平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「発泡樹脂にかかるポーラス成形技術の確立」

研究開発成果等報告書概要版

平成23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

筆1	音	研究開発の概要
ו כג	辛	町ノい形元ワル安

1 — 1	研究開発の背景・研究目的及び目標・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3
1-2	研究体制・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5
	(研究組織、管理体制、管理員及び研究者氏名、協力者)
1-3	成果概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・8
1-4	当該研究開発の連絡窓口・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・9

第2章 本論

2-1	発泡樹脂のポーラス成形技術の確立(ハイブリッド成形技術)
2-1	-1 ハイブリッド成形技術の確立・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2-1	-2 成形中に通気度を測定するインプロセス計測技術の開発・・・・・・15
2-2	ポーラス成形用金型技術にかかる課題対応(ハイブリッド成形用金型技術)
2-2	2-1 ポーラス成形条件を実現する金型構造の検討・・・・・・・・・・・・・・・・
2-2	2-2 ポーラス成形用金型の加工技術の確立・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2-3	ポーラス成形体の評価
2-3	3-1 ポーラス成形体の力学特性の評価・・・・・・・・・・・・・・・・・24
2-3	3-2 ポーラス成形体の吸音特性の評価・・・・・・・・・・・・・・・・36
2-3	3-3 他素材との比較評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・47
2-4	プロジェクトの管理・運営・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・51
第3章	全体総括
3-1	まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・52
3-2	3ヵ年のまとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・53
3-3	今後の展望・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
3-4	事業化展開・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・55

参ち又獣・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	参考文献・	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	• !	56	3
--	-------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	----	---

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

一般的に自動車は車体重量が100kg 減ることにより燃費は2~3%向上することから、 自動車メーカは金属等の高密度材料に代えて、プラスチック等の低密度材料を多く利用する ようになっている。また吸音材料としては RSPP が多く利用されているが、高価で重量があ ることからより安価で軽量な代替材料が求められている。

ポーラス成形体は RSPP と比べ、軽量かつ製造コストが安価であり、吸音材や緩衝材とし ての利用が大いに期待されていることから、本研究開発では、これらのニーズに応えるため、 ポーラス成形体の吸音性能と、ソリッド成形体の機械強度の性能を兼ね備えたハイブリッド 成形体を安定して形成できる成形技術及び金型技術を確立する。

本研究開発では、軽量化を図るために、同一金型内で温度を部分制御し、空隙率25%程度のポーラスと0%のソリッドを、同時に成形する。製品の各部位毎にソリッド構造とポー ラス構造を適切に形成できる最適な温度制御技術を確立して、ハイブリッド成形技術を世界 で初めて開発する。

また、ポーラス成形工程内のインプロセス計測技術、計測データを成形機にフィードバッ クする制御システム等の生産技術開発を行い、事業化に繋げる。

区分	現状	目標値
成形体の強度(曲げ)	ソリッド1.2MPa程度	同等以上の比強度
通気度	ソリッド状態 0 1/min	$25{\sim}30$ l/min
元圧変動制御	現行変動 ±0.15MPa	元圧 ±0.1MPa以内
成形体のポーラス率	ポーラス率 0%~10%	ポーラス率 20%~30%

技術的目標値

さらに、本研究で開発するソリッド・ポーラスのハイブリッド成形技術では部分的に異な る温度制御が必要であるため、スチームおよび冷却エアを局所的かつ同時に流すことが可能 なキリ穴を適正に配置したハイブリッド成形金型を開発する。

技術的目標値

区分	現状	目標値
薄肉金型構造	金型肉厚10~15mm	金型肉厚5~6mm
断熱構造による省エネ化	現行100%とする	20~30%の削減
成形時間	1サイクルー120秒	1サイクルー80秒
金型寿命(1型寿命)	10年で72万ショット	10年で108万ショット



1-2 研究体制

1)研究組織



2)管理体制

①事業管理者

財団法人岐阜県研究開発財団



②再委託先

DAISEN株式会社



学校法人中央大学



岐阜県産業技術センター



3)管理員及び研究員氏名

①事業管理者

財団法人岐阜県研究開発財団

氏名(管理員)	所属・役職	実施内容(番号)
傍島章	技術参与兼技術振興部長兼技術振興課長	4
信田昭典	技術振興部技術振興課 主查	4

②再委託先

DAISEN株式会社

	氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
林	彰	代表取締役社長	1, 2, 3
三尾	泰三	開発室課長	1, 2, 3
沼田	靖	技術部副課長	2
楯	泰貴	開発室	1, 2, 3

学校法人中央大学

	氏 名		所属・役職		実施内容(番号)		
戸井	キ 武司	理工学部	精密機械工学科	教授	3		

岐阜県産業技術センター

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
丹羽 厚至	応用化学研究部 研究員	3
長屋 喜八	応用化学研究部 産業技術指導員	3

(実施内容)

- ①発泡樹脂のポーラス成形技術の確立(ハイブリッド成形技術)
 - ①-1 ハイブリッド成形技術の確立
- ①-2 成形中に通気度を測定し成形条件を調整するインプロセス技術の開発
- ②ポーラス成形用金型技術にかかる課題対応(ハイブリッド成形用金型技術
 - 2-1 ポーラス成形条件を実現する金型構造の検討
 - ②-2 ポーラス成形用金型の加工技術の確立

③ポーラス成形体の評価

- ③-1 ポーラス成形体の力学・吸音特性の評価
- ③-2 他素材との比較評価
- ④プロジェクトの管理・運営
 - 4)協力者
 - アドバイザー 小浦 孝次(株式会社JSP 開発1部長)

1-3 成果概要

【成形技術】

インプロセス計測方法と、その測定結果をフィードバックさせる制御技術を用いたポーラス 成形方法の開発をした(。その応用としてインプロセス制御方法によるハイブリッド成形方法 を研究した結果、試作成形品(400×350×20mm)において製品寸法差が1.5mm 以 内、通気抵抗値バラつきが±0.4kPa·s/m 以内、加熱条件の設定により通気抵抗値を任意に 設定が可能になった。一方、ソリッド部分のインプロセス条件、評価方法を未確立のため、今 後の課題となった。

【金型技術】

自動車用部品を想定した複雑3次元形状のハイブリッド用金型を試作した。金型はφ1.0 mmのキリ穴を100cm²に200箇所以上面直角に配置しており、試作成形においてハイブ リッド成形体を得ることができた。金型の昇温を促進させ、より短時間で原料に熱を与えるこ とが出来る金型構造の研究を行った。結果、製品面の昇温向上につながる金型薄肉化50%の 達成と加熱する必要の無い部位の断熱方法までを検討できたが、今後はその効果、確認が必要 である。

【評価技術】

ハイブリッド成形体のインプロセス制御による通気抵抗値をコントロールした成形体の圧縮 強度評価を行った結果、通気抵抗値の低下と共に強度(圧縮、3点曲げ)が弱くなり、ピーク 吸音率は上がる傾向になることを把握した。

他素材との比較において厚さ25mmのサンプルを3点曲げ試験及び圧縮試験を行い、ワックス含浸 EPS、多孔質 PP、発泡ウレタンとハイブリッド成形体を比較評価した。

ポーラス成形体の発泡倍率,通気抵抗,材料厚さ,背面空気層,材料組み合わせ,試料の表 面状態などのパラメータ変更による吸音率の変化を把握した。それらのパラメータのうち吸音 率に影響の高い材料厚さと背面空気層を制御し,特定の周波数を吸音できるような実験モデル を考案した。

また,実際の適用を考え,簡易ボックス及び室内にポーラス成形体を配置した場合の音圧レベル低減量を調査した。線形独立性や表面音圧を考慮することで吸音材使用面積が同等でも吸 音効果を向上できる効率的なポーラス成形体の配置箇所を選定できた。

8

1-4 当該研究開発の連絡窓口

①事業管理者

財団法人岐阜県研究開発財団 技術振興部 技術振興課 主査 信田 昭典 TEL:058-379-2212 FAX:058-379-2215 E-mail:<u>anobuta@gikenzai.or.jp</u> ②研究実施者 DA | SEN株式会社 開発室 楯 泰貴 TEL:0573-66-3200 FAX:0573-66-3276 E-mail:<u>tate@daisen-inc.co.jp</u>

学校法人中央大学 理工学部 精密機械工学科 教授 戸井 武司 TEL:03-3817-1828 FAX:03-3817-1820

 $E\text{-mail} \vdots \underline{toi@mech.chuo-u.ac.jp}$

岐阜県産業技術センター 応用化学研究部 研究員 丹羽 厚至 TEL:058-388-3151 FAX:058-388-3155

E-mail : <u>niwa-atsunori@pref.gifu.lg.jp</u>

第2章 本論

2-1 発泡樹脂のポーラス成形技術の確立(ハイブリッド成形技術)

2-1-1 ハイブリッド成形技術の確立

(ア)ハイブリッド成形実験(成形体寸法収縮の低減)(2-3-1(ア)関連)

1)目的

これまでの研究において、ポーラス成形用蒸気室とソリッド成形用蒸気室を分けた金型構造を有する、ハイブリッド成形用金型を用いてハイブリッド成形体の試作を行い、ポーラス部分とソリッド部分を有する成形体を成形することが出来たが、成形体の形状がいびつになり、ポーラス部分とソリッド部分の寸法差は最大で6. Omm であった。

そこで、ハイブリッド成形用金型を用いて成形試作を行い、ハイブリッド成形体のポーラ ス部分とソリッド部分の寸法差を1.5mm以内とする成形条件のデータを収集した。 成形したサンプルについて物性評価を行った。

2) 条件及び評価方法

金型はハイブリッド成形用 (H×W×D=400×350×20/40/80mm)、原料は F、発泡倍率は40倍のものを用いて行った。原料は予備発泡後24から48時間以内に成形した。

寸法測定にはデジタルノギスを用いた。寸法測定位置を図1-1に示す。





図1-1 ハイブリッド成形体、寸法測定位置

3)結果及び考察

ハイブリッド成形用金型を用いたハイブリッド成形体の試作実験において成形したハ イブリッド成形体の寸法を測定した結果を表1-1に示す。過去にハイブリッド成形 用金型を用いて成形した厚み20mmのハイブリッド成形体の寸法を測定した結果を 表1-2、成形品を図1-2に示す。

表1-1 ハイブリッド成形体寸法測定結果

厚み													
[mm]	H-p	H-s	寸法差	W-p	W-s	寸法差	D-p	D-s	寸法差				
20	396.79	398.15	-1.36	347.97	348.51	-0.54	19.9	20.05	-0.15				
40	398.49	399.9	-1.41	348.24	349.18	-0.94	39.78	40.88	-1.1				
80	397.9	399.28	-1.38	348.27	349.31	-1.04	80.01	80.73	-0.72				

表1-2 過去成形したハイブリッド成形体寸法測定結果

厚み				য	法[mm]				
[mm]	H-p	H-s	寸法差	W-p	W-s	寸法差	D-p	D-s	寸法差
20	392.97	397.93	-4.96	341.89	347.94	-6.05	18.99	20.58	-1.59



図1-2 過去成形したハイブリッド成形体

結果からポーラス部分とソリッド部分の寸法差を1.5mm 以内にすることができた。 ポーラス部分とソリッド部分が明確にわかれた成形体を成形することができた。過去成形 したハイブリッド成形における寸法差を改善することができた。

これはポーラス成形の寸法に影響を与えると考えられている急冷工程を制御し、調整した結果であると考えられる。

- (イ) ハイブリッド成形条件の検討
 - 1)目的

加熱工程を切替える方法と新たに考案した急冷工程の制御方法を用いた成形実験を行い、制御方法の有効性を検討した。

2) 条件及び評価方法

金型はハイブリッド成形用(H×W×D=400×350×20mm)、原料はF、発泡 倍率は40倍のものを用いて行った。原料は予備発泡後24から48時間以内に成形した。 成形条件を表に示す。急冷工程の制御方法は考案したプログラムを用いた制御を行う。(プ ログラムの検討方法について、詳細は2-1-2(エ)にて記す。)n=10とし成形した。



3)結果及び考察

成形したハイブリッド成形体の寸法を測定した結果を表1-3に示す。成形した成形 体の通気抵抗を表1-4に示す。

	H-p	H-s	寸法差	W-p	W-s	寸法差	D-p	D-s	寸法差
寸法[mm]	398.53	399.11	-0.58	348.68	349.05	-0.37	19.96	20.12	-0.16

表1-3 ハイブリッド成形体、寸法測定結果

サンプル	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值	標準偏差
通気抵抗												
[kPa•	1.80	1.93	2.12	1.51	2.01	1.95	1.86	1.82	2.26	1.83	1.91	0.19
s/m]												

表1-4 ハイブリッド成形体、通気抵抗測定結果

測定結果より、成形体の寸法については2-1-1(ア)で成形したサンプルから寸法差 を縮めることが出来た。成形体の通気抵抗については、従来の制御方法を用いて成形した場 合の標準偏差が0.23であったのに対して、本実験にて測定した通気抵抗から算出した標 準偏差は0.19であった。考案した制御方法を用いて通気抵抗のバラつきを抑えることが できた。よって、考案した急冷工程の制御方法は今後の成形において有効であると考えられ る。

(ウ) 原料の熟成時間を変えた場合のハイブリッド成形実験

1)目的

これまで、ポーラス成形において使用する原料については、原料の種類(F及びP)に よって通気抵抗に違いがあること、原料の発泡倍率によって通気抵抗に違いがあることがわ かっている。本実験では1種の原料について、予備発泡してからの熟成時間を変化させた 原料を用いて成形実験を行い。通気抵抗に変化があるか検討した。

2) 条件及び評価方法

金型はハイブリッド成形用(H×W×D=400×350×20[mm])、原料は F、発泡 倍率は40倍のものを用いて行った。n=5とし成形した。実験条件を表1-5に示す。

条件	原料熟成状態
1	熟成開始 24 時間経過
2	熟成開始 48 時間経過
3	熟成開始 72 時間経過
4	熟成開始 144 時間経過

表1-5 実験条件

3)結果及び考察

設定した実験条件で成形したハイブリッド成形体の通気抵抗を測定し、原料の熟成状態 を変化させ成形した場合の通気抵抗の変化について測定した結果を図1-4に示す。



図1-4 原料熟成時間を変化させ成形を行った場合の通気抵抗の変化

結果のグラフより、原料の熟成時間が長い原料を使用するにつれて通気抵抗が小さくなることが分かった。熟成時間24時間と48時間の原料を使用した場合で通気抵抗が大きく変化した。熟成時間48時間以上経過した原料を使用した場合では熟成時間によって通気抵抗に大きな違いはなかった。

熟成時間24時間と48時間以上の原料を使用した場合で通気抵抗が大きく下がったの は、原料の安定状態の違いによるものと考えられる。熟成時間24時間の原料は原料ビーズ に含まれる発泡ガスと空気の置換が十分でなかったために、成形工程における加熱工程での 原料の発泡度合いが大きくなり、原料間の融着度合いが高まったことで通気抵抗が大きく なったと考えられる。熟成時間48時間以上経過した原料を使用した場合では原料が安定状 態にあったため、加熱工程での原料の発泡度合いも一定になったと考えられる。ポーラス成 形において原料の融着度合いが通気抵抗の大きさとなる。よって、ポーラス成形では十分安 定した状態の原料を使用する必要があり、原料が安定するために要する熟成時間を指定する ことが重要である。今回使用した原料仕様 F、発泡倍率40倍では熟成時間48時間以上の 原料を使用することが有効である。 2-1-2 成形中に通気度を測定するインプロセス計測技術の開発

(ア) 急冷工程の圧力制御の検討(急冷工程における工程切替え制御の自動化)

1) 目的

ポーラス成形における急冷工程をインプロセス計測方法とインプロセス制御方法を検討し た。

2) 制御方法の検討

作成したプログラムを用いて、急冷工程の切替えが出来るか確認するため、成形試作を 行った。金型はハイブリッド成形用(H×W×D=400×350×20[mm])、原料は F、 発泡倍率は40倍のものを用いて行った。原料は予備発泡後24から48時間以内に成形し た。結果、プログラムを用いた成形工程が正常に動作し試作成形できた。作成したプログラ ムを用いた工程切替え制御で成形ムダが排除され、成形時間が短縮された。

また、発泡倍率の違う原料(F2O倍、4O倍、6O倍)、種類の違う原料(P)及び予備 発泡後の熟成時間の違う原料(予備発泡後1日経過したもの、3O日以上経過したもの)、 ポーラス成形用金型を用いた各成形試作を行い、成形工程が正常に動作することを確認した。 成形環境の変化に対応できる急冷工程の切替え制御ができた。これまでポーラス成形に影響 を与える制御因子は加熱工程と急冷工程であった。本実験にて作成したプログラムによる急 冷工程切替え制御を用いることでポーラス成形を制御する因子は加熱工程のみになった。今 後、ポーラス成形における通気抵抗制御は加熱工程を制御することで可能であると考えられ る。さまざまな条件での成形を行い、成形中の急冷工程における蒸気室内部圧力を測定し、 通気抵抗との関連性を検討する。

15

2-2 ポーラス成形用金型技術にかかる課題対応(ハイブリッド成形用金型技術)

2-2-2 ポーラス成形用金型の加工技術の確立

(ア)ハイブリッド成形で複雑3次元形状金型及び成形試作

1)目的

ハイブリッド成形体の事業化用途目標の自動車部品を想定した3次元形状ハイブリッド 金型試作と成形試作を行い、評価を行った。

2) 条件及び評価方法

2) -1 金型の試作

金型は自動車の嵩上げ材料として過去に使われたもののうち、複雑な形状を複数抽出・ つなぎ合わせ、製品の3次元データを作成した(図2-1)。



図2-1 ハイブリッド成形品 3 次元データ

製品 3 次元データから金型データを作成したのち任意の箇所をソリッドにするためのソ リッドチャンバー形状を作図する(図2-2)。寸法精度及び角欠けを防ぐため、外周をソ リッド化することとした。



図2-2 製品データから金型設計

金型3次元データから平成21年度に開発したキリ穴配置設計システムにより面直角に φ1. Ommのキリ穴を配置する設計を行った(図2-3)。表面へのメッシュはポリゴンを 用いてメッシュを掛け、その交点にキリ穴配置を行った。



図2-3 キリ穴配置設計

金型加工データの作成後、CAM上で干渉チェックをシミュレーションし、加工試作を 行った(図2-4)。



図2-4 干渉チェックとキリ穴加工

加工完了後の金型と組付けまでを図2-5に示した。



2) - 2 成形試作と評価

2) -1 で作製した試作金型を用いたインプロセス制御による試作成形と通気抵抗の測定を行った。原料は F、発泡倍率は40倍のものを用いた。原料は予備発泡後24から48時間以内に成形した。

成形品は乾燥させ、中心部分をゆ36で切り抜き、通気抵抗を評価した。

3)結果及び考察

試作金型を用いて試作した成形品を図2-6に示す。設定した各加熱圧力で成形したハ イブリッド成形体の通気抵抗を測定し、加熱条件を変化させ成形した場合の通気抵抗の変化 について測定した結果を表2-1に示す。



図2-6 ハイブリッド成形体

一方加熱切替	通気抵抗			
設定値(kgf/cm ²)	[kPa∙s/m]			
0.85	4.14			
0.80	2.72			
0.75	1.65			
0.70	1.35			

表2-1 通気抵抗値

試作金型で得た通気抵抗は、2-1発泡樹脂のポーラス成形技術の確立(ハイブリッド成 形技術)で述べた「加熱条件を変えた場合のハイブリッド成形実験」で得た加熱設定値が低 くなるほど通気抵抗値が小さくなる傾向が見られた。

(ウ)成形コントロールのしやすい金型構造の検討

1)目的

ポーラス成形は原料を点融着させ、急激に冷却させることで成立する。そのためには原料 と接する金型表面の温度コントロールが重要であり、金型の昇温、降温スピードを速くでき る金型が必要である。そこで金型の温度スピードを速くするため、①原料と接する金型肉厚 を薄くする方法 ②加熱する必要がない製品面以外の蒸気室内部の断熱方法をそれぞれ試作 評価し、その効果を検討した。 2) 条件及び評価方法

2) -1 金型肉厚の削減

従来の10mm肉厚とその半分の5mm肉厚金型の昇温、降温スピードとひずみをそれぞれ測 定し、温度の上がりやすさ、従来金型の目標値である金型予測寿命10⁷ショット以上の耐 久性を検討する

2) - 2 金型断熱効果

金型断熱をし、効果があると思われる箇所としてはフレーム、インサイド板、裏板とある が(図2-7)、今回は施工のし易さと蒸気室に占める面積の広さから裏板のみを対象とし



た。

図2-7 金型構造(VS1300用)

従来用いられている10mm肉厚のアルミニウム圧延材(A5052P)と、先に述べた従 来裏板の蒸気室側に断熱材を貼ったものを用意し、室内側の表面温度を計測、比較した。

3)結果及び考察

3) -1 金型肉厚の削減

5、10mm肉厚のソリッド成形用金型で成形試作を行った。スチーム使用量を蒸気流量計 (Spirax Sarco 社製 diva 型蒸気流量計)を用い、その結果を表2-2に示す。また、成 形中の金型温度を熱電対で測定した図を2-8に示す。薄肉化することにより加熱スピード が上がり、結果として加熱時間を短縮しかつ蒸気使用量を減らすことが出来た。

表2-2 1ショット当り蒸気使用量と加熱時間

	現状金型	灣肉金型
蒸気使用量	2. 900	2. 25¢
加熱時間	21秒	17.1秒



図2-8 金型温度グラフ

金型にひずみセンサ(共和電業社製 KFH)を貼付け(図2-9)、両面加熱中の測定結 果を図2-10に示す。図中にピークが2回あるのは金型補強のためのサポートバーの影響 である。凸型の応力は蒸気室側から製品面側への圧縮応力、凹型は製品面側から蒸気室側へ の圧縮応力が働くことがわかった。 図2-11に疲労限度線図を示す。上記より応力振幅 はマイナス方向に働くことがわかっているため得た応力値をプロットすると10⁶以上のラ インより更に下にあり、100万ショット(10⁷)以上の金型寿命があると予測される。 従ってソリッド成形における金型の肉厚は5mmでも10⁷以上の成形ができると思われる。





3) - 2 金型断熱効果



図2-12に1ショット中の裏板の室内側表面温度変化を示す。

アルミニウム圧延材の高低差が27.8℃に比べ(図2-13)、断熱材を貼り付けた裏板の高低差は5℃とほぼ温度が変化しないことがわかる。図2-14に冷間時から22ショッ

トまでの温度変化を示す。



図2-13 冷間時からの温度変化(断熱前)



アルミニウム圧延材は上昇下降を繰り返すが、断熱材については一定温度まで上昇した後は ほぼ平行線となるため、88.6℃が飽和温度であると考える。

2-3 発泡樹脂のポーラス成形技術の確立(ハイブリッド成形技術)

2-3-1 ポーラス成形体の力学特性の評価

(ア)ハイブリッド成形実験の強度評価(2-1-1(ア)関連)

1)目的

発泡ポリスチレン(EPS)において、ポーラス部とソリッド部を同時に成形したハイブ リッド成形体では、ポーラス部とソリッド部の境界が明確でなく、中間状態(傾斜)が存在 する。そこでポーラス部からソリッド部に移行する傾斜部の三点曲げ、圧縮試験を行い、ハ イブリッド成形体の物性を評価した。

2) 実験方法

評価用サンプルは、DAISEN にて作製した。

2) -1 三点曲げ試験

図3-1に示したように、板状のハイブリッド成形体から赤線部分の試験片を切り出し、 三点曲げ試験を行った。荷重点は、図3-2Aの試験片左端から200mmの位置から左 へ10mm刻みで移動させ、図3-2Bの左端から90mmまで試験を行った。

装置は(株)島津製作所製 オートグラフ AG-10TB を用い、荷重速度100mm/min、 支点間距離160mm にて行った。板厚は20mm、40mm、80mm で、板厚20mm は加工をせず、板厚40、80mm は図3-3に示したように、板厚40 mm について は厚さ方向の中央で切断し、上下の試験片についてそれぞれ加工面を下、上にして曲げ試 験を行った。板厚80mm は三等分に切断して、上中下とした。上下の試験片は40mm と同様に行った。

2) - 2 圧縮試験

板状のハイブリッド成形体(板厚:20mm、40mm、80mm)について圧縮試験1 を行った。測定場所は図3-4に示した。また図3-5-1、3-5-2 に試験の様子を示し た。ハイブリッド成形体は、成形上の理由により部分的に厚さが異なるので、場所による 偏荷重の影響をなくすため、荷重部の上下に10mm角の角柱状圧子を使用した

(図3-5-1)。装置は(株)島津製作所製 オートグラフ AG-1 OTB を用い、荷重 速度は2mm/min で試験を行い、2mm 変形するまでの最大荷重を測定した。測定箇所は、 図3-4のように約50mm間隔で22点行った。

また成形体の表裏の強度差を検討するために、板状のハイブリッド成形体(板厚: 20mm、40mm、80mm)を、図3-6のとおり金型の固定側、移動側それぞれを 15 mm 厚に切断して圧縮試験2を行った。荷重部の上下に10mm 角の角柱状圧子を 使用した。装置は(株)島津製作所製オートグラフ10TB を用い、荷重速度は2 mm/min で試験を行い、1.5mm 変形するまでの最大荷重を測定した。測定箇所は図3 -7のように約25 mm間隔で、44点行った。





図3-1 試験片切り出し位置

図3-2 三点曲げ試験模式図。A:荷重点が左端から200mm(試験片中央)のとき。B:荷
 重点が左端から90mmのとき。



図3-3 試験片加工の模式図。A:板厚40mmの加工図。B:板厚80mmの加工図。



図3-4 圧縮試験測定場所1。赤丸は測定場所を示す。





図3-5-1 圧縮治具。

図3-5-2 実験風景。



図3-6 試験片加工方法。図は厚さ方向を示し、色つきの部分は試験片を示す。



図3-7 圧縮試験測定場所2。赤丸は測定場所を示す。

3) 結果及び考察

3) -1 三点曲げ試験

三点曲げ試験結果を図3-8に示した。横軸は荷重点を示し、90mm ではソリッド部 に近く、200mm はポーラス部にあたる。縦軸はそのときの曲げ応力(図3-8A、C、 E)と最大荷重時の変位(図3-8B、D、F)を示した。

板厚20mmの試験を行ったところ、ソリッド部からポーラス部にかけて曲げ応力が 減少することがわかった(図3-8A)。また最大荷重時の変位を見ても、同様に増加した (図3-8B)。

板厚20mm で見られた強度の直線的な変化は、ソリッド―ポーラス境界での切替わり 方が線形的であることを示唆している。以前の試験にて、スキン層ありではポーラスより もソリッドが強度的に強いことが示されているが、今回の結果もそれとよく一致している。 また最大荷重時の変位も、ソリッドのほうがポーラスよりたわむことと一致している。

板厚40mm の試験結果をみると、曲げ応力では荷重点距離160mm から120mm にかけて直線的に増加し、110mm からはほぼ平坦であることがわかった(図3-8C)。 これは最大荷重時変位においても同様の傾向が見られた(図3-8D)。また試験片の上と 下では、上に比べて下のほうが弱いということが分かった。このことは成形時の金型固定 側、移動側で金型温度が異なることを示している。

板厚80mmの試験結果では、40mmよりもソリッド側で平坦な部分が増えている ことがわかった(図3-8E)。この現象は最大荷重時変位でも同様である(図3-8F)。

板圧40mm では板圧20mm のときのように、ポーラスからソリッドに向かって応力 が増加しつづけるのではなく、左端から90mm-120mm で一定となった。この現象 は板圧80mm でも見られ、80mm ではより幅広く一定となっている。このことは成形 条件によると考える。板圧20mm に比べて40mm、さらに80mm では厚みがあるた め、内部までソリッドにするためには、より多くの蒸気を流して融着させなければならな い。蒸気を多く流せばポーラス部のソリッド化がより進むため、一定強度のソリッドがで きたと考える。

3) - 2 圧縮試験

圧縮試験1の結果を図3-9に示す。板厚20、40mm では場所による顕著な差は認められなかった。(図3-9A、B)。しかし板厚80mm ではポーラス部がソリッド部より 強い傾向が見られ、かつ強さの傾斜状態が見られた(図3-9C)。

圧縮試験1は50 mm間隔で行ったところ、傾斜部の強度変化が急激だったため、間隔
を25mmにして圧縮試験2を行った。また圧縮試験1では板厚そのままで2 mm変形
するまでの強さを測定したが、できるだけ同一条件にして測定を行うため、板厚を15
mmに切り出し、さらに金型の移動側、固定側で強度に違いがあるか確認を行うために、
それぞれの側から試験片を切り出した(図3-6)。

圧縮試験2の結果を図3-10、11に示す。図3-10、11ともにポーラス部がソ

リッド部より強い傾向が見られた。板厚80mm では圧縮試験1 と同様に強さの傾斜状態 が見られた。また移動側と固定側を比較すると、最大強さは固定側の方が大きいことがわ かった。特に板厚80mm では、ポーラス部とソリッド部の強さの差が、移動側より固定 側で大きいことがわかった。板厚20mm では圧縮試験1 とかわらず、顕著な強度の違い はみられなかったが、板厚40mm では多少ポーラス部のほうがソリッド部より強い傾向 が見られた。また板厚80mm ではポーラス部のほうが強く、また傾斜部において、強度 の傾斜もよりなめらかに変化した。この傾向は移動側よりも固定側で顕著に見られた。発 泡成形ではビーズの加熱に高温の蒸気を使用するが、この蒸気は金型内の蒸気室をへて、 キリ穴から製品に向けて噴射される。この蒸気室の容量が移動側と固定側で異なると成形 品に噴射される蒸気温度が異なるため、成形品の加熱状態が表裏で異なり、今回のような 違いになったと考える。

本試験結果より、板厚80mm において、ポーラス部がソリッド部よりも強いことがわ かった。これは以下のように考える。ポーラスは隣の粒子と点で接しているので、粒子間 に空隙ができる。一方ソリッドは粒子間に空隙ができないので、ポーラスより発泡してい ると考える。EPS は PS ビーズに可燃性ガスを含浸させ内部より膨らませている。つまり 発泡量が小さいポーラスのほうが表皮が厚い状態であるため、圧縮強さが大きくなったの ではないか。

4)まとめ

ハイブリッド成形体の三点曲げ試験では、傾斜部では強度、最大荷重変位ともに増加する ことがわかった。またハイブリッド成形体の圧縮試験では、ポーラス部がソリッド部よりも 強く、また傾斜部では圧縮強さにも傾斜があることがわかった。

29



図3-8 三点曲げ支点を変えたときのハイブリッド成形体の物性値の変化。A,C,E:曲げ 応力、B,D,F:最大荷重時変位、A,B:板厚20mm、C,D:板厚40mm、E,F:板厚80 mmの結果。





図3-9 (圧縮試験1)ハイブリッド成形体
 各点における圧縮強さ。A:板厚20mm、
 B:板厚40mm、C:板厚80mm。







図3-10 (圧縮試験2)ハイブリッド成形体 (移動側)各点における圧縮強さ。A:板厚20 mm、B:板厚40mm、C:板厚80mm。



1

0.03

0.025 6.02

測定場所



図3-11 (圧縮試験2)ハイブリッド成形 体(固定側)各点における圧縮強さ。A:板厚20 mm、B:板厚40mm、C:板厚80mm。 (イ) ハイブリッド成形体の強度における加熱条件の影響(2-1-1(ウ) 関連)

1)目的

EPS のハイブリッド成形の工程の中でポーラス部の品質を左右するのは、一方加熱1、2 である。そこで加熱条件を変化させた場合の、ハイブリッド成形体の物性(三点曲げ強さ、 圧縮強さ)を検討した。

2) 条件及び評価方法

試験用のサンプルは DAISEN にて成形した。

2) -1 三点曲げ試験

図3-1のように、板状のハイブリッド成形体から赤線部分の試験片を切り出し、三点 曲げ試験を行った。荷重点は、図3-2Aの試験片左端から190mmの位置から左へ 20 mm 刻みで移動させ、図3-2Bの左端から90mm まで試験を行った。さらに変曲 点と思われる部分について、追加試験を行った。装置は(株)島津製作所製 オートグラ フ AG-10TBを用い、荷重速度100mm/min、支点間距離160mmにて行った。

2) - 2 圧縮試験

板状のハイブリッド成形体(400×350×20mm)の圧縮試験を行った。荷重部の上下は、10mm角の角柱状圧子を使用した。装置は(株)島津製作所製 オートグラフ AG-10TBを用い、荷重速度は2mm/min で試験を行い、2.0mm 変形するまでの最大荷重を測定した。測定箇所は図3-7のように約25mm間隔で、44点行った。

3)結果及び考察

3) -1 三点曲げ試験

図3-12に加熱条件を変えたときの三点曲げ試験結果を示す。同じ加熱条件内ではソ リッド部の方がポーラス部より強く、また傾斜部において強度の傾斜がすべての加熱条件に ついて見られた。これは強度の面において、ハイブリッド成形体の傾斜部がソリッドとポー ラスの中間状態にあることを示している。次に各加熱条件で比較すると、加熱圧力の高いほ うが曲げ強さは大きく、加熱圧力が低くなるにつれて小さくなることがわかった。これは加 熱圧力が下がるとポーラスの融着度合いが低下するため、三点曲げ試験において重要である 粒子間の接着面積が低下したと考える。 3) - 2 圧縮試験

圧縮試験を行ったところ、図3-13のような結果が得られた。同一板内では、ソリッド の方が強い傾向があるように思われる。加熱条件で比較すると、加熱圧力が低くなるにつれ て、圧縮強さも小さくなっている。これは三点曲げ試験の結果と同様である。同一試験片内 ではソリッドがポーラスよりやや強い傾向を示した。これは粒子間の融着がソリッドの方が 大きいからだと考える。加熱条件間では、加熱圧力が低下すると圧縮強度も低下した。これ は加熱圧力が低下すると、加熱蒸気量が少なくなるため粒子間の融着度合いが低下する。そ のため接着表面積が少なくなり、強度が低下したと考える。

4) まとめ

ハイブリッド成形体における加熱圧力は、曲げ強さ、圧縮強さに影響を及ぼし、加熱圧力 が高いほど各強さは高い傾向を示す。



図3-12 ハイブリッド成形体の曲げ強さ。A:0.65 kgf/cm²、 B:0.55 kgf/cm²、C:0.45 kgf/cm²、D:0.35 kgf/cm²、 E:0.25 kgf/cm²。









図 3 - 1 3 ハイブリッド成形体の各点における 圧縮強さ。A: 0.65 kgf/cm²、B: 0.55 kgf/cm²、 C: 0.45 kgf/cm²、D: 0.35 kgf/cm²、 E: 0.25 kgf/cm²。

2-3-2 ポーラス成形体の吸音特性の評価

本研究では、ハイブリッド[1]成形体の吸音特性を把握するため、ハイブリッド成形体を 構成するポーラス成形体とソリッド成形体のうち、ポーラス成形体の吸音特性について調 べる。

吸音率[2]を測定する方法には、2マイクロホン法と残響室法がある。2マイクロホン法 の入射条件は垂直入射限定で測定が簡単であり、小さいサイズの材料で測定が可能である。 また、再現性の良いデータが得られるため用途としては材料開発などに用いられる。一方、 残響室法は入射条件がランダム入射であり、測定が難しく大きいサイズでの測定が必要で ある。用途としては建築設計などに用いられる。本研究ではサンプル内のばらつきを考慮 し2マイクロホン法を用いて垂直入射吸音率の測定を行う。

ポーラス成形体は球形の原料ビーズを完全に融着させることなく接合させ、空隙を持た せることで通気性を有し、吸音効果が得られる。原料ビーズには様々な種類があり、さら に同じ原料でも発泡倍率を変えることで粒径や硬さを変えることができる。そこで、ポー ラス成形体の発泡倍率、通気抵抗、材料厚さ、背面空気層、材料組み合わせなどのパラ メータ変更による吸音率の変化を把握する。測定より得られた結果からパラメータの変化 による吸音率の傾向を調べることで、ポーラス成形体の吸音メカニズムを解明し、吸音特 性を把握する。上記の中から、今回は材料厚さと背面空気層変更の測定より得られた結果 から任意の吸音特性を持つような実験モデルを作成する。

次に、実際の適用を考え、室内を模擬したアクリルの簡易ボックスを用いて効率的な ポーラス成形体の吸音材配置方法を提案する。簡易ボックスにおいて、シミュレーション 上で線形独立性を用いて配置を検討する。さらに、ポーラス成形体の配置箇所における音 圧レベル低減量の違いと、壁面の表面音圧を考慮した配置を検討する。ポーラス成形体の 空間への適用であるため、本研究では音圧レベル低減量を測定して配置方法の効果を比較 する。さらに、残響の大きな室内に同様の配置方法を適用し、吸音材使用面積が同等でも 吸音効果を向上できるか検証する。

36

(ア) 吸音率測定実験

1) インピーダンスチューブ概要

インピーダンスチューブは2マイクロホン法[3]に基づき、材料に対して垂直方向から到来す る垂直入射の吸音率を測定する方法である。測定方法はインピーダンスチューブのスピーカよ りランダムノイズを放射して管内に設置した2つのマイクロホン間の伝達関数を測定し、その 関数をもとに垂直入射吸音率を算出する。インピーダンスチューブを図3-14に示す。



図3-14 インピーダンスチューブ

2) 発泡倍率の違いによる吸音率の変化

原料 P、F の材料について発泡倍率(20倍、40倍、60倍、80倍)を変更したときの 吸音率をそれぞれ測定し、比較する。また各材料とも通気抵抗の測定を行い、材料と通気抵抗 の相関を検討する。なお材料厚さは各材料とも25mmである。

発泡倍率を変更した際の吸音率について、原料 P を図3-15に、原料 F を図3-16に示 す。また各材料における通気抵抗値を図中に示す。図3-15、図3-16により、どちらも 発泡倍率が高い方が吸音率が高く、吸音ピークの周波数にあまり変化がないことがわかる。ま た、通気抵抗に着目すると、通気抵抗が小さい方が吸音率が高くなる。これより、通気抵抗値 は吸音ピークの周波数には関与せず、吸音率を決める因子であることがわかる。これは、発泡 倍率が高くなると、試料を形成する粒径が大きくなるため融着の間隔が広がり、通気抵抗が低 くなるためと考えられる。



3) 材料厚さの違いによる吸音率の変化

材料厚さを変更した際の吸音率の変化を把握する。F-40、F-80の材料を使用し、厚さを25mmから5mm毎に薄くして各々5種類の吸音率を測定する。



測定結果を図3-17、図3-18に示す。これより、材料が薄くなるにつれ吸音ピークの周 波数は高周波数に移動することがわかる。しかし、発泡倍率により違いはあるが材料厚さが薄 くなると同時に吸音率も低下する。

F-80において、材料厚さと吸音ピークの周波数の測定値および近似値を図3-19に示す。これより材料厚さと吸音ピークの周波数は線形近似を行うことができると考える。



4) 背面空気層の有無による吸音率の変化

材料の背面に空気層が存在するときの吸音率の変化を把握する。なお材料厚さは25mm で 一定とする。F-40、F-80の材料を使用し、背面空気層を0mm、5mm、10mm、 30mm と変更し、吸音率を測定する。本実験に用いる前述のインピーダンスチューブは材料 の背面層の距離を変化させることが可能となっている。

測定結果を図3-20、図3-21に示す。これより、背面空気層が大きくなるにつれ吸音 ピークの周波数は低周波数に移動することがわかる。また、背面空気層を大きくするほど吸音 率が大きくなることがわかる。

F-80において、背面空気層と吸音ピークの周波数の測定値および近似値を図3-22に 示す。これより背面空気層と吸音ピークの周波数は、対数近似を行うことができると考える。





5) 材料および発泡倍率の組み合わせによる吸音率の変化

インピーダンスチューブ測定において2種類の材料を組み合わせ、吸音率に変化があるか調 査する。組み合わせのパターンを表3-1 に示す。各材料とも後ろ側に8種類の材料を組み合 わせる。また、組み合わせたときのシリンダ内部を図3-23に示す。組み合わせる際は非接 着とし、2つ合わせて厚さは50mm である。組み合わせ後の吸音率の結果を図3-24と図 3-25に示す。これより、どの材料も同じ傾向を示していることがわかる。参考として各結 果に材料単体の吸音率を示す。これより、後ろ側の材料を変えても吸音率に影響していないこ とがわかる。これより、後ろ側の材料まで通気がされていないと判断できる。







P-40+Xの組み合わせ吸音率 図 3-25 F-80+X の組み合わせ吸音率

材料厚さおよび背面空気層と吸音ピーク周波数の関係 6)

材料厚さおよび背面空気層を共に変更した際の吸音ピークの周波数の変化ついて把握する。 なお、材料厚さと背面空気層は合わせて一定の25mm とする。F-80の材料厚さ、背面空 気層を変更し、測定した結果を図3-26に示す。また、前述の図3-19、図3-22の近 似値を合わせた予測モデルを図3-27に示す。横軸は"厚さ-空気層"とする。図3-26 より、背面空気層の割合が大きいほど吸音率は高く、25mm という一定の長さにおいては吸 音ピークの周波数があまり変化しないことがわかる。

図3-27より測定値を予測モデルでほぼ表現できることがわかる。測定値と予測値の比較 結果、いずれも誤差が10%以内であり、精度よく予測できていることがわかった。これより、 一定の周波数範囲内では吸音ピークをチューニングできると考えられる。





41

7) 吸音ピークの周波数予測検証

図3-26の予測モデルを用いて、任意の周波数に吸音ピークを移動できるか検証する。今回は任意の周波数を900Hz とする。図3-27より吸音ピークを900Hz とした場合、材料厚さ8mm - 背面空気層17 mm の条件で設置すればよいことがわかる。実験結果を図3-28に示す。900Hz を目標とし、920Hz に移動させることができた。これより、予測モデルでおおよそチューニングできていることがわかる[4]。



図 3-28 全長 25mm における吸音率の変化

(イ)簡易ボックスにおける効率的な吸音材配置

アクリルの簡易ボックスを用いて効率的な吸音材の配置方法を検討する。

1) 伝達行列の線形独立性による吸音材配置

壁面による反射量は、音源と壁面間の関係と壁面と測定点間の関係で決まる。これら2つの 伝達関数で、最も伝達率が大きい面に吸音材を配置すれば、吸音効果が高くなると考えられる。 非正方行列でこの様な要素は線形独立性が高い要素を意味するため、線形独立性を数値で表す 線形独立試験(Efl)で効率的な吸音材の配置を調査することができる[5]。

伝達行列Gに対するEff値は次のように特異値分解を利用して求められる。

$$G = U\Lambda W^{H}$$
(1)
$$E_{W} = diag(W_{a}W_{a}^{H})$$
(2)

Waは1番目から a番目までの列で組まれた行列を意味する。候補になる配置が与えられた場合、吸音材を配置する箇所と音源、測定点間の EfI 値を求め、それらの合計値を比較して一番高い配置が効率の良い配置である。

この方法を利用することで、図3-29のように、吸音材使用面積が同等の5つの配置の中で、一番効率的な配置を選ぶことができる。各配置について計算した EfI 値を図3-30に示す。これより、Type A の EfI 値が全周波数で高くなることがわかる。図3-31に示す検証実験より、Type A の音圧レベルが全周波数で低いことが確認できる[6]。





2)表面音圧に基づく吸音材配置

図3-32にポーラス成形体を配置するアクリルの簡易ボックスを示す。壁面に貼り付けている板状のものがポーラス成形体である。マイクロホンはボックスの対角線上に5箇所設置する。スピーカは簡易ボックスの底に設置して、音源はバーストランダム波を用いる。簡易ボックスの寸法は x=0。88 m、y=0。68 m、z=0。79 m である。また簡易ボックスの壁面には図3-32に示すように壁面 A、C、E、F とそれぞれ名付ける。また上面を壁面 B、底面を壁面 D とそれぞれ名付ける。

効率的な吸音材配置のための方法として、吸音材配置面での表面音圧に基づく方法を検討する。ポーラス成形体の配置候補面は図3-33のように、簡易ボックスの全6面を対象として、 各面を9等分した全54箇所とする。



図 3-32 アクリルの簡易ボックス

図 3-33 ポーラス成形体の配置候補面

まず、各配置箇所に対する音圧レベル低減量を測定する。次に、1/3オクターブバンド毎 に音圧レベル低減量を降順で並び替え、上位3箇所と下位3箇所の2グループに分ける。1/3 オクターブバンド毎に差は見られるが、上位、下位グループの音圧レベル低減量の平均値を比 較すると800Hz バンドで約5.5dB であった。音圧レベル低減量の平均値に違いが見られ た800Hz バンドの上位、下位グループに着目してポーラス成形体を配置して、各グループ の音圧レベル低減量を測定する。

表3-2に800 Hz バンドにおける効率的な配置箇所の効果を示す。下位グループの配置 箇所は C1、C4、C8 である。上位グループの配置箇所は A2、B8、F1 である。表3-2より、 吸音材を配置しないパターンと下位グループを比較すると音圧レベル低減量は0.3dB とほ とんど差が見られない。このことから、何も考慮せずにポーラス成形体を配置すると、必ずし も音圧レベルが下がるとは限らないことがわかる。また、吸音材を配置しないパターンと上位 グループを比較すると音圧レベル低減量は8.1dB となる。このことから、音圧レベル低減 量を考慮してポーラス成形体を配置すると大きな吸音効果を得ることができる。

これらを検証するために、簡易ボックスの表面音圧を測定する。一面に対して縦9列、横7 行の計63点の音圧レベルをマイクロホンで測定し壁面の音圧分布を求める。図3-34に壁 面 A、壁面 B、壁面 F の800Hz バンドの音圧分布を示している。図3-34より、黒点線 で囲っている音圧レベルの高い箇所が音圧レベル低減量の上位グループの3箇所と一致してい る。これより、表面音圧が関係していると考えられ、適切に推定できることが確認できた。ま た、表面音圧は壁面付近の音響モード特性が関係していることがわかる。

配置方法	配置箇所	低減音圧レベル dB		
吸音材なし		-		
音圧レベル低減量 下位3グループ	C1 C4	0.3		
	60			
辛圧レベル低減量	A2			
日江レベル区派里	B8	8.1		
	F1			

表 3-2 800 Hz バンドにおける効率的な配置箇所の効果



図 3-34 簡易ボックス壁面の音圧分布

(ウ) 室内における効率的な吸音材配置

1) 表面音圧測定

室内壁面の表面音圧に着目した配置を検証するために、室内の表面音圧を測定する。室内の 一面に対して縦15列、横27行の計405点の音圧レベルをマイクロホンで測定し、壁面の 音圧分布を求める。図3-35に室内壁面の250Hz バンドの音圧分布を示す。これより、 一面等圧分布を示さず、壁面に音圧の高低差があることが確認できる。



図 3-35 室内壁面の 250 Hz バンドの音圧分布

2) 室内壁面の表面音圧を考慮した吸音材配置

(イ)-2) 項より、壁面の音圧分布で音圧レベルの高い箇所にポーラス成形体を設置する と、大きな吸音効果を得ると予測できる。そこで図3-36に示すように音圧レベルの大きな 箇所にポーラス成形体を配置し、室内環境の音圧レベル低減量を測定する。 図3-37に室内 の寸法を示し、 yz 平面の壁面にポーラス成形体を配置する。右側中央にスピーカを設置し、 音源はバーストランダム波を用いる。マイクロホンの設置箇所はランダムに30箇所設置して 音響モードの影響を減らしている。





図 3-36 壁面の表面音圧に着目したポーラス成形体配置 図 3-37 室内の寸法

ポーラス成形体の配置の比較として、次の3パターンを比較する。①吸音材を配置しないパ ターン ②壁面の半分に吸音材を配置したパターン ③吸音材使用面積が同等で吸音材を表面 音圧に基づいて配置したパターン。250Hz バンドにおいて、パターン①とパターン②を比 較すると音圧レベル低減量は0.4dB とほとんど差が見られない。一方、パターン③ではパ ターン①と比べ音圧レベル低減量は2.9dB となる。このことから、室内でも吸音効果を向 上できることがわかり、効率的な吸音材配置の有用性を検証できる。 2-3-3 他素材との比較

(ア)他素材との強度比較

1) 目的

吸音材料としてはウレタン、EPS、多孔質ポリプロピレン(PP)があり、それらを今 回開発したハイブリッド成形体との物性について比較検討を行った。

2) 方法

サンプルは図3-38に示した。比較対象として、(株)JSP より提供いただいたワック ス含浸 EPS (WEPS) (図3-38A)、多孔質 PP (図3-38B)、ウレタン (図3-38 C) について三点曲げ試験、圧縮試験を検討した。



図3-38 比較用他素材の表面写真。A:ワックス含浸 EPS、B:多孔質 PP、C:ウレタン。

3) -1 三点曲げ試験

板厚25 mmの板上 WEPS、多孔質 PP を、幅70 mm、長さ200mm に切り出し

た。そして支点間距離160mm、荷重速度 100mm/min で、WEPS については試験片 が曲げ破壊するまで、多孔質 PP については荷重-たわみ曲線が降伏するまでの最大荷重を測 定し、最大強さを求めた。装置は(株)島津製作所製 オートグラフ AG-1 OTB を用い た。なおウレタンの曲げ強さは、自重でたわんでしまうため測定できなかった。

3) - 2 圧縮試験

WEPS、多孔質 PP、ウレタンについて圧縮試験を行った。荷重部の上下は、10mm 角の角柱状圧子を使用した。装置は(株)島津製作所製 オートグラフ AG-1 OTB を用 い、荷重速度は2mm/min で試験を行い、2.5mm 変形するまでの最大荷重を測定した。

4)結果及び考察

ハイブリッド成形体と他素材の曲げ強さを比較したところ、多孔質 PP はハイブリッド 成形体のソリッドとポーラスの中間程度であり、また WEPS はポーラスよりも弱いことがわ かった(図3-39)。

またハイブリッド成形体と他素材の圧縮強さを比較したところ、ハイブリッド成形体 (平均値)と比べて、多孔質 PP は同程度、WEPS は半分程度であり、ウレタンの圧縮強さ は小さいことがわかった(図3-40)。

多孔質 PP は、PP を中空のマカロニ構造に押出成形し高温蒸気で融着させた製品であり、 強度の面において、内部が気泡の EPS より強いことが想定された。しかし三点曲げ試験で はポーラス以上ソリッド未満であり、また圧縮試験においてはソリッド、ポーラスの平均値 と同程度であった。これはハイブリッド成形体が市販化されている類似製品と比較して、強 度的に使用可能と考える。ただし今回は単純な三点曲げと圧縮試験により比較したが、用途 によっては他の適当な測定方法にて比較検討を行う必要があると考える。

5) まとめ

ハイブリッド成形体は、強度的には市販されている類似製品に遜色なく、十分な強度を 有していると考える。

48

図3-39 他素材の三点曲げ試験結果。ハイブリッドについては、ソリッドから ポーラスにかけての12点の結果を示す。

図3-40 他素材の圧縮試験結果。ハイブリッドは、加熱条件ごとの強さを示す。

(イ)他素材との吸音率比較

はじめに、ポーラス成形体と一般的な吸音材料の吸音特性の違いを把握し、ポーラス成形体 の優位性を検討する。図3-41に5種類の吸音材料、ポーラス成形体(F80)、RSPP (Recycled Sound-Proofing Products)、カームフレックス(CF)、グラスウール(GW)、F80 スキン層なし(EPS)の吸音率の比較を示す。このとき、全ての材料の厚みは25mmとする。

図3-41より、従来の EPS と比較するとポーラス成形体は通気性があるため、吸音特性 があることがわかる。また、一般的な吸音材料はそれぞれ中・高域の周波数に対して広帯域に 吸音率が高い傾向であるが、それに対し、ポーラス成形体は比較的狭い範囲で吸音率が高く なっていることがわかる。この吸音特性は他種材料にはない特徴であるため、単なる静音化を 行うのではなく、選択的な騒音制御が求められる快音化に適している。

図3-41 他種材料との吸音率比較

2-4 プロジェクトの管理・運営

【研究開発推進委員会の設置及び開催】

研究開発推進委員会を設置して2回開催し、意見交換等を行った。

・第1回

日時:平成22年7月29日(木) 13:00~15:30

場所: DA | SEN株式会社

出席者:委員 5名、オブザーバー 6名、事務局(管理者) 4名 計15名

・第2回

日時:平成23年1月27日(木) 13:00~15:30

場所:DAISEN株式会社

出席者:委員 5名、オブザーバー 7名、事務局(管理者) 4名 計16名

【進捗管理】

研究実施プロジェクトの運営管理、研究共同体構成員相互の調整、財産管理等事務的管理等を主体的に行った。

【報告書の取りまとめ】

本成果報告書のとおり、報告書を取りまとめた。

第3章 全体総括

3-1 平成22年度のまとめ

3-1-1 発泡樹脂のポーラス成形技術の確立(ハイブリッド成形技術)

ハイブリッド成形体の成形方法

製品寸法差が1.5mm 以内

ポーラス部のインプロセス測定技術の開発

インプロセス測定値のフィードバックによる成形制御技術の開発

インプロセス制御による通気抵抗値±O.4kPa・s/m

加熱条件設定によりハイブリッド成形体の通気抵抗値を任意に設定可能

金型、原料の変化に対応できるインプロセス制御技術の基盤が出来た

3-1-2 ポーラス成形用金型技術にかかる課題対応(ハイブリッド成形用金型技術) ハイブリッド成形用キリ穴設計配置(マンマシン)システムの開発 高速5軸加工による面直角にキリ穴を開ける加工技術の取得 薄肉金型、断熱構造による省エネ効果の確認

ハイブリッド成形用金型の設計技術、加工技術の基盤が出来た

3-1-3 ポーラス成形体の評価

本研究ではポーラス成形体の吸音特性について調査し、ポーラス成形体の吸音メカニズ ムを解明し、吸音特性を把握した。実測より得られた吸音特性から任意の吸音特性が得ら れるよう実験モデルを作成し、材料厚さと背面空気層の組み合わせにより所望の吸音特性 を得ることができた。

以下は,吸音特性の傾向を示す.

- ・ポーラス成形体は P, F ともに周波数特性に大きな違いはないが,通気抵抗により吸音率に違いが生じる.
- ・各25mm, 2種の材料の組み合わせにおいて,後部材料の種類に関らず同様の吸音 特性を示す.
- ・材料厚さを薄くすると吸音のピークは高周波数に、また、背面空気層を大きくす ると吸音率が高くなることがわかった.この特徴より吸音ピークの周波数をチ

ューニングが可能である.

また、ポーラス成形体を用いた室内空間への吸音材の効率的な配置方法について検討を し、以下の結果が得られた.

- ・簡易ボックスの空間において、線形独立性や表面音圧を考慮することによりポー ラス成形体の効率的な配置箇所を選定することができた.
- ・実際の室内への適用を実施した結果,簡易ボックス同様に吸音材使用面積が 同等でも吸音効果が向上できることが検証できた.
- 3-2 3ヵ年のまとめ

ハイブリッド成形体は、ポーラス成形体の吸音性能とソリッド 成形体の機械強度の両方の性能を兼ね備えた 成形体である。本研究で開発したハイブリッ ド成形体の試作品を示す(図A)。従来のポー ラス成形体では本事業に於いてハイブリッド 成形体を安定して成形できる成形技術、金型 加工技術と評価方法の確立のための研究開発をした。

図 A ハイブリッド成形体

ハイブリッド成形体の形成過程における成形体内部温度のイメージを示した(図B)。通

徐々に冷却する。ハイブリッド成形方法は上記工程を1成形サイクル中に行うことで、 ポーラスとソリッド部位を混在したハイブリッド成形体を得ることができる。

ハイブリッド成形体(400×350×20mm)の成形条件を導き出すにあたり、平成

20~21年度にかけてポーラス成形体の成形条件とその評価方法の研究を行った。ポー ラス成形における制御要因として加熱圧力、加熱時間、成形体内部温度、冷却エア圧力、 冷却エア時間である。分散分析等を用いながら試作実験を行った結果、ポーラス成形の制 御要因として加熱条件であることがわかった。

インプロセス制御技術を実施するためにまず、吸音性能・強度を成形中の金型内部で測 定するインプロセス測定技術を研究した。その評価方法として吸音性能・強度との相関性 を通気抵抗値で代替出来ることを確認した。その後通気抵抗値を成形方法でコントロール する方法を検証し、繰り返し安定した通気抵抗値を得ることができるインプロセス制御方 法を試作検証し、成形機械のシーケンスプログラム内でコントロールする制御方法を開発 した。

平成22年度ではポーラス成形で開発したインプロセス制御方法をハイブリッド成形へ 展開し、ポーラス成形同様に安定した通気抵抗値を得るインプロセス制御方法の検証がで きた。

ポーラス/ハイブリッド成形体の評価方法は先にも通気抵抗値、吸音性能と強度を測定 する

3-3 今後の展望

- ・圧力と通気抵抗値の相関を継続研究
 - 1) 成形品形状の異なる金型の圧力変化と通気抵抗値のデータ収集と相関を研究
 - 2)1)より得た相関から通気抵抗値の予測値を算出
 - 3) インプロセス制御技術を搭載した制御システムの構築⇒(DAISEN のノウハウ)
- ・金型強度の測定
 - 1)金型強度は計算上でしか確認できていない。引き続き検証が必要。
- ・種々の金型形状でキリ穴設計技術の蓄積
 - 1) 開発したキリ穴設計配置システムの有効性を検証
- ・ハイブリッド成形体の強度評価方法の検証
- ・形状の異なる成形体の強度評価方法の検討
- 各開発製品の求める音環境を調査し、開発する製品に関するニーズを分析より、
 - 1) ポーラス成形体の適切な適用部位を定める.
 - 2) 快適性を向上させる音響特性に基づきポーラス成形体の適切な形状を設計する.

3) 製品が設置された場合を想定した数値シミュレーションを行い,最も効果の高い 設計条件を抽出する.

平成23年度からは補完研究を実施しながら事業化に向けた用途開発をとり進める。

3-4 事業化展開

事業化に向けて、川下メーカへの取組を事業採択時からとり進めている。事業化体制を図 Cに示す。

自動車分野への適用

申請時同様、自動車用床材として現在、自動車内装サプライヤーへの提案を継続している。リーマンショック後から国内市場の急激な縮小も相まって、本事業終了後の ラインオフを目標としていた案件が途絶えたものの、見積や提案を継続的に行い、採 用を図っている。

建材分野への適用

申請時と同様に床、壁、天井用吸音断熱材料として提案しているほか、内装ドア芯 材としての用途を断熱建材メーカへ提案しているほか、大手内装ドアメーカへの提案 を進めている。

家電分野への適用

換気送風機の吸音・断熱・構造部材としての提案を行っているほか、エアコン、冷 凍・冷蔵庫などの断熱・吸音部材としての提案を実施している。

その他の分野として、通気性能を生かした部材、調音するための部材として用途開発を取り進めている。

今後はさらに各業界との取組を進め、事業化に漕ぎ着けたい。

図 C 事業化体制

参考文献

[1] 島健太郎, "ハイブリッド複合材料", シーエムシー出版(2002).

[2] 鈴木昭次他, "機械音響工学", コロナ社(2007).

[3] H.Utsuno, J.Acoust. Soc.Am, 86-2, 637-843 (1989).

[4] 青木駿典,戸井武司, "機能性材料を用いた音響特性チューニング手法の開発", 音 講論集(春), 3-10-3, 2011

[5] 曺浣豪, 戸井武司, 李 正權, "内部音場制御のための音響ホログラフィによる音源ア レーシステム設計", 音講論集(秋), pp.613-616, 2010

[6] 勝又智久, 曺浣豪, 楯泰貴, 丹羽厚至, 戸井 武司, "居住空間における効率的な吸音 材の配置", 音講論集(春), 3-10-2, 2011