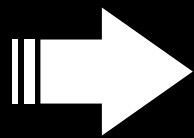


**EXPERIMENTAL STUDIES OF
AQUEOUS ALTERATION IN
CARBONACEOUS CHONDRITES.**

I. Ohnishi
COE researcher

含水鉱物:

- 多くのコンドライト隕石、宇宙塵、微小隕石中に存在。
- 微小天体(小惑星)中での水-岩石反応(水質変成)によって生成。



水質変成:
初期太陽系で一般的な二次的変成過程。

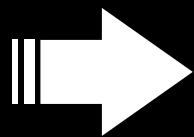
含水鉱物:

- 種類:コンドライトのタイプにより異なる。

CMタイプ ... サーペンティン

CIタイプ ... サーペンティン + サポナイト

CVタイプ ... サポナイト



微小天体ごとの水質変成条件の違いを反映。

水質変成条件:

- 含水鉱物の生成条件
 - 無水鉱物(隕石)の変成条件
- } の理解が不可欠。

⇒ 水熱変成実験

1. エンスタタイト変成実験
2. エンスタタイト+Fe/SiO₂変成実験
3. アエンデ隕石変成実験

水質変成条件:

- 含水鉱物の生成条件
 - 無水鉱物(隕石)の変成条件
- } の理解が不可欠。

⇒ 水熱変成実験

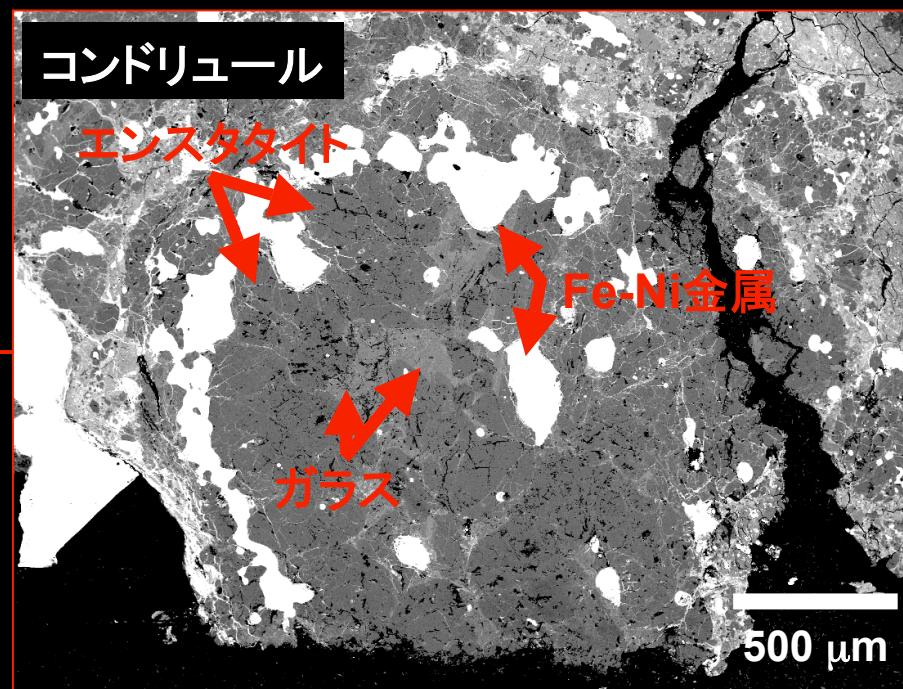
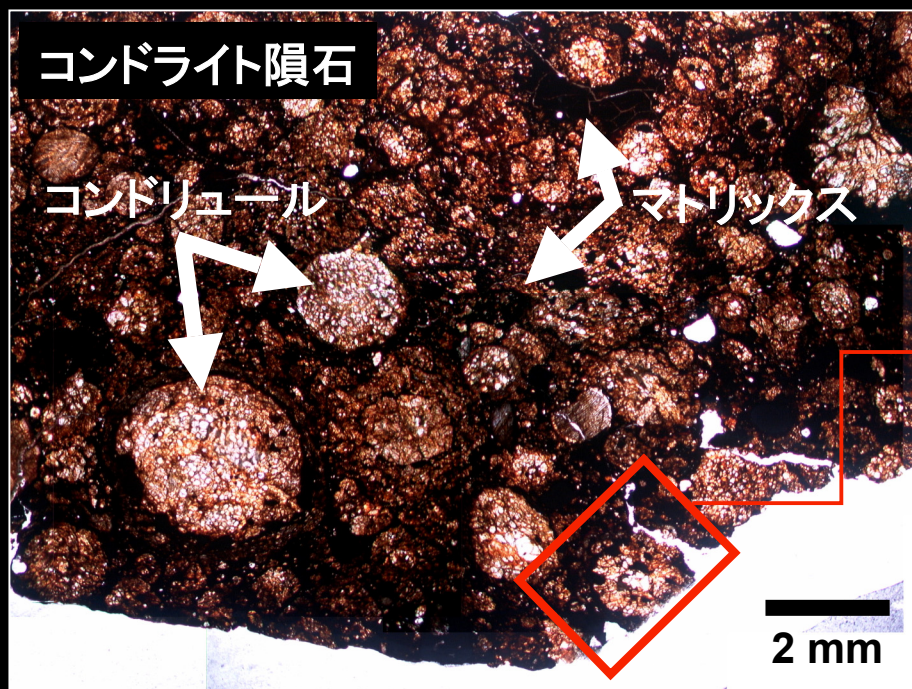
1. エンスタタイト変成実験
2. エンスタタイト+Fe/SiO₂変成実験
3. アエンデ隕石変成実験

エンスタタイト変成実験

I. Ohnishi and K. Tomeoka (2007)

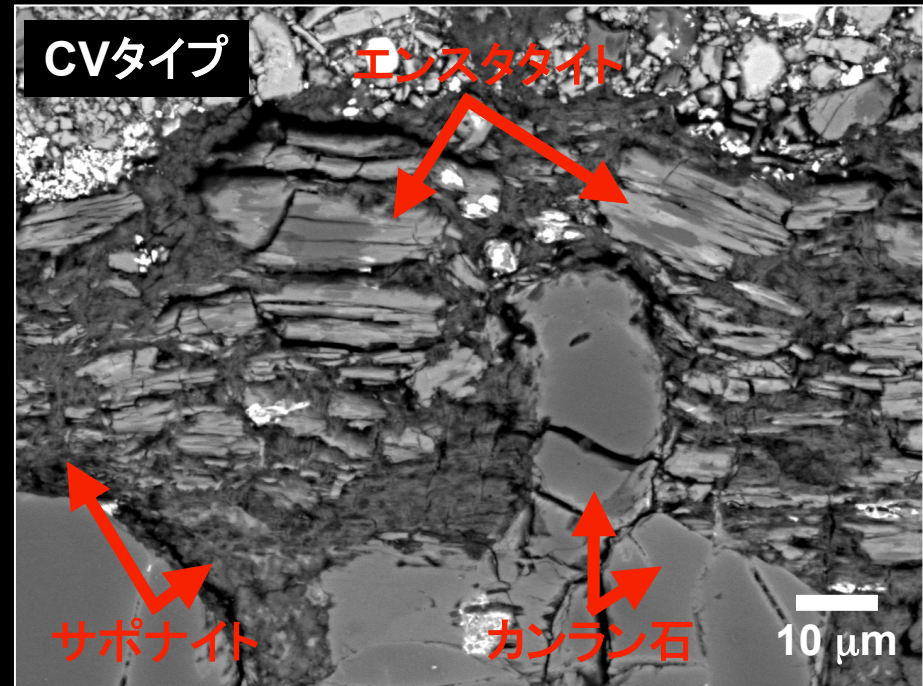
Hydrothermal alteration experiments of enstatite: Implications
for aqueous alteration of carbonaceous chondrites,
Meteoritics & Planetary Science, 42, 49-62.

エンスタタイト (MgSiO_3):



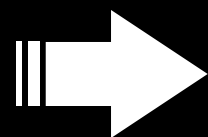
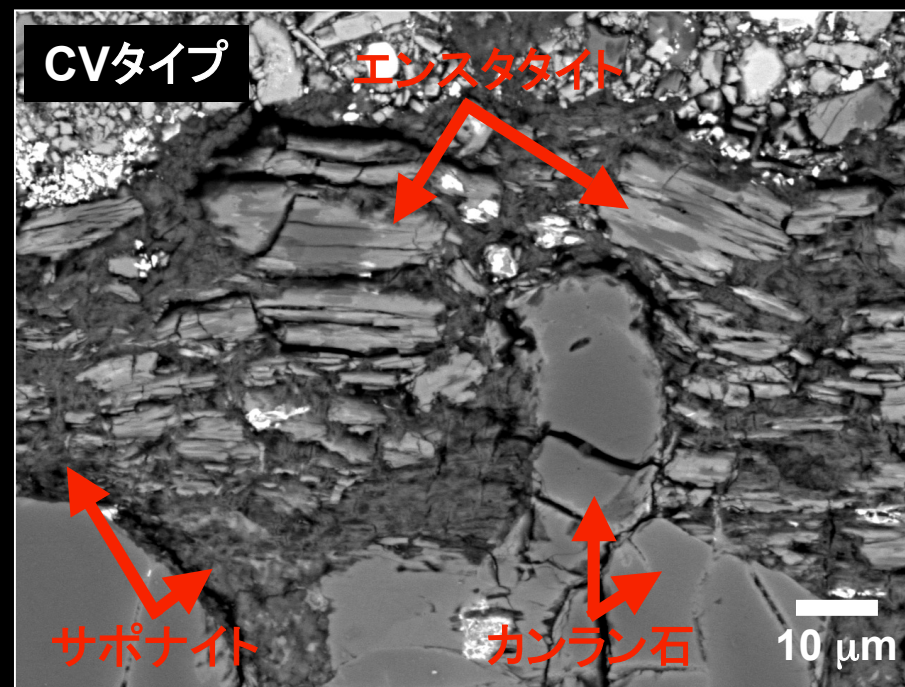
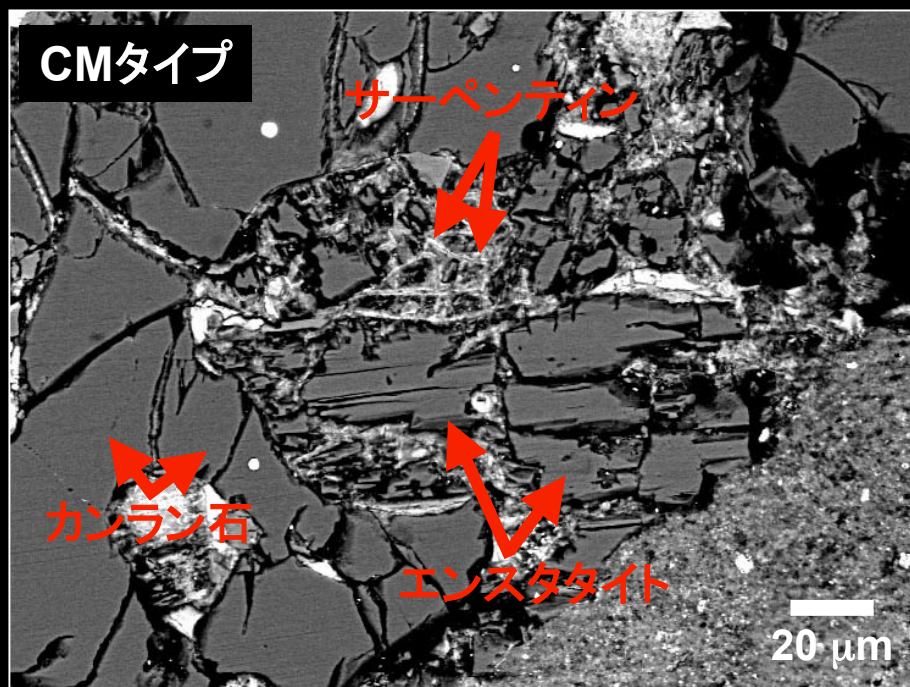
- コンドライトの主要構成鉱物。
- 主にコンドリュール斑晶として存在。

エンスタタイト (MgSiO_3):



- 他の鉱物よりも変成されやすい。
- コンドライトのタイプで含水鉱物の種類が異なる。
 サーペンティン (CMタイプ) \leftrightarrow サポナイト (CVタイプ)

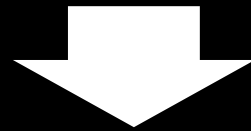
エンスタタイト (MgSiO_3):



水質変成の条件を探るインディケーター。

目的:

1. さまざまな温度、時間、pH条件においてエンスタイトからどのような含水鉱物が生成されるかを調べる。



2. コンドライト中の含水鉱物と比較する。
3. 水質変成条件に制約を与える。

出発物質と実験条件:

- 出発物質: 斜方エンスタタイト (EN) 粉末 ($30 \mu\text{m}$)
- 反応させた溶液:

(1) 1N-HCl	(pH 0)
(2) 1N-NaCl	(pH 6)
(3) H ₂ O	(pH 7)
(4) 0.01N-NaOH	(pH 12)
(5) 0.1N-NaOH	(pH 13)
(6) 1N-NaOH	(pH 14)

実験条件:

温度 = 100, 200, 300 °C

時間 = 24, 72,

168, 336 時間

圧力 = 1 kb

出発物質と実験条件:

- 出発物質: 斜方エンスタタイト (EN) 粉末 ($30 \mu\text{m}$)

- 反応させた溶液:

(1) 1N-HCl	(pH 0)
(2) 1N-NaCl	(pH 6)
(3) H ₂ O	(pH 7)
(4) 0.01N-NaOH	(pH 12)
(5) 0.1N-NaOH	(pH 13)
(6) 1N-NaOH	(pH 14)

実験条件:

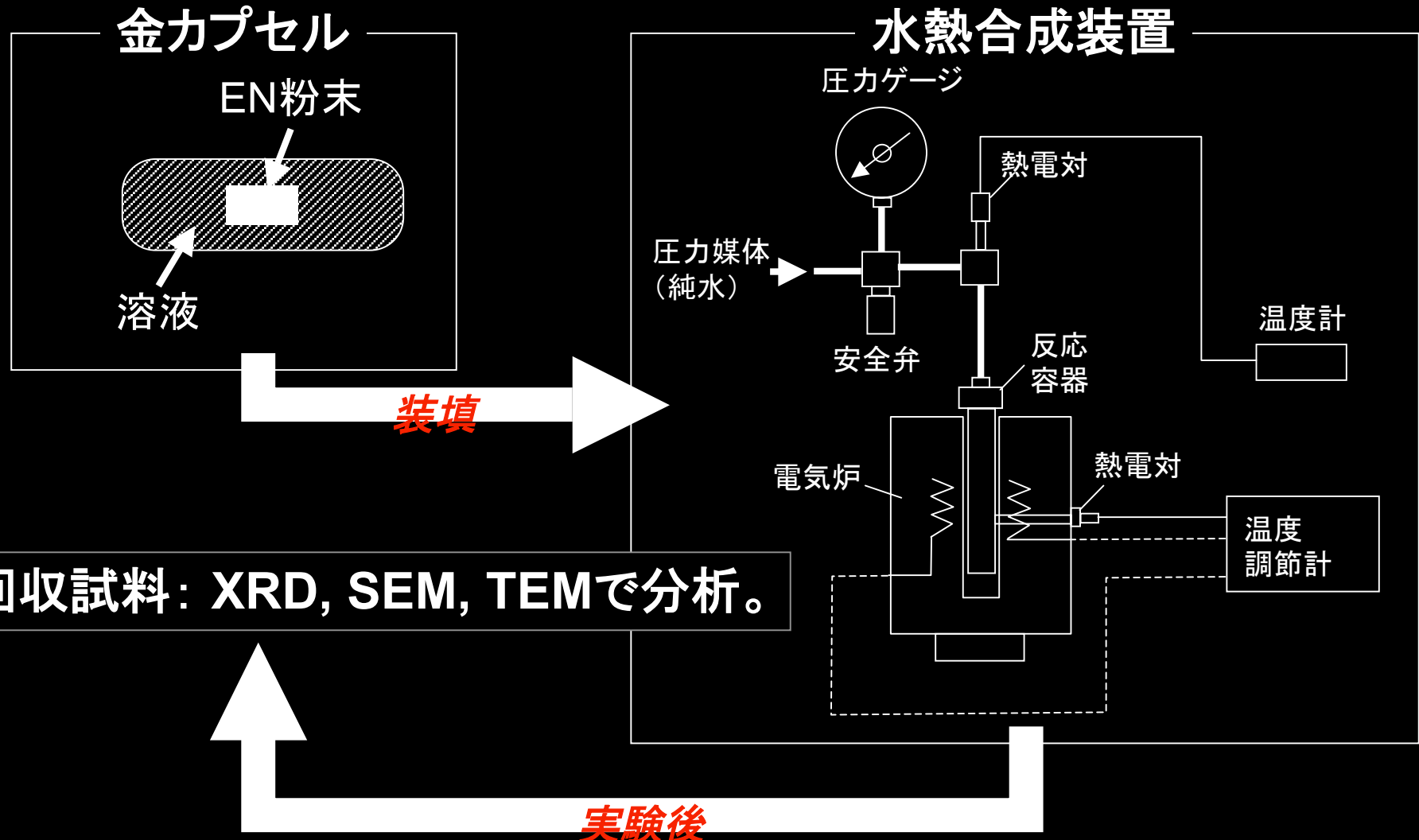
温度 = 100, 200, 300 °C

時間 = 24, 72,

168, 336 時間

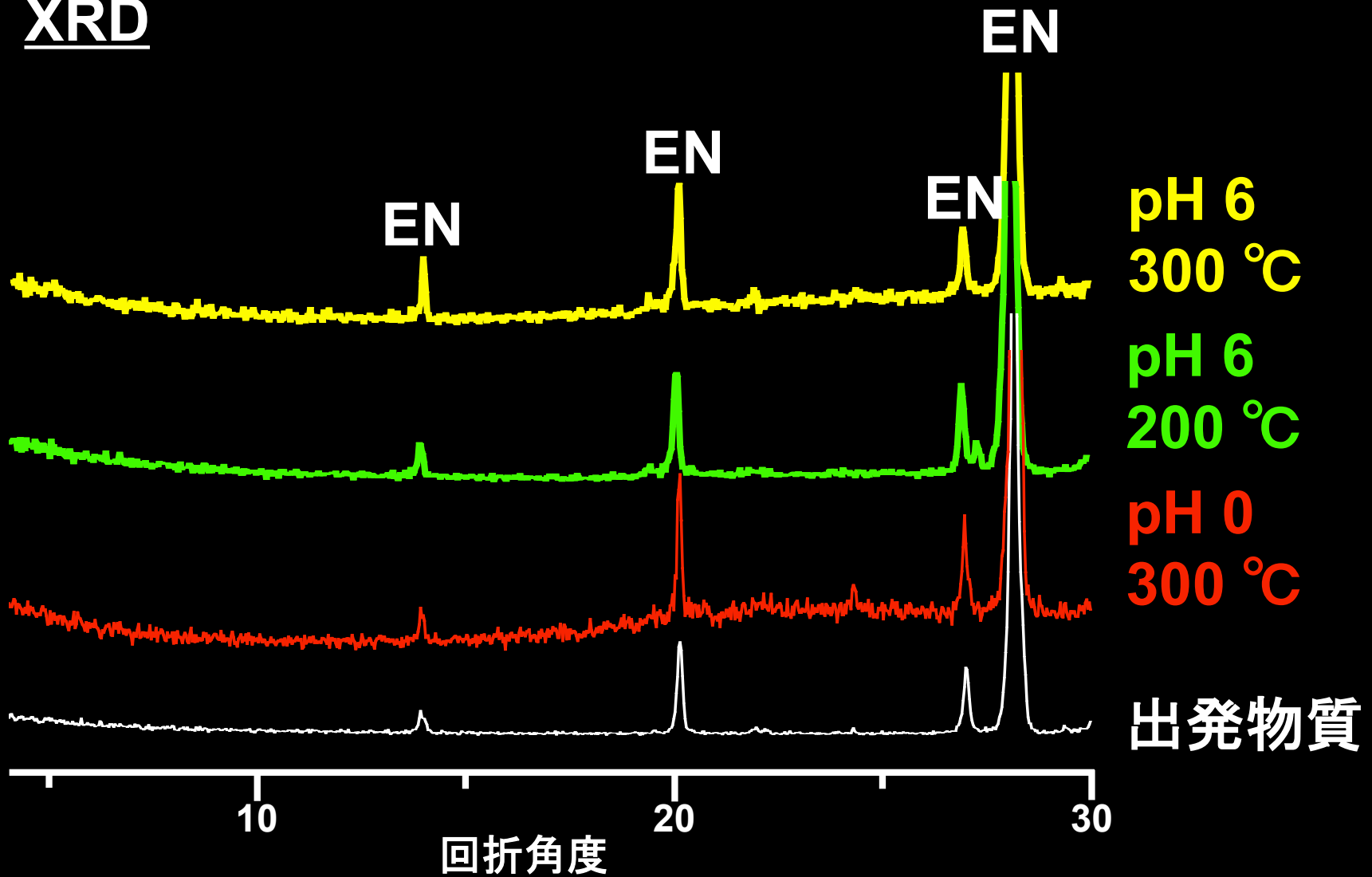
圧力 = 1 kb

実験方法:



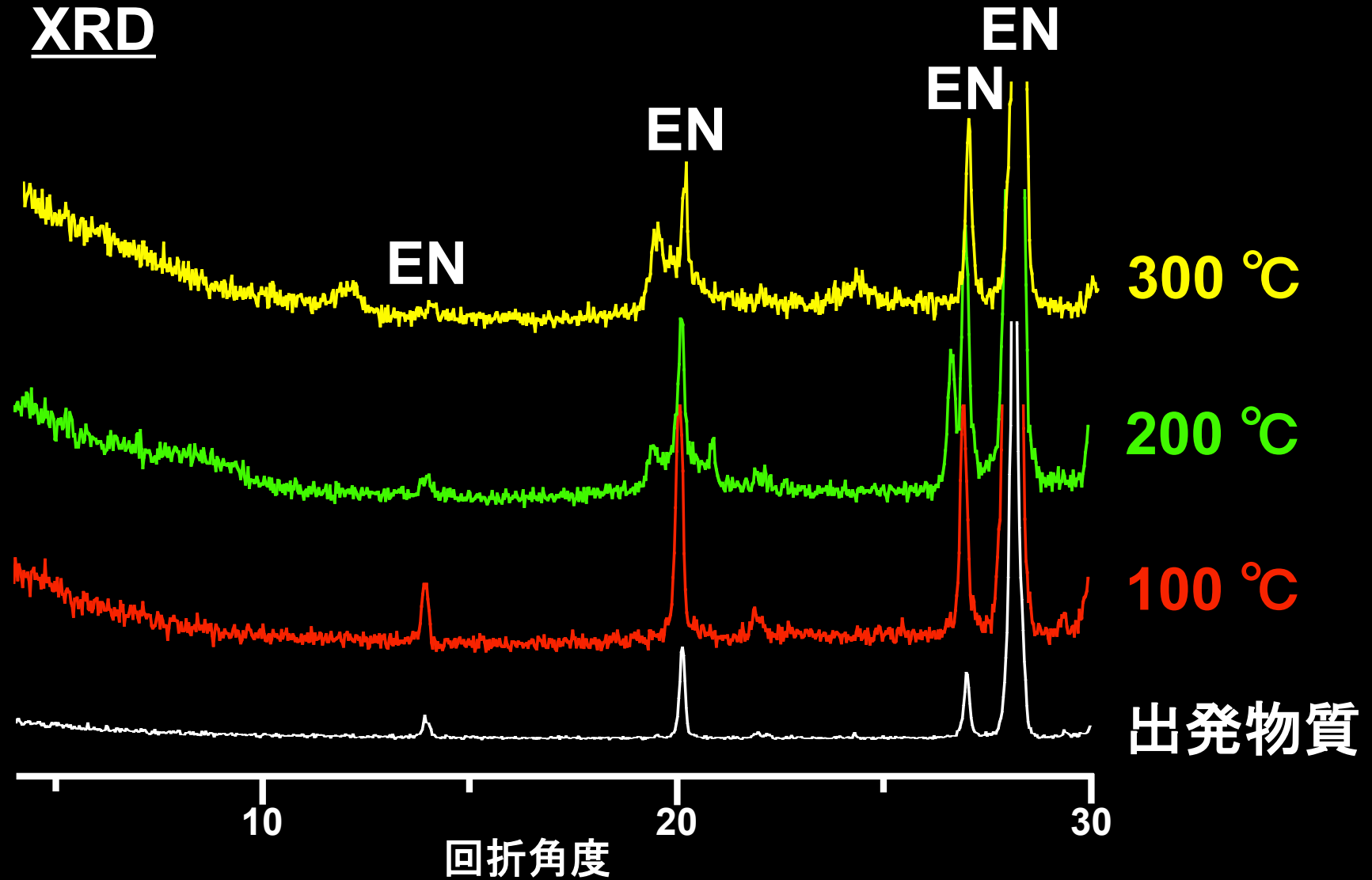
(2) 実験生成物 (pH 0 & 6):

XRD



(3) 実験生成物 (pH 7):

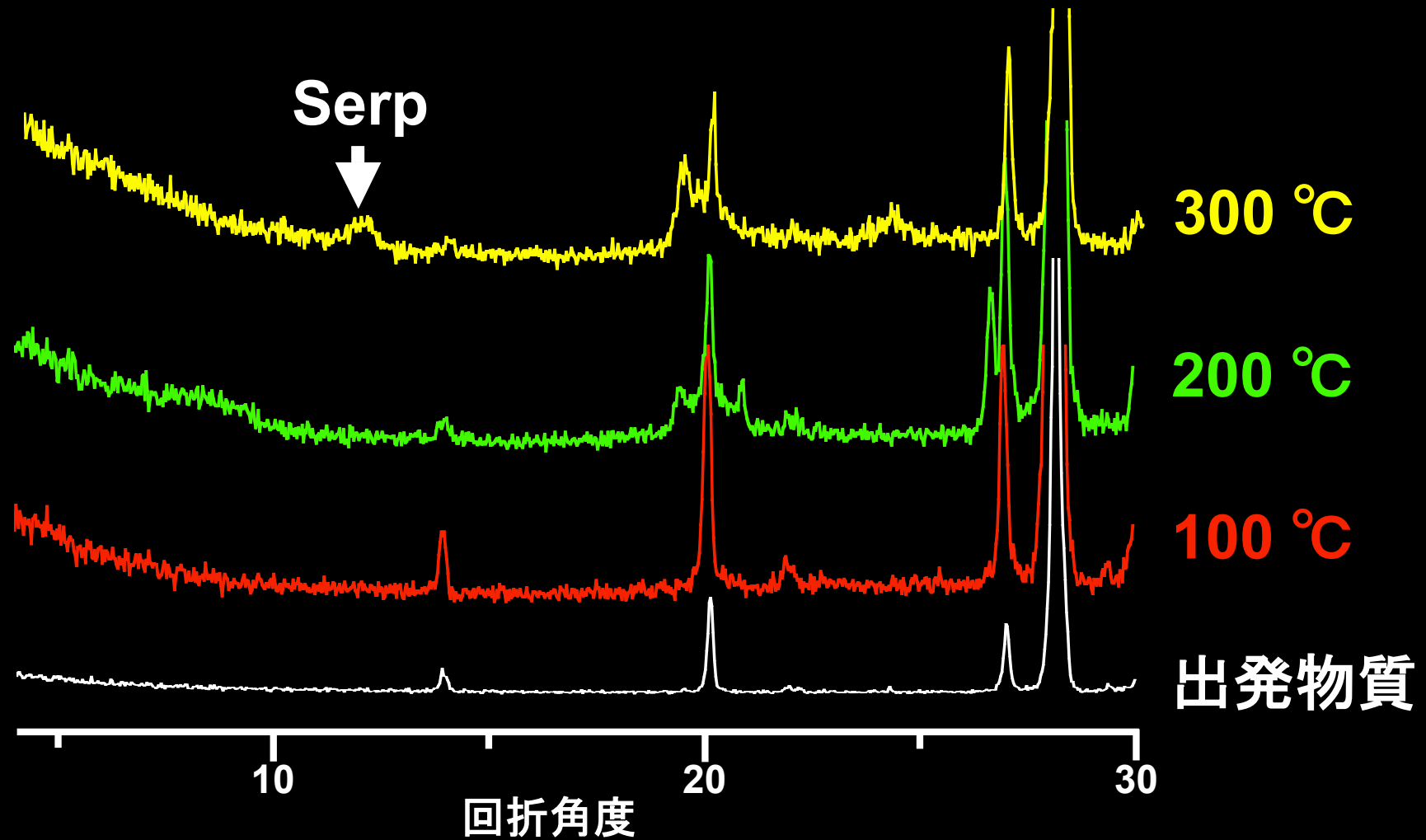
XRD



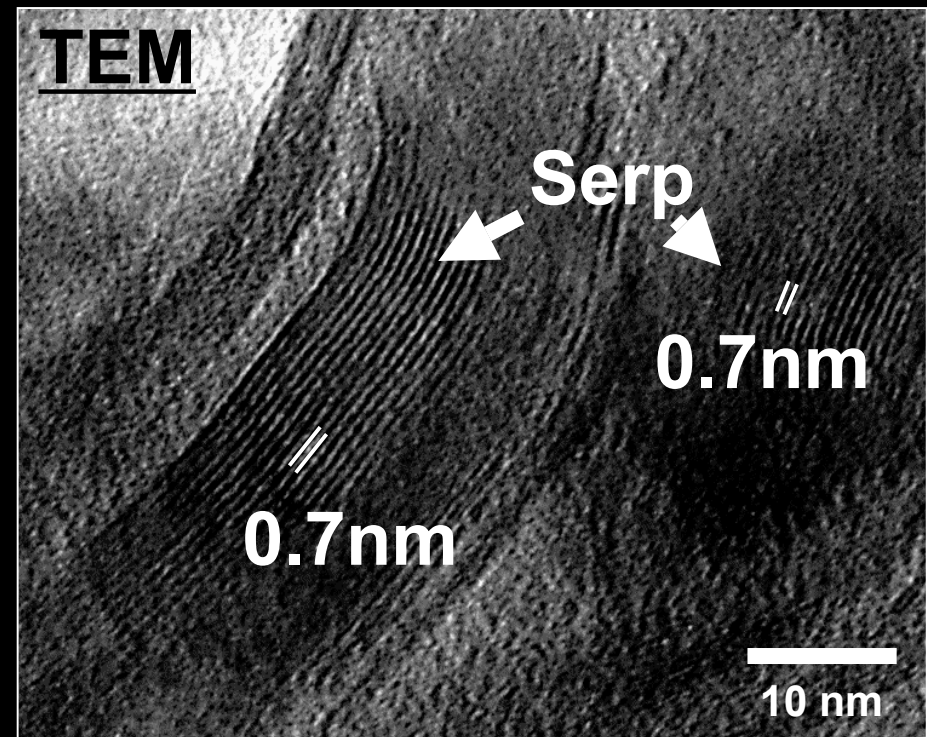
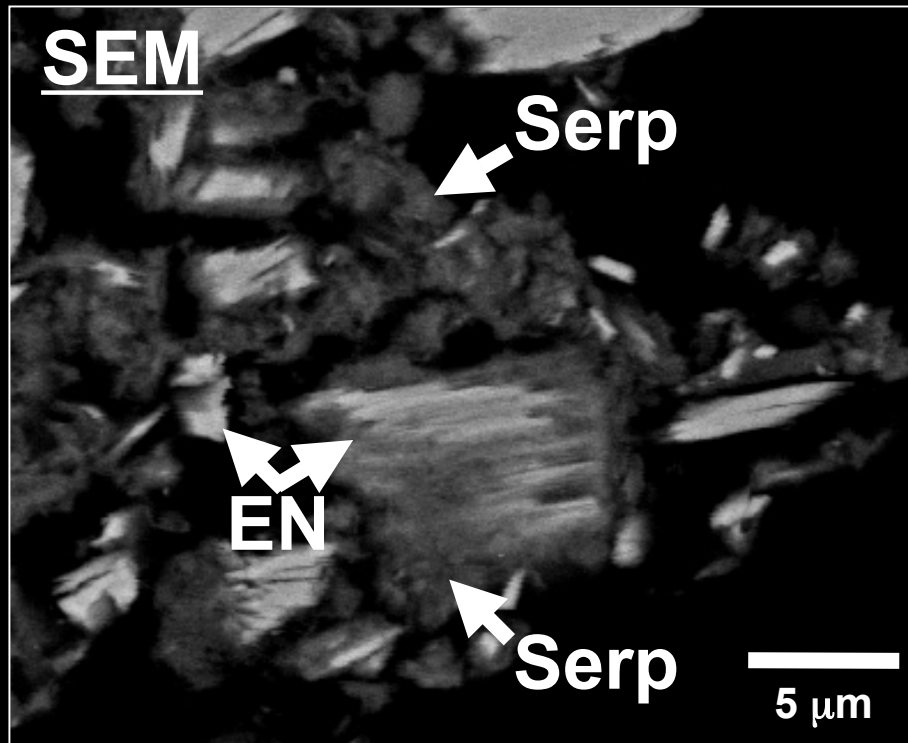
(3) 実験生成物 (pH 7):

XRD

Serp: サーペンティン



(3) 実験生成物 (pH 7):



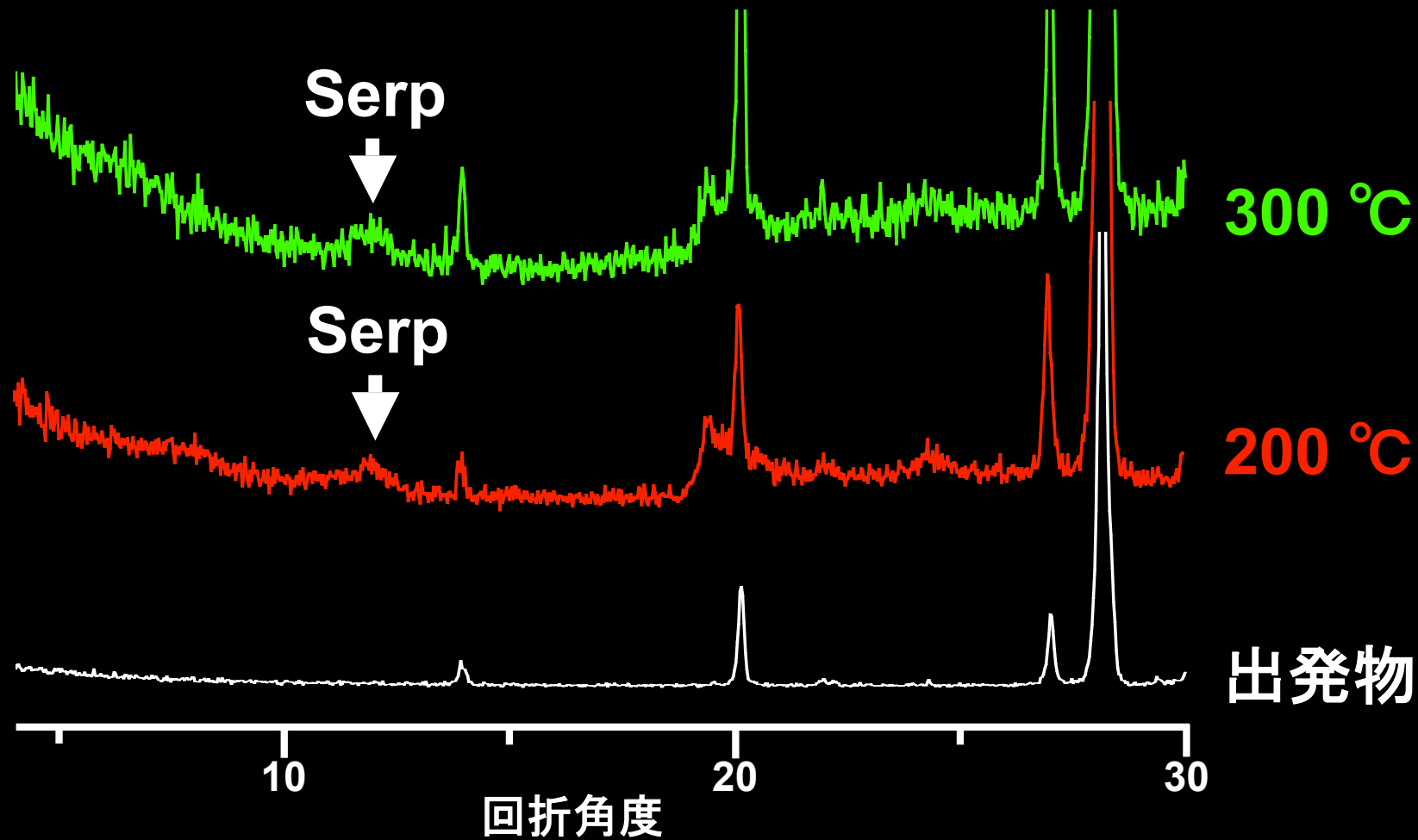
Serp: サーペンティン

300°C

(4) 実験生成物 (pH 12):

XRD

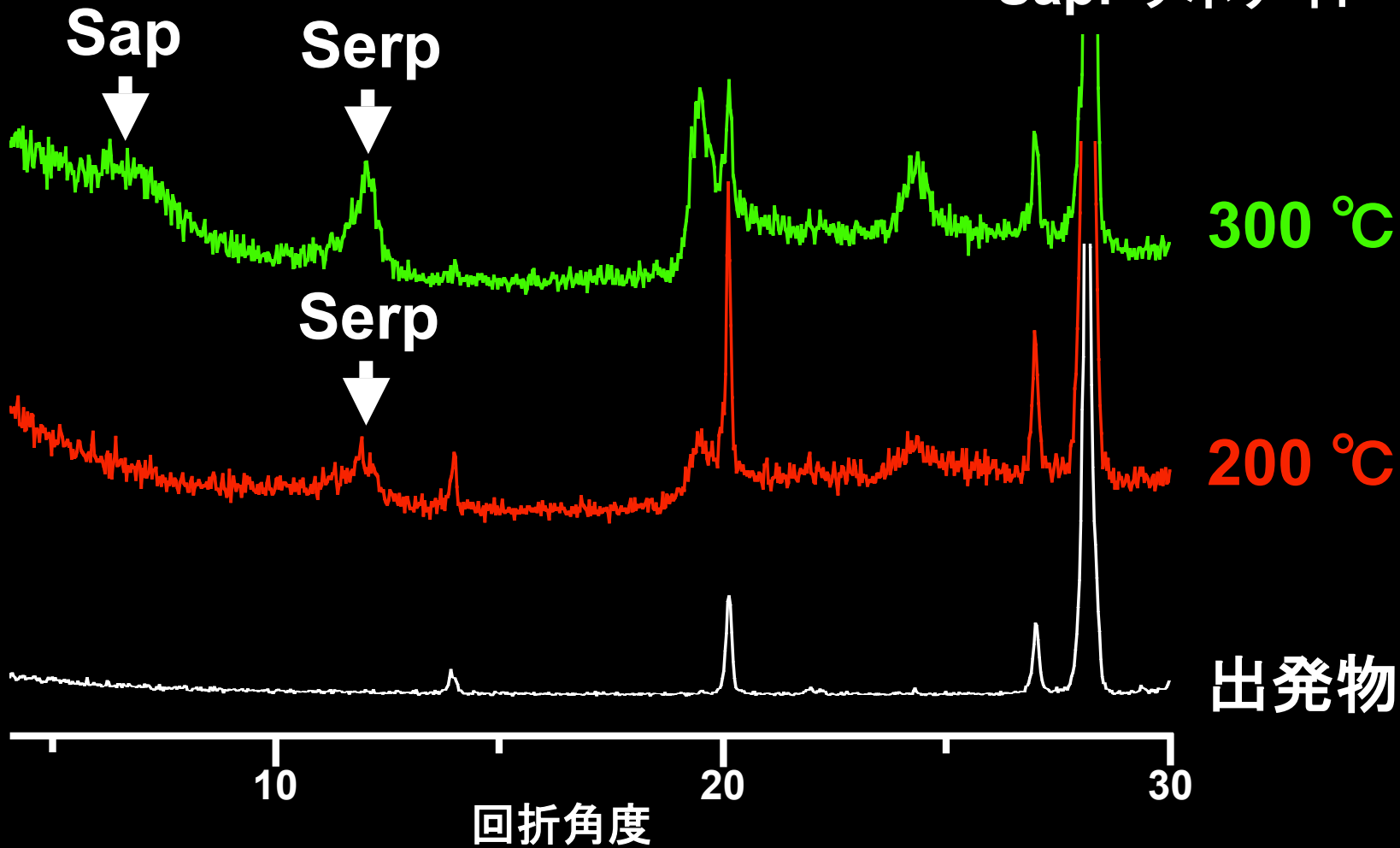
Serp: サーペンティン



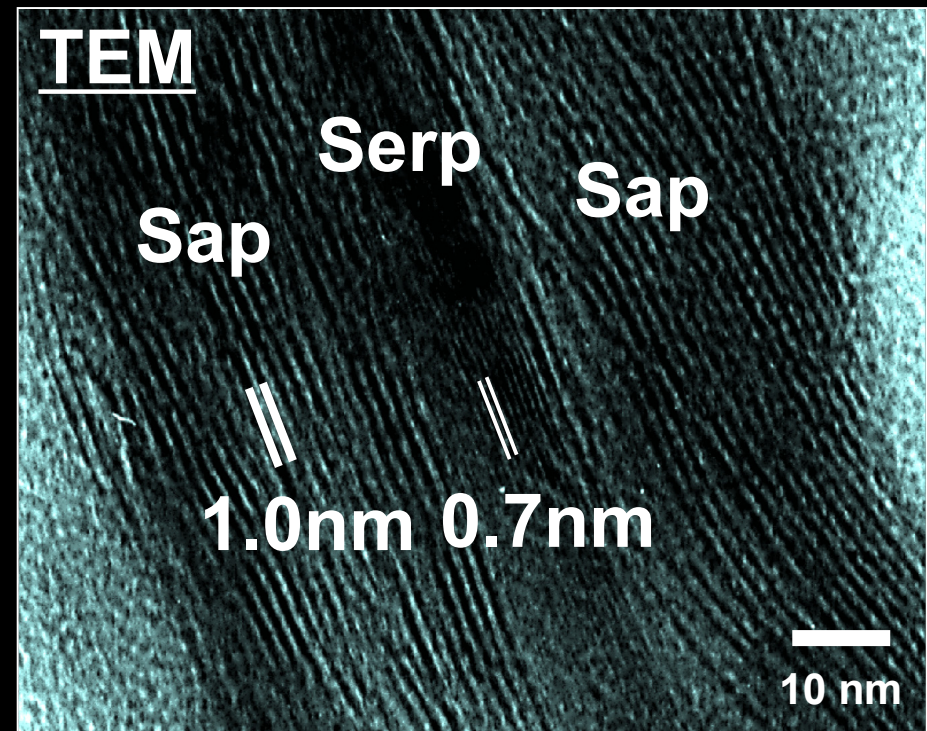
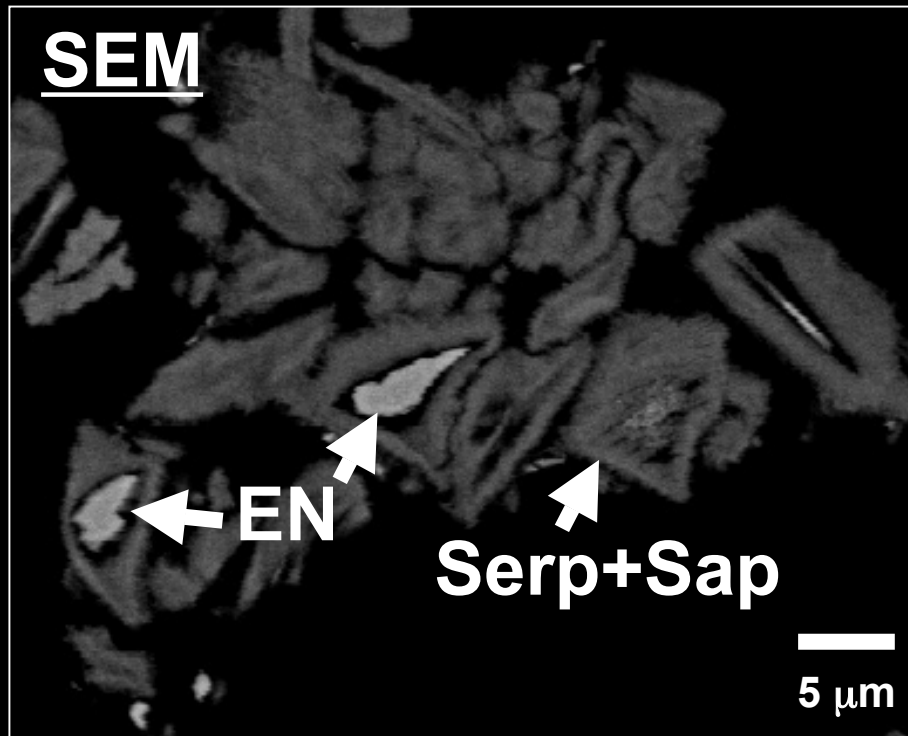
(5) 実験生成物 (pH 13):

XRD

Serp: サーペンティン
Sap: サポナイト



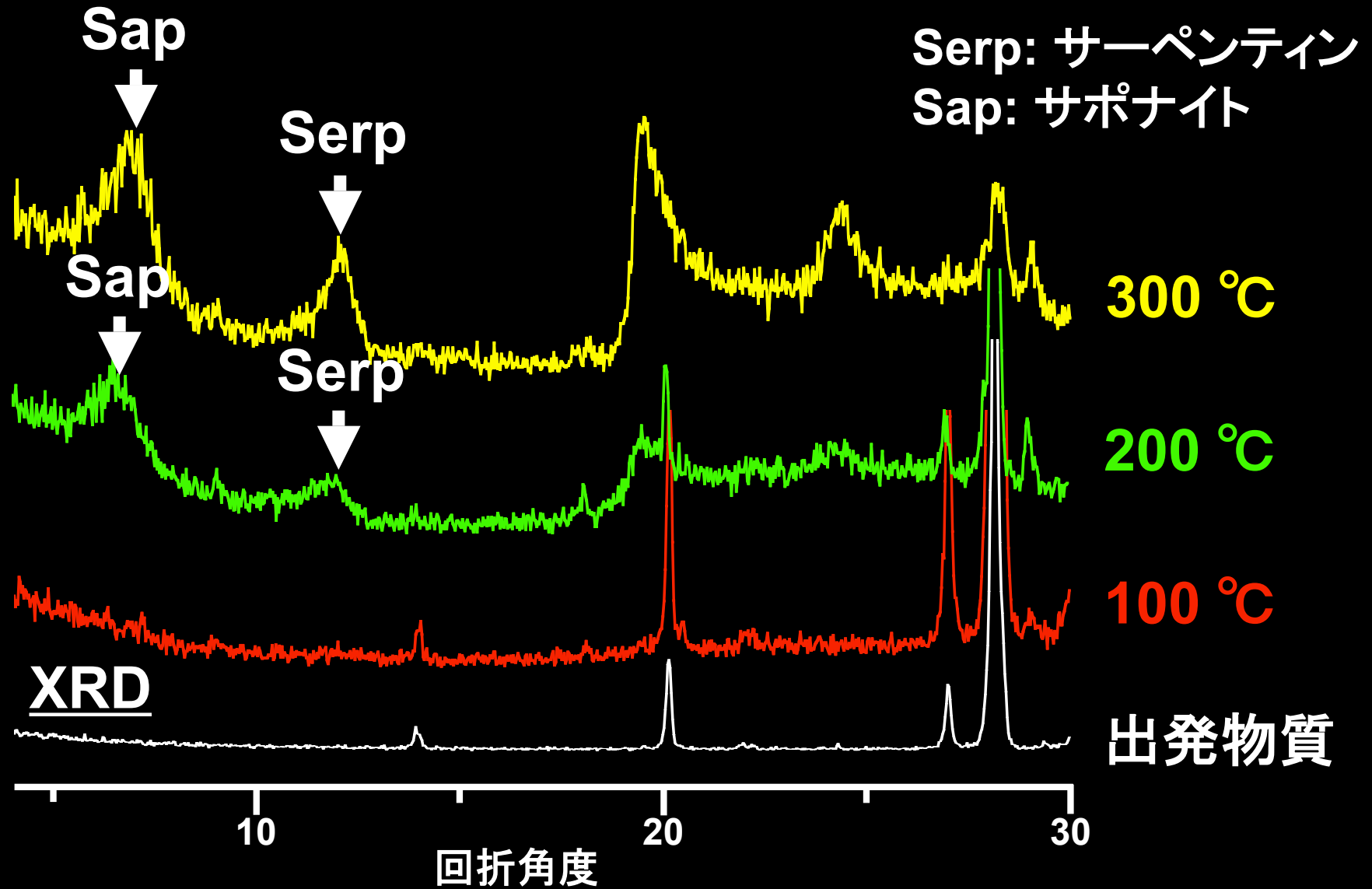
(5) 実験生成物 (pH 13):



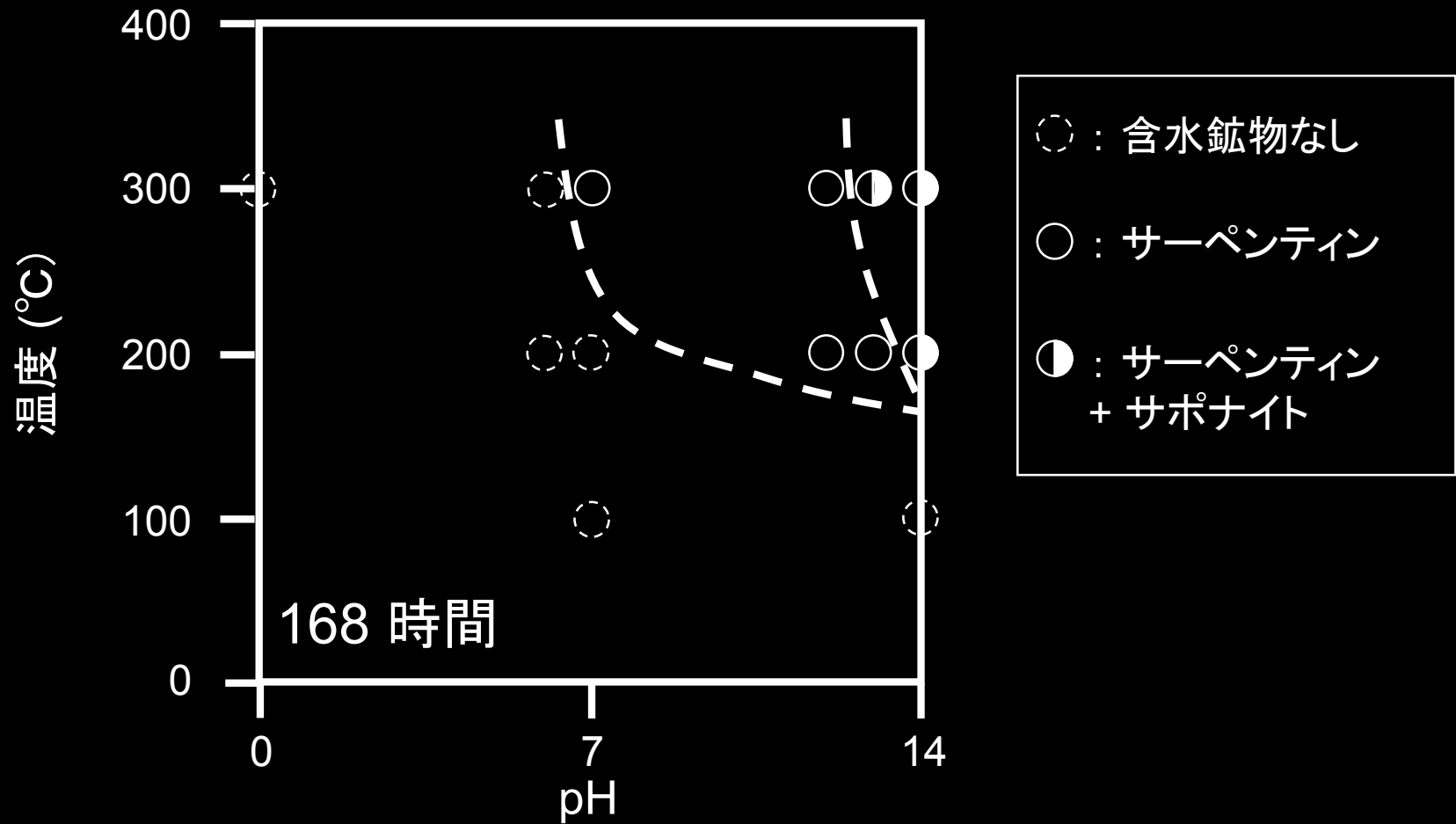
Serp: サーペンティン
Sap: サポナイト

300°C

(6) 実験生成物 (pH 14):

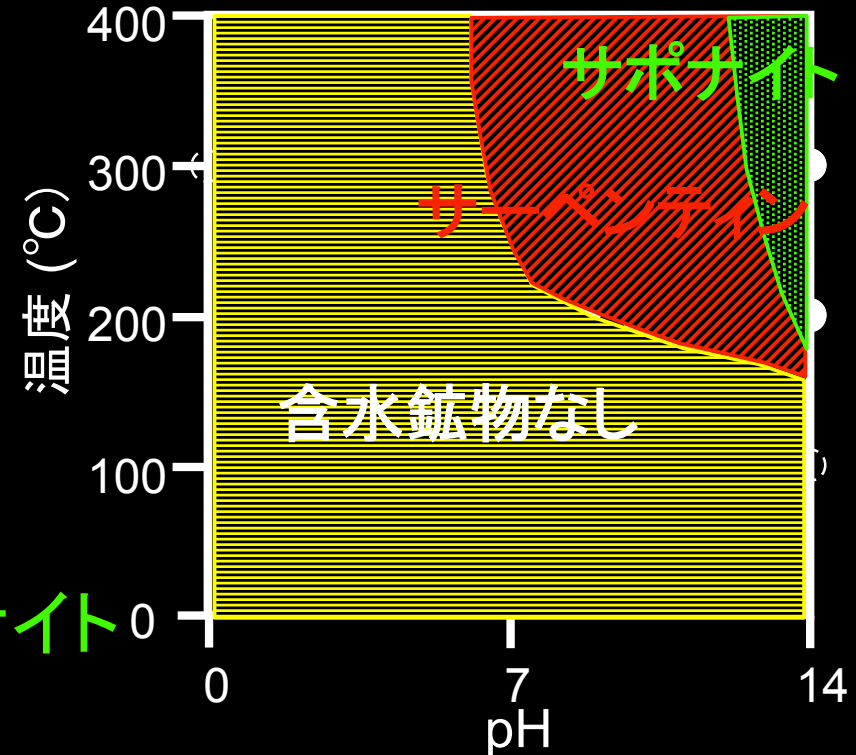


結果のまとめ:



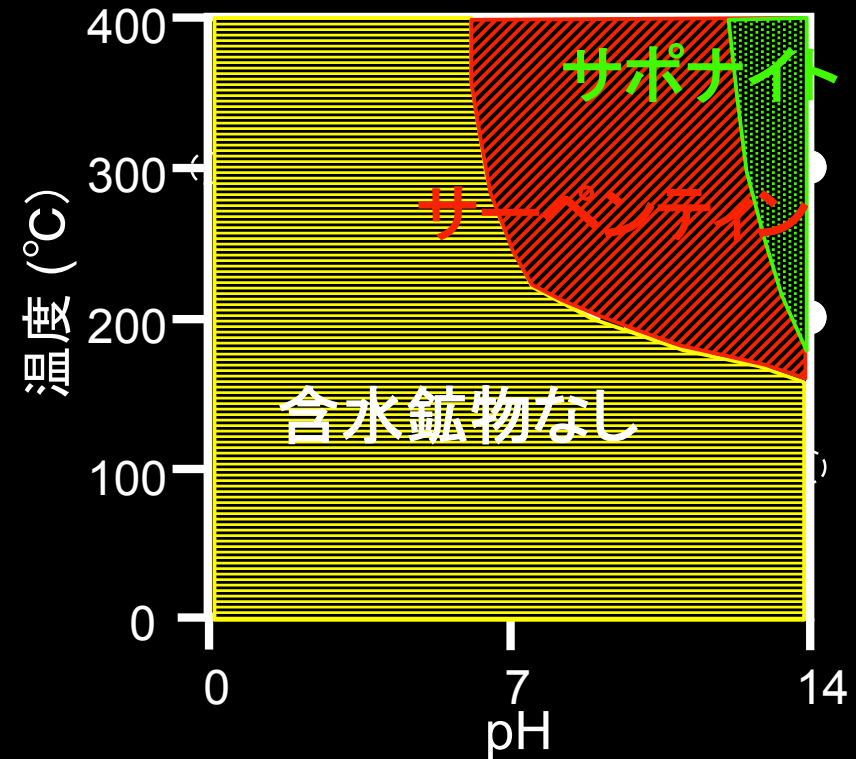
実験生成物のpH依存:

- 酸性条件:
含水鉱物なし
- 中性 ~ アルカリ条件:
サーペンティン
- 強アルカリ条件:
サーペンティン + サポナイト



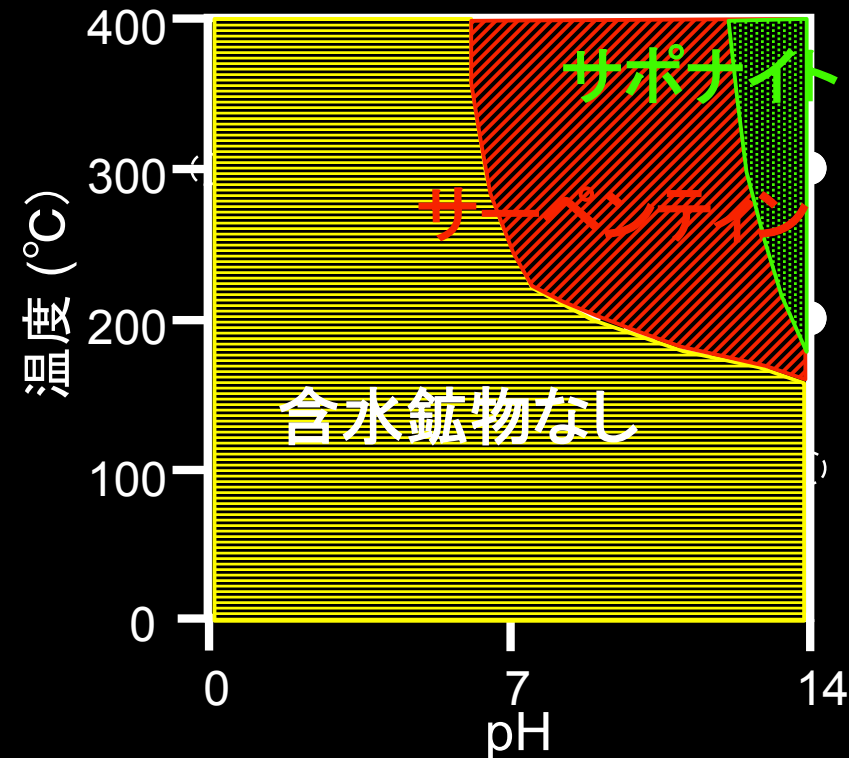
実験生成物の温度依存:

- 低温条件:
サーペンティン
- 高温条件:
サポナイト



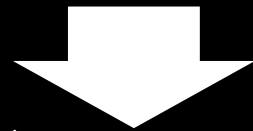
なぜ異なるpH条件で、異なる含水鉱物が生成したのか？

- エンスタタイトの溶解:
- 含水鉱物の安定条件:



エンスタタイトの溶解：

- 低pH条件ほど、SiよりもMgが選択的に溶解。
(Oelkers, 1999)



溶液中のMg/Si比：

低pH > 高pH

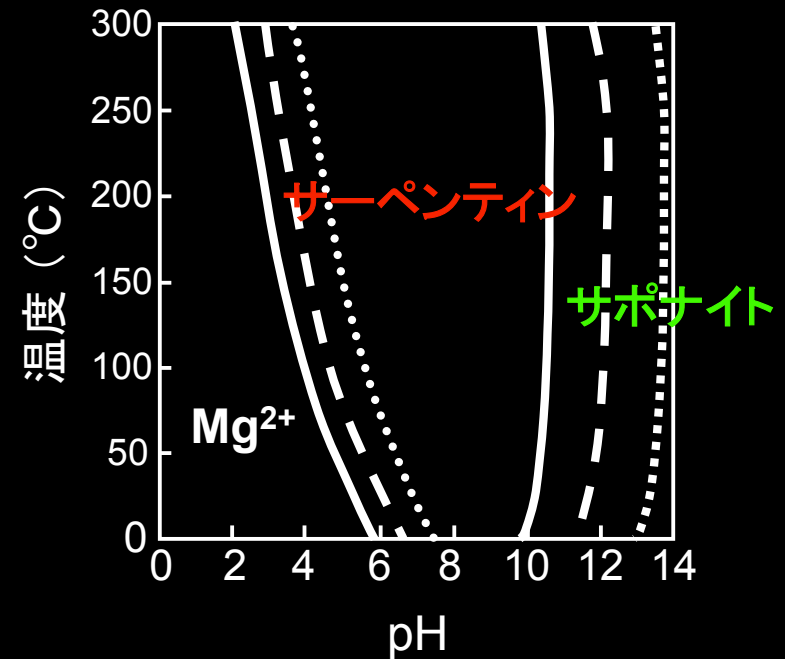
含水鉱物のMg/Si比：

サーペンティン > サポナイト
(~1.5) (~0.75)

含水鉱物の安定条件:

- 酸性条件:
含水鉱物 ×
- 中性 ~ アルカリ条件:
サーペンティン ◎
- 強アルカリ条件:
サポナイト ◎

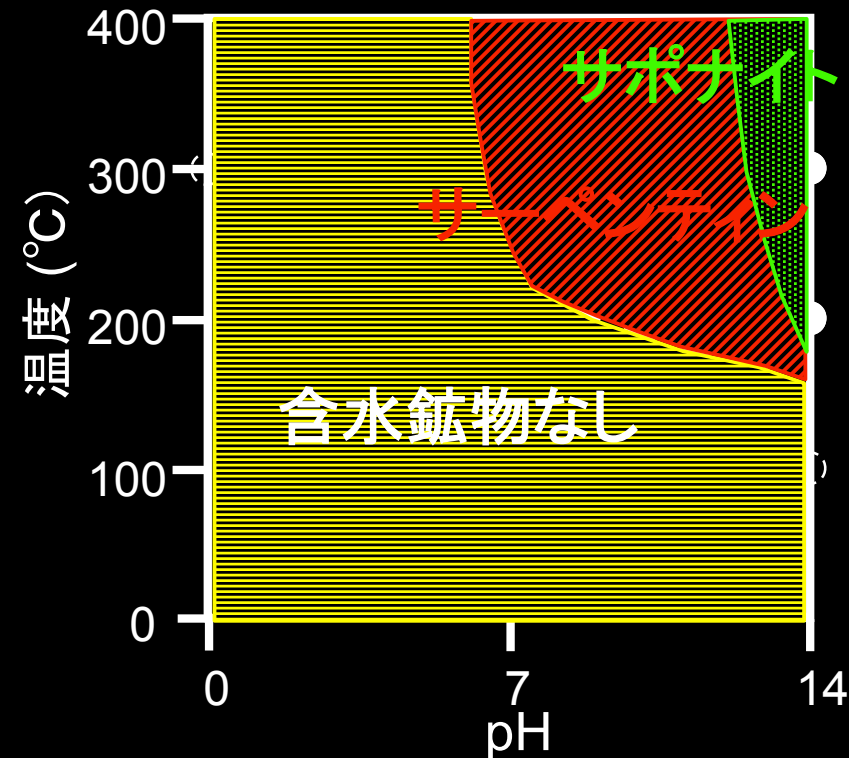
<GWBを用いた熱力学計算結果>



— : $\log [Mg^{2+}] = 0, \log [SiO_2(aq)] = 0$
- - : $\log [Mg^{2+}] = -1, \log [SiO_2(aq)] = -1$
..... : $\log [Mg^{2+}] = -2, \log [SiO_2(aq)] = -2$

なぜ異なるpH条件で、異なる含水鉱物が生成したのか？

- エンスタタイトの溶解:
pH依存
- 含水鉱物の安定条件:
pH依存



コンドライト隕石の水質変成条件

	含水鉱物	pH	温度
CM	サーペンティン	中性 ~ アルカリ	低温
CI	サーペンティン + サポナイト	強アルカリ	中温
CV	サポナイト	強アルカリ	高温

COE期間内に発表した論文

1. K. Tomeoka, N. Tomioka, and I. Ohnishi (2008) Silicate minerals and Si-O glass in Comet Wild 2 samples: Transmission electron microscopy, *Meteoritics & Planetary Science* (in press).
2. I. Ohnishi, K. Tomeoka, and N. Ishizaki (2007) Microinclusion-rich vesicular olivine in the Karoonda CK4 chondrite: Transmission electron microscopy, *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **102**, 346-351.
3. K. Tomeoka, I. Ohnishi, N. Tomioka, M. Sugita, K. Adachi (2007) Test samples for the Hayabusa sample-return mission: Mineralogy and petrology, *The Institute of Space and Astronautical Science Report SP* (in press).
4. I. Ohnishi, and K. Tomeoka (2007) Hydrothermal alteration experiments of enstatite: Implications for aqueous alteration of carbonaceous chondrites, *Meteoritics & Planetary Science*, **42**, 49-62.
5. M. Zolensky et al. (2006) (I. Ohnishi is the 32nd coauthor in 75 people.) Mineralogy and Petrology of Comet 81P/Wild 2 Nucleus Samples, *Science*, **314**, 1735-1739.
6. D. Brownlee et al. (2006) (I. Ohnishi is the 117th coauthor in 183 people.) Comet 81P/Wild 2 Under a Microscope, *Science*, **314**, 1711-1716.
7. K. Das, S. Bose, I. Ohnishi, and S. Dasgupta (2006) Garnet-spinel intergrowths in ultrahigh-temperature granulite, Eastern Ghats, India: Possible evidence of an early Tschermak-rich orthopyroxene during prograde metamorphism, *American mineralogist*, **91**, 375-384.
8. K. Tomeoka, T. Kojima, I. Ohnishi, Y. Ishii, and N. Nakamura (2005) The Kobe CK carbonaceous chondrite: petrography, mineralogy and metamorphism, *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **100**, 116-125.