

量産用CFRPの リサイクル研究

安全評価工学研究室2年
松塚展国

指導教官
高橋淳

1

発表の流れ

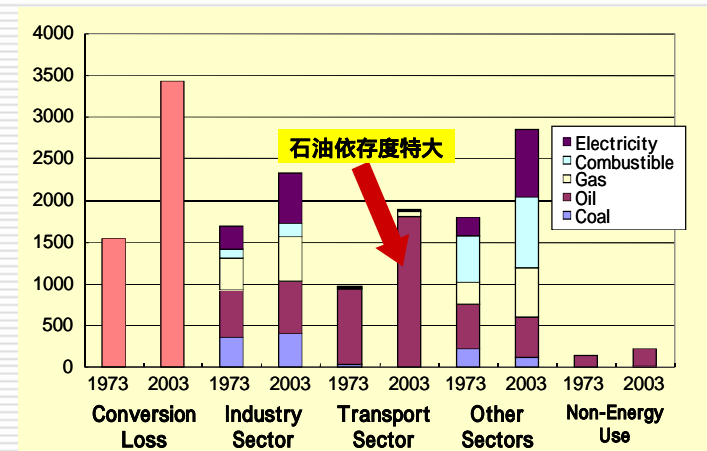
- 研究背景・目的
- 材料成形・試験
- 試験結果
基本物性評価・・・目標達成のための材料系の絞り込み
実用性評価・・・繰り返しリサイクル性の検証
- SEM分析
- 結論

2

研究背景・目的

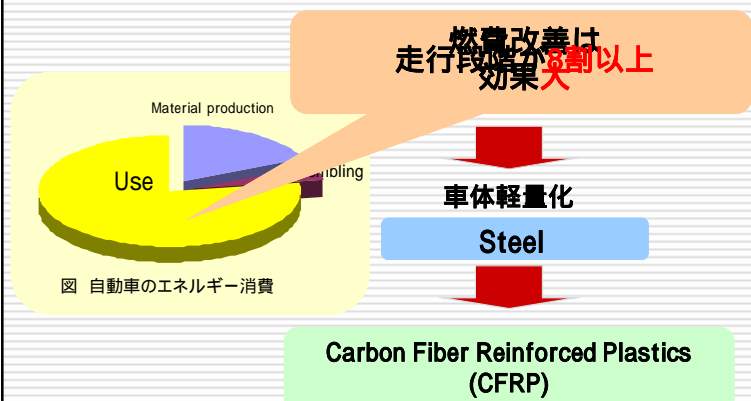
3

世界のセクション別エネルギー消費量



4

本研究の着目点



5

量産車へのCFRP適用の問題点

- 1 製造スピードが遅い
- 2 ハイコスト
- 3 製造エネルギー原単位が高い



図 カレラGT ポルシェ

Key word

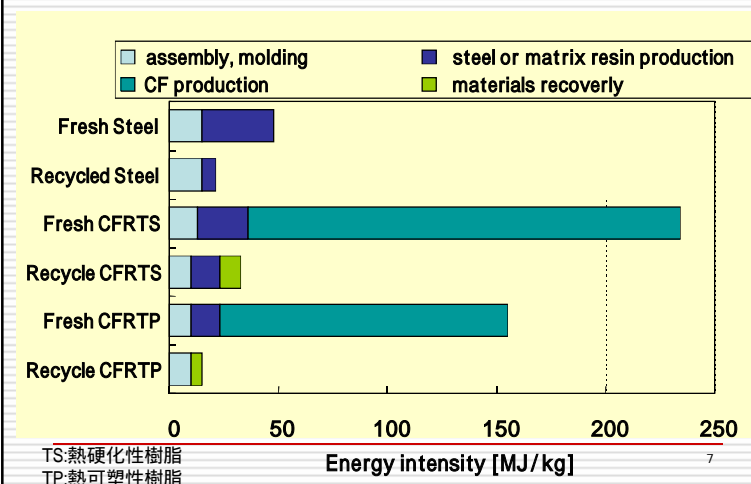
射出成形

熱可塑性樹脂

リサイクル

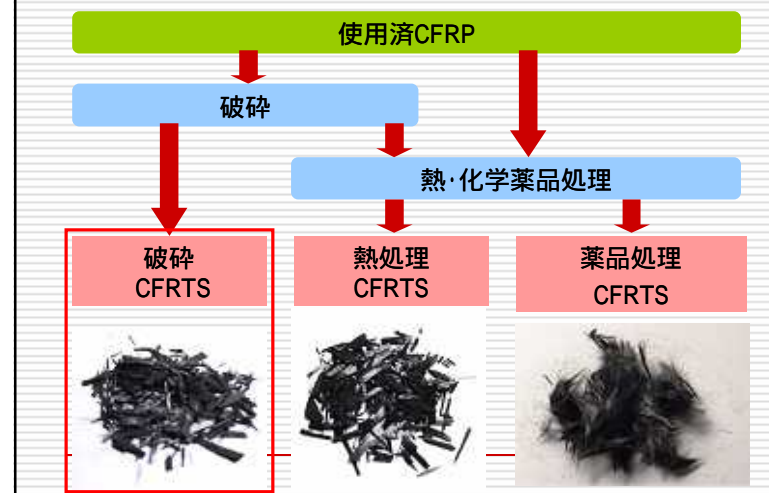
6

リサイクル効果

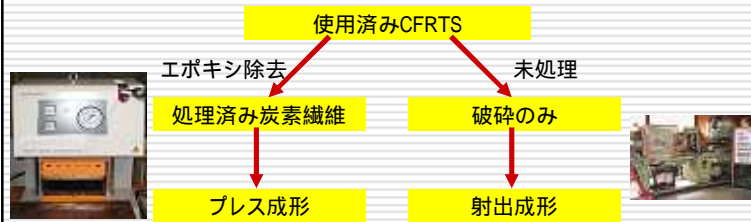


7

CFRTSのリサイクル



先行研究・本研究の位置づけ



- 自動車への適用実用化へむけて
量産可能であること(コスト、迅速性、エネルギー)
- ➡ 破碎のみ 射出成形というリサイクル
- 適用箇所は？
- ➡ まずは高い力学特性を要求しない部材 二次部材

9

本研究の目的

- 破碎 射出成形のリサイクルCFRTPは
量産車の二次部材になり得るのか？
「シンプル」なリサイクル方法で要求性能を満たすのか？
樹脂、繊維体積含有率(V_f)の絞込み
- リサイクル材の材料特性の仕組みを検証する
繊維長分布、SEM写真などから考察
より高性能なリサイクル材を目指す

10

力学特性の目標値は？

- 曲げ強度 90 MPa
- 曲げ弾性率 3.7 GPa

自動車二次部材用のGFRPの値を元に設定

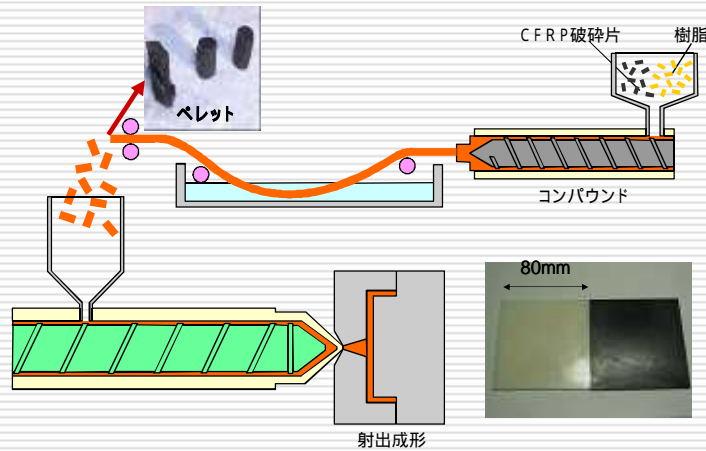


11

材料成形・試験

12

破砕片 射出成形の流れ



13

本研究の試験

- 基本物性評価
樹脂、繊維体積含有率(Vf)選定
射出成形品内の異方性の検証
繊維長分布の測定
- 実用性評価
4回リサイクルまで行い、力学特性を検証

CFRPフレッシュ部材の性能
(連続繊維)

リサイクルCFRPの目標値

繰り返しリサイクルの過程で変化が少ない方が望ましい

1回目 2回目 3回目

CFRPリサイクル部材 14

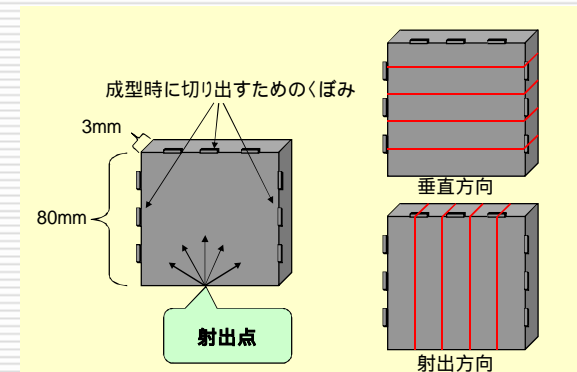
本研究の試験

- 使用した樹脂
ABS (Acrylonitrile, Butadiene, Styrene)
エンジン回りなどに適用 耐衝撃性
PP (Polypropylene)
バンパーなどに適用 コスト、汎用性
- 試験片の種類
リサイクル材・・・Vf 7, 15, 24, 30
フレッシュ材・・・Vf 30 (ABS) 15 (PP)
樹脂のみ
- 試験
曲げ試験
アイゾット衝撃試験
引張り試験・・・ABSの一部(本発表では割愛)
試験本数・・・各5本



15

試験片の切り出し方



- 垂直方向・・・T (Transversal) 方向
- 射出方向・・・L (Longitudinal) 方向

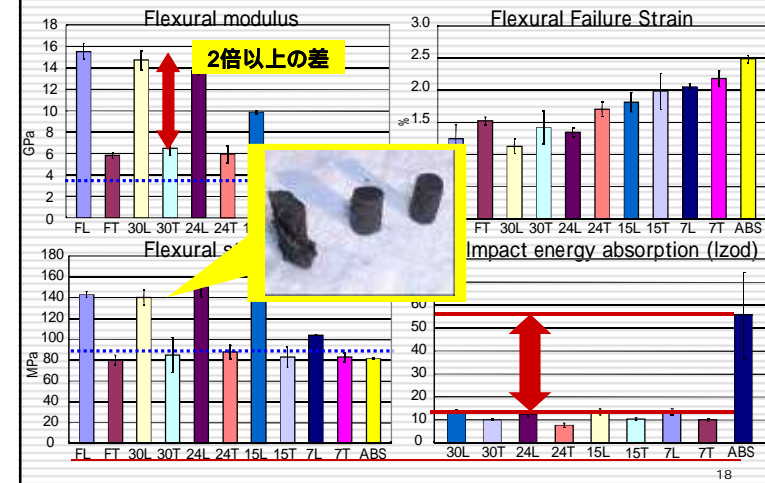
16

試験結果

基本物性評価
CF/ABS

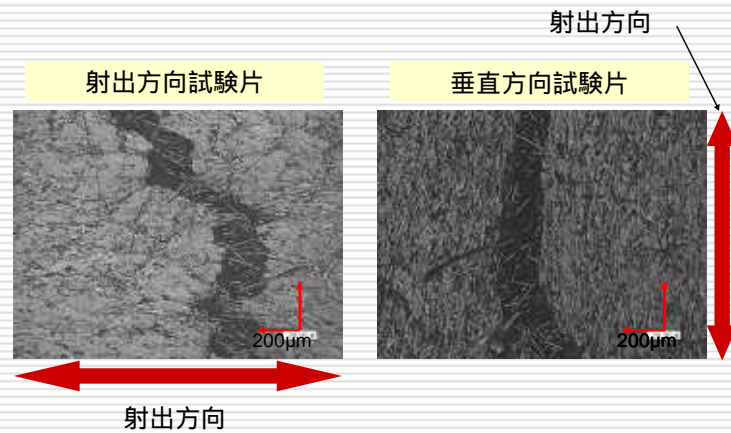
17

試験結果 CF/ABS



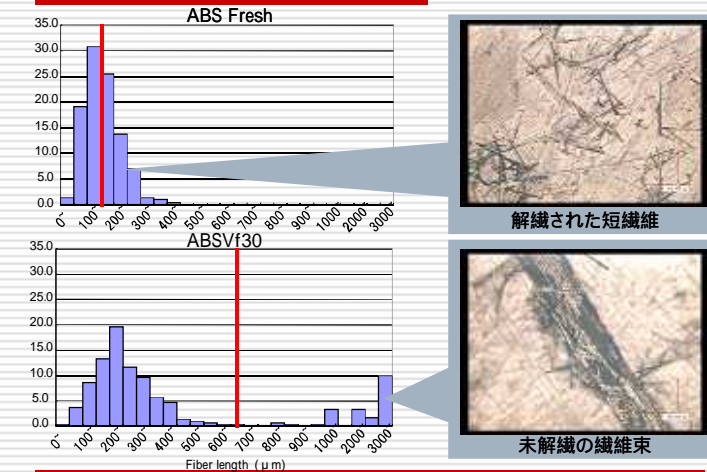
18

破断面観察



19

繊維長分布 CF/ABS



繊維束: CF/EP破砕材のかたまり

20

考察 CF/ABS

□ 繊維配向

L方向とT方向で繊維配向に大きな偏り
設計時に配向性を考慮する必要がある

□ フレッシュ材VSリサイクル材

未解繊の繊維束がプラスに作用している
含浸性の低下からひずみが減少

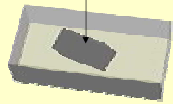
□ Vfの違い

弾性率はVf30が最大だったものの強度はVf24が最大
CF/ABSの最適なVfは15 24の間に存在か

□ 要求性能

現段階で十分クリア

繊維束(Vf60)



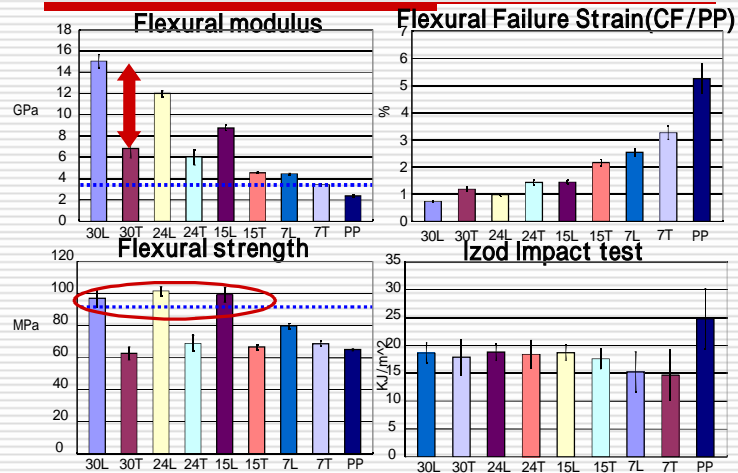
21

試験

基本物性評価 CF/PP

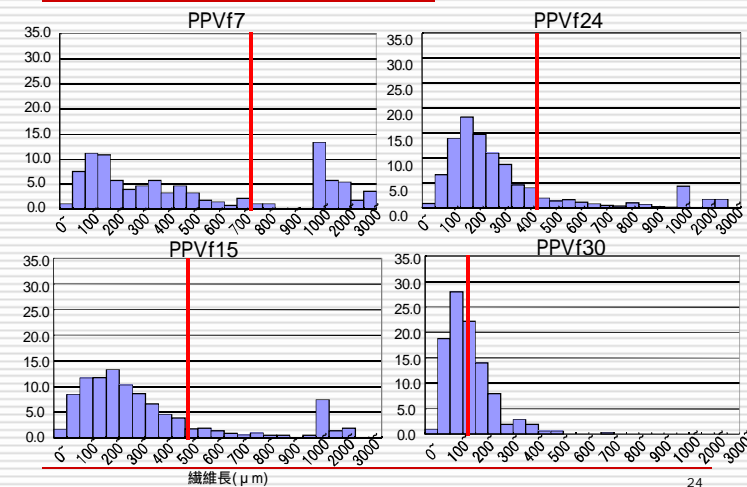
22

試験結果 CF/PP



23

繊維長分布 CF/PP



24

考察 CF/PP

- 力学特性
Vf24で強度最大 適切なVfはやはり15 24
- 繊維長分布
強度の高かったVf15、24で大量の繊維束
繊維束が力学特性に寄与
しかし、Vfが違うので一概にはいえない
- 要求性能
Vf15 30ならば弾性率、強度を達成

25

樹脂、Vf選定

	力学特性	耐薬品性	コスト、汎用性
ABS		×	
PP			

	30	24	15	7
弾性率				
強度				×

➡ CF/PP Vf15に決定

26

試験

実用性評価
繰り返しリサイクル

27

繰り返しリサイクルについて

CFRP部材 (フレッシュ) → 破砕材 (熱処理なし) → ベレタイズ 射出成形

1stリサイクル材

↓ 破砕・射出成形

2ndリサイクル材

↓ 破砕・射出成形

3rdリサイクル材

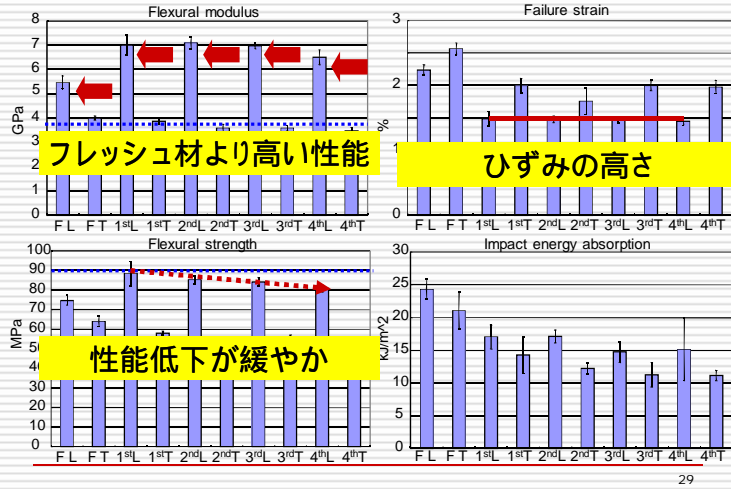
↓ 破砕・射出成形

4thリサイクル材

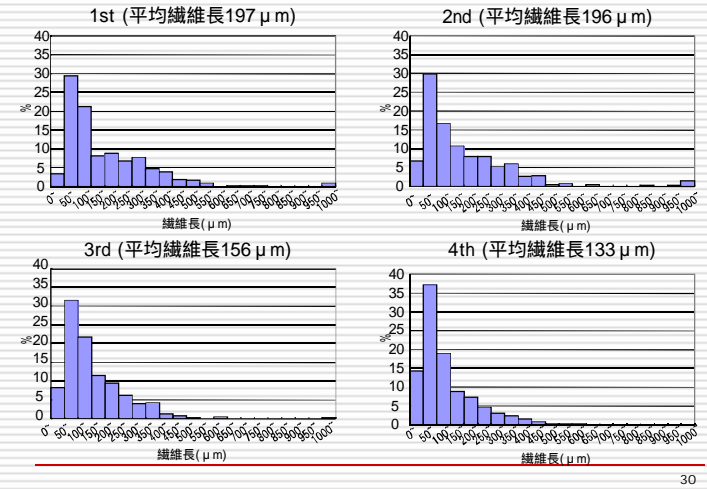
- 材料特性の安定性の検証
量産対応のリサイクルループ(N回目という区別が困難)の過程において、リサイクルを繰り返しても要求性能を満たす範囲で材料特性が安定していることが望ましい
- 繊維束の影響の検証
同じVfで比較した方が繊維束、繊維長の影響が解明しやすい

28

試験結果 CF/PP 繰り返しリサイクル



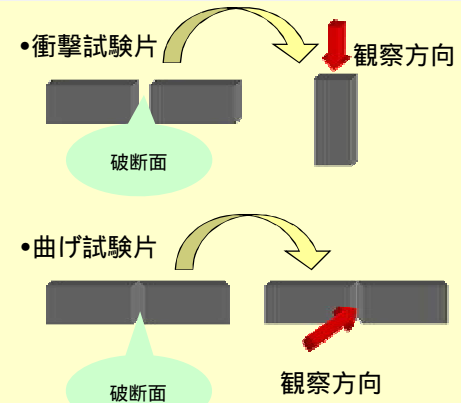
繊維長分布 CF/PP 繰り返しリサイクル



SEM写真

31

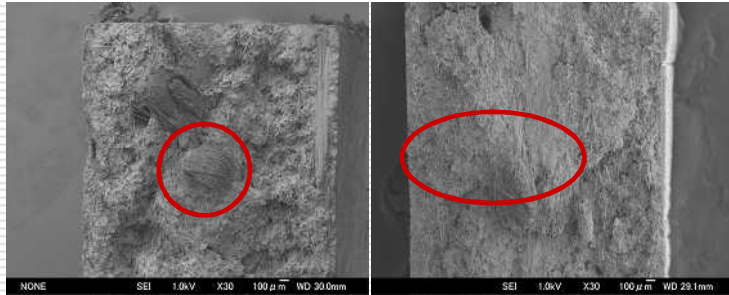
SEM写真



SEM写真 衝撃試験片

1st × 30

2nd × 30



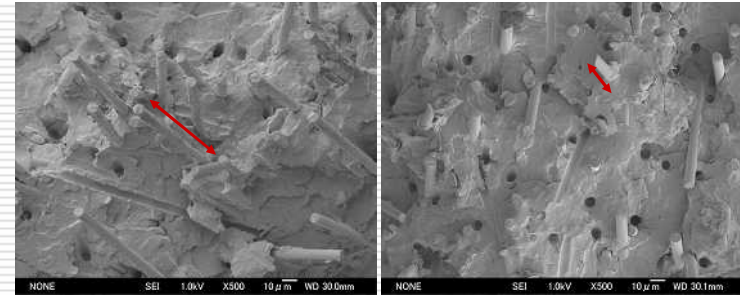
- 繊維束ごと引き抜けている
- 表層部に短繊維、中心部に繊維束
- 繊維束の減少
- 中心部と表層部の繊維の方向性

33

SEM写真 衝撃試験片

1st × 500

4th × 500



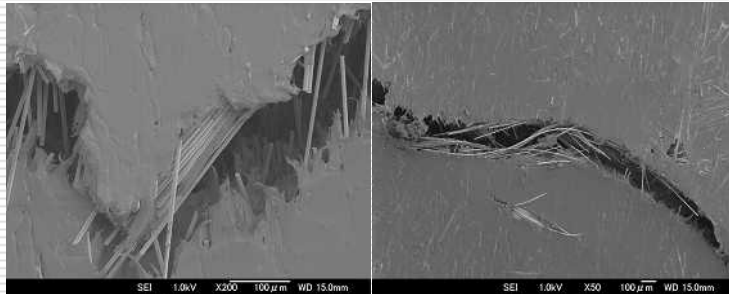
- 引き抜け長さの減少

34

SEM写真 曲げ試験片

2nd × 200

3rd × 100



- 繊維束に沿って破断が起きている

35

考察 繰り返しサイクル・SEM写真

- 力学特性から…
フレッシュ材より高い性能 繊維束の補強効果、配向性の違い
4回リサイクルでの性能維持 繊維束の解繊による含浸性の向上

力学特性

繊維長

繊維束

含浸

- SEM写真を踏まえて…
破断は繊維束に沿って発生
応力方向の繊維束は補強、応力と垂直方向の繊維束は破断の原因
衝撃値の低さ 繊維束ごと引き抜けるため、補強効果なし

- 繊維長分布を踏まえて…
ひずみは一定 ひずみは樹脂が負担している

繊維束の制御がキーポイント
(混練条件、破碎後の繊維処理)

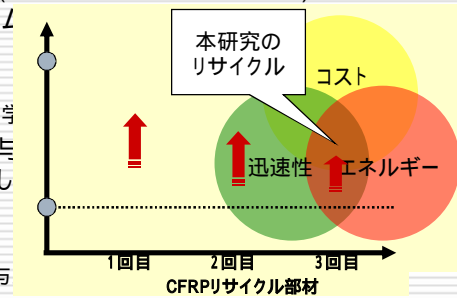
36

結論

37

結論

- 量産に必要な要素(コスト、迅速性、エネルギー)を押さえたりサイクルシステム
 - ・要求性能を十分満たす
 - ・繰り返しサイクルも可能
 - ・フレッシュ材と遜色ない力学的特性
- 力学特性に影響を与える要因について検証し
 - ・強い異方性の存在
 - ・適切なVfを検証
 - ・力学特性に大きく影響を与える要因
- 今後に向けて
 - ・繊維長の維持・繊維束の制御・接着性の向上(エポキシ除去、PP改質)
 - ・より高い性能の量産型リサイクル材



38

END

Thank you for your kind attention
matsutsuka@sunshine.naoe.t.u-tokyo.ac.jp

39