

CapTIvate™テクノロジーを搭載したMSP430™マイコンによる、 金属を通した静電容量式タッチ

Ling Zhu

MSP430 Applications

ABSTRACT

MSP430™マイコン (MCU) とテキサス・インスツルメンツの CapTIvate™テクノロジーにより、高い信頼性とノイズ耐性を持つ高感度の静電容量式タッチ・ソリューションを最小の消費電力で実現できます。

このアプリケーション・レポートでは、CapTIvateテクノロジーにより金属オーバーレイを通した静電容量式タッチを実現する新しいタッチ・アプリケーションについて紹介します。高い感度と分解能を実現するTIの技法により、金属平面内の微細な動きを検知して処理し、特定のボタンがどのくらい強く押されたかを判定することができます。このアプローチでは、ビル・セキュリティ・システム、各種電気製品、消費者向け電子機器など多くのアプリケーションで一般的に見られる既存の金属表面を再利用できます。

このドキュメントでは、TIのCapTIvateテクノロジーに基づく金属タッチ技法の基本原理について説明し、CapTIvateテクノロジーを搭載したMSP430マイコンを使用して金属パネル上のタッチ機能を設計する方法のガイドラインを提供します。また、アプリケーションとノイズ耐性に関する考慮事項も示します。

このアプリケーション・レポートでは、読者が基本的な静電容量式タッチの原理、CapTIvateテクノロジー、およびMSP430マイコン・アーキテクチャについて十分に習熟しているものと想定しています。

CapTIvateテクノロジーを搭載したMSPマイコンの詳細については、[CapTIvateテクノロジー・ガイド](#)を参照してください。

目次

1	概要	4
1.1	CapTlvate静電容量式センシング・テクノロジーを搭載したMSP430マイコン	4
1.2	金属を通したタッチ・アプリケーションに利用するテクノロジー	5
2	動作原理	6
3	システムの実装	7
3.1	積層構造	7
3.2	設計上の考慮事項	10
4	CapTlvateテクノロジー	17
4.1	MSP430FR2633マイコン	17
4.2	CapTlvateデザイン・センター	18
4.3	たわみツール	19
5	金属タッチのアプリケーション	20
5.1	ボタン・アプリケーション	20
5.2	ホイール・アプリケーション	22
5.3	スライダ・アプリケーション	24
6	ノイズ耐性に関する考慮事項	24
6.1	推奨事項	25
6.2	テスト結果	26
7	リファレンス・デザイン	26
7.1	CAPTIVATE-METAL	26
8	参考資料	30

List of Figures

1	金属タッチ・アプリケーション	4
2	CapTlvateセンシング・テクノロジー	5
3	平行板コンデンサの式	6
4	静電容量式タッチの理論	6
5	金属タッチの断面図(未タッチ時)	6
6	ユーザーのタッチによるたわみ	7
7	金属タッチの積層構造	7
8	導電層	8
9	FR4スペーサー	8
10	PCB上の電極	9
11	金属タッチの動作	10
12	ひずみと応力の関係	11
13	静電容量とスペーサーの厚さの関係	12
14	静電容量の差とたわみの関係	12
15	FR4製の単体スペーサー	13
16	金属オーバーレイの下側にスペーサーを実装	13
17	PCBIにスペーサーを実装	13
18	電極の形状	14
19	下層のハッチングされたグラウンド銅箔(青)	14
20	弾性接着剤による問題	15
21	機械的構造の剛性が不十分	15
22	機械的構造の支持体	15
23	ネジによる構造の強化	15
24	MSP430FR2633IRHBのピン配置	17
25	CapTlvateデザイン・センター	18
26	金属タッチたわみツール	19
27	金属ボタン・アプリケーション	20

28	タッチ応答	20
29	金属タッチ・ボタンのブロック図	20
30	金属ホイールの積層構造	22
31	金属ホイールのタッチ応答	22
32	金属ホイール・センサのパターン	23
33	ヘッドホンの金属ホイール	23
34	金属ホイールのブロック図	23
35	金属ホイールのレイアウト	24
36	金属タッチ・スライダのブロック図	24
37	Mylarによる電極保護	25
38	CAPTIVATE-METAL	26
39	CAPTIVATE-METALの電極設計	27
40	CAPTIVATE-METALの積層構造	27
41	複数タッチのデモ	28
42	タッチ強度デモ1	29
43	タッチ強度デモ2	29

List of Tables

1	CapTlvateテクノロジーとLDCの比較	5
2	一般的な素材の特性	11
3	金属タッチのEMCテスト結果	26

商標

MSP430, CapTlvate are trademarks of Texas Instruments.

3M is a trademark of 3M.

Mylar is a registered trademark of DuPont Teijin Films.

Perspex is a registered trademark of Lucite International.

すべての商標および登録商標はそれぞれの所有者に帰属します。

1 概要

現在、多くの産業用、車載用、消費者向けの最終機器システムや製品で、堅牢かつ洗練された外観を得るために金属仕上げが採用されています。しかし、金属表面上にヒューマン・マシン・インターフェイス (HMI) を実装することは、機械的なボタンを設けるための切削や穴あけ加工を必要とするため、困難が伴います。機械的なボタンは、設計の洗練された外観を損なうだけでなく、湿気やホコリ、汚れなどの条件で不具合につながるおそれもあります。

金属を通したタッチ制御を実現できれば、防水、防塵で磨耗に強く、ノイズへの耐性も高い設計が可能になります。また、手袋による操作やタッチの強弱検出などの柔軟性も得られます。金属を通した圧力タッチは、ビル・セキュリティ・システム、電気製品、産業用アプリケーション、個人用電子機器などに非常に適しています。

TIの誘導式および静電容量式タッチ・テクノロジーは、ボタン、スライダ、ホイールなどのHMIインターフェイスを金属面上に穴を開けずに追加できる産業用設計技術を提供します。センサを金属オーバーレイの下側に搭載することで、完全に密閉され、汚れや水分への耐性が高い設計が得られます。

TIでは金属を通したタッチを実現する2種類のソリューションを提供しています。1つはCapTIvateタッチ・テクノロジーを搭載したMSP430マイコンであり、もう1つはインダクタンス/デジタル・コンバータ (LDCファミリ) です。このアプリケーション・レポートでは、CapTIvateタッチ・テクノロジーを搭載したMSP430マイコンによる金属タッチ機能の実装について、いくつかの側面から説明します。



図 1. 金属タッチ・アプリケーション

1.1 CapTIvate静電容量式センシング・テクノロジーを搭載したMSP430マイコン

CapTIvateテクノロジーは、MSP430マイコンに内蔵された、静電容量をデジタル値に変換するペリフェラルです。容量の変化に対して高い感度を持つため、CapTIvateテクノロジーは金属オーバーレイもサポートし、その場合は容量の変化から金属オーバーレイのたわみを測定します。

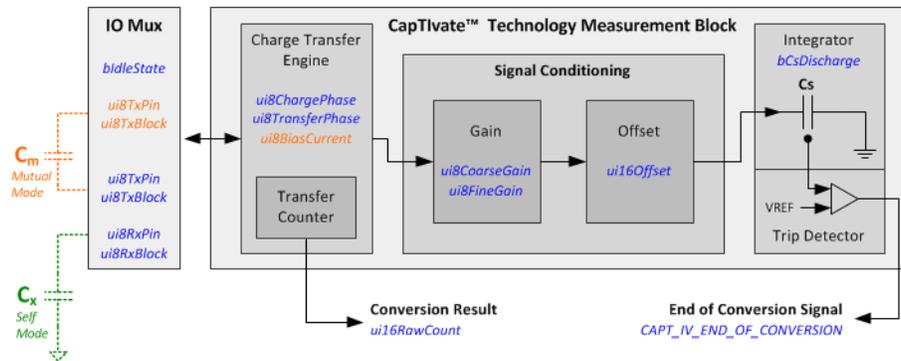


図 2. CapTlvateセンシング・テクノロジー

CapTlvateタッチ・テクノロジーを搭載したMSP430マイコンの主な特長としては、FRAM不揮発性メモリによるプログラミング、3.5µA未満の平均消費電流、伝導ノイズや水分に対する高い堅牢性、そして使いやすいドラッグ・アンド・ドロップ・ツールによりボタンを5分以内で調整できることなどが挙げられます。統合型マイコンとして、電気製品、産業用途、セキュリティ・パネル、消費者向け電子機器など、幅広い範囲のアプリケーションに対応します。

容量の変化に対する高い感度、低消費電力設計、高いノイズ耐性、およびFRAM内蔵のMSP430マイコン・アーキテクチャにより、金属を通したCapTlvateタッチ・テクノロジーを使用すれば、ボタン、スライダ、ホイールなどのHMIインターフェイスを金属表面に穴を開けることなく実装できます。

1.2 金属を通したタッチ・アプリケーションに利用するテクノロジー

表 1 に、どのTIテクノロジーをどのような場合に使用するかガイドラインを示しています。テクノロジーの選択は、設計目標によって大きく左右されます。

表 1. CapTlvateテクノロジーとLDCの比較

	CapTlvateテクノロジーを搭載したMSP430マイコン	LDC誘導式センシング	検討
ファミリ	MSP430FR25xx/FR26xx	LDC211x, LDC131x, LDC161x, LDC0851	
ボタン数	1~16	1~8	多数: CapTlvate
スライダとホイール	○	×	CapTlvateマイコン
統合型マイコン	○	×	CapTlvateマイコン
電力	2µA未満(平均)	約26µA(平均)	低消費電力: CapTlvate
温度	-40°C~85°C	-40°C~125°C	85°C以上: LDC
リンク	ti.com/captivate	ti.com/lcd	

フル機能のマイコンとともにボタンまたはスライダやホイールが必要な場合は、CapTlvateテクノロジーの使用を検討します。低消費電力設計の場合は、CapTlvateテクノロジーを搭載したMSP430マイコンを検討します。125°Cで動作するQ100認定製品を求めている場合は、LDC製品を検討する必要があります。

このドキュメントでは、CapTlvateテクノロジー搭載のMSP430マイコンを使用して金属タッチを実装する静電容量式アプローチについて詳しく説明します。

2 動作原理

図 3 は、単純な平行板コンデンサの静電容量について図解したものです。

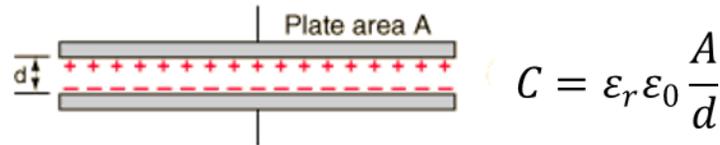


図 3. 平行板コンデンサの式

ここで、

Cは静電容量(単位:ファラッド)

Aは2枚の板が重なっている部分の面積(単位:平方メートル)

ϵ_r は板の間にある材質の比誘電率(真空の場合、 $\epsilon_r = 1$)

ϵ_0 は電気的定数($\epsilon_0 \approx 8.854 \times 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$)

dは板間の距離(単位:メートル)

一般的な静電容量式タッチ・システムでは、センサ・パッドが平行板コンデンサの一方の側を形成し、ユーザーの指がもう一方の側となります(図 4を参照)。センサ・パッドに指を近づけると、指とセンサ・パッドとの間の距離(d)が減少するため、(平行板コンデンサの式に従って)静電容量(C)が増加します。静電気放電(ESD)と絶縁に関する理由により、センサ・パッドの上には非導電性のフロント・パネルを使用するのが標準的な手法です。

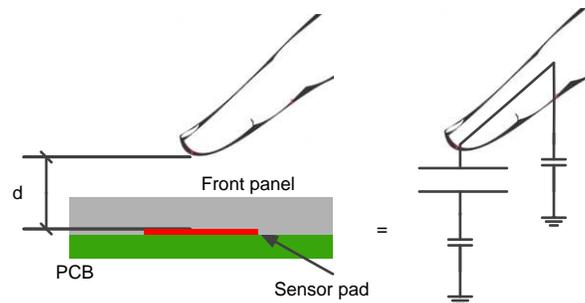


図 4. 静電容量式タッチの理論

CapTIvateテクノロジーに基づく静電容量式金属タッチの動作原理も、一般的な静電容量式タッチと同様です。平行板コンデンサの概念がやはり適用され、2枚の板間の静電容量の変化がセンサによって測定されます。金属タッチでの違いは、指の代わりに導電性のオーバーレイ素材を使用し、それを静電容量式タッチ・センサの上に浮かせて固定することで、測定対象コンデンサのもう一方の板を形成します。スペーサー層を設けることで、導電性オーバーレイとセンサ電極の間に空隙が形成されます。図 5に、標準的な金属オーバーレイを通したタッチ構造の断面図を示します。

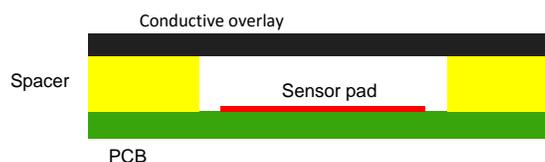


図 5. 金属タッチの断面図(未タッチ時)

センサ電極の上にある導電性の金属にユーザーが力を加えると、ごくわずかの局所的なひずみが生じます。このひずみにより、測定対象コンデンサの2枚の板間の距離 (d) が変化します (図 6を参照)。導電性オーバーレイは、固定された電位に保持するために接地する必要があります。電位が固定されているため、人体の寄生容量が測定に影響を与えることはなく、板間の距離 (d) が唯一の測定変数となります。このアーキテクチャにより、ノイズをグラウンドに逃がすことで同相伝導ノイズを防止でき、水分がタッチに影響することはありません。測定値は機械的なひずみを表すので、測定する変化の大きさは、ユーザーがセンサへのタッチ時にオーバーレイに加えた圧力の関数となります。そのため、ユーザーが手袋をしていてもタッチ・ボタンの性能や信頼性に影響はありません。

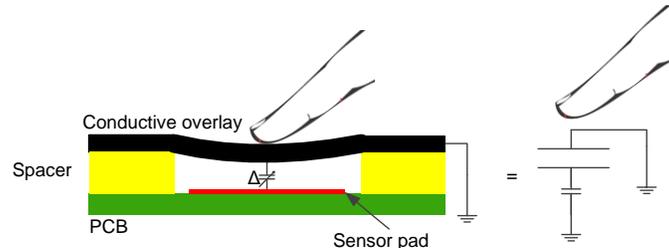


図 6. ユーザーのタッチによるたわみ

3 システムの実装

金属を通したタッチ・システムを最適な性能で構築するためには、以下の点を考慮する必要があります。

- 機械的設計: 機械的な構造は静電容量式金属タッチ設計で非常に重要な役割を担います。ボタンの数、サイズ、配置に加え、ターゲットとセンサ間の最適な間隔もシステムの応答に影響を与えます。
- 組み立て: 最適な性能を達成し誤作動を防ぐようなシステムの組み立て
- 金属の接地: 金属層が固定電位に維持されるようにする金属接地のベスト・プラクティス
- 他の考慮事項: 消費電力、長期的なドリフトや恒久的な機械的变化に対して自動的に調整を行う検出アルゴリズム、およびノイズ耐性

3.1 積層構造

一般に、金属を通したタッチ・システムには3つの層があります。最上層は導電性オーバーレイ素材であり、通常は金属板です。中間層はスペーサーであり、上の導電性オーバーレイが所定の位置でたわむようセンサ電極上に穴が開けられています。最下層はPCBであり、センサ電極が銅箔として実装されています。

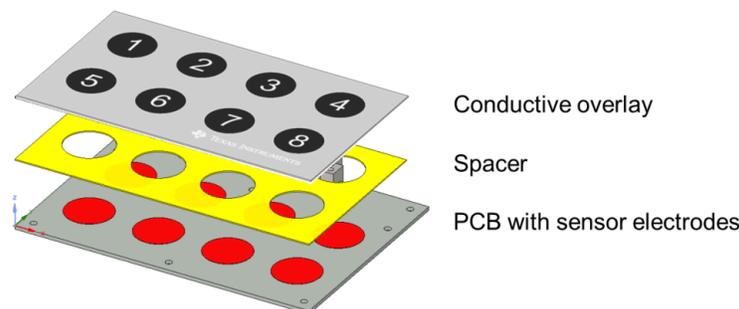


図 7. 金属タッチの積層構造

3.1.1 導電層

導電層は、防水、防塵、耐摩耗性を提供します。導電層の標準的な材質は、アルミニウムまたはステンレス・スチールです。金属オーバーレイの表面には、センサの位置をユーザーに示すためのグラフィックスがシルクスクリーンまたは印刷によって示されています。

導電性オーバーレイは固定電位に保持する必要があります。オーバーレイは、固定電位に保たれるよう接地することを推奨します。オーバーレイをフローティングにすると、堅牢性とノイズ耐性が大きく低下します。



図 8. 導電層

3.1.2 スペーサー層

スペーサー層は、導電性オーバーレイとセンシング電極との間に空隙を設けるために存在します。一般に、これは絶縁体のシートであり、PCB層上のセンサ電極に合わせて穴が開けられています。スペーサーには、圧縮されない堅牢な素材を使用する必要があります。推奨される材質は、FR4、Perspex®、または非圧縮性フィルム(図 9を参照)などです。選択した素材は、ユーザーがオーバーレイを押したときにオーバーレイとともに変形してはなりません。

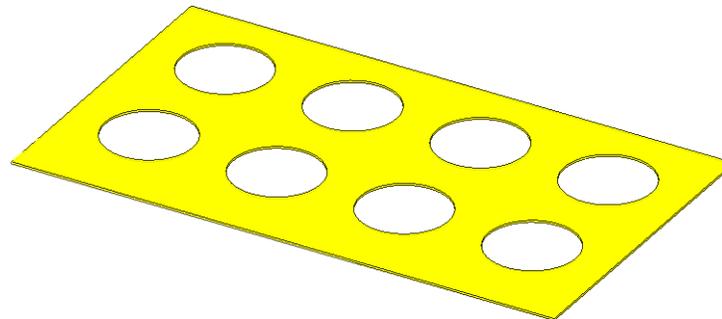


図 9. FR4スペーサー

3.1.3 PCB層

PCB上のセンサ電極は、接地された導電性オーバーレイとともにコンデンサを形成します。図 10に示すように、センサ電極は一般にFR4製PCB上の銅箔により構成されます。

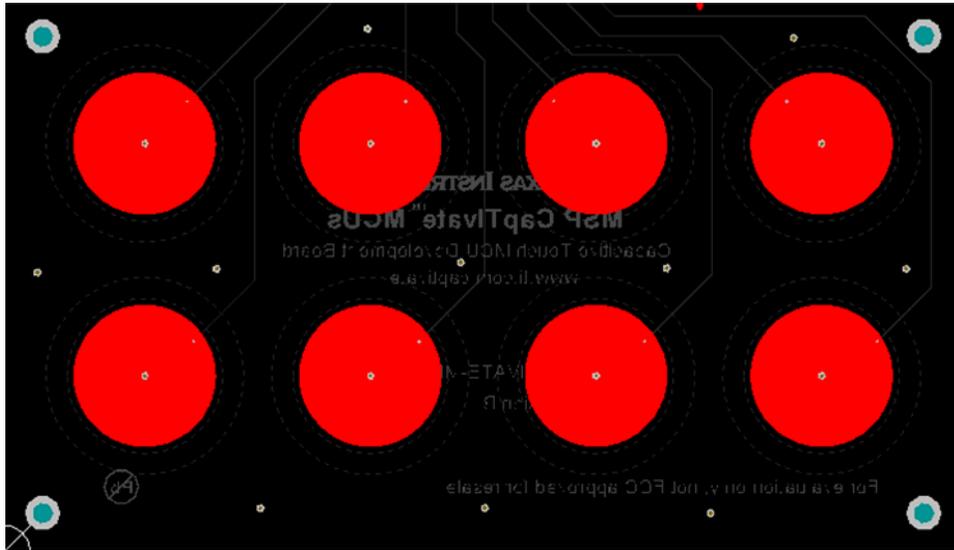


図 10. PCB上の電極

3.2 設計上の考慮事項

ここでは、金属を通したタッチの実装に向けた設計上の考慮事項に加え、推奨事項や設計ガイドを提供します。

図 11 に、金属タッチの動作図を示します。

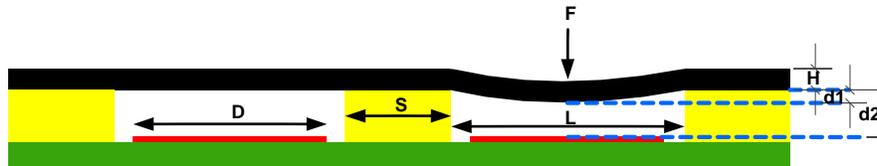


図 11. 金属タッチの動作

Dは、電極の直径です。

Sは、ボタン間の間隔です。

Lは、スペーサーの穴の直径です。

Hは、導電性オーバーレイの厚さです。

Fは、導電性オーバーレイに加えられる力です。

d1は、加えられた力によるオーバーレイのたわみです。

d2は、スペーサーの厚さです。

図から、タッチによる容量の変化はパラメータ**d1**と**d2**に依存します。

d1は、導電性オーバーレイの材質と厚さによって決まります。

d2は、スペーサーの厚さによって決まります。

以降の節で、すべてのパラメータについて詳しく説明します。たわみツール(4.3を参照)が、適切な設計パラメータの選択に役立ちます。

3.2.1 導電性オーバーレイ

適切に設計すれば、ユーザーが導電性オーバーレイ上の所定の領域を押したときに、測定可能でかつ非永続的なたわみが生じます。

- 測定可能とは、オーバーレイ素材がユーザーのタッチによってたわむよう十分な柔らかさを持つ必要があることを意味します。これは、ヤング率と呼ばれる素材特性と関連があります。ヤング率は素材の形状には依存しません。これは力とひずみとの関係を定義するものです。
- 非永続的とは、オーバーレイ素材が高い降伏強度を持つ必要があることを意味します。

ヤング率と降伏強度に関する詳細については、https://en.wikipedia.org/wiki/Young%27s_modulusを参照してください。

図 12 に、ひずみと応力の関係の例を示します。

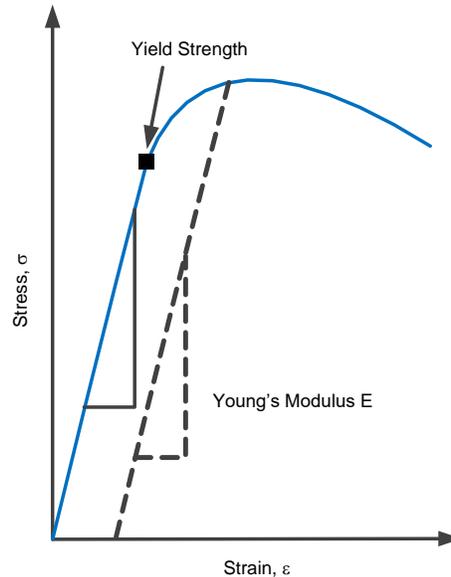


図 12. ひずみと応力の関係

表 2 に、一般的な導電性素材のヤング率と降伏強度を示します。

表 2. 一般的な素材の特性

素材	ヤング率、E (GPa) ⁽¹⁾	降伏強度、 σ_y (MPa)
アルミニウム	69	95
スチール	200	250~165
銅	100~128	70
チタン	105~120	73

⁽¹⁾ Pa = 1 N/m

ヤング率と降伏強度のバランスを取ることで、ボタンのサイズ、最小作動力、ターゲットに使用する素材の種類の間でトレードオフが決定されます。

民生用および産業用システムで最も一般的な金属素材はステンレス・スチールとアルミニウムです。CapTIvateテクノロジーの高い感度と分解能により、金属タッチ・アプリケーションにはどちらの素材も適しています。CapTIvateテクノロジーに基づくソリューションでは、マイクロメートル単位のたわみを検出できます。オーバーレイ素材の降伏強度内であれば、たわみ (d1) が大きいほど、タッチに対する電極の感度が高くなります。素材のパラメータに従ってオーバーレイのたわみを計算するには、たわみツール (4.3を参照) を使用できます。

導電性オーバーレイは、アースまたは回路の共通グランドに電氣的に接続されている必要があります。

3.2.2 スペーサー

スペーサーに関する2つの主な考慮事項は、厚さと使用素材です。

スペーサーの厚さ(d2)によって、平行板コンデンサの基本静電容量が決まります。図 13に、L = 20mmのときの静電容量とスペーサーの厚さの関係を示します。

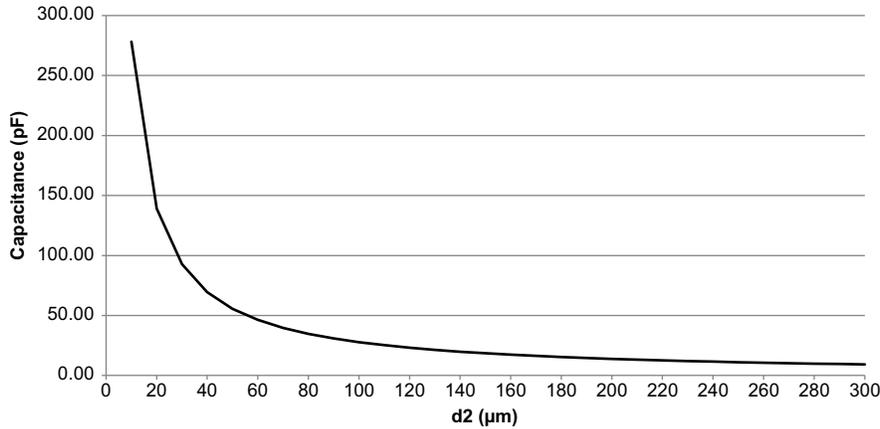


図 13. 静電容量とスペーサーの厚さの関係

静電容量式のタッチ検出は、センサがタッチされたときとされていないときの容量の差を測定することで行われます。差が大きいほど、性能は高くなります。図 14に、スペーサーの厚さを一定にしたときの静電容量の差とたわみの関係を示します。

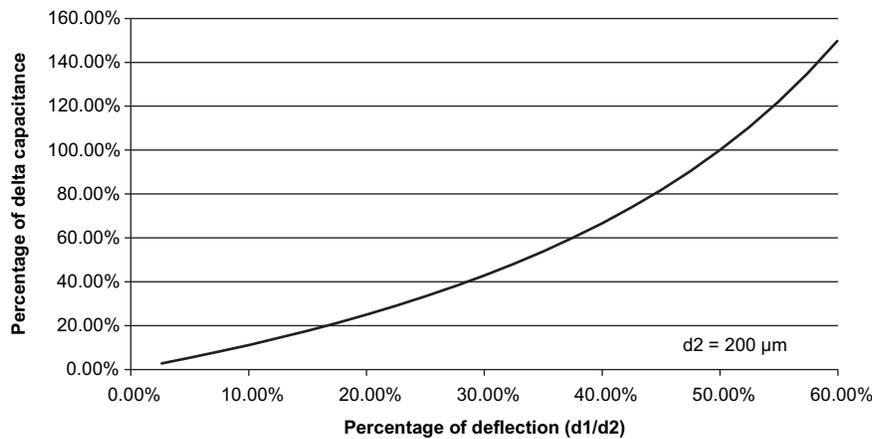


図 14. 静電容量の差とたわみの関係

感度の高いタッチ・センサを作成するには、上層の素材に必要なたわみがスペーサーの厚さの5%以上となる必要があります。寄生容量の存在により、静電容量の変化とたわみとの関係は直線的にはなりません。理想的には、たわみが大きいほど、SNRが高くなります。

使いやすくするために、ボタンはあまり小さくはできません。スペーサー層の穴のサイズは、人間の指の大きさである10mm以上とすることを推奨します。また、穴のサイズはセンサ・パッドのサイズよりも大きくします。それにより、センサ・パッドに向かってたわむ領域が増大し、静電容量の変化量も大きくなります。通常は、L = D + 2mm以上とします。

スペーサーには、圧縮されない堅牢な素材を使用する必要があります。選択した素材は、ユーザーがオーバーレイを押したときにオーバーレイとともに変形してはなりません。

金属タッチ設計のスペーサー層を実装するには3つの方法があります。

1. FR4または他の堅牢な素材で作られた単純な単体スペーサー (図 15を参照)

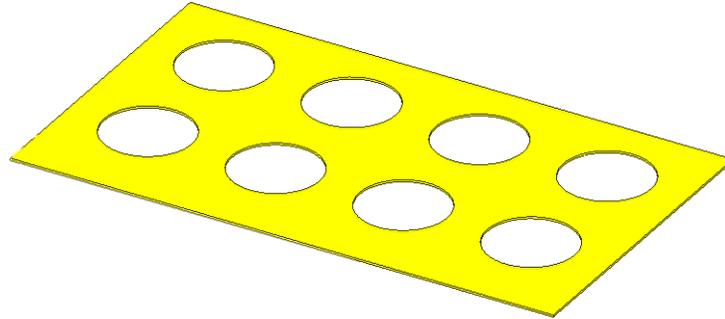


図 15. FR4製の単体スペーサー

2. スペーサーを導電層と一体化し、金属オーバーレイの下側に止まり穴をエッチングすることで形成 (図 16を参照)

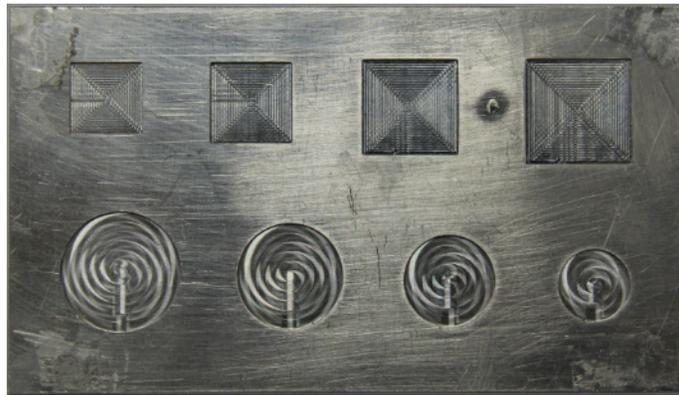


図 16. 金属オーバーレイの下側にスペーサーを実装

3. スペーサーをPCBと一体化し、PCB製造時にプリプレグとして形成 (図 17を参照)

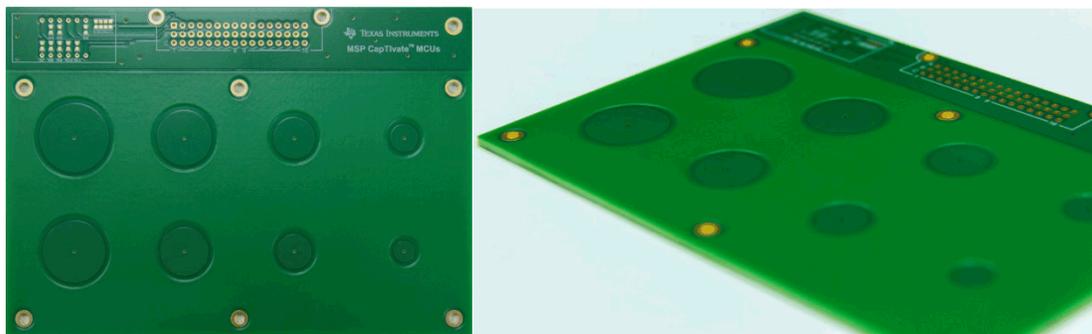


図 17. PCBにスペーサーを実装

推奨されるスペーサーの厚さは0.1~0.5mmです。0.1mmの厚さは、ボタンの感度とバランスを取りながら金属のたわみを得られる最適な値であり、スペーサーが0.5mmを超えるとボタンの感度は急速に低下します。

このアプリケーション・レポートには、作動力、オーバーレイとスペーサーの厚さ、センサのサイズなど、性能に影響を与える式を計算するスプレッドシートのリンクを別途用意しております。

3.2.3 センサの設計

センサ・パッド(電極とも呼ばれます)は、一般にFR4製のPCB上に設けられた銅箔から構成されます。

サイズと形状

平行板コンデンサの式に従い、センサ・パッドのサイズによって平行板コンデンサの面積が決まります。推奨されるセンサ・パッドの面積は、ほぼ人間の指のサイズである 100mm^2 以上です。パッドが大きいほど、感度も高くなります。推奨されるセンサ・パッドの形状は、円形または正方形です。

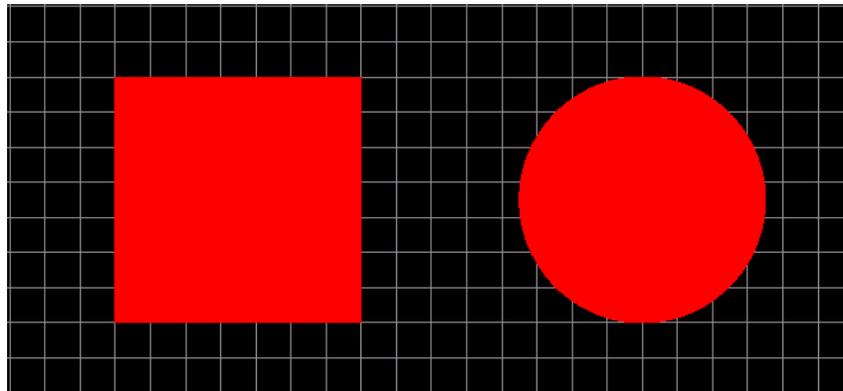


図 18. 電極の形状

ボタン間の間隔

センサ・パッド間の間隔(S)は、1つのボタンに加えられた力が隣接したボタンに影響を与えないよう設計する必要があります。ボタン間の間隔は一般にセンサ・パッドの直径の50%以上とすることで、十分な分離が得られます。

グラウンドのレイアウト

ボタンの下層(青色)のグラウンド・プレーンは、ノイズ耐性の向上およびユーザーが下層周辺をタッチしたときの誤作動防止に役立ちますが、電極の感度にも影響を与えます。ソリッドなグラウンド銅箔の代わりにハッチングされた銅箔を使用することを推奨します(図 19を参照)。これにより面積が減少し、結果として寄生容量も小さくなります。通常は25%のハッチングで十分ですが、この割合を増やしてノイズ耐性を高めたり、減らして感度を高めることもできます。

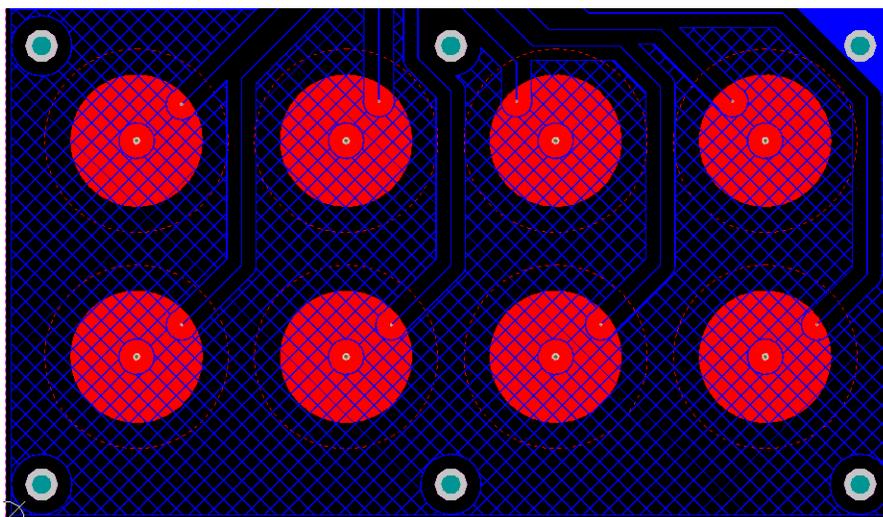


図 19. 下層のハッチングされたグラウンド銅箔(青)

3.2.4 組み立て

各層を互いに結合するためには接着剤を使用しますが、これは機械的強度の向上にも重要な役割を担います。

ボタン間のクロストークを避けるため、金属板とPCBの接着は強固に行う必要があります。恒久的な接着のためには、弾力のない接着剤を使用するのが最善です。ボタンに力が加えられたとき、最上層が硬すぎる場合や接着剤が弾性であった場合、隣接するボタンのオーバーレイが浮き上がる可能性があります(図 20を参照)。

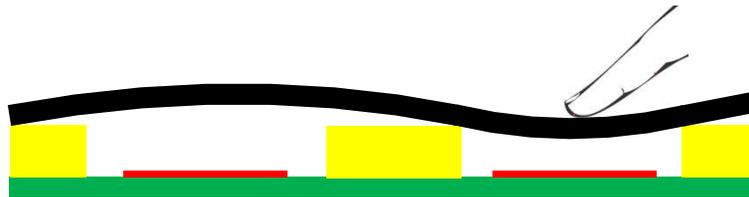


図 20. 弾性接着剤による問題

ほとんどのアプリケーションでは、システムの機械的構造の剛性が不十分な場合、ユーザーによって押されたときに構造全体が下方にたわみます(図 21を参照)。



図 21. 機械的構造の剛性が不十分

そのため、スペース層に対してPCBの位置が均一に維持されるよう下側に支持体を配置することを強く推奨します(図 22を参照)。

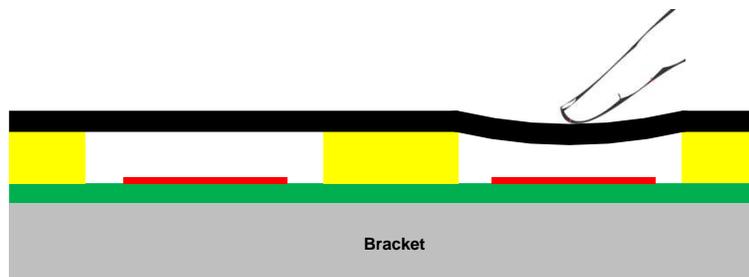


図 22. 機械的構造の支持体

構造の強化にはネジを使用する方法もあります。導電性のネジを使用して、オーバーレイを回路の共通グランドに接地することもできます(図 23を参照)。またこれらは設置目的としても使用できます。

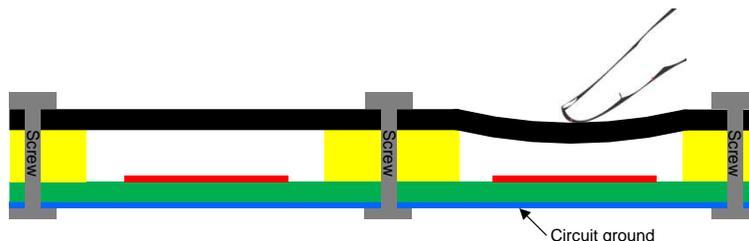


図 23. ネジによる構造の強化

3.2.5 ソフトウェア

金属オーバーレイのためのCapTIvateテクノロジーのソフトウェア開発は、通常の静電容量式タッチの場合とまったく同じです。

TIでは、CapTIvateテクノロジー搭載MSP430マイコンを使用した開発プロセスの短縮に役立つ、CapTIvateソフトウェア・ライブラリを提供しています。

このライブラリには、以下の機能があります。

- CapTIvateペリフェラル機能のハードウェア抽象化
- 測定や処理の完了時に単純なコールバック通知を行う、ボタン、スライダ、ホイール、近接センサの処理
- 使いやすい単純な上位APIに対応したユーザー・インターフェイス管理
- ノイズ耐性を向上させる電磁環境適合性機能
- MSP430マイコンをチューニング時にCapTIvateデザイン・センターに接続したり、アプリケーションでホスト・プロセッサに接続したりするための通信インフラストラクチャ

すべてのソース・コードはCapTIvateデザイン・センターによって生成できます(4.2を参照)。これには、長期的なドリフトや恒久的な機械的変化に対して自動的に調整を行うためのノイズ耐性アルゴリズムおよび検出アルゴリズムも含まれます。

4 CapTIvateテクノロジー

CapTIvateテクノロジーは、設計プロセスの進化において次の大きな一歩となる静電容量式ユーザー・インターフェイス設計エコシステムであり、静電容量測定技術、設計用GUI、静電容量式タッチ・ソフトウェア・ライブラリ、およびハードウェア開発プラットフォームから構成されています。

詳細については、“[Getting Started With MSP MCUs With CapTIvate™ Technology](#)”および<http://www.ti.com/captivate>を参照してください。

4.1 MSP430FR2633マイコン

MSP430FR263xおよびMSP430FR253xマイコンは、FRAMベースの超低消費電力MSP430マイコンであり、ボタン、スライダ、ホイール、近接アプリケーション向けにCapTIvateタッチ・テクノロジーを搭載しています。図 24に、MSP430FR2633マイコンのRHB (VQFN) パッケージでのピン配置を示します。

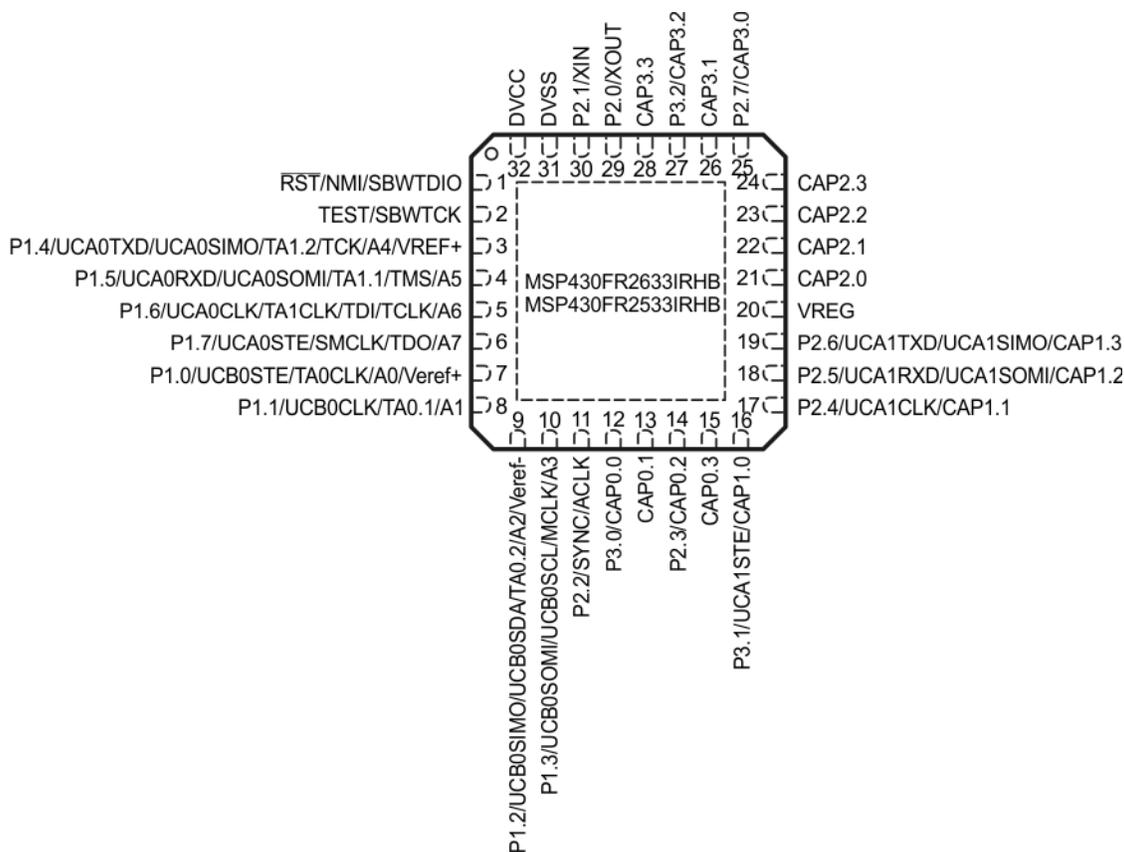


図 24. MSP430FR2633IRHBのピン配置

MSP430FR263xおよびMSP430FR253xマイコンの主な特長は以下のとおりです。

- 最大16個の金属タッチ・ボタンをサポート
- 金属タッチ・ホイールおよびスライダをサポート
- ボタン1個あたりの平均電流は1.7μA未満
- 最大15.5KBのFRAM
- 最大4KBのRAM

詳細については、“[MSP430FR263x, MSP430FR253x Mixed-Signal Microcontrollers](#)”を参照してください。

4.2 CapTIvateデザイン・センター

CapTIvateデザイン・センターは、CapTIvateテクノロジーを搭載したMSP430マイコンによる静電容量式タッチ設計を迅速化する高速開発ツールです。CapTIvateデザイン・センターは、製品開発者向けに静電容量式タッチ開発プロセスのガイドを提供し、革新的なユーザー・グラフィカル・インターフェイス、ウィザード、コントロールなどを使用してあらゆるタッチ設計を単純化、迅速化できます。

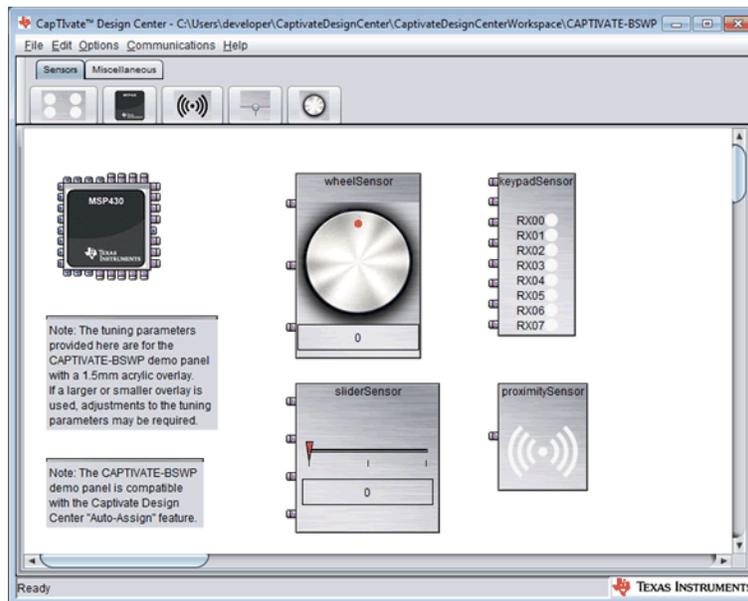


図 25. CapTIvateデザイン・センター

CapTIvateデザイン・センターには以下のような特長があります。

- センサへのMSP430マイコンの接続を作成、設定、定義するための直観的なGUIツール
- スライダ、ホイール、ボタン・グループ、近接性センサのサポート
- 同じ設計内で相互容量と自己容量の両方のセンサ・タイプをサポート
- CCSおよびIAR IDE向けに、包括的なソース・コード・プロジェクトを自動的に生成
- HID通信ブリッジを介したリアルタイムのターゲット通信により、ユーザーは以下のことが可能：
 - 詳細なセンサ・データの表示
 - センサ性能の設定とチューニング
 - SNR測定の実行

詳細については、[デザイン・センターのユーザー・ガイド](#)をご覧ください。

4.3 たわみツール

たわみツールは、静電容量式金属タッチ開発用に特化して設計されたものです。このツールを使用すると、ユーザーの入力に従って金属オーバーレイのたわみを計算でき、良好なタッチ操作を実現できるよう適切な設計パラメータの選択に役立ちます。

注: 実際の機械的構造はたわみツールで使用している理想的なモデルとは異なる場合があるため、このツールの計算結果はあくまで参考用です。

たわみツールは、作動力、オーバーレイとスペーサーの厚さ、およびセンサ・サイズの式を計算するスプレッドシートです (<http://www.ti.com/lit/zip/slaa811> から入手可能)。

CapTIvate Metal Touch Deflection Tool			Texas Instruments	
<p>Evaluation Indicator</p> <p>GOOD (Green)</p> <p>OK (Yellow)</p> <p>BAD (Red)</p>	1	Conductive Overlay		
		Material	Young's Module (E)	
		Aluminium	6.90E+10	Gpa
		Other	0	
		Thickness (H)		
	0.4	mm		
	2	Electrode size		
	Diameter (D)			
	11	mm		
	3	Spacer		
	Thickness (d2)			
	0.2	mm		
	Diameter (D+2)			
	13	mm		
	4	Force (F)		
	250	gram		
	5	Deflection (d1)		
	5.979676178	um		
<p>Note: This tool is used for the deflection evaluation of CapTIvate metal touch. Evaluation result is just for reference. The deflection is estimated based on ideal beam mechanics, without any warranty.</p>				

図 26. 金属タッチたわみツール

5 金属タッチのアプリケーション

ここでは、金属を通した静電容量式タッチの標準的なアプリケーションを紹介します。

5.1 ボタン・アプリケーション

ボタンは、最も一般的に使用されている静電容量式金属タッチ・アプリケーションです。金属ボタンを通した静電容量式タッチの設計は、一般的な静電容量式タッチとほぼ同じです。従来型の静電容量式タッチの代わりに金属を通したタッチを利用することで、アプリケーションは防水性および防塵性を獲得し、台所用アプリケーションや白物家電で幅広く使用できるようになります。



図 27. 金属ボタン・アプリケーション

金属ボタンはタッチ強度の検出もサポートし、弱いタッチと強いタッチを判別できます。これは、ボタンに加えられる力が異なると、静電容量の変化も異なるからです(図 28の赤色のバー)。

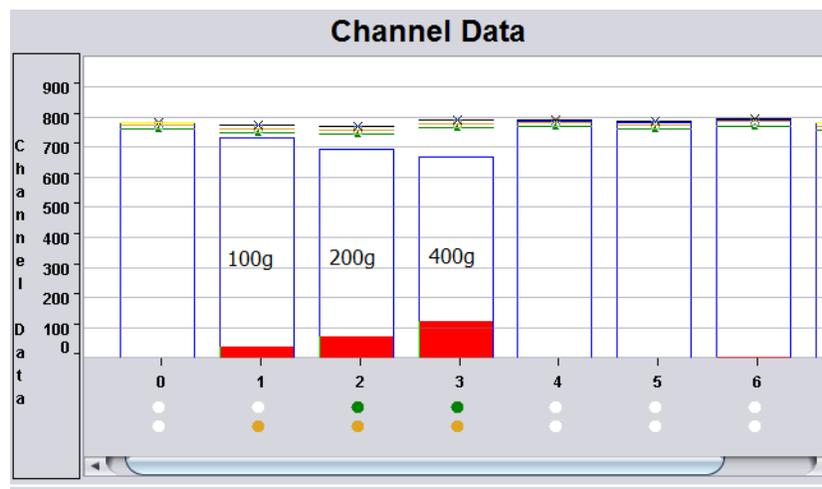


図 28. タッチ応答

図 29 に、静電容量式金属タッチ・ボタン・アプリケーションのブロック図を示します。すべてのボタンが自己容量式ボタンです。MSP430FR2633マイコンは、最大16個の金属タッチ・ボタンをサポートできます。

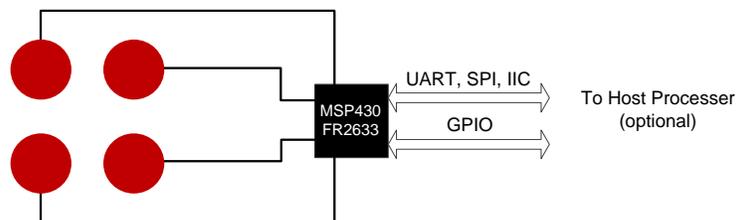


図 29. 金属タッチ・ボタンのブロック図

CAPTIVATE-METAL EVMは、静電容量式金属タッチ・ボタン・アプリケーション設計のリファレンス・デザインを提供します。このEVMの詳細については、[7](#)を参照してください。

5.2 ホイール・アプリケーション

金属ホイールも静電容量式金属タッチ・アプリケーションの1つです。静電容量式タッチの金属ホイール構造は、金属タッチ・ボタンの構造と少し異なります。金属ホイール・アプリケーションでは、スペーサー層の穴が1つだけであり、すべての電極がこの穴を共有します。

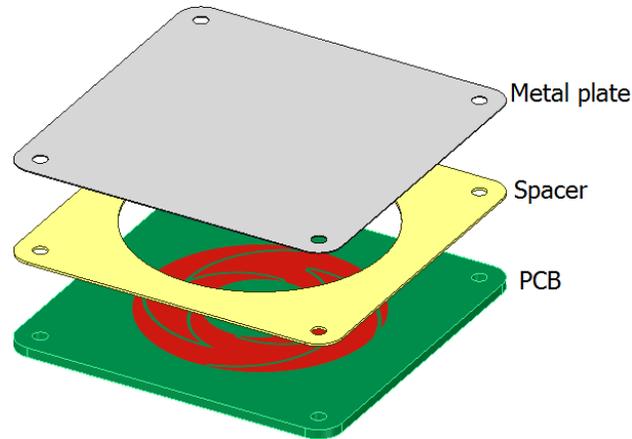


図 30. 金属ホイールの積層構造

金属ホイールの応答と処理は、通常のホイール・センサの場合とよく似ています。唯一の違いは、金属ホイール・パネルがタッチされたとき、このホイール・センサのすべての電極がタッチ状態になることです。ファームウェアにより、各電極の異なる応答に従った絶対位置を計算します(図 31の赤色のバー)。

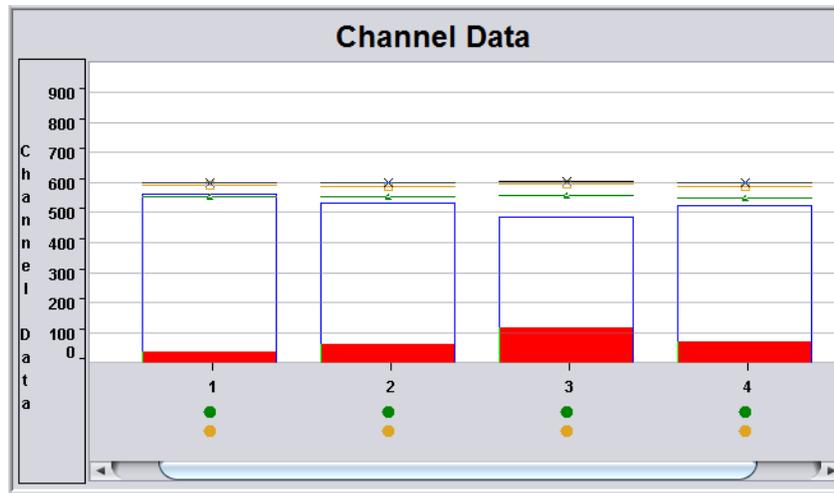


図 31. 金属ホイールのタッチ応答

図 32 に、金属ホイール・アプリケーションで使用できる2つのホイール・パターンを示します。

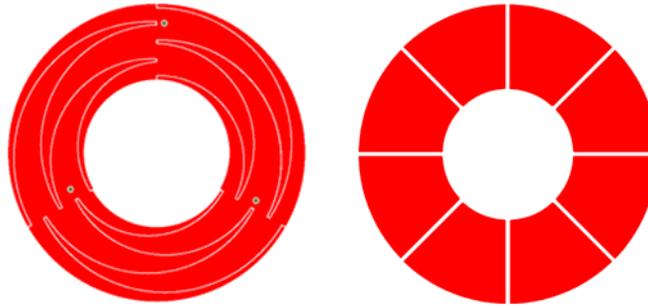
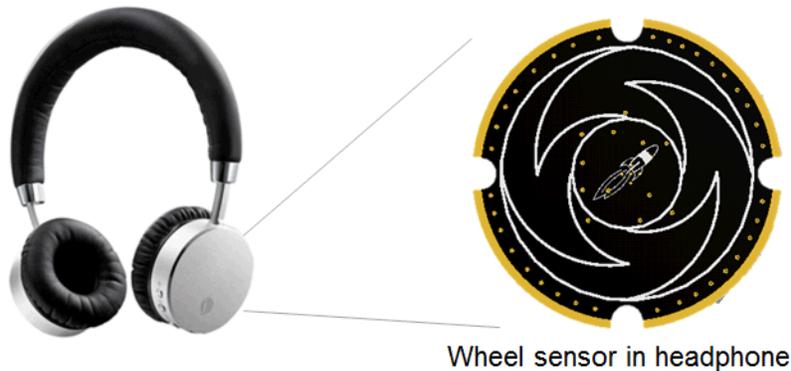


図 32. 金属ホイール・センサのパターン

金属ホイールへのタッチは、ハイエンドの金属ケース・ヘッドホンや、金属ケース上のスワイプやタップによるジェスチャ制御をサポートするオーディオ・プレーヤーなど、多くのユーザー・インターフェイスに利用できます(図 33を参照)。



Wheel sensor in headphone

図 33. ヘッドホンの金属ホイール

図 34 に、静電容量式タッチ金属ホイール・アプリケーションのブロック図を示します。

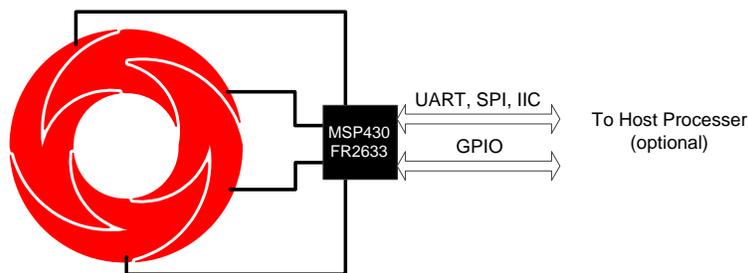


図 34. 金属ホイールのブロック図

図 35 に、金属ホイール・アプリケーション用の推奨レイアウトを示します。

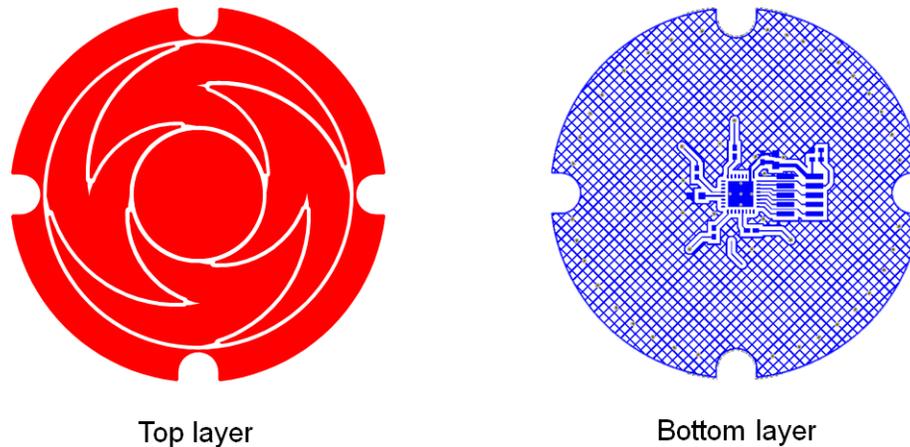


図 35. 金属ホイールのレイアウト

5.3 スライダー・アプリケーション

静電容量式金属タッチのスライダー・アプリケーションは、金属ホイールと同様です。静電容量式金属タッチのスライダー構造では、スペーサーの1つの穴をすべての電極が共有します。図 36 に、金属タッチ・スライダーのブロック図を示します。

静電容量式金属スライダーは、ハイエンドの金属ケース・スピーカーでメニュー操作や音量調整に使用したり、防塵性が手で手袋のまま操作される産業用機械のパネルに使用したりできます。

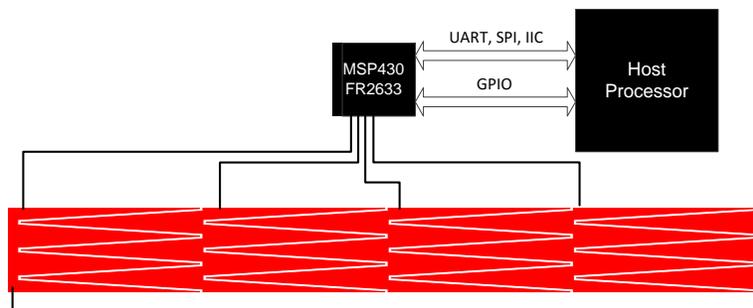


図 36. 金属タッチ・スライダーのブロック図

6 ノイズ耐性に関する考慮事項

静電容量式タッチは、小型および大型の家電製品、産業用制御パネル、車載用センター・スタックなどの最終製品で機械式ボタンの置き換えとして急速に普及しているテクノロジーです。タッチ・アプリケーションではノイズ耐性の重要性がますます高まっています。静電容量式タッチ・アプリケーションにおける主なノイズ源は、伝導ノイズ、電気的な高速過渡事象、および静電気放電であり、それぞれIEC 61000-4-6、IEC 61000-4-4、およびIEC 61000-4-2でシステム・レベルの規格が定められています。

CapTIvateテクノロジーを搭載したMSP430マイコンでは、電力設計とマイコン保護という2つの側面からEMCノイズ耐性の向上を考えます。

金属オーバーレイを備えたCapTivateテクノロジーの電力設計は、一般的な静電容量式タッチ設計の場合とほぼ同じです。ノイズ許容容量性タッチHMIリファレンス・デザイン(TIDM-CAPTOUCHEMCREF)では、MSP430FR2633マイコンを使用した静電容量式タッチ・インターフェイスがシステム・レベルで厳密な電磁環境適合性(EMC)要件を満たすようにする設計方法を示しています。詳細については、“[Enabling Noise Tolerant Capacitive Touch HMIs with MSP CapTivate™ Technology](#)”を参照してください。

ここでは主にマイコン保護について説明します。

6.1 推奨事項

EFTおよび伝導ノイズ特性は、電源設計とソフトウェア・アルゴリズムに依存し、これについては“[Enabling Noise Tolerant Capacitive Touch HMIs with MSP CapTivate™ Technology](#)”で説明されています。ESD耐性は、金属を通した静電容量式タッチの設計で最も重要な部分です。なぜなら、発生したESDが金属オーバーレイ素材へと直接放電される可能性があるためです。

システムのESD性能を向上するための推奨事項:

- 金属板をアースに接続する。グラウンドへのESDパスを用意する。
- アース、金属板、および回路のグラウンドをできるだけ近づけて配置する。
- MSP430マイコンを金属板から遠ざけ、ESDパスの外側に配置する。
- マイコンの電源ピンに22 μ F～47 μ FのコンデンサとTVSダイオードを接続して、ノイズ耐性を強化する。
- マイコンのリセット・ピンをNMIモードに設定して、ESD耐性を高める。
- 容量性IOを保護するために、TIではマイコンの近くに直列抵抗を追加することを推奨。また、センサ自体が大きなESDにさらされる場合は、センサの配線パターン上で直列抵抗の前に低容量のTVSダイオードを配置する。
- 電極と導電性オーバーレイの間にMylar®シートを追加するとESD耐性が向上する(図 37を参照)。

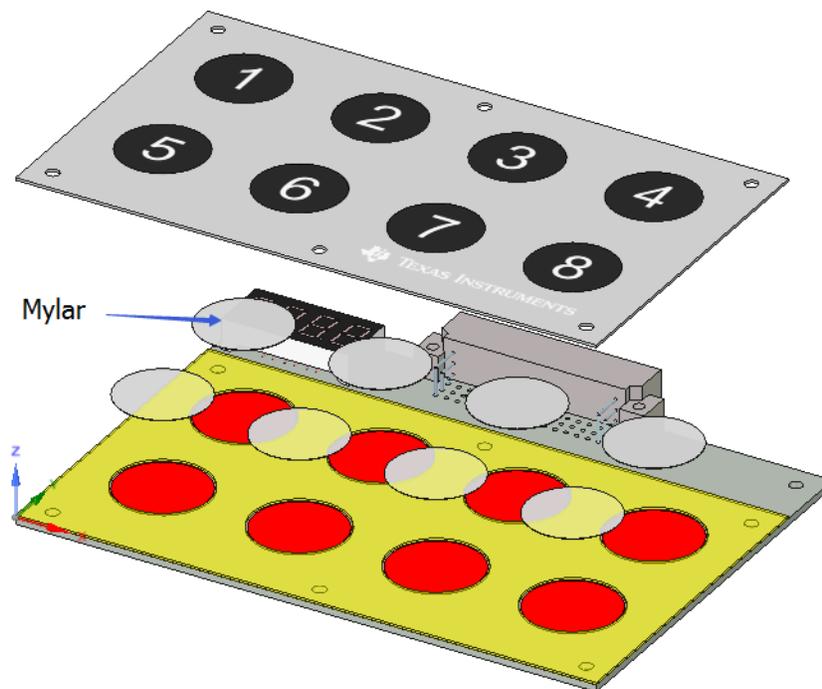


図 37. Mylarによる電極保護

6.2 テスト結果

表 3 に、EMCテスト結果を示します。

表 3. 金属タッチのEMCテスト結果

被試験機器	テスト	ストレス・レベル	合格基準 ⁽¹⁾
CAPTIVATE-METAL RevG	静電気放電耐性 (IEC 61000-4-2)	±8kVの接触	Class A
	電気的高速過渡/バースト耐性 (IEC 61000-4-4)	4kV (5kHz)	Class A
	伝導耐性 (IEC 61000-4-6)	10Vrms	Class A

⁽¹⁾ テストには以下に示す静電容量式タッチ固有の合格/不合格基準を使用しています。
 Class A: 被試験機器 (EUT) はテスト中またはテスト後に性能が低下することなく意図したとおりに動作する。
 Class B: EUTがテスト中に一時的な機能の喪失または性能の低下を示す。この性能低下はテスト後には見られず、EUTはオペレータの介入なしで自動的に回復する。
 Class C: EUTがテスト中に機能の喪失または性能の低下を示し、テストでの刺激が除去された後も回復しない。EUTへの電源を切断し再接続することで、完全な機能を回復可能。

7 リファレンス・デザイン

7.1 CAPTIVATE-METAL

CapTlvate™開発キット用金属タッチ静電容量式センシング・アドオン・ボード (CAPTIVATE-METAL) は、MSP CapTlvateマイコン開発キット (MSP-CAPT-FR2633) へのアドオン・ボードです。CAPTIVATE-METALは、MSP430FR2633マイコンを使用した金属タッチ・ボタン・アプリケーションのリファレンス・デザインです。

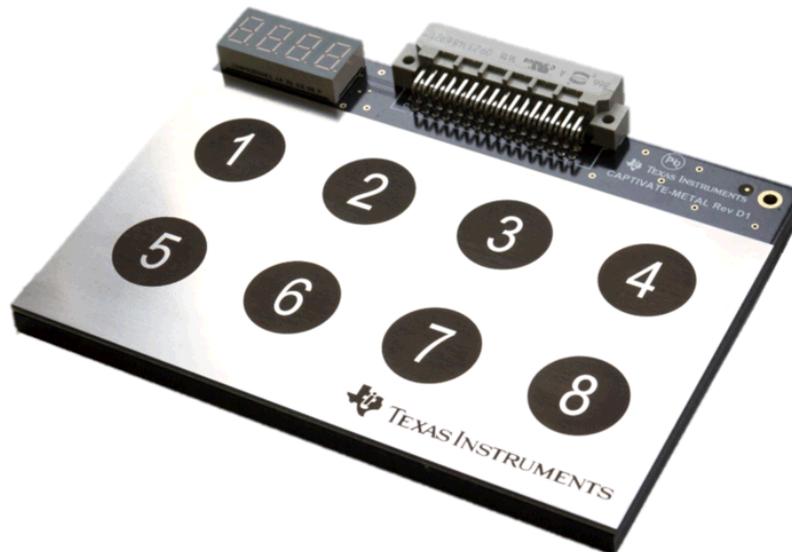


図 38. CAPTIVATE-METAL

CAPTIVATE-METALには以下のような特長があります。

- 8個の金属タッチ・ボタン
- 4桁の7セグメント・ディスプレイ
- 標準のCapTlvate EVMコネクタ
- 単一タッチ、複合タッチ、およびタッチ強度のデモ

7.1.1 ハードウェア設計パラメータ

- 電極の直径: 20mm

- 電極間の間隔: 12mm

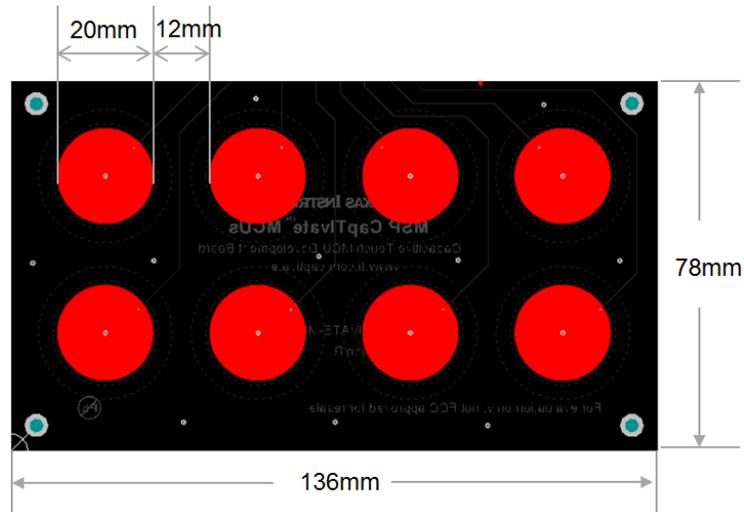


図 39. CAPTIVATE-METALの電極設計

- オーバーレイ素材: ステンレス・スチール301
- オーバーレイの厚さ: 0.4mm
- スペーサーの厚さ: 0.1mm、2層の接着性フィルムにより形成
- スペーサーの穴の直径: 22mm
- 支持体: 5mmの亚克力板
- 接着剤: 3M™ボンディング・フィルム

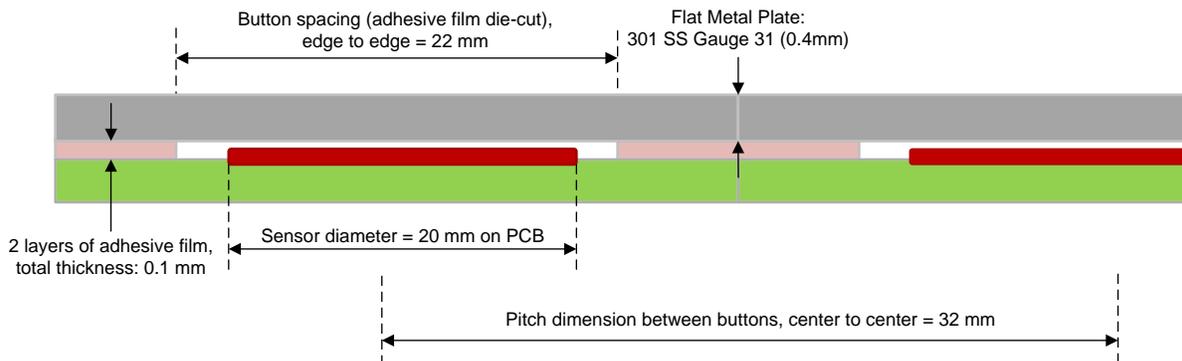


図 40. CAPTIVATE-METALの積層構造

7.1.2 ソフトウェア設計パラメータ

- 変換カウント = 600
- 変換ゲイン = 100
- スレッシュホルド = 7

7.1.3 初期サンプル

初期サンプルとして次の3つのデモが含まれています。

- CAPTIVATE-METAL_Basic
- CAPTIVATE-METAL_Force1
- CAPTIVATE-METAL_Force2

7.1.3.1 CAPTIVATE-METAL_Basic

このモードは、金属タッチの基本的な機能を示します。単純にどのボタンがタッチされたかを検出し、対応する番号を7セグメントLEDに表示します。このモードでは複数のタッチもサポートされ、タッチされたすべてのボタンの合計が7セグメントLEDに表示されます。

たとえば、[図 41](#)では、LEDに示された数字**2**が、同時に2個のボタン（ボタン**7**とボタン**8**）がタッチされていることを示し、数字**15**は7と8の合計です。



図 41. 複数タッチのデモ

7.1.3.2 CAPTIVATE-METAL_ForceTouch1

このモードは、金属タッチのタッチ強度機能を示します。このモードでは、最大3レベルのタッチ強度を検出できます。LED上の1〜3個のバーが可変強度レベルを示します。

図 42では、LED上の数字6が、ボタン6がタッチされていることを示します。バーはタッチ強度レベルが2であることを示しています。



図 42. タッチ強度デモ1

7.1.3.3 CAPTIVATE-METAL_ForceTouch2

このモードも、静電容量式金属タッチのタッチ強度機能を示します。このモードでは、タッチ強度データがLEDにリアルタイムで表示されます。

図 43では、LED上の数字6が、ボタン6がタッチされていることを示します。数字125はタッチ強度データです。



図 43. タッチ強度デモ2

8 参考資料

1. [MSP430FR263x, MSP430FR253x Mixed-Signal Microcontrollers \(英語\)](#)
2. [Getting Started With MSP MCUs With CapTIvate™ Technology \(英語\)](#)
3. [Enabling Noise Tolerant Capacitive Touch HMIs with MSP CapTIvate™ Technology \(英語\)](#)
4. [Inductive Sensing Touch-On-Metal Buttons Design Guide \(英語\)](#)

改訂履歴

資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

2017年10月26日発行分から2017年11月1日発行分への変更

Page

• デザイン・センターGUIユーザー・ガイドのリンクを修正	18
• 図 26 . 金属タッチたわみツールを更新	19
• 図 40 . CAPTIVATE-METALの積層構造を更新	27

TIの設計情報およびリソースに関する重要な注意事項

Texas Instruments Incorporated ("TI")の技術、アプリケーションその他設計に関する助言、サービスまたは情報は、TI製品を組み込んだアプリケーションを開発する設計者に役立つことを目的として提供するものです。これにはリファレンス設計や、評価モジュールに関係する資料が含まれますが、これらに限られません。以下、これらを総称して「TIリソース」と呼びます。いかなる方法であっても、TIリソースのいずれかをダウンロード、アクセス、または使用した場合、お客様(個人、または会社を代表している場合にはお客様の会社)は、これらのリソースをここに記載された目的にのみ使用し、この注意事項の条項に従うことに合意したものとします。

TIによるTIリソースの提供は、TI製品に対する該当の発行済み保証事項または免責事項を拡張またはいかなる形でも変更するものではなく、これらのTIリソースを提供することによって、TIにはいかなる追加義務も責任も発生しないものとします。TIは、自社のTIリソースに訂正、拡張、改良、およびその他の変更を加える権利を留保します。

お客様は、自らのアプリケーションの設計において、ご自身が独自に分析、評価、判断を行う責任がお客様にあり、お客様のアプリケーション(および、お客様のアプリケーションに使用されるすべてのTI製品)の安全性、および該当するすべての規制、法、その他適用される要件への遵守を保証するすべての責任をお客様のみが負うことを理解し、合意するものとします。お客様は、自身のアプリケーションに関して、(1) 故障による危険な結果を予測し、(2) 障害とその結果を監視し、および、(3) 損害を引き起こす障害の可能性を減らし、適切な対策を行う目的での、安全策を開発し実装するために必要な、すべての技術を保持していることを表明するものとします。お客様は、TI製品を含むアプリケーションを使用または配布する前に、それらのアプリケーション、およびアプリケーションに使用されているTI製品の機能性を完全にテストすることに合意するものとします。TIは、特定のTIリソース用に発行されたドキュメントで明示的に記載されているもの以外のテストを実行していません。

お客様は、個別のTIリソースにつき、当該TIリソースに記載されているTI製品を含むアプリケーションの開発に関連する目的でのみ、使用、コピー、変更することが許可されています。明示的または黙示的を問わず、禁反言の法理その他どのような理由でも、他のTIの知的所有権に対するその他のライセンスは付与されません。また、TIまたは他のいかなる第三者のテクノロジーまたは知的所有権についても、いかなるライセンスも付与されるものではありません。付与されないものには、TI製品またはサービスが使用される組み合わせ、機械、プロセスに関連する特許権、著作権、回路配置利用権、その他の知的所有権が含まれますが、これらに限られません。第三者の製品やサービスに関する、またはそれらを参照する情報は、そのような製品またはサービスを利用するライセンスを構成するものではなく、それらに対する保証または推奨を意味するものでもありません。TIリソースを使用するため、第三者の特許または他の知的所有権に基づく第三者からのライセンス、もしくは、TIの特許または他の知的所有権に基づくTIからのライセンスが必要な場合があります。

TIのリソースは、それに含まれるあらゆる欠陥も含めて、「現状のまま」提供されます。TIは、TIリソースまたはその仕様に関して、明示的か暗黙的にかかわらず、他のいかなる保証または表明も行いません。これには、正確性または完全性、権原、続発性の障害に関する保証、および商品性、特定目的への適合性、第三者の知的所有権の非侵害に対する黙示の保証が含まれますが、これらに限られません。

TIは、いかなる苦情に対しても、お客様への弁済または補償を行う義務はなく、行わないものとします。これには、任意の製品の組み合わせに関連する、またはそれらに基づく侵害の請求も含まれますが、これらに限られず、またその事実についてTIリソースまたは他の場所に記載されているか否かを問わないものとします。いかなる場合も、TIリソースまたはその使用に関連して、またはそれらにより発生した、実際の、直接的、特別、付随的、間接的、懲罰的、偶発的、または、結果的な損害について、そのような損害の可能性についてTIが知らされていたかどうかにかかわらず、TIは責任を負わないものとします。

お客様は、この注意事項の条件および条項に従わなかったために発生した、いかなる損害、コスト、損失、責任からも、TIおよびその代表者を完全に免責するものとします。

この注意事項はTIリソースに適用されます。特定の種類の資料、TI製品、およびサービスの使用および購入については、追加条項が適用されます。これには、半導体製品(<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、評価モジュール、およびサンプル(<http://www.ti.com/sc/docs/sampterms.htm>)についてのTIの標準条項が含まれますが、これらに限られません。