

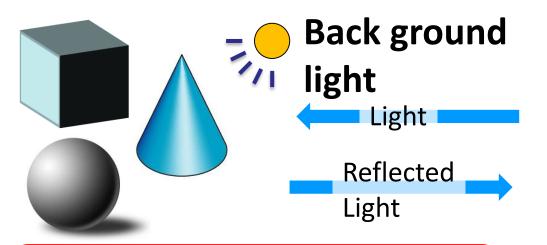
ショートパルス方式直接間接 ハイブリッドTOFイメージセンサ

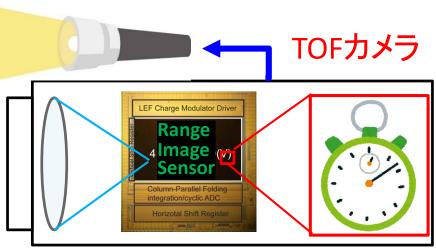
静岡大学 電子工学研究所 ナノビジョン研究部門 イメージングデバイス分野 教授 川人 祥二

令和2年11月5日

TOF (time of flight)レンジ (3D)カメラ







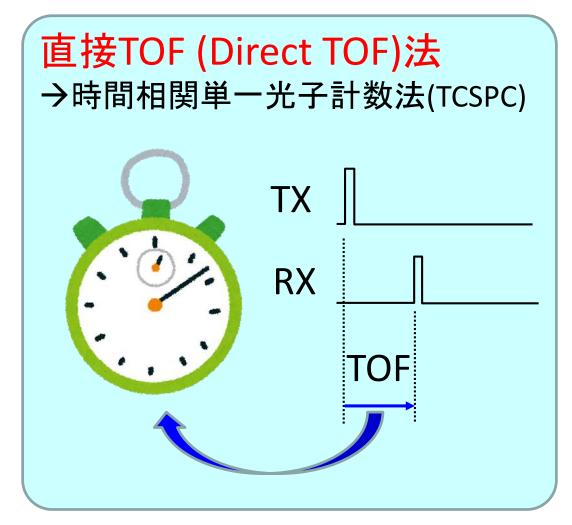
距離=光の速度×光飛行時間 2

- なぜ TOF カメラ?
- 単純な構成 (低コスト)
- ・低い計算コスト
- 超小型モジュール可能
- 高速3次元計測可能

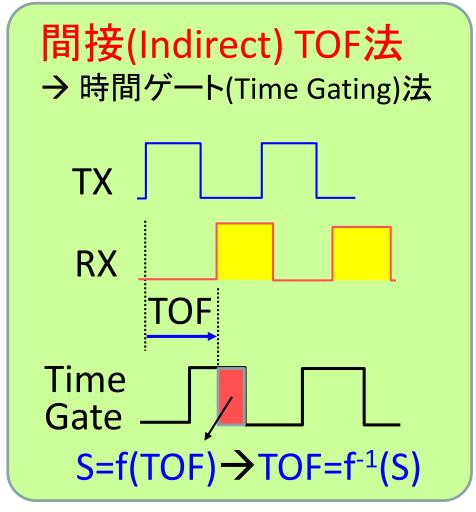


直接(Direct) TOFと間接(Indirect) TOF法





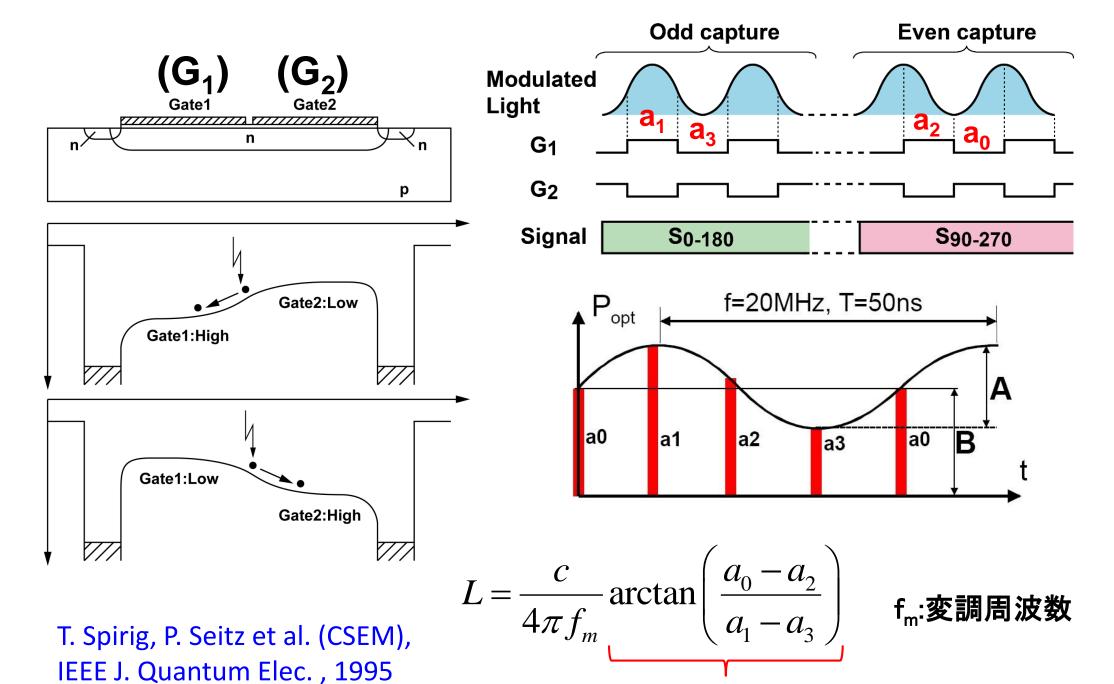
- 高周波クロック (>1GHz)が分解能 を決める.
- ピクセル当たりに必要な回路規模が 大(多画素数のセンサは困難)



- ピクセル当たりに必要な回路 が簡単.
- 変調周波数 (>100MHz) が分解 能を決める。

間接法の従来技術:2タップCW変調ピクセル



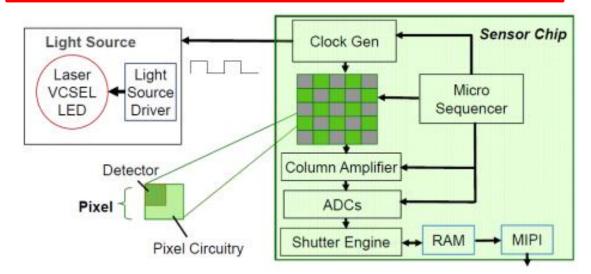


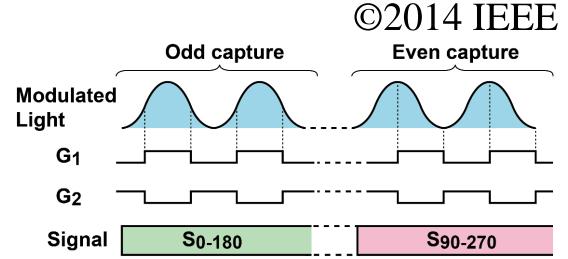
位相

4

間接型TOF距離画像センサの例

2タップ, 量子効率変調ピクセル, 連続波(CW)変調





Bamji et al., ISSCC'14, JSSC'14

• 画素数: 512 x 424

・デプス誤差: <0.5%

• 測距範囲: 0.8~4.2m

・マルチ変調周波数(3周波数)

· 消費電力:2.1W

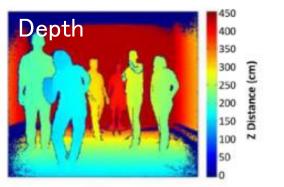
Surface Plot Avg. 100 frames



©2014 IEEE

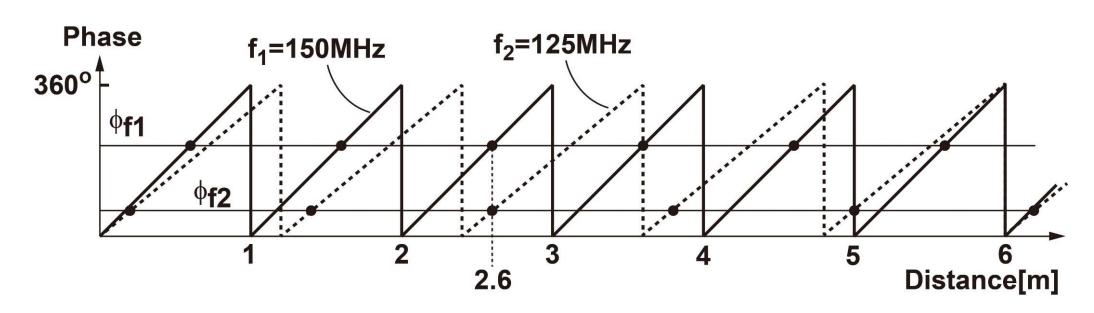
30fps Room lighting / Active IR





新技術説明会 New Technology Presentation Meetings!

CW法による2周波数を用いた長距離測定

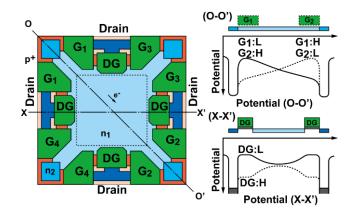


- •2つ周波数で推定した距離が一致する点から、距離を定める。 (上図の場合、3周期目の2.6mの点)
- 少なくとも2回(2フレーム)測定する必要がある。測定する時間帯の差のため、 動きのある対象物に対してエラーを生じる可能性
- -2つの周波数比(整数比と仮定)の最小公倍数を周期とする曖昧性が残る(上図の場合、1m/1.2m=5/6→(5x6)x1/5=6mを周期,2.3mか8.6mか区別がつかない)
- ・遠距離で、SN比が悪くなると、何周期目かわからなくなり、誤差が大きくなる。(周波数差を小さくすると曖昧性は改善。しかし、周期の判定を間違いやすくなる)

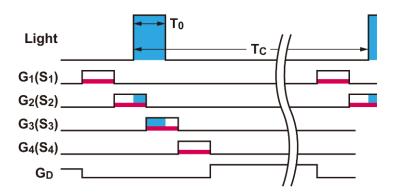
hTOFイメージセンサ



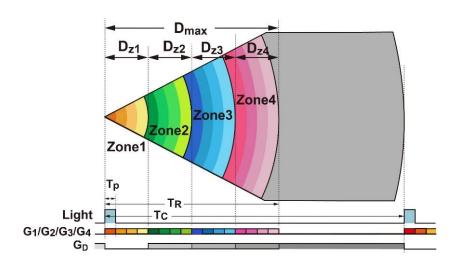
 マルチタップ出力(≥3)&高速ドレインの ロックインピクセル



2. ショートパルス変調を用いたピクセル内 ハイブリッドTOF計測

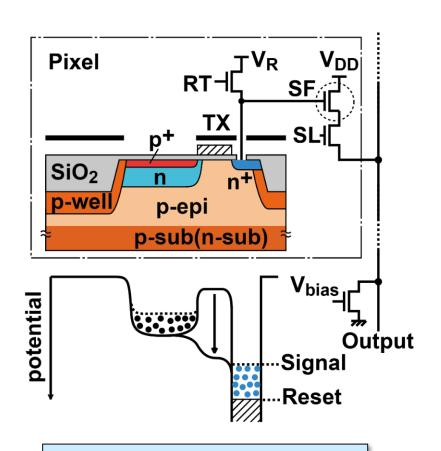


3. 高サブフレーム速度読み出しによる多窓(≧5)ハイブリッドTOF計測



CISピクセル

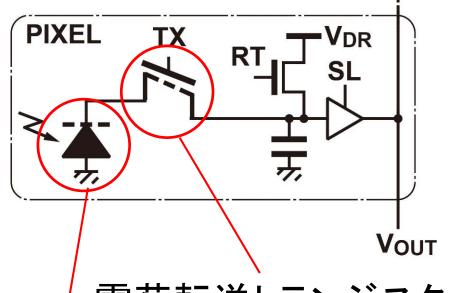




埋込フォトダイオードを用いた1段電荷転送型ピクセル -低ノイズ(kTCノイズ キャンセル)

- 低暗電流
- 高変換ゲイン(高感度)

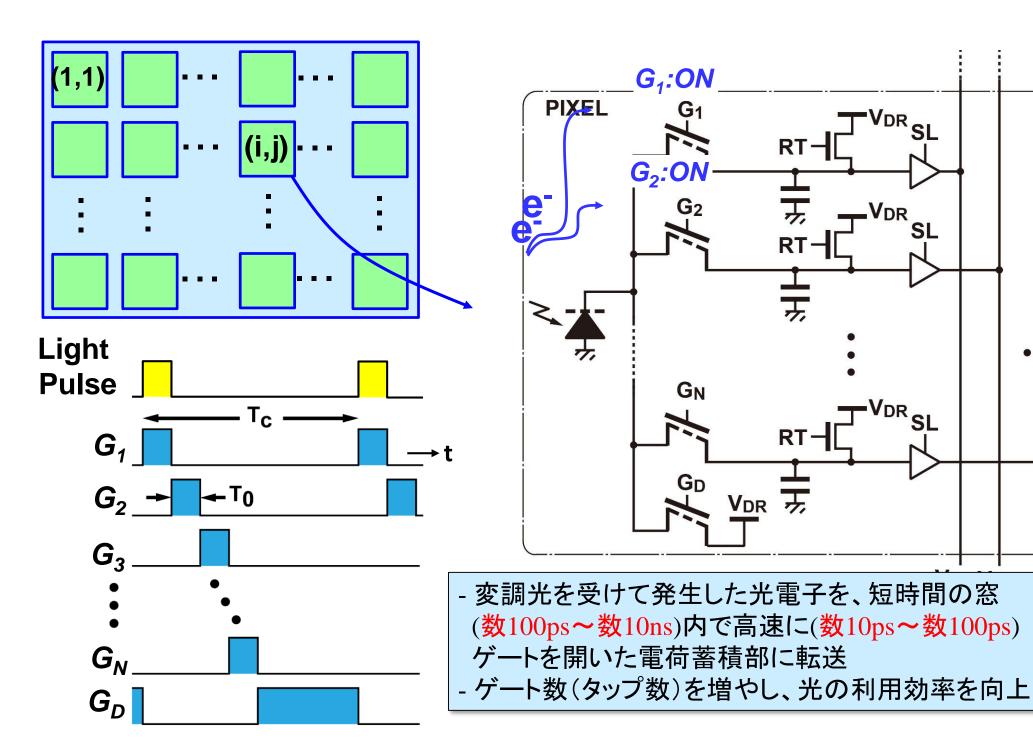




電荷転送トランジスタ (方向性(左→右)が あり、完全転送(---)できる

フォトダイオード (電荷転送時、完全空乏化(---) できる)

マルチタップイメージセンサ

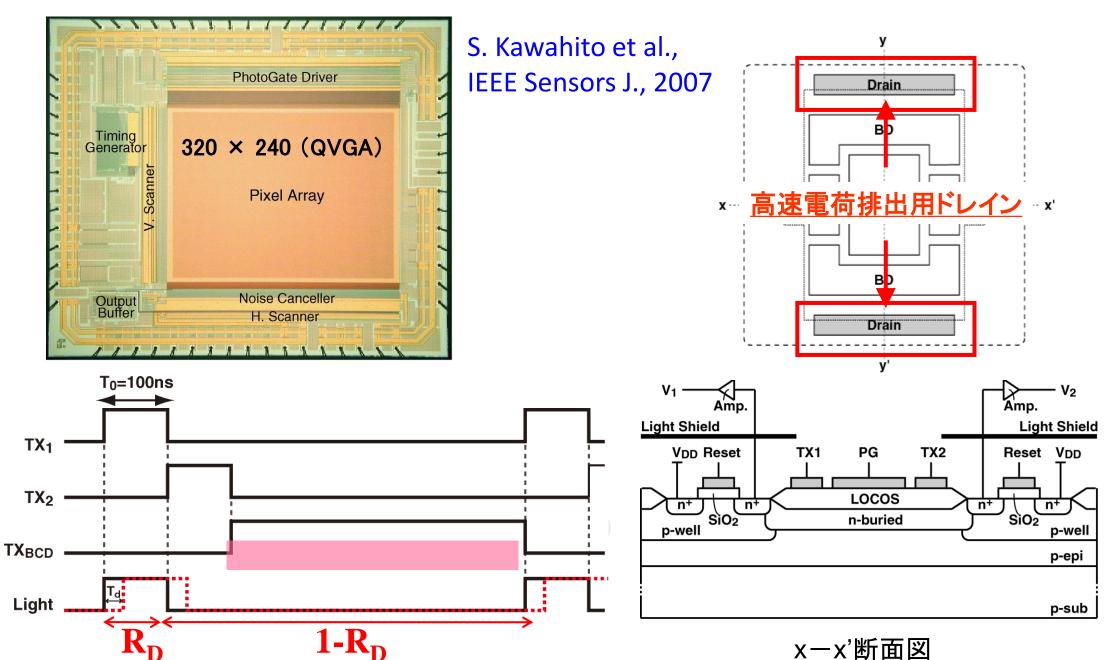


9

VON

iTOF(間接TOF)距離画像センサ

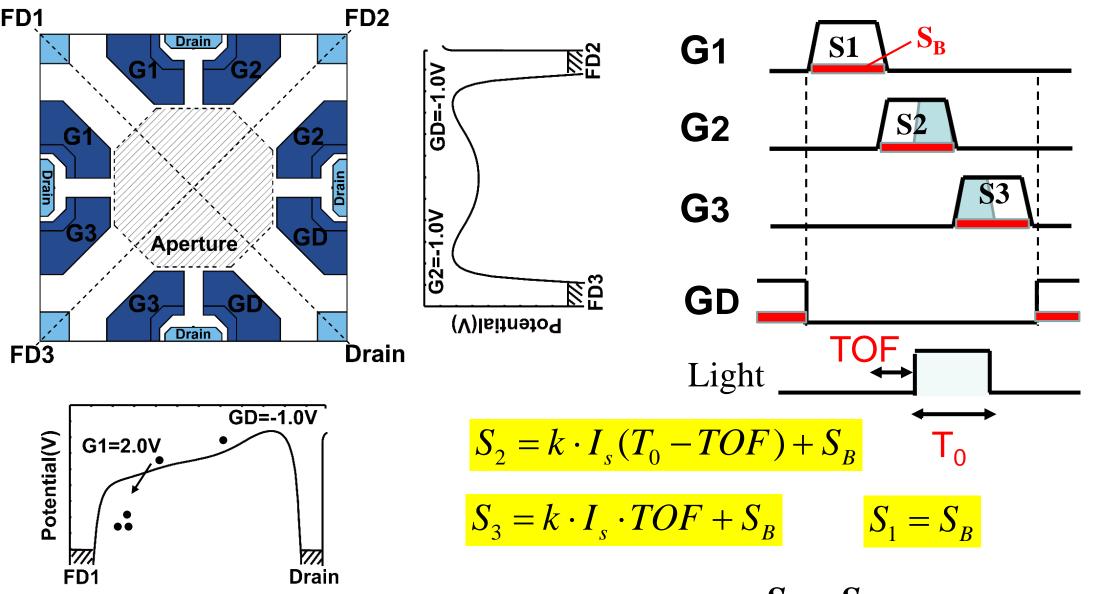




高速ドレインを持つマルチタップピクセルによるショートパルスTOFセンサ

3タップピクセルよる動き歪のないTOF計測



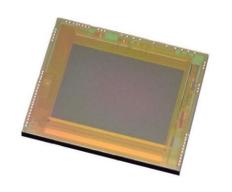


1フレーム内で、距離計算完結 →動き歪のないTOF計測

$$TOF = \frac{S_3 - S_1}{S_2 + S_3 - 2S_1} T_0$$

動き歪のない3タップTOFイメージセンサ









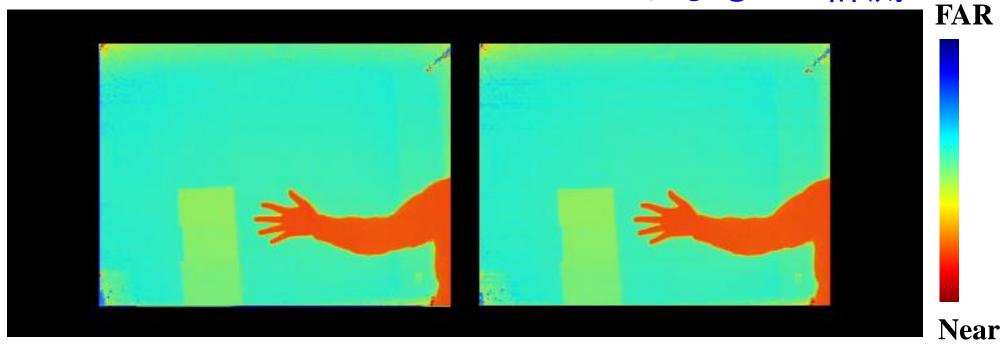
TOF Camera



TOF Camera Module $(70(W) \times 20(H) \times 10(D))$

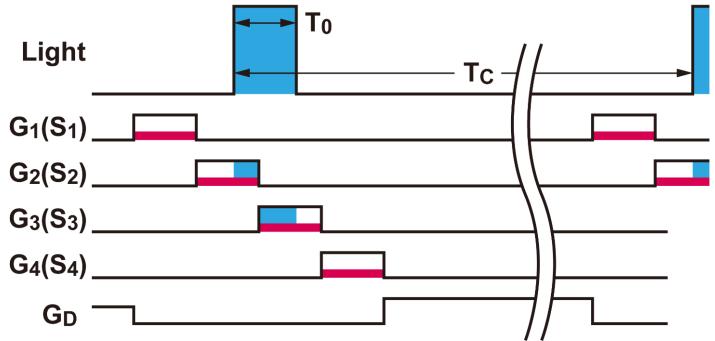
3タップピクセルによる フレーム内TOF計測

2タップピクセルによる 2フレームによるTOF計測



4タップ(+ドレイン)ピクセルによる多窓TOF計測



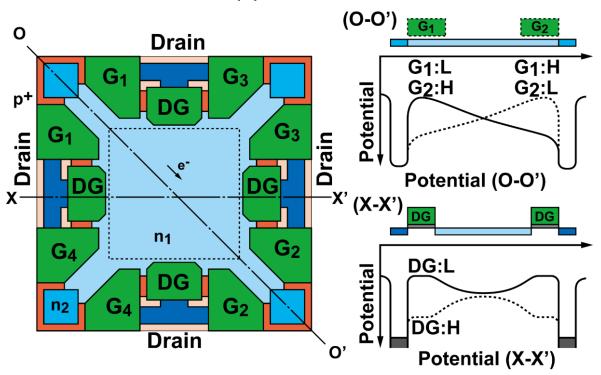


$$S_1 = S_B$$

$$S_2 = k \cdot I_s (T_0 - TOF) + S_B$$

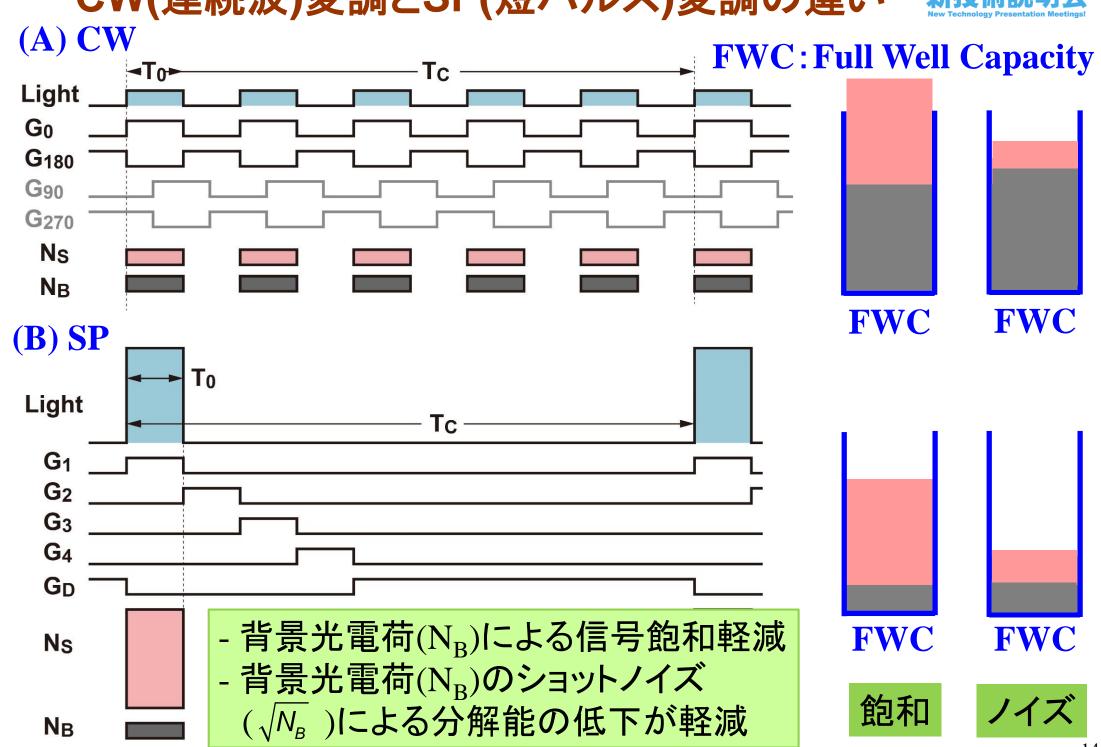
$$S_3 = k \cdot I_s \cdot TOF + S_B$$

$$TOF = \frac{S_3 - S_1}{S_2 + S_3 - 2S_1} T_0$$



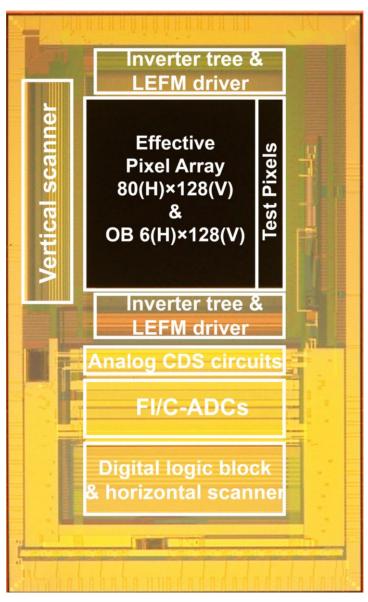
CW(連続波)変調とSP(短パルス)変調の違い

新技術説明会 New Technology Presentation Meetings!

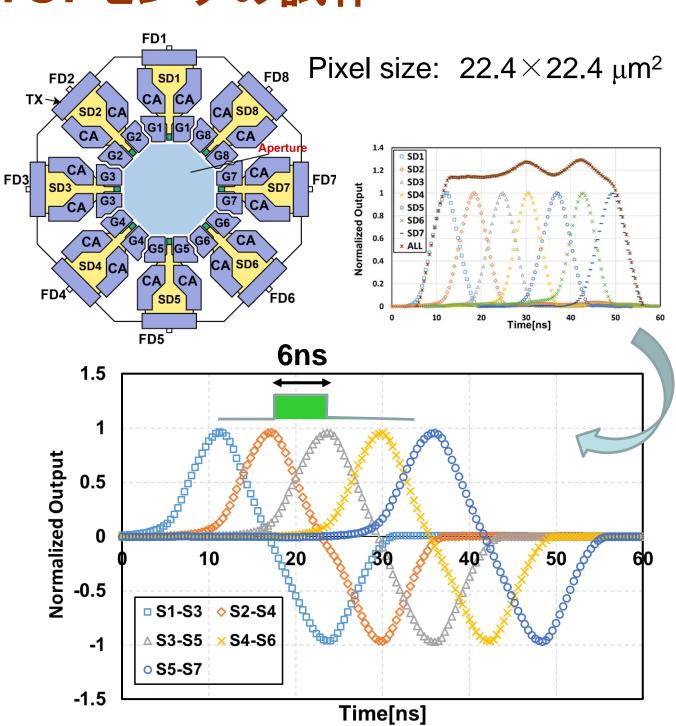


8タップTOFセンサの試作



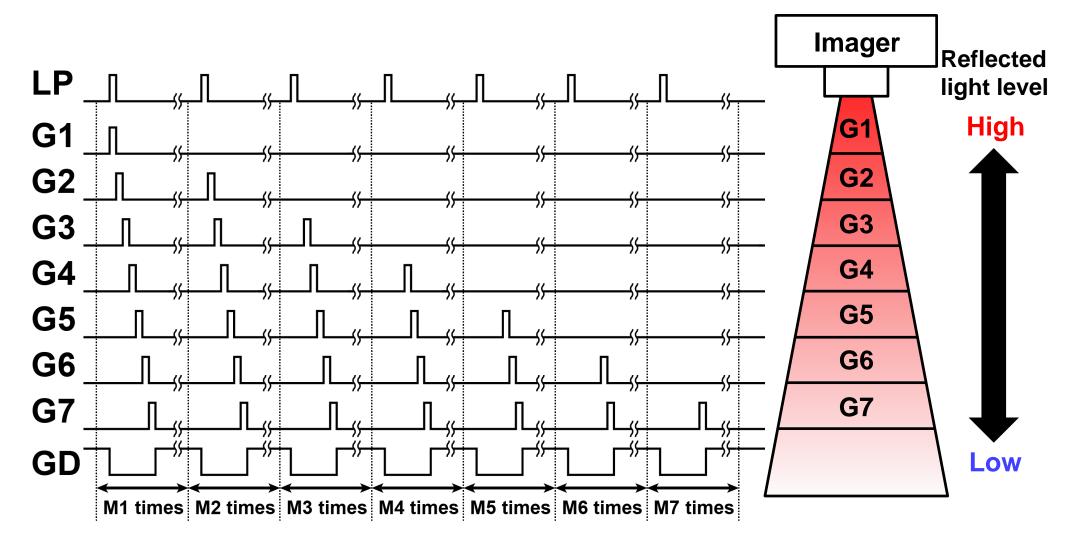


Y. Shirakawa, S. Kawahito et al., Sensors 2020, MDPI



反射光強度に対する最適化ゲーティング





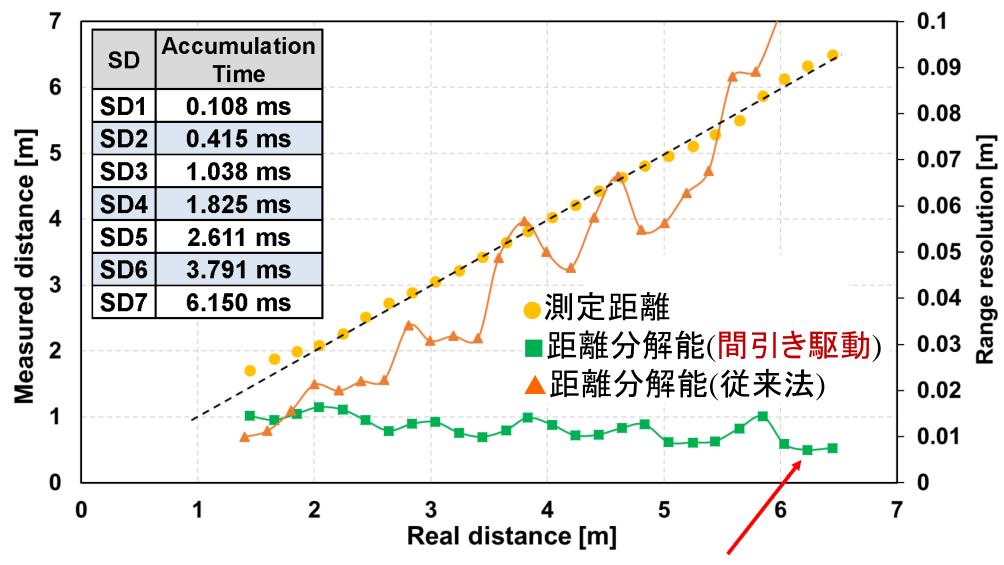
Accumulation time G1<G2<G3<G4<G5<G6



Accumulation signal level

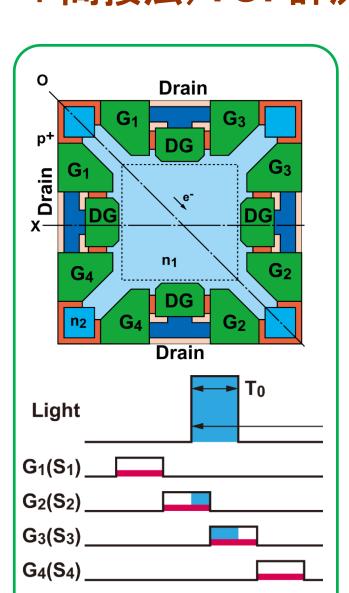
間引き駆動法の効果(測定結果)



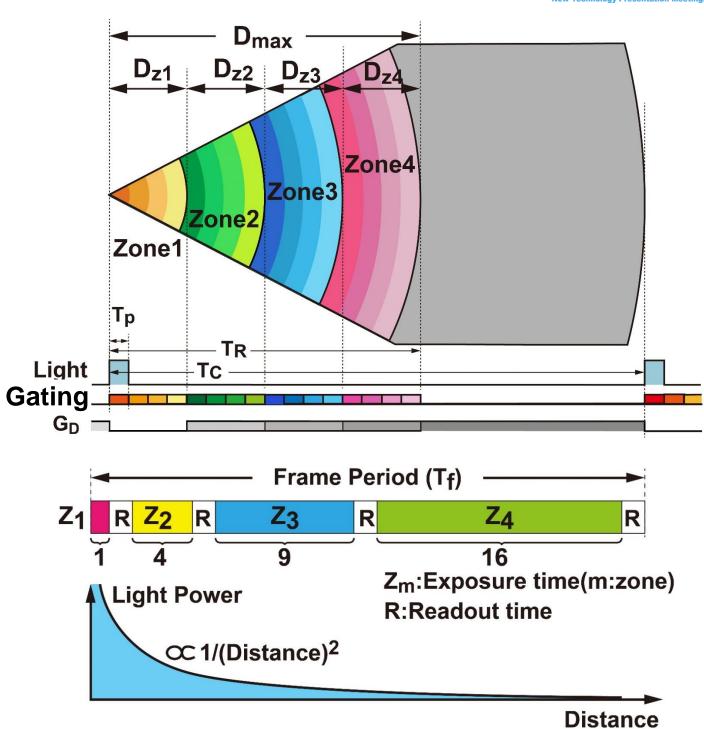


Best range resolution (σ) achieved is 7.1mm@6.2m (0.11% of depth).

ハイブリッド(直接法 +間接法)TOF計測

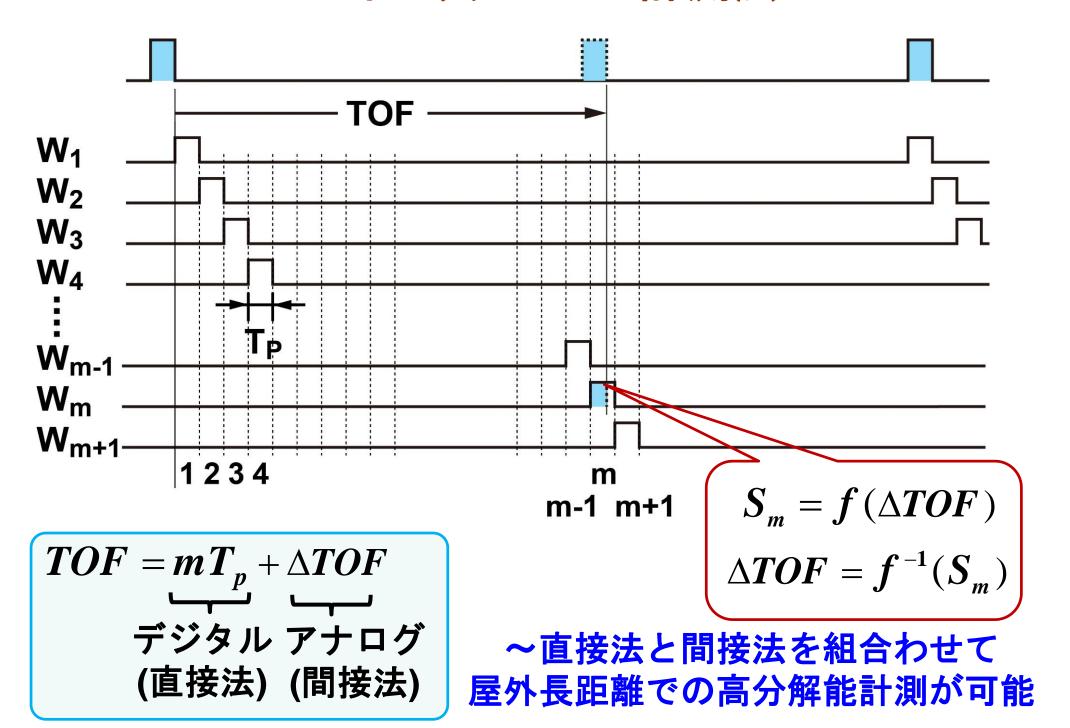


 G_D



ハイブリッド TOF計測法





TOFセンサ比較想定スペック



CW変調, 2タップ方式

SP変調ハイブリッド(4タップ)方式

項目	値	
TOFセンサ撮像方式	CW変調法, 2周波数	
画素数	424(V)x 512(H)画素	
画素サイズ	10mm	
画素量子効率	20%@860nm	
平均変調周波数	120MHz	
復調コントラスト	60%@120MHz	
フレーム読出し時間	0.1ms	
サブフレーム数	4	

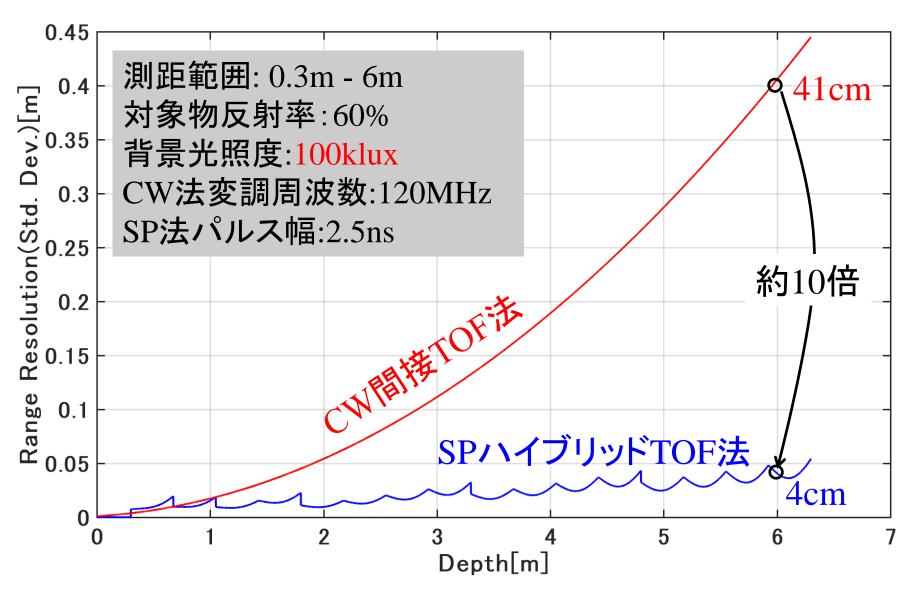
項目	値	
TOFセンサ撮像方式	SP変調ハイブリッド法	
画素数	480(V)x 640(H)画素	
画素サイズ	16.8mm	
画素量子効率	20%@870nm	
時間窓幅	2.5ns	
復調コントラスト	90%@2.5ns	
フレーム読出し時間	1ms	
サブフレーム数	4 (蓄積回数比: 1:4:9:16)	

共通項目

	項目	値
1	光源平均パワー	0.5W
2	視野角(垂直)	40°
3	視野角(水平)	60°
4	レンジマップ速度	30 fps
5	最長測定距離	6m
6	被写体反射率	60%



SPハイブリッドTOF法とCW変調・間接TOF法の距離分解能(σ)比較(計算(概算)による予測)





企業様への期待

- ハイブリッドTOFイメージセンサは、従来の間接 TOFイメージセンサでは、困難であった屋外 10m以上のレンジにおいて、高解像度かつ高分 解能を達成しうる方式です。
- 屋外・中長距離で使える測距センサをお求めの 企業様に本技術の導入が有効と思われます。



本技術に関する知的財産権

• 発明の名称 : 距離画像測定装置及び

距離画像測定方法

• 国際公開番号: WO2019/078366

• 出願人 : 静岡大学

• 発明者 :川人祥二

産学連携の経歴



- ・1999年-現在 年3社以上の企業と共同研究実施
- ・2002-2011年 文部科学省知的クラスター創成事業
- 2006年-現在 大学発ベンチャー、ブルックマンテクノロジ 社設立
- 2009年-2011年 A-STEP実用化挑戦タイプ
- 2014年-2016年 A-STEPシーズ育成タイプ
- ・2011年-2016年 産学共創基礎基盤研究プログラム
- 2016年-2020年 文部科学省 地域イノベーション・ エコシステム形成プログラム
- 2013年-2021年 COIプログラム 光創起COI-S研究拠点
 リサーチリーダー



お問い合わせ先

静岡大学

イノベーション社会連携推進機構

TEL 053-478-1718

FAX 053-478-1711

e-mail sangakucd@cjr.shizuoka.ac.jp