

戦略的省エネルギー技術革新プログラム
フェーズ名：実用化、実証開発

柔軟な高性能断熱材フレキシブルエアロゲル の実用化プロセス開発

プロジェクト実施者：株式会社イノアック技術研究所

プロジェクト実施期間：2017年6月～2021年2月



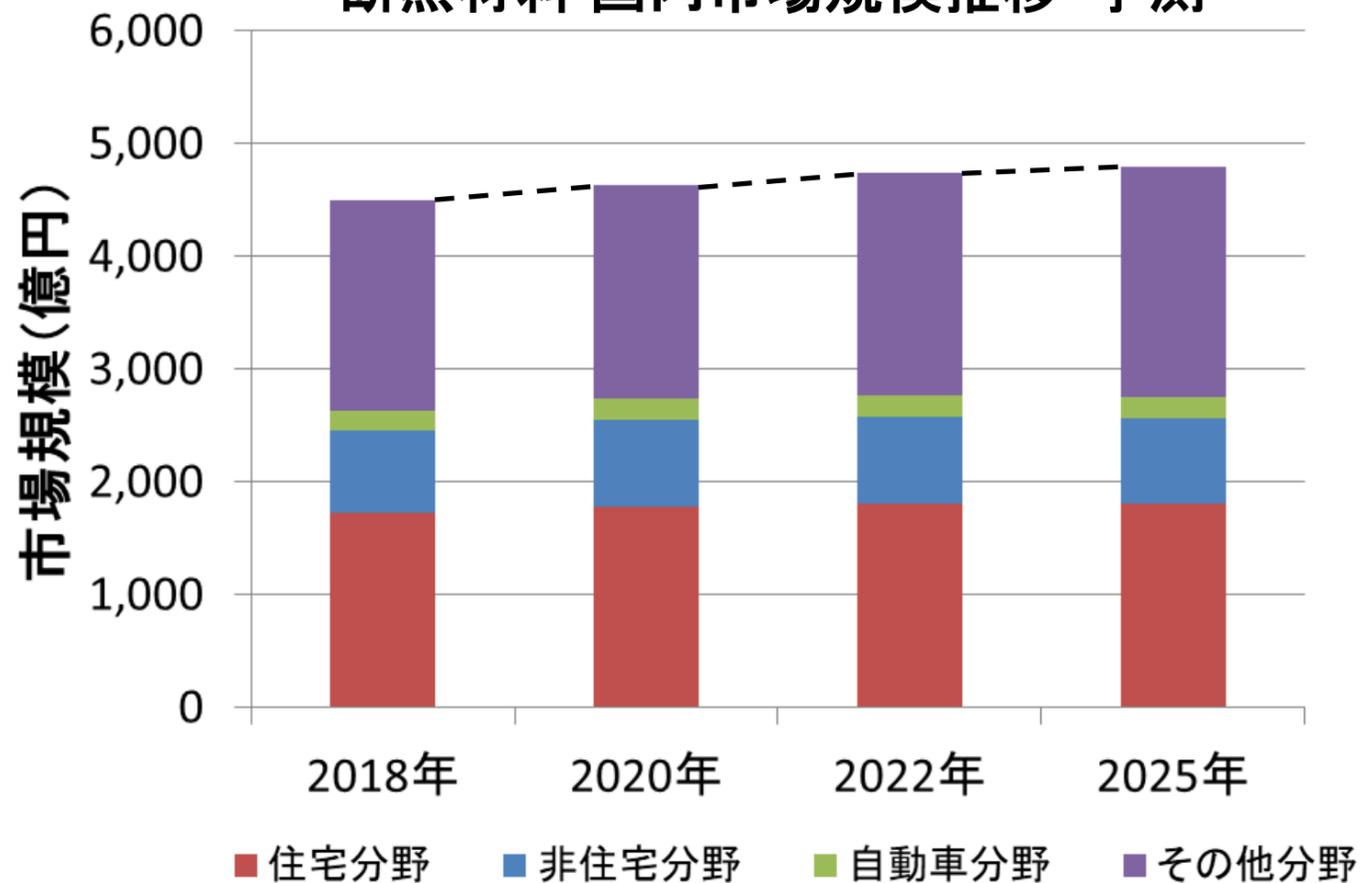
温室効果ガスの排出量低減への取り組みが加速するなか、電力削減に寄与できる断熱材料の需要が拡大している。

目的

次世代断熱部材の創出と普及

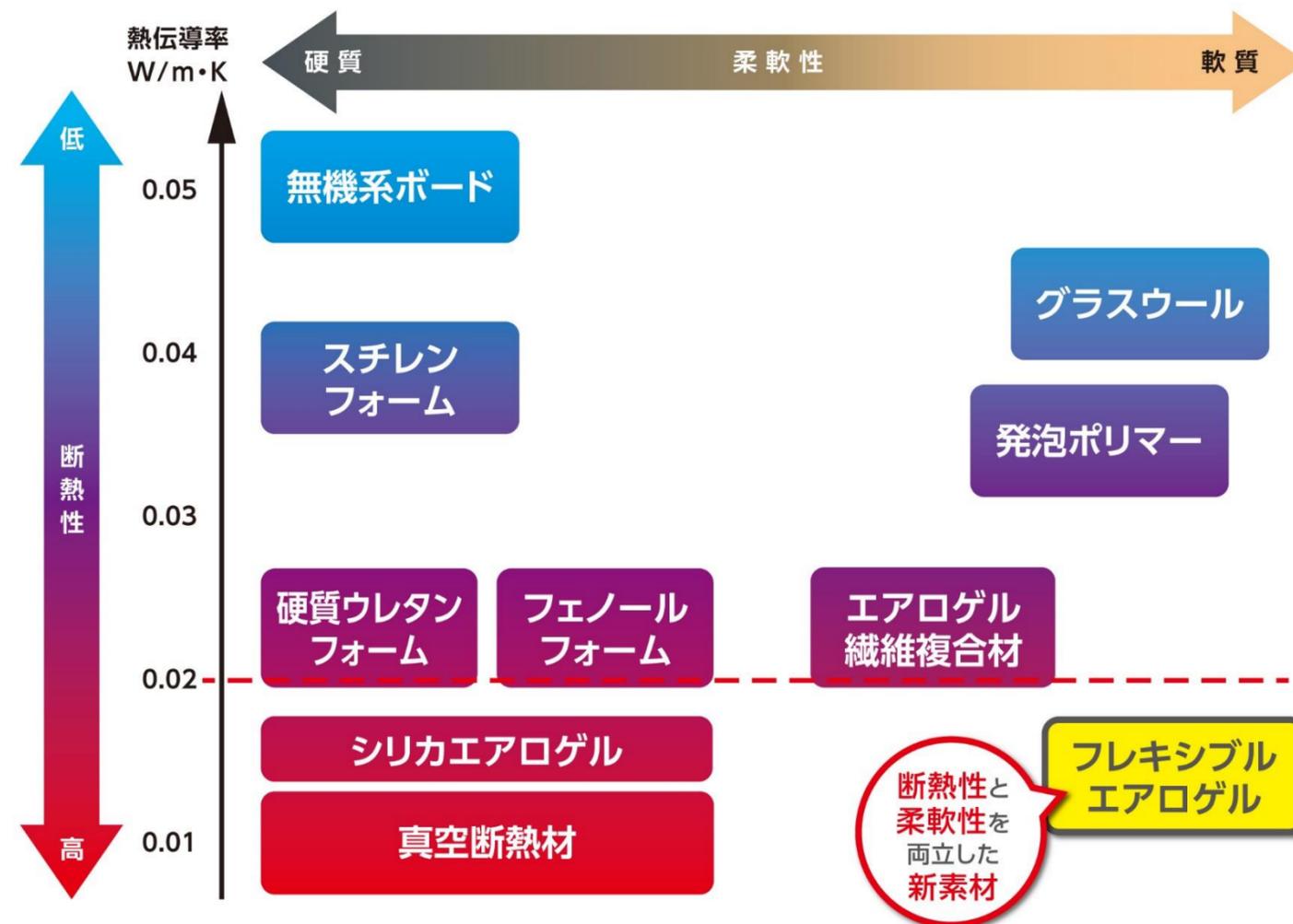
断熱性 × 成形加工性 × 柔軟性

断熱材料 国内市場規模推移・予測



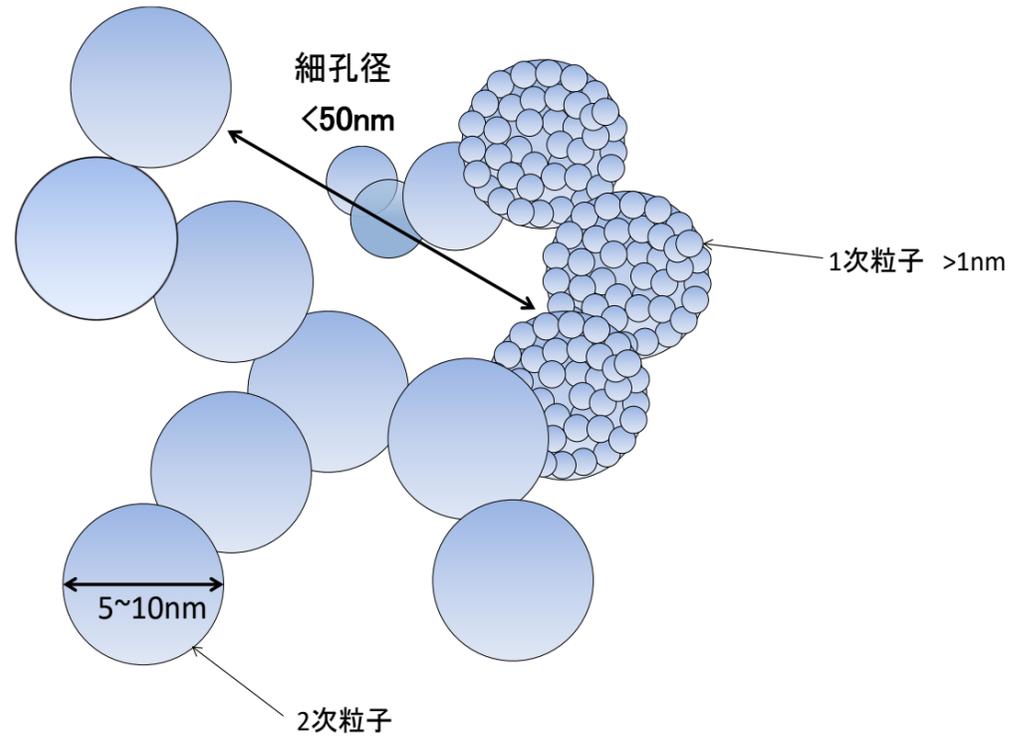
出典：『断熱・遮熱・蓄熱市場の現状と将来展望 2019』富士経済, 2019年

断熱材料マップ



エアロゲル

低密度で空隙率の高い乾燥ゲル体の総称で、
湿潤ゲルを乾燥して得られる多孔質体



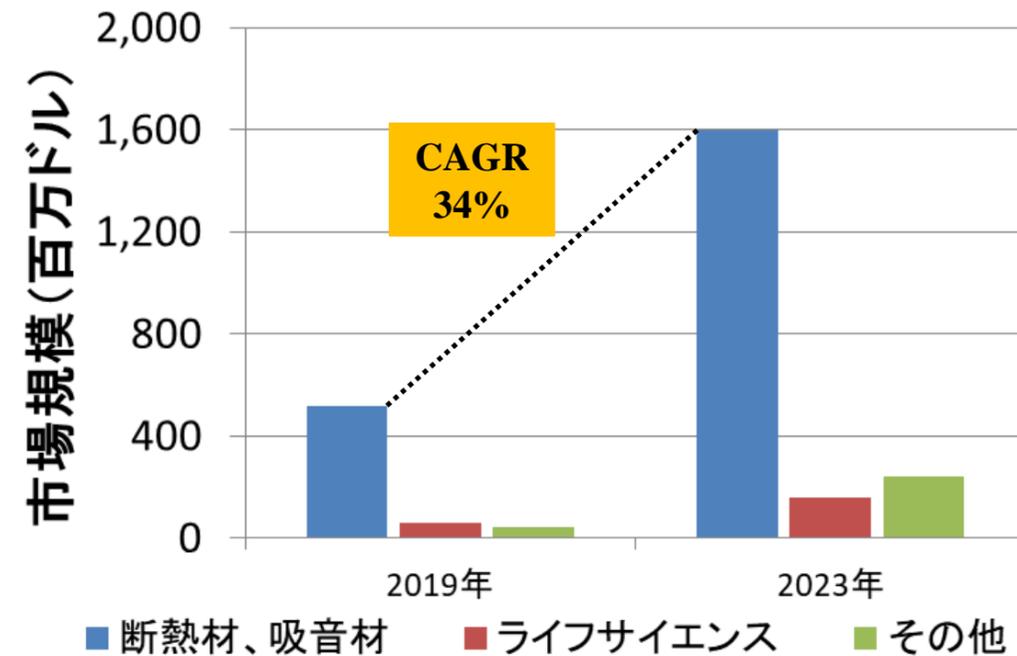
シリカエアロゲル



<特徴>

- **低い熱伝導率** (～0.012W/mK)
空気の自由行程半径(67nm)よりも小さい気孔径
- 軽量 >3kg/m³
- **非常に脆く、加工性が悪い**

エアロゲル材料 市場規模推移・予測

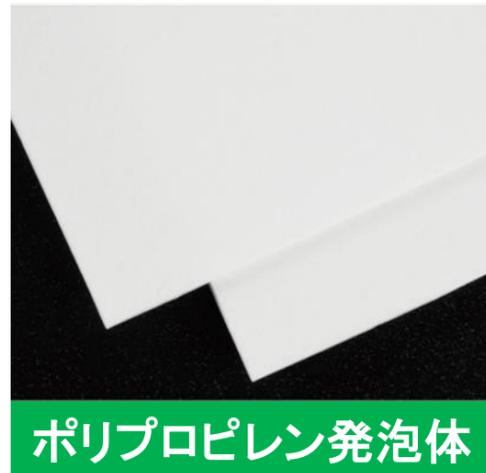


出典:『市場調査レポート エアロゲル』BCC Research, 2020年

シリカエアロゲルをポリプロピレン発泡体内部に充填した高性能次世代断熱材



シリカエアロゲル



ポリプロピレン発泡体

複合化

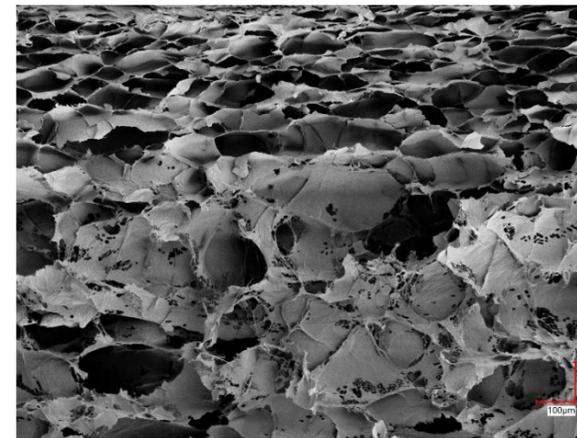


フレキシブルエアロゲル

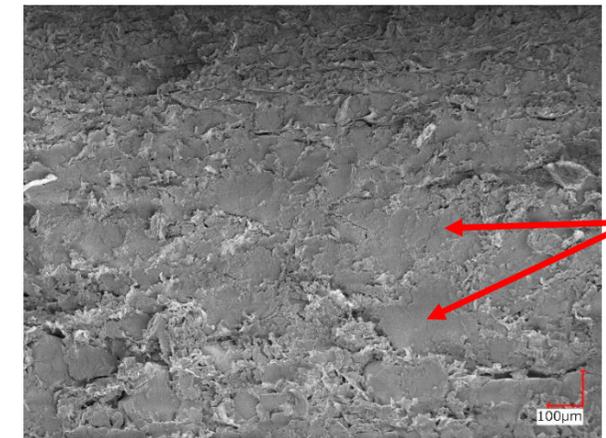


製品断面
写真
(×200)

ポリプロピレン発泡体



フレキシブルエアロゲル



シリカ
エアロゲル

一般物性

項目	単位	物性値	試験方法
厚み	mm	1.8	Thickness gauge
熱伝導率	W/m・K	0.016	JIS K 6401
密度	kg/m ³	150	JIS A 1412
25%圧縮硬さ	kPa	120	JIS K 6254

※データは代表値であり品質を保証するものではありません。



柔軟性

成形加工性

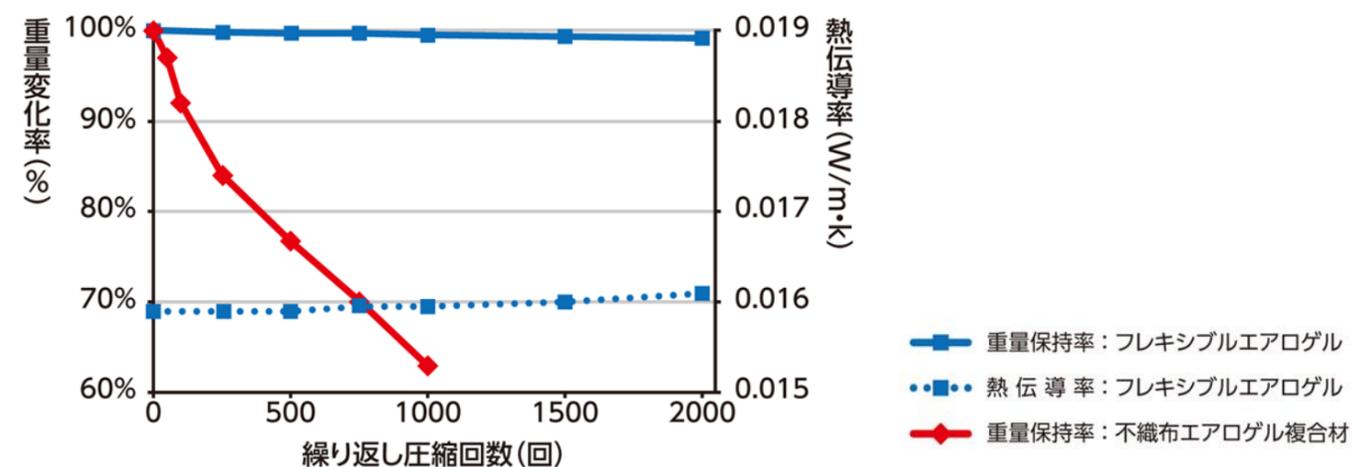
裁断、曲げ加工だけでなく、真空成型による3D加工も可能である。



性能持続性

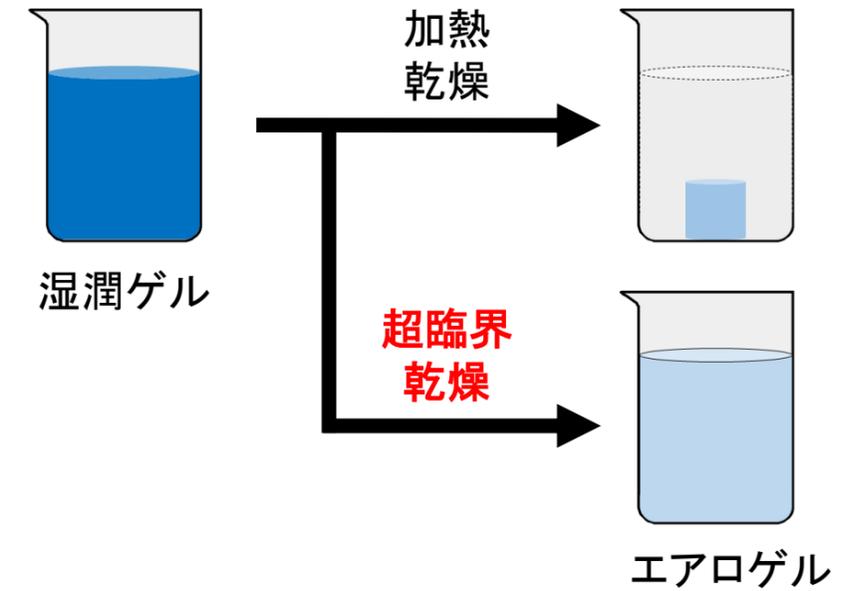
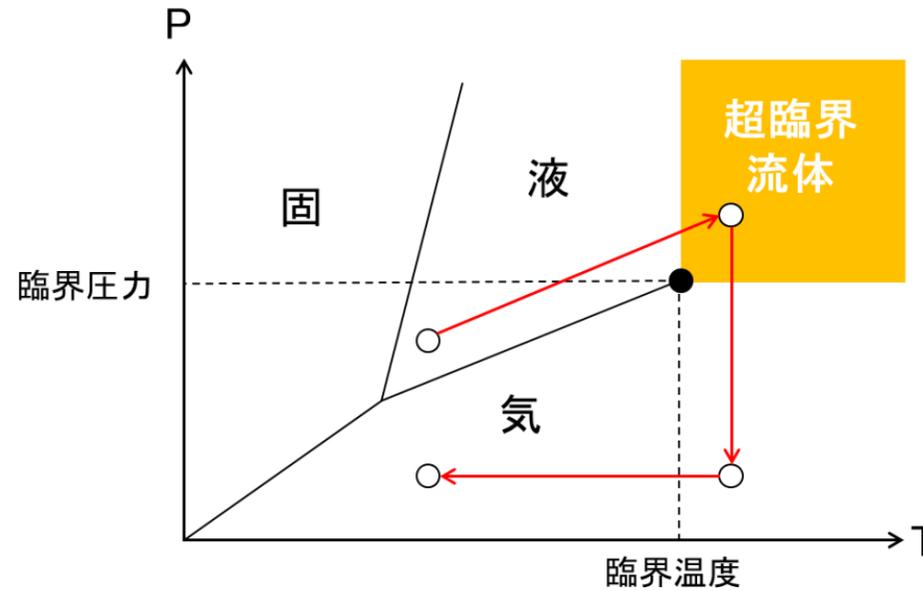
繰り返し圧縮しても断熱性能の低下が小さい。

繰り返し圧縮試験



超臨界乾燥法

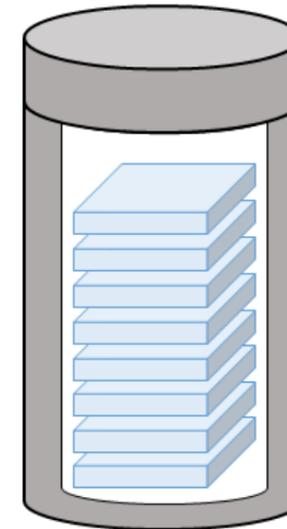
超臨界流体を用いて物質中の液体を気体に置換(乾燥)する手法。
ゲルの外観や微細構造を保持した状態で乾燥することができる。



超臨界乾燥の利点

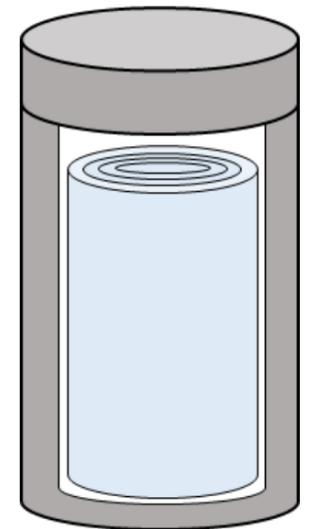
超臨界乾燥設備: 円筒状の耐圧容器
平板製品には不向きだが、
長尺シート製品では生産効率がよい。

従来の
エアロゲル材料



柔軟性に乏しいため、平板状で乾燥
⇒ 製品の大型化が困難
生産効率が低い

開発品

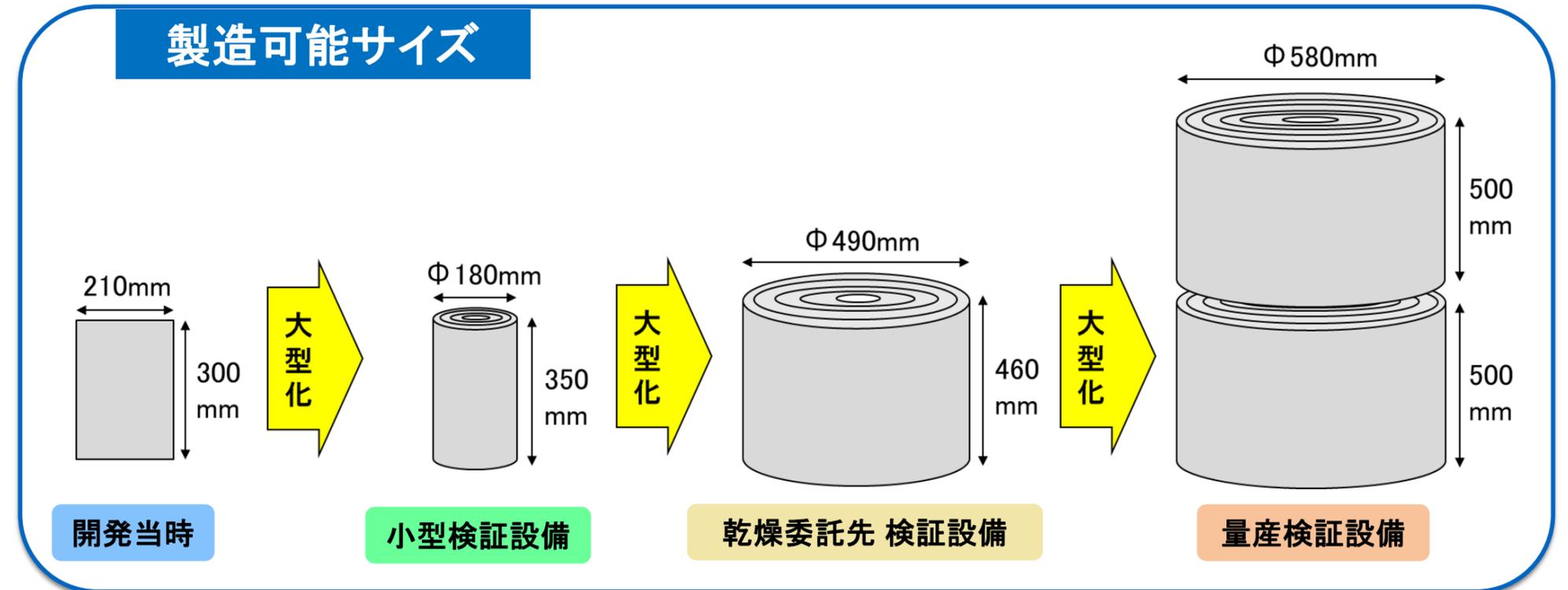


柔軟性が高く、ロール状で乾燥できる
⇒ 長尺ロールが製作可能
生産効率が高い

開発目標

製品の大型化

- (i) 大型化検証設備の設計、導入
- (ii) 製造プロセスの確立
 - 複合化工程
 - 超臨界乾燥工程

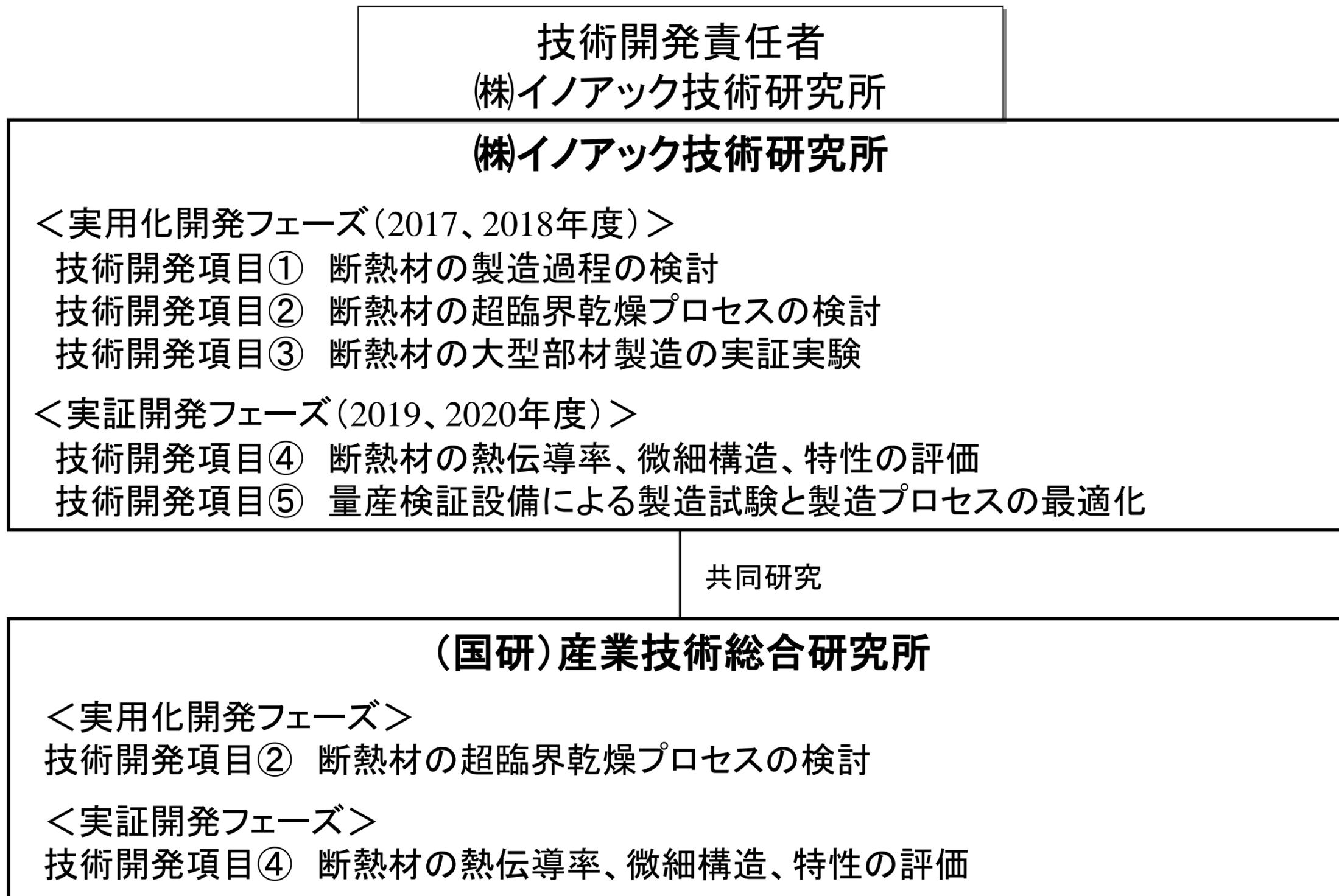


「実用化」開発フェーズ (2017、2018年度)

- ・ゾル・ゲル反応の制御による断熱性能を担保可能な配合の設計
- ・小型検証設備の設計と導入
- ・流体解析シミュレーションによる超臨界乾燥条件の最適化

「実証」開発フェーズ (2019、2020年度)

- ・複合化プロセスの構築
- ・乾燥委託先の設備を利用した大型化検証
- ・量産検証設備の設計と導入
- 製造条件の最適化



全体目標(主目標)	達成目標と設定理由	開発当時の技術レベル
製品の大型化	1000mm巾×150m巻きロール 熱伝導率 $0.016 \pm 0.001 \text{W/m}\cdot\text{K}$	最大サイズ:A4シート
技術開発項目	達成目標と設定理由	開発当時の技術レベル
①断熱材の製造過程の検討	ラボ検証サイズ(350mm幅×20m巻き)での製造プロセスの構築	最大サイズ:A4シート
②断熱材の超臨界乾燥プロセスの検討	全工程時間 30%以上短縮	全工程 24時間以上
③断熱材の大型部材製造の実証実験	ラボ検証サイズでの物性再現 熱伝導率 $0.016 \pm 0.001 \text{W/mK}$	最大サイズ:A4シート
④断熱材の熱伝導率、微細構造、特性の評価	開発項目⑤で作製した試料の評価手法確立	-
⑤量産検証設備による製造試験と製造プロセスの最適化	量産検証サイズ(1000mm巾×150m巻き)での物性再現 熱伝導率 $0.016 \pm 0.001 \text{W/mK}$	最大サイズ:A4シート

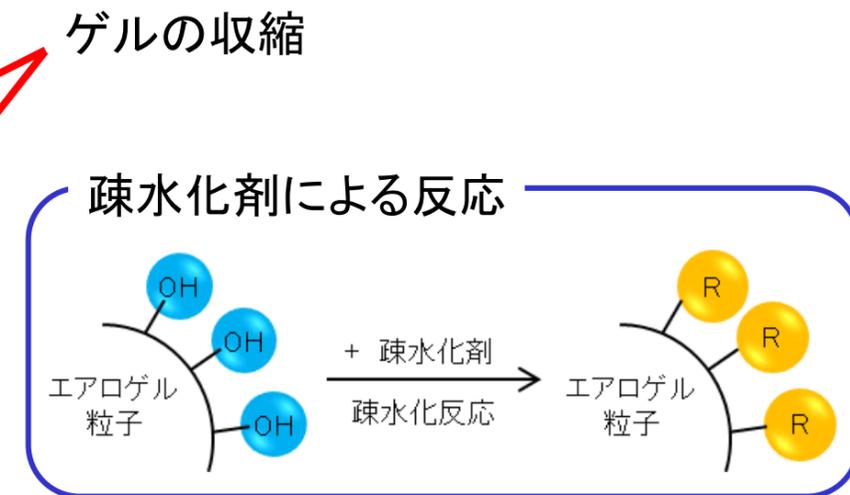
技術開発項目	2017年	2018年	2019年	2020年
①断熱材の製造過程の検討	→ ラボ検証サイズ(350mm幅×20m巻き)での製造プロセスの構築			
②断熱材の超臨界乾燥プロセスの検討	→ シミュレーションによる乾燥条件の最適化、小型検証設備へのフィードバック			
③断熱材の大型部材製造の実証実験	→ 小型検証設備の製作	→ ラボ検証サイズでの製造条件の検証		
④断熱材の熱伝導率、微細構造、特性の評価	→ 断熱材の評価、配合・プロセスへのフィードバック			
⑤量産検証設備による製造試験と製造プロセスの最適化			→ 量産検証設備の製作	→ 製造条件の検証

技術開発項目① 断熱材の製造過程の検討

・ラボ検証サイズ(350mm幅×20m巻き)での製造プロセスの構築
 疎水化処理の均一性がエアロゲル複合材の性能に大きく影響する。

- 対策 (i) 均一に処理可能な製造プロセス及び、プロセス条件の確立
- 対策 (ii) 疎水化剤の選定、疎水化処理条件の最適化
- 対策 (iii) 終点管理方法、管理値の決定

	ポリプロピレン 発泡体	エアロゲル複合材 (開発品)	
		収縮、脱落なし	収縮、脱落あり
SEM画像 (×200)			
熱伝導率	0.032W/m・K	0.016W/m・K	0.022W/m・K



技術開発項目③ 断熱材の大型部材製造の実証実験

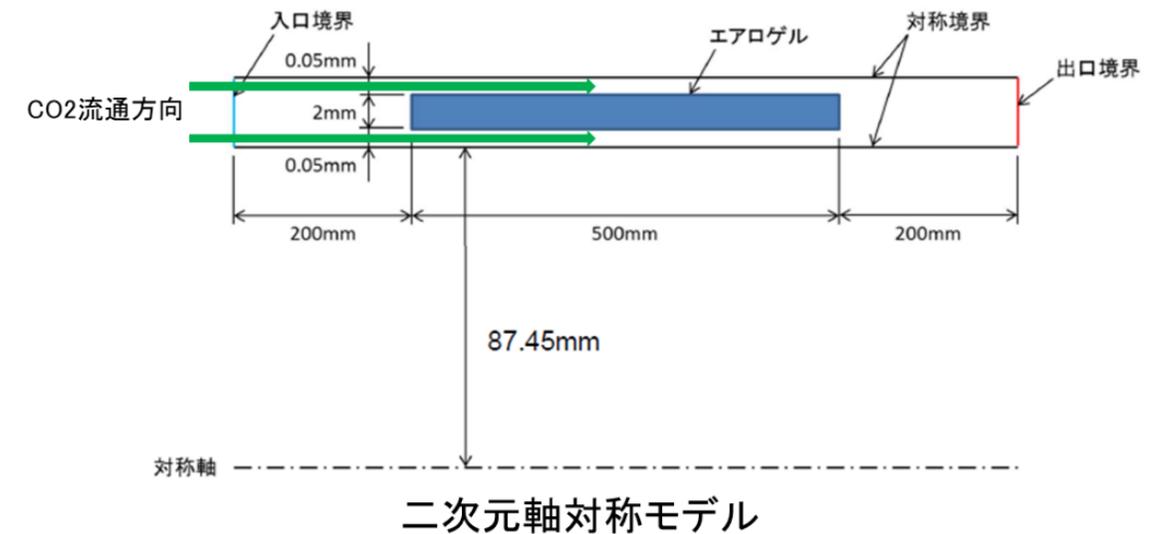
・流体解析シミュレーション

【目的】

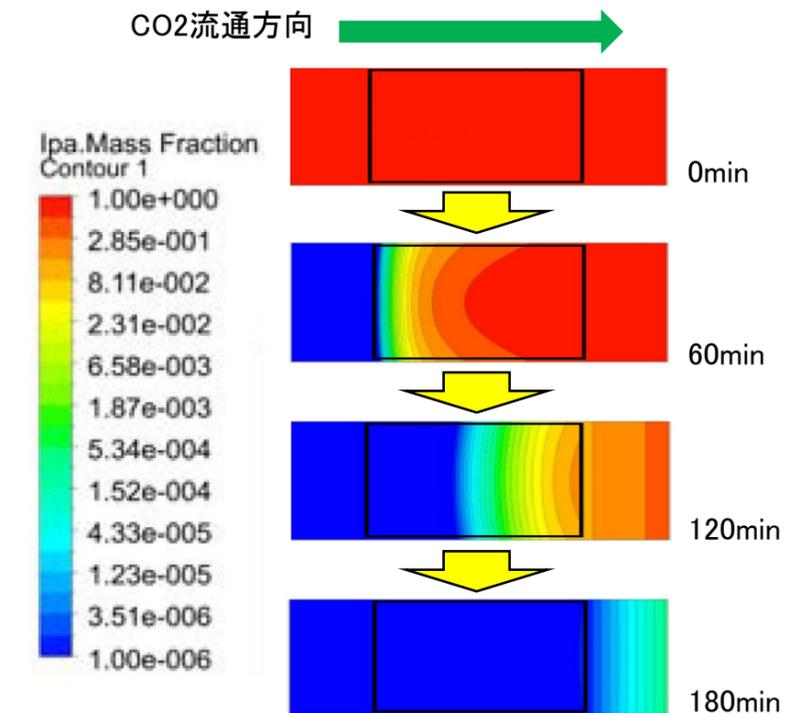
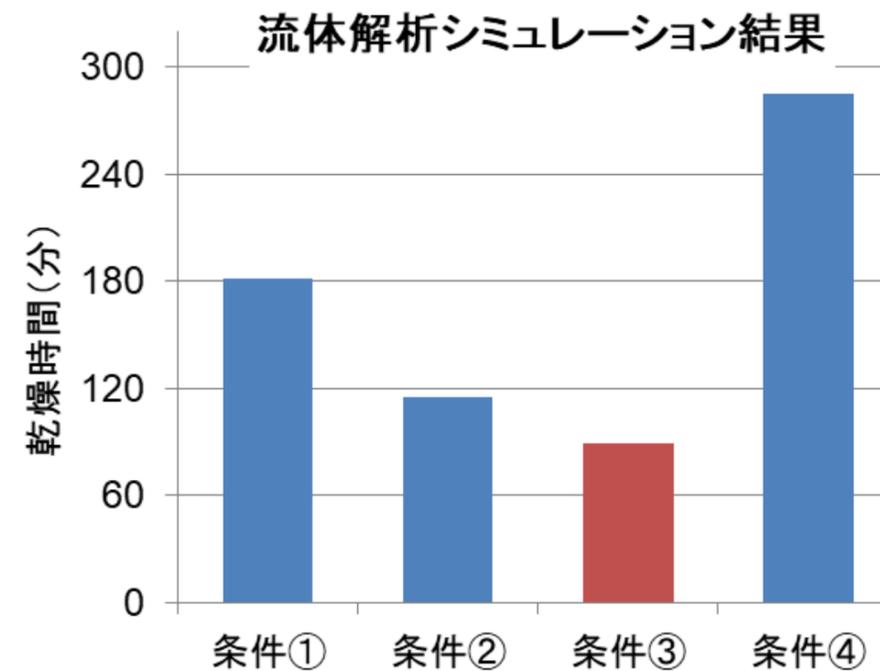
ロール状のエアロゲル材料を効率的、かつ収縮なく乾燥可能な条件をシミュレーションにて確認し、設備仕様へ反映させる。

【結果】

温度:高、圧力:低 ほど、乾燥時間は短くなる。



	温度	圧力	拡散抵抗係数
条件①	40°C	20MPa	0.3
条件②	80°C	20MPa	0.3
条件③	80°C	14MPa	0.3
条件④	40°C	20MPa	0.1



技術開発項目③ 断熱材の大型部材製造の実証実験

・流体解析シミュレーション 小型検証設備での実地検証

(i) 工程時間

シミュレーション条件を中心とした実地検証により、全工程時間を従来の60%以下まで短縮できた。

(ii) 短尺ロール 一般物性

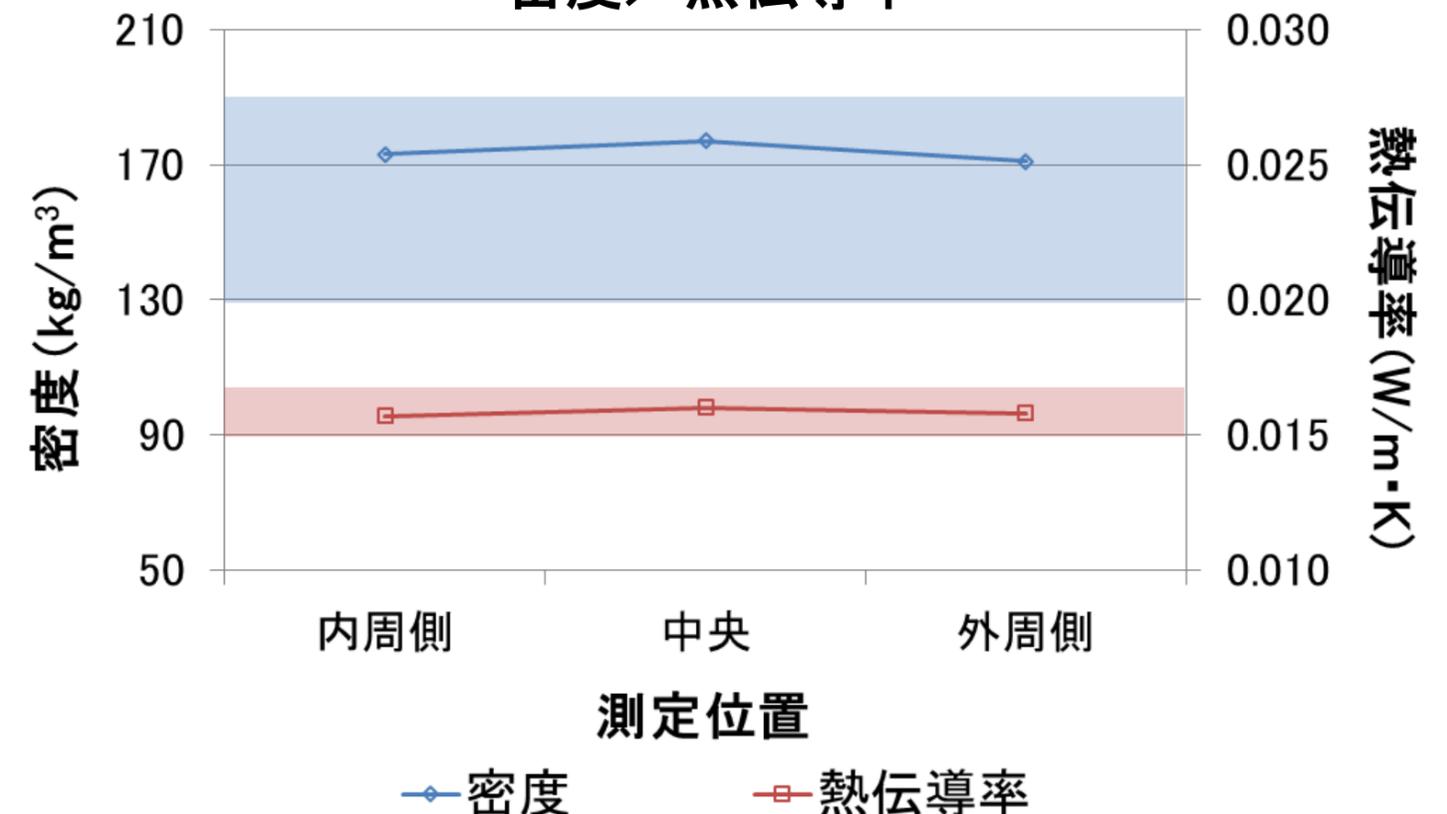
A4サイズでの物性値を再現できた。



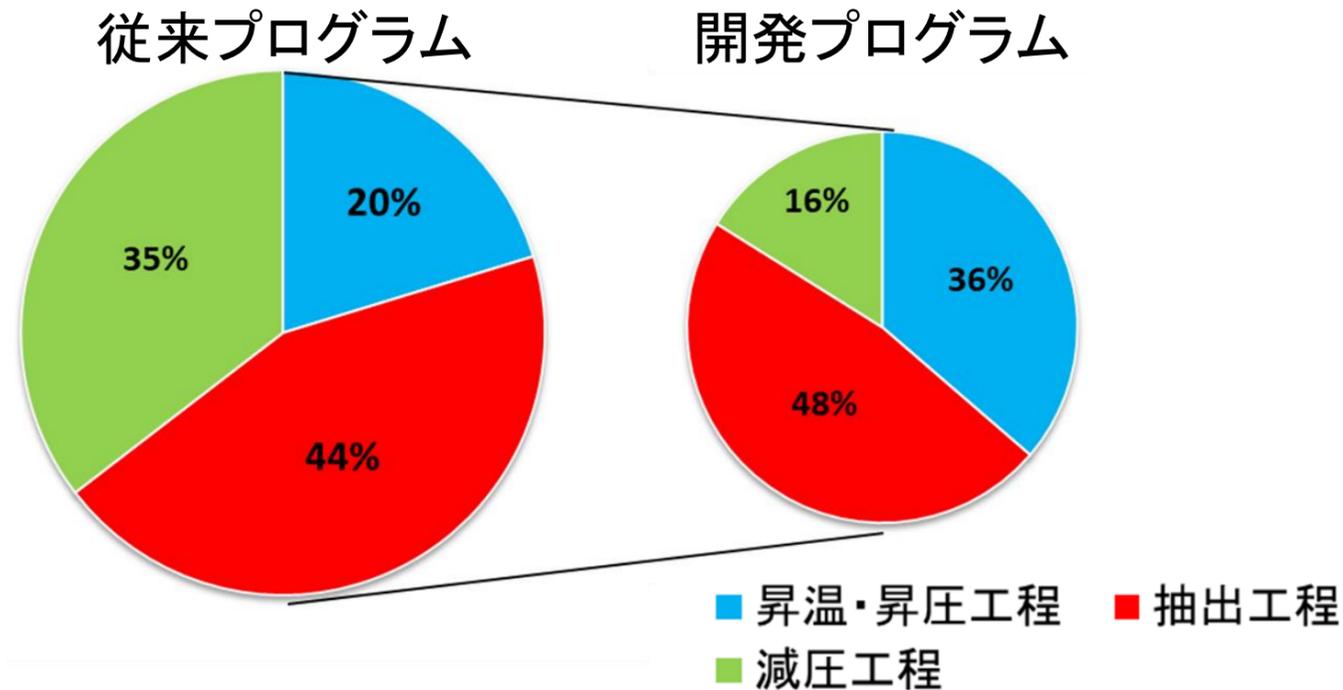
小型検証設備
外観

350mm巾×20m巻き短尺ロール 評価結果

密度／熱伝導率



工程時間の比較



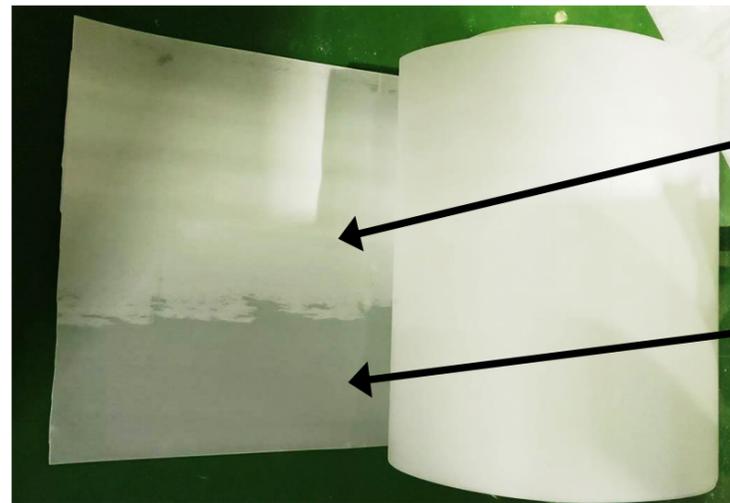
技術開発項目⑤ 量産検証設備による製造試験と製造プロセスの最適化

・複合化手法の開発

【課題】

ロールの大型化に伴うゲル充填率のバラつき

500mm幅長尺ロール 外観



中央部
充填率 10-40%

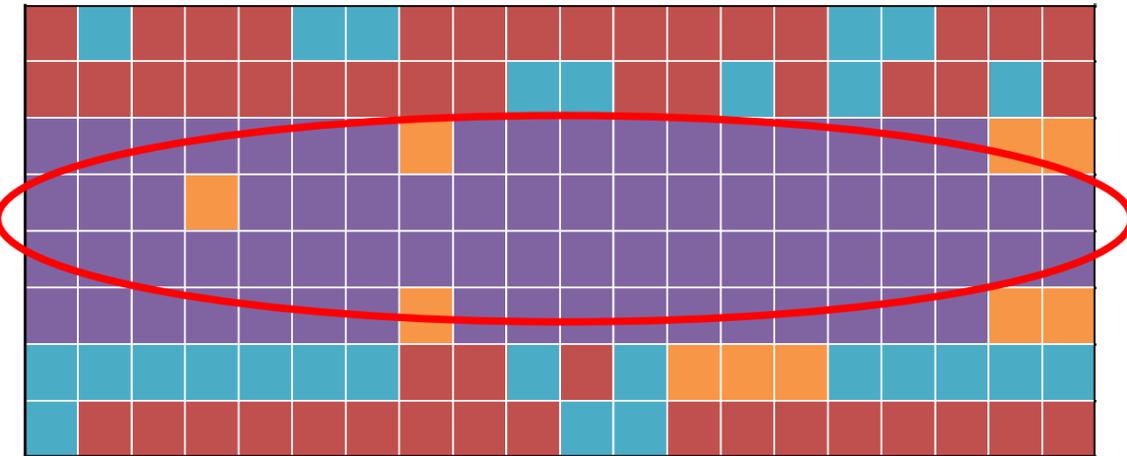
端部
充填率 >90%

【対策結果】

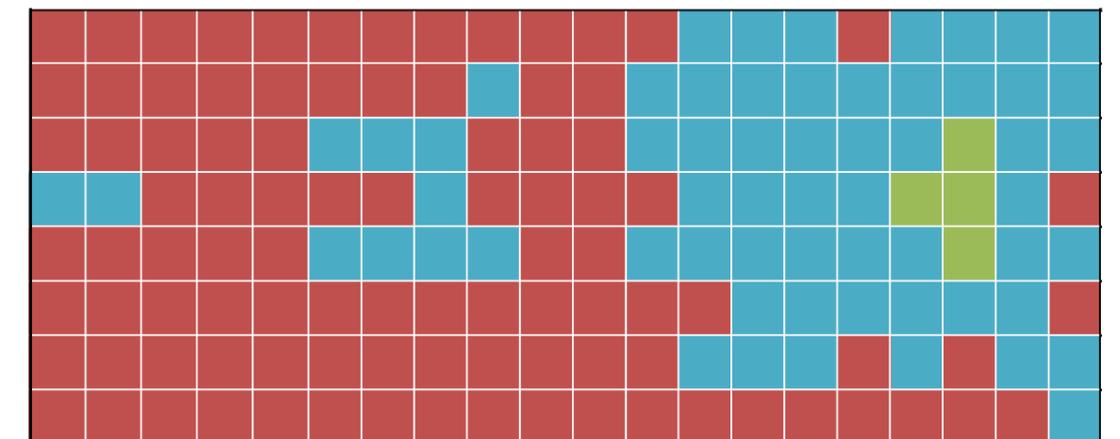
新規複合化手法の確立により、ロールサイズによらず均一な充填が可能となった。

長尺ロール 密度分布 巻き外側

対策前



対策後



■ 190-170 ■ 170-150 ■ 150-130 ■ 130-110 ■ <110

※500mm×500mmサイズのシートを□50mmに裁断し、密度を測定した。

技術開発項目⑤ 量産検証設備による製造試験と製造プロセスの最適化

・量産検証設備の導入

小型検証設備での試作結果を元に設計した。

【仕様】

- 抽出槽サイズ

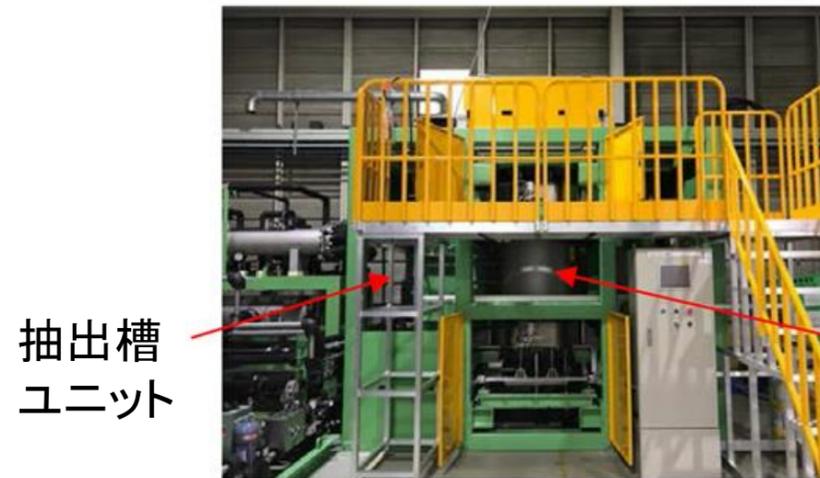
300L、Φ590mm × H1100mm

- 生産可能サイズ

Max 1000mm幅 × 150m巻き (t1.8mm)

- CO₂回収ユニット

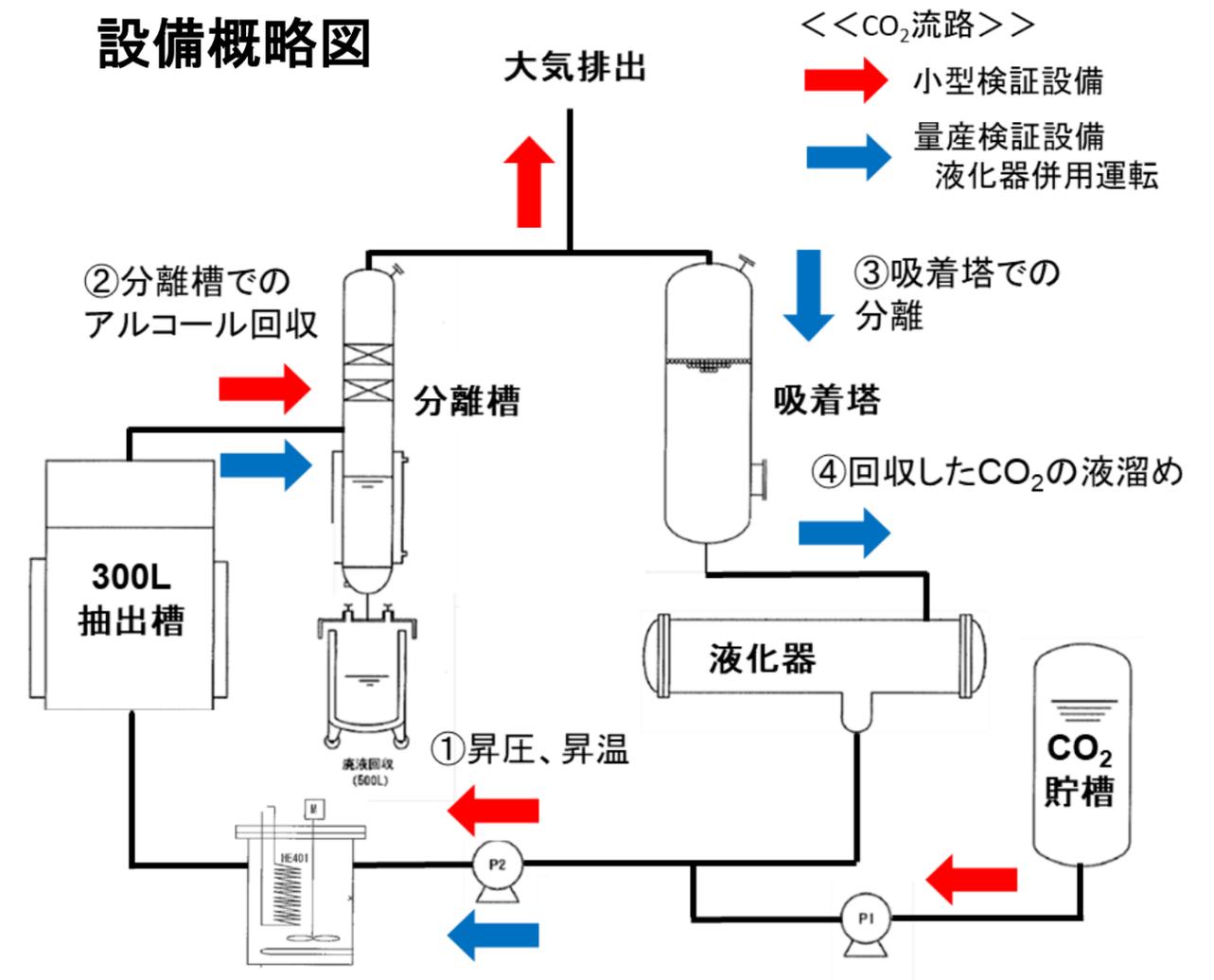
回収率 88% (実績値)



液化器
ユニット

CO₂
ポンプ

設備概略図

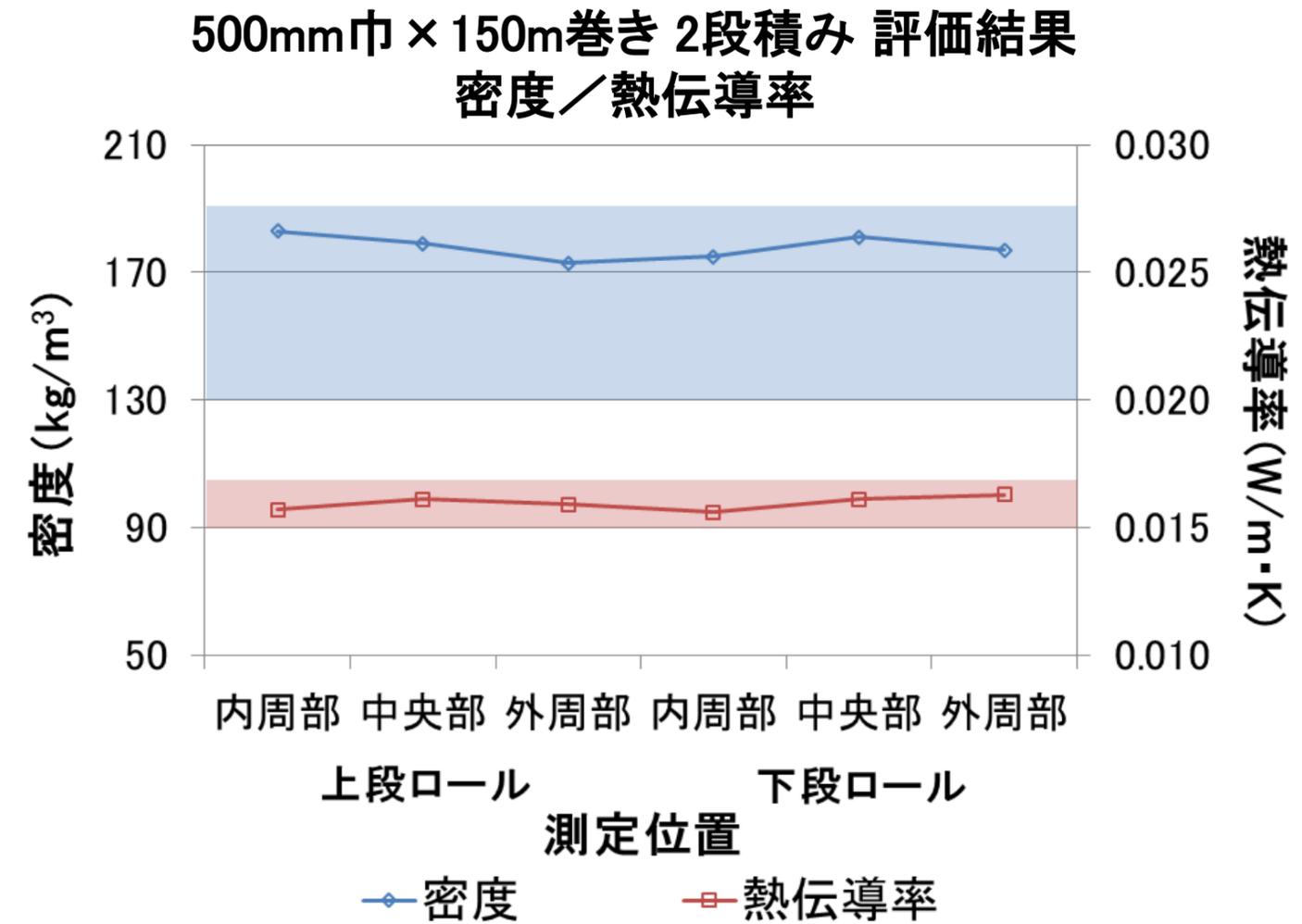
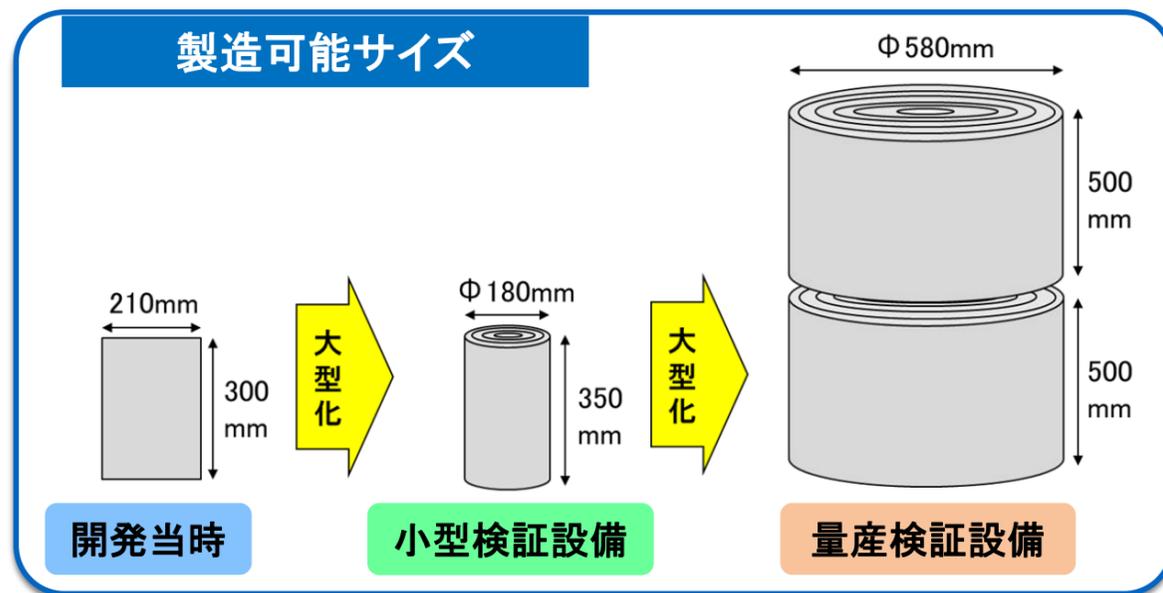


技術開発項目⑤ 量産検証設備による製造試験と製造プロセスの最適化

・大型ロールの製作

下記対策により製造プロセスを構築することで、
最大サイズ(500mm幅×150m巻き×2段積み)での試料作製に成功した。

- 対策 (i) CO₂流通条件の確立
CO₂供給口の位置
拡散板、外套容器の設計(形状、サイズ) 等
- 対策 (ii) 超臨界乾燥条件の最適化
温度、圧力、CO₂流量 等



全体目標(主目標)	達成目標(値)と設定理由	到達レベル
製品の大型化	1000mm巾×150m巻きロール 熱伝導率 0.016±0.001W/m・K	500mm×150m巻き2段積みで目標値達成
技術開発項目	達成目標と設定理由	到達レベル
①断熱材の製造過程の検討	ラボ検証サイズ(350mm幅×20m巻き)での製造プロセスの構築	製造プロセスを開発
②断熱材の超臨界乾燥プロセスの検討	全工程時間 30%以上短縮	目標値達成
③断熱材の大型部材製造の実証実験	ラボ検証サイズでの物性再現 熱伝導率 0.016±0.001W/mK	350mm×10m巻きロールにて目標値達成
④断熱材の熱伝導率、微細構造、特性の評価	開発項目⑤で作製した試料の評価手法確立	新規評価手法を確立
⑤量産検証設備による製造試験と製造プロセスの最適化	量産検証サイズ(1000mm巾×150m巻き)での物性再現 熱伝導率 0.016±0.001W/mK	500mm×150m巻きロール×2段積みにて目標値達成

パイロット生産設備での実証生産を終え、長尺ロールのサンプル提供が可能となりました。

今後は、製造プロセスの標準化と合理化を早期に実現し、一般販売を目指します。

【採用実績】

半導体関連装置、服飾用途、特殊車両 等

用途例

