

EtherCAT[®] 敷設ガイドライン

EtherCAT ネットワークの
プランニング、敷設、試運転のガイドライン

Document: ETG.1600 G (R) V1.0.3 JW04

Nomenclature:

ETG-Number	ETG.1600
Type	G (ガイドライン)
State	R (リリース)
Version	V1.0.3 JW04
Created by:	EtherCAT Technology Group
Contact:	info@ethercat.org
Date:	2022-03-24

LEGAL NOTICE

商標権および特許権

EtherCAT®は、ドイツBeckhoff Automation GmbHにライセンス許諾された登録商標および特許で保護された技術である。本書で使用されているその他の名称も登録商標である可能性があり、第三者が独自の目的で使用すると、所有権の侵害に当たる場合がある。

免責条項

本文書の作成に当たっては十分な注意を払っているが、記載されている製品は絶えず開発が進められている。そのため、本文書は、パフォーマンスデータ、規格、その他の特性との整合性確認が行われていない場合がある。技術上、あるいは編集上の誤りがあった場合、われわれは、警告なしにいつでも修正する権利を保有する。また、本文書のデータ、図、記述に基づいて、供給済みの製品の変更に関する申し立てを起こすことは認められない。

著作権

© EtherCAT Technology Group

明示的な許可なく、本文書を回覧、複写したり、その内容を使用、共用したりすることは許されない。違反したものは法的責任を負う。特許権が承認されているもの、実用新案、意匠登録が承認されているものについては、無断複写、複製、転写を禁ず。

文書履歴

バージョン番号	コメント
1.0.0	初版
1.0.1	Figure 14 と 25 の静電容量値を修正
1.0.2	Table 12 に説明を追加
1.0.3	セクション 4.2 を改訂、5.4.2 と Table 10 を更新、5.8 の文章改訂、6.4 に M8 コネクタを追加、7.4 のハードウェアエラーカウンタ名称を ETG.1000 仕様書に準拠

和訳履歴

改訂番号	内容
JW01	V1.0.0 和訳
JW02	V1.0.1 和訳更新
JW03	レイアウト崩れ修正
JW04	V1.0.3 和訳更新

CONTENTS

1	前書きおよび本書の範囲	1
2	参考文献	2
3	用語、定義および用法	3
	3.1 用語と定義	3
	3.2 用語の用法: shall, should, may, can	3
4	EtherCAT の基礎	4
	4.1 ネットワーク設定	4
	4.2 物理層メディア	4
	4.3 トポロジ	5
	4.4 リンク検出とフレーム経路制御	6
	4.5 オン・ザ・フライ処理	8
5	プランニング	9
	5.1 環境条件	9
	5.2 トポロジの定義とデバイスの配置	9
	5.3 チャンネル内のケーブル長	10
	5.3.1 100BASE-TX リンクに対するチャンネルパラメータ	11
	5.3.2 100BASE-FX リンクのチャンネルパラメータ	18
	5.4 ケーブルの選定	19
	5.4.1 100BASE-TX リンク用ケーブル	20
	5.4.2 100BASE-FX リンクのケーブル	27
	5.5 コネクタの選定	27
	5.6 ケーブルの分離	29
	5.7 接地	31
	5.7.1 等電位接地	31
	5.7.2 スター型接地	32
	5.8 敷設用コンポーネントの選定	33
	5.9 EtherCAT スレーブデバイスの選定	35
	5.10 プランニング段階のその他のタスク	36
6	敷設	37
	6.1 標準的な敷設の手順	37
	6.2 電磁妨害からの保護	37
	6.3 機械的保護	43
	6.4 コネクタの組み立て	47
	6.4.1 RJ45 コネクタの組み立て	48
	6.4.2 M12 および M8 コネクタの組み立て	50

7	試運転.....	55
7.1	外観検査.....	55
7.2	チャネル物理パラメータの計測.....	56
7.2.1	ケーブルのテスト.....	56
7.2.2	機能テスト.....	58
7.2.3	受入テスト.....	59
7.2.4	チャネル計測のチェックリスト.....	61
7.3	接地システムの計測.....	62
7.4	EtherCAT 固有の診断.....	63
7.4.1	ロストリンクカウンタ.....	63
7.4.2	物理層エラーカウンタ.....	63
7.4.3	フレームエラーカウンタ.....	64
8	まとめ.....	65

TABLES

Table 1: 銅線チャンネルに対するパラメータ	11
Table 2: 100m ケーブル長のクラス D チャンネルに対する参照パラメータ	14
Table 3: 光ファイバチャンネルの参考パラメータ	18
Table 4: パーマネントリンクとして使用する固定配線ケーブルの参考パラメータ	20
Table 5: パーマネントリンクとして使用する耐屈曲ケーブルの参考パラメータ	21
Table 6: パーマネントリンクに使用したケーブルの例	22
Table 7: シールドコードの例	24
Table 8: AWG コードと導体直径との関係	26
Table 9: 光ファイバケーブルに対する参考パラメータ	27
Table 10: 銅線ケーブルの標準コネクタ	28
Table 11: 光ファイバケーブルの標準コネクタ	28
Table 12: 通信ケーブルと電源ケーブル間の最小距離の参考値	30
Table 13: 接地用ワイヤの断面積と長さの関係	33
Table 14: プランニング段階で必要となりうるその他のタスク	36
Table 15: ISO/IEC 61918 と TIA-569-C とのワイヤ色の比較	52
Table 16: ネットワーク外観検査のチェックリスト	55
Table 17: チャンネル計測のチェックリスト	61
Table 18: 接地システムのチェックリスト	62
Table 19: ロストリンクカウンタレジスタ	63
Table 20: 物理層エラーカウンタレジスタ	64
Table 21: フレームエラーカウンタレジスタ	64

FIGURES

Figure 1: EtherCAT ネットワーク内のスレーブ数	4
Figure 2: EtherCAT 物理層メディア	4
Figure 3: EtherCAT トポロジ	5
Figure 4: ESC 内のポートの構造	6
Figure 5: 物理リンクの確立	6
Figure 6: ポートの状態と物理リンク	7
Figure 7: EtherCAT フレームのルーティング	7
Figure 8: ESC 内のオン・ザ・フライ処理	8
Figure 9: チャンネルとエンド・ツー・エンドリンクの構造	10
Figure 10: 敷設可能なチャンネル構成の例	12
Figure 11: パラメータ IL と NEXT の物理的意味	16
Figure 12: コネクション数のカウント	17
Figure 13: 固定配線と高屈曲ケーブルの違い	22
Figure 14: 未使用ペアに対するデバイス内の適切な終端処理	23
Figure 15: 推奨または非推奨のシールド構成	25
Figure 16: 通信ケーブルと電源ケーブル間の最小距離	29
Figure 17: 金属製のダクトで分離したときの最小距離	29
Figure 18: 等電位接地方式	31
Figure 19: スター型接地方式	32
Figure 20: アクティブな敷設コンポーネントの動作	34
Figure 21: アクティブな敷設コンポーネント内への ESC の統合	35
Figure 22: 通信と電源ケーブルの交差	37
Figure 23: ループ状の通信ケーブルの忌避	38
Figure 24: デバイス内のシールドー接地間の接続例	39
Figure 25: デバイス内の接地との RC 接続	39
Figure 26: デバイス内のシールド接地の計測	40
Figure 27: ケーブルクリップによるケーブルシールドの接地への外部接続	41
Figure 28: 適切なサイズのケーブルクリップの使用	41
Figure 29: 接地接続の適切な処置	42
Figure 30: 穴あき金属金具によるケーブルシールドの接地	42
Figure 31: バルクフィードスルーコネクタの適切な接地	43
Figure 32: 通信ケーブルの最小曲げ半径の保持	43
Figure 33: 通信ケーブルの経路上における折り曲げからの保護	44
Figure 34: 通信ケーブルに作用する張力	44
Figure 35: 張力からの通信ケーブルの保護	45

Figure 36: 適切なサイズの張力緩和部品の使用.....	45
Figure 37: 通信ケーブルに作用するねじり力	46
Figure 38: 通信ケーブルの挟み込みの保護.....	46
Figure 39: ISO/IEC 61918 に準拠した 4 線ケーブルのコネクタピンの配置	47
Figure 40: TIA-568-C に準拠した RJ45 コネクタの配線方法	52
Figure 41: 不適切な RJ45 コネクタの組み立て	53
Figure 42: ケーブルシールドとコネクタケースとの正しい接続	54
Figure 43: マルチメータによる簡単なケーブル検査.....	57
Figure 44: 機能テスト機器によるケーブルの検査	58
Figure 45: 受入テスト機器によるケーブルの認証	59
Figure 46: 敷設部品に対するパラメータ計測	60

略号

μC	Microcontroller/マイクロコントローラ
ACR	Attenuation-to-crosstalk ratio/減衰対クロストーク比
ANSI	American National Standards Institute/米国国家規格協会
AWG	American Wire Gauge/米国ワイヤゲージ規格
BN	Brown/茶
BU	Blue /青
CP	Communication Profile/通信プロファイル
CRC	Cyclic Redundancy Check/巡回冗長検査
DPRAM	Dual-Ported RAM/デュアルポート RAM
EM	Electro-magnetic/電磁(的)
EN	European standard/欧州統一規格
ESC	EtherCAT Slave Controller/EtherCAT スレーブコントローラ
ETG	EtherCAT Technology Group
GN	Green/緑
IEC	International Electrotechnical Commission/国際電気標準会議
IL	Insertion Loss/挿入損失
ISO	International Organization for Standardization/国際標準化機構
LLF	Link Lost Forwarding/リンクロス転送
LVDS	Low Voltage Differential Signal/小振幅差動信号方式
MAC	Media Access Controller/メディアアクセス制御
NEXT	Near-end crosstalk/近端漏話
NIC	Network Interface Card/ネットワークインタフェースカード
OG	Orange/オレンジ
PHY	Physical Layer Chip/物理層チップ
RJ45	Registered Jack 45
RL	Return Loss/リターンロス

SC	Subscriber Connector/光ファイバ用コネクタ
TIA	Telecommunications Industry Association/電気通信工業会
TP	Twisted Pair/ツイストペア
TQ	Twisted Quad/ツイストクアド
WH	White/白
YE	Yellow/黄

1 前書きおよび本書のスコープ

この通信技術は従来のフィールドバスで使用している受動的な配線構成と比べて多数の利点があり、実際に多数の産業用アプリケーションに適用した実績があります。推奨している配線構成を適用することで信号ノイズ比のオーダを改善します。

電磁ノイズ耐性の向上には、シールド付きケーブルの使用や、イーサネット伝送技術のピア・ツー・ピア関係が寄与します。このことから特定のリンク上のエラーがその箇所だけに限定され、送信側と受信側の関係が明確になります。パーマネントリンクを監視すれば、動作時に障害の発生しているデバイス検出を直ちにかつ容易にできます。

EtherCAT コンポーネントにはリンク状態インジケータがあります。これにより配線の状態を特殊なツールがなくても直ちに特定できます。EtherCAT スレーブが内蔵するエラーカウントをマスタから参照すれば正常な動作から逸脱した場合にすぐに対応できます。

つまり、通常、高価なケーブル診断機器や難しいテスト手順は必要ありません。ただし、誤設定、ケーブルの誤配線やクリティカルな環境条件などにより引き起こされる問題を避けるにはいくつかの対策が必要です。

本文書で提供している情報は、オートメーションシステム特有のケーブル敷設を実施する方法と、この作業に追加で必要となる労力と、それによって向上する信頼性とのトレードオフを正しく判断できるようにすることを目的としています。

このドキュメントは4つの主要セクションからなっていて、それぞれが対象としている内容は次のとおりです。

- EtherCAT の基礎: EtherCAT ネットワークを理解するために関連する技術的事項を簡単に解説します。
- プランニング: EtherCAT 技術をベースとした産業通信ネットワークを設計するエンジニアを対象とした内容です。
- 敷設: 前項の設計をベースとした EtherCAT 通信ネットワークを構築する施工技術者を対象としています。
- 試運転: EtherCAT 技術をベースとした産業通信ネットワークについて、敷設が正しく行われているかを確認し、動作のモニタリングを行う施工技術者やエンドユーザを対象としています。

このドキュメントは仕様書やその他の ETG のドキュメントを置き換えるものではありません。EtherCAT ネットワークの敷設に関する実践的な情報の提供を目的とし、ETG の仕様書を補完する内容を提供します。

このドキュメントは EtherCAT 技術全体を解説することを目的とするものではありません。ネットワークの敷設や性能に影響する可能性がある事項を解説しています。EtherCAT 技術に関する全般的な情報が必要な場合は EtherCAT Technology Group が提供するドキュメントや EtherCAT 規格に関連した文書を参照してください。

2 参考文献

以下の参考文献は本文書を適用する際に必要不可欠です。日付等のある参考文献は該当する版のみが対象になります。日付のない参考文献は、その最新版が(その訂正を含めて)対象です。

ETG 仕様書

- [1] ETG.1000.2: Physical Layer service definition and protocol specification
- [2] ETG.1000.3: Data Link Layer service definition
- [3] ETG.1000.4: Data Link Layer protocol specification
- [4] ETG.1000.5: Application Layer service definition
- [5] ETG.1000.6: Application Layer protocol specification

その他の参考文献

- [6] ISO/IEC 61918: Industrial communication networks - Installation of communication networks in industrial premises
- [7] ISO/IEC 61784-5-12: Industrial communication networks - Profiles - Part 5-12: Installation of fieldbuses - Installation profiles for CPF 12
- [8] ISO/IEC 11801: Information technology - Generic cabling for customer premises
- [9] IEC 61076-2-101: Connectors for electronic equipment - Product requirements - Part 2-101: Circular connectors - Detail specification for M12 connectors with screw-locking
- [10] IEC 61754-4: Fibre optic interconnecting devices and passive components - Fibre optic connector interfaces - Part 4: Type SC connector family
- [11] IEC 61754-24: Fibre optic interconnecting devices and passive components - Fibre optic connector interfaces - Part 24: Type SC-RJ connector family
- [12] IEC 60603-7-3: Connectors for electronic equipment - Part 7-3: Detail specification for 8-way, shielded, free and fixed connectors, for data transmission with frequencies up to 100 MHz
- [13] EN 50174-2: Cabling installation – Part 2: Installation planning and practices inside buildings
- [14] EN50288-2-1: Multi-element metallic cables used in analogue and digital communication and control - Part 2-1: Sectional specification for screened cables characterised up to 100 MHz - Horizontal and building backbone cables
- [15] EN50288-2-2: Multi-element metallic cables used in analogue and digital communication and control - Part 2-2: Sectional specification for screened cables characterised up to 100 MHz - Work area and patch cord cables
- [16] EN60793-2-10: Optical fibres - Part 2-10: Product specifications - Sectional specification for category A1 multimode fibre
- [17] EN60793-2-50: Optical fibres - Part 2-50: Product specifications - Sectional specification for class B single-mode fibres
- [18] ANSI/TIA-568-C: Generic telecommunication cabling for customer premises

3 用語、定義および用法

3.1 用語と定義

ETG.1000 シリーズの用語と定義は、特に記述がないかぎりそのまま有効とします(Shall)。

3.2 用語の用法: shall, should, may, can

「shall」は、規格に準拠するために厳格に従わなければならない、逸脱は認められない必須要件を表すために使用します。「is required to (要求する)」と同義です。

「should」は、いくつかの可能性の中から、その他の可能性に言及したり、その他の可能性を除外したりせずに、1つの可能性を推奨することを表すために使用します。もしくは、ある行動方針を必ずしも要求するわけではないが好まれることや、(否定形で)ある行動方針を禁止するわけではないが、反対することを表します。「is recommended that (推奨する)」と同義です。

「may」は、規格の制限内で認められる行動方針を表すために使用します。「is permitted to (認める)」と同義です。

「can」は、物質的、物理的、因果的のいずれにせよ、実現性および可能性があることを表すために使用します。「is able to (可能である)」と同義です。

4 EtherCAT の基礎

4.1 ネットワーク設定

EtherCAT ネットワークは 1 台のマスターと 1 台以上のスレーブデバイスからなります。

- マスタ側では、ハードウェアレベルで標準ネットワークアダプタを使用できます。
- スレーブ側では、低レベルのタイムクリティカルな機能は EtherCAT スレーブコントローラ (ESC) とよばれる専用ハードウェア部品に実装されています。

スレーブデバイスは 16 ビットアドレスフィールドで指定するため、EtherCAT ネットワークに接続できるスレーブ数は理論的に最大 65,535 台になります。(Figure 1).

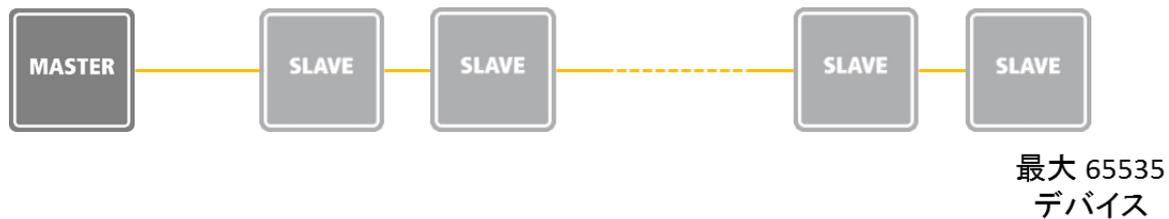


Figure 1: EtherCAT ネットワーク内のスレーブ数

4.2 物理層メディア

EtherCAT はいくつかの異なる物理層メディアをサポートします。

- 100BASE-TX, 100 Mbit/s 全二重通信、銅線ケーブル (最大ケーブル長 100 m)
- 100BASE-FX, 100 Mbit/s 全二重通信、光ファイバ (最大数 km)

ESC には ANSI/TIA/EIA-644 に準拠した LVDS ベースの物理層メディアにより 100Mbit/s 全二重をサポートするものがあります。これはごく短距離のバックプレーン接続(例、モジュール I/O システム)などで使用されています。

ネットワーク内における物理層メディアの変更回数制限はありません。(Figure 2)

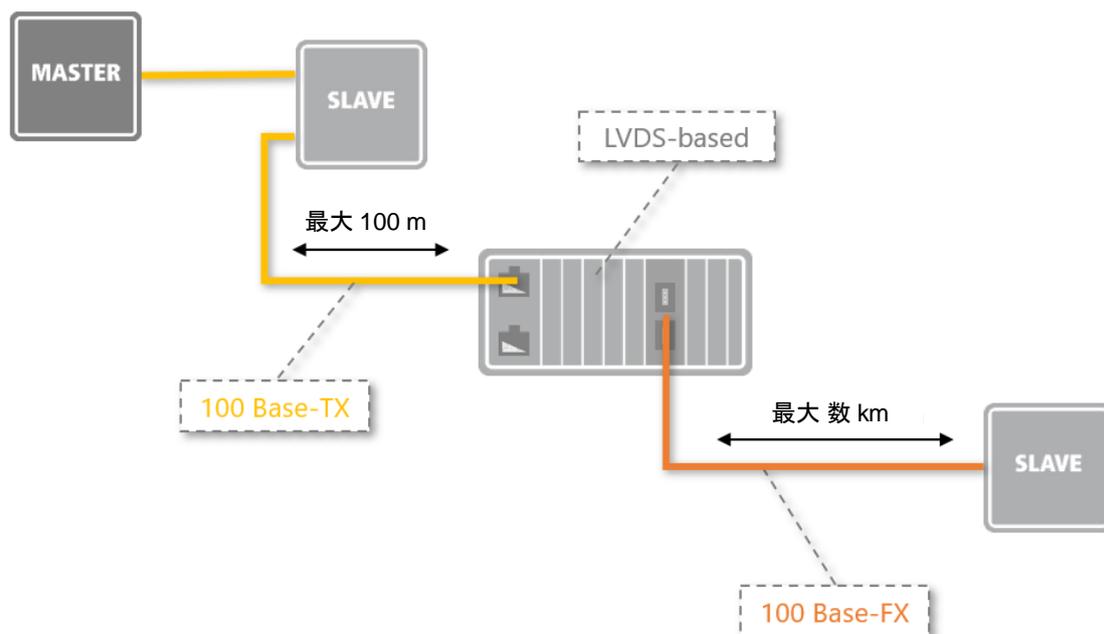


Figure 2: EtherCAT 物理層メディア

4.3 トポロジ

EtherCAT ではライン型、デジチェーン、スター型やツリー型のような複数のトポロジを使用できます。(Figure 3).

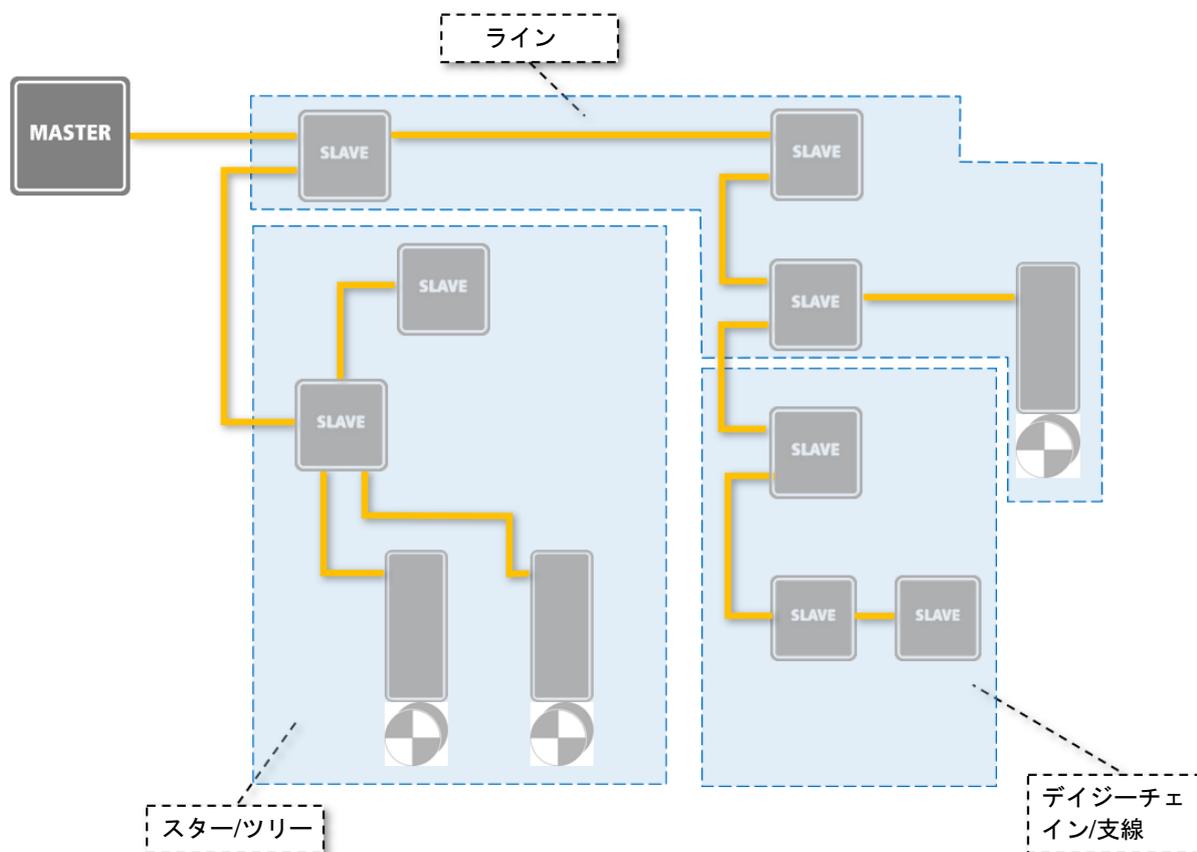


Figure 3: EtherCAT トポロジ

EtherCAT のネットワークトポロジ構成は時刻同期の精度、伝搬遅延と処理遅延または最小サイクルタイムなどの性能には影響を与えません。

4.4 リンク検出とフレーム経路制御

ESC は最大 4 個のネットワークポートをサポートし、Figure 4 のように各ポートは内部でリング状に接続されています。

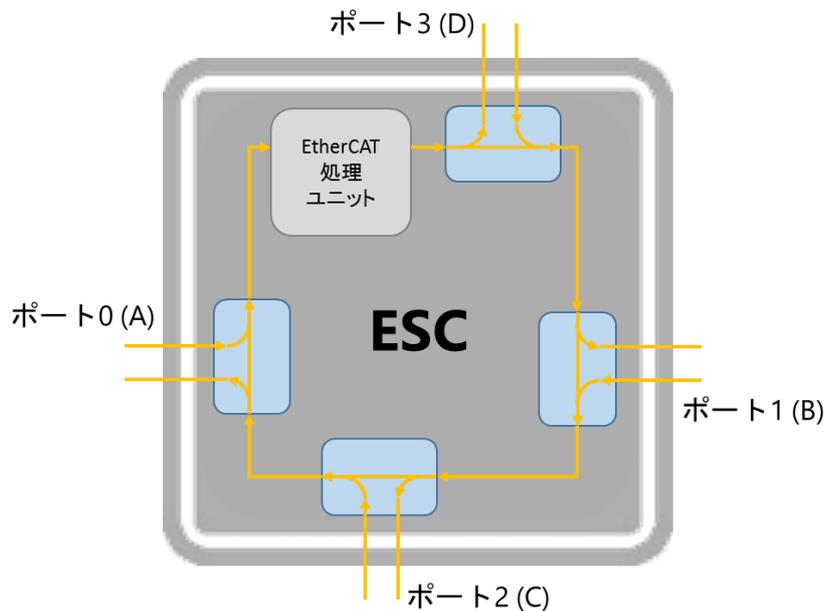


Figure 4: ESC 内のポートの構造

電源 ON またはリセット後、スレーブ間の接続状態に応じ、他のデバイスとの物理リンクを検出するとポートをオープンし、物理リンクを検出できない場合はクローズを維持します。これによってネットワークトポロジはハードウェアレベルでスレーブデバイスによって自動的に構成されます。

電気信号レベルが異常になる（減衰、反射、電磁(EM)妨害などの）あらゆる要因があっても、正しく受信した記号列を復号できた場合に 2 つのデバイス間の物理リンクが確立したと考えられます。（Figure 5）。

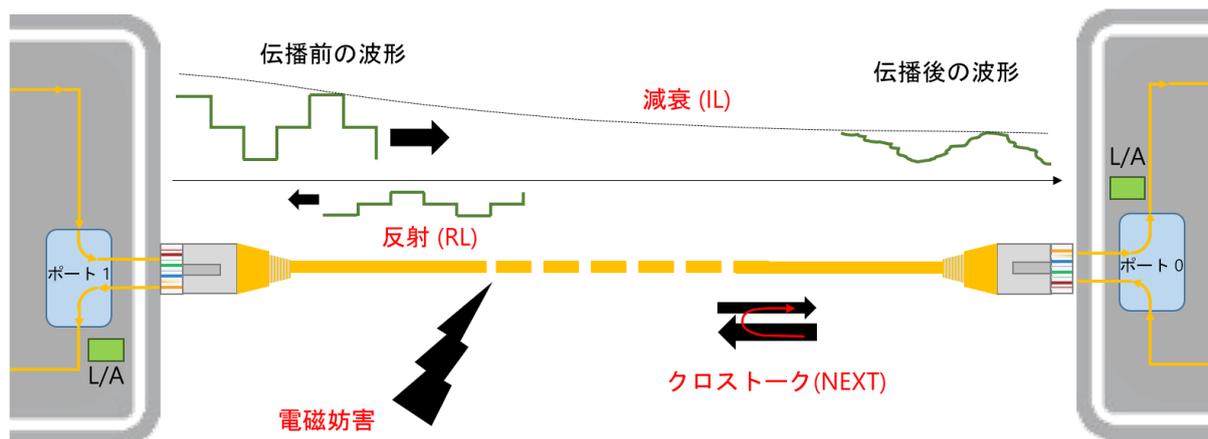


Figure 5: 物理リンクの確立

スレーブに取り外し可能なコネクタによるポートがある場合、そのポートには Link/Activity (L/A) インジケータの実装が必須です。スレーブは L/A インジケータによって物理リンク状態を表示します。

- L/A インジケータ オフ: 物理リンクが未確立
- L/A インジケータ オン: 物理リンクが確立しているが、ネットワーク通信が行われていない
- L/A インジケータ 点滅: 物理リンクが確立し、ネットワーク通信が行われている

Figure 6 にスレーブデバイス内のハードウェア接続とリンク状態間の関係に関する 2 つの例を示します。

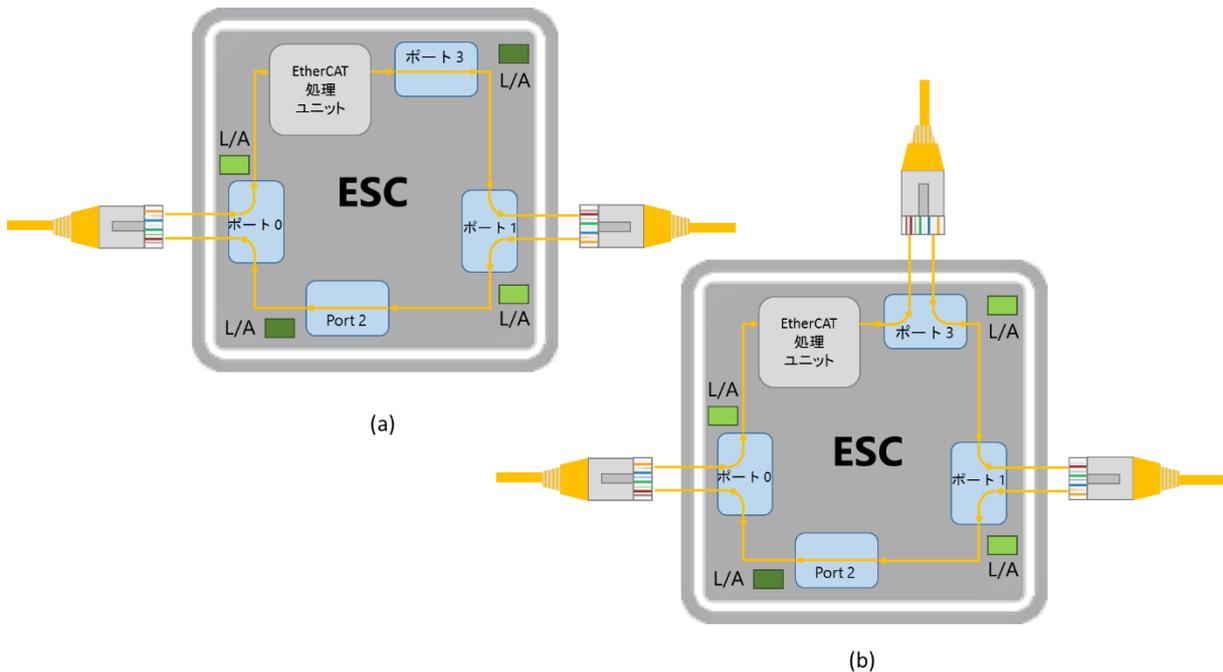


Figure 6: ポートの状態と物理リンク

ESC の内部アーキテクチャによって、トポロジの形状に関わらずネットワークは常に論理的なループ経路として構成されます。マスタが送信するフレームはスレーブからスレーブへとルーティングされ、その経路はポート間のケーブル接続によって自動的に決定し、ソフトウェアなどによるアドレス指定メカニズムには関係しません。その結果、フレームは Figure 7 に示すようにマスタに戻ります。

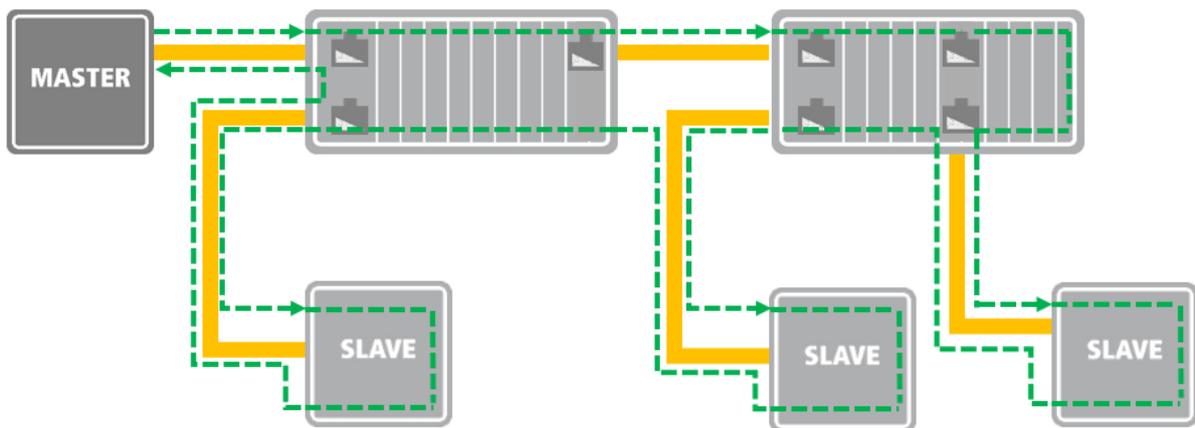


Figure 7: EtherCAT フレームのルーティング

4.5 オン・ザ・フライ処理

フレームは ESC を通過する際に「オン・ザ・フライ」処理されます。ビットやバイト列のデータは EtherCAT 処理ユニットによって動的にフレームから読み出したり書き込みされ、フレームの内容全体をバッファにストア後に処理するような動作は行いません(Figure 8 参照)。このため、スレーブアプリケーションの処理時間はネットワークのハードウェア伝播遅延に影響しません。各 ESC 内の双方向の一般的な処理遅延は下に示す一般的な伝播遅延値の合計になります：

- ~ 1 μ s: 少なくとも 1 個の 100BASE-TX または 100BASE-FX ポートをもつスレーブ
- ~ 300 ns, LVDS ポートのみをもつスレーブ

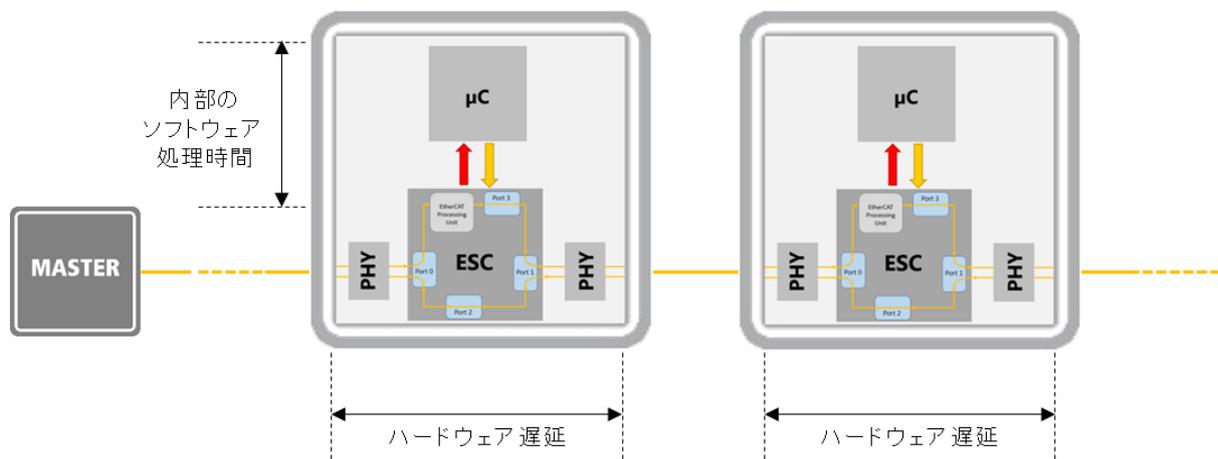


Figure 8: ESC 内のオン・ザ・フライ処理

5 プランニング

装置内もしくはプラントの通信インフラストラクチャをプランニングするためのスコープは、あらゆる動作条件のもとでデバイス間のエラー・フリーなデータ送受信が確実に行われるようにするため、全ての実装状態について事前に定義を行っておくことです(Should)。プランニング段階の成果としてデバイス間の全相互接続をリスト化します(Should)。各相互接続について、理想的なケーブルルーティング、ワイヤリングのクリティカルポイントや、一定の通信品質レベルを維持するために必要な処置のようにあらゆる関連する事項をまとめます(Should)。コンポーネントリスト、チェックリストやテストプランはプランニング段階の付加的な成果になります。

5.1 環境条件

通信インフラストラクチャのプランニングのために、装置やプラントの環境条件についての正確な情報が必要です。関連する事項を以下に示します：

- ケーブル配線のレイアウト、長さ、曲げ半径、ケーブルの種類
- 伝送経路内のコネクタ、メディアコンバータおよび敷設部品
- 電磁気条件、電源ケーブル、モータ、パワーエレクトロニクス、光源、高周波送信機
- 可動パーツ、回転部品、張力、振動、衝撃などの機械的制限
- 最大および最小動作温度値
- 水、粉塵、腐食物質のような化学的環境

例えば ISO/IEC 61918 規格で規定されている MICE (Mechanical: 機械的, Ingress: 侵入, Climatic: 気候 および Electromagnetic: 電磁気) モデルを活用して環境条件の内容をクラス分けすると役立つ場合があります。これらの環境条件は、部品の選定、ケーブルの経路や伝送品質を維持するための対策の適用などに影響し、全プランニング過程で留意します(Should)。

プランニング段階中に、特定の環境条件に準拠して実施しうる特定の処置の例を以下に示します：

- ケーブル経路全長の確認
- クリティカルとなる EM 環境の認識とそれに対応した適切な防護対策の計画
- (ケーブルを含む) 全部品が環境条件に対して許容できる温度範囲の確認
- デバイスに対する適切な IP 保護レベルの選定
- コネクタに対する適切な IP 保護レベルの選定
- 粉塵、ほこりや液体に対する適切なケーブル差込口保護システムの使用
- 危険な液体に対して適合した保護要件の確認
- 最大許容値を超えるようなケーブルへの機械的ストレスの忌避と、対応した適切な保護計画
- 可能な場合に防振対策の実施
- 屋外への適用の場合、耐 UV ケーブルや保護カバー使用の考慮
- 地下配線または可動部の場合、その要件用に設計されたケーブル使用の考慮

5.2 トポロジの定義とデバイスの配置

サブセクション 4.3 で述べたように、EtherCAT ネットワークで使用している特定のネットワークトポロジはネットワークの性能に影響を与えません。

例えば、ライン型やディジーチェーンでのデバイスのカスケード接続には何も制限がありません。ライン型やディジーチェーントポロジで注意すべき唯一の点は、ネットワーク内のあるデバイスが電源 OFF やネットワークから離脱し、かつケーブル冗長性をサポートしない場合、そのデバイスの下流にはフレームは到達できないということです。スレーブやスレーブグループの単位で相互に依存せず電源 OFF やネットワークからの切断が要求されるアプリケーションの場合はスター型トポロジの使用を推奨します。

このことから、ネットワークトポロジは (電磁ノイズ源から適切な距離を維持したり、機械的ダメージや化学的防護対策で保護したりしたケーブルの採用のような) エラーフリー通信を保証するような要件に矛盾せず、かつ通信ケーブル長を最小化できるように一意に計画します(Should)。

デバイスの配置や試運転はデバイスメーカーが提供する固有の情報や設置規則に従うとともに、サブセクション 5.1 で述べたような特定の環境条件に準拠してください(Should)。

5.3 チャンネル内のケーブル長

環境条件に加え、デバイス間のハードウェア接続の性能は次のような要因に影響をあたえることがあります：

- ケーブル品質 (減衰、伝導体数、クロストーク、シールド)
- コネクタ品質 (正しいピン配置、ケーブルシールドとの適切な接続)
- 中間コネクタ (中間の接続数、減衰)

ISO/IEC 11801 規格で規定されている構造化ケーブリングの概念を活用してこれら事項を評価し、プランニング段階で適切に考慮することができます。構造化ケーブリングの範囲は2つのネットワークデバイス間のハードウェア接続に対する標準的、アプリケーション非依存のモデルを定義することです。サポートしなければならない最大通信ビットレートによって複数のリンク性能クラスを定義できます。各クラスでは物理リンクパラメータやあらゆる動作条件のもとでエラーフリーなデータ伝送を保証する最悪値を定義します。

ISO/IEC 11801 で規定されている構造化ケーブリングモデルは Figure 9 で示すような「チャンネル」および「エンド・ツー・エンドリンク」に基づいています：

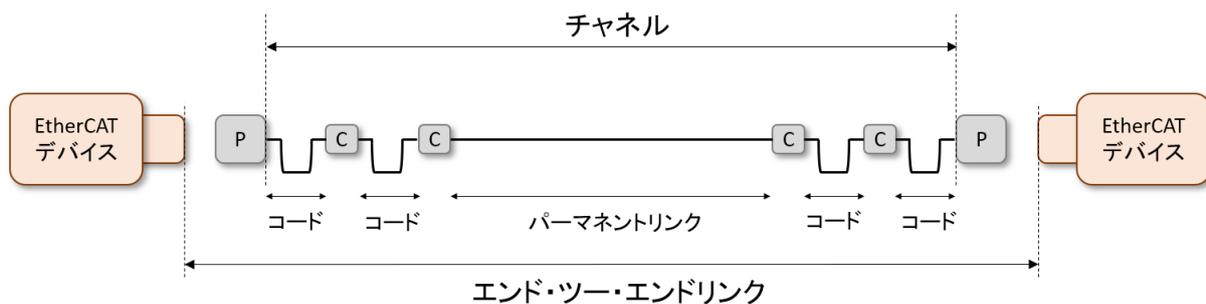


Figure 9: チャンネルとエンド・ツー・エンドリンクの構造

このモデルで各記号の意味は以下のとおりです：

- J はエンドデバイスのコネクタ(ジャック：メス)
- P はコネクションエンドのコネクタ(プラグ：オス)
- C は中間コネクタ

「エンド・ツー・エンドリンク」の概念はコネクションエンド(エンドデバイスのジャックの手前まで)の2つのプラグを含むのに対し、「チャンネル」の概念はそれらを含みません。

チャンネルモデルによると、2つのエンドデバイス間のコネクションで採用するケーブルは次の2種類に大別します：

- パーマントリンク、2つのエンドデバイス間を接続するメインケーブル。制御盤の内部および外部に敷設する
- (パッチ) コード、制御盤内でエンドデバイス間や中継接続ポイントとの間で使用する一般的に短いケーブル部 (バルクヘッドフィードスルーコネクタなど)

ISO/IEC 61918 規格では ISO/IEC 11801 で定義している一般的なチャネルモデルを産業通信ネットワークに適用し、ISO/IEC 61784-5-12 プロファイルではこのモデルの EtherCAT に対する要件を定義しています。

5.3.1 100BASE-TX リンクに対するチャネルパラメータ

Table 1: 銅線チャネルに対するパラメータ

特性	値
対応するデータレート (Mbit/s)	100
対応する最大チャネル長 (m)	100
チャネル内のコネクション数 (最大)	6
ISO/IEC 24702 のチャネルクラス (最小)	D
ISO/IEC 24702 のケーブルカテゴリ (最小)	5
ISO/IEC 24702 の接続 HW カテゴリ (最小)	5

ISO/IEC 11801 規格では、中間コネクタ数と銅線ケーブルの物理パラメータの関数として最大チャネル長を正確に計算するための数学的な規則を定義しています。EtherCAT ネットワークのプランニングでは以下の単純化した規則を使用できます：

- 通信チャネルの全長 (パーマネントリンクとパッチコードの長さの合計) が 100m を超えないこと (Should)。
- 各チャネルエンドのパッチコードの全長が 5m を超えないこと (Should)。(チャネルの全長が最大値である 100m を超えないように) パーマネントリングの長さはこれに応じて短くすること (Should)。
- チャネル内のコネクションの最大値は 6 (チャネルエンドのコネクタもカウントする場合)、または 4 (中間コネクタのみをカウントする場合) とすること。
- どの場合もチャネル長は可能なかぎり短くし (Should)、環境による要件に適合すること。

Figure 10 にチャンネル構成の異なるいくつかの例を示します：

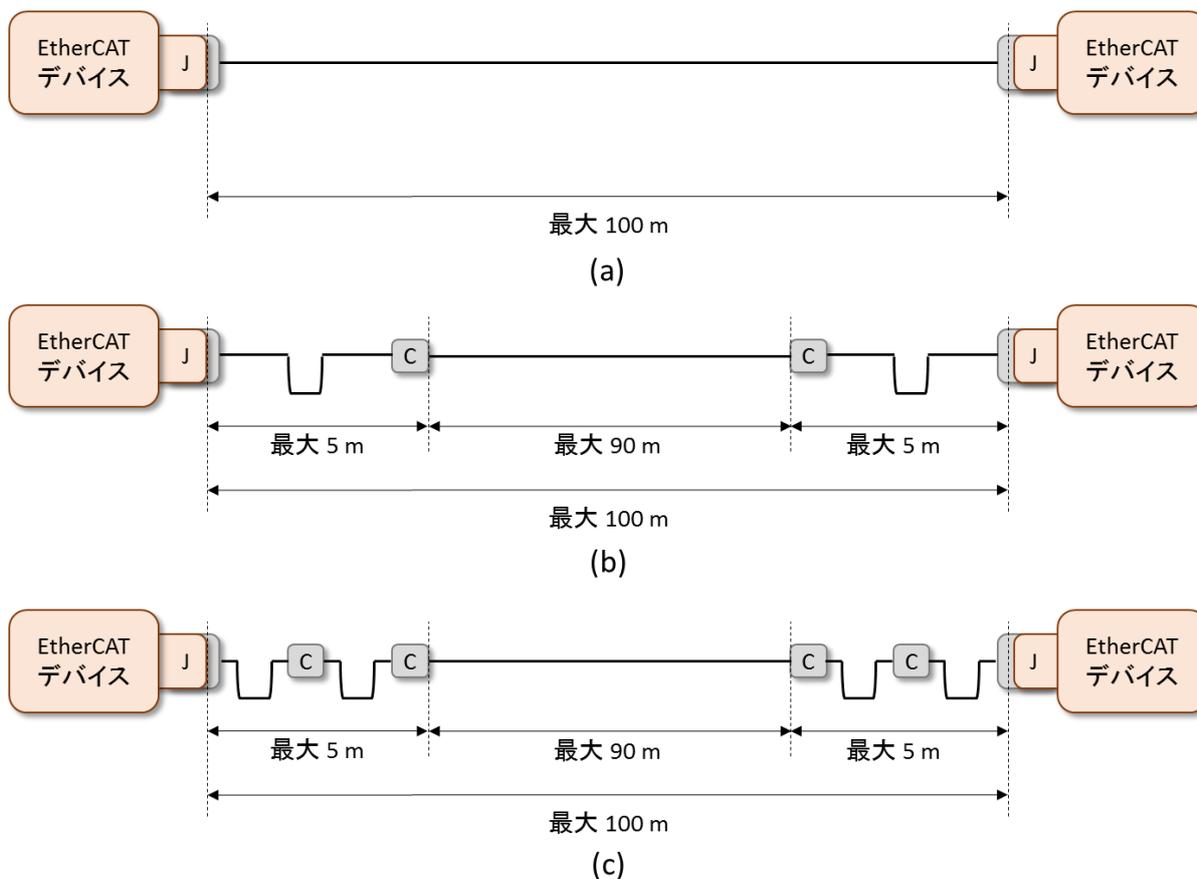


Figure 10: 敷設可能なチャンネル構成の例

上記で説明したケーブル長のルールはクリティカルな環境条件でない通信チャンネルの場合です。電磁妨害の強いような環境にチャンネルを敷設する場合、そのチャンネル長はその強度に応じて限定します (Should)。

ISO/IEC 61784-5-12 プロファイルでは、100BASE-TX 銅線物理メディアの場合、EtherCATではクラス D チャンネル以上が必須です。ISO/IEC 11801 規格ではクラス D チャンネルに適合することを保証するハードウェアパラメータの最悪値を定義しています。これらのパラメータのうち最も関連するものを

Table 2 に示します。

Table 2: 100m ケーブル長のクラス D チャンネルに対する参照パラメータ

パラメータ	意味	パーマネントリンク (@100 MHz)	チャンネル (@100 MHz)
IL	挿入損失、減衰	20,4 dB	24 dB
NEXT	近端漏話	32,3 dB	30,1 dB
ACR	減衰対クロストーク比	11,9 dB	6,1 dB
	伝搬遅延	0,491 μ s	0,548 μ s
	遅延時間差	0,044 μ s	0,050 μ s

プランニング段階で考慮すべき最も関係のあるチャンネルパラメータは挿入損失(IL)、近端漏話(NEXT)、減衰対クロストーク比(ACR)です。

- 挿入損失は dB で表し、通信チャンネルによってもたらされる信号減衰の計測値です。IL の絶対値が大きくなると、伝搬中に失われる信号レベルが大きくなります。例えば、IL が 20dB という値の場合、受信側の到達する差動電圧は送信側と 10% だけ異なります。逆に IL の値が小さいということは減衰が小さいことを意味し、性能がよいことの指標になります。
- 近端漏話は dB で表し、ツイストペアで伝送する信号が近接するペアに与える影響の計測値です。NEXT の値が小さくなると、近接するペアが誘導される擾乱が伝送信号に与える影響が大きくなります。例えば、NEXT が 32dB という値はツイストペアで伝送する差動電圧の 2.5% が近接するペアに影響し、それが擾乱になります。逆に NEXT の値が大きいことはクロストークが小さいことを意味し、性能がよいことの指標になります。
- ACR パラメータは dB で表し、チャンネルの信号対雑音比の計測値であり、NEXT と IL の (対数) 値の差として計算します。例えば、ACR が 6 dB という値はツイストペアで受信した信号の減衰量が近接するペアで同じ振幅で信号を伝送した場合に誘導されるクロストークによる擾乱より 50% だけ大きいことになります。

Table 2 に掲載している値は伝送周波数 100MHz についての値であることに留意することが重要です。100BASE-TX のデータスループットは 4B/5B MLT3 の多重レベルエンコーディングで伝送しているため、実際のハードウェア信号は最大周波数 31.25MHz であり、動作周波数のパラメータ値は 100MHz で示されている値の 3~5 倍程度よくなります。

パラメータ IL と NEXT の物理的な意味を Figure 11 に示します。

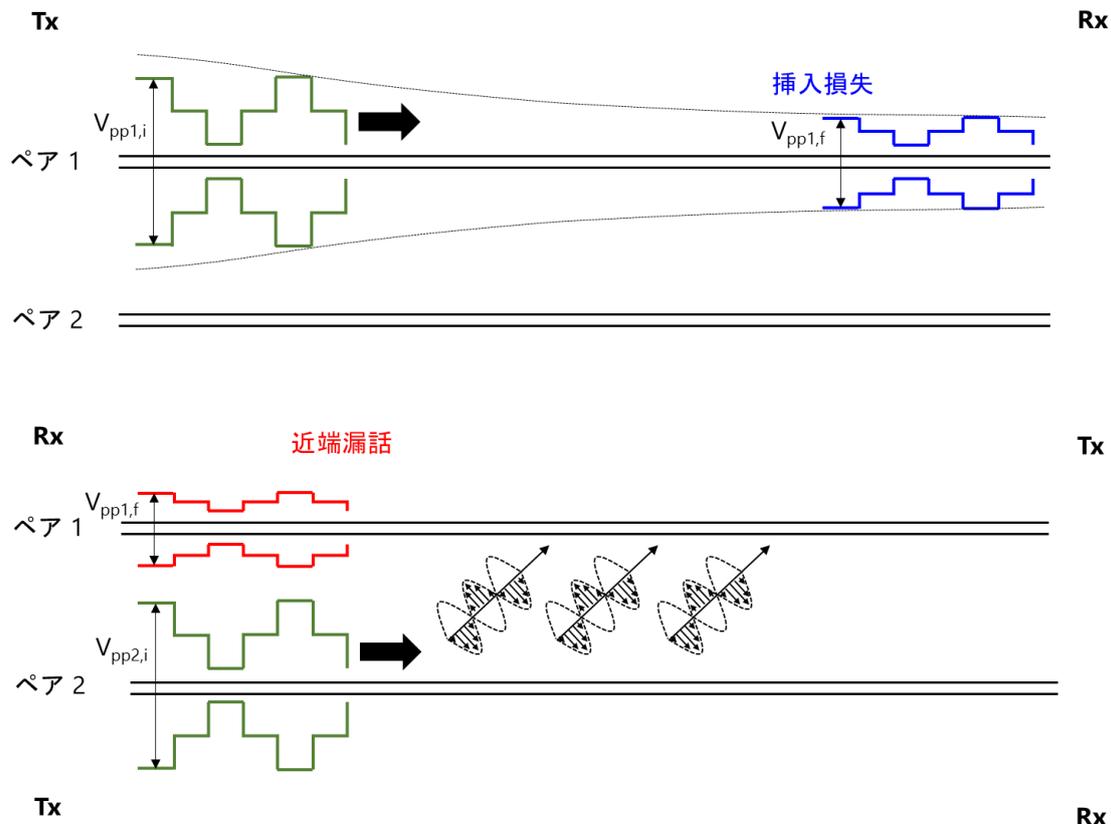


Figure 11: パラメータ IL と NEXT の物理的な意味

部品メーカー (ケーブル、コネクタ、…)は製品が ISO/IEC 11801 規格の特定の性能クラスに準拠していることの認証を取得できます。EtherCAT ネットワークでは性能クラス D (またはそれ以上) の認証を取得した部品の使用が必須です。しかしその部品を使用したチャンネルが、自動的に同じ性能クラスを満たすことが保証されるということではありません。通信チャンネルが性能クラス D に準拠しているかはチャンネル内で使用している全部品に対して製造メーカーが提供するパラメータをもとに決定しなければなりません (Should)。パラメータ値がコネクションで使用している全部品に対して既知でない場合は、チャンネルが性能クラス D (またはそれ以上) に準拠していることをセクション 7.2 に記載しているような適切な計測方法によって明示的に検証します (Should)。

各コネクションにおいてチャンネル内でその他の減衰やクロストークが発生することがあります。このため中間のコネクション数はアプリケーションの要件の範囲内で可能な限り削減すべきであり (Should)、どのような場合もセクション 5.3.1 で説明している最大許容数を超えてはいけません。

コネクション数の決定時に、Figure 12 に示すように中継コネクタは 2 個の分離したコネクションとしてカウントします (Shall)。

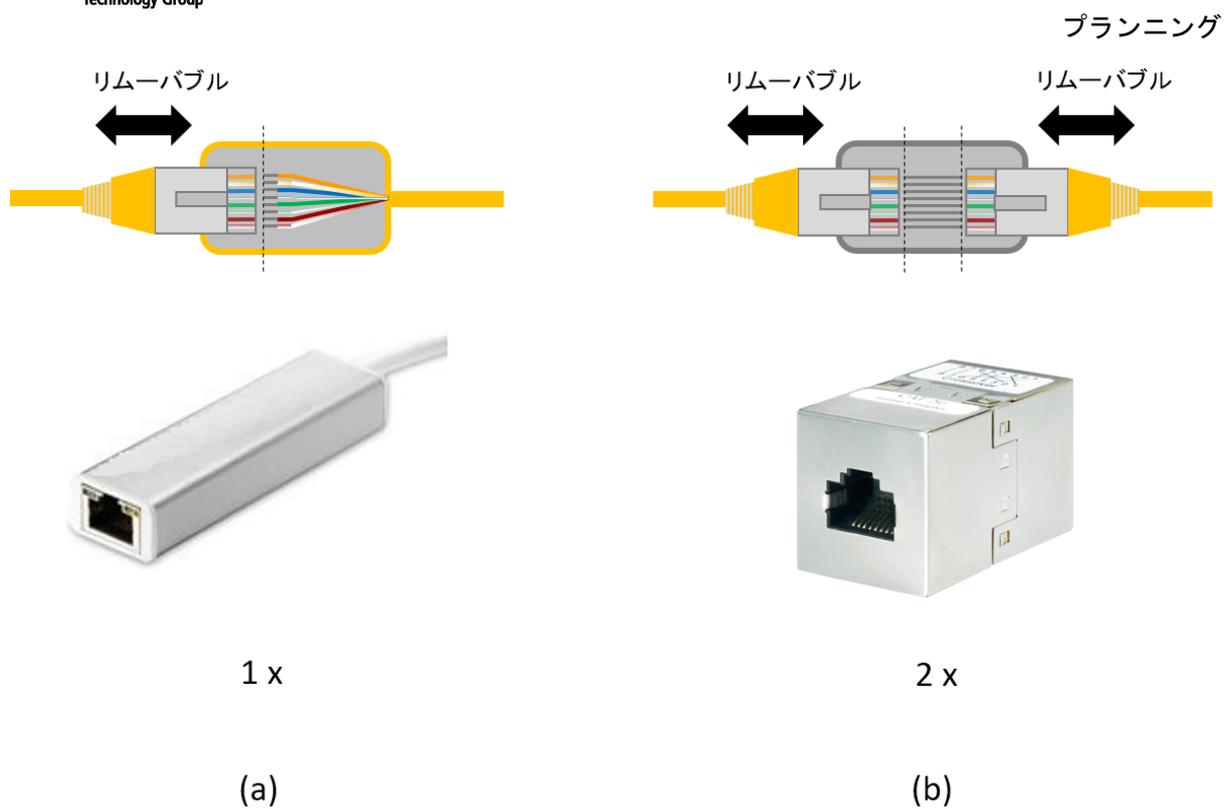


Figure 12: コネクション数のカウント

ISO/IEC 11801 規格で述べられている構内配線モデルに準拠したネットワーク接続のプランニングは、推奨をしていますが厳格に満足する必要はありません。構内配線の規則に基づく接続はアプリケーション固有の配線として定義します。この場合、すべての動作条件のもとでチャネルの性能とエラーフリー伝送をセクション 7.2 で述べるような適切な計測方法を用いて明示的に検証します(Should)。

5.3.2 100BASE-FX リンクのチャネルパラメータ

Table 3: 光ファイバチャネルの参考パラメータ

光ファイバの種類	内容	
シングルモード シリカ	規格	IEC 60793-2-50; Type B1
	定格伝送波長 λ	1310 nm
	λ に対する減衰係数	$\leq 0,5$ dB/km
	カットオフ波長	< 1260 nm
	その他のパラメータ	
	モードフィールド径 (μm)	9...10
	クラッド径 (μm)	125
	最小長さ (m)	0
	最大長さ (m)	14000
マルチモード シリカ	規格	IEC 60793-2-10; Type A1a, A1b
	定格伝送波長 λ	1310 nm
	λ に対する減衰係数	$\leq 1,5$ dB/km
	λ に対するモード帯域幅	600 MHz x km
	その他のパラメータ	
	コア径 (μm)	60 (A1a); 62,5 (A1b)
	クラッド径 (μm)	125
	開口数	0,20 \pm 0,02 or 0,23 \pm 0,02 at 50/125 0,275 \pm 0,02 at 62,5/125
	最小長さ (m)	0
最大長さ (m)	2000	

光ファイバの種類	内容	
POF	規格	IEC 60793-2-40; Type A4a
	定格伝送波長 λ	650 nm
	λ に対する減衰係数	≤ 160 dB/km
	λ に対するモード帯域幅	35 MHz x 100m
	その他のパラメータ	
	コア径 (μm)	980
	クラッド径 (μm)	1000
	開口数	$0,5 \pm 0,05$
	最小長さ (m)	0
	最大長さ (m)	50
	プラスチック・クラッド・シリカ	規格
定格伝送波長 λ		650 nm
λ に対する減衰係数		≤ 10 dB/km
λ に対するモード帯域幅		70 MHz x km
その他のパラメータ		
コア径 (μm)		200
クラッド径 (μm)		230
開口数		$0,37 \pm 0,04$
最小長さ (m)		0
最大長さ (m)		100

5.4 ケーブルの選定

IEC 61784-5-12 プロファイルは EtherCAT アプリケーション用に推奨するケーブルタイプについて述べ、EtherCAT チャンネル内で逸脱してはいけないケーブルパラメータの最悪値を規定しています。

設計段階においてケーブルの選定はケーブルメーカーが提供する計測値を参照して行います(Should)。

相対的に移動するようなデバイス間のコネクションの場合は、ケーブルの損傷を防ぐために耐屈曲ケーブルを使用します(Should)。この場合セクション 6.3 で述べるように、最大許容曲げ半径、最大許容張力や耐捻回力のようなパラメータがアプリケーションの要件に適合することを注意深く検証します(Should)。

化学的侵食環境に敷設するコネクションの場合、ケーブルの損傷を防ぐために適切な特殊コーティングを行ったケーブルを使用します(Should)。

アプリケーションにその他の環境による制限がある場合、特別に設計されたケーブルをケーブルメーカーが提供する特別な情報に準拠して使用しなければなりません(Should)。

5.4.1 100BASE-TX リンク用ケーブル

パーマネントリンクについて、ケーブルは Table 4 および Table 5 で示す最悪値に準拠しなければなりません (Should)。

Table 4: パーマネントリンクとして使用する固定配線ケーブルの参考パラメータ

特性	Type A ケーブル (固定配線)
ケーブルの公称インピーダンス (許容値)	100 Ω ± 15 Ω(IEC 61156-5)
平衡 または 非平衡	平衡
DC ラウンドトリップ抵抗 ^a	≤ 115 Ω/km
導体数	4 (2 対)
シールド	S/FTQ
導体のカラーコード	WH, YE, BU, OG
伝達インピーダンス	< 50 mΩ/m (10 MHz)
敷設タイプ	固定、敷設後に動かない
ケーブル外径	6,5 mm ± 0,2 mm
ワイヤ断面	AWG 22/1
ワイヤ直径 (絶縁体を除く)	0,64 mm ± 0,1 mm
遅延時間差	≤ 20 ns/100 m

^a DC ラウンドトリップ抵抗 (DC ループ抵抗とも呼ばれる) はケーブルを往復するときの DC 抵抗値を計測して計算します。計測する際にはケーブルの片側端で 2 つのペアのワイヤを接続し、そのワイヤのもう一方の端で抵抗値を顕側します。1 本のワイヤでケーブル両端間の抵抗を計測すると、その値はラウンドトリップ抵抗で得られる値の約半分になるので、その参考値は ≤ 57,5 Ω/km です。

詳しくは、ケーブルメーカーの仕様書を参照してください。

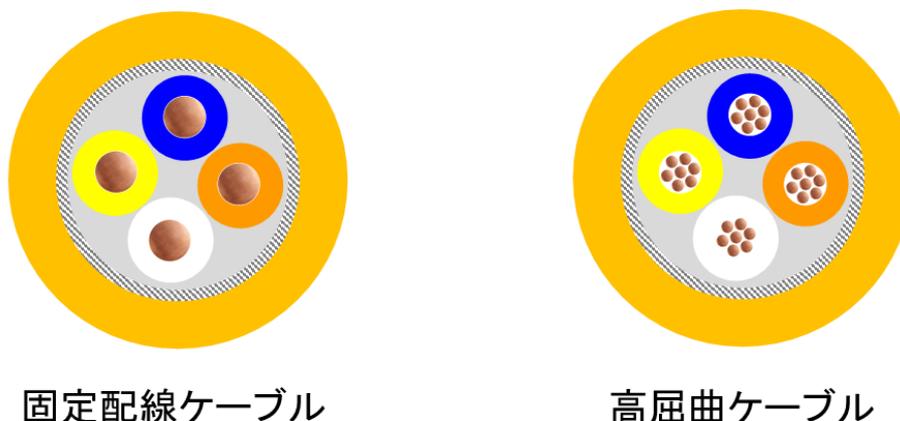
Table 5: パーマネントリンクとして使用する耐屈曲ケーブルの参考パラメータ

特性	Type B ケーブル (耐屈曲)
ケーブルの公称インピーダンス (許容値)	100 ± 15 Ω (IEC 61156-5)
平衡 または 非平衡	平衡
DC ラウンドトリップ抵抗 ^a	≤ 115 Ω/km
導体数	4 (2 対)
シールド	S/FTQ
導体のカラーコード	WH, YE, BU, OG
伝達インピーダンス	< 50 mΩ/m (10 MHz)
敷設タイプ	高屈曲、可動や振動の場合あり
ケーブル外径	6,5mm ± 0,2mm
ワイヤ断面	AWG 22/7
ワイヤ直径 (絶縁体を除く)	0,64 mm ± 0,1mm
遅延時間差	≤ 20 ns/100m

a DC ラウンドトリップ抵抗 (DC ループ抵抗とも呼ばれる) はケーブルを往復するときの DC 抵抗値を計測して計算します。計測する際にはケーブルの片側端で 2 つのペアのワイヤを接続し、そのワイヤのもう一方の端で抵抗値を計測します。1 本のワイヤでケーブル両端間の抵抗を計測すると、その値はラウンドトリップ抵抗で得られる値の約半分になるので、その参考値は ≤ 57,5 Ω/km です。

詳しくは、ケーブルメーカーの仕様書を参照してください。

固定配線ケーブルは単芯の導体で構成されるのに対し、高屈曲ケーブルのワイヤは複数の小さい断面積のより線によって導体を構成します(Figure 13 参照)。



固定配線ケーブル

高屈曲ケーブル

Figure 13: 固定配線と高屈曲ケーブルの違い

高屈曲ケーブルで計測したパラメータ値 (例、挿入損失)は一般的に固定配線の単芯ケーブルと比較して悪い値になります。このため高屈曲ケーブルの使用は、相対的に移動するようなデバイス間を接続するような場合など、そのケーブルが本当に必要なシナリオに対して限定します (Should)。これ以外の場合は固定配線ケーブルを使用します(Should)。

Table 6に EtherCAT アプリケーションで使用し正しく動作している実際のケーブルの一般的なパラメータ値を示します。

Table 6: パーマネントリンクに使用したケーブルの例

	固定配線	高屈曲
種類	AWG22/1	AWG22/7
シールド	S/FTQ	S/FTQ
ラウンドトリップ抵抗	≤ 115 Ω/km	≤ 115 Ω/km
挿入損失 IL (@100MHz)	19,5 dB/100m	21,3 dB/100m
近端漏話 NEXT (@100MHz)	50 dB/100m	50 dB/100m

EtherCAT 通信に使用するケーブルは 4 線のみなので、平衡 4 線 (2 対) のイーサネットケーブルを推奨します。

4 対ケーブルも使用できます。IL や NEXT の性能が 4 線のものと同等であり、

Table 4 と Table 5 で示している最悪値を超えないようにします。追加の未使用のペアがあることによって、特にそれらが両端のデバイスで適切に終端されていない場合、隣接するペア間の信号クロストークが増加することがあり、これによってケーブルの性能が低下します。

デバイスメーカーに推奨する実装方法

EtherCAT デバイスメーカーは未使用のペアの終端処理として Figure 14 のように 75Ω 抵抗で仮想接地することを推奨します。

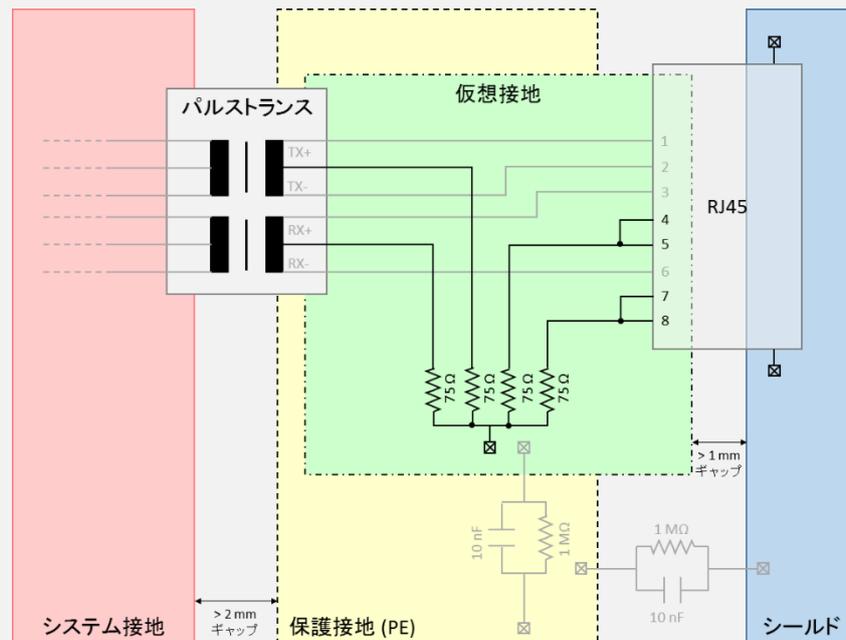


Figure 14: 未使用ペアに対するデバイス内の適切な終端処理

4 対ケーブルの場合、推奨するコネクタピン配置は両端で TIA-568-C 仕様で T568B として定義されているものを使用します。これはストレートケーブル構成に相当します。

全スレーブハードウェアでネットワークインタフェースはオートクロスバ機能をサポートすることが必須となっているので、両端が T568A に準拠したピン配置のストレートケーブルや、クロスケーブルも EtherCAT ネットワーク内で使用できます。

これに関する例外事項として高速ホットコネクタ技術をサポートするスレーブの場合があります。このとき、通信が確立するまでに必要な時間を短縮するため、伝送レート、全/半二重モードやストレート/クロス接続などのハードウェアインタフェースのパラメータはプリセットされていて、ネゴシエートを行いません (IN ポートは MDI 設定、OUT ポートは MDI-X 設定)。この理由から高速ホットコネクタではストレートケーブルの使用が必須です。

ISO/IEC 11801 規格はイーサネット銅線ケーブルのシールドコードの標準化を定義しています。

xx/yTQ TQ = ツイストクワッド (2 対)

または

xx/yTP TP = ツイストペア (4 対)

ここで、

xx = 外側のケーブルシールド

- U = シールド無し
- F = フォイルシールド
- S = より線シールド
- SF = より線 + フォイルシールド

y = 補助ケーブルシールド (クワッドケーブル用) / ペアシールド (ツイストペアケーブル用)

- U = シールド無し
- F = フォイルシールド
- S = より線シールド

Table 7 にシールドコードの例を示します。

Table 7: シールドコードの例

ISO/IEC 11801 コード	種類	ケーブルシールド	補助/ペア シールド
U/UTQ	ツイストクワッド	なし	なし
U/UTP	ツイストペア	なし	なし
S/UTQ	ツイストクワッド	より線	なし
S/UTP	ツイストペア	より線	なし
SF/UTP	ツイストペア	より線 + フォイル	なし
S/FTQ	ツイストクワッド	より線	フォイル
U/FTP	ツイストペア	なし	フォイル
S/FTP	ツイストペア	より線	フォイル
SF/FTP	ツイストペア	より線 + フォイル	フォイル

EtherCAT では、パーマネントリンクおよびパッチコードの両方に対し、少なくとも外側にシールド付きのケーブルの使用を推奨します (Figure 15 参照)。

外側のケーブルシールドに対してはより線の方が望ましく (Should)、高い機械的堅牢性が得られます。外部がフォイルシールドのケーブルを使用する場合はシールドが損傷したり破断しないよう注意が必要です (Should)。

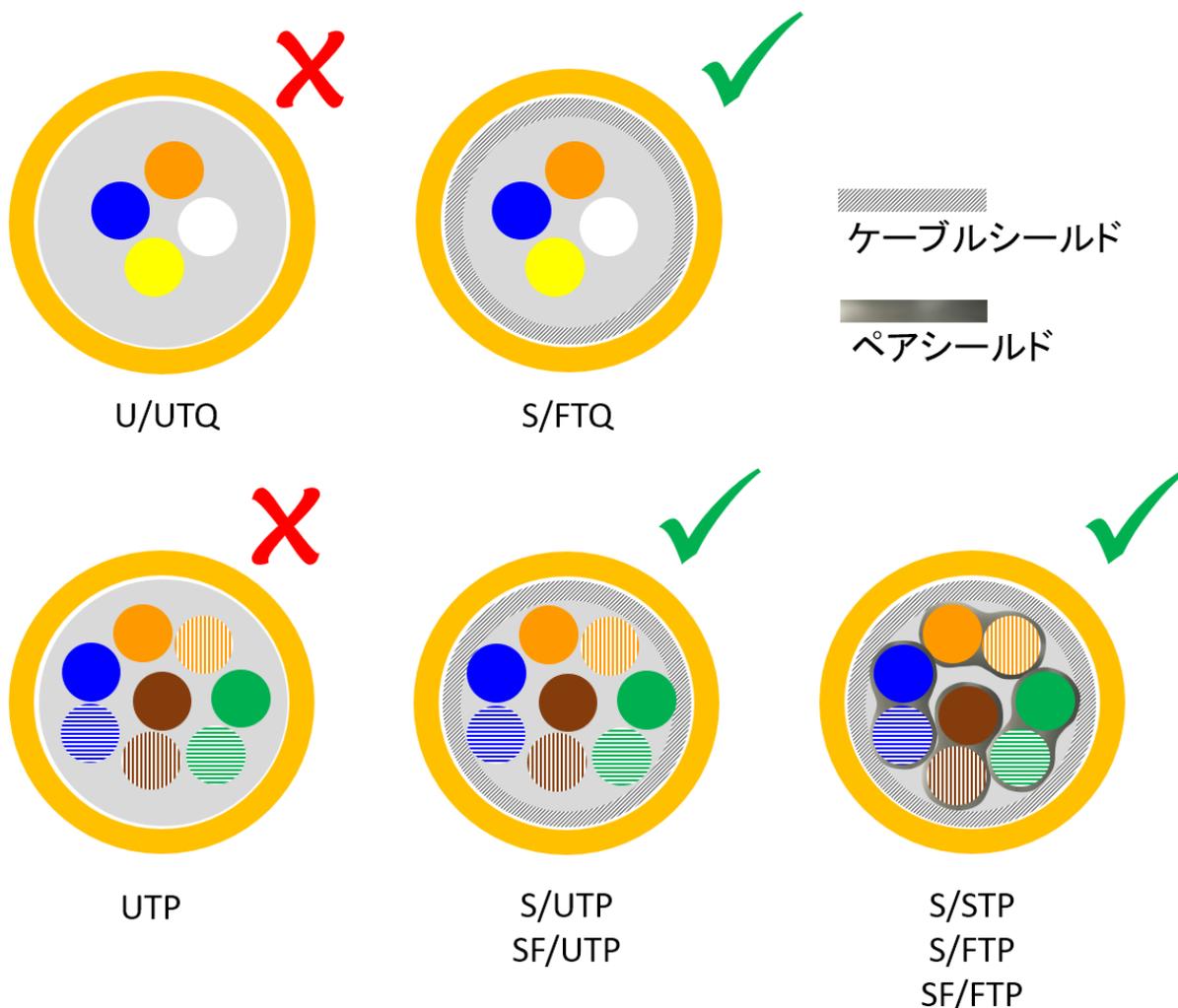


Figure 15: 推奨または非推奨のシールド構成

ケーブル直径は米国ワイヤゲージ規格 (AWG) で定義する以下のコード規則で定義されています。

AWGx/y

ここで、

x = AWG カテゴリ (導体直径が小さくなると大きな値になる)

y = 導体を構成するワイヤの数

Table 8 に主な AWG コードの例を示します。

Table 8: AWG コードと導体直径との関係

AWG コード	ワイヤ構造
AWG 20	
AWG20/1	単芯
AWG20/7	7x0.320 mm
AWG20/10	10x0.254 mm
AWG 22	
AWG22/1	単芯
AWG22/7	7x0.254 mm
AWG22/19	19x0.160 mm
AWG 24	
AWG24/1	単芯
AWG24/7	7x0.203 mm
AWG24/10	10x0.160 mm
AWG26	
AWG26/1	単芯
AWG26/7	7x0.160 mm
AWG26/10	10x0.127 mm

小さい AWG コード番号は導体直径が大きいことを表し、ケーブル長に対する信号減衰が少ないことを意味します。

パーマネントリンクには直径が AWG22 またはこれ以上 (AWG コード番号が 22 以下) のケーブルを使用することを強く推奨します。小さな直径値のケーブル (AWG24 や AWG26 など) は制御盤外の長距離の接続に使用するべきではありません (Should)。

制御盤内の短距離の接続では AWG24 や AWG26 のような小さい直径のパッチケーブルも使用できます。このような小さい直径のケーブルは抵抗値や信号減衰が大きいという特性があります。プランニングの段階で、AWG22 より直径の小さい導体を使用しているケーブルについては、ケーブルメーカーの提供する資料、もしくはセクション 7.2 で記載のように直接計測したハードウェアパラメータに基

づいて注意深く評価します(Should)。このパラメータは減衰値と関係し、減衰値が大きくなることはチャネル全長を 100m よりもずっと短くしなければならないという制限になります。

5.4.2 100BASE-FX リンクのケーブル

Table 9: 光ファイバケーブルに対する参考パラメータ

特性	9..10/125 μm シングルモード シリカ	50/125 μm マルチモード シリカ	62,5/125 μm マルチモード シリカ	980/1000 μm ステップ インデックス POF	200/230 μm ステップ インデックス ハードクラッド シリカ
減衰量(km あたり) (650 nm)	-	-	-	≤ 160 dB/km	≤ 10 dB/km
減衰量(km あたり) (820 nm)	-	-	-	-	-
減衰量(km あたり) (1300 nm)	≤ 0,5 dB/km	≤ 1,5 dB/km	≤ 1,5 dB/km	-	-
光ファイバ芯数	2	2	2	2	2
接続の種類 (全二重/半二重)					
被覆色の要件	-				
被覆の材料	-				
耐環境要件 (例、UV、耐油性 LS0H)	アプリケーション依存				
ブレイクアウト	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

5.5 コネクタの選定

IEC 61784-5-12 プロファイルは EtherCAT アプリケーションに対して規定する標準コネクタタイプについて定義しています(Table 10 および Table 11 参照)。IEC 61784-5-12 において EtherCAT で規定されたコネクタタイプは以下のドキュメントで規定しています。

- IEC 60603-7-3: シールド付き RJ45 コネクタ (銅線ケーブル)
- IEC 61076-2-101, IEC 61076-2-109 および IEC 61076-3-117: M12 コネクタ (銅線ケーブル)
- IEC 61076-2-104: シールド付き M8 コネクタ (銅線ケーブル)
- IEC 61076-2-114: P コーディング M8 コネクタ (銅線ケーブル、EtherCAT P 専用)

- IEC 61754-4: SC コネクタ (光ファイバ)
- IEC 61754-24: SC-RJ コネクタ (光ファイバ)

プランニング段階において、コネクタの選定は常にコネクタメーカーが提供する計測パラメータを参照して実施します(Should)。

コネクタの選定は、ケーブルやコネクタ自身の恒久的損傷を防ぐためにアプリケーション固有の機械的制限を考慮します(Should)。

化学的侵食性環境に敷設するリンクの場合、ケーブルやコネクタ自身の損傷を防ぐために適切な特殊コネクタを使用します(Should)。

Table 10: 銅線ケーブルの標準コネクタ

IEC 60603-7-3^a	RJ45 (シールド付き)	^a IEC 600603-7 においてコネクタセクションはチャネル性能を定義 ^b プッシュプル接続による矩形保護ハウジング ^c EtherCAT P 関連デバイスにのみ適用可
IEC 61076-3-117^b	RJ45 (シールド付き)	
IEC 61076-2-101	D コーディング M12-4	
IEC 61076-2-109	X コーディング M12-8	
IEC 61076-2-104	A コーディング M8-4 (シールド付き)	
IEC 61076-2-114^c	P コーディング M8-4	

Table 11: 光ファイバケーブルの標準コネクタ

IEC 61754-4	SC	IEC 61754 シリーズは光ファイバコネクタの機械的インタフェースと性能を定義。 特定の光ファイバタイプの終端のコネクタ仕様は IEC 61753 シリーズで規格化。
IEC 61754-24	SC-RJ	

IEC 61784-5-12 プロファイルで規定していないコネクタタイプを使用するときは、あらゆる動作条件において性能クラス D (またはそれ以上) に準拠することを、セクション 0 の解説のように電氣的計測を行い保証しなければなりません(Shall)。

さらに、デバイスメーカーはデバイスに非標準コネクタ形状から IEC 61784-5-12 で規定されているコネクタの 1 つに変換するアダプタを同梱する必要があります(Shall)。EtherCAT P インタフェースに対してはアダプタの使用はできません。

5.6 ケーブルの分離

信号に影響を与え、通信性能に影響を及ぼす電磁妨害のノイズ対策のためにネットワークプランニングは常に通信ケーブルと他の種類のケーブルとを適切かつ確実に分離します(Should)。特に電源供給やモータ接続の電源ケーブルからは特に分離しなければなりません (Figure 16 参照)。

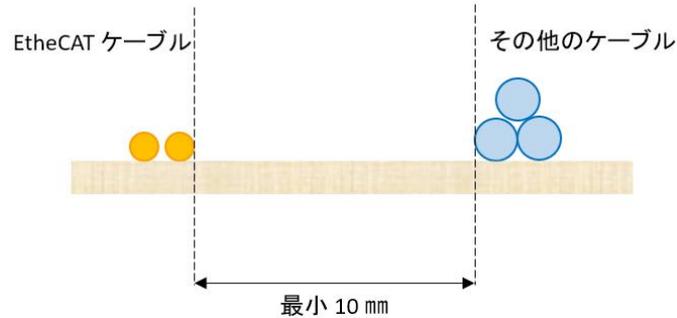


Figure 16: 通信ケーブルと電源ケーブル間の最小距離

電磁妨害の耐性(EMI)を改善し、パワーラインから許容可能な最小距離を短くするために、EtherCAT ケーブルは Figure 17 に示すような金属製のダクトやコンジット内に配線できます。

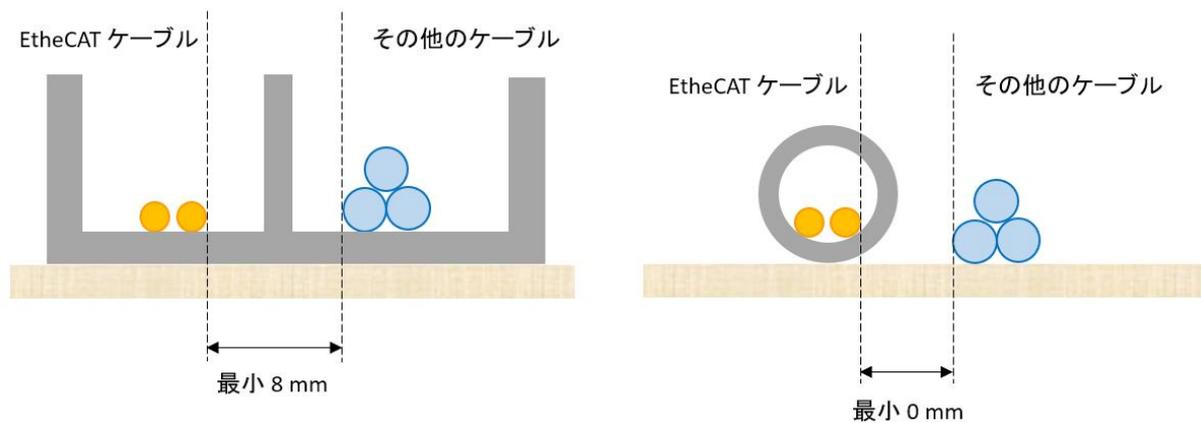


Figure 17: 金属製のダクトで分離したときの最小距離

セクション 5.4.1 で述べたパラメータ値の推奨ケーブルは[13]の Table 3 に記載の分離クラス D に準拠します。Table 12 にシールド付き EtherCAT ケーブルと電源ケーブル間を金属製のダクト等で分離した場合に[13]の Table 3 に準拠する最小距離を示します。

Table 12: 通信ケーブルと電源ケーブル間の最小距離の参考値

分離の種類	最小距離 ^{a, b}
金属製の分離なし	10 mm
開口部のある金属製ケーブルダクト	8 mm
有孔金属板製ケーブルダクト	5 mm
堅牢な金属製ケーブルコンジット	0 mm

a 最小距離の値は最大 230V/300A の電源ケーブル内の全電流値に対して有効。より大きな電流値に対しては、[13] の Table 5 に準拠するディレーティング係数を考慮。

b セクション 5.3.1 で述べたパラメータ値に準拠しない銅線ケーブルの場合、[13] の Table 5 に準拠する、より大きな分離距離を適用。

5.7 接地

電磁妨害やその他のノイズに対して高い耐性をもたせるために、すべての電気コンポーネントや筐体または装置内または工場フロアの金属製ケーブルダクトは、適切な接地をおこなうことにより等電位化します(shall)。

ISO/IEC 61918 規格によると、等電位とスター型の2種類の接地方法が産業用の環境で有効であることが実証されています。

5.7.1 等電位接地

等電位接地(多重メッシュ型ボンディング)ではデバイスの筐体やケーブルダクトを建物の金属構造に接続し、次に Figure 18 のように接地します。この方式では全 EtherCAT デバイスと敷設コンポーネントが等電位となるようなメッシュを形成します。

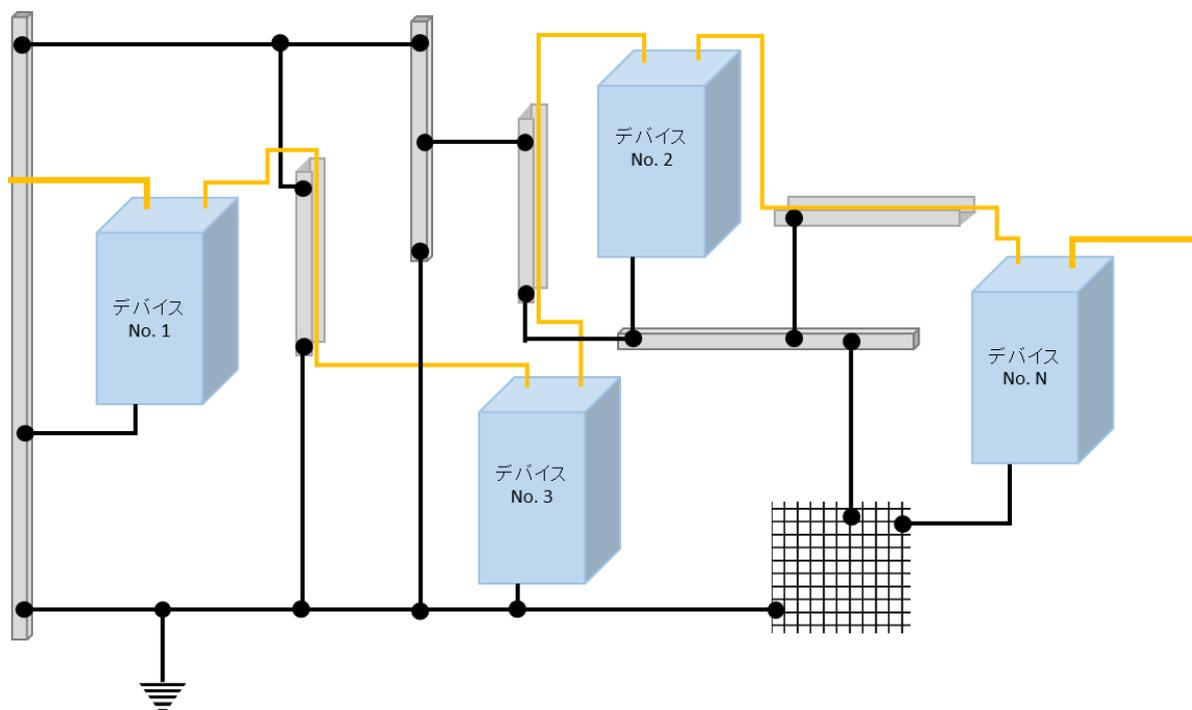


Figure 18: 等電位接地方式

5.7.2 スター型接地

アプリケーション内で中または高電流を生成している場合、接地経路に電流ループが形成され、その結果ネットワークデバイス間で電位差が発生することがあります。このような場合、一点に接続した後に接地するスター型接続が接地方式としてより効果的です(Figure 19)。

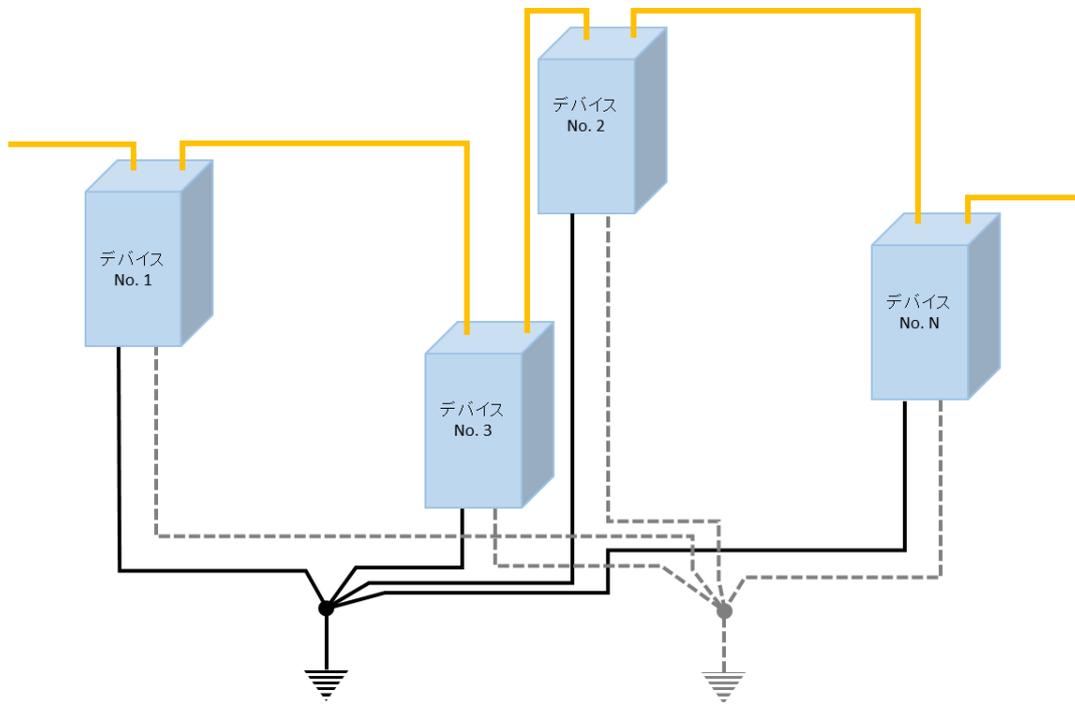


Figure 19: スター型接地方式

デバイスの筐体と接地への金属経路との接続は指定された専用のワイヤを使用し、各国または地域の規格に準拠した適切なカラーリングを行います。電磁妨害やその他の悪影響を与えるノイズを効果的に排除する接地システムとするために、各デバイスまたは金属筐体と接地間のインピーダンスは可能な限り小さくします(Should)。一般的に 0.6Ω 以下とし、どのような場合でも 1Ω 以下にします。

ワイヤ全体の抵抗はその長さに比例するので、接地に使用するワイヤの長さは可能な限り短くします(Should)。

ワイヤ全体の抵抗は、その断面積にも反比例します。Table 13 に抵抗値を 0.6Ω 以下にし、適切な接地の効果を得るための接地用ワイヤの断面積の大きさと最大長を示します。

Table 13: 接地用ワイヤの断面積と長さの関係

断面積		最大長 ^a
IEC 602228	AWG	(a)
	8,36 (8 AWG)	291 m
10 mm ²		349 m
	10,5 (7 AWG)	368 m
	13,3 (6 AWG)	461 m
16 mm ²		556 m
	16,8 (5 AWG)	582 m
	21,1 (4 AWG)	736 m
25 mm ²		870 m
a 抵抗値が $R = 0.6\Omega$ となる導体の長さ		

Table 13 で示す最大長は最良の場合の値と考えます(Should)。デバイスが一般的にそのローカル接地と RJ45 コネクタ間のインピーダンスを示す際に RJ45 コネクタにもそれぞれ自身のインピーダンスがあります。セクション 7.2 に記載のように環境の条件に依存して接地方法を改善します(Should)。シールド接続に対する追加の外部接地が必要になることがあります(May)。

5.8 敷設用コンポーネントの選定

EtherCAT スレーブコントローラに直結しない、スリップリング、光メディアコンバータおよびその他のケーブル以外の敷設コンポーネントを使用する場合も注意深く評価しなければなりません(Should) (セクション 4 参照)。セクション 5.4 で示したようにそれらはネットワークの性能、フレーム喪失などに重大な影響を与え、正しく EtherCAT ネットワークが動作しなくなる原因になる恐れがあります。

セクション 0 で示したように ESC にはルーティング機能があり、これによって様々なトポロジを構成しています。スター型やツリー型のトポロジ構造を実現するのに、スイッチングハブのような外部のルーティングコンポーネントは使用しません。スイッチングハブは伝送遅延、通信ジッタや EtherCAT フレームのルーティング順序などに悪影響を与えるだけです。EtherCAT ネットワーク内のスイッチングハブの接続は完全に非推奨であり、避けねばなりません(Should)。

敷設用コンポーネントはあらゆる動作条件および経年後において性能クラス D (またはそれ以上) であることの認証を受けます(Should)。敷設コンポーネントを含む各エンド・ツー・エンドリンクはセクション 7.2 で解説している適切な計測方法によってテストを行います(Should)。またセクション 0 で説明する EtherCAT 固有の診断情報は、試運転の段階において敷設コンポーネントが原因でフレームが喪失したり、破損したり、または過度な減衰の発生がないことを評価します(Should)。

スリップリングの一部やメディアコンバータおよびその他の敷設コンポーネントはアクティブデバイスであり、それ自身が EtherCAT 信号を再生成します。このような敷設コンポーネントを 2 つの EtherCAT デバイス間に挿入すると、接続は敷設コンポーネントの上流側と下流側の 2 つの異なるチャンネルに分割されます。物理層リンクの検出や確立は敷設コンポーネントに依存し、各端の ESC が接続を切断してもそれがもう一方に伝わらないことがあります。敷設コンポーネントと下流側デバイス間の物理リンクを切断したとき、上流側デバイスと敷設コンポーネント間の物理リンクはアクティブを維持する事があり、このような場合、敷設コンポーネントが内部で EtherCAT の論理ループをクローズする機能をサポートしないので上流側デバイスでポートはオープンのままとなってフレームを喪失します (Figure 20)。

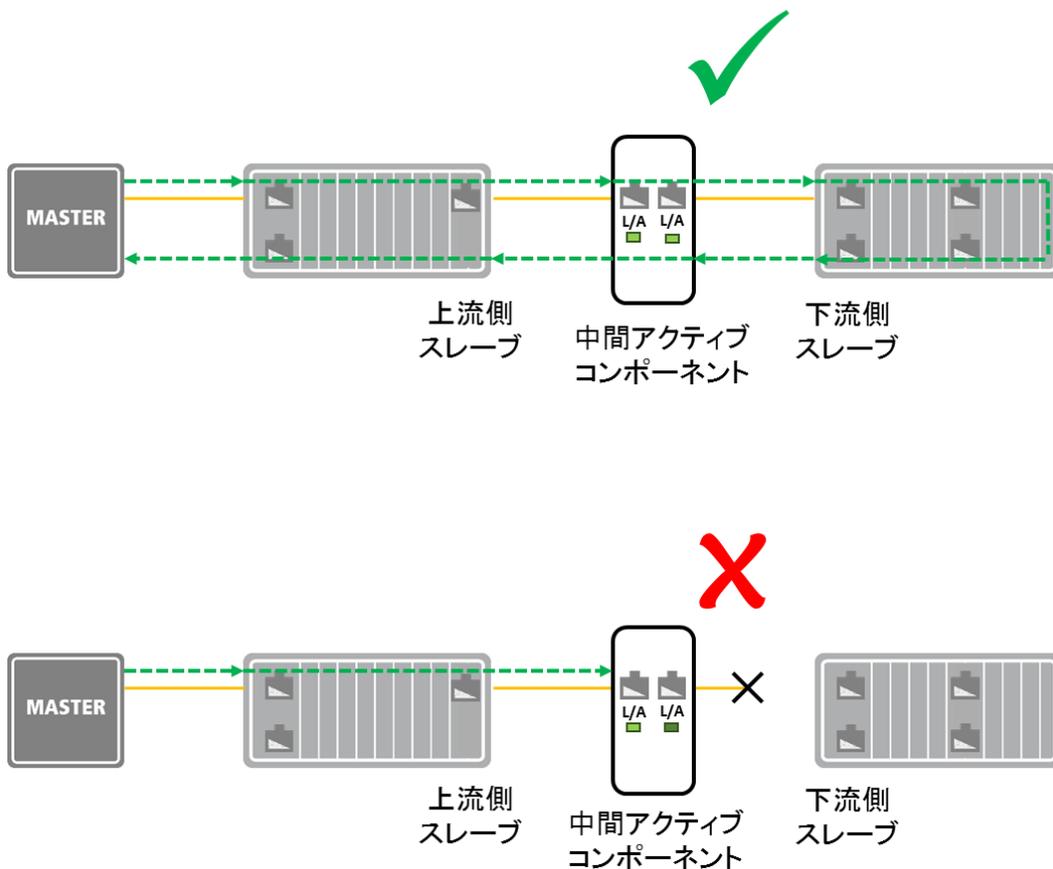


Figure 20: アクティブな敷設コンポーネントの動作

このため、EtherCAT ネットワーク内で使用するアクティブな敷設コンポーネントは次のようなメカニズムをサポートします(Should)。中間の敷設コンポーネントと下流側デバイス間の接続が切断されると、中間コンポーネントは上流側とのリンクもクローズし、その結果、上流側のスレーブはポートをクローズすることによって EtherCAT の論理ループを維持し、フレームの喪失を防ぎます。アクティブな敷設コンポーネントに対するこの動作は、例えばリンクロス転送 (Link Lost Forwarding: LLF)などで実現します。

信頼できるリンク管理機能や高度な診断機能を提供するために、EtherCAT ネットワーク用のアクティブな敷設コンポーネントのメーカーはそのデバイス内に ESC を内蔵することを推奨します。ESC を上流側の PHY の直後に接続し、EtherCAT の論理ループ構造をリンクの切断から常に保護し、フレームの喪失を防ぎます。

デバイスメーカーに推奨する実装方法

前述のアクティブな敷設コンポーネントに対する正しいリンク管理機能はリンクロス転送 (LLF) または同等のメカニズムを実装することで実現できます。

その他、片側の接続が切断された場合に高度な診断情報を提供し、物理リンクを正しく管理できるようにするにはアクティブな敷設コンポーネントに EtherCAT スレーブコントローラを内蔵する方法があります(Figure 21)。

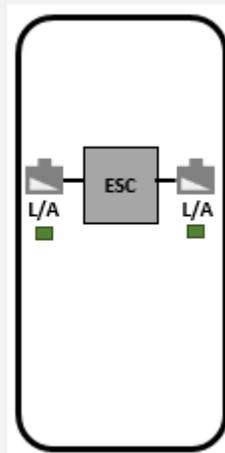


Figure 21: アクティブな敷設コンポーネント内への ESC の統合

5.9 EtherCAT スレーブデバイスの選定

EtherCAT デバイスの製品ラインアップは非常に幅広く、このためエンドユーザはこの豊富なデバイス群の中から自身のアプリケーションの要件に最適なコンポーネントを選択できます。ETG ウェブサイトでは「製品ガイド」(<https://www.ethercat.org/en/products.html>) を提供し、市場の多数の製品について製品概要、技術的特徴や詳しい情報を参照できるようにデバイスメーカーの製品ページへのリンクなどを掲載しています。このウェブページに掲載されているデバイスのリストは市販デバイスを全て網羅しているのではないこと、また、これらの製品の品質保証を意味しているものではないことに留意してください。

全ての EtherCAT スレーブのメーカーは公式コンFORMANCEテストツールを使用してデバイスをテストし合格することが必須であり、EtherCAT 仕様にデバイスが準拠し、他のデバイスとのインタオペラビリティを有することを保証します。

また、EtherCAT デバイスは第三者による EtherCAT テストセンターによってテストを実施し、認証を受けられます。このテストは前述の自己テストより、高いレベルの仕様適合性とインタオペラビリティの確認を行います。ETG はこのテストの受検を強く推奨します。

EtherCAT デバイスの敷設や試運転を行う際は、常にデバイスメーカーの提供する技術情報に従って実施してください。

5.10 プランニング段階のその他のタスク

プランニング段階のスコープは装置の運用コスト全体とメンテナンスコストの削減、または予期せぬ障害発生予防なども含みます(Should)。通信はオートメーションシステムのバックボーンであり、敷設作業や部材のコストの最小化は、ケーブル敷設のプランニング時の第一の目的ではありません。

このガイドラインはプランニング段階において追加コストの制約のもと、装置や工場のライフサイクルの費用や時間を節約することで大いに役立つ、妥当な対策について説明します。

オートメーションシステム環境の条件に対する知識があれば、全体のなかで特に重要なものだけを選び出すことができます。Table 14 にプランニング段階に含まれるその他のタスクのうち主なものを示します。

Table 14: プランニング段階で必要となりうるその他のタスク

推奨	コメント
ケーブルの信頼性レベルの定義と全ケーブル配線コストの策定	ケーブル敷設のコストの予算内で達成するという目的のために必要
クリティカルなケーブル経路の評価	殆どのケーブル配線には問題ないが、障害が発生する可能性ある特定のエリアをリストアップ。ケーブル配線の危険箇所を特定
高品質のケーブルとコネクタの選定	ケーブルコストの増加
敷設コンポーネントに対する周辺温度のコントロール	温度の上昇は電子部品の劣化や損傷を起こし、データ通信に影響
ケーブル検査の計画	外観検査や、抵抗値計測による問題の特定
障害発生時の修理時間の短縮化	修理時間は可用性を向上させる重要な要素であり、スペアパーツや熟練したメンテナンス要員が必要
ネットワーク構成のドキュメント化	ドキュメント(ケーブル長、タイプ)を運転中の障害の特定に活用

6 敷設

6.1 標準的な敷設の手順

ケーブル経路に関する基本情報は第5章を適用します。セクション5.6「ケーブルの分離」とセクション0「接地」を参照してください。

敷設は熟練した技術者が、ケーブルリングプランに従って実施します(Should)。

6.2 電磁妨害からの保護

セクション5.6に記載のように、通信ケーブルは常に他の種類のケーブル(特に電源ケーブル)と最小距離以上の間隔をあけて敷設します(Should)。

通信ケーブルが電源ケーブルと交差しなければならない場合は Figure 22 のように必ず 90°の角度になるようにします(Should)。

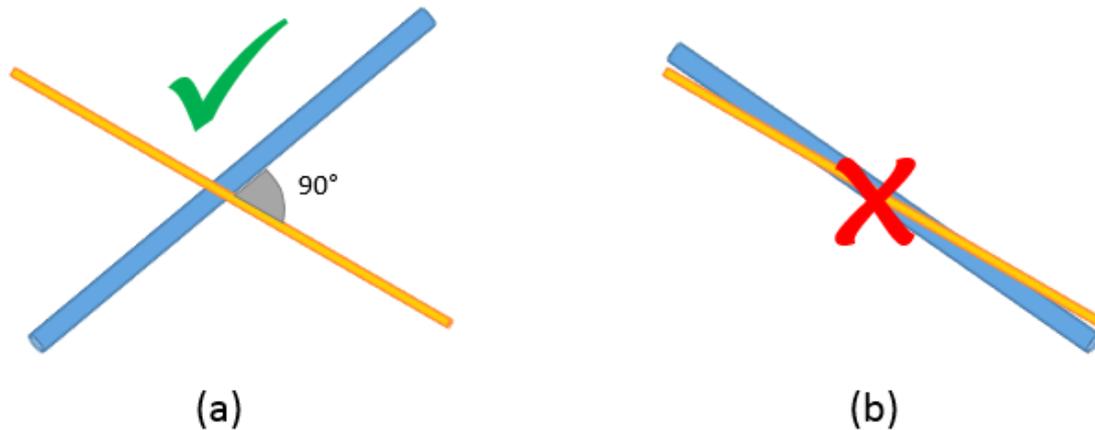


Figure 22: 通信と電源ケーブルの交差

電磁妨害の影響が大きな範囲で及ぶことで通信性能に重大な悪影響を与えるため、通信ケーブルがループ状にならないようにします (Figure 23)。

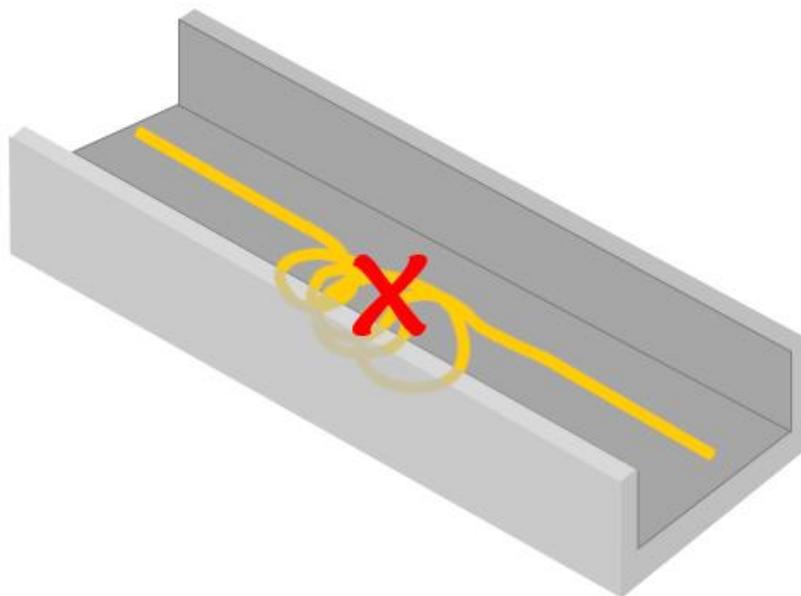


Figure 23: ループ状の通信ケーブルの忌避

EtherCAT ネットワーク内ではシールド付きケーブルだけを使用します(Should)。特にケーブルシールドの接地に留意します(Should)。

ケーブルシールドはチャンネルの両端で接地に接続するとともに(Should)、セクション0のようにケーブル両端のデバイスは必ず等電位となるようにします(Should)。

デバイスメーカーに推奨する実装方法

スレーブメーカーはケーブルシールドをデバイス内で接地に適切に接続してください(Figure 24)。Figure 25 のように RC 接続を推奨します。これが不可能な場合、直接に接地に接続します。

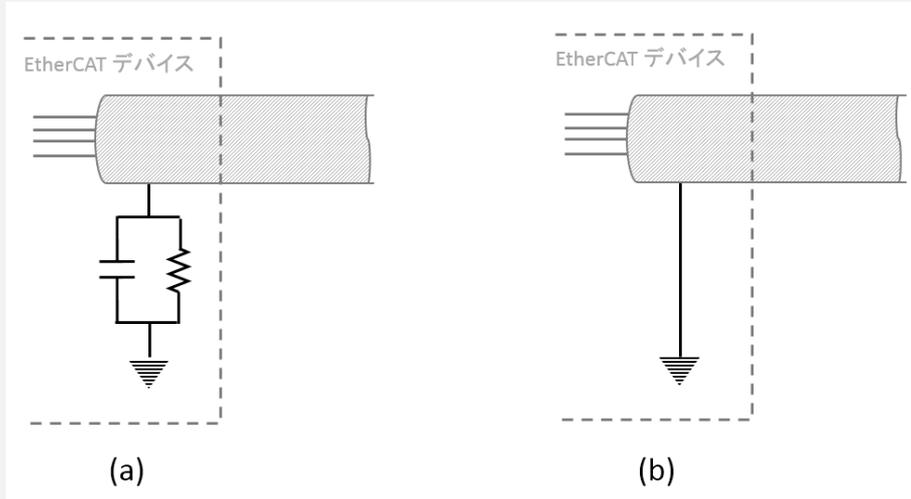


Figure 24: デバイス内のシールドー接地間の接続例

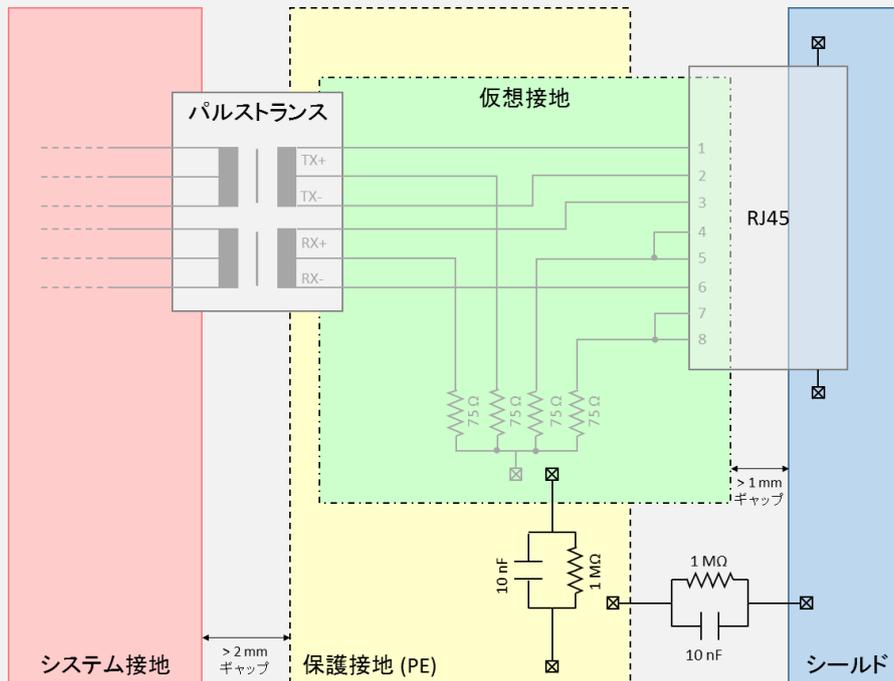


Figure 25: デバイス内の接地との RC 接続

ケーブルシールドとローカル接地間の接続は一般的に EtherCAT スレーブデバイス内で行い、外部でケーブルシールドを接地に接続することは通常必要ありません。外部のシールドと接地との接続について特別な指示がある場合、スレーブデバイスの取付け説明書を参照してください。

取付け後にコネクタの金属部とローカル接地間のインピーダンスを計測してどのような接地方法がスレーブデバイス内で使用されているのかを確認できます(Figure 26)。

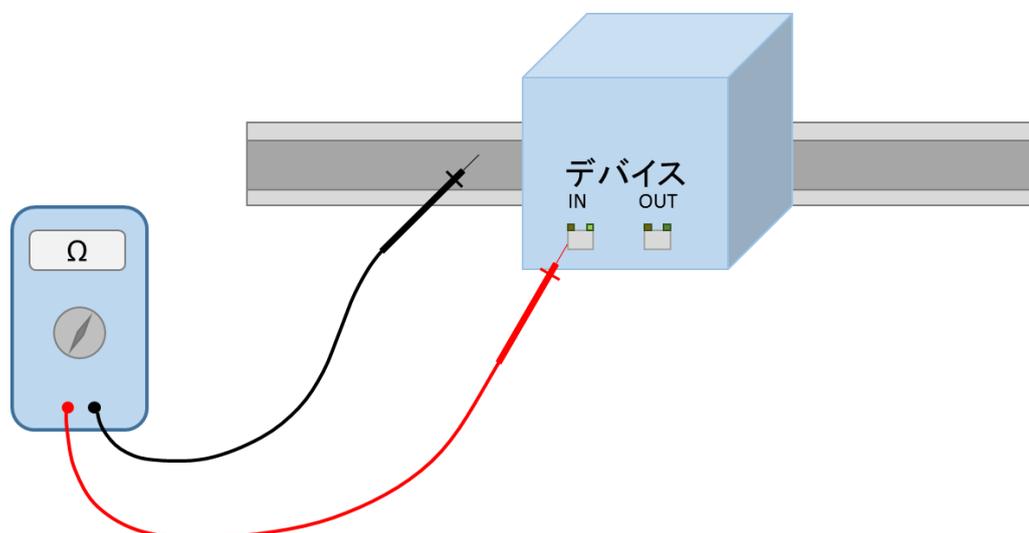


Figure 26: デバイス内のシールド接地の計測

この計測の結果は以下のうちのいずれかになります。

- 非常に高いインピーダンス値 (値が $M\Omega$ のオーダー)。この場合、高い確率でデバイス内のケーブルシールドは接地に RC 接続されている
- 非常に低いインピーダンス値 (値が 1Ω 以下)。この場合、高い確率でデバイス内のケーブルシールドは接地に直接接続されている
- 開路状態。この場合、おそらくケーブルシールドはデバイス内で全く接地されていない

ケーブルシールドがデバイス内で接地に直接接続され比較的高いインピーダンス値 (1Ω 以上) を示すとき、ケーブルシールドは内部でローカル接地には全く接続されていない場合、もしくは (セクション 0 に記載のように) 試運転段階中に収集した診断情報でハードウェア通信エラーを検出した場合、ノイズと等電位電流の耐性を改善するように専用のケーブルクリップを使用してローカル接地にケーブルシールドの外部接続を追加してください(Figure 27)。

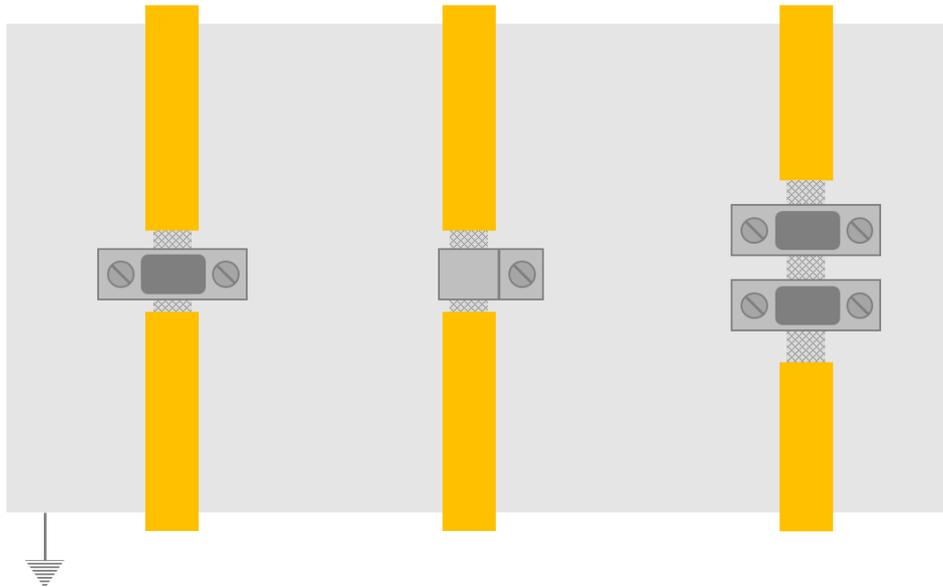


Figure 27: ケーブルクリップによるケーブルシールドの接地への外部接続

ケーブルクリップを使用する際には以下の使い方に従います(Should)。

- a) 接地の経路が非常に低いインピーダンス(0.1Ω 以下)となるようにします(Should)。
- b) ケーブルクリップのサイズがケーブル直径に正確に一致するものを使用します(Should)。小さすぎる場合、ケーブルに機械的損傷を与えるおそれがあります。大きすぎる場合、システムにその他のノイズが混入するおそれがあります(Figure 28)。

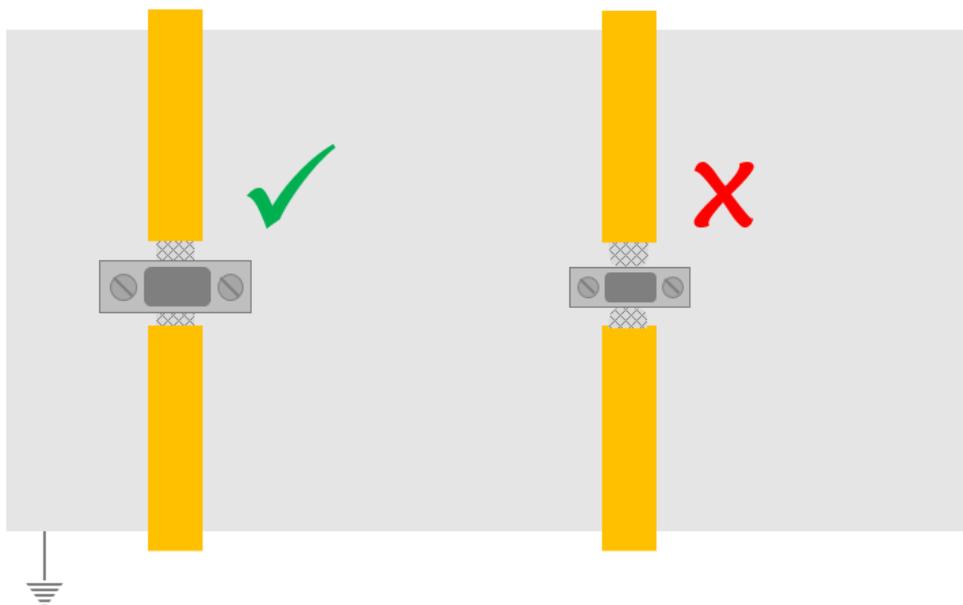


Figure 28: 適切なサイズのケーブルクリップの使用

- c) ケーブルの被覆を取り除く際にケーブルシールドに損傷を与えたりシールドがやぶれないようにします(Shall)。シールドの損傷部から電磁ノイズが侵入するおそれがあります(Figure 29)。シールドはケーブルクリップで接地し、ワイヤで接続してはいけません。

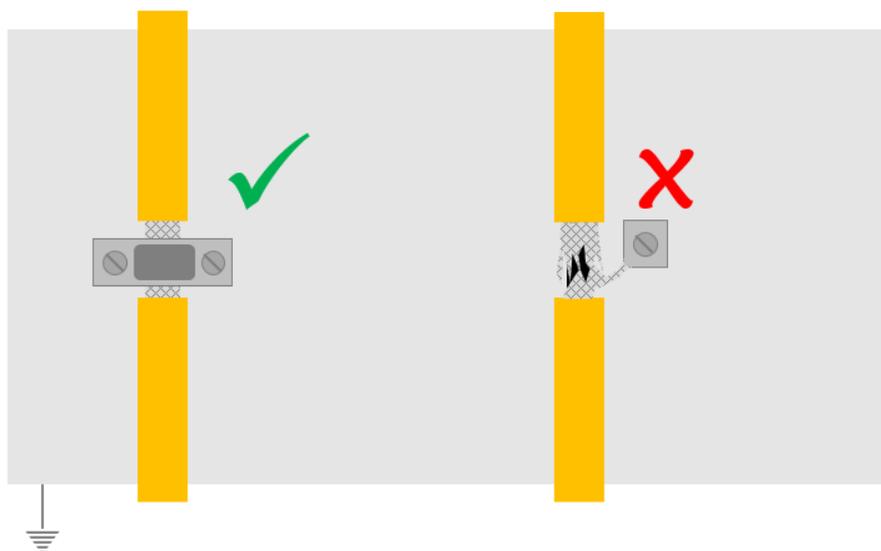


Figure 29: 接地接続の適切な処置

- d) シールド接地用のケーブルクリップを張力緩和に使用してはいけません(Should)。張力緩和が必要な場合はセクション 6.3 で示す専用の部材を使用します(Should)。

ケーブルクリップ以外の方法として、Figure 30 に示すように通信ケーブルの金属製コネクタとローカル接地を直接に低インピーダンス (0.1Ω 以下) の穴あき金属金具で直接に接続できます。

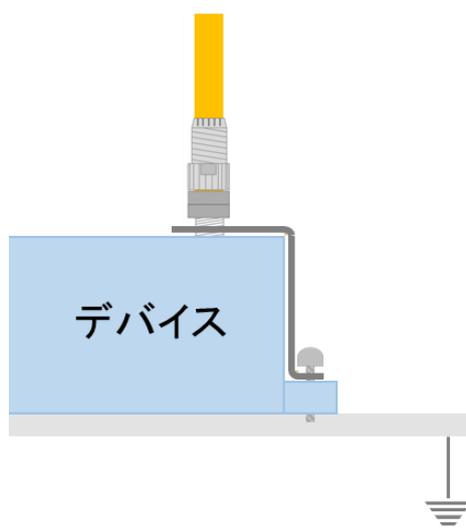


Figure 30: 穴あき金属金具によるケーブルシールドの接地

バルクヘッドフィードスルーコネクタは制御盤の内外を接続するために使用します。このコネクタにも可能な限り最小の低インピーダンス (0.1Ω 以下) の接地が必要です(Should)。フィードスルーコネク

タと制御盤パネルの金属部同士が適切な大きさの接触面積となるようにし (Should)、接触部の塗装を取り除きます。

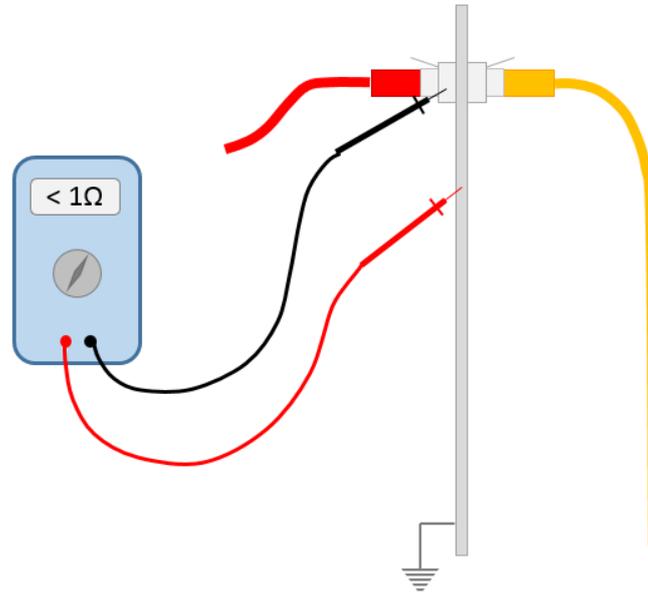


Figure 31: バルクフィードスルーコネクタの適切な接地

6.3 機械的保護

通信ケーブルは任意の半径で曲げてはいけません。過度な屈曲はケーブル内のワイヤや保護シールドに回復不可能な損傷を与え、通信性能に重大な影響を及ぼします。敷設の際にはケーブルメーカーが提供する最小曲げ半径を必ず考慮します(Should)。大体の目安として、(TIA-568-C 規格の記載のように)固定配線ケーブルではケーブル直径の 8~10 倍を最小曲げ半径として使用します(Should)。

通信ケーブルの過度な屈曲を防ぐために機械的な専用器具を使用します(Figure 32)。

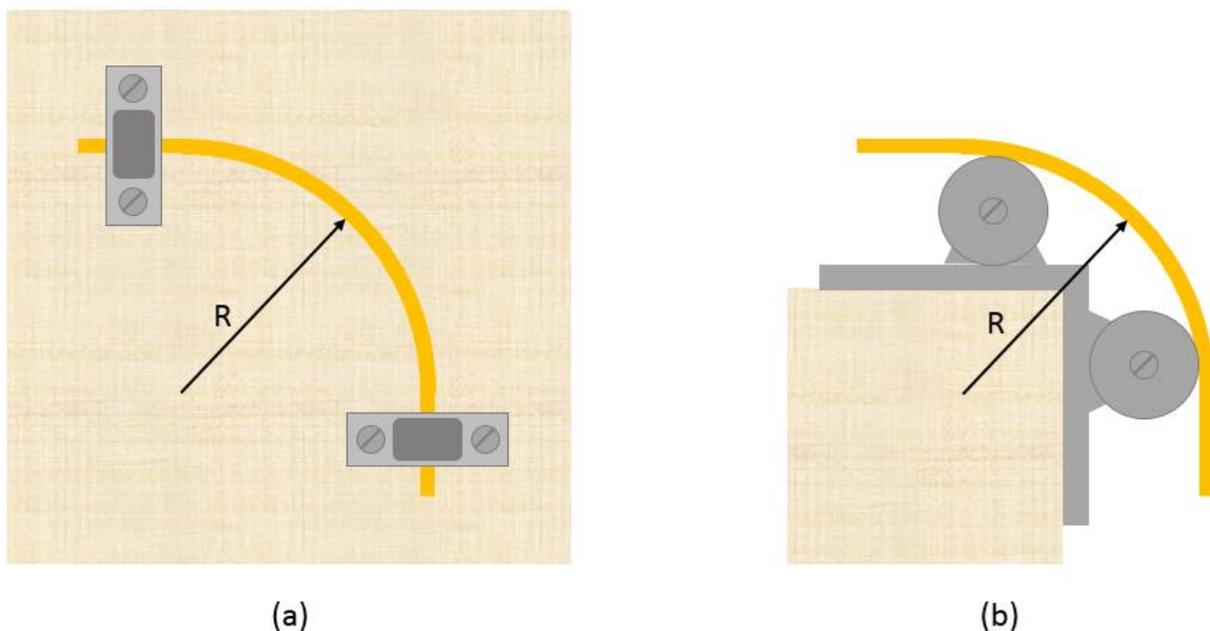


Figure 32: 通信ケーブルの最小曲げ半径の保持

屈曲はケーブルの性能に最も重大な影響を与えます。特に相対的に移動する部品感の場合には注意が必要です。このため、ケーブルの損傷を防ぐために、屈曲が発生せずなめらかに曲がるように専用器具で保護します(Figure 33)。

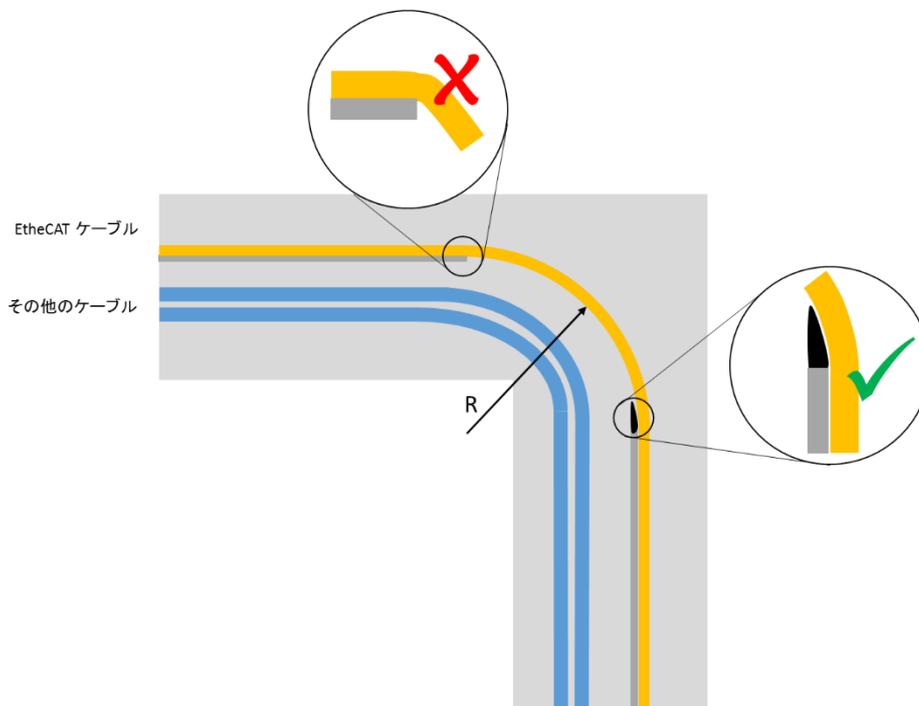


Figure 33: 通信ケーブルの経路上における折り曲げからの保護

Figure 34 に示すように張力もケーブルの性能に影響を与える可能性があります。敷設の際には張力がケーブルメーカーの指定する最大許容値を超えて破損しないように注意します(Should)。大体の目安として、(TIA-568-C 規格に記載のように)固定配線ケーブルでは最大張力が 110N を超えないようにします(Should)。

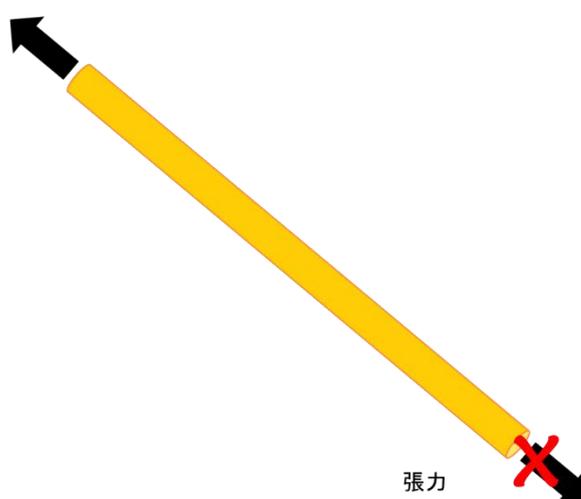


Figure 34: 通信ケーブルに作用する張力

張力がケーブルメーカーの指定した最大許容値を、ある動作条件または全てで超える場合、Figure 35に示すような張力を緩和するための専用器具を使用します。張力緩和用のクリップはケーブルコネクタ付近の適切な場所に設置し(Should)、ケーブルメーカーが提供する資料に従ってケーブルが最小曲げ半径より小さくならないようにします。

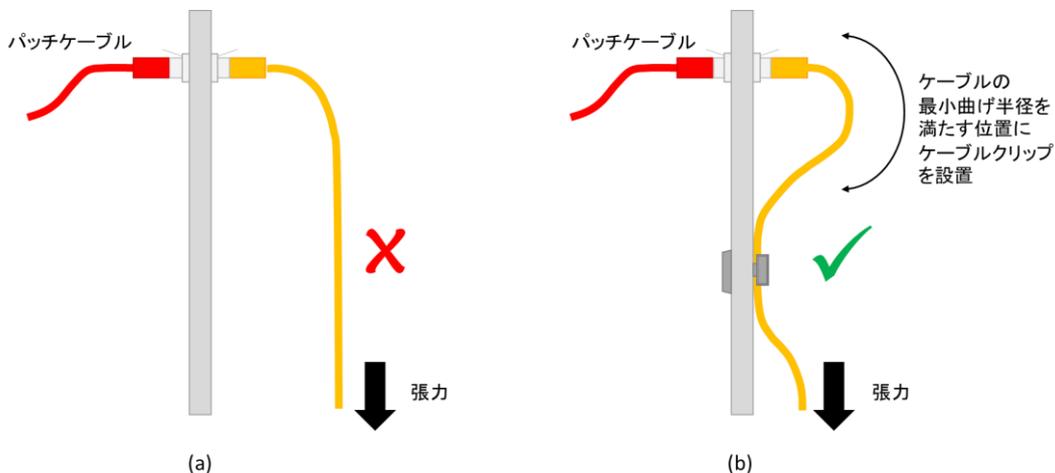


Figure 35: 張力からの通信ケーブルの保護

張力緩和クリップはケーブル直径と一致するものを使用し(Should)、ケーブルの回復不可能な損傷を与えないようにします(Figure 36)。

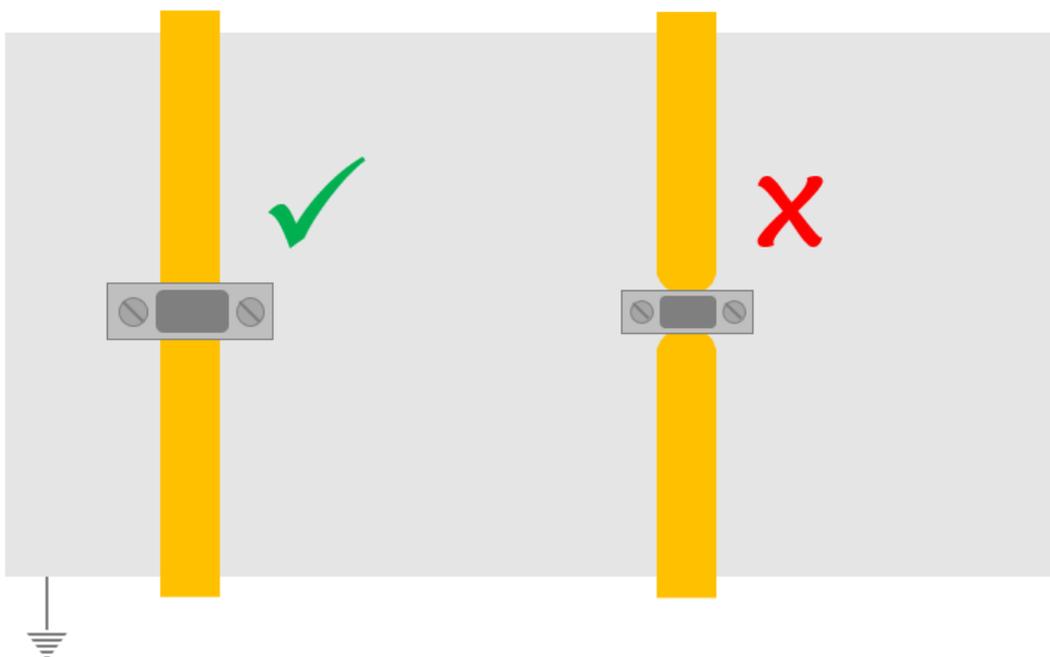
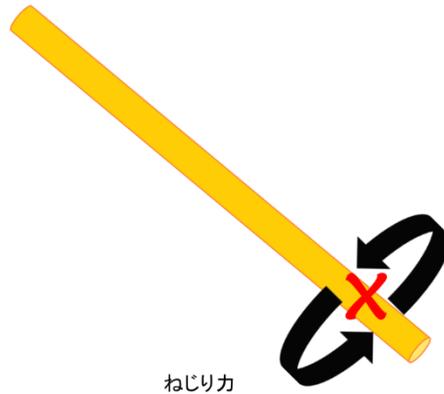


Figure 36: 適切なサイズの張力緩和部品の使用

Figure 37に示すように、ねじり力の影響によってツイストペアのワイヤにずれが発生することでツイストペアの効果が低下する場合や、ケーブル自体が回復不可能な損傷が発生する可能性があります。このためねじり力は可能なかぎり発生しないようにします(Should)。



ねじり力

Figure 37: 通信ケーブルに作用するねじり力

アプリケーションに相対的に移動する部品がある場合や、そのためにねじり力が避けられない場合、特別に可動部用に設計された高屈曲ケーブルをケーブルメーカーの提供する資料に従い動作部に使用します(Should)。

ケーブルの挟み込みが発生しないようにします(Should)。通信ケーブルが移動部や制御盤扉などで挟み込む可能性がある場合、Figure 38 のように適切な機械的に保護します。

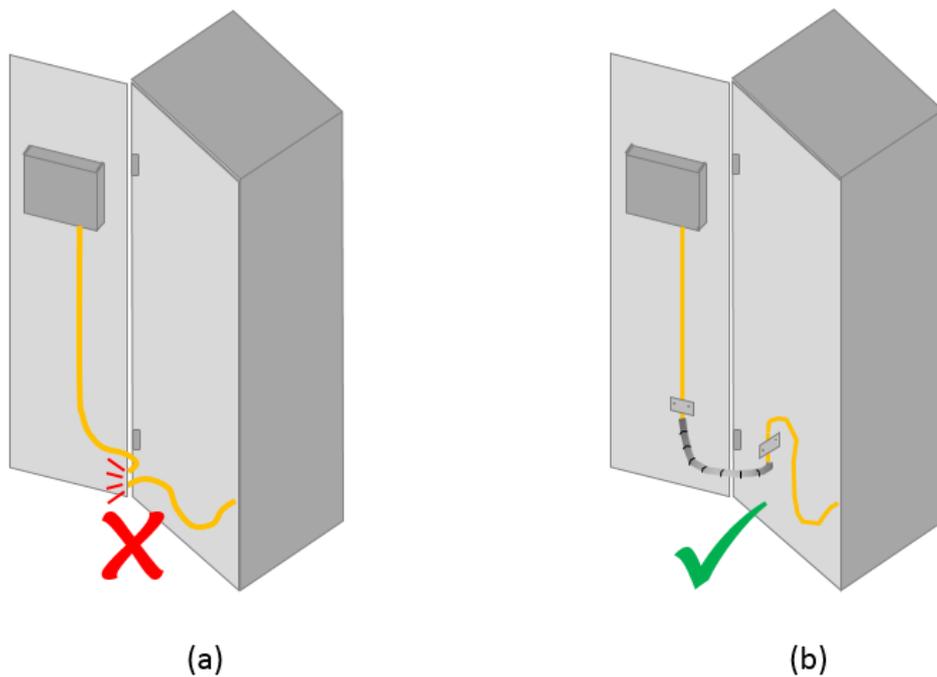


Figure 38: 通信ケーブルの挟み込みの保護

6.4 コネクタの組み立て

ISO/IEC 61918 規格では Figure 39 のように 4 線ケーブルのワイヤ色の規格やコネクタピンの配置を定義しています。

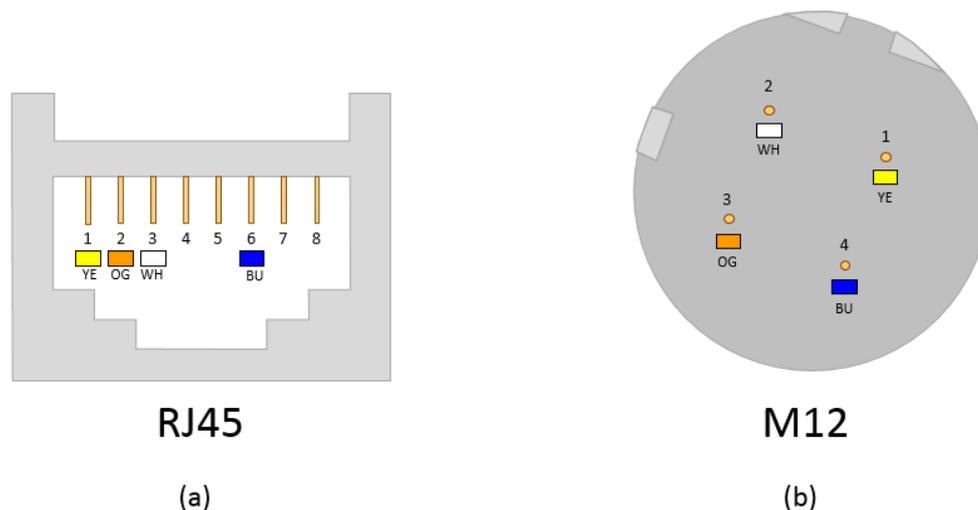


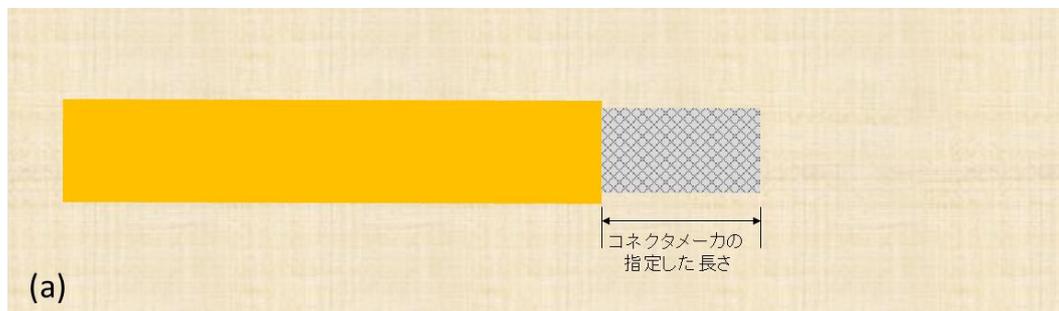
Figure 39: ISO/IEC 61918 に準拠した 4 線ケーブルのコネクタピンの配置

現場施工のケーブルを使用する際には特別の注意を払います(Should)。ワイヤとコネクタの完全性を維持するためにコネクタの組み立てには必ず専用工具を使用します(Should)。ISO/IEC 61918 規格の Annex I にはイーサネット銅線ケーブルのコネクタ組み立てに対する一般的な留意事項が記載されています。

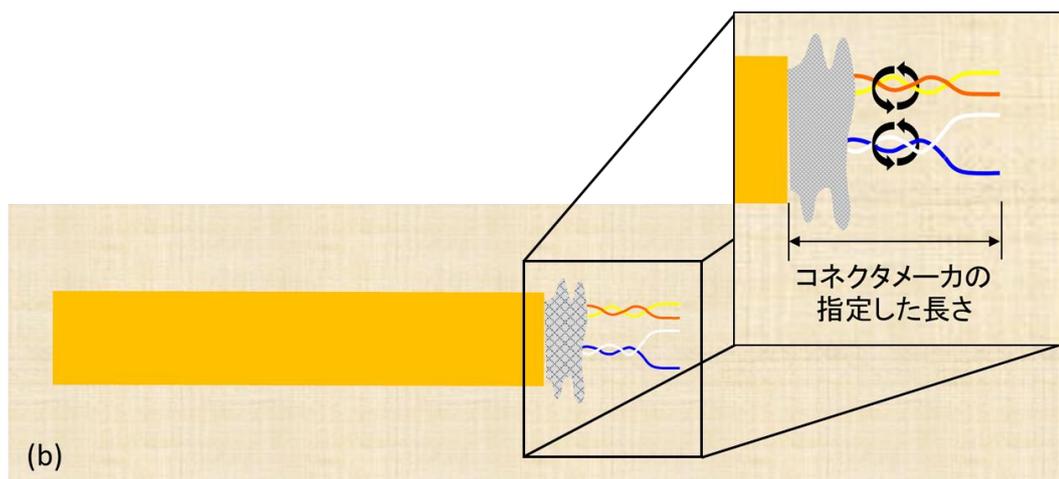
6.4.1 RJ45 コネクタの組み立て

RJ45 コネクタの場合、以下の手順で作業を行います。

- a) ケーブルの被覆をコネクタメーカーが組立手順書などで指定した長さの分だけ切り取ります。

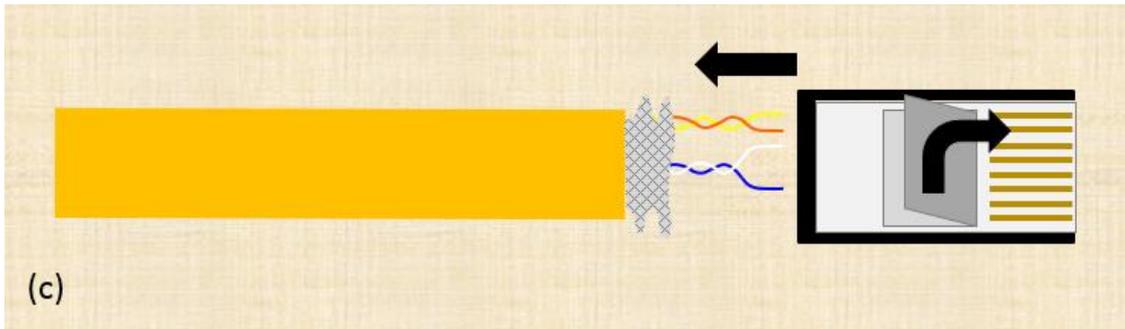


- b) シールドをケーブル被覆の部分まで折りたたみ、下の図のようにツイストペアのワイヤを取り出し、配線順に並べます。この作業の間にワイヤの先端付近までツイストペアが維持されること、シールドに損傷を与えないことに注意します。コネクタメーカーの実装説明書に指定された長さを越えた部分をカットします。

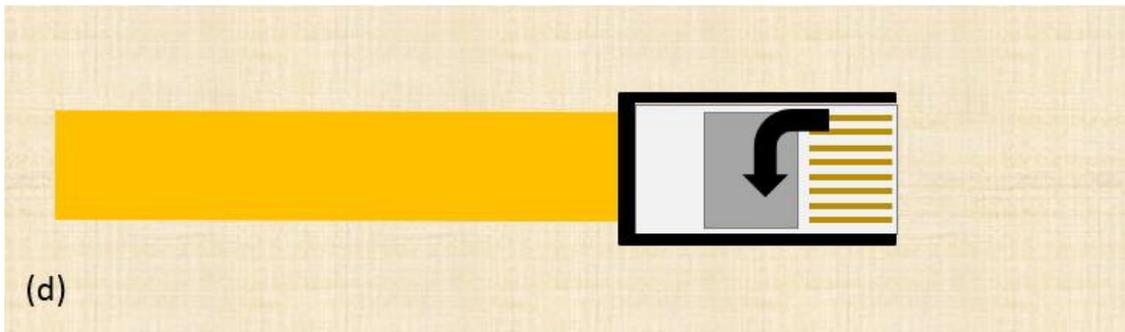


- c) ワイヤがピン配置と一致していることを確認します。この作業を容易にするためにコネクタに接合用部品や、次の圧接時に正しい位置にワイヤを安定して保持できるように補助するしくみが提供されている場合があります。詳しくは、コネクタの実装説明書を参照してください。

- d) ワイヤをコネクタ本体に挿入します。この作業では全てのワイヤがコネクタの先端部まで確実に到達していることを確認します。



- e) コネクタを圧接し、その後ケーブルを軽く引っ張って確認します。

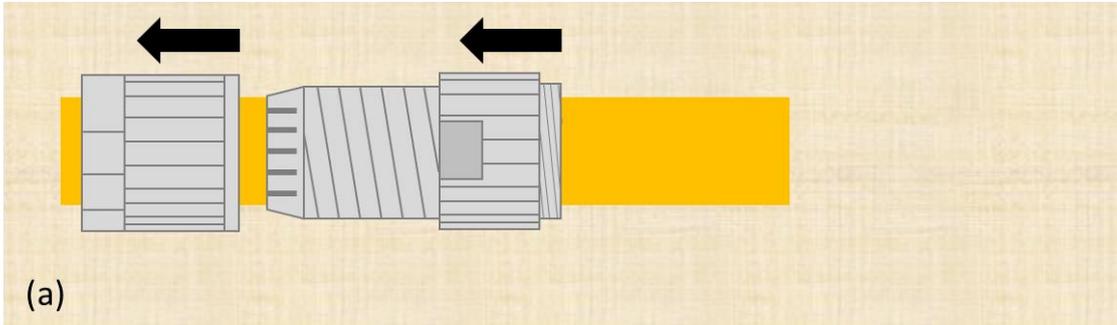


- f) 最後に両端で各ワイヤがピン間で接続されていることをマルチメータ等を使用してそれぞれ確認します。

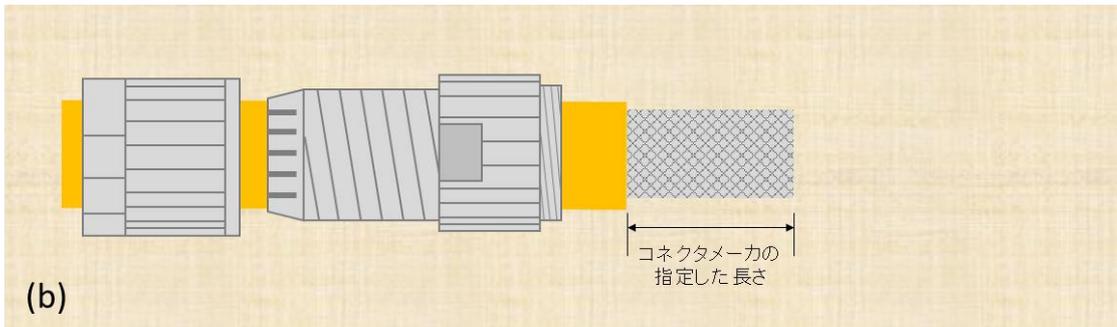
6.4.2 M12 および M8 コネクタの組み立て

M12 および M8 コネクタの場合、以下の手順で作業を行います。

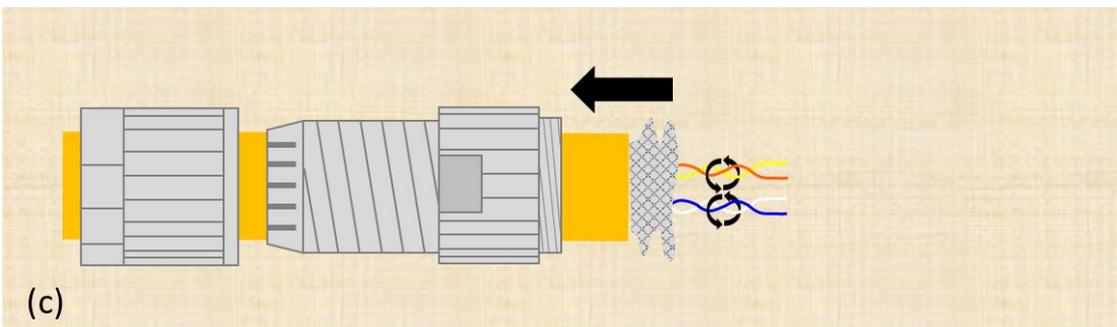
- a) コネクタシェル、ナット、パッキン押さえをケーブルに装着します。



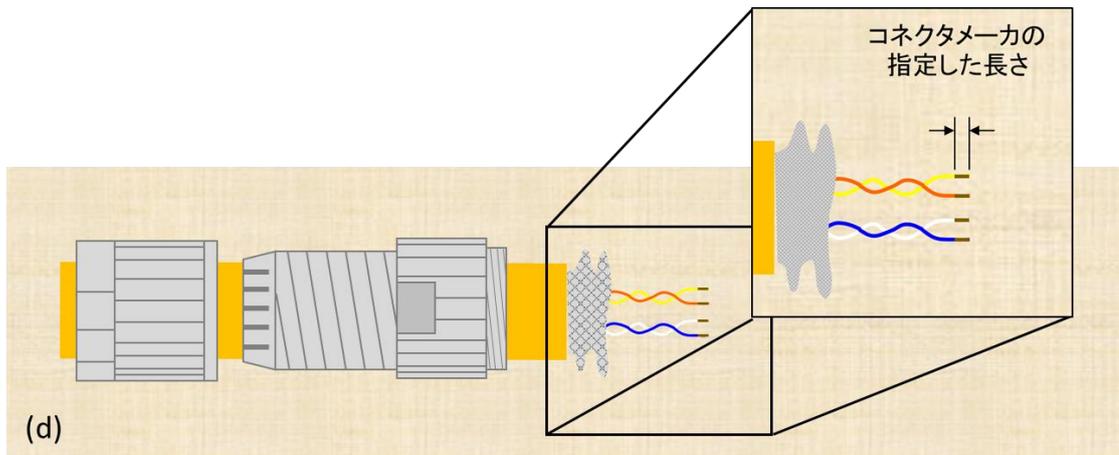
- b) ケーブルの被覆をコネクタメーカーが組立手順書などで指定した長さの分だけ切り取ります。



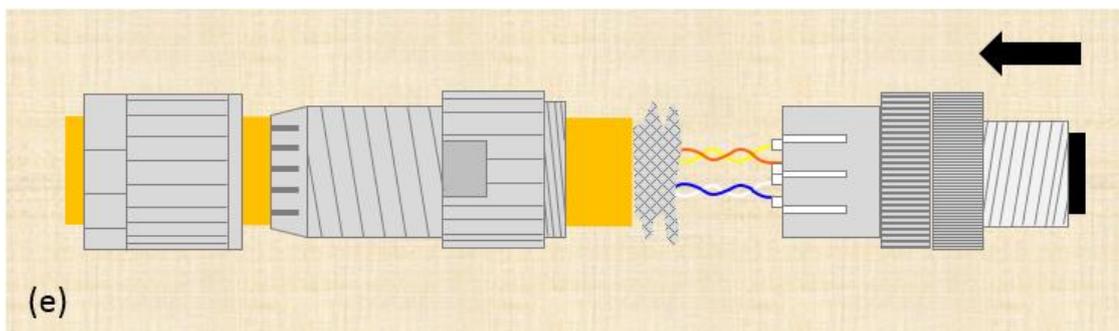
- c) シールドをケーブル被覆の部分まで折りたたみ、下の図のようにツイストペアのワイヤを取り出し、配線順に並べます。この作業の間にワイヤの先端付近までツイストペアが維持されること、シールドに損傷を与えないことに注意します。コネクタメーカーの実装説明書に指定された長さを越えた部分をカットします。



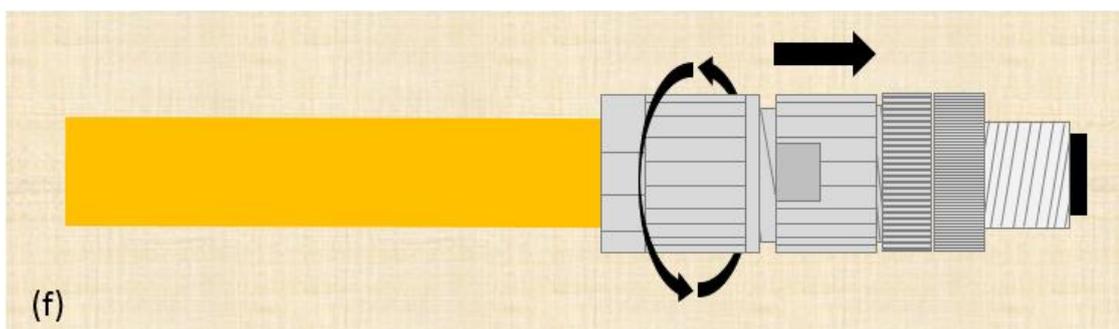
- d) コネクタメーカーの実装説明書に指定された長さの分だけワイヤの被覆を剥がします。



- e) 指定されたピン配置に従い、コネクタ本体の後部の端子穴に突き当たるまで被覆を剥いたワイヤを挿入します。ワイヤがはみ出さないように注意します。ネジがある場合は締めてワイヤを固定します。



- f) コネクタシェルをコネクタ本体後部までスライドさせてから、パッキン押さえをコネクタシェルまでスライドさせて締めます。この作業でパッキン押さえを締め付け過ぎてコネクタを損傷しないように注意します。



- g) 最後にケーブル両端で対応するピンが正しく接続されているかをマルチメータで確認します。

4ペアケーブルの場合、ワイヤ色の規格とコネクタピン配置はTIA-569-C規格で定義されています。2つの異なった接続方法がT568AとT568Bにそれぞれ記載されています。

Figure 40 に示すように TIA-569-C で定義されているワイヤ色とコネクタピン配置は ISO/IEC 61918 で定義されているものとは異なります。この 2 つの規格の違いを Table 15 に示します。

Table 15: ISO/IEC 61918 と TIA-569-C とのワイヤ色の比較

信号	RJ45	M12	ISO/IEC 61918	TIA-568-C (T568A)	TIA-568-C (T568B)
TD+	1	1	YE	WH/GN	WH/OG
TD-	2	3	OG	GN	OG
RD+	3	2	WH	WH/OG	WH/GN
RD-	6	4	BU	OG	GN
	4	-	-	BU	BU
	5	-	-	WH/BU	WH/BU
	7	-	-	WH/BN	WH/BN
	8	-	-	BR	BN

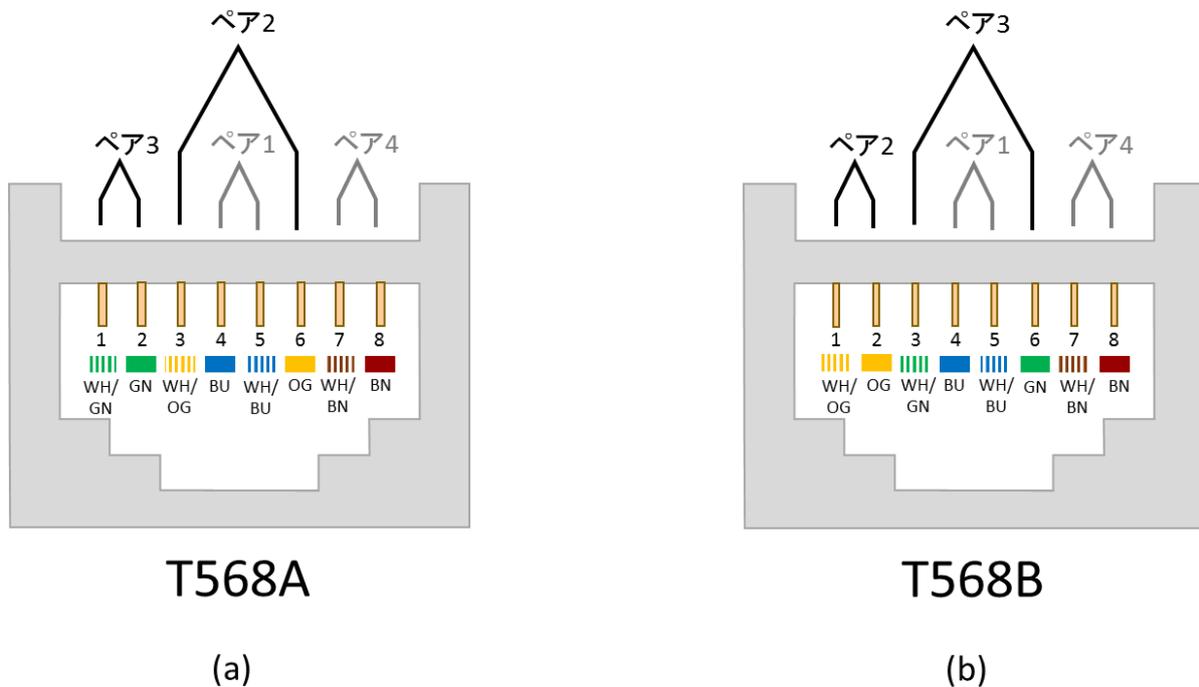


Figure 40: TIA-568-C に準拠した RJ45 コネクタの配線方法

セクション 5.4.1 で解説したようにケーブル両端で T568B に準拠したピン配置を推奨します。ただし、両端を T568A に準拠にしたストレートケーブルや、クロスケーブル、その他のピン配置も使用できます。(例外として、高速ホットコネクタ技術に対応したデバイス間はストレートケーブルが必須です。)

4 ペアケーブルのコネクタを組み立てるときもセクション 6.4.1 に記載したものと手順をおこないます(Should)。

コネクタ組み立ての過程は特定のケーブルやコネクタに依存せず、以下のルールを適用します。

- 各ワイヤの樹脂製被覆を組立中に損傷しないこと。
- ツイストペアを解くのはコネクタ直近の部分だけにすること。Figure 41 に示すように早めにツイストペアを解くと電流ループの発生やノイズの影響を受けやすくなります。

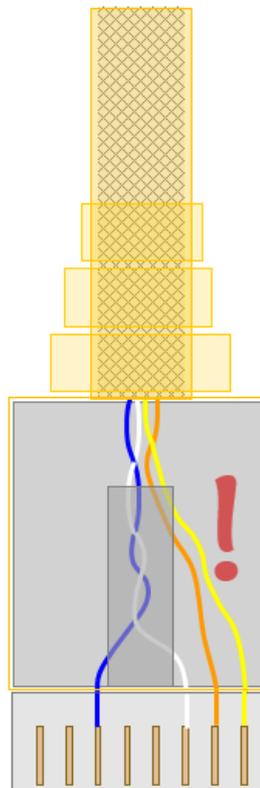


Figure 41: 不適切な RJ45 コネクタの組み立て

- Figure 42に示すようにシールドを組立中に損傷したり、切断しないこと。シールドはツイストペアケーブルをコネクタまで覆い、途中で切断されている箇所がないこと。また、コネクタの金属部にハンダ付けすること。(シールドとコネクタ金属部間のインピーダンスの最小化のため)

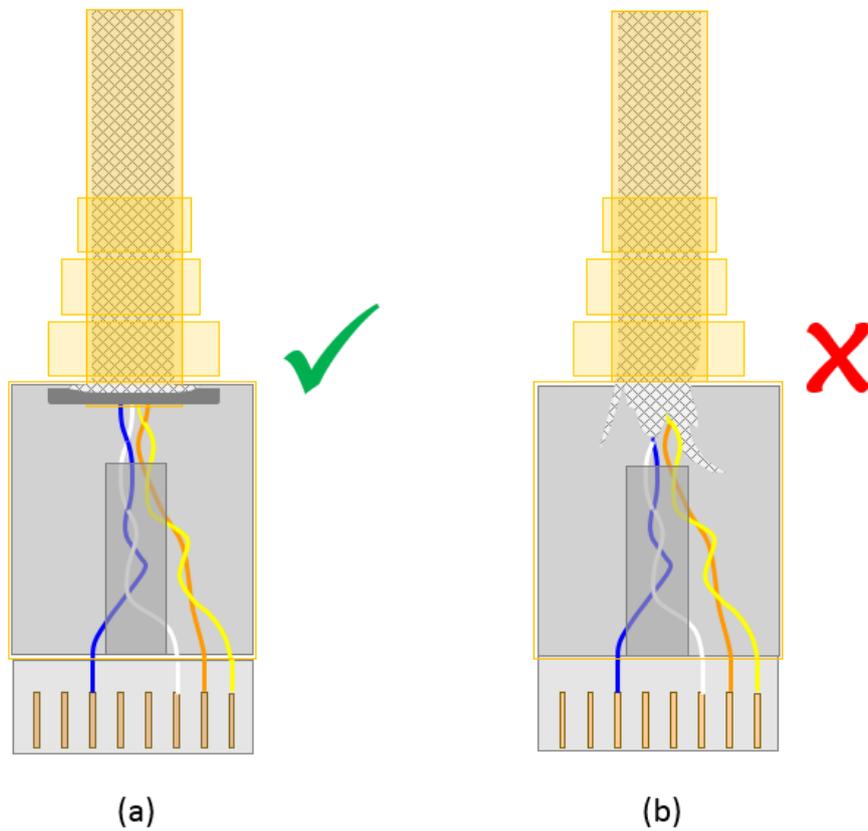


Figure 42: ケーブルシールドとコネクタケースとの正しい接続

7 試運転

7.1 外観検査

EtherCAT ネットワークの試運転段階で最初を実施することは外観検査であり(Should)、これまでのセクションで述べた実装方法が正しく行われていることを1つずつ確認します(Should)。外観検査の範囲は、詳しい検査や特殊な計測機器を使用せずにすぐに特定できる、障害の原因となりうるクリティカルな箇所の検出と予防措置にあります。

ネットワーク敷設の外観検査は試運転時の障害や、次のような問題の検出ができます。

- ネットワーク構成
- ケーブルの経路
- ケーブルの完全性

Table 16 は外観検査を行う際のチェックリストとして使用できます。

Table 16: ネットワーク外観検査のチェックリスト

段階	検査内容	チェック
1	ネットワーク構成	
1.1	デバイス間の最大距離がネットワーク設計に準拠しているか? (セクション 4.2 への準拠)	<input type="checkbox"/>
1.2	各リンクの両端間の最大接続数がネットワーク設計に準拠しているか? (セクション 5.3 への準拠)	<input type="checkbox"/>
1.3	ネットワークデバイスが適切に接地に接続されているか? (セクション 0 への準拠)	<input type="checkbox"/>
2	ケーブル経路	
2.1	敷設したケーブルの種類とその敷設場所がネットワーク設計に準拠しているか? (セクション 5.4 への準拠)?	<input type="checkbox"/>
2.2	通信ケーブルと電源ケーブル間の最小距離が使用している分離の種類に準拠しているか? (セクション 5.6 への準拠)	<input type="checkbox"/>
2.3	通信ケーブルと電源ケーブルの交差が角度 90°であるか? (セクション 6.1 への準拠)	<input type="checkbox"/>
2.4	ループ状に通信ケーブルを束ねていないか? (セクション 6.1 への準拠)	<input type="checkbox"/>
2.5	通信ケーブルの最小曲げ半径の基準が守られているか? (セクション 6.3 への準拠)	<input type="checkbox"/>
2.6	通信ケーブルが折り曲げから保護されているか? 特に張力によって折り曲がりケーブルに回復不可能な損傷が発生することがないか? (セクション 6.3 への準拠)	<input type="checkbox"/>

段階	検査内容	チェック
2.7	張力によってケーブルやコネクタに回復不可能な損傷を発生しないように、張力緩和の部品を使用しているか? (セクション 6.3 への準拠)	<input type="checkbox"/>
2.8	専用ケーブルを使用していない場合、ねじり力を避けるようになっているか? (セクション 6.3 への準拠)	<input type="checkbox"/>
2.9	通信ケーブルが移動部品によって挟み込まれることがないか? (セクション 6.3 への準拠)	<input type="checkbox"/>
3	ケーブルの完全性	
3.1	ケーブルの被覆が損傷している箇所がないか?	<input type="checkbox"/>
3.2	張力緩和もしくは接地用クリップによって通信ケーブルが損傷している箇所がないか? (セクション 6.1 および 6.3 への準拠)	<input type="checkbox"/>
3.3	コネクタや接地用クリップ付近でケーブルシールドが損傷したり、裂けている箇所がないか? (セクション 6.1 への準拠)?	<input type="checkbox"/>
3.4	全デバイスの電源をオンにしたときケーブルを接続したインタフェースの Link/Activity LED が点灯または点滅しているか? (セクション 0 への準拠)	<input type="checkbox"/>
3.5	他の同様の設定に比べ、リンク確立までに明らかに長時間を要していないか? もしくは、短いケーブルを使用したときと比べて長時間を要していないか? デバイスの電源オンから 6~7 秒以上かかっているか?	<input type="checkbox"/>

7.2 チャンネル物理パラメータの計測

EtherCAT ネットワーク内のチャンネル物理パラメータの検証を実施するには様々なレベルがあり、計測機器を使用することで内容の複雑化やコストが増加します。

試運転段階で得た計測結果はかならず装置や工場の文書内に記載することを強く推奨します。この計測結果は、パラメータ値の将来の変更をトレース可能とし、装置や工場ライフサイクル間で発生する可能性のある問題の検出に使用します。

7.2.1 ケーブルのテスト

最も簡単なケーブルのテスト方法は標準的、かつ低コストのマルチメータで実施できます (Figure 43)。マルチメータではケーブルの基本的な物理パラメータを検査できます。

ケーブルの計測の結果を正しく理解するために、ワイヤとシールドの DC 抵抗をケーブルメーカーの提供するデータで調べます(Should)。ケーブルのパラメータ値が提供されていない、または予想値と実際の値が一致しない場合、最初にケーブルサンプルの初期計測を実施します(Should)。

簡単なケーブルテストで検査できる項目を以下に示します。

- セクション 0 に記載の ISO/IEC 61918(4 線式)または TIA-568-C(4 ペアケーブル)のピン規格に準拠し、ケーブルの両端のコネクタで正しいピン配置で結線されていること
- ケーブル両端間の対応するピン同士のワイヤが接続されていること
- ケーブルの抵抗(ケーブル長による)、ケーブルの片端でのピン間の短絡を、もう一方の端の同一ピン間との抵抗値とケーブルメーカーの資料に記載されている単位長さあたりの抵抗値から計算した抵抗値と比較
- ケーブル長(ケーブル抵抗から計算)、計測したケーブル抵抗値をケーブルメーカーの資料に記載されている単位長さあたりの抵抗値で除算

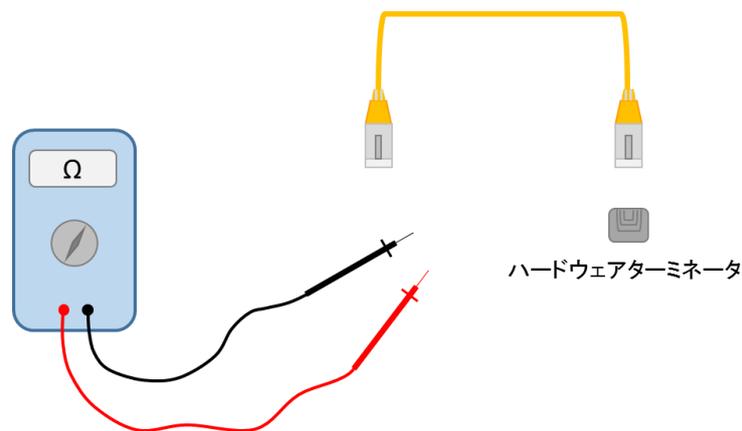


Figure 43: マルチメータによる簡単なケーブル検査

ケーブルの電気的パラメータや長さが既知の場合、ケーブルの電気的パラメータとケーブルテストでワイヤリングの細かな問題の特定もでき、セクション 0 に記載されているような通信障害が発生しないかぎり EtherCAT ネットワークの試運転段階ではこれで十分です。

7.2.2 機能テスト

セクション 7.2.1 に記載のテストでは主なケーブルの物理パラメータのみを検査できますが、実際の通信テストは行っていません。実際に 100Mbit/s 全二重イーサネット通信を行ったときのケーブルの状況を検査するために、適切な機器を使用した機能テストを実施します (Figure 44)。機能テストでは予め定義されたイーサネットフレームを計測ユニットから送信し、リモートユニットが応答します。機能テストによって次の項目を検証できます。

- 電磁妨害、ケーブルの組み立て不良、使用部品の欠陥などで発生しうる送信中のデータの破損
- ケーブルや中間デバイスで発生しうる 100Mbit/s 全二重通信に対する通信帯域の制限
- 中間デバイスで発生しうるチャンネルの過度の減衰 (セクション 7.2.1 に記載のケーブルテストによってケーブルが原因の減衰については評価済み)

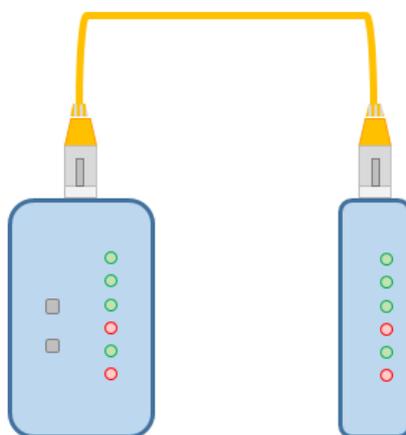


Figure 44: 機能テスト機器によるケーブルの検査

機能テストは (スリッピングやメディアコンバータのような) 敷設部品を含め、全てのチャンネルに対して行うことを推奨します。特に、これらの敷設部品が部品メーカーによる EtherCAT アプリケーションでのテストを以前に行ったことがない場合は必要です。テストは敷設部品にとって常に最悪ケースの動作条件の下で実施します (例、対象のアプリケーションで想定される最大のスリッピング回転数)。

7.2.3 受入テスト

IL や NEXT のようなセクション 5.3 に記載のチャネルパラメータは Figure 45 に示す適切な高機能なテスト機器を使用して計測します。これらのテスト機器は以下の様な詳細なデータを取得できます。

- チャネルの IL：複数の部品 (ケーブル、中間コネクタ、敷設部品) によって生じる減衰の合計
- チャネルの NEXT：隣接するケーブルペア間の影響の程度

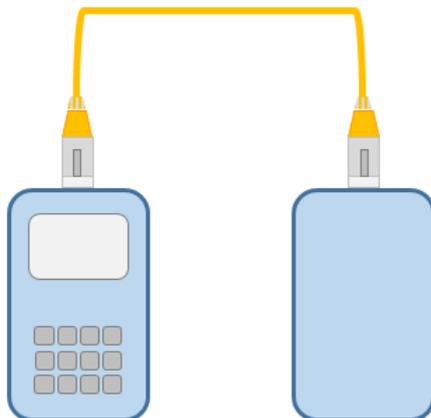


Figure 45: 受入テスト機器によるケーブルの認証

NEXT 値が非常に高い場合、正確な計測ができない場合があります。このため、40dB より大きい NEXT 値は高性能の指標としてみなせます。短いケーブルの場合は、ACR 値が 30dB より大きいと同様にみなせます。

一般的に受入テストは非常に高価なテスト機器が必要です。セクション 5.3 に記載の配線構成のルールの適用とともに、チャネル部品 (ケーブル、中間コネクタ、敷設部品) の物理パラメータに関する深い知識があれば、チャネルの物理パラメータを直接計測する必要はありません。このため EtherCAT ネットワーク内の全チャネルに対する受入テストの実施は一般的に試運転段階では不要です。

EtherCAT ネットワークの試運転段階中の受入テストはチャネルを構成する部品の物理パラメータが未知の時のみに実施し(Should)、セクション 0 に記載のような通信エラーが発生しないことを確認します。

デバイスメーカーに推奨する実装方法

EtherCAT 専用デバイスでないスリッピングやメディアコンバータのような敷設部品メーカーに対してはメーカーがユーザの代わりに適切なデバイスを使用し、周波数の関数のような物理パラメータの計測テストを実施することを強く推奨します。

テストでは部品の入力点と出力点間の物理パラメータの計測を行います(Should)。Figure 46 のようにその計測には全ての中間部品 (ケーブル、金属端子、中間コネクタ) を含めます(Should)。

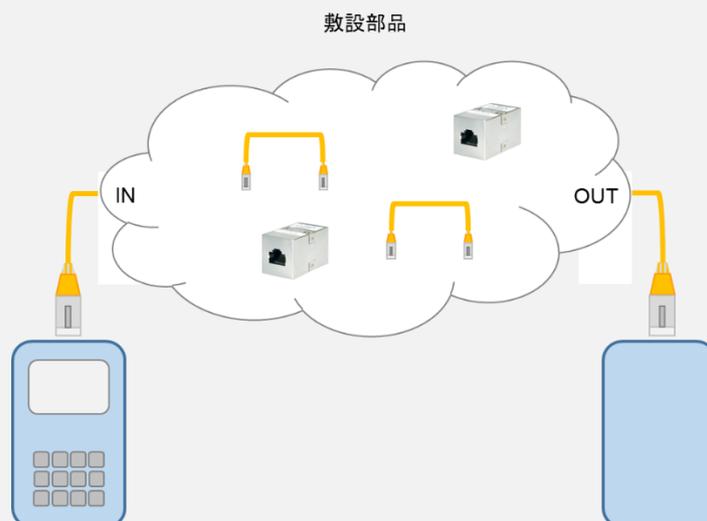


Figure 46: 敷設部品に対するパラメータ計測

テストを実施する際には部品のデータシートやドキュメントに記載の最悪ケースの動作条件のもので実施します(Should)。

ユーザ自身がネットワーク試運転時に機能テストを実施しなくてもよく、チャネルの適切なプランニングができる情報を提供するようにこのテスト結果も部品のデータシートやドキュメントに記載します(Should)。

7.2.4 チャネル計測のチェックリスト

通信ケーブルの計測時には以下の Table 17 で示すチェックリストを使用できます。

Table 17: チャネル計測のチェックリスト

段階	検査内容	チェック
1	ケーブルのテスト	
1.1	ケーブルのピン配置が正しいか? (セクション 0 への準拠)	<input type="checkbox"/>
1.2	ピン間またはワイヤとシールド間の短絡の有無?	<input type="checkbox"/>
1.3	ケーブルの抵抗値が許容値を満たしているか? (セクション 5.4 への準拠)	<input type="checkbox"/>
2	機能テスト	
2.1	テストフレームの送信及び受信をエラーなく実行できるか?	<input type="checkbox"/>
3	受入テスト	
3.1	各チャネルのケーブル減衰 (IL) が指定された値を満たしているか? (ケーブル仕様/テスト計測への準拠)	<input type="checkbox"/>
3.2	各チャネルのケーブルの近端漏話 (NEXT) が指定された値を満たしているか? (ケーブル仕様/テスト計測への準拠) この計測値が 50dB 以上であることが要件。	<input type="checkbox"/>

7.3 接地システムの計測

EtherCAT ネットワークの試運転段階の際に、必ず接地システムの敷設が正しくされているか、マルチメータを使用して検査します。

この計測のスコープは、通信性能に影響を及ぼす可能性のある EtherCAT ネットワークの各デバイスがシステム接地に適切に接続されていることを検査することです。ネットワーク敷設に関連する全デバイスを直接的または間接的に適切に接地することで電流ループによる通信への影響を防ぎます。

接地システムを検査する際には、

Table 18 の示すチェックリストを使用できます。

Table 18: 接地システムのチェックリスト

段階	検査内容	チェック
1	各制御盤とローカル接地間のインピーダンスを計測し、そのインピーダンス値が 0.1Ω 以下であるか?	<input type="checkbox"/>
2	ネットワーク内のそれぞれのローカル接地間のインピーダンスを計測し、そのインピーダンス値が 0.1Ω 以下であるか?	<input type="checkbox"/>
3	各デバイスに PE ピンがある場合、PE ピンと (DIN レールまたは金属製マウント部のような) ローカル接地間のインピーダンスを計測し、そのインピーダンス値が 0.1Ω 以下であるか? PE ピンがない場合、デバイスがその他の方法 (デバイス背部の金属製固定器具または固定ネジの金属接触部) でローカル接地に接続され、そのインピーダンス値が 0.1Ω 以下であるか?	<input type="checkbox"/>
4	各 EtherCAT コネクタで EtherCAT ケーブルを取り外し、その金属部と (DIN レールまたは金属製マウント部のような) ローカル接地間のインピーダンスを計測。 計測したインピーダンス値が非常に大きい ($M\Omega$ 程度の大きさ) が絶縁ではない場合、追加の検査は実施不要。 計測したインピーダンス値が小さい場合、その値は 1Ω 以下であること。そうでない場合、ケーブルシールドが制御盤やデバイス筐体に適切なケーブルクリップで接続され、そのインピーダンス値が 0.1Ω 以下と極めて小さいことを検査。 計測したインピーダンス値が絶縁されていることを示す場合、ケーブルシールドが制御盤またはデバイス筐体に適切なケーブルクリップで接続され、そのインピーダンス値が 0.1Ω 以下と極めて小さいことを検査。	<input type="checkbox"/>

7.4 EtherCAT 固有の診断

全ての EtherCAT スレーブデバイスはハードウェアレベルで診断情報を提供します。エラーカウンタは該当するエラーの発生時にインクリメントされ、ESC 内のメモリアドレスを通じてアクセスできません。

EtherCAT マスタやマスタ設定ツールはユーザが ESC によるハードウェアエラーカウンタを監視できるような機能を提供します(Should)。例えば、マスタ設定ツール内のウィンドウで監視したり、PLC プログラムからエラーカウンタをリードするファンクションブロックをコールできるようにします。

試運転段階ではハードウェアエラーカウンタを特に注意して監視し、通信エラー、障害発生位置の特定や障害の発生しやすいクリティカルな箇所などを検出します(Should)。また、ネットワークプランニングや敷設状態を変更した際にも確認を行います(Should)。試運転段階のエラーカウンタの監視は装置や工場に対して可能な限り全ての動作条件で実施します(Should)。

ハードウェアエラーカウンタは装置や工場のライフサイクル中についても検査し、ネットワーク通信の開始時に障害がないかを確認します(Should)。

7.4.1 ロストリンクカウンタ

ESC にはチャネルの接続が中断したことを検出してインクリメントするロストリンクカウンタがポートごとにあります。リンクロストカウンタはについて Table 19 に示します。

Table 19: ロストリンクカウンタレジスタ

物理アドレス	内容	サイズ
0x0310	ポート 0 のロストリンクカウンタ	1 byte
0x0311	ポート 1 のロストリンクカウンタ	1 byte
0x0312	ポート 2 のロストリンクカウンタ	1 byte
0x0313	ポート 3 のロストリンクカウンタ	1 byte

正常時は物理メディアの接続状態は中断しない(Should)ため、ネットワーク内のデバイスを意図して電源オフや取り外さないかぎり、これらのカウンタが装置や工場の動作中にインクリメントされることはありません(Should)。

7.4.2 物理層エラーカウンタ

ESC は各ポートの物理層インタフェース (100BASE-TX や 100BASE-FX 用の PHY チップ) がシンボルエラーを通知したときに該当するポートの物理層エラーカウンタをインクリメントします。これは信号が破損していることとなります。

特にシンボルエラーは、物理層インタフェースにおいて受信したビット列が使用しているハードウェアエンコード方式で定義された有効なビット列であることを認識できなかったことを意味します。フレームが全く送信されていないときも物理メディア上ではアイドルシンボルを送信しています。物理層エラーは EtherCAT フレーム内・外の両方で発生します。物理層エラーカウンタを Table 20 に示します。

Table 20: 物理層エラーカウンタレジスタ

物理アドレス	内容	サイズ
0x0301	ポート 0 の物理層エラーカウンタ	1 byte
0x0303	ポート 1 の物理層エラーカウンタ	1 byte
0x0305	ポート 2 の物理層エラーカウンタ	1 byte
0x0307	ポート 3 の物理層エラーカウンタ	1 byte

完全にエラーフリーなデータ通信は物理的に不可能です。一般的に産業用の環境ではビットエラー率として 1.0×10^{-12} を良好な性能の指標として使用します。物理層エラーカウンタが不定期にインクリメントされ、ビットエラー率がこの指標を満たしている場合、障害発生とはみなしません。障害発生時は非常に高速に、もしくはバースト的に物理層エラーカウンタがインクリメントされます。

7.4.3 フレームエラーカウンタ

ESC は各ポートで巡回冗長検査(CRC)を行い、エラーを検出したときに該当するポートのフレームエラーカウンタ(CRC エラーカウンタともいう)をインクリメントします。

巡回冗長検査は各ポートがフレームを外側から受信した際に実施します。フレームエラーカウンタを Table 21 に示します。

Table 21: フレームエラーカウンタレジスタ

メモリアドレス	内容	サイズ
0x0300	ポート 0 のフレームエラーカウンタ	1 byte
0x0302	ポート 1 のフレームエラーカウンタ	1 byte
0x0304	ポート 2 のフレームエラーカウンタ	1 byte
0x0306	ポート 3 のフレームエラーカウンタ	1 byte

RX エラーカウンタはフレーム内と外部の両方でインクリメントしますが、フレームエラーカウンタはフレーム内だけがインクリメントの対象になります。外部からランダムに擾乱がある場合は物理層とフレームエラーカウンタを長時間にわたり観察します(Should)。物理層エラーカウンタが高速にインクリメントされるのに対し、同じポートのフレームエラーカウンタが全くインクリメントされない場合はスレーブデバイス内の電氣的な障害発生の可能性が高いことを示しています。

8 まとめ

通信の基盤システムは装置や工場にとって重要です。このシステムによってコントローラとフィールドデバイス間で交換できるデータ量、達成可能なサイクルタイムやデバイス間の同期性能が決まります。

EtherCAT ネットワークでは通信ネットワークの敷設を次の3つの段階で実施します。

- **プランニング**：プランニング段階の範囲は装置や工場のネットワーク構成を決定するあらゆる要素を事前に確認し、定義することです。実行する内容には、環境条件の定義(障害の原因となりうるクリティカルな箇所)に特別の注意が必要)、EtherCAT デバイスの選定、ハードウェア接続の区別、ケーブルとコネクタの選定および適切な敷設部品の選定があります。
- **敷設**：敷設段階はプランニング段階で設計した内容が実際のネットワークに正しく適切に実装することを目的とします。主要な内容は、通信ネットワークに対し機械的および電磁気的な観点から適切な保護を行うこと、コネクタなどのネットワークの敷設部品を正しく組み立てることです。
- **試運転**：設計ミス、施工ミスや施工上の脆弱な箇所を速やかに検出し、通信ネットワークが適切に実装されていることを検査します(Should)。ネットワーク構成は最初に一般的な計測機器を使用した簡単な計測によって検査できます。ネットワーク内で特に重要かつクリティカルな箇所は、高機能な計測装置を使用して詳しく計測します。EtherCAT デバイスから取得できる詳細な診断情報により障害発生箇所やネットワーク構成で注意すべきクリティカルな箇所を特定できます。

プランニング、施工および試運転の各段階の結果は装置または工場のドキュメントにし、ネットワークパラメータや状態を変更した場合にすぐに把握できるようにし、装置や工場自身のライフサイクル中のメンテナンスを単純化します(Should)。