

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: 完全自動運転のための高性能かつ高信頼な車載光ネットワーク基盤技術の研究開発
- ◆副題: コヒーレント光フレームスイッチ方式を用いた車載通信システムの拡張性向上と省電力化に関する研究開発
- ◆受託者: (学)慶應義塾、古河電気工業(株)、(大)滋賀県立大学、(大)東海国立大学機構 岐阜大学、(大)大阪大学、(株)ファストリンクテック
- ◆研究開発期間 令和6年度～令和8年度(3年間)
- ◆研究開発予算(契約額) 令和6年度から令和7年度までの総額220百万円(令和7年度100百万円)

2. 研究開発の目標

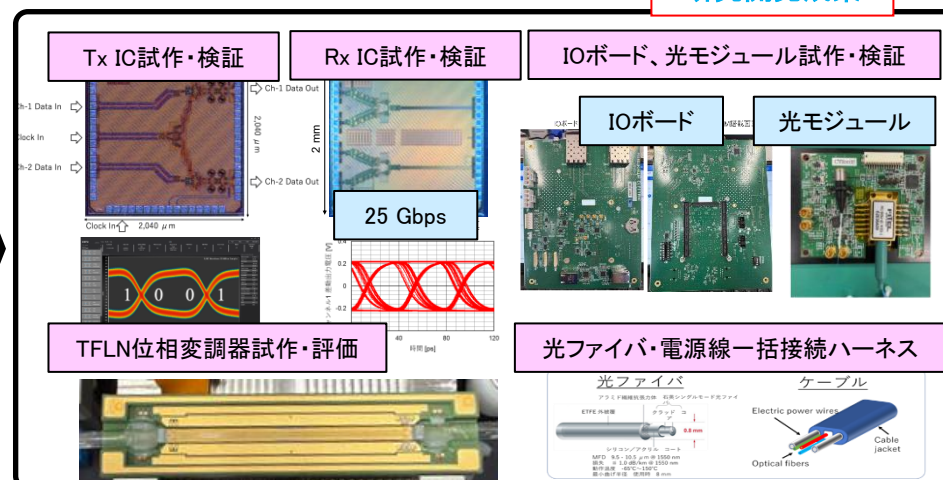
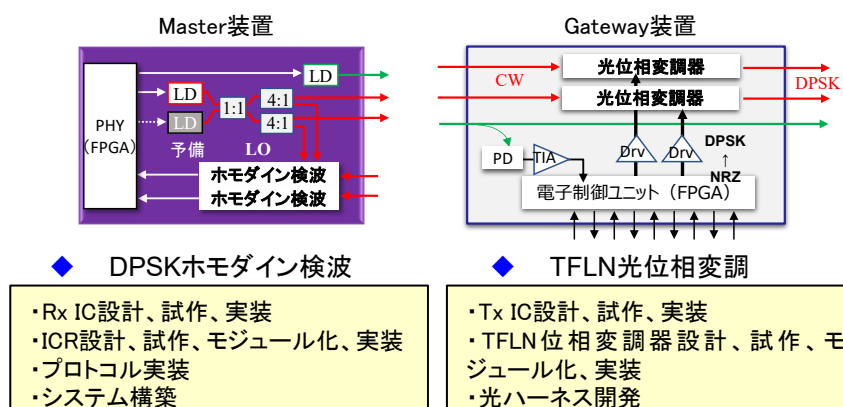
石英シングルモード光ファイバによってゾーン分割型構成に基づく車載光ネットワークを構築し、コヒーレント光フレームスイッチ方式を利用して、マスター装置と各ゾーンに配置されるゲートウェイ装置間でレーンあたり25Gbpsの伝送速度で100Gbps以上の大容量通信を可能とする。

3. 研究開発の成果

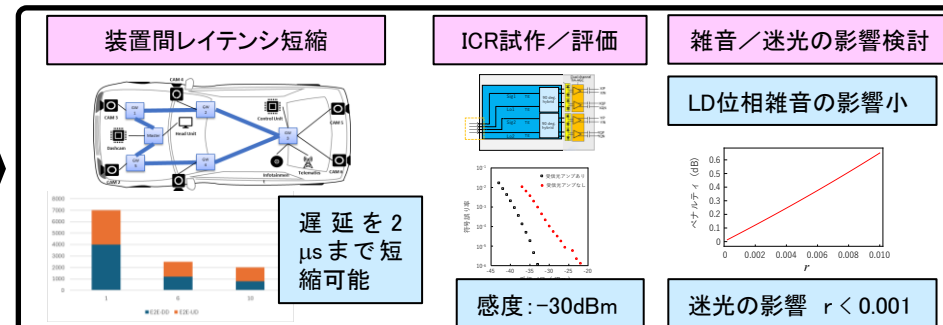
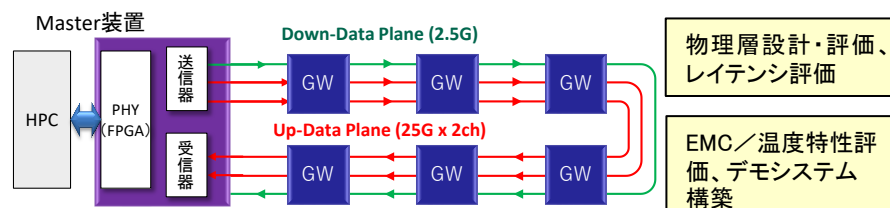
研究開発項目1: 車載光通信装置の開発

研究開発目標

研究開発成果



研究開発項目2: 車載光ネットワークシステム及び通信方式の開発



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
6 (3)	0 (0)	2 (2)	17 (12)	0 (0)	0 (0)	3 (2)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

- ・65-nm CMOSプロセスを適用した光DPSK信号生成および高速駆動回路チップの性能評価を実施した。本チップは、25 Gb/sの高速データレートに対応するNRZ-DPSK変換回路および変調器駆動用ドライバを主眼に設計されており、2チャンネル分を2 mm × 2 mmのチップ面積へと集積している。オンウエハプロービング測定を通じて、実動作環境下での特定パターンに対する正常な変調・駆動動作を実証した。
- ・光DPSK信号受信・復調回路チップの評価を行った。ポストレイアウトシミュレーションにより25 Gb/sでの復調動作を確認し、オンウエハプロービングによる試作チップ測定により、25 Gbpsの特定パターンに対する正常な復調動作を確認した。消費電力はチップ全体(2チャンネル合計)で0.63 Wであった。1ビット遅延線路、アナログ乗算器、加算器を設計し、光信号に生じる位相変動を受信・復調回路により除去可能であることをポストレイアウトシミュレーションにより示した。
- ・薄膜 LN 位相変調器デバイスの二次試作品をモジュールパッケージに組立て、1ビット遅延器およびバランスト PD を用いた受信系により、25 Gb/sの差動駆動での動作を確認した。変調器デバイスのインピーダンスを最適化する電極構造について HFSS シミュレーションを用いた設計を行った。Tx-EIC をインターポーザ基板および変調器モジュールに組立て、FPGA で生成した信号による動作確認を実施した。PM ボードおよび ICR ボードの設計を完了し、回路基板を作製した。Rx-EIC 二次試作品に対応したインターポーザ基板を設計・試作・組立てし、Tx-EIC 二次試作品と併せて評価を実施した。
- ・トランシーバの電気性能を評価し、25 Gb/sでエラーフリー伝送と良好なアイ開口を確認した。また、UD/DD-Planeの信号処理方式(64B/65B符号化、RS-FEC、タイムスロット制御)を策定し、実装した。これらのプロトコルを定義したうえで、DD-PlaneおよびUD-Planeを電氣的に模擬した評価ボード環境を構築し、4Kカメラ映像とインターネットの同時通信を実証した。
- ・25 Gb/s × 4チャンネル構成において、UD/DDプレーンを含む応答遅延が6~10μsに収まり、最終目標(10μs以下)を満たす見通しを得た。フレームフォーマット再設計によるフレーム長短縮を検討し、応答遅延が約2.0μsまで短縮可能である見通しを得た。
- ・ホモダイン検波のモデルを構築し、解析的検討から、低周波の位相変動は提案する受信回路のアナログ電気処理によって、補償されることを示した。また、レーザの位相雑音の影響を検討し、コヒーレント用のDFBレーザを利用すれば影響が無いことを示した。さらに、ネットワーク内に迷光がある場合の影響を検討し、過剰雑音が無視できる条件を見いだした。信頼性を担保するためのアプリケーションレベルでのデータ損失補償技術とネットワークレベルでの冗長化技術を組み合わせることで、より高信頼な制御アプリケーションを実現できる見込みを得た。

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

前年度に実施した送信用EICの評価結果から抽出された課題に基づき、回路構成の最適化および25Gbps高速ドライバ回路の設計改善を推進する。具体的には、位相変調器との接合を前提とした送信用EICの回路設計に加え、光パケット信号に対応したバーストモード電力削減技術の導入による待機電力低減の検討に注力する。この検討にあたっては、岐阜大学が蓄積してきたバーストモード対応受信回路の検知・制御技術をドライバ回路へと応用展開し、シミュレーションによる詳細な動作検証を行う。最終的には、目標とする2mm角のチップサイズ内での最適なレイアウト設計を完了させ、次段階に向けた設計データの確立と高効率な送信系実現のための設計基盤構築を目指す。

令和7年度に解析・設計・試作を行ったDPSK信号受信・復調回路チップの特性評価を行う。2チャンネル合計のビットレートを50Gbps程度、消費電力を1 W以下での動作の実証を目指す。また、DPSK信号受信・復調回路チップのさらなる高機能化に向けた検討を行う。低温から高温に至るまで過酷な環境での動作が要求される車載光ネットワークでの安定動作に向けて、DPSK信号受信・復調回路の温度特性を回路シミュレーションにより明らかにする。さらに、マスター装置に搭載されたDPSK信号受信・復調回路が各ゲートウェイ(GW)からの送信信号を受信する際に、遅延同期ループ(Delay Locked Loop: DLL)回路構成により、マスター装置内のクロック信号に同期した復調出力が得られるような方式を検討する。

インピーダンス最適化および帯域改善設計を施した薄膜 LN 位相変調器デバイスの三次試作品を試作し、光モジュールに実装して変調特性の評価を行う。半波長電圧の評価結果を踏まえ、二次試作 Tx-EIC による駆動を前提とした集積変調器モジュールを試作するかを判断する。また、ドライバ IC と変調器モジュールを搭載する FPGA 接続用 PM ボードを試作し、その特性評価を行う。コヒーレント受信器モジュール(ICR)および二次試作 Rx-EIC 用インターポーザ基板を FPGA 接続用 ICR ボードへ搭載し、FPGA と組み合わせた評価を実施する。

マスター装置は、2 台の CW 光源、光カプラによるローカル光分岐・信号源分岐、DD-plane 送受信光モジュールを光ユニットとしてまとめ、筐体へ組立てる。GW 装置は、光受信モジュール、タップカプラ、変調器モジュールを光ユニット化し、筐体へ組立てる。両装置には IO ボードおよび二次試作電源ユニットを搭載する。光ファイバ・電源一括配索ハーネスによりマスター装置と 6 台の GW 装置を接続し、車載光伝送システムを構築する。さらに、4K カメラを 2 台以上接続して動作検証を行い、デモンストレーションとして実証を行う。小型車両サイズの台車フレーム上に車載光ネットワークを用いたセントラル & ゾーンアーキテクチャを構築し、CARLA による自動走行の VR(ヴァーチャルリアリティ)画像等をカメラで認識して処理し、低遅延での情報処理を実証する。

非対称通信(UD/DD-Plane)の信号処理、タイムスロット制御による通信帯域制御、車載環境に耐えうる誤り訂正機能、主副回線切替による冗長性確保の検討、および既存バス(Ethernet/CAN)とのブリッジ接続機能をFPGAに実装し、総合的な検証を行う。続いて、I/Oボードおよび電源ユニットをFPGA(SOM)とともにマスター装置およびGW装置へ組込み、伝送試験を行う。最終的には、マスター装置及びGW装置6台以上を接続した光通信ネットワークのデモシステムを構築し、4Kカメラを2台以上接続して基本動作を実証する。

研究開発項目2 車載光ネットワークシステム及び通信方式の開発

フェイルオーバー・フェイルソフト・フェイルセーフ時それぞれの帯域を任意に割当可能なネットワーク通信方式を考案する。特にセンサー情報取得から車両制御に至るまでのネットワーク遅延時間を最小化する帯域割当方法を検証する。Master/GWボックスの特性を評価し、さらにMaster/GWボックスとその他の基幹部品との接続特性を評価して、最適な構成を検討する。全項目で協力し、デモシステムを構築して、外部に接続されたカメラなどの情報の伝送を行い、デモシステムの動作実証を行う。セルフホモダイン伝送システムにおいて、シミュレーションと実験から外部雑音の影響を明確にし、受信感度の向上と信頼性向上を図る。集積コヒーレント受信器において、局部レーザ光のパワと感度の関係を明らかにする。光受信回路の評価と関連する実装技術についての知見を得る。コヒーレント受信器、薄膜LN位相変調モジュール、送信用ドライバ回路、GWボックス等の基幹部品について、外部環境温度を変化させて、温度依存性などを評価する。また、電波暗室などを利用し、基幹部品のEMC特性を評価する。これらの評価結果に基づいて、ネットワークを構成する場合の課題と対策を検討する。