

Building Material Engineering Lab Maruyama Group



配属説明 (2/17)

東京大学

丸山一平

i.maruyama@bme.arch.t.u-tokyo.ac.jp



 Maruyam Group

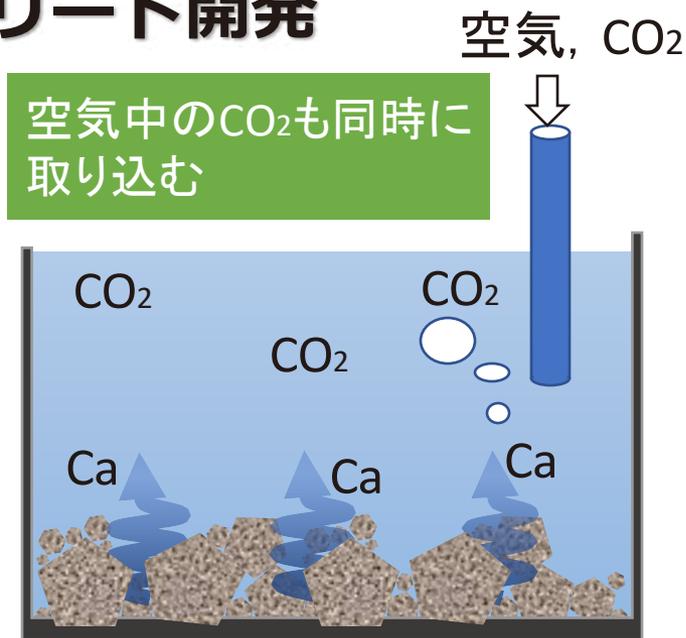
- 科学の力で建築／建設材料を変革し，社会を変えていく
- 材料のなぜ？を紐解いて，あたらしい材料の開発につなげる。
- マルチスケールの実験，数値解析を行い，材料がどのようにつかわれるかを理解する。
- 日本，世界でのベストメンバーで研究チームをつくり，困難な問題を解決する。

📁 社会の課題：カーボンニュートラル

- セメント系材料の分野において、カーボンニュートラルを
実践する。
 - 従来のコンクリートにおけるCO₂をどうやって減らすのか？
 - CO₂を極力ださないセメントを開発できるのか？
 - セメント系材料の究極のサーキュラーエコノミーはどうやって達成
するのか？
 - 既存コンクリートにどれだけCO₂を固定できるのか？

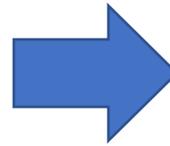
カルシウムカーボネートコンクリート開発

- Caを再利用するために、コンクリート廃材を用いる。
- このとき、大気中のCO₂、工場の廃ガスの中のCO₂も合わせて取り出す。
- CaとCO₂を原料として結合材にする。
=石灰岩に戻す反応を利用する。

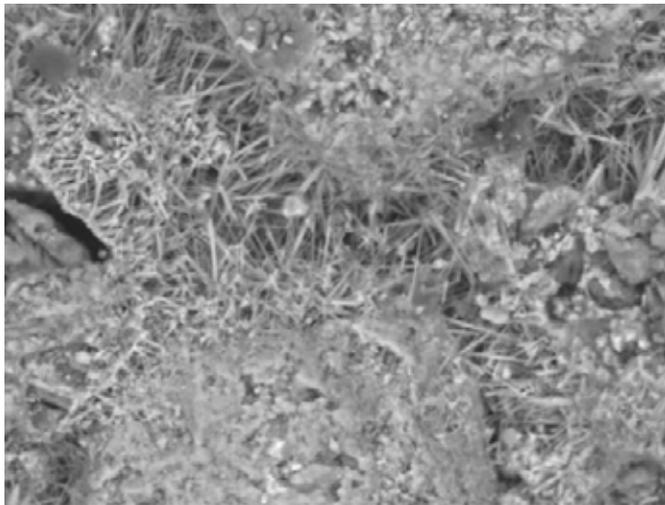


炭酸カルシウム製造のためのCa用の原料に

廃コンクリート=貴重なCa資源



Current state : $\phi 10 \times 20 \text{mm}$ 、14MPa



$\phi 50 \times 100 \text{mm}$ 、4.2MPa

図 試験体破断面の操作電子顕微鏡画像



東大・東京理科大・太平洋セメント、カルシウムカーボネートコンクリートブロックの製造技術を開発

企業：[太平洋セメント](#) 産業：[素材・エネルギー](#)

2024年7月24日 14:57



【プレスリリース】発表日:2024年07月24日

廃コンクリートとCO2からできるカルシウムカーボネートコンクリートブロックの製造技術を開発



【発表のポイント】

- ◆空気中のCO2を廃コンクリートに固定し、その上で圧力をかけて固化する、カルシウムカーボネートコンクリートブロックの製造技術を開発しました。
- ◆従来の類似手法では、材料の表層でしかCO2の固定が進まないという問題がありました。本手法では、廃コンクリートを粉末にしてCO2を固定してからブロックにすることで、廃コンクリートのCO2固定能力を最大限に活かすことができます。
- ◆本手法により製造されたブロックは、再利用、あるいは粉砕して再度固化させることができるため、半永久的に利用できる可能性があります。また、CO2の固定と建設材料のサーキュラリティへの移行を容易にすることから、サステナブル社会への貢献が期待されます。



新手法で製造されたカルシウムカーボネートコンクリートブロックと従来のレンガブロック

📦 スピニアウト (火星上の建材開発)

- 近年の火星探査の拡大
「MARS sample return」計画 ... 2026年開始
「NASA's Journey to Mars」... 2030年代の有人火星探査
- 建築分野では、探査用拠点の提案が既に行われている。

Ex) NASA's 3D-Printed Habitat Challenge

- 火星の上には、炭酸カルシウムは無いが、炭酸マグネシウム、炭酸化鉄がある。



☐ 炭酸マグネシウムを用いた硬化体検討（卒論の事例）

温度_バッチ数	Basalt	Magnesite
70_1	◎	×
70_2	◎	◎
80_1	○	△
80_2	○	○
90_1	△	◎
90_2	△	○
100_1	×	×

◎; 硬化。圧縮試験にかけた
 ○; 硬化したが成形できなかったため、圧縮試験にはかけなかった
 △; 指で触ると崩れる程度の強度
 ×; 未硬化



bas70_1



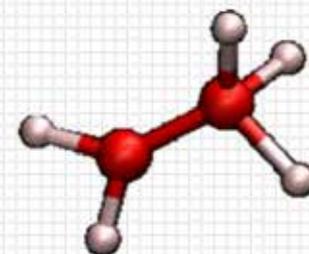
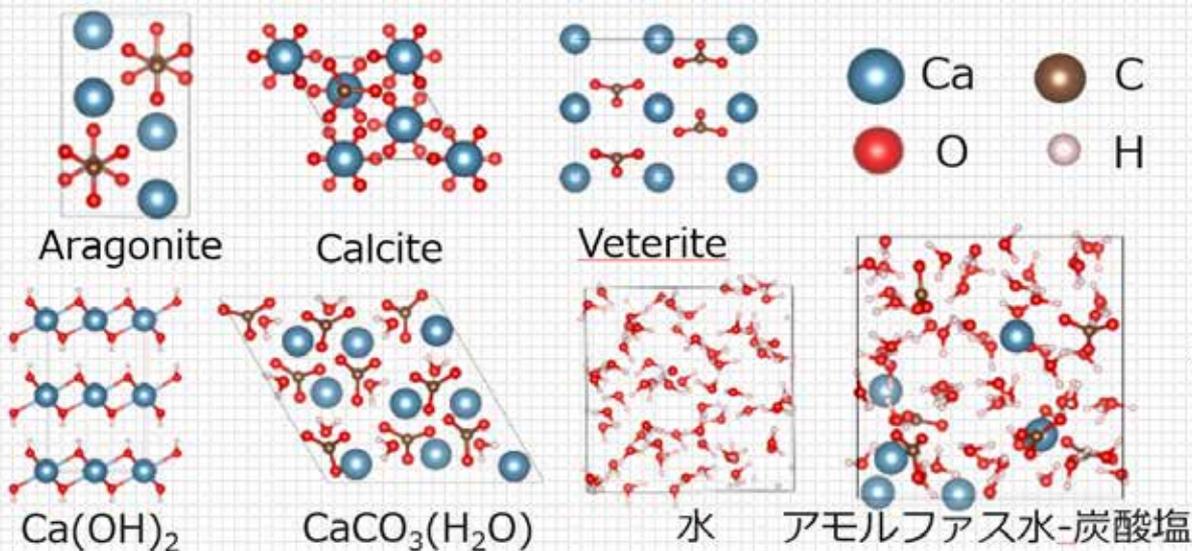
mag70_2



第一原理MDによる教師データ

- ▶ CaCO_3 結晶 3種、 Ca(OH)_2 結晶、 $\text{CaCO}_3(\text{H}_2\text{O})$ 結晶、水、アモルファス水-炭酸塩の計 7種の構造を計算
- ▶ 300Kで計算し、エネルギー、各原子に働く力、応力を教師データとして用いた
- ▶ 構造上許容しない結合が生成するのを抑えるために、高温状態(500から700K)の原子間距離が近いデータを加えた

⇒ H-H, H-C, H-Ca, C-Ca, Ca-Ca

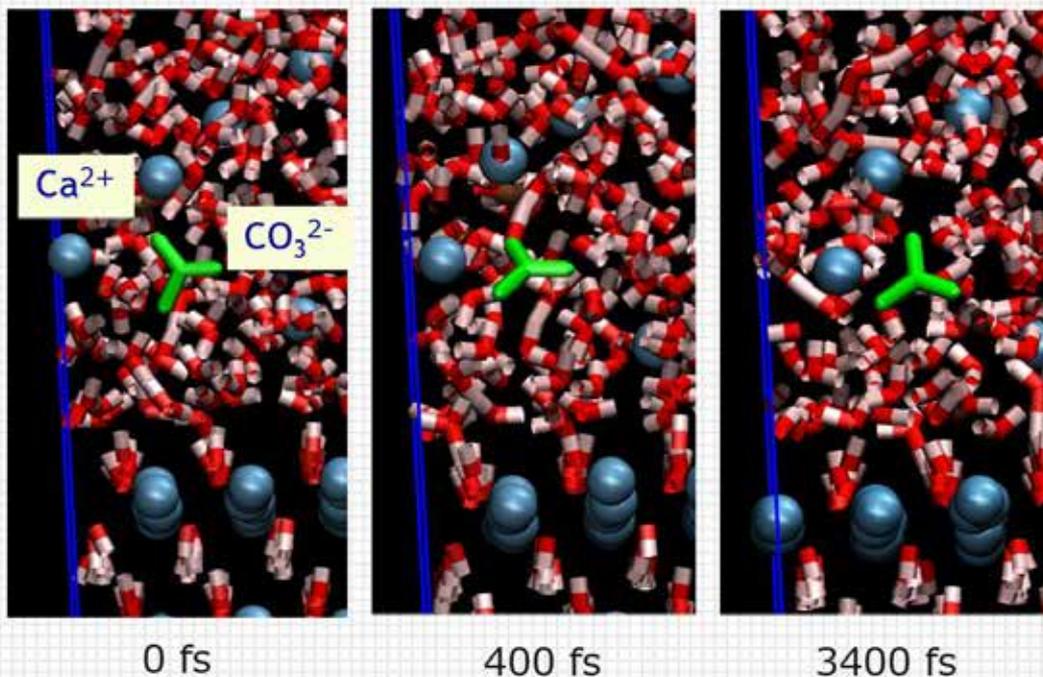


構造上許容しない結合

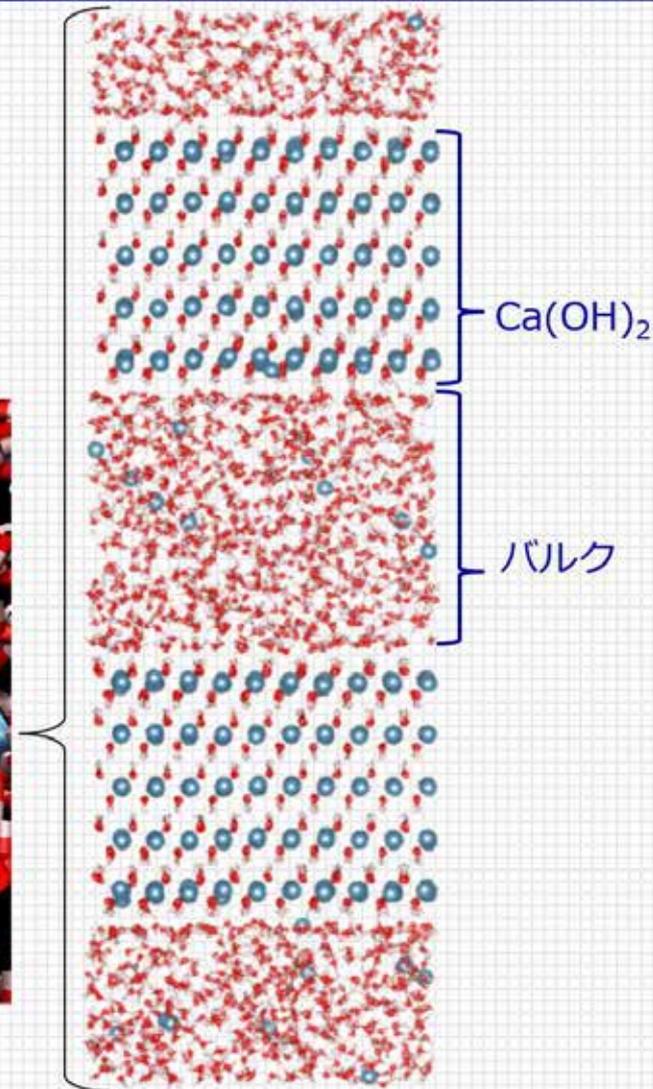
教師データに用いた各種構造

炭酸化シミュレーション

- ▶ 作製したポテンシャルを用いて $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 水 + 炭酸塩共存系を計算
- ▶ 10,000原子系で 10 ps計算が回った
- ▶ CaCO_3 の生成が確認できた



CaCO_3 の生成



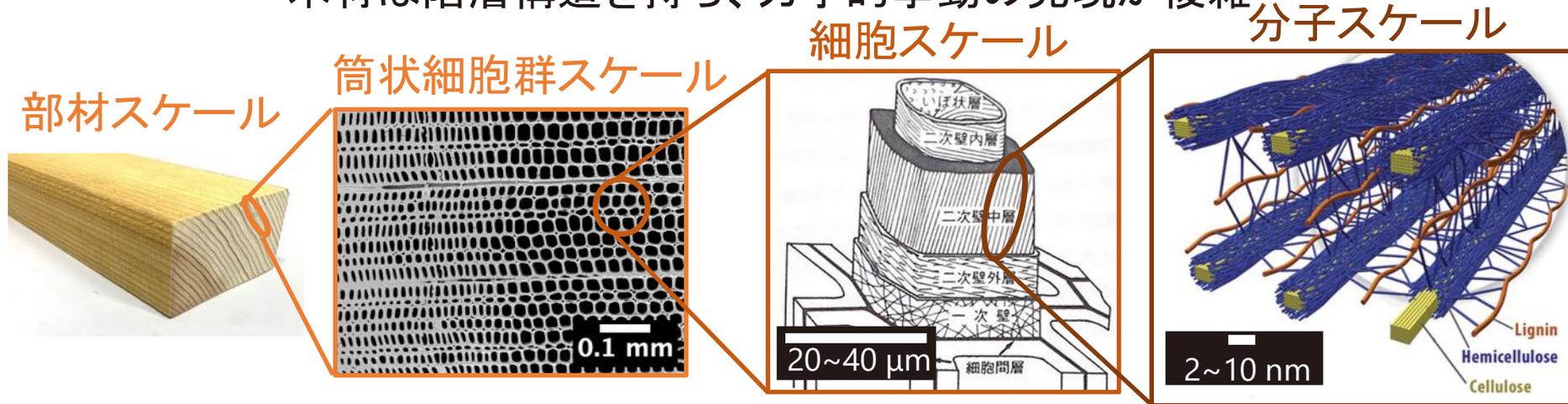
共存系のスナップショット

社会の課題：木材をうまく使いこなす

• 言い伝えの検証

- 木目のつんだ木材は強い
- 木は使い始めて100年強度が増大して、そのあと劣化する
- 桐のタンスは燃えにくい
- 古色塗りは科学的には可能か

木材は階層構造を持ち、力学的挙動の発現が複雑



機械的性質を左右する要素

密度
節などの欠陥

晩材・早材の比率
細胞壁率

セルロース繊維束が
並ぶ向き

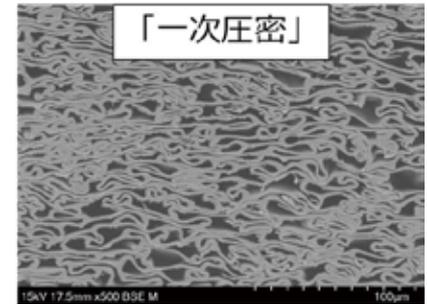
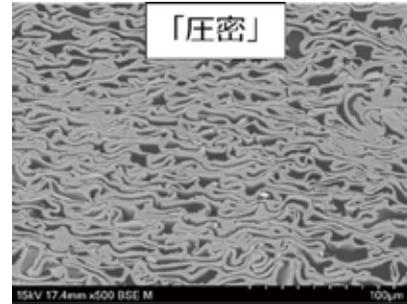
結晶化度

法隆寺等の古材の物性評価

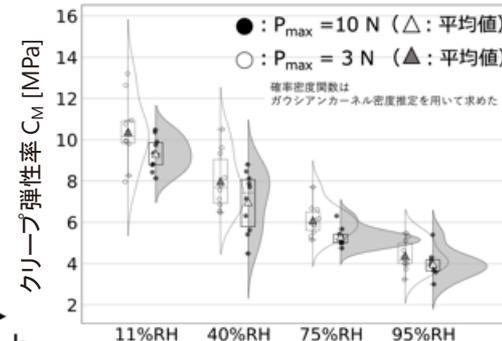
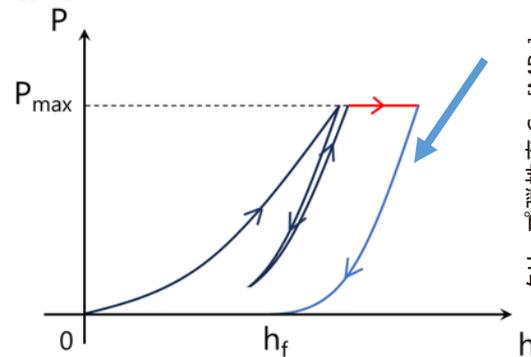
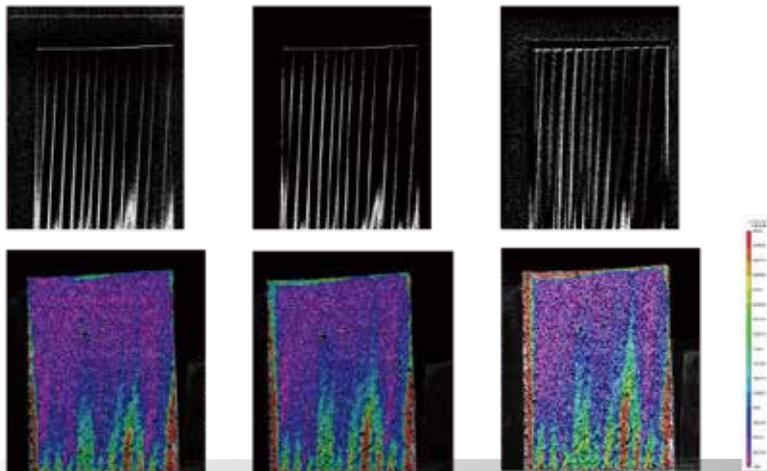


木材の加工, 変質

- 圧密木材の寸法安定メカニズムの解明とその品質向上



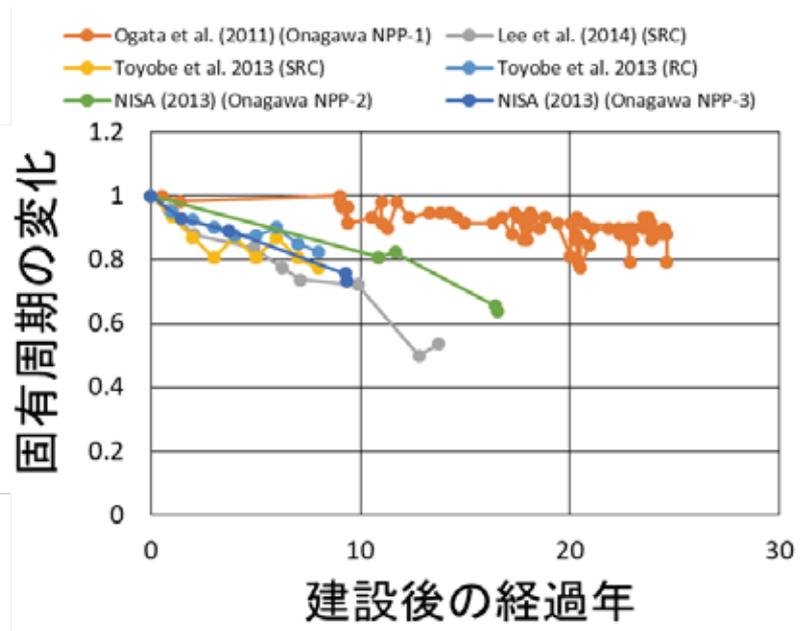
- 木材中の水分移動、物性評価



X線ラジオグラフィによる水分の移動観察
とデジタル画像相関法によるひずみ分布
同時観察(卒論)

☐ 社会の課題：鉄筋コンクリート造を長く安全に使うにはどうすればよいのか

- 外力について理解する，構造物の性能を理解する，時間依存性の変質を理解する
 - わかっていなかったこと：**なぜ構造物の剛性は小さくなるのか？**



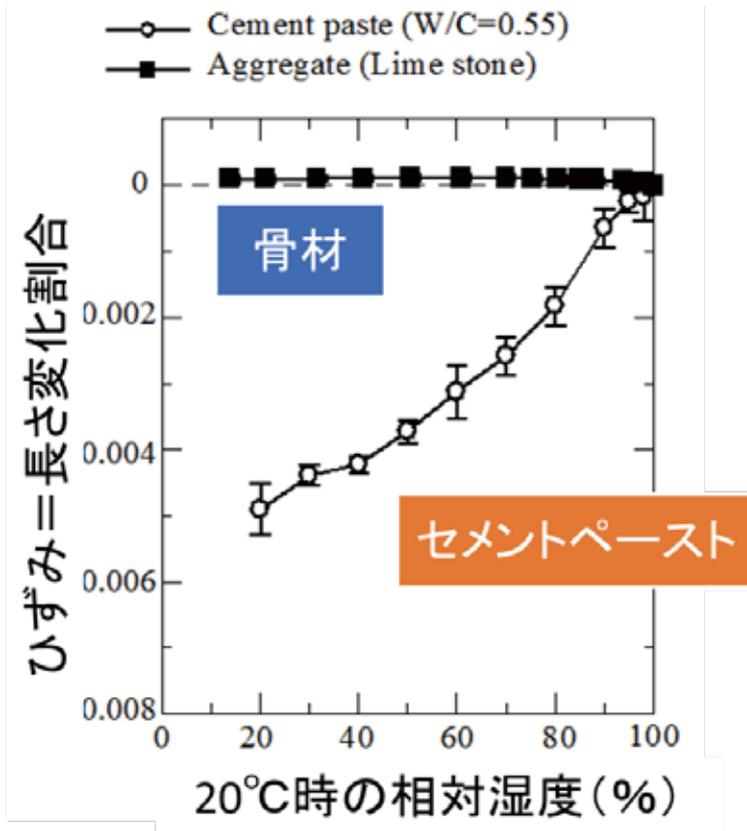
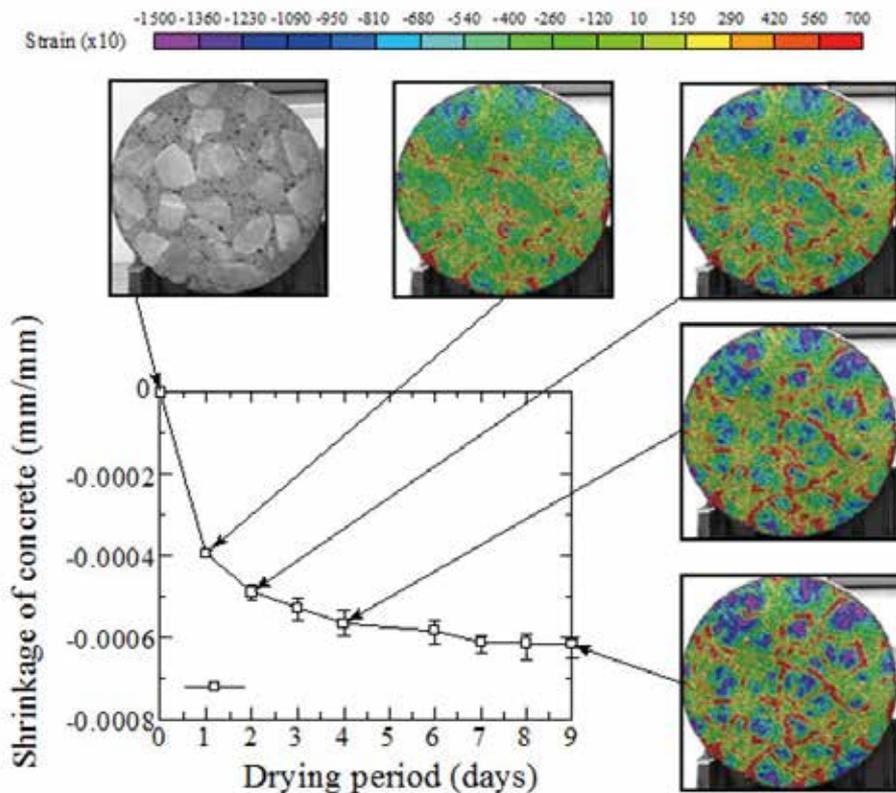
$$0 = m\ddot{x} + kx$$

$$x = A\cos\omega t + B\sin\omega t$$

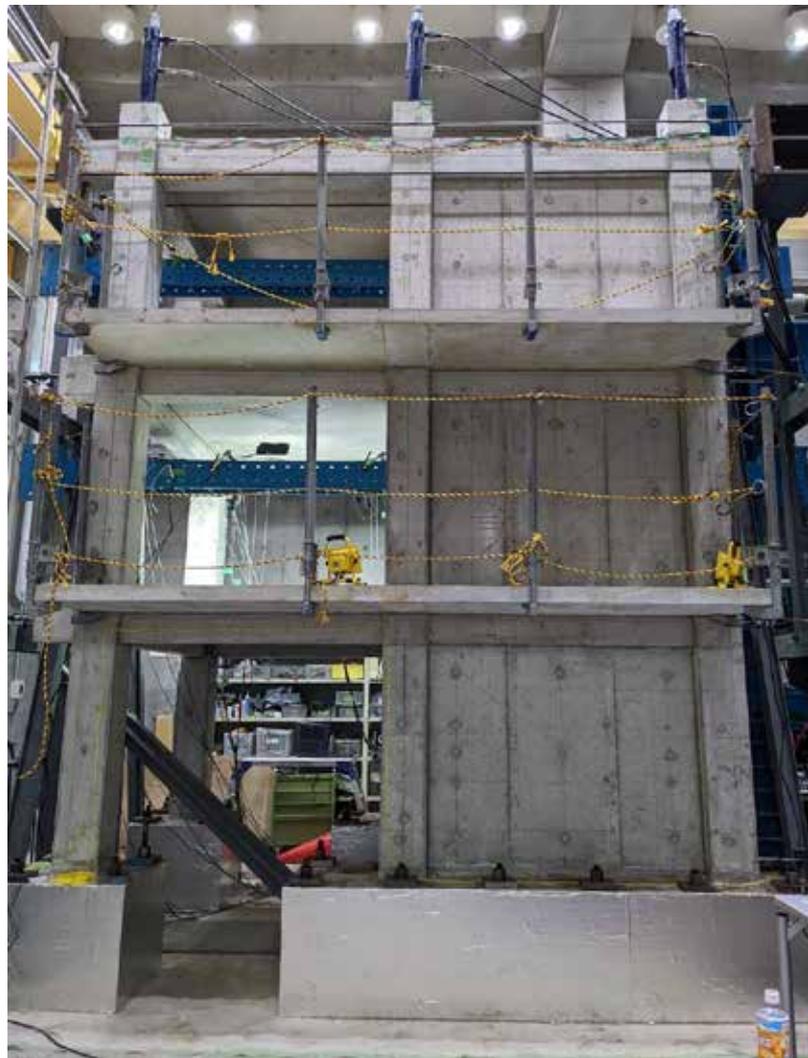
$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

K=0.7で $\omega=0.83$ 倍
K=0.5で $\omega=0.71$ 倍

断面内に生ずるひび割れの可視化



実大3層による実験



☐ 社会の課題：エネルギー問題のため、原子力発電所を長く安全につかうにはどうすればよいか？

- つなみ対策を行う
- 建物の耐震性を確保する
 - 建物の変質について理解し、将来予測できるようになる
 - 中性子， γ 線が照射したときにコンクリートは膨張，劣化する。

中性子照射劣化とはなにか？

- 60年間放射線に暴露されたコンクリートの性能変化メカニズム，予測手法は確立していない。適切な保全/管理とは？

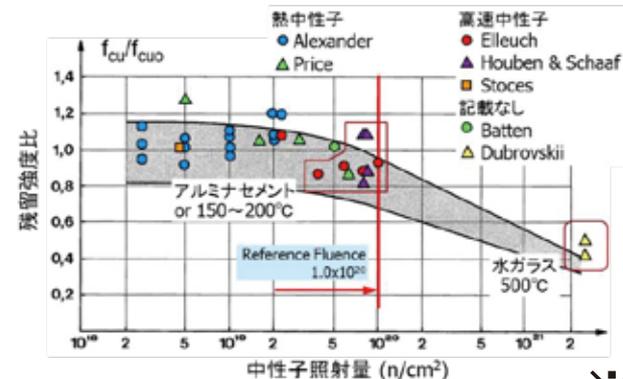
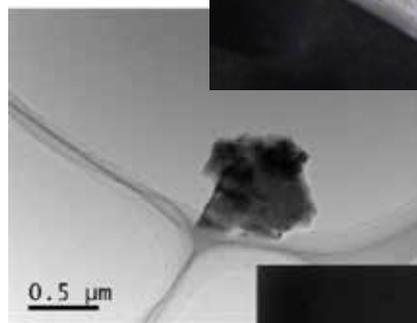
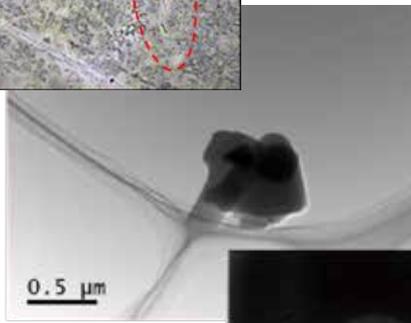


図1 中性子照射量とコンクリート圧縮強度の関係 (照射試験体/コントロール試験体)



始状態

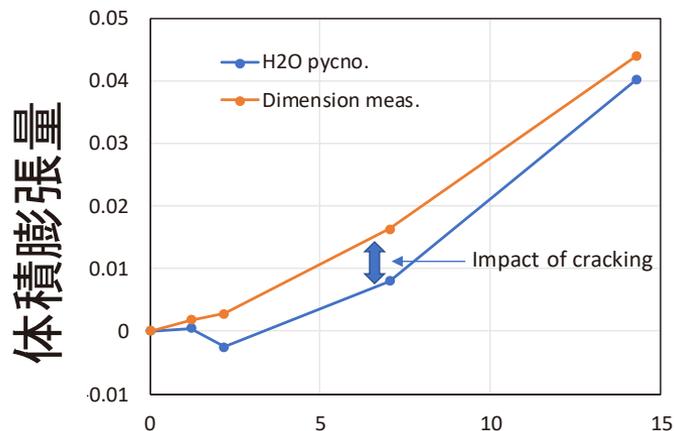


照射による非晶質化後の状態

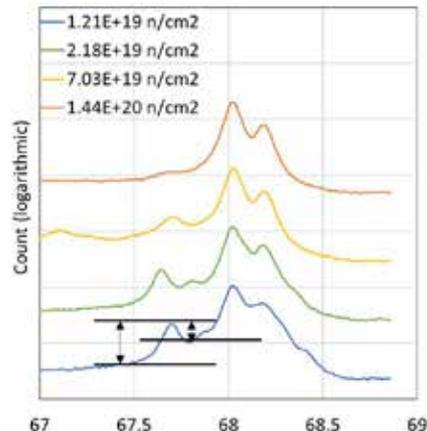


※[1] H. Hilsdorf, J. Kropp, H. Koch, The effects of nuclear radiation on the mechanical properties of concrete, ACI SP-55, (1978) 223-251.

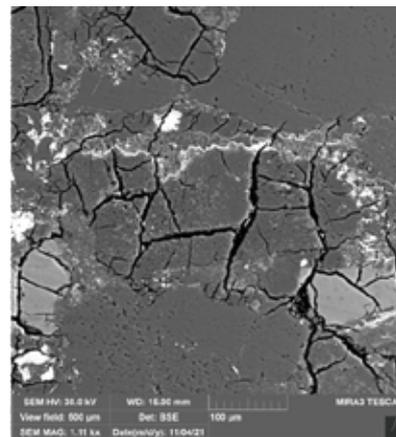
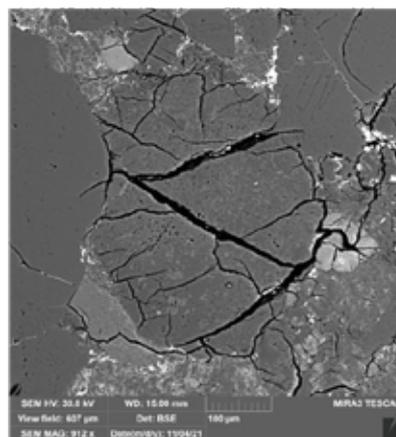
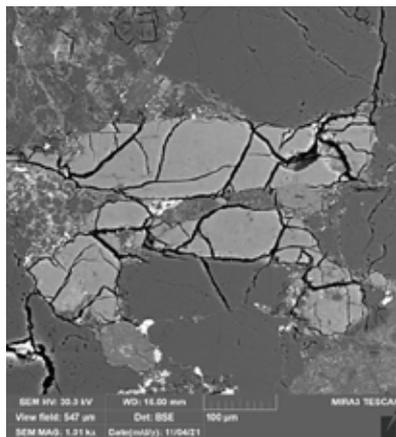
骨材の中の鉱物が膨張する！



中性子照射量

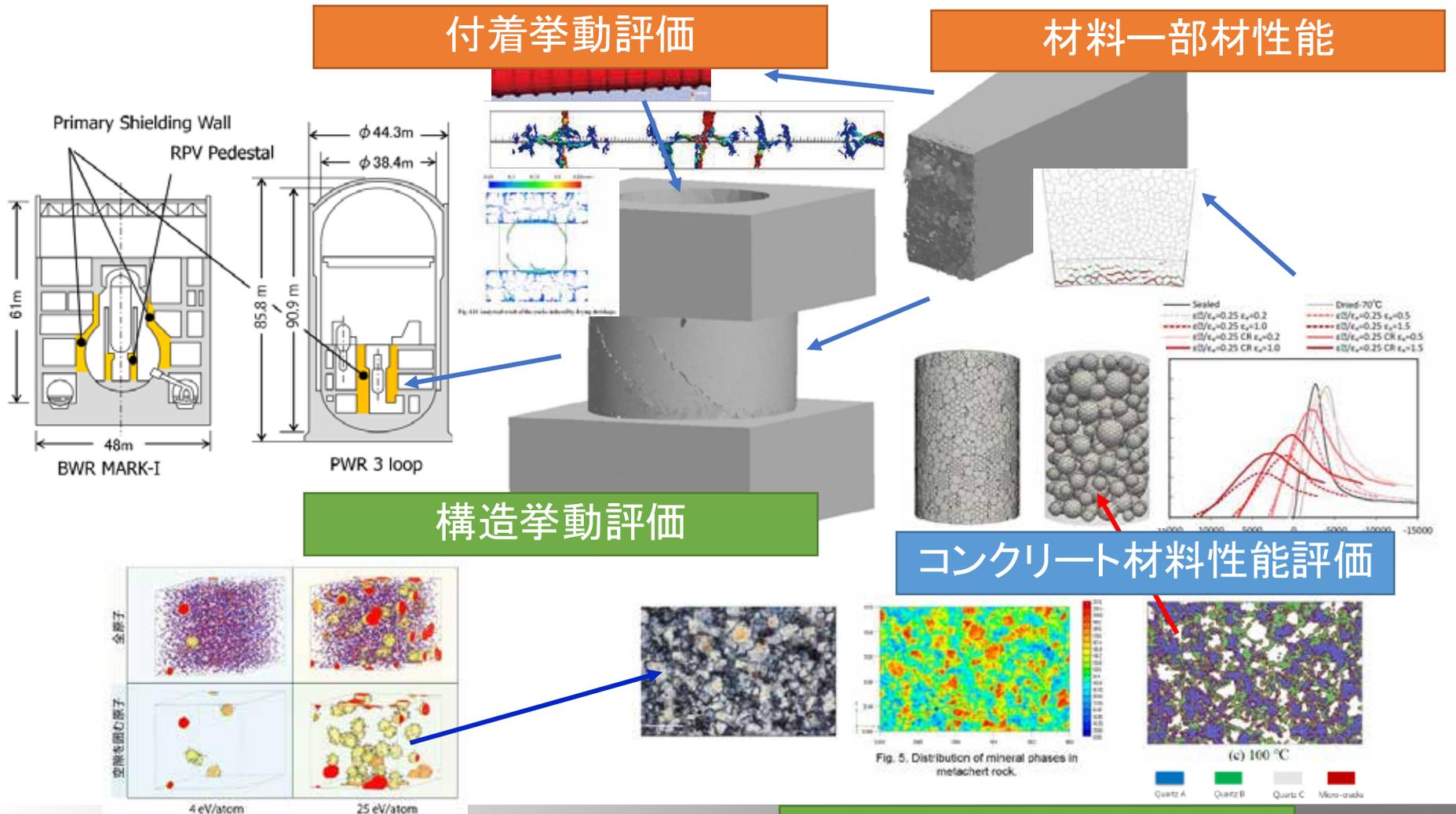


X線による石英結晶度の低下



砂岩中の長石類はぼろぼろになっている。

鈷物の変質から骨材膨張, コンクリート物性変化, 構造性能変化の評価を可能とするマルチスケール数値解析システム DEVICEの開発



岩石鈷物の性質変化

岩石鈷物→骨材の挙動

☐ 社会の課題：福島第一発電所を安全に廃炉する。

- 原子力発電所の失敗事例について学び，適切に処理し，そしてその英知を次に繋げる必要がある。
- 除染，デブリ取り出し，解体，廃棄，廃棄物管理・・・
- 建築分野で貢献できることは？
 - 建築構造物の安全性評価，耐震性評価



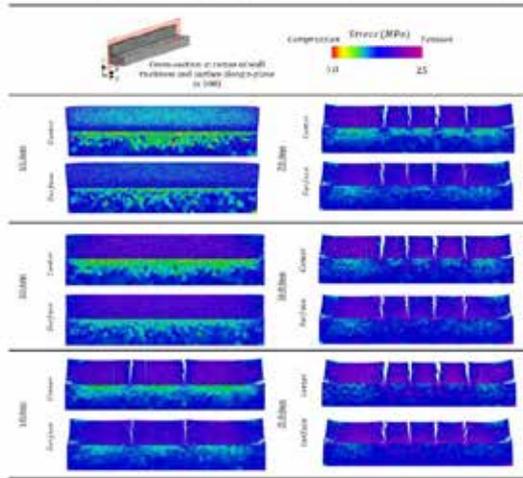
- コンクリートがどれだけ放射性物質で汚染しているか
→将来の廃棄物処分計画，コンクリートの再利用計画，などに活用

福島第一発電所施設のコンクリートの汚染量評価

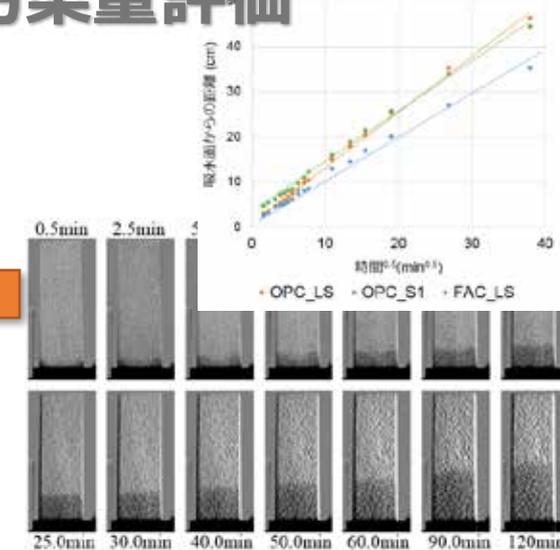
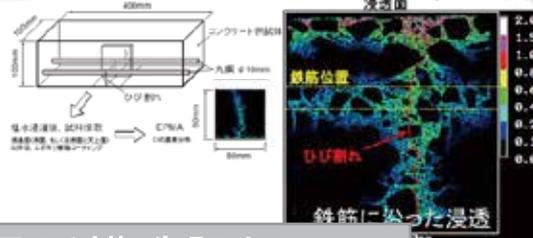
ひび割れ部の汚染分布・イオン浸透の解析事例

<ひび割れたコンクリート中の汚染分布IP解析例>

(大熊町実環境コンクリート、コア径4cm)



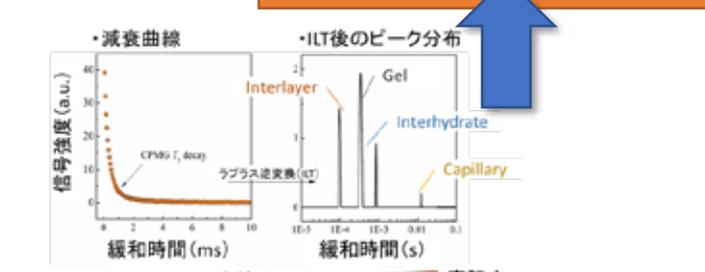
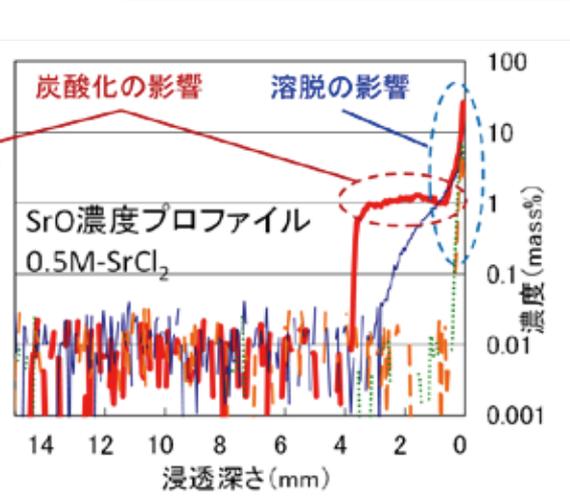
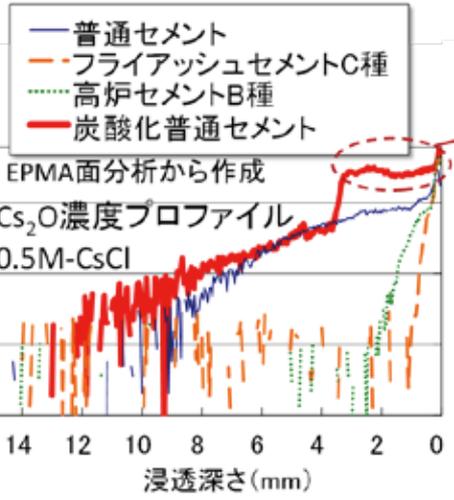
<鉄筋位置まで到達したひび割れ部へのイオンの浸透 (EPMAによる)>



部材レベルの検討

局所構造評価

水分移動評価



セメントペーストと放射線各種の相互作用分析
+ 熱力学平衡計算モデルの構築

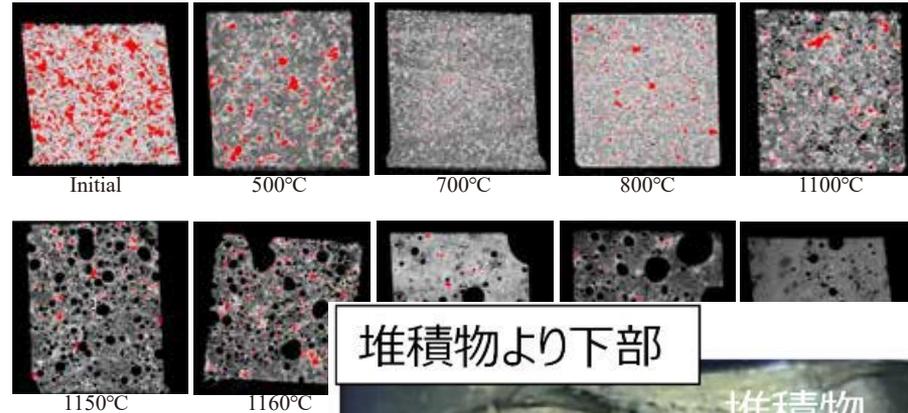
プロトン挙動評価

☐ コンクリートの溶融問題

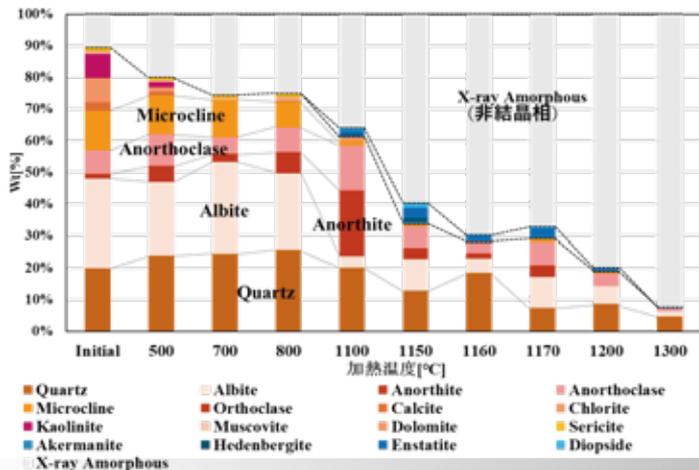
溶融現象



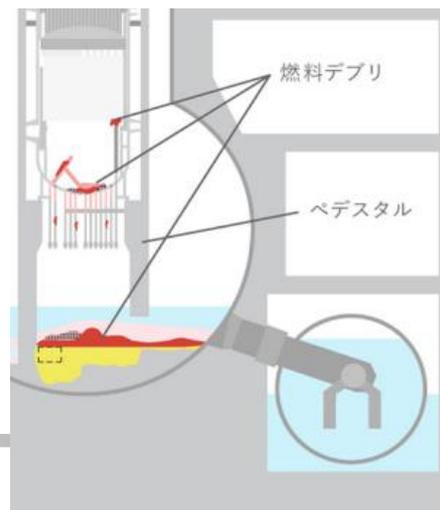
3次元的変質情報



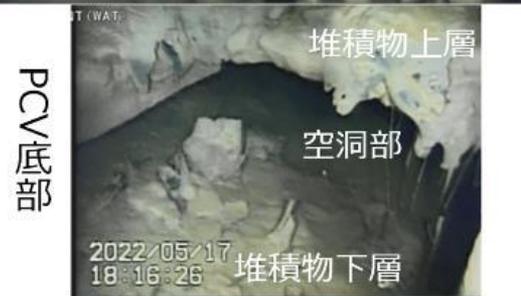
溶融時の化学反応分析



<PCV破損部の模式図>



堆積物より下部



☐ 社会の課題 建設産業の人口減少への対応

- 自動化, ロボティクス, 情報化 (DX) の重要性
- 3Dプリントシステムの重要性
- 建築基準法とのかかわり
 - 材料の品質安定性, 施工安定性
 - 材料性能評価法の開発
 - モルタル造とはなにか?
 - 3Dプリント構造物の耐震性能評価法の開発



📁 現在のコラボレーション先

- 米国：UNLA、ORNL（国立研究所）、US-NRC、EPRI（電力中央研究所）
- 欧州：
 - フランス：Paris-Tech、Paris-Scalay、
 - オランダ：Delft工科大学、
 - 英国：ICL、
 - スイス：ETH、
 - ドイツ：アーヘン工科大学
 - スペイン：バスク大学
- アジア：
 - オーストラリア：メルボルン大学
 - 中国：東南大学、香港工科大学、蘇州大学、
長安大学

📧 メッセージ

- 難しいことをいってますが、飲み会が好きで、好奇心がある人に向いている研究室だと思います。
- 化学や物理は、思い出しながらやればできます。大事なものは基礎力と瞬発力で、それなりに手数は大事です。考えても大体実験、開発はうまくいかないんで、なんか手を動かして考える人に向いています。