

超音波3次元イメージングセンサの 単一送受信回路による実現

東京都立大学

システムデザイン研究科

電子情報システム工学域

教授 田川 憲男

2023年6月22日

提案技術で目指す課題

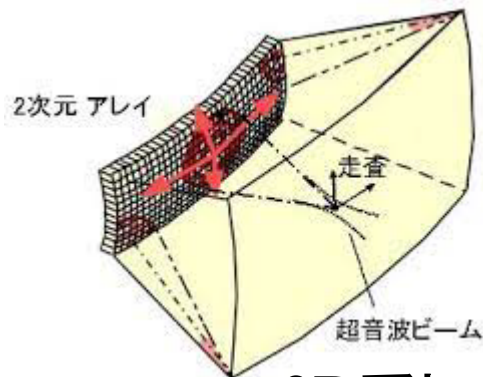
超音波3次元イメージングの普及

◎ 技術的課題

- 2Dアレイ方式における電子回路規模
- 断層像からの3次元構築における画質劣化

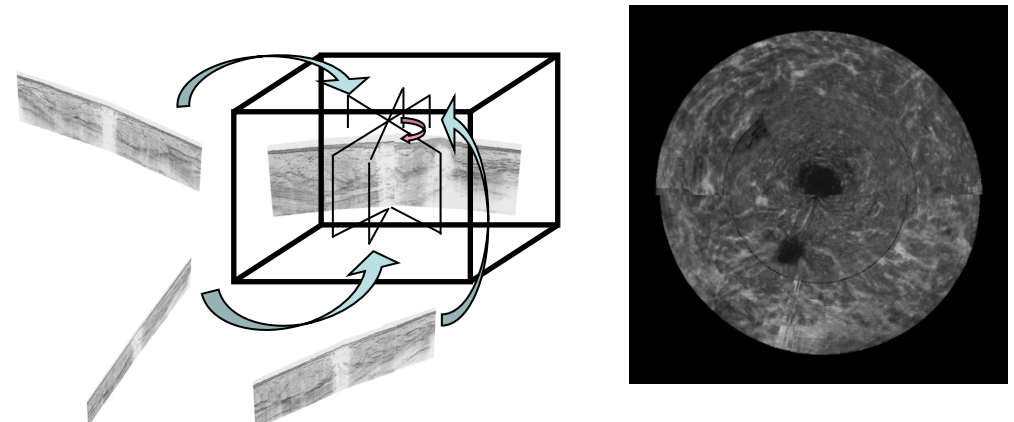


簡潔な送受信回路によって直接的計測



2Dアレイトランスデューサ

引用: 電子情報通信学会「知識ベース」9群8編2章2-3-1より
https://ieice-hbkb.org/files/09/09gun_08hen_02.pdf

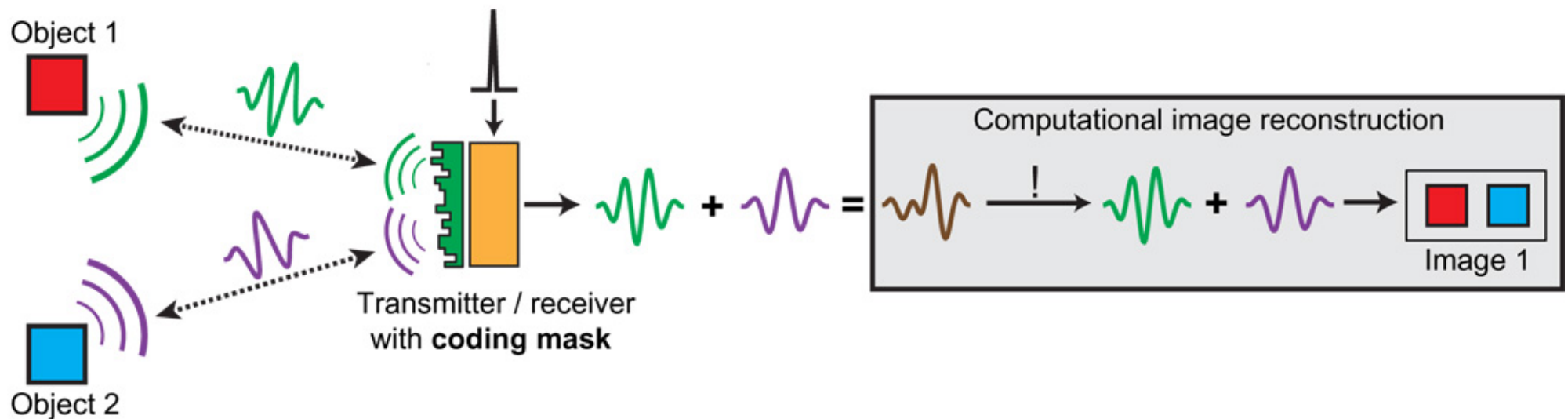


断層像からのボリューム画像構築

従来技術とその問題点(1)

既に提案されている単一送受信系はランダムマスクによる空間符号化を利用

➡ 大規模線形方程式を解く ⇒ **高計算コスト**
画質向上にはマスクの回転・並進が必要
⇒ **機構が複雑化**



従来技術とその問題点(2)

特にランダムマスク型での画像生成について

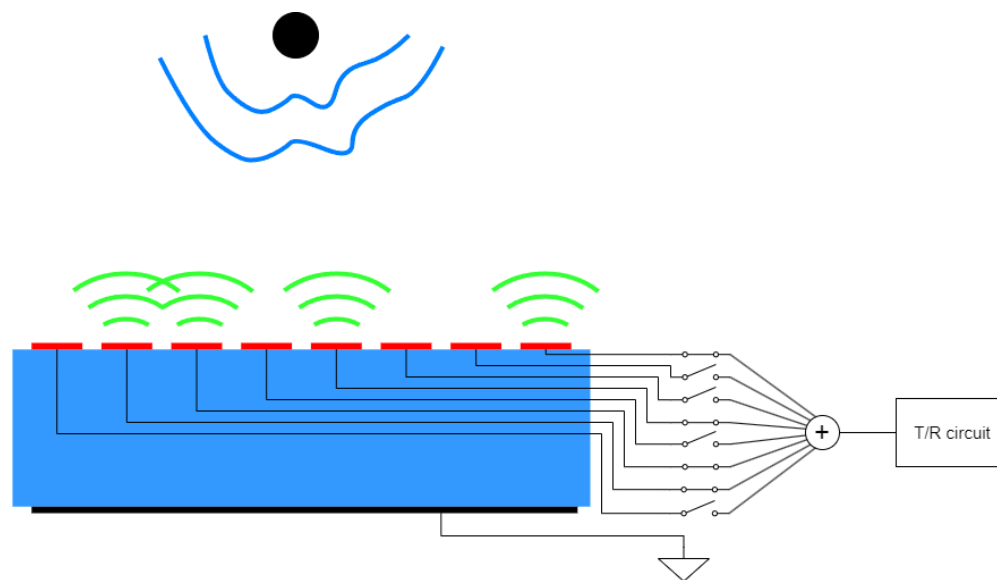
- 各点からの受信波形を**事前に計測**しておいて，線形方程式 $y = Dx$ を解く。
 - ✓ y : 受信信号, D : 受信波形行列, x : 各点の反射率
- マスクの複雑な構造のため **D の計測が必要**。(屈折や隠蔽により解析的計算が困難)
- 近似解法であるビームフォーミングも，同様の理由で困難
- D はマスクの回転/並進に依存。

新技術の特徴・従来技術との比較

- 2Dアレイでは 10^4 のオーダーの送受信回路が必要あった点を一つにできる。
⇒大幅なコストダウン
- 断層画像からの3次元構築と異なりダイレクトに可視化できる。
⇒3次元構造の正確な可視化
- ランダムマスク型での機械的制御の電子スイッチへの置き換えができる。
⇒シンプルで小型の構造
- 画像化をビームフォーミングで実現
⇒ランダムマスク型の計算量軽減

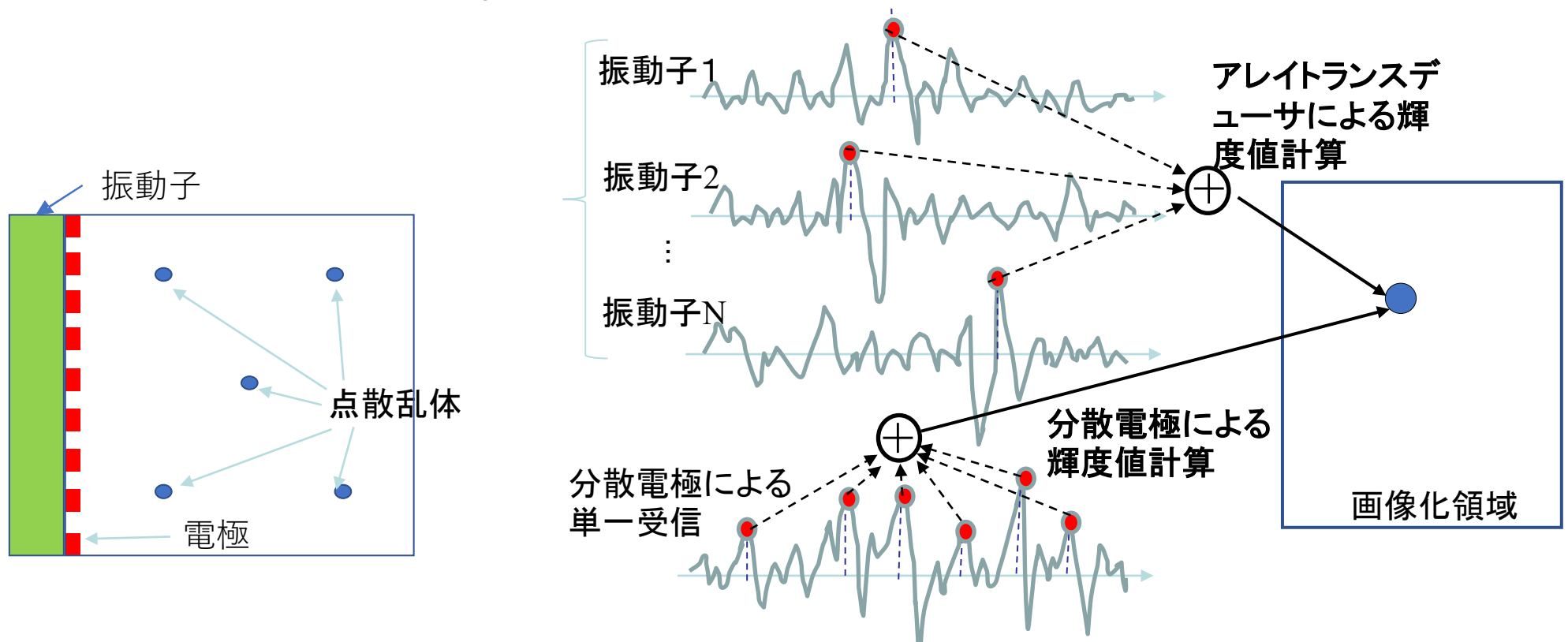
新技術の概要(1)

- 新たな方式：**分散電極型**
 - ✓ 単一振動子上にグリッド状に電極を分散配置
 - ✓ **ランダム**に電極を選択・結線して送受信に使用
 - ✓ 単一の送受信回路で動作
 - ✓ **電子スイッチ**により電極結線を切替



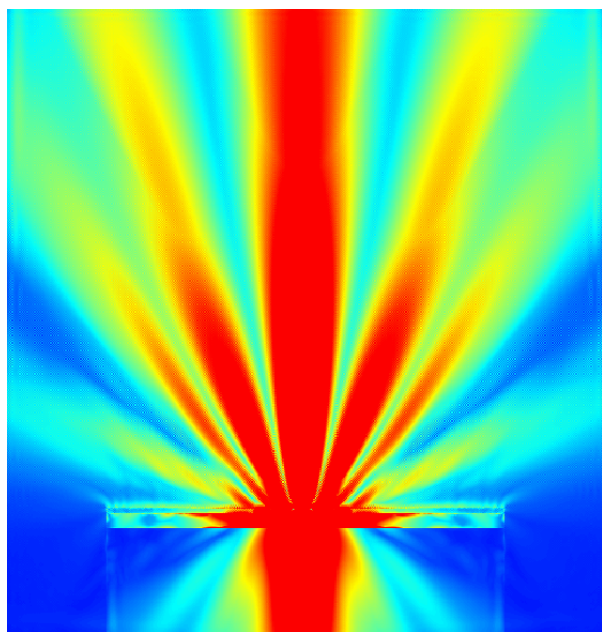
新技術の概要(2)

- ビームフォーミングによる画像生成
 - 遅延加算法(DAS) : 選択した電極で決まる遅延時間で, 受信信号からサンプル値を抽出して加算
 - CFイメージング : DASで加算するデータの位相関係をCF値として定量化して, その値をDASに乗算

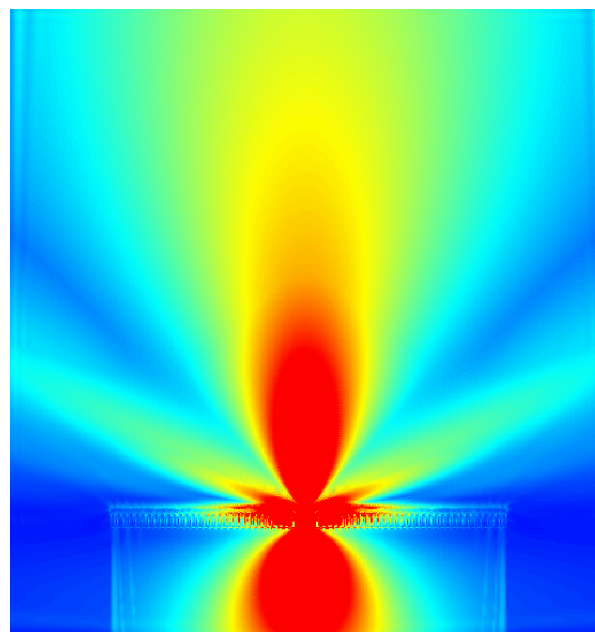


新技術の概要(3)

- 非アレイ化によるビーム特性の活用
 - 空間符号化の不規則性に貢献
 - 製作コスト軽減：圧電材料の微細ダイシング不要



非アレイ化

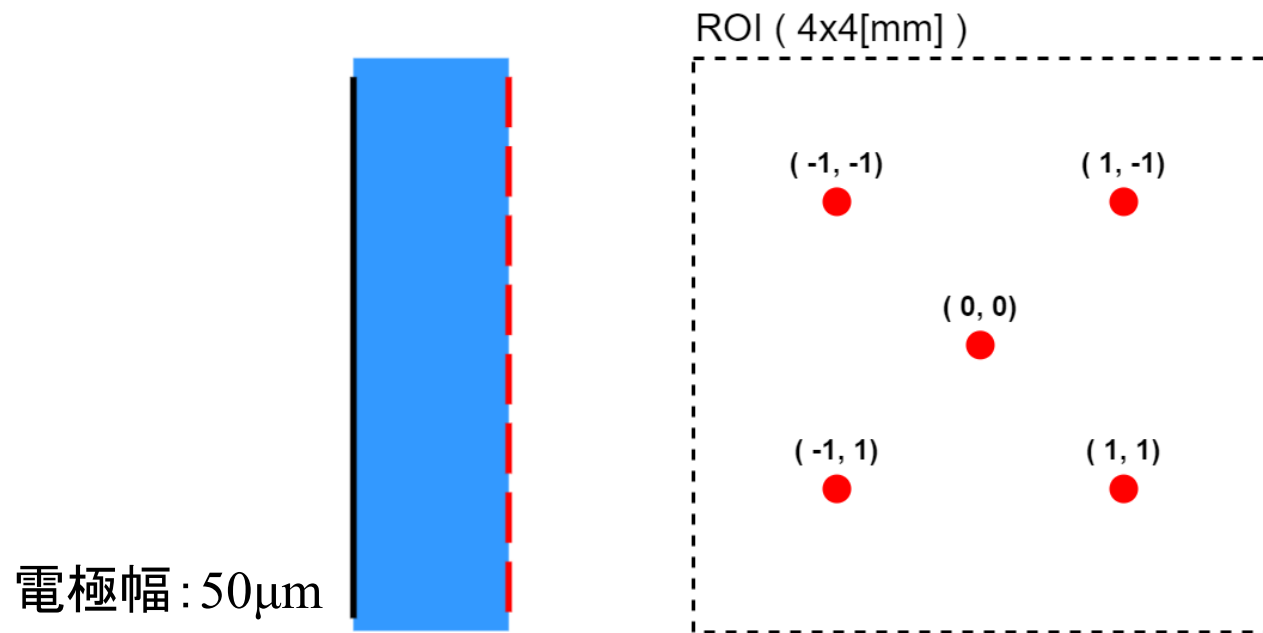


アレイ化

単一電極の送信ビームパターン

新技術の性能評価

- シミュレーションモデル
 - 有限要素法 (OnScale) による 1次元計算
 - 64個の電極から4個をランダムに選択して結線
 - 電極切替を伴う40回の送受信を基本
 - 送信波：正弦波パルス (8.0MHz, 2.5cycle, ガウス窓)



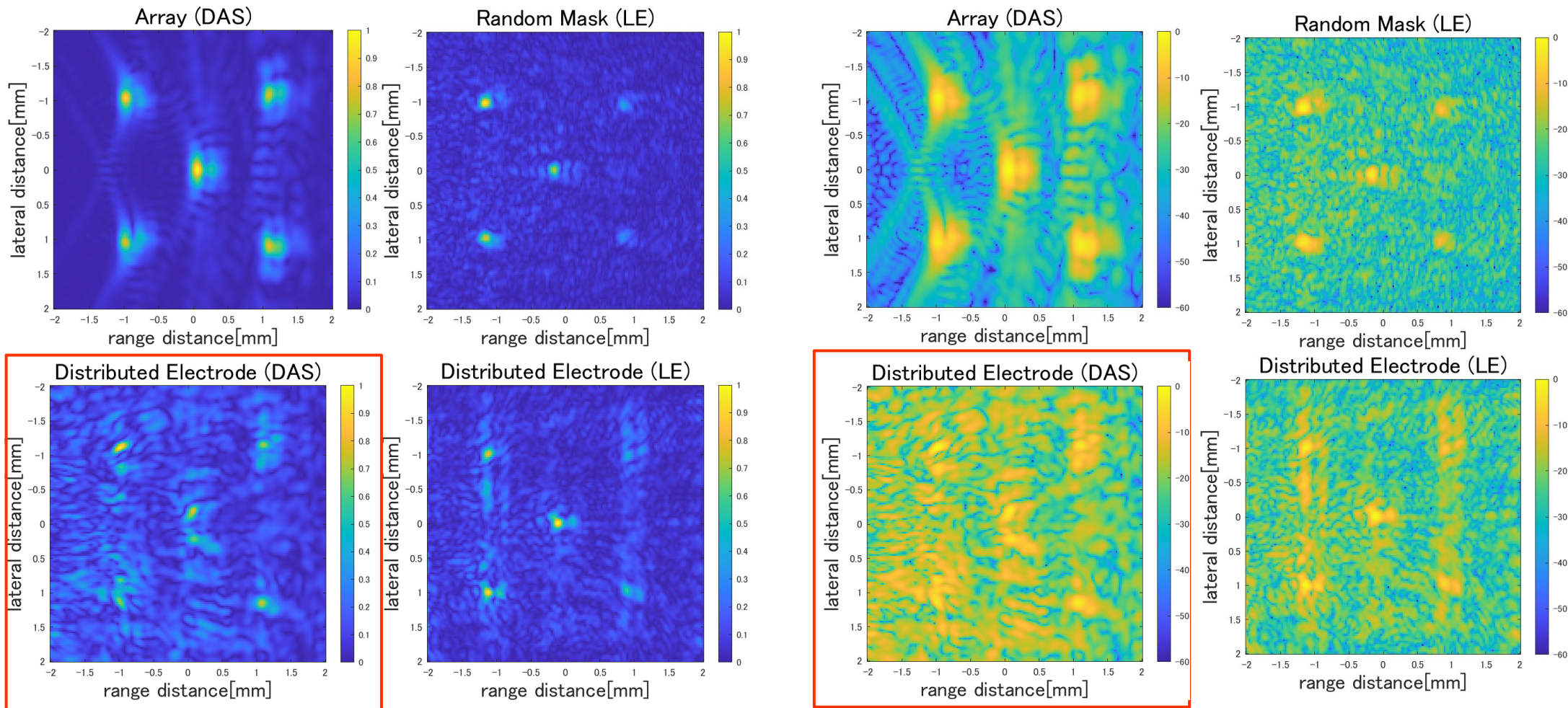
水中に5個の散乱体を配置

新技術の性能評価 -方式間の比較-(1)

- Array (DAS)
 - ✓ 一般のアレイプローブを想定 (素子数64)
 - ✓ 平面波パルスの1回送受信
 - ✓ DASで画像生成
- Distributed Electrode (DAS/LE) : 提案
 - ✓ DAS及び線型方程式解 (LE)
 - ✓ 結線電極を切り替えて40回の送受信
- Random Mask (LE)
 - ✓ 線型方程式解 (LE)
 - ✓ マスクを変えて40回の送受信

新技術の性能評価 -方式間の比較-(2)

◎ Bモード画像

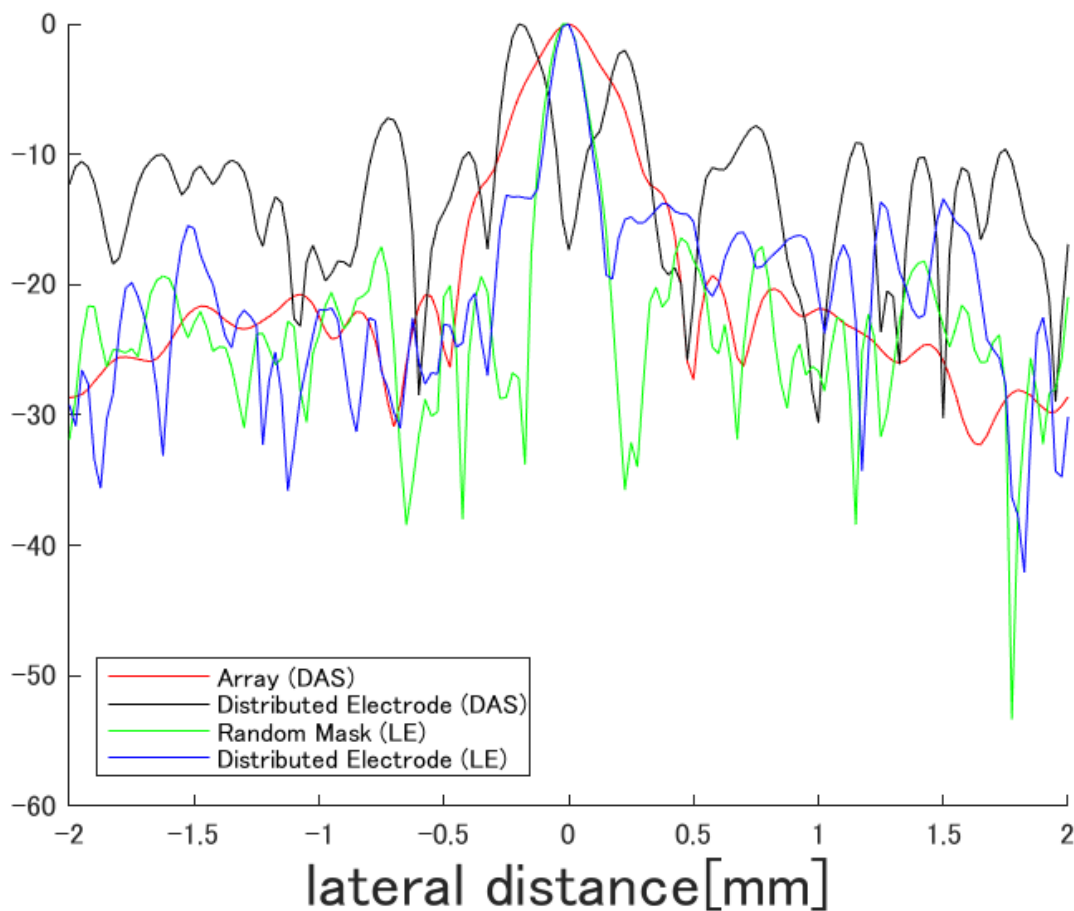


線形表示

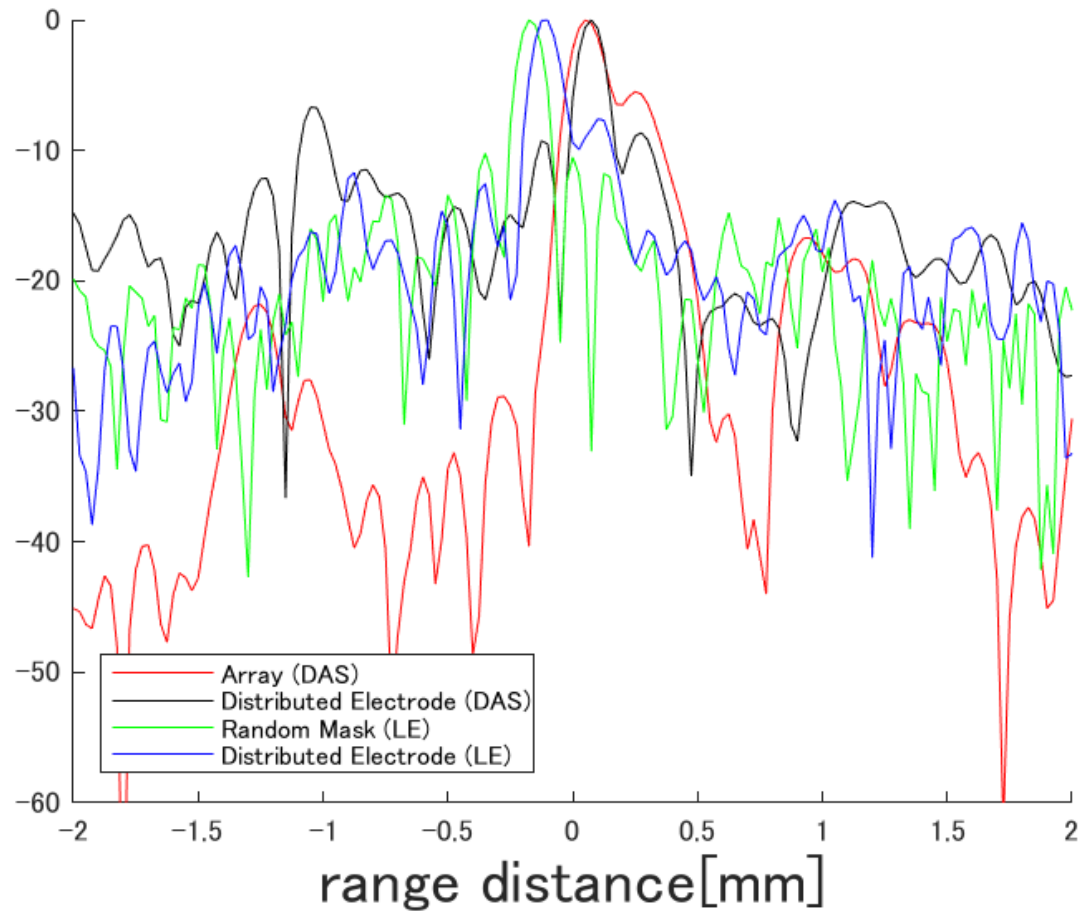
対数 (dB) 表示

新技術の性能評価 -方式間の比較-(3)

◎輝度プロファイル（中央の散乱体）



横（ラテラル）方向



送信（レンジ）方向

新技術の性能評価 –方式間の比較-(4)

◎各方式による画質の相違

● 解像度

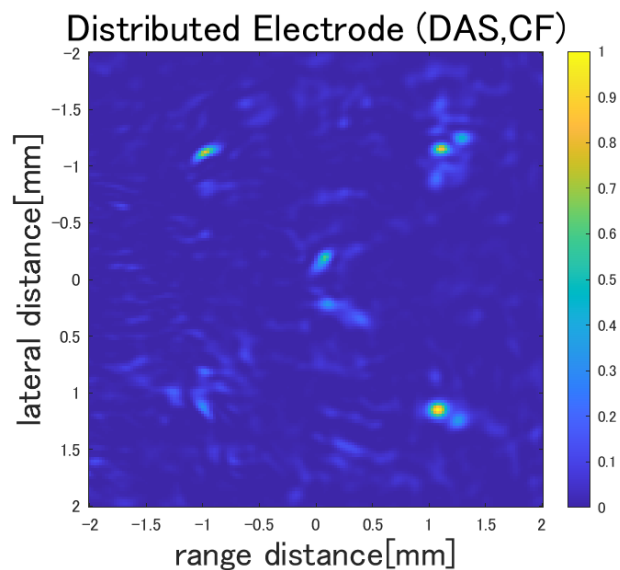
- 全体的にDASよりもLEが解像度が高い。
- アレイプローブでは他の方法に比べて解像度が低い。
- ランダムマスクが最も解像度が高い。

● 背景レベル

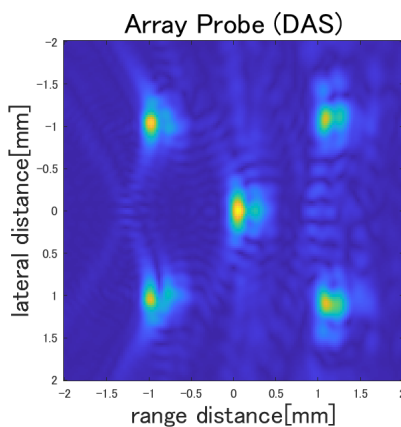
- アレイプローブは背景レベルが低い。
- LEはランダムマスクでも分散電極でも背景レベルはほぼ同じ。

新技術の性能評価 –CFによる比較-(1)

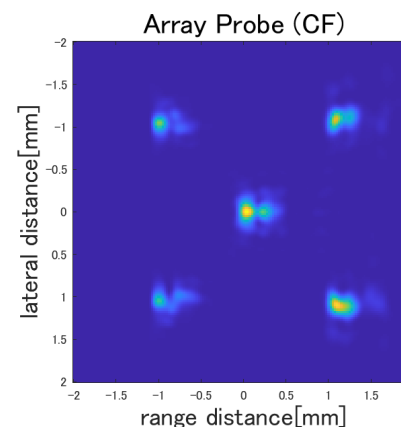
◎ Bモード画像 (線形表示)



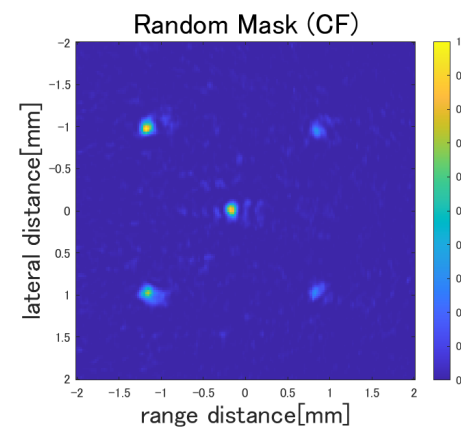
提案技術
(DAS with CF)



アレイプローブ
(DAS)



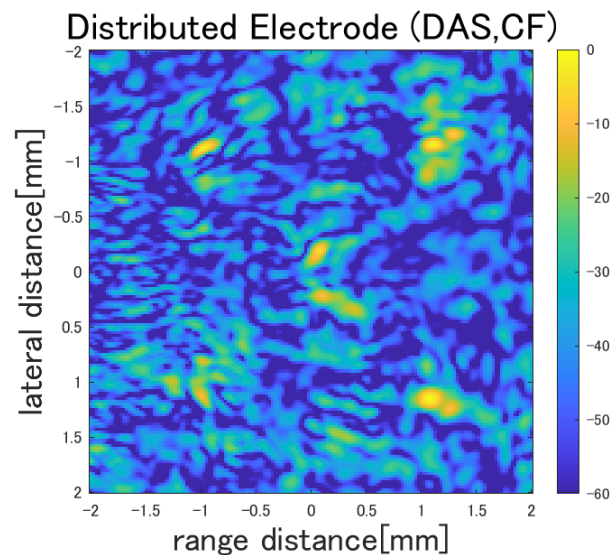
アレイプローブ
(DAS with CF)



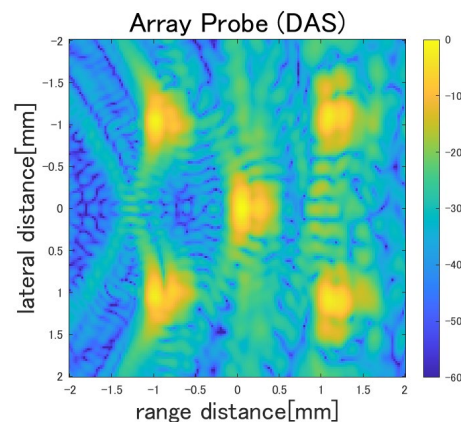
ランダムマスク
(LE with CF)

新技術の性能評価 -CFによる比較-(2)

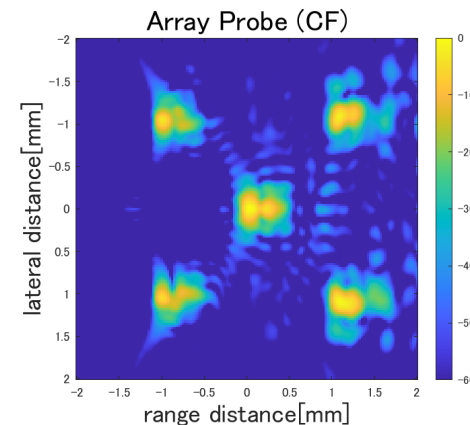
◎ Bモード画像 (対数表示)



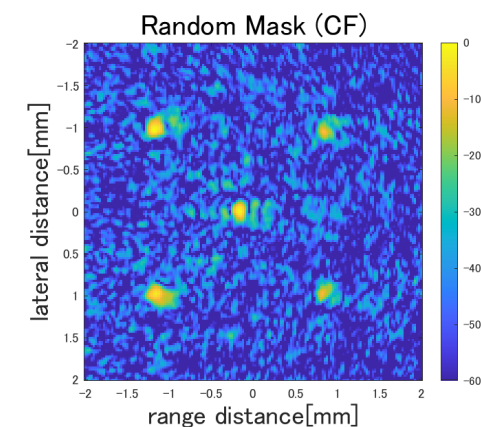
提案技術
(DAS with CF)



アレイプローブ
(DAS)



アレイプローブ
(DAS with CF)



ランダムマスク
(LE with CF)

新技術の性能評価 –CFによる比較-(3)

◎ 解像度

- 提案技術はランダムマスクに相当する解像度を有する.
- アレイプローブに比べて高解像 (送受信数は多い) .

◎ 背景レベル

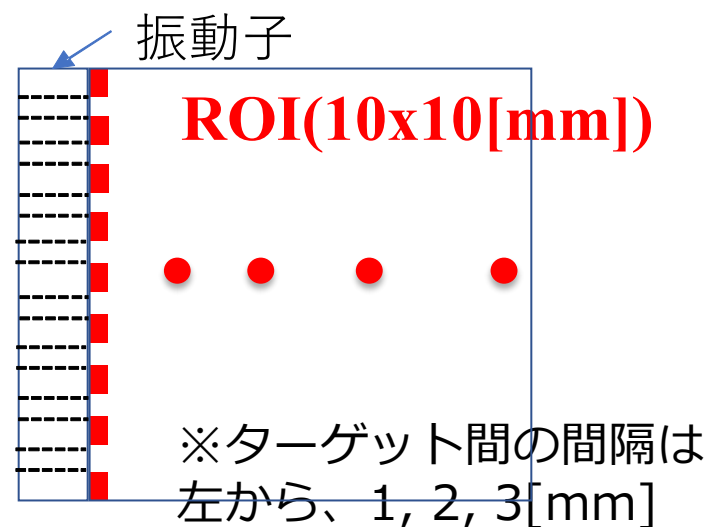
- CFによる効果はアレイプローブが最も高い.
- 提案技術はランダムマスクと同程度の背景レベル.
- 残っている干渉パターンが提案技術では大きい.

新技術の性能評価 – 実験評価-(1)

◎ 提案技術の実現可能性の実験による確認

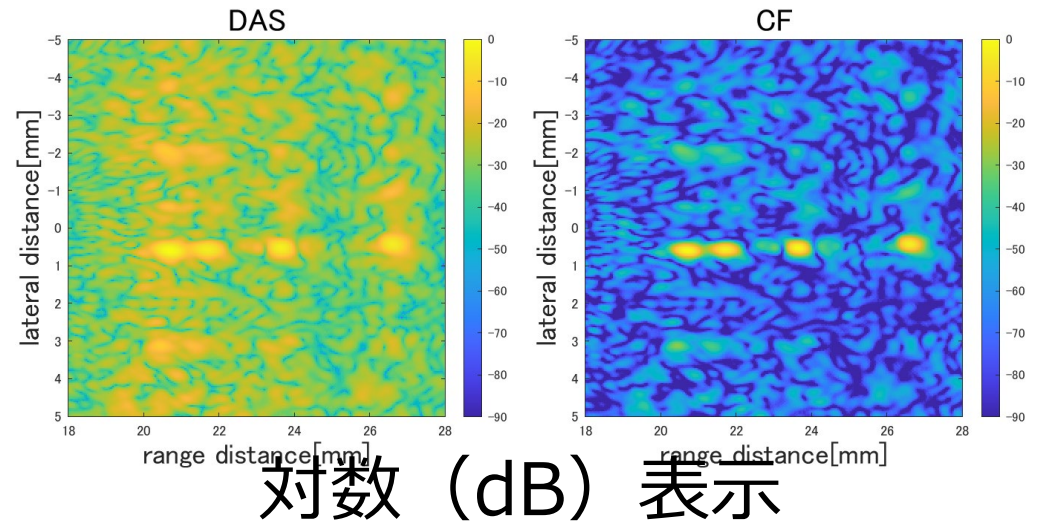
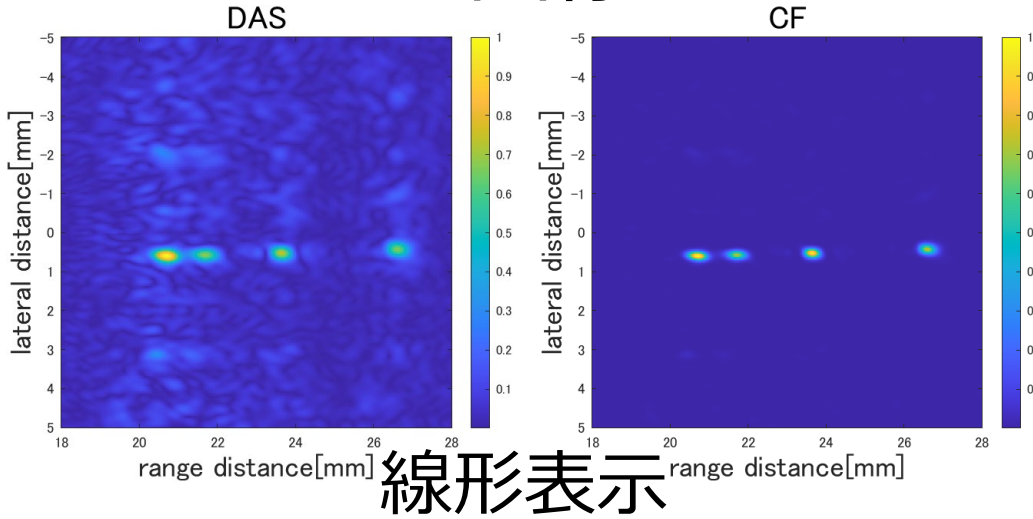
◎ 実験条件

- ピッチ幅 0.315[mm], 64素子のアレイプローブ
- 中心周波数 5.21[MHz], 3.5サイクルの矩形波を送信
- 60回の送受信（異なる電極パターン）
- アレイで受信した各素子の信号を加算して受信信号として使用（アレイ化に相当）

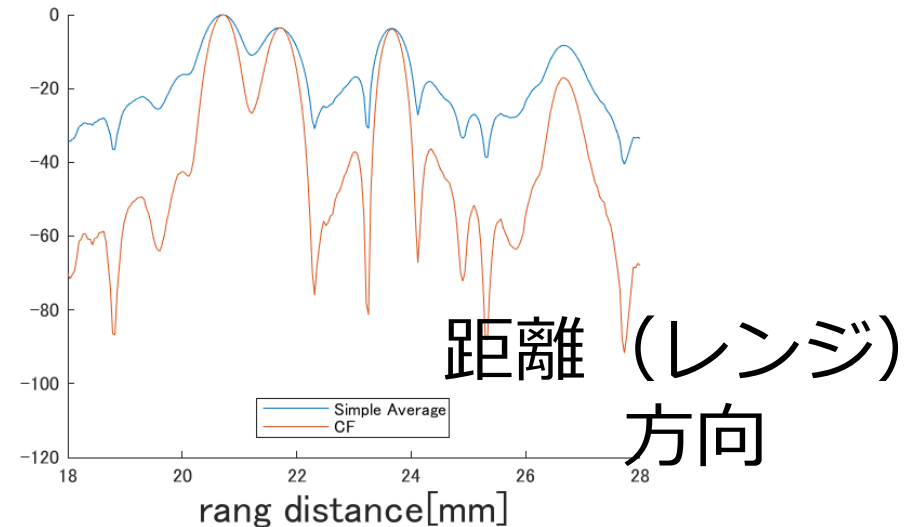
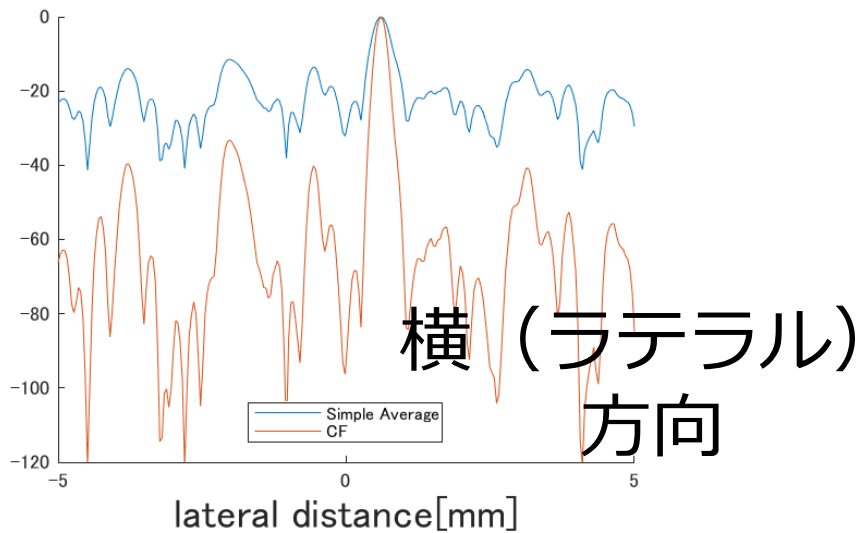


新技術の性能評価 - 実験評価 - (2)

◎ Bモード画像



◎ 輝度プロファイル



新技術のまとめ

- 回路規模が小さく構造もシンプルな3D超音波画像化方式
- 特徴
 - 単一振動子に電極を分散配置
 - 不規則な位置の複数電極を電子スイッチで同時活性化
 - 電極切替も含めてCFを画像化に利用
 - 通常のアレイプローブに対する信号処理部としても実現可能
- 画像化性能
 - ランダムマスク方式と同程度の解像度と背景レベル
 - アレイプローブよりも高解像だが背景レベルは高い。

想定される用途

- 医療診断への適用により、3D画像化の普及に繋がる。
- 特に高速な動きの少ない対象には、複数回の送受信により従来の2Dアレイプローブよりも高精細な画像化が期待できる。
- 上記以外に、水中/空中の3D環境計測への適用、センサネットワークとしての分散配置計測システムも期待できる。

実用化に向けた課題

- 現在、通常の1Dアレイプローブ上での有効性は確認済み。非アレイ化の効果の実機確認が未解決である。
- 今後、非アレイ化3Dイメージングシステムを開発し、生体適用に向けての詳細な実証実験を行う。
- 実用化に向けて、代数的解法に高解像化技術（部分空間法等）を組み込んだ方法との比較検討も必要。

企業への期待

- システム構築を通しての実証実験を，企業との共同研究として実施したい。
- 画像化技術に関しては，従来手法の適用に留まっているため，提案機構に適した新たな手法の開発に興味を持ってくれる企業との共同研究を希望。
- ダイバーや港湾監視等の海洋環境計測，見守りセンサー，生体モニタリング等への展開を考えている企業には，本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 超音波トランスデューサ
出願番号 : 特願2023-025038
- 出願人 : 東京都公立大学法人
- 発明者 : 田川憲男

産学連携の経歴

- 2001年- 医療機器コンサル会社と共同研究
- 2003年-2004年 総合化学メーカーと共同研究
- 2014年-2015年 医療機器コンサル会社と共同研究
- 2016年-2017年 医療機器メーカーと共同研究
- 2016年-2017年 医療機関と共同研究
- 2018年-2019年 海洋技術コンサル会社と共同研究
- 2020年- 通信サービス会社と共同研究
- 2021年- 医療機関と共同研究
- 2023年- 医療機関と共同研究（上記とは別に2件）

お問い合わせ先

東京都立大学 総合研究推進機構 URAライン

TEL 042-677-2202

E-mail ragroup@jmj.tmu.ac.jp

問合せフォームはこちらから



※東京都公立大学法人・産学公連携センターのWebサイトです
https://www.tokyo-sangaku.jp/sangaku_works/sangaku_info/