

# 自動運転のためのシリコンフォトニクス技術を利用した高信頼性 車載光ネットワーク（SiPhON）の実証

Demonstration of a Highly Reliable Si-Photonics-Based In-Vehicle Optical  
Network (SiPhON) for Autonomous Driving.

2025年 1月 14日

古河電工 エレクトロニクス研究所 モビリティ技術開発1部

野口 大輔



# 【会社概要】

商号	古河電気工業株式会社
社長	森平 英也
創業	1884年
設立	1896年6月25日
資本金	69,395百万円 （2022年3月末）
売上高	1,056,528百万円（連結） 296,766百万円（単体） （2024年3月期）
従業員数	52,757名（連結） 4,335名（単体） （2024年3月末）
本社	〒100-8322 東京都千代田区大手町2丁目6番4号（常盤橋タワー）



## 国内

### 研究開発本部

#### サステナブルテクノロジー研究所

持続可能な社会基盤を目指した新事業の種を創出・育成する研究所です。

[サステナブルテクノロジー研究所を見る](#)

#### エレクトロニクス研究所

エレクトロニクス技術によりモビリティ分野を中心に新事業と新製品の創出に貢献する研究所です。

[エレクトロニクス研究所を見る](#)

#### フォトンクス研究所

フォトンクス技術の通信分野への適用ならびに新事業の創出を生導する研究所です。

#### マテリアル研究所

メタルとポリマーの素材力を核として、事業の成長と創出を支える研究所です。

[マテリアル研究所を見る](#)

#### 超電導製品部

超電導技術の実用化により、古河電工が大きな社会貢献を果たすという強い使命感をもって、今後ともさらなる研究・開発を続けていきます。

#### 企画統括部

オープンイノベーションと技術マーケティングをフル活用して、戦略的な思考によりお客様にとっての新規価値を創造する組織です。

## 9研究所（国内：5研究所、海外：4研究所）

## 海外

#### OFS Labs

[米国](#)

光技術の革新に世界的に卓越した役割を果たす研究所です。

[OFS Labsを見る](#)

#### FETI

[ハンガリー](#)

材料、デバイス、製造プロセスの技術開発分野において古河電工の研究開発に幅広く貢献しています。

[FETIを見る](#)

#### SuperPower社

[米国](#)

最先端の超電導材料と応用デバイスの開発・製造業界で世界のリーディングカンパニーで在り続けます。

[SuperPower社を見る](#)

#### SVIL

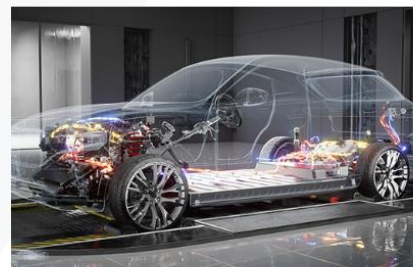
[米国](#)

オープンイノベーションとグローバルな産学連携・企業間連携を目指します。

[SVILを見る](#)

## 主なテーマ

### ※ワイヤリングシステム



- アルミハーネス
- 次世代ワイヤリング
- 高圧ワイヤハーネス

### ※センシング技術



- 鉛バッテリー状態検知技術(BSS®)
- 周辺監視レーダ
- 高周波エレクトロニクス技術

### ※インフラとのコネクティッド



- ワイヤレス電力伝送
- 車載高速通信
- 車載電気電子回路技術



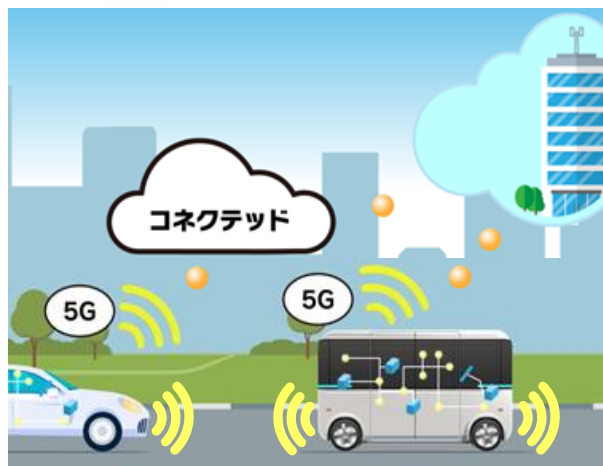
- はじめに
- 自動車業界の動向
- 車載NWの変遷、要求条件
- 高速車載通信規格
- 車載光通信規格
- SiPhON
- まとめ

本研究開発は、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT（エヌアイシーティー））令和2年度～令和5年度委託研究（#21801）「高度自動運転に向けた大容量車載光ネットワーク基盤技術の研究開発」および令和6年度委託研究（#23701）「完全自動運転のための高性能かつ高信頼な車載光ネットワーク基盤技術の研究開発」の一環として行われました。

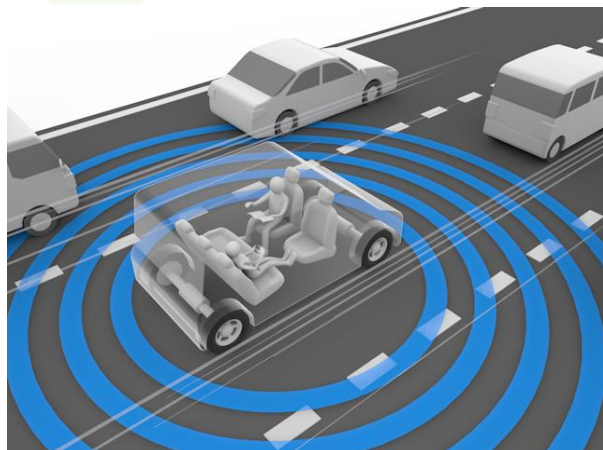


## 100年に1度の大変革

### **C**onnected (コネクテッド)



### **A**utonomous (自動運転)



# CASE



### **S**hared & **S**ervice (シェアリング)



### **E**lectric (電動化)

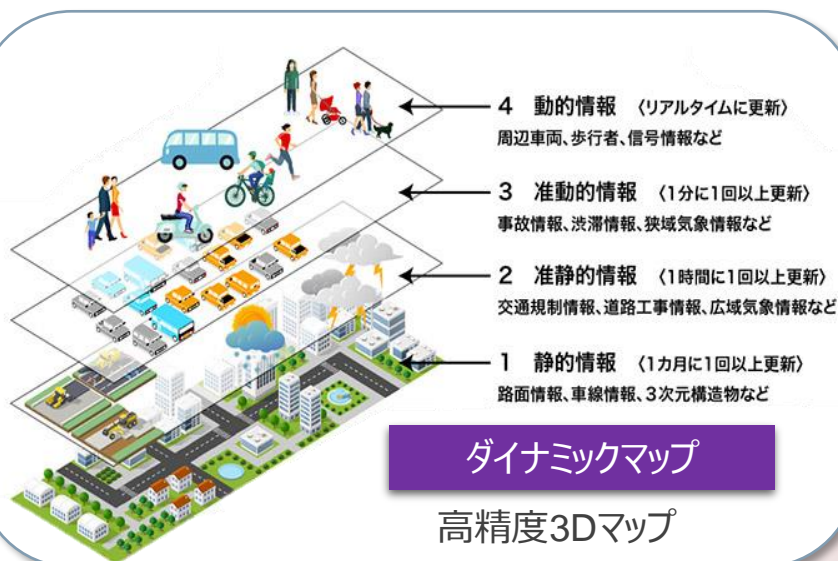




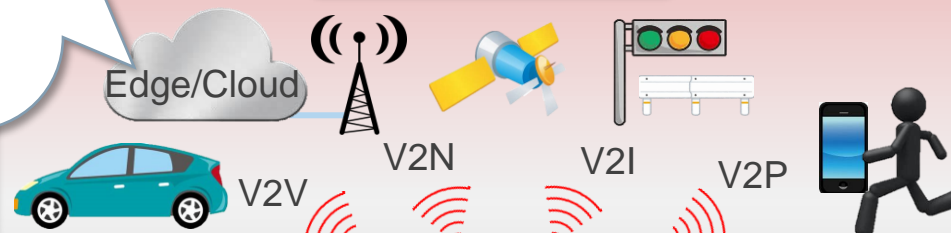
## 「車」X「NW」X「データ」X「AI」の世界

- ◆ 安全性
- ◆ 利便性
- ◆ 快適性

全ての統合制御を可能とする  
**大容量車載NW**が不可欠



**Connected**



**Autonomous**

- Level 5 完全自動化 (Mind Off)
- Level 4 高度自動化 (Eyes Off)
- Level 3 条件自動化 (Hands Off)
- Level 2 部分自動化 (Feet Off)
- Level 1 運転支援



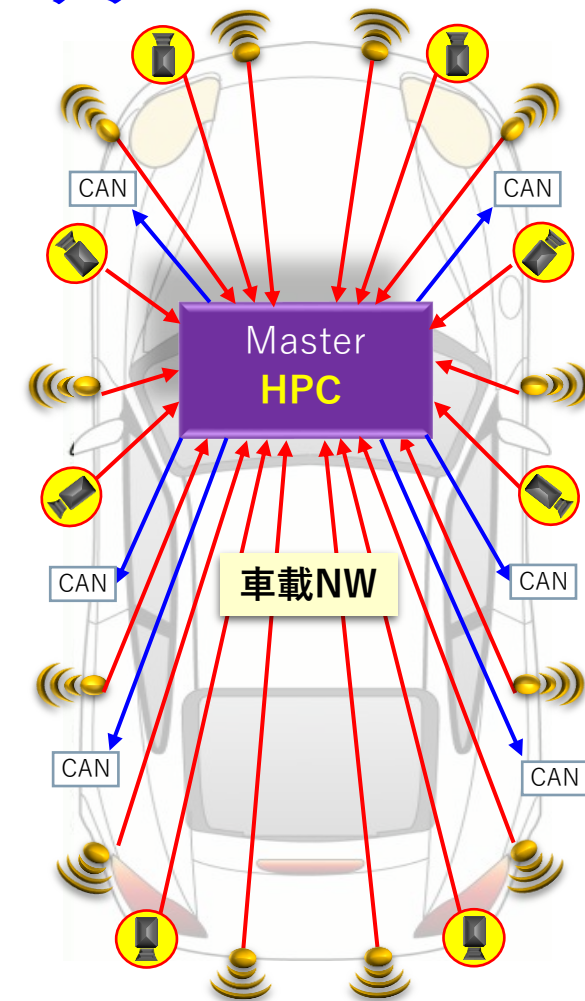
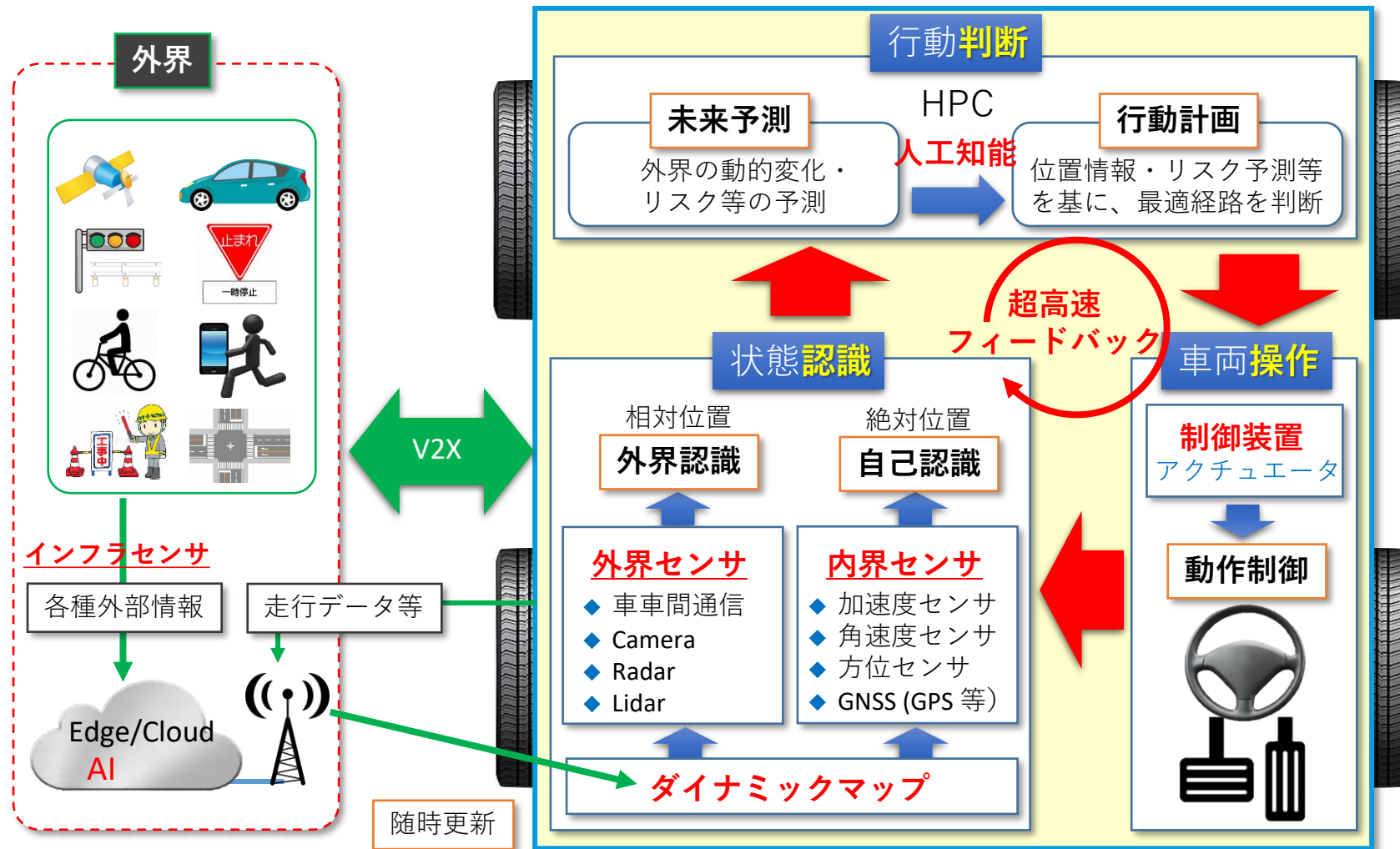
**大容量車載  
ネットワーク**

**Infotainment**





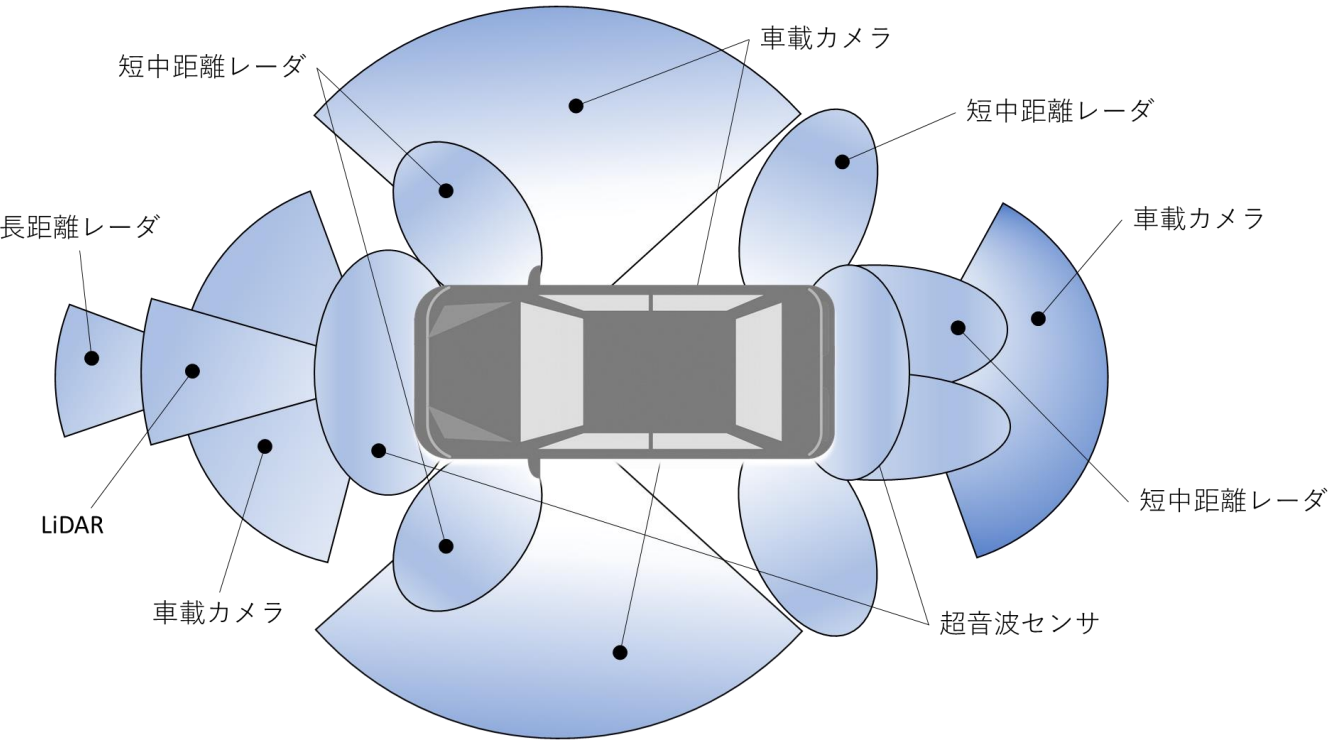
## 「認識」⇒「判断」⇒「操作」の超高速フィードバック







全ての情報をHPCに集約



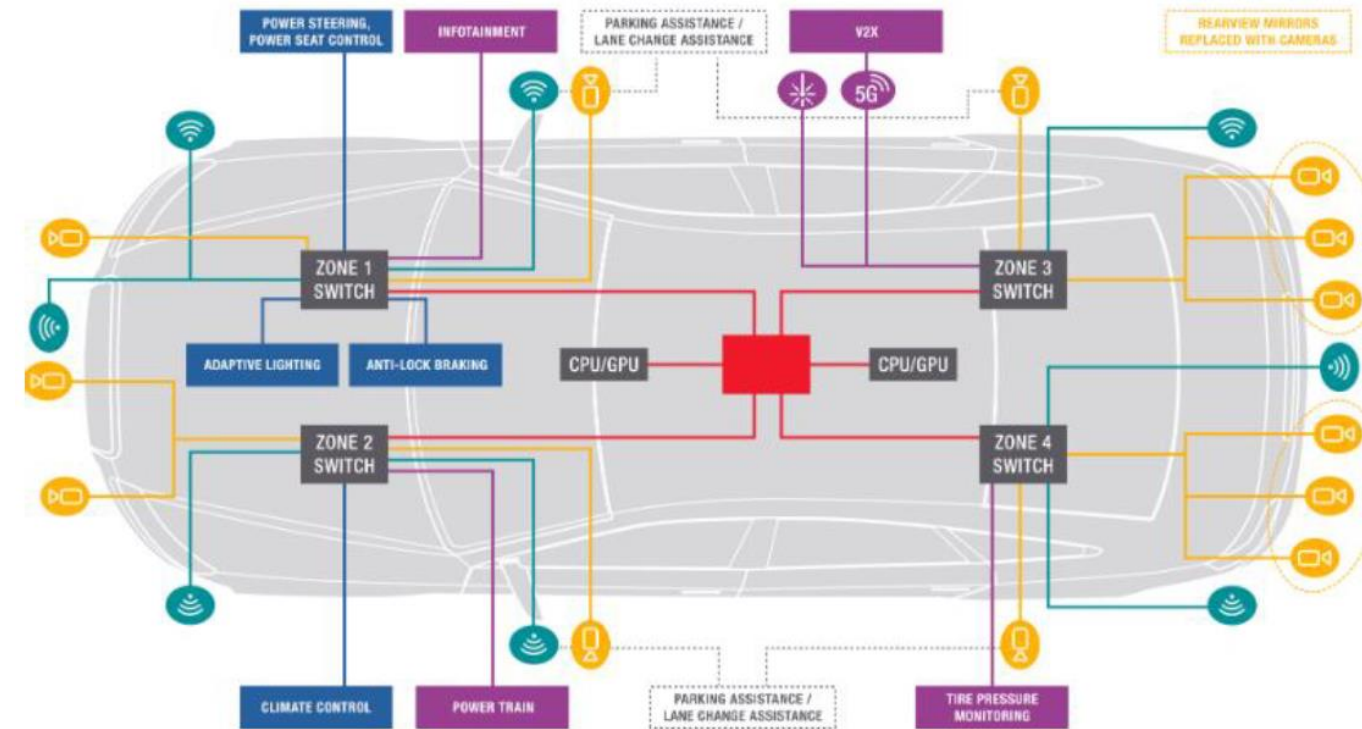
## ADAS(高度安全運転支援システム: Lv3) のセンサー概要



	Level 2 Feet off 	Level 3 Hands off 	Level 4 Eyes off 	Level 5 Mind off 
Camera	2 - 7	5 - 8	5 - 12	5 - 12
Radar	1 - 3	3 - 5	4 - 10	4 - 10
Lidar	0	1 - 2	2 - 5	2 - 6
Display	1 - 4	2 - 8	2 - 8	8+
Total	4 - 14	11 - 23	13 - 35	19-36+



# 自動車業界の動向



## Lv4-5を実現するには

- ◆ 200m先の標識の認識：2kカメラ⇒4k/8kカメラへ
- ◆ 死角を作らない大量のカメラ/センサーが必要

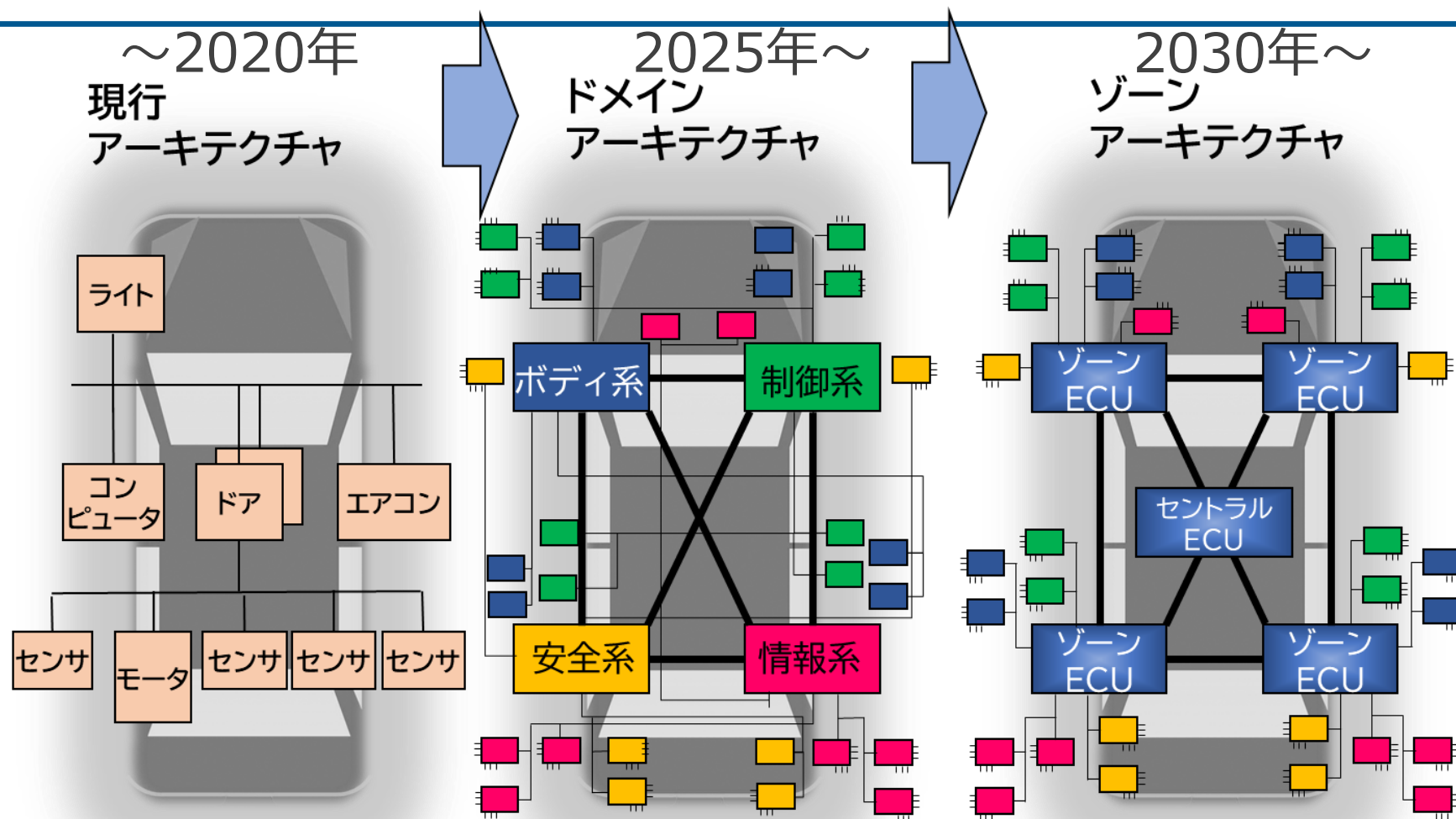
	Level 2 Feet off 	Level 3 Hands off 	Level 4 Eyes off 	Level 5 Mind off 
Camera	2 - 7	5 - 8	5 - 12	5 - 12
Radar	1 - 3	3 - 5	4 - 10	4 - 10
Lidar	0	1 - 2	2 - 5	2 - 6
Display	1 - 4	2 - 8	2 - 8	8+
Total	4 - 14	11 - 23	13 - 35	19-36+

- センシングカメラ4K > 10 G/台
- ビューイングカメラ ~1 G/台
- LiDAR ~1 G/台
- ミリ波 >100 M/台
- 5G通信 10~20 G
- 車内娯楽 > 100 M

トータル伝送容量 > 50~100 Gb/s



# 車載通信ネットワークアーキテクチャ



従来は、 $<1\text{Mb/s}$  の電気通信ネットワークで十数台の ECU(Electronic Control Unit)間の接続を行ってきた。

現在では、ECUの台数が200台を超える場合もあり、ECU搭載スペースの不足、情報量の増大、電線ハーネス増による重量増が課題になってきた。

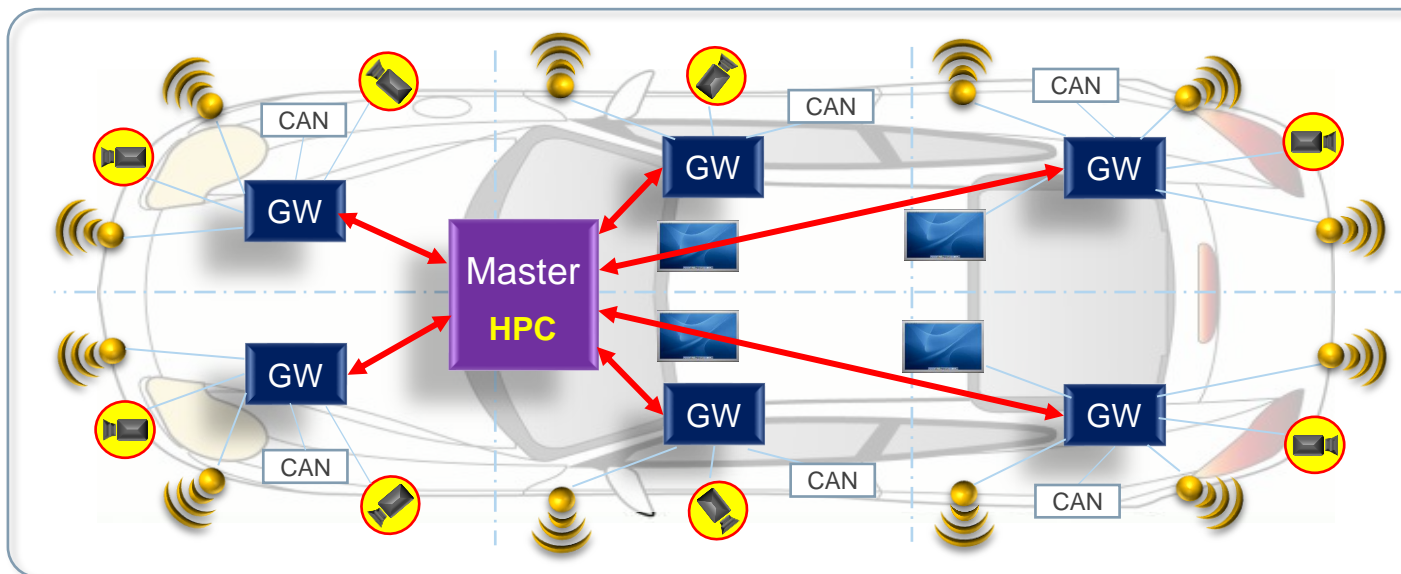
高速な通信ネットワークの導入により高度な情報処理を可能にするとともに、通信の多重化、通信線の共用化による電線の削減、重量の低減が期待されている

- 複数のECUが低速なLANでつながっている

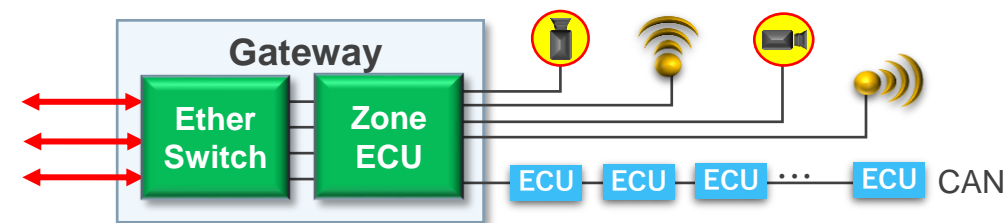
- 機能ドメイン(ボディ系、制御系、安全系、情報系)毎にECUを集約
- 補機への長い電線は残っている

- 入出力機能を担うゾーンECUを分散配置し、補機は直近で接続する→電線長の短尺化
- 認識、判断をセントラルECUへ頭脳統合
- 高速( $>10\text{Gb/s}$ )な幹線通信ネットワークで相互接続





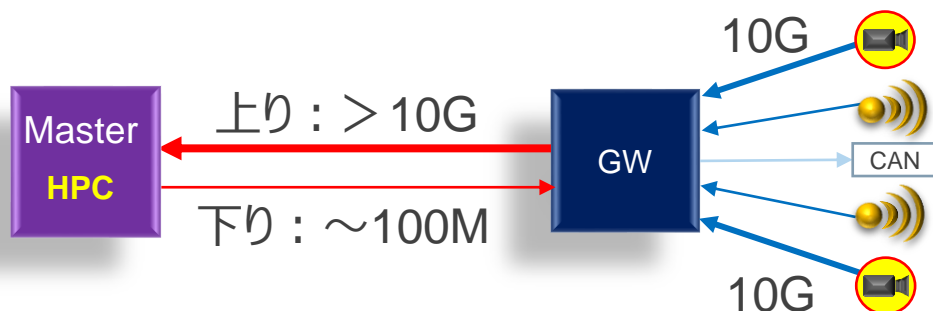
車を複数のゾーンに分割し、GWを配置  
従来CAN等は分割し、最寄りのGWに接続



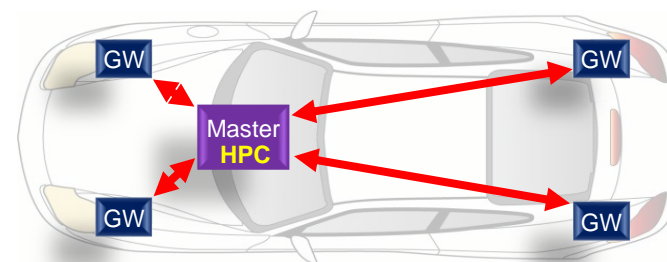
- 課題**
- Backbone (赤線) の広帯域化・低遅延化
  - 200台のECUの統合
  - CAN⇒Ether

## 非対称通信を如何にして実現するか

上りと下りで大きな非対称性が生じる

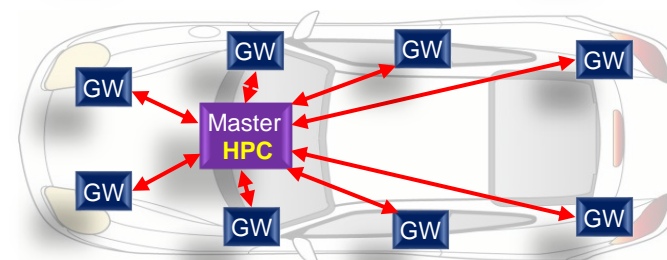


## GWの最適な数は？：必要に応じた拡張性



GW数が少ない

- ✓ GWの帯域が大
- ✓ ECUの統合が困難
- ✓ GWまでの配線が長い

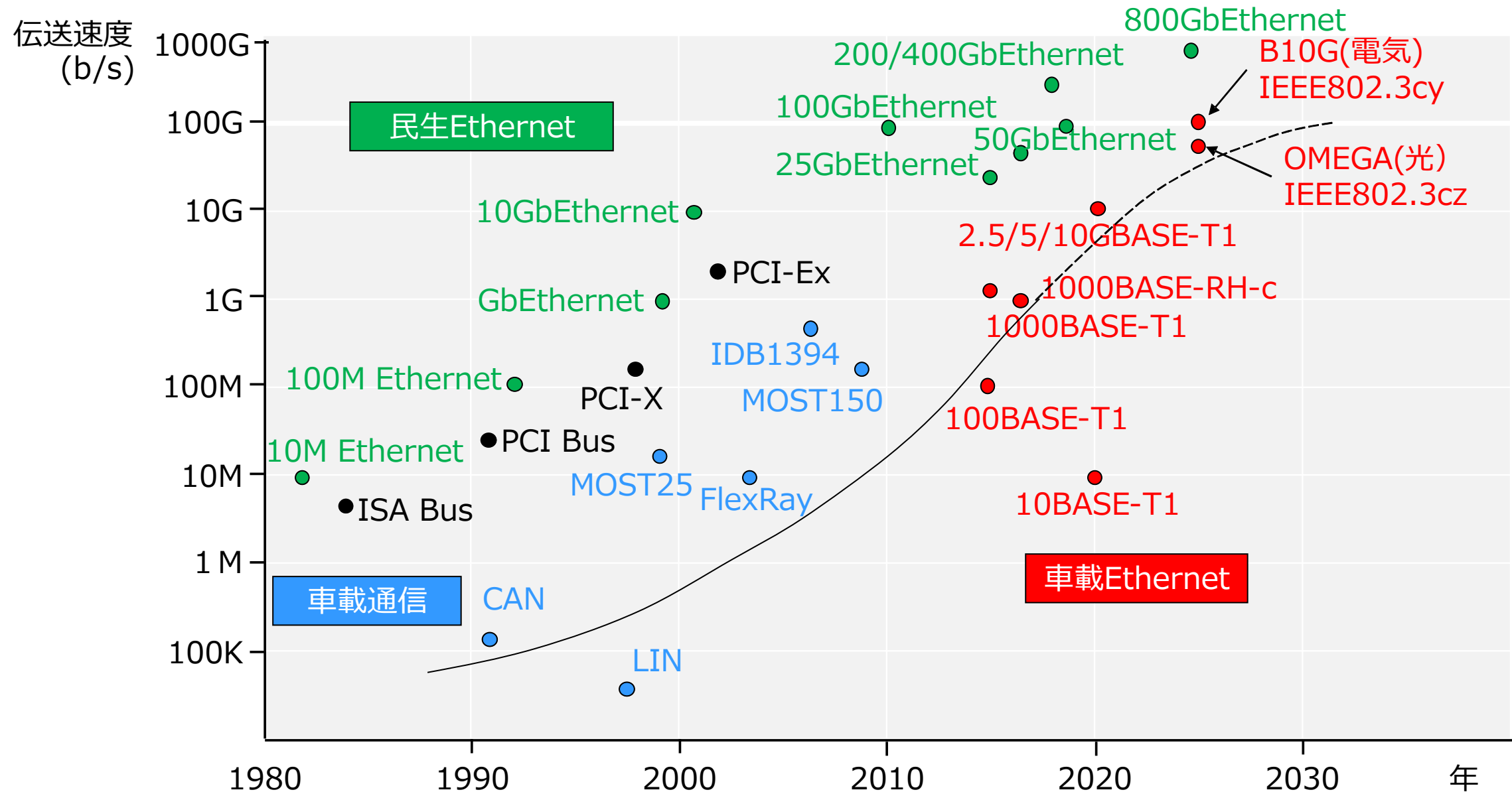


GW数が多い

- ✓ GWの帯域が小
- ✓ ECUの統合が緩和
- ✓ GWまでの配線が短い



# 高速車載通信規格





# 高速車載通信規格

	非Ethernet			Ethernet			
	Electrical				Optical		
規格	MIPI A-PHY  Mobile Industry Processor Interface Alliance	ASA  Automotive Serdes Alliance	PCIe  Peripheral Component Interconnect Express	25G BASE-T1 IEEE802.3c y <b>(B10GAUTO)</b>	25/50G BASE-AU IEEE802.3c z <b>(OMEGA)</b>	10G BASE-RH-c IEEE802.3 dh <b>(GI-POF)</b>	<b>開発中 (SiPhON)</b>
制定年	2020	2020		2023	2023	Withdraw	
伝送速度 (Gbps/lane)	2/4/8/12/16	下り 16/64G 上り 100M (非対称)	64	25	2.5/5/10/ 25/50	2.5/5/10/25	10/25/50
変調方式	NRZ PAM4 PAM8 PAM16	PAM4	PAM4	PAM4	NRZ (2.5-25) PAM4 (50G)	NRZ	NRZ
物理メディア	同軸/STP	同軸/STP	同軸	STP	石英MMF (OM3 : GI-50) 光源 : VCSEL 波長 : 980nm	GI-POF 光源 : VCSEL 波長850nm	石英SMF 光源 : DFB 波長 : 1.3/1.5μ
伝送距離(m)	15/10	15/10	5~7	11	40	15	> 100

OMEGAが2023年に標準化：石英光ファイバが初めて採用

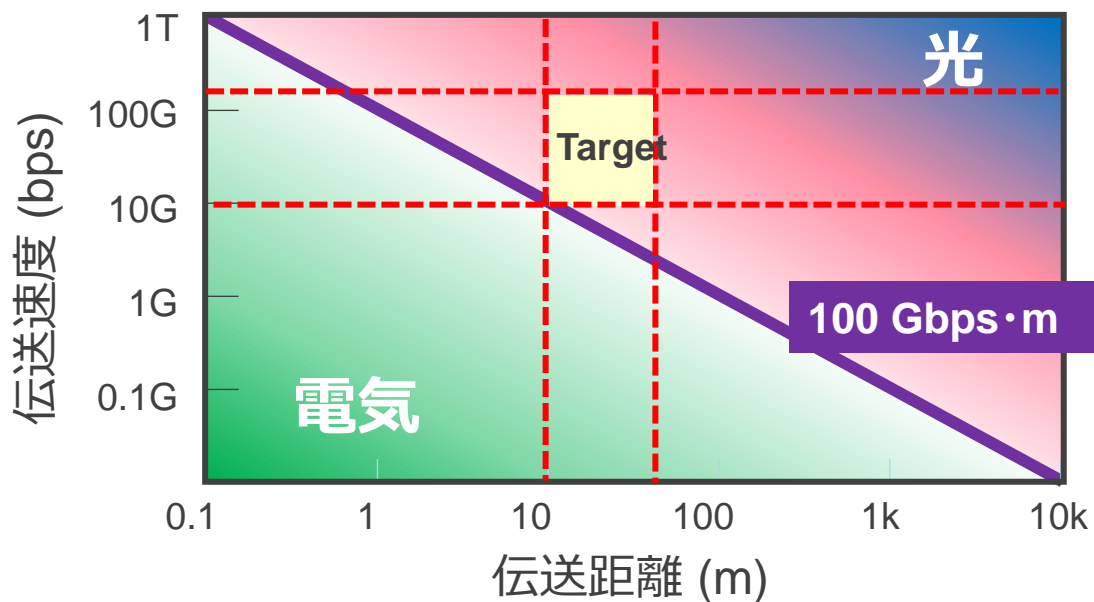


# 車載光通信規格

車載ネットワークの要件項目		目標値（例）	備考
伝送速度(b/s)		1M、10M、25M、50M、100M、1G、2.5G、10G、25G、50G、100G	適用システムによる バックボーン、端末通信
遅延時間		<100μ秒 エンジン燃焼、ブレーキなど <1m秒 走行制御（走る、曲がる、止まる） <10m秒 カメラ、ディスプレイ >10m秒 地図データ伝送	伝送時間の目安
耐環境性	温度	例) AEC Q-100 車載半導体 周囲温度 Grade 0 -40℃～+150℃ Grade 1 -40℃～+125℃ Grade 2 -40℃～+105℃ Grade 3 -40℃～+85℃	エンジンルーム 車内（フロントパネル計器盤上部、下部、床）により最高温度は異なる
	振動	15～500Hz 振動方向(Grms) 上下3.25、左右2.79、前後2.73	駆動系に起因する振動周波数 JASO D014-3
	電磁 (EMC)	放射妨害波測定、伝導妨害波測定 (CISPR25)	グラウンドループ
信頼性（故障率）		初期故障 0.01ppm以下 偶発故障 10～0.01Fit以下 摩耗故障 5～20年（6～40万km）	デバイスの種類により異なる ISO26262
重量(ハーネス)		従来延長 100kg／台 → LAN導入 60kg／台	車載LAN導入により省線化、アルミ電線による軽量化

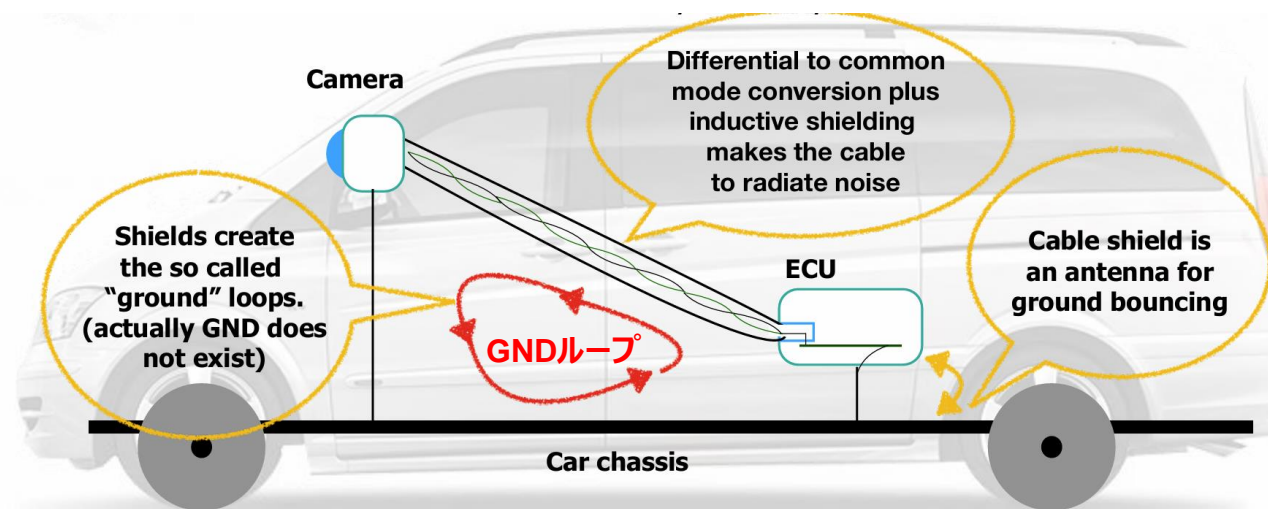
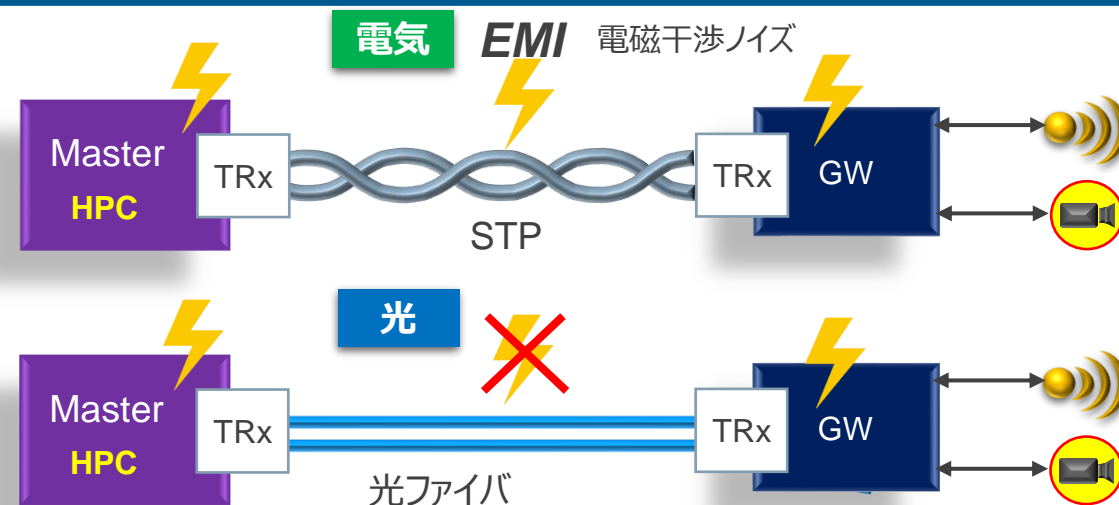


# 車載光通信規格



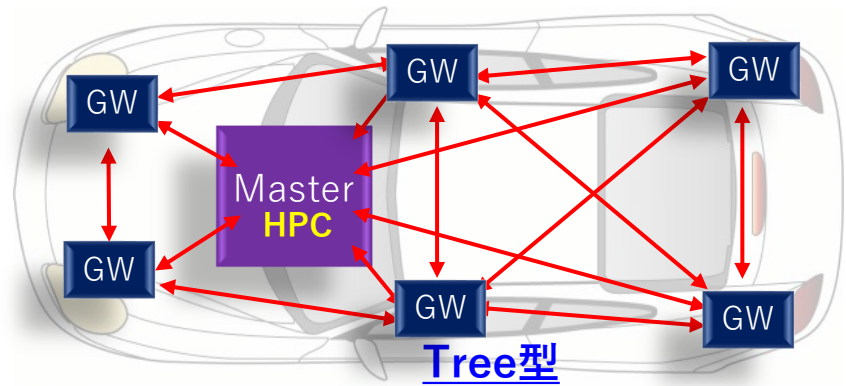
## 【光ファイバ通信】

- 低損失→**長距離**
- 広帯域→**大容量**  
→ 伝送速度による媒体変更なし
- **電磁ノイズの影響なし**
- シールド不要 → **軽量、細径**
- 情報通信分野で**使用実績大**



高周波通信ケーブルのシールドはGNDノイズのアンテナになる。

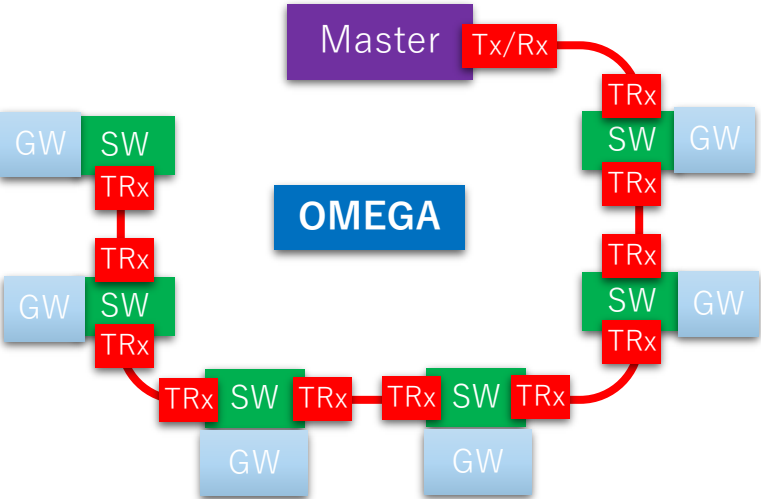




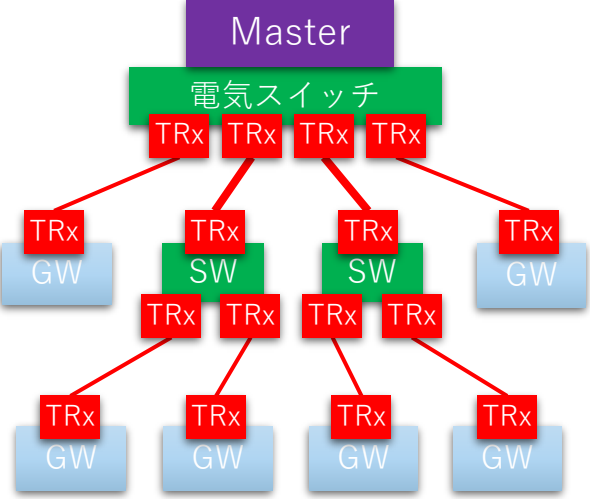
Ring型

Tree型

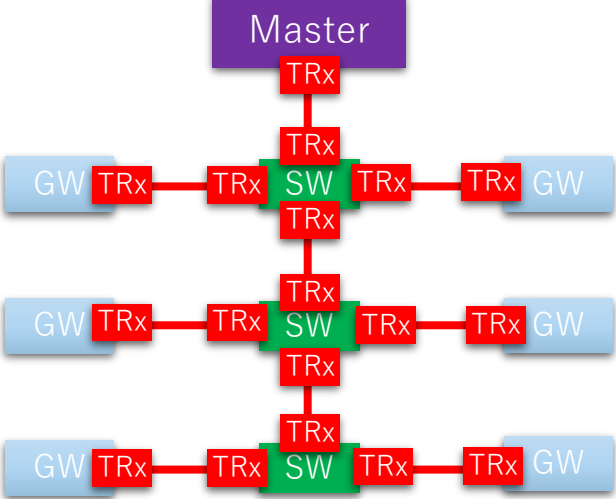
Bone型



- ◆ リンク数 = 6
- ◆ LD数 = 12 個



- ◆ リンク数 = 8
- ◆ LD数 = 16 個



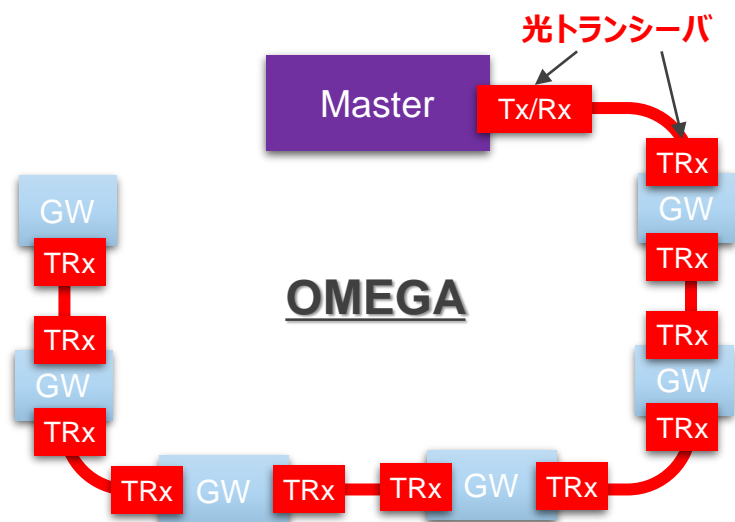
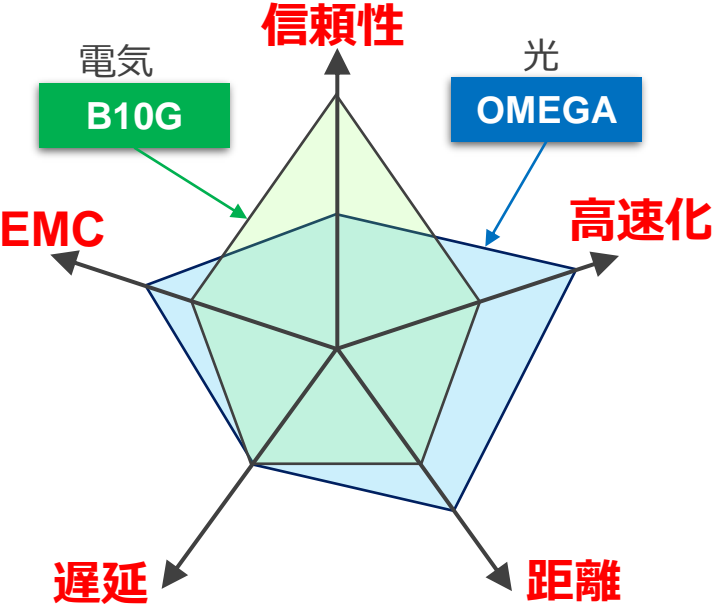
- ◆ リンク数 = 9
- ◆ LD数 = 18 個

$$\text{LD数} = \text{リンク数} \times 2 \text{ (双方向)} \times \text{レーン数} \times 2 \text{ (冗長性)}$$
例) 100 G-OMEGA :  $6 \times 2 \times 4 \times 2 = 96$ 個

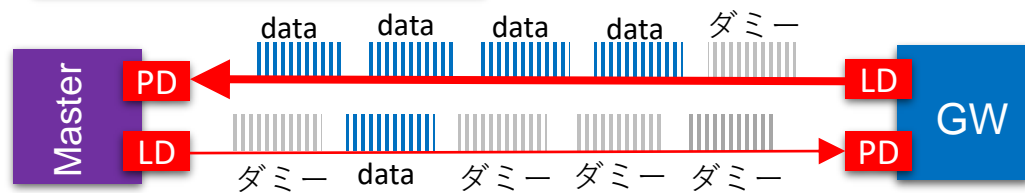


# 大容量車載ネットワーク

	Electrical				Optical
規格	MIPI A-PHY	ASA	PCIe	IEEE802.3cy (B10G)	IEEE802.3cz (OMEGA)
伝送速度 (Gbps)	16	32	64	100 25G x 4ch	50
変調方式	PAM16	PAM4	PAM4	PAM4	PAM4
ケーブル	同軸/STP	同軸/STP	同軸	STP	石英MMF
伝送距離(m)	15/10	-	5~7	11	15



## 光トランシーバの問題点



- ✓ 常に連続動作
- ✓ 上下の帯域は固定

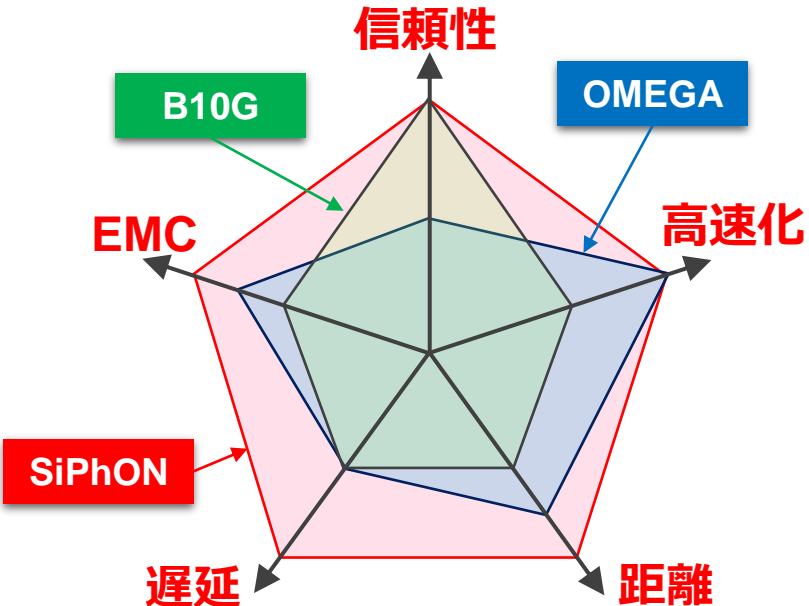
- ◆ 高温環境下では寿命が著しく劣化 (10℃上昇で、寿命は半減)
- ◆ 高速化に伴い、寿命が激減
- ◆ サージ・静電気に極めて弱い



自動運転車に  
光トランシーバを  
多用するのは  
極めて危険！

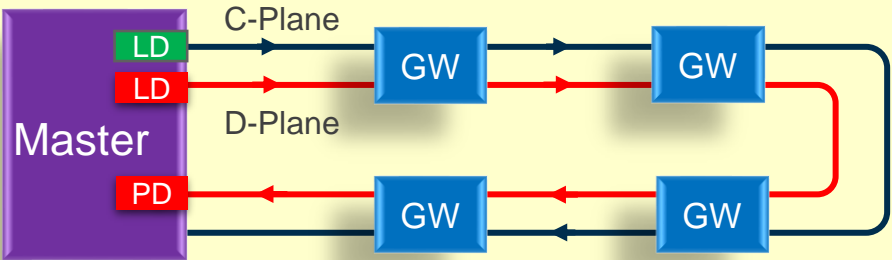


	Electrical				Optical
規格	MIPI A-PHY	ASA	PCle	IEEE802.3cy (B10G)	IEEE802.3cz (OMEGA)
伝送速度 (Gbps)	16	32	64	100 25G x 4ch	50
変調方式	PAM16	PAM4	PAM4	PAM4	PAM4
ケーブル	同軸/STP	同軸/STP	同軸	STP	石英MMF
伝送距離(m)	15/10	-	5~7	11	15



## SiPhON

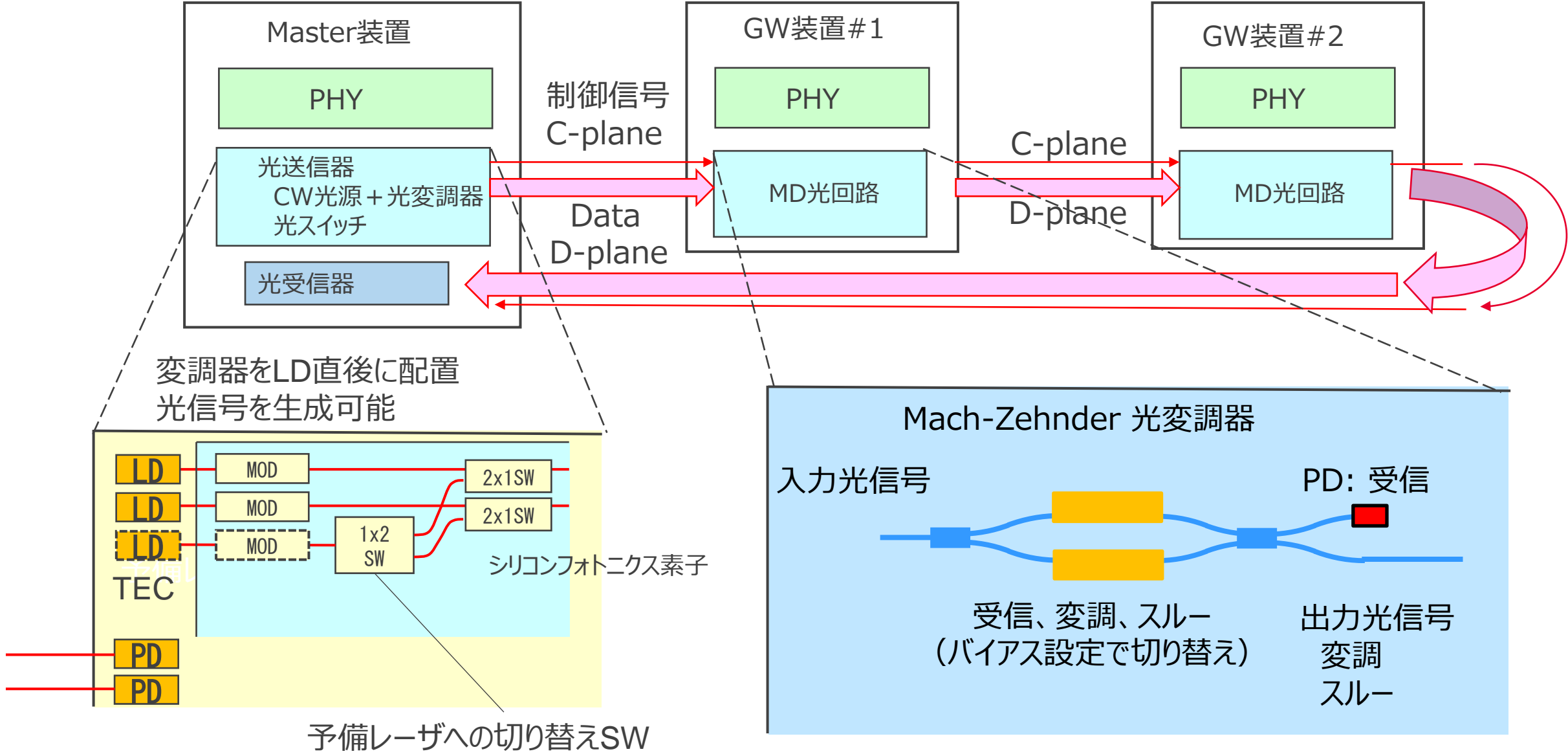
## Si-Photonics-based in-vehicle Optical Network



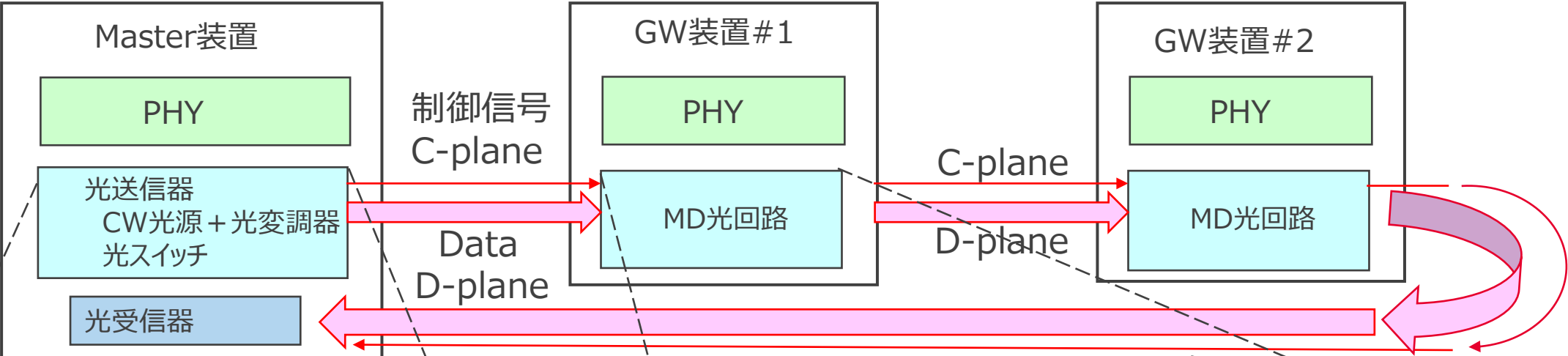
## 大容量車載光ネットワーク

- 信頼性・長寿命 → LD数 ⇒ 1個 (冷却)
- 高速・大容量 → 電気ケーブル ⇒ 光ファイバ
- 耐EMC → OEO ⇒ OOO
- 低遅延 → 電気スイッチ ⇒ 光スイッチ
- 距離の延伸化 → MMF ⇒ SMF

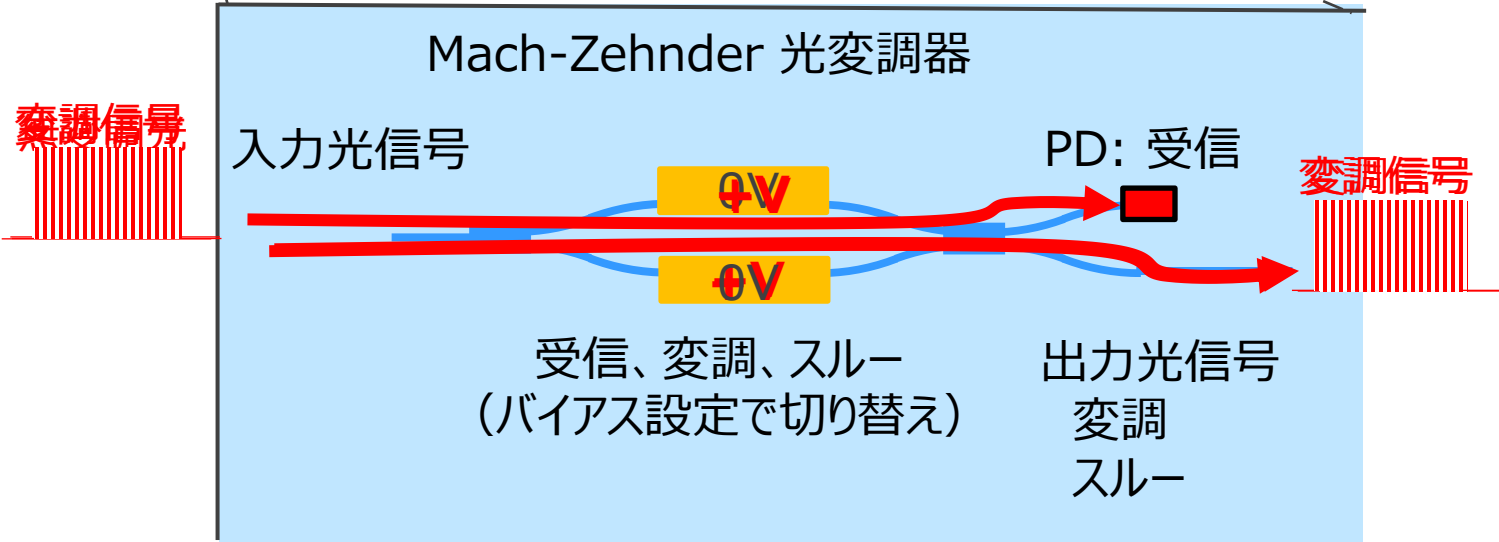
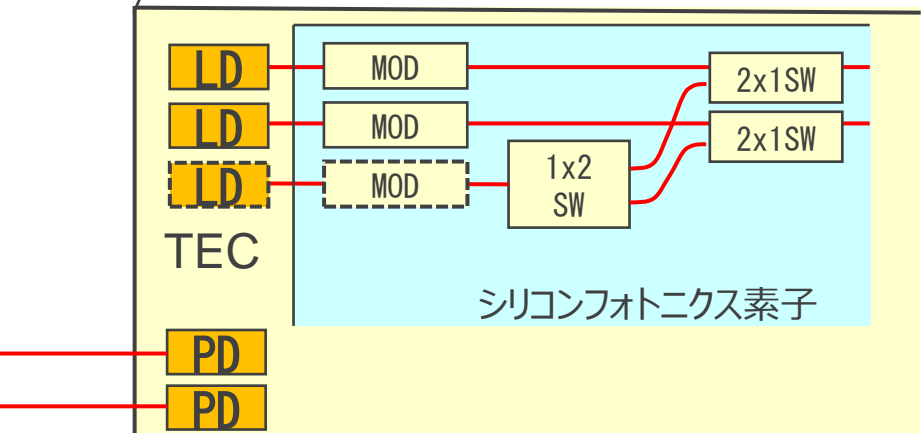








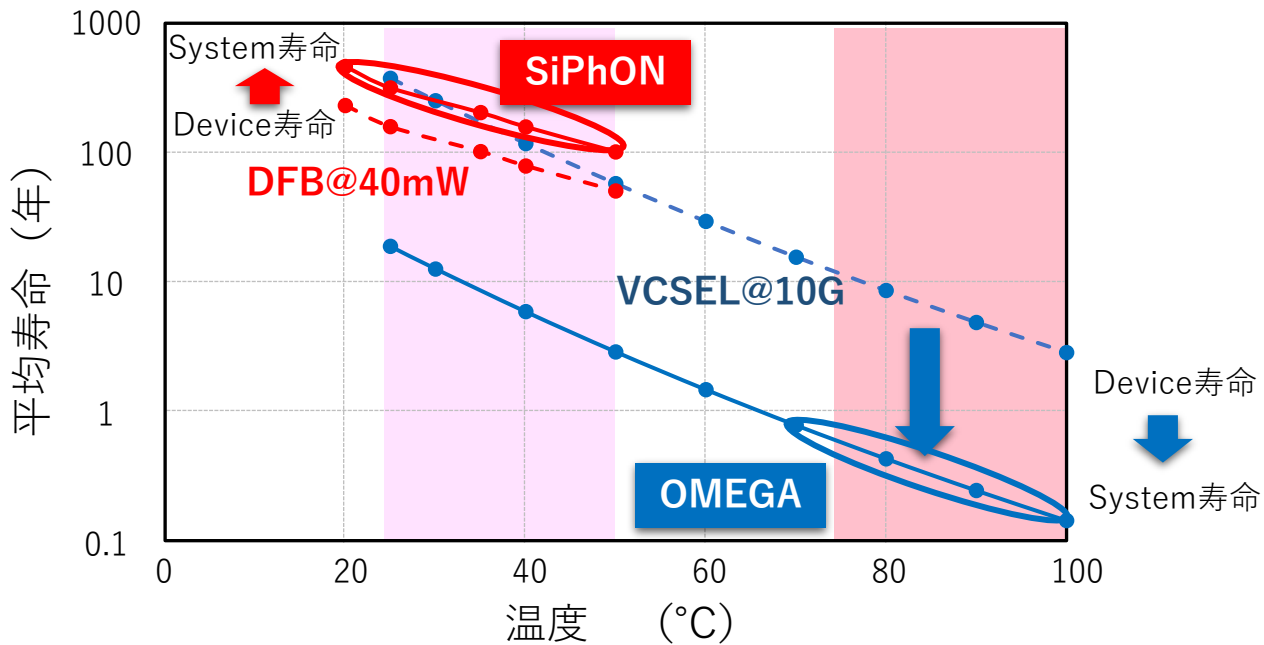
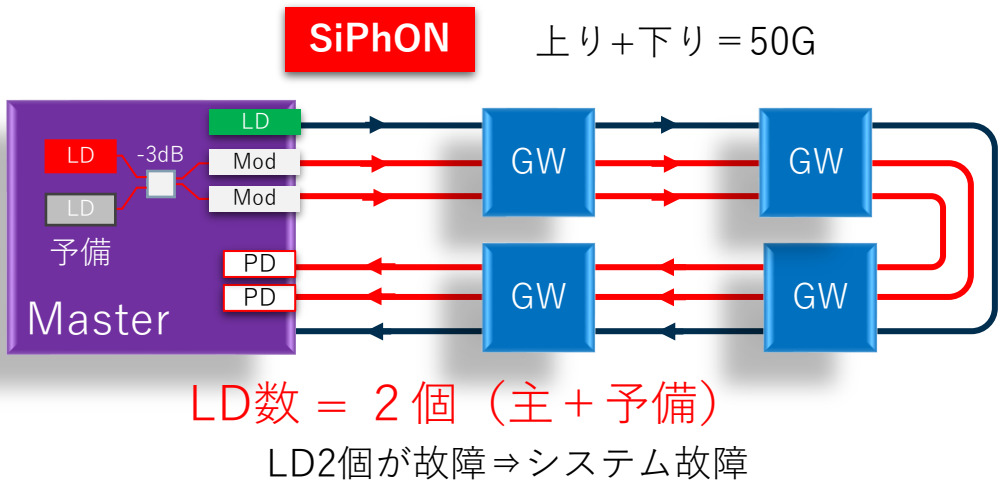
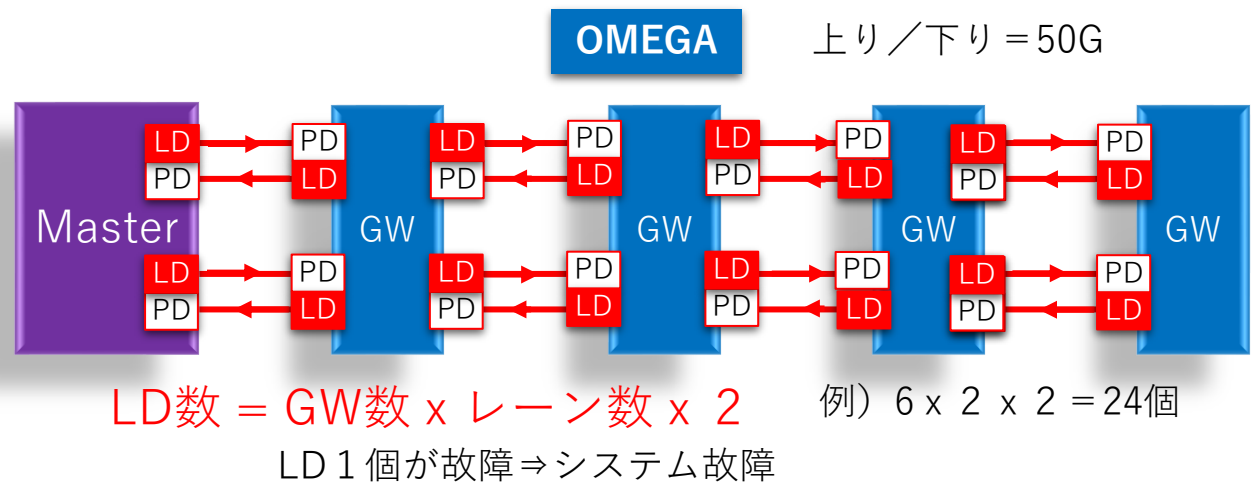
Modulator+Detector MD光回路  
3動作により任意のゲートウェイ装置とマスター装置相互通信



TEOS動作

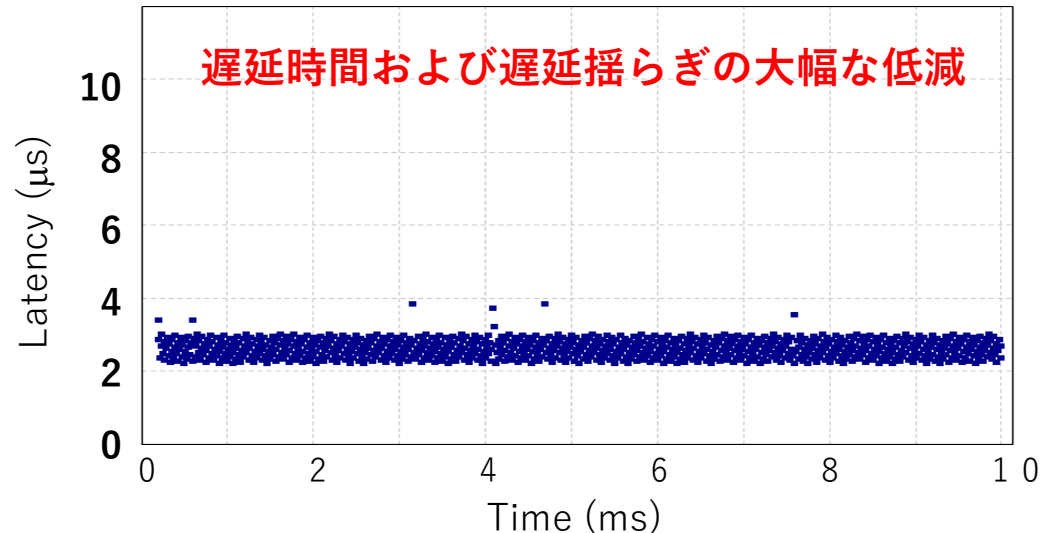
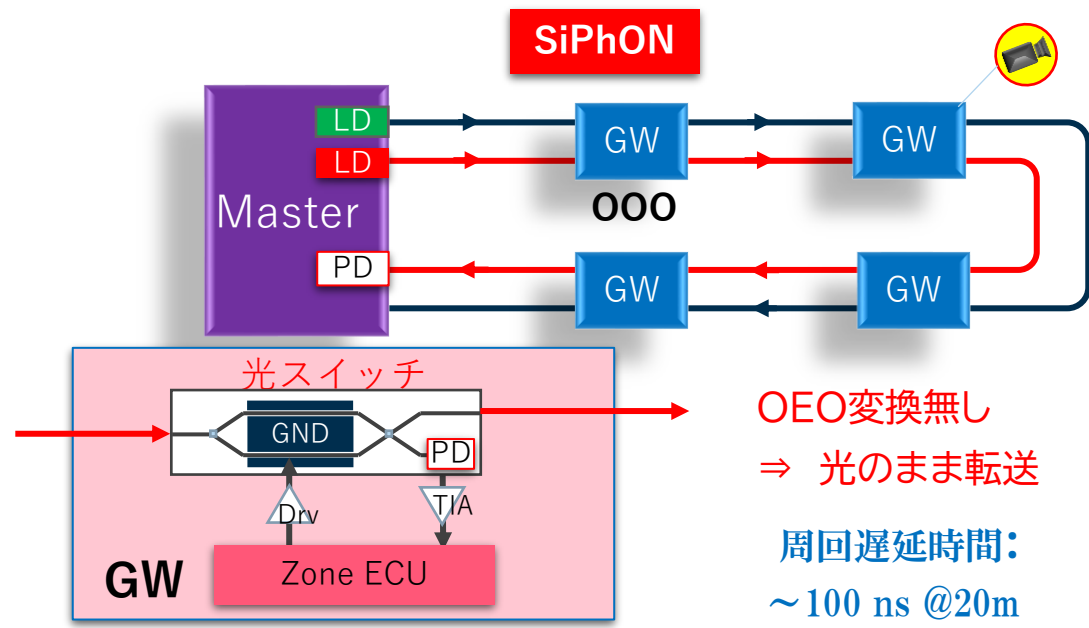
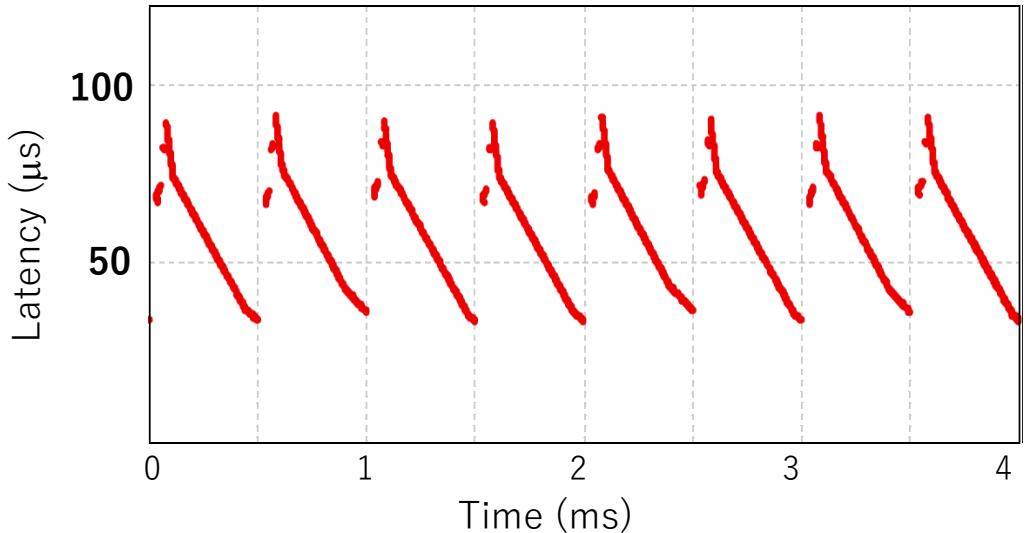
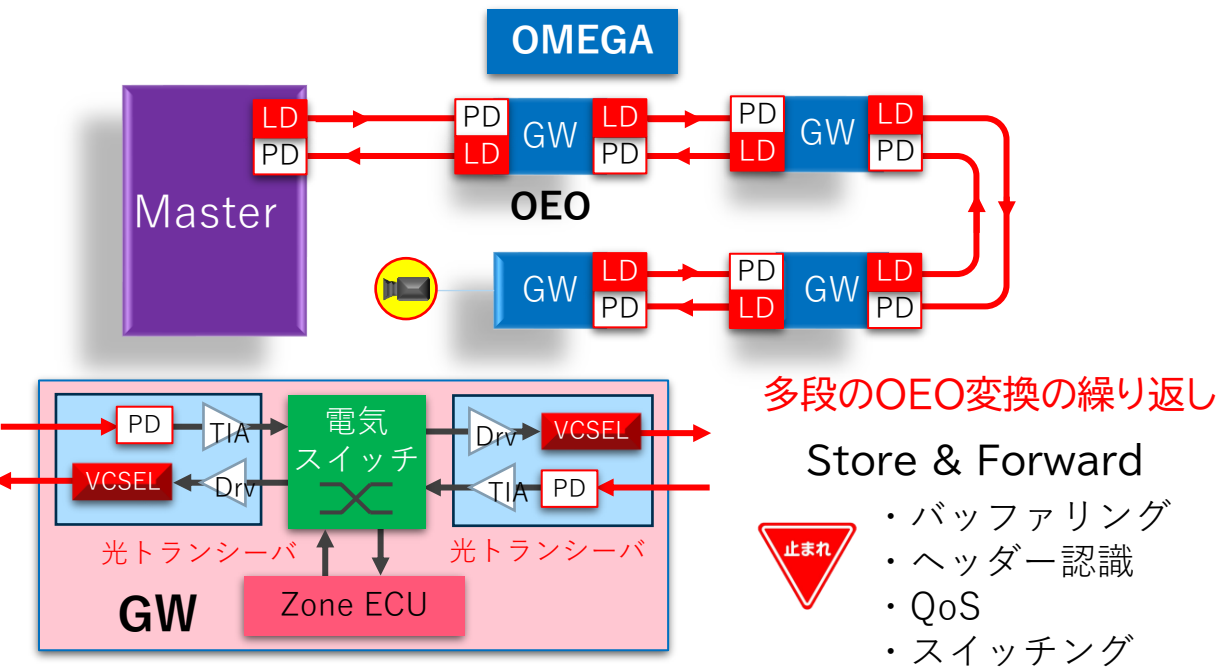


# OMEGA vs. SiPhON ~LD寿命~



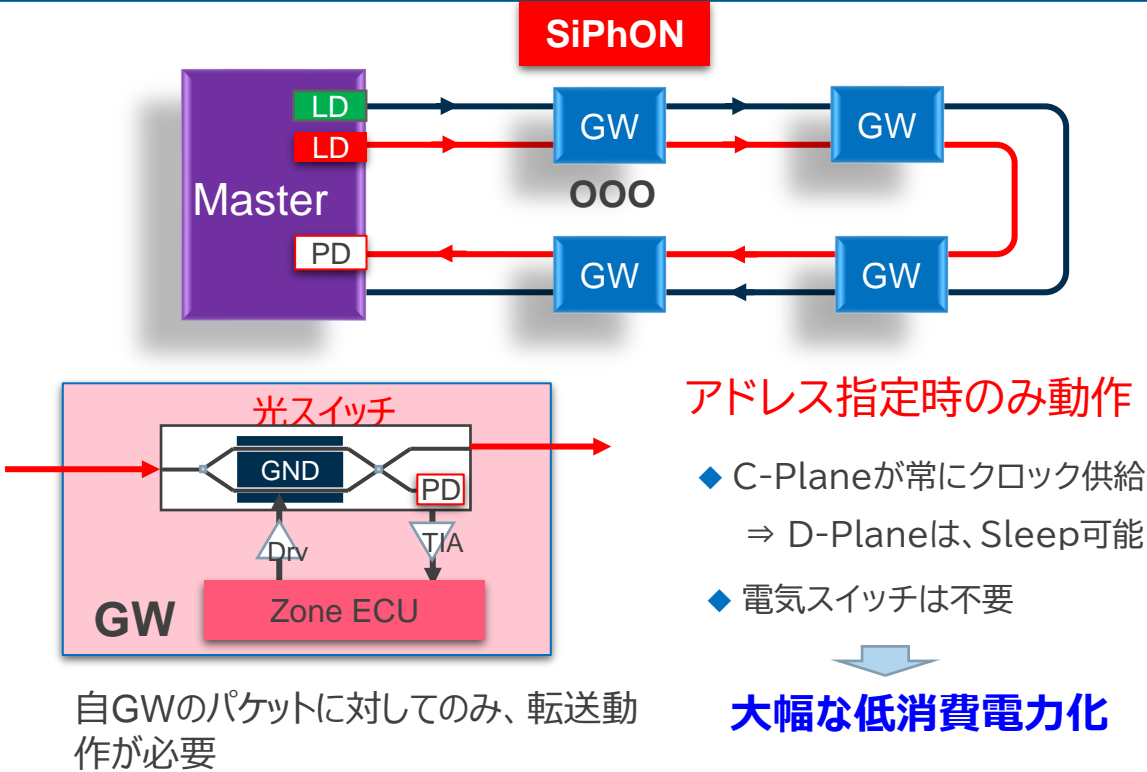
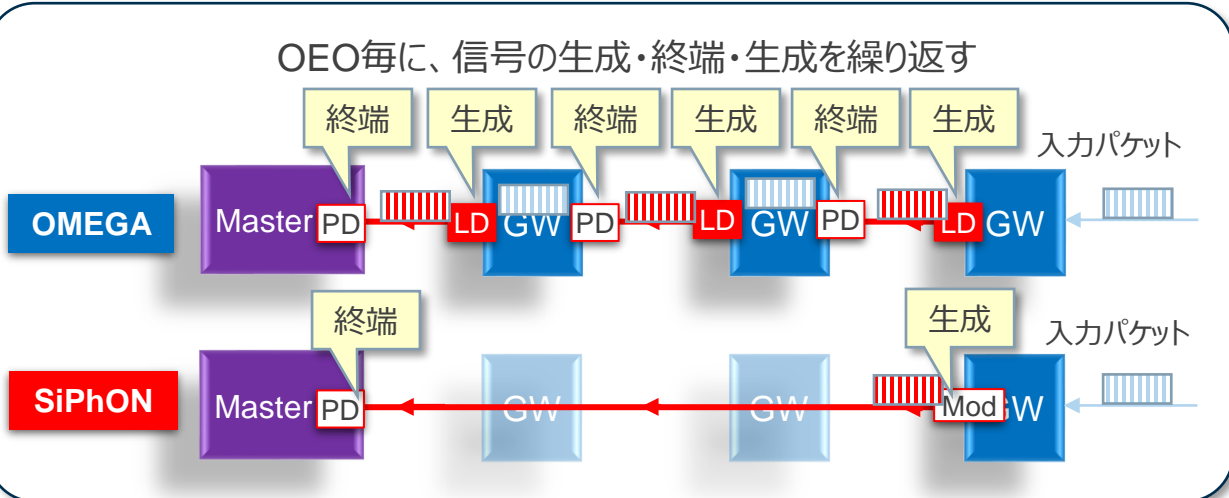
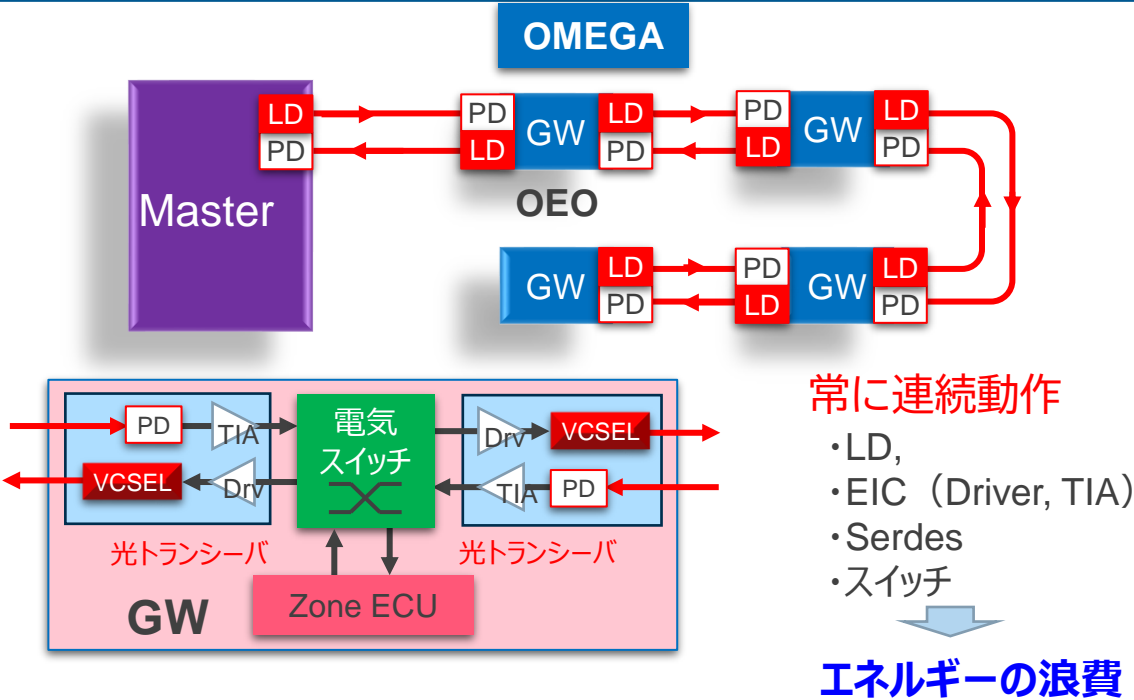


# OMEGA vs. SiPhON ~遅延~





# OMEGA vs. SiPhON ～消費電力～

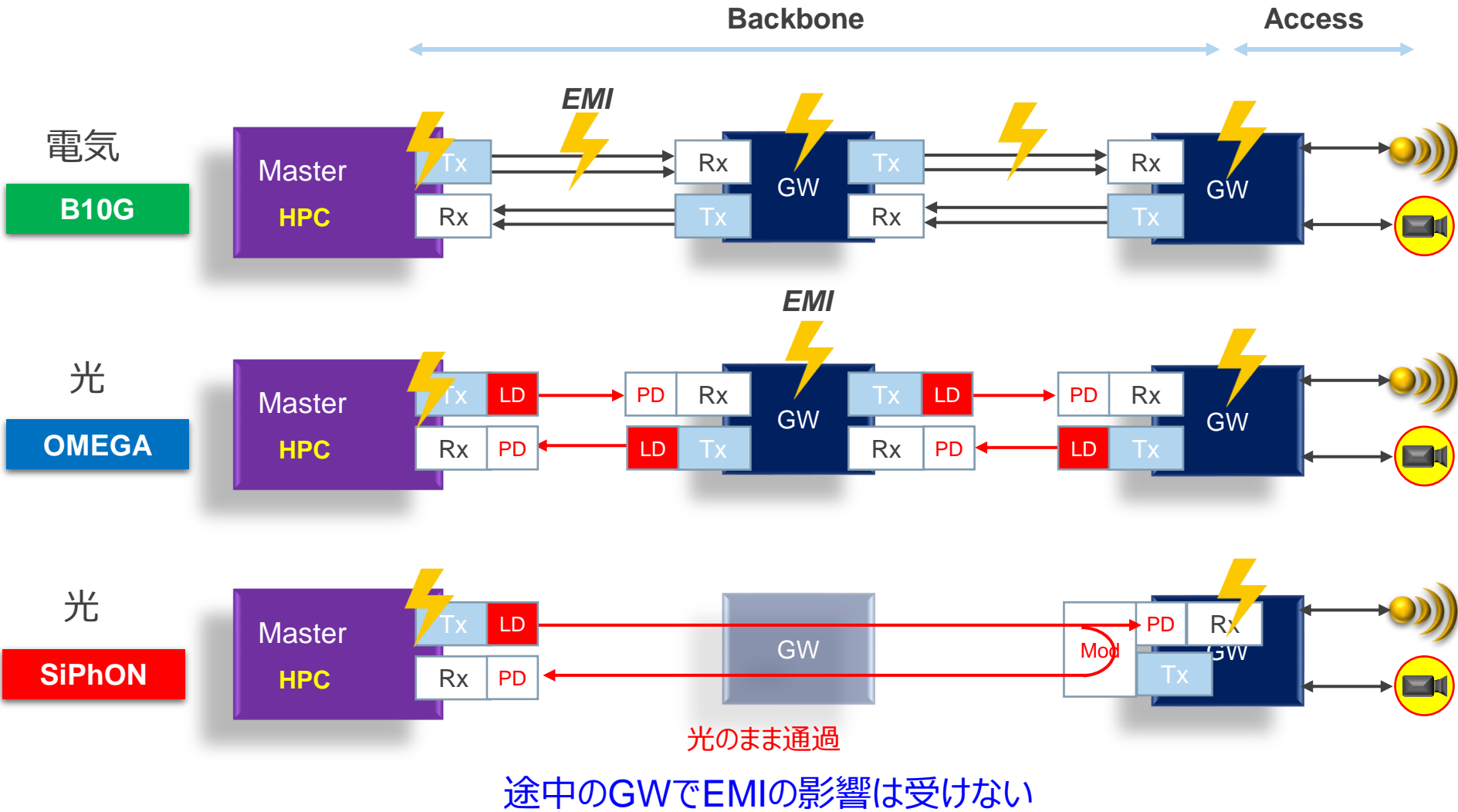


F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
	G2, T					G2, L			
Sleep	G2, T					G2, T			
	G2, T			Sleep		G2, T		Sleep	





# OMEGA vs. SiPhON ~EMC~

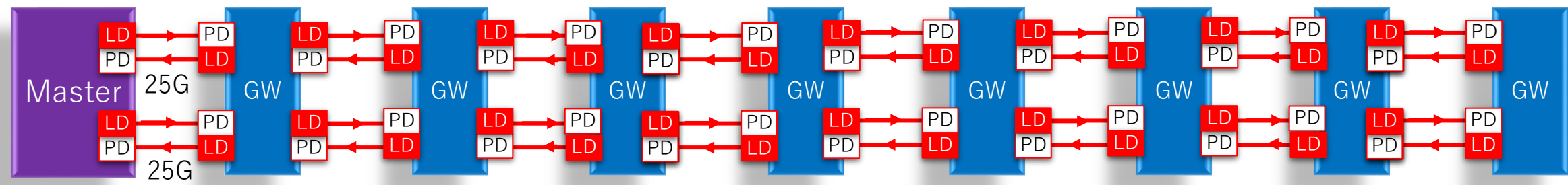




# OMEGA vs. SiPhON ～拡張性～

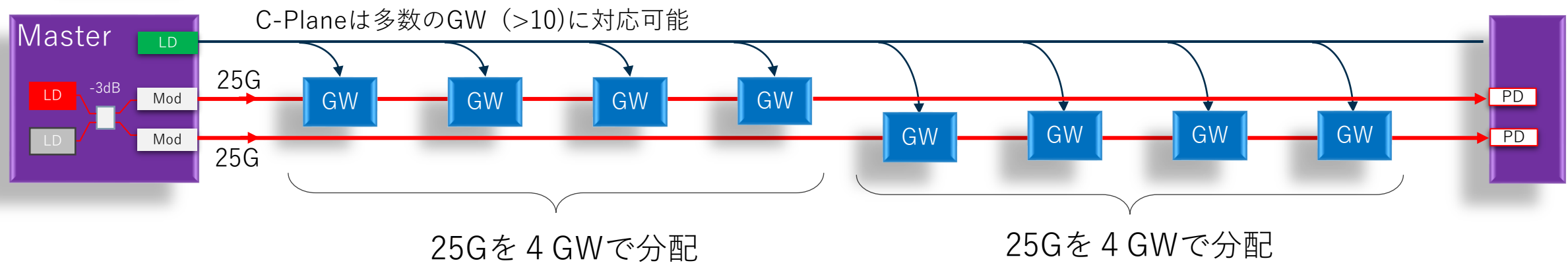
## OMEGA

$LD数 = GW数 \times レーン数 \times 2$



膨大な数のLD、遅延時間の増大

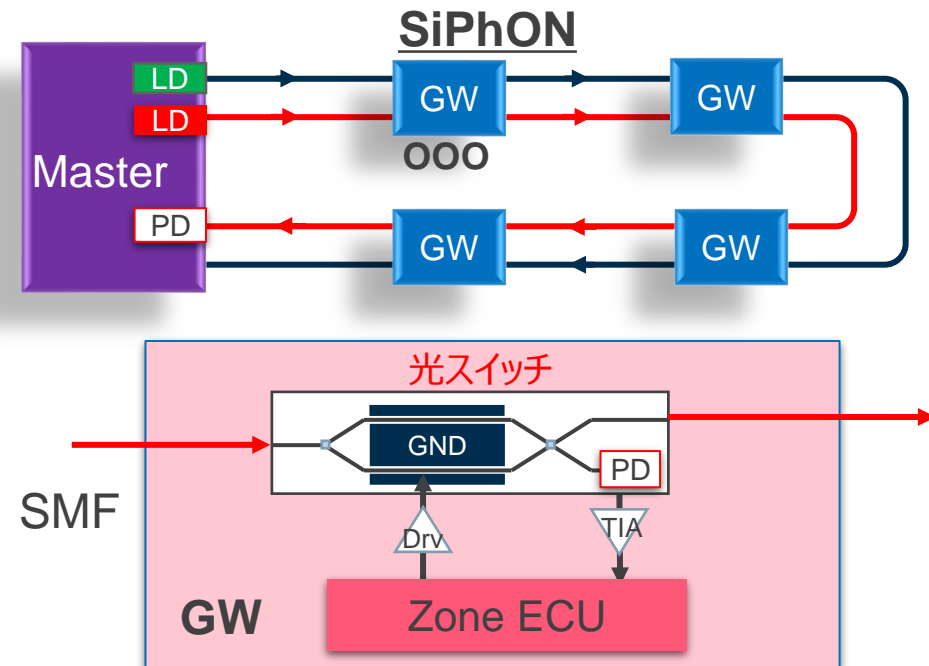
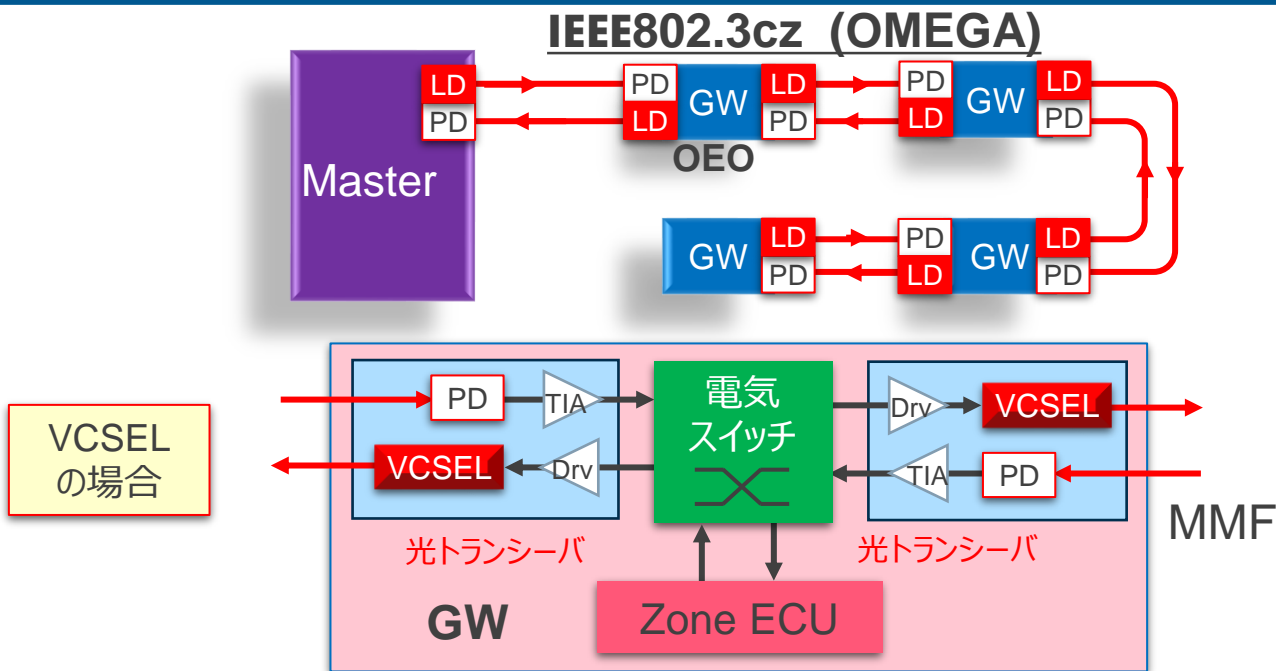
## SiPhON



LD数は2個、遅延時間は一定



# OMEGA vs. SiPhON



遅延  
時間

多段のOEO変換の繰り返し  
※スイッチでは、Store & Forward 止まれ 一時停止

信頼性  
メンテ

- ◆ LDの寿命は、高温・高速動作で著しく低減
- ◆ 車体に埋め込まれたLDの交換が困難

帯域割  
り当て

光トランシーバの帯域は固定  
⇒ 下りでは、帯域の無駄 ※一般的にデータ量は、上り>>>下り

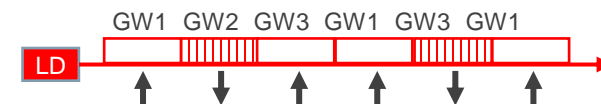
消費  
電力

多くの光トランシーバ/高速電気スイッチが必要  
※ データの有無にかかわらず常に連続動作が必要

OEO変換無し ⇒ 光のまま転送  
周回遅延時間: ~100 ns @20m

- ◆ MasterのLD(CW)は冷却が可能 ⇒ 寿命が大幅に改善
- ◆ LD故障時の交換が容易

上り/下り、各GWに  
帯域を自由に割当て



電気スイッチが不要、LDが削減  
スリープ機能 ⇒ 大幅な低消費電力化



# SiPhONプロジェクト開発体制



アドバイザー

**TOYOTA**  
**DENSO**



シリコンフォトリソによる光  
素子の共同研究開発

通信プロトコル、FPGA機  
能実装に関する共同研究  
開発アプリケーション検討

同期方式、電気実装、  
インタフェースに関す  
る共同研究開発



採択番号 21801

研究開発課題名 高度自動運転に向けた大容量車載光ネットワーク基盤技術の研究開発



# コンセプト実証のためのシステム構成

## システム構成

### ◆ D-Plane データ伝送

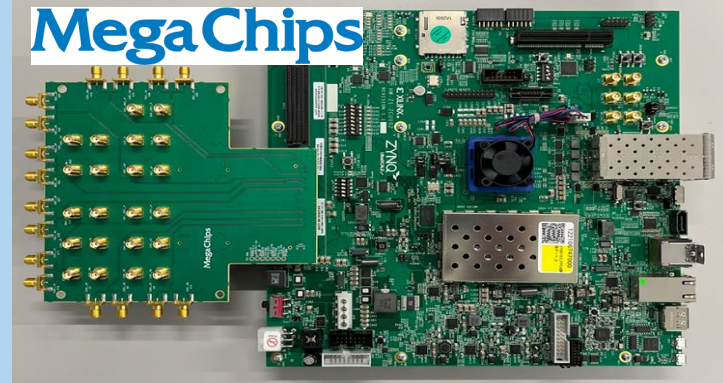
変調速度  $\geq 10\text{Gb/s/レーン}$

目標 $12.5\text{Gb/s}$

#### ● マスター装置

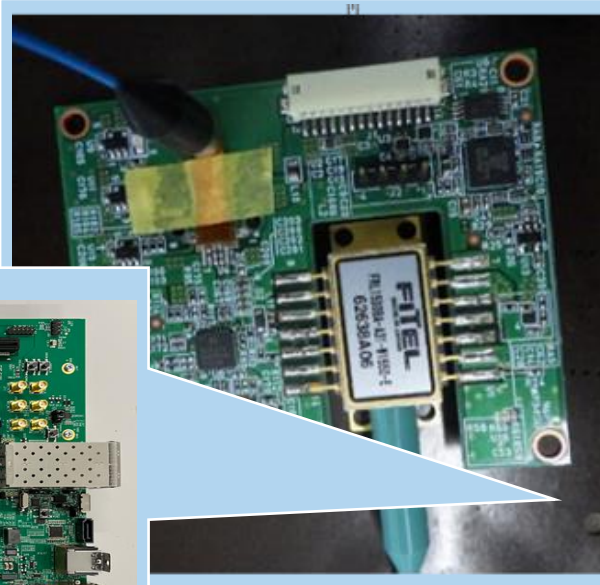
- CW光源 1550nm  
光出力 $> 16\text{dBm}$
- 2ch SiPh変調器・光スイ

**MegaChips**



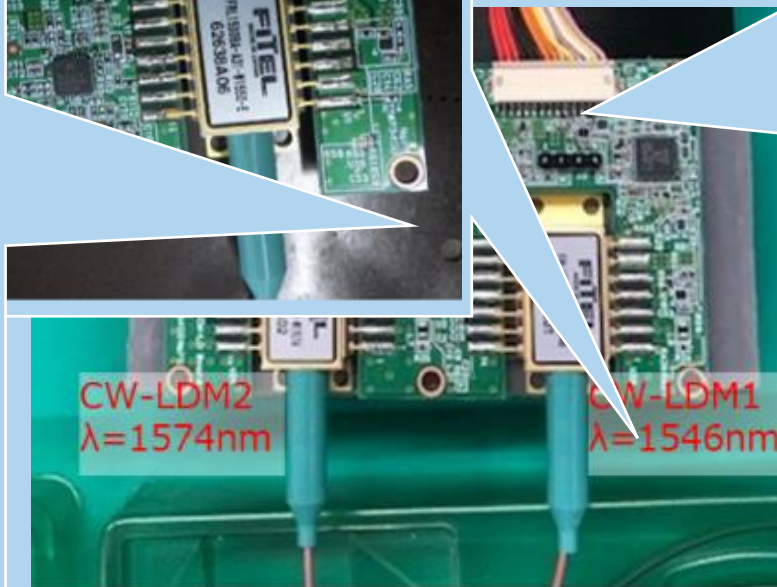
FPGA 評価ボードを使用。  
Ethernetとのインターフェースを担う。  
誤り訂正機能を実装

- 送信 1.25Gb/s Pin-TIA ROSA/LA
- 受信 1.25Gb/s Pin-TIA ROSA/LA



マスター装置

2ch  
10Gb/s  
MZ変調器  
光SW  
MZ変調器



D-plane

シングルモード石英光ファイバ

ゲートウェイ  
装置#1  
MD光回路

ゲートウェイ  
装置#2  
MD光回路



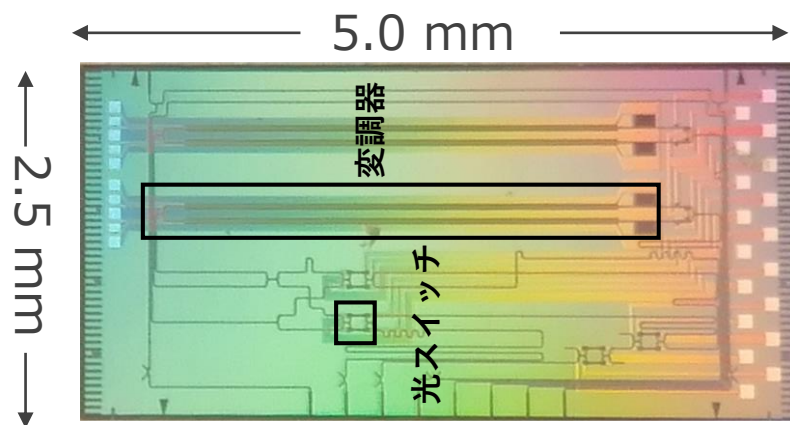
シングルモード石英光ファイバ

C-plane





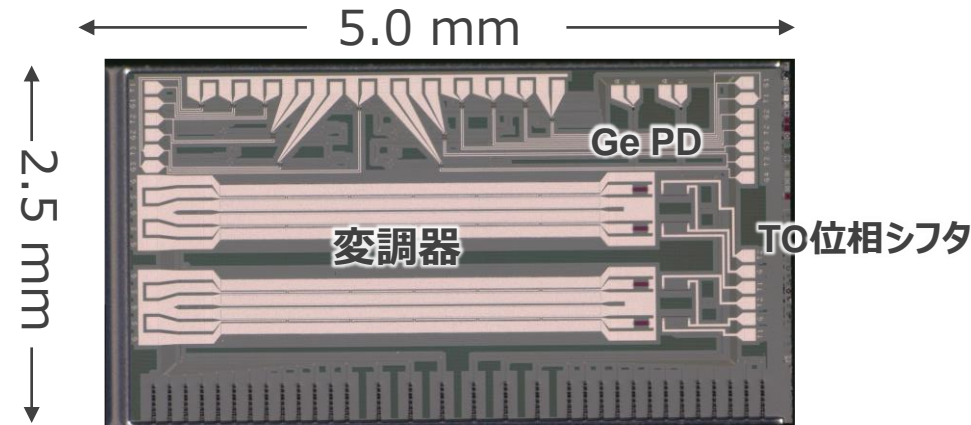
## MASTER用 シリコンフォトニクス素子



光入出力ポート



## Gateway用 シリコンフォトニクス素子(MD光回路)

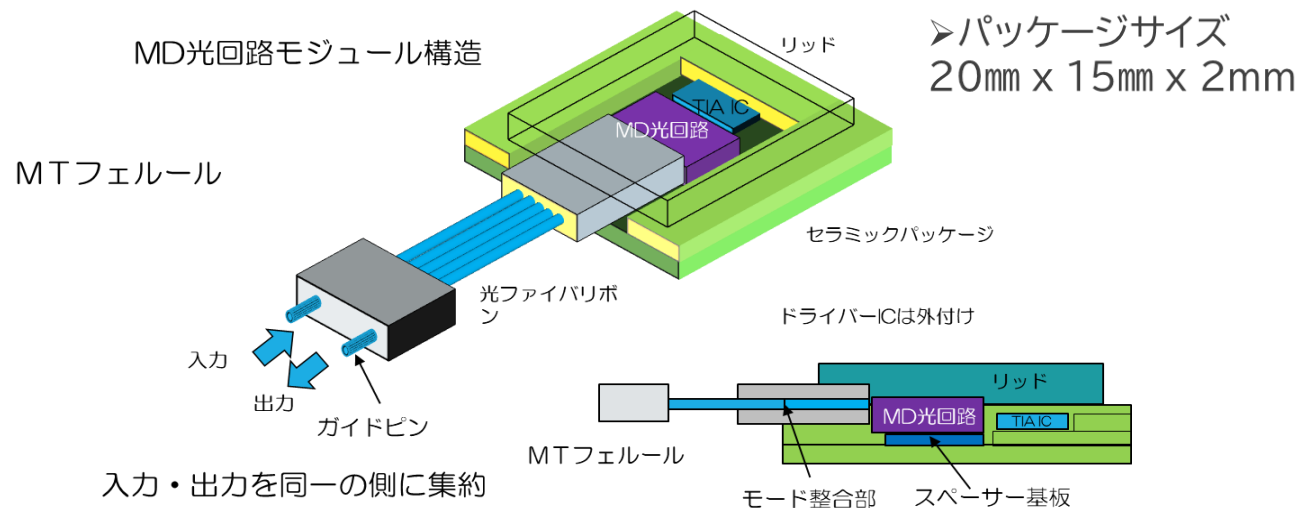


光入出力ポート

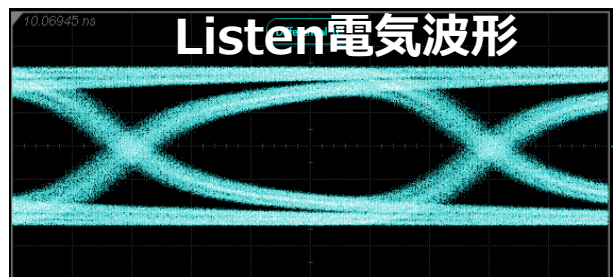
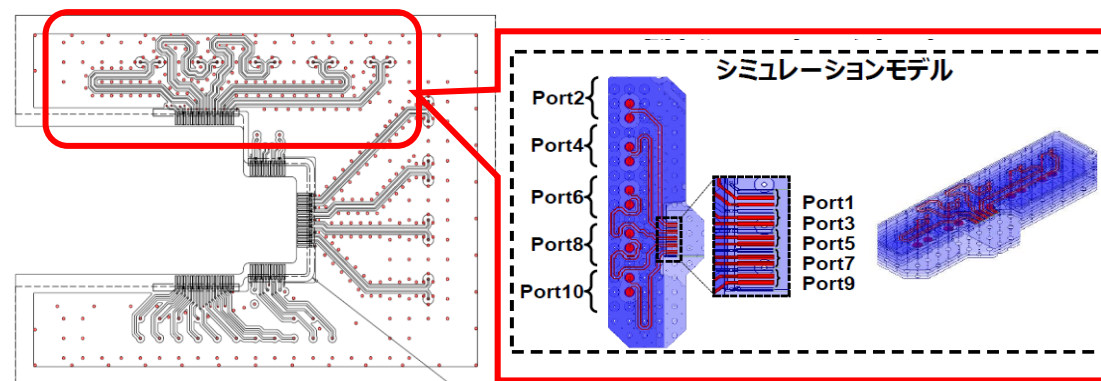
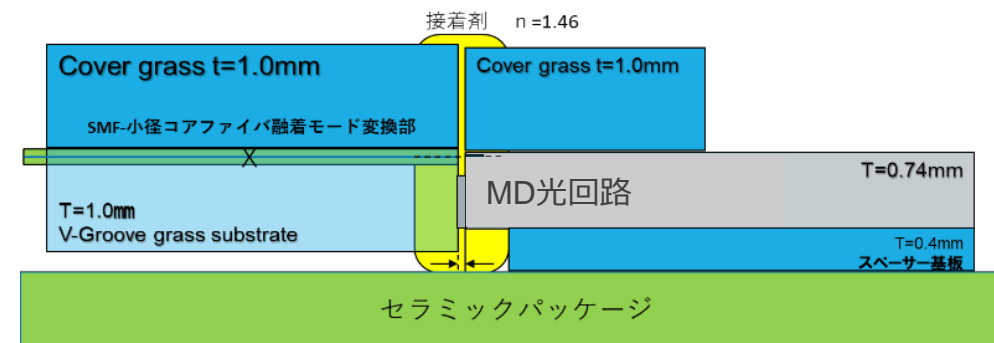
大学にて設計を担当 国内外のファウンドリにてチップを製造  
古河電工にてパッケージに実装、モジュール化を行った。



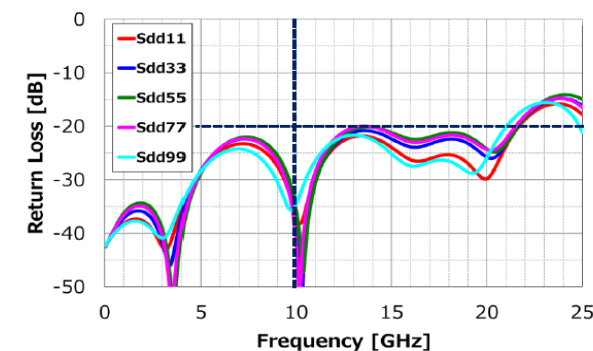
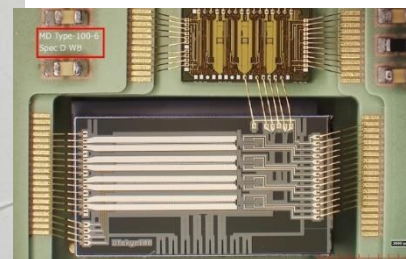
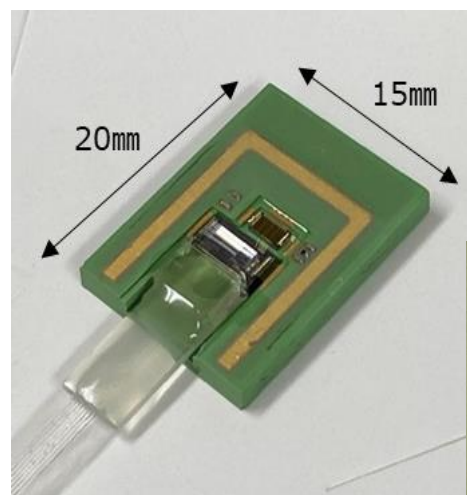
# モジュール設計 ゲートウェイ用MDモジュール



SiPhデバイスに30umのテラスがあり、ギャップを許容する場合：0.5～0.8 dBのロス増  
→ MFD 7.5um Fiber でのTotal 1.6dB

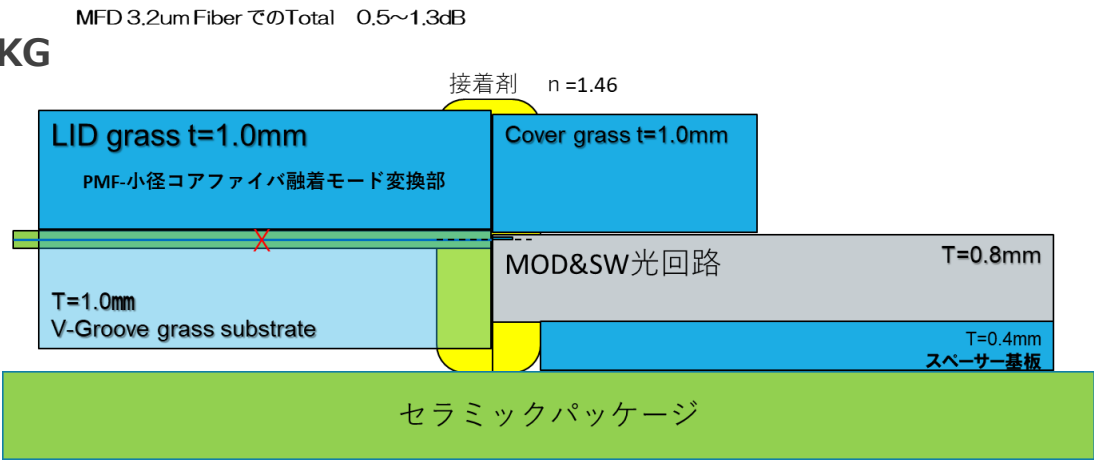
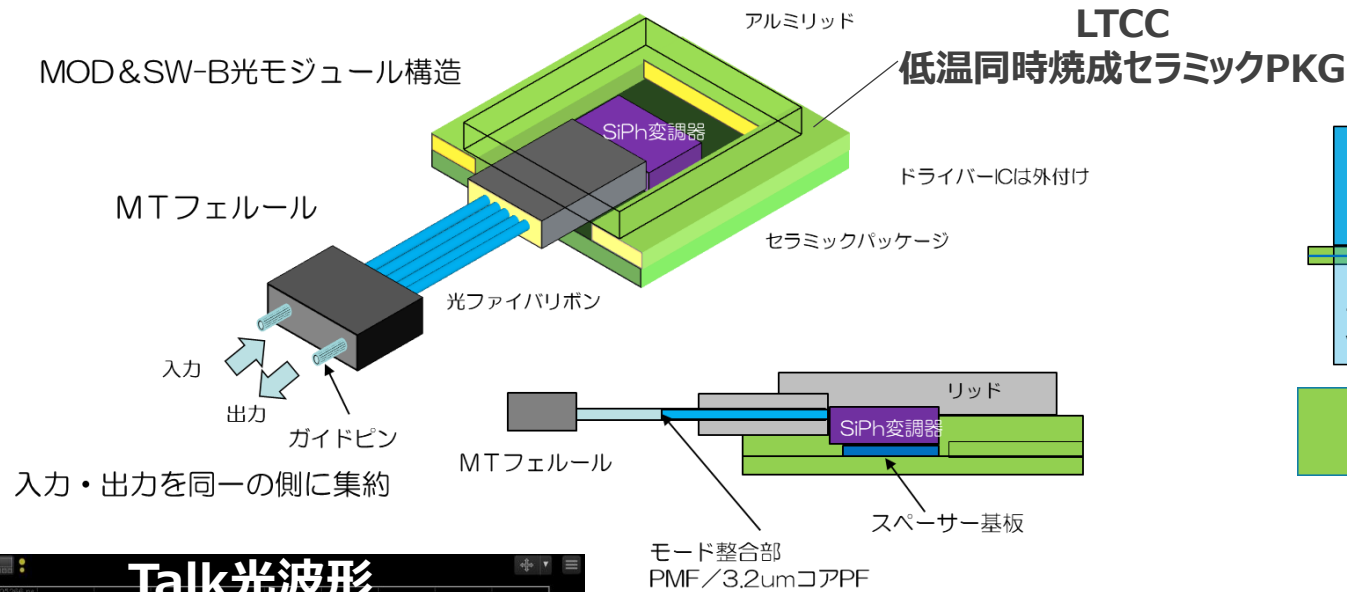


MD 光モジュール

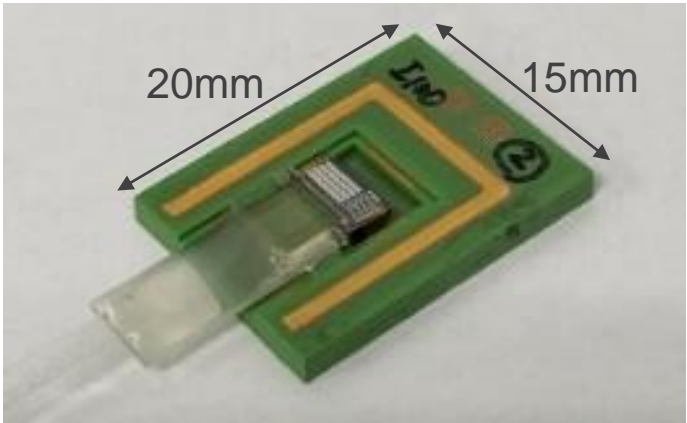




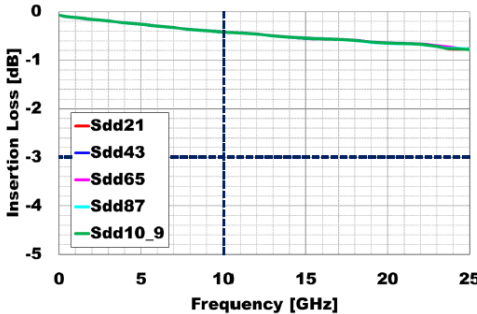
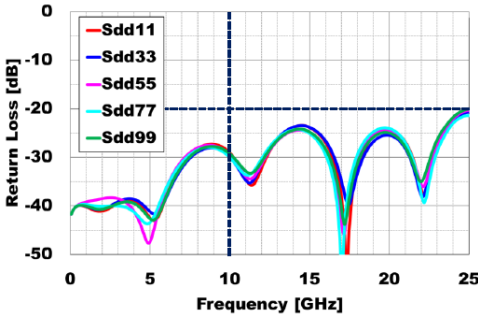
# モジュール設計 MASTER用変調器モジュール



マスター用変調器モジュール  
光モジュール



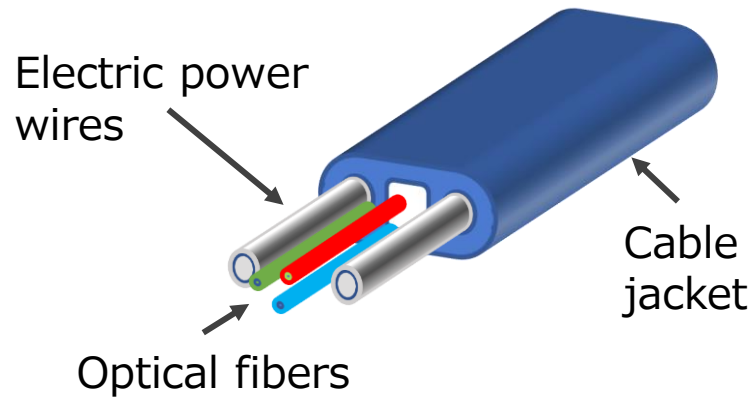
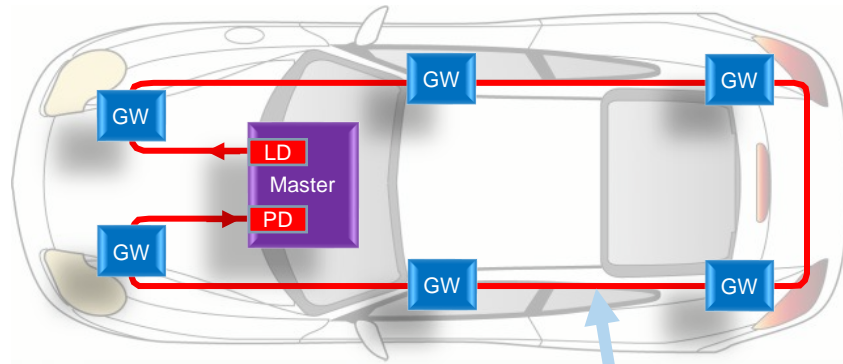
S11<-20dB @0~20GHz  
S21>-3dB @0~20GHz





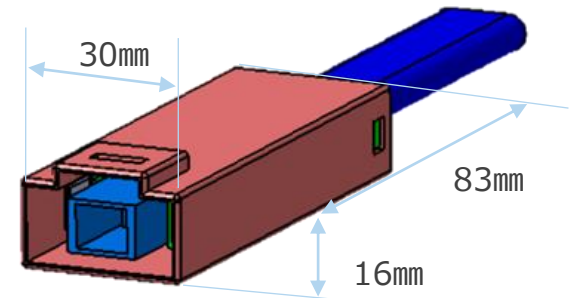
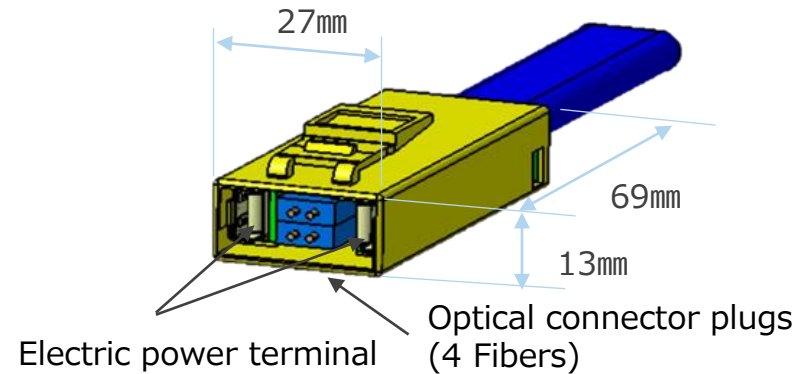
# 光ファイバケーブル

## FASPULS® : Flexible Automotive Signal and Power Unified Line System

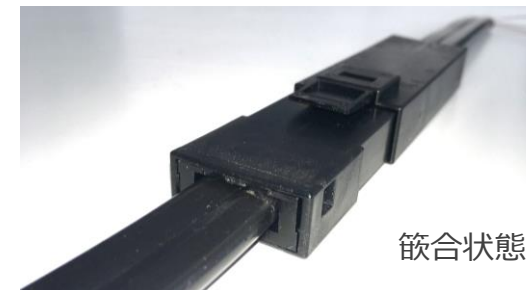


- 電源線と光ファイバの統合
- 一括接続、配線集約

極めてシンプルかつ簡易な接続

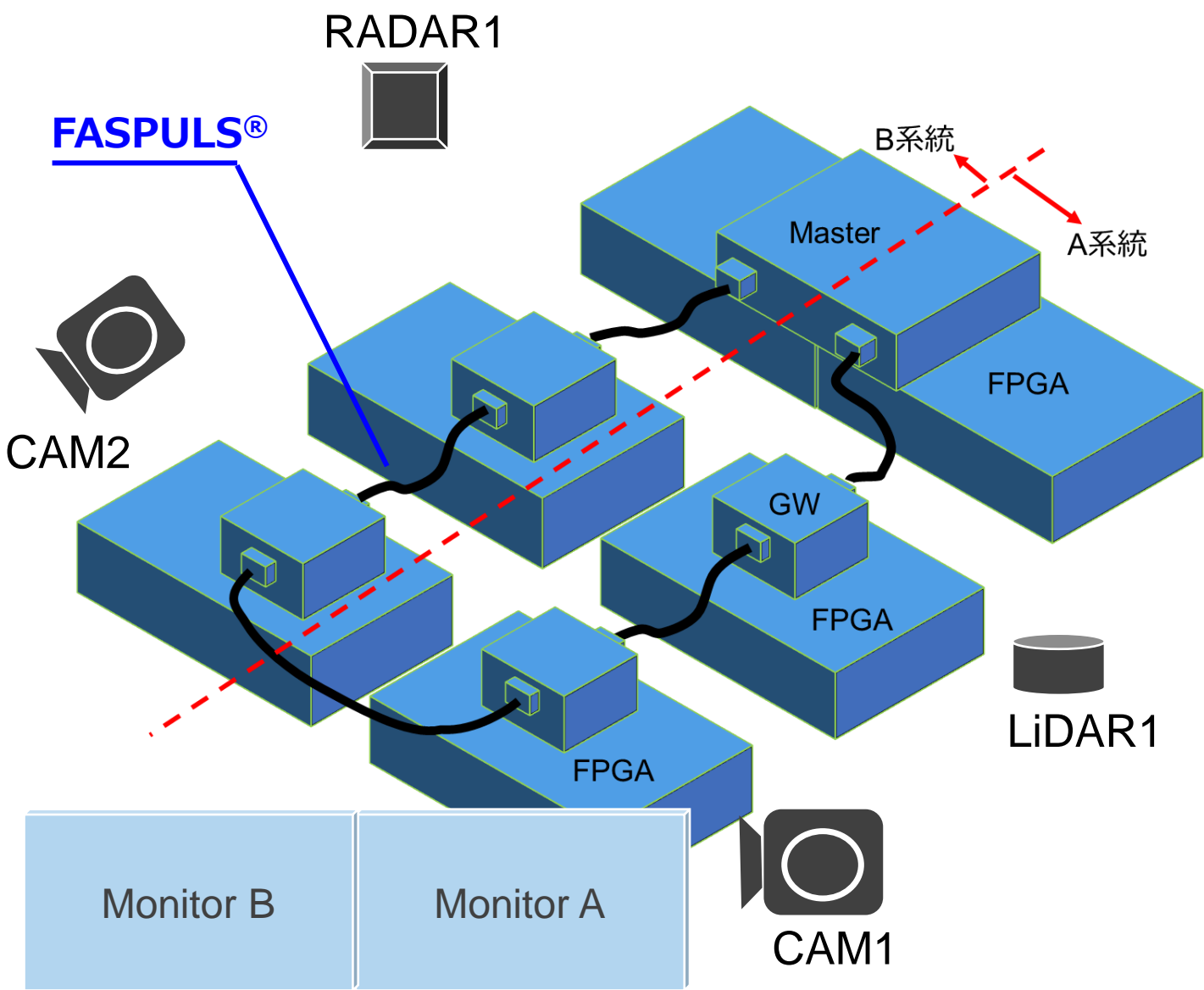


SMF光接続損失  $\leq 0.2$  dB  
@1550 nm  
電流容量 50 A x2





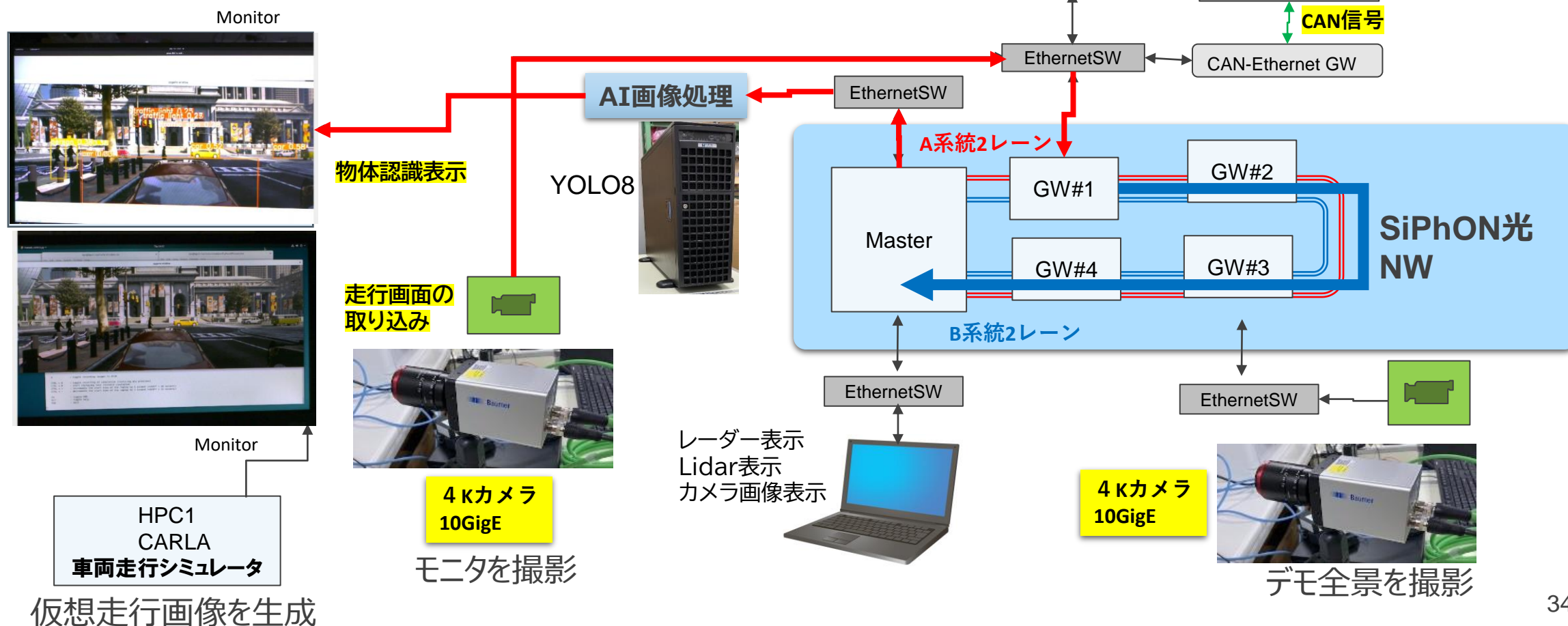
# SiPhON光伝送システム





## 大容量の画像データを遅延なく伝送できることを実証

仮想走行画像を生成 GW装置へ4Kカメラ2台低速なCANインターフェースの  
低速データを重畳 SiPhON上でGWからマスターへ伝送





- 既存の車載通信規格と比較し、拡張性、電磁両立性などあらゆる側面にて優位である通信システムSiPhONを提案し、その実証試験のためのキーデバイスを開発した。
- 4Kカメラ、CANインターフェースのレーダー等のセンサ情報をEthernetスイッチを介し、SiPhONデモシステムに取り込み遅延なく伝送するデモンストレーションを実施した。
- 複数台の変調器モジュールをカスケード接続して、相互通信できることを確認したが、変調器デバイスのロスが大きいため、ゲートウェイの接続台数は限定的である課題を抽出した。



## 完全自動運転のための高性能かつ高信頼な車載光ネットワーク基盤技術の研究開発 コヒーレント光フレームスイッチ方式を用いた車載通信システムの拡張性向上と省電力化に 関する研究開発

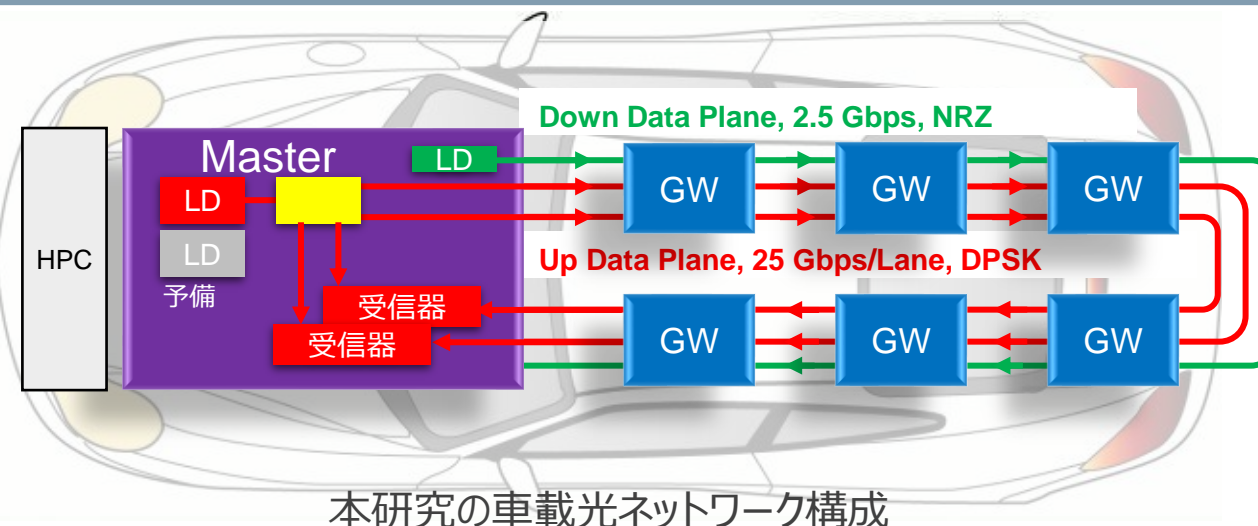
**研究概要：**石英系シングルモード光ファイバを用いた「高速・大容量」、ゾーン分割構成と任意な帯域割り当てによる「多数・任意接続性」、マスター装置の単一光源による「高信頼性（長寿命）」、全光フレームスイッチ方式による「極低遅延」、電気スイッチ代替による「省電力」、非対称通信に対応するネットワーク構成、光の差動信号を用いた「高EMC性能」、各ゾーンに配置されたゲートウェイ（GW）装置の簡素化とスリープモードによる「極低消費電力」、および、極低損失光位相変調器を用いたネットワークの「拡張性」を兼ね備え、従来技術を大幅に凌駕する性能及び信頼性を持つ車載光ネットワークを実現する。

**光源（LD）はMasterのみに配置**し、一定温度以下に管理（故障時は、予備に切り替え）

**大幅な信頼性の向上**  
( > 10倍の長寿命 )

**オール光のフレームスイッチ方式**を  
採用。GWを光のまま通過し、  
OEO変換は一切行わない

**大幅な遅延性能の向上**  
( $< 1/10$  の低遅延)



- ・光差動信号**DPSK**を採用
- ・極低損失**TFLN**を採用
- ・アナログ**ホモダイン**検波

大幅なEMC性能の向上  
GW数の拡張性の向上

- ・電気スイッチの削除
- ・ドライバ、TIA等の削減
- ・GWのドライバは指定時のみ動作  
(Sleep mode)

**大幅な低消費電力化**  
( $< 1/5$  の省電力)

【研究開発期間】 令和6年度から令和8年度まで

【受託者】 学校法人慶應義塾 慶應義塾大学（代表研究者）、古河電気工業株式会社、公立大学法人滋賀県立大学、国立大学法人東海国立大学機構  
岐阜大学、国立大学法人大阪大学、株式会社ファストリンクテック



# 謝辞

本研究開発は、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT（エヌアイシーティー））令和2年度～令和5年度委託研究（#21801）「高度自動運転に向けた大容量車載光ネットワーク基盤技術の研究開発」および令和6年度委託研究（#23701）「完全自動運転のための高性能かつ高信頼な車載光ネットワーク基盤技術の研究開発」のによるものです。本研究の推進にあたり、お世話になっております皆様に感謝を申し上げます。

津田裕之・久保亮吾(学校法人慶應義塾)  
中野義昭・種村拓夫(国立大学法人東京大学)  
村田正幸・荒川伸一(国立大学法人大阪大学)  
金銅恒・天宮泰・金（株式会社メガチップス）  
岩瀬正幸・森本政仁・川原啓輔(古河電気工業株式会社)  
高橋亮・山本直克・松本敦(NICT)  
(敬称略)





ご清聴ありがとうございました  
Thank you

---

古河電工グループ パーパス

「つづく」をつくり、  
世界を明るくする。

