

## 文部科学省と国立大学附置研究所・センター 個別定例ランチミーティング

### 第69回 静岡大学 電子工学研究所 (2023.12.22)

- |                    |   |  |                |
|--------------------|---|--|----------------|
| 12:05 – 12:10(5分)  | : | 研究所・センターの概要                              | <b>所長 木村雅和</b> |
| 12:10 – 12:25(15分) | : | <b>教授 小野 篤史</b><br>「プラズモニクスの光電子デバイス応用」   |                |
|                    |   | <b>准教授 安富 啓太</b><br>「高精度なToF距離イメージセンサ技術」 |                |
| 12:25 – 12:45(20分) | : | 質疑応答                                     |                |



電子工学研究所

Research Institute of Electronics



高柳健次郎 先生

The late Prof. K. Takayanagi

1965



「私の全心霊は、  
静岡大学と  
共にある」

1960.4.1~  
1969.3.31

渡辺 寧 (第4代学長)



The First Electronic Television (1926)

40 scanning lines and a television  
picture rate of 14 per second



Research Institute of Electronics established in 1965



「ナビジョンサイエンス」(ナノテクノロジーにより画像技術を根本から変革する新学術・技術分野の創出)

## ナビジョン研究部門

シミュレーション技術の研究、材料からデバイス研究、システム化研究と幅広く、新規イメージングに関する研究を行う

- CMOS技術をベースにした、高性能・高機能イメージセンサとアナログ (Mixed-Signal) 集積回路の研究
- 圧縮センシングに基づくコンピュータシヨナル超高速カメラ
- X線、 $\gamma$ 線などの高エネルギー線用の高性能・高機能イメージセンサの研究
- 半導体中性子検出器
- 不可視光イメージングのための高性能・高機能電子源の研究

## ナノマテリアル研究部門

ナノマテリアルを創製し、これらの構造(ナノ構造、結晶構造、バンド構造など)を制御することで新しい機構の発現の研究

- 機能性ナノセラミックスの薄膜及びバルクやハイブリッドナノ粒子を創製とこれらの構造の制御による新しい機構の発現。
- 熱電変換材料、光電変換材料、熱光起電材料と発光材料の合成
- 生物由来のナノマテリアルである生体膜や蛋白質、およびそれらの集合体である細胞を研究するための新しいイメージング法の開発とそれを駆使したバイオナノマテリアルの機能やダイナミクスの素過程の解明

## 極限デバイス研究部門

エレクトロニクス、フォトニクス、サーモエレクトロニクスなどの幅広い研究分野で、極限的特徴・性能をもつデバイスの研究・開発を行う

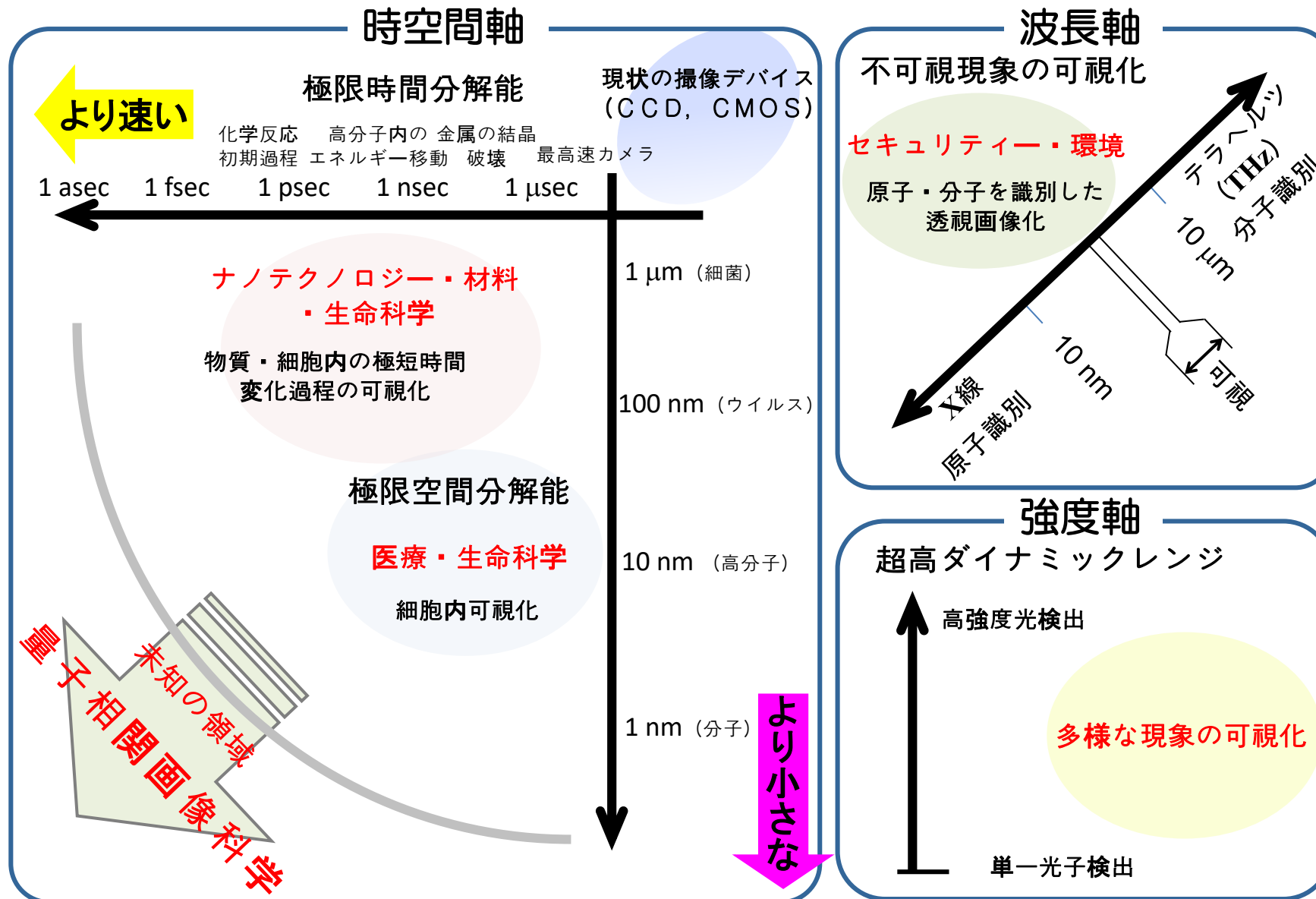
- 少数の電子やフォトンの検出・制御による極限的低消費電力デバイス・回路
- シリコン中のドーパント原子1個によって特性が決まる原子デバイス
- レーザリソグラフィ技術によって作製したマイクロ・ナノフォトニック構造をもつ新しい光機能デバイス
- シリコンナノ構造を用いた高効率熱電変換デバイス、光と金属を駆使した高効率光エネルギー変換デバイスの研究

## 生体計測研究部門

エレクトロニクス、フォトニクス、メカトロニクス、マイクロ・ナノサイエンスなどの研究分野で、新しい生体計測/加工装置などの研究・開発を行う

- 生体細胞計測に適用可能なプローブ顕微鏡
- レーザーを用いた細胞の補足・加工や計測、光を用いた酸素濃度/血流計測
- 微小頭蓋内脳波計測電極/自動展開型硬膜下電極アレイ
- 脳深部温度無侵襲計測装置の研究開発など





## 2002年より～85億円の国プロの獲得

### 光創起イノベーション研究拠点 開所



浜松ホトニクス、浜松医科大学、  
光産業創成大学院大学、静岡大学  
◆ 時空を超えて光を自由に操る社会の実現



### 電子工学研究所設立

1965年

◆ 極限イメージング  
の追求

2002年

● 第1期知的クラスター創成事業

2004年

● 21世紀COEプログラム

2007年

● 第2期知的クラスター創成事業

2012年

● 地域イノベーション戦略支援プログラム

2013年

● COI-S拠点  
● 国際科学イノベーション拠点整備事業

2015年

静岡大学  
Imaging Sevens構想

2016年

● 地域イノベーション・  
エコシステム形成プログラム

1926年

● 全電子式テレビジョンシステム誕生

The late Prof. K. Takayanagi



40 scanning lines and a television picture rate of 14 per second

**生体医歯工学共同研究拠点:** 東京医科歯科大学生体材料工学研究所, 東京工業大学未来産業技術研究所, 広島大学ナノデバイス研究所および静岡大学電子工学研究所の連携研究機関の機能融合により, 生体医歯工分野の先進的共同研究を推進し, 我が国の生体材料, 医療用デバイス, 医療システムなどの実用化を促進する拠点形成を目指す.

教職員	人数	国際連携(R4)	件数	外部資金(R4)	件数	金額(百万円)
教授	25	学術国際協定	6	科研費	27 (S:1,A:3)	132.7
准教授	16	国際研究プロジェクト	2	その他補助金	1	42.9
講師	1	派遣状況	27	教員一人当たり	0.6	3.7
助教	4	招聘状況	15	民間との共同研究	27	92.2
事務職員	12			受託研究	14	161.7
				奨学寄附金	12	26.3

共同利用・共同研究 状況	件数
論文数	121
国際学術論文	107
研究所	8
Top 10%論文(直近)	14
参画機関	96

**電研発スタートアップ: 7社**

**社会的なインパクト**

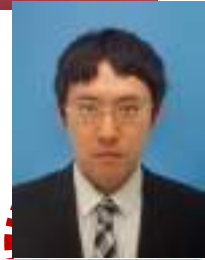
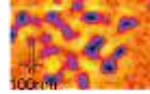
8K イメージセンサ、TOFイメージセンサ、  
フォトンカウンティングX線イメージセンサ



新産業創出に向けた地域エコシステムのコア拠点として地域・産業界と連携し、グローバルに展開する

世界のイメージング研究をリードする研究者を電子工学研究所に結集する

世界的な研究開発機関とのグローバル連携(研究・教育・人材育成・産学連携)



# プラズモニクスの光電子デバイス応用

小野 篤史

2006. 3. 大阪大学大学院 工学研究科応用物理学専攻  
博士後期課程修了 (博士(工学))

赤外近接場走査型光学顕微鏡の開発

2006. 4. 独立行政法人理化学研究所 ナノフォトニクス研究室  
基礎科学特別研究員

超解像金属ナノレンズの提案

2009. 1. 静岡大学 若手グローバル研究リーダー育成拠点  
特任助教 (テニュアトラック)  
電子工学研究所 兼任

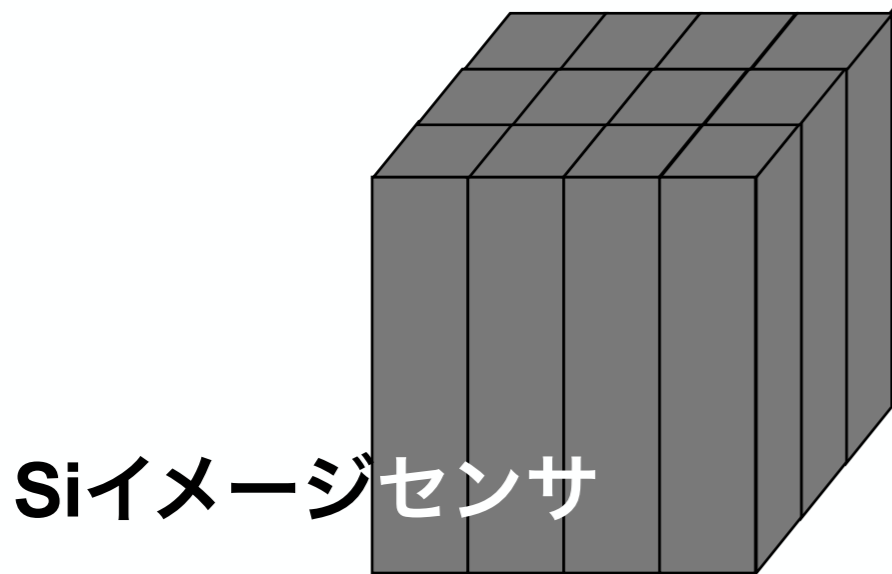
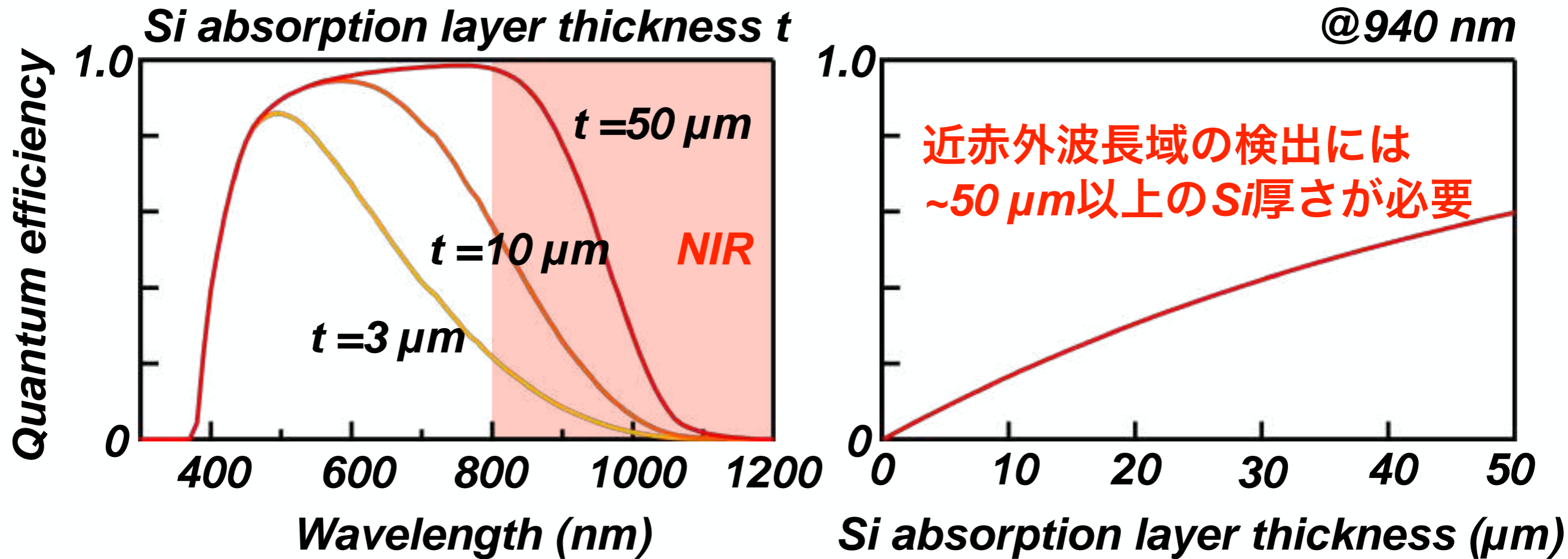
2013. 4. 静岡大学工学領域電子物質科学系列 准教授

2021. 6. 静岡大学工学領域電子物質科学系列 教授

「プラズモニクス」金属ナノ構造作製技術, 光電子デバイス応用



# シリコンイメージセンサの近赤外感度向上技術

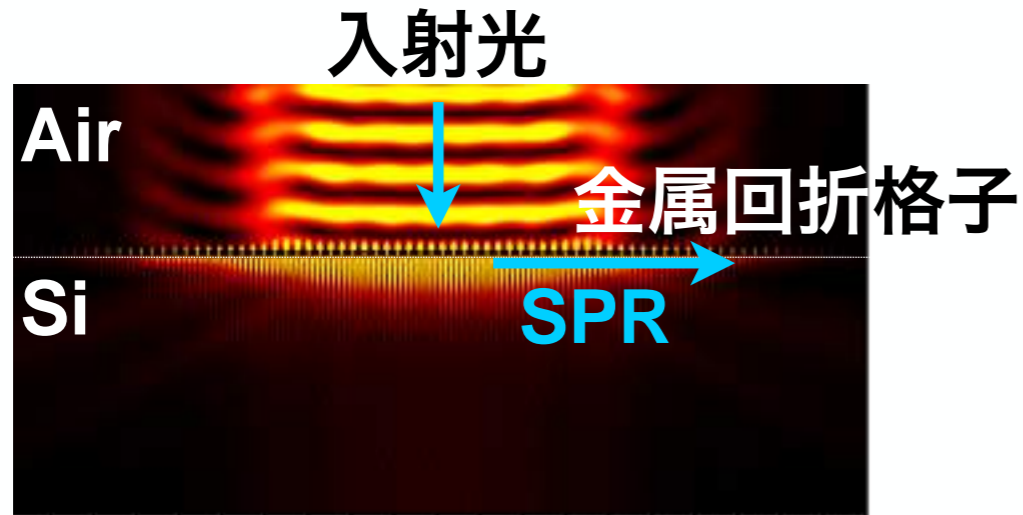


- 動作速度の低下
- 高アスペクト比構造形成が困難
- 画素間クロストーク

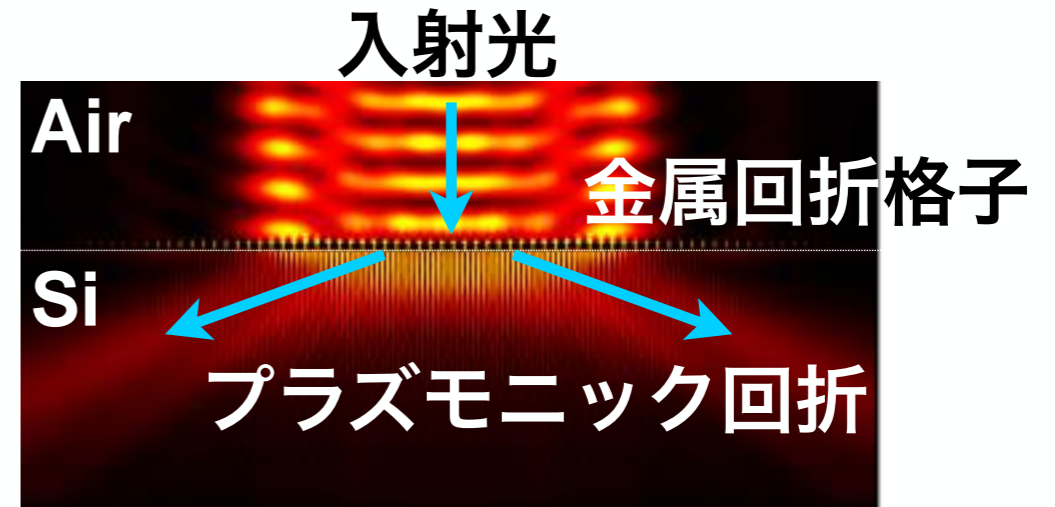
**Si層を厚くすることなく感度を向上する新技術が求められる。**

# 本研究提案 準表面プラズモン共鳴によるプラズモニック回折

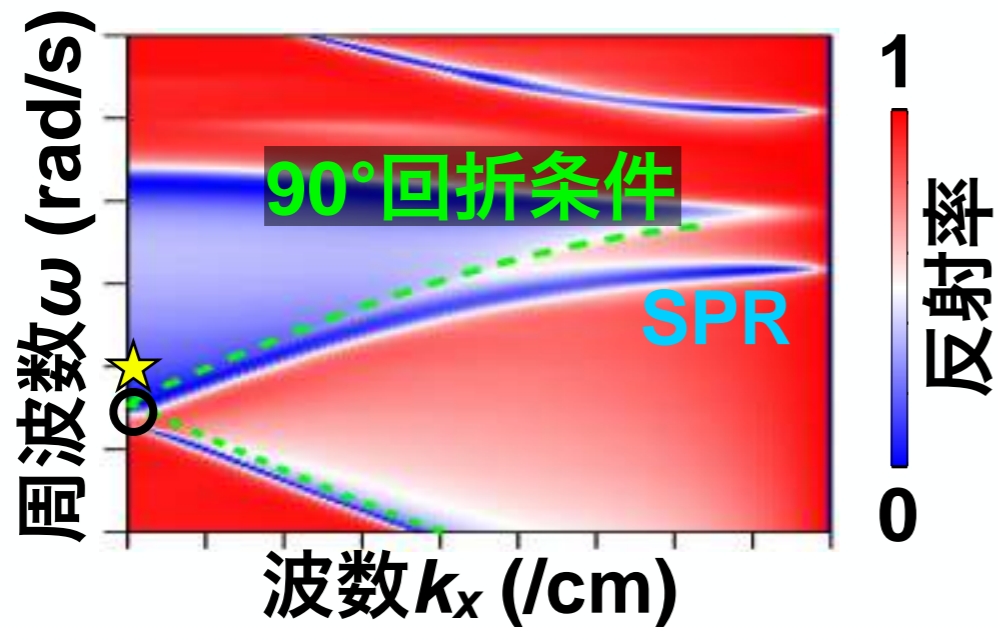
## 表面プラズモン共鳴 (SPR)



## 準表面プラズモン共鳴

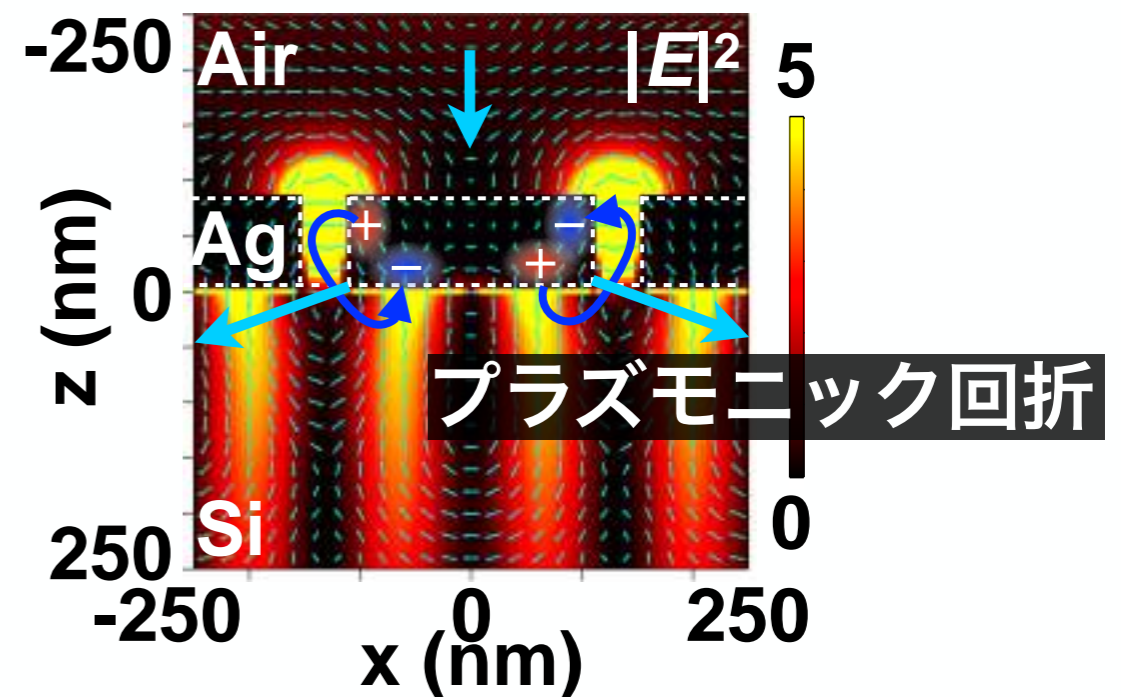


大きな回折角度かつ高効率にプラズモニック回折することを発見.

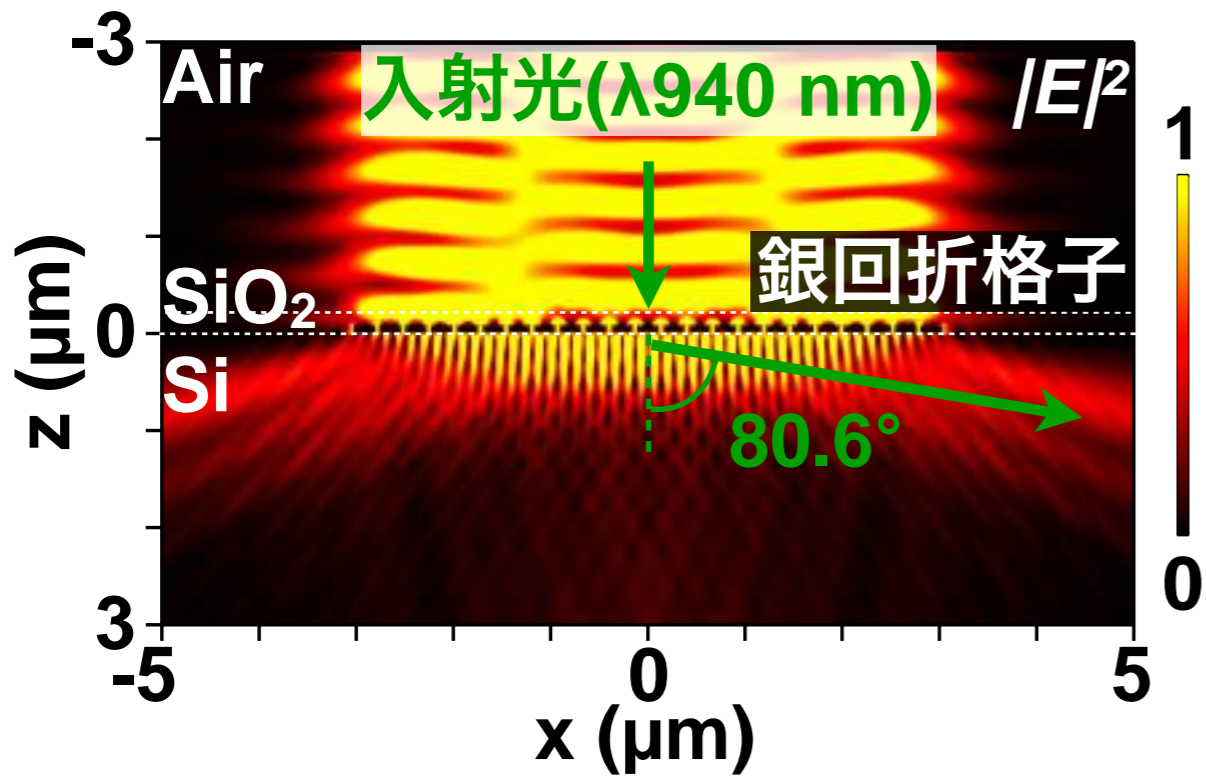


準共鳴状態(★)において光はシリコン側に回折する.

## 電場ベクトル分布



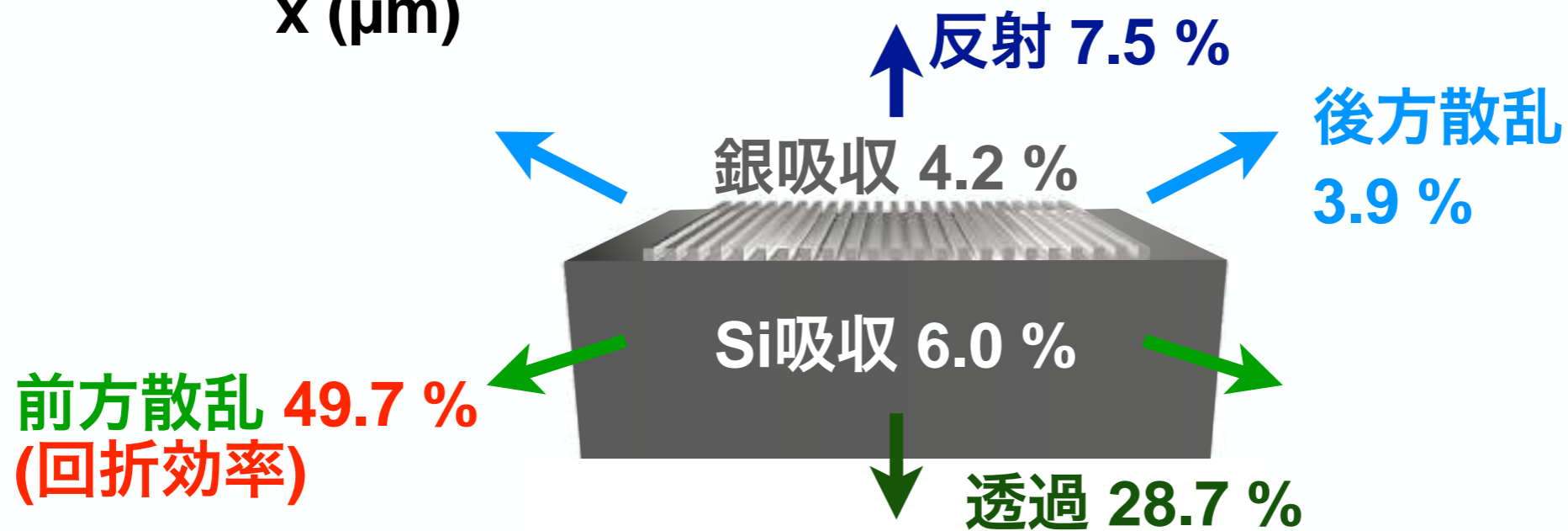
# プラズモニック回折



## 回折角度の理論式

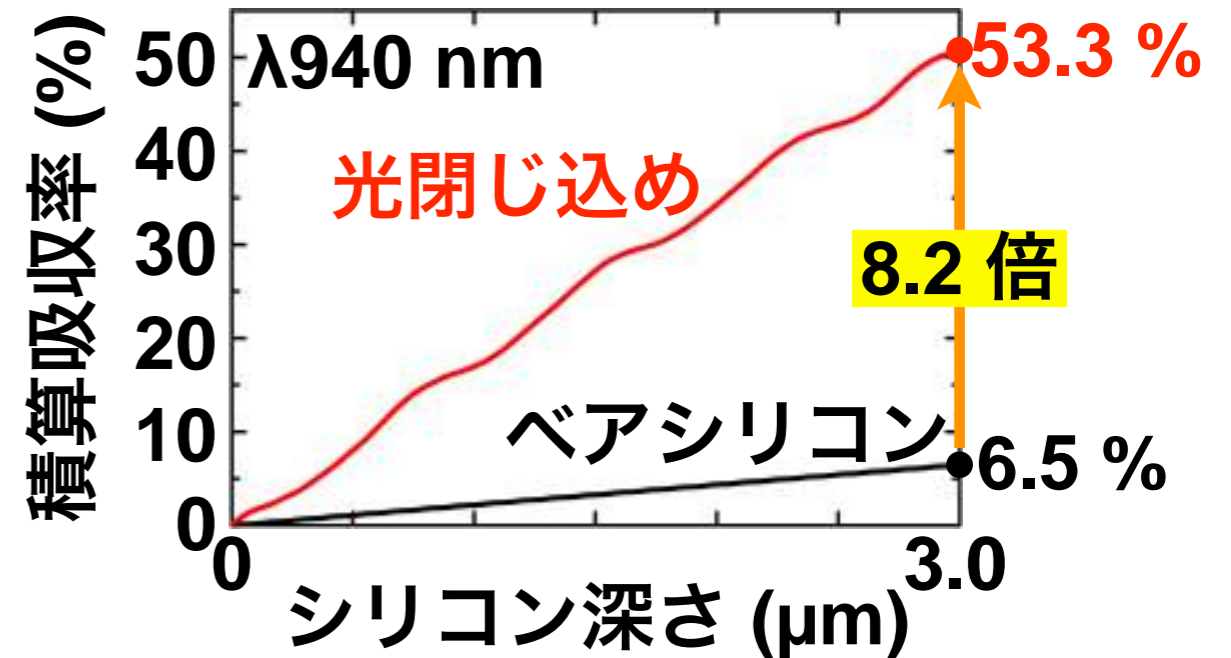
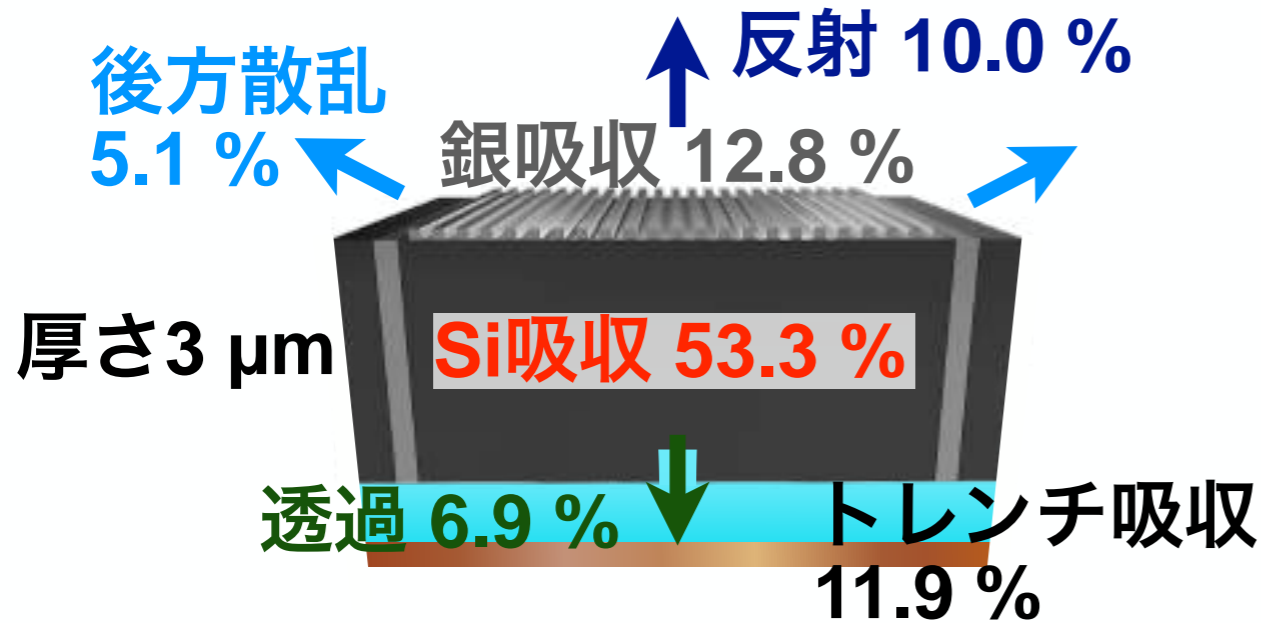
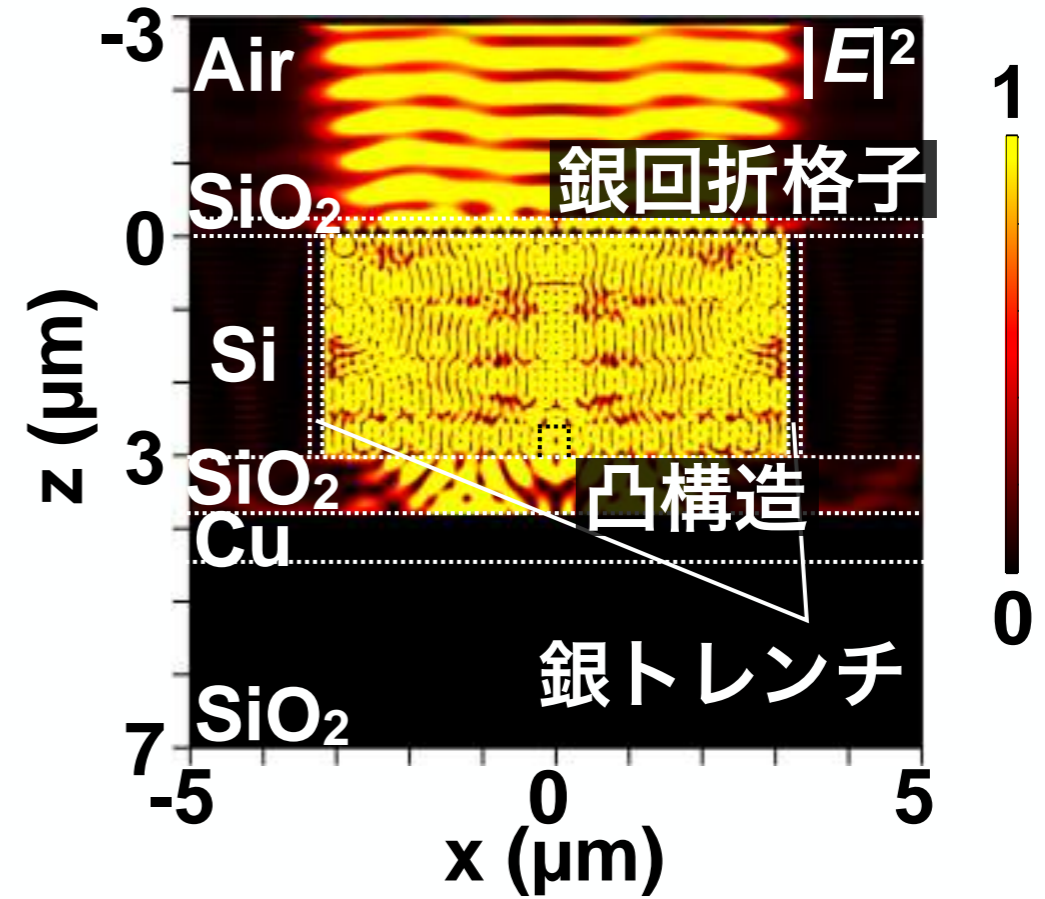
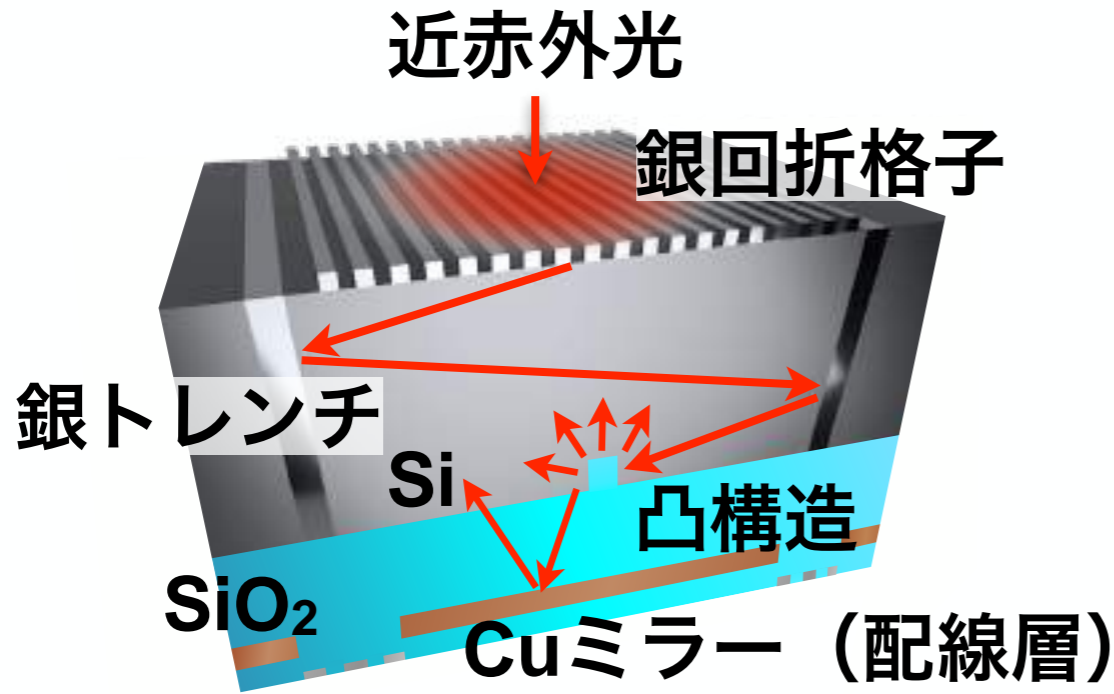
$$\theta_d = \arcsin\left(\frac{m\lambda}{n_{\text{Si}}p}\right) = 80.6^\circ$$

$$m=1, n_{\text{Si}}=3.595, p=265 \text{ nm}$$



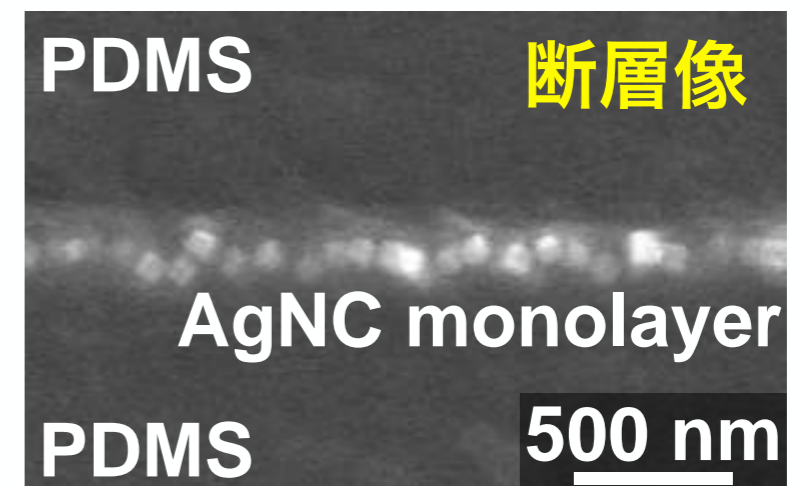
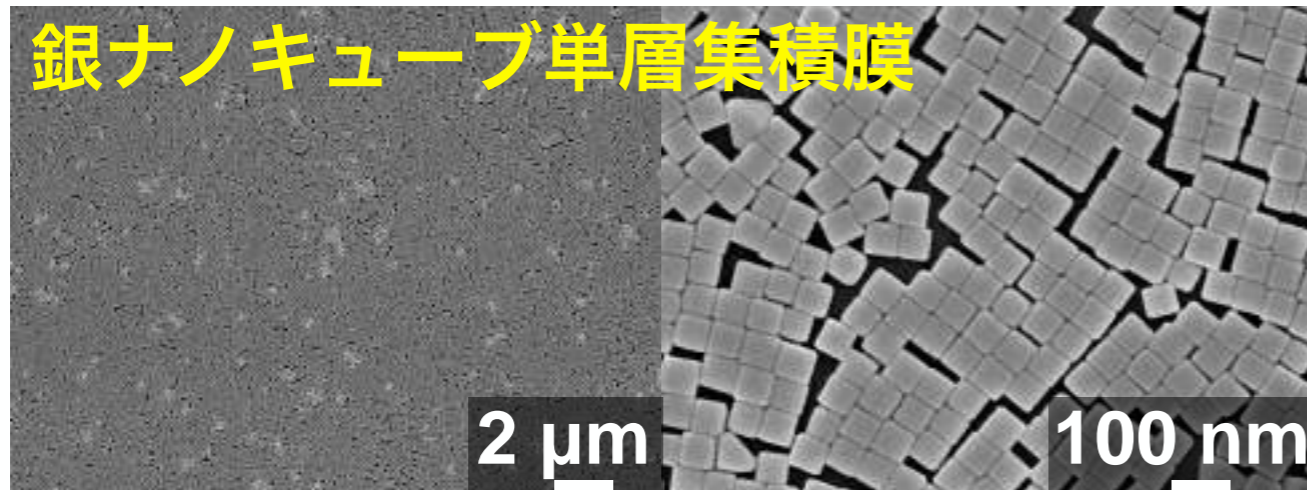
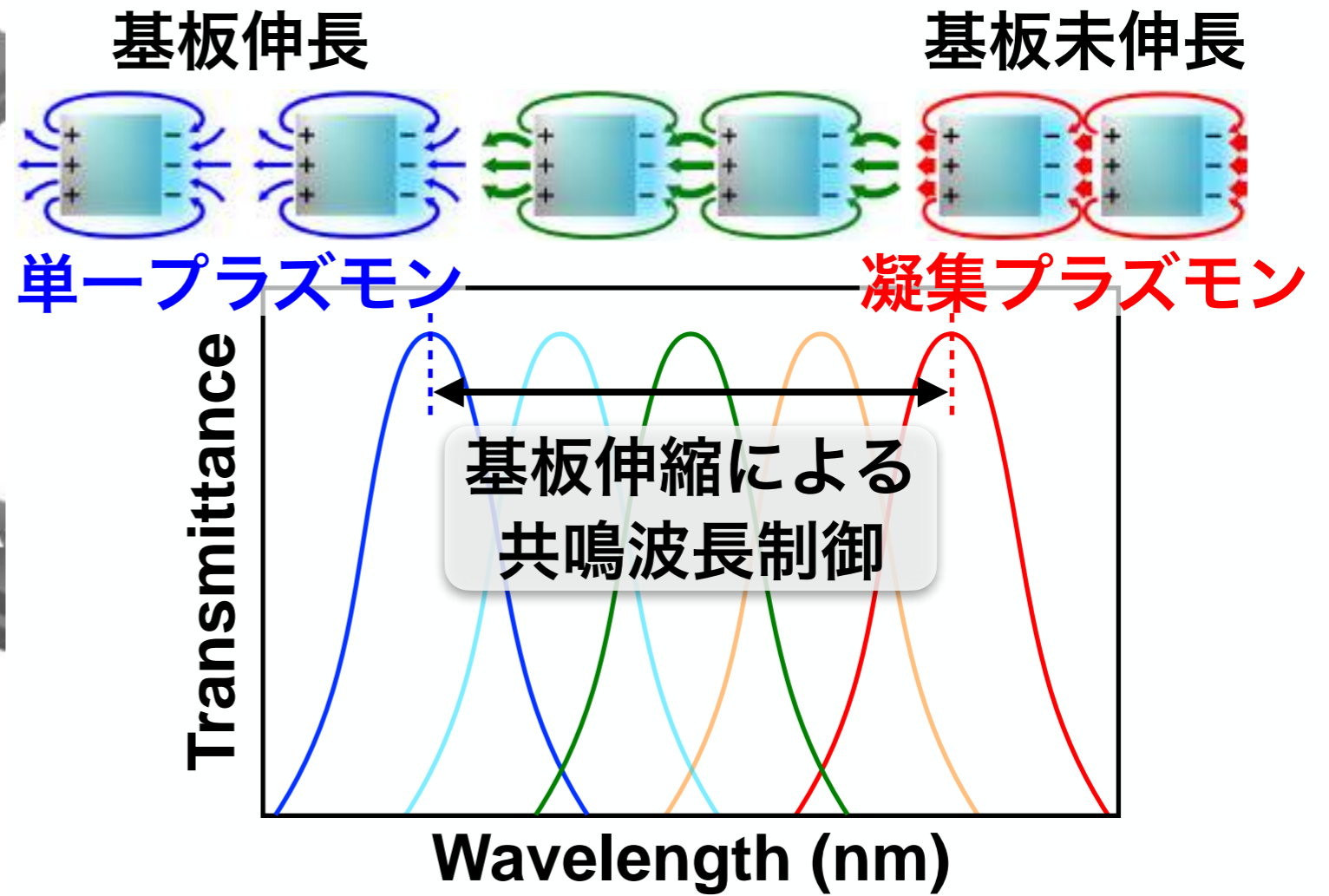
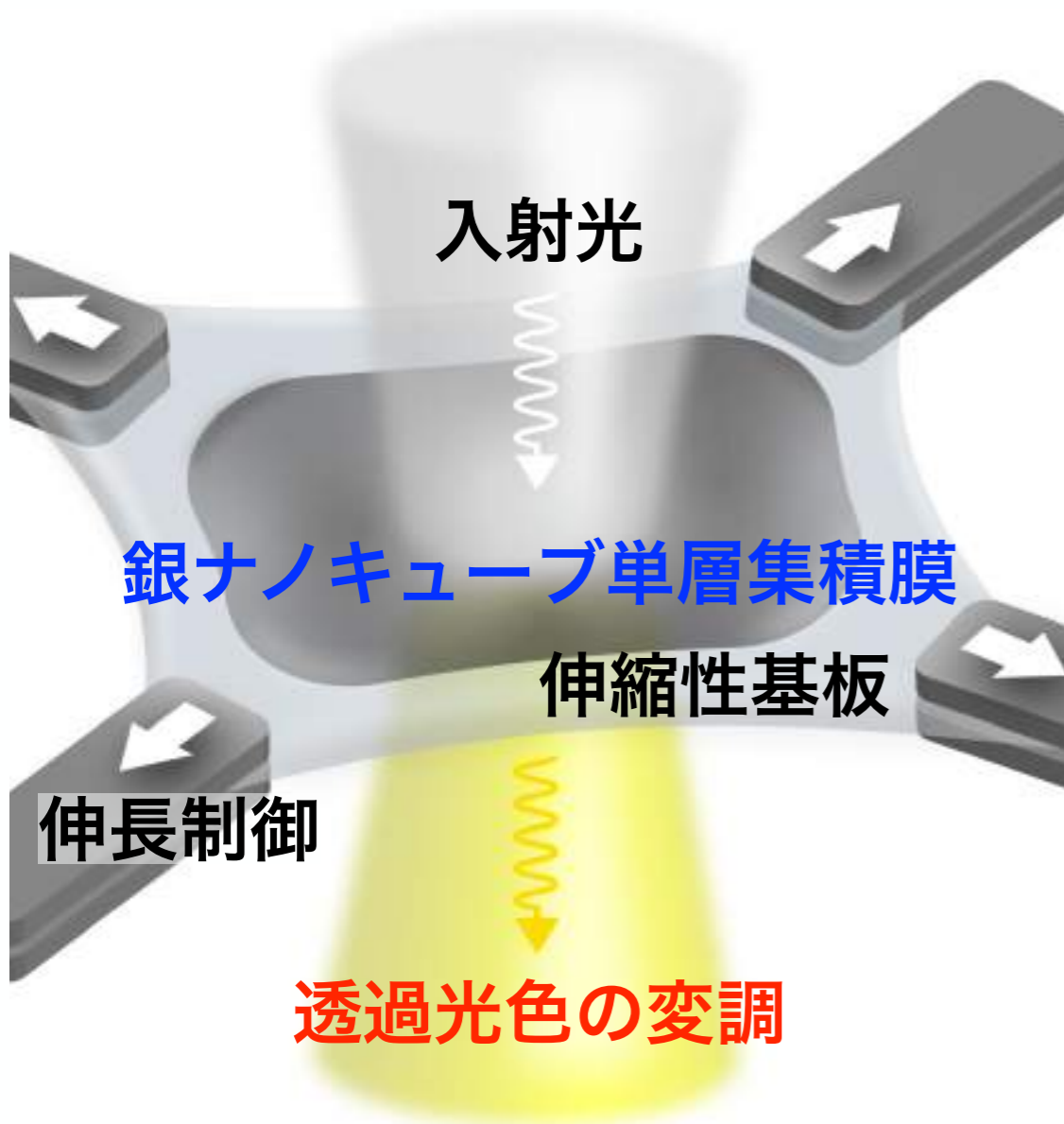
銀回折格子に励起される準表面プラズモン共鳴により Si吸収層側に大きな回折角度 $80.6^\circ$ 、高い回折効率49.7%にてプラズモニック回折することを明らかにした。

# プラズモニック回折を利用した画素内光閉じ込めによる 近赤外光シリコン吸収効率の向上

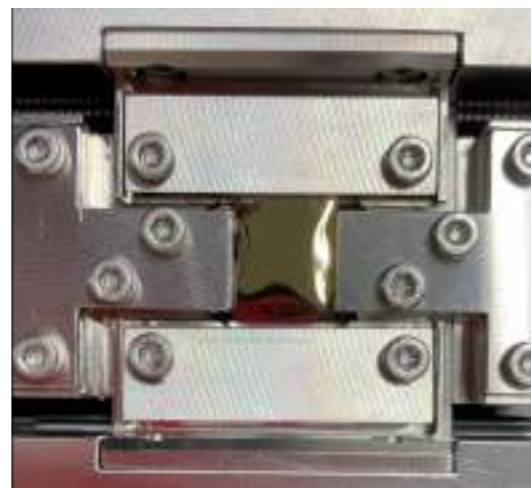
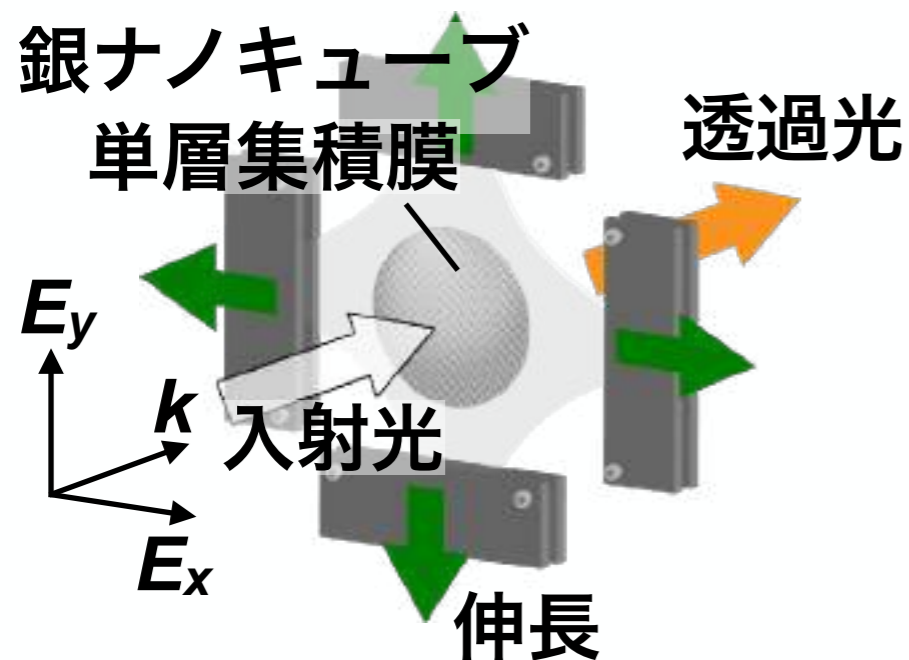


厚さ3 μmにおけるシリコン積算吸収率は53.3 %を達成し、  
銀回折格子のない場合と比較して約8.2 倍の吸収効率の向上を示した。

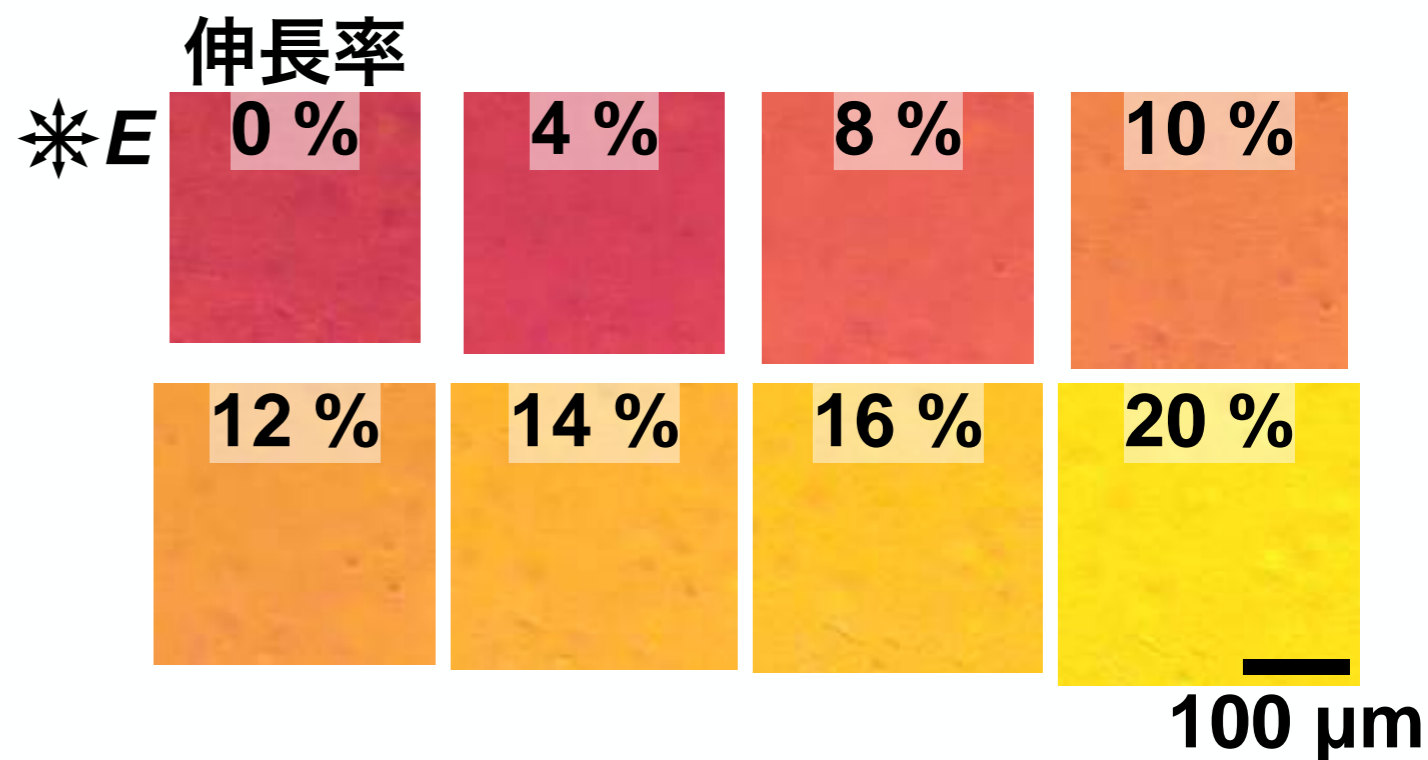
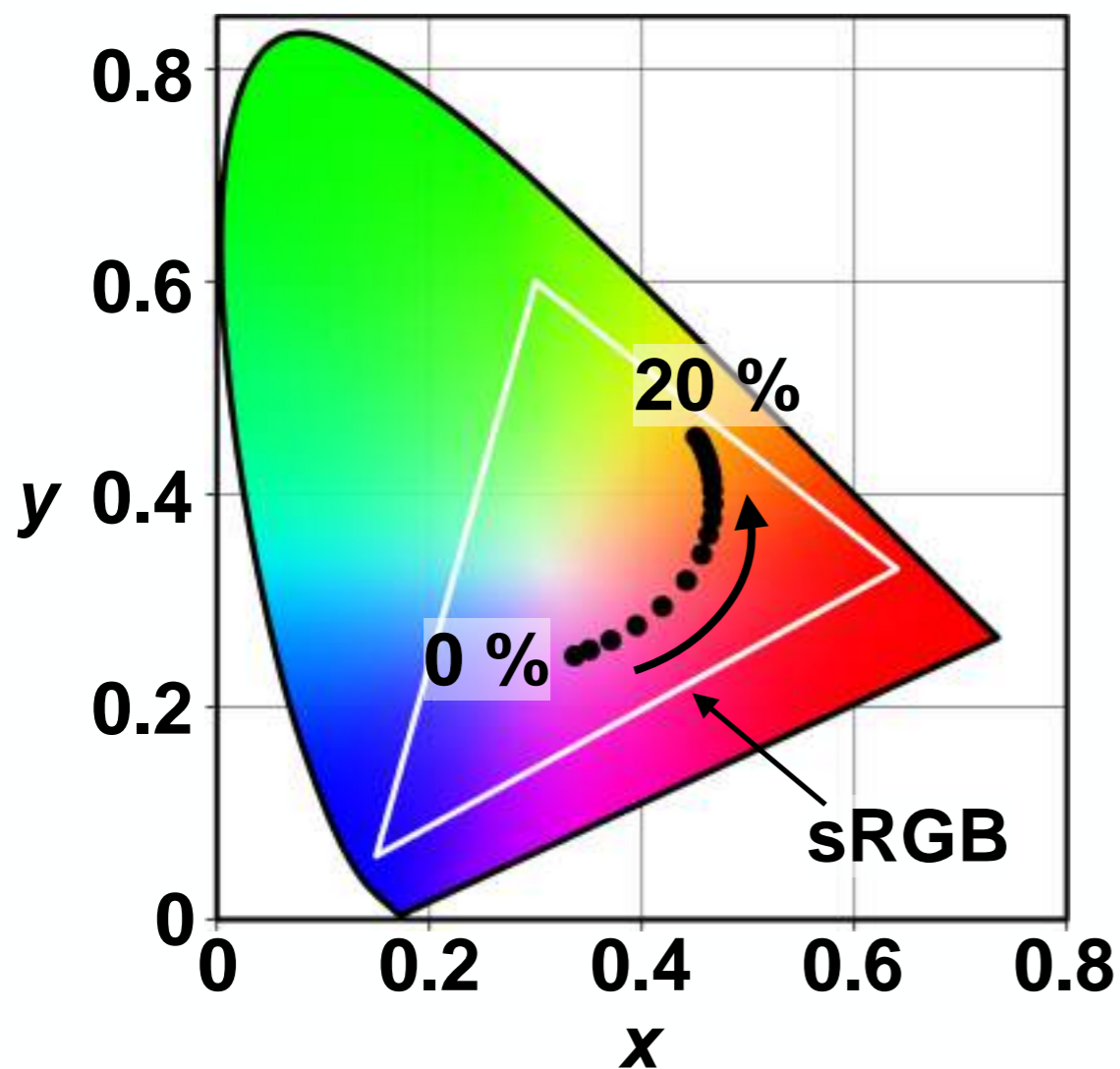
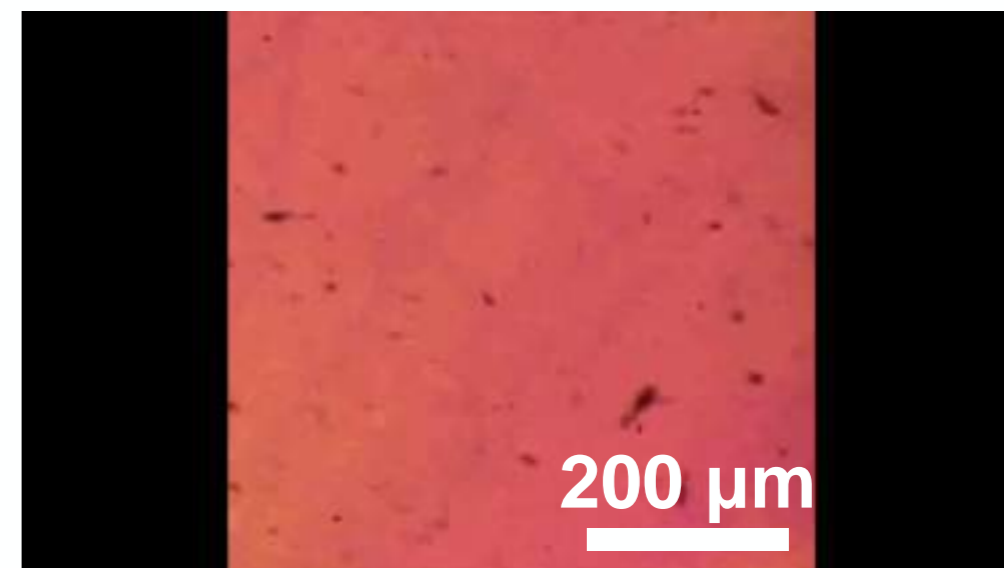
# アクティブプラズモニクスの開拓



# 基板伸縮に伴うプラズモニックカラーチューニング



実体顕微鏡透過光像



A. Mizuno and A. Ono,  
ACS Appl. Nano Mater. 4, 9721 (2021)

## 総括

## プラズモニクス

ものづくり (金属ナノ構造作製技術) を基礎とした  
新しい科学の創成, 新規デバイス開発と産業貢献

紫外領域



赤外領域

各波長帯に対して学問展開

バイオロジー

フォノンエンジニアリング

マテリアルサイエンス

エレクトロニクス

- ✓ マルチスペクトルイメージセンサの開発
- ✓ アクティブプラズモニクスの開拓
- ✓ 超解像金属ナノレンズの開発
- ✓ 紫外生体プラズモニクス
- ✓ 偏光と光強度の2次元分布制御による超微細金属造形技術の創成
- ✓ 近接場赤外吸収分光イメージング

# 高精度なToF距離イメージセンサ技術

静岡大学 安富啓太

Keita Yasutomi, Shizuoka University

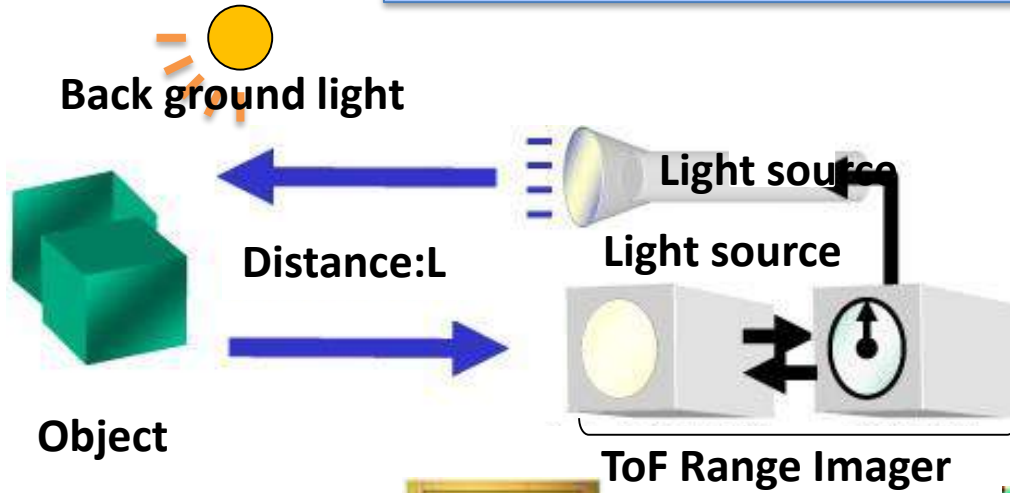
参考となる日本語資料(一部):

JST新技術説明会「高精度な距離・形状測定を実現するTOF距離イメージセンサ」



# Time-of-flight(TOF)距離イメージング

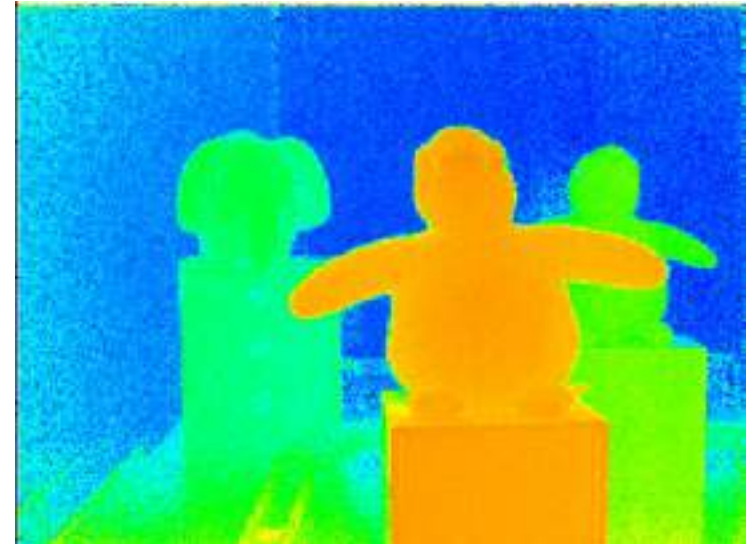
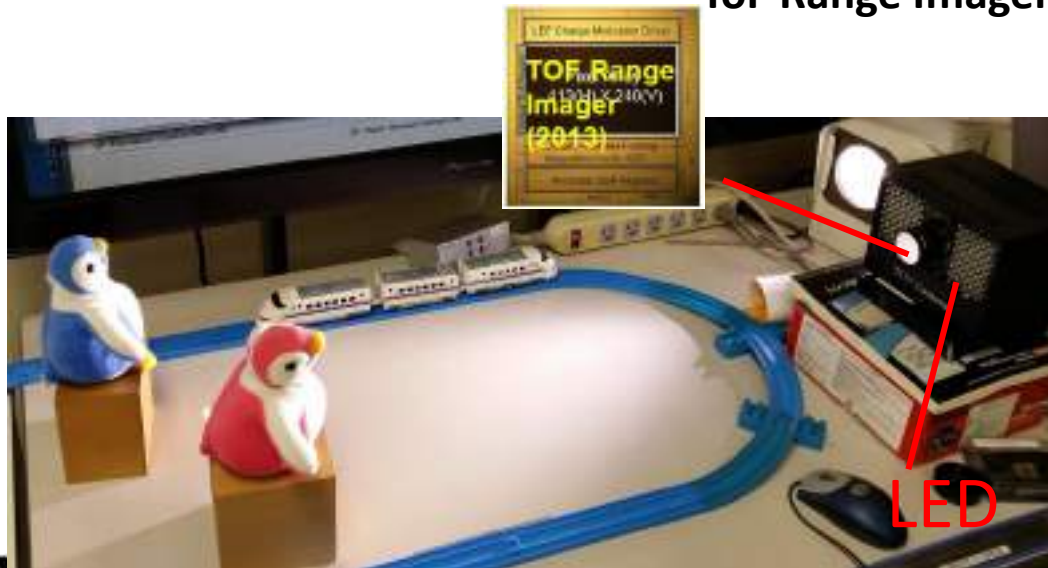
対象物に光を照射し、反射光が戻ってくるまでの時間を計測することで対象物までの距離を求める方法



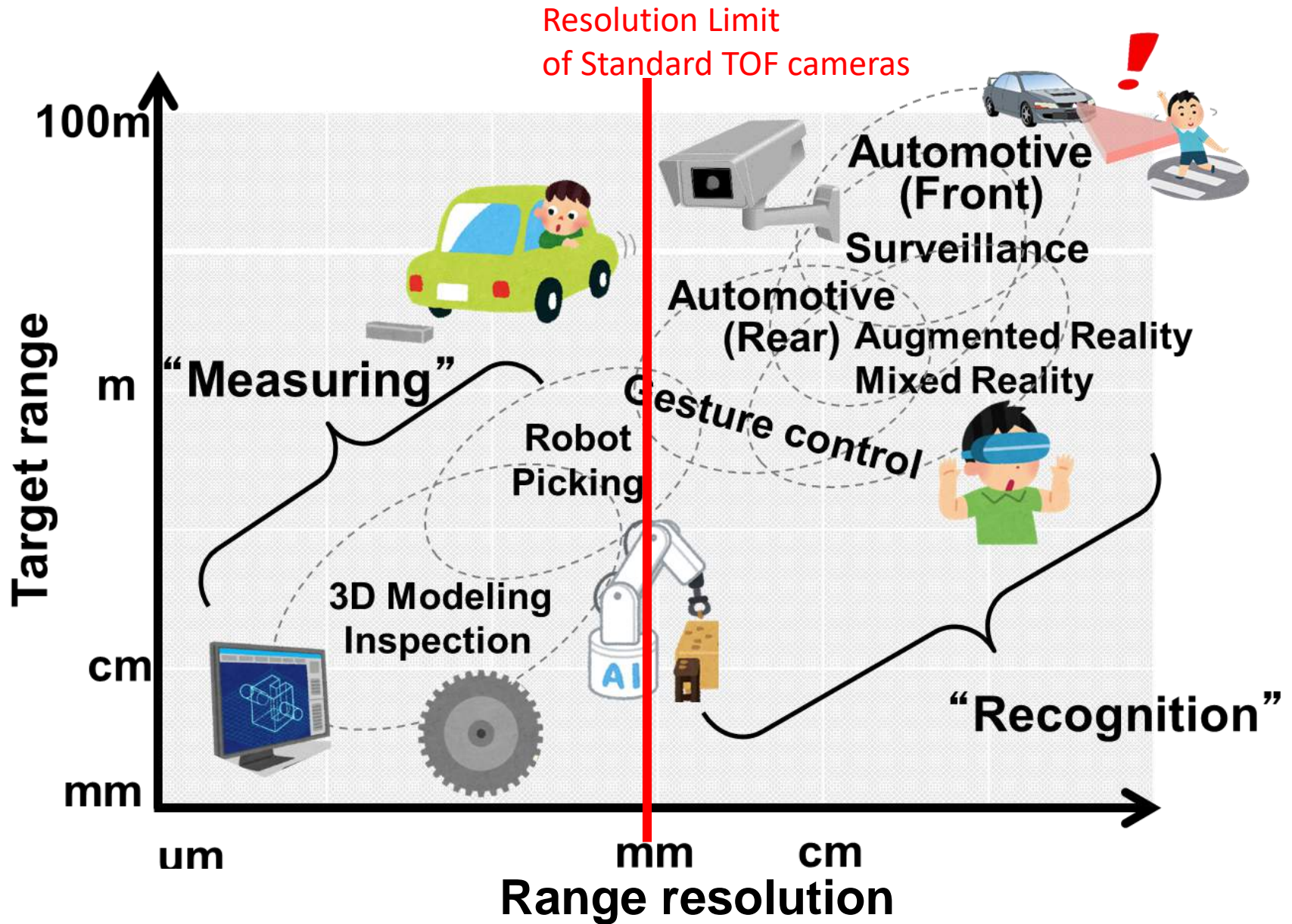
$$L = \frac{1}{2} c \cdot t_{TOF}$$

$c$  : 光の速度[m/s]

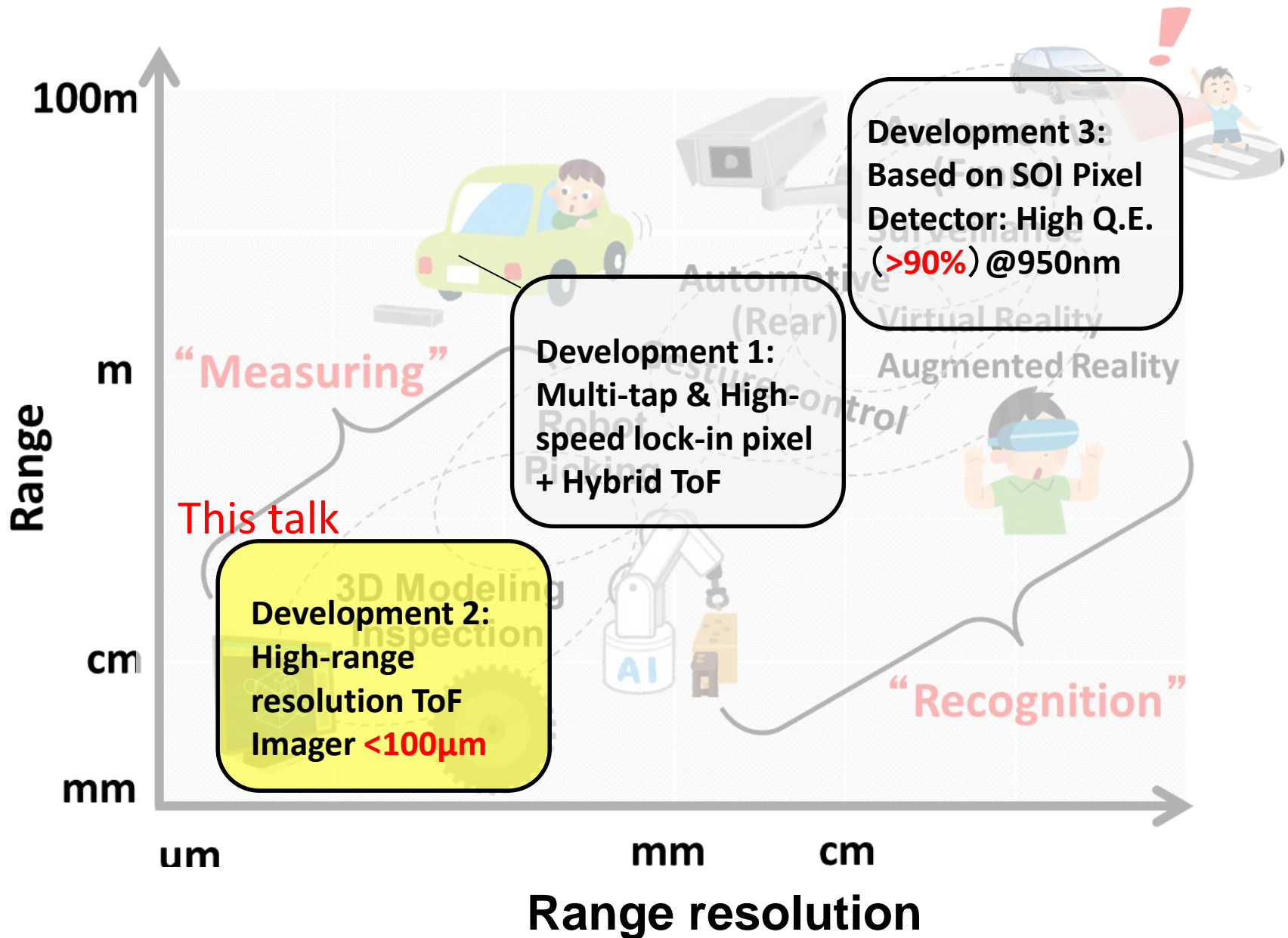
$t_{TOF}$  : 光の飛行時間(往復) [s]



# Application of 3D imaging



# Development in Shizuoka Univ.



# Potential Merits of ToF-Based 3D Scanners

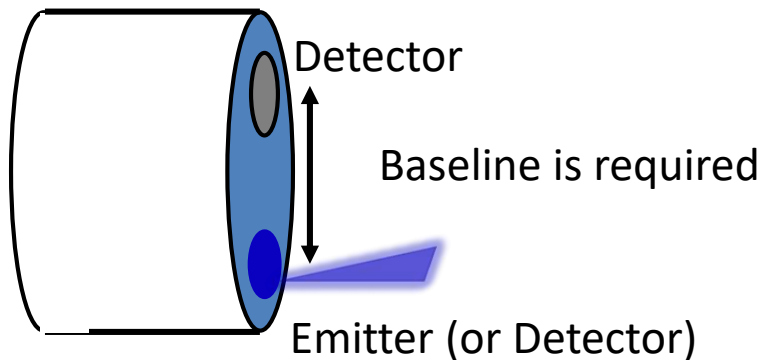
## ToF-Based 3D Scanners

### (1) Compact head

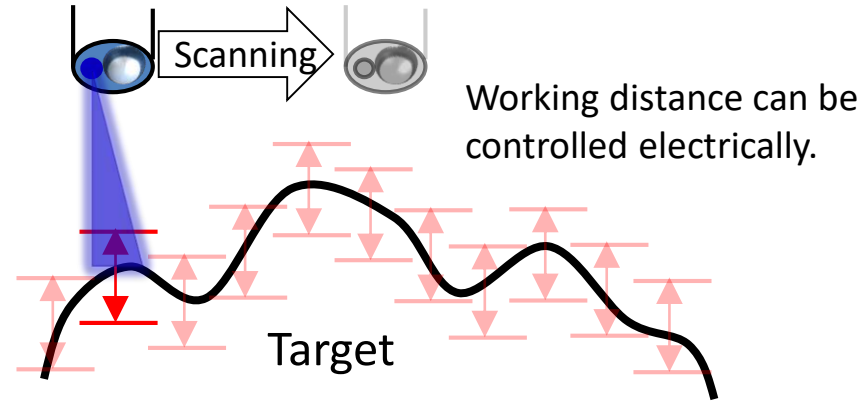


No baseline is required  
→ Compact head + Occlusion-less

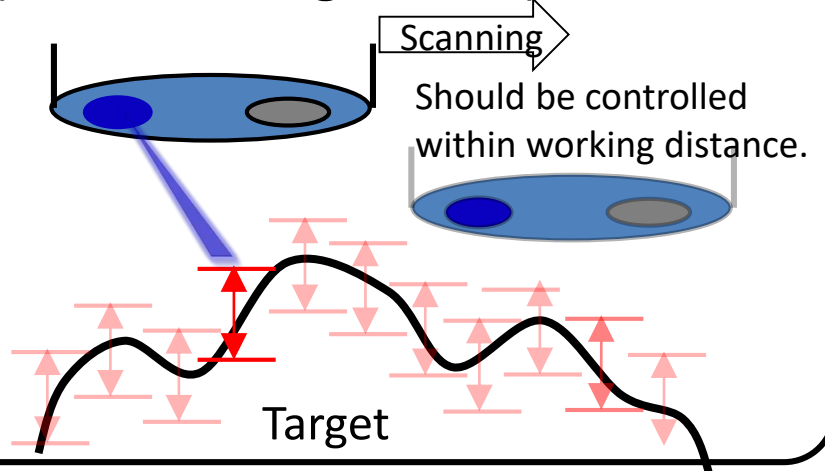
### Conventional (Active Triangulation)



### (2) Working distance control



### Conventional (Active Triangulation)



# ToF 3Dスキャナの付加価値

## 材質識別

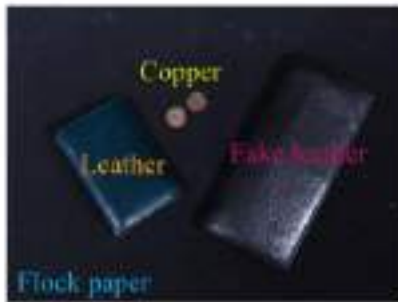


(a) Scene of white utensils



■ Fabric ■ Ceramic  
■ Plastic (PP) ■ Plastic (PS)

(b) Classification result



(c) Scene of wallets

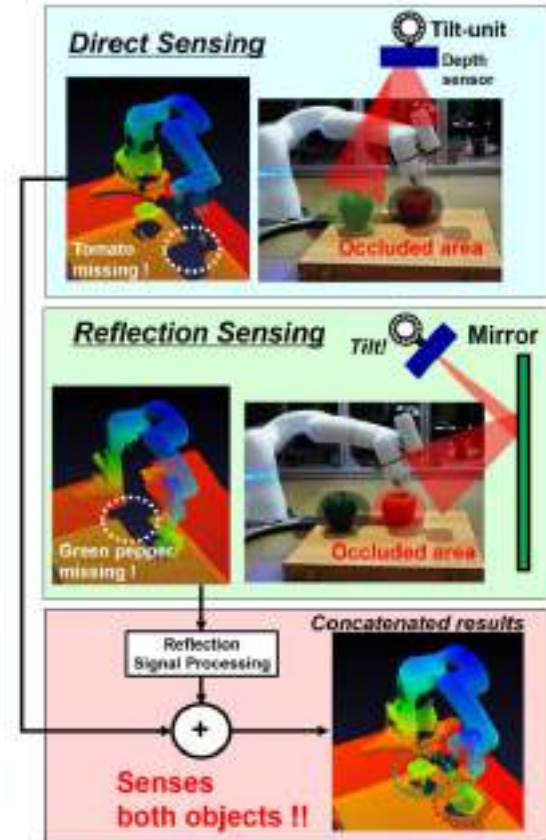


■ Flock paper ■ Fake leather  
■ Leather ■ Copper

(d) Classification result

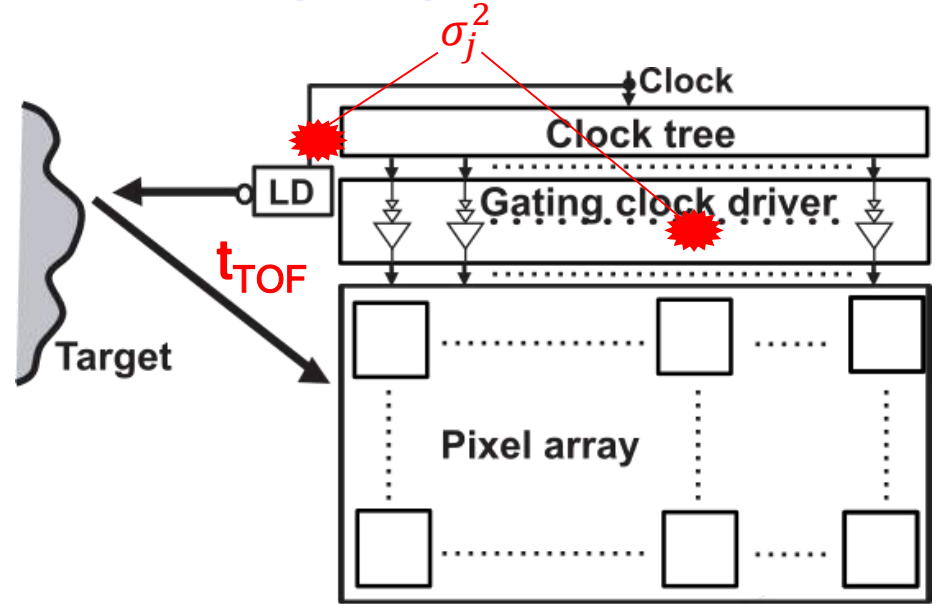
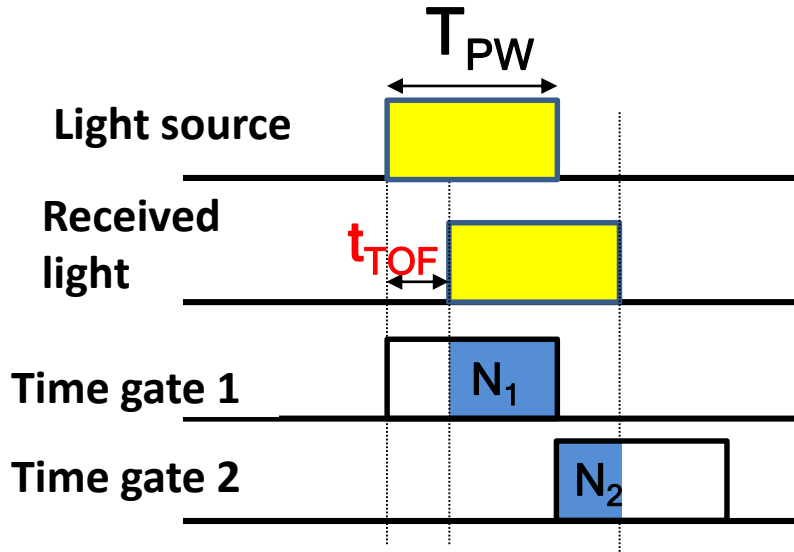
K.Tanaka, Y. Mukaigawa et al. (NAIST),  
“Material Classification from Time-of-Flight  
Distortions”, CVPR17.

## ミラーを用いた多視点計測



K.Yoshioka al. (Keio), “Through the Looking  
Glass: Diminishing Occlusions in Robot Vision  
Systems with Mirror Reflections”, IROS 2021.

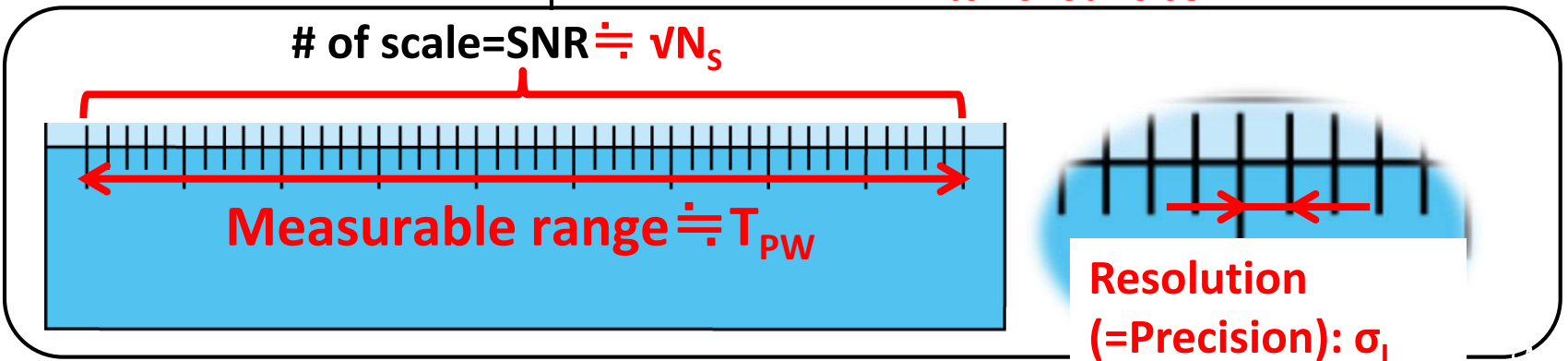
# Range Precision in iToF Ranging



ToF calc. 
$$t_{TOF} = T_{PW} \frac{N_2}{N_1 + N_2}$$

$$N_s \doteq N_1 + N_2$$

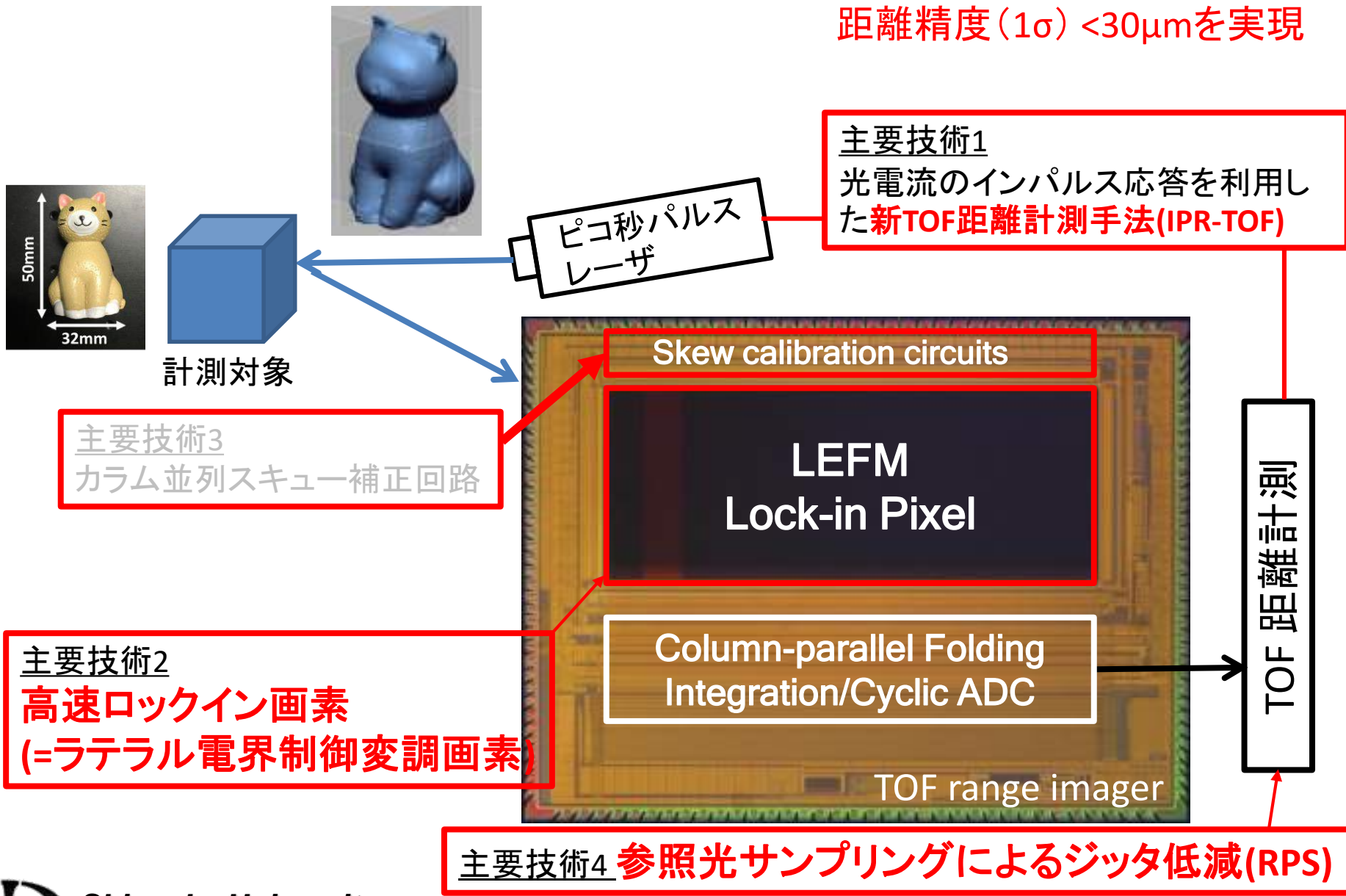
Range precision 
$$\sigma_{TOF}^2 = \underbrace{\left(\frac{T_{PW}}{SNR}\right)^2}_{\text{Photon shot noise}} + \sigma_j^2 \propto \left(\frac{T_{PW}}{\sqrt{N_s}}\right)^2 + \sigma_j^2$$
 ← Jitter



# 主要技術

工業計測(3Dスキャナなど)に向けた高精度なiTOFセンサを開発

距離精度(1 $\sigma$ ) < 30 $\mu$ mを実現

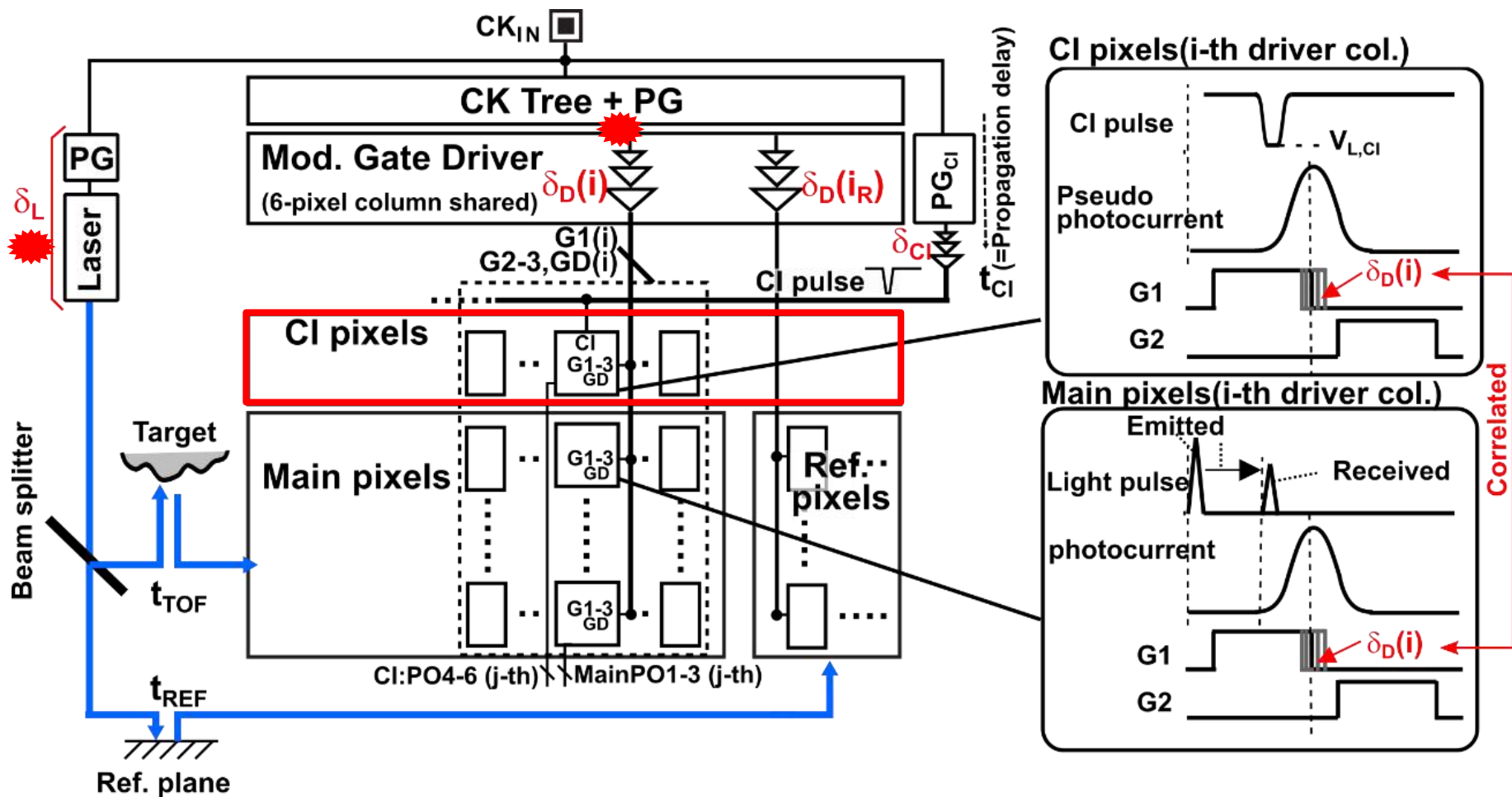


# 光・電子融合によるジッタ低減技術

## CI-RPS: Charge-Injection RPS

光源ジッタ・ドライバジッタの両方をキャンセル可能

電荷注入による疑似光入力を利用





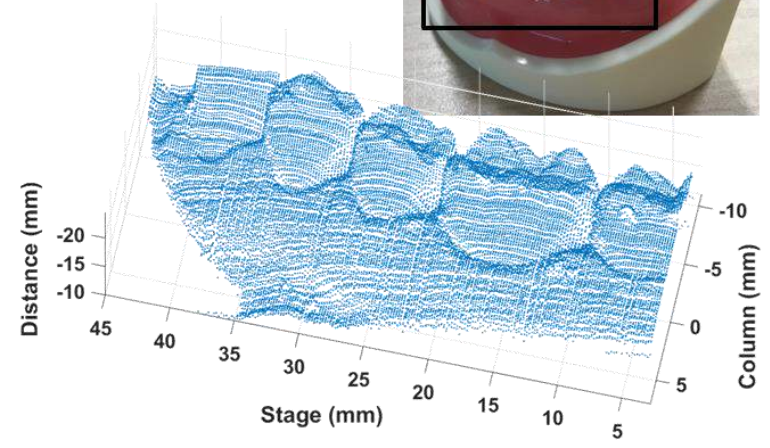
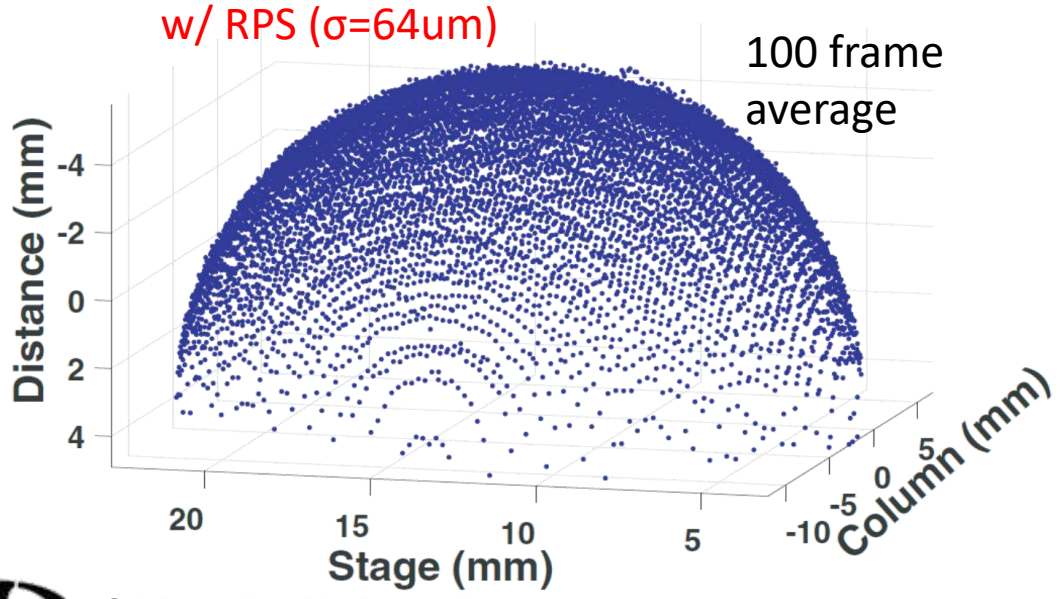
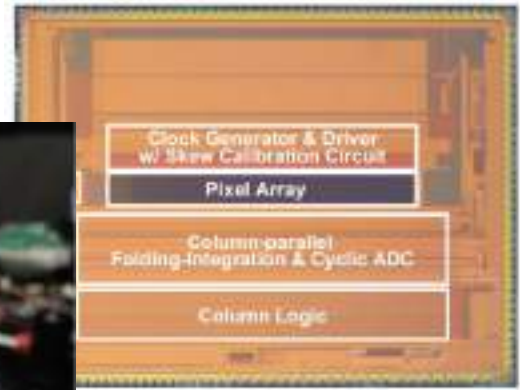
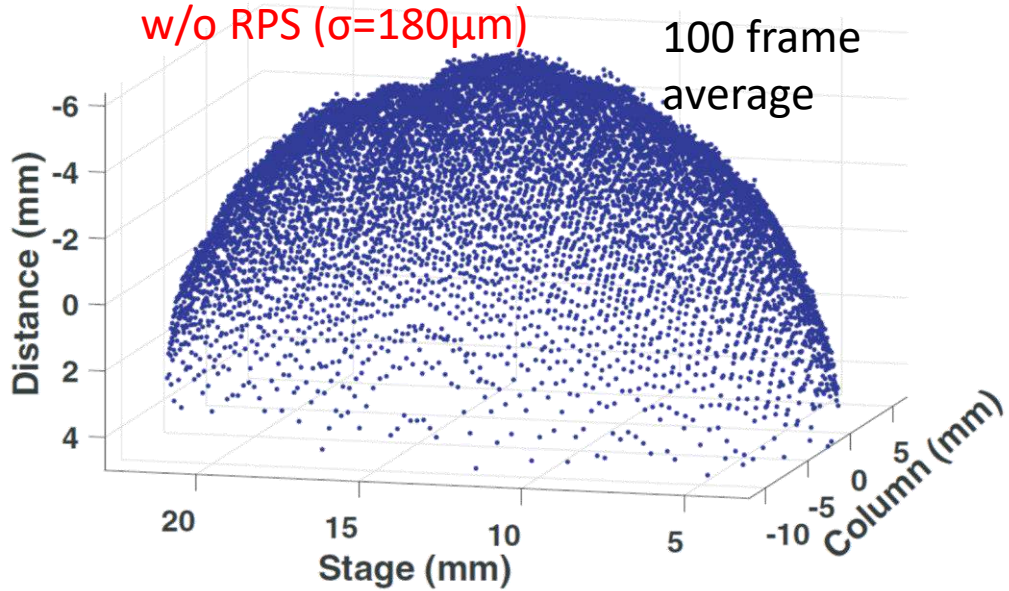
# Performance Comparison

Ref.	[2] ISSCC'18	[3] ISSCC'21	[5] ISSCC'16		Our work JSSC '19	Our work ISSCC 2022
Architecture	CW-TOF	CW-TOF	FMCW		SP-TOF	SP-TOF
Technology	65nm BSI	65nm BSI 65nm Logic	110nm CMOS 250nm Si-ph		110nm CIS (FSI)	110nm CIS (FSI)
Effective pixels / Receiver channel	1M	0.3M(*2) (1.2M)	1		192 x 4	120
Wavelength	860nm	940nm	1550 nm		473nm	473 nm
Emitter power	75mW	NA	10mW		0.4mW	<b>0.8mW</b>
Frame rate (Pixel rate)	30fps (30MHz)	60 fps (18MHz)	180kHz		24.6fps (4.7kHz)	360fps/36fps (43kHz/4.3kHz)
Measurable range	0.2-1.8 m	0.4-4.0 m	0.8mm	8mm	25mm	23mm
Range Precision @short/center distance	400 $\mu$ m(*1) @20cm	800 $\mu$ m(*2) @40cm	8 $\mu$ m @5cm	1mm @30cm	64 $\mu$ m @14.8cm	<b>55<math>\mu</math>m/38<math>\mu</math>m @25cm</b>
Precision/Distance	0.2%	0.2%	0.016%	0.3%	0.04%	<b>0.022%/0.015%</b>

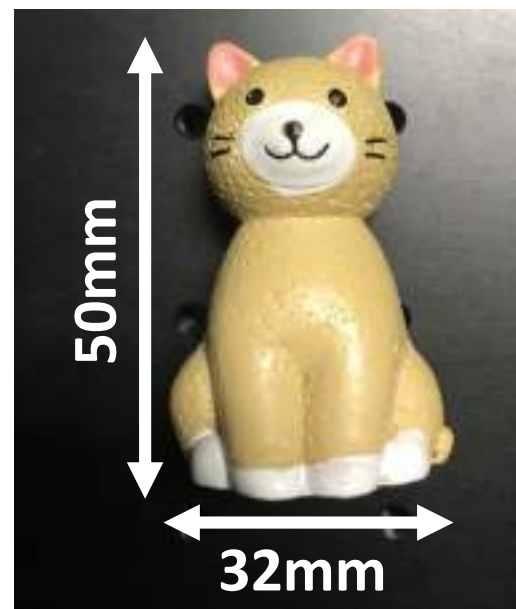
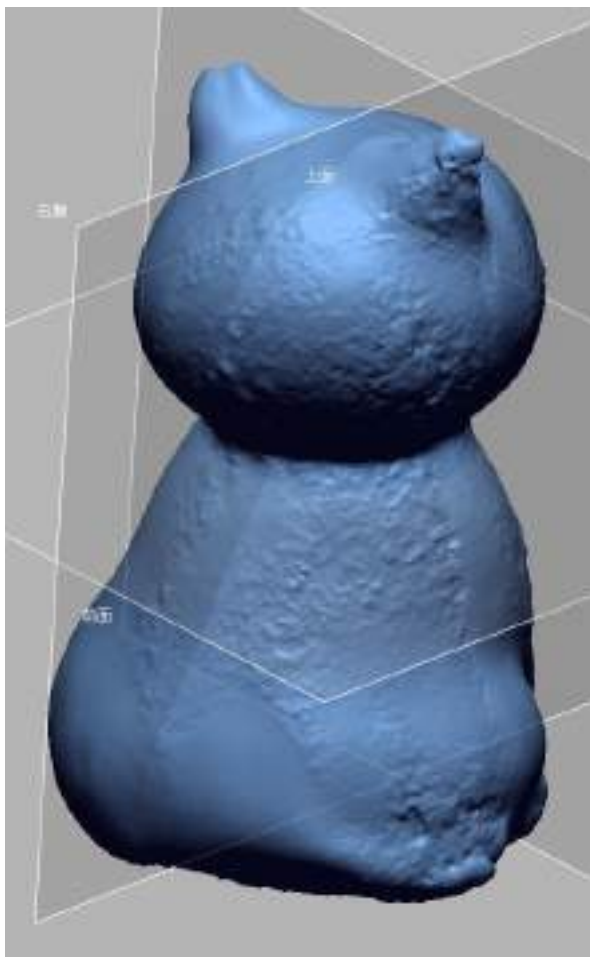
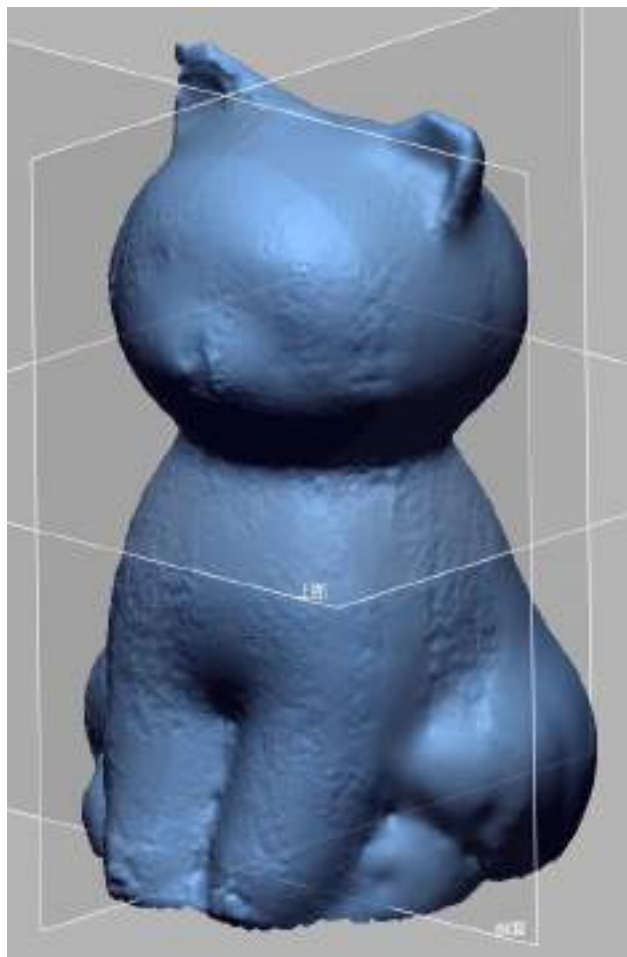
最近の測定結果では、  
41 $\mu$ m(single frame)/25 $\mu$ m (10 frame)まで改善  
[佐川他, 2023年映像情報メディア学会年次大会]

# Captured 3D images

Line imager : 192 x 4 eff. pixels



# An example of 3D scanning (using RPS)



The synthesized data are created by 5 measured point clouds.