



Title	炭素繊維強化プラスチック材を用いた計量熱防御構造体設計法に関する研究
Author(s)	奥山, 圭一
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/45843
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	おく やま けい いち 奥 山 圭 一
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 19033 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 16 年 9 月 30 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科生産科学専攻
学 位 論 文 名	炭素繊維強化プラスチック材を用いた計量熱防御構造体設計法に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 座 古 勝 (副査) 教 授 豊 田 政 男 教 授 藤 本 公 三 教 授 南 二 三 吉

論 文 内 容 の 要 旨

大気圏に再突入する宇宙機には、耐空力加熱を目的に外表面を熱防御材で覆われている。この材料には、上記の耐熱性と空力に対する強度が要求される。現在、用いられている代表的な熱防御材は、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) である。この CFRP 熱防御材の設計は、加熱による温度上昇を考慮し、内部の温度を設定温度以下にするに必要な板厚を決定する熱設計を主としている。このような設計では高密度の CFRP 層を必要とするので、高強度を維持できるものの重量増となる欠点を有している。

かかることから、再突入宇宙機熱防御として、表面材を空力加熱により炭化させ、その反応熱と炭化膜により防御する手法を提案したものである。その概略は、耐熱性フェノール樹脂を含浸させたカーボン繊維を 3 次元的ランダム配向させ、高温下でプレス成形した表層と、プリプレグシート (耐熱性フェノール樹脂を含浸させたカーボン連続繊維) の積層材からなる 2 層式である。この熱防御材は軽量化が図れる利点があるが、設計には防御材の熱特性を十分に把握する必要がある。本論文は、これらの挙動を明確にすることを目的に実施したものであり、6 章で構成した。

第 1 章は緒言であり、本研究の背景および研究目的について述べた。特に、空力加熱を受けた 2 層式フェノール CFRP の内部応力には、CFRP 収縮応力と熱応力があり、炭化収縮により発生する応力は厚さに依存するなど、設計上の問題点を明確にした。

第 2 章では、空気雰囲気におけるフェノール CFRP の損耗予測式を提案し、その熱化学的パラメータを実験により求めた。特に、損耗初期では反応律速酸化が支配的であり、その後、拡散律速に移行することを明らかにした。

第 3 章では、フェノール CFRP を全炭化させた場合の損耗挙動と板厚方向の温度分布の予測をアレニウス反応式の頻度因子等を用いて解析により求めた。また、実験により予測手法の妥当性を確認した。

第 4 章では、大気圏高層での挙動を明らかにするため、窒素ガス雰囲気における実験を実施した。それにより、熱分解ガス中の酸素成分による酸化損耗挙動を明確にし、無酸素状態でのフェノール CFRP の熱化学パラメータを導出した。これにより再突入時の損耗挙動と温度履歴が正確に予測できることを明らかにした。

第 5 章では、フェノール CFRP の収縮、膨張挙動を調査し、それによる発生応力について記述した。応力は、前章までに記述している損耗量設計すれば、強度的には問題がなく、損耗量が設計には支配的であることを確認した。

第 6 章は、総括であり、この手法により設計された再突入容器が無事回収され、提案手法の妥当性を述べた。また、

従来設計との比較から約 30%程度の軽量化が図れることを明らかにした。

論文審査の結果の要旨

大気圏に再突入する宇宙機の外表面は、熱防御材で覆われている。炭素繊維強化プラスチック (CFRP) はその代表的な材料である。現在、熱伝導を基に内部温度を設定温度以下にするに必要な熱防御材板厚を決定する設計手法が採用されている。しかし、高密度の CFRP 層を必要とするので、重量増となる欠点がある。そこで、軽量化を目的に耐熱性フェノール樹脂を含浸させたカーボン繊維を 3 次元的ランダム配向させた表層と、その積層材からなる 2 層式熱防御手法を提案し、その設計に必要な熱特性を把握するために試験を実施し、実設計を行ったものであり、次の知見を得ている。

- (1) 空力加熱を受けた 2 層式アブレータの内部応力には、CFRP 収縮応力と熱応力があり、炭化収縮により発生する応力は厚さに依存するなど、設計上の問題点を明確にしている。
- (2) 損耗初期では反応律則酸化が支配的であり、その後、拡散律則に移行することを実験により明らかにし、それを基に空気雰囲気におけるフェノール CFRP の損耗予測式を提案している。
- (3) フェノール CFRP を全炭化させた場合の損耗挙動と板厚方向の温度分布の予測をアレニウス反応式の頻度因子を用いて解析により求めるとともに、実験により予測手法の妥当性を確認している。
- (4) 大気圏外での損耗挙動を明らかにするため、窒素ガス雰囲気における実験を実施し、熱分解ガス中の酸素成分による酸化損耗挙動を明確にし、無酸素状態でのフェノール CFRP の熱化学パラメータを導出している。また、それにより再突入時の損耗挙動と温度履歴が正確に予測できることを明らかにしている。
- (5) フェノール CFRP の収縮、膨張挙動を調査し、それによる発生応力を調査し、設計には、強度的には問題がなく、損耗量が支配的であることを明らかにしている。
- (6) 提案手法により再突入容器を実設計し、回収後、提案手法の妥当性を確認するとともに従来設計と比較し約 30% 程度の軽量化が図れることを明らかにしている。

以上のように、本論文は、大気圏再突入宇宙機の熱防御材の軽量化設計を目的に研究を実施したものであり、再突入時の損耗挙動と温度履歴を正確に予測できる手法を提案するなど宇宙機設計に重要な知見を得ている。これらは、この分野の生産工学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。