

温泉スケールの3次元微細構造のX-CT観察および時間依存性について X-CT Observation on Three Dimensional Microstructure of Geothermal Scale and Its Time Dependency

木崎 彰久^a, 平野 伸夫^b, 中村 勤^c, 波津久 達也^d
Akihisa Kizaki^a, Nobuo Hirano^b, Tsutomu Nakamura^b, Tatsuya Hazuku^d

^a秋田大学, ^b東北大学, ^c(株)管通, ^d東京海洋大学
^aAkita University, ^bTohoku University, ^cKantsu Co. Ltd.,
^dTokyo University of Marine Science and Technology

バイナリー式温泉発電所の熱水輸送配管において、配管内に付着する温泉スケールへの対策が求められている。本研究では、温泉スケールを効率的に除去するための知見を得ることを目的として、温泉スケールの三次元構造についてのX線CT観察を実施した。得られたCT画像からスケール除去作業を効率良く行うために有益なスケール内部の3次元微細構造や空隙構造に関する情報が得られた。

キーワード： Geothermal Scale、Geothermal Energy、X-CT

背景と研究目的：

再生可能エネルギーの導入拡大は、エネルギーセキュリティ、経済効率の向上ならびに気候変動抑制の観点から世界的な技術課題の一つである。再生可能エネルギーの中でも、新規掘削を伴わないバイナリー式温泉発電は、安定したベースロード電源としての期待が持たれており、産業基盤技術として積極的な技術開発が必要と考えられる[1, 2]。バイナリー式温泉発電所の熱水輸送配管において、配管内に付着する温泉スケールへの対策が求められている。また、このようなスケール対策技術は温泉に限らず石油・天然ガス分野においても必要とされている[3]。本研究では、温泉スケールを効率的に除去するための知見を得ることを目的として、温泉スケールの三次元構造についてのX線CT観察を実施した。

温泉スケールは温泉熱水の流動を停止した後、時間経過とともに強度上昇が生ずることが経験的に知られている。しかしながら、その強度がどのように発現しているのかについては明らかではない。温泉スケールの強度は3次元微細構造に依存していると考えられ、X-CT観察による温泉スケールの内部構造観察は、温泉スケールの強度発現メカニズムを探る上で有効な観察法と考えられる。

温泉スケールの強度増加は、スケール除去作業のコスト増加に直結している。したがって、温泉スケールの微細構造の経時変化を明らかにすることにより、温泉熱水の流動停止後におけるデスケリング時期の最適化に寄与する判断材料を得ることができると考えている。また、温泉熱水中でのデスケリング法の有効性について、マイクロ視点からの裏付けデータが取得できることも期待される。

実験：

観察に使用した試料は、主な成分がケイ酸マグネシウム(MgSiO₂)および炭酸カルシウム(CaCO₃)のシリカスケール(密度 2.0–2.7 g/cm³、固体角柱様状、5×5×10 mm 程度)である。実験方法としては、BL19B2 ビームラインを用いた。温泉スケール試料は、測定前日の朝に長崎県雲仙市小浜温泉の温泉配管から採取し(Fig. 1)、温泉水ごと保温容器に入れ 90°C 以上に保った状態で SPring-8 まで運搬して実験に供した。X線CT撮影の測定条件は、エネルギーが 24.999 keV(波長 0.495926 Å)である。検出器はビームモニターBM2 (f=50) とイメージングカメラ C4880-41S (f=105) を組み合わせ、カメラ距離を 100 mm とした。撮影画像におけるピクセルサイズは 2.97 μm/pixel である。スキャンモードは、ステップスキャンおよび連続スキャンを用いた。ステップスキャンでは試料を 180°回転する間に 0.5°毎に露光時間 300 ms で、合計 361 枚の透過 X 線画像を測定した。連続ス

キャンでは同じ露光時間で 258 枚の透過像を得た。

最初に温泉スケールを設置せずに容器に温泉水のみを入れた状態で測定を行い、容器ならびに水滴の影響について調べた。次に、温泉スケールの下部を水没させ、ステップスキャンにて気中部の温泉スケールの X 線イメージング測定を行った(Fig. 2)。ステップ動作時に温泉水が揺れ動くことによる画像の乱れが見られたため、以降の温泉水中での測定は連続スキャンにて実施した。試験条件の詳細は以下の通りである。まず熱水にスケールを半分水没させ、気中部を撮影した。測定は 0, 3, 6, 15, 30, 60 min において実施し、各測定時間は約 3 min であった。続いて、湿乾状態において 0, 3, 6, 12 h の計 4 回の測定を行った。最後に、熱水中に浸漬させたスケールを 0, 1, 3, 6, 12, 18, 24 h の計 7 回の測定を行った。



Fig. 1. サンプル直後の配管スケール Fig. 2. 温泉水で満たした観察容器内の温泉スケール

結果および考察：

X 線イメージング実験(Fig. 3)の結果、各条件において Fig.4 に示すような X 線画像が得られ、それらの画像を再構成することで X 線 CT 画像を得ることができた。得られた CT 画像からシリカスケールの内部にはスケール析出に伴う樹状の構造が存在していることが明らかになった。また、樹状構造の隙間には空隙構造が発達していることも観察された。これらの情報は、スケール除去作業を効率良く行うために有益な知見と考えられる。スケール析出過程の観察については、析出量がごくわずかであるため、より詳細な検討が必要と判断された。

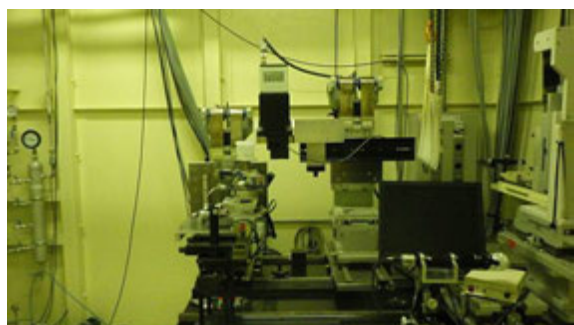


Fig. 3. X 線イメージング実験

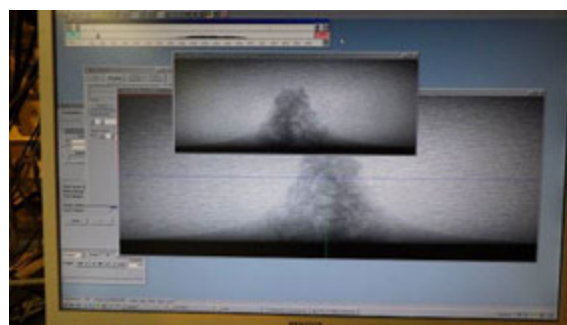


Fig. 4. X 線撮影画像

今後の課題：

温泉スケール中のスケール析出の時間変化について、今後 X 線イメージング測定により観察・定量化するためには、より高解像度の撮影手法の採用ならびに観察開始前および観察中のスケール析出を抑制・制御するための加圧密封恒温容器の使用が効果的ではないかと考えられる。

参考文献：

- [1] 村岡洋文, 温泉科学, **61**, 157-160 (2011).
- [2] 日本地熱学会 地熱発電と温泉との共生を検討する委員会, 報告書『地熱発電と温泉利用との共生を目指して』, (2010).
- [3] W. W. Frenier and M. Ziauddin, Formation, Removal, and Inhibition of Inorganic Scale in the Oilfield Environment, SPE (2008).