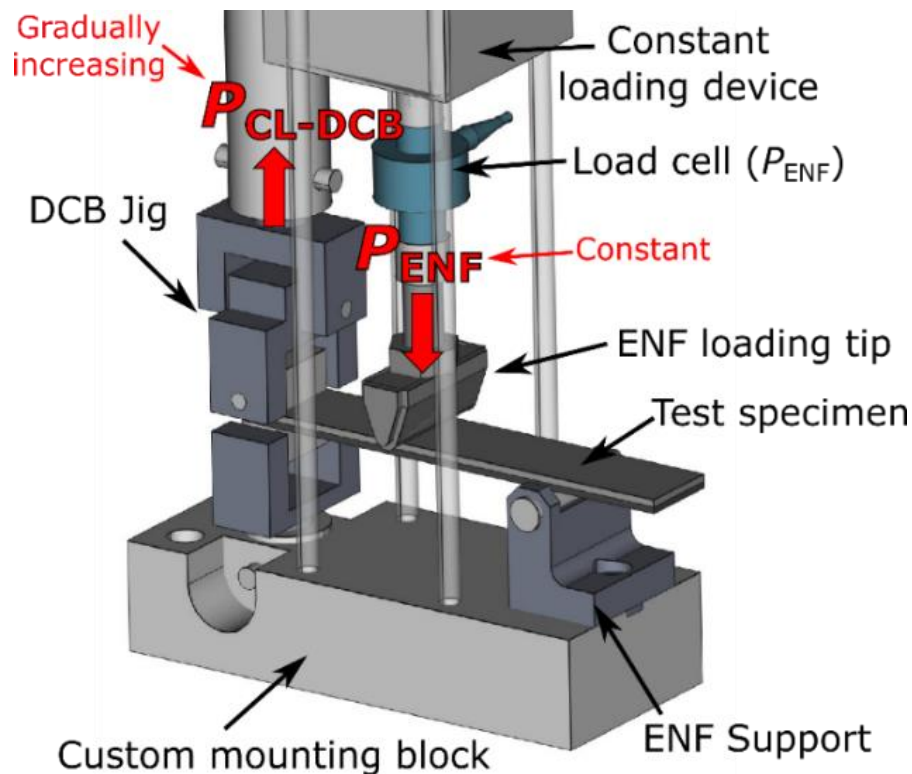


異種接合材の純モード層間破壊靱性 評価試験法

早稲田大学 理工学術院
基幹理工学部 機械科学・航空宇宙学科
教授 細井 厚志

開発技術の概要



これまで困難であった異種接合材の純モード層間破壊靱性試験法を新規に開発した

- 熱残留応力を有する異種接合材の純モードI層間破壊靱性を評価可能
- 損傷進展シミュレーションの物性値として必要不可欠

異種接合体の純モード破壊靱性試験

特許:破壊靱性試験装置及び破壊靱性試験方法,

特願2019-205932、PCT/JP2020/42477

Jespersen, Hosoi et al., Eng. Fract. Mech., 107249, (2020).

背景

2050年に向けたカーボンニュートラルの要求
輸送機器を始めとする機械構造物のマルチマテリアル化
CFRPと金属の異種接合技術の開発の必要性

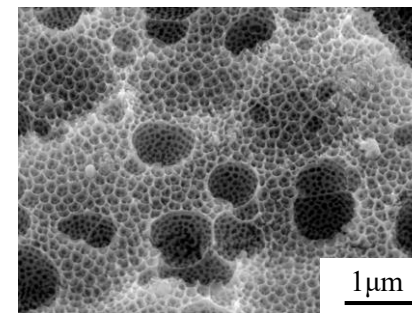
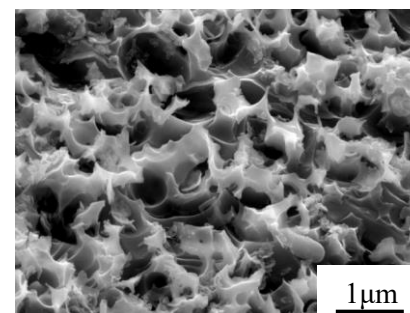
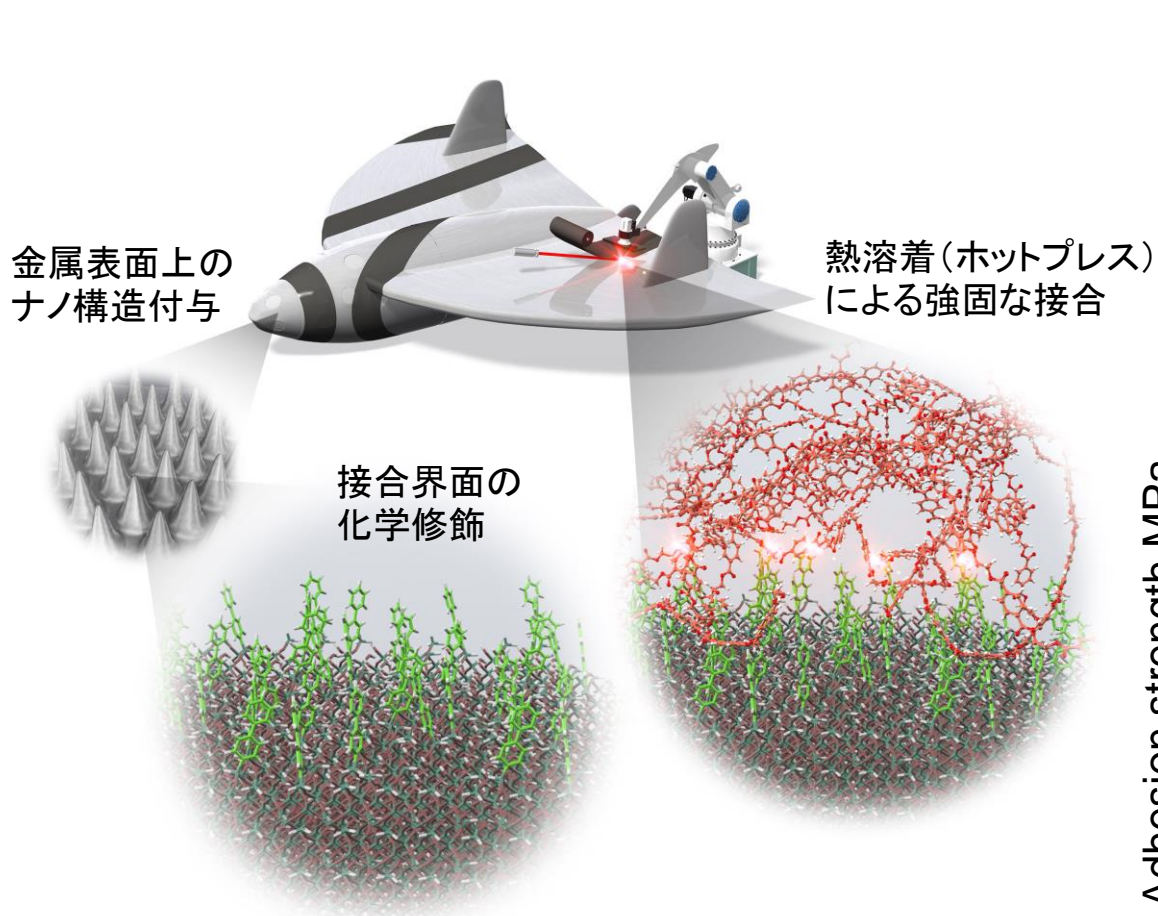
特にリサイクル性、生産性向上を念頭に熱可塑性CFRP
(CFRTP)の利用拡大

課題

接着剤⇒硬化時間を要し生産性が悪い、CFRTPは一般
に化学的に不活性で接着性が悪い

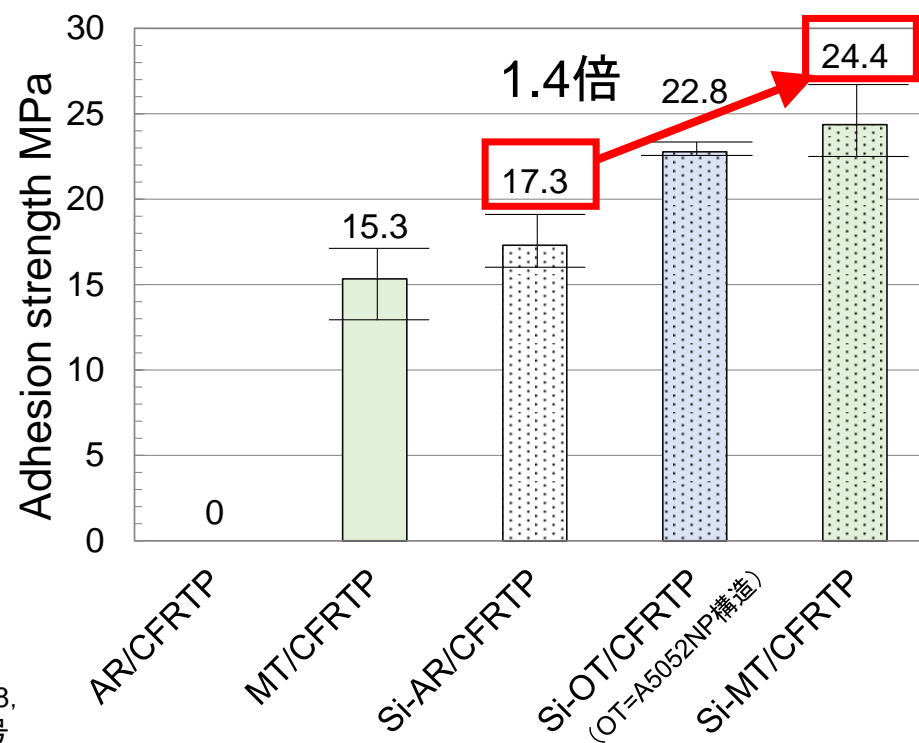
機械締結⇒ボルトやリベットを用いることによる重量増加
のためCFRTPの軽量特性を生かせない

これまでの開発技術



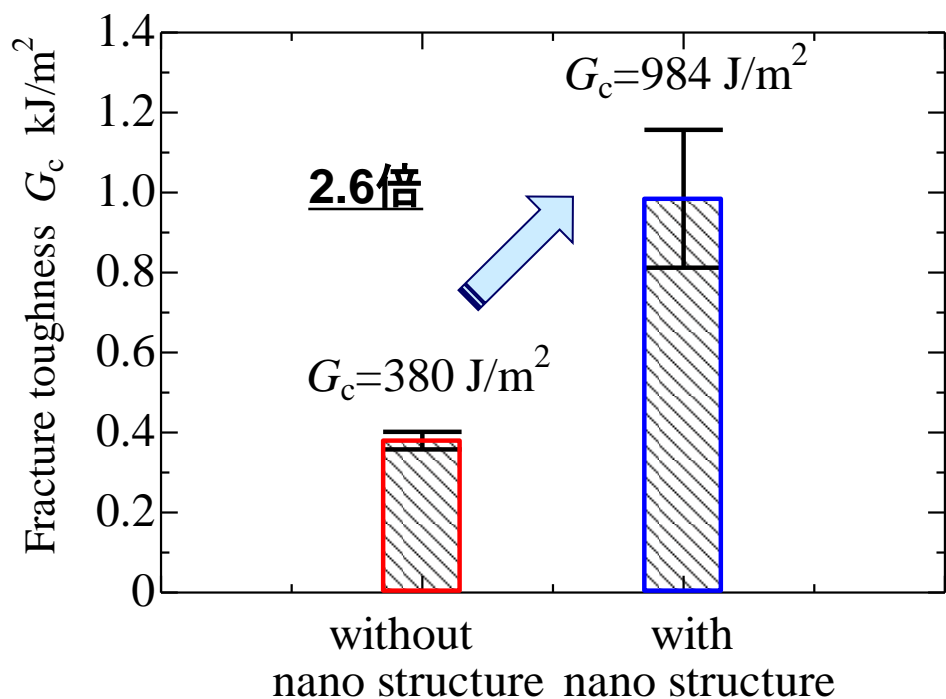
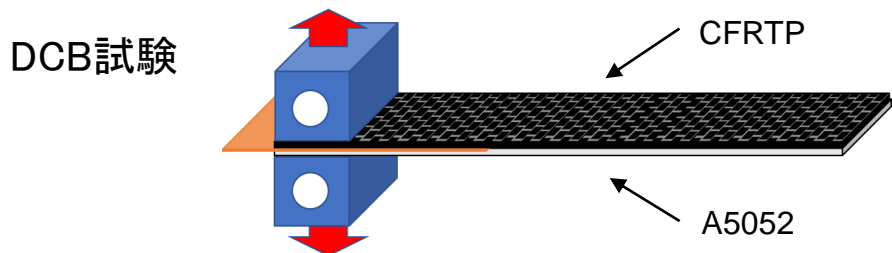
OT構造

MT構造



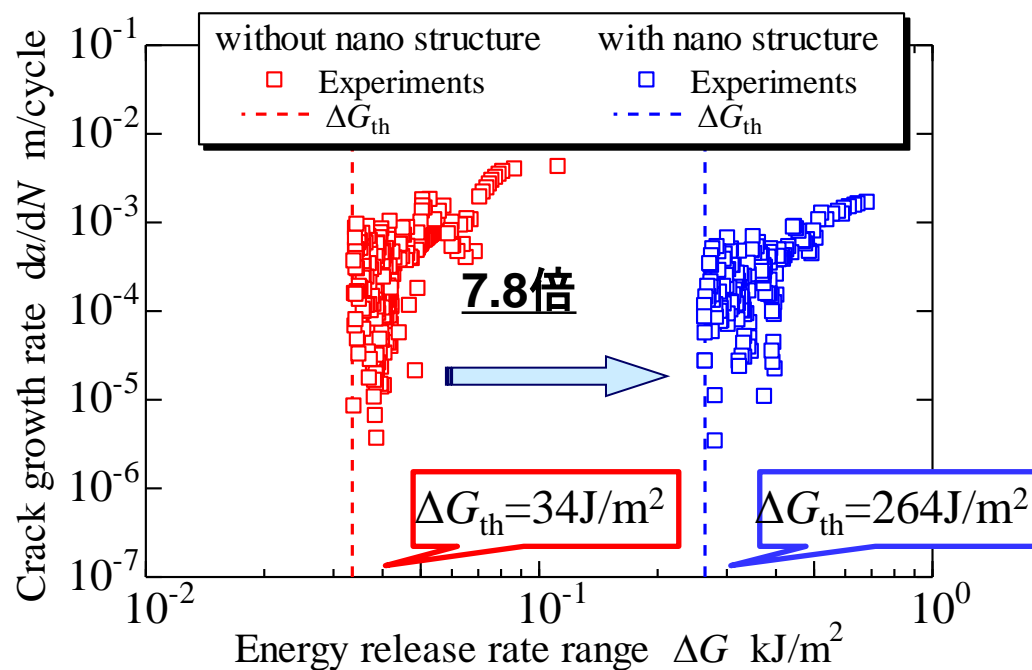
- ◆ H. Abe, A. Hosoi et al. Compos.Part B: Eng. 2019, 172, 26-32,
- ◆ 和田啓汰, 細井厚志他, 日本複合材料学会誌, 2020, 46, 4, 162-169
- ◆ 樹脂金属接合体の製造方法及び樹脂金属接合体, 発明者: 細井厚志他, 特開2019-166638,
- ◆ 樹脂金属接合体の接合方法及び樹脂金属接合体, 発明者: 細井厚志他, 特許第6809680号

これまでの開発技術



層間破壊靱性に及ぼす表面ナノ構造の影響評価

接合強度、破壊靱性、疲労特性
を大幅に向上

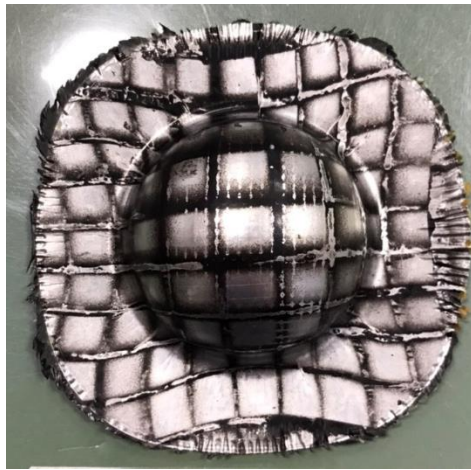


疲労き裂進展特性に及ぼす表面ナノ構造の影響評価

世界トップレベルの性能

これまでの開発技術

異種接合体のプレス成形

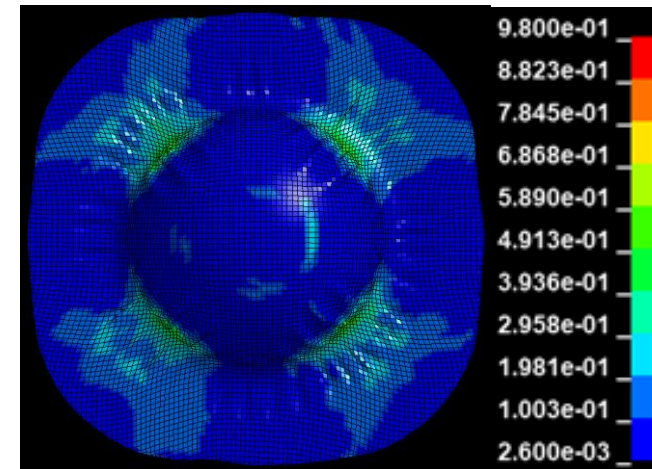


(a) Top view



(b) Bottom view

シミュレーション



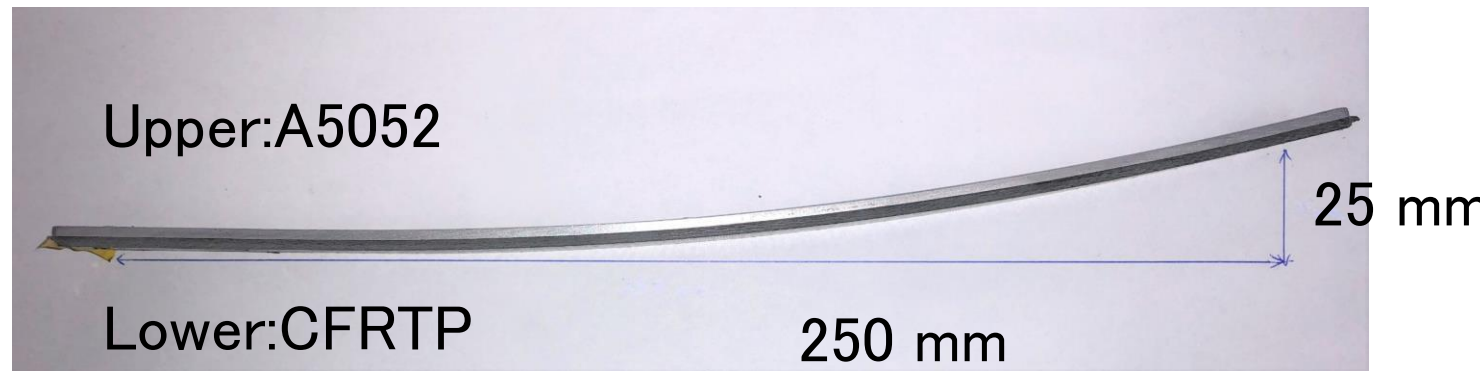
スマートフォン筐体試作

アルミ単体と比較して
20%の軽量化に成功

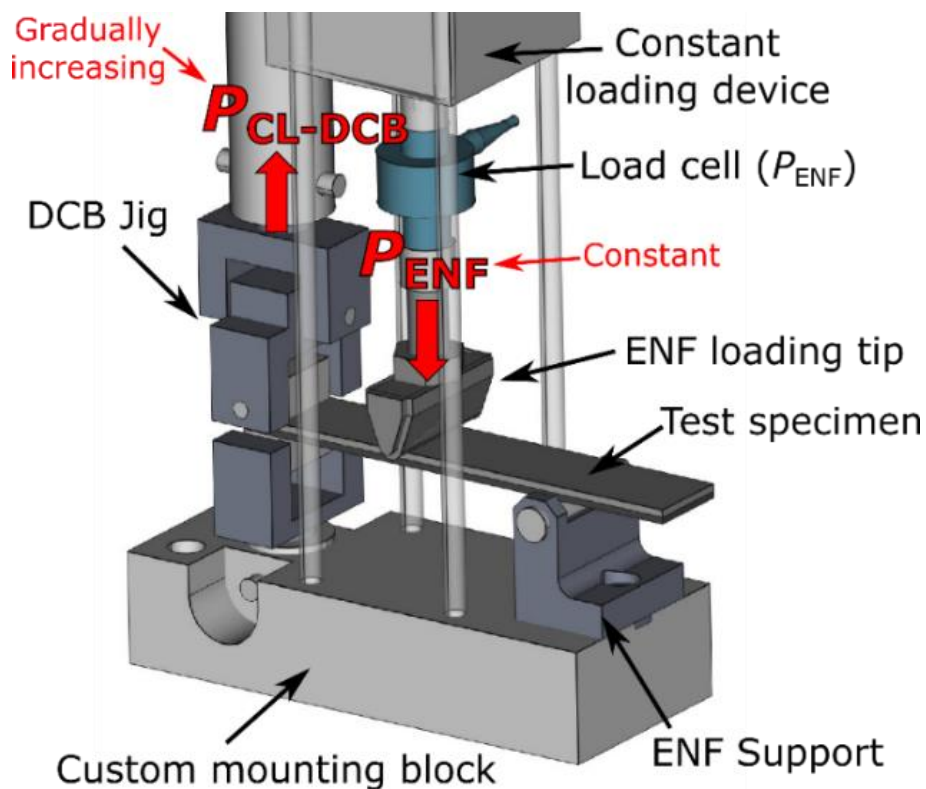
解決されていない課題

熱溶着した異種接合材は、材料物性が異なり反りが生じる。
そのため、従来規格の試験法では混合モードとなり、正確な破壊靱性が評価できない課題があった。

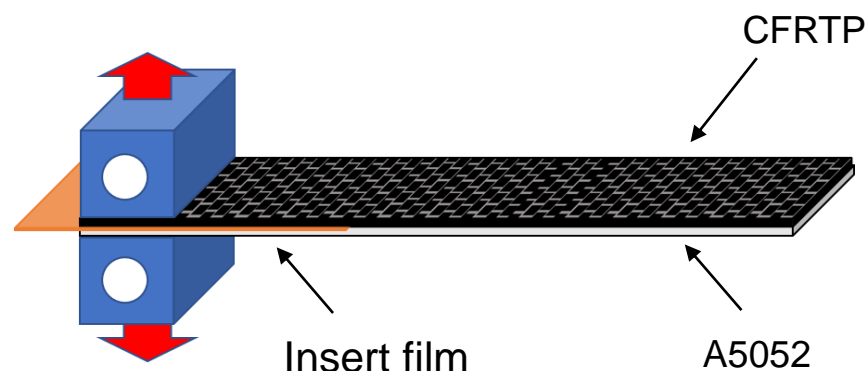
熱溶着した異種接合サンプル



新規に提案する技術



従来の双片持ち梁試験 (DCB試験)
JIS K 7086など



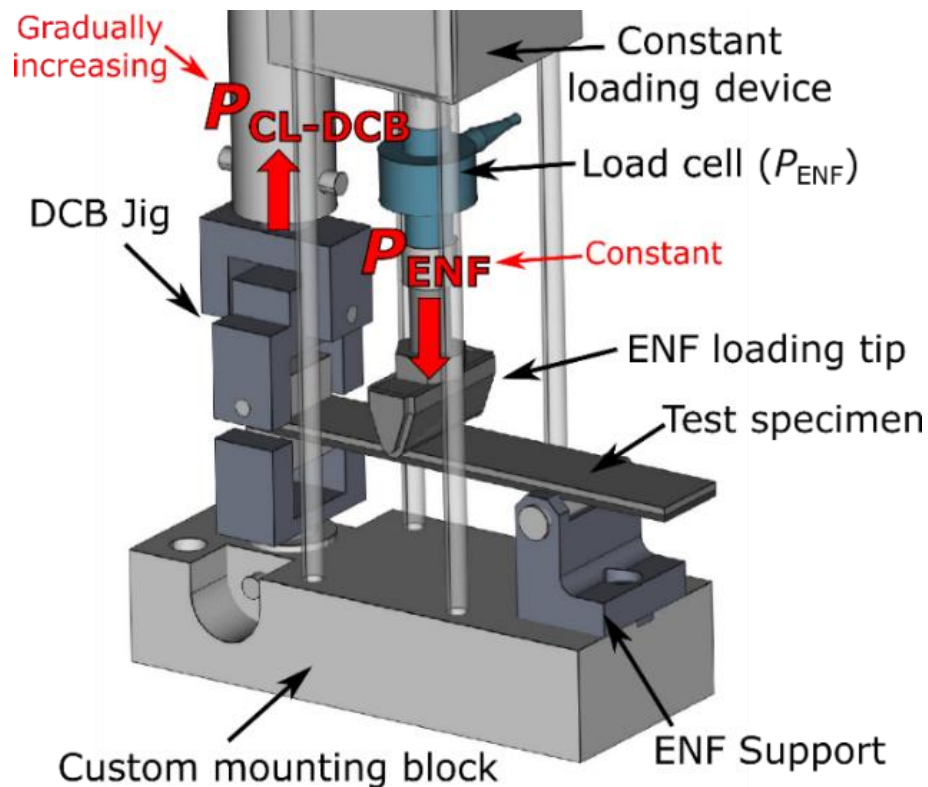
異種接合体の純モード破壊靱性試験

特許: 破壊靱性試験装置及び破壊靱性試験方法,

特願2019-205932、PCT/JP2020/42477

Jespersen, Hosoi et al., Eng. Fract. Mech., 107249, (2020).

新技術の特徴・従来技術との比較



左図のように P_{ENF} を負荷し、各材料物性や熱残留応力によるモード混合を除去できる

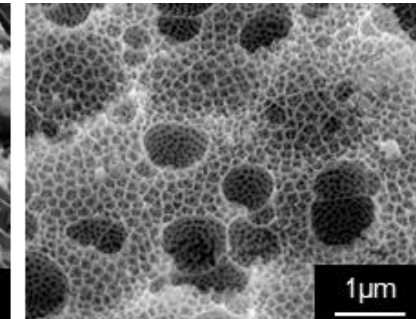
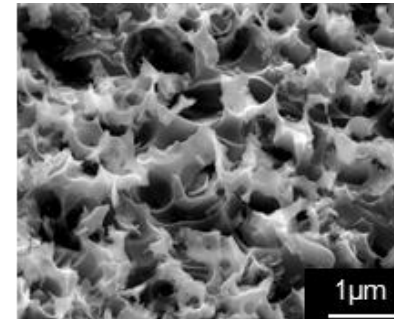
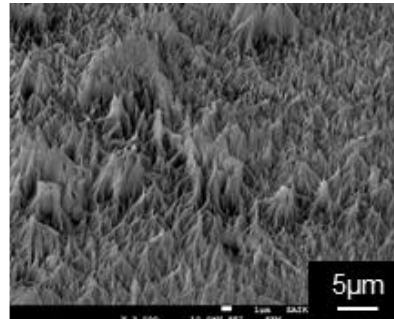
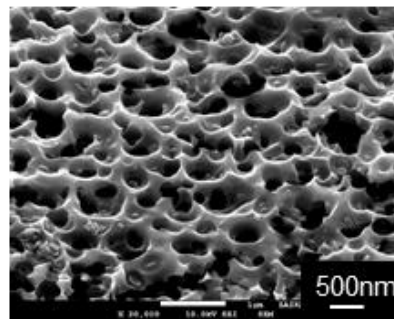
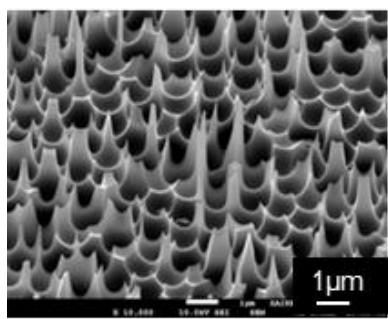
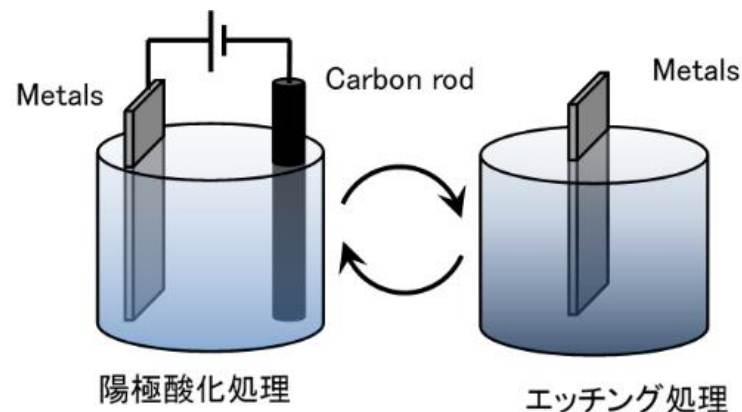
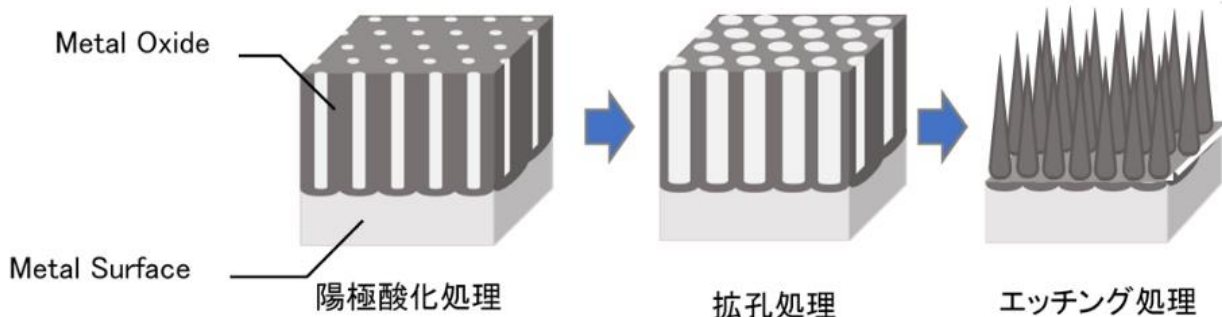
様々な異種材接合試験片においても適用可能で正確に層間破壊靱性を評価でき、従来のDCB試験法の応用で評価が容易

異種接合体の純モード破壊靱性試験

特許:破壊靱性試験装置及び破壊靱性試験方法,
特願2019-205932、PCT/JP2020/42477
Jespersen, Hosoi et al., Eng. Fract. Mech., 107249, (2020).

実証試験

サンプル作製(表面ナノ構造の作製)

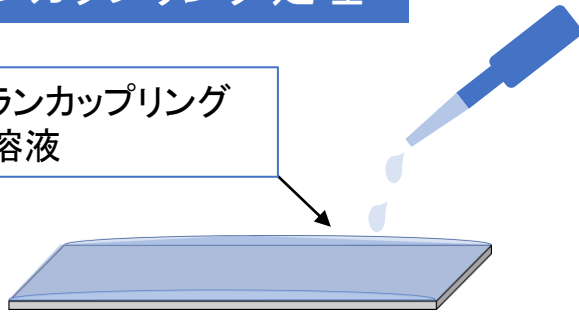


条件に応じて様々な表面ナノ構造を作製可能

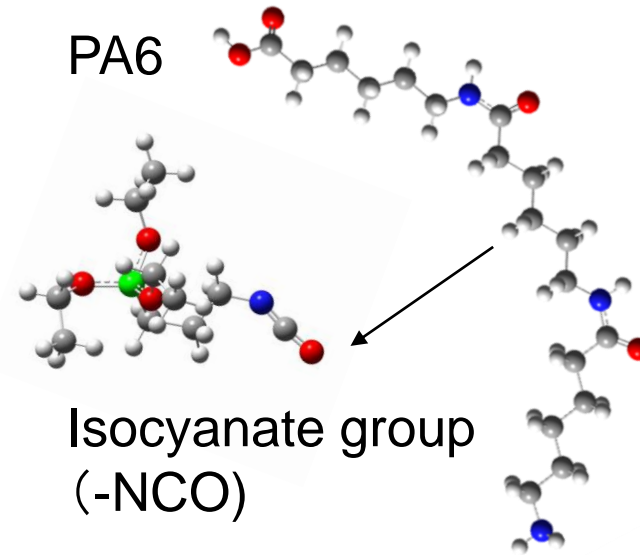
実証試験

シランカップリング処理

シランカップリング
水溶液



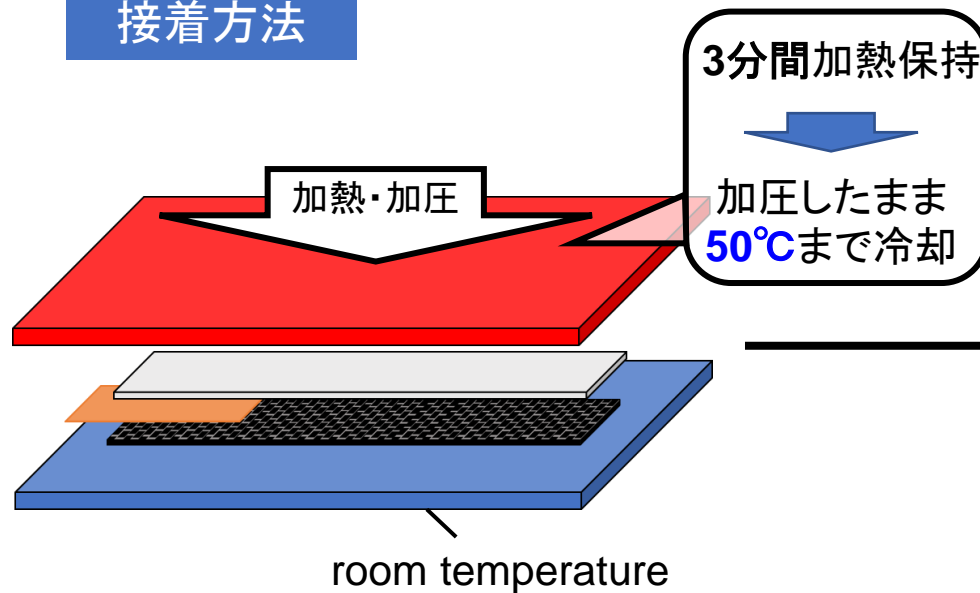
PA6



H :White
C :Gray
N :Blue
O :Red
Si :Green

Isocyanate group
(-NCO)

接着方法



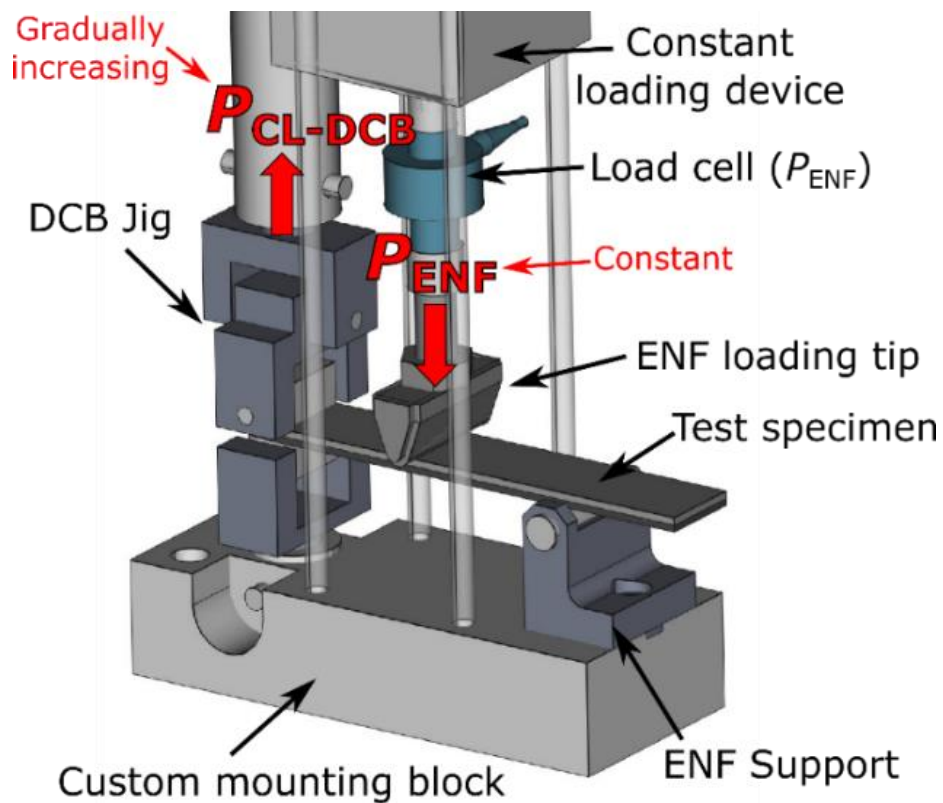
Si-AR

シランカップリング処理のみ

Si-NS

シランカップリング処理
&
界面ナノ構造

実証試験



異種接合材の材料特性による混合モードの除去

$$E_{Al} h_{Al}^2 = E_{CF} h_{CF}^2$$

熱残留応力による混合モードの除去

左図の P_{ENF} を制御

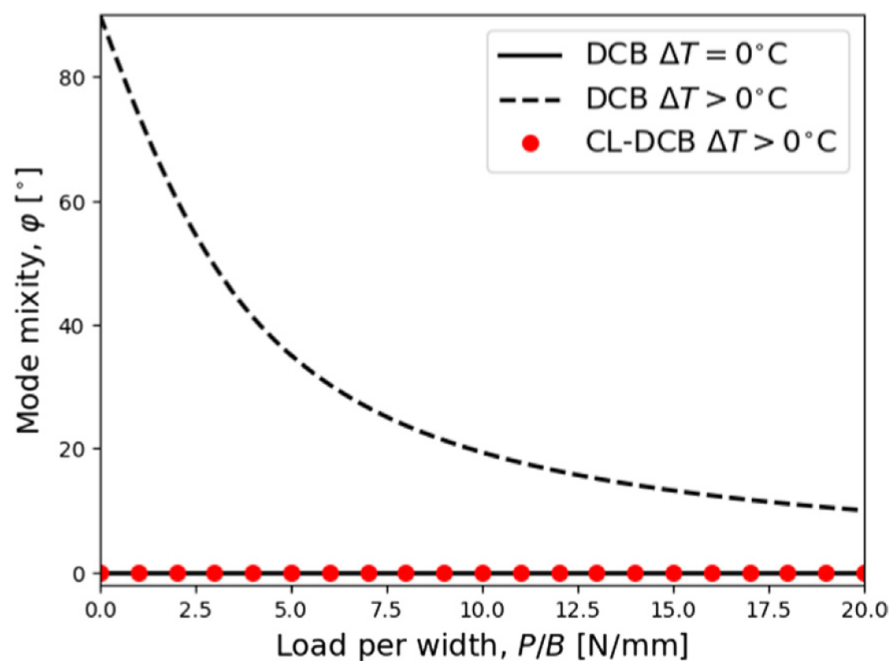
純モードI破壊靱性

$$G_{IC} = \frac{3}{2(h_{Al} + h_{CF})} \left(\frac{P_{mech}}{B} \right)^2 \frac{B\lambda^{\frac{2}{3}}}{\alpha_1}$$

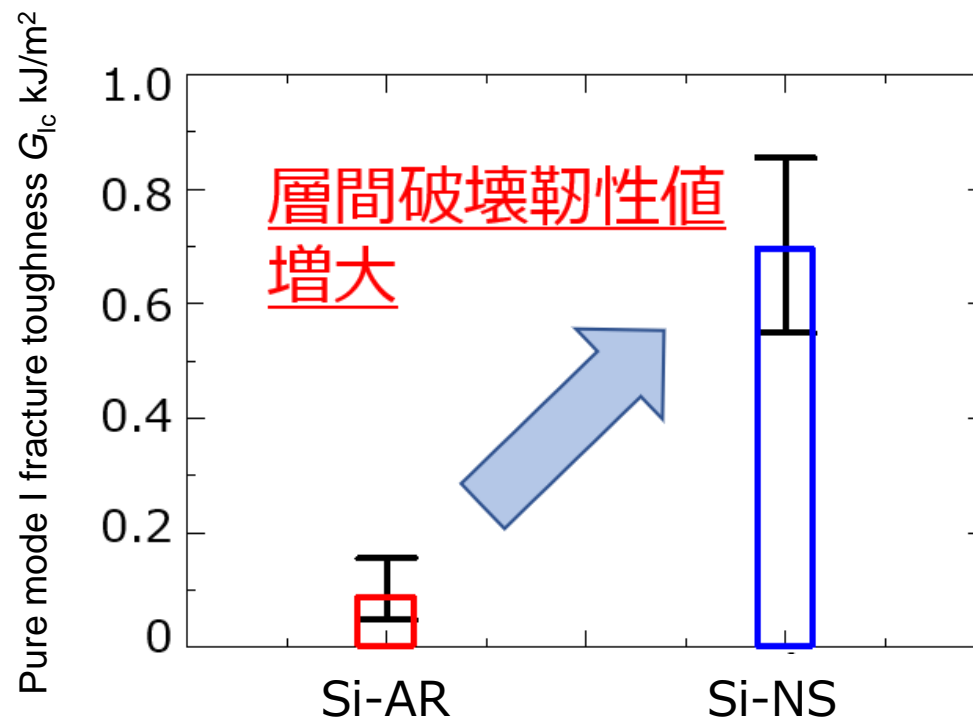
B : 試験片幅
 h : 試験片厚さ
 λ : コンプライアンス
 α_1 : 複数回の実験から得られる係数

クロスヘッド変位速度 : 0.5 mm/min

評価結果



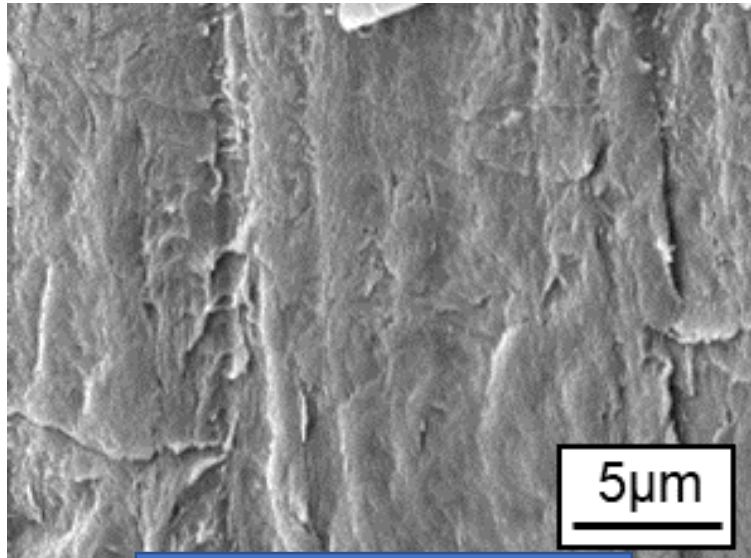
混合モード率を除去
⇒ Pure Mode I



表面ナノ構造による
層間破壊靱性の向上

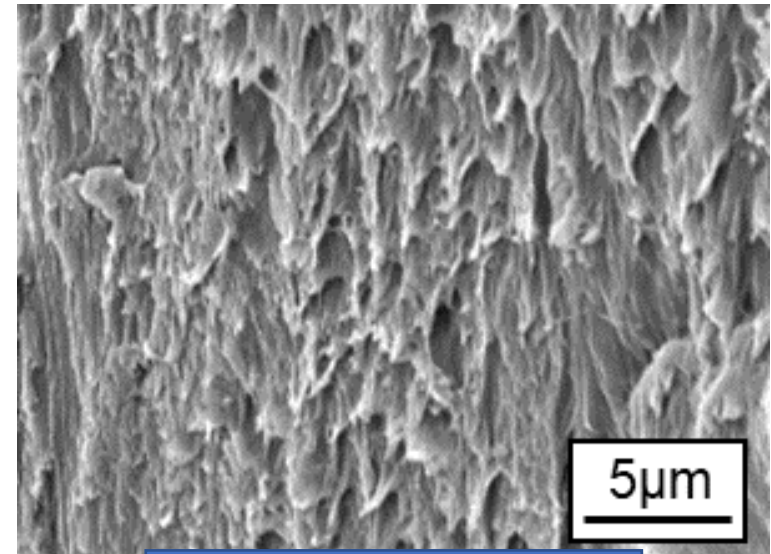
破面観察

Si-AR



Crack propagation

Si-NS



Crack propagation

表面ナノ構造によって樹脂の破面が脆性破壊から**延性破壊**へ

》樹脂の塑性変形により**層間破壊靱性値が向上**

想定される用途

- 適性な異種材料の層間破壊靱性を評価による安全設計への展開
- 破壊シミュレーションの適正な評価
- 優れた接合強度、破壊靱性、疲労強度特性の実現
- プレス成形による高い設計自由度、生産性向上、高い意匠性

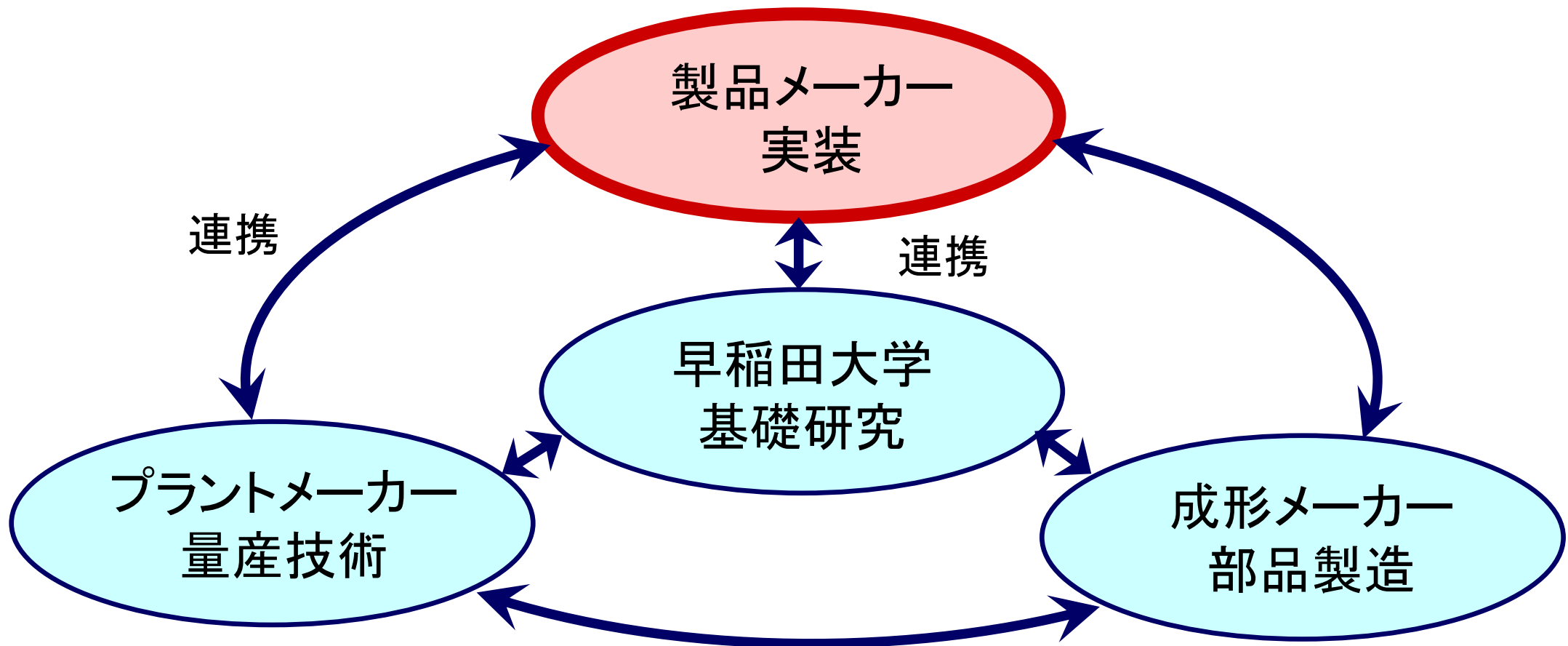
実用化に向けた課題

- ◆ 種々の材料の組み合わせによる高強度/高靱性な異種接合の実現
- ◆ 接合特性を向上する最適形状の界面ナノ構造の創製/表面化学修飾剤の開発
- ◆ 塑性変形を考慮した材料評価技術の開発

課題解決に向けて研究を遂行中

企業への期待

本接合技術/評価技術を実用展開に向けて応用したい
企業との共同研究を希望



本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 破壊靱性試験装置及び破壊靱性試験方法
- 出願番号 : 特願2019-205932、PCT/JP2020/42477（出願中）
- 出願人 : 学校法人早稲田大学、
地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所、
スチールプランテック株式会社
- 発明者 : 細井厚志、川田宏之、原田和樹、
イエスパーセン クリスティーン ムンク

お問い合わせ先

早稲田大学

リサーチイノベーションセンター

知財・研究連携支援セクション(承認TLO)

TEL 03-5286-9867

FAX 03-5286-8374

E-mail contact-tlo@list.waseda.jp