

# シングルペアーサネット パワーレベルの向上

## Wijnand van Gils

プリンシパルR&D/プロダクトDVLエンジニア

## Peter Jaeger

シニア・プリンシパルR&D/プロダクトDVLエンジニア

## Michael Hilgner

プリンシパルR&D/プロダクトDVLエンジニア

## 概要

最大1Gbps/600MHzのデータ伝送用と最大8Aの電力伝送用の2つのピンペアを持つ産業環境向けSPEコネクタを紹介します。データ用とパワー用のピンペアを持つハイブリッドコネクタで、データ信号とパワー信号の干渉を避けるために、ピンペアを金属シールドで分離しています。その結果、電力レベルと電力線のネットワーク・トポロジーに関する柔軟性が向上します。これは、M8コネクタのフォームファクタ内にすべてが配置されており、スイッチモード電源のような電力伝送から高調波によるデータ伝送の劣化を防ぐことが課題となっています。

## はじめに

シングルペアーイーサネット (SPE) は、1本の銅線ペアで最大1Gbpsのデータ伝送を実現する技術です。従来のファーストイーサネットやギガビットイーサネットの4本または8本から2本に減らすことで、この技術はより小さなコネクタサイズを可能にし、終端処理の手間を省きます。このため、イーサネットをセンサーレベルまで下げ、センサーをITシステム (クラウド) に直接接続し、IIoT (Industrial Internet of Things) の付加価値サービスをサポートするのに適しているのです。

SPEの最初の実装は、既存のオートメーションシステムにセンサーを追加して拡張し、マシンデータを上位のIT (クラウド) システムに提供して、状態監視や予知保全などの付加価値の高いIIoTサービスを実現することを想定しています。このような実装では、階層的なスター構造を使用し、下層にあるI/Oモジュールやセンサー用の電力を、データ伝送に使用するケーブルと同じケーブルで供給する必要があります。ファクトリーオートメーションのアプリケーションをターゲットとする 40m/1Gbps のセグメントでは、Power over Data Line (PoDL) [1] が 1.36A までの電流に適しています。しかし、このようなカスケード構造でしばしば発生する大電流には、別のアプローチが必要です。

2つのピンペアを持つ産業環境用SPEコネクタの設計が最近開発されました。1つはIEEE 802.3bpで定義された1Gbps/600MHzまでのデータ伝送に使われ[2]、もう1つは最大8Aの電流による電力伝送に対応しています。このコネクタのインターフェースは、2020年1月20日に発行されたIEC 63171-6 [3]で、余分なパワーペアを持たないバリエーションとともに標準化されています。この規格に含まれる2つのインターフェースバリエーションを持つコネクタを図1に示します。データと電源のピンペアを持つハイブリッドコネクタは、図2に見られるように、データ信号と電源信号の干渉を避けるために、ピンペアを分離する金属シールドを備えています。このハイブリッドコネクタは、M8コネクタの形状に収まっているため、スイッチモード電源のような電力伝送から高調波によるデータ伝送の劣化を防ぐことが課題となっています。このコネクタには、SPEと電源のペアを含むケーブルが必要です。このケーブルでは、SPE ペアは IEC 61156-12 に従って設計されており、この SPEペアもコネクタと同様に電源ペアからシールドされています。電源ペアは18AWG線が使用されています。

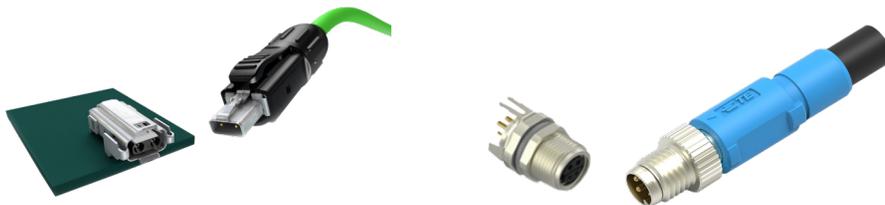


図1 : IEC 63171-6 に準拠したシングルペアーイーサネットコネクタ: (a) PoDL 経由で最大 1.36A の電力供給が可能な SPE 用 IP20 コネクタ. 1.36 A (b) SPE用IP67ハイブリッドコネクタ、最大8 Aの電流に対応する独立したパワーコンタクト付き

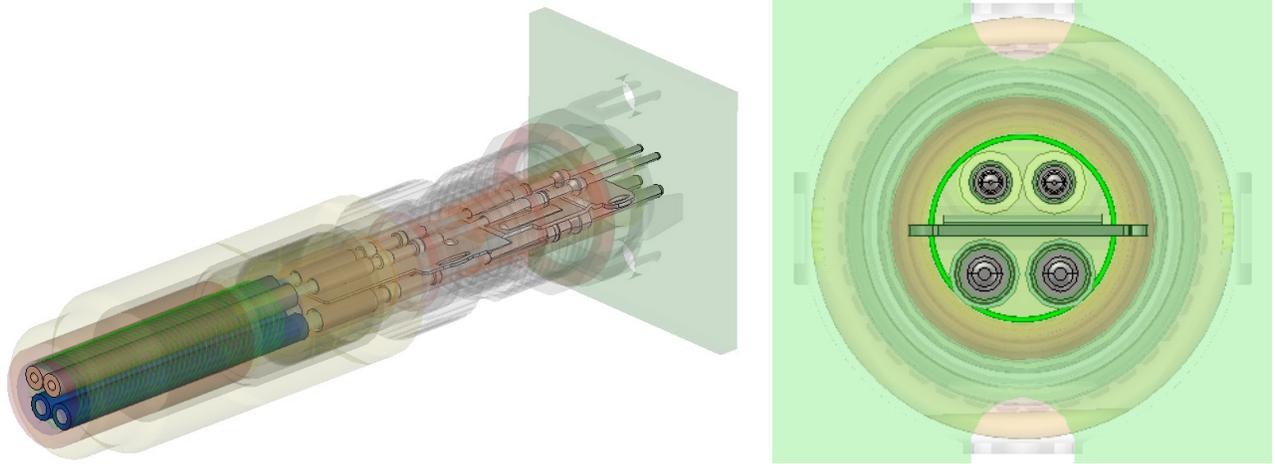


図2：電源ラインからデータラインへの干渉を回避するIP67コネクタの内部シールド：(a) 透視図、(b) 断面図

## PoDLまたは電力線分離

PoDLは、IEEE802.3buで標準化された、電力とデータをわずか2本の信号線で結合する非常にコンパクトな方法です。これにより、より小型・軽量の接続ソリューションを必要とする将来の多くの新しいアプリケーションを実現することができます。現在、PoDLはポイント・ツー・ポイント接続のために定義されており、一方にはIEEEで「Power Sourcing Equipment」(PSE)と名付けられた電源があり、もう一方には「Powered Device」(PD)があります。電力がデータ線に注入されたり、データ線から引き抜かれたりしても、データ伝送に支障をきたさないようにしなければなりません。PHYチップと電力をデータラインに接続するために使用できる典型的な回路を図3に示します。SPEの基本回路は、コモンモードノイズを抑制するためにコモンモードチョーク(CMC)とコモンモードターミネーション、DCブロックコンデンサを組み合わせる必要があります。電源ラインは、データ信号を乱さないように、PSEまたはPDとデータラインの間にローパスフィルタを追加したり、直列インダクタのみを追加してSPEラインに接続することが可能です。

PoDL規格から逸脱することが重要になる場合があります。その理由は、より高い電力レベルの必要性など、多岐にわたります。例えば、電子モータへの電源供給に高い電力レベルが必要です。また、また、カスケード接続された複数のPDに電力を供給するために、ネットワーク上で電力を分配する方法について、より柔軟性が重要になる場合もあります。PoDLを避けるもう一つの理由は、データと電力をガバナニック分離する必要があることです。これは、例えば、電力信号のフィルタリングの労力を軽減することができます。したがってハイブリッドコネクタは、信号と電源のペアを分離しながらも、標準的なM8コネクタの小さなフォームファクターで、データと電源のための1つの接続ソリューションを提供するために開発されたものです。電力接点は、8Aの電流を扱うことができます。このようなハイブリッドコネクタの可能性について、以下に詳しく説明します。

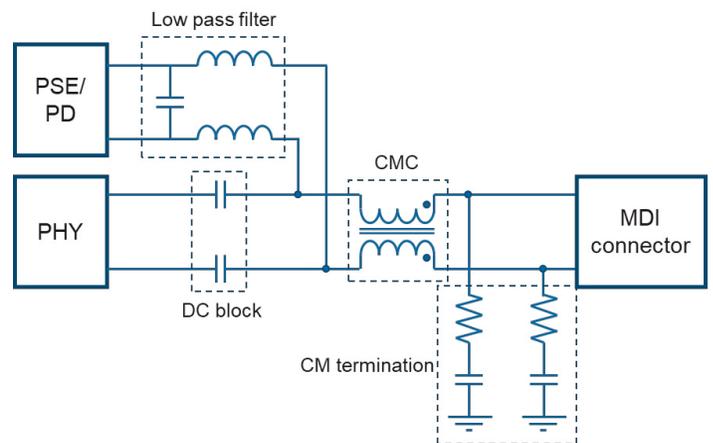


図3：PoDLを搭載した汎用SPE回路

## パワー伝達

PoDLでは、PDに供給できる最高電力レベルは約50W、最大電流は1.36Aである。この場合、PSE側の電圧も最高でDC60V（PD側ではDC48V以上）が必要となる。ハイブリッドコネクタの高い通電能力は、より高い電力レベルを供給する機会を提供します。最終的には、許容される電圧降下とケーブル上の許容損失量によって、受信電力レベルが決まります。可能な電力転送に関する洞察を得るために、図4に示す[4]に記載されている基本的なセットアップを想定しています。

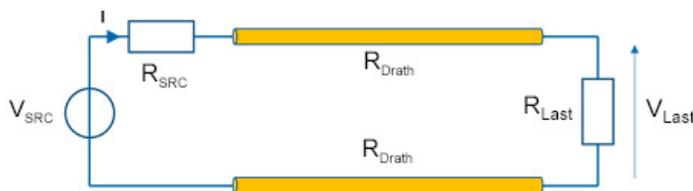


図4：電力伝送のための基本回路

図4は、左側のPSE（Power Sourcing Equipment）を示しており、ここには内部抵抗を持つ電圧源が含まれています。2番目の部分は損失を伴うケーブルで、右側には、特定の電圧範囲を必要とする負荷抵抗を含むパワードデバイス（PD）があります。この設定により、定義された長さのケーブルに伝達される電力と電流を決定することができます。18AWGの銅線を想定し、簡略化のためにソース抵抗を無視すると、図5に示すような結果が得られます。

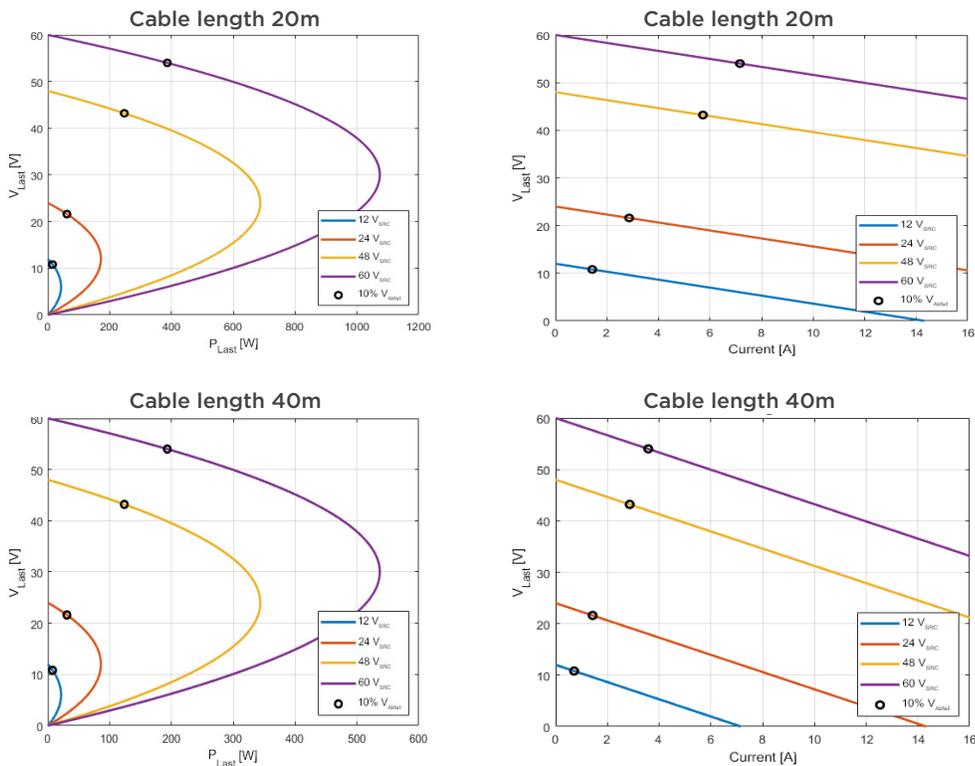


図5：18AWG銅線における送信電力と電流に対する電圧降下

図5の左側では、電力が増加すると負荷の電圧が低下することがわかりますが、これは電力ペアを流れる電流が増加することが原因です。電圧降下が50%の場合、転送される電力量は最大になりますが、PDに安定性の問題を引き起こす可能性があるため、通常はこの最大値は使用されません。

ほとんどの電気機器は、定格電圧より10%低い電圧を最低限受け入れています。ケーブルに10%の電圧降下があると仮定すると、電力効率は約80%になります。この電圧降下は、小さな黒い円で示されています。PoDLの場合、電圧降下は20%まで上がる可能性があることに注意してください。図5は、ケーブルの長さが20mと40mの場合の結果ですが、予想通り、ケーブルの長さは送電可能な電力量に明確に影響します。最大長40mの場合、電源電圧60Vで200W近く、20m以下では400Wまでの電力を供給できることがわかります。

## ガルバニック分離

PoDLでは、データと電力が同じ電線ペアで結合されています。そのため、直径の小さな単純な2線式ケーブルを使用することができます（電流レベルが1.5A以下であることも理由です）。この方式の欠点は、データ伝送上の障害を避けるために、ノイズと電力レベルの変化率に関する厳しい要件があることです。電源ライン上で予想される典型的なノイズは、スイッチモード電源やアクチュエーターから発生する電圧リップルである。そのため、特に産業環境では、PoDLを実装する際に、このノイズを抑制するために優れたフィルタ回路を使用することが重要です。電源とデータのペアを分離し、さらにシールドすることで、電源ラインの干渉がデータラインに与える影響を大幅に軽減することができます。

シールドの品質を判断するためには、どのようなノイズを抑制する必要があるのかを理解する必要があります。ノイズの一種はスイッチング電源から来るもので、適切に設計されていれば、通常0.25Vから1Vの間の電圧リップルを持つものである。しかし、DCモーターなどのアクチュエータからは、もっと不快なノイズが発生することがある。これは時間領域で非常に短いパルスの繰り返しであり、広い周波数帯域に渡ってノイズを発生させる可能性があります。IEC 61000-4-4は、このようなバーストに対する電気システムの耐性を評価するための試験セットアップを記述しています。図6に示すようなパルスを定義しており、周波数領域でのこのバーストの動作も確認することができます。このバーストのスペクトルから、主に低MHz帯でノイズが発生していることがわかります。つまり、低周波ノイズの影響を低減することが、ここでの主な優先事項です。

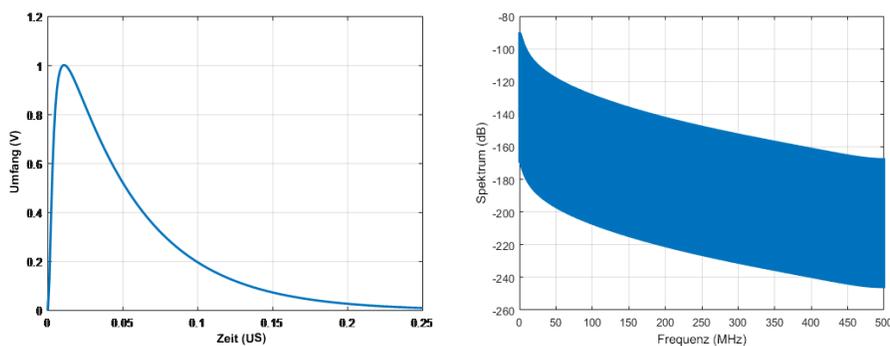


図6：IEC 61000-4-4 で定義されるバースト信号：(a) 時間領域でのパルス形状、(b) バーストのスペクトル

SPE PHYチップが扱えるノイズの量を知るために、ガイドラインとして2つのIEEE規格に従うことができます。PoDLを記述しているIEEE 802.3buでは、最大リップル数の電圧は、PSEやPDに起因する1kHz~10MHzの周波数範囲で、0.1Vppを許容する必要があります。1000BASE-T1メディアシステムを規定するIEEE 802.3bpからは、エイリアンクロストークノイズ除去の要件があります。図7は、ノイズ源がガウス分布で-100dBm/Hzのノイズを40mまでのリンクセグメントに供給し、PHYチップがデータを失うことなく耐えなければならない関連テスト回路を示したものです。

上記の要件は、ハイブリッドコネクタとケーブルを使用したSPEリンクの外部ノイズに対する耐性を確認するためのシミュレーションや測定に使用することができます。

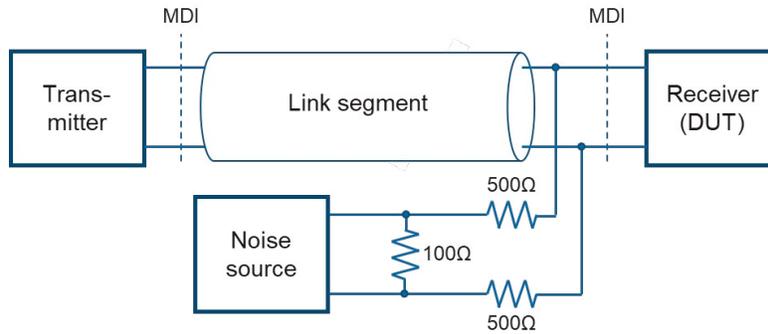


図7：IEEE802.3bpで定義されたクロストークノイズ除去のための試験環境

## 電力分布

電源と信号の接点分離することでもたらされるもう一つの可能性は、ネットワークにおける配電の実装の柔軟性を高めることです。PoDL設計では、ポイント・ツー・ポイント接続のみが可能です。PoDLを拡張して、1つのPSEで複数のPDに電力を供給する研究が行われていますが、それは10BASE-T1メディアシステムのみ焦点を当てたものです。ハイブリッドコネクタの電源ラインを追加することで、以下に説明するように複数のPDに電力を供給することができ、もちろん、PoDLを追加で使用することも可能です。PoDLとセパレート電源を相補的に使用する場合、配電用ネットワークを分割して、各種アクチュエータからのノイズに対応できるネットワークとSPE PHYチップのみに電力を供給するPoDLネットワークに分割できます。ネットワーク内の電力ノードに電力を供給するために可能なトポロジーの例を図8に示しています。ここでは、1つのPDに多くの電力を供給する必要がある場合、別々の電力線上の電力分配をポイントツーポイントで適用することができます(8a)。また、バス経由(8b)やスイッチ経由(8c)で、ノイズの多い複数のアクチュエータに電力を供給することも可能です。最後に、電力量が十分でない場合、別のPSEを追加することが常に可能です(8d)。

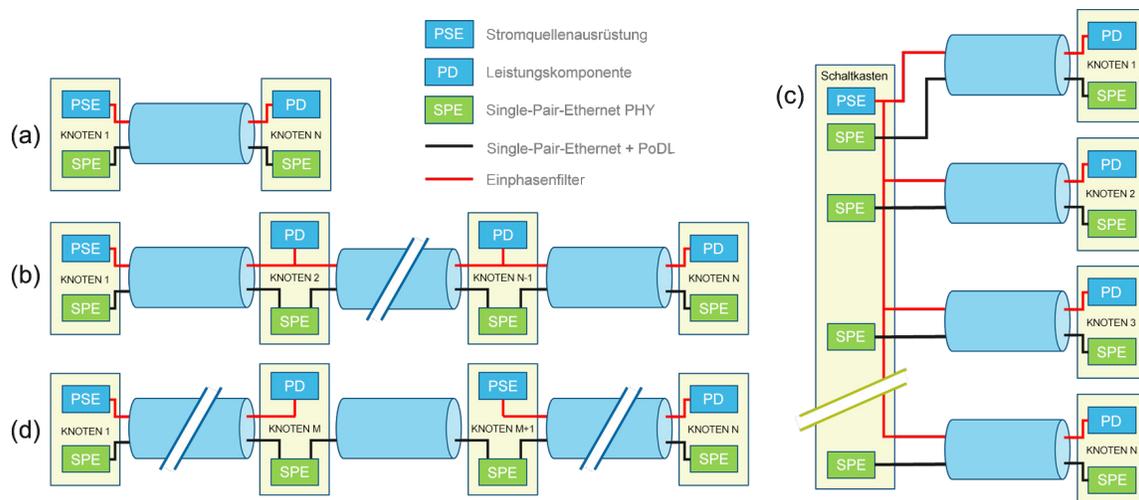


図8：ネットワークトポロジーのハイブリッドコネクタ：(a) Point to Point, (b) Bus powered, (c) Switch possibility, (d) Bus powered with additional resupply points

---

## 結論

既存のSPEコネクタを補完するコネクタが検討されています。PoDLを適用して電力を転送できるSPEインターフェースの隣に、M8コネクタという小さなフォームファクタの中にパワーコンタクトを追加したものです。コネクタに接続するケーブルは若干重く直径が広いいため、PoDLよりも高い電流レベルで高電力供給が可能になります。また、ネットワークポロジの柔軟性も向上します。さらに、データ伝送に影響を与えることなく、電源接点でより高いEMI妨害に対応することができます。このため、アクチュエータやセンサが機械に直接搭載されるようなネットワークには魅力的な候補となります。

## 参考文献

1. “IEEE802.3bu - IEEE Standard for Ethernet--Amendment 8: Physical Layer and Management Parameters for Power over Data Lines (PoDL) of Single Balanced Twisted-Pair Ethernet,” 2016.
2. “IEEE 802.3bp - IEEE Standard for Ethernet Amendment 4: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 1 Gb/s Operation over a Single Twisted-Pair Copper Cable,” 2016.
3. “IEC 63171-6 “です。電気・電子機器用コネクタ - 第 6 部：コネクタの詳細仕様 2ウェイおよび4ウェイ (データ/パワー)、シールド、フリーおよび固定コネクタ、最大600MHzの周波数でのパワーおよびデータ伝送用」、2020年。
4. Yair Darshan, “IEEE P802.3bu,” September 2014.[オンライン].利用可能 [http://www.ieee802.org/3/bu/public/sep14/darshan\\_3bu\\_1\\_0914.pdf](http://www.ieee802.org/3/bu/public/sep14/darshan_3bu_1_0914.pdf).



INDUSTRIAL  
PARTNER  
NETWORK

## Connect With Us

私たちは製品に詳しい担当者と簡単につながることができ、お客様が必要とするすべてのサポート体制が整っています。[www.te.com/support](http://www.te.com/support) にアクセスして、お気軽にお問い合わせください。

---

## te.com

TE Connectivity, TE Connectivity (ロゴ)およびEvery Connection Counts は私共の商標となります。

ただし、この書面に挙げられるその他のすべてのロゴ、製品および会社名は、その他の該当する所有者の商標である可能性があります。

図面、例示および図式などの、この書面に記載されている情報は例示目的のみを意図したものでありますが、正確な情報であると考えられております。

しかしながら、TEはこれらの情報の正確性または完全性に関しては一切の保証を行わないものとし、当該情報の使用に関して一切の責任を負わないものとなります。

TEの義務は、TE製品の標準的な販売条件に記載されているものに限られ、いかなる場合においても、TEは、当該製品の販売、再販、使用または悪用に起因する付随的、間接的、特別または派生的損害に対して責任を負わないものとします。

TE 製品のユーザーにおかれましては、各製品の特定用途への適合についてはご自身で判断していただくようお願いいたします。

©2022 TE Connectivity. All Rights Reserved.

5-1773984-7 09/22 Original