

燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化

(4) 燃料デブリ取り出し時の監視技術の開発

2019.06.26

浜松ホトニクス株式会社

研究の背景と事業の目的、目標

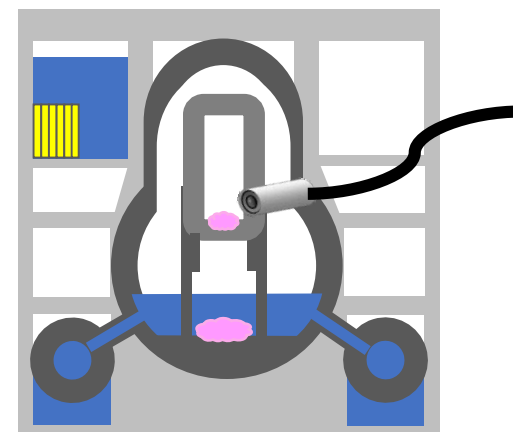
【背景】：本研究が必要な理由

- ・燃料デブリ取り出し工程に適用可能な監視技術の要求

要求仕様：線量率 10 kGy/h

累積線量 2 MGy

想定線量率：3 kGy/h ~ 5 kGy/h



原子炉構造図

ご提供 株式会社三菱総合研究所殿

【目的】

- ・有用、**継続供給**可能な撮像管、カメラ技術の実現

【目標】

- ・要求仕様を満たすセンサ、カメラの実現

監視技術の耐放射線性

- ① 高線量率の放射線環境下での有用な映像の取得
- ② 累積線量までの映像出力の維持

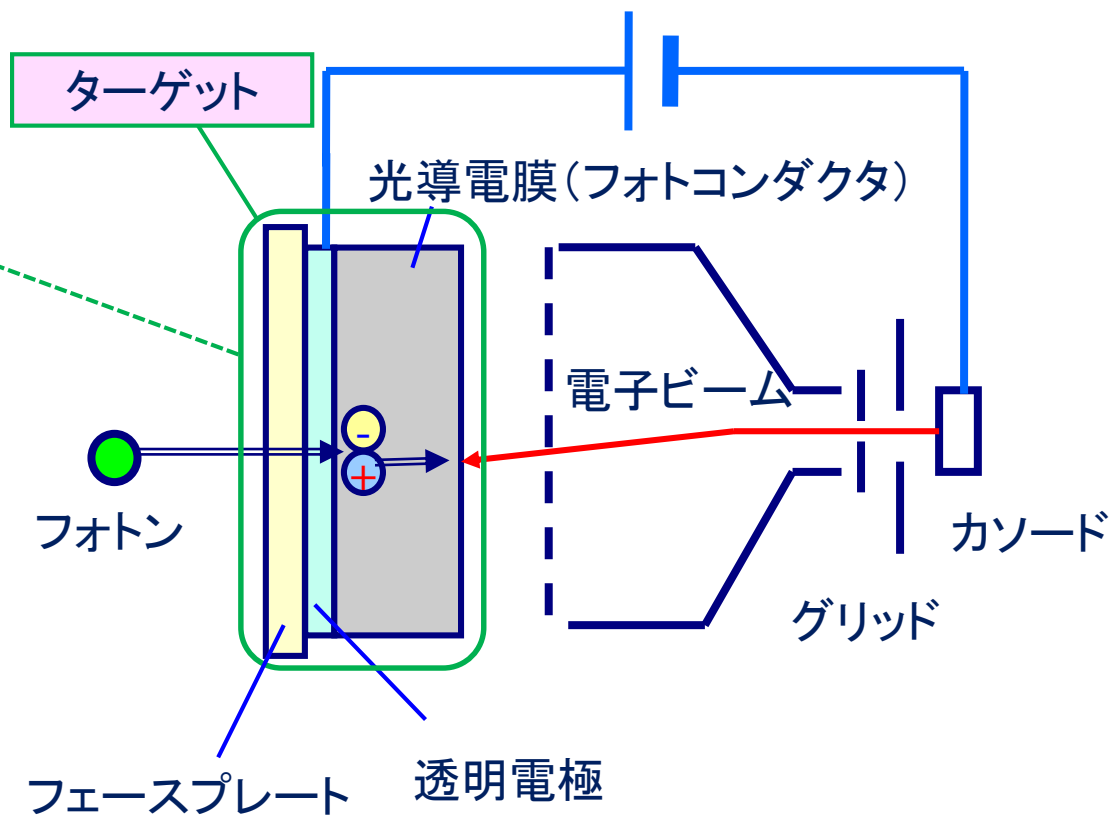
福島第一原発の燃料デブリ・炉内構造物取り出し工程では、
下記条件下で①および②が可能なこと

- 連続動作
- 連続照射

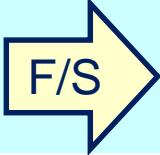


技術提案：撮像管

材料の選定および膜構造設計により、放射線の影響を受け難い光導電膜を開発し、耐放射線性の要求をクリアする

本事業で検討



監視技術開発の全体スケジュール

FY	2014	2015	2016	2017	2018
事業名					
技術成熟度 (TRL)	~3 初期試作	3 ⇒ 4 試作	4 試作検証	4 ⇒ 5 プロト機	5 模擬実証
撮像管	~2kGy/h	~10kGy/h	動作安定性 向上	特性均一性 向上	実用試作
カメラ		初期設計	初期試作	プロト機	実用試作
画像処理		ノイズ低減	静止画カラー化	動画カラー化	実用試作
照明			モノクロ用	カラー用	実用試作

F/S : 実現可能性検討事業

実施項目

- ① 耐放射線撮像管の実用化開発
 - ① i) セレン化カドミウム (CdSe)撮像管の実用化開発
 - ② ii) 新光導電膜撮像管の実用化開発
- ② 耐放射線撮像管カメラの実用化開発
- ③ 耐放射線性評価
- ④ 画像処理技術の開発
- ⑤ 耐放射線照明技術の実用化開発
- ⑥ 現場適用性の検討

本事業の実施スケジュール

	実施項目	2017年度 上	2017年度 下	2018年度 上	2018年度 下
① i	CdSe撮像管 の実用化開発	映像特性改善・動作安定性改善		品質均一性向上	
① ii	新光導電膜撮像管 の実用化開発	映像特性改善・耐熱性向上		動作安定性改善 品質均一性向上	
②	耐放射線撮像管カメラ の実用化開発	改良設計	プロト機製作	実用機設計	実用機製作 評価
③	耐放射線性評価	短期間照射 画質改善確認	2 MGy照射	短期間照射 カラー化	2 MGy照射
④	画像処理技術 の開発	カラー化技術 検討	静止画	動画5 fps ⇒ 10 fps	
⑤	耐放射線照明技術 の実用化開発	技術検討	カラー化対応 耐放射線性確認	耐放射線性確立 小型化	
⑥	現場適用性の検討	調査・設計への反映項目の検討		機器設計への反映	

実施項目と成果

	実施項目	成果
① i	CdSe撮像管の実用化開発	実用化技術確立
① ii	新光導電膜撮像管の実用化開発	実用化技術開発
②	耐放射線撮像管カメラの実用化開発	実用機 設計・試作・試験
③	耐放射線性評価	60Coガンマ線環境下での撮影
④	画像処理技術の開発	10 fps カラー化
⑤	耐放射線照明技術の実用化開発	照明の耐放射線性改善 小型化
⑥	現場適用性の検討	②,④,⑤への反映

① 1F用撮像管の開発の必要性

	撮像管	線量率 kGy/h	累積線量 MGy	最低 被写体 照度 Lux	焼付	動作温度 上限
旧製品	CHALNICON	2.5	2	6	小	>70 °C
	Vidicon	10 ~	2	45	大	50 °C
1F用	CdSe	10	2	7.5	小	>70 °C
	新光導電膜	10	2	9	許容	60 °C

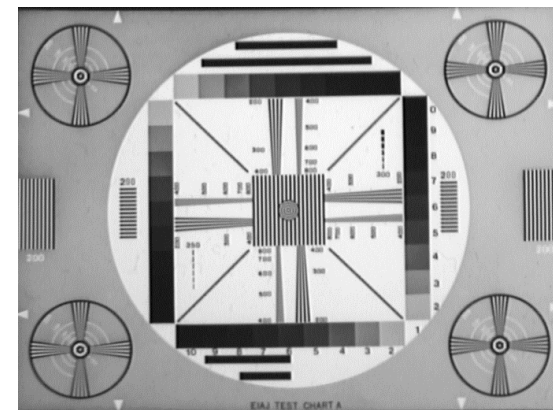
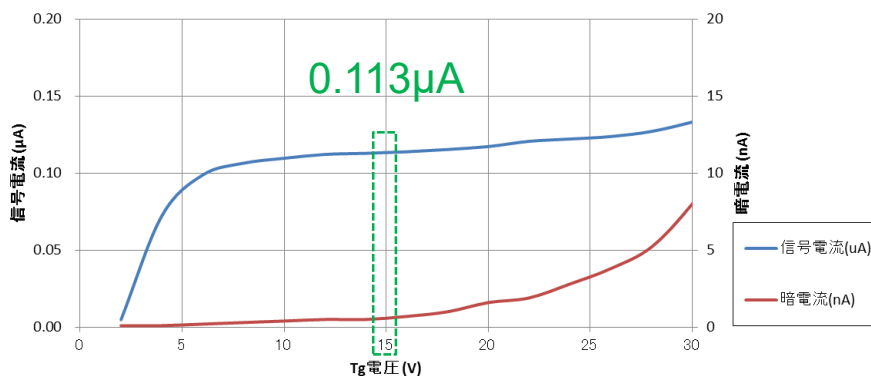
旧製品：生産終了、在庫限り、数量不明、僅少か

Vidicon：焼付大、動画撮影に不適 ⇒ 作業性に影響

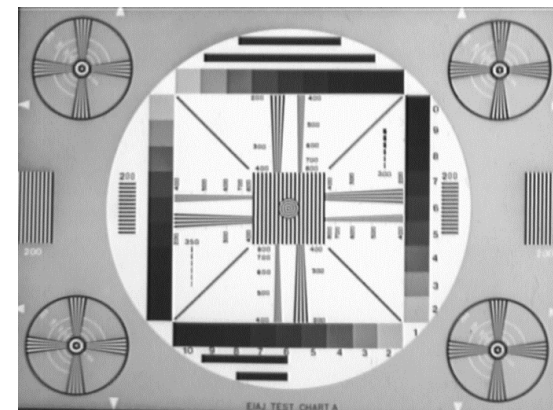
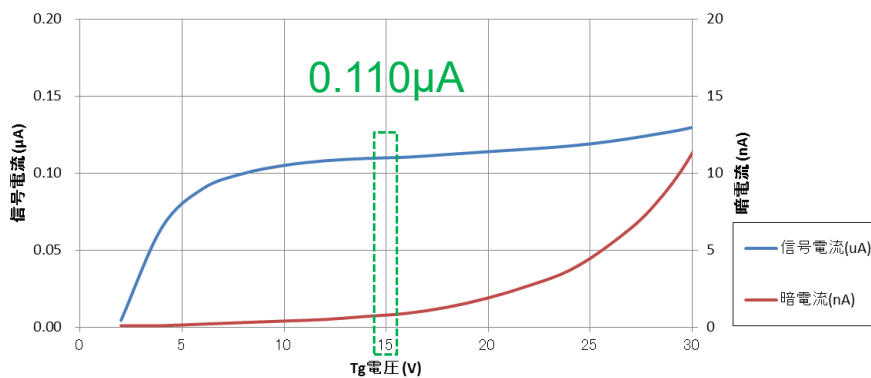
① CdSe撮像管 照射前後の比較

2MGyの放射線照射後において、十分な感度（信号電流）を維持
撮像動作に支障なし、良好な画像を確認

照射前



2MGy
照射後



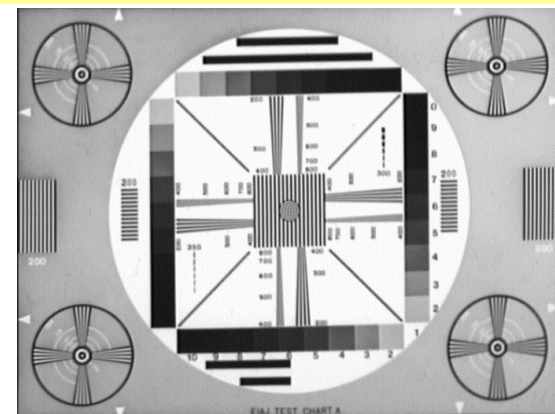
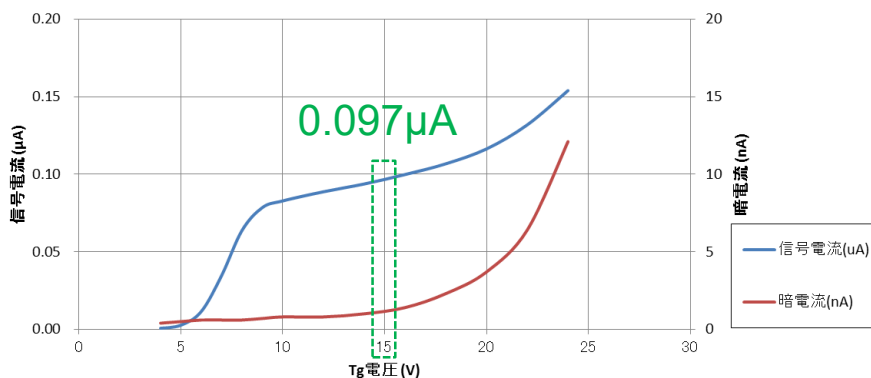
V-I 特性

画像

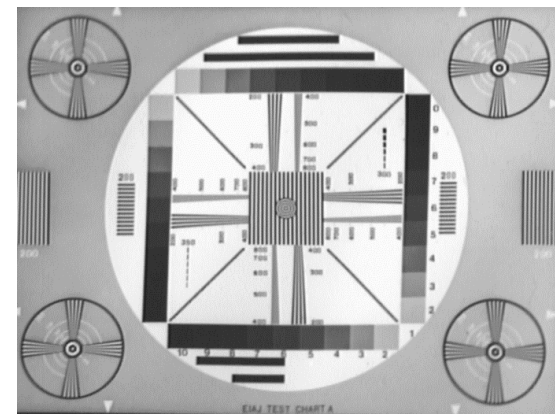
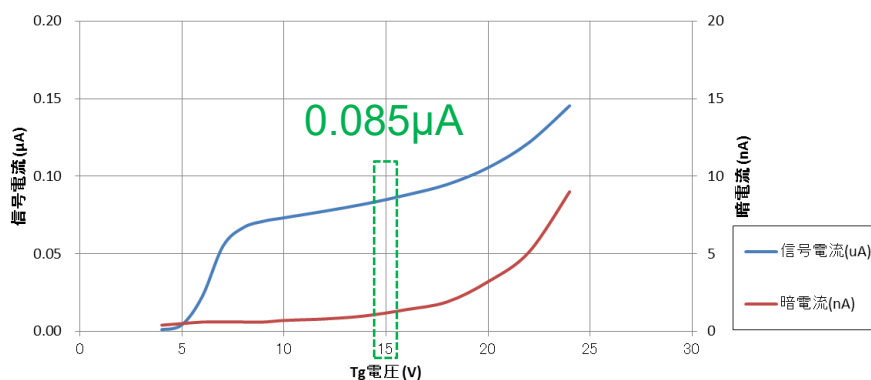
① 新光導電膜撮像管 照射前後の比較

2MGyの放射線照射後において、十分な感度（信号電流）を維持
撮像動作に支障なし、良好な画像を確認

照射前



2MGy
照射後



V-I 特性

画像

① 2種類の撮像管の比較

安定性ではCdSeが優位、極高線量率下では新光導電膜が適当

項目	CdSe	新光導電膜	備考
耐熱性	◎	△	
青色感度	△	(○)	
耐放射線量率	○	◎	
カラー化時色再現性	○	△	混色が残像に依存
焼付き	○	△	
長期安定性	○	△	
欠陥	○	△	初期、動作時発生とも
適する使用環境	気中・水中	水中	

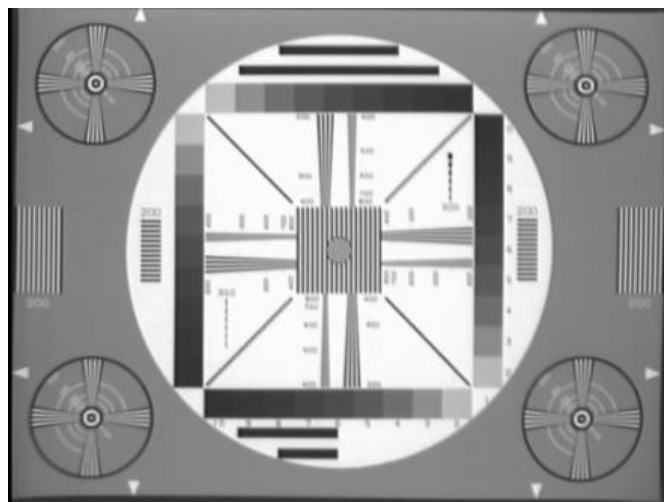
① CdSe撮像管の暫定仕様

項目	暫定仕様	備考
径	2/3インチ (18 mm)	
集束方式	電磁	
偏向方式	電磁	
フェースプレート	ノンブラウニングガラス	
有効面積	6.6 mm × 8.8 mm	
感度	0.09 μ A	面照度 1 Lx
暗電流	2.0 nA	Esj1
中心水平限界解像度	500 TV本	
残像	30 %	3フィールド

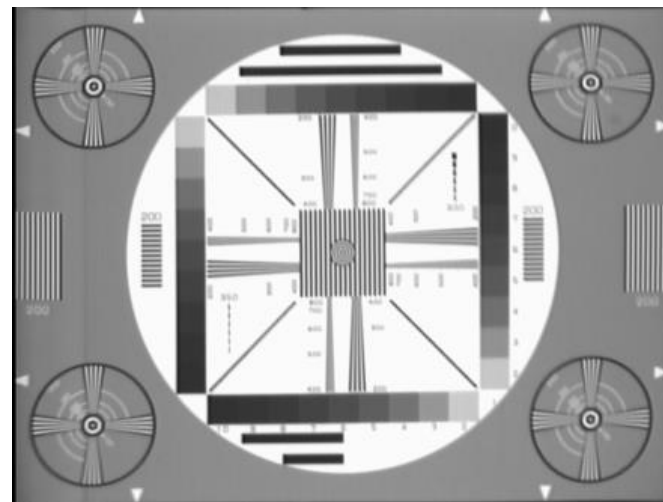
① CdSe撮像管の加熱動作試験

条件：ターゲット温度70 °C、2,000時間動作

結果：顕著な劣化無し

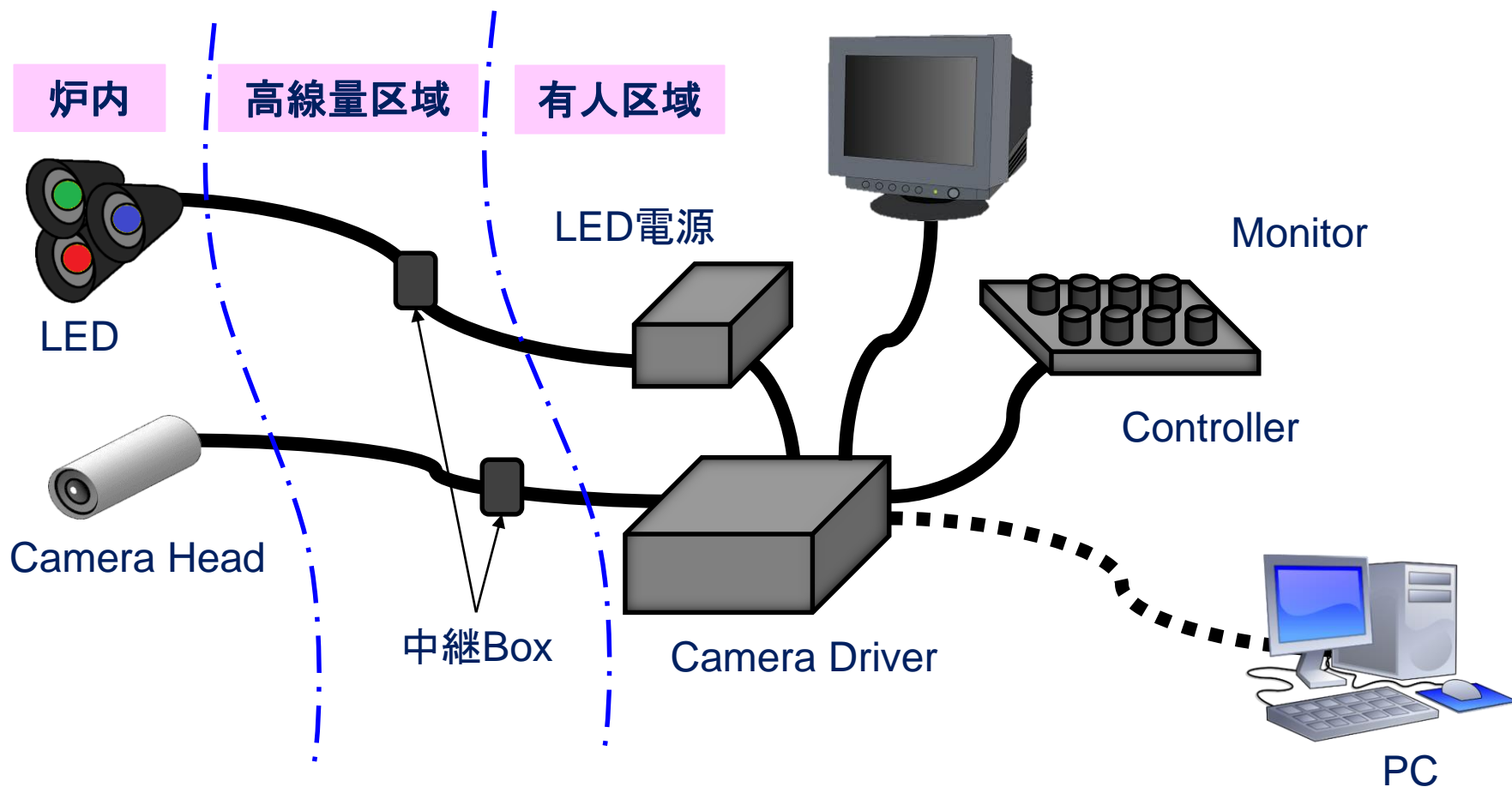


試験前

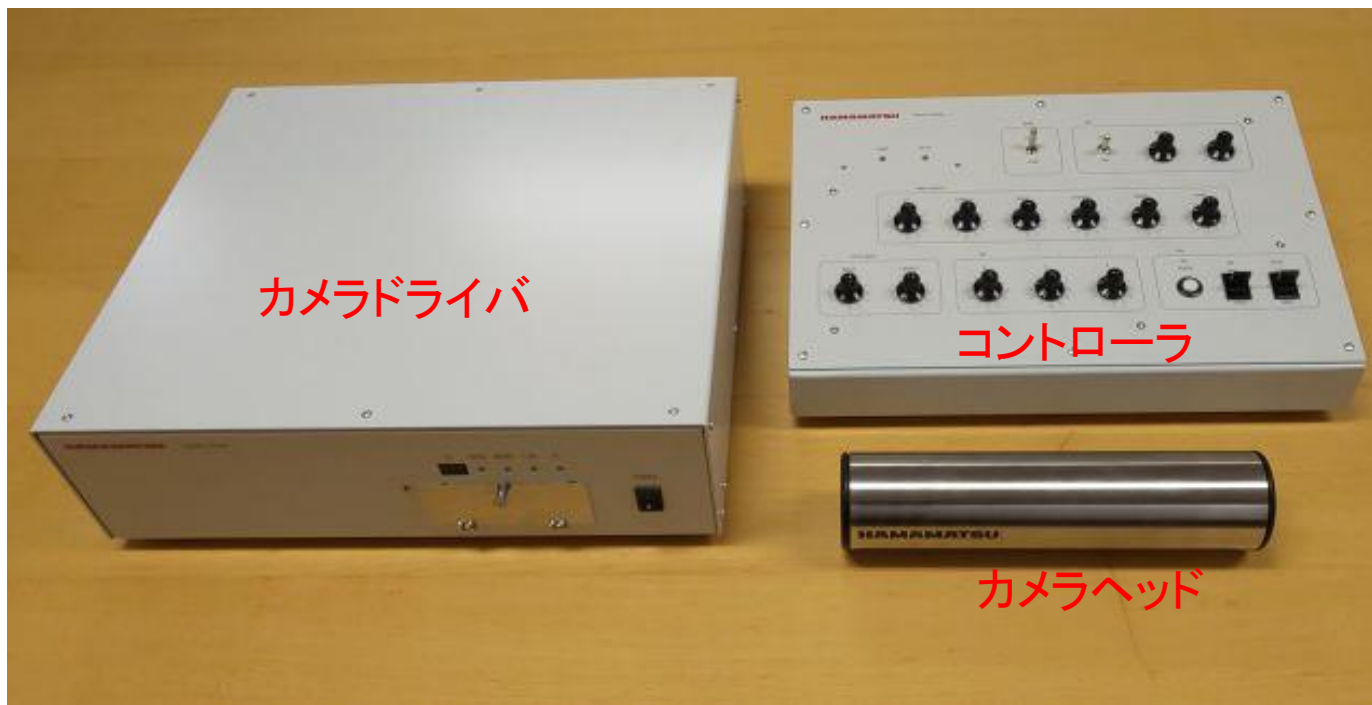


終了後

② カメラシステムの構成



② カメラ実用試作機の外観



カラー化対応仕様カメラシステム

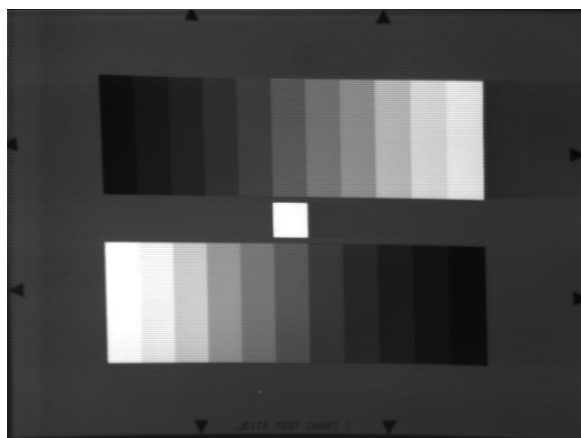
カメラヘッド筐体の寸法と重量
Φ59 mm × L 245 mm , 2.3 kg

② カメラの暫定仕様

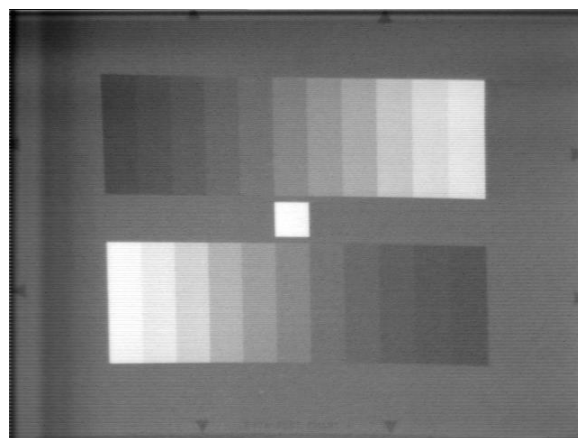
項目	暫定仕様	備考
構成	3ピース (カメラヘッド, カメラドライバ, コントローラ)	
映像出力	NTSC モノクロ	カラー化対応可能
フレームレート	30 fps	カラー化時10 fps
動作環境温度	55 °C Max	
カメラヘッド	Φ59 mm L 245 mm 2.3 kg	
レンズ	f25 mm, f9 mm	ズームなし
水平解像度	400 TVL (VGA相当)	NTSC
SN比	40 dB	
電源	AC 100 V	
ケーブル長	～ 60m (100 m Max)	

③ 60Coガンマ線照射試験

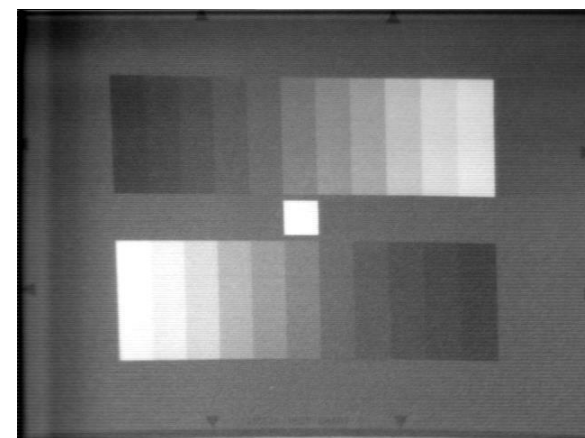
カメラ実用試作機にCdSe撮像管を実装
線量率10 kGy/h × 200 h
連続照射、連続動作で映像出力の維持を確認



未照射



照射開始時



2MGy照射後

取得画像

②, ⑥ カメラヘッドの信頼性試験

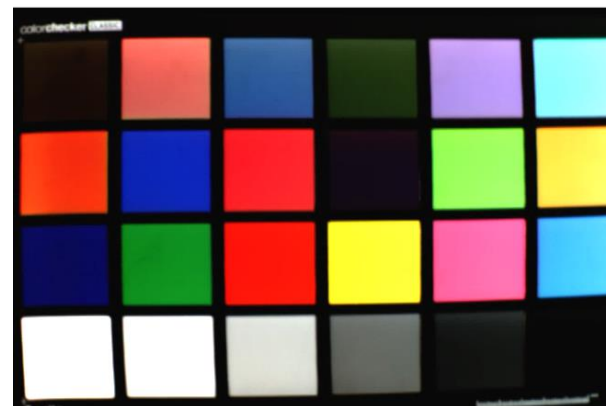
2 MGyの60Coガンマ線照射後の防水性、耐衝撃性を評価

試験	規格・条件	結果
防水試験	IPX6 (暴噴流) サンプル数：2 (筐体のみ)	良好 浸水なし
衝撃試験	JIS C 60068-2-27 サンプル数：2 (撮像管、回路あり)	良好 正常な映像出力

④ 10 fpsカラー化 試験画像例



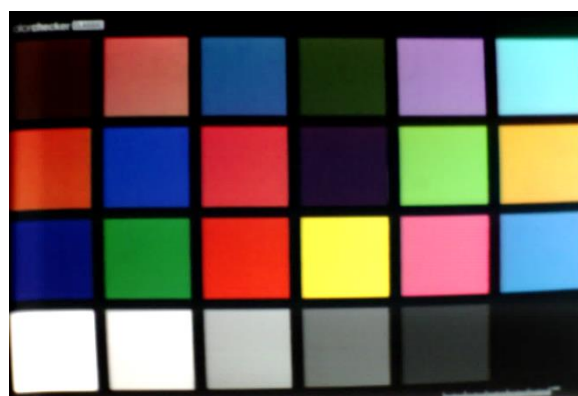
サンプル画像 (HP)



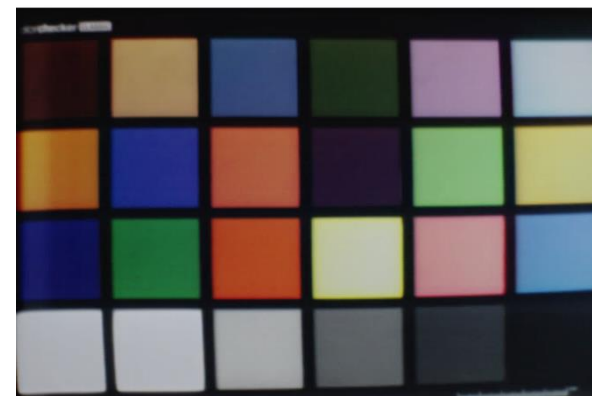
非照射下



2.5 kGy/h



5 kGy/h



10 kGy/h

⑤ カラー化用LED照明の試作



⑤ LED照明の暫定仕様

項目	仕様	備考
寸法	Φ56 mm × L90 mm	
重量	約1 kg / 個	2灯使用
照明色	R・G・B	
出力波長	620 nm, 520 nm, 460 nm	± 20 nm
点灯方式	順次点灯	カメラと同期
配光角度	30°	
中心照度	500 Lx / 1灯	距離 1 m
耐放射線性	2 MGy まで連続点灯 輝度低下率 20 %以下	60Coガンマ線

⑤, ⑥ 照明の信頼性試験

2 MGyの60Coガンマ線照射後の防水性、耐衝撃性を評価

試験	規格・条件	結果
輝度測定	照射前を100%として R : 103 % G : 95 % B : 92 %	良好
防水試験	IP66 (暴噴流) サンプル数 : 1	良好 浸水なし
衝撃試験	JIS C 60068-2-27 ドッククレーン相当 サンプル数 : 1 (防水試験と同一)	良好 正常な点灯を確認

まとめ

本事業では、2種類の撮像管（CdSe、新光導電膜）、カメラおよび照明を開発し、要求仕様相当の60Coガンマ線照射試験（線量率 10 kGy/h、200時間連続照射、連続動作、累積線量 2 MGy）を実施した。

その結果、試作カメラに装填したCdSe、新光導電膜撮像管のいずれについても、グレイスケールチャートの各階調を識別可能な映像を得た。

また、200時間、累積線量 2 MGyまでの映像出力維持を確認した。

以上により、燃料デブリ取り出し工程に適用可能な耐放射線監視技術を確立した。

jp.hamamatsu.com