

発表No.A-19

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/燃料電池の多用途活用実現技術開発  
/高圧水素タンク及びM E A の全数高速検査を実現する革新的  
X線検査技術の開発

発表者名 東レ株式会社

団体名 東レ株式会社

国立研究開発法人産業技術総合研究所

発表日 2024年7月18日

連絡先：  
東レ株式会社  
<https://www.toray.co.jp/>

# 事業概要

## 1. 期間

開始 : 2021年8月

終了 : 2024年3月 (23年度まで)

## 2. 最終目標

燃料電池車 (FCV) 関連部材の安全性や耐久性の品質向上に貢献できる X線検査システムを開発し、水素社会構築を牽引する先導的役割であるモビリティの普及拡大に貢献する。

水素タンクライナー及び燃料電池のMEA及び構成部材CP (カーボンペーパー)を短時間で高精度に検査する X線検査技術の開発を行い、製造プロセスにおける検査技術確立を目指す。

## 3. 成果・進捗概要

21年度から22年度前半にかけて要素技術開発実施

22年度からは検査機構の開発と検証

23年度は検査機構の実証、装置設計への落とし込みを実施し、計画通り、検査技術の確立を行った。

知財は、国内特許出願10件、PCT2件を実施した。

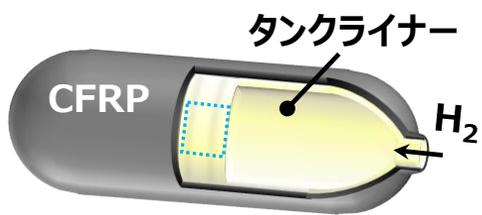
# 1. 事業の位置付け・必要性

NEDO「水素・燃料電池戦略ロードマップ」に、「燃料電池自動車を中心としたモビリティにおける水素需要の拡大を加速する」とされている通り、モビリティは水素社会構築を牽引する先導的役割の位置付けである。

今後の市場拡大及び2030年以降の自立的な普及拡大期（FCV累計80万台）に、検査技術の提供を通して安全性・耐久性向上の後押しをし、水素社会構築に貢献する。

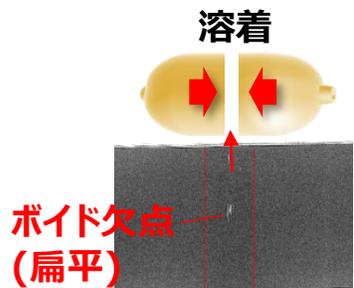
当社はX線検出器の高解像度化に寄与できる独自のシンチレータパネル技術を有しており、この技術を更に進化させ、X線検出器とのマッチング／適切なX線源／検査手法開発により検査システム構築する。FCV関連部材を対象とした、下記2テーマを設定し開発した。

## 水素タンク検査 樹脂ライナー接合部の欠点検査



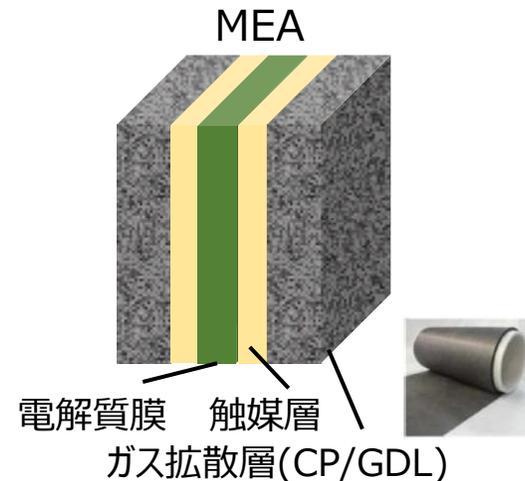
軽量化・容量UP・コストダウンでライナー厚は今後薄くなる方向  
接合部欠点起因のリーク・破壊の危険性が高くなる  
⇒**ポイド・異物を検出し不良品排除**

【目標】  
ポイド ≥ 300×50μm検出  
金属異物 ≥ 300μm検出  
@6min/1タンク(1接合部)



接合部断面画像

## MEA(CP等)検査 金属異物検査



Fe等の金属により副生した・OH(ヒドロキシラジカル)により電解質膜が劣化  
⇒ **金属コンタミ検出で、不良品排除**

【目標】  
金属異物 ≥ 30μm(球換算) 検出  
@ライン速度25m/min  
(MEA 1sec/cell相当)

※目標は FCV課題共有フォーラムやNEDOロードマップFCV累計80万台(30年)参考に設定

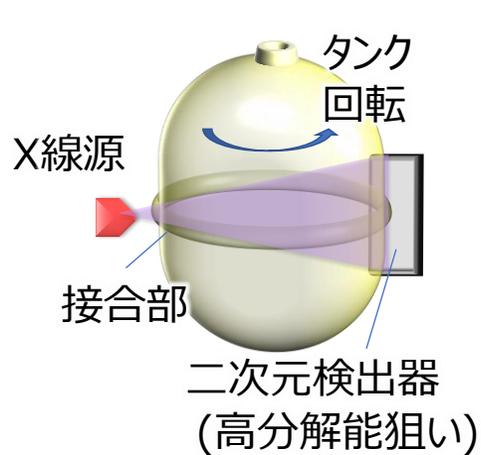
## 2. 研究開発マネジメントについて

【テーマ】 高圧水素タンク及びM E Aの全数高速検査を実現する革新的 X線検査技術の開発

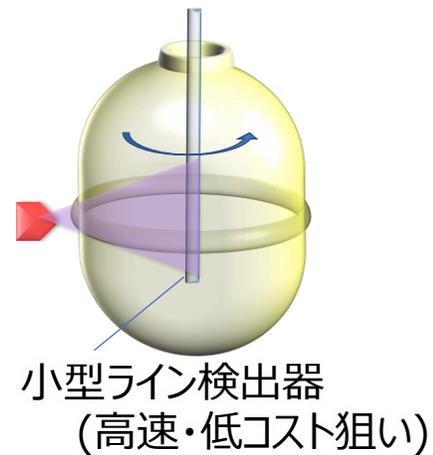
### 《想定した検査機構成》

#### タンクライナー接合部検査

#### 本日報告

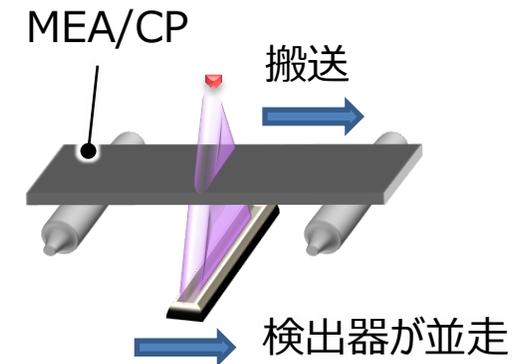


線源／検出器を  
タンクの外に置く構成



検出器をタンク内に  
挿入する構成

#### MEA(CP等)異物検査



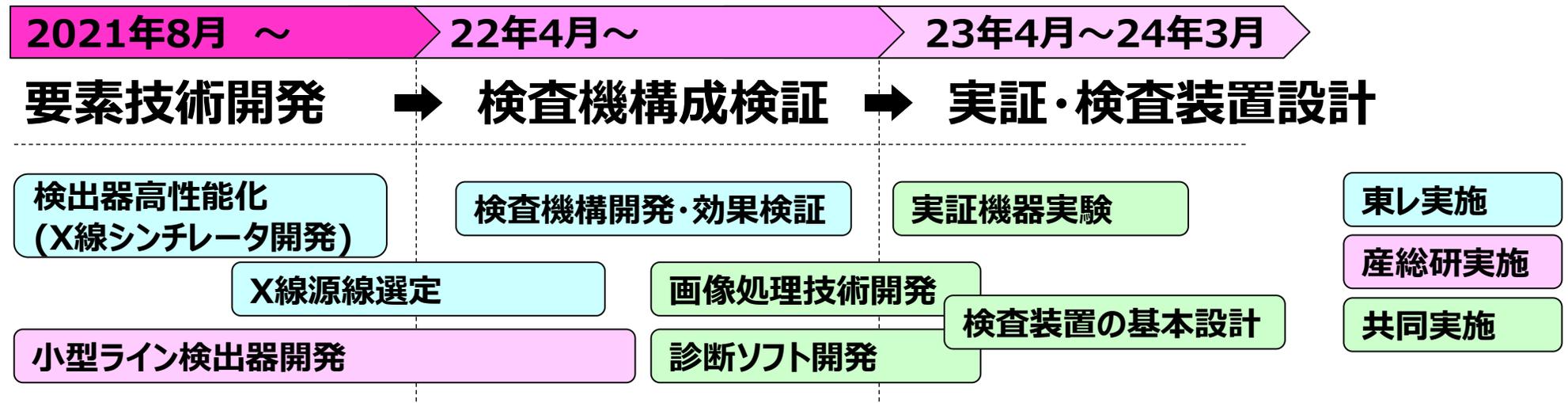
検出器がワークと並走  
する構成

想定した検査機構成の開発に繋げる要素技術を設定  
計画を策定し、共同研究パートナーを選びました

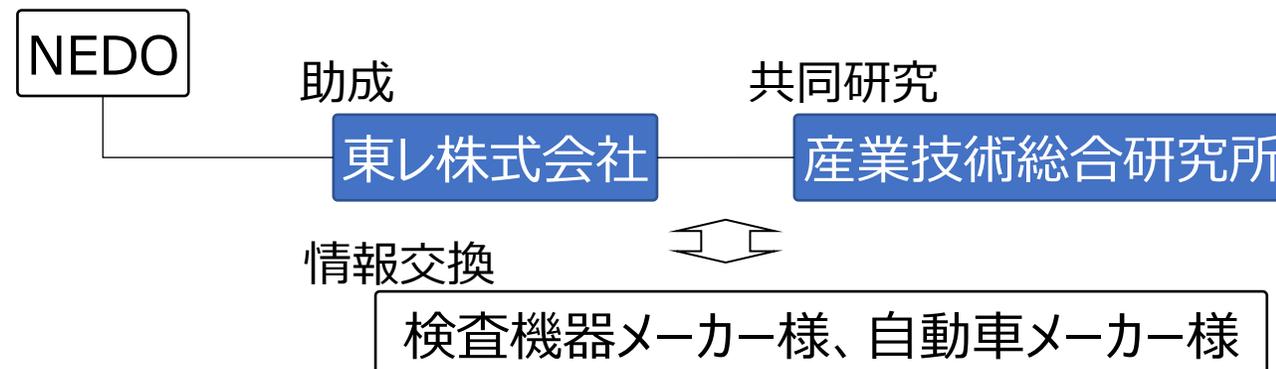
## 2. 研究開発マネジメントについて

【テーマ】 高圧水素タンク及びM E Aの全数高速検査を実現する革新的 X線検査技術の開発

【計画】



【開発体制】



### 3. 研究開発成果について

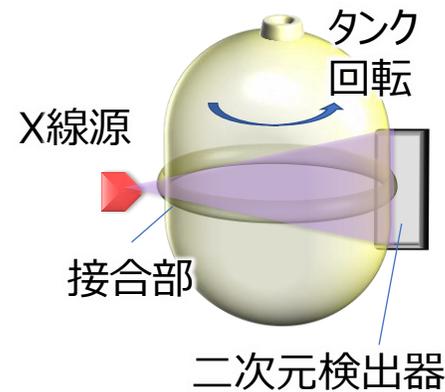
#### 《設定目標（タンクライナー接合部検査）》

<p>タンクライナー 前提形状</p>	
<p>検出対象物</p>	<p>ボイド <math>\geq 300 \times 50 \mu\text{m}</math> </p> <p>異物 <math>\geq 300 \mu\text{m}</math> </p>
<p>検査サイクルタイム</p>	<p><math>\leq 6</math>分/本(接合部タンクに1か所前提)</p>
<p>検査機構開発 検査コスト試算</p>	<p>検査機構開発・実証⇒装置設計 <math>\leq 300</math>円/本</p>

#### 《想定した検査機構成》

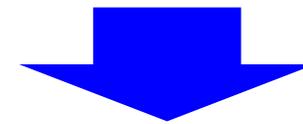
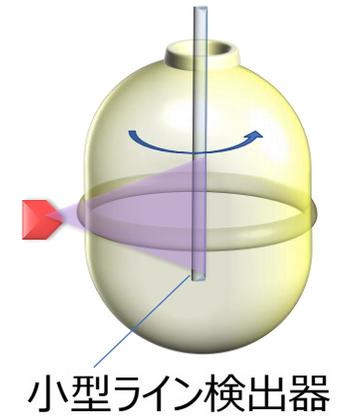
##### 検査システムA

(供給口径によらない)



##### 検査システムB

(供給口径 $\geq 30$ mm用)

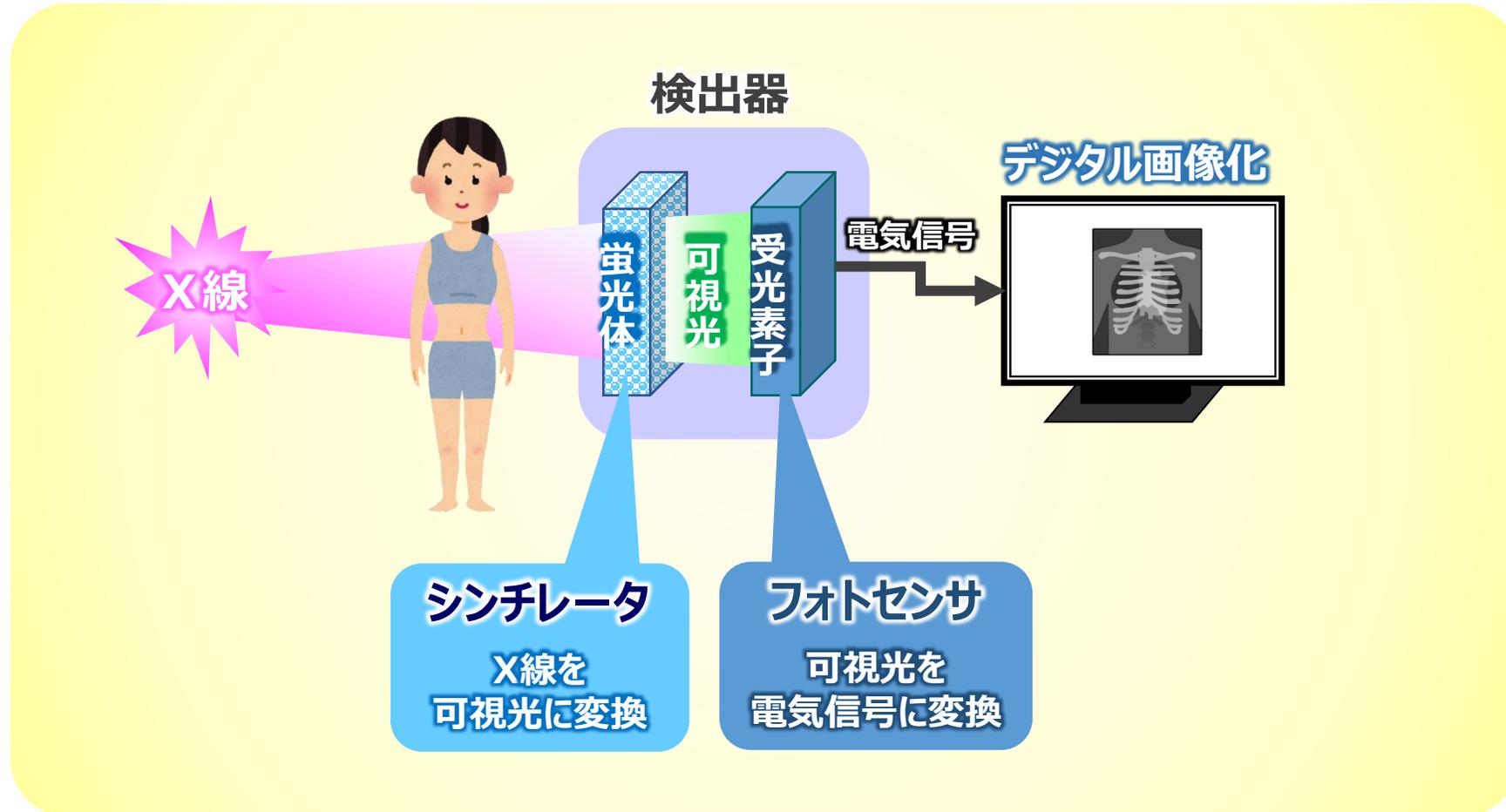


#### 要素技術開発目標に反映

- ・検出器高性能化（解像度・検査タクトを考慮）
- ・検査システムB検証用に、小型ライン検出器開発
- ・検査コスト抑制につながる検出器交換頻度をおとす技術

## 《要素技術開発》

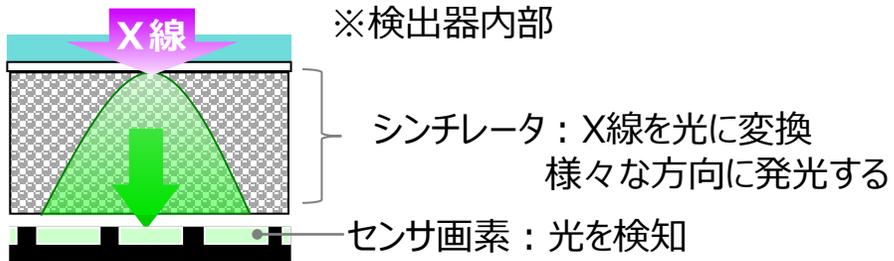
### シンチレータパネルとは



### 3. 研究開発成果について

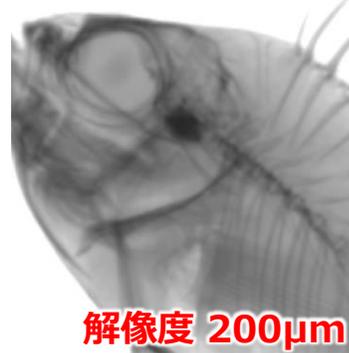
## 《要素技術開発》 開発内容紹介

### 一般的な構造のシンチレータパネル



可視光が拡散し複数の画素に広がって伝わる

X線画像例



解像度 200 $\mu$ m

⇒ 画像がボケる

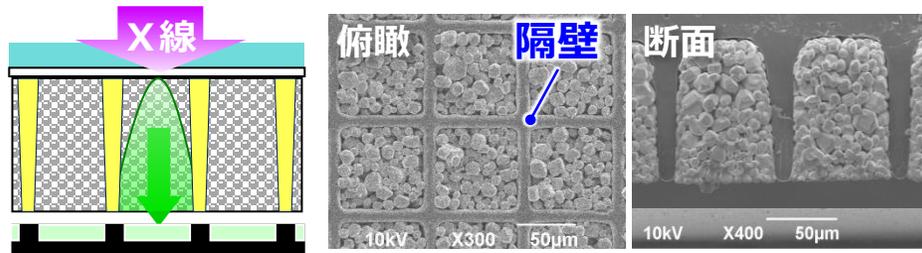
### 検出器高性能化 X線シンチレータ開発

高解像に適したセル方式シンチレータを用い、  
更に当検査に適すよう進化させる

- ・検査速度を加味した感度UP開発 (+20%)
- ・検出器交換頻度低減を目指した 長時間X線照射への耐久性向上 (感度低下 1 / 3 以下)

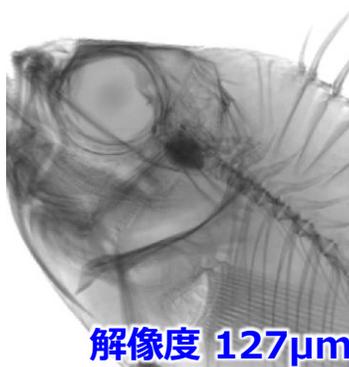
### セル方式シンチレータ(高解像度化)

東レ独自技術



隔壁で可視光の拡散を抑制

X線画像例



解像度 127 $\mu$ m

⇒ 鮮明な画像

### 小型ライン検出器開発

検査システムB用に(タンク内に検出器挿入)  
小型ライン検出器を設計し、  
上記開発のシンチレータと組み合わせる

- ・タンク内挿入を想定した小型カメラ設計
- ・データ処理ソフト設計
- ・セル方式シンチレータの搭載

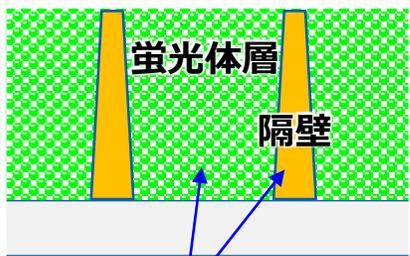
### 3. 研究開発成果について

## 《要素技術開発》 開発成果

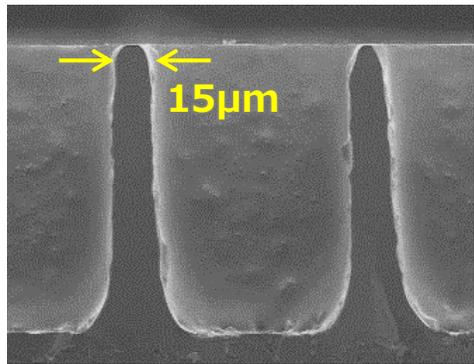
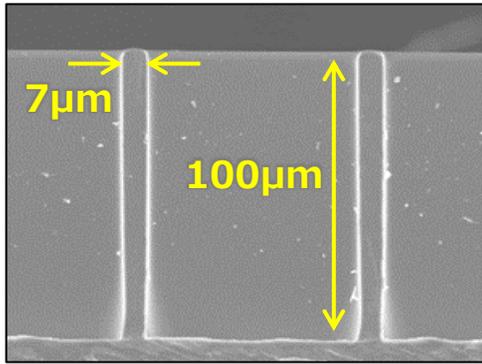
## 検出器高性能化 X線シンチレータ開発

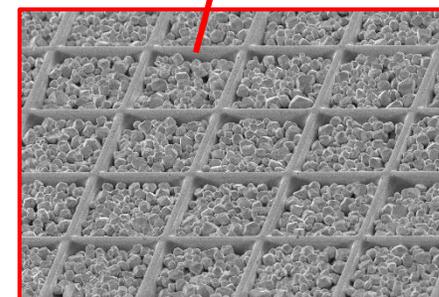
【感度向上】 ⇒ 隔壁材料変更・プロセス開発で隔壁細幅化

### 開発コンセプト



隔壁を細くすると、  
蛍光体充填量を増やせる  
→ 感度向上

	既存技術	開発技術
隔壁断面画像		
隔壁幅 (目標 ≤ 10)	15μm	7μm
相対感度 (目標 ≥ 120)	100%	120~125%



画素サイズ：75μm～  
有効エリア：～□430mm

**小型**（検査システムB用小型検出器、MEA検査用ラインセンサー）

**～大型**（二次元検出器）まで対応するセル方式シンチレータ設計を完了

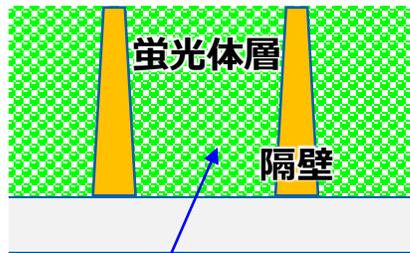
### 3. 研究開発成果について

## 《要素技術開発》 開発成果

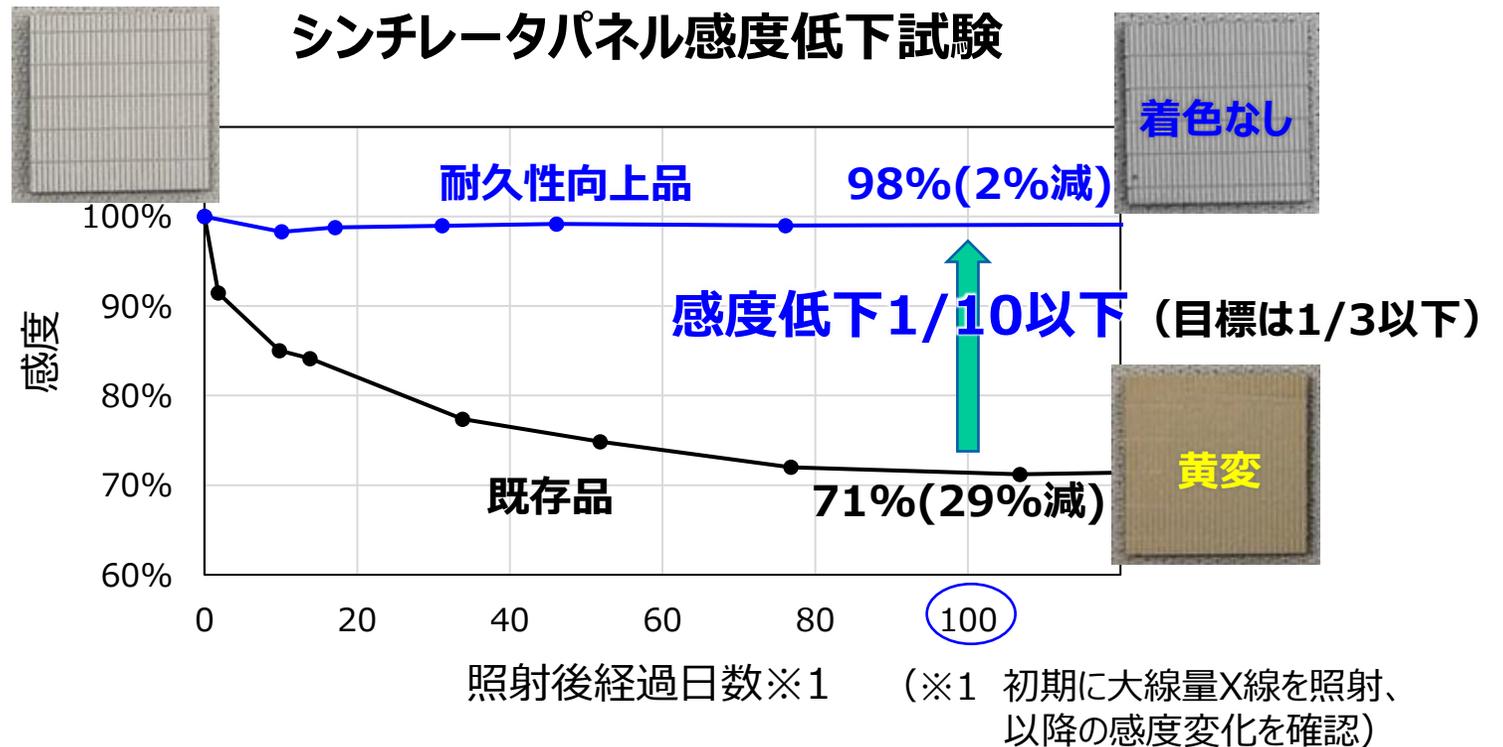
### 検出器高性能化 X線シンチレータ開発

【X線耐久性向上】 ⇒ 蛍光体層設計変更でシンチレータパネル感度低下抑制

#### 開発コンセプト



蛍光体層内の成分劣化で感度低下  
→ X線で変質しにくい蛍光体層を開発



シンチレータパネルのX線耐久性を向上させた  
→ 検査装置の想定寿命の間、シンチレータ起因での検出器交換不要※2

(※2 検査装置寿命8年、検出器交換頻度1回/3年→1回/9年)

### 3. 研究開発成果について

## 《要素技術開発》 開発成果

### 小型ライン検出器開発

【小型ライン検出器開発】 ⇒ 検査システムBの検証用に開発

(産総研様にて設計・製作)

#### 開発コンセプト

検出器受光部

X線センサー

駆動処理部を  
センサー背面設計

コンパクトな配置、  
駆動、X線遮蔽、  
データ読み出し



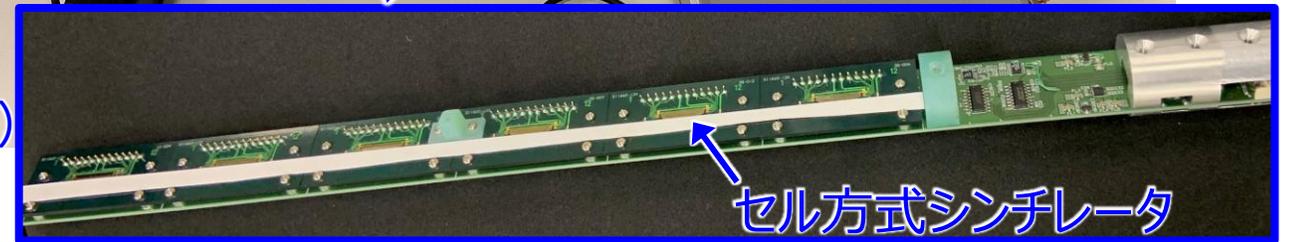
直径

Φ22mm  
(目標 ≤ 30mm)



受光部300mm

内部



セル方式シンチレータ

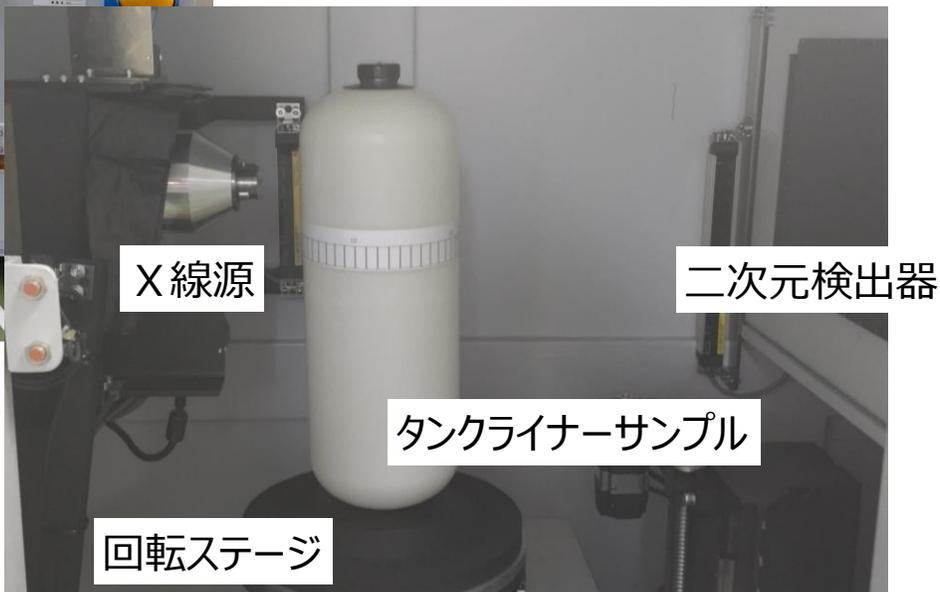
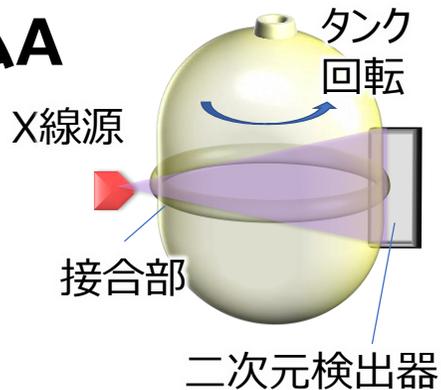
目標の外形Φ30mm以下となるセンサーを開発  
開発したシンチレータとの組み合わせも完了

### 3. 研究開発成果について

## 《検査機構成検証》 開発成果

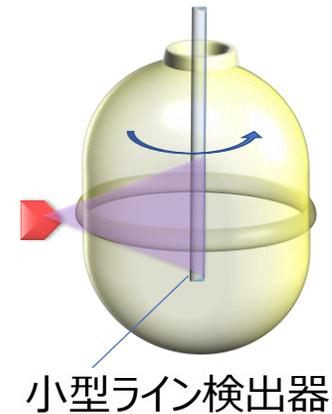
## 検査機構開発・効果検証

### 検査システムA



### 検査システムB

小型ライン検出器・X線源を用い、  
タンクライナーサンプルを回転ステージで  
回しながらデータ取得可能



検査機構を反映した実験系を準備し検証

### 3. 研究開発成果について

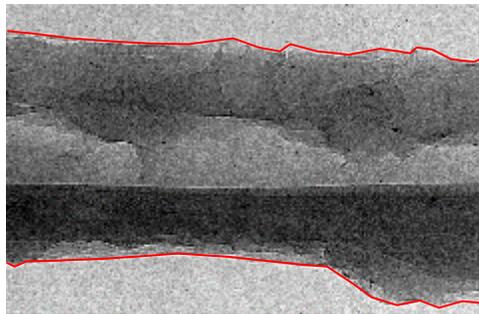
## 《検査機構成検証》 開発成果

## 検査機構開発・効果検証

### 画像処理、 欠陥検出ソフト設計

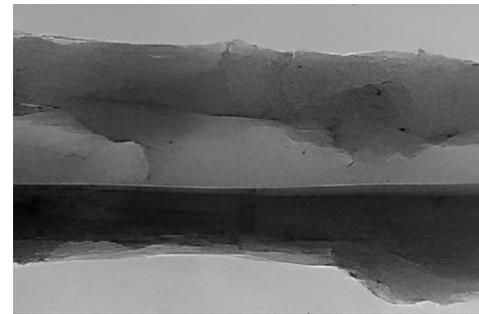
AI、ルールベースを  
組み合わせて  
マッチする手法を構築

### X線画像(元画像)



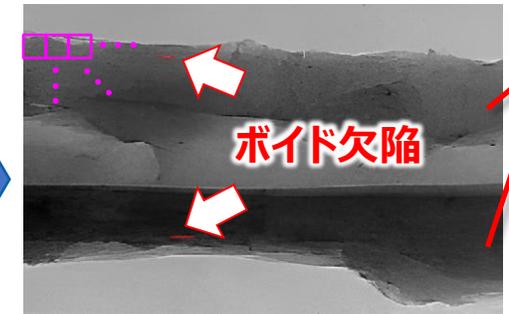
検査エリア特定 (接合部)

### 画像処理



ノイズ除去

### 欠陥検出



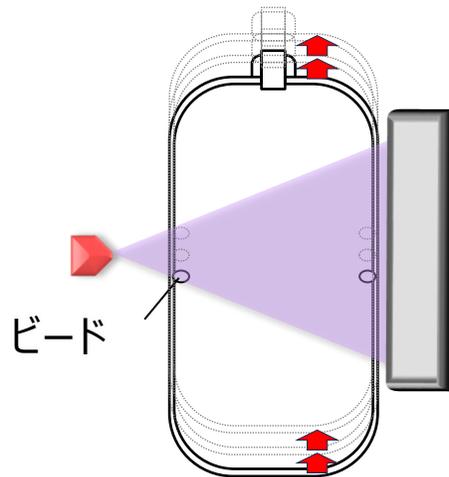
エリアを分割し局所的な解析

ビードの影

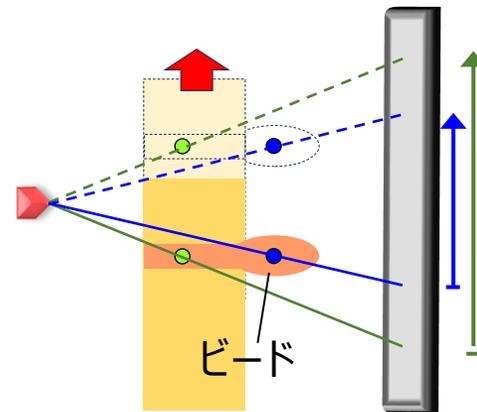
ポイド欠陥

### ステレオ撮像ソフト設計 (過剰欠点検出抑制)

複数角度で撮像し、  
ズレ量から奥行き位置  
を特定



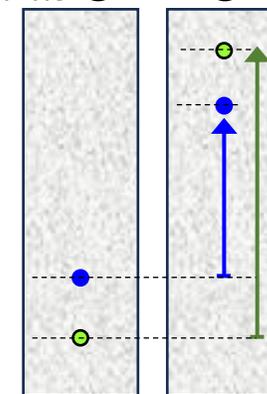
ビード



ビード

ライナー壁

X線画像① ②



ビード内の欠陥である  
ことが分かる。

画像処理、欠陥検出、ステレオ撮像ソフトを設計し実証機に反映

### 3. 研究開発成果について

## 《実証・装置設計》 開発成果

## 実証機器実験



**自動運転が可能な検査システムA実証機を開発**

### 3. 研究開発成果について

## 《実証・検査装置設計》 開発成果

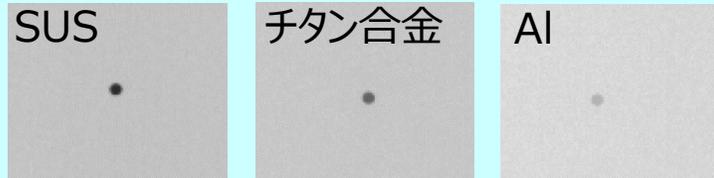
## 実証機器実験

【目標】 6min/1タンク(1接合部)  
ボイド  $\geq 300 \times 50 \mu\text{m}$  検出、金属異物  $\geq 300 \mu\text{m}$  検出

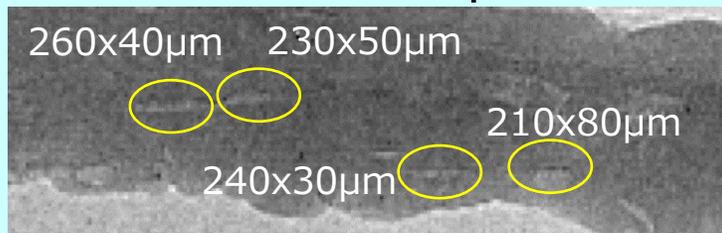
【条件】  $\Phi 500$ のタンクの接合部1周を6分以内となる速度で撮像

【結果】 検査システムA：異物、ボイドとも検出  
検査システムB：異物のみ検出可

標準異物  $\Phi 50 \mu\text{m} \sim 300 \mu\text{m}$

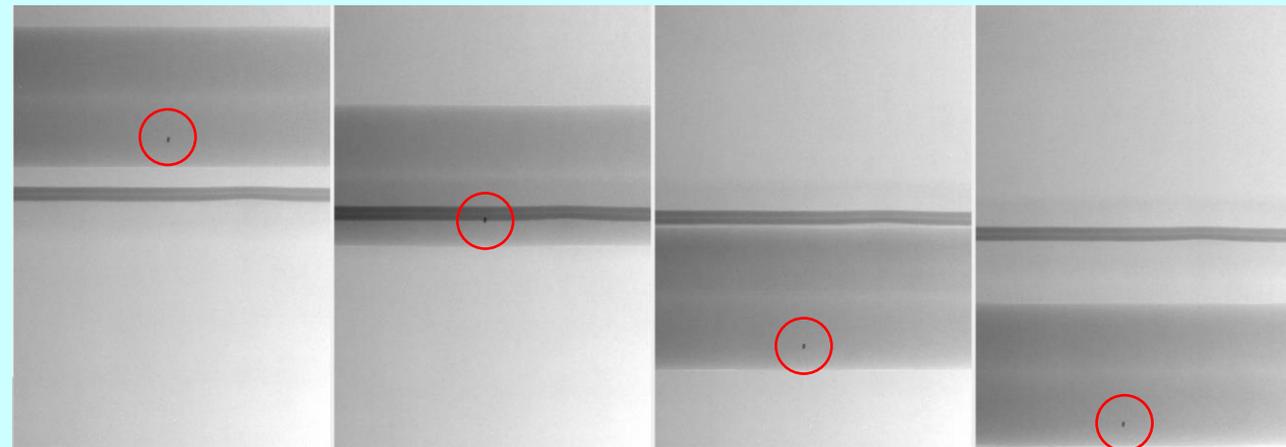


ボイド欠陥  $30 \times 210 \mu\text{m} \sim$



ステレオ撮像も検証  
(過剰欠点検出抑制)

欠点位置ズレ量確認できることを確認



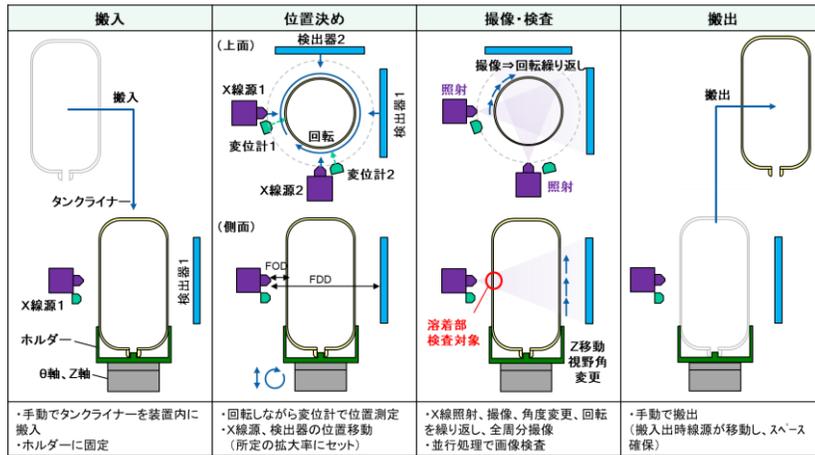
ステレオ撮像含めて、目標達成できることを確認

### 3. 研究開発成果について

## 《実証・検査装置設計》 開発成果

## 検査装置の基本設計

### 検査システムA



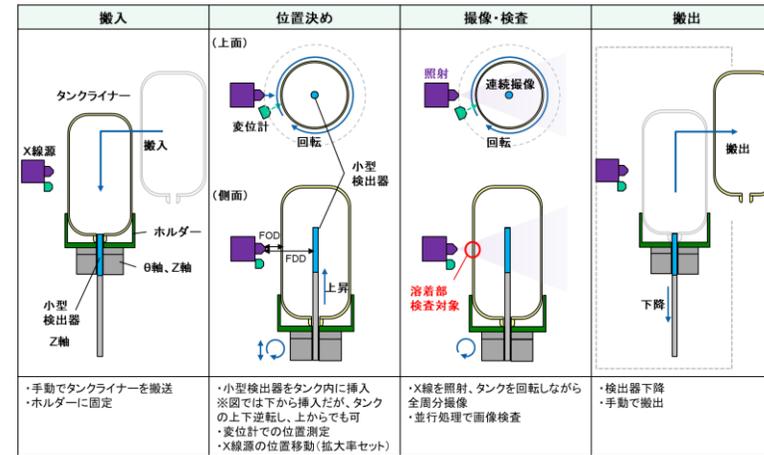
#### 異物・ボイド検出

検査サイクルタイム4.7分



検査コスト\* : ≤220円/本

### 検査システムB



#### 異物検出

検査サイクルタイム4.4分



検査コスト\* : ≤130円/本

\*検査コスト試算：検査サイクルタイム：タンクの設置・検査/データ出力・タンク取り出しまでのサイクル  
 検査装置価格+維持費(主にX線源定期交換)、検査機稼働率8割。(接合部1か所φ500タンクのサイクルタイム)  
 検査システムA約9万本/年、検査システムB約9.5万本/年  
 装置寿命8年

検査装置メーカーと協力し検査コストを概算

## 4. 今後の見通しについて

### 実装に向けた取り組み

#### タンクライナー接合部検査：

自動車メーカー様やタンクライナーメーカー様でのライナー設計・変更・製造プロセス検討時の欠点情報取得に協力。  
製造ラインへの実装時は、ライナー・製造ラインに適した装置設計にカスタマイズし提案。

#### MEA/CP等の異物検査：

(本報告で割愛しましたが、実証機器で検証し、目標の30μmの異物を25m/minで検出できることを確認しています)  
東レG内外のMEA/CP関連部署と情報共有を進める。社内のFCV部材製造ラインへの検査導入要望があり、検査装置設計案を提出予定。  
検査コストは更なる低減が求められるものとして、大幅なコスト低減を可能とする技術構築にチャレンジ。

年度	2021	2022	2023	2024~2030
	★NEDO助成事業開始 ★中間(TRL3) ★最終目標(TRL4)			
要素技術開発	→ ▼要素技術完			
実証機器設計、検証	→ ▼検査機基本設計完了			
各社製造ライン向け設計	→ 実機設計			
各社導入(東レG内含む)	→ 導入、稼働			
	▼検査コスト目標感			
ライナー	35,000円/本		300円/本	コストダウン → 200円/本
MEA	(25円/cell)*		5円/cell	検討継続 → 1円/cell

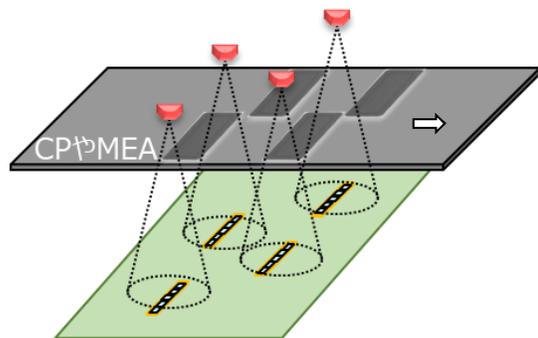
\*実異物では所定速度で検出困難だった

以下、補足

### 3. 研究開発成果について

## MEA(CP等)異物検査

### <検出器固定(一般的な構成)>



100 $\mu$ m超サイズ異物まで

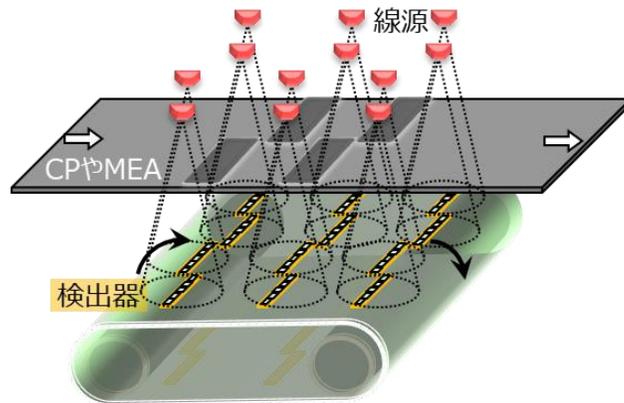
<MEA> 0.5秒/cell

➡検査コスト\* :  $\leq$ 1円/cell

<CP> 25m/分

➡検査コスト\* :  $\leq$ 8円/m<sup>2</sup>

### <検出器並走>



30 $\mu$ mサイズ異物検出可能

<MEA> 0.5秒/cell

➡検査コスト\* :  $\leq$ 6円/cell

<CP> 25m/分

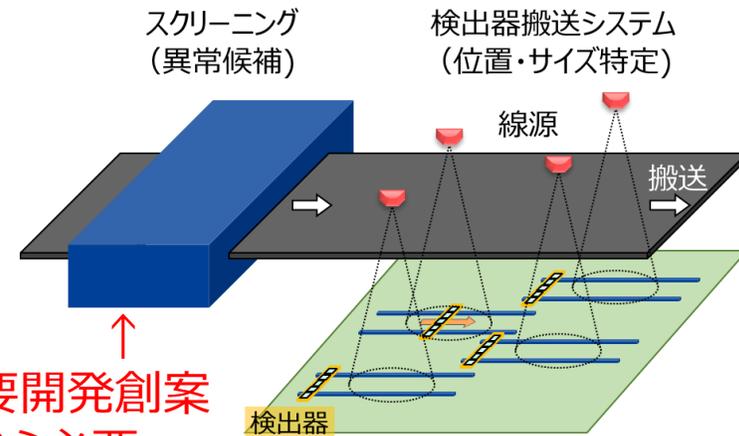
➡検査コスト\* :  $\leq$ 60円/m<sup>2</sup>

\*検査コスト試算 :

CP 500mm幅、25m/min 8割稼動で500万m<sup>2</sup>/年

MEA 250\*110mm(275cm<sup>2</sup>)、2列流し、110mmインターバル、25m/min➡0.5秒//cell ...8割稼動で62.5百万cell/年

検査装置価格+維持費(主にX線源定期交換)、装置寿命8年



↑  
要開発創案  
から必要

検査コスト

: MEA 1円/cell、CP 10円/m<sup>2</sup>を目指すには  
プレ検査(スクリーニング)+検出器移動システムなど  
新たな要素の追加が必要

30 $\mu$ m異物検出可能かつ検査コストを抑えるには、新たな技術追加が必要