

半導体デバイスで切り開く未来のテラヘルツ応用

工学院電気電子系 鈴木左文

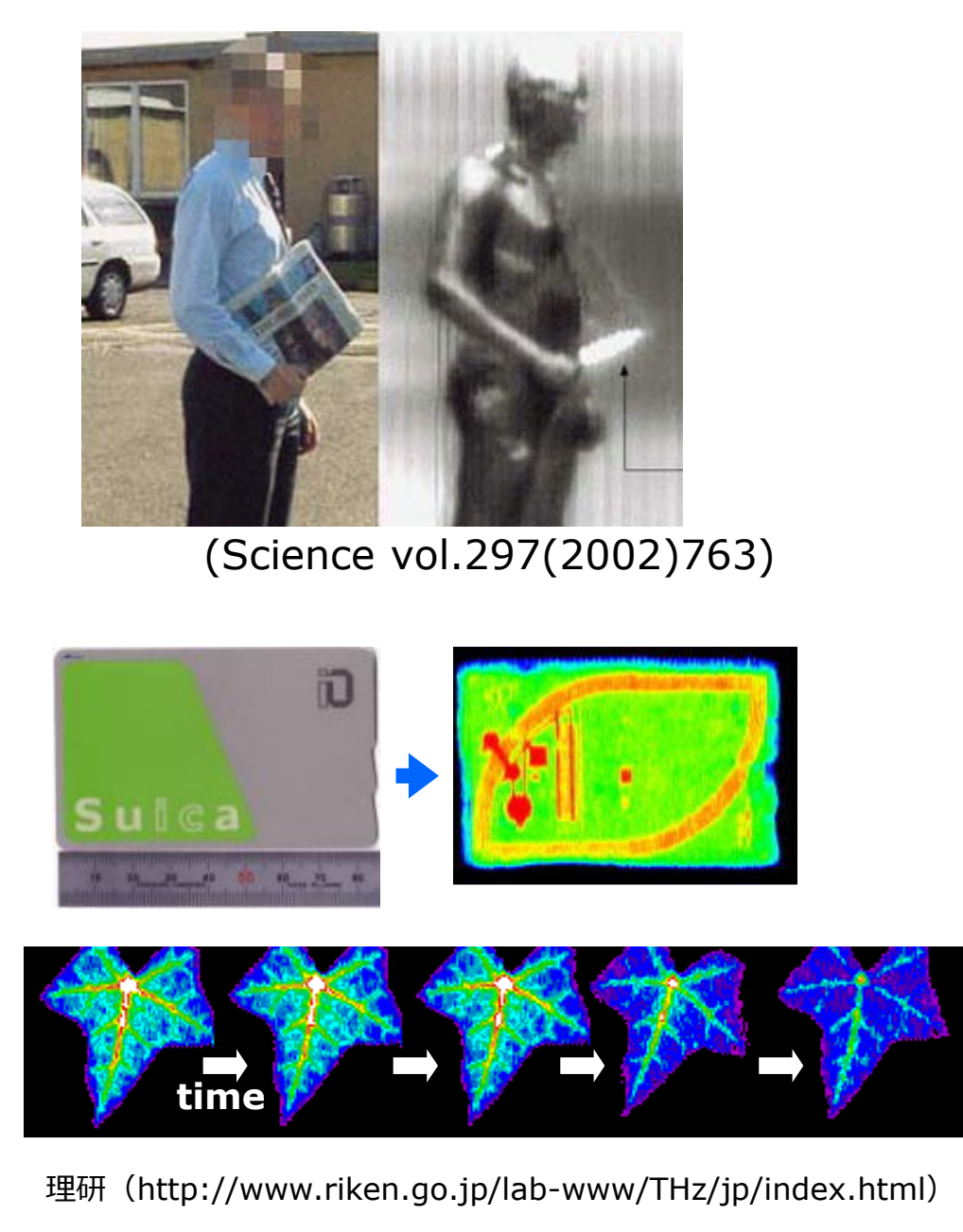


テラヘルツとは？



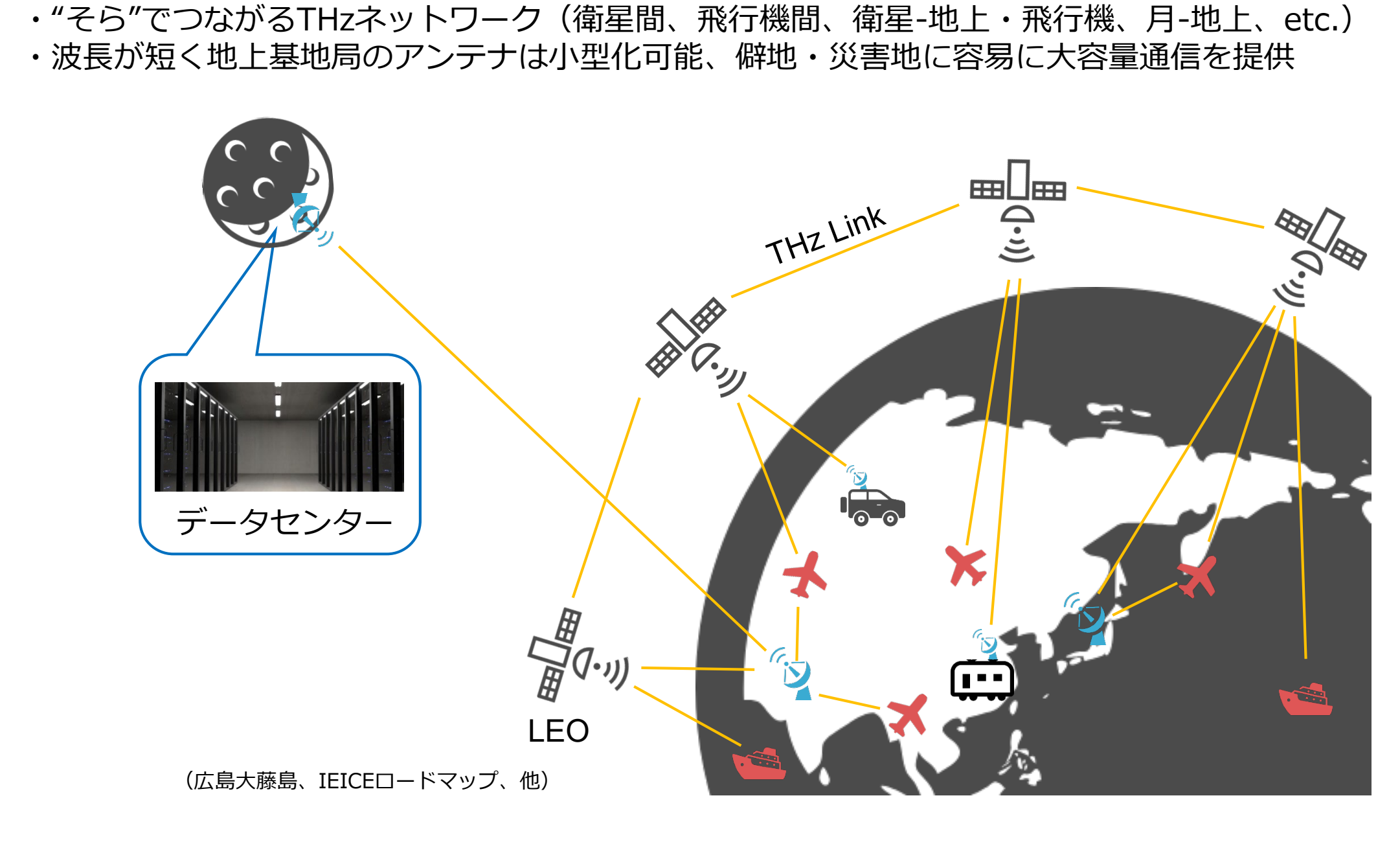
いろいろな応用

イメージングへの応用

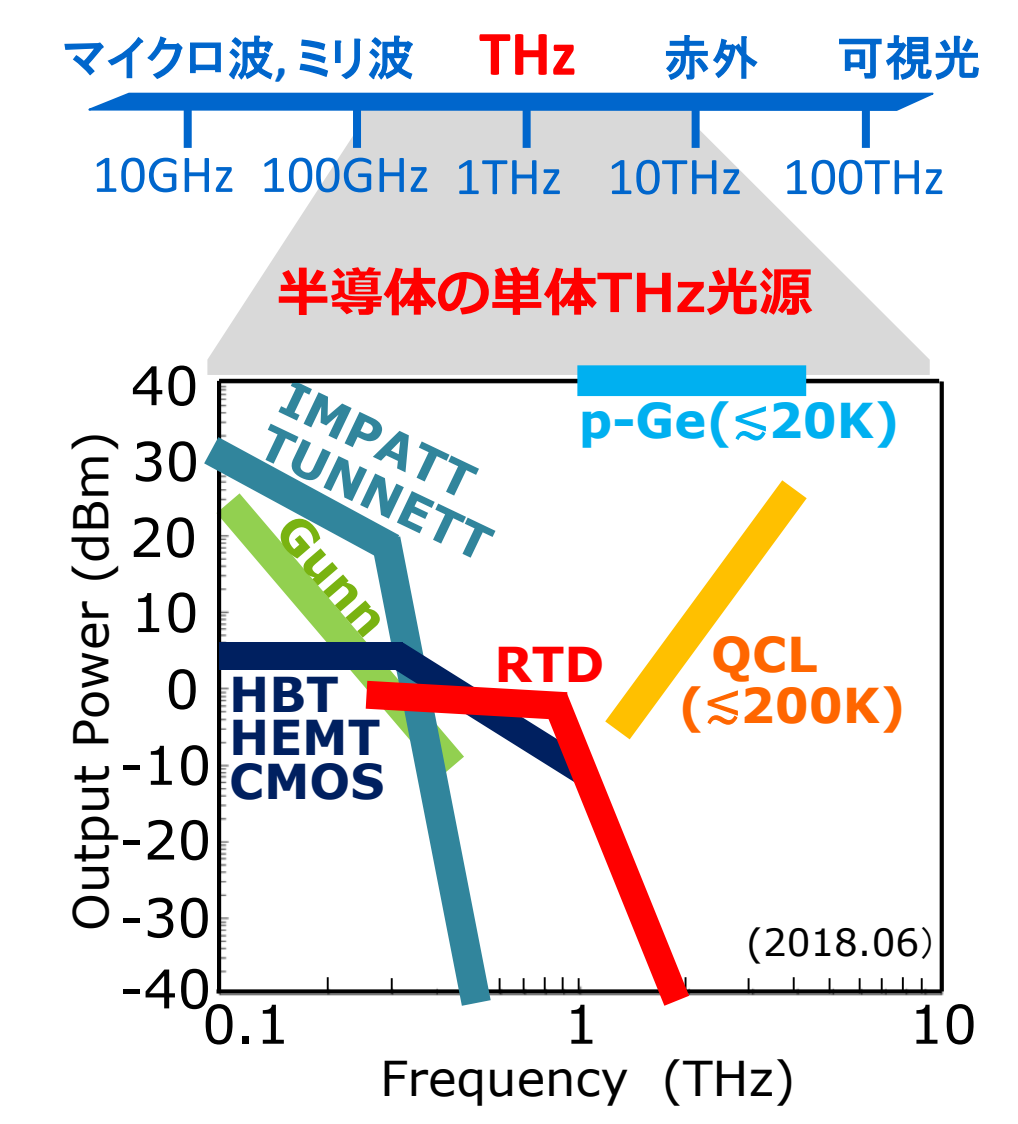
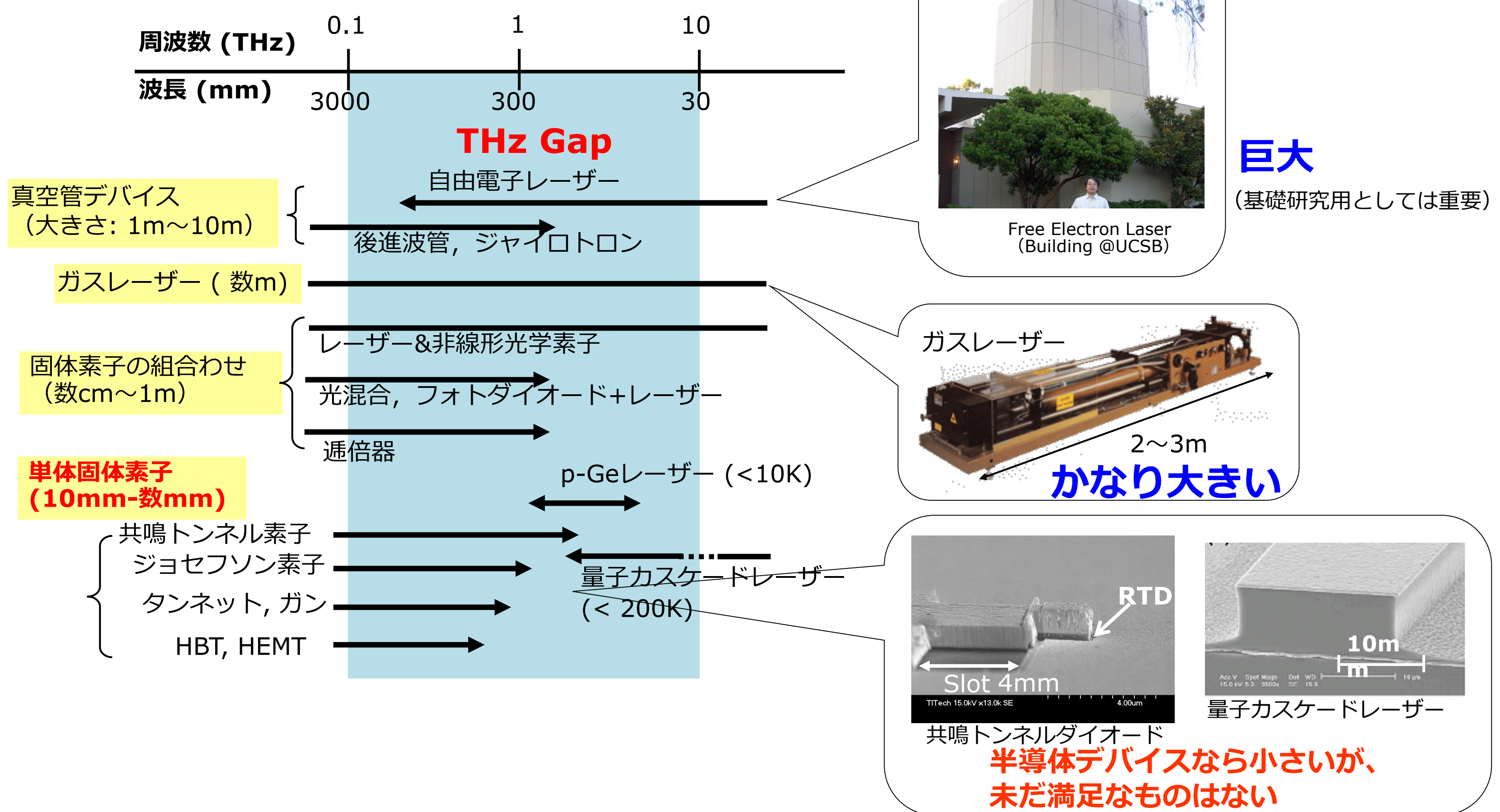


超高速無線通信への応用

大容量短距離の無線通信が可能（伝送速度～100Gb/s）



テラヘルツ光源デバイスの現状

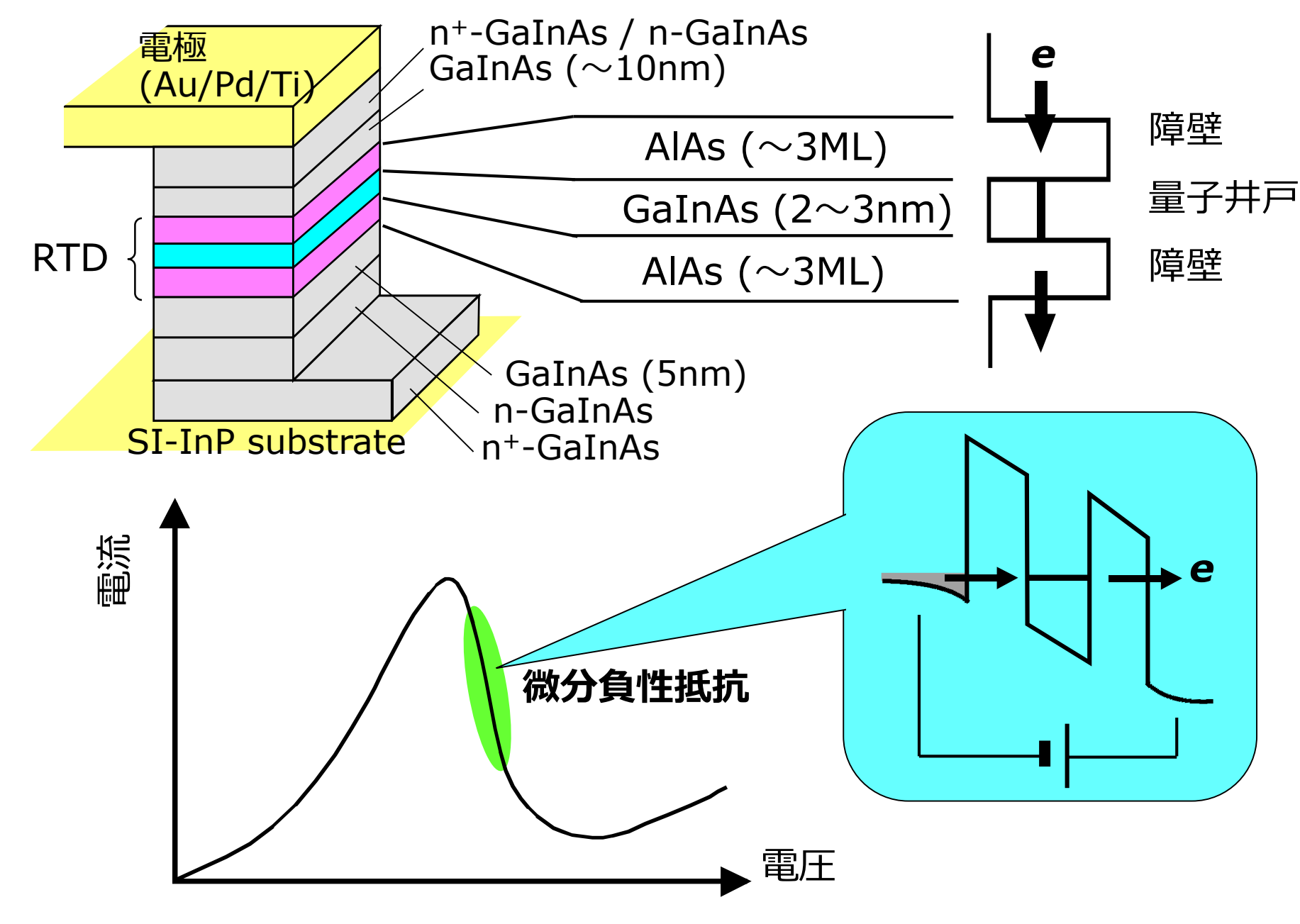


- 半導体単体光源の最近の進展
- 量子カスケードレーザー (QCL)
 - ▶ 3.2THz, 200K (Fathololoumi, et al, OpEx. 20 (2011) 3866)
 - ▶ 1.2-1.6THz, 84K (Walther, et al, APL 91(2007) 131122)
 - ▶ >1W@3.4THz, 10K (Lianhe, et al, EL 50, 309, 2014)
 - トランジスタ
 - ▶ InP-HBT, 688GHz, 基本波 (Urteaga, et al, Proc. IEEE 105 (2017) 1051)
 - ▶ SiGe-BiCMOS, 1mW@530GHz, 3-push 16素子アレイ (Pfeiffer, et al, IEEE JSSC 49(2014) 2398)
 - 共鳴トンネルダイオード (RTD)
 - ▶ 1.98THz, 基本波 (Izumi, et al, IRMMW-THz, MA3.1, 2017)
 - ▶ 0.7mW@~1THz, 89素子アレイ (Kasagi, et al, CSW, We5PP - RF.11, 2018)

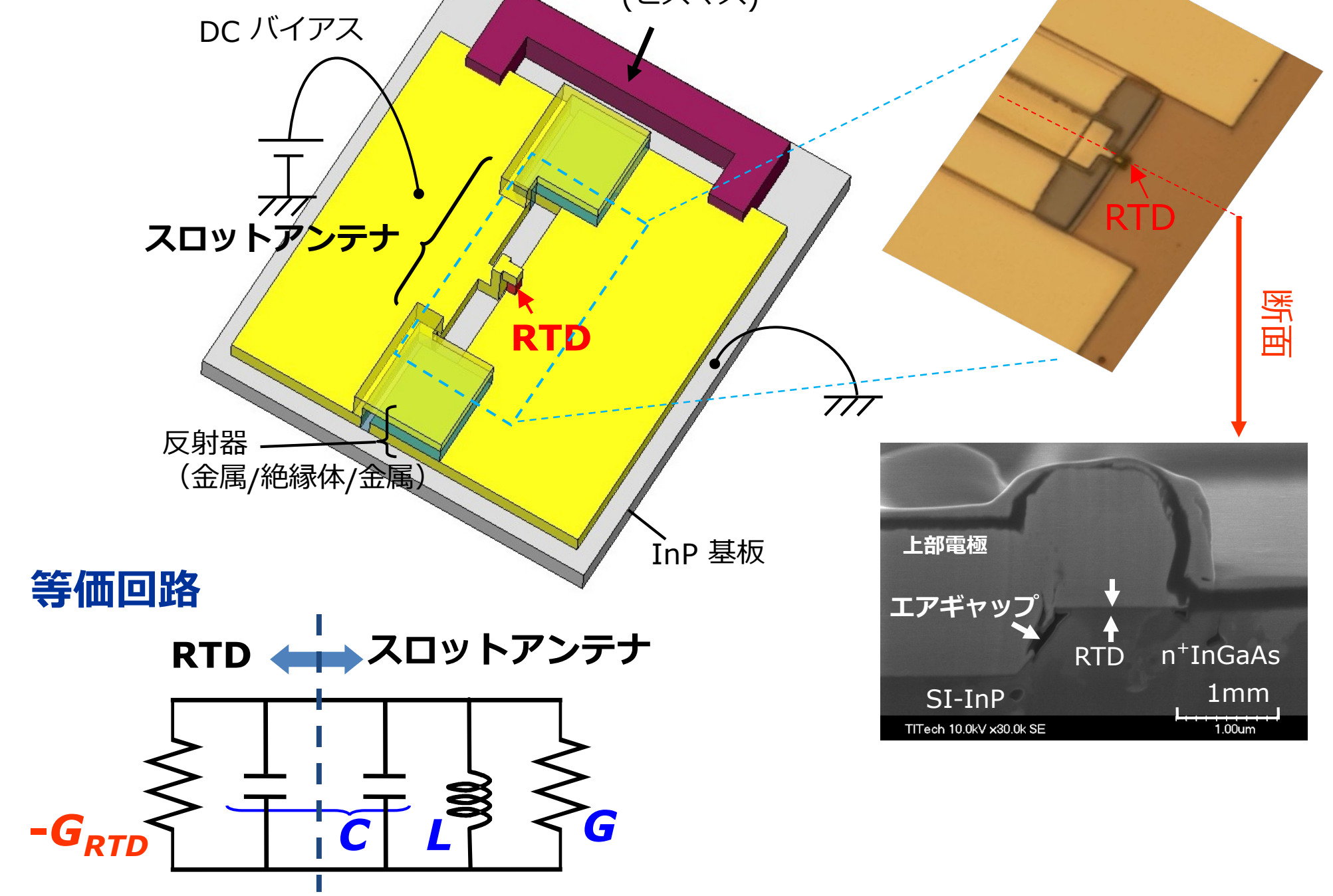
- RTDテラヘルツ発振器**
- ◇ 室温電子デバイスで唯一のテラヘルツ発振達成
 - ◇ ミリワット級高出力発振@1THz
 - ◇ 高速直接変調可能~30GHz
 - ◇ 広い周波数可変特性~100GHz
 - ◇ フィードバックにより狭線化（線幅<1Hz）も可能

作製しているテラヘルツ発振デバイスとその特性

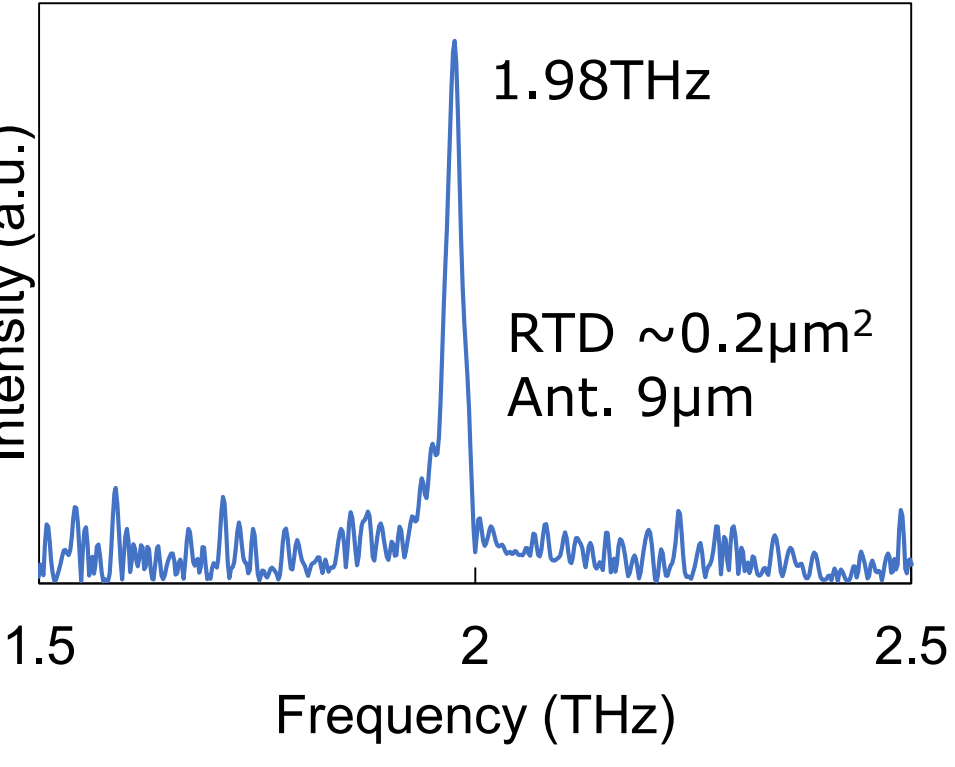
共鳴トンネルダイオード (RTD)



RTD発振器の構造



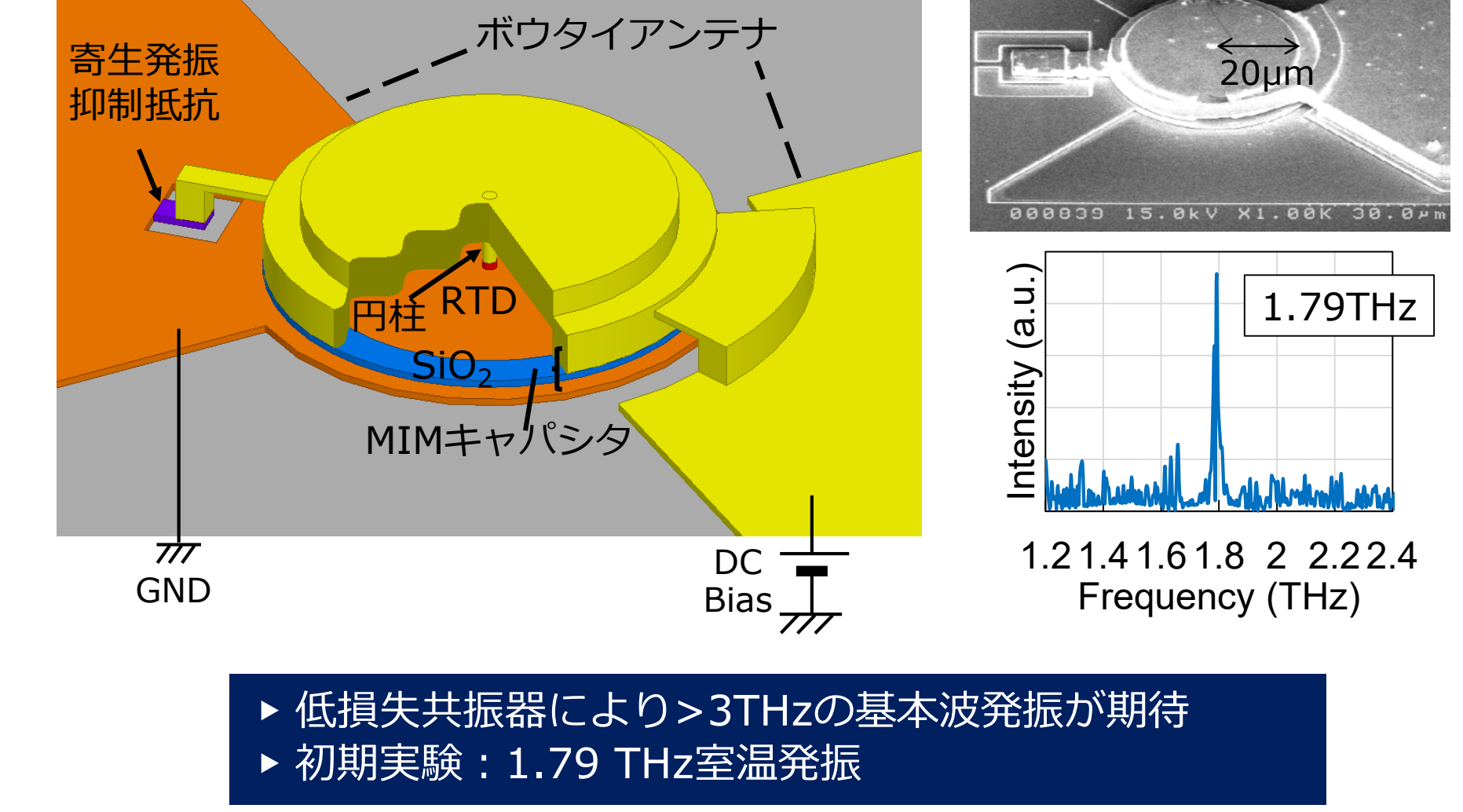
発振特性



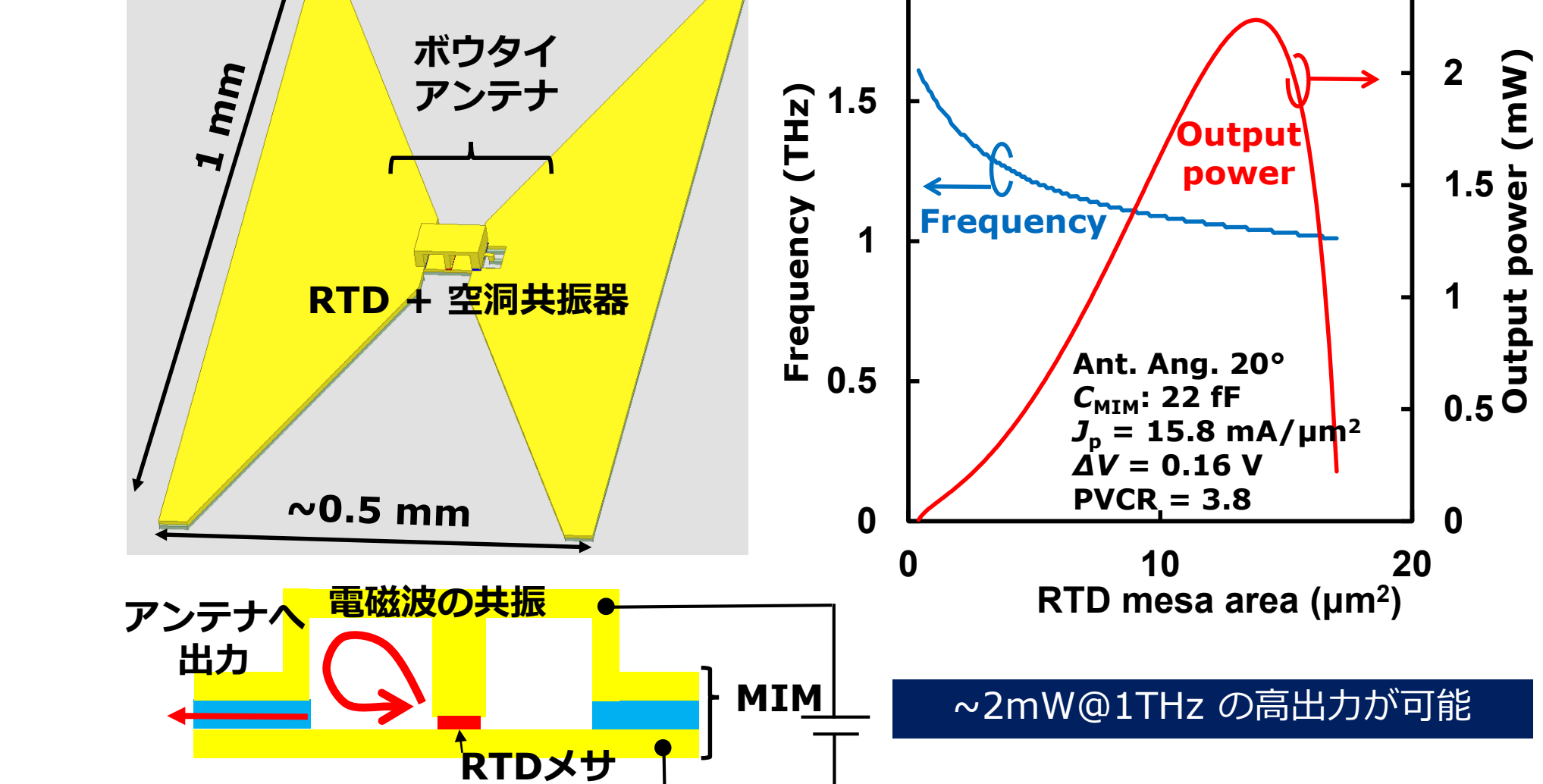
- ◇ 室温電子デバイスで唯一のテラヘルツ発振達成
- ◇ RTDとアンテナ構造の最適化により、さらなる高周波発振 (>2THz) を目指す
- ◇ アンテナ構造考案と多素子アレイによる高出力化
- ◇ 0.73mW@1THz: この周波数帯では最高レベル
- ◇ アンテナとRTD構造の最適化でさらなる高出力 (→ >1mW) を目指す

新規開発の発振器

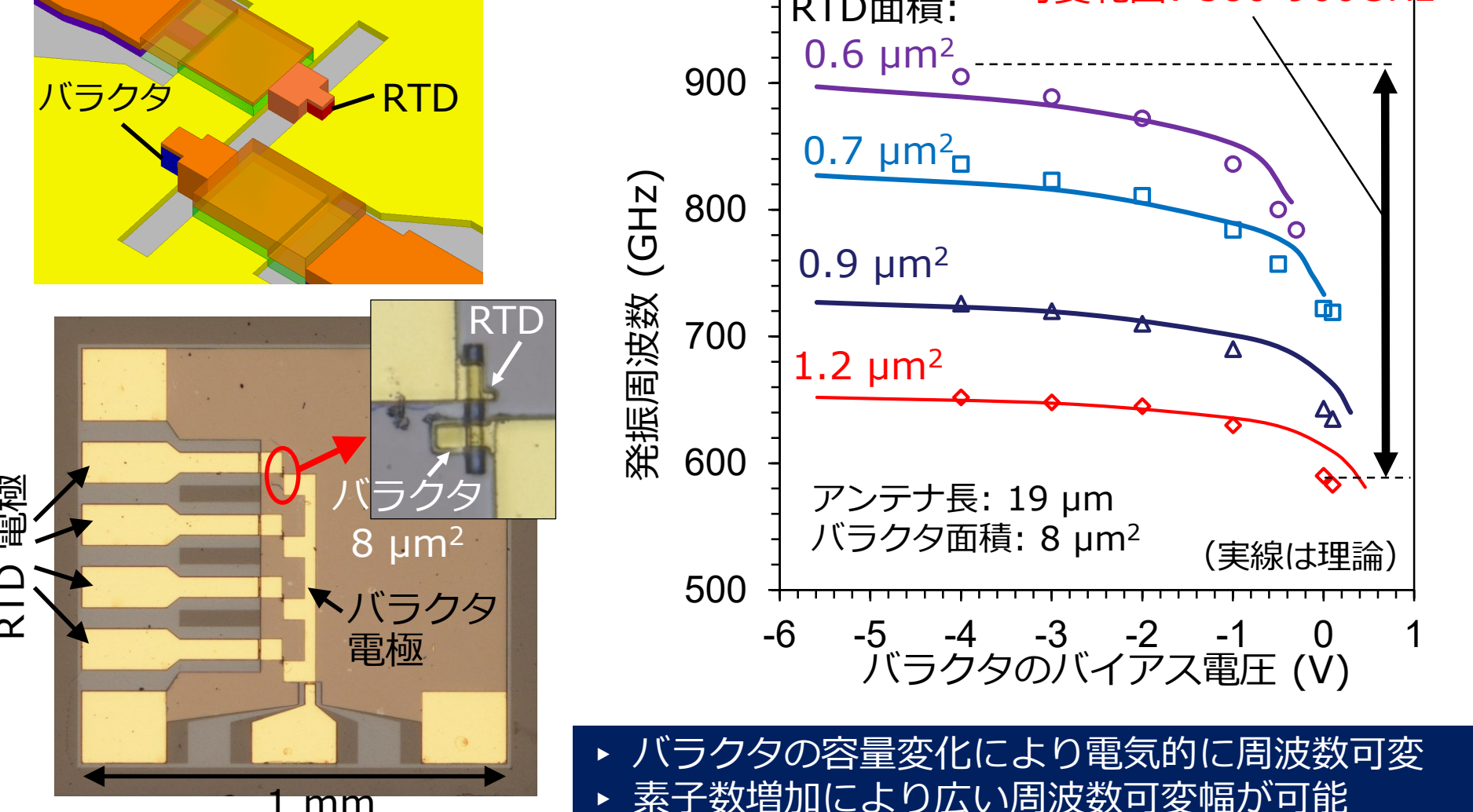
円筒形空洞共振器を集積したRTD発振器



矩形空洞共振器を集積したRTD発振器



バラクタダイオード集積による周波数可変光源



半導体デバイスで切り開く未来のテラヘルツ応用

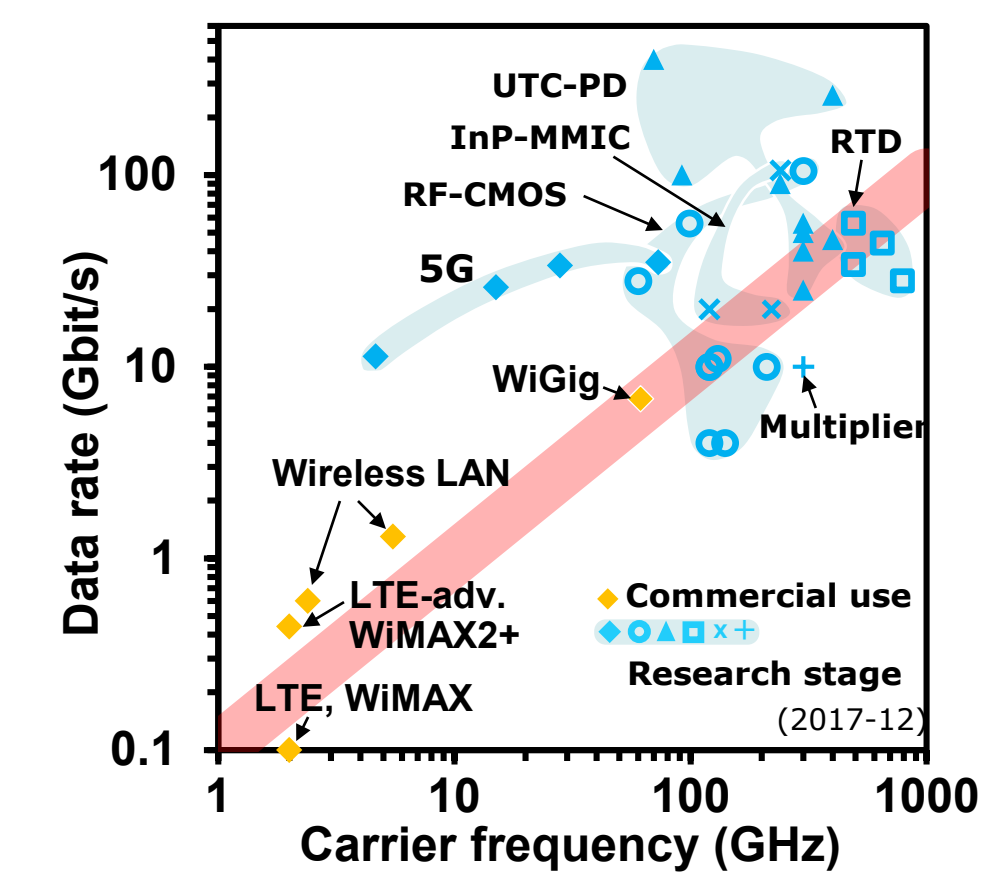
工学院電気電子系 鈴木左文

いろいろなテラヘルツ応用

テラヘルツ (THz) 帯 (~0.1-10THz) では種々の応用が期待、 応用を実現するための室温電子デバイス光源・受信器・システムが必要!

超高速無線通信への応用

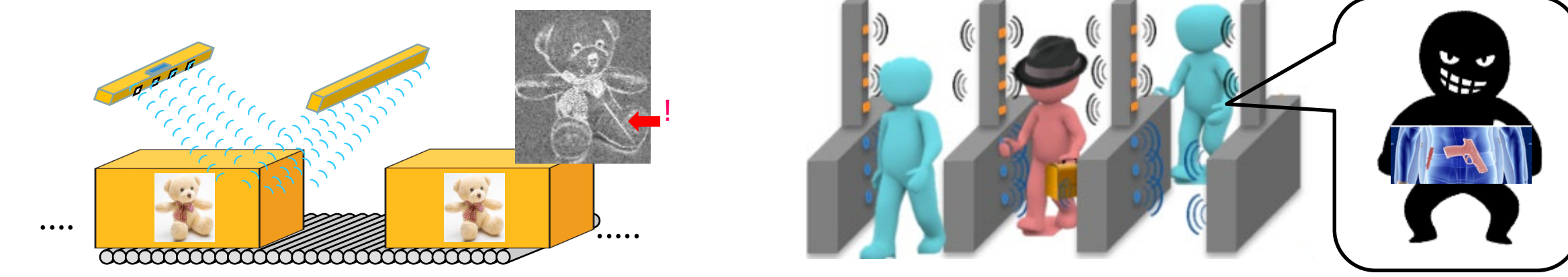
キャリア周波数と伝送容量



THzは帯域が広く大容量伝送可能
多値化、多重化 (周波数・偏波・OAM) で >1Tbpsも可能

3次元イメージング・レーダーへの応用

製品ライン、空港、スタジアム等での3次元透過検査



不良視界下でも検知可能なレーダー

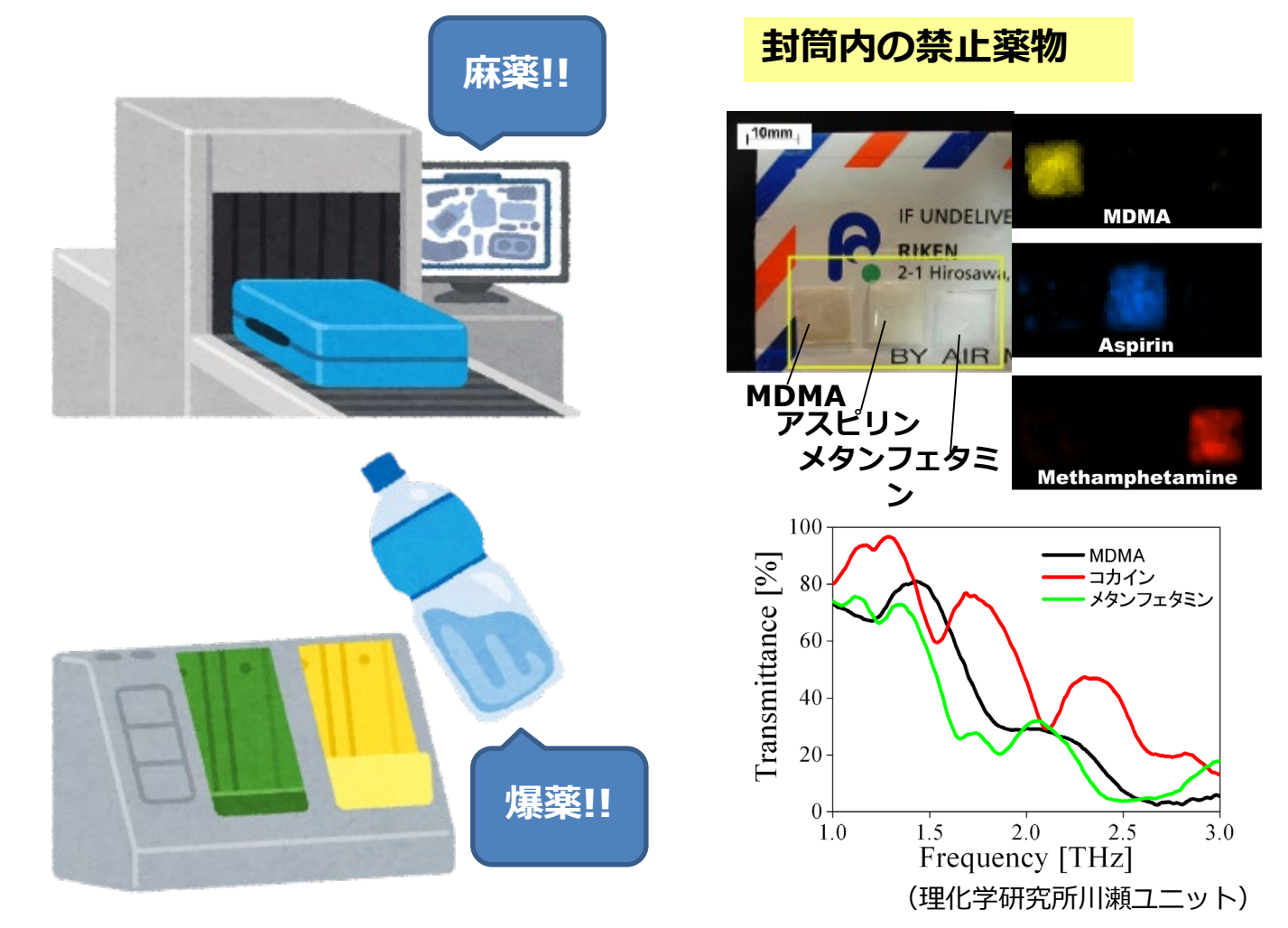


波長が短く (<1mm)、広帯域で高分解能
小さな異物 (針、昆虫、etc)、凶器の分別、また、どこに隠されているか位置も特定可能
不良視界下でも検知OK
光に比べて散乱されにくく、粉塵、雪などの悪条件に強い

分光分析への応用

禁止薬物・爆発物の特定

THz帯の吸収スペクトル測定で物質特定が可能



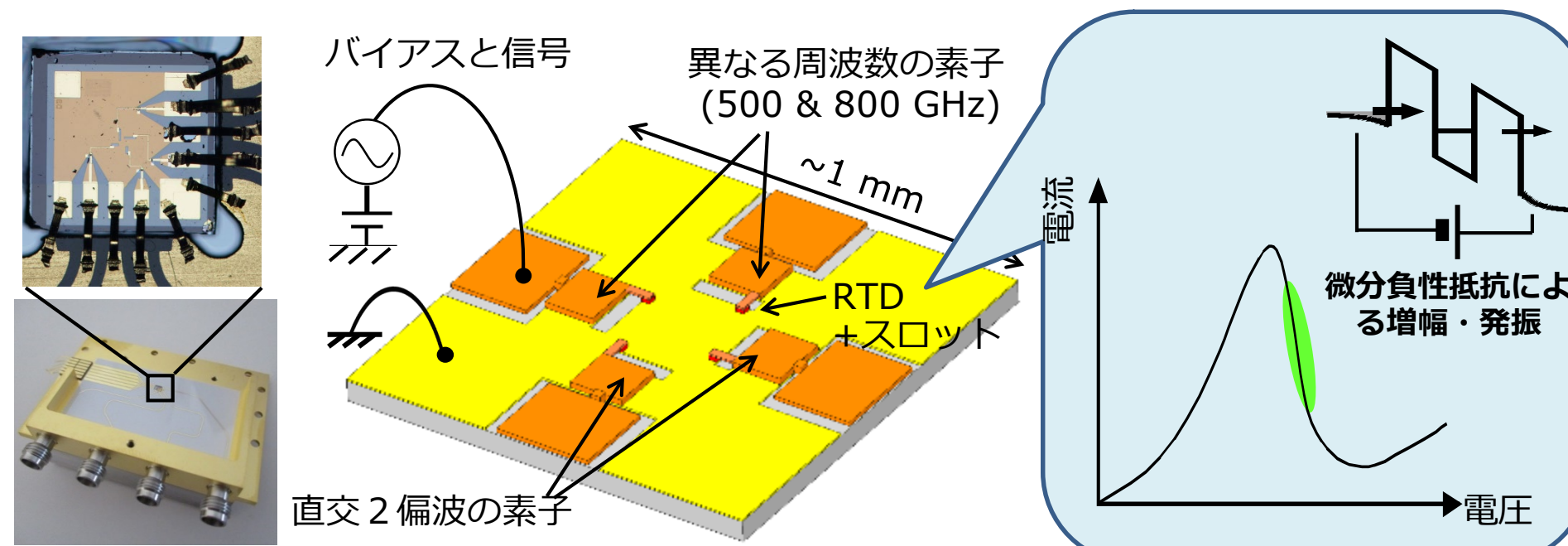
無線通信大容量化のためのデバイス

多重化による大容量伝送

- 周波数多重
- 偏波多重
- OAM (Orbital Angular Momentum)

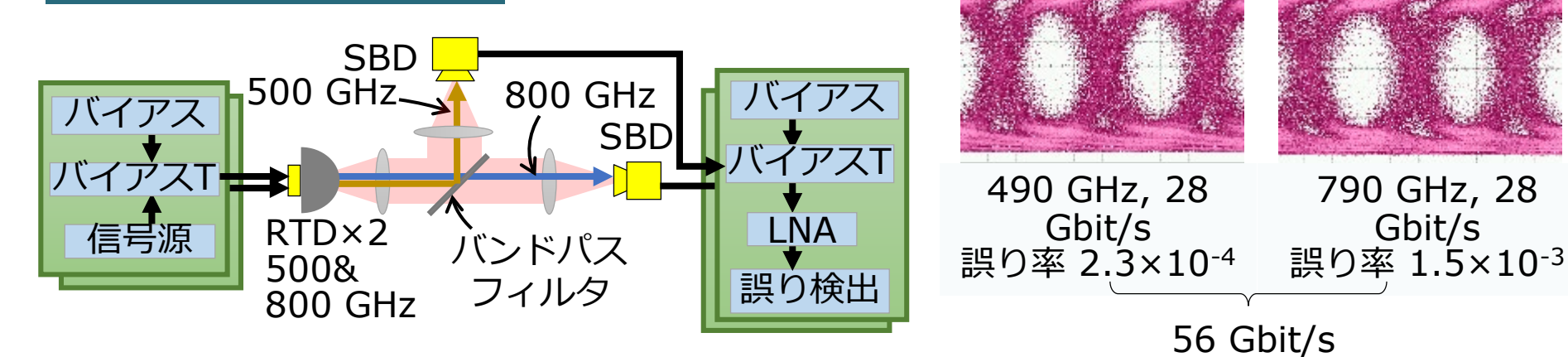
多重化による多チャンネル伝送
テラヘルツは使っていない周波数帯ばかり
→ 全部の周波数帯を使えば大容量化
軌道角運動量 (OAM) は多重化の新機軸

2周波数×2偏波の多重通信RTD集積チップ



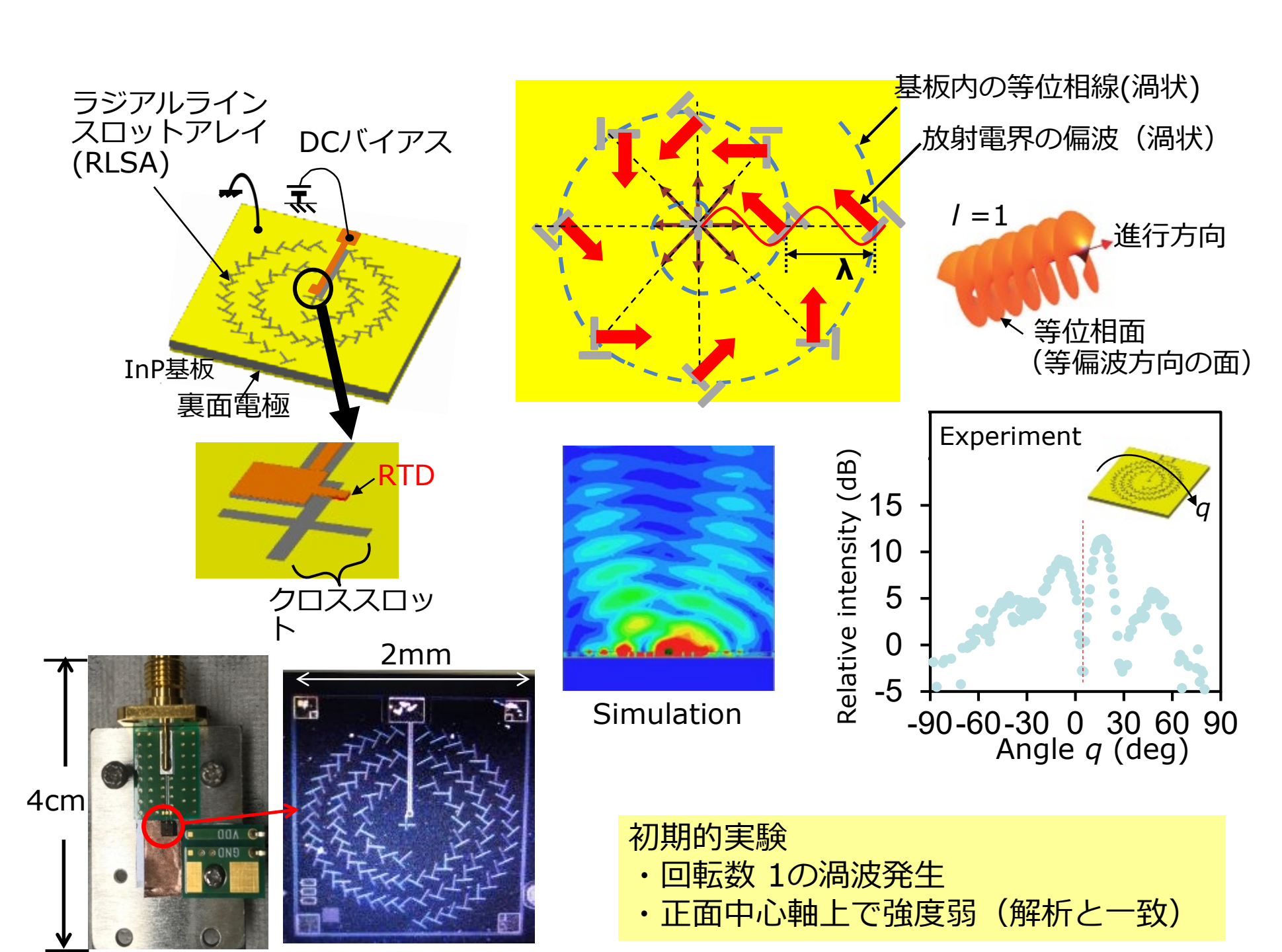
周波数・偏波の異なる4つの共振トンネルダイオード (RTD) 発振器を集積

2CH周波数多重通信



500&800GHzの2CH周波数多重による56Gbps通信 (偏波多重でも56Gbps)

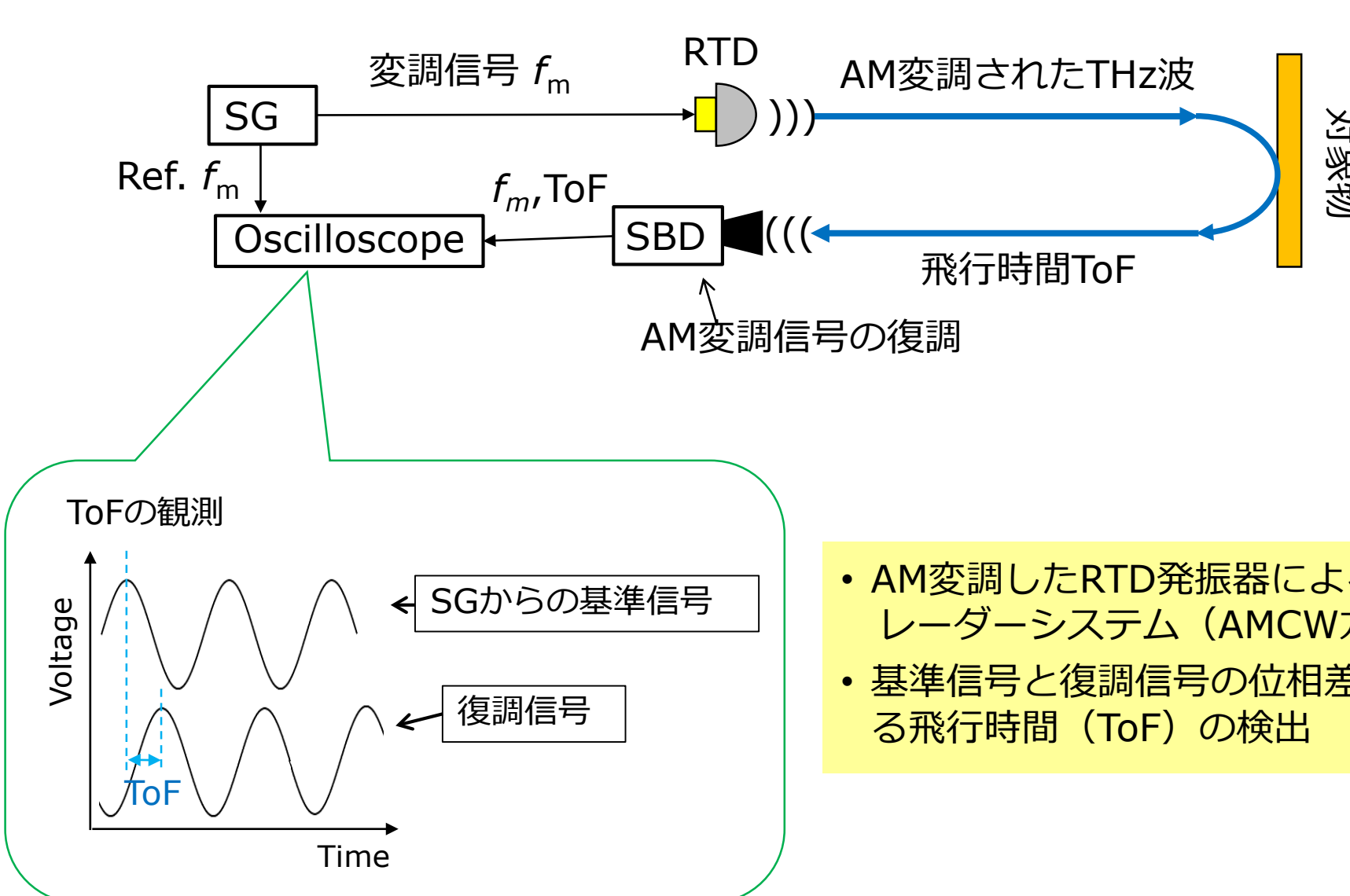
OAM多重に向けた渦波放射デバイス



初期の実験
・回転数 1の渦波発生
・正面中心軸上で強度弱 (解析と一致)

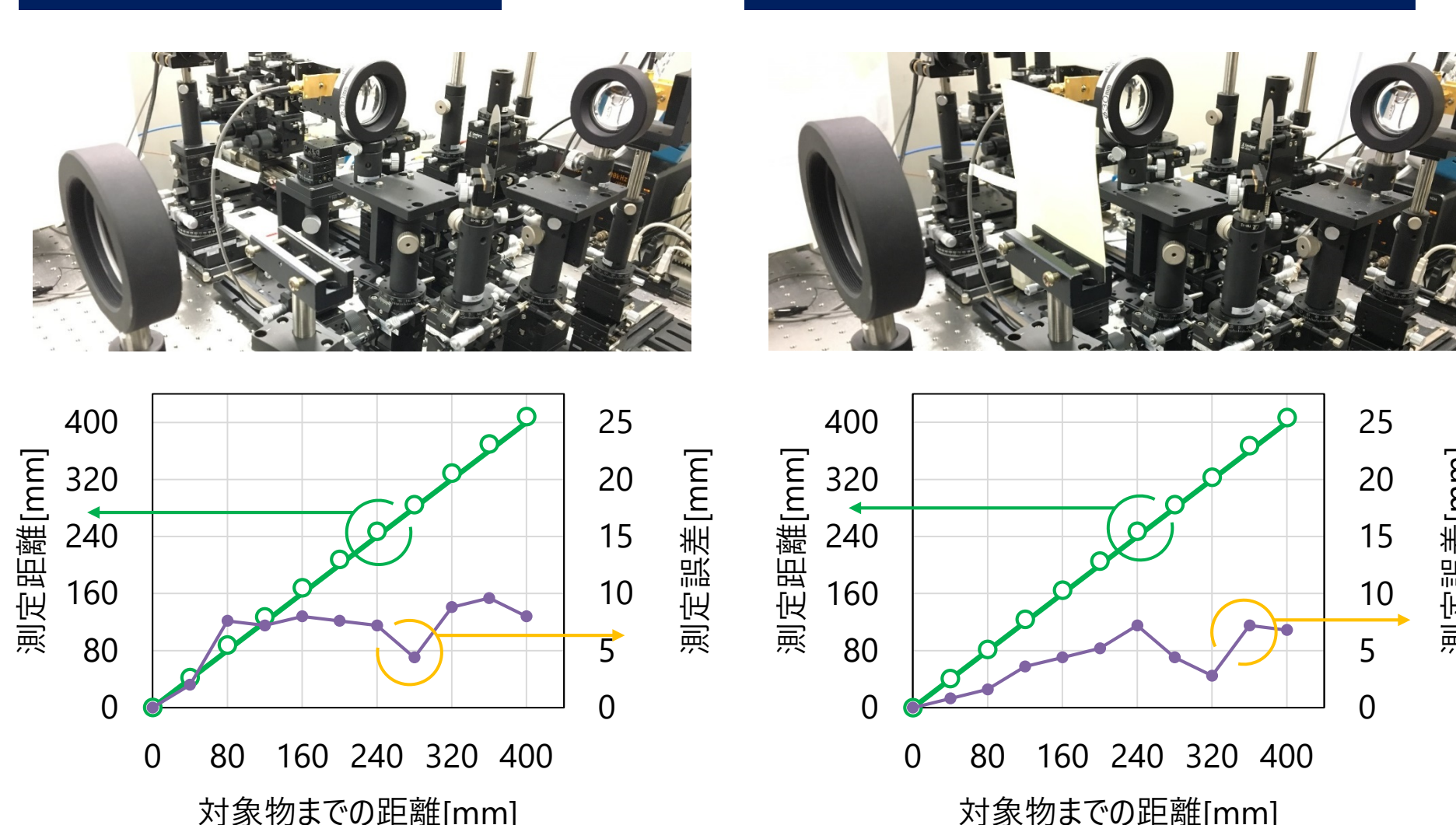
3次元イメージング・レーダーのためのシステム

RTD発振器を用いたAMCWレーダーシステム



AM変調したRTD発振器によるレーダーシステム (AMCW方式)
基準信号と復調信号の位相差による飛行時間 (ToF) の検出

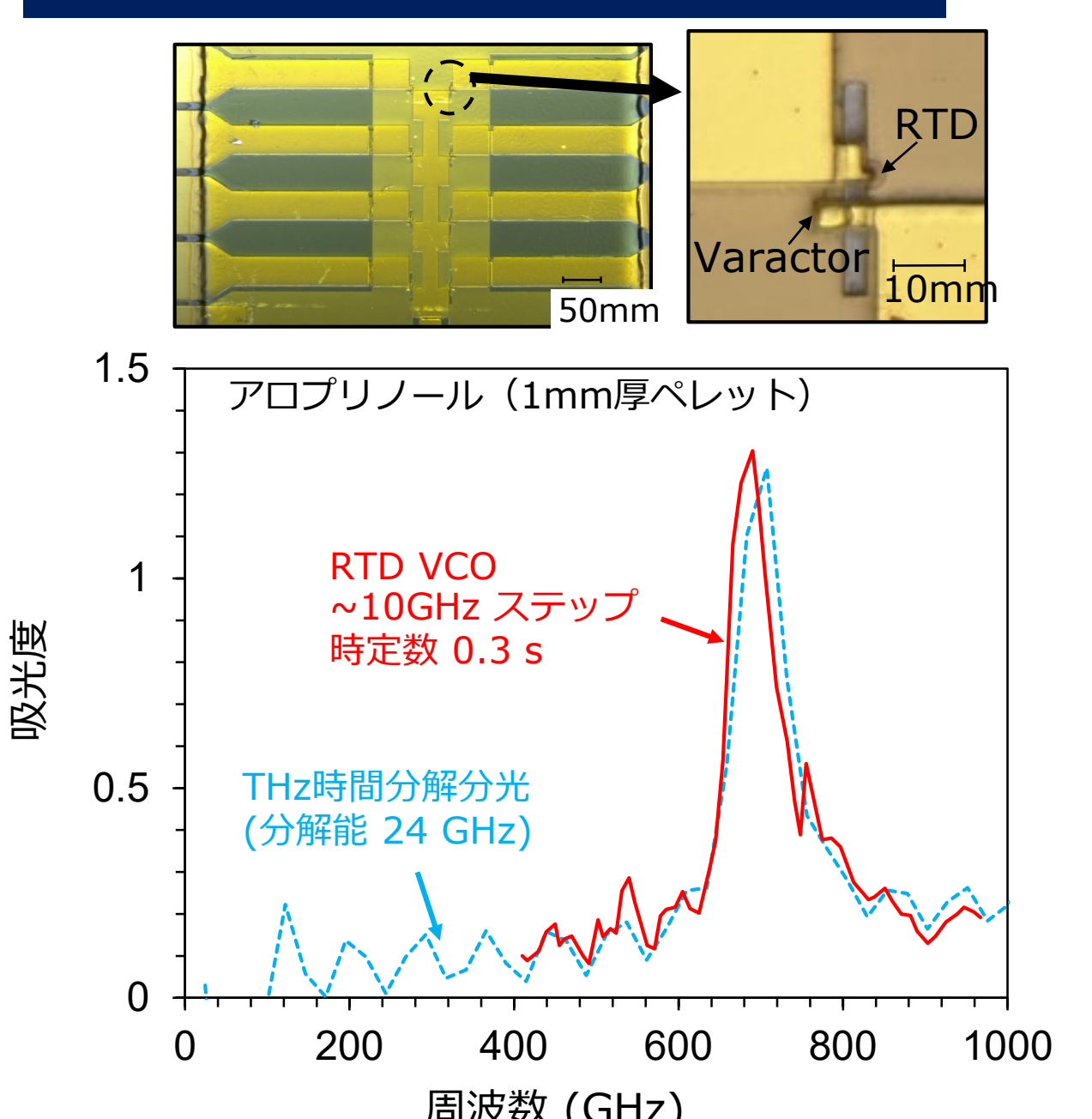
構築したレーダーシステム



AMCW方式による距離測定に成功
光を通さない物質 (紙) を挿入しても測定可能
信号処理により100μm以下まで精度向上が可能

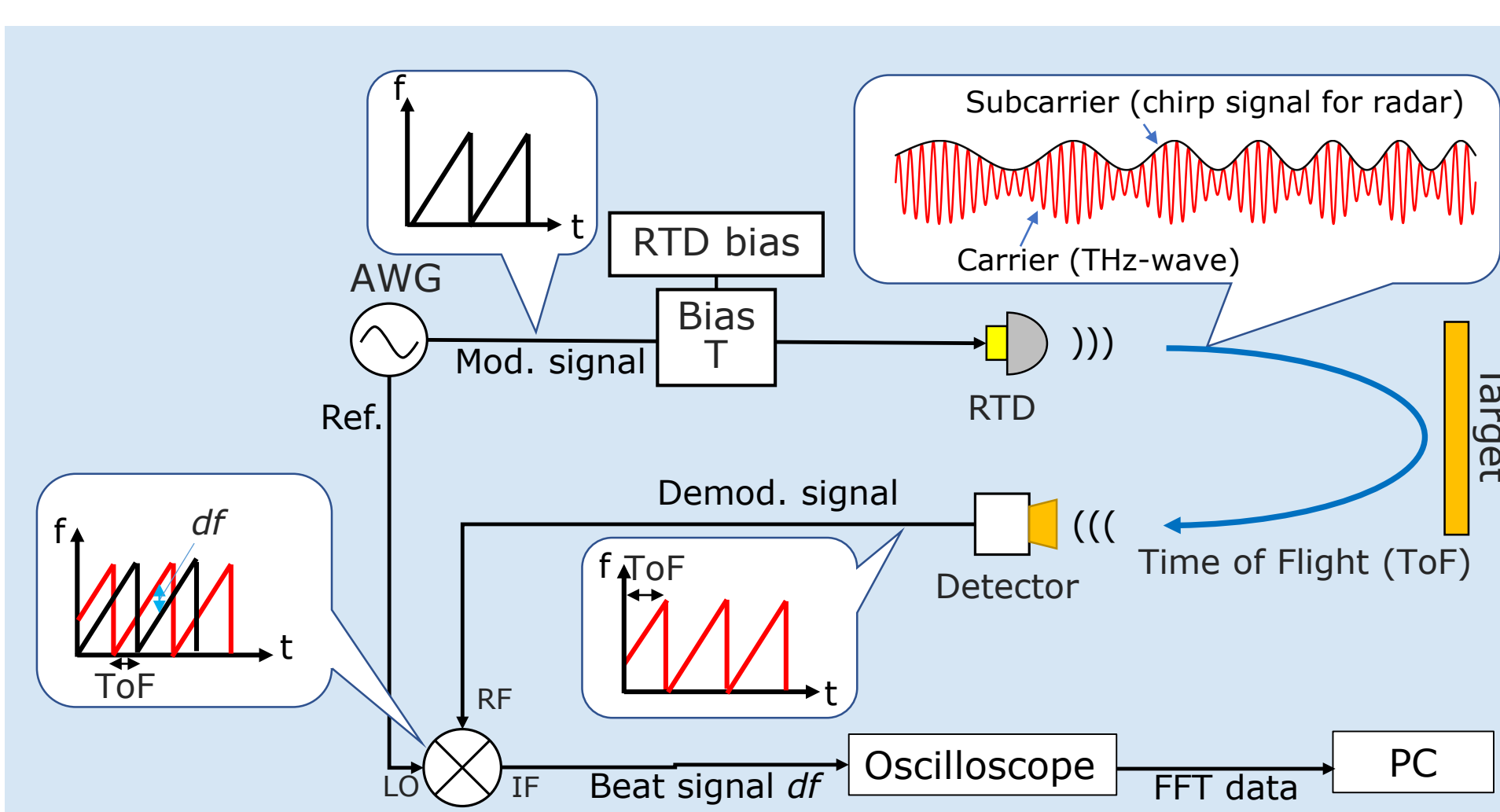
RTD発振器を用いた分光分析

周波数可変RTD発振器アレイ (410-970GHz)

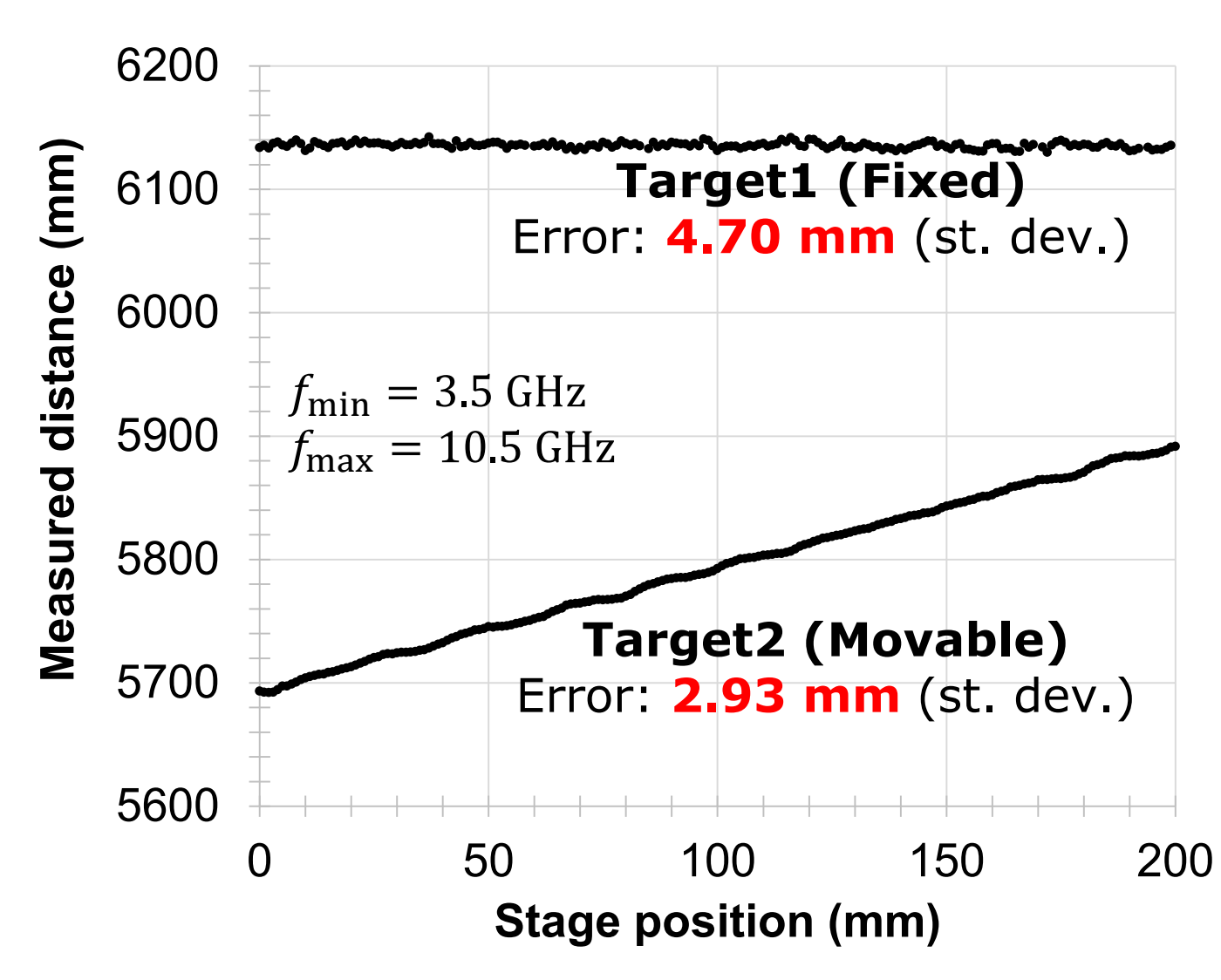


時間分解分光測定の結果とよく一致

RTD発振器を用いたサブキャリアFMCWレーダーシステム



任意波形発生装置 (AWG) からチャープ信号 (FM) を発生
RTDをチャープ信号でAM変調
反射波を受信器で復調
AWGからの参照信号とミキシングレシート信号を分析



数ミリの精度での複数ターゲットの距離測定に成功

研究室の場所など

研究室の場所
東工大大岡山キャンパス南9号館803号室 (教員室) および南9号館8階807号室 (学生室)。未来産業技術研究所浅田研究室と共同研究。

連絡先
ご相談・見学希望は 鈴木 (safumi@ee.e.titech.ac.jp) まで。

