

Flash LIDAR用ROICの開発

水野貴秀、池田博一、川原康介、三田信

■ 概要

Flash LIDARとは、APDと測距回路を一体とした画素をアレイ状に配置した専用デバイスを実装したカメラを使用して、受信視野内に拡散照射されたレーザ光のTOF (Time Of Flight)を各画素毎に測定して、カメラでフラッシュ撮影する要領で3次元距離画像を取得するセンサである。3次元距離画像センサは、月や惑星への着陸機が着陸直前に地形測定や障害物回避の目的で、あるいは軌道上でのランデブードッキングを行う宇宙機の航法センサとして要望が強い。

Flash LIDARの開発の鍵は、APDアレイとその各々に対応する測距回路を実装した専用デバイスの開発にある。JAXA宇宙科学研究所では、APDを感度の高いガイガーモードで使用する前提で、Flash LIDAR専用デバイスの測距回路およびその読み出し回路の開発を行っており、本報告ではその現状をご報告する。

※LIDAR:Light Detection And Ranging(レーザ距離計)

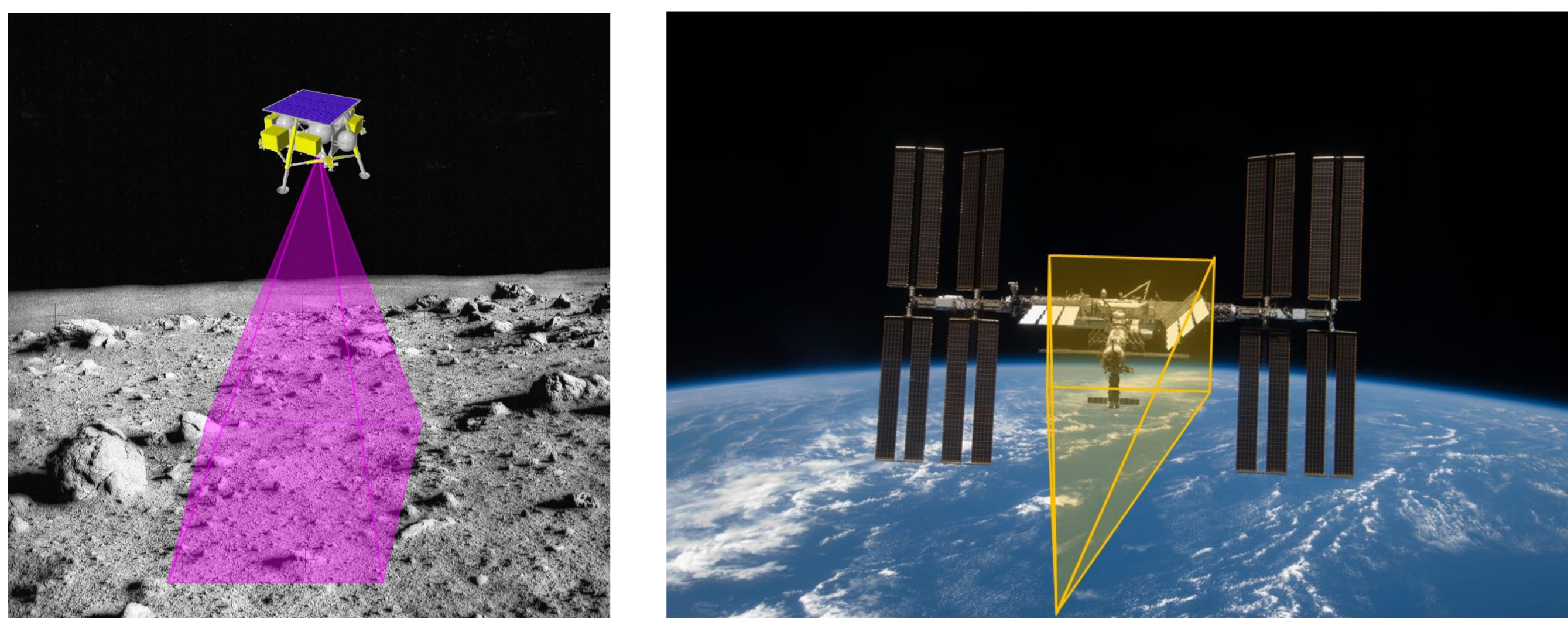
● 背景

近年月・惑星に関する本格的な科学観測活動が行われているが、これらの探査機の多くが数十～数百kmからの距離測定が可能なLIDARを搭載している。さらに、月や惑星に着陸探査をおこなう探査機では、着陸直前に地形測定や着陸時の障害物回避の必要から、単一方向の測距装置だけでなく数百mから3次元的な距離画像が取得可能なセンサが強く望まれている。同様に軌道上でのランデブードッキング用の航法センサとしても、3次元距離画像センサへの要求は強く、さらに有人機へのドッキングの際はアイセーフレーザの使用も望まれる。

こうした要望に対して、現状ではスキャンタイプのLIDAR(レーザ距離計)またはリニアモードAPDアレイを使ったFlash LIDARがある。

従来のスキャン型LIDARは、指向性の鋭いレーザと狭い受信視野をミラーで走査するため、十分な距離が確保できる反面でフレームレートが遅く、走査機構があるため構造が複雑になる。

Flash LIDARは米国ではASC社が実用化し、スペースX社の宇宙機DragonのランデブードッキングセンサとしてDragon-Eyeを供給している他、OSIRIS-Rexも着陸直前の近距離用センサとして搭載する予定である。このFlash LIDARはフレームレートは10Hz以上が得られるが、リニアモードのAPDを使用しているために感度が低く、搭載レーザの出力を十分に高められない惑星探査では、システム要求に耐える画素数と距離の両立が難しい。この問題点を解決できる可能性として、ガイガーモードのAPDアレイを使ったFlash LIDARが考えられる。米国Princeton Lightwave社製のデバイスが128×32pix.にて購入(ITER対象品)であるが、システムからの要求分解能は256×256で大きな隔りがある。



(a) 月着陸機の障害物検出センサ (b) ランデブードッキング用の接近センサ
図1 Flash LIDAR イメージ

● 月着陸機の障害物検出センサ要求仕様

表1 月着陸機の障害物検出センサとしての要求仕様

項目	要求値
最大距離	500m
分解能 (Range)	0.1m
分解能 (Cross Range)	0.5m
反射率 (月面)	10%
視野	15 x 15 deg.
フレームレート	1~10Hz
重量	10kg程度以下

クロスレンジ方向の分解能として0.5m、視野角15°以上が要求されているため、距離500mの場合は256×256、距離200mでも128×128が必要となる。一方で、月・惑星探査機に搭載可能な重量としては10kg程度まで(はやぶさ2のLIDARは3.7kg)と考えられ、このような重量リソースで実現可能なレーザ出力は搭載実績が豊富なYAGレーザ(1.064μm)でも20mJ程度である。Flash LIDARではレーザは拡散され、1画素あたりの回線に使用されるレーザエネルギーは小さくなるため、検出用のAPDを通常のリニアモードで使用した場合、200m程度が限度となる。ガイガーモードは光強度の検出はできないものの、検出感度は2~3桁程度改善が見込まれ有望である。

● Flash LIDAR用デバイス

Flash LIDARの開発の鍵は、APDアレイとその後段の時間計測回路(ROIC:Read Out IC)で形成された受信専用の複合デバイスの開発にある。デバイスは下図のように、APDと時間計測回路をアレイ状に配置して、2つを垂直に接合して形成される。APDの感度を示すブレークダウン電圧を均一に作る 것이難しいため、時間計測回路をできるだけ小さく作る必要がある。

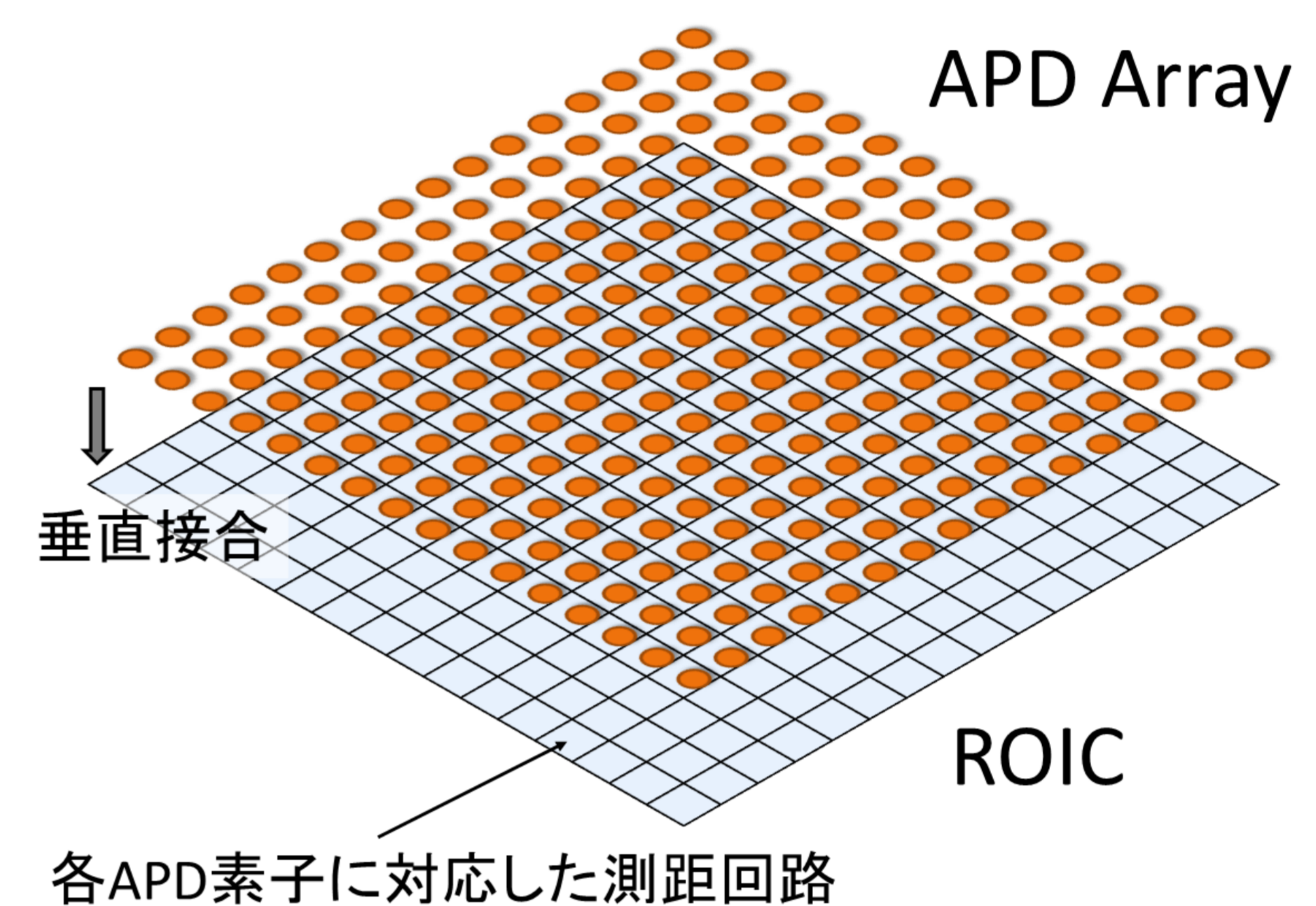


図2 Flash LIDAR用デバイスの構造

● ROIC(時間計測回路)

ROICはできるだけ小さな面積で作る必要があること、搭載品として実績のあるプロセスであること、開発コストを低減することから、民生シャトルサービスのCMOS0.18μmプロセスを選択した。民生シャトルサービスによるFM品製造管理については、光検出デバイスLIDARX開発にて検討済みである。

1画素の時間計測回路の概略を図3に示す。0.1mの時間分解能を持たせるために内部で1GHzを生成し、回路規模を小さくおさえるためにカウンタではなくM系列符号発生器を使用している。ガイガーモードAPDのためのクエンチ回路については、デバイス側に抵抗負荷するか、外部に持たせる設計である。本年度はこの時間計測回路を16×16素子配置した回路(図4)を試作し、基本特性の測定評価を行う。回路のレイアウト結果を図5に示す。

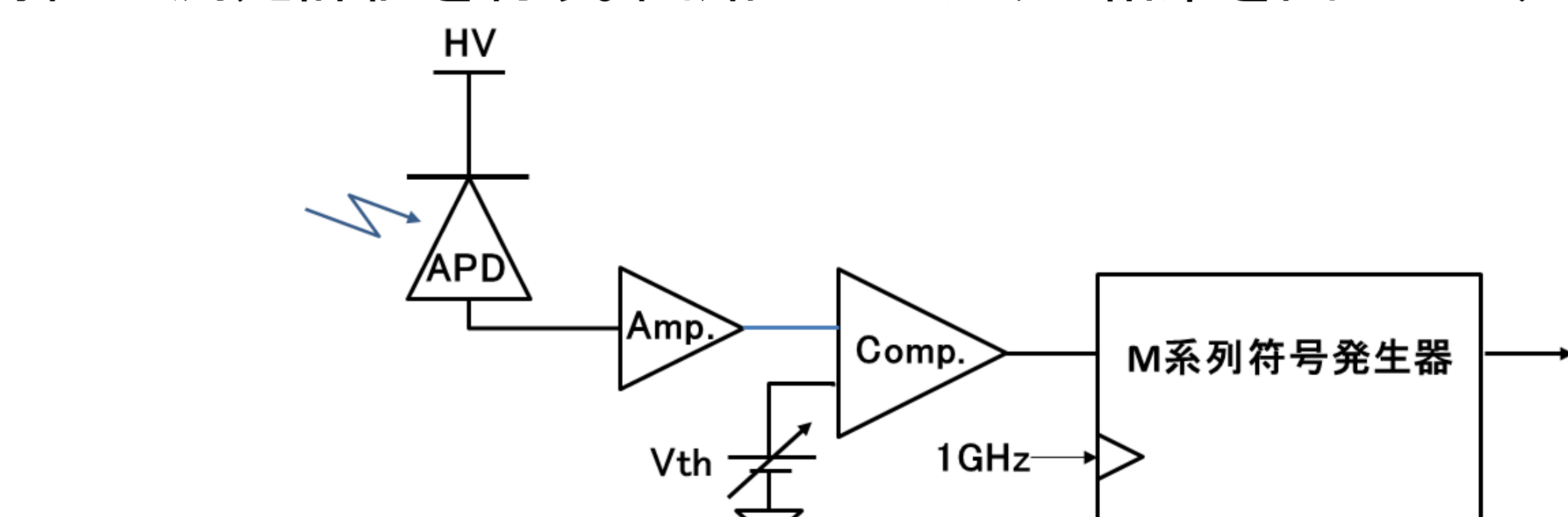


図3 1画素時間計測回路

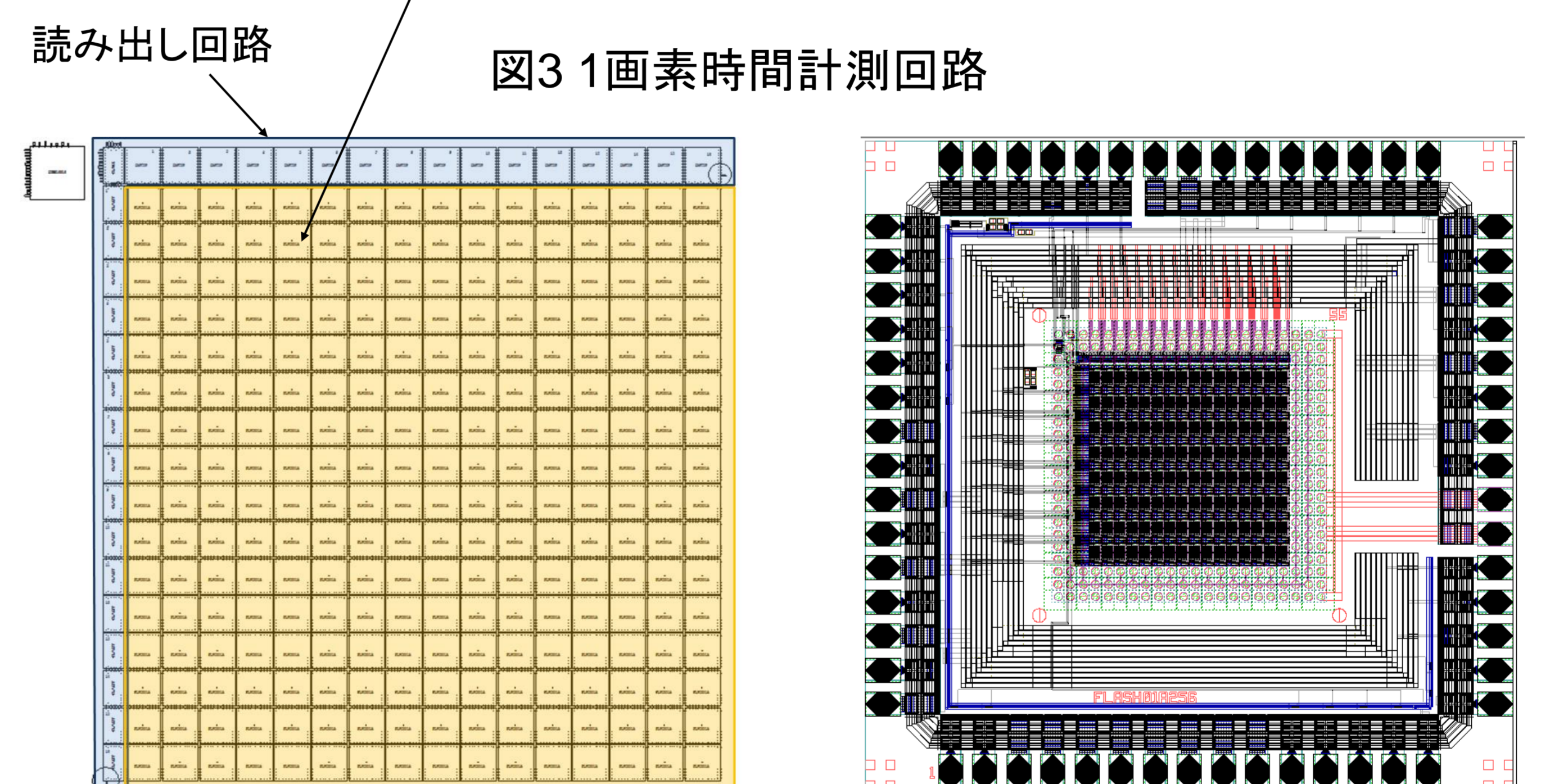


図4 16×16に配置された計測回路

図5 レイアウト

● まとめ

Flash LIDARおよびその専用ICについて概要を説明し、現在開発中の時間計測回路についてご紹介した。

現在、TSMC CMOS0.18μmプロセスにて製造中であるが、今後は回路単体の電気的特性を評価し、APDと接合して複合デバイスとして試験を実施する予定である。