

令和6年度地球観測技術等調査研究委託事業
「CFRP の真空対応ケミカルリサイクルシステム」
委託業務成果報告書

令和 7 年 5 月

京都府公立大学法人 京都府立大学

本報告書は、文部科学省の地球観測技術等調査研究委託事業による委託業務として、京都府公立大学法人京都府立大学が実施した令和6年度「CFRPの真空対応ケミカルリサイクルシステム」の成果を取りまとめたものです。

目次

1.	はじめに.....	1
1.1	委託業務の目的.....	1
1.2	業務の方法.....	1
1.3	当該年度における委託業務の結果概要.....	1
2.	実施内容	3
2.1	CFRP のケミカルリサイクル技術の構築.....	3
2.1.1	エポキシ樹脂系改質リグニン含有 CFRP.....	3
2.1.1.1	新規反応媒体による樹脂分解性能.....	3
2.1.1.2	カーボンファイバーの再利用性	4
2.1.2	不飽和ポリエステル系改質リグニン含有 CFRP.....	9
2.2	ケミカルリサイクルに適した CFRP のデザインング	10
2.2.1	バイオベース CFRP のデザインング.....	10
2.2.2	宇宙空間での適合性	15
2.2.3	改質リグニン (GL) 系マトリックス樹脂の開発と CFRP 化	16
2.2.3.1	改質リグニン (GL) 系エポキシ樹脂の CFRP 化	17
2.2.3.2	MG-GL シリーズ添加不飽和ポリエステル樹脂の CFRP 化	21
2.2.3.3	他の樹脂展開 (改質リグニン系ポリウレタン樹脂の CFRP)	23
3.	まとめ	26
4.	添付資料	28

1. はじめに

1.1 委託業務の目的

炭素繊維強化材(CFRP)の航空宇宙分野での利用と宇宙空間などの真空下でのリサイクルを想定し、揮発性の低い媒体中での CFRP の分解及びケミカルリサイクル手法と、それに適する CFRP 用マトリックス樹脂の開発を目的とする。樹脂開発においてはエポキシ樹脂系を中心に検討を進めるが、硬化剤として導入する生物資源由来(バイオベース)の素材である PEG 改質リグニン(改質リグニン)が分解効率を向上する鍵であり、その適応性を精査する。分解媒体においては、ジアザビシクロウンデセン(DBU)などが真空下でバイオベースの樹脂を分解できることを掴んでおり、この特性を最大限に利用して、極限環境下でも活用できる新しい CFRP のケミカルリサイクルシステムを提唱する。

1.2 業務の方法

令和6年度における実施内容は、以下の通りである。

① CFRPのケミカルリサイクル技術の構築(京都府立大学)

改質リグニンの樹脂中での分散性と新規反応媒体による樹脂分解性能に及ぼす影響を解明し、CFRPの物性とリサイクル性の両性能に優れた調製条件を見出す。

② ケミカルリサイクルに適するCFRPのデザインング(森林総研、宮城化成)

ケミカルリサイクルに適するマトリックス樹脂の探索を続けると共に、改質リグニン導入CFRPにおいては、ケミカルリサイクルに適する系で製造したCFRPを化学分解して得られたカーボンファイバーの再利用性を検討する。

③ 研究推進会議の開催

令和6年5月、10月、令和7年2月に研究推進会議を開催する。

④ 自発的な研究活動等

自発的な研究活動等に関する実施方針に基づき、所属機関が認めた範囲で自発的な研究活動等を推進する。

1.3 当該年度における委託業務の結果概要

令和6年度における業務の結果概要は、以下の通りである。

① CFRP のケミカルリサイクル技術の構築

改質リグニンの樹脂中での分散性と新規反応媒体による樹脂分解性能に及ぼす影響を解明し、CFRP の物性とリサイクル性の両性能に優れた調製条件を見出した。

② ケミカルリサイクルに適する CFRP のデザインング

ケミカルリサイクルに適するマトリックス樹脂の探索を続けると共に、改質リグニン導入 CFRP においては、ケミカルリサイクルに適する系で製造した CFRP を化学分解して得られたカーボンファイバーの再利用性を検討した。

③ 研究推進会議の開催

令和6年5月、10月、令和7年3月に研究推進会議を開催した。

④ 自発的な研究活動等

自発的な研究活動等に関する実施方針に基づき、所属機関が認めた範囲で自発的な研究活動等を推進した。

2. 実施内容

2.1 CFRP のケミカルリサイクル技術の構築

2.1.1 エポキシ樹脂系改質リグニン含有 CFRP

2.1.1.1 新規反応媒体による樹脂分解性能

これまでの研究で先行反応媒体として、図 1 に示すような化学構造を有するジアザビシクロウンデセン(DBU) がリグニン系 CFRP のマトリックス樹脂分解に適していることを明らかにしている。令和6年度は、DBU に代わる新規反応媒体として DBU 類縁体 F を見出し、高い樹脂分解性を示す改質リグニン種とその分散性、および最適処理条件について詳細に検討を行った。その結果、改質リグニン(GL)の樹脂中での分散性指標として、GL200 を 16.7%含有する CFRP に対する類縁体 F による最適分解条件は、80℃、24 時間であることを見出した。

しかしながら、同様の実験を何度か行ったところ、樹脂分解率のばらつきが確認されたため、本年度5月の第 1 回推進会議にて、乾燥 GL(未乾燥率 0.1%以下)を用いて CFRP を再調製し、その樹脂分解性を再評価することになった。

まず、令和 4、5 年度報告同様の簡便な方法にて、GL の水分状態の違いによる樹脂分解率への影響について検討した。すなわち、DBU または DBU 類縁体 F を用いて、改質リグニン GL200 または GL600 含有 CFRP(いずれも、バイオマス度 16.7%)を 100℃、24 時間分解処理し、その樹脂分解率を比較した。

GL200 または GL600 含有 CFRP(図 2 参照)は宮城化成から供与されたものを用いた。炭素繊維と樹脂は 60:40(重量比)であり、樹脂にはエポキシ樹脂を用いており、マトリックス樹脂重量に対する改質リグニンの重量比率をバイオマス度とした(表 1)。GL200 および GL600 は、PEG200 および PEG600 を用いて調製したものである。

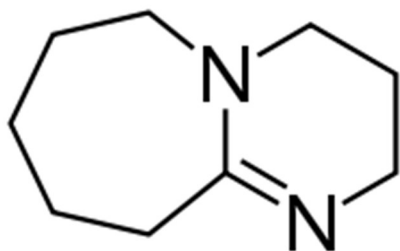


図 1 ジアザビシクロウンデセン(DBU)

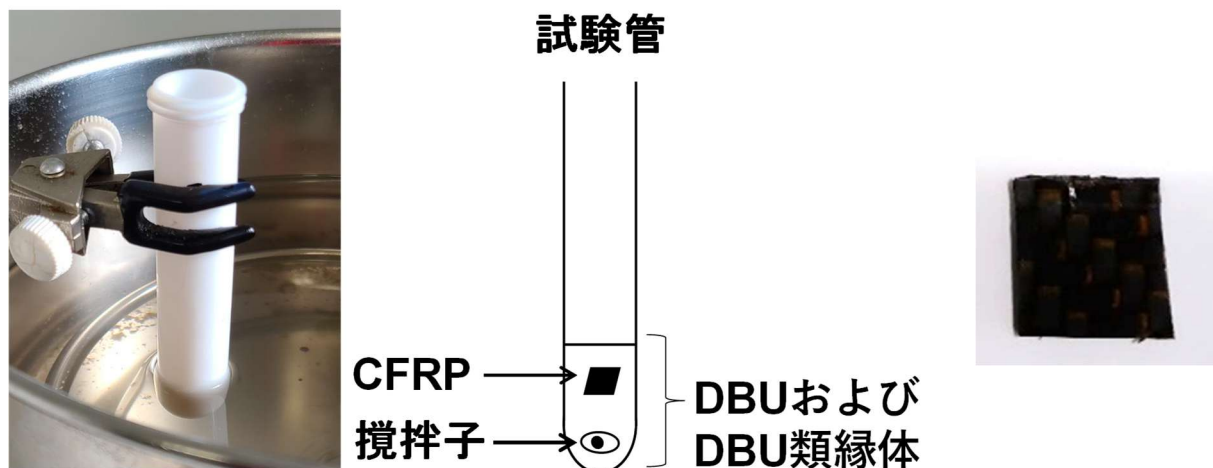


図 2 樹脂分解処理の様子(左)と用いた CFRP (右)

表 1 エポキシ樹脂系 CFRP におけるマトリックス樹脂の比率

試料	主剤+硬化剤	改質リグニン
GL 含有率 0%	100	0
GL 含有率 16.7%	83.3	16.7
GL 含有率 22.7%	77.3	22.7
GL 含有率 27.7%	72.3	27.7

2.1.1.2 カーボンファイバー(炭素繊維)の再利用性

さらに、上記の最適条件にて CFRP から得られた炭素繊維の物性評価を行うことにより、その再利用性について評価した。すなわち、図 3 に示すように、試験管に DBU あるいは類縁体 F を入れ、そこに物性評価に必要なサイズの 16.7%GL400 含有 CFRP を投入、100℃のオイルバス中にて 48 時間分解処理を行った。なお、評価に必要な炭素繊維束での回収ができるよう、非攪拌下にて分解処理を行った。反応終了後の不溶残渣洗浄方法、および樹脂分解率算出方法は、上述した最適分解条件の検討時と同様である。

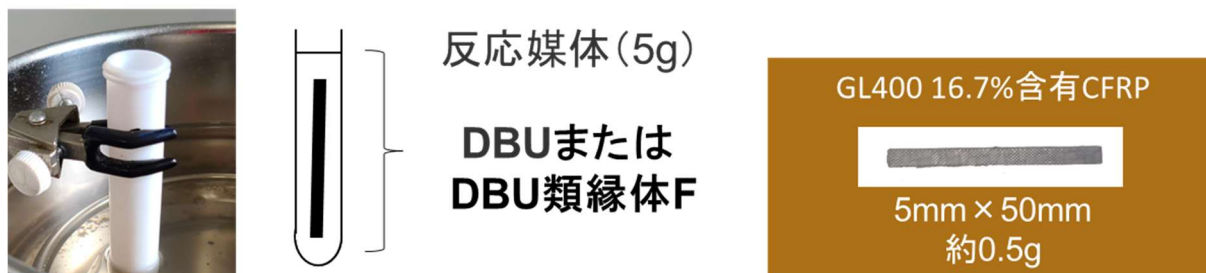


図 3 物性評価用樹脂分解処理の様子(左)と用いた CFRP(右)

図 4 に、DBU を用いて樹脂分解処理を行い、不溶残渣として回収した炭素繊維を示す。このうち、全長 50mm 以上の炭素繊維束(写真右)を選別し、物性評価のための引張試験に供した。



図 4 CFRP より DBU 分解処理にて採取した炭素繊維束

試験片は、JIS R7606:2000(ISO 11566)炭素繊維—単繊維の引張特性の試験方法における穴あき台紙(図 5)に、炭素繊維束を接着剤固定して作製した。所有する試験機および治具の関係上、台紙には単繊維ではなく繊維束を固定している。DBU または類縁体 F を用いて CFRP よりマトリックス樹脂を分解し、任意の厚みおよび幅を有する炭素繊維束を回収、これを台紙に固定し試験片を作製した。なお、比較のため、未処理炭素繊維束、DBU または類縁体 F にて処理した炭素繊維束からも同様の試験片を作製した。各種試験片は表 2 の通りである。

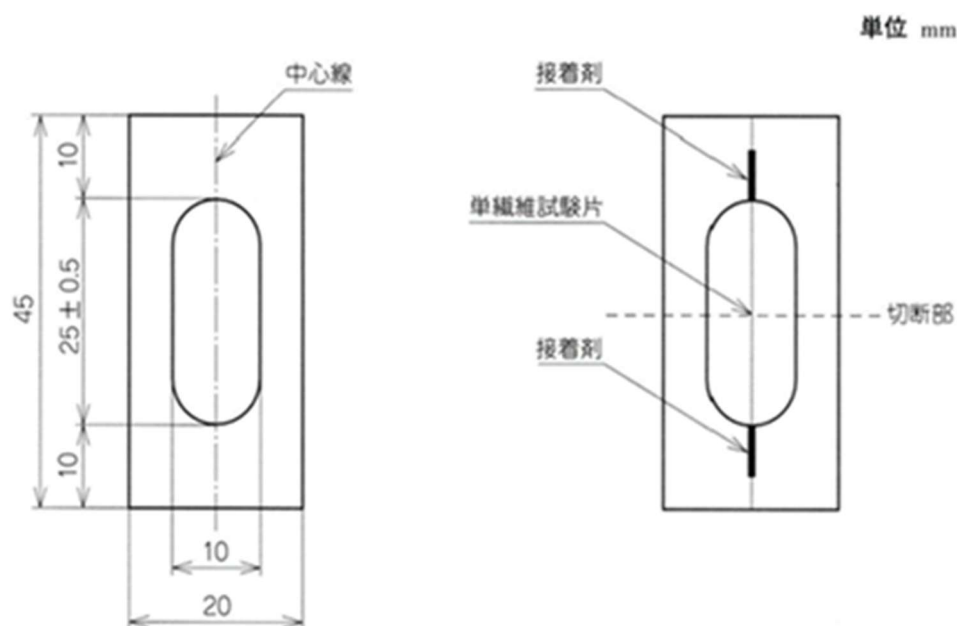


図 5 JIS R7606:2000(ISO 11566)炭素繊維—単繊維の引張特性の試験方法における穴あき台紙

表 2 引張試験に供した各種炭素繊維束

VCF	炭素繊維クロスより採取した未処理炭素繊維束
VCF(DBU)	VCF を DBU にて 100℃、48 時間処理し採取した炭素繊維束
VCF(F)	VCF を類縁体 F にて 100℃、48 時間処理し採取した炭素繊維束
RCF(DBU)	CFRP より DBU にて 100℃、48 時間樹脂分解処理し採取した炭素繊維束
RCF(F)	CFRP より類縁体 F にて 100℃、48 時間樹脂分解処理し採取した炭素繊維束

引張試験は、試験機 Ez test(SM-500N-168)(島津製作所製)において、500 N ねじ式平面形つかみ具に上記試験片を取付け、標線間距離 25mm、試験速度 5mm/min にて実施した。任意寸法の炭素繊維束にて試験片を作製しているため、引張強度(N/mm²)は最大点荷重(N)を炭素繊維束の断面積(mm²)で除したものとした。

図6に、各種炭素繊維束の引張強度を示す。炭素繊維をDBUまたは類縁体Fで処理したところ、未処理時に比べていずれも強度低下が認められたが、その強度低下の程度はDBUよりも類縁体Fの方が緩慢であった。類縁体Fは、DBUよりも樹脂分解率が高い上、炭素繊維の強度低下に影響を与えない反応媒体であるといえる。CFRPより回収した炭素繊維束の引張強度を未処理炭素繊維と比べると、DBU処理で約70%の低下が認められたのに対し、類縁体Fでは認められなかった。

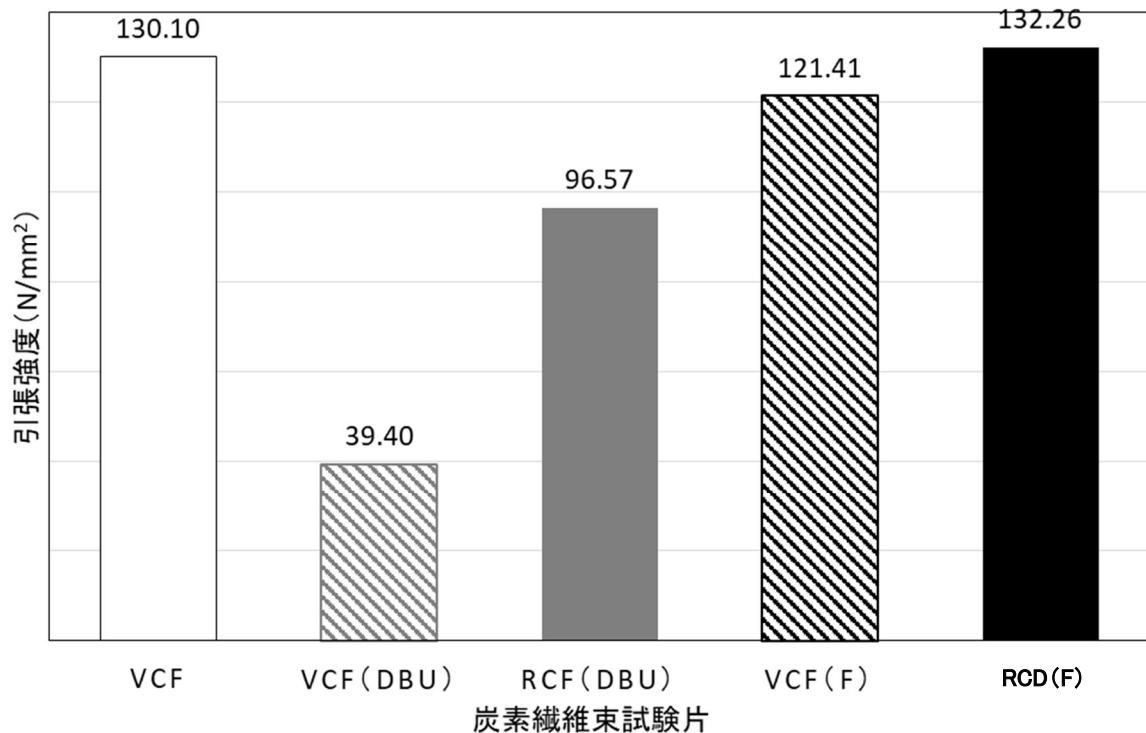


図 6 炭素繊維束の引張強度

以上のことから、類縁体Fは、樹脂分解性能だけでなく、CFRPより得られる炭素繊維の再利用性についても、先行媒体DBUよりも優れていることが分かった。

さらに、引張試験に供した炭素繊維束について、走査型電子顕微鏡 (SEM、株式会社日立ハイテク TM3030 Plus Miniscope) を用いて表面観察を行った。図 7 に SEM 画像を示す。CFRP より回収した炭素繊維表面には、いずれの反応媒体でも残存樹脂と思われる塊が確認された。定量的には、100℃、48 時間処理で 100%を超える樹脂分解率を示したが、微視的にはリサイクル炭素繊維の物性に影響を与えうる残存樹脂が付着しているものと推察される。とくに、類縁体 F 処理では試験片全体に図 7 に示すような頻度で残存樹脂の付着が観察されたが、DBU 処理では一部で図 8 に示すような残存樹脂塊が観察された。これらの残存樹脂頻度が炭素繊維の引張強度に影響したものと考えられる。

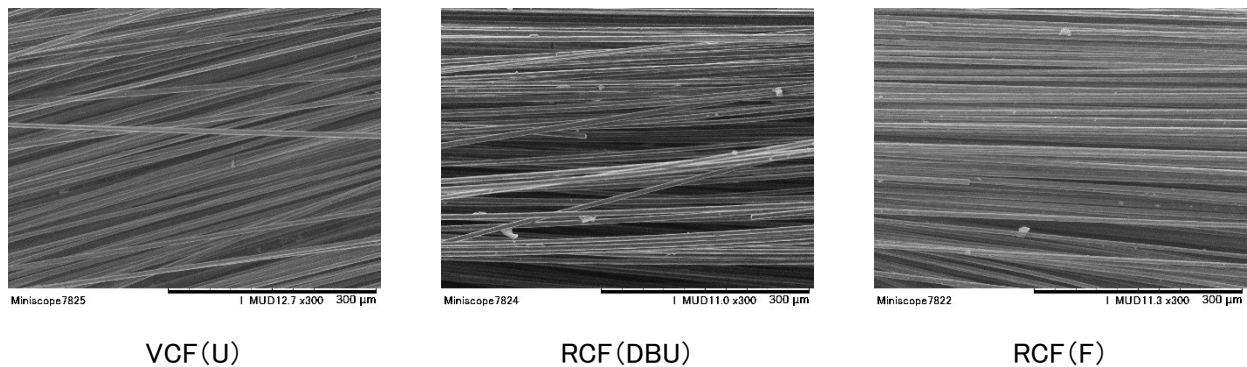


図 7 各種炭素繊維束の SEM 画像(倍率 300)

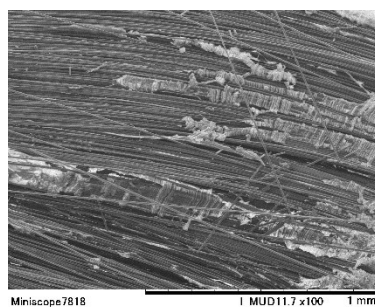


図 8 RCF (DBU) の SEM 画像 (倍率 100)

次に、DBUおよび類縁体Fによるマトリックス樹脂モノマーの回収率についても検討した。すなわち、DBUまたは類縁体Fを用いて、バイオマス度16.7%のGL400含有CFRPを100℃のオイルバス中にて48時間分解処理を行い、その各可溶部を高速液体クロマトグラフィー (HPLC) により分析した。比較のため、0%GL含有CFRPIについても同様の分析を行った。HPLCクロマトグラムを図9に示す。22.5分付近に見られるピークは、エポキシ樹脂主剤モノマー由来のビスフェノールAビス(2,3-ジヒドロキシプロピル)エーテルであると想定される。HPLCクロマトグラムにおける主剤モノマーのピーク強度から定量を行い、下式 (B) から回収率を算出した。

$$\text{主剤モノマー回収率 (\%)} = \frac{\text{反応媒体可溶部に含まれる主剤モノマー重量}}{\text{仕込んだ CFRP に含まれる主剤重量}} \times 100 \quad \dots\dots (B)$$

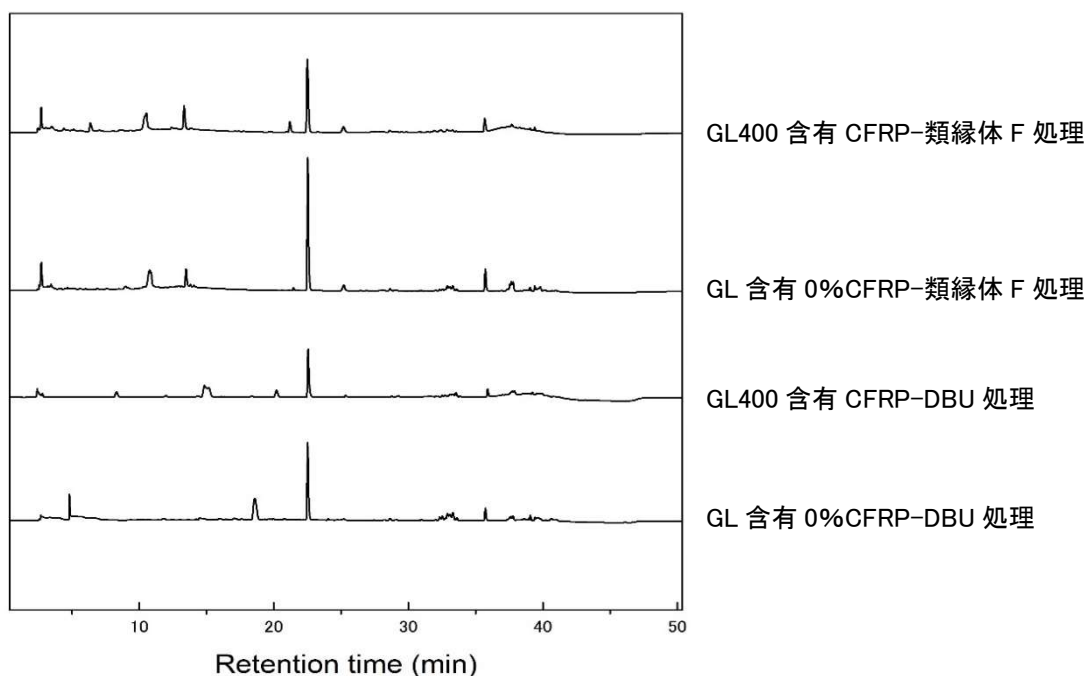


図 9 反応媒体可溶部の HPLC クロマトグラム

図10に、DBUおよび類縁体Fによる主剤モノマー回収率を示す。GL400含有CFRPについては、いずれの反応媒体でも60%程度の主剤回収性が認められた。一方、GL0%含有CFRPについては、類縁体FでDBUよりも40%程度高い回収率を示し、有意差が認められた。類縁体Fはモノマー回収性においてもDBUよりも優れた反応媒体であるといえる。

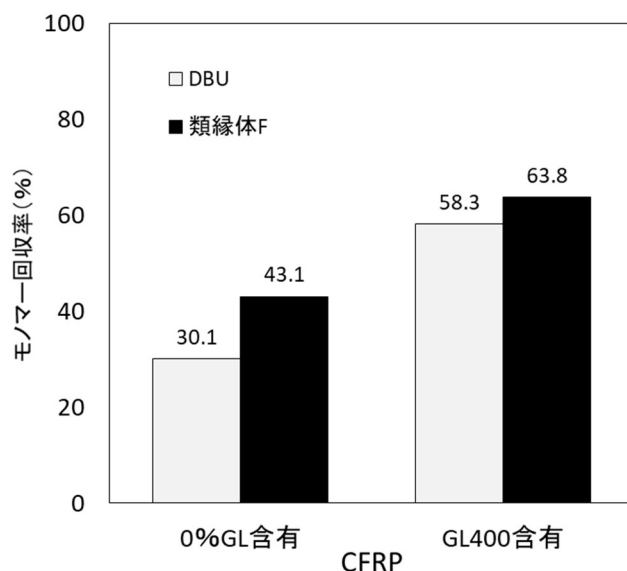


図 10 DBU および類縁体 F による主剤モノマー回収率

2.1.2 不飽和ポリエステル樹脂系改質リグニン含有 CFRP

不飽和ポリエステルは、繊維強化材のマトリックス樹脂として最も多く用いられている素材である。上述したエポキシ樹脂系改質リグニン含有 CFRP と同様の簡便な方法にて、不飽和ポリエステル系マトリックス樹脂のケミカルリサイクルについて検討した。すなわち、DBU または DBU 類縁体 F を用いて、不飽和ポリエステル樹脂系 CFRP (いずれも、GL400) を 100℃で化学分解処理し、その樹脂分解率を比較した。不飽和ポリエステル系 CFRP は宮城化成から供与されたものを用いた。炭素繊維と樹脂は 60:40 (重量比) であり、樹脂には不飽和ポリエステル樹脂を用いており、マトリックス樹脂重量に対する改質リグニンの重量比率をバイオマス度とした (表 3)。ここで用いた改質リグニンは、後述する MS 改質リグニンであり、いずれも GL400 である。

表 3 不飽和ポリエステル樹脂系 CFRP におけるマトリックス樹脂の比率 (バイオマス度 (%))

試料	主剤+硬化剤	MS-GL400
MS-GL400 含有率 0%	100	0
MS-GL400 含有率 1.19%	98.81	1.19
MS-GL400 含有率 3.75%	96.25	3.75
MS-GL400 含有率 5.52%	94.48	5.52

図 11 に、DBU または類縁体 F による不飽和ポリエステル系 CFRP の樹脂分解率を示す。類縁体 F 処理では、DBU 処理に比べて樹脂分解性が高く、特に GL0%含有 CFRP に対しても高い分解性を示した。バイオマス度と樹脂分解率については明確な相関関係は認められなかった。

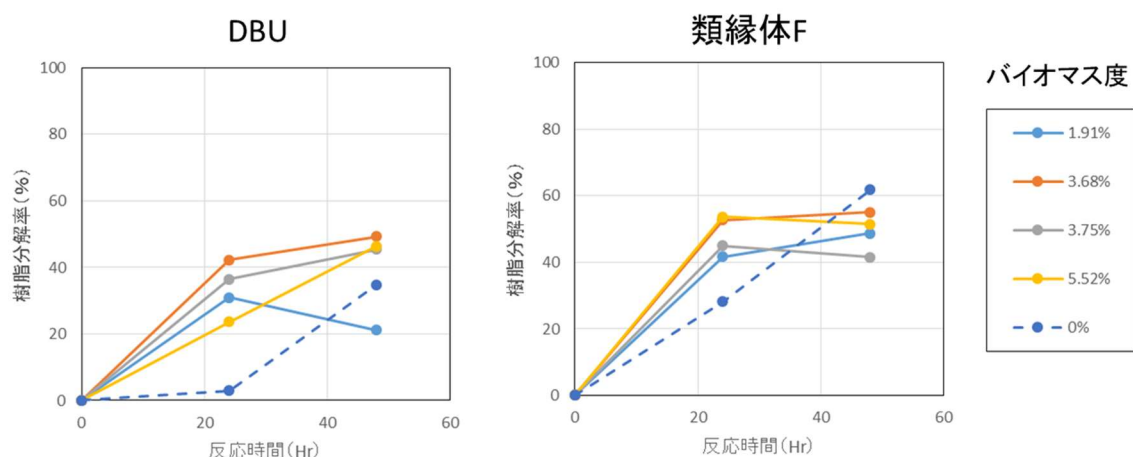


図 11 DBU または類縁体 F による不飽和ポリエステル系 CFRP の樹脂分解率

不飽和ポリエステル系 GL 含有 CFRP は、GL を改質する必要があり、そのリグニン含有率もエポキシ樹脂系に比べて低い。そのため、エポキシ樹脂系 CFRP において確認された高い樹脂分解性は確認されなかった。しかしながら、不飽和ポリエステルは CFRP のマトリックス樹脂として需要が高く、ケミカルリサイクルシステムの構築が必要である。DBU または類縁体 F を用いた不飽和ポリエステル樹脂の分解挙動を解明した上で、CFRP のデザインングや分解条件の最適化を検討する意義があると考ええる。

2.2 ケミカルリサイクルに適した CFRP のデザインング

2.2.1 バイオベース CFRP のデザインング

CFRP のマトリックス樹脂の素材となるバイオベースの原料の供給が重要となっており、開発を進めた。森林総研では、様々な木質バイオマスを検討する中で、芳香族化合物源として、リグニンと総称される木材成分に注目すると共に、それに加工性を持たせる形に改質しながら取り出す手法を開発し、様々な用途展開を進めている。製造方法は、酸加溶媒分解反応を応用したもので、木材成分と親和性の高い媒体の中での分解を行うものである。様々な媒体を用いた酸加溶媒分解が可能であるが、この課題では、実績のあるポリエチレングリコール (PEG) を用いた。木材を PEG 中で酸加溶媒分解することで、材中のリグニンは分解すると同時に PEG 改質された。得られたリグニン分解物の PEG 誘導体は PEG 改質リグニンであり、単に改質リグニン、また、グリコールリグニン (GL) とも呼ばれる。図 12 に PEG 中での木材の分解による改質リグニンの製造の模式図を示す。

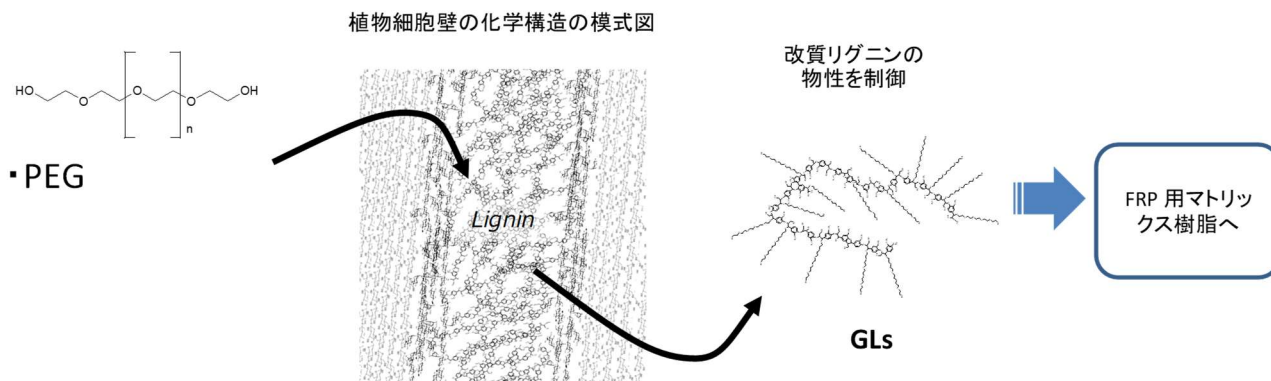


図 12 PEG 中での木材の分解と改質リグニン(GL)の生成の模式図

改質リグニンサンプルの調整は、森林総研内のベンチプラントで行った。触媒として 0.3wt%の硫酸を含む PEG に、スギ木粉を投入して 140℃で 90 分間加熱を基本とする反応を行った。PEG の種類により GL の性質を変化させることを目的として、PEG は平均分子量 200, 400, 600 を用いた。反応後、0.2N の苛性ソーダー水溶液で希釈してフィルタープレスを通じて固形分(セルロースを主成分とするパルプ)を分離した。溶解したアルカリ水溶液は、硫酸を滴下して pH を低下させ、最終的には pH2に調整することで、GLを酸沈殿させた(図 13)。改質リグニンの物性コントロールにおいては、媒体のデザインニングに加え、製造した改質リグニンの変性により行った。

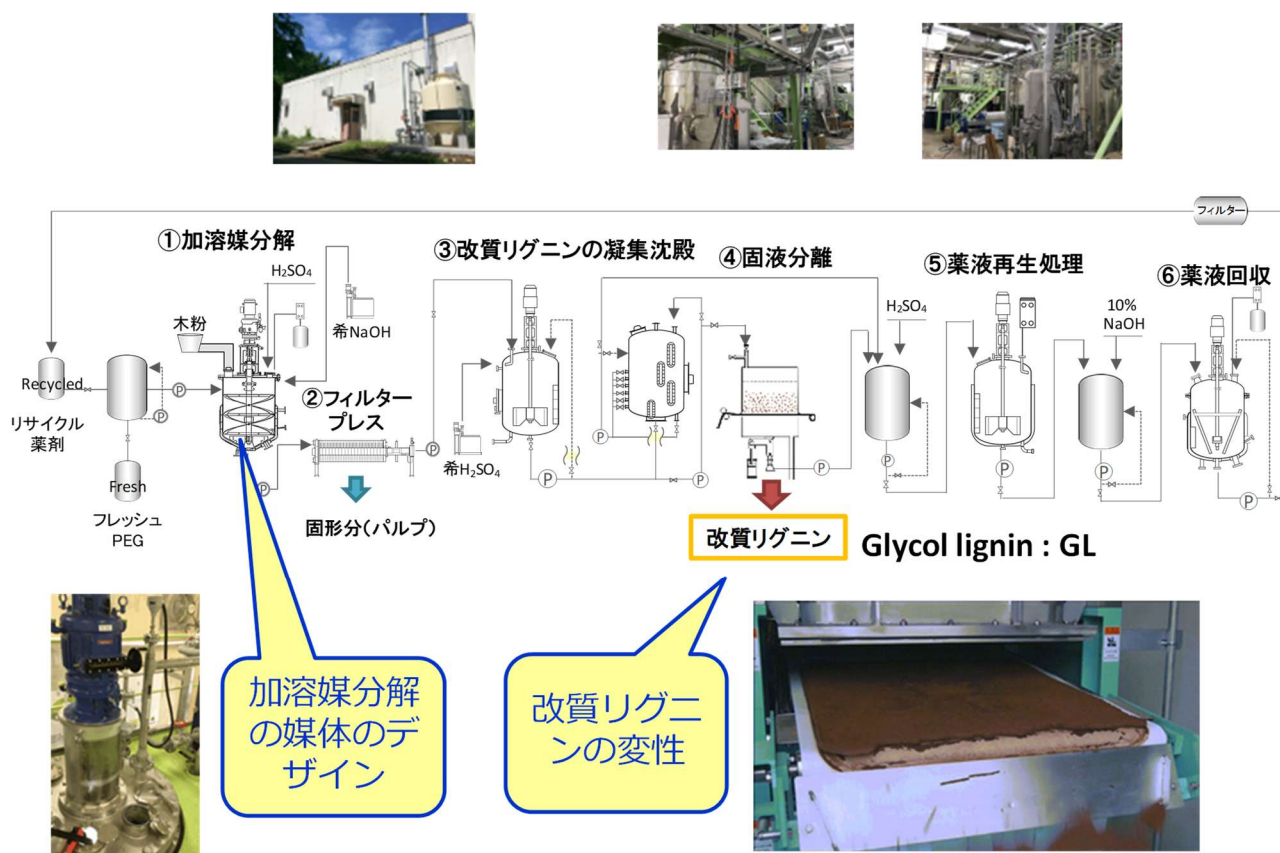


図 13 改質リグニン製造プロセスとベンチプラントの外観、内観、連続ろ過の様子

改質リグニンの分析は、下記の方法で行った。

UV-リグニン率:リグニンの芳香環のもつ紫外吸収 280nm の強度を計測し、クラーソンリグニン量換算で算出。
 吸光度係数 23.95 L/g・cm

分子量:DMF に 10 mM LiBr を含む溶液を溶媒として Shodex KD-G、KD-802、KD-804 カラムを直列に繋いだ GPC システムで測定した。換算は PEG 標準試薬の分子量データから算出した。

ガラス転移温度、熱溶融温度:熱機械分析装置(TMA)を使用し、サンプルをプラチナサンプルパンに仕込み蓋をした後の針入れモードで、ガラス転移温度(T_g)と熱溶融温度(T_f)を測定した。

熱分解開始温度、熱分解最大温度:熱重量測定装置(TGA)により測定した。

CFRP のマトリックス樹脂合成の供した改質リグニンは、基本形として、平均分子量 200 の PEG、同 400 の PEG、同 600 の PEG を媒体として用いて製造した改質リグニン、それぞれ GL200、GL400、GL600 を供給した。

改質リグニン系エポキシ樹脂では、バイオマス度の異なるマトリックス樹脂や物理特性にバリエーションをもたらせた改質リグニンへの展開を検討しケミカルリサイクルに適した系を見出す検討を進め、CFRP の最大点応力は、GL200<GL400<GL600 で増加傾向にあり、また弾性率はおおよび最大点歪においては、GL200、GL400<GL600 で靱性改善傾向にあった。

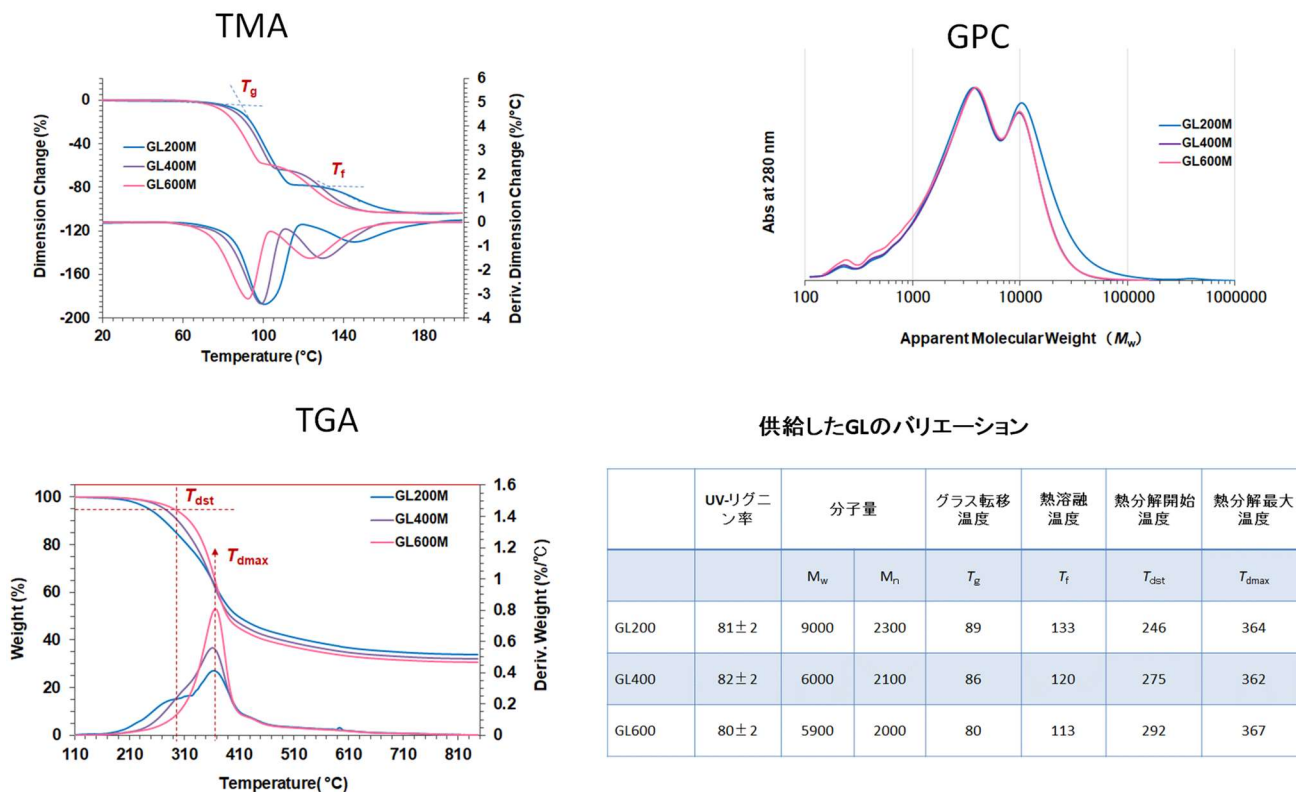


図 14 3 種類の改質リグニンの物理特性(TMA,TGA,GPC 分析)

繊維強化材のマトリックス樹脂として最も多いのが不飽和ポリエステルである。不飽和ポリエステルは、ラジカル共重合により硬化が進むため、フェノール性水酸基などがあると硬化が進行しない。一方、改質リグニンには多数のフェノール性水酸基が含まれるため、不飽和ポリエステルとの組み合わせは困難であった。そこで、改質リグニン中の水酸基を保護することにより新たな誘導体を調製し、不飽和ポリエステルとの組み合わせを検討した。

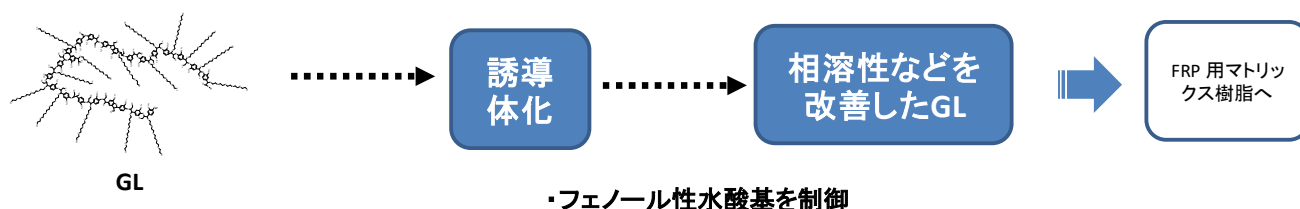


図 15 改質リグニン(GL)の後変性のコンセプト

これまでに担当者らは、改質リグニンにエチレンオキシドなどのアルキレンオキシドを付加すると、PEG 鎖が伸長して、材料としての性質を簡単に制御できることを見出している(特開 2021-147409)。この手法により改質リグニンは様々な媒体に溶解するようになるため、Multi-soluble type of glycol lignin という意味で「改質リグニンMS シリーズ」と呼んでいる(以下MS)。なお、MSは日本乳化剤(株)との協力で開発したものである。MS製造時の反応メカニズムを考慮すると、改質リグニンに由来するフェノール性水酸基はアルキレンオキシドで誘導体化され、保護される可能性が高い。そこで、反応の度合いの異なるMSを製造し、不飽和ポリエステルとの組み合わせに供した。原料とする改質リグニンはすべて GL400 とした。(図 16)

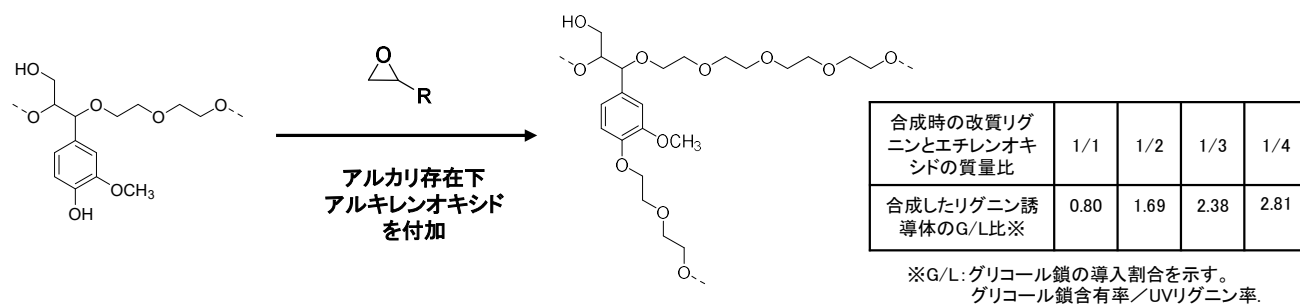


図 16 アルキレンオキシドの付加による誘導体化

また、もう一つの誘導体化方法として環状カーボネート類の開環反応を応用したものを検討した。環状カーボネートとしてはエチレンカーボネート(EC)を用い、GLに作用させた。(図 17))

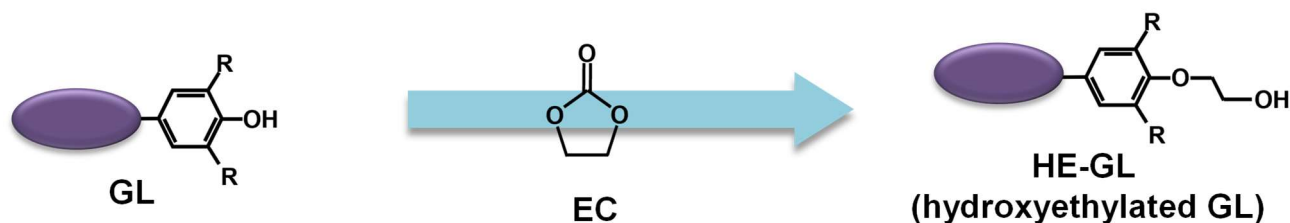
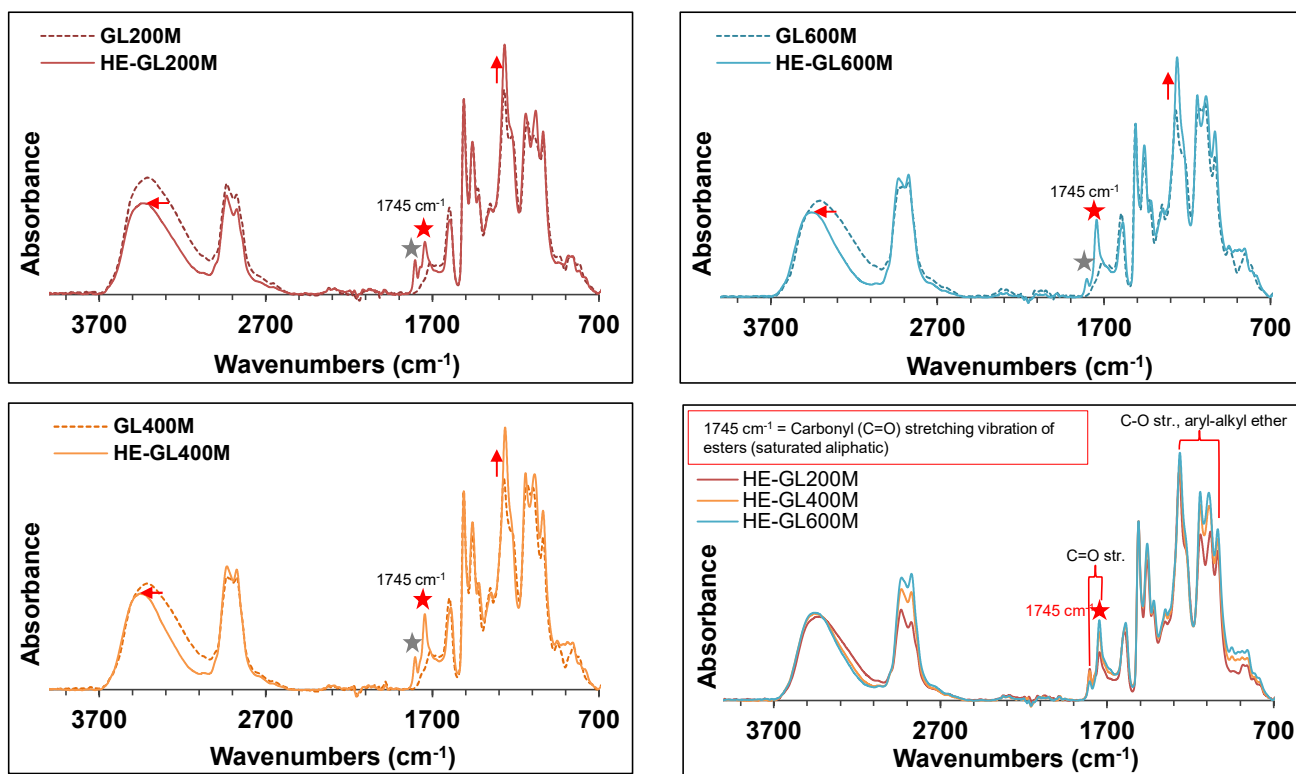


図 17 炭酸エチレン(EC)の処理による GL の誘導体化

EC 処理によりヒドロキシエチル化した GL (HE-GL) を赤外分光分析して HE の導入を確認した(図 18)。PEG200 系、400 系、600 系それぞれにおいて、水酸基に由来する吸収の変化や、アルキル由来の吸収が増加し、EC に由来する EG 鎖の導入が示唆された。その度合いは、600 系が一番大きく、次いで 400 系、200 系となった。



GL = glycol lignin

HE-GL = hydroxyethylated glycol lignin using ethylene carbonate

The OH stretching region (3700-3060 cm⁻¹)

The amount of alkyl content slightly increased in the order:

HE-GL600M > HE-GL400M > HE-GL200M

図 18 EC により誘導体化した GL (HE-GL) の赤外分光分析

EC により誘導体化した GL(HE-GL)に対して、TMA で熱分析をおこなった(表 4)。熱変移点においては誘導体化により低い温度域にシフトしており物性的にも EC に由来する EG 鎖の導入が示唆された。

表 4 EC により誘導体化した GL(HE-GL)の熱特性

	GL200M (PEG200 type GL)	HE- GL200M	GL400M (PEG400 type GL)	HE- GL400M	GL600M (PEG600 type GL)	HE- GL600M
T_g Glass transition temperature	114	107	87	81	81	77
T_f Thermal flow temperature	152	163	121	129	113	nd

GL = glycol lignin

HE-GL = hydroxyethylated glycol lignin using ethylene carbonate

Lower T_g value and higher T_f value in HE-GL than original GL indicated introduction of alkyl (ethylene) groups

HE-GL を導入した不飽和ポリエステルについては、レオメーターをもちいて硬化の挙動を分析した(図 19)。不飽和ポリエステルに GL を混入すると GL のフェノール性水酸基の影響で硬化が遅延した。そこで、EC 処理した GL に変えることで、阻害がおこらず樹脂が硬化する現象が確認された。

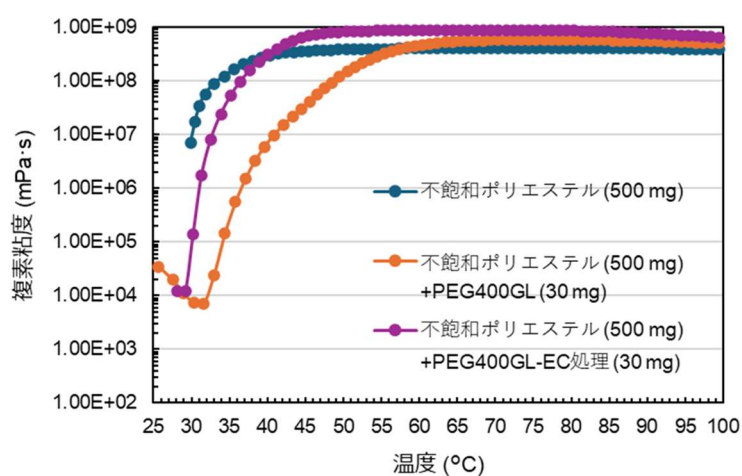


図 19 レオメーターによる不飽和ポリエステル樹脂の硬化の解析と GLとEC処理したGL添加の影響。

2.2.2 宇宙空間での適合性

共同研究機関である株式会社宮城化成で、上記の GL を導入したマトリックス樹脂による CFRP の調製を行った。本研究は、月面などでの炭素材料のリサイクルを目的としたものであるが、本年度は、地球周辺での環境での耐候性に関する調査を追加として行った。この試験は当初の計画にない追加の試験である。

地上での耐候性で調べない地球周辺の人工衛星用材料の耐候性の項目に、原子状酸素の試験がある。宇宙空間には、原子状酸素(AO: Atomic Oxygen)、紫外(UV:Ultraviolet)、放射線、熱サイクル・熱負荷、高真空等、材料の性能を低下させる多くの環境因子が存在する。特に高分子材料はこれら宇宙環境因子の影響を強く受け、宇宙環境曝露された高分子材料の熱光学特性(太陽光吸収率、赤外放射率)、機械特性等は大きく劣化することが知られている。そのため、宇宙機の材料設計において、使用する材料の宇宙環境曝露による性能低下を事前に評価し、ミッション期間中における劣化の程度を見積もることは極めて重要となる。そこで、JAXA の真空複合環境試験設備において AO 照射試験を実施した。試験は、AO 照射試験: $5e+20$ atoms/cm², 180 h で行った(図 20: 参照: 島村 宏之, 馬場 勸, 宮崎 英治, 宇宙航空研究開発機構研究開発資料 真空複合環境試験設備 ハンドブック JAXA-RM-10-013)。試作した CFRP の AO の放射試験の結果、AO 重量減少率は、GL600, GL400 > GL200 の傾向となった。PEG 導入量に比例して分解が進むと考えられる。全体としては標準物質と同レベルの減少率であったので、地球外での使用も可能と考えている。

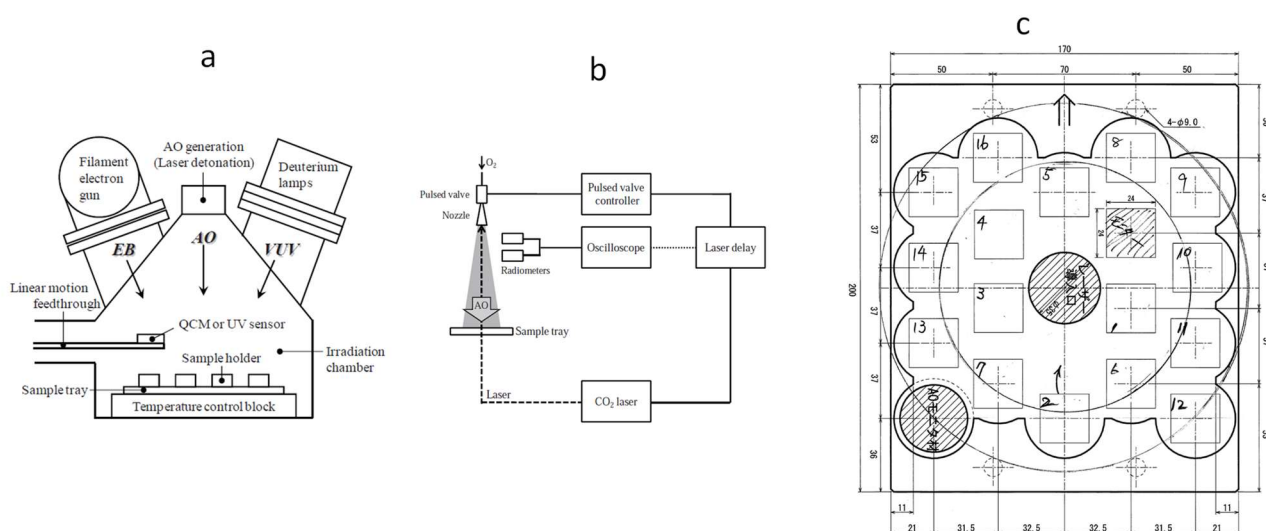


図 20 照射チャンバーの構成図(a)、AO 照射装置のブロック図(b)、サンプルトレイ内のGL系CFRPの配置

2.2.3 改質リグニン(GL)系マトリックス樹脂の開発と CFRP 化

<実験方法: 評価>

GL 添加各種複合樹脂の開発とそれらをマトリックス樹脂とした CFRP の開発にあたり、複合樹脂の硬化反応程度は得られた樹脂の硬さを評価して樹脂反応性の目安とした。また得られた CFRP については、オートグラフにより、引張強度及び曲げ強度を評価した。また CFRP については、宇宙空間における原子酸素(AO)放射線への耐性試験(JAXA)を実施した。

図 21 に硬度計(ショア D 硬度)、図 22 に島津オートグラフ AGS-10kN システム(島津製作所)の外観を示す。



図21 硬度計(ショア-硬度D)

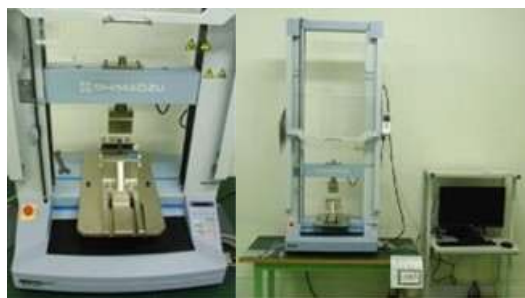


図22 島津オートグラフAGS-10kNシステム(島津製作所)

<実験方法:CFRP 構成>

GL添加各種複合樹脂のCFRP化は以下の共通条件にて進めた。

- i) マトリックス樹脂 : 各種改質リグニン(GL)添加系樹脂
- ii) 強化繊維 : トレカクロスCO6347BL, 積層4ply
- iii) CFRP : A4サイズ
: 成形法 (インフュージョン工法)

2.2.3.1 改質リグニン(GL)系エポキシ樹脂のCFRP化

当初は、改質リグニンGL400を添加したマトリックス樹脂を主体にCFRP成形条件を確立し、ケミカルリサイクル評価に供するための試料提供を行い、ケミカルリサイクル初期データの採取に供された。

昨年度には、森林総研から新規の改質リグニンGL600の提供を受け、分子量の異なる3種類の改質リグニン(GL200, GL400, GL600)のCFRP化までの物性を比較検討した。表5に、熱硬化エポキシ樹脂に分子量の異なる3種の改質リグニン原料を添加調製したマトリックス樹脂の、成形・加工性と樹脂硬度をまとめる。また表中下段には、CFRPとしたときの機械的強度を示す。

分子量の小さい改質リグニンGL600はGL200,やGL400に比較して、樹脂の混合分散及び注入温度を10～20℃下げることが可能で、成形・加工性に最も優れていることが確認された。また、CFRP化に際して、炭素繊維との含浸性も問題なく、得られたCFRPの機械的曲げ強度は、GL200<GL400<GL600と最大点曲げ応力は増加傾向を示した。GL600での最大点応力は636MPaと、エンジニアリングプラスチックとしても充分高い強度を得る事が出来た。

従って本年度は、マトリックス樹脂調製に際して、添加する改質リグニン種をGL400→GL600に、主体を切り替え、ケミカルリサイクル向けCFRP試料の提供を行った。表2の黄色セル部の5水準に関して試作検討を進めた。

表5 分子量の異なる改質リグニン(GL)種の加工性とCFRP成形体物性

	含有DL種	GL200	GL400	GL600
成形・加工性	混合分散性(流れ性)	○	○	◎
	混合分散温度(°C)	95	85	65
	樹脂注入成形温度(°C)	100	95	85
	繊維(CF)への含浸性	○	○	◎
	樹脂ゲル化時間(h)	0.8h △	1.0h ○	1.5h ◎
物性	混合樹脂硬度(ショアD/RT)	85.1	81.5	81.5
	CFRP 最大点応力(MPa)	593	609	636
	CFRP 弾性率(GPa)	35.6	36.5	33.5
	CFRP 最大点歪(%)	2.04	1.96	2.26

表6 試作検討GL含有熱硬化エポキシ樹脂組成一覧

GL含有率(%)	0	8.3	16.7	22.7	27.7
GL200					
* GL400					
GL600					

(オレンジ色セル:令和4年度試作 、黄色セル: 令和5～6年度試作)

当初の試作供給試料はオレンジ色セル部であったが、樹脂系のCFRP成形性(流れ性、親和性)、得られたCFRPの機械的強度及びリサイクル樹脂の回収率等を総合的に判断して、表6中の黄色セル部分のCFRP試料5種類に試作評価用を絞り込み、京都府立大学に提供することで、ケミカルリサイクル検討試料およびリサイクル炭素繊維の再現性評価試料としての検討を進めた。試料提供後のケミカルリサイクル検討では弊社も共同研究の形で情報の共有化を図り、提供CFRP試料と樹脂の最適分解条件の関係及びケミカルリサイクルにより得られた、リサイクル炭素繊維の物性データ(炭素繊維の引っ張り強度試験)評価を進め、当初の業務計画を予定通り達成した。

<機械的物性評価>

試料供給したCFRPでのGL添加CFRPの機械的強度を棒グラフで図23、図24に示す。
グラフ中 青棒は引張最大応力(MPa)を、赤棒は曲げ最大応力(MPa)を表す。

図23では、GL添加量を16.7%一定とした場合のGL種の違いによるCFRPの機械的強度への影響を示す。引張強度、曲げ強度共にGL200添加CFRPの強度が最も大きく500MPa以上の強度が確認された。次いでGL600添加CFRPでも両試験で500MPa以上の強度が安定的に測定され成形体として安定しているといえる。また、図24では、GL600の添加量の違いによるCFRPの機械的強度は、0%添加→27%添加に向けていずれの機械的強度も増加傾向が確認できた。これらの物性およびCFRP化のための作業性・加工性を総合的に

判断して、前述の表 6 に従って、黄色セル部の GL 添加 CFRP 試料をケミカルリサイクル評価用試料として提出した。

京都府立大学によるCFRPのケミカルリサイクル評価結果から、最適分解条件として反応媒体:DBU類縁体 F、処理条件:100℃—48h、GL種:GL400およびGL600、バイオマス度:16.7% の評価結果が得られた。

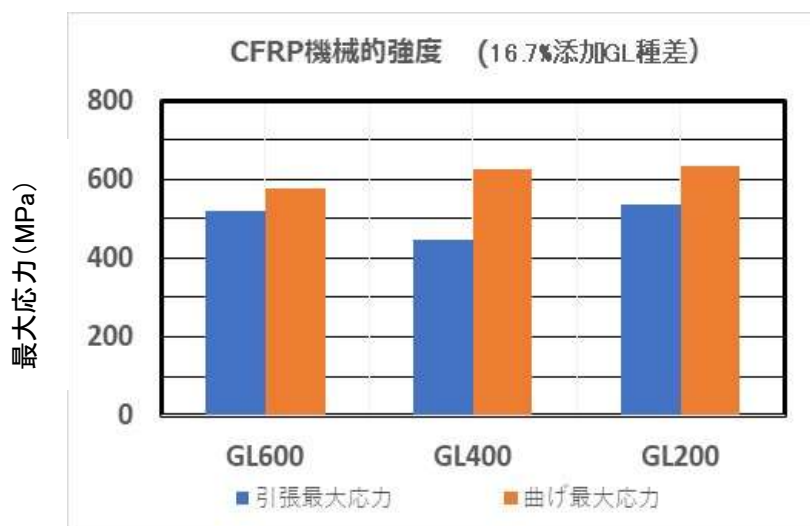


図 23 GL 種の違いによる CFRP の機械的強度

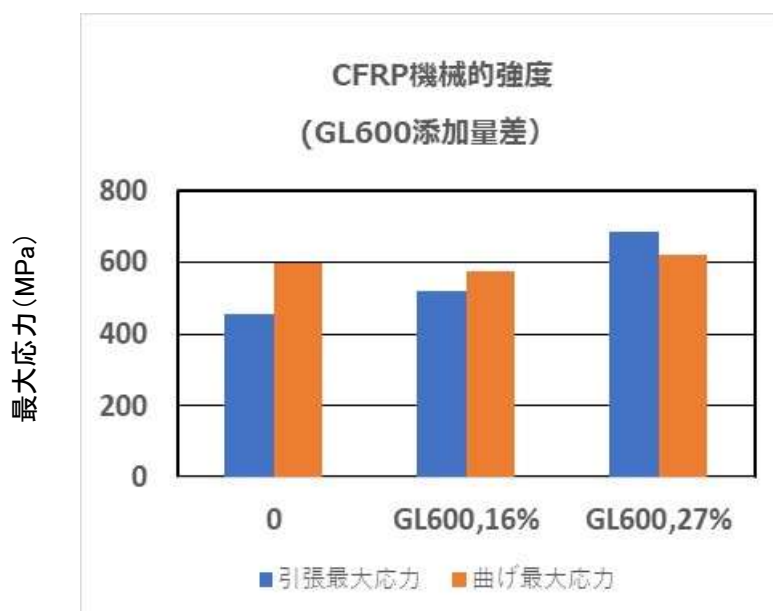


図24 GL600添加量とCFRPの機械的強度

＜宇宙空間での材料耐性評価＞

地上評価に加え、宇宙空間での材料耐性評価を、JAXA 殿ご協力のもとに行った。放射線 AO (原子酸素) による、材料組織破壊程度を、AO 放射線に暴露した評価試料の重量減少量を計測し予め耐性のわかっている標準試料(カプトン)と比較することで、宇宙空間での材料耐性を評価するものである。

AO試験の概要及び、得られた結果を、図 25 AO 試験の概要、及び図 26 GL 添加 CFRP の放射線 AO 耐性に示す。図 25 において、AO 試験装置にセット時の試料の形状および試料の配置図を示す。形状20mm口に切り出したCFRPを評価試料として、表 6 に示した GL 添加エポキシ樹脂系 CFRP の 5 水準(n = 3) 及び GL 添加 MS 不飽和ポリエステル樹脂系 CFRP 1 水準(n = 1)の試料を評価した。

AO 放射線に暴露した結果、試料表面組織が崩壊することで計測された、各水準試料での重量減少量(mg)をグラフ化したのが 図 26 である。予め AO 装置内の配置ポイントでの重量減少量が把握されている、カプトンの基準値となる重量減少量(6.770～8.651mg)をグラフ中の赤破線で示す。図 26 中左グラフは、GL 種の異なる GL600, 400, 200 系 CFRP 試料および MS 不飽和ポリエステル系 CFRP 試料(UP-9)の場合を表す。得られた CFRP の重量減少の程度は以下に示す傾向となった。

UP-9 > カプトン > GL600, 400 > GL200

分子量の小さい GL200 添加品が AO 耐性に最も優れ、GL400, GL600 品はカプトンに近く、UP-9 はカプトンに劣る結果となった。

また、図 26 中右グラフは、添加 GL 種を GL600 とした場合の添加量(0, 16, 27%)の効果を比較して示す。計測された CFRP の重量減少の程度は、GL 添加 0%品と 27%品がほぼ同等の値となり、GL600 における GL 添加量の効果は確認されなかった。

カプトン > 16GL600 > 0GL600, 27GL600

基準材料としているカプトンよりも GL 添加エポキシ樹脂系 CFRP の AO 耐性は優れていたものの、桁が異なるほどの優位までには至っていないことが確認された。

GL 添加エポキシ樹脂系 CFRP の AO 耐性が今回初めて定量化された。これは、衛星部材として考えた時、材料設計時の、AO 暴露面までの材料厚みなどの設計値の概略が得られたことを意味する。宇宙空間でのリサイクル技術の展開に際して、その一助となると考える。

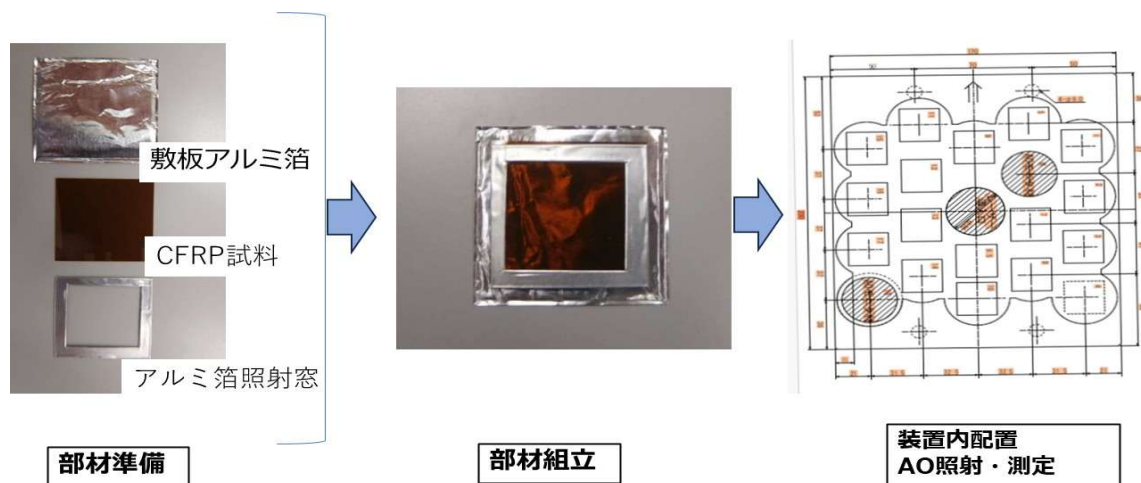


図 25 AO 試験の概要

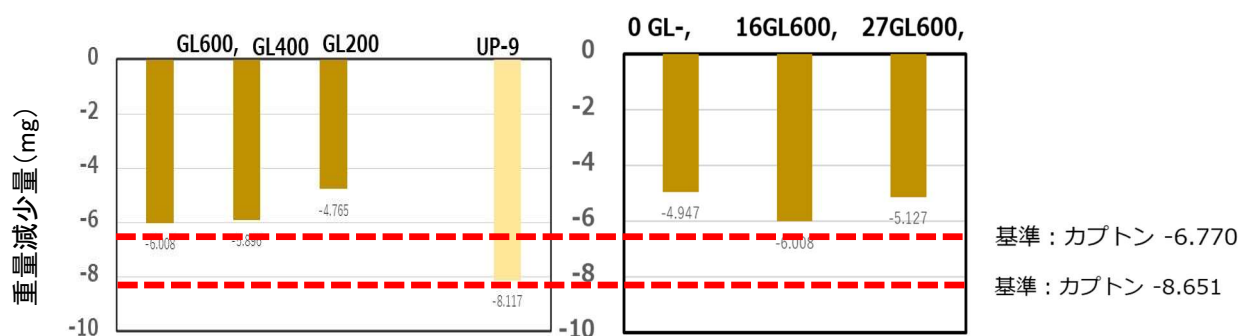


図 26 GL 添加 CFRP の放射線 AO 耐性

2.2.3.2 MS-GL シリーズ添加不飽和ポリエステル樹脂の CFRP 化

MS 剤を硬化促進剤とする、改質リグニン系不飽和ポリエステル樹脂の硬化条件と CFRP 化条件を確立し、ケミカルリサイクル検討用試料供給を達成した。

繊維強化材のマトリックス樹脂として最も多いのが不飽和ポリエステルである。不飽和ポリエステルは、ラジカル共重合により硬化が進むため、フェノール性水酸基などがあると硬化が進行しない。一方、改質リグニンには多数のフェノール性水酸基が含まれるため、不飽和ポリエステルとの組み合わせは困難であった。そこで、改質リグニン中の水酸基を保護することにより新たな誘導体を調製し、不飽和ポリエステルとの組み合わせを検討した。森林総研より提供された 4 種類の、改質リグニン MS シリーズについて検討を進めた。

MS シリーズは、薬剤 A により GL400 を改質したものであり、GL 含有率は、20,25,33,50%の 4 種類からなる。また、不飽和ポリエステルは常温硬化タイプ樹脂を選択し、硬化促進剤(2-エチルヘキサン酸コバルト)、硬化剤(アセチルアセトンパーオキシド 34%)及び改質リグニン GL400 含有 MS シリーズを加えて、複合樹脂の硬化条件および CFRP 化のための条件を検討した。最終的にインフュージョン成形法による CFRP 試作を行い、CFRP の曲げ強度試験に供した。これらの結果を表 7 にまとめて示す。

また、得られた A4 サイズ、4PlyCFRP の試料写真を 図 27 に示す。また、これらの曲げ試験強度をグラフ化して図 28 に示す。主剤に対する MS 添加量と曲げ強度の結果から、不飽和ポリエステル樹脂 CFRP の場合においてもエポキシ樹脂 CFRP の場合と同様に、GL 添加による CFRP 強度の増加効果が確認された。GL 含有 MS 剤を添加することで不飽和ポリエステル樹脂の硬化が可能になると共に、MS 剤添加量 10%のマトリックス樹脂 CFRP では、MS 剤無添加の不飽和ポリエステル CFRP と比較し、曲げ強度が約 20%増加する効果が確認された。一方 MS 添加量が 20%以上では、CFRP 強度の減少傾向が見られた。本メカニズムの解明は別途必要と考える。

以上の結果に基づき、京都府立大学に表 6 に示す 5 種の CFRP が、ケミカルリサイクル検討用試料として提供され、評価に供された。

改質リグニン添加による不飽和ポリエステル樹脂の硬化の実現やそのCFRP化を可能にした事は、現状の FRP商品市場で低コスト・汎用商品の代表格である不飽和ポリエステル樹脂の改質の可能性を実証した事を意味する。今回、改質リグニンMS剤でCFRPにおける強度改善効果が確認されたが、今後ケミカルリサイクル技術での実証が進みリサイクルプロセスが確立できれば、FRP商品に及ぼす影響は多大であると期待される。

表7 MS添加不飽和ポリエステルCFRP成形結果

* CFRP 成形は、インフュージョン成形法を適用

試料 NO.	14	9	11	12	10
MS 剤改質リグニン率(%)	0	20	20	20	20
MS 剤添加率(%)	0	10	20	30	20
硬化剤添加率(%)	2	2	2	2	4
不飽和ポリエステル樹脂 調整内訳	主剤(100)+硬化促進剤((0.5)+硬化剤(2~4)+改質リグニン MS 剤(0~30)				
CFRP 硬化条件	55℃÷10 分	55℃÷15 分	55℃-15 分	55℃-15 分	55℃-10 分
曲げ最大点応力(MPa)	300	360	290	123	251
曲げ弾性率(GPa)	16	19	27	19	27
破壊モード	延性破壊	延性破壊	延性破壊	延性破壊	延性破壊



図 27 MS-GL シリーズ添加不飽和ポリエステル CFRP

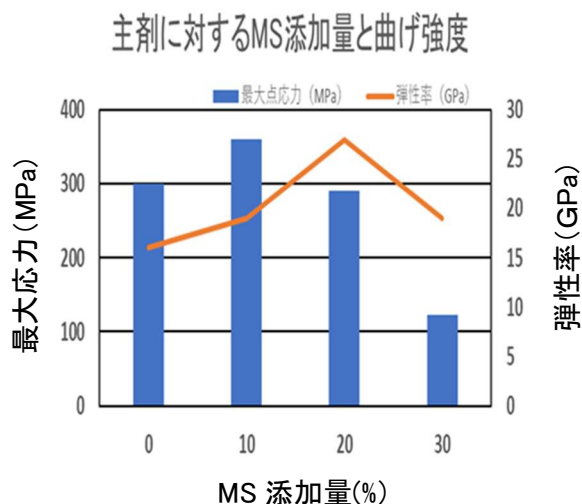


図 28 主剤へのMS-GL 添加量と CFRP 曲げ強度

2.2.3.3 他の樹脂展開（改質リグニン系ポリウレタン樹脂の CFRP）

成形仕様のポリウレタン樹脂を選定して、改質リグニンポリウレタン樹脂のCFRP化を検討し、改質リグニン添加ポリウレタン系樹脂のCFRP化を達成した。

森林総研より提供された改質リグニン GL400 を、添加フィラーとして、ウレタン樹脂は、2 液性の注型用ウレタン樹脂 F180(日本シーカ)を選択して樹脂の最適硬化条件を検討した。ウレタン系樹脂の硬化条件検討結果を表 8 に示す。

表中ウレタン樹脂主剤は F180-1 ポリオール(変性ポリオール)を表し、硬化剤は F180 イソシアネート(変性MDI)を表している。樹脂の標準条件下での主剤と硬化剤の硬化比率は 1:1 であるが、主剤と同様に改質リグニンもフェノール系 OH 基を有する構造である為、硬化比率の設定は、(主剤+改質リグニン):硬化剤=1:1として条件を設定した。改質リグニンの添加効果を見るために、ウレタン樹脂のみの NO.0 ロットもblank条件として比較した。

改質リグニン添加量が増す程、混合樹脂の流れ性及び成形性の劣化が顕著になり、また、ゲル化時間にも遅れが生じる傾向が見られた。最終的に改質リグニン 0%のblank組成とほぼ同等の物性が得られ、成形性に優れる、(主剤+GL):硬化剤=(75+25):100=1:1組成が選択して、インフュージョン成形によるCFRP4Plyの試作に供した。

図 29 に、得られた GL 添加ウレタン系樹脂 CFRP の試作外観(サイズ:A4)写真を示す。また、試作 CFRP の機械的物性評価結果を、図 30 に GL 添加ウレタン系樹脂 CFRP の機械的強度を示す。左図は引張強度を示し、右図は 3 点曲げ強度試験における最大点応力(MPa)及び弾性率(GPa)を棒グラフで示したものである。同一グラフ中で、改質リグニン添加 0%と 12%樹脂の場合の比較も示している。

得られた機械的物性(図 30)から、改質リグニンの添加により曲げ試験結果では、最大応力と弾性率共に微増傾向が得られ試験試料は全て延性破壊を示した。一方引張試験結果では、最大応力と弾性率は若干低下傾向となり脆性破壊となった。

改質リグニンの添加により、エポキシ樹脂系 CFRP では、明らかに、樹脂とカーボン繊維界面の強度が増し、CFRP の機械的強度が増す効果が確認されているが、ウレタン樹脂系に於いてはその傾向が明確にならなかった。機械的試験時の、試験試料表層の樹脂厚みやその物性に依存した現象とも思われるが一考を要する。本検討では、改質リグニンがウレタン樹脂の硬化反応を制御するためのフィラーとして作用することが確認できたことから、GL 添加ウレタン系樹脂展開の参考にしていく。

以上の成果を得てCFRP化を実現したことで本年度の計画を達成できた。

表 8 ウレタン系樹脂の硬化条件検討結果

	NO11	NO13	NO12	NO 0 ブランク	参：NO14 (硬化剤置換可性?)
主剤(OH基)	0	50	75	100	100
イソシアネート硬化剤	100	100	100	100	50
GL400(OH基)	100	50	25	0	50
流れ性・成形性	×	○	◎	◎乳白	△初期流れ性OK, 硬化が過ぎ
ゲル化時間	ゲル化せず	10分ゲル開始 15分硬化 高さ120mm	10分ゲル開始 16分硬化	5分ゲル化 10分前後硬化	× 6分・発泡無し硬化 も併設
仮硬化ショア-D硬度	0	48	57	60	NO4の再現8ショア38 成型×発泡有) 48
最終D硬度 (60°C-14h)	不能	57	61	63	不能



図 29 GL 添加ウレタン系樹脂 CFRP の試作外観(サイズ:A4)
(左図:改質リグニン 0%添加 CFRP、右図:改質リグニン 12.5%添加 CFRP)

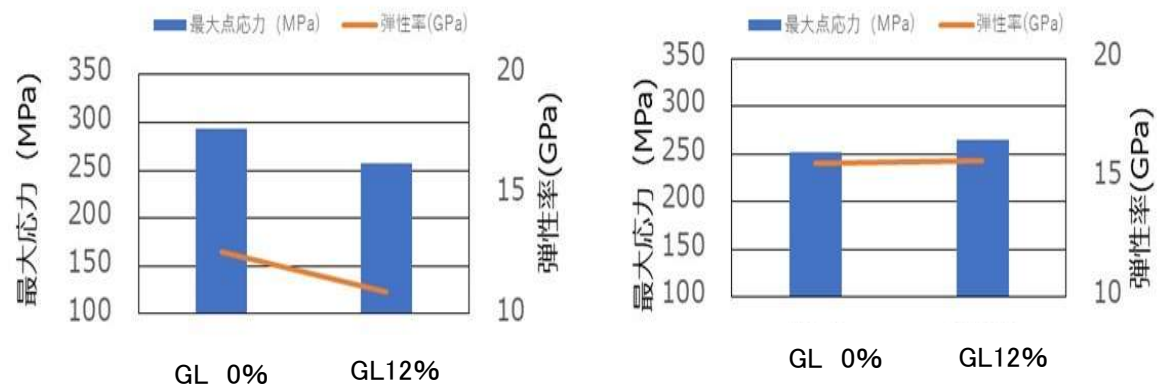


図 30 GL 添加ウレタン系樹脂 CFRP の機械的強度 (左: 引張強度、右: 3 点曲げ強度)

3. まとめ

本研究課題は炭、素繊維強化材(CFRP)の航空宇宙分野での利用と宇宙空間などの真空下でのリサイクルを想定し、揮発性の低い媒体中での CFRP の分解及びケミカルリサイクル手法と、それに適する CFRP 用マトリックス樹脂の開発を目的としている。

研究項目:「CFRP のケミカルリサイクル技術の構築の新規反応媒体の探索」(京都府立大学担当)では、DBU および7種類の DBU 類縁体を用いて、宮城化成から供与を受けたエポキシ樹脂系改質リグニン含有 CFRP に対して樹脂分解処理を実施した。このうち、類縁体 F において 100℃でのマトリックス樹脂分解性が高いことを見出したが、その後の再現性確認で樹脂分解率のバラつきが大きく、CFRP 調製時の改質リグニンの水分管理が樹脂分解性に影響を与えることがわかった。本年度は水分管理のもと再調製された CFRP においても、類縁体 F による高い樹脂分解性は確認され、改質リグニン GL400 の樹脂中での分散性指標は 16.7%であることを見出した。また、最終年度に行った不飽和ポリエステル樹脂系改質リグニン含有 CFRP においても、類縁体 F は DBU より優れた樹脂分解性を示していた。さらに、樹脂分解性のみならず、リサイクルされたカーボンファイバーの物性やエポキシ主剤モノマー回収性の観点からも、類縁体 F が DBU に代わる新規反応媒体であることも確認でき、最終的な目標を達成できた。

研究項目:「ケミカルリサイクルに適する CFRP のデザインング」(森林総研、宮城化成担当)における、宮城化成が行った成果として、昨年度に引き続き、分子量の異なる 3 種の改質リグニンを比較評価して改質リグニン GL600 でマトリックス樹脂の加工性が大幅に改善され、そこから得られる CFRP の機械的物性も良好であることを確認した。この結果を基に GL600 添加 CFRP の再現試作を行い、ケミカルリサイクル性評価試料5種を提供することで、「改質リグニン系エポキシ樹脂では、バイオ度の異なるマトリックス樹脂の物理特性にバリエーションをもたらせた改質リグニンへの展開を検討しケミカルリサイクルに適した系を見出して評価する」という最終的な目標を達成した。また、上記の CFRP 試料提供後も、京都府立大学との共同研究体制を維持して、最適分解条件を確認した。本研究で見出した類縁体 F を用いた場合、改質リグニン種 GL400 および GL600 で含有率 16.7%条件にて樹脂分解率が 113.4%、113.0%と同等の値を確認した。更に GL600 含有 CFRP では GL 含有率 16.7%と 27.7%品を比較して、113.0%、91.0%となることを確認することでマトリックス樹脂の分解率に及ぼす効果を明らかにした。ケミカルリサイクルに適する系で製造した CFRP を化学分解して得られたカーボンファイバー(炭素繊維)の再利用性に関しても、京都府立大学との共同研究体制を維持して、GL400 16.7%含有 CFRP を DBU で化学分解して得られたリサイクル炭素繊維の引っ張り試験強度評価から、未処理炭素繊維に対し約 40%の強度低下を認めたが、類縁体 F 処理で化学分解した場合、強度低下は認められず、リサイクル炭素繊維の再利用は可能であると判断され目標を達成できた。

研究項目:「ケミカルリサイクルに適する CFRP のデザインング」(森林総研、宮城化成担当)における、森林総研では、樹脂開発においてはエポキシ樹脂系を中心に検討を進めるが、硬化剤として導入する生物資源由来(バイオベース)の素材である PEG 改質リグニン(改質リグニン:GL)が分解効率を向上する鍵であり、その適応性を精査した。改質リグニン系エポキシ樹脂では、バイオマス度の異なるマトリックス樹脂や物理特性にバリエーションをもたらせた改質リグニンへの展開を検討しケミカルリサイクルに適した系を見出す検討を進め、CFRP の最大点応力は、GL200<GL400<GL600 で増加傾向にあり、また弾性率はおよび最大点歪においては、GL200、GL400<GL600 で靱性改善傾向にあった。さらに、宇宙環境曝露による性能低下を事前に評価するため、試作した CFRP について原子状酸素(AO: Atomic Oxygen)の放射試験を行った。試験は JAXA の保有する

真空複合環境試験設備において行った。その結果、AO 重量減少率は、GL600, GL400 > GL200 の傾向となり、PEG 導入量に比例して分解が進むと考えられる。不飽和ポリエステル系の樹脂においては、改質リグニンをそのまま混在させるとフェノール性水酸基の作用で硬化阻害が生じるが、それを抑制するため、炭酸エチレンなどの環状炭酸類を用いてエチレングリコール鎖を付加することでフェノール性水酸基を塞ぐ試行を開始し、不飽和ポリエステルと混合可能な新たな誘導体を得ている。

当課題は、CFRP用マトリックス樹脂に改質リグニンという森林資源を導入することでリサイクルに適する材料を提案することで、森林総研の役割は素材のデザインと提供であった。GLのバリエーションを広げることで共同研究期間において物性とリサイクル性に関する様々な知見を得ることができた。加えて予定にはなかったAO試験を行うことで、宇宙空間での利用可能であることを示唆するデータを得たことは優れた成果と考えている。また、他の汎用性樹脂（ポリウレタン樹脂、フェノール樹脂など）についても、現在の FRP 分野における廃棄に際して、リサイクル技術の確立が急務となっており、本研究で見出された新規反応媒体および改質リグニンをを用いた新たなCFRPケミカルリサイクルシステムは適用可能であると予想され、地球環境問題の課題解決の方策として大きな意義を持つと考えられる。

4. 添付資料

**宇宙航空科学技術推進委託費
宇宙航空脱炭素技術等創出プログラム
CFRPの真空対応ケミカルリサイクルシステム
令和6年度 第1回 推進会議 開催要項**

研究代表 宮藤 久士 （京都府立大学）

1. 主 旨：

宇宙航空科学技術推進委託費 宇宙航空脱炭素技術等創出プログラムにおける課題「CFRPの真空対応ケミカルリサイクルシステム」各参画機関におかれましては、本年度も順調に研究がスタートしたものと存じます。本会議におきましては、今年度の研究目標・研究計画について、参画機関間で意思統一を行うことを目的としております。また、実用化に向けての準備として、株式会社宮城化成の工場内における製造現場での研究打ち合わせを実施いたします。ご多忙中とは存じますが、ご参集いただきますよう、宜しくお願いいたします。

2. 日時：令和6年5月9日（木）13:30～16:00

3. 場所：株式会社宮城化成 北工場

4. 参集範囲：京都府立大学、森林研究・整備機構、株式会社宮城化成

5. 会議時間：会議開始 13:30

1) 開始 挨拶と紹介

開会のあいさつ

宮藤久士

13:30～13:35

2) 進捗状況報告

（1）研究進捗状況報告

（2）宇宙航空科学技術推進委託費中間報告会の結果について

（3）JAXA訪問、宇宙航空分野の専門家へのヒアリング内容について

3) 工場内での研究打ち合わせ

4) 閉 会

16:00

**宇宙航空科学技術推進委託費
宇宙航空脱炭素技術等創出プログラム
CFRPの真空対応ケミカルリサイクルシステム
令和6年度 第2回 推進会議 開催要項**

研究代表 宮藤 久士 （京都府立大学）

1. 主 旨：

宇宙航空科学技術推進委託費 宇宙航空脱炭素技術等創出プログラムにおける課題「CFRPの真空対応ケミカルリサイクルシステム」各参画機関におかれましては順調に研究が推進されているものと存じます。本会議におきましては、令和6年度の研究について進捗確認と情報交換を行うことを目的としております。ご多忙中とは存じますが、ご参集いただきますよう、宜しく願いいたします。

2. 日時：令和6年10月28日（月）13:00～14:00

3. 場所：オンライン（Teams）

4. 参集範囲：京都府立大学、森林研究・整備機構、株式会社宮城化成、文部科学省（委託元）

5. 会議時間：オンライン入室時間 12:45～13:00 会議開始 13:00

1) 開始 挨拶と紹介

開会のあいさつ	宮藤久士	13:00～13:05
研究概要と研究目標	宮藤久士	13:05～13:10

2) 課題毎の研究進捗状況報告

(1) CFRPのケミカルリサイクル技術の構築 新規反応媒体の探索 (京都府立大学)	13:10～13:25
(2) ケミカルリサイクルに適するCFRPのデザインング (森林研究・整備機構) (株式会社宮城化成)	13:25～13:45

3) 総 評 13:45～13:55

4) 事務連絡 13:55～14:00

5) 閉 会 14:00

= ウェブ会議入室方法 =

以下のリンクからTeamsにご入室ください

[https://teams.microsoft.com/l/meetup-](https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_NzFmZTBkNGEtMmMyZC00MDc0LWFmYWMTYzRkYmYxYjQ3YTI4%40thead.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%22e5286ef1-6d69-4d44-b228-56ebcdcf1fb4%22%2c%22Oid%22%3a%22dde53a1b-27e4-470d-ad06-3cb36d4670fa%22%7d)

[join/19%3ameeting_NzFmZTBkNGEtMmMyZC00MDc0LWFmYWMTYzRkYmYxYjQ3YTI4%40thead.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%22e5286ef1-6d69-4d44-b228-56ebcdcf1fb4%22%2c%22Oid%22%3a%22dde53a1b-27e4-470d-ad06-3cb36d4670fa%22%7d](https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_NzFmZTBkNGEtMmMyZC00MDc0LWFmYWMTYzRkYmYxYjQ3YTI4%40thead.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%22e5286ef1-6d69-4d44-b228-56ebcdcf1fb4%22%2c%22Oid%22%3a%22dde53a1b-27e4-470d-ad06-3cb36d4670fa%22%7d)

**宇宙航空科学技術推進委託費
宇宙航空脱炭素技術等創出プログラム
CFRPの真空対応ケミカルリサイクルシステム
令和6年度 第3回 推進会議 開催要項**

研究代表 宮藤 久士 （京都府立大学）

1. 主 旨：

宇宙航空科学技術推進委託費 宇宙航空脱炭素技術等創出プログラムにおける課題「CFRPの真空対応ケミカルリサイクルシステム」各参画機関におかれましては順調に研究が推進されているものと存じます。本会議におきましては、令和6年度の研究について情報交換を行い、本年度の研究成果の取りまとめ、さらには最終年度でもあることから本研究課題の全体の取りまとめに向けて参画機関で意思統一を行うことを目的としております。ご多忙中とは存じますが、ご参集いただきますよう、宜しく願いたします。

2. 日時：令和7年3月6日（木）10:00～11:00

3. 場所：オンライン（Teams）

4. 参集範囲：京都府立大学、森林研究・整備機構、株式会社宮城化成、文部科学省（委託元）

5. 会議時間：オンライン入室時間 9:45～10:00 会議開始 10:00

1) 開始 挨拶と紹介

開会のあいさつ	宮藤久士	10:00～10:05
研究概要と研究目標	宮藤久士	10:05～10:10

2) 課題毎の研究進捗状況報告

（1）CFRPのケミカルリサイクル技術の構築 （京都府立大学）	10:10～10:25
（2）ケミカルリサイクルに適するCFRPのデザインング （森林研究・整備機構）（株式会社宮城化成）	10:25～10:45

3) 総 評 10:45～10:55

4) 事務連絡 10:55～11:00

5) 閉 会 11:00

= ウェブ会議入室方法 =

以下のリンクからTeamsにご入室ください

[https://teams.microsoft.com/l/meetup-](https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_MGY1MDhkNGYtOTNiOC00Y2NlLTgyODQtYmMzYTU5NzU3OGQ5%40thre)

[ad.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%22e5286ef1-6d69-4d44-b228-](https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_MGY1MDhkNGYtOTNiOC00Y2NlLTgyODQtYmMzYTU5NzU3OGQ5%40thre)

[56ebcdcf1fb4%22%2c%22Oid%22%3a%22b6be46d3-3e1b-412b-83f7-2615fc7dfe4d%22%7d](https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_MGY1MDhkNGYtOTNiOC00Y2NlLTgyODQtYmMzYTU5NzU3OGQ5%40thre)