

4.1.2 AP2-24 燃料の同位体組成比評価に対する不溶性残渣の影響確認

RIA 試験時の燃料エンタルピを評価する際、燃料に含まれる核分裂性物質の量を評価する必要がある。燃料エンタルピ評価の手法の概略を図 4.1.2-1 に示す。現在の主な評価手法は、図中の評価手法その 2 にあたる。図中の評価手法その 1 については、時間的制約等のため実施が容易ではないため、近年ではほぼ実施されていない。

RIA 供試燃料 (OS-2 及び OS-4 実験燃料) を採取した燃料セグメント AP2-24 に対しては、燃料エンタルピ評価 (手法その 2) に必要となる同燃料中のウラン (U) 及びプルトニウム (Pu) 同位体組成比の評価を実施し、すでに報告した⁽¹⁾。図 4.1.2-2 に同評価用試料 (化学分析用試料 CA2) 切断位置を示す。同位体組成比評価に用いる燃料溶解試料を作製する際に、しばしば不溶性残渣⁽²⁾が生じることがあるが、同残渣の重量割合が大きくかつ、残渣中に U 及び Pu が偏在していた場合、同評価に影響を及ぼす可能性がある。本報告では、AP2-24 の同評価に対する不溶性残渣の影響を確認するため、燃料溶解試料作製過程での試料・容器の重量測定値を解析し、同残渣の重量を評価した。重量測定にあたっては、重量評価上影響を及ぼしうる試料・容器に付着した水分の影響を取り除くため、恒温槽で乾燥させたのち測定する手順を踏むとともに、測定を複数回行うこととした。得られた重量測定値 (表 4.1.2-1(1)(2)) から、AP2-24 燃料溶解試料作製時に生じた不溶性残渣の重量を評価した結果、燃料溶解用容器に付着した不溶性残渣については、 0.0164 ± 0.0002 g と評価されたが、燃料溶解液ろ過後にろ紙上に残った不溶性残渣については、外観から不溶性残渣が観察される (図 4.1.2-3) 一方で、測定誤差を考慮しても負の値となった。ろ紙を乾燥させることで 0.0012 g 減少すること及びろ紙の重量測定時の容器有無によっても重量が 0.0015 g 変化すること (表 4.1.2-2) を踏まえ、これらの合計値である 0.0027 g をエラーと考えると、ろ紙上に残った不溶性残渣は、最大で 0.0006 g と評価される。溶解した燃料重量は、表 4.1.2-1(2) から A-C-D (0.0006 g) $-E = 0.7632 \pm 0.0003$ と評価され、不溶性残渣の重量は、溶解した燃料重量の 2.2% であるとわかった。このことから、AP2-24 の同位体組成比評価に対する不溶性残渣の影響は小さいと考えられる。

表 4.1.2-1 (1) 燃料溶解に係る重量測定値

※ホットセル内のインセルモニタにて測定 (BG100 μ Sv/h)

名称	重量測定						標準誤差	線量当量率 ※
	1回目 [g]	2回目 [g]	3回目 [g]	平均 [g]	測定時間	平均(全体) [g]		
① 燃料収納容器 (アルミ製・風袋)	4.9337	4.9337	4.9336	4.9337	1/21 AM	4.9337	3E-05	—
② 燃料収納容器 (燃料試料入り)	5.8786	5.8785	5.8784	5.8785	1/20 PM	5.8785	4E-05	21mSv/h
	5.8787	5.8785	5.8785	5.8786	1/20 PM			
③ 燃料溶解用容器 (風袋)	392.6966	392.6968	392.6976	392.6970	1/17 PM	392.6969	2.2E-04	—
	392.6961	392.6968	392.6973	392.6967	1/20 PM			
④ 燃料溶解用容器 (テフロン製・燃料試料入り)	393.6418	393.6414	393.6417	393.6416	1/21 AM	393.6416	1.2E-04	—
⑤ 燃料溶解用容器 (洗浄・乾燥済)	392.7129	392.7132	392.7135	392.7132	1/30 10:20	392.7132	8E-05	100 μ Sv/h
	392.7132	392.7133	392.7133	392.7133	1/30 10:40			
⑥ シャーレⅡ [溶解液ろ過用] (ガラス製・風袋)	62.9328	62.9328	62.9327	62.9328	1/21 AM	62.9329	6E-05	—
	62.9330	62.9331	62.9329	62.9329	1/21 AM			
⑦ ろ紙Ⅱ [溶解液ろ過用] (燃料溶解液ろ過前)	0.0867	0.0867	0.0866	0.0867	1/21 AM	0.0867	2E-05	—
	0.0866	0.0867	0.0867	0.0867	1/21 AM			
⑧ シャーレⅡ [溶解液ろ過用] (乾燥済 ろ紙Ⅱ入り)	63.0170	63.0167	63.0170	63.0169	1/28 10:35	63.0174	1.5E-04	100 μ Sv/h
	63.0181	63.0179	63.0178	63.0179	1/28 14:35			
	63.0174	63.0173	63.0174	63.0174	1/30 10:43			
⑨ 被覆管収納容器 (アルミ製・風袋)	5.0010	5.0009	5.0009	5.0009	1/17 AM	5.0010	3E-05	—
	5.0011	5.0010	5.0009	5.0010	1/17 PM			
⑩ 被覆管収納容器 (アルミ製・乾燥済被覆管含む)	5.1656	5.1656	5.1655	5.1656	1/28 10:25	5.1656	3E-05	120 μ Sv/h
	5.1657	5.1657	5.1657	5.1657	1/28 14:15			

表 4.1.2-1 (2) 燃料溶解に係る重量測定値

重量 [g]				誤差 [g]
A	燃料溶解前 試料重量 (評価法Ⅰ) ※ [燃料ペレット+被覆管]	(② - ①)	0.9449	5E-05
B	燃料溶解前 試料重量 (評価法Ⅱ) ※ [燃料ペレット+被覆管]	(④ - ③)	0.9448	2.5E-04
C	燃料溶解用容器に付着した不溶性残渣重量	(⑤ - ③)	0.0164	2.3E-04
D	燃料溶解液ろ過後のろ紙に付着した不溶性残渣重量 (ろ紙上で被覆管をろ過した後測定した値)	(⑧ - ⑦ - ⑥)	-0.0022	1.7E-04
E	燃料溶解後の被覆管重量 (ろ紙上で被覆管を洗浄した後測定した値)	(⑩ - ⑨)	0.1647	5E-05
溶解した燃料重量		(A - C - D - E)	0.7632	2.9E-04

※A,Bともに同じ燃料試料の重量を算出しているが、Aの方が誤差が小さいため溶解した燃料重量の評価時にはAの値を採用

表 4.1.2-2 乾燥によるろ紙の重量変化

名称	重量測定						標準誤差 [g]
	1回目 [g]	2回目 [g]	3回目 [g]	平均 [g]	測定時間	平均 (全体) [g]	
ろ紙 (容器風袋補正後の重量)	0.0870	0.0870	0.0871	0.0870	1/28 AM	0.0870	3E-05
ろ紙 [105℃乾燥] (容器風袋補正後の重量)	0.0858	0.0858	0.0859	0.0858	1/28 14:50	0.0858	4E-05
	0.0857	0.0856	0.0857		1/30 11:15		
ろ紙 (容器なし)	0.0854	0.0855	0.0855	0.0855	1/30 13:50	0.0855	3E-05

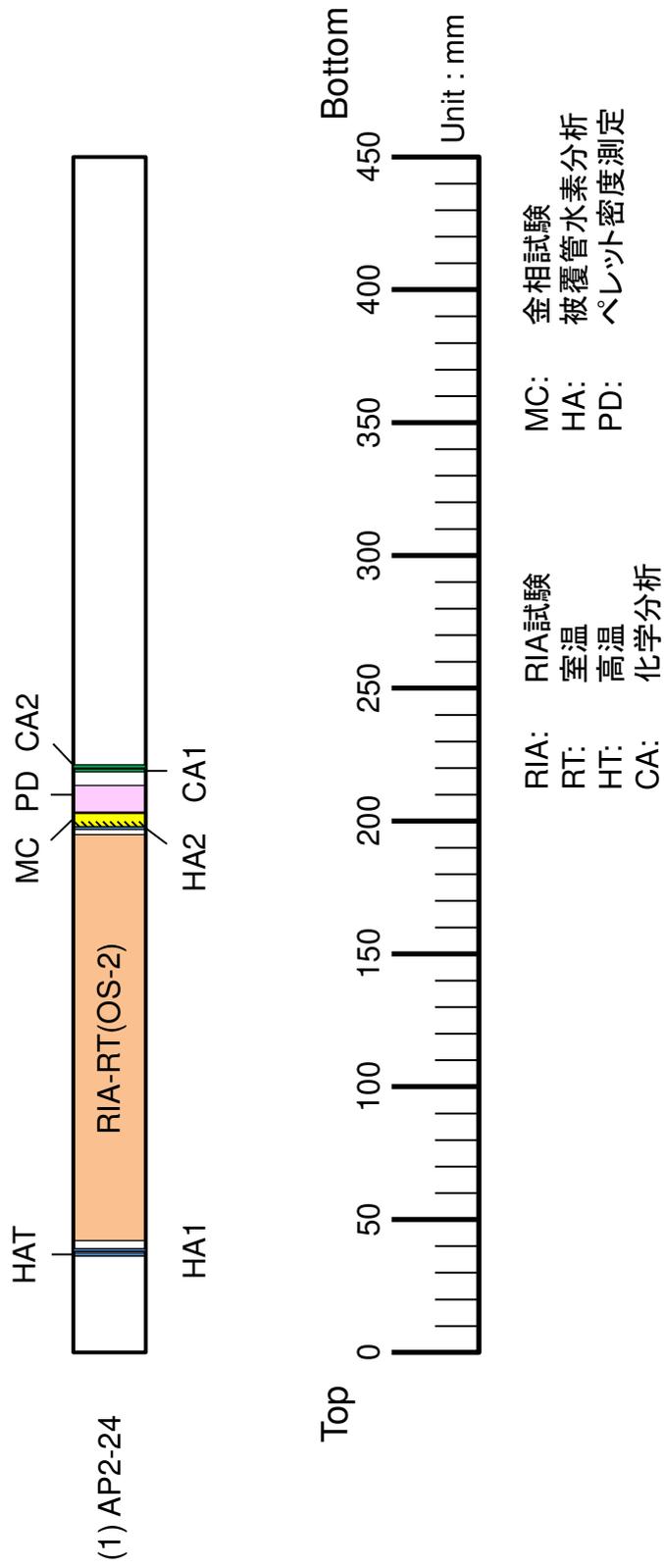
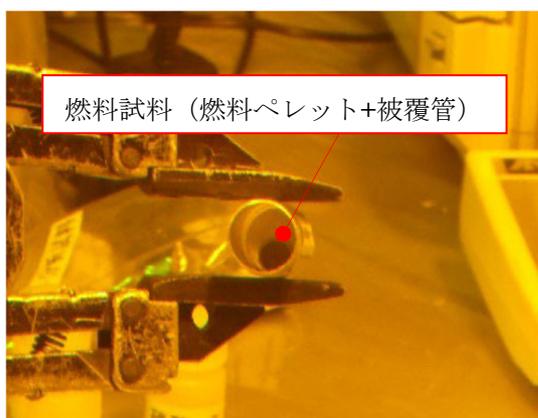


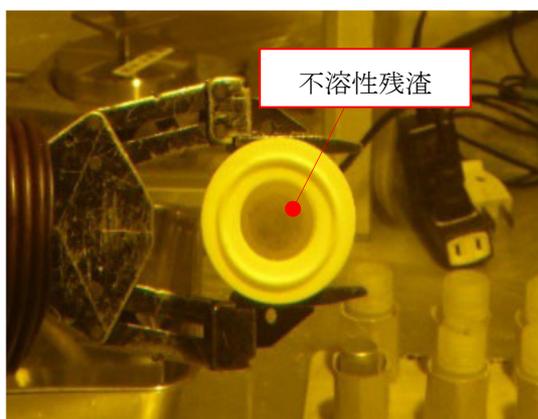
図 4.1.2-2 燃料セグメントからの試料採取計画



A. 燃料溶解前の燃料試料外観
(燃料収納容器に入れた状態)



B. 燃料溶解前の燃料試料外観
(燃料溶解用容器に入れた状態)



C. 燃料溶解後の燃料溶解用容器に
付着した不溶性残渣



D. 燃料溶解液ろ過後のろ紙に
付着した不溶性残渣



E. 燃料溶解後の被覆管外観 (洗浄後)

図 4.1.2-3 燃料試料、不溶性残渣、被覆管の外観

4.1.3 AP2-24 に関するレファレンス試験

燃料セグメント AP2-24 に関する試料採取計画を図 4.1-2-2 に示す。燃料セグメント AP2-24 から採取した金相試料 MC に対して SEM/EPMA 試験を実施し、ペレットの組織変化及び FP 元素の分布状態を調べた。図 4.1.3-1 に SEM 観察及び EPMA 分析位置を示した。約 0° 方向においてペレットの最外周部から中心部の範囲及びボンディング部で撮影した二次電子線像写真を図 4.1.3-2 に示す。ペレット外周部では、ペレット中心部及び中間部に比べて微細な気孔の形成が見られ、特にペレット端部の約 $100\mu\text{m}$ 幅の領域には多数の微細気孔の形成が認められる。

ペレットの 0° から 180° 方向及び 45° から 225° 方向において、U、Nd、Cs、Xe、Cr 元素についての線分析の結果を図 4.1.3-3(1)及び(2)にそれぞれ示す。ボンディング層部において、U、Nd、Cs、Xe、Cr 元素についての線分析の結果を図 4.1.3-3(3)に示す。また、図 4.1.3-4 に U、Nd、Cs、Xe、Cr、U 元素の面分析結果を、図 4.1.3-5 にボンディング層に着目した微小領域の面分析結果を示した。線分析結果より Nd はペレット内においてほぼ均一に分布し、外周部で増加する傾向を示した。同元素の分布はペレット内の燃焼度分布を示す指標となるものであることから、燃焼度はペレット外周部において急激に増大した。Xe は、ペレットの中心部と外周部において存在量が少ない傾向を示し、Cs はペレット内においてほぼ均一に分布し、外周部で増加する傾向を示した。U はペレット内においてほぼ均一に分布していた。面分析では、Xe が最外周部で濃化している様子が確認された。また、ボンディング層部では Xe の濃化が確認された。

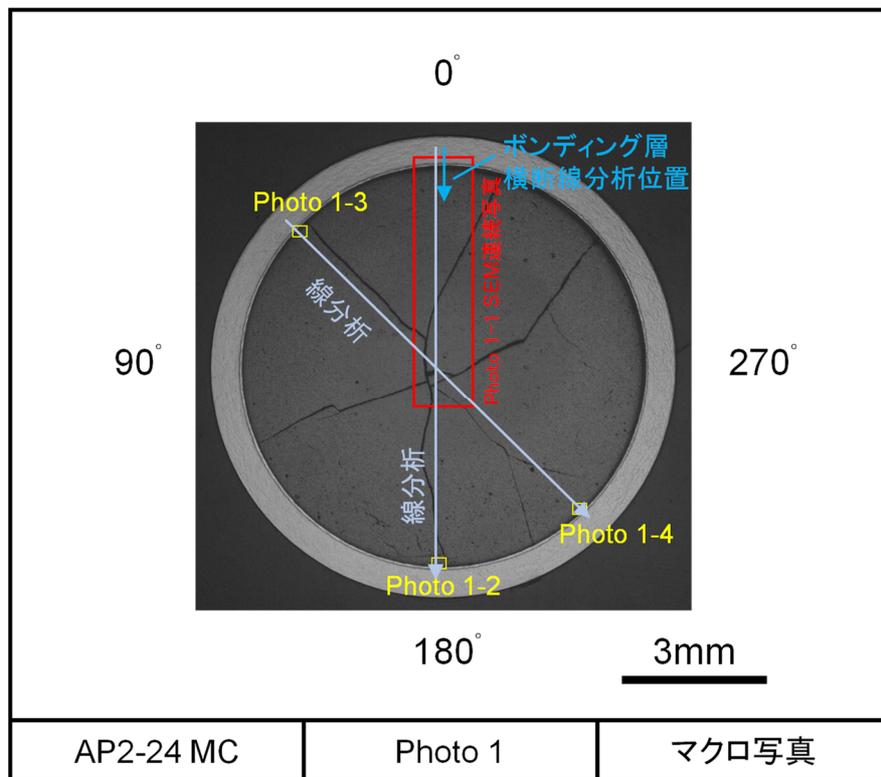


図 4.1.3-1 レファレンス試料の SEM/EPMA 観察位置 (AP2-24 MC)

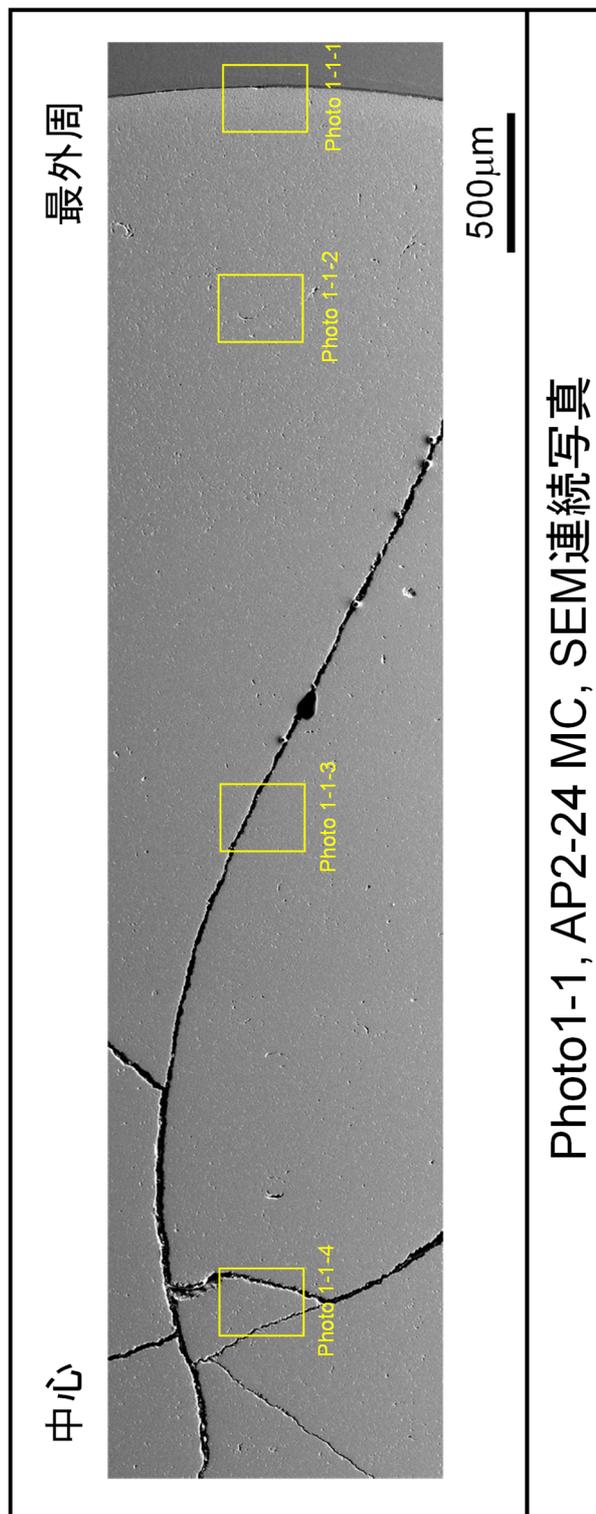


Photo1-1, AP2-24 MC, SEM連続写真

図 4.1.3-2(1) レファレンス試料の SEM 観察結果 (AP2-22 MC)

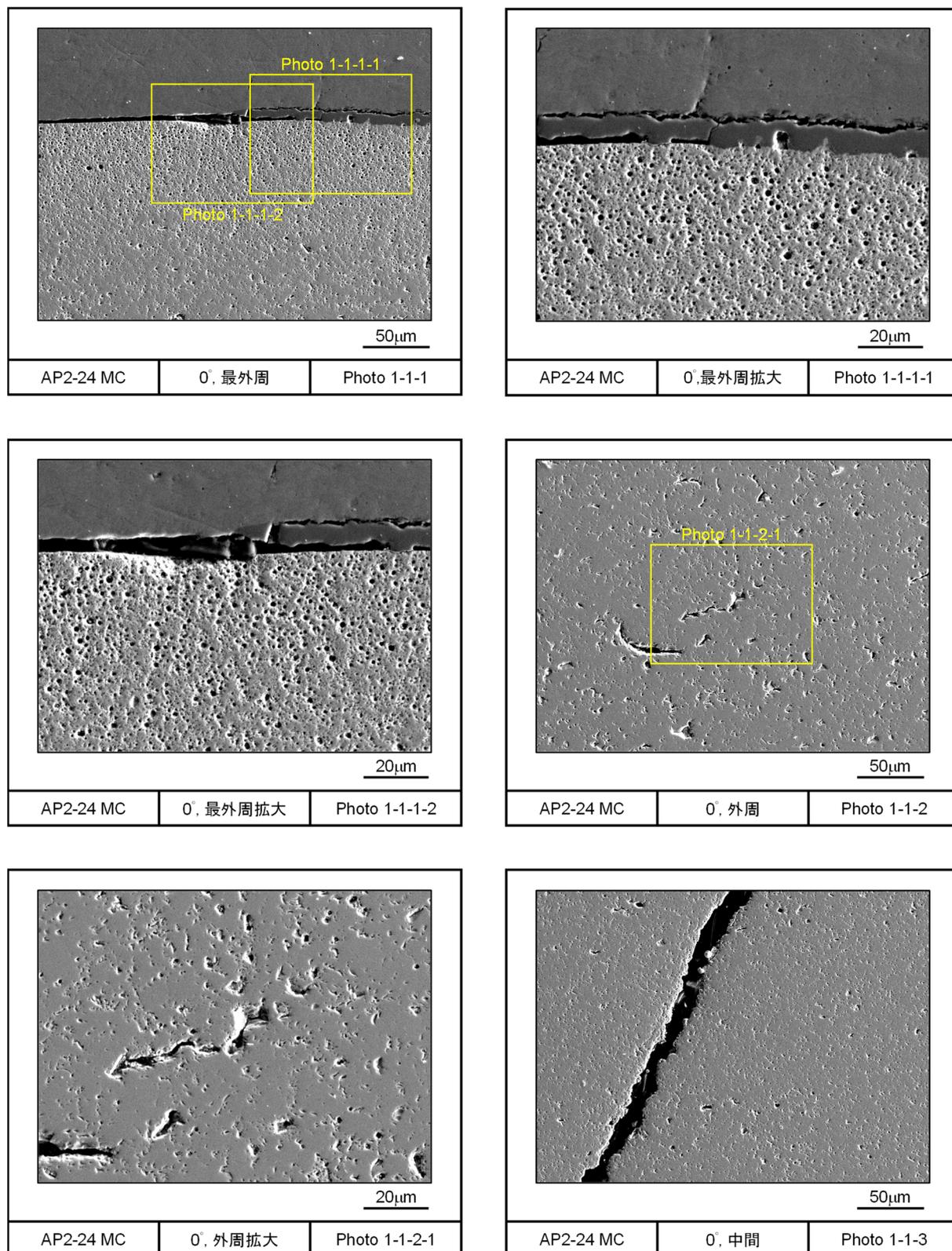


図 4.1.3-2(2) レファレンス試料の SEM 観察結果 (AP2-24)

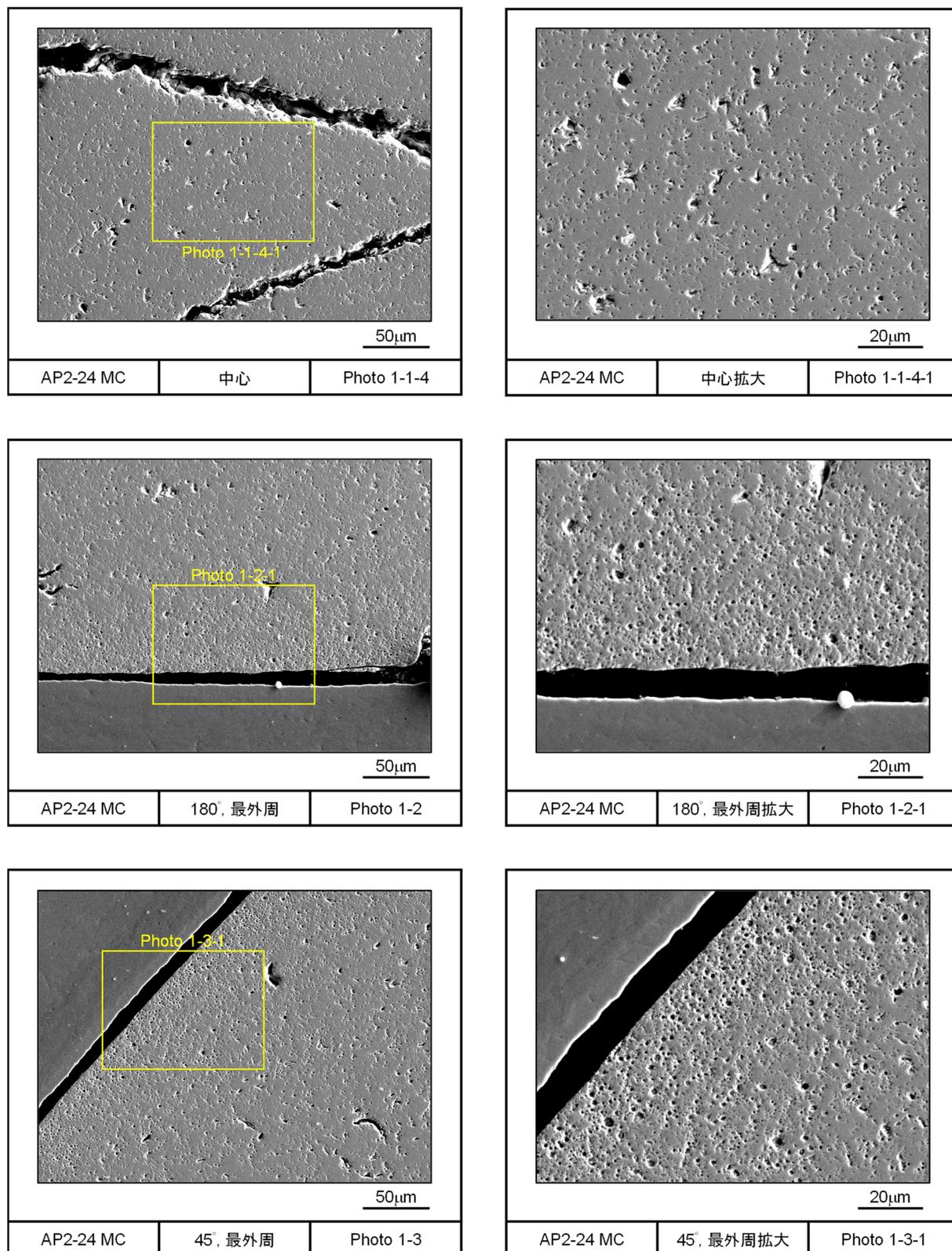


図 4.1.3-2(3) レファレンス試料の SEM 観察結果 (AP2-24)

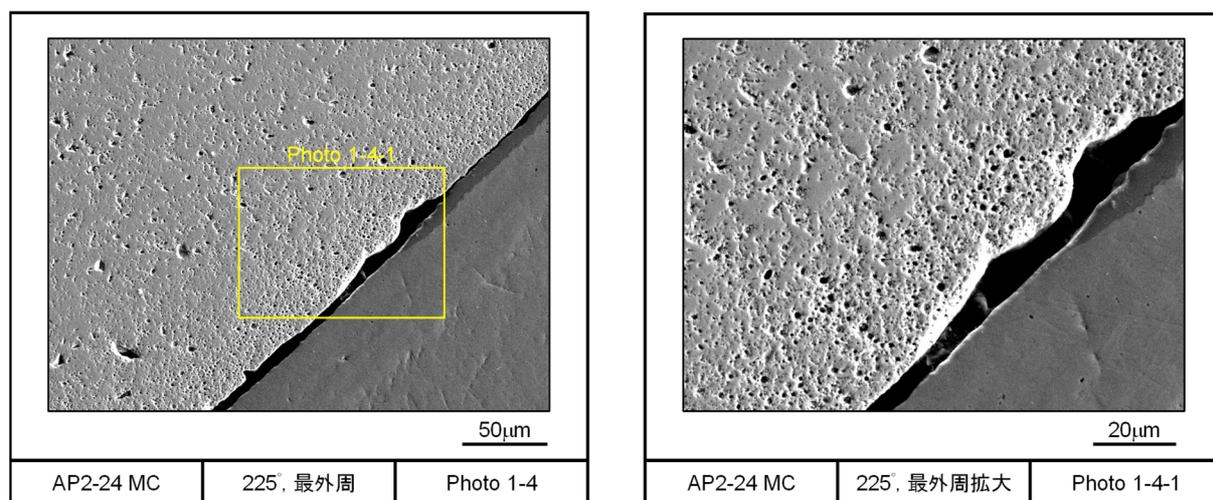


図 4.1.3-2(4) レファレンス試料の SEM 観察結果 (AP2-24)

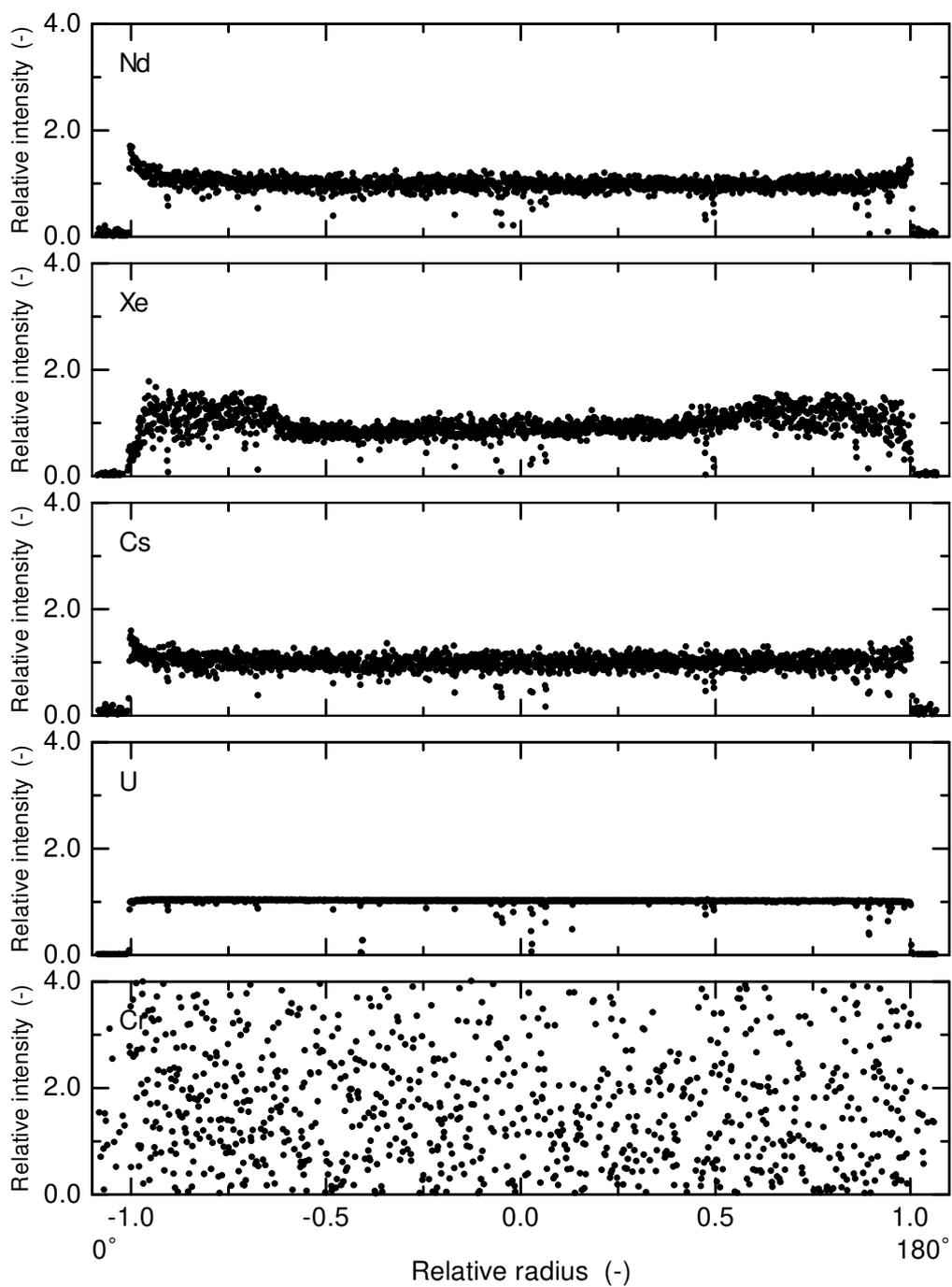


図 4.1.3-3(1) レファレンス試料のペレット線分析の結果 (AP2-24、 0° から 180°)

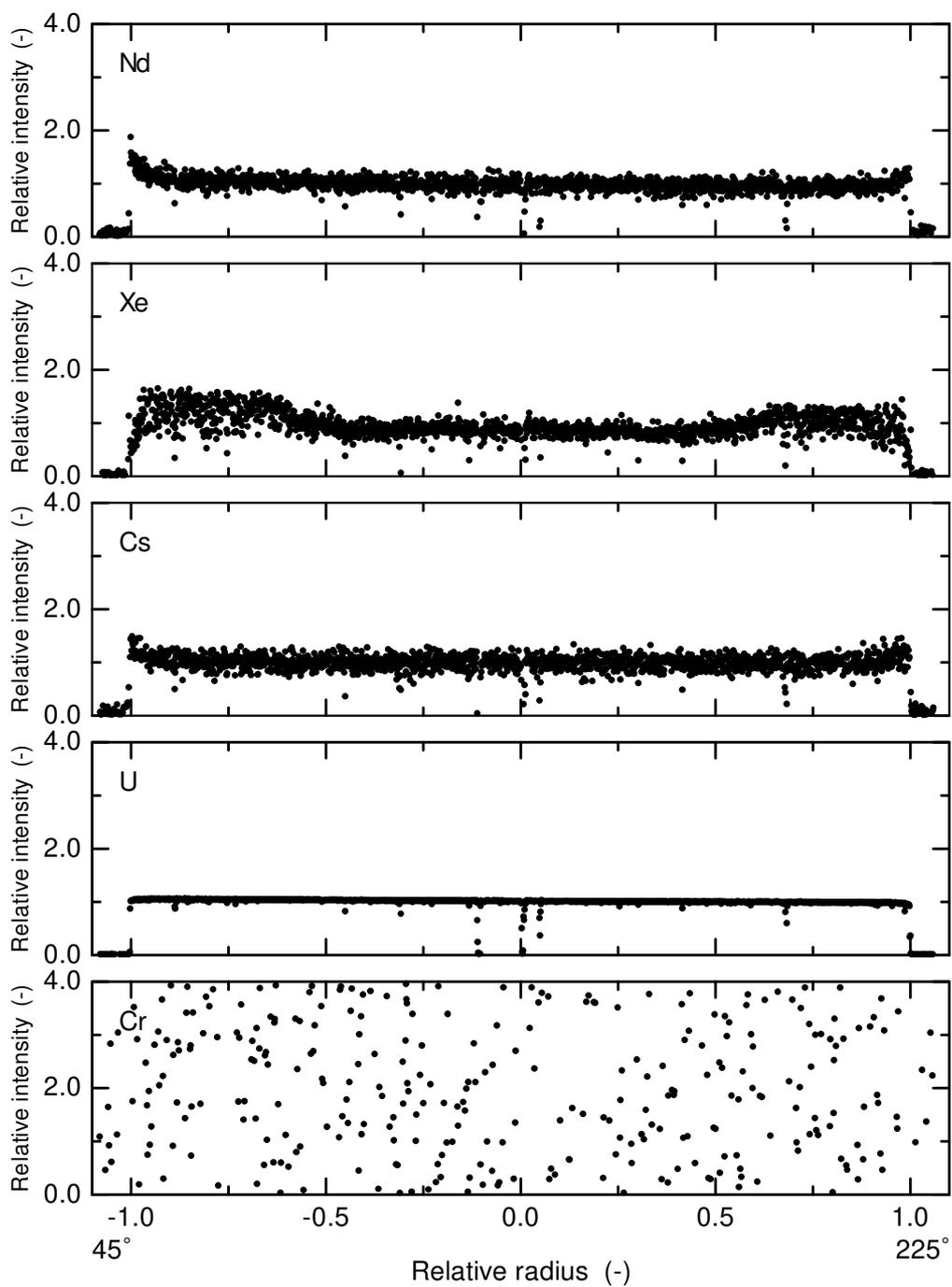


図 4.1.3-3(2) レファレンス試料のペレット線分析の結果 (AP2-24、 45° から 225°)

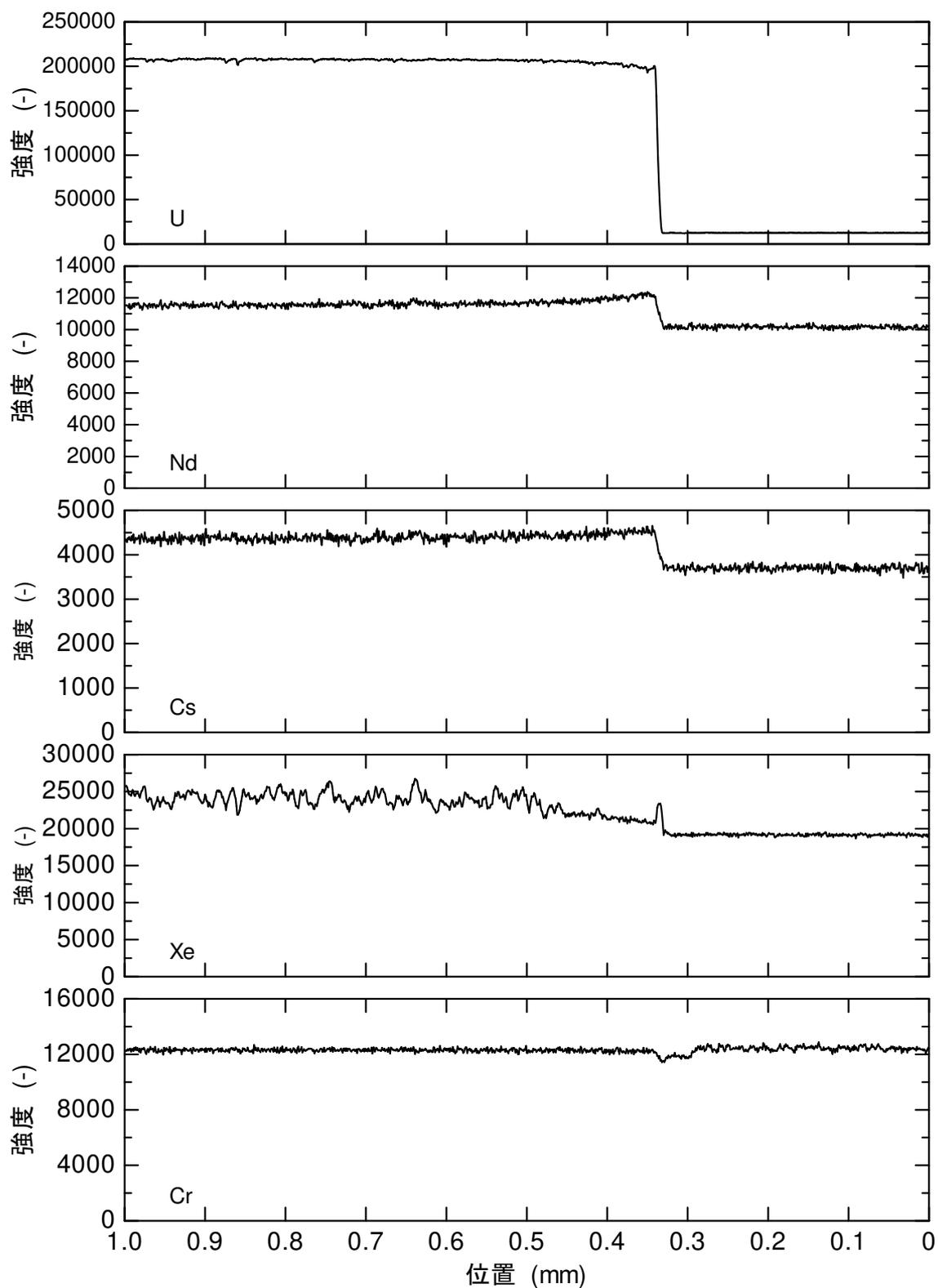


図 4.1.3-3(3) レファレンス試料のペレット線分析の結果 (AP2-24、ボンディング層部)

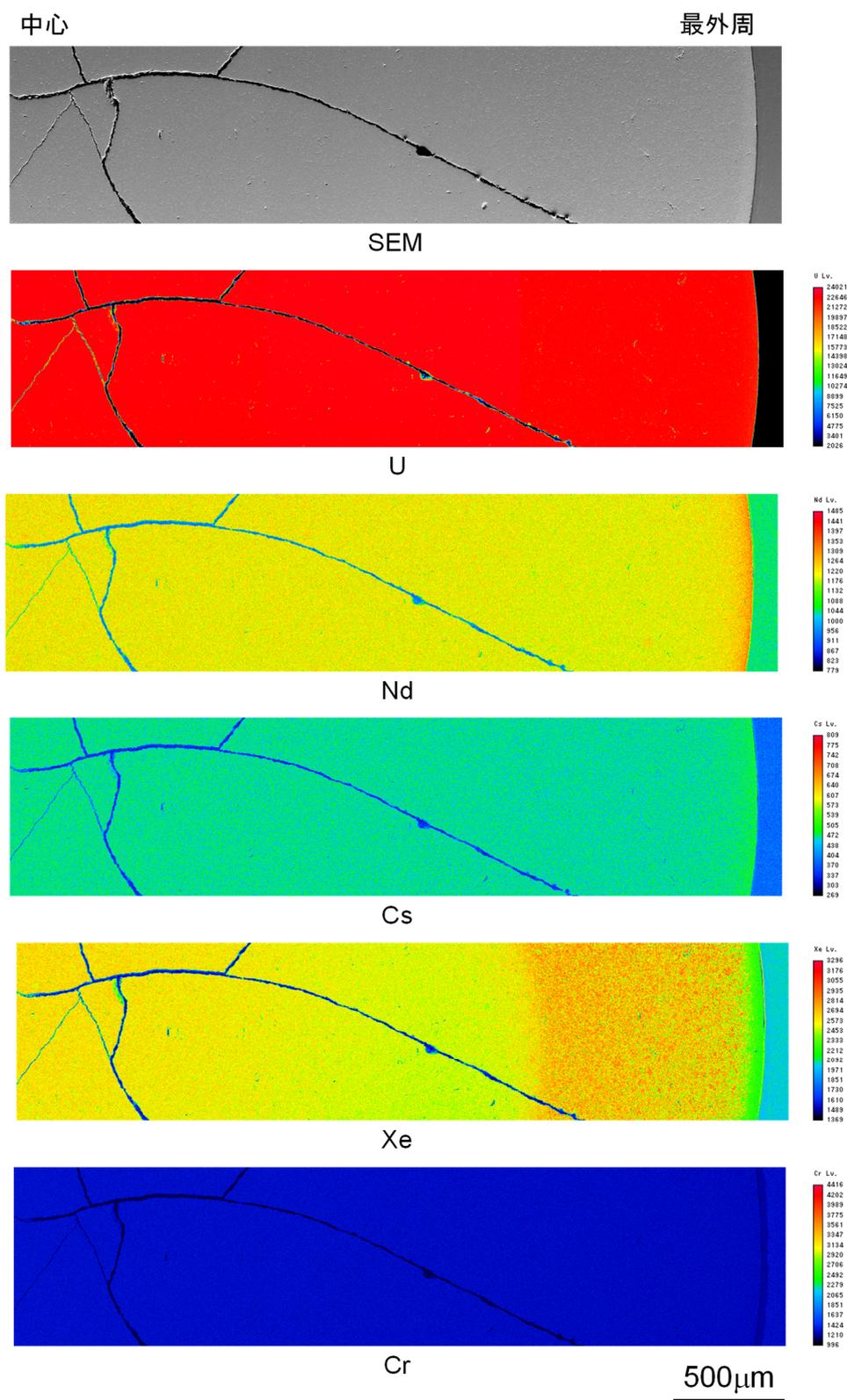


図 4.1.3-4 レファレンス試料のペレット SEM 観察及び面分析の結果 (AP2-24 MC)

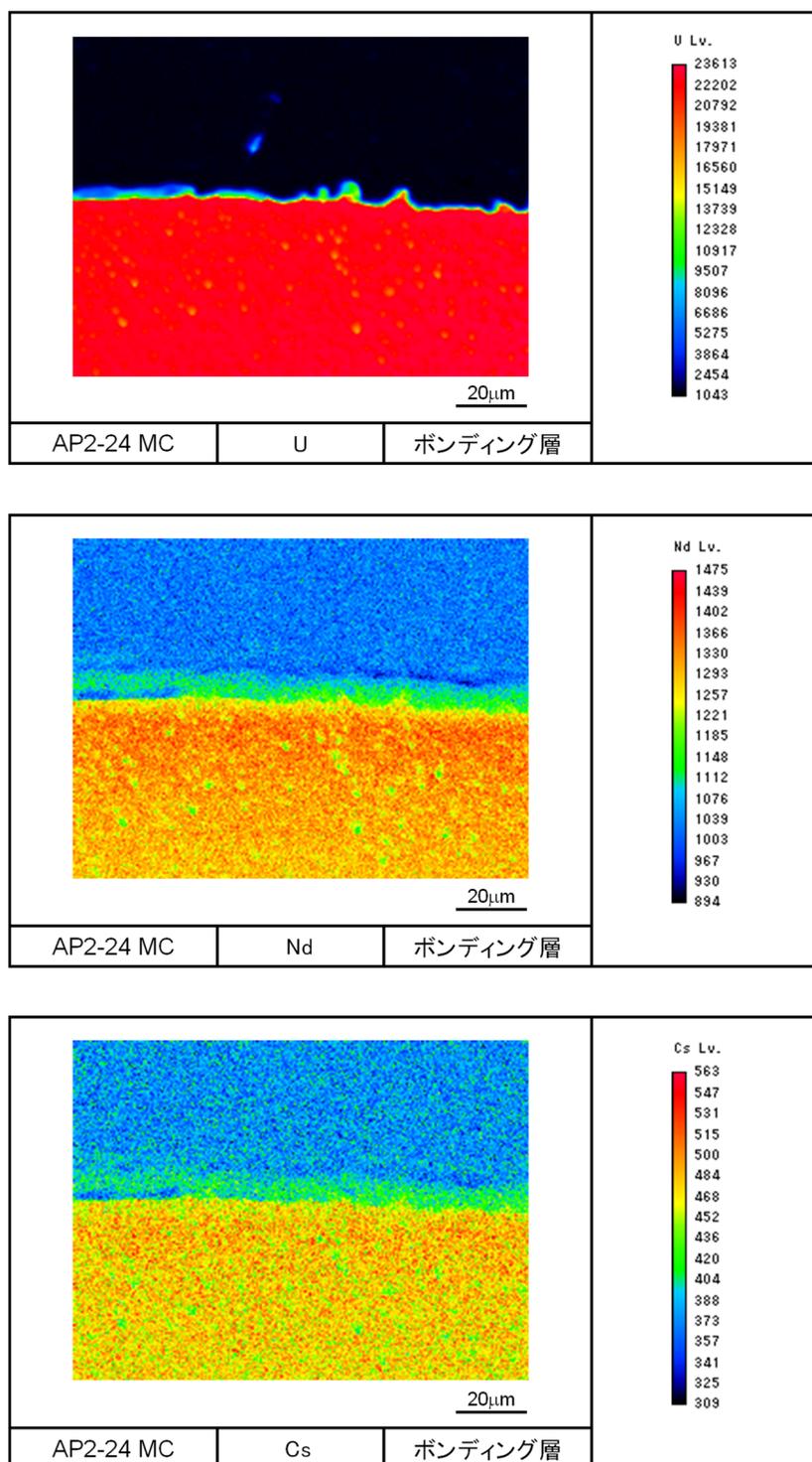


図 4.1.3-5(1) レファレンス試料のペレット SEM 観察及び面分析の結果 (AP2-24 MC、ボンディング層部)

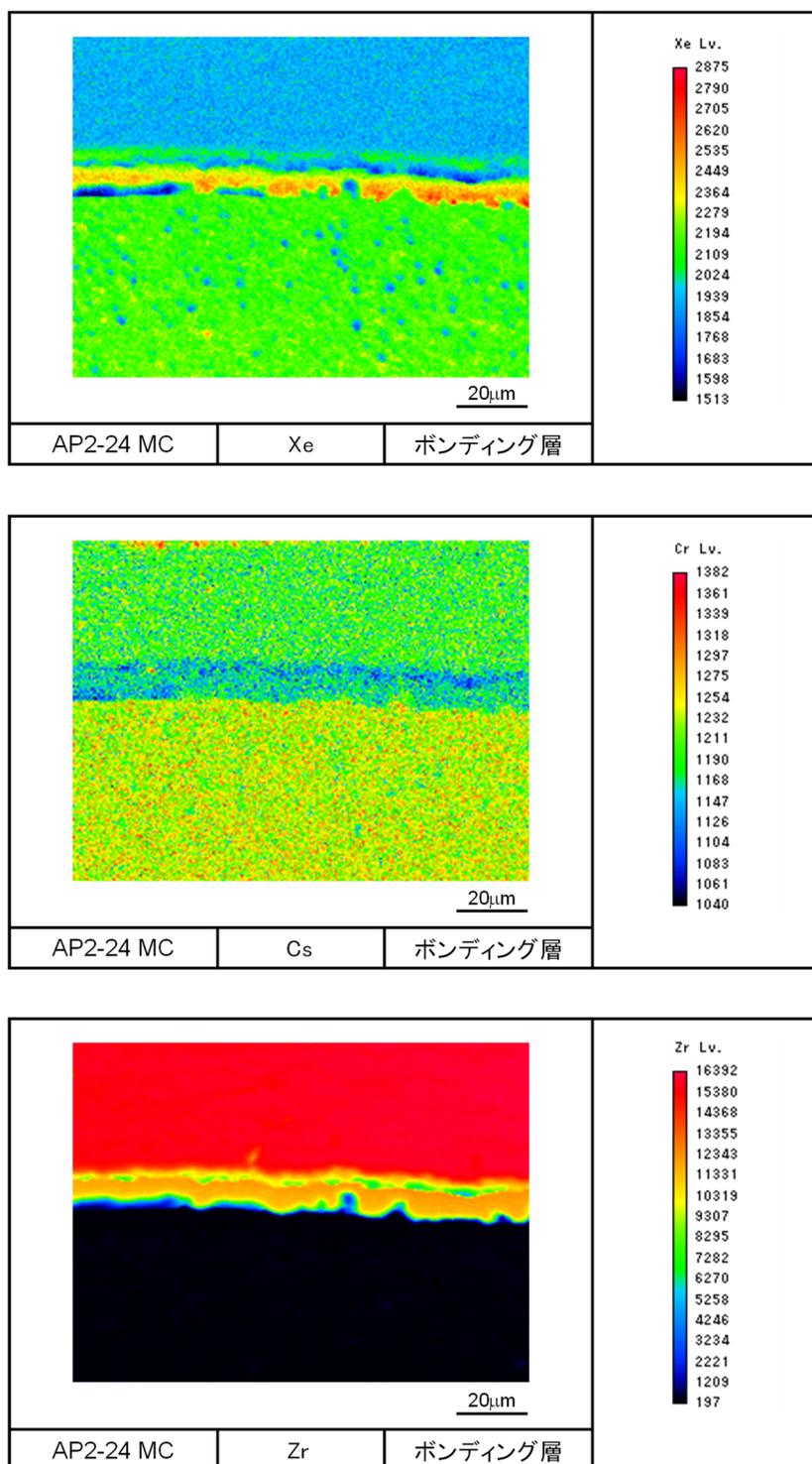


図 4.1.3-5(2) レファレンス試料のペレット SEM 観察及び面分析の結果 (AP2-24 MC、ボンディング層部)