

## 過酷事故・防災の連携と関連する日本と世界の過酷事故研究の概要(ver.3.7)

2018年4月11日 岡 芳明

連携のためには、まず日本と世界の過酷事故関係組織と研究開発の概要を関係者で理解し共有を図るとよい。解説・研修資料を作るとよい。欧米の既存資料、例えば NUREG-CR-6042【Sandia 研が作成】や欧州 SARNET の研修資料【2011年 PISA 大学】等を利用・共有する。ハンドブック、eラーニング資料作成でもよい。

東電福島事故で得られた知見を組み込んで、軽水炉過酷事故挙動の解説【たとえばBWRでは NUREG-CR-6042 の3.7節の改訂版】を作るとよい、これは事故を起こした日本の責任ではないか。日本で税金を使って行われた事故説明活動、東電福島廃炉関係の活動のみならず、国際機関の活動【福島プロジェクト】や米国等との共同研究で得られた知見も反映するとよい。BWR の過酷事故知見は米国でも PWR に比べて不十分で、良い解説が作れると、日本の過酷事故研究と研究者が世界から一目置かれることになる。

さらに、全電源喪失だけではなく、10 いくつあると言われている過酷事故の主要シナリオについての解説を作るとよい【確率評価ではない】。

PWR についても主要シナリオについて解説を作るとよい。

過酷事故の基盤となる知見の研修資料【たとえば欧州 SARNET の研修資料のようなものを参考にしつつ】を作ること目標に、講師と研究グループを育成し、研修を行うとよい。日本の研究者は軽水炉設計や構造の知見が不足していると感じるので。過酷事故の進展と関係して軽水炉の構造の理解を図る資料も用意するとよい。

産業界（メーカや電力）単独では、欧州 SARNET の研修資料にある内容の研究を行い、得られた知識をまとめたもの【知識基盤】を作ることにはできない。知識基盤構築や知識化の作業は研究開発機関や大学の役割です。研究開発機関の役割を新型炉の実用化と考えるのは時代遅れ【原子力国産化時代の意識】で、こうした基盤構築と知識化の役割を果たす必要があります。欧米の研究開発機関はそうした役割を果たしています。日本の研究開発機関や大学はこうした期待にこたえる努力が求められています。

知識基盤構築と言うと分かりにくいかもしれませんが、過酷事故研究が目標とすべきプロダクト【成果、成果物】は、軽水炉の過酷事故対策や発電利用など実用面以外に、研究開発では、知識を体系化した報告書や、知見を作り込んだ計算コード、過酷事故とその対策に関する知識と人材と研究開発設備の集合体、世界が一目おく研究者、世界をリードする研究者、

日本で役立つのみならず、海外から注文を受ける研究開発などではないでしょうか。言い換えれば、**The researcher, The research group, The research results, The paper, The report** と世界の研究者が呼ぶものを日本が作り出すことが目標です。これらが知識基盤構築です。

過酷事故研究に限らず、知識基盤は人材・知識・研究開発設備から構成され、イノベーションのインフラです。イノベーションはどこかから借りてくることはできませんが、イノベーションのインフラは作ることができます。

以下は 原子力委員会事務局用に日本と世界の過酷事故研究グループをまとめたものです。

過酷事故・防災の連携プラットフォームは欧州の **SARNET** のような活動が参考になります。**HP** で情報共有を図っていました。運営は **CEA** と **KIT** の過酷事故研究者が中心的にやっていました。これらの機関は **OECD/NEA** の過酷事故研究プロジェクトの担当でもあるので、その活動（研究会・報告会）とも連携していました。現在の **NUGENIA** の過酷事故では **IRSN**（規制側の **TSO**）の名前が上にあっただと思いますが、この状態をすぐ日本で実現するのは難しいと思います。

日本の過酷事故研究関係者はおおよそ次のようなグループかとおもいます。（厳しい意見も書いてありますが、批判を述べないと進歩はないので）

1. 電力・メーカ・電中研：米国とやってきた方々（メーカ・電力のかたも）、**EPRI** と連携、**MAAP**（産業界以外非公開）、アクシデントマネジメントや設計対応の実用派で、知識基盤構築の意識は弱いのでは。米国研究者では **Bob Henry**。**MAAP** は解析コードというより、プラントシミュレータコードです（挙動を予測するのではなく、アクシデントマネジメントのためにそれらしい挙動を再現するコード）

2. 原子力規制庁

3. エネ総研、**SAMPSON** コード開発と東電福島事故解析等。**NUPEC** 時代から研究している。

4. **JAEA** 安全研究グループ(基礎基盤部門含む)：現象の研究に興味がある印象。自分で開発した使える過酷事故コードを持っていない。**MELCOR** コードは使える、それを生かして **JAEA** の過酷事故研究全体を俯瞰する必要があるのではないか。大洗の高速炉過酷事故グループがいる。優秀な人材も多い。歴史的には過酷事故研究は高速炉から始まった。

5. 大学教員 世界的に顔の見える成果を出している研究者まだいないようである。個別現象の研究中心ではないか。たとえば MELCOR コードを使って俯瞰的に研究している方はほとんどいない印象。委員会の座長をやっても自分でやらない限り本質的には理解できない、無駄ではないが。

自分の経験を紹介すると、早稲田で粒子法を使った溶融物流動凝固計算機実験と MELCOR コードを組み合わせて、ポスドクや大学院生とともに研究していました。競争的資金も獲得しました。東電福島1号機の MELCOR コードの入力データはフィンランド VTT の方が公開しているのでやる気があれば計算コードを作る能力のある学生がいる研究大学ならできるはずですが。ほとんどの方が視野狭く（炉物理静特性、熱流動、材料など自分の専門分野の現象研究の域を出ない）、過酷事故を俯瞰的に研究していない印象です。原子力学会の部会も細かく細分化されていて、俯瞰的な研究志向がない場合が多いのが欠点です（日本人は小さいムラを作りやすい）。なお欧州の過酷事故研究をリードしてきたスウェーデン王立大学の Sehgal 先生は、最初は炉物理が専門だったそうです。

かなり勉強しないと世界の第 1 線の研究はできません。連携は研究者の意識を変え、まずこのレベルの方を生み出すのが目標です。過酷事故解析コードと組み合わせて研究しないと俯瞰力はつきません。誰かに聞いて勉強するのではなく、先端の研究テーマを設計との関係を必死で考えて俯瞰的知見を習得する必要があります。軽水炉設計の知識も必要です。ある程度知識が出来たら欧米の過酷事故の研究所を訪問するのは役立ちました【早大時代に日本で話を聞いたのは日本原子力学会の安全部会が東大で開いていた東電福島事故の報告会だけです。英文文献はあるのでそれをよく読んで考えるとよい。大学の研究では人の話を聞いて研究テーマを決めるのは後追いになるだけ。一流の研究者はそんなことはしていない。世界の常識です。】

自分は NUREG-CR-6042 の 3.7 章の BWR 過酷事故の記述から理解を始めて、その参考文献、関連実験の文献などをネットでさがして勉強し、研究の重要点を考えました。軽水炉設計や構造の知識も必要で重要です。BWR の細かい構造や溶接法の情報はメーカーの OB の方の協力を得ました。

なお米国の BWR 過酷事故の研究は当初は ORNL が行っていましたが、実験が少なく、物理的考察に依存しすぎており、その報告書はこの点に注意して読む必要があります。その後 BWR の過酷事故解析は SANDIA 研の MELCOR に統合されています。

学会の委員会で以前にやっていましたが、既存コードのパラメータを振って感度解析して研究重要分野を決めるのは不十分です。なぜならモデルの誤差が過酷事故解析では一番大きいのに、それがこれでは出てこないから。計算の誤差・不確定性の原因は、モデルの誤差、用いるデータの不確定性、計算手法の誤差の 3 つです（東大古田一雄先生の博士論文）。ふつうはモデルとモデル化の誤差が一番大きい場合が多いです。

もう一つは確率論的リスク評価の数字の問題にしまっている場合があります。数字をいくら眺めても進歩はないです。未知のリスクは物理的な考察と研究をやる中で気が付

き、見つけることができます。

日本人が異論を述べないこと、お互いに批判しないことによる信頼性低下（共通要因故障）も日本特有のリスクなのではないでしょうか（メルマガ 2017 年 10 月 6 日号参照）。異論を述べ批判するには、そのために人一倍の勉強が必要です。

連携によって俯瞰力と専門性の拡大を期待します。ニーズを知り、異なる考え方に触れることができます。

畑村政府事故調委員会委員長は事故の知識化が必要とっておられます。過酷事故研究は必要性が高いので研究費を得られる機会は今後も多いはずで。畑村先生は 7 つの提言のうち個人に対して「自分の目で見て自分の頭で考え、判断・行動することが重要であることを認識し、そのような能力を涵養することが重要である。」と述べておられます。

6. CLADS：福島廃炉関係の仕事、JAEA 基礎基盤部門が協力しているとのこと。

## 7. 東電など

### 世界

・米国は規制側の予算による活動ですが、SANDIA 研が長年活動しています(Randy Gauntt, Dana Powers ら)。NUREG-CR-6042 を作った。MELCOR コードの改良を行っている。コードも公開して日本でも使える。規制庁もこれを使っている。毎年ユーザ会をDCで開催。アルゴンヌ研には溶融物コンクリート相互作用を長年研究している専門家(M.Farmer)がいます。Wisconsin 大学の Corradini 先生が長年研究していました。

米国産業界の活動はアクシデントマネジメントに目標があり、EPRI がコアになってプロジェクトを提案し、研究費を集めて研究開発を行っている。コンサルタント会社があり、Robert(Bob) Henry がいる。彼は東電福島事故後、アクシデントマネジメントの観点で本を出版している。TMI 事故解明に関して産業界で行われた実験にも触れられている。たとえば計装配管内の溶融物の凝固挙動。

### 欧州

・フランス、CEA カダラッシュ：長年、過酷事故研究をおこなっている。OECD/NEA のプロジェクトも主導。調査して概要をまとめるとよい。例えば Phebus 実験、溶融物コンクリート相互作用など

・ドイツ、KIT 炉心損傷初期から溶融物コンクリート相互作用、水素燃焼などテーマごとに研究 CEA の研究者とともに欧州 SARNET の主力メンバーだった。過酷事故研究は高速炉プロジェクトがなくなった後の KIT の中心テーマ。炉心損傷初期の研究はそれ以前の LOCA 研究の延長線上にあり、世界をリードする知見が生まれた。

・スウェーデン王立工科大学 Sehgal 先生が長年リード、SARNET もリード。本も作った。引退し後任がやっているとのこと。

・欧州共同体の NUGENIA【第 3 世代炉関係の研究活動】と関連して、SARNET の続きの活動が行われている。

・OECD/NEA の福島関連の活動がある。IAEA の活動もあるはず。

NUGENIA や OECD/NEA、IAEA 等の活動に日本から参加している機関や研究員は、税金を使った活動なので、その活動の解説を作り、日本で紹介する義務があるのではないか。情報を組織内に閉じ込めるのは、国産化時代の各組織の国内競争・縦割りの名残であり、国際競争力、人材育成等を阻害してきた。

韓国：KPR1400 が過酷事故を考慮した設計なので、KAERI が組織的に研究。日本よりレベルが高い印象。

中国：上海のグループを中心に、ドイツなど欧州と過酷事故共同研究。

米国の知的所有権に依存しないために、韓国、中国とも国産の計算コードを開発し、過酷事故解析コードも開発されているはず。

過酷事故対策を含む軽水炉設計については、早大時代の最後の仕事として、ドイツレバの友人と以下の本【オープンアクセス】にまとめてある。BWR 関係の過酷事故対策は当時、情報がなかったので入っていない。

Y.Oka and. D.Bittermann, “Chapter 12, Implications and Lessons for Advanced Reactor Design and Operation”, Reflections on the Fukushima Daiichi Nuclear Accident, Jan 2015 Springer

以上述べてきた記述は岡が早大時代【2014 年 3 月まで】に得たものをもとにしています。その後の進展はフォローしていません。今後の過酷事故・防災の連携等の活動においては、東電福島事故とその廃止措置対策等で得られた知見などの反映を期待しています。

国内外で行われた過酷事故実験のプロジェクトの報告書のデータを収集し、所在を公開する必要がある。特に日本が国内外で行った実験については 1 次委託の報告書を収集し、開示する必要がある。収集作業は事務的な仕事（たとえば図書館の司書のような仕事）なの

で、それを研究に生かすためには、過酷事故の進展ごと（例えば 2011 年のピサ大学の過酷事故セミナーの項目ごと）に、過去に得られた主要な知見と今後の課題の要点を、現在の主要な国内外の研究の状況まとめた解説（ストーリー）を作り共有するのがよい。要点を押さえてストーリーを語れる人材が出てくることを期待したい。

ピサ大学で 2011 年に開催された過酷事故セミナーの項目を参考に、公衆の安全確保にとって重要な揮発性核分裂性物質の挙動の項目を加えると以下となった。これらの項目について、重要点を理解し共有する必要がある。世界で一目置かれる人材が育つことを期待したい。

- ① 炉心損傷初期
- ② 炉心崩壊期【炉心損傷後期】F P、エアロゾル、ヨウ素挙動なども含む
- ③ 原子炉容器内溶融物挙動と冷却性
- ④ 原子炉容器と 1 次冷却系統破損・溶融物・F P 放出挙動
- ⑤ 格納容器直接加熱（DCH）など格納容器とシール部等の破損挙動
- ⑥ 溶融物の格納容器床での拡がり挙動、構造物との相互作用
- ⑦ 溶融物とコンクリートの相互作用（MCCI）
- ⑧ 原子炉 1 次系からの揮発性 F P 等の放出に影響する挙動、配管沈着挙動等も含む
- ⑨ 格納容器と原子炉建屋からの揮発性 F P 等の放出に影響する挙動
- ⑩ 原子炉建屋外での揮発性・気体状 F P 等の拡散と付着挙動
- ⑪ オフサイト環境中での F P 等の挙動（緊急時対策・事故復旧対策関連で）
- ⑫ 過酷事故時の RCIC など非常用炉心冷却系や原子炉 1 次系と格納容器とその弁、シール等の挙動
- ⑬ 溶融物等の高温物性
- ⑭ 個別事象