

# ナトリウム冷却高速炉の炉心崩壊事故時における 溶融炉心物質の再配置挙動に関する研究 (5) MPS 法での自由表面判定法と噴流挙動

Studies on Relocation Behavior of Molten Core Materials  
in the Core Disruptive Accident of Sodium-cooled Fast Reactors  
(5) A Behavior of a Heavy Metal Jet with Free Surface Condition of MPS Method

\*此村 守<sup>1</sup>、神山 健司<sup>2</sup>

<sup>1</sup>福井大学、<sup>2</sup>日本原子力研究開発機構

A behavior of a heavy metal jet which ran into a water pool was analyzed with the Moving Particle Semi-implicit Method. A pressure calculation without a free surface condition proved useful to suppress unrealistic cavity.

**キーワード**：粒子法、MPS 法、噴流、高密度流体、空隙、自由表面判定、圧力計算

## 1. 緒言

密度の大きな噴流を密度の小さなプール中に突入させた時の挙動を、粒子法<sup>[1]</sup> (Moving Particle Semi-implicit Method: MPS 法) を用いて解析すると、実験とは異なり、プール中に空隙の発生をみた<sup>[2]</sup>。本研究では、解析上この空隙の発生を抑止する方法を検討した。

## 2. 解析

### 2-1. 解析体系

解析体系を図 1 に示す。内径 28mm の直管が密度  $979\text{kg/m}^3$  の水プール中に浸漬されており、直管の中を密度  $8689\text{kg/m}^3$  の低融点合金が流れ、開口部から噴流となって水プール中に突入する。本解析での粒子径は 2mm である。

### 2-2. 解析コード及び解析条件

本解析で用いたソースコードは、越塚の著書<sup>[1]</sup>に添付されているサンプルプログラムをベースとし、これに粘性項と表面張力のモデルを付加した。

### 2-3. 解析結果

昨年度の解析<sup>[2]</sup>では、図 2 に示すように、突入開始後噴流の周りに大きな空隙が発生した。図の濃い青色が初速度  $7\text{m/s}$  の低融点合金、薄い青色が水プール、赤色の部分は容器である。この条件では、本来、空隙は発生しない。この原因について検討を行い、モデルの改良を行って解析した結果を図 3 に示す。

### 2-4. 考察

本モデルにおいて、流体内部で空隙が発生する原因は、自由表面の判定方法にある<sup>[2]</sup>。流体内部で粒子間距離が広がり粒子数密度が低下すると、当該粒子は自由表面にあると判定され、圧力計算から除外される。この結果、その瞬間の初速度をもって自由落下粒子となる。本現象の時間スケールは 10msec オーダーであるため、一端自由落下粒子となると、観測時間中に元の噴流に合流することはない。そのため、見かけ上、空隙が発生したように見える。これを抑止するには、流体内部での圧力計算について、①昨年度のように小さな背圧をかける<sup>[2]</sup>、②陽解法終了時点で粒子数密度を評価し、これが自由表面と判定されない粒子数密度となる時間刻み幅を選択して陽解法を再計算する、③定めた領域内では自由液面判定を行わない、すなわち粒子数密度の如何にかかわらずこの領域では圧力計算を行うといった方法が考えられる。①は昨年の結果<sup>[2]</sup>である。②は自由表面と判定される粒子が発生しないようにするためには、時間刻み幅を  $10^{-8}\sim 10^{-10}\text{sec}$  と極端に小さくとる必要があり、計算時間の観点から実用的でない。③は体系依存となってしまい解析モデルの自由度は悪くなるが、 $10^{-5}\text{sec}$  程度の時間刻み幅になるので実用的である。

## 3. 結論

自由表面を持った流体に噴流が突入する場合の挙動を MPS 法で解く場合、着目領域での自由表面判定条件を解除し、常に圧力計算を行う方法が、現象記述の上で必要であることを示した。

本研究を進めるにあたり、東京大学・越塚教授から有用なコメントをいただいたことに感謝いたします。  
(本研究成果は日本原子力研究開発機構と福井大学附属国際原子力工学研究所との共同研究の結果である。)

## 参考文献

- [1] 越塚誠一、「粒子法」、丸善出版 (2007)  
[2] 此村守、他、2016 年日本原子力学会「秋の大会」、3H12

\*Mamoru Konomura<sup>1</sup>、Kenji Kamiyama<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univ. of Fukui、<sup>2</sup>JAEA

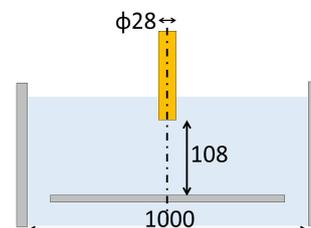


図 1

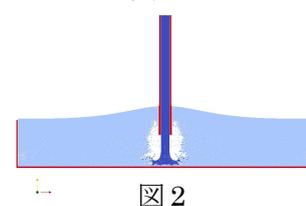


図 2

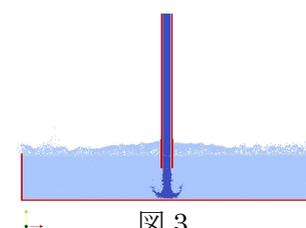


図 3