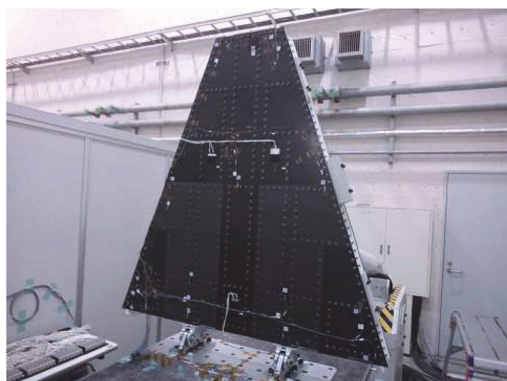


振動減衰特性に優れた“ベクトラン”®複合材を用いた 先進航空機構造の開発

Development of Advanced Aircraft Structures with
High Vibration Damping Composite of VECTRAN™



高木 清嘉^{*1}
Kiyoka Takagi

加茂 宗太^{*2}
Sota Kamo

藤田 清孝^{*3}
Kiyotaka Fujita

梓澤 直人^{*4}
Naoto Azusawa

小林 利章^{*5}
Toshiaki Kobayashi

楠戸 一正^{*6}
Kazumasa Kusudo

小型航空機が大迎角で飛行した際に尾翼が振動するバフエット現象は、構造の疲労損傷を加速させるため、開発途中で発見された場合、設計変更によるコスト増加及び開発遅延が問題となる。よって、重量増加が最小で既存構造に追加できる振動減衰効率の高い制振構造を開発する。当社では振動減衰性に優れた“ベクトラン”複合材を用いて、基礎特性試験とFEMモデルにより尾翼構造に取付けられる制振構造を開発し、実大相当の供試体による振動試験にて、尾翼取付部において10%のひずみ低減(疲労寿命2倍の伸び)効果が得られることを確認した。

1. はじめに

小型航空機が大迎角で飛行した際、気流が主翼表面から剥離し渦を含んだ状態で連続的に尾翼に当たることにより、尾翼を振動させるバフエット(Buffeting)と呼ばれる現象が起きることが知られている。また、迎角が小さくても高速飛行時、主翼表面の衝撃波が強くなることにより気流が剥離し同様の現象が発生する場合がある。振動により尾翼には繰返し荷重が作用することで、尾翼構造の疲労損傷が加速する。予期せぬ疲労損傷は、航空機の運用寿命を短くし、かつメンテナンスコストを増加させる⁽¹⁾。また、機体の開発途中でバフエットによる疲労損傷が発見された場合、設計変更による開発コストの増加及びスケジュールの遅延が問題となる。よって、重量増加を最小限にしつつ、構造に後から追加することで振動を効率良く減衰させる制振構造が必要である。本稿では、小型航空機の尾翼取付部構造の振動荷重による疲労強度向上のため、振動減衰性に優れた“ベクトラン”⁽²⁾複合材(VECTRAN™ Fiber Reinforced Plastic. 以下、VFRPと称す)による制振構造の開発についてまとめる。

2. “ベクトラン”複合材の概要

“ベクトラン”は、分子と分子の結びつきが非常に強い液晶ポリマーを原料とした高強力ポリアラレート繊維で、1990年から(株)クラレが製造しており、水産分野から宇宙分野まで幅広く使用されている⁽²⁾。高張力・高弾性であり、また振動減衰性に優れているため、これを用いた複合材は、制振複合材としても注目されている。図1に振動減衰性に関する“ベクトラン”と他繊維との比較を示す。

*1 防衛・宇宙セグメント 航空機・飛昇体事業部 航空機技術部 主席技師

*2 防衛・宇宙セグメント 航空機・飛昇体事業部 航空機技術部

*3 総合研究所 振動研究部

*4 総合研究所 強度・構造研究部

*5 クラレ西条(株) ベクトラン生産技術部

*6 (株)クラレ 産資開発部

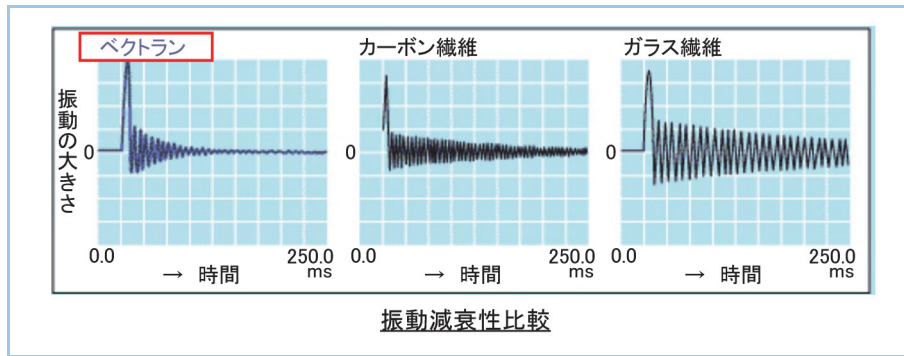


図1 振動減衰性の比較

3. 尾翼制振構造開発プロセス

小型航空機尾翼構造に適用を目指す VFRP による制振構造の開発プロセスを図2に示す。本プロセスでは、基礎的なデータとして VFRP の材料特性試験と尾翼構造の一部を模擬した要素試験(ファスナ結合部、桁間構造、ラグ部)で得られた振動特性を FEM(有限要素法)モデルに適宜反映した後、尾翼に追加可能で効果的な制振構造を FEM で設計し、実大相当の供試体による振動試験にて減衰効果を確認した。各試験の概要及び結果を4章以降に示す。

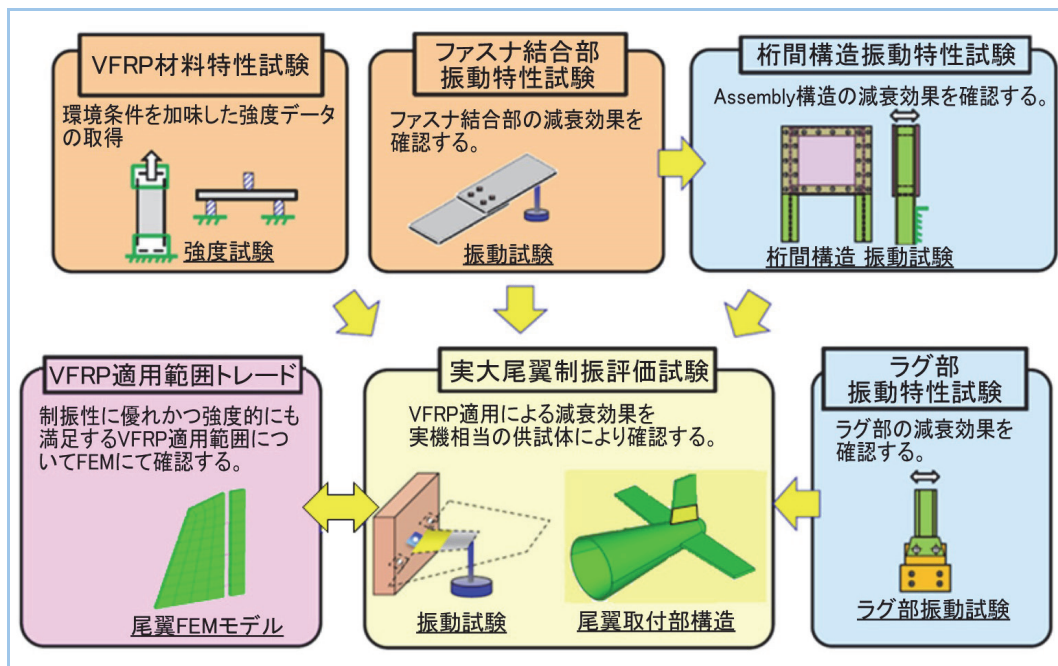


図2 開発プロセス

4. 各種振動特性評価試験

4.1 VFRP 材料特性試験

まず VFRP の材料特性を把握した。図3に示すように、VFRP のクーポン試験片を製作し、強度試験により材料強度(引張、圧縮、層間靱性)及び剛性を確認した。次に、図4に示すように、片端を治具で固定し片持ち状態とした供試体を製作し、ハンマリング(ハンマーによる打撃)による加振で固有振動数及び振動減衰率を測定した。尚、試験に用いた供試体は、繊維種類、組合せ及び配向の異なる複数の炭素繊維強化複合材(以下、CFRP と称す)及び VFRP を用いた。試験の結果、VFRP は一般的な制振合金(マンガン合金 M2052 等)と同等の高い振動減衰率を示すことが確認できた。また、VFRP では、繊維の配向が振動減衰率へ与える影響が大きいことが分かった。

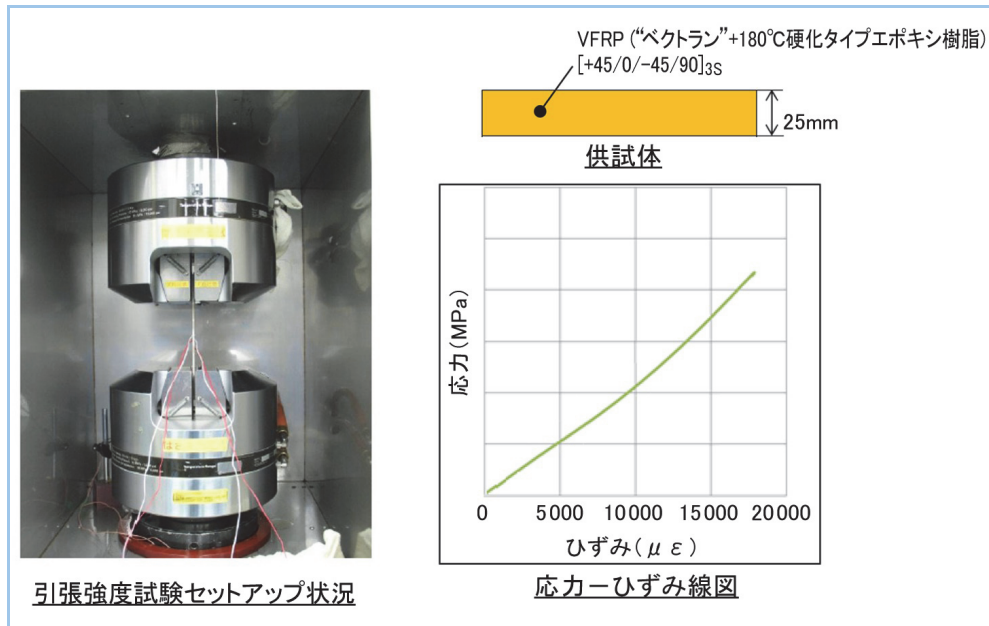


図3 強度試験(引張)結果

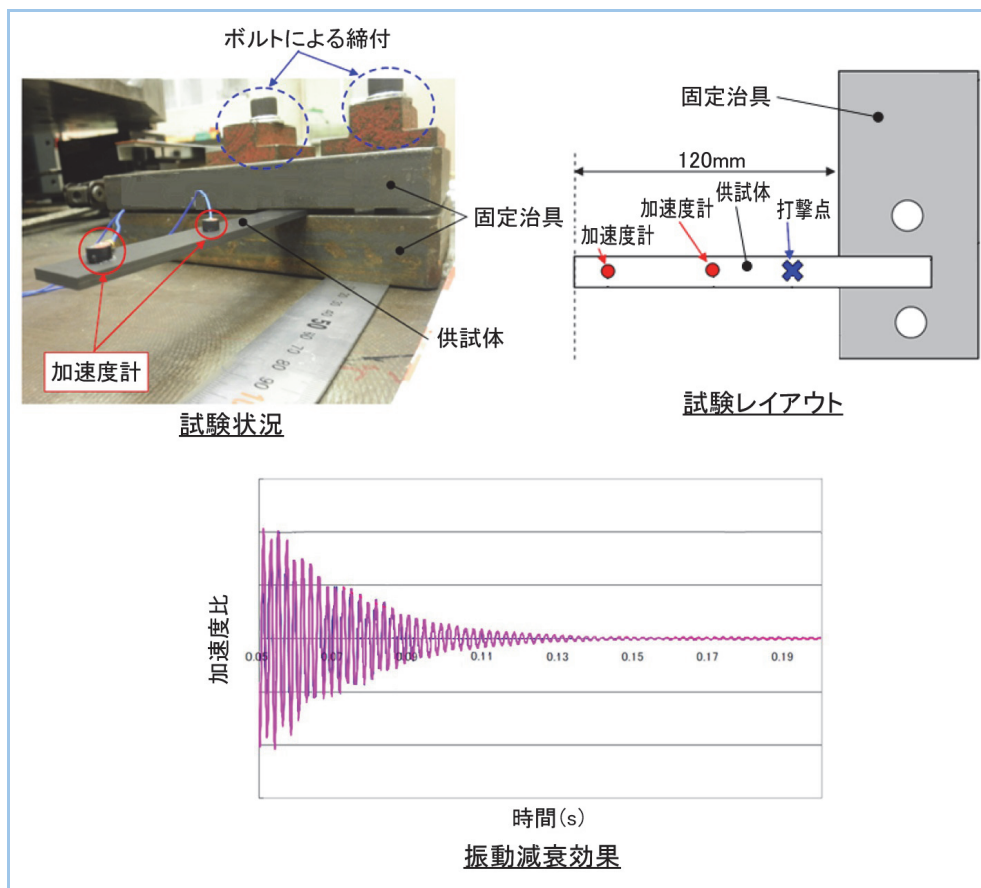


図4 振動試験

4.2 ファスナ結合部振動特性試験

VFRP の適用による多列ファスナによる部品結合部の振動特性の変化を確認するため、実際の航空機構造を想定した加工方法及びファスナを用いて、図5に示すように多列ファスナで端部を固定した片持ち状態の供試体を製作し、ハンマリングにより振動減衰率及びひずみを確認した。尚、本試験では比較のため3種類の複合材(CFRP, VFRP 及び CFRP +VFRP)とアルミ材による供試体計4体を製作した。試験の結果、VFRPはアルミ材に比べ約4倍の振動減衰率となることを確認した。

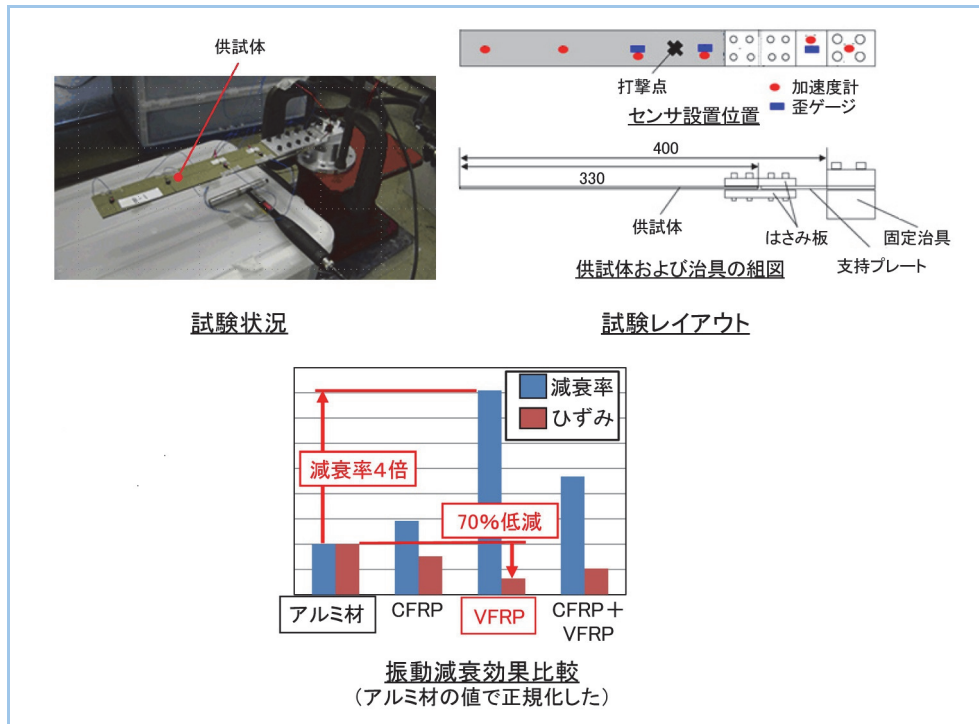


図5 ファスナ結合部振動特性試験

4.3 ラグ部振動特性試験

VFRP 適用による尾翼取付部のラグ構造の振動特性の変化を確認するため、実際の航空機構造を想定した加工方法及びピンを用いて、図6に示すように供試体を製作した。本試験では、VFRP をシムとして使用し、3種の形態に対する振動試験を実施することで、シムの配置及びラグの偏心による振動特性への影響を確認した。その結果、シムの配置及びラグの偏心は、ラグ部の振動特性へ有意な影響を及ぼさないことが確認できた。ラグ部においては、ラグ孔とピン間の微小な隙間いわゆるガタが振動特性へ与える影響が大きいと推測される。

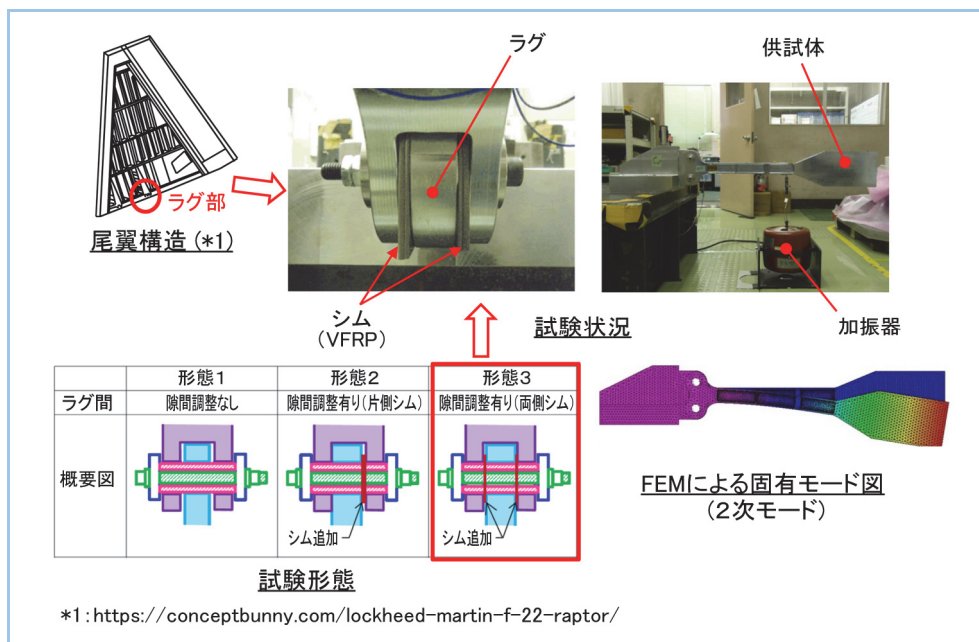


図6 ラグ部振動特性試験

4.4 桁間構造振動特性試験

VFRP 適用による尾翼桁間ボックス構造の振動特性の変化を確認するため、図7に示すように実際の航空機構造を想定した桁間ボックス構造の供試体を製作した。供試体は、アルミ材の内部骨格構造及び外板で構成され、本試験では、比較のため外板の素材が異なる3種類(アルミ

材, CFRP, CFRP+VFRP)の供試体を用いた。尚, CFRP+VFRP 外板は, VFRP を両面から CFRP で挟んだ構造になっている。試験の結果, VFRP 外板を使用した場合, アルミ材外板の供試体に比べ, 振動減衰率が約 15% 高くなり, ひずみが約 15% 小さくなることが確認された。

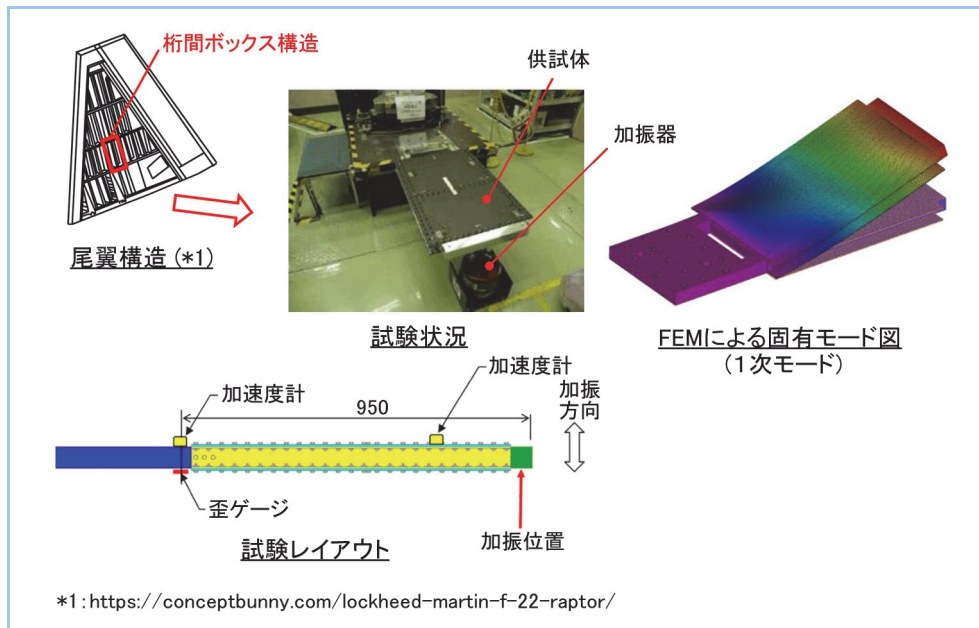


図7 桁間構造振動特性試験

5. 実大尾翼制振評価試験

4章の各種制振特性試験で得られた振動特性を反映させた FEM を用いて, 尾翼の振動を効果的に減衰させる3種類の VFRP 制振材パネルの適用範囲を図8のように3種類設定した。これらに従い, 実大相当の尾翼構造を模擬した供試体を製作した。供試体は, アルミ材の内部骨格構造及び CFRP 外板で構成され, VFRP 制振材パネルは CFRP 外板の外側に取付けられる。比較のため VFRP 制振材パネルを適用していない供試体も併せて製作した。尚, 供試体下部は, 2箇所のラグ構造にて治具に取付けられ, 治具を加振することで振動現象を模擬した。試験の結果, 形態2が最も振動減衰効果が高く, VFRP 制振材パネルを適用していない形態1と比較し, ひずみが約 10% 小さくなった。これは図8の S-N カーブ⁽³⁾を参照すると疲労寿命が約2倍に伸びることに相当し, VFRP 制振材パネルが疲労寿命向上に大きな効果があるものと結論付けることができる。

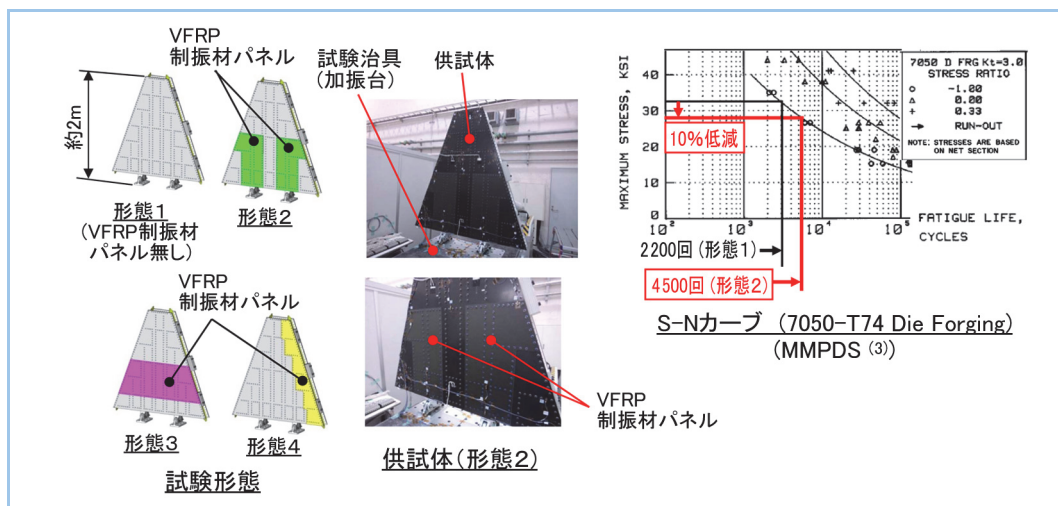


図8 実大尾翼制振評価試験

6. まとめ

今回の開発により、尾翼構造に VFRP 制振材パネルを取付けることにより制振効果があり、ひずみが約 10%低減することが確認できた。この技術により、機体の疲労寿命を向上させることに貢献できると考えられる。また、本技術は振動を受ける構造に共通で適用できる技術であり、一般機械等、広く他分野についても適用の拡大が期待される。

※ベクトラン及び VECTRAN は、(株)クラレの登録商標です。

参考文献

- (1) S.A.Barter and L.Molent(2012) “Investigation of and in-service crack subject to aerodynamic buffe and maneuver loads and exposed to a corrosive environment”, ICAS2012
- (2) 株式会社クラレ HP <http://www.kuraray.co.jp/vectran/>
- (3) U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration (2003) “Metallic Material: Properties Development and Standardization (MMPDS)”