

# 溶融金属燃料とナトリウムの相互作用に伴う燃料微粒化機構の解明

## 背 景

高速増殖炉(FBR)の許認可にあたっては、万一、炉心損傷事故(CDA)が発生した場合を想定し、その潜在的リスクを設計段階で評価しておくことが要求される。金属燃料炉心では、破損した被覆管から噴出した溶融燃料が冷却材ナトリウムとの相互作用(FCI)によって微粒化され、冷却材流路を移動して炉心領域外へ排出されて原子炉が停止し、事故が終息することが期待されている(図1)。燃料排出の可能性は、FCIによって微粒化された燃料の形態(粒径と形状)に大きく依存している。実機におけるCDAの事象進展を定量的に予測するには、FCIによる燃料微粒化の支配因子を特定し、それらが微粒化時の燃料の粒径や形状に及ぼす影響を定量的に把握する必要がある。

## 目 的

燃料模擬物質とナトリウムを用いたFCI模擬実験を実施し、燃料の微粒化機構を解明するとともに、微粒化に及ぼす支配因子の影響を定量的に把握する。また、金属燃料炉心におけるCDA時の炉心挙動評価に適用可能な、微粒化後の燃料粒子の粒径を与える相関式を導出する。

## 主な成果

流体の変形・微粒化挙動に影響を及ぼす物性が、比較的金属燃料に近い銅および銀をナトリウム中に注入するFCI模擬実験を実施し、以下のことを明らかにした。

- (1) 従来、微粒化が起こり難いと予想されていた、ナトリウムとの接触時に溶融金属の凝固が支配的となる温度条件では、溶融金属内に取り込まれたナトリウムの沸騰により微粒化が生じる(内部起因型熱的微粒化機構、図2)。
- (2) 噴出速度が燃焼初期の実機に近い条件( $We$ (周囲ウェーバー数<sup>\*1</sup>) < 200)での微粒化の支配因子は、溶融金属ジェットの過熱度(初期温度と融点との差: $T_{sup}$ )と溶融潜熱であり、これらの値の増加に伴い微粒化が進展する(図3および図4)。また、ナトリウム温度( $T_c$ )は、実機でのFCI発生時に想定される温度条件(350 ~ 450 °C)ではほとんど影響しない。
- (3) 噴出速度が燃焼中期から末期の実機に近い条件( $We > 200$ )では、過熱度と溶融潜熱の影響はほとんどなくなり、ジェットの微粒化に対して周囲ウェーバー数の影響が支配的となる(図5)。
- (4) 燃焼初期および燃焼中期から末期に想定される各噴出速度条件について、ナトリウム中で微粒化された溶融金属ジェットの粒径を与える相関式を導出した。本相関式は、実機における下部遮蔽体領域などの冷却材流路断面積が比較的広い体系で発生するFCIに適用可能である。

## 今後の展開

本研究で導出したFCI後の燃料の粒径を与える相関式を、金属燃料炉心のCDA解析コードに適用し、金属燃料FBRの安全評価を行う。

主 担 当 者 原子力技術研究所 新型炉領域 主任研究員 西村 聡

関連報告書 「溶融金属のナトリウムプール中での変形・破砕挙動に関する研究」 総合報告: L03 (2005年4月)

\*1 流体の表面張力と慣性力の比を表す無次元数で、速度の2乗に比例。 $We$ と表記。

\*2 微粒化された粒子の大きさの代表値で、質量割合の累積値が50%となるとき粒子径。

\*3 Benz, R. and Schins, H., Nucl. Eng. Des., 72, pp. 429-437 (1982).

\*4 Gabor, J. D., et al., Proc. Int. Top. Mtg. on Safety of Next Generation Power Reactors, Seattle, WA, May 1-5, pp. 838-843 (1988).

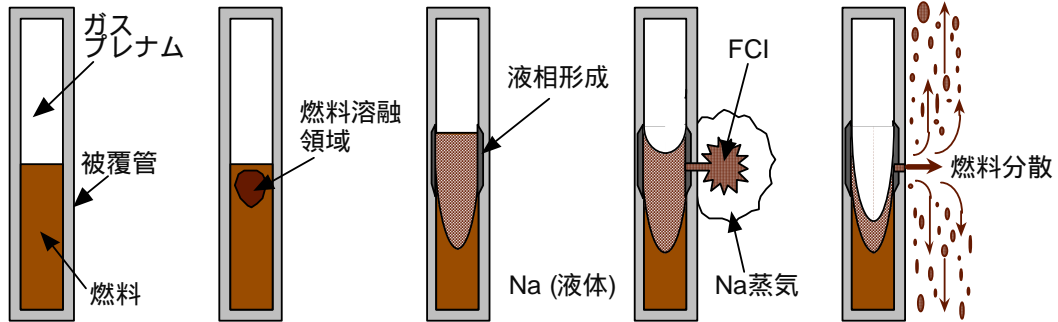


図1 金属燃料炉心における溶融燃料の放出・分散挙動の模式図

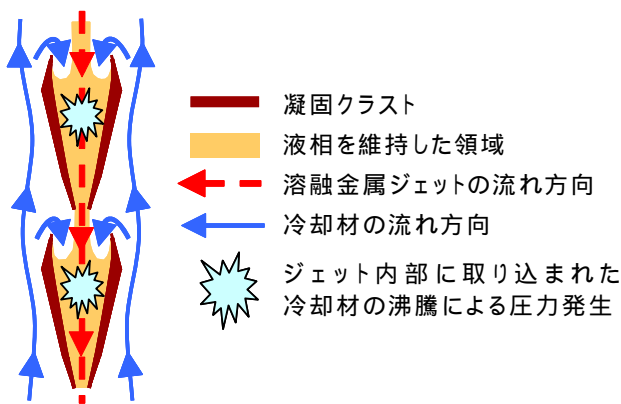


図2 溶融金属ジェットの内起因型熱的微粒化機構の模式図



図3 本実験で得られた銅凝固物の例  
( $T_{sup}:1282$  ,  $T_c:280$  )

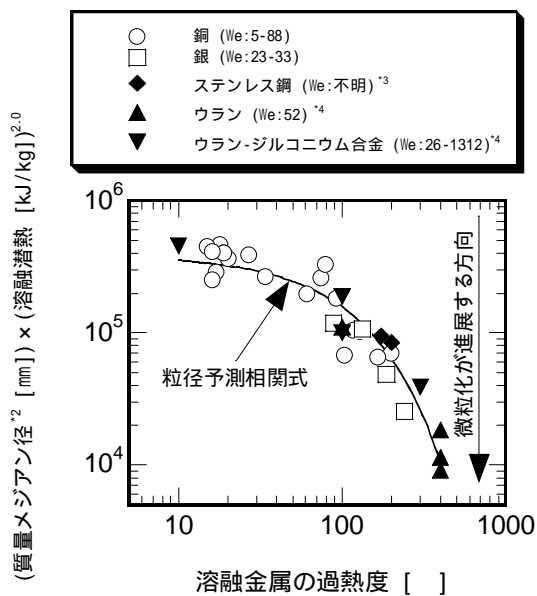


図4 溶融金属ジェットの微粒化とジェット過熱度および溶融潜熱の関係

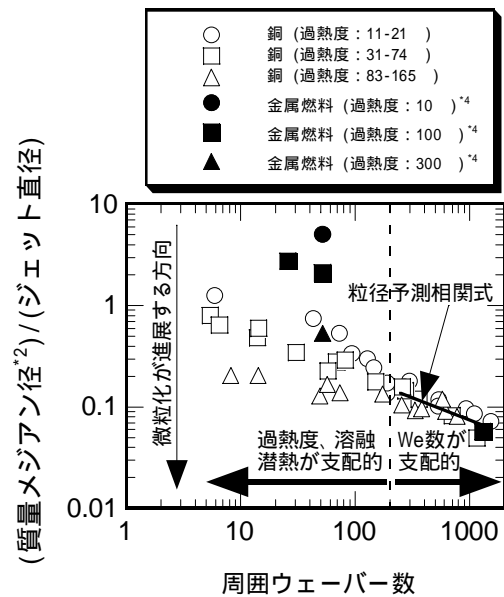


図5 溶融金属ジェットの微粒化とジェットの噴出速度の関係