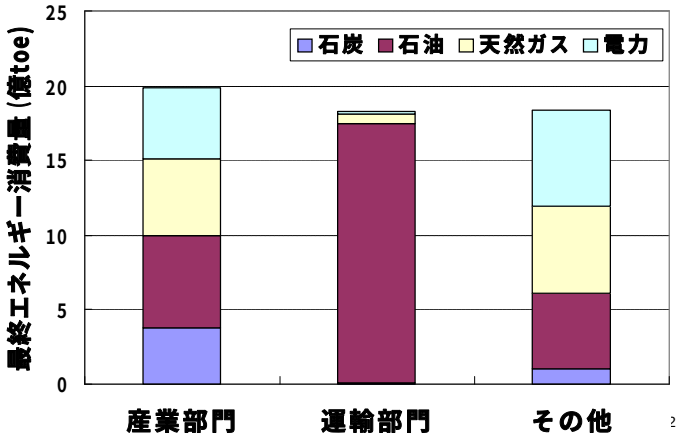
廃棄ＣＦＲＰのリサイクル技術に関する研究

指導教官　高橋淳　助教授

東京大学大学院　環境海洋工学専攻
安全評価工学研究室
４６２９０　福井良平

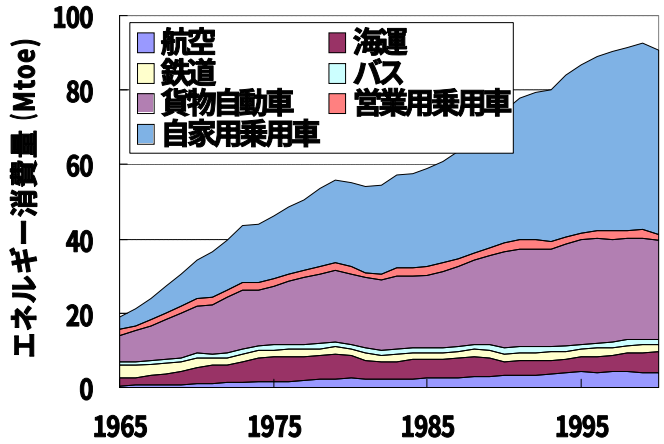
1

世界の最終エネルギー消費量 (2000年)

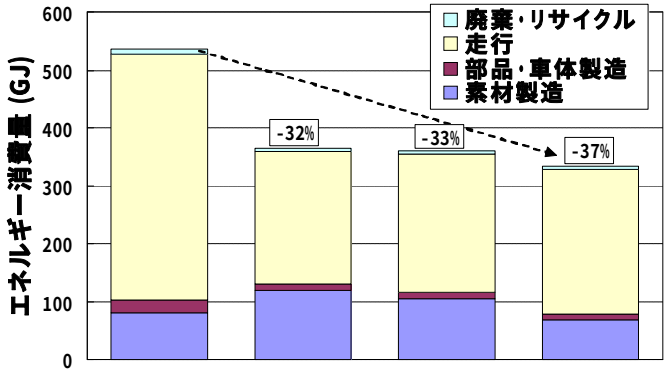


2

運輸機関別エネルギー消費量の推移 (日本)



乗用車のライフサイクルでのエネルギー消費量



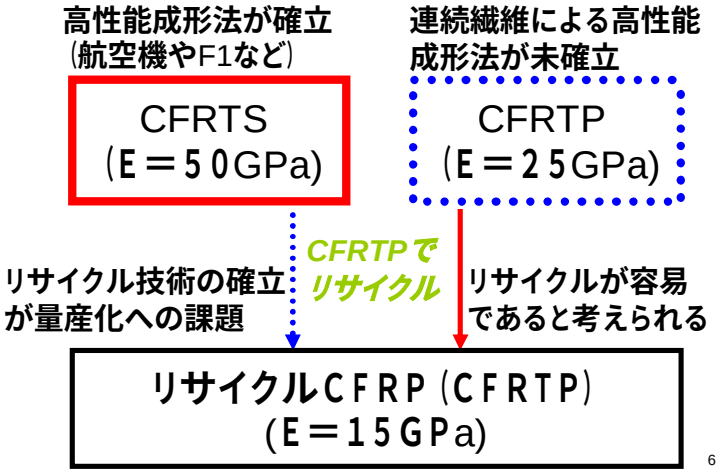
CFRTS：熱硬化性CFRP
CFRTP：熱可塑性CFRP

なぜCFRPのリサイクルなのか？

- 乗用車におけるライフサイクルを通してのCFRP導入効果
- 高価な炭素繊維の有効利用によるコストダウン
- 自動車リサイクル法（将来の大量生産における廃棄処理対策）

5

CFRPのリサイクル方法



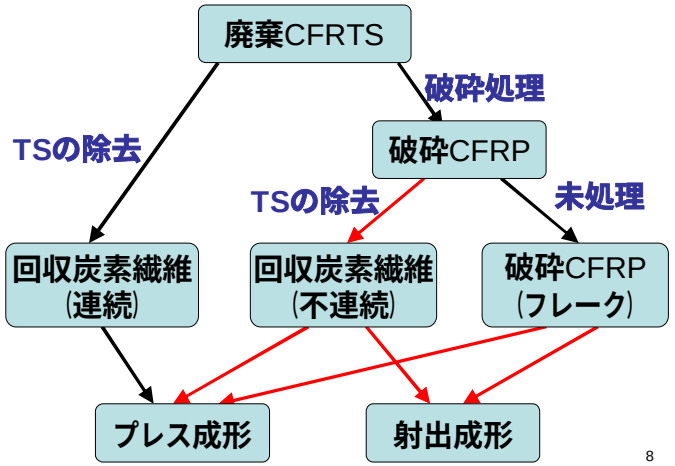
6

リサイクルにおける成形方法

	プレス成形	射出成形
利点	小規模成形機で成形可能 長繊維による高性能成形が可能	複雑形状に強い 成形速度が速い
欠点	複雑形状に弱い 比較的成形速度が遅い 量産用の場合設備規模大	大型品の成形時間が長い 大型品での装置が大きい 物性低下(繊維長) 成形品の不均一性

7

本研究の位置づけ



8

本研究の流れ

1．基本的な実験方法の説明

2．エポキシ樹脂の処理状態によるリサイクルCFRPの材料特性比較

3．混練時間がリサイクル材に及ぼす影響の検討

5．常圧溶解法によるCFRPのリサイクル

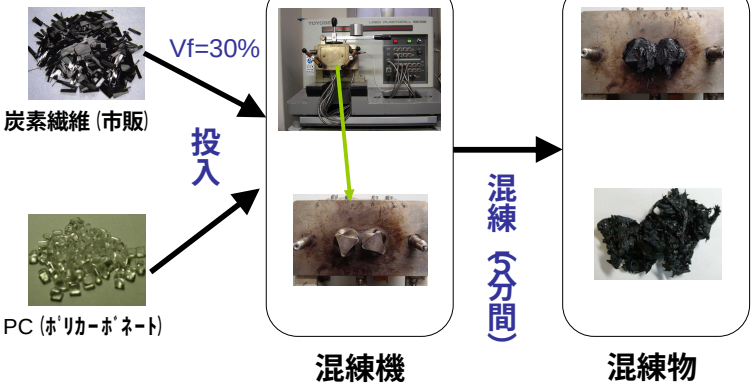
4．射出成形によるリサイクルCFRPの材料特性評価

9

1．基本的な実験方法の説明

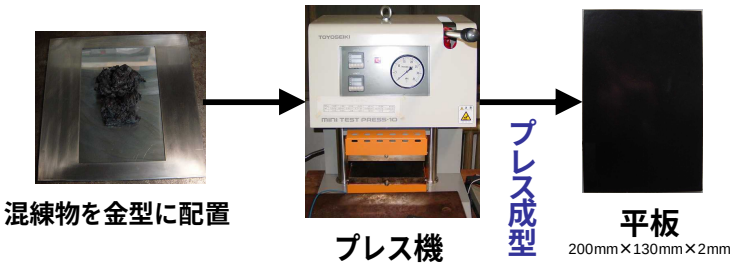
10

混練方法



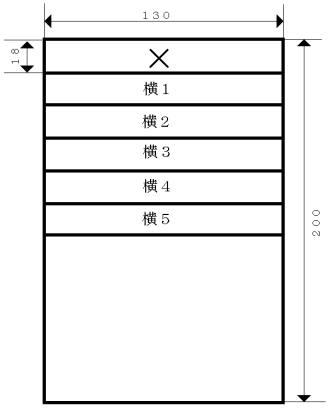
11

成形方法



12

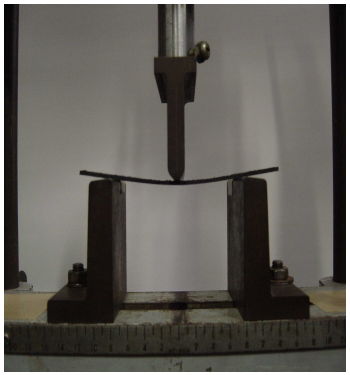
試験片の切り出し方



- 予備実験により、横方向に試験片を切り出した場合、縦方向のものと比較して材料特性が低いことが確認された。
- 材料の実用化には、特性が弱い部分が評価基準になってくる。
- 最も端の部分は特異な性能を示しやすい。

13

試験方法



3点曲げ試験

衝撃エネルギー吸収試験

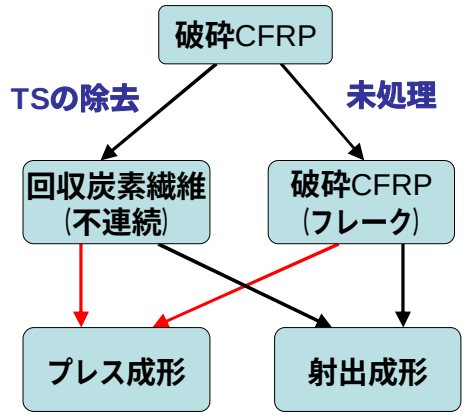
14

本研究の流れ

1. 基本的な実験方法の説明
2. エポキシ樹脂の処理状態によるリサイクルCFRPの材料特性比較
3. 混練時間がリサイクル材に及ぼす影響の検討
4. 射出成形によるリサイクルCFRPの材料特性評価
5. 常圧溶解法によるCFRPのリサイクル

15

2. エポキシ樹脂の処理状態によるリサイクルCFRPの材料特性比較



16

エポキシ樹脂の処理状態

- CF/Epoxyの破砕材 (Vf＝60%) →試料C
- CF/Epoxyの破砕材のエポキシ樹脂を焼きとばしたもの (エポキシ残量＝10%) →試料CH
- 市販の炭素繊維を6mmに切りそろえたもの→試料F

破砕

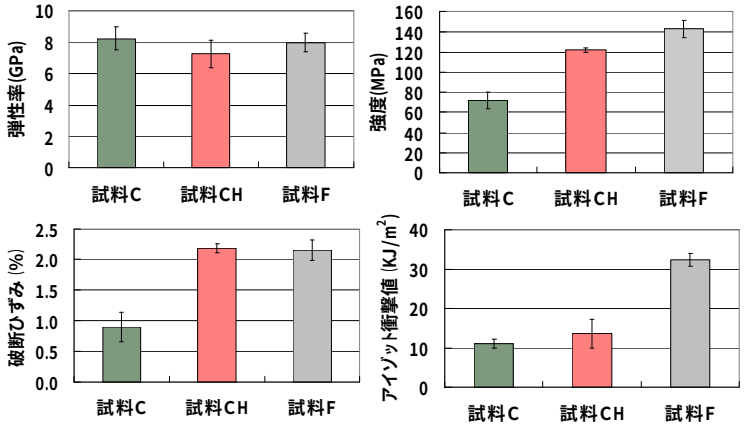
試料C

熱処理

試料CH

17

エポキシ樹脂の処理状態による特性比較



ボイド率 ： C (4.0%)、CH (2.5%)、F (2.9%)

18

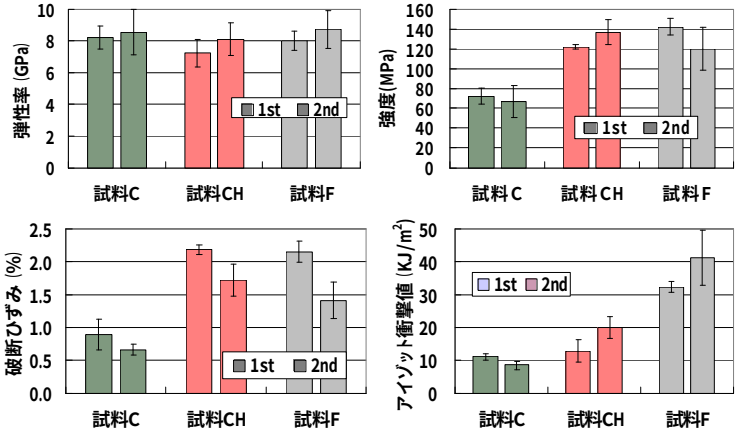
2ndリサイクルの検討

- 先の試験 (1stリサイクル) で用いた板を、破砕した。
- この破片を、混練、プレス成形を経て試験片を作製した。
- これにより、ＣＦＲＰの複数回のリサイクルの検討を行います。

試料Fの破砕材

19

2ndリサイクルの試験結果



ボイド率 ： C (4.0%,5.8%)、CH (2.5%,0.9%)、F (2.9%,1.0%)

20

処理状態による特性比較のまとめ

エポキシ樹脂の残留 → 破断ひずみ・衝撃値の低下

熱処理により、破断ひずみの低下は改善

2ndリサイクル → 破断ひずみの低下

純粋な繊維の添加などにより、複数回のリサイクルを行うことは可能

2回の混練 → エポキシ樹脂による破断ひずみの低下が抑制？

長時間の混練により、エポキシ樹脂による性能劣化を抑制？

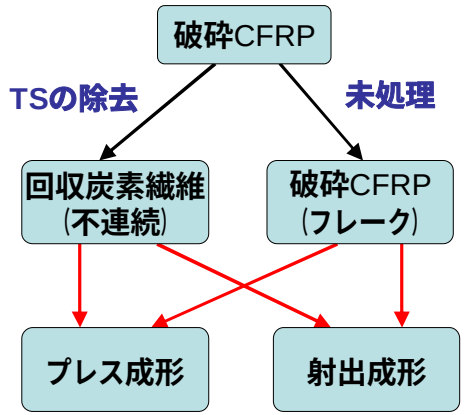
21

本研究の流れ

1. 基本的な実験方法の説明
2. エポキシ樹脂の処理状態によるリサイクルCFRPの材料特性比較
3. 混練時間がリサイクル材に及ぼす影響の検討
4. 射出成形によるリサイクルCFRPの材料特性評価
5. 常圧溶解法によるCFRPのリサイクル

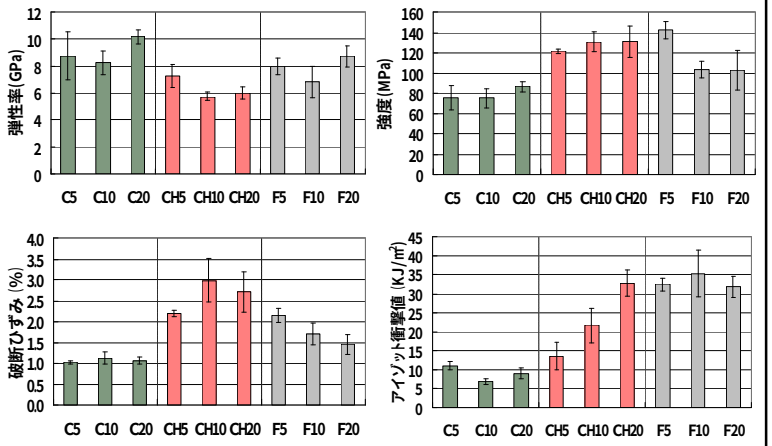
22

3. 混練時間がリサイクル材に及ぼす影響の検討



23

試験結果（長時間混練）



ボイド率：C（4.0%,5.4%,4.5%）、CH（2.5%,2.5%,1.4%）、F（2.9%,3.1%,2.2%）

24

まとめ

- 長時間混練により、破断ひずみ･衝撃値においてエポキシ樹脂を含む試料の特性値の向上が確認された
  - ある程度の混練により、エポキシ樹脂による材料特性の低下を抑制できる可能性がある

⇒ 射出成形を行うことで、さらに詳しく検討する。

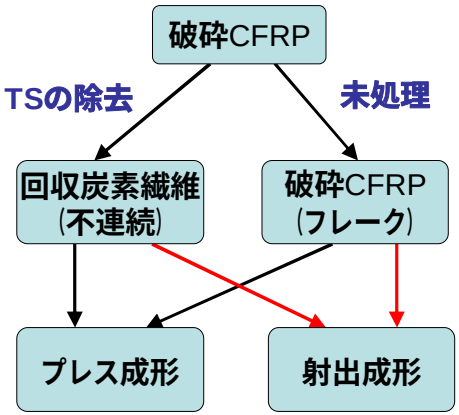
25

本研究の流れ

1. 基本的な実験方法の説明
2. エポキシ樹脂の処理状態によるリサイクルCFRPの材料特性比較
3. 混練時間がリサイクル材に及ぼす影響の検討
4. 射出成形によるリサイクルCFRPの材料特性評価
5. 常圧溶解法によるCFRPのリサイクル

26

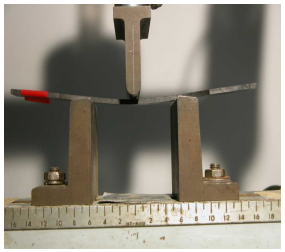
4. 射出成形によるリサイクルCFRPの材料特性評価



27

射出成形品での試験の説明

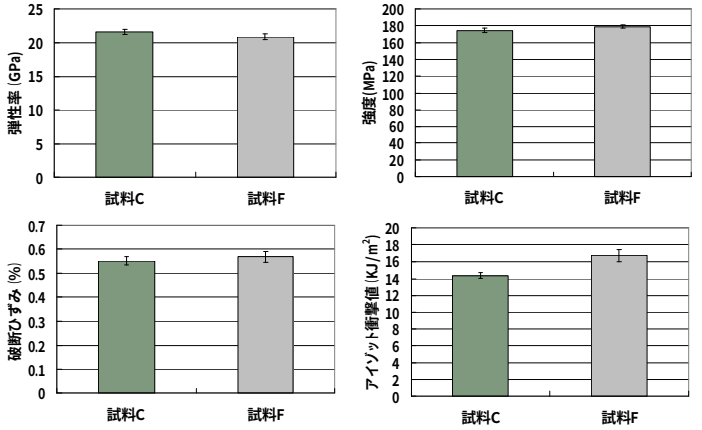
JIS K7113 1号 (DJK作製)



- ここで使用した試料は試料Cと試料Fである (Vf=30%)。
- 共同研究の関係から、樹脂にはABSを用いた。
- 試験片は企業に依頼し作製してもらった。

28

射出成形品による試験結果



まとめ

- プレス成形においてはエポキシ樹脂が破断ひずみ、衝撃値を低下させる要因になっていた。
- しかし、射出成形により十分な混練を行うことで、その影響がなくなることがわかった。

射出成形を行う際には
エポキシ樹脂の前処理は不要

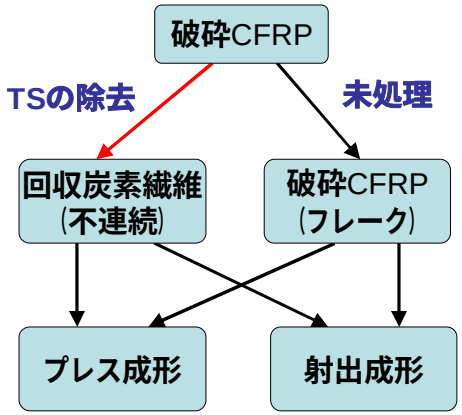
30

本研究の流れ

1. 基本的な実験方法の説明
2. エポキシ樹脂の処理状態によるリサイクルCFRPの材料特性比較
3. 混練時間がリサイクル材に及ぼす影響の検討
4. 射出成形によるリサイクルCFRPの材料特性評価
5. 常圧溶解法によるCFRPのリサイクル

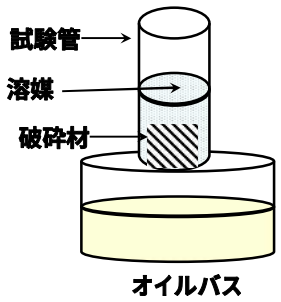
31

5. 常圧溶解法によるCFRPのリサイクル



32

常圧溶解法による破砕CFRPの処理

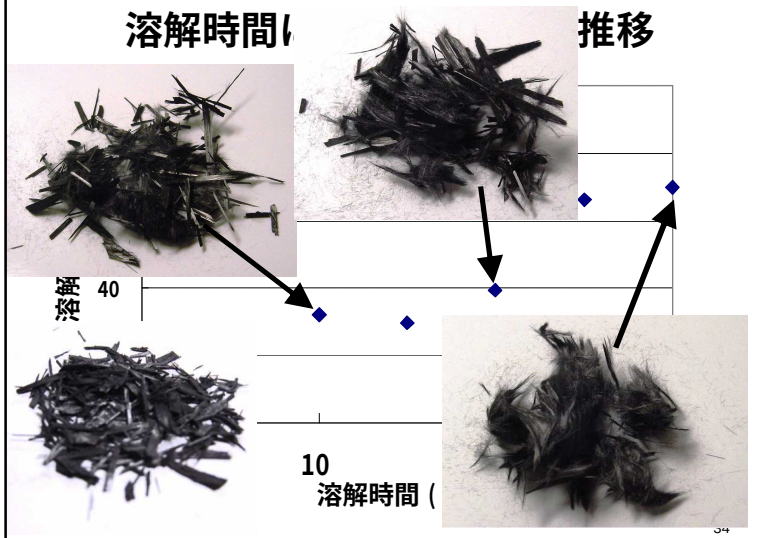


- 溶媒中(BZA)に触媒（K_3PO_4）と破砕材を入れ190℃に加熱 → エポキシ樹脂の溶解
- 繊維をEGに浸し、超音波洗浄機により洗浄 （5分間）
- さらに、水による超音波洗浄（2回）
- 最後に200℃、1時間の乾燥 → **試料CC**とする

BZA：ベンジルアルコール
K_3PO_4：リン酸三カリウム
EG：エチレングリコール

33

溶解時間[illegible]推移



34

試験片の作製と試験

切断

試料CC

- 多量な試料を作製するのは困難

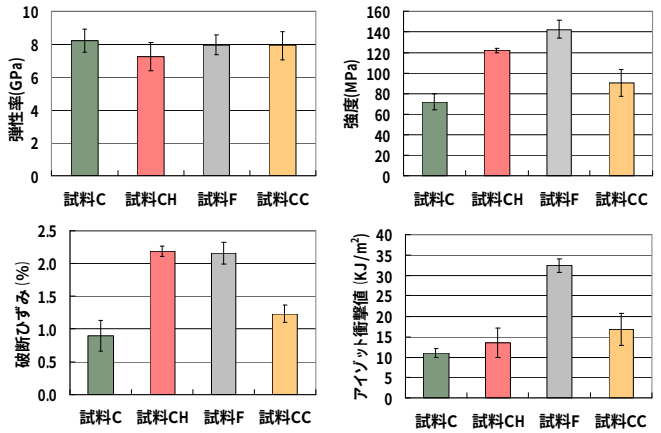
→企業のパイロットプラントの常圧溶解法により回収された連続繊維を切断し、試料CCとした（左図参照）。

- エポキシ樹脂はほぼ完全に溶解済み。
- その他の試験片の作製、試験の方法は先の実験と同様
- ただし、異方性の検討の結果、他の試料とは逆に、縦方向の試験片が弱い性能を示した。

→この試料のみ縦方向の試験片の値を用いて、考察を行う。

35

試験結果



ボイド率： C（4.0%）、CH（2.5%）、F（2.9%）、CC（5.7%）

36

まとめ

- 熱処理の試料CHとの比較では、エポキシ樹脂の除去率、ボイド率の違いから、どちらが良いかという結論を得ることができなかった。
- 未処理の試料Cと比較すると、材料特性の向上が確認された。

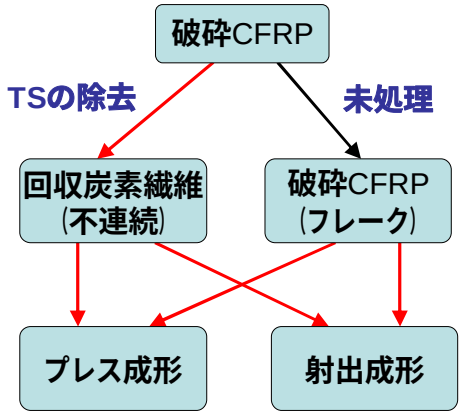
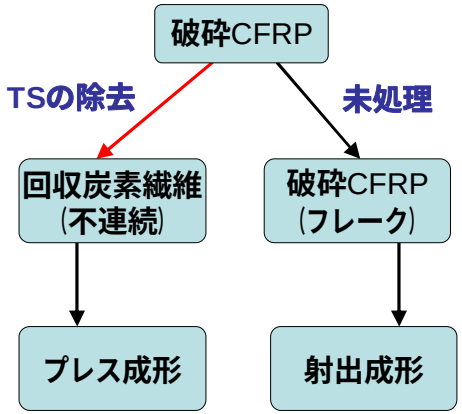
→常圧溶解法の効果を確認することができた。

プレス成形を行う際には
何らかのエポキシ樹脂の処理が必要

結論

- 射出成形によりリサイクルを行う際には、破砕材のエポキシ樹脂の処理が不必要である。
- プレス成形を行う場合には、何らかの方法でエポキシ樹脂を除去する必要がある。
- 本研究では、エポキシ樹脂の処理方法として、熱処理と薬品処理を検討し、それぞれの効果を確認しました。
- 今後の研究課題としては、処理方法が与える効果はもちろん、処理コストや処理時間なども含めた総合的な検討をしていく必要がある。

本研究の位置づけ



本研究の成果