

 <b>MLF Experimental Report</b>	提出日 Date of Report 2012/11/26
課題番号 Project No. 2012A0099 実験課題名 Title of experiment 大強度中性子源を用いた火工品中性子ラジオグラフィ試験の 確認実験 実験責任者名 Name of principal investigator 朝日 史朗 所属 Affiliation 株式会社 IHI エアロスペース	装置責任者 Name of responsible person 及川 健一 装置名 Name of Instrument/(BL No.) 中性子源特性試験装置 NOBORU (BL10) 実施日 Date of Experiment 2012/10/24

試料、実験方法、利用の結果得られた主なデータ、考察、結論等を、記述して下さい。(適宜、図表添付のこと)  
 Please report your samples, experimental method and results, discussion and conclusions. Please add figures and tables for better explanation.

1. 試料 Name of sample(s) and chemical formula, or compositions including physical form.
本実験に用いた試料は以下の通りである。 ダミー火工品 $C_{12}H_{22}O_{11}$ , ZnO, Al, Fe(Ni, Cr, Mn) ……図 1-1 参照 線質計(BPI) Pb, BN, Cd, $-(CF_2-CF_2)_n$ ……図 1-2 参照 像質計(SI) Al, Pb, $(-CH_2-C(CH_3)(COOCH_3)-)_n$ ……図 1-3 参照

2. 実験方法及び結果 (実験がうまくいかなかった場合、その理由を記述してください。) Experimental method and results. If you failed to conduct experiment as planned, please describe reasons.
(1) 実験方法 線源を J-PARC MLF の BL10 とし、撮像系には「シンチレータ+カメラ」及び「イメージングプレート(IP)」を使用して、1 項に示す試料の中性子ラジオグラフィを行った。実験時はダミー火工品に設けた微少なギャップが識別できることを優先目標として撮像条件を調整しデータ取得を行った。撮像要領を図 2-1、図 2-2 に、その他諸条件を表 2-1 に示す。  (2) 実験結果 データ取得結果一覧を表 2-2 に示す。B ベースのシンチレータに関しては、使用したシンチレータに起因すると思われる画像の粗さが Li ベースのものと比較してかなり悪かったことから撮像を中止した。それ以外の条件では一通りのデータ取得を実施することができた。シンチレータの撮像結果概要を図 2-3 に、IP の撮像結果概要を図 2-4 に示す。

## 2. 実験方法及び結果(つづき) Experimental method and results (continued)

### (3) 考察

ダミー火工品撮像結果を試料毎にまとめたものを表 2-3～表 2-5 に示す。表 2-3 はダミー火工品 N-G1(ギャップ 0.02mm、0.08mm、0.1mm)、表 2-4 はダミー火工品 N-G2(ギャップ 0.1mm、0.2mm、0.3mm)、表 2-5 はダミー火工品 N-C(擬薬の密度が 4 段階)の画像とプロファイルをそれぞれ示している。

#### (a) 撮像結果全般

試料のパイプ径増加に伴い画質は落ちるが、シンチレータを使用した場合にはギャップ及びコントラストとも識別性は比較的良好であった。更に中央値処理やシェーディング処理を実施するとバックグラウンドの固定ノイズが除去され火工品の画像のコントラストも改善されるため、画質向上に有効であることが確認できた。

次いで画質が良いものから NIP、TR2040 と SR2040、UR-1 の順となった。この要因としては純粋な性能差以外にも、IP は一般的にシェーディング等の画像処理が不可であること、NIP 以外の X 線用 IP は Gd コンバータと IP の密着度の影響を受けやすいこと、更に UR-1 の読み取りは撮像直後ではなく撮像 6 日後であったことなどの影響が含まれていると考えられる。

また、今回は同一試料に中性子を照射し続ける実験であったため、実験後に管理区域から即日持ち出せないレベルの試料の放射化が見られた。従って実際の火工品に大強度中性子ビームを長時間照射するような場合には放射化の影響を運用面でも考える必要がある。

#### (b) ギャップの識別性

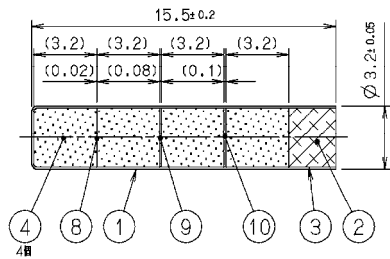
空間分解能は中性子ビームの量や直進性の他、シンチレータでは画素サイズやカメラの解像度の影響を受ける。カメラの視野を 35×35mm に狭めても約 1000×1000 ピクセルで撮影すると 1 ピクセルが 0.035mm 程度となるため 0.02mm のギャップの識別は難しいことが予想されたが、表 2-3(1/4)に示すようにパイプなしの場合には画像の目視及びプロファイルにて、ノイズと同程度ではあるがピークを見ることはできた。IP は読み取り装置の解像度が 0.05mm で、その他に IP 画素サイズやコンバータの影響等もあるが結果としては 0.02mm のギャップの識別は困難であった。0.08mm 以上のギャップであればシンチレータと NIP で識別可能であった。

#### (c) コントラストの識別性

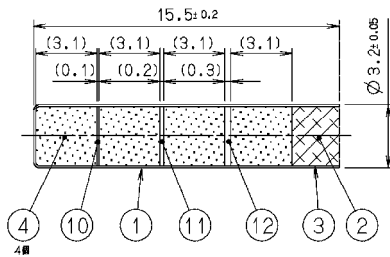
表 2-5 に示すようにシンチレータでは画像によるコントラストの違いと階段状のプロファイルが確認できた。IP の場合 NIP ではプロファイルに段差が見られるものの全体としてはバックグラウンドの輝度の傾斜の影響を大きく受け識別は困難な結果となった。

### (4) 結論

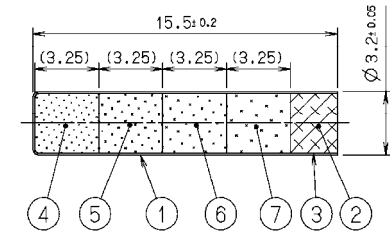
本実験は J-PARC にてダミー火工品の中性子ラジオグラフィを実証確認する目的で実施した。その結果、撮像系には依存するが 0.02mm の最小ギャップのピークが見えたことや試料内の擬薬の密度差によるコントラストが識別できたことから、技術的には適用できる可能性があると判断する。但し、現在の中性子ラジオグラフィとの見え方の違いや検査時の評価への影響有無、デジタル処理の基準等、詳細は火工品種類毎に確認、設定する必要がある。また、火薬類の管理やコスト、マシンタイム等の運用に関する問題は別途検討・調整していく必要がある。



(1) 130D991000-1  
DMY N-G1



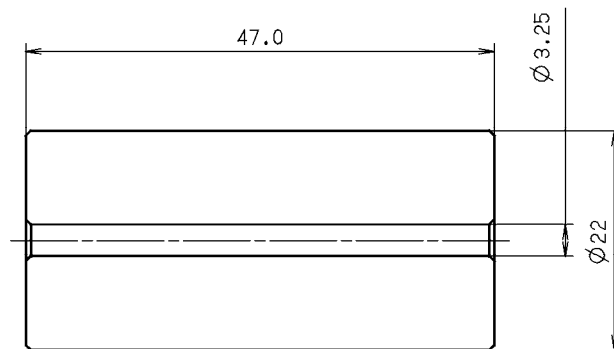
(2) 130D991000-2  
DMY N-G2



(3) 130D991000-3  
DMY N-C

No.	名称	備考
1	BOOSTER,CUP	ステンレス、t=0.1
2	PLUG	アルミ
3	ADHESIVE	接着剤
4	DUMMY CHARGE,1420	硝酸+酸化亜鉛 圧填圧:1420kgf/cm <sup>2</sup>
5	DUMMY CHARGE,700	硝酸+酸化亜鉛 圧填圧:700kgf/cm <sup>2</sup>
6	DUMMY CHARGE,350	硝酸+酸化亜鉛 圧填圧:350kgf/cm <sup>2</sup>
7	DUMMY CHARGE,70	硝酸+酸化亜鉛 圧填圧:70kgf/cm <sup>2</sup>
8	GAP-0.02	アルミ、t=0.02
9	GAP-0.08	アルミ、t=0.08
10	GAP-0.1	アルミ、t=0.1
11	GAP-0.2	アルミ、t=0.2
12	GAP-0.3	アルミ、t=0.3

(a) ダミーインジケータ単体



部品	D[mm]	材質
パイプ	22	ステンレス
	14	
	8	

(b) パイプ(ダミーインジケータのケース厚さ調整用)

図 1-1 ダミー火工品概要

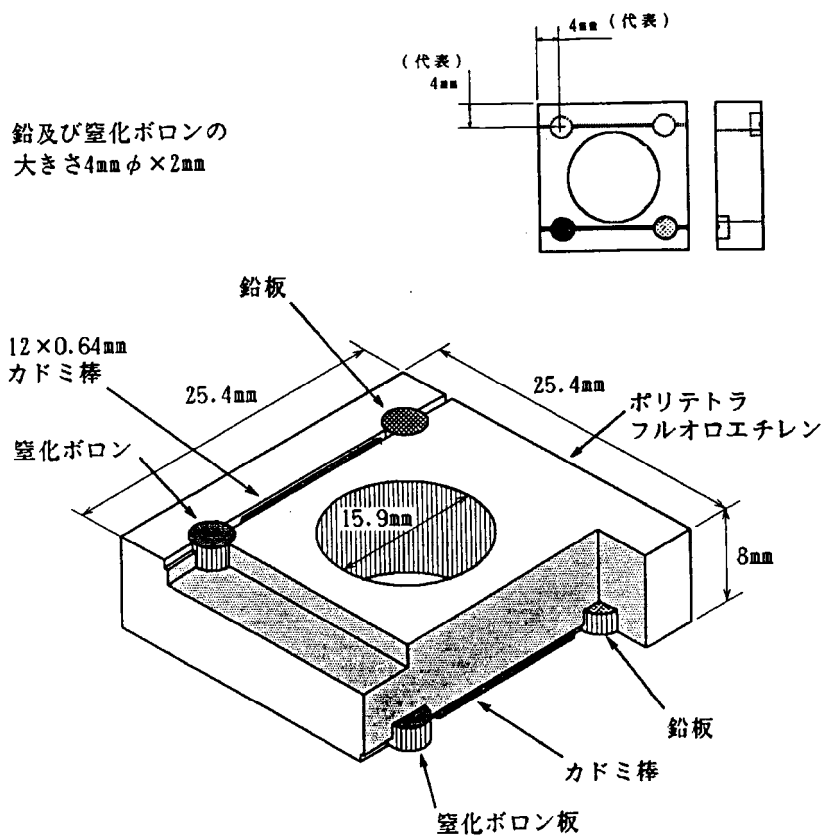
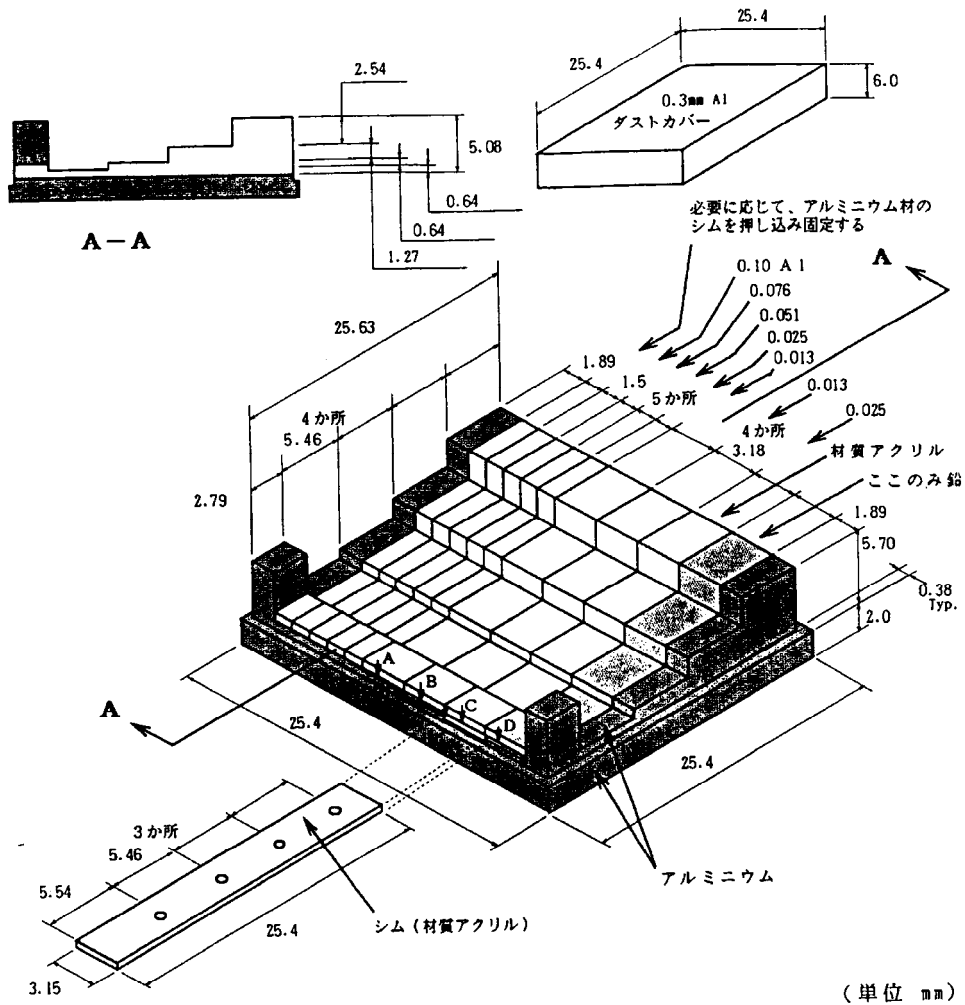


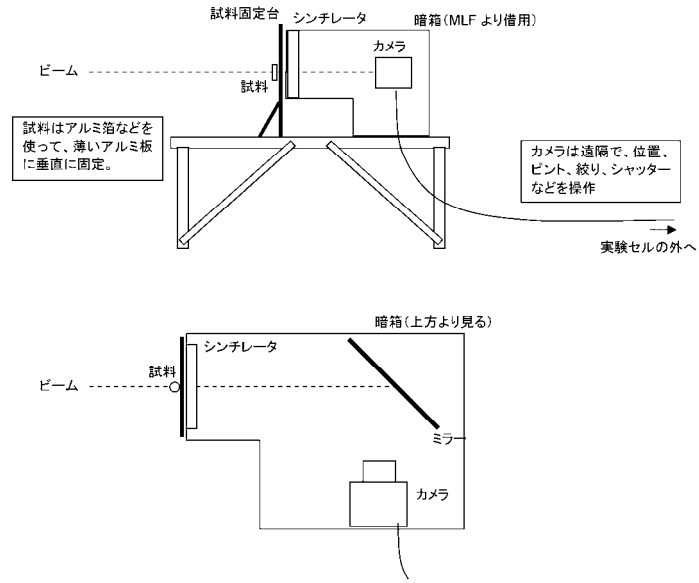
図 1-2 線質計(BPI)概要



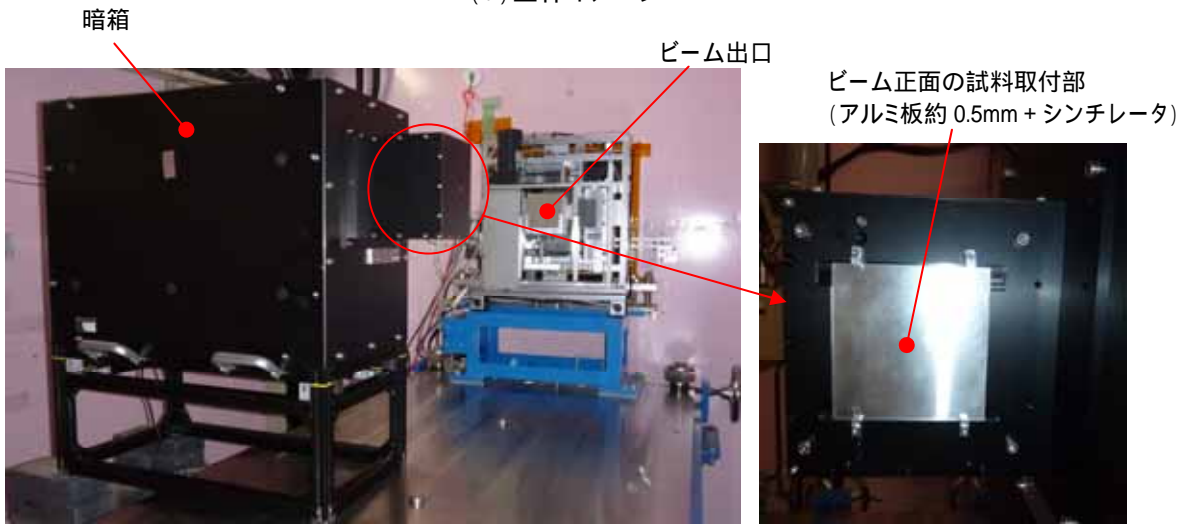
シムの厚さと孔の径 (mm)

シム	厚さ	孔の直径
A	0.13	0.13
B	0.25	0.25
C	0.51	0.51
D	0.25	0.25

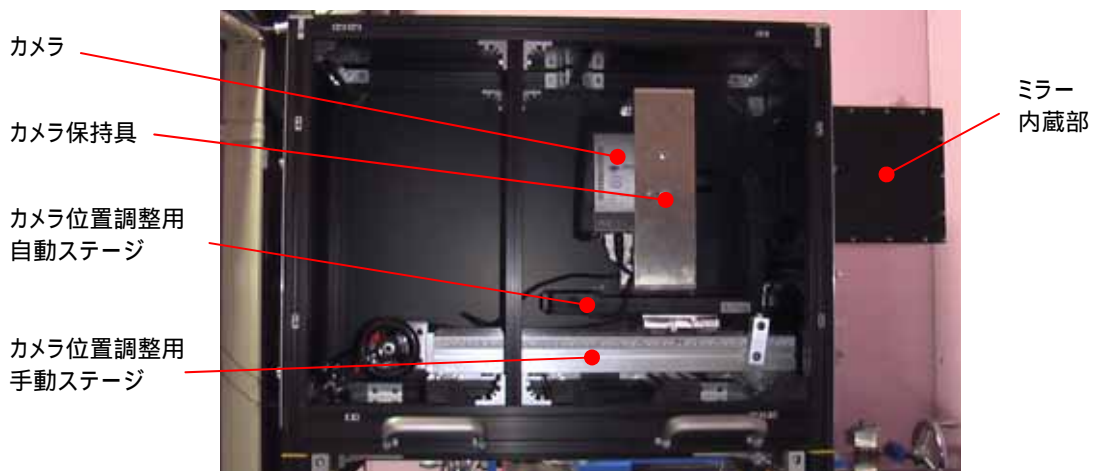
図 1-3 像質計 (SI) 概要



(a) 全体イメージ

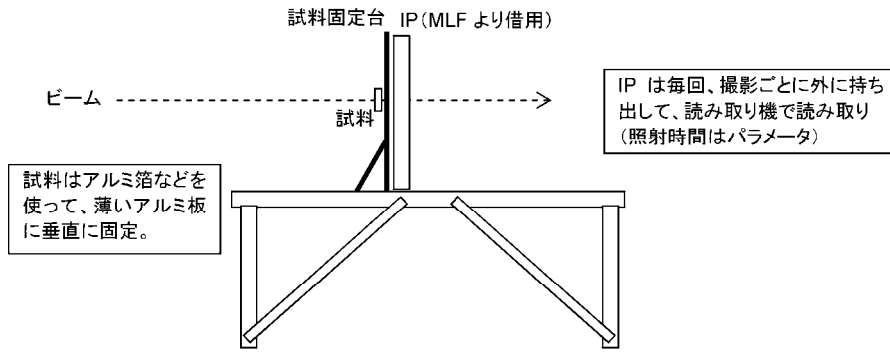


(b) BL10 ビームラインと暗箱セット状況

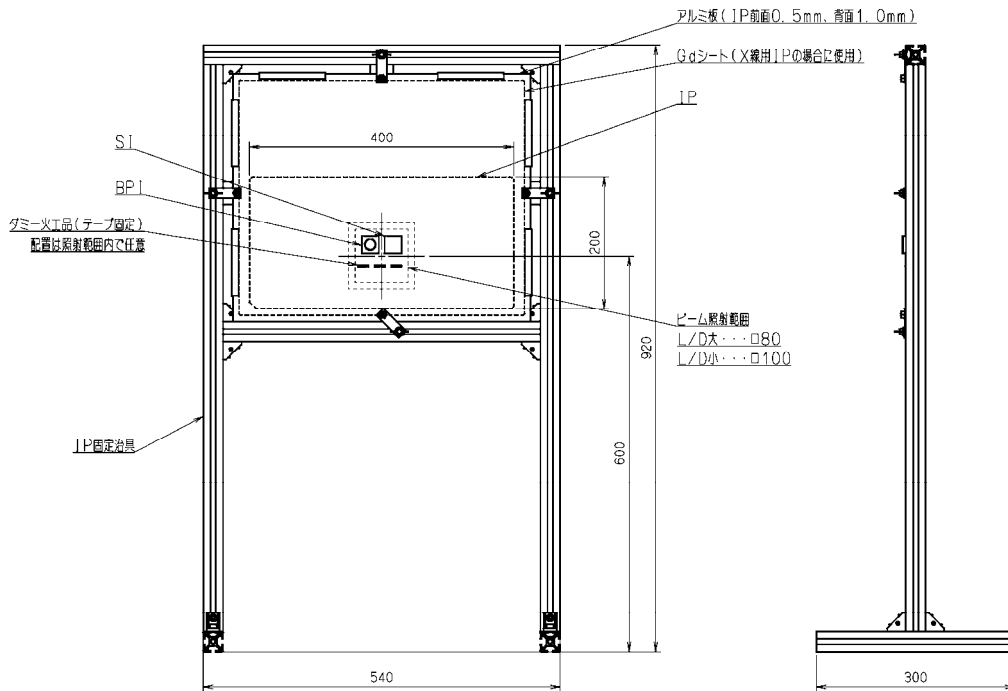


(c) 暗箱内セット状況

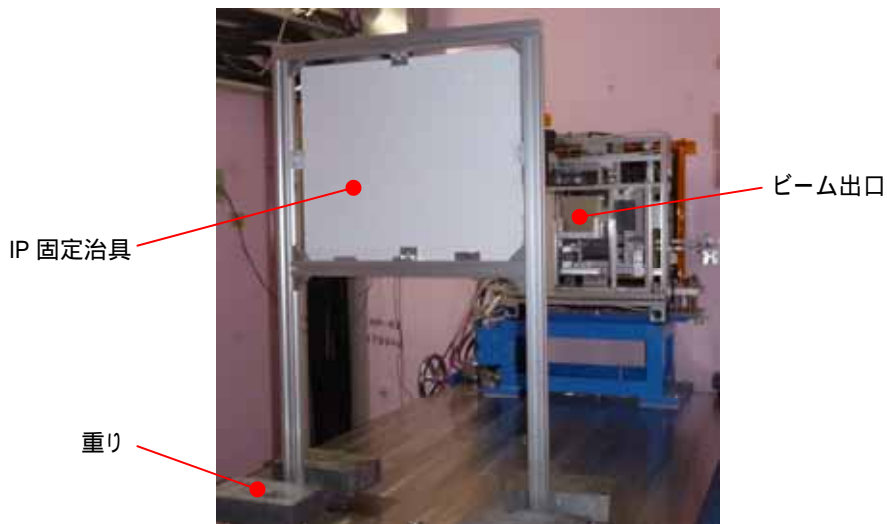
図 2-1 シンチレータ + カメラ撮影実施要領



(a) 全体イメージ



(b) 試料及びIPセット要領



(c) BL10 ビームラインとIP 固定治具セット状況

図 2-2 IP 撮影実施要領

表 2-1 実験の諸条件

線源	・J-PARC MLF BL10 300kW 運転
ロータリコリメータ (RC)	・open、small、tiny を使用 L/D はそれぞれ 140、600、1875 に相当
シンチレータ (Li ベース)	・高空間分解能用 6LiF/ZnS(Ag) シート ZNSL-L100-AL-1041、100×100mm、塗布厚 100 μm 株式会社秩父富士製
カメラ	・iXonEM+885 約 1000×1000 ピクセル 露光時間は 10～300s の範囲で調整 ANDOR 製
イメージングプレート	・NIP ……中性子用 IP ・TR2040 ……X 線用 IP ・SR2040 ……X 線用 IP ・UR-1 ……X 線用 IP 富士フィルム/GE 製
コンバータ	・Gd シート ……X 線 IP 用 住重試験検査株式会社製
読取装置	・BAS2500(NIP、TR2040、SR2040 用) ・AC-7(UR-1 用) 富士フィルム製



表 2-2 データ取得状況一覧

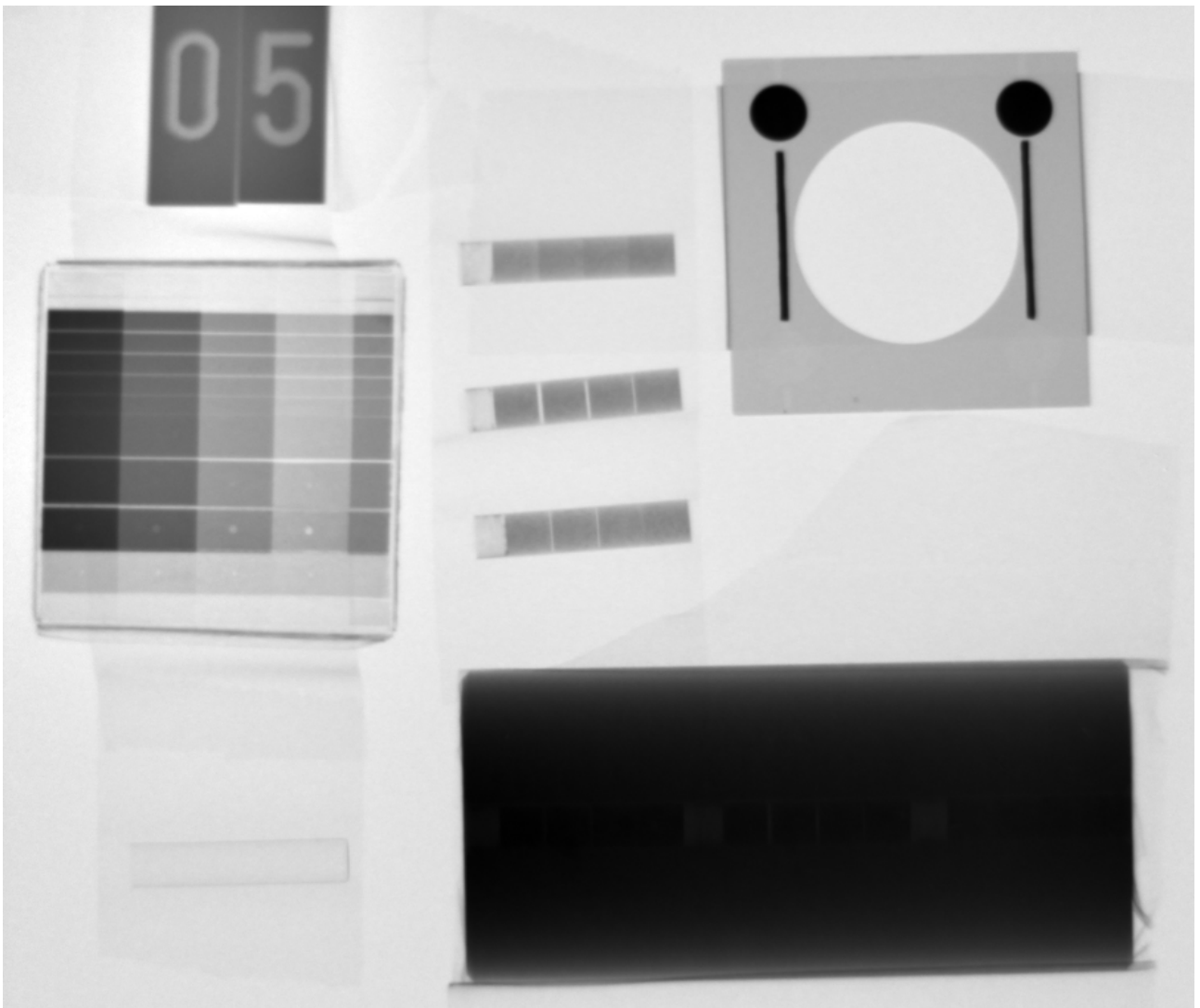
撮像系 供試体	IP				シンチレータ+カメラ	
	NIP	TR2040	SR2040	UR-1	Liベース	Bベース
	BAS2500			AC-7 <sup>1</sup>	iXonEM+885	
タミ-火工品 ハイなし ハイ 22 BPI, SI						中止 <sup>2</sup>
タミ-火工品 ハイ 8 ハイ 14 BPI, SI						中止 <sup>2</sup>

注) 印は本実験でデータ取得したことを示す。

1: J-PARC で撮影した後、株式会社 IHI エアロスペースに返送してデータ読取を実施。

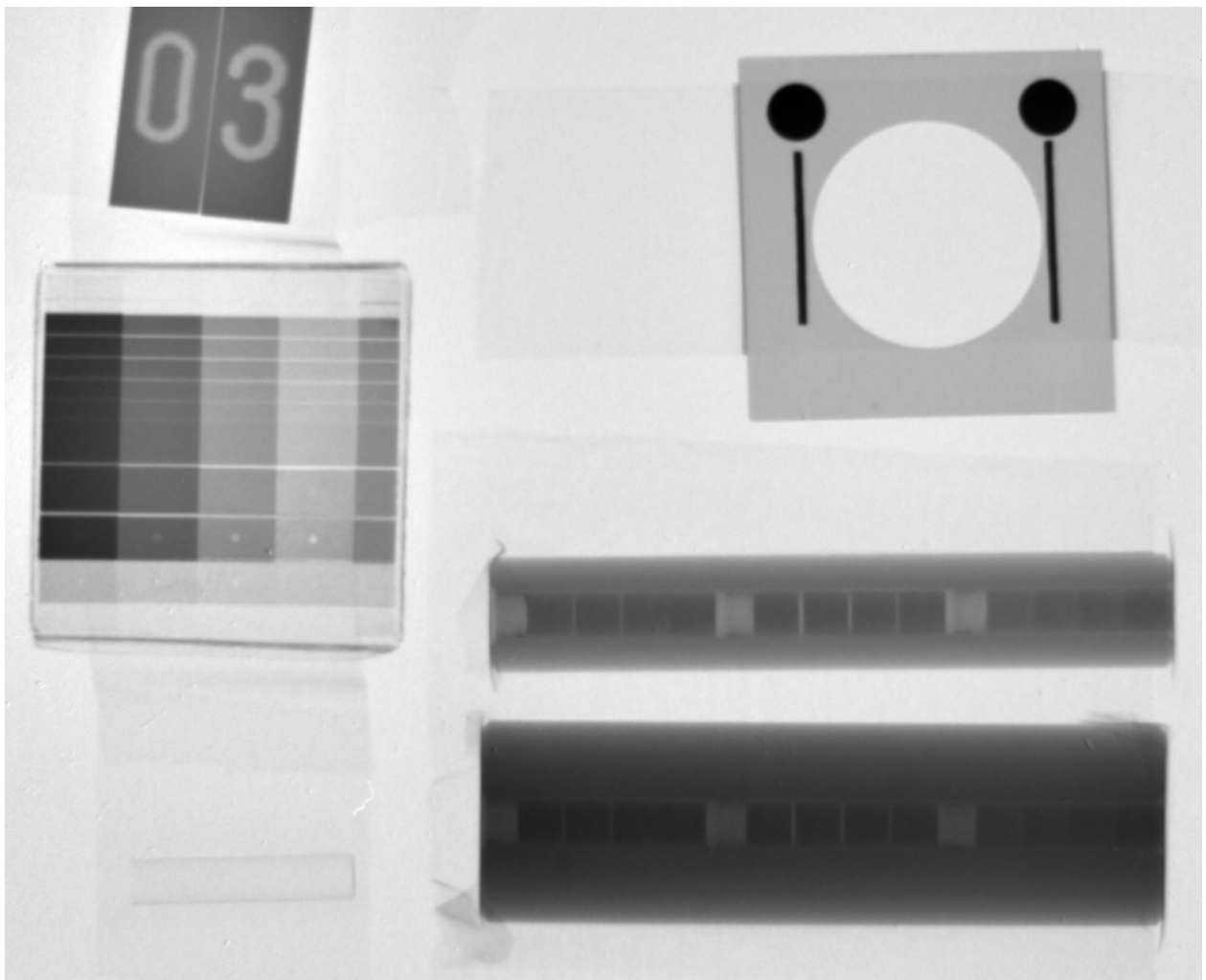
2: B ベースのシンチレータは Li ベースのものと比較して画像が粗かったため撮影を中止した。

(使用した B ベースシンチレータは IHI 技開本製)



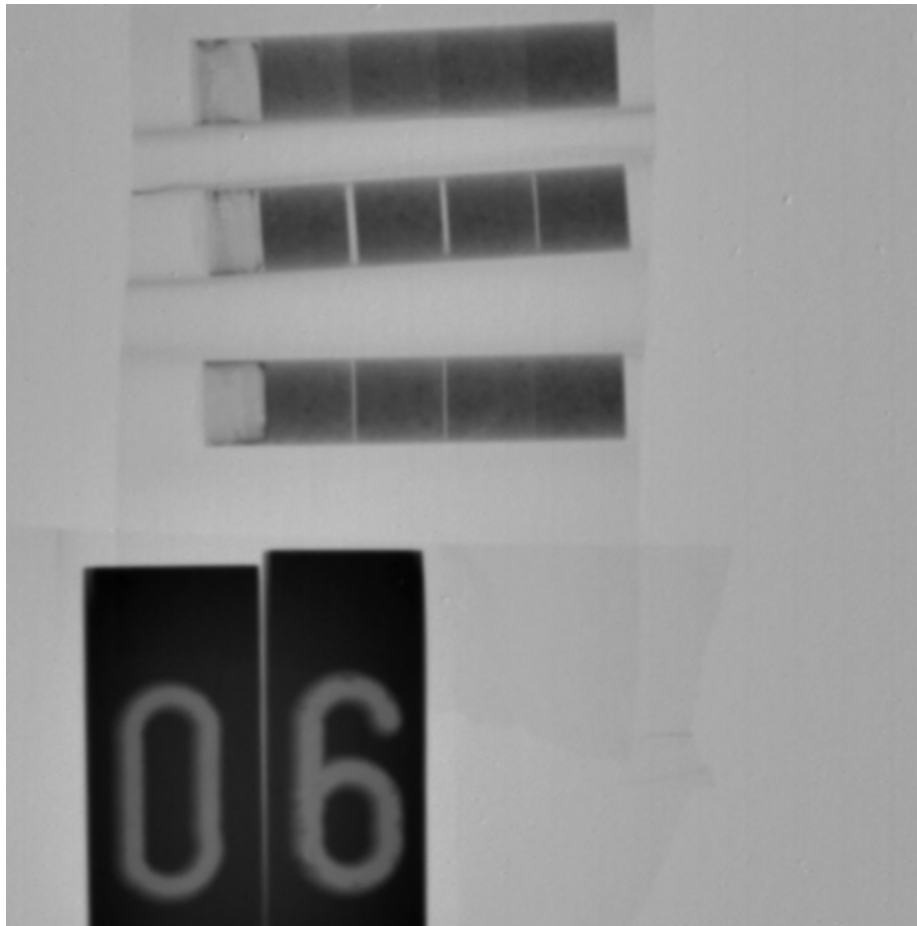
(a)BPI、SI、ダミー火工品パイプなしとパイプ 22mm  
BL10 300kW 運転、L/D140、15s 照射 × 10 ショット、撮影範囲約 80 × 80mm  
median 処理後にシェーディング実施

図 2-3(1/3) シンチレータ+カメラ撮像結果概要



(b)BPI, SI、ダミー火工品パイプ 8とパイプ 14mm  
BL10 300kW 運転、L/D140、10s 照射×10 ショット、撮影範囲約 80×80mm  
median 処理後にシェーディング実施

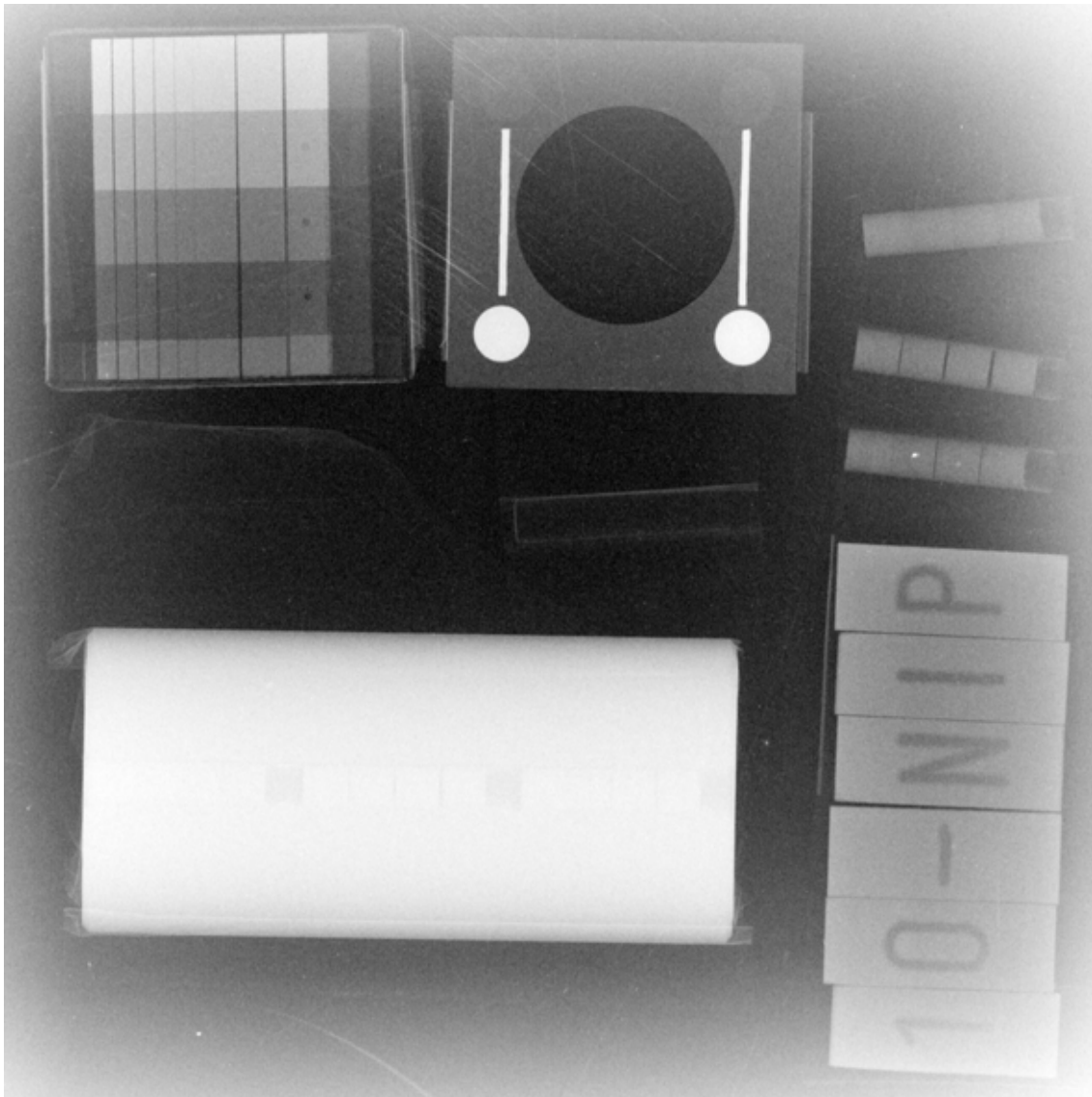
図 2-3(2/3) シンチレータ+カメラ撮像結果概要



(c)ダミー火工品パイプなし

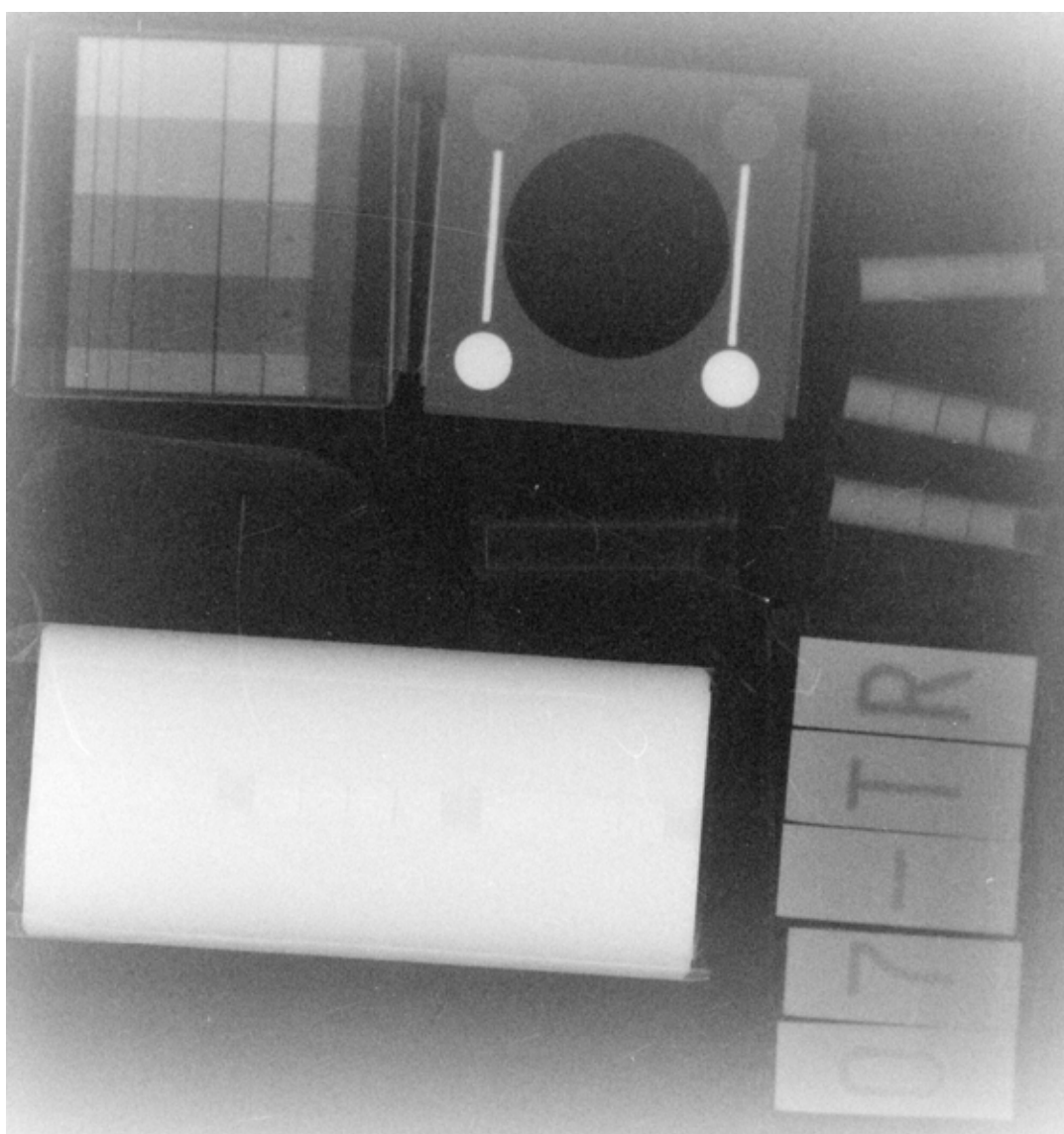
BL10 300kW 運転、L/D140、60s 照射 × 10 ショット、撮影範囲約 35 × 35mm  
median 処理後にシェーディング実施

図 2-3(3/3) シンチレータ+カメラ撮像結果概要



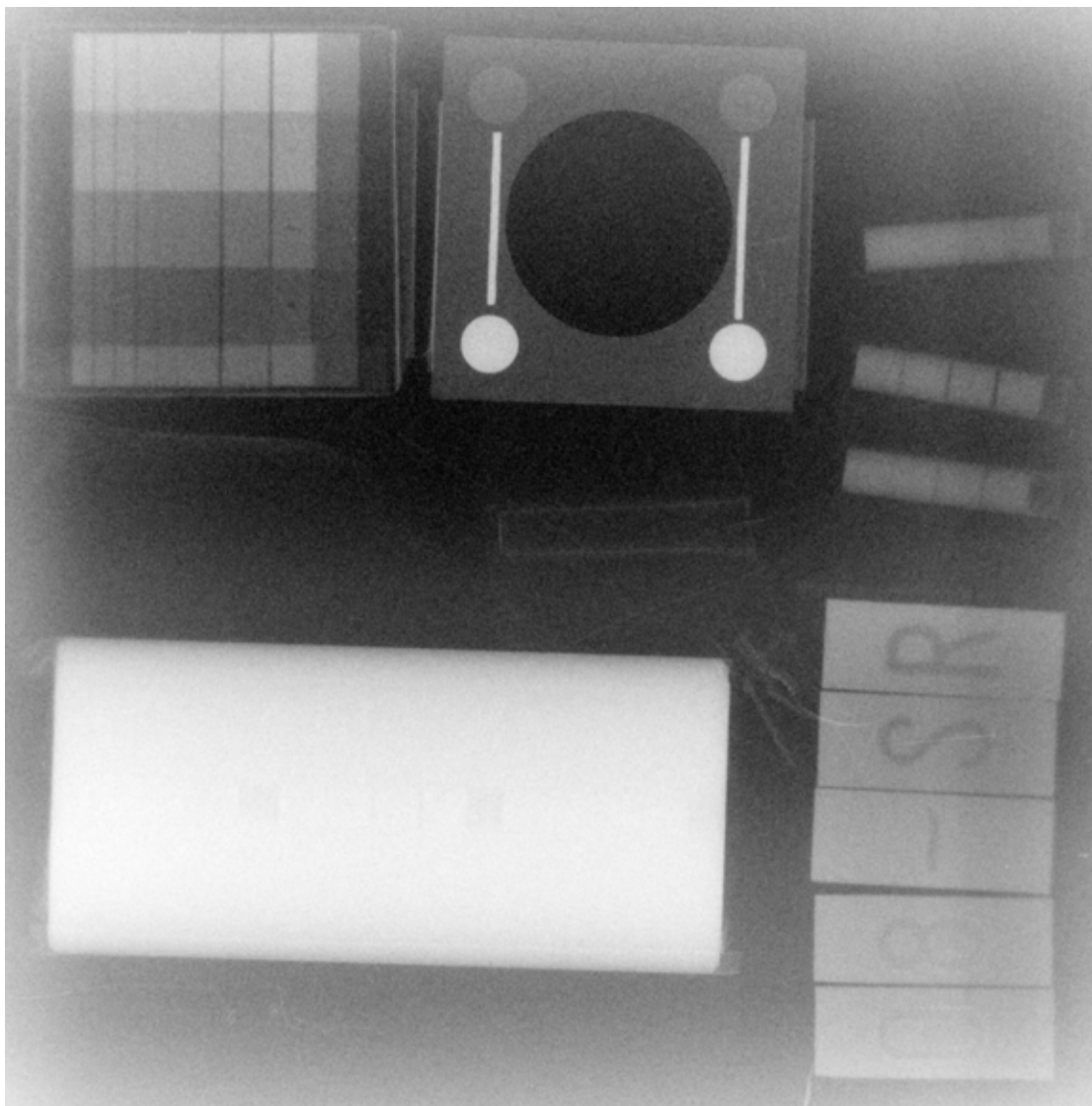
(a) BPI, SI, ダミー火工品パイプなしとパイプ 22mm  
BL10 300kW 運転、L/D600、90s 照射、NIP

図 2-4(1/8) IP 撮像結果概要



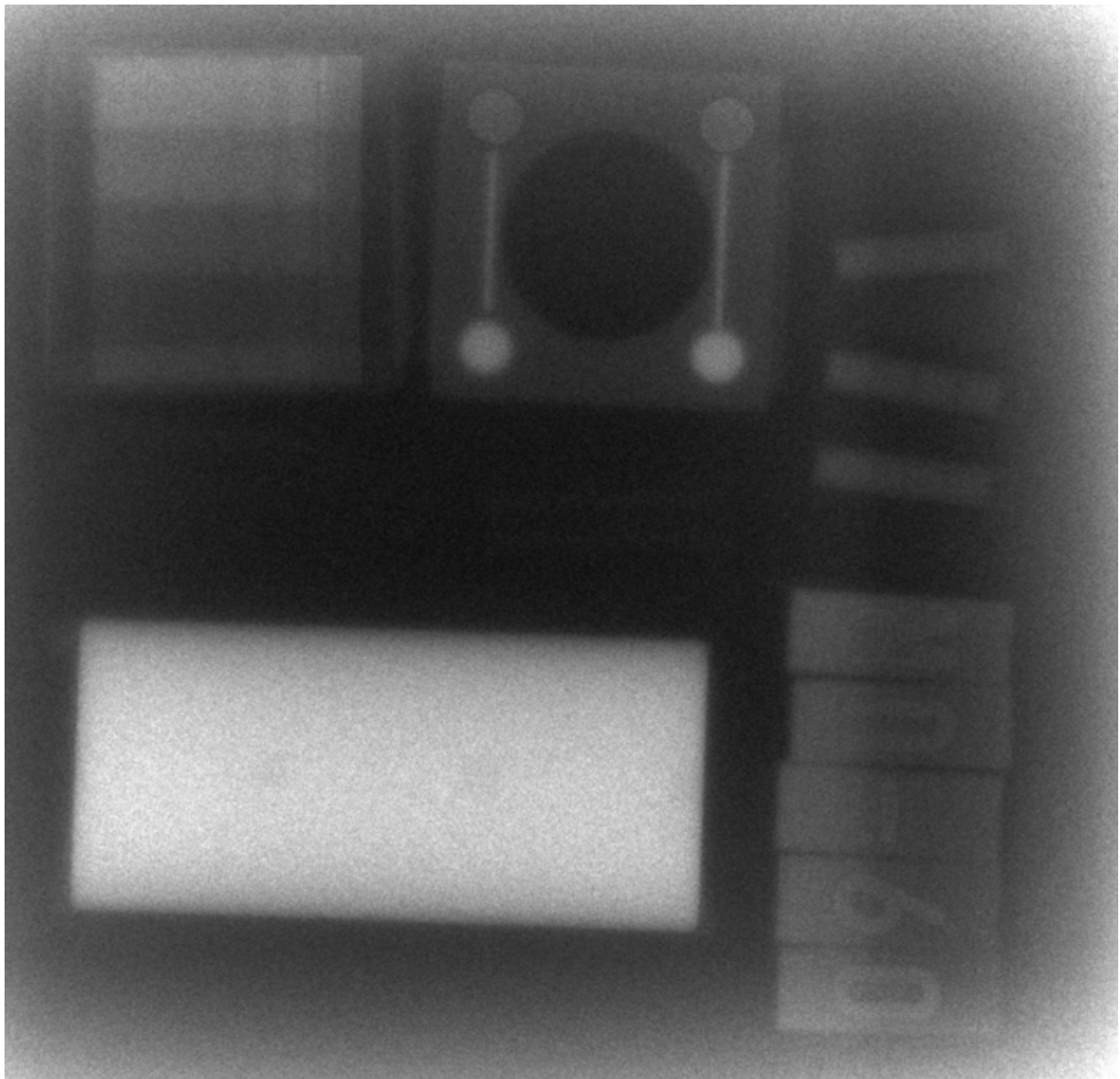
(b)BPI、SI、ダミー火工品パイプなしとパイプ 22mm  
BL10 300kW 運転、L/D600、90s 照射、TR2040 + Gd コンバータ

図 2-4(2/8) IP 撮像結果概要



(c) BPI、SI、ダミー火工品パイプなしとパイプ 22mm  
BL10 300kW 運転、L/D600、90s 照射、SR2040 + Gd コンバータ

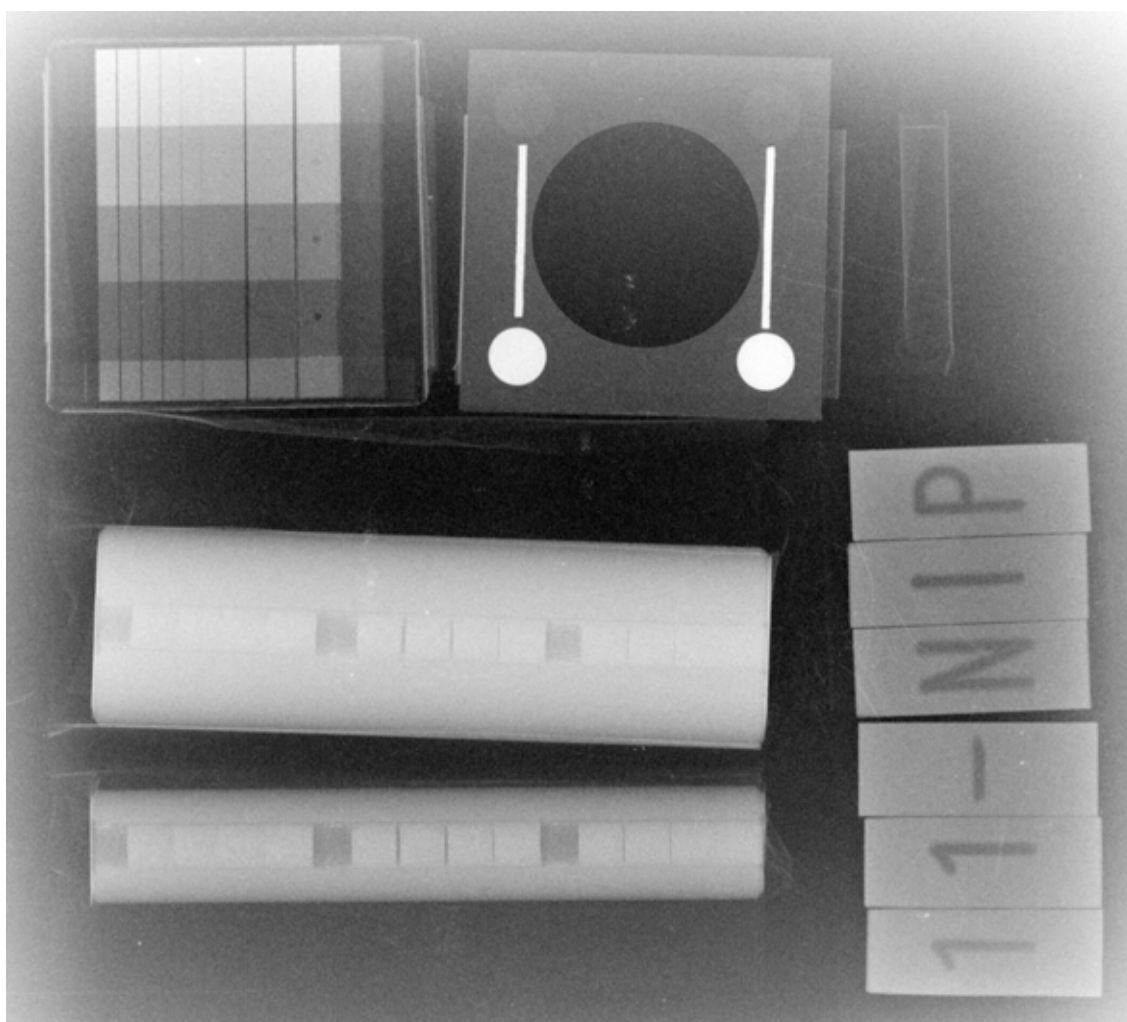
図 2-4(3/8) IP 撮像結果概要



(d) BPI, SI, ダミー火工品パイプなしとパイプ 22mm  
BL10 300kW 運転、L/D600、90s 照射、UR-1 + Gd コンバータ

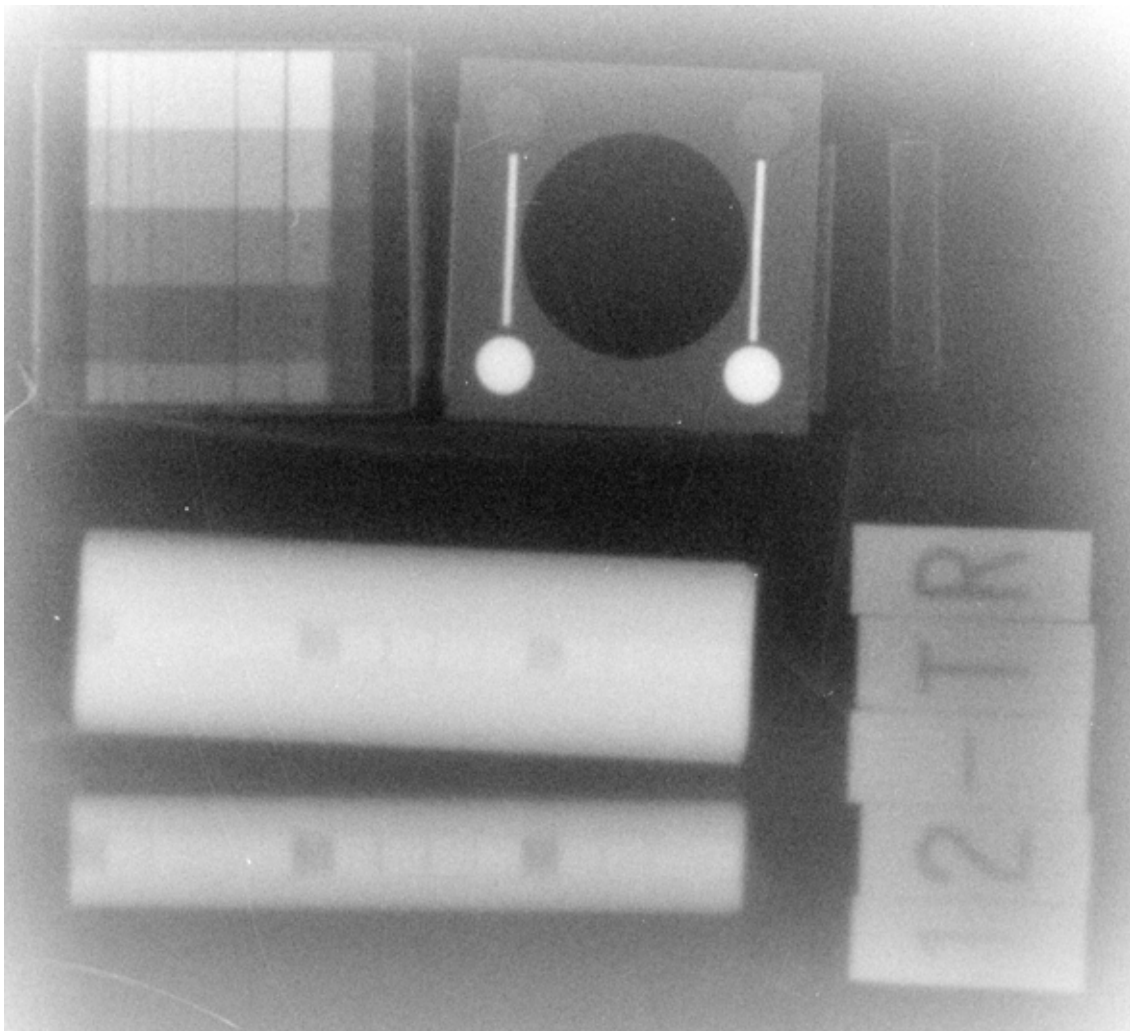
図 2-4(4/8) IP 撮像結果概要





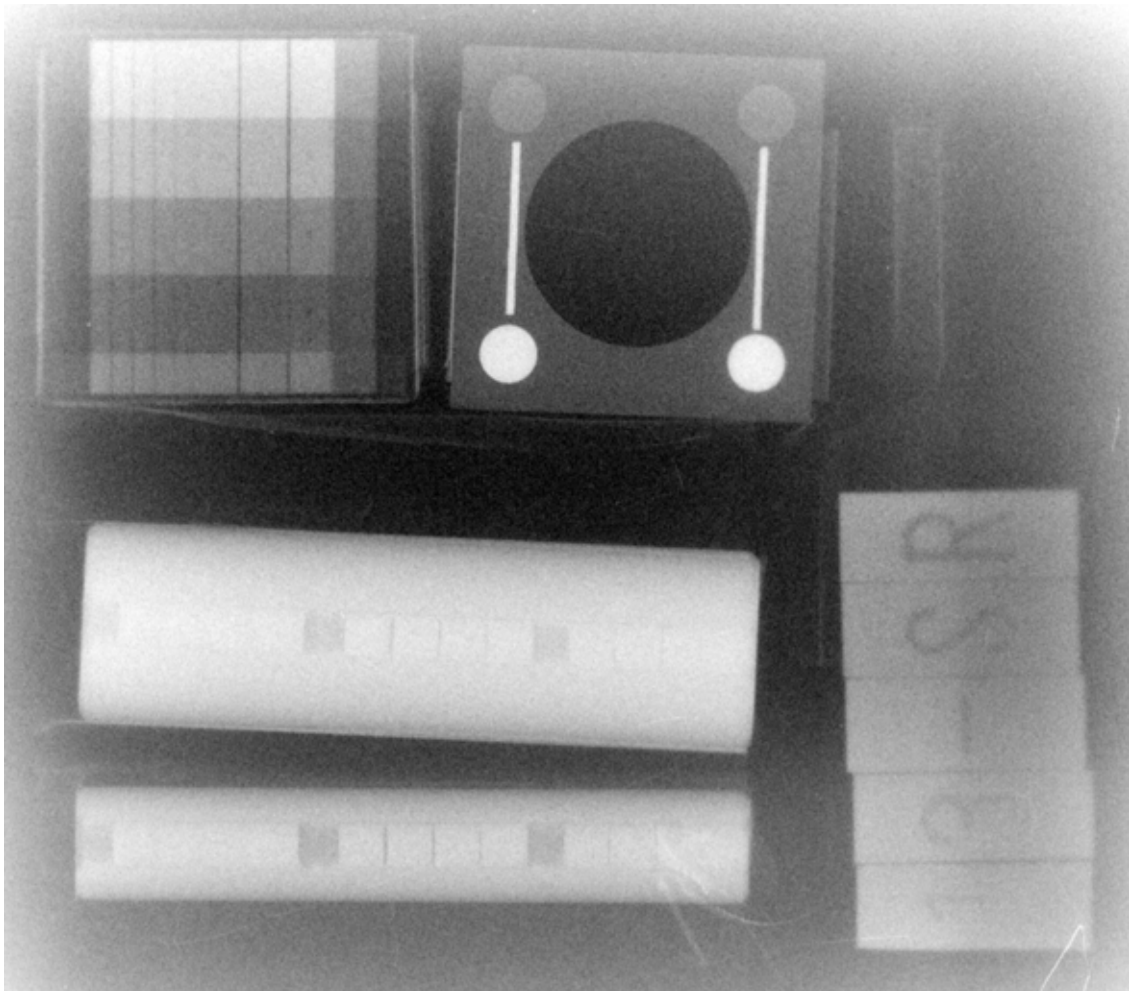
(e)BPI、Si、ダミー火工品パイプ 8mmとパイプ 22mm  
BL10 300kW 運転、L/D600、90s 照射、NIP

図 2-4(5/8) IP 撮像結果概要



(f)BPI, SI, ダミー火工品パイプ 8mmとパイプ 14mm  
BL10 300kW 運転、L/D600、90s 照射、TR2040 + Gd コンバータ

図 2-4(6/8) IP 撮像結果概要



(g)BPI、Si、ダミー火工品パイプ 8mmとパイプ 14mm  
BL10 300kW 運転、L/D600、90s 照射、SR2040 + Gd コンバータ

図 2-4(7/8) IP 撮像結果概要



(h)BPI、Sl、ダミー火工品パイプ 8mmとパイプ 14mm  
BL10 300kW 運転、L/D600、90s 照射、UR-1 + Gd コンバータ

図 2-4(8/8) IP 撮像結果概要

表 2-3(1/4) 試料 N-G1 撮像結果(パイプなし)

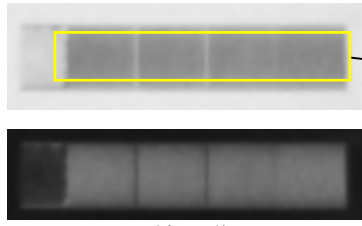
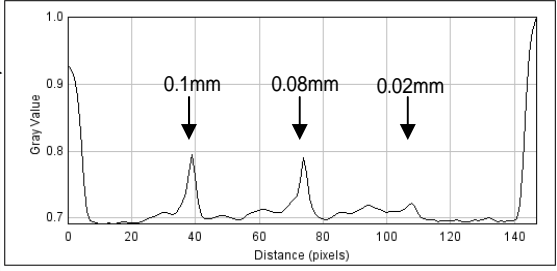
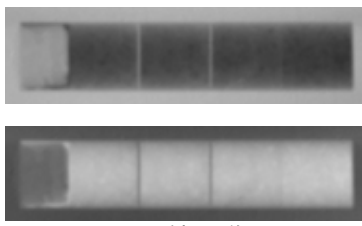
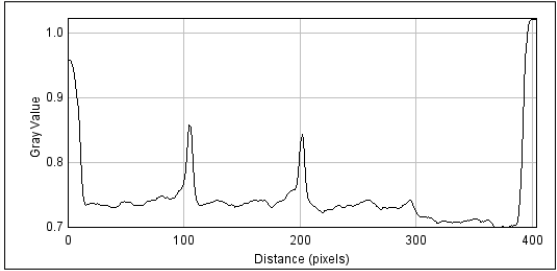
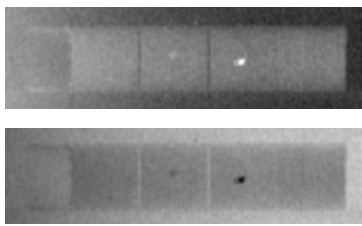
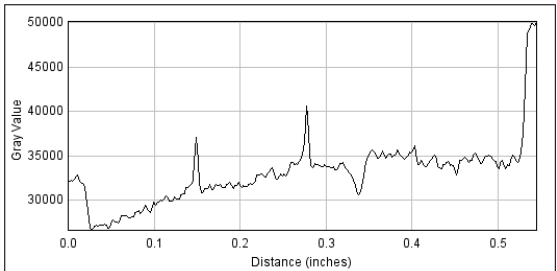
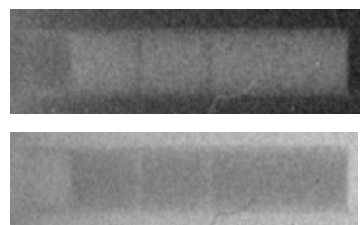
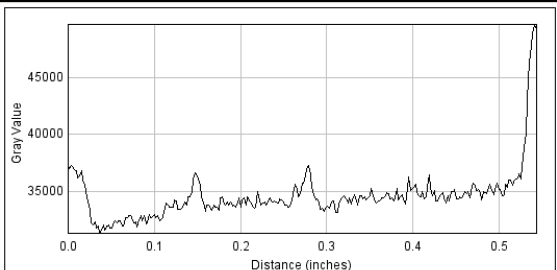
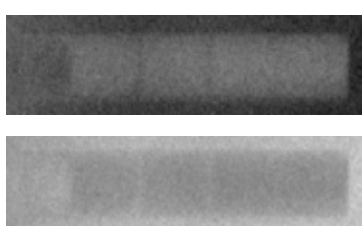
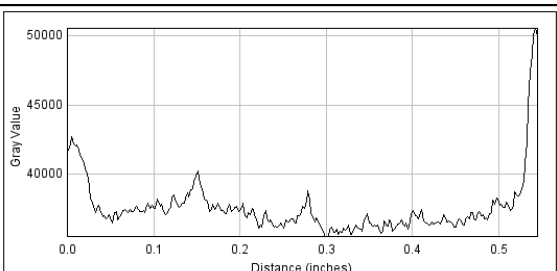
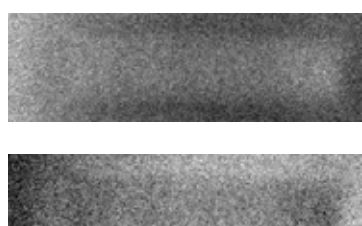
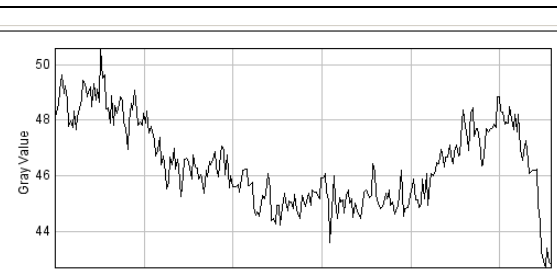
撮像系		画像	プロファイル
シンチレータ +カメラ	カメラ撮影 範囲 約 80 × 80 mm	 (反転画像)	
	カメラ撮影 範囲 約 35 × 35 mm	 (反転画像)	
IP	NIP	 (反転画像)	
	TR2040	 (反転画像)	
	SR2040	 (反転画像)	
	UR-1	 (反転画像)	

表 2-3(2/4) 試料 N-G1 撮像結果(パイプ 8)

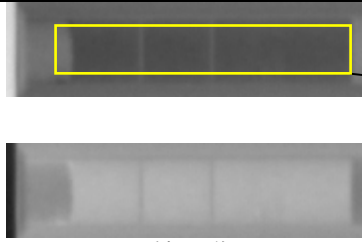
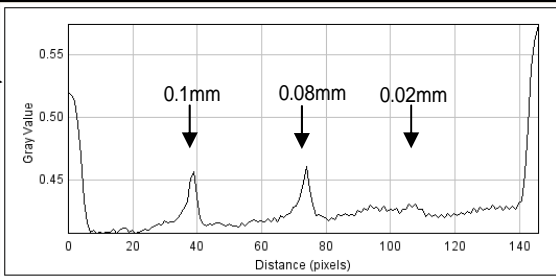
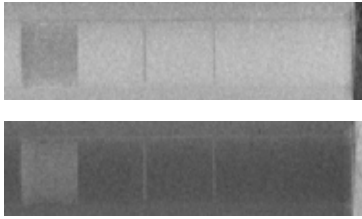
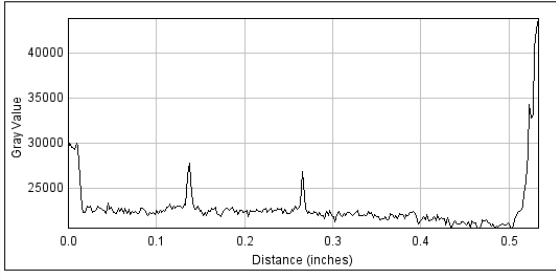

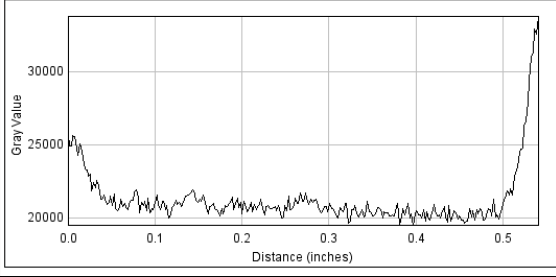
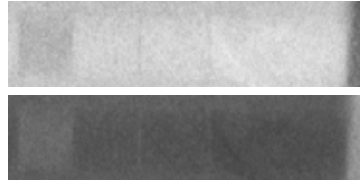
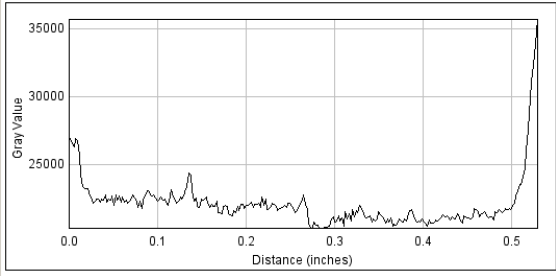
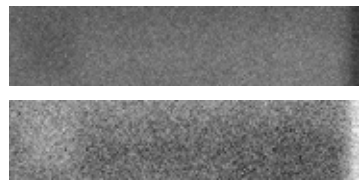
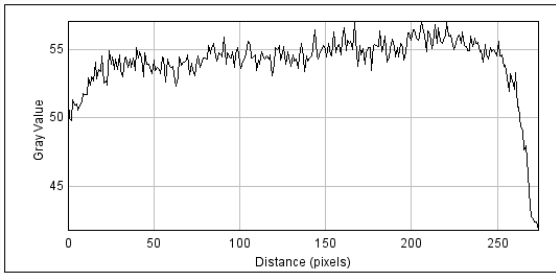
撮像系		画像	プロファイル
シンチレータ +カメラ	カメラ撮影 範囲 約 80 × 80 mm	 <p>(反転画像)</p>	
	カメラ撮影 範囲 約 35 × 35 mm		
IP	NIP	 <p>(反転画像)</p>	
	TR2040	 <p>(反転画像)</p>	
	SR2040	 <p>(反転画像)</p>	
	UR-1	 <p>(反転画像)</p>	

表 2-3(3/4) 試料 N-G1 撮像結果(パイプ 14)


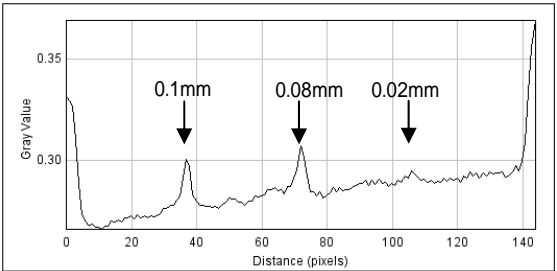
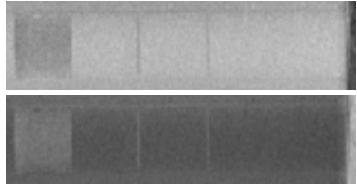
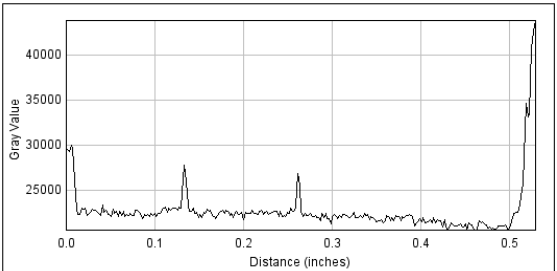
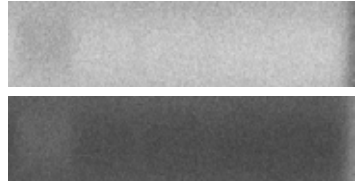
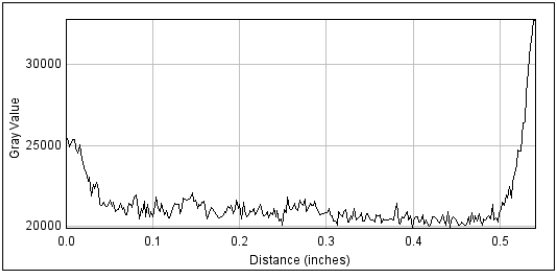

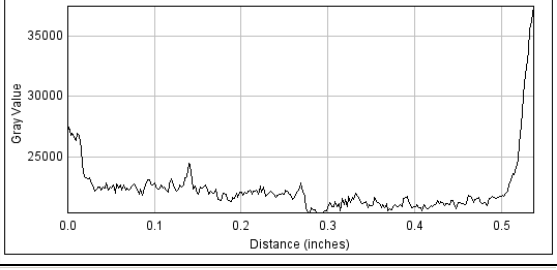
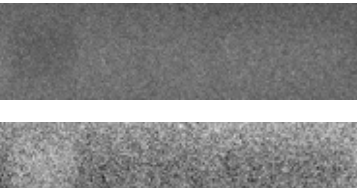
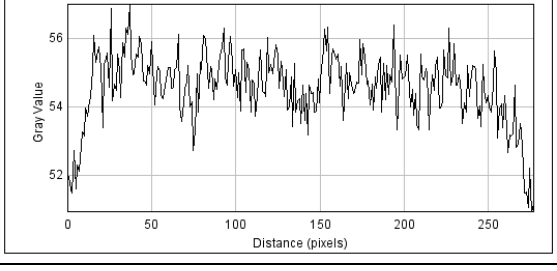
撮像系		画像	プロファイル
シンチレータ +カメラ	カメラ撮影 範囲 約 80 × 80 mm		
	カメラ撮影 範囲 約 35 × 35 mm		
IP	NIP	 (反転画像)	
	TR2040	 (反転画像)	
	SR2040	 (反転画像)	
	UR-1	 (反転画像)	

表 2-3(4/4) 試料 N-G1 撮像結果(パイプ 22)

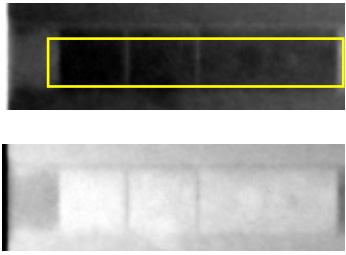
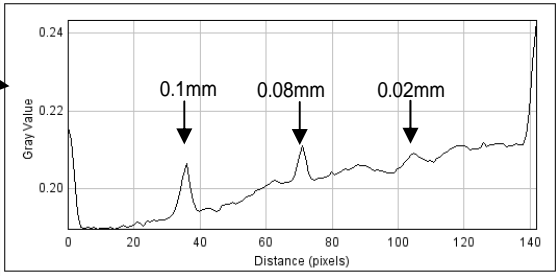
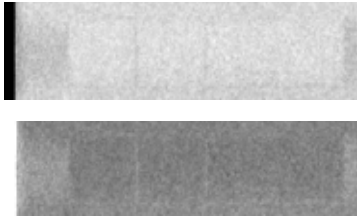
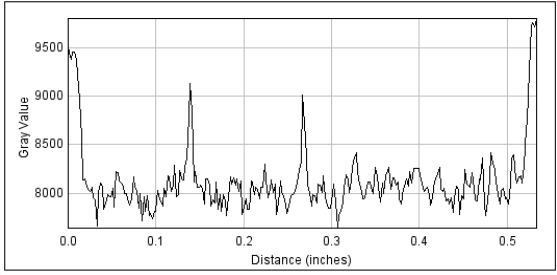
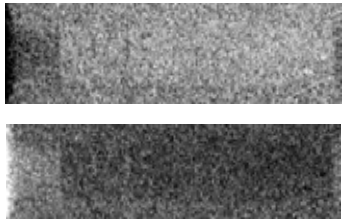
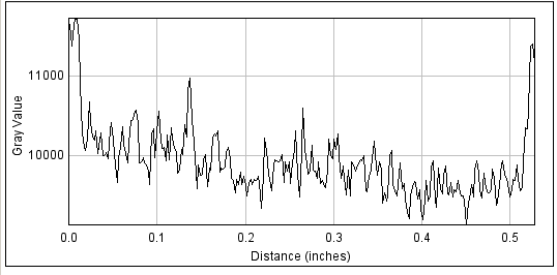
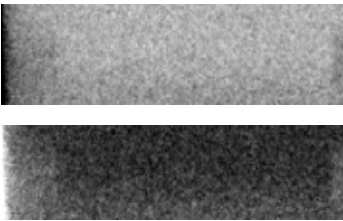
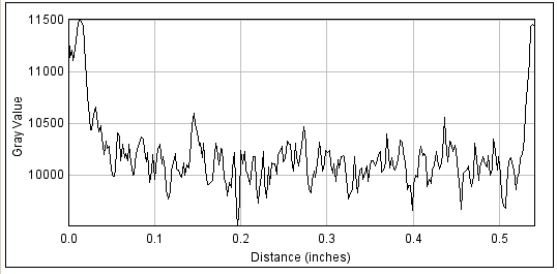
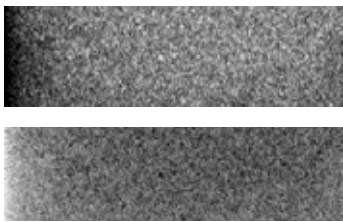
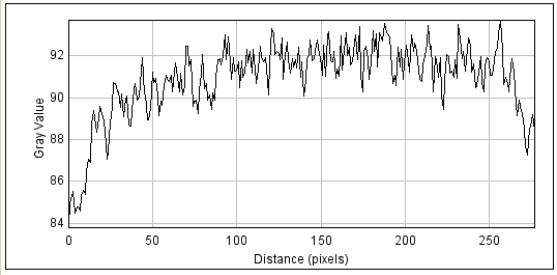
撮像系		画像	プロファイル
シンチレータ +カメラ	カメラ撮影 範囲 約 80 × 80 mm		
	カメラ撮影 範囲 約 35 × 35 mm		
IP	NIP	 (反転画像)	
	TR2040	 (反転画像)	
	SR2040	 (反転画像)	
	UR-1	 (反転画像)	



表 2-4(1/4) 試料 N-G2 撮像結果(パイプなし)

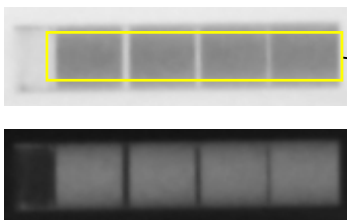
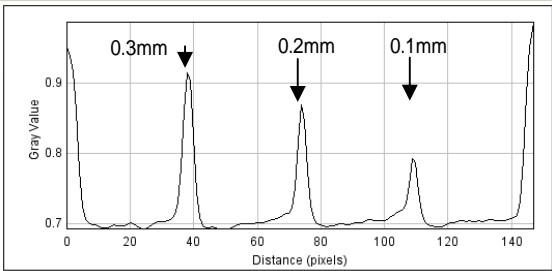
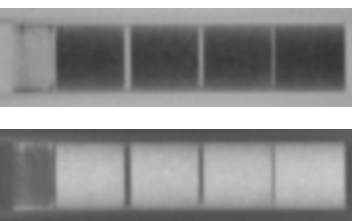
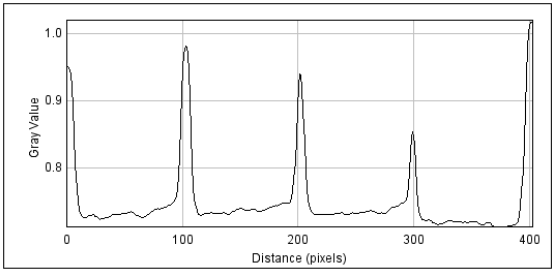
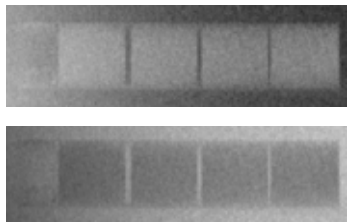
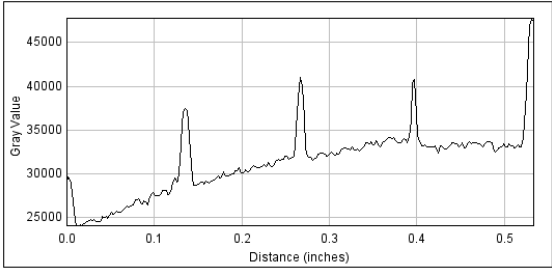
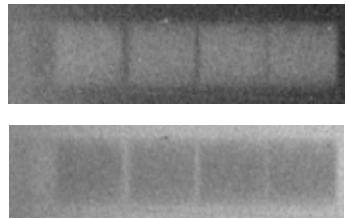
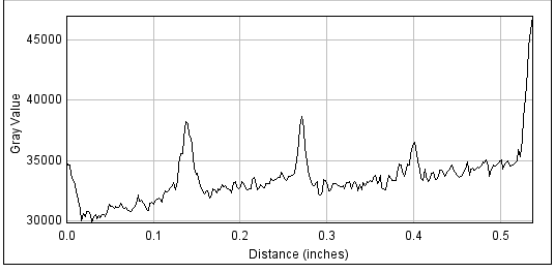
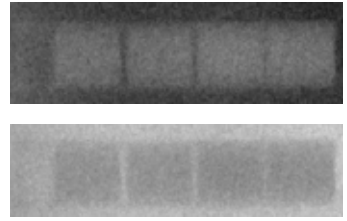
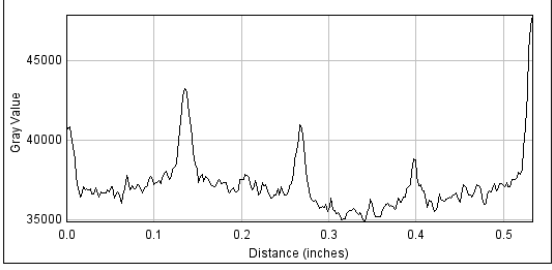
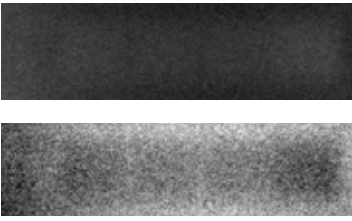
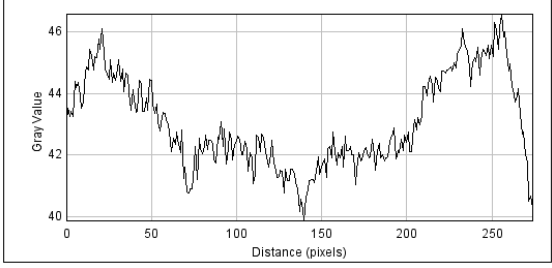
撮像系		画像	プロファイル
シンチレータ +カメラ	カメラ撮影 範囲 約 80 × 80 mm	 <p>(反転画像)</p>	
	カメラ撮影 範囲 約 35 × 35 mm	 <p>(反転画像)</p>	
IP	NIP	 <p>(反転画像)</p>	
	TR2040	 <p>(反転画像)</p>	
	SR2040	 <p>(反転画像)</p>	
	UR-1	 <p>(反転画像)</p>	

表 2-4(2/4) 試料 N-G2 撮像結果(パイプ 8)

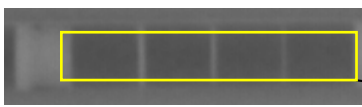

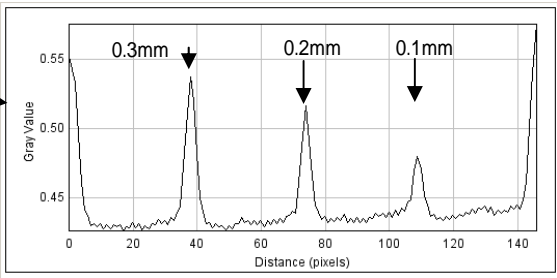

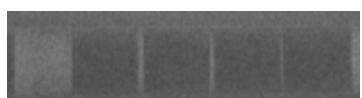
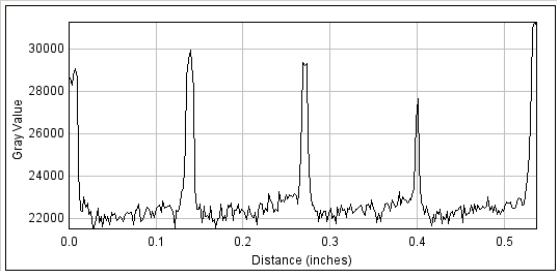


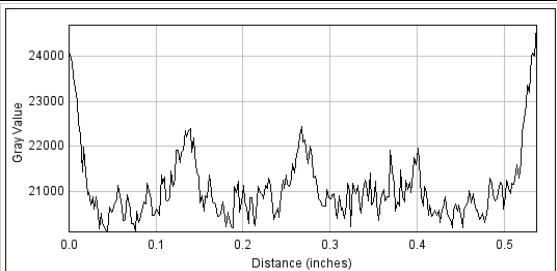


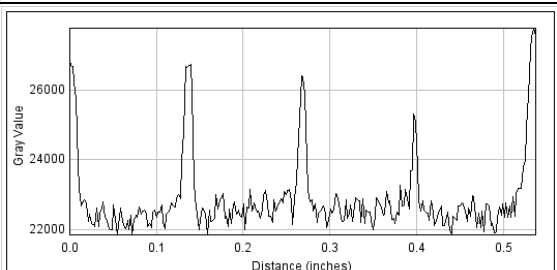

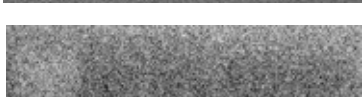
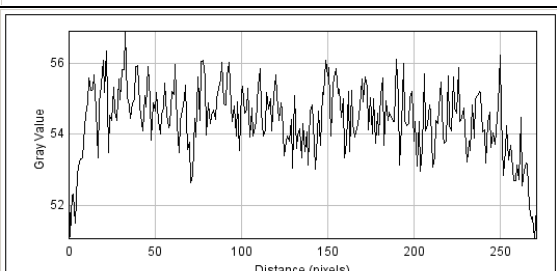
撮像系		画像	プロファイル
シンチレータ +カメラ	カメラ撮影 範囲 約 80 × 80 mm	  (反転画像)	
	カメラ撮影 範囲 約 35 × 35 mm		
IP	NIP	  (反転画像)	
	TR2040	  (反転画像)	
	SR2040	  (反転画像)	
	UR-1	  (反転画像)	

表 2-4(3/4) 試料 N-G2 撮像結果(パイプ 14)

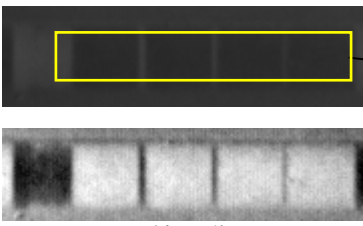
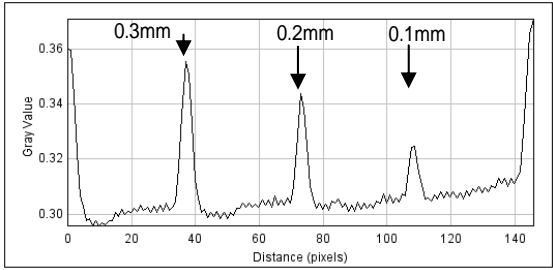
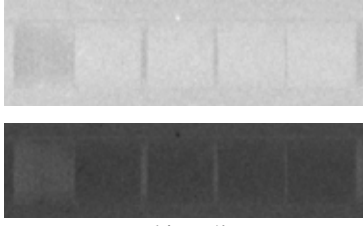
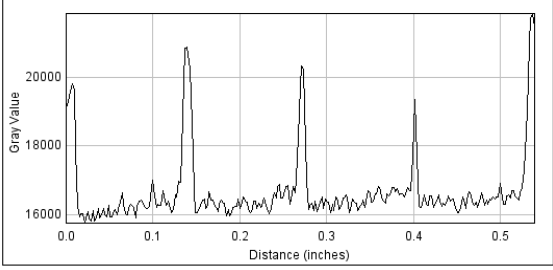

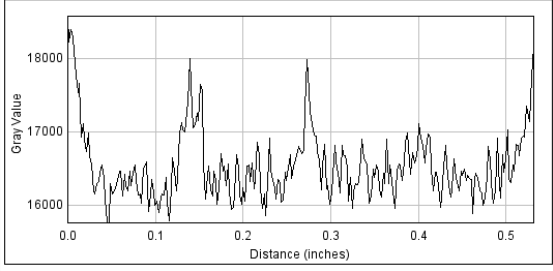
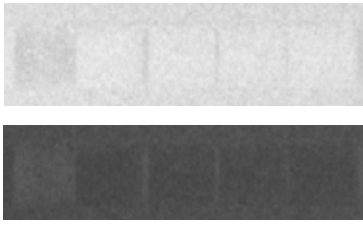
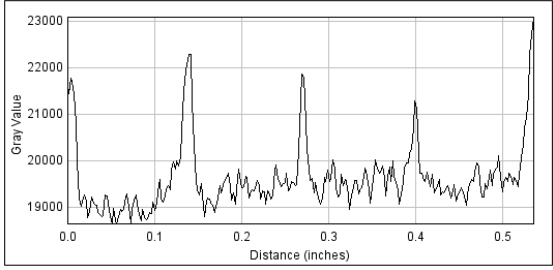
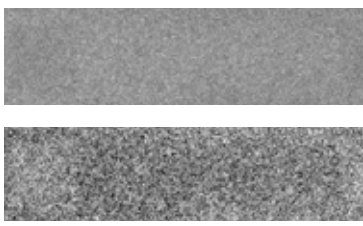
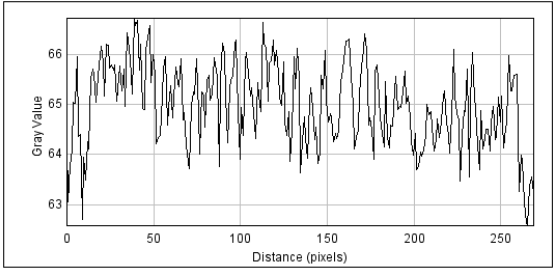
撮像系		画像	プロファイル
シンチレータ +カメラ	カメラ撮影 範囲 約 80 × 80 mm	 <p>(反転画像)</p>	
	カメラ撮影 範囲 約 35 × 35 mm		
IP	NIP	 <p>(反転画像)</p>	
	TR2040	 <p>(反転画像)</p>	
	SR2040	 <p>(反転画像)</p>	
	UR-1	 <p>(反転画像)</p>	

表 2-4(4/4) 試料 N-G2 撮像結果(パイプ 22)


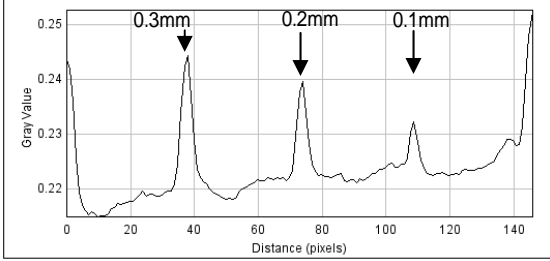
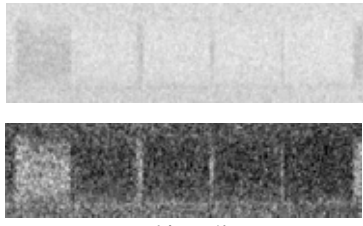
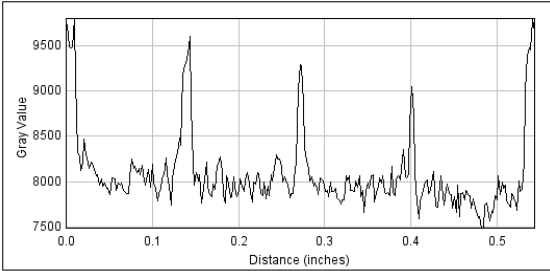

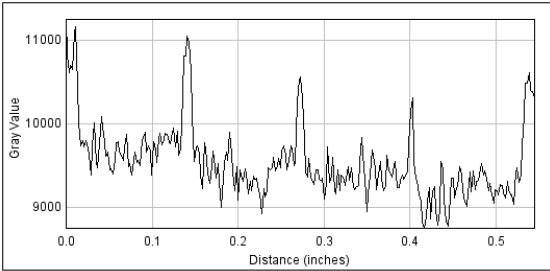
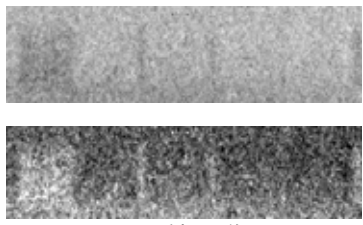
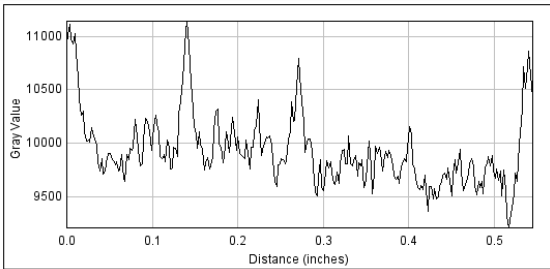

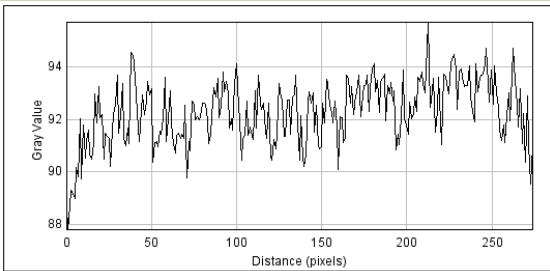
撮像系		画像	プロファイル
シンチレータ +カメラ	カメラ撮影 範囲 約 80 × 80 mm	 <p>(反転画像)</p>	
	カメラ撮影 範囲 約 35 × 35 mm		
IP	NIP	 <p>(反転画像)</p>	
	TR2040	 <p>(反転画像)</p>	
	SR2040	 <p>(反転画像)</p>	
	UR-1	 <p>(反転画像)</p>	

表 2-5(1/4) 試料 N-C 撮像結果(パイプなし)



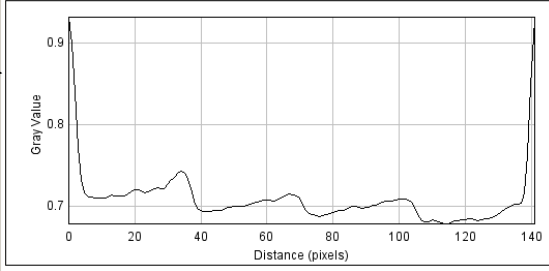


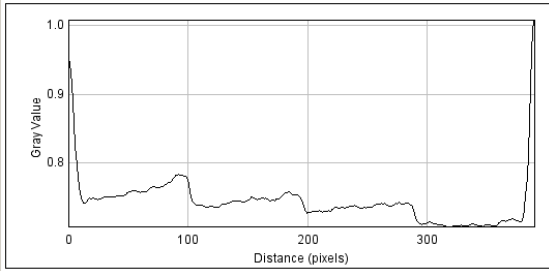


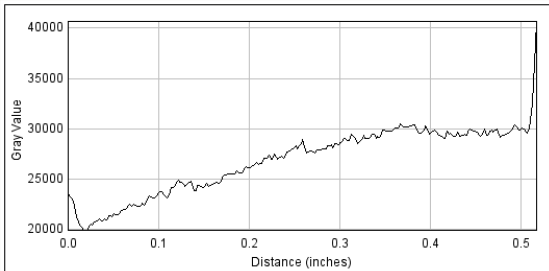


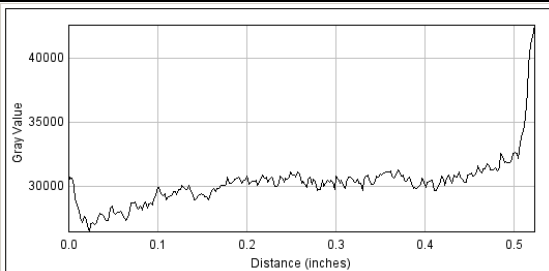


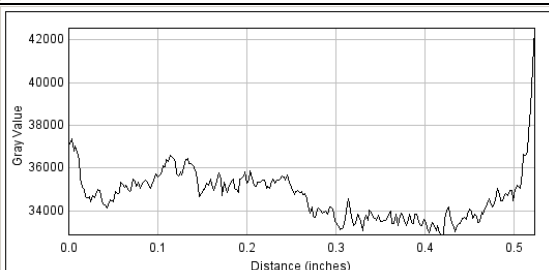


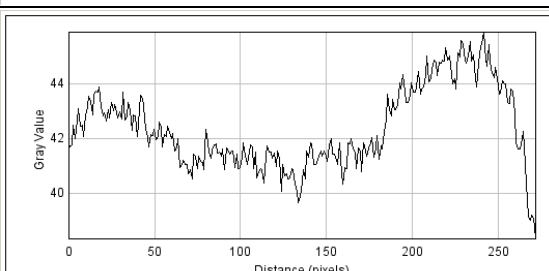
撮像系		画像	プロファイル
シンチレータ +カメラ	カメラ撮影 範囲 約 80 × 80 mm	  (反転画像)	
	カメラ撮影 範囲 約 35 × 35 mm	  (反転画像)	
IP	NIP	  (反転画像)	
	TR2040	  (反転画像)	
	SR2040	  (反転画像)	
	UR-1	  (反転画像)	

表 2-5(2/4) 試料 N-C 撮像結果(パイプ 8)

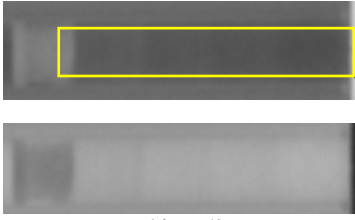
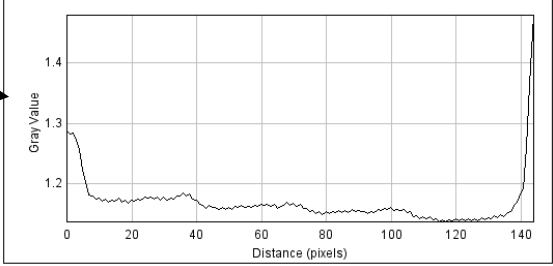
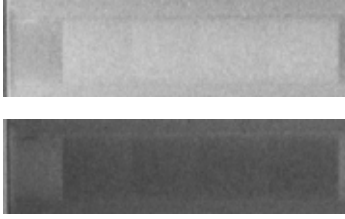
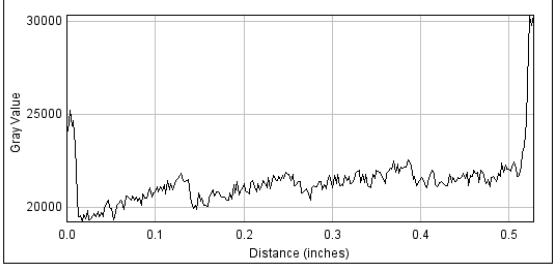
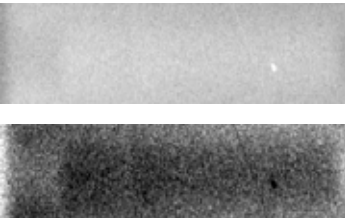
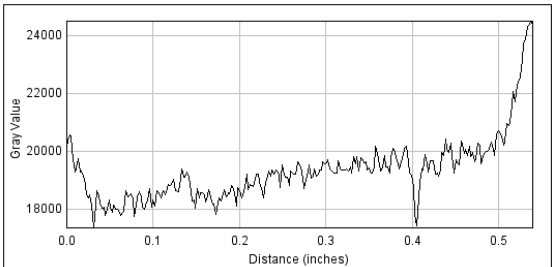
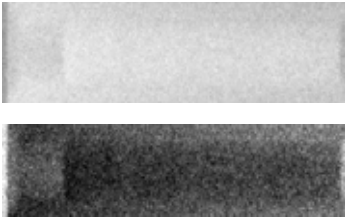
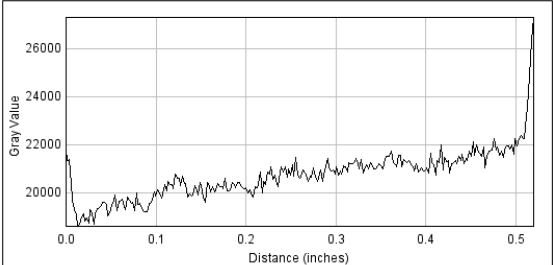
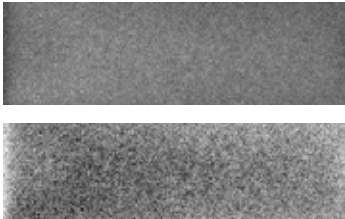
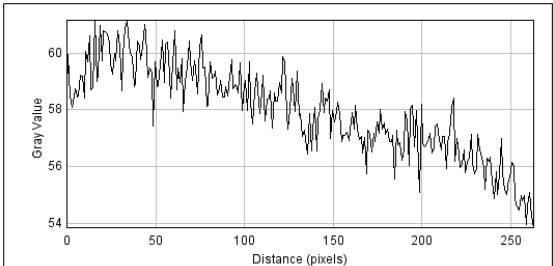
撮像系		画像	プロファイル
シンチレータ +カメラ	カメラ撮影 範囲 約 80 × 80 mm	 <p>(反転画像)</p>	
	カメラ撮影 範囲 約 35 × 35 mm		
IP	NIP	 <p>(反転画像)</p>	
	TR2040	 <p>(反転画像)</p>	
	SR2040	 <p>(反転画像)</p>	
	UR-1	 <p>(反転画像)</p>	

表 2-5(3/4) 試料 N-C 撮像結果(パイプ 14)


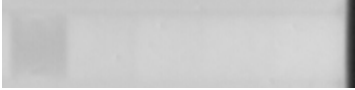
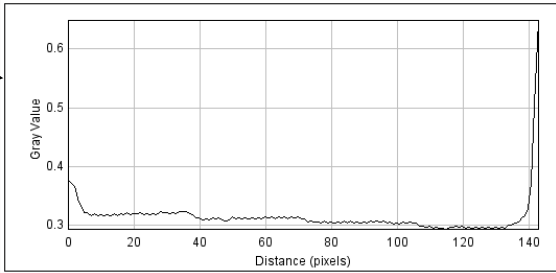

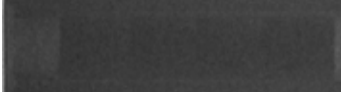
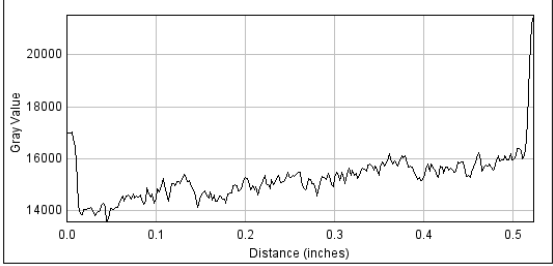


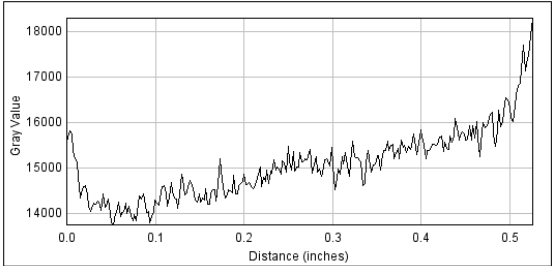


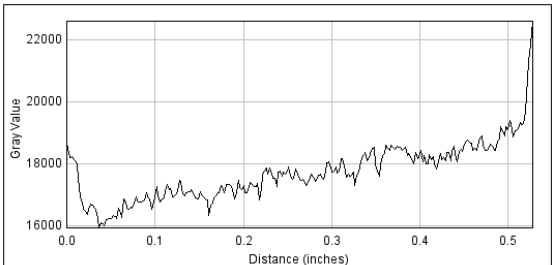


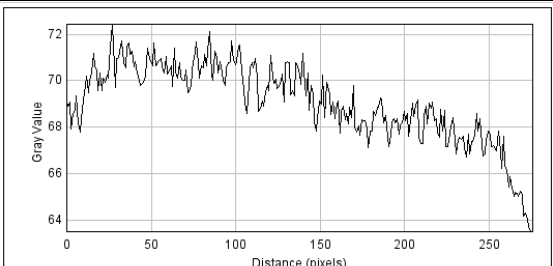
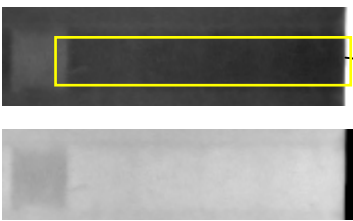
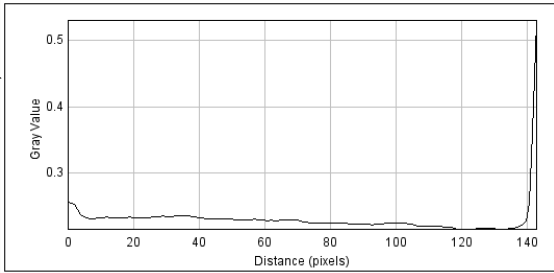
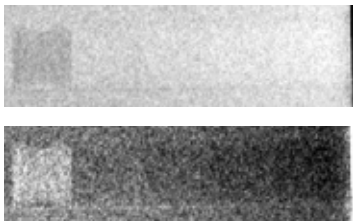
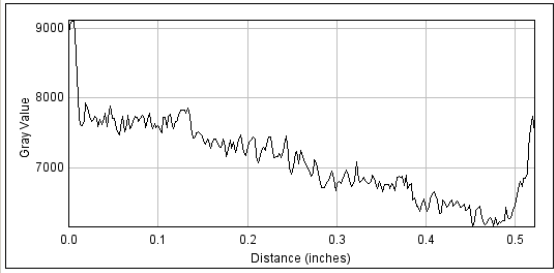
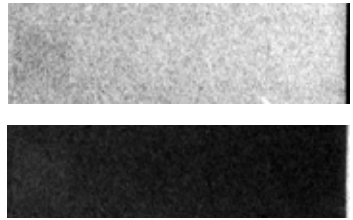
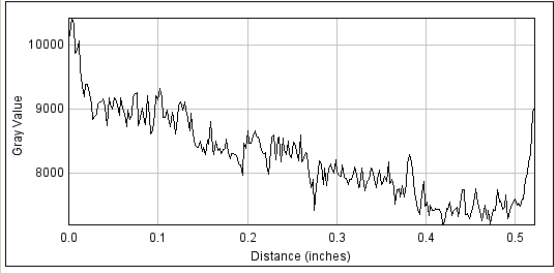
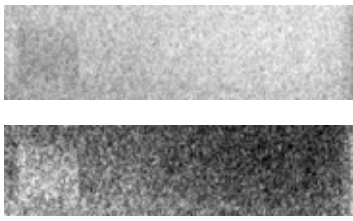
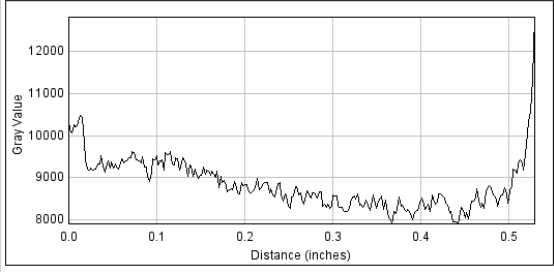
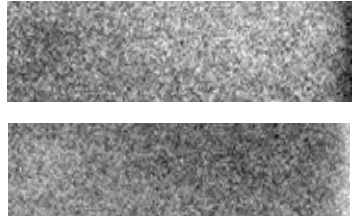
撮像系		画像	プロファイル
シンチレータ +カメラ	カメラ撮影 範囲 約 80 × 80 mm	  (反転画像)	
	カメラ撮影 範囲 約 35 × 35 mm		
IP	NIP	  (反転画像)	
	TR2040	  (反転画像)	
	SR2040	  (反転画像)	
	UR-1	  (反転画像)	

表 2-5(4/4) 試料 N-C 撮像結果(パイプ 22)

撮像系		画像	プロファイル
シンチレータ +カメラ	カメラ撮影 範囲 約 80 × 80 mm	 <p>(反転画像)</p>	
	カメラ撮影 範囲 約 35 × 35 mm		
IP	NIP	 <p>(反転画像)</p>	
	TR2040	 <p>(反転画像)</p>	
	SR2040	 <p>(反転画像)</p>	
	UR-1	 <p>(反転画像)</p>	