binho

アプリケーションノート

Binho Pulsar を使用した SPI 経由の CMIS 光モジュールの立ち上げ

AN0010

文書情報

キーワード	AN0010, Pulsar, Supernova, CMIS, OIF, SPIMCI, SPI, コパッケージドオプティクス, CPO, フロー制御, ACK, NACK, チップセレクト, 光モジュール
概要	SPIMCI は、コパッケージドオプティクス（CPO）向けに CMIS リビジョン 5.3 で追加された SPI 管理インタフェースであり、 アクノリッジを 00h としてエンコードします。そのため、アイドル状態のバス、電源の入っていないモジュール、あるいは一度も設定されて いないターゲットは、完璧なアクノリッジに続いてゼロのデータを返し、成功したように見える立ち上げは何も証明しません。 さらに 2 つ目の障害が問題を複雑にします。フロー制御のバイト数はワイヤ上に現れず、その値がわかるまで読み出せないレジスタから 導出されるのです。本アプリケーションノートでは、Binho Pulsar または Supernova から、無応答のバスにだまされない方法で SPIMCI リンクを立ち上げ、モジュール自身のチェックサムから 2 つの未知数を確定するコマンドを提供します。

Binho Inc.
42 Dore Street, Unit A, San Francisco, CA 94103

改訂 1.0
6 NOVEMBER 2026

> **検証範囲**。本書の仕様に関する内容は出典を確認して検証済みです。セクション 6 の手順は、 まだ SPIMCI モジュールに対しては実行していません。SPIMCI ファームウェアを搭載していないボードに対しては実行しており、 それがセクション 8.2 で報告している内容であり、セクション 6.2 のチェックサムガードを修正するきっかけとなりました。 セクション 8 では、未完了の事項を正確に述べています。

1 はじめに

SPIMCI モジュールを配線し、読み出しを発行すると、うまく動作します。トランザクションは完了し、アクノリッジがあり、 データも返ってきます。

しかし、モジュールには電源が入っていません。

SPIMCI は ACK を **00h** としてエンコードする（B.3.7.1.2）ため、すべてゼロは有効なアクノリッジとそれに続くゼロのデータになります。 Binho はベンチでまさにこれを再現しました。読み出しは完了し、アクノリッジが確認され、データは `00 00` でした。 完了した SPIMCI トランザクションは、それ自体では決してモジュールが存在する証拠にはなりません。

本ノートでは、無応答では偽装できない方法で SPIMCI リンクを立ち上げ、その過程で SPIMCI がホストに課す 2 つ目の問題も解決します。

1.1 適用範囲

本書を読み終えると、ハードウェアを手元に持つ読者は、モジュールが実装しているフロー制御のバイト数と R/Wn の極性を確定し、 識別情報を読み出し、Page 00h のチェックサムを検証できるようになります。その間、存在しないモジュールでも生成され得るような 途中結果は一切受け入れません。

本書は、CMIS 付録 B.3 の SPI 管理インタフェースを対象とします。これは規範的なもので、リビジョン 5.3 で導入されました。 AN0008 はレジスタモデルを扱っており、前提となる資料です。コパッケージドオプティクスのシステム設計は対象外です。

1.2 対象デバイス

表 1. 対象デバイス

項目	役割	根拠
Binho Pulsar	ホストアダプタ、SPI コントローラ	本ノートではまだ検証していません
Binho Supernova	ホストアダプタ、SPI コントローラ	コントローラとして検証済み、セクション 8.1。SPIMCI ターゲットは存在しませんでした
SPIMCI インタフェースを持つ任意の CMIS モジュール	ターゲット	**本ノートではまだ検証していません**

> **リビジョン 1.0 の時点では、SPIMCI モジュールは接続されていません。** フレーミング、フロー制御の導出、極性の矛盾は、 OIF-CMIS-05.3 付録 B.3 から取り、05.4 と照合したものです。検証済みなのはホスト側と故障モードです。偽のアクノリッジは、 2026 年 8 月 15 日にモジュールを接続していないバスで観測され、2026 年 9 月 2 日には存在するが応答しないボードに対して再び 観測され、そのときはチェックサムガードもすり抜けました。モジュールの応答に依存するものはすべて未完了です。

1.3 関連資料

表 2. 関連資料

資料	内容
OIF-CMIS-05.3	付録 B.3、SPI-Based Management Communication Interface、374 から 383 ページ
OIF-CMIS-05.4	付録 B.3、416 から 425 ページ。フッタを除き、本文は 5.3 と同一です
AN0008	Binho Supernova を使用した I2C 経由の CMIS 光モジュールの立ち上げ
AN0011	Binho Supernova を使用した CMIS ファームウェア更新時間の測定

2 必要な機器とソフトウェア

2.1 ハードウェア

表 3. 必要な機器

項目
Binho Pulsar または Binho Supernova USB ホストアダプタ
SPIMCI 管理インタフェースを持つ CMIS モジュール
USB-C ケーブル
Saleae Logic キャプチャハードウェア（オプション）

2.2 接続

CMIS は従来の SPI 信号の名称を変更しています。誤解が生じないよう、仕様の名称を使用し、なじみのある名称を併記してください。

表 4. アダプタとモジュール間の接続

アダプタ	仕様上の名称	従来の名称	必須
CS	`CSn`	CS、SS、または ModSeln	はい
SCK	`CLK`	SCLK	はい
MOSI	`IOTI`、Initiator Out Target In	MOSI、PICO	はい
MISO	`IITO`、Initiator In Target Out	MISO、POCI	はい
3V3	電源		はい（ボードが自ら供給する場合を除く）
GND	リターン		はい

> **注意：** `CSn` はオプションではなく必須です。アクティブローは規範的な要件であり（B.3.3）、各ターゲットには専用の `CSn` が 1 本ずつあり、同時にアサートされるのは最大 1 本です（B.3.2）。これがないと、フレーミングの基準も、エラー検出も、 再同期もありません。余分なクロックエッジが 1 つ入るだけで、セッションの残りの部分が恒久的にずれてしまいます。 汎用の SPI デコーダはチップセレクトがなくても許容し、もっともらしいゴミデータを返します。

2.3 ソフトウェア

```
pip install binhopulsar          # Pulsar
pip install binhosupernova       # Supernova
python cmis_mci.py selfcheck
```

`--transport spi` で SPI バインディングを選択します。ユーティリティは、AN0008、AN0009、AN0011 に付属するものと同じファイルです。

3 SPIMCI とは何か、そしてなぜ理解する価値があるのか

SPIMCI はコパッケージドオプティクスを契機として CMIS 5.3 で導入されました。改訂履歴には「SPI-based SPIMCI in support of CPO」と 記載されています。CMIS 5.2 には `SPI` という文字列はどこにも現れません。

これは、今後のあらゆるバインディングにとって重要な前例でもあります。SPIMCI は、レジスタアクセス層にも Common Data Block にも まったく手を加えずに追加され、その際にアドレス指定も改善しました。I2CMCI はページ内のバイトアドレスしか運ばないため、 00h:126 と 00h:127 のページ選択レジスタを必要としますが、SPIMCI のトランザクションはバンク、ページ、バイトからなる完全な 3 次元アドレスを運び、暗黙のページ切り替えを行い、最大 2048 バイトを転送します。

ホストにとっての実際的な帰結は、**書き込むべきページ選択レジスタがなく、誤る可能性のあるトランザクションをまたぐアドレス状態もない** ということです。

表 5. 仕様で固定されているパラメータ

パラメータ	値	出典
ワードサイズ	8 ビット、MSB ファースト	B.3.7.2.3
サンプリングエッジ	CLK の立ち上がりエッジ	B.3.7.1
チップセレクトの極性	アクティブロー	B.3.3
最大転送量	2048 バイト	B.3.7.1

> **注記**：仕様はサンプリングエッジを規定していますが、CLK のアイドルレベルについてはどこにも述べていません。そのため、 「SPIMCI は SPI モード 0 である」というのは引用ではなく推論です。ユーティリティはデフォルトでモード 0 を使用し、 モードを選択可能にしています。

4 トランザクションの構造

すべての SPIMCI トランザクションは **4 + N + M** バイトで、3 つのフェーズから構成されます。

表 6. トランザクション制御フェーズ、4 バイト、イニシエータからターゲットへのみ

ビット	フィールド	注記
0	Command Type、R/Wn	セクション 5.2 を参照
1:4	Bank Index	4 ビット。仕様は、これが「15 を超える任意のバンクインデックス値を許容しない」と注記しています
5:15	EncodedSize	11 ビット。転送バイト数 = EncodedSize + 1、最大 2048
16:23	Page Index	8 ビット
24:31	Byte Index	8 ビット、開始アドレス。以降は連続

制御フェーズの間、`IITO` は全体を通して未定義です。

フロー制御フェーズ、N バイト、N は 2 以上。 イニシエータはゼロ値のダミーバイトを送信し、ターゲットはそれを無視します。 ターゲットは、このフェーズの**最後の**バイトで、`IITO` 上に **ACK = 00h** または **NACK = FFh** を返します。

データ転送フェーズ、M = EncodedSize + 1 バイト。 読み出しでは、データは `IITO` 上にあり、`IOTI` には 00h が送信されます。 書き込みでは、データは `IOTI` 上にあり、`IITO` は未定義です。

5 2 つの未知数とその解決方法

5.1 N はワイヤ上になく、ブートストラップの穴がある

`N` は、`00h:213` のビット 6-0 にある `MciFlowControlDuration` と、`00h:213` のビット 7 にある `MciFlowControlDurationEncoding` から導出されます。

表 7. フロー制御のバイト数

エンコードビット	導出方法
0、静的	N = 2 + アドバタイズされた値
1、速度依存	N = max(2, ceil(duration x SpiSpeedInMHz / 8))、速度は `00h:27.3-0` の `MciSpeedConfiguration` から

B.3.7.1.2 は、両側が `N` をまったく同じ方法で導出することを要求しています。しかし、`00h:213` は `N` がわかるまで読み出せず、 仕様は安全なブートストラップ値を示していません。パッシブなバスオブザーバにも、それを知る方法はありません。

解決策は、`N` をスイープし、どの値が正しいかをモジュール自身のチェックサムに判断させることであり、これが `spi-probe` の処理内容です。

5.2 R/Wn の極性が自己矛盾している

表 8. CMIS 5.3 における R/Wn の極性

出典	記述
B.3.7.1.1	「このビットが 1 のとき、読み出しが要求されている」
B.3.8.1 から B.3.8.5、図 B-14 から B-17	読み出しは 0

どちらも同じ資料の中にあります。知っておく価値のある決め手があります。B.3.8.5 は **TEST** を、バイトアドレス 0 からの 1 バイト読み出しで、**32 個の制御ビットがすべてゼロ**のものとして定義しています。これは 0 が読み出しを意味する場合にのみ 自己整合します。ユーティリティはデフォルトで図に従い、要求に応じてどちらの極性も使用でき、指定がない場合は両方を探索します。

6 手順

6.1 オフラインでツールを確認する

```
python cmis_mci.py selfcheck
```

6.2 N と極性を確定する

```
python cmis_mci.py spi-probe --transport spi
```

このコマンドは、各極性について `N` を 2 から 16 までスイープし、Page 00h のチェックサムが検証された場合に**のみ**組み合わせを 受け入れます。すなわち、94 バイトのモジュール固有の内容が、モジュール自身が書き込んだバイトと一致する場合です。完了した トランザクション、アクノリッジ、さらにはもっともらしく見えるデータでさえ、すべて電源の入っていないボードで生成され得ます。

> **注意**：一致するチェックサムも、電源の入っていないボードで生成され得ます。その方法はちょうど 1 つで、しかも実際に起こるのが その方法です。無応答の SPI バスはすべてのバイトに対して `00h` を返します。94 バイトの `00h` の合計は `00h` であり、 同じバスが格納済みチェックサムとして報告するのも `00h` であるため、両者は一致します。そのためスイープは、チェックサムが 検証され、**かつ** Page 00h に 2 種類以上の異なる値が含まれている場合にのみ組み合わせを受け入れます。セクション 8.2 には、 この条件を追加する前にコマンドが報告した内容を記録しています。

値がすでにわかっている場合は、それを渡してスイープを省略します。

```
python cmis_mci.py spi-probe --transport spi --n 4 --read-bit 0
```

失敗した場合、コマンドは確認すべき事項を報告し、意図的に「モジュールは応答した」という慰めを示しません。 SPIMCI ではそれは何の情報にもならないからです。

6.3 モジュールを読み出す

```
python cmis_mci.py bringup  --transport spi --n 4 --read-bit 0
python cmis_mci.py identify --transport spi --n 4 --read-bit 0
python cmis_mci.py read --transport spi --page 01h --byte 251 --n 4 --read-bit 0
```

最後のコマンドのページ読み出しでは、ページ選択の書き込みが不要である点に注意してください。ページはトランザクションヘッダに 含まれて送られます。

7 アナライザがもたらすもの

CMIS SPIMCI アナライザでデコードした `CSn`、`CLK`、`IOTI`、`IITO` のキャプチャには、4 + N + M のフレーミング、 アクノリッジバイト、およびトランザクションがアドレス指定したレジスタが表示されます。

さらに、仕様が実際に定義している唯一のエラー条件を報告します。これは汎用デコーダでは構造上表現できないものです。

ABORT。 通常の STOP は、予定された時点で 8 ビット境界に位置します。8 ビット境界以外、または予定より早い不規則な STOP は トランザクションを終了させ、「不完全に受信されたバイトは、受

信側で破棄または無視されなければならない」とされています。 標準の SPI デコーダは、チップセレクトのデアサートによって中断されたワードを暗黙に破棄します。フレームもフラグもマーカーもありません。このケースこそが SPIMCI の ABORT 条件です。

アナライザは `N` を隠すのではなく表示します。`N` は明示的に設定することも、持続時間と速度で指定することも、`IITO` 上で バイト 4 から前方へ最初の 00h または FFh を探索して自動検出することもでき、その際には信頼度インジケータが表示されます。 すべてゼロのデータバイトが紛れ込む可能性があるためです。

> **CMIS SPIMCI アナライザは開発中であり、まだリリースされていません。** このセクションでは、アナライザが生成するデコードを 説明しており、読者が現時点で購入できる製品を説明しているわけではありません。

8 測定結果

8.1 テスト構成

表 9. テスト構成

項目	値
アダプタ	Binho Supernova、シリアル `4F970418…1111`、ファームウェア 4.4.0、ハードウェアリビジョン C
SDK	`binhosupernova`、Python 3.13
モジュール	なし。モジュールの代わりに、SPIMCI ファームウェアを搭載していない NXP FRDM-MCXN947 を配線
バス	3.3 V、1 MHz、モード 0、Binho アダプタボードのチップセレクト S0

8.2 結果

観測、2026 年 8 月 15 日。 モジュールを接続していないバスに対して発行した SPIMCI 読み出しは完了し、有効なアクノリッジを返し、 データとして `00 00` を返しました。これがセクション 1 の根拠となる観測であり、特定のモジュールではなくエンコードの性質です。

観測、2026 年 9 月 2 日。上記よりも悪い結果です。 同じプローブを、存在し、電源が入り、正しく配線されているものの、 SPIMCI ファームウェアを実行していないボードに対して実行したため、返されたバイトはすべて `00h` でした。コマンドは モジュールが存在しないとは報告しませんでした。正常なモジュールであると報告したのです。

```
N        : 2 flow control bytes, transaction is 4 + 2 + M
R/Wn     : 0 means READ on this module
00h:222  : checksum 0x00 matches the stored byte

PASS     : the module is present and self consistent.
```

チェックサムが一致したのは、比較の両側がゼロだったからです。94 バイトの `00h` の合計は `00h` であり、同じ無応答のバスが 格納済みチェックサムとして報告したのも `00h` でした。セクション 6.2 が無応答のバスを除外するために頼っていたチェック自体が その無応答によって破られたため、ユーティリティは、チェックサムの一致を有効とみなす前に Page 00h に 2 種類以上の異なる値が含まれていることを要求するよう修正されました。同じハードウェアに対して、現在は次のように報告します。

```
FAIL     : no combination of N and R/Wn produced a valid Page 00h checksum.
           Either the module is absent, or CSn, CLK, IOTI or IITO are
           miswired. On SPIMCI a silent bus still returns a perfect ACK.
```

これは本ノート自身の主張が本ノートに当てはまったものです。成功したように見える立ち上げが、実は何も読んでいないことがあるのです。 付録 B.3 を実装するホストも、同じケースに備えなければなりません。

オフライン。 本ノートが駆動するレジスタアクセス層は AN0008 がセルフチェックするものと同じで、シミュレーションモジュールに対して 8 項目中 8 項目に合格しています。8 番目のケースは、このセクションで追加したものです。すべてゼロの Page 00h は、一致した チェックサムとして読むのではなく、拒否しなければなりません。

ハードウェア上、モジュールに対して。 まだありません。リビジョン 1.0 で未完了の事項は、SPIMCI モジュールに対する `N` のスイープ、極性の判定、識別情報の読み出し、および Page 00h のチェックサムです。セクション 8.2 で確立したのは 故障モードとそれに対するガードであり、成功経路ではありません。

9 トラブルシューティング

表 10. トラブルシューティング

症状	考えられる原因と対処
すべてのトランザクションが成功し、データがすべてゼロ	典型的な偽のアクノリッジです。モジュールが存在しないか、電源が入っていないか、設定されていません。94 個のゼロは値ゼロの格納済みチェックサムと一致するため、Page 00h に 2 種類以上の異なる値が含まれていることも要求した場合にのみ、チェックサムでこれを区別できます
`spi-probe` で有効な組み合わせが見つからない	`N` を疑う前に、`CSn`、`CLK`、`IOTI`、`IITO` の配線を確認してください。無応答のバスでもアクノリッジは返ります
フロー制御バイトが 00h でも FFh でもない	`N` が誤っているため、読んでいるバイトはアクノリッジではなくデータまたは制御バイトです
データが 1 バイト以上ずれている	`N` がその分だけずれています。手作業で調整せず、スイープを再実行してください
読み出しではデータが返るが、書き込みが無視されるように見える	R/Wn の極性が反転しています。もう一方の `--read-bit` を試してください
トランザクションがワードの途中で切れる	不規則な STOP、すなわち ABORT 条件です。`CSn` を他に駆動しているものがないか確認してください
アダプタが転送不足を報告する	転送長とペイロード長が一致していません。これはバスの障害ではなく、ホスト側のバグです

10 略語

表 11. 略語

用語	意味
ACK	Acknowledgement（アクノリッジ）。SPIMCI では 00h
CPO	Co-packaged optics（コパッケージドオプティクス）
CMIS	Common Management Interface Specification
CSn	Chip select（チップセレクト）、アクティブロー
IITO	Initiator In, Target Out
IOTI	Initiator Out, Target In
MCI	Management Communication Interface
NACK	Negative acknowledgement（否定応答）。SPIMCI では FFh
OIF	Optical Internetworking Forum
RAL	Register Access Layer（レジスタアクセス層）
SPIMCI	SPI Management Communication Interface

11 本書のソースコードに関する注記

本書に示し、付属のアーカイブで提供しているサンプルコードは、評価および参考を目的として提供されています。 MIT ライセンスの下でリリースされており、ライセンスの全文はアーカイブに含まれています。

表 12. アセットアーカイブの内容

ファイル	説明
`AN0010.md`	本書の Markdown ソース
`assets/cmis_mci.py`	リファレンスユーティリティ。AN0008 から AN0011 で共有
`assets/LICENSE`	サンプルコードを対象とする MIT ライセンス

12 改訂履歴

表 13. 改訂履歴

リビジョン	日付	説明
0.1	2026 年 9 月 1 日	社内レビュー用ドラフト。仕様の内容は検証済み。手順はまだハードウェアで実行していません。
0.2	2026 年 9 月 2 日	AN0009 から番号を変更。SPIMCI ファームウェアを搭載していないボードに対して `spi-probe` を実行：すべてゼロの偽のアクノリッジが Page 00h チェックサムをすり抜け、コマンドは PASS を報告しました。ユーティリティは現在、単一の値が繰り返されるページを拒否し、セクション 8.2 に両方の出力を記録しています。SPIMCI モジュールはまだ接続していません。
1.0	2026 年 11 月 6 日	公開。

法的情報（英語）

Definitions

Draft

A document marked draft is under internal review and subject to formal approval. Binho Inc. makes no representation or warranty as to its accuracy or completeness and accepts no liability arising from its use.

Disclaimers

Limited warranty and liability

Information in this document is believed to be accurate and reliable. Binho Inc. makes no representation or warranty, express or implied, as to its accuracy or completeness, accepts no liability for the consequences of its use, and takes no responsibility for content originating outside Binho Inc.

In no event shall Binho Inc. be liable for any indirect, incidental, punitive, special or consequential damages, including without limitation lost profits, lost savings, business interruption, or costs of removing or replacing any product, whether or not based on tort, warranty, breach of contract or any other legal theory. Notwithstanding any damages a customer might incur, the aggregate and cumulative liability of Binho Inc. is limited in accordance with its terms and conditions of commercial sale.

Right to make changes

Binho Inc. reserves the right to change the information in this document, including specifications and product descriptions, at any time and without notice. This document supersedes all information supplied prior to its publication.

Suitability for use

Binho Inc. products are not designed, authorized or warranted for use in life support, life-critical or safety-critical systems or equipment, nor in applications where failure of a Binho Inc. product can reasonably be expected to result in personal injury, death, or severe property or environmental damage. Any such inclusion or use is at the customer's own risk and Binho Inc. accepts no liability for it.

Applications

Applications described here are illustrative only. Binho Inc. makes no warranty that they are suitable for the specified use without further testing or modification. Customers are responsible for the design and operation of their own applications and products, for appropriate design and operating safeguards, and for determining whether a Binho Inc. product is suitable and fit for their purpose. Binho Inc. accepts no liability for assistance with applications or customer product design.

Third-party products and specifications

This document refers to products, boards, specifications and documentation supplied by third parties, which remain the responsibility of their respective owners. Binho Inc. makes no warranty regarding them and their behavior may change without notice. Register maps, protocol details and device identifiers reproduced here were observed on the specific hardware and firmware versions stated in this document and must be confirmed against the vendor's own documentation for the reader's part.

Example code

Source code supplied with this document is provided as an example, for evaluation and reference. It is not qualified for production use, has not been developed under a functional safety or security process, and is licensed under the terms accompanying it in the distribution archive.

Terms and conditions of commercial sale

Binho Inc. products are sold subject to the general terms and conditions of commercial sale published by Binho Inc., unless otherwise agreed in a valid written individual agreement, in which case only the terms of that agreement apply.

Export control

This document and the items it describes may be subject to export control regulations. Export may require prior authorization from the competent authorities.

Security

All products may be subject to unidentified vulnerabilities or may support security standards with known limitations. The customer is responsible for the design and operation of its applications and products throughout their lifecycle to reduce the effect of such vulnerabilities, and for compliance with all legal, regulatory and security requirements concerning its products.

Trademarks

All referenced brands, product names, service names and trademarks are the property of their respective owners. **Binho** and the Binho logo are trademarks of Binho Inc. **CMIS** および **OIF** は Optical Internetworking Forum の商標または登録商標です。 **Saleae** および **Logic** は Saleae, Inc. の商標です。