

パワー サプライ デザイン セミナー

高電圧最終製品のための
空間距離と沿面距離の明確化



伊藤 一樹

日本テキサス・インスツルメンツ
営業技術本部 フィールドアプリケーションエンジニア

目次

- 沿面距離 (クリーページ)、空間距離 (クリアランス)、その他の関連用語の定義
- さまざまな絶縁グレードレベルと選定の指針
- 空間距離 と 沿面距離 を決定するフローチャートと最終製品の例
- 高電圧プリント基板 (プリント基板) のパターン間隔に関する規格と指針
- 高電圧パターン間隔に関するその他の例外

高電圧アプリケーション

電気自動車の充電



アダプタと
充電器



サーバー / 通信機器 / UPS



一次側回路

LED照明



再生可能エネルギー



モータードライブ
(可変周波数ドライブ)



沿面距離と空間距離

沿面距離 (クリーページ)
動作電圧で絶縁破壊または
トラッキングが発生しない (長期)



- 2つの導体間の固体絶縁材の表面に沿った最短距離
- 汚染、湿度、結露が最重要課題
- 沿面距離は以下を得るために指定される:
 - 実効値 (RMS) 動作電圧
 - 汚染度
 - 材質グループ
(フラッシュオーバーまたは絶縁破壊が発生しない)

空間距離 (クリアランス)
要求過渡電圧に耐えるために
空気のイオン化またはアークが発生しない (短期)

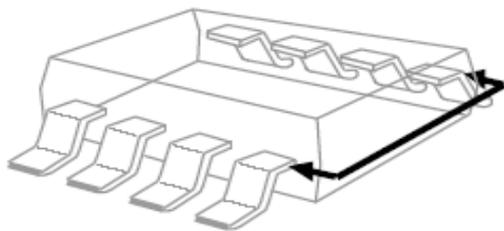


- 2つの導体間の空間での最短距離
- 気圧 (高度)、温度が最重要課題
- 過渡的な過電圧*による絶縁破壊の可能性を示すために指定される
- 海拔 2,000m を上回る場合の乗算係数
 - 例: 5,000m の場合、 $\times 1.48$

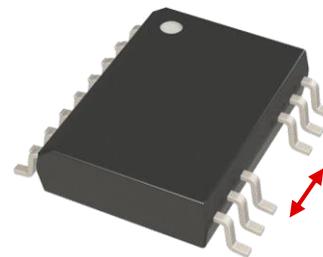
*過渡電圧 – 数ミリ秒以下の短時間の過電圧

沿面距離と空間距離の関係

- 沿面距離 と 空間距離 の間には物理的な関係はありません
 - ほとんどの場合、沿面距離 が空間距離 を下回ることはありません
- サイズとコストの制約を考慮して可能な限り大きい値に設定する必要



- コーナーピンからパッケージの端部までの距離が短い場合、パッケージの側部から反対側の側部までの距離が沿面距離となることがあります



- 正常に動作する場合のみ
沿面距離 = 空間距離

材質グループとCTI

- 材質グループは比較トラッキング指数 (CTI) によって決まります
- CTI とは、絶縁材が30 秒ごとに50 滴の汚染水 (0.1% の塩化アンモニウム) に耐えられる電圧実効値 (V_{RMS}) の最大値となります
 - 0.5A以下でトラッキングなしと判断されます

材質グループ	CTI 範囲 (V_{RMS})
材質グループ I	CTI \geq 600
材質グループ II	400 \leq CTI < 600
材質グループ IIIa	175 \leq CTI < 400
材質グループ IIIb	100 \leq CTI < 175 または指定なしの場合

TI のほとんどの絶縁集積回路

大半の FR4 プリント基板

*国際電気標準会議 (IEC) 60112 に従ってテスト データを評価することにより、材質グループの検証を実施しています

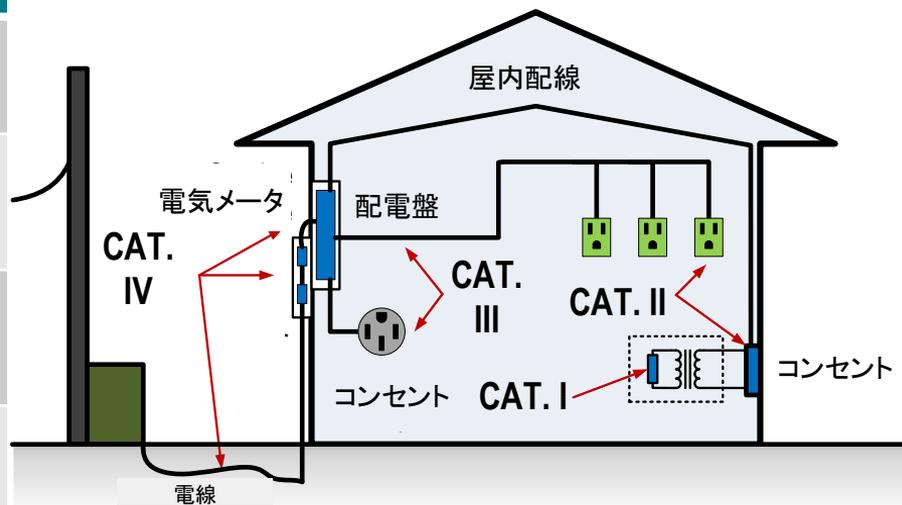
汚染度

クラス	説明	例
汚染度 1	<ul style="list-style-type: none">汚染なし、または乾燥した非導電性の汚染のみ	<ul style="list-style-type: none">密閉型部品 (コーティングされたプリント基板)、クリーンルーム
汚染度 2	<ul style="list-style-type: none">結露が時々発生することによって導電性が一時的に発生する	<ul style="list-style-type: none">IEC 60950-1またはIEC 62368-1に規定されている通信機器の筐体実験室、オフィス
汚染度 3	<ul style="list-style-type: none">導電性の汚染が発生する非導電性の汚染が想定される結露により導電性が発生する	<ul style="list-style-type: none">産業用、暖房のない工場、農業
汚染度 4	<ul style="list-style-type: none">導電性のほこり、雨、またはその他の湿気のある条件によって、導電性が継続的に発生する	<ul style="list-style-type: none">屋外向け

過渡過電圧カテゴリ

- 過電圧カテゴリは、要求インパルス耐電圧とも呼ばれます
- 低電圧商用電源から直接給電される機器に対して使用される**確率的推測**

カテゴリ	説明	例
カテゴリ4	供給元に設置	<ul style="list-style-type: none">• 電気メーター• 4kV_{PK}^*
カテゴリ3	固定設置 (特別な要件によって必要とされる場合)	<ul style="list-style-type: none">• 操作パネル• 配電盤• $2.5\text{kV}_{\text{PK}}^*$
カテゴリ2	固定設置元から供給される消費電力の大きい機器	<ul style="list-style-type: none">• カテゴリ3から 10m 離れたコンセント• $1.5\text{kV}_{\text{PK}}^*$
カテゴリ1	過渡電圧を低く制限するよう対策した回路への接続	<ul style="list-style-type: none">• サーモスタット• スプリンクラー (24V_{AC})• $0.8\text{kV}_{\text{PK}}^*$



電圧クラスや最終製品ごとに異なる規格

絶縁システムにおけるユーザーの安全性		プリント基板パターン間隔
<ul style="list-style-type: none">IEC 60664-1 – 1.5kV_{DC} または 1kV_{AC} を下回るシステムの絶縁調整沿面距離 と 空間距離、耐電性試験		正常動作または機能動作の場合のみ
IEC 62368-1 (IEC 60950-1)*	通信、サーバー、オーディオ、 ビデオ、クラウドコンピューティング	電子回路協会 (IPC) <ul style="list-style-type: none">IPC 2221 – 一般要件IPC 9592 – コンピュータ / 通信機器
IEC 61800-5	モーター駆動	IEC 60664-1 プリント基板の沿面距離に 関するガイダンス
IEC 62109-1	ソーラー	IEC 62368 コーティングの有無による分離距離

*IEC 60950-1 は 2020 年 12 月に失効

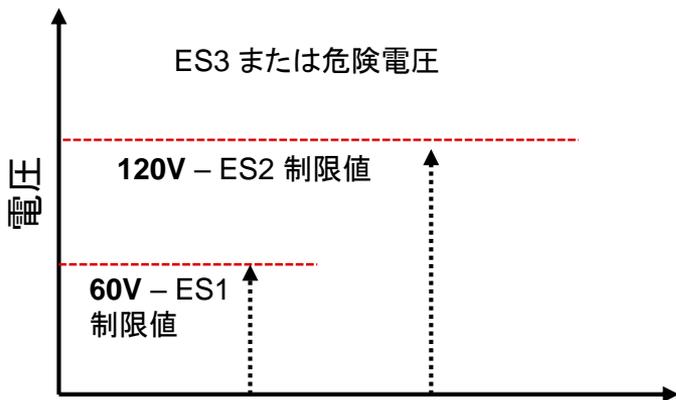
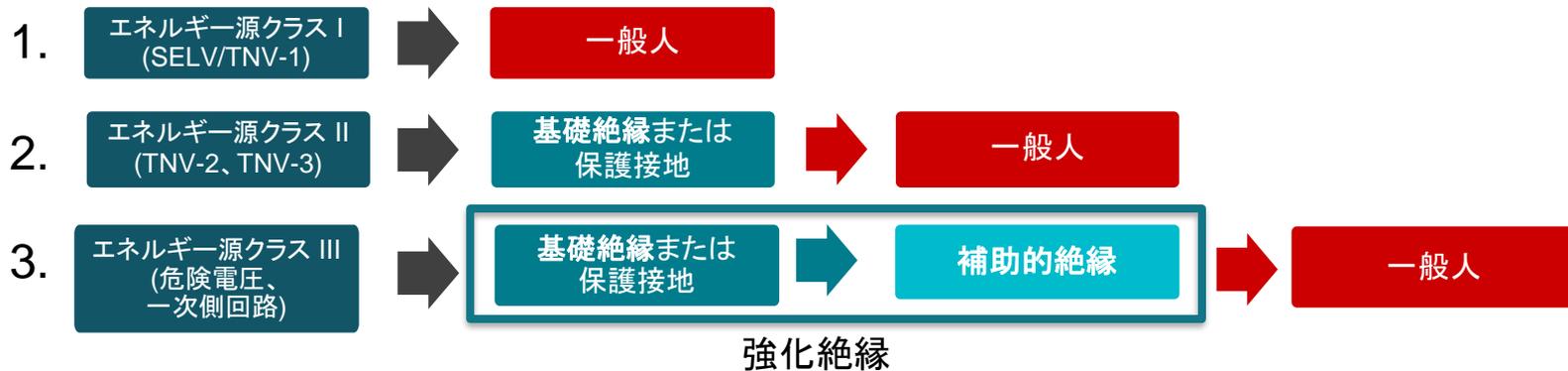
絶縁部品の沿面距離と空間距離

- 絶縁部品 (絶縁型ゲートドライバなど) の絶縁規格には、沿面距離と空間距離に関する規定が含まれていません。代わりに、電氣的 / 機械的なストレス、熱や環境の影響に耐える絶縁バリアの機能に関する規定が含まれています。
 - 欧州の場合: IEC 60747-1 (Verband der Elektrotechnik [VDE] 0884-11)
米国の場合: Underwriters Laboratories (UL) 1577
中国の場合: 中国品質認定センター (CQC) GB4943.1
 - これらの部品の絶縁規格には、 V_{IOSM} 、 R_{IO} 、 C_{IO} 、 q_{pd} 、絶縁距離 (DTI)、同相電圧過渡耐性 (CMTI)、絶縁破壊までの電圧上昇試験 (RTB) などに関する規定が含まれています。
- しかし、絶縁グレード (強化絶縁、基礎絶縁、機能絶縁) には沿面距離と空間距離が重要になります。

絶縁グレードの種類

- 機能絶縁またはプリント基板の高電圧パターン間隔
 - 回路の正常な機能を維持(グランド揺れ、高電圧、一次側-二次側間の過渡電圧)
- 基礎絶縁
 - 正常動作条件と異常動作条件の両方で感電を防止する単一レベルの絶縁
- 補助的絶縁
- 二重絶縁
 - 正常な条件、異常な条件、および単一障害の条件に対応する、基礎絶縁に補助的絶縁を追加した絶縁
- 強化絶縁
 - 二重絶縁と同じ定格を規定する単一の絶縁システム

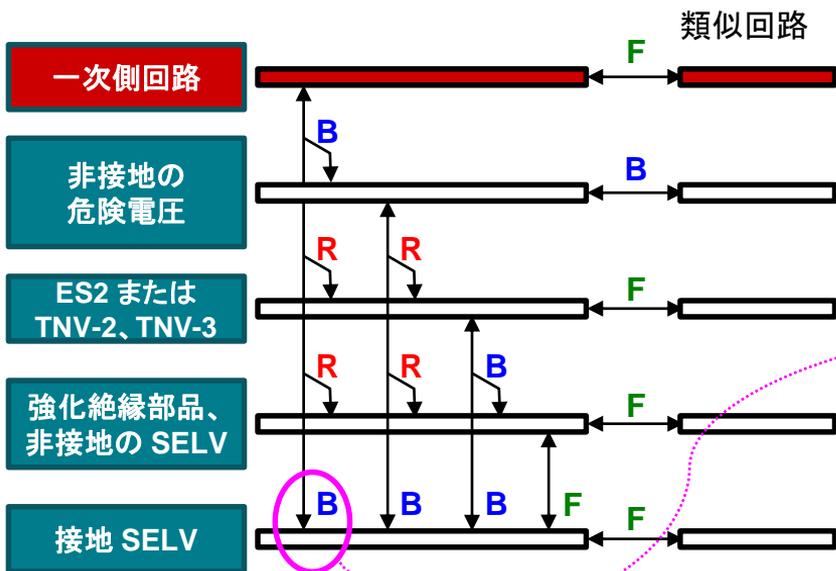
絶縁グレードに関する指針



IEC 62368-1	IEC 60664-1、IEC 60950-1
ES1	安全特別低電圧 (SELV)
ES2	TNV-1: 通信機器ネットワーク電圧 TNV-2、TNV-3*
ES3	危険、1 次側回路 (AC 商用電源に接続)
一般人	ユーザー

*IEC 60950-1 のセクション 2.3 には TNV-1、TNV-2、TNV-3 の定義が含まれます

絶縁グレードの例



- **F**: 機能絶縁、**B**: 基礎絶縁、**R**: 強化絶縁
- 図 2H IEC 60950-1 2013

グレード	分離された部品		例
F	SELV	SELV	<60V ブリック モジュール
	強化絶縁部品		
B	1 次、ES2、TNV-2/-3 危険電圧	接地の SELV	<ul style="list-style-type: none"> ● >60V DC/DC ● 12V または 48V 出力 AC/DC 整流器 ● 400V 車載充電器
	一次側回路	非接地の危険電圧	
R	1 次または危険電圧	非接地 SELV	12V または 48V 出力 AC/DC 整流器
	ES2、TNV-2/-3		>60V DC/DC
	一次側回路	強化絶縁部品	車載充電器

沿面距離 と 空間距離 を決定するフローチャート

スタート

感電防止
絶縁
システム

沿面
距離

動作電圧*

汚染度**

材料グループ

基礎絶縁
または強化絶縁

基礎

- IEC 60664-1 表 F.4
- IEC 62368-1 表 17
 - IEC 61800-5-1 表 10
 - IEC 62109-1 表 14

強化

2 ×

基礎

空間
距離

電源過渡電圧
(IEC 60664-1 表 F.1)

- 電源公称電圧
- 過電圧カテゴリ

汚染度

高度 (海拔)

基礎絶縁
または強化絶縁

基礎

- IEC60664-1 表 F.2
- IEC 62368-1 表 10
 - IEC 61800-5-1 表 9
 - IEC 62109-1 表 13

強化

表 F.2 より 1 段階上
IEC 60664-1 セクション 5.1.6

高度
2,000m を上
回るかどうか
上回る場合、
IEC 60664-1 に
規定されている
補正係数を使用
表 A.2

プリント基板の
高電圧パターン
間隔
機能動作と
正常動作

高電圧
パターン
間隔

プリント基板に関する
一般的な指針

対象最終製品

その他の例外

IPC 2221B (表 6-1)、IEC 60664-1 (表 F.4)

IPC 9592B (図 4-3)、IEC 62368-1 (コーティングなしの場合は表 17/10)、
コーティングありの場合は表 G.13

定期的な過渡試験 (HiPot)、コーティングを施した プリント基板、社内ルール

*動作電圧: 絶縁時の AC 電圧または DC 電圧の最大 RMS 値、IEC 60664-1 セクション 3.5

**コーティングを施したプリント基板を使用することで、IEC 62109-1 (IEC 60664-3 の後継規格) に基づく汚染度 1 まで低下させ、IEC 62368 の表 G.13 に基づいて沿面距離を短縮できます

過渡過電圧 – IEC60664-1 表 F.1

- AC 商用電源による過渡電圧の判定
 - その他のすべての最終製品については、IEC 60664-1 に準拠して過渡電圧を指定します

ライン ニュートラル間電圧 最大実効値 V_{RMS}	電源過渡電圧 / 定格インパルス電圧 (V_{PK})*			
	過電圧カテゴリ			
	I	II	III	IV
• ≤ 50	330	500	800	1,500
• ≤ 150 (米国の場合は 120)	800	1,500	2,500	4,000
• ≤ 300 (欧州、中国の 場合は 230)	1,500	2,500	4,000	6,000
• ≤ 600 (産業用モーター、 船舶用電源など)	2,500	4,000	6,000	8,000

- 短時間の一時的な過電圧による過渡電圧の判定:
 - ライン ニュートラル間公称電圧 +1,200V が最大 5 秒継続 (IEC 60664-1 5.3.3.2.3)

空間距離 – IEC 60664-1 表 F.2, A.2

要求過渡電圧 (kV _{PK})	最小空間距離 (mm)*		
	汚染度		
	1	2	3
0.5	0.04	0.2	0.8
1.5	0.5 (0.76)		0.8
2.5	1.5 (1.8)		
4.0	3.0 (3.8)		
6.0	5.5 (7.9)		

高度 (m)	補正係数
2,000	1.0 ×
3,000	1.14 ×
4,000	1.29 ×
5,000	1.48 ×
6,000	1.70 ×
10,000	3.02 ×

- 括弧内に示す空間距離はサーバー通信に関する IEC 62368-1 表 10 に基づきます
- 空間距離は、最大高度 2,000m で使用する場合の基礎絶縁に関する IEC 60664-1 表 F.2 に記載されている不均一電界を想定しています
- 強化絶縁の場合、空間距離 は表 F.2 に指定されている定格インパルス電圧の 1 段階上の値とします
- その他のすべての最終製品については、IEC 60664-1 に準拠して空間距離を指定します

*最も近い 2 点間に線形補間を使用できます

沿面距離 – IEC60664-1 表 F.4

V _{RMS} [*] (V)	トラッキングによって発生する障害を防止する 沿面距離 (mm)**			
	汚染度			
	1	2		
	すべての 材料グループ	材料グループ		
I		「II」に変更	III	
63	0.20	0.63	0.90	1.25
400	1.0	2.0	2.8	4.0
800	2.4	4.0	5.6	8.0
1,000	3.2	5.0	7.1	10.0

強化絶縁の沿面距離は、
表 F.4 に記載されている
基礎絶縁の沿面距離の
2倍とします

- 表 F.4 の値は既存の経験的データに基づいており、大多数のアプリケーションに適しています。ただし、機能絶縁の場合、表 F.4 に記載されていない沿面距離の値の方が適している場合があります
- その他のすべての最終製品については、IEC 60664-1 に準拠して沿面距離を指定します

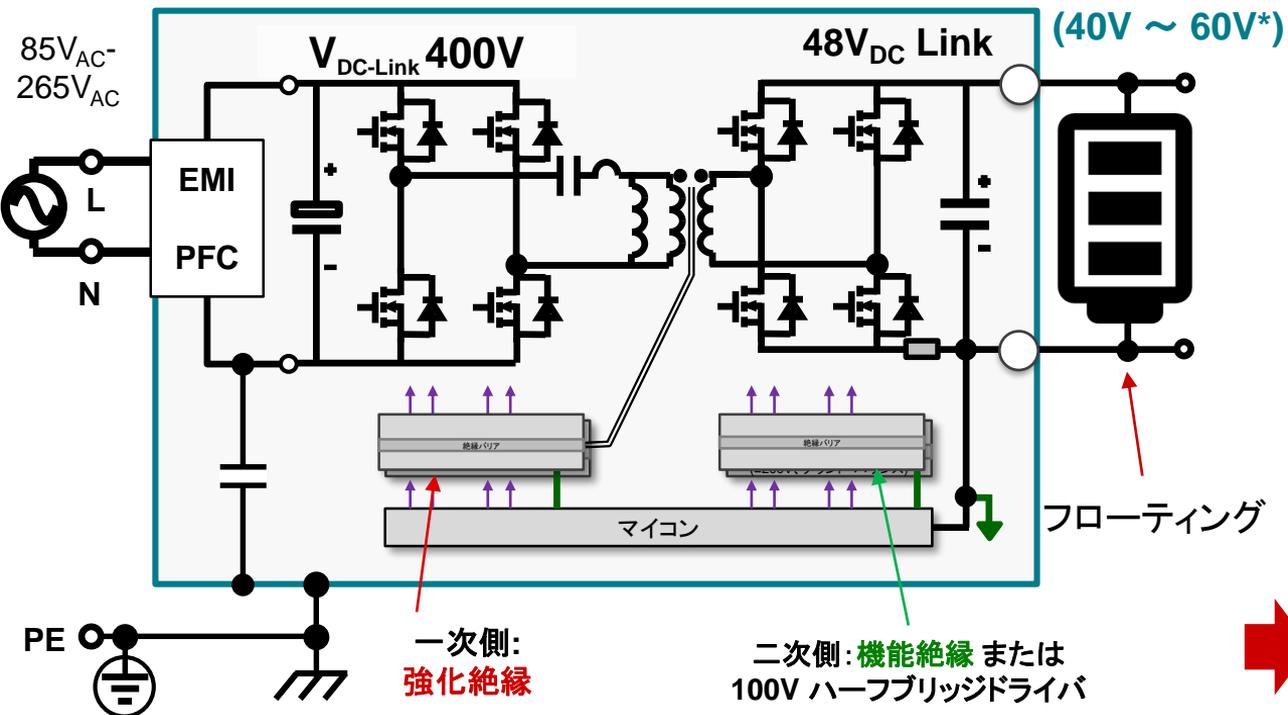
17

*選択する電圧は、機器の最高定格電圧に適しているものとします

**最も近い 2 点間に線形補間を使用できます

事例 1: 通信機器 AC/DC フロントエンド

AC/DC-DC/DC

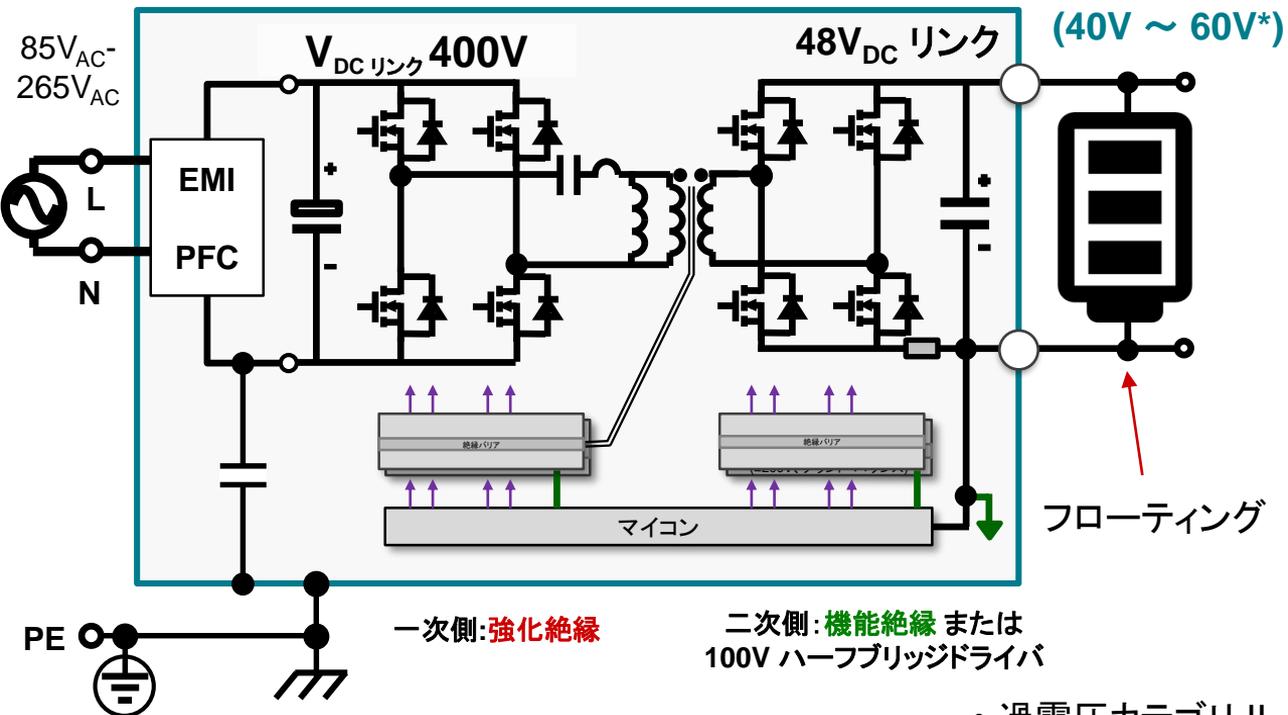


絶縁 グレード	分離された部品	
	機能	SELV
基礎	強化部品	SELV
	1次、ES2、TNV-2、TNV-3、危険電圧	接地 SELV
強化	一次側	非接地の危険電圧
	一次側または危険電圧	非接地 SELV
	ES2、TNV-2、TNV-3	非接地 SELV

*-48V_{DC} 電源システムの電圧範囲は 40.5V_{DC} ~ 57V_{DC} (ETSI EN 300 132-2)

事例 1: 通信機器 AC/DC フロントエンド

AC/DC-DC/DC

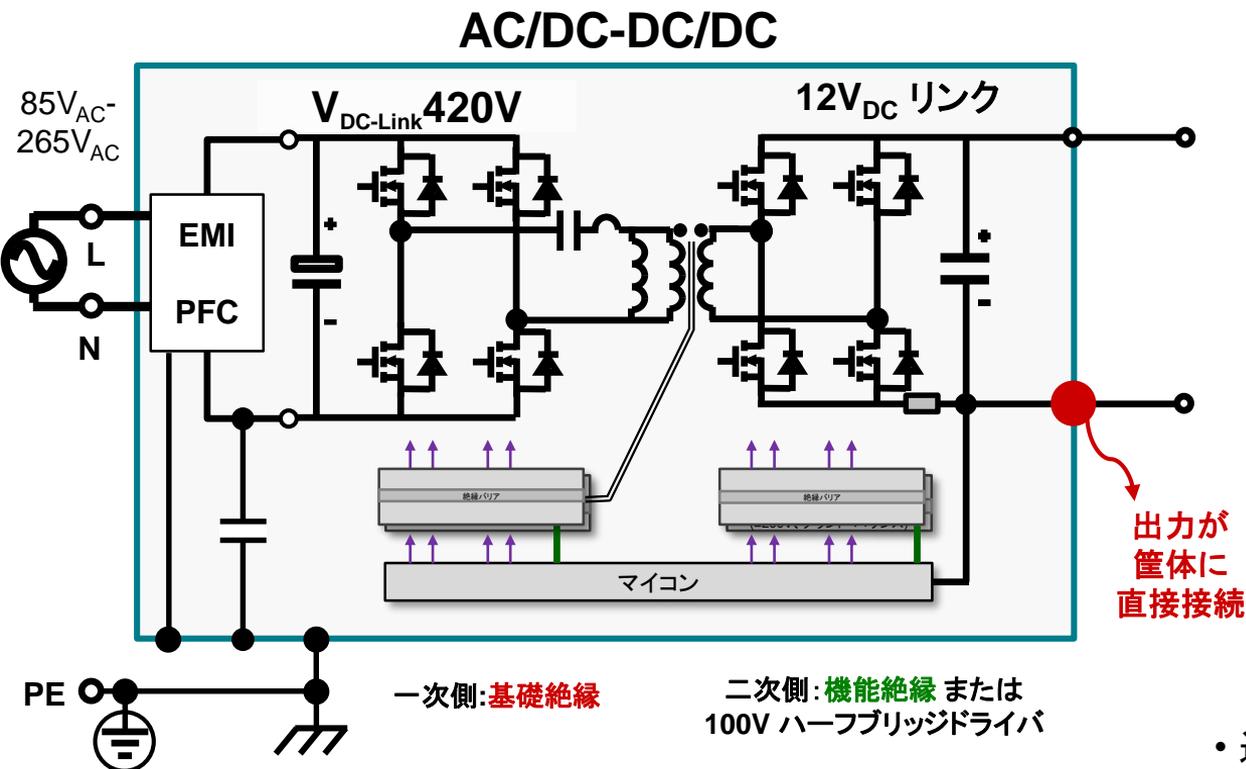


項目	要求
絶縁グレード	強化絶縁
AC 商用電源の過渡電圧	4,000 V
高度5000mでの空間距離	5.7 mm (3.8mm × 1.48)
沿面距離 (材料グループ I)	4.0 mm (2mm × 2)
沿面距離 (材料グループ II)	5.6 mm (2.8mm × 2)
沿面距離 (材料グループ III)	8.0 mm (4.0mm × 2)

- 過電圧カテゴリ II
- 汚染度 2

*-48V_{DC} 電源システムの電圧範囲は 40.5V_{DC} ~ 57V_{DC} (ETSI EN 300 132-2)

事例 2: 12V 出力サーバー

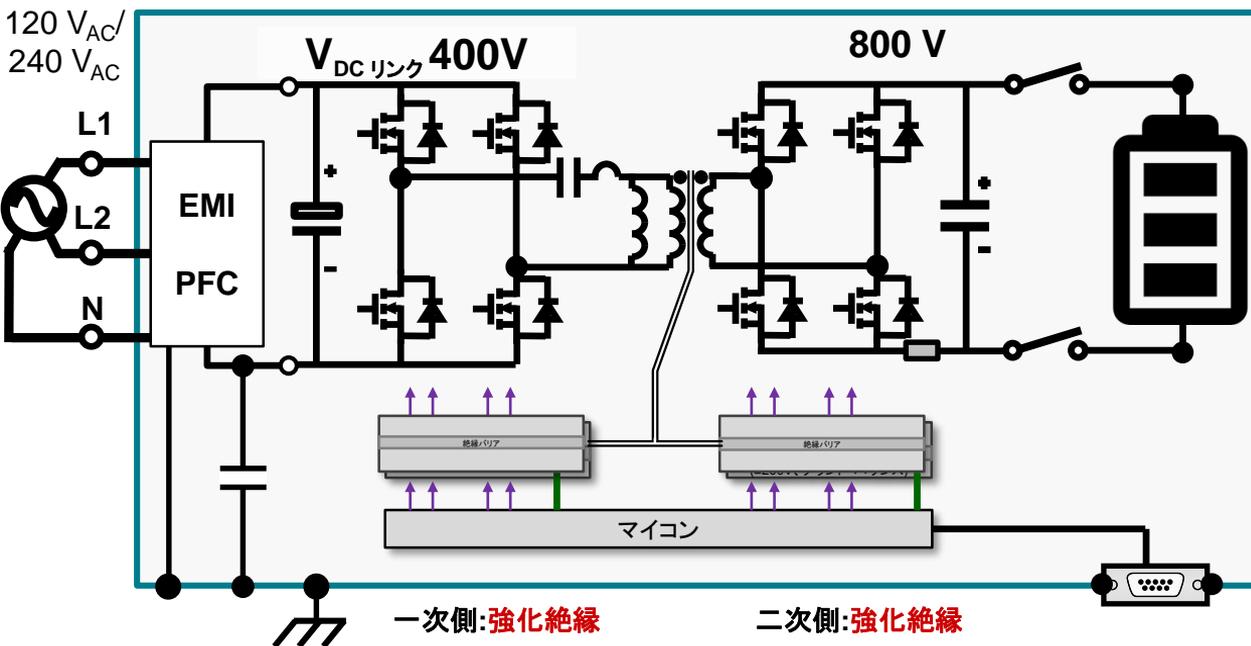


項目	必須
絶縁グレード	基礎絶縁
AC 商用電源の過渡電圧	2,500 V
高度5,000m の空間距離	2.7 mm (1.8mm × 1.48)
沿面距離 (材料グループI)	2 mm
沿面距離 (材料グループII)	2.8 mm
沿面距離 (材料グループIII)	4.0 mm

- 過電圧カテゴリ II
- 汚染度 2

事例 3: 車載充電器

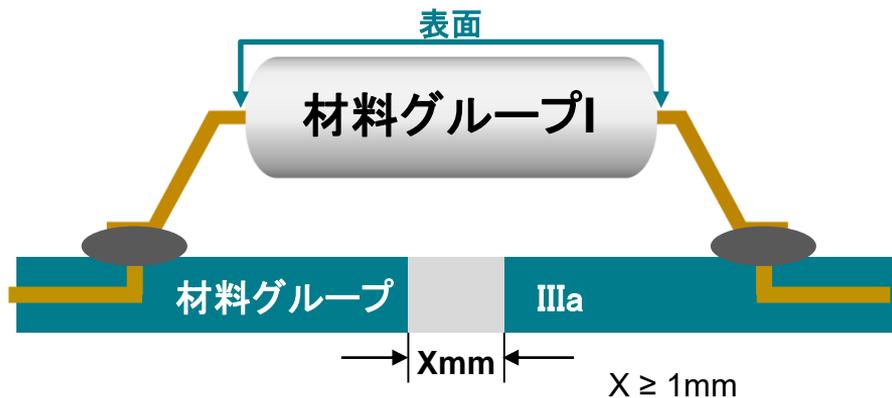
AC/DC-DC/DC



- 過電圧カテゴリ III
- 汚染度 2

項目	要求
絶縁グレード	強化絶縁
AC 商用電源の過電圧	4,000V (米国) 6,000V (欧州中国)
高度5,000mの空間距離	4.5mm または 8.1mm (3 または 5.5mm × 1.48)
沿面距離 (材料グループI) 400V	4.0 mm (2mm × 2)
沿面距離 (材料グループII) 400V	5.6 mm (2.8mm × 2)
沿面距離 (材料グループI) 800V	8.0 mm (4mm × 2)
沿面距離 (材料グループII) 800V	11.2 mm (5.6mm × 2)

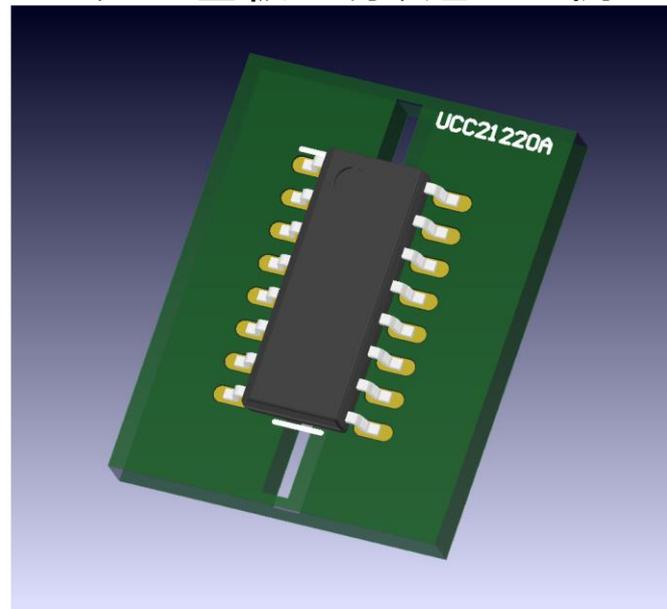
プリント基板の切り込みによる沿面距離の増加



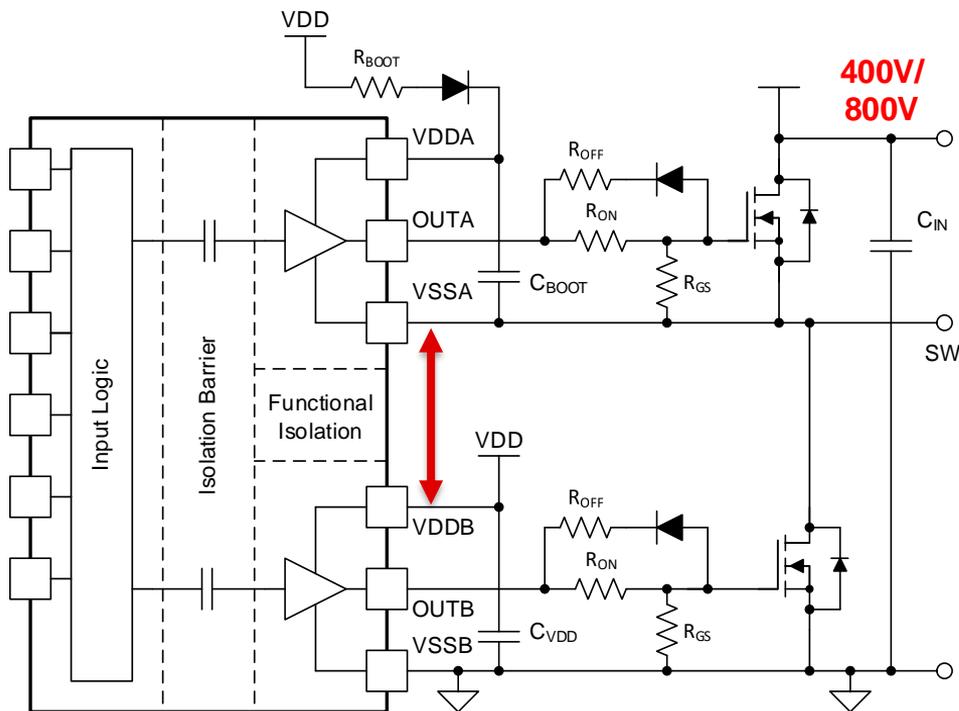
汚染度	距離 × 最小値*
1	0.25 mm
2	1.0 mm
3	1.5 mm

*IEC 60664-1 セクション 6.2 2.0 版

プリント基板の切り込みの例



高電圧パターン間隔:プリント基板

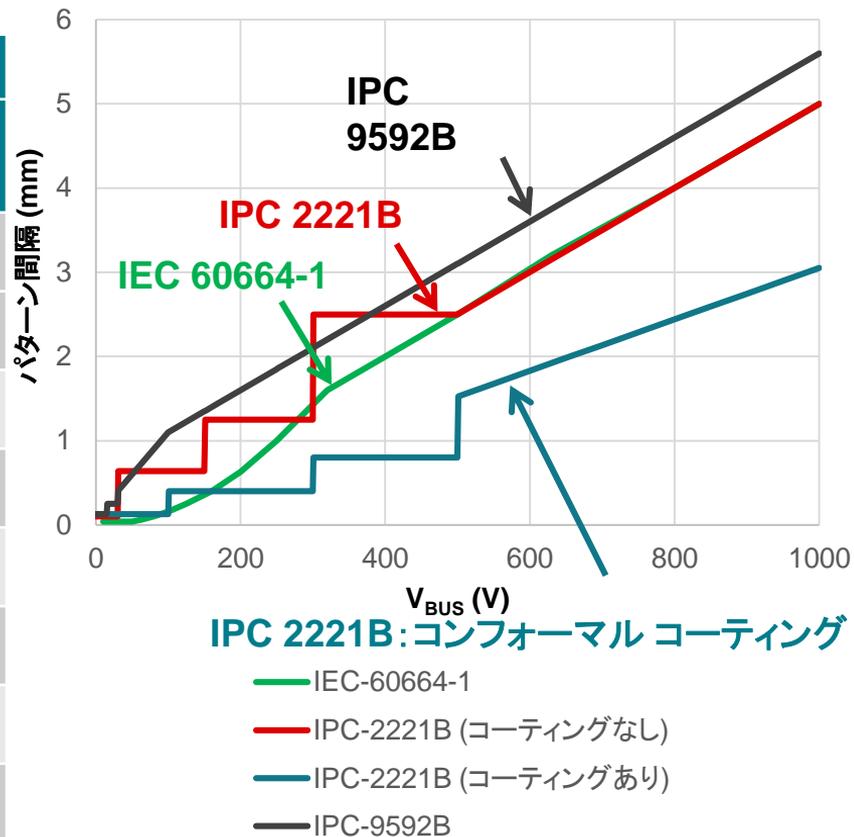


- IEC 60664-1は、トラッキングによって発生する障害を防止する沿面距離に関する指針を示すものです
- IPC-2221『プリント基板設計に関する共通基準』
 - この基準は、環境条件とコンフォーマル (等角) コーティングに基づくプリント基板のパターン間隔に関する広範囲の指針を示すものです
- IPC-9592『コンピュータ/通信産業向け電力変換器に関する新業界規格』
 - 絶縁されていない導体のパターン間隔要件に関する指針を示しています

*UL 796『安全規格:プリント配電板』は、垂直層間間隔に関する指針を示しています

プリント基板の高電圧パターン間隔要件

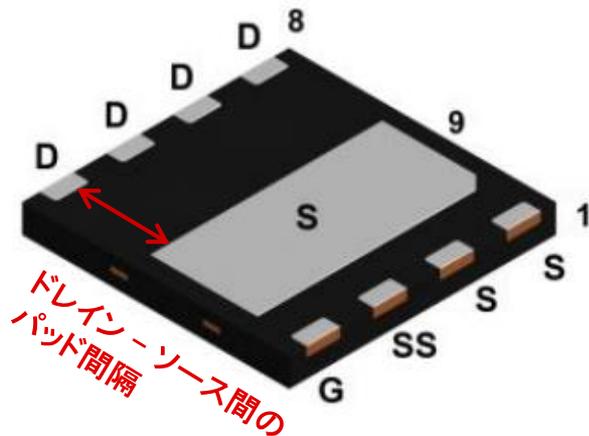
電圧	IEC 60664-1	IPC 9592B $0.6 + V_{PK} \times 0.005$	IPC 2221B	
			コーティングなし	コーティングあり
(V)	(mm)			
20	0.04	0.7	0.1	0.13
32	0.04	0.75	0.64	0.13
63	0.063	0.9	0.64	0.13
125	0.25	1.2	0.64	0.4
400	2	2.6	2.5	0.8
800	4	4.6	4	2.44
1000	5	5.6	5	3.05



半導体の高電圧パッケージの例

- 業界では同じアプリケーションでも不整合が見られる

メーカー	パッケージ	絶対最大定格 (DC)	高電圧パッド間隔
I1	8 × 8 DFN	650 V	2.325 mm
I2	8 × 8 DFN	600 V	2.8 mm
G1	8 × 8 DFN	650 V	2.8 mm
G2	8 × 8 DFN	650 V	2.74 mm
T1	8 × 8 DFN	650 V	2.5mm
T1	TO247-3	650 V	2.7 mm
T1	TO220-3	650 V	1.11 mm
T2	7 × 9 QFN	650 V	2.1 mm



高電圧パターン間隔に関するその他の例外(機能絶縁)

機能絶縁は、高電圧環境、沿面距離と空間距離、
または高電圧間隔で正常動作を実現するために、以下の条件を満たすものとします*

- 前述の沿面距離と空間距離の要件を満たす

または

- 耐電性ルーチン試験 (高電位試験) に耐えることができる
 - ピーク動作電圧または要求インパルス耐電圧によって、耐電性試験の電圧を決定できます
 - 例: 電話または PC のアダプタは、高電位試験で 1kV/1mm を耐えることができる

*IEC 60664-1 5.2.2.1 および 5.1.3.3、IEC 60950-1 5.3.4、IEC 62368-1 B.4.4 の機能絶縁の説明に基づきます

まとめ

- 重要な用語の定義を確認し、各パラメータが沿面距離と空間距離の決定に与える影響と実践的な例を列挙
- 沿面距離と空間距離を決定する2つの方法(絶縁の安全性と高電圧プリント基板パターン間隔)を要約
- 様々な絶縁グレードとその判定方法を解説
- 絶縁システムの沿面距離と空間距離およびプリント基板の高電圧パターン間隔を決定するフローチャートと、IEC 60664-1のフローチャートで使用されているレビュー済みの重要な表を提示
- 3つの事例(通信機器、サーバー、車載充電器)について説明
- IPC規格とIEC規格の高電圧パターン間隔の違いを要約して比較
- 沿面距離と空間距離が要求を満たさない場合の機能絶縁に関する例外を提示

参照情報

- IEC 60664-1 低電圧供給システム内の機器の絶縁協調 – 第 1 部:原則、要件、および試験
- IEC 62368-1 オーディオ / ビデオ、情報および通信技術機器 – 第 1 部:安全性要件
- IEC 60950-1 情報技術機器 – 安全性 – 第 1 部:一般要件
- IEC 62109-1 太陽光発電システムで使用される電力コンバータの安全性 – 第 1 部:一般要件
- IEC 61800-5-1 調整可能な速度の電力駆動システム – 第 5-1 部:安全性要件 – 電気、熱、およびエネルギー
- IPC 2221B プリント基板設計に関する共通基準
- IPC 9592B コンピュータおよび通信産業向け電力変換器に関する要件



© Copyright 2024 Texas Instruments Incorporated. All rights reserved.

This material is provided strictly “as-is,” for informational purposes only, and without any warranty.
Use of this material is subject to TI’s **Terms of Use**, viewable at [TI.com](https://www.ti.com)

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、または [ti.com](#) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated