

現在検討されている将来の原子力発電所の安全機能の1つとして、苛酷事故時に原子炉圧力容器が高温となり破損する事象を防ぐため、圧力容器の外側を水で冷却するシステムがあります。本研究ではこのシステムの効果を飛躍的に向上させる圧力容器の急速冷却できる革新的な方法の開発を目指しました。

ナノマクロHybrid 多孔体による 超高温体の急速冷却

九州大学大学院 工学研究院

森 昌司

研究の目的

炉心溶融を伴う苛酷事故時に、圧力容器の金属が高温となって溶融損傷する事象を防ぐため、圧力容器の外側に水を注入して冷却するシステム(IVR, 図1)が考案されている。本研究では、IVRの急速冷却性能を、ハニカム多孔質体(HPP, 図2)を用いて、飛躍的に向上させることを目的とする。

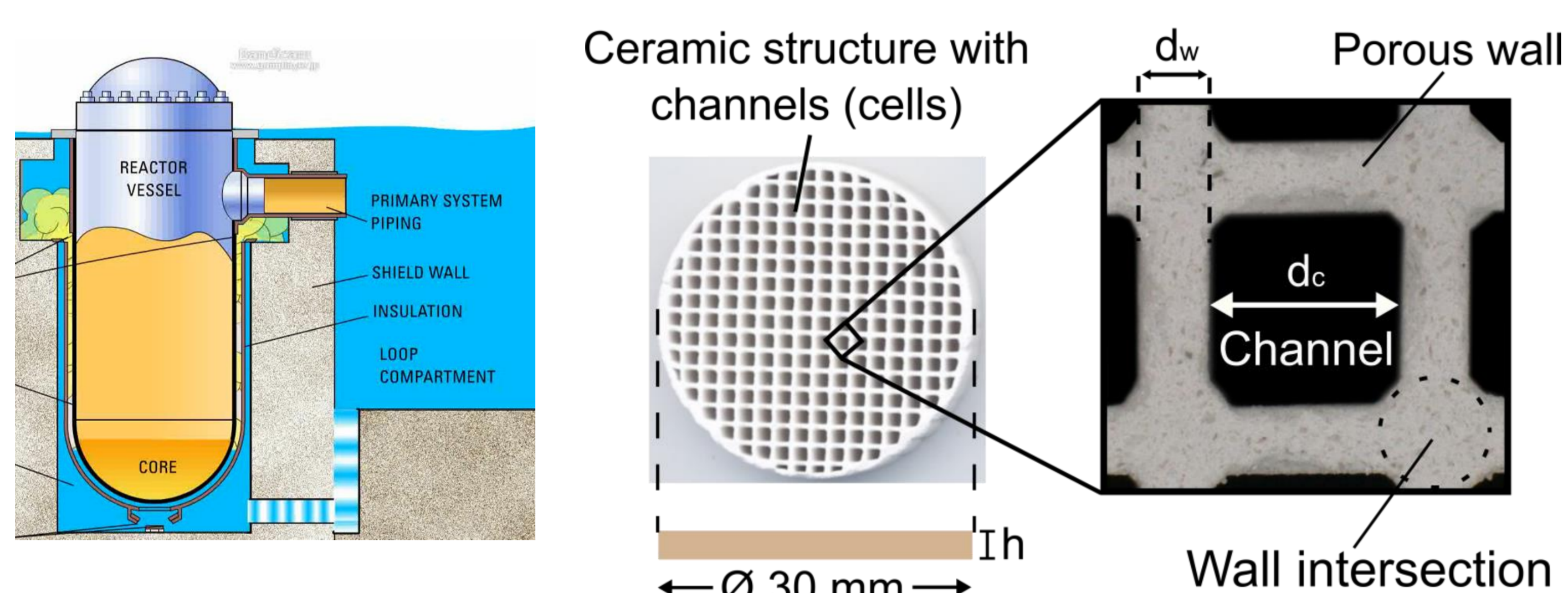


図1 IVRシステム 図2 ハニカム多孔質体 (HPP)

HPPによる冷却メカニズム

HPPは、ナノ孔(0.1 μm)とマクロ孔(1mm)の2種類の孔があり、ナノ孔から毛管力で吸い上げられた水で高温の金属表面を冷却し、発生した蒸気はマクロ孔から排出されることで、水の流れることができ、効率的な冷却が可能となる。(図3)

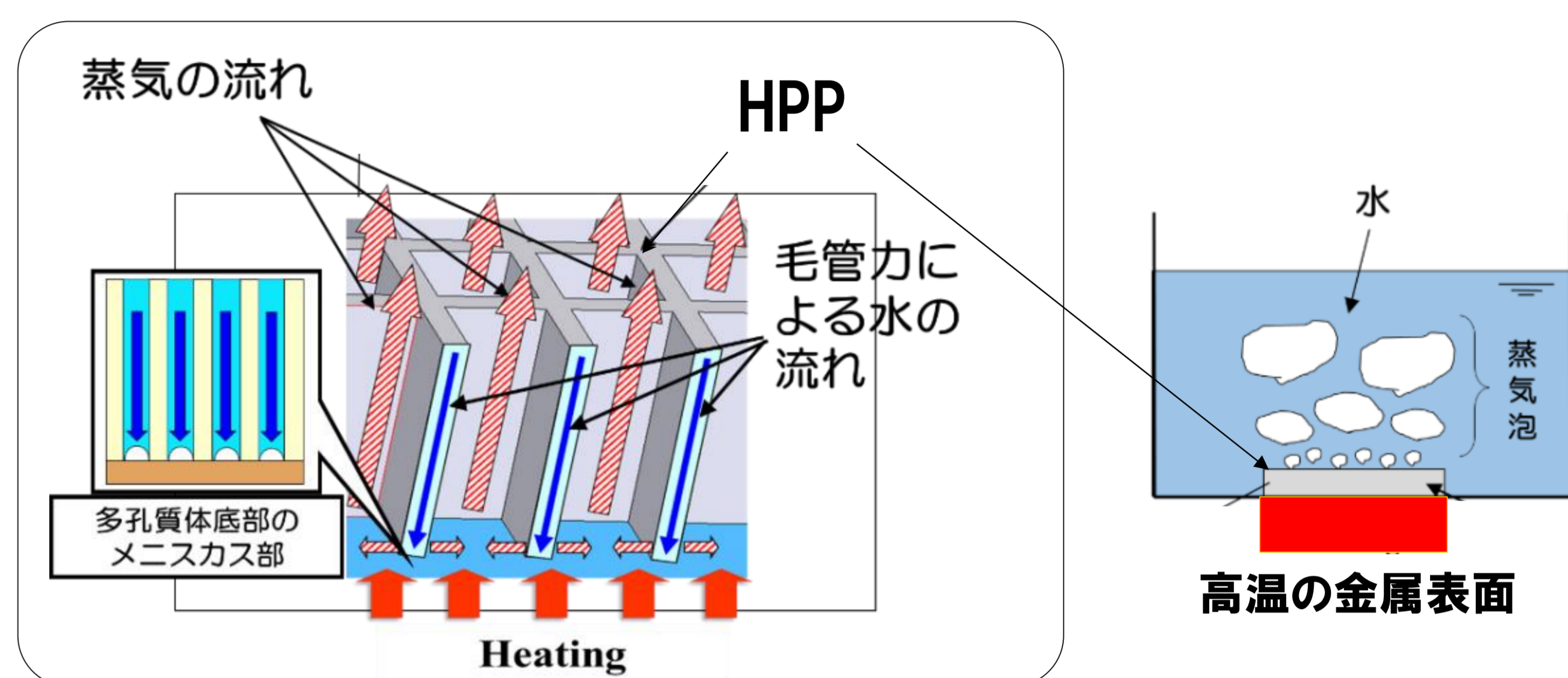


図3 HPPによる冷却メカニズム

HPPが急速冷却性能に与える影響

610°Cに加熱した銅ブロックの底部を容器内の水に浸漬させ、底面の温度変化を測定した。(図4) 底面の表面状態をパラメータとして、裸面、HPP、ナノ粒子層条件で、冷却曲線を比較した。(図5)

HPPを装着すると急速冷却能力が向上すること、表面にナノ粒子または塩を析出させるとHPPとの相乗効果で、さらに向上する結果が得られた。

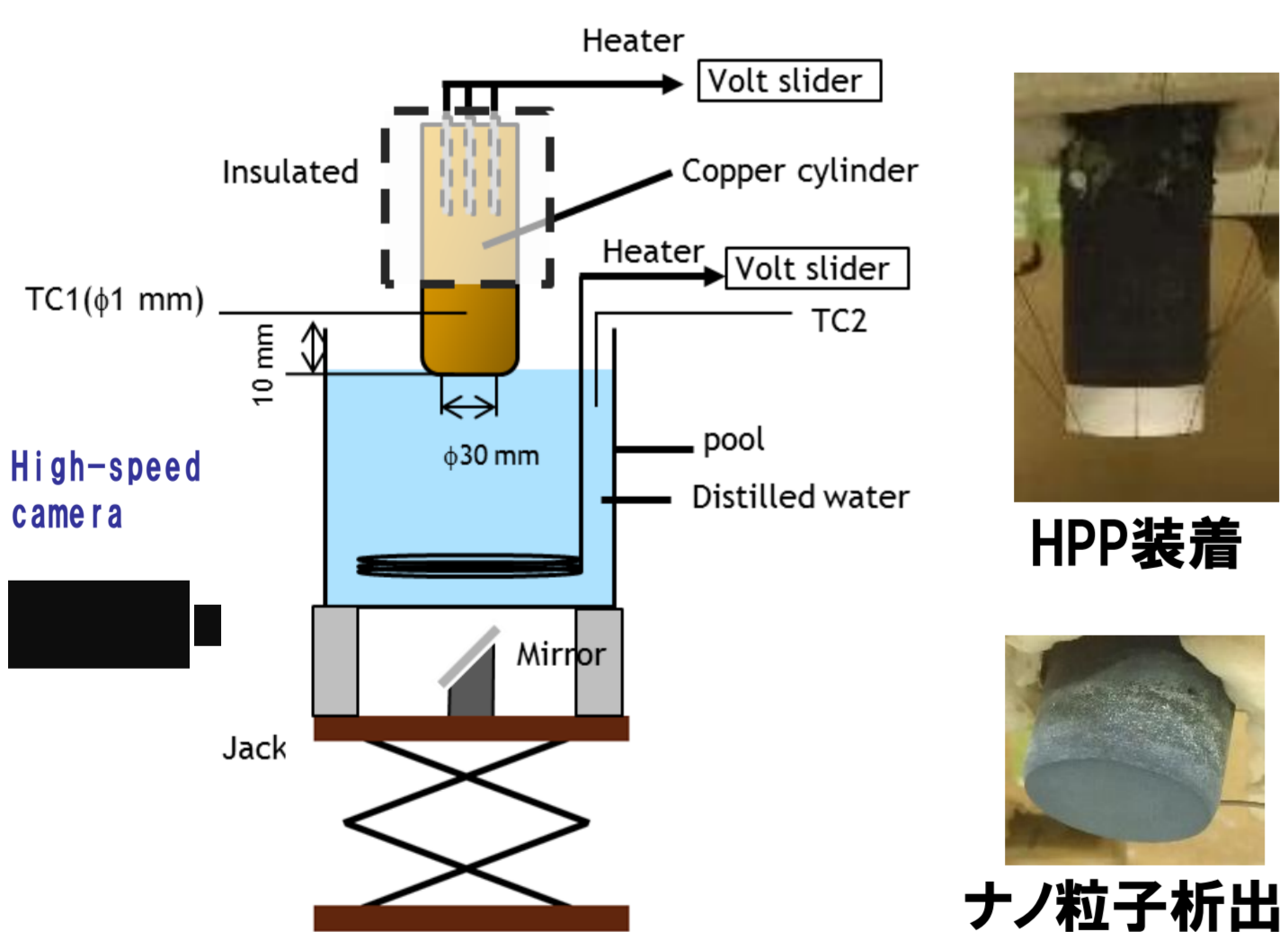


図4 冷却実験装置

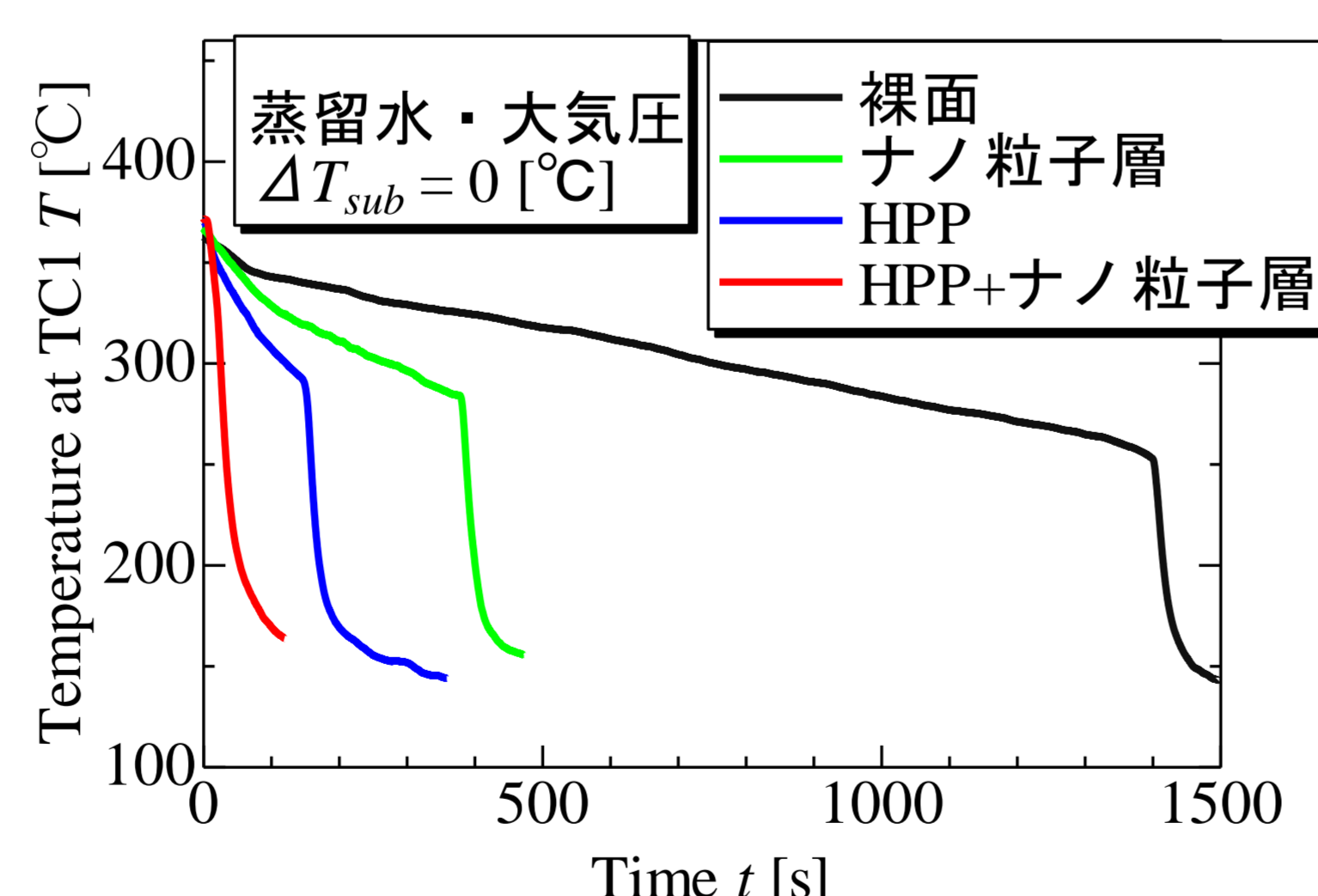


図5 銅底面の冷却曲線

急速冷却性能が高いHPPの開発

幾何形状(細孔径、空隙率、厚さ)の異なる市販のHPPを用いて冷却実験を行い、冷却曲線の計算モデルを構築した。計算モデルを用いて、HPPの幾何形状と急速冷却性能の関係を検討した。

3D プリンタと凍結乾燥法を組み合わせ、幾何形状制御が可能なHPPの作製方法を開発した。

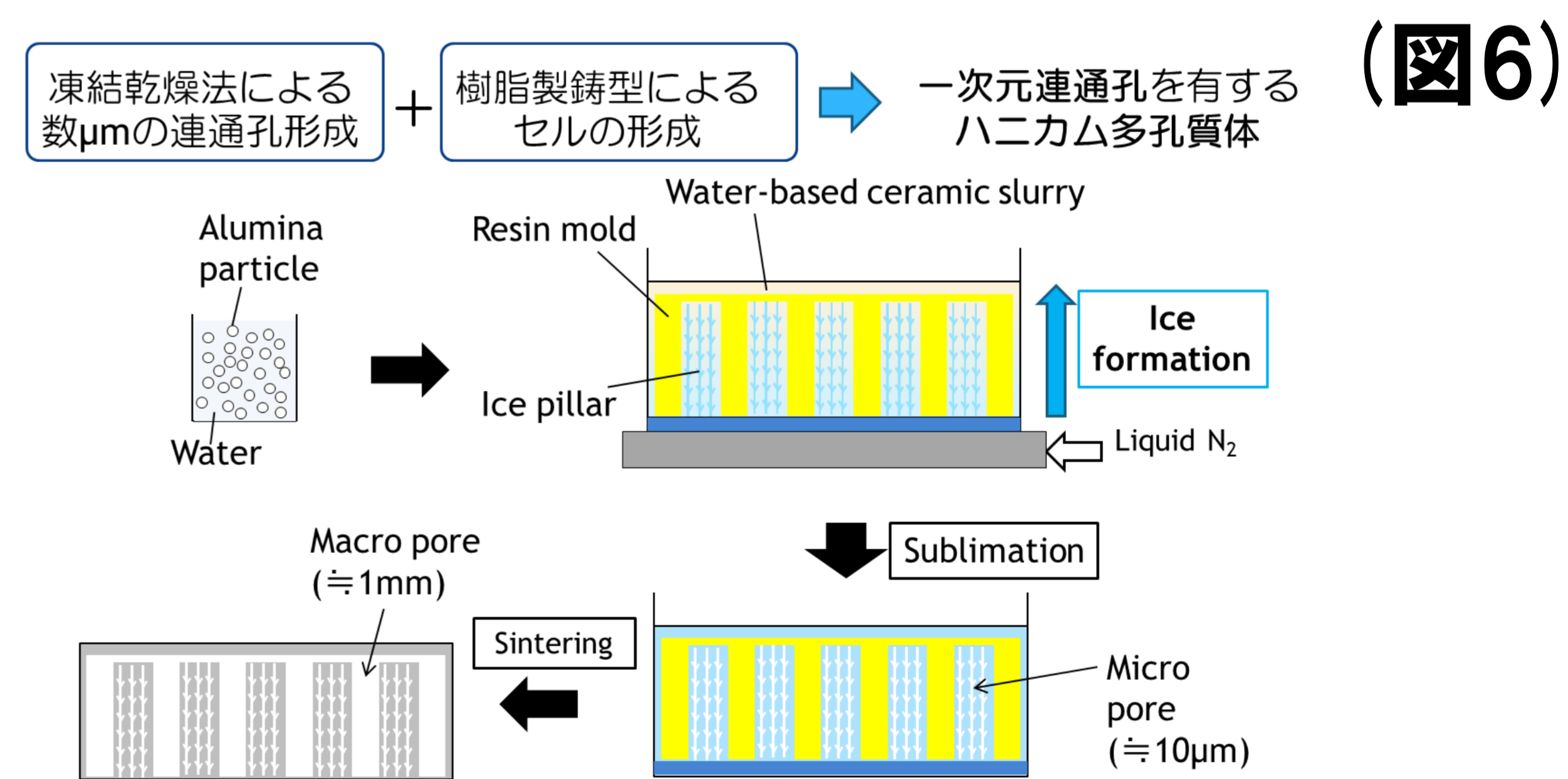


図6 幾何形状制御が可能なHPPの作製方法

まとめと今後の展開

- 高温体の表面状態およびHPPの幾何形状をパラメータとした冷却実験を行いモデルを構築した。また、任意形状のHPPの作製手法を開発した。これにより、急速冷却に最適なHPPが得られた。
- HPPによる急速冷却および高熱流束除去は、原子力分野以外にも、リニアモーターカーの起動特性の高速化や金属加工の焼き入れ処理の高度化などの工学的な応用、また、多孔質体内部の相界面現象の基礎学理などの幅広い学問分野への貢献が期待できる。