

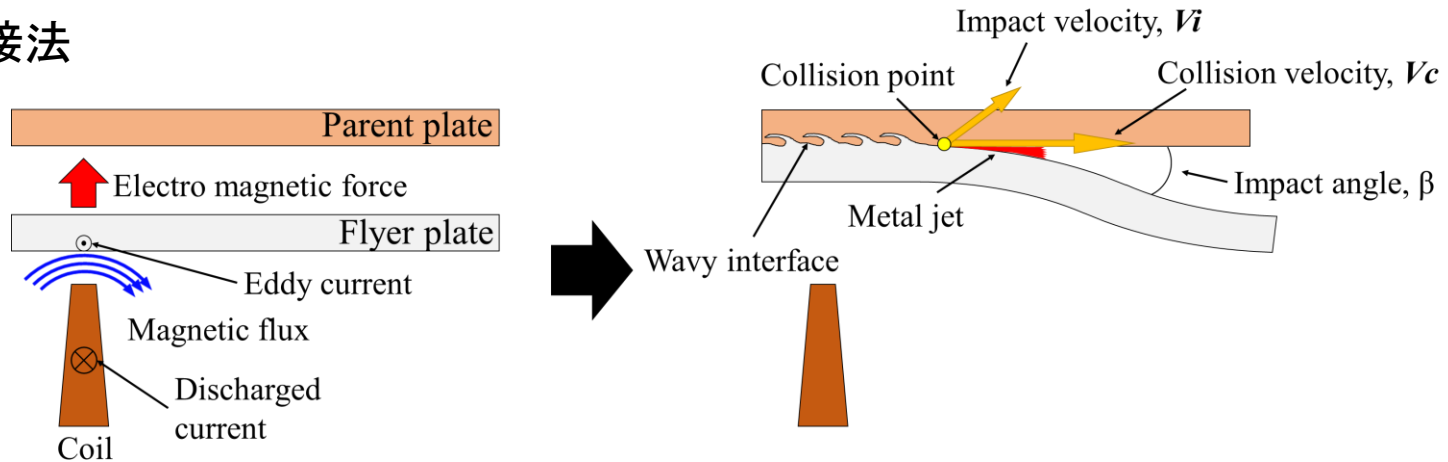
同種・異種金属電磁圧接材の波状界面 形態を支配する諸因子の探索

元東京工業大学 物質理工学院 材料系
(現日本軽金属株式会社)

木村慎吾

電磁圧接法とその特徴

■ 電磁圧接法

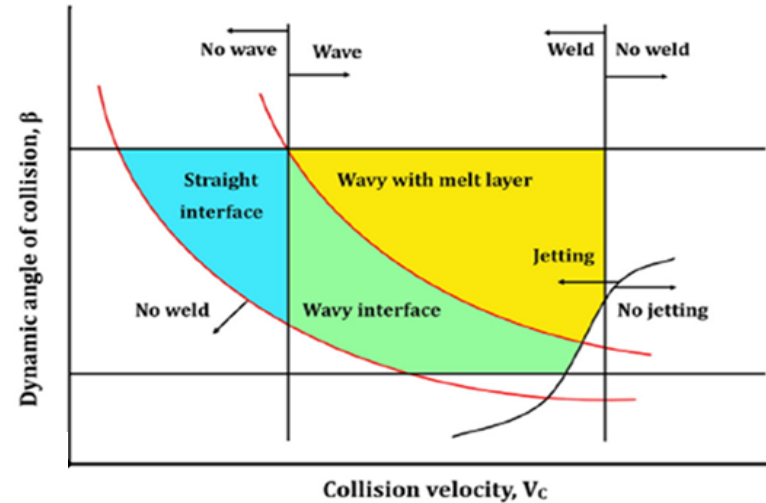


- ✓ 電磁力を用いて金属板を飛翔させ高速で傾斜衝突させることで接合を得る衝撃圧接法の一つ
- ✓ 数 μ 秒から数十 μ 秒という極短時間で接合が可能
- ✓ メタルジェットによって表面層を吹き飛ばすため特別な表面処理が不要
- ✓ バルクの温度上昇がほとんどない
- ✓ 接合界面に特徴的な波状模様が形成, 金属の組合せによっては合金化領域や中間層を伴う



強固に接合された健全な同種・異種金属接合を実現するために接合界面形態の制御が重要

- ✓ 主に接合する際の衝突速度(V_i)あるいは衝突点移動速度(V_c)および衝突角度(β)によって接合の可否や波状界面の有無が支配
(Welding windowによって整理)



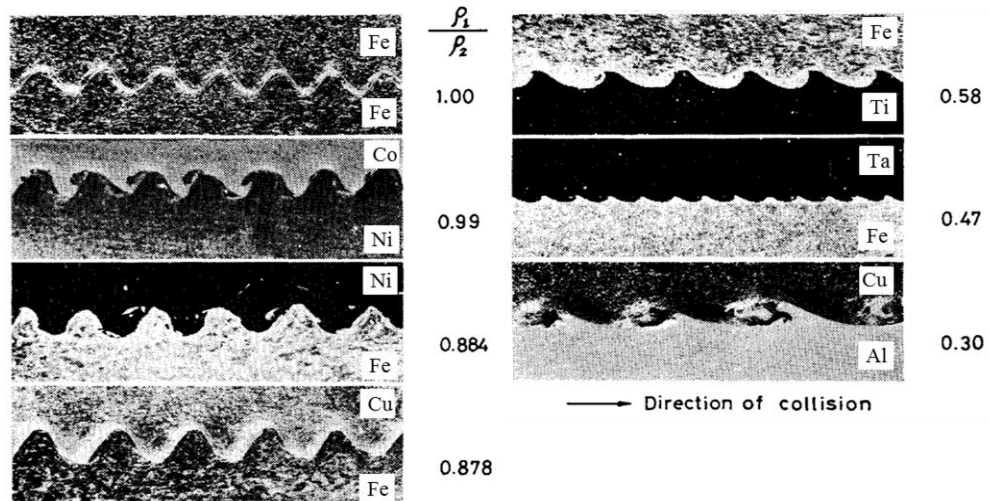
[ref] M. M. Hoseini et.al. Mater Des., 86(2015), 516-525.

- ✓ 接合できる条件や波状界面形態の特徴は接合する金属の組合せによって変化(主に密度差に依存)



密度差が小 → 正弦波状

密度差が大 → トリガー状



[ref] Onzawa et. al Trans Japan Weld Soc., 6(1975), 18-24.

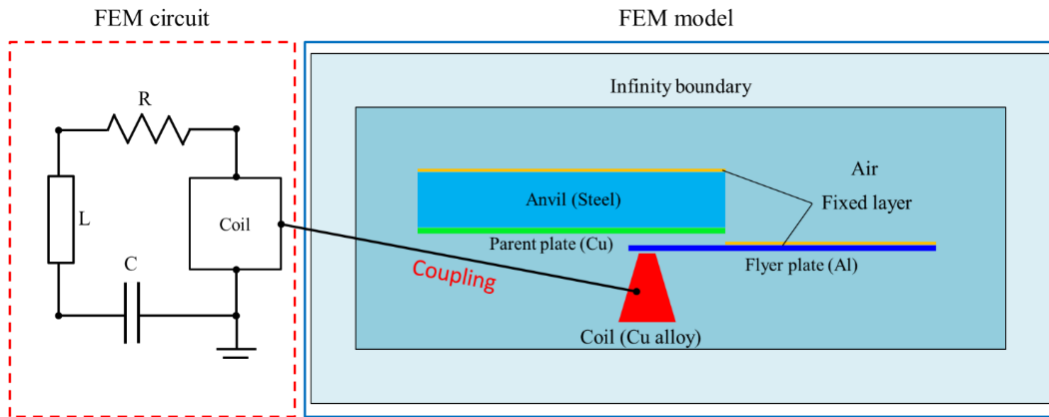
- ✓ 波状界面形態は主に衝突速度, 衝突角度および被接合金属の密度差に支配
- ✓ しかし, 薄板などを用いる電磁圧接では上記以外の他の因子(接合板の厚さや質量、表面状態等)が波状界面の形成条件, 波の大きさや接合強度に及ぼす影響について調査することが重要



本研究の目的

実験と数値解析を組み合わせ、極短時間に起こる接合界面での波状界面の形成や急激な温度上昇および冷却現象を明らかにすることにより、電磁圧接界面形態に及ぼす諸因子の影響について探索する

■ Model 1: 電磁場-構造連成解析 (ANSYS/Emag-mechanical)



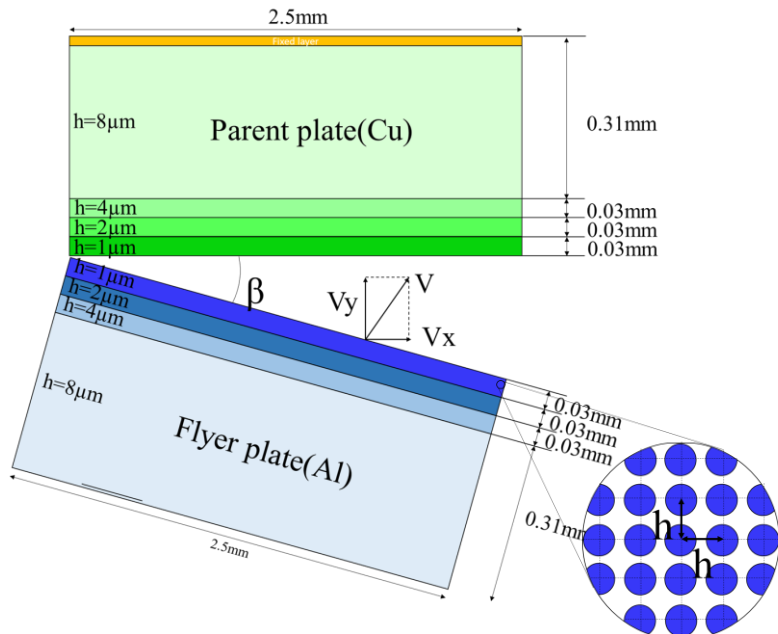
回路解析からコイルに流れる電流を計算

磁場を計算

電磁力を計算

衝突速度 (V) と衝突角度 (β) を算出

■ Model 2: 衝突解析 (ANSYS/Autodyn)



✓ 板材が高速衝突する過程を解析

✓ 粒子法 (SPH法) を用いており, メッシュ形状による制限がないため大変形の解析に非常に適している

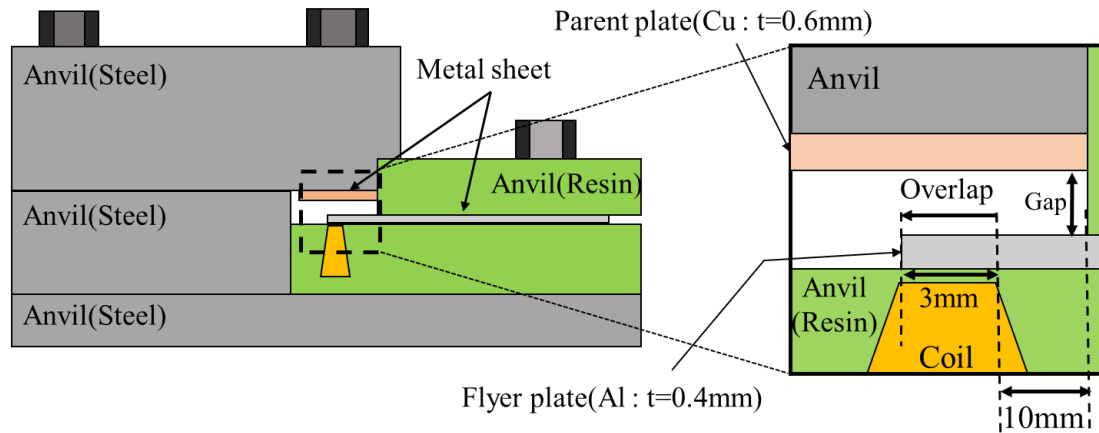
✓ **メタルジェットの放出挙動, 波状界面の形成過程, 物質分布, 温度分布などを再現**

h : 平滑化長さ
(メッシュサイズに対応)

Flyer plateの板厚がAl/Cuの接合界面形態に及ぼす影響

□ 目的

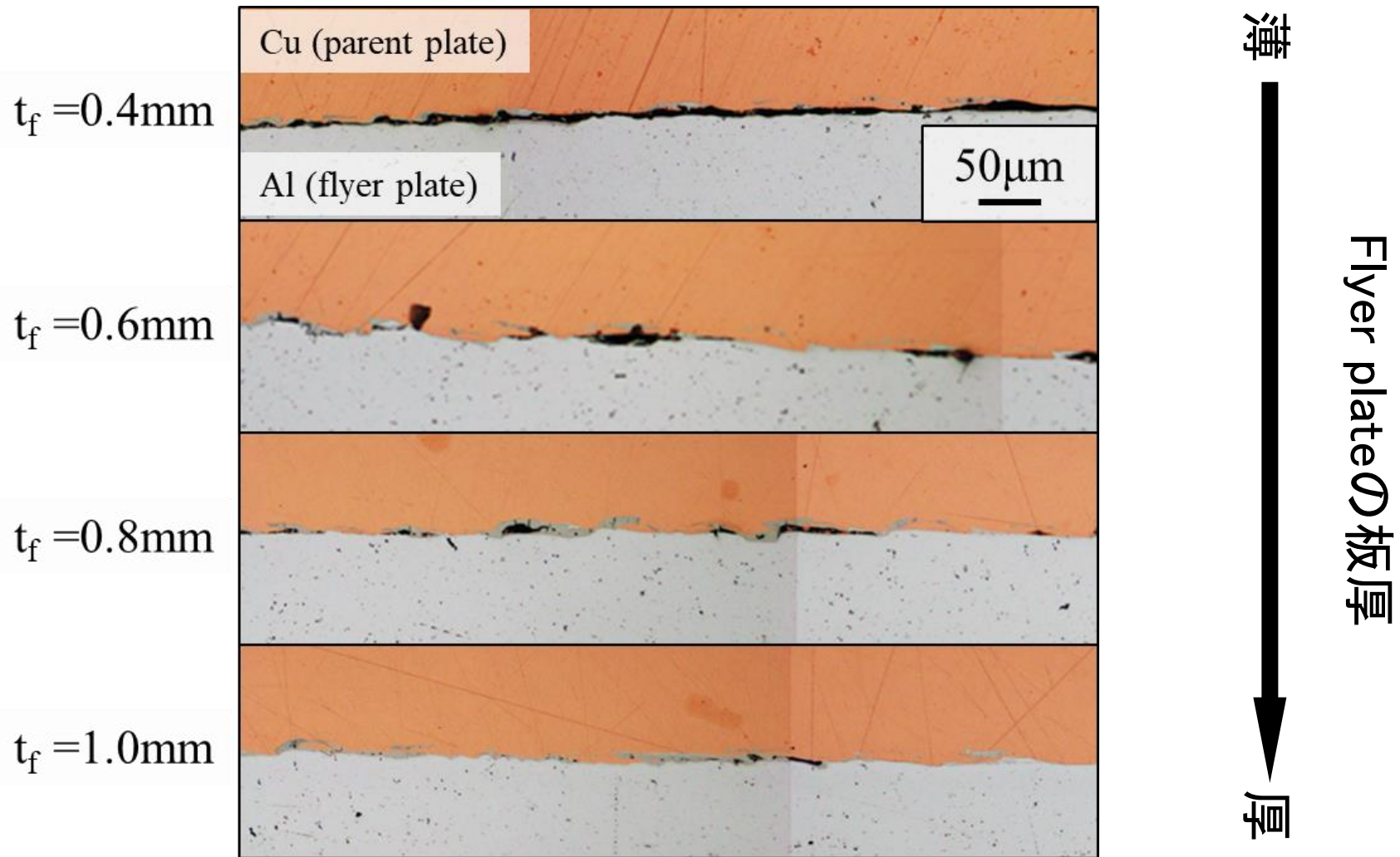
- ✓ 衝突時の運動エネルギーが接合界面形態に及ぼす影響を調査



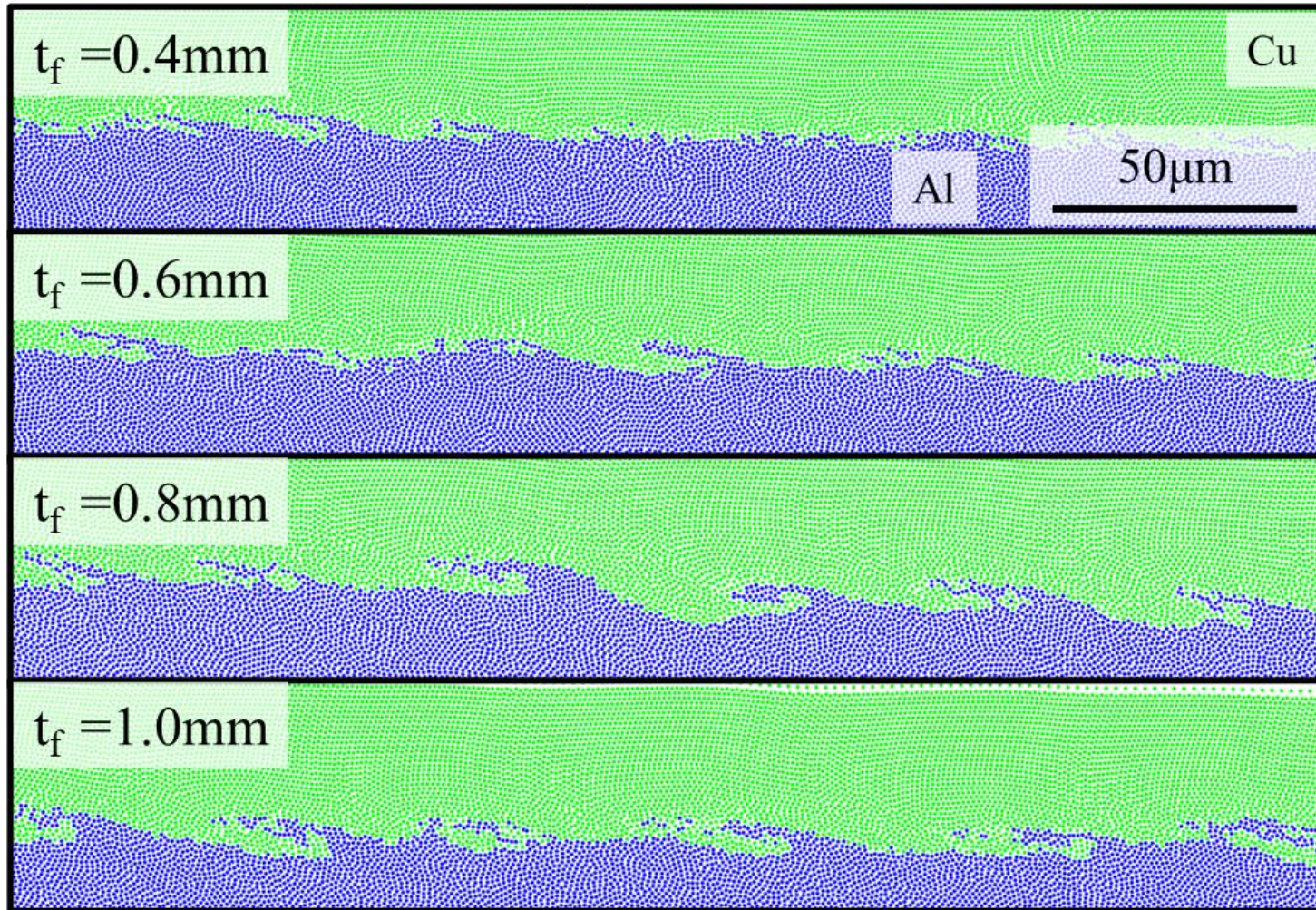
□ 実験条件

Flyer Plate Thickness (mm)	Gap (mm)	Charging voltage (kV)	Impact Angle (°)	Impact Velocity (m/s)
0.4	2.4	12.25	14.3	375
0.6	1.8	14.15	14.5	354
0.8	1.5	16	14.0	372
1.0	1.5	19	14.3	402

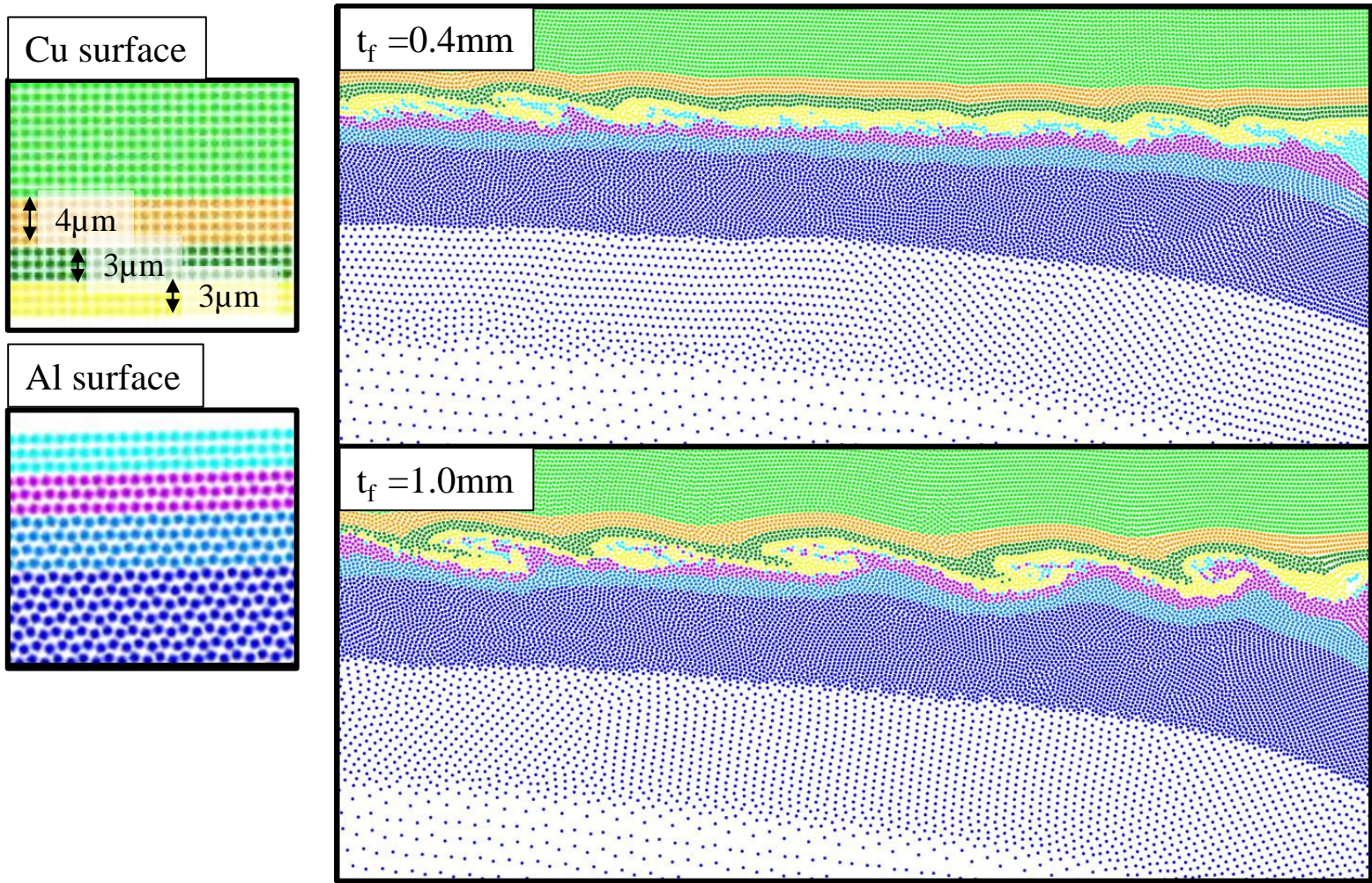
- ✓ Al板をFlyer plateとして板厚を系統的に変化



- ✓ 全ての条件においてトリガー状の波状界面が形成
- ✓ Flyer plateの板厚が増加するほど波のサイズが大きくなっていた

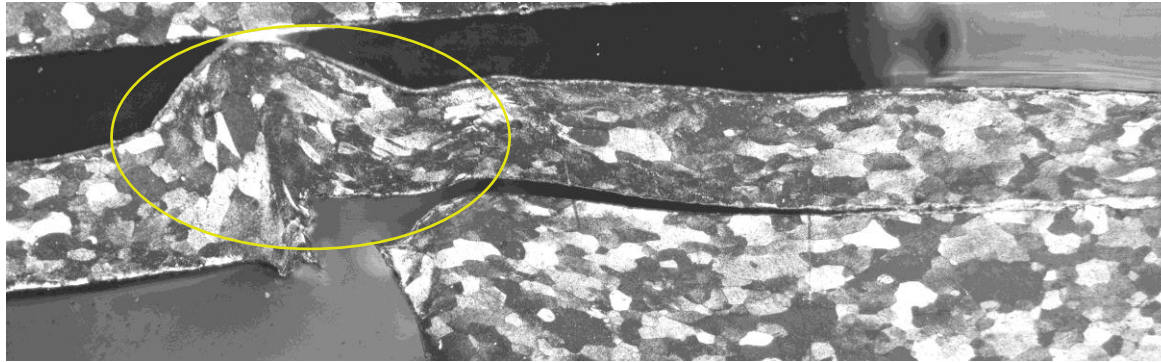


- ✓ 全ての条件においてトリガー状の波状界面が形成
- ✓ Flyer plateの板厚が増加するほど大きなサイズの波が形成
⇒ 実験結果と良い一致を示している



- ✓ 衝突直後残存エネルギーは最大層増幅色の遷移の数の減少が特徴的である条件では少ない
- ✓ 波の幅と波の枚数の増加の量もわずかに増える方が大きいが渦を巻くような物
- ✓ 衝突直後が顕著であるジェットの入り込みの増加によって波のサイズが増加

■ 背景



- ✓ 電磁圧接ではParent plateが衝突中に大きく変形してしまう場合がある
- ✓ 衝突中にこのような大きな変形が起こる場合、衝突速度や衝突角度の変化や衝突エネルギーがParent plateの変形に消費されることが考えられる

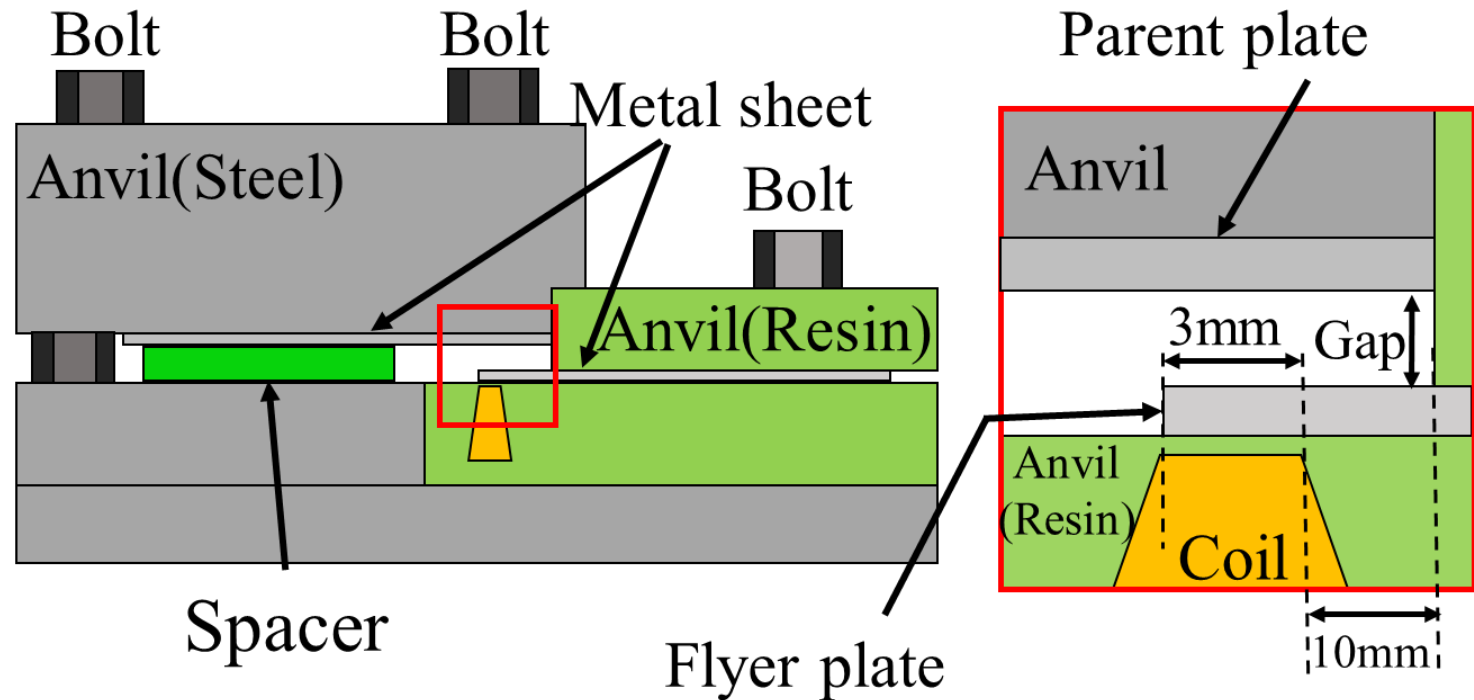


■ 目的

Parent plateの板厚を変化させることでParent plateの変形能を変化させ、Parent plateの変形が接合界面形態に及ぼす影響を調査

■ 対象

- ✓ 変形しやすいAlのO材をParent plateとしたAl/Al同種接合材



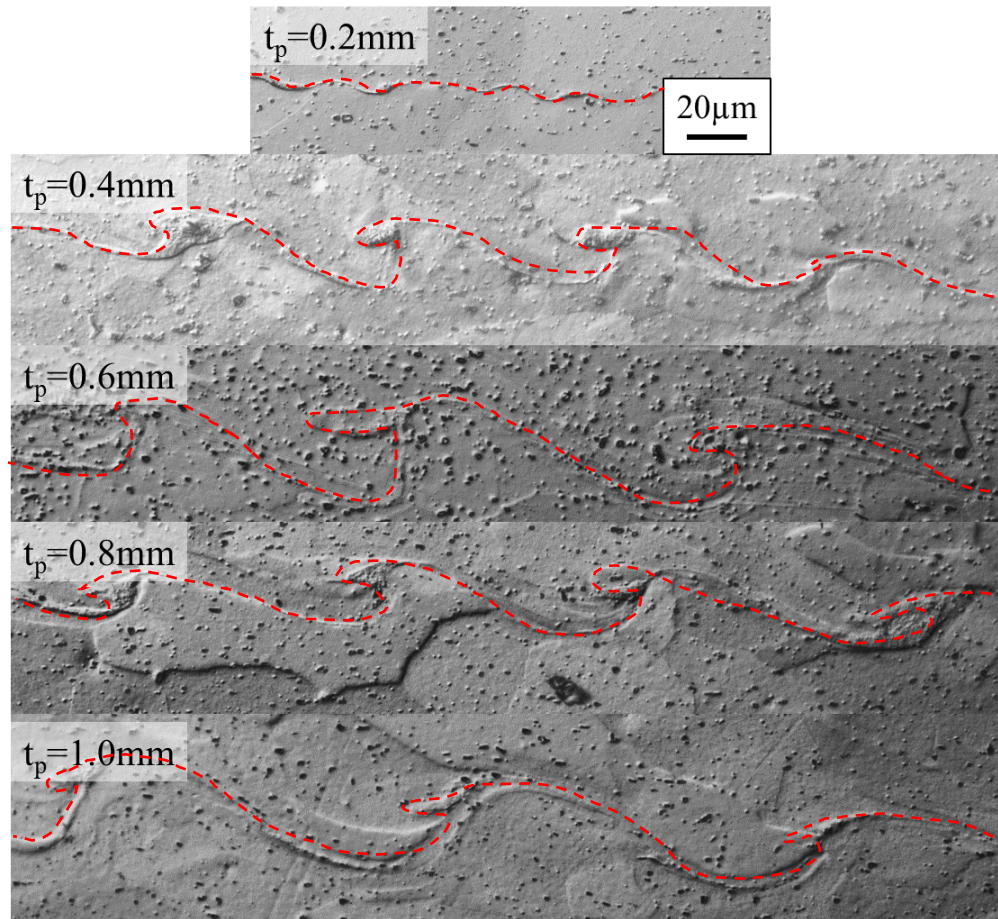
Overlap:3mm

CE:4kJ

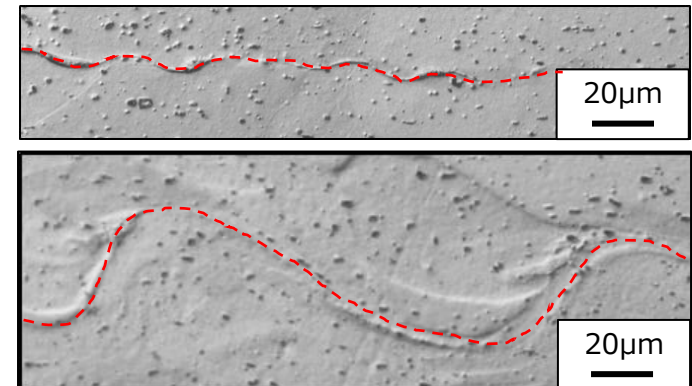
Gap:2mm

Flyer plate : A1050-O($t=0.4\text{mm}$)

Parent plate : A1050-O($t=0.2\sim 1.0\text{mm}$)



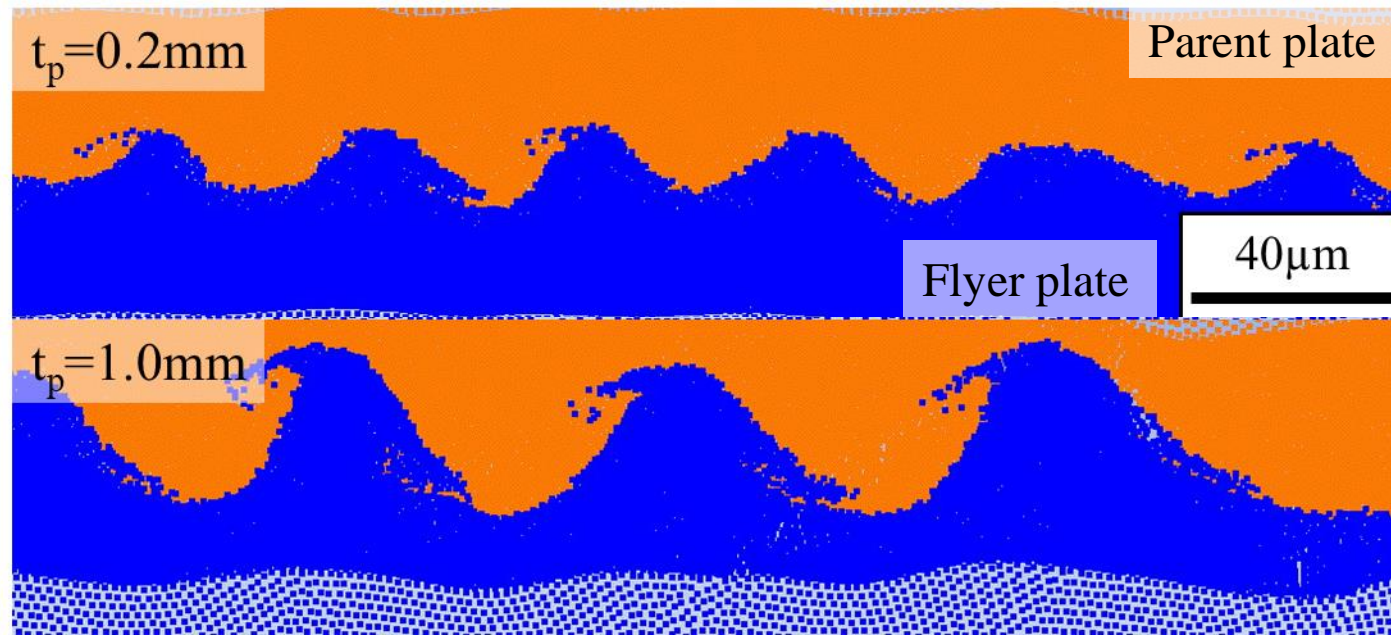
$t_p=0.2\text{mm}$ および $t_p=1.0\text{mm}$ における
波状界面の比較(AI/AI接合材)



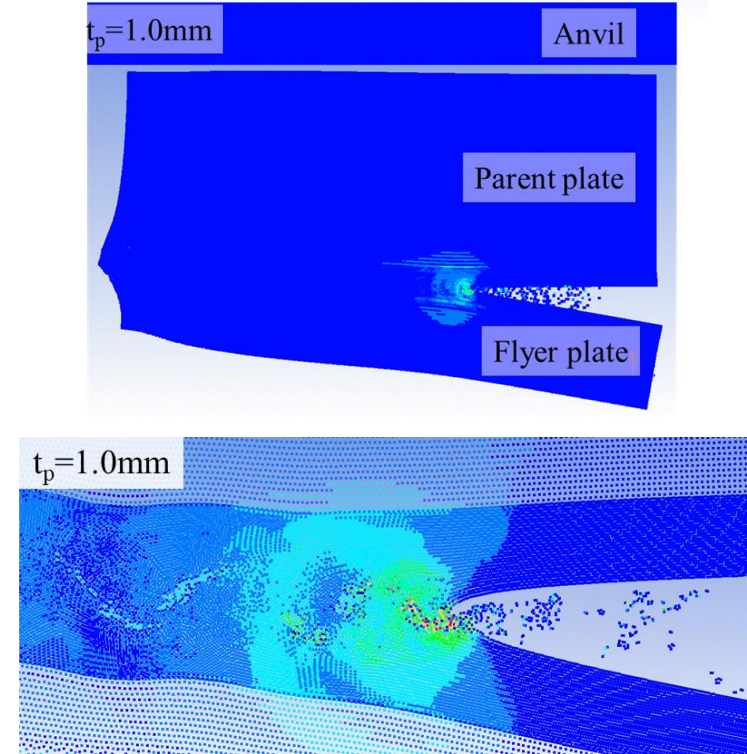
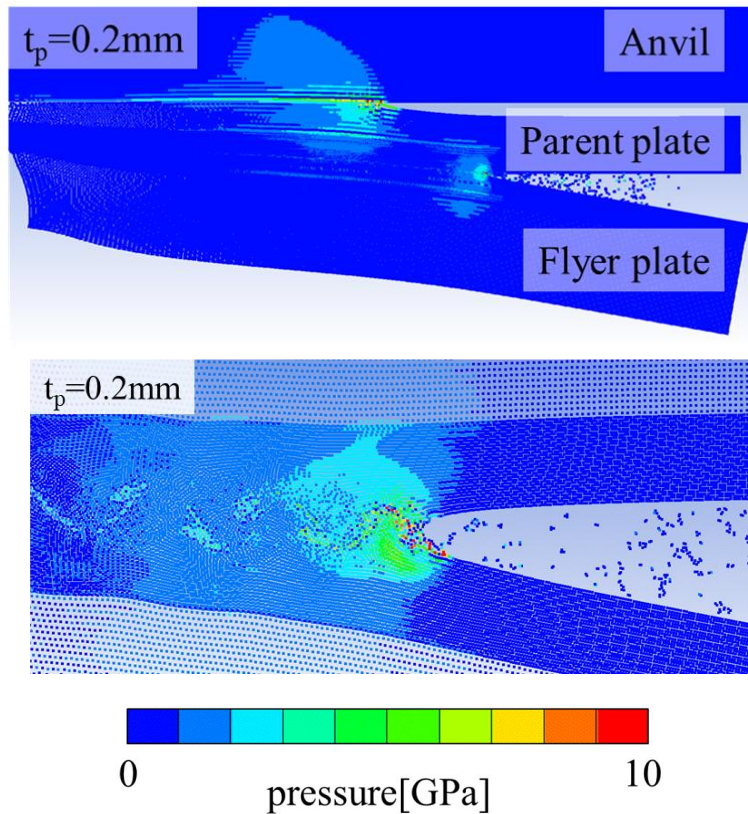
- ✓ t_p が薄い程接合界面に現れる波が小さくなる



形成される波の大きさが変化した理由を調査するため数値解析を実施



- ✓ 数値解析結果においてもParent plateの板厚が厚くなるほど波が大きくなっていった



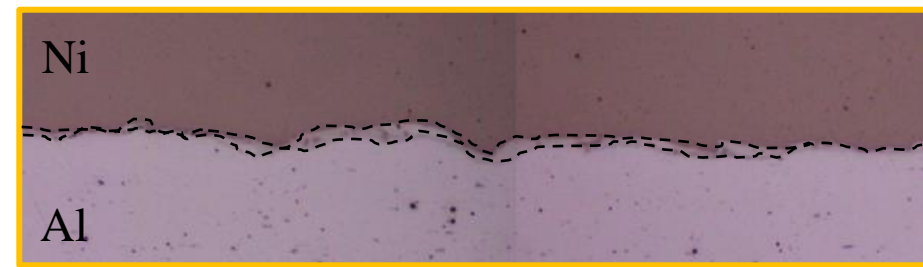
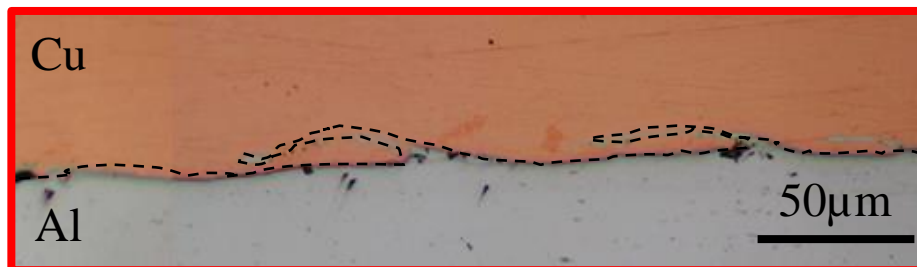
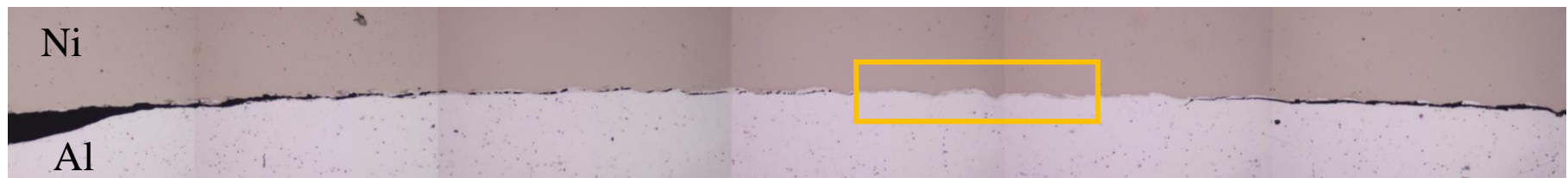
- ✓ Parent plateが薄い場合、Parent plateとAnvilの間で衝突が起こり大きな圧力上昇が発生
- ✓ 衝突点近傍の圧力上昇領域はParent plateが薄い条件の方が狭くなっていた



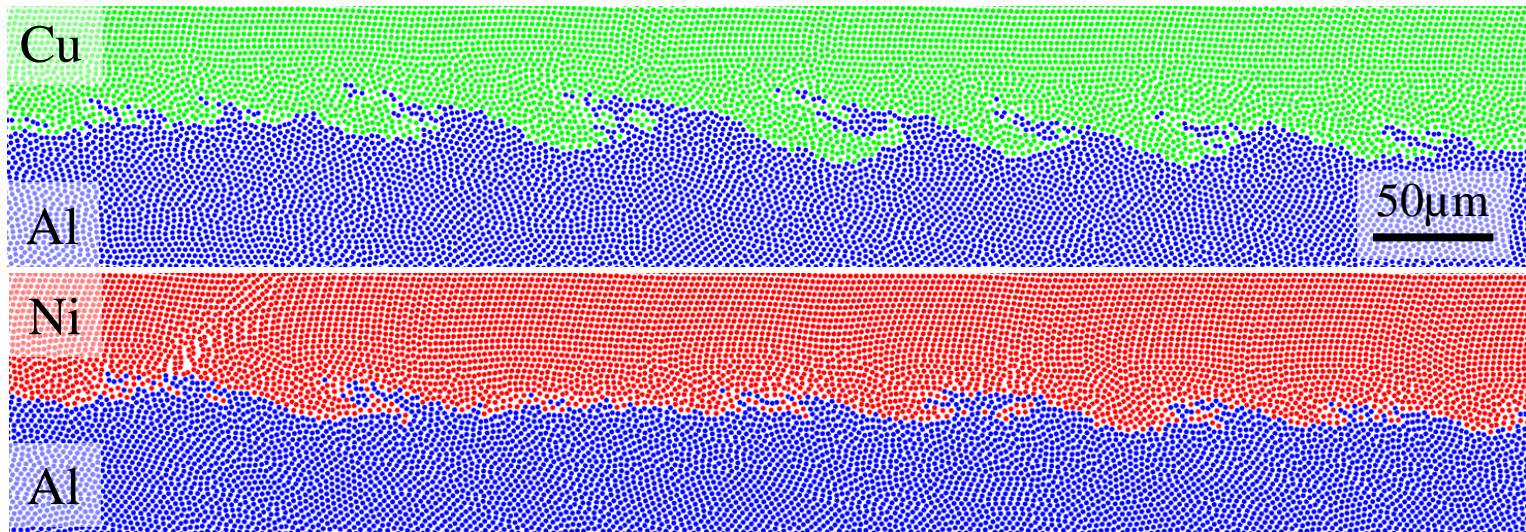
Parent plateの変形によってエネルギーが消費された結果、衝突点にかかる力が減少し、形成される波が小さくなった可能性

- ✓ Al/CuとAl/Niの2つの組合せで電磁圧接
→ 金属の密度差はほぼ同じだがParent plateの硬さが異なる

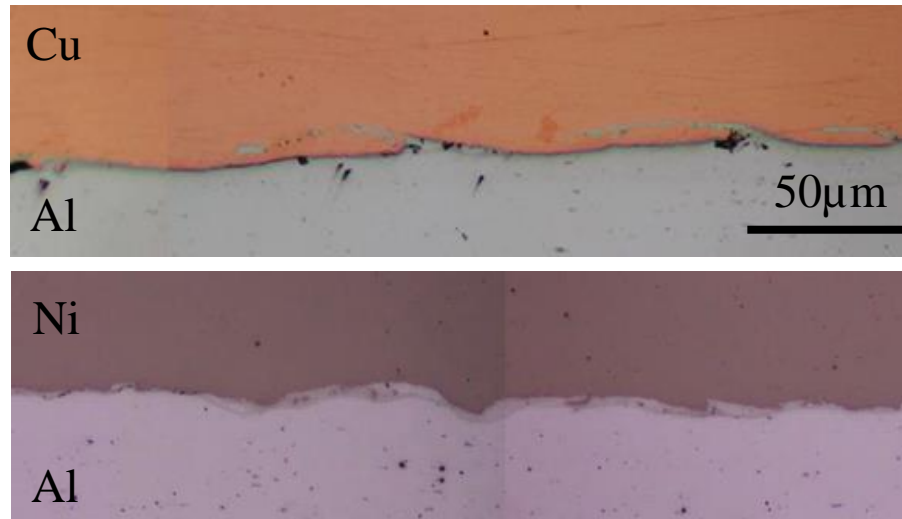
Vickers hardness
Cu : 76.9HV
Ni : 181HV



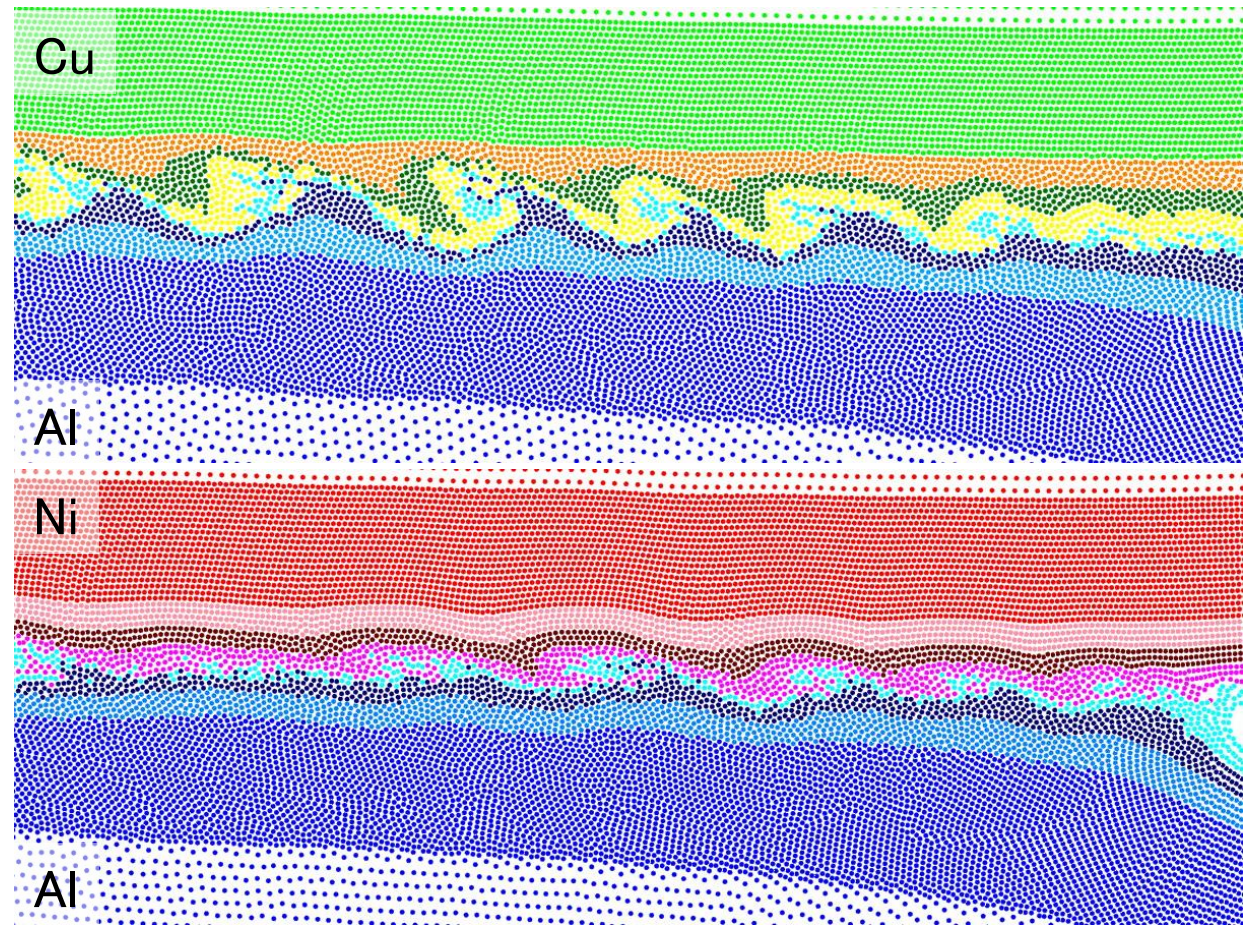
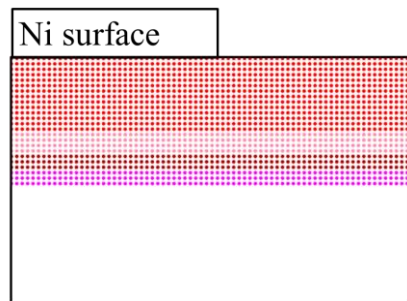
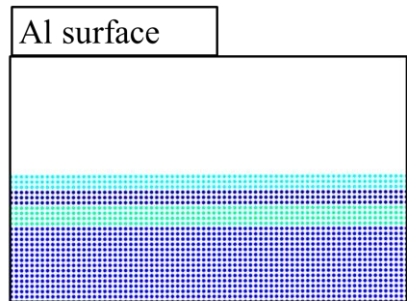
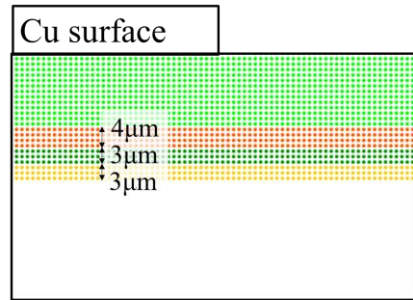
- ✓ どちらの接合界面にもトリガー状の波状界面が形成
- ✓ Al/Niの方がAl/Cuに比べ波高の小さい波が形成



□ 実験で得られた接合界面形態



- ✓ SPH法で再現した波状界面においても実験で得られた接合界面同様にAl/Cuに比べてAl/Niの方が小さいサイズの波となっていた



- ✓ 衝突点後方へのメタルジェットの入り込みはAl/Cuに比べてAl/Niの方が小さく
なっていた
- ✓ Al/Cuの組合せでは衝突点が通り過ぎた後でも波の形状変化が起こっていたが
Al/Niの組合せでは起こっていなかった
→Niの方が硬く、変形抵抗が大きいためにメタルジェットの入り込みが小さくなり
形成する波が小さくなった

目的

実験手法と数値解析手法を組み合わせることで表面粗さが電磁圧接界面形態に及ぼす影響を解明

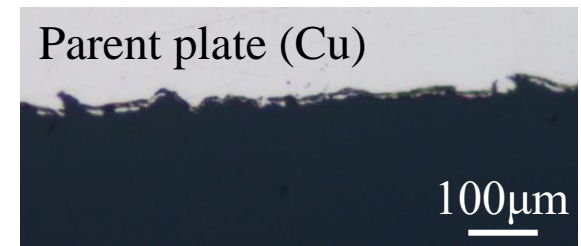
□ 供試材

- ✓ Flyer plate : Al
- ✓ Parent plate : Cu

□ 実験条件

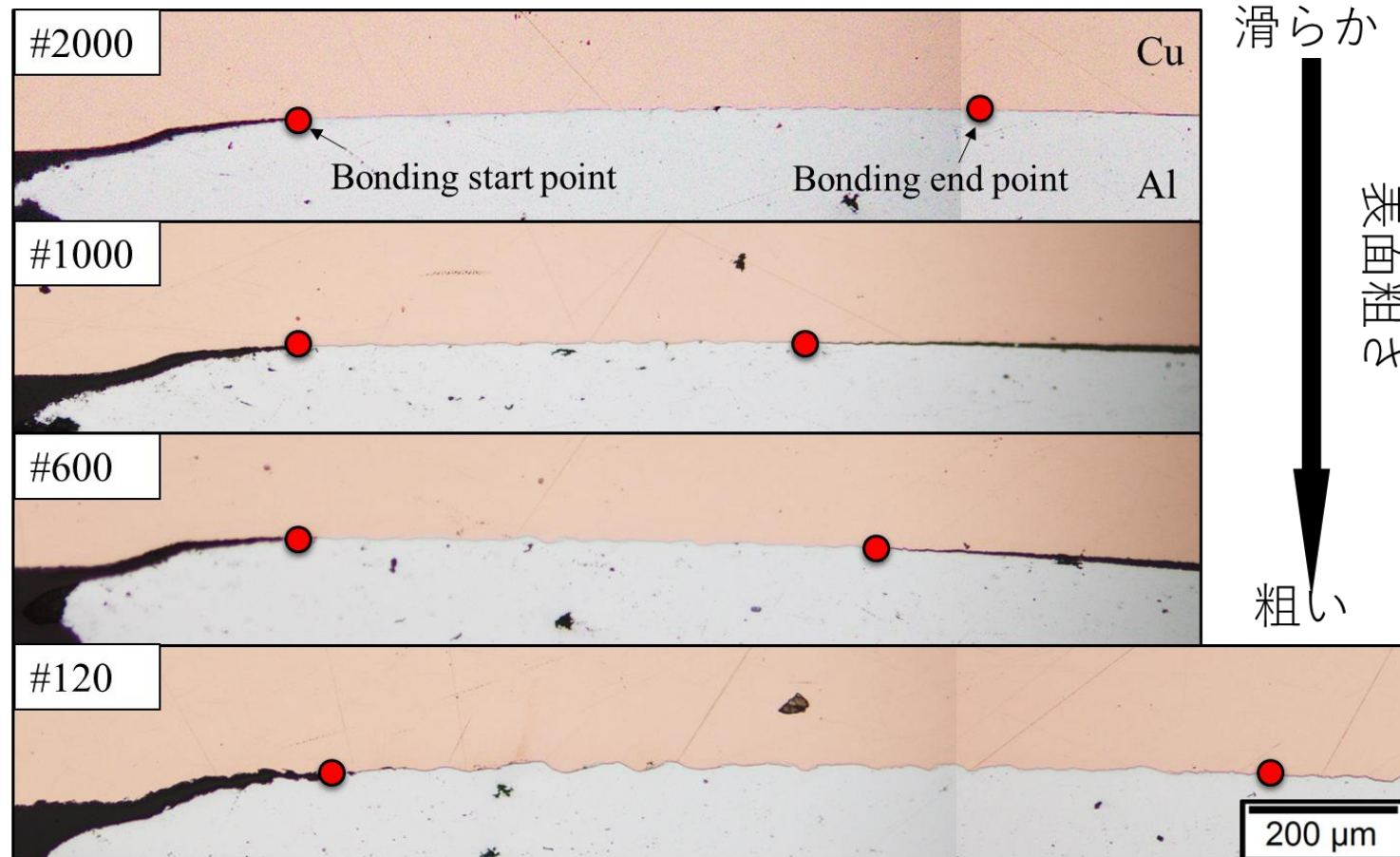
Condition	Charging energy (kJ)	Gap (mm)	Overlap (mm)	Surface grind No.	Sq (μm)
1	3	2.4	3	2000	0.368
2				1000	0.462
3				600	0.743
4				120	1.964

□ #120にて研磨したParent plate表面



接合方向 →

- ✓ Parent plate表面のみに接合方向に対して垂直にエメリー紙で傷をつけ接合を実施

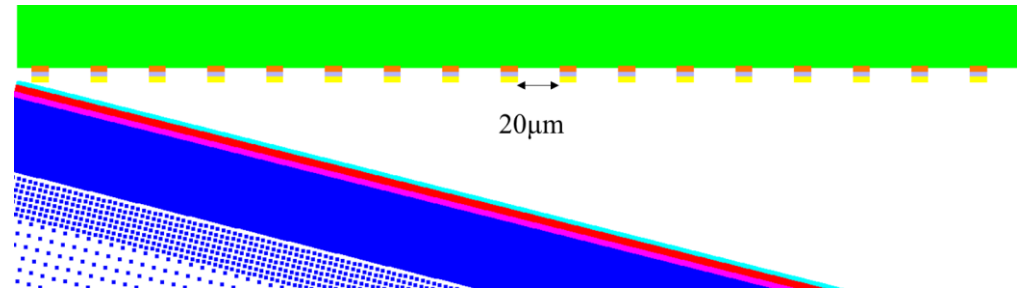


最も表面が粗い#120において

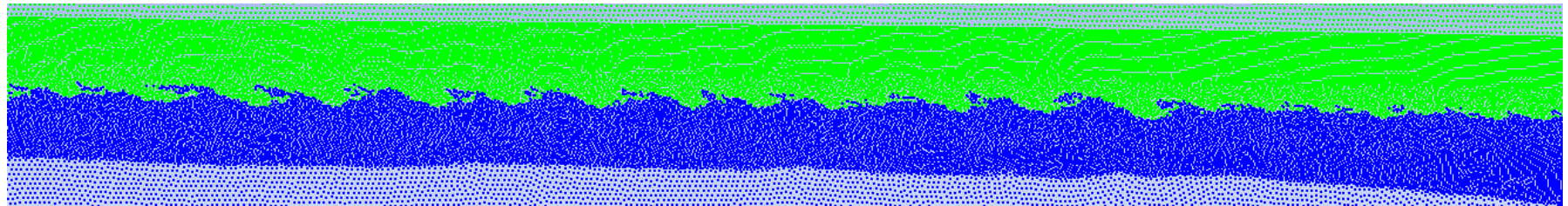
- ✓ 接合長さが増加
- ✓ 他の条件と比べて波高が大きな波が形成

■ model 2の改良

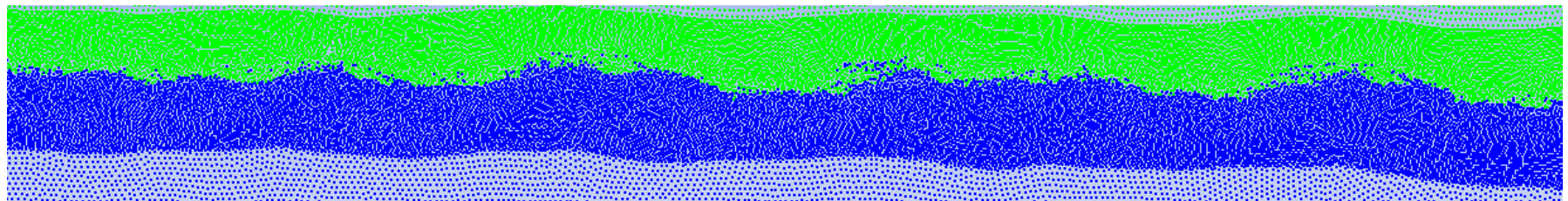
- ✓ Parent plate表面に $20\mu\text{m}$ 間隔で凹凸 ($10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$)を設置し、表面粗さを模擬
- ✓ その他の解析条件はこれまでと同様



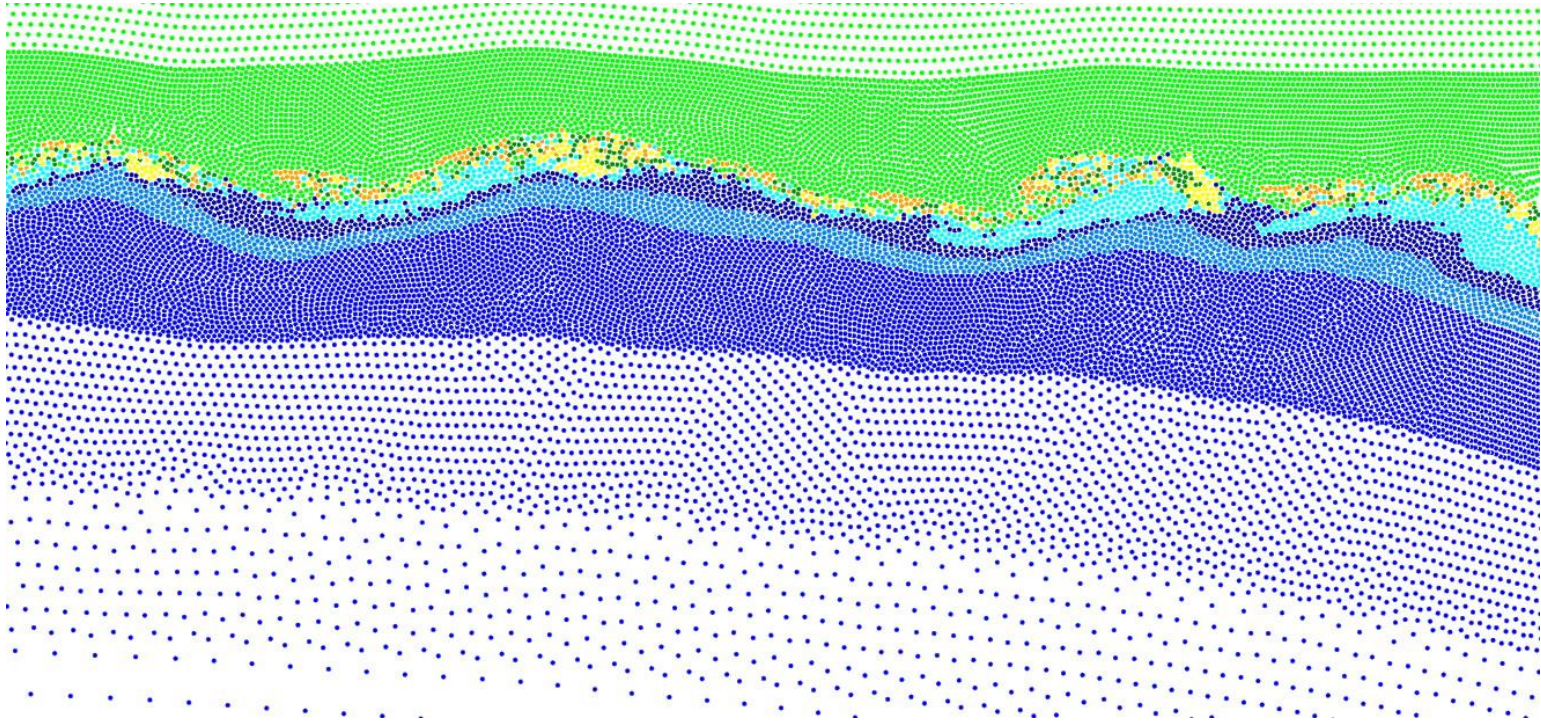
■ これまでのmodel 2にて再現した波状界面



■ 凹凸を含んだmodel 2にて再現した波状界面



- ✓ 凹凸があるモデルにおいて大きな波が形成



- ✓ Parent plate表面のこぶが衝突点前方へ放出されたメタルジェットに吹き飛ばされ、衝突点後方へ巻き込まれるメタルジェットの一部になることで衝突点後方への入り込みが増加し、大きな波を形成

衝突速度 V_i および衝突角度 β 以外の因子が接合界面形態に及ぼす影響

Flyer plateの板厚を変え、Flyer plateの運動エネルギーを増加させると形成する波が大きくなること、Parent plateの厚さが薄い場合には、衝突時に大きく変形し、それにより衝突エネルギーが費やされ、波が小さくなること、Parent plateの変形抵抗が大きいと衝突点後方へのメタルジェットの入り込みが小さくなるために形成される波が小さくなること、Parent plateの表面粗さが大きくなるとメタルジェットが表面に存在する障害物を巻き込むことでより大きな波が形成することが明らかとなった。



従来知られていた接合する金属の密度差や V_i や β のみならず、被接合材の表面状態や被接合材の厚さや変形抵抗の違いによるエネルギー変化が**メタルジェットの放出挙動に影響**し、これにより形成される接合界面形態が大きく変化することを明らかにできた

公益財団法人軽金属奨学会特別奨学生の支援に対し
深く感謝申し上げます