

News Letter No.26, March 29, 2012

ニュースレター第26号をお届けします。
計画研究B1 & B2班の合同成果報告会を
特集です。



目次

I. はじめに	調整班B代表 深田 智	1 頁
II. 報告会の概要		2 頁

I. はじめに

調整班B代表 深田 智

平成24年3月3日(土)、東京大学根津キャンパス9号館1階会議室にて、2011年度科研費特定領域研究B1班とB2班合同の成果報告会をおこなった。この二つの班は、固体あるいは液体ブランケットにおけるトリチウム燃料の生産・回収・閉込め技術を、プロセス的見地から追跡するB1班、材料的見地から追求するB2班からなる。平成23年度は、本科研費特定領域研究の最終年度である。5年間の研究期間全体の成果はまた別の機会の全体報告会で議論するとしても、B1班とB2班を構成するメンバー全員の意思疎通を図り、問題意識を共有し核融合炉ブランケット工学の発展に寄与する決意を新たにするとして、本成果報告会を企画した。特にこのB1班とB2班はDとT間の核融合反応が一次エネルギー源として社会に利用される時に、(i)エネルギー変換機器として、(ii)燃料トリチウム回収と閉じ込め機器として、および(iii)ガンマ線の遮蔽機器として有効に働くことを証明する重要な研究である。報告会では夫々の成果を発表するとともに、科研費特定領域研究開始時の原点に立ち戻り、当初あげた二つの課題を想起し、その機能を果たすために今回の成果がどれほど貢献するかについて熱心な討論をおこなった。二つの課題とは、今回総括議論で挙げたもので、「核融合炉固体・液体ブランケットのトリチウム移行の筋道の定量化はできたか」と「自己生産ブランケット、特に増殖率1.05は達成できるか」の課題であり、そこへの関わりを中心に本ニュースレターを作成する。まず報告会の概略を記載し、最後に各課題についての議論を要約する。



写真 3月3日 2011年度 B1班+B2班成果報告会写真

II. 報告会の概要

(1) 出席者：

河村繕範 (JAEA)、榎枝幹男 (JAEA)、豊野 毅 (JAEA)、落合謙太郎 (JAEA)、片山一成 (九大)、枝尾祐希 (九大)、西川正史 (九大)、深田智 (九大)、田辺哲朗 (九大)、鈴木晶大 (東大)、八木重郎 (東大)、近田拓未 (東大)、寺井隆幸 (東大)

添付写真は出席者全員です。

(2) 発表題目 (発表者)：(発表の順番ではなく、関連テーマごとに区分する)

A. 固体ブランケット関係の成果報告：

(a-1) ブランケットモジュールにおける増殖材微小球充填体内のトリチウム回収ガス流動に関する工学的研究 (榎枝幹男)

(a-2) 固体ブランケットからのトリチウム回収に関する研究 (河村繕範)

(a-3) B1班固体ブランケット関連成果 (片山一成)

(a-4) B2 班固体ブランケット関連成果 (星野毅)

B. 液体ブランケット関係の成果報告:

- (b-1) 核融合炉液体ブランケット (Li, Li-Pb) におけるトリチウム回収研究 (深田智、枝尾祐希)
- (b-2) 弥生炉照射下 Li-Pb ループからのトリチウム放出実験 (鈴木晶大)
- (b-3) 液体 Li からのトリチウム放出に関する研究 (八木重郎)
- (b-4) 酸化エルビウム薄膜中の水素同位体透過挙動 (近田拓未)

C. 公募研究:

- (c-1) FNS におけるブランケットのトリチウム回収実験について (落合謙太郎)

D. コメント:

- (d-1) 自己生産ブランケット、特に増殖率 1.05 は達成できるか (西川正史)
- (d-2) B 班成果検討会へ (田辺哲朗)

(3) 発表概要

(3-1) ブランケット研究へのコメント

核融合炉研究開発には、これまで大きな経費が投資され、(近い?) 未来の基盤エネルギー発生装置として働くことが社会で期待されている。核融合炉が実現される次の時代であっても核融合炉だけが一次エネルギー源として働く訳ではなく、現在エネルギー源として主力の化石燃料、核分裂炉、太陽光、風力、水力等の自然エネルギー等が残り、これら一次エネルギー源との競争状態になる。そこで勝ち残り核融合炉がエネルギー源として採択される必要がある。最初に働く核融合炉は D-T 炉である。プラズマ炉心真空容器内で D-T 反応が持続運転される状況において、反応で生じた中性子とヘリウムの運動エネルギーを熱エネルギーに転換し、熱を取り出し、電気エネルギーに変換する。Li と中性子との核反応で生じたトリチウム製造と回収、また中性子と各種構造材との放射化等で発生する γ 線の遮蔽を抑える働きが必要である。そして最終的に勝ち抜くときに最も重要視されるキーワードが、核融合炉の経済性、安全性、繁用性である。社会が要求する条件を核融合炉が満足することが一次エネルギー源として必要である。

かなり以前から関係者の間で広く懸案事項とされてきたのが、初期の核融合炉に装填するトリチウム調達とそれに続く核融合炉のための製造・増殖の見込みである。この件についていろいろな場所・会合で、いろいろな方が、いろいろな図表を用いて説明し危惧している。要するに、 ${}^2\text{D}+{}^3\text{T}\rightarrow{}^4\text{He}+n$ の核融合反応で

生じた中性子を使い、天然資源にはないトリチウム燃料を Li と中性子との核反応 $n+{}^6\text{Li}\rightarrow{}^3\text{T}+{}^4\text{He}$ で生じさせる。システムを維持するためには 1 個の D-T 中性子を次世代の T 原子 1 個に転換し利用する必要がある。これを工学的に可能な系にするためには、(もし一つの核融合炉でトリチウム自給条件を満足させるには)、核融合炉 ${}^7\text{Li}$ との n-n' 反応、Be の n-2n 中性子増倍反応等を駆使して、実効トリチウム増殖率 TBR_{eff} (トリチウム回収率/トリチウム消費率) を 1 以上にする炉が必要である。なお先に挙げた中性子反応は 2.5MeV や 1.8MeV のエネルギーしきい値が存在し、かつ反応断面積もそれほど大きくなく、中性子が減速する前の高エネルギー状態で衝突反応させる必要がある。従って、ブランケット形状・設計がかなり限定され、炉真空容器のまわりを大量の Be 粒子で覆い中性子を増やす構造を取らざるを得ない。これが核分裂炉と発想の違うところであり、U1 原子、1 核分裂あたりの発生中性子が 2.4 個程度で、それを 1 中性子の平均寿命あたり 1 個まで個数を減らした上で次の核分裂と反応させ、連鎖反応を持続させるため余分の中性子を吸収させる方式をとる必要がある。

さらに磁場核融合炉維持には、例えばトカマク炉あるいはヘリカル炉等ではプラズマ閉じ込めのための磁場構造が複雑で TBR_{eff} を相当高く保つ必要がある。レーザー炉では磁場がない分ブランケット領域および面積被覆率を広く取ることはできるが、炉自体の実現性はまた別の次元の問題である。

(3-2) 「核融合炉固体・液体ブランケット内のトリチウム(T)移行・道筋の定量化はできたか」の総括議論の要点

先に挙げた様に、今回 B1+B2 班の各研究分担者が関わるブランケットートリチウム研究について集中的に議論した。最初の論点である「核融合炉固体・液体ブランケットのトリチウム(T)移行の道筋の定量化はできたか」は、研究期間内において B1 班と B2 班で極めて重要な成果が得られた。項目で挙げると、以下の様になる。

- (1) 固体ブランケット内部可視化に世界で初めて成功し、ミクロスケール内部流動とマクロ圧力損失、T 移動が一つにつながった(B1 榎枝)
- (2) 固体増殖材への水分の影響が定量化でき、固体内部からの T 放出の定量化に成功した(B1 片山、西川)
- (3) ブランケットパージガスからの新規トリチウム回収装置としてセラミック型除去装置を開発し、実用への適用可能性を示した。(B1 河村)
- (4) Li 中のトリチウム濃度測定(B1 深田・枝尾、B2 八木)、Y 回収装置による回収実証(B1 深田・枝尾)ができるようになった。
- (5) Flibe からの T 放出予測に成功した(B1 深田・枝尾)
- (6) LiPb の中性子照射(B2 鈴木)、自然対流(B1 深田・枝尾、B2 鈴木)、溶解・拡

- 散同位体効果(B1 深田・枝尾)によりトリチウム移行と物性が定量化された
- (7) 日本のブランケット第一候補材 Li_2TiO_3 に FNS からの D-T 中性子照射によるトリチウム製造と回収の実験を行い、パージガス供給により、トリチウム回収の実証を行った。7%の精度で T バランスが初めて求められた。本研究はそもそも TBR の絶対値をどう決めるかの根幹に関わるもので、決めて重要と考える。(公募落合)
 - (8) 増殖粒子の TBR 改善のため、 Li_2O 添加ブランケット材の改良がなされた(B2 星野)
 - (9) 酸化エルビウム膜による透過防止膜で世界最高性能の透過阻止率 $1/10^5$ 以下を達成し、将来の大規模装置への適用が可能な様に湿式法を新たに開発した(B2 近田、寺井)

(3-3) 「自己生産ブランケット TBR=1.05 は可能か」の議論の要点

次の課題である「自己生産ブランケット TBR=1.05 は可能か」は、B1 班と B2 班とも共通の課題であるが、この問題は、それぞれの研究テーマから離れて、積極的かつ自由な議論がなされた。会議中熱心な議論がなされたものの、私自身うっかりメモを取り忘れたので、書き漏らすことがあることを承諾していただき、思い出すままに発言内容を記述すると、次の様になる。

- (1) TBR_{eff} の定義を中性子(生産/消費)比ではなく、トリチウム(生産/消費)比の立場から見る必要がある。
- (2) ブランケット内トリチウム蓄積量と蓄積率、非定常状態と定常状態の言葉を正確に使い分ける必要がある。
- (3) $TBR_{eff}=1.05$ が十分ではなく、崩壊、保管時漏洩等の因子も考えると、核融合炉が安定した一次エネルギー源としてエネルギーシステムを支えるため、複数の規模、他の DT 炉燃料供給等の役割が必要である。
- (4) ブランケットシステム構築のため、トリチウム回収率、透過阻止、T 保持による時間遅れ等の考慮が重要である。
- (5) Fission-fusion combined reactor の想定もある。
- (6) トカマク炉では炉心ブランケット増殖材占有率が 75%程度と想定され、またブランケット厚みの余裕がない。
- (7) 炉心立体構造との連携を含めた広い視野からの共同研究の必要性がある。
- (8) 固体ブランケットでは、濃縮 ${}^6\text{Li}_2\text{O}$, Be の組み合わせで初めて高 TBR 達成できる。

以上、2011 年度 B1+B2 班合同成果報告会の総括報告でした。

九州大学 深田智