

令和 5 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、レーザー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ーフェースには 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 5 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	8	2
	外国出願	3	0
外部発表等	研究論文	1	1
	その他研究発表	45	14
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	6	1
	受賞・表彰	1	1

(7) 具体的な実施内容と最終成果

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

- ・数 ns の応答速度を持つ pin 光スイッチを具備し、入力光をスルーするか、pn 光変調器を経由して光パケットを生成するか切り替えることが可能な光回路を設計した。反転した変調光はモニタして動作確認も可能である。リング構成にすることによって、pin 光スイッチの段数を減らし、従来設計のマスター光回路よりも損失が低減され、動作が簡便化される。
- ・前記光回路を 2ch として、予備レーザとの切り替え機能を持つマスター光回路を設計、試作した。本構成では、各チャネルのレーザが故障した場合に予備レーザに熱光学型光スイッチで切り替えることが可能である。予備レーザをスタンバイしておけば、数十マイクロ秒での切り替えが可能である。また、2ch でレーザを共有する構成の回路も試作した。
- ・LN 光変調器を利用してマスター装置とゲートウェイ装置を模擬し、多段ゲートウェイ構成のネットワークを構成して基本動作を確認した。

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、まずシステムレベルでの実験検証用に、既存のシリコンフォトニクスファウンダリを用いた 2 レーン分の MD 光回路を開発した。
- ・マッハツェンダー干渉型変調器と Ge 型フォトディテクタを集積した MD 光回路を試作し、設計にフィードバックを重ねることで、最終的に 12.5 Gbps/ch 以上での動作実証に成功した。並行して、究極的な低損失化を目指し、モード径を広げた厚膜シリコンフォトニクスプラットフォームを用いた光回路構成を検討した。素子を試作し、20 Gbps での変調実験に成功した。
- ・厚膜シリコンフォトニクスプラットフォームに集積可能な偏波合分離器の実現に向けて、導波路上部に V 溝構造を導入した新規構造を提案し、全長 2.5mm の素子で 98% 以上の変換効率で偏波合分離ができることを数値的に実証した。

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フォトニクス光回路モジュールの開発では、研究開発項目 1-1 で開発したマスター装置 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の光モジュール化と変調動作及び光スイッチの評価を行い、モジュール性能の設計目標である 25Gbps 以上の変調動作を達成していることを確認した。
- ・ゲートウェイ装置用シリコンフォトニクス光回路モジュールの開発では、シリコンフォトニクス変調器・受信器を集積した MD 光回路を 2 つのモジュールタイプ (MD-A：受信アンプ IC を内蔵し、変調器ドライバ IC を外部に配置する、MD-B：カスタム設計のドライバ IC 及び受信アンプ IC を内蔵するタイプ) に実装して評価を行った。MD-A 光モジュールは、10Gbps での動作を確認した。
- ・C-plane はスプリッタを介した 3 段接続での 1.25Gbps 伝送評価でエラーフリーを確認した。
- ・光ファイバには、150°C 以上の耐熱被覆材料を用い、ケーブルには 4 心の光ファイバを内蔵する溝構造を有し、さらに電源線を一体化する複合ケーブルを開発した。コネクタには薄型 2 心光コネクタ 2 個を一体化して 4 心光インタフェースとし、さらに電源端子を複合化して光ファイバ・電源線を一括接続するコネクタを開発した。
- ・開発した光ユニット類をマスター装置 1 台、ゲートウェイ装置 4 台に収納し、車載光ハーネスで

接続するデモンストレーションシステムを構築した。

#### 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

- ・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、SiPhON 通信の主要機能である時分割通信 (Listen/Talk/Through 3 モードの切替動作) を電気系で実証した。
- ・10Gbps 超の D-plane を複数レーン実装し、SiPhON 動作を実証した。レーン数を増やすことで 50Gbps 超のデータ伝送が可能となる。
- ・光電変換部に対して、電気信号処理側から SiPhON の Listen/Talk/Through 切替制御する方式・機構を実証。また送受信安定化のため、SiPhON 通信に適した誤り訂正処理方式を開発、FPGA に実装し動作を実証した。

#### 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

- ・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、IEEE P802.3cz によるポイントツーポイントの光伝送を用いた車載ネットワークと比べて飛躍的に信頼性が高く、100Gbps かつレーザ光源の動作温度 40℃以下の条件において平均故障時間 (Mean Time To Failure) が 50 年以上となることを示した。
- ・統合実証実験に向けて 4k カメラ、Lidar、RADAR のデータ伝送、さらに物体認識処理を行う周辺情報システムの構築を行った。統合実証実験では 4k 映像に対するリアルタイム物体認識処理が可能であり、物体認識結果を見ながらの車両操作を可能とする低遅延性が得られることを確認した。

##### 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

- ・マスター装置と複数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。
- ・車載通信ネットワークの ECU 側で使用される Ethernet 通信と本研究の車載光基幹 (バックボーン) 系通信である SiPhON ネットワークとを疎通させるブリッジ機構を確立し、FPGA に実装。Ethernet-SiPhON 間の通信を実機実証した。
- ・車載ネットワークで大きな伝送量を占める 4K カメラ映像データや各種 Ethernet パケットデータを SiPhON フレームに安定・高信頼に収容・送受信する方式・機構を提案、FPGA に実装し、実機動作を実証した。

##### 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 以上を想定した車載通信ネットワークアーキテクチャの動向調査を行い、セントラル&ゾーンアーキテクチャにおけるゾーンのサブネットワークを構成する通信機器、センサ類の接続要件を明らかにした。
- ・デモンストレーションに適用する機器を選定し、4K カメラ、CAN インタフェース周辺監視レーダを CAN-Ethernet ゲートウェイを介して Ethernet サブネットワークに実装した。
- ・最終デモンストレーションでは、SiPhON 光ネットワークをバックボーンとし、上記の Ethernet サブネットワークを 2 台のゲートウェイ装置に接続し、2 台の 4K カメラの 10Gb/s のデータ伝送と周辺監視レーダ、Lidar のデータ伝送を実施することで、SiPhON のコンセプトを実証した。自動運転シミュレータの画像を 4K カメラで取り込み、高速コンピュータに伝送して AI 処理による物体認識を行った結果、低遅延での情報処理が実現できた。

#### (8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

(計画) 本研究の成果では、光変調器の多段の直列接続により高速通信が可能であることが実証できた。実用化に向けては変調器の損失低減、温度特性改善が必要であると認識し、改良研究を継続する。また、標準化に向けては、システム方式と光部品の両面での活動を検討する。製品化については、車載光通信が 50Gb/s 以上の帯域を必要とする 2035 年ころを目標に、2030 年でのサンプル提供を目指す。光ファイバと電源線の複合光ハーネスに関する知財は EMC の点で光の特長を活かす最適事例であり、権利化してグローバルな事業展開に活用する。

(展望) 自動車業界では交通事故の低減、人手不足の解消等を実現する自動運転車の実用化を目指している。想定される自動運転レベル 4 とレベル 5 車両の合計の販売台数は、2030 年に 1530 万台さらに 2035 年では 4200 万台と予測されている。その時期の車載通信アーキテクチャはセントラル&

ゾーンに移行し、高速な光通信が利用されると考える。

実車両では、2030年では10Gbps程度の規格が適用される可能性がある。電気伝送では高速化に伴うEMCの課題がクローズアップされつつあり、光通信適用によるEMC性能の向上への期待が高まってくると考えられる。

本研究開発で車載基幹通信ネットワーク向けに検討した電気信号処理技術を車載以外の通信用途に適用先を広げ、社会実装を進めていく。