

13:55~14:45 講義2

スマホのカメラで通信してみよう！

名古屋大学 山里敬也

yamazato@nagoya-u.jp

IEICEジュニアWebinar

未来をつなぐ光の技術：可視光通信の世界にふれる

【日時】2025年8月28日（木）13:00~15:00

【会場】オンライン（ZOOM）



自己紹介

山里敬也 (YAMAZATO, Takaya) yamazato@nagoya-u.jp

1993年 慶大大学院博士課程了。博士(工学)

名古屋大学 教養教育院 副院長

兼務：工学研究科情報・通信工学専攻，情報基盤センター教育情報メディア研究部門，

名大の授業：<http://ocw.nagoya-u.jp>

研究

可視光通信、ITS、確率共鳴、Open Educational Resources (OER)

趣味

自転車、ジョギング、バンド

名大の授業

「名大の授業」は、名古屋大学の教育の一端を公開しているオープンコースウェア（OCW）サイトです。自学自習教材としての活用のみならず、幅広いユーザーによる交流・インタラクションのきっかけとなることを期待しています。

OCWサポートスタッフ募集中！

「名大の授業」の制作にご協力いただける学生の皆さんを募集しています。

講義検索

キーワードを入力してください

おすすめキーワード

生物学

位相幾何学

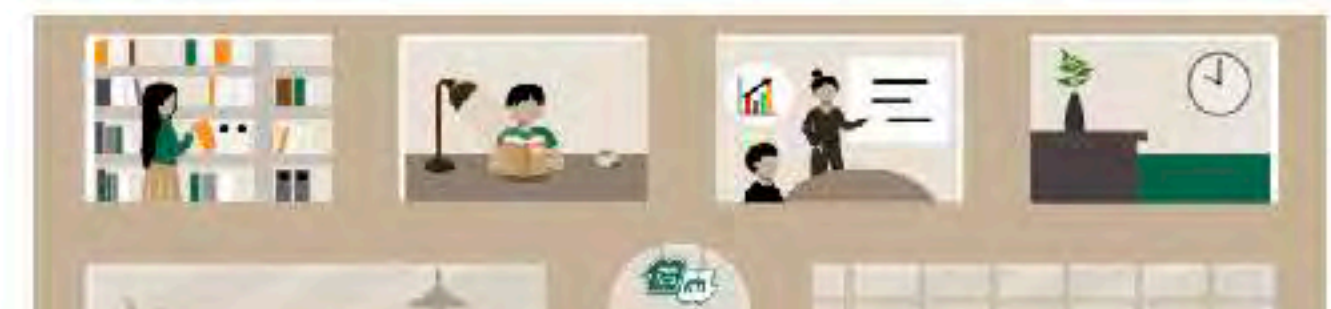
情報通信

地球環境



TOPICS 16件

<https://ocw.nagoya-u.jp>



スマホのカメラで通信してみよう！

1. Blue LED
2. 可視光通信 (Visible light communications: VLC)
3. カメラで通信はできる？ (Image sensor communications: ISC)
4. 高速度カメラで通信してみよう！
5. スマホのカメラで通信してみよう！



Blue LED

"Incandescent light bulbs lit the 20th century; the 21st century will be lit by LED lamps."

The Nobel Prize in Physics 2014



© Nobel Media AB. Photo: A. Mahmoud

Isamu Akasaki

Prize share: 1/3



© Nobel Media AB. Photo: A. Mahmoud

Hiroshi Amano

Prize share: 1/3

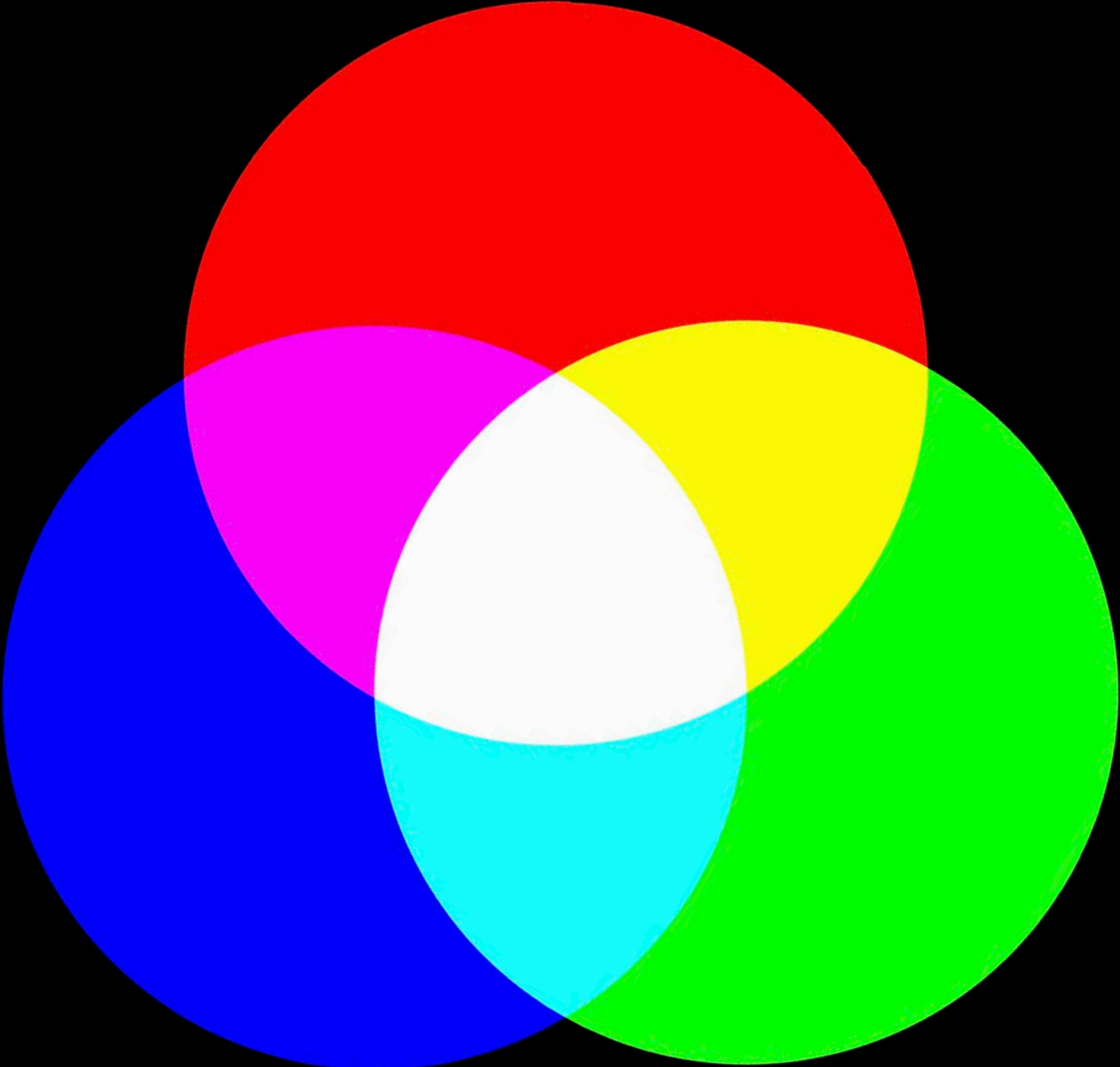


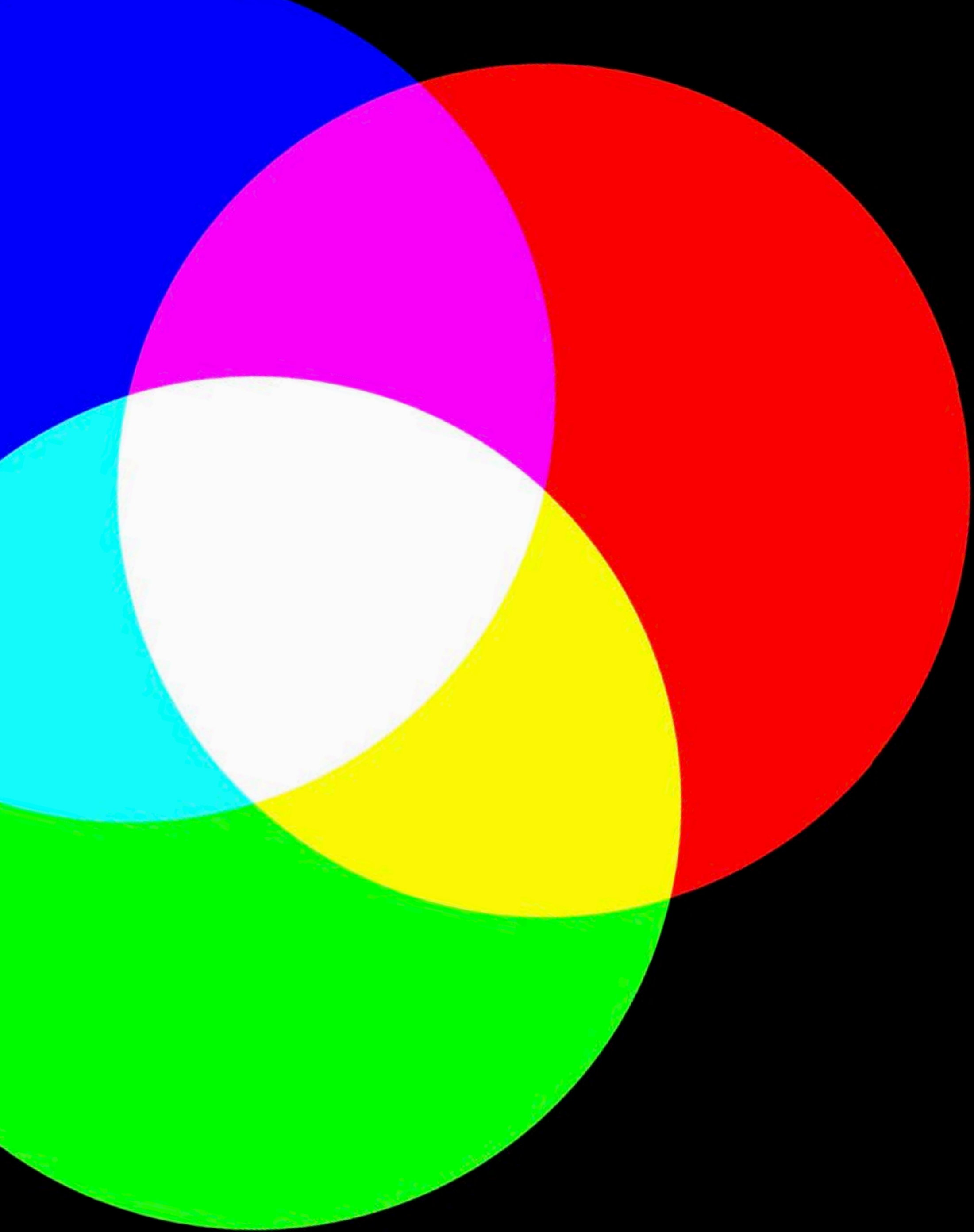
© Nobel Media AB. Photo: A. Mahmoud

Shuji Nakamura

Prize share: 1/3

The Nobel Prize in Physics 2014 was awarded jointly to Isamu Akasaki, Hiroshi Amano and Shuji Nakamura "for the invention of efficient blue light-emitting diodes which has enabled bright and energy-saving white light sources."



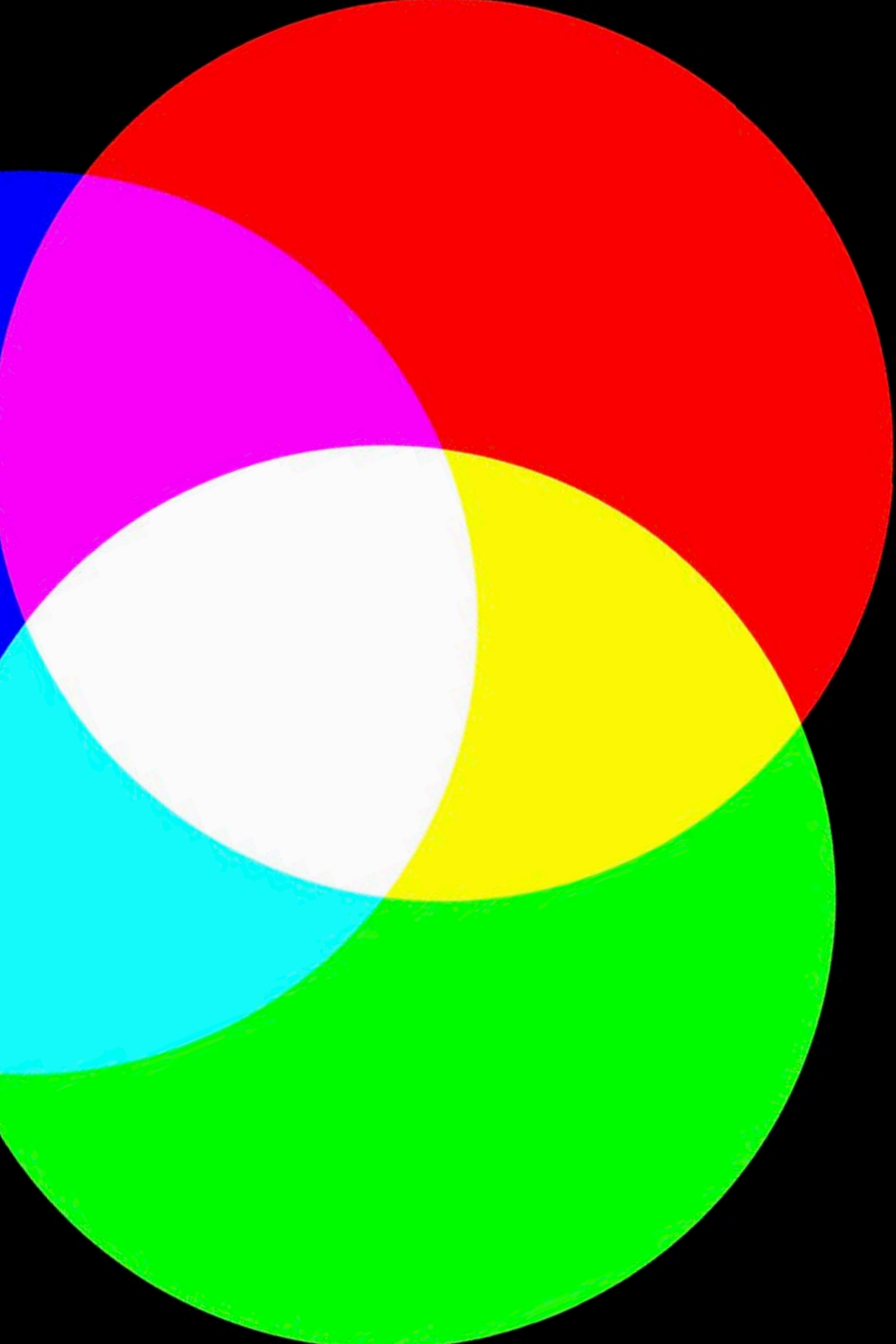


1961 Robert Biard and Gary Pittman (TI)

赤外線LED (赤外発光ダイオード)

1962 Nick Holonyak, Jr. (GE)

赤色LED

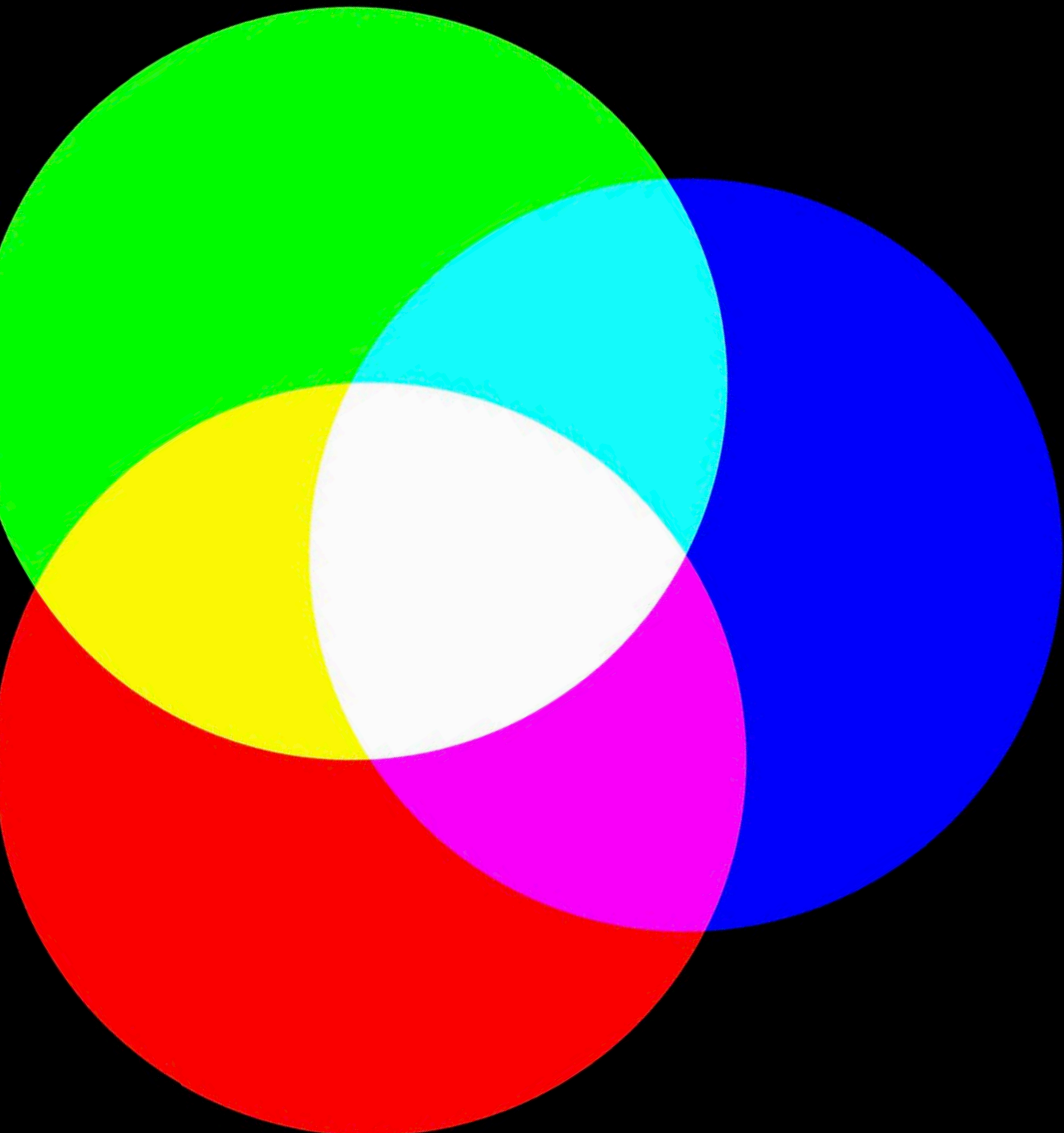


1961 Robert Biard and Gary Pittman (TI)
赤外線LED (赤外発光ダイオード)

1962 Nick Holonyak, Jr. (GE)
赤色LED

1970s **緑色LED**

1980s 高輝度な**赤色**, **オレンジ**, **緑**, **黄色**

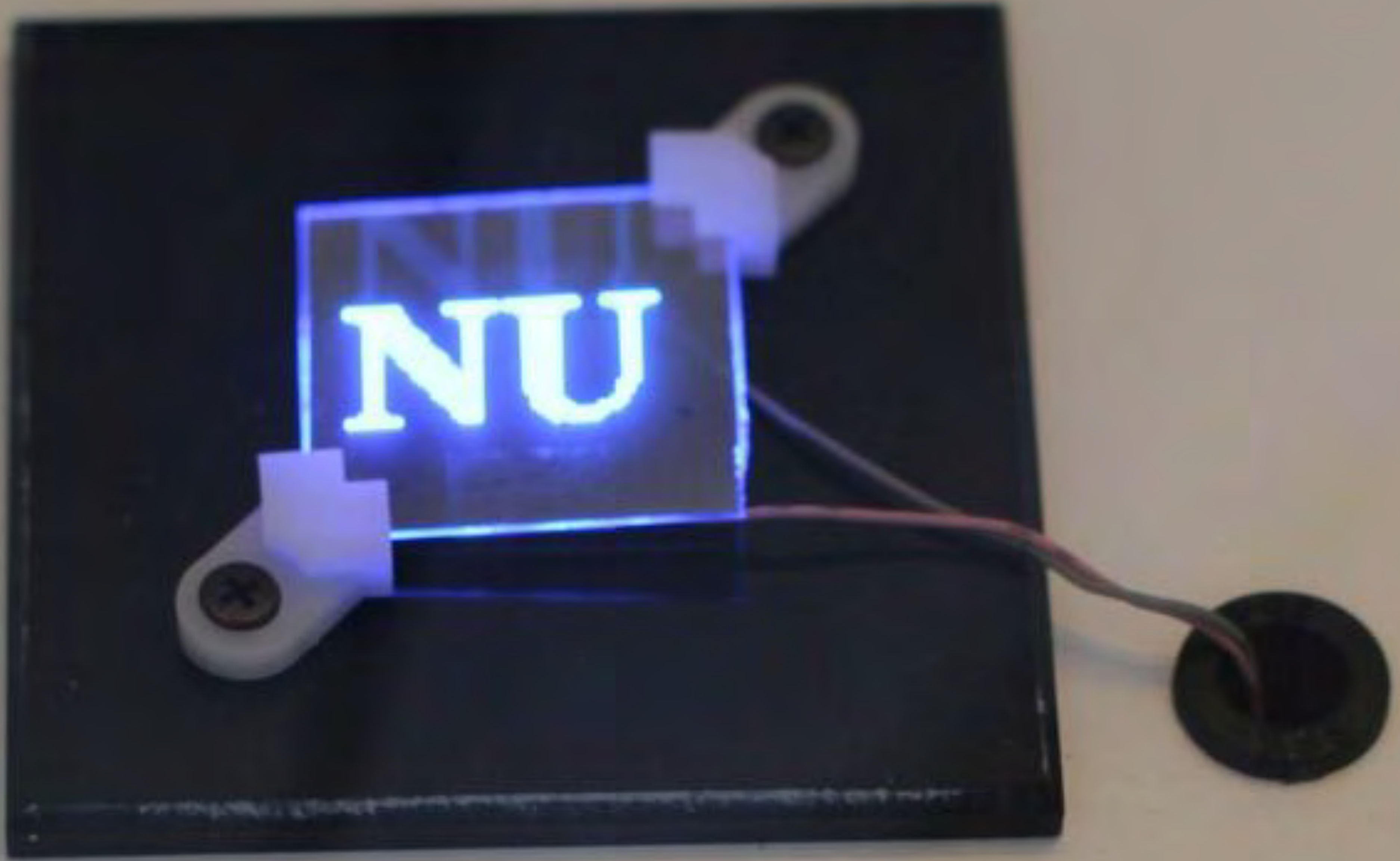


1986 赤崎教授と天野教授

高品質な窒化ガリウム (GaN) 結晶
の作成に成功

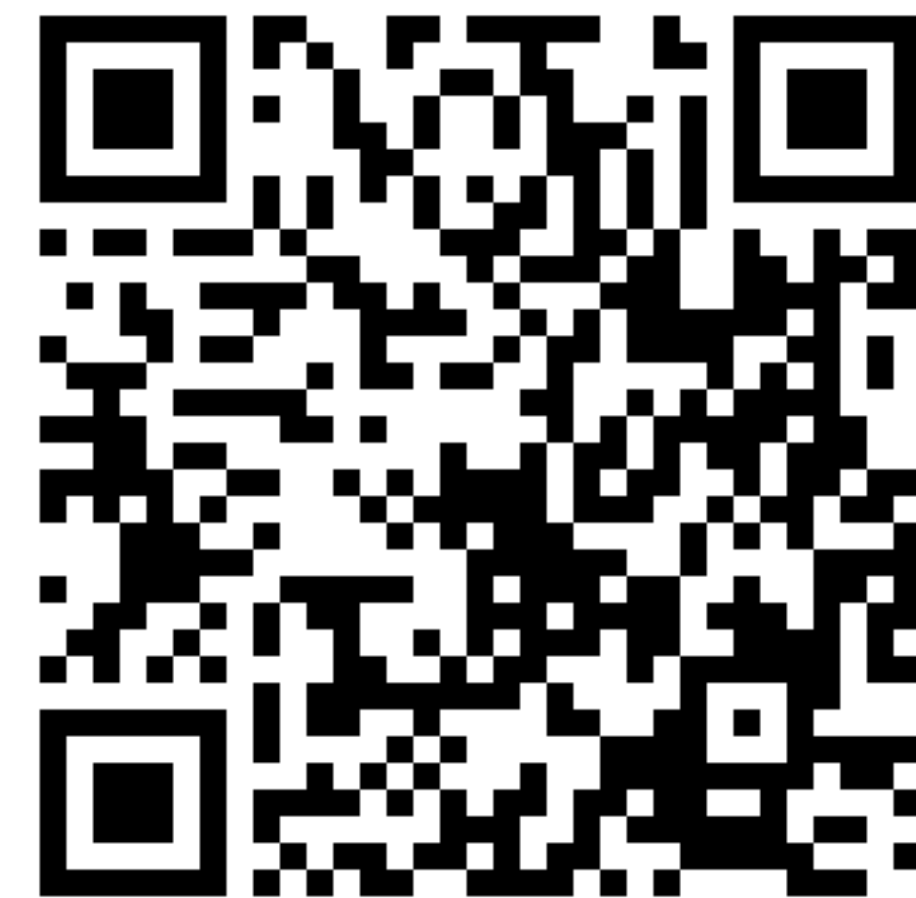
1992 赤崎教授と天野教授

明るい青色の光を放つダイオードの
作成に成功



赤崎記念研究館

<https://www.aip.nagoya-u.ac.jp/headquarters/industry/akasaki>



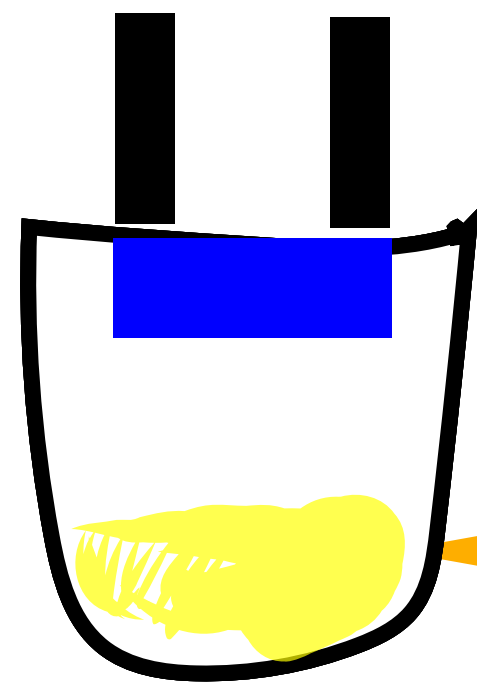
- 開館時間 10:00～16:00
開館日 火曜～土曜日
休館日 日・月・祝日
- 入場無料でどなたでもご覧いただくことができます。
- 赤崎勇特別教授と天野浩教授が2014年に受賞されたノーベル物理学賞のメダルの公式レプリカをご覧いただくことができます。



青色LEDがなければ、白色光は存在しない！

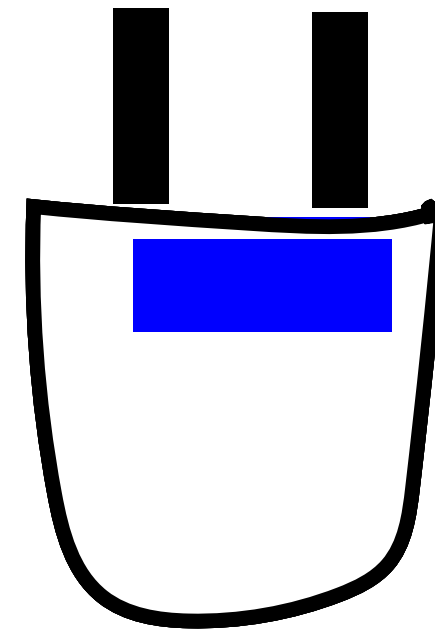
Blue LED

+
yellow phosphor

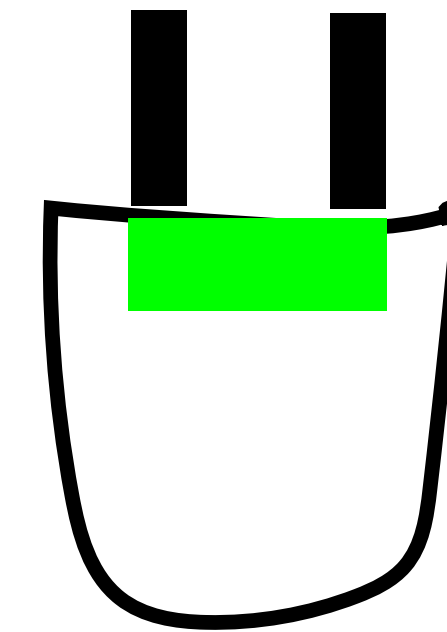


蛍光体

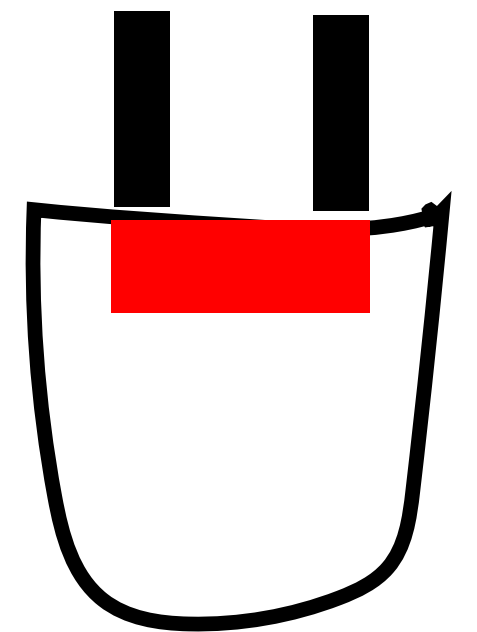
Blue LED



Green LED



Red LED

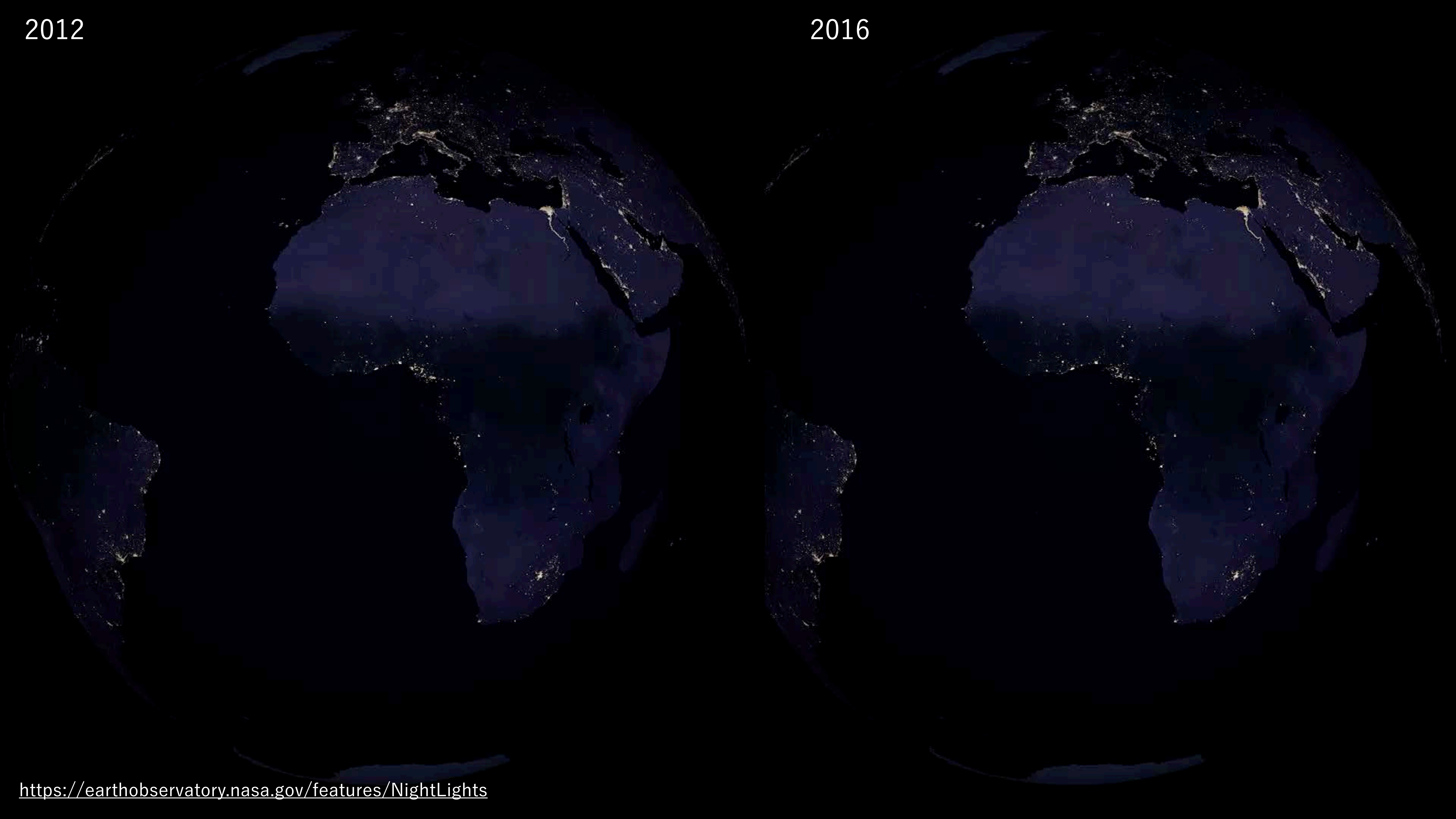


white

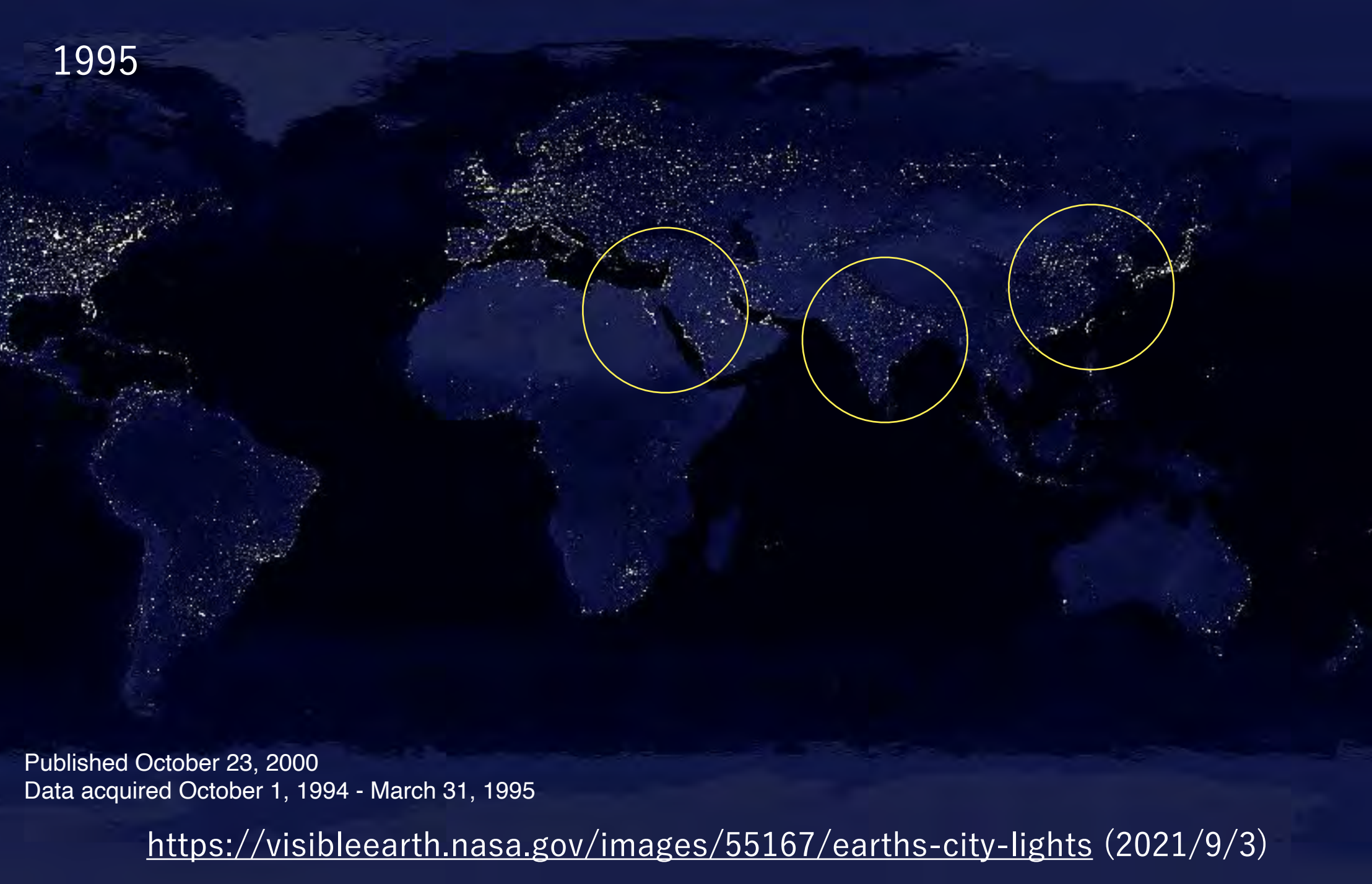
white

2012

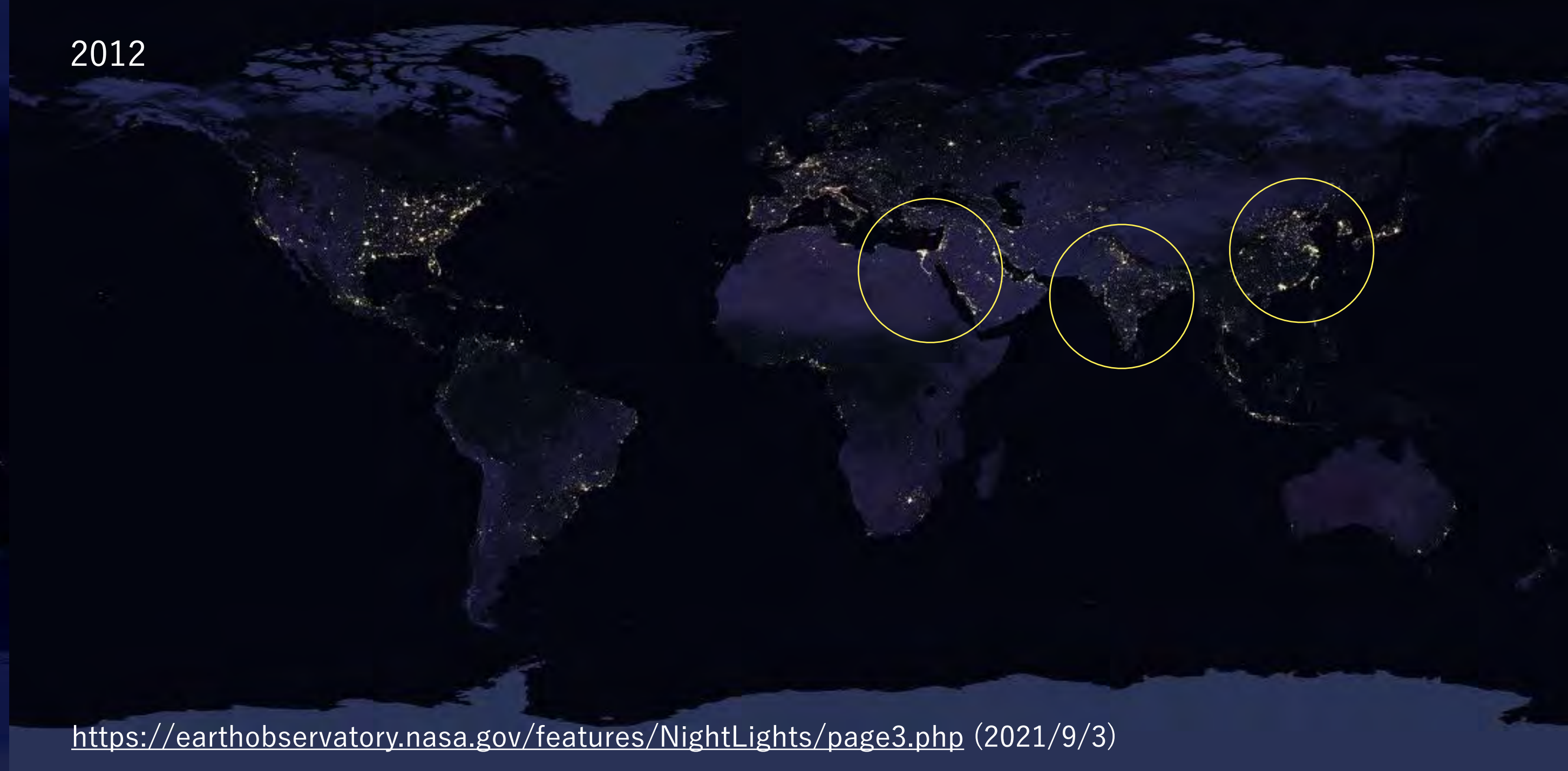
2016



1995



2012



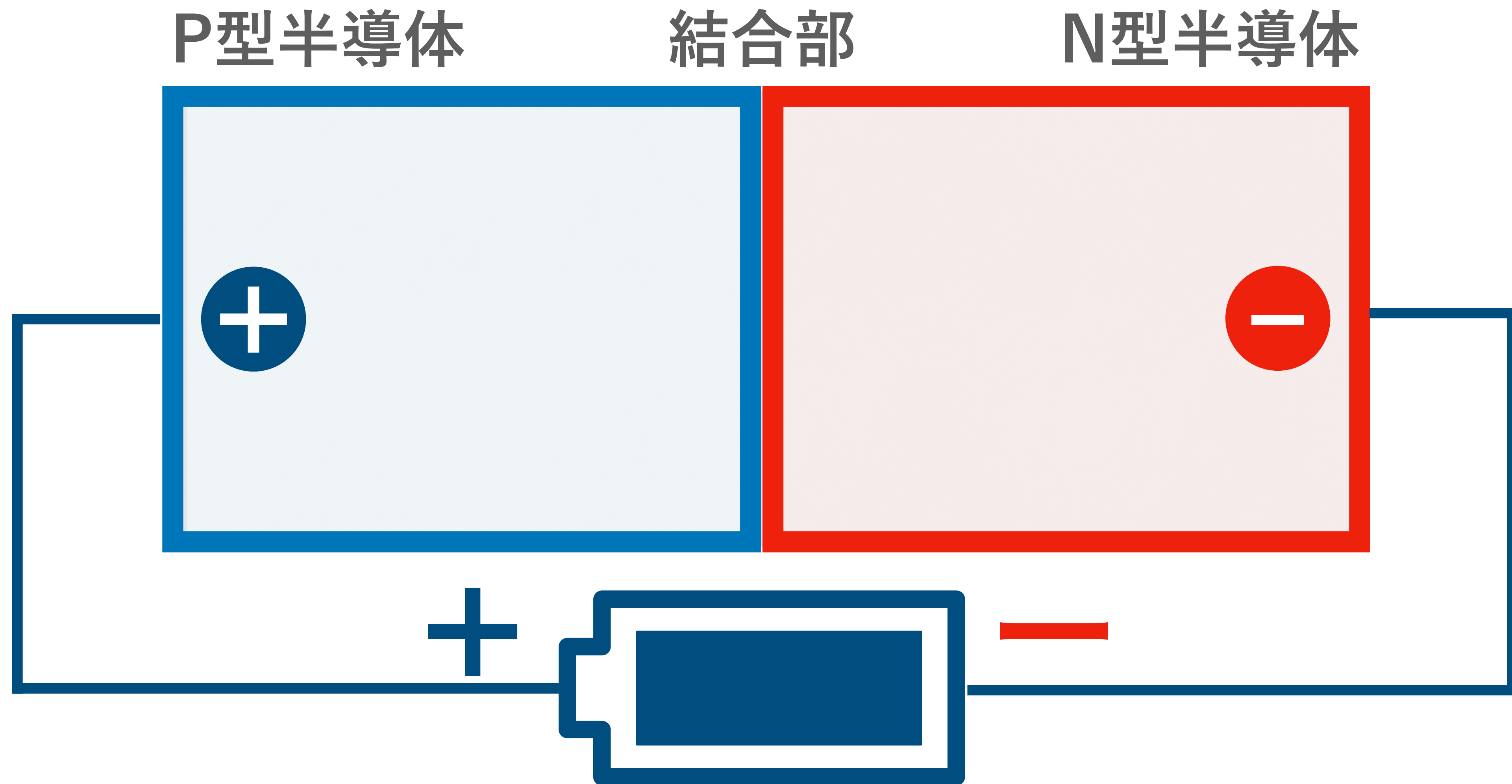
エネルギー効率の高いLEDが
世界を明るく照らしています

2016



LEDの発光原理

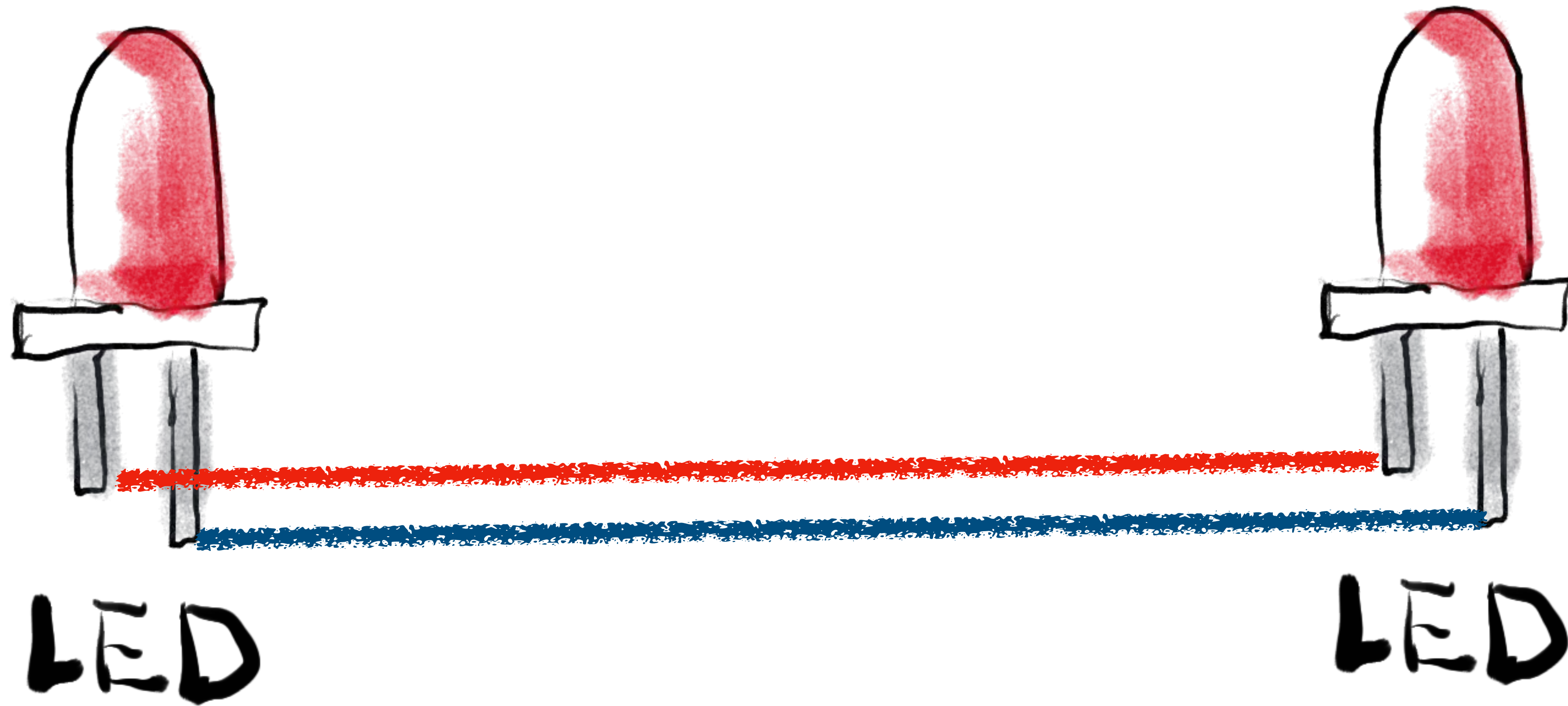
LEDは半導体の一つで発光ダイオードと呼ばれます



Quiz

LEDで光信号を受信できますか？

光の発光と受光の原理は同じ



可視光通信

Visible Light Communications: VLC

1999 慶應義塾大学中川正雄教授により提唱



2001 可視光通信コンソーシアム

(会長：慶應義塾大学春山真一郎教授)

2014 可視光通信協会

2018 日本フォトニクス協議会・可視光通信分科会

2023 日本フォトニクス協議会・光無線分科会 (会長：山里)

VLC 送信機

ほとんどの場合、VLCは送信機にLEDを使用しています

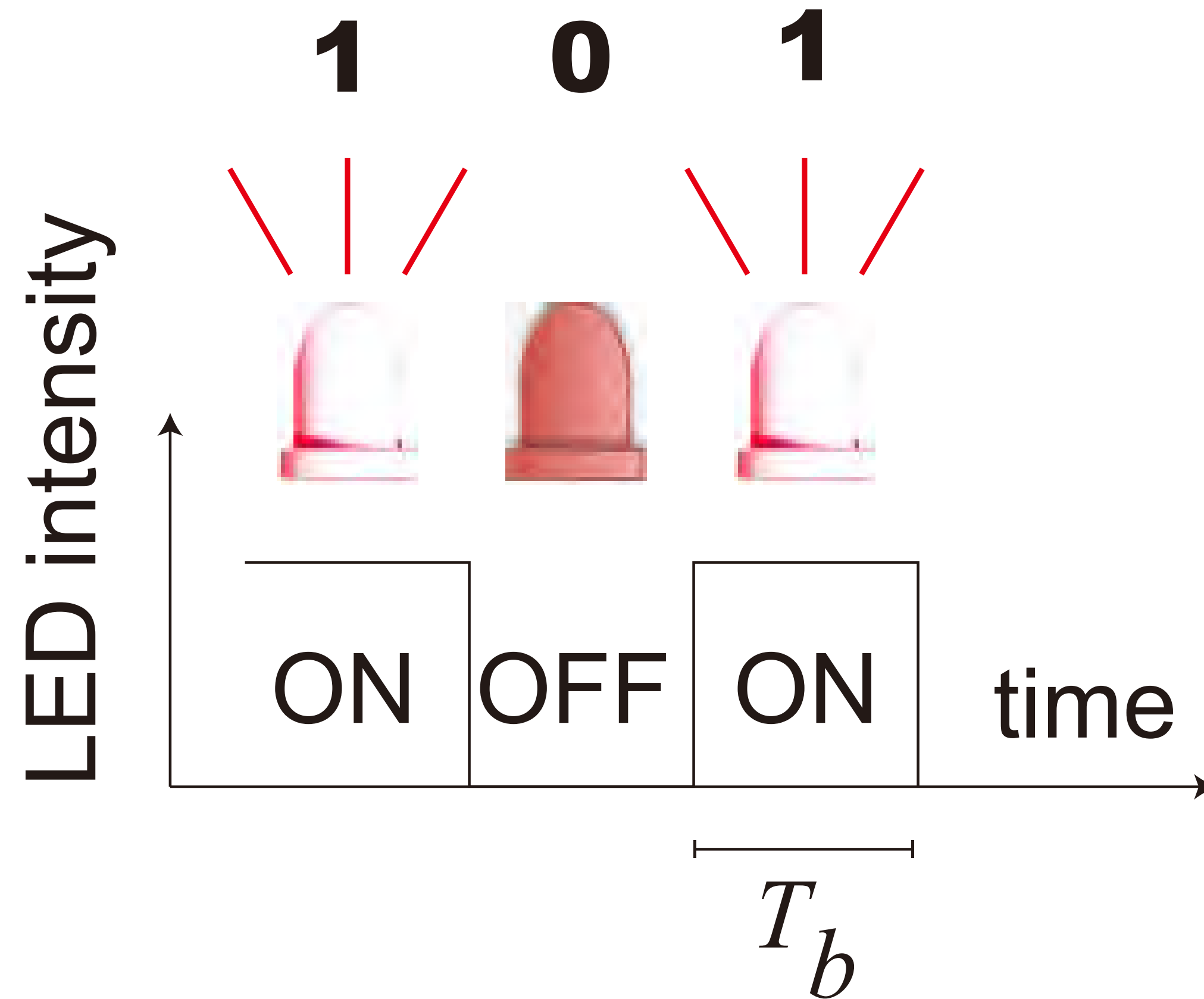
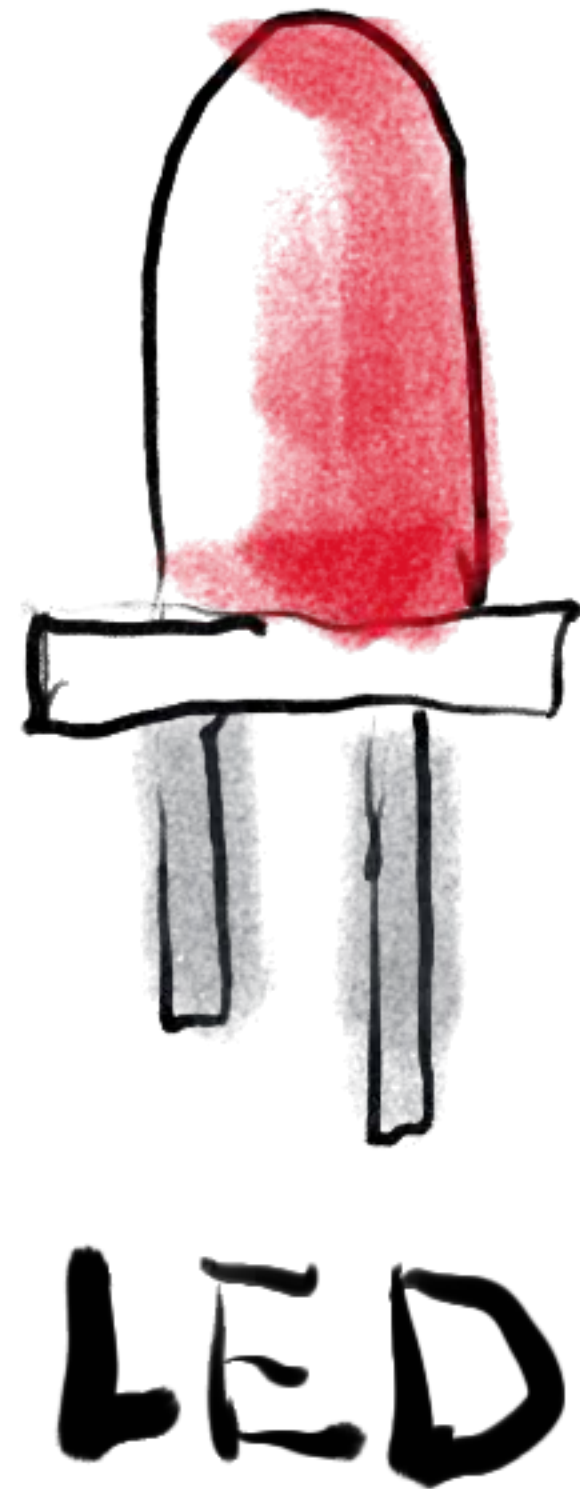


LED

- VLC送信機
- LEDは半導体のため高速なスイッチングができる
- 変調方式はON-OFF Keyingが多い

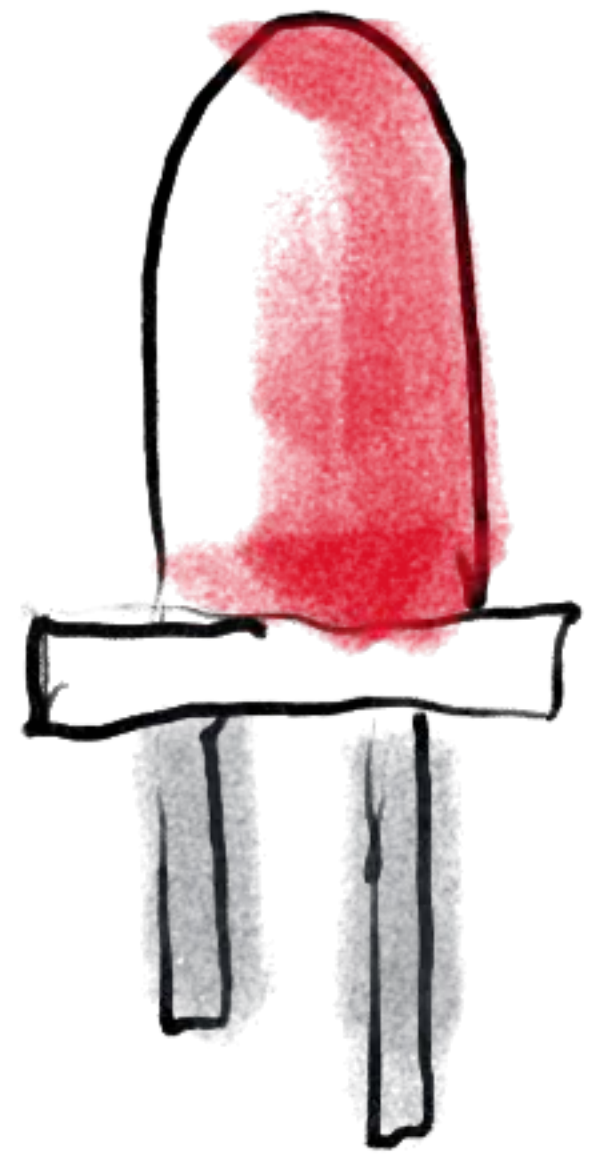
On-off keying (OOK)

最も基本的な変調方式



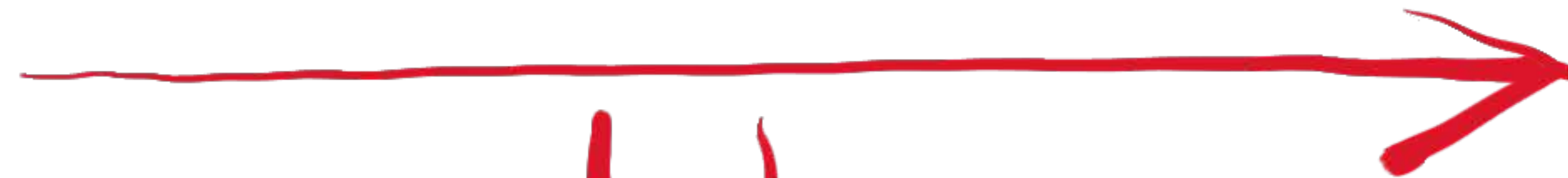
$$R_b = \frac{1}{T_b}$$

受信機にはフォトダイオード (PD) が使われる



LED

0110 0111 001010



data

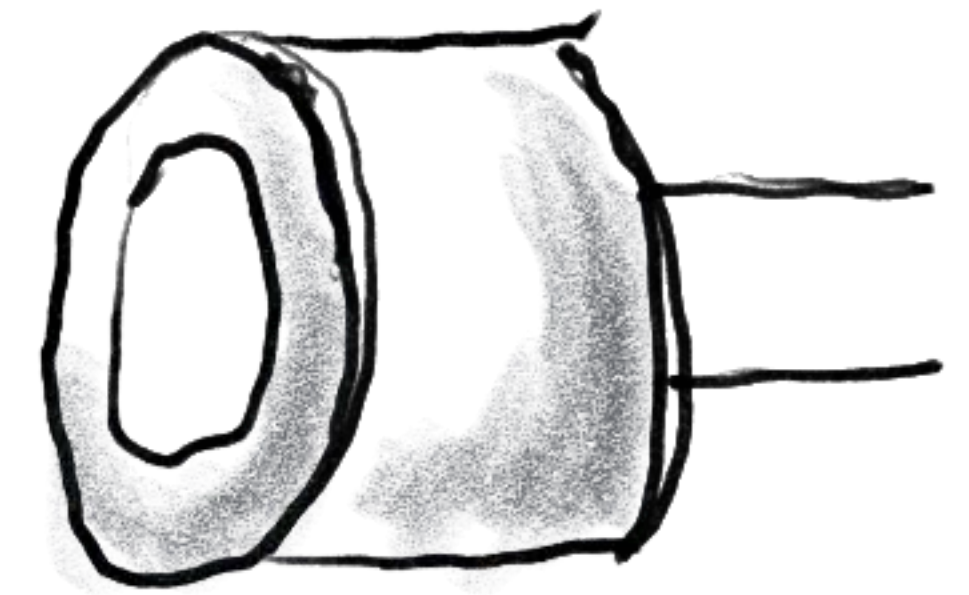
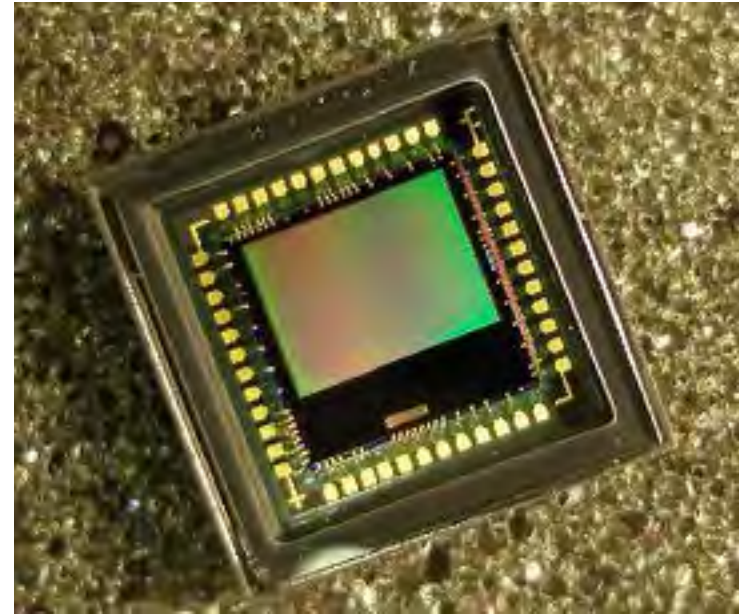


Photo Diode

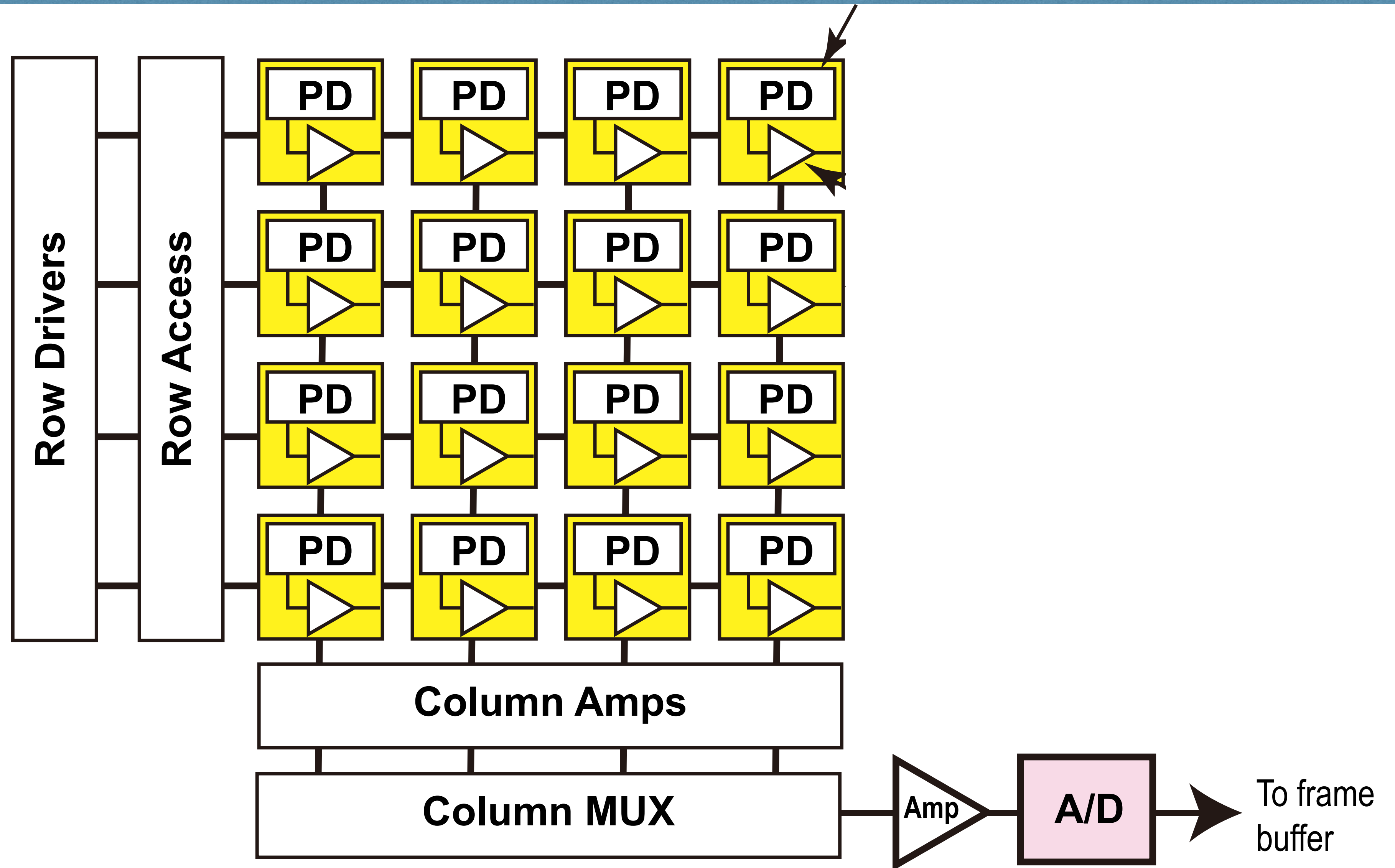
カメラで通信はできる？

Image Sensor Communications: ISC

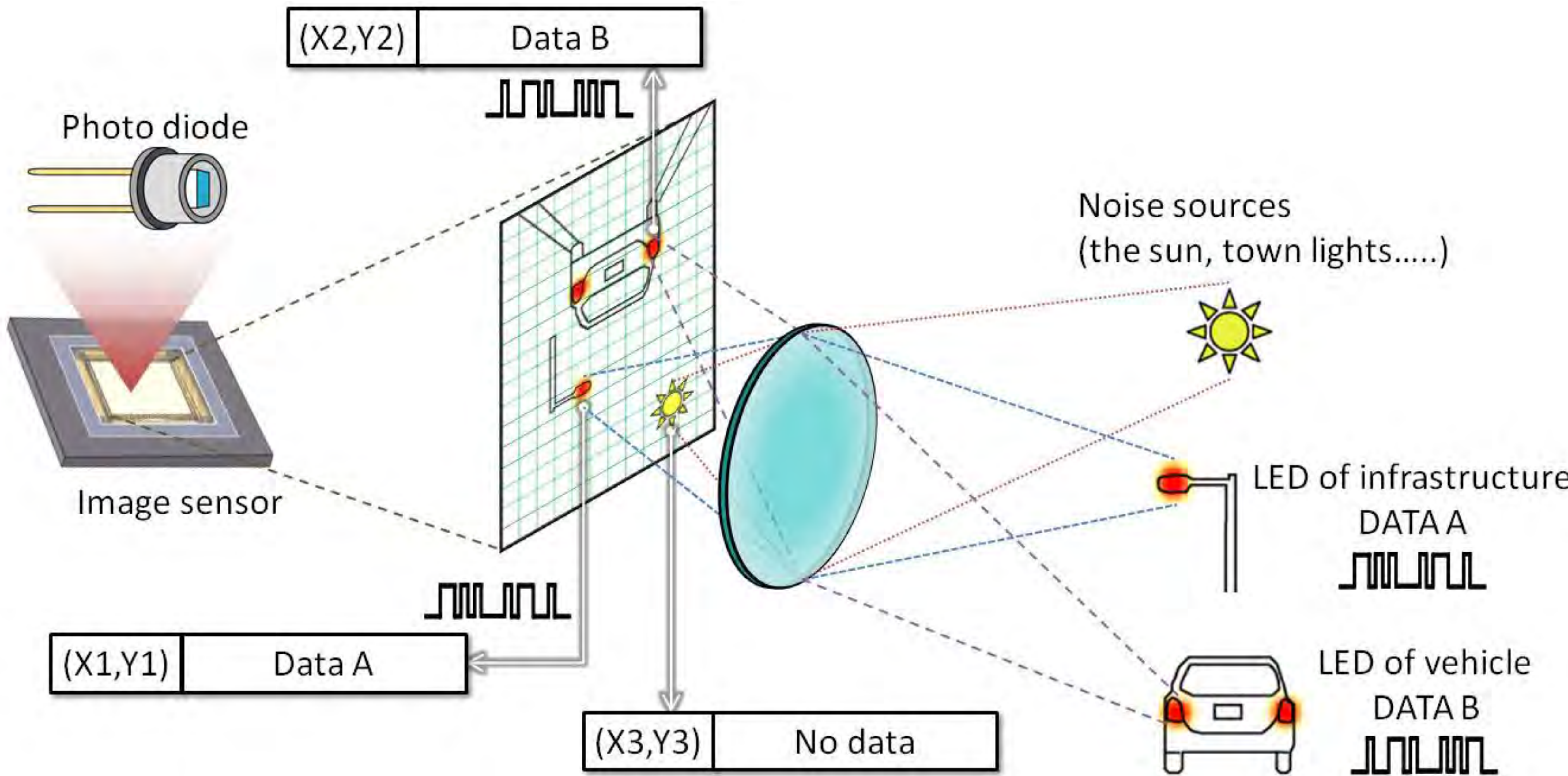
CMOSイメージセンサ



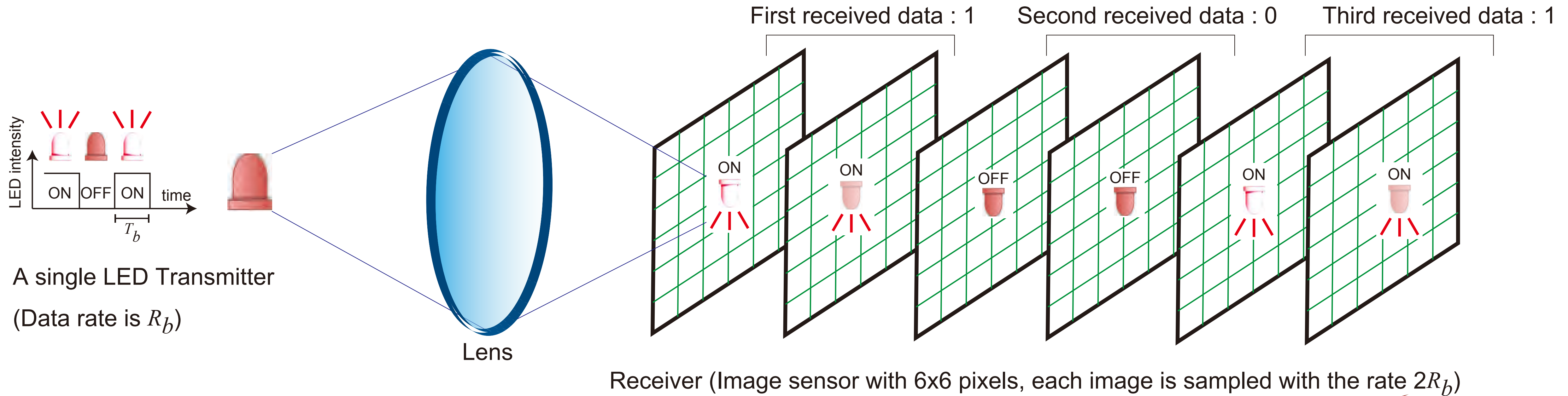
https://en.wikipedia.org/wiki/Active-pixel_sensor



CMOS sensors read out the voltage using row and column decoders, like a digital memory.



標本化（サンプリング）定理



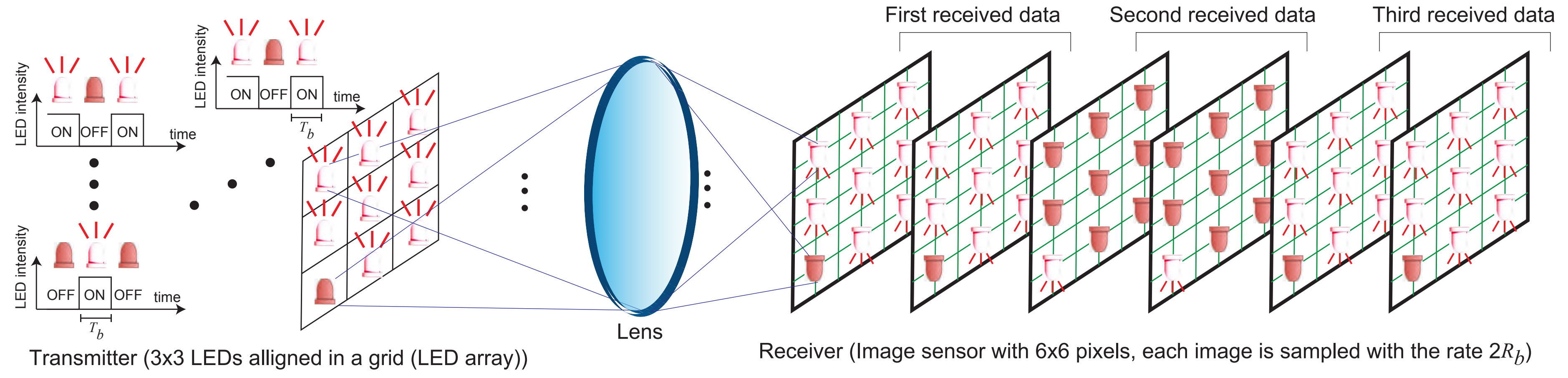
$$Data Rate \leq 2 \times Sampling Rate$$

- サンプリング定理

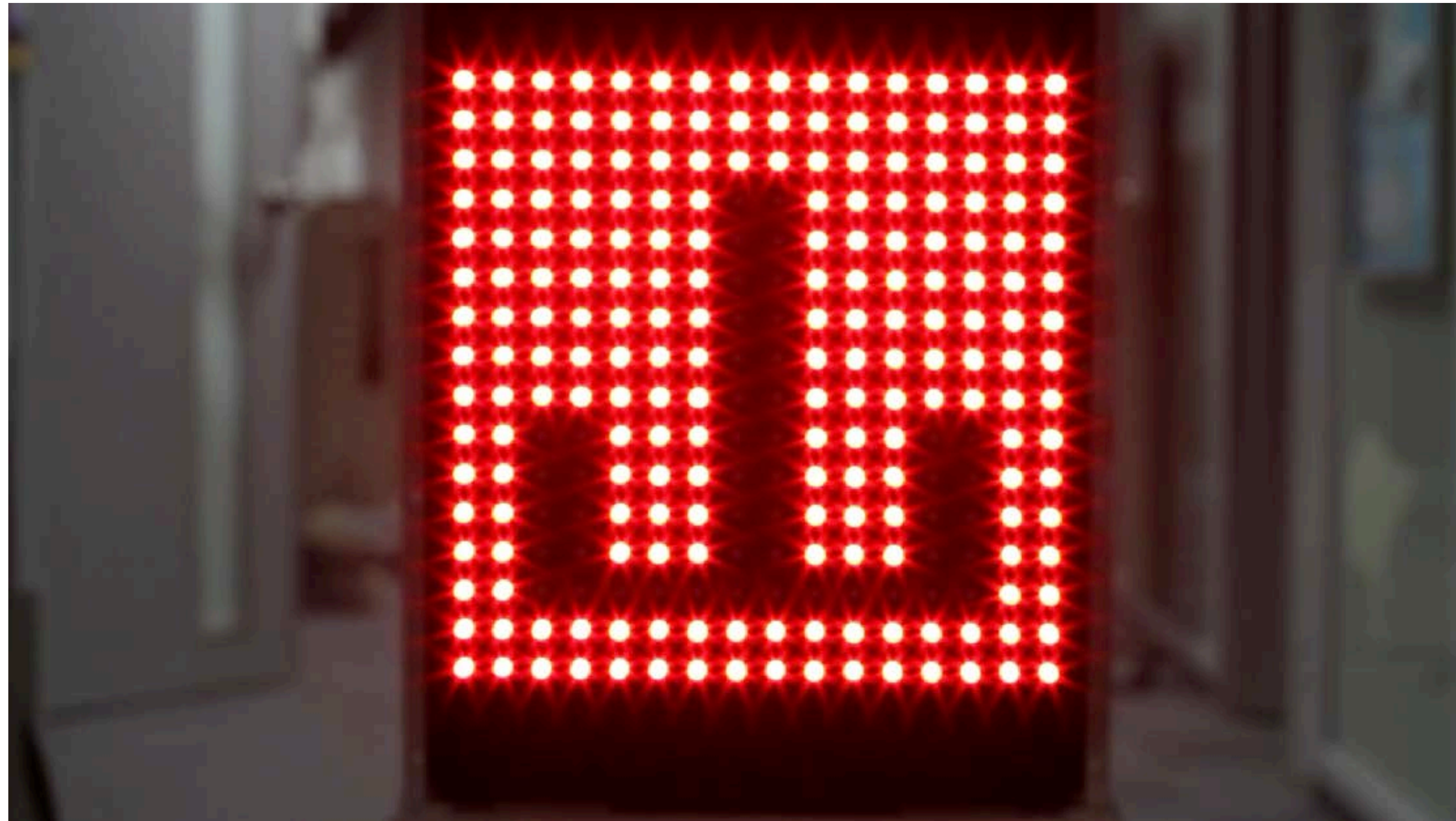
アナログ信号をデジタル信号に正確に変換（サンプリング）するためには、**元の信号の最大周波数の2倍以上のサンプリング周波数**（ナイキスト周波数）で標本化（サンプリング）する必要がある

Quiz

元の信号のデータレートが 120 Hzの場合、元の信号を再構築するための最小サンプリングレートはいくつですか？

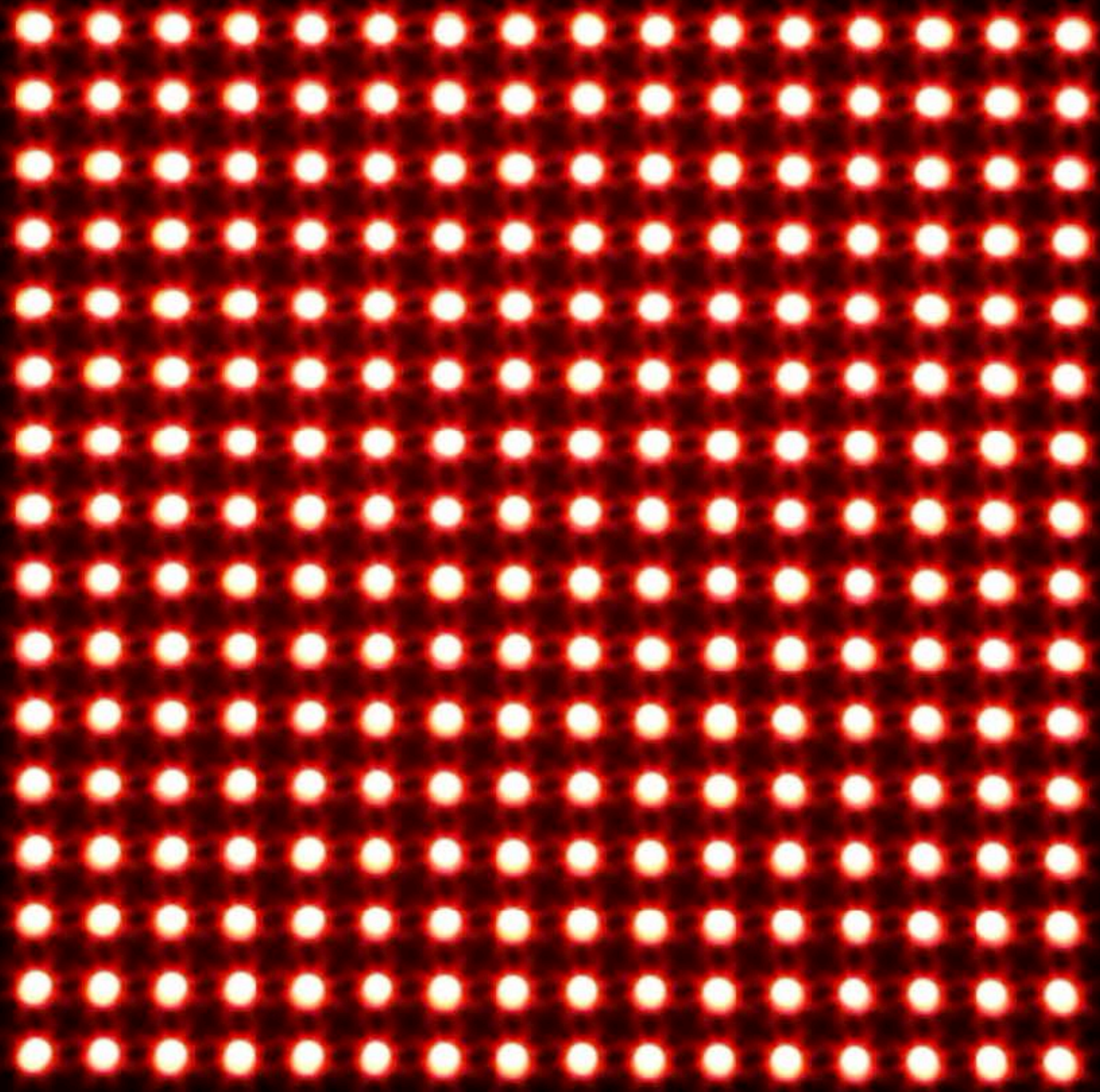


LED array: 15 Hz



Camera: 30 fps

LED array: 500 Hz



高速度カメラで通信してみよう！

High-speed camera

iPhone 12

Slo-mo video at 240 fps

Edited to 960 fps

How fast can we achieve? — Ideal case —



iPhone
1080p 240 fps

$$1920 \times 1080 \times 240 \text{ fps} \times 12 \text{ bit} \times 3 \text{ colors}$$

Considering Nyquist sampling (1/2)

$$960 \times 540 \times 120 \text{ fps} \times 6 \text{ bit} \times 3 \text{ colors}$$

Spatial

Temporal

Dynamic range

1,119,744,000 bps (**1.1 Gbps**)



Xperia
1080p 920 fps

$$1920 \times 1080 \times 920 \text{ fps} \times 12 \text{ bit} \times 3 \text{ colors}$$

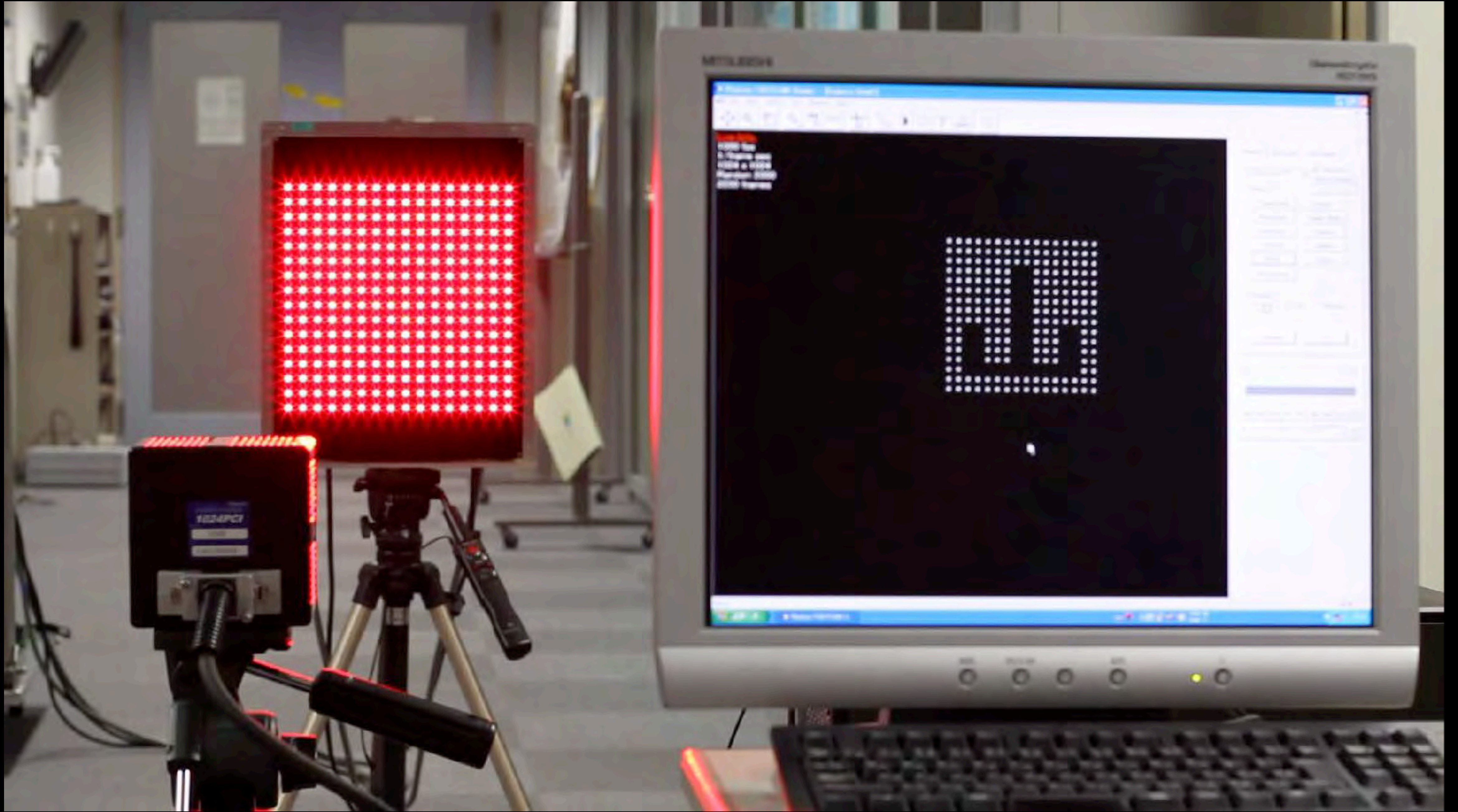
Considering Nyquist sampling (1/2)

$$960 \times 540 \times 460 \text{ fps} \times 6 \text{ bit} \times 3 \text{ colors}$$

4,292,352,000 bps (**4.3 Gbps**)

LED array: 500 Hz

High-speed camera: 1000 fps





LED traffic light to vehicles (I2V-VLC)

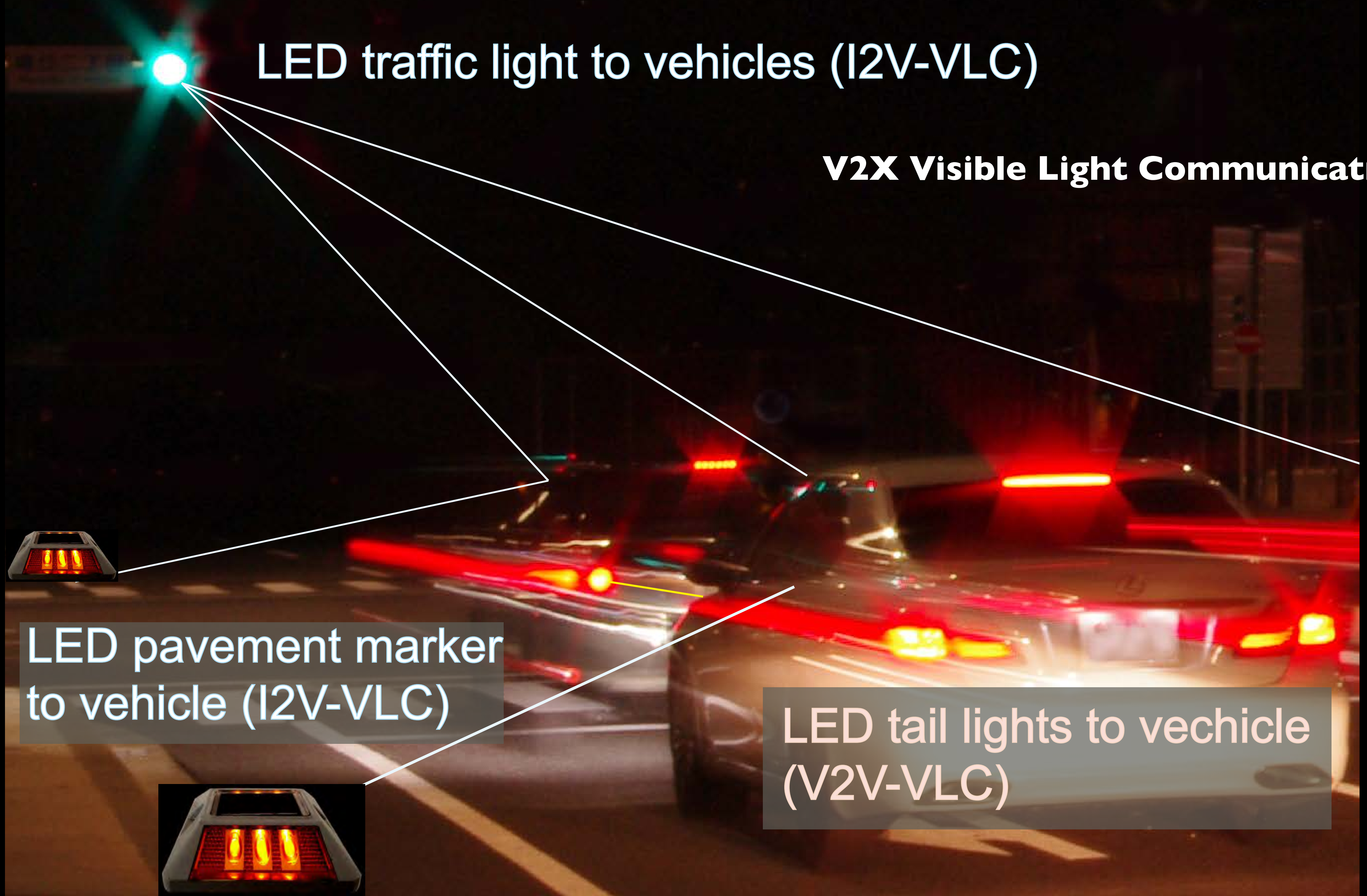
V2X Visible Light Communication

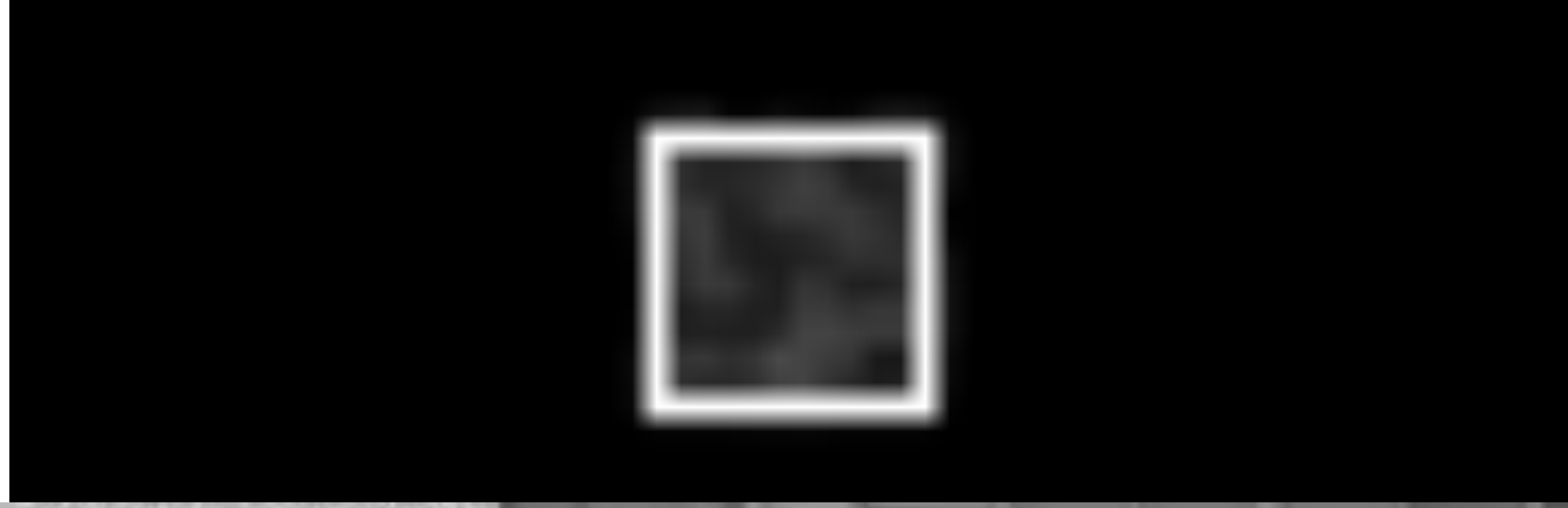


LED pavement marker to vehicle (I2V-VLC)



LED tail lights to vehicle (V2V-VLC)







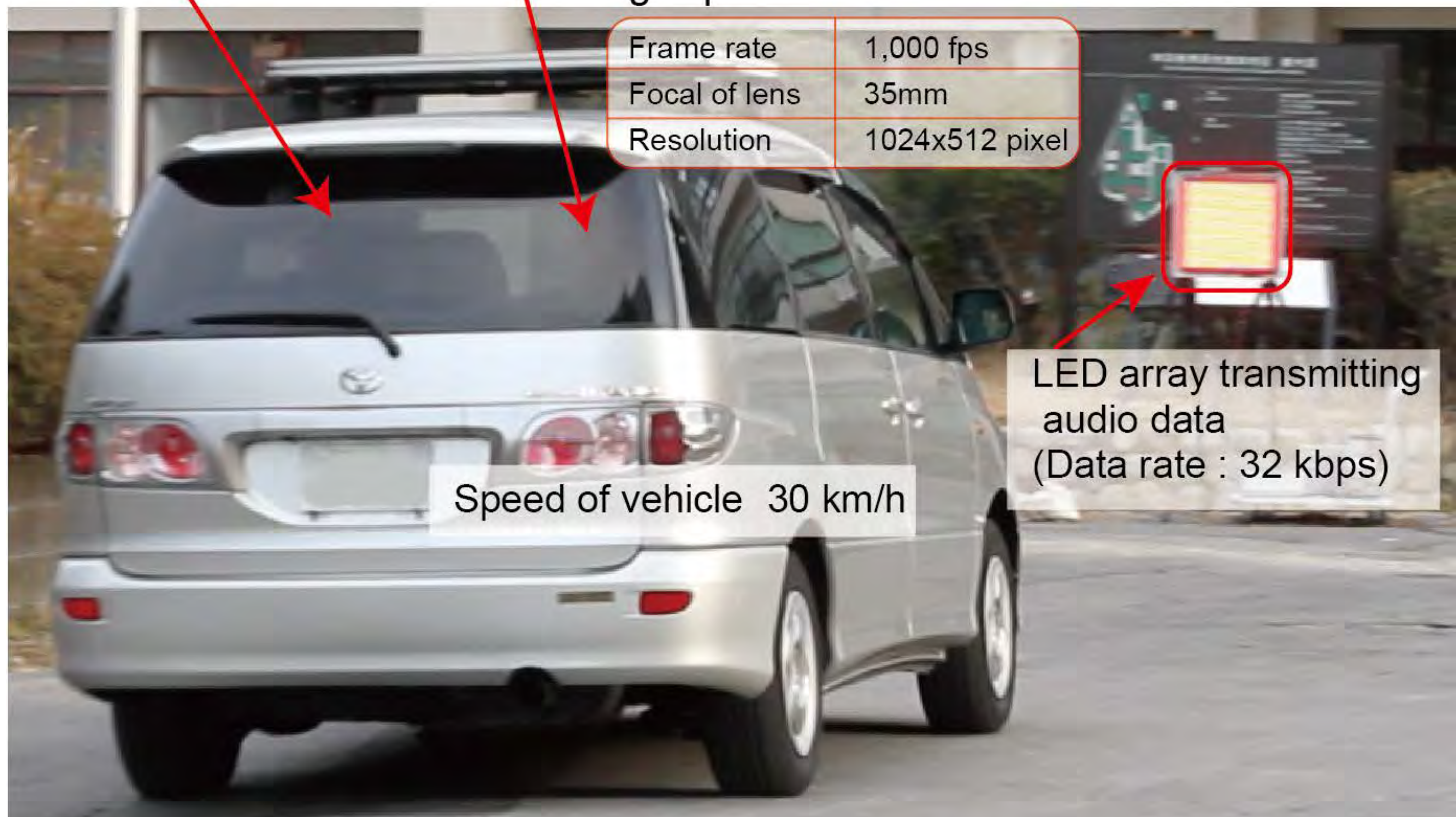
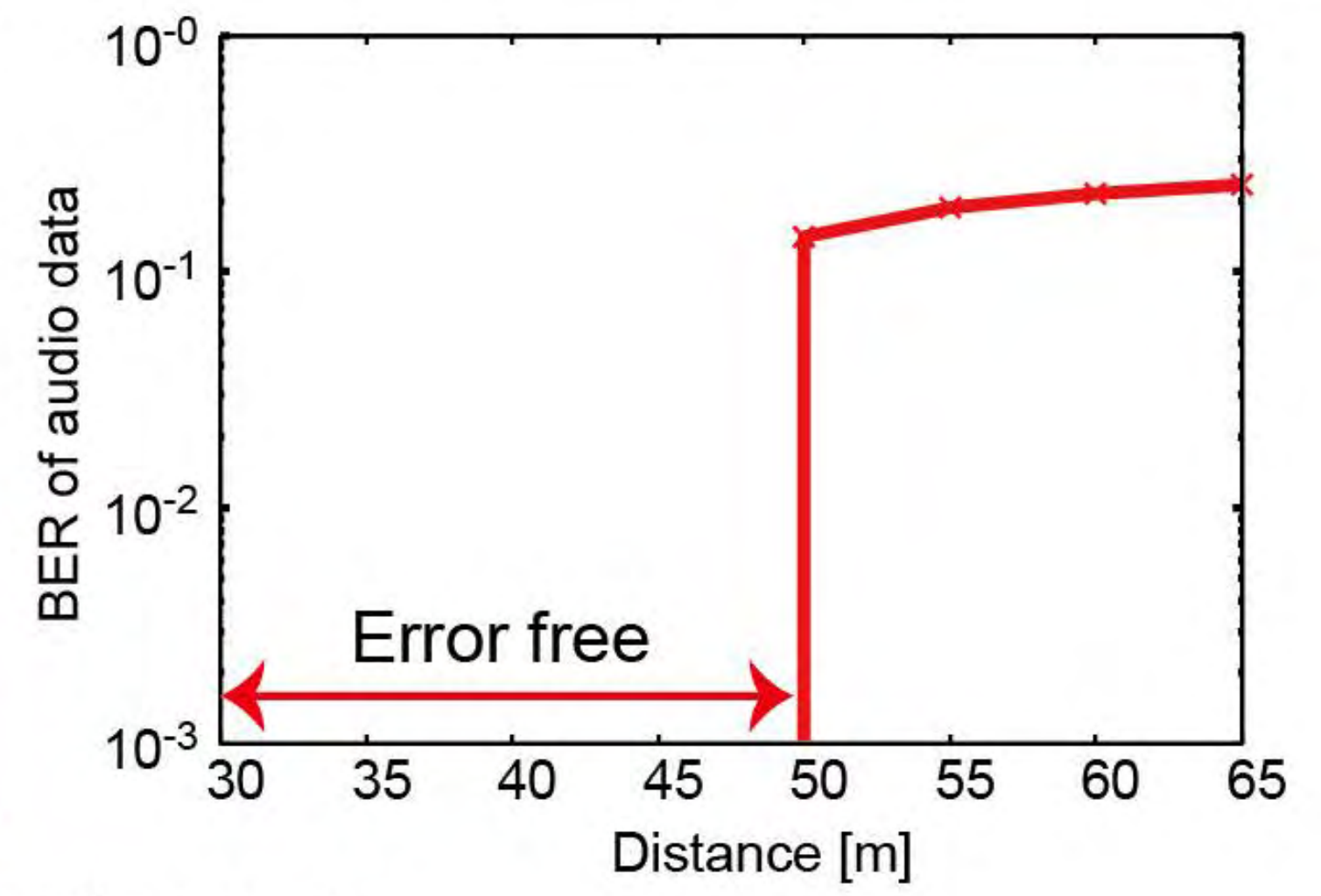


Gray-scale movie obtained by the high speed camera



LED array tracking

High speed camera



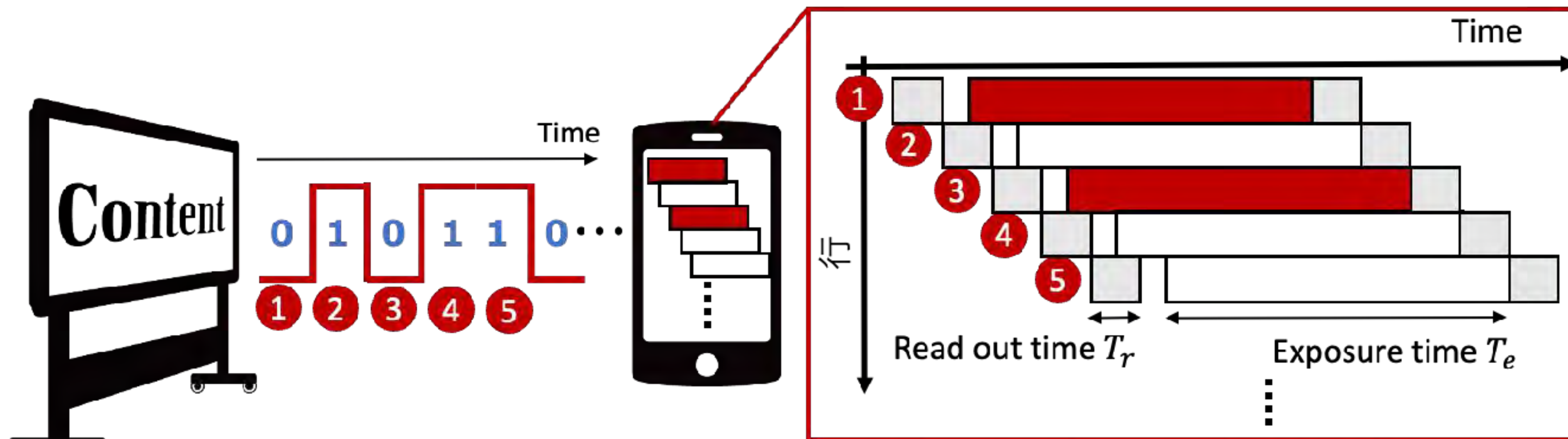
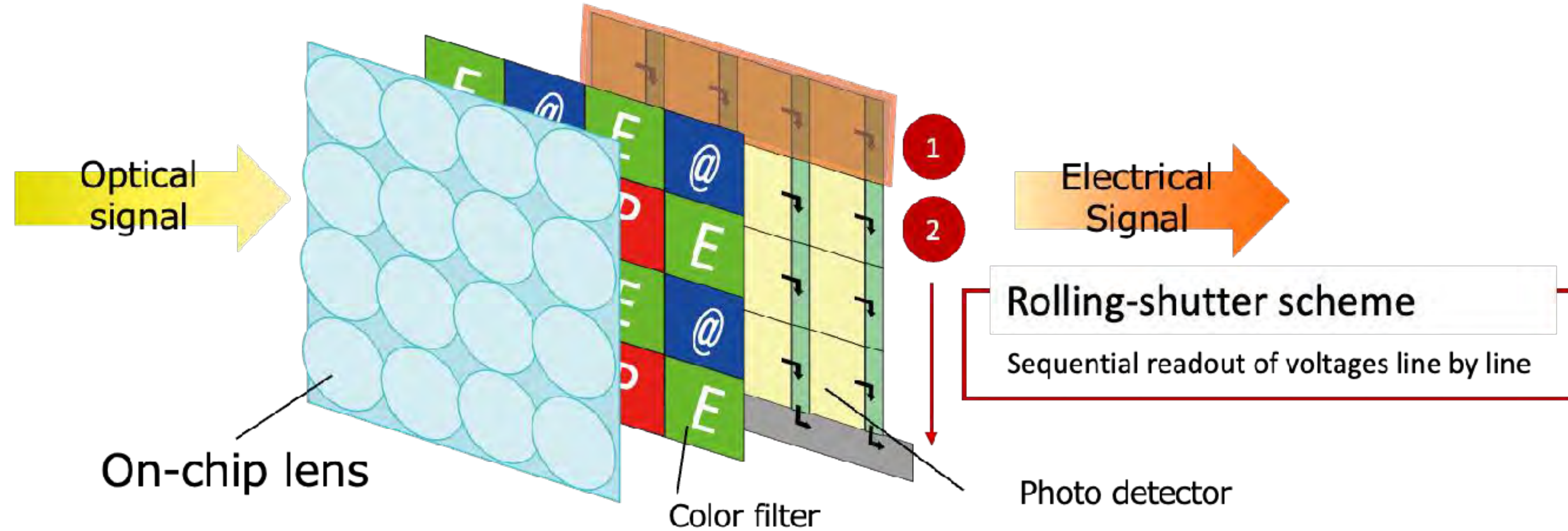
Frame rate	1,000 fps
Focal of lens	35mm
Resolution	1024x512 pixel

Speed of vehicle 30 km/h

LED array transmitting audio data (Data rate : 32 kbps)

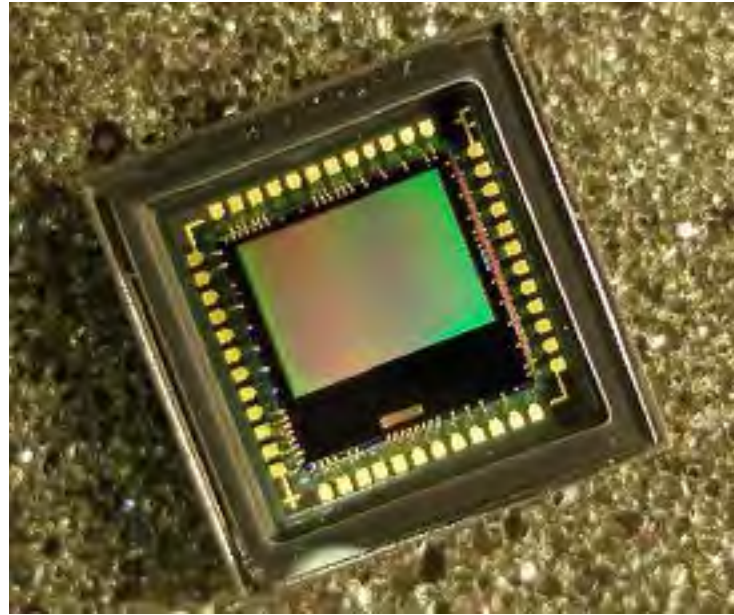
スマホのカメラで通信してみよう！

ローリングシャッター方式 (Rolling-shutter)

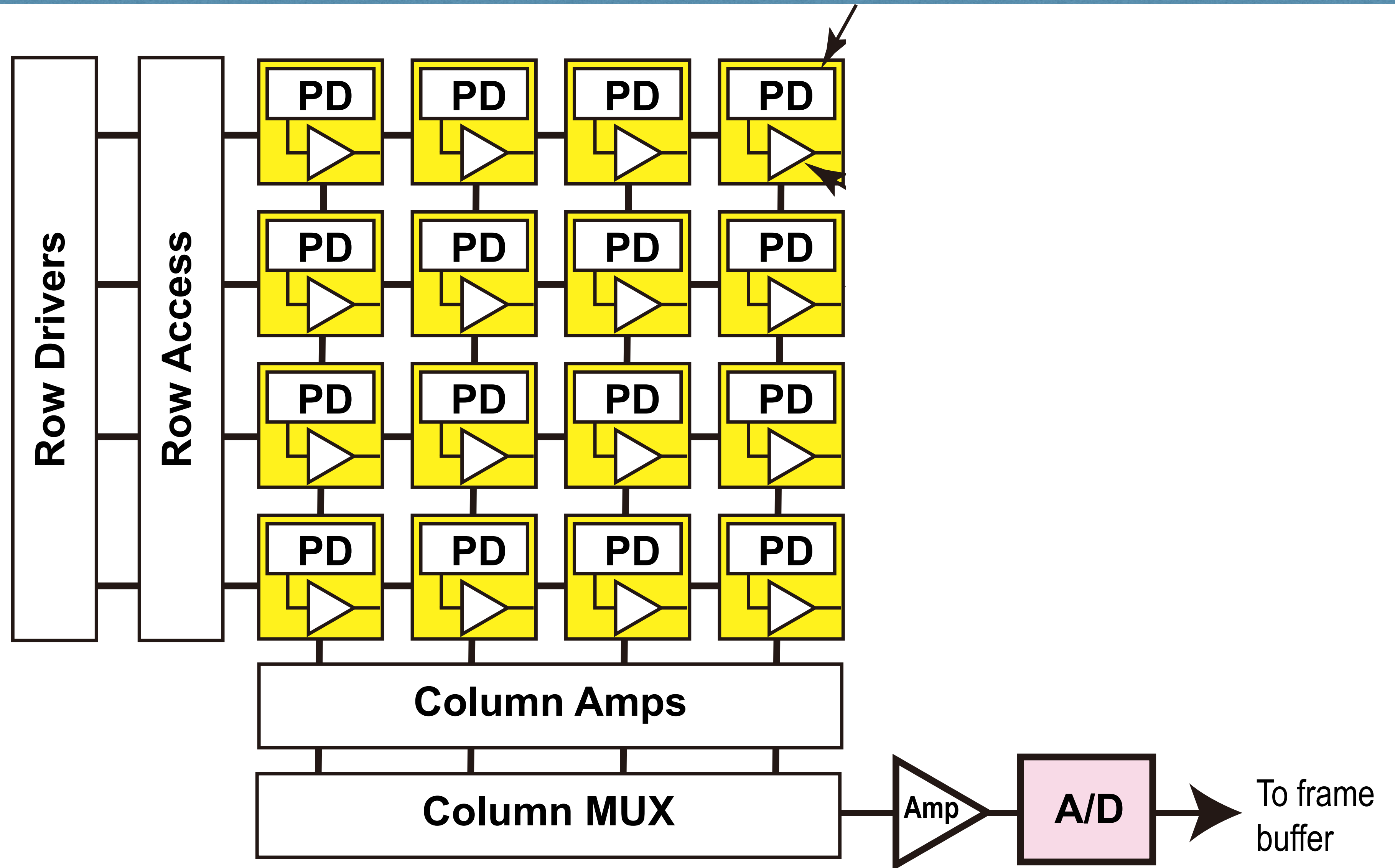


Timing chart of rolling-shutter scheme

CMOSイメージセンサ

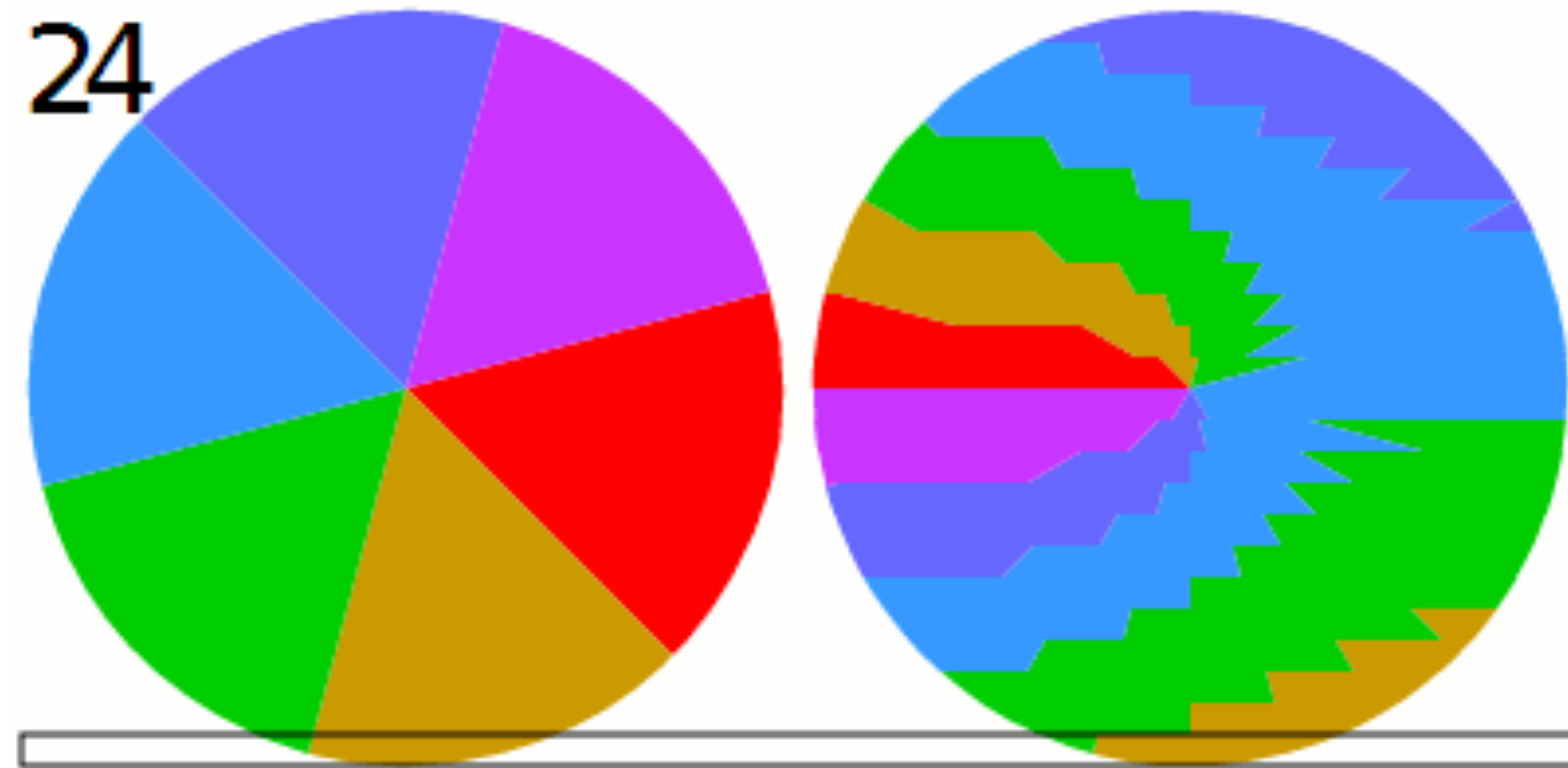
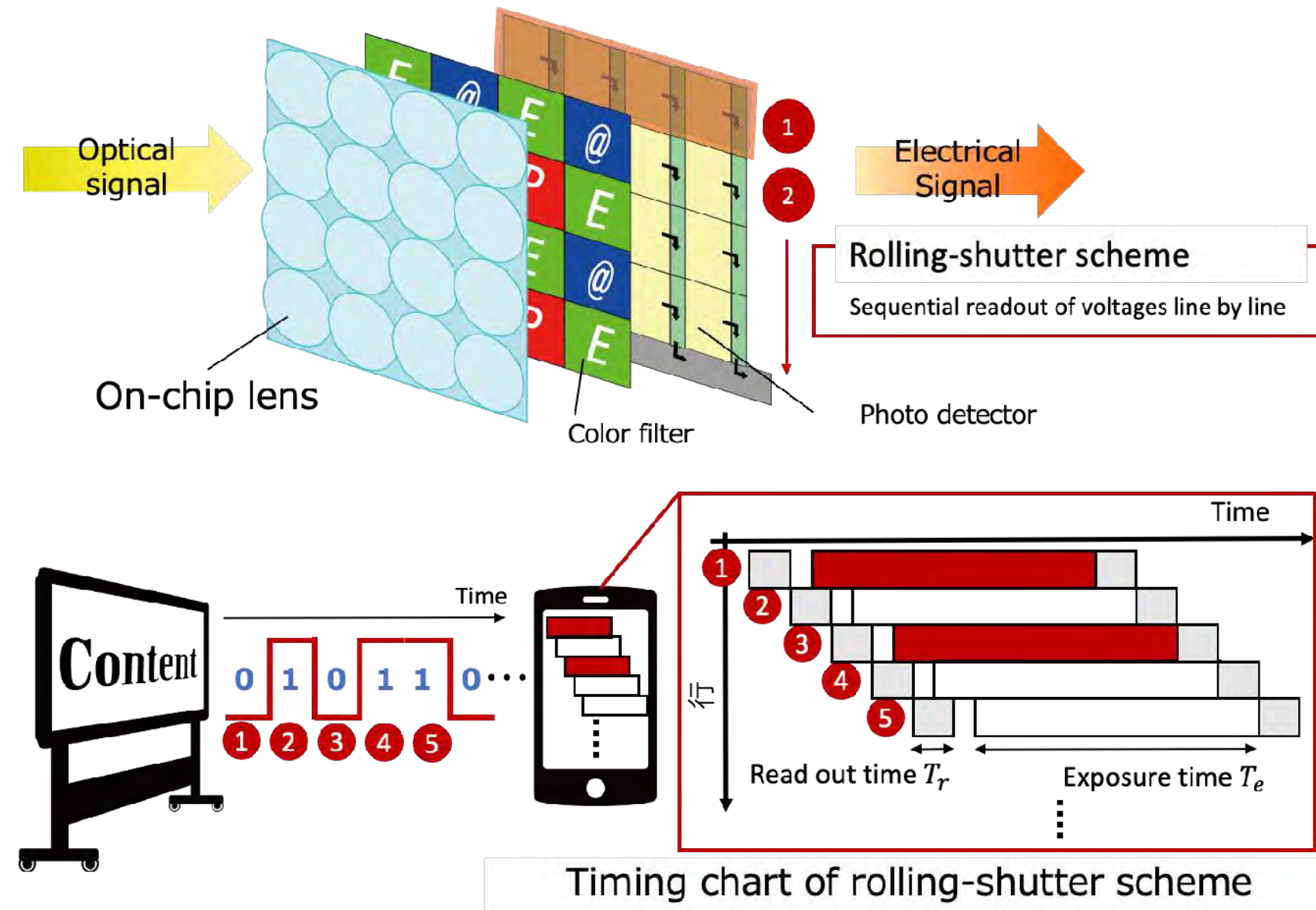


https://en.wikipedia.org/wiki/Active-pixel_sensor



CMOS sensors read out the voltage using row and column decoders, like a digital memory.

ローリングシャッター効果



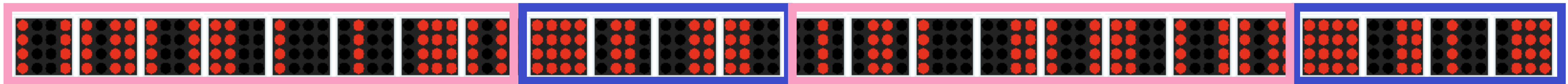
<https://www.youtube.com/watch?v=NwoesF0ynjU>

ローリングシャッタ (RS) 方式イメージセンサ

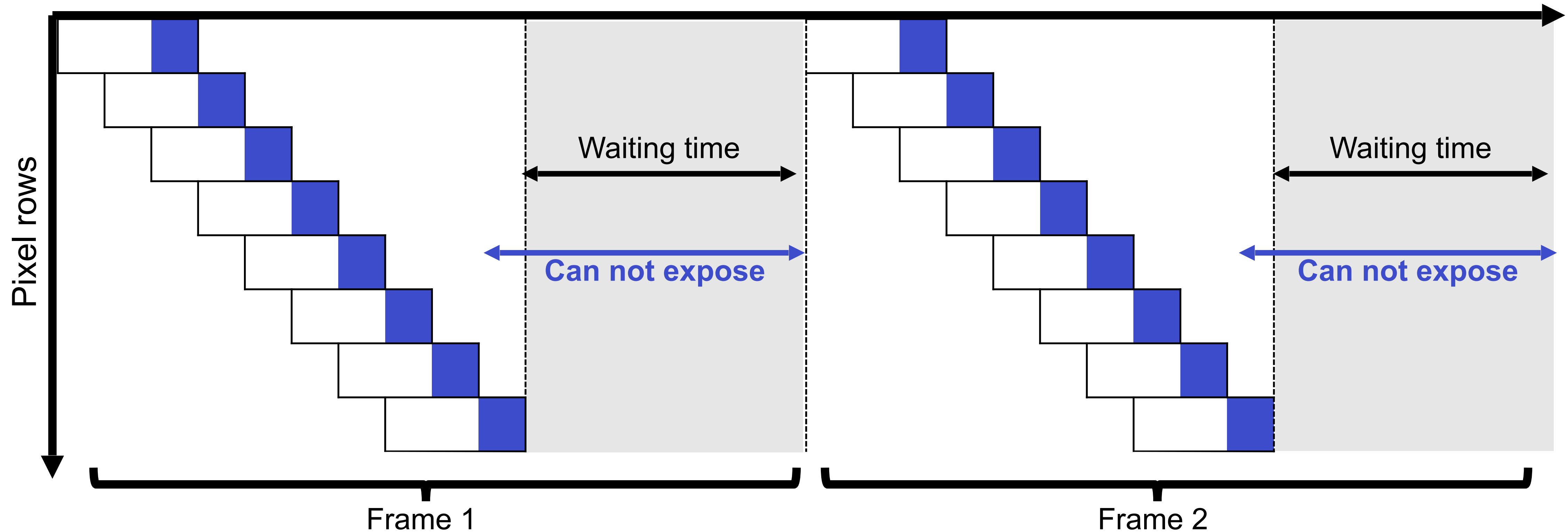
LED transmitter patterns

Received signal

Signal Loss



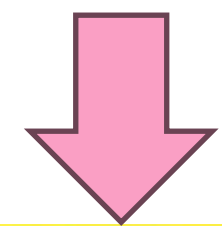
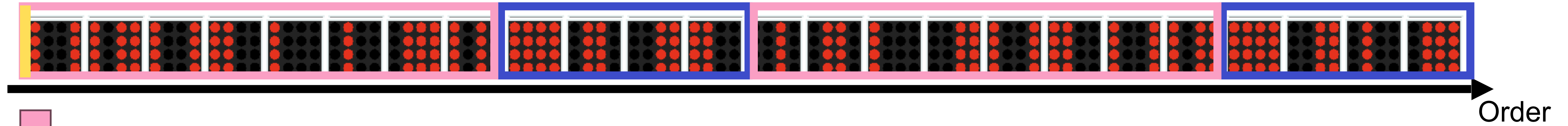
Time



ローリングシャッター (RS) 方式イメージセンサによるLEDアレイの走査例

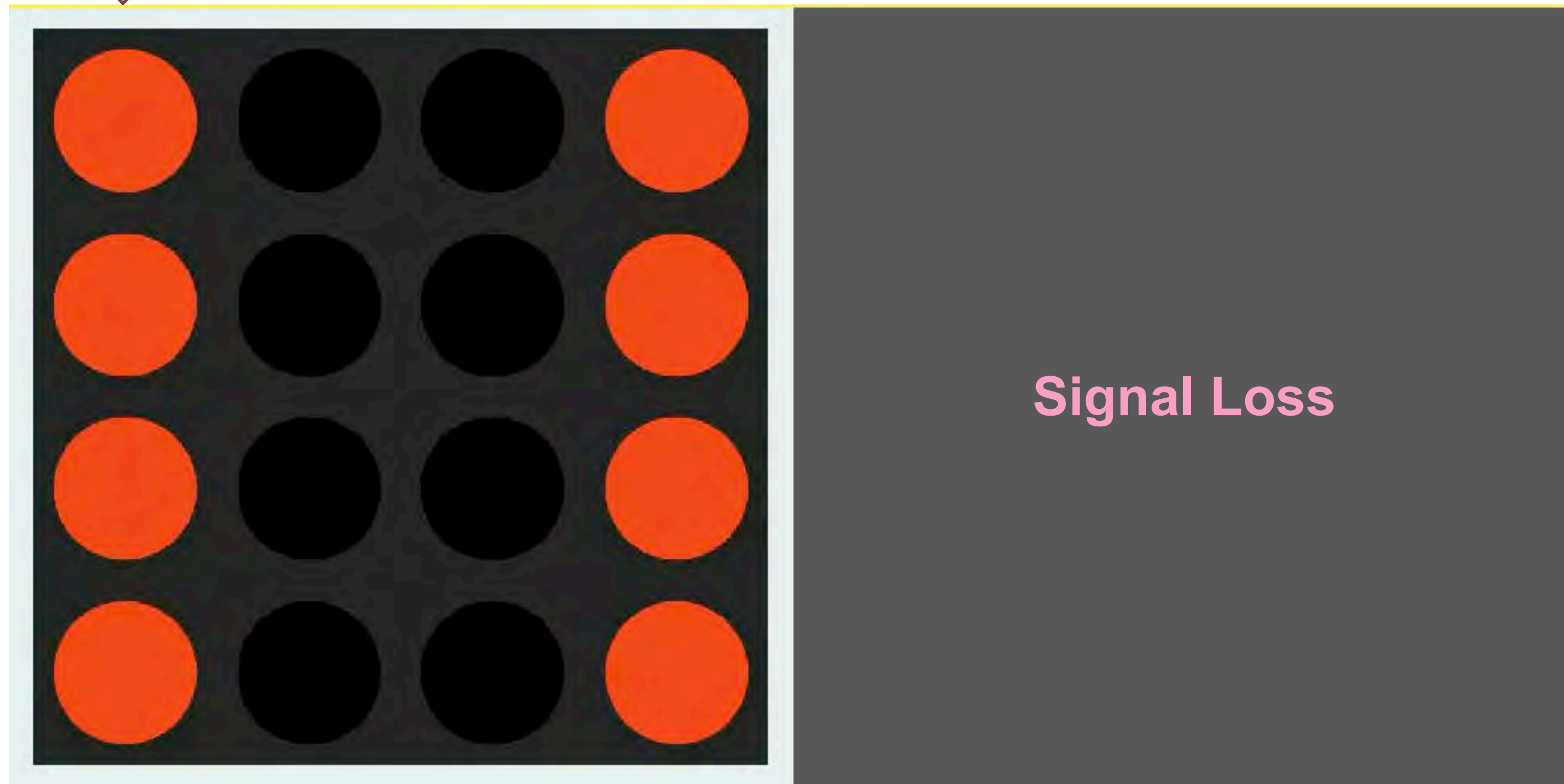
Transmit patterns
Received signal

Signal Loss

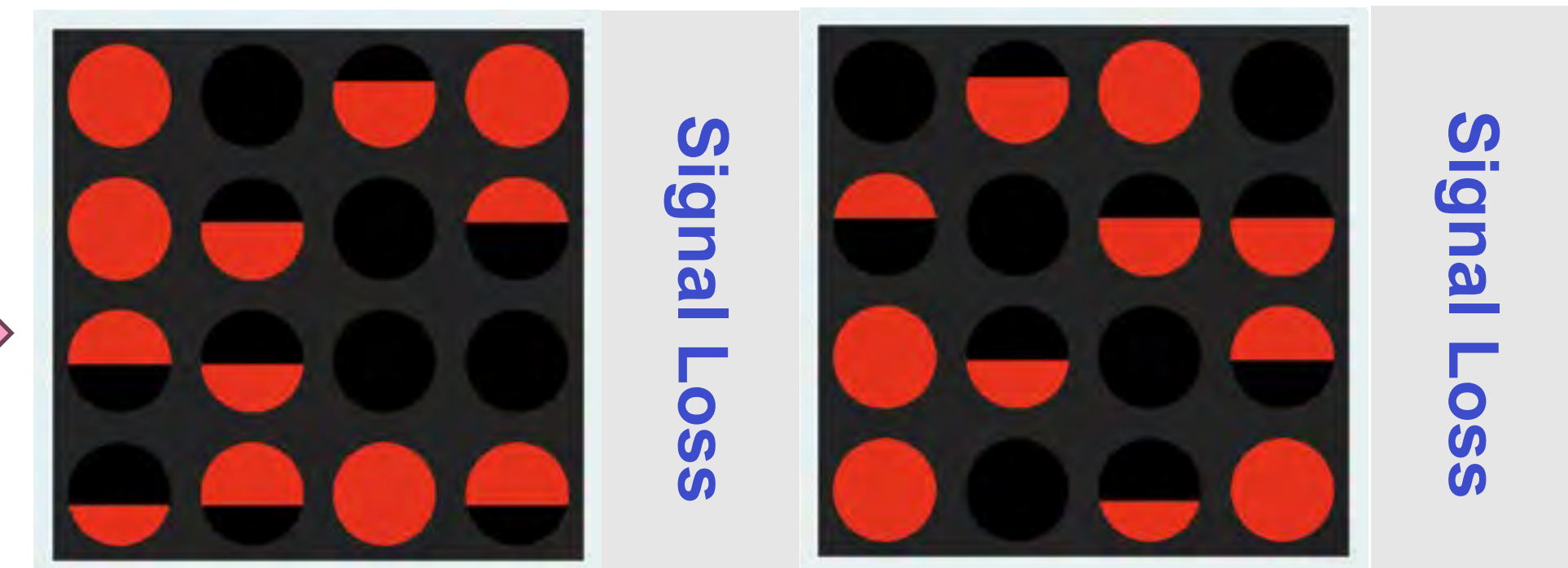


LED transmitter

Rolling shutter scanning



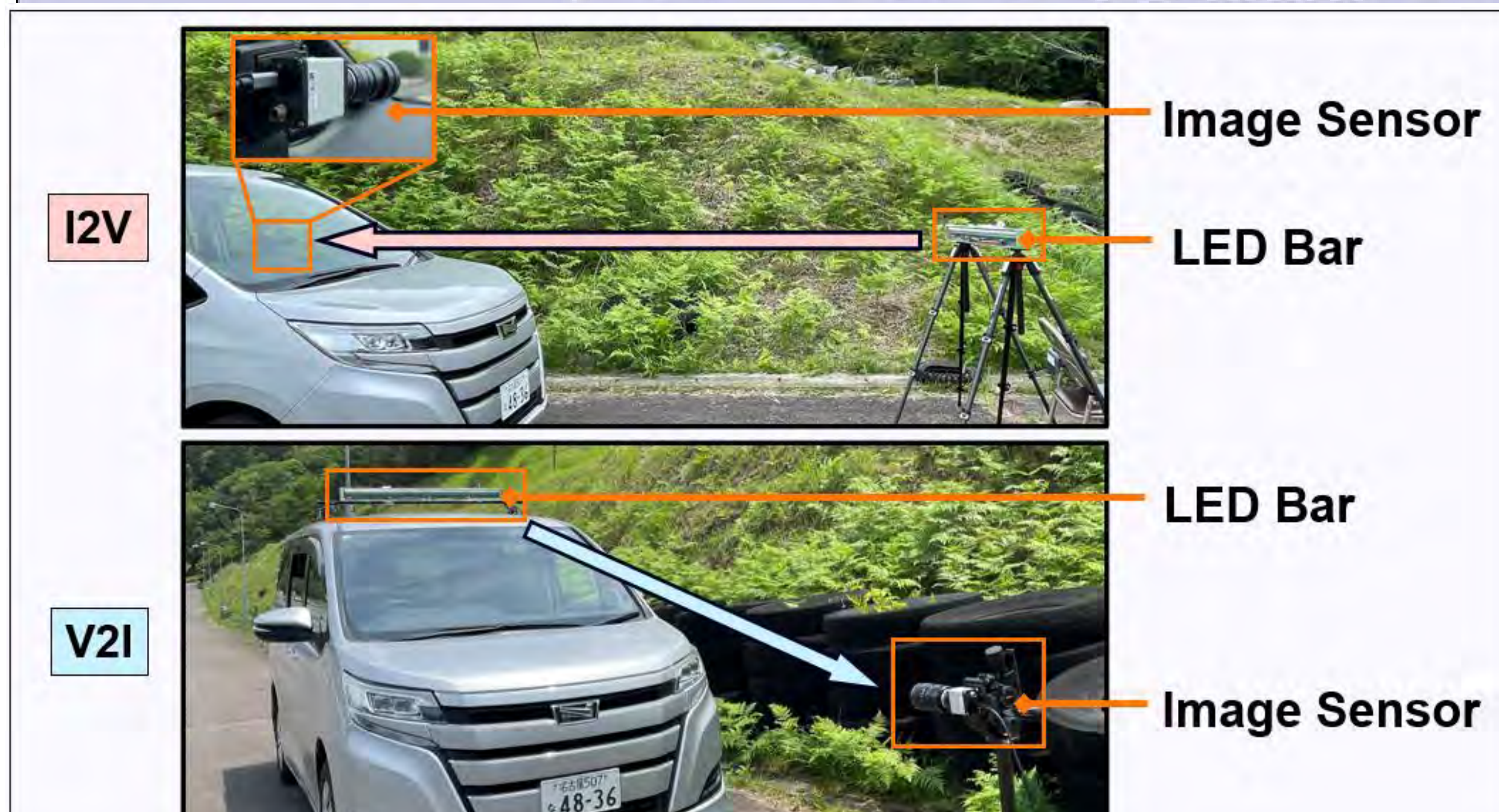
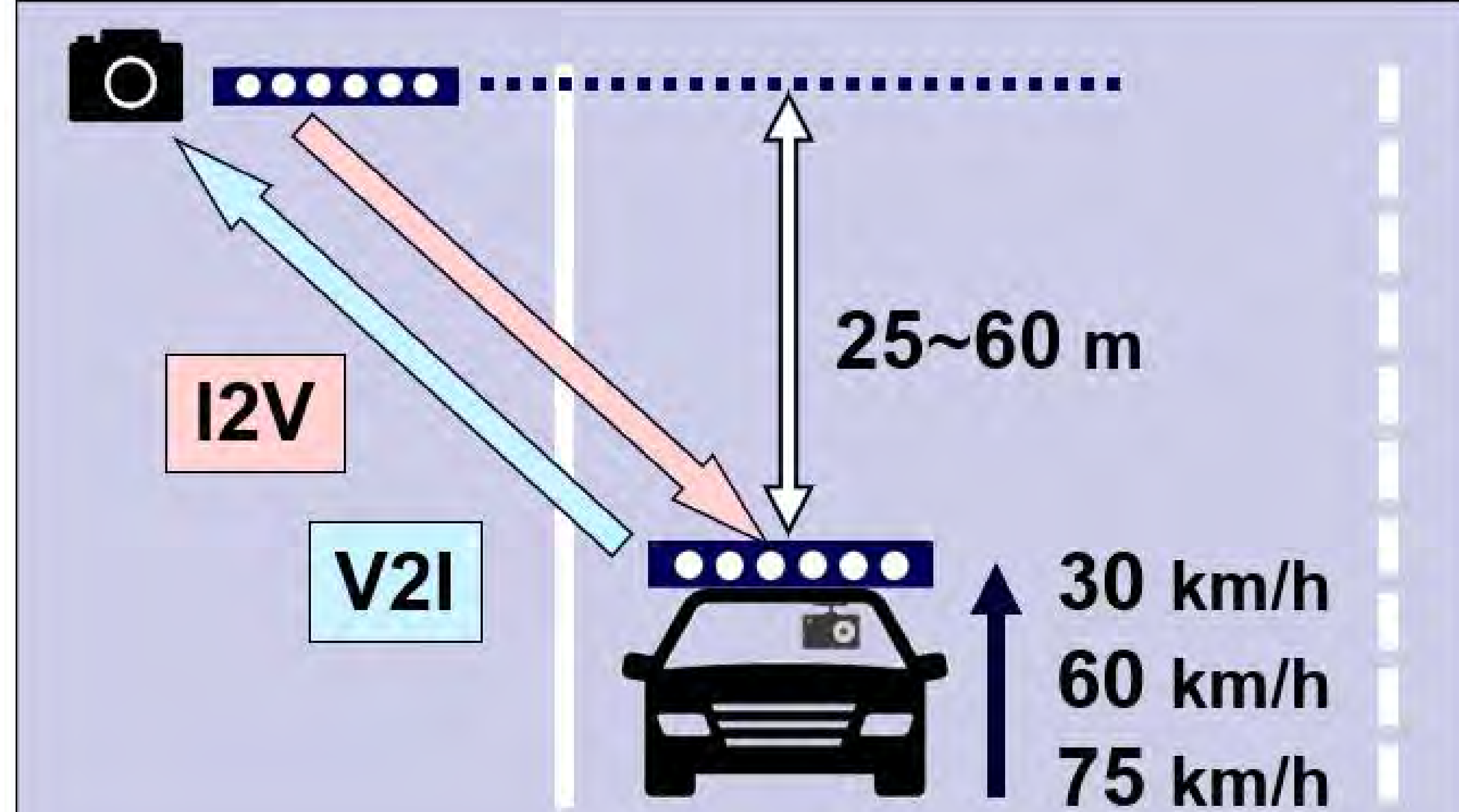
Received images



LEDアレイ送信機







スマホのカメラで通信してみよう！

1. Blue LED
2. 可視光通信 (Visible light communications: VLC)
3. カメラで通信はできる？ (Image sensor communications: ISC)
4. 高速度カメラで通信してみよう！
5. スマホのカメラで通信してみよう！

Thank you and your questions or comments are welcome!

yamazato@nagoya-u.jp