

# 廃繊維強化プラスチックの再生技術に関する調査研究

## 報 告 書

平成 27 年 3 月 31 日

一般社団法人日本海事検定協会

(理化学分析センター)

学校法人君が淵学園崇城大学工学部ナノサイエンス学科

## 要 旨

ガラス繊維（Glass Fiber）を基材として不飽和ポリエステルからなる繊維強化プラスチック（Fiber Reinforced Plastic : FRP）の GFRP は年間約 30 万 t が廃材として処理されているが、その強固な材質のため通常は 90%以上が埋め立て処理であり、数%がエネルギー回収としてサーマルリサイクルされている。現在までの実用的な GFRP の解重合リサイクル技術は極めて少なく、「資源の循環活用」の観点から、高い分解効率であり、性状の安定した再生原料を供給するための革新的な技術の確立は大きな課題となっている。

そこで我々は、数年前よりハイパフォーマンスなエネルギー源のマイクロ波を利用した GFRP の分解リサイクルの研究を推進した結果、GFRP の樹脂部分を 100%分解できる技術を開発することに成功した。しかし、近年、宇宙船・航空機や自動車に多用されている炭素繊維（Carbon Fiber : CF）を基材とした CFRP は、さらに強靱な複合材であるため、その再生技術には、さらなる強烈なパワーを持った技術が必要であった。

本事業の主な目的は、GFRP のさらなる迅速分解の技術を開発して、分解樹脂及び回収ガラス繊維の完全再利用の技術を確立することである。さらにその技術を応用して CFRP の分解及び未利用炭素廃棄物資源のリファイン化の新技术を開発することである。特に使用する手法はマイクロ波 - 加圧技術であり、現在のところ研究としては、先駆け的な領域となる。

平成 26 年度は、第 1 フェーズ（3 年間）のまとめの年度でもあるので、以下の報告内容は、3 年間それぞれの年度の内容をまとめた。なお、3 年間の調査研究の一貫性を保持してまとめた。

平成 24 年度の研究において、GFRP の分解反応に焦点を絞り、マイクロ波 - 加圧条件の有用性について、種々検討を行った結果、リン酸三カリウムを触媒に用いた場合、反応圧力の制御不能が生じて、反応装置が停止するが多かった。一方、無触媒条件下のベンジルアルコール(BzOH)解重合反応は良好に進行することを明らかとして、その分解化合物中にベンジルアルコール残基が存在することを明確にした。

平成 25 年度は、その無触媒分解反応の最適化、分解物の構造決定を目的として、さらに詳細に検討したところ、高沸点のグリコール溶媒、トリエチレング

リコール(TEG)、テトラエチレングリコール(TeEG)及びポリエチレングリコール 300(PEG)の反応において、高い樹脂分解率(重量減少率)が得られることを明らかとした。さらに、樹脂分解物の構造が主にオルトフタル酸エステルであることが、BzOH 及びエチレングリコール(EG)を用いた樹脂分解物の核磁気共鳴スペクトル(NMR)分析及びゲルパーエミションクロマトグラフ(GPC)分析から明らかとなった。

平成 26 年度は、これまでの知見を元に樹脂分解物の積極的な利用を目標に、2重結合を持ったアルコールによる GFRP の樹脂分解反応を検討した。エチレングリコールモノアリルエーテル(EGMA)を用いたところ、マイクロ波照射 2 時間で、約 50%の樹脂分解率が達成された。その樹脂分解物には、予想通り EGMA に由来したアリル構造を含んでいることを NMR 分析から確認したので、不飽和ポリエステルとの架橋反応から硬化物(EGMA-Rsin)を作成した。また、その熱重量分析(TG-DTA)からスチレン代替物としての再利用性についての評価を実施した。比較対象物として、スチレンのみの硬化物(St-Rsin)及び BzOH を用いた樹脂分解物の硬化物(Bz-Rsin)を用いた。硬化速度はスチレン>EGMA >BzOH であったが、TG-DTA の 350℃における重量減少率は EGMA-Rsin > St-Rsin=Bz-Rsin であった。つまり、2重結合が含まれている樹脂分解物は、架橋剤としてのスチレンの代替物として働くことが示唆されたことから、GFRP の樹脂分解再利用において、EGMA を用いる加圧マイクロ波法の有効性が示された。

## 目 次

1. 本事業について	1
1-1 報告書の適用範囲等	
1-2 事業目的	
2. 研究背景と目的	2
2-1 研究背景	
2-2 研究目的	
3. 実験試料および器具・装置	4
4. 実験項目	5
5. 実験結果および考察	5
5-1 概略	5
5-2 GFRP の分解反応におけるマイクロ波—加圧条件の最適化	6
5-3 GFRP のマイクロ波—加圧分解法における樹脂分解物の 構造解析	8
6. 総 括	1 4
7. 文 献	1 5

## 1. 本事業について

### 1-1 報告書の適用範囲等

本報告書は、一般社団法人日本海事検定協会（以下、日本海事検定協会）と学校法人君が淵学園崇城大学（以下、崇城大学）の共同研究である「廃繊維強化プラスチックの再生技術に関する調査研究」（以下、本事業）の適用範囲に基づく研究成果を取りまとめたものである。本事業の実施場所は崇城大学工学部ナノサイエンス学科および日本海事検定協会理化学分析センターである。

### 1-2 事業目的

不要となった自動車、船等から廃棄される繊維強化プラスチック（Fiber Reinforced Plastic：FRP）を資源循環型・環境対応型資源として再利用するために、再生技術に関する調査研究を崇城大学と日本海事検定協会が共同で実施し、その成果を報告書としてまとめ、公表するものである。廃 FRP の供給源として国内では廃自動車、廃船が一般的であるが、原料の性状にばらつきがあるため製品の性状も不均一であることから、回収率が高く性状の安定した製品を供給するための方策を確立することが課題となっている。また、「資源の循環活用」という観点から、できるだけ簡便な方式・装置を使用し、且つ環境影響を抑えることが前提となる。

廃 FRP はこれまで廃棄物として埋立て処分されているが、本事業で有効な再生方法が確立された場合には、ゴミ処理場及び埋立地への負荷が低減されることになり、環境負荷の低減に寄与することになり、資源循環型社会の構築の一助となると考える。さらに FRP 業界念願の完全リサイクル法を提案することとなり、日本国内のみならず世界の環境技術として波及効果も含めて意義深いものとなる。

以上のことを念頭に置きながら、平成 24 年度より平成 26 年度の 3 年間の当該調査研究を実施した。具体的には、加圧マイクロ波法を用いてガラス繊維（Glass Fiber:GF）を使用した GFRP の化学分解を検討し、その無触媒分解の最適条件などを明らかにした。また、本研究は GFRP を分解して再利用することが最終目標となるので、樹脂分解物の構造を明らかとして、再利用の方法論についても考察した。

## 2. 研究背景と目的

### 2-1 研究背景

ガラス繊維を基材として不飽和ポリエステルからなる GFRP は年間約 30 万 t が廃材として処理されているが、その強固な材質のため通常は 90%以上が埋め立て処理であり、数%がエネルギー回収としてサーマルリサイクルされている。実用的な解重合リサイクル技術は日立化成工業株式会社の常圧溶融法のみである。[1]高温高压条件を用いた超臨界水解重合並びにメタノール用いた超臨界法及び亜臨界法では、諸事情からパイロットプラントまたはベンチレベルの研究までで止まっている。[2]また、多種類のグレードの廃 GFRP が回収されるので、その分解効率が高く性状の安定した再生原料を供給するための方策を確立することも大きな課題となっている。

そこで我々は、数年前より「資源の循環活用」、「技術革新」という観点からハイパフォーマンスなエネルギー源、具体的には、マイクロ波を利用した GFRP の分解リサイクルの研究を推進してきた。その結果、マイクロ波加熱を用いて、溶媒-触媒を工夫すると GFRP の樹脂部分がほぼ 100%分解できることが明らかとなった。なお、回収されたガラス繊維は再利用に耐える十分な強度を持っていた。この結果は、先行技術の常圧溶融法よりも短時間で低い消費電力のハイパフォーマンスな技術であった。[3]しかし、近年、宇宙船・航空機や自動車の本体部品に多用されている炭素繊維 (Carbon Fiber:CF) を基材としてエポキシ樹脂などからなる CFRP は GFRP に比べて、さらに強靱な複合材であるため、CFRP の再生技術を確立するためには、さらなる技術の革新が必要であった。

### 2-2 研究目的

上記背景を鑑み、我々の開発してきたマイクロ波による GFRP の分解技術をさらに発展させた新しい FRP の分解技術を本事業において開発することは、GFRP はもとより CFRP までも容易に分解再生可能な方法論を提供することになる。その主なコンセプトは特殊な反応場としてのマイクロ波 - 加圧条件を用いることである。従来の加圧条件は超臨界・亜臨界の高温高压条件でのみ獲得できる高度な技術であった。一方、マイクロ波加熱と加圧条件を組み合わせた場合に、生じる相乗効果により、高温高压条件より温和な条件で超臨界・亜臨界状態を可能として、マイクロ波 - 加圧条件においても同様の反応が進行する

と予想した。本事業の主な目標を下記にまとめそのタイムスケジュールも図 1 に示した。その概念図と達成後の波及効果について図 2 にまとめた。

(1) マイクロ波 - 加圧を用いる GFRP 分解反応: マイクロ波-加圧の GFRP 分解反応を実施するために Multiwave Pro 及び Monowave 300(株式会社アントンパール・ジャパン製)を導入した。また、DiscoverSP (CEM 社製) を用いた予備実験を行った。

(2) マイクロ波 - 加圧を用いる GFRP 分解反応 (図 3): GFRP の通常加熱法、マイクロ波分解法及び加圧マイクロ波分解法を用いた比較実験を行い、加圧マイクロ波分解法が無触媒で進行することから、その優位性について明らかにした。

(3) GFRP の樹脂分解の再利用性の評価: 本事業は GFRP を分解して再利用することが最終目標となるので、樹脂分解物の構造を明らかとして、再利用性についての評価を元に、その方法論を考察した。

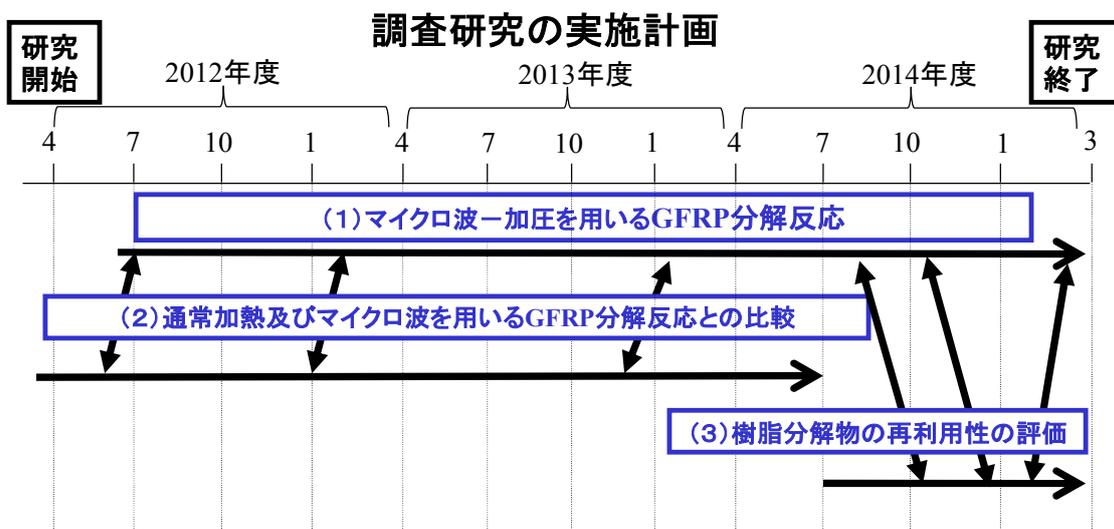


図 1. 本事業の目標と実施計画表

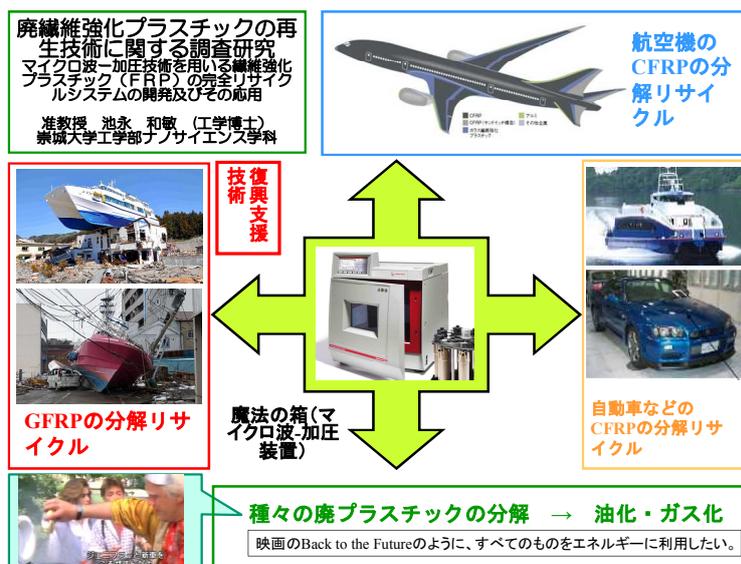


図 2. 本事業の目標の概念と波及効果

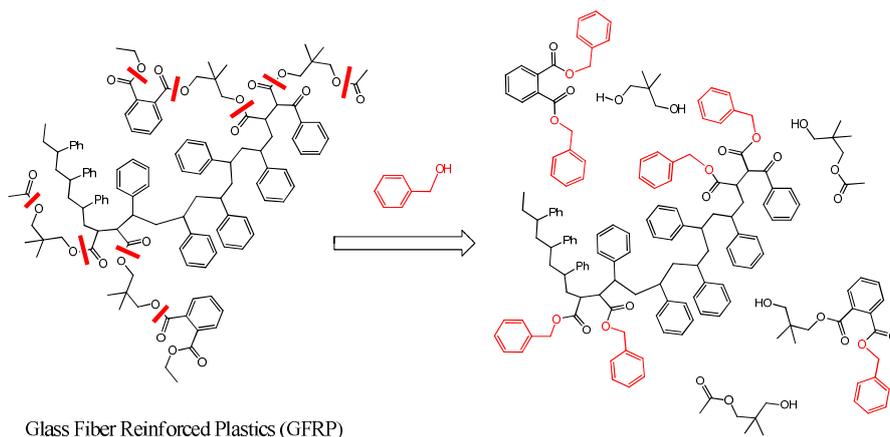


図 3. エステル交換反応を経由する GFRP の樹脂分解反応予想図

### 3. 実験試料および器具・装置

実験試料：GFRP は作業部会に参加する株式会社堀甲製作所から提供を受けた。その GFRP は樹脂部約 70%とガラス繊維約 30%から構成されていた。

装置：マイクロ波装置…DiscoverSP(CEM 社)、Monowave 300 及び Multiwave Pro (株式会社アントンパール・ジャパン製)

その他の器具装置類…崇城大学工学部ナノサイエンス学科池永研究室およびナノサイエンス学科機能物質解析センター内の装置

支援装置：HPLC 分析装置（九州工業大学大学院生命体工学研究科西田治男研

研究室所有) …委員会の西田教授の協力

液体クロマトグラフ質量分析計 (日本海事検定協会リース装置)

#### 4. 実験項目

分解実験: 10 mL 耐圧専用試験管に攪拌子、GFRP (約 0.8g) 及び各種溶媒 (5 mL) を入れ CEM 社製 Discover SP を用いて所定時間マイクロ波照射を行った。その後、室温まで冷却してクロロホルム 130mL でソックスレー抽出を 90 分間行った。クロロホルム溶解物と残渣を濾別した。回収した繊維物及び残渣を乾燥して、その重量から重量減少率 (樹脂分解率) を算出した (式 1)。BzOH、EG、アリルアルコール(AllylOH)及び EGMA を使用した場合には、減圧下のクーゲルロール蒸留で溶解物から溶媒を取り除き、残渣として樹脂分解物を得た。一方、高沸点のジエチレングリコール(DEG)、トリエチレングリコール(TEG)、テトラエチレングリコール(TeEG) およびポリエチレングリコール (PEG) を使用した場合は、反応混合物に水を加えて樹脂分解物をクロロホルム抽出した。なお、触媒を使用した場合には、溶媒を入れたのちに所定の触媒を入れて実施した。

$$\text{GFRP重量減少率 (樹脂分解率)} = \frac{\text{GFRPの重量} - (\text{ガラス繊維} + \text{残渣})}{\text{GFRPの重量}} \times 100 \quad (1)$$

熱重量分析: リガク製の TG8120 を使用して TG-DTA 測定を行った。基準試料の酸化アルミ及び測定試料をアルミ PAN にそれぞれ約 5.00mg 精秤して、測定器内のホルダへピンセットで装着した。大気中の測定モードで室温 (約 15°C) から 500°C まで (1°C/min) 昇温した。その時の重量減少を測定した。

#### 5. 結果および考察

##### 5-1. 概略

平成 24 年度の研究では、DiscoverSP(CEM 社)及び Monowave 300 (株式会社アントンパール・ジャパン製)を用いて、マイクロ波—加圧条件下での GFRP の分解反応の予備検討を行った。リン酸三カリウム( $K_3PO_4$ )を用いた触媒反応は、圧力制御が難しく反応の再現性がないことから、無触媒条件での実験を行った。DiscoverSP において BzOH を用いると 120 分間のマイクロ波 - 加圧反応では、

GFRP の樹脂減少率が 66.6%[4]で、樹脂部分をほぼ完全に分解できることを明らかとした（平成 25 年度の再実験の結果と異なったので、参考値として扱い本報告には割愛した。）。一方、無触媒条件下のベンジルアルコール(BzOH)解重合反応は良好に進行することを明らかとして、その分解化合物中にベンジルアルコール残基が存在することを明確にした。[5]

平成 25 年度の研究では、その無触媒分解反応の最適化、分解物の構造決定を目的として、さらに詳細に検討したところ、高沸点のグリコール溶媒、トリエチレングリコール(TEG)、テトラエチレングリコール(TeEG)及びポリエチレングリコール 300(PEG)の反応において、高い樹脂分解率（重量減少率）が得られることを明らかとした。さらに、樹脂分解物の構造が主に *o*-フタル酸エステルであることが、BzOH 及びエチレングリコール(EG)を用いた実験から得られた樹脂分解物の核磁気共鳴スペクトル(NMR)分析及びゲルパーエミションクロマトグラフ(GPC)分析から明らかとなった。

平成 26 年度の研究では、2重結合を持ったエチレングリコールモノアリルエーテル(EGMA)を用いたところ、マイクロ波照射3時間で、約 50%の樹脂分解率が達成された。その樹脂分解物には2重結合を含んでいることをNMR分析から確認した。不飽和ポリエステルとの架橋反応から硬化物(EGMA-Rsin)を作成して、その熱重量分析(TG-DTA)からスチレン代替物としての再利用性についての評価を実施した。比較対象物として、スチレンのみの硬化物(St-Rsin)及びBzOHを用いた樹脂分解物の硬化物(Bz-Rsin)を用いた。硬化速度はスチレン > EGMA > BzOH であったが、TG-DTA の 300℃における重量減少率はEGMA-Rsin > St-Rsin > Bz-Rsin であった。つまり、2重結合が含まれている樹脂分解物は、架橋剤としてのスチレンの代替物として働くことが明らかとなったことから、GFRP の樹脂分解再利用において、EGMA を用いる加圧マイクロ波法の有効性が示された。

## 5-2. GFRP の分解反応におけるマイクロ波 - 加圧条件の最適化

GFRP の分解反応において、これまで最も高い樹脂分解率は 68.7%であり、その条件は、 $K_3PO_4$ （触媒）—混合溶媒(BzOH:EG = 80:20)用いた 180 分間の常圧マイクロ波照射であった[3]。比較反応として、加圧条件においても  $K_3PO_4$  触媒と BzOH と EG の混合溶媒について検討した。マイクロ波照射時間を 60 分に

固定して溶媒混合比を種々変えて行ったところ、触媒の  $K_3PO_4$  がマイクロ波を極めて高く吸収するため、すべての実験において温度・圧力の制御が困難であった。マイクロ波の出力を微調整しながら実施した結果、最も良い重量減少率は 69.5% であった。しかし、圧力の制御が困難であるので再現性が極めて低い反応であった。そこで、マイクロ波の吸収が低いアルカリ塩類の炭酸水素ナトリウム ( $NaHCO_3$ ) を用いて同様の実験を行った。マイクロ波照射時間を 120 分に固定して溶媒混合比を種々変えて行ったところ、 $BzOH:EG = 100:0$  を用いた場合の重量減少率が最も高い 66.7% であることが分かった。 $NaHCO_3$  を用いた場合

Table.1. Non-catalyzed degradation of GFRP under pressurized microwave.

Entry	GFRP /g	Solvent <sup>a</sup> /% BzOH:EG	Time /min	Temp /°C	Pressure /MPa	Weight reduction ratio of GFRP /%
1	0.786	100:0	120	300	0.5	48.7
2	0.764	80:20	120	300	0.5	46.8
3	0.761	50:50	120	300	0.7	43.3
4	0.761	20:80	120	300	1.1	40.8
5	0.750	0:100	120	300	1.1	57.6

a) The total amount of solvent was 5mL.

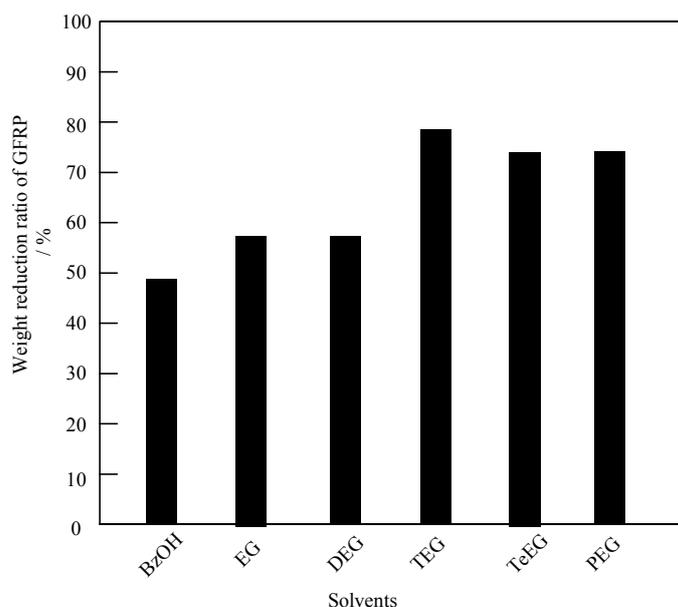


Fig.4. Effect of solvent in non-catalyzed degradation of GFRP under pressurized microwave.

GFRP のマイクロ波 - 加圧分解反応において、温度と圧力の制御が困難であるのは、すべて混合溶媒において温度および圧力の制御は十分に可能であった。この原因の1つとして、GFRP と溶媒はマイクロ波を効率良く吸収できるので、添加された触媒によってマイクロ波を過剰に吸収したためであると予想した。そこで無触媒条件下で、BzOH-EG 混合溶媒系を用いたマイクロ波 - 加圧分解反応について検討した。予想通り、急激な圧力上昇は抑制することに成功したが、どの混合比においても GFRP を十分に分解することができなかった(表1)。他方でポリエチレンテレフタレート (PET) のアルカリ分解において、ジエチレングリコール( DEG)などの高沸点ジオール溶媒が良好な結果を与えることが分かっていたので[6]、DEG、TEG、TeEG および PEG を用いた無触媒分解反応を検討したところ、図4にまとめたように TEG が最も良好な重量減少率 78.1% を与えることが分かった。DEG は 57.8%、TeEG は 73.5% および PEG は 74.1% の重量減少率であった。これらの結果は、ジオール系溶媒がマイクロ波を十分に吸収して反応温度 300°C を保つだけでなく、樹脂表面を軟化することにより、マイクロ波 - 加圧による樹脂の内部加熱を促進して、樹脂分解を加速したと予想された。

### 5-3. GFRP のマイクロ波 - 加圧分解法における樹脂分解物の構造解析

樹脂分解物を水平リサイクル (GFRP の樹脂へ再利用) もしくはアップグレードリサイクル (高付加価値な特殊性質を付与した化合物としての利用) するためには、樹脂分解物の構造決定が不可欠である。特に再利用を容易にするためには、その末端構造が反応性の高い官能基 (エステル基、アルコール基または不飽和基) であることが必須となる。

樹脂分解率が完全ではないが、構造解析が容易と思われる BzOH を用いた無触媒分解反応の樹脂分解物の  $^{13}\text{C}$ -NMR 測定を行ったところ、127-135ppm と 167ppm に特徴的な芳香環炭素とカルボニル炭素の化学シフト[Fig.5(d)]が得られた。ベンジルアルコールのフタル酸エステルと予想して ChemBioDraw を用いた位置異性体の  $^{13}\text{C}$ -NMR シミュレーションと比較したところ、*o*-ジベンジルフタレートの化学シフト[Fig.5(c)]と極めて一致した。さらに、マイクロ波—加圧反応を用いて *o*-ジエチルフタレートから合成した標品の化学シフト[Fig.5(e)]と一致したことから、BzOH を用いた場合には、無触媒マイクロ波 - 加圧分解反応はエステル交換型で進行して、*o*-ジベンジルフタレートが生成しているこ

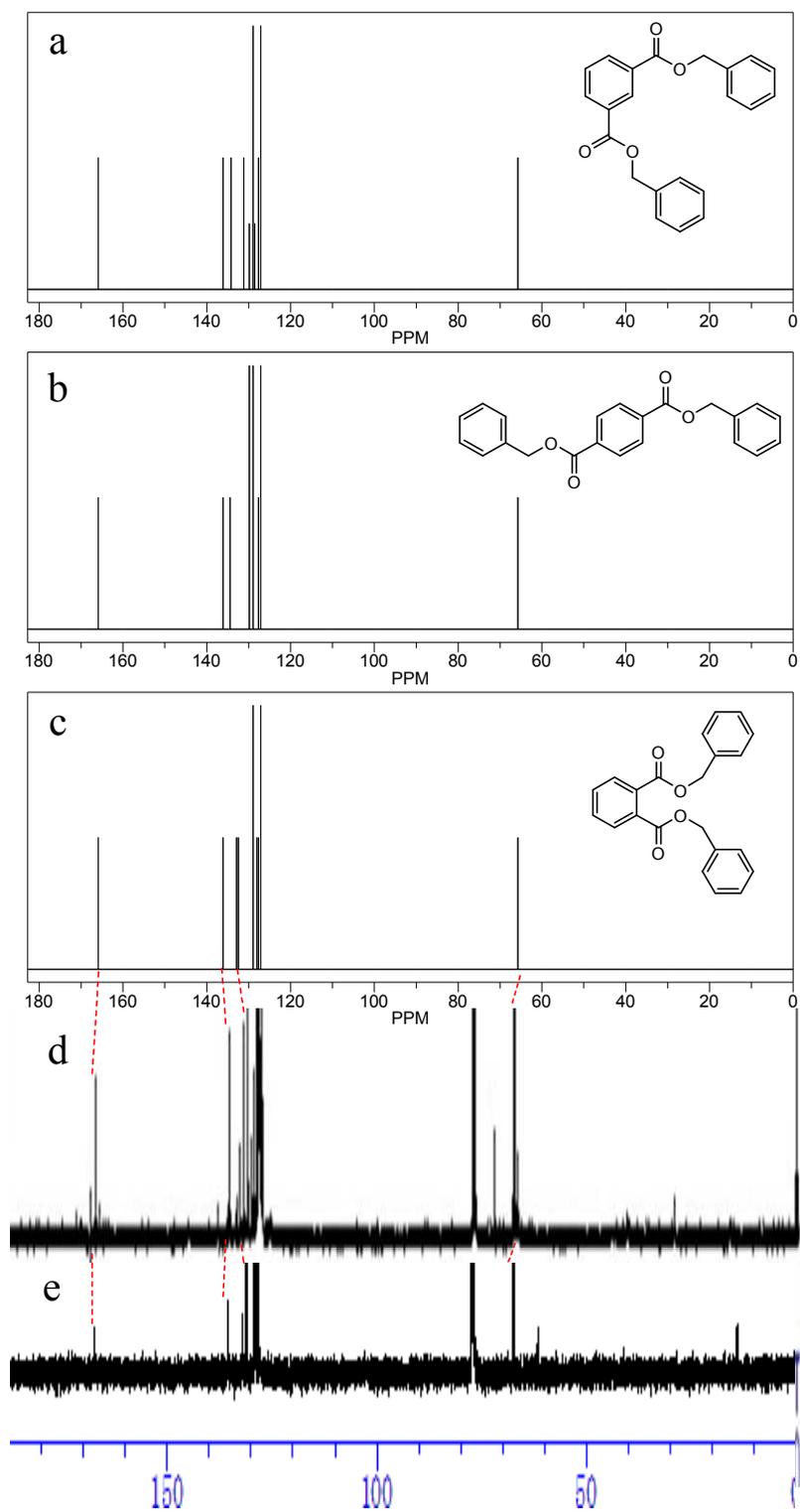


Fig.5.  $^{13}\text{C}$ -NMR simulations by ChemBioDraw(a, b, and c) and  $^{13}\text{C}$ -NMR analyses (d and e) of residue of entry 11 and benzyl phthalate.

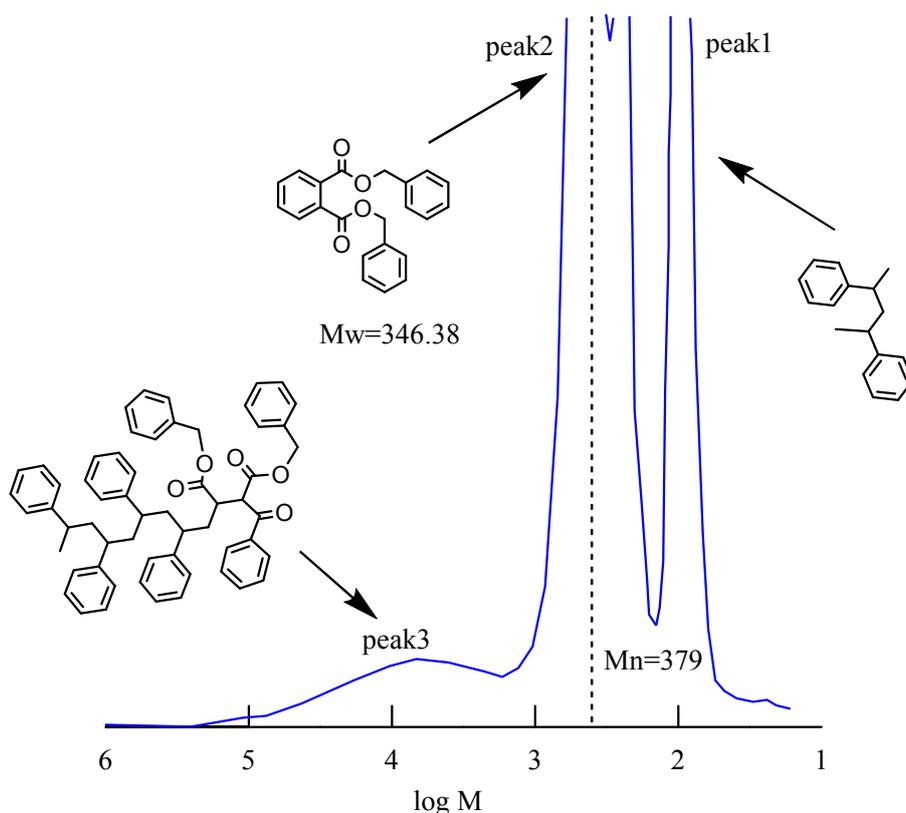


Fig.6. The GPC analysis of resin in GFRP decomposed by benzyl alcohol under pressurized microwave condition.

とが分かった。樹脂分解物の GPC 分析 (図 6) において検出された peak2 の物質が紫外線を吸収できる分子量約 379 の化合物であること、亜臨界メタノール - DMAP 触媒反応およびイオン性液体中のマイクロ波分解[7]において得られた分解物がフタル酸化合物であることから、本反応系における *o*-ジベンジルフタレート の生成は強く支持された。なお、GPC 分析における peak3 は、高分子量であるので中川らが報告しているスチレン架橋部を含むフマル酸エステル [8]並びに、peak1 はスチレンダイマーと予想されるが、回収量が少ないため NMR による構造解析には至っていない。一方、EG を用いた分解反応の NMR および GPC の分析結果からも、樹脂分解物の主な物質は *o*-フタレートの 1,2-ビス (ヒドロキシエチル) フタレートであることが確認された。[9]

## 6. 総括

### 6-1 本事業により得られた知見・成果

#### 【平成 24 年度】

沸点が 200℃前後の BzOH および EG ではアルカリ性触媒を用いて、ある程度高い GFRP の樹脂分解率が得られることが分かった。

#### 【平成 25 年度】

沸点の高い TEG、TeEG および PEG を用いた場合には、触媒を使用しなくても高い樹脂分解率が得られた。それぞれの場合において、マイクロ波—加圧条件で溶媒が樹脂表面を軟化することにより、マイクロ波による内部加熱を促進して、樹脂の分解速度を加速したと予想された。樹脂分解物の NMR 分析、Chem Bio Draw でのベンジルフタレートの NMR シミュレーションおよび *o*-ベンジルフタレートの NMR 分析の結果を総合して、得られた樹脂分解物は *o*-ジベンジルフタレートであると構造決定した。

#### 平成 25 年度の成果

[1] 池永和敏、伊藤祐輔、宇都宮沙織、繊維強化プラスチックの加圧マイクロ波アルコール分解、口頭発表、日本化学会第 94 春季年会、2014 年 3 月、名古屋

[2] 池永和敏、伊藤祐輔、宇都宮沙織、加圧マイクロ波を利用する繊維強化プラスチックの無触媒アルコール分解、ポスター発表、日本化学会第 94 春季年会、2014 年 3 月、名古屋

#### 【平成 26 年度】

現在追加となる実験を行っており、追加で成果が確認され次第、改訂版を公開する。

#### 平成 26 年度の成果

[1] 池永和敏、ガラス繊維強化プラスチックのマイクロ波加圧分解反応、招待講演、第 3 回グリーンケミストリー研究会シンポジウム、2014 年 8 月、東京

[2] 伊藤祐輔、池永和敏、無触媒マイクロ波加熱を用いる GFRP のエステル交換型分解反応と樹脂分解物の同定、ポスター発表、第 3 回グリーンケミストリー研究会シンポジウム、2014 年 8 月、東京

[3] 池永和敏、伊藤祐輔、宇都宮沙織、加圧マイクロ波を用いる繊維強化プラスチックの無触媒分解反応、ポスター発表、第 23 回ポリマー材料フォーラム、2014 年 11 月、奈良

[4] 池永和敏、「ガラス繊維強化プラスチックの加圧マイクロ波分解」、自動車技術、Vol.69、No.4、2015、掲載予定.

## 7. 文 献

- [1] 前川一誠ほか：常圧溶解法による FRP リサイクル技術，日立化成テクニカルレポート，No. 42， p. 21 (2004) .
- [2] 菅田 孟ほか：繊維強化プラスチックからの繊維回収再利用方法，特許出願平 8-261240 (1996) ； Kamimura A; Yamada K; Kuratani T; Oishi Y; Watanabe T; Yoshida T; Tomonaga F、 ChemSusChem、 1、 845、 (2008).
- [3] 馬場雅弘、平成 23 年度 崇城大学大学院工学研究科応用化学専攻修士論文.
- [4] 樹脂含有率が約 70%であることから、分解率 66.6%は 100%に近い値と解釈した。
- [5] 宇都宮沙織、平成 24 年度 崇城大学工学部ナノサイエンス学科卒業論文.
- [6] 上田祐司、平成 23 年度 崇城大学大学院工学研究科応用化学専攻修士論文.
- [7] Kamimura A; Yamamoto S; Yamada K、 ChemSusChem、 4、 644、 (2011).
- [8] Nakagawa T; Itoh T; Hidaka M; Urabe T; Yoshimura T、 NettowakuPorima、 29、 158、 (2008) .
- [9] 伊東祐輔、平成 25 年度 崇城大学大学院工学研究科応用化学専攻修士論文.
- [10] 菊川智則、平成 26 年度 崇城大学工学部ナノサイエンス学科卒業論文.

## 廃繊維強化プラスチックの再生技術に関する調査研究会

### 委員一覧 (敬称略)

(職名は平成 27 年 3 月現在)

	氏 名	所 属
委員長	山脇 隆	一般社団法人廃棄物資源循環学会
	池永 和敏	学校法人学校法人君が淵学園崇城大学工学部ナノサイエンス学科 准教授
	西田 治男	国立大学法人九州工業大学大学院生命体工学研究科 教授
	高砂 武司	一般社団法人日本海事検定協会 次長
作業部会長	堀江正二郎	株式会社堀甲製作所、社長
	池永 和敏	学校法人学校法人君が淵学園崇城大学工学部ナノサイエンス学科 准教授
	二子石 修	株式会社堀甲製作所
	湯浅 正敏	新日鉄住金化学株式会社
	和泉原芳一	新日鉄住金マテリアルズ株式会社コンポジットカンパニー 取締役社長
	倉田 功	新日鉄住金マテリアルズ株式会社コンポジットカンパニー
	野本 英朗	新日鉄住金化学株式会社 参事 (アドバイザー)
	穴久保健吾	一般社団法人日本海事検定協会

委員会及び作業部会開催記録（敬称略）

委員会及び作業部会は同日同会場で実施した。なお、平成24年度第2回以降は、合同開催とした。

平成24年度

第1回 平成24年6月22日（東京）山脇、西田、池永、高砂、堀江、二子石、穴久保

第2回 平成25年1月11日（熊本）山脇、西田、池永、高砂、堀江、二子石、穴久保

平成25年度

第1回 平成25年11月15日（東京）西田、池永、高砂、堀江、二子石、野本、三谷、穴久保

第2回 平成26年2月28日（熊本）西田、池永、高砂、堀江、二子石、野本、三谷、穴久保

平成26年度

第1回 平成26年11月26日（横浜）山脇、西田、池永、高砂、堀江、二子石、和泉原、倉田、野本、穴久保

第2回 平成27年3月13日（熊本）山脇、池永、高砂、堀江、二子石、野本、穴久保