

CFRTPの超音波溶着に関する研究

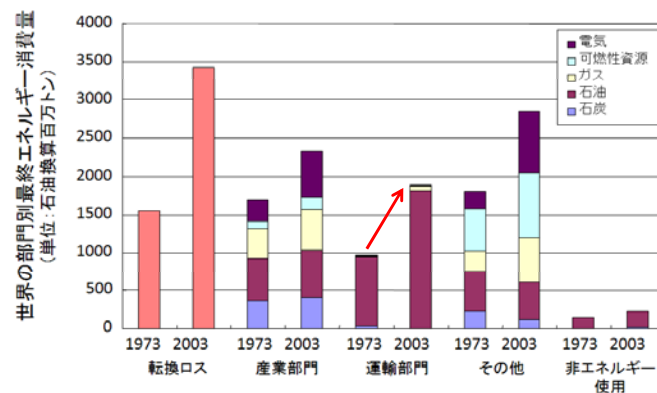
Research on ultrasonic welding of CFRTP

システム創成学専攻
096342 鈴木 一弥
指導教員: 高橋 淳 教授

発表構成

- 研究背景
- 面溶着に関する検討
 - シングルラップ継手によるせん断強度の評価
 - 十字継手による剥離強度の評価
- スポット溶着に関する検討
 - シングルラップ継手によるせん断強度の評価
 - 十字継手による剥離強度の評価
- 結論
- 博士課程での構想

研究背景



運輸部門における石油消費の増加→軽量化素材の必要性

CFRPへの注目

運輸部門のエネルギーは**石油中心**

↓
環境への関心、近年の原油価格高騰

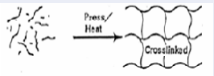
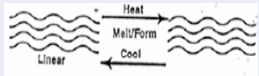
↓
CFRTS(熱硬化性樹脂)

- 航空機や超高級車に適用実績あり
- 炭素繊維を液状モノマーに漬けて反応硬化→成形容易
- 品質は良い(エポキシは接着剤)が、量産性・リサイクル性に問題

CFRTP(熱可塑性樹脂)

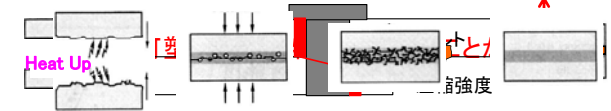
- 量産性・リサイクル性の面でCFRTSより優れる
- 高粘度・弱接着性のポリマーを炭素繊維束に含浸する技術が難
- 量産車への適用に向け開発中(東京大学集中研)

CFRTSとCFRTP

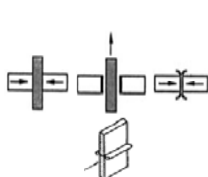
	CFRTS	CFRTP
樹脂の例	エポキシ	ポリプロピレン
樹脂の特徴	■ 化学反応(架橋反応)により硬化させる樹脂 ■ 可逆変化が不可能(不可逆性樹脂) 	■ 化学反応が既に完了した樹脂 ■ 固体→液体→固体の可逆変化が可能 
接合のための加工	穴をあける必要がある ⇒接合を避け、一体成形 ⇒設備の大型・高コスト化	穴をあける必要がない ⇒容易に接合できる可能性 ⇒設備の小型・低コスト化

接合方法の分類

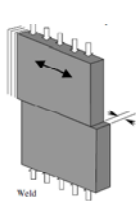
	機械的接合	接着剤	溶接・溶着
具体例	ボルト・ナット ねじ	糊、にかわ 合成接着剤	熱板溶着 抵抗溶着
接合部の異材	ボルト、ねじ	接着剤	なし
応力集中	大	小	小
CFRTPでの繊維の切断	あり	なし	なし
コスト	高	高	低



熱板溶着



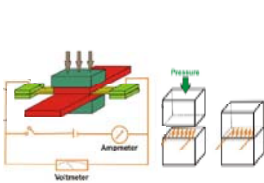
振動溶着



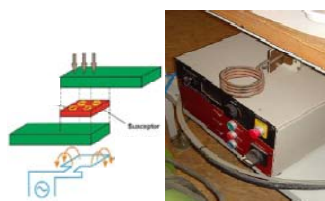
超音波溶着



抵抗溶着



誘導溶着



CFRTPの溶着方法の比較

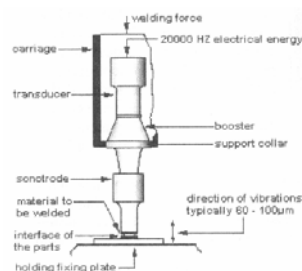
	熱板溶着	振動溶着	超音波溶着	抵抗溶着	誘導溶着
用途	一般的	一般的	一般的	航空機など	航空機など
接合部の異材	なし	なし	なし	金属線	誘電体
必要時間	大	中	小	大	大
設備の規模	大	大	小	小	小
コスト	大	大	小	大	大
接着強度	高	高	低?	中	中
量産車への適用可能性	△	△	◎	×	×

超音波溶着の原理

- 50/60Hzの電氣的信号→20kHz
- 電氣的信号→機械的振動エネルギー
- 摩擦熱により樹脂を溶融させる

● 主な利点

- サイクルが早い
- 消費電力が少ない
- パラメータの制御が容易
- 再現性が高い

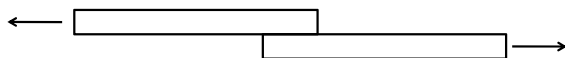


超音波溶着

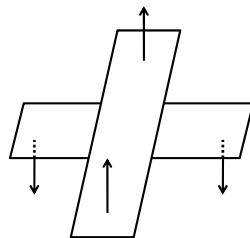


本研究の流れ

- CFRTPの超音波溶着
 - シングルラップ継手: せん断強度



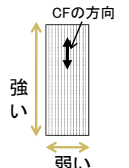
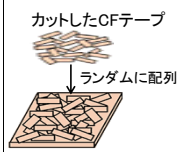
- 十字継手: 剥離強度



発表構成

- 研究背景
- 面溶着に関する検討
 - シングルラップ継手によるせん断強度の評価
 - 十字継手による剥離強度の評価
- スポット溶着に関する検討
 - シングルラップ継手によるせん断強度の評価
 - 十字継手による剥離強度の評価
- 結論
- 博士課程での構想

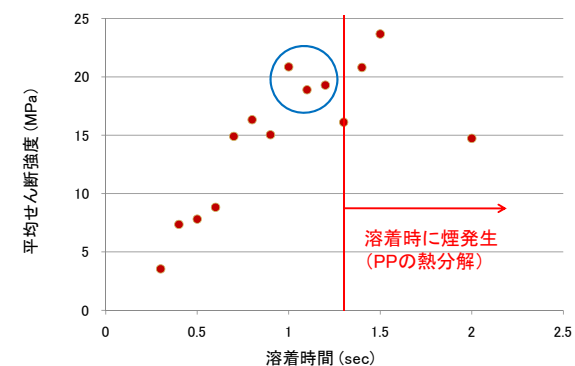
本研究で使用了材料

材料の種類	CF/PP UD材	CF/PP ランダム材
界面接着性	高い	高い
繊維の種類	連続繊維	不連続長繊維 (40mm)
繊維の配列	一方向	ランダム
配向性	直交異方性	擬似等方性
Vf (繊維含有率)	40%程度	50%程度
模式図		

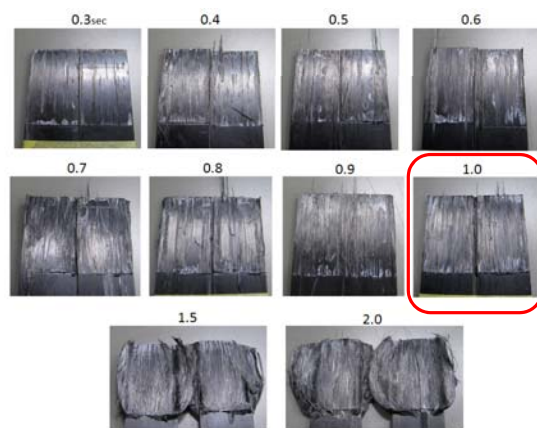
十分な発振時間の検討

試験片

- UD材: 15 × 100 × 2 mm、ラップ長: 25mm



発振時間による接合面の違い(UD材)

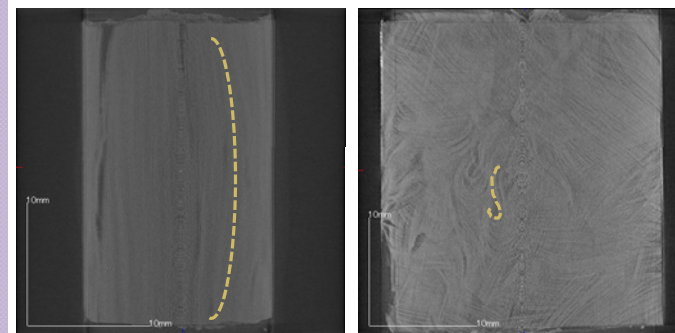


接合面の非破壊X線CT観察

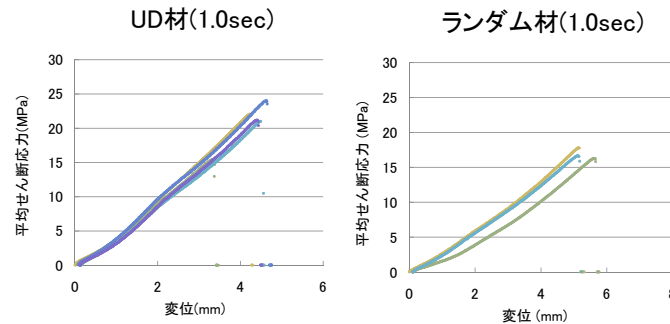


UD材(1.0sec)

ランダム材(1.0sec)



変位と平均せん断応力の関係



熱プレス(ほぼ完全接合)との比較

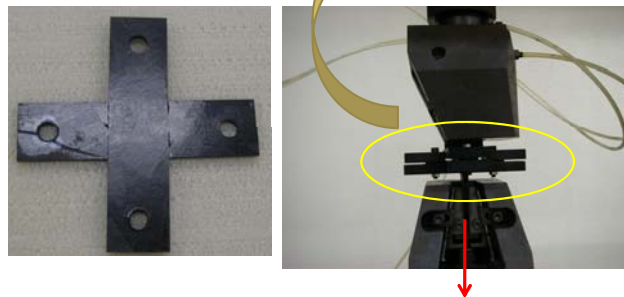
	超音波溶着 (発振1.0sec)	熱プレスによる一体化 (プレス成形と同じ方法)
UD材シングルラップ 平均せん断強度(MPa)	21	19
UD材シングルラップ 接合面の繊維	中央から外側に膨らむ	母材と変化なし
ランダム材シングルラップ 平均せん断強度(MPa)	17	23
ランダム材シングルラップ 接合面の繊維	小規模な湾曲	母材と変化なし

⇒熱プレスと同等の接合性能を持つ

熱プレスのデータ: 出町郁子、熱可塑性樹脂複合材料とその溶着継手の力学特性評価、東京大学卒業論文、2011

十字継手の引張試験

- 接合部
 - UD材: 15 × 15 mm
 - ランダム材: 25 × 25 mm

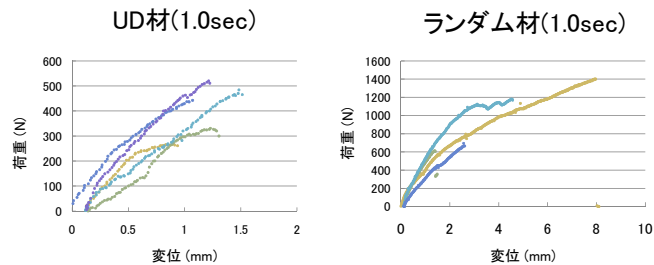


破壊が起きた面の観察(UD材)



シングルラップ継手と異なり、接合面全体の溶着ができなかった

変位と荷重の関係



溶着面積の違いによるバラツキが大きい

⇒試験片の幅方向と長さ方向の振動モードの違いが原因となっている可能性:ホーンの改善で解決?

発表構成

- 研究背景
- 面溶着に関する検討
 - シングルラップ継手によるせん断強度の評価
 - 十字継手による剥離強度の評価
- スポット溶着に関する検討
 - シングルラップ継手によるせん断強度の評価
 - 十字継手による剥離強度の評価
- 結論
- 博士課程での構想

面溶着とスポット溶着の違い

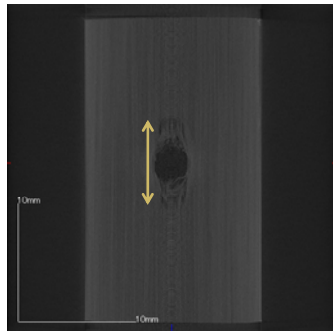
	面溶着	スポット溶着
ホーンの大きさ	接合面と同程度以上	接合面より小さく、細い先端を持つ
発熱部位		
溶着面	接合面全体	スポットの周辺部のみ
ホーンの形状	被接着体に合わせて設計	被接着体の形状に依存しない
バリ	ほとんど発生しない	発生する

スポット溶着についての試験方法

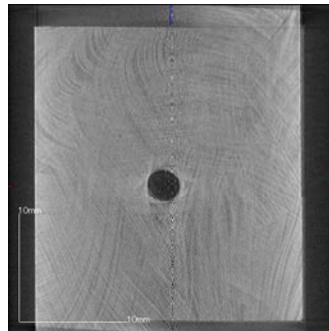
- シングルラップ継手
 - UD材、ランダム材ともにラップ長: 25 mm
 - 接合面の中心にホーンを接触させる
- 十字継手
 - UD材: 15 × 15 mm、ランダム材 25 × 25 mm
 - 接合面の中心にホーンを接触させる
- ホーン先端の直径は2mmと3mm

接合面の非破壊X線CT観察

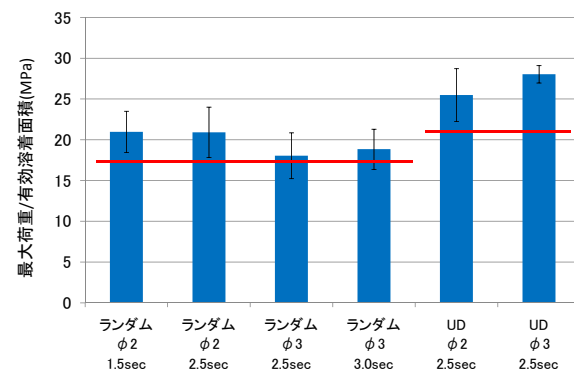
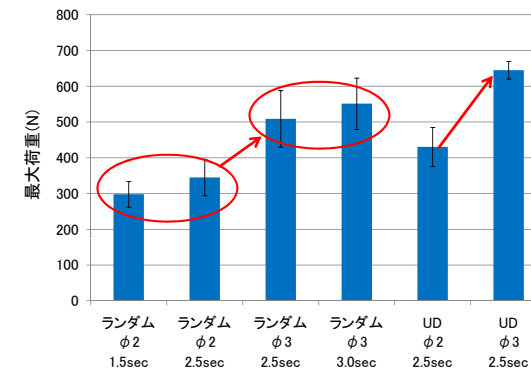
UD材(2.5sec)



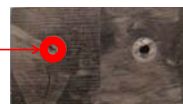
ランダム材(2.5sec)



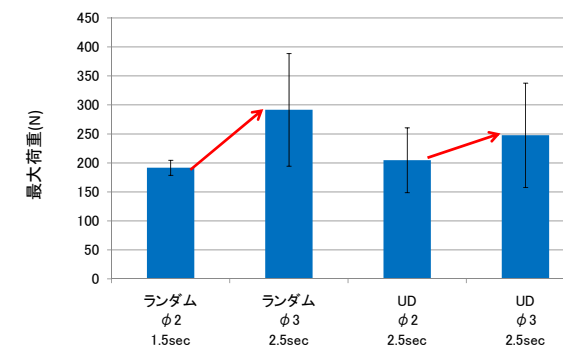
シングルラップ継手の試験結果

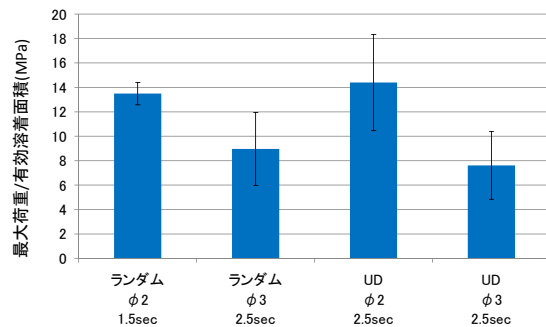


有効溶着面積



十字継手の試験結果





スポット溶着ではUD材とランダム材の差が見られなかった

スポットの数を増やすことでバラツキが小さくなることや、ねじり荷重のキャンセルが期待できる

面溶着との比較

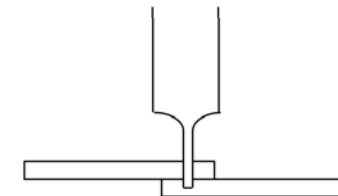
	面溶着	スポット溶着
発振時間(sec)	1.0	2.5
UD材シングルラップ 平均せん断強度(MPa)	21	25-28
ランダム材シングルラップ 平均せん断強度(MPa)	17	18-21
UD材十字継手 剥離強度(MPa)	—	7-14
ランダム材十字継手 剥離強度(MPa)	—	9-14

発表構成

- 研究背景
- 面溶着に関する検討
 - シングルラップ継手によるせん断強度の評価
 - 十字継手による剥離強度の評価
- スポット溶着に関する検討
 - シングルラップ継手によるせん断強度の評価
 - 十字継手による剥離強度の評価
- 結論
- 博士課程での構想

結論 (1)

- 最適な発振時間の検討
 - 面溶着では発振時間の増加とともに強度が大きくなるが、一定の値を超えると樹脂が熱分解⇒1.0sec
 - スポット溶着では適切な位置に到達させるための検討を行った⇒2.5sec
- どちらの場合でも、短時間で溶着ができた



結論 (2) 超音波溶着の検討結果

- シングルラップ継手の面溶着における平均せん断強度は、面溶着・スポット溶着とも熱プレスと同等となった
⇒ **超音波溶着は有効な接合方法**
- 十字継手については、スポット溶着で溶着することができた
- スポット溶着については、スポット数を増やすことで必要な接合性能を発現できる可能性

今後の検討課題

- スポット溶着に関する詳細な検討
 - 2列以上に配置する方法 など
- 接合条件のデータベース化
 - 荷重、出力、発振時間、保持時間
- 他の溶着方法との比較
 - 振動溶着、抵抗溶着 など
- 異種材料の接合
 - CFRTPと金属 など

⇒ **超音波溶着の工業的な普及**

発表構成

- 研究背景
- 面溶着に関する検討
 - シングルラップ継手によるせん断強度の評価
 - 十字継手による剥離強度の評価
- スポット溶着に関する検討
 - シングルラップ継手によるせん断強度の評価
 - 十字継手による剥離強度の評価
- 結論
- **博士課程での構想**

CFRTPを適用した量産車軽量化の考え方

