

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560683

研究課題名（和文）蓄電機能を有する CFRP 構造の開発

研究課題名（英文）Developments of CFRP structures with electricity storage potential

研究代表者

福田 博 (FUKUDA HIROSHI)

東京理科大学・基礎工学部・教授

研究者番号：40013742

研究成果の概要（和文）：本研究では蓄電機能を有する CFRP 構造の開発をめざし、以下のような成果が得られた。1) 薄膜 Li イオン二次電池が安定的に製作できるようになった；2) CFRP 積層板中に薄膜を埋め込むことによって生じる層間破壊の解明が一定程度なされた；3) 二次電池の高温領域での充放電特性を調べ、宇宙空間での使用に際しての可能性と問題点を明らかにした；4) 二次電池内包 CFRP にひずみが作用した場合の使用可能範囲と限界を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Throughout the present research for developing CFRP structures with electricity storage potential, the following results have been obtained: 1) Thin Li-ion secondary battery could be stably fabricated; 2) Mechanism of interlaminar fracture caused by embedding thin films in CFRP laminates could be made clear at some amount; 3) Charge/discharge properties of the secondary battery under high-to-low temperature region were examined, showing the possibility and subjects of the battery for aerospace use; 4) Possibility and limit of usage under mechanical strain of secondary battery-embedded CFRPs were demonstrated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・複合材料・物性

キーワード：構造・機能材料、複合効果

1. 研究開始当初の背景

低炭素と省エネルギーに対する要求が高まる中、航空宇宙産業においても、省資源型の技術開発が活発となった。例えば最近開発される航空機では、軽量高強度を特徴とする CFRP (Carbon fiber reinforced plastics) の使用比率が近年急激に向上している。

こうした動向に従い、欧米においては 2003 年頃から、エネルギー供給デバイスを内包した新規複合構造技術の研究が開始されている。米国では、エネルギー供給機能を材料機能に含めた航空用複合材料構造を基本戦略技術と位置づけ、2006 年以降、DOD や AFOSR を中心とした研究グループが「エネルギー供給型

複合材構造の開発」と題したワークショップを開催している。

一方日本では、こうした取り組みはまだはじめられていなかった。

2. 研究の目的

上記のような背景のもとに、将来の航空宇宙システムのトータルな軽量化及び省スペース化をねらいにして、機械的負荷に耐えながら、エネルギーを発電及び蓄電できる多機能複合材料システムを開発するのが本研究の目的である。

3. 研究の方法

検討する構造は、積層型の CFRP の表面に太陽電池を、またその層中に固体薄膜二次電池を埋め込んだシステムで、欧米では研究開発が始められている。本研究では、発電側(太陽電池)は割愛し、蓄電側について日本で開発が進んでいる固体薄膜 Li イオン二次電池を採用することにより、先行研究を凌駕する電気特性を有する機能複合材料システムを開発しようとするものである。

4. 研究成果

(1) 固体薄膜 Li イオン二次電池の開発と電気的特性

研究分担者馬場守教授・叶榮彬助教のもとでは、主として固体薄膜 Li イオン二次電池(以下二次電池と略称)の開発を行った。図 1 にその概略を示すが、本体は $1\mu\text{m}$ 程度の薄膜で、今回は厚さ $30\mu\text{m}$ のステンレス基板の上に作成した。

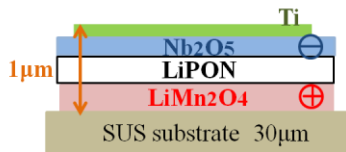


図 1 固体薄膜 Li イオン二次電池の概略図

図 2 に作成された二次電池の繰り返し充放電特性の一例を示すが、500 回程度の充放電に対し、何ら劣化を起こさない二次電池が作成できることが示された。

(2) 薄膜内包 CFRP の応力集中と層間はく離

CFRP 積層板に挿入物が入ると必然的に応力集中が起こり、そのため強度が低下する可能性がある。図 3 は層間に薄膜を挿入することによる強度低下の一例を示す。図 3 は限られた積層構成の結果であるが、CFRP 単体に比べ、10%程度の強度低下が起こっている。

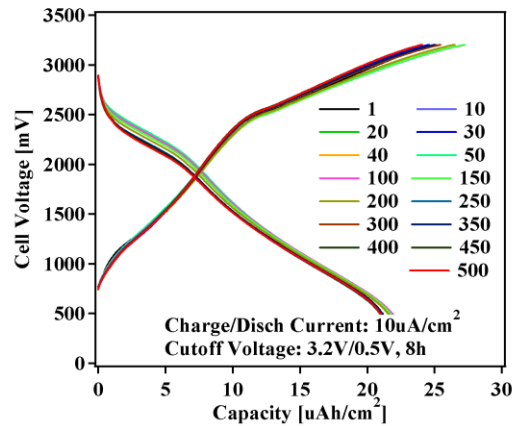


図 2 固体薄膜 Li イオン二次電池の充放電特性

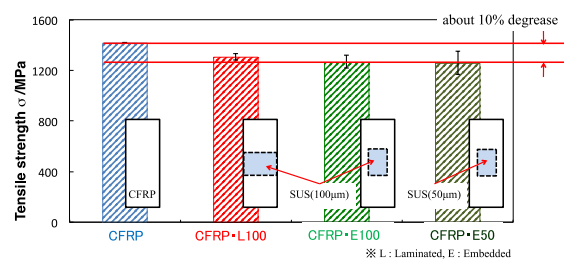


図 3 各種形状薄膜挿入による CFRP の強度低下

次いではく離がどのように進展するのかを確かめるために、図 4 左の概念図のように、薄膜を埋め込んだ CFRP の表面の数か所にひずみゲージを貼り、図 4 右のように得られた応力-ひずみ線図から、はく離の進展時期を推定した。図 4 では、たとえば⑤のひずみゲージはひずみが 0.5%程度でひずみの急上昇が起こっており、薄膜コーナー部からはく離が開始していることが示唆される。ただし、少数の離散データから結論を出すのは危険であり、これらの実験結果を有限要素法による数値解析と組み合わせ、より詳しいはく離進展挙動を推定した。また、はく離発生を遅らせる方策についても一定の考察を加えた。

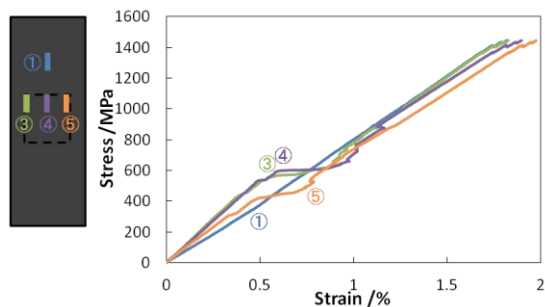


図 4 薄膜挿入 CFRP のはく離進展挙動

(3) 薄膜 Li イオン二次電池の耐環境性

本構造は航空・宇宙用途を想定しており、特に宇宙空間での高温から低温にわたる環境下で安定的に作動しなければならない。そこで、各温度条件で薄膜 Li イオン二次電池の放電特性（充電特性も類似）を調べ、当該電池の適用可能性の検討を行った。

図5は1個の二次電池について、常温からある温度まで昇温して電気測定を行ったあと常温に戻して測定し、次はさらに高い温度まで上げて測定するというプロセスを繰り返し、環境温度を上げることにより放電容量（充電容量）は上がり、常温に戻すとほぼ初期状態に戻る、つまり熱劣化が起こらないことが確認された。

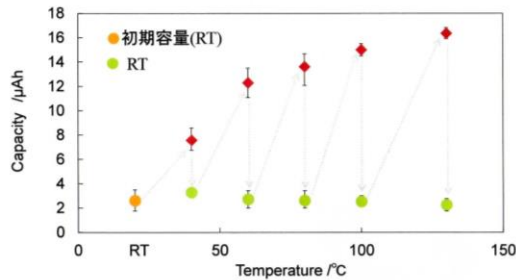


図5 環境温度と放電特性（高温側）

図6は逆に低温側の電気特性を調べたものである。低温側でも熱劣化は起こらないが、温度を下げるにしたがって、放電容量が減少し、極寒になり得る宇宙空間での使用には課題を残す結果となった。

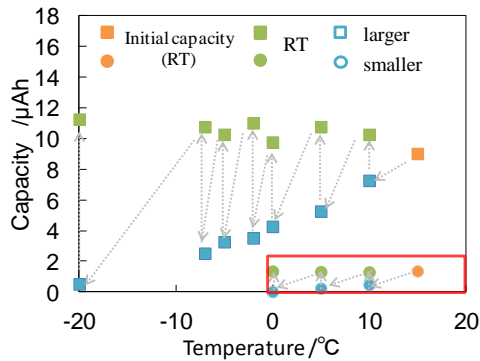


図6 環境温度と放電特性（低温側）

(4) ひずみ負荷による電池の特性変化

現在想定している構造では、二次電池そのものに CFRP と同じひずみが作用する。そこで前段階として、CFRP の表面に二次電池を貼り、曲げ負荷をかけることにより二次電池に引張りあるいは圧縮ひずみを与え、放電容量の変化を検討した。図7は圧縮ひずみを付与したときの二次電池の放電容量の変化を見たものである。ひずみを与えると放電容量は

若干減少したが、CFRP で一般的に想定される 0.7% 程度の設計ひずみの範囲では、放電容量の大幅な低下は認められなかった。

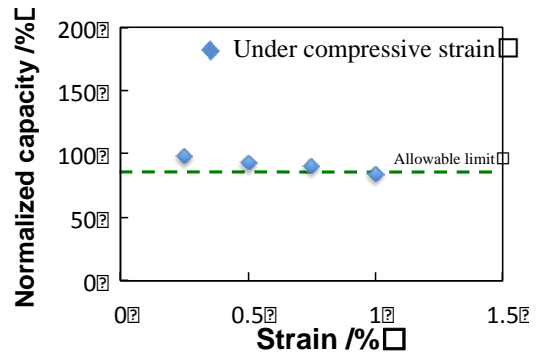


図7 ひずみを与えたときの二次電池の放電容量変化

以上で要素技術の検討を終え、最後に固体薄膜 Li イオン二次電池を CFRP 中に埋め込み、放電特性を調べた。図8に結果の一例を示す。図中 BO は battery only の意味で、二次電池単体の放電容量で、これを 100% とする。SB-HC は surface battery, hot cure の意味で、CFRP 成形時にその表面に二次電池を配置し、一体成型したもの、EB-HC は embedded battery, hot cure の意味で、CFRP 成形時にその内部に二次電池を埋め込んだものである。図に見られるように、二次電池を表面に貼ったものは放電容量低下が認められなかったのに対し、内部に埋め込んだ EB-HC では極端な性能低下が見られた。SB-HC と EB-HC のちがいは、SB-HC では成形後に電極（配線）を取り付けたのに対し、EB-HC では最初から配線を行っておく必要がある。今回はポリイミドフィルムに銀ペイントを塗ったものを導線とした。

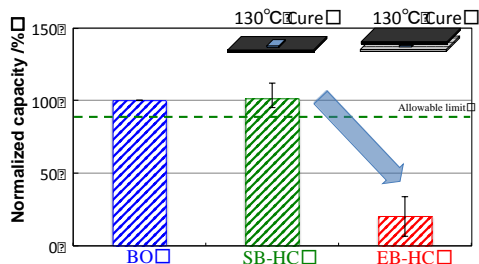


図8 CFRP と一体化したときの放電容量変化

その電極取り付けの違いが性能の差となってあらわれた可能性があり、それを検討するため、有限要素法により熱残留せん断応力の解析を試みた。図9に結果を示すが、二次電池を埋め込んだものでは、電極と CFRP の間に大きなせん断応力が発生していることが分かった。この結果は、今後電極の取り付けに工夫を要することを示唆している。

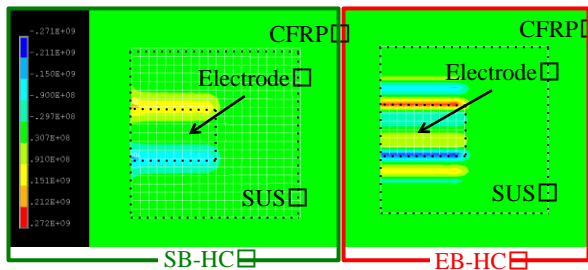


図9 成形時の残留熱せん断応力

以上、現行の固体薄膜 Li イオン二次電池を CFRP に埋め込む場合、成形時の熱残留応力に注意を払う必要があることが分かった。そこで最後に、通常のオートクレーブ成形法（今回は硬化温度 130℃のものを採用）に対し、常温硬化型のエポキシ樹脂を用いた VaRTM (vacuum assisted Resin Transfer Method) により成形した試験片についても同様の検討を行った。図 10 に結果の一例を示す。このように cold cure (VaRTM) では、二次電池を CFRP 内に埋め込んでも、放電容量の低下は起こらず、当初目標とした蓄電機能を持つ CFRP の開発の可能性が示唆された。

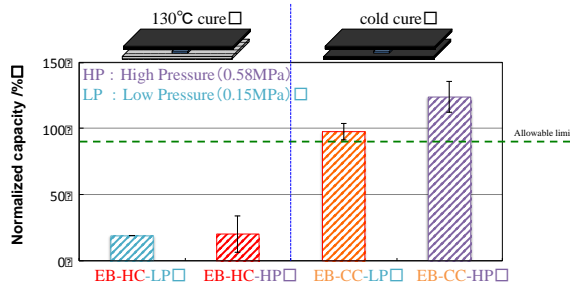


図 10 常温成形の試み

以上のように本研究では、いくつかの点で要素技術に進展が見られた。反面、最終課題としたシステムの統合化には至らなかった。また、個別課題においても、1) 二次電池を埋め込む場合の絶縁のとりかた、2) 電極（導線）を外部的に取り出す方法、3) 今回用いた固体薄膜二次電池は吸湿により性能低下を起こすため、その解決方法の探索など、今後さらに詰めていく必要がある部分を残している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 4 件)

- ① 小山昌志、成田駿介、福田博、八田博志、肖毅、叶榮彬、蓄電機能を有する CFRP の開発、日本複合材料学会・第 37 回複合材

料シンポジウム、2012.10.

- ② 乔文静、肖毅、闫亚萍、成田駿介、小山昌志、福田博、八田博志、Numerical analysis of delamination in composite laminates with embedding devices、中国複合材料大会、北京、2012.10.

- ③ M. Baba(馬場守)、F. Izumida、R. Ye(叶榮彬)、J. Yoshida、T. Ushirokawa、K. Ohta and M. Kusunoki、All Solid Thin-Filmed Li-Ion Rechargeable Battery with Aligned Carbon Nanotube Anode、221st ECS Meeting、Seattle、Washington, USA、2012.5.

- ④ 小山昌志、成田駿介、福田博、八田博志、肖毅、叶榮彬、馬場守、蓄電機能を有する CFRP の成形法の検討、日本複合材料学会・第 36 回複合材料シンポジウム、2011.10.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福田 博 (FUKUDA HIROSHI)
東京理科大学・基礎工学部・教授
研究者番号：40013742

(2) 研究分担者

小山 昌志 (KOYAMA MASASHI)
東京理科大学・基礎工学部・助教
研究者番号：00453829
(H22, 23)

八田 博志 (HATTA HIROSHI)

宇宙航空研究開発機構・宇宙構造材料工学・教授

研究者番号：90095638

馬場 守 (BABA MAMORU)

岩手大学・工学研究科・教授

研究者番号：20111239

(H22)

叶 榮彬 (YE RONGBIN)

岩手大学・工学研究科・助教

研究者番号：60431459

石川 正志 (ISHIKAWA MASASHI)

東京理科大学・基礎工学部・助教

研究者番号：10635254

(H24)

(3) 連携研究者

()

研究者番号：