

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「電子線照射等により界面接着力を向上させたアラミド等有機繊維強化樹脂による  
耐衝撃性に優れた軽量構造部材の開発」

研究開発成果等報告書

平成23年11月

委託者 近畿経済産業局

委託先 財団法人若狭湾エネルギー研究センター

再委託先 有限会社イー・テック  
株式会社KOSUGE  
株式会社ホーペック

# 目 次

1	序論	
1-1	研究開発の背景・研究目的 _____	1
1-2	研究体制 _____	1
1-3	成果概要 _____	4
1-4	当該研究開発の連絡窓口 _____	4
2	本論	
2-1	筐体上部・側面用耐衝撃軽量基材の開発 _____ 熱可塑性サンドイッチ A (表皮:AFRTP+コア:発泡樹脂) シートの試作および評価	5
2-2	筐体下部用耐衝撃軽量基材の開発 _____ 熱可塑性サンドイッチ B (表皮:AFRTP+コア:AFRP パイプ) シートの試作および評価	13
2-3	繊維強化有機樹脂シートによる三次元筐体の成形技術の開発 _____	18
2-3-1	金型急速加熱・冷却方式等プレス条件の検討および評価 _____	18
2-3-2	加熱成形品の孔開け、トリミング、接合等後加工技術に関する研究 _____	21
2-4	顧客での評価 _____	22
3	全体総括	
3-1	研究開発成果 _____	23
3-2	今後の課題・事業化展開 _____	23

# 1 序論

## 1-1 研究開発の背景・研究目的

### 1-1-1 研究の背景・目的

現在、急速に普及しつつあるハイブリッド自動車・電気自動車は、蓄電池として高効率リチウムイオン電池を採用しているが、その筐体（パック）には、以下の課題がある。

- ・ニッケル水素電池と同様、金属製なので重い
  - ・発火、発煙及び暴発事故の恐れあり  
(高温で不安定な電極材料や可燃性有機溶媒の電解液を使用)
  - ・現状の昇温対策用水冷パイプ（鉄板）では、暴発対策が不十分
  - ・体積エネルギー密度が高く、不具合発生時の局所的な温度上昇で大事故の恐れあり
  - ・石飛や衝突事故時の筐体への突き刺し衝撃に対し、現状（鉄板）では保護対策不十分
- そのため、以下の特性を有する蓄電池用筐体へのニーズがある。
- ・軽量で電気絶縁性を有する
  - ・耐食性、気密性、耐暴発性に優れる
  - ・耐衝撃性に優れる

しかし、現行の熱可塑性樹脂の加工技術では、加熱プレス後の収縮歪みを抑制するものの、加工歪みの無い完璧な三次元成形加工は難しく、改善の必要がある。

そこで、軽量で耐衝撃性を有し、加熱プレス成形で三次元成形が可能な素材からなる高機能自動車用部材（繊維強化樹脂体を用いた板材）を用いて、リチウムイオン電池用の筐体が要求する特性を満たす繊維強化熱可塑性樹脂ベースの構造部材を開発するものである。

### 1-1-2 研究の概要

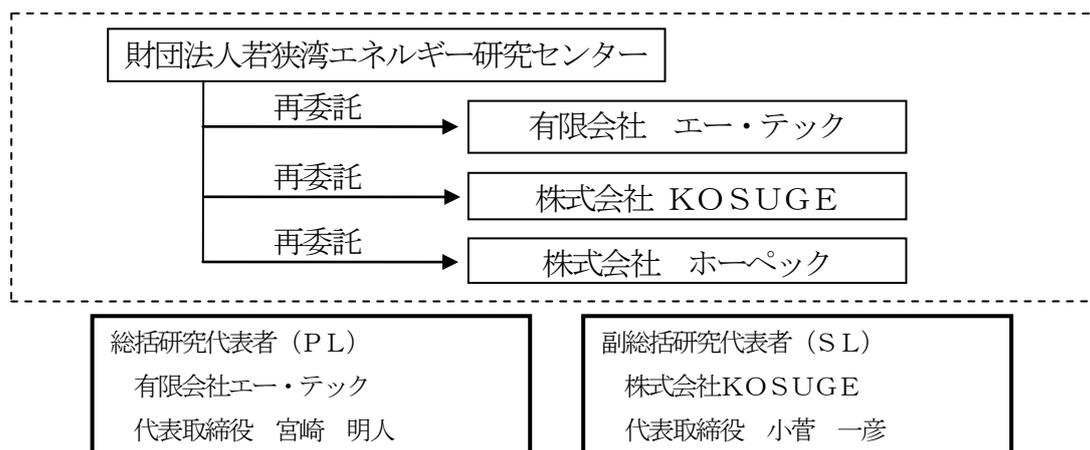
自動車業界は、金属板に代わる構造部材として複合材用繊維に着目し、その高度化を要求している。とりわけ軽量化と強靱性の両立は、次世代自動車用の蓄電池開発に不可欠な、喫緊の技術的課題である。

本件は、表皮材としてアラミド等の有機繊維強化樹脂シートを、コア材として発泡剤やアラミド等の有機繊維強化樹脂パイプを採用し、それらのサンドイッチ構造とした複合材用繊維に電子線照射等を施すことにより、耐衝撃性を有する構造部材の開発を行うものである。

## 1-2 研究体制

### 1-2-1 研究組織・管理体制

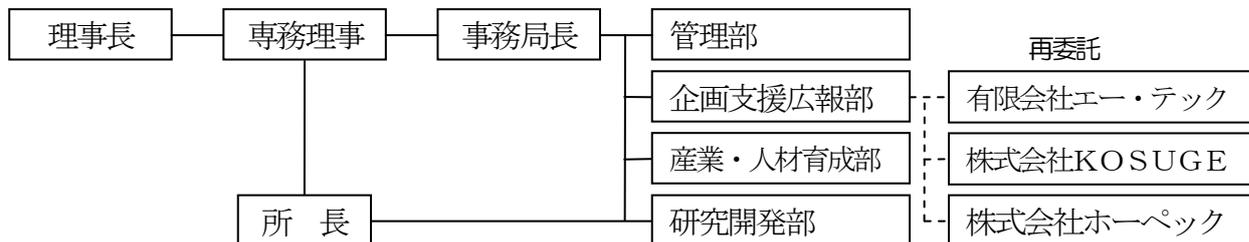
#### (1) 研究組織（全体）



(2) 管理体制

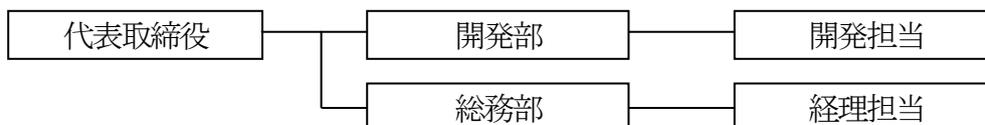
(ア) 事業管理機関

財団法人若狭湾エネルギー研究センター

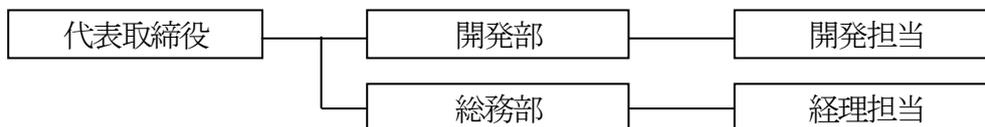


(イ) 再委託先

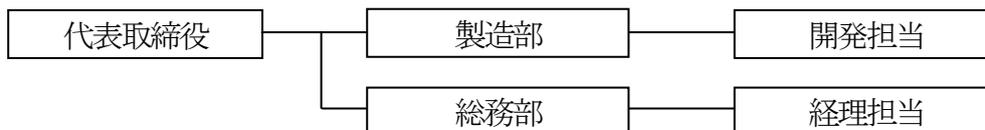
有限会社エー・テック



株式会社 KOSUGE



株式会社ホーパック



1-2-2 研究者氏名

(1) 事業管理機関

財団法人若狭湾エネルギー研究センター

氏名	所属・役職
井田 俊雄	企画支援広報部 技術活用コーディネータ
山口 健志	企画支援広報部 主任

(2) 再委託先

有限会社エー・テック

氏名	所属・役職
宮崎 明人	代表取締役
宮崎 真也	開発部 開発担当 主任研究員
宮崎 竜也	開発部 開発担当 研究員

株式会社 KOSUGE

氏名	所属・役職
小菅 一彦	代表取締役
山本 勉	開発部 開発担当 主任部員
Martinez Zuloaga Nora Teresa	開発部 開発担当 主任部員
今枝 直樹	開発部 開発担当 主任部員

株式会社ホーペック

氏名	所属・役職
濱口 隼人	代表取締役
吉川 幸光	製造部 工場長
酒徳 努	総務部 開発担当

(3) 経理担当者及び業務管理機関の所属、氏名  
(事業管理機関)

財団法人若狭湾エネルギー研究センター

(経理担当者) 管理部 次長補佐 松井 秀幸

(業務管理者) 企画支援広報部長 安田 博

(再委託先)

有限会社 エー・テック

(経理担当者) 総務部 経理担当 宮崎 泉

(業務管理者) 代表取締役 宮崎 明人

株式会社 KOSUGE

(経理担当者) 総務部 経理担当 小菅 佳子

(業務管理者) 代表取締役社長 小菅 一彦

株式会社ホーペック

(経理担当者) 総務部 経理担当 松本 康郎

(業務管理者) 代表取締役社長 濱口 隼人

(4) その他

(アドバイザー)

豊田油気株式会社 取締役第2 営業部長 藤嶋 崇

丸八株式会社 常務取締役 菅原 寿秀

国立大学法人福井大学 大学院工学研究科 教授 堀 照夫

学校法人大阪産業大学 副学長 教授 山田 修

学校法人金沢工業大学 機械工学科 教授 新保 實

学校法人湘南工科大学 マテリアル工学科 教授 幾田 信生

(委員会メンバー)

財団法人若狭湾エネルギー研究センター 井田 俊雄

財団法人若狭湾エネルギー研究センター 山口 健志

有限会社エー・テック 代表取締役 宮崎 明人

株式会社 KOSUGE 代表取締役社長 小菅 一彦

株式会社 KOSUGE 開発部 主任部員 山本 勉

株式会社 KOSUGE 開発部 主任部員 今枝 直樹

株式会社 KOSUGE 開発部 主任部員 Martinez Zuloaga Nora Teresa

株式会社ホーペック 代表取締役社長 濱口 隼人

豊田油気株式会社 取締役第2 営業部長 藤嶋 崇

丸八株式会社 常務取締役 菅原 寿秀

国立大学法人福井大学 大学院工学研究科 教授 堀 照夫

学校法人大阪産業大学 副学長 教授 山田 修

学校法人金沢工業大学 機械工学科 教授 新保 實

学校法人湘南工科大学 マテリアル工学科 教授 幾田 信生

### 1-3 成果概要

#### 1-3-1 筐体上部・側面用耐衝撃軽量基材の開発

(株式会社 KOSUGE、有限会社エー・テック)

各種材料を用いた試作開発研究の結果、目標値の 250J の衝撃に耐える突き抜け防止材料として、アラミド繊維織物強化熱可塑性樹脂シート（樹脂はポリプロピレン、またはポリエチレン）を多層積層させた材料が最も優れていることを確認した。

なお、表皮材としてアラミド繊維織物を多層積層させて加熱プレス機で成形加工した場合、表皮材が断熱性を有するため、コア材の熱可塑性部分の溶融は困難であった。

#### 1-3-2 筐体下部用耐衝撃軽量基材の開発

(株式会社 KOSUGE、有限会社エー・テック、株式会社ホーペック)

最外周表面に熱可塑性樹脂接着シートを巻き付けたアラミド繊維強化熱硬化性樹脂（エポキシ樹脂）パイプを 0° /90° に積層させたシートをコア材とし、アラミド繊維強化熱可塑性樹脂シートを表皮材としたサンドイッチ構造材が、目標値の 250J の衝撃に対して、突き抜けを防止でき、かつ十分な曲げ剛性を有することを確認した。

#### 1-3-3 繊維強化有機樹脂シートによる三次元筐体の成形技術の開発

(株式会社 KOSUGE、有限会社エー・テック)

金属板の成形と比較し、遜色のない短時間での成形加工を実現するために新たな加熱プレス成形機を導入し、上述のアラミド繊維強化熱可塑性樹脂シートを用いた三次元成形加工技術を開発した。しかし、今回の開発では、成形後の冷却に多大な時間を必要とするため、目標とする成形加工時間を達成することができなかった。

今回の試作成形品を上下接合させたところ、隙間が見られ、耐水性・防爆性の目標は達成できなかった。耐切断性に優れるアラミド繊維強化熱可塑性樹脂体の孔開けとトリミングについては、ウォータージェット（WJ）加工による平板の加工は可能であったが、NC マシンでの加工は十分でなく、刃の最適化による切断加工の開発研究が必要である。

#### 1-3-4 顧客評価 (株式会社 KOSUGE、有限会社エー・テック、株式会社ホーペック)

リチウムイオン電池搭載型の電気自動車を開発している大阪産業大学での評価の結果、軽量化、電気絶縁性、耐衝撃性、保温性、および形状の自由度に関して、良好な評価結果を得た。但し、難燃性、耐熱性／放熱性、耐振動性に関する懸念点が示された。

### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

〒914-0192 福井県敦賀市長谷 64 号 52 番地 1

財団法人若狭湾エネルギー研究センター

企画支援広報部 技術活用コーディネータ 井田 俊雄

企画支援広報部 主任 山口 健志

TEL : 0770-24-2300 (代)

FAX : 0770-24-7275

Mail : [werc@werc.or.jp](mailto:werc@werc.or.jp)

## 2 本論

### 2-1 筐体上部・側面用耐衝撃軽量基材の開発

熱可塑性サンドイッチ（表皮:AF RTP+コア:発泡樹脂）シートの試作及び評価

#### 2-1-1 数値目標

	顧客要求	開発目標値
落錘衝撃テスト	衝突事故時に突き抜けが無いこと。	250J の衝撃エネルギーに対し、変位 5mm 以内・突き抜けが無いこと。
シートの重量	鉄板対比：30%減	鉄板対比：40%減

#### 2-1-2 方法

熱可塑性サンドイッチ（表皮:AF RTP+コア:発泡樹脂）シートにおいて、上記目標を達成させるために、以下の方法にて開発を行った。

- ・電子線照射によるシート間接着、発泡樹脂の発泡、及びAF/樹脂との界面接着力向上
- ・針状繊維等のフィラー添加発泡樹脂シートの適用

##### (1) 材料

###### A. 表皮布帛：織物等

(AF/PP 等熱可塑性繊維混合 (30%~60%) 連続繊維 by タスラン加工等)

- ・アラミド繊維：ケブラー各種タイプ
- ・アラミド繊維とポリプロピレン繊維とのタスラン加工糸
- ・織物：アラミド織物、アラミド/ポリプロピレン混織織物
- ・マトリクス樹脂シート：ナイロン12不織布、ポリプロピレン不織布、ポリエチレンフィルム

###### B. コア材シート：表皮材の熱可塑性繊維と同質の樹脂 + 発泡剤 + 針状繊維 (フィラーとして)

##### (2) 加工技術

###### A. 加熱プレス成形加工

- ・表皮布帛のAF 繊維強化樹脂シート加工 (加熱温度：融点+30°C)

###### B. 電子線照射 (福井大学所有照射装置、関西電子ビーム(株)10MeV 照射装置を利用)

- ・表皮樹脂シートとコア材シートとの層間貼合わせ
- ・AF とマトリクス熱可塑性樹脂材の界面接着性向上によるサンドイッチシートの曲げ弾性率向上

##### (3) 評価

###### A. 落錘衝撃テスト：250J での衝撃吸収エネルギー、突き破れ

###### B. 単位面積当たりの重量、強度、弾性率等

#### 2-1-3 結果

##### (1) 発泡樹脂

###### A. 発泡剤の選定検討

発泡剤を選定するに当たり、業界の知見を得るために、関連企業を訪問し、ヒヤリ

ングした。その結果は、以下の通りである。

- ・PPでもPEでも架橋なしの状態では、発泡倍率は1.2~1.5倍程度である。
- ・PPは架橋が難しいが、電子線照射で架橋している例もある。
- ・PPは低温でシート作りする必要があり、技術的にも難しい。
- ・発泡剤の必要量は、通常発泡させたい倍率の1/2（2倍発泡なら1%）が目安。

## B. 発泡樹脂の試作

### (a) 発泡樹脂シートの試作

当初はPP樹脂にそのまま発泡剤を混入して加熱すれば良いと考えていたが、架橋タイプの樹脂を使用しないと加熱により樹脂粘度が低くなり過ぎて、発泡ガスが抜けてしまうため、PEをマトリクス樹脂として使用した。電子線照射によりPPでも架橋するかどうかのポイントである。

### (b) 発泡樹脂の試験加工水準

- ・樹脂材料：ポリエチレン（PE G401）（住友化学製）
- ・加工助剤：イチイ(有製)プラタック
- ・発泡剤
  - 材質：無機系+バルーン系発泡剤      ：イチイ(有製) ES-P
  - ADCA系発泡剤                    ：イチイ(有製) VP#35N
  - 倍率：1.5倍、2.0倍（発泡後厚さで、6mmと8mm）
- ・過酸化物架橋剤 DCP：有り、無し
- ・ガラスバルーン：住友3M製 S-60D
- ・剛性添加材(チタン酸カリウム)：大塚化学製 ティスモD：有り、無し

## C. 試作品の評価

滋賀県東北部工業技術センターのインストロンにて、曲げ試験を実施した。

試験機： 万能坑張力試験機（インストロンジャパン社製）

## D. 評価結果

試験結果を表1にまとめる。この結果から、以下のことが言える。

- 厚さはほぼ揃っているにもかかわらず、応力などのバラツキが見られた。
- 殆ど発泡されていないNo.4に比べ、発泡倍率の高いものは比重が小さくなり、弾性率が低くなった。
- 発泡倍率の影響が大きすぎて、チタン酸カリウム添加による剛性に関する効果は、はっきり認められなかった。
- 今回の試験では、No.2、No.3A等が発泡倍率の割に剛性があった。

## E. 結論

軽量で、かつ曲げ弾性率を期待できるコア材としての発泡樹脂は、現時点ではNo.2のガラスバルーン添加が良い。

表1 発泡樹脂組成と評価結果 (単位：部) (n=3)

PE発泡体	1A	1B	2	3A	3B	4	5A	5B	6	7A	7B	7C	8
PE	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
加工助剤	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
過酸化物質架橋剤	—	—	—	—	—	—	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
無機系+ポリブレン系発泡剤	15	15	—	15	15	—	1.0	0.7	—	—	—	—	—
ADCA系発泡剤	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.0	0.7	0.5	—
ガラスポリブレン	—	—	20	—	—	20	—	—	20	—	—	—	20
チタン酸カリウム	—	—	—	20	20	20	—	—	—	20	20	20	20
発泡倍率	倍	1.5	3.4	1.6	1.6	2.6	1.0	2.1	1.6	1.3	1.3	1.6	1.3
比重	—	0.50	0.31	0.55	0.55	0.39	0.89	0.43	0.58	0.68	0.54	0.62	0.78
幅	mm	14.0	14.1	14.1	14.2	14.2	14.0	14.6	14.4	14.1	14.0	14.0	14.1
厚さ	mm	5.7	8.0	5.9	5.6	8.1	5.9	7.9	6.8	6.6	7.9	7.2	6.5
降伏点荷重	N	23.3	28.8	41.8	7.5	29.0	45.6	21.4	33.0	35.1	39.1	36.3	42.2
降伏点応力	MPa	6.1	3.9	10.1	7.4	3.8	11.3	2.8	5.9	6.8	5.4	6.0	8.4
降伏点変位	mm	14.4	10.0	15.4	10.9	6.8	14.6	17.2	16.6	15.3	15.7	16.1	16.4
弾性率(JIS)	MPa	212	117	472	361	190	782	47	160	261	198	229	375
ヤング率	MPa	86	143	391	374	200	898	55	150	289	209	250	410

注) 降伏点応力(MPa) = 3×最大荷重(N)×支点間距離(mm) / 2×幅(mm)×厚さ×厚さ(mm<sup>2</sup>)

(2) 表皮材とコア材：発泡材との接着

AFRTP のマトリクスである熱可塑性樹脂とコア材の熱可塑性樹脂等との接着方法について検討した。発泡樹脂があるために、各熱可塑性樹脂を加熱プレスにより溶融接着させるのが著しく困難になると予想されたため、接着剤を用い、かつその効果を高めるために電子線照射技術を適用した。

A. 表皮材に対する電子線照射

10MeV の電子線照射装置を使用する前に、福井大学の電子線照射装置を用いて、樹脂シートと接着剤との界面接着力の向上効果を確認する試験を行った。

(a) 試験方法

(イ) 試料

樹脂シートの材質：

PE 発泡体：Blank または発泡無、2, 3A, 3B, 4, 5A, 5B, 6, 7A, 7B, 7C, 8

AF 織物 3 プライ-PP コンポジット

AF 織物 3 プライ-Ny12 コンポジット

接着剤：シアノン

(ロ) 装置

電子線照射装置：

エリアビーム形電子線照射装置、Curetron®、株式会社NHV コーポレーション

仕様：加速電圧 150~250 kV

電子流 1~20 mA

照射幅 L360 mm×W360 mm×H25 mm

搬送速度 3~30 m/min

照射雰囲気 窒素ガスまたは空気

(ハ) 電子線照射条件 (表2)

表2. 電子線照射試験の条件

総線量 (kGy)	加速電圧 (kV)	電子流 (mA)	搬送速度 (m/min)	照射回数 (pass)
150	250	16.1	3	1 or 2(注)

注) PE 発泡体 : 1回 (150 kGy) , 2回 (300 kGy)

Kevlar 織物コンポジット : 2回 (300 kGy)

(b) サンプル作成方法

サンプル被接着面に電子線を照射し、シアノン接着剤を用いて図1に示すように50mmの範囲で貼り合わせる。

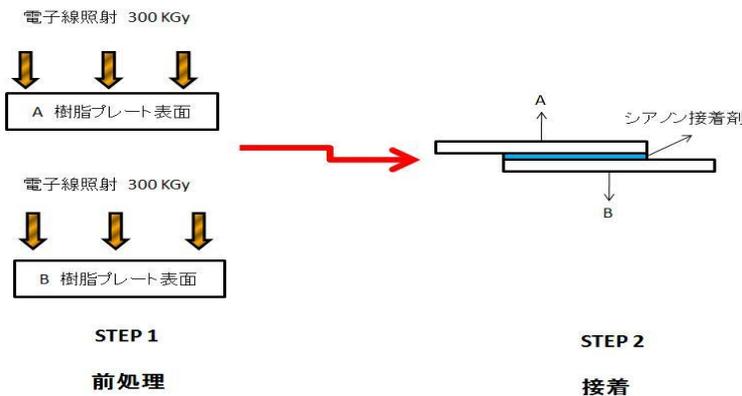


図1 電子線照射と接着方法



写真1 接着力の測定  
(滋賀工業技術センター)

(c) 試験結果

写真1に示す装置を用い、最大抗張力を計測した。

予備試験ではAFRTP(PP, NY12)とPE発泡体との接着性に関し、接着面に予め電子線照射することにより、向上効果が認められていたが、今回の試験では、表3-1および表3-2に示すように、PE発泡体のサンプルによっては接着力(抗張力)が低下するものもあり、必ずしも向上効果があるとは言えない結果であった。

表3-1 各種PE発泡体とAFRTP(PP)間の接着力への電子線照射効果

電子線照射無し	1A	1B	2	3A	3B	4	5A	5B	6	7A	7B	7C	8
最大抗張力 : N	530	421	615	539	—	—	671	710	801	—	—	—	902
伸度 : %	1.6	2.9	4.5	1.8	—	—	23.7	9.9	21.2	—	—	—	18.3
切断部位	C	C	D/C	D/C	—	—	D	D	H	—	—	—	H
電子線照射 150kGy	PEフィルム	2	3A	3B	4	5A	5B	6	7A	7B	7C	8	
最大抗張力 : N	379	882	585	331	755	668	381	679	690	580	553	699	
伸度 : %	1.4	6.5	1.9	1.8	1.3	18.2	2.8	4.9	3.3	2.8	1.7	2.4	
切断部位	D	D	H	C	D	H	D	D	D	D	D	D	
電子線照射 300kGy	1A	1B	2	3A	3B	4	5A	5B	6	7A	7B	7C	8
最大抗張力 : N	505	439	659	—	—	—	582	573	628	—	—	—	929
伸度 : %	2.7	2.5	3.0	—	—	—	20.6	3.3	8.4	—	—	—	13.8
切断部位	C	C	D	—	—	—	D	D	D	—	—	—	H

表3-2 各種PE発泡体とAFTRP(NY12)間の接着力への電子線照射効果

電子線照射無し	PEフィルム	2	3A	3B	4	5A	5B	6	7A	7B	7C	8
最大抗張力 : N	106	493	499	—	—	—	—	—	—	—	—	—
伸度 : %	1.2	2.2	1.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
切断部位 :	D	D	P	—	—	—	—	—	—	—	—	—
電子線照射 150KGy	PEフィルム	2	3A	3B	4	5A	5B	6	7A	7B	7C	8
最大抗張力 : N	2.4	917	488	214	346	616	—	—	—	—	—	—
伸度 : %	0.4	10.6	1.8	1.2	1.1	22.8	—	—	—	—	—	—
切断部位 :	D	D	P	C	D	S	—	—	—	—	—	—

凡例：D：剥離、 C：チャック切れ、 P：PE切れ、 H：発泡体切れ、 S：接着部PE切れ

実際の製作工程では、接着させた後に、接着部位の外側から電子線照射させることから、更なる確認試験は、外部からの照射効果の期待できる高出力（10MeV）電子線照射装置を用いて行うこととした。

### (3) 電子線照射によるAFRTP板間の接着力への効果

前項で電子線照射による接着力への効果が不明確であったため、10MeVの電子線照射装置を用い、アラミト繊維織物強化熱可塑性樹脂体（AFRTP）間の接着力を調べた。

#### A. AFRTP板に対する電子線照射試験

##### (a) 材料

KV/PP：KV織物2プライの間に重量比が約50:50になるようにPP不織布をはさみ、加熱プレスして積層板を作成した後、同サンプルの重ね部分を50mmにして、重ね部分にシアノンを塗るか、あるいは重ね部分を再加熱プレスして接着。  
KV/PE：上記と同様に作成、但し、PP不織布の代わりにPEフィルムを使用。

##### (b) 加工方法

電子線照射：関西電子ビーム(株)の10MeV電子線照射装置を利用。

剥離試験：照射サンプルを幅25mmにカットし、インストロンジャパン(株)の抗張力試験機を用い、試長100mm、速度2mm/分で測定。

##### (c) 結果

表4に示すように、シアノンで接着したものについては、PP樹脂間では電子線照射による接着力向上効果は認められなかったが、PE樹脂間では顕著な向上効果が認められた。一方、加熱プレスして接着したものについては、PP樹脂間では電子線照射による接着力向上効果は顕著に認められたものの、PE樹脂間では若干の向上効果が認められた。

##### (d) 考察

(2)の試験において、PE/PP樹脂間の接着性に関し、その電子線照射による効果にばらつきが見られたのは、電子線照射がPP樹脂の接着力向上に寄与しなかったためと推測される。

一方、加熱プレスでの融着では、樹脂間の密着性が上がり、その状態で電子線照

射をさせると、同一樹脂間での架橋が進み、接着力が向上したものと推測される。

PE 間 (KV/PE) の接着力が大きくなっているのは、融点が低く、また電子線照射により、架橋し易くなっているものと推測される。今後、試験サンプル数を増やして、その効果を確認する必要がある。

表4 AF RTP 間の接着力に対する電子線照射効果

		最大抗張力 (N) (n=5)			
素材		0kGy	50kGy	100kGy	200kGy
シアノン接着	KV/PP	205	209	184	190
	KV/PE	127	242	266	207
加熱プレス接着	KV/PP	71	305	150	292
	KV/PE	928	814	1, 138	1, 231

## B. 結論

熱可塑性樹脂間の接着性は、電子線照射により接着力が向上することが認められた。但し、これは同一材料間での効果であり、今後、異種材料間 (PP/PE) 間の場合の効果を確認する必要がある。

筐体製作の観点から、AF RTP プリプレグ、あるいは AF RTP 筐体部材を製作した後に、電子線照射させることは、筐体の剛性を向上させるのに有効であると推測される。

## (4) 耐衝撃性評価

### A. 落錘衝撃試験におけるサンプル把持装置の開発

炭素繊維と異なり、伸度のある高強度有機繊維でタフネスのあるパラ系アラミド繊維を用いた繊維補強板に対する落錘衝撃試験では、現状のチャック方式では把持力が弱く、試験体がチャック部からスリップしてしまうことが明らかとなった。写真2に落錘衝撃試験に用いる装置を示す。

そこで、高強力な把持機構の開発を行った。その結果、写真3 A、Bに示すように、ネジで8ヶ所締め付けるスリップ防止治具を用いることにより、スリップすることなく試験できることを確認した。

写真3 Cに示すように、サンプルに事前に孔開けをしておく必要があり、サンプル交換にかなり時間を要するが、現時点ではこの方法が最適である。

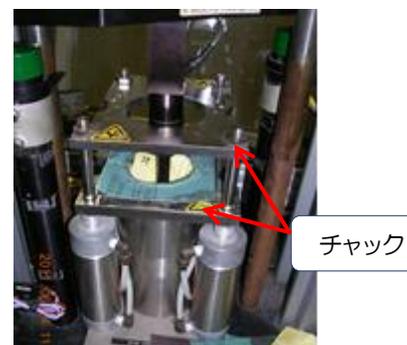


写真2 落錘衝撃試験装置

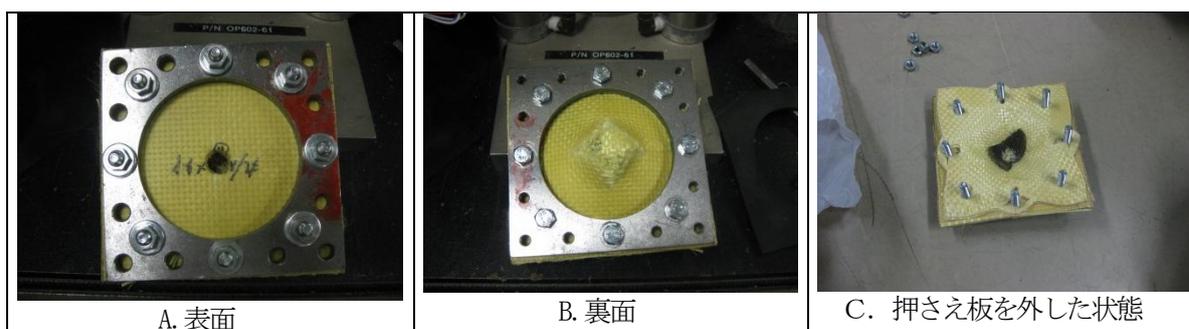


写真3 落錘衝撃試験用サンプル把持装置

## B. 落錘衝撃試験

耐衝撃性向上には、AF 織物強化熱可塑性樹脂板と AF-UD 強化熱可塑性樹脂板のいずれの積層板が良いのか、また AF のどのタイプが良いのかなどを明確化させる試験を行った。

### イ. AF 織物試作条件

原糸：標準糸 (K-29)

### ロ. AF-UD プリプレグ試作条件

原糸：標準糸 (K-29) , 高弾性率糸 (K-49) , 高伸度糸 (K-119)

マトリクス樹脂：熱可塑性樹脂として PE

熱硬化性樹脂としてエポキシ

VF (繊維体積含有率) : 55%,

厚み : 0.051mm

積層 : 0/90/45/-45 (UD 方位)

#### (a) KV-UD 積層板の衝撃試験 (250J)

0/90、0/90/0/90、0/45/90/-45 の UD 積層板について、衝撃試験を実施した結果、いずれのサンプルとも 16 プライでは破壊(破れ)した。

#### (b) KV 積層板の衝撃試験 (250J)

事前に実施した試験の結果から、積層板が樹脂で固定され過ぎると衝撃に弱く貫通するが、表面が硬い積層板をある程度ルーズな積層板 (コア一部) と組み合わせることにより、耐衝撃性が向上すると判断し、積層板を 3 枚重ねての試験を行った。その試験に用いた積層板の構成と、試験結果を表 5 にまとめる。また、試験後のサンプルを写真 4 に示す。

目標の 250J にて貫通しなかった表皮材は、No. 3, No. 4, No. 10, No. 11 であるが、最軽量 (4.95kg/m<sup>2</sup>) である No. 4 の構成が、この評価結果では最適と判断される。また、下層に N12 樹脂加工を用いることにより、剛性も同時に得られると推察される。

PE 発泡樹脂体と組み合わせたときの耐衝撃性の評価、および三次元成形加工性の評価とあわせて、更に、最適な構成を見出すことが必要である。

表 5 KV 積層板の落錘試験結果

No	積層板上部	積層板中央部	積層下部	目付 (kg/m <sup>2</sup> )	厚さ (mm)	突き抜け 有無	衝撃板の最大 変位量 (mm)
1	KV/N12 4 プライ	KV/PP 2 プライ	KV/PP 4 プライ	3.79	4.0	有	35
2	KV/N12 6 プライ	KV/PP 6 プライ	KV/PP 4 プライ	5.96	5.5	有	35
3	KV/PP 4 プライ	KV/PP 10 プライ	KV/N12 5 プライ	7.04	7.8	無	17
4	KV/PP 2 プライ×2 枚	KV/PP 10 プライ	KV/PP 4 プライ	4.95	5.5	無	21
5	KV/PP 2 プライ×2 枚	KV 10 プライ	KV/PP 2 プライ×2 枚	5.41	5.2	無	24
9	なし	KV/PP 18 プライ	なし	4.57	5.5	有	31
10	KV/N12 4 プライ	KV/PP 10 プライ	KV/PP 2 プライ×2 枚	5.34	5.5	無	27
11	KV/PP 2 プライ×2 枚	KV/PP 10 プライ	KV/N12 4 プライ	6.42	6.5	無	20

注) 衝撃エネルギー:250J (実荷重 17.9kg、高さ 1.43m)

最大変位量: サンプル固定枠から外した後の変位高さ



写真4 KV 積層板の落錘衝撃試験結果

上記の試験に加え、アラミド繊維とPE樹脂を重量比 50/50 で積層させたシートを4層にて加熱プレス成形し、電子線照射したものに関し、落錘衝撃試験を実施したが、いずれも 250J で突き抜けが発生した。しかし、さらにこの4層シートを2枚重ねたものに関しては、突き抜けが発生しなかった。本シートは、表5のNo. 4 (4.95kg/m<sup>2</sup>) よりも、軽量であった。PE とアラミド繊維との接着性が悪いことから、目付が少ない量でも耐衝撃性が良かったと推察される。(表6、写真5)

表6 AF 織物 PE 樹脂成形体の落錘試験結果

		電子線照射なし	50kGy	100kGy	200kGy	(電子線照射なし 2枚重ね)
KV/PE (50/50) 4プライ	目付 kg/m <sup>2</sup>	1.32	1.24	1.32	1.39	2.64
	厚さ mm	1.3	1.3	1.3	1.3	3.0
	変位 mm	34	31	36	32	34
	抜け有無	有	有	有	有	無



写真5 AF 織物 PE 樹脂成形体の落錘衝撃試験結果

#### 2-1-4 結論

各種材料を用いて試作開発を行った結果、目標の 250J の衝撃に対して、突き抜けを防止できる材料として、アラミド繊維織物強化熱可塑性樹脂シート（樹脂はポリプロピレン、またはポリエチレン）を多層積層させたものが、良いと判断された。

なお、加熱プレス成形加工では、アラミド繊維織物を多層積層した表皮材が断熱性を有するため、コア材の熱可塑性部分を溶融させることが困難であった。そのため、断熱発泡材をコア材としたサンドイッチ構造の成形加工技術の開発とともに、断熱発泡材を用いずアラミド繊維補強熱可塑性樹脂材だけを用いた成形加工技術の開発も継続する。

## 2-2 筐体下部用耐衝撃軽量基材の開発

AF 等繊維強化樹脂パイプによる高弾性率樹脂シートの開発

### 2-2-1 数値目標

	顧客要求	開発目標値
落錘衝撃テスト	衝突事故時に突き抜けが無いこと。	250J の衝撃エネルギーに対し、変位 5mm 以内・突き抜けが無いこと。
曲げ弾性率	70GPa	80GPa
シートの重量	鉄板対比：30%減	鉄板対比：40%減

### 2-2-2 方法

#### (1) 材料

表皮布帛：織物等

(AF/PP 等熱可塑性繊維混合 (30%~60%) 連続繊維 by タスラン加工等)

コア材シート：AFRP 等 UD 等エポキシ樹脂プリプレグ、ガラスクロス、PE シート等

パイプ間充填用シート：表皮材の熱可塑性繊維と同質の樹脂 + (発泡剤)

なお、当初予定の発泡剤については、2-1 にて適切な発泡剤を見い出せず、今回は使用せず。

#### (2) 加工技術

##### A. 加熱プレス成形加工

2-1 と同一

##### B. AFRP パイプ加工

AFRP-UD プリプレグ (エポキシ熱硬化性樹脂) と平織りガラスクロス材を貼り合わせ、AF を  $0^\circ$  の巻き付け角度にして、4 層もしくは 7 層で巻き付けた。

さらに、表皮材との接着力を向上させるために、パイプの表皮に熱可塑性樹脂シート“ハイミラン”を巻き付けた。

##### C. 電子線照射 (10MeV 照射装置を利用)

(a) 表皮樹脂シートとコア材パイプ間充填用シートとの層間貼合わせ

パイプの配置：1 段垂直、2 段水平 ( $0^\circ / 90^\circ$ )

(b) AFRP パイプの AF とエポキシ樹脂との界面接着性向上によるサンドイッチシート  
の曲げ弾性率向上

10MeV 電子線照射試験については、未実施

#### (3) 評価：

A. 落錘衝撃テスト：250J での衝撃吸収エネルギー、突き破れ

B. 単位面積当たりの重量、強度、弾性率等

### 2-2-3 結果

#### (1) 材料

表皮材：AFRTP 樹脂板

コア材：AFRP パイプ

表皮材とコア材との接着：熱可塑性樹脂フィルム等

(2) 加工技術

AFRTP 表皮材(熱可塑性樹脂)と AFRP パイプ (熱硬化性樹脂) 間の接着方法

- ・ 電子線照射
- ・ 加熱プレス (前提：AFRP パイプに熱可塑性樹脂フィルムを巻き付ける)

(3) 評価

A. 落錘衝撃試験 250J

イ. 材料

表皮材：KV 織物/PP 不織布 4プライ

AF パイプ：内径4φ/外径5.2φ×110mm

内径4φ/外径6.3φ×110mm

ロ. 構成

写真6に示す配置の AFRP パイプをコア材とし、その上下に表皮材を組み合わせたサンドイッチ構成

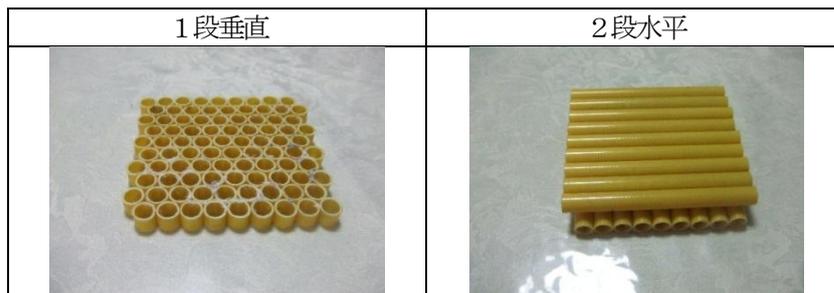


写真6 コア材としての AFRP パイプの配置

ハ. 結果

試験体の構成と試験結果を表7に示す。また、試験状況および試験後のサンプル例を写真7に示す。

パイプを1段で垂直方向に並べた No.1、およびパイプを水平方向に2段重ね (0° /90° ) とした No.2 と No.3 のいずれの試験体とも、突き抜けが認められなかった。

表7 AFRP パイプをコア材とした試験体の落錘試験結果

番号	積層板 上部	積層板 中央部	積層板 下部	突き 抜け 有無	衝撃板	最大荷重	最大荷	最大 荷重
					の最大 変位 (mm)	までのエ ネルギー (J)	重時点 の変位 (mm)	
1	KV/PP 2プライ×2枚	KV パイプ 外形6.3φ1段垂直	KV/PP 2プライ×2枚	無	34	20	30	1.0
2	KV/PP 2プライ×2枚	KV パイプ 外形6.3φ2段水平	KV/PP 2プライ×2枚	無	38	30	30	1.3
3	KV/PP 2プライ×2枚	KV パイプ 外形5.2φ2段水平	KV/PP 2プライ×2枚	無	35	17	22	1.2

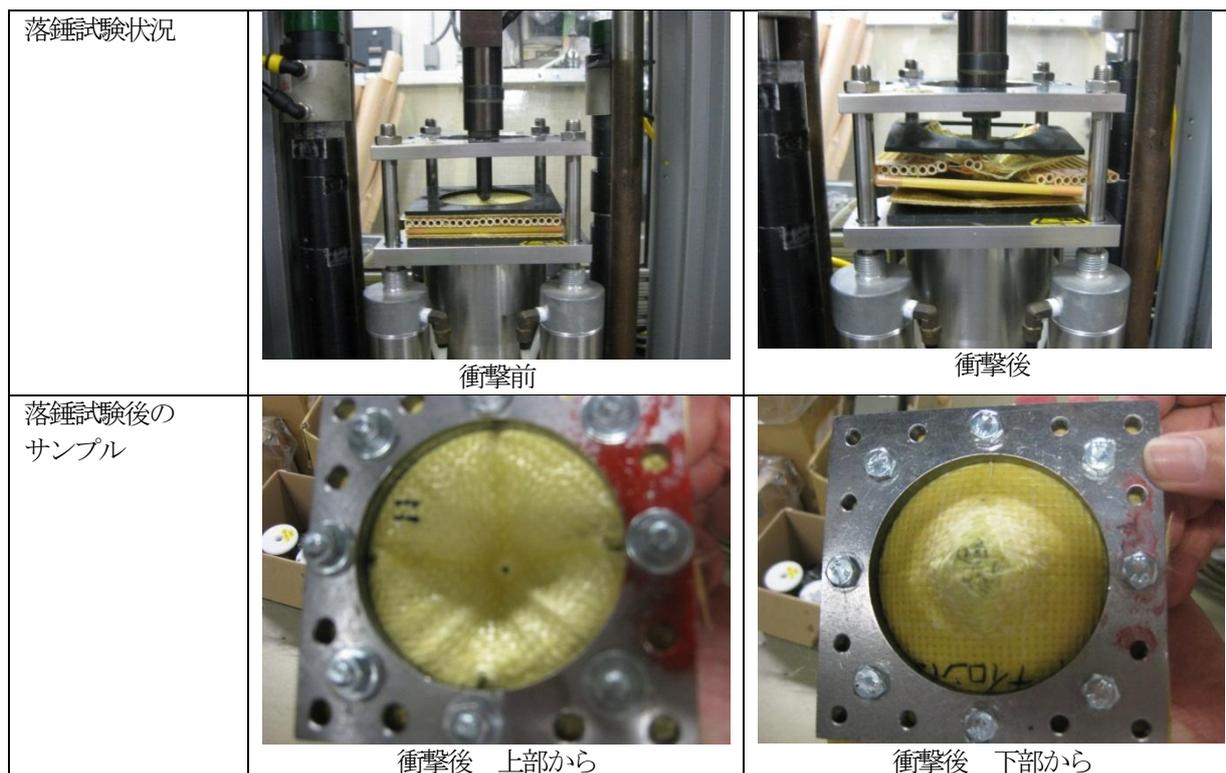


写真7 AFRP パイプをコア材とした試験体に対する落錘衝撃試験

## B. 曲げ応力試験

底板には、衝撃吸収特性とともに、高い剛性（曲げ応力）が要求される。サンドイッチ構造により、曲げ応力の向上が期待できるが、表皮材となる AFRP または AFRTF 積層体の曲げ応力が大きいことが前提となるため、UD プリプレグと織物プリプレグについての評価を実施した。

### (a) AF-UD 積層板の曲げ試験

AF-UD 積層板の曲げ試験結果を表8に示す。エポキシマトリクスのは、ポリエチレンマトリクスのものより降伏点応力、弾性率とも大きかった。これは、エポキシ樹脂とアラミド繊維との接着性が良く、引き揃え効果が出たものと推察される。

表8 AF-UD 積層板の曲げ試験結果

	幅 (mm)	厚さ (mm)	降伏点			弾性率 (GPa)	ヤング率 (GPa)	
			荷重 (N)	応力 (MPa)	変位 (mm)			
(1) マトリクス樹脂 エポキシ(824)								
高伸度糸(K119) UD	1110dtex	14.4	1.69	152	444	13.2	42.5	42.7
標準糸(K29) UD	1670dtex	14.5	1.61	143	443	11.3	51.1	51.1
高弾性率糸(K49) UD	3160dtex	14.6	1.90	227	514	10.7	65.8	65.6
標準糸(K29) UD	3330dtex	15.1	1.74	202	530	10.7	68.8	68.8
(2) マトリクス樹脂 ポリエチレン(825)								
高伸度糸(K119) UD	1110dtex	15.4	2.00	37.1	72.2	2.5	22.3	24.8
標準糸(K29) UD	1670dtex	15.2	1.79	34.0	84.2	2.5	25.9	29.6
高弾性率糸(K49) UD	3160dtex	14.9	1.96	30.3	63.6	2.2	22.0	26.8
標準糸(K29) UD	3330dtex	15.0	1.95	23.7	49.8	2.0	18.0	24.7

(b) AF RTP (織物) 積層板の曲げ試験

AF RTP (織物) 積層板の曲げ試験結果を表 9 に示す。AF RTP 板の曲げ応力は、アラミド繊維と親和性が良いと思われる PP 樹脂をマトリクス樹脂とした積層板の方が、曲げ応力が大きかった。

電子線照射による曲げ応力への改善効果は、今回の試験では認められなかった。アラミド繊維と熱可塑性樹脂間の接着性の向上に寄与しなかったためと推察される。

表 9 AF RTP (織物) 積層板の曲げ試験結果

(n=5)

		KV/PP×4プライ				KV/PE×4プライ			
		0kGy	50kGy	100kGy	200kGy	0kGy	50kGy	100kGy	200kGy
荷重	N	7.4	5.5	4.5	7.1	5.9	4.7	5.4	4.6
応力	MPa	34.3	22.6	19.0	32.9	20.8	20.5	21.7	20.3
変位	mm	5.7	7.2	5.3	4.9	6.6	6.9	8.0	5.7
弾性率	GPa	8.49	2.60	2.96	8.65	4.51	3.73	4.35	3.36
幅	mm	14.9	16.0	15.8	15.5	15.2	14.9	14.9	15.0
厚さ	mm	1.32	1.36	1.39	1.30	1.90	1.35	1.42	1.35

注) KV/PP: KV 織物 2 プライの間に重量比が約 50:50 になるように PP 不織布をはさみ、加熱プレスして積層板を作成した。

KV/PE: 上記と同様に作成、但し、PP 不織布の代わりに PE フィルムを使用した。

注) 3 点曲げ試験 支点間距離 80mm、押圧速度 5mm/分

(c) 筐体用 AF RP パイプの曲げ試験

外径 7mm、内径 4mm の AF RP パイプを試験対象として、曲げ試験を実施した。その試験結果を表 10 に示す。

電子線照射による曲げ応力への効果は、エポキシ樹脂とアラミド繊維間の接着力向上による寄与を期待したが、100kGy では向上しているものの、バラツキの可能性もあり、更なる確認が必要である。

表 10 AF RP パイプの 3 点曲げ試験結果

(n=2)

	照射量	0kGy	50kGy	100kGy	200kGy
荷重	N	329	322	349	321
応力	MPa	204	200	237	227
変位	mm	5	5	5	5
弾性率	GPa	8.89	8.76	10.2	7.55
外径	mm	6.9	6.9	7.7	6.6

注) 3 点曲げ試験 支点間距離 80mm、押圧速度 5mm/分

(d) サンドイッチ構造板の曲げ試験

AF パイプを (0° /90° ) 2 段積層させた AF RTP 積層体のサンドイッチ構造板に關し、曲げ試験を実施した。試験結果を表 11 に、試験サンプルを写真 8 に示す。

パイプを含有した積層板は曲げ荷重は非常に大きい、曲げ弾性率としては非常に小さい。これは弾性率の値が、曲げ強さを幅×厚さの 3 乗で割って求められ、厚さが大きく影響しているためである。

今回の試験では、パイプ2段を含んで上の平板と下の平板をつなぐ接着シートがないため、パイプと平板との接着部分が剥離してくる現象が見られた。上下をつなぐ接着シートがある場合には、さらに曲げ荷重は増大するものと考えられる。

また、パイプの長い方向から圧縮したもの (No. 6) と短い方向 (No. 5) から圧縮したものと異なる結果であったが、この場合も接着面の剥離が影響したためと考えられる。

表1 1 表皮材および底板用サンドイッチ構造板の曲げ試験結果

No		目付	最大荷重	最大応力	最大変位	弾性率	幅	厚さ
		kg/m <sup>2</sup>	N	MPa	mm	MPa	mm	mm
1	加熱プレス成形板 KV/PP×2 プライ×2 枚	1.31	5	7	11	1,119	51	1.3
2	加熱プレス成形板 KV/PP×2 プライ×2 枚	1.09	24	30	5	7,491	51	1.4
3	パイプ1段含有成形板 (シアノン接着) KV/PP//7φパイプ//KV/PP	12.1	3,537	86	6	168	50	10.0
4	パイプ2段含有成形板 (シアノン接着) KV/PP//7φパイプ/7φパイプ//KV/PP	7.71	2,194	18	4	21	49	17.5
5	パイプ2段含有成形板 (熱接着) KV/PP//7φパイプ/7φパイプ//KV/PP	12.7	3,741	28	9	13	50	18.0
6	パイプ2段含有成形板 (熱接着) KV/PP//7φパイプ/7φパイプ//KV/PP	12.9	4,907	35	7	18	52	18.0

注)パイプ 1本の目付は 29g/m

サンドイッチ板形状:長辺100mm/短辺50mm

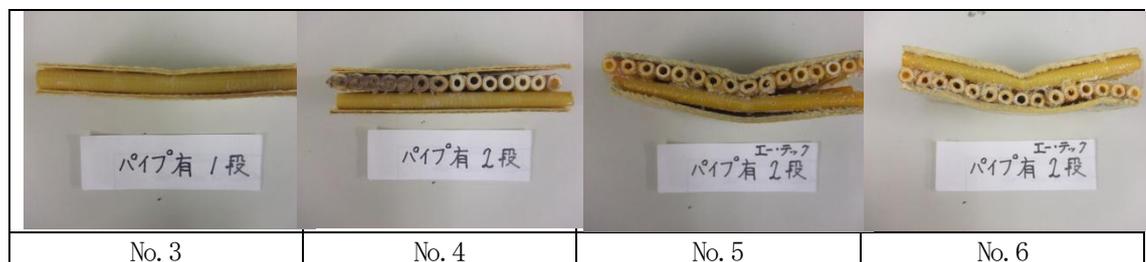


写真8 底板用サンドイッチ構造材の曲げ試験結果

#### 2-2-4 結論

最外周表面に熱可塑性樹脂接着シートを巻き付けたアラミド繊維強化熱硬化性樹脂 (エポキシ樹脂) パイプを 0° /90° に積層させたシートをコア材とし、アラミド繊維強化熱可塑性樹脂シートを表皮材としたサンドイッチ構造材が、目標値の 250J の衝撃に対して、突き抜けを防止でき、かつ十分な曲げ剛性を有することを確認した。

## 2-3 繊維強化有機樹脂シートによる三次元筐体の成形技術の開発

### 2-3-1 金型急速加熱・冷却方式等プレス条件の検討及び評価

#### 2-3-1-1 数値目標

	顧客要求	開発目標値
成形加工時間	5分/個	4.5分/個

#### 2-3-1-2 方法

##### A. 材料：

2-1項で得られた筐体上部・側面用熱可塑性サンドイッチAシート

2-2項で得られた筐体下部用熱可塑性サンドイッチBシート

##### B. 加工技術

三次元筐体試作用加熱プレス成形加工： 加熱プレス機（新規開発機）利用

#### 2-3-1-3 結果

##### A. 材料

試作したバッテリー用筐体（上部・側面部）の材料構成および重量を表12に示す。今回の試作では、十分な特性を有する発泡樹脂体を開発できなかったため、金型とのギャップを埋める目的でSMC材をコア材として使用した。

表12 筐体構成部材と重量

筐体積層構成			目付(g/m <sup>2</sup> )	面積(m <sup>2</sup> )	重量(g)	
上部&側面部	上層部	PP不織布1プライ	アラミド織物1プライ	324	0.16	53
		PP不織布2プライ	アラミド織物1プライ	404	0.16	67
		PP不織布2プライ	アラミド織物1プライ	404	0.16	67
		PP不織布1プライ	—	80	0.16	13
	コア一部	SMC材 10.8t	—	430	0.16	742
		発泡樹脂 10.8t	比重 (0.55)	4,290	0.16	—
	下層部	PP不織布1プライ	アラミド織物1プライ	324	0.16	53
		PP不織布2プライ	アラミド織物1プライ	404	0.16	67
		PP不織布2プライ	アラミド織物1プライ	404	0.16	67
		PP不織布1プライ	—	80	0.16	13
						1,142
	底板	上層部	PP不織布1プライ	アラミド織物1プライ	324	0.12
PP不織布2プライ			アラミド織物1プライ	404	0.12	48
PP不織布2プライ			アラミド織物1プライ	404	0.12	48
PP不織布1プライ			—	80	0.12	10
コア一部		AFRPパイプ(φ6/φ7) / PEフィルム2段		7,080	0.05	354
下層部		PP不織布1プライ	アラミド織物1プライ	324	0.12	39
		PP不織布2プライ	アラミド織物1プライ	404	0.12	48
		PP不織布2プライ	アラミド織物1プライ	404	0.12	48
		PP不織布1プライ	—	80	0.12	10
					645	
総重量					1,787	

## B. 加工技術

今回、新たに導入した三次元筐体用加熱プレス機を用いて、筐体（上部・側面部）を試作した。

試作に用いたバッテリー筐体用金型の概念図を図2に、また試作した筐体の外観を写真9に示す。プリプレグを予熱して、プレス成形加工した後に、そのまま自然冷却により形状固定を行っているため、成形加工時間は約7分である。

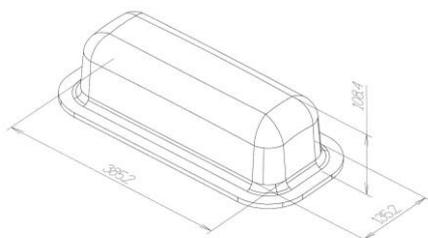


図2 金型の概念図

機材重量	アラミド 織物	: 244 g/m <sup>2</sup>
	PP不織布	: 80 g/m <sup>2</sup>
	SMC材 FRP	: 580 g/m <sup>2</sup>
	CF	: 430 g/m <sup>2</sup>



写真9 筐体成形用上部・側面部と底部の成形例

- A : アラミド + エポキシ樹脂プリプレグでの成形品(内部コア材無し)
- B : アラミド + PP 熱可塑樹脂 + 内部CF—SMC材 + PP 発泡ボード (市販品)
- C : アラミド + PP 熱可塑樹脂 + 内部FRP—SMC材 + PP 発泡ボード (市販品)

## C. 評価

### (a) 寸法精度

金型の三次元 CAD データに基づき、筐体（上部・側面部）の CAD データを作成し、そのデータとの偏差を計測した。その計測ポイント（55点）を図3に示す。

図3で、赤丸で図示した点 (Point1.3) を基準点とすると、緑色で図示した点群 (point8 グループ) で 0.3mm 程度の偏差がみられたものの、その他の点は 0.3mm 以下の偏差であり、概ね精度良く製作されていると言える。

この計測データから、偏差の要因とそれに対する対策として、以下の3つが考えられる。

- ① 成形時の熱の偏り ⇒ 熱プレス機の改善
- ② 材料の伸び ⇒ 金型の寸法調整
- ③ 型そのものの精度 ⇒ 金型の精度向上

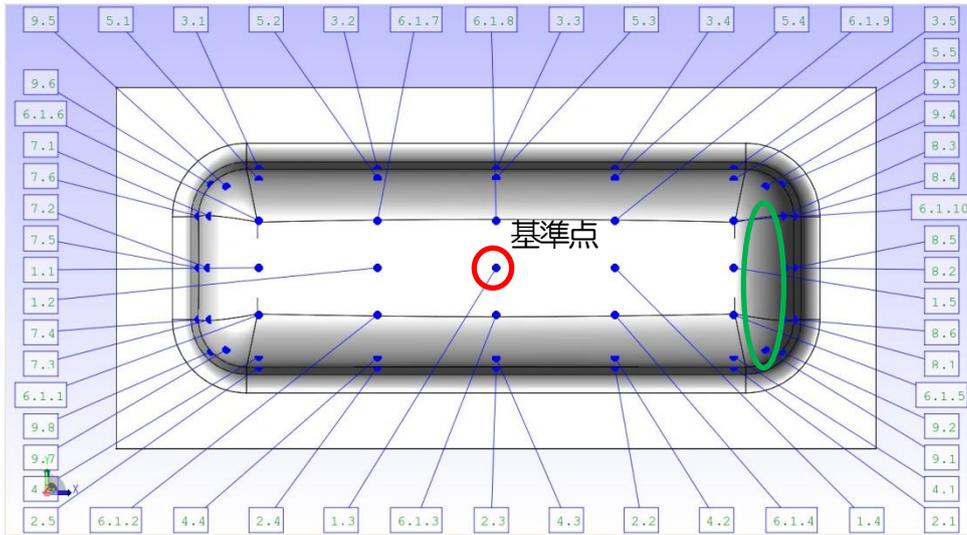


図3 三次元寸法精度計測点の位置 (55ポイント)

(b) 成形加工時間

今回の成形加工の工程は、プリプレグの予熱、加熱プレス成形加工、成形品の冷却の工程からなるが、その冷却を自然冷却により実施しているため、成形加工時間は約7分となり、目標の4.5分以内とすることができなかった。そのため、打ち手として、急速加熱・冷却できる金型を利用することが考えられる。

また、今回の試作では、多層シートを一括加熱プレスしているが、内部の層の加熱に時間を要することから、そのため、打ち手として、予め表皮材となるアラミド繊維強化熱可塑性樹脂シートを連続的に作成しておき、表皮用筐体を上層部、下層部を別成形加工し、かつコア材となる発泡樹脂シートからなる中間筐体を作成して、合体方式とすることで、成形加工時間の短縮を図れると考えられる。

2-3-1-4 結論

成形加工時間を金属板と同等の時間で成形加工できる技術を開発するために新たに加熱プレス成形機を導入し、上述のアラミド繊維強化熱可塑性樹脂シートを用いて、三次元成形加工できる技術を開発した。しかし、今回の開発では、目標とした時間内での成形加工を実現するには至らなかった。そのため、打ち手として、急速加熱・冷却機能を有する金型を開発することが有望と考えられる。

## 2-3-2 加熱成形品の孔開け、トリミング、接合等後加工技術に関する研究

### 2-3-2-1 数値目標

	顧客要求	開発目標値
浴槽浸漬時の耐水性	水の侵入が無きこと	1週間浸漬後、水の侵入が無きこと
防爆性	異常加熱による暴発に耐えること	水圧 10 kgf/cm <sup>2</sup> に耐えること
外観	5級 (良好)	5級 (良好)
耐食性	腐食が無いこと	1週間浸漬後、腐食が無いこと
加工時間	5分/個	4.5分/個
重量	鉄板対比：30%減	鉄板対比：40%減

### 2-3-2-2 方法

#### A. 材料

2-3-1で試作した筐体構成部材

#### B. 加工技術

NCマシン及び、WJカッターによるAFRTP成形品の孔開け加工、トリミング

### 2-3-2-3 結果

#### A. 浴槽浸漬時の耐水性

今回成形した筐体の上下を接合させたところ、写真10に示すように隙間が見られたため、浴槽浸漬時に浸水してしまい、目標未達成であった。



写真10 筐体の上下接合部の隙間

#### B. 防爆性

写真10に示すとおり隙間が見られたため、目標未達成であった。

#### C. 外観

金型によるプレス成形しており、写真9に示す通り良好な外観を示した。

#### D. 耐食性

有機材料を使用するため、腐食の懸念はない。

#### E. 加工時間

イ. 成形加工時間は、2-3-1に記載済みのおりで、目標未達成である。

ロ. トリミング加工は、耐切削性を特徴とするAFRTPの場合には、容易ではない。

- AFRTP 平板に対する切断試験

写真11に示すように、ウォータージェット（WJ）を用いることで、AFRTP 板を円盤状に綺麗にくり抜き切断加工できたが、NC カッターでは綺麗な切断はできなかった。

但し、サンドイッチ構造材に関しては、WJ を用いても、表面が柔らかく、水を弾くため切断困難であった。

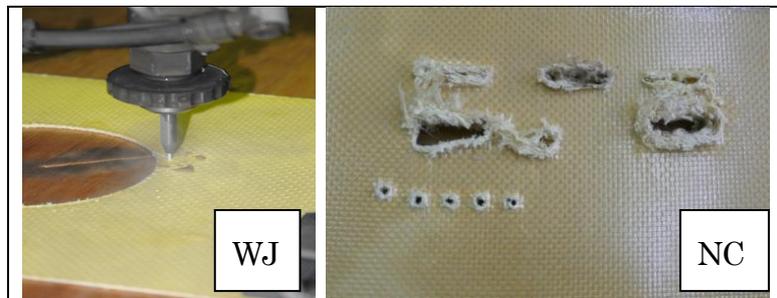


写真11 WJおよびNCカッターによるAFRTP板に対する切削加工例

#### F. 重量

今回試作した筐体の重量は、写真9のBで約1.8kg、Cで約2.3kgであった。

筐体(38.5 cm×13.5cm×10.8cm)に使用する現状品の鉄板の厚さが2mmとすると、434cm<sup>3</sup>であり、鉄の比重(7.8)から約3.4kgとなり、今回の試作にて32%削減することができた。

#### 2-3-2-4 結論

今回の試作成形品を上下接合させたところ、隙間が見られ、耐水性・防爆性の目標を達成しなかった。隙間をなくす成形加工には、金型の改良等が必要である。

また、切断性に優れるアラミド繊維強化熱可塑性樹脂体の孔開けやトリミングは、WJ加工では平板加工が可能だが、NCマシンによる加工については、刃の最適化による切断加工の開発研究が必要である。

なお、重量の低減については、目標構成材料ではないが、約32%の削減に成功した。

#### 2-4 顧客評価

リチウムイオン電池搭載の電気自動車を開発している大阪産業大学・短期大学部・自動車工学科の才原篤 講師に評価をお願いし、以下の見解を入手した。

##### A. 良好な評価項目

(a)軽量化 (b)電気絶縁性 (c)耐衝撃性 (d)保温性 (e)形状の自由度

##### B. 懸念点

(イ) 発火事故の事例があり、バッテリーケースは難燃性を要求される。

→ 改善案：最内面に、熱可塑性ポリイミドフィルムを貼り付ける。

(ロ) 過充電による発熱が予測され、耐熱性と放熱性が要求される。

→ 改善案：ケース内に特殊ヒートパイプを通し、急速冷却可能とする。

(ハ) 筐体内バッテリーの取り付け治具の工夫、高い耐振動性などが要求される。

### 3 全体総括

#### 3-1 研究開発成果

筐体上部・側面用耐衝撃軽量基材の開発では、目標値の 250J の衝撃に耐える突き抜け防止材料として、アラミド繊維織物強化熱可塑性樹脂シート（樹脂はポリプロピレン、またはポリエチレン）を多層積層させた材料が最も優れていることを確認した。

筐体下部用耐衝撃軽量基材の開発では、最外周表面に熱可塑性樹脂接着シートを巻き付けたアラミド繊維強化熱硬化性樹脂（エポキシ樹脂）パイプを 0° /90° に積層させたシートをコア材とし、アラミド繊維強化熱可塑性樹脂シートを表皮材としたサンドイッチ構造材が、目標の 250J の衝撃に対して、突き抜けを防止でき、かつ曲げ剛性を有することを確認した。

繊維強化有機樹脂シートによる三次元筐体の成形技術の開発では、新たに導入した加熱プレス成型機により、上述のアラミド繊維強化熱可塑性樹脂シートを用いて、三次元成形加工できる技術を開発したが、成形加工時間の目標は達成できなかった。また、試作成形品の上下接合が不十分であったため、耐水性・防爆性の目標を達成させることができなかった。なお、重量低減については、約 32%削減することができた。

今回開発した技術により試作した筐体に関し、リチウムイオン電池を搭載した電気自動車の開発を進めている大阪産業大学に評価を依頼した結果、軽量化、電気絶縁性、耐衝撃性、保温性、および形状の自由度に対しては、良好との評価であったが、難燃性、耐熱性、放熱性、耐振動性などに関する懸念点も指摘された。

#### 3-2 今後の課題・事業化展開

##### 3-2-1 今後の課題

筐体上部・側面用耐衝撃軽量基材に関しては、目標の 250J の衝撃に対して、突き抜けを防止できる材料である、アラミド繊維織物強化熱可塑性樹脂シート（樹脂はポリプロピレン、またはポリエチレン）の多層積層体に関し、三次元成形加工技術を開発する必要がある。

筐体下部用耐衝撃軽量基材に関しては、最外周表面に熱可塑性樹脂接着シートを巻き付けたアラミド繊維強化熱硬化性樹脂（エポキシ樹脂）パイプを 0° /90° に積層させたシートをコア材とし、アラミド繊維強化熱可塑性樹脂シートを表皮材としたサンドイッチ構造材に関し、その量産技術の開発が必要である。

繊維強化有機樹脂シートによる三次元筐体の成形技術に関しては、急速加熱・冷却できる金型等を開発し、成形加工時間、耐水性・防爆性等の目標を達成できる成形加工技術を開発する必要がある。

また、リチウムイオン電池の筐体として利用することを想定した顧客評価において示された懸念点に関しても、その対応策を検討する必要がある。

##### 3-2-2 事業化展開

今後は、大阪産業大学が開発中の電気自動車に搭載し、実用化に向けた研究開発を進めるとともに、自動車メーカーとの共同開発を模索する予定である。

量産化については、既に外注実績のある複合材加工企業の協力を得て進めていく方針である。