

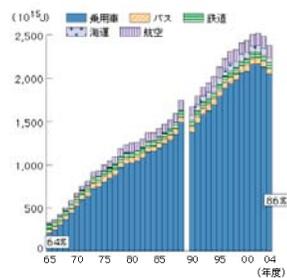
# CFRTPの耐雷性に関する研究

指導教員 高橋 淳 教授  
東京大学工学部 システム創成学科  
環境・エネルギーシステムコース  
70807 村上 裕馬

## 発表の流れ

- 研究背景・目的
- 実験の手順
- 実験結果
- 考察
- 結論

## 研究背景



図：日本における  
旅客部門エネルギー消費量

- 石油への依存が大きい**運輸部門**では**二酸化炭素排出の削減**が課題
- 軽量・比強度・比剛性に優れた**CFRP**(炭素繊維強化プラスチック)を利用した自動車の開発
- リサイクル性、加工性に優れた**CFRTP**(炭素繊維強化熱可塑プラスチック)の利用

## CFRP製構造体の落雷への対策

- 航空機は落雷により構造健全性が失われると、**墜落の危険性**がある
- 表面に**銅メッシュ**の加工を施すことにより、うまく放電している



図：航空機に落雷後、地面に再放電

参照：<http://www.coasttocoastam.com/>

## 風車の場合

- GFRP製のものでも、塩分の付着などにより落雷することがある。  
→大損害を引き起こす
- CFRP製の場合、雷保護装置としてレセプタが設置されている
- 大衆車の場合、導電性を持たせることが不可欠



図：落雷を受けた風車のブレード

参照：風力発電システムの雷被害に関する研究

## 自動車への応用

表：構造体における重要度の比較

	構造健全性	人間の安全	対策
航空機	◎	◎	銅メッシュ
風車	○	×	レセプタ
大衆車	△	◎	別の観点で議論

- 銅メッシュは非常に効果があるが**高価**  
→量産車への適用は不可能
- 自動車に求められる耐雷性とは  
最低限：**人間への安全性を確保すること**  
できれば：**構造安全性を保つこと**

## 実験の流れ

- 1: CFRPの導電性の評価
- 2: 放電開始臨界電圧の測定
- 3: スパークを受けた時の損傷評価
- 4: 損傷を受けた時のスパークの挙動評価

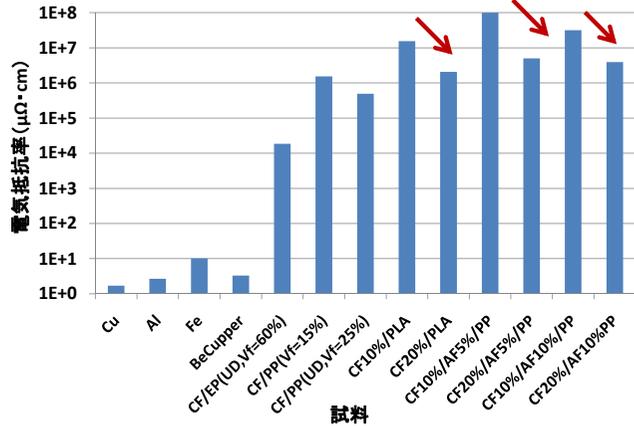
## 導電性試験

- 試験片の両端に銀ペーストを塗布し、抵抗値を測定
- 試験片の長さ・幅・厚さから、電気抵抗率を算出



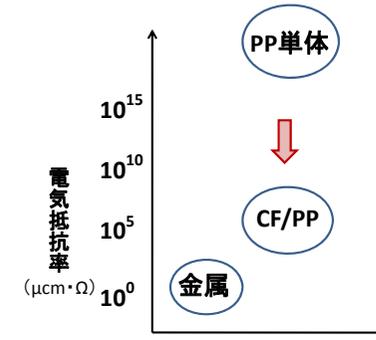
## 導電性試験結果

Vf(体積含有率)の上昇によって導電性がUP



## 考察

- 炭素繊維の体積含有率が増えると、導電性が格段に上がる
- 炭素繊維の接触確率の増加が関係
- 雷が落ちても、電流を速やかに流し、局地的に大きな被害を防ぐ可能性がうかがえる。



## 電気伝導率の表

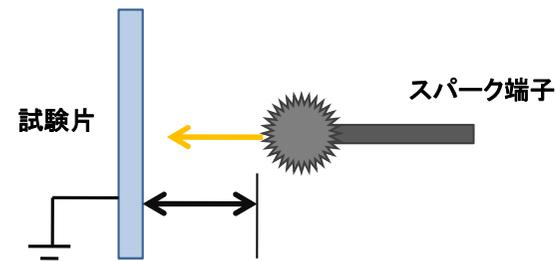
電気伝導率 (Ω·m)	物質
$1.7 \times 10^0$	銅
$1.6 \times 10^3$	炭素
$2.0 \times 10^7$	海水
$4.0 \times 10^{11}$	ケイ素
$5 \times 10^{13}$	人間の皮膚
$10^{18} \sim 10^{22}$	ガラス
$10^{24} \sim$	ポリエチレン

CFRPは  
ここ



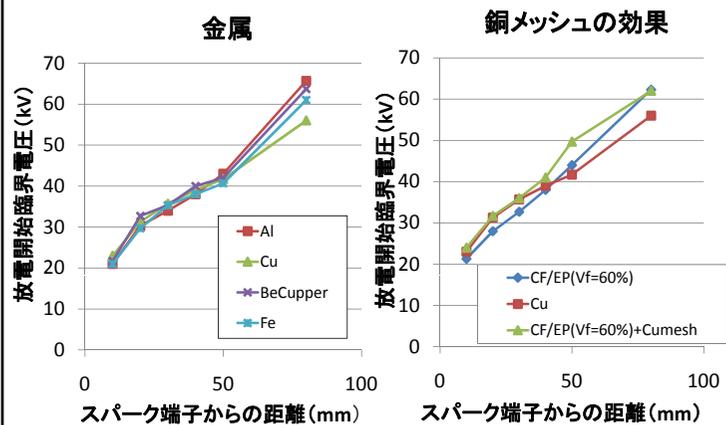
## 放電開始臨界電圧の測定

- 放電開始臨界電圧を測定する

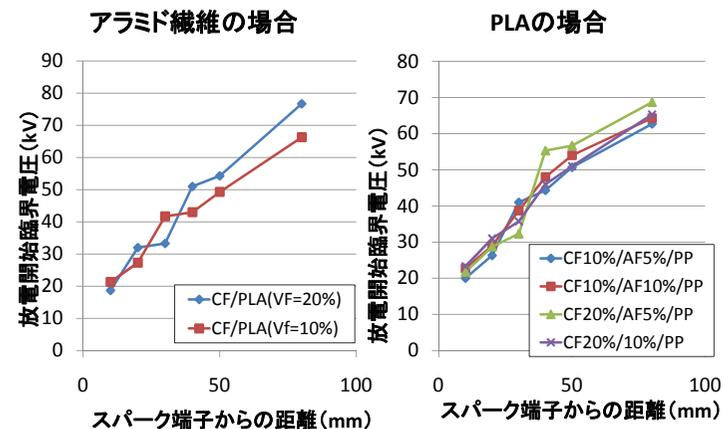


スパーク端子と試験片との距離を10mm~80mmに固定し、昇圧したとき初めてスパークが飛ぶ電圧を測定

## 放電開始臨界電圧の測定結果(1)



## 放電開始臨界電圧の測定結果(2)

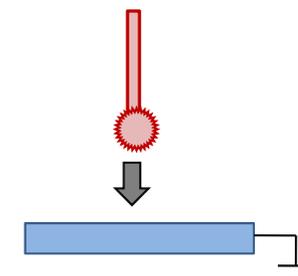


## 考察

- 銅は放電開始臨界電圧が低く有意差が見られた。
- 銅メッシュの場合は、あまり放電開始臨界電圧の低下が見られなかった。
- Vf、マトリックス樹脂による放電開始臨界電圧の差は見られなかった。

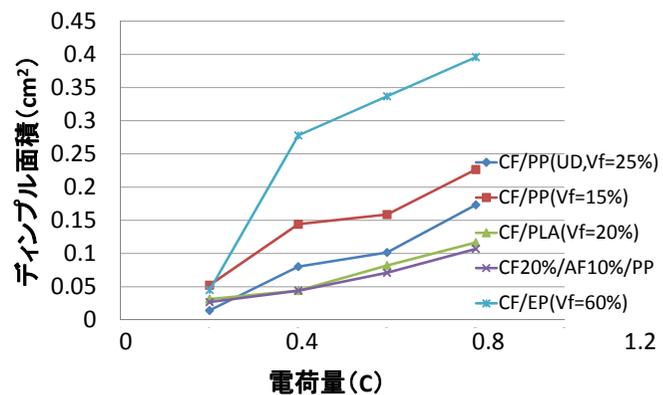
## スパークを受けた場合の損傷評価

- SPOT WELDERで電荷を溜めて、試験片と接触させることによってできた損傷を評価した。
- 与える電荷を0.2C~0.8Cに変えて測定。  
(400V, 500~2000μF)



図：接触させることによってできた損傷を測定

## スパークを受けた場合の損傷評価



## 損傷面の観察 (PP)



PP(一方向材の場合)  
繊維方向に大きな亀裂  
電荷を効率よく逃がしている



CF/PP(混練)の場合  
損傷深さが大きい  
表面の損傷面積大きい

## 損傷面の観察 (エポキシ)



激しい破裂音→Vfの高さが影響  
表面に大きな損傷  
損傷深さは小さい

## 損傷面の観察 (PLA、ハイブリッド材)



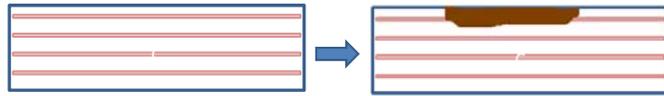
CF/PLAの断面  
すずが発生

電荷の持つエネルギーは  
炭素繊維を流れる電流と  
ポリ乳酸の炭化に分散

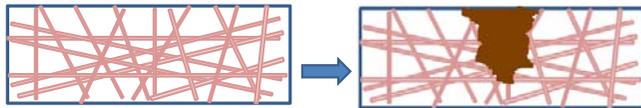


CF/AF/PPの断面  
損傷の形状がランダム  
アラミド繊維により  
炭素繊維の接触具合が不均一に  
→アラミド繊維の炭化

## 損傷の形状についての考察



一方向材の場合  
繊維同士の接触が少ないため、  
繊維と垂直方向、積層方向の導電性が小さい



混練材の場合  
繊維同士の接触が多く、どの方向でも導電性がある

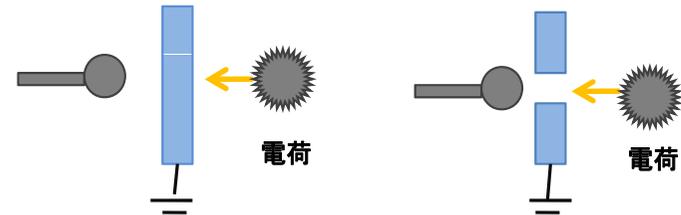
## 損傷を受けた場合のスパークの挙動評価

試験片を貫通するかの実験

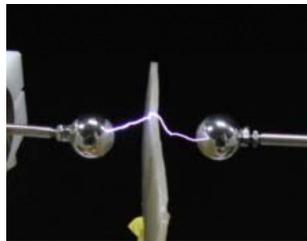
円孔付き試験片

- スパークと導体の間を遮蔽し、スパークが導体へ突き抜けるかを観察

- スパークと導体の間に円孔付き試験片を設置し、スパークの挙動を観察



## 導体を遮蔽した場合のスパークの挙動



PPで遮蔽した場合

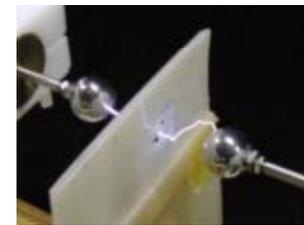
スパークは迂回して  
導体へ当たる



CFRPで遮蔽した場合

スパークはCFRPに当たる  
導体へ貫通はしない

## 車体に損傷を受けた場合の スパークの挙動評価



PPの場合→スパークは導体に貫通  
CFRPの場合→スパークはCFに当たる



車体に穴が空いた場合でも人間に直撃することはない  
可能性が高いと言える

## 結論

- 今回、超軽量自動車の実現のために開発中のCFRTPの疑似雷スパークに対する挙動について評価した。
- Vfが高いほど、電荷を逃がしやすい性質を持っている。
- 雷の落ちやすさについては、マトリックス樹脂や繊維に有意差は見られなかった。
- マトリックス樹脂の種類、繊維の形態によって、**損傷の具合、構造健全性**に大きな違いが出ると思われる。
- CFRTPS, CFRTPに関わらず、落雷の乗員への直撃を防ぐ可能性が高い。
- 今回の実験は電荷の小さいものであったため、今後**雷と同等の電荷**を持ったスパークによる検証を行うべきである。

# END

御清聴ありがとうございました。