解	説
---	---

材料研究用エネルギー選択型 中性子照射試験施設 (ESNIT) 計画

(日本原子力研究所) 大野 英雄, 杉本 昌義,
加藤 義夫, 野田 健治, 近藤 達男

材料の中性子照射研究の新展開による基盤の強化と核融合炉材料開発の推進とを念頭に、重陽子加速器をベースとするエネルギー選択型中性子照射試験施設 (ESNIT: Energy Selective Neutron Irradiation Test Facility) の構想と技術検討の現状を要約した。この施設は d -Li ストリッピング反応を利用した加速器型中性子源と、遠隔操作によるその場実験装置ならびにカセット化された新しい概念のホットセル(モジュラーホットラボ)を一体化することにより、創造的研究に柔軟かつ効率的に対応すべく着想されたものである。本稿では、ESNIT の概念、重陽子加速器システムならびに液体金属 Li ターゲットシステムの技術的検討、ESNIT を用いる材料研究とその特徴などについて紹介する。

I. はじめに

原子炉以外の中性子源による材料照射研究の本格的な試験施設として設計し、実験を目指して開発を行なった最初の試みは、米国の FMIT (Fusion Material Irradiation Test Facility) 計画である⁽¹⁾。これは、核融合炉開発における材料の重要度と核融合炉特有の高エネルギー中性子の重照射による材料照射効果を適切に近似する既存手段がないという状況を踏まえた戦略的判断によるものであった。しかし、米国における政治情勢などの変化から、建設寸前の1980年代中期に至ってこの計画は挫折してしまった。

FMIT 開発(1978~85年)以降の核融合分野における材料照射実験手段確保の活動は概念の検討にとどまり、材料研究は代替手段による実験を解析的手段で補う間接的アプローチで足踏みしてきた。ここ数年間は、国際的にはもっぱら IEA 核融合材料実施協定下の活動が継続している。すなわち、概念上の目標システム IFMIF (International Fusion Material Irradiation Facility) なるものを設定し、そのあるべき仕様を追求してきた。各国で検討した結果を第1回ワークショップ(1989年2月, 米国 San Diego)に持ち寄り課題を整理した⁽²⁾。

本ワークショップでは、IFMIF の候補として、① d -Li 加速器型中性子照射装置、② 核破砕中性子照射装置(スボレーション)、③ ビームプラズマ(ミラー型)中性子照射装置、④ リバースピンチ核融合中性子照射装置、⑤ 高密度 Z ピンチ核融合中性子照射装置、の5つが提案された。これらのうち、材料研究への適合性および各

装置の技術的実現性を検討した結果、 d -Li 加速器型中性子照射装置、核破砕中性子照射装置、ビームプラズマ中性子照射装置の3つを選び、今後さらに検討を加え、1年から2年後に1つに絞り込むことで合意した。しかしながら、このワークショップで行われた IFMIF の中性子照射場の必要条件への適合性および装置の技術的実現性の評価の議論からすると、近い将来、建設可能で IFMIF の必要条件を満足する当面の唯一の照射装置は d -Li 加速器型中性子照射装置であろう^{(3)~(6)}。この点は、その後行われたワークショップ(1991年1月14~16日, 東京⁽⁷⁾; 1991年4月, 英国 Caltham⁽⁸⁾)でも確認されている。

一方、国内においては、昭和62年度の「原子力開発利用長期計画」の策定に際し、材料開発が原子力システムの基盤技術研究の主要な一つとして位置づけられた。そこでは特に、材料と中性子との係わる諸現象の解明と、それに基づく優れた材料の開発が緊急かつ重要な課題として抽出された。具体的な施策の一つとして、革新的な汎用の材料研究手段として重陽子加速器をベースとする材料研究用エネルギー選択型中性子照射試験施設 (ESNIT: Energy Selective Neutron Irradiation Test Facility) を原研が提案し、以来、内外の専門家に諮りながら概念の構築と技術的検討を進めてきた。

この施設は、FMIT と基本原理を同じくする d -Li ス
*Concept of Energy Selective Neutron Irradiation
Test Facility (ESNIT):* Hideo OHNO, Masayoshi
SUGIMOTO, Yoshio KATO, Kenji NODA, Tatsuo
KONDO.

(1991年 11月6日 受理)

トリッピング反応を利用した加速器型中性子源を中心とするものであるが、これをさらにエネルギー選択性で一步進めた上、遠隔操作による“その場”(in situ)実験装置ならびにカセット化された新しい概念のホットセル(モジュラーホットラボ)を一体化することなどにより、創造的研究に柔軟かつ効率的に対応できるように改良したものである^{(9)~(11)}。これらはIFMIFが核融合開発専用であるのに対して、当初「核融合材料研究を含む基盤的材料研究の強化を狙うもの」として位置づけられたが⁽¹²⁾、現在では「フルスケールのIFMIF実現に至る現実的な段階の一つ」として注目されるようになった。

ESNITの特徴は、高中性子エネルギー・高中性子束の照射場での材料試験が可能なことであり、しかもこの中性子源がつくる照射場における中性子エネルギースペクトルが、約5~15 MeVの間でピーク性とピークエネルギーの選択性とを有することである。中性子エネルギーの選択性と高中性子束、高照射量の実験空間を確保することは、従来の原子炉利用による照射に欠けている機能を補う上で極めて重要であり、研究炉とならぶ基本的な研究手段として将来が期待される。

さらに重要なことは、このエネルギー領域の中性子による材料重照射試験が核融合炉材料開発にとって必須の手段とされていることである。そうした背景の故に、ESNITの要素技術検討は、国内諸機関の協力のもとより、米国を中心とした国際協力の下に進められている。平成元年度以来、設計の具体化に向けた活動が一層活発化し、上記のような国際的な核融合材料開発の協力事業の中で新しい位置を与えられつつある。

国内の活動としてこの計画を振り返ってみると、昭和62年度の「原子力開発利用長期計画」の議論を受け、原研が昭和63年度以来、総合的材料研究推進調査として予算認可を受けたことに論を発する。活動は、原子力材料研究委員会(加速器型中性子源、照射後試験施設および施設利用の各専門部会からなる)に諮問しつつ進められ、産学各界から積極的な支援を得てきた。海外からは、米国エネルギー省(USDOE)、ロスアラモス国立研究所(LANL)などからの協力がある。

本稿では、施設の概念、重陽子加速器システムならびに液体金属Liターゲットシステムの技術的検討、ESNITを用いる材料研究とその特徴、などを述べる。

II. ESNIT計画の概要

施設の中心となる部分は、前述したようにd-Liストリッピング反応を利用した加速器型中性子源(以後d-

Li源)を中心に置くものであり、①加速器系、②ターゲット系、③実験系、より構成される。

1. 中性子照射場の特徴⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾

中性子照射場の特徴は、d-Li源の特徴を踏襲しつつ、中性子ピークエネルギーの選択性、照射体積の拡大(中性子束勾配の低減)、その場実験などのための照射場への接近性の向上に特に力点を置く。一方、中性子束や積算照射量については、年間照射量がステンレス鋼換算で100 dpa(1つの原子が格子点から100回弾き出される線量)クラスという核融合開発の理想的手段としての要求に特にこだわらず、技術的およびコスト的に妥当な水準をねらうことである。

第1図に、ESNITに想定される中性子エネルギースペクトルと混合スペクトル炉(HFIR)、高速炉(EBR-II)、核破砕中性子照射装置(LAMPF)等の中性子エネルギースペクトルを半ば定性的に比較して示してある。第2図は、加速する重陽子エネルギーを変化させたとき発生する中性子エネルギースペクトルを示したものであり、重陽子加速エネルギーを40~10 MeVに変化させることにより、15~5 MeVにピークを有する中性子エネルギースペクトルを得ることが期待される。

また、材料研究側からの要求を考慮したESNITの中性子照射場の仕様を第1表に示す。この表に示すように、エネルギー選択性はピークエネルギーを3段階(例えば、3~5 MeV, 10 MeV, 14 MeV)以上に選択可能とし、最大中性子束は $1.5 \sim 3 \times 10^{14} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (年間積算照射量はステンレス鋼換算で10~20 dpaに相当)を、中性子束勾配は10%以下を、照射体積は $1.5 \times 10^{14} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上の中性子束の領域について 125 cm^3 程度を想定している。

2. 概念構成

上記の照射場条件を満たした上で材料研究を行うため、以下のような概念的構成を想定している。第3図に概念構成を示す。

(1) 加速器系

- (1) 複数のイオン源(D^+ , D^- , H_2^+ ; 最大電流値50 mA, 正負イオン同時加速)
- (2) 2 MeV 規模の高周波四重極リニアック(RFQ)(連続波運転: CW運転)
- (3) タンク分割方式(5 MeV ステップ)による40 MeV 規模のドリフトチューブリニアック(DTL)(CW運転, 照射体積確保のため最大電流値50 mA)

第1図 材料研究中性子源におけるESNITの位置づけ

第2図 種々の重陽子エネルギーについて計算されたd-Li反応中性子エネルギースペクトル(dビーム方向)

- (4) 高周波(RF)電源
- (5) 正負イオン同時加速に対応し、ビーム形、サイズ、分布の制御用レンズ系を備えたビーム輸送系:ターゲットの複数化も考慮
- (2) ターゲット系
 - (1) FMIT型を基本とする流動Liターゲット部
 - (2) FMIT型を基本とするLi循環系
- (3) 実験系
 - (1) 複数の照射セル(照射装置、その場合実験装置、遠隔操作系などを含む)
 - (2) カセット型照射後実験装置(モジュラール:MODULAB)

Ⅲ. ESNITを用いる研究

ESNIT 検討ワークショップ⁽¹⁵⁾が1991年8月に開催され、以下の研究がESNITを用いて行おうべき材料研究として抽出された。

第3図 ESNITの概念構成

第 1 表 材料研究側から提案されたESNITの中性子照射場の必要条件

中性子スペクトル	d-Liストリッピング反応中性子のピーク特性を持つスペクトル
エネルギー選択性	ピークエネルギーが3段階以上に選択可能(例: 5, 10, 14~15 MeV)
中性子束	最大中性子束: $1.5 \sim 3.0 \times 10^{14} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, $0.5 \sim 1.0 \times 10^{22} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 10~20 dpa/yr(ステンレス鋼)
中性子束勾配, 照射体積	中性子束勾配: 10%/cm 以下 照射体積: 約 $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ ($1.5 \times 10^{14} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上の中性子束の領域)
中性子束のパルス性	連続ビーム, パルス運転が避けられないなら, ビーム休止時間は 10^{-6} s 以下
中性子束, エネルギーの安定性	中性子束変動: 5% 以下 ピークエネルギー変動: 5% 以下
中性子束, エネルギーの操作性	互いに独立で良好な操作性が必要
照射セル	照射セルの大きさ: 4 m(長さ) $\times$ 3 m(幅) $\times$ 2 m(高さ) 照射セルの個数: 2 個以上 照射セルへの良好な接近性 モジュール型のセルも検討する

1. 基礎基盤型材料研究

- (1) 高エネルギー中性子による照射損傷および材料特性変化の研究
- (2) 中性子照射下における材料挙動研究

2. 核融合炉材料開発研究

- (1) d-Li 源の核融合材料照射試験としての適合性の検証
 - ・計算された核データや損傷パラメータの実験的検証および損傷組織や材料特性変化に及ぼす高エネルギーテイルの影響の実験的研究
- (2) 工学的基礎研究と材料開発
 - ・中性子/中性子照射関連等の基礎的材料研究とそれに基づく核融合実験炉(DEMO)用材料等高強度・高機能・耐放射線性材料の開発
- (3) 核融合炉運転条件下での材料特性試験
 - ・国際熱核融合実験炉(ITER)や DEMO 炉の中性子壁負荷に相当する中性子束の下でのクリープ, 電気特性, 腐食等のその場実験
- (4) 寿命実験
 - ・ITER用材料の寿命確証試験
 - ・DEMO炉用セラミックス増殖材, 電気絶縁用セラミックス, 計測材料等の寿命試験, DEMO 炉用構造材の限定された寿命試験

IV. 技術的検討

1. 加速器系

ESNITで必要とされる加速器は40 MeV, 50 mA 規模のCW線形加速器である。ちなみにFMITの仕様は

35 MeV, 100 mA CW であった。ビーム電力の比較でESNITはFMITの約60%となり, 両者の間に根本的な技術上の差異はない。

FMITの開発が中止されてからこの10年間に, 加速器技術は格段の進歩を遂げており, FMITに必要であったR&D項目のいくつかは解決されている⁽³⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。一方, ESNITではFMITのときに検討の対象とならなかった新たなR&D項目が考えられている。

第1表に示した材料研究側からの要求を満足するESNIT加速器系の概略仕様を第2表に示す。平成2年度に加速器系の各構成要素についての予備概念検討を行なったが, その主要な検討結果は以下の通りである。

イオン源: D^+ , D^- , H_2^+ のおのおのについて, デュオプラズマトロン型, マルチカプス型ないしECR(電子サイクロトロン共鳴)型のイオン源それぞれの長所, 短所がまとめられた。結論としては, 短期的なR&D項目としてマルチカプス型イオン源の長寿命化のためのフィラメント開発や最適電極形状・配置の研究を, また長期的なR&D課題としてはECR型の大強度化等が挙げられた。

低エネルギービーム輸送系(LEBT): ソレノイドとQ磁石双方を使用したビーム輸送系の方式が提案された。パルス化の方法として電場によるチョップの使用が挙げられた。しかし, 正負同時入射の場合のビーム輸送の難しさが指摘された。

高周波四重極リニアック(RFQ): 全長は約4 mとなると見込まれる。したがって, 製作は長さ方向に2分割して行う。LEBT同様, 正負イオンを同時に入射する場合の問題が大きいと指摘があった。

ドリフトチューブリニアック(DTL): 全タンクを

一体として製作する(途中に仕切りを置いて分割する)のか、ある程度タンク間隔を空けて独立なタンクとして構成するののかという選択がある。ドリフトチューブ

第2表 ESNIT加速器系の概略仕様

入射部	
イオン源(IS)	
マルチカスプ型	d^+, d^-, H_2^+ 60 mA以上
(またはECR型)	
加速エネルギー	75 keV
規格化エミッタンス(90%)	1π mm mrad 以下
寿命(1%安定度)	300 h以上
低エネルギービーム輸送系(LEBT)	
分析磁石	$m/p=2$ 粒子を選択, 収束
収束系(ソレノイド, Q磁石, 電気四重極)	
診断系	
チョッパ	1 MHz以下, 幅10 ns
	以上, duty<1%
高周波四重極リニアック(RFQ)	
120 MHz, CW, $q/m=1/2$, 4-vane type	
加速エネルギー	約2 MeV
最大ビーム電流	50 mA
全長	約4 m
タンク直径	0.98 m
最大表面電界	約1.8 kV/cm
マッチングセクション	
RFバンチャー	縦方向のマッチング
収束系	横方向のマッチング
正負イオン合流系	正負ビームのアクセプト
	タンスの違い
診断系	
主加速部	
ドリフトチューブリニアック(DTL)	
120 MHz, CW, Alvarez type, 8タンク分割方式	
加速エネルギー	10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 MeV
最大ビーム電流	50 mA(正負同時加速時 も同様)
実行加速電場勾配	1~1.5 MV/m
ビームスビル	0.01 μ A/m 以下
RF源	
120 MHz, CW	最大1 MW×10台
必要電力 RFQ	約0.5 MW/1台×2
DTL	約0.7 MW/1台×8
ビーム制御部	
高エネルギービーム輸送系(HEBT)	
マルチ・ターゲット	
正負イオンの同一ターゲット照射・単独利用	
正負イオンの別ターゲット照射・同時利用	
正イオンのターゲット照射, 負イオンの別途利用	
負イオンのターゲット照射, 正イオンの別途利用	
ビームダンプ	
大出力イオンビーム用	
小出力イオンビーム用	
中性子バックストリーム用	
ターゲットインターフェース	
エネルギー分散用キャビティ	
ビームプロフィール制御用磁石系	
ビームサイズ	最小 10×15 mm ガウス分布
	最大 40 mmφ 一様に近い分布

の支持方法として2システムが提案された。ビームスビル制御, エネルギー変化時の輸送方法にR&D課題が残る。

高周波(RF)源: 大出力RF源の増幅器系の実現性は高いものの, 様々な運転形態に対応する形でRF供給, 制御を行うことの難しさが指摘された。具体的には, ビームローディングの変化に応じてダイナミック・カブラーを使用するのか, それともオーバーカッブルとするのかの選択がある。そして後者の場合, サークュレータの開発が反射波に耐える設計とするかなどの選択がある。

高エネルギービーム輸送系(HEBT): ダブル・フォーカス・アクロマット(DFA)による構成を基本とする提案がなされた。負イオンビームラインにおいて, フォイルストリップによる部分的な荷電変換を利用して, 同時に複数のターゲット室でビームを利用すると提案があった。

ターゲットインターフェース: ビーム分布, エネルギー分散等の個別の制御はそれぞれ方策が提案されているが, それらをどう配置して様々な運転形態に対応するかが問題となる。分布の制御については2次元(四角形)に一様化する手法の提案がなされた。

ビームモニタ: ビームモニタとしては, 電流, エネルギー, 位置, ビーム形状, ビーム収束度(エミッタンス)等の量を測定する必要がある。それぞれが破壊的, 非破壊的(非接触)タイプに分かれ, 目的に応じて使用される。ただし, 現在是非接触でプロフィール, エミッタンスを調べられるものがない点が問題である。

2. ターゲット系

ESNITのターゲット部は, ビーム照射面の大きな発熱に対処するために液体金属Liの流体系が用いられる。ビーム入射部は, 湾曲のジェット流のフィルムからなる。すなわち, FMIT計画で考察された一定の曲率を持つバックウォールに沿って, 液体Liジェット流を流す方式を採用する。真空系に露出した自由表面には, 最大40 MeV, 50 mAの d^+ イオンビームを照射して d^+ -Liストリッピング反応を起こさせる。発生した中性子はバックウォールの外側で利用する。自由表面の外部真空度は約 10^{-4} Paであり, Li液膜は入射ビームによる局部発熱が膜厚のほぼ中央部で起こるように設計される。局部加熱については, 特にLiの沸騰が問題であることから, Liの高流速化と上記バックウォールによってもたらされる曲線流の遠心力による内部圧力効果でLi沸騰の防止を期待する。また, ターゲット部

では、 d^+ -Li反応の生成物としてTや ^7Be 等の放射性物質が蓄積するので、これらを他の不純物とともに除去する不純物精製系が必要となる。第3表に現時点での主要諸元を示す。

第3表 ターゲット部およびLi循環系の主要諸元

ターゲット	
入射 d^+ エネルギー	40 MeV, 50 mA (最大)
Li流速	15~20 m/s (可変)
Li初期温度	220°C
Li流厚さ	7~20 mm
Li自由表面圧力	10^{-4} Pa
Li循環系	
構造材	316ステンレス鋼
主循環系Li流量	約 40 l/s
運転温度	コールドレグ 220°C ホットレグ 250~300°C
除熱方式	熱交換器方式
精製Li流量	約 0.5 l/s
コールドトラップ出口温度	200°C
ホットトラップ予定材料および運転温度	D, T 用 金属Yスポンジ 約250°C N, C 用 金属Tiスポンジ 約600°C

装置の特徴の一つである中性子エネルギーの選択可能性は、 d^+ ビームエネルギーの調節によっているが、これは必然的にビームのLi内での進入深さを可変にすることになる。したがって、Li液膜の厚さおよび流速の最適値もまたそれに依存する。結局、ターゲット部の構造はLi流の膜厚を制御できるものを採用する。なお、流速はLi主循環系の電磁ポンプにより制御する。一例として、ビームエネルギー 35 MeV, 50 mA の場合のLi流内温度分布の2次元計算結果を第4図に示す。この場合、最高温度点の圧力(0.0025 MPa)でのLi沸点から最高温度を引いた“沸騰余裕温度”は約433°Cである。

ターゲット部を含むLi主循環系および不純物精製系について簡単に述べる。Li中には d との反応生成物であるT(約 1×10^{19} atm/s)や、 ^7Be (半減期 53 d, 0.48 MeVの γ 線を出し、全系で最大約 26,000 Ciにも達する)、Heおよび95%以上の未反応 d が存在する。HeはLi中での溶解度が低いので真空系に排出されるが、他は精製系のコールドトラップとホットトラップの併用により除去する。さらに構造材の腐食に影響するO, N, C等の元素のLi中濃度を制御するため、TiないしYをターゲット材とするホットトラップを別に設けることとする。

ESNITターゲットLi循環系に関しては、すでに米国のFMIT計画において詳細設計が行われ、また実規模に近い装置でいくつかのLi流動実験が実施され、評価

第4図 流動液体金属Li中での発熱分布⁽¹⁹⁾

された考えを設計のベースにしている^{(10)~(18)}。公表された文献などを見る限り、特に困難な研究開発課題はない。大容量のLiループの運転経験はわが国にはまだないが、ループ機器の設計製作に関しては、わが国の高度なNa技術が生かせる。通常は問題となる構造材のLiによる腐食は、系の運転温度が低いため、不純物精製系が機能することを前提にする限りあまり問題ではなく、SUS 316鋼で対応できるであろう。最も過酷な条件にさらされるターゲットバックウォール部も交換可能とすることで、本質的な困難はないと考えられる。しかし、実際の製作に際して以下の問題に対する実験データが必要となろう。

- (1) 構造材とLiとの両立性確認
- (2) コールドトラップ、ホットトラップ性能試験
- (3) ターゲット部熱流体特性詳細評価(模擬試験)
- (4) T漏洩評価, Beの系内沈積評価
- (5) 遠隔操作によるターゲット部交換時の気密性能評価
- (6) ビームオン試験(ビーム照射に伴う流動Li特性試験)

3. 実験系

(1) 中性子照射場特性評価

中性子照射場特性を正確に評価するための基本デー

タである d -Li中性子スペクトルの測定を原研のタンデム加速器を用いて行なった。また、ESNITの照射場特性を試料などの影響を考慮したSerberモデルと蒸発モデルを合成したソースモデルを用い計算評価した⁽¹⁴⁾。第5図に、重イオンビーム電流が50 mA、そのビーム形状が40 mm 径、電流密度分布が均一な場合の中性子束分布の計算例を示す。重陽子エネルギーが40 MeVの場合、中性子束が $1.5 \times 10^{14} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上のところが $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ 程度であることがわかる。また、試料の影響を考慮した中性子スペクトルの計算が鉄(Fe)およびアルミナ(Al_2O_3)について行われ、試料の影響を考慮しても中性子スペクトルのピーク性は失われないことが確かめられた。

第5図 重陽子ビーム径が40 mm (電流値 50 mA) の場合における重陽子エネルギーの関数としての中性子束分布($>2 \text{ MeV}$)⁽¹⁴⁾

(2) 損傷パラメータの計算評価

d -Li中性子の高エネルギーテイルの影響の評価のため、損傷パラメータの計算が必要であり、現在その計算評価に必要な核データ(中性子エネルギー20~50 MeV)を原研核データセンターで整備が進められているほか、高エネルギーテイル領域における中性子エネルギーに対応した損傷パラメータ(PKAスペクトル, DPA, 核変換生成物生成量)計算コードの開発が行われている。

(3) 照射試験施設の概念検討

微小試験片技術による試験を中心とした多様な照射後試験を効率的に実施するため、モジュール型のホットセルを持つ施設の概念検討が進められている。この概念ではモジュール化した小型移動ボックスをセルに容易に出し入れできるシステムを特徴としており、移動ボックス中にセットした試験装置をボックスごと交換することにより、種々の試験を効率的に行うことをねらいとしている。

V. まとめ

核融合を始めとする各種原子力システムの開発が多様な材料問題を含む中で、どれにも共通する基本的な課題は、放射線にかかわる諸現象の解明と照射劣化に耐える材料の創製である。放射線としては、とりわけ中性子による研究が重要である。中性子は放射化を伴うため、遠隔実験手段の確保、放射線管理など研究の実施にとって制約や障害が多い。わが国では重照射手段も照射後試験手段も少ないために海外の施設に多く依存しており、人材の層も薄い。これに対する重点施策としては、強力でかつ新しい機能を持つ照射および試験手段を整備することが先決である。

ESNITは、従来の原子炉では行えなかった高エネルギー中性子領域での材料問題を効果的に解決する手段としてのみならず、すでに述べたように、核融合炉材料照射施設としての応用に大きな意義が認められる。 d -Li方式が現状では最も高い技術的実現性を備えていることから、そうした目的に適合する現在唯一の施設構想といつてよいであろう。FMITに比べると、発生する中性子のピークエネルギーを可変としていることから、高エネルギー領域で生ずる核変換反応の非線形的な寄与を実験的な観点から系統的に分別整理できるのみならず、核融合炉の14 MeVを上限とする中性子環境を近似する上で検討課題とされている、いわゆる高エネルギーテイルの影響に対しても有力な解決の手がかりを与えることができよう。加速器型中性子源の宿命である照射体積の問題に関しても、技術的に増力が可能であり、IFMIFの理想像として掲げられている諸条件の充足についての潜在的可能性は十分に保有している。

一方、汎用の材料研究照射実験手段としてみると、要求される中性子束、照射時間、照射モード、試験項目および対象材料の多様性が問題となる。すなわち、理想としては、核融合炉用材料の開発専用施設とは区別しなければならないであろう。しかし、この種

の画期的な方法論とハードウェアのシステムが真に機能し、実用に供されるまでの経験と知識の蓄積の道のりを考えるならば、まず実現可能な仕様と規模を設定して段階的に進むのが最良の道という考えもある。ESNITはこうした検討を経て近未来的に建設可能であり、基礎ならびに応用研究に優れた機能が期待され、しかも現実的に近未来の核融合炉材料開発の推進力となりうる高エネルギー中性子照射実験施設として提案されたものである。

— 参考文献 —

- (1) OPPERMAN, E.K.: *HEDL-TME* 81-45, (1981).
- (2) Int. Fusion Materials Irradiation Facility (IFMIF) Workshop, San Diego, Feb. 14~17, 1989.
- (3) SCHRIER, S.O.: *Rep. JAERI Symp. on High Energy Neutron Source for Materials Research and Development, Tokyo, Jan. 12~13, 1989*, p. 82.
- (4) ODERA, M., et al.: *ibid.*, p. 51.
- (5) JAMESON, R.A.: *ibid.*, p. 105.
- (6) LAWRENCE, G.P.: *ibid.*, p. 320.
- (7) *Proc. Int. Panel on 14 MeV Intense Neutron Source Based on Accelerators, Tokyo, Jan. 14~16, 1991*.
- (8) IEA High Energy Intense Neutron Source Working Group Mtg., Oxford, Apr. 11~12, 1991.
- (9) KONDO, T., et al.: *J. Fusion Energy*, 8, 229 (1989).
- (10) OHNO, H.: *Proc. 2nd. Int. Symp. Advanced Nuclear Energy Research, Mito, Jan. 24~26, 1990*, p. 92.
- (11) MATSUO, H., et al.: *ibid.*, p. 235.
- (12) KONDO, T.: Ref. (3), p. 13.
- (13) NODA, K., et al.: *J. Nucl. Mater.*, 174, 319 (1990).
- (14) NODA, K., et al.: *ibid.*, 179~181, 1147 (1991).
- (15) Workshop on Reviewing ESNIT, Tokai, Aug. 26~30, 1991.
- (16) TREGO, A.L.: *HEDEL-SA-1918*, (1980).
- (17) HASSBERGER, J.A.: *Nucl. Technol./Fusion*, 4, 433 (1983).
- (18) McCauley, D.L.: *HEDEL-SA-2165-FP*, (1980).
- (19) KATO, Y., et al.: To be published in *J. Nucl. Mater.*

◇第22回安全工学シンポジウム◇

主催 学術会議安全工学研連、共催 本会ほか31学協会

会期 1992年6月23日(火), 24日(水)

会場 日本学術会議講堂 (東京都港区六本木7-22-34)

講演内容 下記の講演募集部門応募者からの一般講演と特別招待講演〔未定〕

講演申込要領

(1) 講演募集部門

- ① 事故・災害に関する安全の概念
 - ② 安全と人間特性
 - ③ システムの安全性と信頼性
(リスクアナリシス, セーフティアセスメントを含む)
 - ④ 事故防止に関する検査, 診断技術
 - ⑤ 安全制御技術 (ロボット, 自動化システムを含む)
 - ⑥ 建設に関する安全性と信頼性
(計画, 設計, 施工, 維持管理等)
 - ⑦ 電気・電子・情報に関する安全性と信頼性
(コンピュータ関連, 故障診断を含む)
 - ⑧ 機械に関する安全性と信頼性
(破壊解析, 構造健全性, 寿命予測を含む)
 - ⑨ 交通に関する安全性と信頼性
(宇宙, 航空, 船舶, 車両, 道路等)
 - ⑩ 燃焼・火災・爆発に関する安全性
 - ⑪ 有害物質・環境に関する安全性
 - ⑫ その他の安全性に関する科学 (理学, 薬学, 農学, 医学等との境界分野を含む)・技術・教育等
- 上記については、災害に起因する2次災害防止を含む。

講演発表時間 1題につき20分(講演15分, 討論5分)の予定。

なお, OHPを原則として使用。

申込方法 講演希望者は, A4判の大きさの用紙に「第22回安全工学シンポジウム講演申込」と題記し, 次の7項目をもれなく明記の上, 返信用封筒(250円切手を添付)を同封して, 下記あてお申し込み下さい。折り返し, 原稿用紙および執筆要領を送付します。

(a)講演希望部門(上記①項による), (b)講演題目(あとで変更のないよう留意下さい), (c)講演者氏名(連名の場合は登壇者を筆頭にする), (d)所属学協会名と会員資格(連名の場合は1名以上が共催学協会の会員であること), (e)勤務先, (f)連絡先住所・電話番号, (g)講演概要(200字以内)

講演申込締切 3月10日(火)

講演予稿集原稿締切 5月15日(金)必着

原稿は必ず所定用紙を使用して下さい(ワープロまたはタイプで)。原稿は2枚または4枚のみとし, それ以外は認めません。

聴講自由(講演予稿集を有料頒布)

講演申込・原稿提出先 (〒100)東京都千代田区有楽町1-12-1

問合せ先

(新有楽町ビル) 電気学会

第22回安全工学シンポジウム実行委員会

(TEL. 03-3201-0983 (調査課 横間良弘),

FAX. 03-3201-1983)

日本電子顕微鏡学会関東支部学術講演会

共催 学術会議金属研連、協賛 本会ほか

会期 1992年3月12日(木), 13日(金)

会場 日本学術会議講堂 (東京都港区六本木7-22-34)