

志賀原子力発電所2号炉 敷地の地質・地質構造について

敷地内断層の活動性評価
(コメント回答)

2020年7月1日
北陸電力株式会社

余白

はじめに

○ 本日は、敷地内断層のうち、現段階において評価対象断層として選定することが確定している敷地(陸域)の6本の断層(S-1, S-2・S-6, S-4, S-5, S-7, S-8)及び敷地(海岸部)の3本の断層(K-2, K-3, K-14)の活動性評価について説明を行う。

分類	説明内容	備考
敷地(陸域)	敷地(陸域)の評価対象断層(S-1, S-2・S-6, S-4, S-5, S-7, S-8)の活動性評価	2019年10月25日 第788回審査会合で説明 今回コメント回答
敷地(海岸部)	敷地(海岸部)の評価対象断層の選定	2020年3月13日 第849回審査会合で説明 次回以降コメント回答
	敷地(海岸部)の評価対象断層(K-2, K-3, K-14)の活動性評価	今回説明

敷地の地質・地質構造に関するコメント一覧(未回答分)

区分	No.	コメント			回答	備考
		開催回	日付	内容		
活動性評価(K-2, K-3)	63	第597回	2018.7.6	K-2, K-3の活動性について、後期更新世以降の活動を明確に否定する証拠を示すこと。	今回説明	
活動性評価(K-2, K-3)	65	第597回	2018.7.6	K-2について、岩石が延性的に変形したとしており、これは高温環境と考えられるが、一方でアルバイト化はしておらず、高温環境でないとして評価している。変形の形態についても詳細な観察を行い、温度環境に矛盾がないように説明をすること。	今回説明	
活動性評価(海成段丘堆積物)	80	第788回	2019.10.25	海成堆積物の認定根拠については、定量的に示す等、説明性の向上を図ること。えん堤左岸トレンチについては、石英粒子を含むことを根拠として用いるならば、根拠の妥当性について説明すること。	今回説明	
活動性評価(鈹物脈)	81	第788回	2019.10.25	XRD分析結果について、試料採取部の状況や試料調整等のプロセスを示し、鈹物脈との関係について考察すること。	今回説明	
活動性評価(鈹物脈)	82	第788回	2019.10.25	粘土鈹物(I/S混合層)の判定に、EPMA分析で得られた分析値を用いるにあたっては、分析位置、分析値の妥当性についても考察すること。	今回説明	
活動性評価(鈹物脈)	83	第788回	2019.10.25	粘土鈹物のEPMA分析値の中には、一般的な粘土鈹物に比べてアルやFeの値が大きいものもあることから、分析値が示す意味について考察すること。なお、Feのマッピングが示されていないため、追加で示すこと。	今回説明	
活動性評価(鈹物脈)	84	第788回	2019.10.25	断層ごとに鈹物脈で見られる変質鈹物に違いがあるかを確認するために、変質鈹物の分析結果を断層間で比較し、考察すること。	今回説明	
活動性評価(鈹物脈)	85	第788回	2019.10.25	鈹物脈法の評価において、最新面を明確に特定できない場合は、最新面の可能性のあるものについて、鈹物脈との関係を説明すること。	今回説明	
活動性評価(鈹物脈)	86	第788回	2019.10.25	断層破砕部や粘土鈹物の形成プロセスを模式図等で示すこと。	今回説明	
活動性評価(鈹物脈)	87	第788回	2019.10.25	碎屑岩脈については、形成過程も含め、検討状況について説明すること。	今回説明	
活動性評価(鈹物脈)	88	第788回	2019.10.25	顕微鏡観察においては、鈹物の消光状況を確認したことがわかる顕微鏡写真を提示すること。	今回説明	
活動性評価(S-1)	89	第788回	2019.10.25	S-1北西部の活動性評価を確実にを行うため、旧A・Bトレンチよりも海側における明確な物証も加え、評価を行うこと。	今回説明	
活動性評価(S-4)	90	第788回	2019.10.25	35m盤トレンチの堆積物は、他の箇所と比べて厚さが薄いこと等から、周辺の分布状況も示した上で、上載地層としての妥当性について説明すること。	今回説明	
活動性評価(S-4)	91	第788回	2019.10.25	35m盤トレンチで確認されたS-4に斜交する断層の評価については、上載地層との関係やS-4との交差部の状況の拡大写真等を示し、説明すること。	今回説明	
活動性評価(S-5)	92	第788回	2019.10.25	S-5の過去の調査では粘土状破砕部が認められていることから、今回取得した薄片観察結果との整合性について、調査地点の妥当性も含め、説明すること。	今回説明	
評価対象断層の選定	93	第849回	2020.3.13	K-2, K-16の分岐部については主部との離隔もあること、また、破砕部Ⅰ, Ⅱ, Ⅳについては取水路に分布するものもあることから、それぞれ個別の断層として扱い、選定手順に基づき評価対象断層とするか否かについて検討すること。		次回以降説明予定
評価対象断層の選定	94	第849回	2020.3.13	取水路に分布しないと評価している断層のうち、K-17, K-18, K-20, K-21について、調査位置が取水路位置から離隔していることによる不確かさも考慮し、これらが取水路に分布する断層か否かを判断すること。		次回以降説明予定
評価対象断層の選定	95	第849回	2020.3.13	K-4, K-5及びK-2の分岐部(破砕部B)の深部方向における断層配置や切断関係について整理し、説明すること。		次回以降説明予定
評価対象断層の選定	96	第849回	2020.3.13	系統区分のⅡ・逆系において、西傾斜と東傾斜で連続性等の分布の特徴が異なることから、傾斜方向も加味して別の系統として区分するか、もしくは、同系統として区分する妥当性について説明すること。		次回以降説明予定
全般	97	第849回	2020.3.13	過去に提示しているボーリング柱状図のうち、S-1の深部方向のボーリングなどこれまでの審査会合においてデータ集として添付していないものについては、データ集として提出すること。	今回説明	
全般	98	第849回	2020.3.13	過去のシーム調査時からの変更点など柱状図の記載内容の変遷について、記載すること。	今回説明	

コメント回答の概要(1/2)

No	コメント	回答概要	記載頁
63	K-2, K-3の活動性について、後期更新世以降の活動を明確に否定する証拠を示すこと。	<ul style="list-style-type: none"> ・K-2について、オパールCT(少なくとも後期更新世以降に生成されたものではないと評価した変質鉱物)が最新面及び最新ゾーン全体を横断して分布し、横断箇所に変位・変形は認められないことを示した。 ・K-3について、最新ゾーンは固結した破砕部からなり、周辺の固結した破砕部と類似した性状を有し、直線性・連続性のよい面構造が認められないことから、固結した破砕部形成以降(少なくとも後期更新世以降)の活動はないことを示した。 	P.58～74, 106～115
65	K-2について、岩石が延性的に変形したとしており、これは高温環境と考えられるが、一方でアルバイト化はしておらず、高温環境でないと評価している。変形の形態についても詳細な観察を行い、温度環境に矛盾がないように説明をすること。	<ul style="list-style-type: none"> ・巨視的観察で岩片が延性的に変形している箇所について微視的観察を行った結果、鉱物が破砕され、引きずられて流動する破砕流動が認められた。溝口ほか(2019)では封圧10MPa(深度800m程度)で破砕流動が認められ、この深度は大深度ボーリング孔による温度検層結果によれば、地温約50°Cに相当する。吉村(2001)に示されているアルバイト化(曹長石化)が起こる温度(100°C以上)より低い温度環境であっても、破砕流動により巨視的には延性的な変形が形成されることから、固結した破砕部中の斜長石にアルバイト化が認められないことは矛盾しないことを確認した。 	P.115, 116
80	海成堆積物の認定根拠については、定量的に示す等、説明性の向上を図ること。えん堤左岸トレンチについては、石英粒子を含むことを根拠として用いるならば、根拠の妥当性について説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> ・本地域の海成堆積物と陸成堆積物について、礫の形状に違いが見られることを定量的な指標を用いて確認を行い、それをもとに、上載地層法に関する各調査地点において海成堆積物の認定を行った。 ・えん堤左岸トレンチの堆積物は、これまで石英粒子を含むことから海成堆積物と判断していたが、礫の形状については陸成堆積物との明確な差異が認められなかったことから、海成堆積物として扱わないこととした。 	P.306, 310～336
81	XRD分析結果について、試料採取部の状況や試料調整等のプロセスを示し、鉱物脈との関係について考察すること。	<ul style="list-style-type: none"> ・試料採取部の状況や試料調整のプロセスの詳細を示し、XRD分析(粘土分濃集)を含めた各分析による変質鉱物の評価の考え方を示した。 	P.26, 55, 56
82	粘土鉱物(I/S混合層)の判定に、EPMA分析で得られた分析値を用いるにあたっては、分析位置、分析値の妥当性についても考察すること。	<ul style="list-style-type: none"> ・EPMA分析値の妥当性について、薄片試料全体及び定量分析値を再確認することで、分析値への不純物や変質等の影響を考察し、三角ダイアグラム検討に用いる分析値を再評価した。分析値のうち、二次的な変質による影響が考えられる薄片試料や基準(Totalの値70～90%かつFe₂O₃の値25%未満)を満たさない分析値は三角ダイアグラム検討に用いないこととした。再評価の結果、第788回審査会合時と同様に、敷地の粘土鉱物の分析値はいずれも「I/S混合層」に分類された。 ・各薄片試料のEPMAマッピングの結果にはFeのマッピングも併せて示した。 	P.28, 31～33, 55, 56, 87, 88, 101, 126, 127, 139, 140, 152, 153, 167, 183, 196, 208, 209, 224, 235, 236, 262, 274, 290
83	粘土鉱物のEPMA分析値の中には、一般的な粘土鉱物に比べてアルやFeの値が大きいものもあることから、分析値が示す意味について考察すること。なお、Feのマッピングが示されていないため、追加で示すこと。		
84	断層ごとに鉱物脈で見られる変質鉱物に違いがあるかを確認するために、変質鉱物の分析結果を断層間で比較し、考察すること。	<ul style="list-style-type: none"> ・多くの断層で粘土鉱物(I/S混合層)が認められるため、分析結果を断層間で比較した結果、分析結果に相違がなく、敷地の粘土鉱物は全て結晶構造中にイライト層が数十%混合した「I/S混合層」であると判断される。 	P.29, 30
85	鉱物脈法の評価において、最新面を明確に特定できない場合は、最新面の可能性のあるものについて、鉱物脈との関係を説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> ・直線性・連続性の優劣を付けるのが困難な複数の面が抽出された場合、その全てについて、変質鉱物との関係を確認した。 	P.54, 61, 62, 79, 80, 97, 98, 122, 123, 135, 136, 148, 149, 163, 164, 179, 180, 192, 193, 201, 204, 205, 220, 221, 231, 232, 258, 259, 270, 271, 286, 287
86	断層破砕部や粘土鉱物の形成プロセスを模式図等で示すこと。	<ul style="list-style-type: none"> ・各評価対象断層における薄片観察等の観察事実に基づく新旧関係に加え、参考として用いている各種分析結果も踏まえて敷地における断層活動と変質鉱物の形成プロセスを整理し、模式図で示した。 	P.296～303
87	碎屑岩脈については、形成過程も含め、検討状況について説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> ・碎屑岩脈の分布や内部構造を詳細に観察した結果、碎屑岩脈は地下深部の高封圧下で碎屑物が貫入したものであると判断される。この碎屑岩脈の確認地点(M-12.5"孔)では、約12～13万年前には現在とほぼ同じ低封圧下にあったと判断されることから、碎屑岩脈は少なくとも後期更新世以降に形成されたものではない。 	P.51, 161～174, 300

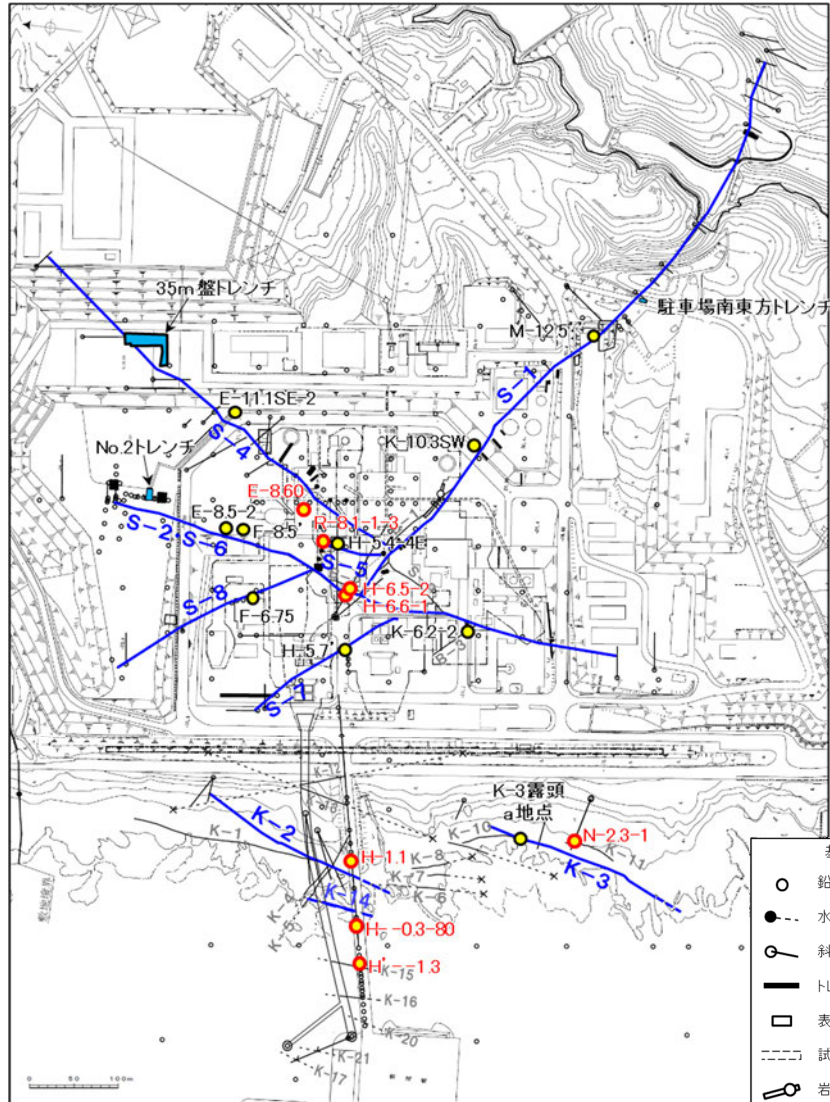
コメント回答の概要(2/2)

No	コメント	回答概要	記載頁
88	顕微鏡観察においては、鉱物の消光状況を確認したことがわかる顕微鏡写真を提示すること。	・鉱物の消光状況を確認したことがわかるように、密な間隔でステージ回転させた顕微鏡写真を示した。	P.64, 70, 72, 74, 82, 92, 94, 104, 130, 132, 143, 145, 157, 160, 187, 189, 200, 213, 215, 228, 240, 243, 245, 265, 278, 281, 294
89	S-1北西部の活動性評価を確実にを行うため、旧A・Bトレンチよりも海側における明確な物証も加え、評価を行うこと。	・旧A・Bトレンチより北西部に位置するH-6.5-2孔及びH-6.6-1孔において、最新面付近には広く粘土鉱物(I/S混合層)が分布し、最新面が不明瞭かつ不連続になっており、不連続箇所粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形は認められないことを示した。	P.120～145
90	35m盤トレンチの堆積物は、他の箇所と比べて厚さが薄いこと等から、周辺の分布状況も示した上で、上載地層としての妥当性について説明すること。	・35m盤トレンチの周辺において、高位段丘 I a面を構成する海成堆積物(H I a段丘堆積物)が広がりをもって分布していることが確認できたことから、35m盤トレンチのH I a段丘堆積物を上載地層法による評価に用いることができると判断した。	P.357～364
91	35m盤トレンチで確認されたS-4に斜交する断層の評価については、上載地層との関係やS-4との交差部の状況の拡大写真等を示し、説明すること。	・S-4に斜交する断層は、底盤においてS-4に沿って見かけ左に約10cm変位しており、それに伴って岩相境界も同様に見かけ左に変位している。 ・さらに、北面において岩盤の上面まで追跡でき、H I a段丘堆積物に変位・変形を与えていない。	P.365～367
92	S-5の過去の調査では粘土状破砕部が認められていることから、今回取得した薄片観察結果との整合性について、調査地点の妥当性も含め、説明すること。	・S-5全体の分布及び性状を整理し、既往調査で粘土状破砕部が認められているS-5浅部において新たな薄片試料(R-8.1-1-3孔)を追加し、鉱物脈法等による評価を行った。その結果、S-5浅部に位置するR-8.1-1-3孔及びS-5深部に位置するH-5.4-4E孔(第788回審査会合で提示したデータ)のいずれの地点においても、S-5に少なくとも後期更新世以降の活動が認められないことを確認した。	P.247～265
97	過去に提示しているボーリング柱状図のうち、S-1の深部方向のボーリングなどこれまでの審査会合においてデータ集として添付していないものについては、データ集として提出すること。	・過去に提示したボーリング柱状図について、データ集に添付した。	データ集1 データ集2 データ集3
98	過去のシーム調査時からの変更点など柱状図の記載内容の変遷について、記載すること。	・柱状図の記載内容の変遷について、データ集に記載した。	データ集1

敷地(陸域・海岸部)の評価対象断層の活動性評価

- 約12~13万年前以前の地層が確認できたS-1, S-2・S-6, S-4について, 上載地層法による評価を実施した。
- 変質鉱物の生成年代に関する詳細な検討を行い, 少なくとも後期更新世以降に生成されたものではないと評価した変質鉱物(イライト/スメクタイト混合層, オパールCT※1, フィリップサイト※1)及び碎屑岩脈を用いて, 全ての評価対象断層に対して, 鉱物脈法等による評価を実施した。

※1:今回, 新たにオパールCT, フィリップサイトを用いて鉱物脈法等による評価を実施した。



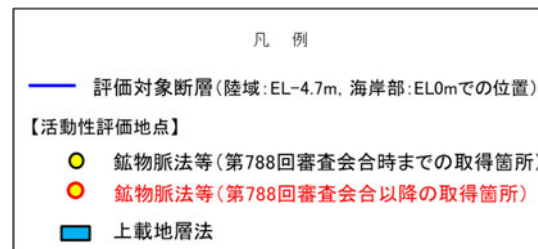
活動性評価に関する調査位置図

各断層の活動性評価に関する評価地点

赤字: 第788回審査会合以降の追加箇所

評価対象断層	上載地層法		鉱物脈法等 ()は, 評価に用いた変質鉱物等	
	地点	位置	地点	取得箇所
S-1	1地点	駐車場南東方トレンチ	4地点	H-6.5-2孔(イライト/スメクタイト混合層) H-6.6-1孔(イライト/スメクタイト混合層) K-10.3SW孔(イライト/スメクタイト混合層) M-12.5"孔(碎屑岩脈)
S-2・S-6	1地点	No.2トレンチ	3地点	K-6.2-2孔(イライト/スメクタイト混合層) F-8.5'孔(イライト/スメクタイト混合層) E-8.5-2孔(イライト/スメクタイト混合層)
S-4	1地点	35m盤トレンチ	2地点	E-8.60孔(イライト/スメクタイト混合層) E-11.1SE-2孔(イライト/スメクタイト混合層)
S-5	—	—	2地点	H-5.4-4E孔※2 R-8.1-1-3孔(イライト/スメクタイト混合層)
S-7	—	—	1地点	H-5.7'孔(イライト/スメクタイト混合層)
S-8	—	—	1地点	F-6.75孔(イライト/スメクタイト混合層)
K-2	—	—	1地点	H-1.1孔(オパールCT)
K-3	—	—	2地点	N-2.3-1孔※2 K-3露頭 a地点※2
K-14	—	—	2地点	H'-1.3孔(フィリップサイト) H-0.3-80孔(イライト/スメクタイト混合層)

※2: 固結した破砕部形成以降活動なし



【活動性評価結果】

○: 確認される - : 該当なし

評価対象断層	評価手法	評価地点	評価に用いた地層 または 変質鉱物等	断層と上載地層との関係	最新ゾーンにおける 直線性・連続性の よい面構造の有無	断層活動(最新面)と変質鉱物との関係			総合評価
				断層の直上に分布する 地層に変位・変形は 認められない		最新面及び最新ゾ ン全体を横断し、横断 箇所に変位・変形は 認められない	自形結晶が最新面に 接して晶出し、自形 結晶に破碎や変形は 認められない	最新面が不明瞭かつ 不連続になっており、 不連続箇所の変質 鉱物に変位・変形は 認められない	
S-1	上載地層法	駐車場南東方トレンチ	HI a段丘堆積物	○	/	/	/	/	後期更新世以降の 活動は認められない
	鉱物脈法等	H-6.5-2孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	-	○	
		H-6.6-1孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	-	○	
		K-10.3SW孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	-	○	
	M-12.5' 孔	碎屑岩脈	/	有	○	-	-		
S-2・S-6	上載地層法	No.2トレンチ	MI 段丘堆積物	○	/	/	/	/	後期更新世以降の 活動は認められない
	鉱物脈法等	K-6.2-2孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	-	○	
		F-8.5' 孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	-	○	
	E-8.5-2孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	-	○		
S-4	上載地層法	35m盤トレンチ	HI a段丘堆積物	○	/	/	/	/	後期更新世以降の 活動は認められない
	鉱物脈法等	E-8.60孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	-	○	
		E-11.1SE-2孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	-	○	
S-5	鉱物脈法等	H-5.4-4E孔	-	/	無	-	-	-	後期更新世以降の 活動は認められない
		R-8.1-1-3孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	-	○	
S-7	鉱物脈法等	H-5.7' 孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	-	○	後期更新世以降の 活動は認められない
S-8	鉱物脈法等	F-6.75孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	-	○	後期更新世以降の 活動は認められない
K-2	鉱物脈法等	H-1.1孔	オパールCT	/	有	○	-	-	後期更新世以降の 活動は認められない
K-3	鉱物脈法等	N-2.3-1孔	-	/	無	-	-	-	後期更新世以降の 活動は認められない*
		K-3露頭 a地点	-	/	無	-	-	-	
K-14	鉱物脈法等	H'-1.3孔	フィリップサイト	/	有	-	○	-	後期更新世以降の 活動は認められない
		H--0.3-80孔	イライト/スメクタイト混合層	/	有	-	-	○	

赤字: 第788回審査会合以降の追加箇所

※: K-3は、破碎部性状をK-2と比較することによって評価を実施した

1. 敷地の地形，地質・地質構造	
1.1 文献調査	
1.2 敷地の地形	
1.3 敷地の地質・地質構造	
1.4 まとめ	
2. 敷地内断層の分布，性状，運動方向	
2.1 調査位置図	
2.2 敷地の穴水累層及び破砕部	
(1) 敷地の穴水累層	
(2) 穴水累層中に認められる破砕部	
2.3 断層の分布	
(1) 断層の抽出	
(2) 断層の分布	
2.4 断層の性状	
(1) 各断層の性状	
(2) 破砕部内及び母岩に認められる鉱物組成	
2.5 断層の運動方向	
2.6 まとめ	
3. 2号炉の耐震重要施設及び重大事故等 対処施設と断層との位置関係	
4. 評価対象断層の選定	
5. 敷地内断層の活動性評価※	..... 11
5.1 活動性評価の方針	..... 12
5.2 鉱物脈法等による活動性評価	..... 18
5.2.1 評価に用いる変質鉱物と最新面	..... 19
(1) 評価に用いる変質鉱物	..... 20
(2) 最新面と最新面付近の変質鉱物	..... 53
5.2.2 K-2	..... 57
H-1.1孔	..... 59
5.2.3 K-14	..... 75
(1) H' - -1.3孔	..... 77
(2) H- -0.3-80孔	..... 95
5.2.4 K-3	..... 105
(1) N-2.3-1孔，K-3露頭 a地点	..... 107
(2) 変形構造からみた断層の形成環境の検討	..... 112
5.2.5 S-1	..... 117
(1) H-6.5-2孔	..... 120
(2) H-6.6-1孔	..... 133
(3) K-10.3SW孔	..... 146
(4) M-12.5' 孔	..... 161
5.2.6 S-2・S-6	..... 175
(1) K-6.2-2孔	..... 177
(2) F-8.5' 孔	..... 190
(3) E-8.5-2孔	..... 202
5.2.7 S-4	..... 216
(1) E-8.60孔	..... 218
(2) E-11.1SE-2孔	..... 229

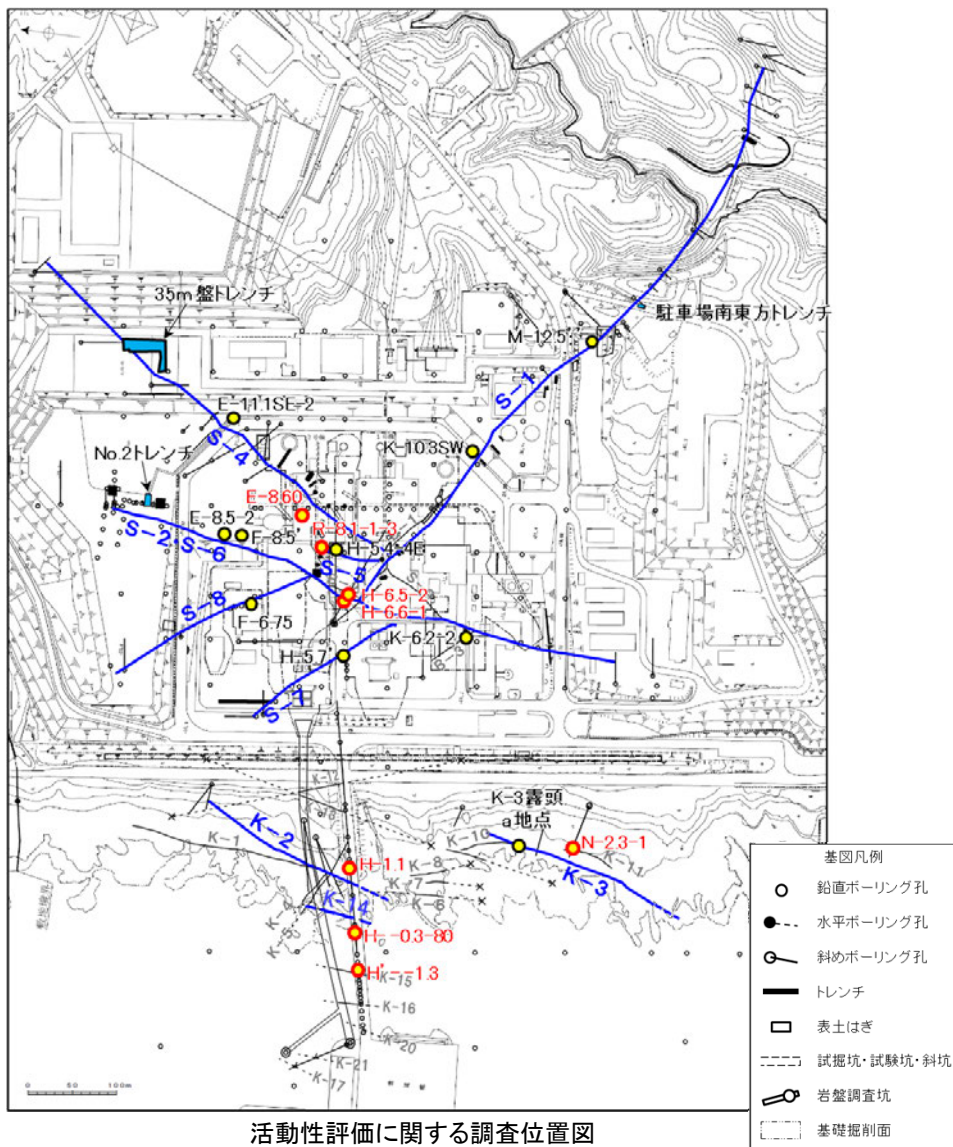
5.2.8 S-5	.....246	6. 有識者会合の評価に対する検討	.....380
(1) H-5.4-4E孔	.....252	6.1 S-1の有識者会合の評価と追加検討について	.....381
(2) R-8.1-1-3孔	.....256	6.2 S-2・S-6の有識者会合の評価と追加検討について	.....403
5.2.9 S-7	.....266	有識者会合により示された「今後の課題」	.....438
H-5.7' 孔	.....268		
5.2.10 S-8	.....282	参考文献	.....440
F-6.75孔	.....284		
5.2.11 断層活動と変質鉱物の形成プロセス	.....295		
5.3 上載地層法による活動性評価	.....304		
5.3.1 上載地層法に用いる地層	.....305		
(1) 能登半島南西岸の海成段丘面と堆積物の年代評価の 考え方	.....307		
(2) 海成堆積物の特徴	.....310		
(3) 敷地内断層上に分布する海成堆積物の認定	.....327		
(4) 堆積物の年代評価	.....337		
5.3.2 S-1	.....339		
駐車場南東方トレンチ	.....341		
5.3.3 S-2・S-6	.....345		
No.2トレンチ	.....347		
5.3.4 S-4	.....351		
35m盤トレンチ	.....353		
5.4 活動性評価 まとめ	.....368		

5. 敷地内断層の活動性評価

5.1 活動性評価の方針

5.1 活動性評価の方針

- 約12~13万年前以前の地形面又は地層が確認できる箇所で、地層の変位・変形構造による評価(上載地層法)を行う。
- 断層破碎部の詳細性状による評価(鉱物脈法等)を行う。



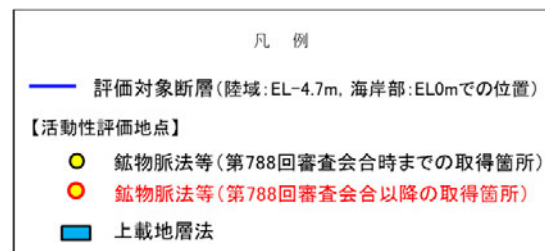
活動性評価に関する調査位置図

各断層の活動性評価に関する評価地点

赤字: 第788回審査会合以降の追加箇所

評価対象断層	上載地層法		鉱物脈法等 (○は、評価に用いた変質鉱物等)	
	1地点	駐車場南東方トレンチ	4地点	H-6.5-2孔(イライト/スメクタイト混合層) H-6.6-1孔(イライト/スメクタイト混合層) K-10.3SW孔(イライト/スメクタイト混合層) M-12.5"孔(碎屑岩脈)
S-2・S-6	1地点	No.2トレンチ	3地点	K-6.2-2孔(イライト/スメクタイト混合層) F-8.5'孔(イライト/スメクタイト混合層) E-8.5-2孔(イライト/スメクタイト混合層)
S-4	1地点	35m 盤トレンチ	2地点	E-8.60孔(イライト/スメクタイト混合層) E-11.1SE-2孔(イライト/スメクタイト混合層)
S-5	—	—	2地点	H-5.4-4E孔※ R-8.1-1-3孔(イライト/スメクタイト混合層)
S-7	—	—	1地点	H-5.7'孔(イライト/スメクタイト混合層)
S-8	—	—	1地点	F-6.75孔(イライト/スメクタイト混合層)
K-2	—	—	1地点	H-1.1孔(オパールCT)
K-3	—	—	2地点	N-2.3-1孔※ K-3露頭 a地点※
K-14	—	—	2地点	H'- -1.3孔(フリップサイト) H- -0.3-80孔(イライト/スメクタイト混合層)

※固結した破碎部形成以降活動なし



5.1 活動性評価の方針 -S-1-

■上載地層法による評価

- 約12～13万年前以前に堆積した地層であるH I a段丘堆積物が分布する駐車場南東方トレンチにおいて、上載地層法による評価を行った。

■鉬物脈法等による評価

- 4地点(H-6.5-2孔, H-6.6-1孔, K-10.3SW孔, M-12.5”孔)において、鉬物脈法等による評価を行った。
- 上記評価は、有識者会合により示された今後の課題③(P.439)にも対応するものである。

なお、S-1の有識者会合の評価については、当該評価の内容及び当社評価と異なる点に関して検討を行った(P.381～402)。

評価手法	評価地点
上載地層法	駐車場南東方トレンチ
鉬物脈法等	H-6.5-2孔※1
	H-6.6-1孔※1
	K-10.3SW孔
	M-12.5”孔※2

第788回審査会合以降の追加検討

※1: S-1の旧A・Bトレンチより北西部において、新たなデータを追加して評価を行った(P.120～145)。 コメントNo.89

※2: S-1の最新ゾーンを横断する碎屑岩脈について、詳細な分析を追加実施し、形成過程の考察による年代評価を行った(P.51, 161～174)。 コメントNo.87

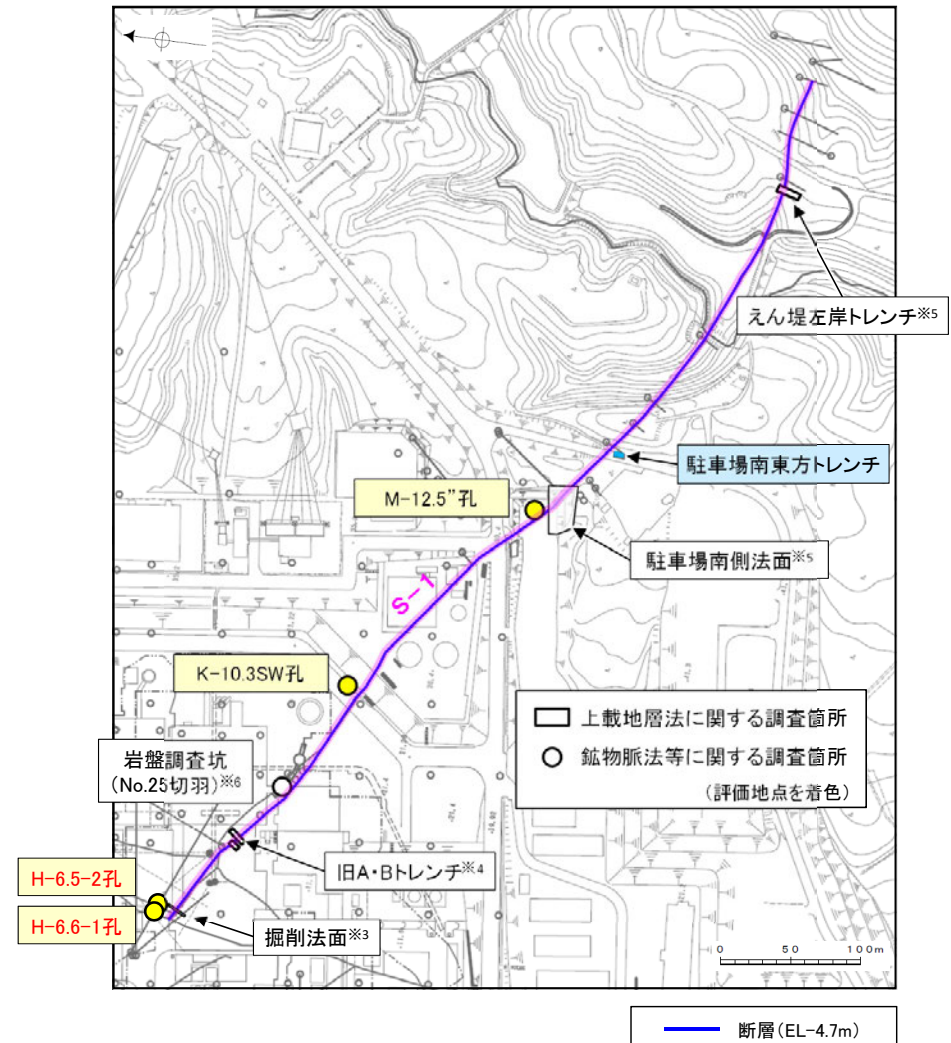
※3: 掘削法面(補足資料5.3-2(2))
建設時のスケッチ及び写真によれば、断層を覆う地層に変位・変形は認められないが、現状において、上載地層の年代が明確に判断できないことから、活動性評価の根拠としては用いないこととした。

※4: 旧A・Bトレンチ(P.387～398, 補足資料5.3-2(1))
本トレンチについては、有識者会合により評価が行われていることから、当社評価と異なる点に関して検討を行った結果、断層を覆う地層に変位・変形は認められないことを確認した(P.387～398)。ただし、現状において、上載地層の年代が明確に判断できないことから、活動性評価の根拠としては用いないこととした。

※5: 駐車場南側法面、えん堤左岸トレンチ(補足資料5.3-2(3), 補足資料5.3-2(4))
S-1が分布する基盤岩の直上に約12～13万年前以前に堆積したと考えられる地層が分布するが、上載地層の年代が明確に判断できないことから、活動性評価の根拠としては用いないこととした。

※6: 岩盤調査坑No.25切羽(補足資料5.2-3(1)-4)
第597回審査会合で提示したデータ。最新面を鉬物脈が横断しているものの、その横断形状について信頼性の向上ができないことから、より明瞭に横断している鉬物脈データ(H-6.5-2孔, H-6.6-1孔, K-10.3SW孔, M-12.5”孔)により評価を行うこととした。

赤字: 第788回審査会合以降の追加箇所



調査位置図

5.1 活動性評価の方針 –S-2・S-6–

■上載地層法による評価

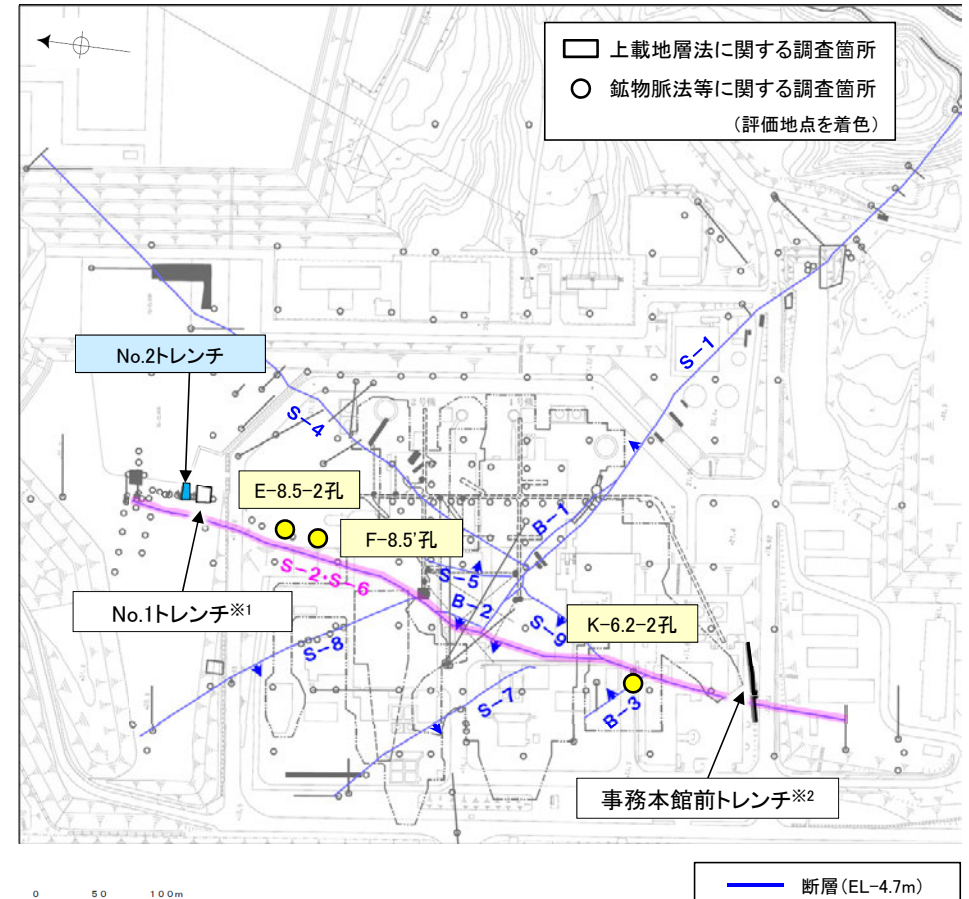
○約12～13万年前に堆積した地層であるM I 段丘堆積物が分布するNo.2トレンチにおいて、上載地層法による評価を行った。

■鉬物脈法等による評価

- 3地点(K-6.2-2孔, F-8.5'孔, E-8.5-2孔)において、鉬物脈法等による評価を行った。
- 上記評価は、有識者会合により示された今後の課題③(P.439)にも対応するものである。

なお、S-2・S-6の有識者会合の評価については、当該評価の内容及び当社評価と異なる点に関して検討を行った(P.403～437)。

評価手法	評価地点
上載地層法	No.2トレンチ
鉬物脈法等	K-6.2-2孔
	F-8.5'孔
	E-8.5-2孔



調査位置図

※1: No.1トレンチ(補足資料5.3-3(1))
断層を覆う堆積物に変位・変形は認められないが、堆積物の堆積年代が約12～13万年前より新しいことから、活動性評価の根拠としては用いない。

※2: 事務本館前トレンチ(補足資料5.3-3(2))
断層を覆う堆積物に変位・変形は認められないが、堆積物の堆積年代が約12～13万年前より新しいことから、活動性評価の根拠としては用いない。

5.1 活動性評価の方針 –S-4–

■上載地層法による評価

○約12～13万年前以前に堆積した地層であるH I a段丘堆積物が分布する35m盤トレンチにおいて、上載地層法による評価を行った。

■鉬物脈法等による評価

○2地点(E-8.60孔, E-11.1SE-2孔)において、鉬物脈法等による評価を行った。

評価手法	評価地点
上載地層法	35m盤トレンチ※1※2
鉬物脈法等	E-8.60孔
	E-11.1SE-2孔

第788回審査会合以降の追加検討

- ※1: 35m盤トレンチの堆積物について、周辺の堆積物の分布状況等を確認し、上載地層としての妥当性を確認した(P.357～364)。 コメントNo.90
- ※2: 35m盤トレンチで確認されたS-4に斜交する断層について、上載地層との関係及びS-4との交差部の状況の詳細な観察を行った(P.365～367)。 コメントNo.91



調査位置図

※3: S-4トレンチ(補足資料5.3-4(3))
建設時のスケッチ及び写真によれば、断層を覆う地層に変位・変形は認められないが、現状において、上載地層の年代が明確に判断できないことから、活動性評価の根拠としては用いないこととした。

5.1 活動性評価の方針 –S-5, S-7, S-8, K-2, K-3, K-14–

■ 上載地層法による評価

○ 約12～13万年前以前の地形面，地層が確認できないことから，上載地層法による評価を実施できない。

■ 鉤物脈法等による評価

○ 下表に示す地点において，鉤物脈法等による評価を行った。

評価手法	断層	評価地点
鉤物脈法等	S-5	H-5.4-4E孔
		R-8.1-1-3孔※1
	S-7	H-5.7' 孔
	S-8	F-6.75孔
	K-2	H-1.1孔※2
		N-2.3-1孔※2
	K-3	K-3露頭 a地点
		H- -0.3-80孔
	K-14	H' - -1.3孔

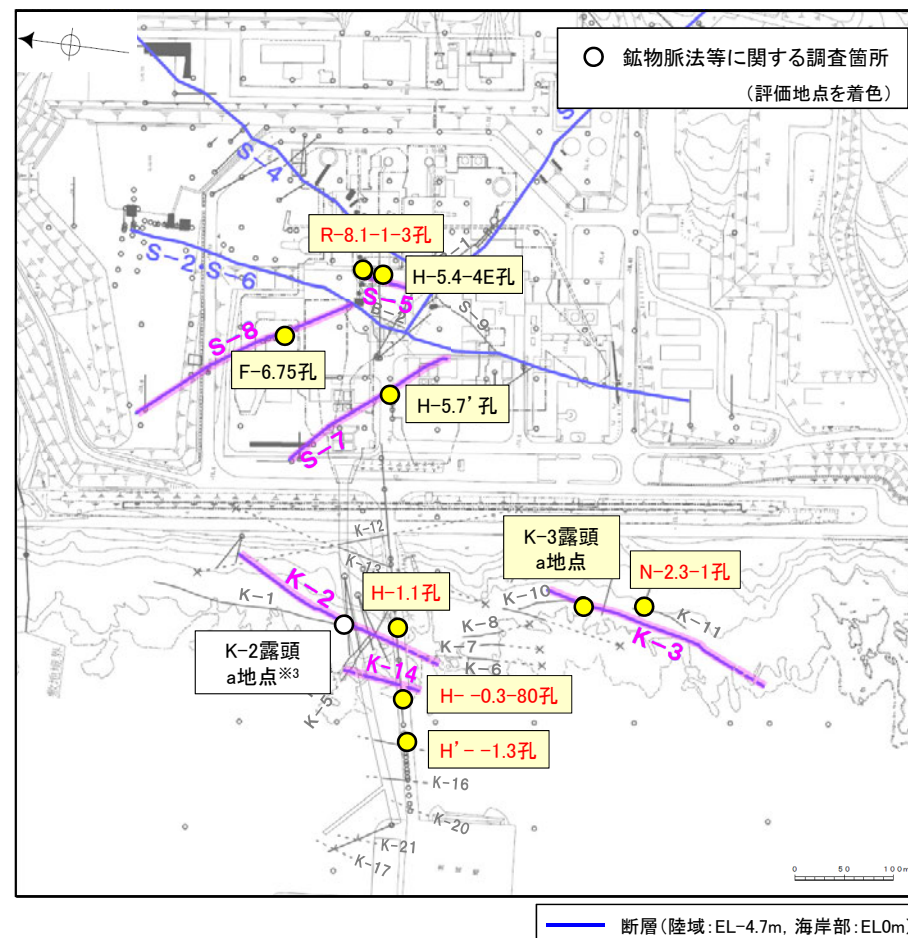
第788回審査会合以降の追加検討

※1: 既往調査で粘土状破碎部が認められているS-5浅部において，新たなデータを追加して評価を行った(P.247～265)。 コメントNo.92

※2: K-2, K-3の活動性について，深部方向の延長部における新たなデータを追加して評価を行った(P.58～74, P.106～116)。 コメントNo.63, 65

※3: K-2露頭 a地点(補足資料5.2-9(2))
 第597回審査会合で提示したデータ。固結した破碎部を対象に評価を行っていたが，K-2の深部で粘土状破碎部が認められたことから(第849回審査会合で説明)，今回，粘土状破碎部が認められた地点(H-1.1孔)において，評価を行うこととした。

赤字: 第788回審査会合以降の追加箇所



調査位置図

5.2 鉍物脈法等による活動性評価

5.2.1 評価に用いる変質鉱物と最新面

5.2.1(1) 評価に用いる変質鉱物

概要	.....21
(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細確認	.....24
(1-2) 変質鉱物の生成年代の評価	.....43
(1-3) 碎屑岩脈の形成年代の評価	.....51
(1-4) 評価に用いる変質鉱物	.....52

5.2.1(1) 評価に用いる変質鉱物 ー概要ー

■ 鉱物脈法等による活動性評価

○ 鉱物脈法は、「鉱物脈又は貫入岩等との接触関係を解析する」*手法である。敷地においては、変質鉱物からなる鉱物脈が破碎部中や母岩の割れ目に沿って認められる(P.24, 25, 38)。よって、断層活動(最新面)と変質鉱物等との関係から、断層の最新活動年代を評価する。

■ 敷地で確認される変質鉱物の詳細確認と生成年代の評価

- 粘土状破碎部中に含まれる鉱物の確認を目的としたXRD分析(次々頁, XRD分析①)を実施した結果、粘土鉱物のスメクタイトが変質鉱物として共通して認められた(2章)。この粘土鉱物の粘土分を濃集したXRD分析(次々頁, XRD分析②)による結晶構造並びにEPMA分析結果による化学組成を踏まえると、これらの粘土鉱物は数十%のイライトが混合するイライト/スメクタイト混合層(以下, I/S混合層)である。さらに、CEC分析, XAFS分析, HRTEM観察による結果は、これらの粘土鉱物がI/S混合層であることを支持する。
- また、粘土鉱物以外の白色鉱物について、XRD分析及び薄片観察を実施した結果、白色鉱物がオパールCT及びフィリップサイトであることを確認した。
- I/S混合層, オパールCT及びフィリップサイトについて、生成温度・期間に関する文献調査を実施した結果、これらの変質鉱物はいずれも地温約50°C以上の環境下で生成し、約50°Cで生成する場合には数十万年以上の期間を要するとされている。
- 敷地周辺の地温分布に関する調査を実施した結果、敷地及び敷地周辺は一般的な地温勾配で、地熱地帯ではない。また、第四紀以降の火山活動の影響もない地域である。
- 上記を踏まえて生成年代を評価した結果、これらの変質鉱物は少なくとも後期更新世以降に生成した鉱物ではないと評価される。なお、信頼性に関する追加検討も踏まえたI/S混合層のK-Ar年代値(15~10Ma)及びオパールCTのTL年代(数十万年前以前)が上記変質鉱物の生成年代と整合することを確認している。

■ 碎屑岩脈の形成年代の評価

○ S-1の粘土状破碎部中には碎屑岩脈が認められ、この碎屑岩脈について薄片観察によって形成年代を評価した。その結果、碎屑岩脈は、地下深部の高封圧下で形成したと判断される。この確認位置は、約12~13万年前には現在とほぼ同じ低封圧下にあったものと判断されることから、碎屑岩脈は少なくとも後期更新世以降に形成されたものではないと評価される。

■ 評価に用いる変質鉱物

○ 少なくとも後期更新世以降に生成されたものではないと評価した変質鉱物(I/S混合層, オパールCT, フィリップサイト)及び碎屑岩脈を用いて、鉱物脈法等による活動性評価を行うこととした。

【鉍物脈法等による活動性評価に用いる変質鉍物】

■2章 敷地で認められる変質鉍物

・粘土状破砕部中には、変質鉍物として粘土鉍物のスメクタイトが共通して認められる。

赤字: 第788回審査会合時からの追加分析による変更箇所

粘土鉍物(スメクタイト)を対象とした詳細確認

粘土鉍物以外の変質鉍物の調査

■5.2.1(1-1)敷地で確認される変質鉍物の詳細確認(P.24~42)

<粘土鉍物>

- ・XRD分析(粘土分濃集, I/S混合層の構造判定)
 - ・EPMA分析(化学組成の検討)
- ⇒粘土鉍物は、I/S混合層である。

↑I/S混合層であることを支持する。

- ・CEC分析, XAFS分析, HRTEM観察

<白色鉍物>

- ・XRD分析
 - ・薄片観察
- ⇒白色鉍物は、オパールCT及びフィリップサイトである。

K-Ar年代値(I/S混合層) P.301
15~10Ma*

信頼性確認については、**補足資料5.2-2(9)**

※追加分析値を含む(第788回審査会合時から年代値の変更なし)

TL年代(オパールCT) P.303
数十万年前以前(TL信号の飽和)

変質鉍物の生成年代と整合する。

■5.2.1(1-2)変質鉍物の生成年代の評価(P.43~50)

・変質鉍物の生成温度・期間に関する文献調査

⇒I/S混合層・オパールCT・フィリップサイトは、いずれも地温約50°C以上の環境下で生成し、約50°Cで生成する場合には数十万年以上の期間を要するとされている。

・敷地周辺の地温分布に関する調査(温度検層, 文献調査)

⇒敷地及び敷地周辺は一般的な地温勾配で、地熱地帯ではない。また、第四紀以降の火山活動の影響もない地域である。

(地下深部で生成した場合)

・生成温度環境の検討

⇒I/S混合層・オパールCT・フィリップサイトは、50°C以上の温度環境下で生成された。

・敷地の地温勾配・隆起速度に基づく生成年代の評価

⇒I/S混合層・オパールCT・フィリップサイトは、少なくとも後期更新世以降に生成された鉍物ではない。

(熱水により生成した場合)

・生成温度環境の検討

⇒I/S混合層は、110°C以上の温度環境下で生成された。

・敷地周辺の火成活動に基づく生成年代の評価

⇒I/S混合層は、9Ma以前に生成された。

■5.2.1(1-3)碎屑岩脈の形成年代の評価

(P.51)

<碎屑岩脈>

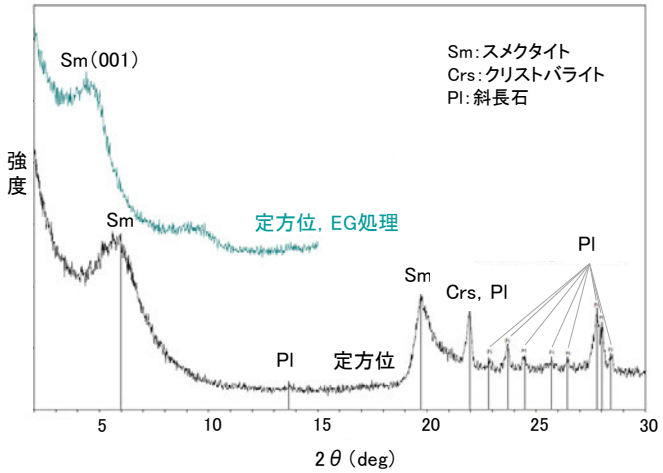
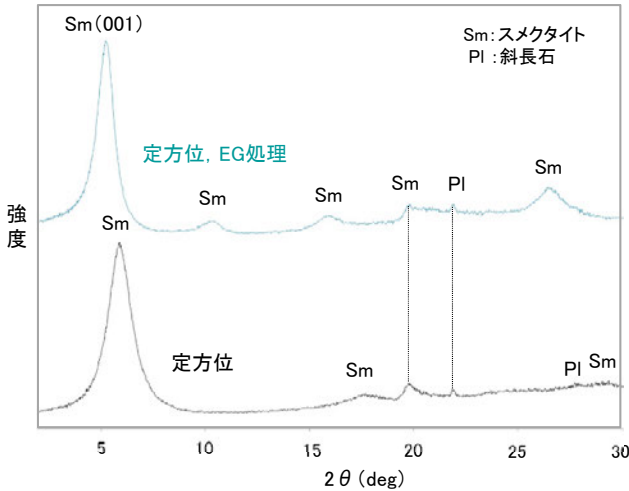
- ・薄片観察
- ・EPMA分析

⇒碎屑岩脈は、地下深部の高封圧下で形成されたと判断される。この確認位置は約12~13万年前には現在とほぼ同じ低封圧下にあったと判断されることから、碎屑岩脈は少なくとも後期更新世以降に形成されたものではない。

■5.2.1(1-4)評価に用いる変質鉍物(P.52)

少なくとも後期更新世以降に生成されたものではないと評価した変質鉍物(I/S混合層, オパールCT, フィリップサイト)及び碎屑岩脈を用いて、鉍物脈法等による活動性評価を行う。

【XRD分析①と②の比較】

	<p>■XRD分析① XRD分析(定方位, 定法) 以下, XRD分析という。</p>	<p>■XRD分析② XRD分析(定方位, 粘土分濃集) 以下, XRD分析(粘土分濃集)という。</p>
<p>試料調整方法</p>	<ul style="list-style-type: none"> 乾燥させた後, 粉碎・混合して粉末試料とする。 粉末試料を簡易水簸し, 定方位試料を作成する。 	<ul style="list-style-type: none"> 水簸を複数回繰り返す, 得られた懸濁液を遠心分離にかけ, 粒径2 μm以下の細粒分を回収し, 粘土分が濃集した定方位試料を作成する。
<p>回折チャート例</p>	 <p>回折チャート(岩盤調査坑 S-1粘土状破砕部) 詳細は, 補足資料2.4-2</p>	 <p>回折チャート(E-8.5+5"孔 S-2・S-6粘土状破砕部(粘土鉱物)) 詳細は, 補足資料5.2-2 (2)</p>
<p>XRD分析①と②の比較</p>	<ul style="list-style-type: none"> 分析②では, 粘土分を濃集することによって, 粘土鉱物のピーク強度が強くなり, ピーク回折角が読みやすくなる。 ⇒EG処理した回折チャートでは, スメクタイトの(001)ピークに加え, $2\theta = 9\sim 11^\circ$ 及び $2\theta = 16\sim 18^\circ$ のピークも読み取ることができるため, Watanabe(1988)によるI/S混合層の構造判定*が可能となる。 	

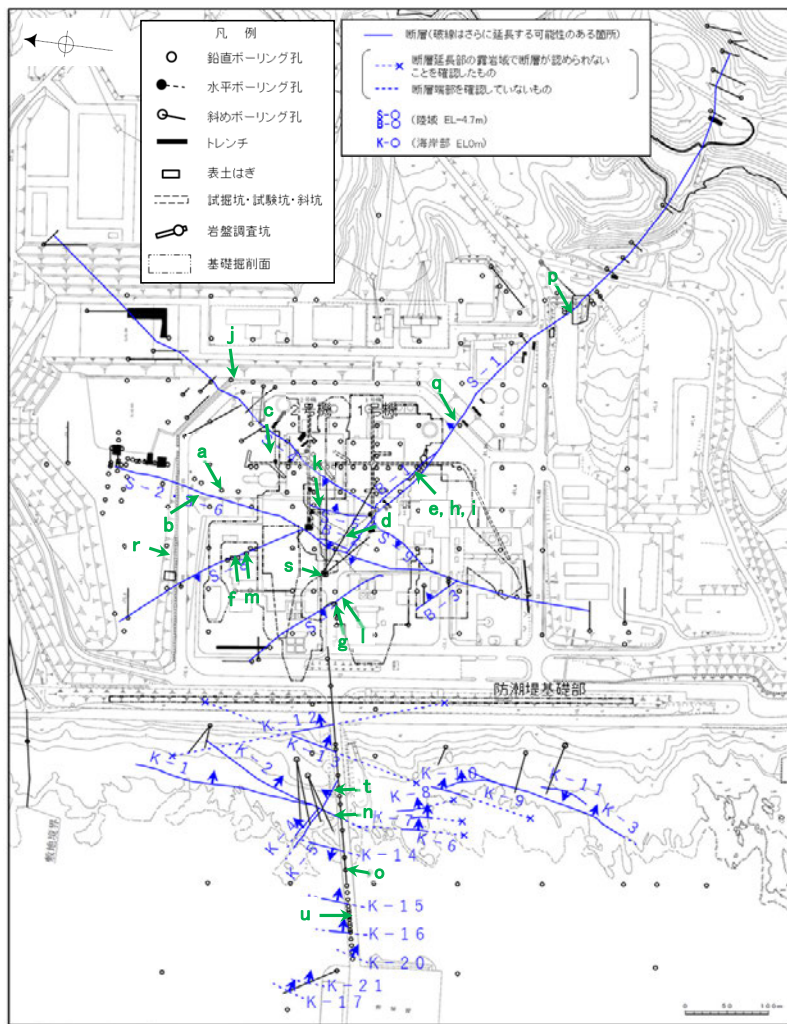
*Watanabe(1988)によるI/S混合層の構造判定は, P.27

5.2.1(1-1)敷地で確認される変質鉱物の詳細確認 —粘土鉱物(I/S混合層)—

○ボーリングコア観察等の結果、破碎部中には粘土鉱物が認められることから、全ての評価対象断層の粘土状破碎部中の粘土鉱物を対象として、XRD分析(粘土分濃集)及びEPMA分析を実施した。また、母岩の割れ目に沿っても粘土鉱物が認められることから、これらの粘土鉱物についても同様に分析を実施した。

○分析の結果、これらの粘土鉱物は、I/S混合層であることを確認した。

【XRD分析(粘土分濃集)】



矢印(➡)の向きは断層の傾斜方向を示す

➡ 粘土鉱物(XRD分析(粘土分濃集)試料)

試料採取位置図

- ・分析に使用した試料のうち、代表的な例を右上に示す
- ・その他の試料については補足資料5.2-2(1) P5.2-2-3~9

【破碎部(S-1)】

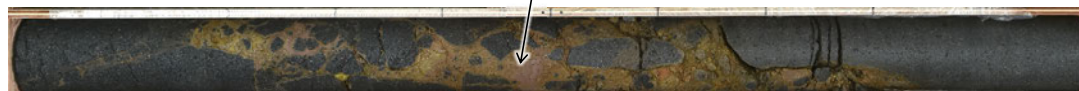
破碎部中に褐色の粘土鉱物が認められる
(深度) 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 (m)



破碎部中に粘土鉱物が認められる事例 (試料e. 岩盤調査坑 No.27孔 深度0.25m付近)

【非破碎部】

母岩中の割れ目に沿って褐色の粘土鉱物脈が認められる
(深度) 81.44 81.64 81.84 82.04 82.24 82.44 (m)



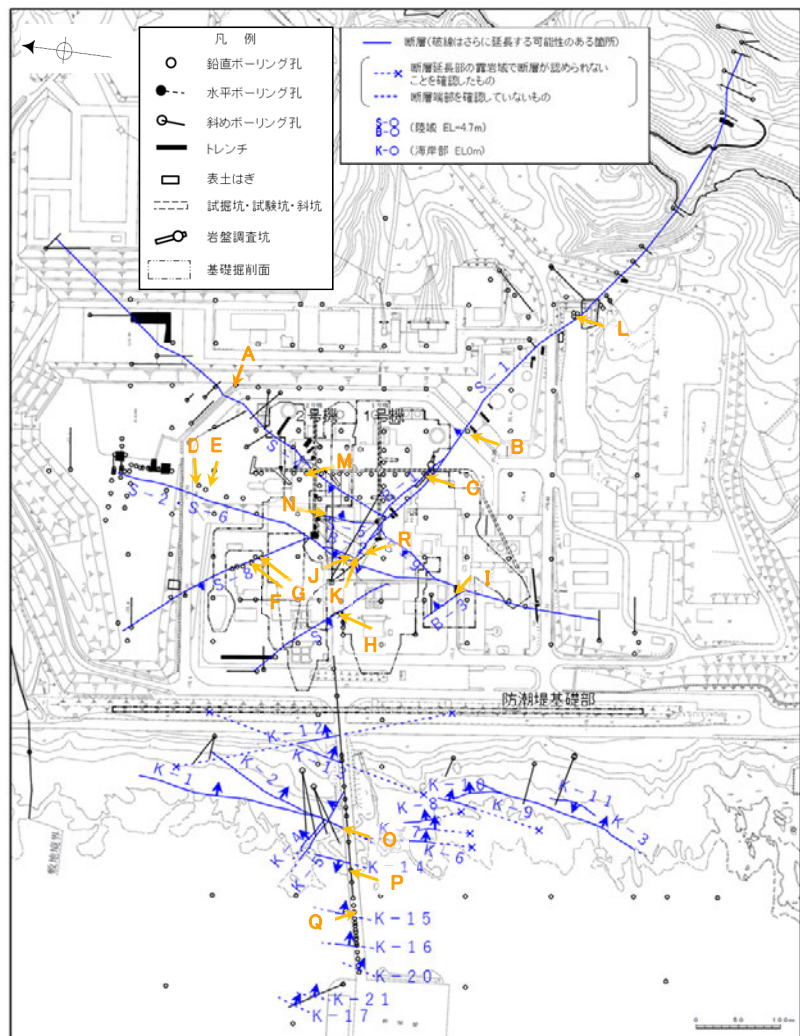
母岩中の割れ目に沿って粘土鉱物脈が認められる事例 (試料d. H-6.5-2孔 深度81.90m付近)

試料採取箇所									
採取位置 (左位置図)			深度	標高	採取位置 (左位置図)			深度	標高
a	S-2・S-6	E-8.5+5"孔	9.30m	EL 11.82m	l	S-7	H-5.64-2孔	9.53m	EL 2.84m
b		E-8.4'孔	31.70m	EL -10.61m	m	S-8	F-6.80-2孔	18.69m	EL -5.83m
c	S-4	F-9.3-4孔	66.40m	EL -45.82m	n	K-2	H-0.9-40孔	19.65m	EL -6.36m
d	非破碎部	H-6.5-2孔	81.90m	EL -59.10m	o	K-14	H- -0.3-80孔	31.65m	EL -27.48m
e	S-1	岩盤調査坑 No.27孔	0.25m	EL -16.45m※	p	非破碎部	M-12.5"孔	55.55m	EL -27.25m
f	S-8	F-6.82-6孔	17.08m	EL -1.97m	q		K-10.8SW-1孔	49.80m	EL -18.88m
g	S-7	H-5.5-2孔	19.33m	EL -3.75m	r		E-6.2孔	137.45m	EL -123.37m
h	S-1	岩盤調査坑No.7-1孔	0.30m	EL -17.05m	s		H-6.5'孔	47.70m	EL -24.19m
i		岩盤調査坑No.16付近 (底盤面)	(底盤面)	EL -17.90m	t		H-1.1-80孔	43.45m	EL -36.01m
j	S-4	E-11.1SE-6孔	1.50m	EL 19.91m	u		H- -1.80孔	48.30m	EL -44.66m
k	S-5	R-8.1-1-3孔	22.24m	EL -11.12m					

※今回修正

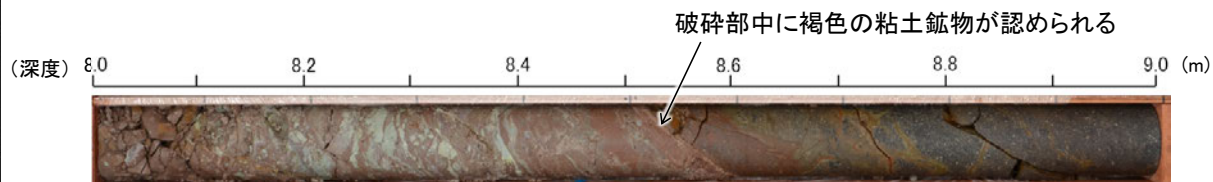
赤字: 第788回審査会合時からの追加分析箇所

【EPMA分析】

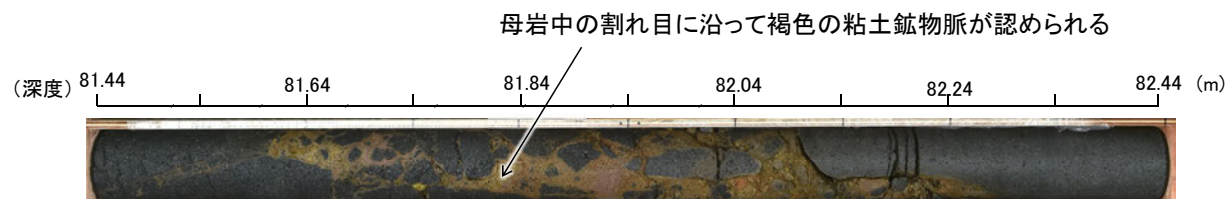


試料採取位置図

- 分析に使用した試料のうち、代表的な例を右上に示す
- その他の試料については補足資料5.2-2(1) P5.2-2-10~16



破砕部中に粘土鉱物が認められる事例 (試料D. E-8.5-2孔 深度8.55m付近)



母岩中の割れ目に沿って粘土鉱物脈が認められる事例 (試料R. H-6.5-2孔 深度81.80m付近)

試料採取箇所									
採取位置 (左位置図)			深度	標高	採取位置 (左位置図)			深度	標高
A	S-4	E-11.1SE-2孔	1.65m	EL 19.72m	J		H-6.5-2孔	70.70m	EL -49.50m
B	S-1	K-10.3SW孔	27.81m	EL -6.17m	K	S-1	H-6.6-1孔	57.25m	EL -37.95m
C		岩盤調査坑No.25切羽 (切羽面)		EL -17.60m	L		M-12.5"孔	49.96m	EL -21.66m
D	S-2・S-6	E-8.5-2孔	8.55m	EL 12.66m	M	S-4	E-8.60孔	104.68m	EL -35.91m
E		F-8.5'孔	8.50m	EL 12.63m	N	S-5	R-8.1-1-3孔	22.24m	EL -11.12m
F	S-8	F-6.75孔	26.85m	EL -15.76m	O	K-2	H-0.9-40孔	19.65m	EL -6.36m
G		F-6.8孔	23.75m	EL -12.63m	P	K-14	H- -0.3-80孔	31.65m	EL -27.48m
H	S-7	H-5.7'孔	14.35m	EL -3.26m	Q		H'- -1.3孔	125.58m	EL -104.86m
I	S-2・S-6	K-6.2-2孔	30.94m	EL -19.45m	R	非破砕部	H-6.5-2孔	81.80m	EL -59.02m

赤字: 第788回審査会合時からの追加分析箇所

○XRD分析(粘土分濃集)の実施にあたっては、ボーリングコアから粘土状破碎部または非破碎部の粘土鉱物部分を採取し、水簸と遠心分離によって細粒な粘土分を濃集している。作業手順を以下に示す。

<試料採取>

■XRD分析(粘土分濃集)を実施するには、一定量の粘土分を採取する必要があるため、粘土鉱物が主に含まれる部分から粘土鉱物を採取した。



試料eの例、赤枠は採取位置

- ・破碎部: 粘土状破碎部の主せん断面を中心に粘土鉱物を確認しながら採取
- ・非破碎部: 粘土鉱物脈全体から粘土鉱物を確認しながら採取



試料採取の例

<鉱物分離>

■水簸と遠心分離によって鉱物分離を実施し、細粒分を濃集させた。*

※以下に示す手順は代表的な試料の作業手順である。鉱物分離前にXRD分析により試料に含まれる不純物を確認しており、必要に応じて鉱物分離作業内容を変更して実施している。

【洗浄】

: 試料を脱イオン水で洗浄。



【水簸】

: ビーカーを用いて、粗粒部(岩片など)を除去し、上澄みの細粒分を含む懸濁液を回収。



【遠心分離】

: ビーカーを用いた水簸で得られた懸濁液を遠心分離器にかけ、 $2\mu\text{m}$ よりも粒径の大きい粒子を除去した後、 $0.2\mu\text{m}$ よりも大きい粒子を沈殿させて回収する。得られた試料量が多い場合は、一定の粒径で区切る。

- ・遠心分離器の設定条件等の作業手順の詳細については、各試料ごとの特徴を踏まえて設定している。
- ・一部の試料では、超低温サーキュレータによる凍結粉碎後に水簸と遠心分離を実施し、粘土分を濃集した。



ビーカーを用いた水簸の例



遠心分離器の例

<試料調整>

■鉱物分離によって粘土分を濃集した粉末試料について、試料調整をした後、各分析を実施した。

- ・XRD分析用試料(定方位, 粘土分濃集): スライドガラス上にごく微量の脱イオン水とともに展開させ、1日程度風乾し作成。
- ・XRD分析用試料(定方位EG処理, 粘土分濃集): エチレングリコール蒸気で充満したデシケーター内に定方位試料を1時間静置し作成。

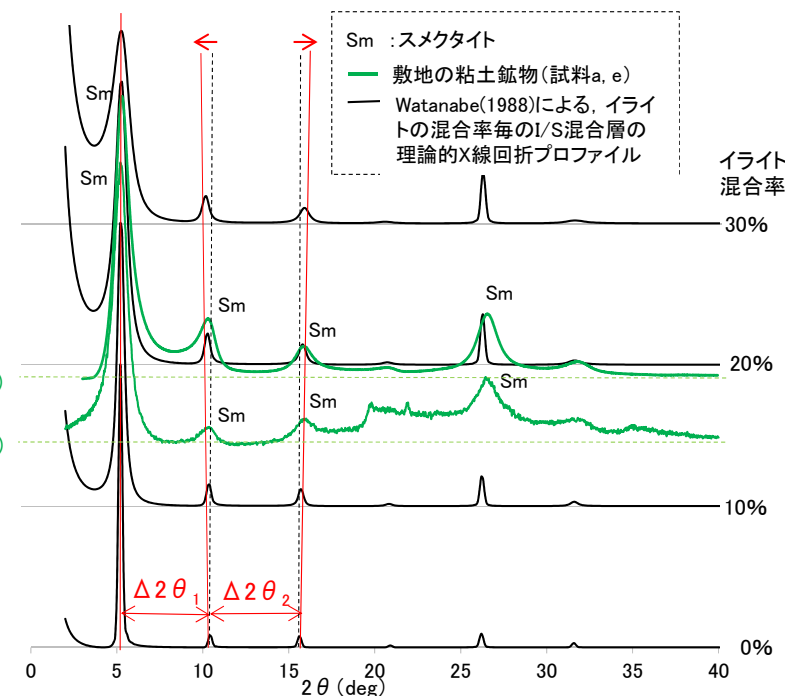
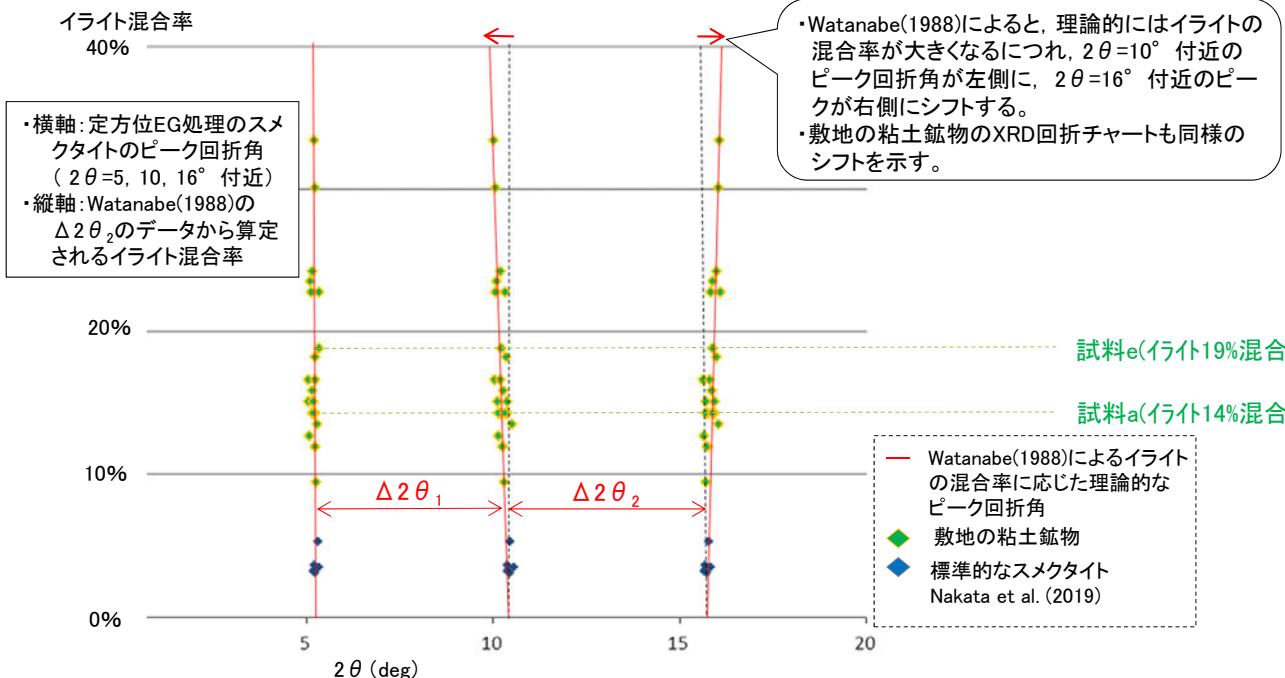


試料eの鉱物分離後の粉末試料

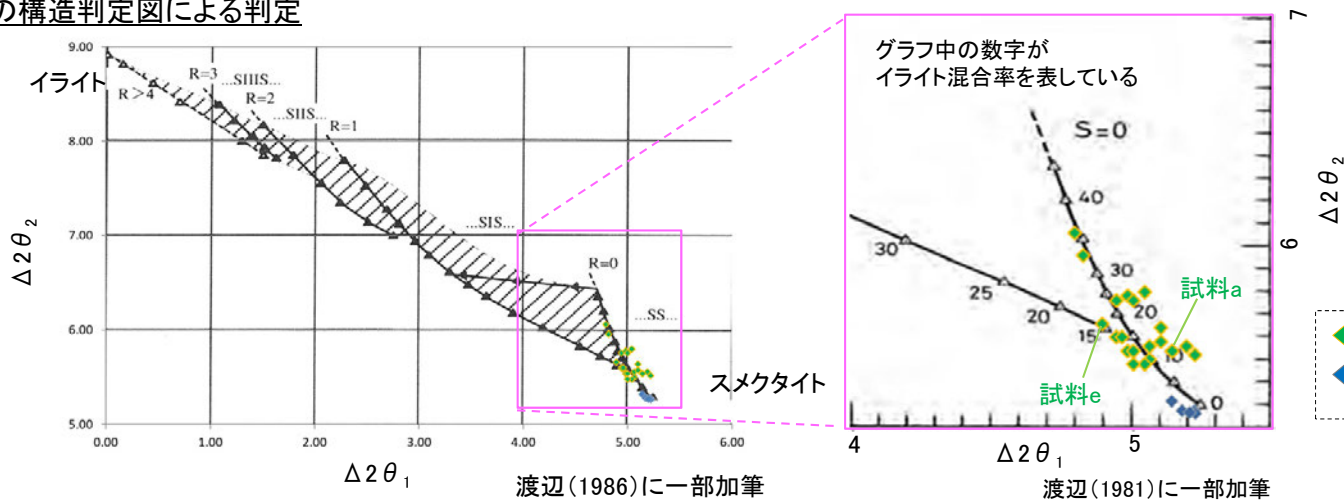
5.2.1(1-1)敷地で確認される変質鉱物の詳細確認 –XRD分析(粘土分濃集)–

- 敷地で認められた粘土鉱物(試料a~u)について, XRD分析(粘土分濃集)を実施した。
- 敷地の粘土鉱物のピーク回折角は, Watanabe(1988)によるI/S混合層の理論的なピーク回折角のシフトと同様のシフトが認められた(【1】左図)。また, 敷地の粘土鉱物のうち, より明瞭な粘土鉱物のピークを持つ試料a及び試料eの回折チャートについて, I/S混合層の理論的プロファイルと類似していることを確認した(【1】右図)。
- 同様の理論に基づき作成された渡辺(1986, 1981)のI/S混合層構造判定図に敷地の粘土鉱物の結果をプロットした結果, イライトの混合率は10~35%を示す(【2】図)。

【1】I/S混合層の理論的なピーク回折角との比較



【2】I/S混合層の構造判定図による判定

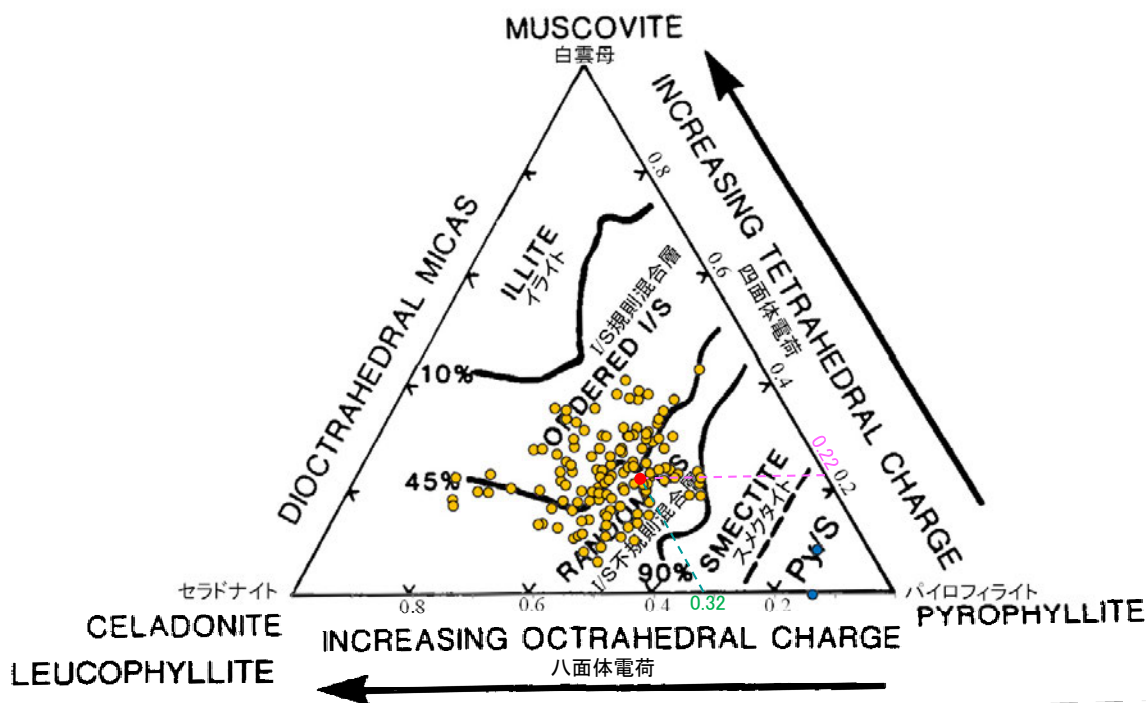


各試料のX線回折チャート及びプロット位置の詳細については, 補足資料5.2-2(2) P.5.2-2-24~45

- さらに、EPMA分析による化学組成の観点から、粘土鉱物(試料A~R)について、鉱物の詳細確認を行った。
- EPMAの定量分析結果に基づき、敷地の粘土鉱物の組成式を算出した。組成式算出に用いる分析値については、粘土鉱物への二次的な変質等の影響や基準に基づく分析値の確認により、分析値が不純物等の影響を受けていないことを確認した値を用いている(P.31~33)。
- 2八面体型の粘土鉱物*の化学組成を示した三角ダイアグラム(左下図, Srodon et al. (1984))によると、敷地の粘土鉱物の分析値はいずれも「I/S混合層」に分類される。以下、この検討を三角ダイアグラム検討とする。

※敷地の粘土鉱物の八面体シート構造の検討結果については、[補足資料5.2-2](#)(2)P.5.2-2-46~48

○XRD分析(粘土分濃集)による結晶構造判定結果及びEPMA分析による化学組成の検討結果により、敷地の粘土鉱物は結晶構造中にイライト層が数十%混合した「I/S混合層」と判断される。



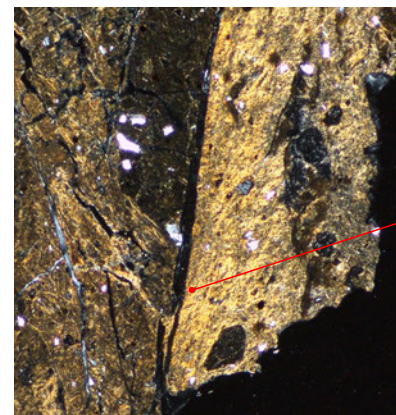
- 分析値(敷地の粘土鉱物)(今回の追加分析及び第788回審査会合からの再評価内容を反映)
- 標準的なスメクタイト(日本粘土学会編(2009)のWyoming試料の化学組成値を用いて作成)
- プロット例(試料D)

2八面体型雲母粘土鉱物及び関連鉱物の化学組成 (Srodon et al. (1984))に一部加筆)

EPMA分析結果に基づき算出した四面体電荷0.22及び八面体電荷0.32をSrodon et al. (1984)の三角ダイアグラム上にプロットした。

その他試料のEPMA分析結果については、[補足資料5.2-2](#)(3)

<EPMA分析結果の例 (試料D※1)>



※1: EPMA分析実施前の薄片写真に変更

分析位置

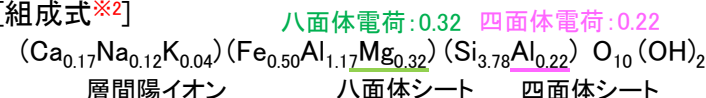
分析位置については、[補足資料5.2-2](#)(3) P.5.2-2-55

[EPMA分析値 (%)] *分析値(FeO)からの換算値

SiO ₂	50.02
TiO ₂	0.34
Al ₂ O ₃	15.57
TFe ₂ O ₃ *	8.73
MnO	0.01
MgO	2.82
CaO	2.09
Na ₂ O	0.81
K ₂ O	0.38
total	80.76

<組成式の算出方法(白水(2010)を参考に算出)>
 ・EPMA分析値から各酸化物の分子比を算出し、O原子(負電荷)を22と仮定して各元素の陽イオン数を算出。
 ・求めた陽イオン数のうち、AlはSiとの合計が4になるまで四面体に配分し、MgはFe及び残りのAlの合計が2になるまで八面体に配分した。

[組成式※2]



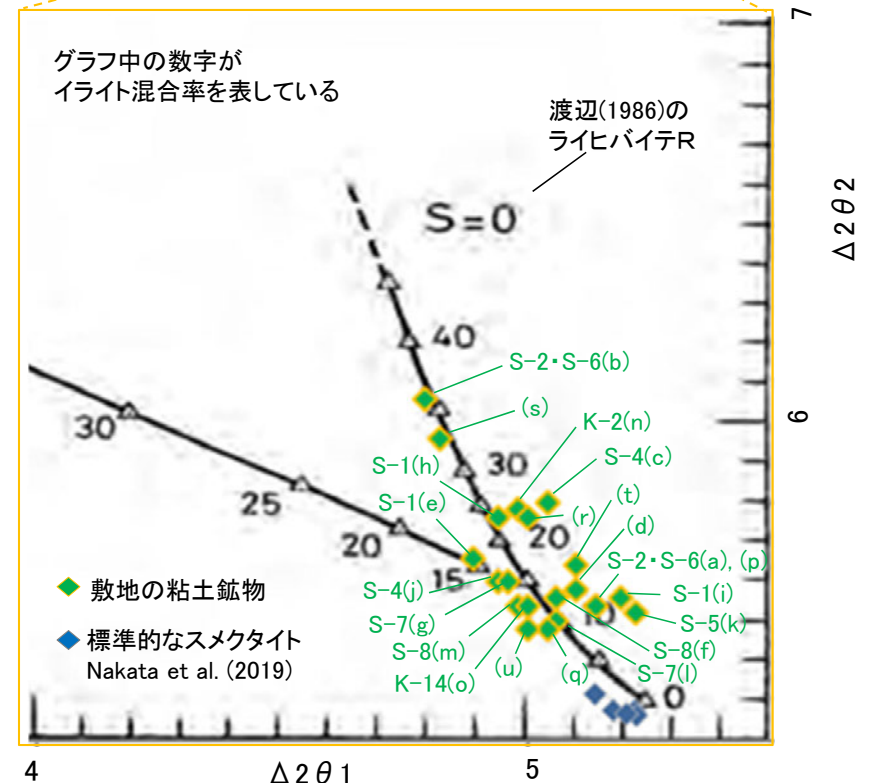
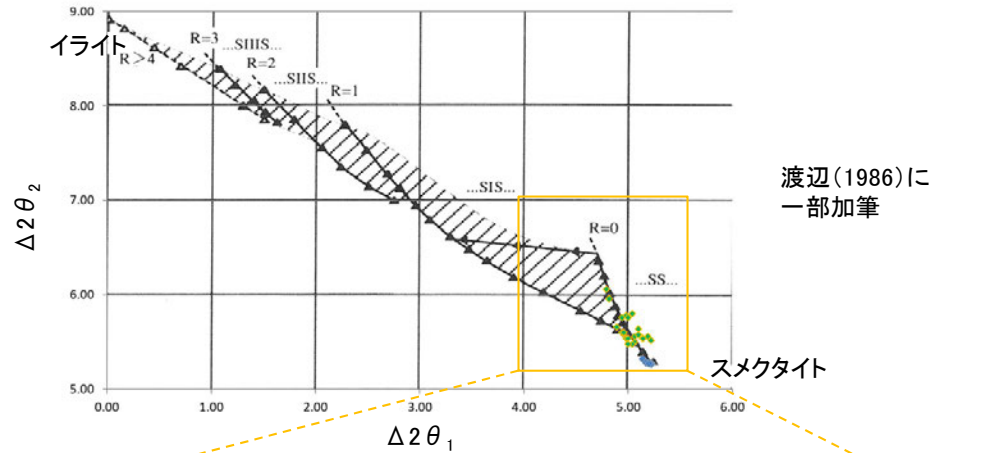
※2: 第788回審査会合時の組成式については、換算値(TFe₂O₃)に分析値(FeO)を加えて算出していたため、換算値(TFe₂O₃)のみで算出した組成式に修正。

5.2.1(1-1)敷地で確認される変質鉱物の詳細確認 –XRD分析(粘土分濃集), 断層間比較–

コメントNo.84の回答

○XRD分析(粘土分濃集)の結果に関して, 断層間で比較を行った。
 ○渡辺(1981)の構造判定図にプロットすると, いずれの分析結果もイライトの混合割合は10~35%であり, 断層間の結果に相違はない。
 ○なお, 断層以外の非破碎部の粘土鉱物脈の分析結果についても, 同様の結果であった。

試料採取箇所 (XRD分析(粘土分濃集)試料)			渡辺(1986, 1981)の図 へのプロット結果	
断層名	採取位置	標高	ライヒバイテ	イライト混合率
S-1	e 岩盤調査坑 No.27孔	EL -16.45m※	R=0	20%程度
	h 岩盤調査坑No.7-1孔	EL -17.05m	R=0	20%程度
	i 岩盤調査坑No.16付近	EL -17.90m	R=0	10%程度
S-2・S-6	a E-8.5'5"孔	EL 11.82m	R=0	10%程度
	b E-8.4'孔	EL -10.61m	R=0	35%程度
S-4	c F-9.3-4孔	EL -45.82m	R=0	20%程度
	j E-11.1SE-6孔	EL 19.91m	R=0	15%程度
S-5	k R-8.1-1-3孔	EL -11.12m	R=0	10%程度
S-7	g H-5.5-2孔	EL -3.75m	R=0	15%程度
	l H-5.64-2孔	EL 2.84m	R=0	10%程度
S-8	f F-6.82-6孔	EL -1.97m	R=0	10%程度
	m F-6.80-2孔	EL -5.83m	R=0	15%程度
K-2	n H-0.9-40孔	EL -6.36m	R=0	20%程度
K-14	o H- -0.3-80孔	EL -27.48m	R=0	15%程度
非破碎部の 粘土鉱物脈 (参考)	d H-6.5-2孔	EL -59.10m	R=0	10%程度
	p M-12.5"孔	EL -27.25m	R=0	10%程度
	q K-10.8SW-1孔	EL -18.88m	R=0	10%程度
	r E-6.2孔	EL -123.37m	R=0	20%程度
	s H-6.5'孔	EL -24.19m	R=0	35%程度
	t H-1.1-80孔	EL -36.01m	R=0	15%程度
	u H- -1.80孔	EL -44.66m	R=0	10%程度



各試料の採取位置については, P.24. 各試料のX線回折チャートについては, [補足資料5.2-2\(2\)](#)

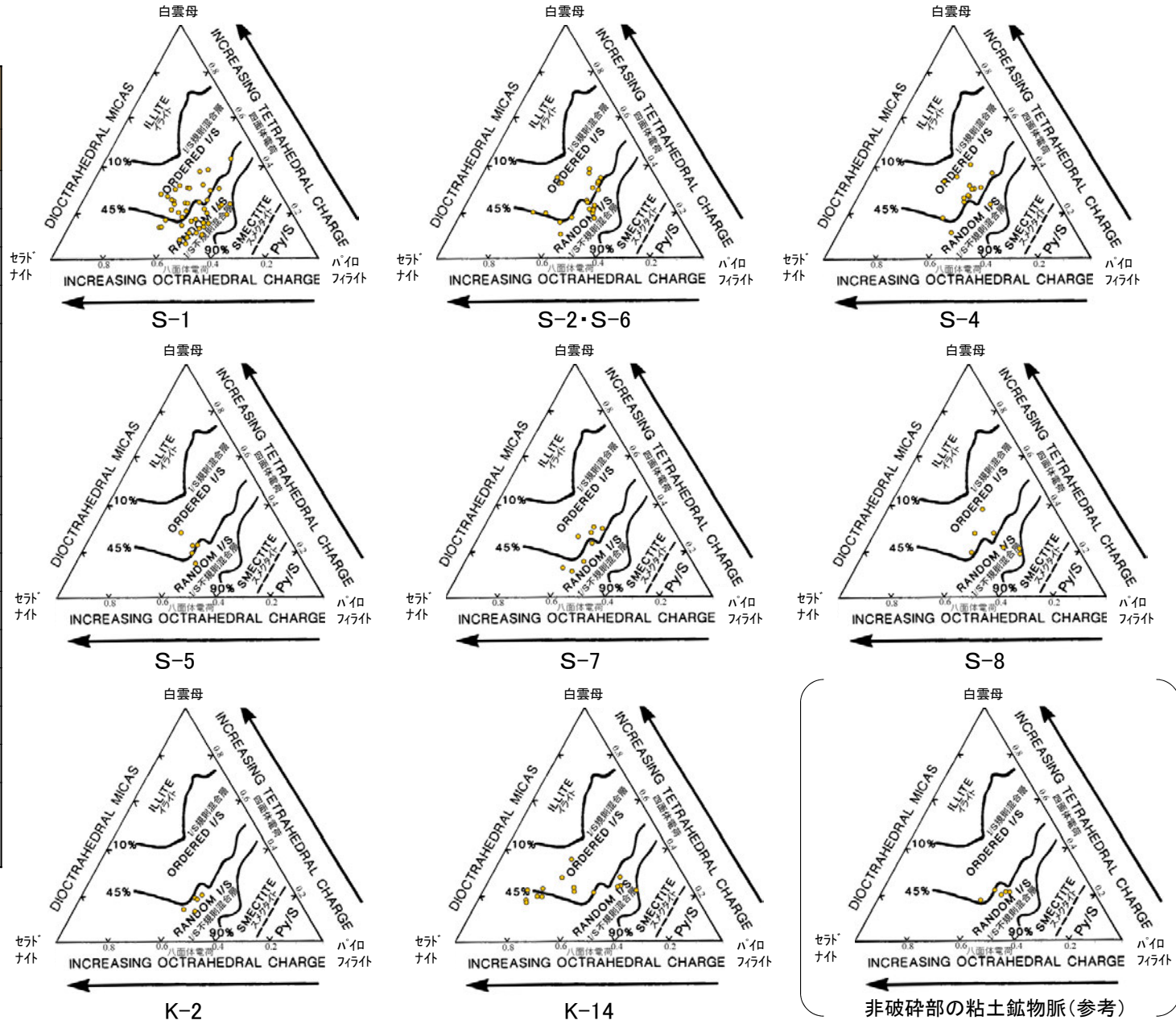
※今回修正

I/S混合層の構造判定図(渡辺(1981)に一部加筆)

5.2.1(1-1)敷地で確認される変質鉱物の詳細確認 –EPMA分析, 断層間比較–

○EPMA分析の結果に関して、断層間で比較を行った。
 ○2八面体型の粘土鉱物の化学組成を示したSrodon et al. (1984)の三角ダイアグラムによると、EPMA分析値から算出した化学組成は、いずれも「I/S混合層」に分類され、断層間の結果に相違はない。
 ○なお、断層以外の非破碎部の粘土鉱物脈の分析結果についても、同様の結果であった。

試料採取箇所 (EPMA分析試料)		
断層	採取位置	標高
S-1	B K-10.3SW孔	EL -6.17m
	C 岩盤調査坑No.25切羽	EL -17.60m
	J H-6.5-2孔	EL -49.50m
	K H-6.6-1孔	EL -37.95m
	L M-12.5”孔	EL -21.66m
S-2・S-6	D E-8.5-2孔	EL 12.66m
	E F-8.5’孔	EL 12.63m
	I K-6.2-2孔	EL -19.45m
S-4	A E-11.1SE-2孔	EL 19.72m
	M E-8.60孔	EL -35.91m
S-5	N R-8.1-1-3孔	EL -11.12m
S-7	H H-5.7’孔	EL -3.26m
S-8	F F-6.75孔	EL -15.76m
K-2	O H-0.9-40孔	EL -6.36m
	P H- -0.3-80孔	EL -27.48m
K-14	Q H’ - -1.3孔	EL -104.86m
	R H-6.5-2孔	EL -59.02m
非破碎部の粘土鉱物脈 (参考)		



各試料の採取位置については、P.25。

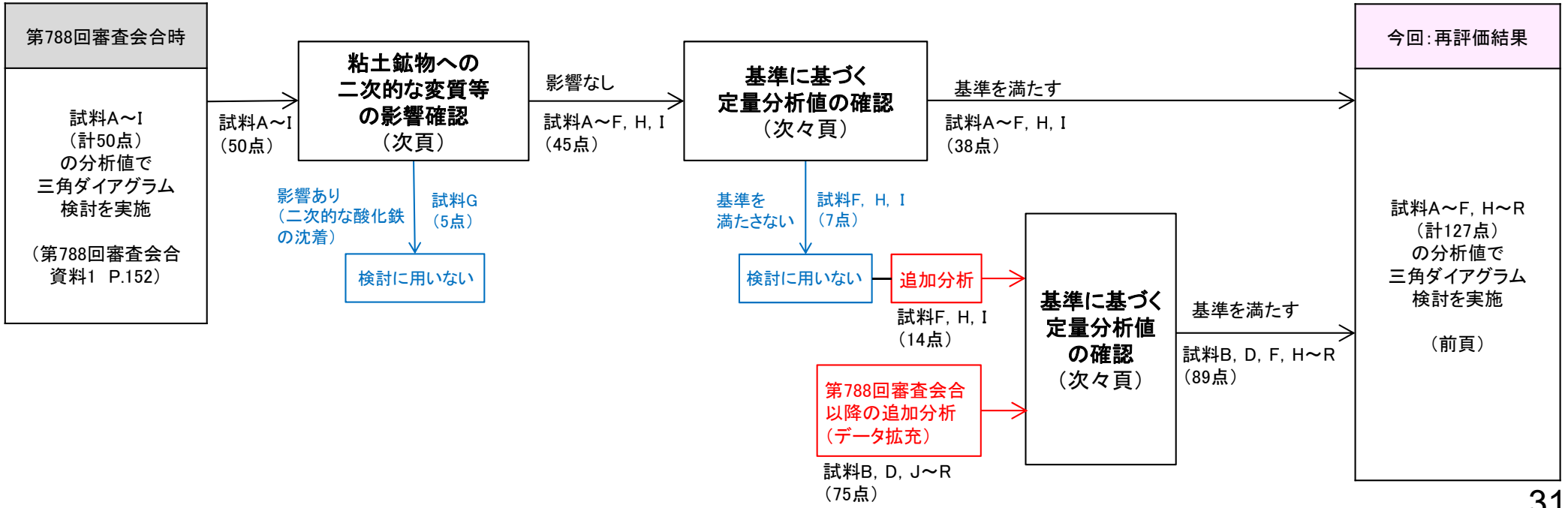
各試料の分析結果については、[補足資料5.2-2\(3\)](#)

非破碎部の粘土鉱物脈(参考)

- 第788回審査会合時の粘土鉱物のEPMA分析値(試料A~I)の中には、一般の粘土鉱物に比べてTotalの値やFe(Fe₂O₃)の値が大きいものも含まれるため、分析値への二次的な変質や不純物等の影響を再確認し、三角ダイアグラム検討に用いる分析値を再評価した。
- まずは、分析に用いた全EPMA分析試料について、薄片写真や元素マッピング結果を再度確認し、薄片試料中の粘土鉱物への二次的な変質等の影響について再評価した(次頁)。その結果、試料G(F-6.8孔)は、粘土鉱物が二次的な酸化鉄の沈着の影響を受けていると考えられることから、三角ダイアグラム検討に用いないこととした。
- 次に、基準に基づき定量分析値への不純物等の影響を確認した(次々頁)。Totalの値とFe₂O₃の値に着目し、日本粘土学会編(2009)を参考に設定した基準(Totalの値70~90%かつFe₂O₃の割合25%未満)を満たさない分析値(試料F, H, I)は、三角ダイアグラム検討の根拠として用いず、その分析位置周辺の各2点において追加分析を実施した。
- 試料F, H, Iの追加分析値及び第788回審査会合以降のデータ拡充を目的とした追加分析値についても、基準に基づく定量分析値の確認を行い、基準を満たすことを確認した計127点の分析値を用いて三角ダイアグラム検討を実施することとした。
- 以上のEPMA分析値の再評価の結果、第788回審査会合時と同様に、敷地の粘土鉱物の分析値はいずれも「I/S混合層」に分類された。

■検討に用いるEPMA分析値の再評価の流れ

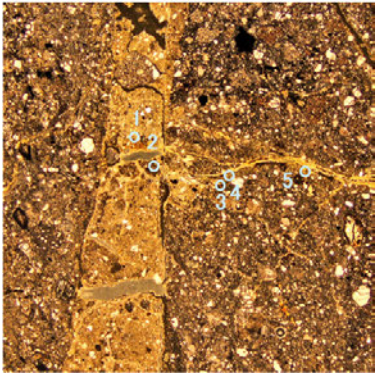
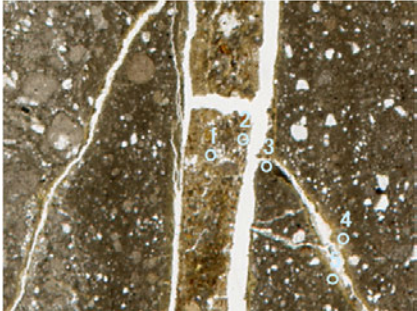
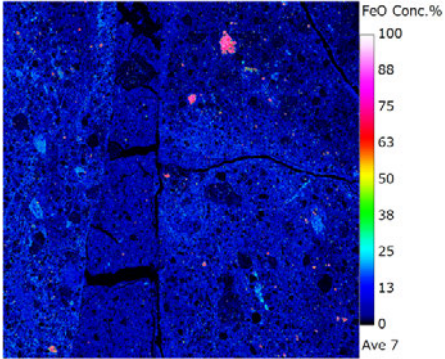
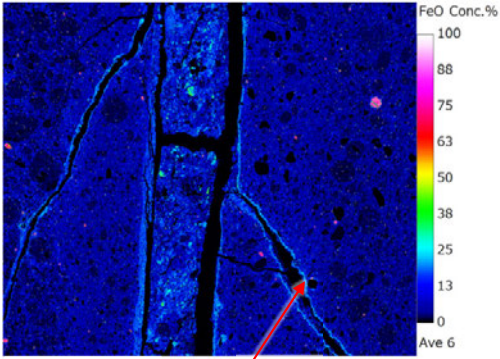
各試料の分析結果は、補足資料5.2-2(3)



【粘土鉱物への二次的な変質等の影響確認】

○分析に用いた全EPMA分析試料について、薄片写真や元素マッピング結果から薄片試料全体の状況を再度確認し、薄片試料中の粘土鉱物への二次的な変質等の影響について再確認した。

○再確認の結果、試料G(F-6.8孔)の粘土鉱物が、二次的な酸化鉄の沈着による影響を受けていると考えられるため、三角ダイアグラム検討に用いないこととした。

例	試料B(K-10.3SW孔)	試料G(F-6.8孔)
<p>薄片写真 (単ニコル)</p> <p>○: EPMA分析(定量) 実施箇所</p>		
<p>元素 マッピング (Feの例)</p>		 <p>二次的な酸化鉄の沈着による影響を受けている領域(水色部分)</p>
<p>評価</p>	<p>粘土鉱物に二次的な変質等は認められない。</p>	<p>割れ目を中心として酸化鉄の沈着が広く認められ、粘土鉱物のEPMA分析値も二次的な酸化鉄の沈着による影響を受けていると考えられる。</p>

↓

三角ダイアグラム検討に用いない。

【基準に基づく定量分析値の確認】

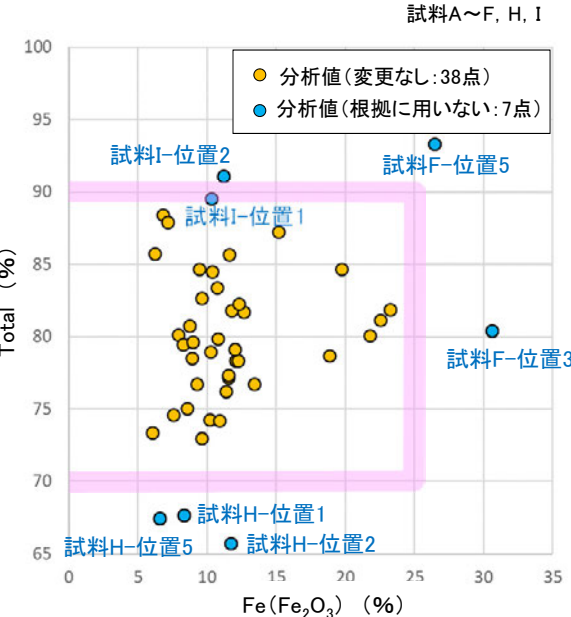
- 薄片試料中の粘土鉱物に二次的な変質等の影響を受けていないことを確認した試料の分析値については、文献に基づき設定した基準を用いて、定量分析値への不純物等の影響を再確認した。
- 三角ダイアグラム検討に用いる分析値の基準は、日本粘土学会編(2009)に記載の2八面体型スメクタイトの化学組成を参考に、「Totalの値70~90%かつFe₂O₃の割合25%未満」と設定した※。
- 設定した基準値を用いて定量分析値が不純物等の影響を受けているかを確認した結果、一部の分析値(7点)は基準を満たさず、不純物等の影響を受けていると考えられるため、三角ダイアグラム検討の根拠に用いないこととした。
- 次に、根拠に用いない分析位置周辺でそれぞれ2点追加分析を実施した。これらの追加分析値(14点)について、値が基準を満たすことを確認したことから、追加分析値を三角ダイアグラム検討の根拠として追加した。さらに、第788回審査会合以降のデータ拡充を目的とした追加分析値(75点)についても、分析値が基準を満たすことを同様に確認し、合計127点の分析値を用いて三角ダイアグラム検討を実施した。

※基準の設定根拠の詳細は、[補足資料5.2-2\(3\)](#)P.5.2-2-76

■ 基準による分析値の確認結果

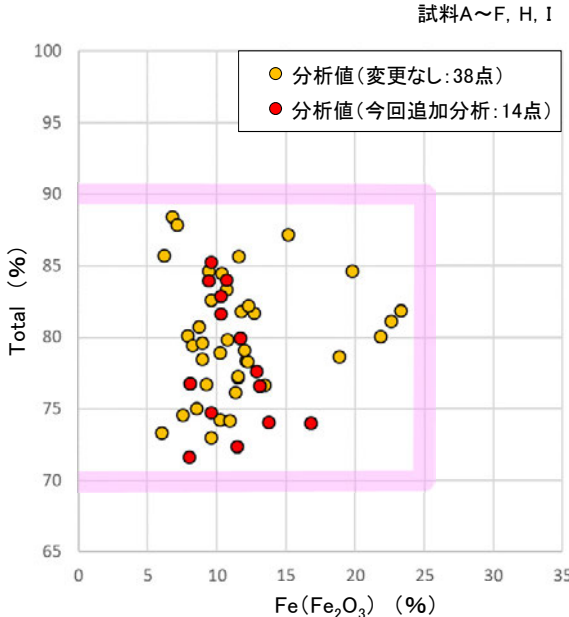
各試料の分析結果は、[補足資料5.2-2\(3\)](#)

＜第788回審査会合時の検討に用いた分析値＞

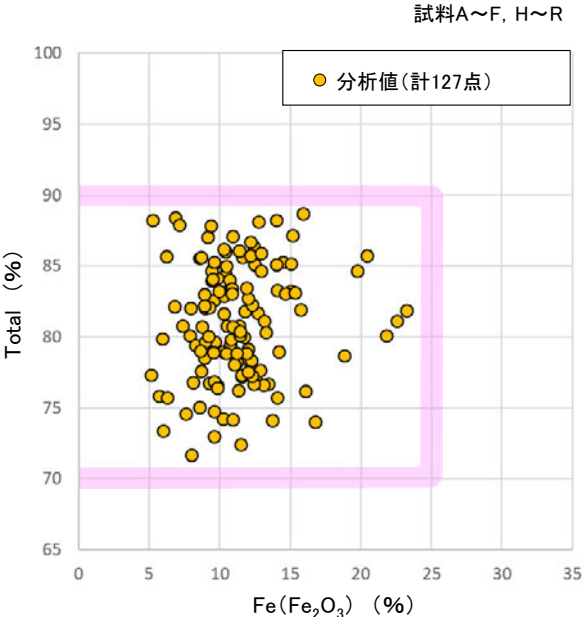


根拠に用いない分析位置周辺でそれぞれ2点で追加分析を実施

＜今回の検討に用いた分析値(第788回審査会合との比較)＞



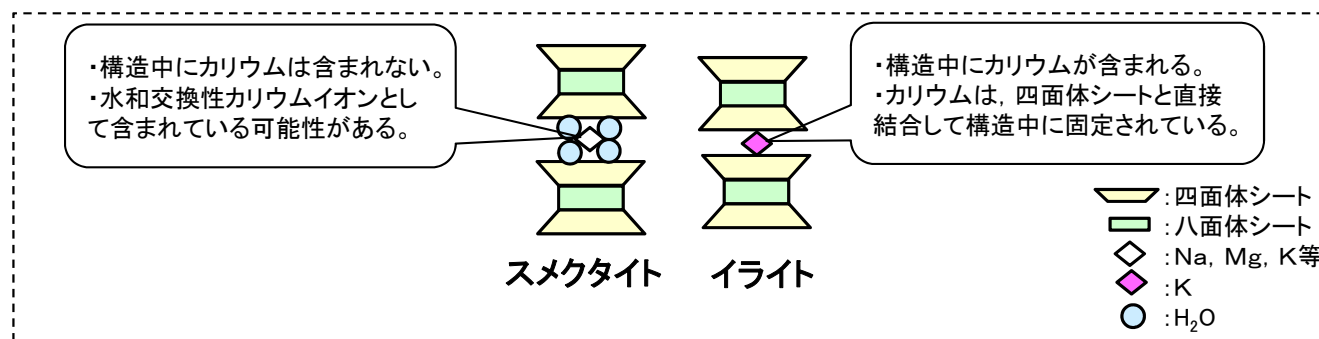
＜今回の検討に用いた分析値(全分析値)＞



いずれの値も基準を満たす。

5.2.1(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細確認 –CEC分析, XAFS分析, HRTEM観察–

○I/S混合層中に含まれるカリウムの存在状態を確認する目的で、敷地の粘土鉱物を用いてCEC分析, XAFS分析, HRTEM観察を実施した。
○分析の結果、敷地の粘土鉱物にはカリウムが固定されたイライトの構造が含まれることを確認した。このことは、敷地の粘土鉱物がI/S混合層であることを支持する。



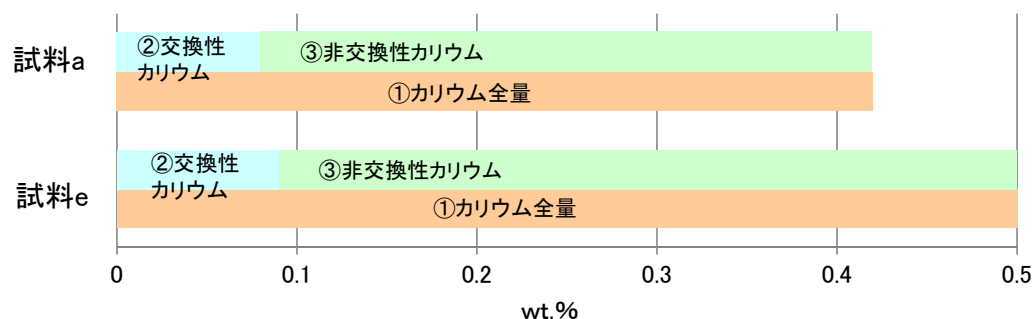
スメクタイトとイライトの構造とその特徴 (吉村(2001)を基に作成)

分析名	CEC分析 (Cation Exchange Capacity, 交換性陽イオン分析)	XAFS分析 (X-ray Absorption Fine Structure, X線吸収微細構造)	HRTEM観察 (High-Resolution Transmission Electron Microscope, 高分解能透過電子顕微鏡)
分析手法の概要	・試料中に含まれる交換性の陽イオンを交換溶液によって浸出させ、そのイオン量を測定する手法	・物質によるX線の吸収を測定することによって、特定元素周辺の構造を推定する手法	・高分解能の電子顕微鏡によって、粘土鉱物の積層構造を観察する手法
分析の目的	・スメクタイトでは、構造中にカリウムを含まず、層間の水和交換性カリウムイオンとしてしか含まれない。一方で、イライトでは構造中に固定されるとされている。 ⇒粘土鉱物中の交換性カリウムと固定されたカリウムの量を分析することによって、イライト構造の存在を確認する。	・スメクタイト中では、カリウムが水和交換性イオンとして存在する。一方で、イライト中では、カリウムが四面体シートと直接結合するとされ、両者ではカリウム原子周りの分子構造が異なる。 ⇒粘土鉱物中に含まれるカリウム原子周りの分子構造から、イライトと似た構造の存在を確認する。	・スメクタイトとイライトでは、単位層の間隔が異なる。 ⇒粘土鉱物の積層構造(単位層の間隔)を観察することによって、イライト構造の存在を確認する。
結果概要	・交換性カリウム含有量を定量した結果、カリウム全含有量に比べて十分に小さく、固定されたカリウムが十分に含まれていると判断される。(次頁, 宇波ほか(2019a, b))	・敷地の粘土鉱物のXAFS分析の結果、カリウム原子周りの構造を表すEXAFS関数及び構造関数がイライト標準試料の関数と類似する。(次々頁, 宇波ほか(2019a, b))	・HRTEM観察の結果、一連の積層構造中にスメクタイトの単位層とイライトの単位層が確認されることから、敷地の粘土鉱物はI/S混合層である。(P.37, 東京大学小暮研究室ほかによる観察結果)
検討の結果、敷地の粘土鉱物には、カリウムが固定されたイライトの構造が含まれ、I/S混合層であることを支持する。			

【CEC分析, 宇波ほか(2019a, b)】

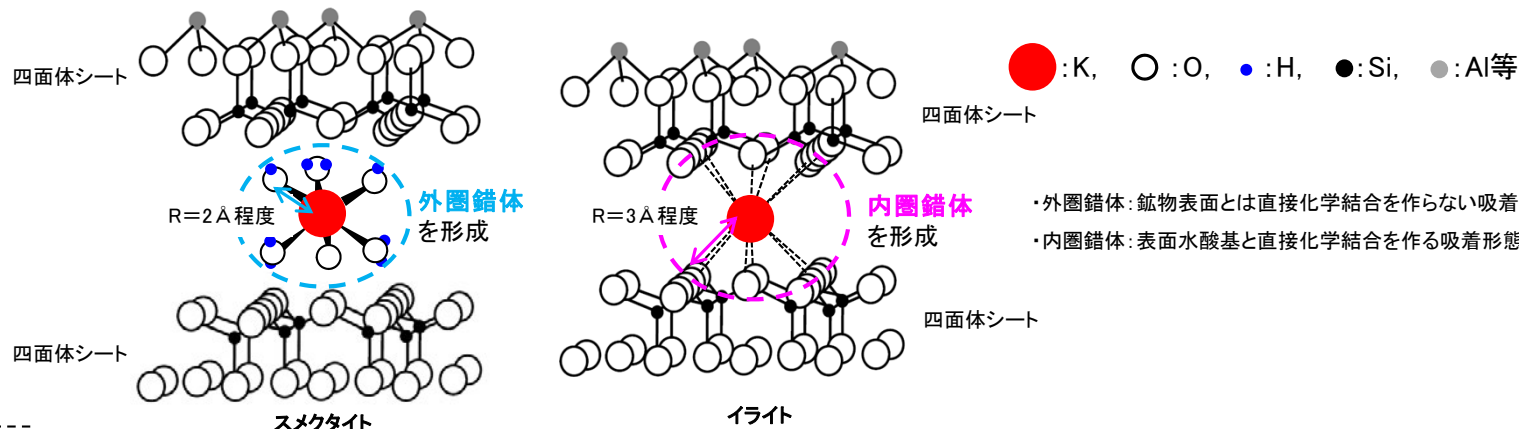
試料名	① カリウム全量 (wt.%) 湿式化学分析 ・定量法: 炎光分光法	② 交換性カリウム (wt.%) CEC分析 ・交換溶液: 塩化ストロンチウム溶液 ・定量法: ICP発光分光分析	③ 非交換性カリウム (wt.%) ①-②
試料a(E-8.5+5"孔)	0.42	0.08	0.34
試料e(岩盤調査坑No.27孔)	0.50	0.09	0.41

その他の分析試料の結果を含む詳細については
補足資料5.2-2(4)P.5.2-2-78~81

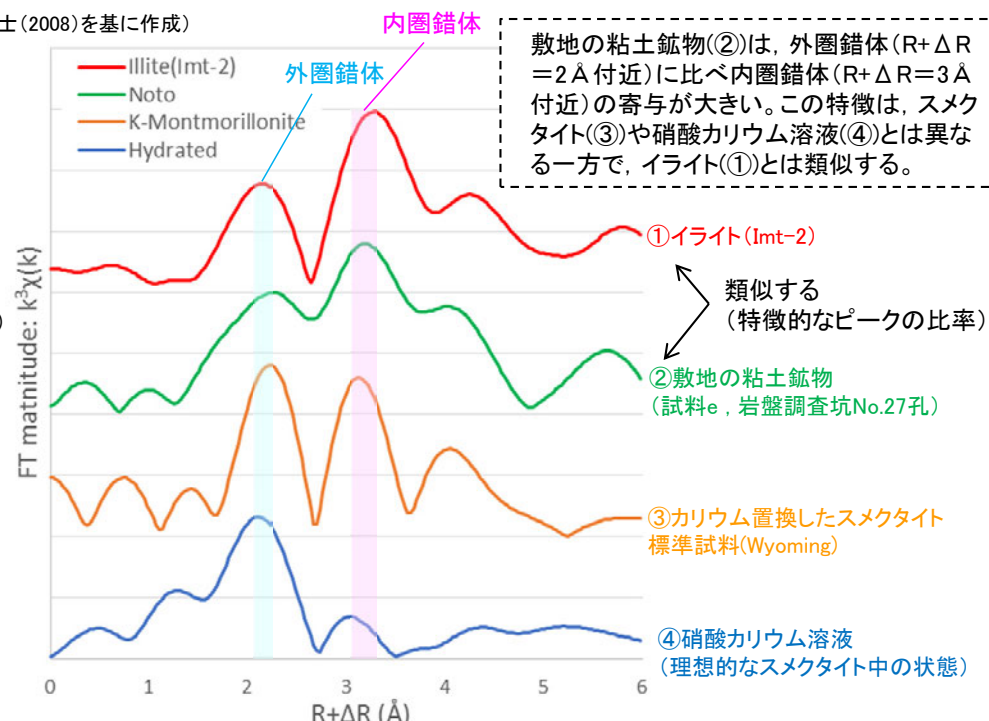
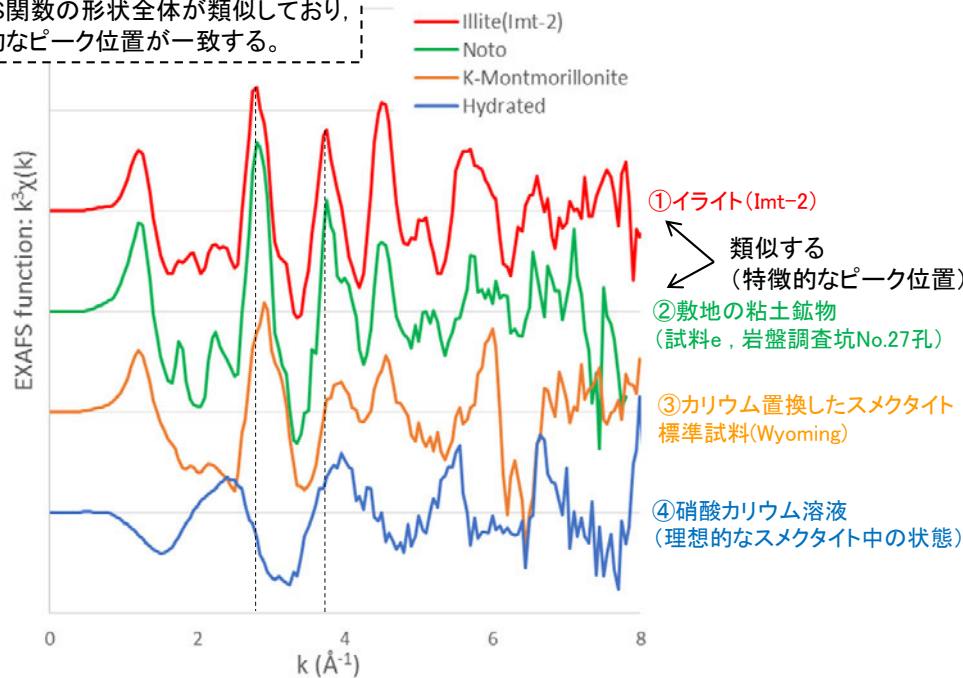


・敷地の粘土鉱物を対象として、CEC分析によって交換性のカリウム含有量を定量した結果、湿式化学分析によるカリウム全量の定量結果(0.42~0.50wt.%)に比べて、交換性カリウムの含有量(0.08~0.09wt.%)が十分に小さく、固定されたカリウムが十分に含まれていることから、敷地の粘土鉱物にはイライトのようにカリウムが固定された構造が含まれる。

【XAFS分析, 宇波ほか(2019a, b)】



敷地の粘土鉱物(②)は、イライト(①)とEXAFS関数の形状全体が類似しており、特徴的なピーク位置が一致する。



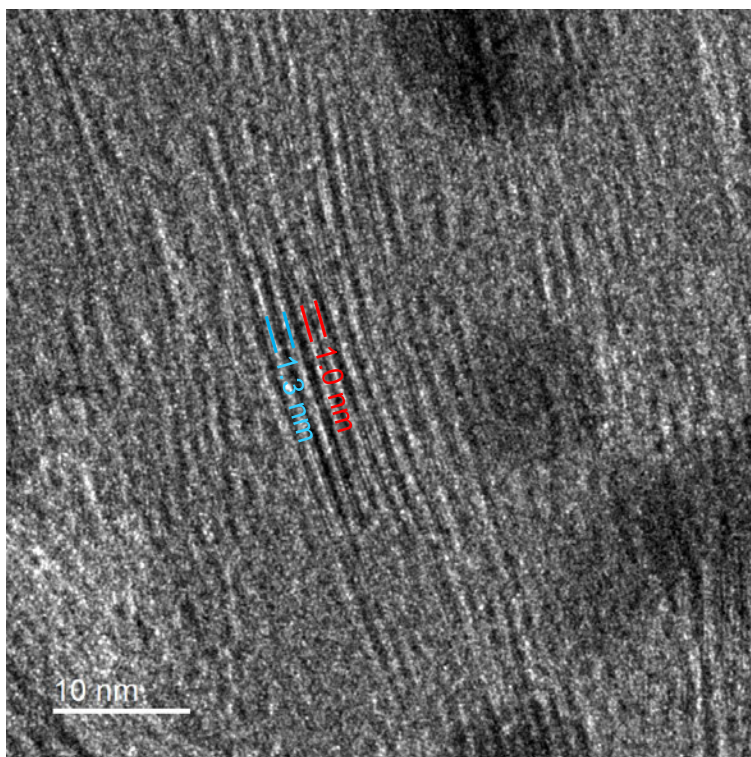
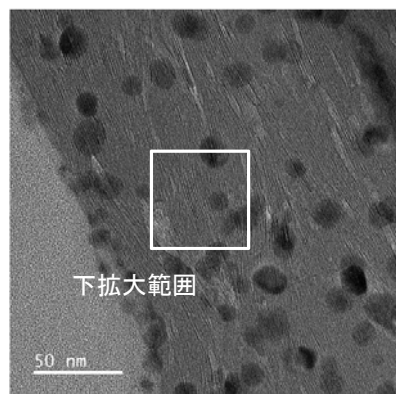
敷地の粘土鉱物(②)は、外圏錯体 ($R+\Delta R=2\text{Å}$ 付近) に比べ内圏錯体 ($R+\Delta R=3\text{Å}$ 付近) の寄与が大きい。この特徴は、ス멕タイト(③)や硝酸カリウム溶液(④)とは異なる一方で、イライト(①)とは類似する。

宇波ほか(2019a, b)に一部加筆

分析の詳細については補足資料5.2-2(4)P.5.2-2-82~83

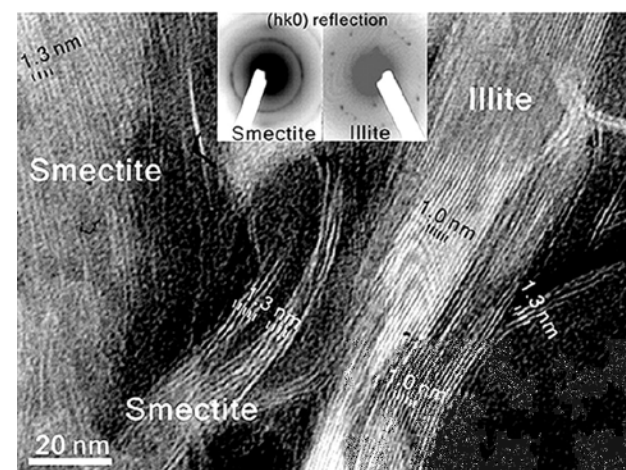
・敷地の粘土鉱物を対象にXAFS分析を実施し、粘土鉱物に吸着されたカリウム原子周りの構造を推定した。
・XAFSから得られたEXAFS関数及び動径構造関数について、イライトの標準試料(Imt-2)、カリウム水和イオン(硝酸カリウム溶液)との関数と比較することによって、カリウム原子周りの構造を推定した結果、敷地の粘土鉱物(試料e)の関数はイライトの関数と類似する。

【HRTEM観察】



敷地の粘土鉱物(試料e)のHRTEM観察結果

■I/S混合層のHRTEM観察に関する知見(Kim et al., 2004)

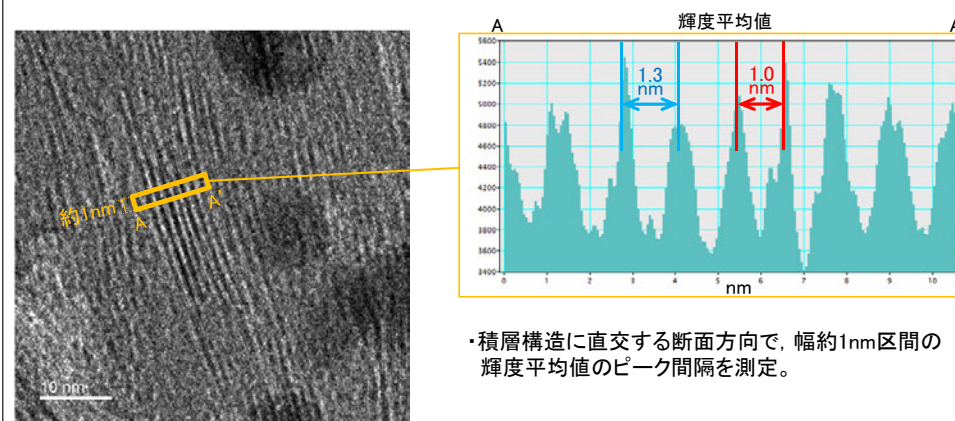


スメクタイト及びイライト構造のHRTEM像

・スメクタイトの典型的な単位層は1.3nm, イライトの単位層は1.0nmとなる。

■単位層の測定方法

・電子顕微鏡で撮影したHRTEM像で画像解析を実施し, 明瞭なコントラストが認められる積層構造中の単位層の間隔を測定した。



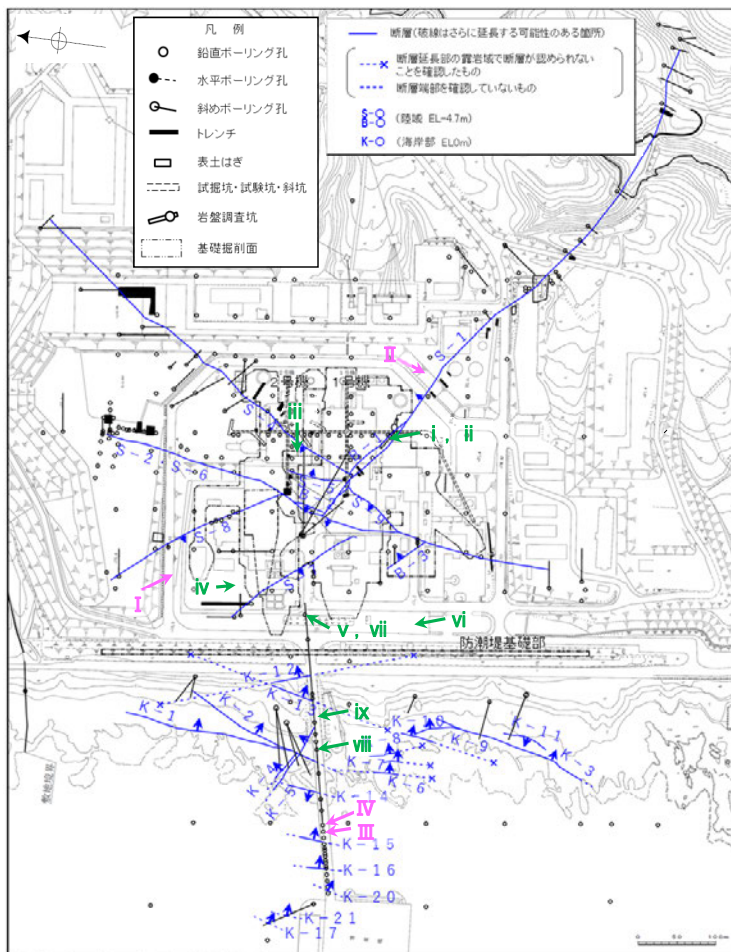
・積層構造に直交する断面方向で, 幅約1nm区間の輝度平均値のピーク間隔を測定。

・敷地の粘土鉱物を対象にHRTEM観察(観察装置: JEM-ARM200F)を実施した結果, 明瞭な積層構造を確認し, 一連の積層構造中にスメクタイトの単位層(1.3nm)とイライトの単位層(1.0nm)が確認されることから, この粘土鉱物はI/S混合層である。

上記は, 東京大学小暮研究室, 電力中央研究所, 北陸電力による観察結果である。

5.2.1(1-1)敷地で確認される変質鉱物の詳細確認 — 白色鉱物 —

○粘土鉱物以外に評価に用いる変質鉱物について検討するため、粘土鉱物以外の変質鉱物について調査し、ボーリングコア観察等を実施した。
○その結果、破碎部中や母岩の割れ目に沿って、白色鉱物が認められ、これらの白色鉱物を対象として、XRD分析及び薄片観察を実施し、これらの白色鉱物がオパールCT及びフィリップサイトであることを確認した。

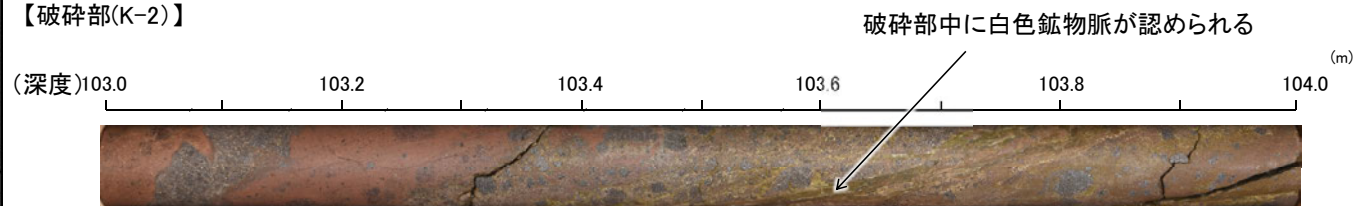


試料採取位置図

白色鉱物(オパールCT)分析試料
白色鉱物(フィリップサイト)分析試料

- ・分析に使用した試料のうち、代表的な例を右上に示す。
- ・その他の試料については補足資料5.2-2(1)P5.2-2-17~22

【破碎部(K-2)】



破碎部中に白色鉱物(オパールCT)の鉱物脈が認められる事例 (試料viii. H-1.1孔 深度103.62m付近)

【非破碎部】



母岩中の割れ目に沿って白色鉱物(フィリップサイト)の鉱物脈が認められる事例 (試料II. J-10.8SW-1孔 深度86.18m付近)

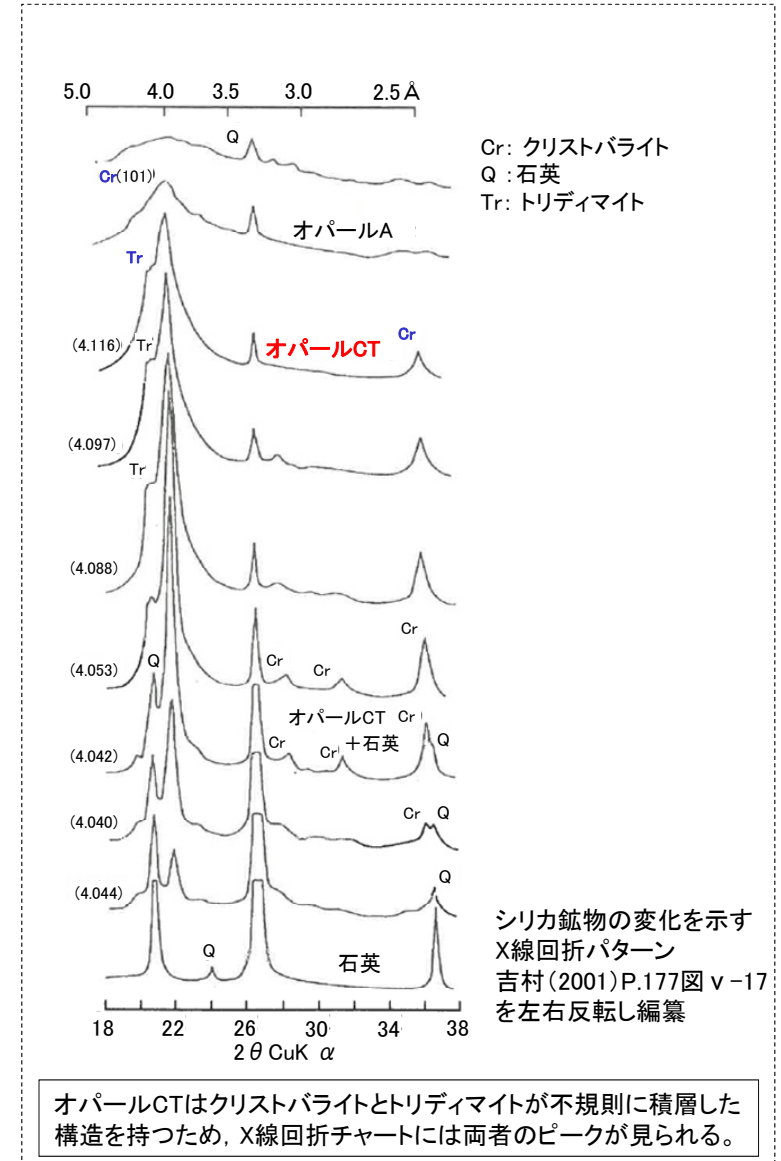
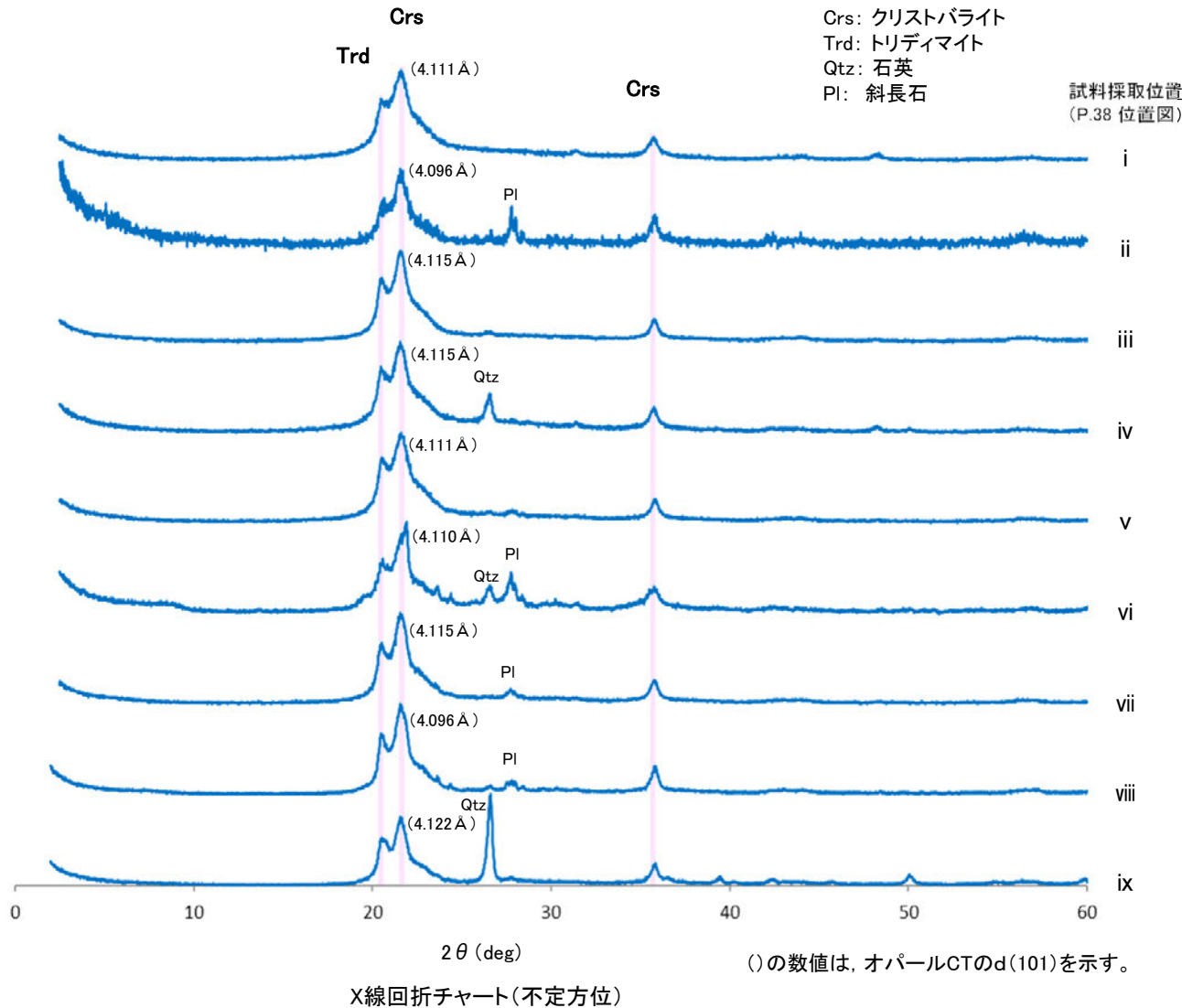
白色鉱物(オパールCT)確認箇所			
	試料採取位置(左位置図)	深度	標高
i	非破碎部 岩盤調査坑No.30切羽 (切羽面)		EL -15.56m
ii	S-1 KR-13孔	2.47m	EL -16.75m
iii	H-6.4孔	112.95m	EL -68.78m
	F-4.9孔	136.57m	EL -125.44m
v	非破碎部 R-4.5孔	68.63m	EL -57.56m
vi	K-4.2孔	80.63m	EL -69.36m
vii	R-4.5孔	71.10m	EL -60.03m
viii	K-2 H-1.1孔	103.62m	EL -96.84m
ix	非破碎部 H-1.5-95孔	176.71m	EL -168.01m

白色鉱物(フィリップサイト)確認箇所			
	試料採取位置(左位置図)	深度	標高
I	S-2・S-6 E-5.7孔	170.73m	EL -158.08m
II	非破碎部 J-10.8SW-1孔	86.18m	EL -62.11m
III	K-14 H' - -1.3孔	125.58m	EL -121.91m
IV	非破碎部 H- -1.0孔	126.88m	EL -123.22m

赤字: 第788回審査会合時からの追加分析箇所

5.2.1(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細確認 – 白色鉱物(オパールCT)のXRD分析 –

○敷地で認められた白色鉱物(試料 i ~ ix)について, XRD分析を実施した結果, クリスタライトとトリディマイトのピークが見られるため, これらの白色鉱物はオパールCTである。

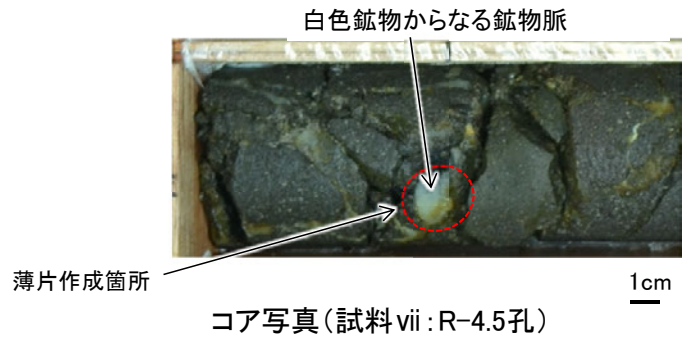


各試料のX線回折チャートの詳細は補足資料5.2-2(5)

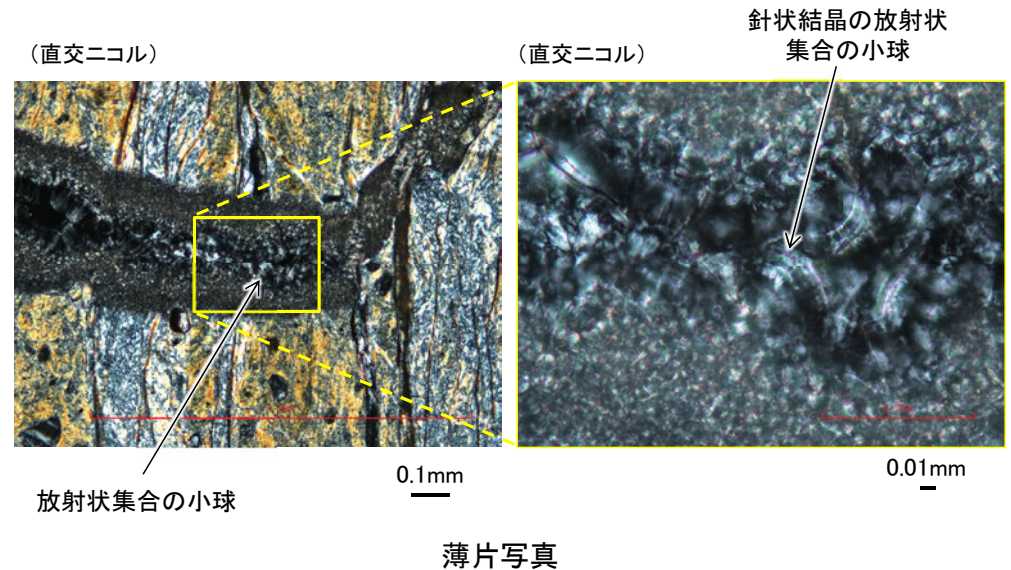
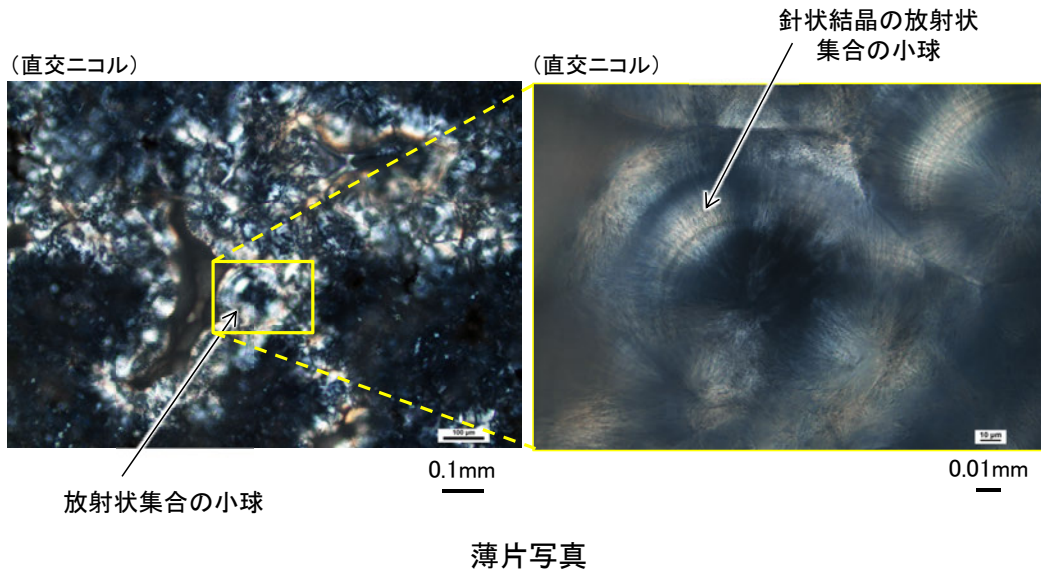
5.2.1(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細確認 — 白色鉱物(オパールCT)の薄片観察 —

○XRD分析においてオパールCTが認められた試料vii及びviiiの薄片観察の結果, 白色鉱物からなる鉱物脈中には, 吉村(2001)でオパールCTの特徴として示される, 針状結晶の放射状集合の小球が認められる。

【試料viiの薄片観察結果】



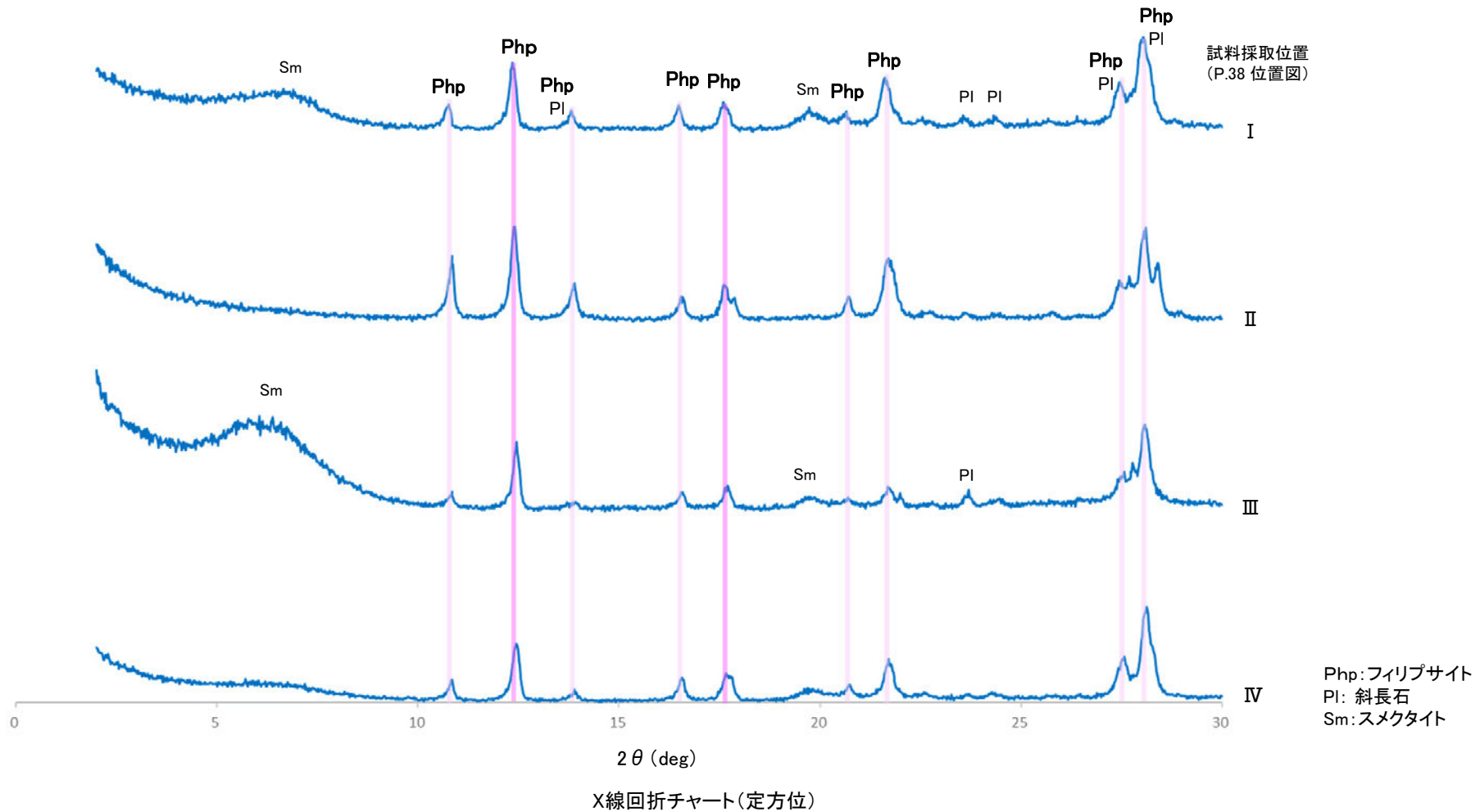
【試料viiiの薄片観察結果】



吉村(2001)
オパールCT: 針状結晶の放射状集合の小球として産する。

5.2.1(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細確認 — 白色鉱物(フィリップサイト)のXRD分析 —

○敷地で認められた白色鉱物(試料 I ~IV)について, XRD分析を実施した結果, これらの白色鉱物はフィリップサイトである。



ICDD:PDF-4(2015)によるPhillipsite-Kの特徴的回折ピーク
(斜長石と重複しない主要回折ピーク位置)

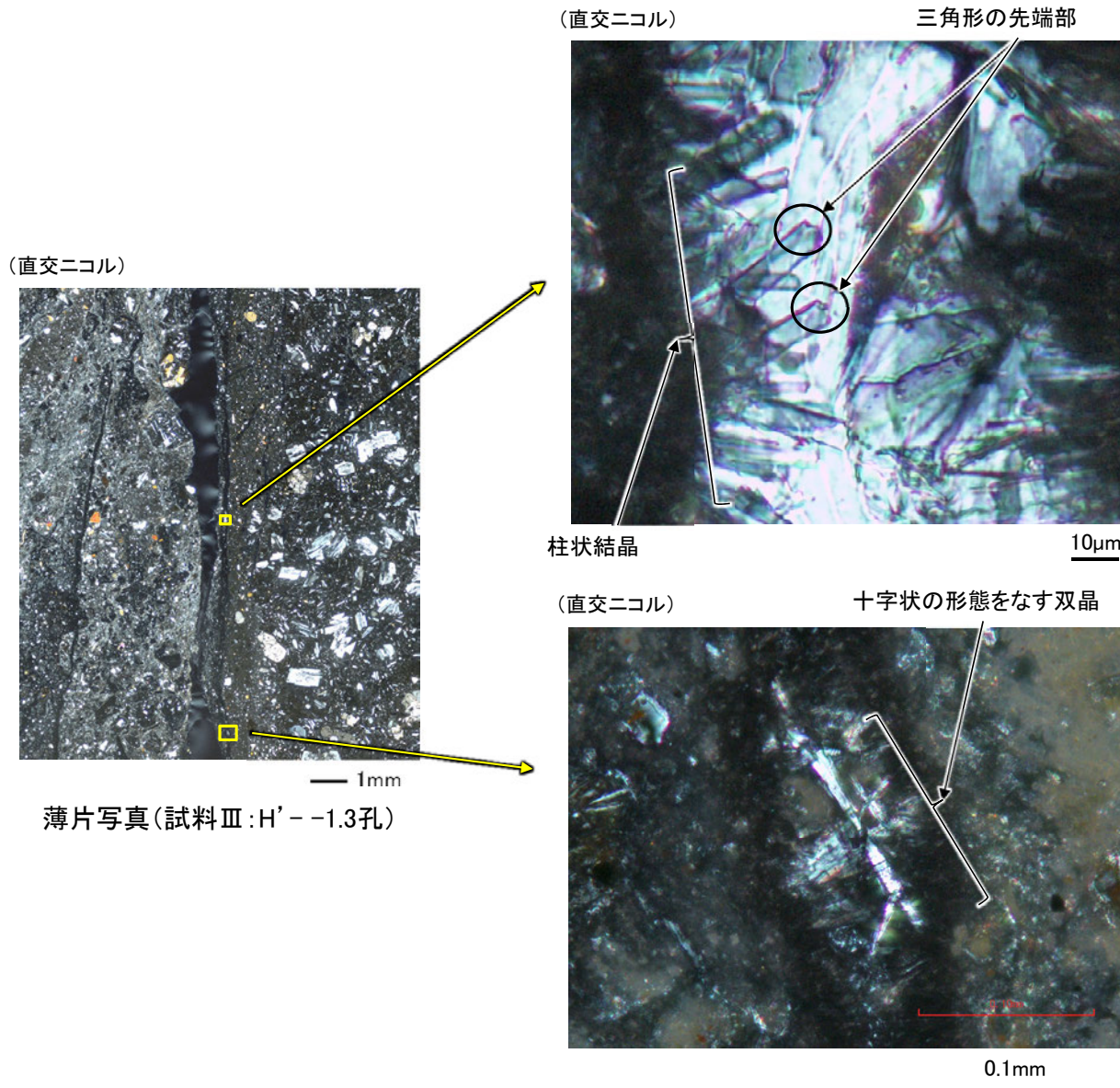
$$2\theta = 12.44^\circ, 17.57^\circ$$

各試料のX線回折チャートの詳細は
補足資料5.2-2(6)

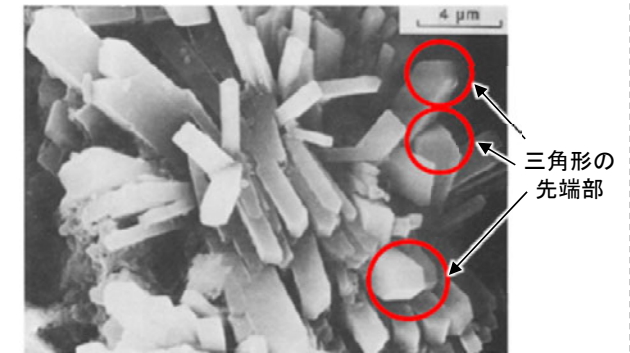
5.2.1(1-1) 敷地で確認される変質鉱物の詳細確認 – 白色鉱物(フィリップサイト)の薄片観察–

○XRD分析においてフィリップサイトが認められた試料Ⅲの薄片観察の結果、白色鉱物からなる鉱物脈中には、Sheppard and Fitzpatrick(1989)のフィリップサイトで見られるような三角形の先端部を伴う柱状結晶が認められる。

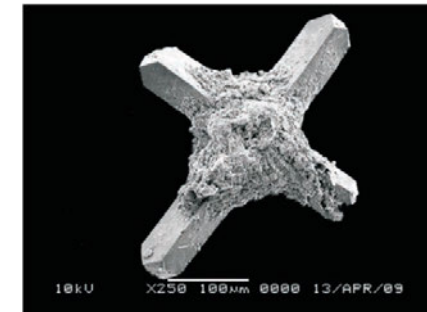
○また、Adisaputra and Kusnida(2010), 松原(2002)でフィリップサイトの特徴として示される、十字状の形態をなす双晶も認められる。



Sheppard and Fitzpatrick(1989)
フィリップサイトの柱状結晶のSEM画像



Adisaputra and Kusnida(2010)
十字状の形態をなすフィリップサイトのSEM画像



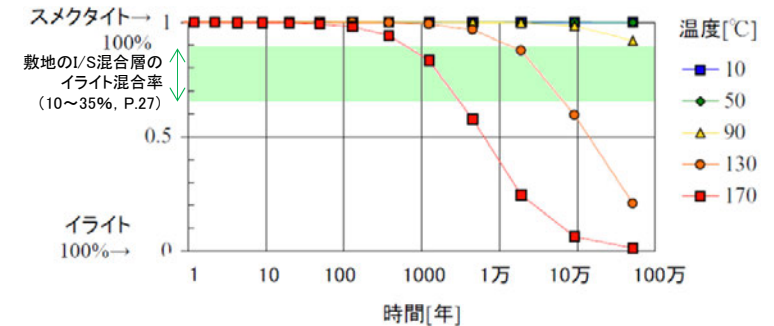
松原(2002)
十字沸石(フィリップサイト):
複雑な双晶をして産し、四角柱状、十字状などの形態が特徴。

5.2.1 (1-2) 変質鉱物の生成年代の評価 — 生成温度・期間に関する文献調査 —

- 敷地内で確認された変質鉱物であるI/S混合層、オパールCT及びフィリップサイトの生成温度や生成期間等に関する文献調査を実施した。
- I/S混合層は、地下深部で生成した場合は50°C以上、熱水によって生成した場合は110°C以上で生成することが示されている。また、スメクタイトのイライト化の変質速度に関する知見では、温度50°Cでは数十万年が経過してもイライト化が進行しないとされている。
- オパールCTは、地温約50°C以上の地下深部で生成することが示されている。また、反応速度論的な検討によると、地下深部の50°Cで生成する場合には、数十万年の期間を要することが示されている。
- フィリップサイトは、地温約50°C以上の地下深部もしくは熱水によって生成されることが示されている。また、熱水変質・接触変成でフィリップサイトと同様な温度環境で生成する斜プチロル沸石について、約50°Cで生成する場合には、およそ100万年の時間を要するとされている(次頁)。

■I/S混合層の生成温度・期間に関する知見

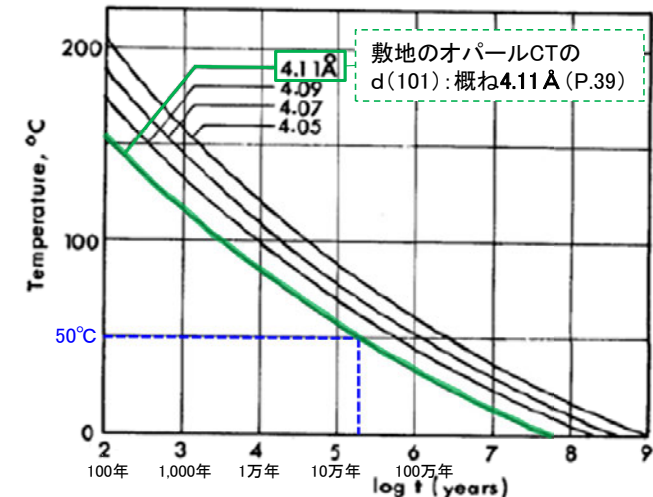
吉村(2001)	<p><地下深部での生成></p> <ul style="list-style-type: none"> ・I/S混合層における積層の仕方、I層とS層の含有率、規則度及び出現温度との関係を表で示している。 ・この表によると、ライヒバイトR=0のI/S混合層の出現温度は、「長期(5~300百万年)、50~60°C」である。 <p><熱水による生成></p> <ul style="list-style-type: none"> ・熱水変質作用によるI/S混合層の生成温度は約120~220°Cである。
井上(2003)	<p><熱水による生成></p> <ul style="list-style-type: none"> ・スメクタイトのイライト化は熱水変質作用のように比較的短時間で反応が完了する場合には温度の効果が最も重要な反応促進因子である。 ・I/S混合層は熱水変質作用により、約110°C以上で生成する。
Velde et al. (1988)	<p><地下深部での生成></p> <ul style="list-style-type: none"> ・スメクタイトからR0(イライト/スメクタイト不規則混合層)への変換温度は60~90°Cである。
Meunier et al. (2010)	<p><地下深部での生成></p> <ul style="list-style-type: none"> ・多くの研究データから100%純粋なスメクタイトのイライト化の反応の開始点は温度50~80°Cである。
原子力発電環境整備機構(2014)	<p><熱水による生成></p> <ul style="list-style-type: none"> ・地層処分における熱環境の検討において、Karland et al. (2000)による時間経過に伴うスメクタイトのイライト化に関する図を示している(右上図)。 ・この図によると、温度90°Cでは数十万年で10%程度のイライト化が進行するものの、温度50°Cではイライト化に至らない。



時間経過に伴うスメクタイトのイライト化
(原子力発電環境整備機構(2014)に一部加筆)

■オパールCTの生成温度・期間に関する知見

吉村(2001)	<ul style="list-style-type: none"> ・オパールAは非晶質のシリカ物質であるが、続成変質を受けるとオパールCTが生成する。 ・両者の境界は埋没温度が50°C付近である。
太田ほか(2007)	<ul style="list-style-type: none"> ・報告地域におけるシリカ鉱物の変化は埋没続成作用により生じたものと見なし、オパールAからオパールCTへ変化する温度を45°Cと仮定して浸食量を推定している。
日本粘土学会編(2009)	<ul style="list-style-type: none"> ・シリカ鉱物の帯状分布を整理しており、オパールCTがみられる鉱物帯の境界温度は44°Cである。
Kano(1983)	<ul style="list-style-type: none"> ・北海道の基礎試錐「浜勇知」から得られたデータを基に反応速度論的な考察を行い、オパールCTのd(101)及び温度、生成期間の関係性を示している(右下図)。 ・この図によると、d(101)が4.11 ÅであるオパールCTが50°Cで生成する場合には、数十万年の期間を要する。
Bjørlykke(2010)	<ul style="list-style-type: none"> ・非晶質シリカ(オパールA)は、通常、50~70°Cで溶解しオパールCTに変化する。

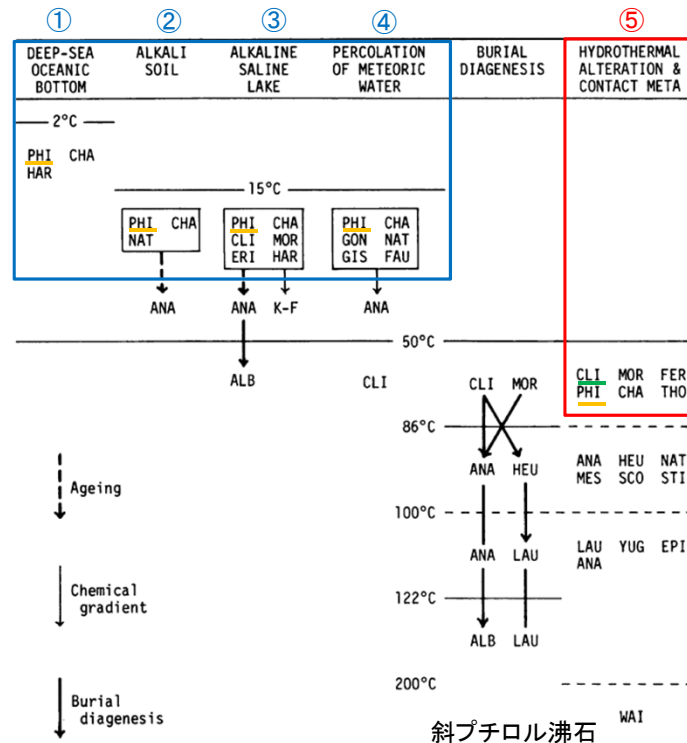


オパールCTのd(101)及び温度、生成期間の関係
(Kano(1983)に一部加筆)

■フィリップサイトの生成温度・期間に関する知見(関連する沸石類も含む)

中田・千木良(1996)	・火山ガラスからフィリップサイトを合成した結果、フィリップサイトは100~125°Cで多く生成する(Hawkins et al., 1978)。
佐々木ほか(1982)	・斜プチロル沸石は、初期圧密から後期圧密段階初期、地温57°C以上の条件下で火山ガラスを交代して、生成する(青柳, 1978)。 ・斜プチロル沸石が47°Cで生成し始めるには、およそ100万年の時間を要する(鹿野, 1978)。
佐々木(1991)	・海成層中の沸石は、埋没続成下における最高地層温度に強く支配されて生成するが、有効被熱時間が転換温度に対して重要な働きをしている。沸石の転換温度は、有効被熱時間が長くなるにしたがって低くなる。

■フィリップサイトの生成環境に関する知見(飯島, 1986)



志賀サイトでの生成環境を考察



フィリップサイトの生成環境 (左図の番号に対応)	志賀サイト(穴水累層)の特徴
①深海底	× 深海底のフィリップサイトの母材である玄武岩質ガラスは、穴水累層中には含まれない。
②アルカリ土壌	× 敷地には、半乾燥~乾燥地帯のアルカリ土壌は分布しない。
③アルカリ塩湖	× 敷地には、アルカリ塩湖堆積物は分布しない。
④天水の浸透	× 本作用の主な母材である玄武岩質ガラスは、穴水累層中には含まれない。
⑤熱水変質・接触変成	○ 安山岩中には、50°C以上の温度環境下によって生成したと考えられる変質鉱物(I/S混合層, オパールCT)が認められる。

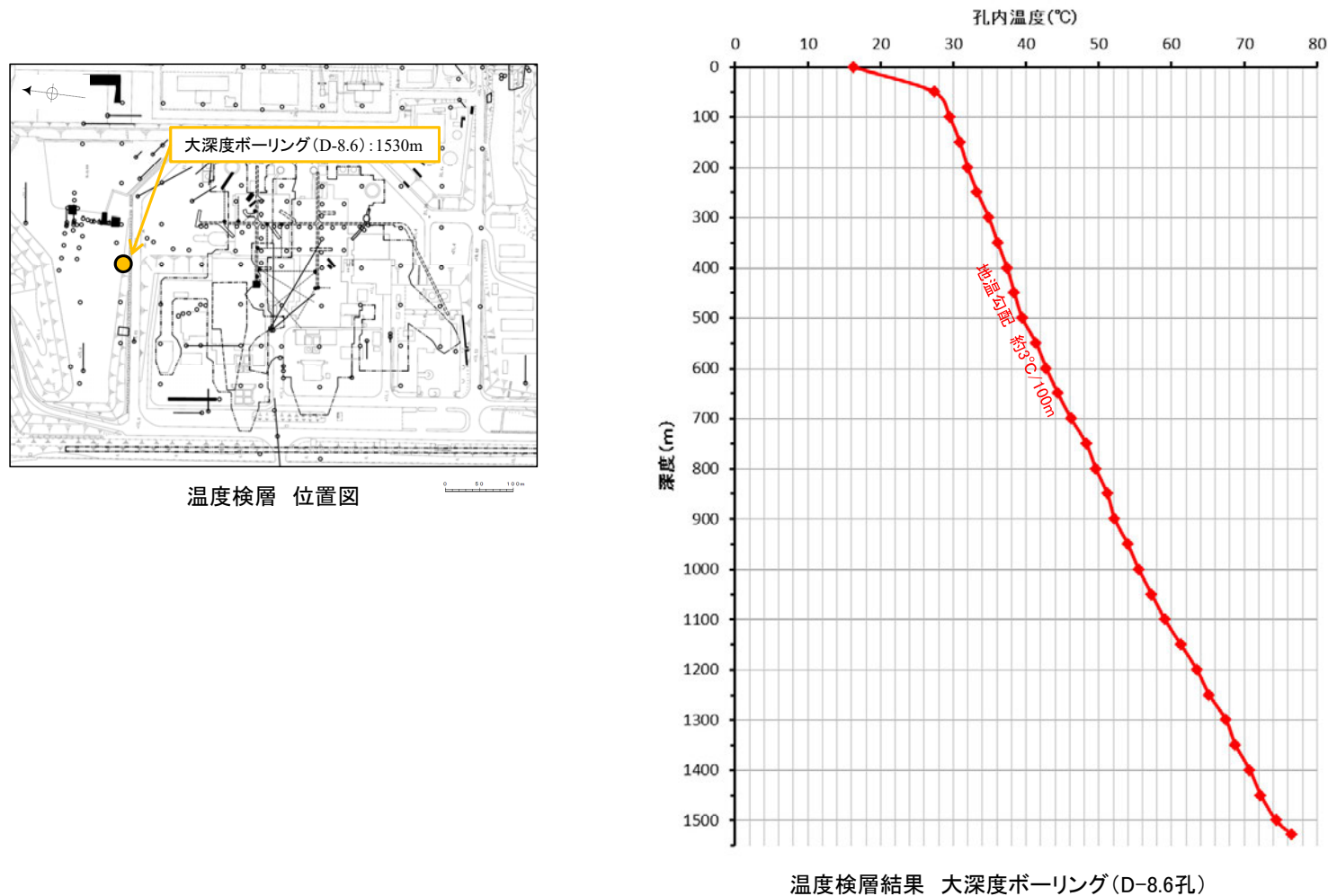
フィリップサイト PHI=phillipsite, CHA=chabazite, NAT=natrolite, CLI=clinoptilolite, MOR=mordenite, ERI=erionite, GON=gonnardite, GIS=gismondine, FAU=faujasite, ANA=analcite, FER=ferrierite, THO=thomsonite, HEU=heulandite, STI=stilbite, MES=mesolite, SCO=scolecite, LAU=laumontite, YUG=yugawaralite, EPI=epistilbite, WAI=wairakite, HAR=harmotome, K-F=K feldspar, ALB=albite.

沸石の種類と生成環境 (飯島(1986)に加筆)

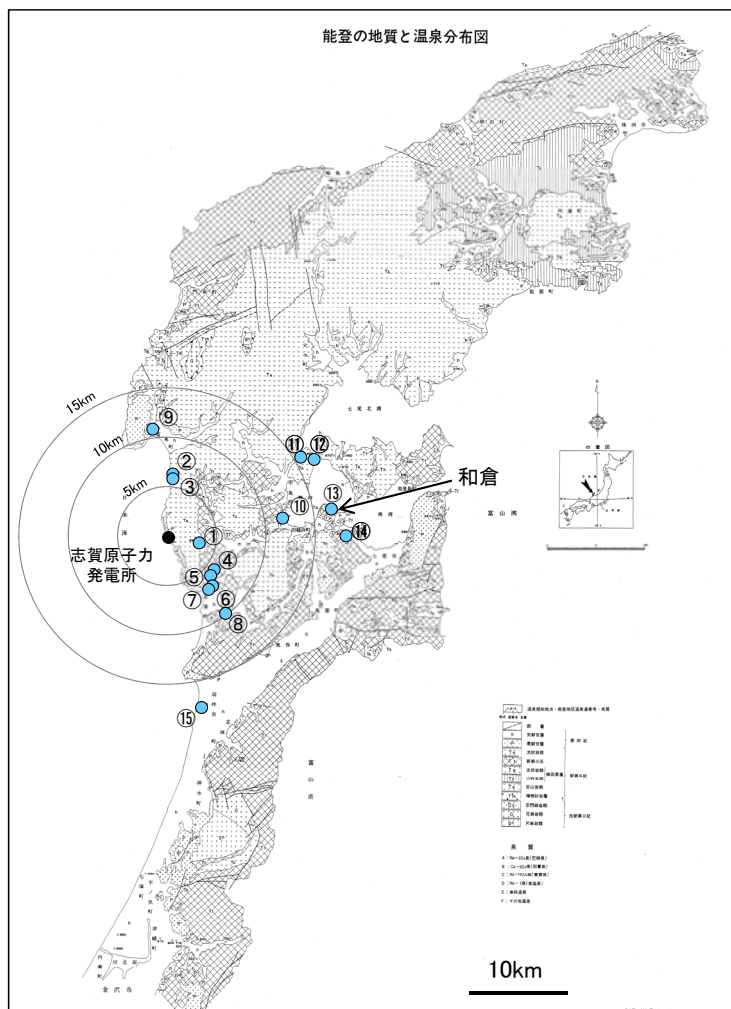
5.2.1(1-2) 変質鉱物の生成年代の評価 — 敷地周辺の地温分布に関する調査 —

- 文献調査の結果、敷地で認められる変質鉱物は約50°C以上で生成するとされていることから、敷地及び敷地周辺の地温分布を把握する目的で、温度検層及び文献調査を実施した。
- 敷地の地温分布に関して、大深度ボーリング孔による温度検層を実施した結果、敷地の地温勾配は約3°C/100mで一定である。これは、吉村(2001)で示される一般的な地温勾配(3°C/100m)とほぼ同じで、大山(2014)で示される非火山地域(地温勾配 2~3°C/100m)に相当する。
- また、敷地周辺の地温分布に関して、藤・板倉(1994)や産業技術総合研究所(2005)によると、敷地から約17km離れている和倉には泉温91.4°Cの温泉が示されているものの、敷地付近では、泉温50°Cを超える温泉は示されていない(次頁)。さらに、藤・板倉(1994)で比較的温度が高く、敷地に近い①、⑨地点について、温泉所有者が実施したボーリング掘削時の地温データを確認した結果、いずれも敷地の地温勾配と同程度である(次々頁)。
- 以上より、敷地及び敷地周辺は、一般的な地温勾配であり、地熱地帯ではない。

【敷地の地温分布】



【敷地周辺の地温分布(文献調査)】

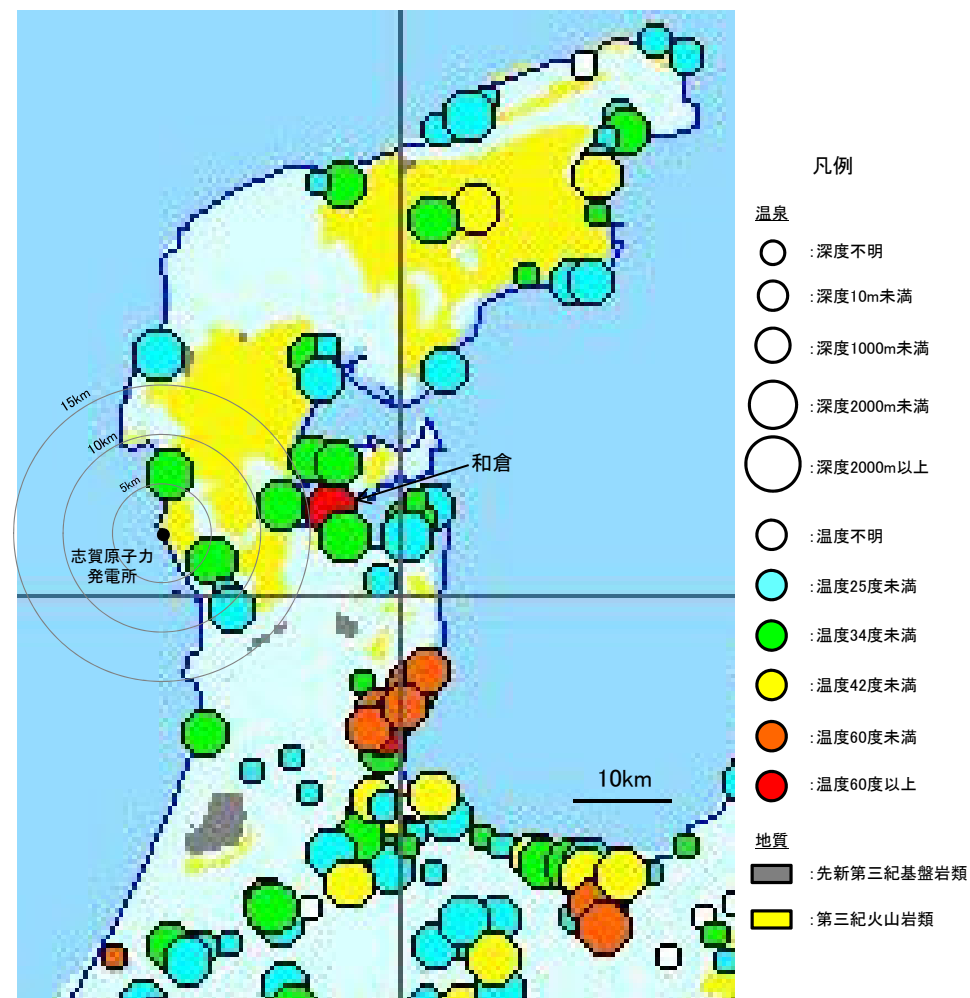


敷地周辺の主要温泉一覧表

地点名	深度	泉温※1
①	-	36.7°C
②	200m	20.3°C
③	400m	28.0°C
④	185m	22.1°C
⑤	1000m	29.4°C
⑥	1000m	32.0°C
⑦	1200m	32.9°C
⑧	160m	22.5°C
⑨	800m※2	42.7°C
⑩	300m	29.0°C
⑪	500m	28.5°C
⑫	600m	31.0°C
⑬	-	91.4°C
	-	31.0°C
	150m	58.4°C
	150m	85.0°C
⑭	-	88.9°C
	100m	27.7°C
⑮	300m	28.0°C

※1 湧出口での温泉水の温度

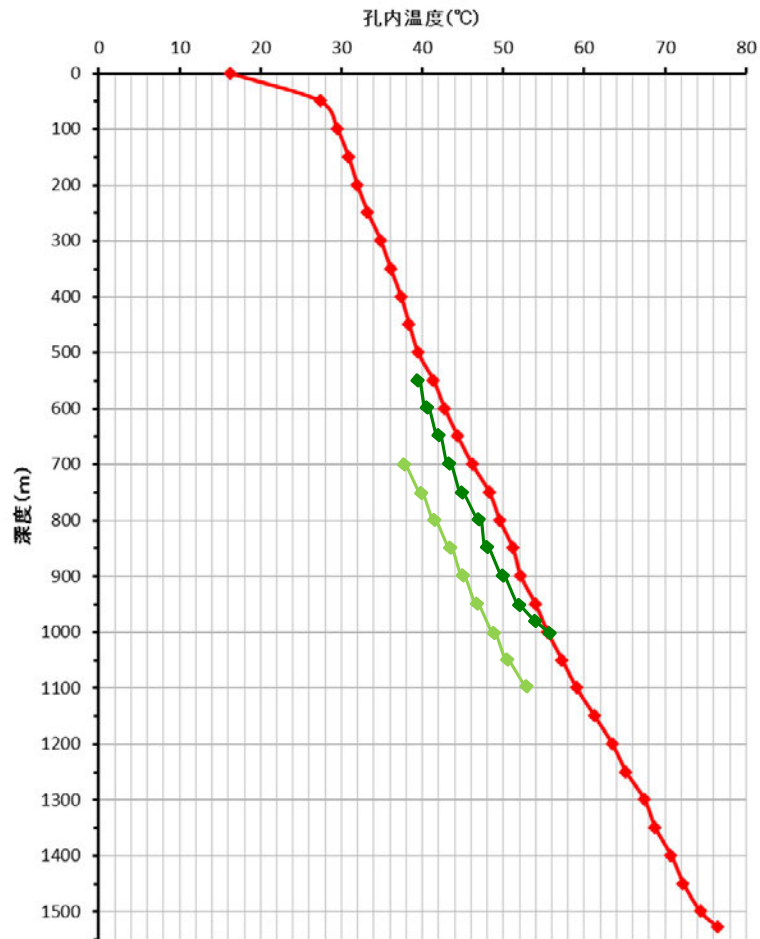
※2 温泉所有者へ地温データを
確認した結果、深度1101mまで
掘削していることを確認。



能登半島の温泉分布図 産業技術総合研究所(2005)に一部加筆

敷地周辺の主要温泉分布図 藤・板倉(1994)に一部加筆

敷地周辺の地温分布(敷地と①地点, ⑨地点の地温勾配の対比)



温度検層結果

温度検層結果(温泉所有者のデータに基づく)

地点名	深度		温度
	掘削長	温度検層範囲	
①	1003m	550m~1003m	39.5°C~56.1°C
⑨	1101m	700m~1101m	37.9°C~52.9°C

凡例	
■	: 敷地(D-8.6孔)
■	: ①地点
■	: ⑨地点

5.2.1(1-2) 変質鉱物の生成年代の評価 — 生成年代の評価 —

○変質鉱物の生成温度・期間に関する文献調査及び敷地周辺の地温分布に関する調査結果を踏まえ、I/S混合層、オパールCT及びフィリップサイトの生成年代を評価した。変質鉱物の生成環境については、「地下深部で生成した場合」と「熱水※により生成した場合」の2つの可能性があるため、2つの場合について生成年代を評価した。

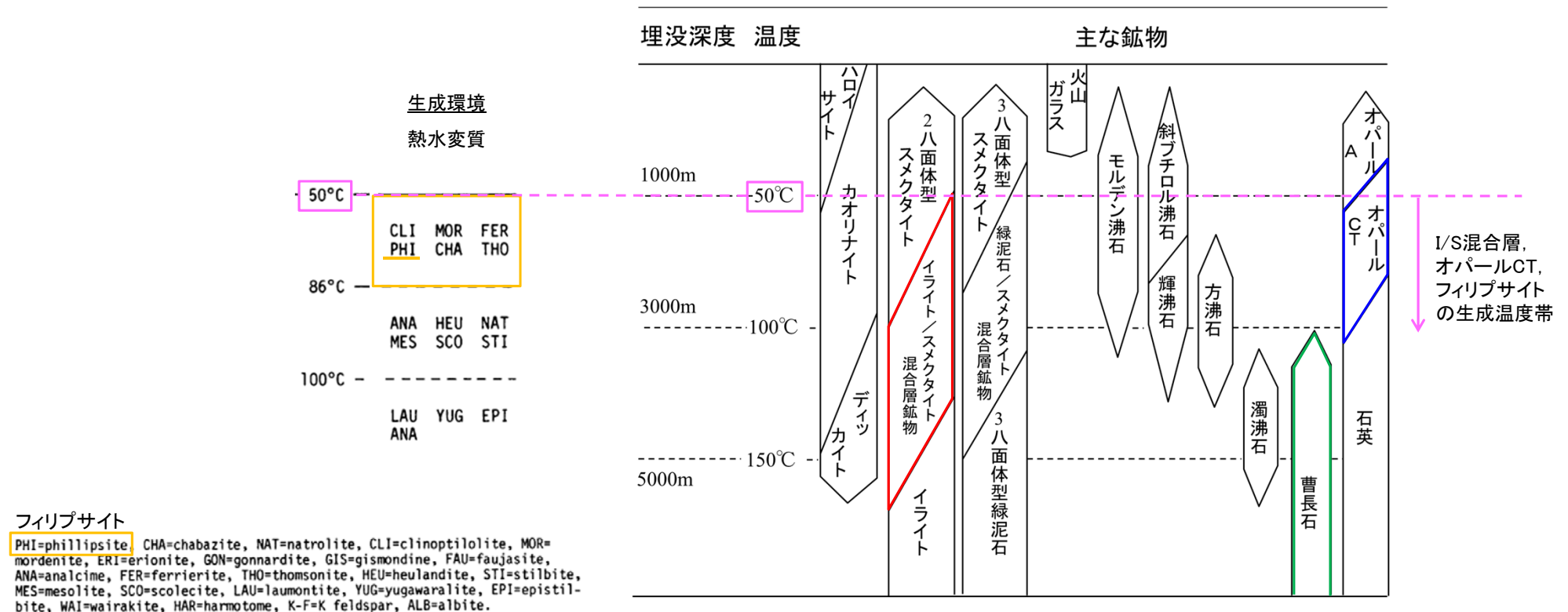
※:熱水は、Utada(1980), Inoue(1995)に従い、「地温勾配から想定される温度よりも高温の水」とする。

【地下深部で生成した場合】

<生成温度環境の検討>

○変質鉱物が地下深部で生成した場合、吉村(2001)によると、I/S混合層は地温約50~150°C(右下図 ▢), オパールCTは地温約50~100°C(右下図 ▢)で生成される。また、飯島(1986)によると、フィリップサイトは地温50~86°C(左下図 ▢)で生成される。これらの鉱物が生成される温度帯はいずれも地温50°C以上である。

○なお、I/S混合層からなる粘土状破碎部中の斜長石のアルバイト化(曹長石化)の検討を行った結果、アルバイト化は認められなかった(補足資料5.2-2(8))。I/S混合層、オパールCT及びフィリップサイトは、吉村(2001)によればアルバイト化の起こる温度(右下図 ▢)よりも低い温度帯でも生成することから、生成温度環境の評価結果はアルバイト化の検討結果と矛盾しないことを確認した。



主要ゼオライトの熱水変質による生成温度 飯島(1986)Fig.5を用いて作成

埋没深度の増大に伴う続成作用による火山碎屑性堆積物の
主要自生鉱物の消長 吉村(2001)に一部加筆

<生成温度環境の検討(前頁)>

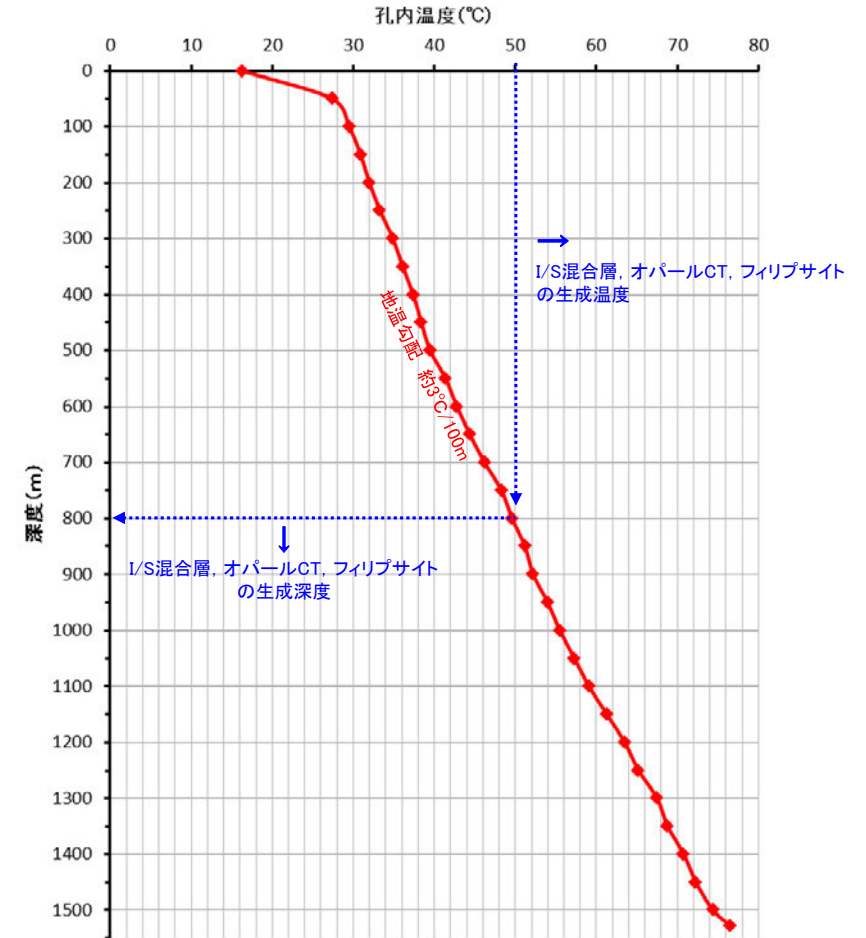
○吉村(2001)及び飯島(1986)によると, I/S混合層, オパールCT及びフィリップサイトが生成される温度帯はいずれも地温50℃以上である。

<敷地周辺の地温分布>

○敷地及び敷地周辺は, 一般的な地温勾配であり, 地熱地帯ではない(P.45~47)。
○また, 産業技術総合研究所(2013b)には, 能登半島に第四紀火山は図示されていないことから, 第四紀以降火山活動の影響はない地域と判断される(次頁)。

<生成年代の評価>

○敷地及び敷地周辺は, 第四紀以降, 地表付近において地温50℃以上となる環境下にはない地域と判断されることから, 大深度ボーリング孔による温度検層結果を用いて変質鉱物の生成環境について検討した。
○その結果, 地温50℃以上となるのは深度約800m以深であること(右図)から, I/S混合層, オパールCT及びフィリップサイトは深度800m以深で生成したと判断される。
○深度800m以深で生成したI/S混合層, オパールCT及びフィリップサイトが現在地表付近で確認されることから, MIS5e以降の隆起速度(0.13m/千年, **補足資料5.3-1(6)** P.5.3-1-134)を用いてそれ以前の隆起速度を一定と仮定すれば, これらの生成年代は6Ma以前と見積もられ, 少なくとも後期更新世以降ではないと評価される。



温度検層結果 大深度ボーリング(D-8.6孔)

生成年代の算出方法

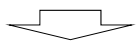
生成温度: 50℃以上 ⇒ 生成深度: 800m以深
 $深度800m \div 隆起速度0.13m/千年 \approx 600万年$

※MIS5e以降の隆起速度

【熱水により生成した場合】

＜生成温度環境の検討＞

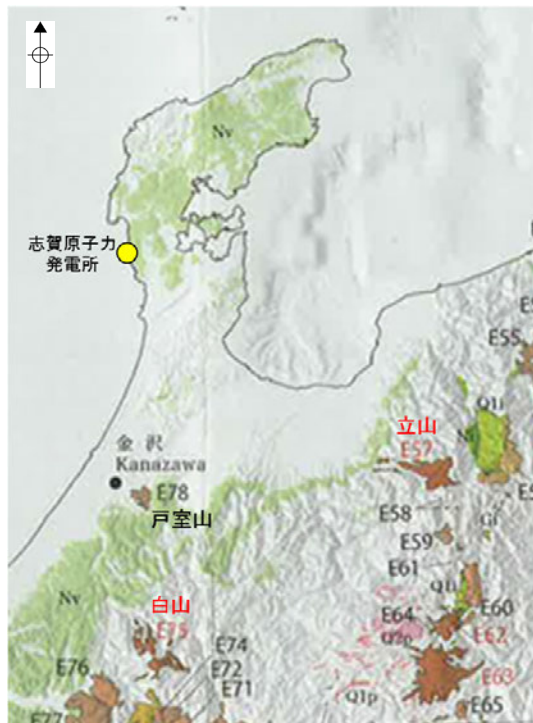
- 変質鉱物が熱水によって生成した場合、井上(2003)によると、熱水による反応は短時間で完了し、敷地で認められるI/S混合層は温度約110~250°Cで生成し(左下図—), 地下深部で生成される場合(約50~150°C, P.48)と比べて高い温度で生成する。
- なお、熱水によって生成した場合でも、I/S混合層は、アルバイト化の起こる温度(左下図—)より低い温度帯でも生成することから、生成温度環境の評価結果はアルバイト化の検討結果と矛盾しない。



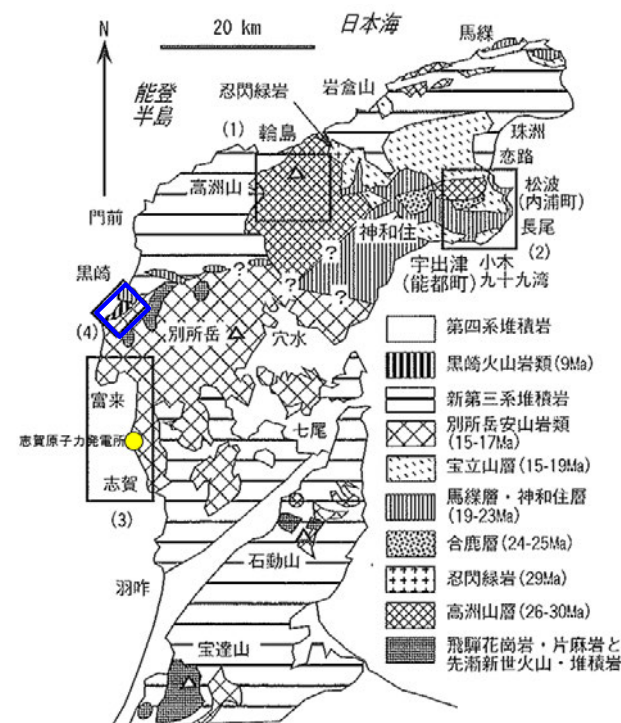
＜生成年代の評価＞

- 敷地及び敷地周辺の温度検層結果(P.45~47)から、現在の地表付近ではこれらの変質鉱物は生成されないことから、過去の火成活動に伴う熱水によるものと判断される。
- 産業技術総合研究所(2013b)には、能登半島に第四紀火山は図示されておらず(中下図)、日本地質学会(2006)から、能登半島で最後に火成活動が認められたのは黒崎火山岩類形成時である9Maである(右下図□)ことから、敷地のI/S混合層は、9Ma以前に生成されたと評価される。

	温度(°C)			
	100	200	300	
酸性変質帯	鉱物帯	ハロサイト帯	カオリナイト帯	パイロフィライト帯
	変質鉱物	明礬石 ハロサイト カオリナイト ディクカイト ナウライト パイロフィライト 紅柱石 ペーサイト ダイアスポア スズ石 トパーズ ルチル クリストバライト		
	石英 絹雲母 石鱗 石鱗 硬石膏			
	スメクタイト帯	混合層鉱物帯	イライト帯	カリ長石帯
	スメクタイト イライト/スメクタイト 絹雲母/スメクタイト イライト 絹雲母 黒雲母 エピソード プレーナイト パンベリ石 アクチノライト		イライト-絹雲母 イライト-絹雲母	カリ長石-絹雲母 カリ長石-絹雲母
	ざくろ石 単斜輝石 氷長石 アルバイト 方解石 ドロマイト			
	スティルバイト帯	ヒューランタイト帯	ローモンタイト帯	ワイラカイト帯
	モルデナイト帯	アナルサイト帯	アルバイト帯	
	スティルバイト チャバタイト モルデナイト ヒューランタイト ローモンタイト ユガワラタイト ワイラカイト アナルサイト			



能登半島における第四紀火山分布図
(産業技術総合研究所(2013b)に一部加筆)

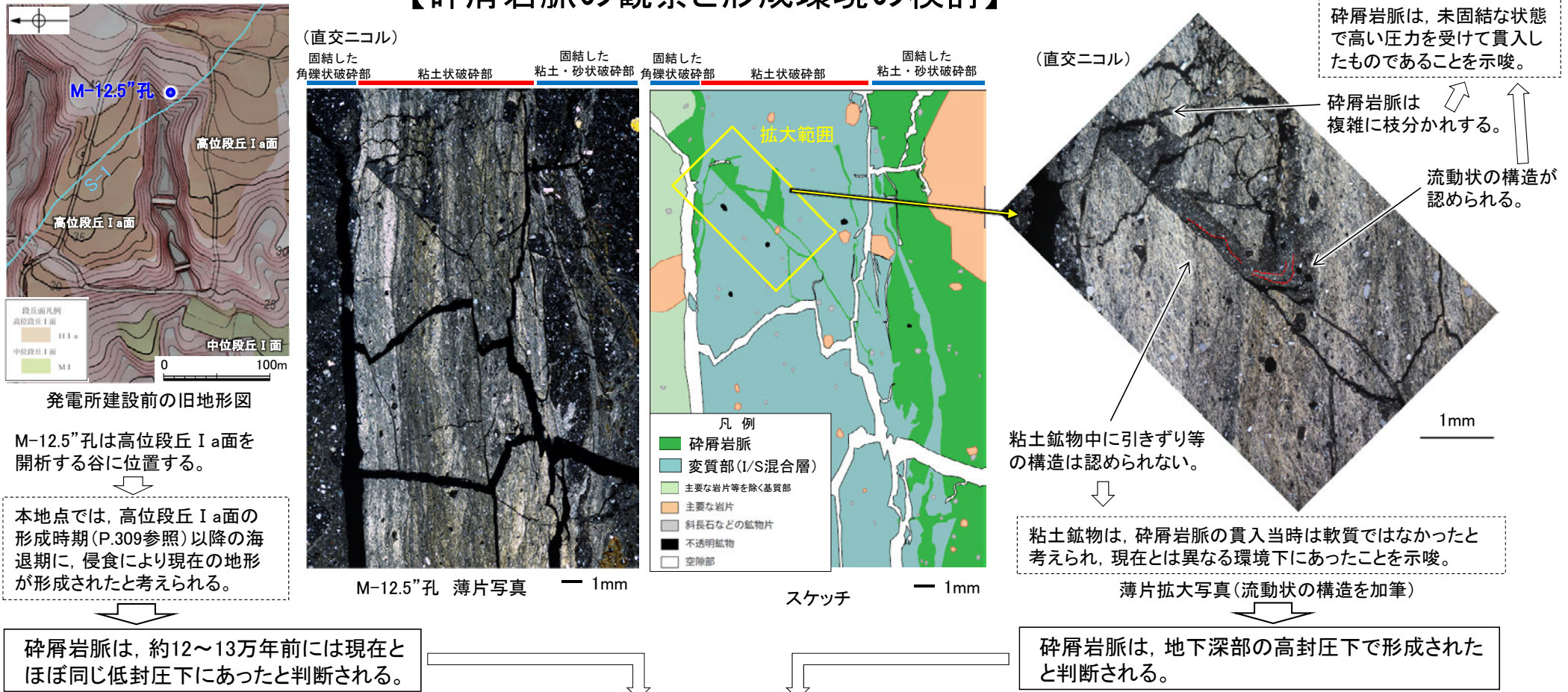


能登半島の火山岩類の地質概略図
(日本地質学会(2006)に一部加筆)

5.2.1 (1-3) 碎屑岩脈の形成年代の評価

- OM-12.5”孔の深度50.00m(EL-21.70m)付近のS-1において、固結した角礫状破碎部と構成鉱物の種類等が類似する碎屑物が、粘土状破碎部全体を横断している。この碎屑物を「碎屑岩脈」と呼ぶ(詳細はP.168, 169)。
- 薄片を詳細に観察すると、碎屑岩脈は複雑に枝分かれし、内部に流動状の構造が認められることから、碎屑岩脈は未固結な状態で高い圧力を受けて貫入したことが示唆される。さらに、周辺の粘土鉱物中に引きずり等の構造が認められないことから、粘土鉱物は碎屑岩脈の貫入当時は軟質ではなかったと考えられ、現在とは異なる環境下にあったことが示唆される。これらのことを踏まえると、碎屑岩脈は地下深部の高封圧下で形成したと判断される(薄片拡大写真)。
- 本地点では、高位段丘 I a面の形成時期(約12~13万年前より古い高海面期, P.309)以降の海退期に、侵食により現在の地形が形成されたと考えられることから、碎屑岩脈は約12~13万年前には現在とほぼ同じ低封圧下にあったものと判断される(発電所建設前の旧地形図)。
- したがって、碎屑岩脈は少なくとも後期更新世以降に形成されたものではないと評価される。

【碎屑岩脈の観察と形成環境の検討】



碎屑岩脈は、少なくとも後期更新世以降に形成されたものではない。

5.2.1(1-4) 評価に用いる変質鉱物

○変質鉱物の生成年代及び碎屑岩脈の形成年代の評価結果に基づき、鉱物脈法等による活動性評価に用いる変質鉱物を整理した。

<変質鉱物の生成温度・期間に関する文献調査、敷地周辺の地温分布に関する調査>

○生成温度・期間に関する文献調査の結果、I/S混合層、オパールCT及びフィリップサイトは、地温約50℃以上の環境下で生成し、約50℃で生成する場合には数十万年以上の期間を要するとされている。

○敷地周辺の地温分布に関する調査の結果、敷地及び敷地周辺は一般的な地温勾配で、地熱地帯ではない。また、第四紀以降の火山活動の影響もない地域である。

<変質鉱物の生成年代の評価結果>

○地下深部で生成した場合、I/S混合層、オパールCT及びフィリップサイトは、いずれも地温50℃以上・深度800m以深の環境で生成し、その生成年代は、隆起速度を一定と仮定すると6Ma以前と見積もられ、少なくとも後期更新世以降ではない。

○熱水により生成した場合、I/S混合層は110℃以上の熱水によって生成し、その生成年代は能登半島で最後に火成活動が認められた9Ma以前である。

○これらは、I/S混合層で測定したK-Ar年代値(15~10Ma)やオパールCTで測定したTL年代(数十万年前以前)とも整合している。

○以上より、I/S混合層、オパールCT及びフィリップサイトは、少なくとも後期更新世以降に生成した鉱物ではないと評価される。

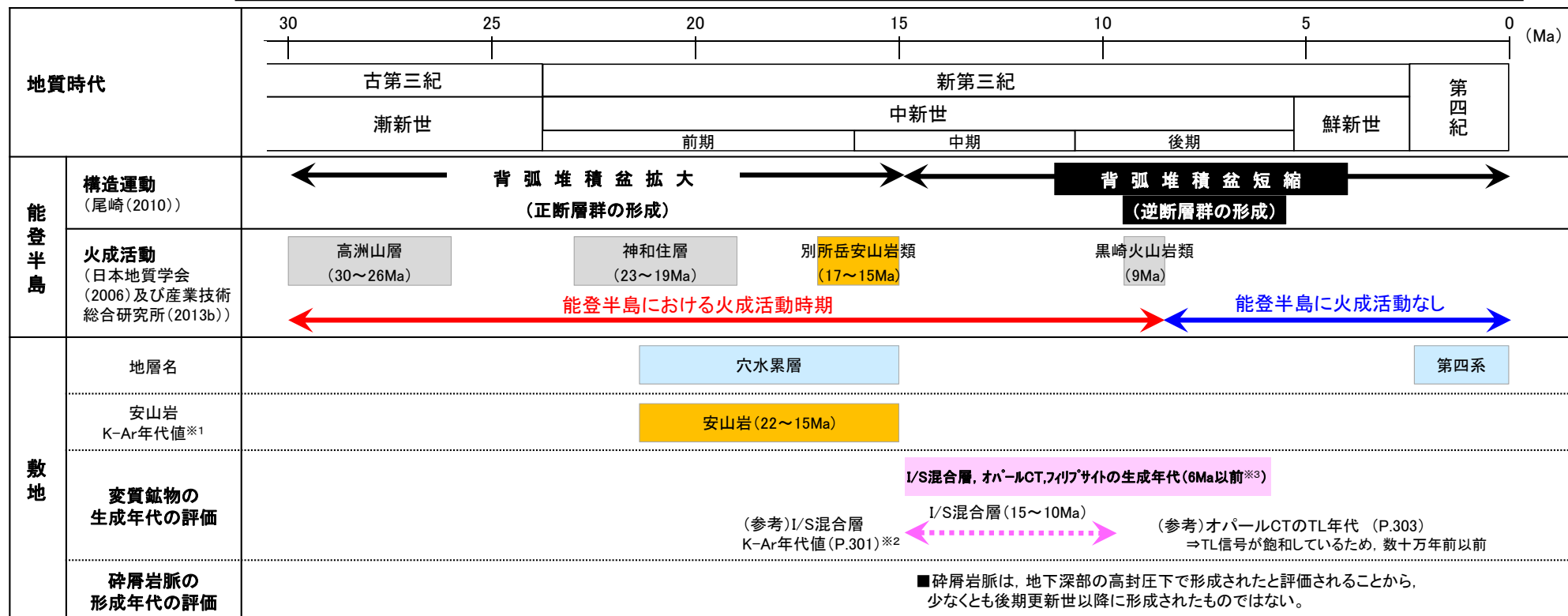
<碎屑岩脈の形成年代の評価結果>

○碎屑岩脈は、地下深部の高封圧下で形成されたと判断される。

○碎屑岩脈は、約12~13万年前には現在とほぼ同じ低封圧下にあったものと判断される。

○以上より、碎屑岩脈は、少なくとも後期更新世以降に形成されたものではないと評価される。

変質鉱物(I/S混合層、オパールCT、フィリップサイト)及び碎屑岩脈を用いて、鉱物脈法等による活動性評価を行うこととする。



※1: 補足資料5.2-1(2), ※2: 信頼性確認は、補足資料5.2-2(9)
※3: MIS5e以降の隆起速度を用いて、それ以前の隆起速度を一定と仮定して評価した年代

5.2.1(2) 最新面と最新面付近の変質鉱物

5.2.1(2) 最新面と最新面付近の変質鉱物 — 最新面の認定の考え方 —

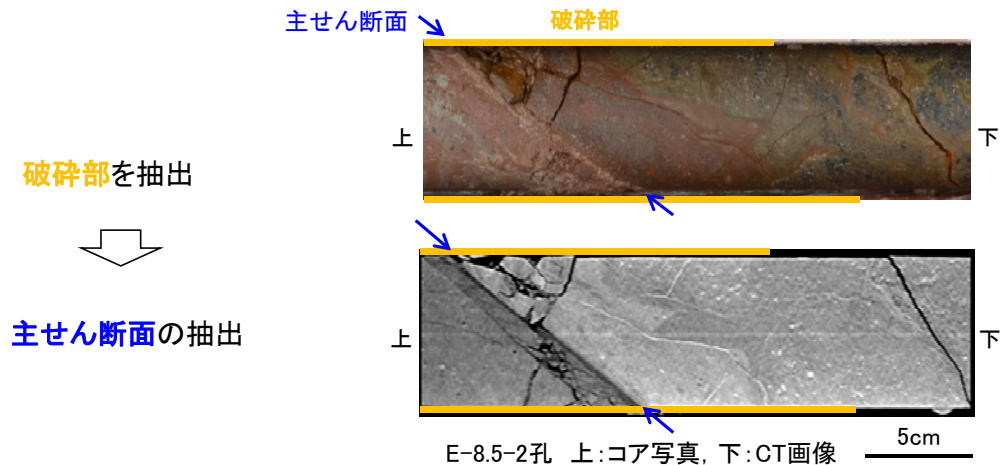
- 鉱物脈法等による活動性評価にあたっては、断層の最新活動時期を表す最新面を適切に認定し、5.2.1(1)で示した変質鉱物との接触関係を確認することが重要となる。
- この最新面の認定にあたっては、まず巨視的観察により破碎部から主せん断面を抽出する。その上で、主せん断面を薄片による微視的観察により観察して最新ゾーンを抽出し、最新ゾーンの中から最新面を認定する。

志賀原子力発電所における用語

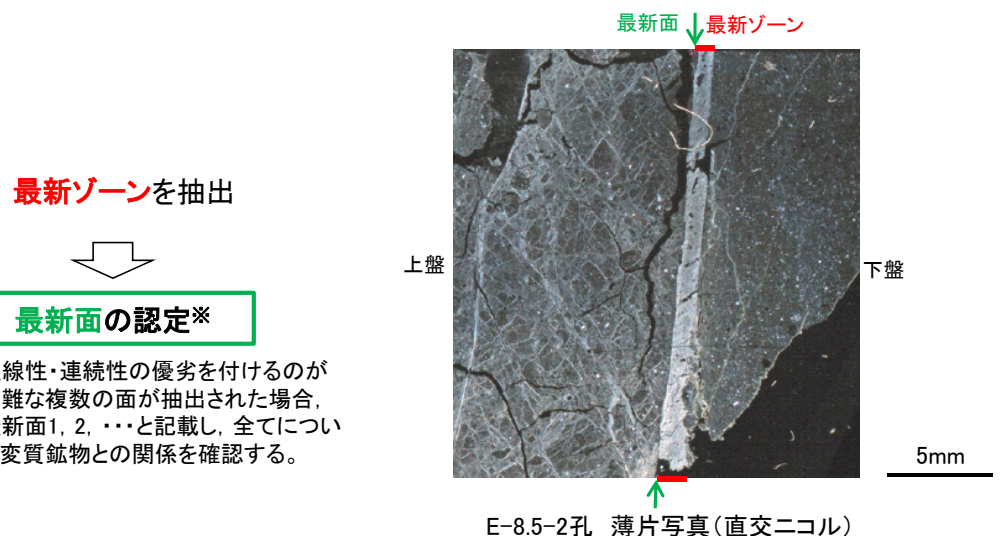
観察手法	用語	特徴
露頭観察 ボーリングコア観察 研磨片観察 CT画像観察	破碎部	断層活動による変形構造が認められる部分。ある幅を持ち、固結・未固結の程度、粒度とその割合から分類され、粘土状や角礫状等からなる。
	主せん断面	破碎部中において、細粒化が進んでおり、最も直線性・連続性がよい断層面。
薄片観察	最新ゾーン	巨視的観察で主せん断面として抽出した箇所で作成した薄片観察の結果、他の構造に切られない最も細粒化しているゾーン。
	最新面	最新ゾーンの中で、最も直線性・連続性がよく、他に切られることのない面。

最新面の認定手順

巨視的観察(露頭観察・ボーリングコア観察・研磨片観察・CT画像観察)



微視的観察(薄片観察)



最新面の認定*

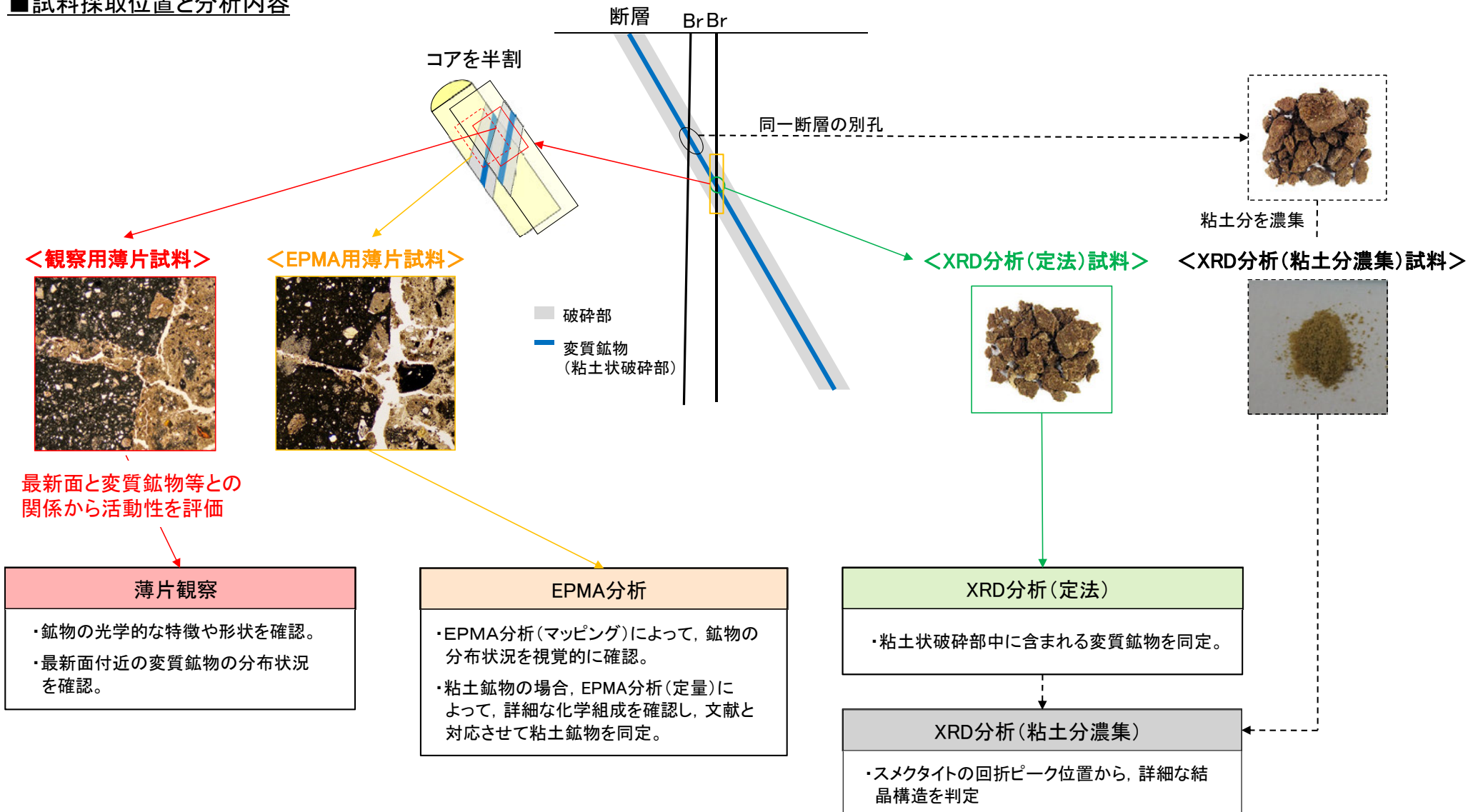
※直線性・連続性の優劣を付けるのが困難な複数の面が抽出された場合、最新面1, 2, ...と記載し、全てについて変質鉱物との関係を確認する。

5.2.1 (2) 最新面と最新面付近の変質鉱物 — 試料採取位置と分析内容 —

コメントNo.81, 82の回答

- 鉱物脈法等による活動性評価に用いる変質鉱物の同定にあたっては、評価を実施する薄片試料を作成したコア試料の同一破砕部を対象として、薄片観察、EPMA分析、XRD分析(定法)を実施し、評価を行う。
- 「XRD分析(定法)」の結果、主な粘土鉱物としてスメクタイトが認められる場合には、同一断層の別孔の破砕部において実施した「XRD分析(粘土分濃集)」によって詳細な結晶構造を判定する。

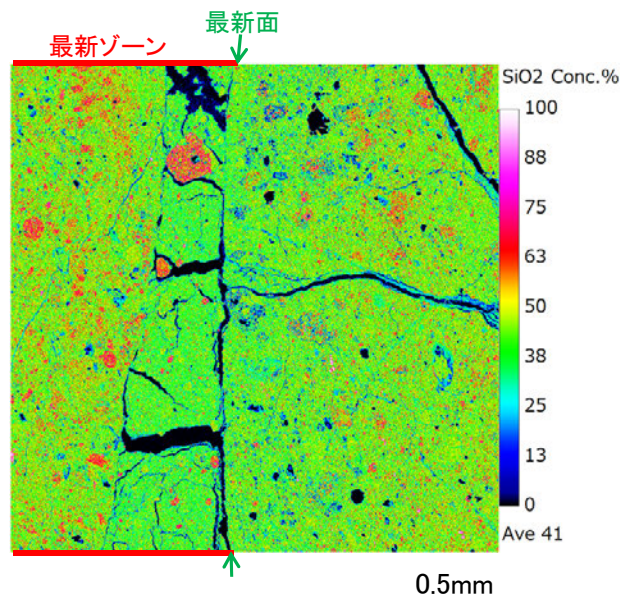
■ 試料採取位置と分析内容



○EPMA分析(マッピング)は、評価に用いる変質鉱物の分布状況を視覚的に確認することを目的に実施する。分析試料は、活動性評価に用いる薄片試料作成時の残りの試料から作成したEPMA用薄片試料を用いる。

○EPMA分析(定量)は、XRD分析等で同定した鉱物を化学組成の観点から確認することを目的に実施する。その際、EPMAのビーム照射影響範囲(径約 $1\mu\text{m}$)に測定対象鉱物以外の鉱物が入らないよう最大限留意しながら分析位置を選定し、各試料5箇所以上で実施する。

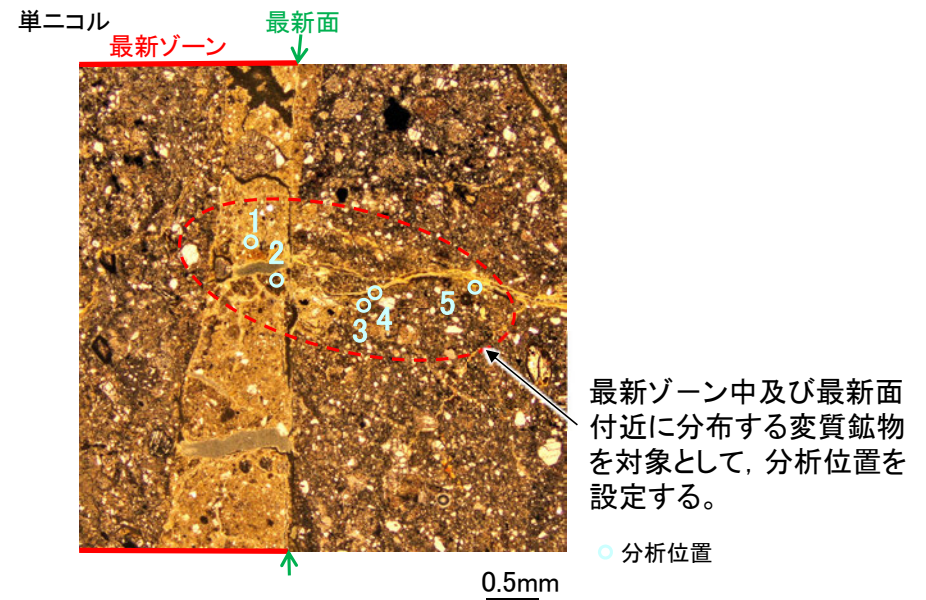
EPMA分析(マッピング)の例
(S-1, K-10.3SW孔)



EPMA(マッピング) SiO_2

K-10.3SW孔の分析結果(マッピング)の詳細については、
P.152

EPMA分析(定量)の分析位置の例
(S-1, K-10.3SW孔)



最新ゾーン中及び最新面付近に分布する変質鉱物を対象として、分析位置を設定する。

○ 分析位置

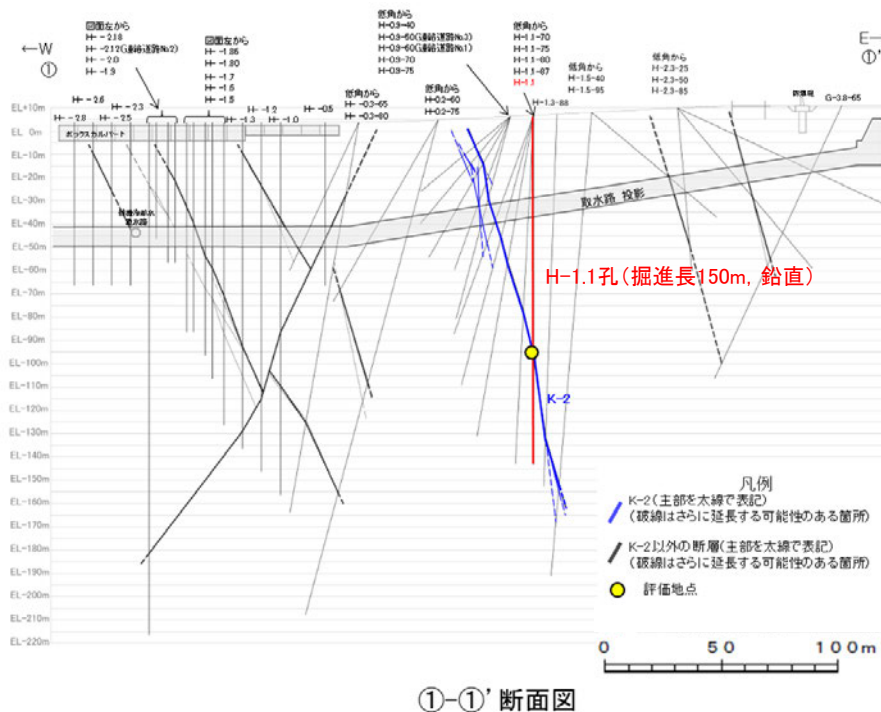
K-10.3SW孔の分析結果(定量)の詳細については、
補足資料5.2-2(3)P.5.2-2-52~53

5.2.2 K-2

■ 鉱物脈法等による評価

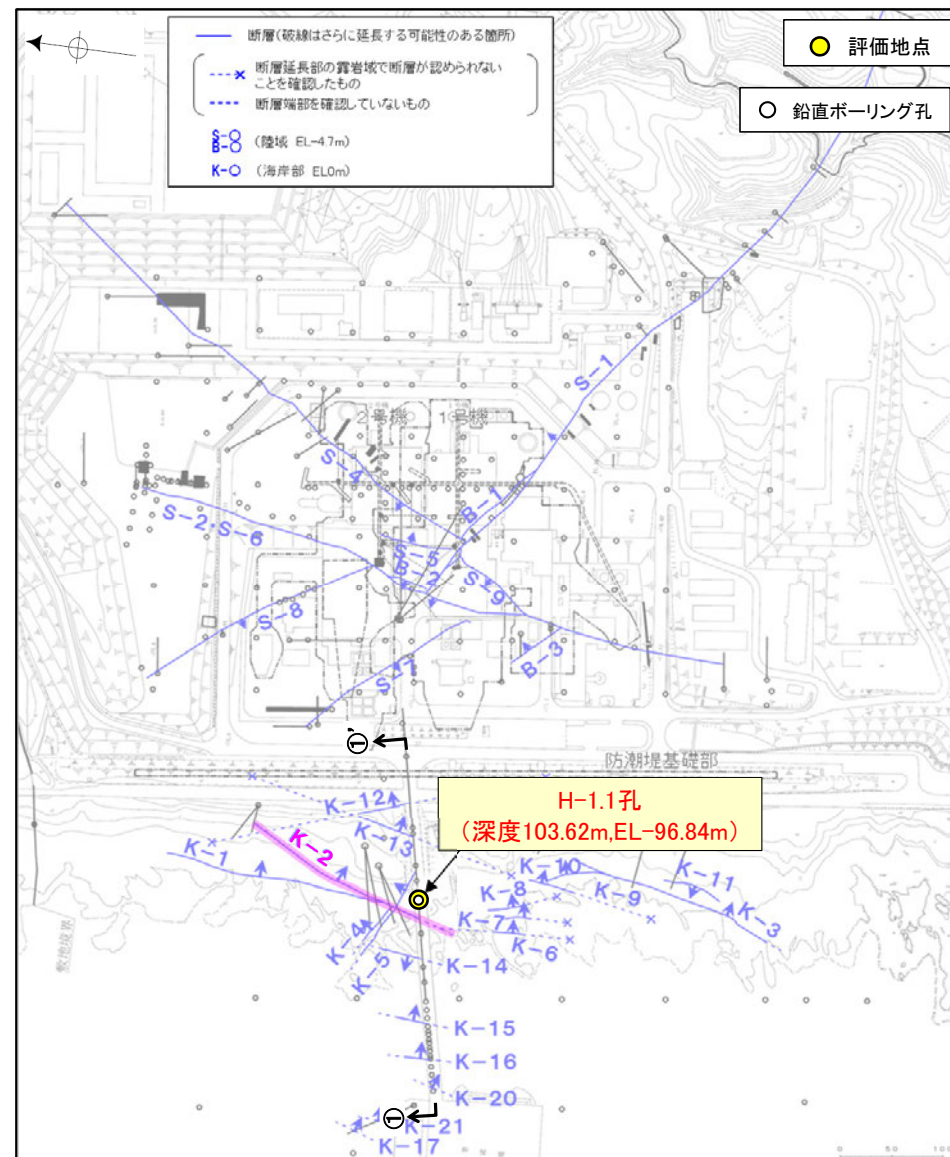
○ H-1.1孔において、K-2の最新ゾーンに少なくとも後期更新世以降に生成されたものではないと評価した変質鉱物であるオパールCTが認められたことから、断層活動(最新面)と変質鉱物との関係による評価を行った。

評価地点	記載頁
H-1.1孔 (深度103.62m, EL-96.84m)	P.59~74



H-1.1孔のボーリング柱状図, コア写真, BHTVは、データ集1.2.3

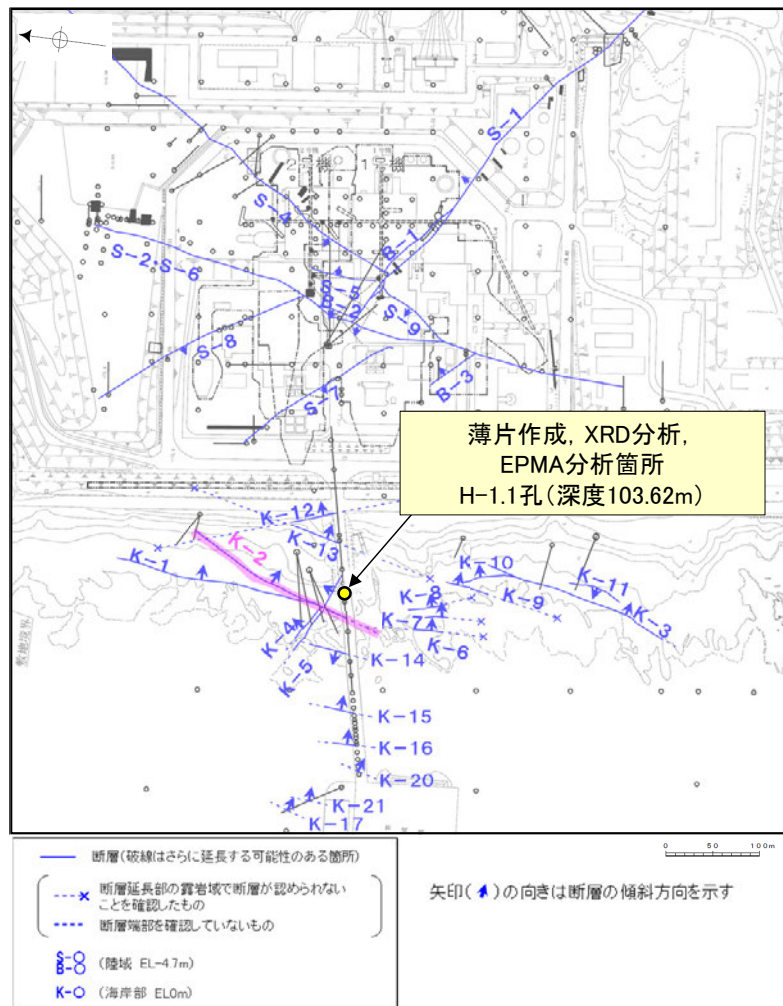
赤字:第788回審査会合以降の追加箇所



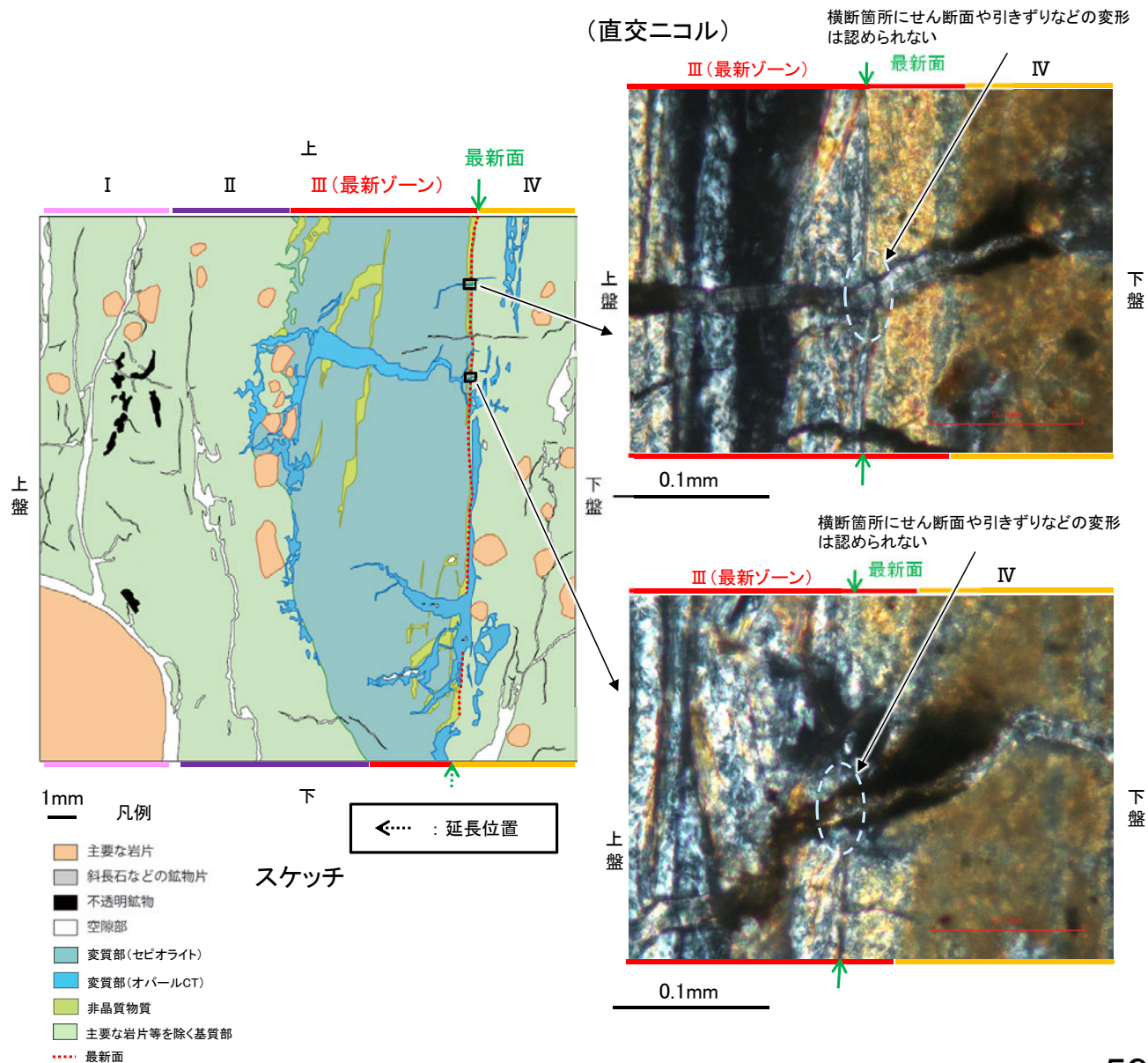
矢印(▲)の向きは断層の傾斜方向を示す

5.2.2 K-2 H-1.1孔 一概要一

- H-1.1孔の深度103.70m付近で認められるK-2において、最新面と変質鉱物との関係による評価を行った。
- 最新ゾーンを横断してその周辺まで分布する変質鉱物は、XRD分析、薄片観察、EPMA分析結果から、オパールCTであると判断される。
- オパールCTが最新面及び最新ゾーン全体を横断して分布し、横断箇所に変位・変形は認められない。



調査位置図

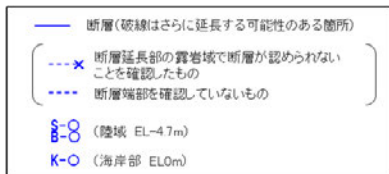
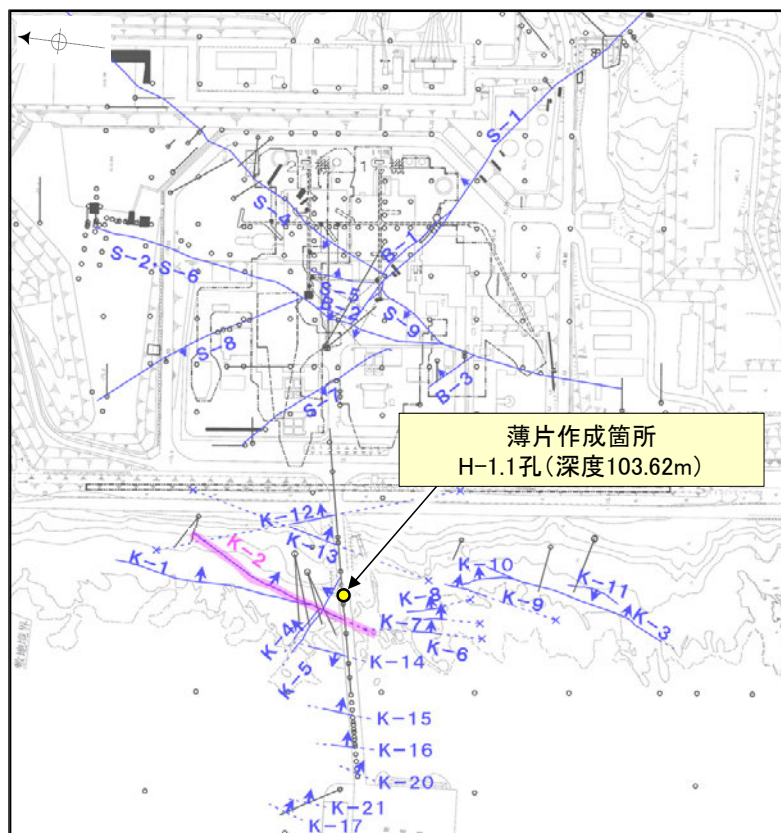


5.2.2 K-2 H-1.1孔 ー最新面の認定(巨視的観察)ー

○H-1.1孔の深度103.70m付近で認められるK-2において、巨視的観察(ボーリングコア観察, CT画像観察)を実施し、最も直線性・連続性がよい断層面を主せん断面として抽出した。

○コアの最大傾斜方向(90° R)で切り出し、薄片を作成した(ブロック写真)。

○また、ボーリングコア観察において、主せん断面付近に白色鉱物(オパールCT)が認められる。



調査位置図

矢印(▲)の向きは断層の傾斜方向を示す

(深度) 103.4 103.5 103.6 103.7 103.8 103.9 (m)

下ブロック採取箇所

走向傾斜: N21° E/80° SE

主せん断面

上



下

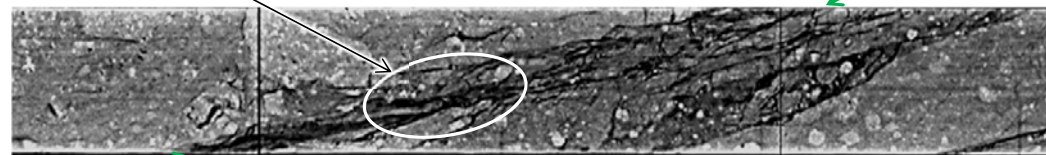
— 粘土状破碎部
— 固結した破碎部

ボーリングコア写真(H-1.1孔)

下ブロック採取箇所

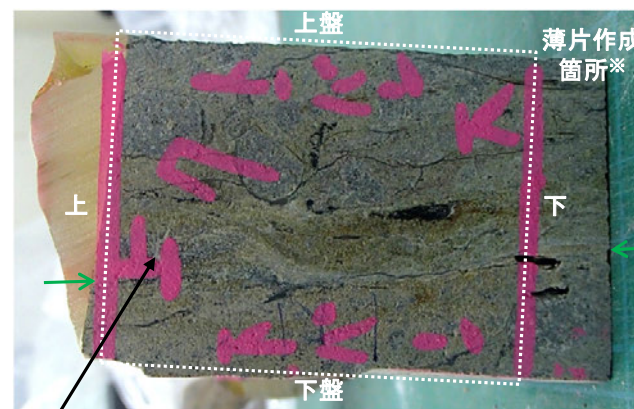
主せん断面

上



下

CT画像(H-1.1孔)



白色鉱物(オパールCT)

1cm

ブロック写真

※図示した箇所にて観察用薄片を作成し、そこから1mm程度削り込んだ位置でEPMA用薄片を作成した

主せん断面

5.2.2 K-2 H-1.1孔 ー最新面の認定(微視的観察)ー

- 観察用薄片で実施した微視的観察(薄片観察)の結果, 色調や礫径などから, 上盤側よりⅠ～Ⅳに分帯される。
- そのうち, 最も細粒化している分帯Ⅲを最新ゾーンとして抽出した。
- 最新ゾーン中及び分帯Ⅳとの境界に, 面1が認められる。面1は一部で鉱物によって分断され断続的になり連続性に乏しいが, 最新ゾーンの中では比較的直線性のよい面である。
- 薄片上部の最新ゾーン中に発達する面構造は, いずれも鉱物によって分断されており, 下部まで連続せず途中でせん滅する。
- 以上より, 面1を最新面と認定し, 変質鉱物との関係を確認する。

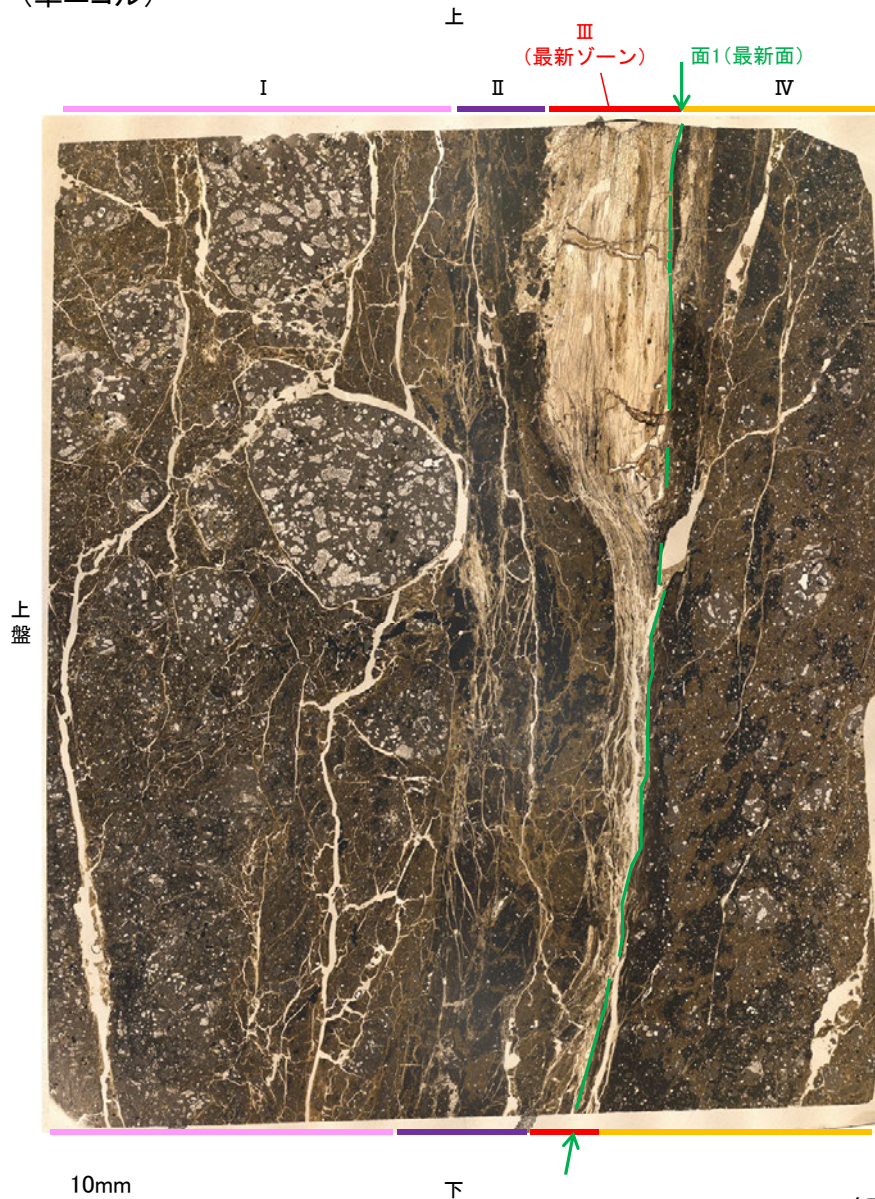
【解釈線なし】



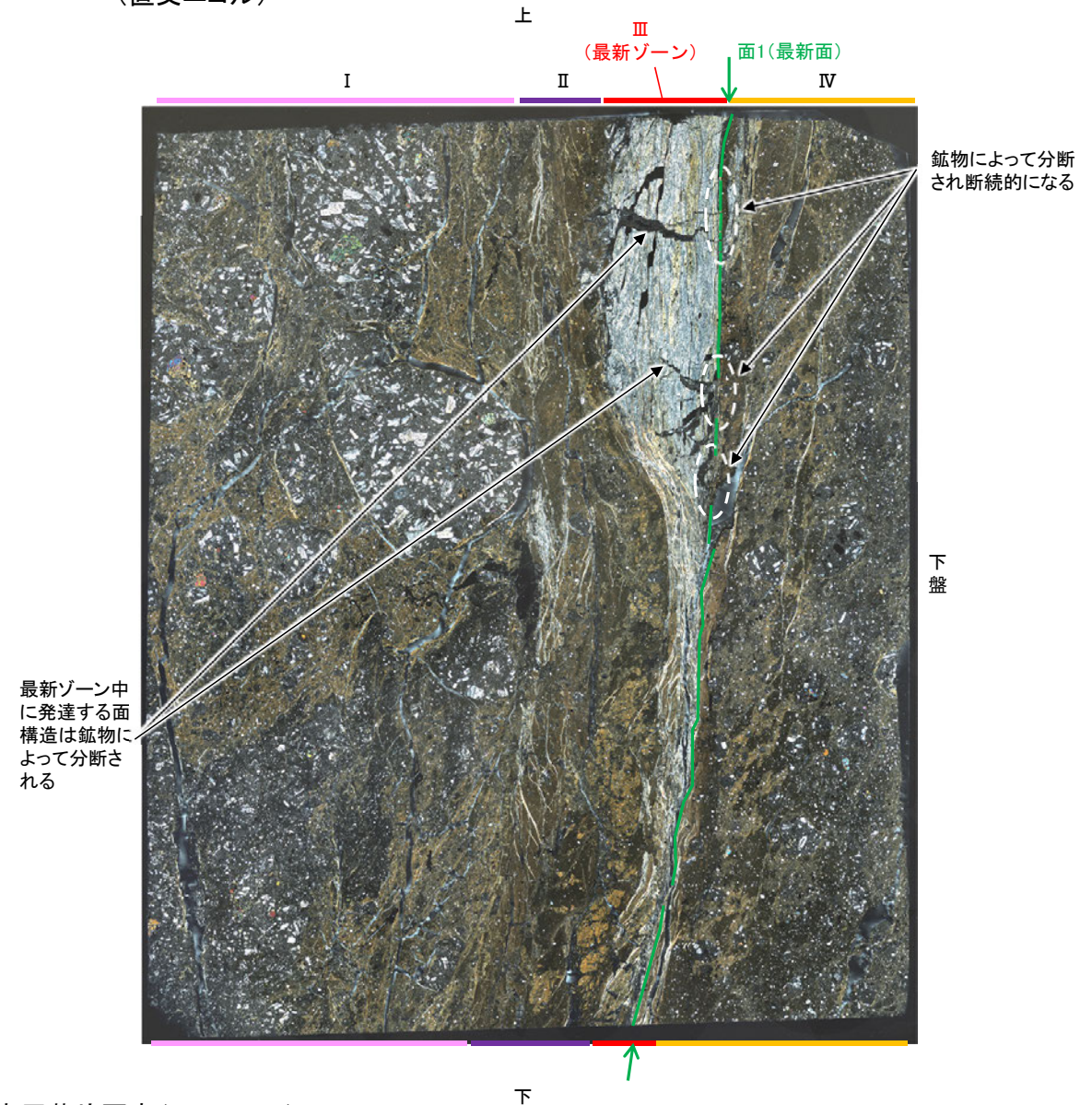
- I : 単ニコルで暗褐色, 直交ニコルで淡褐～暗褐色の干渉色を呈する火山礫凝灰岩からなる。径15mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質に含まれる。岩片, 鉱物片は垂角～垂円形である。基質中や割れ目, 岩片の縁辺部に粘土鉱物が生成されている。
- II : 単ニコルで暗褐色, 直交ニコルで黄褐～暗褐色の干渉色を呈する, 粘土鉱物を含む細粒物からなる。径2mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質に含まれる。岩片, 鉱物片は垂角～垂円形である。基質中や割れ目, 岩片の縁辺部に粘土鉱物が生成されている。
- III (最新ゾーン) : 単ニコルで無色透明～淡褐色, 直交ニコルで白～黄色の干渉色を呈する粘土鉱物からなる。この粘土鉱物を横断するように, 単ニコルで無色透明～淡褐色, 直交ニコルで灰～暗黒色を呈する鉱物脈が形成されている。
- IV : 単ニコルで暗褐色, 直交ニコルで黄褐～暗褐色の干渉色を呈する火山礫凝灰岩からなる。径3mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質に含まれる。岩片, 鉱物片は垂角～垂円形である。基質中や岩片の縁辺部に粘土鉱物が生成されている。

【解釈線あり】

(単ニコル)



(直交ニコル)

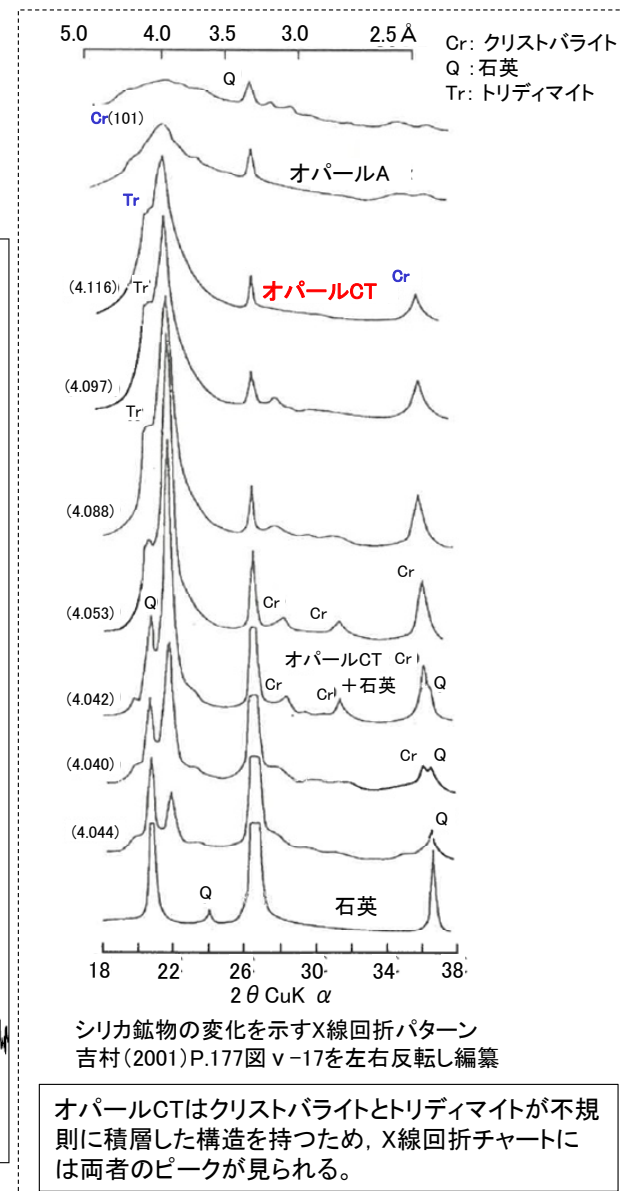
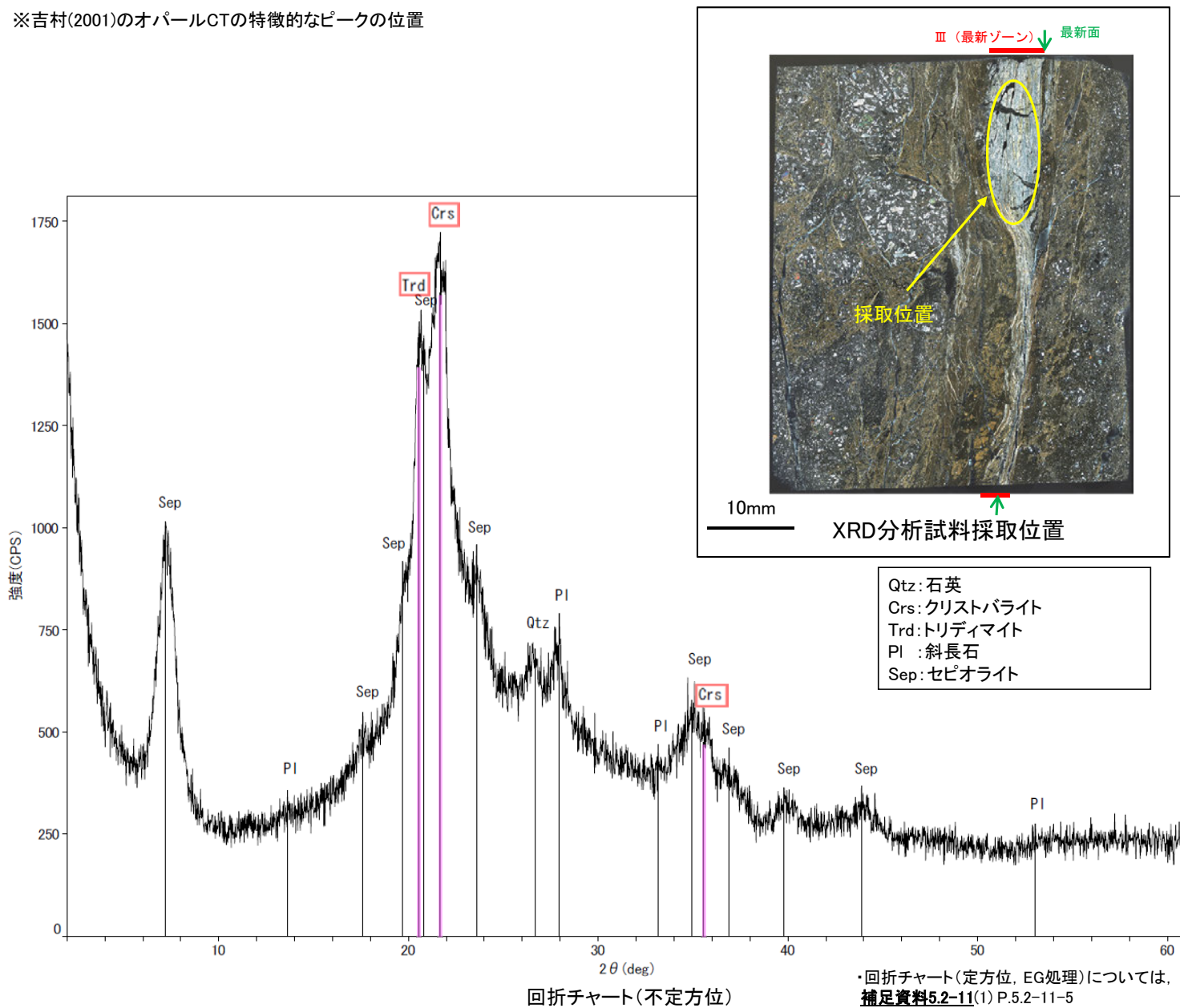


観察用薄片写真(H-1.1_90R)

5.2.2 K-2 H-1.1孔 ー鉍物の同定(XRD分析)ー

- 白色鉍物を含む最新ゾーンでXRD分析を実施した結果、オパールCTの特徴的なピーク※(2θ=20.66° (肩状のピーク), 21.57~22.00° (幅広いピーク), 35.92°)が認められる。
- XRD分析結果より、最新ゾーンにはオパールCTが含まれると判断される。
- また、その他の変質鉍物としてセピオライトが認められる。

※吉村(2001)のオパールCTの特徴的なピークの位置



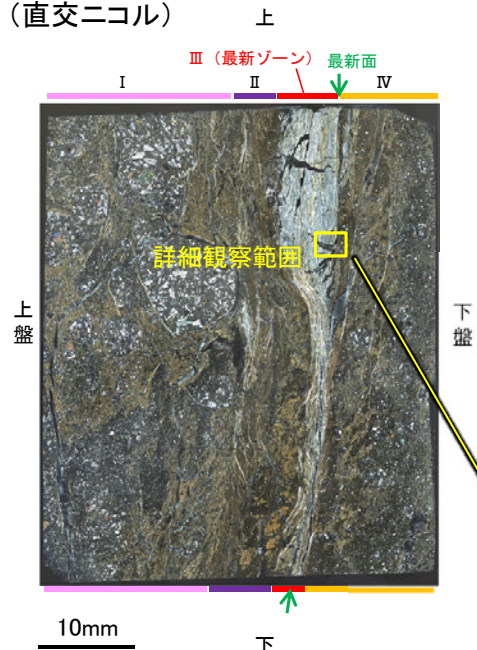
5.2.2 K-2 H-1.1孔 ー鉍物の同定(薄片観察(光学的性質))ー

○薄片観察の結果, 最新ゾーンを横断するように分布する変質鉍物は, ステージの回転によりわずかに干渉色に変化して直交ニコルで灰~暗灰色を呈し, 低い複屈折を示すことから, オパールCTの特徴的な光学的性質(低複屈折)を有することが確認できる。

文献における複屈折(吉村(2001))

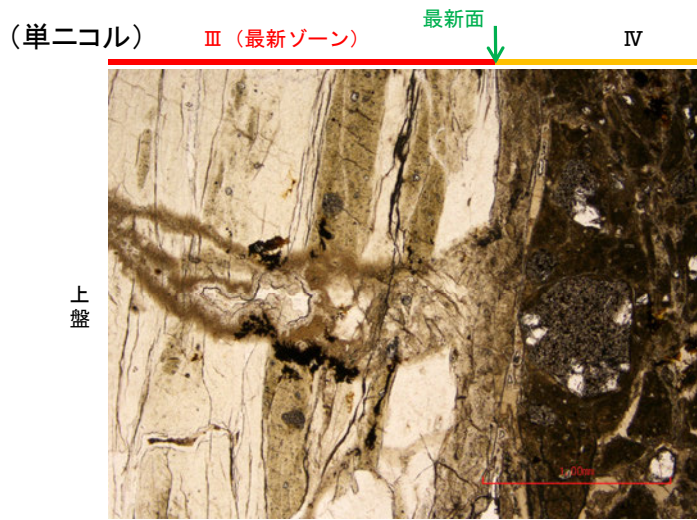
- ・オパールCT: 0.002~0.006
- ・斜長石 : 0.008~0.013
- ・セピオライト : 0.01~0.047

(直交ニコル)



観察用薄片写真(H-1.1_90R)

(単ニコル)



III (最新ゾーン)



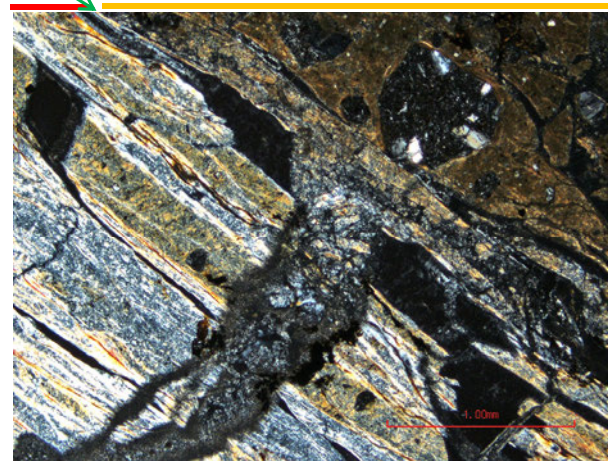
左30° 回転

(直交ニコル)



詳細観察範囲写真
(0° 回転)

最新面

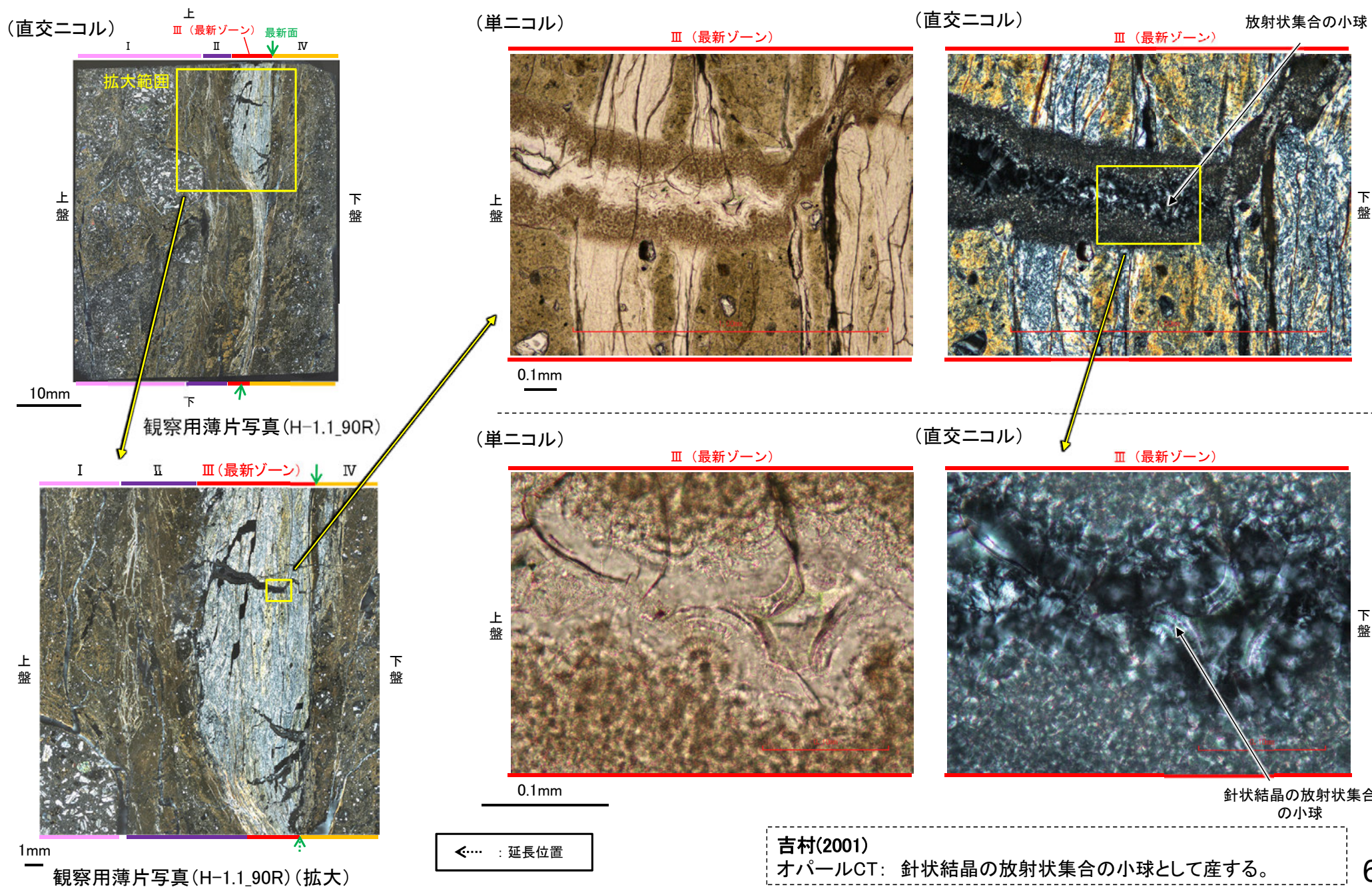


左60° 回転

III (最新ゾーン)

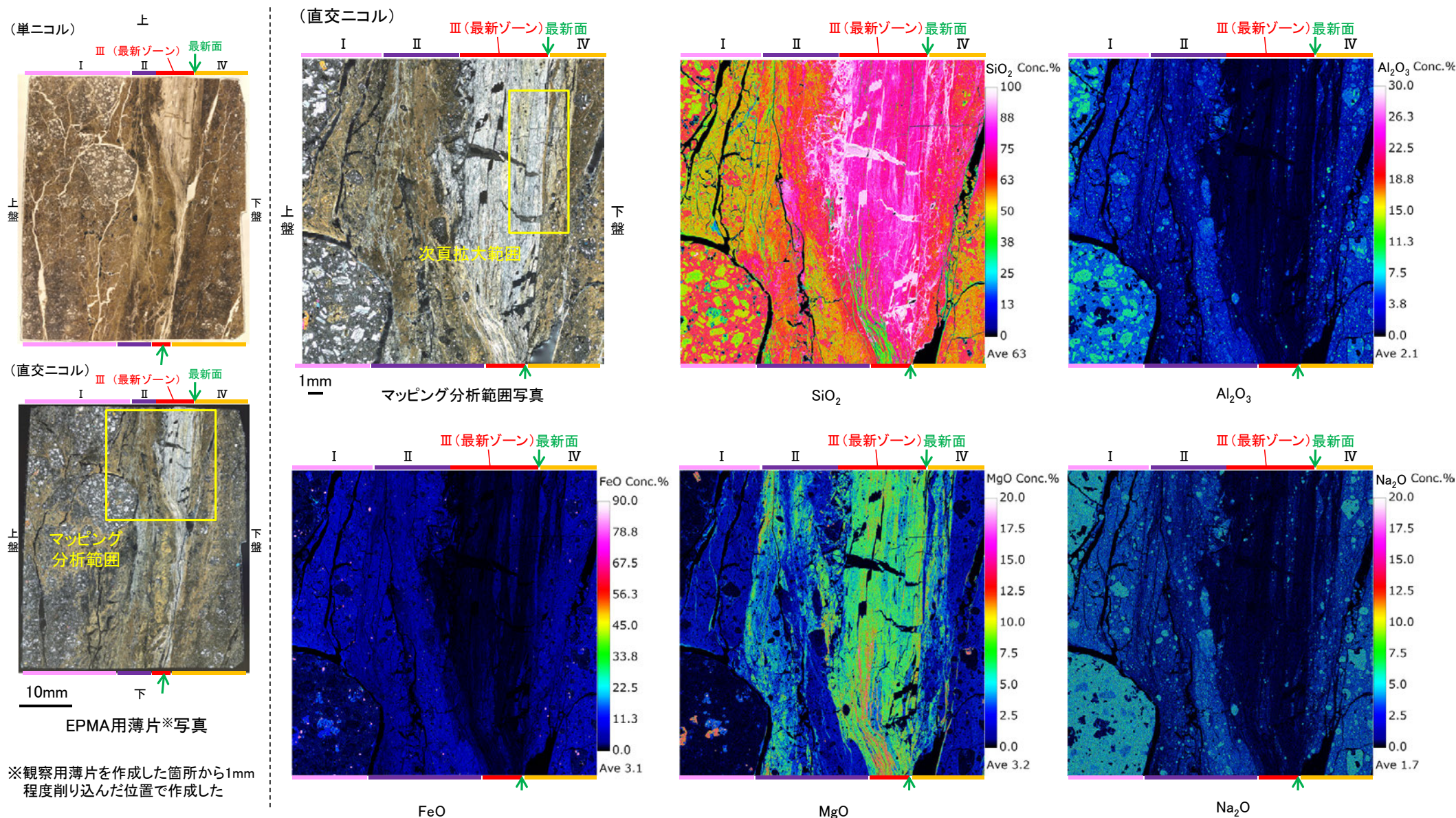
5.2.2 K-2 H-1.1孔 ー鉍物の同定(薄片観察(形状))ー

○最新ゾーンを横断するように分布する変質鉍物を詳細に観察した結果, 吉村(2001)でオパールCTの特徴として示される, 針状結晶の放射状集合の小球が認められる。

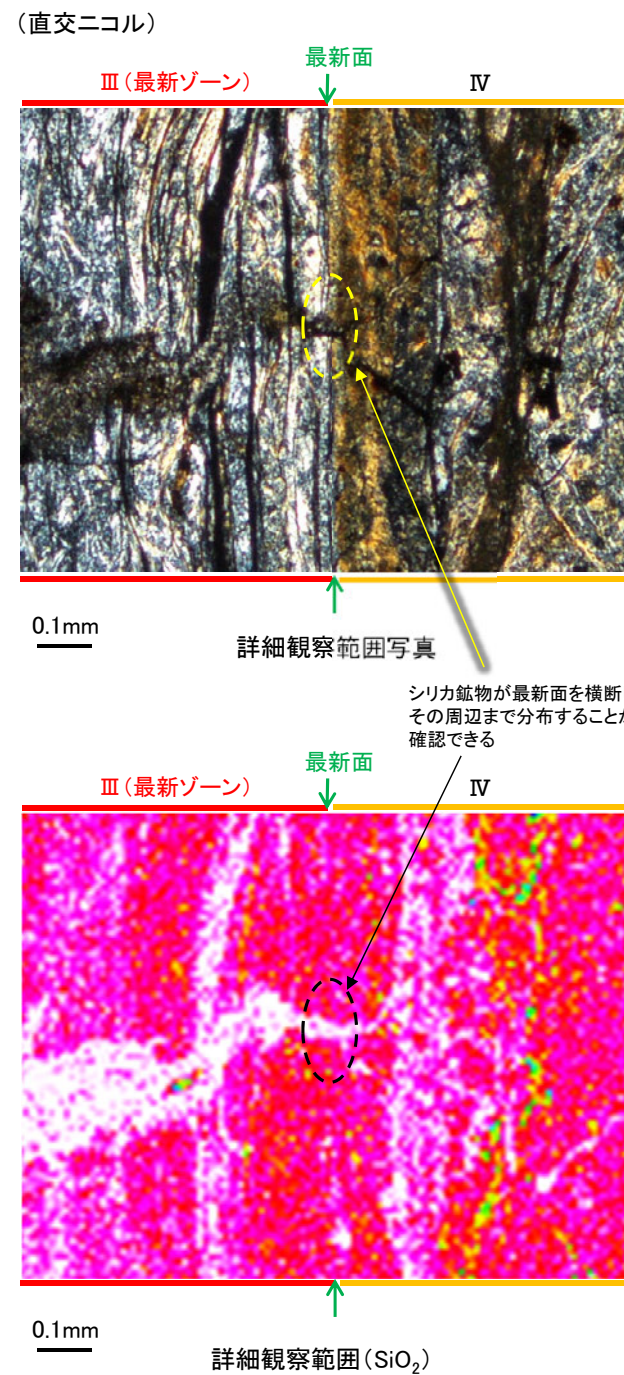
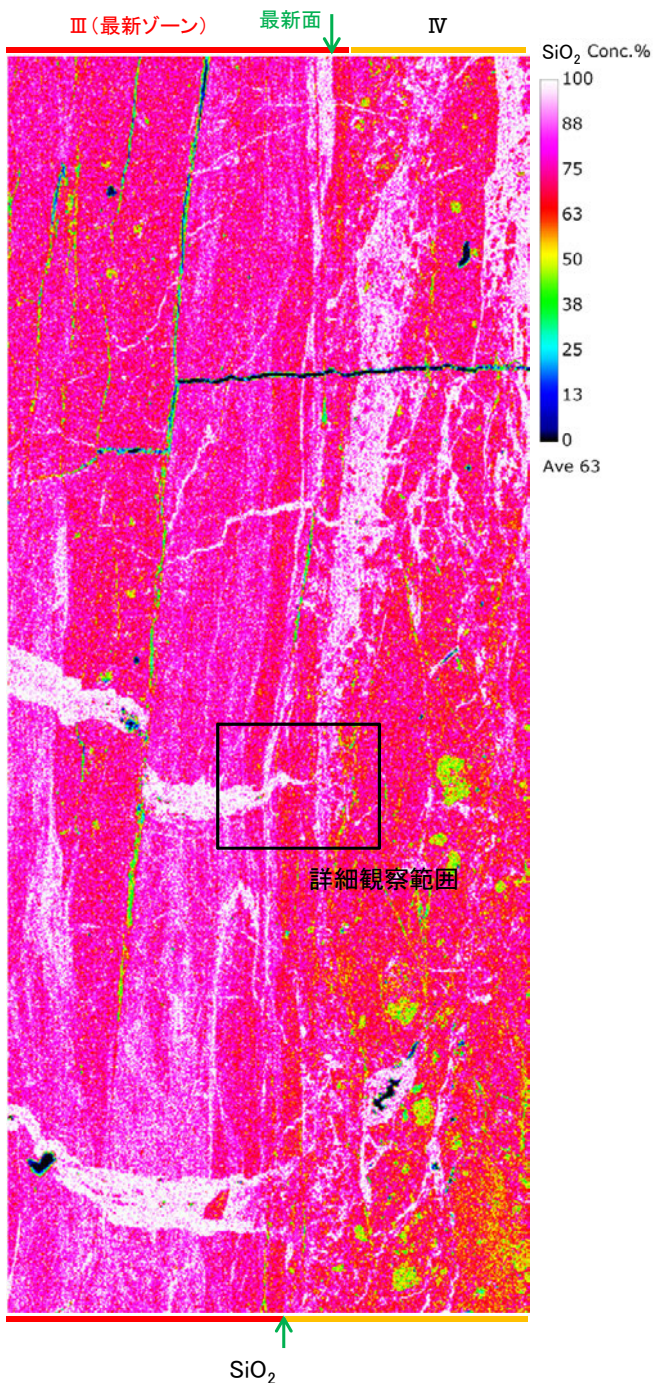
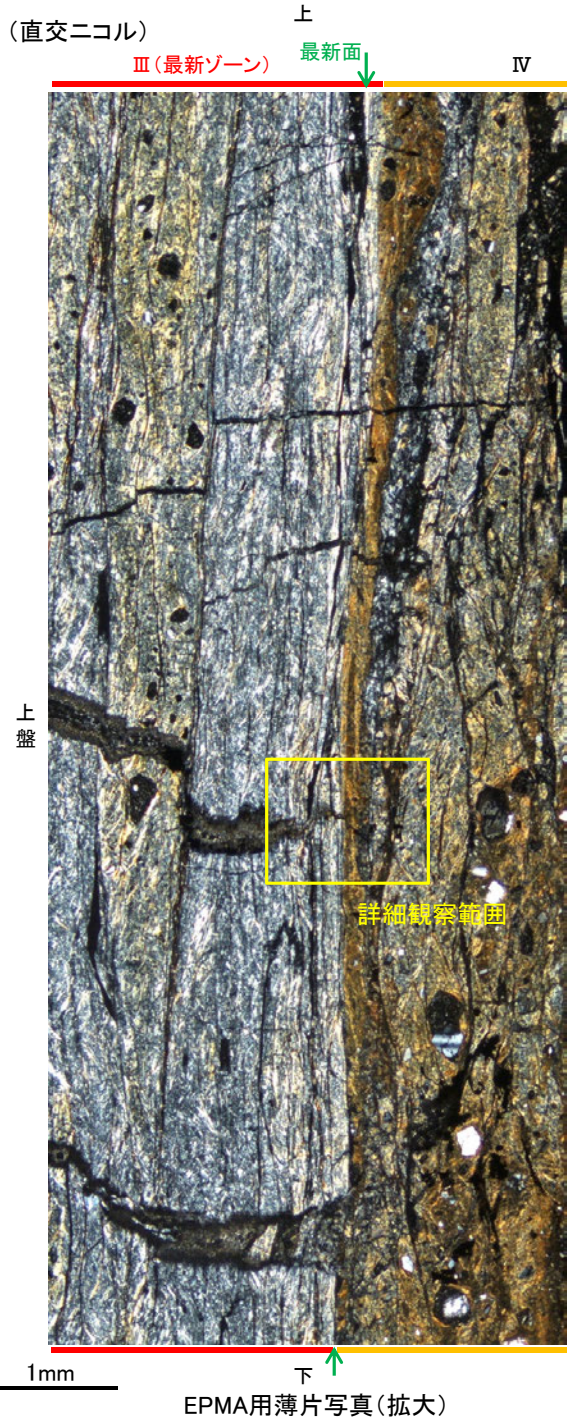


5.2.2 K-2 H-1.1孔 ー変質鉱物の分布(EPMA分析)ー

○EPMA用薄片でEPMA分析(マッピング)を実施した結果, 観察用薄片で認められたオパールCTと対応する箇所に, SiO_2 が約90%以上含まれその他の主要化学成分はほとんど検出されないシリカ鉱物(オパールCT等)が認められる。
 ○このシリカ鉱物は, 最新面及び最新ゾーン全体を横断し, その周辺まで分布することを確認した(次頁)。

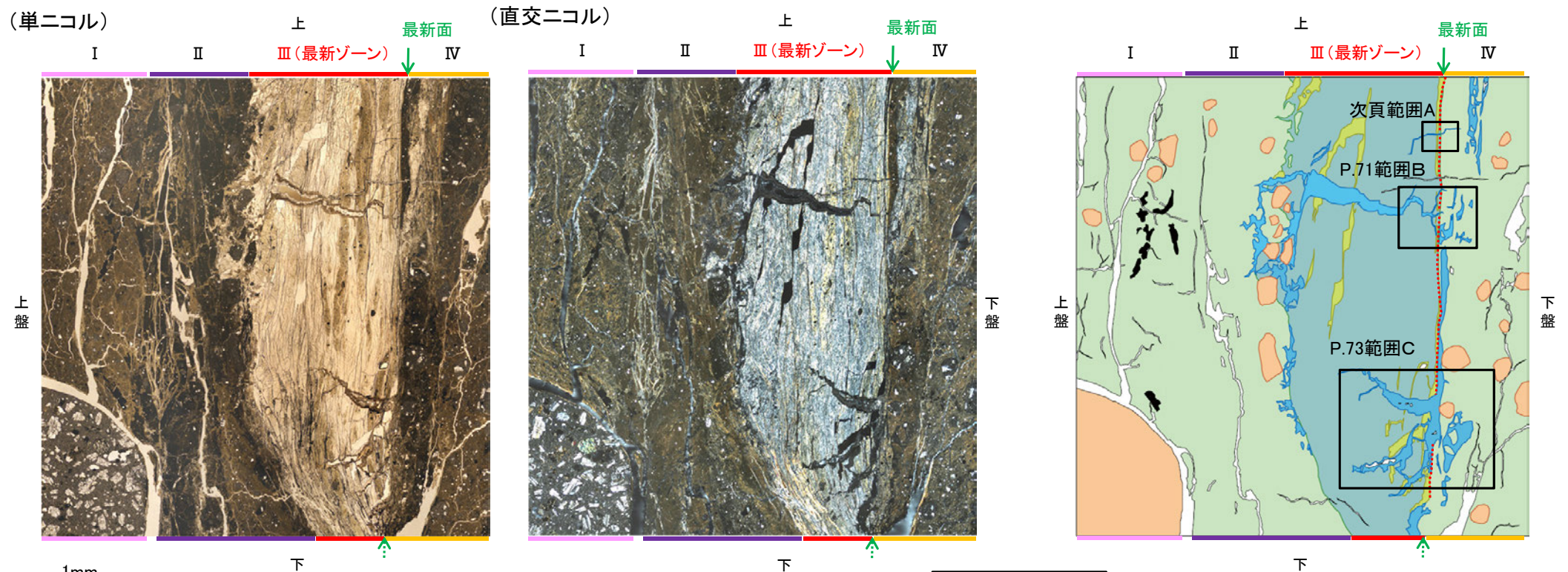


【EPMA分析(詳細観察)】



5.2.2 K-2 H-1.1孔 ー変質鉱物の分布(薄片観察)ー

○観察用薄片で実施した薄片観察や、EPMA用薄片で実施したEPMA分析(マッピング)における化学組成の観点での観察より、オパールCTが最新面及び最新ゾーン全体を横断してその周辺まで脈状に分布していることを確認した。
○このオパールCTと最新面との関係を確認する。



←… : 延長位置

観察用薄片写真(H-1.1_90R) (拡大)

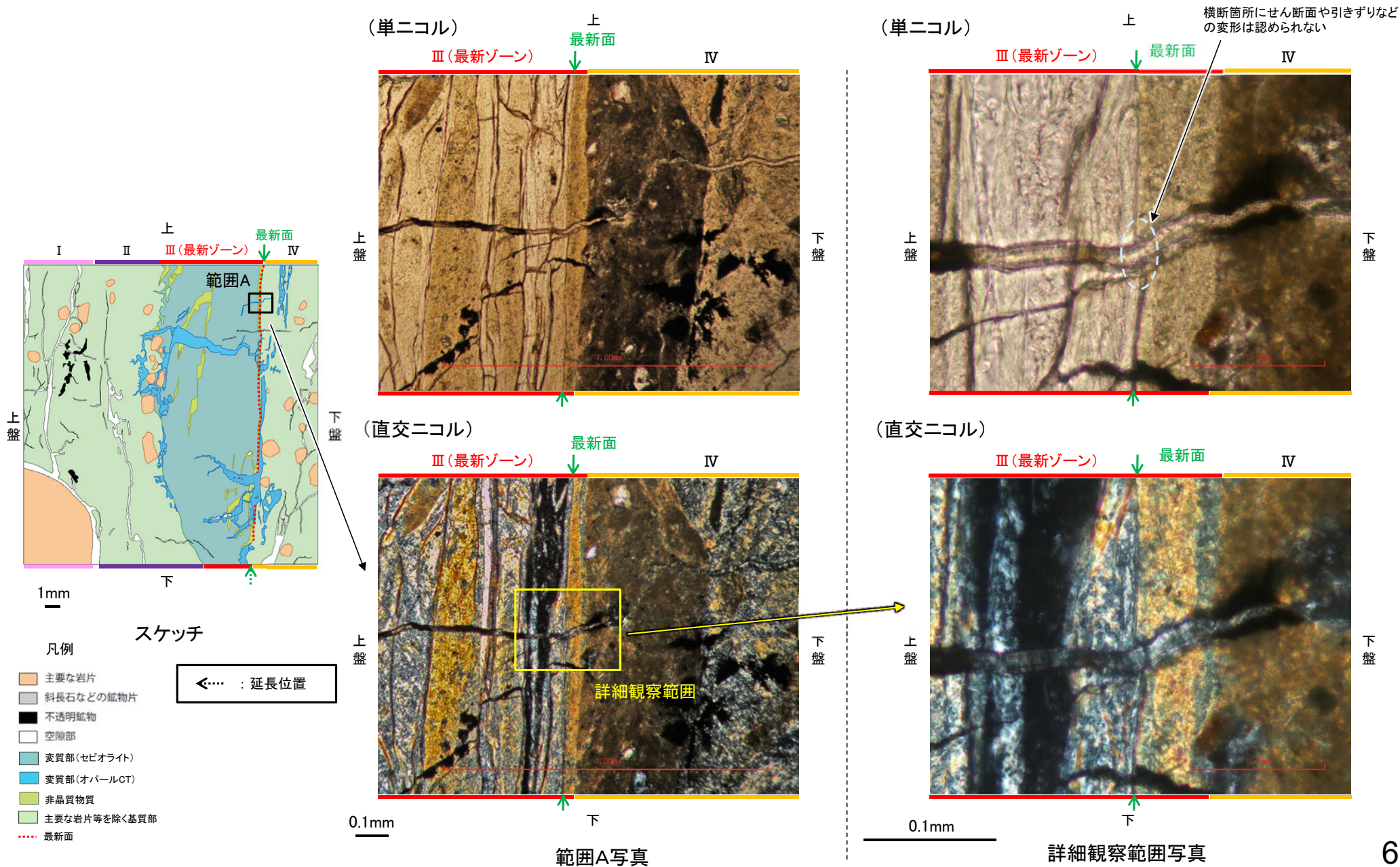
スケッチ

凡例

- 主要な岩片
- 斜長石などの鉱物片
- 不透明鉱物
- 空隙部
- 変質部(セピオライト)
- 変質部(オパールCT)
- 非晶質物質
- 主要な岩片等を除く基質部
- 最新面

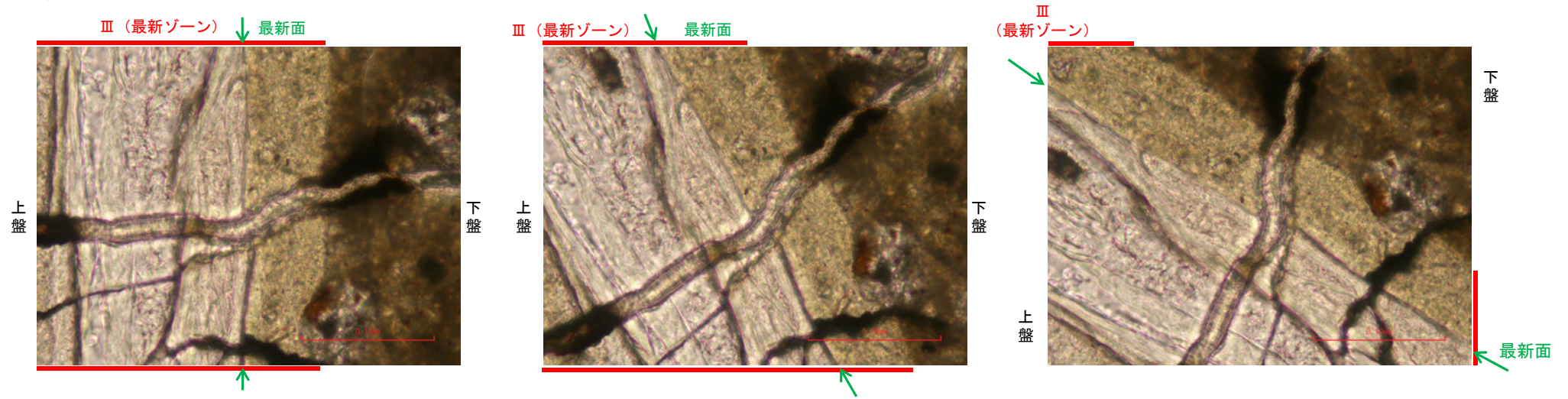
5.2.2 K-2 H-1.1孔 ー最新面とオパールCTとの関係(範囲A)ー

○範囲Aにおいて詳細に観察した結果、微細な割れ目を充填するオパールCTが最新面を横断して分布し、横断箇所にてせん断面や引きずりなどの変形は認められない。

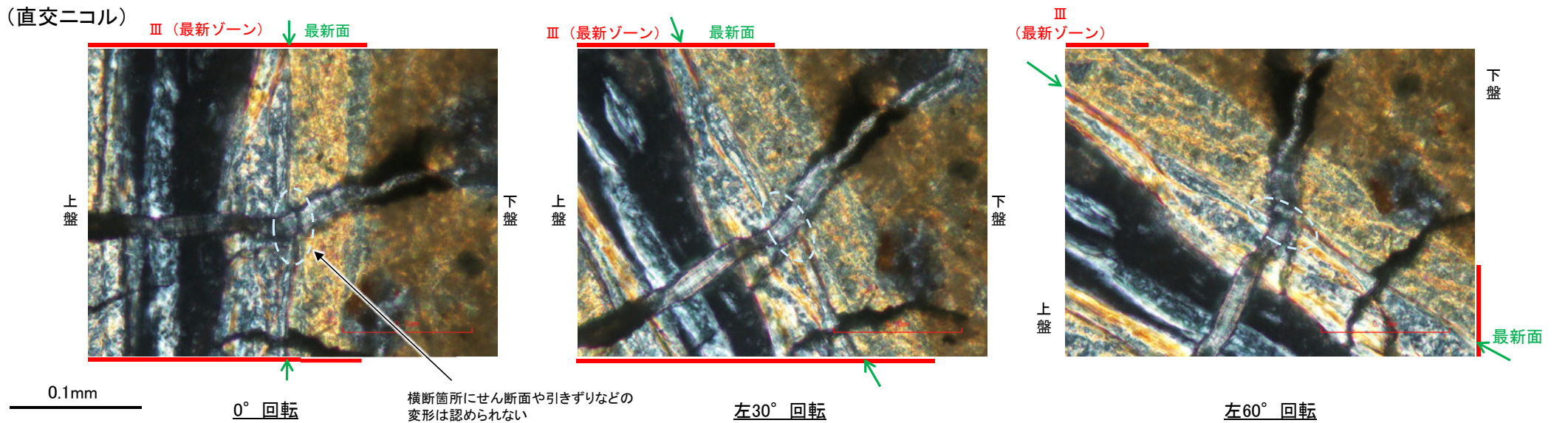


【ステージ回転】

(単ニコル)

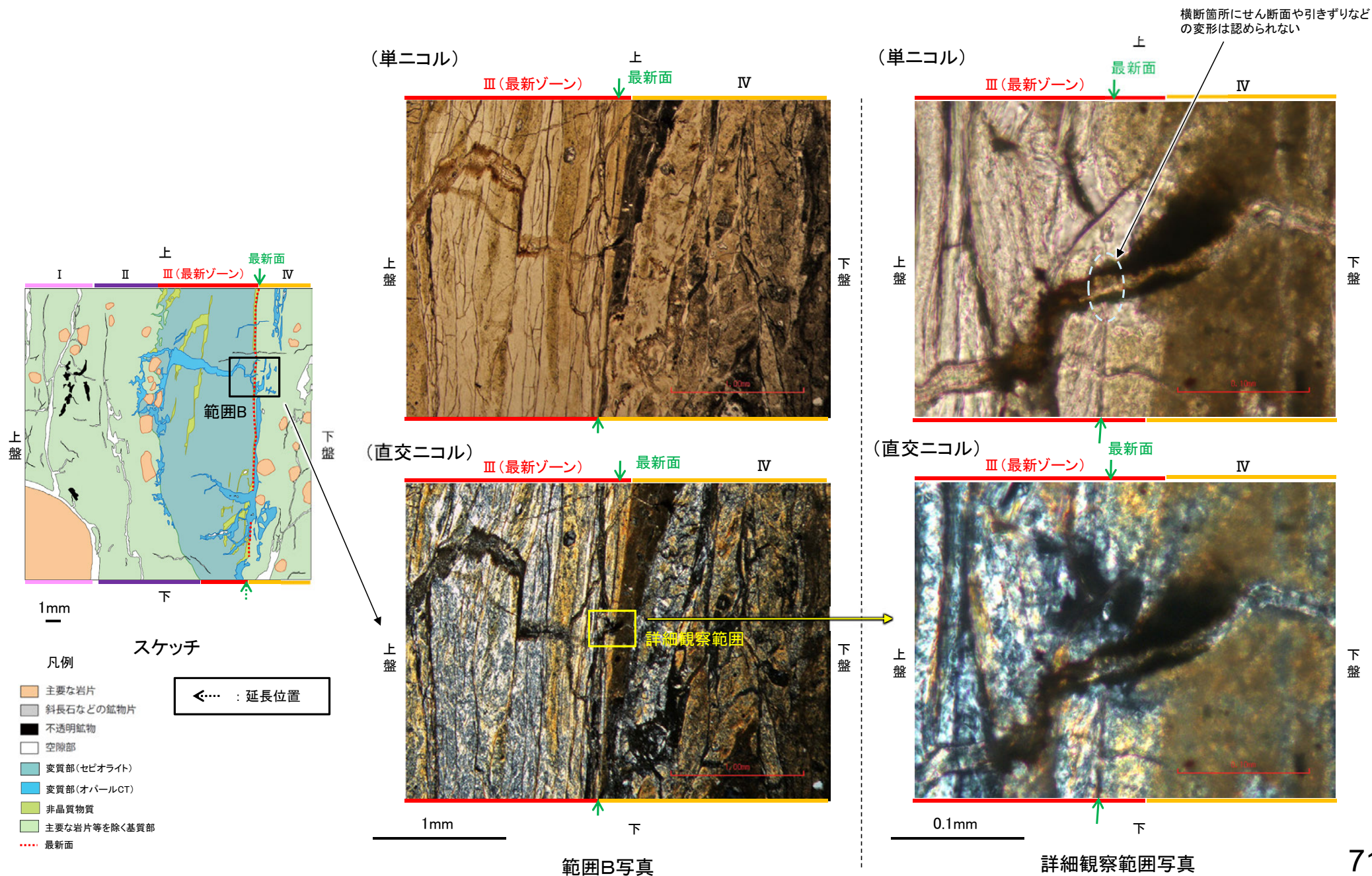


(直交ニコル)



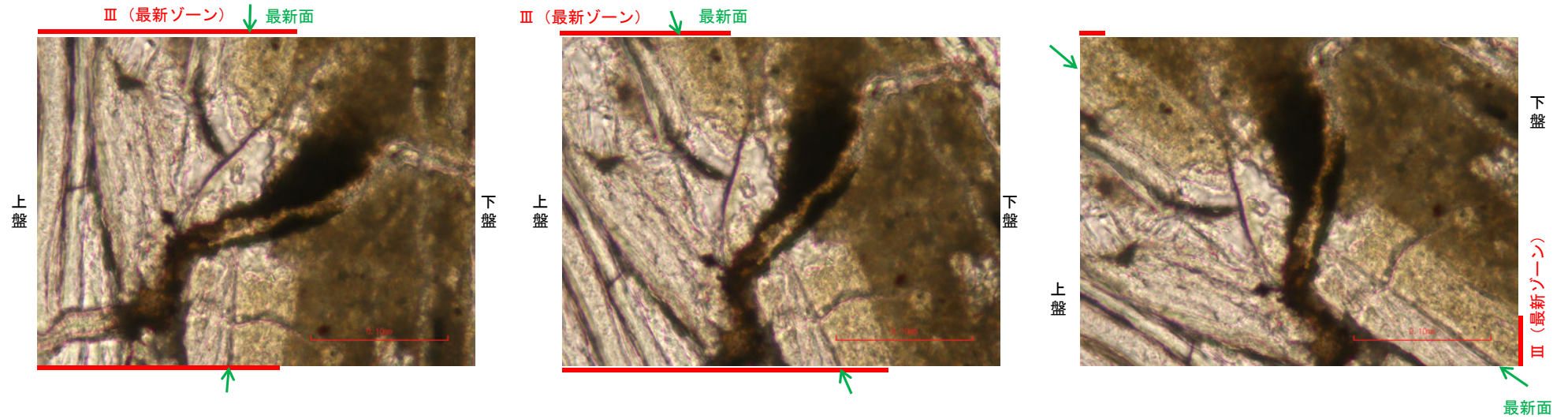
5.2.2 K-2 H-1.1孔 ー最新面とオパールCTとの関係(範囲B)ー

○範囲Bにおいて詳細に観察した結果、微細な割れ目を充填するオパールCTが最新面を横断して分布し、横断箇所にはせん断面や引きずりなどの変形は認められない。

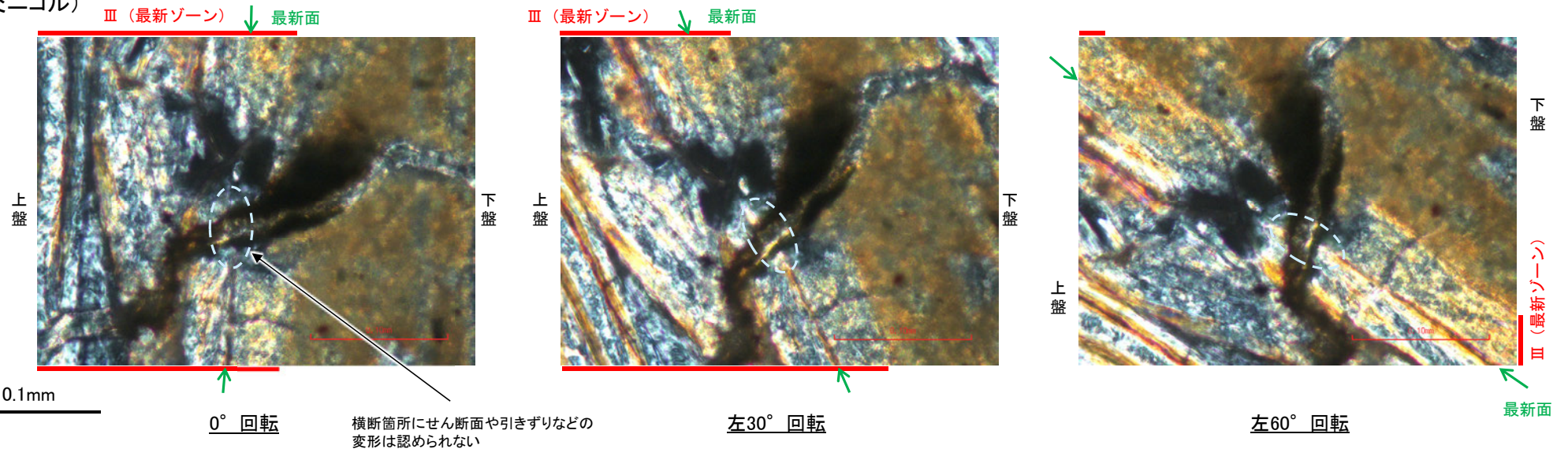


【ステージ回転】

(単ニコル)

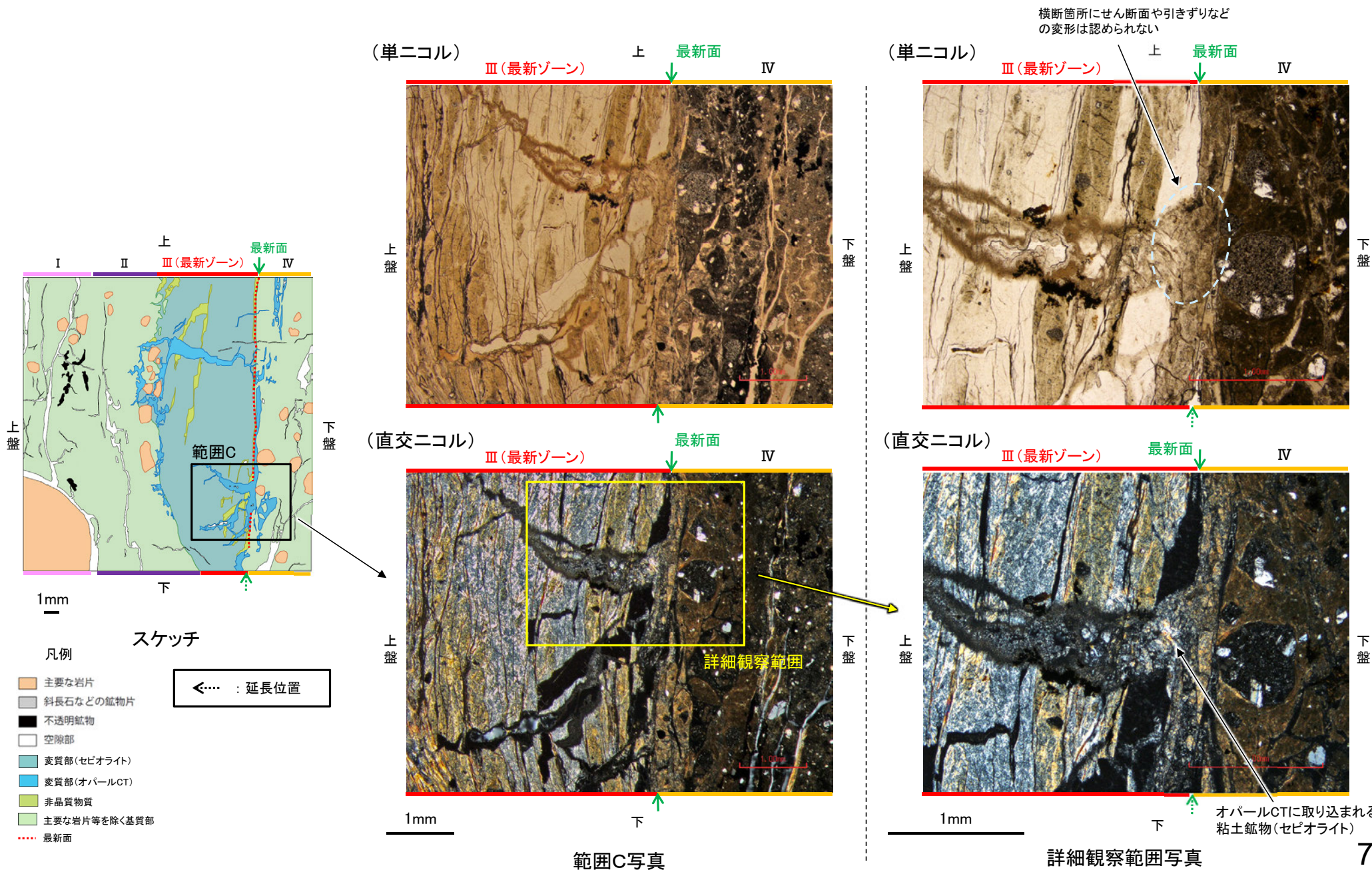


(直交ニコル)



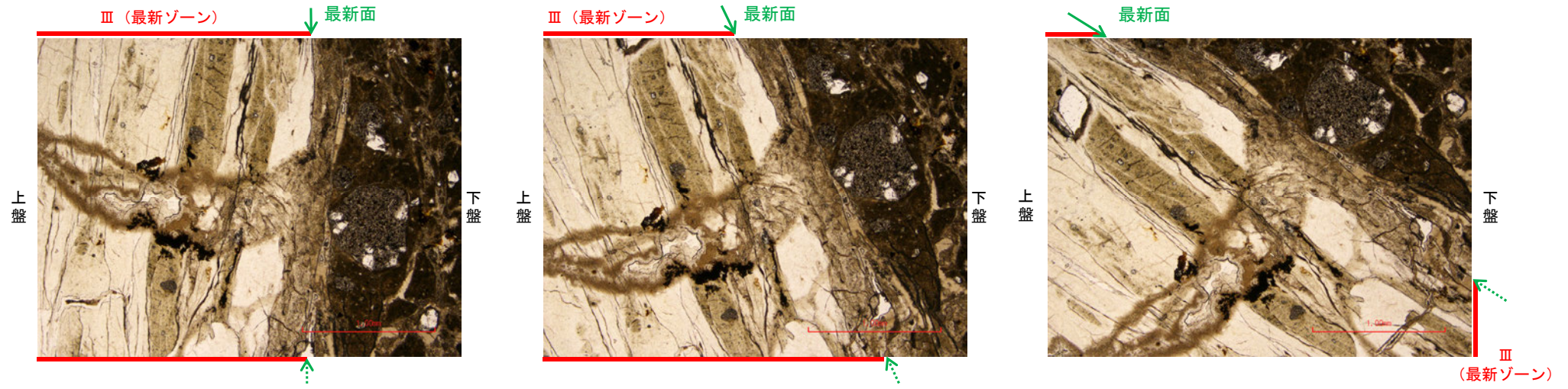
5.2.2 K-2 H-1.1孔 ー最新面とオパールCTとの関係(範囲C)ー

○範囲Cにおいて詳細に観察した結果、微細な割れ目を充填するオパールCTが最新面を横断して分布し、横断箇所にてせん断面や引きずりなどの変形は認められない。

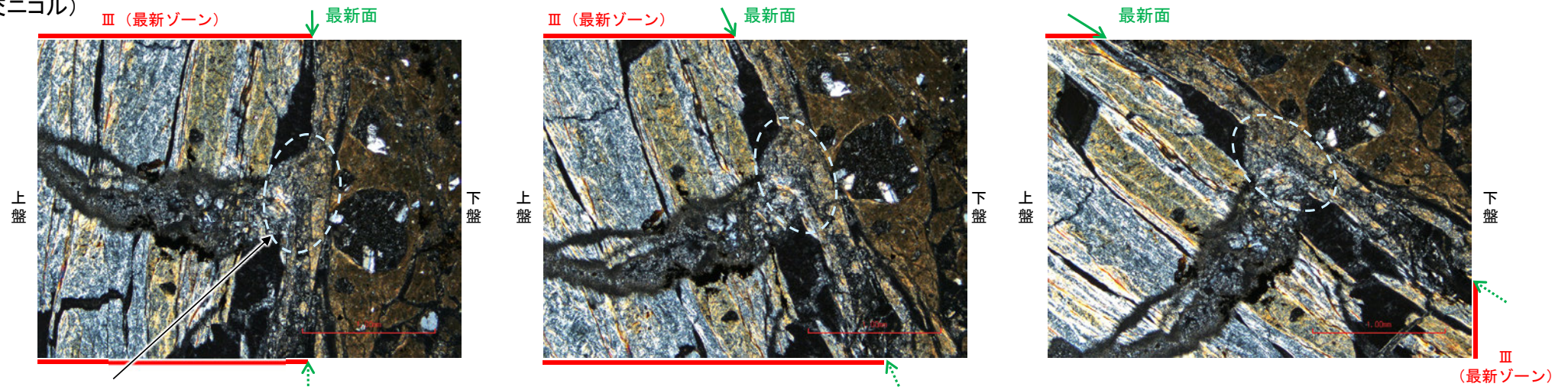


【ステージ回転】

(単ニコル)



(直交ニコル)



横断箇所にはせん断面や引きずりなどの変形は認められない

0° 回転

1mm

左30° 回転

左60° 回転

※その他のステージ回転写真は補足資料5.2-9(1)-1 P.5.2-9-6

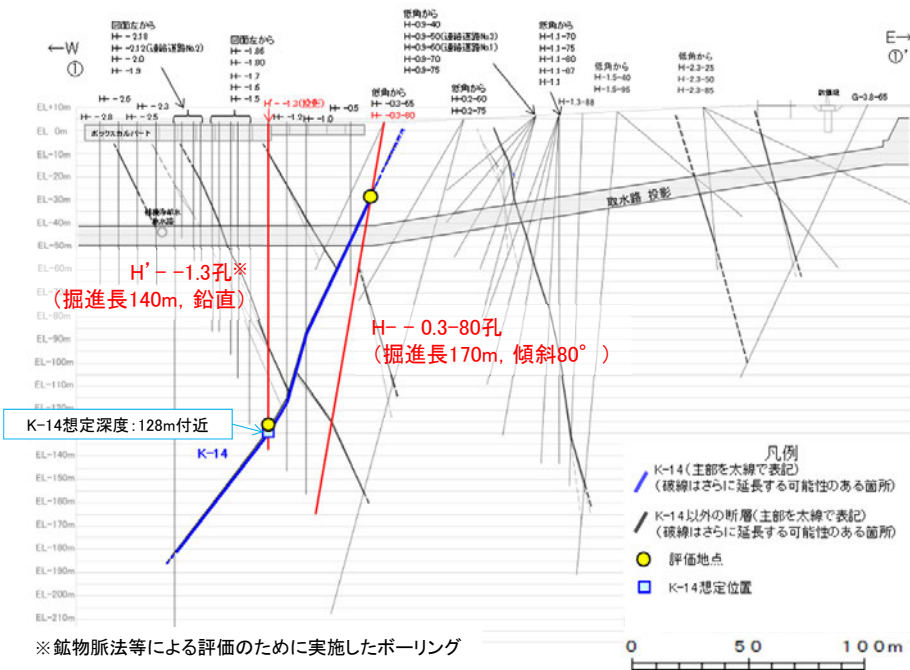
5.2.3 K-14

5.2.3 K-14の鉱物脈法等による評価

■ 鉱物脈法等による評価

- H' - -1.3孔において、K-14の最新ゾーンに少なくとも後期更新世以降に生成されたものではないと評価した変質鉱物であるフィリップサイトが認められたことから、断層活動(最新面)と変質鉱物との関係による評価を行った。
- H - -0.3-80孔において、K-14の最新ゾーンに少なくとも後期更新世以降に生成されたものではないと評価した変質鉱物であるI/S混合層が認められたことから、断層活動(最新面)と変質鉱物との関係による評価を行った。

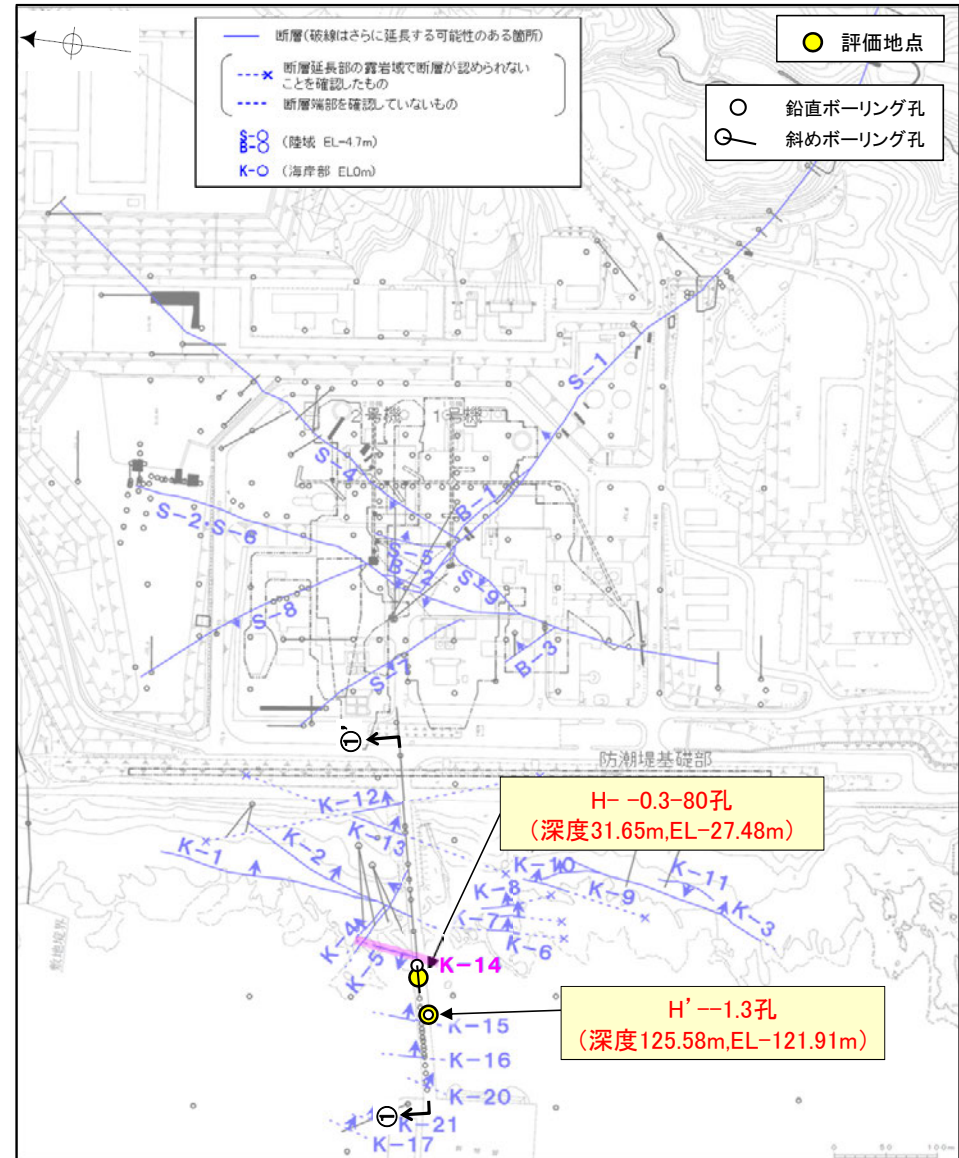
評価地点	記載頁
H' - -1.3孔 (深度125.58m,EL-121.91m)	P.77~94
H - -0.3-80孔 (深度31.65m,EL-27.48m)	P.95~104



①-①' 断面図

H' - -1.3孔のK-14想定深度付近のコア写真は、[補足資料5.2-11\(3\)](#)
H - -0.3-80孔のボーリング柱状図、コア写真、BHTVは、[データ集1.2.3](#)

赤字: 第788回審査会合以降の追加箇所

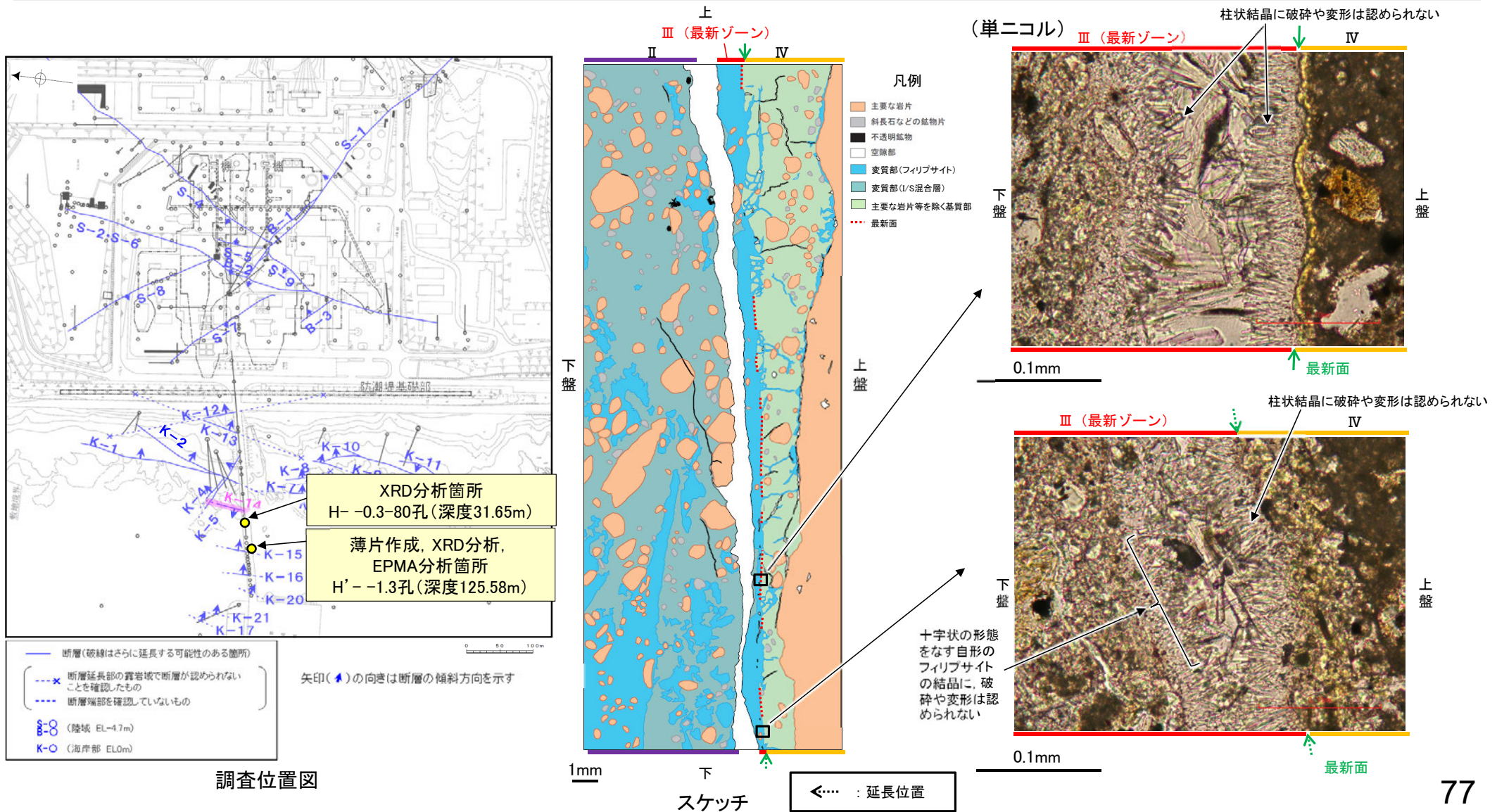


矢印(▲)の向きは断層の傾斜方向を示す

位置図

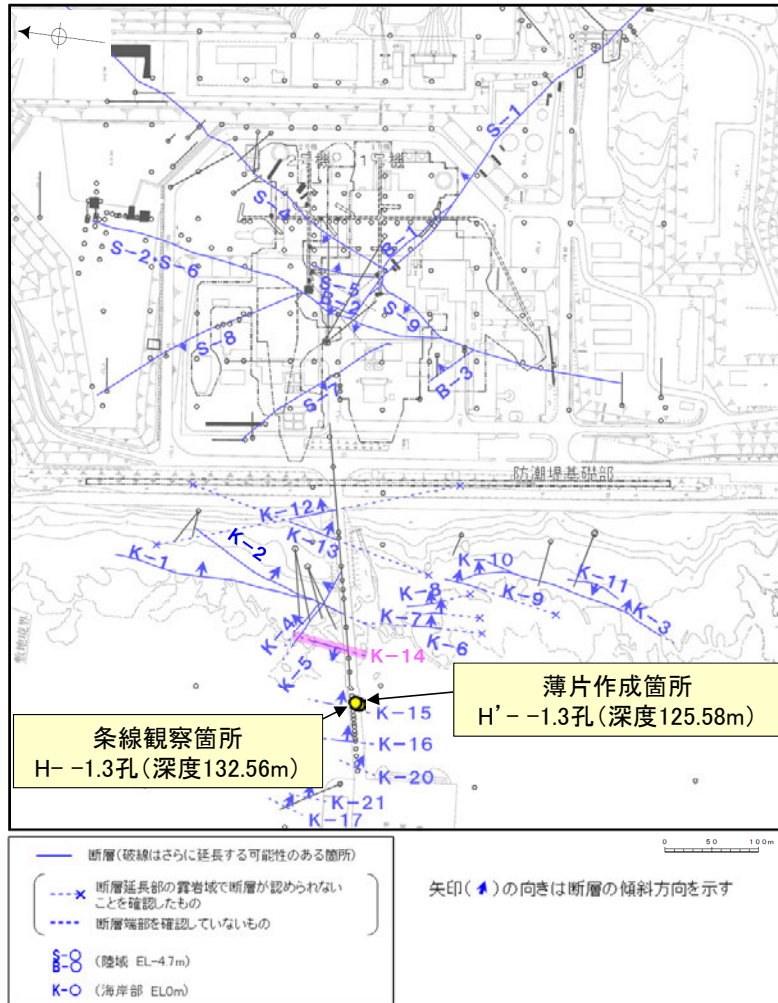
5.2.3 K-14 (1) H' - -1.3孔 一概要一

- H' - -1.3孔の深度125.60m付近で認められるK-14において、最新面と変質鉱物との関係による評価を行った。
- 最新ゾーンやその周辺に分布する変質鉱物は、XRD分析、薄片観察、EPMA分析結果から、フィリップサイト及びI/S混合層であると判断される。
- 薄片観察の結果、I/S混合層生成後にフィリップサイトが晶出したと考えられることから、生成時期がより新しいと考えられるフィリップサイトと最新面との関係を確認した。
- フィリップサイトの柱状結晶が最新面に接して晶出しており、この柱状結晶に破碎や変形は認められない。
- 最新面直近に十字状の形態をなす自形のフィリップサイトの結晶が認められ、この結晶にも破碎や変形は認められない。

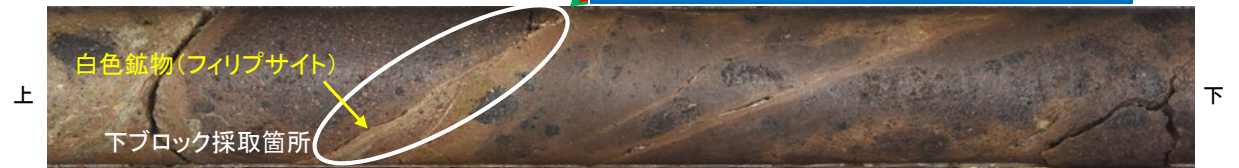


5.2.3 K-14 (1) H' - -1.3孔 ー最新面の認定(巨視的観察)ー

- H' - -1.3孔の深度125.60m付近で認められるK-14において、巨視的観察(ボーリングコア観察, CT画像観察)を実施し、最も直線性・連続性がよい断層面を主せん断面として抽出した。
- 隣接孔(H- -1.3孔)の主せん断面における条線観察の結果、110° Rの条線方向が確認されたことから、110° Rで薄片を作成した(ブロック写真)。
- また、ボーリングコア観察において、主せん断面を充填する白色鉱物(フィリップサイト)が認められる。

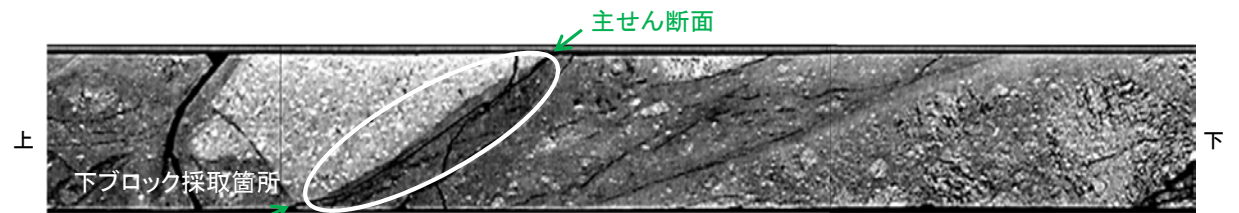


・条線観察結果については補足資料2.5-1(2)-16 P.2.5-1-255



ボーリングコア写真(H' - -1.3孔)

— 粘土状破砕部
 — 固結した破砕部



CT画像(H' - -1.3孔)



1cm

ブロック写真

※図示した箇所にて観察用薄片を作成し、そこから1mm程度削り込んだ位置でEPMA用薄片を作成した

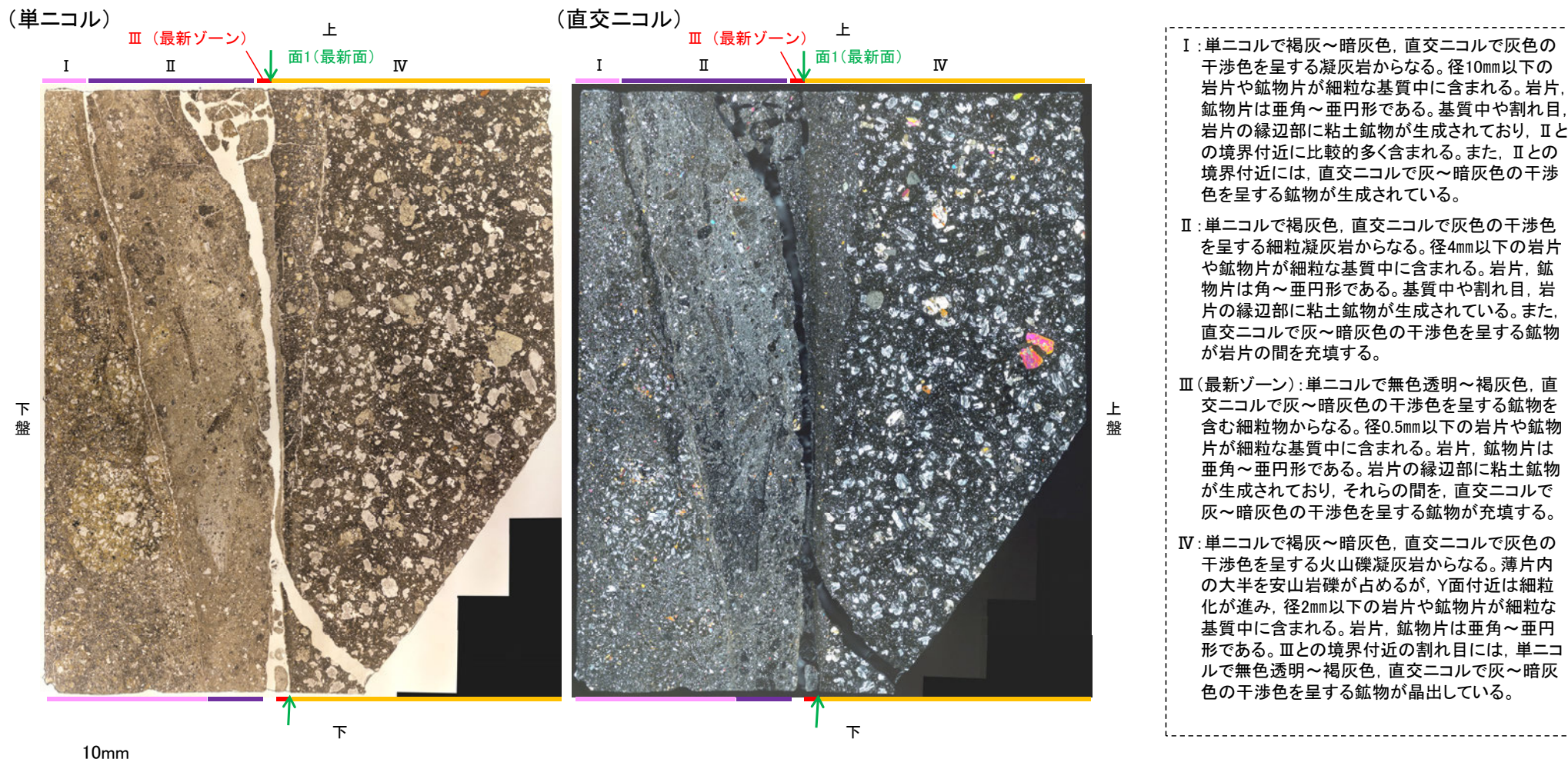
5.2.3 K-14 (1) H' - -1.3孔 ー最新面の認定(微視的観察)ー

コメントNo.85の回答

- 観察用薄片で実施した微視的観察(薄片観察)の結果, 色調や礫径などから, 下盤側より I ~ IV に分帯される。
- そのうち, 最も細粒化している2mm以下の薄層である分帯Ⅲを最新ゾーンとして抽出した。
- 最新ゾーンと分帯Ⅳとの境界に, 面1が認められる。面1は凹凸を伴い直線性に乏しいが, 最新ゾーンの中では比較的連続性がよい面である。
- 最新ゾーンと分帯Ⅱとの境界は, 不明瞭で漸移的であり, せん断面は認められない※。
- 以上より, 面1を最新面と認定し, 変質鉱物との関係を確認する。
- その他に観察される面として, 分帯Ⅰと分帯Ⅱとの境界面が認められるが, この面は直交ニコルで灰～暗灰色を呈する鉱物と粘土鉱物で充填され, 不明瞭になっており, 連続性に乏しい。

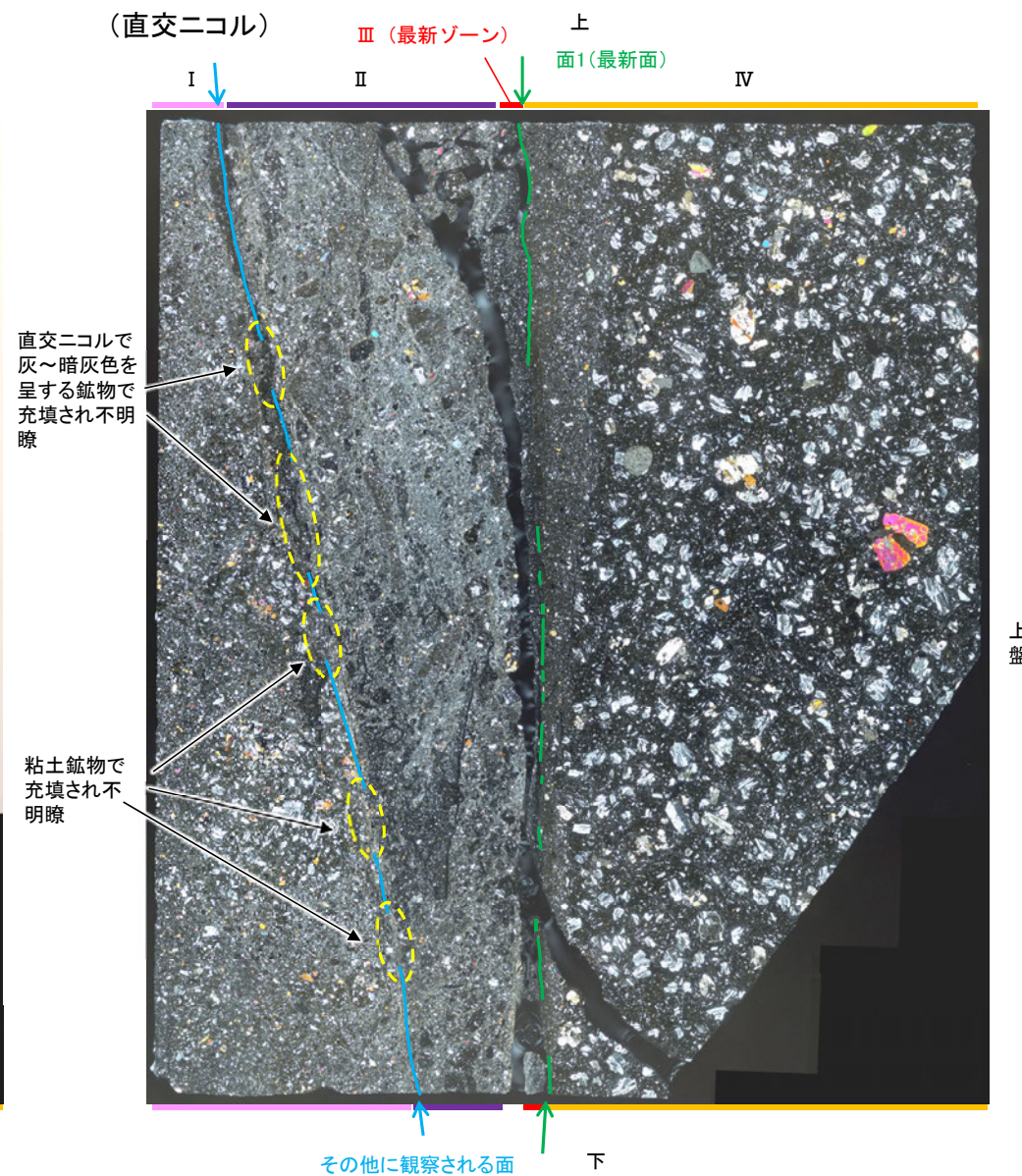
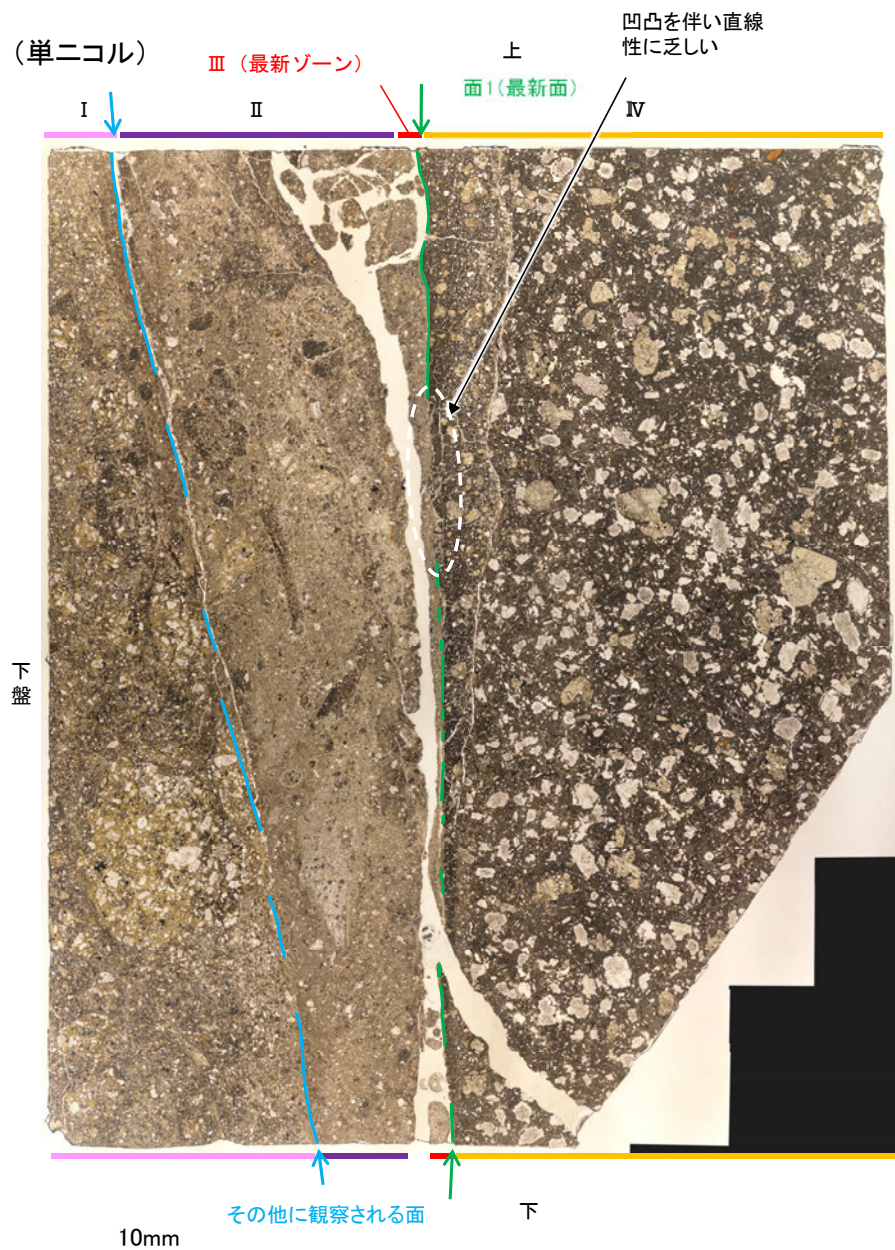
【解釈線なし】

※詳細は補足資料5.2-10(1)-1



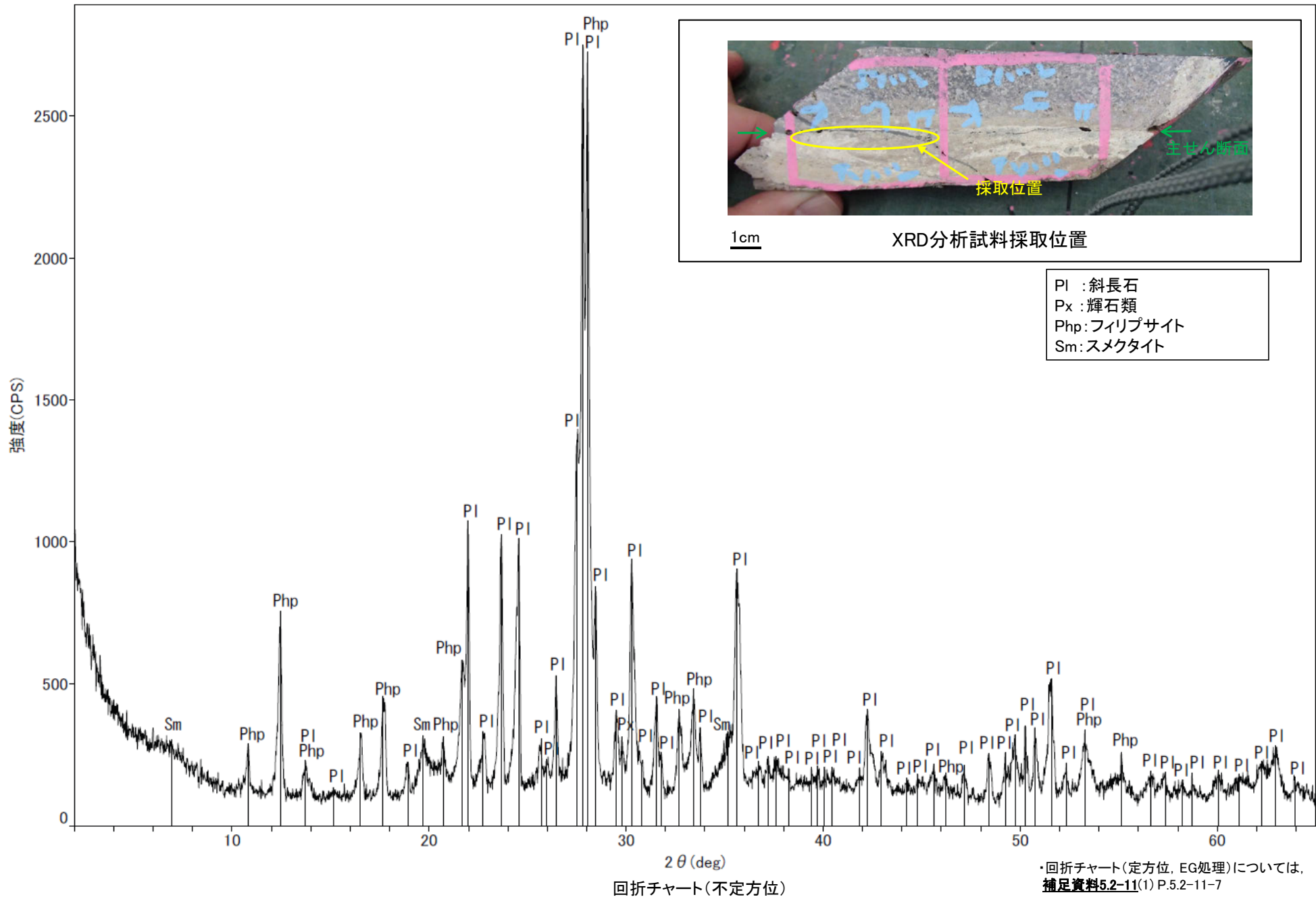
観察用薄片写真(H' - -1.3_110R)

【解釈線あり】



5.2.3 K-14 (1) H' - -1.3孔 ー 鉍物の同定(XRD分析, フィリップサイト) ー

○最新ゾーン付近でXRD分析を実施した結果, 主な変質鉍物としてフィリップサイトが認められ, その他の変質鉍物としてはスメクタイトが認められる。



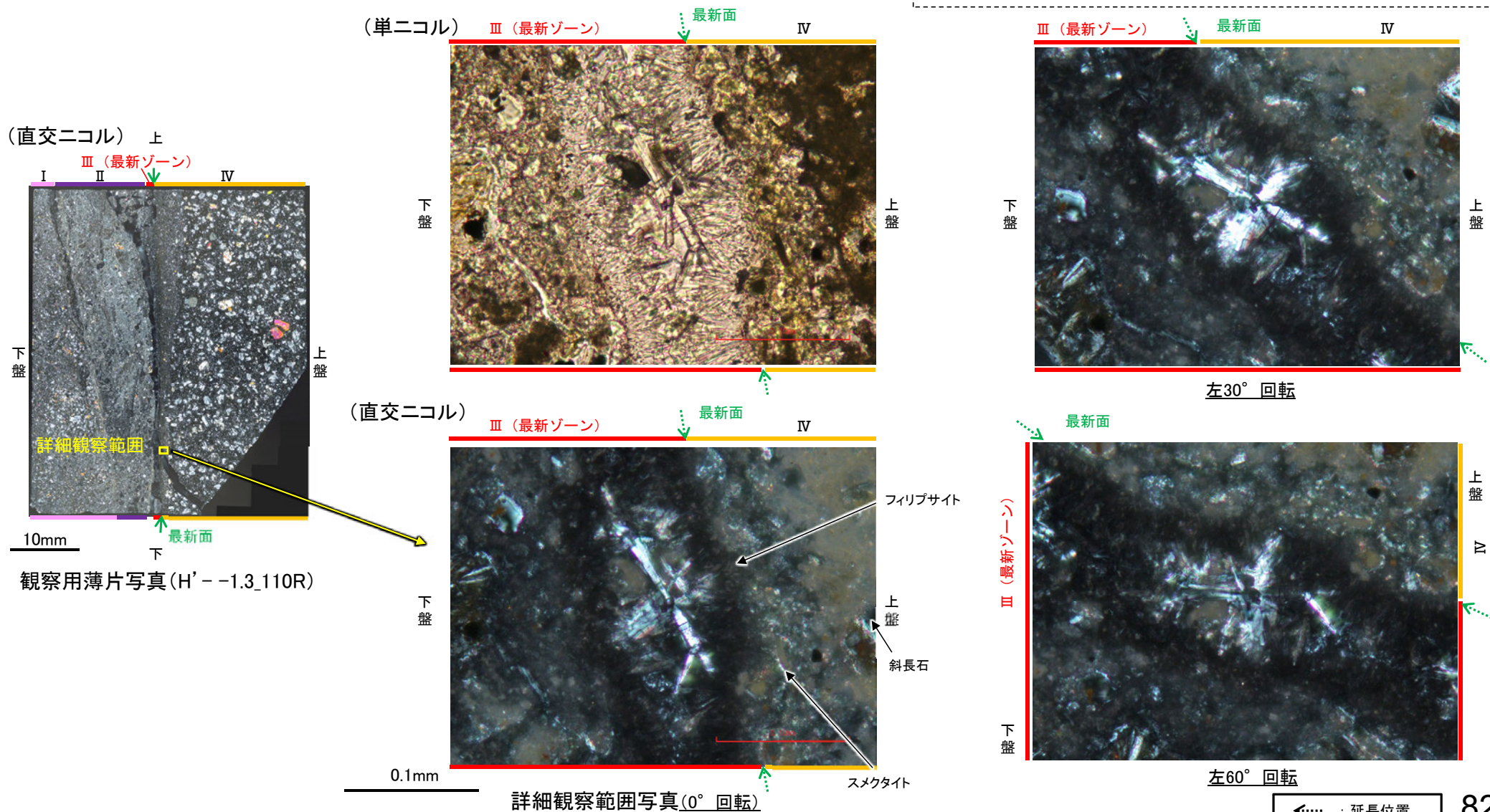
5.2.3 K-14 (1) H' -- 1.3孔 一 鈷物の同定(薄片観察(光学的性質), フィリップサイト) ー

コメントNo.88の回答

○最新ゾーンにおける薄片観察の結果, 単ニコルで無色透明~褐灰色, 直交ニコルで灰~暗灰色を呈する変質鈷物が認められ, ステージの回転によりわずかに干渉色に変化し, 低い複屈折を示すことから, フィリップサイトの特徴的な光学的性質(低複屈折)を有することが確認できる。

文献における複屈折(※¹Shepard and Fitzpatrick(1989), ※²吉村(2001))

- ・フィリップサイト(K・Naに富む) : 0.002~0.004※¹
- ・斜長石 : 0.008~0.013※²
- ・スメクタイト : 0.01~0.04※²



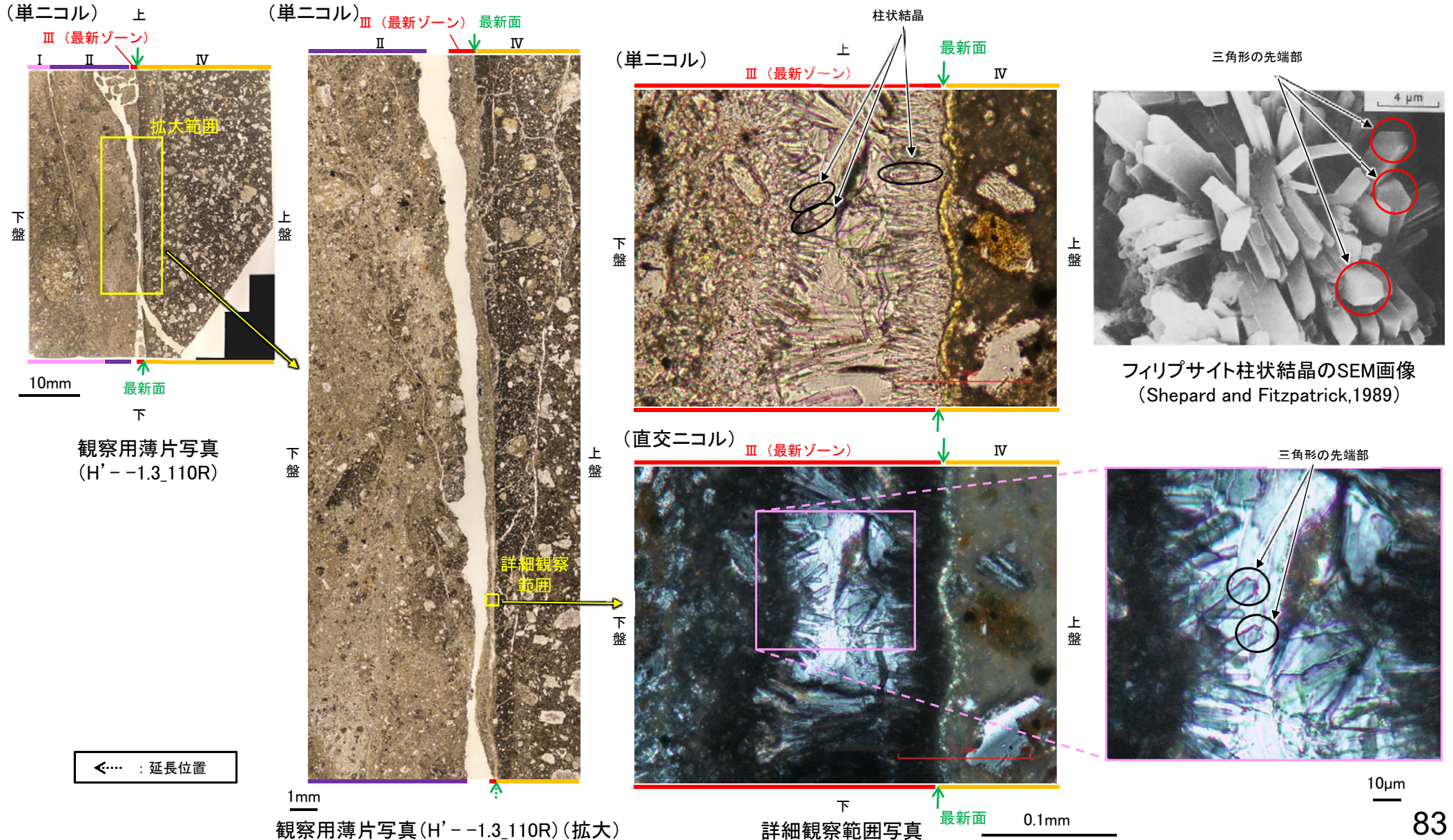
◀ : 延長位置

5.2.3 K-14 (1) H' --1.3孔 ー 鉱物の同定(薄片観察(形状), フィリップサイト) ー

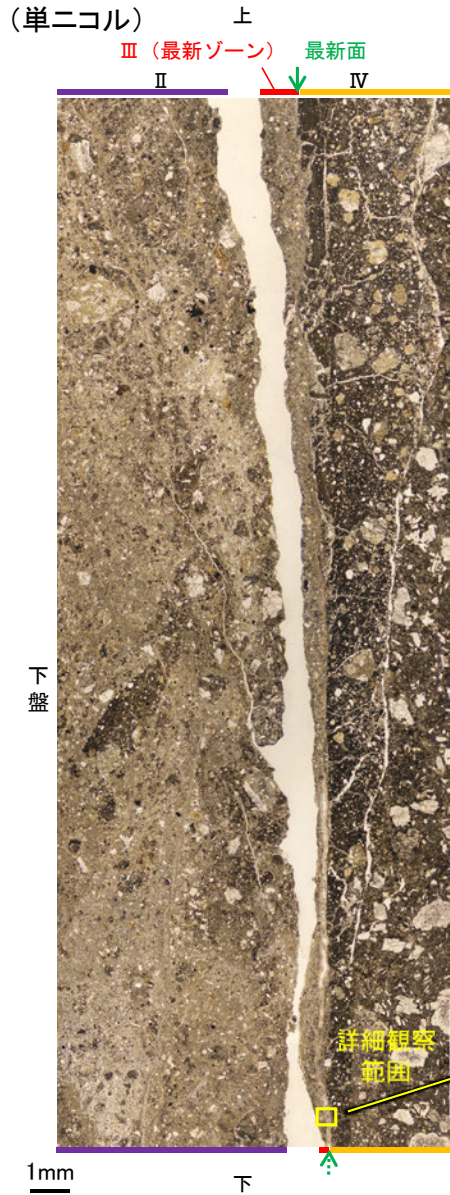
○最新ゾーンにおいて, 最新面から垂直方向に成長する柱状結晶が認められる。この柱状結晶の先端部には, Shepard and Fitzpatrick(1989)のフィリップサイトで見られるような, 三角形の先端部も認められる。

○また, 松原(2002)やAdisaputra and Kusnida(2010)でフィリップサイトの特徴として示される, 十字状の形態をなす双晶も認められる(次頁)。

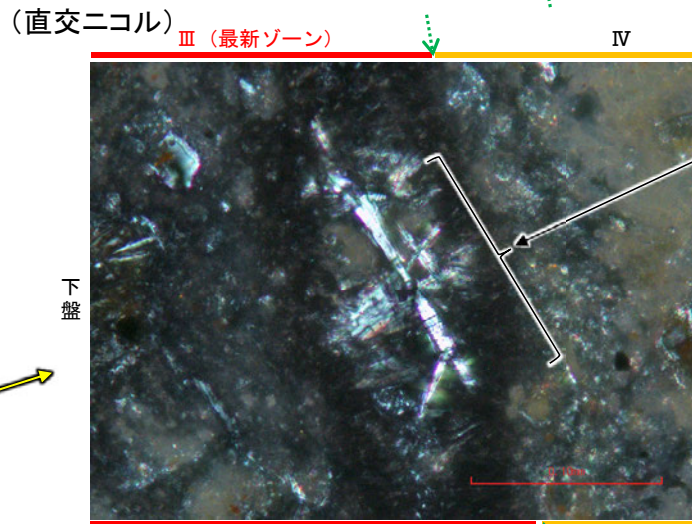
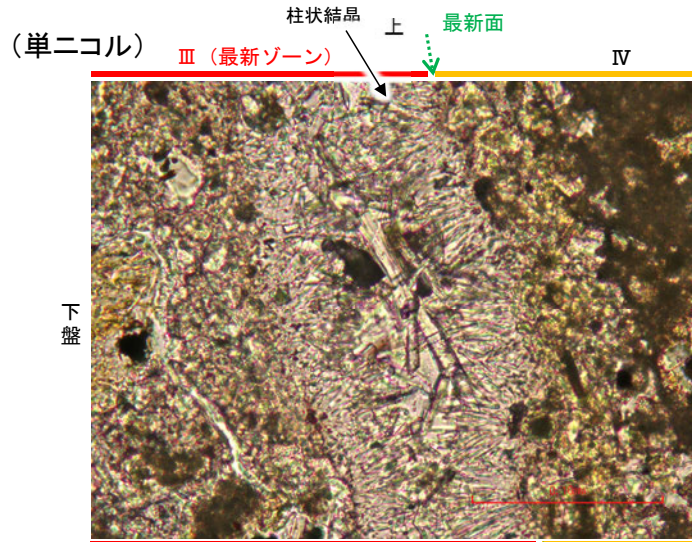
【三角形の先端部を持つ柱状結晶】



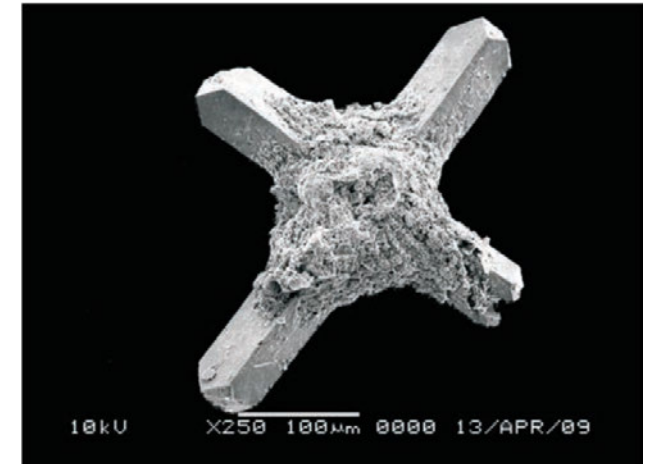
【十字状の形態をなす双晶】



観察用薄片写真 (H' - -1.3_110R) (拡大)



詳細観察範囲写真



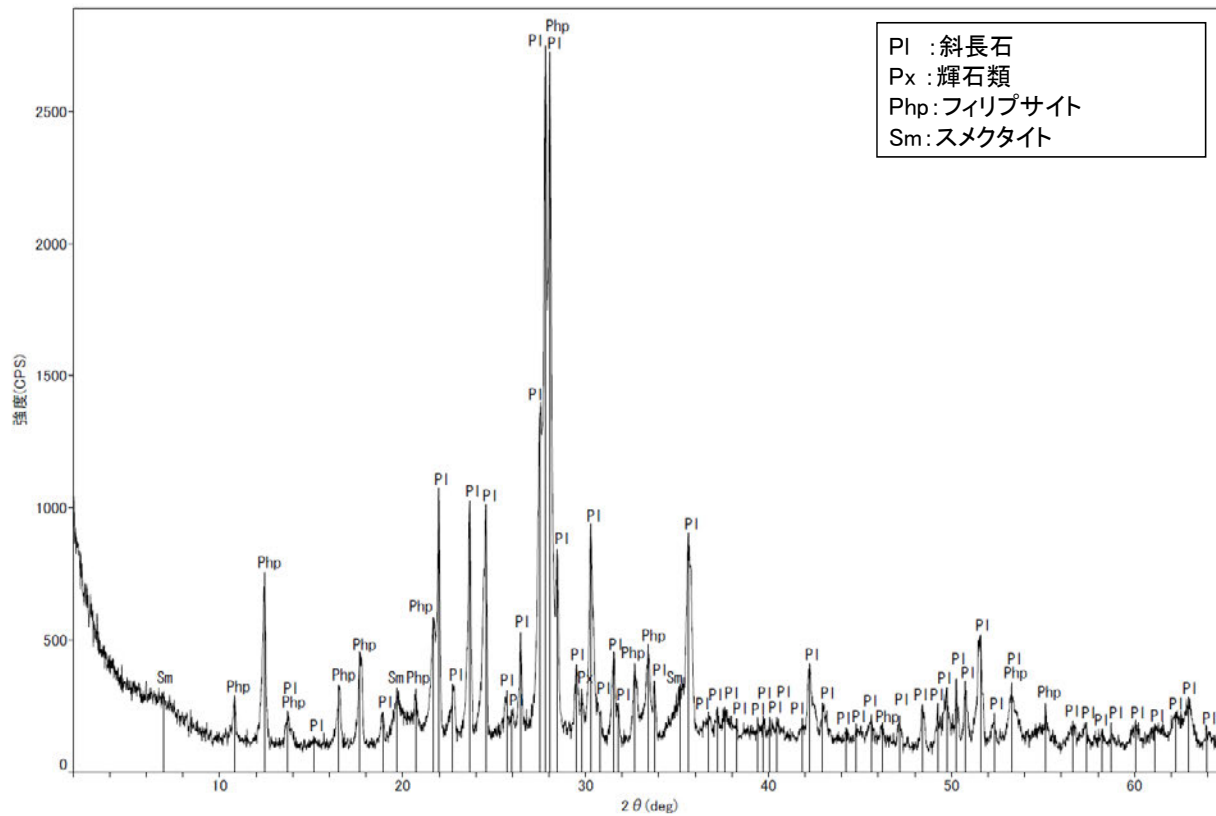
十字状の形態をなすフィリップサイトのSEM画像 (Adisaputra and Kusnida,2010)

松原(2002)
十字沸石 (phillipsite) : 複雑な双晶をして産し, 四角柱状, 十字状などの形態が特徴。

←… : 延長位置

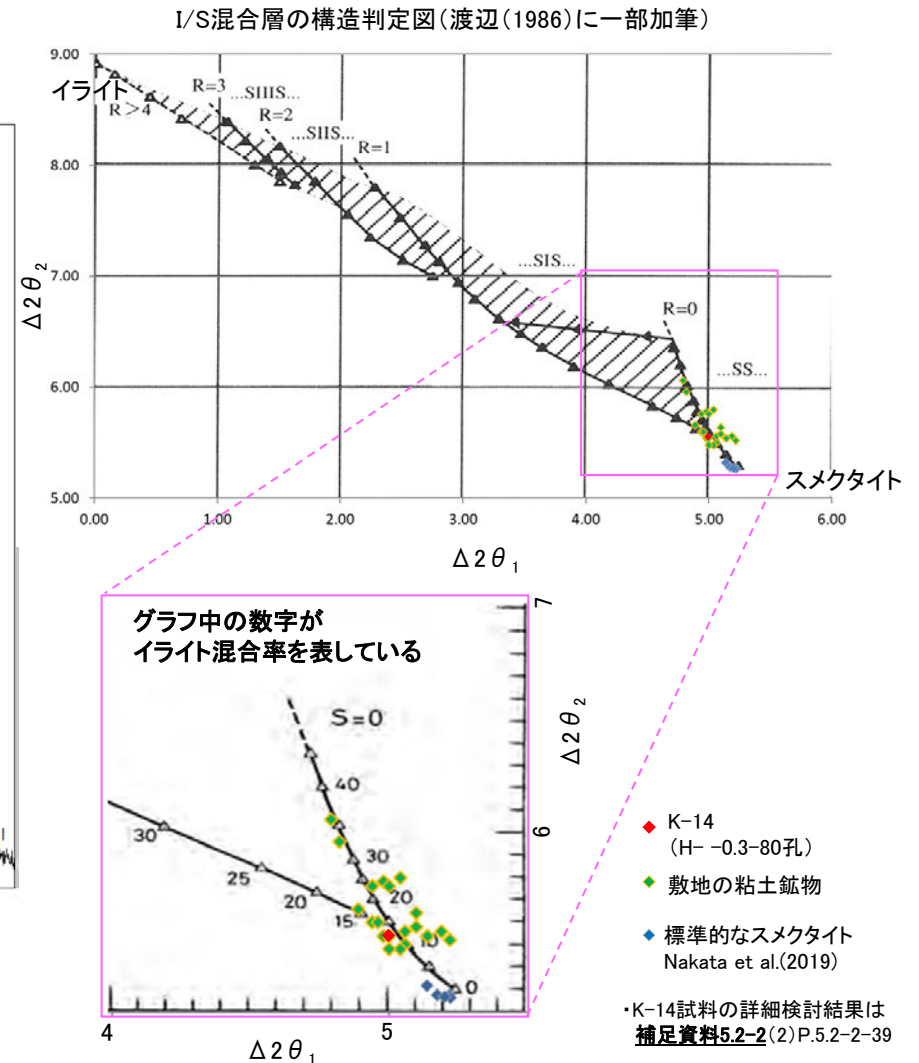
5.2.3 K-14 (1) H' - -1.3孔 — 鉱物の同定(XRD分析, I/S混合層) —

- 最新ゾーン付近で実施したXRD分析において、フィリップサイト以外の変質鉱物としてスメクタイトが認められる。
- スメクタイトについて詳細な結晶構造判定を行うために、同一断層の別孔(H' -0.3-80孔)の破碎部においてXRD分析(粘土分濃集)を実施した結果、I/S混合層と判定される。



回折チャート(不定方位)

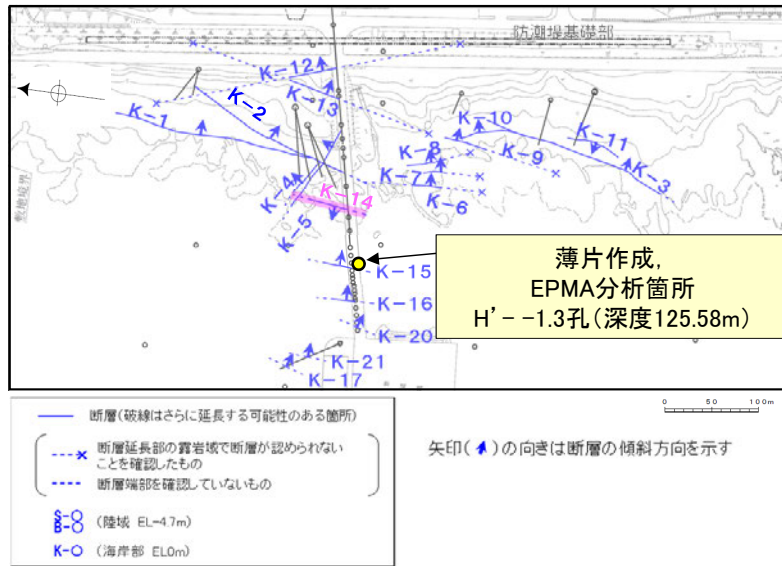
・回折チャート(定方位, EG処理)については、[補足資料5.2-11\(1\) P.5.2-11-7](#)



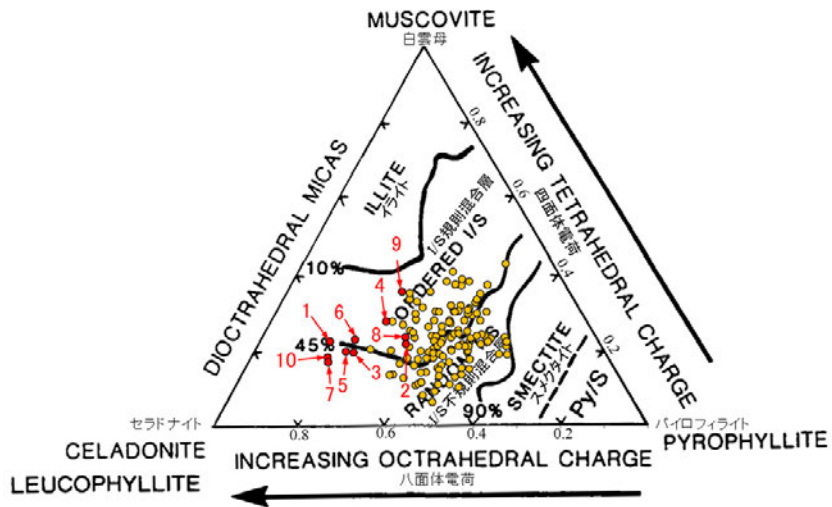
I/S混合層の構造判定図(渡辺(1981)に一部加筆)

5.2.3 K-14 (1) H' - -1.3孔 ー 鉱物の同定(EPMA分析(定量), I/S混合層) ー

- EPMA用薄片において観察用薄片と同様に、最新ゾーンやその周辺に粘土鉱物やフィリップサイトが分布する。
- この粘土鉱物を対象として、EPMA分析(定量)による化学組成検討を実施した結果、この粘土鉱物はI/S混合層であると判断される。



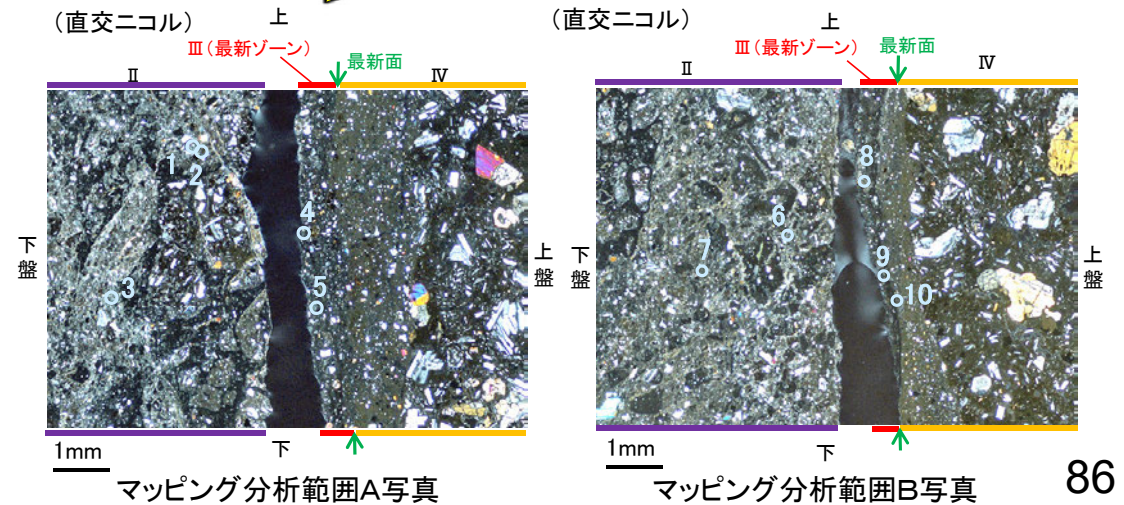
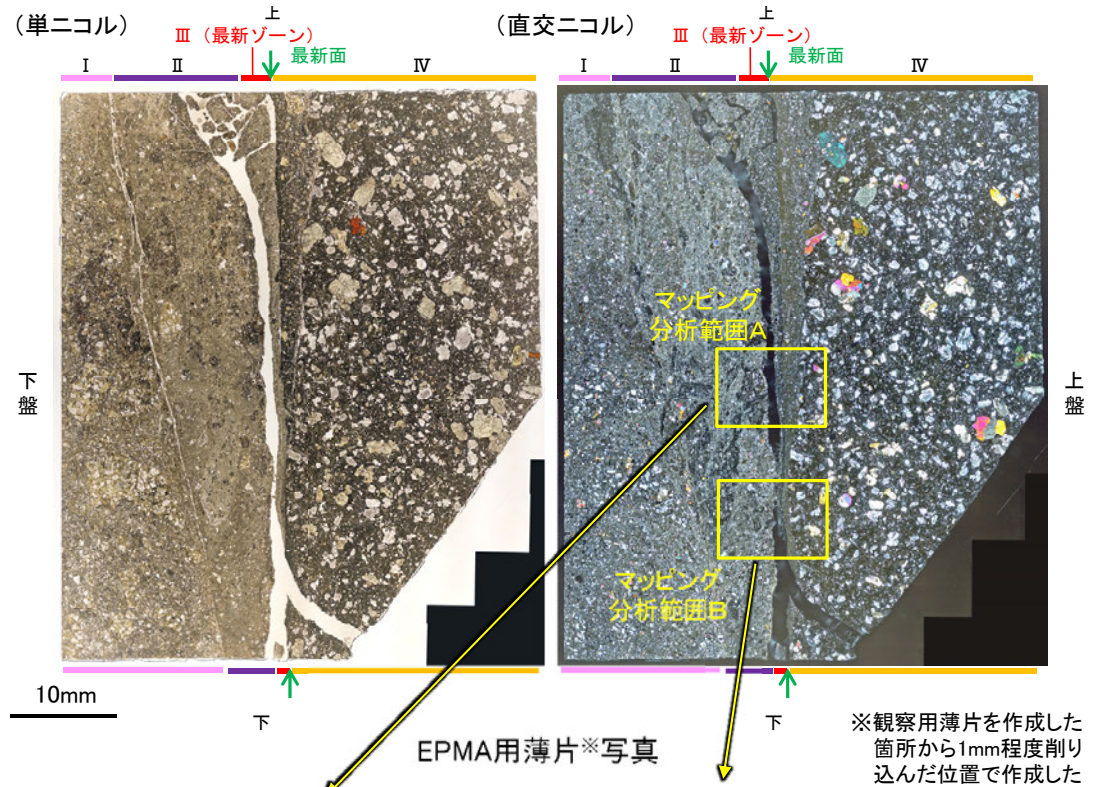
調査位置図



・詳細は補足資料5.2-2(3)P.5.2-2-73, 74

- 分析値(K-14_H' - -1.3孔)
- 分析番号位置は右図
- その他の分析値(敷地の粘土鉱物)

2八面体型雲母粘土鉱物及び関連鉱物の化学組成
(Srodon et al. (1984)に一部加筆)

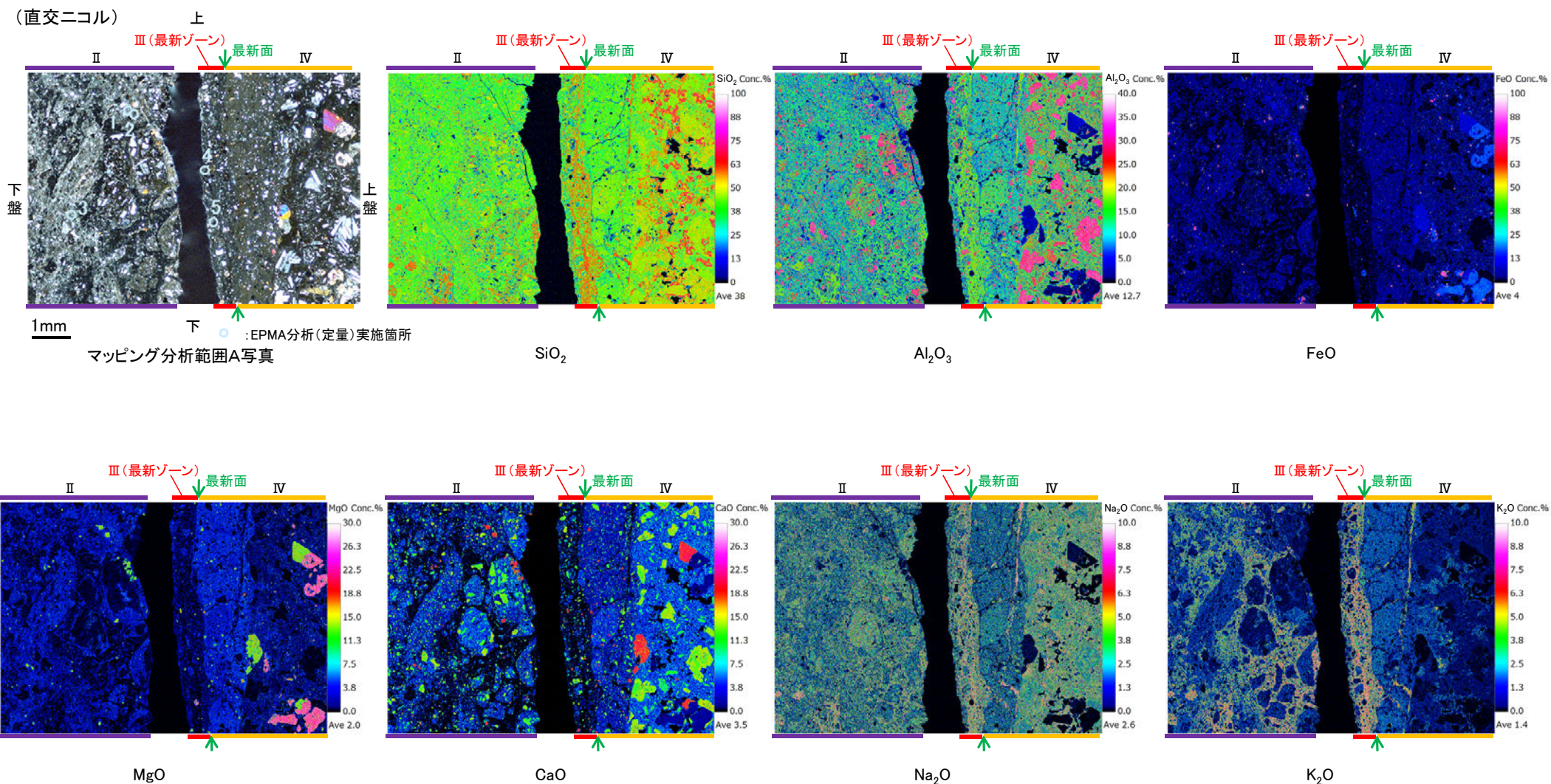


5.2.3 K-14 (1) H' - -1.3孔 ー変質鉱物の分布(EPMA分析(マッピング))ー

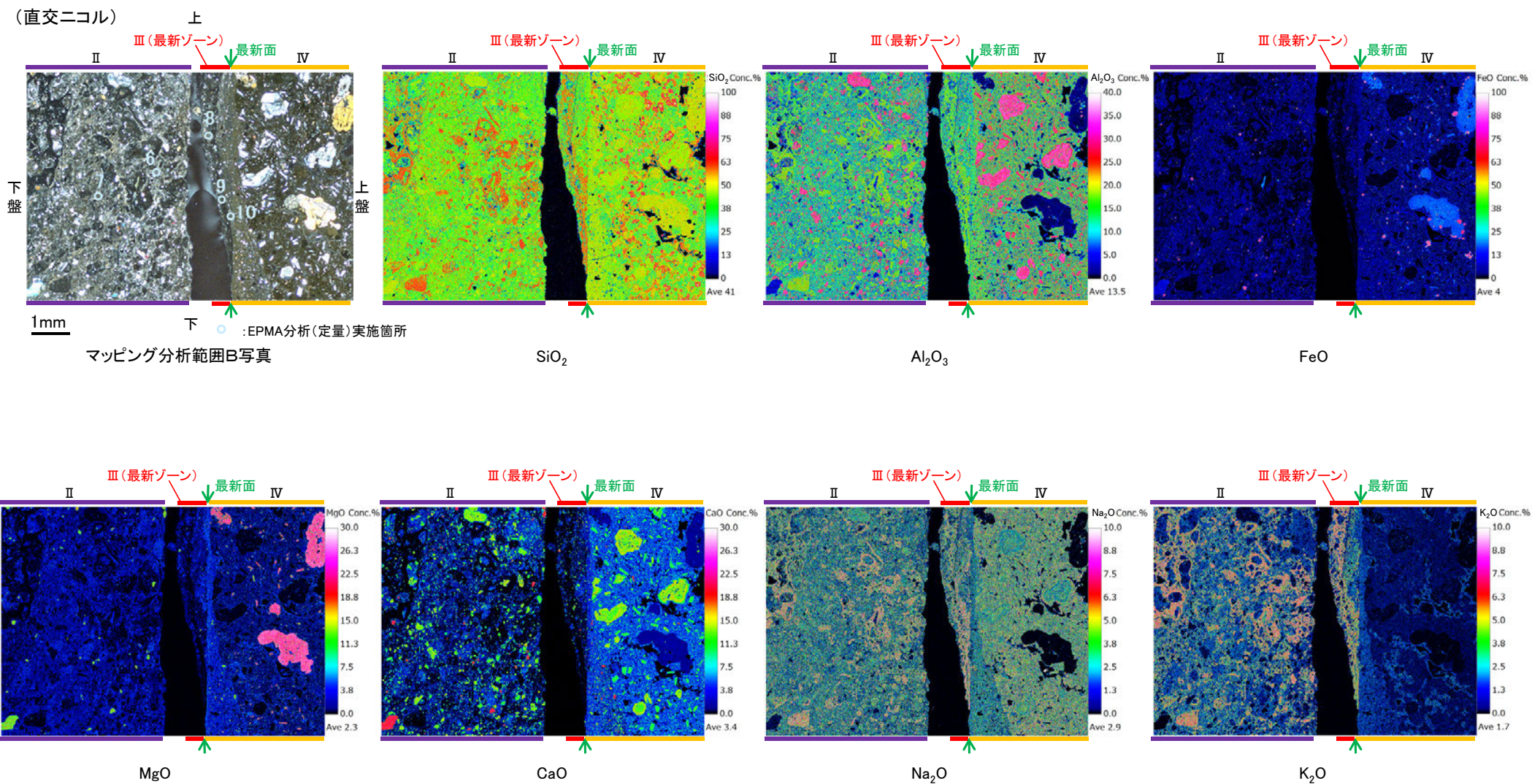
○EPMA用薄片でEPMA分析(マッピング)を実施した結果, EPMA分析(定量)で認められたI/S混合層が最新ゾーンやその周辺に分布していることを確認した。

○また, I/S混合層より相対的に SiO_2 , Na_2O , K_2O が高いフィリップサイトについても, 観察用薄片で認められたフィリップサイトと対応する最新ゾーンやその周辺に分布していることを確認した。

【マッピング分析範囲A】



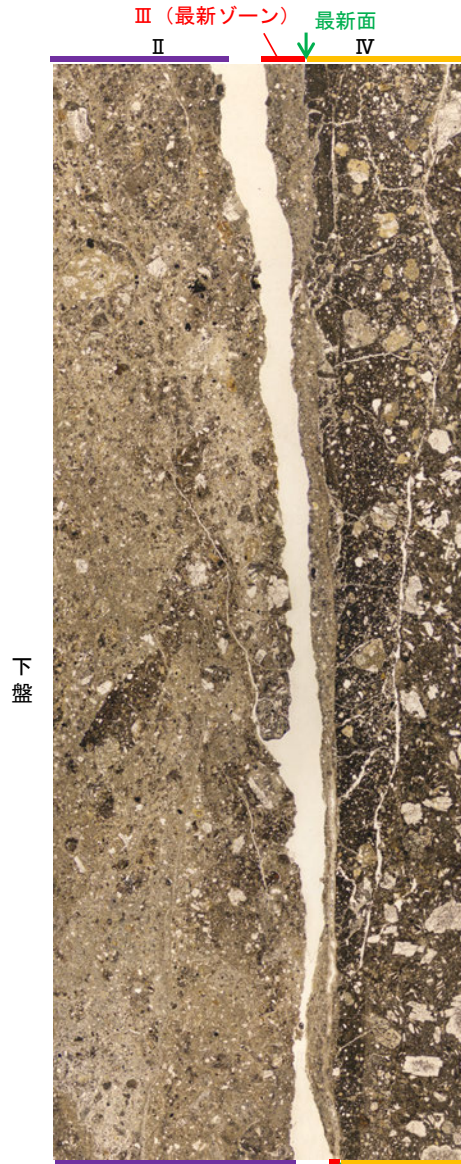
【マッピング分析範囲B】



5.2.3 K-14 (1) H' - -1.3孔 ー変質鉱物の分布(薄片観察)ー

○観察用薄片で実施した薄片観察や、EPMA用薄片で実施したEPMA分析(マッピング)における化学組成の観点での観察より、I/S混合層及びフィリップサイトが最新ゾーンやその周辺に分布していることを確認した。

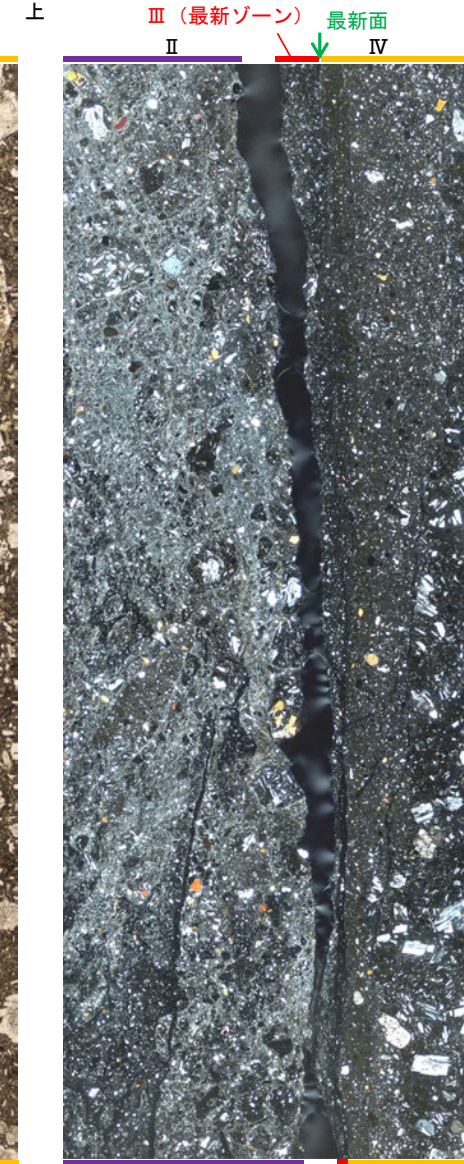
(単ニコル)



下盤

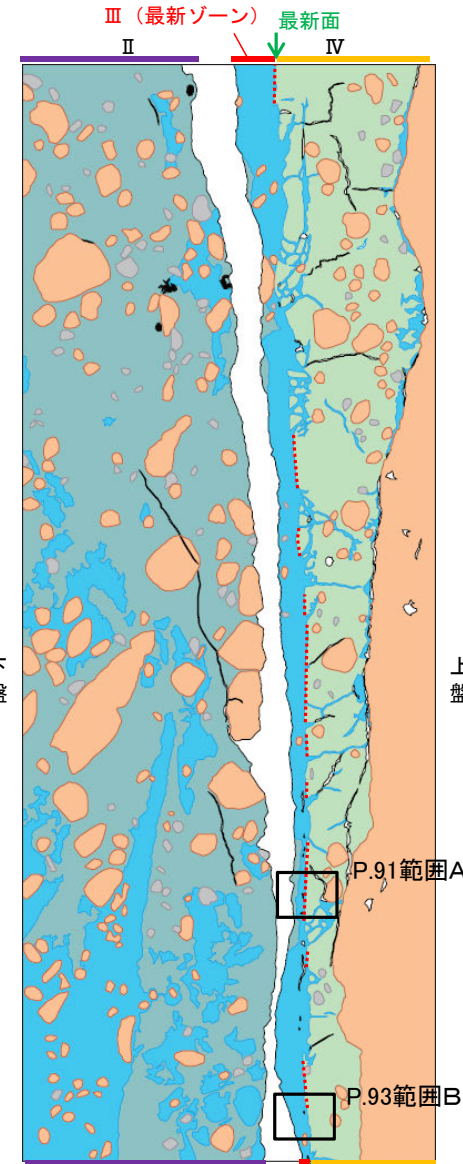
1mm

(直交ニコル)



上盤

上



下盤

上盤

凡例

- 主要な岩片
- 斜長石などの鉱物片
- 不透明鉱物
- 空隙部
- 変質部(フィリップサイト)
- 変質部(I/S混合層)
- 主要な岩片等を除く基質部
- ⋯ 最新面

観察用薄片写真(H' - -1.3_110R) (拡大)

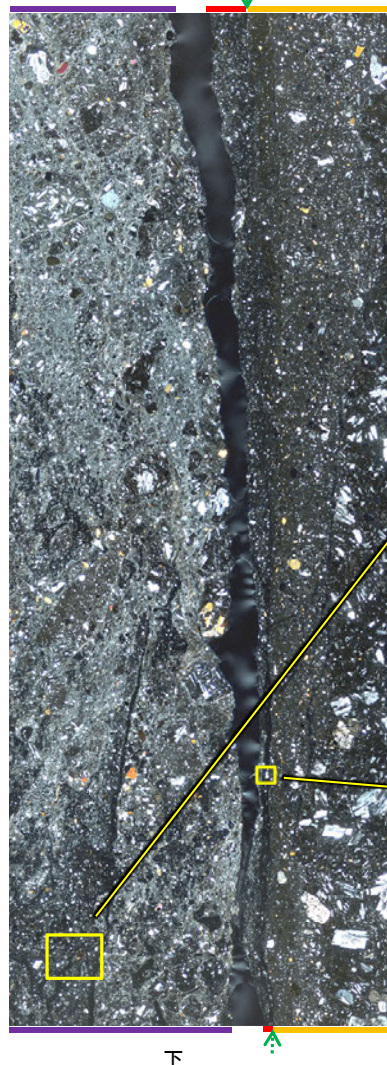
←⋯ : 延長位置

スケッチ

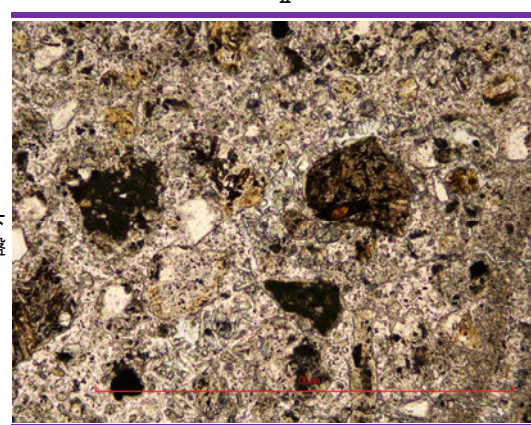
5.2.3 K-14 (1) H' - -1.3孔 -I/S混合層とフィリップサイトとの関係-

- 最新ゾーンや分帯ⅡではI/S混合層及びフィリップサイトが広く分布する。
- 最新ゾーン中において、I/S混合層を基底としてフィリップサイトの柱状結晶が晶出している。さらに、晶洞内にはI/S混合層が認められない。
- 以上のことを踏まえると、I/S混合層の生成後にフィリップサイトが晶出したと考えられることから、生成時期がより新しいと考えられるフィリップサイトと最新面との関係を確認する。

(直交ニコル) 上 最新面
II III (最新ゾーン) IV

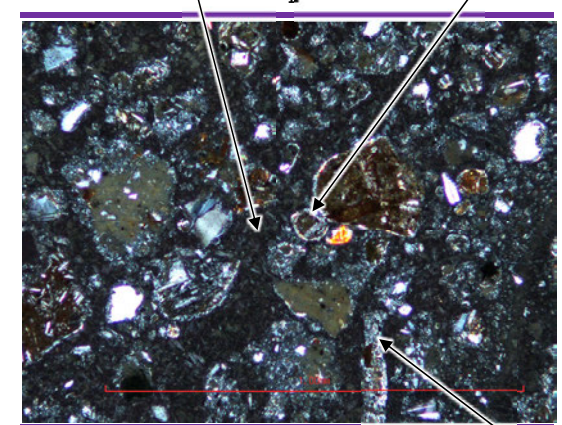


(単ニコル)



0.1mm

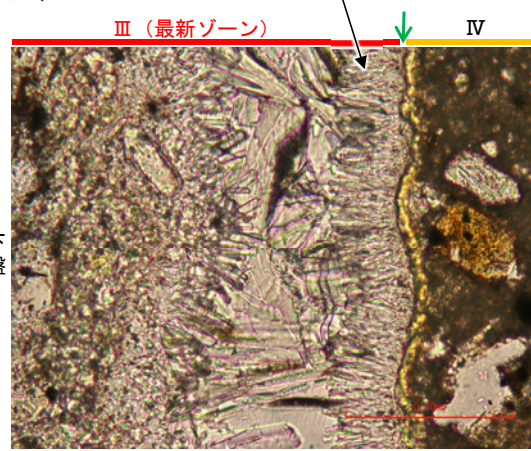
フィリップサイト 岩片周りに生成したI/S混合層
(直交ニコル) II 上盤



基質中に生成したI/S混合層

(単ニコル)

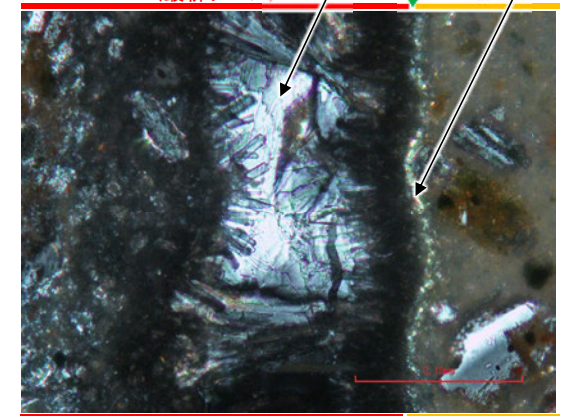
I/S混合層を基底としてフィリップサイトの柱状結晶が晶出している



0.1mm

最新面

(直交ニコル) 晶洞内にはI/S混合層が認められない I/S混合層
III (最新ゾーン) IV 上盤



最新面

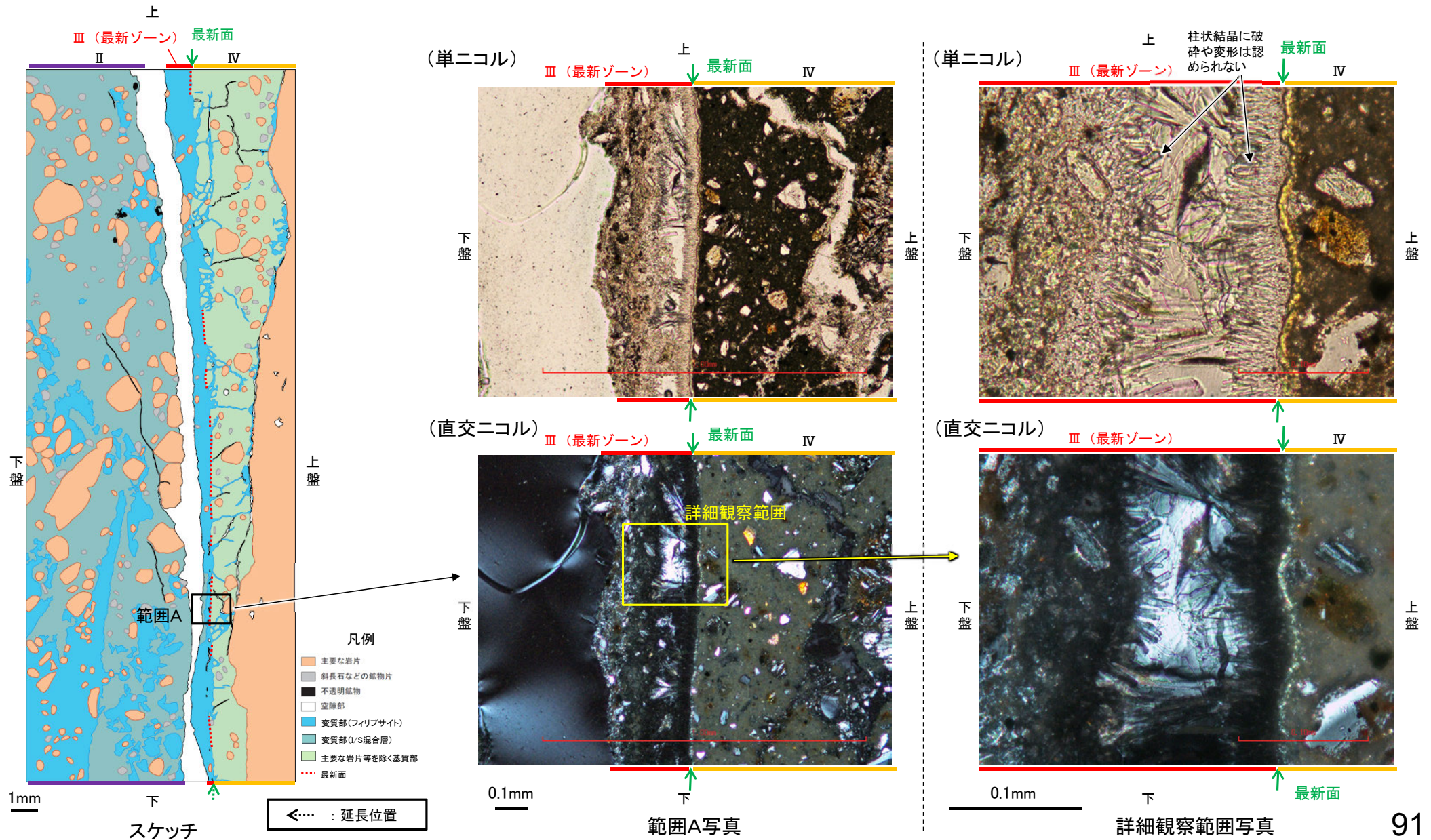
1mm

観察用薄片写真(H' - -1.3_110R) (拡大)

←... : 延長位置

5.2.3 K-14 (1) H' - -1.3孔 ー最新面とフィリップサイトとの関係(範囲A)ー

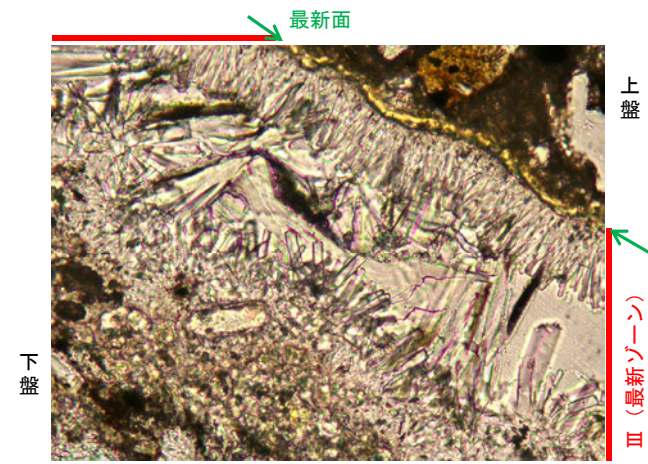
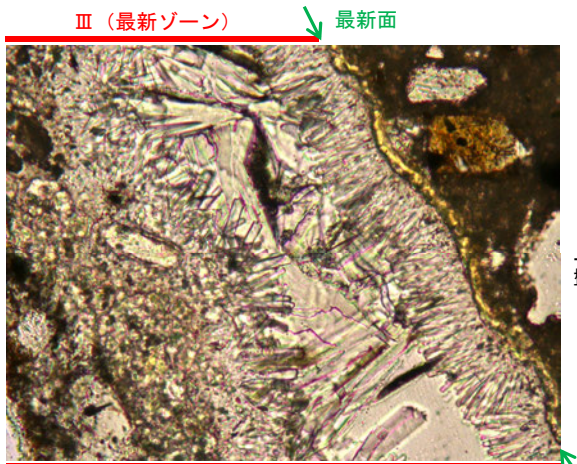
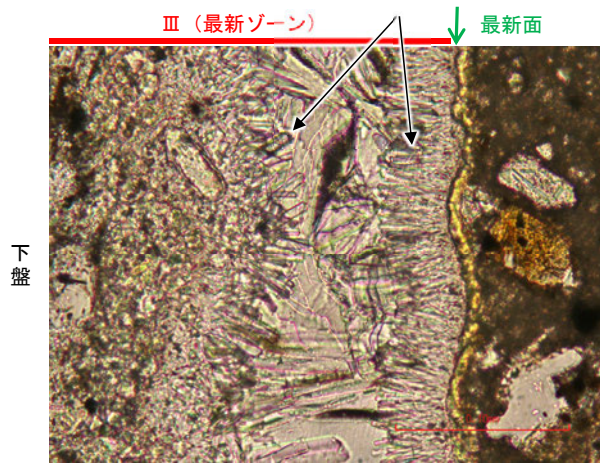
○範囲Aにおいて詳細に観察した結果, フィリップサイトの柱状結晶が最新面に接して晶出しており, この柱状結晶に破碎や変形は認められない。



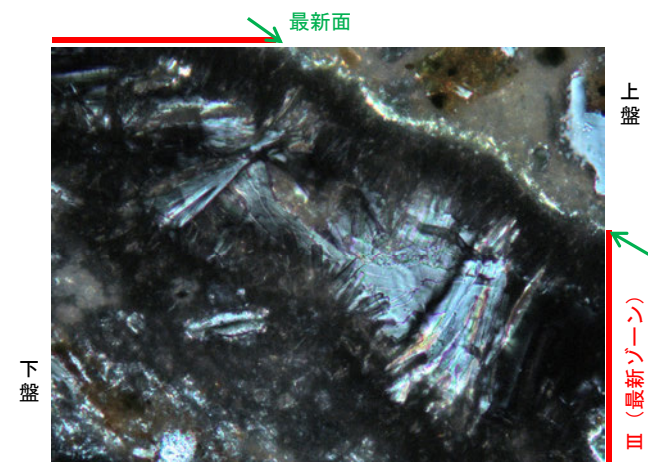
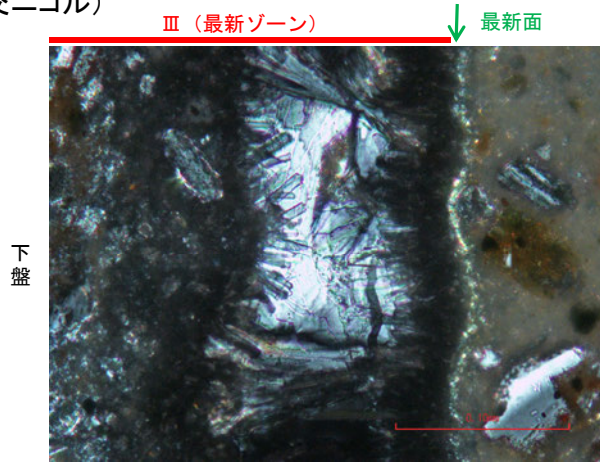
【ステージ回転】

(単ニコル)

柱状結晶に破碎や変形は認められない



(直交ニコル)



0.1mm

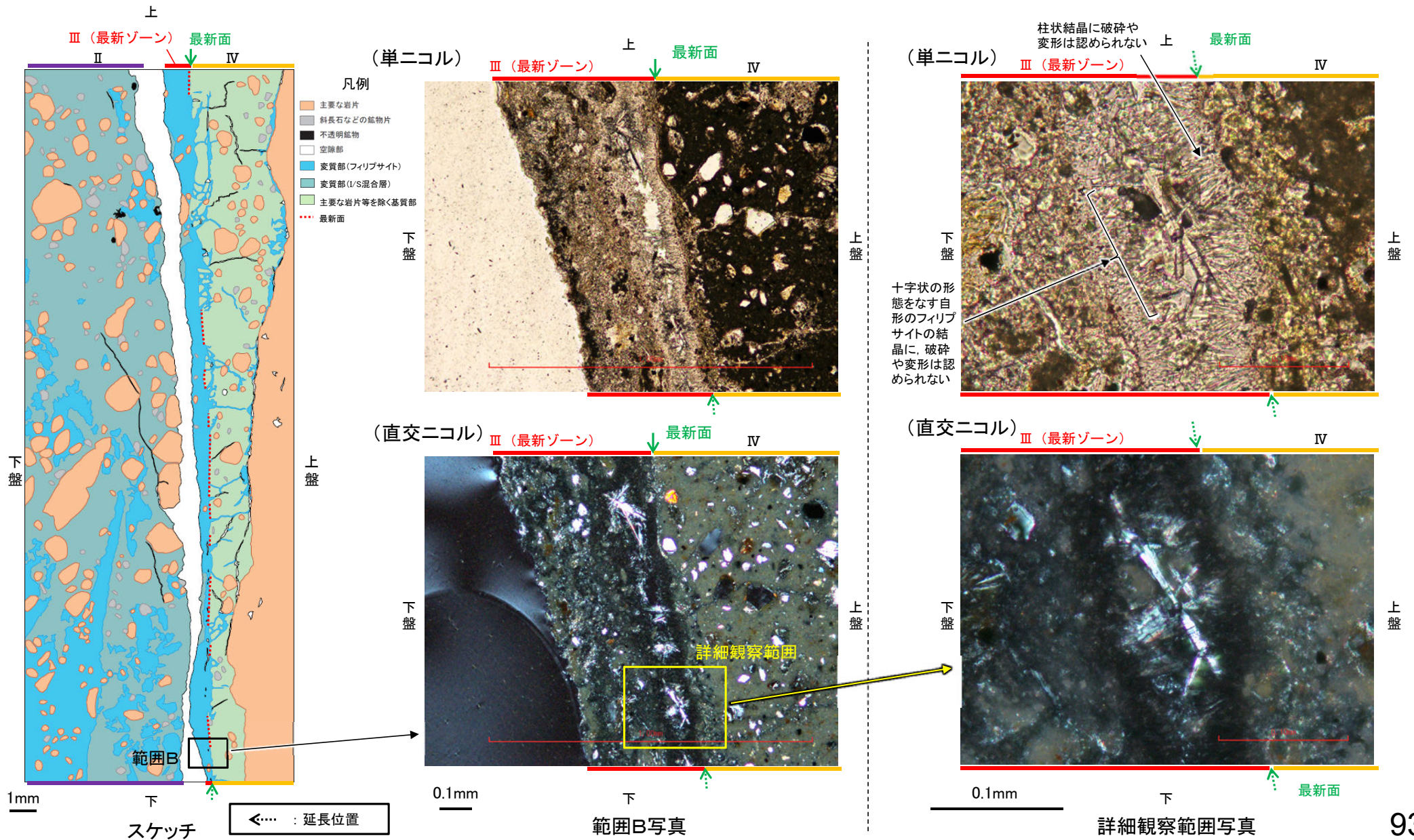
0° 回転

左30° 回転

左60° 回転

5.2.3 K-14 (1) H' - -1.3孔 ー最新面とフィリップサイトとの関係(範囲B)ー

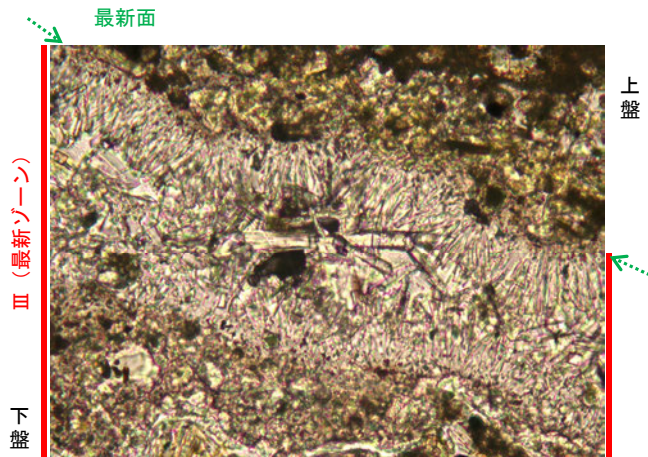
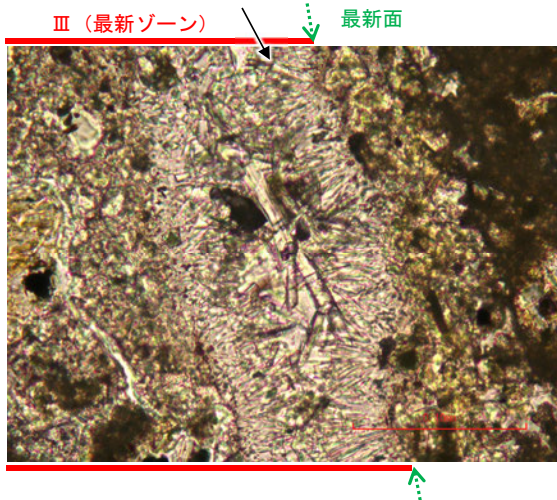
- 範囲Bにおいて詳細に観察した結果, フィリップサイトの柱状結晶が最新面延長位置に晶出しており, この柱状結晶に破碎や変形は認められない。
- 最新面直近に十字状の形態をなす自形のフィリップサイトの結晶が認められ, この結晶にも破碎や変形は認められない。



【ステージ回転】

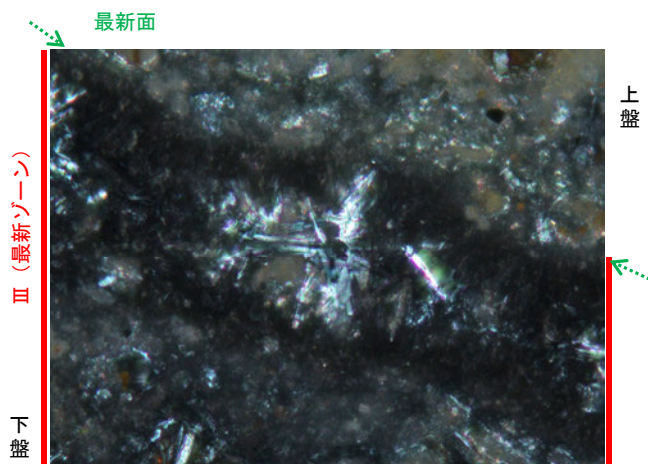
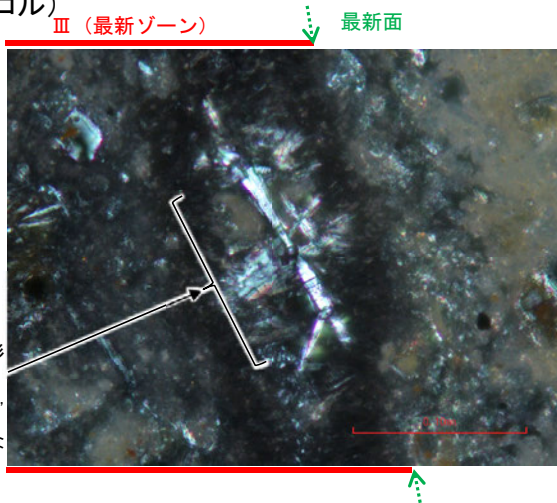
(単ニコル)

柱状結晶に破碎や
変形は認められない



(直交ニコル)

十字状の形態をなす自形の
フィリプサイトの結晶に、
破碎や変形は認められない



0° 回転

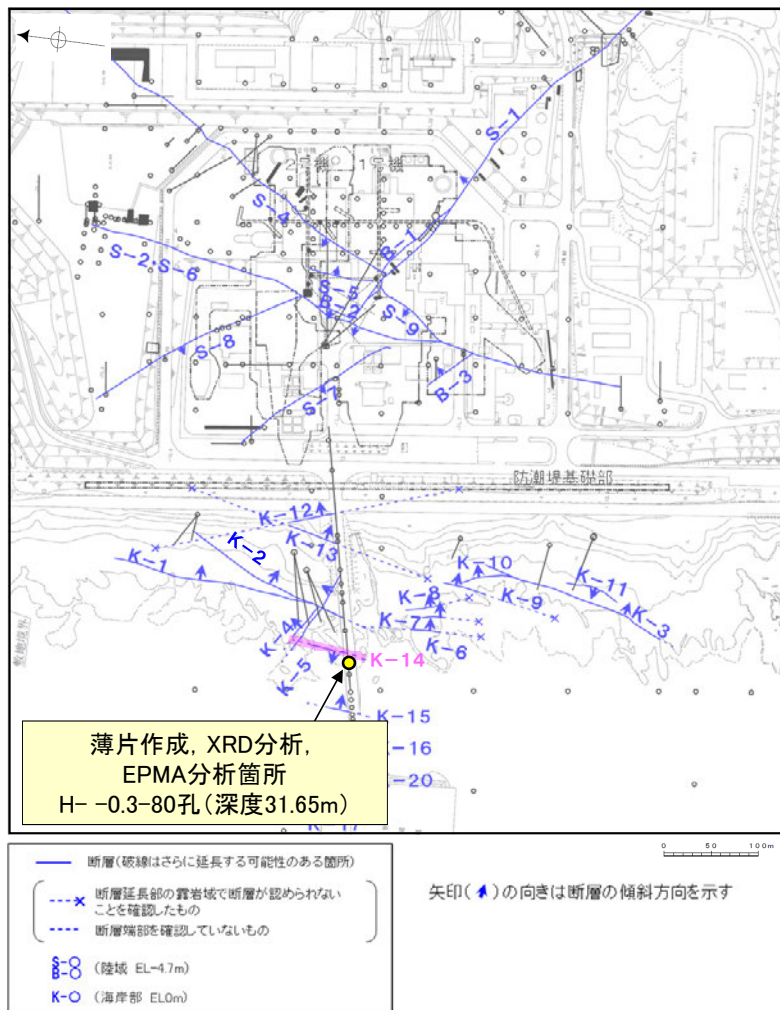
左30° 回転

左60° 回転

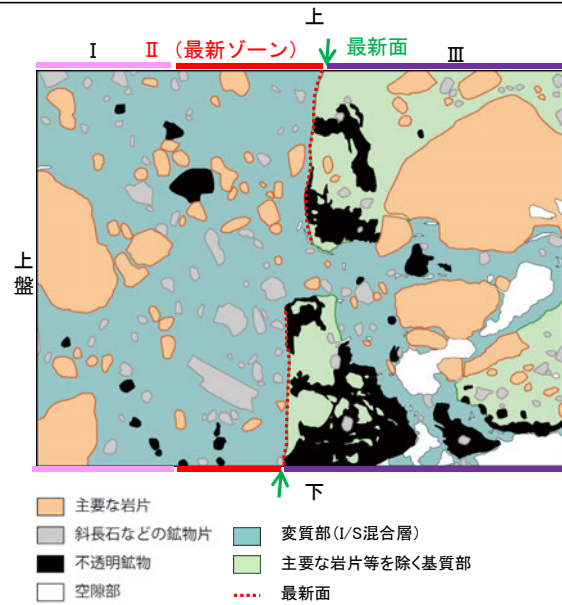
◀… : 延長位置

5.2.3 K-14 (2) H- -0.3-80孔 ー概要ー

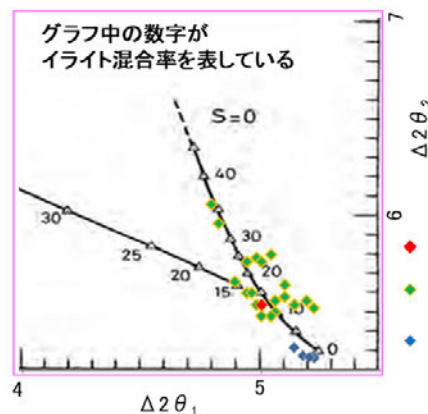
- H- -0.3-80孔の深度31.60m付近で認められるK-14において、最新面と変質鉱物との関係による評価を行った。
- 最新ゾーンやその周辺に分布する粘土鉱物は、EPMA分析(定量)による化学組成の検討結果及びXRD分析(粘土分濃集)による結晶構造判定結果から、I/S混合層であると判断される。
- 最新面付近には広く粘土鉱物(I/S混合層)が分布し、最新面が不明瞭かつ不連続になっており、不連続箇所の粘土鉱物(I/S混合層)に変位・変形は認められない。
- なお、不連続箇所には、I/S混合層生成以降の注入の痕跡は認められない。



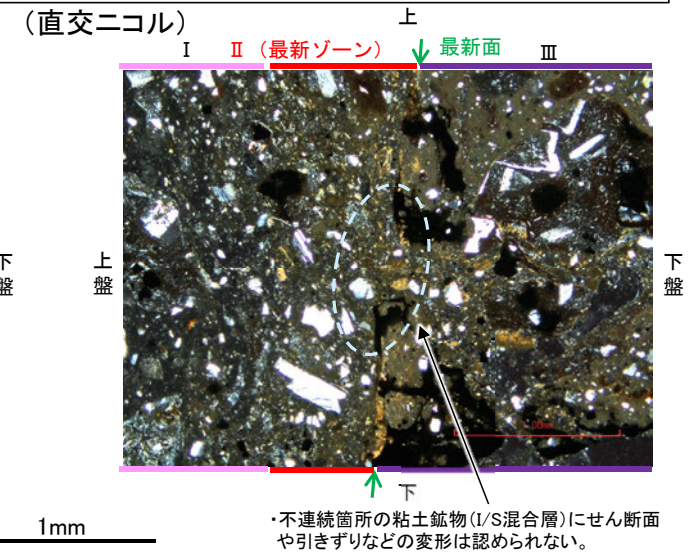
調査位置図



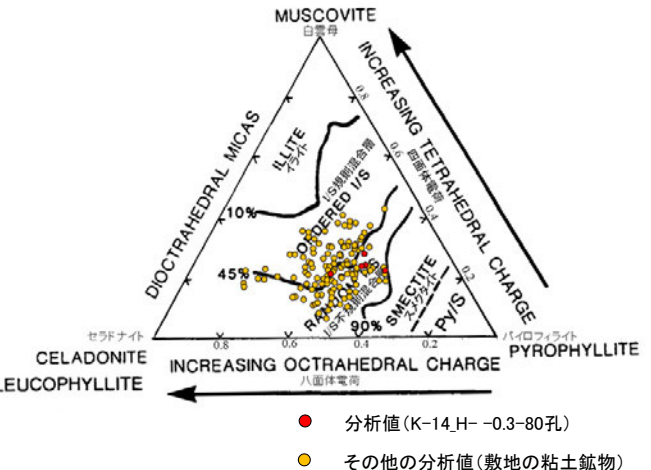
スケッチ



I/S混合層の構造判定図 (渡辺(1981)に一部加筆)



詳細観察範囲写真



2八面体型雲母粘土鉱物及び関連鉱物の化学組成 (Srodon et al. (1984)に一部加筆)

5.2.3 K-14 (2) H- -0.3-80孔 –最新面の認定(巨視的観察)–

○H- -0.3-80孔の深度31.60m付近で認められるK-14において、巨視的観察(ボーリングコア観察, CT画像観察)を実施し、最も直線性・連続性がよい断層面を主せん断面として抽出した。

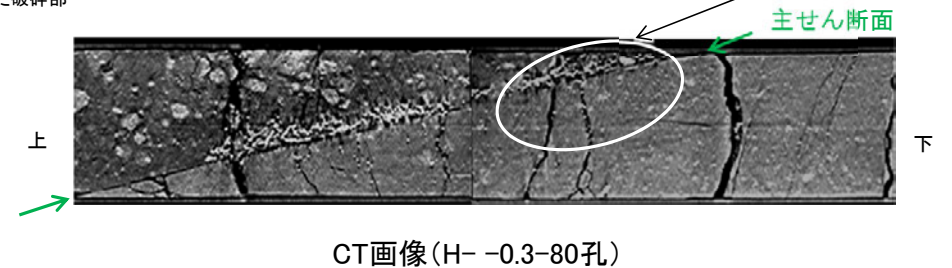
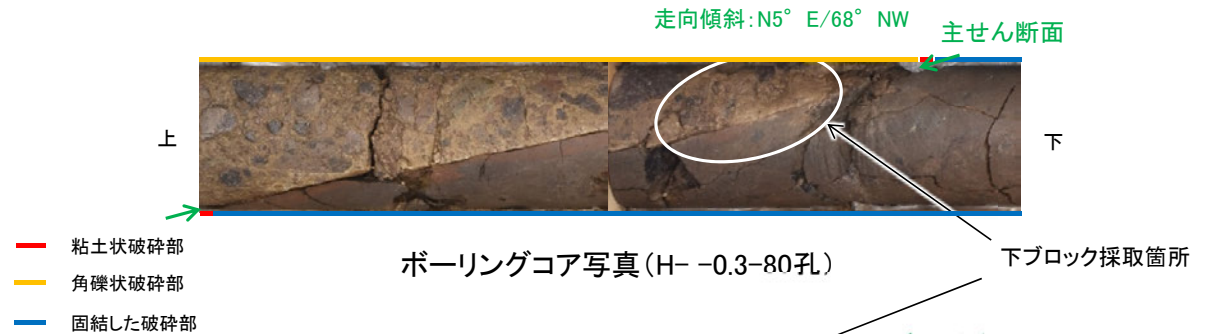
○主せん断面における条線観察の結果, 87° R, 107° Rの2つの条線方向が確認されたことから、最も明瞭な107° Rの条線方向で薄片を作成した(ブロック写真)。

(深度) 31.4 31.5 31.6 31.7 31.8 (m)



・条線観察結果については補足資料2.5-1(2)-16 P.2.5-1-260

調査位置図



1cm

ブロック写真

※図示した箇所にて観察用薄片を作成し、向かい合った反対側の面でEPMA用薄片を作成した

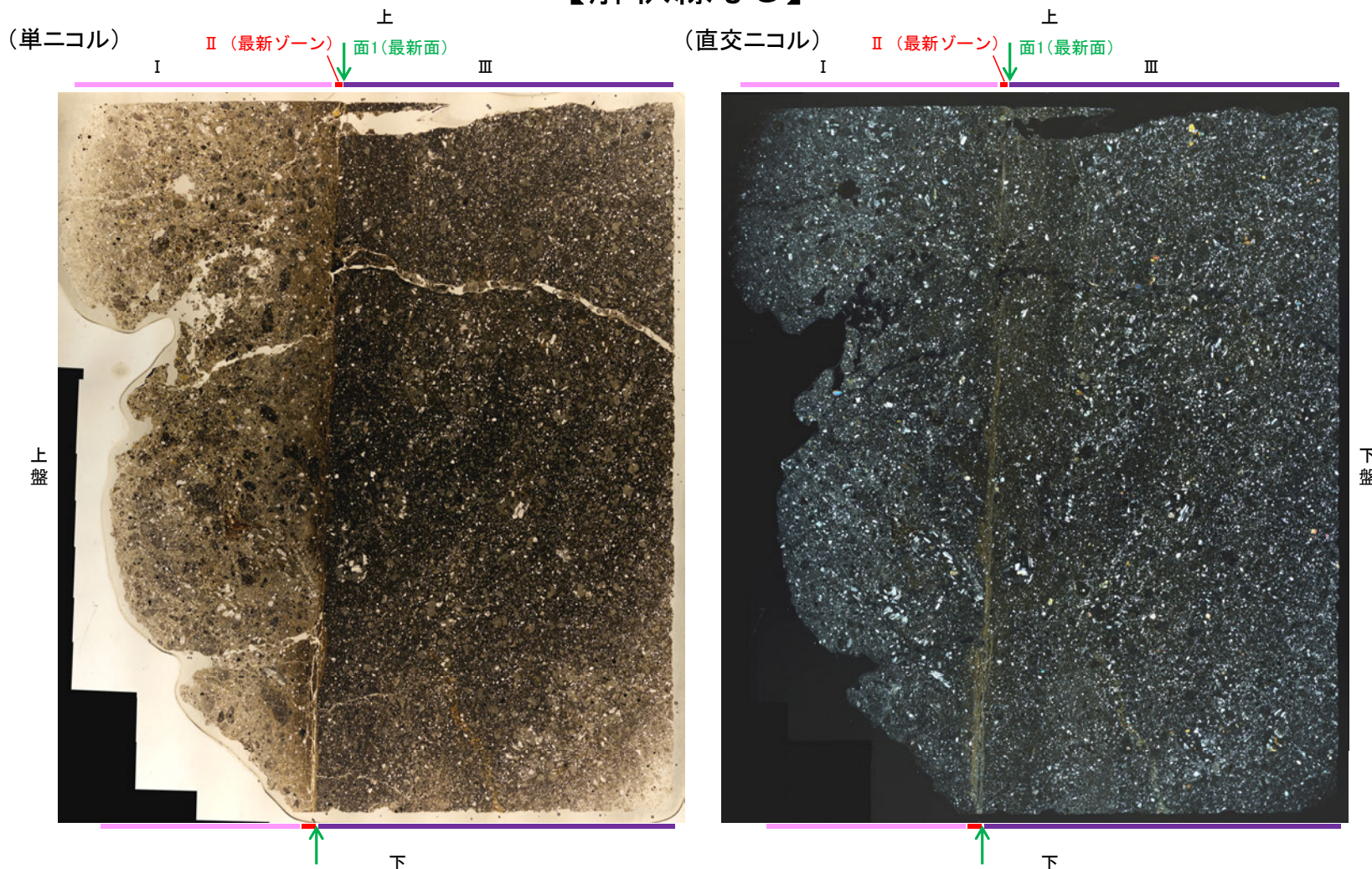
5.2.3 K-14 (2) H- -0.3-80孔 ー最新面の認定(微視的観察)ー

コメントNo.85の回答

- 観察用薄片で実施した微視的観察(薄片観察)の結果, 色調や礫径などから, 上盤側よりⅠ～Ⅲに分帯される。
- そのうち, 最も細粒化している1mm以下の薄層である分帯Ⅱを最新ゾーンとして抽出した。
- 最新ゾーンと分帯Ⅲとの境界に, 面1が認められる。面1は薄片上部では不明瞭となり連続性に乏しいが, 最新ゾーンの中では比較的直線性がよい面である。
- 最新ゾーンと分帯Ⅰとの境界は, 不明瞭で漸移的であり, せん断面は認められない*。
- 以上より, 面1を最新面と認定し, 変質鉱物との関係を確認する。

【解釈線なし】

※詳細は補足資料5.2-10(1)-2



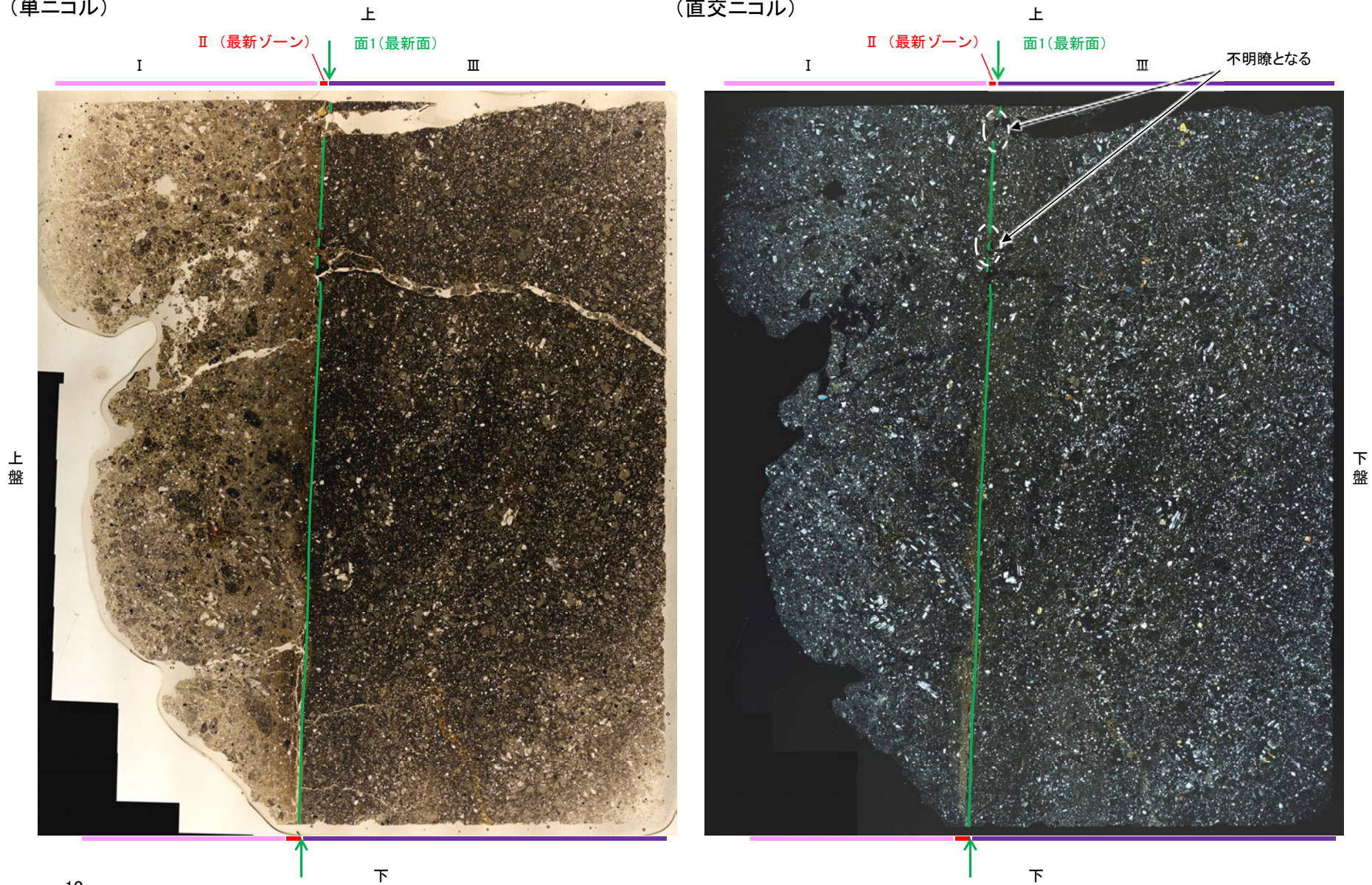
- Ⅰ: 単ニコルで褐灰～暗灰色, 直交ニコルで灰色の干渉色を呈する凝灰岩からなる。径5mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質に含まれる。岩片, 鉱物片は亜角～亜円形である。粘土状破碎部との境界付近は比較的細粒化が進んでいる。一部の基質中や岩片の縁辺部に粘土鉱物が生成されている。また, 単ニコルで褐灰色, 直交ニコルで暗灰色を呈する物質が, 岩片の間を充填する。
- Ⅱ (最新ゾーン): 単ニコルで灰～褐灰色, 直交ニコルで褐灰～黄色の干渉色を呈する, 粘土鉱物を含む細粒物からなる。径1mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質に含まれる。岩片, 鉱物片は亜角～亜円形である。基質中や割れ目に粘土鉱物が生成されている。
- Ⅲ: 単ニコルで褐灰～暗灰色, 直交ニコルで灰色の干渉色を呈する凝灰岩からなる。径4mm以下の岩片や鉱物片が細粒な基質に含まれる。岩片, 鉱物片は亜角～亜円形である。粘土状破碎部との境界付近は比較的細粒化が進んでいる。一部の割れ目沿いに粘土鉱物が生成されている。

観察用薄片写真(H- -0.3-80_107R)

【解釈線あり】

(単ニコル)

(直交ニコル)

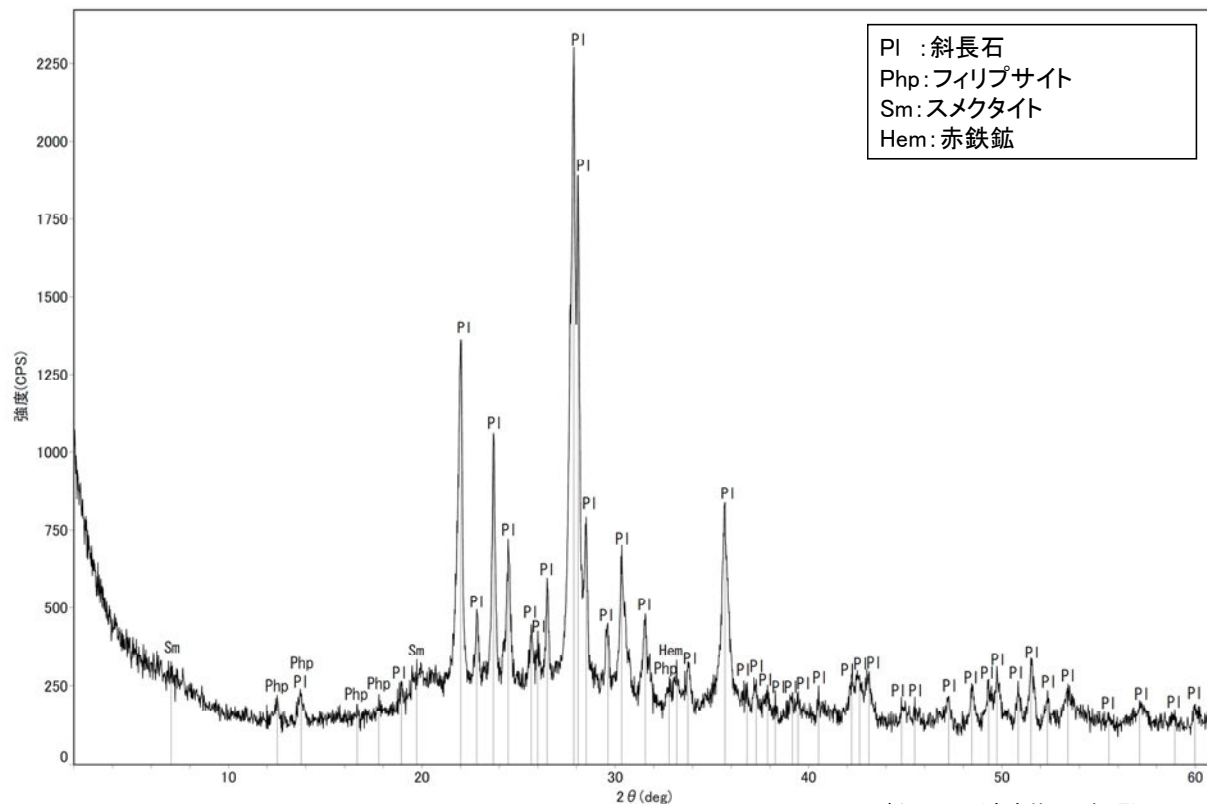
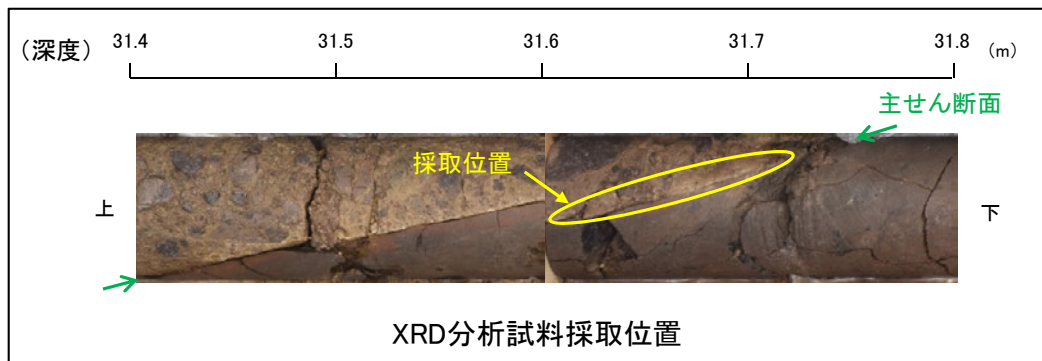


10mm

観察用薄片写真(H-0.3-80_107R)

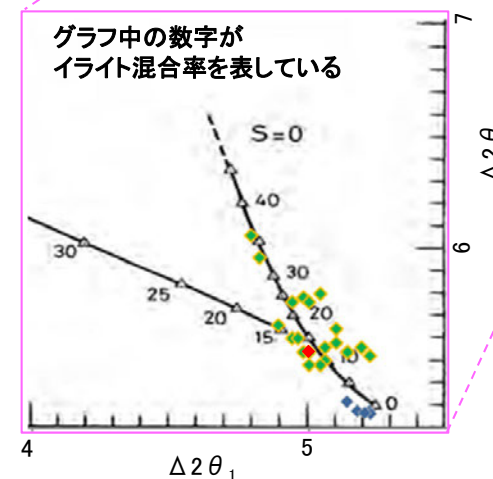
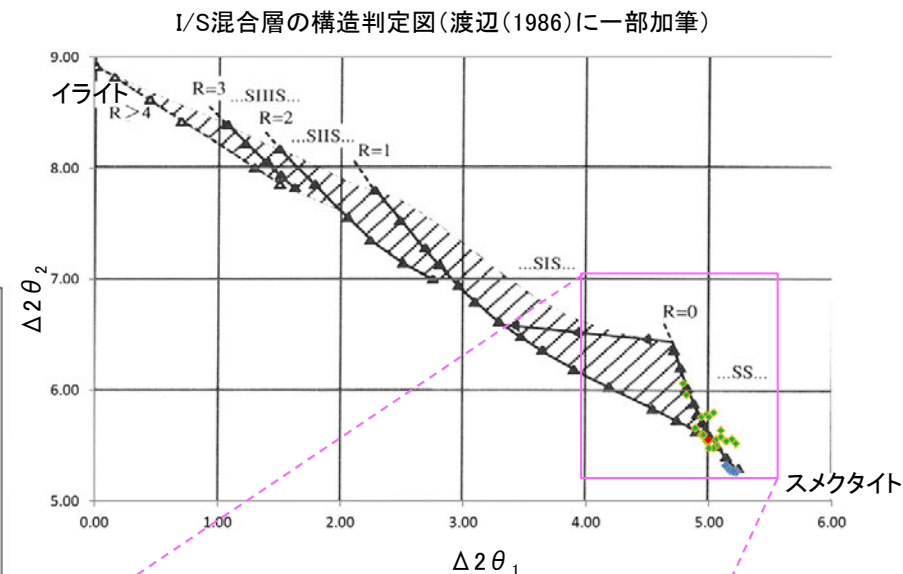
5.2.3 K-14 (2) H- -0.3-80孔 - 鉱物の同定(XRD分析) -

- 最新ゾーン付近でXRD分析を実施した結果, 主な粘土鉱物としてスメクタイトが認められる。
- スメクタイトについて詳細な結晶構造判定を行うために, 薄片作成箇所と隣接する位置においてXRD分析(粘土分濃集)を実施した結果, I/S混合層と判定される。



回折チャート(不定方位)

・回折チャート(定方位, EG処理)については,
補足資料5.2-11(1)P.5.2-11-9



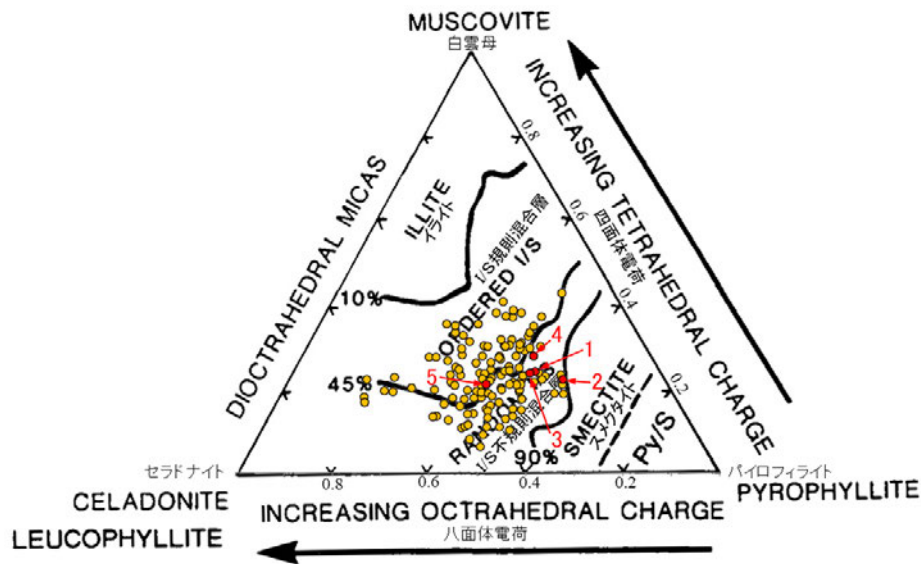
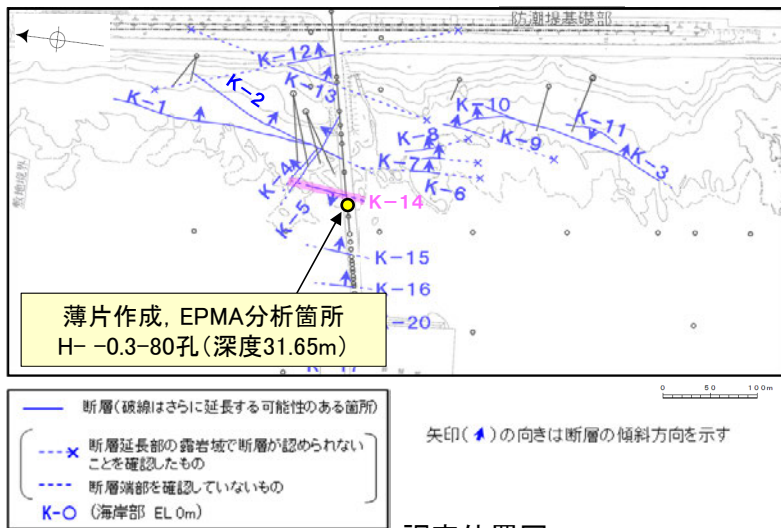
- ◆ K-14 (H- -0.3-80孔)
- ◆ 敷地の粘土鉱物
- ◆ 標準的なスメクタイト Nakata et al.(2019)

・K-14試料の詳細検討結果は
補足資料5.2-2(2)P.5.2-2-39

I/S混合層の構造判定図(渡辺(1981))に一部加筆

5.2.3 K-14 (2) H- -0.3-80孔 - 鉍物の同定(EPMA分析(定量)) -

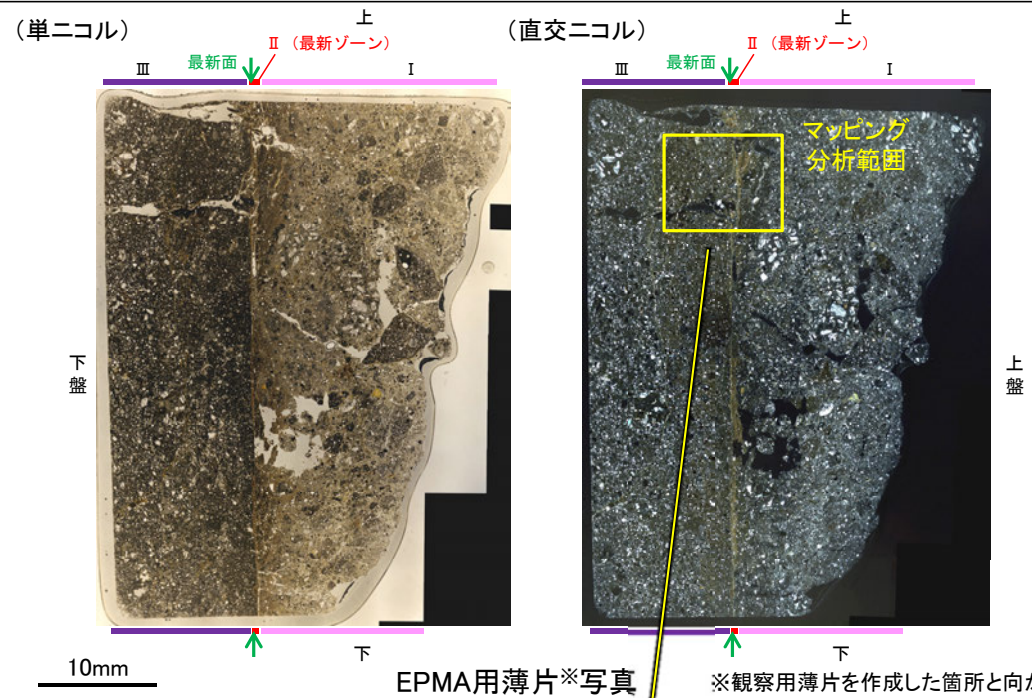
○EPMA用薄片で実施したEPMA分析(定量)による化学組成の検討結果から、最新ゾーンやその周辺に分布する粘土鉍物はI/S混合層であると判断される。



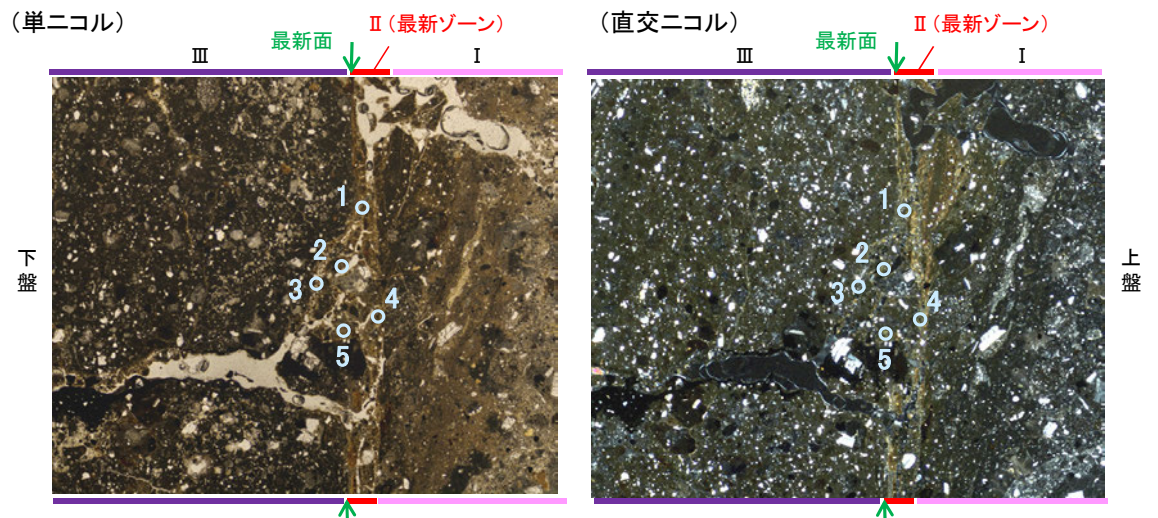
・詳細は補足資料5.2-2(3)P.5.2-2-72

- 分析値(K-14,H- -0.3-80孔)
分析番号位置は右図
- その他の分析値(敷地の粘土鉍物)

二八面体型雲母粘土鉍物及び関連鉍物の化学組成
(Srodon et al. (1984)に一部加筆)



※観察用薄片を作成した箇所と向かい合った反対側の面でEPMA用薄片を作成した



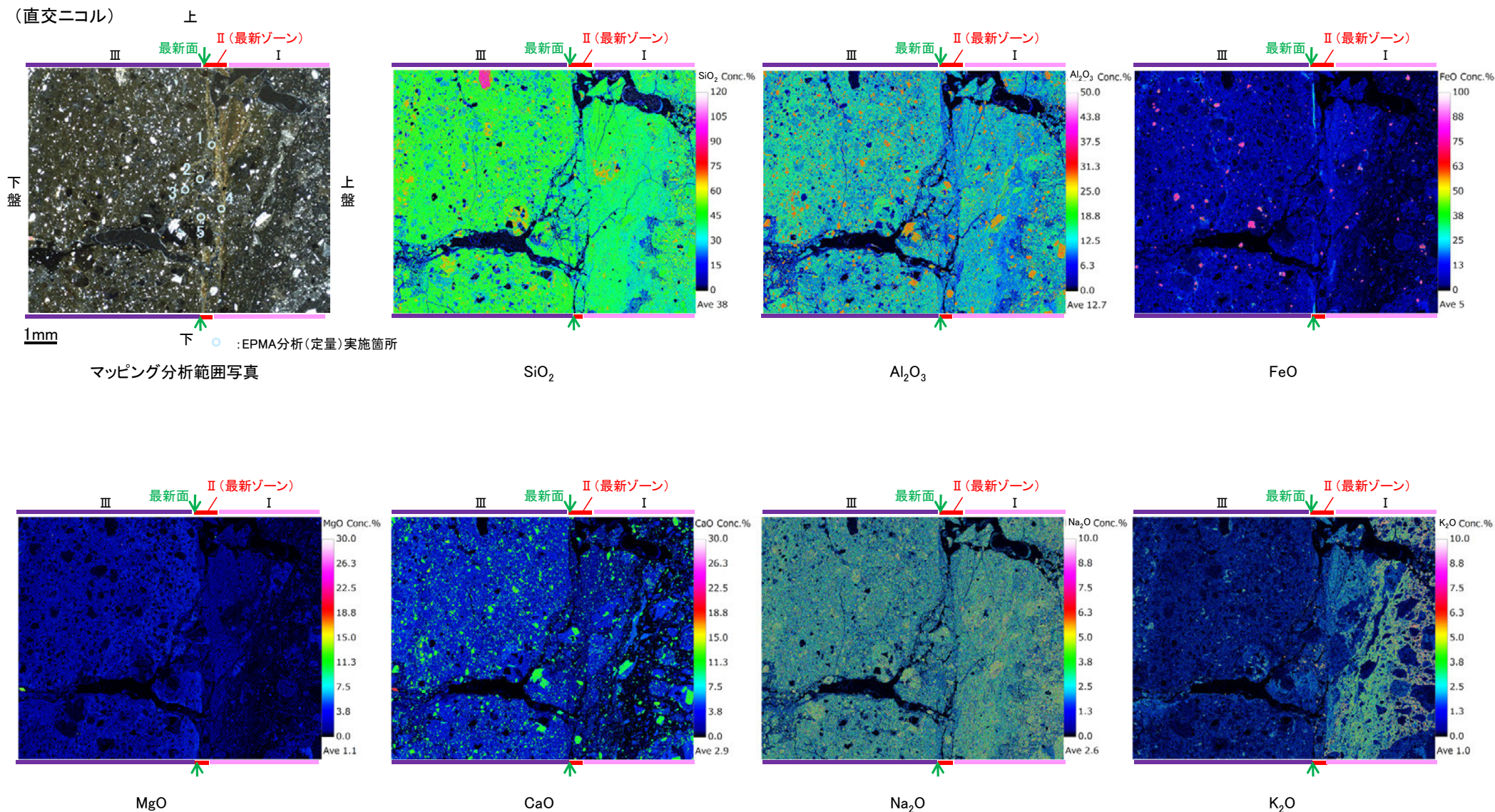
1mm

マッピング分析範囲写真

5.2.3 K-14 (2) H- -0.3-80孔 ー変質鉱物の分布(EPMA分析(マッピング))ー

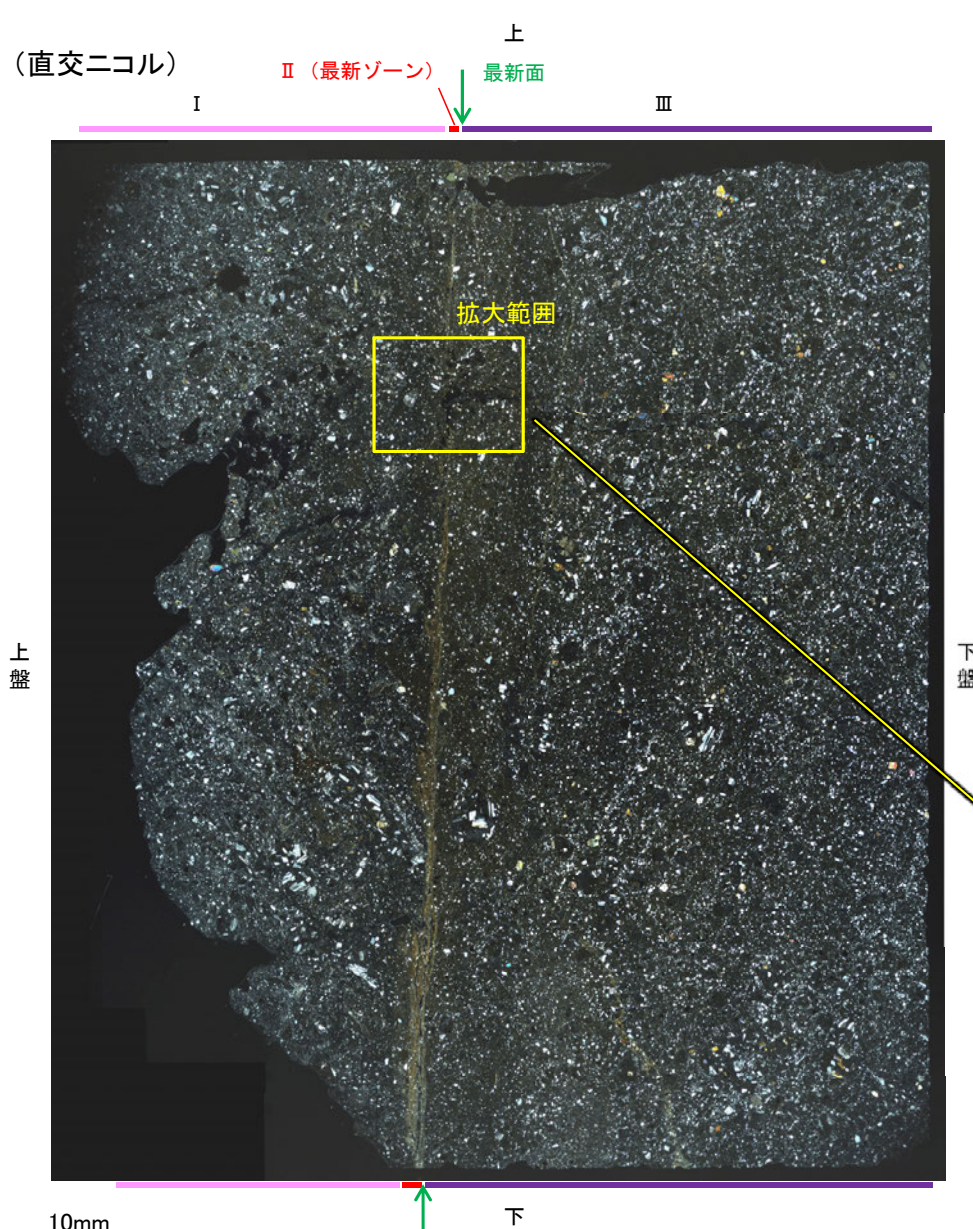
コメントNo.83の回答

○EPMA用薄片でEPMA分析(マッピング)を実施した結果, EPMA分析(定量)で認められたI/S混合層が最新ゾーンやその周辺に分布していることを確認した。

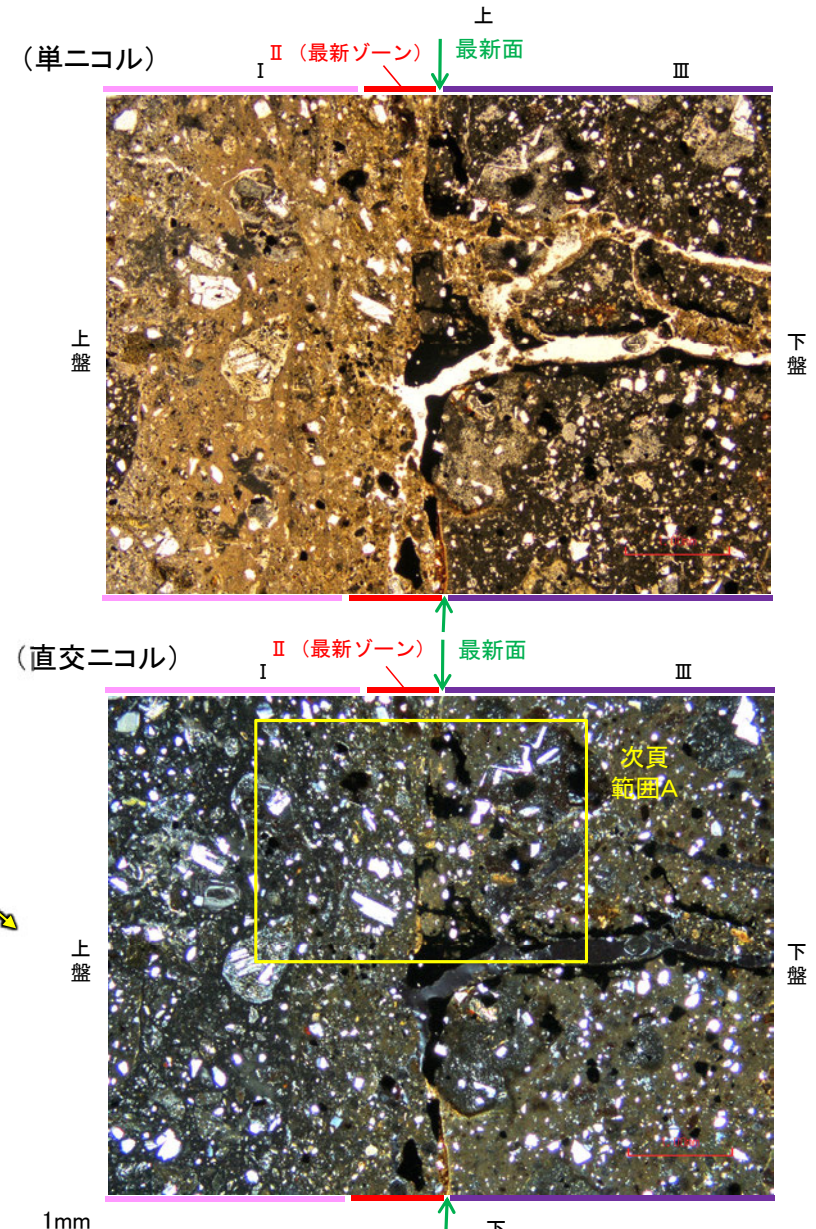


5.2.3 K-14 (2) H- -0.3-80孔 -変質鉱物の分布(薄片観察)-

- 観察用薄片で実施した薄片観察や、EPMA用薄片で実施したEPMA分析(マッピング)における化学組成の観点での観察より、I/S混合層が最新ゾーンやその周辺に分布していることを確認した。
- このI/S混合層と最新面との関係を確認する。



観察用薄片写真(H- -0.3-80_107R)

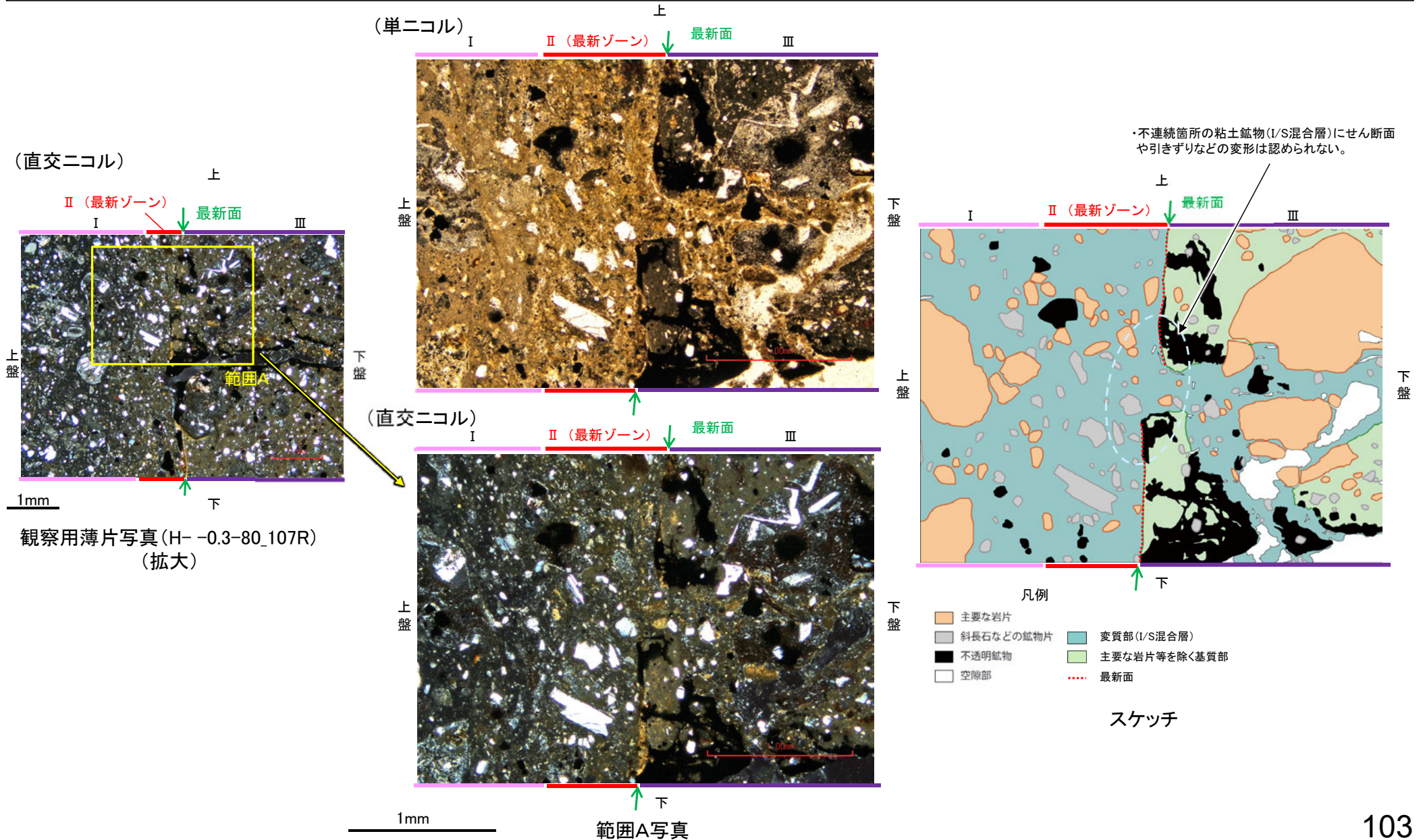


観察用薄片写真(H- -0.3-80_107R) (拡大)

5.2.3 K-14 (2) H- -0.3-80孔 -最新面とI/S混合層との関係(範囲A)-

○範囲Aにおいて詳細に観察した結果, 最新面付近には広く粘土鉱物(I/S混合層)が分布し, 最新面が不明瞭かつ不連続になっており, 不連続箇所粘土鉱物(I/S混合層)にせん断面や引きずりなどの変形は認められない。

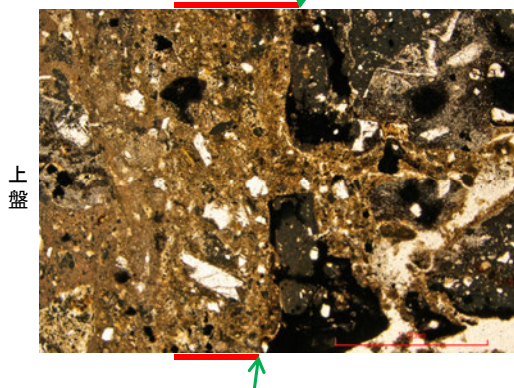
○なお, 不連続箇所においてI/S混合層生成以降の注入現象の有無を確認した結果, 弓状構造や粒子の配列などの注入の痕跡は認められない。



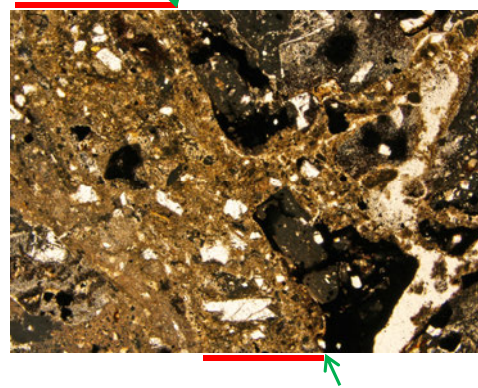
【ステージ回転】

(単ニコル)

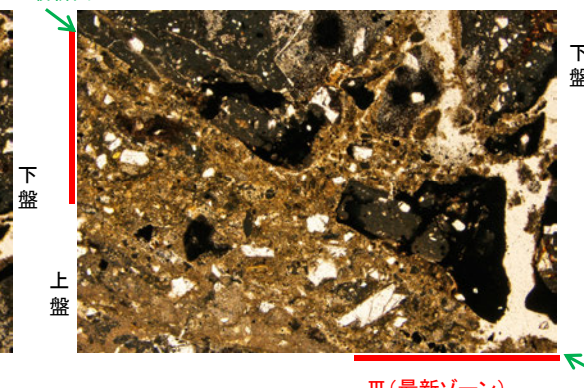
II (最新ゾーン) ↓ 最新面



III (最新ゾーン) ↓ 最新面



最新面



III (最新ゾーン)

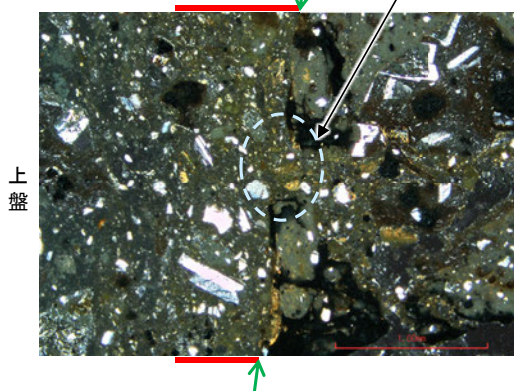
カリフォルニアの事例	阿寺断層の事例
注入脈の壁に沿って凸状上向き の弓状構造が認められる	注入方向に粒子の配列が認 められる

注入現象の事例
(関西電力美浜発電所3号炉
第361回審査会合資料引用)

- ・不連続箇所粘土鉱物(I/S混合層)にせん断面や引きずりなどの変形は認められない。
- ・注入の痕跡は認められない

(直交ニコル)

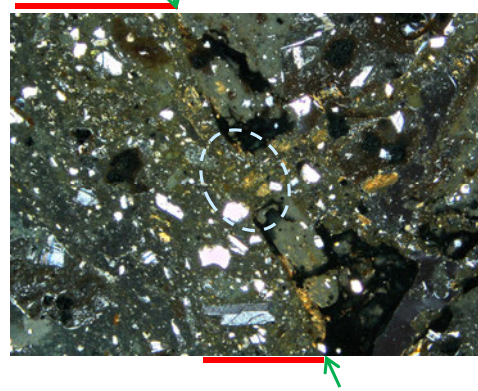
II (最新ゾーン) ↓ 最新面



1mm

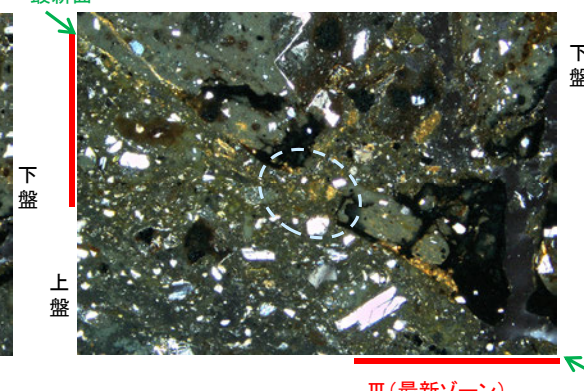
0° 回転

III (最新ゾーン) ↓ 最新面



左30° 回転

最新面



III (最新ゾーン)

左60° 回転

5.2.4 K-3