



産業用イーサネット配線と、その測定的基础

フルーク・ネットワークス
シニア・セールス・エンジニア
高橋 英治

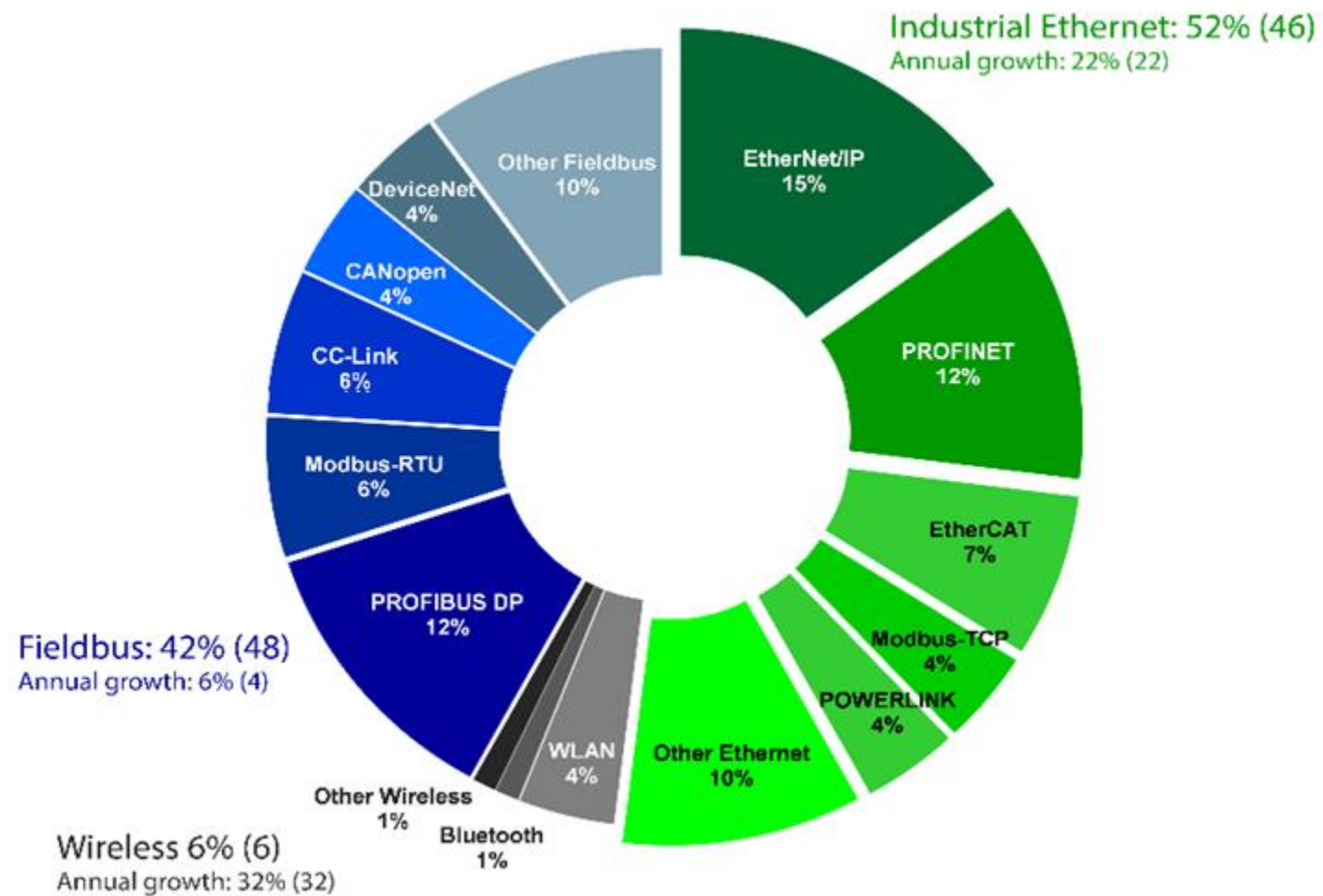
2020年11月25-26日



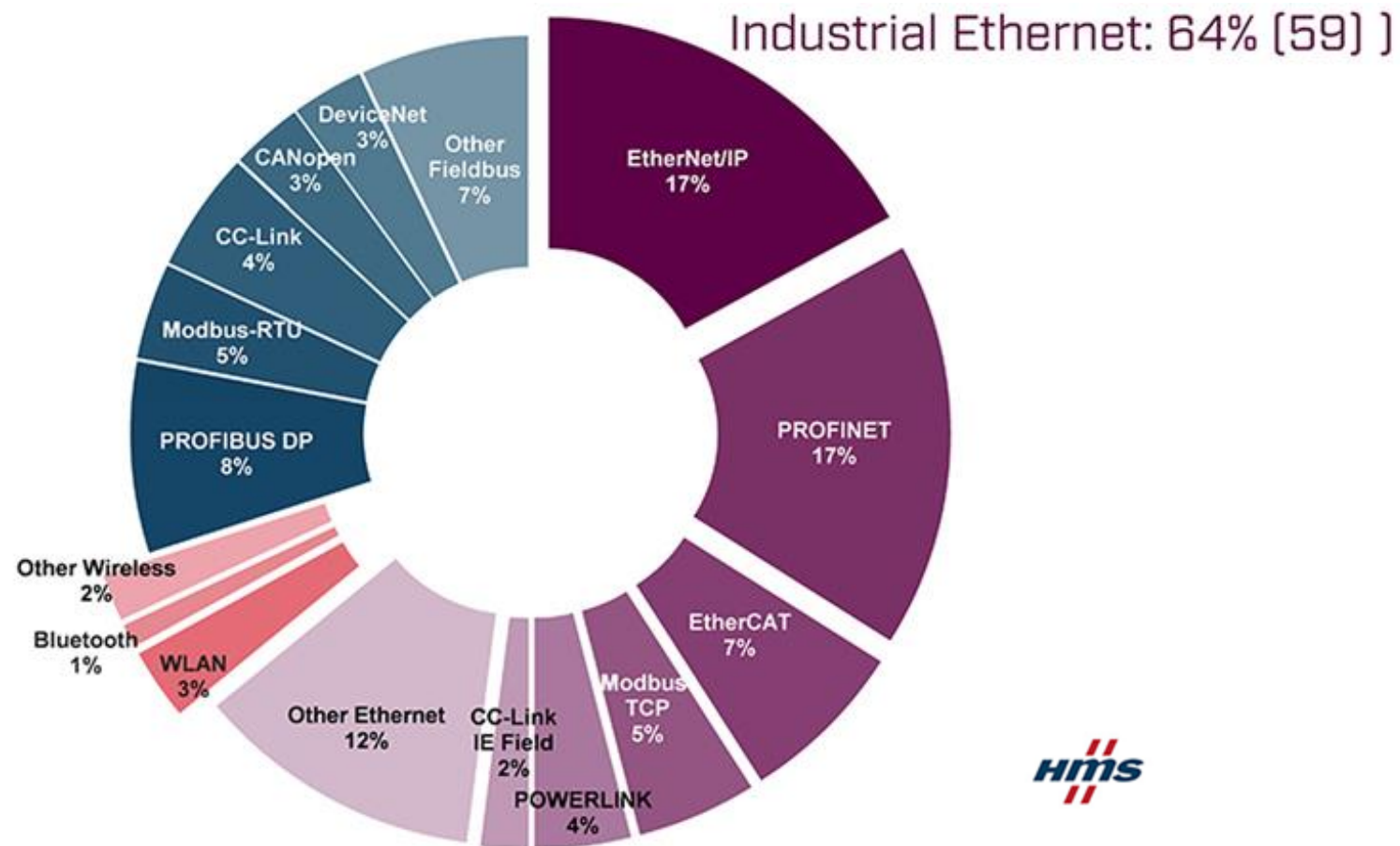


増加する産業用イーサネット

産業用ネットワーク市場シェア 2018 (HMS社統計)

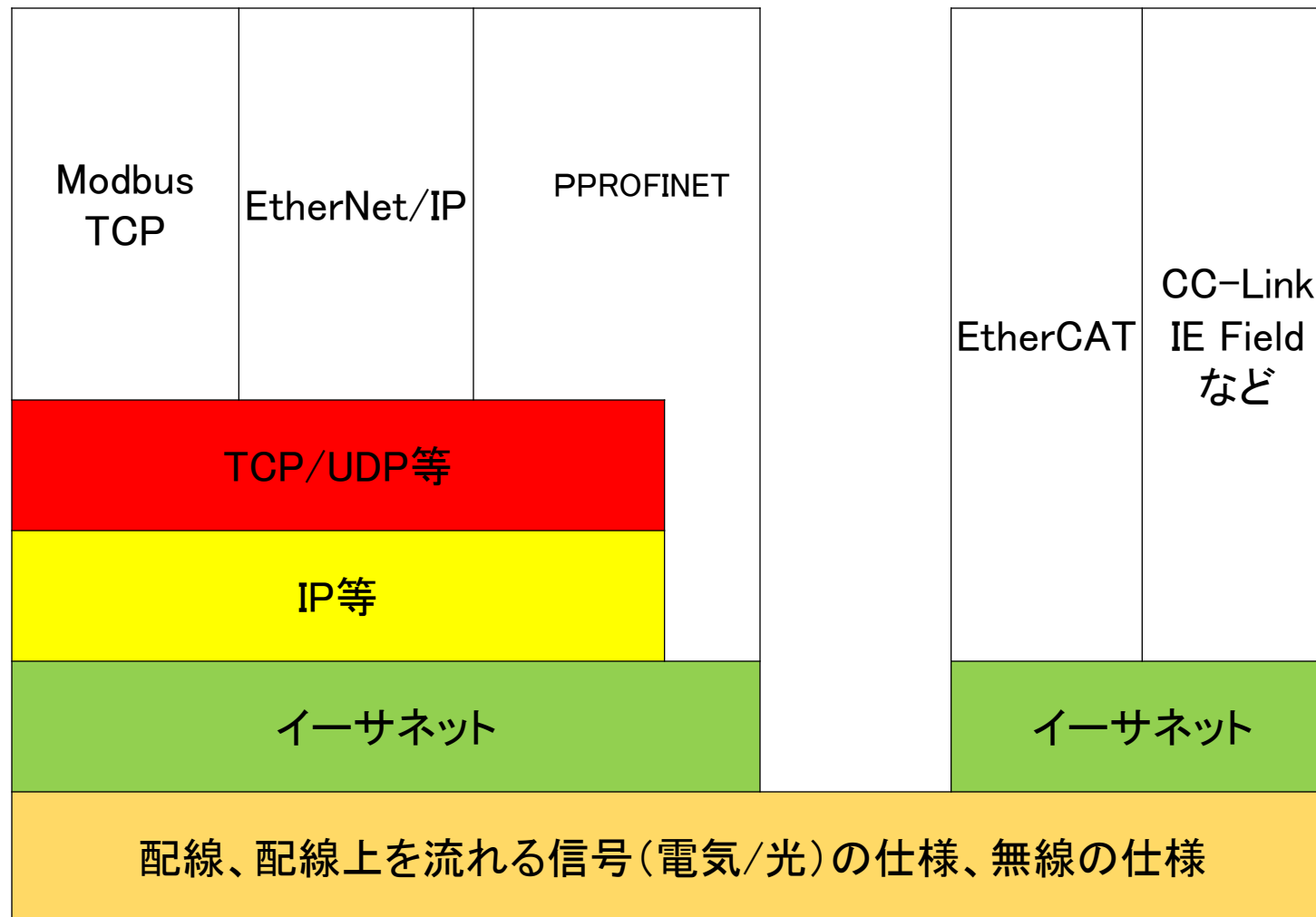


産業用ネットワーク市場シェア 2020 (HMS社統計)





産業用イーサネットの基本



* 本資料ではMAC層とLLC層の区別はしていません。





普及する産業用イーサネット

- 高速/大容量
 - センサーカメラの利用などで広帯域なネットワークが必要
- データ系のネットワークとの相性の良さ
 - 生産管理システムなどとシームレスな接続
- 仕様が広く公開されている
 - 特定のベンダーに縛られない
 - システムの開発がより容易に
- 工場の自動化の促進
- SPE (Single Pair Ethernet) の普及
 - 長距離の通信も可能
- 既存のLAN配線部材の使用も可能
 - 配線の性能は一般的なLAN配線と同じ





産業用イーサネット配線の規格

工場や各種プラントなど、条件が悪い環境に対応した配線の規格としては、すでに以下のようなものがある。

- TIA-1005A: Telecommunications Infrastructure Standard for Industrial Premises
- ISO/IEC 11801-3 Information technology — Generic cabling for customer premises — Part 3: Industrial premises
 - JIS規格化が予定されている

TIA-1005Aでは・・・

メタル配線の性能についてはTIA-568-C.2
光ファイバー配線についてはTIA-568-C.3 を、参照する事と記載

* TIA-568は商用ビル(オフィスビル)用の配線規格

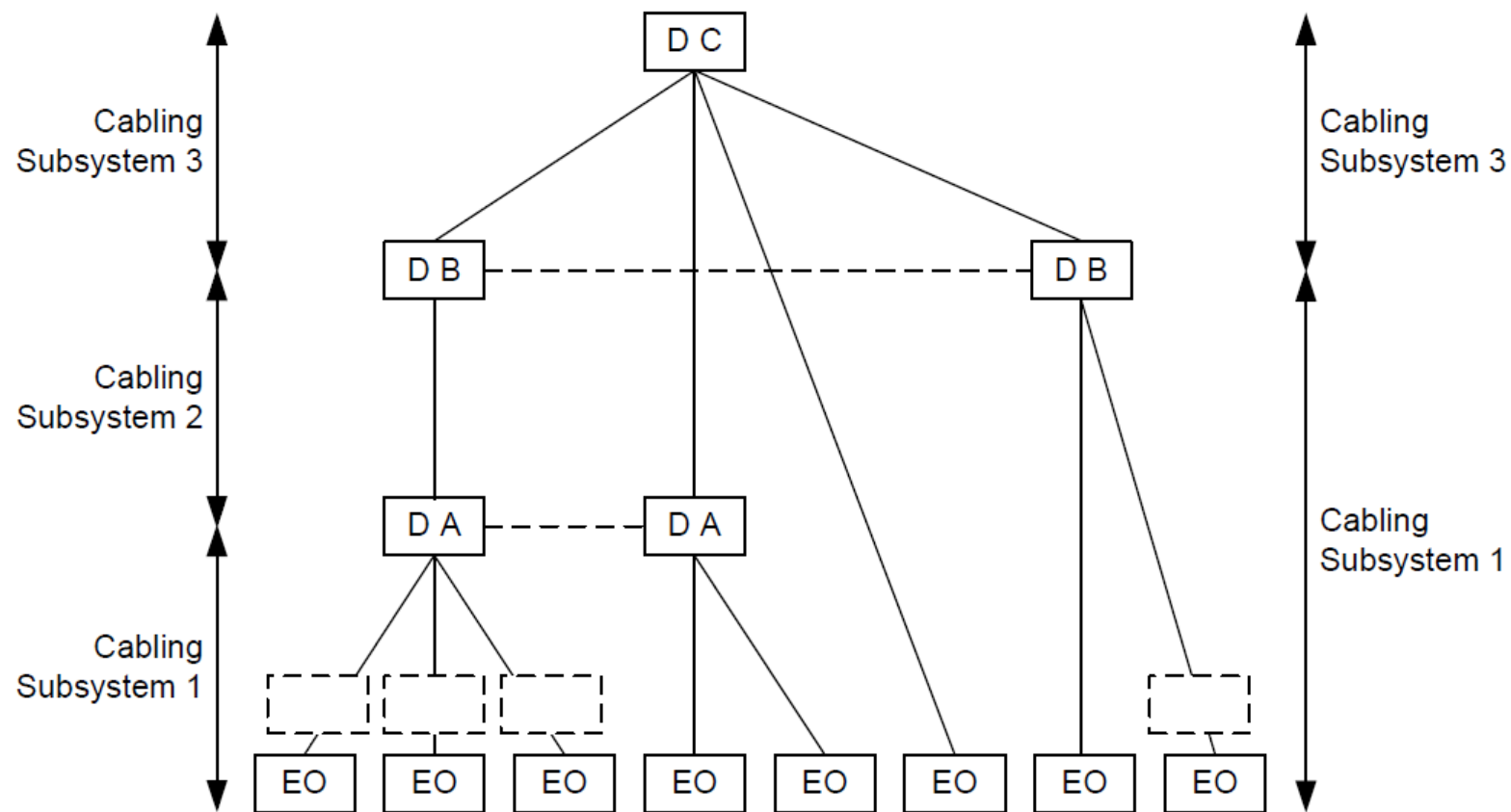


配線の構造

- TIAもISOも構造化配線を規定
 - 基本的にはTIA-568規格と同じ
 - 機器の入れ替えや移動が多い工場内では、配線の構成を柔軟に変更できるメリットがある。

一方で疑問も...

- 環境の悪い工場内にパッチパネルやラックを設けるのか？
- リング型やバス型のトポロジーの場合はどうするのか？

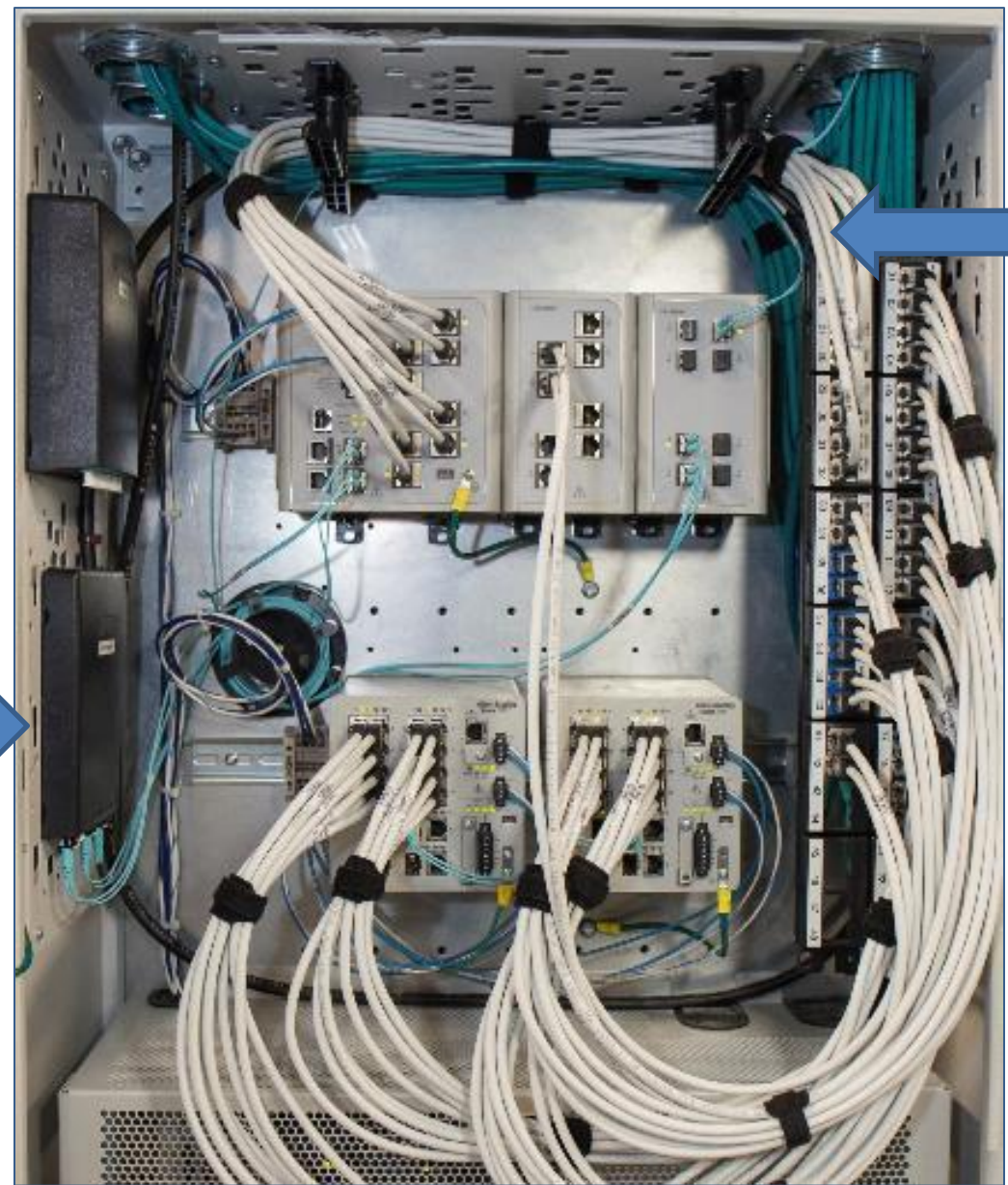




工場内における構造化配線の例



アップリンク
(メディアコンバータ)



ダウンリンク



TIA-1005-AとTIA-568シリーズとの主な違い

- 環境条件に合わせて区画を定義





TIA-1005-AとTIA-568シリーズとの主な違い

1. MICEによる配線周囲の環境条件の定義
2. シールド配線部材の定義
 - TIA-568は、基本的にUTPの使用が中心
3. バルクヘッド(いわゆるメス-メス)の使用
4. 最大6か所の接続点
5. M12コネクタの使用
 - 2ペア&4ペア





配線周囲の環境 - MICE

- それぞれ、1～3のグレードがあり、 $M_3I_3C_3E_3$ というように表現する。
- ISO/IEC 11801-1 および TIA-568.0-Dで定義
 - 568C時代にすでに定義されていた。

M : Mechanical (衝撃、振動、まげ、ねじれ等)

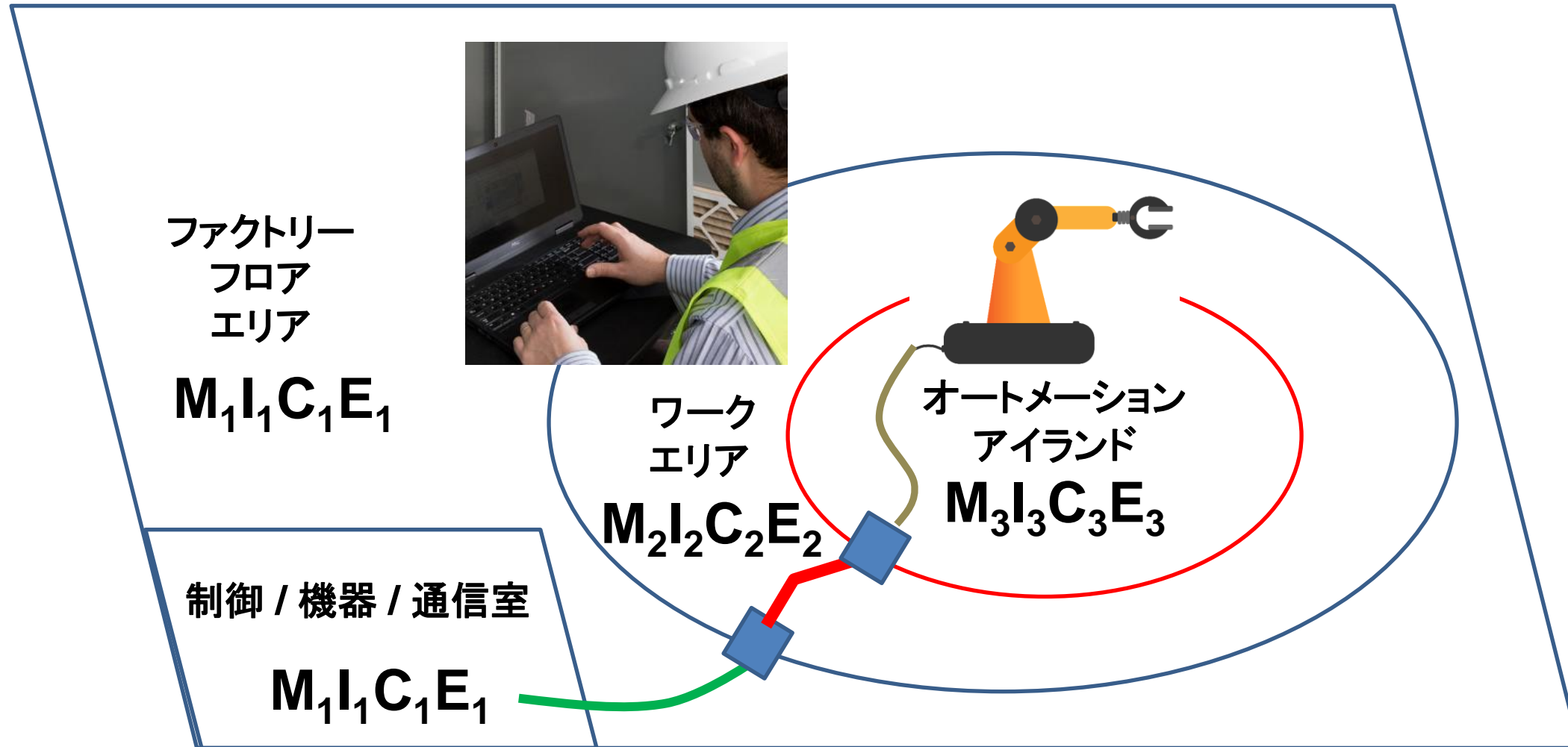
I : Ingress (ほこりなどの微粒子の侵入等)

C : Climatic and chemical (温度、湿度、日光の照射、汚染物質等)

E : Electromagnetic (電磁的環境)



MICEの定義例

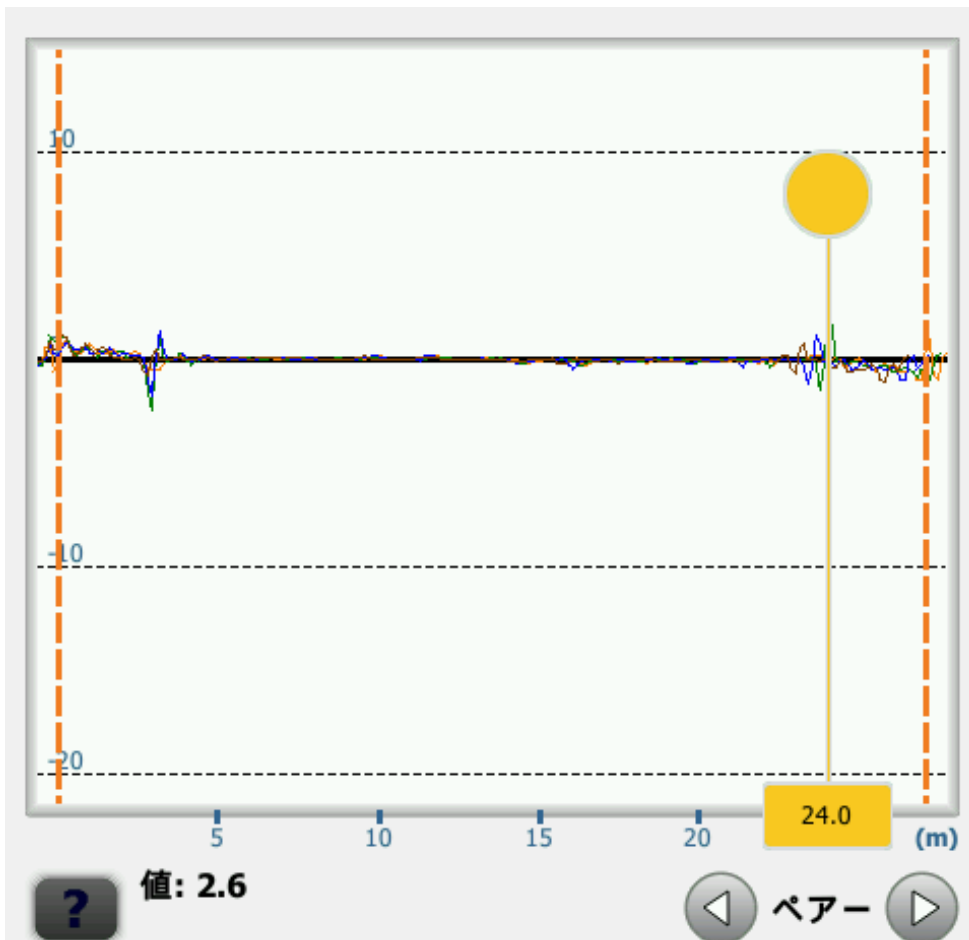


- 1本のチャンネルでも通線される位置によりMICEレベルが変わる事に注意
- 例えば、2と3の間に接続点を設けることも考えられる



M, I, C の評価

- M, I, C についても抵抗値やインピーダンスの変化で劣化の進行をある程度確認できるかもしれない。



テスターのTDR機能でインピーダンス不良を検出

2019/05/13 18:34:39

結果は保存されていません 不合格

ループ	ペア UBL	P2P UBL
	値 (Ω)	リミット値 (Ω)
1,2	0.103	0.20
3,6	1.377	0.34
4,5	0.468	0.20
7,8	1.469	0.20

芯線間の抵抗値の差

2019/05/13 18:31:33

結果は保存されていません 不合格

ループ	ペア UBL	P2P UBL
	値 (Ω)	リミット値 (Ω)
1,2-3,6	1.933	0.26
1,2-4,5	0.179	0.20
1,2-7,8	0.643	0.20
3,6-4,5	1.754	0.28
3,6-7,8	1.290	0.31
4,5-7,8	0.464	0.20

ペア間の抵抗値の差





E : Electromagnetic の評価

- ケーブル周囲の電氣的な環境
 - イミュニティや耐電圧に関する評価
 - EFT/Bやサージなど大きな電圧に対する耐性はフィールド試験では試験できない
 - ノイズはCRCエラーやFCSエラーを引き起こす
- TCLやELTCTLの測定により、ノイズに対する耐性を一定程度評価できる。
 - TIA/ISOともにUTPケーブルに対し、TCL、ELTCTLの性能値を定義
 - STP/FTPについてはカップリング・アッテネーション(結合減衰量)が定義されているが現場での測定が困難
 - フィールド試験の項目としてはオプション扱い

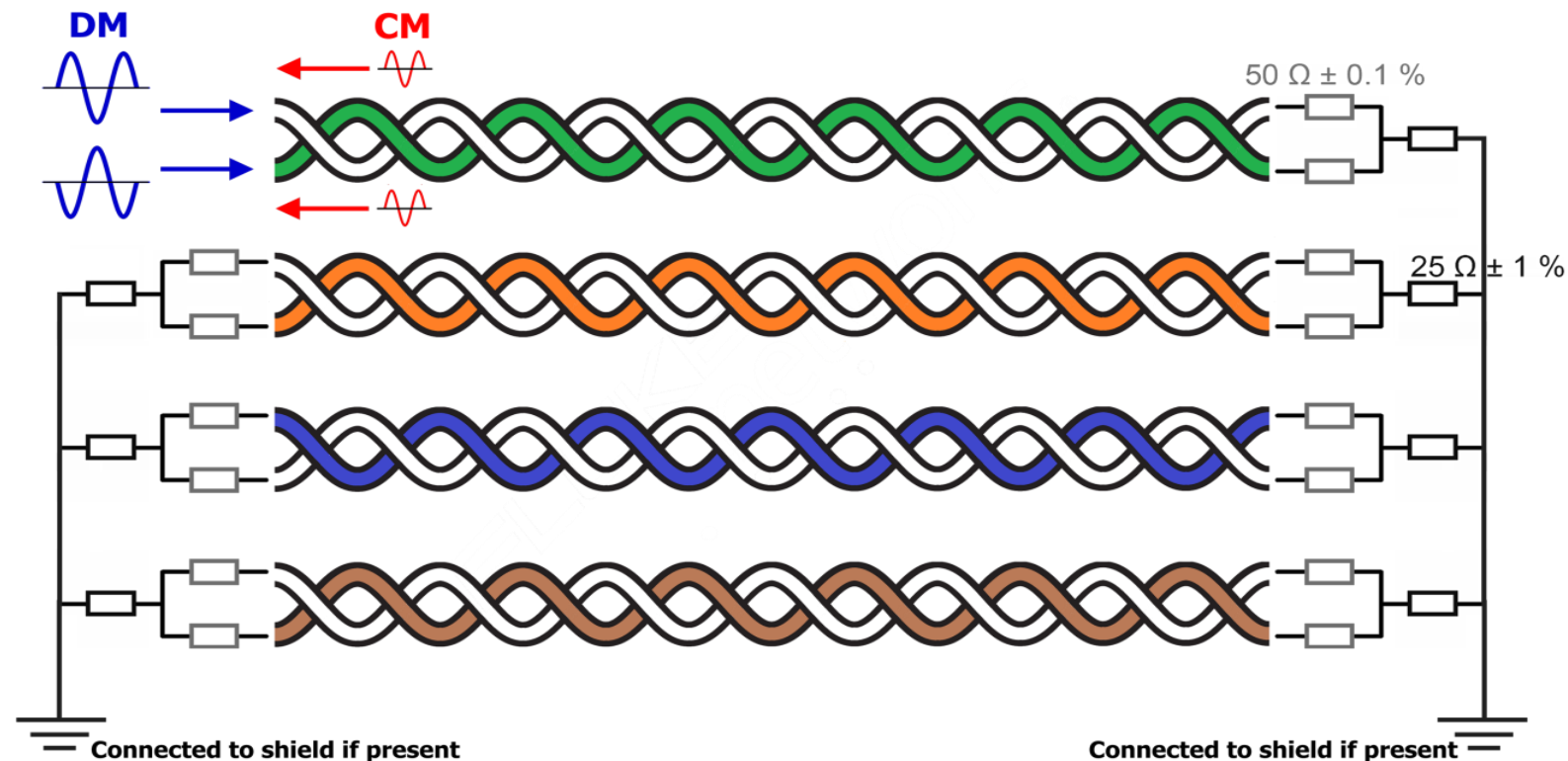




TCL (Transverse Conversion Loss)

- TCL
 - 横方向変換損
 - ディファレンシャル・モード(DM)の信号が、どれだけ、コモン・モード(CM)の信号に変換されたか。

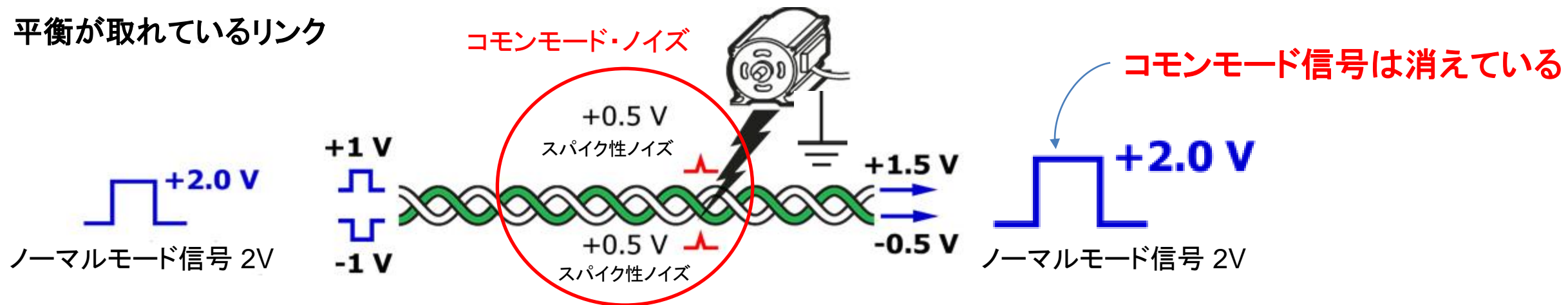
* DMはノーマルモードと呼ばれる場合も多い



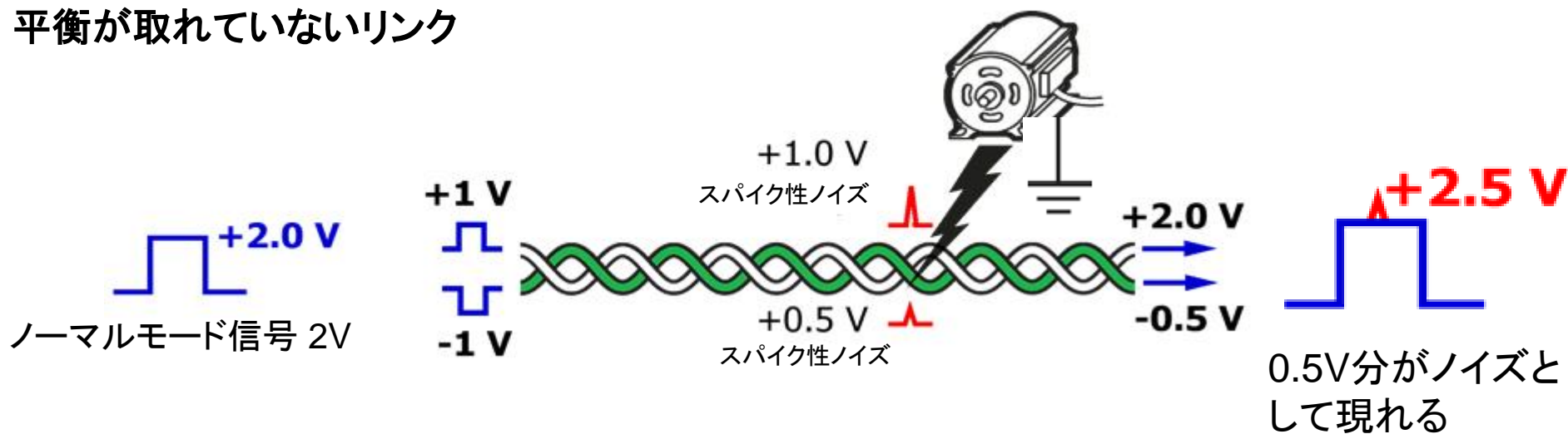


TCL (Transverse Conversion Loss)

平衡が取れているリンク



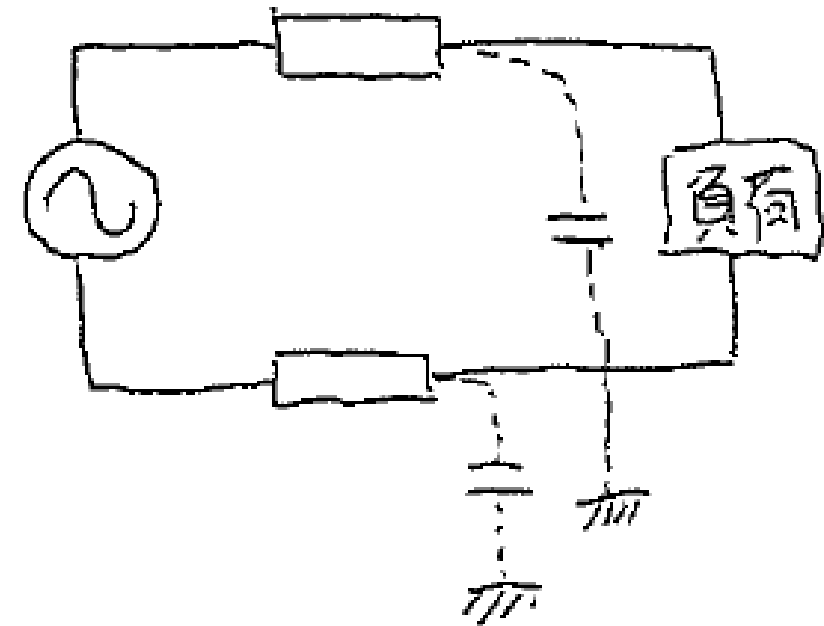
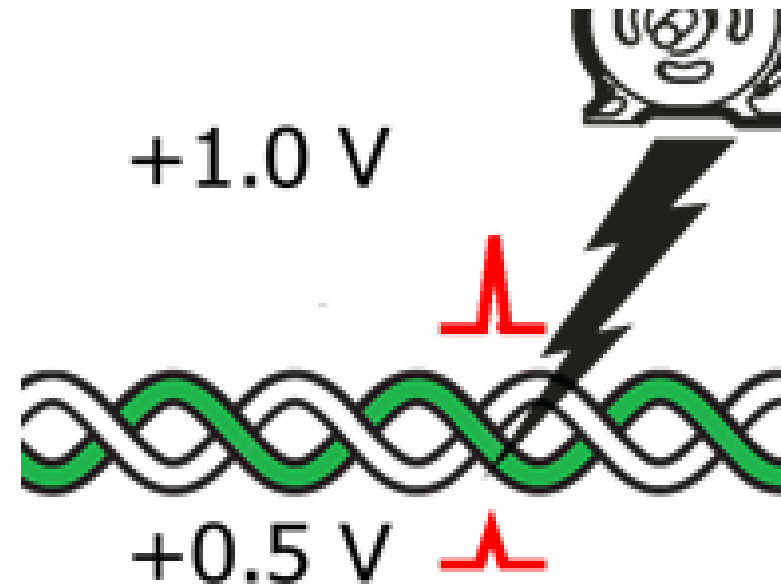
平衡が取れていないリンク





TCL (Transverse Conversion Loss)

- モーターからのノイズは、白にも緑にも同じ“量”飛び込んでくるはずだが？
 - 白と緑はより線になっているため、近接している。



可逆性という考え方: ノイズを拾いやすい = ノイズを発生しやすい



TCL (Transverse Conversion Loss)

結論:

- ✓ インピーダンスのアンバランスにより、CM信号が発生
- ✓ 必要な信号であるDM信号がCM信号を作り出す(変換)
- ✓ CM信号はDM信号にとっては不要な信号=ノイズ
- ✓ 可逆性という考え方:ノイズが発生しやすい=ノイズを拾いやすい

したがって...

- ✓ $TCL \propto$ ノイズに対する耐性を表す
- ✓ TCLの悪化は配線のインピーダンスのアンバランス(不平衡)によって生じる



シールド配線部材の定義



Shielded Wiring Duct

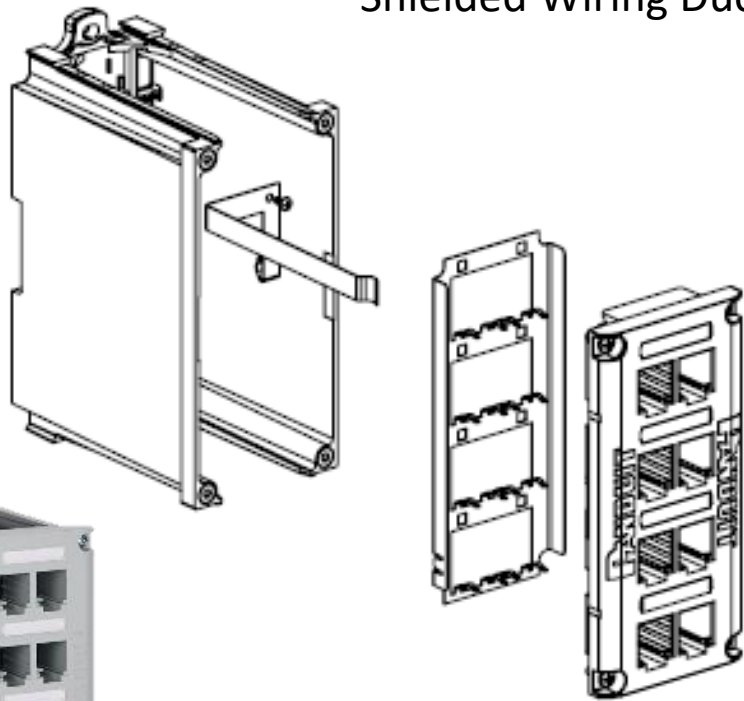
Shielded RJ-45 Jack



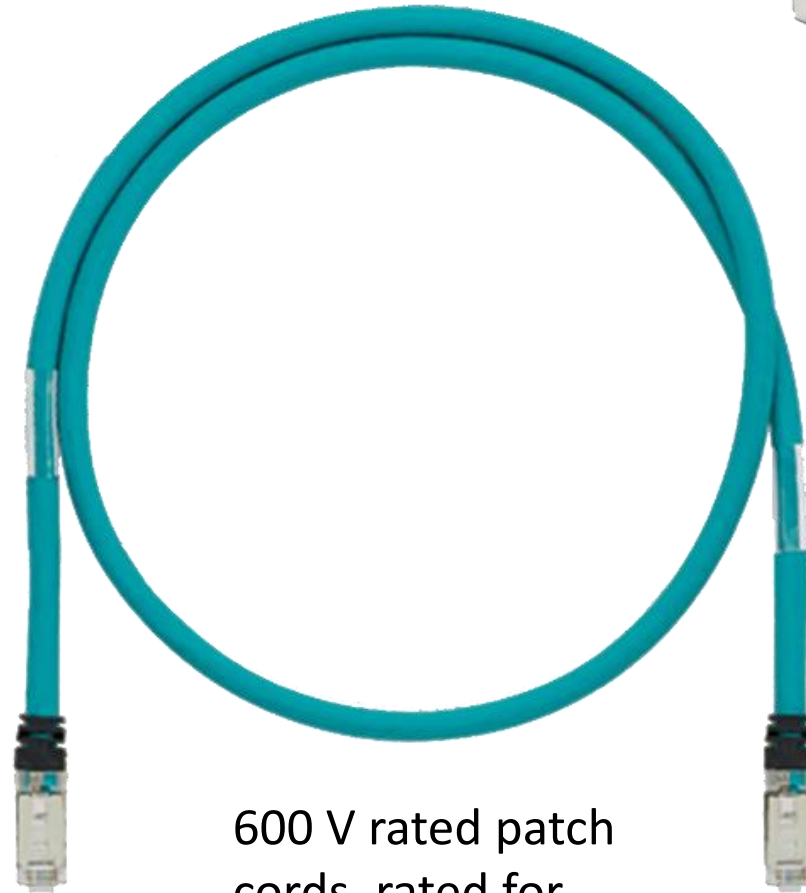
Shielded RJ-45 Field Terminable Plug



M12 X-code Field Terminable Plug
(現場成端型)



Shielded DIN Rail Copper Patching Solution



600 V rated patch cords, rated for control panel use

Braided Screen & Foil Screen Around Unshielded Twisted Pairs

SF/UTP

600 V rated 2 pair and 4 pair copper cable





アダプター(バルクヘッド)の使用

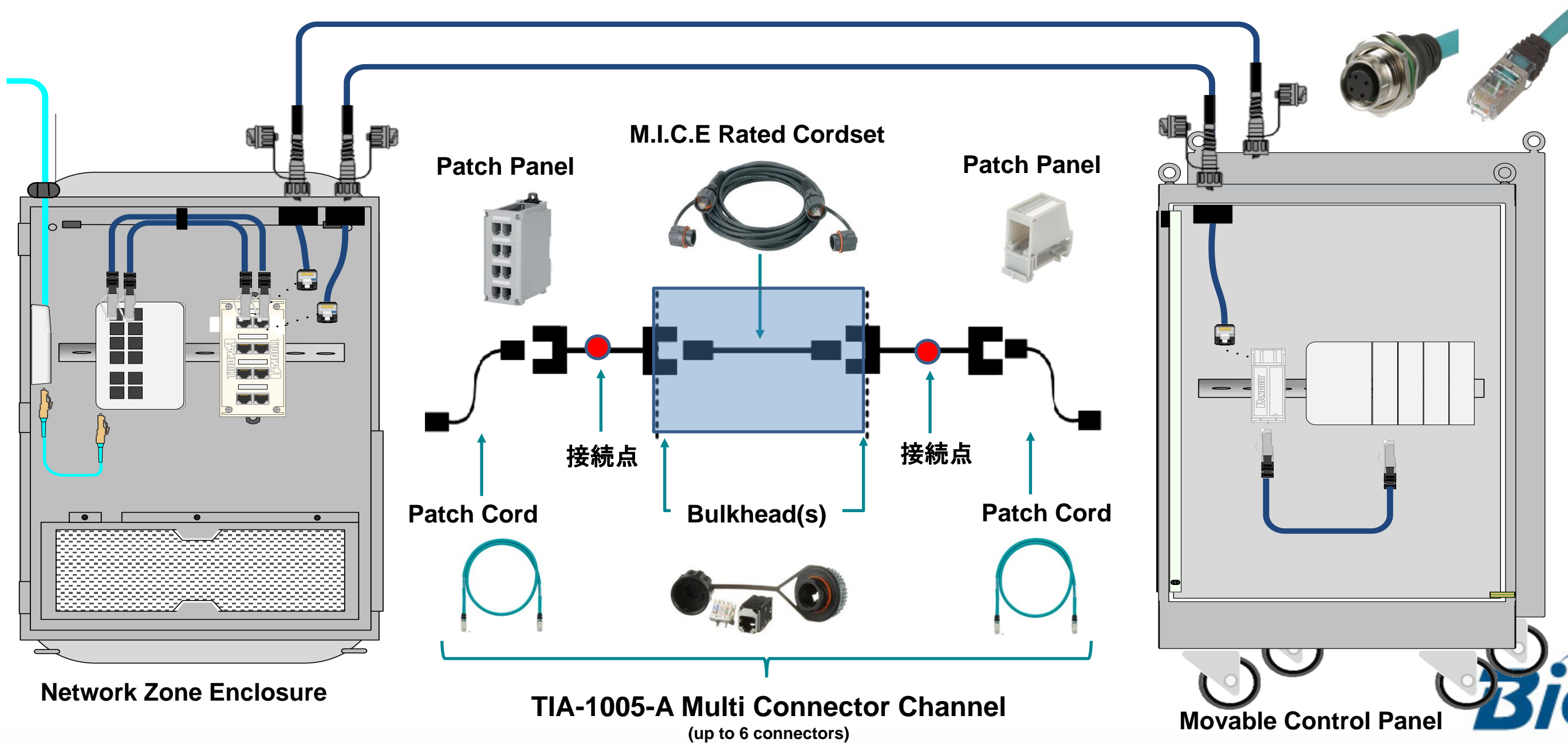
- 主に機器を覆う囲い部分に設けられる
 - 機器とパッチコードの着脱を容易にし、メンテナンス性を高める
- TIA規格では「アダプター」と記載
 - ISOでは「バルクヘッド」
- 従来の規格では、基本的に使用が認められていなかった
- アダプター接続箇所のパフォーマンスは、プラグとジャックの適合部分1個分
 - 一部には、非常に特性が悪いものもある
- プラグとジャックの適合部分の距離が100mm以下をアダプターとする
 - 100mm以上離れたら、2つの接続点





最大6か所の接続点 (TIA規格のみ)

M12 Adapter Cordset





M12コネクタの使用

- 2Pタイプ (D-code) と4Pタイプ (X-code)
 - 2Pタイプは～100Mbps
 - ねじ込み式が主流だがプッシュプル式もある。
 - 形状の種類が豊富
 - 多くがIP67に対応
 - ピン配置が単純に1, 2, 3, 4・・・であることに注意



(現場成端型)



M12コネクタ用
アダプター





構造化配線と、ポイント・トゥ・ポイント配線

ポイント・トゥ・ポイント配線

- ・ ケーブルの両端にプラグを成端しただけの配線
- ⇒ シンプルだが考慮すべきことも多い

規格の観点から:

- ・ E2EやDACとして定義され、使用することは可能
 - ISOのみ定義。TIA-1005-A は構造化配線のみ
 - ただし、TR (Technical Reference) として
- ・ フィールド試験規格が無い
 - ISOはある (ISO/IEC 14763-4)





構造化配線と、ポイント・トゥ・ポイント配線

ポイント・トゥ・ポイント配線
⇒シンプルだが考慮すべきことも多い

施工の観点から:

- 長くなると取り回しが大変
 - 施工中にケーブルを傷つけるかもしれない。
 - ケーブルがねじれてしまう。(インピーダンスがずれる)
- 配線の周りの環境が変わっても一本のケーブルを通すしかない
- 機器の移動などの際に長さの合わない無駄なケーブルが出てしまう。
- より線を使う？ 単線を使う？
 - より線は損失が大きい

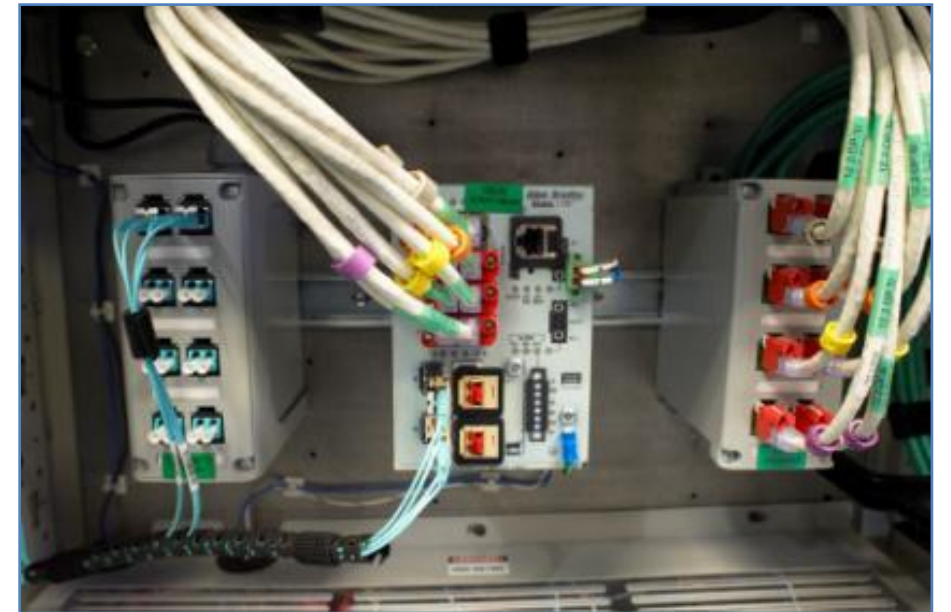




構造化配線と、ポイント・トゥ・ポイント配線

構造化配線

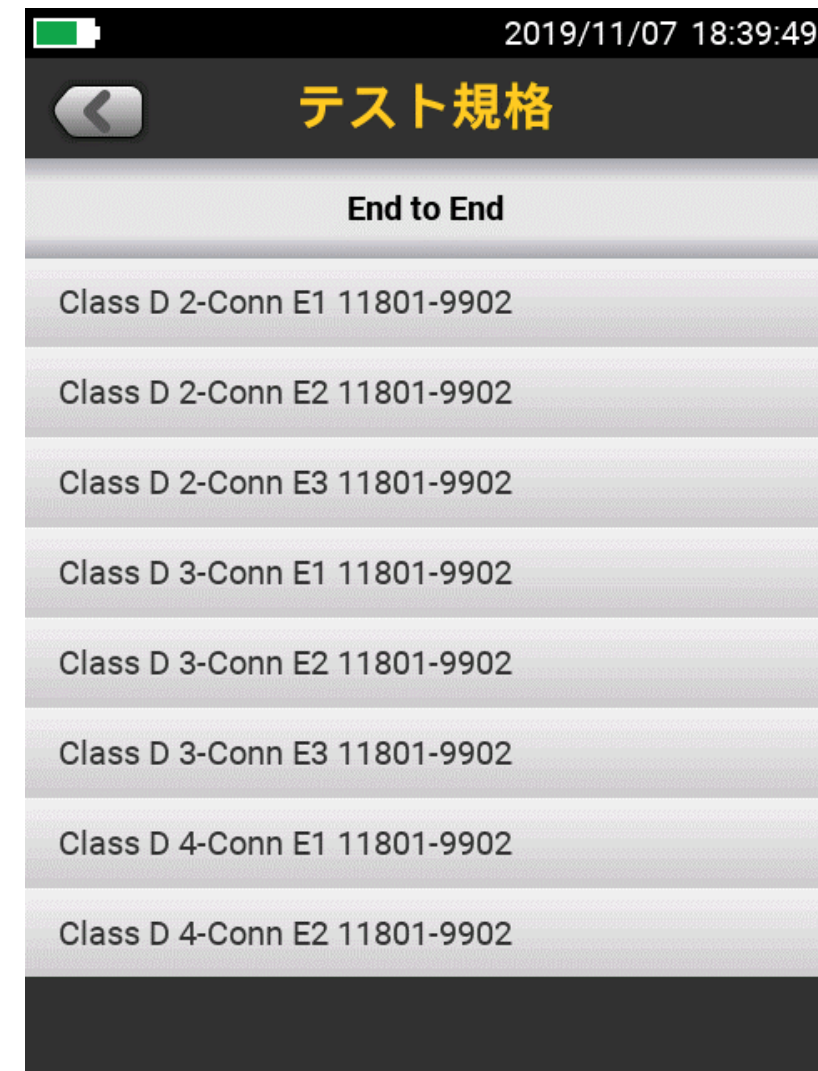
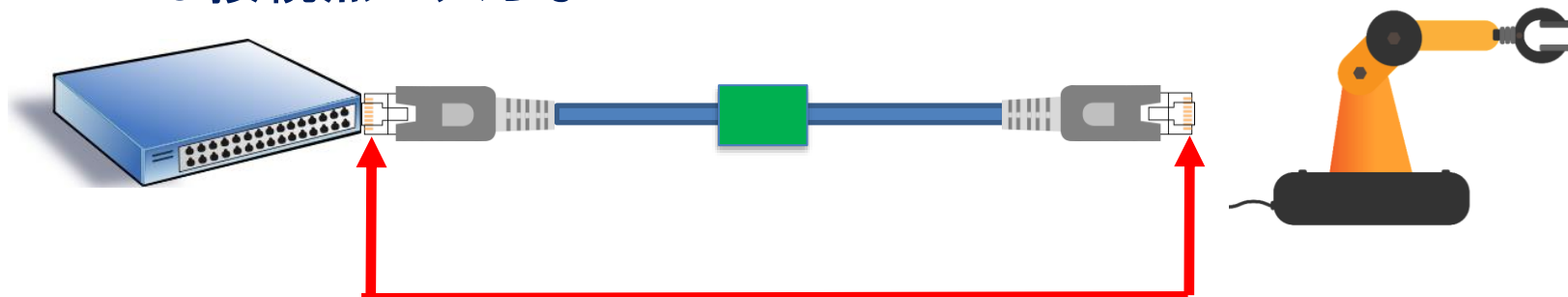
- 水平配線の区間は単線ケーブルが使える
 - 損失が少ない
- 標準的に用いられてきた、こなれた技術で、測定方法も確立されている
- AO (Automation Outlet) と機器の間にフレキシブルケーブルが使える
 - ロボット・ケーブルは高価なので、必要最小限で使いたい





End to End (E2E) 配線

- ISO/IEC TR 11801-9902 で規定
 - TRはTechnical Referenceの略で技術参考情報である。
- 産業用ネットワーク配線を規定したISO/IEC 11801-3 とつながる
- クラスD～E
 - 1000BASE-Tまでカバー
- 測定範囲は両端のプラグを含む
- 途中にコネクタ接続やバルクヘッド・アダプター (いわゆるメス-メス) を含んでも良い
 - DACは接続点が入らない



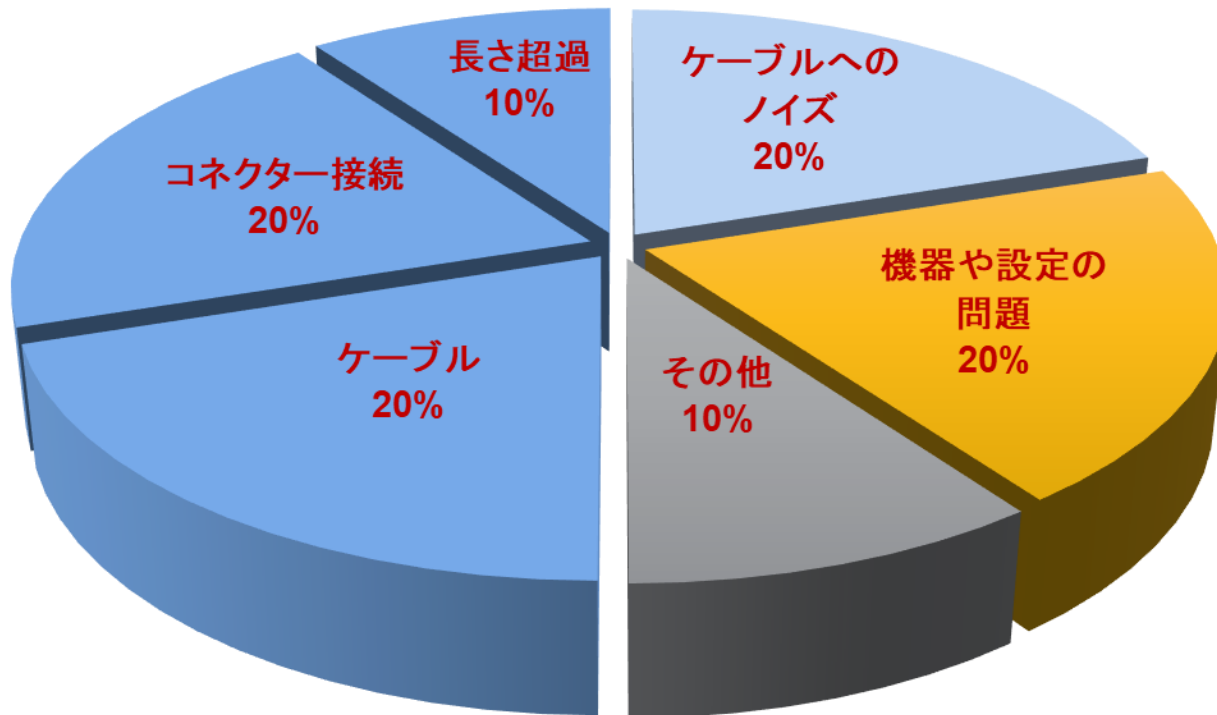


産業用イーサネット配線の測定



産業用イーサネットにおける不具合

IEインフラ不具合の原因



□試験された成端済みケーブルを使用

- アプリケーションに適合しないケーブル
- 長すぎたので、再成端したところ不具合が発生
- 敷設中に曲げや損傷が発生



□現場成端ケーブル

- アプリケーションに適合しないケーブル
- 結線ミス
- 撚りの戻しすぎ
- シールドの接触不良
- 敷設中に曲げや損傷が発生

■ 全体的に

- 振動によるコネクターのゆるみ
- 熱や液体類によるケーブルの劣化

データ・ソース: PROFINET, EtherNet/IP, ModBus TCP ユーザーからの聞き取り調査などによる独自調査

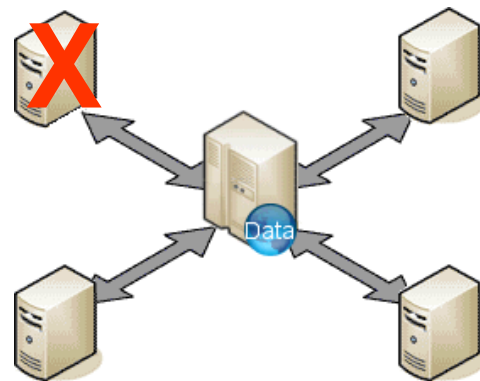
- 各種レポート
- IE の構築・保守を担当する工場スタッフからの聞き取り調査
- オートメーション機器の製造メーカー設置業者からの聞き取り調査



配線の不具合による影響

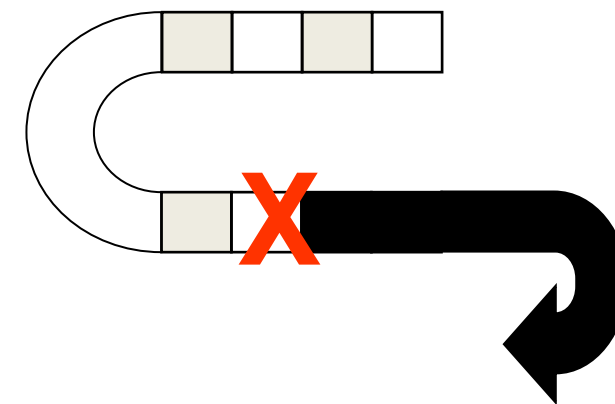
IT ネットワーク

- 様々な冗長構成が用意されており、影響が会社全体に及ぶ事は少ない
- ネットワーク監視装置などが充実しており、ユーザーでもある程度の対応ができる
- 最悪、土日間に直れば・・・



産業用ネットワーク

- 1か所でも不具合があれば、全工程に影響する
- 機器の中に組み込まれている事が多く、現場の人が対応することは難しい
- 24時間連続稼働も珍しくない





産業用イーサネット配線の測定

- 産業用イーサネット配線の測定は、情報配線で用いられる認証試験用LANケーブルテスターで測定できる。
- 不良箇所がピンポイントで確認でき、配線の不具合によるダウンタイムを最小限にできる。
- 試験成績書が作成できるので、配線の確実な施工を証明できる。



VERSIVファミリー
DSXシリーズ



M12 コネクター用
アダプター

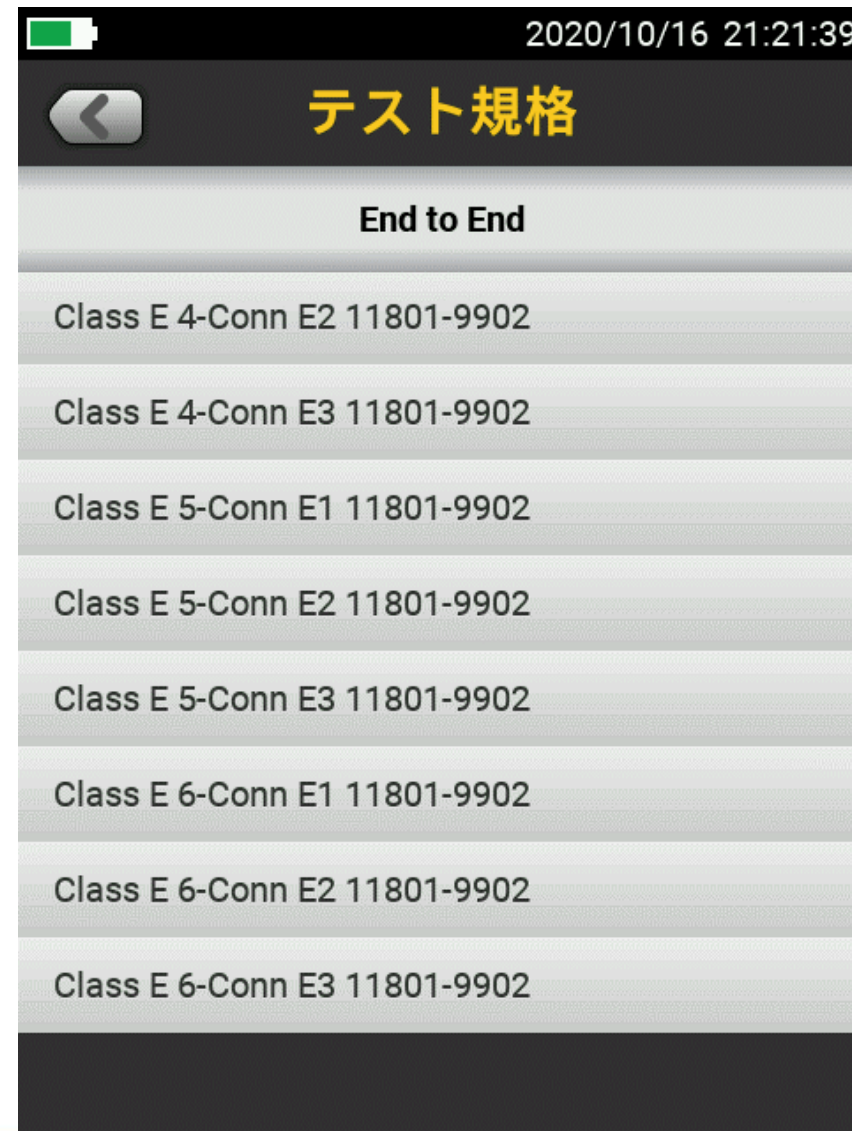


IX コネクター用
アダプター



産業用イーサネット配線の測定

- TIA-1005-A, ISO/IEC11801 TR 9902による測定



E2Eは両端のプラグを測定範囲に含めるのでパッチコードアダプタが必要





配線に関するその他の注意事項

- 成端済みケーブルを使用する場合
 - パッチコードとして試験されたのか？信号の伝送路として試験されたのか？

Class D 3-Conn E2 11801-99-2WD3

Wire Map	Resistance	Resistance Unbalance	Resistance Pair to Pair	Length	Prop. Delay	Delay Skew	Freq.	Insertion Loss	NEXT	RL	ACR-N	ACR-F	PS NEXT	PS ACR-N	PS ACR-F	TCL	ELTCTL	CDNEXT	CMRL
	Ω	Ω or %	Ω or %	Max.	nS	nS	MHz	dB	dB	dB		dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
1,2 - 1,2 3,6 - 3,6	i			i	498	44	1	4.0	64.2	19.0		58.6	61.2		55.6	40.0	40.0		
							4	4.0	54.8	19.0		46.6	51.8		43.6	40.0	28.0		
							8	5.4	50.0	19.0		40.6	47.0		37.6	40.0	21.9		
							10	6.1	48.5	19.0		38.6	45.5		35.6	40.0	20.0		
							16	7.7	45.2	19.0		34.5	42.2		31.5	40.0	15.9		
							20	8.7	43.7	19.0		32.6	40.7		29.6	40.0	14.0		
							25	9.7	42.1	18.0		30.7	39.1		27.7	40.0	12.0		
i	Informational measurement only, no limit available																		
	If Insertion Loss < 3 dB, not evaluated against the test limit																		

TIA Patch Cord Cat5e 1.0m

Wire Map	Resistance	Resistance Unbalance	Resistance Pair to Pair	Length	Prop. Delay	Delay Skew	Freq.	Insertion Loss	NEXT	RL	ACR-N	ACR-F	PS NEXT	PS ACR-N	PS ACR-F	TCL	ELTCTL	CDNEXT	CMRL
	Ω	Ω or %	Ω or %	Max.	nS	nS	MHz	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
1,2 - 1,2 3,6 - 3,6 4,5 - 4,5 7,8 - 7,8	i			i	i	i	1		65.0	19.8									
							4		65.0	21.6									
							8		61.6	22.5									
							10		59.7	22.8									
							16		55.7	23.4									
							20		53.8	23.7									
							25		51.9	24.0									
							31.25		50.0	23.0									
							62.5		44.1	20.0									
							100		40.1	18.0									
							200		i	i									
250		i	i																
350		i	i																
i	Informational measurement only, no limit available																		

NEXTとRLだけ





配線に関するその他の注意事項

- 周囲の温度によって最大敷設長が変化

Temperature (°C (°F))	Maximum horizontal unshielded cable length (m)	Maximum horizontal shielded cable length (m)	Length de-rating (m) (unshielded)	Length de-rating (m) (shielded)
20 (68)	90.0	90.0	0.0	0.0
25 (77)	89.0	89.5	1.0	0.5
30 (86)	87.0	88.5	3.0	1.5
35 (95)	85.5	87.7	4.5	2.3
40 (104)	84.0	87.0	6.0	3.0
45 (113)	81.7	86.5	8.3	3.5
50 (122)	79.5	85.5	10.5	4.5
55 (131)	77.2	84.7	12.8	5.3
60 (140)	75.0	83.0	15.0	6.0



ご清聴ありがとうございました。