

鋼床版溶接継手部におけるき裂の 高精度非破壊評価に向けた 新たな超音波イメージング技術の開発

Keyword: 超音波探傷, イメージング, 鋼床版, き裂, Uリブ

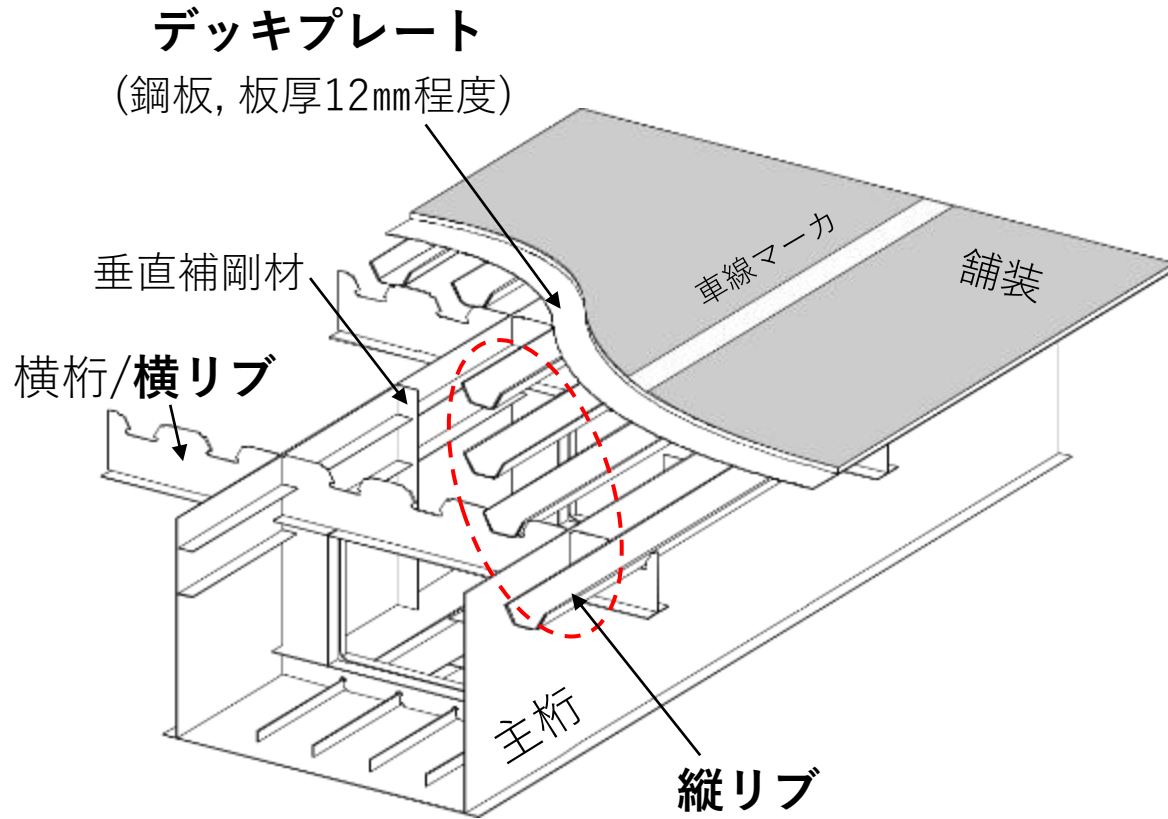
岡山大学 環境生命自然科学学域
(工学部・都市環境創成コース)
木本 和志

2023/11/15(水) 鳥取県会場
2023年度 中国地方建設技術開発交流会

発表内容

1. 研究の背景
 - 鋼床版の疲労
 - 超音波探傷試験
2. 本研究のねらい
3. 実験方法
4. 超音波イメージング
 - 画像化方法と結果
 - き裂先端位置特定の精度
5. まとめ

背景：鋼床版



- デッキプレートを縦・横リブで補剛
- 主桁, 横桁と床版が一体化して橋梁構造



- コンクリート系床版と比べ軽量化が可能
- 長支間橋梁, 地盤の悪い場所で優位



疲労損傷が多数報告されている

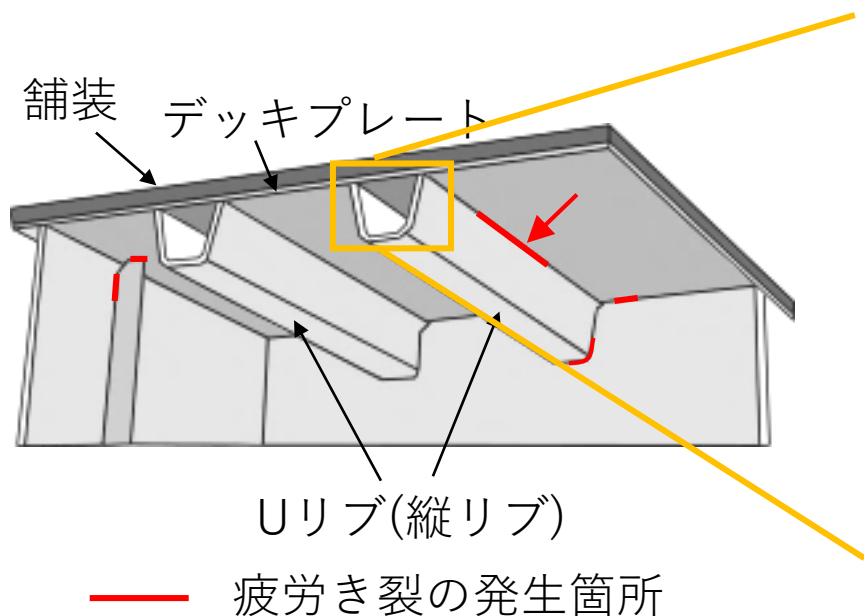


点検, 補修, 補強は重要

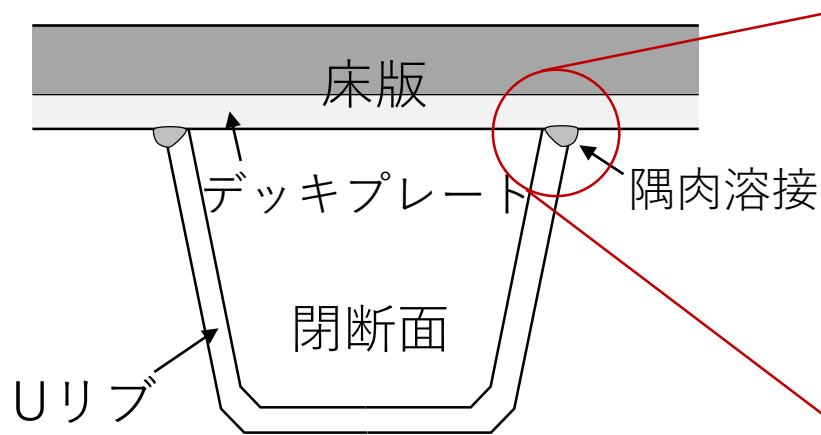
背景：鋼床版の疲労

繰り返し荷重 + 応力集中 → 溶接部に疲労き裂が発生

(1) き裂発生箇所

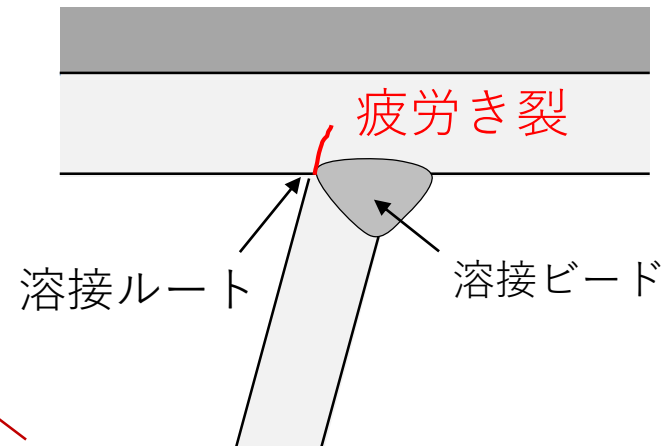


(2) Uリブデッキプレート溶接線



Uリブ閉断面内側から疲労き裂が発生

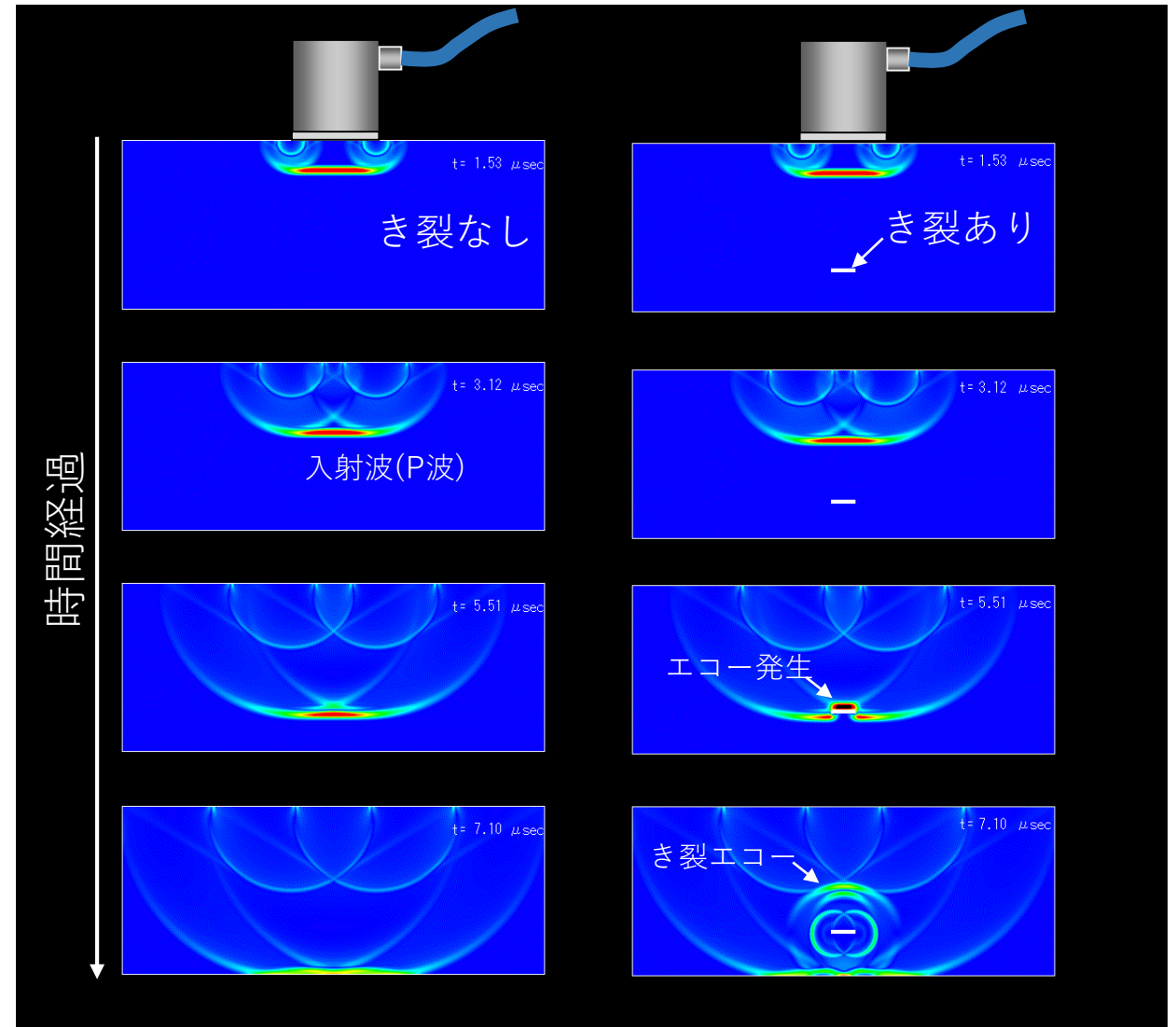
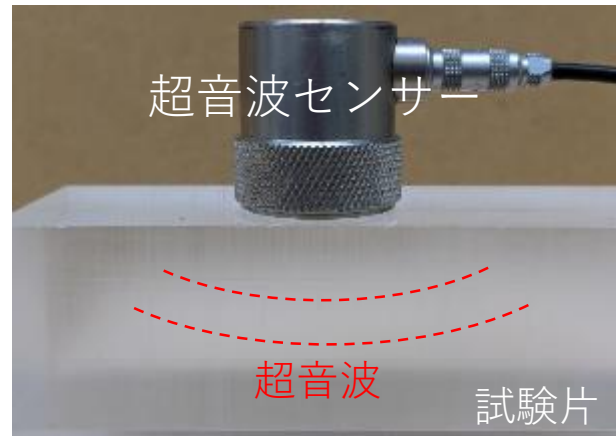
(3) 疲労き裂の起点



目視や磁粉探傷試験では検出不能 → **超音波探傷試験**の適用

超音波探傷試験の原理 - 垂直入射の場合 -

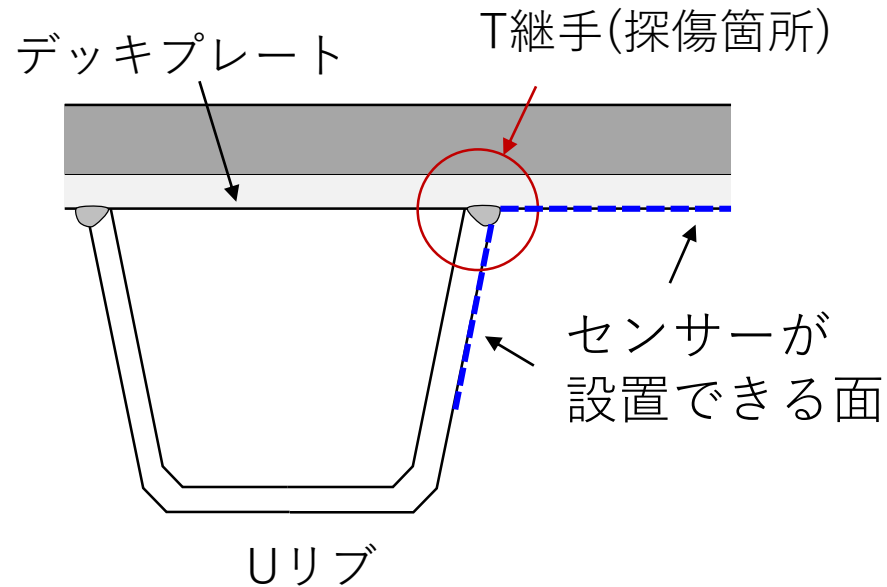
超音波伝播の数値シミュレーション



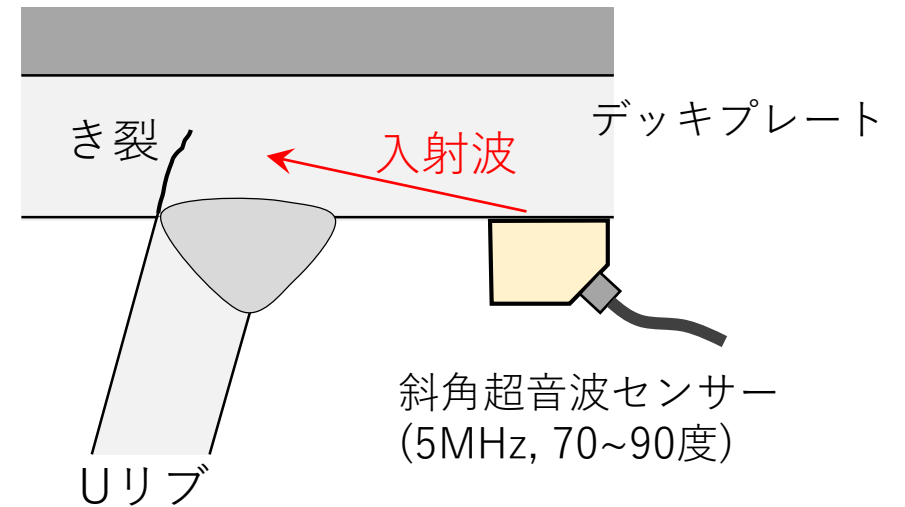
- 超音波エコーの有無 → き裂の有無
- エコーの到達時刻 → き裂位置
- エコー高さ → き裂サイズ

Uリブ溶接線(T継手)の超音波探傷

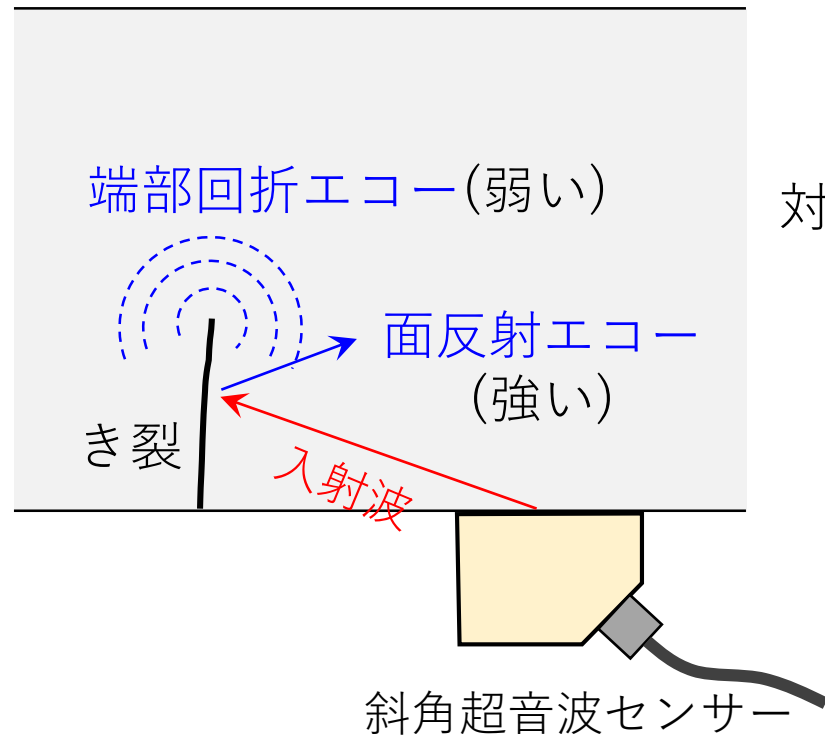
探傷可能な面が制限される



超音波を斜め方向へ送信
(斜角探傷法)



き裂の斜角探傷

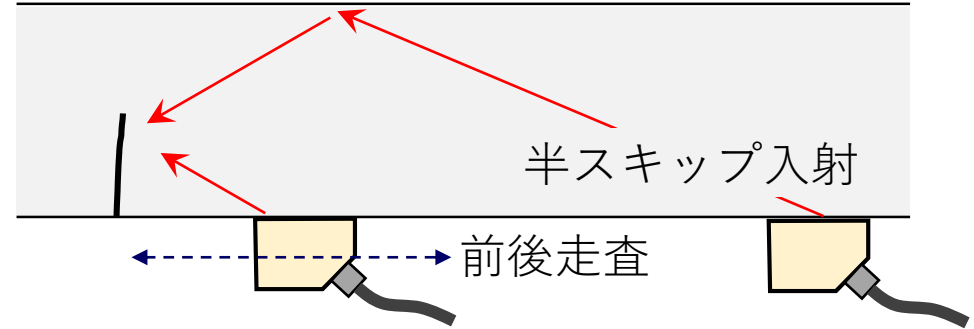


対策・工夫

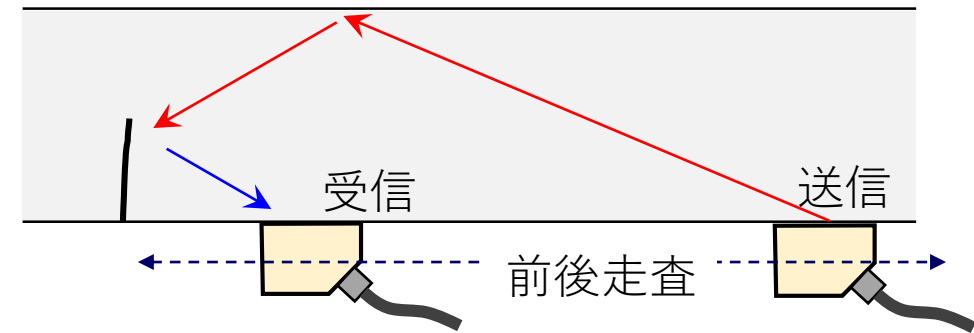


送信位置に強いエコーが戻ってくると限らない

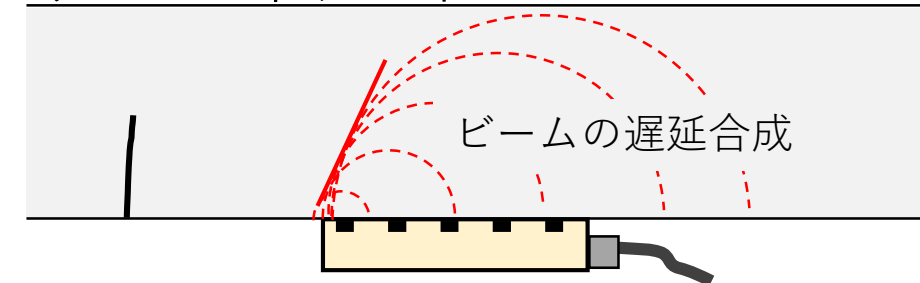
1探触子法



2探触子法(タンデム)

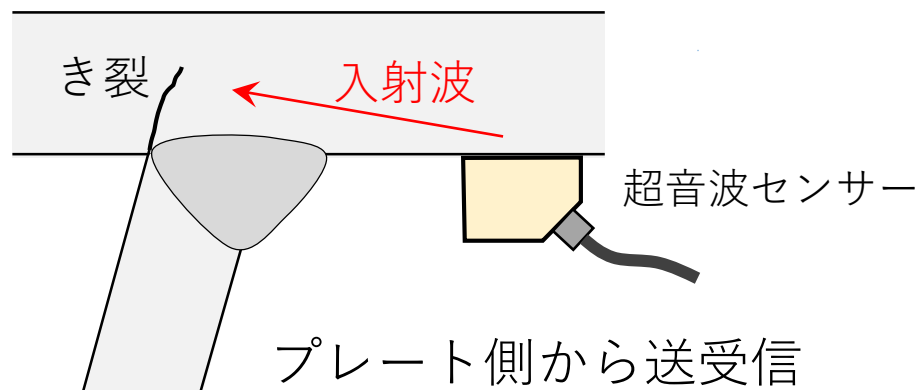


フェーズドアレイ

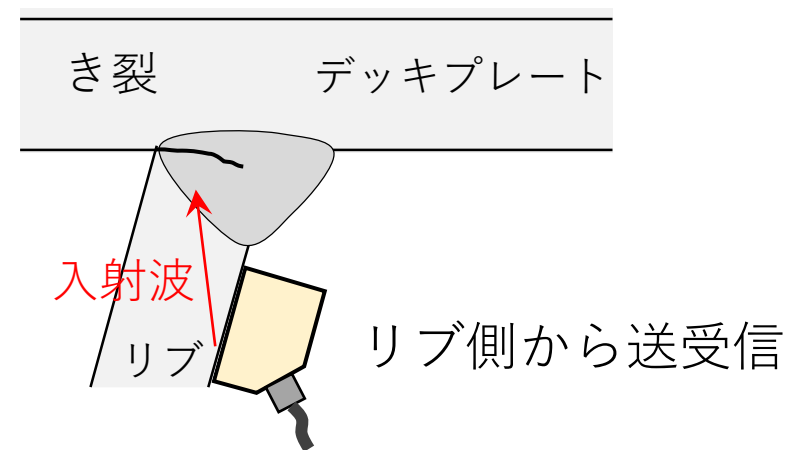


Uリブ溶接ルートから発生したき裂の探傷(現行法)

(1) デッキプレート貫通方向のき裂



(2) 溶接ビード方向のき裂



いずれも反射法. き裂深さの評価が難しい



より一般的な送受信パターンの探傷法へ
(入射角度, モード, 送受位置, エコー経路, 走査方法)



見落とし防止, 精度と客観性の向上

本研究のねらい

1. センサー設置位置の制限

- 出来るだけ広い方向から測定したい
- 種々の送受条件(センサー, 位置)へ対応したい

2. 探傷結果の表示

- き裂位置を分かり易く表示したい
- き裂先端を見つけない

3. 探傷の効率

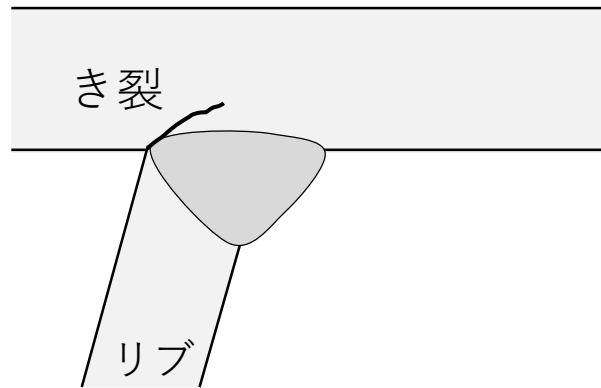
- 超音波測定の効率や測定分解能を上げたい



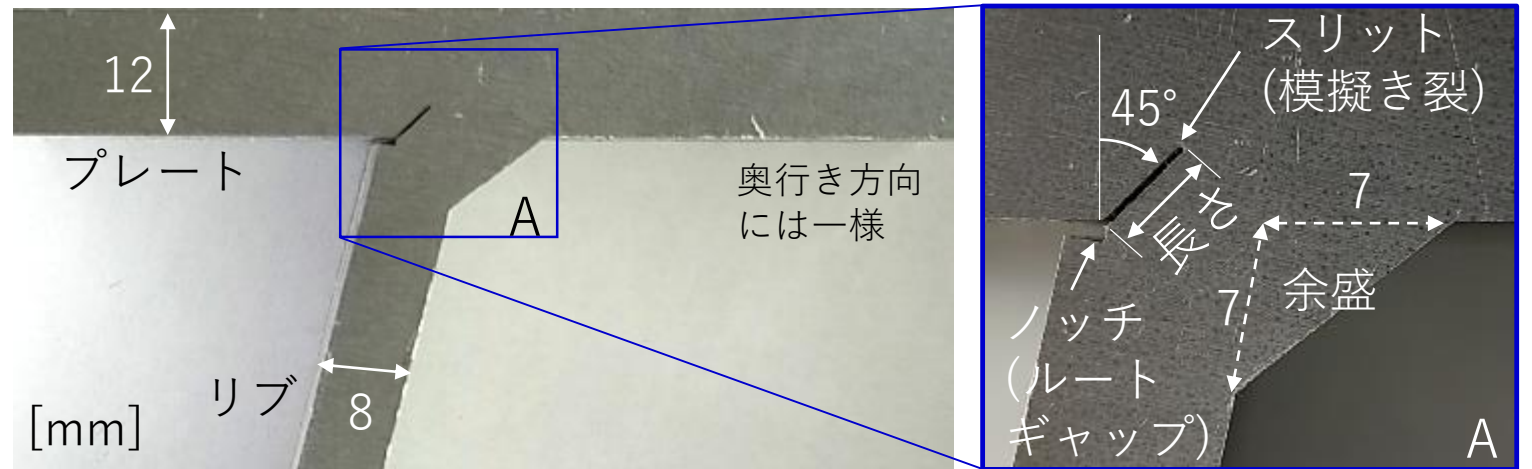
透過法, レーザー多点計測, 超音波イメージング, き裂端部検出

模擬継手試験体

(1) 対象部位(隅肉溶接部)



(2) 試験体(形状だけを模擬)

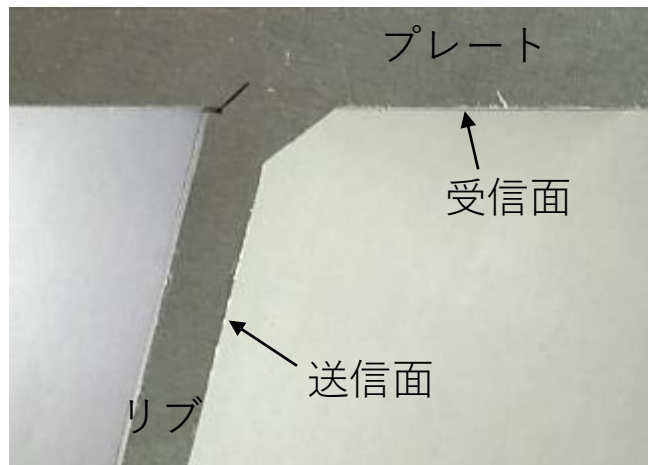


アルミニウムブロックを放電加工で切断して作成
(※溶接や疲労試験は行っていない)

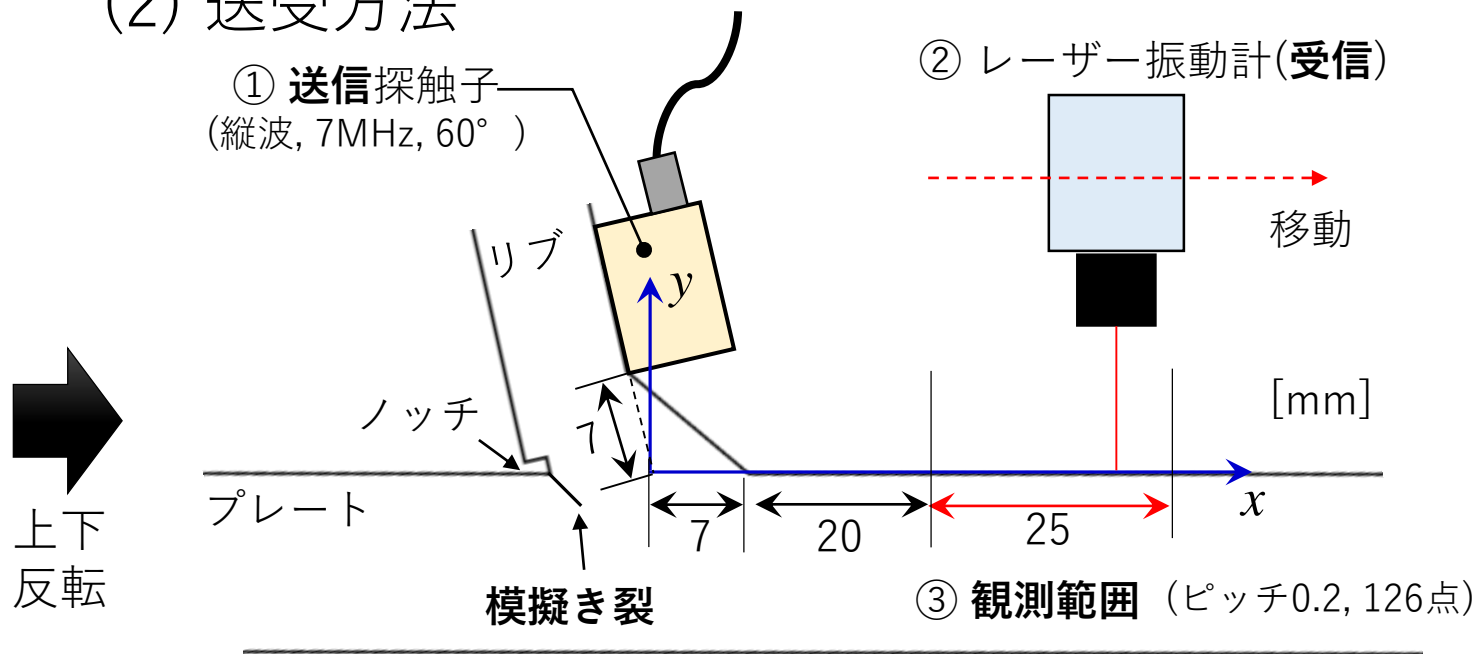
形状と寸法が正確に規定された試験体を作成
(き裂長さは2,3,4mmの3通り)

超音波エコー測定

(1) 送受信面

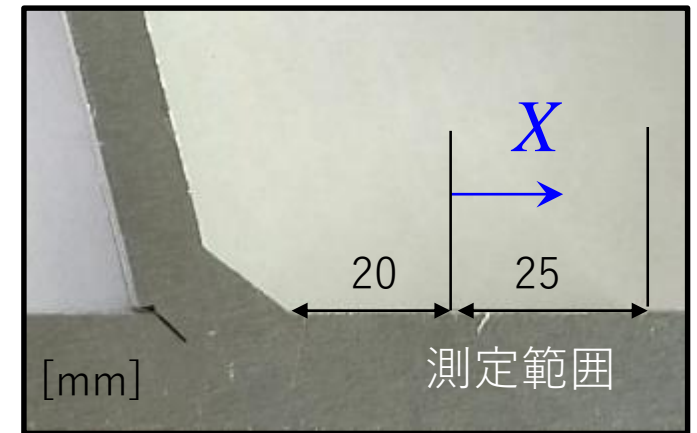
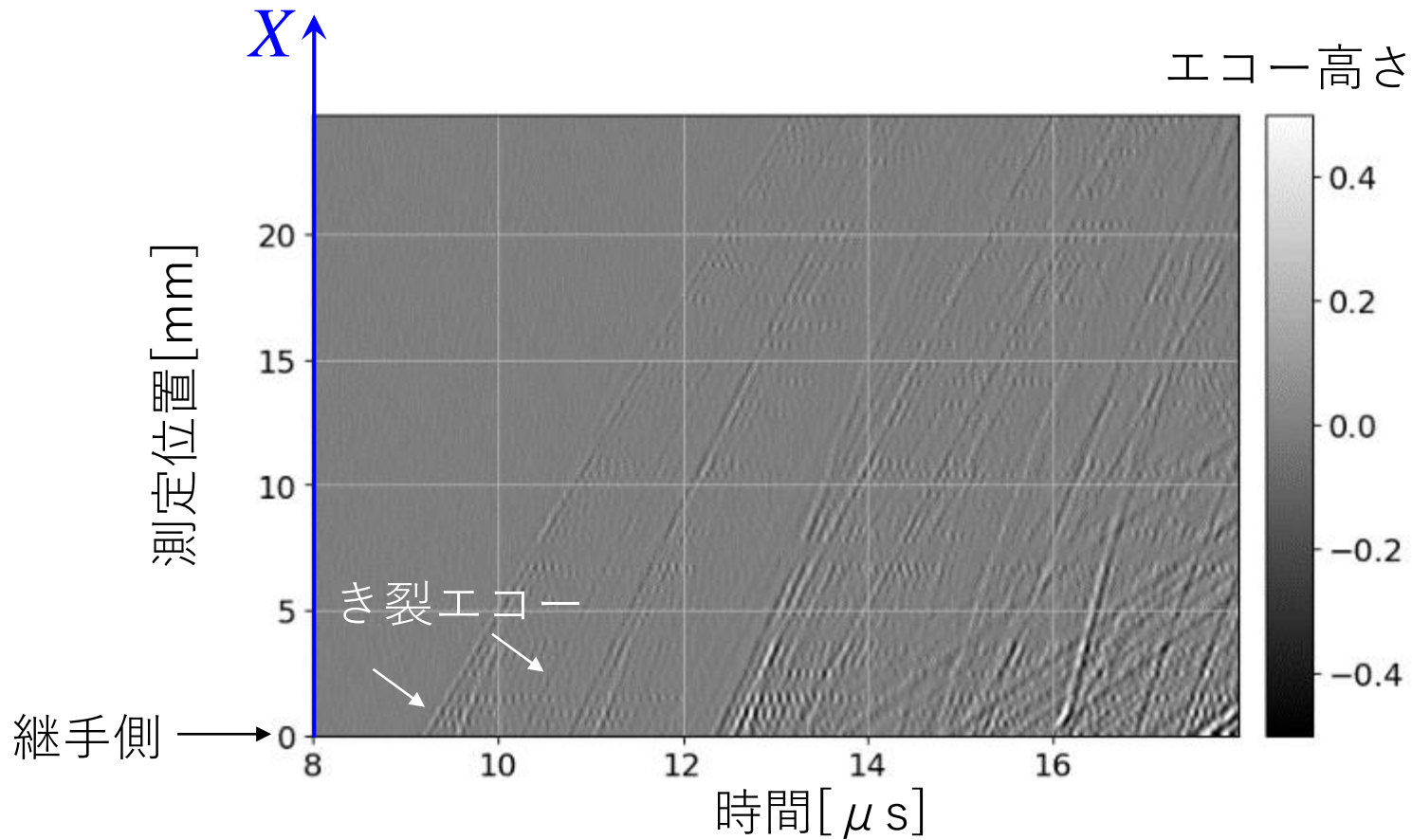


(2) 送受方法



- 送信：圧電斜角探触子→固定，強いビームを入射
- 受信：レーザー振動計→高い分解能で多点計測→画像化

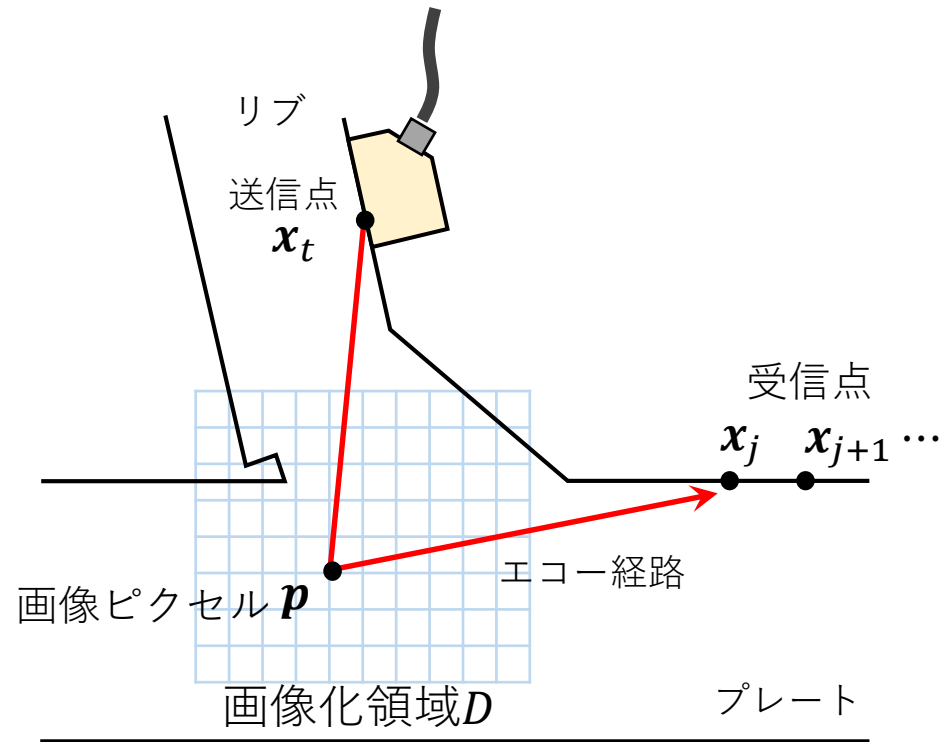
測定結果：き裂長さ4mmの場合



き裂の超音波画像を合成

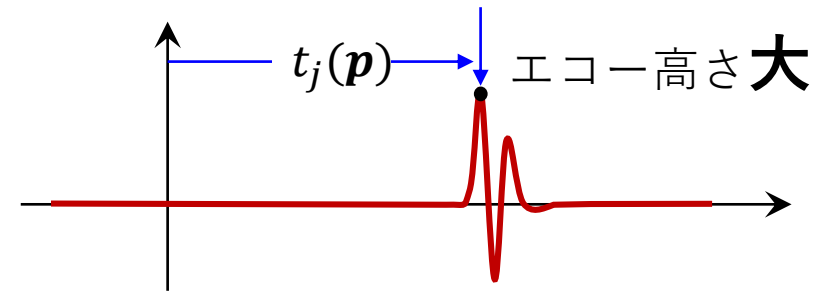
画像化方法 - 開口合成法 -

(1) 画像化領域と画像ピクセル

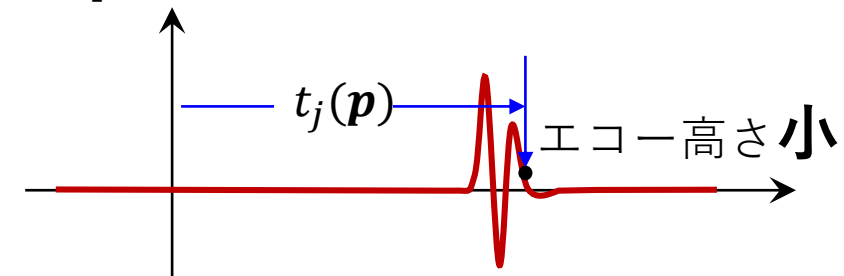


(2) エコー到達時間 $t_j(p)$ (点 p を経由した場合)

- 実際 p にきずがある場合

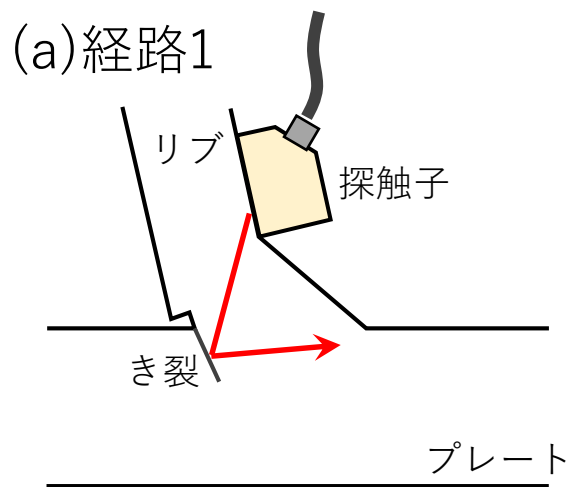


- 実際 p にはきずが無い場合

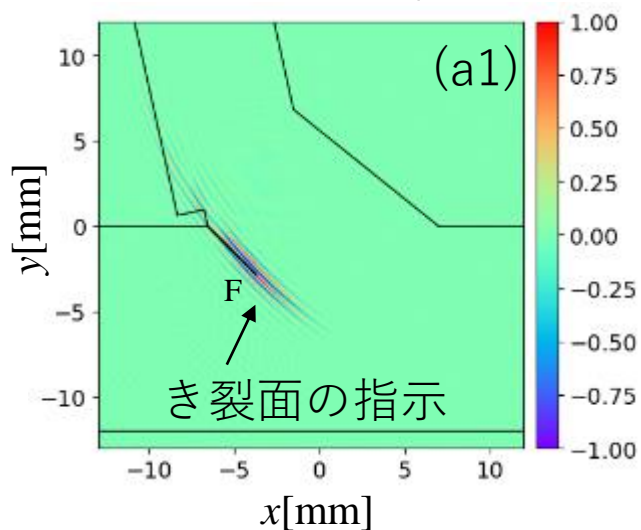


(3) 画素値の計算 $I(p) = \sum_{\text{全エコー波形}} (\text{予想到達時刻 } t_j(p) \text{ におけるエコー高さ})$

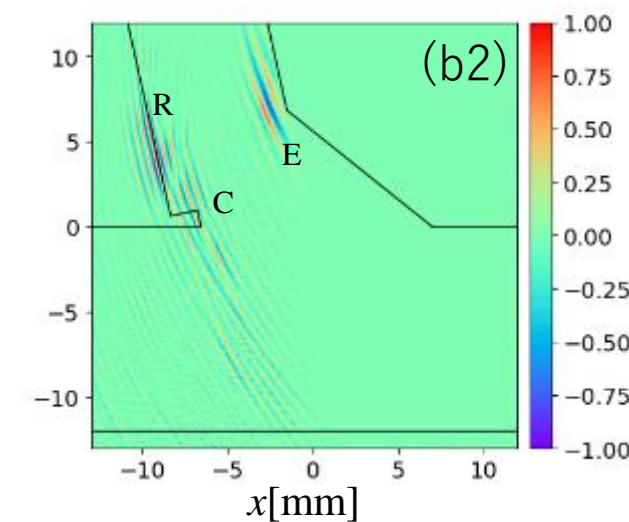
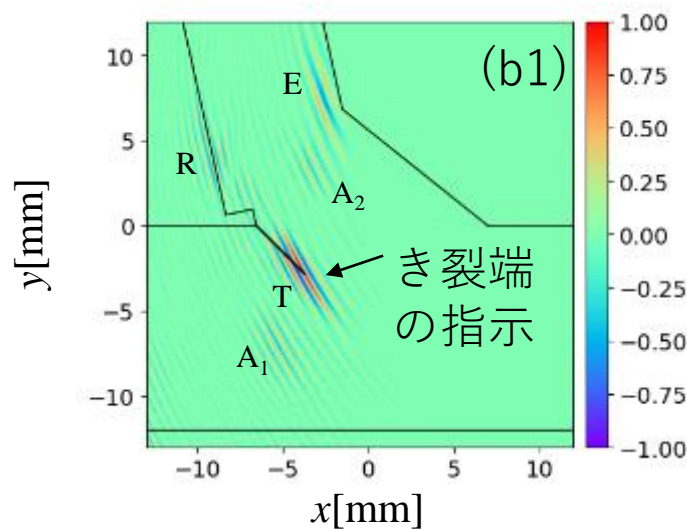
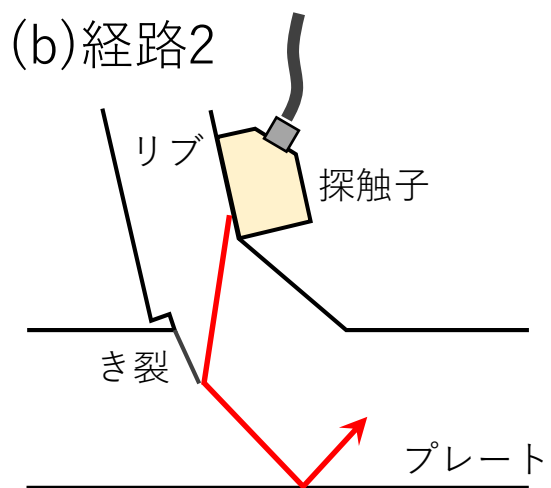
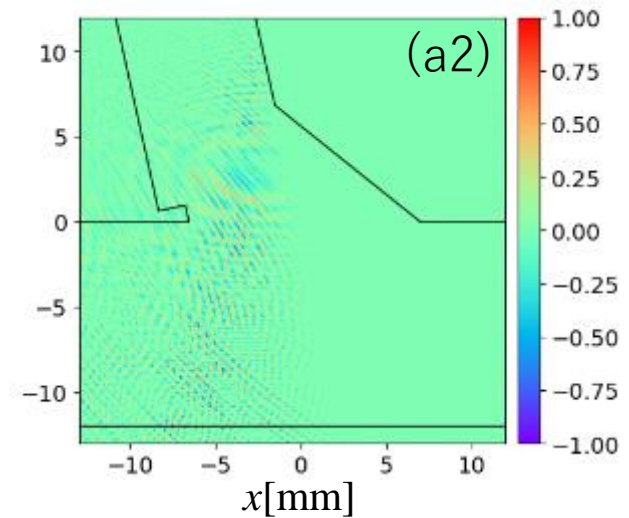
画像化結果



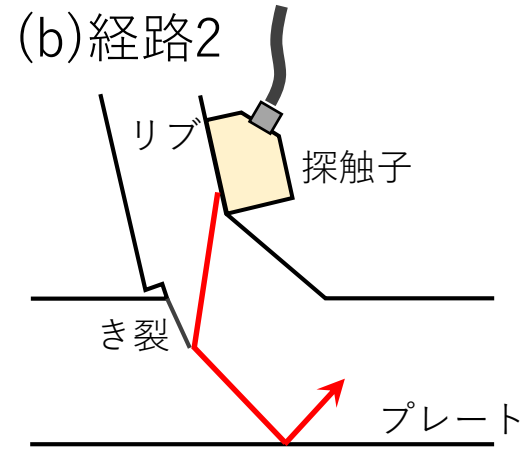
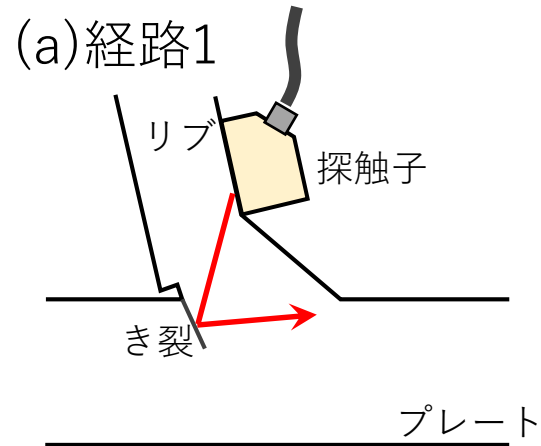
き裂あり(45度,4mm)



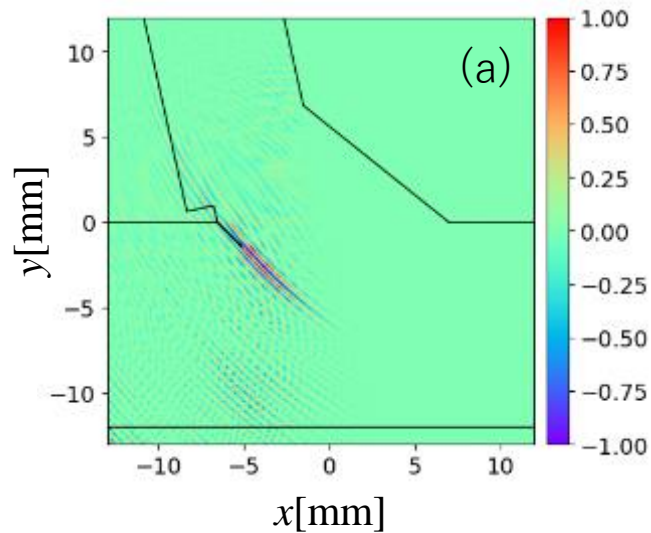
き裂なし



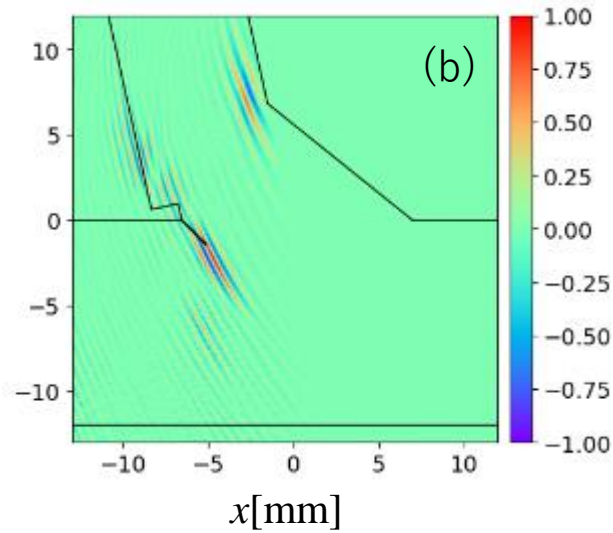
画像化結果 (45度, 2mmの模擬き裂)



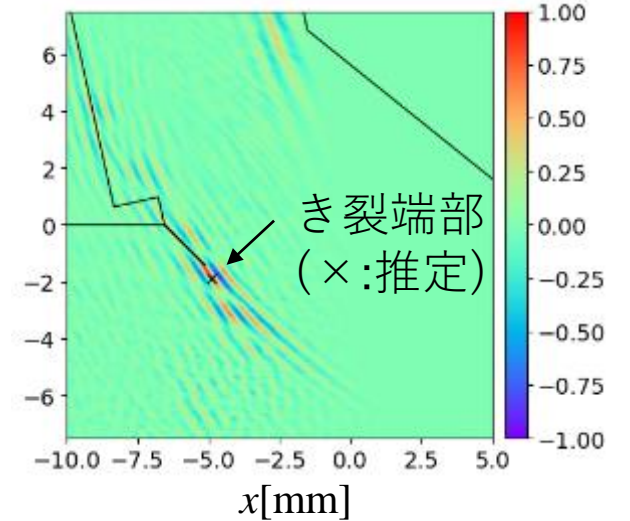
二つの画像の和
(a) + (b)



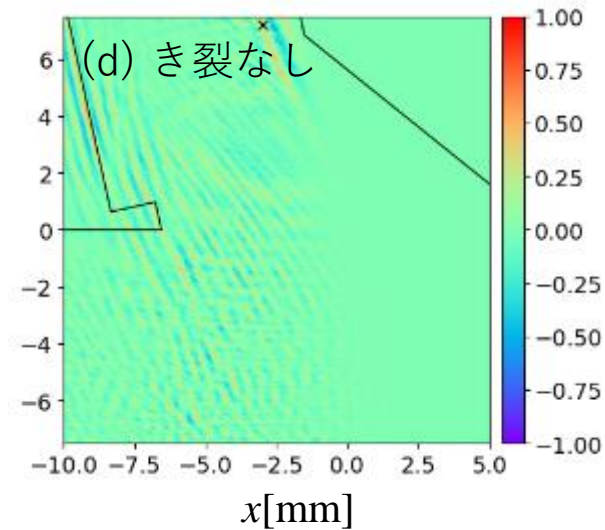
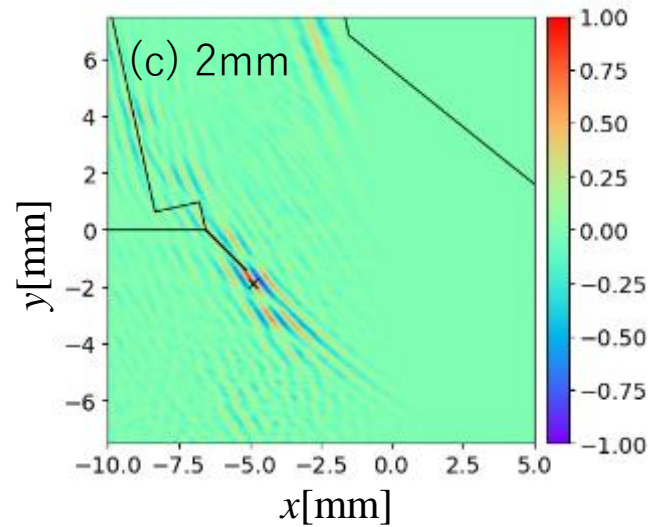
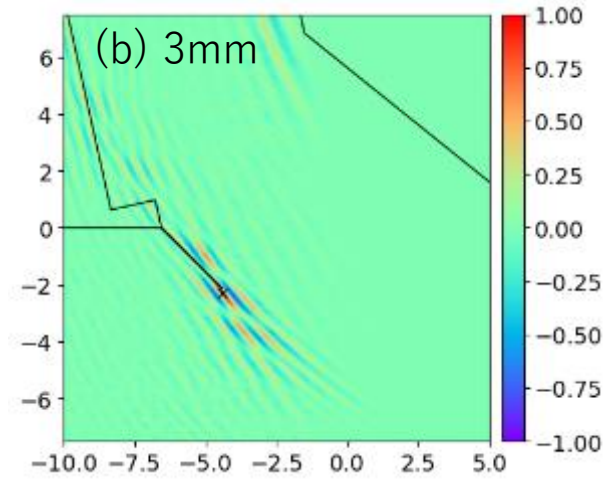
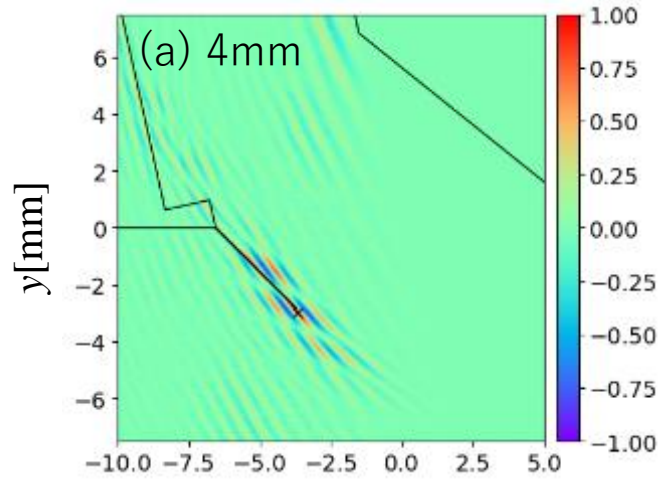
+



=



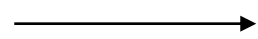
画像化結果：経路1と2の和画像



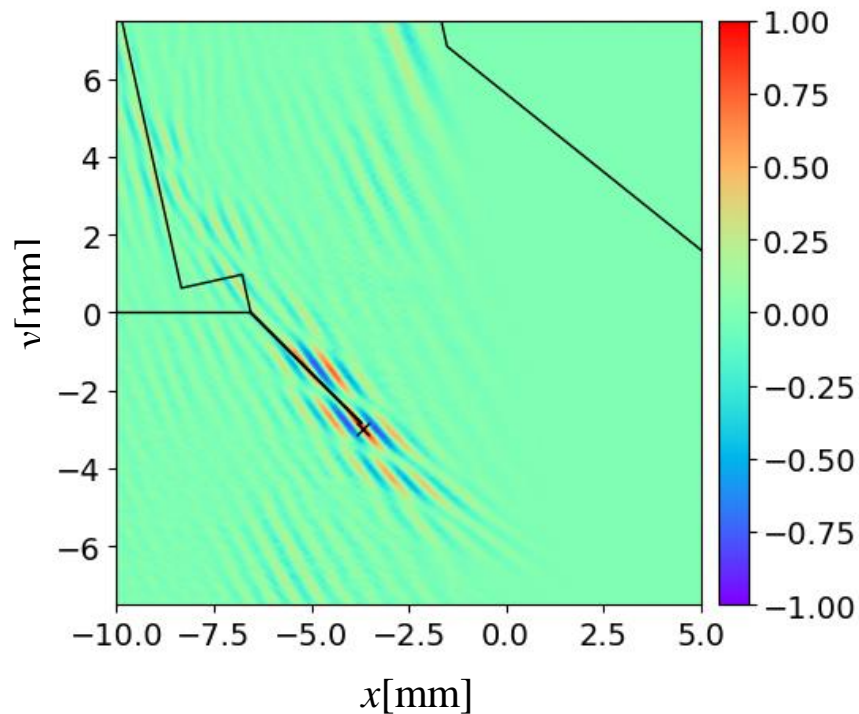
×：き裂端部の推定
(画素値が最大となる位置)

き裂端部位置の推定精度

× 最大画素値となる位置



き裂端部と推定される位置



実際の端部位置からのずれ

$$\Delta r = |(\text{実際}) - (\text{推定})|$$



き裂長さ	誤差 Δr	波長比 $\Delta r/\lambda$
2mm	0.54mm	0.6
3mm	0.18mm	0.2
4mm	0.17mm	0.19

2/3波長程度の精度でき裂端部位置が推定されている

本研究のねらい → 研究の結果

本研究のアプローチ

1. センサー設置位置の制限

- 出来るだけ広い方向から測定したい
- 種々の送受条件(センサー, 位置)を試したい



- センサータイプや 配置, エコー経路に依らず適用可能

2. 探傷結果の表示

- き裂位置を分かり易く表示したい
- き裂先端を見つけたい



- 開口合成法による画像化
→き裂面と先端位置が示される
→き裂端部を特定できる

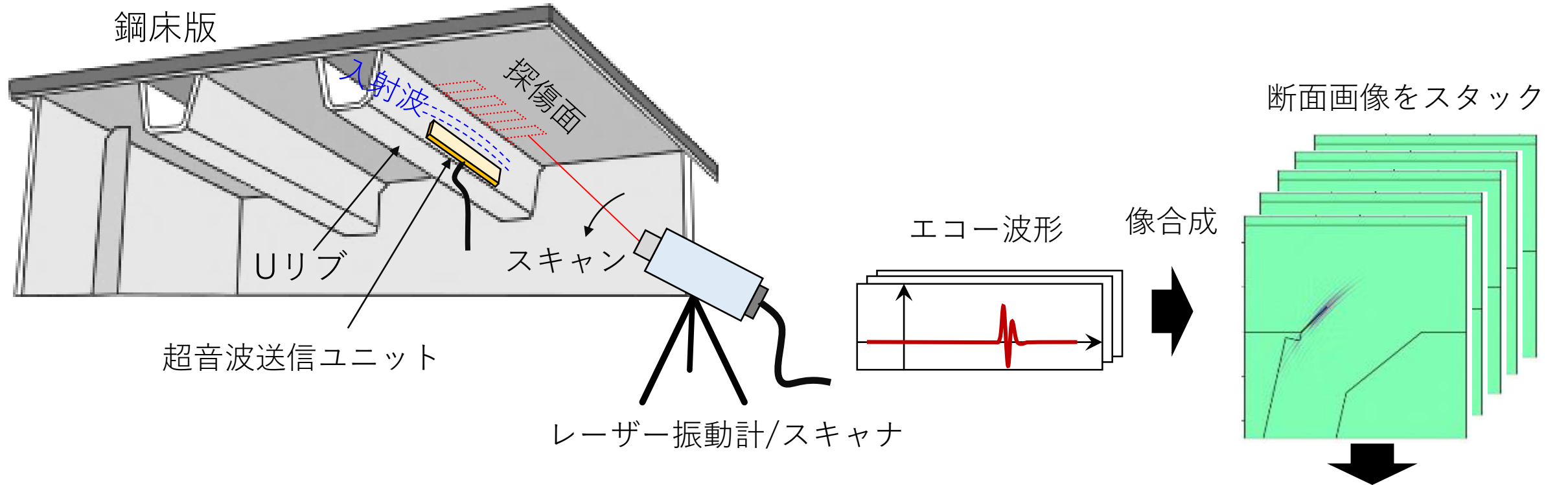
3. 探傷の効率

- 超音波測定の効率や分解能を上げたい



- レーザー振動計による受信
→高い測定点密度かつ非接触測定
(将来的な高速化の可能性あり)

将来的な活用イメージ：非接触Laser-UT



広範囲の効率的測定とき裂の高精度評価
(両立が期待できるアイデア)

ボリュームレンダリングや
VR, ARによるき裂の可視化

まとめと課題

1. 鋼床版Uリブ隅肉溶接部の疲労き裂を想定した超音波探傷実験とき裂の画像化を行った.
2. 探傷には縦波斜角探触子を送信に用い、デッキプレート板厚方向から45度傾いた模擬き裂からのエコーを透過法で計測した.
3. 画像化は二つの経路を想定して開口合成法で行い、いずれの経路でも明瞭なき裂の指示が得られた.
4. 二経路の画像を重ね合わせてき裂端部位置を推定したところ、概ね2/3波長程度の精度で端部の特定ができた.
5. 反射法の併用、最適な送受信位置と超音波モードの選択、エコー伝播経路特定の自動化、画像合成計算の効率改善が今後の課題.