

#### 4.4.2 CN-1 実験に関するパルス照射後試験

平成 30 年 9 月 7 日に、高燃焼度 PWR-MOX 燃料を対象とした室温大気圧実験 CN-1 実験を実施し、パルス照射中の過渡記録及び一部の照射後試験（外観、X線、燃料棒寸法測定、燃料棒γ線スキャンニング、破面 SEM 観察、破損開口部水平断面金相試験）の結果については既に報告した<sup>(1,2,3,4)</sup>。本報告では、新たに取得した照射後試験の結果を示す。

##### (1)燃料被覆管硬度測定（破損開口部水平断面）

図 4.4.2-1 に示す位置の輪切り断面に対して被覆管硬度測定を行った。なお、この面は金相試験を実施した位置と同じである<sup>(4)</sup>。測定は 1.961 N の荷重を 15 s 保持して行い、生じた圧痕の寸法から硬度を算出した。硬度測定位置及び結果をそれぞれ図 4.4.2-2(1)-(6)及び表 4.4.2-1(1)-(5)に示す。

ただし、図 4.4.2-2 に示す番号は硬度測定を実施した順番を示している。図 4.4.2-3 に圧痕の例を示す。

##### (2)燃料破損開口部水平断面の燃料ペレット SEM/EPMA

硬度測定と同じ輪切り断面において SEM (Scanning Electron Microscope) 及び EPMA (Electron Probe Micro Analysis) による観察・分析を行った。SEM 及び EPMA の測定条件を表 4.4.2-2 に示す。SEM による観察位置の全体写真を図 4.4.2-4 に示す。

方位 $\sim 0^\circ$ （破損開口部近傍の方位）、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$ における燃料ペレット最外周部 $\sim$ 外周部領域の SEM 写真をそれぞれ図 4.4.2-5(1)-(4)に示す。方位 $\sim 0^\circ$ （破損開口部近傍の方位）から方位 $\sim 180^\circ$ のペレット直径に対して SEM 連続写真を図 4.4.2-6 に示す。さらに、高倍率で撮影したペレット SEM 写真を図 4.4.2-7(1)(2)に示す。

方位 $\sim 0^\circ$ のペレット最外周からペレット中心にかけての U、Pu、Nd、Xe 及び Cs に関する面分析の測定位置を図 4.4.2-8 に示す。同分析結果について、ペレット最外周部 $\sim$ ペレット中心部にかけて核種ごとにカラースケールを統一したものを図 4.4.2-9(1)(2)(3)に、さらに各領域（最外周 $\sim$ 中心部）においてカラースケールを調整したものを図 4.4.2-10(1)-(14)に示す。方位 $\sim 0^\circ$ から $\sim 180^\circ$ のペレット直径に対して実施した線分析の測定位置を図 4.4.2-8 に、バックグラウンド補正前、補正後それぞれの線分析の結果を図 4.4.2-11(1)-(5)に示す。補正前データのバックグラウンドが方位 $\sim 0^\circ$ から方位 $\sim 180^\circ$ にかけて概ね一次関数的に増加していることから、補正前データから一次関数で評価したバックグラウンドを引いて補正を行った。補正後、相対強度の平均値が 1 になるように規格化した結果を図 4.4.2-12 に示す。Cs の相対強度に所々ピークが見られるのは、ホットセル内のコンタミに由来すると考えられる。面分析（において、Nd、Xe、Cs については従来の測定で観察された Pu スポットにおける局所的な燃焼度増加及び FP ガス放出等に対応する変化<sup>(10)</sup>があまり見られないもしくは小さいが、本測定時の試料厚さは実施工程上の都合等により従来測定時の倍以上の厚さであったことからバックグラウンドの影響が大きくなり SN 比が小さくなった可能性がある。

また、ピーク/バックグラウンド比が小さい元素（特に Nd、Xe、Cs）については方位 $\sim 0^\circ$ のペレット外周部から中心にかけてなだらかな強度の増加がみられる（図 4.4.2-9(3)）が、線分析の結果（図 4.4.2-11(3)(4)(5)）からも観察されるとおり、方位 $\sim 0^\circ$ のペレット外周部から中心にかけてバックグラウンドが増加しているためその影響を受けている可能性があることに注意が必要である。

表 4.4.2-1(1) 硬度測定結果（開口部  $90^\circ$  側）

		No.	硬度(HV)
開口部 $90^\circ$ 側	開口部	1	211.655
		2	213.612
		3	209.744
		4	210.702
		5	211.666
		6	205.053
		7	208.792
	開口部 近傍	8	204.144
		9	202.323
		10	210.699
		11	207.85
		12	206.914
		13	211.666
		14	205.061
		15	206.914
		16	205.982
		17	202.325
		18	202.325
		19	204.146
		20	205.99

表 4.4.2-1(2) 硬度測定結果 (開口部 270° 側)

	No.	硬度(HV)
開口部 270°側	1	231.289
	2	219.612
	3	226.942
	4	228.061
	5	219.653
	6	222.731
	7	223.783
	8	208.833
	9	223.792
	10	225.902
	11	220.671
	12	226.979
	13	205.09

表 4.4.2-1(3) 硬度測定結果 (90° )

	No.	硬度(HV)
90°	1	230.232
	2	230.232
	3	217.621
	4	221.711
	5	223.789
	6	228.057
	7	217.618
	8	223.792
	9	222.746
	10	228.057
	11	224.844
	12	220.674
	13	222.746

表 4. 4. 2-1(4) 硬度測定結果 (180° )

	No.	硬度(HV)
180°	1	215.588
	2	219.624
	3	202.32
	4	216.59
	5	211.672
	6	216.593
	7	218.604
	8	202.325
	9	218.604
	10	213.621
	11	219.615
	12	223.767
	13	205.061

表 4. 4. 2-1(5) 硬度測定結果 (270° )

	No.	硬度(HV)
270°	1	204.173
	2	206.014
	3	201.455
	4	209.777
	5	197.913
	6	208.828
	7	217.615
	8	204.173
	9	210.738
	10	203.264
	11	206.011
	12	205.09
	13	198.791

表 4. 4. 2-2 SEM 及び EPMA の測定条件

	SEM	EPMA	
		線分析	面分析
加速電圧 (kV)	20	20	20
照射電流 (A)	$3.0 \times 10^{-10}$	$5.0 \times 10^{-8}$	$5.0 \times 10^{-8}$
分析間隔 ( $\mu\text{m}$ )	—	5	3.5
分析時間 (ms)	—	1000	100

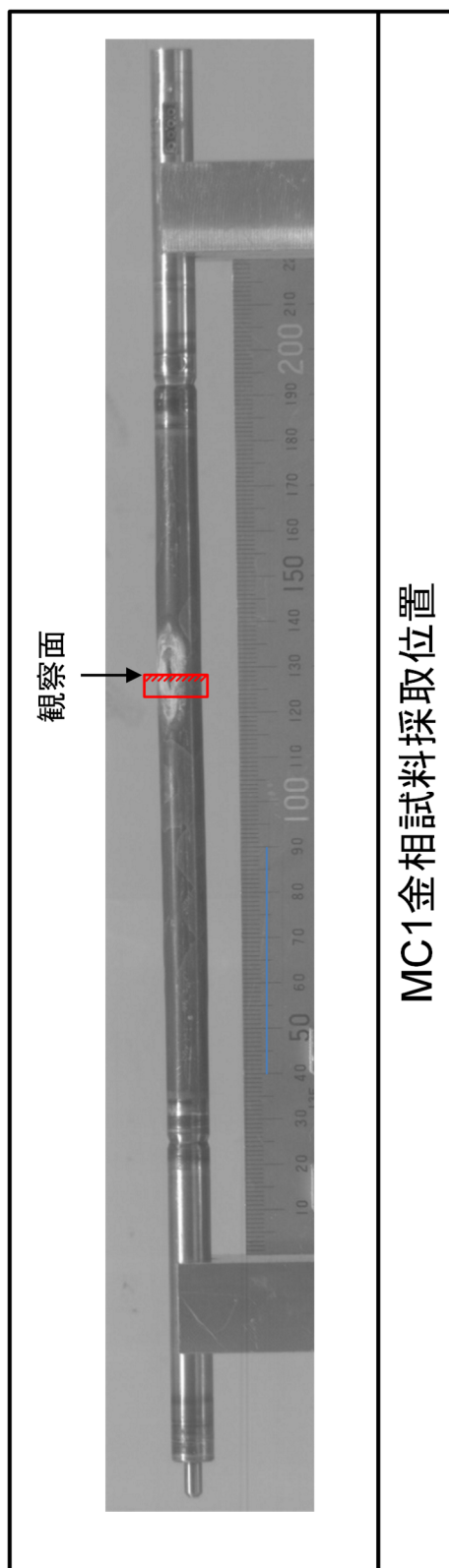


図 4.4.2-1 金相試験試料（被覆管硬度測定試料）採取位置

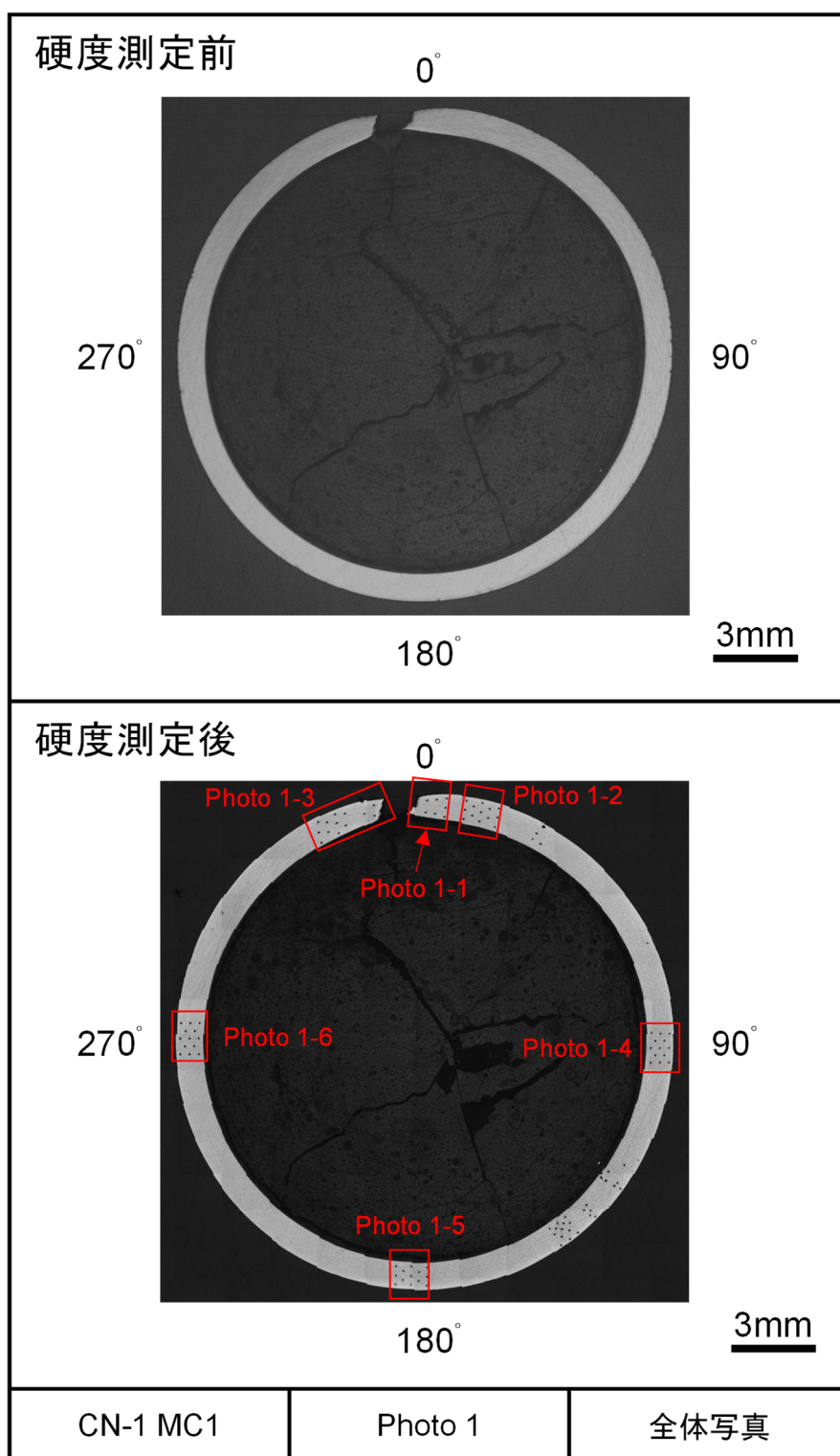


图 4.4.2-2(1) CN-1 被覆管硬度測定位置 (全体写真)

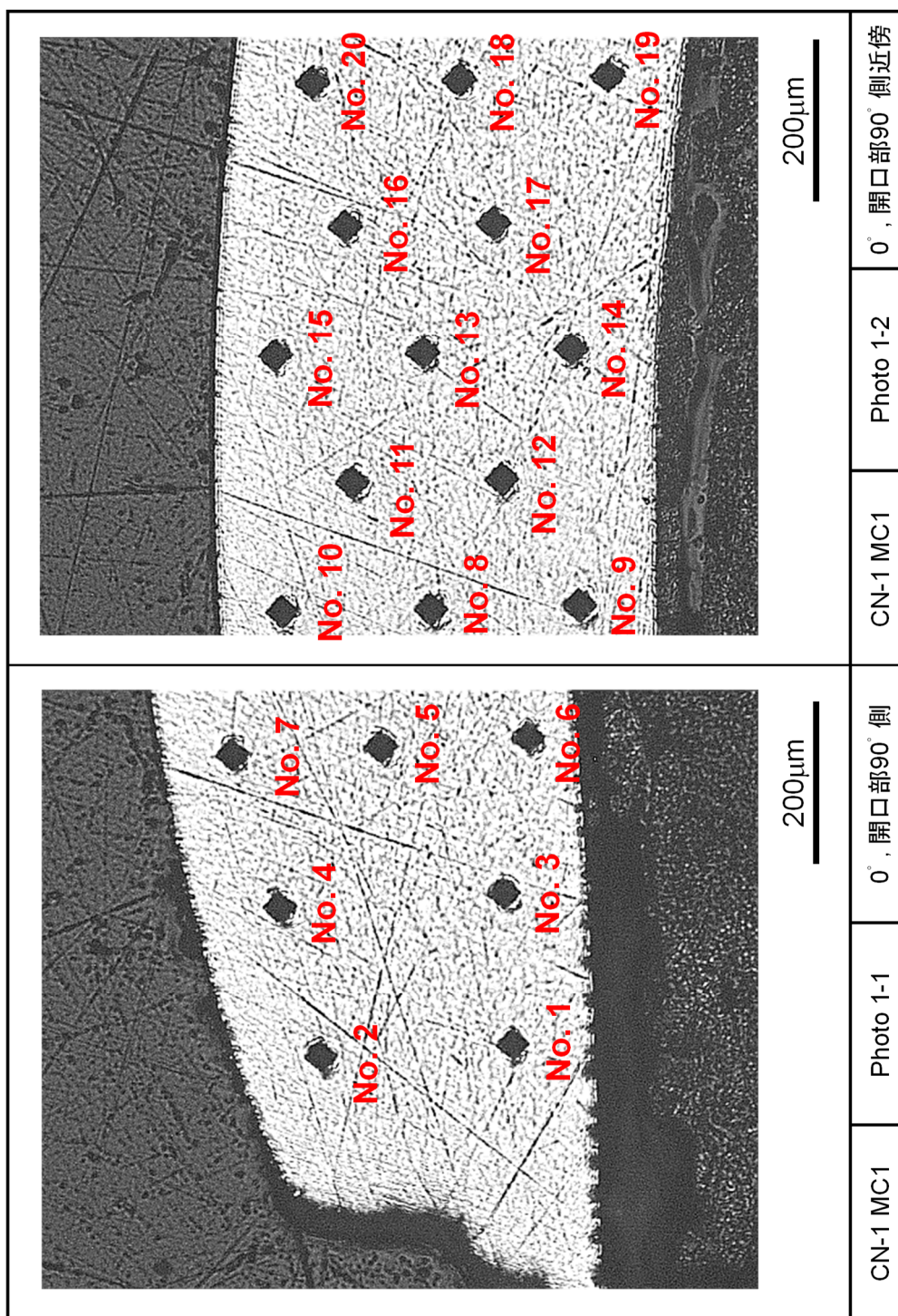


図 4.4.2-2(2) CN-1 被覆管硬度測定位置 (開口部 90° 側)

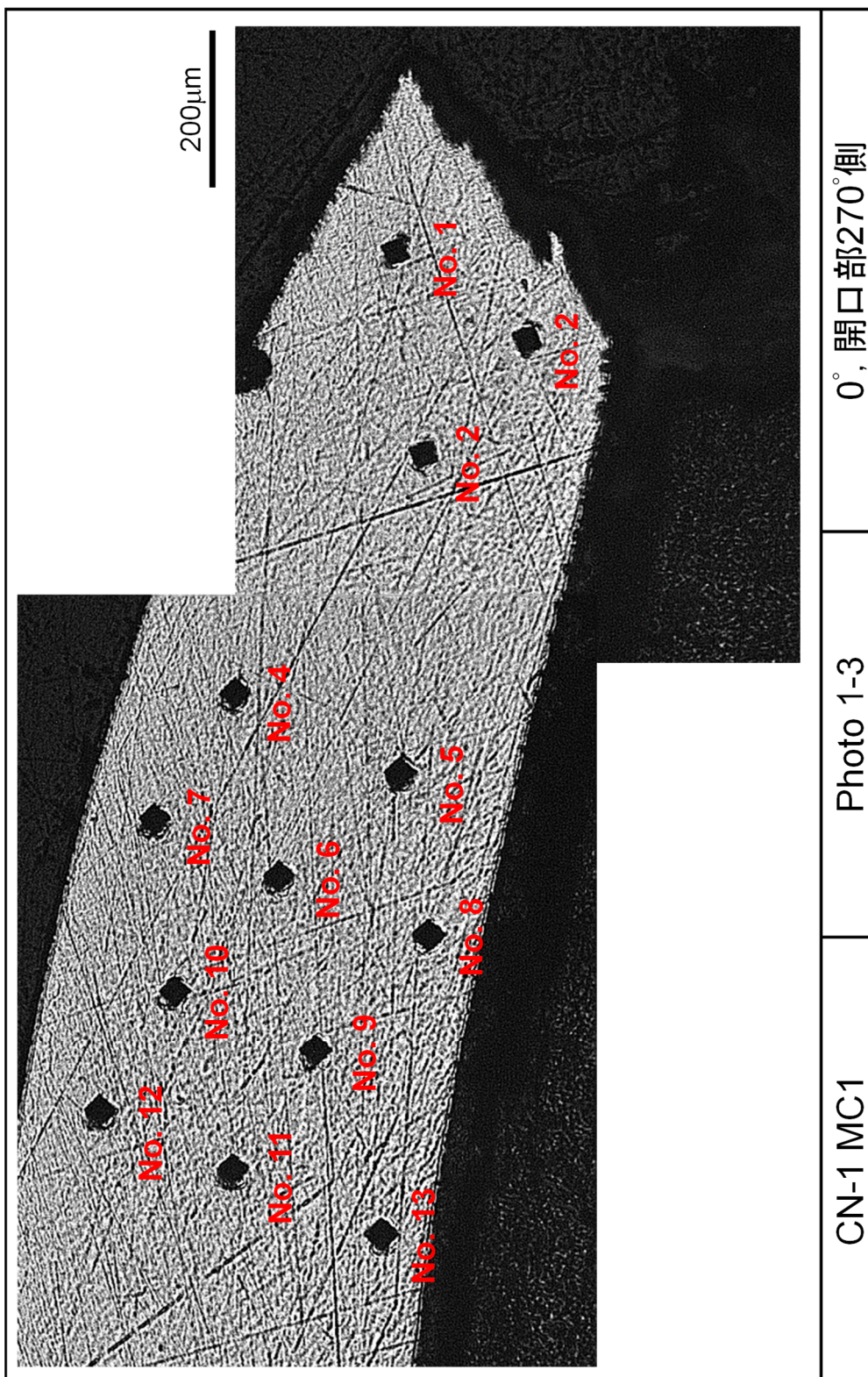


図 4.4.2-2(3) CN-1 被覆管硬度測定位置 (開口部 270° 側)



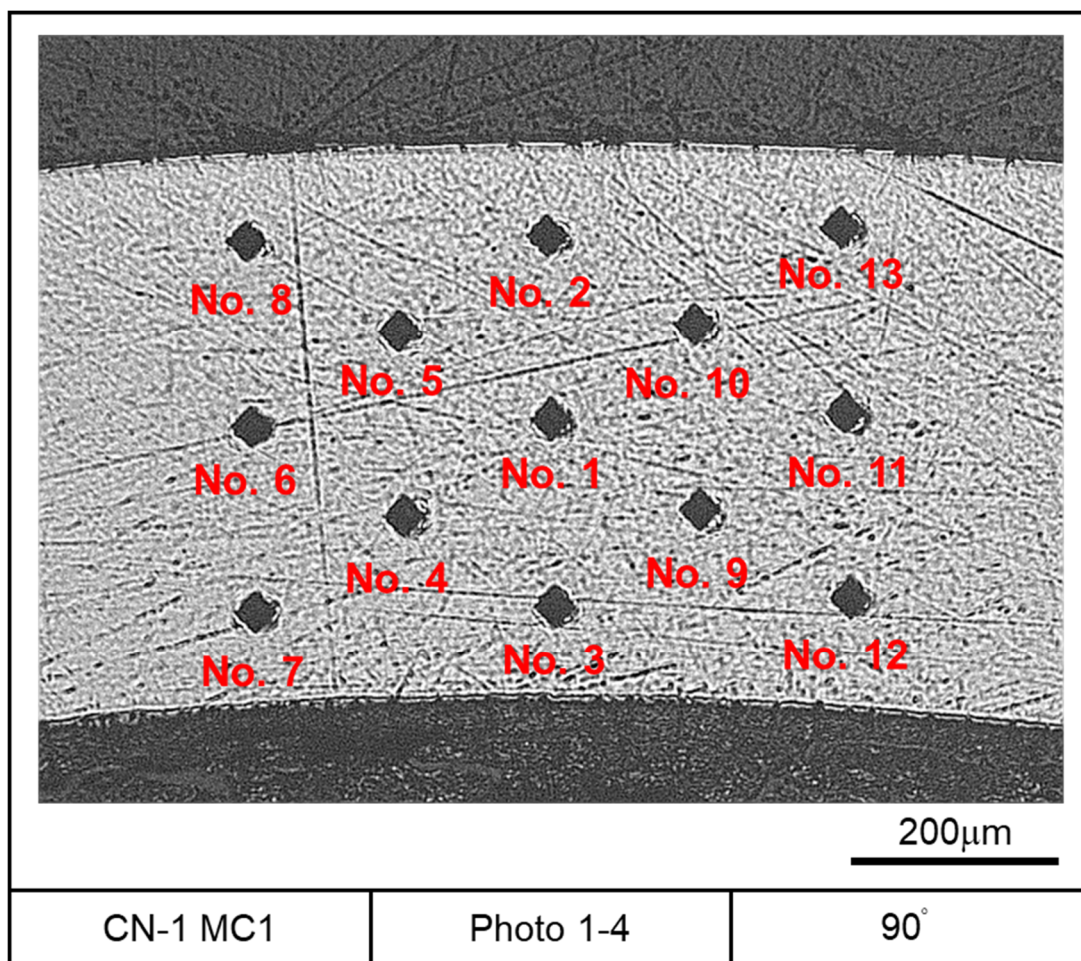


图 4.4.2-2(4) CN-1 被覆管硬度測定位置 (90° )

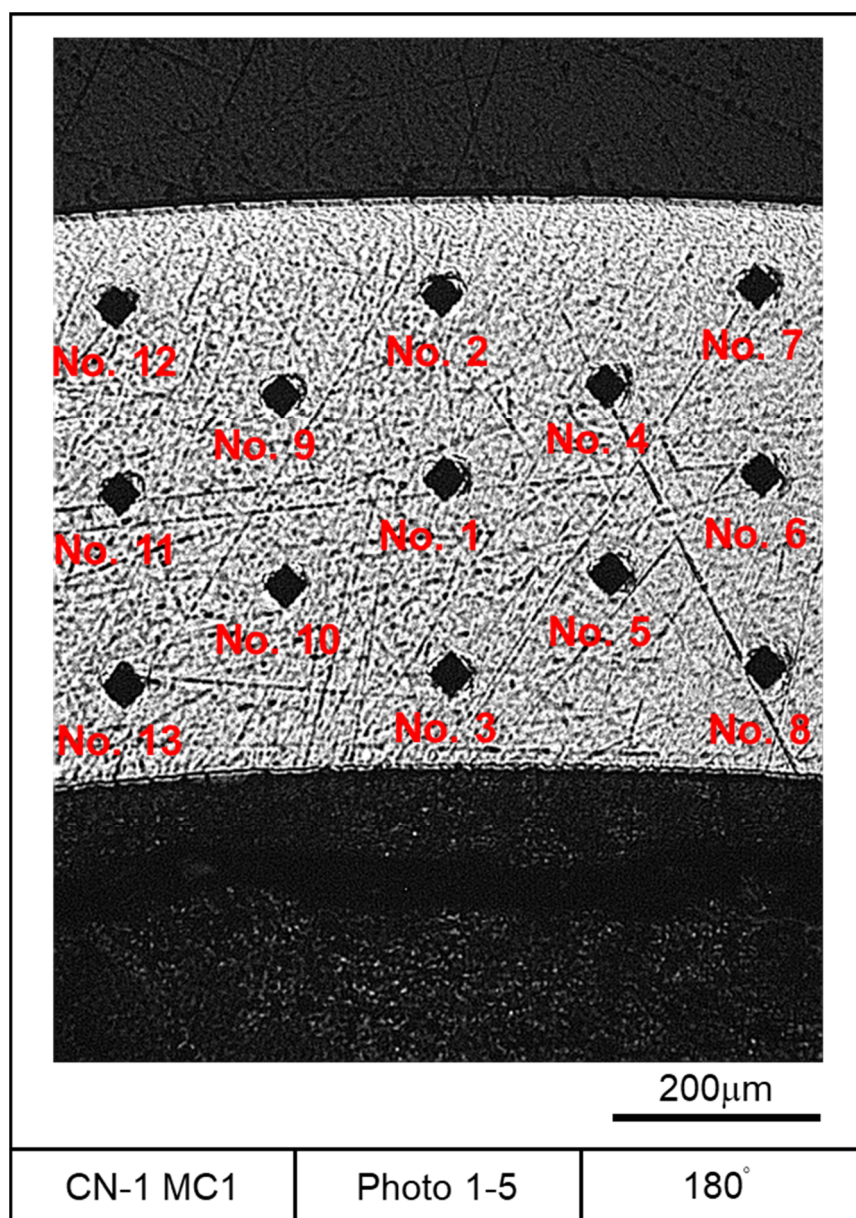


图 4.4.2-2(5) CN-1 被覆管硬度測定位置 (開口部 180° )

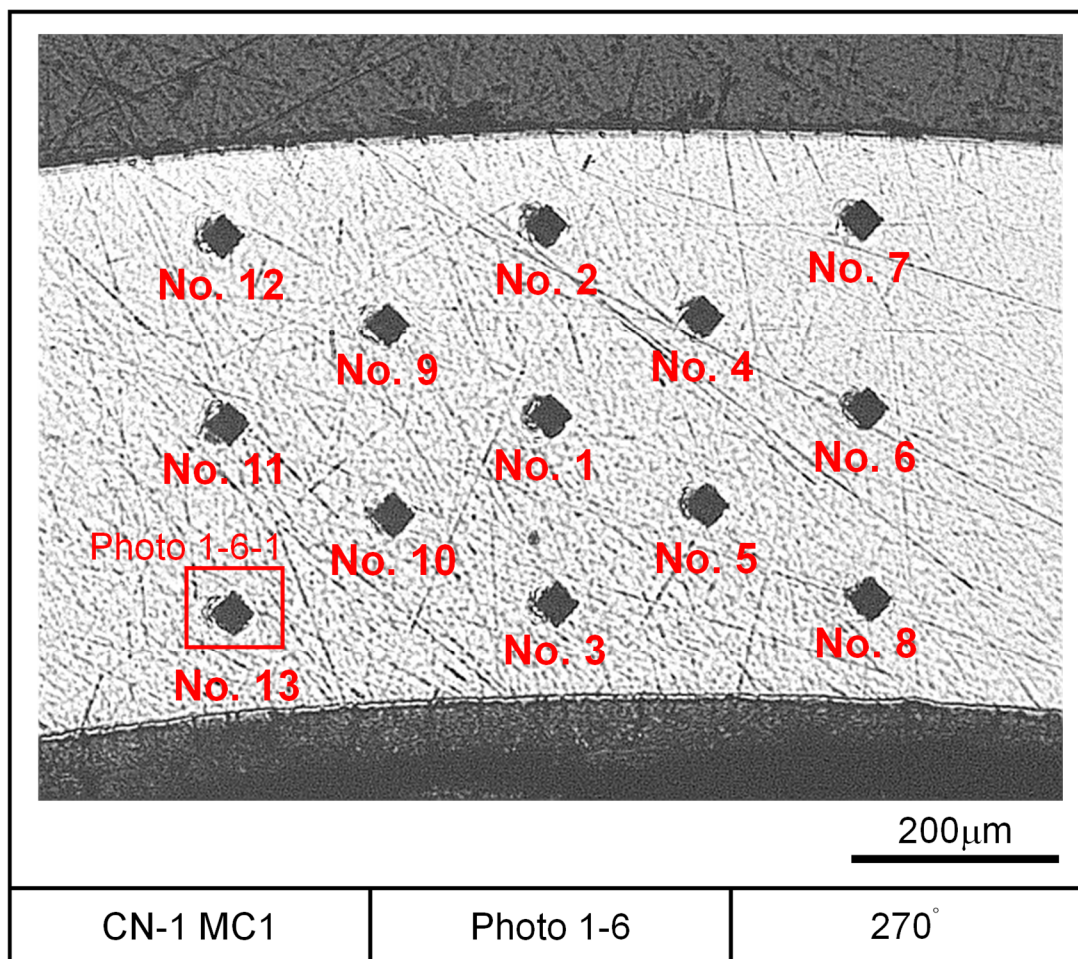


図 4.4.2-2(6) CN-1 被覆管硬度測定位置 (開口部 270° 側)

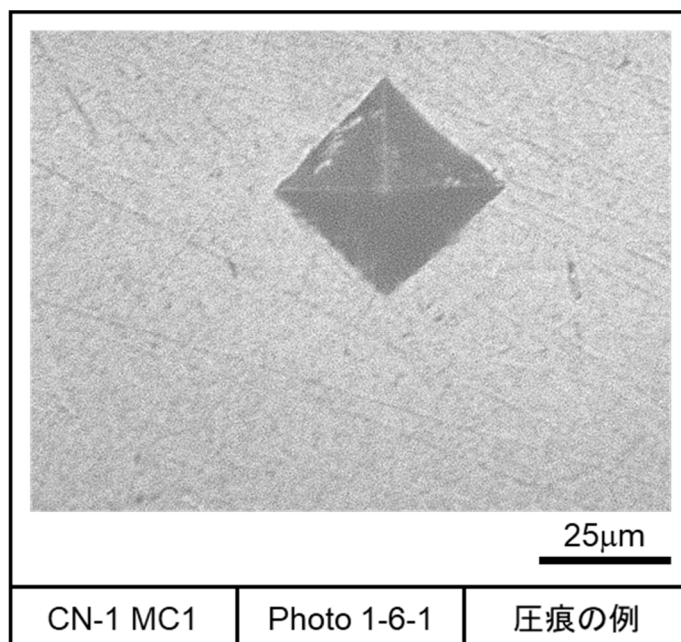


図 4.4.2-3 CN-1 被覆管硬度測定の際の圧痕の例

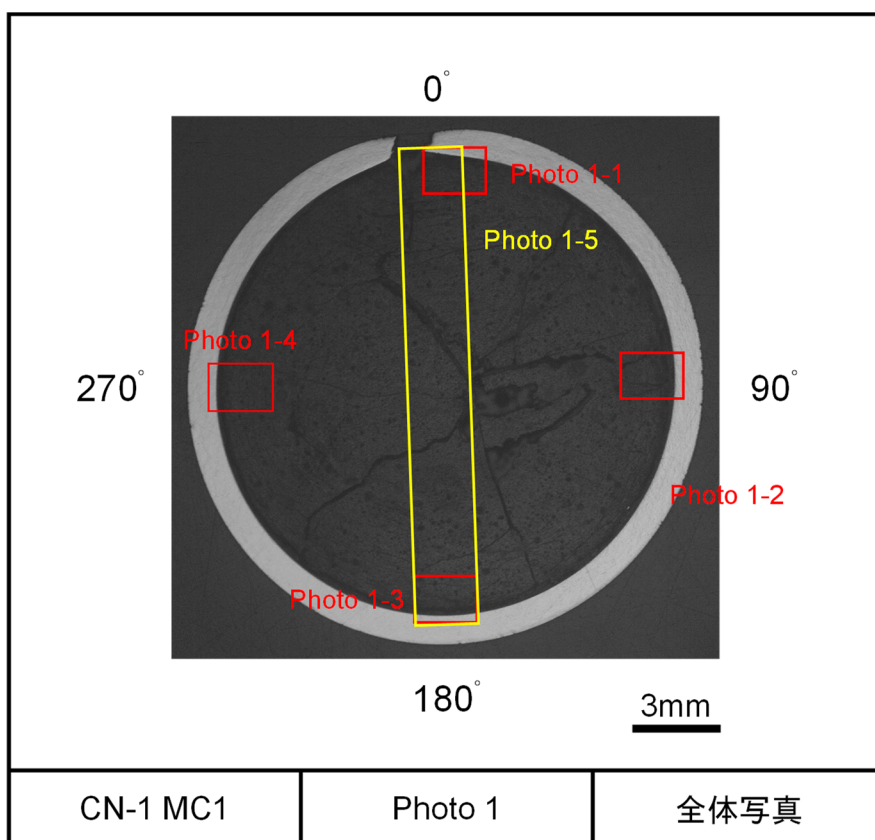


図 4.4.2-4 CN-1 燃料ペレット SEM 観察位置(全体写真)

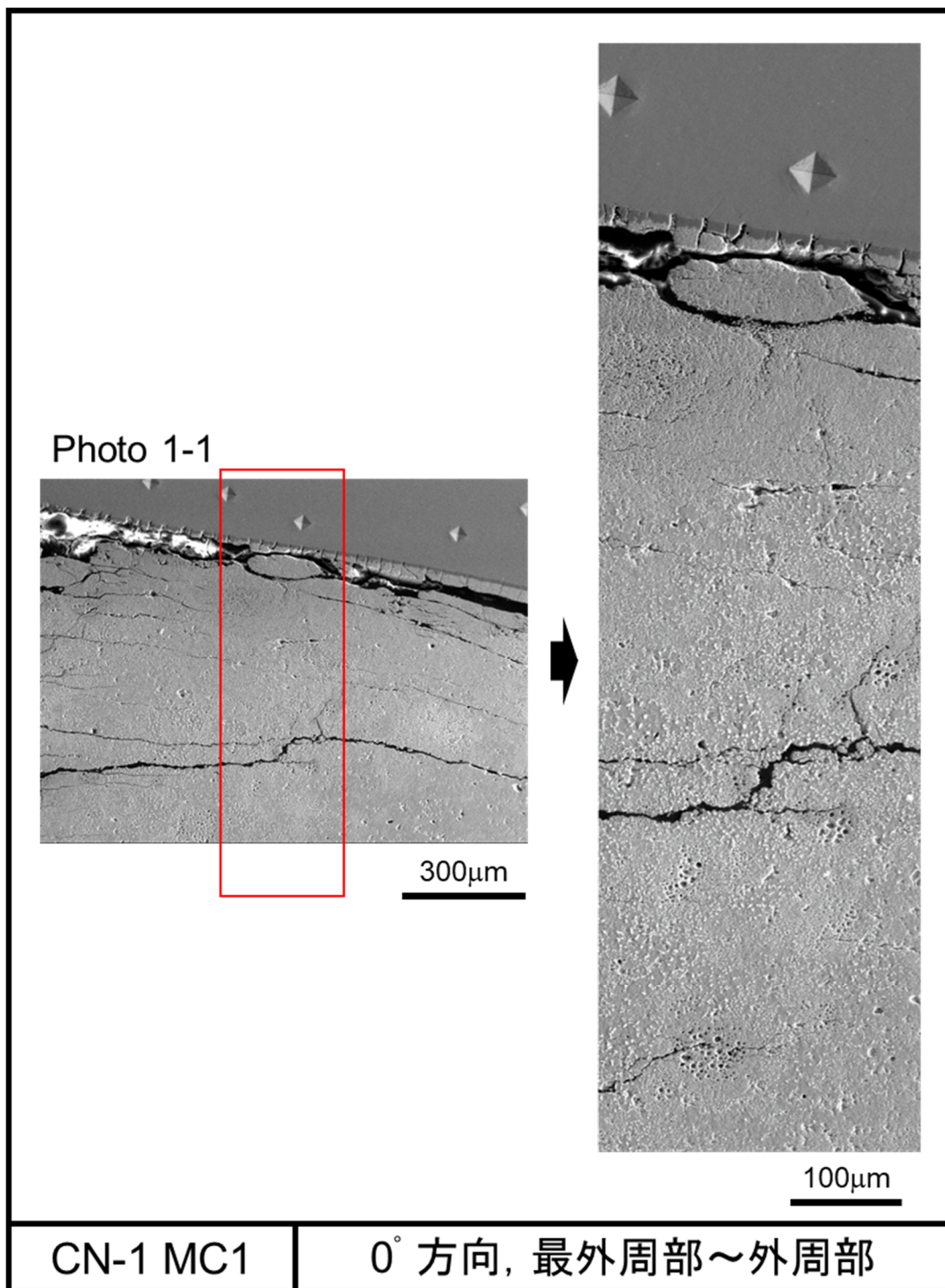


図 4.4.2-5(1) 燃料ペレット最外周部～外周部における SEM 写真 (0°方向)

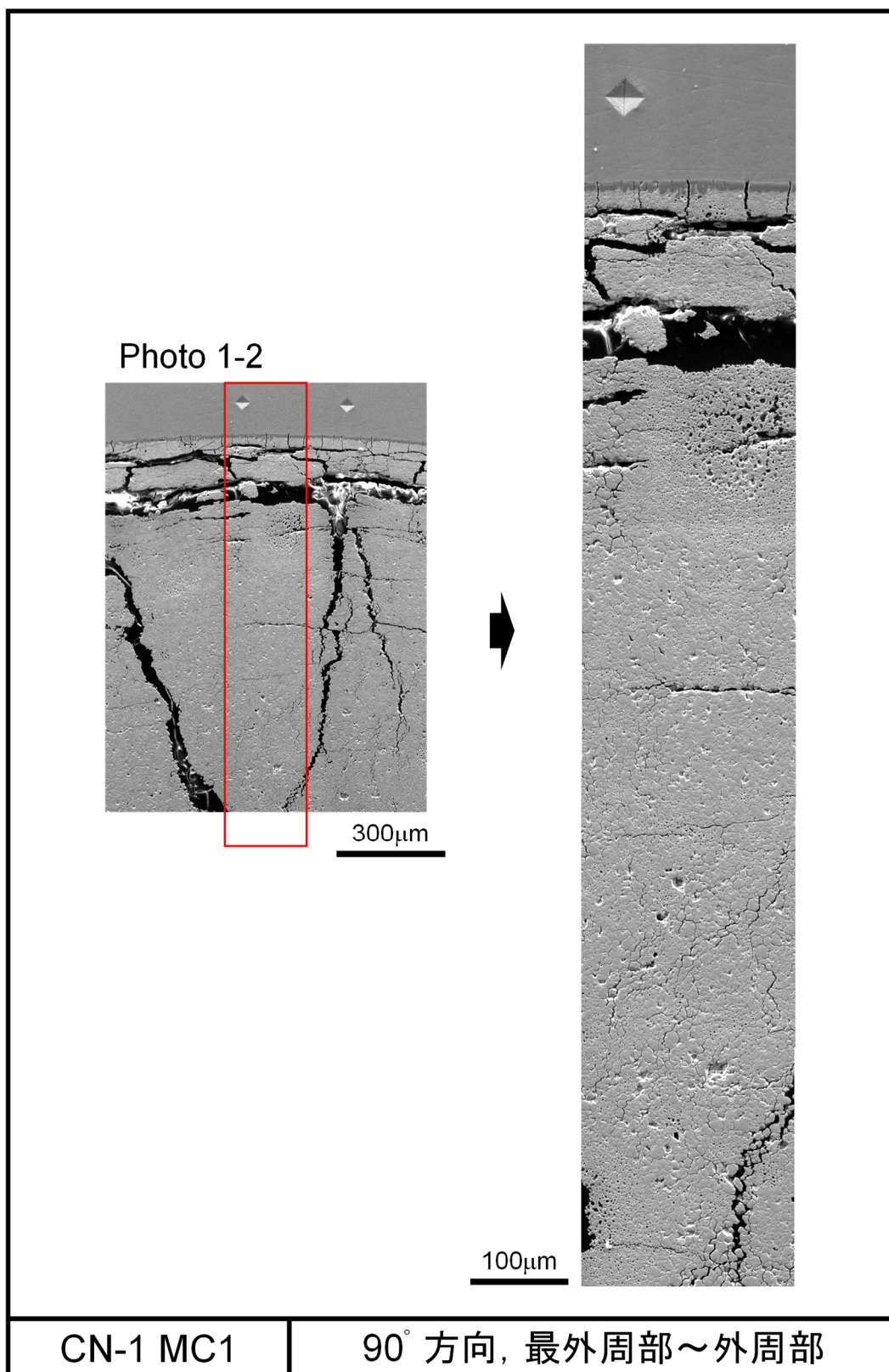


図 4.4.2-5(2) 燃料ペレット最外周部～外周部における SEM 写真 (90°方向)

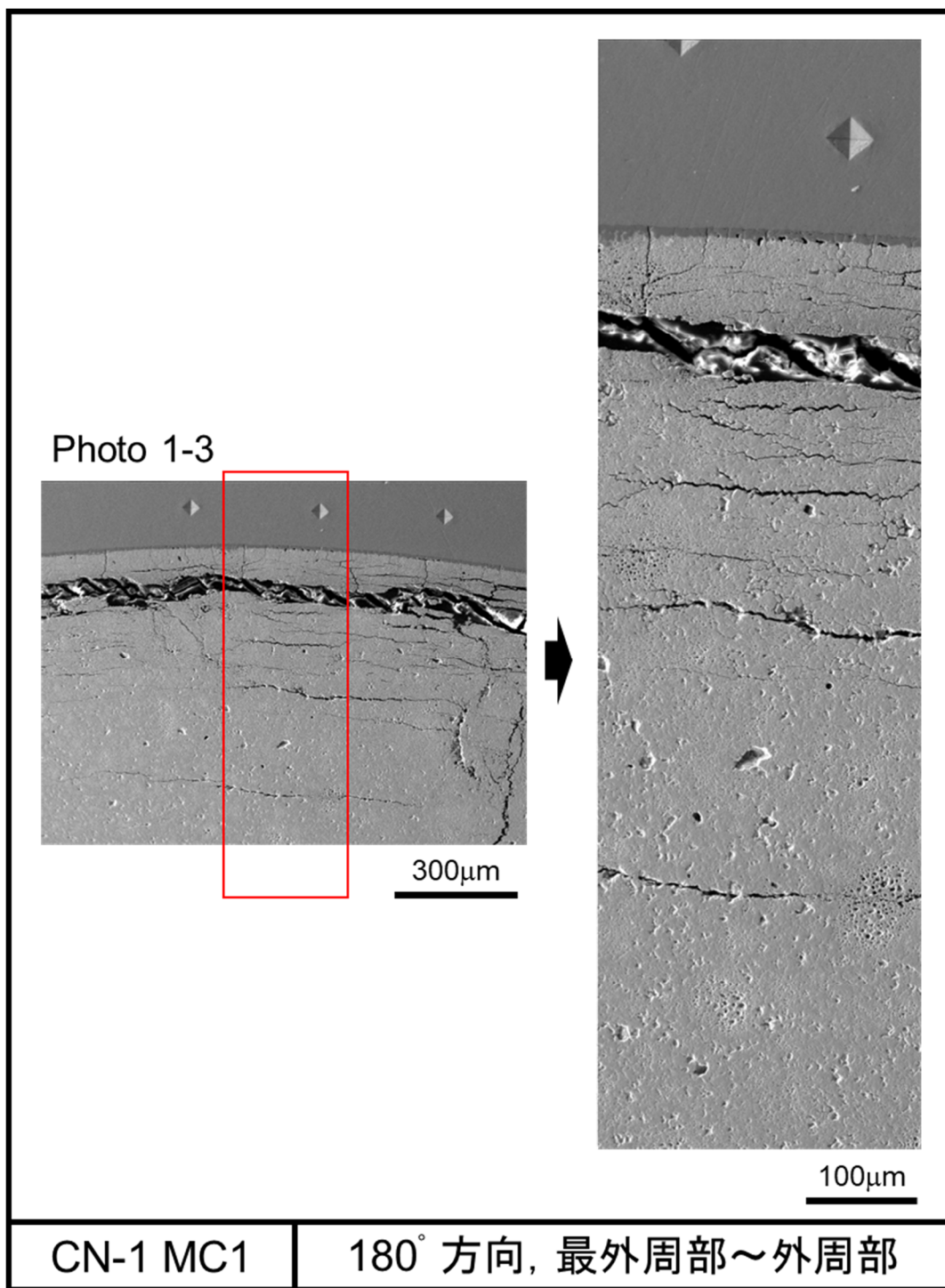


図 4.4.2-5(3) 燃料ペレット最外周部～外周部における SEM 写真 (180°方向)

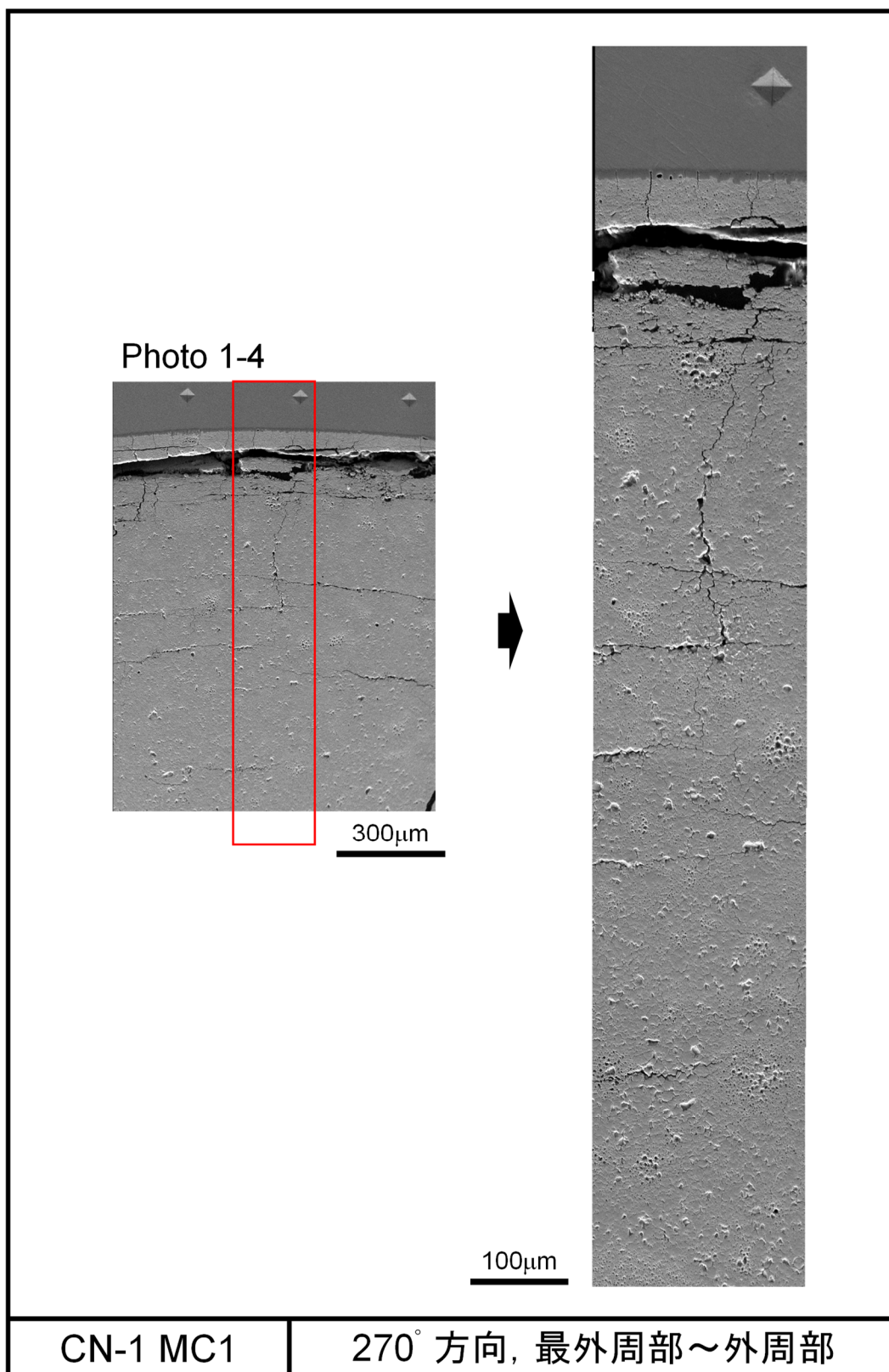


図 4.4.2-5(4) 燃料ペレット最外周部～外周部における SEM 写真 (270°方向)



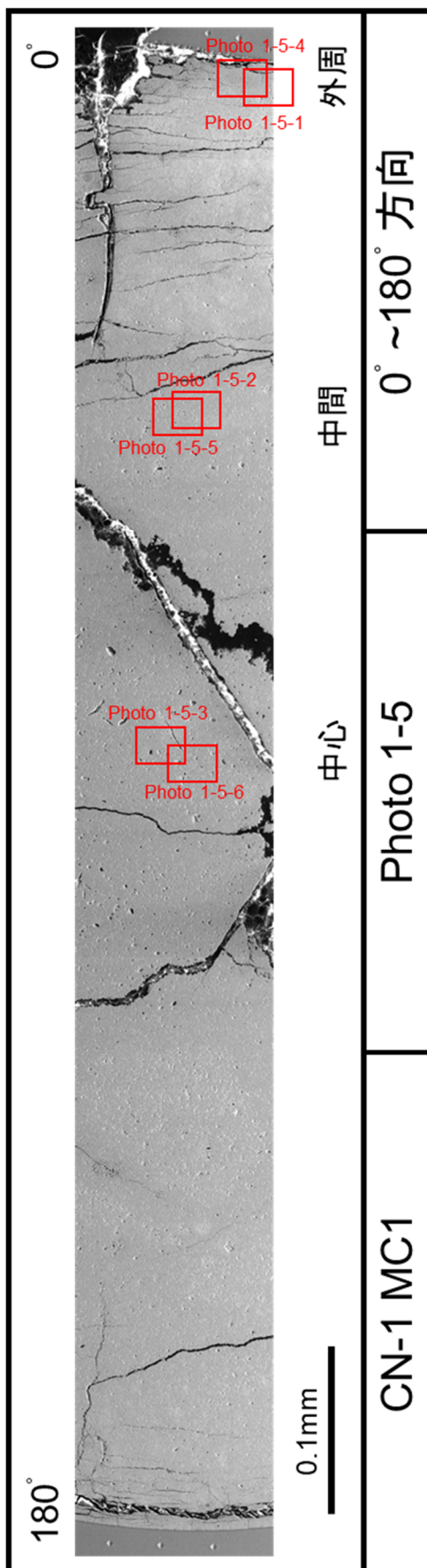


図 4.4.2-6 SEM 連続写真

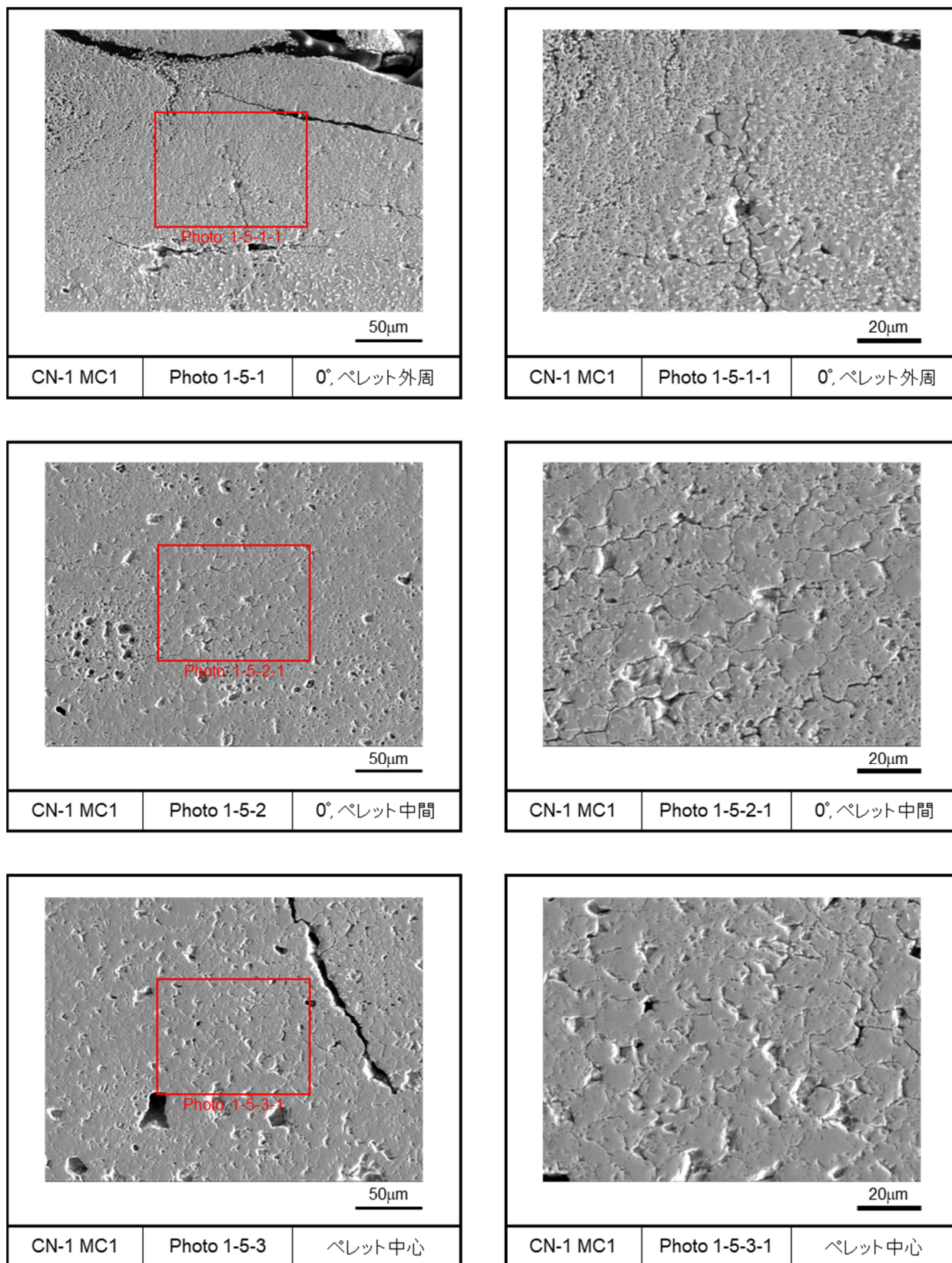


図 4.4.2-7(1) ペレット外周部、中間部、中心部における SEM 写真 (0°方向-ペレット中心部)

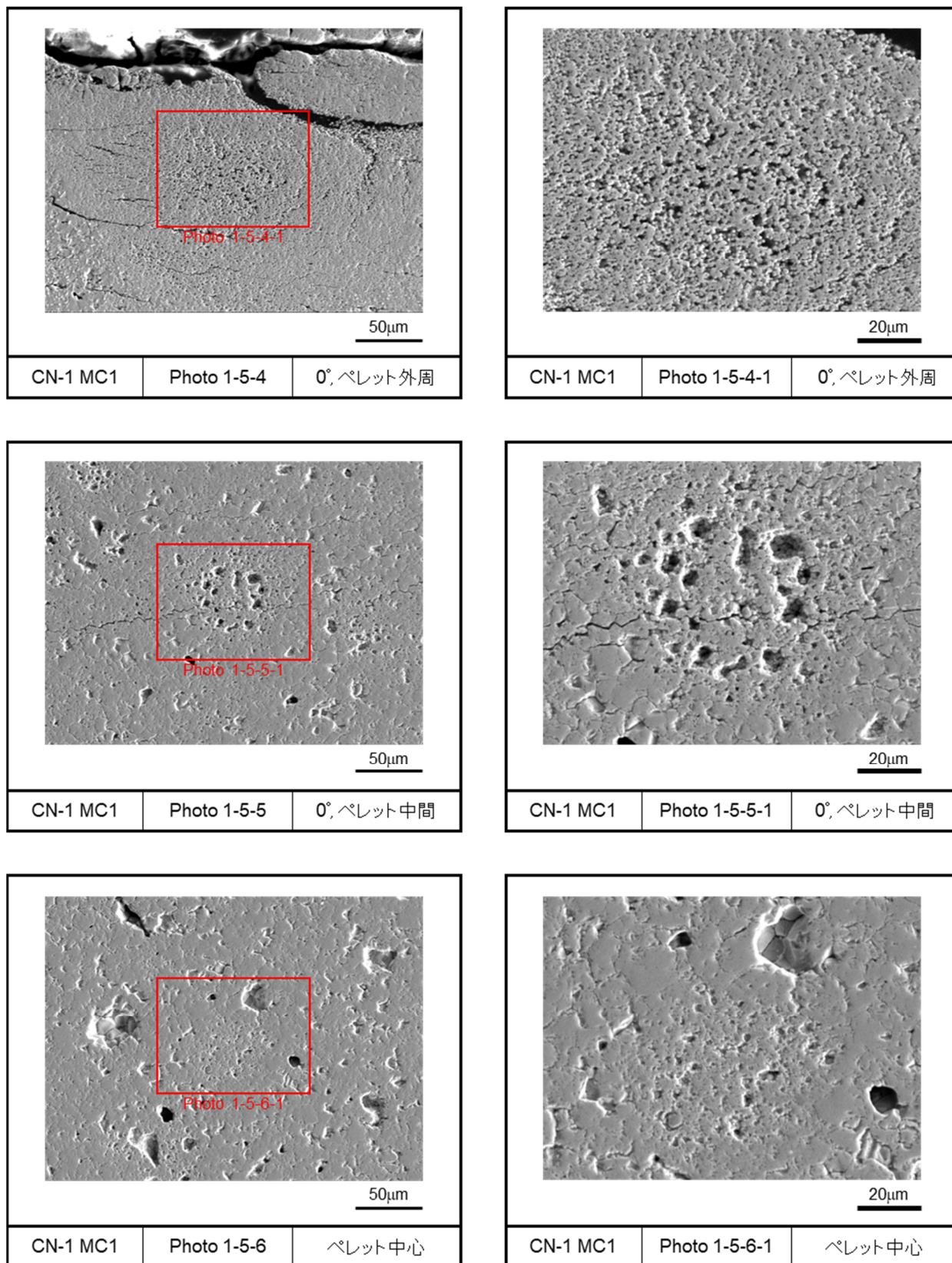


図 4.4.2-7(2) ペレット外周部、中間部、中心部における SEM 写真 (0°方向-ペレット中心部)

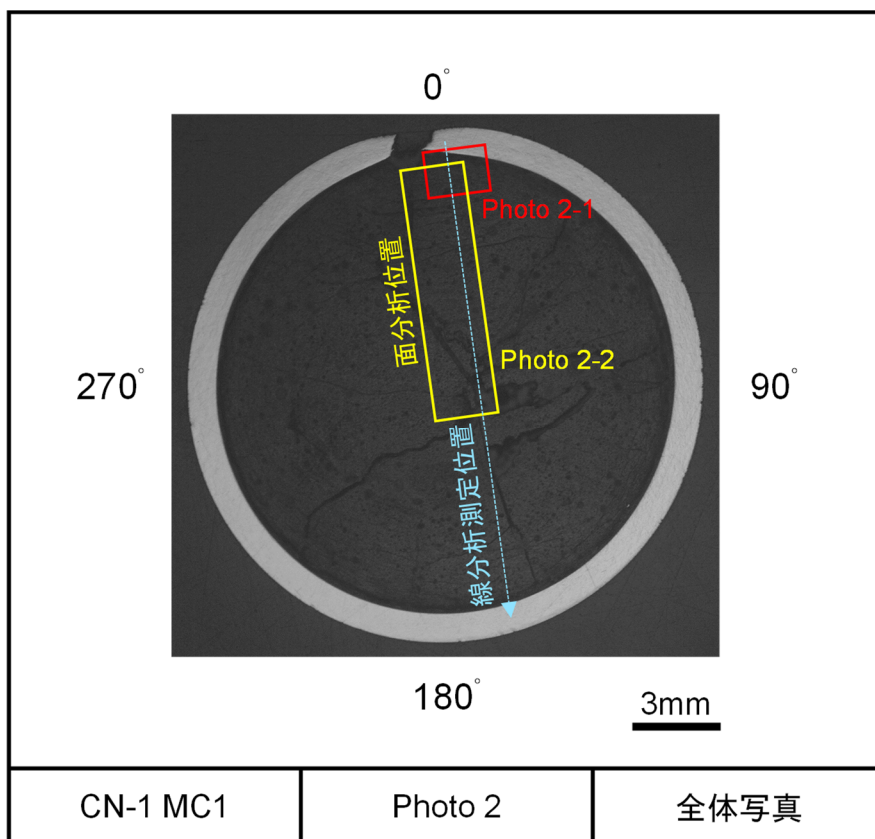


図 4.4.2-8 CN-1 燃料ペレット EPMA 位置(全体写真)