

NEDO水素・燃料電池成果報告会2024

発表No.A2-10

燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた
共通課題解決型産学官連携研究開発事業
／共通課題解決型基盤技術開発
／燃料電池セパレータ用ラミネート金属・高分子
ナノコンポジット(NC)フィルムの研究開発

南 秀人/赤松謙祐
国立大学法人神戸大学
学校法人甲南学園
積水化学工業株式会社
7月19日

連絡先：南 秀人
国立大学法人神戸大学
(minamihi@kobe-u.ac.jp)

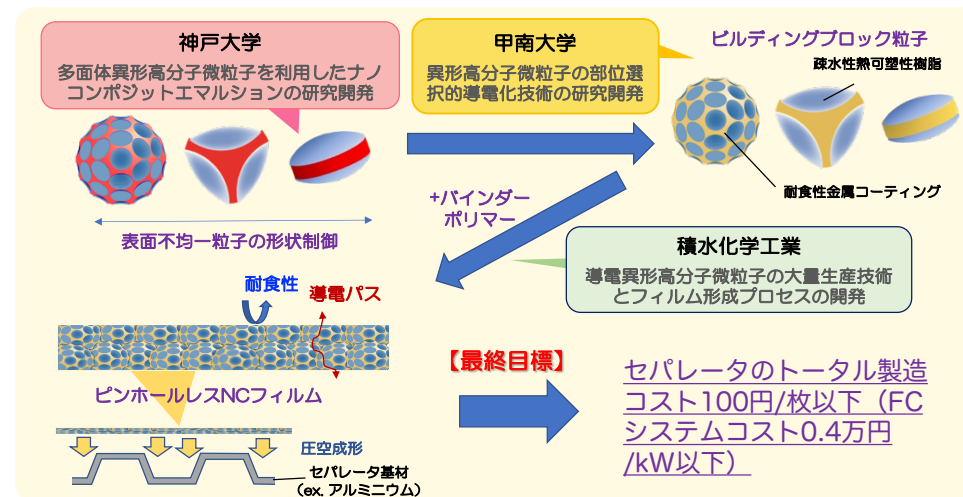
事業概要

1. 期間

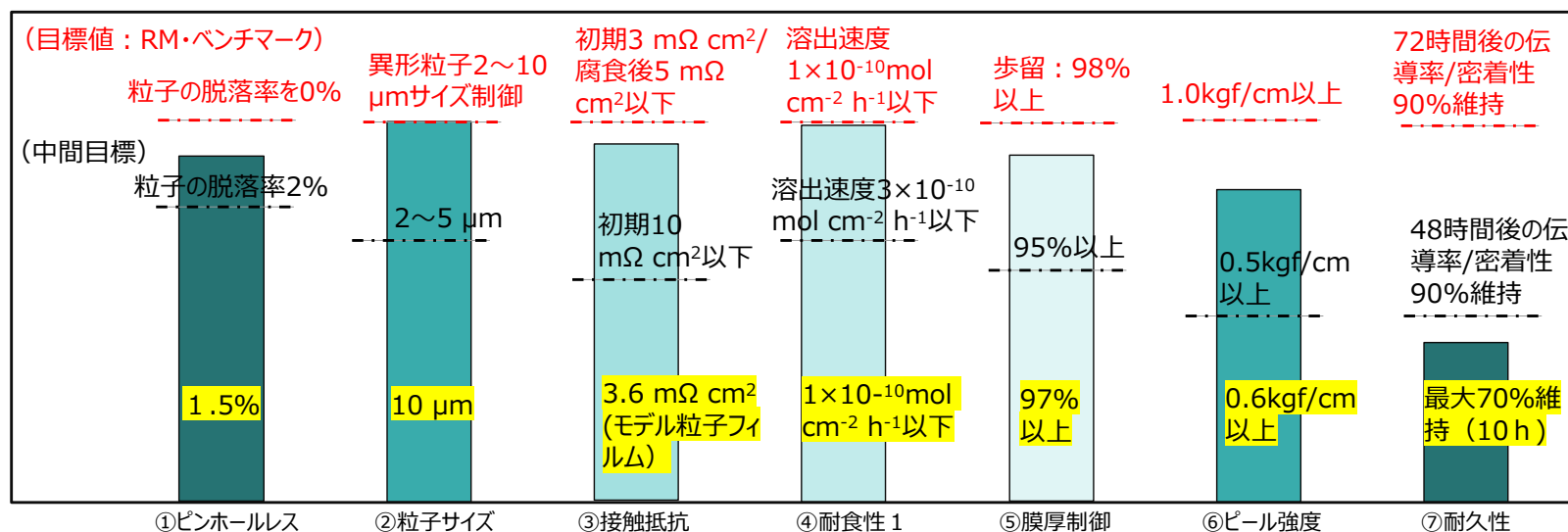
開始 : (2021) R3年6月
 終了 (予定) : (2025) R7年3月

2. 最終目標

次世代の低接触抵抗・高耐食性セパレータの実現を目指し、新しいセパレータラミネート用「ナノコンポジット (NC) フィルム」の合成技術の確立と、基材へのラミネートプロセスの開発を行う。

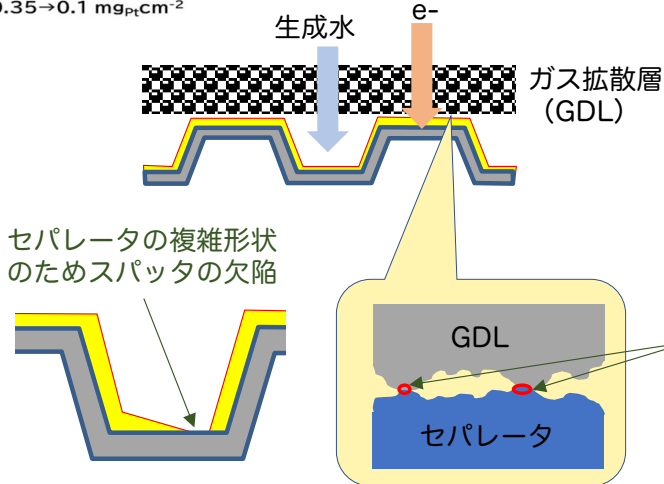
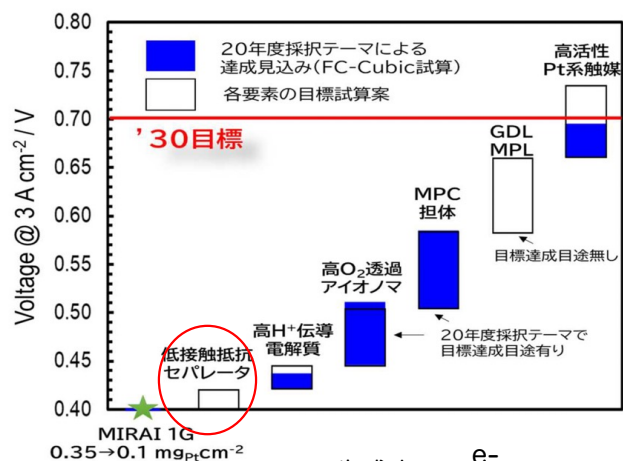


3. 成果・進捗概要



1. 事業の位置付け・必要性

「金属セパレータにおける電気伝導性と耐食性の両立」

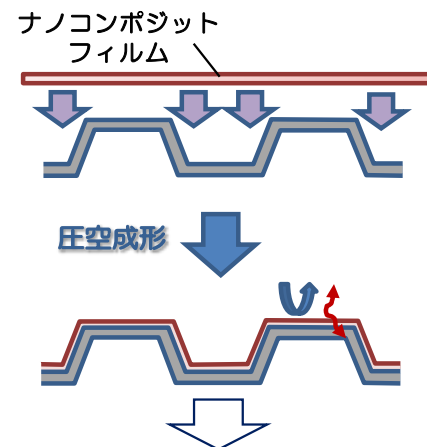


表面粗さによる
接触面積減少
→高接触抵抗

産業界のニーズ

- ① 長期使用可能とする金属セパレータの酸性生成水からの保護
- ② ガス拡散層とセパレータ表面粗さによる接触抵抗増加を抑制する新規表面処理膜
- ③ FCV普及に向けての製造低コスト化

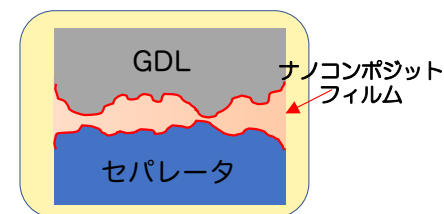
本研究



防食性と耐久性

熱可塑性ポリマー (耐薬品・耐水性)

可塑性ベースポリマーの形状追随性大
接触面積増大→**低接触抵抗**



2. 研究開発マネジメントについて

- 水蒸気透過度：水蒸気透過度 $3 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ 未満
- 接触抵抗： $3 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ 以下
- 耐食性：塩水サイクル・噴霧試験孔食面積比率 0.2% 以下
- フィルム歩留まり： 98% 以上
- 圧空成形時のピール強度： 1.0 kgf/cm 以上
- 耐腐食性： 120°C 、 $\text{pH}3.0$ の酸性水溶液の腐食環境下において、72時間後の電気抵抗および密着性が初期値の 90% 以上を維持

実際のラミネート厚さ： $10 \mu\text{m}$ 以下

JISさび止め包装方法通則

水蒸気透過度（透湿度）が、JIS K 7129の条件3で測定して $15 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ 以下である。

各種材料の水蒸気透過度	
ポリスチレン (PS)	: 120
ポリエチレン (PE)	: 22
ポリプロピレン (PP)	: 4
金属膜 (アルミなど)	: 0~0.1

圧着及び密着力評価

表面酸化物除去（酸処理前後）における基材に対するラミネートフィルムの 90° ピール剥離試験

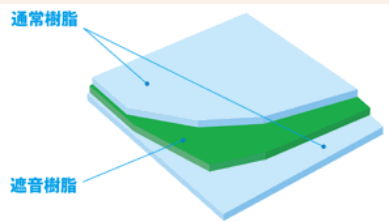
中間目標： 0.5 kgf/cm 以上
最終目標： 1.0 kgf/cm 以上

参考：フレキシブル基板上の金属回路パターン要求密着強度： 1.0 kgf/cm 基準値とする

フィルム製造

製造コスト÷歩留まり $\leq 50 \text{ 円/m}^2$

歩留まり： 98% 以上



セパレータコスト 100 円/枚
実現のための閾値

腐食評価条件

- ・ 5% 塩水
- ・ 温度 $30\text{-}60^\circ\text{C}$
- ・ 240 h
- ・ 湿潤 $95\% \text{ RH}$

$\text{Cu}_{50}\text{Ni}_{50}$ 合金 (200 nm 厚さ)
露出面積： 60%
密度： 8.9 g/cm^3
孔食面積比率： 0.2%

溶出量 = $0.99 \text{ ng cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$

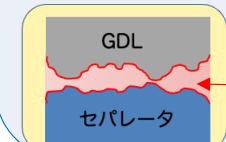
比較

SUS316L (硫酸 $\text{pH}3$, 200 h)
溶出量 = $5.0 \text{ ng cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$

評価・解析PFでの目標値：
溶出速度： $< 3 \times 10^{-10} \text{ mol cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$
($< 16 \text{ ng cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$)

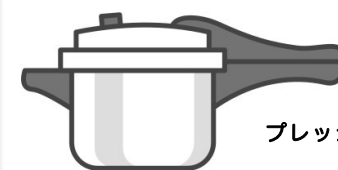
接触抵抗

Cコート基材 ($10\text{-}20 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$)	Ti基材 ($30\text{-}50 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$)
AuコートTi基材 ($5\text{-}10 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$)	C樹脂 ($5\text{-}10 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$)
Au比抵抗 ($2.1 \mu\Omega \text{ cm}$)	Cu-Ni合金 ($1.5\text{-}6.0 \mu\Omega \text{ cm}$)



評価・解析PFでの目標値：
初期： $< 3 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2 @ 1 \text{ MPa}$
劣化後： $< 5 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2 @ 1 \text{ MPa}$

2022/1/28 NEDO GL会議



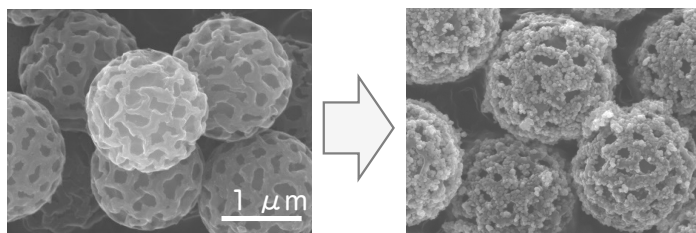
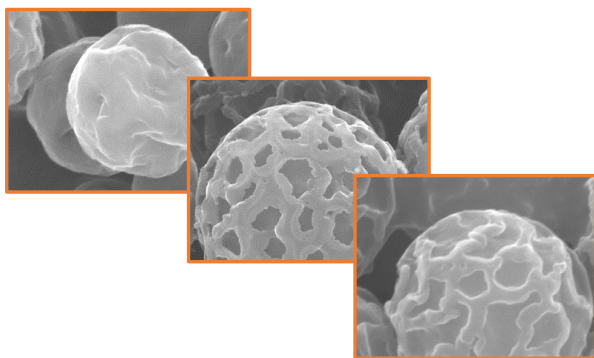
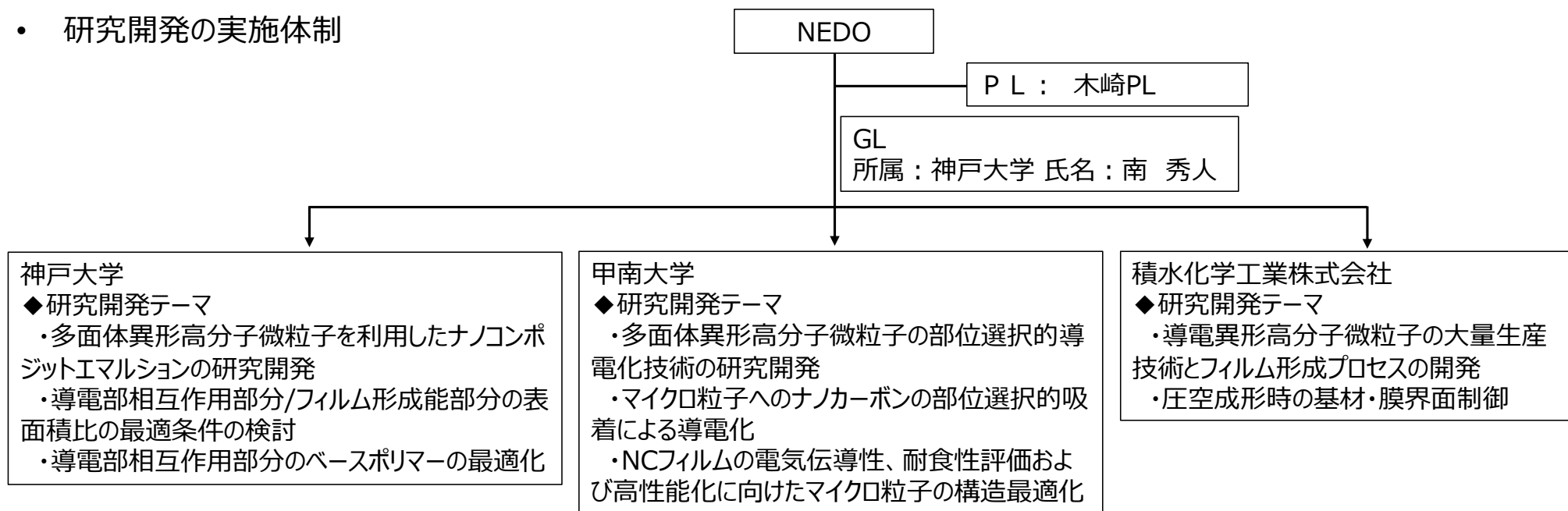
密着性

プレッシャークッカー

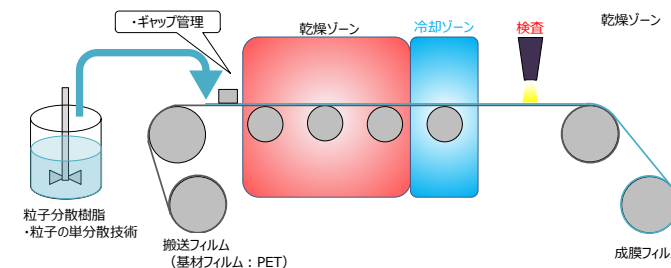
130°C 、 $100\% \text{ RH}$ の加圧水蒸気中に 1 h 後
初期の抵抗値+剥がれないこと

2. 研究開発マネジメントについて

- 研究開発の実施体制

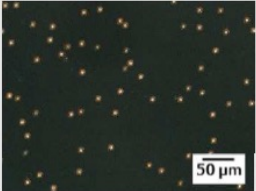
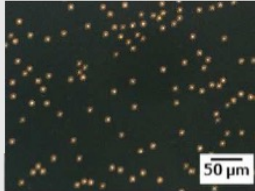
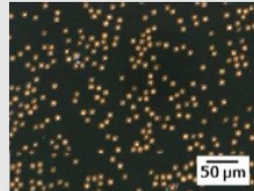
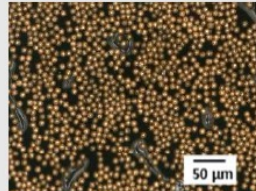






Pdコロイド吸着
+ 無電解めっき

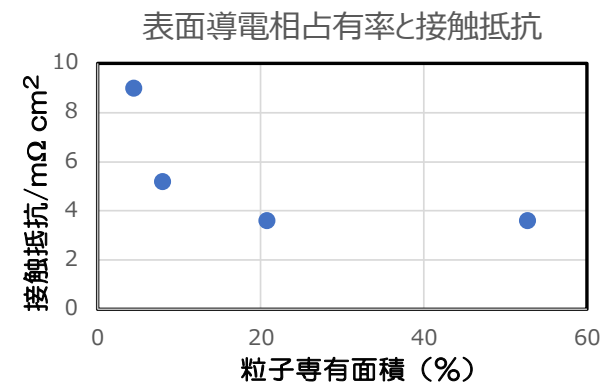


3. 研究開発成果について

接触抵抗値

	粒子径：10 μm（膜厚：10 μm）			
粒子配合部数	5 wt%	10 wt%	20 wt%	80 wt%
TOP view				
粒子占有面積	4.4%	7.9%	20.7%	52.7%
SIDE view				

サンプル	粒子含有量	初期接触抵抗(@1MPa)	
		端子間電圧(V)	接触抵抗 (mΩcm ²)
Au-Re010	5wt%	0.83	9.0
	10wt%	0.48	5.2
	20wt%	0.33	3.6
	80wt%	0.33	3.6



【成果概要】 初期抵抗値としては3.6 mΩ cm²をマークした。導電部分のめっき厚み制御により3.0 mΩ cm²を達成見込みである。

3. 研究開発成果について

耐食性



密着性試験(プレッシャークッカー試験)



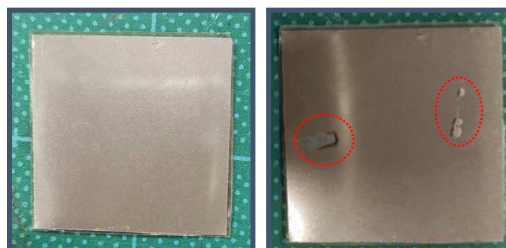
試験条件

温度 / °C	130
試験時間 / h	4
溶媒	水

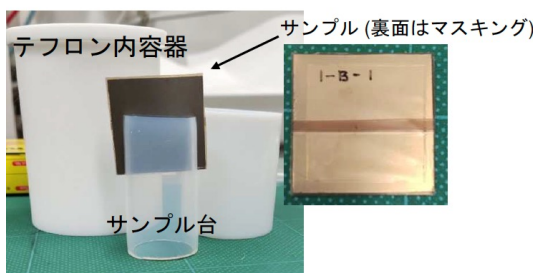
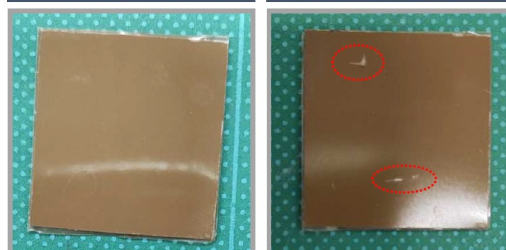
- サンプル台の熱変形により剥がれが生じてしまった。
- 目視では変化なし。

試験前 試験後

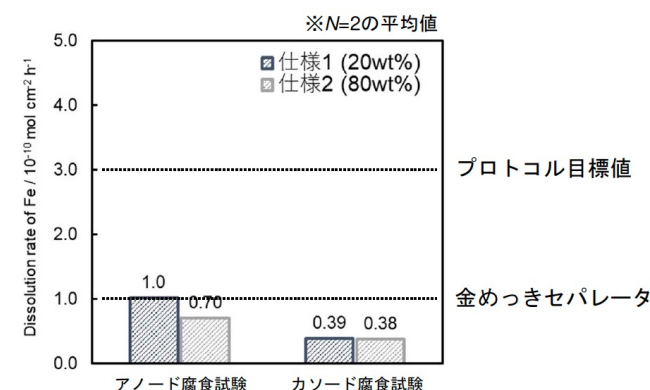
仕様1
(20wt%)



仕様2
(80wt%)



腐食試験中のFe溶出速度



- 金めっきセパレータと同等の保護機能を発揮
- プロトコル目標値を充足
- Auコート粒子含有率で大きな差異が無かった

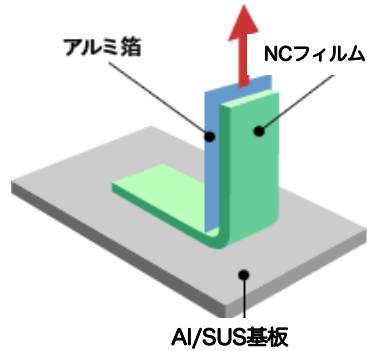
【成果概要】 プレッシャークッカー試験では、一部試料台の接触部分に剥がれが生じたが、目視による外観変化はなかった。腐食試験結果より、NCフィルムは金めっきセパレータと同等の保護機能を有していることが明らかとなり、プロトコル目標値を充足した。

接触抵抗の結果を踏まえると、金めっき粒子20%程度で目標に到達する可能性があることから、コスト目標においても有望な候補材料であるといえる。

3. 研究開発成果について

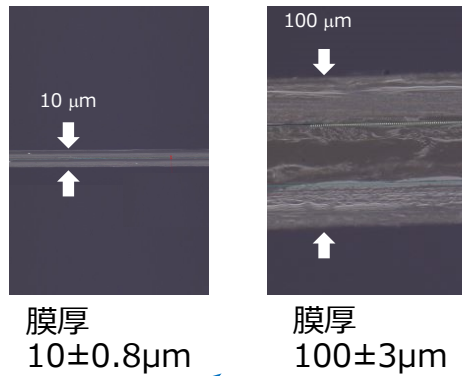
密着性・膜厚

■ピール強度

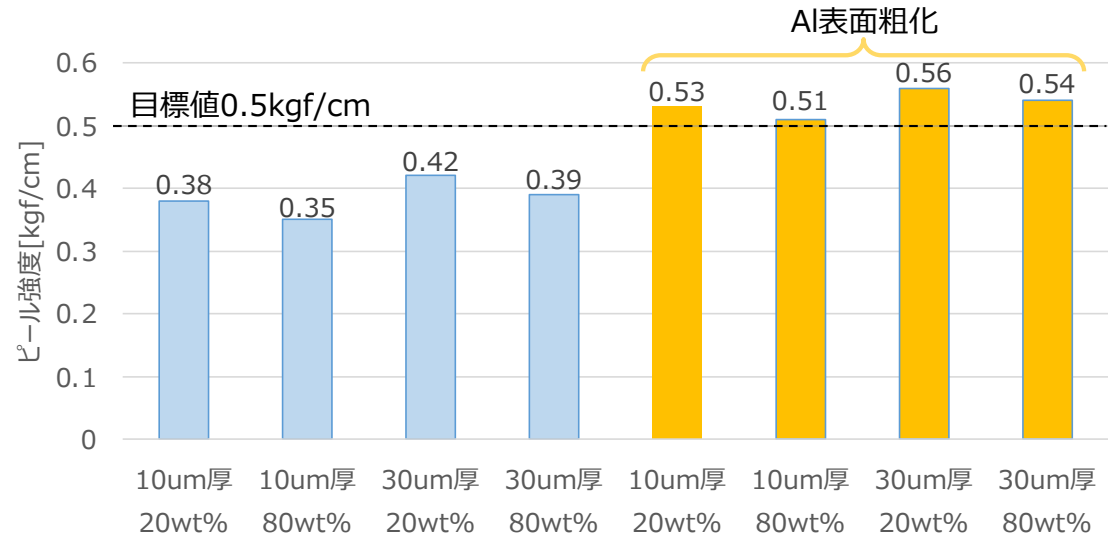


表面粗化アルミニウム基板に対し、目標値を達成

■膜厚制御



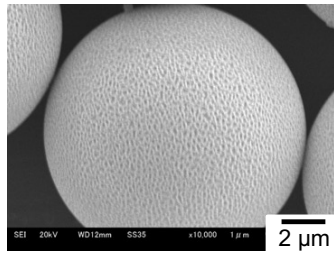
10~100mmの範囲で、最大偏差8%での制御に成功



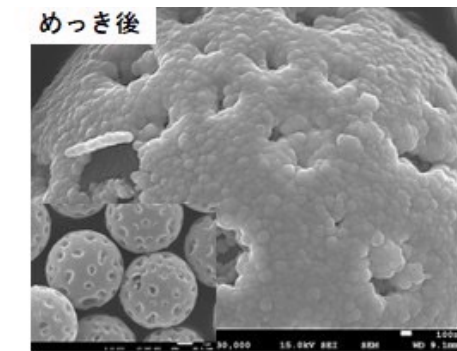
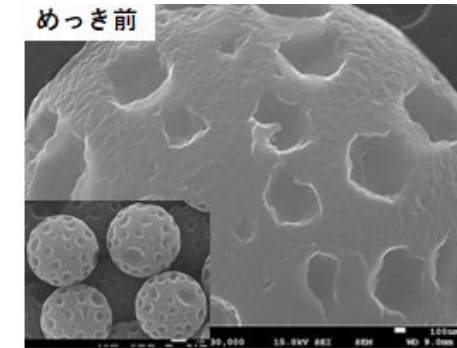
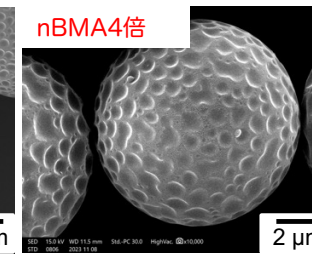
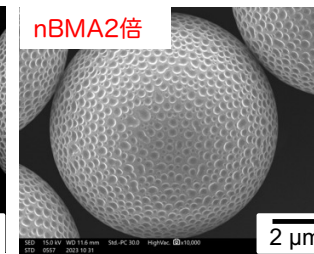
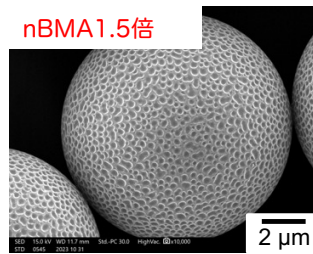
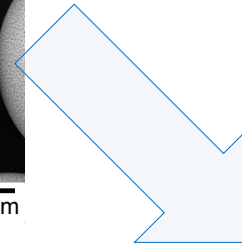
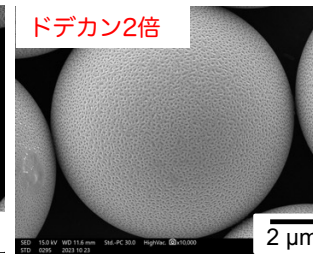
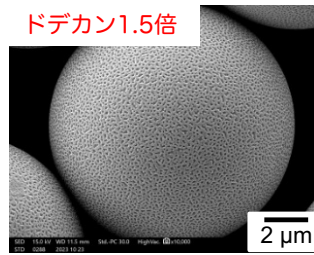
【実用化に向けた課題と検討状況】 粒子生産および膜厚制御ともに、バッチ量アップに伴う歩留まりに注意が必要だが、ラインでの条件調整によって対応可能。ピール強度については、フィルム構造およびバインダー検討により、非粗化基材に対する必要強度達成を目指す。

3. 研究開発成果について

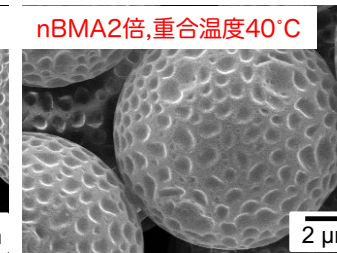
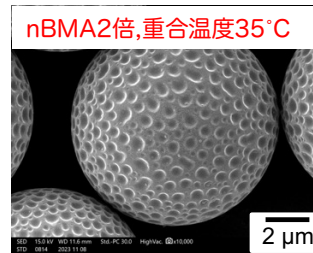
NCフィルムの耐久性向上にむけた取り組み



$D_n = 10.30 \mu\text{m}$ $C_v = 5.37\%$



10 μm の粒子においても、シード重合時の各種条件（ドデカン量，第二成分モノマー量，重合温度）を制御することにより，凹凸の大きさの制御の可能性を示唆



【実用化に向けた課題と検討状況】 接触抵抗試験結果より、フィルム厚みは粒子直径と同程度であることが最適条件と評価されたことから、ゴルフボール粒子の大粒径化に取り組んでおり、現在、最適膜厚と同じ10 μm の大粒径粒子の合成に成功している。本粒子を用いることで、凹部とフィルムの接合によるマイクロアンカー効果による耐久性向上が期待される。

4. 今後の見通しについて

【試算の前提条件】

⇒ トヨタ社 MIRAI相当車種を想定
＜燃料電池スタック＞

- ①セル数
(2008) 200セル×2列= 400セル
(2020) 330セル×1列= 330セル
⇒ 次世代車のセル数を「**300セル**」と仮定
- ②セルサイズ
⇒ **200cm²**と仮定
- ③セパレータ数
⇒ 1セル当たりに裏表**2枚**使用

事業化イメージ

- 事業化イメージ
 - ・セパレータラミネート用の金属・高分子ナノコンポジットフィルム(NCフィルム)を提案する
 - ・製造コストを100円/枚以下に低減することでFCシステムコスト目標(0.4万円/kW以下)に貢献する
- 事業化想定時期：2030年頃
 - ・2025年に品質保証体制を構築後、国内ユーザーへの供給プロセスや量産協力メーカー等と事業性検証(プライスマーケティング等) (2026年度内)、量産設備の導入(2028年度末)、量産検討(2029年度末)を経て、最終的に2030年での実用化・事業化を目指す。
- 事業化想定機関
 - ・積水化学工業株式会社

研究開発目標と事業化に向けた課題

- 研究開発の最終目標
 - ・カーボクロスとの接触抵抗が5 mΩcm²以下、かつ120℃以上かつpH3.0の酸性水溶液に対し優れた耐食性を示すNCフィルムを開発
- 成果の到達度と事業化のかい離
 - ・フィルム生産上の想定課題
 - ①新規フィルム化工程の立ち上げと低コスト化：生産技術確立と歩留まり改善によるコスト低減
 - ②品質保証体制の構築：ピンホールレスな薄膜フィルムを供給するための検査方法と荷姿の検討