

音響データによる異種金属の 超音波接合良否判定から強度予測へ

丸山 豊

(国研) 産業技術総合研究所 マルチマテリアル研究部門
部材接合研究グループ 主任研究員

2026年 2月12日 MEET UP CHUBU vol.78

北陸発イノベーション (自動化・省力化) / モビリティMap-NAGOYA

NATIONAL INSTITUTE OF
ADVANCED
INDUSTRIAL
SCIENCE &
TECHNOLOGY

界面酸化皮膜除去し、ハンダフリーなので

低抵抗で強固な接合可能 ⇒ EVバッテリー等の電極・端子製造に適用

超音波接合

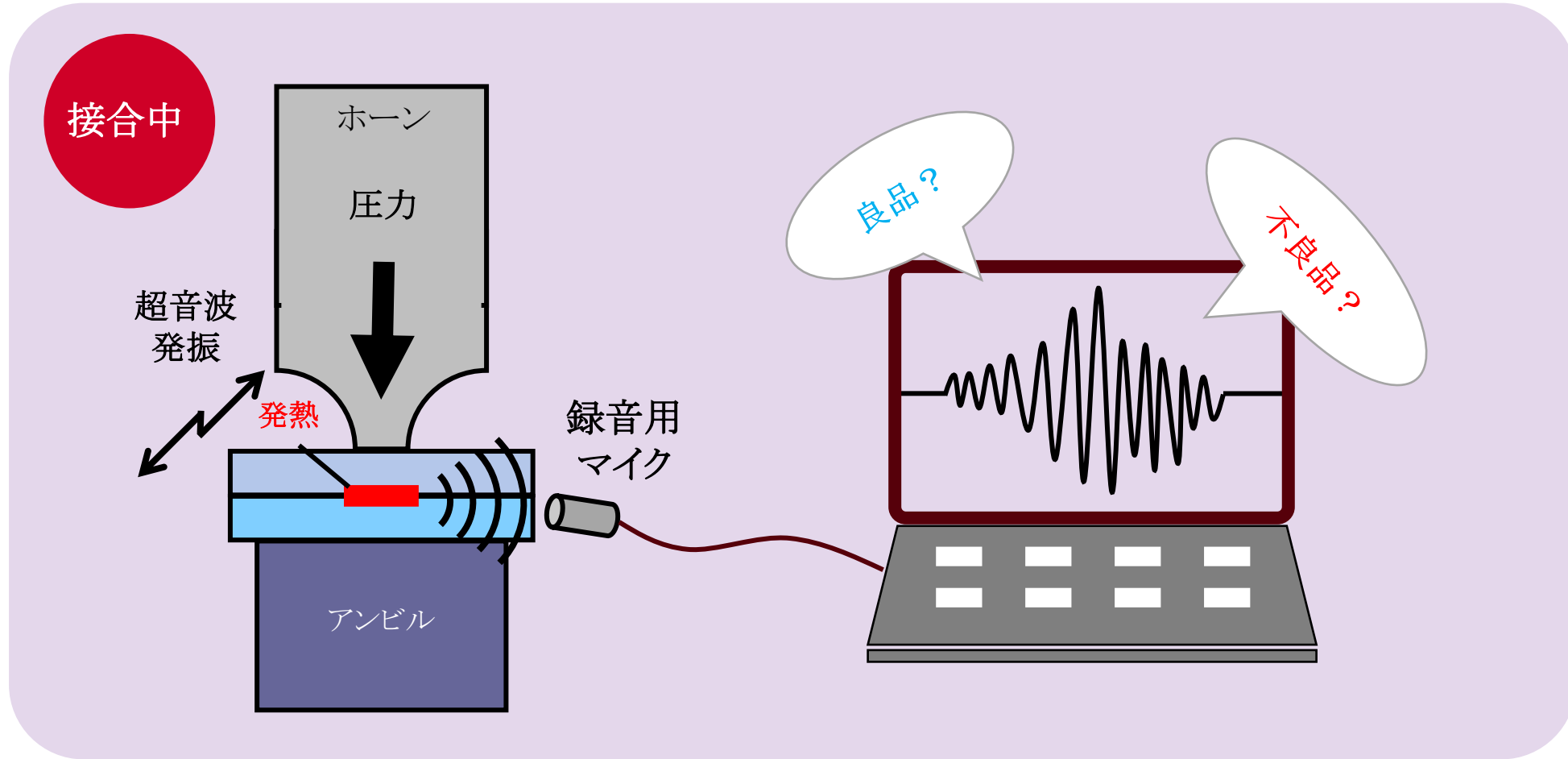
品質保証を得るために・・・

⇒CT検査装置：高額で検査も **高コスト**（手間と時間）

「低コスト接合強度その場迅速予測手法」が必要

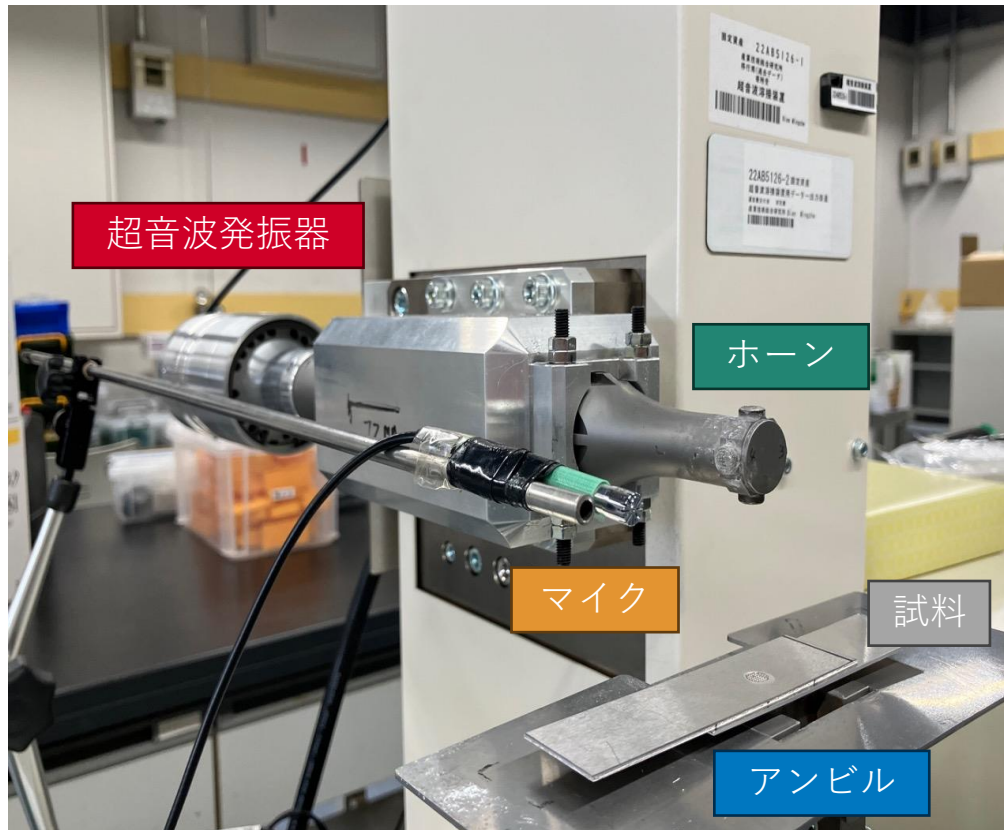
音響データがよさげだが、強度データと併せて取得するには膨大な数の**実験**
一気に強度予測は難しい・・・

まずは、接合良否を音響データだけで判定できるか？

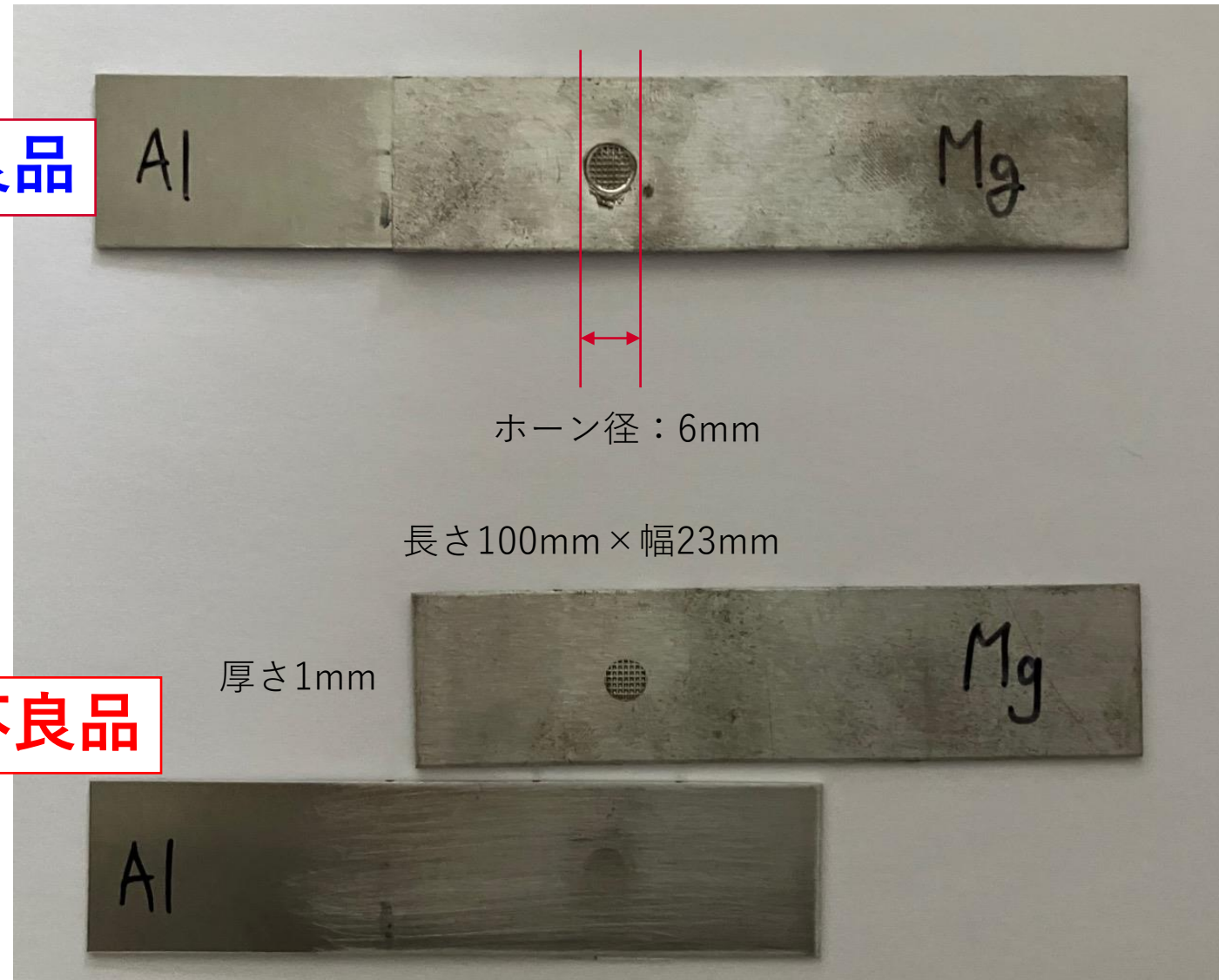


音響データの違いを数値解析により明確化、結合良否判定

接合装置と接合試料（良品と不良品）

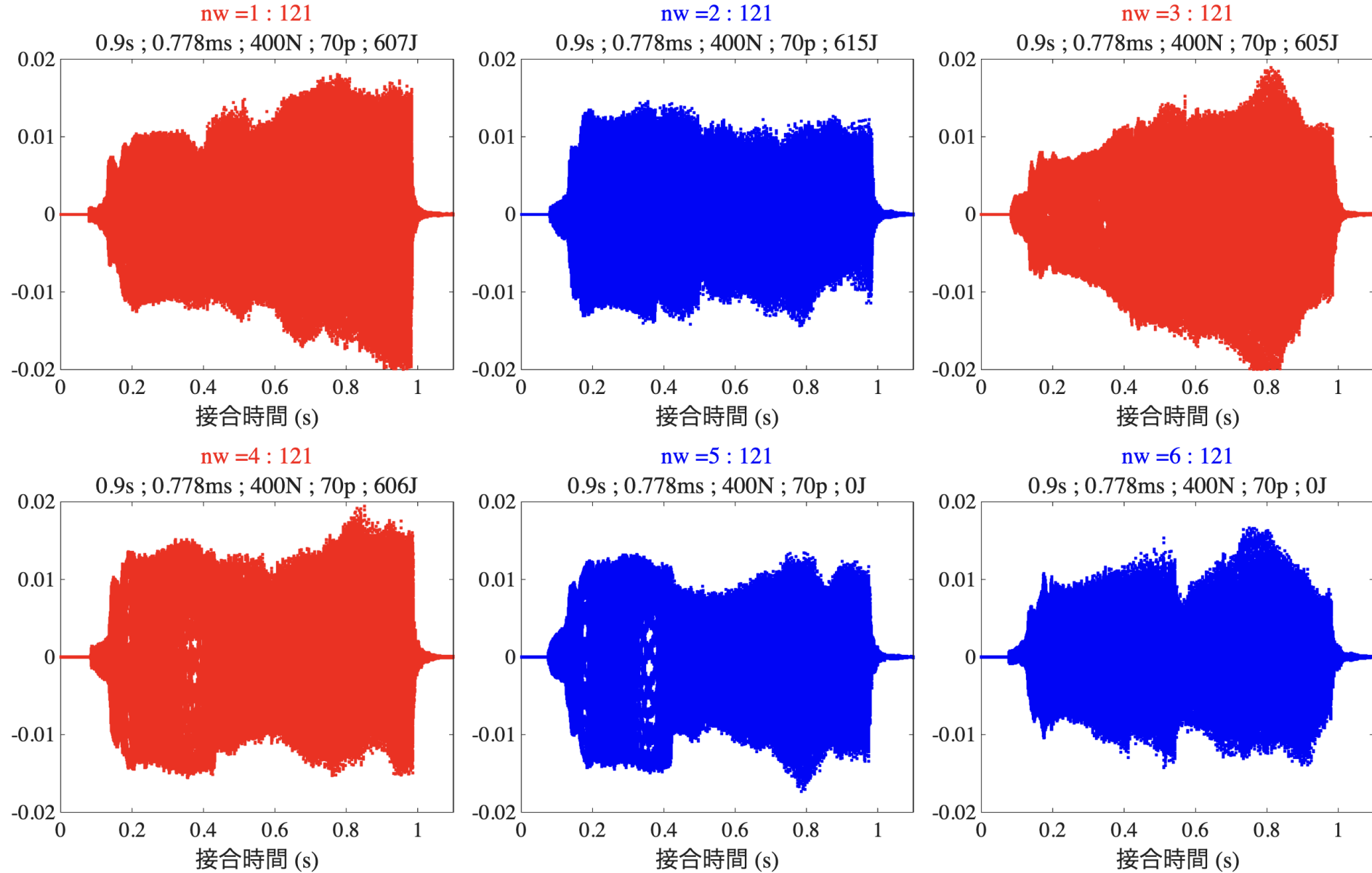


良品

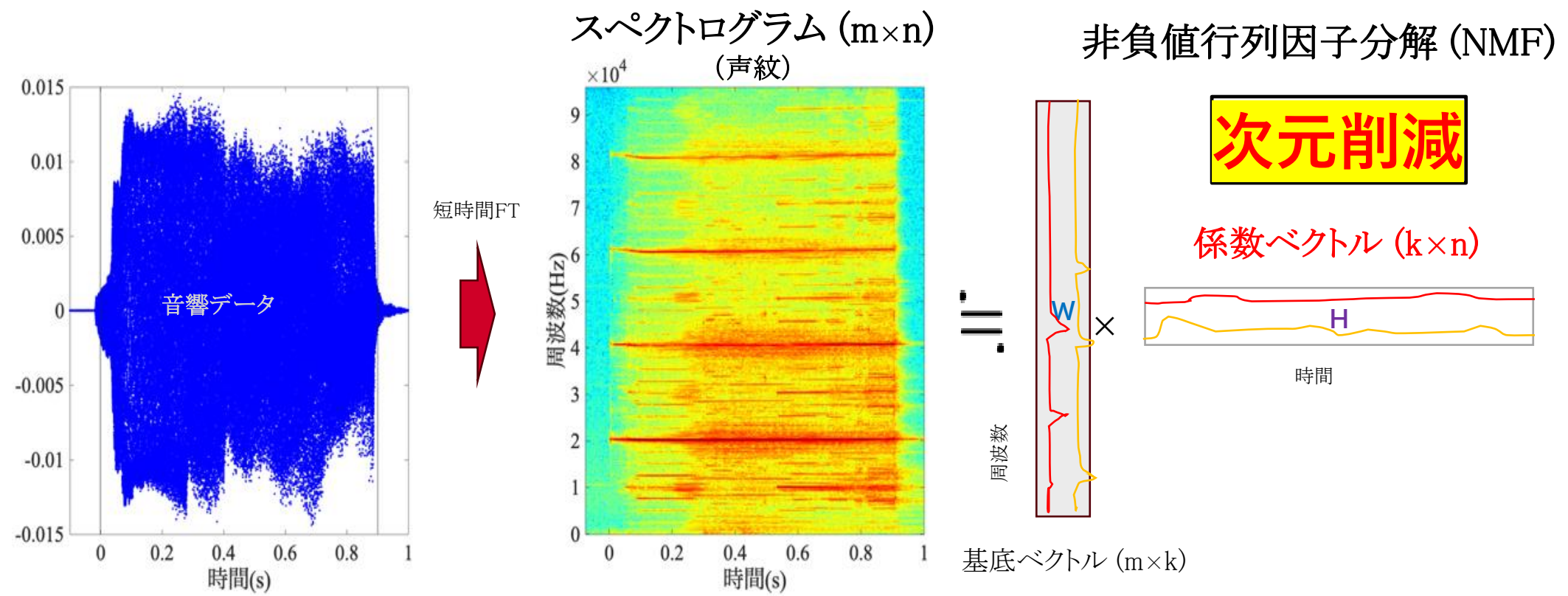


不良品

取得音響データの例



※超音波発振器周波数：20kHz



音響データの違いを数値解析(スペクトログラム+NMF)により明確化

係数の違いを各種統計学的距離を用いて評価、比較

ユークリッド、マンハッタン、チェビシェフ、ミンコフスキー、マハラノビス、

$$d(p, q) = d(q, p) = \sqrt{(q_1 - p_1)^2 + (q_2 - p_2)^2 + \dots + (q_n - p_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - p_i)^2}$$

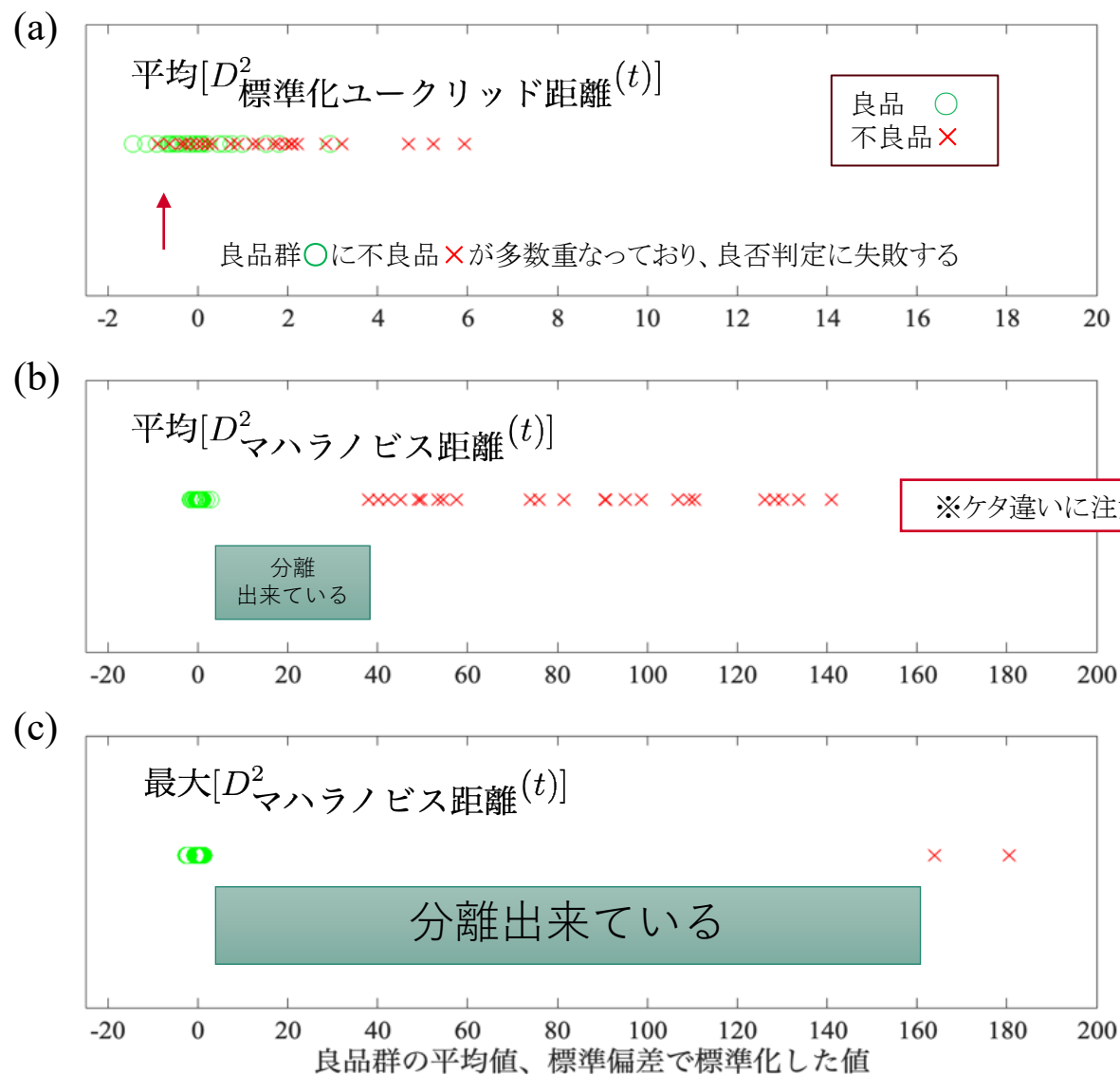
$$D_1(x, y) = \sum_{k=1}^n |x_k - y_k|$$

$$D_{Chebyshev}(p, q) := \max_i (|p_i - q_i|)$$

$$D_{xy} = \left(\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^p \right)^{\frac{1}{p}}$$

$$D_M(x) = \sqrt{(x - \mu)^T \Sigma^{-1} (x - \mu)}$$

マハラノビス
距離がGood!



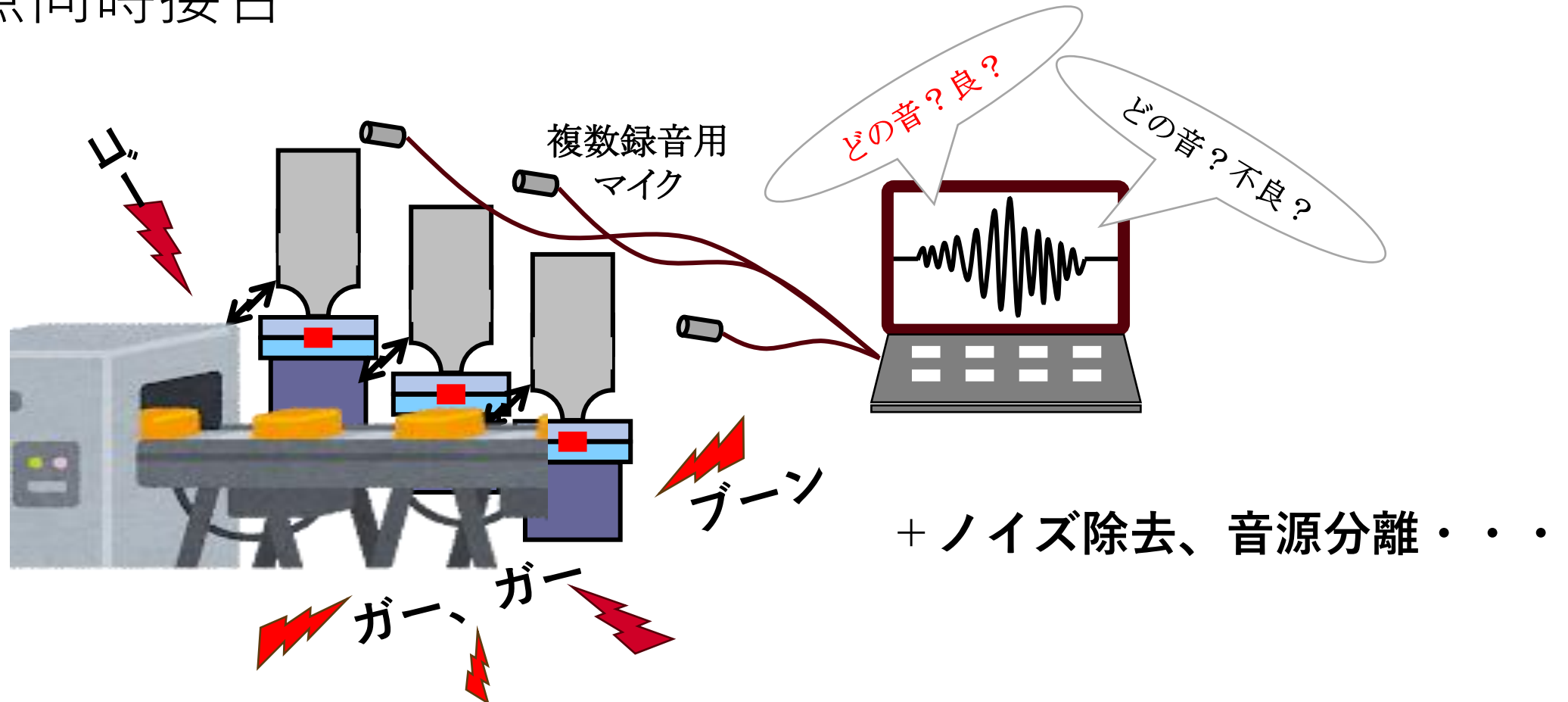
※スペクトログラムの解像度により「平均」と「最大」は前後する場合あり

- 研究室環境に過剰適応した **ブラックボックス** 化された手法？

- ✓ **ノイズの少ない綺麗なデータセット**
- ✓ **解釈性、説明性が無い**

- 製造現場でホントに使える技術なのか？
- 解釈性、説明性 ⇒
 新たな「**気づき**」に繋がり、生産性向上に寄与？
- 大量の強度情報付き音響データセットの取得は必須だが、急がば回れの可能性？

- 製造現場（ライン）の環境：ノイズ + 音響データ測定
- 多点同時接合



研究室環境とは大きく離れた環境でのデータ取得

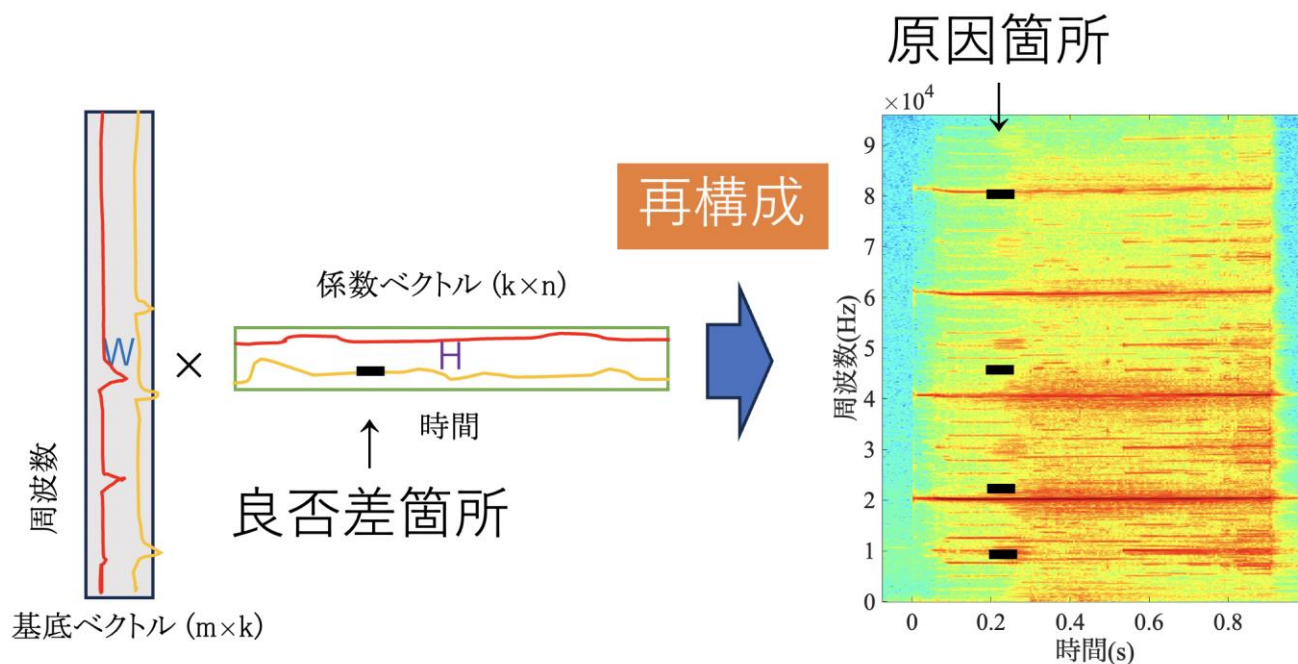
実は

振幅スペクトログラムのNMFは物理的な根拠に乏しい

- 音は重ね合わせで表現されるが「振幅」と「位相」が大事（複素振幅）

弱点

NMF分解



- 複素化ベクトルの重ね合わせで不良原因箇所（時間と周波数）表現

解釈性を得るためには正しい音の違いとして再構成

まずは、音響データによる**良否判定可能**なことを示した

使える**強度予測技術**にするためには

強度情報と結びついた多数の音響データ

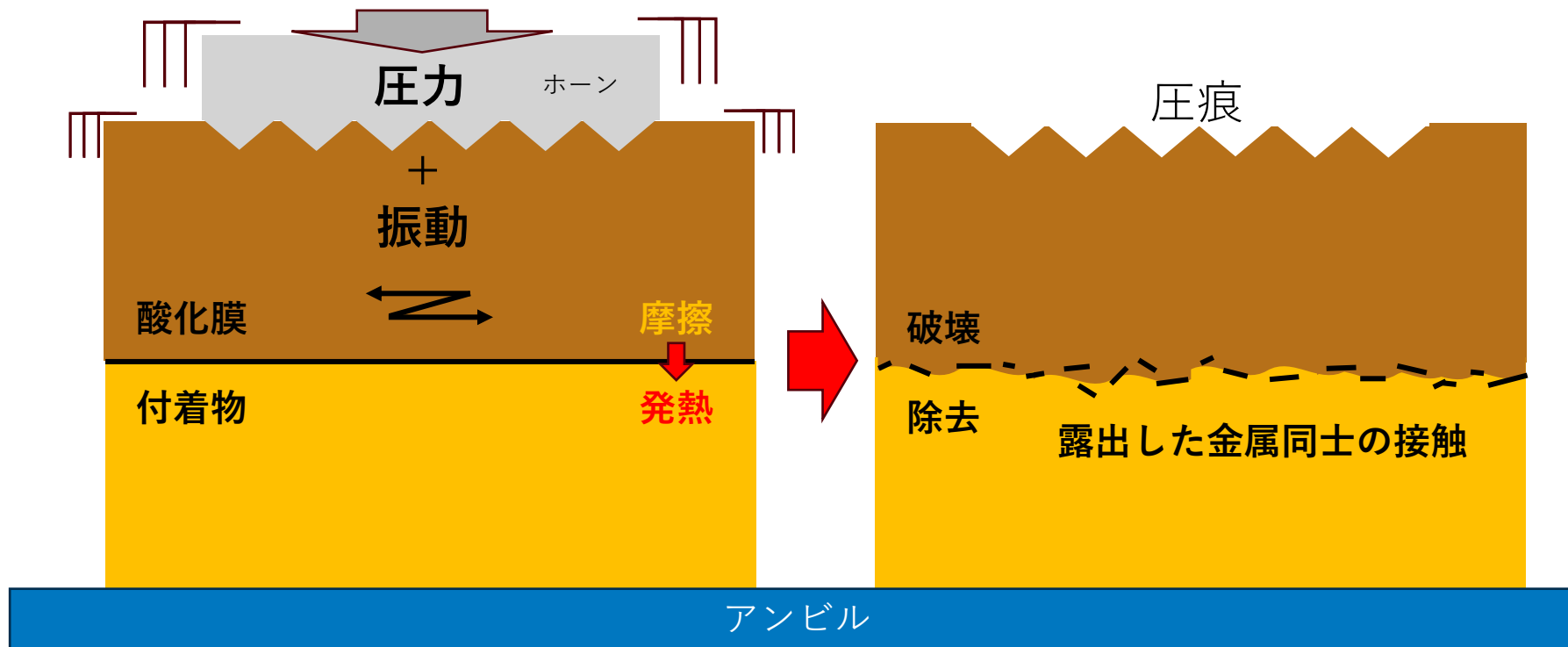
必須!

- ブラックボックス化を避け、解釈性・説明性を獲得
- 現場、製造ライン環境にも耐えられる総合的な解析

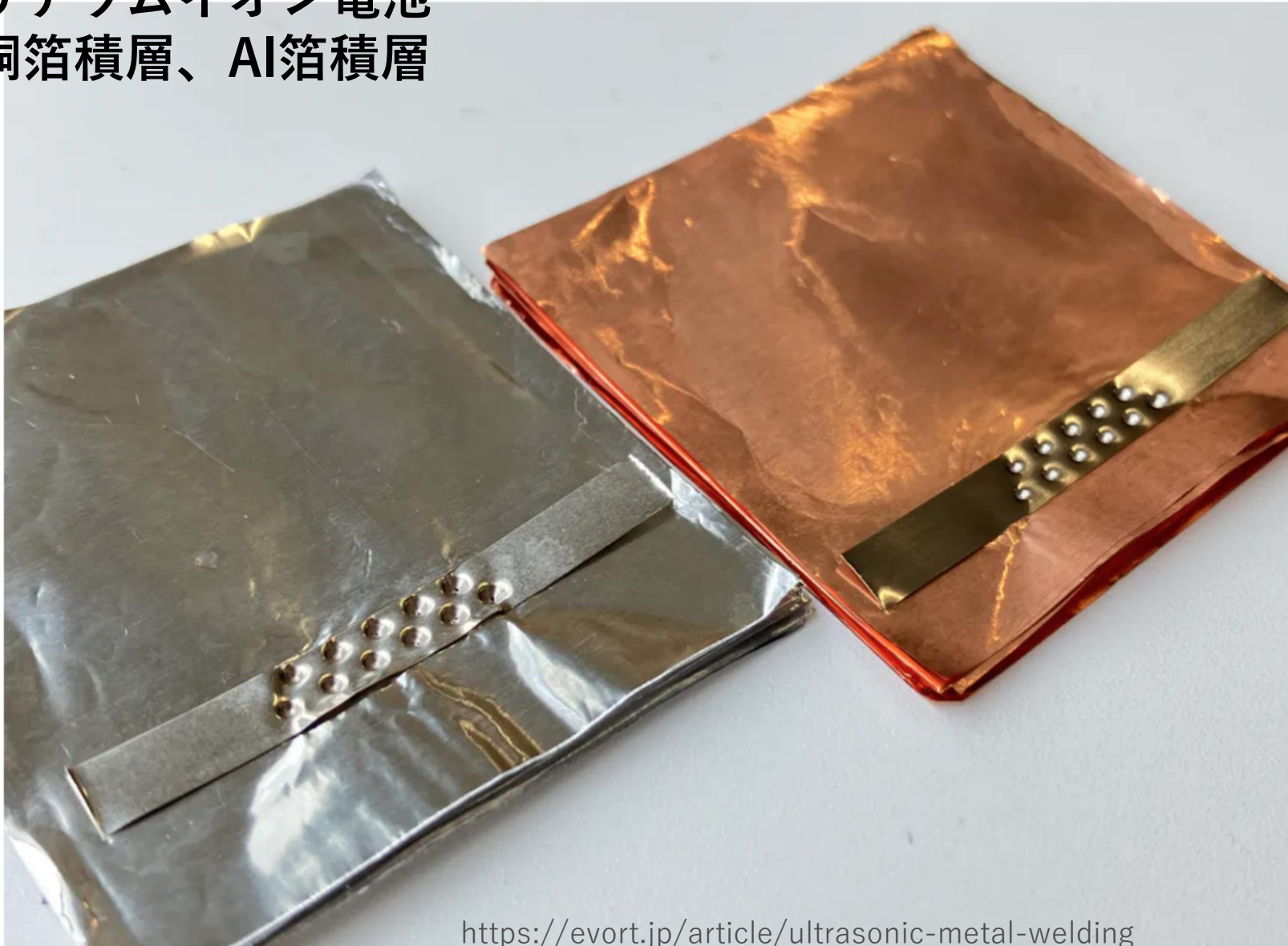
の視点から共に取り組んでいただける製造企業との連携を希望します!

参考

- 超音波発振器先端の**ホーン**を試料に押し当て
- 振動（摩擦＋熱）により金属表面の酸化皮膜等を破壊、除去
- フレッシュな金属原子表面同士の強固な結合形成



リチウムイオン電池 銅箔積層、Al箔積層



<https://evort.jp/article/ultrasonic-metal-welding>