

モード分割多重伝送による 有線通信の大容量化・省線化の実現

九州工業大学 イノベーション本部
特任教授 福本 幸弘

2025年12月16日

技術領域：有線通信

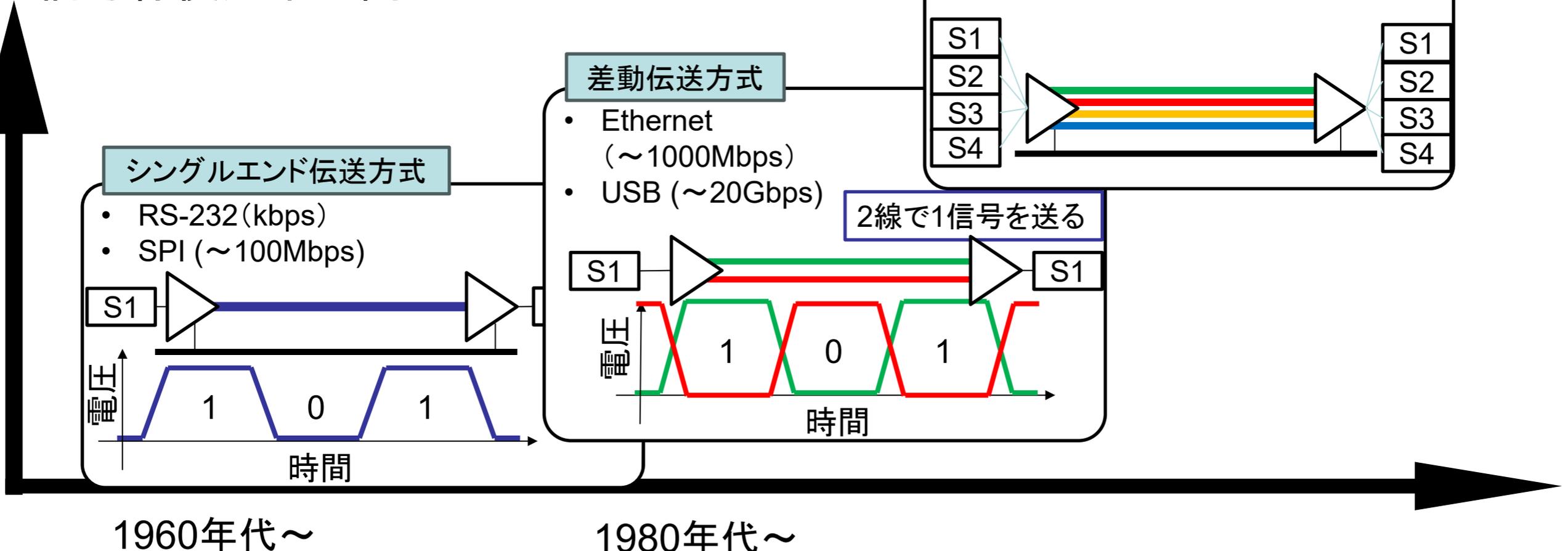
- 自動車やロボットなどの通信の高信頼化・大容量化・省線化
- 提案技術：**モード分割多重伝送**により
 - クロストークレス通信により並行伝送が可能
 - 高速伝送用ケーブル重量の低減
 - シールドレスケーブルの使用により更なる軽量化も可能

通信方式	通信容量	重量	信頼性
無線通信	○	◎	△
光ファイバー	◎	○	○
電気通信	○ ↑	△ ↑	◎

モード分割多重伝送方式

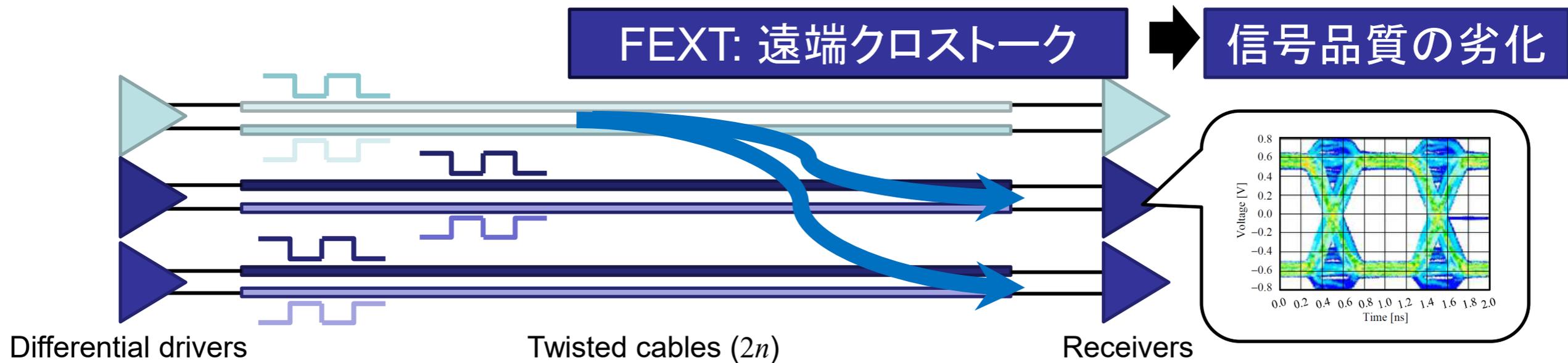
- 従来技術(シングルエンド伝送・差動伝送方式)に変わる新しい伝送方式
 - 複数の信号線に情報を分散
 - ノイズ(クロストーク)に強い
 - 信号線使用率が高い

通信容量 / EMC性能



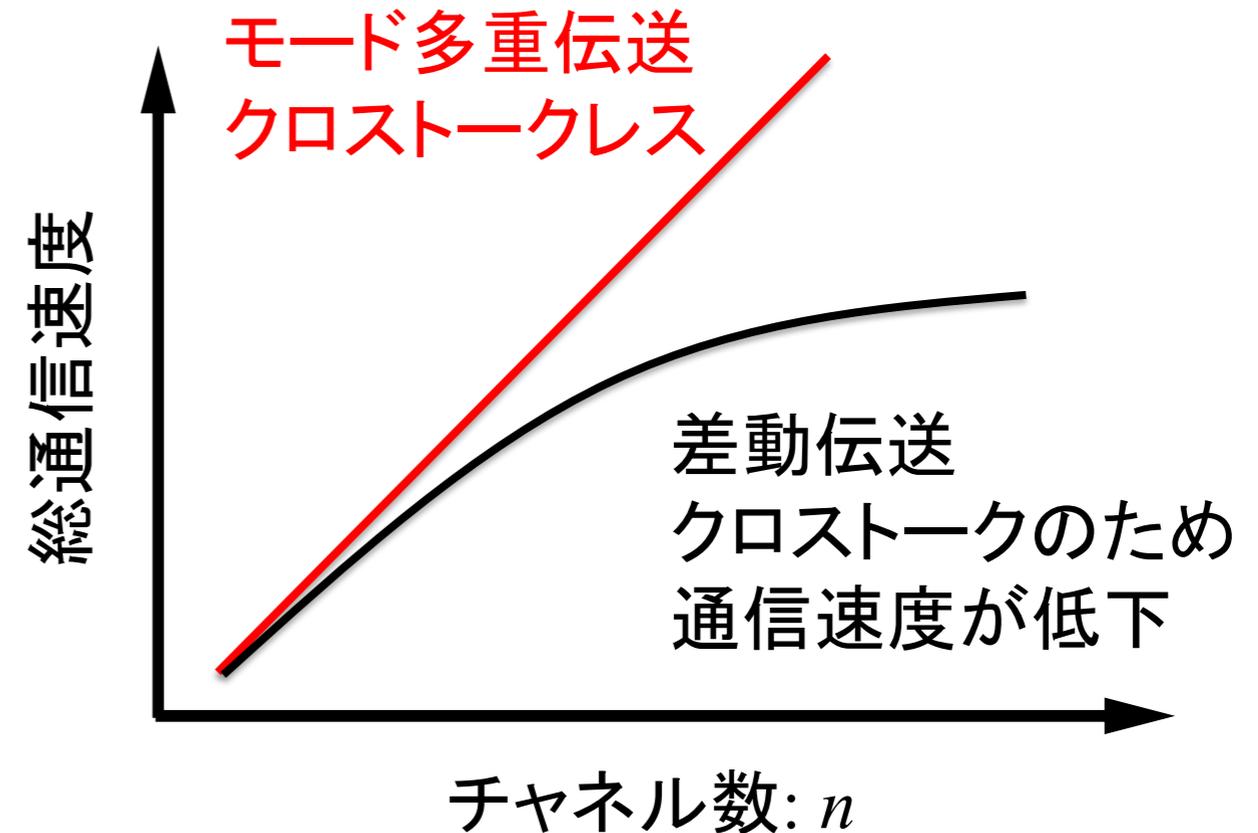
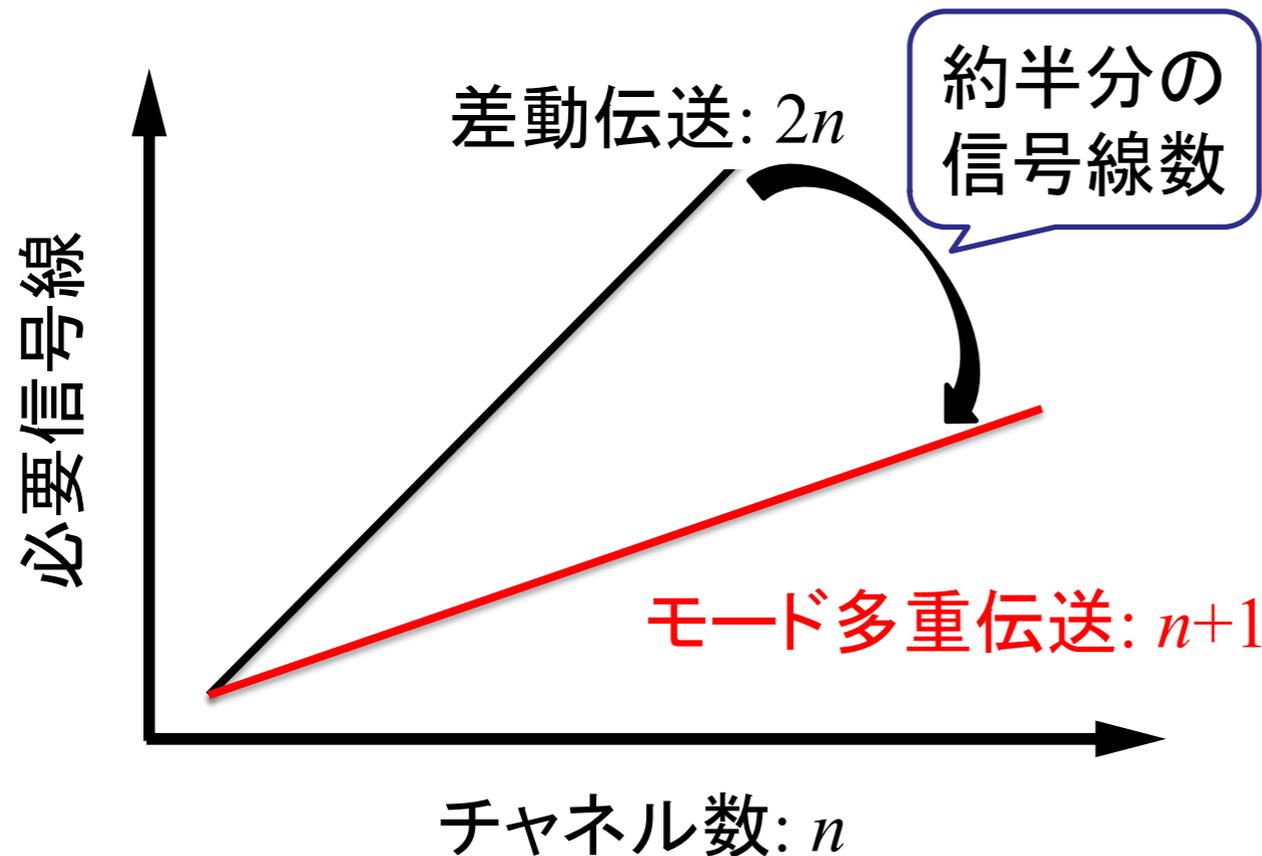
従来技術の課題・問題点

- 差動伝送方式では2線で1チャンネル信号を伝送
- データ量増加のためには並行伝送
- 複数配線による並行伝送ではクロストーク(漏話)が発生



モード分割多重伝送方式のメリット

- n 本の信号線で $n-1$ チャンネル信号を伝送
 - 差動伝送方式に対して約2倍の伝送効率
- クロストークレス通信
 - 信号チャンネル間のクロストークがないため長距離伝送が可能

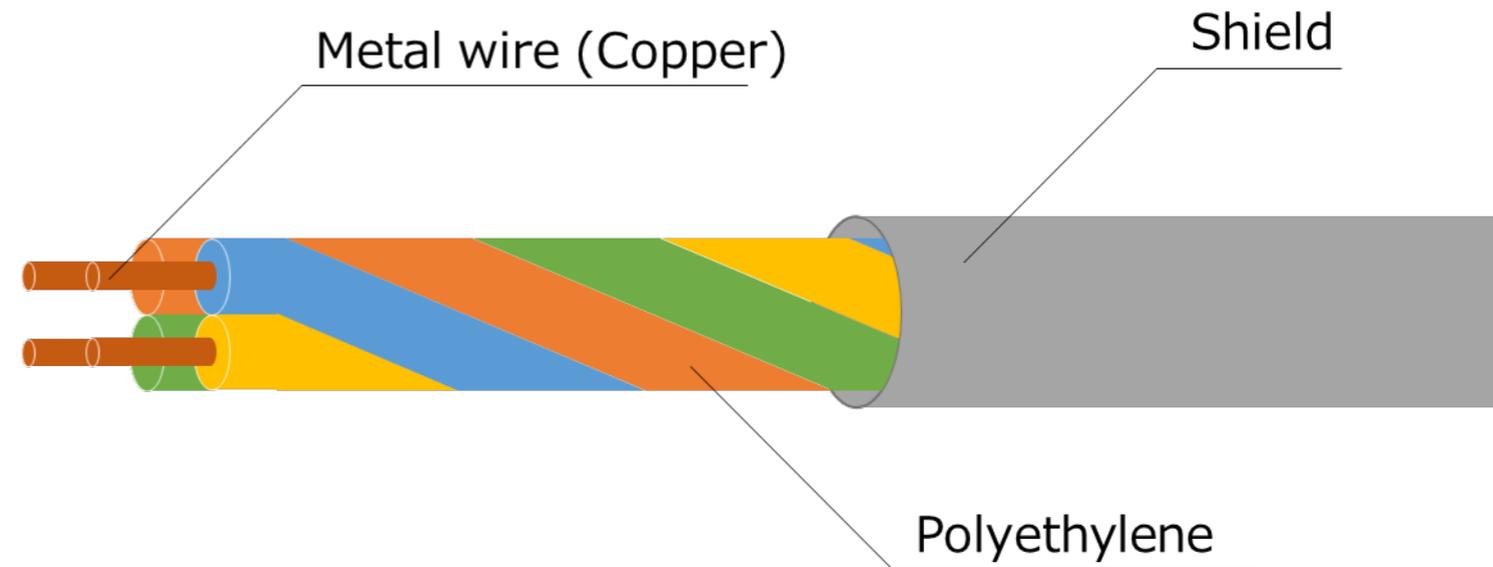
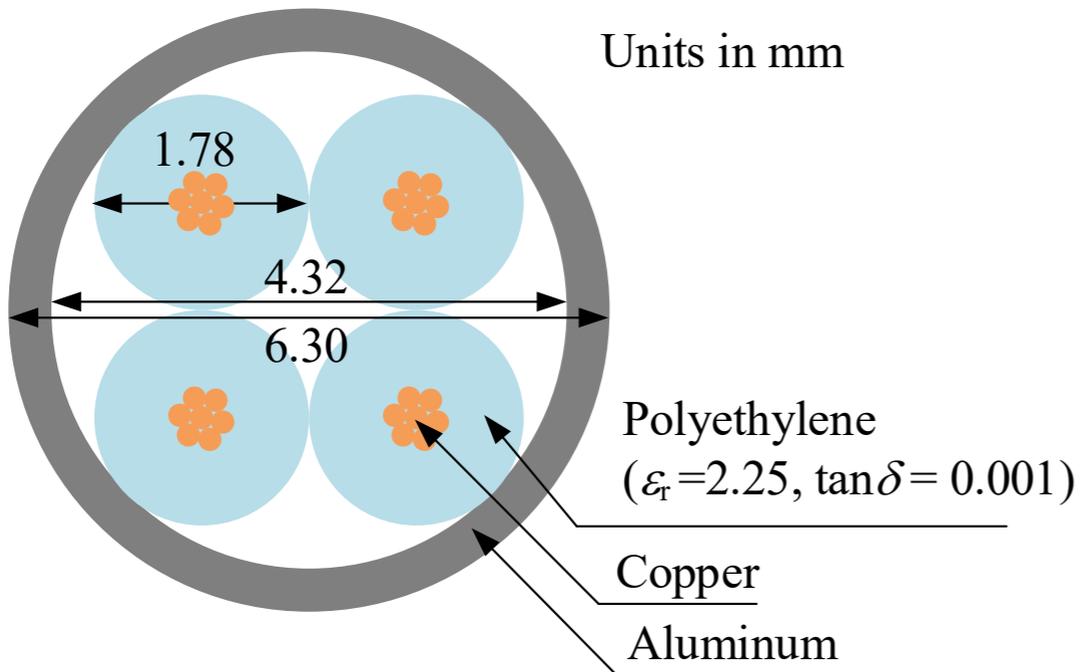


クロストークレス通信を可能とするメカニズム

- 電気回路（伝送線路理論）と数学の知識を活用
- 例：Shielded quad cable: 4線まとめて燃られたシールド付きケーブル
 - 回転対称性があるケーブル（が望ましい）
 - フラットケーブル
→ クロストーク抑制効果が減少

巡回対称行列

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{12} \\ C_{12} & C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{13} & C_{12} & C_{11} & C_{12} \\ C_{12} & C_{13} & C_{12} & C_{11} \end{bmatrix} \quad L = \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} & L_{12} \\ L_{12} & L_{11} & L_{12} & L_{13} \\ L_{13} & L_{12} & L_{11} & L_{12} \\ L_{12} & L_{13} & L_{12} & L_{11} \end{bmatrix}$$

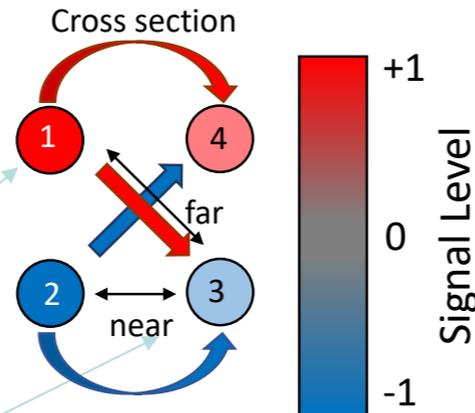


クロストークレス通信を可能とするメカニズム

- 結合（信号が隣の線に漏れ出す）がある伝送線路 → クロストーク
- 適した信号の組み合わせであればクロストークを打ち消せる

差動伝送

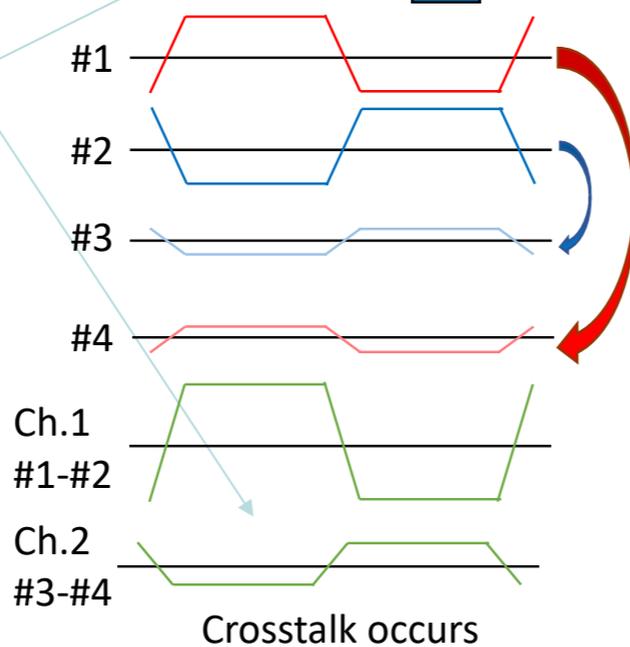
The signal on #2 is the inverse of that on #1



Some signals remain on #3 and #4



Crosstalk occurs

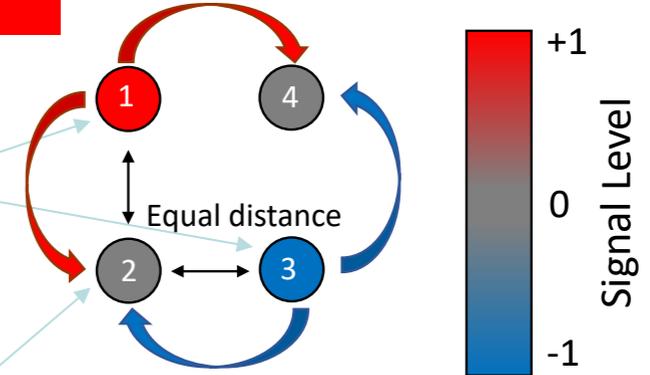


Crosstalk occurs

モード多重伝送

The signal on #3 is the inverse of that on #1

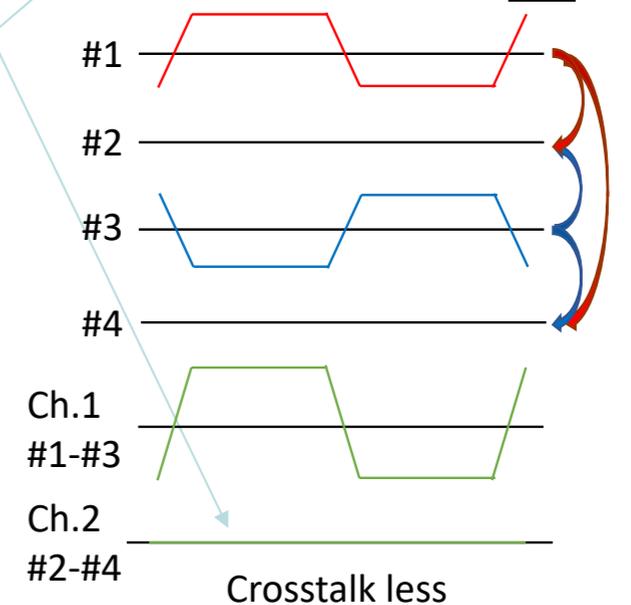
ModeS
Cross section



The signals on #2 and #4 cancel each other out



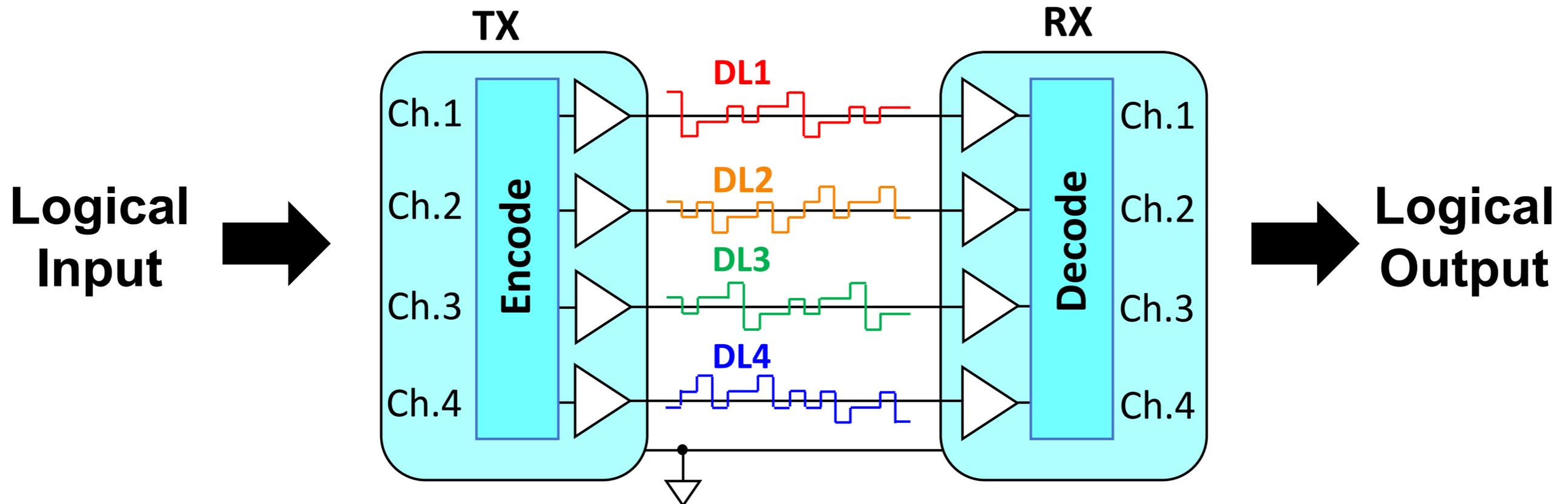
Crosstalk less



Crosstalk less

モード分割多重伝送方式の実現方法

- チャンネル(モード)信号を各信号線の電圧に変換
 - エンコード表を使用
 - 4線ケーブル(STQケーブル)では4値信号に変換



モード信号→線電圧変換表

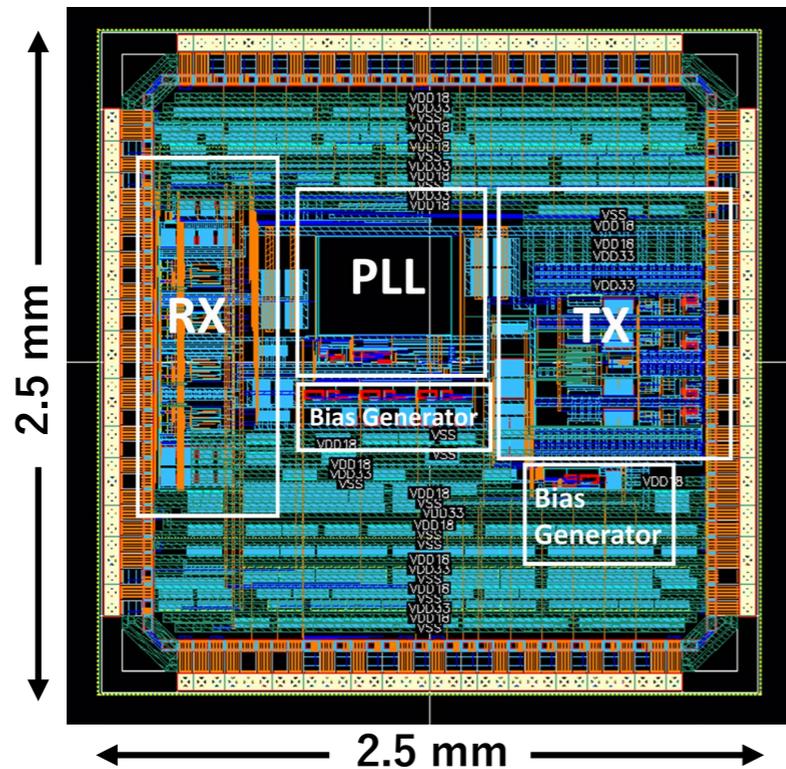
- STQケーブルの場合
 - 4チャンネル伝送: 16個の信号状態
 - 各線の電圧が4値(この例では0.9V, 1.4V, 1.9V, 2.4V)

Logical Input				modes				Applied Voltage unit:V			
Channel #				P, Q, R, S				Wire # (N)			
1	2	3	4	P	Q	R	S	1	2	3	4
L	L	L	L	-1	-1	-1	-1	0.9	1.4	1.4	1.9
H	L	L	L	+1	-1	-1	-1	1.4	1.9	1.9	2.4
L	H	L	L	-1	+1	-1	-1	1.4	0.9	1.9	1.4
H	H	L	L	+1	+1	-1	-1	1.9	1.4	2.4	1.9
L	L	H	L	-1	-1	+1	-1	1.4	1.4	0.9	1.9
H	L	H	L	+1	-1	+1	-1	1.9	1.9	1.4	2.4
L	H	H	L	-1	+1	+1	-1	1.9	0.9	1.4	1.4
H	H	H	L	+1	+1	+1	-1	2.4	1.4	1.9	1.9

Logical Input				modes				Applied Voltage unit:V			
Channel #				P, Q, R, S				Wire # (N)			
1	2	3	4	P	Q	R	S	1	2	3	4
L	L	L	H	-1	-1	-1	+1	0.9	1.9	1.4	1.4
H	L	L	H	+1	-1	-1	+1	1.4	2.4	1.9	1.9
L	H	L	H	-1	+1	-1	+1	1.4	1.4	1.9	0.9
H	H	L	H	+1	+1	-1	+1	1.9	1.9	2.4	1.4
L	L	H	H	-1	-1	+1	+1	1.4	1.9	0.9	1.4
H	L	H	H	+1	-1	+1	+1	1.9	2.4	1.4	1.9
L	H	H	H	-1	+1	+1	+1	1.9	1.9	1.4	0.9
H	H	H	H	+1	+1	+1	+1	2.4	1.9	1.9	1.4

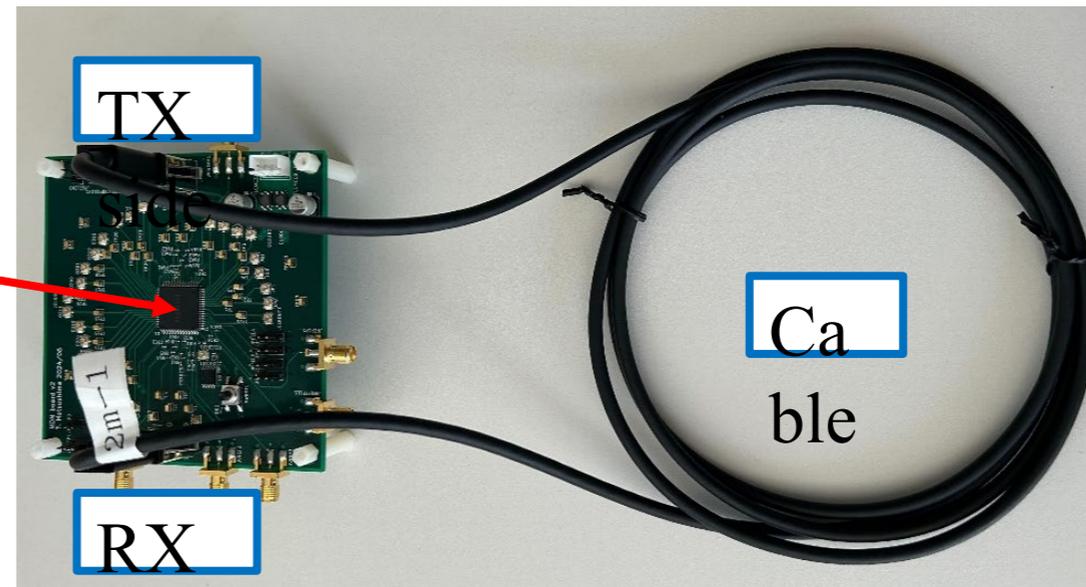
実施例: STQ(4線シールドケーブル)の場合

- 4線シールドケーブルに対するアナログフロントエンドLSIを開発



Test Chip

(0.18um legacy process of Rohm)

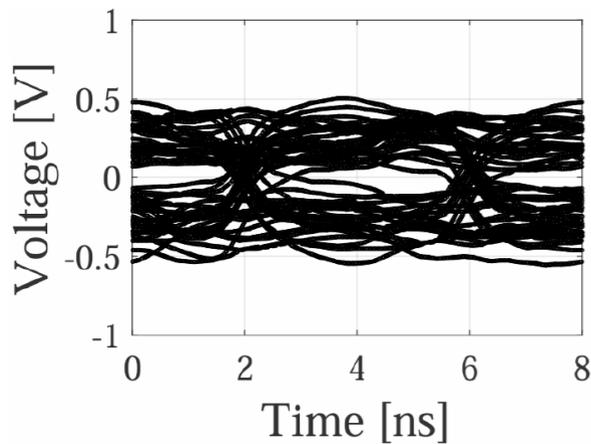


side

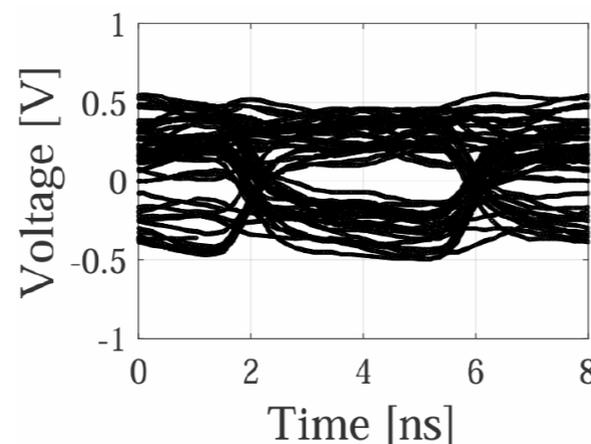
Evaluation Board and Cable

実施例: STQ(4線シールドケーブル)の場合

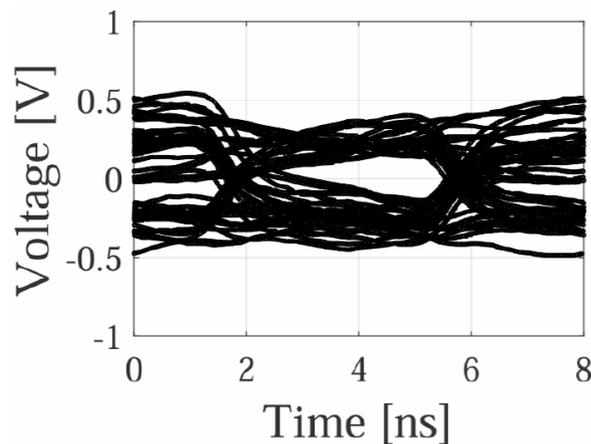
- 4線シールドケーブルに対するアナログフロントエンドLSIを開発
- 長さの異なるケーブル(1m~10m)でもアイパターンの変化はない
 - 長さに比例して大きくなるクロストークノイズの影響を受けない



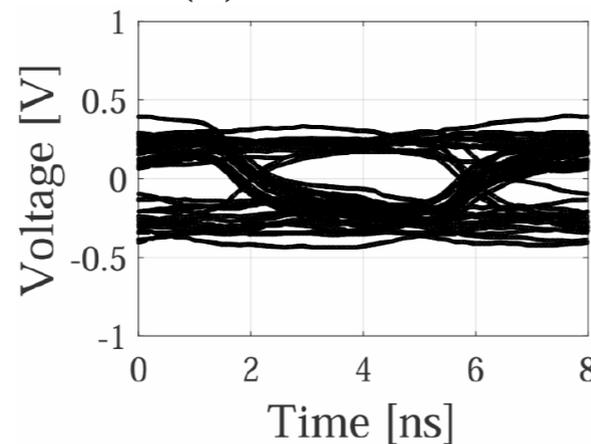
(a) 1 m cable



(b) 2 m cable



(c) 4 m cable



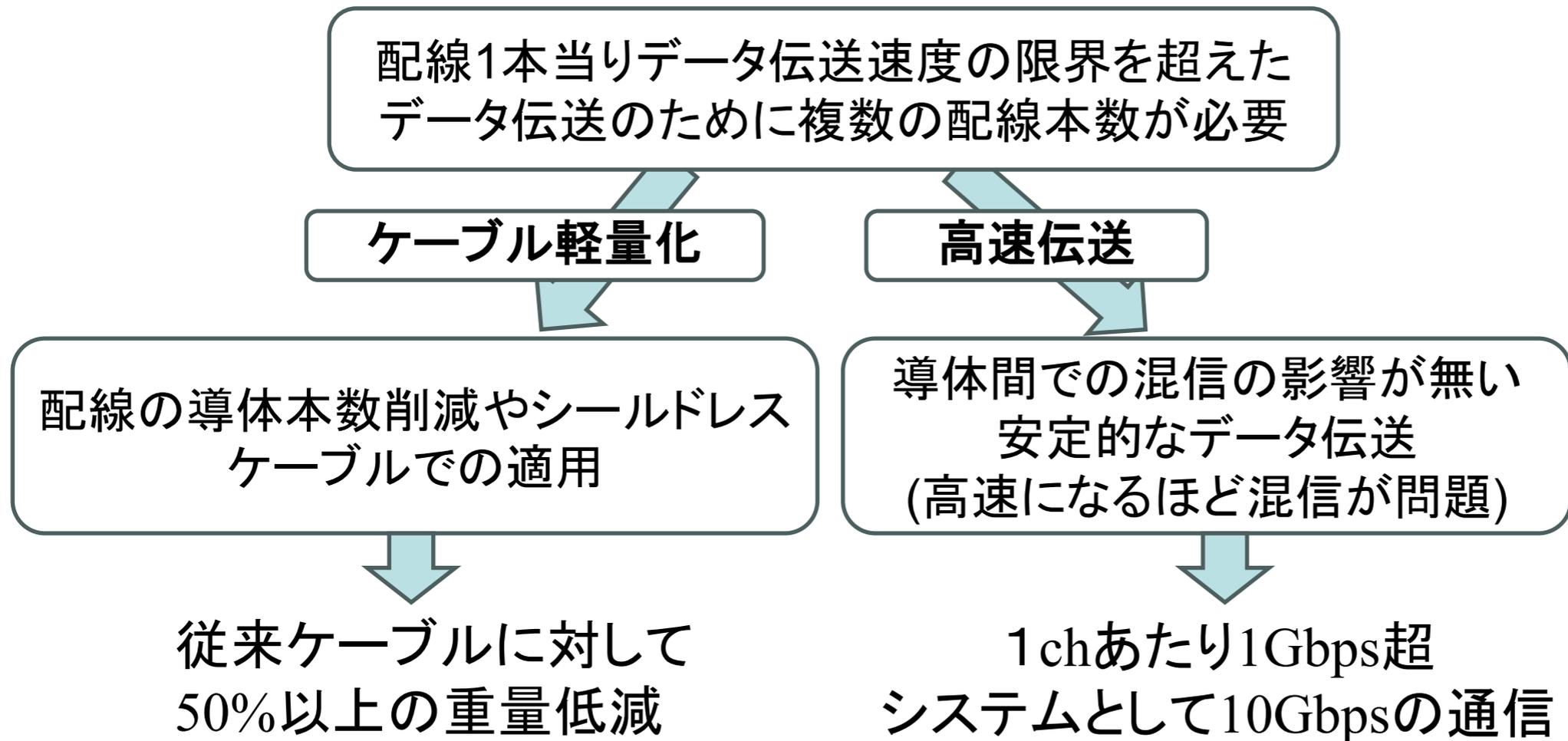
(d) 10 m cable

クロストークを数値で評価

Length [m]	Height [V]	Width [ns]
1	0.17	2.65
2	0.27	3.22
4	0.26	2.84
10	0.29	3.27

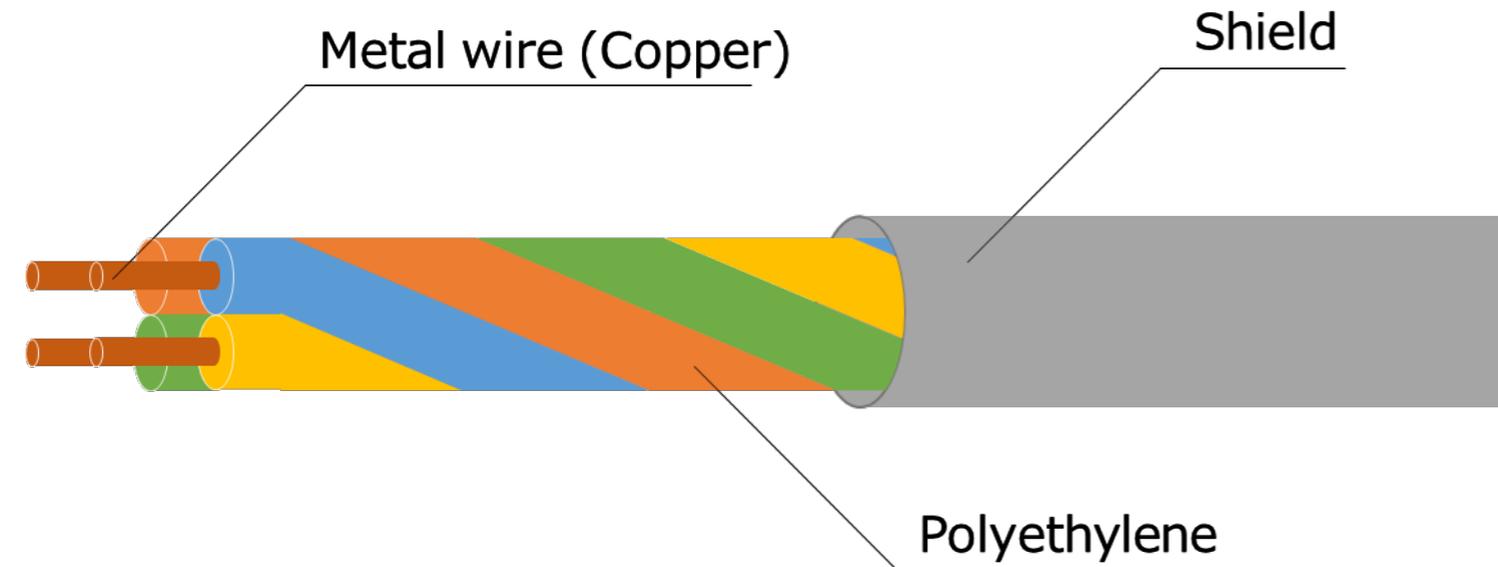
実用化に向けた課題

- ケーブルの軽量化と高速化
 - 軽量化→シールドレスケーブルでの適用
 - 高速化→アナログフロントエンドLSIの高速化

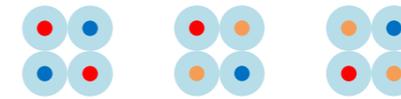


シールドレスケーブルへの適用

- シールドがないケーブルに対する変換表
- 通信可能チャンネルは1つ減る → より高速な信号伝送



3



3値で表現可能
+1, 0, -1

Logic state			Line voltage [V]			
Q	R	S	1	2	3	4
L	L	L	-1	0	0	+1
H	L	L	0	-1	+1	0
L	H	L	0	0	-1	+1
H	H	L	+1	-1	0	0
L	L	H	-1	+1	0	0
H	L	H	0	0	+1	-1
L	H	H	0	+1	-1	0
H	H	H	+1	0	0	-1

想定される用途・市場

- 自動車やロボット内の有線配線
- 例：車載イーサネット
 - 自動運転、ADAS、コネクテッドカー、インフォテインメントシステムが進化。
⇒車載LANの高速、低遅延、高信頼性の要求大
 - 車載LANの中でも高速化が期待される車載イーサネットの市場が急速に拡大。
⇒市場規模(グローバル)は、2022年で約4,000億円、2030年には約1.7兆円、
 - 2023年から2030年にかけて年平均成長率約20%での成長の見込み
 - 本提案技術は、10Gbpsを超える高速伝送を高信頼かつ、少ないケーブルで実現
⇒自動車にとって重要な軽量化で既存技術を凌駕

研究開発の経歴 / 社会実装への道筋

研究課題・取り組み

社会実装への取り組み

FY2019

モード多重伝送基本方式草案

FY2020

電磁界/回路Simによる実証

FY2021

信号印加/受信回路の模索・試作

FY2022

FY2023

基本原理の整理・解明・モデル化

FY2024

基本方式の実証用LSIの試作

FY2025

デモ機(250Mbps/ch)の公開

FY2026

省線化(シールドレスケーブルへの適応)

FY2027

高速化アナログフロントエンド

LSIの試作

デモ機(1Gbps/ch)の公開

- 車載機器やロボットなどへの応用が期待できる
 - 車載機器：低重量化へ貢献
 - ロボット：省スペースでの配線
- 下記の分野で共同開発
 - 高速アナログフロントエンドLSIの共同開発
 - シールド付 / シールドレスケーブルの作成
 - 高周波特性の評価・性能向上
 - フラットケーブルなどへの応用
 - プリント回路基板上での実装

- 省線化により、機器内の他の配線との結合も小さくすることが可能
- EMC課題に対する解決策の一つとなりうる
 - 低電磁放射(低EMI)設計
- 本技術は
 - クロストークレス通信によりケーブルの省線化・低重量化を図る
 - クロストークにより長距離伝送が困難な通信系であっても、本手法を適用することにより改善が見込まれる
 - ケーブルからの放射量の低減や筐体内電磁環境の整理(自家中毒の低減)が期待される

本技術に対する特許

- 発明の名称： データ伝送装置、データ伝送システム
およびデータ伝送方法
- 出願番号： 特願2025-199843（2025年11月19日）
- 出願人： 国立大学法人九州工業大学
公立大学法人富山県立大学
- 発明者： 松嶋 徹、福本 幸弘、吉河 武文

お問い合わせ先

国立大学法人九州工業大学
イノベーション本部
産学イノベーションセンター
知的財産・技術移転推進部門

電話：093-884-3499

E-mail: chizai@jimu.kyutech.ac.jp