

航空機構造への複合材適用とその課題

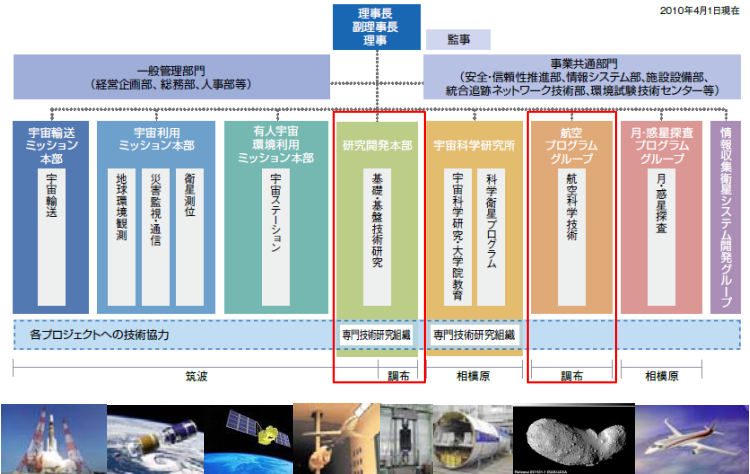
宇宙航空研究開発機構
 研究開発本部
 複合材グループ 岩堀 豊

宇宙航空研究開発機構

JAXA

・職員数: 1,571 (2010年3月)

2010年4月1日現在



調布航空宇宙センター 交通機関のご案内



複合材グループ



- 2001年 4月 先進複合材評価技術開発センター
- 2005年 10月 複合材技術開発センター
- 2009年 4月 ~ 複合材グループ



– 研究員 12, 派遣職員・客員研究員 17
 – 学生 (大学院生含む) 約35名

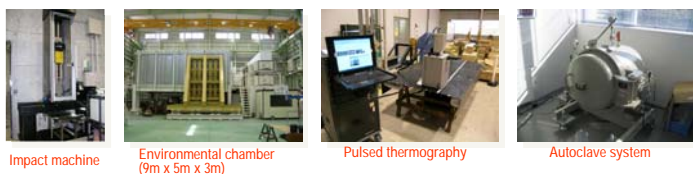
研究開発内容

- 航空機、宇宙機器などの高性能化・普及のための研究開発
- 複合材試験法標準化・データベース構築
 - 耐熱複合材料研究開発
 - 革新材料・プロセス研究開発
 - 航空機材料認定などの支援
 - 複合材料の高性能化

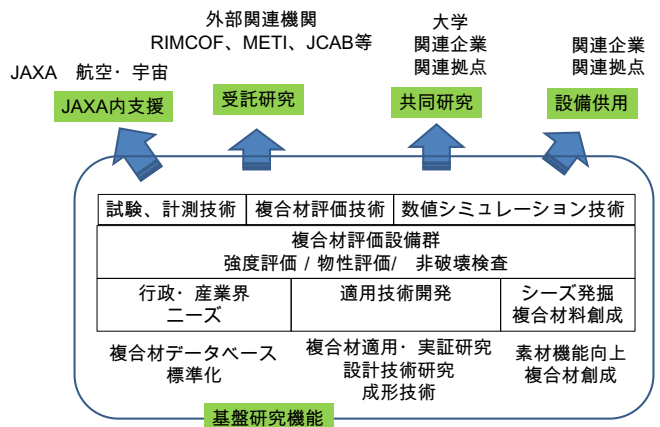
複合材料グループの設備

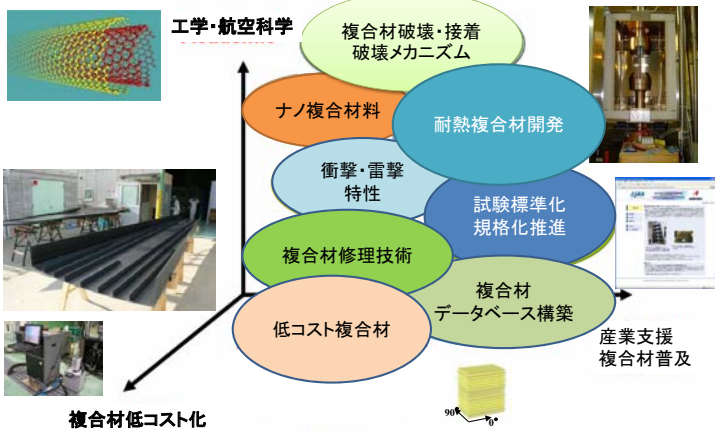


- 荷重負荷装置 100 Kg ~ 300 ton
- 非破壊検査装置
- 複合材成形装置
- 材料評価計測装置

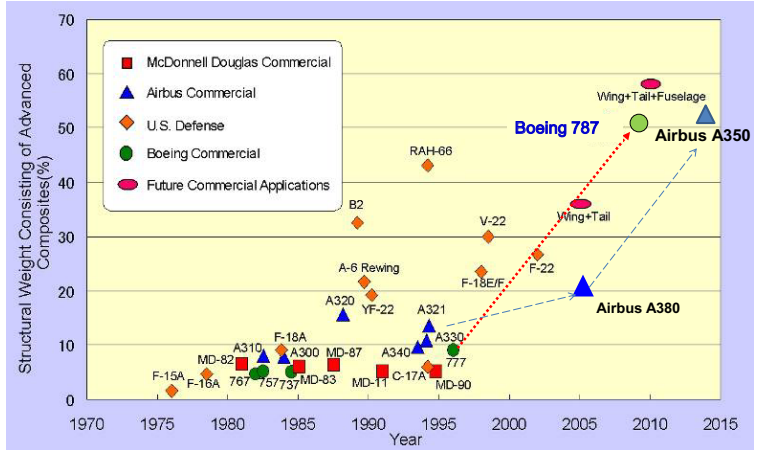


複合材グループの役割





航空機構造重量に占める複合材比率の変遷



旅客機のCFRP使用量



B787 (2009年初飛行) 一次構造/二次構造 CFRP使用量 約35トン



A380(2005年初飛行)一次構造/二次構造 CFRP使用量 約35トン



B777 (1994年初飛行) 一次構造/二次構造 CFRP使用量 約10トン



A320(1987年初飛行)一次構造/二次構造 CFRP使用量 約2トン

Airbus A 380

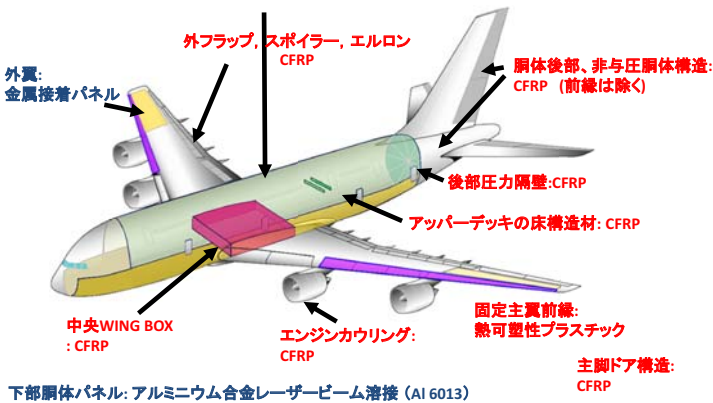


EADS / AIRBUS
 A380-800
 525人 (3クラス)
 853人 (モノクラス)
 8200nm (15200 Km)
 560 トン
 0.89 Mach
 1994 A3XX Start
 2000 A3XX Launch
 2004 組み立て開始
 2005 初飛行
 2007 10 First Delivery
 2008 1 Second Delivery

大型空港間の大量輸送 (Hub and spoke)

A380 の材料

上部胴体構造: Al 2524 と Al 7000-シリーズの高強度 繊維積層(GLARE) と Al 2024-シリーズのストリング



A380 CFRP Centre Wing Box

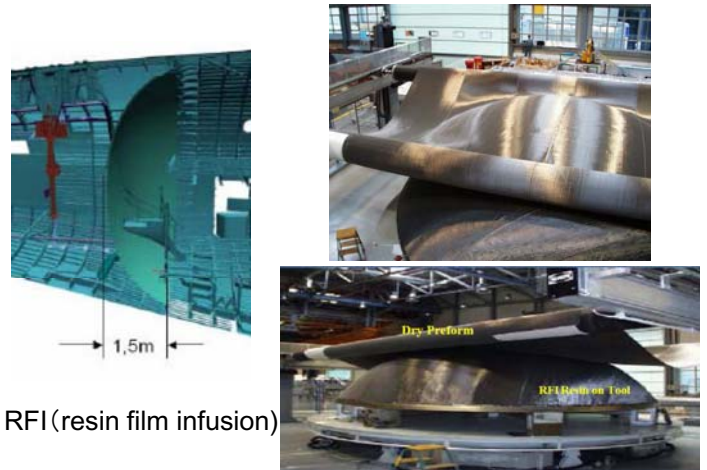


Weight-saving: 1500 kg. Composite parts represent around 50% of total weight

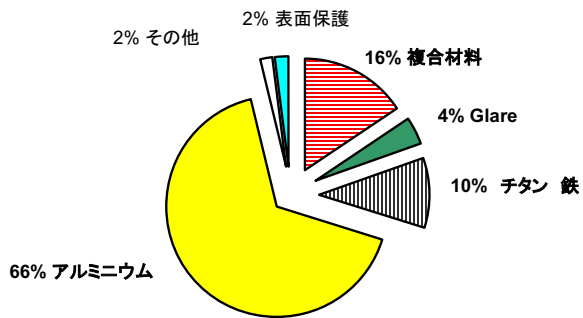
A380 Pressure bulkhead



A380 Pressure bulkhead



A380の機体構造材料の重量割合



Boeing 787



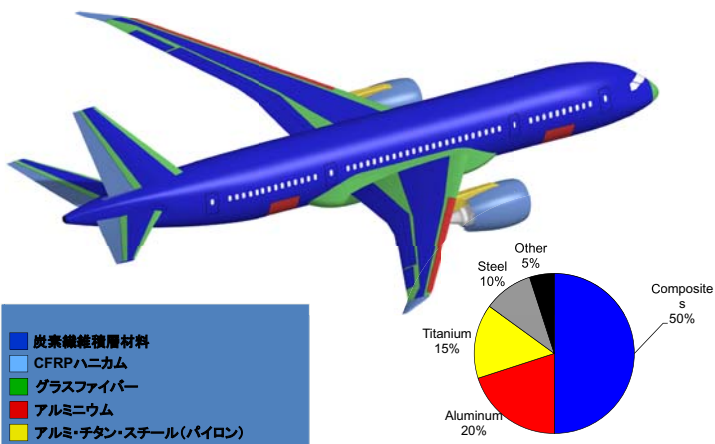
DREAM LINER
20% 燃費向上

B787 - 8
218人 乗り
8500 nm (15,700 Km)
480,000 lbs (218 トン)
0.85 Mach

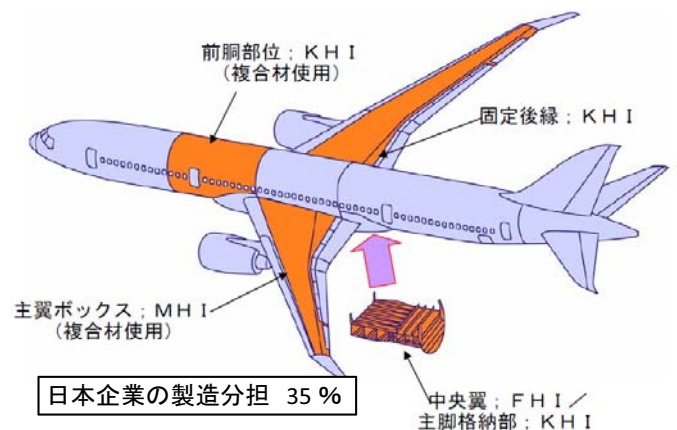
2003 B7E7 Start
2004 Launch
2011 運航開始 !?

地点一地点 (Point to Point)

Boeing 787の構造材料



日本企業の製造分担部位





2007年 三菱重工

主翼下面パネル

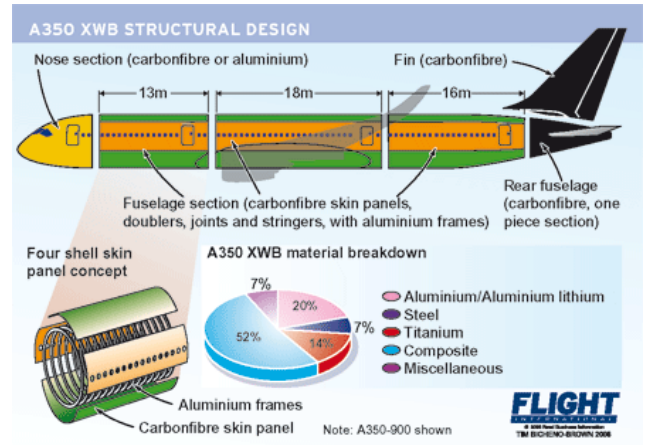


AIRBUS A350 XWB



AIRBUS A350-800
 全長: 60.7m
 全高: 16.9m
 キャビン巾: 559cm
 乗客数: 270(3クラス)
 最大離陸重量: 248 t
 最大燃料搭載量: 129kl
 速度: マッハ0.85
 航続距離: 15400km
 推定価格: 1.89億ドル

A350 XWBの材料構成



AIRBUS A350 XWB



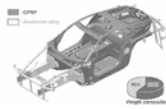
車への適用

- 車体の軽量化
- 耐久性向上
- 衝突時衝撃吸収

BMW



Toyota Lexus LFA



なぜ複合材なのか？

■ 航空機への複合材適用ステイタス

複合材は航空機構造重量の半分以上の重さを占めるような材料となった。



- 1) 低比重、高強度材料、耐久性良 ⇒ 軽量化
- 2) 一体成型による部品点数削減 ⇒ 組立費低減
- 3) 耐腐食性向上 ⇒ 点検間隔の延長、整備費削減
- 4) 客室内の与圧上昇。湿度上昇可能 ⇒ 顧客満足度

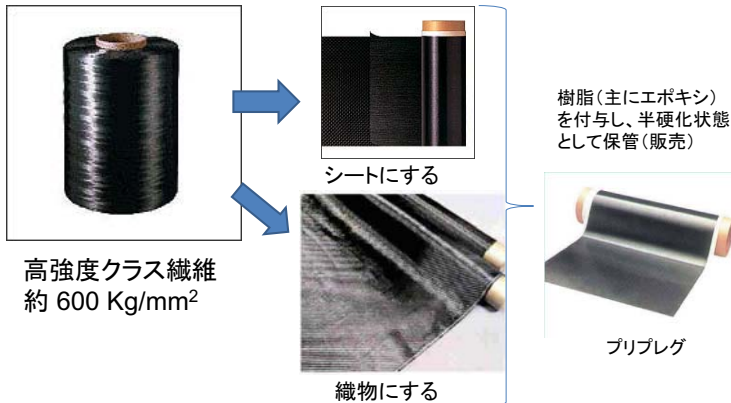
運航メーカ、利用者にとってより良い機体となる

■ 今後も部材・部品の機能価格を考慮しつつ複合材化は進むものと考えられる。

■ 複合材は万能材料なのか？



航空機用先進複合材の代表 炭素繊維強化プラスチック (CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastic)



複合材構造を製造する装置

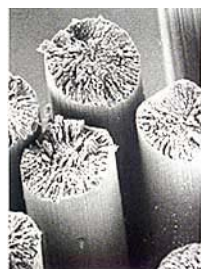
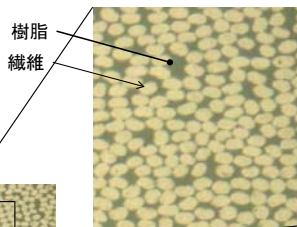
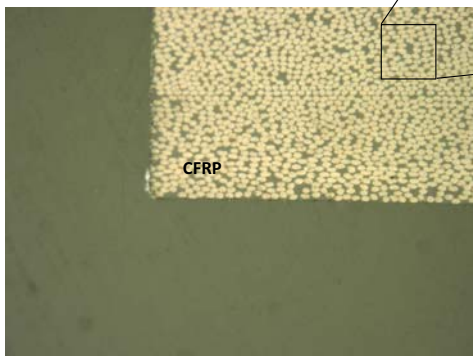
- プリプレグ
- ↓
- 受け入れ検査
- ↓
- 切断
- ↓
- 積層
- ↓
- 加熱・硬化
- ↓
- 脱型
- ↓
- 仕上げ/二次加工
- ↓
- 検査
- ↓
- 製品
- ↓
- 航空機メーカ



オートクレーブ (加熱/加圧)

CFRPの材料構成

CFRPの切断面写真
白い○が、一本の繊維(約7μm)

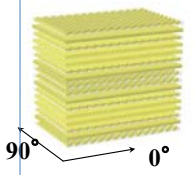


X1,500

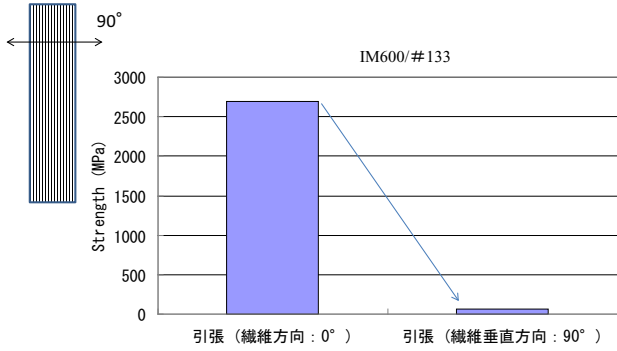
複合材の材料構成

- 複合構造
 - 炭素繊維: 高強度、高弾性、低熱膨張
 - 樹脂: 低強度、低弾性、高熱膨張
- 強度・剛性の発現
 - 炭素繊維: 引張・圧縮力 (塑性域少)
 - 樹脂: せん断力伝達、繊維支持
- 積層構造
 - 各層が個別に力を分担
 - 各層は個別の方向を向く (配向)
 - 層間は樹脂のみ

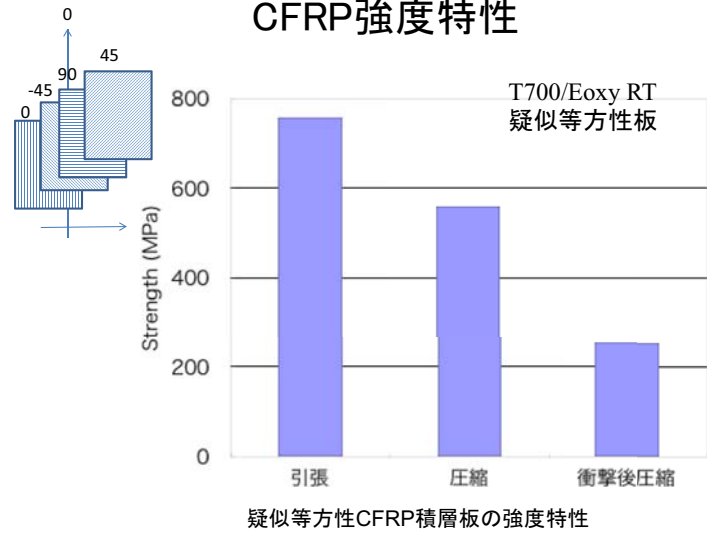
複合材の特徴を考慮して使うことが必要



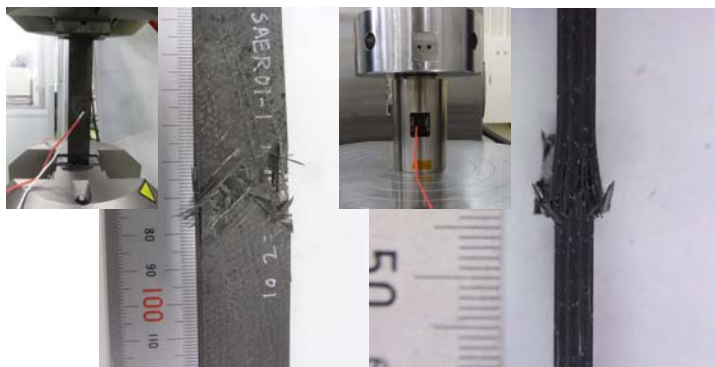
CFRP積層板の強度的異方性 (一方向材)



CFRP強度特性

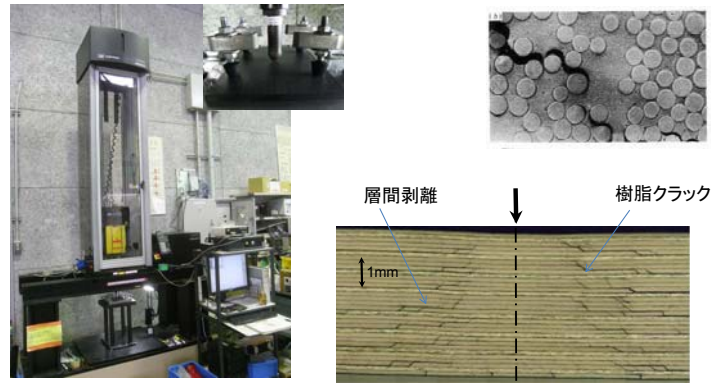


CFRPの強度特性



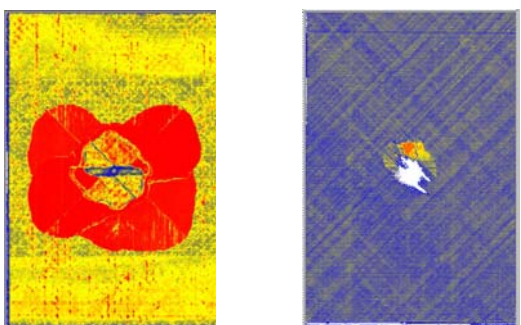
引張試験 圧縮試験
負荷方向による破壊モードの違い

衝撃による損傷



衝撃付与状況 衝撃付与後の断面の写真

超音波探傷による損傷剥離検出

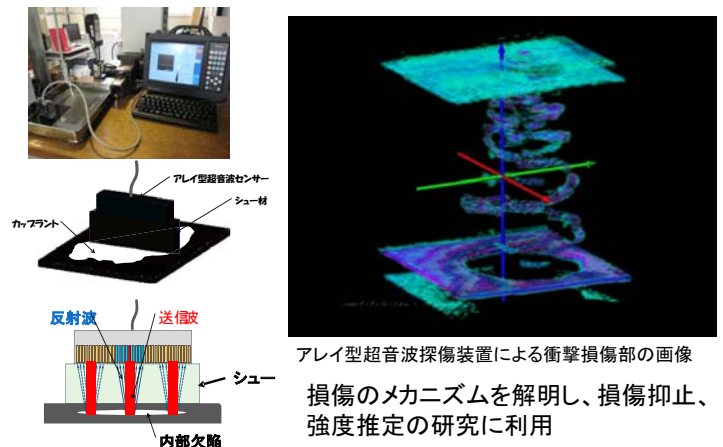


一般タイプエポキシCFRP 150 MPa
高靱性タイプエポキシCFRP 280 MPa

衝撃後超音波探傷比較 (6.7J/mm衝撃後)

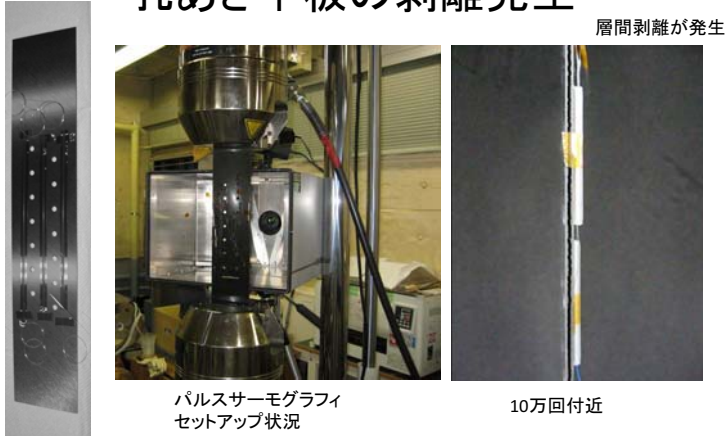
疑似等方性積層板: [45/0/-45/90]_{4s}
試験片サイズ: 100mm×150mmの中央部に衝撃付与

アレイ型超音波探傷による損傷検出



アレイ型超音波探傷装置による衝撃損傷部の画像
損傷のメカニズムを解明し、損傷抑止、強度推定の研究に利用

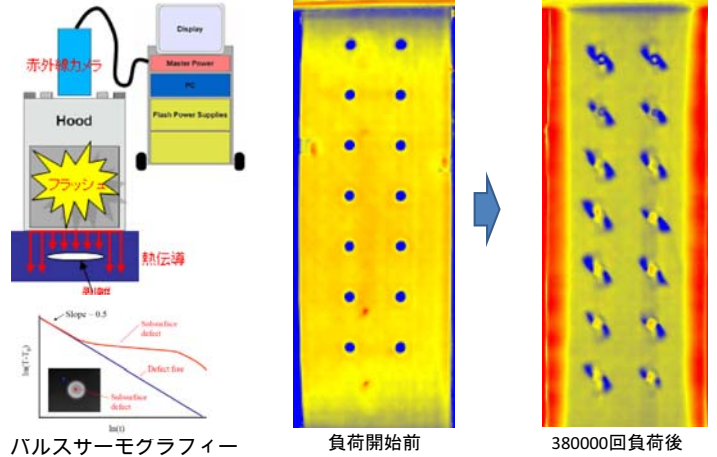
孔あき平板の剥離発生



静強度荷重 80 kN 繰り返し荷重 = 静強度荷重 × 0.7

層間剥離が発生

層間剥離進展検出



パルスサーモグラフィ

負荷開始前

380000回負荷後

複合材製品製造の流れ



複合材製品製造の特徴

- ・ 素材メーカー、部品製造メーカー、機体製造メーカー、運航メーカーが関係
- ・ 個別技術の集合技術
- ・ 成形後に材料特性が固定⇒製造工程が材料特性を左右する。
- ・ 航空機の場合は、材料開発(型式)ごとに材料認証が必要。

航空機用複合材構造の製造

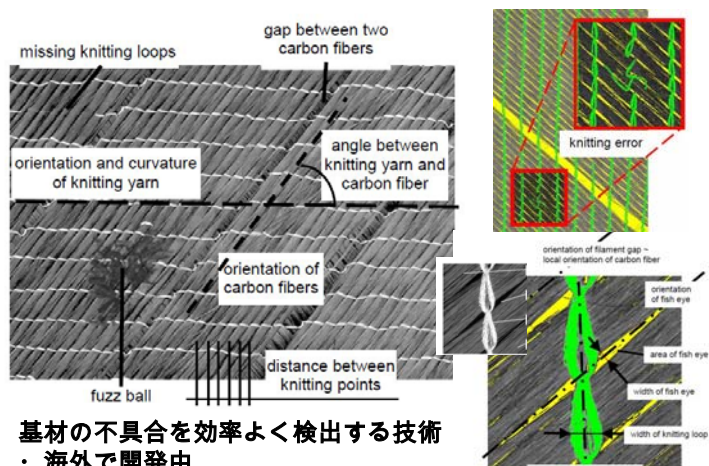
航空機製造には、製造認定(PC)が必要

- 素材すべて規定に合致した物を使用する
- 製造装置もすべて規定に合致した物を使用する
- 工程は規定に従って順番に実施
- 工程通り実施したかどうか管理(記録)必要
- 検査による合否判定が必要
- 「工程指示=作業ができる」とは限らない

各航空機部品製造メーカーは規定内で利益の最大化を目指す。(工程を変更することは大変)

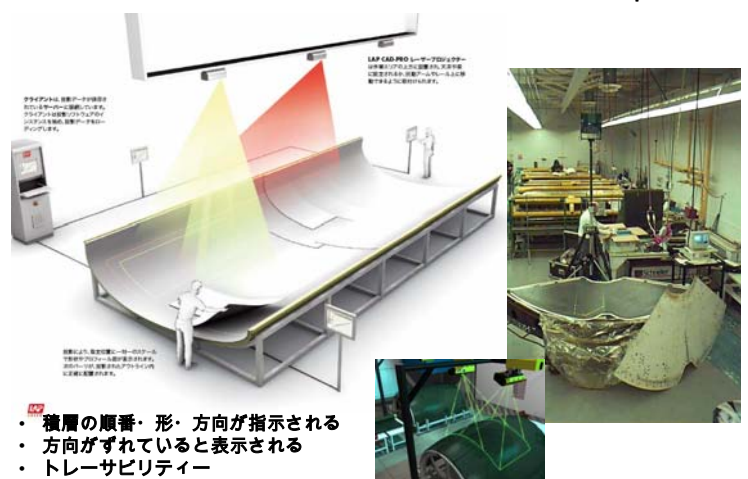
- 検査方法の効率化
- 工程を確実に、効率よく実施する工程支援システム

炭素繊維基材の品質検査



基材の不具合を効率よく検出する技術
・ 海外で開発中

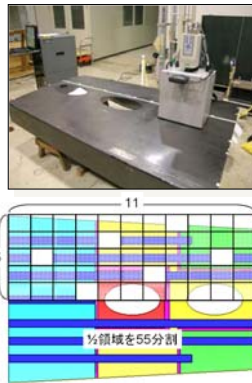
積層作業効率化と作業支援(Laser Template)



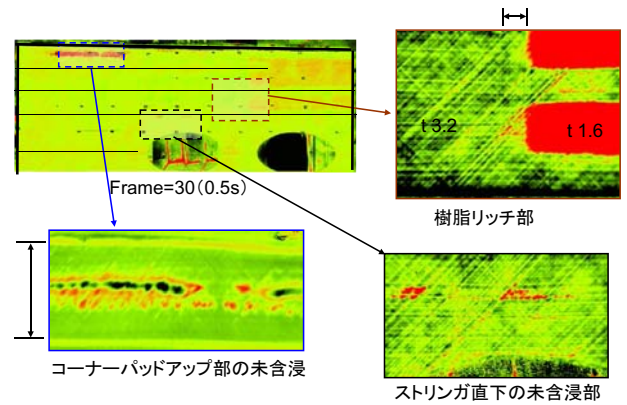
- ・ 積層の順番・形・方向が指示される
- ・ 方向がずれていると表示される
- ・ トレーサビリティ

パルスサーモグラフィによる非破壊検査

- VaRTM法によって製作した翼供試体を計測。
- 強力なフラッシュにより瞬間的に物体表面を加熱し、赤外線(IR)カメラを用いて物体表面の温度変化を時系列で測定
- ½領域を5x11に分割撮影、その後結合
- 毎秒60フレーム、20秒間



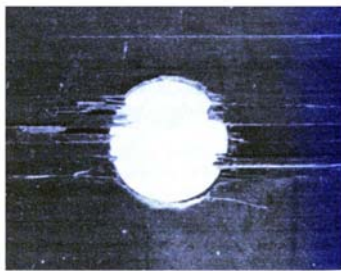
パルスサーモグラフィによる探傷結果



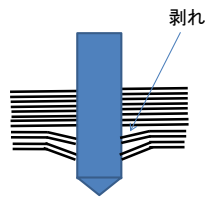
43

44

複合材構造の損傷(製造時)



穿孔加工品出口の損傷の様子



- バックプレート
- ツール開発
- 表面クロス層追加
- 穿孔条件

その他不具合として考えられる例

- CFRP製品への樹脂未含浸、ポイド、繊維しわ等
- プリプレグバックシート残
- 運搬中の衝突
- 不適切なファスナ締め付けトルクによる締結

製品検査やツールトライによって回避可能

運航における複合材構造

運航中に発生する損傷

- 設計時には不測の事態が発生
- 自然現象
- 人為的
- 経年劣化

複合材特有の損傷を発見する必要

(外側は小さいが層内に大きい損傷が存在する可能性)

- 基本は目視検査(5feet から0.01~0.02inの凹を発見; B787の場合)
- 指定部品は、タッピングや非破壊検査等要求
- 特別点検(他機での発見、ハードランディング後等)
- 経年劣化に対する点検

複合材修理

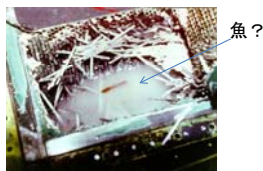
- 損傷の範囲を正しく判断し、修理するかダウンさせるかを定める
- 修理はできるだけ短時間かつ簡便に
- 特殊な設備を使用せず修理実施可能

複合材構造の損傷(運航開始後)

設計時に不測の現象により複合材構造への水分進入

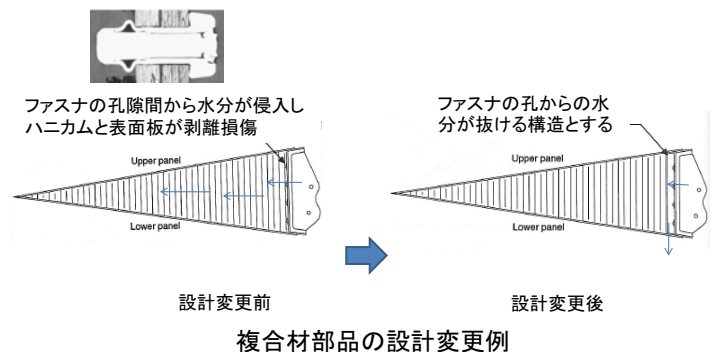


Water enters the elevator honeycomb core through fastener holes due to component „breathing“. Repairs are difficult and time consuming.



CACRC/AMSTERDAM/2006

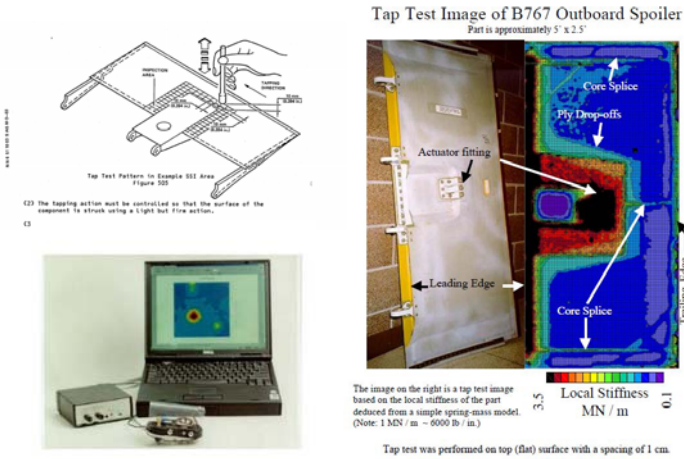
複合材構造への水侵入原因



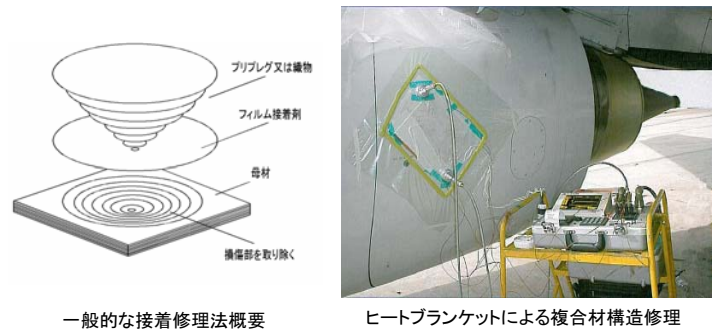
複合材部品の設計変更例

設計通りに製造されているが、運航開始後に不具合発生(製造と運航をまたぐ不具合)

タッピングマシンによる検査



複合材構造修理(接着修理)



一般的な接着修理法概要

ヒートブランケットによる複合材構造修理

複合材構造の損傷(鳥衝突)



米国における鳥衝突例

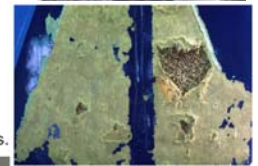
複合材構造の損傷(雹)

Damages on composite components

Foreign Object Damage (FOD)
hailstorm

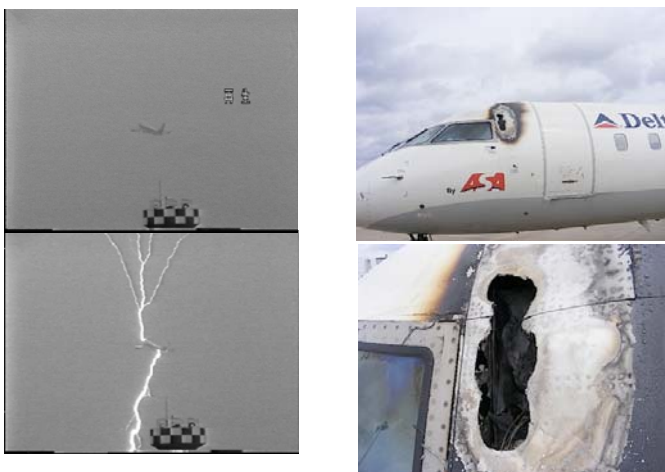


Hailstorm damage often occurs on leading edges, engine nose cowl and radome areas.

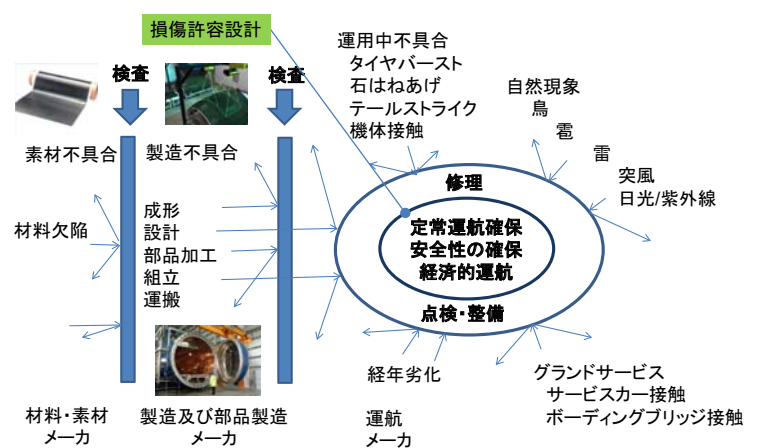


Hailstorm damage is frequently more difficult to detect on composite structures.

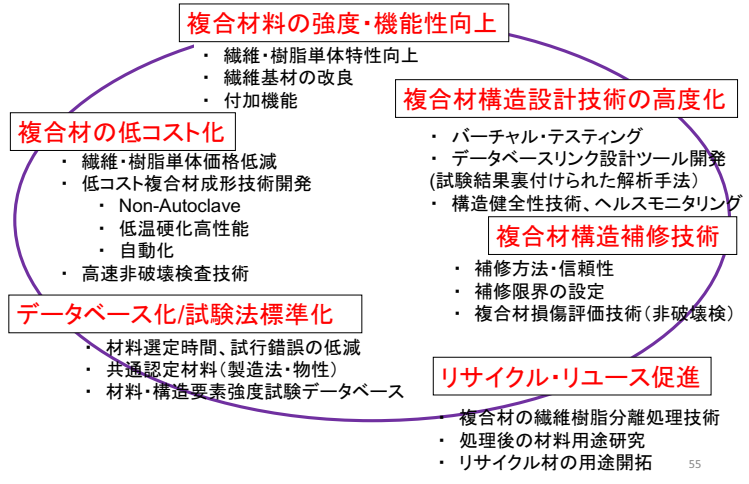
複合材構造の損傷(雷)



複合材構造の健全性確保



複合材料の将来 (航空機技術)



次世代複合材へのブレイクスルー

- 複合材機能に追加
 - 層間強度、圧縮強度を気にしなくてもよい材料 (異方性か等方性か?)
 - 自己再生複合材
 - 導電性複合材
 - 耐熱性付与
- 成形技術
 - 高速成形 (短時間硬化)
 - 非加熱成形
- 運航 (点検・整備)
 - ヘルスマonitoring
 - 損傷検知塗料
 - 高速修理、復旧可能材料

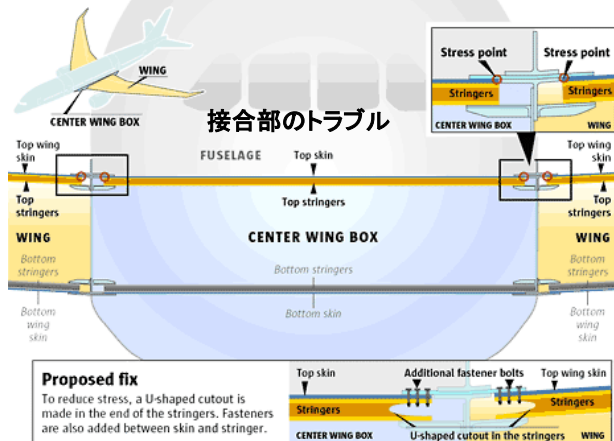
御清聴ありがとうございました

Foreign Object Damage (FOD)
ground service vehicles



Double wing-box trouble

Preflight tests revealed structural flaws inside the 787's fuselage, as well as in the outer wing box. Damage occurred well below the stress level needed for certification, forcing another postponement of first flight.



Reporting by DOMINIC GATES Graphic by MARK NOWLIN / THE SEATTLE TIMES