

## 1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆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
- ◆副題 多機能光集積回路を利用した高信頼大容量車載光ネットワークの研究開発
- ◆実施機関 (学) 慶應義塾、古河電気工業(株)、(株)メガチップス、(大) 東京大学、(大) 大阪大学
- ◆研究開発期間 令和2年度～令和5年度(4年間)
- ◆研究開発予算(契約額) 令和2年度から令和5年度までの総額640百万円(令和3年度160百万円)

## 2. 研究開発の目標

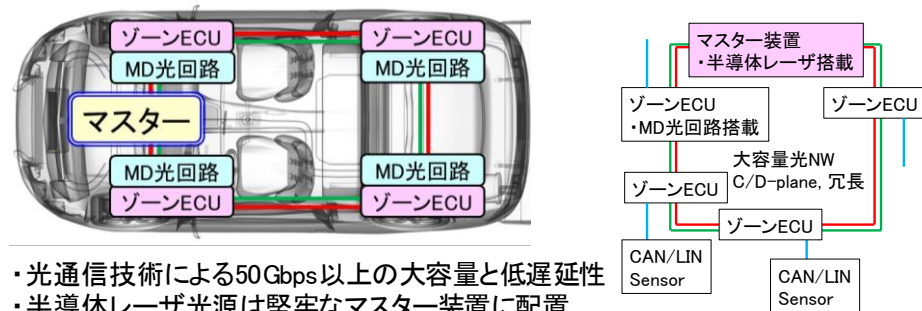
- ・50Gbps以上の伝送容量を有し、100Gbps以上の容量に拡張可能な車載光ネットワークを実現する。シリコンフォトニクスプラットフォームに新規の構造を導入し、低損失かつ高速変調可能な車載用光回路を実現する。また、ゾーン分割型で冗長性を有し、装置間の伝送容量を可変とする。

## 3. 研究開発の成果

### 研究開発目標

#### 研究開発項目1: 車載光通信装置の開発

プロジェクト名: SiPhON (Silicon Photonics-based in-vehicle Optical Network)

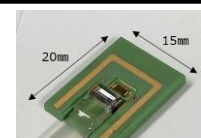


- ・光通信技術による50Gbps以上の大容量と低遅延性
- ・半導体レーザ光源は堅牢なマスター装置に配置
- ・経路冗長構成による高信頼設計
- ・シリコンフォトニクス技術による集積化、低消費電力化、低コスト化

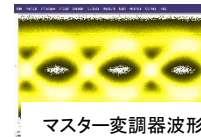
### 研究開発成果

#### 研究開発項目1: 車載光通信装置の開発

- ・シリコンフォトニクスによるマスター光回路およびMD光回路を試作し、モジュール化して10Gb/s変調及び受信動作を確認した。厚膜シリコンフォトニクスによる光変調器、偏波分離器の設計を行った。
- ・模擬ネットワークを構成し、ゲートウェイ部における、Listen/Talk/Throughの基本動作を実証した。
- ・高耐熱光ファイバと電源線を複合したケーブルとコネクタを考案し、電源端子と4心光コネクタを一括接続する車載光ハーネスの設計及び試作を行った。
- ・高速IF、誤り訂正含む符号化処理をFPGAに実装し実測で機能を検証した。
- ・周波数同期機構をFPGAに実装し、装置間同期を維持した通信を実証した。



MD光回路モジュール

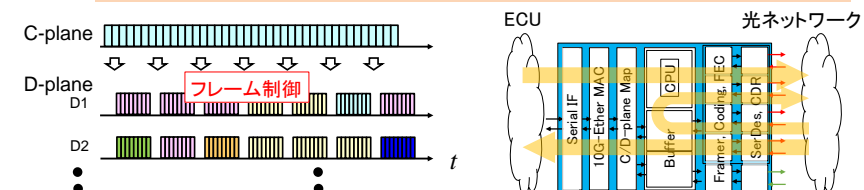


マスター変調器波形



MD光回路変調器波形

#### 研究開発項目2: 車載光ネットワーク通信方式の開発



- ・フレームスイッチングによる帯域可変、省電力伝送
- ・Ethernetに準じたインタフェースによる後方互換性確保と低コスト化

#### 研究開発項目2: 車載光ネットワーク通信方式の開発

- ・C-plane再生クロックにて装置間の周波数同期方式を構築し、FPGA実装手段を確立し、簡易通信ロジック/フレームでの基本的な通信フローを構築し、FPGA間の対向試験でリンクアップを確認した。
- ・Listen/Talk方式における動的スロット割当方式を考案し、3μs以下のレイテンシを実現可能であることを示した。
- ・TSN+AVBベースの車載イーサネット構成との比較評価により、約1/10のレイテンシを実現する見通しを得た。
- ・カメラ画像をGPUに伝送するサブネットワークを動作検証した。

#### 4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	標準化提案・採択	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
3 (3)	0 (0)	0 (0)	13 (10)	0 (0)	0 (0)	1 (1)	0 (0)

※ 成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数です。

##### ■ 学会発表

国内会議中心に本研究開発に関連して10件の発表を行った。次年度発表に向け、論文の完成度を高めて国際会議と論文誌への投稿を進めている。

##### ■ 特許出願

シリコンフォトニクスデバイスについて様々な発明を考案し、特許出願を精力的に進めている。

##### ■ シリコンフォトニクスチップのモジュール化

初年度試作したシリコンフォトニクスチップをマウント、ファイバ接続し性能評価を実施した。今後、ネットワークへの実装を進めていく。

##### ■ 新ハーネス構造の考案

高耐熱光ファイバと電源線を複合したケーブルとコネクタを考案し、電源端子と4心光コネクタを一括接続する車載光ハーネスの設計及び試作を行った。

##### ■ FPGA部の開発

マスター装置およびゲートウェイ装置を構成するFPGAに高速インターフェース、周波数同期機構、符号化処理層の実装を行った。

##### ■ レイテンシの検討

SiPhONが実効回線容量95%を使用しつつ3.0  $\mu$ s以下の非常に低レイテンシであることを確認した。

##### ■ 模擬ネットワークによる検証

LN光変調器を利用した模擬ネットワークを構成し、ゲートウェイ部における、Listen/Talk/Throughの基本動作を実証した。

#### 5. 今後の研究開発計画

##### 研究開発項目1: 車載光通信装置の開発

##### 研究開発項目1-1 高信頼車載光送受信回路の研究開発

位相調整ヒータの影響を避ける変調器構造を利用する12.5Gb/s  $\times$  2chのマスター用シリコン光回路を構成する。光ネットワーク物理層において、マスター装置とゲートウェイ装置をリング接続し、各チャネルにおいて、12.5Gb/s以上でエラーフリー通信することを実証する。最終的に、ハーネスを利用してマスター装置とゲートウェイ装置を接続してネットワークを構成し、動作実証する。

##### 研究開発項目1-2 車載シリコンフォトニクス回路の研究開発

- ・前年度に作製した検証用光回路の評価結果を踏まえ、MD光回路の設計を改良する。その上で、シリコンフォトニクスファウンダリを用いて再試作を行う。
- ・結合損失と伝搬損失の軽減に向けて、モード径を広げた厚膜シリコンプラットフォームを利用した光回路の開発を継続する。前年度に設計した電気光学効果型変調器の試作実証を行う。また、厚膜シリコンプラットフォーム上に実装できる偏波合分離器の試作を進める。

### 研究開発項目1-3 車載大容量光伝送装置の開発

- ・研究開発項目1-1のマスター装置D-plane用シリコンフォトニクス変調器・スイッチ集積デバイスを光モジュール化し、10Gb/s変調動作及び光スイッチの動作を確認する。
- ・研究開発項目1-2のゲートウェイ装置用シリコンフォトニクスMD光回路の2次設計品と変調器ドライバ、TIAを実装する光モジュールを設計、試作し、動作確認を行う。
- ・C-plane用変調光源・受信回路、及び1.25Gb/s受信回路、D-plane用10Gb/s受信回路の基板試作を行う。
- ・光ファイバ・電源複合ハーネスの車載環境評価を行い、結果のフィードバックにより改良試作を行う。

### 研究開発項目1-4 車載光ネットワーク用電気信号処理装置の開発

- ・電気物理層信号処理部と光電変換部との疎通を検討する。実機検証から新たな課題を抽出できた場合は、電気物理層信号処理での対応を検討し、機能・特性をシミュレーションベースで確認する。
- ・研究開発項目2-2で検討するネットワーク制御、データ処理方式を組み込んだ通信検証機を開発する。電気レベルの検証機を光コンポーネントと接続した光ネットワークとしての通信検証を本格化させる。

### 研究開発項目2: 車載光ネットワーク通信方式の開発

#### 研究開発項目2-1 高信頼車載光ネットワーク構成法およびネットワーク通信方式の研究開発

- ・通信方式をステートマシンとして記述しRTL化を図り、車載光ネットワークにおける通信方式の基本動作を検証する。
- ・2030年頃に求められるシステム容量を考慮した車載光ネットワークの冗長構成法および通信方式を決定する。

#### 研究開発項目2-2 車載光ネットワーク制御及びデータ処理方式の開発

- ・マスター装置、ゲートウェイ装置における送受信のステータス(Listen/Talk/Through)のスイッチング処理の方式、及びスイッチングの制御情報をC-planeからD-planeに渡す機構を検討する。この機構を組み込んだコアロジックを設計し、シミュレーションで検証する。
- ・以上の同期方式、通信制御の方式実証のためのプロトタイプ、及び周辺回路部を開発し、研究開発項目1-4と合わせて通信ネットワーク制御の検証系を構築する。

#### 研究開発項目2-3 センサ、CAN/LIN、ECUの接続と実装

- ・光バックボーンネットワークのゲートウェイ装置に接続するサブネットワークの構成機器として、民生Ethernetにより構築したサブネットワーク上で、GigE 2Kカメラ、10GigE 4Kカメラ、CAN-Ethernet GWを介したレーダーの情報により自動運転の疑似的なシミュレーションを行うための検討を行う。GPUなどによるデータ処理、その他のセンサの追加を検討し、最終デモンストレーションの設計を行う。