

原子力安全技術研究所の取組について

2020 年 2 月 4 日

- ◆ 浜岡原子力発電所のフィールドを活用し、原子力発電所の安全性向上や運営改善に資する研究を実施する。
- ◆ さらに、原子力を重要な電源として維持していくために、将来の技術に資する研究にも大学等と連携して取り組む。

I 原子力発電所の安全性向上に資する研究

機器・設備の故障の未然防止を図る研究や、地震・津波観測データなどを発電所運営管理に適用する研究に取り組む。

II 1、2号機の運営（廃止措置）の改善に資する研究

廃止措置の安全かつ円滑な実施を図る研究に取り組む。

III 3、4、5号機の運営（保守・作業性）の改善に資する研究

機器・設備の保守・作業性の向上を図る研究に取り組む。

IV 将来の技術に資する研究

新型原子炉や次世代原子燃料サイクルに関する技術開発に資する研究を推進する。

I 原子力発電所の安全性向上に資する研究

01 浜岡1号機の実機材料を活用した調査・研究

(1) 原子炉圧力容器（金属）

(2) 原子炉建屋（コンクリート）

02 津波監視システムに関する研究

参考資料

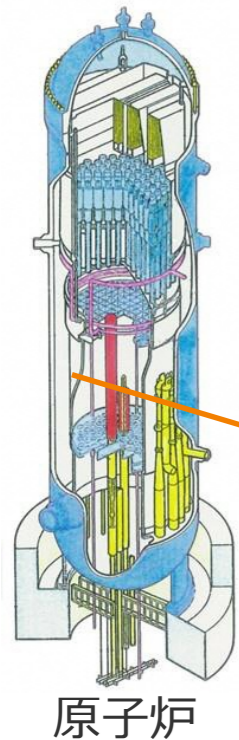
浜岡1, 2号機の廃止措置の状況

レーザー除染技術の実用化に向けた研究

研究目的

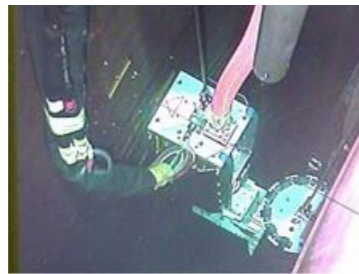
原子炉圧力容器（金属）の一部を採取し、原子炉の運転による材料特性の変化を調査。

- 金属部分は、核分裂で発生する中性子に照射され続けることで強度が低下する。
- この強度低下を考慮し、原子炉圧力容器等で使用する金属の規格が定められている。
- 浜岡1号機の実機材料を採取し、この規格と比較することで、長期間の原子炉利用に資するデータの収集を行う。



2015年度～19年度にかけて、サンプル採取、各種試験を実施。

原子炉圧力容器の
ポートサンプリング

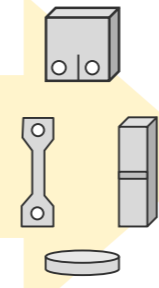


ポートサンプル



(14か所採取)

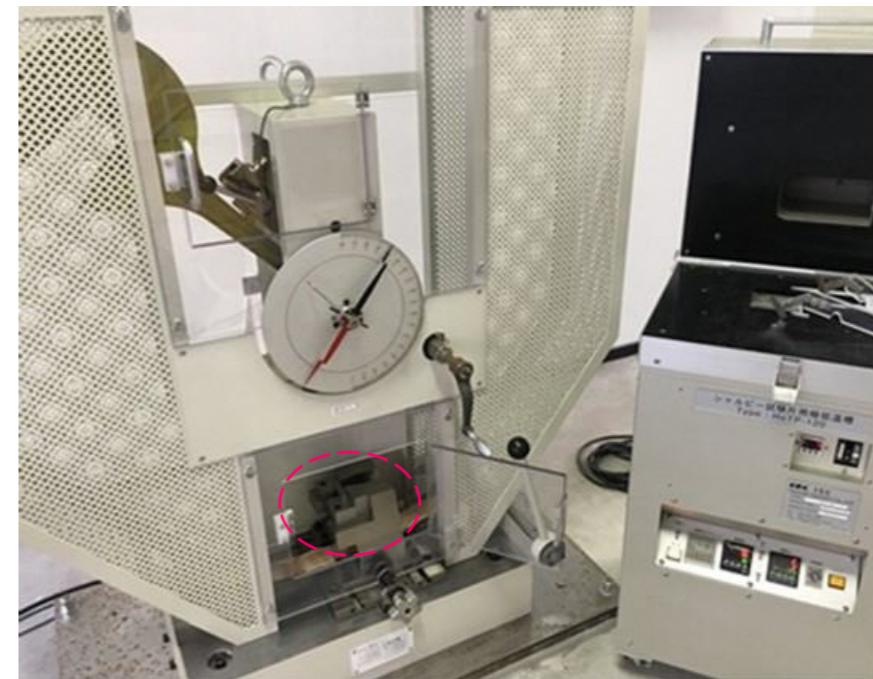
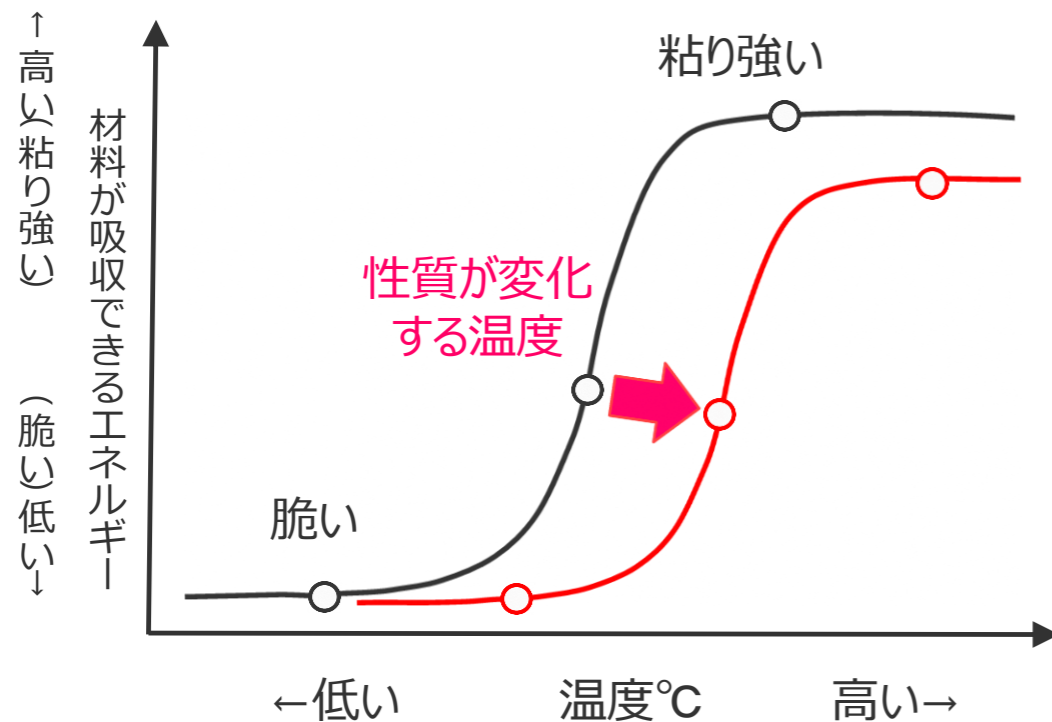
試験体



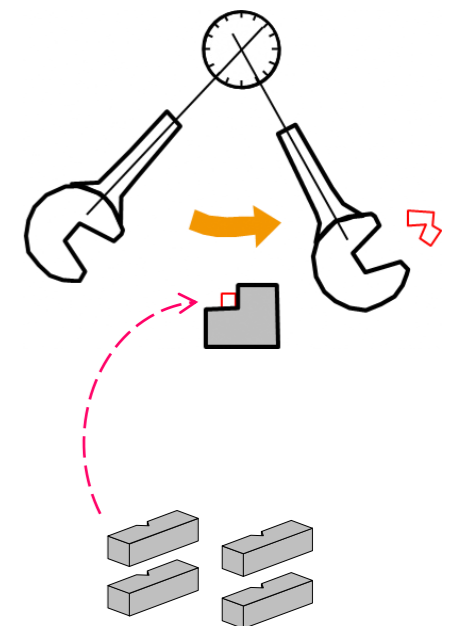
電力中央研究所等との共同研究
(試験内容)
シャルピー衝撃試験等の材料強度試験、
金属のマイクロ組織観察

(参考) 照射脆化とシャルピー衝撃試験

- 金属材料は温度により強度が大きく変化する特徴があり、極低温では脆く、一定以上の温度では粘り強い。（黒線）
- 原子炉の運転を開始すると中性子の照射を受け、曲線が高温側に移動し、粘り強さも低下していく。（赤線）
- これを**照射脆化**と言い、この特性を把握する方法として、**シャルピー衝撃試験**がある。

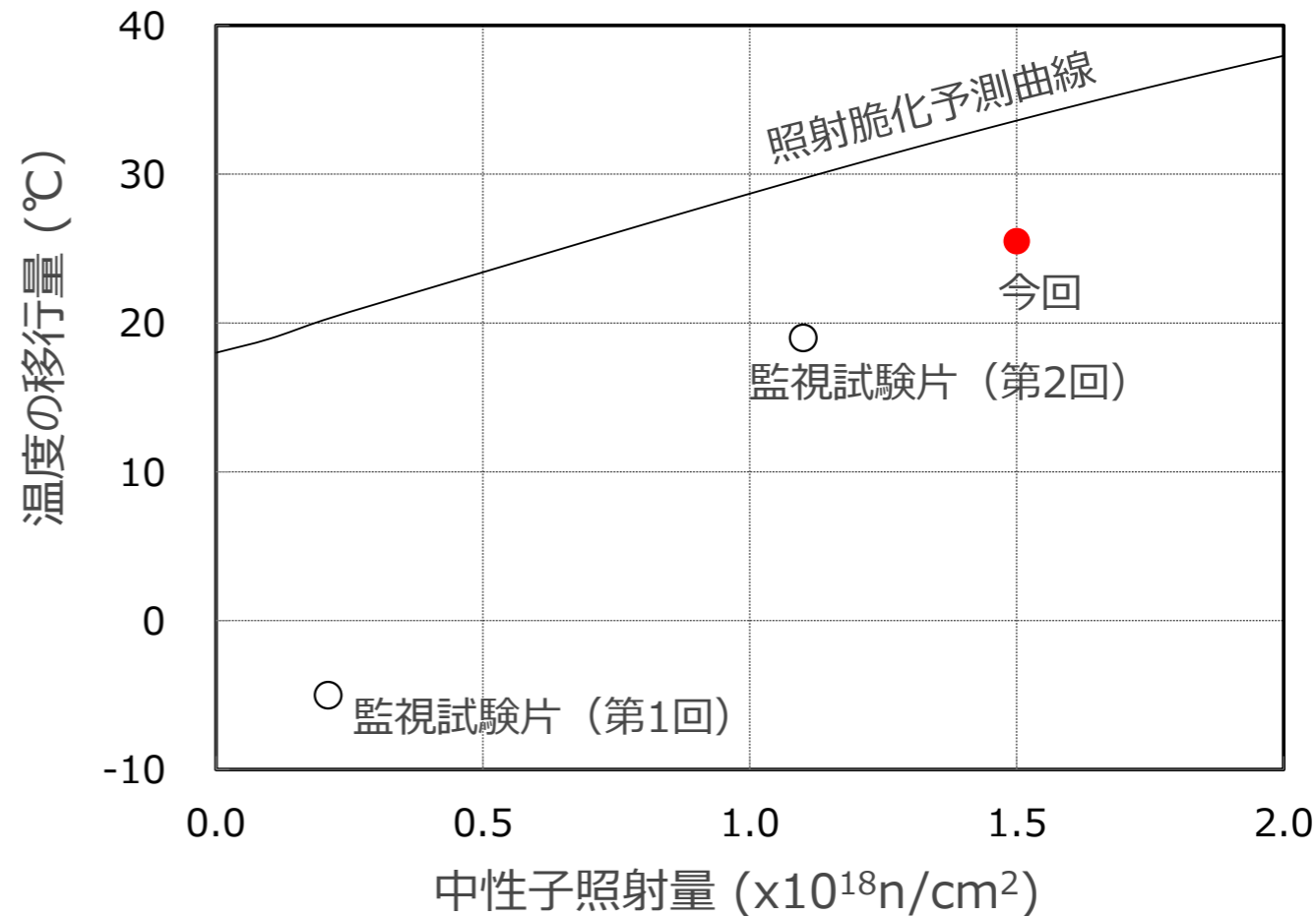
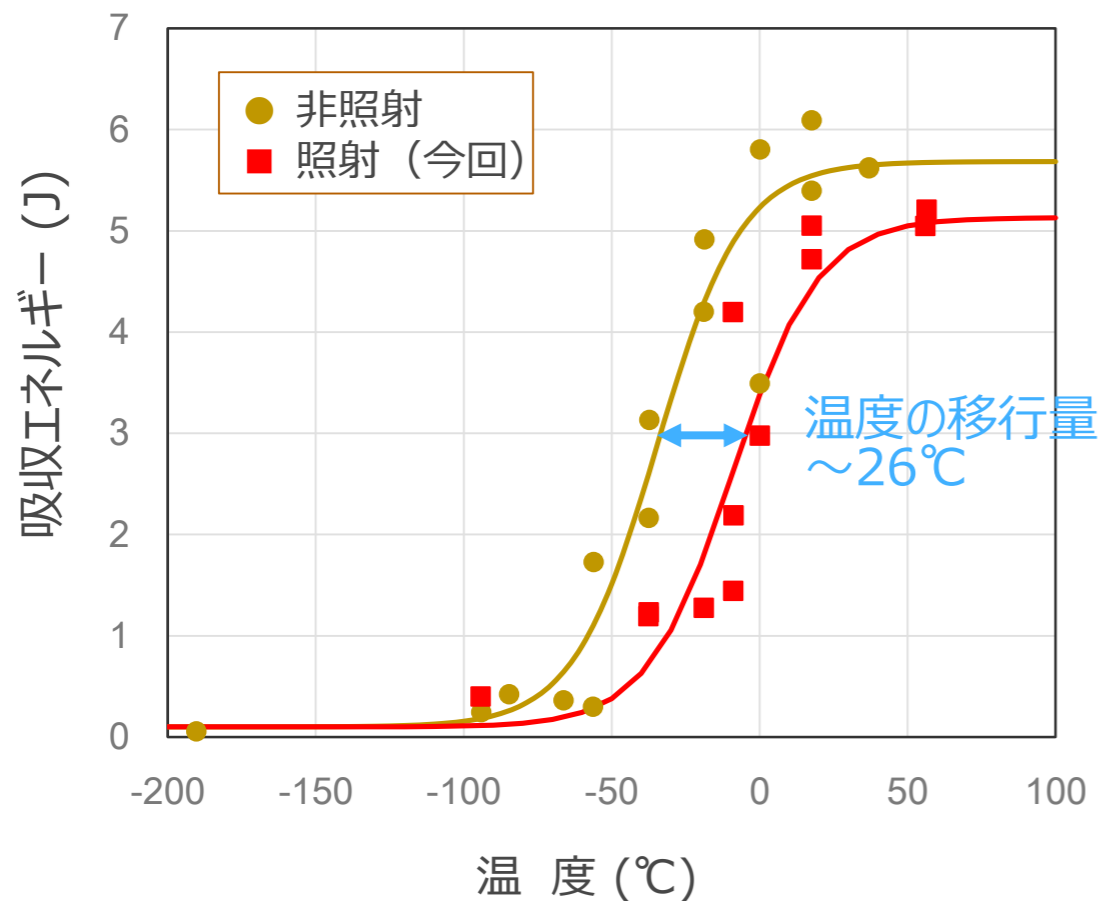


シャルピー衝撃試験の様子



試験体

成果① シャルピー衝撃試験の結果と考察



➤ 今回採取した試験体でのシャルピー衝撃試験の結果、**温度の移行量は約26°C**であることが分かった。

➤ 今回の結果は、過去の監視試験片の結果と同様に**照射脆化予測曲線の範囲内**にあった。

成果① シャルピー衝撃試験の結果の活用

■ 今回の浜岡1号機の試験結果は、以下の点から**原子力発電所を長期間運転した場合の照射脆化の影響を示す指標**として、長期健全性評価に役立つと考えられる。

- ① 浜岡3,4号機などの新しいプラントは、金属材料の銅（Cu）成分が中性子照射により偏析し、照射脆化に影響するとの知見から、Cu含有量の少ない金属材料を採用している。（浜岡1号：0.09 wt%、浜岡3,4号：0.04 wt%）
このため、浜岡3,4号機の金属材料は、浜岡1号機と比べ、照射脆化が起こりにくい特性がある。
- ② 浜岡1号機の中性子照射量は、原子炉の大きさの違いから、浜岡3,4号機を40年間運転した場合の推定値よりも多い。

中性子照射量の比較

	浜岡 1 号機	浜岡 3,4号機
中性子照射量 [$\times 10^{18}n/cm^2$]	1.5	0.6 (40年推定)

■ 成果は適宜、国際会議であるPLiM（プラント寿命管理会合：IAEA主催）やIGRDM（照射メカニズムグループ）で発表しており、**2021年度に日本で開催されるPLiMで本成果を報告し、国内規格基準に反映するよう働きかけていく**予定である。

PLiM : Nuclear power plant life management

IGRDM : International Group on Radiation Damage Mechanisms

I 原子力発電所の安全性向上に資する研究

01 浜岡1号機の実機材料を活用した調査・研究

(1) 原子炉圧力容器（金属）

(2) 原子炉建屋（コンクリート）

02 津波監視システムに関する研究

参考資料

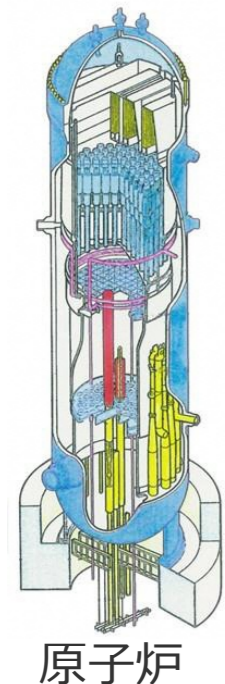
浜岡1, 2号機の廃止措置の状況

レーザー除染技術の実用化に向けた研究

研究目的

原子炉圧力容器の基礎部等のコンクリートの一部を採取し、原子炉の運転による材料特性の変化を調査。

- コンクリート部分は、核分裂で発生する熱等を受け続けることで強度が低下する可能性がある。
- この劣化を確認するため、運転中プラントにおいては30年目の特別点検時に原子炉建屋から数多くのコアサンプルを採取し、コンクリート強度の調査を行っている。
- コアサンプルの採取は建屋を傷つける行為でもあり、浜岡1号機のコンクリート強度のデータ収集を行うことで、コアサンプルの採取を必要としない合理的な健全性評価方法を検討し、運転中プラントの最適な評価方法を構築する。



2015年度～19年度にかけて、サンプル採取、各種試験を実施。

コンクリートの
コアサンプリング



コアサンプル



(30か所採取)

試験体

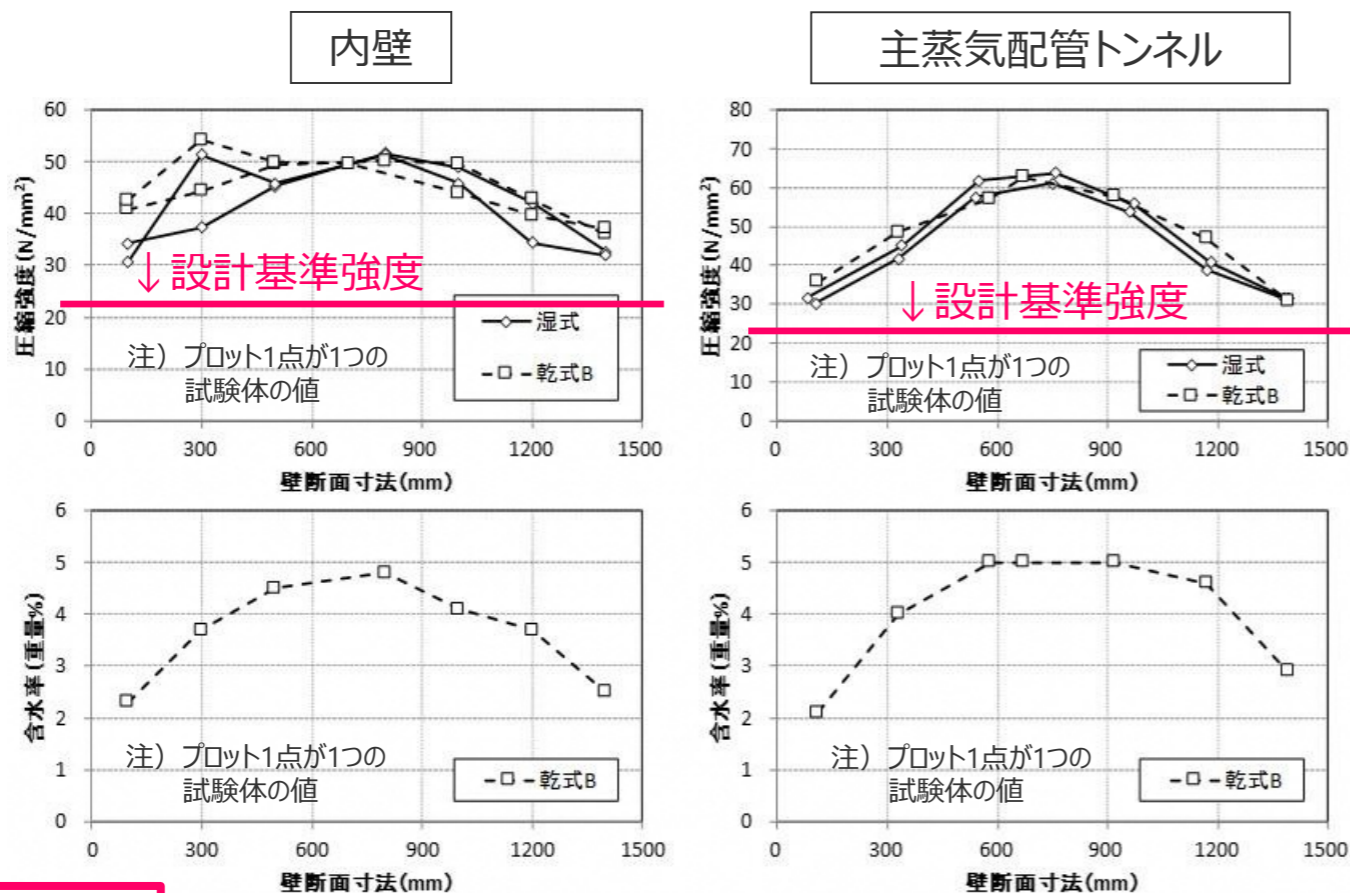


名古屋大学等との共同研究
(試験内容)

圧縮強度試験、化学組成分析 等

成果② コンクリート断面内の圧縮強度および含水率分布

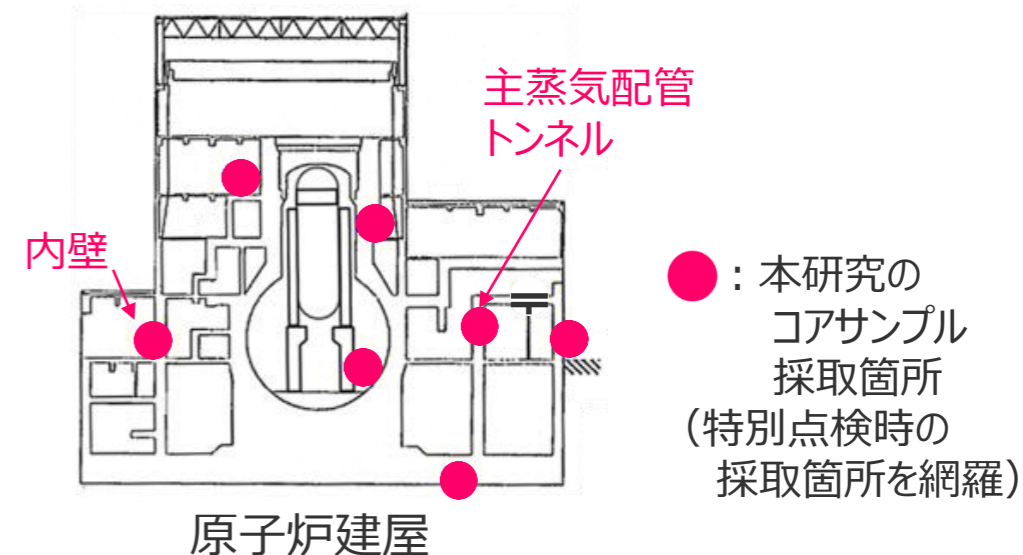
圧縮強度
分布



含水率
分布

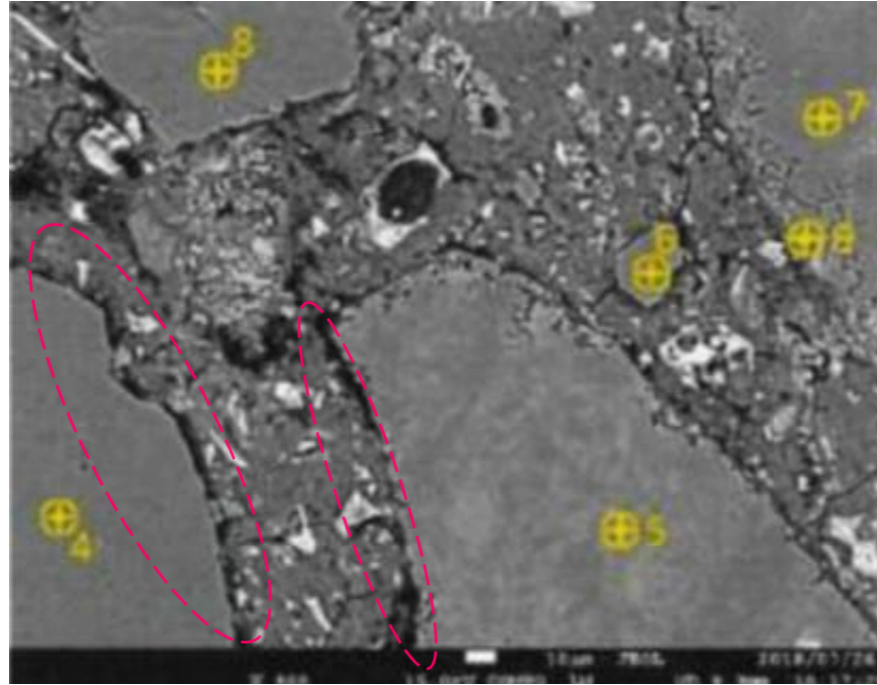
国内初の知見

- コアの圧縮強度は、設計基準強度 (22.5N/mm²) を上回り、**断面中央が高い山なりの分布**であった。
- 含水率も山なりの分布で、表面からの乾燥の影響が考えられる。



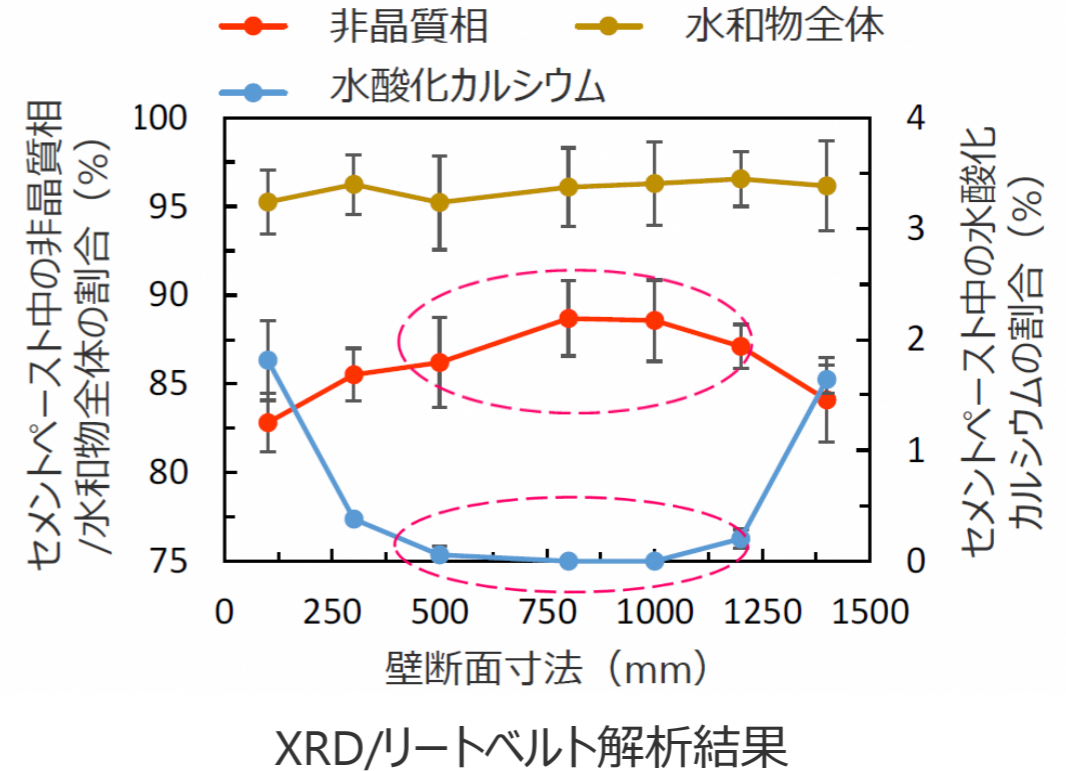
圧縮強度試験の様子

成果② コンクリート強度に関する考察



SEM反射電子像観察結果

➤ 細骨材中のアルカリ長石が溶解していることが観察された。



➤ 水酸化カルシウムは断面中央で消失し、非晶質相は中央部が山なりの分布。

➤ 断面中央では、含水率が多いことから、細骨材中の長石が溶解し、その成分が水酸化カルシウムと反応することで、非晶質相（C-(A)-S-H）が生成され、**セメントペースト内の空隙が充填されることで強度が増加**したものと考察している。

成果② コンクリート試験の結果の活用

(1) 今後の研究予定

- 今フェーズで、非破壊検査法等によりコンクリートの剛性を評価できる可能性を掴むことができた。
- 浜岡1号機の他に、浜岡2～5号機のコアサンプルについても収集しデータベースを拡充していく。
- 非破壊検査法とシミュレーション解析による、コアサンプル採取を最低限に抑えた合理的な健全性評価手法を提案する。

(2) 本研究成果活用

- 本成果は放射線照射コンクリートに関する国際会議（ICIC）や日本建築学会の大会で発表している。
- また、本成果については日本建築学会の指針（原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説等）に反映するよう働きかけていく予定である。

(参考) 調査・研究成果の国際機関や国際会議での報告実績

報告先	解説	報告内容	
IAEAプラント寿命管理会 合 PLiM (Nuclear power plant life management)	<ul style="list-style-type: none"> 国際原子力機関 (IAEA) が主催する原子力発電所の高経年化対策に関する国際会議。 各国の原子力規制当局と原子力事業者が出席。 2002年から5年に1回の頻度で開催。 	金属材料、 コンクリートの 強度試験	<ul style="list-style-type: none"> 第4回会議 (2017年10月：フランス) で、研究計画と金属部材やコンクリートの各種試験の途中経過を報告。
照射メカニズムグループ IGRDM (International Group on Radiation Damage Mechanisms)	<ul style="list-style-type: none"> 日米欧の照射脆化を研究する専門家による国際会議。 大学や研究機関の専門家同士による最新の研究状況の共有や意見交換を目的とした会議。 日米の原子力規制当局も参加。 1.5年に1回の頻度で開催。 	金属材料の 強度試験	<ul style="list-style-type: none"> 第21回会議 (2019年5月：岐阜県) で、1号機の実機材料強度試験の結果を速報として報告。
放射線照射コンクリートに 関する国際会議 ICIC (International Committee on Irradiated Concrete)	<ul style="list-style-type: none"> 米国オークリッジ国立研究所が中心となり設立したコンクリートの放射線照射に関する国際会議。 大学や研究機関の専門家同士による最新の研究状況の共有や意見交換を目的とした会議。 1年に1回の頻度で開催。 	コンクリートの 強度試験	<ul style="list-style-type: none"> 第1回会議 (2015年11月：米国)、第4回会議 (2018年11月：米国) で、研究計画、成果を報告。 その他、米国電力研究所 (EPRI) との情報交換を実施。
米国電力研究所 EPRI (Electric Power Research Institute)	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉本体の放射能濃度評価 (計算値) と実機データを比較評価できる貴重な機会だったため、米国電力研究所 (EPRI) と共同で、2014~18年度に放射能濃度評価の精度向上に取り組んだ。 	原子炉本体 の放射能評 価	<ul style="list-style-type: none"> EPRIの協力を得て当社が実施した実機材料の放射能分析、計算値との比較、精度改善内容についてEPRIへ報告。 2020年度にEPRIから加盟団体へ情報提供予定。

I 原子力発電所の安全性向上に資する研究

01 浜岡1号機の実機材料を活用した調査・研究

(1) 原子炉圧力容器（金属）

(2) 原子炉建屋（コンクリート）

02 津波監視システムに関する研究

参考資料

浜岡1, 2号機の廃止措置の状況

レーザー除染技術の実用化に向けた研究

研究目的

- 気象庁の津波警報は静岡県が単一区画であるため、詳細な津波予想（当該地点の津波高さ）に関する情報を得ることができない。
- そこで、津波発生時の緊急時対応や避難の確実性の向上、迅速な点検・復旧計画の立案に役立てるため、沖合で観測されたリアルタイムデータから、津波の襲来を予測する「**津波監視システム（HTOPS※）**」を開発。

○津波の発生を早期に検知し、到達時刻・高さを即時に予測

→ **津波襲来時、確実な緊急時対応が可能**

（水密扉閉止などの作業を慌てず確実に行い、退避できるよう周知が可能）

（被害の有無や範囲が想定でき、津波襲来後に優先すべき点検・復旧作業箇所を選定が可能）

○発生後の津波を継続監視し、収束時期を予測

→ **現場作業再開判断の目安となる**

（安全を確保した点検・復旧作業が可能）

※： **H**amaoka **T**sunami **O**bservation and **P**rediction **S**ystem

「海洋レーダ」常設では世界初の津波対応機

- ・利点：面的で広域のデータ取得が可能
- ・欠点：津波高さを直接計測しない（流速を計測）
海洋レーダを用いた予測手法は開発途上

海洋レーダ



浜岡原子力発電所

GPS波浪計

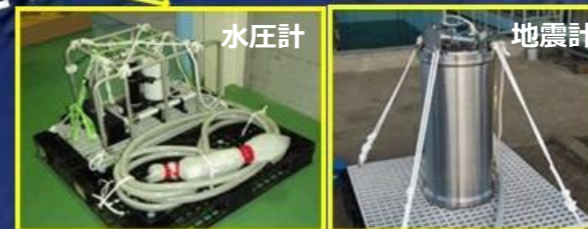


GPS波浪計 (御前崎沖)

高感度カメラ



DONET



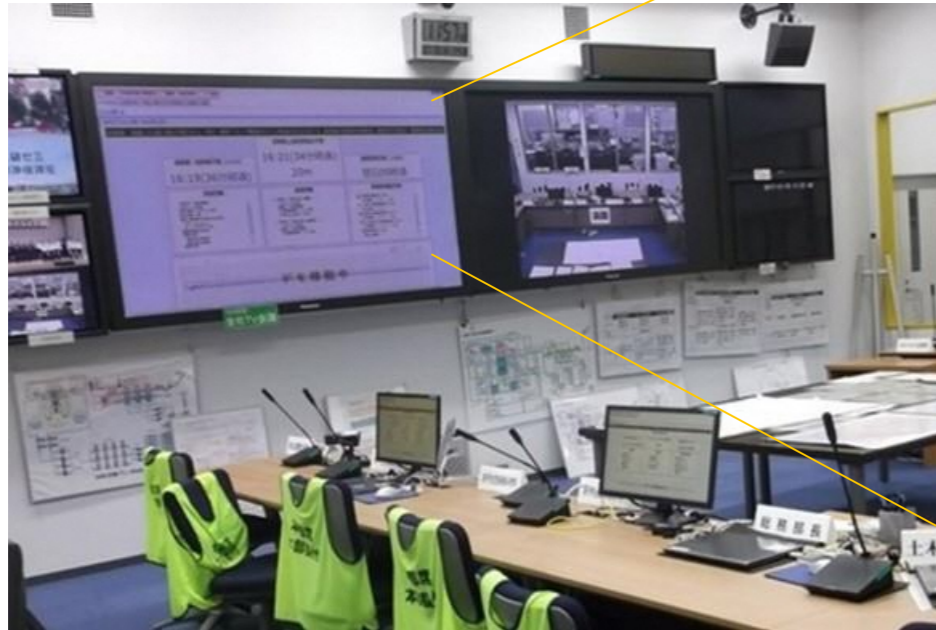
南海トラフ

※ ○で示すGPS波浪計データは今後取得予定

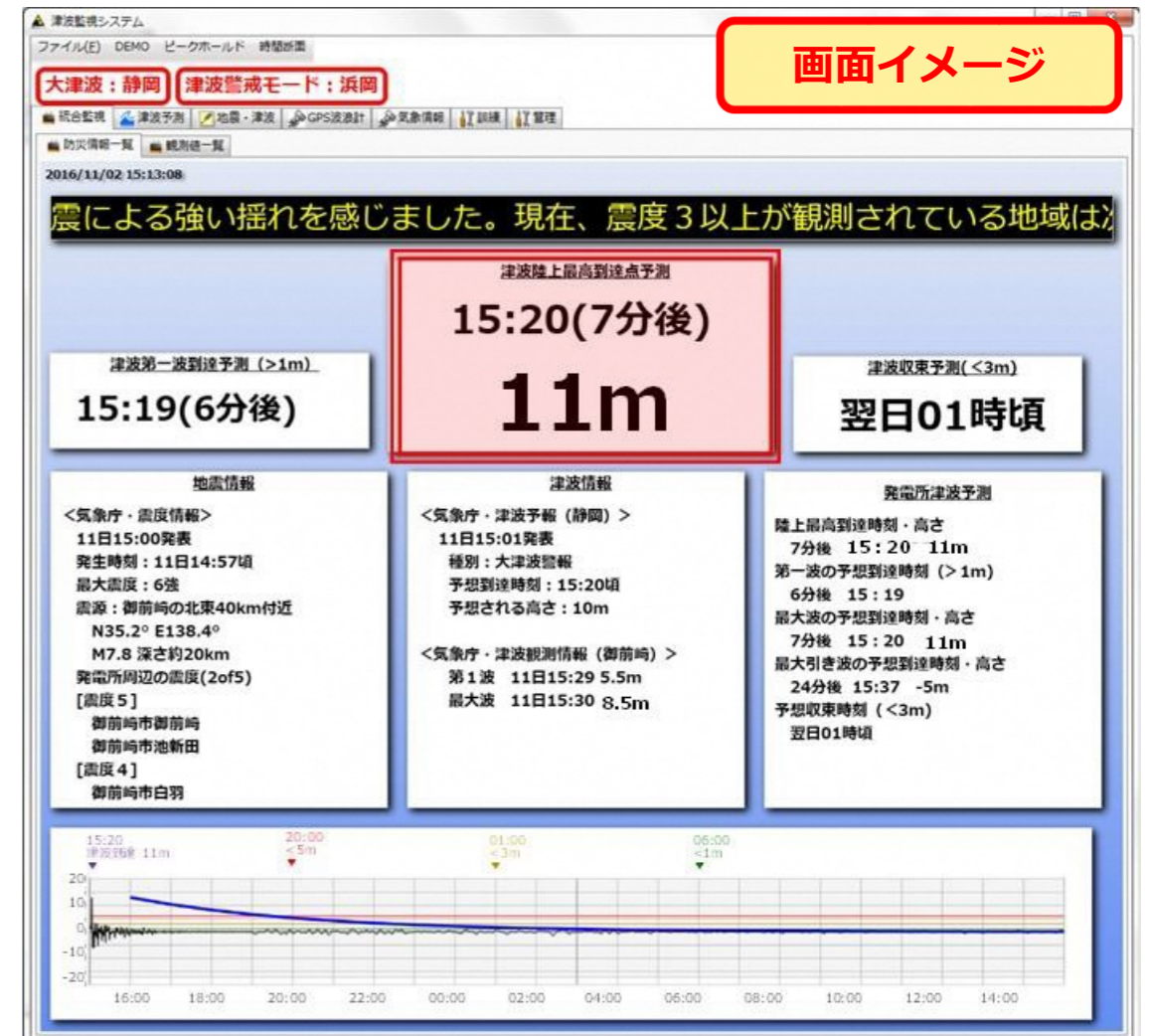
地図データ ©2017 Google

研究の成果

- 2016年度にプロトタイプが完成し、試験的に運用を開始。
(DONET + GPS波浪計によるシステムとして)
- **2019年度に海洋レーダの導入が完了。**
⇒ 予測精度が格段に向上



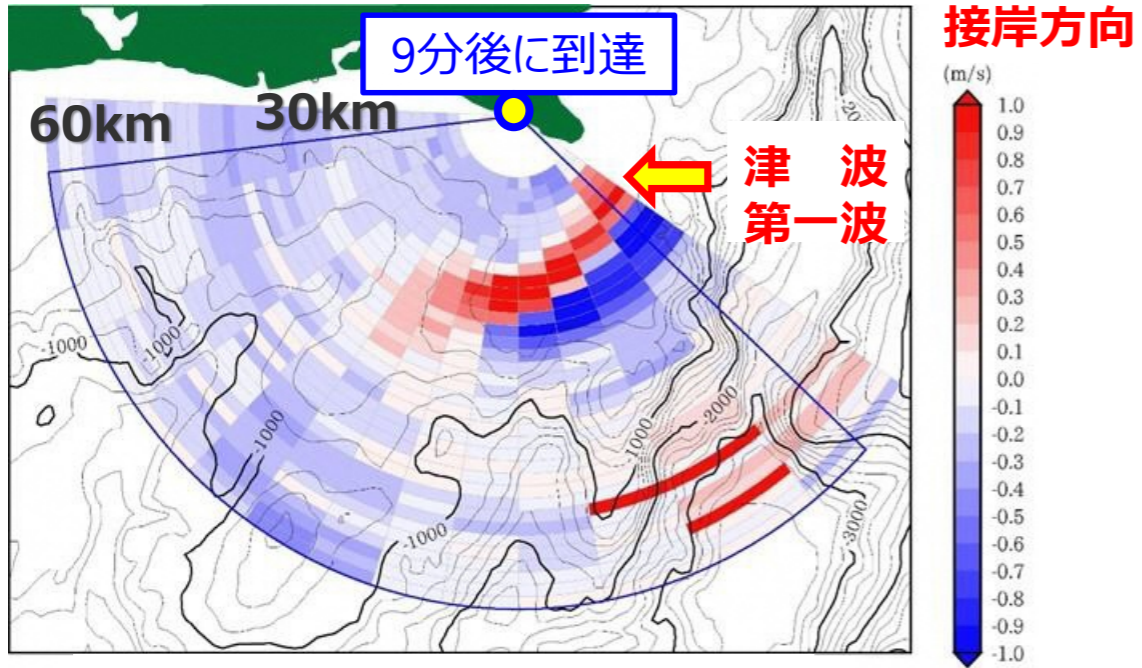
予測画面の表示
(浜岡発電所 緊急時対策所)



現在の取り組みと今後の予定

現在の取り組み

- 海洋レーダで捉えた津波襲来時の流速分布を画像化。
- 画像解析に長けた人工知能（AI）を活用し、津波高と到達時間を即時予測する機能を開発中



海洋レーダで捉えた津波発生時の津波襲来状況の画像イメージ

今後の予定

- 一次運開（2019年度末）**
本震津波（第一波）を対象に運用を開始し、発電所の避難誘導に用いる。
- 運開（2020年度以降）**
津波第二波以降（余震等に伴う津波）を対象に加え、津波収束判断や現場作業の継続判断等に用いる。
- 研究成果をAOGS（アジア-オセアニア地球科学連合）やJpGU（日本地球惑星科学連合）等の国際会議で発信していく。
- 地域防災への活用について、関係機関や自治体等と協調して進めていく。

AOGS : Asia Oceania Geosciences Society

JpGU : Japan Geoscience Union

(参考) 調査・研究成果の国際会議での報告実績

報告先	解説	報告内容
アジア-オセアニア地球科学連合： AOGS (Asia Oceania Geosciences Society)	<ul style="list-style-type: none"> 地球科学の発展を促進するとともに、その成果を人類の利益のために応用することを目的として、アジア・オセアニア地域の国際的な学術団体。 2003年に設立。 1回/年の頻度で国際会議を開催。 国内では、日本気象学会所属の研究者を主体に、国や大学、研究機関等の専門家が出席。 	<ul style="list-style-type: none"> 第15回会議（2018年6月：米国）で、津波監視システムの開発状況について紹介。
日本地球惑星科学連合： JpGU (Japan Geoscience Union)	<ul style="list-style-type: none"> 地球惑星科学を構成する全ての分野をカバーする研究者、技術者等から構成される国際的な学術団体。 2005年に日本学術会議のメンバーが委員となり発足。 1回/年の頻度で国際会議を開催。 国内では、原子力規制当局や大学、研究機関等の専門家が出席。 	<ul style="list-style-type: none"> 2018大会（2018年5月：幕張メッセ）で、海洋レーダの性能評価と津波予測について報告。 2019大会（2019年5月：幕張メッセ）で、海洋レーダによる津波予測におけるAI技術の適用について報告。

I 原子力発電所の安全性向上に資する研究

01 浜岡1号機の実機材料を活用した調査・研究

(1) 原子炉圧力容器（金属）

(2) 原子炉建屋（コンクリート）

02 津波監視システムに関する研究

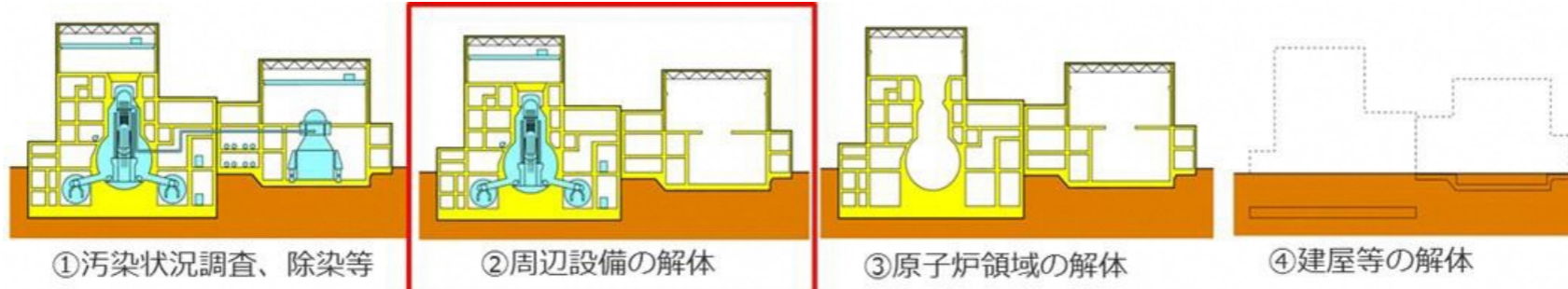
参考資料

浜岡1, 2号機の廃止措置の状況

レーザー除染技術の実用化に向けた研究

参考 | 浜岡1, 2号機の廃止措置の状況

1,2号の廃止措置計画は、以下の4段階に分け、約30年という年月をかけて実施します。
2016年2月3日より廃止措置の第2段階に入り、現在「原子炉領域周辺設備の解体撤去」を実施しています。



2009～2015年度	2015～2022年度	2023～2029年度	2030～2036年度
第1段階 解体工事準備期間	第2段階 原子炉領域周辺設備 解体撤去期間	第3段階 原子炉領域 解体撤去期間	第4段階 建屋等解体撤去期間
燃料搬出 ▼(2014年2月)	使用済燃料搬出完了 ▼(2014年2月) 新燃料搬出完了 ▼(2015年2月)	 撤去工事の様子	
汚染状況の調査・検討			
系統除染			
放射線管理区域外の設備・機器の解体撤去			
	原子炉領域周辺設備解体撤去		
		原子炉領域解体撤去	建屋等解体撤去
放射性廃棄物の処理処分 (運転中廃棄物又は解体廃棄物)			

研究の背景

光産業創成大学院大学
(静岡県 浜松市)

株式会社トヨコー
(静岡県 富士市)

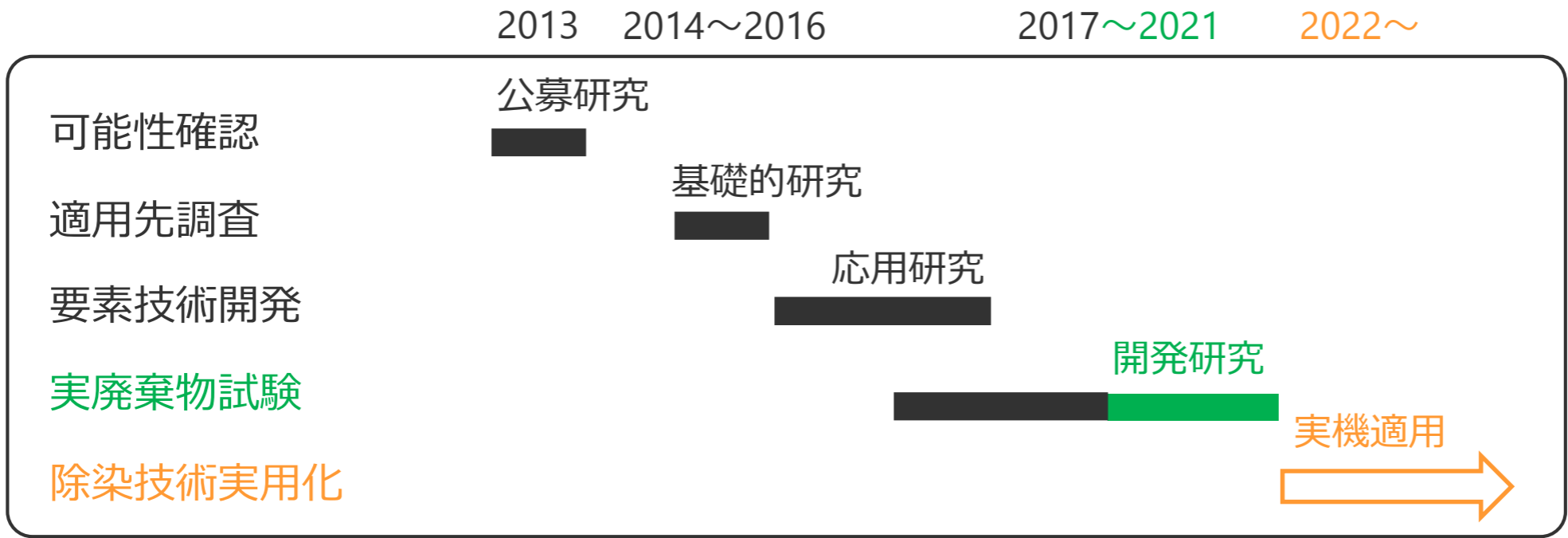


- ◆メカニズム **レーザー光で表面を蒸散** (局所加熱で気化 or 剥離)
- ◆ベース技術 橋梁等の劣化塗膜除去 … **ポータブルレーザー塗膜除去装置「CoolLaser™」**

他分野で開発された技術

- ➡ 原子力発電所の除染に応用できないか？
2013年度公募研究 → 2014年度～実用化に向けた研究

研究プロセス



公募研究
基礎的研究

GPI
レーザー
除染技術

toyokoh 中部電力

応用研究
開発研究

+

粉塵処理技術

JAPAN ENVIRONMENT RESEARCH CO., LTD.
株式会社 日本環境調査研究所

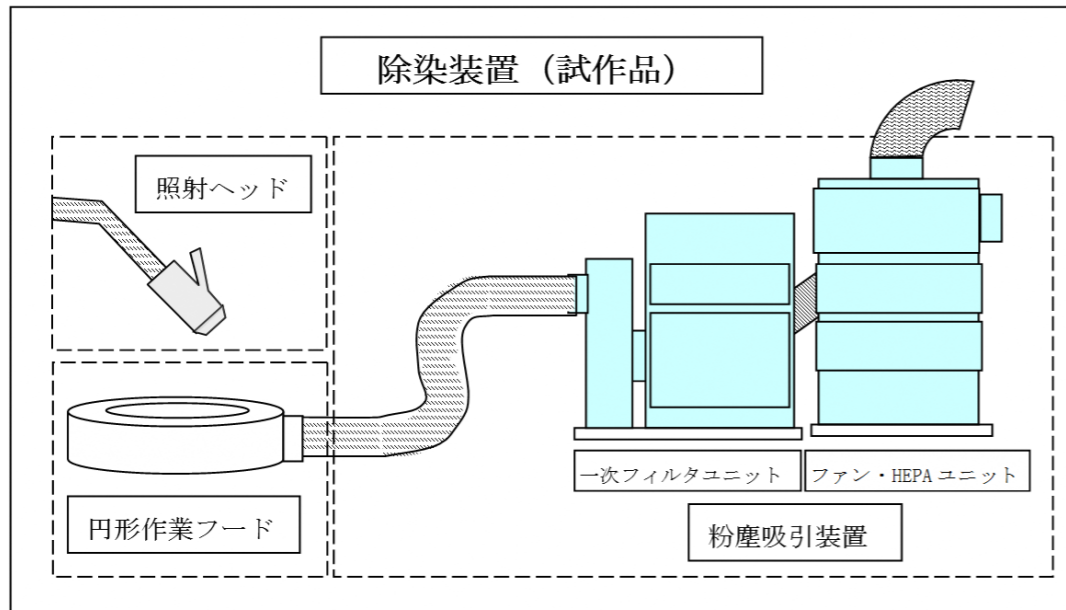
実機適用
「除染作業」

+

浜岡、
他発電所での
廃止措置

実機廃棄物試験の実施状況

汚染管理区域内作業用 粉塵処理システムの試作



解体廃棄物の除染試験結果 左：除染前／右：除染後



1号FDW切断配管



SUS切断配管



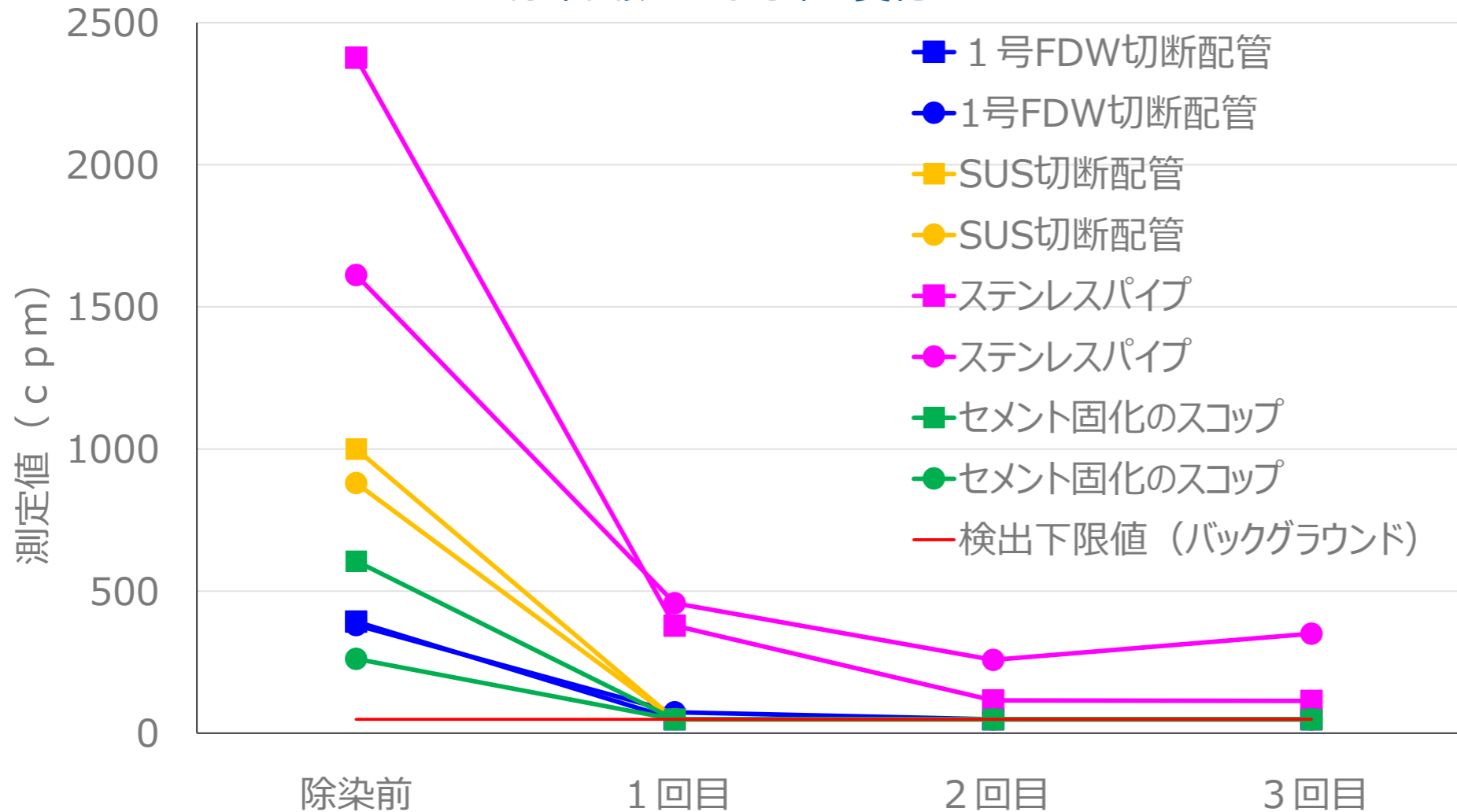
ステンレスパイプ



セメント固化のスコップ

実機廃棄物試験の結果

除染回数による汚染の変化



ステンレスパイプを除き、1分1回程度のレーザー照射で十分に除染が可能であった。

ステンレスパイプでは、レーザー照射する角度によって除染効果が低かったと考えられるため、対応について今後検討していく。