長距離LIDAR用光パルス検出IC"LIDARX"のフィールド試験による評価

水野貴秀、川原康介、池田博一

概要

月惑星あるいは小惑星の探査機には多くの場合、数十～数百kmからの長距離測定が可能なLIDAR(LIght Detection And Ranging)と呼ばれるレーザ距離計を搭載し、自機の高度測定、および地形測量を行っている。特に、はやぶさ、はやぶさ2といった微少重力天体に着陸する探査機は遠距離（会合）から近距離（接近・着陸）まで広いダイナミックレンジでの使用が求められる。
LIDARXは小惑星探査機「はやぶさ」に搭載されたLIDARの経験に基づき、開発期間の短縮、低消費電力化、小型化を目的として、LIDARのパルス検出回路を集積回路化したアナログ・デジタル混在のASICで、会合・接近・着陸のシーケンスでの使用を想定して、広いダイナミックレンジによる60dB程度の信号入力変化に対応可能である。本報告では、LIDARXを使ったLIDARシステムの構築例を示すとともに、フィールド試験によってその動作特性を評価した結果について述べる。

LIDARX概要

LIDARXはTSMCのCMOS 0.35 μmプロセスで作られた3 mm × 3 mm（ベアチップサイズ）のASICである。図1に示すように、Divider(粗調整), Integrator(微調整), Timing Detector, TAC(デジタルクロック補間)から構成され、電荷入力のダイナミックレンジは60dB、20MHz程度のデジタルクロックで、サブナノ秒の検出が可能である。信号は入力レベルに応じて外部からCH0～CH4の5chに入力を切り替え、内部にてGain "1111"～"0000"まで16段階の調整ができる。本実験ではCH0, CH1, CH2の3chに対して、Gain "1111", "1010", '1000", "0000"の4段階を試験している。

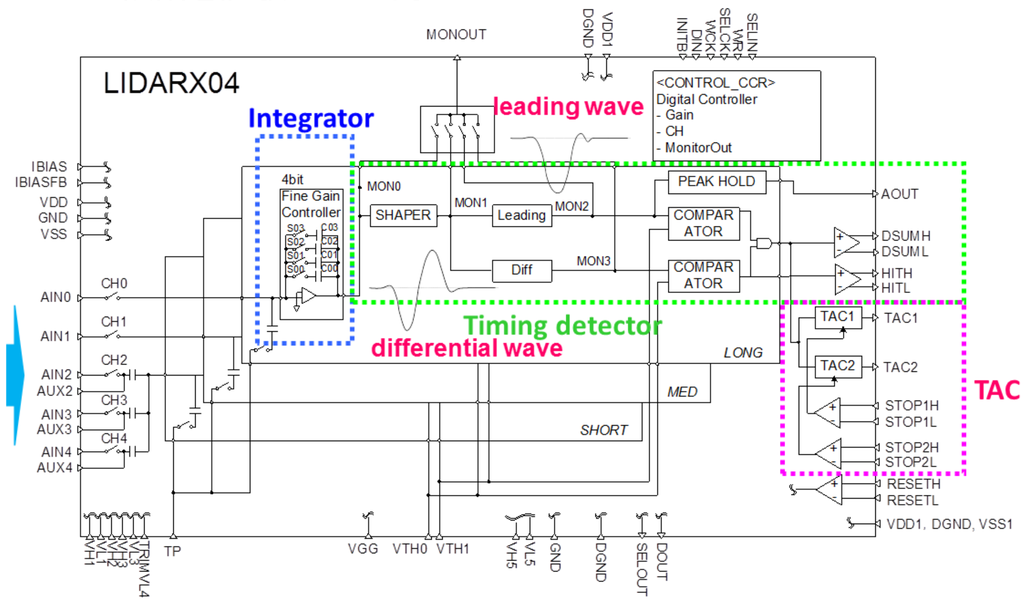

図1　LIDARXの回路概要

LIDARXを用いたシステム構成

LIDARXを使用したLIDARシステムとして、図2に示す構成を提案する。送信レーザには、「はやぶさ2」と同様に受動QスイッチのYAGレーザを採用し、受信光学系はLIDARXで広いダイナミックレンジをカバーできるため「はやぶさ」と同様に光学系を1系統としている。このため、送受検出器に1つずつLIDARXを配置する構成となっている。デジタルコントローラのカウンタは、LIDARXのTAC機能を使ってタイミング検出を行うため、16～20MHzと低いクロックを使用する。

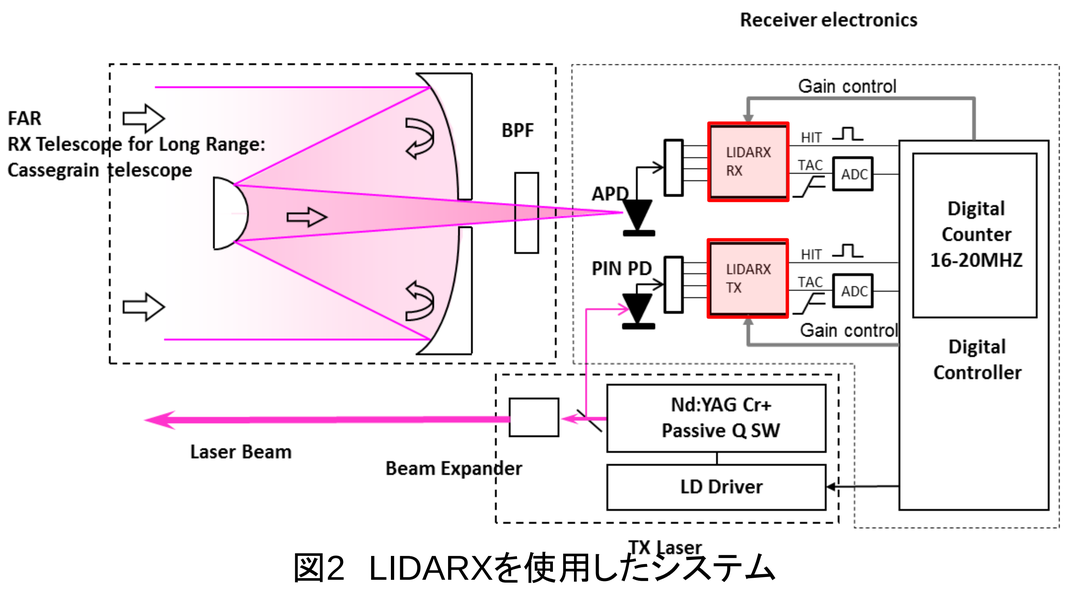

図2　LIDARXを使用したシステム

テストベット

LIDARXを使った実システムを評価するため、図1に示したシステム構成で、下表に示す仕様でテストベットを作成した。

表1　テストベット諸元

送信系	レーザ ビーム広がり角 センサ	受動Qスイッチ　Nd:YAGレーザ 1064nm, 1.4ns, 15 μJ 625 μrad （4倍エクスパンダ後） Si PIN-PD S5972 (送信光検出)
受信系	光学系 フィルタ センサ	Φ=25mm, f=20mm, NA 0.5, FOV= 2mrad λc=1064μm, Δ=3nm Si-APD S11519-10
制御系	FPGA クロック	XILINX,Spartan3E,XC3S1600E-4FGG32C 16MHz

大樹町航空公園でのフィールド実験

LIDARXを使ったLIDARシステムを空間的に広いダイナミックレンジが使える環境で試験するため、大樹町航空公園の1km滑走路でフィールド実験を行った。実験は、反射率0.15の黒色フロック紙をターゲットとした静的試験、ミニバン前面に貼った反射率0.94のフェルト布をターゲットとした動的試験の2種類を実施した。静的実験では光波測距儀を正解値として使用し、動的試験ではGPS信号をキネマティック処理して正解値として使用した。実験の様子を図3に示す。

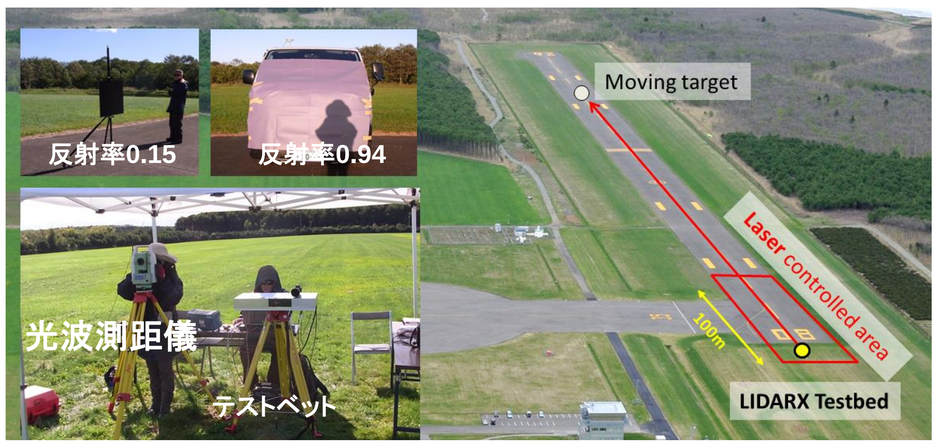

図3　大樹町航空公園におけるフィールド実験の状況

実験結果

静止したターゲットを対象とした静的試験による距離と各CHと各Gainにおける、バイアス誤差と誤差の標準偏差(1σ)を図4に示す。ゲインが高いCH0-1000,-0000（遠距離用の設定）を除くと、バイアスえら及び標準偏差は0.5m以下になっている。
AGCはプリアンプ出力が200mV～700 mVを最適値として以下の判断基準で調整されている。

ゲイン上げ: プリアンプ出力 < 200mV 1回
ゲイン下げ: プリアンプ出力の移動平均8回　> 700mV

CH2 1111からAGCを開始にした直後からCH20010へ上昇し、その後は200mV～700mVにほぼ納まってAGCが有効に機能していることがわかる。CH21000からCH1111への移行の際にハンチングが見られ、ゲイン設定の接続が悪いことがわかる。この点については適切なゲイン設定を選んで改善する必要がある。

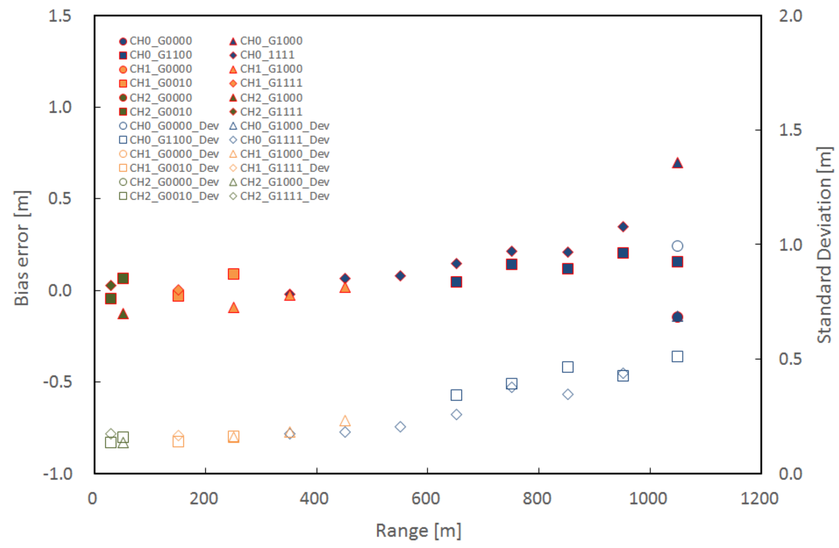

図4　距離と各CH各Gainにおける誤差

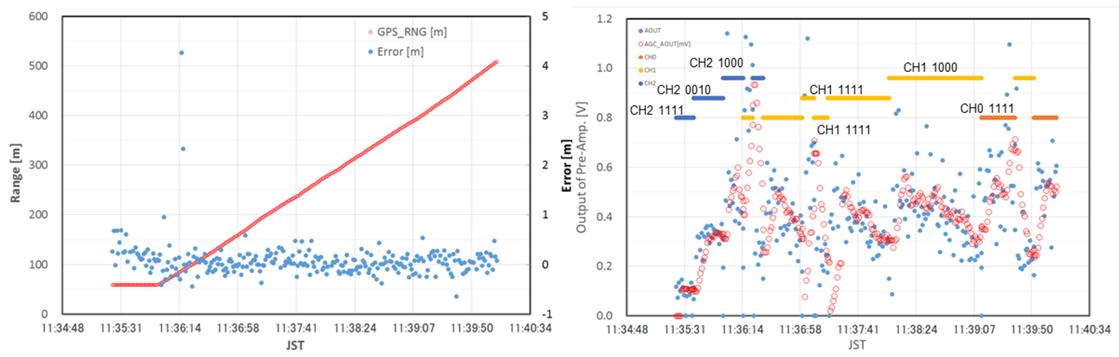

図5　移動ターゲットによるAGC動作の確認

まとめ

テストベットによるフィールド試験によって、LIDARXを実装したLIDARシステムの動作試験を行い、測距誤差、AGCの動作について評価した。この結果、測距システムとして問題ないことを確認し、AGCに関する改善点も見いだした。今後は、本ASICをFM部品化し、プロジェクト要求に基づくLIDARシステムの設計を行っていく。

This document is provided by JAXA.