# 平成27年度 革新的ものづくり産業創出連携促進事業 戦略的基盤技術高度化支援事業

「世界で最初の 全複合材構造製・超軽量・衝撃吸収型 の旅客機用座席の開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成28年 3月

委 託 者 中部経済産業局

委 託 先 公益財団法人岐阜県研究開発財団

#### 目 次

- 第1章 研究開発の概要
- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標
- 1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

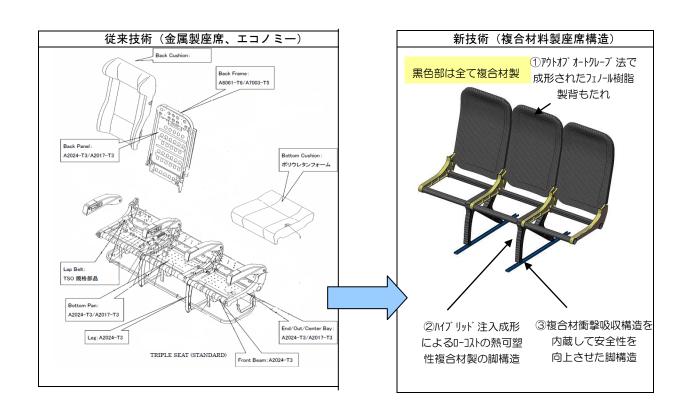
#### 第2章 本論

- 【1. 構造設計】
- 【1-2】座席構造の設計と評価
- 【2. フェノール樹脂複合材を活用したアウトオブオートクレーブ成形技術の確立】
  - 【2-1】ポーラス合金真空成形金型、および成形技術の開発
  - 【2-2】成形技術の評価
- 【3. ハイブリッド注入成形法の開発】
  - 【3-1】樹脂流動解析
  - 【3-2】ハイブリッド注入成形用の金型設計
  - 【3-3】熱可塑性樹脂 (PPS) 複合材供試体設計·製作
- 【4. 衝撃構造の開発】
  - 【4-2】衝擊解析
  - 【4-4】座席構造の組立と、座席構造強度試験
- 【5. 製品の評価】
  - 【5-1】製品製作結果・構造試験と衝撃試験により、製品の性能を評価
- 【6.事業化の検討】
  - 【6-1】事業化に関する検討
- 【7. プロジェクトの管理運営】
- 【8. 最終章 全体総括】

#### 第1章 研究開発の概要

エアラインのニーズである機体軽量化のため、航空機座席の全構造材を炭素繊維複合材で 生産する技術を開発する。製造コストは同等、安全性は向上させた、従来に比べ構造重量が 1/2の技術を目標とする。

フェノール樹脂複合材をポーラス合金金型によるアウトオブオートクレーブ成形法と、熱可塑性樹脂含浸の連続繊維材とコンパウンド材によるハイブリッド注入成形法により、機体の100倍のスピードで量産可能とする。



#### 課題

- 重量が重い
- ・加工の手数が多い
- ・ 衝撃吸収能力が無い

#### 特徴

- 重量が従来構造の1/2
- ・製造コストは従来構造と同等
- ・衝撃吸収構造による安全性が高い

#### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

研究開発の背景(これまでの取り組みなど)

旅客機の軽量化は、製造メーカー側にとって、その部品販売価格の増加が許容されるという ことから、収益向上に直結する重要な目標である。またエアライン側にとっては、燃費向上に 貢献するため、非常に重要な関心事である。1 脚当たりの座席の重量軽減やコストダウン値は 僅かであっても、数量が多いため合計すれば非常に大きな重量とコストの軽減が期待できる。

また1機当たりの座席数は、小型機でも数十席以上であることから、生産性も数十倍以上必要である。従来のオートループでは、1回の硬化サイクルが8時間以上に及ぶため、月産10機程度が限界であった。このため座席用の複合材構造では、機体とは異なり月産数百台の大量生産が可能な程度に高効率であることが要求される。

過去5年間にわたる岐阜県事業「航空機部材研究会」の最終年度において、参加企業の中から選定された複数の企業チームにより、研究成果を活用した事業化を目指した研究を実施してきた。この研究成果にもとづいて、天龍エアロコンポーネント株式会社(以下「天龍 AC」と略記)を代表企業として、旅客機のエコメー座席を複合材化することを計画した。

#### 1)研究の目的

[特定ものづくり基盤技術の種類]

主たる技術:プラスチック成形加工に係る技術(従たる技術:金型に係わる技術)

[川下製造業者等の課題・ニーズ]

- ア、低コスト化
- ウ、品質保証

[高度化指針に定める高度化目標]

- ア. 低コスト化のための技術の向上
- ウ. 品質保証のための技術の向上

#### 2) 研究の目標

技術目標値を表 1-1 に示す。

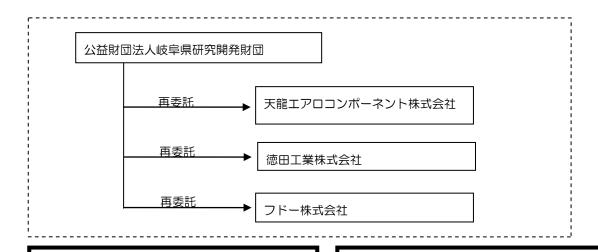
表 1-1

項目	現状(金属製座席)	技術的目標値	
構造重量	基準	1/2	
コスト	基準	同等以下	
成形サイクル(アウトオブオートクレーブ成形)	8 時間以上(オートクレーブ)	2 時間以下	
成形サイクル(ハイブリッド成形)	同上	15 分以下	

# 1-2 研究体制

#### (1) 研究組織及び管理体制

1)研究組織(全体)



総括研究代表者(PL)

所属組織名: 天龍エアロコンポーネント株式会社

所属役職:取締役

氏名:平田 良三

副総括研究代表者(SL)

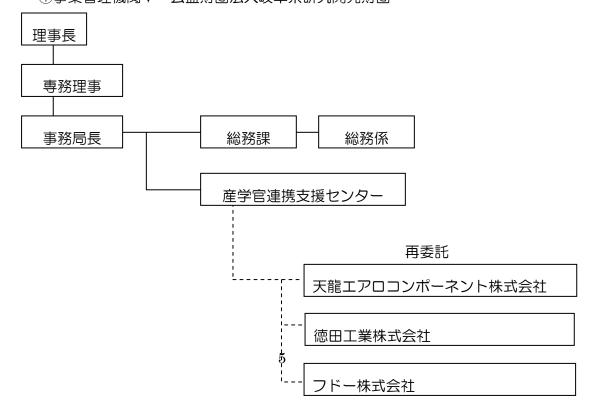
所属組織名: 天龍エアロコンポーネント株式会社

所属役職:技術顧問

氏名:板東 舜一

# 2)管理体制

①事業管理機関; 公益財団法人岐阜県研究開発財団



#### (2) 管理員及び研究員

# 【事業管理機関】 公益財団法人岐阜県研究開発財団 管理員

林正幸 専務理事兼事務局長

意見 浩 産学官連携支援センター事業推進員

# 【再委託先】 天龍エアロコンポーネント株式会社

平田 良三 取締役 板東 舜一 技術顧問

坂井 良範 技術・品質本部 生産技術部 部長 澁谷 秀威

技術·品質本部 生産技術部 課長 技術·品質本部技術部 部長 川島 由光 川西 徹 技術・品質本部技術部 係員 丸山 哲郎 技術•品質本部生産技術部 係長 林 勝義 部品製造部 装備品G グループ長 技術・品質本部 技術部 嘱託 村瀬 昌弘

# 徳田工業株式会社

大木 啓司 生産技術部 部長 伊佐地 弘章 生產技術部生產技術課 生產技術部生產技術課

#### フドー株式会社

小川		研究技術センター
竹内	章高	研究技術センター
廣岡	伸樹	研究技術センター
伊藤	雅也	研究技術センター
大沼	明久	研究技術センター
土屋	翔	研究技術センター

#### 1-3 成果概要

#### (1)構造設計

平成26年度末に実施した衝撃予備試験結果や、成型試作結果を反映して、最終製品設計を実施した。設計に当たっては、FEM手法により剛性と静強度解析、ならびに衝撃解析を実施した。その結果を反映して供試体を再設計し、最終評価試験として、構造試験と衝撃試験を実施した。

#### (2)円筒パイプ構造の開発

パイプ構造を設計製作するとともに、平成26年度の成型試作結果を反映して、衝撃試験用・ 構造試験用供試体を製作した。

#### (3)フェノール樹脂複合材を活用したアウトオブオードクレーブ成形技術の確立

設計されたバックレストの形状を成形可能となるよう、ポーラス合金真空成形金型へ形状を彫刻した。低温硬化の後、ポストキュアで高温硬化させる手法により、フェノール樹脂複合材に対して、ある程度ボイドの少ない成形が可能となった。

天龍エアロコンポーネント株式会社で実施する"座席構造の組立と座席衝撃強度試験"に用いるバックレスト成形を実施したが、低温硬化により成形時間が延びる傾向にある為、必要な硬化時間を見極めると共に、一部成形時の層間剥離が見られるので、次年度に、更なる成形技術を確立した。

#### (4)ハイブリッド成型

ウェブがコンパウンド材、フランジが連続繊維複合材で構成された今年度の脚全体モデル製作検討にあたり、注入成形のコンパウンド材樹脂流動解析ならびに型設計を実施し、試作を行った。樹脂流動解析結果により、注入成形機用金型の注入口は 5 点とすることで、充填が良好で、かつ、ウェルドライン位置を分散できると推測された。樹脂流動解析結果と平成 25 年度の前方脚試作の成果と組合せ、注入成形機用金型の設計・製作を行った。試作を実施した結果、コンパウンド材の充填が充分な供試体を作製することができた。

#### (5)製品の評価

試作開発した部品を取りまとめて航空座席 1 脚を製作した。その結果と、構造試験と衝撃試験結果を総合して、製品の性能を評価した。

#### (6)事業化の検討

事業化に関する検討を実施した。

# 1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人岐阜県研究開発財団 産学官連携支援センター事業推進員 鷲見 浩 Tel:058-379-2212 Fax:058-379-2215

E-mail:hsumi@gikenzai.or.jp

徳田工業株式会社 生産技術部長 大木 啓司

E-mail: ohki@tokuda.co.jp

TEL 058-380-0003 FAX 058-383-8484

フドー株式会社 研究技術センター長 小山剛司

Tel:0544-59-0305 Fax:0544-59-0335

E-Mail: takeshi-koyama@fudow.co.jp

#### 第2章 本論

#### 【1. 構造設計】

目標;従来構造との重量比較で半減させる。従来の構造を基にして、全複合 材座席構造を設計し、解析し、強度評価する。重量、製造コスト、衝撃安全 性の評価も含む。

【1-1】構造設計要求・仕様の設定(天龍 AC・徳田工業株式会社・フドー株式会社) 航空法に基づく規定を精査して、開発のための仕様を設定する。この結果に基づき、 具体的な設計要求をまとめた。

#### ①関連文書

- 1) SAE AS 8 0 4 9 Revision B
- 2) FAA Advisory circular AC25.562-1
- 3) ARP 750B

#### ②強度設計

1)静強度

2)疲労強度;適用を除外する。

3)動的強度;ダミー人形を搭載し

た座席供試体を実験用 台車に取り付け、前方 16Gを付与。有害な 損傷があってはならな い。

#### 1)衝撃加速度による設計荷重↓

終局荷重を表1に示す。なお、各荷重は、それぞれ単独に負荷するものとする。↓

表1 終局荷重表4

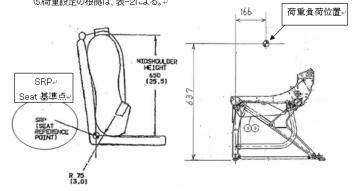
42	荷重方向↩	荷重₽	荷重負荷位置(SRP 基準)₽		
4	側方₽	4.0 G₽	270mm 上方、215mm 前方₽		
座席₽	上方↩	4.5 G₽	21 5mm 前方₽		
	下方₽	7.5 G₽	座席の全面に均等負荷₽		
	後方₽	1.5 G₽	270mm上方₽		
	前方₽	9.0 G₽	270mm上方₽		
背当₽	後方₽	300 lbs/	背当フレーム上端の中央₽		

(1) 取り付け部荷重は、終局荷重×1.33 とする。(<mark>床取り付けとベルト取り付けの金属</mark>

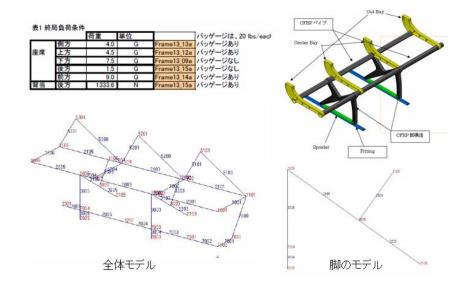
#### 金具のみ適用)↓

- (2)1G は、乗客一人当たり170lbs(77kg)
- (3)バッゲージの1G は、一人当たり20lbs(9kg)
- (4)バッゲージの荷重は側方、上方、前方に、<mark>表1と重ね合わせて負荷</mark>すること

(5)荷重設定の根拠は、表-21ごよる。↓



# 4)不燃性



#### 【1-2】座席構造の設計と評価(天龍AC、徳田工業株式会社、フドー株式会社)

平成26年度末に実施した衝撃予備試験結果や、成型試作結果を反映して、最終製品設計を実施する。設計に当たっては、FEM手法により剛性と静強度解析を

実施した。

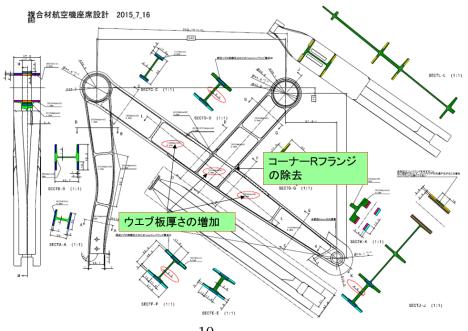
(1) 脚構造のコンセプト設計 座席を単純なトラス構造として解析 した各棒要素両端の接点荷重を詳 細 FEM 解析の境界条件として、 各部材の設計を実施した。

また、H15 に実施した複合材料 の材料基礎試験結果に基づき設 定した設計許容値を基に上記各 部材の構造を設計した。

構造コンセプトは、昨年度設定されたが、右図に示すように、コンパウンド材と連続繊維による複合材を混合使用する「ハイブリッド」成型法である。

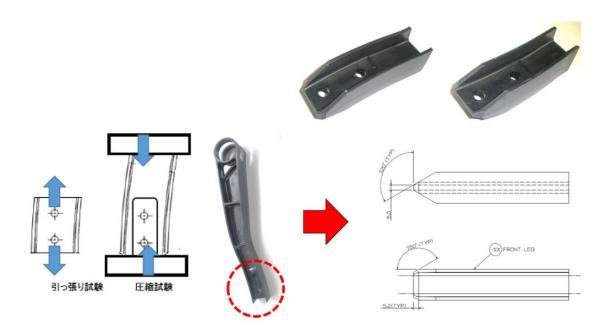
製造図面を以下にしめす。





# (2) 前脚先端部構造

複合材製航空機座席の前脚先端部の圧縮および引っ張り静強度試験を実施した。 下方の2個の孔で、静的荷重を負担する構造である。



# ①引っ張り強度試験

a.強度要求 2.67kN(LMT)に対し、73%の強度であった。

この試験では穴から端部までの距離が短すぎることにより破壊が早期に発生したものと考えられる。



# ②圧縮強度試験

最大荷重は一次破壊が 6.16kN、二次破壊が 11.96kN であった。

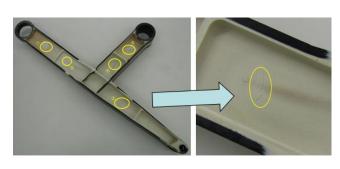
これらの値は、十分な強度であることを示し ている。

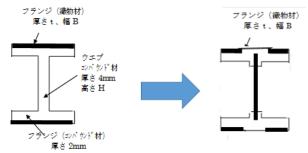


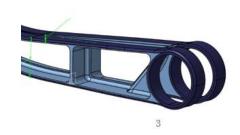
# (3) ウエブの不具合および対策

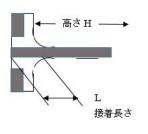
前脚のウエブに、樹脂の熱歪による亀裂が発生した。対策として、ウエブの構造をコンパウンド材からソリッド・ラミネート材に変更した。

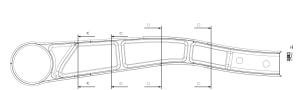












#### (4) 改良型ウエブの基礎試験結果

上右図に試験結果を示す。その破壊モードは、供試体観察結果から、座屈破壊であると考えられた。



ソリット、ラミネート・ウェブの試験結果(4.63kN 座屈)

#### 1 試験結果

破壊荷重の平均値(4.63kN)から求めた座屈破壊荷重は、237kgである。

#### ② 座屈解析

解析結果から、周辺固定の場合 S=244kg となり、周辺固定条件で計算 することが妥当である。

$$(N_{xy_0})_{cr} = C_a \frac{\sqrt[4]{D_x D_y^3}}{(b/2)^2}$$

強度を向上させるには、曲げ剛性 Dx, Dy を増加させなければならないから、積層構成を±45度方向のみならず、0/90方向にも積層する必要がある。

もし、板厚を 4ply( $\pm 45^\circ$ )の 0.7mm から 6ply( $\pm 45/-45/0/90/-45/+45$ )1.0mmと すれば、座屈荷重は 2.5 倍の 614kg に増加する。このように、座屈強度の向上は板厚 比例ではなく効率よく改良できるので、重量に対する(7)パックがは小さいと考えられる。

# (5) 座席構造 (バックレスト) の設計と評価

(天龍エアロコンポーネント株式会社、徳田工業株式会社)

本事業で開発する座席のバックレストはファブリックシートをイメージした物とするので、実際にファブリックシートへ着座した際の背面形状を取得した。

9名の被測定者に対して非接触測定機を用いて、着席時の背面(格子状42ポイント、 基準点4ポイント)を測定した。



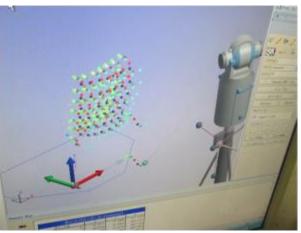
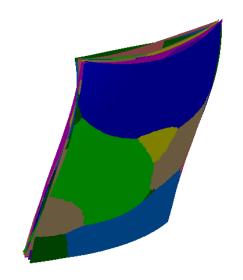


図1-2-1 測定の様子と取得ポイント



ケース	身長 (cm)	体重(kg)	
被測定者1	173	87	
被測定者2	182	77	
被測定者3	175	75	
被測定者4	173	70	
被測定者 5	169	62	
被測定者 6	173	70	
被測定者7	165	70	
被測定者8	164	69	
被測定者9	162	63	

図1-2-2 取得したデータと被測定者

取得したデータは天龍エアロコンポーネント株式会社所有の背座曲面データと結合し使用する計画であったが、大きく異なる為、参考データとして扱う事とした。 天龍エアロコンポーネント株式会社より提案された詳細設計について同意し、バックレスト設計構想を基に設計された TYPE1に対して強度上の変更を入れたモデル(図

# 1-2-5) で確定した。

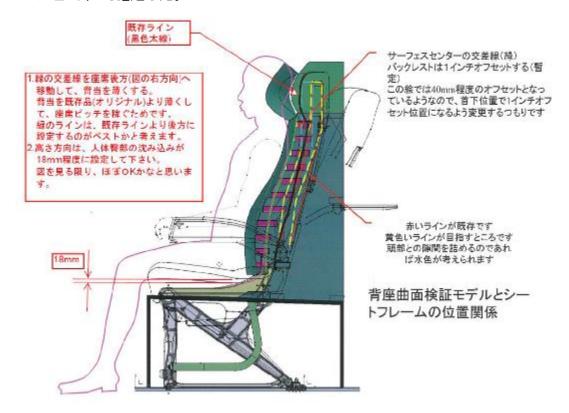


図1-2-3バックレストの設計構想

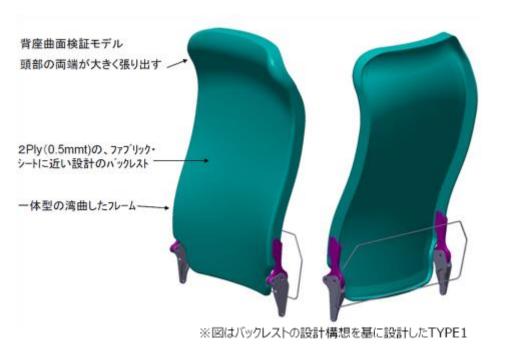


図1-2-4 バックレスト設計

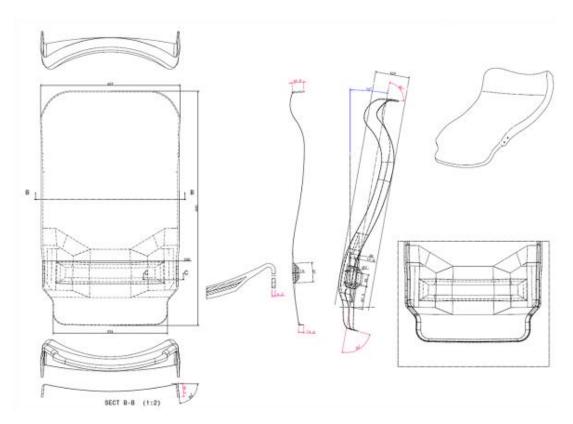


図 1-2-5 バックレスト詳細設計

# 【2. フェノール樹脂複合材を活用したアウトオフオートクレーブ成形技術の確立】

本事業で開発する座席は、年間5000脚以上の数量が予定されている。この場合、 一日あたり25脚以上製造する必要があるので、オートクレーブではまかない きれない。このため、アウトオブオートクレーブ法により、大量生産に対応することを目標とする。以上のことから、通常のオートクレーブ成形では、1硬化に約8時間を要するのに対し、新しい成形法では2時間以下で完了することを目標とする。

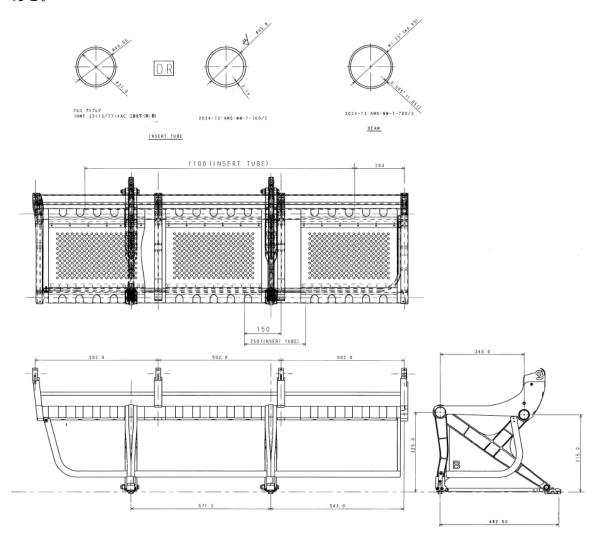
また、バックレストに使用する複合材料は、不燃性に優れたフェノール樹脂製の炭素 繊維織物プリプレグである。フェノール樹脂プリプレグは、現在航空機用として航空局 が認めた国産材料は無いため、新規開発する必要がある。平成25年度においては、本 研究のアドバイザーである東邦テナックス株式会社の協力のもと、試作品プリプレグを 製作した。それを用いて強度試験を実施したが、良好なる結果を得ている。ただし、 「発熱率測定試験」については、平成25年度において合格しなかったので、平成26 年度は供試体を再制作して、再度確認試験を実施する。

# 【2-1】ポーラス合金真空成形金型及び成形技術の開発(徳田工業株式会社)

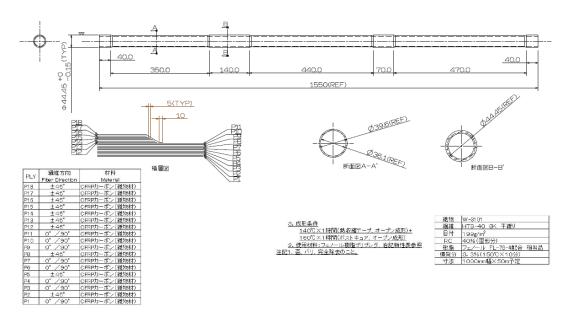
2-1-1 円筒パイプ構造の開発とフェノール樹脂プリプレグの改良(天龍AC)パイプ構造を設計製作するとともに、平成26年度の成型試作結果を反映して、衝撃試験用・構造試験用供試体を製作する。また、フェノール樹脂プリプレグの改良を行う。

#### (1) 従来のアルミ合金製円筒パイプの構造

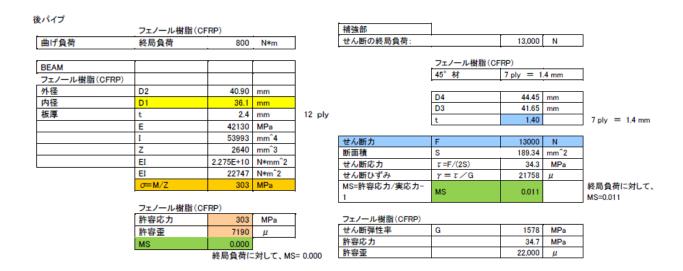
従来のアルミ合金製円筒パイプの構造を下図に示す。前方パイプ、後方パイプ共に、2 重円筒構造となっている。外筒は、アルミ合金製であるが、内筒は CFRP 製である。



#### (2) 後方複合材製円筒パイプの設計結果



FEM による強度計算結果を以下に示す。ここでは、後方側のパイプについての計算結果を示す。緑色欄に安全率 MS を示すが、ともにぎりぎりの値となっている。



# (3) バックレストと、円筒パイプに使用するフェノール樹脂プリプレグの改良

#### 1課題

H26年度の課題があった。

1) 不燃性;発熱試験に不合格であった。

2) 取り扱い性;常温では非常に硬く、 成型時には 70℃以上に成型金型を加熱 することで、ようやく積層することが できたが、作業は容易ではなかった。

#### ②改良結果

上記の課題に対して、材料メーカーである東邦テナックス社において改良を依頼し、以下に示すように良好な結果を得た。

#### 1)不燃性

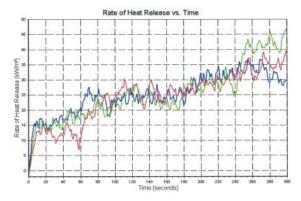
右に示す装置により不燃性試験を実施した結果、下に示す如く、合格した。

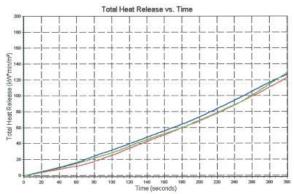


図 2-1-1 発熱試験結果

1壬 华工		最大発熱量	最大時	総発熱量(120sec)	Base Line	合否
種類		$(kW/m^2)$	(sec)	(kW•min/m²)	(mV)	
	-1	36.86	255	39.59	26.29	
	-2	39.45	299	34.13	25.98	合格
_	-3	46.97	300	36.41	25.7	
	ave	41.09	285	36.71	25.99	
要求	ave	65未満	_	65未満	_	_

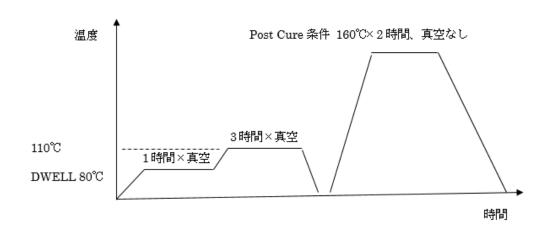
図 2-1-2 燃焼試験データ



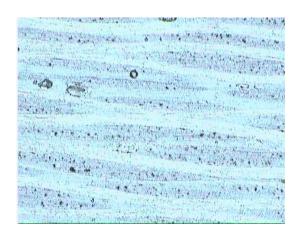


#### 2)成型性

下の成型サイクルで製作し気泡率 2%程度の品質を得ることができた。



成型後の断面観察結果、気泡の割合は2%以下であった。2%という値は、航空産業における複合材構造部品の一般的品質基準である。



- 2-1-2 ポーラス合金真空成形金型、および成形技術の開発(徳田工業株式会社) 平成25年度においては、材料基礎試験用パネル成形用の平板ツールを製作した。平成26年度においては、第1-2項によって設計されたバックレストの形状を成形可能 となるよう、形状を彫刻する。
- (1) 新たに再設計したバックレストに対応したポーラス合金真空成型金型の設計/製作 平成25年度はコンセプトモデルをベースに金型設計を進めていたが、人の体にフィッ トする新たに新設計されたバックレスト凹凸形状に合わせ金型を改修した。 また、金型の昇温速度を上げる為に下記3つの対策を加えて実施した。
  - ①放熱量を抑える<br/>
    断熱材で型表面を覆い放熱量を抑える。
  - ②型の体積(質量)を減らす ポーラス合金のチャンバー部分の肉抜きを増やし、またアルミ枠にポケット形 状を掘り込み、体積を減らす。
  - ③加える熱量を増やす 配管径を大きくし、かつ配管本数を増やす

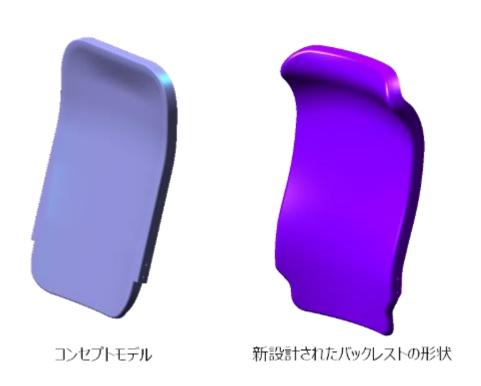


図2-2-1コンセプトモデルとの比較

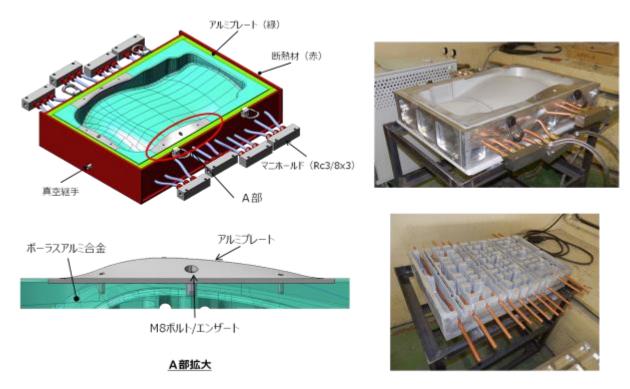


図2-2-2ポーラス合金真空成型金型の概要

#### (2) 温調テストによる評価

設計/製作した金型が想定通り昇温可能かどうか確認した。断熱材の保温効果も確認した。断熱材を貼付しない解放状態では高低差が昇温開始から1.5時間後で約19℃(±9.75℃)あり、中央部に熱が集中している状態であった。この状態では加熱時に硬化ムラを発生し、想定する温度で加熱できない事となる。

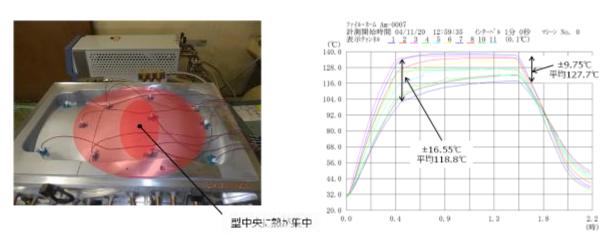


図2-2-3 断熱板未使用時の温度計測

#### ① 断熱材の保温効果

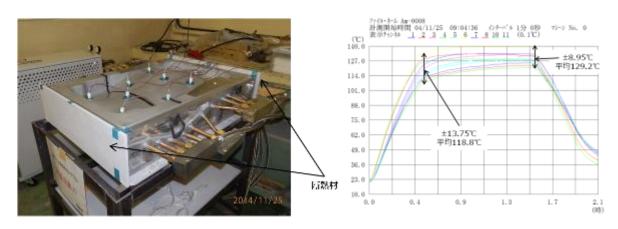


図2-2-4 断熱板貼付時の温度計測

型の長手方向に対して断熱材(無機材+ガラス繊維)を貼付し、図2-1-3と同様の温度サイクルを掛けて計測した。(マニホールド部及び天板は型構造上貼付が困難な為、断念した)

断熱材が無い状態と比較して改善はしたが、大きく改善されるものではなかった。 これは、型全面を覆う事が出来なかった事に起因するものと思われる。

そこで断熱板の代わりにエアーウェーブ(ブリーザークロスに用いる不織布)で型表面 を覆い型表面温度のバラつきを抑えた。高低差は約5℃に収める事が可能となった。

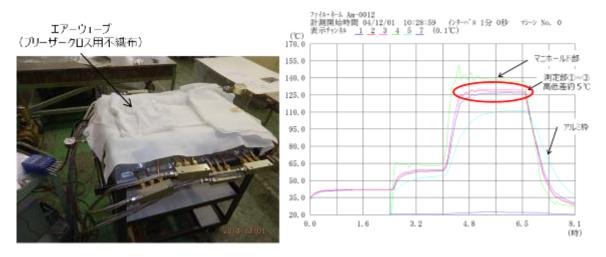


図2-2-5 エアーウェーブによる断熱効果

#### ②昇温時間の確認

本研究開発では目標成形サイクルを2時間以下としているので成形温度である16 0℃までの昇温時間が30分以内(昇温率2.3℃/分)を目指す必要がある。昇温 時間は型温度調節機の能力による所が大きい。改修したポーラス合金真空成形金型を本研究で導入した型温度調節機を用いて昇温させた場合、計測結果を用いた予測により約30分で目標温度まで達成可能と言える。(この際型温度調節機は180℃に設定し、エアーウェーブによる断熱処理を施した。なお、型温度調節機は200℃まで昇温可能であるので、更に時間短縮は可能である)

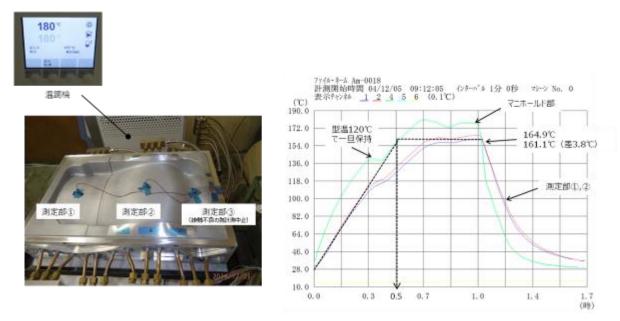


図2-2-6 昇温時間確認

#### 【2-2】 成形技術の評価

(天龍エアロコンポーネント株式会社、徳田工業株式会社)

平成25年度の基礎試験用平板パネルの成形結果では、表面ボイドや、層間の空気だまりなどの不具合が発生した。対策案は設定できているので、平成26年度においては、その対策案に基づき、フェノール樹脂複合材を、ポーラス合金による金型を使用したアウトオブオートクレーブ成形法により短時間成形加工した製品の再評価を行い、その結果を金型等にフィードバックして成形技術及び金型の確立を図る。目標成形サイクルを2時間以下とする。

「発熱率測定試験」については天龍工アロコンポーネント株式会社成果報告書による。

#### (1) ガラス/エポキシプリプレグを用いた成形トライ

フェノール樹脂プリプレグ成形トライ前に、ガラス/エポキシプリプレグを用いて積層 構成及び手順の確認、プリプレグ展開形状の確認を実施した。なお、展開形状は天龍エ アロコンポーネント株式会社で作成した。

#### 【成形条件】

- ④真空状態で3h保持(45℃)
- <sup>®</sup>60℃へ昇温し、1 h 保持
- ©120℃保持時間は1.5 h以上。



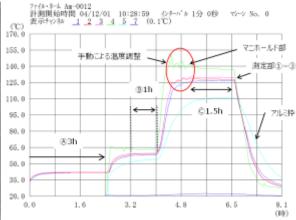


図2-2-7 加熱温度サイクル (ガラスエポキシプリプレグ)

- 温調機は手動操作による微調整
- 端部の温度が上がらない傾向にある為、長手方向に断熱材を貼付して実施。
- なお冷却時にはこの断熱材は外した。
- 成形中は真空ポンプを稼働させ-0.1Mpa を保持

#### 【成形結果】

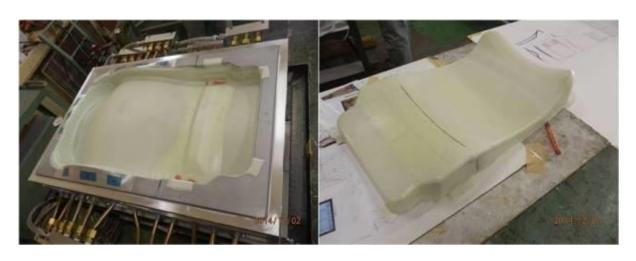


図2-2-8 成形後と脱型後(ガラス/エポキシプリプレグ)

(2) フェノール樹脂プリプレグ成形トライ(1回目)

ガラス/エポキシプリプレグを用いた成形トライを踏まえて、積層構成と手順の変更 をし、フェノール樹脂プリプレグを使用して積層、成形を行った。

#### 【成形条件】

- ④積層中の型温度(50℃)まで一旦上昇30分程度
- ®型温が安定した事を確認して温度上昇
- ©160℃保持時間は2h以上。(165℃、コア部の温度約 155℃)

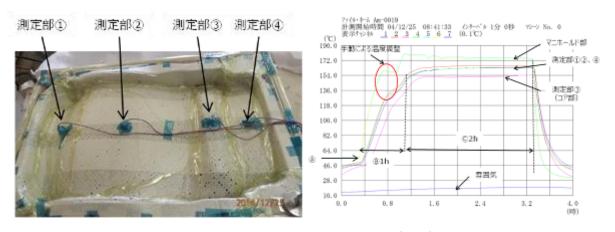


図2-2-9 加熱温度サイクル(フェノールプリプレグ 1 回目)

- 温調機は手動操作による微調整
- エアーウェーブによる型表面温度均一化実施。
- 成形中は真空ポンプを稼働させ-O.1Mpa を保持したが、型表面側の計測値は、
  - ・型温が約 100℃ (昇温 30 分後) あたりから、若干圧力減少し、-0.096Mpa
  - 型温が約 160℃ (昇温 75 分後)で-0.086Mpa
  - ・その後少しずつ圧力回復し、(昇温 120 分後) -0.099Mpa 硬化反応ガスの発生の影響と思われる。

# 【成形結果】



図2-2-10 外周トリム後のバックレスト(1回目成形品)





図2-2-11 樹脂だまり







図2-2-12 気泡による板厚増加と層間剥離

板厚は 5mm の予定に対して 8mm 程度と厚くなり、図2-2-6に示すような気泡や層間剥離が多数見られた。この問題を解決する為に、材料メーカーの東邦テナックスから、当該プリプレグの粘弾性特性データを取得して、成型条件を概定し、10cm 角程度の大きさの平板供試体により真空成型実験を行うことにより、バックレストの成型条件を設定した。なお本試験は㈱ビー・アイ・テックが実施した。

# (3) フェノール樹脂プリプレグ成形トライ(2回目)

(株)ビー・アイ・テックで実施した "航空機座席の複合材バックレスト用フェノールプリプレグの効果条件設定結果" を基にした成形温度サイクルで実施した。

- 1回目との相違は以下である。
  - 低温硬化温度サイクル

80℃で1 h保持(低粘度の状態で保持)

110℃で3ト低温硬化(ガス発生前に低温硬化させガスを閉じ込める)

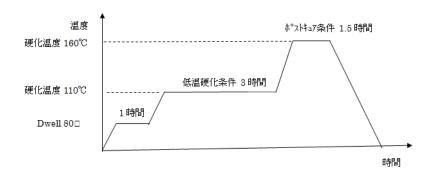


図2-2-13 低温硬化温度サイクル

# ● エッジダム

シーラントテープをエアーウェーブで包んだ物を外周に設置し層間の脱ガス効果を狙った。(図 2-2-8)

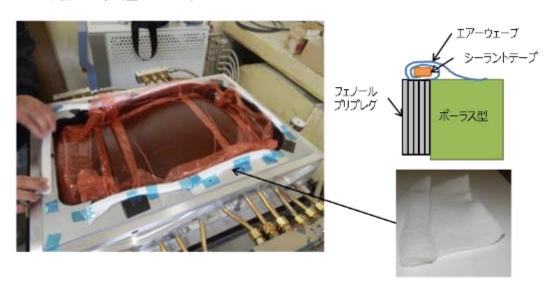


図2-2-14 エッジダム

# 【成形条件】

- ④積層中の型温度(50℃)
- B80℃まで温度上昇 (約30分で30℃)
- ©80°Cで1 h保持(75°C~85°C)
- ®110℃保持時間は 3h以上。その後一旦冷却し脱型後、熱風循環式恒温乾燥機にてポストキュア(160℃1.5h)を行った。 (真空圧無しで実施。)
- ⑥ 160℃まで上昇(約40分で120℃上昇 3℃/分)
- ⑪ 160℃1.5h保持
- ① 自然冷却

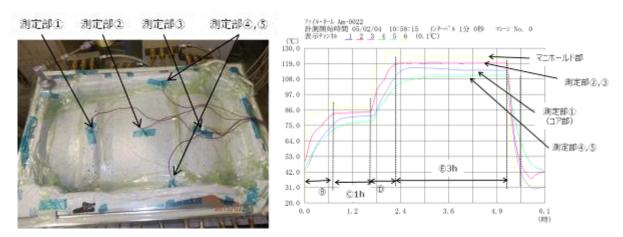


図2-2-15 加熱サイクル(フェノールプリプレグ成形2回目)

# 【成形結果】

1回目の成形と比較してボイドはかなり減少した。しかしながら、バックレストヒンジ取り付け部の層間剥離が解消されなかった。



図2-2-16 外周トリム後のバックレスト(2回目成形品)

(4) フェノール樹脂プリプレグ成形トライ(3回目)
加熱サイクルは2回目の成型サイクルと同じとした。

2 回目で剥離していたヒンジ取り付け部に対して、エッジダム効果を高める施工をした。 下層のプリプレグを覆わない様積層し、製品端面にエアーウェーブを垂らす事によりガス抜き効果の改善を図った。

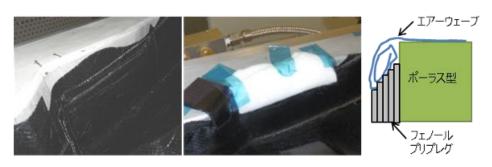


図2-2-17 エッジダム(ヒンジ部)

#### 【成形条件】

- ふ積層中の型温度(50℃)
- ®80℃まで温度上昇 (約30分で30℃)
- ©80℃で1 h保持(75℃~85℃)

型温度調節機故障の為、この時点で自然冷却。 物温は高温部で約 90℃まで上昇

- ⑩以降は別途改めて加熱昇温を行った。 なお、©,⑩間は真空圧を掛け続けた。
- ⑥110℃保持時間は3h以上。(高温部120℃、低温部約110℃(コア部/サイド))
- ®の後一旦冷却し脱型後、熱風循環式恒温乾燥機にてポストキュア(160℃1.5h)を行った。 (真空圧無しで実施。)
- ⑥ 160℃まで上昇

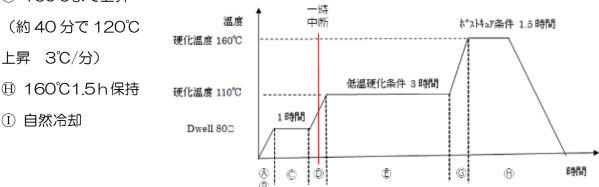


図2-2-18 加熱サイクル(フェノールプリプレグ成形3回目)

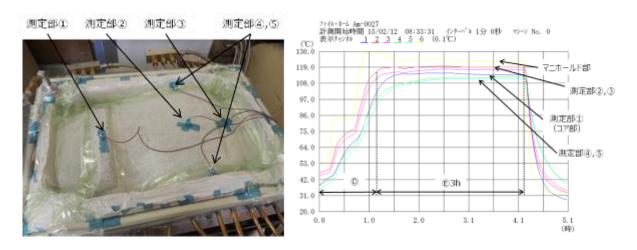


図2-2-19 加熱サイクル(フェノールプリプレグ成形3回目 低温硬化部)

#### 【成形結果】

層間剥離、樹脂だまり共に2回目と同様の傾向があった。

型温度調節機故障による影響によりボイド多数あり。(プリプレグの硬化が促進された為と想定される。)

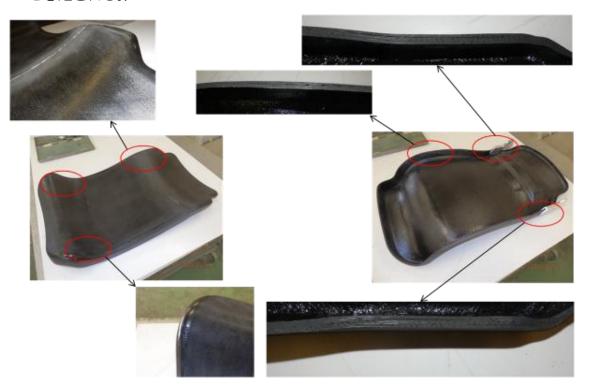


図2-2-20 外周トリム後のバックレスト(3回目成形品)

#### 【3.ハイブリッド注入成形法の開発】

ウェブがコンパウンド材、フランジが連続繊維複合材で構成された今年度の脚全体モデル製作にあたり、注入成形のコンパウンド材樹脂流動解析ならびに注入成形機用金型設計を実施し、試作を行った。

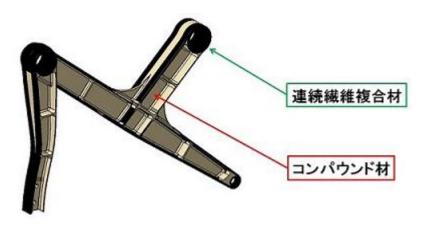


図3-1.脚全体モデルと材料配置

#### 【3-1】樹脂流動解析 (フドー株式会社)

フドー(株)所有の流動解析ソフト (Moldex) を活用して、注入時の樹脂の流れ具合を解析し、脚モデルの部分変更による流動不具合の有無を確認した。なお、H26 年度においては、注入口の配置などの検討を実施した。

解析には、フドー保有の Moldex3D を使用した。Moldex3D は、世界シェア第2位、欧州ではトップシェアの 射出成形 CAE である。

このソフトウェアの特徴は、実際の注入樹脂の流動に極めて近い表現となるメッシュを作製できることである。

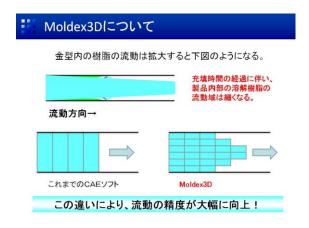


図3-2 .Moldex3Dのメッシュ分割

解析によって、平成26年度脚モデルと平成27年度脚モデルの流動の差異の有無を確認した。解析条件を図3-3に示す。

樹脂種	ポリフェニレンサルファイド		
繊維	ガラス短繊維40%		
射出速度	% 30		
射出圧力	%	80	
射出保持圧力	%	50	
射出保持時間	秒	5	
樹脂温度	°C	320	
金型温度	°C	130	
冷却時間	秒	4	

図3-3 .解析条件

図4、図5それぞれ平成26年度モデルの樹脂流動解析結果、平成27年度モデルの 樹脂流動解析結果を示す。概ね差異は無いことから、モデル形状の部分変更による樹脂 流動の不具合は無いと判断した。

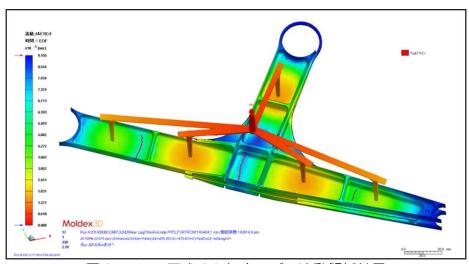


図3-4 平成26年度モデル流動解析結果

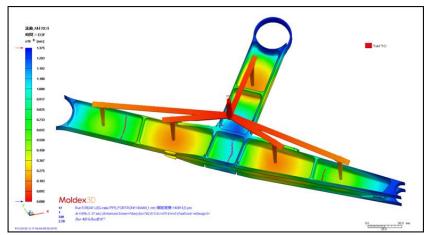


図 3-5 平成 27 年度モデル流動解析結果

【3-2】ハイブリッド注入成形用の金型設計(フドー株式会社) 流動解析結果にもとづき、注入成形用金型の改造を実施した。



写真3-1 注入成形機用金型の改造

【3-3】熱可塑性樹脂(PPS)複合材供試体設計·製作 (フドー株式会社) 脚全体モデルの試作にあたっては、連続繊維複合材を予め成形し、それを注入成形機 用金型に配置し、金型を熱しつつコンパウンド材を注入成形した。



写真 3-2.連続繊維複合材部品①

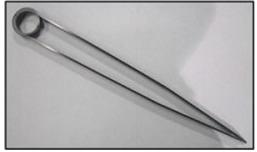


写真 3-4. 連続繊維複合材部品③



写真 3-3. 連続繊維複合材部品②



写真 3-5. 連続繊維複合材組立品



写真 3-6.脚全体モデル試作品

樹脂流動解析の結果、脚モデルの部分変更による樹脂流動の不具合は無いとの判断に基づき、注入成形機用金型の改造を実施した。

改造した注入成形機用金型を使用し、脚の製作を実施した。昨年度の連続繊維複合材とコンパウンド材の樹脂融着不十分の課題は解決し、且つ成形サイクル 15 分以下で成形を実施できた。

#### 【4. 衝撃構造の開発】

#### 【4-2】衝撃解析 (天龍エアロコンポーネント株式会社)

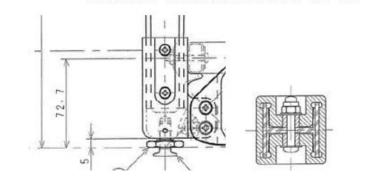
平成26年度では天龍 AC 社所有の動的試験装置を使用して衝撃吸収予備試験を実施し、 衝撃吸収特性に関する基礎データを取得した。また、座席全体の衝撃特性を解析した衝撃吸収部の強度設計を実施した。

衝撃吸収は、CFRP 75ンダの繊維破壊および層間剥離による表面エネルドーの増加という機能により行う。一方、9Gまでの静荷重は、クエブのコンパウンドにより支持する構造とする。

コンパウンドは、比較的脆く、衝撃力により、瞬時に飛散

#### 圧縮強度の計算値

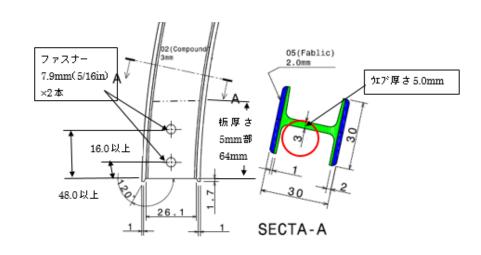
終局荷重 P<sub>mt=</sub>2,154kg 耐荷能力 P<sub>m</sub>=94.1/9.8×{26.1×5+7.9×5.0×2} =1,971 kg (MS=-0.09) 若干強度不足であるが、試験で実証できるレベルである。



# H26 年度衝撃解析の結果

すると考えられる。

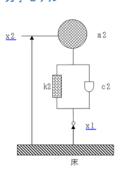
・加速度の大きい test2 の 条件について質量、ば ね剛性、粘性要素より なる単純な系を想定し、 これに規定される加速 度を加えたとき、衝撃 吸収構造がどのような 効果を発揮するかにつ いて、検討した。



$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

· 計算モデルは簡単なものではあるが、非線形方程式を解いている。

· 時歴計算には、もっとも単純な方法である、オイラー法を用いる。



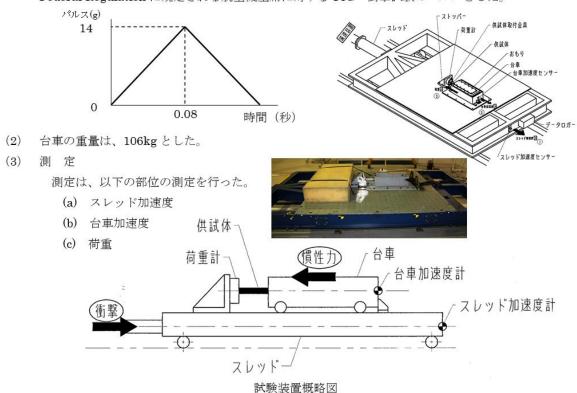
## (1)衝擊吸収予備試験

#### 1試験方法

減速式衝撃試験装置にてスレッドに衝撃加速度を与えスレッド上に乗せた台車の慣性を 利用して供試体に荷重を負荷した。

#### (1) 基準衝撃パルス

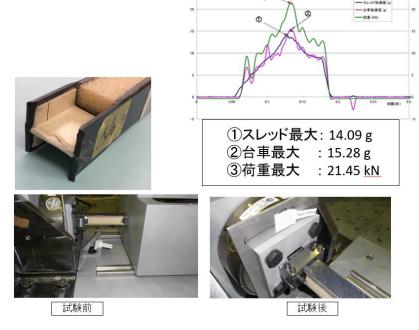
Federal Regulation に規定される航空機座席に対する 14G 衝撃試験のパルスとした。



# ② 第1次基礎試験結果

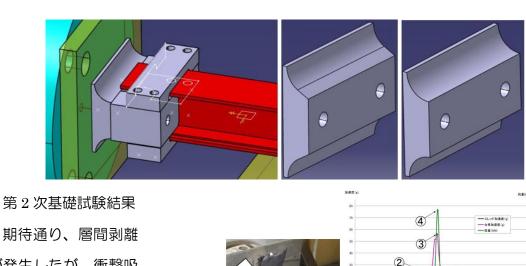
(H26年度成果)

先端がつぶれただけで、 衝撃吸収はなかった。た だし、座屈はしなかった。

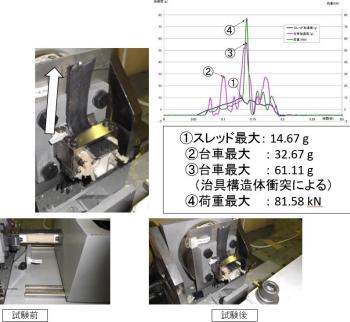


## ③第2次基礎試験

確実にフランジに層間剥離を発生させるように、下図に示すような2種類の金具を追 加した。なお、フランジの座屈は発泡材を接着することで防止できることが判ったので、 ガラス繊維でまきつける方法は不採用とした。

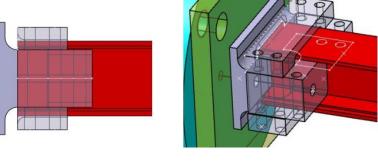


期待通り、層間剥離 が発生したが、衝撃吸 収はほとんどなかった

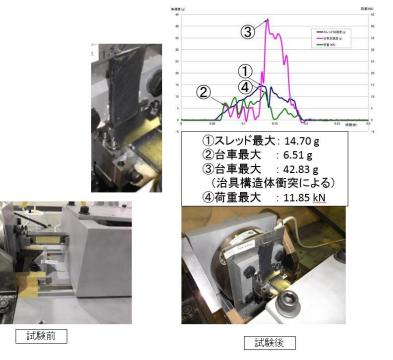


## ④3 次基礎試験

フランジが折れ曲がるような「層間剥離」が発生しないように下図のように押さえ金具 を下げ、小さな曲率で曲げ破壊が発生するように、変更した。なお、供試体は、第2次 と同様である。



第3次基礎試験結果第2次試験と同様の破壊が発生して、衝撃吸収も不十分であった。



衝撃吸収

区間

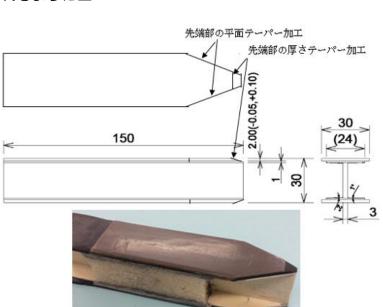
衝撃吸収

時間

#### ⑤第4次基礎試験

衝撃力はなだらかに増加してゆくように、装置が設定されているので、初期の比較的小さな荷重でも脚部の損傷が開始できるようにするため、先端を図のように斜めにカットし初期の断面積を小さくして、破壊が早期に開始されるように工夫した。

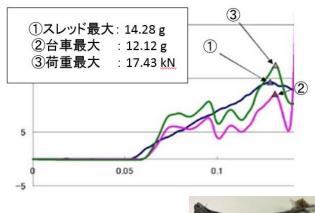
また、あたり面の金 具は除去した。



破壊開始 荷重(2t)

## 第4次基礎試験結果

層間剥離と、繊維破壊が共存するような破壊モードとなり、最大2.1Gの衝撃吸収性能が確認できた。





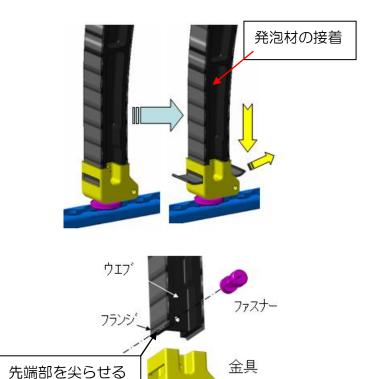


試験前

試験後

#### ⑥衝撃基礎試験結果の評価

- ・ フランジの座屈破壊は、発泡材を接着 することで防止できた。
- ・ 先端部を平面方向と板厚さ方向の両 方に尖らせることで、フランジ先端部 から破壊が開始されるようにする ことができた。
- ・ 衝撃加速度は、最低でも2G は低減できる可能性があることが確認できた。
- ・ 前方に斜めに傾くことが避けられないので、法規の制限以内で衝撃が軽減できるよう、さらに改良する必要がある。



- 【4-4】座席構造の組立と、座席構造強度試験(天龍エアロコンポーネント株式会社) 前年度の試験結果を反映して供試体を再設計し、最終評価試験として、 構造試験と衝撃試験を実施した。
  - (1) 構造試験による解析検証

静強度の要求は複数あるので、一つの要求で破壊させてしまっては設計の妥当性を確認することができない。本事業では、構造設計の方針として、"Certified by Analysis supported by Test"を採用するべく、破壊試験ではなく解析検証のための試験を実施した。

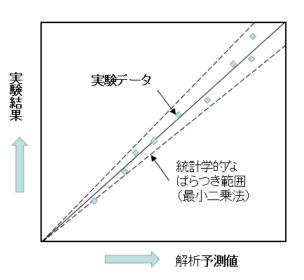
## 《航空機の構造安全性の証明方法》 FAA・Advisory Circular"AC20-107"

- 1)構造強度試験;要求荷重を上回ることを試験で実証すること。 環境条件などを実際の使用条件と同じにすることが必要。 設計変更や使用条件の変更がある度に、試験が必要となる。 "Certified by Test"
- 2)解析保障;解析でのみ強度を保障する。
  - "Certified by Analysis"
- 3)解析と試験を組み合わせて保障;最も一般的に使用される。
  - "Certified by Analysis supported by Test"

#### ①検証の方法

構造試験のデータと解析予測値を右図のように整理する。このとき、45°の傾きの線上に乗れば、解析と実験は一致したことになる。

実際には、右図のように若干ばらつくので 最小二乗法で整理して、ばらつき範囲を計 する。ばらつきが5%程度に収まれば、解 と試験は一致したとみなされる。

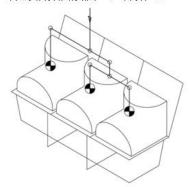


(5%の数値は、特に FAA からは基準値が設けられてはいない。従来の実例によれば、概ねその程度である。)

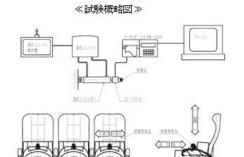
## ②静荷重試験方法

下図に静荷重試験の方法、ならびに試験データの一部を示す。

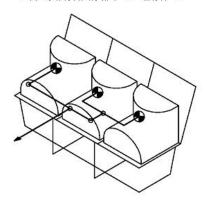
≪荷重負荷方法概略図-1(下方)≫



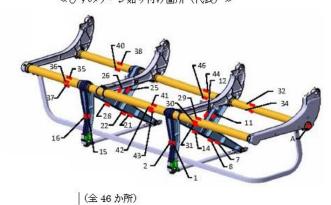
≪荷重負荷方法概略図-2(前方)≫



≪ひずみゲージ貼り付け箇所(代表)≫



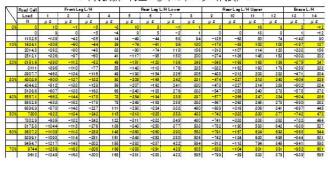
≪試験写真(下方試験負荷中)≫



≪下方試験 荷重 - ひずみデータ(代表)≫

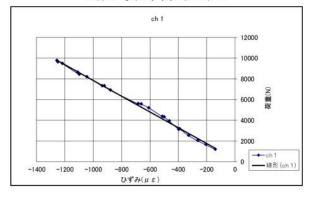


≪ひずみゲージ ch-1 貼り付け位置≫



≪荷重−ひずみグラフ (Ch. 1) ≫





#### ③静荷重試験データの評価

- 静荷重試験で取得したひずみデータを解析検討した結果、下方荷重(7.5G)に対しては、 ひずみが  $3000(\mu \, {\rm strain})$ 台の数値が想定され、更に $+\alpha$ のマージンを考慮すれば、この 荷重には耐荷すると判断される。
- ・前方荷重(9.0G)に対しては、想定外の部位である Leg の Brace 部分にクラックが発見されたので試験データ取得を中断した。取得したデータの範囲内で想定すると制限荷重 (100%)でも耐荷は厳しい状況と判断される。

下方荷重試験(7.5G)ひずみデータ(μ strain)

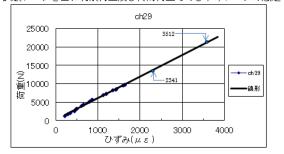
131147771400 (1:00) 0 3 13 3 (1-00)							
荷重値	試験データ	想定法	データ				
		制限荷重	終局荷重				
測定箇所	70% (3.5G)	100% (5.0G)	150% (7.5G)				
L/H Front Leg -1	-1256	-1794	-2691				
L/H Front Beam -29	1639	2341	3512				
-31	-1742	-2489	-3733				

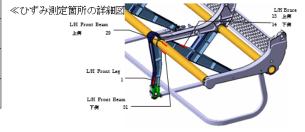
前方荷重試験(9.0G)ひずみデータ( $\mu$  strain)

即力何里試験(9.0G) $U$ 9 みケータ ( $\mu$ strain)							
荷重値	試験データ	験データ 想定データ					
		制限荷重	終局荷重				
測定箇所	30% (1.8G)	100% (6.0G)	150% (9.0G)				
L/H Front Leg -1	-1522	-5073	-7610				
L/H Brace -13	1388	4627	6940				
-14	-388	-1293	-1940				
L/H Front Beam -29	940	3133	4700				
-31	-1263	-4210	-6315				

≪下方試験 荷重 - ひずみグラフ (Ch.29)≫







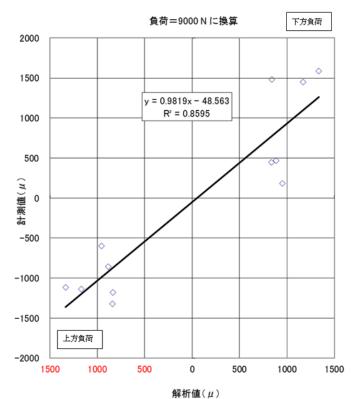
## ④検証結果

## 負荷条件:

上下方向負荷:負荷=±9000 N に 換算して、評価する。

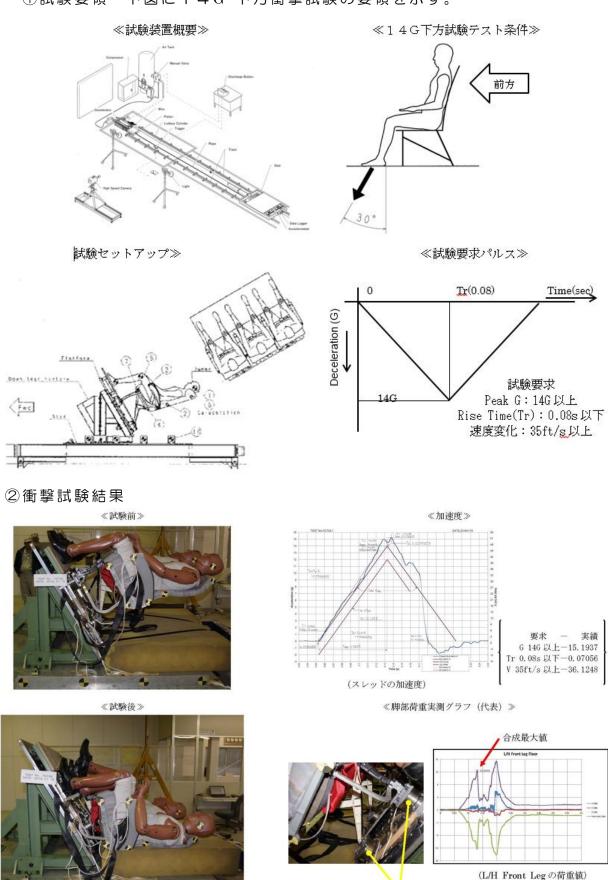
前、後パイプ上の上下方向曲げに関連する合計 12 個のひずみセンサのデータを分析した。

その結果、概ね合致する結果を 得たので検証された。



## (2)14G下方衝擊試験

①試験要領 下図に14G 下方衝撃試験の要領を示す。



Road Cell (左右計4か所)

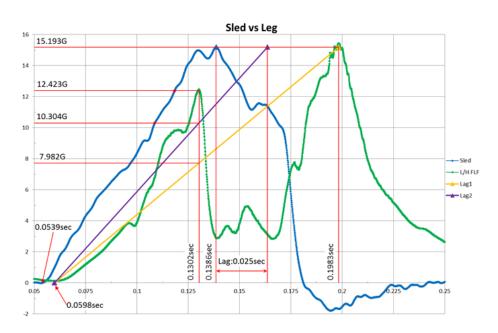
(合成の最大値 12.4kN)

### ③衝撃試験結果の評価

#### a.試験結果

Leg 構造体からの破壊で、評価基準の有害な座席の変形量を超えた破壊及び、破壊状況から試験要求を満足できなかった。

下図に示すように、Leg 構造体の衝撃破壊は、Sled(台車)の加速度では 7.982~10.304G に相当するところで発生していると想定される。



## b. 原因と対策

- ①静強度要求 (上下 7.5G) のみを考慮した強度設計
- ②コンパ゚ウント、内部残留応力

等により強度不足となったと考えられるが、今後の改良で解決可能である。

## 【5. 製品の評価】

【5-1】試験による製品性能の評価(天龍エアロコンポーネント株式会社、フドー株式会 社、徳田工業株式会社)

3人掛座席完成品を以下に示す。これを用いて、構造試験と衝撃試験を実施した。

≪座席写真5-1≫

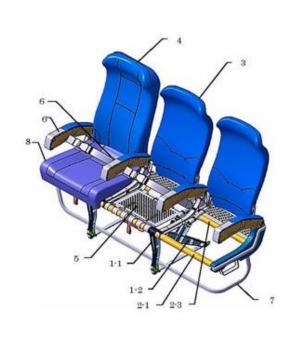
≪座席写真5-2≫





## (1) 重量軽減

複合材適用部分について 57.6% (▼42.4%) となった。(目標 50%)

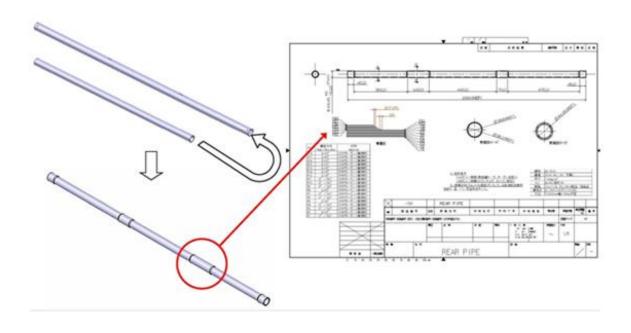


No. Part Name	D-11	Unit Per	重 重				
	Part Name	Assy	单点	版存座库	单点	製作座店	
1	Log	2	1.097	2.134	0.819	1.838	
1-1	Front Log	2	0.369	0.738	0.181	0.362	
1-2	Rear Log	2	0.698	1.395	0.538	1.276	
2	Been	1.0	2.410	2.410	1.435	1.436	
2-1	Front Beam	1	0.933	0.933	0.534	0.534	
2-2	Insert Tube-Front	1	0.179	0.179	*1 -	-	
2-3	Rear Beam	t	0.928	0.928	0.902	0.902	
2-4	Inert Tube-Rear	1.0	0.370	0.370	*1 -	-	
3	Backreet	3	1:407	4.221	1.018	3.054	
3-1	Backrest Frame 3	D.868	2.604	1.018	3.054		
3-2.	Backrest Panel	3	0.539	1.617	*5 -	1,725	
4	Backrest Cushion 3	ackrest Cushion 3 1.62	1.625	4.875	0.575		
4-1	Backrest Cushion	3	0.988	2.964	+3 -	-	
4-2	Dress Cover	3	0.637	1.911	0.575	1.725	
軽	鍼対象部品重量の小計	(kg)	-	13,640		7,853	
		(be)		30.1		17.2	
	(30.0	赴比事)		-		57.6%	
5	Bottom Pan	- 3		1.512		1.512	
6	End,CTR,Out Armrest			3.425		3.425	
7	Baggage Bar			0.478		0.478	
8	Bottom Cushion			4.668		4.669	
9	Table Assy			2.352		2.352	
10	Seat Frame & Assy Parts			7.925		7.246	
		(kg)		34.000		27.538	
	座京綠重量	(bs)		75.0		60.7	
	(#.E	(比學)		-		81.0%	

- \*1 ビーム本体とインサートチューブを同時成形にて部品を開始 \*2 パックレストとパネルの一体成形にて部品を削給 \*3 ドレスカパーにパッドをキルティング加工にて鍵製を施し、ケッション部品を削除

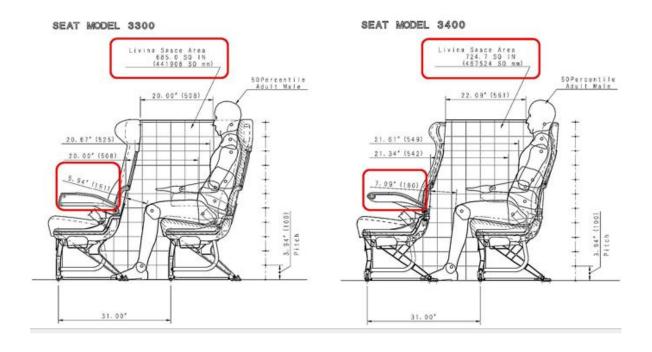


円筒構造の軽量化;金属部品2重構造を、複合材部品1本に改良



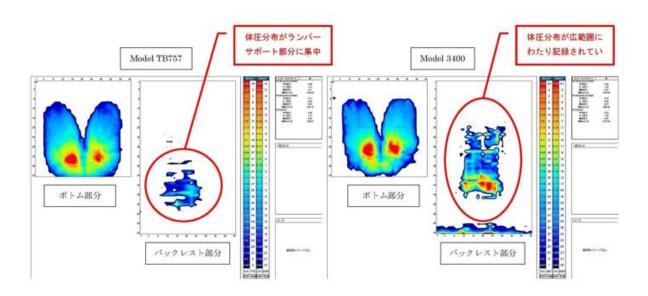
## (2) 居住性評価;31インチピッチでの配列

- ・リビング・スペース・エリアの増加;685in2→724in2(+5.8%)
- ・膝前寸法の増加;5.94in→7.09in(約 30mm、+19.2%)



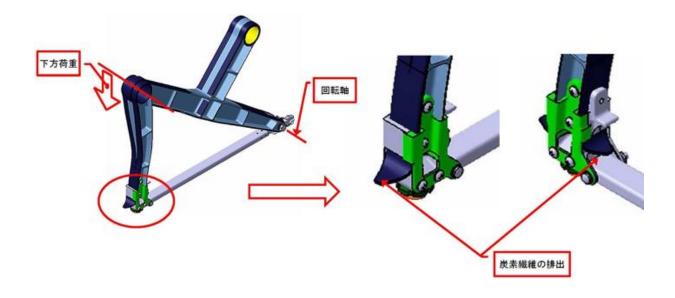
## (3)座り心地の評価

- ・バックレスト形状が3D曲面化
- ・既存座席に比較して、バックル入ト部分の体圧分布は広範囲に拡張 (95%タイルの男性、身長 181cm、体重 75kg の例)



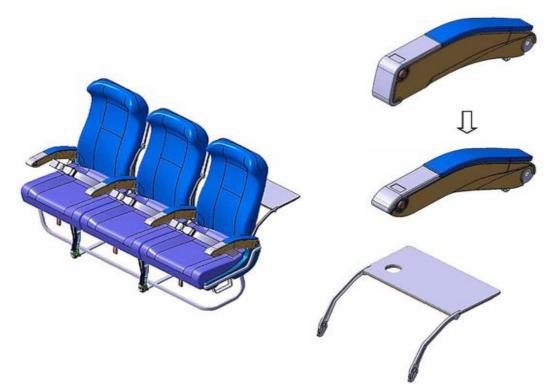
## 【6. 事業化の検討】

- 【6-1】事業化に関する検討(天龍エアロコンポーネント株式会社、フドー株式会社、徳田工業株式会社)
  - (1) 座席のデザイン検討(その1)
    - ・静荷重、衝撃荷重に耐荷できる構造設計の確立
    - フロントレグの衝撃吸収機構



## (2) 座席のデザイン検討(その2)

- アームレストのスリム化
- 背裏テーブルの装備



## (3) 座席のデザイン検討(その3)

- クッション+ドレスカバーのキルティング縫製燃焼性試験の実施
- ・座席重量軽減による航空機1機当たりの重量軽減;▲525kg

(B767-300 国内線仕様 2 クラスで 261 座席での評価) クラス J; 42 席+普通席; 219 席

従来品 STD TRIPLE	提案 STD TRIPLE				
SEAT 重量	SEAT 重量				
34.0 kg	26.6 kg				
(75.0 lbs)	(58.5 1bs)				

STD TRIPLE SEAT	軽減重量	航空機1機当たりの		
軽減重量	1座席当たり(A)	重量軽減 [(A)*219]		
7.4 kg	2.4 kg/PAX	525 kg		
(16.3 lbs)	(5.4 1bs/PAX)	(1,158 lbs)		

## 【7. プロジェクトの管理・運営】

(実施者:公益財団法人岐阜県研究開発財団)

研究開発を円滑に推進するため、研究実施プロジェクトの運営管理、研究開発推進 委員会の開催、共同体構成員相互の調整、財産管理・報告書作成等の管理を行った。

## (1) 日程管理

下記の表のごとく管理を実施して、スクジュール通り進捗するよう、管理した。

実施内容	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
【1. 複合材座席						<u> </u> 	! ! !	! ! !				
構造分析】						; ;	:	:				
【1 - 2】座席構造						1	!	!				
の設計と評価							į	į				
【2. フェノール						! !	! !	! !				
樹脂複合材を活用したアウトオブオ						! !						
したアワトオフオ   ートクレーブ成形						! ! !	! !	! !	 			
技術の確立】						! !	! !	!	!			
【2 - 1】ポーラス							: :	:				
合金真空成形金型お						!	:	!	!			
よび成形技術の開発						! !	: :	:				
【2-2】成形技術						!	!	!	!			
の評価												
【3.ハイブリッ						!	!	!				
ド注入成形法の開												
発】【3-1】樹脂						!	!	!				
流動解析												
【3-2】ハイブリ						! !	! !	!				
ッド注入成形用の金			—				į	į				
型設計						! !	! !	:				
【3-3】熱可塑性						i	i	i				
樹脂(PPS)複合  材供試体設計・製作							! !	! !				
【4.衝擊吸収型						i	i	i				
脚構造の開発】						! !	! !	! !				
【4-2】衝撃解析						!	!	!	!			
【4-4】座席構造							<u> </u>	<u> </u>				
の組立と、座席衝撃						!	:	:				
強度試験						! !						
【5. 製品の評価】						! !	!	:			<del></del>	_
【5-1】試験によ						! !						
る製品性能の評価						! !	:	:				
【6.事業化の検討】						!	! !	! !				
【6-1】事業化に												
関する検討												
【7.プロジェクト							! !	! !				
の管理・運営】						0	!	!				
・研究開発推進委員会 の開催						! !	! !	! !				
の角催  ・報告書作成						! !	!	!				
TK 自甘 IF IK							!	!				

## 【8. 最終章 全体総括】

## 【8. 1 開発目標】

以下の4項目を目標として、複合材料複合材航空座席を開発した。

項目	現状(金属製座席)	技術的目標値
構造重量	基準	1/2
コスト	基準	同等以下
成形サイクル(アウトオブオートクレーブ成形)	8時間以上(オートクレーブ)	2 時間以下
成形サイクル(ハイブリッド成形)	同上	15 分以下

#### 【8.2 複数年の研究開発成果】

研究の結果、以下のようにほぼ技術的目標値を達成することができた。

残る課題については、今後実施される製品(量産モデル) 開発の中で実施されることになる。しかしながら、開発の手段となる設計・製造技術は、本事業により解決の見通しが十分得られているので、製品化の時点で、それぞれの製品の仕様に対応した開発を成功裏に実施することが可能であると考えられる。

## (1)静強度設計

- ① 構造設計の解析精度が実験により検証された。よって、今後は荷重条件に対応した強度設計が可能である。
- ② 設計荷重を、航空法の静強度設計要求に基づいて設定することは誤りである。衝撃 荷重条件の方が高くクリチカルであるので、それが評定荷重条件である。よって、 今後の量産設計においては、衝撃条件で部材強度を設定しなければならない。
- ③ ハイブリッド成型においては、コンパウンド材の熱収縮による内部残留応力が非常に高くなり、外力を負担する能力が低下した。よって、本事業においては、ウエブ構造を、コンパウンド材から積層材に変更することで、問題を解決できる見通しを得ることができた。この結果、大幅な重量軽減も期待できた。

#### (2) 衝擊強度設計

- ④ 衝撃予備試験の試験結果からは、最大2G 程度の衝撃加速度の低減が可能であることが示唆された。
- ⑤ 衝撃試験装置により、衝撃試験を実施した。残念ながら強度要求を満足することはできなかったが、静強度要求に相当する7G 程度まで荷重負担できることが示された。これは、本供試体が静強度要求に基づいて設計されているのであるから、妥当な結果ということができるであろう。

#### (3) 材料開発

- ① 炭素繊維織物にフェノール樹脂を含浸したプリプレグ材料を開発することに成功した。この材料の不燃性と成型性を確認して、その性能が要求を満足していることを確認した。
- ② PPS 樹脂やフェノール樹脂を含浸した複合材料の構造設計許容値を設定した。

#### (4) 成型加工技術

- ③ ハイブリッド注入成型法により前・後脚を製造することができた。この場合、注入 成型材と、積層材の接合面の溶接(「溶け込み」とも言う)部の強度を十分に出す ような成型条件を設定できた。
- ④ ハイブリッド成型法の成型サイクルの技術目標値15分を達成することができた。
- ⑤ フェノール樹脂成型において、ポーラス合金製金型を採用するなどの新規な考案を 行った結果、真空成型法(アウトオフオートクレーブ法)により、実用に供しうる 品質の、バックレストを成型することができた。
- ⑥ 成型サイクル 2 時間以下を達成することはできなかったが、オートクレーブ成型法の 8 時間を大幅に下回る 4 時間程度とすることができた。

#### (5) 重量軽減

⑦ 目標の「50%軽減」には若干届かなかったが、42.4%の重量軽減に成功した。

#### (6) コスト評価

③従来構造と同等(100%)という目標に対し、125%という結果となった。これは、今後量産モデルの開発のなかで、十分目標を達成できるレベルである。

#### (7) その他の評価

(4) 座り心地や、居住性も大幅に改善することができた。

#### 【8.3 研究開発後の課題・事業化展開】

#### (1) 研究開発後の課題

特に大きな課題は無いが、若干の改良が望まれる。

- 脚部品のハイブリッド注入成形で、商品性を考慮した成形技術を確立することが望ましい。後部脚構造を標準化し、モデル毎の荷重変動に対しては前脚のみで対応することで治工具費を押さえると共に、品質の均一性を図ることを目標とする。
- バックレストの生産性向上対策

フレーム部、ダブラー部を事前に仮積層した状態でキット化する事に依り、バックレスト成形治具での積層時間を 1/3 程度に短縮が可能である。

- バックレストのキャン防止対策ビード及びダブラー形状を見直し、重量増加を抑えた形で、防止する。
- ビーム成形方法の確立

ビームの成形に関しては特に問題は無いが、改良点として板厚はそのままで、芯金 の直径で強度の調整を行うような対応が望ましい。

- 工場生産設備(300PAX/月の生産条件での検討)
  - ①TRIPLE SEAT 完成品 100 脚分のストックエリア 250 ㎡(梱包エリア含む)
  - ②組立てエリア 350 m<sup>2</sup> (検査エリア含む)
  - ③Sub Assy 部品のストックエリア 200 ㎡

1 800 m<sup>2</sup>

#### (2) 事業化展開

① 国内エアラインとの事業化研究

JAL や ANA との発展型・量産モデルの開発を経て、事業化に至る共同作業を検討する。

② 国内外の展示会や航空展に出品して、共同提携先を募集する。

以上