

Application Note

**SPI、QSPI、OSPI 車載用、産業用、データセンター システムでの
アナログ マルチプレクサ アプリケーション**

Caroline Ormond

概要

データセンター、車載用先進運転支援システム (ADAS)、産業用オートメーションは急速な成長を遂げている市場で、高速で低レイテンシの通信を必要としています。シリアル ペリフェラル インターフェイス (SPI) とそのバリエーションである Quad-SPI (QSPI)、Octal-SPI (OSPI) を使用すると、複数のデータラインとクロック データ同期を通じて高いデータレートを実現できます。ただし、センサ、コントロール、メモリ アクセス ネットワークなどのマルチペリフェラル システムは、多くの場合、マイコンで利用可能な GPIO 数や基板サイズの制約、ADC に伴う高コストによって制限を受けます。

このアプリケーション ノートでは、高密度 SPI システムで GPIO と ADC に関連する制約を解消するために、アナログ マルチプレクサ ソリューションを使用する方法と、産業界における SPI、QSPI、OSPI の現在の使用事例について説明します。

目次

1 はじめに.....	2
2 プロトコルの概要.....	2
3 まとめ.....	6
4 参考資料.....	6

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 はじめに

最新のシステムでは、データ集約型が増加しています。演算集中型の負荷が高くなるにつれて、高速通信のニーズが高まっています。**SPI** は、継続的なデータ ストリームを提供し、高速なデータ レートをサポートし、ペリフェラル IC とコントローラ間で全二重通信を可能にしているため、多くの業界で一般的なプロトコルになっています。標準的な **SPI** は通常 2 つのデータ ラインを使用しますが、**Quad-SPI (QSPI)** と **Octo-SPI (OSPI)** はそれぞれ 4 ラインと 8 ラインを使用して、データ スループットを大幅に向上させています。データ センター、車載、産業用システムの市場で、多くの **SPI** アプリケーションが存在しています。高密度でマルチペリフェラルの **SPI** システムをサポートするため、マルチプレクサは **SPI** バス、信号、制御ピンを切り替えることで **GPIO** ピンと **ADC** の制限を克服し、複雑さの解消や、コストと基板サイズの低減を実現できます。

2 プロトコルの概要

SPI

シリアル ペリフェラル インターフェイスは、メイン コントローラと 1 つまたは複数のペリフェラル デバイスで構成されるシンプルなアーキテクチャを採用したシリアル通信プロトコルです。

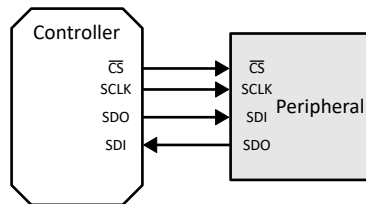


図 2-1. 標準 4 線式 SPI

コントローラは、クロック信号 (**SCLK**) と **chip-select ()** 信号を生成して、特定のペリフェラル デバイスをイネーブルまたはディセーブルにします。標準 **SPI** 通信は、データ出力 (**SDO**) とデータ入力 (**SDI**) という 2 つの単方向データ ラインを使用します。これにより、コントローラとペリフェラル IC はデータの書き込みと読み取りを同時に行うことができ、全二重通信をサポートします。**3 線式 SPI** は、1 つの双方向データ ラインのみを使ってデータを送受信する代替品です。

信号名	用途
SDO	ターゲットにデータを送信します
SDI	ソースからデータを受信します
SCLK (シリアル クロック)	データ転送を同期するためにコントローラによって生成されます
CS (チップセレクト)	Low に引き下げられたときに通信を可能にします

他のプロトコルと比較した **SPI** の主な利点は、より高速で高精度のデータ転送です。データはクロック信号と同期されるため、読み取りと書き込みの高精度タイミングで高周波通信を可能にします。**SPI** の連続データ ストリーミングにより、割り込みや複雑なアドレッシング方式も不要になり、レイテンシを短縮できます。

データ センターでは大量のデータが保存されるため、高速データ アクセスと、環境や電氣的な状態を検出するシステム モニタが必要になります。**SPI** は、温度、圧力、電圧センサ間のインターフェイスに使用できます。**SPI** 通信により、センサとコントローラ間のレイテンシが短縮され、システムの損傷や故障の可能性を最小限に抑えられます。このデザインは、車載用 **ADAS** システムにも関連しています。カメラ、レーダー、**LIDAR**、赤外線センサを使用したリアルタイム監視とセンシングに依存しています。これらのシステムでは、迅速な応答時間を確保するうえで低レイテンシが不可欠です。

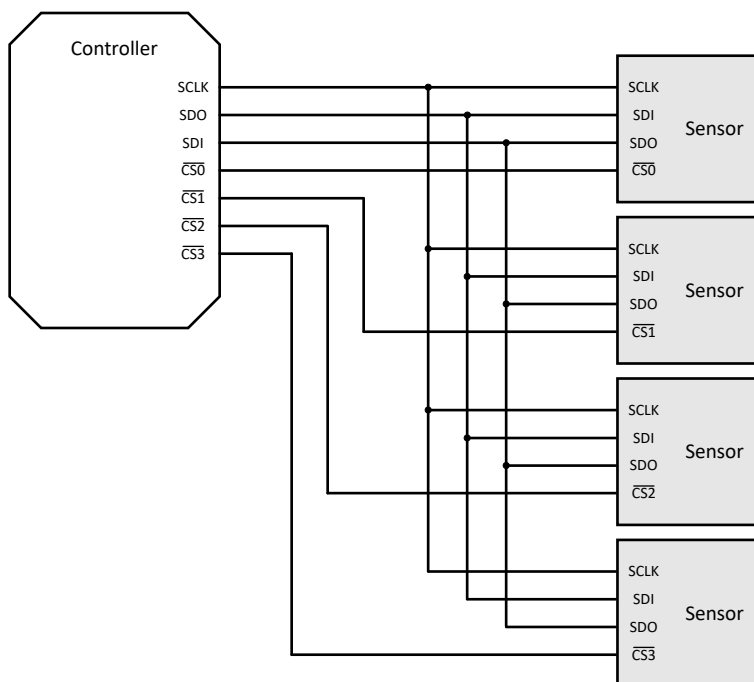


図 2-2. 複数のペリフェラルによる標準 2 線式 SPI 通信

各デバイスは個別の **chip-select** ラインを必要とするため、SPI は、多くのペリフェラル デバイスと限られた数の GPIO ピンを持つ高密度システムに潜在的な課題をもたらします。現在のソリューションは、GPIO エクスパンダや、より大型のマイコンを使用する傾向があり、部品点数が増え、ソリューション サイズが大きくなります。

これを克服するため、TMUX1204 (4:1) などのマルチプレクサを使用し、複数のペリフェラル デバイス間で 1 つの **chip-select** ラインを切り替えることができます。次の図 3 に示すように、この製品は 4 本のピンをわずか 1 個の GPIO に集約し、遷移時間は 14ns と高速で、サイズも 2.5mm² と小型です。より大規模なシステムの場合、TMUX1208 (8:1) のスイッチング時間と電気的特性は同じですが、最大 8 本のピンを置き換えることができます。

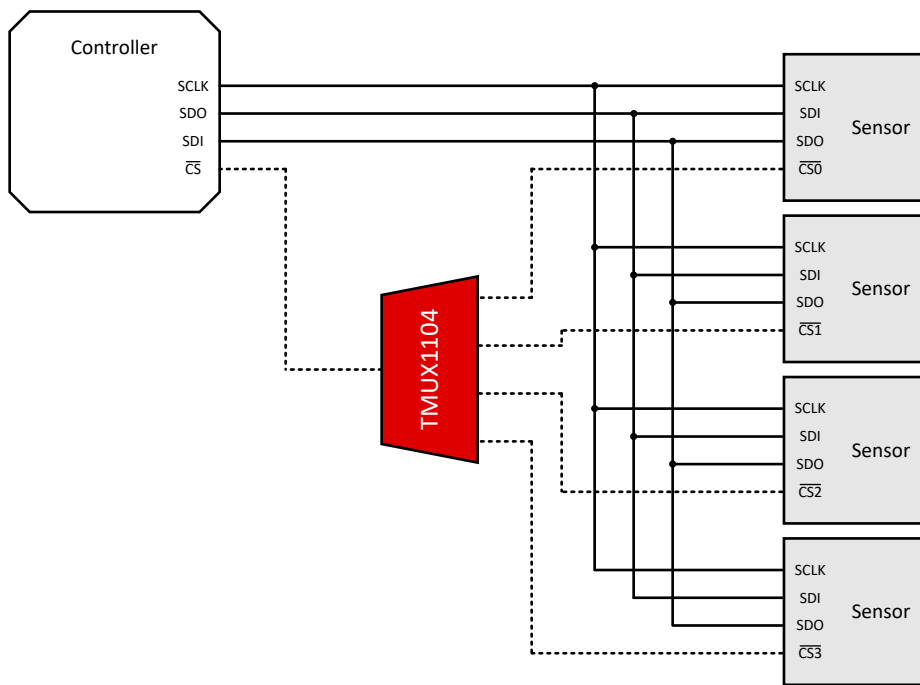


図 2-3. TMUX1104 多重化チップ セレクト信号

マルチプレクサが実現するもう 1 つの高密度ソリューションは、産業用やデータ センターのセンサ ネットワークシステムの設計における ADC 数の削減です。電圧、圧力、温度センサなどのセンサと通信する場合、信号ごとに個別の ADC を使用すると、面積とコストの大幅な増加につながります。マルチプレクサは、16:1 マルチプレクサ (高精度マルチプレクサ MUX506 など) を使用して、複数のアナログ出力を 1 つの ADC にスイッチングでき、16 個の個別の ADC を効果的に置き換えます。

高精度マルチプレクサでは、チャージ インジェクションとリーク電流の定格が低く、シグナル インテグリティを確保します。これは、適切な動作を保証するための冷却システムおよび電気モニタのデータ センター アプリケーションに特に関連します。また、産業用システムでは、モーター制御、ファクトリオートメーション、ロボットで多くのセンサに依存しています。そのため、パッケージング、製造、機器操作に対して圧力と電気のセンシングが必要です。次の図 4 に、TMUX1104 (4:1) を使用して 3 つのセンサを切り替える 1 線式 SPI システムを示します。使用している ADC は 1 つだけです。すべてのチャネルを使用しない場合、ノイズやクロストークの可能性を避けるため、未使用のピンをグランドに接続できます。

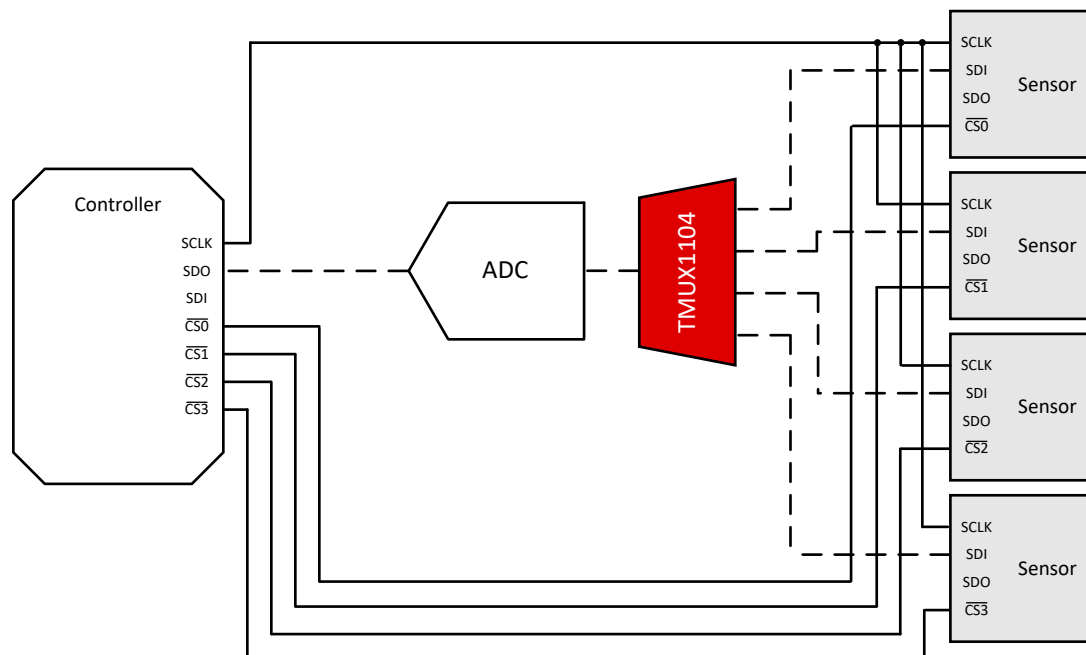


図 2-4. ADC を低減する TMUX1104 のスイッチング データライン

QSPI

Quad-SPI は、標準 SPI とよく似たプロトコルですが、4 つの半二重データラインによって高いデータ レートを実現しています。追加のデータラインにより、転送されるデータ量を最大 4 倍にし、SPI のデータ レートを実質的に 4 倍にします。QSPI はデータ センターに特に適しており、メイン プロセッサと外部フラッシュメモリ (FPGA ファームウェアと BIOS システム イメージを保存) 間の通信インターフェイスとして機能します。QSPI を使用すると、標準的な SPI に比べてブート時間を短縮し、システム起動を高速化できます。また、インフォテインメントシステムやボディ モジュール制御など、リアルタイム制御と監視が求められる車載向けの低レイテンシ アプリケーションにも適しています。

QSPI はシステムのスループットを向上させますが、追加の I/O ピンが必要になるため、システム上の制限も生じ、信号配線とピン要件に対応するためコストと面積の両方が増加します。ただし、SPI バスを多重化することで、次の図 5 に示すように、1 組の GPIO ピンを使用して、メイン コントローラと複数のフラッシュ チップとの間で通信を実行することもできます。TMUXL27518 (2:1 6 チャネル) は、高帯域幅、低静電容量、優れた絶縁特性を備え、マルチメディア カードのホスト デバイスを複数のペリフェラルに拡張するよう設計されています。停止やデータ破損が発生した場合にプライマリ フラッシュとバックアップ フラッシュを切り替えることができ、緊急時にデータに対する一貫性のあるアクセスを確保しながら、面積とコスト効率の高いソリューションを提供します。

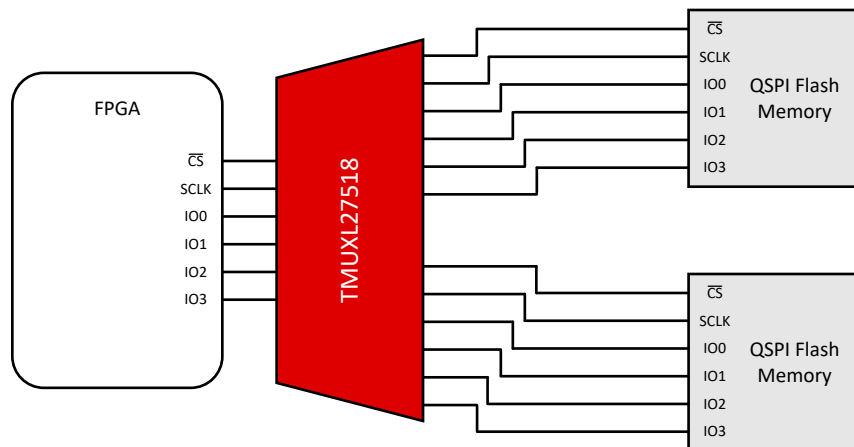


図 2-5. QSPI フラッシュ メモリ間でのマルチプレクサの切り替え

OSPI

より高いデータスループットを必要とするアプリケーションでは、8 つの半二重データラインを備えた **Octal-SPI** を使用すると、**QSPI** のデータレートを 2 倍にできます。**OSPI** の使用事例は **QSPI** に似ていますが、データセンターや高機能コンピューティング センター内のマイコンや **FPGA** システムなど、より高いスループットと高速応答が求められる設計で一般的に使用されています。**OSPI** は、データレートが高い信号伝送能力を備えているため、車載用アプリケーションでも人気が高まっています。現在の用途としては、高解像度のグラフィックスや高速保存のメモリ アクセスを必要とするインフォテインメント システムや、自動運転制御とセンシング用の **ADAS** システムなどがあります。データ集約型のシステム バックアップでは、メモリ バンクおよびフェイルセーフ ブートの選択に **OSPI** も使用します。データ センターと **ADAS** システムでは、安全性と信頼性を確保するうえでフェイルセーフ保護機能は不可欠です。メモリの破損や電力損失が発生した場合に迅速に回復する必要があります。

QSPI と同様に、**OSPI** ピンの要件は、高密度アプリケーションでは課題になります。信号多重化により、システムはメモリまたは電源のプライマリ選択とバックアップ選択を効率的に切り替えることができ、**GPIO** 数とシステム面積の両方を減らすことができます (図 6 を参照)。**QSPI** バス多重化と同様に、2 つの **SN3257-Q1** (2:1、4 チャネル) マルチプレクサを使用して 2 つの **OSPI** メモリを切り替えることができます。

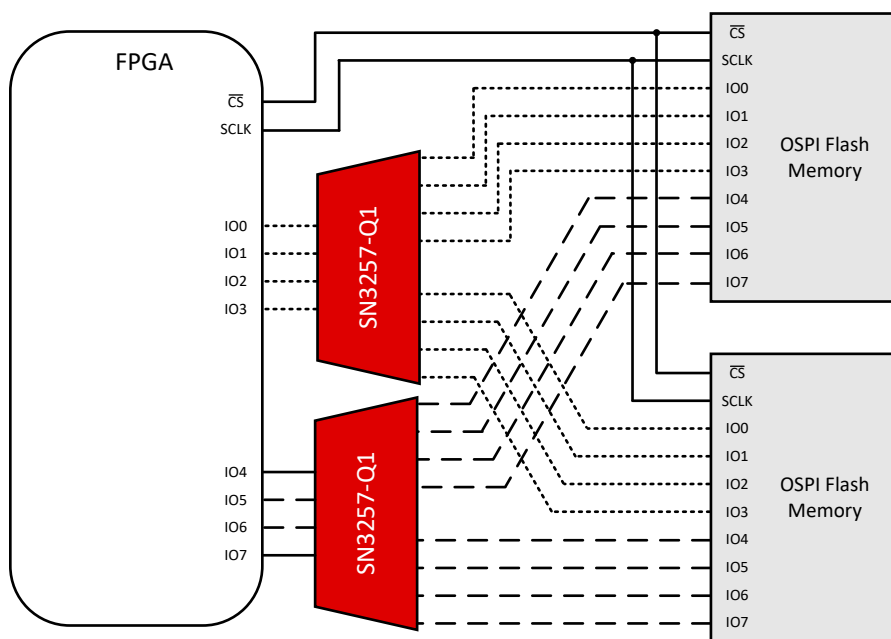


図 2-6. OSPI フラッシュ メモリ間でのマルチプレクサの切り替え

3 まとめ

SPI は、センシング、制御、メモリ アクセス システムにおいて高速で低レイテンシの通信を実現し、産業用、車載、データ センターなど、様々な用途で使用されています。SPI、QSPI、OSPI の代表的な使用法は異なりますが、用途が重なる部分もあり、特定のデータ レートとシステム要件に応じて選択されています。マルチプレクサを採用すると、マイコンの GPIO 数の制限や ADC 数の増加など、実装中に SPI システムが直面する一般的な制限を克服することができます。マルチプレクサは、SPI 信号ラインの切り替えにより、高密度で高速の SPI アプリケーションに対して、シンプルかつコンパクトなソリューションを低コストで提供します。特定の使用事例に関する推奨事項については、表 3-1 を参照してください。

表 3-1. 推奨デバイス

推奨デバイス	構成	チャンネル数	プロトコル	アプリケーション	電源電圧	リーク電流 IS(ON)	CON	帯域幅
TMUX1204	4:1	1	SPI、QSPI、OSPI	低電力および Break-Before-Make スイッチングによるチップセレクトラインの I/O 拡張	1.08V ~ 5.5V	200nA	42pF	125MHz
TMUX1208	8:1	1					85pF	65MHz
TMUX1209	4:1	2					42pF	125MHz
MUX506	16:1	1		低リーク電流と低チャージインジェクションによる、ADC 高精度スイッチング	±5V ~ ±18V 10V ~ 36V	0.02nA	13.5pF	500MHz
MUX507	8:1	2			1.08V ~ 5.5V	0.01nA	8.7pF	
TMUX1104	4:1	1					35pF	155MHz
TMUX1574	2:1	4	QSPI、OSPI	高帯域でのフラッシュメモリの読み取り	1.5V ~ 5.5V	0.01nA	7.5pF	2GHz
TS3A27518E	2:1	6			1.65V ~ 3.6V	30nA	21.5pF	240MHz
TMUXL27518	2:1	6			1.08V ~ 1.95V	20nA	12pF	600MHz
TS3A27518E-Q1	2:1	6		車載認証済みフラッシュメモリ	1.65V ~ 3.6V	30nA	21.5pF	240MHz
SN3257-Q1	2:1	4			1.5V ~ 5.5V	30nA	8pF	2GHz
TMUX1208-Q1	8:1	1			1.08V ~ 5.5V	200nA	85pF	65MHz
			SPI	車載認証済み SPI				

4 参考資料

- テキサス インスツルメンツ、『ボトルネックからブレイクスルーへ: データ センターにおける QSPI を [TXB0604/TXB0606L](#) で最適化』、アプリケーション ブリーフ
- テキサス インスツルメンツ、『マルチプレクサを使用して SPI ベースのフラッシュ メモリ拡張を実現する方法』、アプリケーション ブリーフ
- テキサス インスツルメンツ、『SPI 制御マルチプレクサを使用したチャンネル密度の増強』、アプリケーション ノート
- テキサス インスツルメンツ、『最新の車載向け 16 ~ 48 ビット スケーラブル GPIO エクスパンダ』、アプリケーション ノート
- テキサス インスツルメンツ、『OSPI および QSPI シリアルのスループット特性評価』、アプリケーション ノート

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みいかなる保証も、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、TI は一切の責任を拒否します。

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](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](https://www.ti.com) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。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。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

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

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月