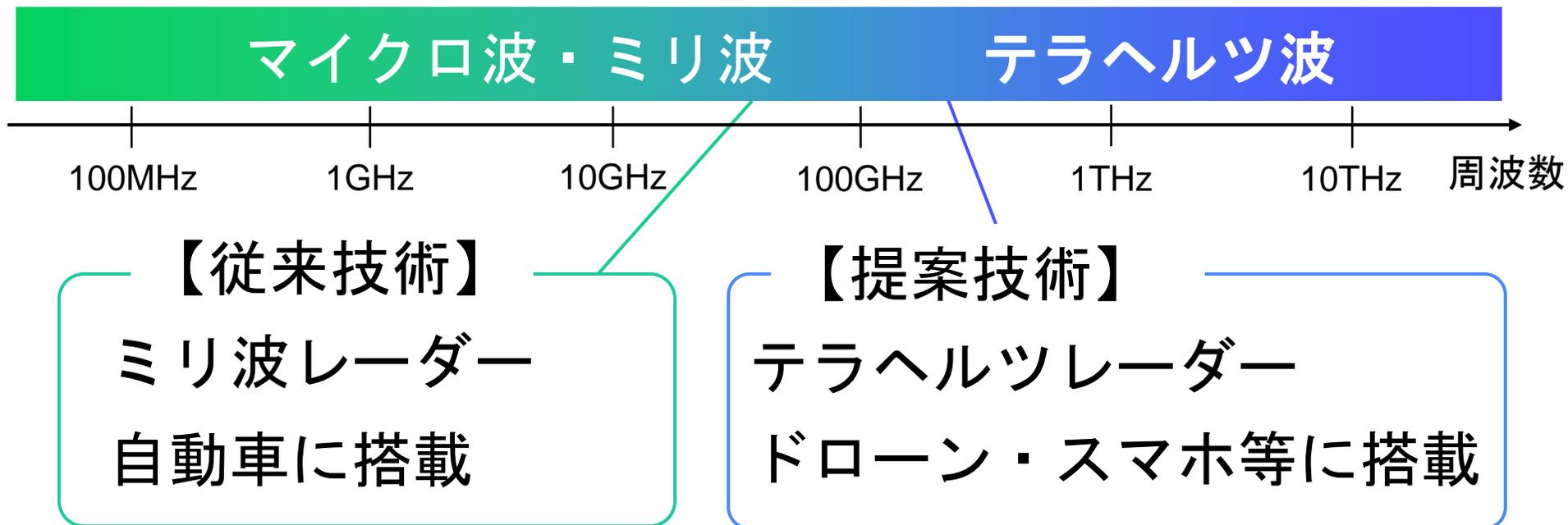


テラヘルツレーダーによる透過型振動計測 着衣状態のまま心拍動を非接触計測

慶應義塾大学 理工学部 物理情報工学科
准教授 門内 靖明

令和2年7月30日

ミリ波レーダーからテラヘルツレーダーへ



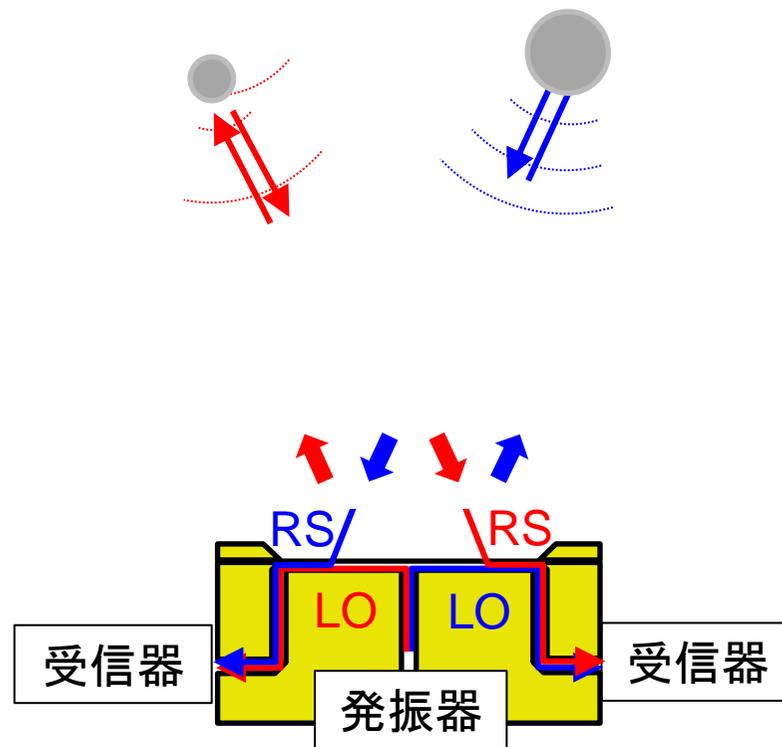
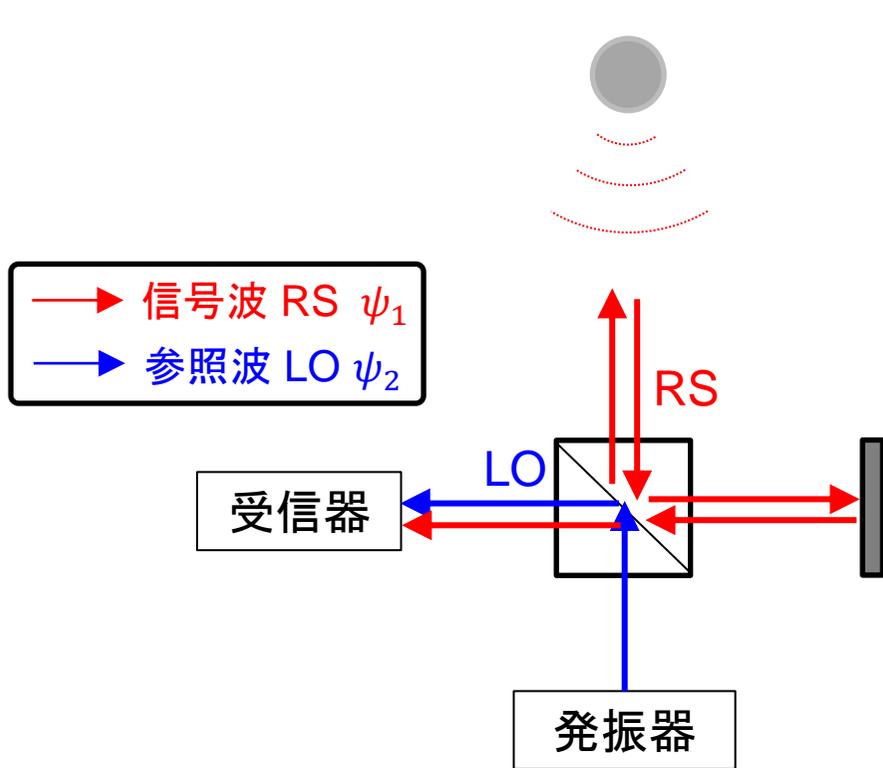
テラヘルツ化で車より小さな移動体にレーダーを搭載可能に

- アンテナサイズを小型化できる（短波長化のため）
- 角度分解能を向上できる（短波長化のため）
- 距離分解能を向上できる（広帯域化のため）

従来のテラヘルツ検波における課題への新提案

(a) 従来のテラヘルツ検波
(実験室内での利用に留まる)

(b) 提案手法
(実験室外での利用が拓かれる)



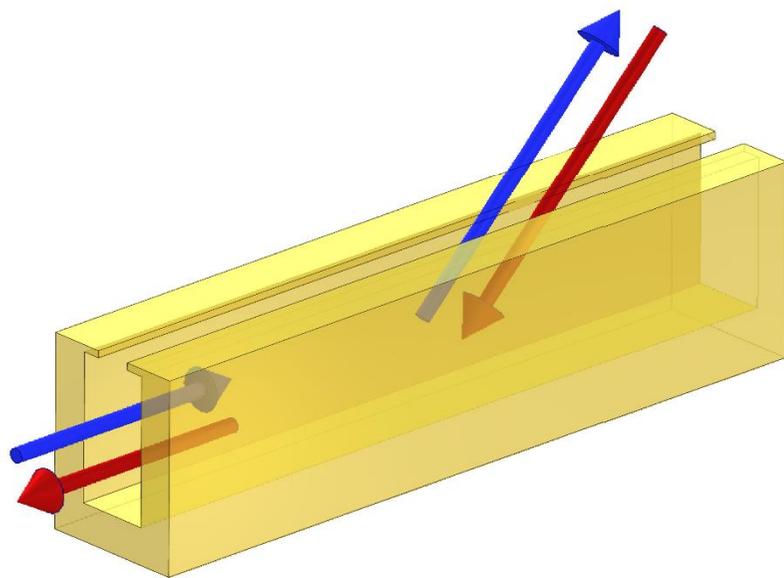
【従来の課題】

- ビーム走査に機械駆動が必要
- 検波に空間光学系が必要

【提案の特長】

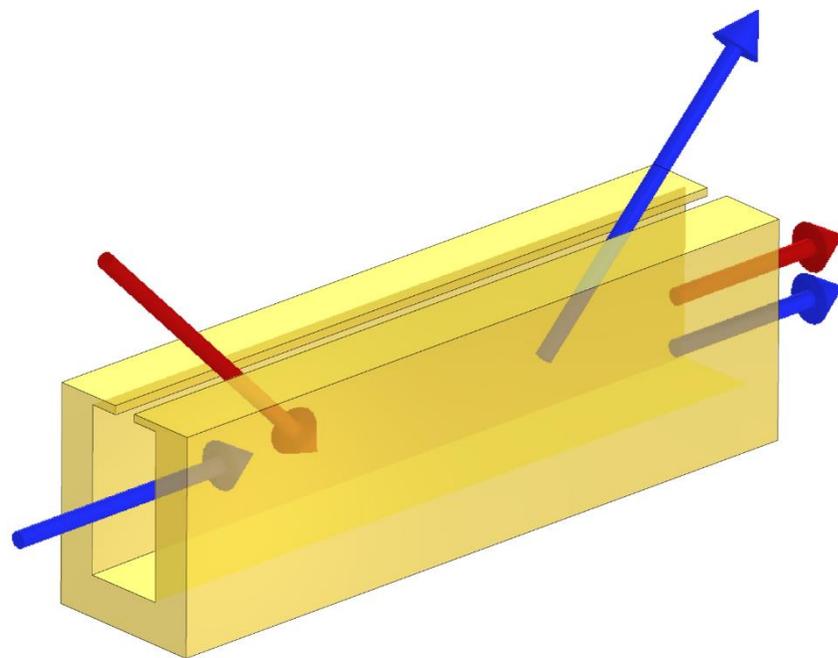
- 周波数掃引によりビーム走査
- 光学系を導波路上に集積化

漏れ波アンテナをハーフミラーとみなす



従来の漏れ波アンテナ

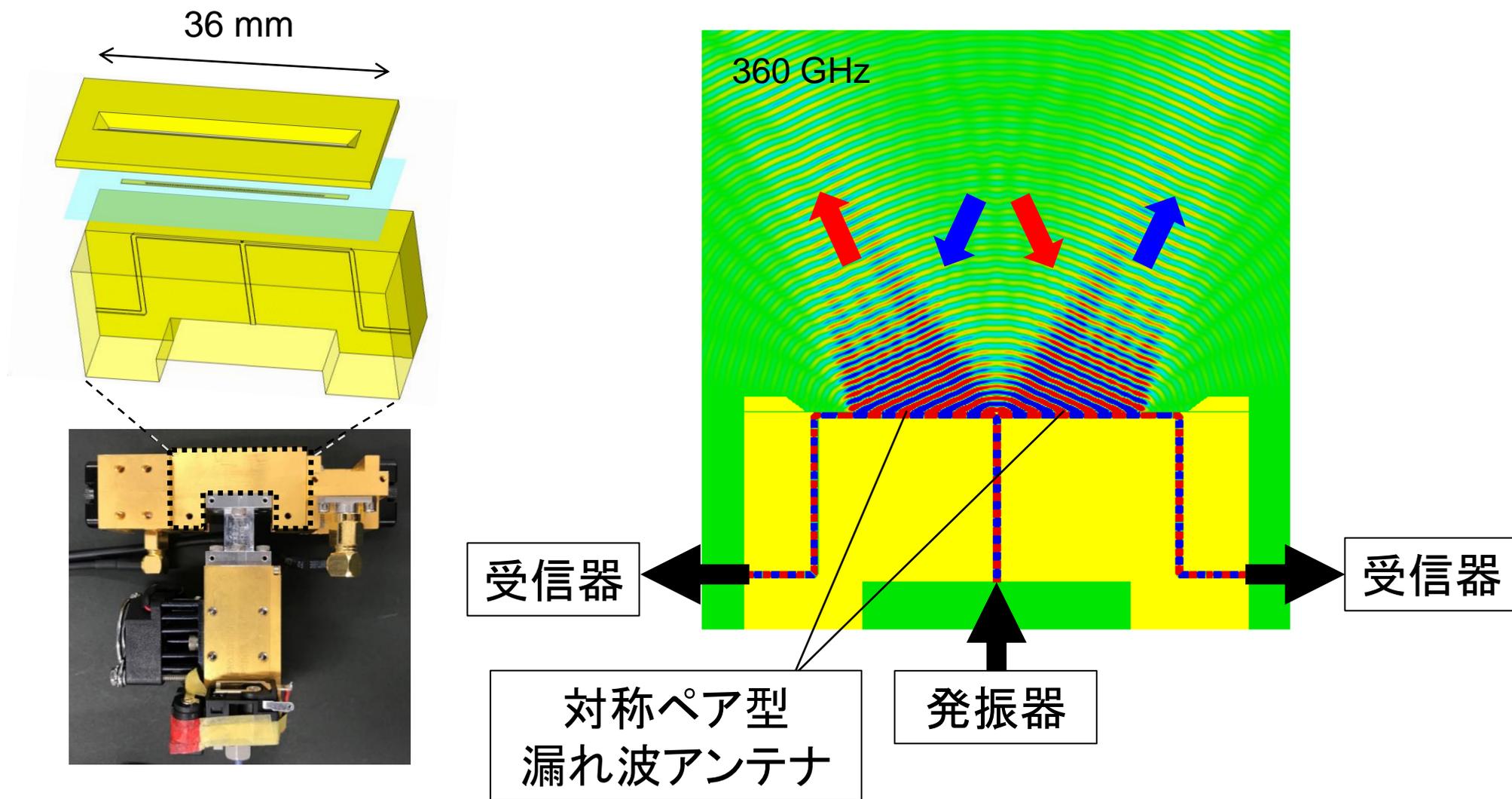
- 2ポート素子
- 端部にパワーを残さない
- 送受信パスが可逆



提案する漏れ波アンテナ

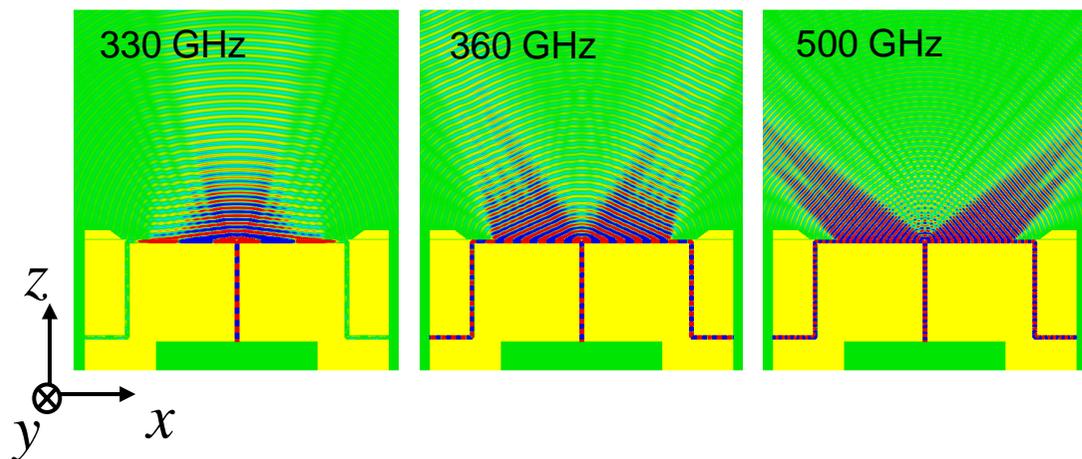
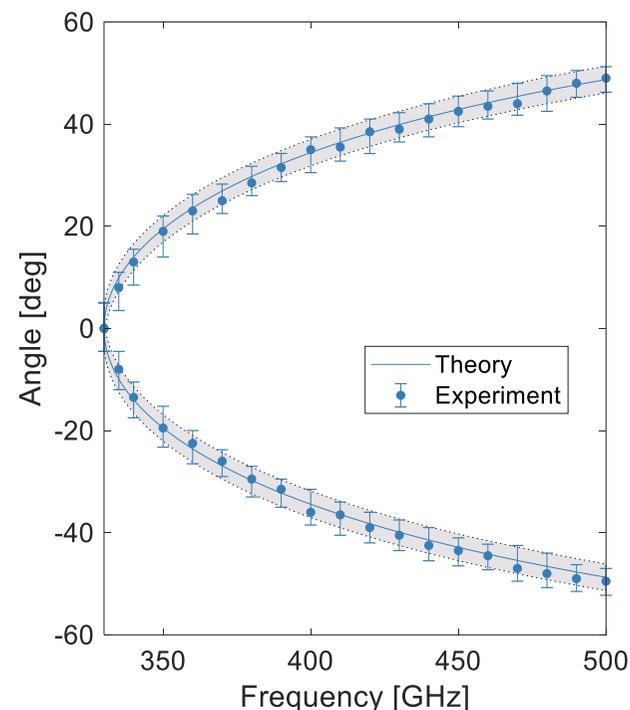
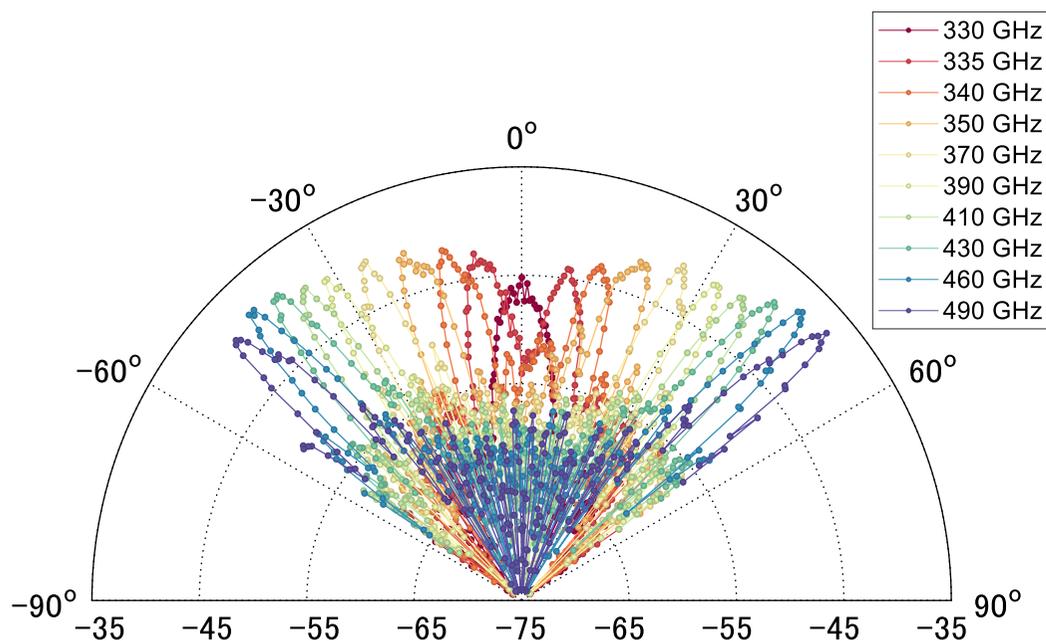
- 4ポート素子
- 端部に半分のパワーを残す
- 送受信パスを対称に利用

対称ペア型漏れ波アンテナによるレーダー



- 片方の漏れ波アンテナから出るレーダー波をもう片方で受信
- 受信信号を構造内部を伝搬する波動を参照信号として検波

周波数掃引による放射方向の変化を確認



330-500 GHzの掃引により、幅 4.4° のビームを $\pm 51^\circ$ にわたってチルト

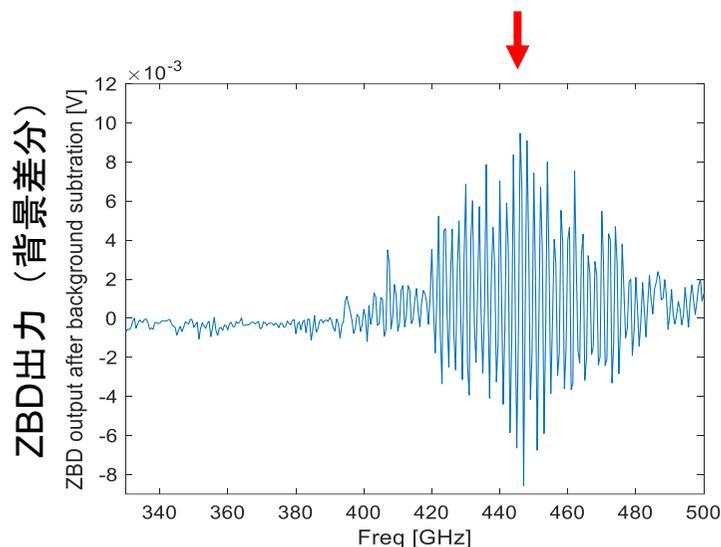
放射方向 $\theta = \sin^{-1} \sqrt{1 - \left(\frac{6.08}{2k_0 a}\right)^2}$

ビーム幅 $\theta_w = \frac{c}{L f \cos \theta}$

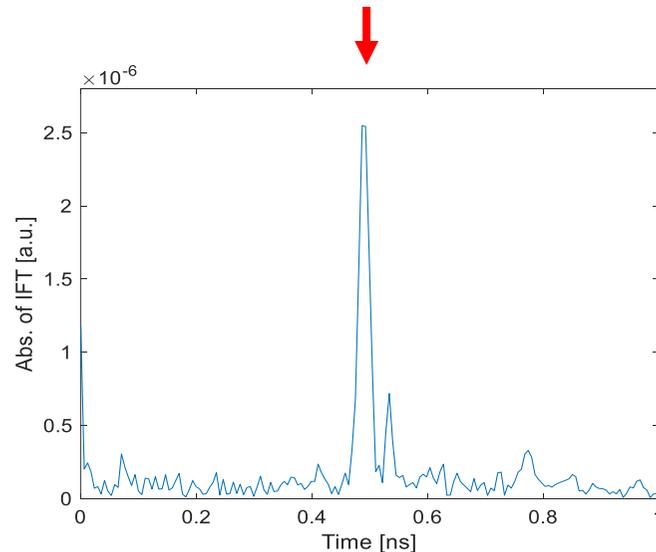
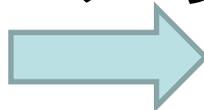
方向と距離の算出原理

ピーク周波数から方向を算出

ピーク時刻から距離を算出



逆フーリエ変換



3dBビーム幅

$$\theta_w = \frac{f_w}{f \tan \theta} = \frac{c}{Lf \cos \theta}$$

トレードオフ



距離分解能

$$\Delta R = \frac{c}{2f_w} = \frac{L \cos \theta^2}{2 \sin \theta}$$

受信帯域幅

$$f_w \simeq f \tan \theta \theta_w = \frac{c \sin \theta}{L \cos^2 \theta}$$

L 片側漏れ波アンテナの長さ
 θ 漏れ波放射方向

位相検出に基づくサブ波長測距

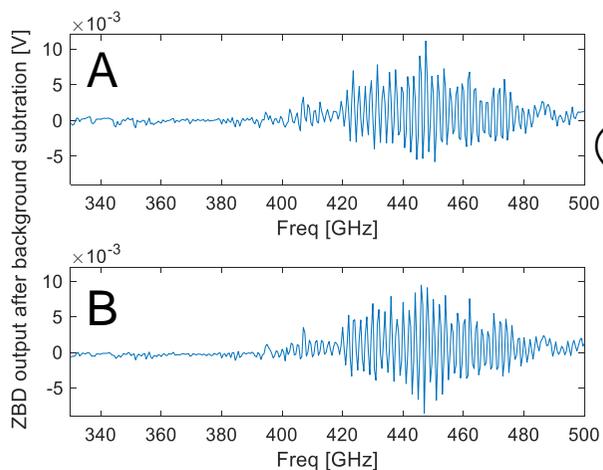
A $\cos\left(\omega t - \frac{2\omega}{c}R\right)$

B $\cos\left(\omega t - \frac{2\omega}{c}(R + \Delta R)\right)$

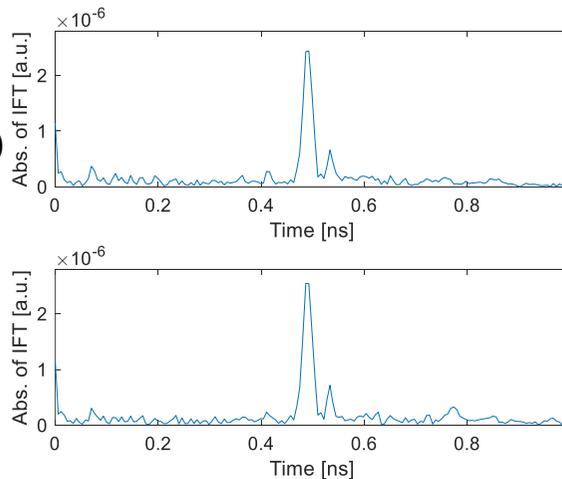
TOFの距離分解能

$$\Delta R = \frac{c}{2f_w}$$

例えば $f_w \approx 50$ GHz のとき、
 $\Delta R \approx 3.0$ mm 以下は読み取れない



IFFT
(絶対値)



位相検出に基づくサブ波長測距

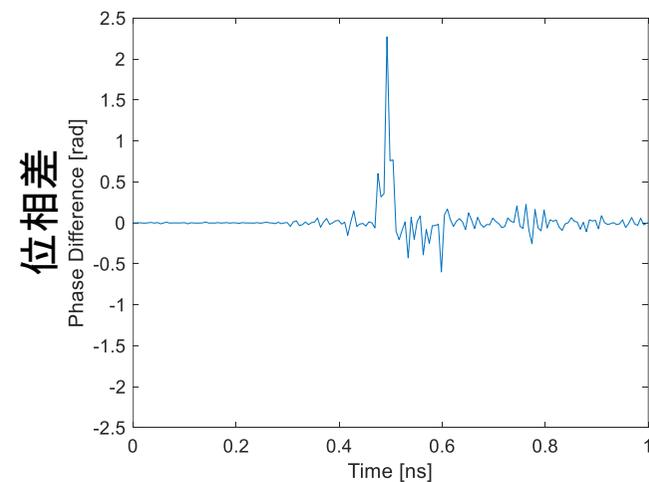
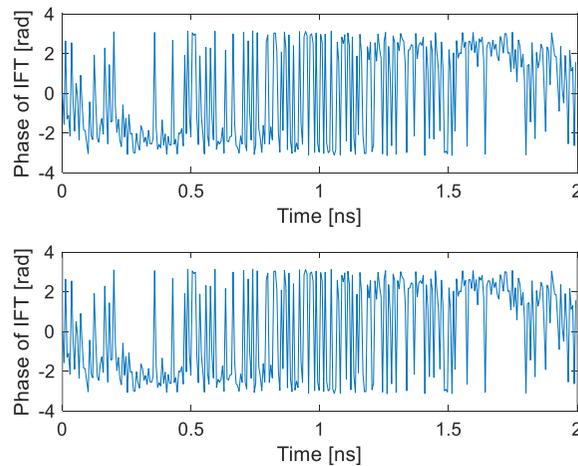
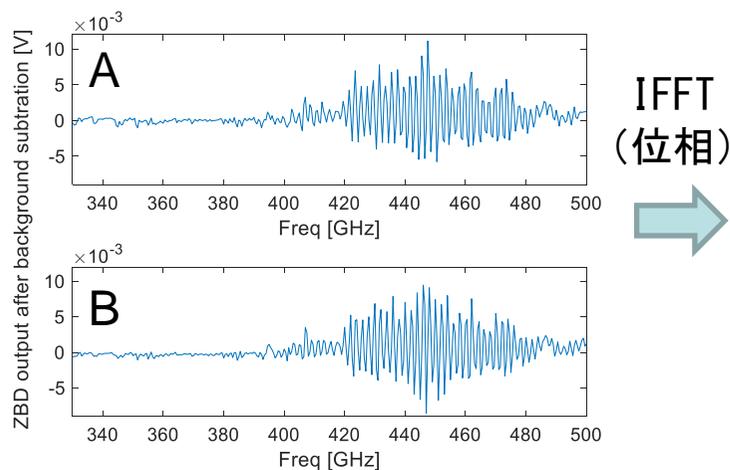
A $\cos\left(\omega t - \frac{2\omega}{c}R\right)$

B $\cos\left(\omega t - \frac{2\omega}{c}(R + \Delta R)\right)$

両者の位相差 $\Delta\phi$ を算出して変位に換算

$$\Delta R = \frac{-c}{4\pi f_0} \Delta\phi$$

f_0 は受信したレーダ信号の中心周波数
 $f_0 = 450 \text{ GHz}$ のとき、 $\Delta R \simeq -0.12 \text{ mm}$



数十 μm の精度で変位の測定が可能

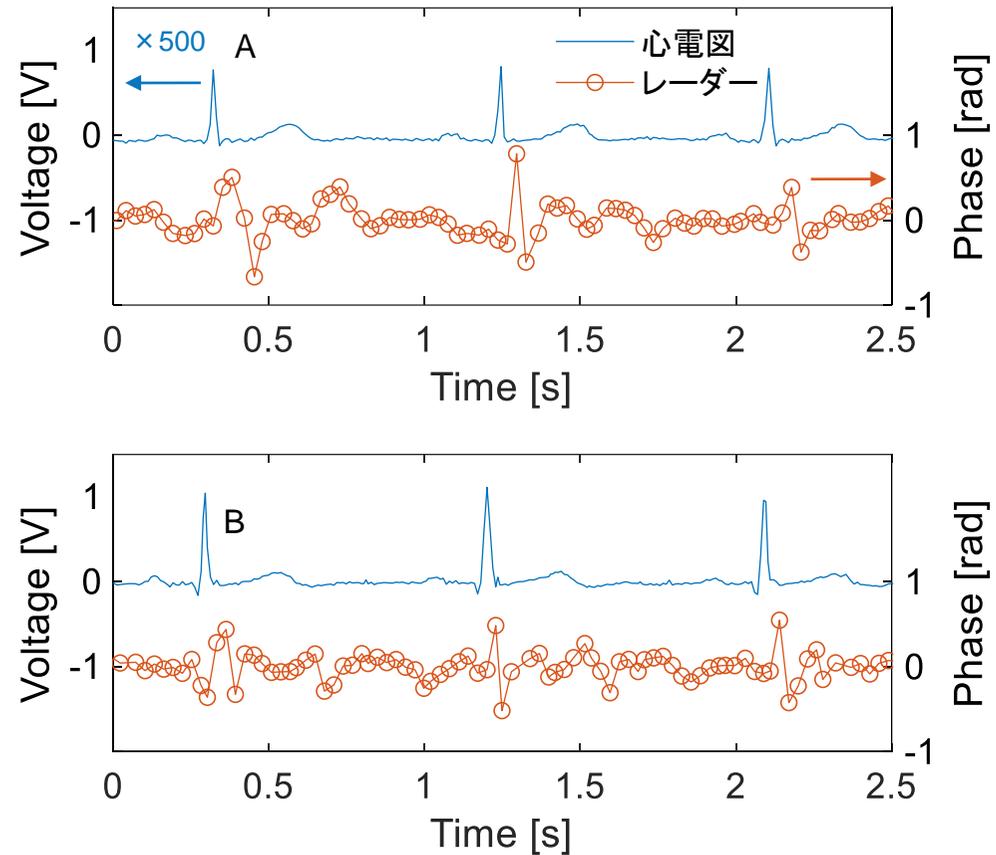
想定される用途

- 数十 μm 程度の微小な振動計測に適用できる。
- 赤外線や超音波では不透明な媒質への透過性も期待される。
- 上記の特徴を併せると、**非接触心拍計測**や**非接触振動計測**といった用途に展開することが可能と思われる。

「非接触聴診器」への応用



Approved by Keio University School of Science and Technology, Ethics Committee (31-37).



- 衣服を脱ぐことなく胸部の心拍波形を計測できる。
- 心拍数や周期が分かるだけでなく、心電図と相似の変位を検出できるため、診断への応用が期待される。

実用化に向けた課題

- 振動波形から体動や呼吸の影響をフィルタリングしたり、ジェスチャ動作の特徴量を学習したりするソフトウェアを開発する
- 1次元に留まっている放射開口を2次元化し、3次元計測できるようにする
- 外付けの受信器を導波路中に直接組み込むことで、導波路損失を最小化する

企業への期待

- 赤外線や超音波では困難な、プラスチック・木・布などの上から**内部の微小振動を計測するニーズ(心拍に限らない)**を抱えている企業との共同研究を希望
- ドローンやウェアラブル端末などに搭載可能で、**ミリ波レーダーよりも高い分解能のレーダー**を希望する企業との共同研究を希望
- テラヘルツ帯(300GHz周辺)の発振器・受信器を開発している企業とも共同研究を希望

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : アンテナデバイス、ビームステアリングシステム、レーダ装置、及びレーダ装置を用いたセンサ
- 出願番号 : PCT/JP2020/16117
- 出願人 : 慶應義塾大学
- 発明者 : 門内 靖明

お問い合わせ先

慶應義塾大学

研究連携推進本部 知的資産担当

TEL 03-5427-1439

FAX 03-5440-0558

e-mail toiawasesaki-ipc@adst.keio.ac.jp