標準中性子スペクトル場

(京都大学原子炉実験所) 木村逸郎, 神田啓治

最近、中性子の照射に使われる中性子場を、中性子エネルギースペクトルごとに検討し、標準化を図ろうとする動きが国際的に盛んになってきた。中性子の照射効果、中性子検出器の校正などについて、研究所間相互のデータを交換して統一の評価をする上で、標準中性子スペクトル場の確立ということは必要欠くべからざる問題だからである。本稿では、中性子のエネルギー領域を、熱中性子、中速中性子、高速中性子の3つに分けて、標準場の定義、現状およびそれらの応用例をまとめ、さらに今後の見通しについて述べる。

I. はじめに

物質と中性子の相互作用を観測し、評価する場合、(例えば、中性子検出器の検出効率、放射化分析、放射線損傷など)中性子のエネルギーによって物質の相互作用の確率が異なっているため、すなわち中性子断面積がエネルギー依存であるために、エネルギーからみである特殊な中性子集団のみを提供する中性子場が必要になってくる。もちろん、単色中性子源を用いてエネルギー依存の中性子と物質の相互作用を求めることができれば大いに望ましいことであるが、それには大きな系統的誤差が入りやすいし、またそれが不可能であったり、意味がない場合も多い。

一般に、中性子と物質の相互作用に関するある実験を比較する場合、両者の共通のベースとなるべき中性子スペクトルが違っていたり、不確かであれば、それらを相互比較しようと思っても、評価のしようがないし意味もない。理論と実験とを比較する場合も同様なことがいえる。

例えばこんな話がある。Aという原子炉で照射した試料は、高速中性子 10^{22} nvt まで強度が劣化しなかったのに、Bという原子炉ではその何分の1かでやられた。試料とか強度試験の方法を検討してみたが問題はなく、実は高速中性子の定義が1 MeV 以上と 0.8 MeV 以上と異なっており、かつ2つの原子炉の中性子スペクトルが相当違っていた。こういう場合、両者のデータを比較検討したところで相当面倒な仮定や補正を必要とし、かつあいまいな結論しか得られない。また古い核データでは、例えば熱中性子断面積の測定に、単に reactor spectrum Cd cut などと書いてあるが、原子炉ごとにスペクトルは違出し、Cd カット・オ

フ・エネルギーも Cd の厚さによって変わるので、標準場とはいいい難く、あまり参考にならない。

この種の問題、いいかえれば標準中性子スペクトル場を必要とする問題の例を列挙してみると、次のようなものがある。

- (1) 原子炉設計用中性子断面積、組定数の評価
- (2) 中性子測定用断面積の評価
- (3) 反応率とくに核分裂率の校正
- (4) 中性子束絶対値の校正
- (5) 中性子スペクトロメータの校正
- (6) 放射化法による微量元素の分析
- (7) 中性子による照射損傷関数の評価
- (8) 生物等への中性子照射効果の評価
- (9) 中性子によるレム線量の評価

さて、最近ではベンチマークという考え方が一般的になってきたが、実験相互の比較、理論との比較の方法を図式的に示したのが第1図である。

第1図 標準中性子場の意義

この数年来標準中性子スペクトル場を国際的に検討し、標準化を図ろうという動きが盛んになり、1976年

Standard Neutron Spectrum Field, Itsuro KIMURA, Keiji KANDA.

(1978年 3月1日 受理)

11月にはウィーンで「標準中性子場に関する専門家会議」がIAEA主催で持たれたり⁽¹⁾, 1977年10月に開催された EURATOM-ASTM 共催の「第2回 Reactor Dosimetry シンポジウム」でもこれに関する議論があった⁽²⁾。前者には著者の1人が出席し, 後者には東大の関口 晃教授, 中沢正治助教授らが出席された。これらの会議における標準中性子スペクトル場設定の最初の動機は, Na 冷却高速増殖炉の炉心内における反応率や照射損傷量の評価を目指したものであったが, 最近では軽水炉の圧力容器の照射効果や遮蔽の問題, さらに核融合炉の真空壁やブランケットのことにまで話が進展している。著者らはさらに生物照射や保健物理的な面からも標準中性子スペクトル場の意義を考えているが, これらの会議ではそこまでの話はない。さて前者の会議では, 標準中性子スペクトル場を重

要度に従って次の3つに分類している。

(i) 標準場 (Standard field): 永続的かつ再現性のある中性子場で, 中性子束, エネルギー・スペクトル, 角度分布が十分な精度で得られており, 研究所相互の実験および計算によって, その特性が立証できるもの。

(ii) 参考場 (Reference field): 永続的かつ再現性のある中性子場であって, (i)の標準場ほどには正確に特性がわかっていないものの, 研究者同士が測定の参考例として受け入れるには充分であるもの。

(iii) 制御場 (Controlled environment): 物理的によく定義され, ある中性子スペクトルをもつ中性子場で, 限定された範囲の立証実験に使われるもの。

結論を先にいうのだが, この会議で採択されたエネルギー領域ごとの標準場を第1表に示す。

第1表 IAEA専門家会議で採択された標準中性子スペクトル場⁽¹⁾

中 性 子 場	平 均 エネルギー	エ ネ ル ギ ー 範 囲	スペクトルの精度からみた現状
Maxwell 分布をした熱中性子	0.025 eV	<0.4 eV	±2~5% 熱平衡の理論およびスペクトル測定法から
1/E 分布をした中速中性子	0.75 keV	0.4 eV~0.1 MeV	
²⁵² Cf 自発核分裂中性子	2.13 MeV	0.1~18 MeV	$\left. \begin{array}{l} \pm 13\% \quad E < 0.25 \text{ MeV} \\ \pm 2\% \quad 0.25 < E < 8 \text{ MeV} \\ \pm 9\% \quad 8 < E < 12 \text{ MeV} \end{array} \right\} \text{ スペクトルの微分測定法による。}$
			±10% 12 < E < 15 MeV…多フォイル方式による。

Ⅱ. 標準中性子スペクトル場として要求される条件

標準場として要求される条件を具体的に挙げると次のようなものがある⁽³⁾。

- (1) 中性子エネルギー・スペクトルは装置固有のものではなく一般的かつ普遍的であり, 実験者によらず再現性がある。
- (2) スペクトルは既知であり, 精度よく測定可能であるから, 理論的に充分計算できる。
- (3) スペクトルは単純な形状をしており, できれば解析的に表現できる。
- (4) スペクトルの空間的变化が少ないか, 既知である。
- (5) スペクトルの時間的变化が少ないか, 既知である。
- (6) スペクトルの方向依存性が少ないか, 既知である。
- (7) 中性子束の絶対値が既知であるか, 精度よく

測定できる。

- (8) 中性子強度が大幅に変化できる。
 - (9) 目的の反応以外が生じないように, バックグラウンドが小さい。
 - (10) 装置が簡単で, 容易に作ることができる。
 - (11) 試料等によって中性子場が乱され難い。
- (9)についてもう少し詳しく述べると, 中性子場には, ある特殊なエネルギーの中性子のみを取り出せることが望ましい。熱中性子の場合, 熱外中性子あるいは Bragg カットオフ以下の低中性子も障害になることがある。また, γ 線が中性子の反応を邪魔することもある⁽⁴⁾。

Ⅲ. 標準熱中性子場

熱中性子場としては, 言葉の示すとおり熱平衡にある中性子, すなわち Maxwell 分布をした中性子場を作るのが一番容易である。式で表わせば

$$\phi(E) = C \frac{E}{(kT)^2} \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (1)$$

第2表 熱中性子場の比較 (いずれも京大原子炉実験所の場合)⁶⁾

	標準場としての条件											主な特徴
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
重水熱中性子設備	○	◎	◎	◎	○	○	○	○	○	△	○	規模が大きく、保守管理が大変だが標準場として最適
黒鉛熱中性子柱	○	○	△	○	○	○	○	○	○	△	○	黒鉛の結晶構造がでるのが欠点
Linac などを使用するもの	○	○	○	△	△	△	△	○	×	△	○	γ 線のバックグラウンドが問題となる
コンバータを使用するもの	○	○	○	△	○	△	△	○	△	△	○	取扱いが難しく、強い中性子源にはなりにくい
Am-Be などを使用するもの	○	△	○	△	○	△	○	×	△	○	○	中性子強度が小さいが安定している

◎: 特によい, ○: よい, △: あまりよくない, ×: 悪い

ここで、 T は中性子温度と呼ばれるもので、中性子の吸収などのため物質の実温度よりやや高いのが普通である。

これまで熱中性子場として利用されている代表的なものは、原子炉の重水設備、黒鉛熱中性子柱、Linac等の加速器でできた中性子を軽水体系などに持ち込んだもの、Uなどのエネルギー・コンバータと軽水体系を組み合わせるもの、同様に中性子源として Am-Be や Sb-Be を用いるものなどがある。これらを前章に掲げた条件と比較してみると、第2表のようになる。

これから見ると、重水熱中性子設備が標準中性子スペクトル場として優れている点が明確であるが、これは主に重水の中性子断面積の性質によっている。減速材として優れている軽水、重水、黒鉛、Be について、減速能と減速率とは第3表に示すとおりである。

第3表 主な減速材の減速能と減速率

減速材	減速能($\xi\Sigma_s$)	減速率($\xi\Sigma_s/\Sigma_a$)
軽水	1.35	71
重水	0.176	5,620
重水(99.8%)	0.178	2,540
黒鉛	0.060	192
Be	0.158	143

また、第2図に示すように、黒鉛や Be 等の固体減速材は、結晶構造による Bragg 散乱の効果によって低エネルギー側の中性子断面積が不連続になっている。そのため中性子スペクトルにも影響が現れるが、その点重水は比較的变化が少ないので、一定の厚さの重水層を通して減速された中性子は、重水温度に近い Maxwell 分布を持つ。

第2図 重水、黒鉛、Be の熱中性子全断面積 (BNL-325 による)

スペクトルを重率として積分した共鳴積分で表わすことが多い。そこで、標準的な中速中性子スペクトルの形としても $1/E$ 型が最も一般的でかつ実用的である⁽⁹⁾。厳密には、これは吸収のない無限大の減速材中で実現するが、近似的な $1/E$ スペクトル場は黒鉛などで実現するが、近似的な $1/E$ スペクトル場は黒鉛などを用いて容易に作る事ができる。この場合、当然熱中性子を随伴することになるが、それを除去するには中性子吸収材、例えばホウ素を併用するとよい。

井上らは、黒鉛とホウ素を混合した集合体を用いることによって、スペクトルの形が次式に示すような中速中性子場ができることを提案した⁽⁹⁾。

$$\phi(E) \sim \frac{\exp(-\lambda/\sqrt{E})}{E}, \quad (2)$$

$$\text{ここで, } \lambda = \frac{\sqrt{E_0}}{\xi \sigma_a} \int_{E_0}^{\infty} \sigma_a(E) \frac{dE}{E} \quad (3)$$

ただし、 E_0 は積分の下限を表わす適当なエネルギーで、他は通常の表示方法による。これを基にして、楯域は炭化ホウ素と黒鉛を交互に置いた集合体を作成し、その中の中性子スペクトルについて研究を進めた⁽⁹⁾。第6図は λ をパラメータとした中速中性子スペクトルを示す。

第6図 λ をパラメータとした中速中性子スペクトル⁽⁹⁾

著者らも、高速実験炉「常陽」のために開発されたホウ素入り黒鉛集合体を用いて、keV領域の標準中速中性子スペクトル場とした。そして電子線型加速器によるパルス状中性子源をその中心に置き、飛行時間分析法により中性子をエネルギー弁別して、中性子検出器のエネルギー依存検出効果を校正した⁽⁹⁾。この集合体内部の中性子スペクトルの形状を第7図に示す。

アメリカのNBSでは、第8図のように8枚の ^{235}U の円盤を中性子源として原子炉の黒鉛中性子柱内の空洞部に配した標準中速中性子スペクトル場ISNFを設置している⁽¹¹⁾。これによって、広範囲の $1/E$ スペク

第7図 ボロン黒鉛集合体標準中性子場の中性子スペクトル(計算値)⁽⁹⁾

トルが得られる。中性子束も約 $1 \times 10^9 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ とかなり強いので今後大いに活用されよう。

第8図 米国NBSの中速中性子スペクトル設備ISNFの断面図⁽¹¹⁾

減速材として鉛を用い、パルス状中性子源と組み合わせると、いわゆる鉛減速スペクトロメータとなる。一般にこれは標準中性子場の範疇には入れないことが多いが、考えようによっては一緒に入れてもよい。最近、これを用いた UO_2 の Doppler 効果の測定がある⁽¹²⁾。また、電子線型加速器と組み合わせて強力な中性子スペクトロメータとした報告もある⁽¹³⁾。

東大の高速中性子源炉「YAYOI」の中速中性子柱は、炉心部を囲む大きな鉛集合体であり、世界に例を見ない優れた標準中速中性子スペクトル場である⁽¹⁴⁾。その中の中性子スペクトルの形状は第9図に示すように全中速中性子領域をカバーしている。これはまた、パルス状中性子源による駆動も可能である。

第9図 YAYOI 鉛中性柱内
の中性子スペクトル⁽¹⁴⁾

V. 標準高速中性子スペクトル場

標準高速中性子スペクトル場の代表的なものとしては、生の核分裂即発中性子スペクトル場と、それに多少の減速材などを組み合わせて高速炉炉心内や遮蔽の中を模擬した高速中性子場が使われている。さらに、高速炉などの炉心内それ自身も一つの標準高速中性子スペクトル場と考えられる。

まず、最も標準的な高速中性子スペクトル場として、 ^{252}Cf の自発核分裂中性子が挙げられる⁽¹⁾。現在、これは第4表に示すように、 ^{235}U の熱中性子核分裂によって発生する中性子よりも精度が高い⁽¹⁵⁾。そこで、アメリカの NBS と西ドイツの PTB では強度が $10^9 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ クラスの ^{252}Cf 線源を設置して、第1次標準高

第4表 ^{252}Cf 自発核分裂と ^{235}U の熱中性子
核分裂で発生する中性子スペクトル
の8群表示とその不確か⁽¹⁵⁾

エネルギー 境界 (MeV)	^{252}Cf 自発核分裂			^{235}U 熱中性子核分裂		
	中性 子束	誤差(%)		中性 子束	誤差(%)	
		1 σ	2 σ		1 σ	2 σ
0.0	0.047	±13	±26	0.054	±16	±32
0.25	0.184	±1.1	±3.3	0.197	±4.1	±6.2
0.8	0.220	±1.8	±3.6	0.229	±3.0	±4.8
1.5	0.194	±1.0	±3.1	0.195	±3.1	±5.2
2.3	0.200	±2.0	±3.0	0.192	±2.0	±3.0
3.7	0.146	±2.1	±4.8	0.127	±4.8	±8.0
8	0.0087	±8.5	±17	0.0056	±5.3	±11
12	(0.00058)			(0.00026)		
20						

速中性子スペクトル場⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾として活用している。わが国でも近く京大工学部に ^{252}Cf 線源が設置される予定である⁽¹⁷⁾。

次に、 ^{235}U の熱中性子核分裂は Hughes⁽¹⁸⁾ 以来、核分裂板、すなわち中性子エネルギー・コンバータとして広く用いられてきた。前述のように、標準という点で ^{252}Cf に一步を譲ったとはいえ、安価で、強力かつ面状の中性子源が得られるという点でなお有用である。京大炉では、90%濃縮 U 1.1 kg を用いた核分裂板により、直径約 27 cm、高速中性子束 $10^9 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ オーダの高速中性子源が得られる⁽¹⁹⁾。これを用いて中性子の2乗減速距離(Fermi年齢)の測定⁽²⁰⁾や数多くのしきい反応平均断面積の測定⁽²¹⁾が行われている。

ところで、こうした大きな核分裂板は中性子束の絶対値を求めにくい。著者らは熱中性子設備照射室で高濃縮 U-Al 合金箔に熱中性子を当てることにより核分裂中性子を発生させて他のしきい反応箔を照射した。この場合、発生する核分裂中性子数は、核分裂生成物 ^{140}La – ^{140}Ba の放射能から求める方法をとった⁽²²⁾。 ^{235}U 核分裂を計数する方式を用いた同様の試みがベルギーとアメリカのグループによって報告されている⁽²³⁾。

高速炉炉心それ自身および高速炉模擬の標準高速中性子スペクトル場の主要例を第5表に示す。

前節で述べた YAYOI は、炉心部が可動であり、異なった位置に設置することによって、それぞれの位置に応じた中性子スペクトルの場を作ることができる。鉛中速中性子柱のスペクトルについては第9図に示したが、他の位置では種々の中性子スペクトルが得られる。炉心内のスペクトルを第10図に示す。イタリアの高速中性子源炉「TAPIRO」も同様な標準場として用いられているが、固定炉心なので中性子スペクトルの多様性はない。このほか BIG-TEN, $\Sigma\Sigma$ 設備, CFR-MF のスペクトルを第11~13図に示す。

KUR も第5表に挙げたが、これは KUR 炉心内が標準中性子スペクトル場として使用できるからである。特に、1.5 MeV 近傍より上のエネルギーについてみると、 ^{235}U 核分裂中性子スペクトルに近い。しかもこれは 5,000 kW の原子炉なので、炉心内の高速中性子束は高く、小さい断面積のしきい反応の測定に適している⁽²⁵⁾。KUR, YAYOI, 核分裂板によって求められたいくつかのしきい反応断面積の例を第6表に示す⁽²⁶⁾。こうしたデータをもとに、各種核データ・ファイルのエネルギー依存断面積の値の検討評価が行われている。

第6表にはないが、原研の高速臨界集合体 FCA で

第5表 標準高速中性子スペクトル場として用いられる原子炉
および核分裂板などと組み合わせた中性子場の主要例

名 称	設置場所	構 造	特 徴
YAYOI ⁽¹⁴⁾	東大工学部 原子力工学研究 施設(東海)	93%濃縮U燃料, 減損Uブランケット, 鉛反射体付高速炉, 出力2 kW	炉心可動型, 異なった位置に炉心を移動することにより異なったスペクトルの中性子場が作られる。炉心中心での中性子束 $7.5 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$
TAPIRO ⁽²⁴⁾	CNEN (イタリア)	93%濃縮U燃料, 天然Uブランケット, 銅反射体付高速炉, 出力10 kW	炉心中心での中性子束 $\sim 3 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$
KUR ⁽²⁵⁾	京大原子炉 実験所(熊取)	93%濃縮U軽水減速冷却研究炉, 出力5,000 kW	炉心中心で1.5 MeV以上の高速中性子は ²³⁵ U核分裂中性子スペクトルに近いので標準場として使える。
BIG-TEN ⁽²⁶⁾	LASL(米)	10%濃縮Uを中心部にもつ全U臨界集合体, 横型分割炉心	中性子束は $8 \times 10^{10} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 程度使用可能
$\Sigma\Sigma$ ⁽²⁷⁾	CEN/SCK (ベルギー) 同様のものがロンドン大(英), ITN(ルーマニア)にある	BR-1の黒鉛設備内空洞中に設けられた天然U球殻(B ₄ C内張り), 17 mm ϕ の実験用孔あり	中性子束は $7 \times 10^8 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$, スペクトルについて多くのグループの実験と計算がある。
CFRMF ⁽²⁸⁾	Aerojet Nucl. Co. (ANC) (米)	軽水減速炉心をゾーン状に配し, 中央部を標準中性子場としている。その間にフィルタユニットとしてBoral, 減損U, ¹⁰ Bおよび ²³⁵ Uが円筒状に入る。	中性子束は $10^{11} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ オーダー, スペクトルはステンレス鋼構造材の影響でかなり凹凸がある。

第10図 東大炉「YAYOI」の炉心内
中性子スペクトル⁽¹⁴⁾

も、標準的中性子スペクトル場的な使用例があった。また、京大臨界集合体 KUCA も、今後、標準中性子スペクトル場としての使用が計画されている。

さて、BIG-TEN、 $\Sigma\Sigma$ およびCFRMFは、もともとU.S.AECの肝入りで1971年にスタートしたInter-laboratory LMFBR Reaction Rate プログラム(ILRR)の一環としてアメリカのみならずヨーロッパの協力も得て研究開発されたものである⁽³⁰⁾。中でも、 $\Sigma\Sigma$ 設備はベルギーのCEN/SCK研究所にあるBR-1の黒鉛熱中性子柱内に設けられた球殻天然U(内径145 mm ϕ)

とB₄C球殻(内径110 mm ϕ)よりなり、その内部の中性子スペクトルは、第12図に示すように高速炉(LMFBR型)に似ている。さらに、内側に鉄などの球殻を入れる試みも行われている。BIG-TENおよびCFRMFはいずれもやや特殊なものともいえるが、中性子束が $\Sigma\Sigma$ より2桁ほど大きいのが特長である。これらの標準中性子場を用いて、中性子検出器の較正や比較あるいは各種中性子反応の平均断面積や反応率比の測定などが幅広く行われた。

第11図 BIG-TEN の中性子スペクトル⁽²⁶⁾

第12図 ΣΣ設備の中性子スペクトル⁽²⁷⁾ 第13図 CFRMFの中性子スペクトル⁽²⁸⁾

Ⅶ. 結 言

標準中性子スペクトル場の意義, 条件, 実例などについて概説した。一言でいえば, 熱および中速中性子の標準場はほぼ確立したといえるのに反し, 高速中性子

の標準場は, 必要性, 重要性が高いにもかかわらず, 生の核分裂中性子の場合以外あまり充分とはいえない現状である。特に, 従来の契機と推進母体が主として液体金属冷却高速増殖炉の反応率を求めることであったため, やや一般性に欠ける点があったのはやむを得ない。今後, 次のようなことにも観点を置いた各種の標準中性子スペクトル場を開発することが望まれる。

- (1) 動力炉圧力容器周辺, (2) 原子炉遮蔽体内
- (3) 核融合炉の真空壁, ブランケット

こうした場が確立すれば, それを用いて反応率, 発熱, 照射損傷, 放射化などの諸量が実験的に評価できることはもちろん, いくつかの異なった標準場におけるデータを用いることによって, それらの諸量に関するエネルギー依存の特性を求めることが可能となる。すでにいくつかの照射損傷関数はこのようにして求められているが⁽³¹⁾, そのエネルギー範囲をD-T核融合炉の範囲まで上げることが必要である。このためのいくつかの中性子場の提案がある⁽³²⁾。

わが国でも, 中性子の反応とそれに付随する現象を定量的に評価し, より安全で経済的な原子炉(さらに核融合炉)を開発していくために, 標準中性子スペクトル場の研究と開発を進めてゆくことが必要であろう。さらに, 中性子の生物や人体に対する影響を評価していく上でも, 同様の手法が有効適切ではないかと思われる。

第 6 表 YAYOI, KUR および核分裂板で求めた核分裂中性子に対するしきい反応平均断面積(mb)⁽²⁰⁾

反 応	YAYOI (炉心内)	KUR (炉心内)	核分裂板	計算値 (Pearlstein)	推奨値† (Calamand)
⁴⁶ Ti(n, p) ⁴⁶ Sc	10.9 ±0.59	11.2 ±0.63	10.8 ±0.6	11	12.5 ±0.9
⁴⁷ Ti(n, p) ⁴⁷ Sc	18.9 ±0.87	19.0 ±1.2	17.3 ±0.90	29	20 ±2.3
⁴⁸ Ti(n, p) ⁴⁸ Sc	0.256 ±0.013	0.294 ±0.025	0.272±0.052	0.28	0.315±0.027
⁵¹ V(n, α) ⁴⁸ Sc	0.0197±0.0012	0.0217±0.0015	—	0.017	0.022±0.003
⁹² Mo(n, p) ^{92m} Nb	6.11 ±0.29	6.00 ±0.43	6.04 ±0.45	—	7.0 ±0.6
⁹³ Nb(n, 2n) ^{92m} Nb	0.430 ±0.028	0.432 ±0.033	0.402±0.034	0.90	0.48 ±0.04

† Calamand の推奨値は、少し大きすぎると考えられる。

— 参 考 文 献 —

- (1) VLASOV, M.F. (ed.): IAEA Consultant Meeting on Integral Cross Section Measurements in Standard Fields, INDC(NDS)-81/L+M, (1976).
- (2) Proc. ASTM/EURATOM 2nd Symp. Reactor Dosimetry held at Pala Alto, Oct., 1977, In print.
- (3) 神田啓治: 標準中性子場について, 炉中性子研究の現状と今後の課題, p 41~48 (1976), 日本原子力学会.
- (4) 神田啓治: 研究炉の中性子線質の問題点, KURRI-TR-110, p 25~28 (1973).
- (5) RAMANNA, R., et al.: 2nd Geneve Conf., P/1636, (1958).
- (6) KANDA, K., et al.: Nucl. Instrum. Methods, 148, 535 (1978).
- (7) 道川太一: 標準中性子場としての黒鉛パイロにおける熱中性子の測定と解析, 電総研報告, 746号 (1978).
- (8) INOUE, K., et al.: J. Nucl. Sci. Technol., 3[10], 450 (1966).
- (9) NANJYO, T.: ibid., 9[5], 290 (1972).
- (10) KIMURA, I., et al.: Nucl. Instrum. Methods, 137, 85 (1976).
- (11) GRUNDL, J., EISENHAEUER, C.: 文献(1)の報告書掲載予定.
- (12) FUJINO, M., TAKAHASHI, F.: J. Nucl. Sci. Technol., 14[6], 416 (1977).
- (13) SLOVACEK, R.E., et al.: Nucl. Sci. Eng., 62, 455 (1977).
- (14) SEKIGUCHI, A., et al.: 文献(2)の報告書掲載予定.
- (15) GRUNDL, J., et al.: Nucl. Technol., 32, 315 (1977).
- (16) ALBERTS, W.G., et al.: Proc. Nucl. Cross Sections and Technol., NBS Special Publ. Vol. 425, p.273 (1975).
- (17) 兵藤知典: 私信, (1977).
- (18) HUGHES, D.J.: "Pile Neutron Research", (1953), Addison-Wesley.
- (19) 神田啓治, 他: 中性子エネルギーコンバータ, KURRI-TR-96, (1972).
- (20) KANDA, K., et al.: Annu. Rep. Res. Reactor Inst. Kyoto Univ., 3, 93 (1970).
- (21) KIMURA, I., KOBAYASHI, K.: Proc. ASTM/EURATOM Symp. Reactor Dosimetry, EUR 5667 e/f Part II, 142 (1977).
- (22) KIMURA, I., et al.: J. Nucl. Sci. Technol., 10[9], 574 (1973).
- (23) FABRY, A., et al.: 文献(8), p 254.
- (24) D'ANGELO, A., et al.: Energ. Nucl., 20, 614 (1973).
- (25) KIMURA, I., et al.: J. Nucl. Sci. Technol., 8[2], 59 (1971).
- (26) DOWDY, E.J., et al.: Nucl. Technol., 25, 381 (1975).
- (27) FABRY, A., et al.: ibid., 25, 349.
- (28) ROGERS, J.W., et al.: ibid., 25, 330.
- (29) KOBAYASHI, K., et al.: J. Nucl. Sci. Technol., 13, [10], 531 (1976).
- (30) ILRR 特集号: Nucl. Technol., 25, No. 2, (1975).
- (31) McELROY, W.N., et al.: Nucl. Appl. Technol., 7, 561 (1969).
- (32) 例えば, BHAT, M.R., PEARLSTEIN, S. (ed.): Proc. Symp. Neutron Cross-Sections from 10 to 40 MeV, BNL-NCS-50681, (1977).

○第14回熱測定討論会○

主催 日本熱測定学会 共催 本会, ほか
期 日 11月16日(木)~18日(土)
会 場 京都府会館(京都市左京区岡崎)
討論主題 (1) 熱測定および温度測定, (2) 熱分析
会期中に「高温における熱測定」シンポジウムを行います。
内 容: 高温の生成と温度測定, 熱分析とカロリメトリー,
相平衡の測定(蒸気圧, 解離圧, 融点など), 固体電気化学的測定,
熱伝導率その他の物性測定, 特殊技術(高温X線など),
高温材料, 地学その他新たな分野への熱測定の応用。
講演申込締切 7月31日(月)必着
講演申込者は, 題名, 氏名(連名の場合は発表者に○印), 勤務

先, 連絡先を明記し, 約200字のアブストラクト(研究の目的と結果の概要)を添え, 下記宛に申し込む。

講演時間は討論を含めて1件につき(A)20分, (B)15分とするので, 申込みの際にA, Bの区別を明記する(討論主題に合致しないときはお断りすることがある)。

高温シンポジウムに参加希望の方も, 上記申込要領に準拠して「高温シンポジウム」(A)または(B)と指定の上申し込む。

要旨原稿締切 9月11日(月)必着

所定の原稿用紙で約3000字(図表を含む)の要旨を送付する。

申込先 (〒113) 東京都文京区湯島1-5-31 第一金森ビル内
日本熱測定学会(Tel. 03-815-3988)