

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 総額320百万円(令和2年度160百万円)

2. 研究開発の目標

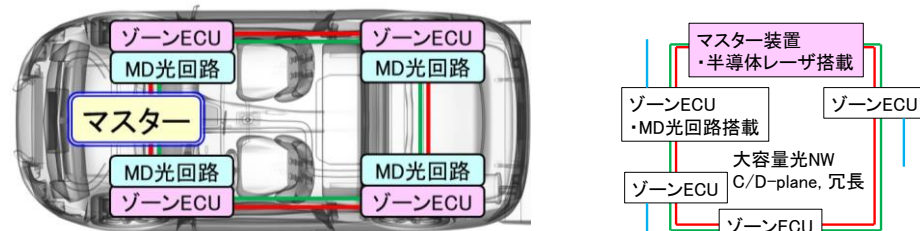
・50Gbps以上の伝送容量を有し、100Gbps以上の容量に拡張可能な車載光ネットワークを実現する。シリコンフォトニクスプラットフォームに新規の構造を導入し、低損失かつ高速変調可能な車載用光回路を実現する。また、ゾーン分割型で冗長性を有し、装置間の伝送容量を可変とする。

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)



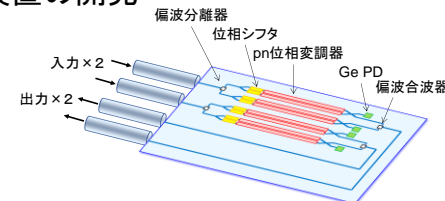
- ・光通信技術による50Gbps以上の大容量と低遅延性
- ・半導体レーザー光源は堅牢なマスター装置に配置
- ・経路冗長構成による高信頼設計
- ・シリコンフォトニクス技術による集積化、低消費電力化、低コスト化

研究開発成果

研究開発項目1: 車載光通信装置の開発

研究開発成果

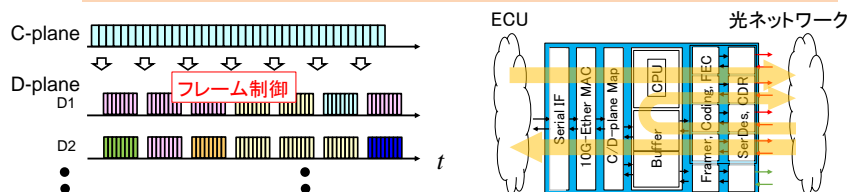
(1) シリコン光回路: 予備光源と切り替える機能を有するマスター光回路チップと特性評価用光変調器チップを設計、試作した。また、動作検証用MD光回路を設計してテープアウトした。



MD光回路

- (2) モジュール開発: D-plane用CW光源回路、10Gbps受信回路、マスター光回路及びMD光回路用デバイスモジュールを設計、試作した。また、C-plane用変調光源回路、1.25Gb/s受信回路の設計、試作検証を行った。
- (3) 任意フレームの生成、送受信の簡易プロトコルをFPGAに実装し、簡易通信検証環境を整備した。さらに、ループバックや対向での10Gbps動作を実機実証した。

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

研究開発成果

- (1) 通信方式: ゾーン分割型車載光通信ネットワークのListen/Talk基本方式を明らかにした。車載トラフィックモデルを策定し、計算機シミュレーションにより、ジッター、レイテンシの基礎評価を完了した。スロット割当変更によるレイテンシ改善を確認した。また、100GbE+TSN/AVB方式との比較を行い、本方式のレイテンシに関する優位性を示した。
- (2) 制御方式: 時分割通信の要素技術として、レーン間及びマスターゲートウェイ間の周波数同期方式とFPGAでの実現方法を確立した。

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 |
|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|----------|----------|
| 0 (0) | 0 (0) | 0 (0) | 3 (3) | 0 (0) | 0 (0) | 0 (0) | 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
一般社団法人レーザー学会
学術講演会第41回年次大会(2021/1/19) 招待講演にて車載高速通信の動向を解説し、当研究開発であるSiPhONシステムのコンセプトを発表した。
[G03-19p-VII-02]車載高速通信システムと光部品技術の研究開発動向
- シリコンフォトニクスチップの設計と試作
国内外のファンダリを比較検討し、3つの異なるファンダリを利用してそれらの特長を活かしたシリコン光回路の設計、試作を進めた。

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

- ・高速光変調器を搭載し、予備系切り替え機能とスイッチ機能を有するマスター装置用シリコン光回路を設計して試作する。光スイッチは、熱光学効果型とPIN注入型を試作し、マスター装置に適する構成を明らかにする。また、低損失光結合のためにスポットサイズ変換構造を最適化し、光結合の低損失化、高周波特性に優れた実装方法を明らかにする。
- ・動作検証用ネットワークを利用し、物理層特性を考慮して通信方式の性能評価を実施して、全体設計に反映させる。また、変調器、スイッチ、モジュールなど個別開発部品の性能評価を実施して、部品設計・実装方法に反映させる。
- ・デモ動作に必要なFPGA機能を明確化するとともに、上位層の検証項目を整理する。トラヒックジェネレータで10G Ethernet 信号を発生させ、物理層変換機能を有するFPGAボードを介した導通試験を行う。また、動作検証用ネットワークに接続し、光伝送路を介した10G Ethernet信号の送受信を確認する。

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

- ・ゲートウェイ装置に搭載するMD光回路について、検証用光回路を完成させる。シリコンフォトニクスファウンダリを用いて、前年度に設計した光変調器および偏波合分離器を集積した光回路を試作する。実装した光回路の評価を行い、レーン当たり12.5Gbpsの変調、偏波無依存動作などを検証する。
- ・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検討を継続し、試作を開始する。前年度の検討結果を基に、電気光学効果を用いた新規変調器構造について詳細な数値解析を行うと同時に、原理検証用素子の試作を開始する。また、厚膜シリコンプラットフォーム上に実装できる高性能な偏波合分離器の詳細設計を行う。

研究開発項目1-3 車載大容量光伝送装置の開発

- ・マスター装置用及びゲートウェイ装置用シリコンフォトニクス光回路デバイスをモジュール化し、特性を評価する。
- 試作対象は、マスター装置用に、変調器・光スイッチを集積した光回路を内蔵するD-plane用光モジュール、及びゲートウェイ装置用に変調器と受信フォトダイオードを集積したMD光回路を内蔵するD-plane用光モジュールである。
- ・高耐熱光ファイバの設計を行う。高耐熱のため、被覆材料にはシリコン樹脂の適用を検討する。光ファイバの多芯一体化はローラブルリボンファイバ構造等を検討する。ケーブルは、外部からの圧力に耐える保護構造の適用を検討する。
- 光コネクタは光通信で実績のある多心MTコネクタをフェルールに用い簡便に接続可能な構造を開発する。

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

- ・50Gbps(12.5Gbps x 4ch)以上のデータ伝送をターゲットにした電気信号処理装置の開発に向け、電気信号処理部のうち、主に高速アナログ信号処理を担うPMAを実装したFPGAベースの初期検証機を立ち上げ、10Gbpsクラスのシリアル信号の送受信動作を検証する。
- ・光電変換部からの電気信号を安定に送受信する電気物理層信号処理方式を検討し、機能・特性をシミュレーションベースで確認する。デジタルブロックをFPGAベースで設計し、任意のフレーム信号を送受信する検証手段を検討する。

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

- ・ゲートウェイ装置にEthernet通信用ECUが搭載される階層化構成において、Ethernetフレームと映像データの送受信を行う通信方式の基本性能を確認する。また、冗長構成方式の基礎検討として、マスター装置多重化、ゲートウェイ装置多重化、レーザーダイオード多重化などのいくつかの単純な冗長構成方式のMTTFを算出するとともに、故障発生後の通信手順を含む通信方式を決定する。
- ・Ethernet ECUを介してFlexRay、CAN、LINネットワークが多重化される車載光ネットワークの性能評価に取り組む。

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

- ・車載光ネットワークの制御及びデータ処理の実現に必要なマスター-ゲートウェイ間、複数ゲートウェイ間、及びC/D-plane間の同期方式の開発に向けて複数ゲートウェイ間の物理的同期方式を実現するためのレーン間クロック同期の方式を複数検討比較した上で、FPGAに実装可能な方式を選択する。
- ・リンクアップから同期維持に至る光ネットワーク部基本機能立ち上げプランを検討する。
- ・FPGAベースの実機検証系にて物理層(L1)レベルのリンクアップ確認を実施する。
- ・外部ECUとのインタフェース、ブリッジ機構について検討する。外部ECUを模擬したEthernet Tester等とFPGAとの間で基本的なデータ通信確認を実施する。
- ・マスター、ゲートウェイ装置部における送受信のステータス(Listen/Talk/Thru)のスイッチング処理の方式を検討する。スイッチング制御をC-planeからD-planeに渡す機構を検討し、FPGAベースで簡易Logicブロック設計し、機構の原理をシミュレーション検討する。

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、Ethernetスイッチ、4kカメラ、CAN/LIN-Ethernetゲートウェイなどの装置の構成及び仕様の基礎調査に基づき、自動運転車を想定した主要な機器を調達し、Ethernetネットワーク上でサブシステムを構築する。システムの性能評価方法については、自動車用Ethernet通信規格類を調査する。