

NEDO水素・燃料電池成果報告会2022

発表No.A-49

事業名：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／
研究開発項目Ⅲ 燃料電池の多用途活用実現技術開発／
車載用燃料電池セパレータの大量普及時に向けた品質担保手法の開発

岡村 滋
日清紡ケミカル株式会社
2022年7月28日

連絡先：
日清紡ケミカル株式会社燃料電池事業部
043-205-7015

事業概要

1. 期間

開始 : 2020年9月

終了 (予定) : 2022年6月

2. 最終目標(2022年6月末時点の到達目標)

(1)画像解析技術を用いた9秒/枚の検査タクトを達成する技術の開発

(2)画像解析技術では検出できない欠陥の見極めとそれらを検知する技術の開発

3.成果・進捗概要

(1)外観検査項目の欠陥サイズにより、プロジェクトとしてのアプローチ手法を分類することとし、0.05mm以上の目視検査視認レベルの欠陥について、目標タクトで検出できることを確認した。また、撮像した画像の欠陥判断の精度確保の手法として、従来のルールベース(閾値判定)とディープラーニングを用いたAI推論について、準備工数・作業性・精度に関して比較を行った。

(2)画像解析技術では検出できない欠陥の検出手法として、赤外線カメラ及びX線を用いた手法を検討し、検出精度及び検査タクトの面から、インライン検査適用には課題があることを確認した。

1. 事業の位置付け・必要性

(1)燃料電池自動車普及期(2025年以降)以降にカーボンセパレータが採用されるために「高耐久性」、「軽量」、「表裏別形状が可能」といった金属セパレータには無い特性に加えて、以下の課題の解決が求められている。

- ①将来的にどの程度のコストダウンが見込めるか。
- ②車載用部品としての要求品質を満たすことが出来るか。

(2)燃料電池セパレータに求められている検査と現状の検査手法

	項目	検査手法	頻度
1	寸法(外寸、厚さ、流路、など)	寸法測定器	抜取り
2	ガスバリア性	ガスリーク試験、カラーチェック	全数
3	電気抵抗	抵抗測定装置	抜取り
4	その他物性(親水性、耐熱性、強度、など)	各種試験装置	抜取り 初品検査
5	外観不良(形状異常、異物、欠陥、など)	目視	全数

- 多くの検査が自動化、数値化が可能になってきたが、外観不良は人手による目視検査に頼っている。

→外観不良検査の自動化を実現させ、検査の信頼性向上と検査コストの低減を図る

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発の目標と目標設定の考え方

◆課題

- 1) 外観検査が目視である。
→車載部品そのもの、及びその検査として信頼性が低い。
- 2) 検査時間がかかる。
→車載部品としてのコストが高い。

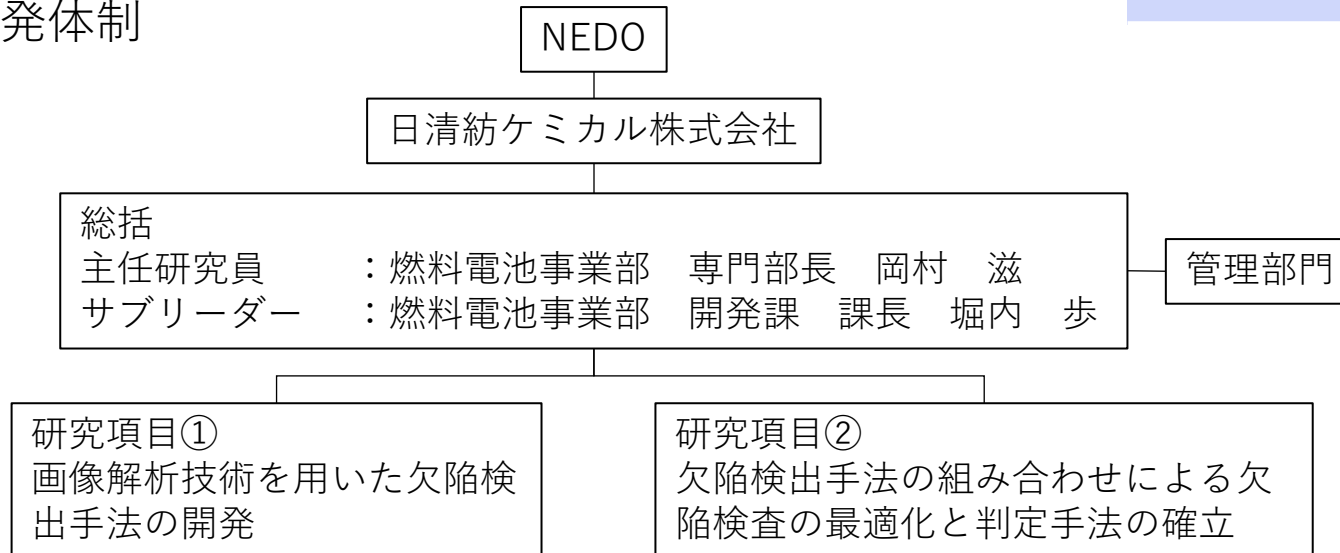
◆研究開発の目標

- ①セパレータの検査項目である形状異常の検出に画像解析技術を適用し、検査時間を20秒/枚から9秒/枚に短縮させる。
- ②複数の欠陥検査データを組み合わせ、AIを用いた解析技術により、検出漏れゼロ、良品の誤判定率を2%以下にする。

(2) 研究開発のスケジュール

	2020年	2021年		2022年
	9 - 12	1 - 6	7 - 12	1 - 6
①画像解析技術を用いた欠陥検出手法の開発	画像解析手法の探索	装置導入・検証	AIを用いた解析の調査	
②欠陥検出手法の組み合わせによる欠陥検査の最適化と判定手法の確立		他方式の調査	装置導入、検証	AIを用いた解析の調査
			各種検査結果を組み合わせ た自動検査装置の確立	

(3) 研究開発体制



3. 研究開発成果について

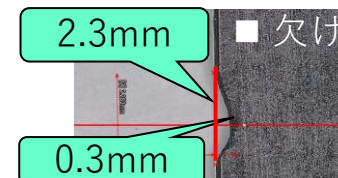
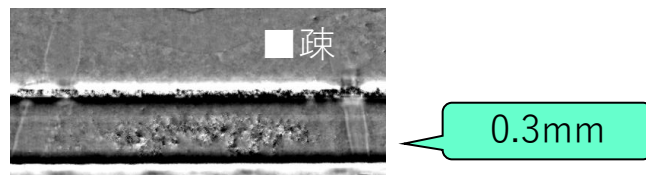
(1) 欠陥（外観不良）の種類と検出手法の区分け

これまでの検査実績より目視認識が出来る大きさを経験的に把握している。この実績を基にして各種の画像解析手法を検討した。その結果、欠陥の種類及びサイズに応じて各手法を使い分けることで検出できること、更にカメラを用いた手法（マクロ）を用いることで目視認識できるサイズの欠陥の検出が可能であることを確認した。

以下に欠陥の種類と大きさに対する検査手法の区分け結果を示す。

欠陥の種類	従来方式		新方式			具体的な欠陥の種類
	目視認識可能	目視認識不可	目視認識可能	目視認識不可	詳細分析	
①漏れにつながる欠陥	(流路部)ガスリーク		(流路部)ガスリーク			疎、割れ
	目視	※1	マクロ IR	ミクロ	X線	
②形状異常	目視	合格品	マクロ	合格品	-	欠け、キズ 膨れ、凹み
③異物	目視	合格品	マクロ	合格品	X線	各種異物

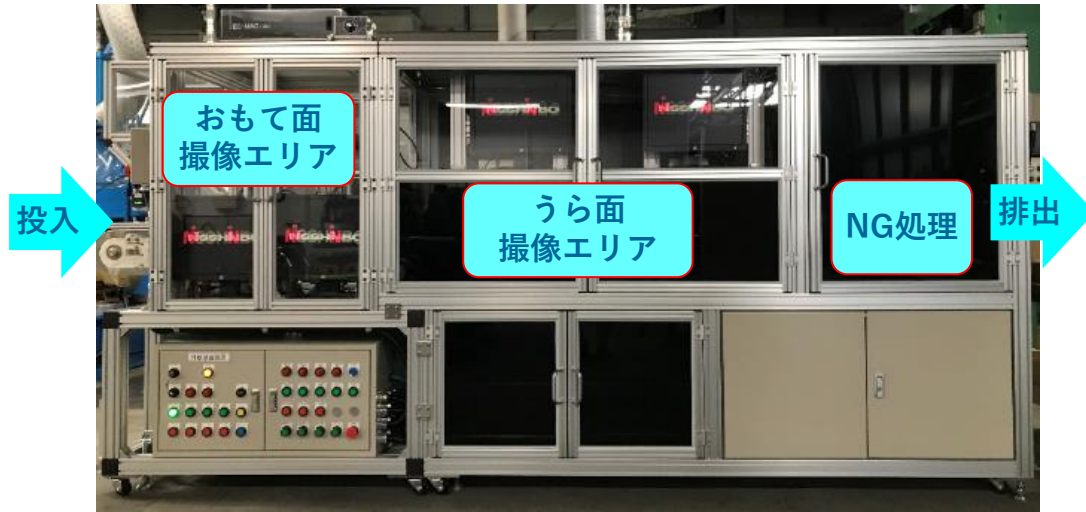
※1 顧客からの割れの規格が「無き事」とされているため、目視認識が困難なサイズであっても目視検査を実施する必要があり、微小領域を撮像する「ミクロ」での検出が必要である。



3. 研究開発成果について

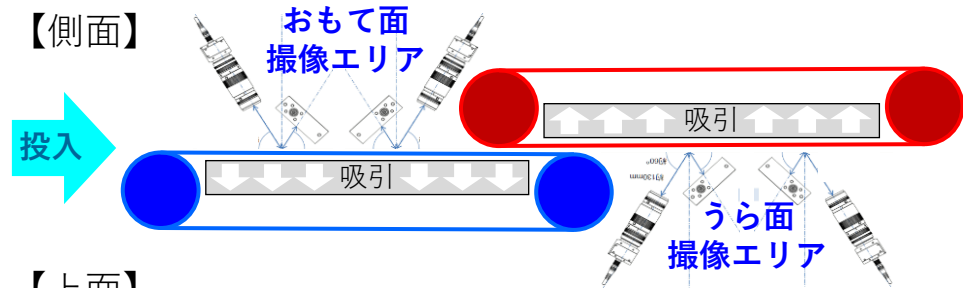
(2) 画像検査装置の開発

①外観検査装置マクロ：目視認識可能な欠陥をターゲットに両面検査が可能であることを確認した。

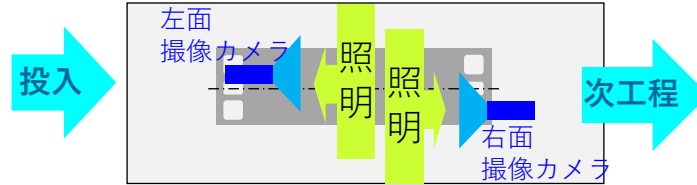


◆撮像イメージ

【側面】



【上面】

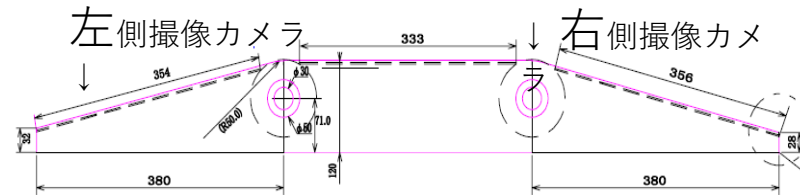
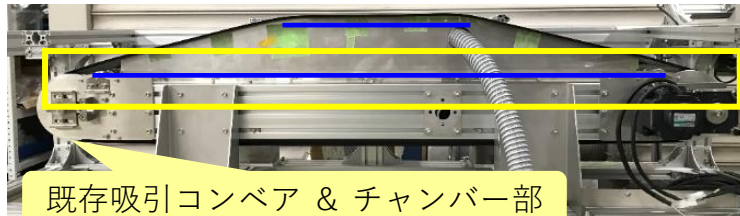


✓装置仕様

- 左右分割撮像にてカメラ2台
- 裏表撮像にてカメラ2セット
⇒ 合計カメラ4台にて28画像を撮像
- 検査タクト9秒/枚で撮像可能

②外観検査装置ミクロ：目視認識できない微小なワレをワークを湾曲させて視認しやすい状態で撮像できた。

◆撮像イメージ



- ✓ 既存の吸引コンベアのチャンバーを山形に改造し、頂点部分でワークを湾曲させ、開いたワレを撮像する。

(3) AIシステムの有効性確認

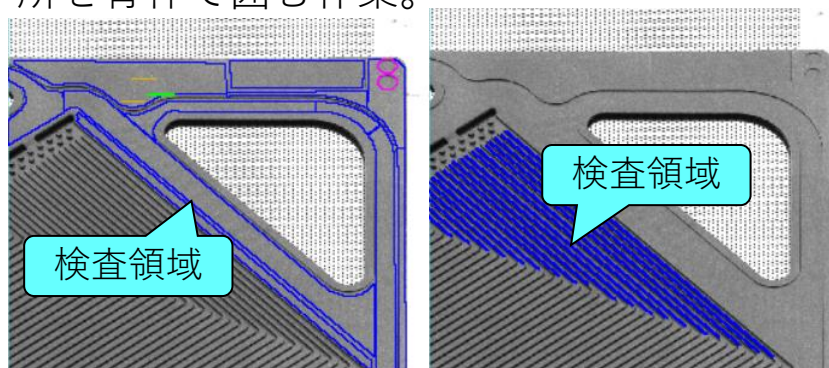
▶ 欠陥の判定方法として、閾値判定（ルールベース）とAI推論の2方法を比較検討し、[AI推論の方が有効であると結論付けた。](#)

① 閾値判定：カメラ付属のコントローラの場合

- ✓ 各モデル毎に、検査個所の領域設定作業が必要。
⇒ 欠陥による影と、流路デザインによる影を分離する為
- ✓ ぎりぎりに領域を設定すると誤検知の確率が増す。
- ✓ 装置側の撮像条件の変更により、再度領域設定が必要。

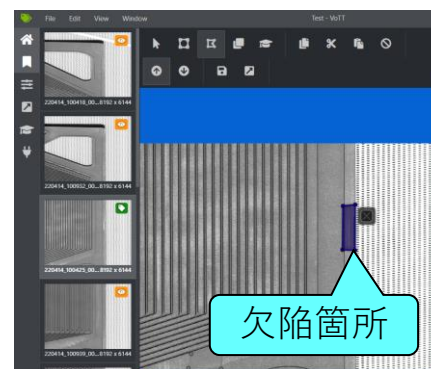
● 領域設定とは

カメラコントローラ用のアプリにて、検査を行いたい個所を青枠で囲む作業。



② AI推論：AIモデルの場合

- ✓ 欠陥検出推論なので、アノテーション作業（欠陥箇所のポリゴンマーキング）が必要。
- ✓ 学習データが大量に必要。（1000画像以上）
- ✓ 学習データを作成する時間が膨大（数週間の計算時間）
- アノテーションとは
AI用の教師データとして、画像データ内の欠陥箇所を種類ごとにマーキングした情報データを意味する。

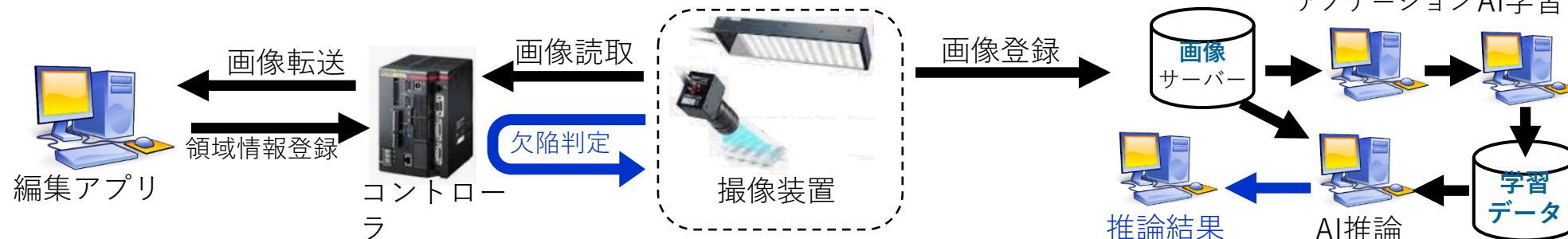


※課題

すべての画像データにおいて

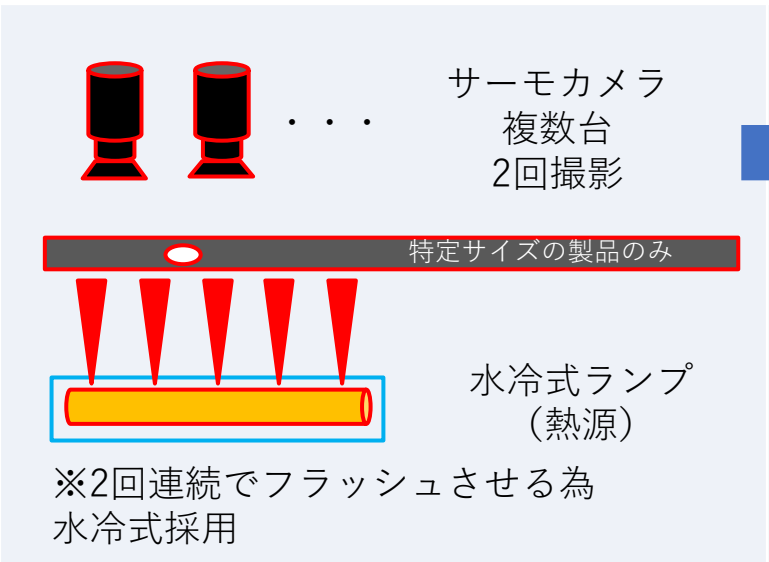
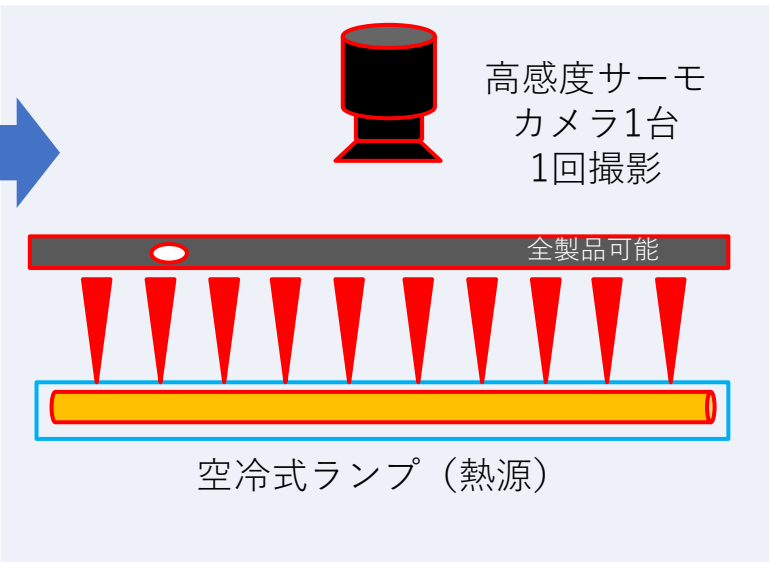
- ・均等に
- ・もれなく
- ・同様のルール

で、欠陥をマーキングする必要がある。



(4) IRカメラによる「疎」検出手法の精度向上検討

現状	改善項目
<ul style="list-style-type: none"> 検出困難な欠陥がある。（要因：カメラ性能・撮影方法） 画像を組合せている為、処理ズレと画像重なりにより不安定。 同品を検査しても同じ画像は撮れない。⇒未検出の場合がある。 	<p>検出精度</p> <ul style="list-style-type: none"> カメラ性能検討 撮影方法検討

検討内容	現行装置	検討内容
<ul style="list-style-type: none"> カメラ性能 分解能と距離 撮影方法 複数台2回撮影 ⇒1台1回撮影 ランプ種類 水冷⇒空冷 	 <p>サーモカメラ 複数台 2回撮影</p> <p>特定サイズの製品のみ</p> <p>水冷式ランプ (熱源)</p> <p>※2回連続でフラッシュさせる為 水冷式採用</p>	 <p>高感度サーモ カメラ1台 1回撮影</p> <p>全製品可能</p> <p>空冷式ランプ (熱源)</p>

この検討により以下のことが分かった。

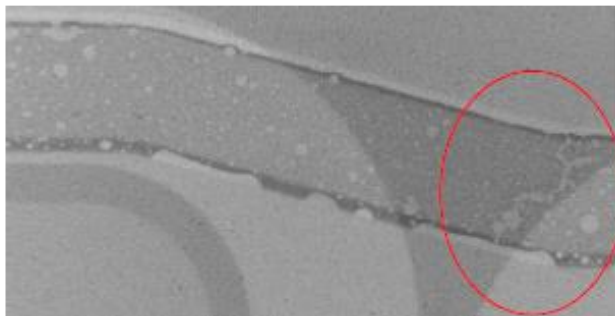
- ・ノイズの少ない画像が取得可能。
- ・1回撮像により画像間のバラつきが解消。
- ・繰り返し検出精度が向上。

(5) X線による内部欠陥検出手法

低密度材料であるカーボン及び樹脂はX線検査での欠陥検出は不向きとされていたが、X線CTの活用や透過X線のセンサの精度アップにより以下の欠陥が検出できることを確認した。

➤ セパレータ接着部の欠陥：

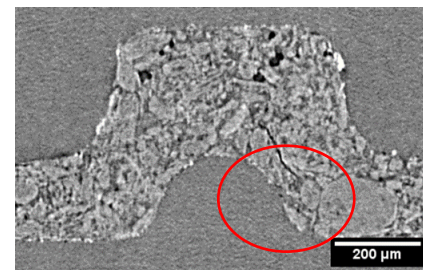
- 初品確認
- 工程内不良の確認



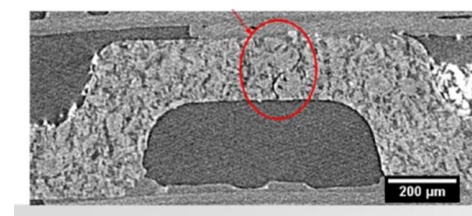
➤ セパレータ内部欠陥：

セパレータ内部に存在する各種欠陥の分析

- 密度ムラ
- 大粒子混入



- 微小クラック



当初の狙いであった「目標タクトでのインライン検査」は、現在の技術ではX線線源及びセンサの解像度不足により目標タクトでの検査は実現不可と判断したが、研究開発段階の検証、画像解析装置もしくはIRカメラで検出した欠陥の詳細分析に使用している。

本装置を用い、今後以下の点に主眼を置いて運用する。

➤ 各種欠陥検出手法での合否判定結果に対する、妥当性検証を行う。

(6)各種検査手法の開発成果のまとめ

これまでの結果より、マクロカメラで検証してきた欠陥検出能力を整理した結果を以下の通りまとめた。

No.	欠陥内容	撮像可否	閾値判定	単体画像 AI判定	他の手法	AI総合 判定	備考
#1	欠け	○	△	△	-	-	AI判定に必要なアノテーションの精度向上策を検討中。
#2	キズ	○	△	△	-	-	
#3	ワレ	○	×	△	ミクロ 装置	-	「閉じたワレ」はミクロ装置で撮像可能であった。
#4	異物	○	△	△	-	-	AI判定に必要なアノテーションの精度向上策を検討中。
#5	凹み	-	-	-	形状測定	-	工程管理により、この不良が出ないように対策を行う。
#6	フクレ	-	-	-	-	-	工程管理により、この不良が出ないように対策を行う。
#7	ピンホール	×	/	/	ガスリーク	-	低頻度につきガスリーク試験で検知させる。
#8	ウェルド	-	/	/	ガスリーク	-	工程管理により発生頻度を下げ、ガスリーク試験で検知させる。
#9	ブラストNG	×	/	/	粗さ測定 目視	-	工程管理により発生頻度を下げ、目視検査で検知させる。
#10	疎	○	×	△	IRカメラ ガスリーク コンパウンド画像	-	密度ムラに起因するため、カメラの見え方だけでは判定が困難。各種手法との組み合わせによる検出精度向上検討を継続中。

凡例：○目標達成、△再現性悪い、×不可、-未着手、/今回の検討での対象外項目

4. 今後の見通しについて

(1) 成果を事業化するイメージ

本研究開発の成果として得られた検査手法は、弊社の量産化検討設備に組み込んで量産適用可否判断を行い、車載用固体高分子形燃料電池セパレータの量産ラインに反映されることを想定している。

(2) 成果を事業化する際に想定される欠陥別の課題

項目	課題
疎	<ul style="list-style-type: none">画像取得は出来るが、画像内の「疎」欠陥の検出が難しい。IRカメラ精度不足による解像度不足。
欠け、異物、キズ	<ul style="list-style-type: none">画像取得は出来るが、画像内の各欠陥のアノテーション精度によって判定精度に影響することから、アノテーションの精度向上が必要である。
割れ	<ul style="list-style-type: none">ミクロカメラで「割れ」の方向によって検出能が変わるため、確実に検知できる手法の確立が必要。
共通	<ul style="list-style-type: none">欠陥種類が多いため、工程管理で減らしていく活動が必要。単体画像の閾値判定の繰り返し精度が低い。

これらの課題については、次ページの計画に従い量産試作ラインの検査工程に組み込むための装置仕様検討の中で解決させるとともに、決定した仕様による設備を用いて検証する。

- 欠陥撮像：検出能力の見極め
- 判定技術：単体画像でのAI判定手法の確立
- 量産ライン構想確立：上記2項目を踏まえて装置仕様を決定する。

4. 今後の見通しについて

(3) 成果を事業化する際に想定される課題

	2023年度	2024年度	2025年度	2025年度	2026年度
品質規格決定		顧客と自動外観検査装置を用いた規格を合意する			
品質管理 生産技術		安定した品質を確保するための生産技術検討			
設備投資		市場及び顧客要求事項に合わせた設備投資	必要に応じて追加投資		
生産・販売					
収益発生		収益発生			
		2024年度に市場規模等を勘案し続行/中断を判断			

ご清聴ありがとうございました。