

■ Q 1：原子炉の制御について

- ・ FP 生成後の速い中性子はウラン 238 に吸収されるだけでですか？
- ・ 原子力発電で、吸収する中性子と再利用する中性子はどのように管理しているのか？
- ・ 核分裂の発生頻度はどのように制御しているのでしょうか？

講師は原子炉の専門家ではないため、あくまで資料を読んだ理解ですが、日本で使用されている軽水炉は以下の様に制御されているようです。

まず、核分裂で発生する中性子の多くはウラン 235 やウラン 238 以外の物質に吸収されます（されるように燃料や原子炉の構造が設計されています）。残りの中性子のうち、反応に関与する中性子量をさらに制御する仕組みが有ります。

原子炉内に配置されている燃料棒（ウラン等を焼成した燃料ペレットの集合体）の間には、中性子を吸収する制御棒や、熱の輸送と中性子減速を兼ねる水（中性子を吸収するホウ素を混ぜる場合も有ります）の配管があります。この制御棒の差し込み具合を変えたり水に含まれるホウ素の量を変えることによって中性子の吸収率を変えます。また、水の流量（の変更により、沸騰で生じる蒸気と水の比率）を変えることで中性子の減速具合を変えることもできます。これらの手段によって、核分裂に使われる中性子の量を制御しています。

ちなみに、純粋に核分裂だけで発生する中性子（即発中性子）だけだと、中性子が放出されてから次の分裂が起きるまでの 1 サイクルが 0.1m 秒程度しかありません。仮に 1 サイクル当たり中性子を 0.1% 増えるような制御を行った場合、1 秒後には  $1.001^{10000} \approx 22000$  倍になってしまい、実質的に制御不能です。

しかし、FP の中には中性子を放出して壊変する半減期が 1 秒以下・数十秒程度の核種があります（この壊変による中性子は、核分裂にわずかに遅れて発生するように見えるため、遅発中性子と呼ばれます）。この遅発中性子を含めた全中性子量の変化で考えた場合、先ほどと同じ 0.1% 増加制御による 1 秒間の変化は 1% 程度になるため、現実的な制御が可能になっています。

ATOMICA 「原子炉物理の基礎 (9) 中性子束の時間的変化」

[http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat\\_detail.php?Title\\_No=03-06-04-09](http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=03-06-04-09)

□ 講義補足

前回講義で説明したのは軽水炉と呼ばれる原子炉の構造です。時間が有れば今日の講義の最後、無ければ次回冒頭に高速増殖炉と核燃料サイクルの仕組みについて概要をお話する予定です。

■ Q 2：レントゲン撮影の仕組みは？

X 線発生装置から均一な X 線を人体に放射し、人体後方に設置した感光体（写真フィルムやイメージングプレート）で放射線の透過率の違いを画像化します。

骨のように密度や原子番号が高い部分は X 線があまり通過せず、軟組織は X 線が多く通過し、結果として身体の内部構造が画像化されます。

胃のように周辺の組織と透過性があまり変わらない組織を画像化する場合、硫酸バリウムのように透過

性の低い物質（造影剤）を胃の内面にコーティングし、硫酸バリウムの形＝胃の内面の形となるようにして画像化します。

■ Q 3：放射線と物質の相互作用の詳細

・ 電離のメカニズムに関する詳細な説明が欲しい。放射線からの衝突を受けた原子がどのような挙動を示すか、原子からどのように電子や原子核が抜けるのかということ。

・ 制動放射で放射線の運動の向きが変わるのは電磁気力がかかるためですか？

・ 制動放射の仕組みは？なぜ曲がるのか、曲線なのか折れ線なのかも知りたい。

・ 制動放射はなぜ運動方向が変わる時に光子線を放出するのか、自然界ではどのような時に運動方向が変わるのか？

・ 電磁カスケードで、光子線から電子線が発生する仕組みが良く分からず疑問に思った。

・ 電磁カスケードと電磁波の関係に共通点はないのかと思った

参考図書として挙げた「放射線と安全につきあう」から、相互作用に関する説明の一部 (p.53-60,150-151) をコピーしてお配りします。

p.57-60 は制動放射とは関係が薄いですが、今回の講義で扱う人体影響について一段深く考察する際に役立つため配布します。

なお、制動放射についてより深い解説に興味がある方には、以下のリンクが参考になるかもしれません。

EMAN の物理学 「点電荷が発する電磁波」

[http://eman-physics.net/electromag/accel\\_radiation.html](http://eman-physics.net/electromag/accel_radiation.html)

■ Q 4：御影石（花崗岩）以外の火成岩には放射能は無いのか？

花崗岩の放射能は、主に U-238、Th-232、K-40 に由来し、これらの核種は酸性岩に多いようです。詳しくは下記のリンクを参照してください。

ATOMICA 「ウランの地殻中での挙動とその分布」

[http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat\\_detail.php?Title\\_No=04-02-01-01](http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=04-02-01-01)

■ Q 5：プルトニウムを再利用するのが難しい理由は？

講師の理解では、少なくとも以下の理由が有ります。

- 1) 多様な化学種が含まれる使用済み燃料から、目的となる物質を化学分離する技術的な問題。
- 2) 再処理工程の全段階において、プルトニウムがテロ等に転用されにくい状態に維持する必要性。
- 3) 再処理工場の平常運転時はもちろんのこと、事故・災害発生時における作業員や周辺住民の被ばく防止。
- 4) 上記の課題を解決しつつ、経済的にメリットがあるレベルに費用を抑えること。
- 5) (再処理しない場合もともと共通するが) 分離した高レベル放射性廃棄物の最終処分方法が未定。

ATOMICA 「再処理の概要」

[http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat\\_detail.php?Title\\_No=04-07-01-01](http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=04-07-01-01)

国立国会図書館 「核燃料サイクルの現状と課題」

<http://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/9578218>

■Q6：海を調べる際に、どのように、放射能がどこにどの位分布するのかを特定するのか疑問に思った。

まず、調査船を使用したり、民間のコンテナ船等に協力を依頼して海水試料を採取します。

次に、そのままでは濃度が低すぎて測定できないため、リンモリブデン酸アンモニウム共沈法などを用いて濃縮し、地下に設置した Ge 半導体検出器等の高感度測定器を用いて測定を行います。実際の調査例としては、例えば以下のようなものがあります。

青山 道夫 「東電福島原発事故後の海洋での放射能汚染の推移」

<https://doi.org/10.1248/yakushi.13-00227-3>

■Q7：原子爆弾に必要なウラン濃度は、原子力発電に必要なものよりも高い理由は何ですか？

下記のリンクがある程度参考になるかと思います。

ATOMICA 核兵器用のプルトニウムと高濃縮ウランの原子炉への転用

[http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat\\_detail.php?Title\\_Key=07-02-01-08](http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_Key=07-02-01-08)

■Q8：授業で高濃度の放射能を含むキノコが見つかったとされているが、現場が原発とはあまり関係のない場所であるので原因が知りたい。

キノコは Cs を濃縮する性質があるため、他の林産物が基準以下の地域でも基準を超える場合があります。

また、原発事故の影響が大きい地域では検査・出荷制限対策が徹底されているため、結果として原発事故の影響が「少ないけれどゼロではない」地域で今回のような事例が起きたものと思われます。

食品基準値、出荷制限、検査体制などは第4回以降の講義で詳しく取り上げられる予定です。

■要望：もう少しマイクの近くで話して欲しいです。

申し訳ありません。前回はトラブルで使用できませんでしたが、もし復活していたらワイヤレスマイクを使用する予定です。

■放射線挙動シミュレーションについて補足

興味が有る方がいらっしゃったので、講師が使ったことが有るものを紹介します（他にも数種類あります）。

□EGS5

光子と電子のシミュレーションを行うことができます。Web 公開されているため、だれでも利用可能です。

プログラミングは FORTRAN で行います（豊富なプログラミング例がありますので、それを一部改変するだけならば、それほど知識は要求されません）。また、放射線教育用にプログラミング不要で簡易なシミュレーションが可能な教材も配布されています（「EGS を用いた放射線教育」<http://rcwww.kek.jp/research/shield/education/index.html>）。

□PHITS

EGS とは異なり、原子核同士の反応まで扱うことができます。プログラミングには専用言語を使用します（比較的習得しやすいと思います）。

利用には講習を受ける必要が有ります。講習を受けると無料で利用可能です。