シングルペア
イーサネット

ワイヤーワールドのデータおよび電力

シングルペアイーサネットの概要

シングルペアイーサネット規格は、進化を続けるセンサ技術に対応するため、統一通信プロトコル、共通ネットワークインフラ、そして電源の供給が可能になっており、イーサネットの費用効率とプラグアンドプレイのシンプルさをワイヤーワールドの隅々にまでもたらします。

「インテリジェントビル」技術に対応するのはもちろん、生産/加工、ビルディングオートメーション、データセンタにおいて、エンドポイントセンサ技術およびユースケースが急速に進歩しています。さらに、輸送車両、自動車、トラック、航空機、および次世代自動運転車では、現行のシングルペア技術でサポートしている帯域幅よりも広い帯域幅が求められます。

TIA—TR42エンジニアリング委員会は、IEEEのシングルペア規格化に協力しつつ、シングルペア電気通信ケーブルインフラストラクチャ規格を開発しています。

本ホワイトペーパーでは、IEEE802.3イーサネットワーキンググループおよびTIA-TR42エンジニアリング委員会で行われているシングルペア規格化の概要を紹介します。

定義

IEEE802.3におけるリンクセグメント、媒体依存インターフェース(MDI)、および物理レイヤエンティティ(PHY)の定義はIEEE802.3全体にわたって解説され、以下のように説明されています。

- 物理レイヤエンティティ(PHY)は、媒体依存インターフェース(MDI)副層と物理媒体依存(PMD)副層との間に位置する物理層の一部です。PHYは、物理媒体で入力・出力される符号化信号を送信・受信・制御する機能を持ちます。
- 媒体依存インターフェース(MDI)は、伝送媒体とPHYとの間、および伝送媒体と任意の関連する受電側機器(PD)またはエンドポイント給電側機器(PSE)との間に位置する機械的および電気的インターフェースです。
- リンクセグメントは、2つの媒体依存インターフェース(MDI)間のポイントツーポイント全二重媒体コネクションです。

図1では、イーサネットスイッチはMDI(ここでは8極モジュラージャック(RJ45))を介して電力およびデータを提供しています。ツイストペアリンクセグメントは、MDI間の媒体(コネクタおよびケーブル)です。最長1,000メートルのシングルペアで様々なエンドポイントを接続し10Mb/sに対応している802.3cgトポロジーの図例です。

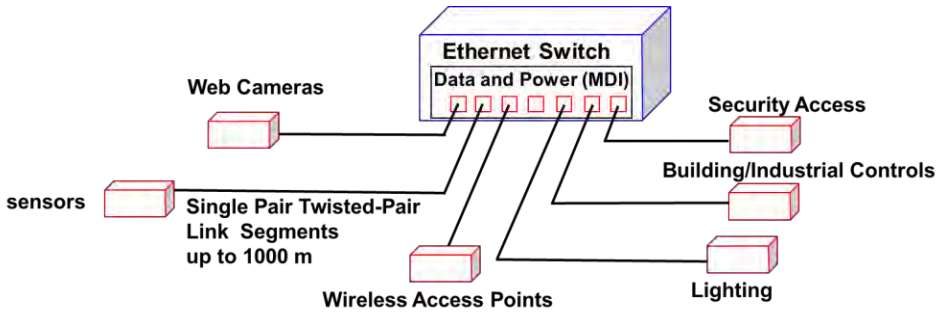

図1.802.3cgシングルペアイーサネット10Mb/sおよび電力

IEEE802.3規格:

IEEE STD 802.3BW-2015 100BASE-T1

100BASE—T1は、シングル平衡ツイストペアを介して自動車環境(例:電磁両立性、温度など)で100Mb/sの動作ができるように設計されたシングルペアイーサネット規格です。100BASE-T1のケーブルシステムは、最長15mまでのシングル平衡ツイストペアケーブルを使用可能で、また最大4個のインラインコネクタとインピーダンスが90Ω～110Ω(定格100Ω)である結合コネクタを2個までの接続でき、双方向同時に100Mb/sのデータレートで動作できます。

図2の自動車用配線システムの例では、1,500本のケーブルと3,000個のコネクタがあり、ケーブルの全長は3kmを超えます。重量は50kg(約110Lb)にもなります。コスト、重量、およびコンパクトさの点で、100Mb/sでの動作には非シ ールドツイストペアが望ましいです。

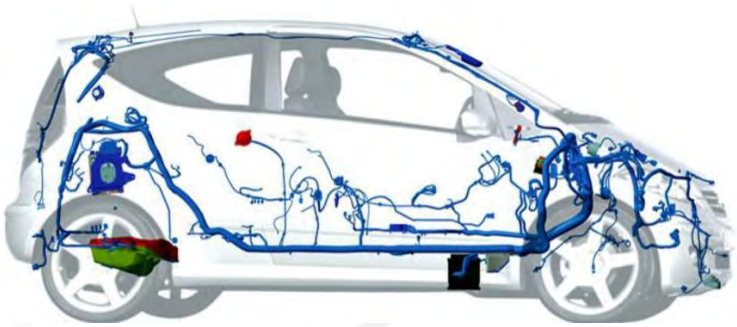

図2.自動車配線システム例

100BASE-T1 リンクセグメント

100BASE-T1リンクセグメント規格は、100BASE-T1が動作できるように規定された最低限のケーブル配線要件です。リンクセグメントの配線伝送パラメータとしては、特性インピーダンス、インサーションロス、リターンロス、および遅延があります。シングルペア動作の場合、リンクセグメント間の結合ノイズは外来漏話とみなされ、電力和外来近端漏話(PSANEXT)および電力和外来遠端減衰対漏話比(PSAACRF)として規定されています。非シールドケーブル配線を用いる場合、モードコンバージョンロスは、リンクセグメント間で結合される外来漏話ノイズ及び外部電磁波妨害を最小限に抑えるように規定されています。規定されている周波数範囲は、1MHzから200MHzまでです。

図3のリンクセグメントは、自動車リンクセグメント用の100BASE-T1(802.3bw)、1000BASE-T1Aタイプ(802.3bp)、802.3ch、および10BASE-T1S(802.3cg)に適用されます。

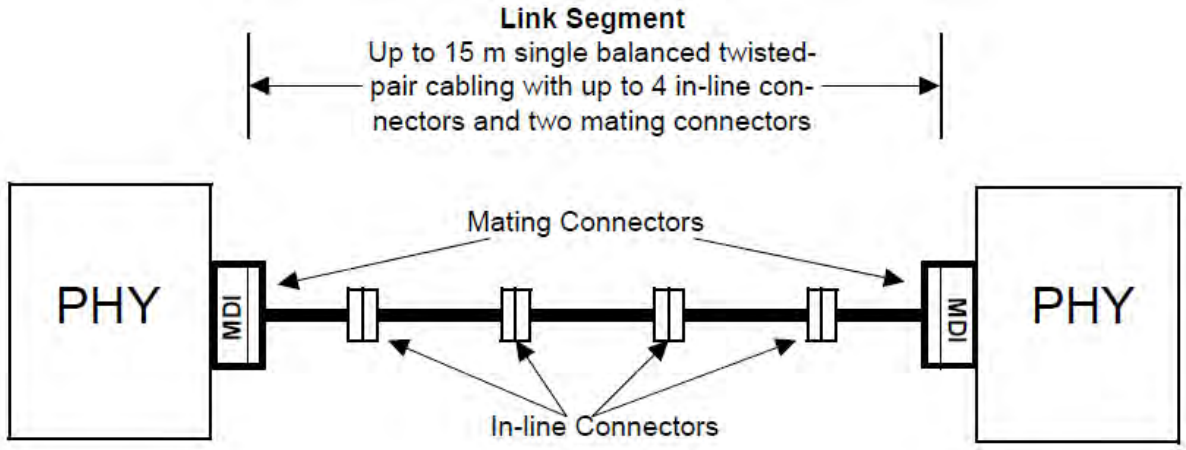

図3.自動車リンクセグメント例

IEEE802.3規格:
IEEE STD 802.3BP-2016 1000BASE-T1 PHY

1000BASE-T1は、自動車および工業用環境(例:電磁両立性、温度など)で1Gb/sの動作ができるように設計されています。1000BASE-T1は、シングルツイストペア銅ケーブルを介して双方向同時に実効データレートで1Gb/sが動作できるように設計されています。

2種類のリンクセグメントが規定されています。

1000BASE-T1 リンクセグメントAタイプ:

a) 少なくとも全長15mまでのシングルツイストペア銅線を使用し、最大4個までのインラインコネクタを接続できる自動車用途に最適化されたリンクセグメント。このリンクセグメントはリンクセグメントAタイプと呼ばれ、図3はその一例です。

1000BASE-T1リンクセグメントパラメータは、1000BASE-T1が動作できるように規定された最小限のケーブル配線要件です。リンクセグメントの配線伝送パラメータとしては、特性インピーダンス、インサーションロス、リターンロス、および遅延があります。シングルペア動作の場合、リンクセグメント間で結合されたノイズは外来漏話とみなされ、電力和外来近端漏話(PSANEXT)および電力和外来遠端減衰対漏話比(PSAACRF)として規定されています。非シールドケーブル配線を用いる場合、モードコンバージョンロスはリンクセグメント間で結合される外来漏話ノイズおよび外部電磁波妨害を最小限に抑えるように規定されています。規定されている周波数範囲は、1MHzから600MHzまでです。

1000BASE-T1 リンクセグメントBタイプ:

b)工業・自動制御および輸送(航空機、鉄道、バス、重量トラック)など、物理的な延長を要するアプリケーションに対応するために、少なくとも全長40mまでのシングルツイストペア銅線ケーブルを使用し、また最大4個までのインラインコネクタを接続できるリンクセグメントオプション。このリンクセグメントはリンクセグメントBタイプと呼ばれます。一例を図4に示します。

1000BASE-T1リンクセグメントパラメータは、1000BASE-T1が動作できるように規定された最小限のケーブル配線要件です。リンクセグメントの配線伝送パラメータとしては、特性インピーダンス、インサーションロス、リターンロス、および遅延があります。シングルペア動作の場合、リンクセグメント間で結合されたノイズは外来漏話とみなされ、電力和外来近端漏話(PSANEXT)および電力和外来遠端減衰対漏話比(PSAACRF)として規定されています。非シールドケーブル配線を用いる場合、モードコンバージョンロスはリンクセグメント間で結合される外来漏話ノイズおよび外部電磁波妨害を最小限に抑えるように規定されています。規定されている周波数範囲は、1MHzから600MHzまでです。

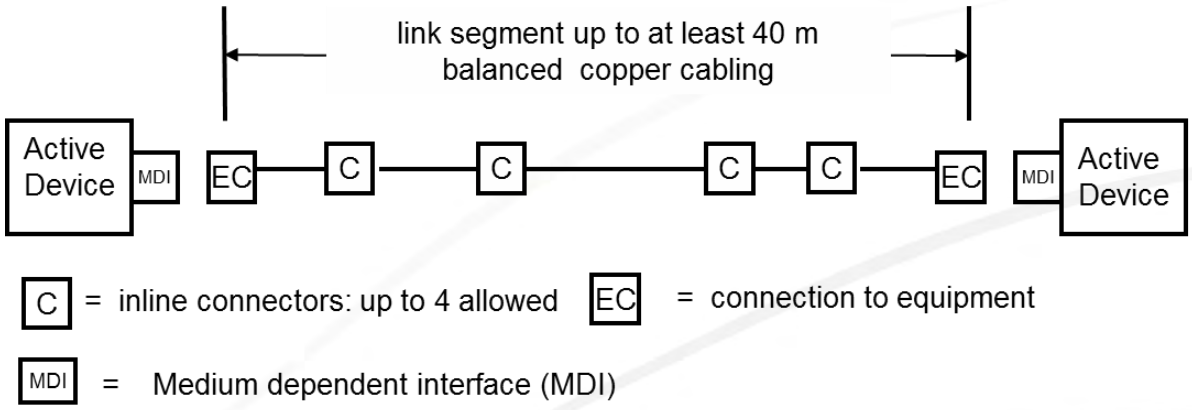

図4.1000BASE-T1リンクセグメントBタイプ例

IEEE802.3規格案:
IEEE P802.3CH MULTI-GIG AUTOMOTIVE ETHERNET PHY
タスクフォース

シングルペアリンクセグメント特性(ケーブル)に関連するP802.3chの目的および、適用データレートについて、以下に示します。802.3chリンクセグメントトポロジは図1に示されていますが、規格案は公開前に変更される場合があることにご留意下さい。

802.3ch規格は、以下のことを目的としています。

- 少なくとも全長15mの自動車向けケーブル(例えば、UTP、STQ、STP、SPP、同軸、またはTwinax)を1種類以上使用でき、最大4個までインラインコネクタを接続できるリンクセグメントを介して、ポイントツーポイントで2.5Gb/sの動作ができるように、自動車リンクセグメントおよび電気物理層の性能特性を定義する。
- 少なくとも全長15mの自動車ケーブルを1種類以上使用でき、最大4個までインラインコネクタを接続できるリンクセグメントを介して、ポイントツーポイントで5Gb/sの動作ができるように自動車リンクセグメントおよび電気物理層の性能特性を定義する。
- 少なくとも全長15mの自動車ケーブルを1種類以上使用でき、最大4個までインラインコネクタを接続できるリンクセグメントを介して、ポイントツーポイントで10Gb/sの動作ができるように自動車リンクセグメントおよび電気物理層の性能特性を定義する。

IEEE P802.3chリンクセグメントは、タスクグループで開発中です。

IEEE802.3規格案
IEEE P802.3CG 10MB/S SINGLE TWISTED PAIR ETHRNET
タスクフォース

シングルペアリンクセグメント特性(ケーブル配線)に関連するP802.3cgの目的、適用データレート、およびオプションの電力技術について、以下に示します。規格案は、発行前に変更される場合があることにご留意下さい。

- 自動車環境(例:電磁両立性、温度など)で、シングル平衡ツイストペアケーブルを介して10Mb/sの動作に対応する。
- 工業用環境(例:電磁両立性、温度など)で、シングル平衡ツイストペアケーブルを介して10Mb/sの動作に対応する。
- IEC60079で定義されている本質安全機器およびシステムの指針を除外しない。
- 最大4個までのインラインコネクタと少なくとも全長15mまでの平衡ケーブルに対応したシングルツイストペアを使用できるリンクセグメントを介して動作できるリンクセグメントとPHYの性能特性を定義する。

- 最大10個までのインラインコネクタと少なくとも全長1kmまでの平衡ケーブルに対応したシングルツイストペアを使用できるリンクセグメントを介してポイントツーポイント動作ができるリンクセグメントおよびPHYの性能特性を定義する。
- 10Mb/sのシングル平衡ツイストペアリンクセグメントで、10Mb/sのシングル平衡ツイストペアPHYと組み合わせて、自動車や工業用環境で使用する1種類以上の配電技術オプションを規定する。

2種類のリンクセグメントが規定されています。

10BASE-T1S リンクセグメント:

a) 少なくとも全長15mまでの平衡ケーブルと最大4個までのインラインコネクタに対応したシングルツイストペアを使用する自動車環境用10BASE-T1Sリンクセグメント。10BASE-T1Sリンクセグメントトポロジを図3に示します。

10BASE-T1Sリンクセグメントパラメータは、10BASE-T1Sが動作できるように規定された最小限のケーブル配線要件です。2017年12月時点で、本リンクセグメントの配線伝送パラメータとしては、インサーションロス、リターンロス、モード変換などがあります。非シールドケーブル配線を用いる場合、モード変換損失は、リンクセグメント間で結合される外来漏話ノイズ及び外部電磁波妨害を最小限に抑えるように規定されています。規定されている周波数範囲は、300kHzから200MHzまでです。

10BASE-T1L リンクセグメント:

b) 少なくとも全長1kmまでの平衡ケーブルと最大10個までのインラインコネクタに対応したシングルツイストペアを使用する工業用環境向け10BASE-T1Lリンクセグメント。10BASE-T1Lリンクセグメントトポロジを図5に示します。

1000BASE-T1Lリンクセグメント仕様は、100BASE-T1Lが動作できるように規定された最小限のケーブル配線要件です。2017年12月時点で、リンクセグメントの配線伝送パラメータとしては、インサーションロス、リターンロスがあります。シングルペア動作の場合、リンクセグメント間で結合されたノイズは外来漏話とみなされ、電力和外来近端漏話(PSANEXT)および電力和外来遠端漏話(PSAFEXT)として規定されています。規定されている周波数範囲は、100kHzから20MHzまでです。

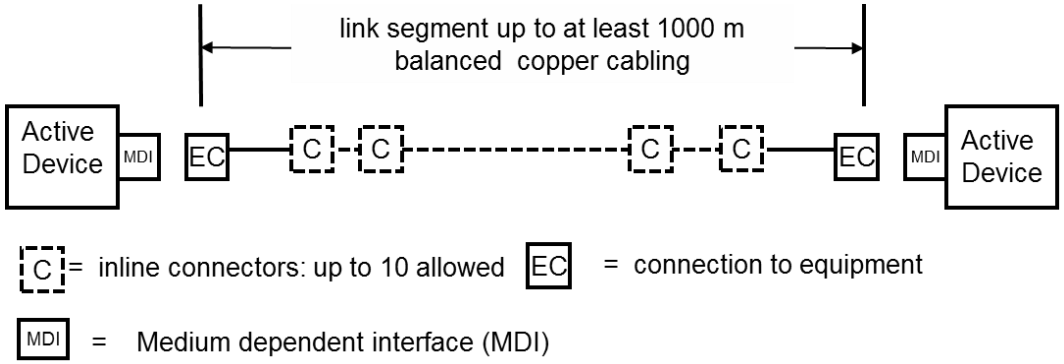

図5.10BASE-T1Lリンクセグメント例

電力供給オプション:

10Mb/sのシングル平衡ツイストペアリンクセグメント上で使用できる1つまたは複数の電力供給オプション技術を規定している802.3cgの目的は、規格案の付録200Aで取り上げられています。付録では、自動車および工業用環境における受電側機器(PD)および給電側機器(PSE)の機能的および電気的特性を定義しています。

同付録では、「ポイントツーポイント」および「給電トランクケーブル」の2種類の電力供給トポロジーが認められています。

ポイントツーポイント電力供給トポロジーを図6に示します。シングルペアポイントツーポイントリンクセクションに接続されたセンサ及びアクチュエータなどのシングルペアイーサネット受電側機器の図例です。

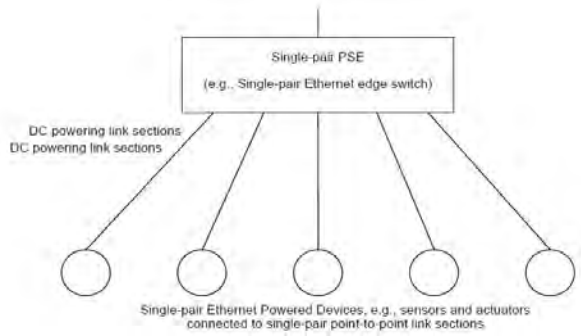

図6.ポイントツーポイント電力供給トポロジー

受電側機器(PD)に供給される電力の分類を表1に示します。1,000mのポイントツーポイント・リンクセグメントに対して給電側機器(PSE)が供給することができる最小常時電力(Ppd)が、クラス毎に定義されています。59Ωのループ抵抗は1,000mの18AWG電線・ケーブルおよび10個のインラインコネクタをもとに算出され、39Ωのループ抵抗は1,000mの14AWG電線・ケーブルおよび10個のインラインコネクタをもとに算出されています。

Class	Vpse, min (V)	Ipi, max (A)	Rloop (60C) (ohm)	Ppd(min) (1000 m) (W)
1	20	.102	59	1.4
2	20	.155	39	2.2
3	50	.255	59	8.9
4	50	.388	39	13.6

表1:ポイントツーポイントクラスの電力要件

「給電トランクケーブル」の給電トポロジーを図7に示します。タスクグループでは、電力による分類を検討しています。

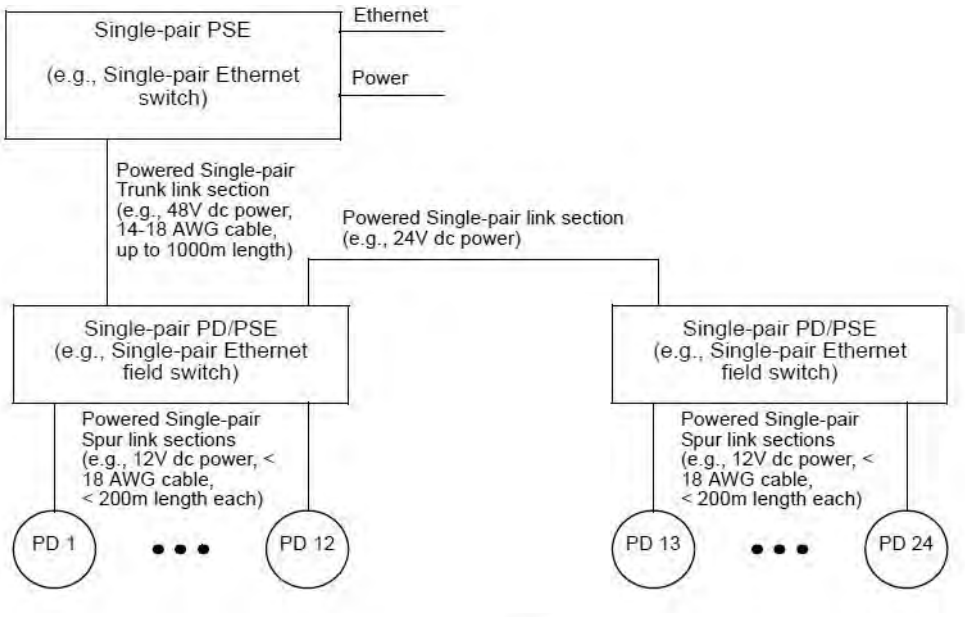

図7.「給電トランクケーブル」トポロジー

IEEE802.3規格:
IEEE STD 802.3BU-2016 1-PAIR POWER OVER DATA LINES (PoDL)

PoDLはシングルツイストペアリンクセグメント上で使用するための配電技術を規定し、デ ータが存在しない場合であっても給電動作が可能です。PoDLは自動車、輸送、および産業制御の業界向けの電圧および電流レベルに対応しています。PoDLシステムのブロック図を図8に示します。受電側機器(PD)および電源装置(PSE)システムは、それぞれの電力インターフェース(PIs)において互換性があるものとして定義されています。

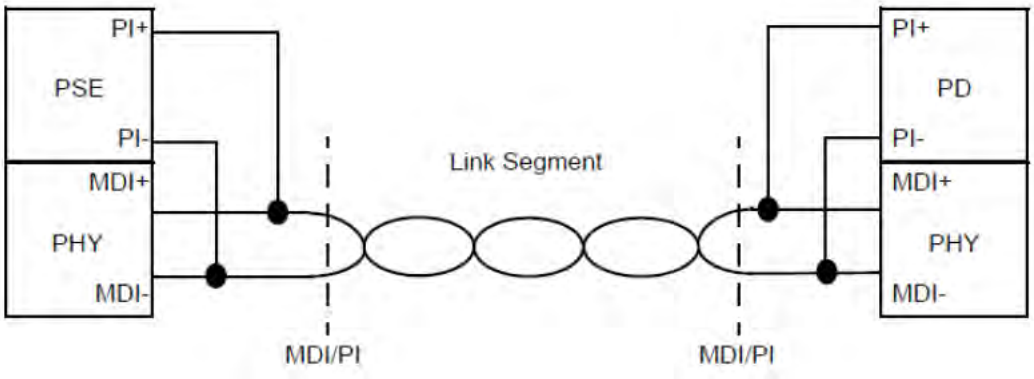

図8.PoDLシステムブロック図

PoDL電源装置(PSE)および受電側機器(PD)はクラス分類されています。クラスおよび関連する電気仕様を表2に示します。PDに供給される電力は、Ppd(ワット)です。

	12 V非規制PSE		12 V規制PSE		24 V非規制PSE		24 V規制PSE		48 V規制PSE	
クラス	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vpse(最大)V	18	18	18	18	36	36	36	36	60	60
Vpse(最小)V	5.6	5.77	14.4	14.4	11.7	11.7	26	26	48	48
Ipl(最大)mA	101	227	249	471	97	339	215	461	735	1360
Pclass(最小)W	0.566	1.31	3.59	6.79	1.14	3.97	5.59	12	35.3	65.3
Ppd W	0.5	1	3	5	1	3	5	10	30	50

表2:PSE、PI、およびPDのクラス電力要件表

図9では、PoDL使用事例として電気通信室内の電源装置(PSE)が機器ケーブルを利用して水平ケーブルパッチパネルに相互接続される構成を示しています。相互接続は、機器コードを使用して、パッチパネルでPSEケーブルの再配線ができます。両方の構成において、水平ケーブルの遠隔端の受電側機器(PD)は、ワークエリアケーブルを介して電気通信アウトレットに接続されます。

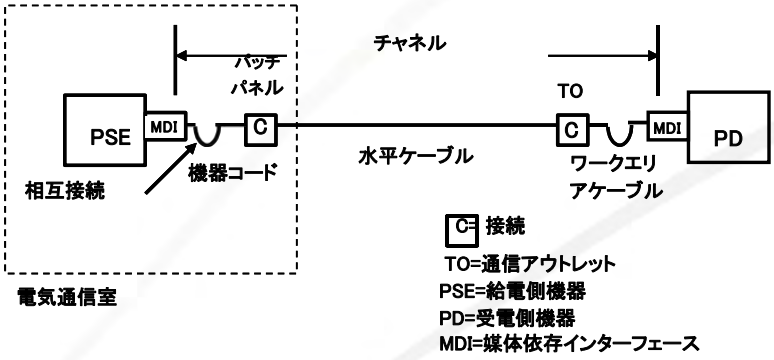

図9.電力相互接続構成

定義:

ANSI/TIA-568-C.0は、本ホワイトペーパーで使用される環境分類について付録Fで記載しており、以下のように説明されています。

MICEは、ケーブルが配置される環境を記述するための環境分類です。MICEの規定には、M（機械振動）、I（ホコリと水滴）、C（温度、湿度等）、およびE（電磁誘導）が含まれます。一般的に、MICE1(M1I1C1E1)は商用ビルオフィスなどの環境制御可能な環境、MICE2(M2I2C2E2)は軽度の工業用環境、MICE3(M3I3C3E3)は工業用環境を意味します。
混合環境を有するエリアの分類は、各変数の分類レベルの数字を含む(例：M1I2C3E1)ことによって記述することができます。ケーブルシステム構成要素が環境境界を越える場合、それが露出される最悪の場合の環境にも適応するように、構成要素や低減技術が選択されるべきです。

TIA-TR42 TR42.1シングルペアプロジェクト

- ANSI/TIA-862-B-2 インテリジェントビル

ANSI/TIA862-Bにシングルツイストペアのユースケース、トポロジー、アーキテクチャを追加する修正で、IBSアプリケーションに使用される4ペアのケーブルに加えて、1ペアのケーブルを敷設するビルに適用できるガイドラインを提供します。この規格には、設置要件と、外被共有を含む2組の4ペアから1ペアのケーブル配線への移行に関する追加ガイドラインが含まれています。またこの規格はIoTデバイスにサービスを提供するために、より高い密度、小さなサイズ、およびより高い柔軟性が求められるIoTおよびM2Mアプリケーションに適用できるシングルツイストペアケーブル配線ガイドラインも提供します。

- ANSI/TIA-568.0-D-2 汎用ケーブル

シングルペアTR42.1汎用ケーブル配線の範囲は、TR42.1で検討されています。範囲に関するプレゼンテーションでは、TIA　TR42.1が一般的なシングルペアケーブルアーキテクチャを規格化することによって、100BASE-T1、1000BASET-T1、10BASE-T1、または10GBASE-T1をビルに適用できるようにするための規格を開発することを提案しています。

TIA-TR42 TR42.7シングルペア計画

- ANSI/TIA-568.5 シングル平衡ツイストペア 電気通信ケーブルおよびコンポ ーネント規格

非工業用構内電気通信ネットワークにおいて1対接続で使用するケーブル、コネクタ、コード、リンク、およびチャネルの仕様を提供するシングル平衡ツイストペアケーブル配線およびコンポーネントの規格です。この規格はMICE1環境に焦点を当て、ケーブル配線およびコンポーネントの性能要件およびテスト手順、信頼性要件およびテスト手順、ならびに4ペアケーブル配線に適用できるガイドラインを含みます。

- この規格は、設置されたシングルペアケーブルの性能を検査するためのフィールドテスタ仕様を含みます。ケーブル伝送性能要件は、100kHzから600MHzまでです。
- 100mおよび15mのチャネル構成に対応します。100mテスト構成は、TIA—568の4ペアケーブル接続トポロジーと一致します。15mのトポロジーは、15mのケーブルで動作するように規定された100BASE-T1、1000BASET-T1、10BASE-T1、および10GBASE-T1技術に対応できるようになります。

TIA-TR42 TR42.9シングルペアプロジェクト

- ANSI/TIA-1005-A-シングル平衡ツイストペア　電気通信ケーブルおよびコンポーネント規格

シングルツイストペアケーブルおよびコンポーネントの規格は、工業用構内電気通信ネットワークにおいて1ペア接続で使用するケーブル、コネクタ、コード、リンク、およびチャネルの仕様を提供します。この規格はMICE2およびMICE3環境に焦点を当て、ケーブル配線およびコンポーネントの性能要件およびテスト手順、信頼性要件およびテスト手順、ならびに4ペアケーブル配線に適用できるガイドラインを含みます。

まとめ

われわれは、データと電力が融合した新しいワイヤーワールドにいます。シングルペアイーサネットおよびTR42の規格は、新しい種類の低電力イーサネットデバイスの実現に備えており、2022年に数十億まで増加が見込まれるエンドポイントセンサに対して、ネットワーキングおよび電力供給を可能にします。

詳細情報については、以下Webサイトをご覧ください。

WWW.AEM-TEST.COM