

令和 2 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) 実施機関

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）

総額 320 百万円（令和 2 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ン回路の研究開発（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	0	0
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	3	3

	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	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

光スイッチ、高速変調器などの基本素子を搭載したシリコン光回路の設計、試作を実施し、項目 1-3 のモジュール用に研磨加工を施した。高速変調器は、電極長等を変化させ、車載光ネットワークに最適な形状を検討可能としている。また、試作結果を反映し、ネットワークからの要請を考慮して、次年度試作シリコン光回路の基本設計を行った。LN 変調器と PLC 光スイッチを利用して、模擬車載光ネットワークを構成し、送受信回路の動作確認を実施した。

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

シリコンフォトニクス MD 光回路を試作するために、シリコンフォトニクスファウンダリの調査、および、比較検討を行い、最適なファウンダリの選定を行った。光回路の基本構成を検討し、進行波電極を用いた PN 接合型変調器を採用し、偏波無依存変調を可能にするために、偏波ダイバーシティ構成を採用した。偏波無依存化に必要な偏波合分離器の新規提案と設計を行った。MD 光回路レイアウトの設計とテープアウトを完了した。また、低損失シリコンフォトニクス MD 光回路実現に向けて、厚膜シリコンプラットフォームの利用を検討した。電気光学ポリマー材料を装荷した光変調器を設計し、基盤となる作製プロセスを立ち上げた。厚膜シリコン導波路中の電気光学効果を用いる光変調器を検討した。

研究開発項目 1-3 車載大容量光伝送装置の開発

D-plane 用 CW 光源回路、及び 10Gbps 受信回路の設計、試作検証を行った。シリコンフォトニクスデバイス変調器モジュールの設計及び試作を行った。また、評価に利用する装置、部品を製作した。C-plane 用変調光源回路、及び 1.25Gb/s 受信回路の設計、試作検証を行った。研究開発項目 1-2 にて作製する MD 光回路デバイスのモジュールを設計した。

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

光電変換部 (FOT) と電気物理層 (PHY FPGA) の電気インタフェース仕様、接続手段を定め、PHY 側の SerDes 及び PMA 部、クロック系統を策定し、初期検証機としての FPGA プラットフォーム環境を立ち上げた。任意フレームの生成、送受信の簡易プロトコルを FPGA に実装して簡易通信検証環境を整備し、ループバック及び FPGA 間対向での 10Gbps 電気信号疎通を実機にて確認した。

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

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。車載トラヒ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。

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

時分割通信の要素技術として、複数 Lane 間の周波数同期方式を検討し、FPGA での実現手段を確立した。C-plane の recovered clock を Jitter Attenuator 経由で複数 D-plane に基準 clock として分配する。この手法により、マスターゲートウェイ間、複数ゲートウェイ間の周波数同期も可能となる。

システム構想の初期検討として、信号処理機能、メモリアーキテクチャ、メモリサイズ、Logic

周波数、フレーム構成の素案を検討、これに基づき FPGA を選定した。また外部 ECU との電気インタフェース仕様、接続手段を定め、PHY (FPGA) 側の IP を選定した。

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、サブネットワークを構成する通信機器、センサ類の接続条件を明らかにした。

(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、高周波特性に優れる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ドリを用いて、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。