

2016年9月12日(月)9:15-9:30 日本地質学会東京大会(日本大学文理学部)  
(桜上水) 原子力セッション(第7会場(3408教室) 講演番号R23-O-3) Ver. 5

# 鉱物脈法による断層活動性評価について

## Capable fault evaluation by mineral veins

石渡 明(原子力規制委員会委員)

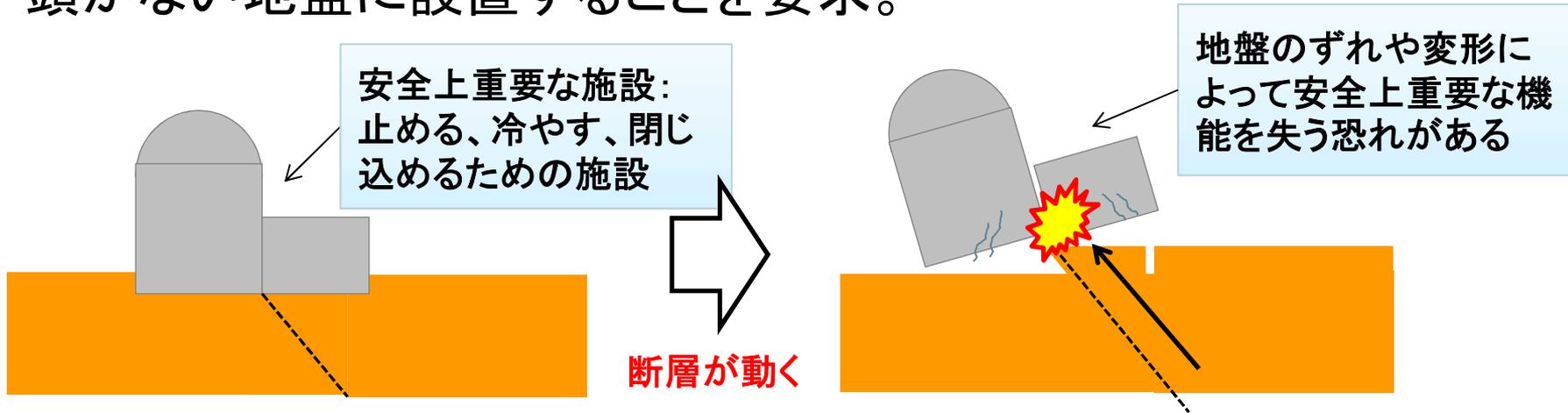
Akira ISHIWATARI (Commissioner,  
Nuclear Regulation Authority, Japan)



講演後にいただいたコメントと若干の加筆・修正を含む

# 敷地内の「活断層等」の基準

- ◆ 「将来活動する可能性のある断層等」(“Capable faults”)は後期更新世(12~13万年前)以後の活動が否定できないものとし、必要な場合は中期更新世(40万年前)まで遡って活動性を評価。
- ◆ 耐震設計上の重要度Sクラスの建物・構築物は「活断層等」の露頭がない地盤に設置することを要求。



- ずれや変形の量、地盤が建物に及ぼす力の大きさは予測不能。
- 後期更新世以後の活動性が否定できない断層上に重要施設があってはならない。

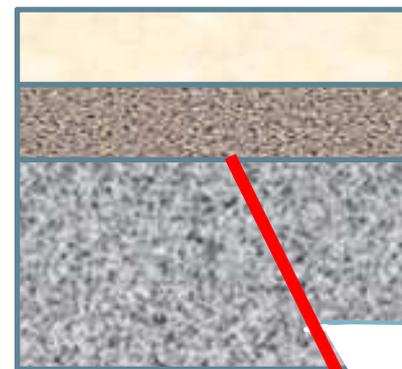
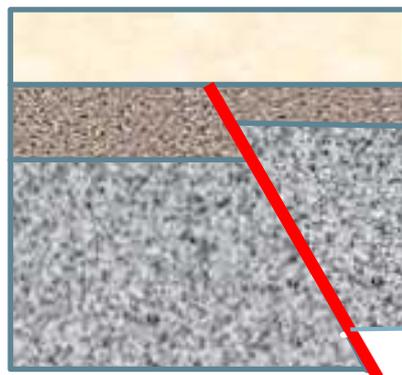
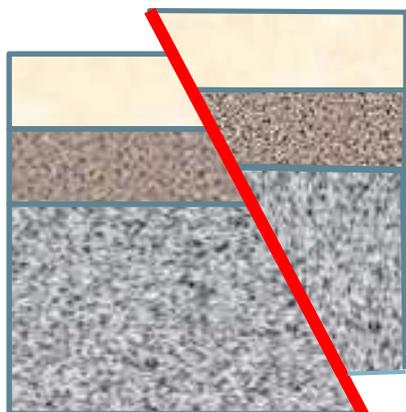
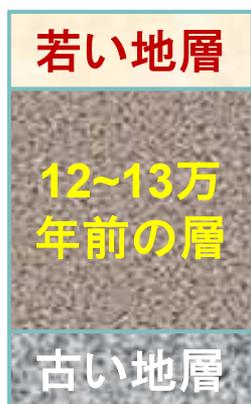
原子力規制委員会(2013)「実用発電用原子炉及び核燃料施設等に係る新規制基準について—概要—」、P. 5

# 「活断層等」の判断基準

## 1. 上載地層法

昨年の発表では、2の方法を「切断脈法」と呼んだ

地質時代



判断

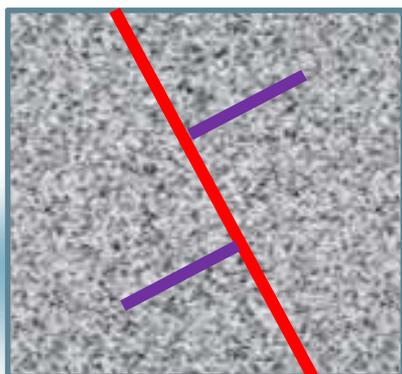
活断層等

活断層等

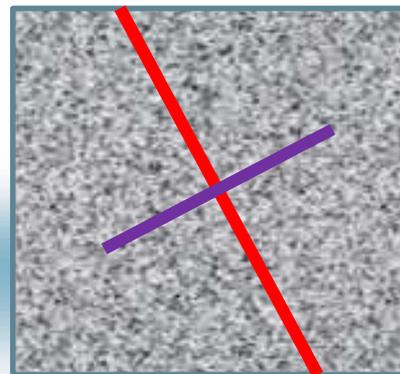
活断層等ではない

## 2. 鉱物脈法

— 12-13万年前の岩脈や鉱物脈



活断層等



活断層等ではない

# 鉱物脈法とその適用例

- ◆ 敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係わる  
審査ガイド(2013年6月)4.1.2.3節:  
「断層の活動性評価に対し、断層活動に関連した微細なず  
れの方向(正断層、逆断層、右横ずれ断層、左横ずれ断層  
等)や**鉱物脈又は貫入岩等との接触関係を解析することが  
有効な場合がある**」
- ◆ 1. 川内原発 2014年9月審査書
- ◆ 2. 高浜原発 2015年2月審査書
- ◆ 3. 伊方原発 2015年7月審査書

# 1. 川内原発

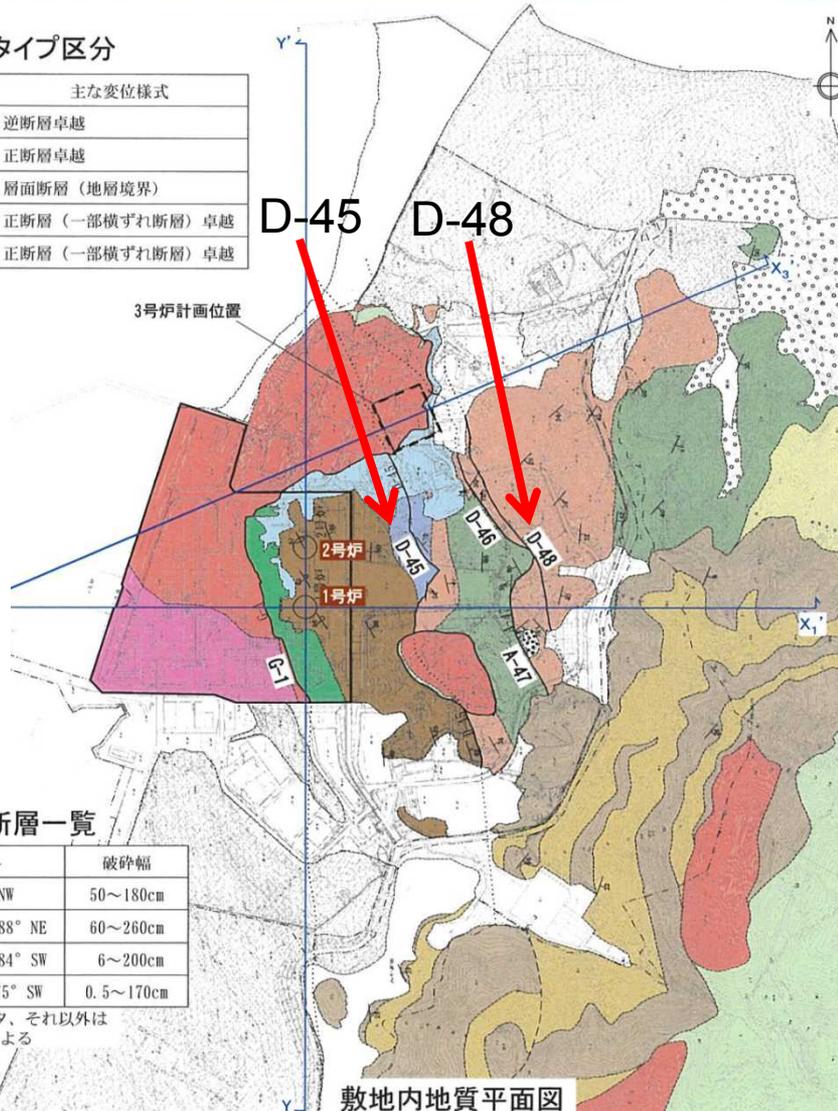
## 3.2 敷地内の地質〔敷地内地質平面図〕

第53回審査会合  
資料再掲

断層タイプ区分

断層タイプ	走向・傾斜	主な変位様式
A	NS系低角度	逆断層卓越
B	EW系低角度	正断層卓越
C	—	層面断層（地層境界）
D	NS系高角度	正断層（一部横ずれ断層）卓越
E	EW系高角度	正断層（一部横ずれ断層）卓越

川内原子力発電所敷地内の断層評価について(コメント回答)平成26年3月19日第95回審査会合資料2-1(九州電力株式会社)p. 81



- 敷地には、中生代前期白亜紀の川内層、久見崎層及び滄浪層を基盤とし、これらを不整合に覆う新第三紀の火山岩類が分布する。
- 敷地内には複数の断層が認められ、それらは走向・傾斜等によりA～Eの5タイプに区分される。
- これらの断層のうち、規模が大きく、地質構造を規制する断層として、敷地東部にA-47断層、D-45、D-46、D-48断層が認められる。

地質凡例

地質時代	地層名	地質		
新第三紀	第四系	盛土	礫、砂、シルト等	
	第四系	海浜堆積物	礫、砂等	
		沖積層	礫、砂、泥等	
		砂丘堆積物	砂等	
		段丘堆積物	礫、砂、シルト等	
	第三紀	火砕流堆積物	溶結凝灰岩	
		北礫火山岩類Ⅱ (輝石安山岩質)	安山岩凝灰岩、火山角礫岩、凝灰質凝灰岩、火山礫凝灰岩、凝灰岩	
			みやま層	凝灰質シルト岩、凝灰質砂岩、凝灰質凝灰岩、輝石凝灰岩
		中礫岩	北礫火山岩類Ⅰ (角閃石安山岩質)	軽石質凝灰角礫岩、大山角礫岩、凝灰角礫岩、火山礫凝灰岩
			後期	凝在岩
中生代	白亜紀	滄浪層	砂岩、礫岩、頁岩	
		久見崎層	上部層 頁岩、砂岩、礫岩 下部層 礫岩、砂岩、頁岩	
	前期	川内層	上部層 粘板岩、砂岩、礫岩 下部層 礫岩、砂岩、粘板岩	
		ジュラ紀	変はなれい岩類	粘板岩・ランジュ（変はなれい）岩、角閃岩、粘板岩等

敷地東部の断層一覧

断層番号	走向・傾斜	破碎幅
A-47	N10° E/35° NW	50～180cm
D-45	N13～16° W/84～88° NE	60～260cm
D-46	N25～45° W/54～84° SW	6～200cm
D-48	N1～8° W/68～75° SW	0.5～170cm

\* A-47断層はトレンチデータ、それ以外は3号炉調査試掘坑データによる

0 100 200 300(m)

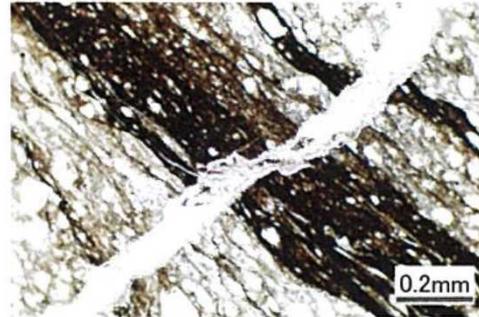
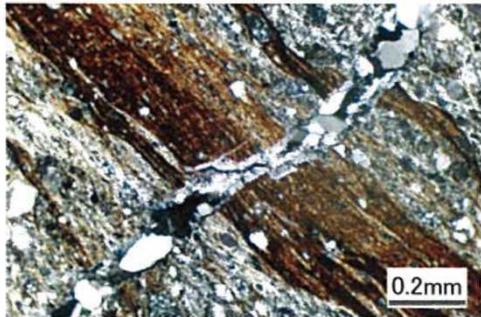
\* 1,2号炉周辺の枠内は、主に基礎掘削工事で確認した地質分布を表現（第四系及び盛土を除いて図示し、標高は図面ごとに異なる）。

記号凡例

- 敷地境界線
- 地質境界線
- 断層
- (破線は推定を表す)
- ..... (点線は伏在を表す)
- X1, Y1 断面図位置
- ↘ 地層の走向傾斜 (正転層)
- ↙ 地層の走向傾斜 (逆転層)
- ↘ 断層の走向傾斜

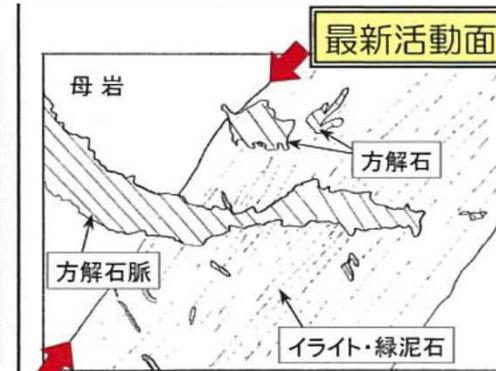
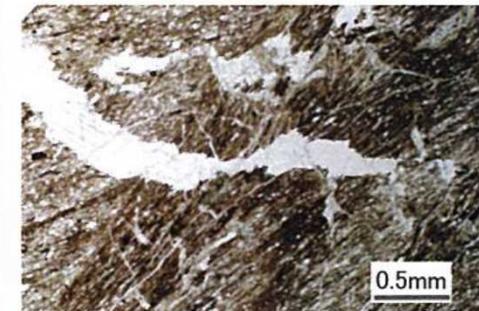
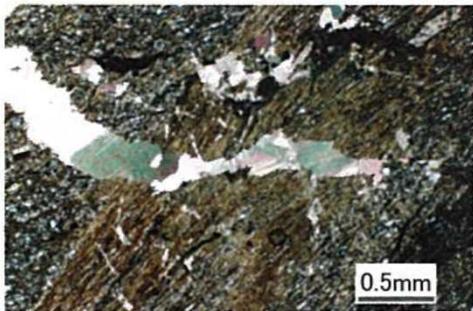
# 川内原発における断層と鉱物脈の関係

D-45断層の最新活動面を切る石英脈 (p.109)



最新活動面を切って石英、緑泥石、イライトからなる鉱物脈が晶出する。

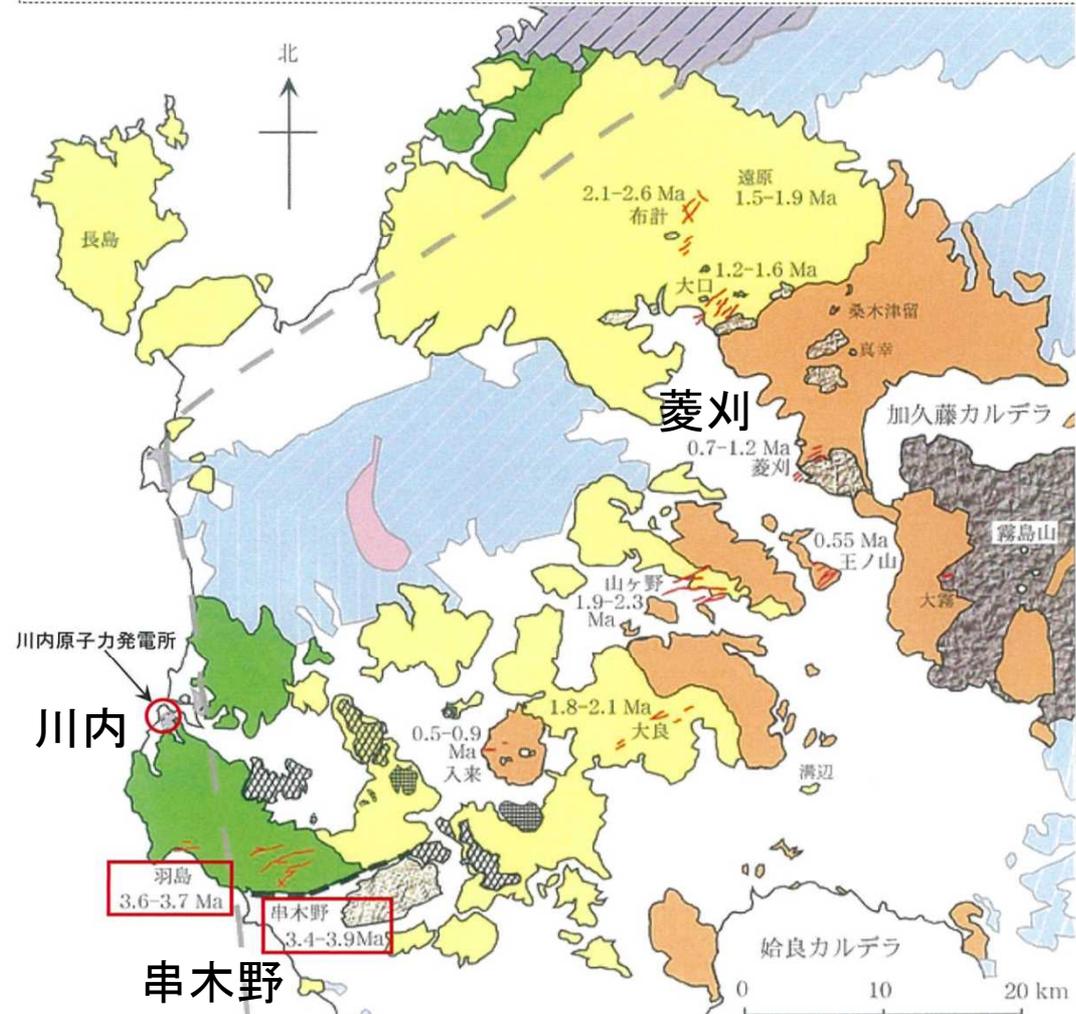
D-48断層の最新活動面を切る方解石脈 (p. 117)



最新活動面を切って方解石脈がくさび状に晶出する。  
最新活動面と同方向のせん断構造に沿ってイライト、緑泥石が晶出する。

### 3.4 活動性評価手法（熱水変質活動の年代）

○ 敷地内の熱水変質活動の年代については、井澤 (2004)\* に基づき、3~4Maと判断している。



○ 井澤 (2004)には、敷地に近い羽島及び串木野鉱床の鉱化年代が示されている(左図参照)。

・羽島鉱床: 3.6~3.7Ma、串木野鉱床: 3.4~3.9Ma

○ 敷地周辺には、羽島及び串木野鉱床と同じ後期中新世~前期鮮新世の火山岩類が分布している。

○ また、北薩地域の火山は、西から東へと活動中心が移動しており、敷地周辺では3~4Ma以降の熱水変質活動は認められていない。

○ 以上のことから、敷地内の熱水変質活動の年代は、羽島及び串木野鉱床の鉱化年代とほぼ同時期と考えられ、3~4Maと判断している。

イライトを含む川内原  
発敷地内の鉱物脈の  
形成年代を串木野地  
域と同じ3~4Maとして  
よいかどうか(もう少し  
若い可能性もある)と  
の趣旨のコメントを、  
発表会場で藤本光一  
郎氏からいただいた。  
(講演後追加)

北薩地域の火山岩と金鉱床の分布(井澤,2004に加筆)

\* 井澤英二(2004): 変質帯から見た浅熱水系の広がり, 地質ニュース599号, p.49-54

# 2. 高浜原発 位置と周辺の地質



高浜原発敷地内には大浦層(濃褐色:二畳紀)、音海流紋岩(薄紫:白亜紀)、内浦層(黄色:中新世)と中新世貫入岩が分布する。隣接する青葉山安山岩類(内浦層を不整合に覆う)の地質年代について、本講演では2010年発行の福井県地質図・説明書に基づき鮮新世と述べたが、その後、中新世の年代値(16.4 ± 1.0Ma, 13.8 ± 0.6Ma)が報告されていたことがわかった(下記各文献)。これらは高浜原発敷地内の中新世貫入岩の年代値に近い。小滝篤夫ほか(2009)地球惑星科学連合大会要旨G120-P001。亀高正男ほか(2010)福井市自然史博物館研究報告, 57, 5-10。  
 (講演後追加)

主に地質調査所の5万分の1鋸崎・小浜・丹後  
 由良・舞鶴・宮津・大江山地質図幅に基づく

# 高浜原発の敷地内断層の審査

4号炉直下の音海流紋岩中にあるF-C断層は、断層相互の切断関係から最新と考えられ、この断層を次のように評価した。

- ① 【運動  
ではな  
の伸張
- ② 【鉱物  
...最新  
出...壊

...F-Cは、音海流紋岩中の流紋岩質凝灰岩中の層理面に調和的な方向の断層である。F-Cの変形組織観察を行った結果では、最新活動部の変形組織は**正断層センス**を示している。断層の最新面に分布する粘土鉱物について電子顕微鏡観察を行った結果、最新面には高温又は地下深部で晶出した粘土鉱物(イライト)が密集しており、これらの**結晶が破碎されていない**(原子力規制委員会2015.2.12.審査書, p. 31)。

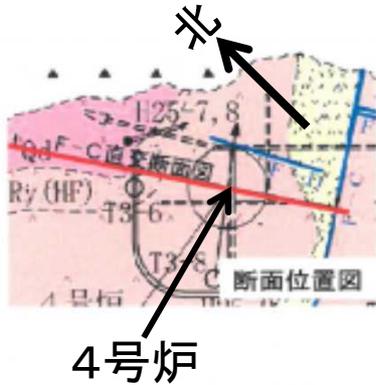
- ~~③ 【接触変成との関係】 F-Cは石英閃緑岩...の接触変成(約14.7 Ma)を受けた以降の活動が認められないことから、少なくとも約14.7 Ma以降の活動はないと評価される。~~

審査書に採用せず

関西電力株式会社 高浜発電所地盤(敷地の地質・地質構造)について。平成26年8月22日第131回審査会合資料1-2, p.78

# 高浜原発敷地内のF-C断層の評価

関西電力株式会社 高浜発電所  
地盤(敷地の地質・地質構造)について。平成26年8月22日第131回審査会合資料1-2に加筆

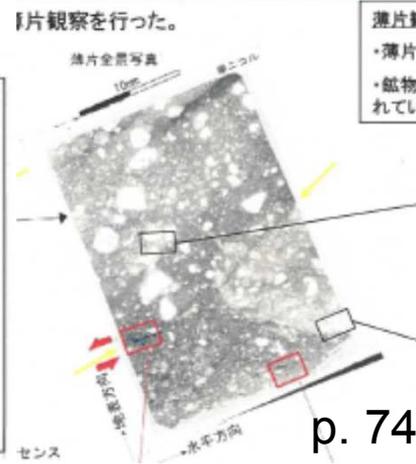


地質平面図



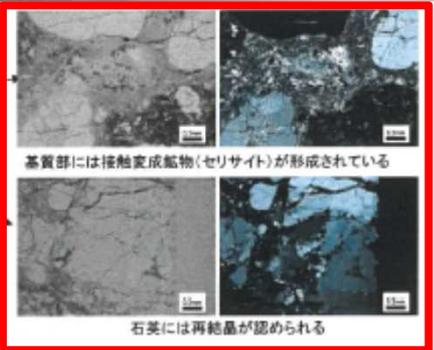
# 接触変成部の変形組織の観察 T3-6孔

第121回審査会合  
2018年度

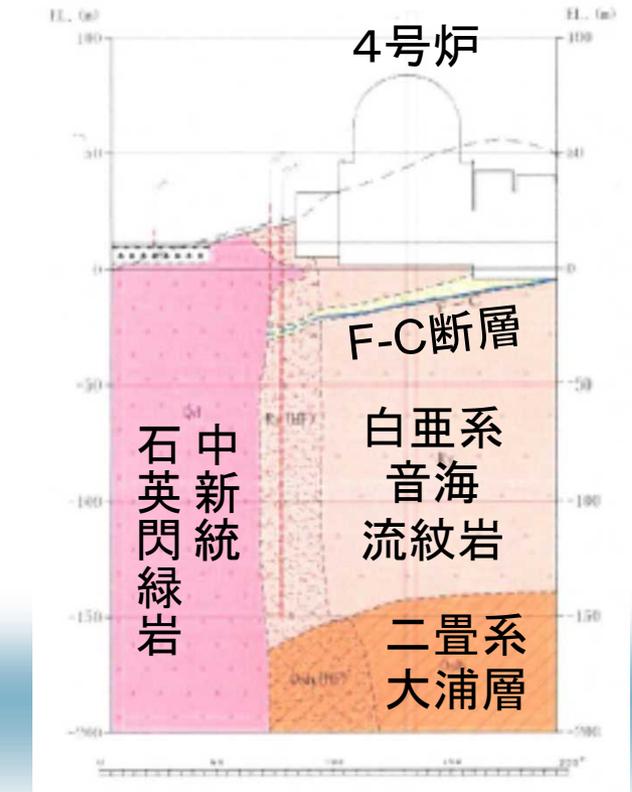


薄片観察結果

- 薄片中央部に正断層成分を示すP面が認められる。
- 鉱物粒子周囲は接触変成作用を受け接触変性鉱物が形成されている。また石英には再結晶が認められる。



北西 地質断面図 南東

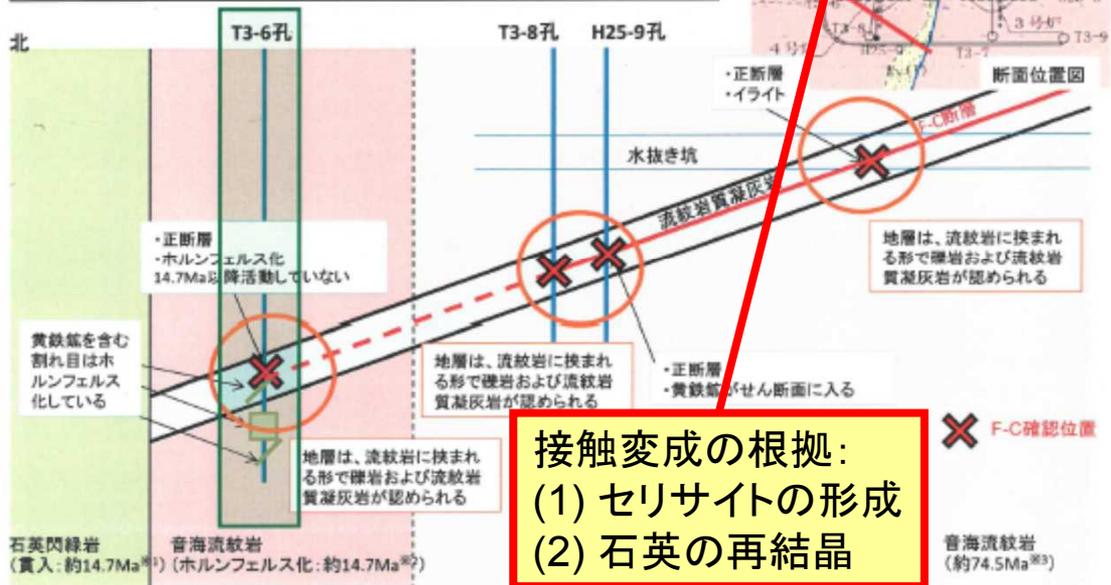


p. 68

# F-Cの活動性評価(接触変成)

第121回審査会合  
p64-更新正・補筆

・F-Cは、水抜き坑及びH25-9孔において流紋岩質凝灰岩中に分布する正断層センスを有する破砕部として認められた。  
・T3-6孔では、流紋岩質凝灰岩中に破砕部が1条(深度46.6~46.7m)のみ認められ、運動センスが正断層センスであること、その周辺の流紋岩中に破砕部が認められないことから、この破砕部をF-Cと評価した。



接触変成の根拠:  
(1) セリサイトの形成  
(2) 石英の再結晶

F-Cは接触変成以降の活動は認められない。

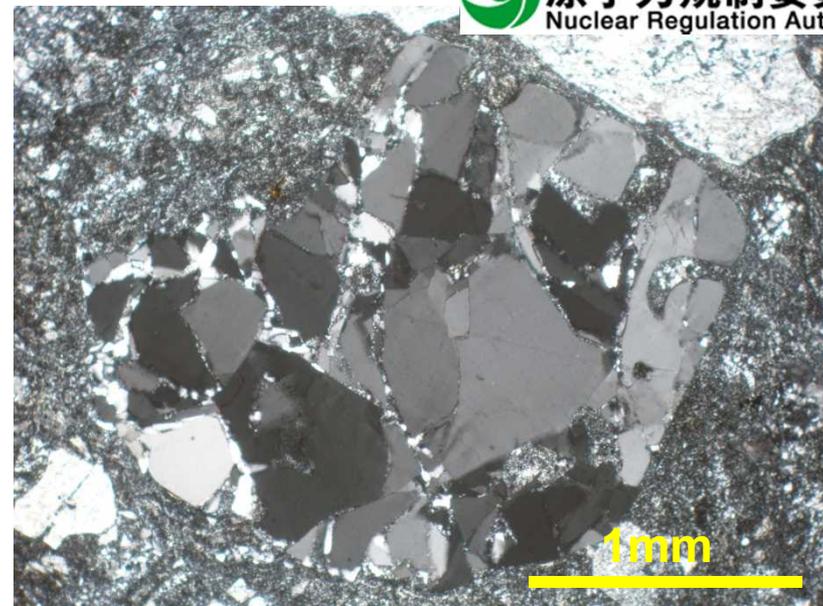
10

p. 69

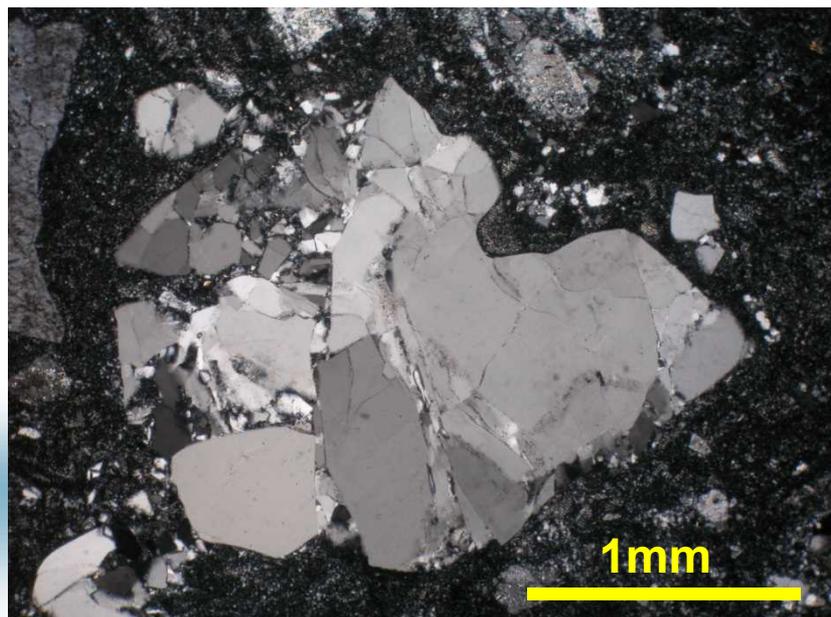
高浜原発近傍の音海流紋岩中の石英「斑晶」(舞鶴市栢尾、石渡740318採集)。  
圧砕・再結晶組織を示すものが多数見られる。

「石英の再結晶」は中新世の接触変成作用によるものではなく、白亜紀の流紋岩噴出以前に地下深部の基盤岩(花崗岩類)中で行われたと考えられる。

1mm



1mm



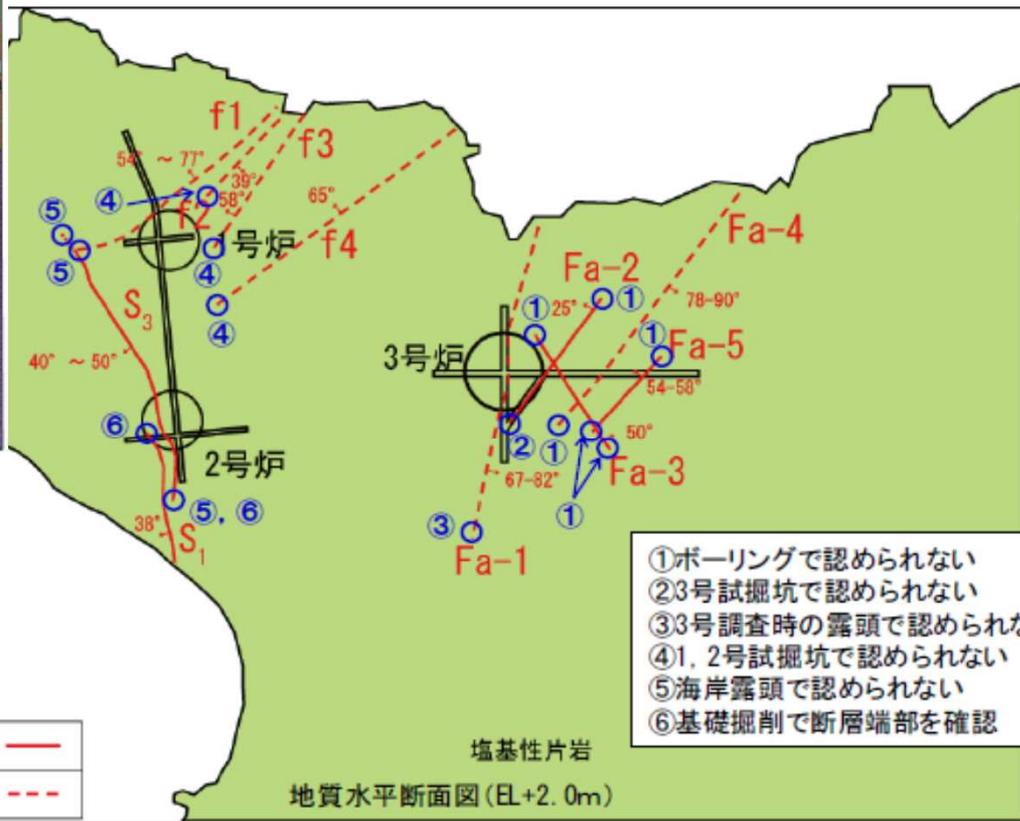
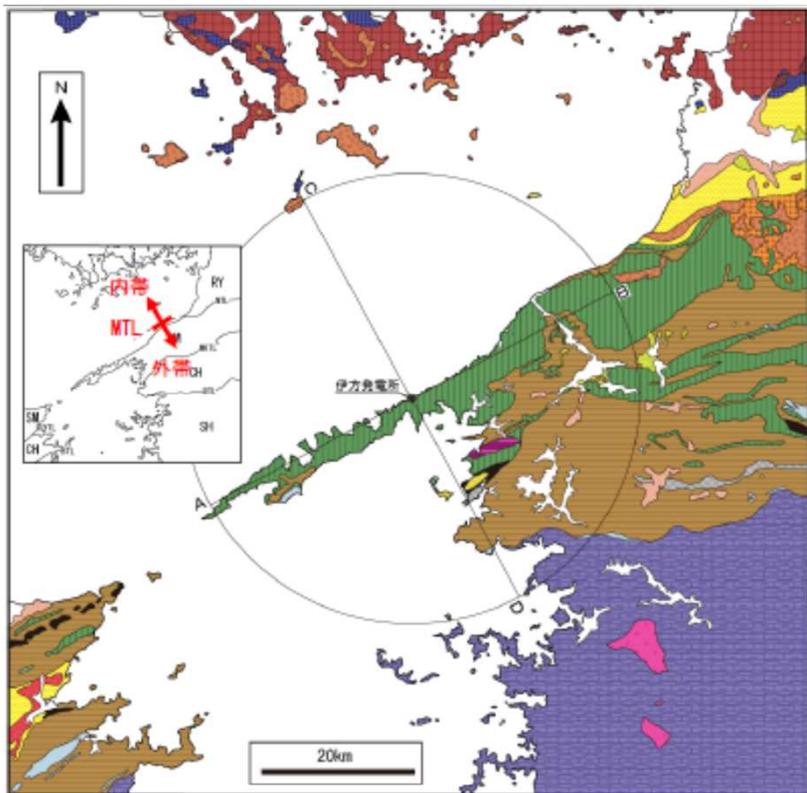
1mm



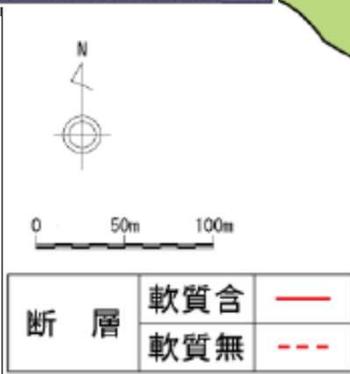
1mm

# 3. 伊方原発

- ・三波川帯の緑色片岩上に立地
- ・今回申請の3号炉直下には軟質部を含む Fa-2, Fa-3破砕帯がある



伊方発電所 地盤(敷地の地質・地質構造)について(敷地内断層の性状)平成27年3月20日第210回審査会合資料3-2 四国電力(株)p. 5, 12



- ①ボーリングで認められない
- ②3号試掘坑で認められない
- ③3号調査時の露頭で認められない
- ④1, 2号試掘坑で認められない
- ⑤海岸露頭で認められない
- ⑥基礎掘削で断層端部を確認

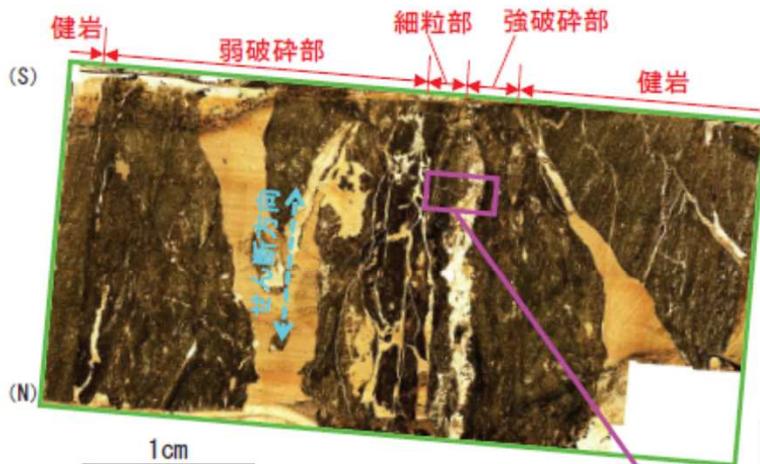
# Fa-2破碎帯を切る「緑泥石」脈

IV. 研磨片・薄片観察結果

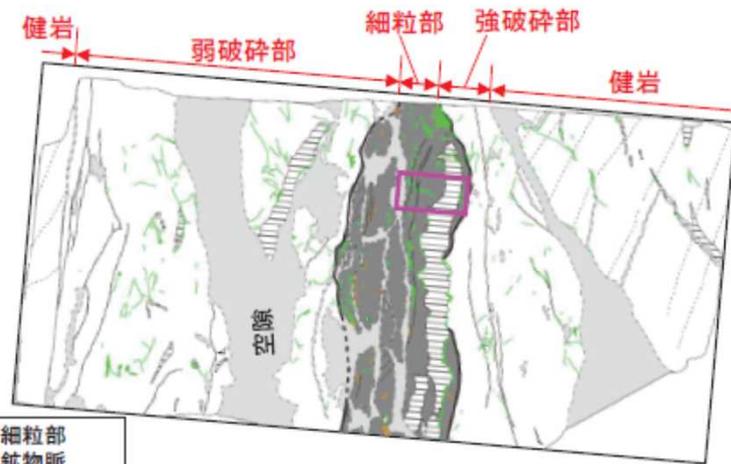
## Fa-2断層(走向)の薄片観察① < 観察結果 (1) >

伊方発電所における敷地内断層の性状について(詳細データ集)平成27年2月4日第191回審査会合資料1-2四国電力(株) p. 75, 76

平成26年12月19日  
第176回審査会合資料1-2, p. 74



薄片写真(直交ニコル, 平成26年撮影)



■ 細粒部  
▨ 鉱物脈  
■ 緑泥石脈  
■ 変質鉱物脈  
— せん断面

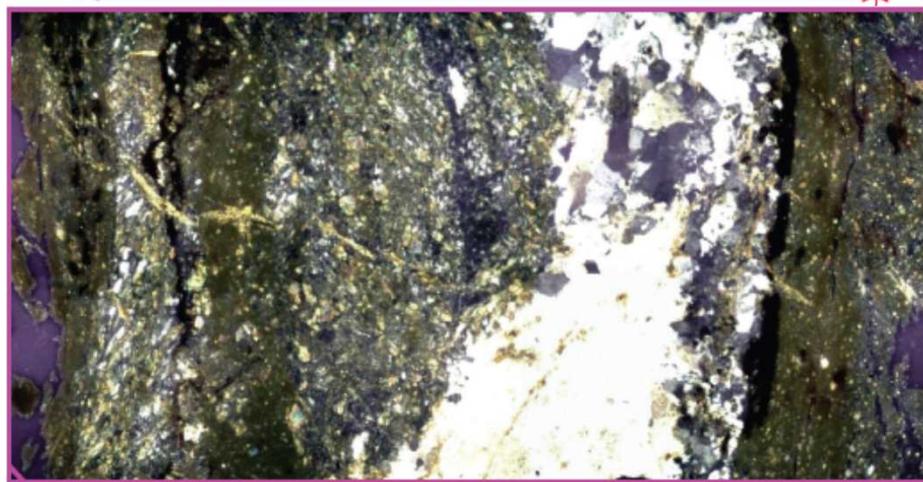
細粒部

薄片スケッチ

強破碎部

- 新しい時代の活動を示す明瞭なせん断面は認められない。
- 最新活動面と対応する幅数mm程度の細粒部において、せん断方向を横断するように緑泥石が脈状に成長しており、その後脆性破壊を受けていないことから、緑泥石生成後にFa-2断層は活動していないと判断される。
- 地下深部における脆性破壊で形成されたカタクレーサイトであると評価される。

薄片拡大写真(直交ニコル, 平成26年撮影)



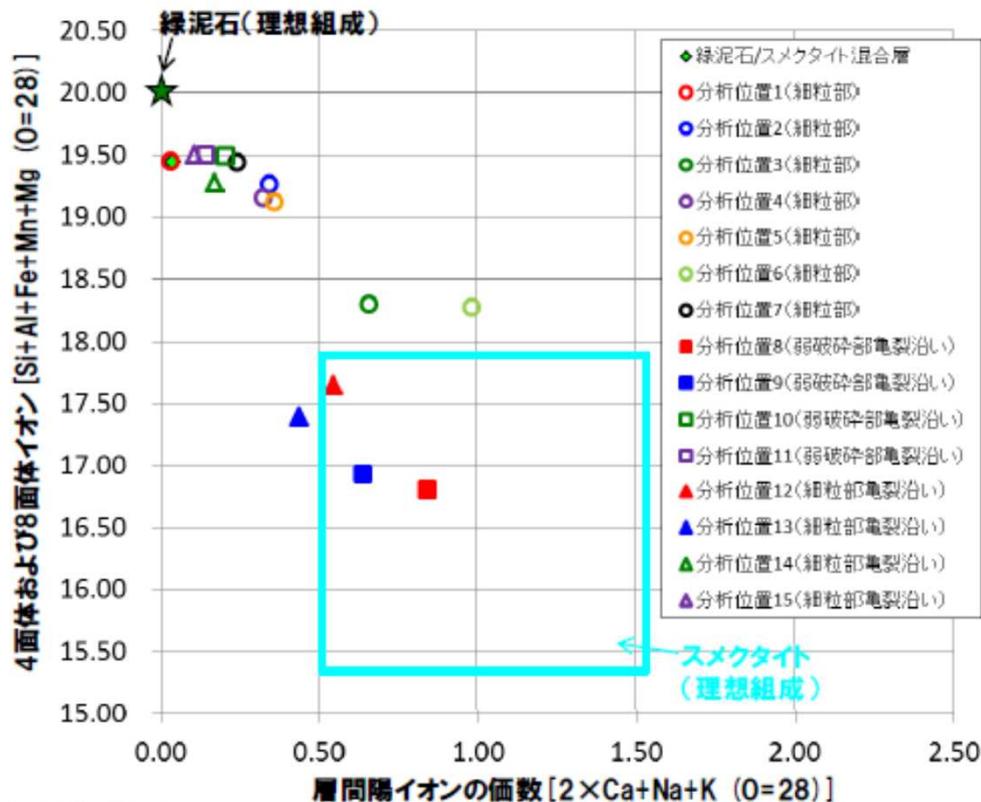
# Fa-3破砕帯を切る「緑泥石」脈の組成

## V. 軟質部を含む断層の活動性評価

### 軟質部形成時期の検討⑮ <スメクタイトの化学組成>

- Fa-3断層のSEM-EDS分析結果から陽イオンの構成比を換算し、4面体および8面体イオン-層間陽イオンの価数図にプロットすると、細粒部中の微小な粘土鉱物は緑泥石の理想化学組成とスメクタイトの理想化学組成の間にプロットされる。一方、亀裂沿いで緑泥石/スメクタイト混合層脈と接する粘土鉱物はスメクタイトの理想化学組成の領域付近にプロットされる。
- Fa-3断層の細粒部中に緑泥石/スメクタイト混合層が多く生成しており、亀裂沿いにスメクタイトが生成していることを示す。断層内には吸水により軟質化しやすいスメクタイトおよび緑泥石/スメクタイト混合層が含まれる。

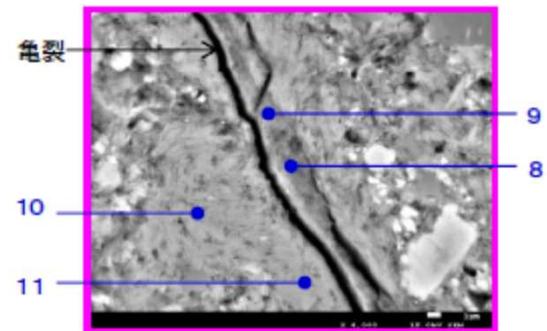
伊方発電所  
地盤(敷地  
の地質・地  
質構造)に  
ついて(敷  
地内断層の  
性状)平成  
27年3月20  
日第210回  
審査会合資  
料3-2四国  
電力(株)p.  
117



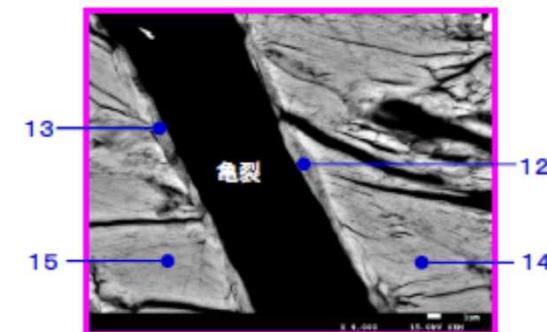
#### 【理想組成】

緑泥石:  $(\text{Mg,Fe,Al})_{12}(\text{Si,Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_{16}$

スメクタイト:  $(\text{Na,Ca}_{1/2})_{0.2-0.6}(\text{R}^{+3},\text{R}^{+2},\text{Li})_{2-3}(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$



反射電子像



反射電子像

# Fa-3破碎帯を切る「緑泥石」脈の形成

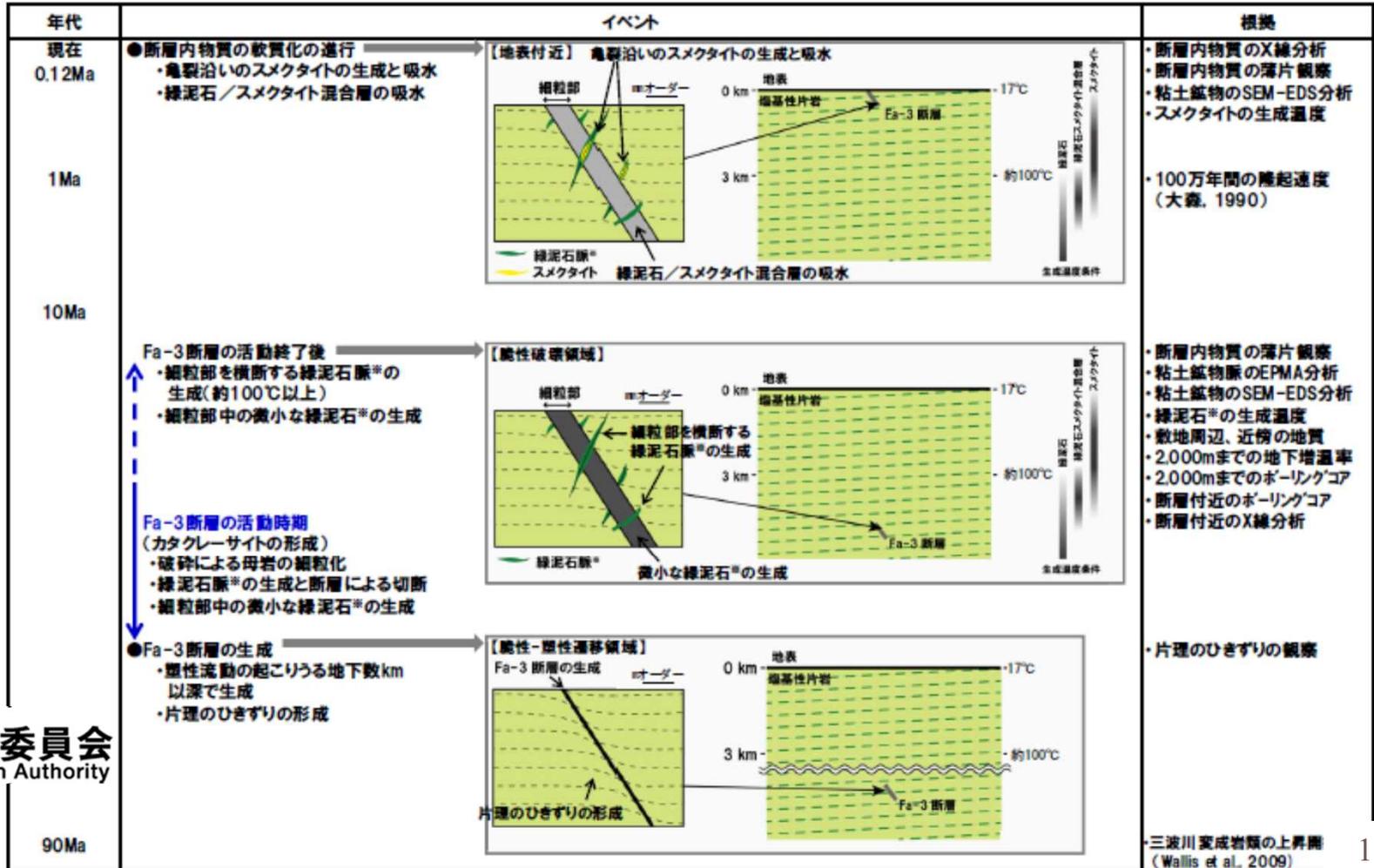
## V. 軟質部を含む断層の活動性評価

### Fa-3断層の断層内物質の形成過程(概念図)

平成27年2月4日  
審査会合資料一部修正

○断層内物質の形成過程の概念図を以下に示す。Fa-3断層の活動時期は約10Ma以前であり、後期更新世よりもはるかに古い。

伊方発電所  
地盤(敷地  
の地質・地  
質構造)に  
ついて(敷  
地内断層の  
性状)平成  
27年3月20  
日第210回  
審査会合資  
料3-2四国  
電力(株)p.  
121



※緑泥石はスメクタイトとの混合層を伴う

# まとめ

- ◆ 以上のように、熱水鉱物脈が断層内の剪断構造を横断していること(川内は石英・イライト・方解石等の脈、伊方は緑泥石・スメクタイト混合層鉱物の脈)、または断層の最新面に地下深部で晶出した鉱物(イライト)があってそれらが破砕変形していないこと等(高浜)が断層の後期更新世以後の活動性を否定する根拠になっている。鉱物脈の形成年代をより正確に決定することが今後の課題である。

# 原子力規制委員会の理念

- ◆ 人と環境を守ることを使命とする
- ◆ (1)科学・技術に基づく独立した意思決定
- ◆ (2)現場重視の実効ある規制
- ◆ (3)透明で開かれた組織
- ◆ (4)向上心と責任感ある職員
- ◆ (5)緊急事態への組織的かつ迅速な対応
- ◆ 原子力規制委員会=5人、規制庁≒1,000人

原子力規制における地質学の重要性は以前より格段に増しており、学界全体での議論の活発化と深化が期待される。