 mm)	
SO6	・沿面・空間距離 ≥ 5 mm、絶縁物厚 ≥ 0.4 mm ・面実装(リードピッチ = 1.27 mm)・薄型	
SO6L	・沿面空間距離 ≥ 8 mm、絶縁物厚 ≥ 0.4 mm	
SO8	・面実装8ピン(リードピッチ = 1.27 mm)	
SOP4	SO4	・面実装4ピン(リードピッチ = 1.27 mm)
SOP16	SO16	・面実装16ピン(リードピッチ = 1.27 mm)
SO16L	・沿面空間距離 ≥ 8 mm、絶縁物厚 ≥ 0.4 mm ・面実装16ピン(リードピッチ = 1.27 mm)	
MFSOP6	・面実装(リードピッチ = 1.27 mm)	
2.54SOP4	2.54SOP6	・面実装(リードピッチ = 2.54 mm)
2.54SOP8		
SSOP4	・超小型　・面実装(リードピッチ = 1.27 mm)	
USOP4	・超小型　・面実装(リードピッチ = 1.27 mm)	
VSON4	・超小型　・面実装　下面電極	

フォトカプラーの内部構造

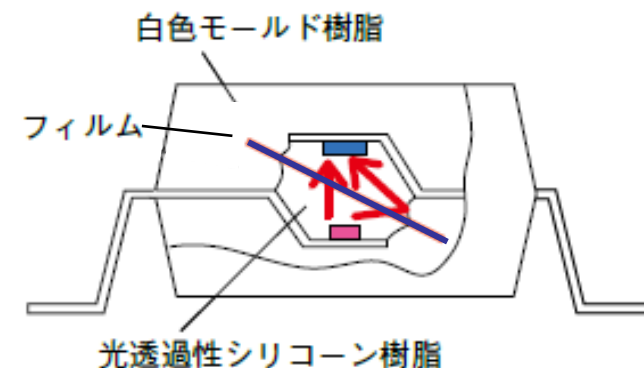
対向型シングルモールド

LEDを実装したフレームと受光素子を実装したフレームが向い合って(対向)モールドされます。



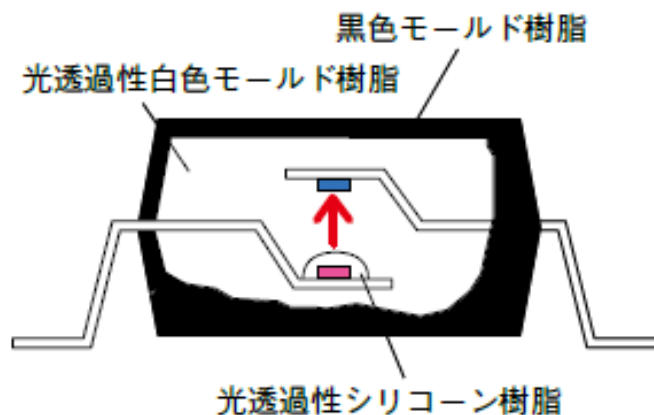
対向型シングルモールドフィルム入り

絶縁耐圧を上げるために、ポリイミド系のフィルムがLEDと受光素子間に挿入されています。



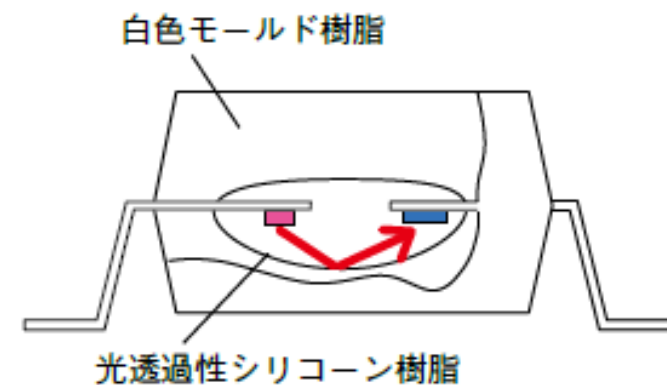
対向型ダブルモールド

対向型の構造で、内部が白モールド、外部が黒モールドされています。



反射型

LEDを実装したフレームと受光素子を実装したフレームが同一平面上にある構造です。LED光がシリコン系樹脂の内部で反射され、受光素子に届くことから、反射型と呼ばれます。

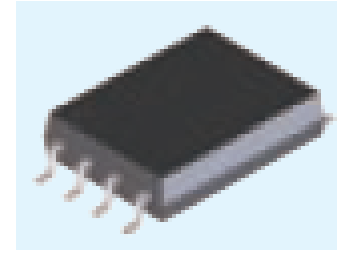


主な安全規格

部品規格

UL1577

絶縁耐圧 (1分間) に関する規格など
認定機関 = UL(米)



EN IEC 60747-5-5

最大許容動作絶縁電圧、最大許容過電圧、部分放電試験に関する規格など
認定機関 = VDE(独)、TUV(独) など

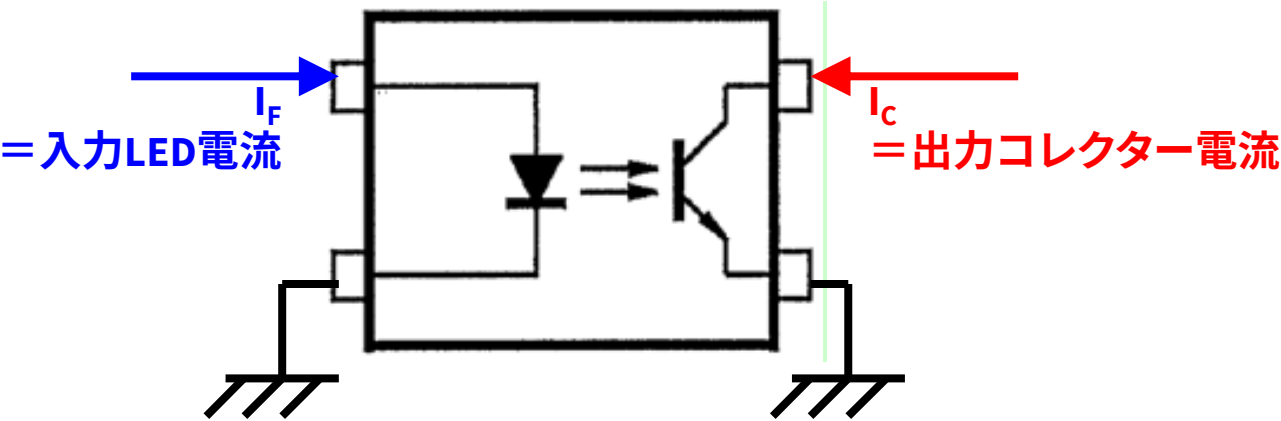
セット規格

EN IEC 62368-1

オーディオ/ビデオ、情報・通信技術機器規格
認定機関 = VDE(独)、SEMKO(スウェーデン) など

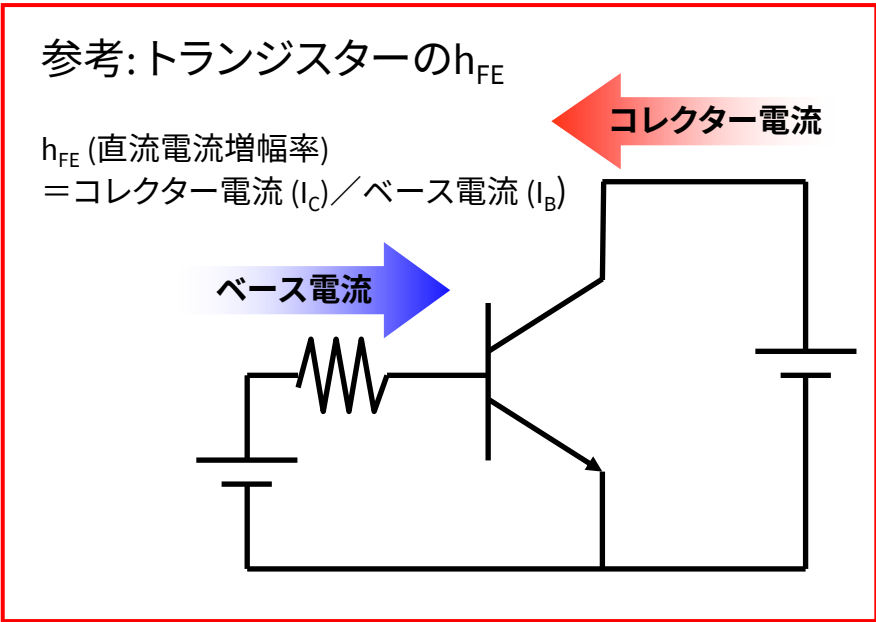
フォトカプラーの特性 変換効率

トランジスタカプラーの変換効率(Current Transfer Ratio : CTR)
 $CTR = \text{出力コレクター電流}(I_C) / \text{入力LED電流}(I_F) \times 100 (\%)$



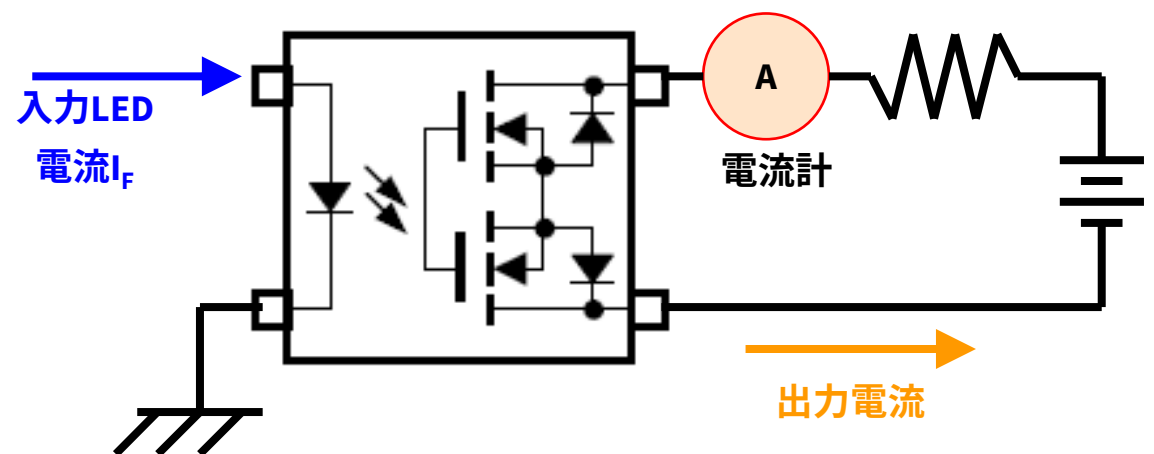
例)
 $I_F=5 \text{ mA}$ を入力した時、 $I_C=10 \text{ mA}$ が得られる製品の場合、
変換効率 = $10 \text{ mA} / 5 \text{ mA} \times 100 = 200 \%$

項目	記号	注記	測定条件	最小	標準	最大	単位
変換効率	I_C/I_F	(注1)	$I_F = 5 \text{ mA}, V_{CE} = 5 \text{ V}$	50	—	600	%
			$I_F = 5 \text{ mA}, V_{CE} = 5 \text{ V}, \text{GBランク}$	100	—	600	

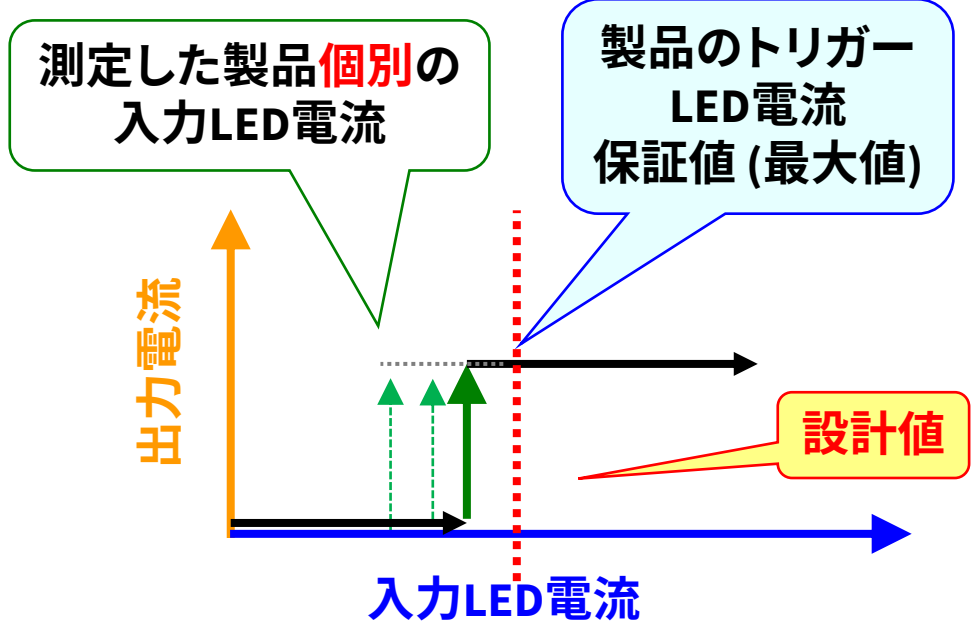


フォトカプラーの特性 トリガーLED電流

「トリガーLED電流」＝「状態変化の引きがねとなるLED電流」＝「出力の状態を変化させるために必要なLED電流」
記号としては、 I_{FT} 、 I_{FLH} 、 I_{FHL} などが使用されます。
データシートに記載のトリガーLED電流は、製品で保証されるLED電流を記載しています。
従って、最低でもトリガーLED電流(最大値)以上のLED電流を流す必要があります。



例)
 I_F を0 mAから徐々に増やし、 $I_F=3$ mAを入力したときに
出力がオフ状態からオン状態に移行した場合、 $I_{FT}=3$ mA



項目	記号	注記	測定条件	最小	標準	最大	単位
トリガーLED電流	I_{FT}		$I_{ON} = 1.4$ A	—	1	3	mA

トリガーLED電流は回路設計や寿命設計において重要な項目です。

フォトカプラーの経年変化

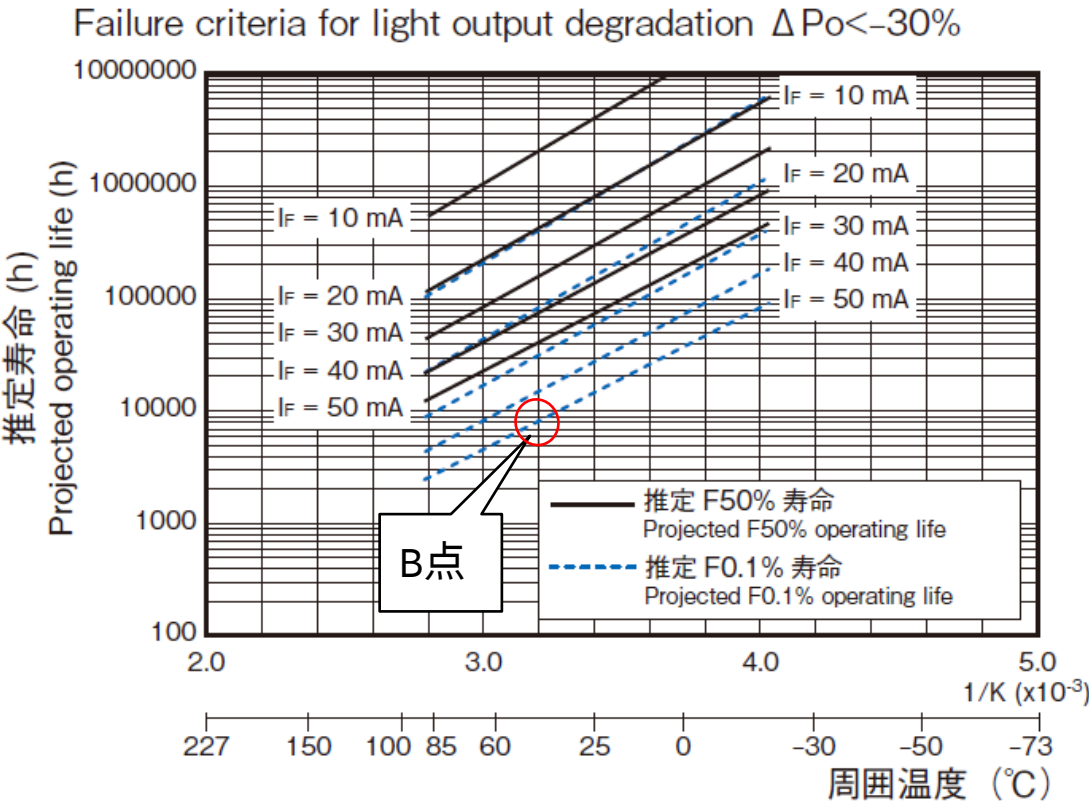
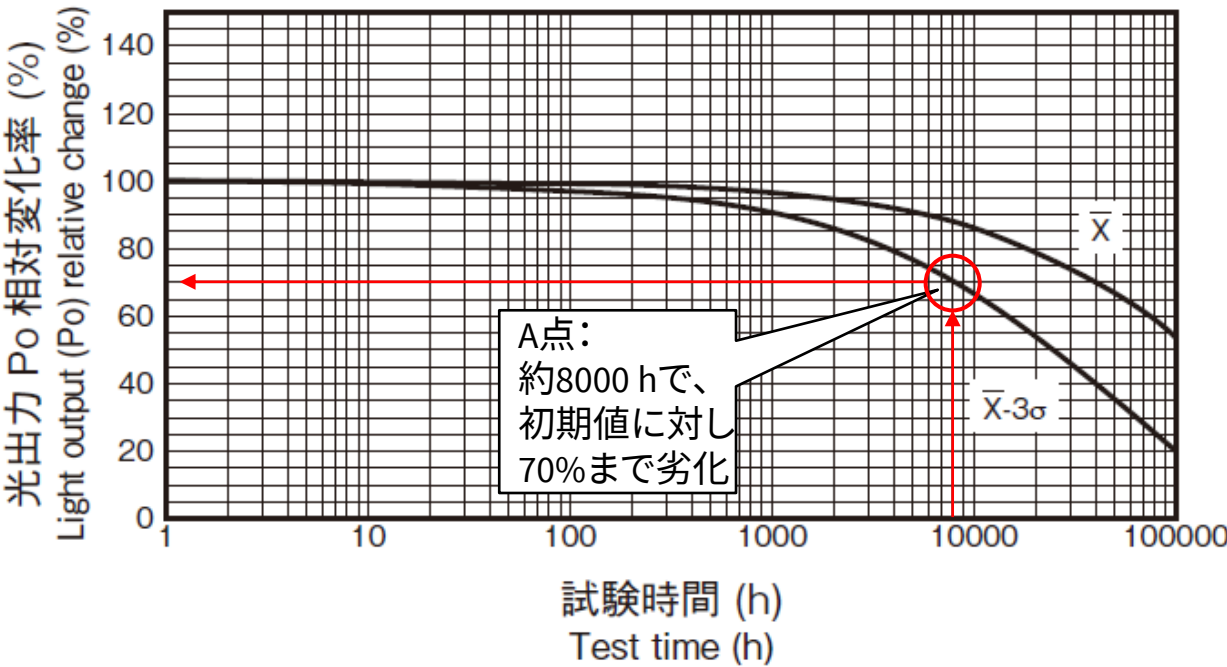
フォトカプラーの経年変化推定

LEDの光出力は発光時間とともに低下します。フォトカプラーは、受光素子に比べLEDの経時変化が支配的であるため、使用されているLEDの推定経時変化データを用いて経年変化を推定します。回路設計を行う際は、使用するセットでの使用環境やLEDのトータル発光時間からLEDの光出力変化を算出し、順電流(I_F)の初期値に反映させます。

*LEDのトータル発光時間は、例えば、Duty (発光と消光の比) が50 %で稼動時間が1,000時間の場合は、500時間と算出します。

GaAs LEDの光出力の経時変化データの例

Test conditions: $I_F = 50 \text{ mA}$, $T_a = 40^\circ\text{C}$



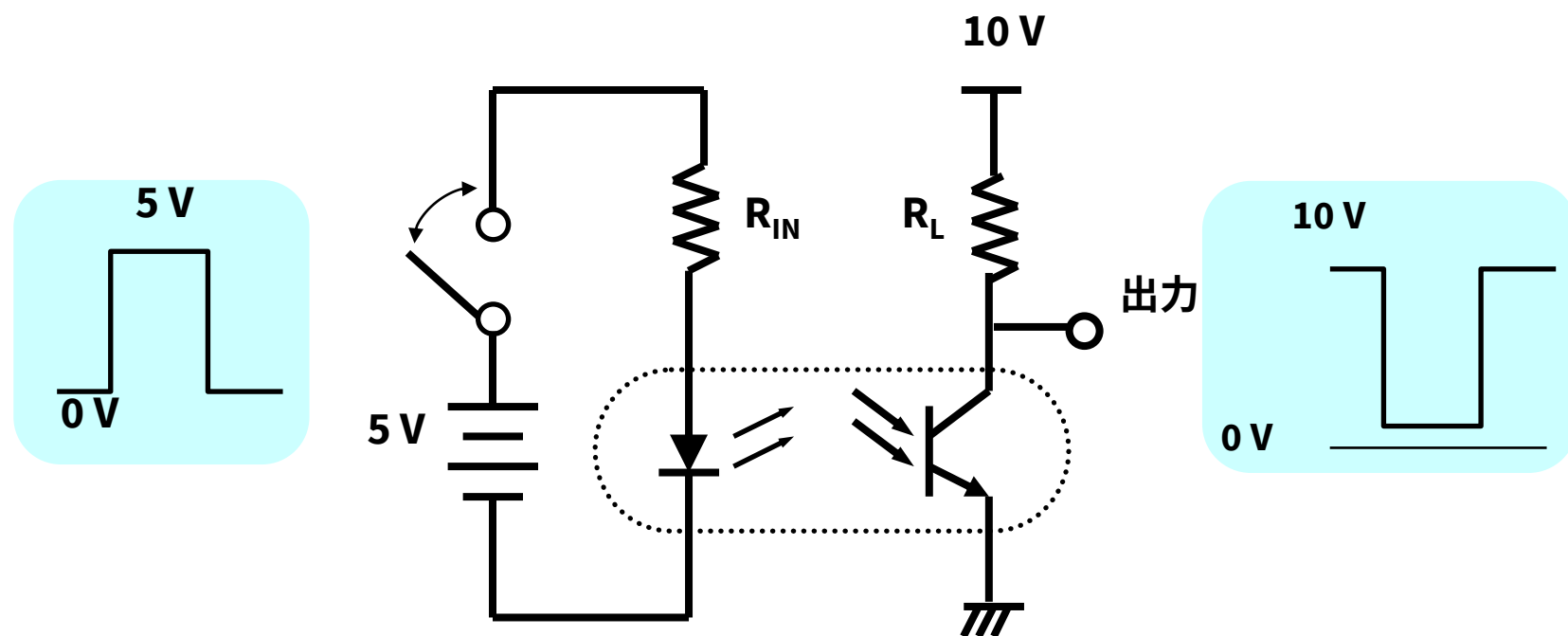
左図はLEDの光出力の経時変化データを示します。右図はLEDの光出力が、ある故障判定基準以下となる時間を示しています。例えば左図のA点と右図のB点は同じ条件 ($I_F=50 \text{ mA}$, $T_a=40^\circ\text{C}$, 8000 h) での変化を示しています。

フォトカプラーの使い方

フォトランジスタカプラーによる信号インターフェースの設計例

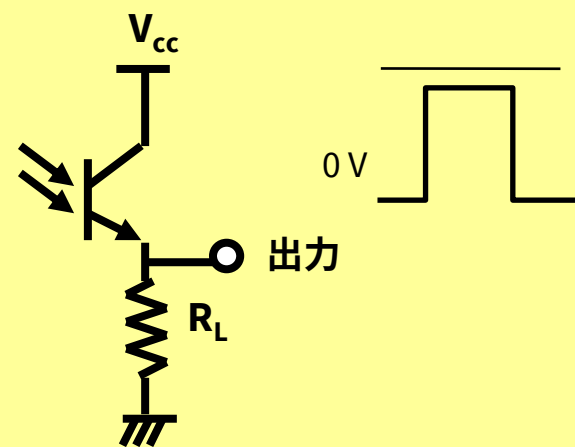
- Step 1. LED入力電流 I_F と入力側抵抗 R_{IN} の設計
- Step 2. I_F と CTR から、フォトランジスタ出力電流を計算
- Step 3. 出力側抵抗 R_L の設計
- Step 4. 各定数の確認

DC5 V 系と DC10 V 系のインターフェース回路



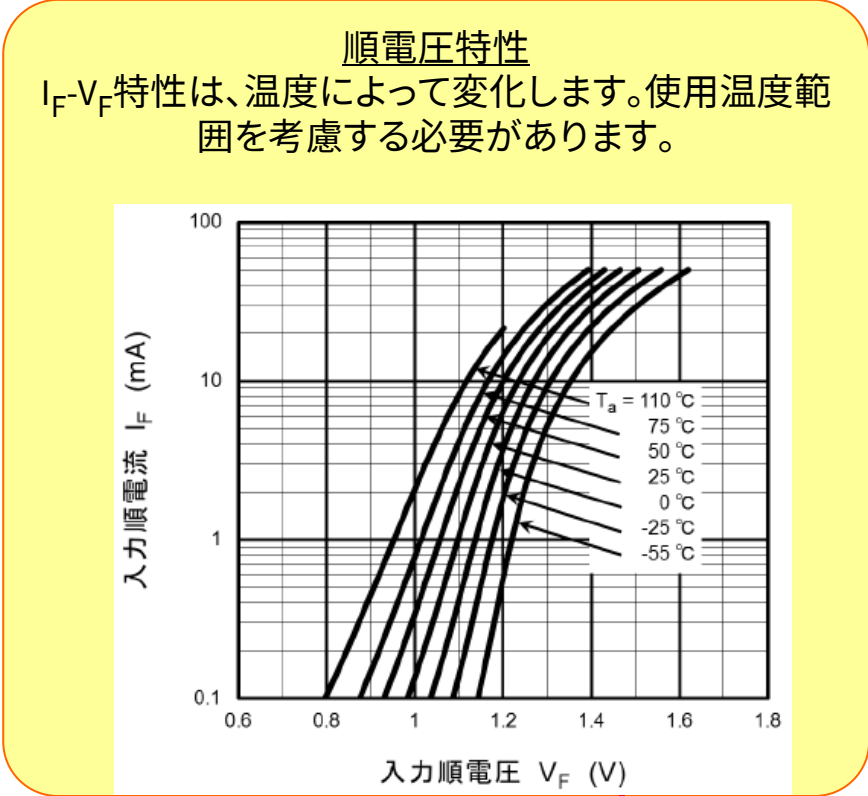
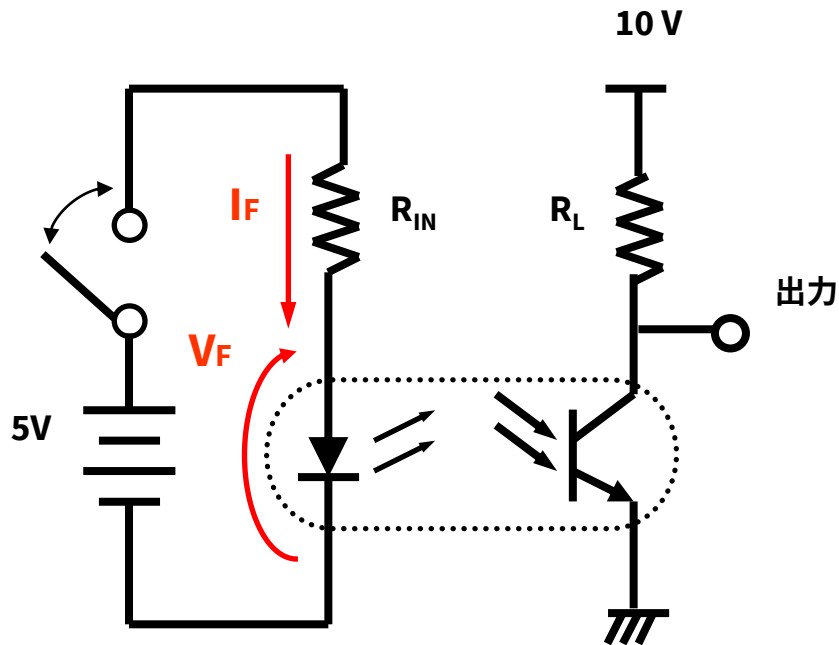
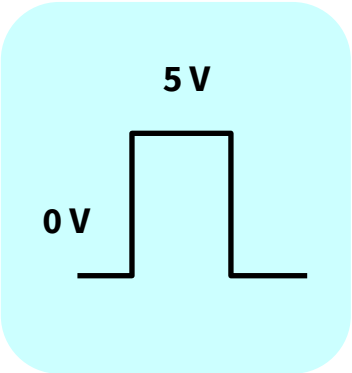
参考:

左図では、出力信号が反転していますが、下図のように出力をエミッターフォロワーとすれば、入力と同じ出力ロジックを得ることが可能です。



フォトカプラーの使い方 入力電流

Step 1. LED入力電流 I_F と入力側抵抗 R_{IN} の設計



フォトカプラーの入力電流(I_F)の設定と入力抵抗(R_{IN})の算出

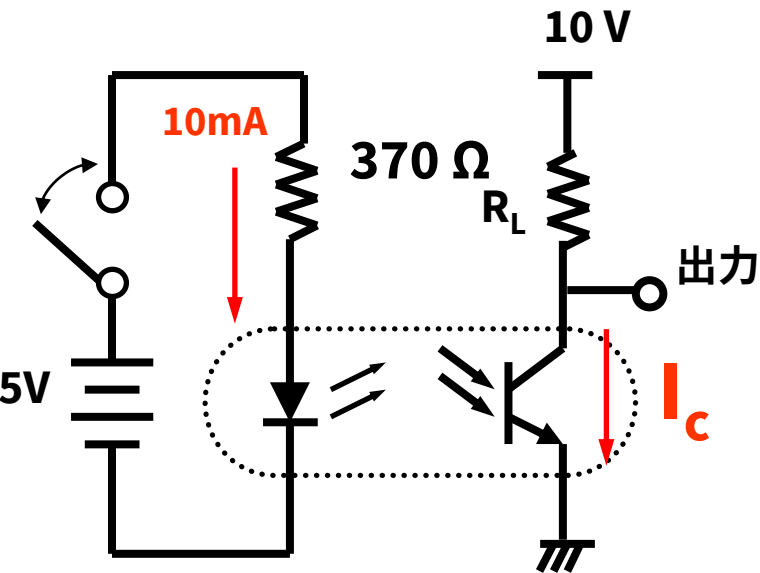
①入力側電源電圧 (V_{CC})、②電流制限抵抗 (R_{IN})、③LEDの順方向電圧 (V_F) により決定されます。
仕様例から、順方向電圧 (V_F)、入力電流 (I_F)を決定し、電流制限抵抗を決定します。

$R_{IN}=(V_{CC}-V_F)/I_F=(5\text{ V}-1.3\text{ V})/10\text{ mA}=370\text{ }\Omega$

(仕様例)	項目	記号	注記	測定条件	最小	標準	最大	単位
	入力順電圧	V_F		$I_F = 10\text{ mA}$	1.0	1.15	1.3	V

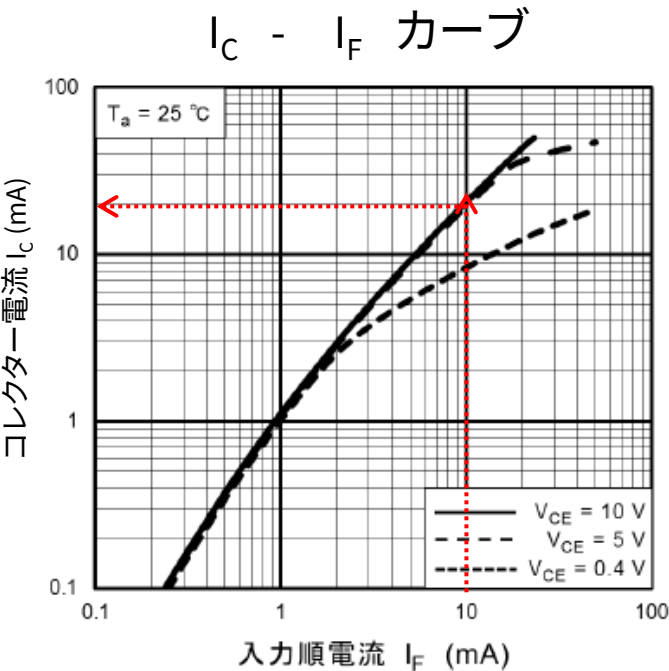
フォトカプラーの使い方 出力電流

Step 2. I_F とCTRから、フォトランジスター出力電流を計算



変換効率ランク
トランジスタカップラーは、変換効率のランク分類を行っています。

分類名称 (注 1)	変換効率 (%) (I_C / I_F) $I_F = 5 \text{ mA}, V_{CE} = 5 \text{ V}, T_a = 25^\circ\text{C}$	
	最小	最大
無	50	600
Y ランク品	50	150
GR ランク品	100	300
BL ランク品	200	600
GB ランク品	100	600
YH ランク品	75	150
GRL ランク品	100	200
GRH ランク品	150	300
BLL ランク品	200	400

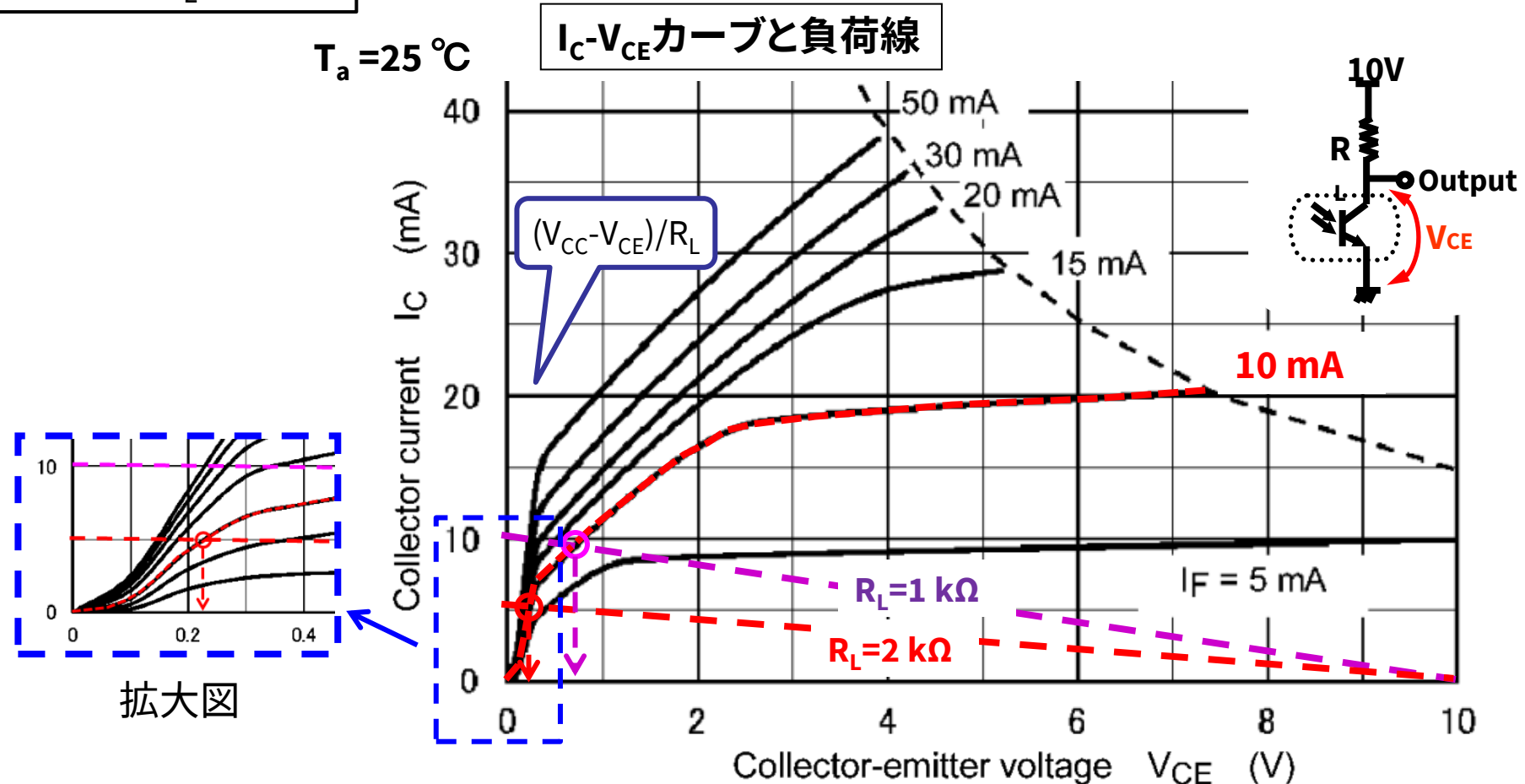


フォトカプラーの出力電流 (I_C)は？
入力電流 (I_F)=10 mAの場合の出力電流 (I_C)のばらつきを、変換効率 (I_C/I_F) から求めます。
右上の I_C - I_F カーブは、 $I_C=10 \text{ mA}$ (@ $I_F=5 \text{ mA}$ 、 $V_{CE}=5\text{V}$ 、 $T_a=25^\circ\text{C}$)なので、CTR=200%品 (BLランク：200～600 %の最小品)の特性カーブである事が分かります。また、このカーブから $I_C=20 \text{ mA}$ (@ $I_F=10 \text{ mA}$ 、 $V_{CE}=5\text{V}$ 、 $T_a=25^\circ\text{C}$) となります。

ここで求めた I_C の値を使って次に R_L を導出します。一般的にトランジスタカップラーの変換効率の測定条件は $V_{CE}=5 \text{ V}$ の設定なので、 I_C の最小値でも V_{CE} が飽和電圧になるよう R_L を設定します。

フォトカプラーの使い方 出力側抵抗 R_L

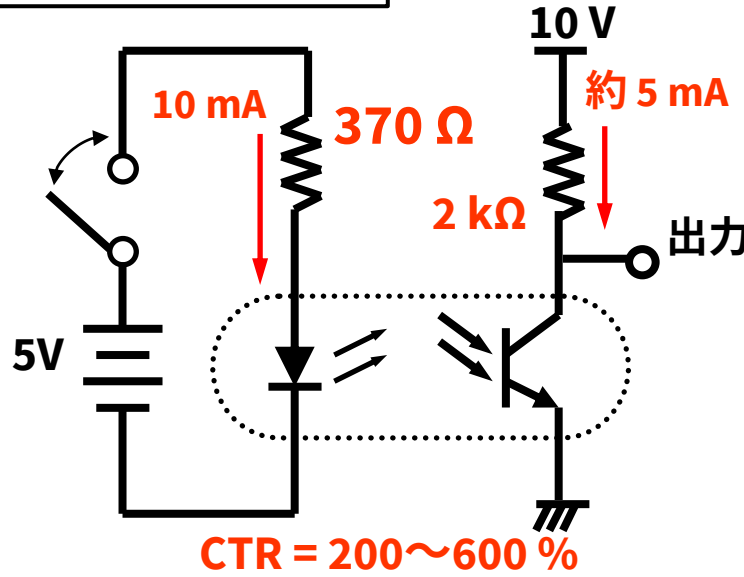
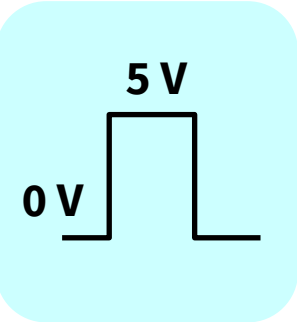
Step 3. 出力側抵抗 R_L の設計



信号伝送として使用するには、負荷側に接続するデバイスの“L”レベルを十分に満足する必要があります。ここでは、 $V_{CE} = 0.3\text{V}$ を目標値とします。 $I_F = 10\text{ mA}$ の時、 $R_L = 1\text{ k}\Omega$ では $V_{CE} = 0.9\text{ V}$ 程度となり不十分です。 $R_L = 2\text{ k}\Omega$ では $V_{CE} = 0.2\text{ V}$ 程度になっており、目標値を達成していますので $R_L = 2\text{ k}\Omega$ を選定します。実設計では負荷側のインピーダンスも考慮する必要があります。

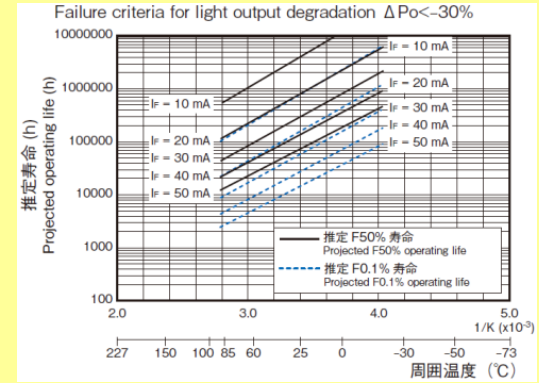
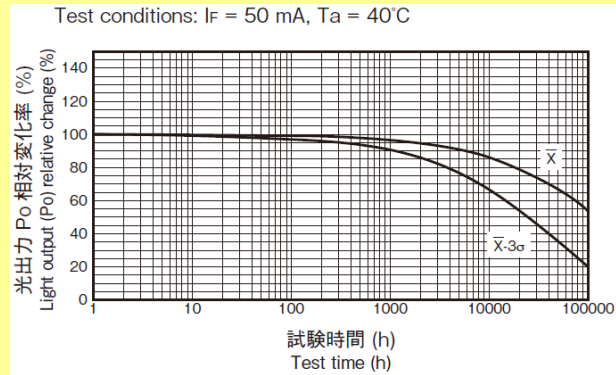
フォトカプラーの使い方 確認

Step 4. 設計した定数の確認

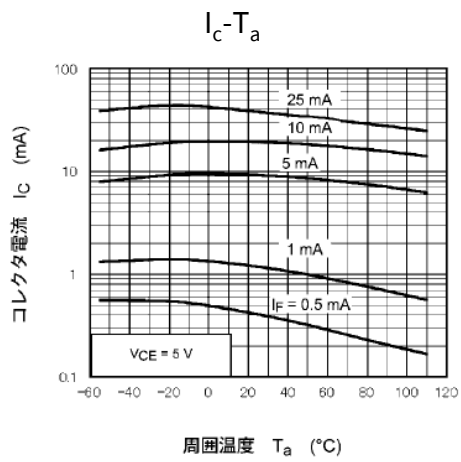
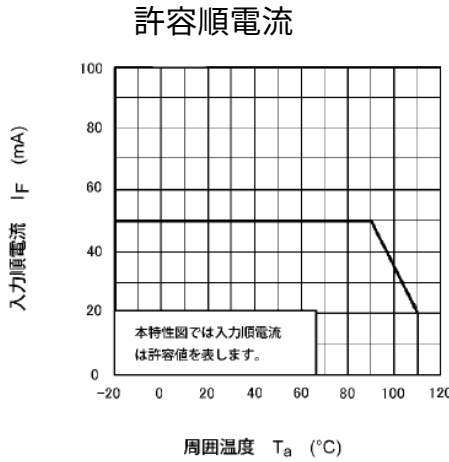


セット設計寿命の確認

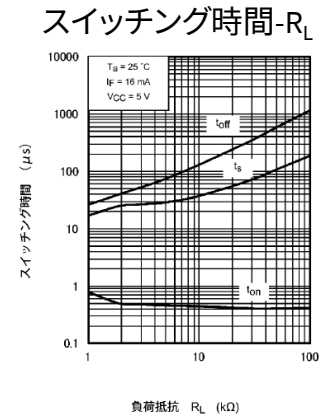
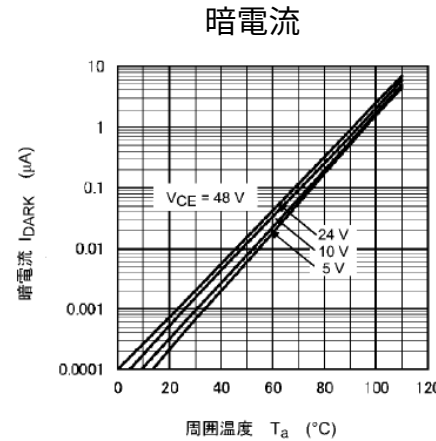
フォトカプラーを使用するセットの環境条件からセットの寿命を満足することを確認する必要があります。
 フォトカプラーは入力電流(I_F)と環境温度から寿命を算出することができます。



・温度範囲 ⇒ V_F 、CTR、許容順電流など

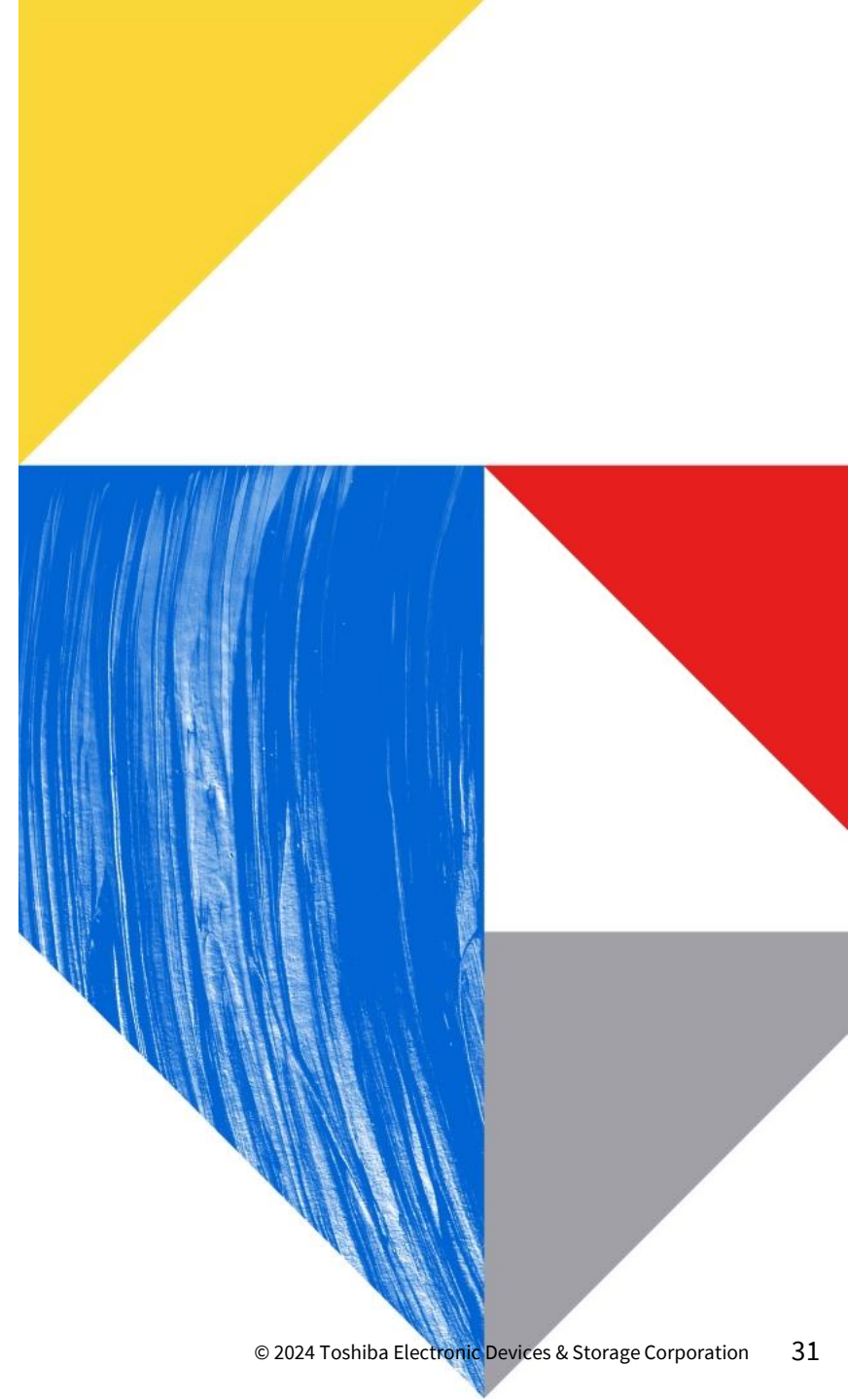


・負荷抵抗 ⇒ スイッチングスピード、暗電流の影響など



03

e-ラーニングのご紹介



e-ラーニングのご紹介

The screenshot shows the Toshiba e-learning portal. At the top, the Toshiba logo and company name '東芝デバイス&ストレージ株式会社' are visible. Navigation links include 'セミコンダクタートップ', 'アプリケーション', '製品', '開発/設計支援', '知る/学ぶ', and 'ご購入'. A search bar is present. The main heading is 'e-ラーニング'. Below it, a horizontal menu lists 'ディスクリート半導体', 'マイクロコントローラー', 'モーター制御', and 'ご検討の方へ'. The 'ディスクリート半導体' section is highlighted with a red box. It contains a grid of learning modules, each with a title, a brief description, and a '→ 詳細' button. The first module, 'ディスクリート半導体の基礎', is highlighted with a red box. Other modules include 'CMOSロジックIC 基礎編', 'CMOSロジックIC 使用上の注意', 'オペアンプの基礎', 'LDOの基礎', 'ロードスイッチICの基礎', 'eFuse ICの基礎', 'TVSダイオード (ESD保護用ダイオード) の基礎', and 'ショットキーバリアダイオードの基礎'.

ディスクリート半導体

ディスクリート半導体の基礎
半導体とは何かから、ダイオード、トランジスタ、アイソレータ/ソリッドステートリレー(SSR)、電源ICの基礎知識を学習できます。
→ 詳細

CMOSロジックIC 基礎編
CMOSロジックICの基本動作から基本回路、データシートの見方まで基礎知識を学習できます。
→ 詳細

CMOSロジックIC 使用上の注意
CMOSロジックICを使用する上での注意点と対策について学習できます。
→ 詳細

オペアンプの基礎
オペアンプの基本、基礎、原理、基本回路といった基礎知識を学習できます。
→ 詳細

LDOの基礎
LDOレギュレータの基本、動作、搭載している機能、データシートの読み方、といった基礎知識を学習できます。
→ 詳細

ロードスイッチICの基礎
ロードスイッチICの基本、動作、搭載している機能、データシートの読み方、といった基礎知識を学習できます。
→ 詳細

eFuse ICの基礎
eFuseICを理解する上で必要な基礎知識や基本的な機能などについて、分かりやすく学習できます。
→ 詳細

TVSダイオード (ESD保護用ダイオード) の基礎
TVSダイオード (ESD保護用ダイオード) の基本動作、特徴、電気的特性の基礎知識を学習できます。
→ 詳細

ショットキーバリアダイオードの基礎
ショットキーバリアダイオードの基本、基礎、原理といった基礎知識を学習できます。
→ 詳細

「東芝 半導体 e-ラーニング」で検索 🔍

The screenshot shows a video player interface for a seminar. The video content is a Toshiba e-learning page, identical to the one in the previous block. The video player has a progress bar at the bottom. On the right side of the video player, there is a sidebar with a search icon, a 'アンケート' (Survey) button, and a '資料' (Materials) button. A red arrow points to the '資料' button. Below the video player, the text '※セミナーイメージ画像' (Image for seminar) is displayed.

TOSHIBA

すぐにわかる! ディスクリート半導体の基礎
～電源IC、アイソレータ/ソリッドステートリレー編～

2024年5月
東芝デバイス&ストレージ株式会社
半導体応用技術センター
半導体応用技術企画部

© 2024 Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

※セミナーイメージ画像

セミナー画面横のリソースリストからもアクセスできます

TOSHIBA