

## 機械的応答過程における FCI の不確かさの影響

「常陽」第 433 回審査会合コメント「ULOF (i) 及び ULOF (iii) の機械的応答過程の解析に関して、FCI 挙動の解析の不確かさ及び THINA 試験の再現性を含めて、不確かさを十分に考慮していることを説明すること。」

機械的応答過程での機械的エネルギー発生に係る FCI の不確かさとしては、炉心から燃料集合体を通して上部プレナムへ溶融炉心物質が流出する際の集合体毎の流出タイミングに起因する不確かさと、FCI における溶融炉心物質からナトリウムへの熱伝達挙動そのものに起因する不確かさがある。以下ではこれらの不確かさについてその影響を確認するためのパラメータ解析とその結果について報告する。

## 1. 上部プレナムにおける FCI 挙動の違いの影響評価 (第 433 回審査会合において審議済み)

ULOF (i) と ULOF (iii) の不確かさ影響評価ケース (遷移過程における発生エネルギーの不確かさの影響) において、初期の燃料及びスチール温度並びに炉心平均圧力に差はほとんどなく、同程度の初期条件である。発生する機械的エネルギーも同程度である。ところが、ナトリウム噴出量の解析の主要な結果から、プラグの最大変位及びプラグ間隙部へのナトリウム流入量は ULOF (i) の方が大きい。いずれの評価事故シーケンスにおいても間隙の容量には十分に余裕があり、回転プラグ間隙を通じた原子炉容器内からのナトリウムの噴出は生じない。

この違いは、ULOF (i) では ULOF (iii) に比べて、上部プレナムに放出された燃料が炉容器壁側、すなわち UIS の下部よりも外側に放出されたため、一旦収縮を始めた CDA 気泡内で再度 FCI が発生したことによる。この燃料の放出挙動の違いは、ULOF (i) では燃料集合体の径方向中心部から炉心物質が先行して放出されて CDA 気泡が拡大し、UIS 下面の中心部から先行してナトリウムが消失しているのに対して、ULOF (iii) では UIS 下面のナトリウムが径方向に概ね一様に減少しており、UIS 下面中央部にナトリウムが取り残されて FCI が大きくなり、結果として上部プレナムの UIS 下面より外側への放出が抑制されたことによる。

上部プレナム下部における FCI に対する S I M M E R-IV の適用性は、THINA 試験解析によって確認されている。しかしながら、THINA 試験は直径 30cm、深さ約 2.7m のナトリウムプールの下面から高温融体を噴出させた試験であることから、実機体系への外挿性における不確かさ、特に上述の様に燃料集合体出口のような広い流出経路からの流出パターンの違いの FCI 挙動への影響を評価することを目的として、ULOF (iii) の即発臨界超過直後の炉心内の物質配位を組み替えたパラメータ解析を実施した。その結果、基本ケースでは機械的エネルギー約 2.6MJ、プラグ下面圧力の最大値約 1.03MPa であるのに対して、パラメータ解析ケースの中で最大となった値は、それぞれ約 2.9MJ、約 1.35MPa であった。この場合でも、遷移過程におけるエネルギー放出の不確かさ影響評価ケースの約 3.4MJ、約 1.8MPa を超えないとの結論を得た。

## 2. FCI 挙動の不確かさの影響評価（今回新規説明）

THINA 試験解析における FCI 現象の再現性については、第 1 図に示すように S I M M E R による解析結果は THINA 試験で測定された圧力波形の特徴を適切に捉えているものの、詳細な圧力波形を完全に再現しているとは言えず、FCI で発生する圧力過渡そのものに関する不確かさも残ると考えられる。このため、FCI で発生する圧力過渡の不確かさの影響を確認することを目的として、上部プレナム下部における炉心物質からナトリウムへの伝熱速度を定数倍することで、FCI による発生圧力を保守的に解析するパラメータ解析を実施した。

ULOF (i) 及び ULOF (iii) の基本ケースをパラメータ解析の対象として、それぞれ上部プレナム下部における炉心物質からナトリウムへの伝熱速度を定数倍する。上述の通り、S I M M E R は THINA 試験における過渡圧力波形を適切に再現できているため、伝熱速度の倍率は 2 倍程度とすれば十分と考えられるが、ここでは念のため 5 倍とするケースも実施した。パラメータ解析の結果を第 1 表に示す。基本ケースの機械的エネルギーが ULOF (i) の約 1.7MJ、ULOF (iii) の約 2.5MJ に対して、2 倍のケースでそれぞれ約 1.8MJ と約 2.2MJ、5 倍のケースでもそれぞれ約 2.2MJ と約 2.1MJ であり、伝熱速度の影響は顕著ではなく、不確かさ影響評価ケースのそれぞれ約 3.6MJ と約 3.4MJ を超えないことが確認された。

ULOF (i) では炉心物質からナトリウムへの伝熱速度の増加と共に発生する機械的エネルギーが増加する結果となったが、ULOF (iii) では伝熱速度を増加させると機械的エネルギーが低下する結果となっている。これは、伝熱速度の増加が機械的エネルギーを生む駆動力となるナトリウム蒸気の発生量を増加させる機構と減少させる機構が存在し、これらが重畳する結果として機械的エネルギーの発生量が定まることによると考えられる。このため、ULOF (iii) における伝熱速度と機械的エネルギーの関係を調査した。

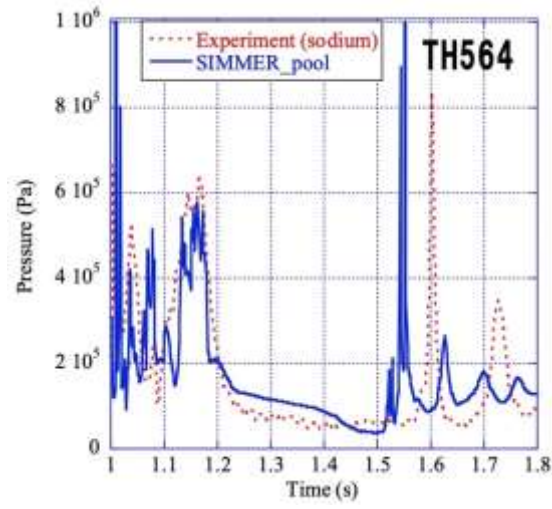
第 2 図から第 4 図に ULOF (iii) における CDA 気泡 (FCI によって生じる上部プレナム下部のナトリウム蒸気泡) の体積、圧力、機械的エネルギーの時間変化を示す。第 3 図に示す様に最初の FCI によって生じるナトリウム蒸気圧は伝熱速度の増加とともに大きくなるが、圧力の減衰も早くなる。これは、第 2 図に示すように CDA 気泡体積の増加も早くなり、高温の炉心物質と液体ナトリウムとの界面が離れることになり、FCI の持続時間が短くなったと考えられる。このため、結果として発生する機械的エネルギーの最大値が基本ケースよりも小さくなった。

## 3. FCI の不確かさの影響評価のまとめ

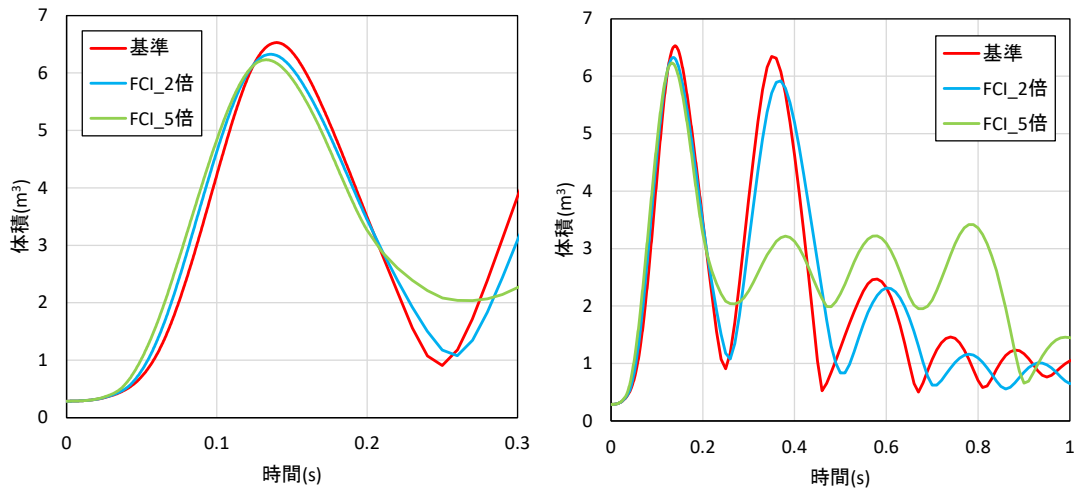
機械的応答過程での機械的エネルギー発生に係る FCI の不確かさの影響を確認するためのパラメータ解析を基本ケースに対して実施した。結果として、FCI の不確かさは機械的エネルギーに大きな影響を与えることはなく、一次系バウンダリへの機械的負荷を評価する上では、遷移過程で発生する熱的エネルギーを支配する現象の不確かさを考慮したケースが最も保守的な結果を与えることを確認した。

第1表 FCI 現象の不確かさの影響評価結果

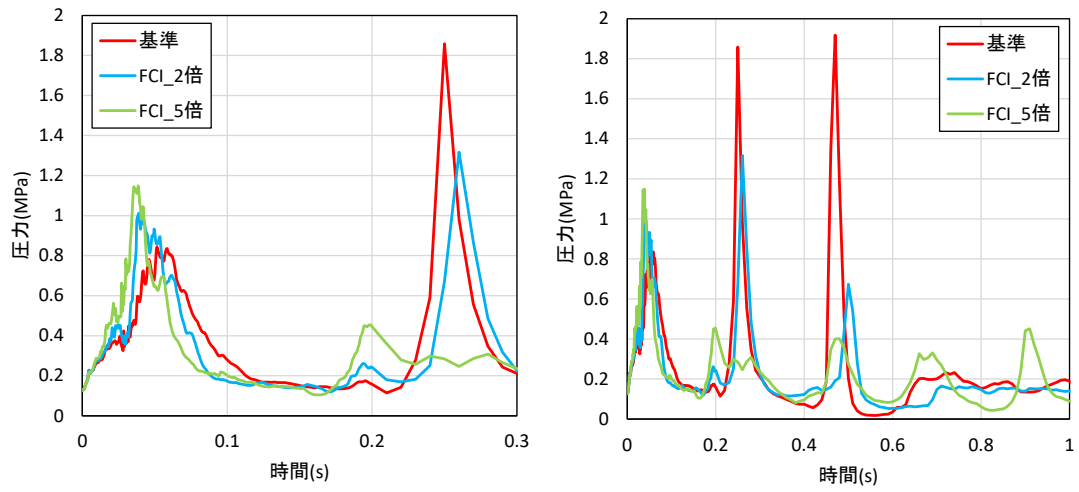
	基本ケース	伝熱速度 2 倍	伝熱速度 5 倍	不確かさ影響評価ケース
ULOF ( i )	約 1.7 MJ	約 1.8 MJ	約 2.2 MJ	約 3.6 MJ
ULOF ( iii )	約 2.5 MJ	約 2.2 MJ	約 2.1 MJ	約 3.4 MJ



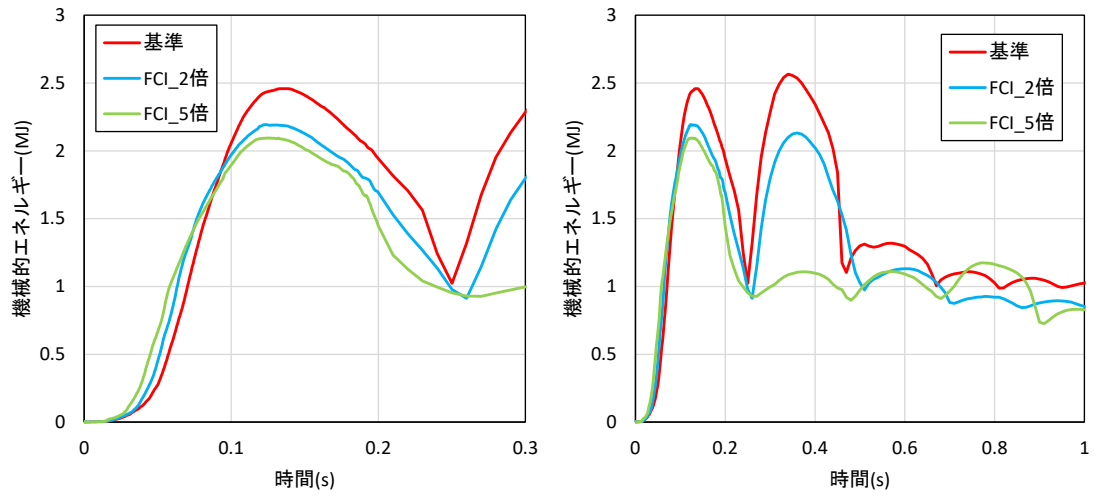
第1図 THINA 試験における FCI 領域圧力履歴の S I M M E R 解析結果



第2図 CDA 気泡の体積



第3図 CDA気泡の圧力



第4図 機械的エネルギー