

令和4年度研究開発成果概要書

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  
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

(1) 研究開発の目的

自動運転には、車の頭脳が車外と高速通信し、センサからの多量の情報を受信して判断・制御する技術が要求されている。これに対して、本研究では、50 Gbps 以上の通信を高信頼に行う車載ゾーン分割型光バックボーンネットワークを実現する。光送受信器の信頼性を高めるために、レーザ光源はマスター装置のみに搭載し、ゲートウェイ装置には耐環境性のある変調・受光素子を搭載する。光集積技術を活用して、デバイス・ネットワーク冗長化を行い、車載光ネットワークの信頼性を高める。ネットワークのインタフェースには Ethernet を利用して、従来の CAN 等のレガシーネットワークを収容し、現在の技術との後方互換性を担保する。

(2) 研究開発期間

令和2年度から令和5年度（4年間）

(3) 受託者

学校法人慶應義塾〈代表研究者〉  
古河電気工業株式会社  
株式会社メガチップス  
国立大学法人東京大学  
国立大学法人大阪大学

(4) 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4年度 160 百万円）  
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

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（学校法人慶應義塾）

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（国立大学法人東京大学）

研究開発項目 1-3 車載大容量光伝送装置の開発（古河電気工業株式会社）

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（株式会社メガチップス）

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（国立大学法人大阪大学）

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（株式会社メガチップス）

研究開発項目 2-3 センサ、CAN/LIN、ECU の接続と実装（古河電気工業株式会社）

(6) 特許出願、外部発表等

		累計 (件)	当該年度 (件)
特許出願	国内出願	6	3
	外国出願	2	2
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	30	17
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	5	4
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

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

冗長性のあるマスター装置用光送受信回路の設計を完了し、12.5 Gb/s の信号を送受信可能で、予備光源への切り替え機能、ネットワーク切り替え機能を具備するプロトタイプ光回路を試作した。試作シリコン光回路の変調部が 25 Gb/s 動作することを項目 1-3 と連携して確認した。模擬ネットワークを構成し、多段ゲートウェイ部における、Listen/Talk/Through の基本動作を実証した。前年度までのマスター回路の課題を解決するために、新規回路構成のマスター回路を設計し、試作中である。

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、前年度に試作したシリコンフォトニクス回路の評価結果に基づき、設計にフィードバックを行い、再試作を行った。具体的には、マッハツェンダ型変調器の電極を差動デュアル駆動型に変更し、変調器長の最適化を行った。また、Through 時の低損失化に向けて、マイクロリング共振器型変調器を適用した回路構成を新たに検討し、試作した。並行して、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電気光学型変調器について、原理検証用素子の試作を完了し、評価を開始した。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作製プロセスを開発した。

研究開発項目 1-3 車載大容量光伝送装置の開発

マスター装置用シリコン光回路モジュールとして、変調器・光スイッチ集積回路（研究開発項目 1-1 にて設計、作製）を光モジュールに組み上げ、25Gb/s 以上の変調動作及び光スイッチの動作を確認した。ゲートウェイ装置用シリコン光回路は、マッハツェンダ変調器と光受信器を集積した MD 光回路（研究開発項目 1-2 にて Type-Ⅲ として新規設計、製作）と変調器ドライバ IC 及び TIA IC を実装するパッケージを設計・作製し、光モジュールに組み上げ、送受信動作を検証した。光モジュールの性能向上のため、光ファイバのコア径を最適化することで、接続損失を改良できる実験結果を得た。また、変調器構造の比較として、リング型変調器（研究開発項目 1-2 にて Type-Ⅳ として新規設計、製作）を光モジュール化し、10Gb/s での変調動作を確認した。

マスター装置用 C-Plane 送受信器を設計し、回路を試作した。また、マスター装置用 D-plane 受信回路兼ゲートウェイ装置用 C-plane 受信回路を設計し、試作を行った。

車載光ハーネスとして、耐熱光ファイバと電源線を一括配線可能な構造の改良試作を実施し、低温、高温放置前後の特性評価を行った。

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

本研究の新規車載光ネットワーク（SiPhON）の電気信号処理装置の開発に向けて、通信装置間のデータ伝送（D-plane）及び制御信号伝送（C-plane）のリンク確立に必要な電気物理層信号処理を実装した通信検証機を開発した。この検証機を用いて、SiPhON 通信を成立させるための主要機能である時分割通信（Listen/Talk/Through の 3 つのモードの切替）の基本動作を電気レベルの通信で実証した。さらに LN 変調器ベースの光コンポーネントとも接続し、光通信ネットワーク

系でも時分割通信の基本動作を実証した。

#### 研究開発項目2：車載光ネットワーク通信方式の開発

##### 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

アクティブ素子であるレーザ光源の故障特性に基づき、車載光ネットワークのシステム故障率を導出した。その結果、100Gbps かつレーザ光源の動作温度 40°C以下の条件において、平均故障時間 (Mean Time To Failure) が 50 年以上となることがわかった。この結果から、アクティブ・スタンバイ構成による冗長構成が適していることが明らかとなった。次に、静的スロット割当による通信方式について RTL 化を図り、シミュレーターによって車載光ネットワークにおける通信方式の基本動作を確認した。

##### 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

本研究の新規車載光ネットワーク (SiPhON) 通信のデモンストレーション実証に向けて、マスター装置と複数のゲートウェイ装置の間の物理的な同期、及び時分割通信 (Listen/Talk/Through) のスイッチング処理を FPGA の制約下で実現する方式を確立した。検討した同期/スイッチング処理の方式を FPGA に実装し、また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した。外部 ECU で扱う Ethernet パケットを SiPhON ネットワーク経由で伝送するためのブリッジ機構の検討も進め、外部との Ethernet 通信の疎通を確認できた。

##### 研究開発項目 2-3 センサ、CAN/LIN、ECU の接続と実装

自動運転レベル 4 以上のセントラル&ゾーンアーキテクチャの車両を想定し、SiPhON 高速光ネットワークを適用した車載情報処理のモデルを設計した。ゾーンのサブネットワークの検証として、民生 Ethernet 上で 10GigE 4Kカメラや CAN-Ethernet ゲートウェイ下のセンサ類のデータの伝送を検証した。

高速光ネットワークの導入による低遅延性を評価するモデルとして、コンピュータによるドライブシミュレータの走行画像を 4K カメラで取り込み、高速光ネットワークを介して、物体認識などの画像処理を高速に行う疑似自動運転システムを考案した。

### (8) 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試作する。新規マスター光回路は、リング型の構成として、単一の光スイッチで無変調光と変調光を切り替えることが可能である。変調およびスイッチ機能の動作検証を実施する。研究開発項目 1-2 と協力してシリコン光回路の高性能化を進める。研究開発項目 1-3 と協力して、光結合の低損失化、高周波特性に優れる実装方法を明らかにする。

##### 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

再試作した MD 光回路について諸特性を評価する。特に、マイクロリング共振器型変調器に関して、バイアス電圧を変化させながら変調効率を測定する。並行して、厚膜シリコンフォトニクスプラットフォームに集積した変調回路について、試作した素子の評価を行う。各種導波路パラメータを変化させた素子について、基本的な変調特性を評価・比較することで、最適な構造を明らかにする。これにより、低コストかつ低損失のシリコンフォトニクス MD 光回路の実現可能性を示す。

##### 研究開発項目 1-3 車載大容量光伝送装置の開発

昨年度までに開発した各光機能モジュール (光源、受信器、シリコンフォトニクスデバイス光モジュール) をマスター装置及びゲートウェイ装置に適用し、SiPhON 光伝送システムを構築する。

マスター装置は、CW-DFB レーザ回路、光変調器及び光スイッチを備えたシリコンフォトニクス光モジュールの制御用回路、D-plane 受信回路 (D-plane: 12.5 Gbps 2ch)、C-plane 送受信回路 (1.25 Gbps) による構成とする。

ゲートウェイ装置は、シリコンフォトニクス光変調器・受信器の集積回路モジュール (D-plane:

12.5 Gbps 2ch) 駆動回路及び C-plane 用光スプリッタと受信回路による構成とし、各々は研究開発項目 1-4 で開発する伝送制御を行う FPGA に接続する。

マスター及びゲートウェイ装置の筐体間はハーネスにより接続する。多芯の耐熱光ファイバを電源ケーブルと一体化し、また、光コネクタは多心光ファイバケーブルと電源ケーブルを一括脱着する。

#### 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

本研究の新規車載光ネットワーク (SiPhON) の電気信号処理装置の開発に向けて、2022 年度までに必要な電気物理層信号処理の FPGA へ実装し通信検証機の開発を完了した。2023 年度は、上記の成果を研究開発項目 2-2 と合わせてデモシステムに実装したときに生じる新たな課題を抽出し、追加の研究項目としてこれを解決し、SiPhON の通信システムのデモンストレーションが安定動作するよう改善を加える。

#### 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

RTL 化した通信方式について、他研究項目において試作中のマスター装置・ゲートウェイ装置に組み込み、実システムを用いて通信方式の動作を検証する。また、実システムと通信方式の実装を用いて 4K 高精細映像の伝送、物体認識処理、および、高度自動運転に不可欠な LiDAR 等のセンサ情報を低遅延で取得可能となることを確認する。

##### 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-ゲートウェイ装置間、複数ゲートウェイ装置間、及び C/D-plane 間の物理的な同期、および時分割通信のスイッチング処理を前年度までに得られた検討結果を基に SiPhON 通信デモシステムに実装する。通信システムの実動作時に生じる変動等の課題に対して対策を講じ、デモシステムでの通信実験に問題が生じないよう改善し、SiPhON 通信のデモンストレーションを完遂させる。

##### 研究開発項目 2-3 センサ、CAN/LIN、ECU の接続と実装

光ネットワーク部のマスター装置、複数のゲートウェイ装置と複数の伝送路データ伝送用ネットワークと制御信号伝送用ネットワークからなるゾーン分割型ネットワークの同期動作を実現する。ネットワークの冗長性を利用したリンク故障対応と復旧動作を可能とする。また、ゾーン内に置かれる CAN、LIN などを搭載したレガシー ECU、あるいは Sub ECU との接続を可能とし、それらを含めたシステムとしての実証性を確認する。