

原子力発電所で発生しうる過酷事故の挙動を理解し、今後の事故防止策に役立てるには、炉内で進行する現象を物理法則に基づいて予測する手法が必要とされている。しかしながら、現時点において、これらの現象を忠実に数値解析する手法は確立されていない。電力中央研究所の稲垣氏は、従来の粒子法に熱伝導や溶融・凝固、表面張力などの物理モデルを実装することで、新次元の解析コードの開発に努めている。

# 未来への 叡知

複雑に入り組む物理現象を  
忠実に再現する解析コード

原子力発電所で過酷事故が発生した場合、その炉内では構造材などが溶けて、流れ、水面や床面に触れて再び固まる、という複雑な現象が生じる可能性がある。過酷事故全体の理解を深めるために、個々の現象を忠実にシミュレーションする解析コードの開発が求められている。

電力中央研究所の稲垣氏は、粒子法(MPS法)と呼ばれる手法を発展させることで、様々な物理現象が相互作用する状況にも対応する解析コードの開発に努めている。粒子法は空間をメッシュ分割して数値計算を行う解析手法ではなく、細かな粒子の動きをトレースしながら全体像を把握する解析手法となる。ただし、既存の粒子法は主に液相の流動現象のみを再現するものであり、炉内の状況をシミュレーションするには至っていない。そこで稲垣氏は、従来の粒子法に表面張力や溶融・凝固、輻射熱、熱伝導、界面熱伝達、剛体運動といった物理モデルを追加した新しい解析コードの開発に挑んでいる。

原子炉以外にも応用できる  
汎用物理シミュレーション

稲垣氏が開発した解析コードは、これまで数値計算が行えなかった現象にも対応する解析手法となる。このため、原子炉以外の分野にも幅広く応用できると考えられている。

「製造のように熱伝達、溶融・凝固などが関わる現象に今回の技術を応用できると考えています。初期値や境界値を変化させることで様々な状況に対応できますが、その基幹となるコードは一つしかありません。最終的に辻褄を合わせる簡易的なコードではなく、物理現象を忠実にシミュレーションしていることが最大の強みです」

今後の進展については、「現在は液相と固相だけをシミュレーションしていますが、これに気相も取り入れ、さらに、異なる物質の境界面で融点が低下する共晶現象も実装していきたいと考えています。いずれも過酷事故時の炉内を再現する重要なフラクターになるので、欠くことはできません」と述べている。

2017年度中には、実際の炉内を模した試験を対象とした数値解析も実施される予定だ。これについて稲垣氏は、「試験結果を再現するだけでは数値解析の意味がありません。試験では測定できない現象を数値解析で見極めることも目標の一つです」と語っている。

粒子法は一つの武器  
バランスのある研究を目指す

稲垣氏は、大学院の博士課程において、粒子法の権威である東京大学越塚教授の下、研究に勤しんできた経歴を持つ。その一方で、「私にとって粒子法は大きな武器ですが、粒子法に固執している訳ではありません。

# 叡知

Wisdom for  
the future

電力中央研究所

<http://criepi.denken.or.jp/>

## 過酷事故時の原子炉内をも再現可能な マルチフィジックス粒子法の開発

「たとえば、熱という要素を新たに追加するだけでも、その計算は急激に複雑化します。さらに、溶融や凝固などの物理モデルを追加していくと、数式どおり厳密に計算していくのが非現実的になるケースも少なくありません。よって、最適な結果を得られる近似法を見出し、それが理論解と合致するかを検証

していく必要があります。ときには千以上のパラメータを網羅的に試して最適値を探る、という泥臭い作業を行う場合もあります」

このようにして開発された解析コードは、様々な物理現象を取り扱うことのできる、他に類を見ない解析手法として注目を集めている。

せん」という持論も展開している。

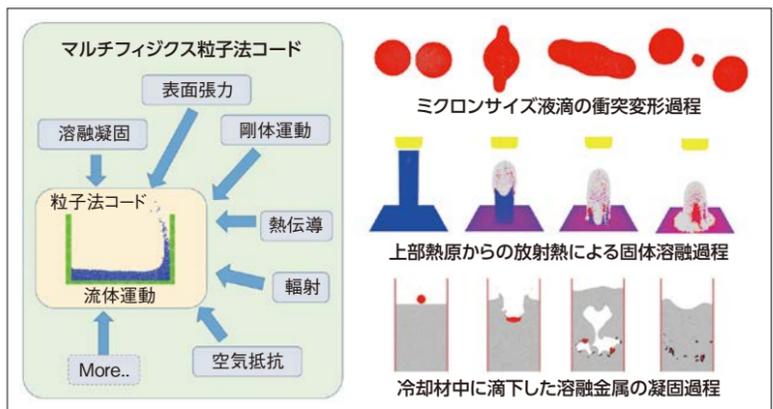
修士課程ではスウェーデン王立工科大学に在籍し、ケープルの摩耗という粒子法とは関連性がない研究にも従事した。また、福島原発事故の汚染水処理でセシウム除去装置が導入された際には、「セシウムをどれくらい除去でき、どれくらいの周期で吸着剤の交換が必要か？」といった問題を解析するコードをわずか一週間で開発した実績もある。この解析コードは約半年間にわたって運用され、装置の劣化箇所の推定などにも貢献したという。

「汚染水処理のコード開発はスピードが重視される研究でした。一方、現在の研究は精度重視の研究となります。解析コードの研究は、スピードと精度のバランスを見極めながら開発を進めていく必要があります。社会の役に立ちたいという思いが根幹にあつてこそ、バランス感覚のある研究が行えると思っています」

電力中央研究所では、迅速な結果を求められる研究だけでなく、将来を見越した長期的な研究も進められている。いずれも研究者にとって挑戦し甲斐のあるテーマであり、その成果が社会の未来を照らす礎になることは間違いない。



稲垣 健太 Kenta Inagaki  
一般財団法人 電力中央研究所 原子力技術研究所  
燃料・炉心領域 主任研究員



マルチフィジックス粒子法コードの構造と解析例