

連載
講座今、核融合炉の壁が熱い！
—数値モデリングでチャレンジ

第4回 IV. 壁の中で何が起きているか？

大阪大学大学院工学研究科 村田 勲, 日本原子力研究開発機構 今野 力

IV. 壁の中で何が起きているか？

第Ⅲ章で詳しく述べられた通り、核融合炉では、プラズマ内に閉じ込められた荷電粒子が第一壁に激しく衝突している。それらはしかし、そこで即座にエネルギーを失うため、それより深く侵入することはない。一方、プラズマ内では、(1)式に示す核融合反応により、大量の中性子が発生している。中性子は電荷を持たないため壁を透過しやすい。しかもこの中性子のエネルギーは約14 MeV と高く、壁の奥にまで到達できる(残りのエネルギーは ^4He に分配される。詳しくはIV-4(2)項参照)。中性子は、こうして第一壁の外側領域に設置されたブランケットと呼ばれる領域に達し、様々な相互作用(核反応)を引き起こす。この章では、そこで何が起きているのか、について、中性子核反応と数値シミュレーションの助けを借りて説明していく。

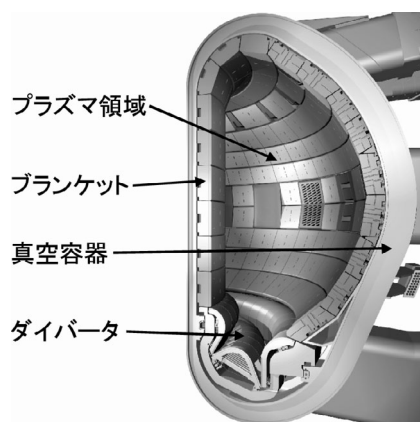


1. 核融合炉ブランケットとは？

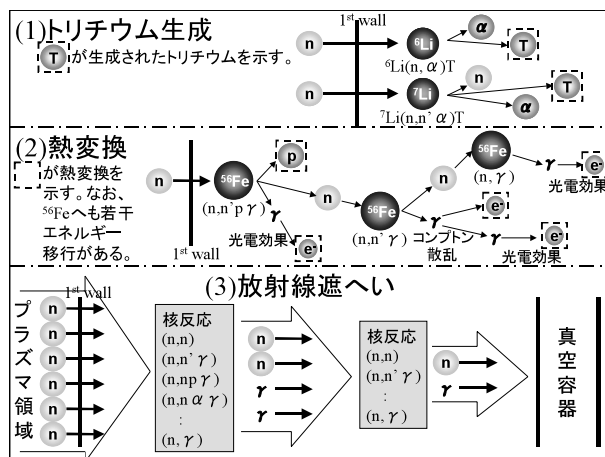
核融合炉ブランケットとは、第IV-1図の中に示されているようなもので¹⁾、プラズマ領域を覆うように設置されている。ブランケットの役割は主に3つある(第IV-2図参照)。その第1番目はトリチウム(三重水素(^3H))生成である。核融合炉には、(1)式からわかる通り、燃料となるトリチウムが必要である。しかし、トリチウムは放射性同位元素(半減期12.3年)であり、地球上に安定に存在しない。ブランケットには、中性子から核反応により巧妙にトリチウムを作り出す仕組みが備わっている。この仕組みについては、IV-4(1)項で詳しく説明する。

次に、熱への変換がある。核融合炉は発電炉であり、当然、熱を取り出し発電する仕組みが必要である。核融

合炉で発生する熱のもとになるものは(1)式で放出される17.6 MeVの運動エネルギーである。これを熱に変える役割もブランケットは担っている。これについては、第V章で詳しく説明されるが、IV-4(2)項で、その基礎となる核反応について概説する。そして、最後に、放射線の遮へいである。核融合炉の壁には、1 cm²あたり毎秒約10¹³~10¹⁴個の中性子が入射する。後に詳しく示すが、ブランケット内では、中性子の核反応により2次的に多量のガンマ線も発生する。中性子はもちろん、これらのガンマ線も外部に漏れないよう遮へいする機能をブランケットは有している。遮へいについてはIV-4(3)項に示す。ところで、ブランケットには、これら3つのほか、エネルギー増倍機能を持たせることも実は可能であ



第IV-1図 核融合炉断面図



第IV-2図 核融合炉ブランケットの役割

The Fusion Reactor Wall is Getting Hot!—A Challenge towards the Future for Numerical Modelling (4): Chap. IV What is really happening in the wall? : Isao MURATA, Chikara KONNO.

(2008年 4月3日 受理)

各回タイトル

第1回 I. はじめに

II-1 壁の前で何が起きているか？(物理モデル)

第2回 II-2 壁の前で何が起きているか？(プラズマの攻撃)

第3回 III. 壁の表面で何が起きているか

る。あまり一般的ではないためここでは取り上げないが、一つのアイデアとして、ブランケットに核燃料を装荷する核融合・核分裂ハイブリッド炉²⁾が知られている。

ブランケットは、このように50 cm 足らずの厚さの中に、実に様々な機能を凝縮した多機能先進材料ということができる。

2. 中性子核反応

すでに述べた通り、ブランケット内で中性子が引き起こす現象には、すべて核反応が関係する。ここでは、後の理解のため中性子の核反応について解説する。

中性子は、電荷がないため荷電粒子とは異なり、原子の大部分の体積を占める電子雲を障壁なく突っ切ることができる。つまり、中性子から見ると、壁は意外とスカスカした状態である。原子を野球場に、原子核を野球場の中にあるゴルフボールに例えることがしばしば行われるが、その中を飛ぶゴルフボールよりかなり小さい粒子が中性子である。つまりそのままでは、なかなか標的に当たらないと思われるが、実は、中性子はとても小さく、そのために波の性質を発現するようになる。その波がゴルフボール(原子核)に引っかかると反応を起こす。したがって、上の描写そのままではスカスカではないが、荷電粒子に比べるとはるかに容易に壁の奥まで到達する。

中性子が標的である原子核と反応する確率は barn (バーン) という単位で表される。1 barn = $1 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$ である。このように面積単位になることは、上で述べた描写からは理解しやすい。中性子から見て、原子核と衝突する可能性は、その投影面積に依存すると考えられるからである。中性子が原子核と反応すると、2 次的に中性子、ガンマ線、荷電粒子が発生する。例えば、中性子が 1 個放出される核反応は、 (n, n) や (n, n') 等と書かれる。前者は通常、中性子(n)が入射し、その同じ n が放出されると理解する。いわゆるビリヤードの衝突と同じ現象ということができるが、これは残留核が励起されないことを意味している。後者は、残留核が励起されることを意味しており、視覚的のわかり易さのため入射する n と放出される n が異なることを明示する' 記号が付けられている。なお、 (n, n) 反応の場合に“同じ” n が、 (n, n') 反応の場合に“異なる” n が、本当に放出されているかどうかについては、実は簡単には断言できない。また、 n を 2 個放出する場合もあり、 $(n, 2n)$ と書く。一般に、 x 個の n を放出する反応を (n, xn) と記載することになっている。

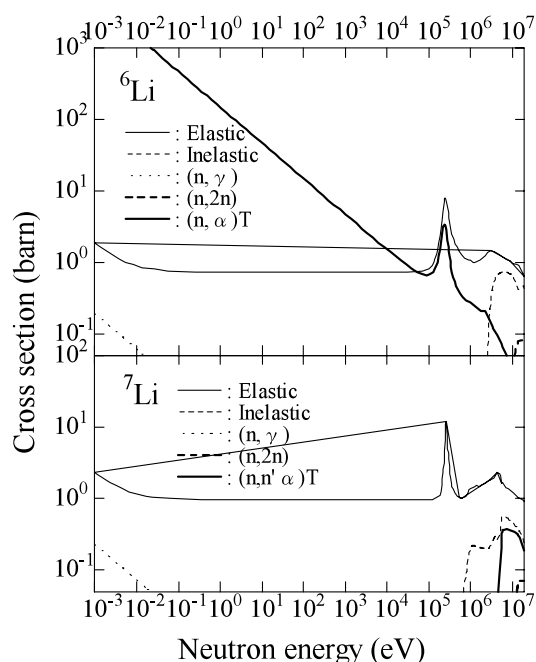
原子核の励起にはエネルギーが必要なので、中性子のエネルギーはその分小さくなる。励起された原子核は通常、すぐに基底状態に戻るが、この時 2 次ガンマ線(γ)を放出する。この反応を $(n, n' \gamma)$ と書く。荷電粒子を放

出する核反応は、 (n, p) 、 (n, d) 、 (n, t) 、 (n, α) 等と記載するが(p は ^1H を、 d は ^2H (本文中では D と記載)を、 t は ^3H (本文中では T と記載)を、そして α は ^4He を意味する)、すべての場合において、中性子の放出を伴うケースもあるし、残留核が励起されている場合や、ガンマ線の放出を伴う場合もある。 (n, p) の場合で書くと (n, np) や $(n, np \gamma)$ となる。そして、最後にガンマ線のみを放出する (n, γ) という反応がある。この反応は、エネルギーの低い中性子で顕著に起こり、中性子を消滅させる反応として知られている。この反応が起こりやすい物質に、例えばカドミウム(^{113}Cd)がある。

このように、若干複雑であるが、これらの核反応の起こる確率(核反応断面積)は、一般的に入射中性子のエネルギーによって大きく変わる。例として、第 IV-3 図にブランケット材として用いられるリチウムの同位体ごとの核反応断面積のエネルギー依存性を示す³⁾。低エネルギーで $^6\text{Li}(n, \alpha)\text{T}$ 反応の断面積が著しく大きいことがわかるが、これは $^3\text{He}(n, p)$ 、 $^{10}\text{B}(n, \alpha)$ 反応と並び例外的なものである。後で述べるが、この反応により核融合炉の燃料となるトリチウムを生産できる。これら核反応断面積はデータベース(核データライブラリー(詳しくは IV-5 節参照))として整備されており、それを用いた詳細な数値シミュレーションにより、どのような材料をどの程度の量、どのように配置すれば、ブランケットに任されている役割が果たされるのかを知ることができる。この作業がブランケットの核設計になる。

3. 中性子挙動の数値シミュレーション⁴⁾

中性子のブランケット内における挙動を理解するには、中性子がそこでどのように振舞うかを正確に知るこ



第 IV-3 図 リチウム同位体の核反応断面積

とが必要になる。ここでは、そのために行われる数値シミュレーション(中性子輸送計算)について説明する。ブランケット内で中性子が引き起こす現象は、基本的にすべてこの数値シミュレーションに基づき予測される。ある場所の中性子束強度 $\phi(E)$ [$n/s/cm^2$] が中性子輸送計算により正確にわかれば、 $\sigma(E)$ を核反応断面積、 N を原子核数とすると、 $\int N\sigma(E)\phi(E)dE$ を計算することで、その場所でこの核反応がどのくらい起こるかを精度よく評価できる。

中性子輸送を支配する方程式は Boltzmann 方程式と呼ばれ、空間における粒子の生成、消滅、漏洩のバランスを表す方程式である。これをある境界条件に従い解くことになる。例えば、原子炉の計算では、中性子のエネルギーが低いため、拡散法と呼ばれる近似法が用いられる。中性子はその濃度(数密度)の差に比例して拡散するという考え方である。詳細に解析する必要がある場合には、中性子の飛行方向の角度と空間をメッシュ分割することで取り扱う S_N 法と呼ばれる方法が用いられる。しかし、核融合炉では中性子のエネルギーが高く(それにより散乱の非等方性が大きくなる)、構造も複雑なため、もっと厳密な計算が必要になってくることがある。そのために使われる計算方法がモンテカルロ法である。この方法では、中性子の挙動をできるだけ実際に近い状態で再現することを行う。 S_N 法のような空間メッシュも使用しないため、モデル化が厳密に行えることも大きな特徴である。

モンテカルロ法に基づく輸送計算コード(モンテカルロコード)では、中性子を実際に中性子源で発生させ、散乱確率や角度分布等の核反応断面積データベース(核データライブラリー)を参照しながら、乱数を用いたサンプリングにより散乱場所や角度を決定し、実際の物質内輸送を模擬計算する。これをこの粒子が消滅するまで続けるわけである。中性子は、物質内を輸送する間、物質を構成する原子核と相互作用(核反応)を起こし、その結果2次粒子を発生することもある。もちろんこれらの粒子の挙動も厳密に取り扱う。このような計算を多数の粒子について実施すると、その平均は統計的に実際の現象を再現するというのがモンテカルロ法の基本である。しかし、モンテカルロ法には困難さもある。一般的に中性子束の強度は、25 cm 程度のコンクリート壁で1桁程度減衰するといわれているが、そうすると2 m を越えるような壁を透過する中性子の計算は難しくなる。8桁も強度が落ちることになり、これは 10^8 個の粒子を発生させることで、ようやく1個の中性子が壁の反対側に到達することを意味するからである。現在の計算機では、1分間にせいぜい10万個程度の粒子しか発生させることができず、つまり、十分な精度をもった計算結果を得るためには相当に時間がかかることになる。これを回避するため、様々な計算上の工夫が提案されており、そのほか

げで次第に実用に耐えるコードが出てきているが、ここではそのことについては触れない。

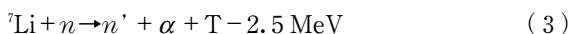
このような理由から、モンテカルロコードは、これまであまり核施設の設計に使用されてこなかったが、核融合炉では、設計上のツールとして使われるようになってきている。さらに、ここ数年各国で、モンテカルロコードで複雑な3次元形状を持つ核融合炉体系をどのように正確にモデル化するか、という計算技術の研究が盛んに進められている。第IV-4図は日本のグループの結果で、CAD データから直接モンテカルロコード MCNP 用計算モデルを作成するツールを使って作成した、ITER を40度ごとに分割したモデル(ITER 40度モデル)と、その輸送計算結果の一つである ITER の外側真空容器の水平中央部分に開けられたポート(中央ポート)に詰められた遮蔽体(プラグ)に沿った中性子束分布である⁵⁾。この研究はまだ発展途上であるが、極めて詳細な設計が可能になると期待されている。

4. ブランケットの役割

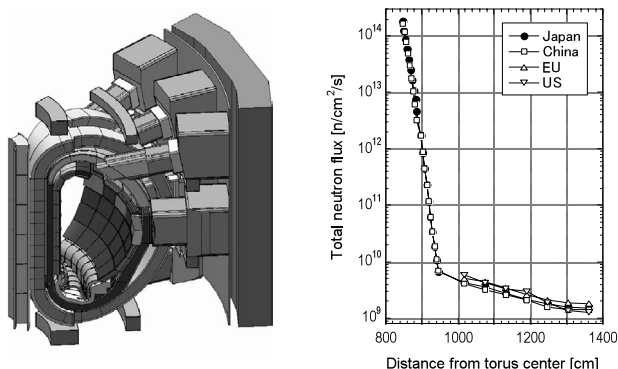
本節では、これまでのことを踏まえながら、ブランケットの役割について詳しく見ていく。なお、熱変換については、V章でより詳細に解説されるのでそちらも参照されたい。

(1) トリチウム生成

すでに述べたが、(1)式による核融合炉を成立させるためには、トリチウムを自己充足させる必要がある。つまり、T を1個消費するごとに、1個より多くのTを作り出さねばならない。これに対する解は現在、ほぼ一つしかないと考えられている。それは、次の核反応を利用することである。



トリチウムの自己充足性を示す指標にはトリチウム増殖比(tritium breeding ratio: TBR)がある。この定義は次式のようになる。



第IV-4図 ITER 40度モデルと計算で得られた中央ポートプラグに沿った中性子束分布

$$\text{TBR} = \frac{\text{系内で生成されるトリチウム量}}{\text{系内で消費されるトリチウム量}} \quad (4)$$

トリチウムを作り出す反応は、上記の通り2種類あり、それぞれの部分TBRをT6およびT7と表すことになっている。もちろん、T6は ${}^6\text{Li}$ の反応により生成されるTの分を指し、T7は ${}^7\text{Li}$ により生成されるTの分を指す。つまり、 $\text{TBR} = \text{T6} + \text{T7}$ となる。 ${}^7\text{Li}$ による反応(${}^7\text{Li}(n, n'\alpha)\text{T}$)は第IV-3図に示すとおり、 ${}^6\text{Li}(n, \alpha)\text{T}$ に比べるとそれほど起こりやすい反応ではないので、 ${}^6\text{Li}$ を主として利用することが有利であると現在は考えられている。しかし ${}^7\text{Li}$ の反応は、反応式から明らかな通り中性子のロスがなく、 ${}^6\text{Li}$ と一緒に使用してもマイナスではない。これは ${}^6\text{Li}$ の天然存在比が7.6%と少ないことから出てくる議論であるが、ちなみに現在のITERの設計では、 ${}^6\text{Li}$ は40%濃縮することになっている。いずれにしても、Tの回収時等におけるロスを考えると、Tを1個消費して発生する中性子1個から1個より多くのTを生産しておかねばならないことは明白である。

そこで次に、中性子の数を増やすことを考えることになる。このために使える核反応は (n, xn) があるが、中性子のエネルギーは高々14 MeVなので、利用できる反応は、 $(n, 2n)$ になる(第IV-5図参照)。 $x > 2$ の反応では普通、しきいエネルギー(その核反応が起こり始める入射中性子のエネルギー)が14 MeVを超えてしまうので使えない。現在はBeを使用することが検討・計画されている。なお、 $(n, 2n)$ 反応断面積は、Pb等の重核でも大きいことが知られており、慣性核融合では、液体LiPbを用い、中性子を増倍しながらTを生産することが計画されている。Beは融点が高くとても安定な元素で、 $(n, 2n)$ 反応のしきい値も約1.8 MeVとDとともに例外的に低い。この反応により生成される粒子は $2n + 2\alpha$ であり、運動エネルギーの熱への変換にも寄与しやすく、また、中性子を減速する能力が高いことでも知られている。Beを適当に配置し、 $\text{Be}(n, 2n)$ 反応により中性子を増倍・減速することで、効果的に ${}^6\text{Li}(n, \alpha)\text{T}$ 反応を起こさせる設計がなされている。なお、第IV-1表に示す通り、これまでの研究により、Beを使用する

第IV-1表 球体系によるTBR実験の計算との比較⁶⁾

(点線源-隙間(5.7 cm)-Be(11.65 cm)-Li
(40 cm)-C(20 cm))

評価方法	T 6	T 7	TBR
JENDL-3 ^{a)}	1.17	0.25	1.42
ENDF/B-IV ^{b)}	1.23	0.24	1.47
実験値	—	—	1.46 ± 0.09

^{a)}日本の核データライブラリーによる計算値

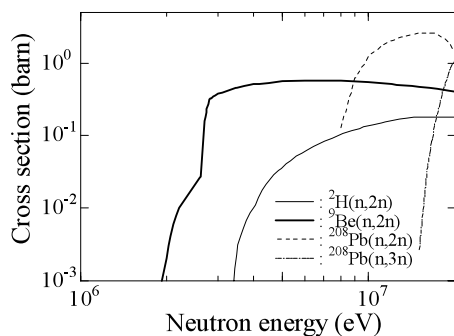
^{b)}米国の核データライブラリーによる計算値

ことで、 $\text{TBR} > 1$ が余裕を持って実現できることが実験的に確かめられている⁶⁾。

(2) 熱への変換

トリチウムの自己充足はとても重要である。しかし、核融合炉は発電炉であるから、運動エネルギーを熱に変換し取り出すことが必要になる。ただ、トリチウム生産から来る要求は避けられないので、LiやBeがある程度配置された状態が設計のスタートラインにならざるを得ない。その隙間に、除熱するための流体を流すことになる。この項では、核反応の観点から、中性子の運動エネルギーがどのように熱エネルギーへ変換されるかについて説明する。

やるべきことは、核反応の結果放出される反応当たり17.6 MeVのエネルギーをどうやって熱に変換するかということに尽きる。しかし、このエネルギーはすべて使えるわけではない。17.6 MeVは放出粒子の質量の逆比により分配され($E_n:E_\alpha = 4:1$)、3.5 MeVが α 粒子に与えられる。これは、主としてプラズマを加熱するために使用される。残りの14.1 MeVが中性子に与えられるが、この中性子の運動エネルギーを熱エネルギーとして取り出すことが必要になる。すでに述べたが、荷電粒子の場合には、物質を構成する原子と直接相互作用を起こすことで、簡単にその運動エネルギーが物質に移行され、結果的にその物質の温度を上昇させる。しかし、中性子は、原子核としか相互作用を起こさない。中性子は物質内でおおむね $\sim 1/(n\sigma)$ ^{a)}[cm]程度進んだら1回原子核と反応を起こし、その結果、2次的に中性子、ガンマ線、荷電粒子を放出する。入射中性子のエネルギーが比較的高い場合、荷電粒子を放出する反応((n, p) , (n, α) , $(n, n'p)$ 等)を起こし、中性子はそのエネルギーを失う。中性子は、この1回の核反応で消滅してしまう場合もあるが、2次中性子が放出されることも多く、実は中性子はなかなか消滅しない。2次中性子のエネル

第IV-5図 $(n, 2n)$ 反応断面積

^{a)}平均自由行程(mean free path:MFP)として知られる物理量である。この程度、中性子が進むと核反応が1回起こる距離として知られている。 σ は核反応断面積[10^{-24}cm^2], n は原子数密度[$10^{24}\text{個}/\text{cm}^3$]を表す。14 MeV 中性子の MFP は、水で10 cm、鉄で5 cm 程度。熱中性子($\sim 0.025\text{eV}$)では、それぞれ0.7 cm および0.9 cm 程度となる。

ギーは、核反応にエネルギーが使われるので、その分だけ入射中性子より小さくなる。中性子はその後も原子核と (n, n) や (n, n') 反応等を繰り返し、エネルギーを失っていく。そして、最終的に体系外に漏れるか、もしくは、低エネルギーで支配的な核反応である (n, γ) 反応を起こし消滅する。発生したガンマ線は、良く知られている通り、主として3つの相互作用(光電効果, コンプトン散乱, 電子対生成)により、そのエネルギーを全て電子に移す(第IV-2図参照)。

このように中性子は、直接運動エネルギーを熱エネルギーに変換することはできない。しかし、様々な核反応により、そのエネルギーを荷電粒子およびガンマ線に移すことで、その運動エネルギーをすべて熱エネルギーに変換するのである。

(3) 放射線遮へい

ブランケットは、これまで述べてきたトリチウムの生成と熱変換という重責を担いながら、さらに、その外側に存在する機器および人の放射線被ばくを極力少なくする機能も有する必要がある。ただし、放射線が漏れ出ることは、エネルギーが漏れ出ることでもあることから、熱変換機能とは相容れる設計となることはプラス要因といえる。

核融合中性子の遮へいは若干難しい面がある。エネルギーの高い中性子とエネルギーの低い中性子の挙動が異なるためである。遮へいの基本的な考え方は核分裂炉と同じであるが、少しだけ工夫を要する。まず、中性子の遮へいは、“もの”を置いて遮るだけでは無理である。中性子そのものを消滅させる必要があるからである。その方法は、まず、中性子のエネルギーを十分に下げることから始める。初めは14 MeVと高いが、いわゆる熱中性子($E_n=0.025$ eV)と呼ばれる領域まで9桁ほどエネルギーを下げる。そして、 (n, γ) 反応のような中性子を消滅する反応を起こさせる。この反応は、すでに述べたとおり、例えば $^{113}\text{Cd}(n, \gamma)$ でもよいし、 $^6\text{Li}(n, \alpha)\text{T}$ でもよい。第IV-3図に示す通りそれらの反応断面積は一般的にとっても大きく、中性子は消滅を免れない。中性子のエネルギーを下げるには、衝突によりエネルギーの一部をはぎ取っていけばよい。一般的に軽い核種が効果的であることが知られている。これは解析計算で確かめることができるが、ビリヤードを思い浮かべるとその物理が理解できる。ビリヤードでは、打った球(白球)が、別の球(黒玉)に衝突し止まることが時々ある(これを完全弾性衝突という)。この黒玉がもし鉛のように重たいものだったらどうなるだろうか。おそらく、当たる球(白玉)があまりに軽いため、鉛の黒玉は少しだけ動き、白玉は跳ね返るだけだろう。結局、白玉を中性子と考えると、方向は変えられたが、エネルギー(つまり速度)は減っていない、ということになる。

以上の考察から、中性子と重さが近い水素や重水素を

用いると中性子の減速には有利であることがわかる。しかし、これらの核は、14 MeV付近で断面積があまり大きくないため平均自由行程が大きくなり、結果的に壁の奥まで到達しやすい状況を招いてしまう。そこで鉄等、14 MeV付近での断面積が大きい(つまり、平均自由行程が小さい)材料を使用し、核反応が早めにかかるようにする。ビリヤードの原理で、減速はしないが、中性子の流れ(つまり、核融合炉ではプラズマから外に向かう中性子流)はせき止められ、中性子は周りに散らされる。その後、中性子を減速しやすい軽い核で減速し、最後に中性子を吸収しやすい物質で消滅させる(核融合炉の場合は、鉄がこの役割も果たしている)。これが一般的な手順になる。実際のブランケットでは、それよりもトリチウムを生産することの方が重要なため、上の手順そのままは使えない。しかし、そのことを踏まえて、優先するものは優先し、取り入れられる手法は取り入れ、適切に設計がなされている。

いずれにしても、ブランケットは50 cm程度の厚さしかないため、完全な遮へいはなかなか難しい。 ^6Li を使うことは、トリチウム生成と遮へいの両方に寄与するため、とても良いが、構造材等で発生する2次 γ 線は少々厄介である。厚い γ 線遮へい体をおくことは、空間の有効利用からは少しもったいない。ただし、ブランケットの外側にも真空容器があり、そのさらに外側には生体遮へい体が設置してあるため、50 cmで止められないことは致命的ではない。しかし、漏れが多くなることは、熱変換の観点からは少し損になる。

5. 核データライブラリーの重要性

ここまで、数値シミュレーション結果に基づき、核融合炉ブランケット内で起こっていることを解説してきた。核融合炉ブランケット内の挙動を正確に知るためには数値シミュレーション(輸送計算)技術が重要であることは議論を待たないが、実は、それと同様に重要なのがそこで使用される核反応断面積データベース(核データライブラリー)である。これについては、長年にわたって、日本原子力研究開発機構および大学を中心に多くの努力が払われ⁷⁾、その精度は設計に耐えられる程度にまで向上してきた。日本では現在 JENDL-3.3⁸⁾が公開されているが、さらに次世代核データライブラリー(JENDL-4)公開に向けた研究が着々と進められている。国際的には、核融合炉設計用核データとして、FENDL(最新版は FENDL-2.1⁹⁾)が整備され、標準的に使用されている。核データの精度向上は核融合炉の設計精度向上に直接結びつく重要なものであることを忘れてはならない。

6. まとめ

第一壁のうしろに存在する核融合炉ブランケットには、プラズマ領域で大量に発生する14 MeV 中性子か

ら、トリチウムを生産し、またその運動エネルギーを熱に変換する巧妙な仕組みが備え付けられている。しかし、50 cm 程度の厚さの中でそれらをすべて実現することは容易ではない。中性子が、ブランケットの厚さ方向に、その強度とエネルギーを数桁から最大約10桁も減衰させる事実を考える時、その予測を担当する数値シミュレーション技術にはまだまだ高度化が要求されるだろう。

—参考文献—

- 1) <http://www.iter.org/>
- 2) I. Murata, *et al.*, *Fusion Eng. Des.*, **75-79**, 871 (2005).
- 3) http://www.ndc.jaea.go.jp/index_J.html
- 4) 小林啓祐, 原子炉物理, コロナ社, (1996); モンテカルロ計算ハンドブック, 日本原子力学会, (2006).
- 5) S. Sato, *et al.*, Presented in the 11th International Conference on Radiation Shielding, April 14-18, 2008, Pine Mountain, Georgia, USA.
- 6) K. Sumita, *et al.*, *Fusion Eng. Des.*, **18**, 355 (1991).

- 7) I. Murata, *et al.*, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **Supl.2**, 1112 (2002).
- 8) K. Shibata, *et al.*, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **39**, 1125 (2002).
- 9) D. L. Aldama, A. Trkov, INDC(NDS)-467, IAEA, (2004).

著者紹介

村田 勲(むらた・いさお)



大阪大学

(専門分野/関心分野) 中性子科学/中性子核反応断面積, モンテカルロ粒子輸送理論, BNCT 用加速器中性子源

今野 力(こんの・ちから)



日本原子力研究開発機構

(専門分野/関心分野) 核融合中性子工学の実験的研究



書評

激動の世紀を生きて —あるユダヤ系科学者の回想

ロバート・W. カーン著, 小岩昌宏訳, 201 p. (2008. 1),
アグネ技術センター,
(価格2,000円+税) ISBN 978-4901496391

本書の著者, R. W. Cahn は, 材料分野では著名な研究者で, 本会会員にも多数の読者がいる核燃料, 材料分野の国際専門誌 *Journal of Nuclear Materials* の創始者でもある。第2次大戦中の少年時代, ユダヤ系ドイツ人として大変な苦労の末, 英国に渡り, ケンブリッジ大学を卒業, 学位取得の研究をハーウエル原子力研究所で行い, 当時の金属ウラン燃料で問題だった双晶変形や, 現在, 燃料のリム効果でも関心があったポリゴニゼーションの発見など独創的な研究を行っている。若くしてオランダの出版社から上記国際誌の創設を依頼され, 長らくチーフエディターを務めた。1950年代米国で材料科学という学問分野が作られ世界中に広まったが, 同氏は英国で最初の材料科学科教授(サセックス大学)になった方でもある。昨年亡くなるまでの波乱に満ちた人生

を, 率直で肩の凝らない筆致で描いている。

本書は, 著者と親交の深かった小岩昌宏氏(京都大学名誉教授)が出版前に著者から送られた電子原稿を元に, 雑誌「金属」に連載されたものを1冊の本にまとめたもので, 通常のように外国で出版された本を日本語に直したという一般の翻訳書とは異なる。実際に英国の出版社から出版されたものでは, 本訳書の5章の「転位論」に関する章は削除されているが, この章には, 例えば上述の高燃焼度燃料で関係深いポリゴニゼーションの発見の経緯なども書かれており, その意味で英語版よりも価値が高い。訳者は頻繁に著者と連絡をとって写真なども訳者撮影のものを使うなど, 原著と比べて, 日本の読者にとってははるかに読みやすいものとなっている。文章は翻訳物と思わせない名訳である。誠に残念なことに, Cahn氏は連載の最終号(2007年3月号)を見届けるかのように2007年4月9日に亡くなった。同氏が創始した *Journal of Nuclear Materials* 誌では2008年7月15日刊行の最新号で同氏の追悼記事を掲載している。



(東京大学名誉教授,
Journal of Nuclear Materials エディター・石野 葉)