

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「CFRP軽量部材の革新的プレス成形技術の開発」

研究開発成果報告書

平成25年3月

委託者 中国経済産業局

委託先 公益財団法人ひろしま産業振興機構

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	2
1-2	研究体制	7
1-3	成果概要	7
1-4	当該研究開発の連絡窓口	9

第2章 本論

2-1	研究開発内容及び成果	10
2-2	研究開発内容の実施状況	27

第3章 全体総括

3-1	研究開発成果	28
3-2	研究開発後の課題及び今後の研究開発について	29
3-3	事業化展開について	30

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) 研究開発の背景

現在、省エネのために輸送用機械の軽量化が求められている。川下企業からのニーズとして、自動車用座席への展開を図るための低コストで生産できる技術の蓄積が求められている。また、航空機の分野でも多くの重量を占めるアルミニウムを用いた座席をCFRPで軽量化することが求められており、開発途上にある。

これまでの自動車用座席のフレームは、鋼パイプと鋼板の組み合わせにより設計・製造されている。最近、多様なシートアレンジが求められており、シートベルトアンカーを座席に備えるなど高機能化している。座席の軽量化のため、高張力鋼を用いた薄肉化シートフレームがあるが、そのフレームは、靱性が低いため、追突された時など衝撃エネルギーの吸収性に欠け、人体へのダメージが大きくなり、安全性が損なわれるという問題がある。また、シートの固有振動数を人体各部の共振周波数から遠ざけることが難しく、人体へ大きな振動が伝わり、車内空間の快適性も失われているという問題も同時に生じている。そのような背景の中、自動車用座席の構造部材には、軽量で加工性に優れ、高強度でエネルギー吸収性が高く、安全かつ快適な座席を低コストで生産することが求められている。

樹脂成形は複雑形状を一体成形できる利点があり、自動車の部材に多く利用されている。しかし、樹脂材料は鉄鋼材料に比較すると強度が低いため、強化部材として使用する場合、繊維強化した複合材料が用いられる。航空機部品に多く使用されているCFRPは、オートクレーブやRTM成形のため、高強度を有するが、成形に長時間を要するため、自動車などの量産に適さない。短繊維を用いたSMCやペレットによる射出成形では生産性は高いが、炭素繊維の高い強度・弾性率を活かせない課題がある。そのため、NEDOではCFRTPの革新的高強度・高機能化基盤技術を構築し、次世代の易加工性中間基材によるハイサイクル成形を目指している。

(2) 研究の目的及び目標

従来技術では、CFRPの成形方法は主にオートクレーブ成形やRTM成形である。その成形に熱硬化性樹脂を用いているため、樹脂を硬化させる時間が必要なことから、成形時間が数時間から半日以上と長い。本研究開発では、難加工材であるCFRPの成形時間5分以内を目標とするため、炭素繊維強化熱可塑性樹脂を用いたハイサイクル成形が可能なプレス技術を確立する。また、モデリング技術の高度化によってプリフォームの3次元形状を決定して、部品を一体で成形することにより、成形品の後工程を削減し、材料歩留り90%を目標とし、生産性を飛躍的に向上させる。さらに、繊維強化による異方性の特徴を生かし、最適な強化繊維の配向をシミュレーション技術によって解析し、強化を必要とする方向に積層可能とする製品設計技術の高度化を図り、従来の鋼製座席フレームの重量の50%軽量化を目指す。

(3) 研究の概要

先に述べた目標を達成するために、平成22年度はCFRP製パイプフレームの接合部用の基本的1軸、2軸、3軸継手構造を設計・試作し、締結部の強度を鋼製フレームと比較した。その結果、十分な剛性が確保できなかったため設計方針を見直し、平成23年度は薄板構造の軽量フレームをCFRP製補強部材で補強する自動車用座席背部フレームを設計・試作し、具体的な座席フレームとしての強度を評価し、従来の鋼製座席背部フレームと比較検証を実施した。その結果、強度評価では従来品とほぼ同等の特性であったが、軽量化では30%目標に対して約20%達成となり、課題が残った。そのほかの目標は、成形時間3分、歩留まり80%を達成し、当初計画通り進んでいる。

そこで、平成24年度は、強度特性を満足し、50%の軽量化を達成するため、自動車用座席背部フレーム構造を再検討し、最も効果的なCFRP製補強部材の設計を行う。また、平成23年度に試作

における工程を精査し量産性を考慮した改善を進める。さらに、これらの技術を応用した、航空機用の座席背部フレームの設計、試作、強度評価を実施する。

(4) 研究の実施内容と目標

① 最適製品形状（構造）設計技術の確立

軽量化を行うためには、材料の特徴に合わせた設計技術が必要である。CFRPは異方性が高く、それに適した部品設計技術が求められる。予め、異方性による強度特性や成形上の特性を設計条件に織り込めると、重量低減・コスト低減を目的とした設計を行うことが可能であり、そのためには、求められる剛性や強度に合わせて材料の厚みや繊維配向を変えることが必要である。本開発では、シミュレーションによって厚みや繊維配向の最適化を行う技術を確立する。

そこで、平成24年度は、平成23年度に試作した自動車用の座席背部フレームの量産性を考慮した改善と、これらの技術を応用した、航空機用のバックフレームの設計、試作、評価を実施する。

また、平成23年度に実施した成形シミュレーション・強度解析技術を基本に、2次試作品の自動車用座席背部フレームの解析、航空機用のバックフレームの解析を行うとともに、歩留まりの高い最適なブランク形状を導く技術を確立する。

①-1 CFRPに適した部品設計の確立

担当研究実施者	実施場所	実施内容	平成24年度達成目標
株デルタツーリング	田口事業所	○平成23年度に試作した自動車用座席背部フレームの2次試作品を設計する。 ○航空機用バックフレームを設計する。	○座席フレームとしての強度を評価し鋼製座席背部フレームと同等の強度を確保し50%の軽量化を目指す。 ○SUS製フレームと同等の強度を確保する。

①-2 シミュレーションを用いた繊維の最適配向の確立

担当研究実施者	実施場所	実施内容	平成24年度達成目標
広島県立総合技術研究所	西部工業技術センター	○2次試作品の自動車用座席背部フレームについて、強度要件を満足する最適配向を導く。 ○航空機用バックフレームについて、強度要件を満足する最適配向を導く。 ○成形シミュレーションによる繊維の動きの予測精度を高め、歩留まりの高い最適なブランク形状を導く技術を確立する。	○軽量効果 50%を達成する繊維配向を強度解析によって導く。 ○成形後の繊維配向ずれが予測とどれくらい差があるのかを明らかにする。 ○簡単な形状におけるプレス成形後の形状を予測し、その予測結果がどの程度まで実験結果と整合しているのかを明らかにする。

使用機器

[平成22年度の委託費で購入したプラント・機械装置類の名称、目的、使用者]

- ・3次元CAD解析ソフト

目的：応力分布を解析し、異方性を考慮した最適な繊維配向を導く。

使用者：広島県立総合技術研究所西部工業技術センター

② CFRPのハイサイクルプレス加工技術の確立

材料歩留まり90%の目標を達成するため、プリプレグテープを所望のブランク形状、配向、厚みに積層する技術を開発する。それによって材料歩留まりがどの程度向上させることが可能かを検証する。

プレス加工が可能な熱可塑性プリプレグの開発が進んでおり、5分以内でプレス成形を行うことができる加工技術を確立し、自動車用座席背部フレームや航空機用バックフレームのタクトタイムを短くできるかを検証する。

CFRPの成形品を量産化するにあたり、その品質を管理する手法を確立するため、平成23年度に導入した非破壊検査装置の検査精度を向上させる。

②-1 プリプレグ積層技術開発

担当研究実施者	実施場所	実施内容	平成24年度達成目標
広島県立総合技術研究所	西部工業技術センター	○2次試作品の自動車用座席背部フレーム、航空機用バックフレームについて、最適な積層方法を確立する。	○材料歩留まり90%を実現する積層技術を確立し、ブランク板材を積層する。

使用機器

[平成22年度の委託費で購入したプラント・機械装置類の名称、目的、使用者]

- ・3次元CAD解析ソフト

目的：応力分布を解析し、異方性を考慮した最適な繊維配向を導く。

使用者：広島県立総合技術研究所西部工業技術センター

②-2 熱可塑性プリプレグのプレス成形技術、品質確認技術の確立

担当研究実施者	実施場所	実施内容	平成24年度達成目標
広島県立総合技術研究所	西部工業技術センター	○2次試作品の自動車用座席背部フレーム、航空機用バックフレームについて、最適な成形条件を導く。	○サイクルタイム5分以内で成形可能な最適なプレス成形技術を確立する。
株デルタツーリング	本社 田口事業所	○2次試作品の自動車用座席背部フレーム、航空機用バックフレームを成形し、最適な成形条件とサイクルタイムの短縮効果を検証する。 ○成形後のボイド不良などをインラインで調査するため、超音波を用いた非破壊で検査し、その検査精度を向上させる。	○軽量効果50%を達成する設計を満足する成形条件を導き、金型方案に反映させる。 ○0.5mm以上のボイドと層間剥離が計測可能となるように、インラインでの検査精度向上を図る。
株YDテクノ	本社	○西部工業技術センターで得られた成形条件をベースに2次試作品の自動車用座席背部フレーム、航空機用バックフレーム金型の最適形状、プリプレグの把持具を設計する。	○2次試作品の自動車用座席背部フレーム、航空機用バックフレーム金型の最適形状を設計する。 (試作によって金型方案の設計指針を明らかにする。)

使用機器

[平成22年度の委託費で購入したプラント・機械装置類の名称、目的、使用者]

- ・プレス機、プレス成形用簡易金型、金型温度調節機

目的：試作フレームの最適成形条件を確立する。

使用者：(株)デルタツーリング

[平成23年度の委託費で購入したプラント・機械装置類の名称、目的、使用者]

- ・遠赤外線加熱装置、製品フレーム用成形金型

目的：試作フレームの成形条件を確立する。

使用者：(株)デルタツーリング

- ・超音波式非破壊検査装置用プローブ

目的：成形後のボイド不良などを、超音波を用いた非破壊装置で検査する。

使用者：(株)デルタツーリング

[平成23年度の委託費で改造したプラント・機械装置類の名称、目的、使用者]

- ・プレス装置改造

目的：試作フレームの最適成形条件を確立する。

使用者：(株)デルタツーリング

[平成24年度の委託費で購入するプラント・機械装置類の名称、目的、使用者]

- ・自動車用製品フレームプレス成形金型、航空機用製品フレームプレス成形金型

目的：試作フレームの最適成形条件を確立する。

使用者：(株)デルタツーリング

[平成24年度の委託費で改造するプラント・機械装置類の名称、目的、使用者]

- ・自動車用製品フレームプレス成形金型改造、航空機用製品フレームプレス成形金型改造

目的：試作フレームの最適成形条件を確立する。

使用者：(株)デルタツーリング

②-3 トリミングプレス技術開発

担当研究実施者	実施場所	実施内容	平成24年度達成目標
広島県立総合技術研究所	西部工業技術センター	○成形シミュレーションによりブランク形状を予測し、トリミングの最小化が図れるかどうか成形実験で検証し、最適ブランク形状を得る方法を導出する。	○トリミング部分を最小化するため、加熱され、柔らかくなったブランク材の位置決め方法を確立する。
(株)デルタツーリング	田口事業所	○可能な限りトリミングを必要としない製品形状を検討する。	○製品形状の最適化を図り、歩留まり90%を確立する。

③ CFRPの特性評価

CFRPを用いて軽量化部品を製品化するためには、繊維強化材料の特徴である異方性を考慮した設計技術を確立する必要がある。平成24年度は2次試作品の自動車用座席背部フレーム、航空機用クッションメインフレームの試作品の設計を行い、実際に試作成形したCFRPの座席フレームの強度特性や減衰特性を評価し、異方性設計技術の向上を図る。

また、事業化に向けて、材料コスト、加工コスト等を試算し製品のコスト配分比率の最適化を図る。

③-1 シミュレーション解析用機械特性評価（平成23年度までに終了しており省略）

③-2 試作品特性評価

担当研究実施者	実施場所	実施内容	平成24年度達成目標
広島県立総合技術研究所	西部工業技術センター	○2次試作品の自動車用座席背部フレーム、航空機用バックフレームの解析との整合性を図る。	○強度解析結果と実際に成形した座席フレームとの比較を行い、精度の高い異方性設計ができるようにする。
株デルタツーリング	田口事業所	○静的強度・動的強度・減衰特性を評価し、鋼製座席フレームとの比較をする。	○座席フレームの性能と軽量化効果が設計値に対して、満足度を明らかにし、50%軽量化した座席フレームの提案をする。

④ プロジェクトの管理・運営

プロジェクトの推進を円滑に行うため、共同研究開発の推進委員会を設置し、研究課題、工程、評価および事業化に関する事項を審査し、プロジェクト全体の管理運営を行う。また、研究開発の成果を取りまとめ、研究成果報告書を作成する。

担当 公益財団法人ひろしま産業振興機構

(5) 所在地

①事業管理機関

公益財団法人ひろしま産業振興機構

(最寄り駅：JR山陽本線広島駅、最寄り電停：広島電鉄広電本社前電停)

〒730-0052 広島県広島市中区千田町三丁目7番47号

②研究実施場所

株式会社デルタツーリング 本社 (最寄り駅：JR呉線矢野駅)

〒736-0084 広島県広島市安芸区矢野新町一丁目2番10号

株式会社デルタツーリング 田口事業所 (最寄り駅：JR山陽本線西条駅)

〒739-0038 広島県東広島市田口研究団地3番1号

株式会社YDテクノ (最寄り駅：JR山陽本線天神川駅)

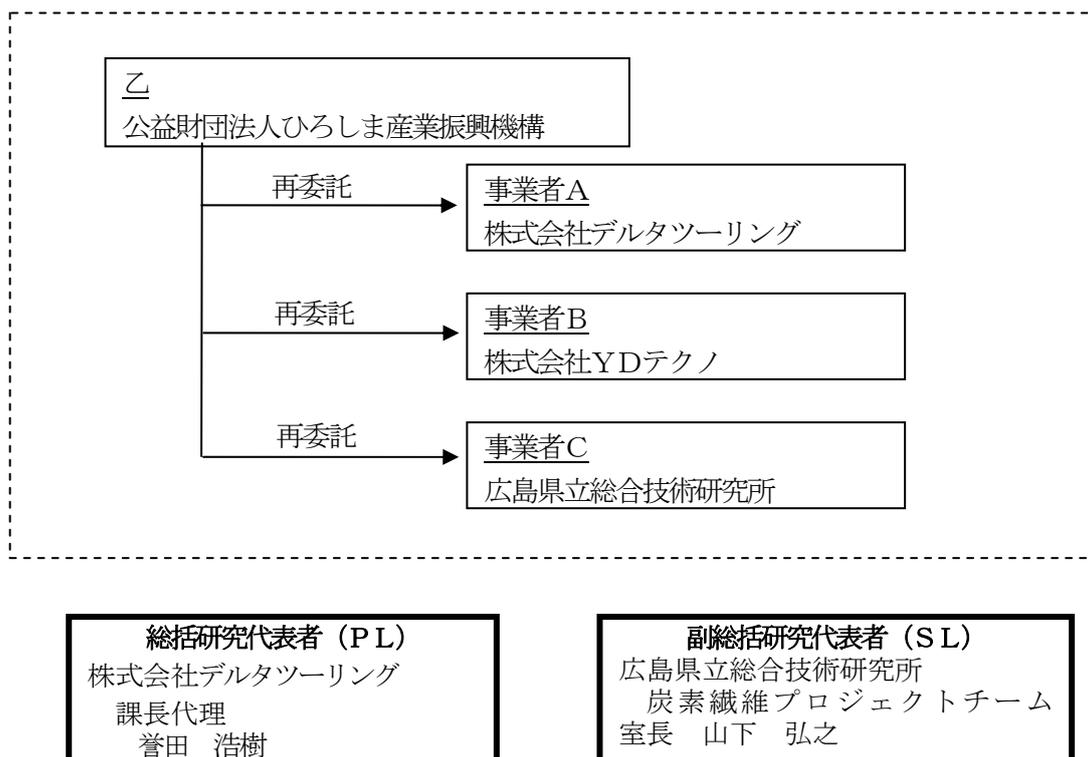
〒735-0028 広島県安芸郡府中町新地1番14号

広島県立総合技術研究所 西部工業技術センター (最寄り駅：JR呉線安芸阿賀駅)

〒737-0004 広島県呉市阿賀南二丁目10番1号

(本部：〒730-8511 広島県広島市中区基町10番52号)

1-2 研究体制



1-3 成果概要

① 最適製品形状（構造）設計技術の確立

平成23年度では、鉄系薄板材でCFRPを挟持した3層構造を基本とする補強構造で、自動車用座席背部フレームを20%の軽量化することができた。平成24年度も、平成23年度に構築した成形シミュレーション・強度解析技術を基本に、鉄系薄板材でCFRP製補強部材を挟持した3層構造を基本とする補強構造を用いて、自動車用座席背部フレームの50%軽量化を達成目標として研究開発を継続した。

最初に、自動車用座席背部フレームにおいては、簡易モデルによる強度解析により、効率の良い補強部位・方法を明確にした。そして、成形解析による補強部材の成形性を検証し、サイド、バック部の補強部材を設計した。更に、強度向上のため、自動車用座席背部フレームの詳細強度解析で強度特性を検証しながら、フレーム上部であるショルダー部の補強部材を設計し、最終的に、サイドフレーム、バックフレーム、ショルダーフレームの3種類のCFRP製補強部材により、自動車用座席背部フレームを補強する構造を採用することで、鋼製フレームと同等の強度となる15kNを確保しながら、45.5%の軽量化に成功した。また、上記のCFRP製補強部材の設計では、折り曲げ加工を基本とした製品構造に留意し、歩留まりの高い製品設計技術を構築することができた。

航空機用背部フレームでは、これらの設計技術を応用し、ヘッドレスト部の補強部品となるヘッドレストフレームを設計し、成形性が良好で、歩留まりの高い製品設計を実施した。

② CFRPのハイサイクルプレス加工技術の確立

材料歩留まり90%の目標を達成するため、プリプレグテープを所望のブランク形状、配向、厚みに積層する技術を開発し、サイドフレーム、バックフレーム、ショルダーフレーム、ヘッドレストフレームについて、材料歩留まり90~98.6%を達成した。

プレス成形技術においては、平成23年度までに5分以内でプレス成形を行うことができる加工技

術を確立した。平成24年度は、この技術をベースとして、自動車用座席背部フレームや航空機用座席背部フレームのタクトタイムをさらに短縮するため、熱可塑性プリプレグや成形金型の成形温度条件の最適化を図り、目標値を大幅に上回る1.5～2分でプレス成形を行うことができる加工技術を確立した。

プレス成形用の金型については、加熱後のプリプレグを金型内部に引き込むための把持構造を設計し、複雑な断面形状の製品も安定して成形可能となるプレス技術を確立した。

トリミングレス技術開発では、トリミング加工を最小限とする製品形状をそれぞれのフレームにおいて設計した。更に、プレス成形用の金型については、プリプレグの位置決め構造を考案し、材料歩留まりの高いCFRPの成形品を量産化する技術を確立した。

その品質を管理する手法を確立するため、平成23年度に導入した非破壊検査用の空気式超音波プローブを用いて検査精度を向上させ、0.5mmまでのボイドと層間剥離を検出可能であることを確認した。

③ CFRPの特性評価

CFRPを用いて軽量化部品を製品化するためには、繊維強化材料の特徴である異方性を考慮した設計技術を確立する必要がある。平成24年度の自動車用座席背部フレームにおいては、2次試作品と3次試作品の強度実験を実施した。2次試作品では、CFRP製補強部材の有効性を確認するため、CFRP製補強部材無の強度実験も同時に実施し、2次試作品で13kN、CFRP製補強部材無し品で10kNとなり、約100g（重量比3%）のCFRP製補強部材により、約30%の強度UPとなることを確認した。また、2次試作品をベースに、さらに補強した3次試作品では、目標の15kNを達成する強度であることを確認した。航空機用背部フレームでは、ヘッドレスト部の補強部品の強度試験を実施し、解析値との相関を把握した。更に、動的解析のための衝撃試験を実施し、基礎データを集積した。

また、プレス成形した4種類の各補強部材フレーム（サイド、バック、ショルダー、ヘッドレスト）については、成形後のCFRP各層の断面観察を実施し、成形解析との相関を確認し異方性設計技術の向上を図った。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

① 事業管理機関

機 関 名	連 絡 先
公益財団法人 ひろしま産業振興機構	①所在地 〒730-0052 広島県広島市中区千田町三丁目7番47号 ②連絡先担当者 蔵田 公一 ③電話番号 082-240-7712 ④FAX 番号 082-504-7317 ⑤E-mail アドレス k-kurata@hiwave.or.jp

② 再委託先

機 関 名	連 絡 先
株式会社 デルタツーリング	①所在地 〒736-0084 広島県広島市安芸区矢野新町一丁目2番10号 〒739-0038 広島県東広島市田口研究団地3番1号 ②連絡先担当者 我田 茂樹 ③電話番号 082-420-2262 ④FAX 番号 082-420-2264 ⑤E-mail アドレス wagata@deltatooling.co.jp
株式会社YDテクノ	①所在地 〒735-0028 広島県安芸郡府中町新地1番14号 ②連絡先担当者 岩田 大治 ③電話番号 082-282-8251 ④FAX 番号 082-288-9733 ⑤E-mail アドレス t-iwata@yd-techno.co.jp
広島県立 総合技術研究所	①所在地 〒730-8511 広島県広島市中区基町10番52号 〒737-0004 広島県呉市阿賀南二丁目10番1号 ②連絡先担当者 技術支援部 西本 直樹 ③電話番号 0823-74-1151 ④FAX 番号 0823-74-1131 ⑤E-mail アドレス n-nishimoto81592@pref.hiroshima.lg.jp

第2章 本論

2-1 研究開発内容及び成果

① 最適製品形状（構造）設計技術の確立

①-1 CFRPに適した部品設計の確立

平成24年度も、平成23年度に構築した成形シミュレーション・強度解析技術を基本に、自動車用座席背部フレームの50%軽量化を達成目標として研究開発を継続した。最初に、自動車用座席背部フレームの効率の良い補強部位・方法を明確にするため、簡易モデルによる強度解析を実施した。図1-1に強度解析条件を示す。解析条件は、 $\phi 10\text{mm}$ の丸棒で構成された略矩形の初期形状に対し、A案：横方向に $\phi 10\text{mm}$ の丸棒2本で補強した場合、B案：右側のサイドフレームを $\phi 15\text{mm}$ の丸棒で補強した場合、C案： $\phi 10\text{mm}$ の丸棒で背面を斜めに補強した場合、の3案で解析を実施した。

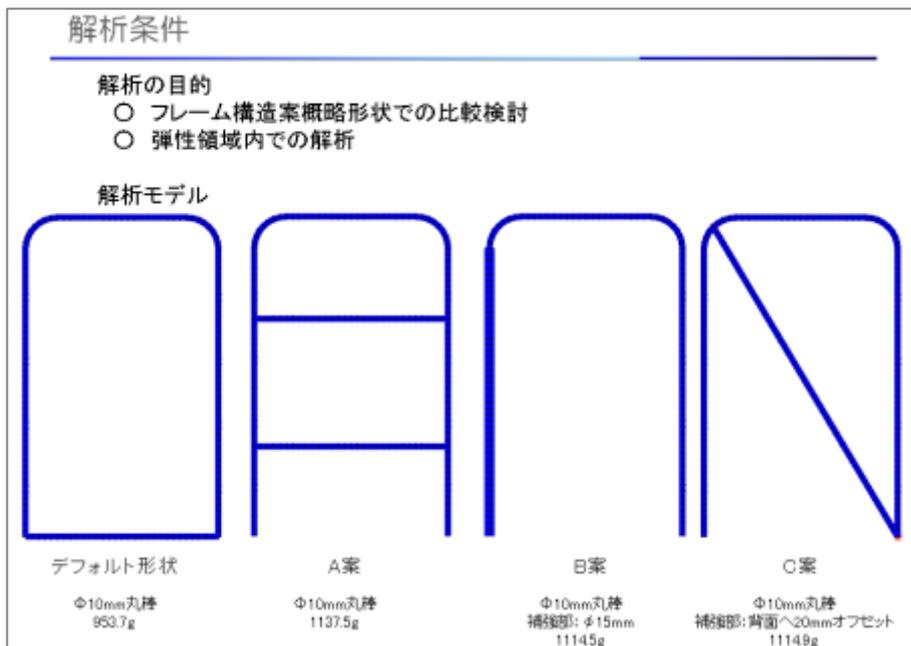


図1-1. 自動車用座席背部フレーム 強度解析条件

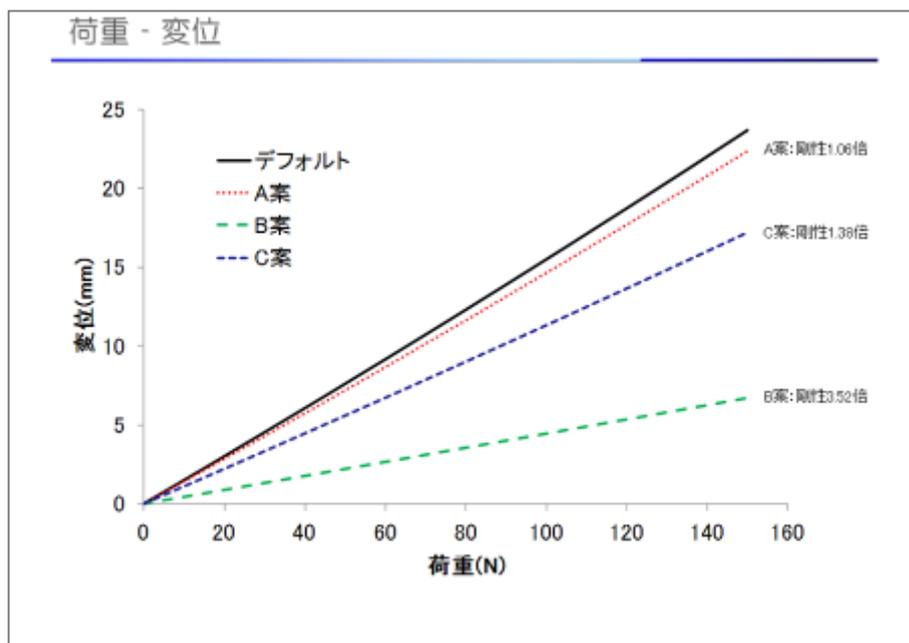


図1-2. 自動車用座席背部フレーム 強度解析結果

図1-2に強度解析の結果を示す。横軸は荷重、縦軸は変位を示している。解析の結果、補強効率の良い順に、B案、C案、A案となることが分かったため、B案のサイド部とC案のバック部にCFRP製の補強部材を配置する方向で、自動車用座席背部フレームの設計検討を実施した。

図1-3に補強寄与度の大きい自動車用座席背部フレームのサイド部についての解析条件を示す。自動車用座席背部フレームのサイド部においては、強度試験時に捩じり曲げ変形が発生するため、鉄系薄板でCFRP製補強部材を挟持した3層構造を、捩じりながら曲げ変形させた場合で解析を実施した。

図1-4にサイド補強部材を捩じり曲げした場合の強度解析の結果を示す。横軸は変位、縦軸は荷重を示している。解析の結果、単に鉄系薄板でCFRP製補強部材を挟持した3層構造では、補強効果がなく、CFRP製補強部材の断面形状に工夫が必要となることが分かった。

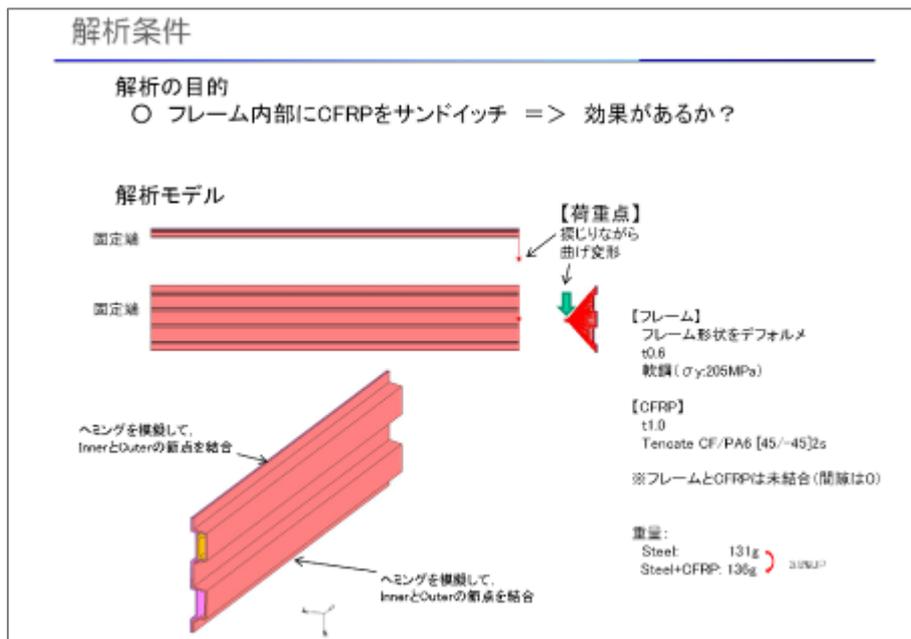


図1-3. サイドフレーム 強度解析条件

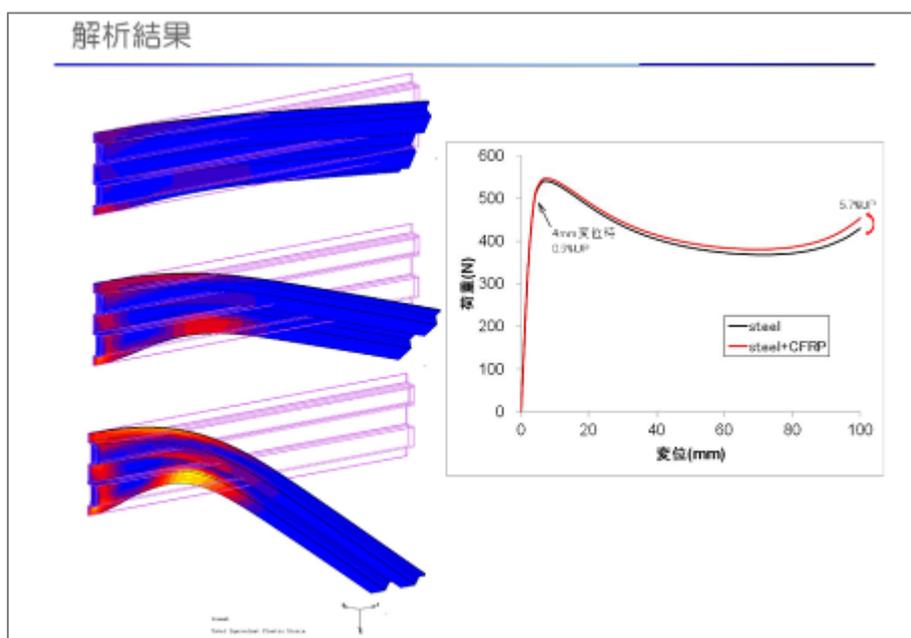


図1-4. サイドフレーム 強度解析結果

鉄系薄板材でCFRPを挟持した3層構造を基本とする補強構造であるため、基となる鉄系薄板材の断面形状を検討する必要がある、以下にコの字断面形状について検討した結果について、記述する。

図1-5にコの字断面形状鉄系薄板材の捩じり曲げ変形における、座屈しにくいフレーム補強方法について検討した場合の解析条件を示す。この解析は、概略形状で最適化計算を行い、傾向を把握するために実施したもので、解析条件は、図にある条件1～3で解析を実施した。

図1-6にコの字断面形状鉄系薄板材を捩じり曲げた場合の強度解析の結果を示す。横軸は変位、縦軸は荷重を示している。解析の結果、初期条件の板厚0.6mmに対して、条件3の板厚1.2mmで変位50mm時に歪みエネルギーの低い部位を薄くすることで、約6倍の強度となることが判明した。

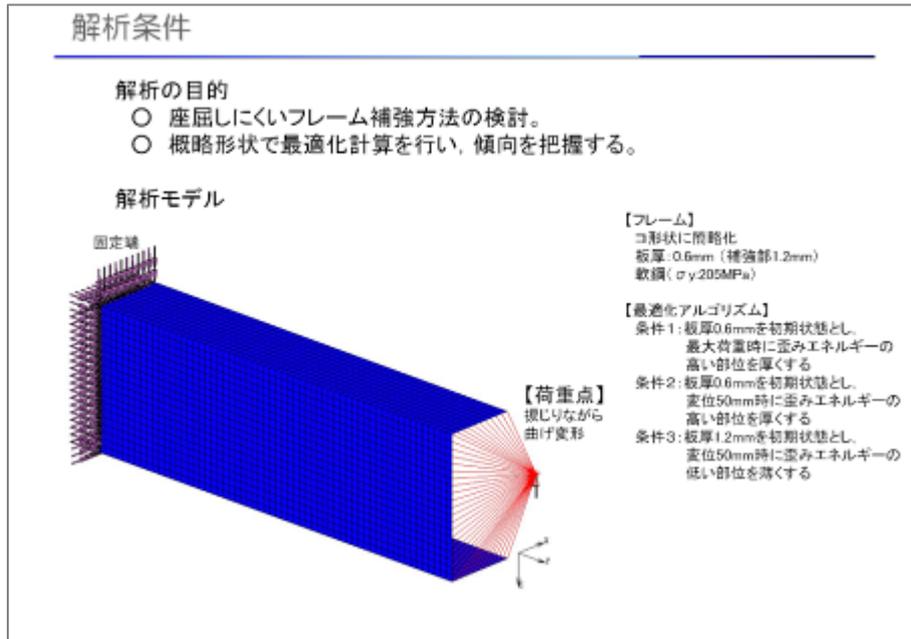


図1-5. サイドフレーム 強度解析条件

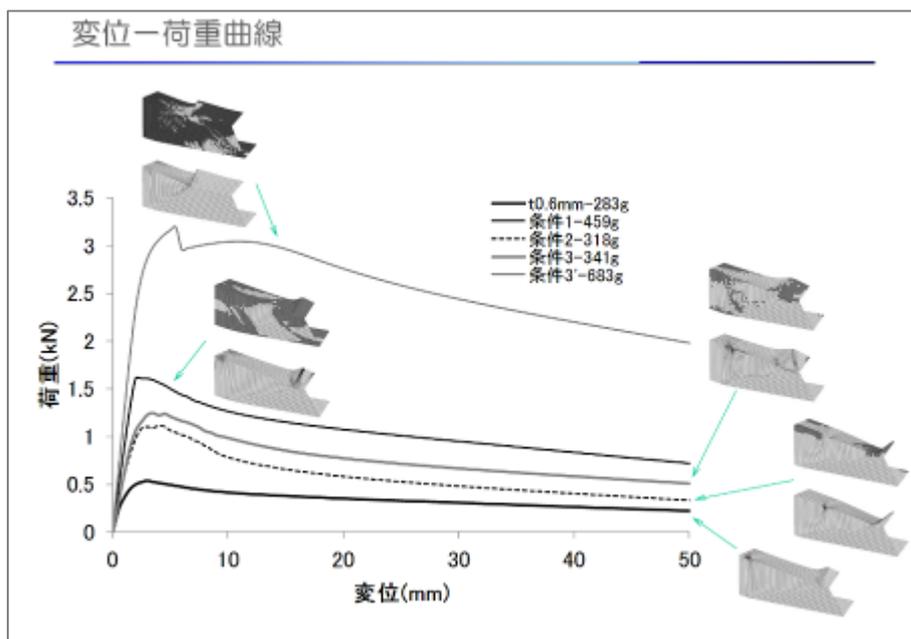


図1-6. サイドフレーム 強度解析結果

上記の解析結果を踏まえ、捩じり曲げに強く軽量化効果の高い、CFRP製補強部材であるサイドフレーム、バックフレームの詳細設計を実施した。

各CFRP製補強部材のそれぞれの外形寸法は、サイドフレーム：270L×102W×15H×1.0t、バックフレーム：545L×52W×7H×1.0tで、強度を上げるため断面は波型の形状とした。これらの補強部材については、平成23年度同様に、鉄系薄板材でCFRP製補強部材を挟持した3層構造を基本とする補強構造を採用している。

2次試作品の自動車用座席背部フレームは、シートベルトを内蔵した後部座席用の3点ベルトインシート用の背部フレームで、軽量フロントシートの背部用フレームをベースに、サイドフレーム、バックフレームの各補強部材を用いて強度アップと軽量化を図っている。2次試作品のフレーム重量は、3,890gで、50.4%の軽量化を達成していたが、後述する強度実験の結果、2次試作品のフレーム強度は、目標値の15kNを下回る13kNであったため、自動車用座席背部フレームの詳細強度解析で強度特性を検証しながら、更なる強度UPの検討を実施することとした。

次に、3次試作品の自動車用座席背部フレームの強度解析を実施した。解析条件は、モデルH：2次試作品の上部パイプ廃止+ショルダーフレーム、モデルK：2次試作品+ショルダーフレーム、モデルM：モデルK+右側のサイドフレーム下部を補強の3案で解析を実施した。

図1-7に3次試作品の自動車用座席背部フレーム解析結果を示す。横軸は変位、縦軸は荷重を示している。解析の結果、強度の良い順に、モデルM、モデルK、モデルHとなり、目標値の規定荷重15kN以上の強度を有するのは、モデルMのみであったため、この案をベースにサイドフレーム、バックフレーム、ショルダーフレームの3種類のCFRP製補強部材により、背部フレームを補強する自動車用座席背部フレームを設計した。

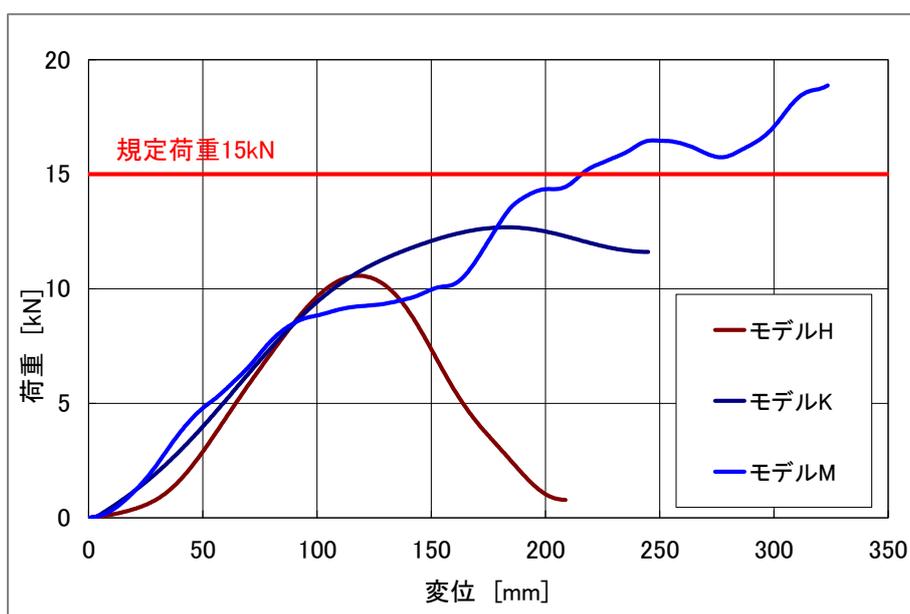


図1-7. 3次試作品の自動車用座席背部フレーム解析結果

ショルダーフレームのCFRP製補強部材の外形寸法は、138L×32.9W×6H×1.0tで、断面はコの字型の形状とした。他の補強部材同様に、鉄系薄板材でCFRP製補強部材を挟持した3層構造を基本とする補強構造を採用した。

最終的には、サイドフレーム、バックフレーム、ショルダーフレームの3種類のCFRP製補強部材により、自動車用座席背部フレームを補強する構造を採用し、3次試作品の自動車用座席背部フレームを設計した。3次試作品のフレーム重量は、4,274gで、鋼製フレームと同等の強度となる

1.5kNを確保しながら、45.5%の軽量化の見込みとなった。上記のCFRP製補強部材の設計では、折り曲げ加工を基本とした製品構造に留意し、歩留まりの高い製品設計技術を構築することができた。

航空機用背部フレームでは、これらの設計技術を応用し、ヘッドレスト部の補強部品となるヘッドレストフレームを設計し、成形性が良好で、歩留まりの高い製品設計を実施した。

航空機用背部フレーム用のヘッドレストフレームの寸法は、249L×410W×35H×1.5tで、先端部の断面は半円の形状とした。CFRP製のヘッドレストフレームは、衝突時の後部座席乗員の頭部を保護し、頭部傷害値を低減することが目的であるため、自動車用座席背部フレームのような強度は必要でない。そのため、背部フレーム上部の鉄系フレームをカバーする位置に配置している。

次に、航空機用背部フレームのヘッドレストフレームの静的強度についての1/2モデルでの解析を実施した。この解析は、後部座席乗員の頭部を模擬した半球状の加圧板で、斜め上部後方からヘッドレストフレームを加圧した場合を解析したものである。現段階では、動的挙動を解析するための基礎データがないため、静的な解析で代用することとした。

将来的には、動的挙動を解析する必要があるため、平成24年度では静的強度実験と平行してCFRP製平板単体の衝撃試験を実施し、基礎データを集積した。

ヘッドレストフレームの強度解析での変形アニメーションの結果、ヘッドレスト中央部で、局部的に変形が生じることが分かった。

図1-8にヘッドレストフレームの解析結果を示す。横軸は変位、縦軸は荷重を示している。解析の結果、変位8mmで、最大荷重3.5kNとなることが分かった。この解析値を基準として、層間剥離が生じやすいサンプルとの比較実験により強度低下率を把握し、後述する補完研究において、最適構造を開発する予定である。

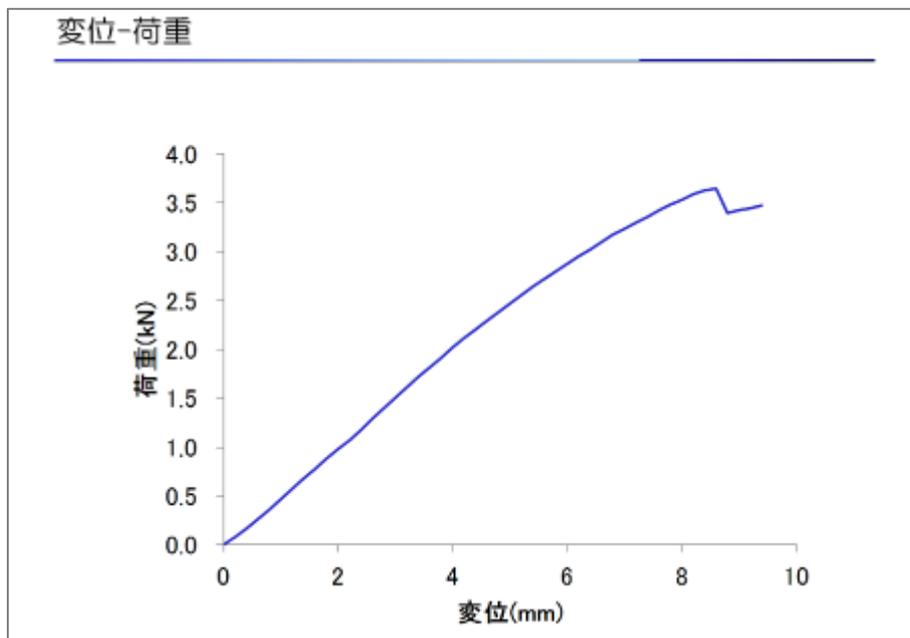


図1-8. ヘッドレストフレーム強度解析結果

①-2 シミュレーションを用いた繊維の最適配向の確立

本解析では、ESI 写真 PAM-FORM を用いて、炭素繊維強化熱可塑樹脂複合材料をプレス成形した場合の成形シミュレーションの解析を実施した。用いた材料は炭素繊維の一方向(UD)強化にナイロン6 (PA6)を母材樹脂としたプリプレグテープ(厚さ0.125mm)である。

サイドフレーム、バックフレームの解析モデルでは、プリプレグの積層構成は $[90/0]_{28}$ の8層のクロスプライ(板厚1mm)とし、解析時間を短縮するため成形品全体ではなく、形状の一部を切り出して帯状のブランク形状として解析を実施した。解析にかかった時間はサイドフレームで0.9h、バックフレームで0.6hであった。

サイドフレームおよびバックフレームでは、中央部分の曲げ加工とその両側の曲げ加工があることに加え、成形後のトリムレスを目指すため、加工中、ブランクの引き込みによって位置がずれないようにするため、ブランクの中央部分をホールドしながら曲げ加工を先行して行い、少し遅れて両側を曲げ加工する金型方案と、その方案に従って解析を実施した。

解析結果から、中央部分の曲げ加工が完全に終了してから、両側の曲げ加工が始まると、中央部分におけるコーナー部の板厚の減少が抑えられた。

サイドフレームは左右対称のため、左右で材料の引き込み量に差が生じ、しわの発生が考えられたが、両側の加工タイミングによって、しわの発生も少なく成形でき、成形後の両側の曲げ形状がほぼ設計通りの形状になる条件を求めることができた。

同様に、ショルダーフレームの解析を実施した。プリプレグの積層構成も $[0/90]_{28}$ 8層のクロスプライ(板厚1mm)とした。単純な曲げ加工であるが、ここでも加工中にブランクの引き込みによって位置がずれないようにするため、ブランクの中央部分をカウンターポンチでホールドしながら曲げ加工を行う方案で解析を実施した。成形品の全体を解析したため、解析時間は4.6hを要している。

次に、ヘッドレストフレームの解析を実施した。プリプレグの積層構成は $[90/0]_{32}$ 12層のクロスプライ(板厚1.5mm)とした。CASE 1は単純な方案による曲げ加工の結果である。STAGE 1でブランクを金型にセットした時の自重でのたわみを求め、その後曲げ加工した場合の結果である。曲げ加工面のブランクが始めに接触するため、曲げ加工中にブランクが大きく浮いてしまい、安定して加工できないと考えられた。そこで、直線部分を部分的にクランプした場合がCASE 2~4の解析結果で、CASE 2は、直線部分の半分をクランプしたものである。曲げ加工面のしごきにより、直線部分と曲がり部分のコーナーにおいてブランクにテンションが発生することが分かった。

そこで、CASE 3では、曲が加工面の一部の隙間を少し大きく、しごきによるブランクにかかるテンションの抑制を検討した。解析結果、隙間を0.2mm大きくすることでテンションの発生が抑制できることが分かった。しかし、実験による実証を確認したいところであったが、本開発では、同じ板厚にしたいため、この方案は不採用とした。そこで、CASE 4のように直線部分をほとんどクランプした状態で成形することとした。その解析結果、直線部分と曲がり部分のコーナーにおいてブランクにテンションが発生することは防げないが、直線部分からの引き込み量は少なくなることが分かったため、この方案を採用して成形実験を進めることとした。

② CFRPのハイサイクルプレス加工技術の確立

②-1 プリプレグ積層技術開発

材料の歩留まり90%を達成するために部品形状を単純化し、絞り加工ではなく曲げ加工で成形できる形状としたため、ブランクの形状も直線的となり、材料歩留まりを向上させることができた。図2-1はサイドフレーム、図2-2はバックフレームのブランク形状と積層板からのブランク切り出し形状である。曲線部分がありウォータージェットによる加工を実施したので、切り抜きの際5mm程度の間隔が必要となり、材料歩留まりは、サイドフレームで90%、バックフレームで92%となった。

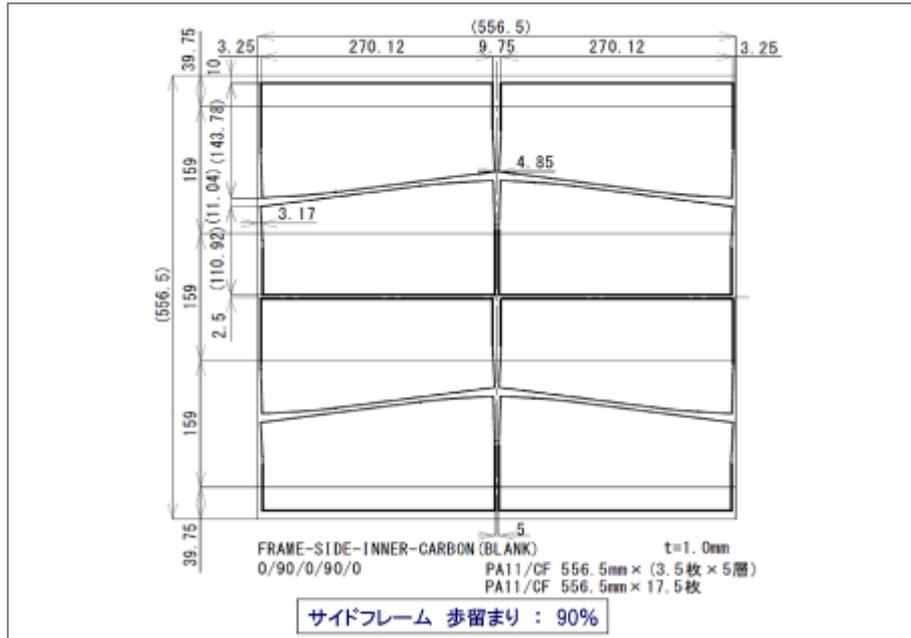


図2-1. サイドフレームの材料歩留まり

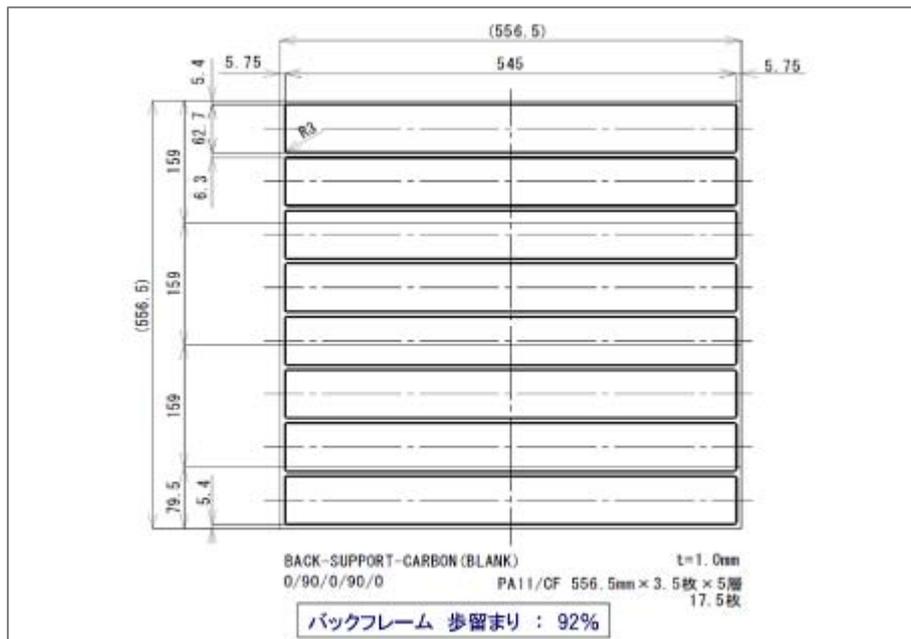


図2-2. バックフレームの材料歩留まり

図2-3のショルダーフレーム、及び、図2-4のヘッドレストフレームでは直線形状であったため、シアーによる切断を行った。ヘッドレストフレームの板厚は1.5mmであったが、シアーによる切断は可能であった。材料歩留まりは、ショルダーフレームで97.5%、ヘッドレストフレーム98.6%となり、目標としていた材料歩留まり90%以上を確保することができた。

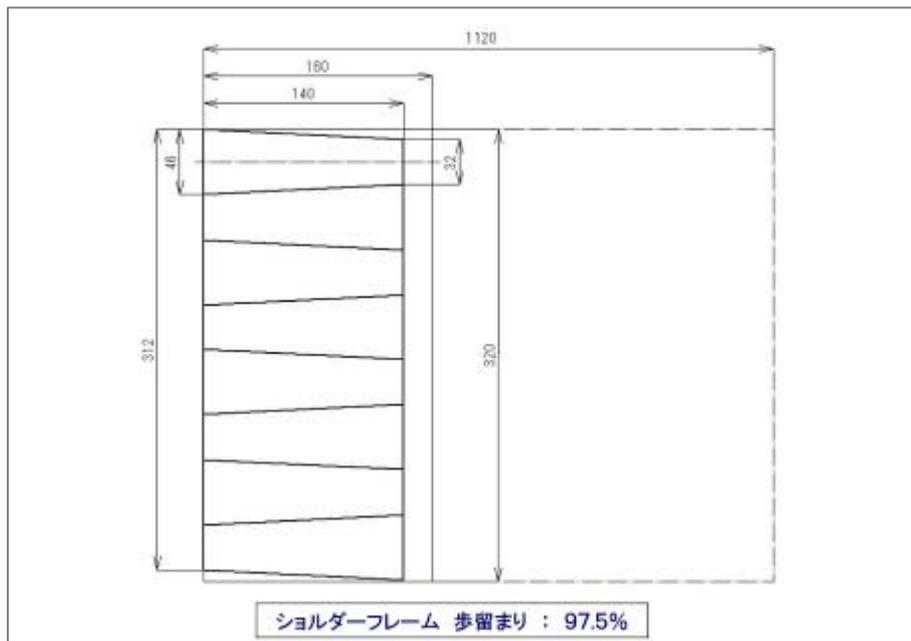


図2-3. ショルダーフレームの材料歩留まり

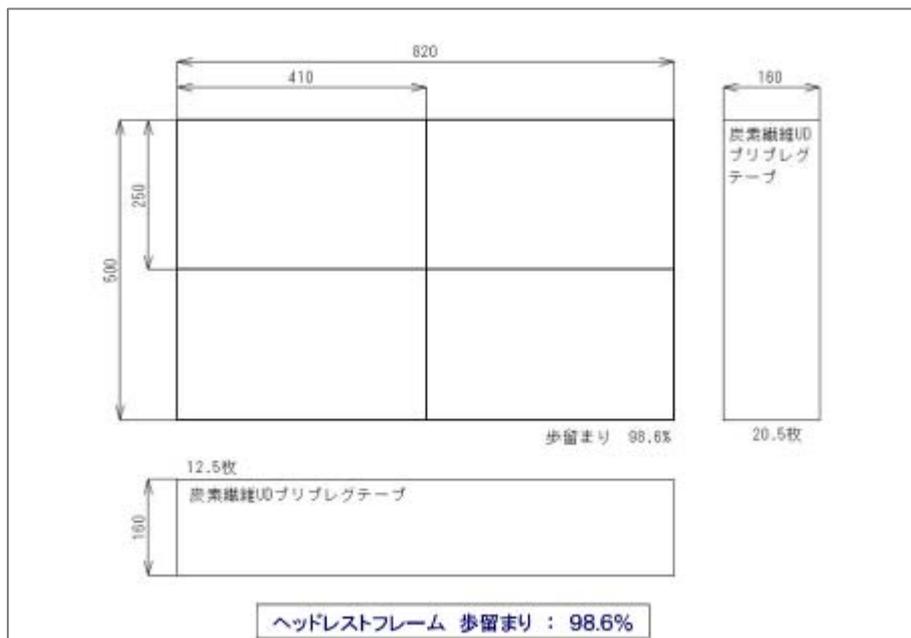


図2-4. ヘッドレストフレームの材料歩留まり

②-2 熱可塑性プリプレグのプレス成形技術、品質確認技術の確立

図3-1に本開発で実施したプレス成形作業の流れを示す。積層板のブランクを280℃から300℃に加熱するため、導入した赤外線加熱装置により、雰囲気温度を350℃に設定し、材料母材樹脂の種類および板厚によって、25sから40s加熱する。本研究では、赤外線加熱装置からプレス機への搬送は手動で行ったため、取り出し・搬送にかかった時間は、おおよそ20sであった。約100℃に加熱保持された金型に搬送後、アイダエンジニアリング(株)製ハイフレックスプレス(NS2-1100D)サーボプレスを用いて、30s間加圧保持した。ダイハイトを板厚より少し小さくし、保持中

の加圧力は成形品の大きさにより異なるが、約300kN から約700kN で成形した。プレス加工速度は成形開始10mm から15mm 手前まで70spm(1分間に70個成形できるクランクの回転速度)でアプローチし、成形中はその速度を30%に減速した21spm にて成形を行った。比較的単純な形状のショルダーフレームおよびヘッドレストフレームでは減速せず、成形中も70spm で成形した。

その結果、本研究開発における成形時間は75s~90s となり、1分半での成形を達成し、当初目標の5分以下の成形を可能とした。



図3-1. プレス成形の流れと成形時間

サイドフレーム、バックフレーム、ショルダーフレーム、ヘッドレストの各CFRP製補強部材のプレス成形後の外観、成形状態については、基本的な問題がなく良好であることを確認した。また、プレス成形後の外形寸法についても同時に検査したが、問題となる不具合は発生しなかった。プリプレグの各層の状態や板厚については後述する。成形時間については、プリプレグ加熱温度、成形圧力、成形速度、金型温度等の成形条件を工夫することで、当初の目標値である5分を大きく短縮した、1.5~2分で成形可能となった。成形後の各補強部材の重量は、サイドフレーム：52g、バックフレーム：51g、ショルダーフレーム：8g、ヘッドレスト：234gであった。

プレス成形したCFRP製補強部材は、外観からは判断できない成形不良等が内部に存在する可能性がある。本研究開発では、CFRP製補強部材の品質を管理する手法を確立するため、平成23年度に導入した非破壊検査装置の検査精度を向上させて、超音波検査システムによるCFRP製補強部材の成形不良の検査精度について調査することを計画しており、図3-2~6にその調査結果を示す。

図3-2は、サイドフレーム平面部の超音波非破壊検査を示す。空気式超音波検査では、非検査物の上下に送信プローブ、受信プローブを非接触の状態に配置し、送信プローブから発信した超音波を受信プローブで受信し、その透過損失量の差から欠陥の有無を検出するシステムで、検査結果の可視化画面では、透過損失量が大きい場合（欠陥がない場合）ほど赤色で表示され、透過損失量が少ない場合（欠陥がある場合）ほど青色で表示される。本検査で使用したプローブは、800kHz フォーカスタイプで、送信電圧300Vで検査を実施した。この検査では、φ1mmの人工欠陥を比較のために配置して検査したが、人工欠陥の斜め右上にプリプレグ成形時に発生したと推測されるφ1mm弱の実際の欠陥を確認できた。

図3-3は、サイドフレーム曲面部の超音波非破壊検査を示す。この検査では、曲面部の検査が可能

であるかを確認すると同時に、2, 1, 0.5mmの人工欠陥を検査制度の確認のために配置して検査したが、曲面部には欠陥がなく、2, 1, 0.5mmの人工欠陥も確認できた。ただし、0.5mmの人工欠陥については、結果画面が不鮮明であったため、以下の人工欠陥サンプルで追加の確認実験を実施した。

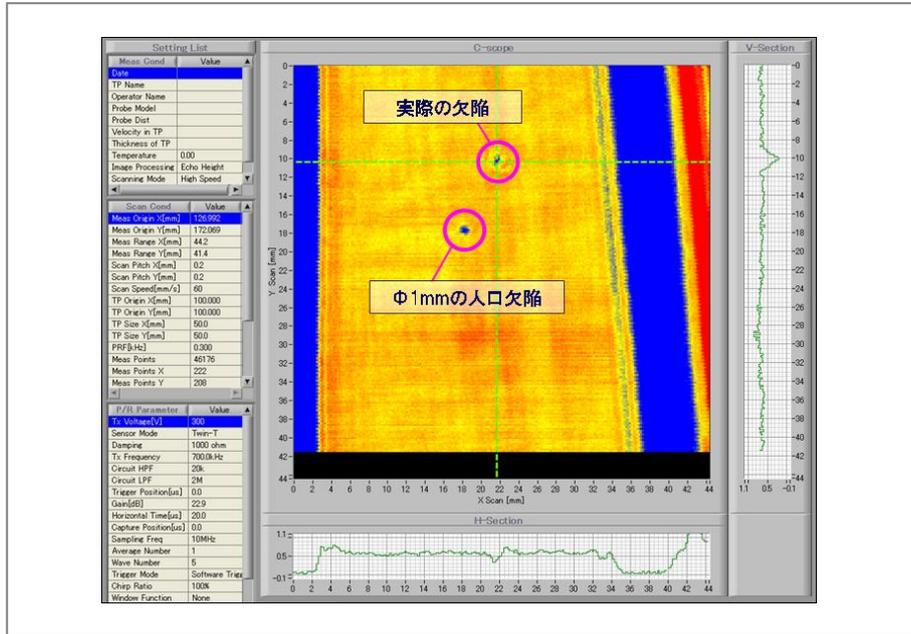


図3-2. サイドフレーム平面部の超音波非破壊検査

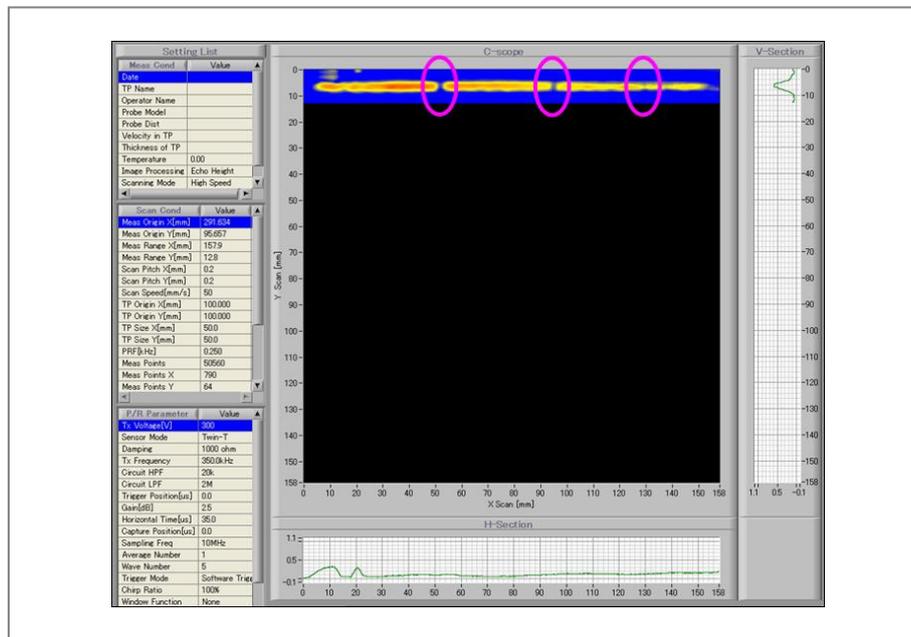


図3-3. サイドフレーム曲面部の超音波非破壊検査

図3-4に人工欠陥サンプルを示す。上側の人工欠陥は、50μのポリイミドフィルム3枚を積層して、5~0.5mm幅部のみに空気層を作り、この積層フィルムを0.6mmのCFRP製平板2枚でサンドイッチ後、熱プレスして1.2mmのスリット状の人工欠陥サンプルを製作した。下側の人工欠陥は、50μのポリイミドフィルム3枚を積層して、各層間に空気層を作り、この積層フィルムを0.6

mm のCFRP製平板2枚でサンドイッチ後、熱プレスして1.2mmの層間剥離状の人工欠陥サンプルを製作した。

図3-5は、人工欠陥サンプルの超音波非破壊検査を示し、右図は検査風景、左図下部は層間剥離状の人工欠陥の検査結果をそれぞれ示す。本検査で使用したプローブは、400kHz フォーカスTYPEで、送信電圧300Vで検査を実施した。この検査では、層間剥離状の人工欠陥を鮮明に確認できが、左図上部のスリット状の人工欠陥については、1~0.5mmの人工欠陥の結果画面が不鮮明であった。

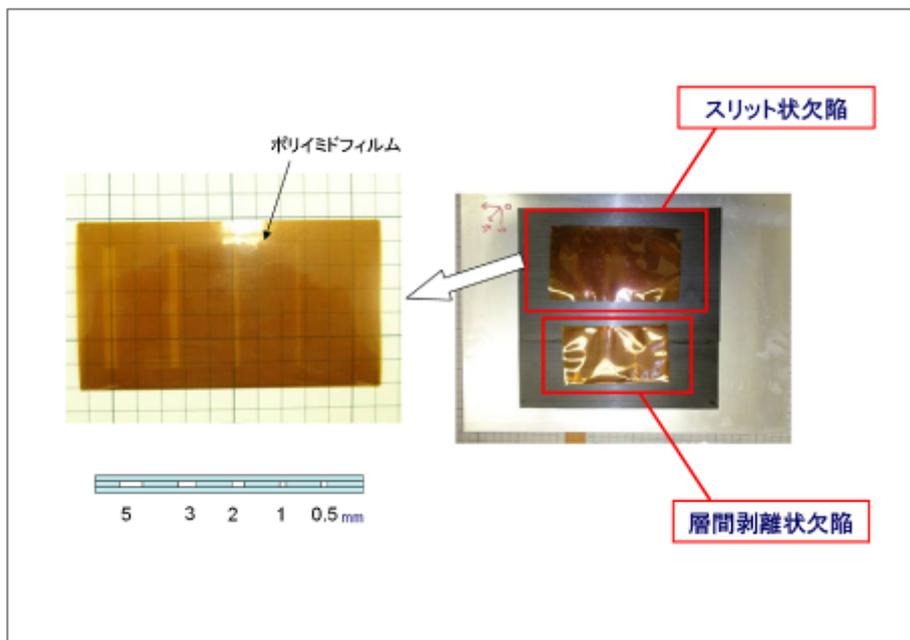


図3-4. 超音波非破壊検査用の人工欠陥サンプル

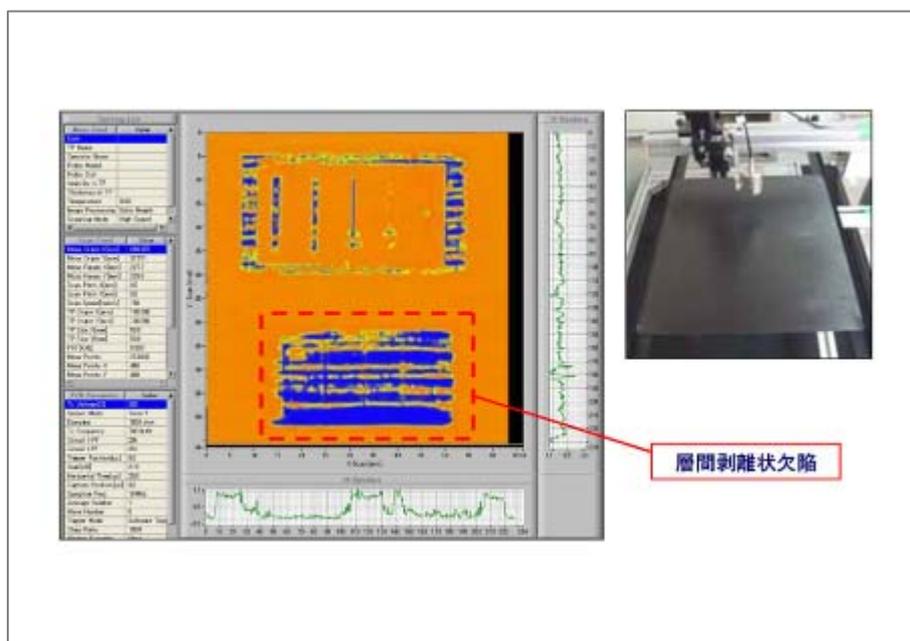


図3-5. 層間剥離状人工欠陥サンプルの超音波非破壊検査

図3-6は、400kHz フォーカスTYPEでの検査では、1~0.5mmのスリット状の人工欠陥の結果画面が不鮮明であったため、800kHz フォーカスTYPE、送信電圧300Vで検査した結果を

示し、右図は検査風景、左図は検査結果をそれぞれ示す。この検査では、1～0.5mmの人工欠陥を鮮明に確認できた。欠陥の状態によって検査プローブの最適な周波数があるため、目的に応じて最適周波数の検査プローブを選択する必要があることが分かった。以上より、平成24年度では、0.5mmまでのボイドと層間剥離を検出可能であることが確認できた。

ただし、欠陥の大きさと自動車用座席背部フレームの強度低下の相関を把握できていないため、後述する補完研究においてそれらの相関を明確にし、最終的な検査基準を設定する予定である。

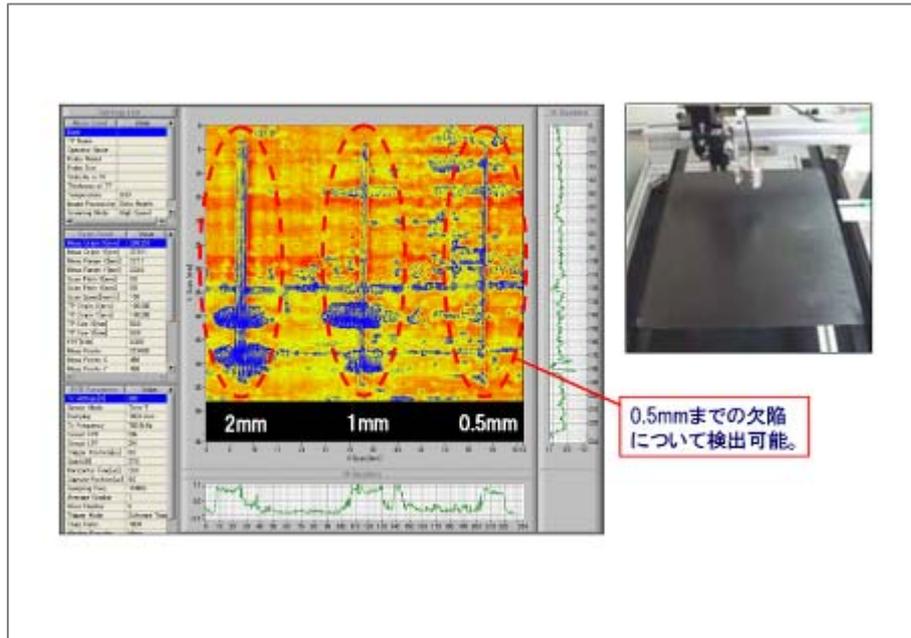


図3-6. スリット状人工欠陥サンプルの超音波非破壊検査

②-3 トリミングレス技術開発

西部工業技術センターで得られた、成形解析を用いた繊維の最適配向、成形温度条件、加圧条件をベースに、脱型に必要な抜き勾配やシワが発生し難い把持構造、パーティングラインを考慮して各補強部材用の金型を設計した。

サイドフレーム補強部材金型は、下型の4隅にプリプレグの位置決め用ブロックを配置している。そして、上下型中央の凸部に可動クランプ部を設けており、このクランプ部でプリプレグを把持して金型中央へ引き込みながらプレス成形が可能のため、プリプレグのズレがなく、成形品のトリミングを必要としない金型構造で、複雑な波型の断面形状の成形を可能としている。

バックフレーム補強部材金型は、サイドフレーム金型同様に、下型の4隅にプリプレグの位置決め用ブロックを配置している。そして、上型の凹部中央の平面部に幅2.5mmの可動クランプ部を設けており、下型の凸部とでプリプレグを把持して金型中央へ引き込みながらプレス成形が可能のため、プリプレグのズレがなく、成形品のトリミングを必要としない金型構造で、複雑な波型の断面形状の成形を可能としている。

ショルダーフレーム補強部材金型も、サイドフレーム金型同様に、下型の4隅にプリプレグの位置決め用ブロックを配置している。そして、下型の凹部中央の平面部に可動クランプ部を設けており、上型の凸部とでプリプレグを把持して金型中央へ引き込みながらプレス成形が可能のため、プリプレグのズレがなく、成形品のトリミングを必要としない金型構造で、コの字型の断面形状の成形を可能として

いる。

ヘッドレストフレーム補強部材金型型は、上型の平面部に可動クランプ部を設けており、下型の平面部とでプリプレグを把持しながら固定し、プリプレグの右半分のみを部分的に加熱し、その加熱部を曲面にプレス成形が可能のため、プリプレグのズレがなく、成形品のトリミングを必要としない金型構造で、半円型の断面形状の成形を可能としている。

③ CFRPの特性評価

③-2 試作品特性評価

ナイロン6UD材、板厚0.2mm×5層（ヘッドレストフレームは、板厚0.2mm×8層）繊維配向[0/90/0/90/0]（ヘッドレストフレームは、[0/90/0/90/90/0/90/0]）のプリプレグを用いた各補強部材について、プレス成形後のプリプレグの各層の状態や板厚をHIROX社製デジタルマイクロスコープKH-7700で観察・調査した。

サイドフレーム補強部材を切り出した断面で、a～j部について板厚を調査した。各部位のプリプレグ各層において、層の蛇行・層の折れ曲がり・層間剥離等の欠陥はなく、成形状態は良好であった。

表4-1は、サイドフレーム補強部材のa～j部中央の板厚を計測した結果を示す。各部位ともに、ほぼ均一な板厚で狙いの1mmで成形できていることが確認できた。

表4-1. サドフレーム材各層の板厚 (mm)

	繊維配向	a部	b部	c部	d部	e部
ナイロン6UD材	[0/90/0/90/0]	1.06	1.08	1.05	1.12	1.12
	繊維配向	f部	g部	h部	i部	j部
ナイロン6UD材	[0/90/0/90/0]	1.07	1.06	1.08	1.07	0.99

バックフレーム補強部材を切り出した断面で、a～j部について板厚を調査した。サイドフレーム同様、各部位のプリプレグ各層において、層の蛇行・層の折れ曲がり・層間剥離等の欠陥はなく、成形状態は良好であった。

表4-2は、バックフレーム補強部材のa～j部中央の板厚を計測した結果を示す。各部位ともに、ほぼ均一な板厚で狙いの1mmで成形できていることが確認できた。

表4-2. バックフレーム材各層の板厚 (mm)

	繊維配向	a部	b部	c部	d部	e部
ナイロン6UD材	[0/90/0/90/0]	1.04	1.01	1.05	0.95	0.99
	繊維配向	f部	g部	h部	i部	j部
ナイロン6UD材	[0/90/0/90/0]	0.96	0.99	1.07	1.03	1.02

ショルダーフレーム補強部材を切り出した断面で、a～e部について板厚を調査した。バックフレーム同様、各部位のプリプレグ各層において、層の蛇行・層の折れ曲がり・層間剥離等の欠陥はなく、成形状態は良好であった。

表4-3は、ショルダーフレーム補強部材のa～e部中央の板厚を計測した結果を示す。各部位ともに、ほぼ均一な板厚で狙いの1mmで成形できていることが確認できた。

表4-3. ショルダーフレーム材各層の板厚 (mm)

	繊維配向	a部	b部	c部	d部	e部
ナイロン6UD材	[0/90/0/90/0]	0.91	0.84	1.03	0.84	0.94

ヘッドレストフレーム補強部材を切り出した断面で、a～e部にについて板厚を調査した。e部以外においては、ショルダーフレーム同様、各部位のプリプレグ各層において、層の蛇行・層の折れ曲がり・層間剥離等の欠陥はなく、成形状態は良好であった。

表4-4は、ヘッドレストフレーム補強部材のa～e部中央の板厚を計測した結果を示す。a、b部については、ほぼ均一な板厚で狙いの1.5mmで成形できていることが確認できたが、c～e部については、端部に近い部位ほど板厚が厚くなる傾向があり、また、e部では、各層において蛇行の発生が確認できた。ただし、e部は、強度要件に寄与する部位ではなく、a～d部での成形状態は良好であったので、e部の改善は実施しないこととした。

表4-4. ヘッドレストフレーム材各層の板厚 (mm)

	繊維配向	a部	b部	c部	d部	e部
ナイロン6UD材	[0/90/0/90/0]	1.58	1.59	1.70	1.74	1.78

図5-1は、本研究開発で試作した2次試作品の自動車用座席背部フレームの強度実験結果を示す。このフレームは、シートベルトを内蔵した後部座席用の3点ベルトインシート用のフレームで、軽量フロントシートの背部用フレームをベースに、上述したサイドフレーム、バックフレームの各補強部材を用いて強度アップと軽量化を図っている。重量については、ターゲット7,843gに対して本研究開発の2次試作品のフレームは3,890gで、約50.4%軽量化することができた。

強度実験については、比較として、サイドフレーム、バックフレーム(合計103g)を取り除いた、自動車用座席背部フレーム(3,787g、51.7%軽量化)の強度実験も同時に実施し、CFRP製補強部材の補強効果を確認した。CFRP製補強部材のない自動車用座席背部フレームの強度は、10kNであったが、約3%重量が増加した2次試作品の自動車用座席背部フレームの強度は、30%増加の13kNであった。

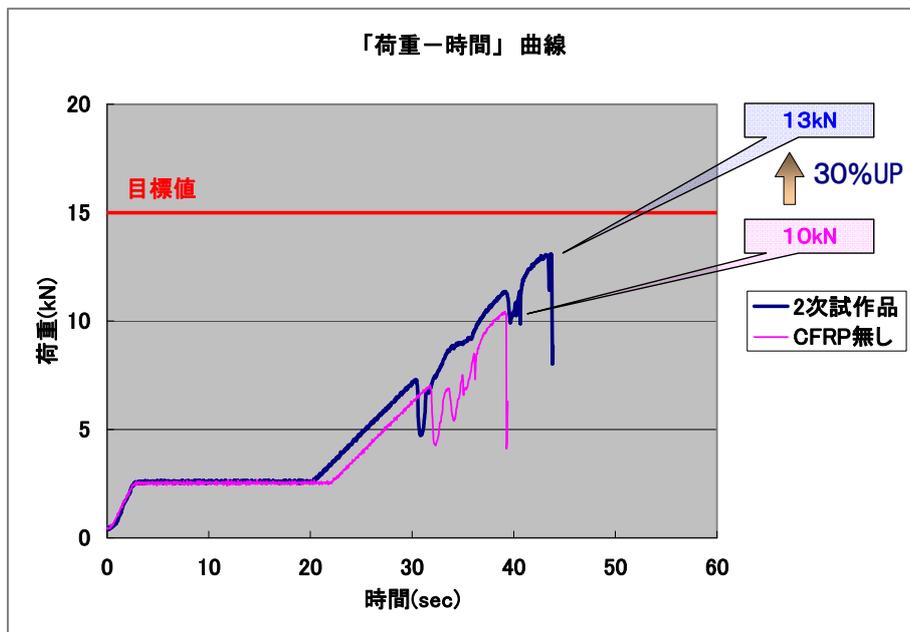


図5-1. 自動車用座席背部フレーム（2次試作品）強度実験結果

強度実験後の自動車用座席背部フレームの2次試作品とCFRP製補強部材無し品の変形状態を比較した。2次試作品では側面下部のリクライニング部の座屈が発生しているのに対して、CFRP製補強部材無し品では、リクライニング部の座屈と、サイドフレーム、バックフレームの折れ曲がりが発生

し、フレーム全体が大きく変形しており、CFRP製補強部材の有効性が確認できた。ただし、フレーム強度は、目標値の15kNを下回る13kNであったため、自動車用座席背部フレームの詳細強度解析で強度特性を検証しながら、3次試作品を試作評価した。

図5-2は、3次試作品の自動車用座席用背フレームの強度実験結果を示す。3次試作品では、上述したサイドフレーム、バックフレームにショルダーフレームを追加した、合計3部品のCFRP製補強部材(合計111g)で強度アップと軽量化を図った。2次試作品の自動車用座席背部フレームの強度は13kNであったが、本実験により、3次試作品の強度は目標値の15kNを達成したことを確認できた。強度については、目標値を達成することを確認できたが、重量については、ターゲット7,843gに対して本研究開発の3次試作品のフレームは4,274gで、約45.5%の軽量化にとどまり、目標値の50%に対して若干の未達となったため、後述する補完研究において、最適構造を開発し、目標値の50%を達成する予定である。

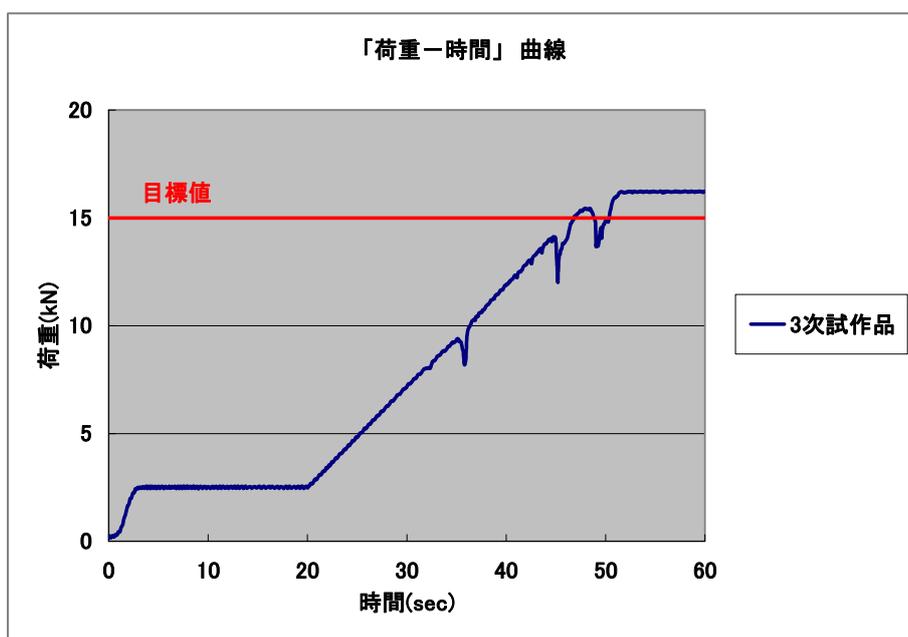


図5-2. 自動車用座席背部フレーム（3次試作品）強度実験結果

強度実験後の3次試作品の自動車用座席背部フレームの変形状態を調査した。3次試作品では、ベルトガイド部のクビ折れ、側面下部のリクライニング部の座屈、サイドフレームとショルダーフレームの繋ぎ部の変形が発生しているが、2次試作品の変形状態と比較すると、前方方向への変形量は少なく、バックフレームの折れ曲がりも発生しておらず、背部用フレーム全体で荷重を分散させながら変形しており、CFRP製補強部材の有効性を確認できた。

航空機用ヘッドレストフレーム補強部材の強度評価のため、加圧試験により、「変位-荷重」特性を評価した。なお、加圧にはφ16.5mmの球面状の圧縮板を使用し、加圧速度は10mm/minとした。

図5-3は、ヘッドレストフレーム補強部材の「変位-荷重」曲線を示す。ヘッドレスト補強部材の解析結果では、8mm変位時の荷重が3500Nであったが、実際に試作したものでは、解析結果の約75%である2700N程度となることが確認できた。また、強度実験後のフレームには、負荷点を中心とした十字の亀裂が生じていた。本実験結果をベースに、後述する補完研究において、このような誤差が生じた原因究明と対策を施し、解析値と実測値の整合性向上を図る予定であり、この解析値を基準として、層間剥離が生じやすいサンプルとの比較実験により強度低下率を把握し、ヘッドレスト補強部材としての最適構造を開発する予定である。

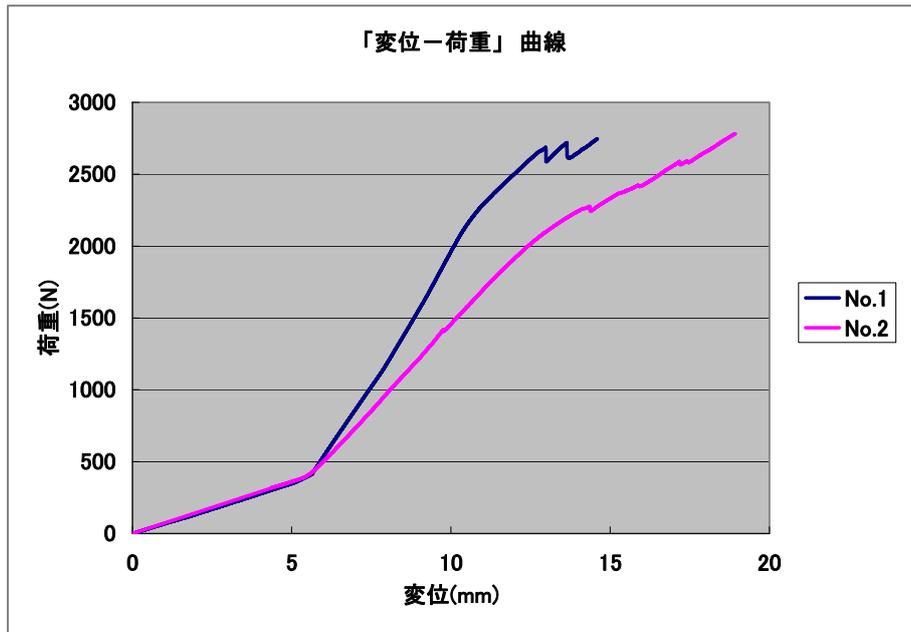


図5-3. 航空機用ヘッドレストレーム強度実験結果

図5-4、5は、CFRP製補強部材の落錘衝撃実験装置と、その実験結果をそれぞれ示す。本実験では、織物、UD材、UD材の中間にアラミド繊維をインサートした3種類の補強部材(100mm×100mm×1.5t)について、6.5kgの錘を1mの高さから自由落下させて落錘衝撃実験を行い、それぞれの補強部材の最大衝撃力と全吸収エネルギーを計測した。

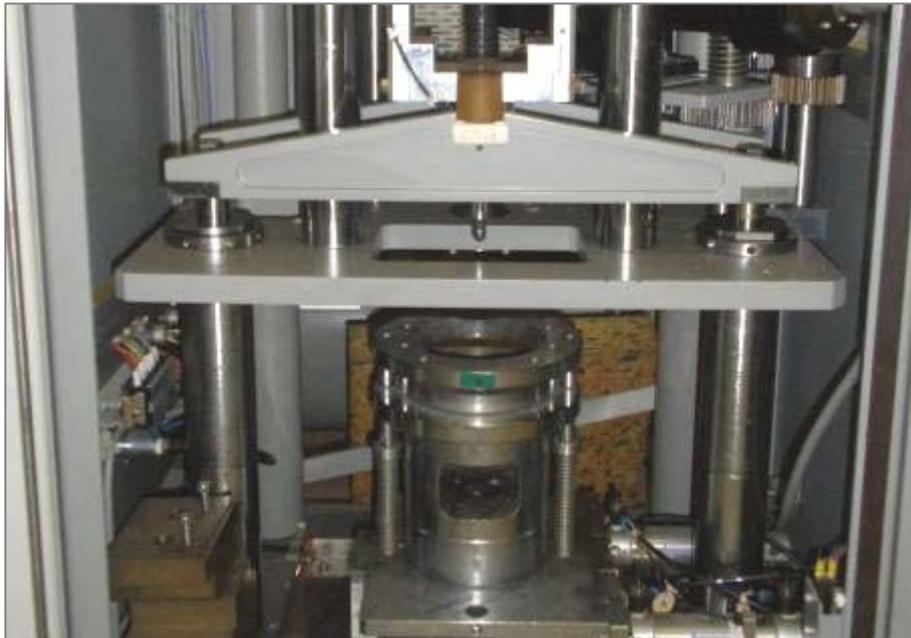


図5-4. 航空機用ヘッドレストレーム落錘衝撃実験

最大衝撃力は、荷重の高い順にUD材(2449N)、UD材+アラミド繊維(2317N)、織物(2160N)となった。また、全吸収エネルギーも同様に、UD材(9.78J)、UD材+アラミド繊維(8.51J)、織物(8.35J)の順となった。ヘッドレストには人体への衝撃を緩和するための特性が要求されているので、最大衝撃力が低く、かつ、全吸収エネルギー量が多い本実験結果をベースに、後述する補完研究において、最大衝撃力が低く、かつ、全吸収エネルギー量が多い特性が最適となる。本実験

結果では、UD材+アラミド繊維の特性が、比較的この特性に類似しており、この構成をベースとして、補完研究において補強部材の最適構造を開発する予定である。

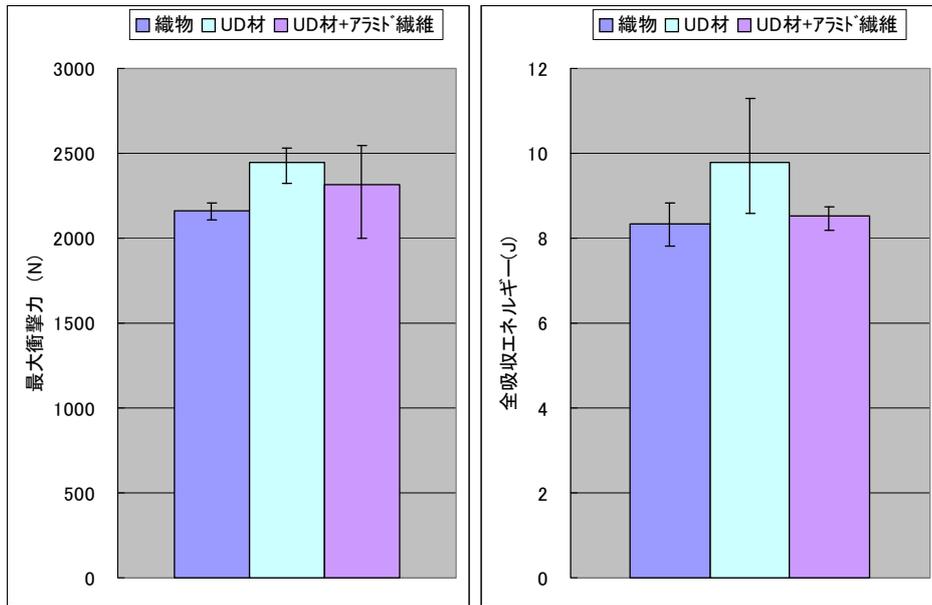


図5-5. 航空機用ヘッドレストレーム落錘衝撃実験結果

2-2 研究開発内容の実施状況

本年度のサブテーマ毎の実施状況と今後の対応について表6-1に示す。

表6-1. 研究の実施状況

テーマ名、サブテーマ名	目標 (数値、内容)	実施結果	今後の対応
強度	鋼製フレームと同等の強度を確保する。(15kN)	2次試作品：13kN 3次試作品：15kN 3次試作品で目標達成。	
解析	実際に成形した部品の強度特性と解析結果との違いを把握する。	製品フレーム補強部品について、解析結果との相関性を把握した。	
最適配向	成形後の繊維配向ずれが予測とどの程度差があるのかを明確にする。	製品フレーム補強部品について、解析結果との相関性を把握した。	
材料歩留まり	90%	90~98.6%	
成形条件	成形時間5分以内。	成形時間1.5~2分。	
製品フレーム補強部品金型	製品フレーム補強部品金型の最適形状を設計する。	金型の設計方針を明確にし、製品フレーム補強部品の最適形状を設計した。	
非破壊検査	0.5mm以上のボイドと層間剥離が計測可能となるように、インラインでの検査精度向上を図る。	0.5mmまでのボイドと層間剥離を検出可能。	補完研究で欠陥の大きさとフレームの強度低下の相関を把握予定。
トリミング	ブランク材の位置決め方法を確立する。	トリミングを必要としない製品形状と金型方案を考案した。	
自動車用座席背部フレームの特性評価	座席フレームの性能と軽量化効果が設計値に対して、満足度を明らかにし、50%軽量化した座席フレームを考案する。	強度目標は満足したが、軽量化目標は45.5%となった。	補完研究で軽量化の要点を明確にし、50%軽量化を達成予定。
航空機用ヘッドレストフレームの特性評価	強度解析結果と実際に成形したフレームとの比較を行い、精度の高い異方性設計ができるようにする。	強度解析結果と実際に成形したフレームとの比較を実施し、相関を把握した。	効率良くエネルギー吸収可能な構造について、補完研究で開発予定。

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果

3年間の年度毎の研究開発成果について表7-1に示す。表に示すように、各年度において、その年度の目標値を達成しながら、最終年度において、ほぼ全ての項目について、最終目標値を達成することができた。

表7-1. 研究開発成果

	最終目標値	平成22年度	平成23年度	平成24年度
自動車用座席背部フレームの強度	15kN	継手部の評価を実施。	1次試作品：13kN	2次試作品：13kN 3次試作品：15kN 3次試作品で目標を達成。
材料歩留まり	90%	60% (年度目標値：60%)	80% (年度目標値：75%)	90～98.6%
成形条件	5分以内	最適成形条件を確立した。	成形時間3分	成形時間1.5～2分
非破壊検査	0.5mm		1mmまでのボイドを検出可能。 (年度目標値：1mm)	0.5mmまでのボイドと層間剥離を検出可能。
自動車用座席背部フレームの軽量化	50%		20% (年度目標値：30%)	45.5%

(1) 自動車用座席背部フレームの強度

平成23年度は、構造材である継ぎ手部品単体の強度評価を実施し、次年度からは、鉄系薄板材でCFRPを挟持した3層構造を基本とする補強構造で自動車用座席背部フレームを試作し、その強度評価を実施した。平成23年度で13kN、平成24年度で最終目標値である15kNを達成した。

(2) 材料歩留まり

材料歩留まりについては、成形解析によるCFRP製補強部材の成形性を検証し、各補強部材を設計した。平成22年度：60%(年度目標値：60%)、平成23年度：80%(年度目標値：75%)、平成24年度：90～98.6%(最終目標値：90%)と、各年度において年度目標値を達成しながら、最終目標値である90%を達成することができた。

(3) 成形条件

成形条件については、初年度に、最適成形条件を確立しながら、目標値の5分を達成した。次年度以降も、タクトタイムをさらに短縮するため、熱可塑性プリプレグや成形金型の成形温度条件の最適化を図り、最終目標値を大幅に上回る1.5～2分でプレス成形を行うことができる加工技術を確立した。

(4) 非破壊検査

プレス成形したCFRP製補強部材の品質を管理する手法を確立するため、平成23年度から、非破壊検査用の空気式超音波プローブを用いて検査精度を向上させ、平成24年度に、最終目標値である0.5mmまでのボイドと層間剥離を検出可能であることを確認した。

(5) 自動車用座席背部フレームの軽量化

自動車用座席背部フレームの軽量化については、平成23年度に1次試作品を、平成24年度に2、3次試作品をそれぞれ試作した。1次試作品では、目標値30%に対して20%の軽量化に留まった。2次試作品では、最終目標値の50%を達成したが、フレーム強度が目標値を達成しなかったため、3次試作品で強度要件の15kNを満足させながら、45.5%まで軽量化することができた。

3-2 研究開発後の課題及び今後の研究開発について

(1) 非破壊検査

非破壊検査については、空気式超音波プローブを用いて0.5mmまでのボイドと層間剥離を検出可能であることが確認できた。今後補完研究において、欠陥の大きさと自動車用座席背部フレームの強度低下の相関を把握して、どこまでの大きさの欠陥を検査するべきか、最終的な検査基準を設定する予定である。

(2) 自動車用座席背部フレームの軽量化

3次試作品で強度要件の15kNを満足させながら、45.5%まで軽量化することができたが、目標値の50%に対して若干の未達となったため、補完研究において、CFRP製補強部材はそのまま流用し、自動車用座席背部フレームの鉄系薄板材部の断面形状を再検討しながら最適構造を設計し、目標値の50%を達成する予定である。

(3) 航空機用ヘッドレストフレーム

航空機用背部フレームでは、ヘッドレスト部の補強部品の強度試験を実施し、解析値との相関を把握した。更に、動的解析のための衝撃試験を実施し、基礎データを集積した。このヘッドレストフレームは、最大衝撃力が低く、かつ、全吸収エネルギー量が大きい特性が要求されるため、補完研究において、平成24年度に実施した積層構成をベースとして、補強部材の最適構造を開発する予定である。

(4) プリプレグ関連装置

本研究開発において、1.5～2分でプレス成形を行うことができる加工技術を確立したが、実際に、CFRP製品を量産する場合、プリプレグ関連装置(積層、裁断)→自動加熱・搬送→プレス成形→取り出しの各工程を自動化する必要がある。事業化に向けて、生産する部品形状に対して、最適なプリプレグ形状を積層し、所定の寸法に裁断する工程を自動化したプリプレグ関連装置を開発する予定である。

(5) 自動加熱・搬送装置

自動裁断されたプリプレグをプレス成形するためには、加熱装置による予熱工程、金型への搬送工程を経てプレス成形する必要がある。これらの工程をタクトタイム1.5～2分で自動化した自動加熱・搬送装置を開発する予定である。

3-3 事業化展開について

本研究開発終了後の事業化展開計画について表8-1に示す。平成25～27年度の補完研究にて、本研究開発の残課題である①非破壊検査技術開発、②自動車用座席背部フレームの軽量化(50%)、③航空機用ヘッドレストフレームのエネルギー吸収構造開発を実施し、基本的な要素技術を開発する。

平成27～28年度で、ターゲット部品抽出、顧客へのサンプル出し、目標コスト設定を行い、顧客へのアプローチを実施して、具体的な製品を絞り込む。

平成27年度中頃～29年度で、量産化に向けた生産設備投資を行い、プリプレグ関連装置、自動加熱・搬送装置を導入する。

上記の事業化に向けた展開を実施し、平成29年度中頃から量産を開始する予定である。平成30～33年度頃の当面の量産製品の候補としては、関連会社を含めて現在生産・開発している部品である、①自動車用シート部品、②高規格救急車用防振架台、③生体信号用センサー部品、④航空機・列車用座席部品を予定している。特に、量産化初期の段階では、自社製品で、部品サイズが小さく、生産数量の少ない「生体信号用センサー部品」の生産を見込んでいる。その後、大型部品、生産数量の多い部品を順次、量産する予定である。

表8-1. 事業化展開計画

実施内容		H22年度	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度
成形技術 補完研究	成形技術開発	→			サポイン					
	非破壊検査技術開発				→					
	軽量化技術開発(50%)				→					
	エネルギー吸収構造開発				→					
ニーズ調査	ターゲット部品抽出						→			
	顧客へのサンプル出し						→			
	目標コスト設定						→			
生産設備投資	プリプレグ関連装置導入						→			
	自動加熱・搬送装置導入						→			
製品の生産	量産化対応								→	