

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「航空機用複合材成形新VaRTM製治工具の開発」

研究開発成果報告書概要版

平成24年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 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

- 2-1 基礎試験
- 2-2 成形性評価
- 2-3 樹脂流動性解析
- 2-4 大型カウルプレートの成型

第3章 全体総括

- 3-1 開発目標
- 3-2 複数年の研究開発成果
- 3-2 研究開発後の課題・事業化展開

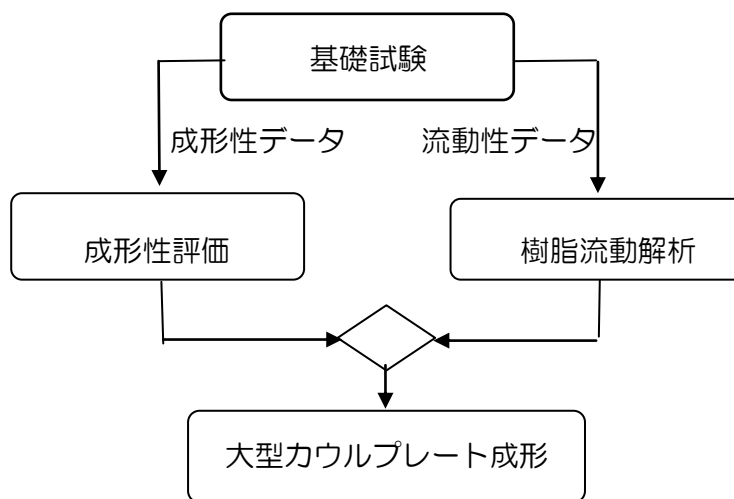
第 1 章 研究開発の概要

最新の航空機は炭素繊維部品による 1 次構造部材が採用されつつある。この炭素繊維部品をオートクレーブで加圧・加熱成形する際に、型の反対側にも平滑面をつくるための複合材成形品である治工具（カウルプレート）を使用する必要がある。これまではカウルプレートもオートクレーブで製作されていたが、製作費用、耐久性、品質面が課題となっている。

本研究は、大型カウルプレートを新 V a R T M 法（Vacuum Assisted Resin Transfer Molding；オートクレーブを使用せず常温・常圧下で樹脂を注入成型する方法）により製作して、製作費の低減、耐久性向上による製作総数の削減、品質向上による補習費等の低減を可能とする複合材成形治工具の開発を行う。

1-1 研究開発の背景・研究目的および目標

研究の概要を以下のフローチャートに示す。まず、カウルプレートの材料である炭素繊維織物から平面形の基礎試験パネル（1m×0.5m程度）を製作して成形性データと樹脂流動性データを取得する（基礎試験）。この結果に基づいて、成形性評価と、樹脂流動性解析を実施する。この2つの課題を総合的に評価した後、大型カウルプレートを成形評価する。



目標値：低コスト化として、オートクレーブ成形に比べ50%低減

耐久性として、従来のプリプレグに比べ2.5倍以上長寿命化

高品質として、気泡率（ボイド率）が1%以下

a. 研究項目①；基礎試験

基礎試験パネルにより、板厚分布、気泡率、歪などの成形性データと、含浸速度分布などの樹脂流動性データを取得する。さらに破壊靱性試験などにより耐久性について評価し、耐久性に優れた樹脂を選定する。

b. 研究項目②；成形性評価

各種の繊維（本研究では炭素繊維織物を使用）と樹脂を組み合わせ、カウルプレートに要求される特性を実現する。すなわち、目の細かい織物の樹脂含浸を可能とし、板厚さを安定させ、成形歪みをなくし、気泡（ボイド）の残留を少なくし、強度を向上させることを可能とするような、材料選定と樹脂の注入成形法を設定する。

c. 研究項目③；樹脂流動解析

大型カウルプレート成形に必要な樹脂注入法について、注入時の樹脂の流れをコンピュータにより解析して、樹脂が均一に流動して炭素繊維に含浸する手法を確立する。具体的には、基礎試験により得られた樹脂流動データとカウルプレートの板厚さに適した成形条件と成形手順を確立する。

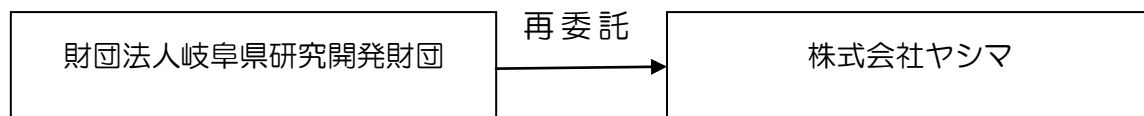
d. 研究項目④；大型パネル成形

実用化に必要な幅3 m、長さ8 m、厚さ1.5 mmの大型カウルプレートを製作する技術を確立する。具体的には大型化に伴う課題として樹脂の流動性に影響を与える、成形型に対する加熱方法、樹脂自体の温度設定、注入口の設置方法、繊維の置き方、成形後に余肉部を切断する方法と切断面を最適化する技術を確立する。

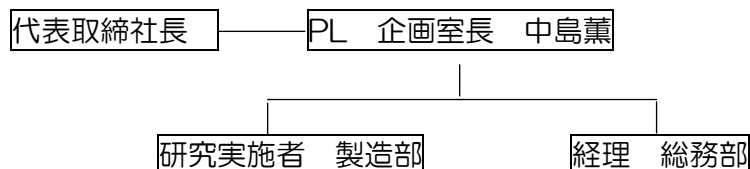
1-2 研究体制

1) 株式会社ヤシマ

(1) 研究組織 (全体)

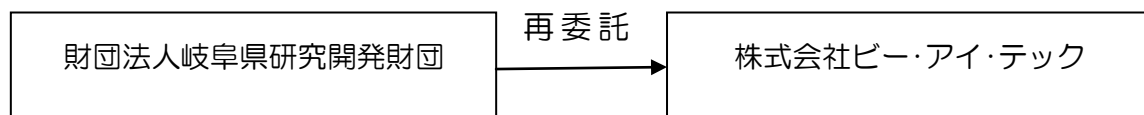


(2) 管理体制

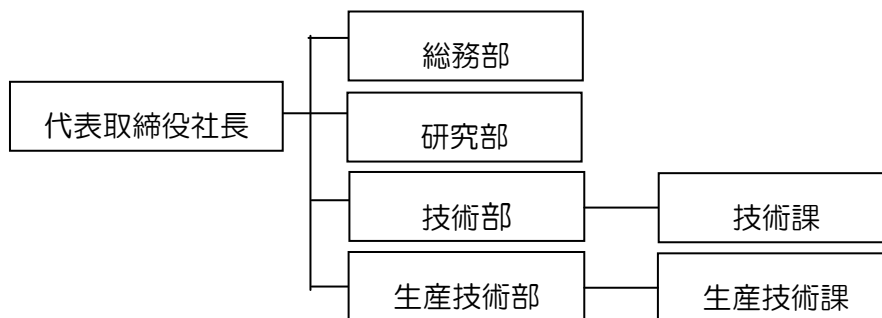


2) 株式会社ビー・アイ・テック

(1) 研究組織 (全体)



(2) 管理体制



1-3 成果概要

1) 基礎試験

流動性データや、ボイドのない成型を可能とするバッグ構成などを開発することができた。また、耐久性と熱膨張率についてのデータを取得した。

2) 成形性評価

カウルプレートに要求される成形方法を確立することができた。また、浸透膜を使用せず、シリコンゴムを使用して要求を実現する方法を考案し、特許にまとめ、出願した。

3) 樹脂流動性解析

コンピュータプログラムの解析結果を基礎試験のよる流動性データと比較して、その精度を検証した。この結果、実験とよく合致するインプットデータを設定することができた。この結果を用いて、大型パネルの含浸方法を設定することができた。

4) 大型パネル成形

3m×8mのカウルプレートを成形することに成功した。

5) 超音波探傷システム

フェーズドアレイシステムの超音波探傷装置を導入した。

6) 搬送システム

簡易バキュームカップ吊り方法を確立した。

7) 切断システム

切断システムを完成した。

1-4 当該研究の連絡窓口

1) 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 鷺見 浩

TEL058-379-2212 FAX058-379-2215

E-mail hsumi@gikenzai.or.jp

2) 株式会社ヤシマ

生産管理部 取締役生産管理部長 中島 薫

TEL058-382-1151 FAX058-371-0715

E-mail nakashima-ka@yashima-mfg.co.jp

3) 株式会社ビー・アイ・テック

研究部 部長 内田 隆志

TEL058-370-1536 FAX058-370-1536

E-mail usant3@hotmail.com

第2章 本論

2-1 基礎試験

1m×0.5m程度の平面形の基礎試験パネルにより、データを取得した。

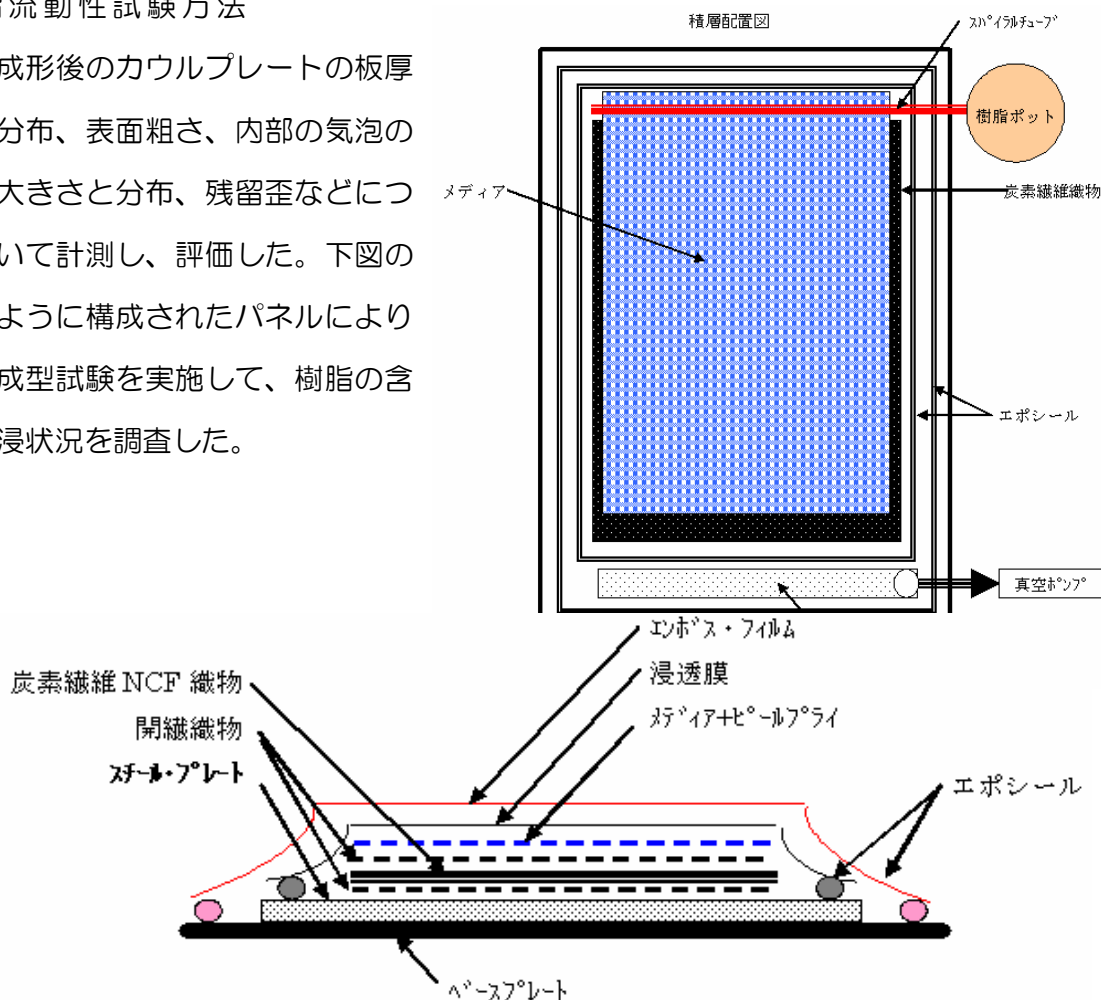
①特殊浸透被膜（ J アテックス） J アテックスの使用方法について研究した。

② J アテックスを使用しない成形法を研究した。

試験方法は、透明なアクリル樹脂パネルを使用し、時間と含浸区域と、温度の関係について調査するとともに、含浸後のパネルの断面観察により、気泡や剥離の分布状況について調査することにより、成形性のデータを得る。さらに耐久性や熱膨張率についても評価を実施した。

a. 樹脂流動性試験方法

成形後のカウルプレートの板厚分布、表面粗さ、内部の気泡の大きさと分布、残留歪などについて計測し、評価した。下図のように構成されたパネルにより成型試験を実施して、樹脂の含浸状況を調査した。



b. 耐久性と熱膨張率の評価方法

室温から 180℃までの繰り返し試験（HeatCycle 試験）を実施した後、

ガラス転移点を測定して、耐久性を評価する。

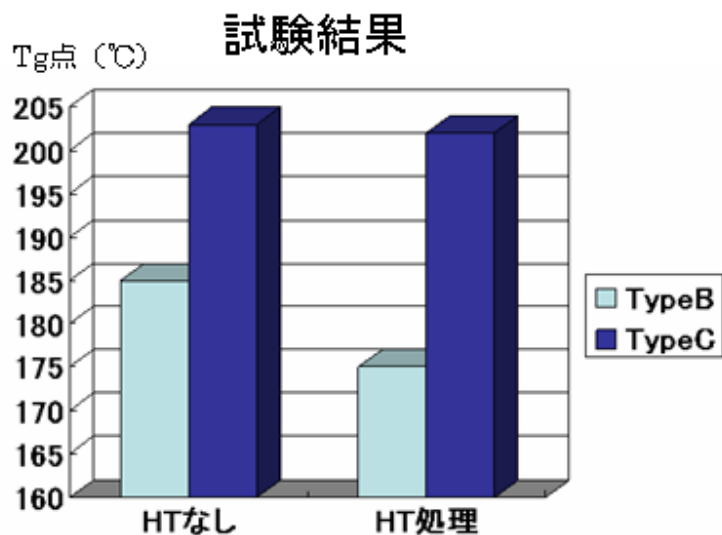
また、熱膨張率を測定して、従来のプリプレグ製のカウルプレートと同じであることを確認した。

- ガラス転移点試験結果

VaRTM 注入成型樹脂 (TypeC) の Tg 点については、ヒートサイクル (HT) の影響はなく、かつ成型温度より高いという結果を得た。

一方、従来のカウルプレートに使用されているプリプレグ (TypeB) の場合には、成型温度である 185°C より低く、ヒートサイクルによる熱劣化の影響が認められた。

この結果、今回開発の VaRTM 樹脂については、2.5 倍以上の長寿命化を確認できた。



- 熱膨張率試験結果

現在使用されている カウルプレートの熱膨張率と、VaRTM 製のカウルプレートの熱膨張率は同一であった。

熱膨張率測定結果 ($\times 10^{-6} \mu / ^\circ\text{C}$)

	現在	VaRTM
計測結果	2.5	2.5

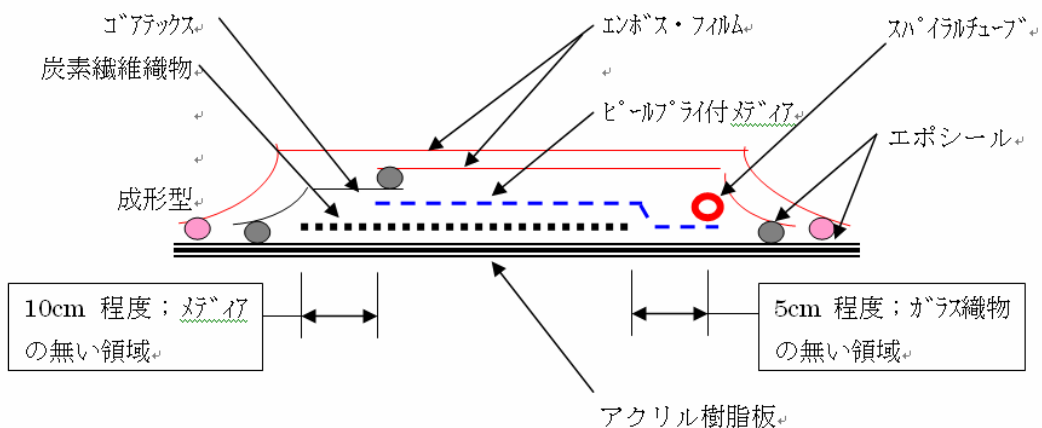
2-2 成形性試験

現在採用されているカルプレート[®]の熱膨張率測定結果

● 成型研究の経過と結果

a. ゴアテックス接続法（その1）の検討

特殊浸透被膜（ゴアテックス）ゴアテックスを、炭素繊維織物周辺の部分にのみ配置する方法を検討した。



成形試験結果は、おおむね良好な結果を得たが、内部には気泡が若干発生したことにより、完全ではなかった。



断面観察による、ボイドの評価結果

断面No. 1

板厚：2.3mm 幅：27.2mm 断面積：62.56 mm²

ボイド数：14 個

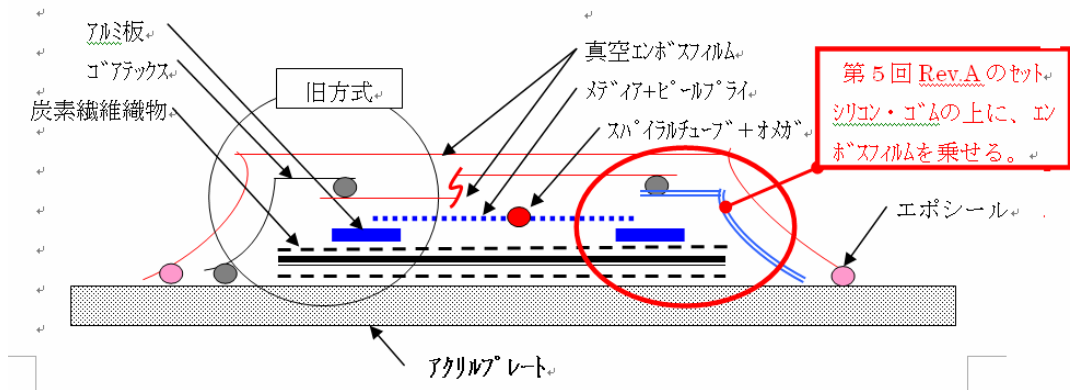
ボイド面積：0.31%

ボイドの半径：28~120 μ



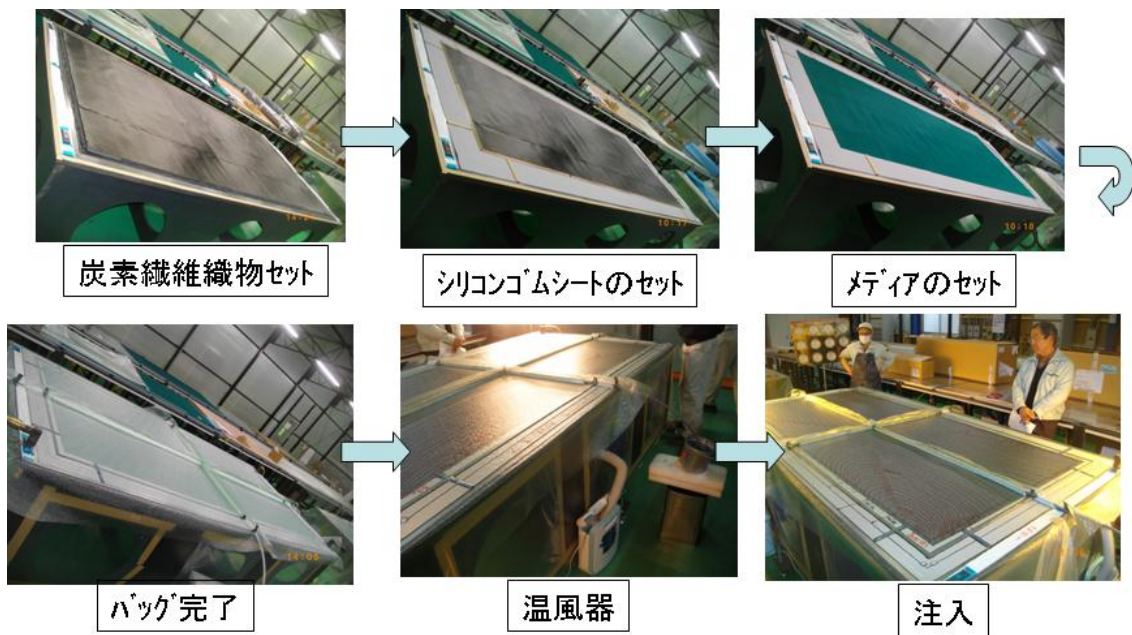
c. J アテックスを使用しない成形法を研究した。

J アテックスの代替として、シリコゴムを使用する方法を考案し、成形試験を実施した。



e. 中型パネル（1.5m×3.0m）による成形性の確認

前項に示す方法について、詳細な変更を加えて成形法を設定した。



f. 特許出願

前記の成形結果に基づき、下記の特許を出願した。

発明の名称；「真空成形法およびそれによって成形された繊維強化樹脂製品」
 出願日；平成 24 年 1 月 27 日
 出願番号；「特願 2012-015239 号」

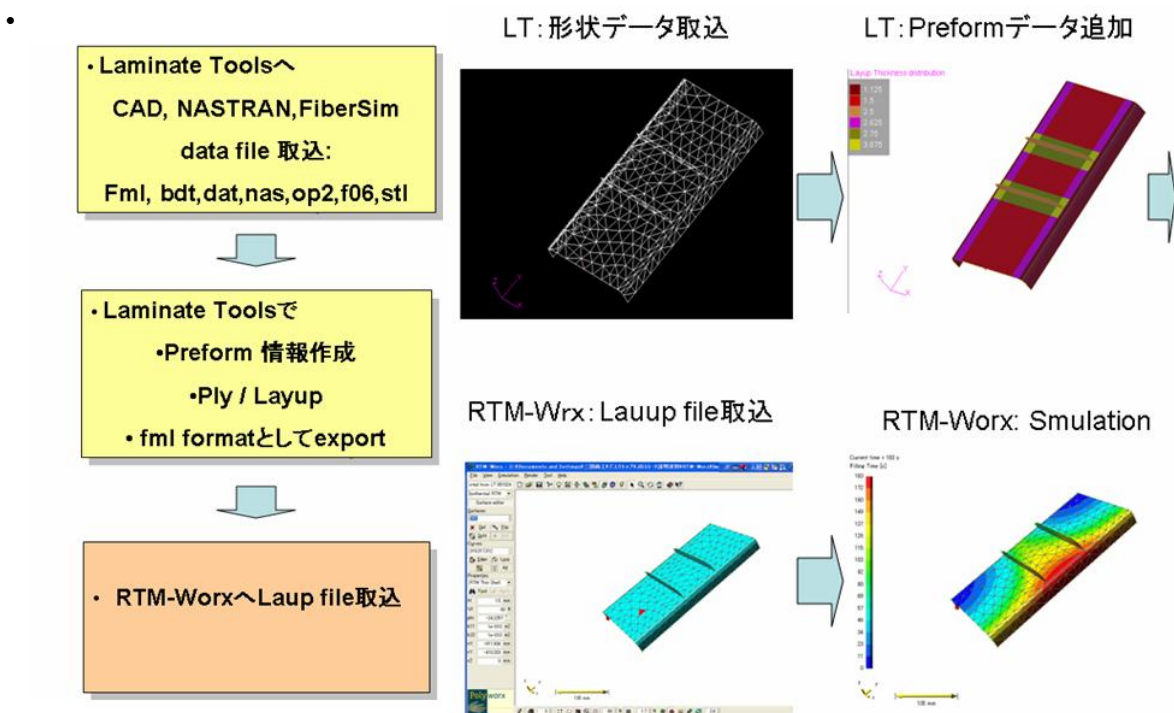
2-3 樹脂流動性解析

大型カウルプレートに樹脂を均一に含浸させるには、注入後の樹脂の流れを流動解析して、未含浸部分が発生しないよう最適な樹脂温度、注入速度などの技術確立が必要である。

具体的には、昨年度導入した流動解析ソフトを活用し、基礎試験により得られた樹脂流動データにより、大型カウルプレートの含浸速度や含浸領域などを設定した。

● 樹脂流動解析ソフト

購入した RTM-Works を使用して流動解析する手順を、以下に示す。

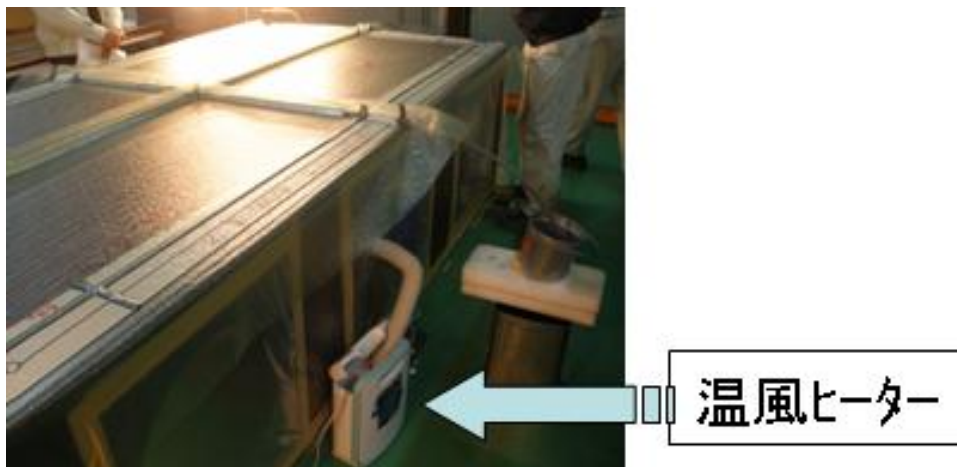
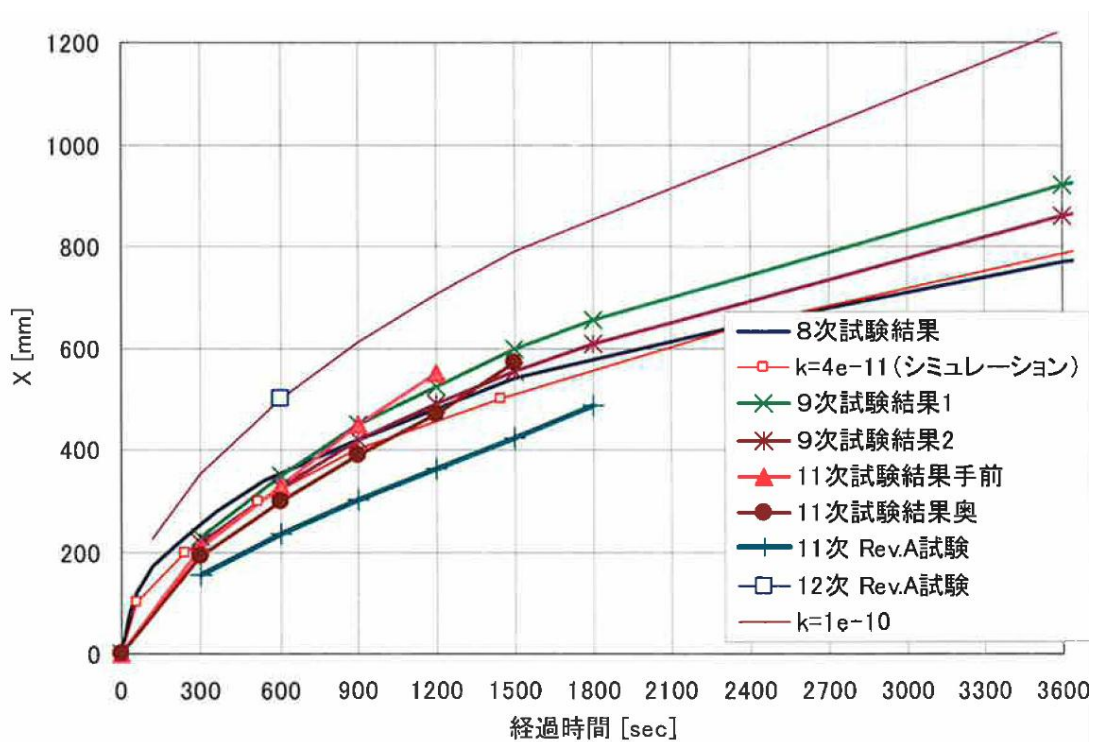


● 解析の検証結果と、解析のインプットデータである粘度係数の設定

第8次から第12次までの注入成形試験結果を下図に示す。

第12次の場合に、非常に流動性が向上しているのは、成型治具の下側に温風ヒータにより温風を吹き込む事により、治具の温度を規定の40℃以上に保温した効果によるものである。

この流動性に適合する粘度係数は、 $K=1e-10$ であることが判明した。



● 大型パネルの流動解析結果

大型パネルの形状に対して、1.5m×3.0m のデータを1区画として考えると、中図のように4区画に分割する方法が適切と考えられる。この方針により注入解析を実施した。

$K=1e-10$ であれば、どのような仮定に基く解析予測であっても、含浸完了までの時間は2000秒（約30分程度）である。

$K=1e-11$ という、より控えめな仮定で、アルミ板の下部にまで含浸できる時間（C時間）であっても、2800秒（47分）以下で含浸完了することが判明した。

この結果、大型パネルでも含浸不良は発生しないことが確認できた。

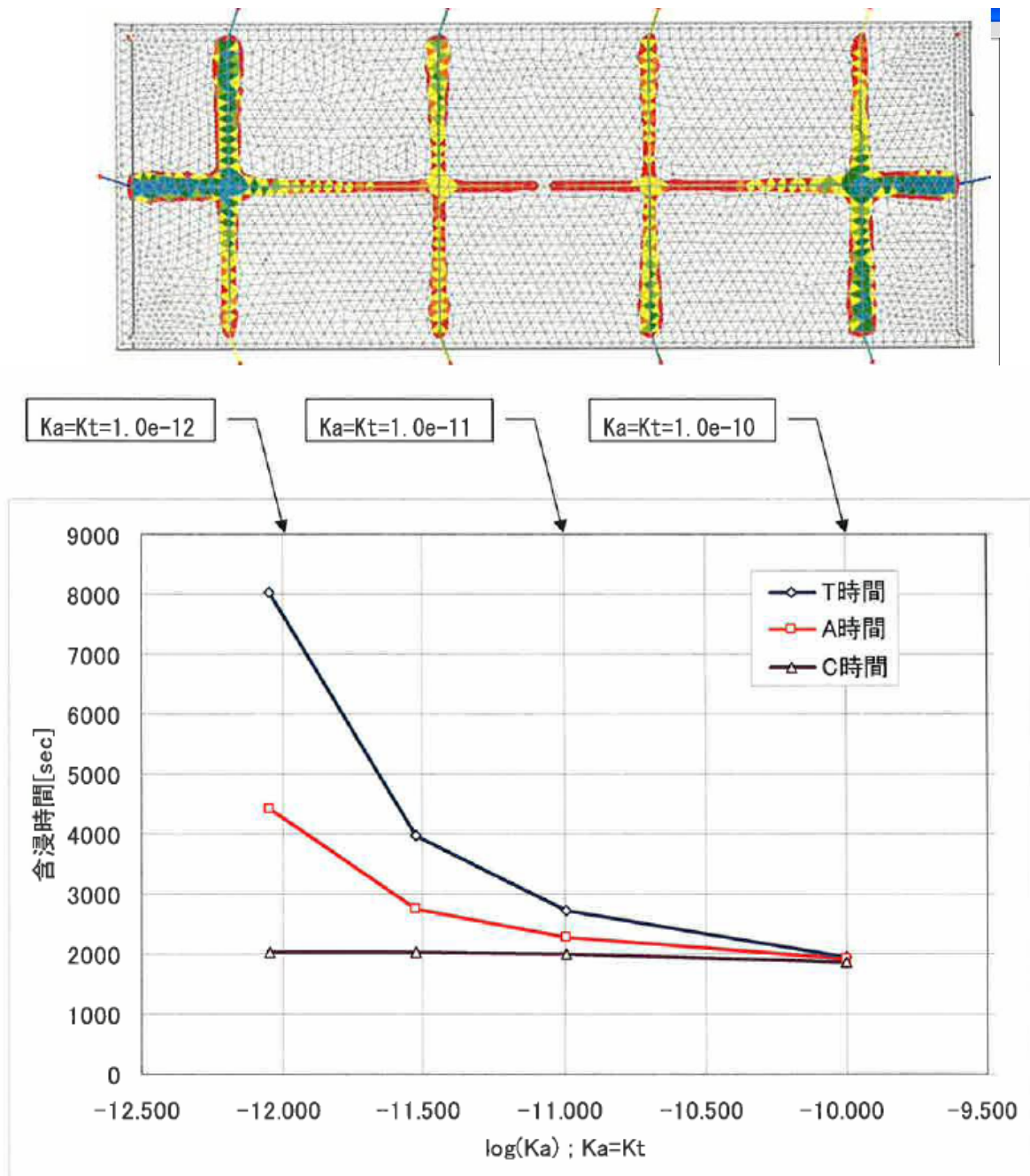


図 37 $Ka=Kt$ による含浸時間の変化 : $Kc=1.0e-10$

2-4 大型カウルプレートの成形

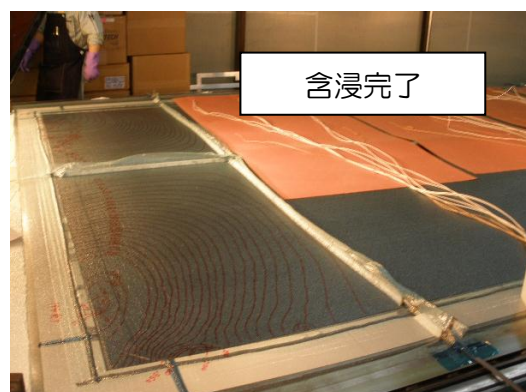
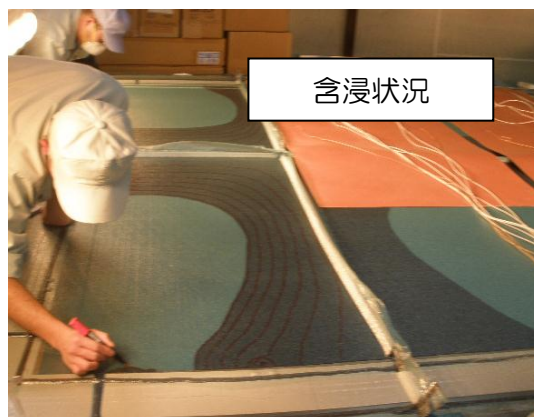
a.. 積層状況

注入時の温度管理; 自動打点温度記録計と、ポータブル温度計により管理した。

①樹脂温度; 41°C(ポット最低温度)、60°C(調合攪拌時の温度)

②型温度; 40°C(型周辺部)~60°C(型中央部)

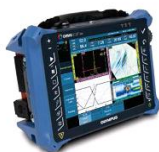
注入整形は、開始後約 30 分で完了した。



b.大型パネルの成型試験のために、超音波探傷装置、搬送装置、切断装置等を導入した。

フェーズドアレイ型
オリンパス
OMNISCAN MX2
を導入した。

New フェーズドアレイ探傷器
omniscan
OmniScan[®] MX2



搬送装置



バキュームカップ

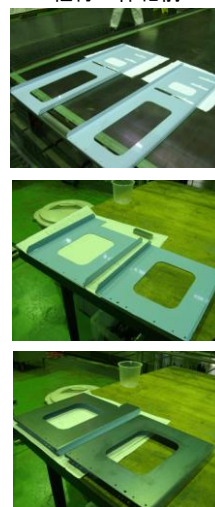


大型パネルを無理なく脱型し、搬送するための専用装置

切断装置



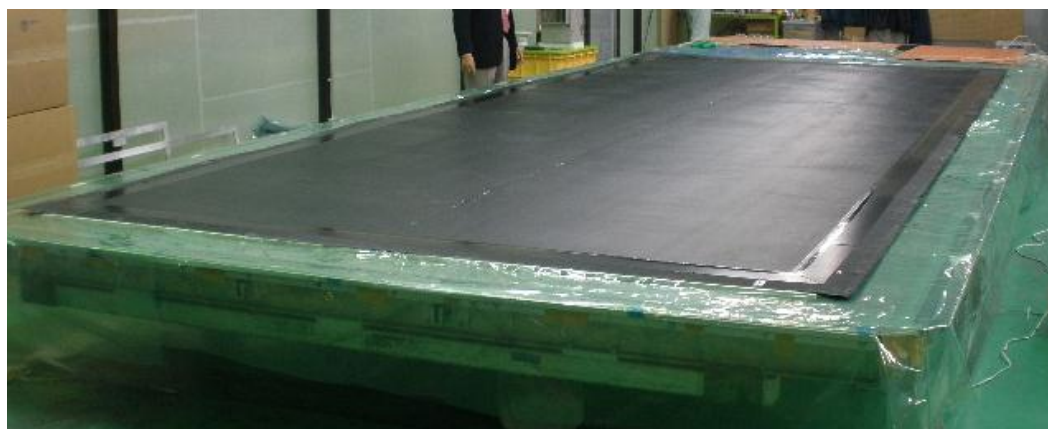
位置決めガイド 組付一体化前



大型パネルを型上で切断するための専用装置

c. 硬化

一次硬化;2区画に分割して一次硬化を行う。その上で、最低50°Cの温度が実現できていることを確認後、最短12時間硬化した。さらに、200°Cまで二次硬化した。



d. トリム

切断装置を使用して、パネルの周辺をトリムした。

e.超音波探傷.

超音波探傷装置にて検査した結果、欠陥は発見されなかった。

第3章 全体総括

3-1.開発目標

以下の3項目を目標として、VaRTM法によるカウルプレートを開発した。

- 低コスト化として、オートクレーブ成形に比べ50%低減すること。
- 耐久性として、従来のプリプレグに比べ2.5倍以上長寿命化すること。
- 高品質として、気泡率（ポイド率）が1%以下であること。

3-2 複数年の研究開発成果

研究の結果、以下のようにすべての目標を達成することができた。

- 基礎試験パネル成形と、大型パネルの整形結果により、オートクレーブ成形と比較して50%以上のコストダウンを実現することができた。
- 耐久性は、ガラス転移点、破壊靱性、層間せん断強度等により、従来のプリプレグよりも少なくとも2.5倍以上の長寿命であることを確認すること

ができた。

- C-Scan 検査とマイクロ X 線検査、および断面顕微鏡観察により、内部に有害な気泡（ポイド）のないことを確認した。また、表面粗さは、目標の $1.6\mu\text{Ra}$ に対して、 $0.3\mu\text{Ra}$ という良好な結果を得ることができた。
- 熱膨張率は、従来のプリプレグと同じであることが要求されていたが、それを実現することができた。
- 板厚分布、歪などの成形性データと、含浸速度分布などの樹脂流動性データを取得することができた。この結果を用いてコンピュータプログラムにより解析した結果、大型パネルの含浸方法を設定することができた。
- 超音波探傷装置、搬送装置、切断装置、加熱装置、樹脂混合攪拌装置等、大型パネルの成形に必要な装置を開発し導入した。

3-3 研究開発後の課題・事業化展開

●開発後の課題

成形された大型カウルプレート板の評価。

- a. 大型カウルプレート成形の際、同時に製作した試験片による耐熱性評価。
- b. 大型カウルプレートの完成品を川下企業に提示し評価を受ける。
- c. 川下企業指示による大型カウルプレートの物性評価。評価方法の検討。
- d. 製作コストの算出と川下企業の要求コストとの比較検討。

●事業化展開

川下企業の実用性評価を受け、結果良好であれば事業化に取り組む。

具体的には

- a. コスト調整
- b. 生産スケジュール調整
- c. 生産体制の確立（人員・場所・設備等）
- d. リスク管理

を明確にし、採算性、生産性を確保する体制の確立を実現する。

以上