



HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Title | 加速器中性子源減速材アセンブリー |
| Author(s) | 鬼柳, 善明; Kiyanagi, Yoshiaki; 岩佐, 浩克 他 |
| Citation | 北海道大學工學部研究報告, 94, 95-103 |
| Issue Date | 1979-06-29 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/41562 |
| Type | departmental bulletin paper |
| File Information | 94_95-104.pdf |



加速器中性子源減速材アセンブリー

鬼柳善明 岩佐浩克 井上和彦
(昭和53年12月28日受理)

Accelerator neutron source moderator assembly

Yoshiaki KIYANAGI, Hirokatsu IWASA and Kazuhiko INOUE
(Received December 28, 1978)

Abstract

The measurements to obtain data for optimization of an accelerator neutron source moderator assembly which generates thermal and cold neutrons were performed by using 45 MeV electron LINAC. The neutron energy is determined by the TOF method and the crystal monochromator. The correlation for neutron intensity and area of moderator assembly emission surface, the fast neutron reflector effect, cold neutron energy spectra, and pulse time spectra of thermal and cold neutrons and its variation by reflector were studied. These results give some aspects for optimum design of an accelerator neutron source moderator assembly.

1. 序 論

加速器を中性子源とし、中性子散乱実験に用いるためには、加速器によって発生された平均エネルギー 1 MeV の中性子を減速材のなかで減速熱化させて、パルス状の熱・冷中性子として取出さなければならない。このような減速材アセンブリーでは、中性子ビーム強度、パルス時間特性、中性子エネルギースペクトルなどの特性について最適設計がなされていなければならないが、これらの事についての検討はまだ十分とは言えない^{1,2,3,4)}。これらの特性を左右するものとしては、中性子発生ターゲット、ターゲットと減速材の位置関係、減速材の形状と大きさ、減速材物質、中性子反射体などの因子がある。以下、熱中性子減速材として室温軽水を用い、その大きさと中性子ビーム強度の関係、中性子放出面上での中性子束空間分布、反射体効果、パルス時間特性などについて測定した結果について、また冷減速材については各種冷減速材の中性子エネルギースペクトル、メタン冷減速材のパルス時間特性の測定結果について述べる。

測定は 45 MeV ライナックを用い、中性子飛行時間法を用いて行った。ターゲットには鉛を用い、大きさは $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ で、中性子の減衰をできるだけ少なくするために、空冷ターゲット、あるいは水冷ターゲットの場合も冷却水循環部分を最小にとどめたものを用いた。飛行路長は約 6.5 m で、飛行管内排気は行わなかった。このような測定を行うには、大きな加速器よりも中規模の加速器の方が各種測定が行いやすく適している。

2. 中性子強度の測定

2.1 減速材面積と中性子強度

板状含水素減速材では、厚さについては5 cm が最適である事がすでに知られているので^{1,2)}、軽水減速材を用いて厚さを5 cm で一定とした場合に、減速材の中性子放出面の面積の大きさによって中性子ビーム強度がどのように変化するかを調べた。測定は一边が10, 15, 20, 25 cm の正方形の中性子放出面をもつ減速材体系について行った。軽水減速材容器はすべてアルミニウム製である。測定体系の概略図を図1のなかの左上に示してある。図中実線は各減速材体系の中性子放出面全体からの中性子ビーム強度の測定点を結んだものであり、破線は放出面中心2×2 cm²からの中性子ビーム強度の測定点を結んだものである。挿入図は25×25 cm²の減速材の放出面

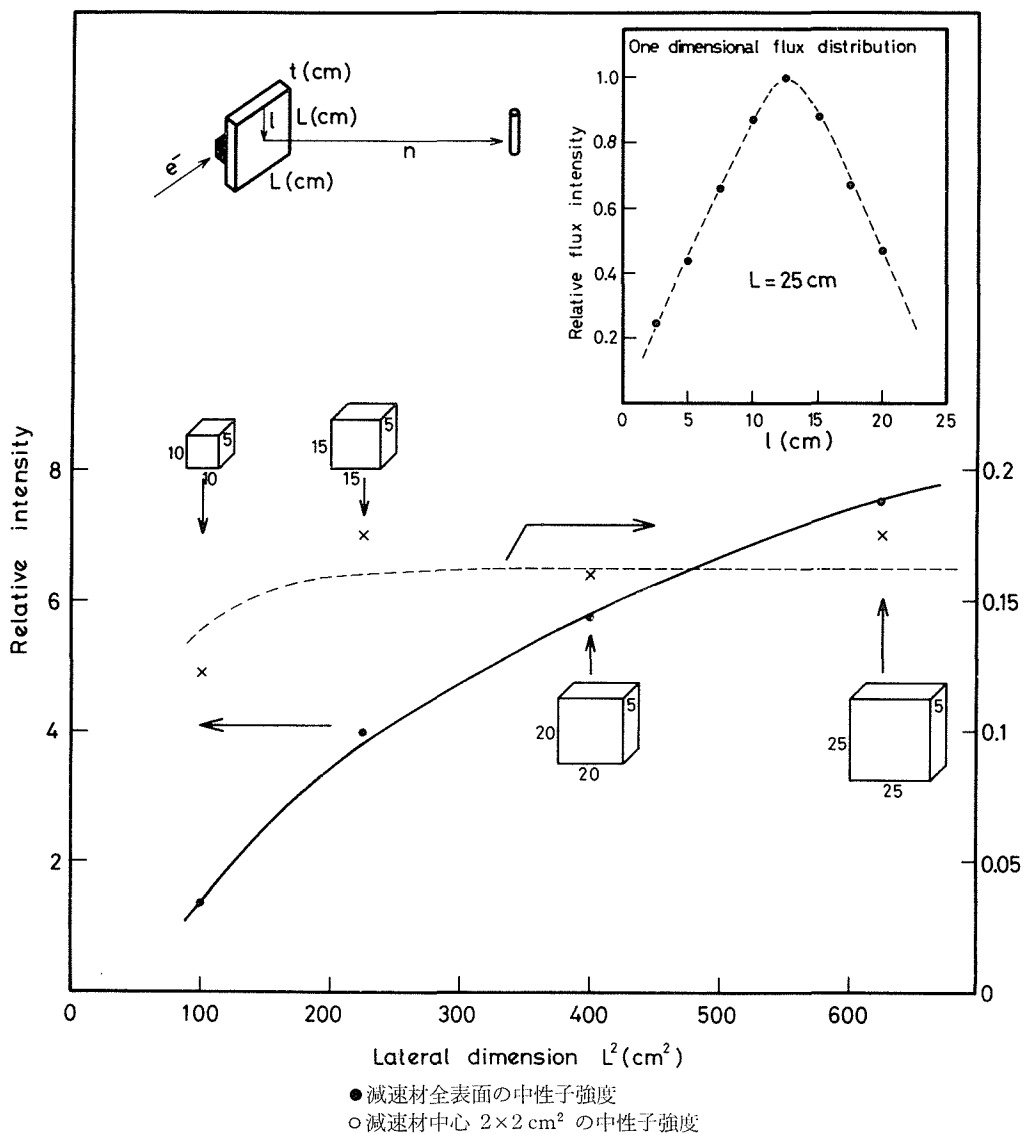


図1 減速材中性子放出面における中性子強度

縦方向のビーム強度分布である。放出面中心のビーム強度は $15 \times 15 \text{ cm}^2$ 以上では減速材の大きさに関係なくほぼ一定であるが、 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ では体系からの中性子のもれのために強度が減少している。また、放出面上の強度分布はコサイン分布に近い形をしており、この程度の大きさの減速材については、中性子ビーム強度は放出面積とともに増加する事が期待される。実際の測定結果においても $10 \times 10 \text{ cm}^2$ の減速材に比較し、 $25 \times 25 \text{ cm}^2$ の減速材は約6倍のビーム強度になっている。また、放出面上の中性子強度分布からわかるように、同じ放出面積をとるにしても、大きな減速材体系の中心部分の同じ面積から中性子を引き出す方が強度が強い。例えば、 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 減速材の中性子強度と比べると、 $25 \times 25 \text{ cm}^2$ の減速材の中心部分の $10 \times 10 \text{ cm}^2$ から引き出す方が中性子強度は2倍となる。

2.2 速中性子反射体と中性子強度

図1中の測定体系図からわかるように、ターゲットを中性子放出面の反対側に置いた場合、ターゲットで発生した速中性子のうち減速材に入射しないもののがかなりある。従って、このような中性子を有効に利用するため、減速材、ターゲットを反射体で囲んで中性子ビーム強度を大きくする。しかし、反射体をつけることによるパルス時間特性の悪化を防ぐため、通常はカドミウムなどの熱中性子遮蔽材で減速材と反射体の間を仕切り、反射体を速中性子反射体としてのみ用いる。

測定は黒鉛、酸化ベリリウム、パラフィンの三種の反射体について行った。減速材は軽水で、大きさは $10 \times 10 \times 5 \text{ cm}^3$ である。減速材と反射体の間のデカップラーにはカドミウムを用いた。図2は黒鉛の測定結果である。縦軸は反射体がないときの中性子強度を1とした時の反射体つき減速材の中性子強度であらわしてある。減速材の上下方向に14 cmの黒鉛を置き、放出面の反対側の黒鉛の厚さを変えた場合、黒鉛の厚さが13 cm程度で中性子ビーム強度が2倍になっており、それ以上厚くしていてもビーム強度があまり増大していない。また、上下方向の黒鉛は7 cm程度の厚さで強度増加はとまっている。黒鉛については $25 \times 25 \times 5 \text{ cm}^3$ の減速材についても測定を行ったが、倍率は2であり、減速材の大きさによってあまり差がない事が示された。図3に反射体がないときの水減速材の時間スペクトル、黒鉛反射体をつけたときの時間スペクトル、酸化ベリリウム反射体をつけたときの時間スペクトルを示す。黒鉛の厚さは10 cm、酸化ベリリウムの厚さは5 cmである。この図からもわかるように黒鉛では2倍、酸化ベリリウムでは3倍の強度が得られている。パラフィンを反射体としたときの測定結果を図4に示す。パラフィンを反射体とした場合は強度が1.5倍にしかならず、またターゲット周囲をパラフィンで囲んだ場合には、逆に強度は減少し1.2~1.3倍となる。これは含水素物質であるパラフィンでは、ターゲットで発生した速中性子が減速材に入射する前に、散乱・減速熱化されてカドミウムのカットオフエネルギー以下になってしまい、減速材表面に貼ってあるカドミデカップラーに吸収されてし

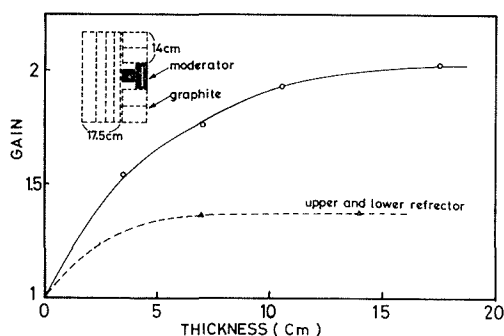
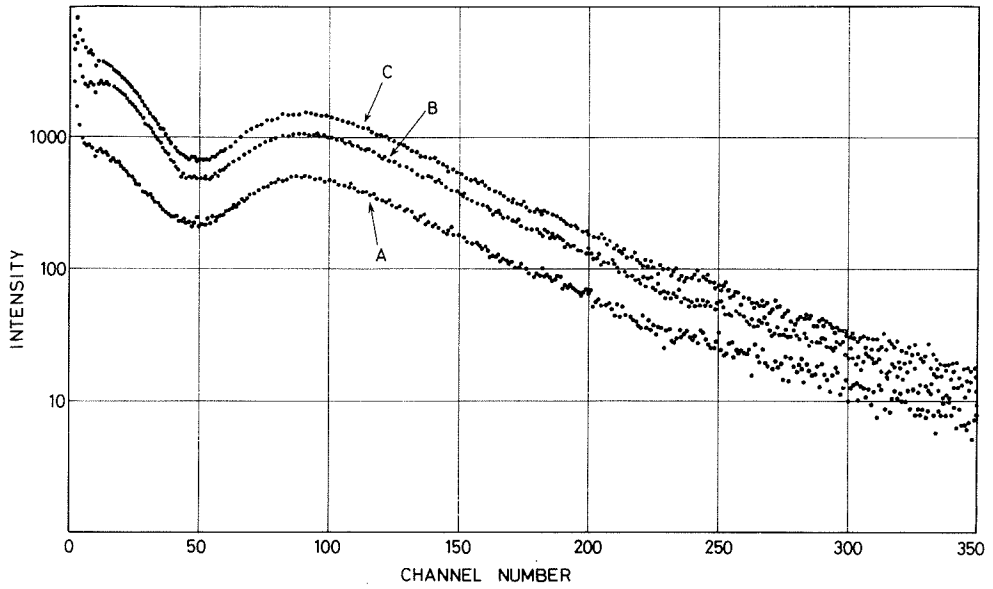


図2 黒鉛反射体効果

もうためと考えられる。



A) 水アセンブリー (10×10×5 cm³) スペクトル, B) 黒鉛反射体つきスペクトル, C) 酸化ベリリウム反射体つきスペクトル

図3 反射体つきパルス中性子源の中性子飛行時間スペクトル

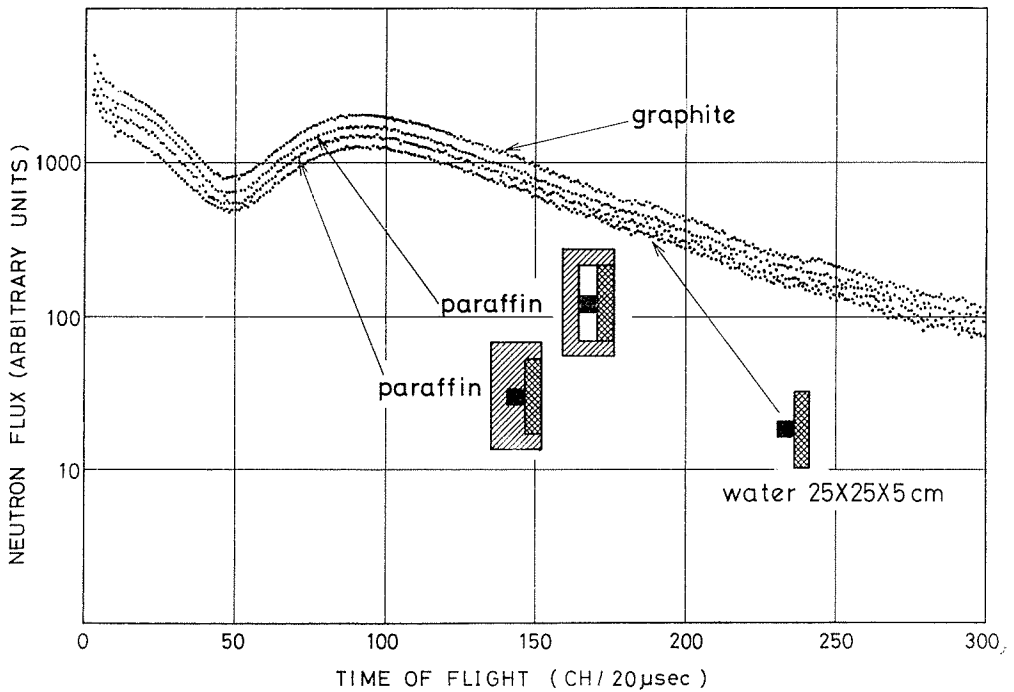


図4 パラフィン反射体つきパルス中性子源の中性子飛行時間スペクトル

3. 中性子エネルギースペクトル

熱中性子源の減速材には水などの含水素物質が用いられ、そのエネルギースペクトルはほぼ熱平衡スペクトルとなり、中性子ビーム強度増強は今まで述べてきたような方法で行うことができる。しかし、冷中性子源については、減速材物質の減速熱化機構の差によってスペクトルに大きな差があらわれる。冷減速材として考えられる物質の中性子の減速熱化に寄与する運動モードについては良く知られておらず、実際に色々な物質について調べる必要がある。図5にいくつかの冷減速材の中性子エネルギースペクトルを示す。減速材形状は円柱形 ($20\text{ cm}^{\phi} \times 19.7\text{ cm}$) と板状 ($25 \times 25 \times 5\text{ cm}^3$) であり、円柱減速材の場合には図に示してあるようにリエントラントホールを通して中性子を引き出した。板状の場合は減速材表面からの中性子である。各減速材のエネルギースペクトルは $1/E$ 領域で規格化してある。 20°K 固体メタンは最も有効な冷減速材であり、 5 meV の中性子に対しては、同じ形状・大きさの軽水減速材の場合の約8倍の強度がある。また 18°K 固体水素の約2倍、エタン減速材の約1.5倍になっている。軽水氷減速材と固体メタン減速材では 5 meV 付近では同程度の中性子強度であるが、それより低いエネルギーでは固体メタ

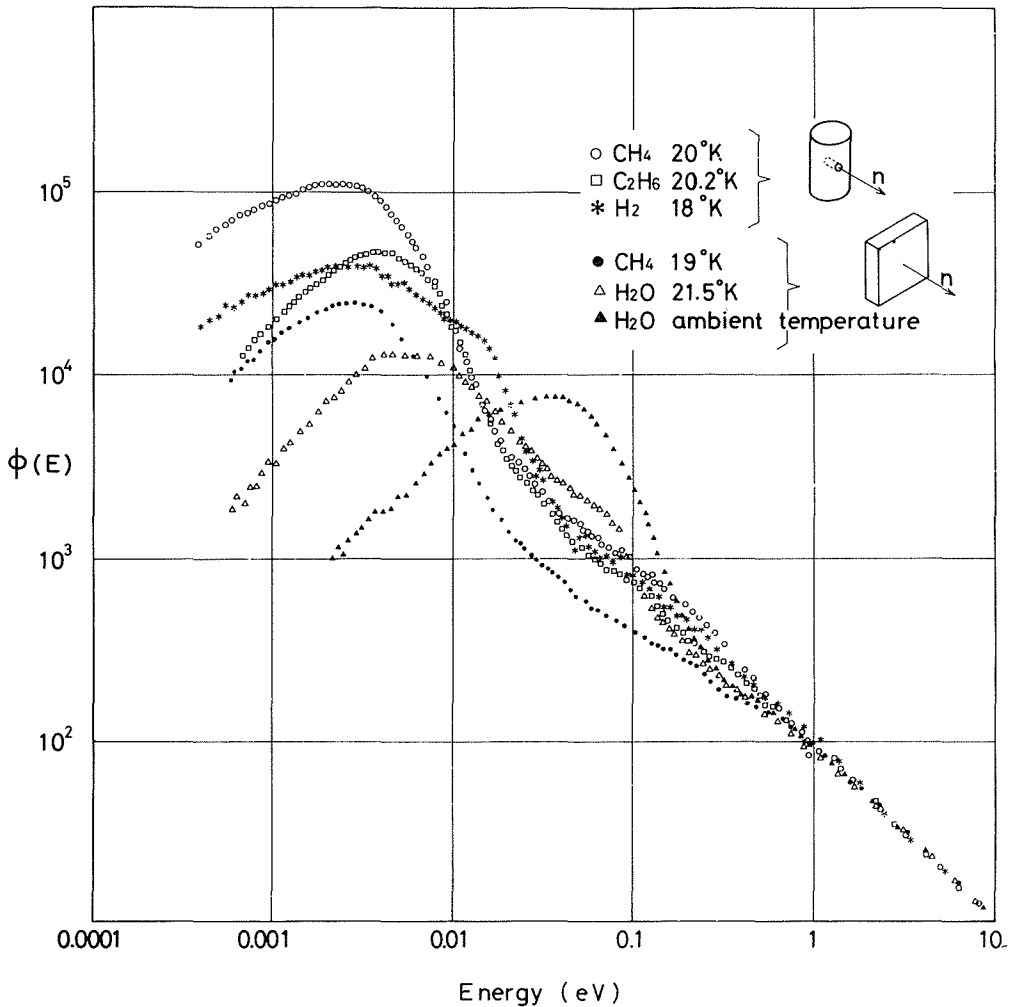


図5 各種冷減速材の中性子エネルギースペクトル

ン減速材の方が中性子強度が強い。

4. 中性子パルスの時間特性

中性子ビーム強度の増大と関係して、放出される中性子パルスの時間特性は、中性子散乱実験の分解能を左右する重要な因子である。一般にパルス巾を短くする事と中性子強度を増大する事は背反した関係にあり、減速材体系を小さくしてパルス巾を短くしようとする事と大巾な強度の減少がおこる。この事を避けるために、反射体を速中性子に対してのみ用い、熱あるいは冷中性子パルス巾の増大を防ぐ。図6は $10 \times 10 \times 5 \text{ cm}^3$ の水のパルスタイムスペクトルである。また、図7は水の体系に厚さ 5 cm の酸化ベリリウムを反射体としてつけ、減速材と反射体の間をカドミデカップラーで仕切った場合のパルスタイムスペクトルである。測定ではマイカ結晶を中性子エネルギー分析に用い、ブラッグ角は 80 度とした。入射中性子ビームはソーラコリメータで方向を

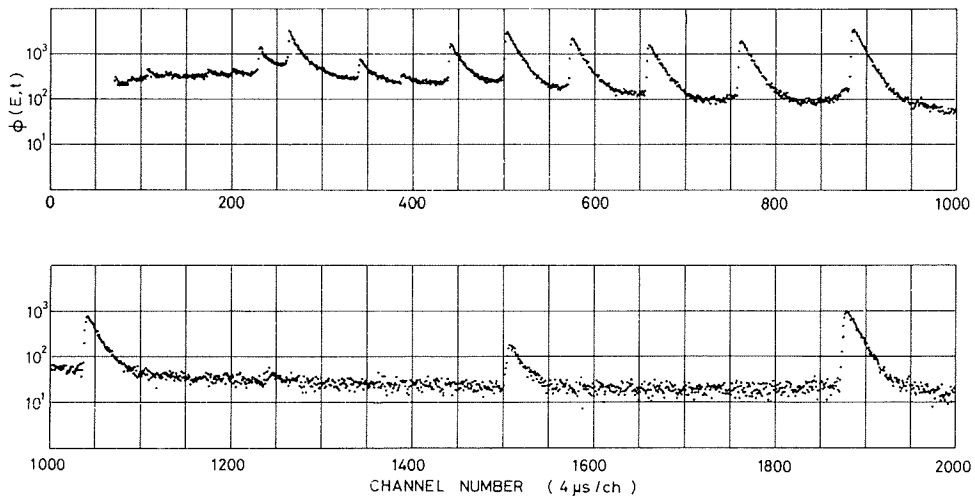


図6 水減速材（室温 $10 \times 10 \times 5 \text{ cm}^3$ ）のパルスタイムスペクトル

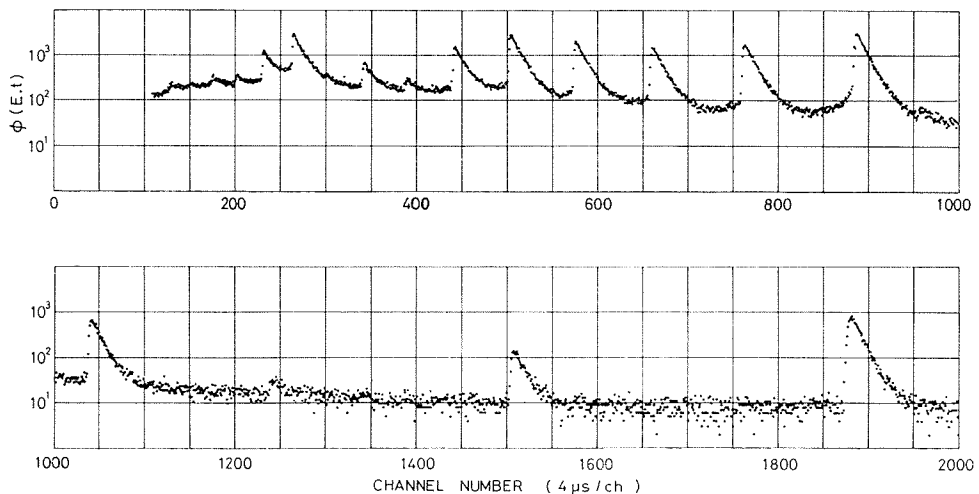


図7 酸化ベリリウム反射体（厚さ 5 cm）つき水減速材（室温、 $10 \times 10 \times 5 \text{ cm}^3$ ）のパルスタイムスペクトル（カドミデカップラーつき）

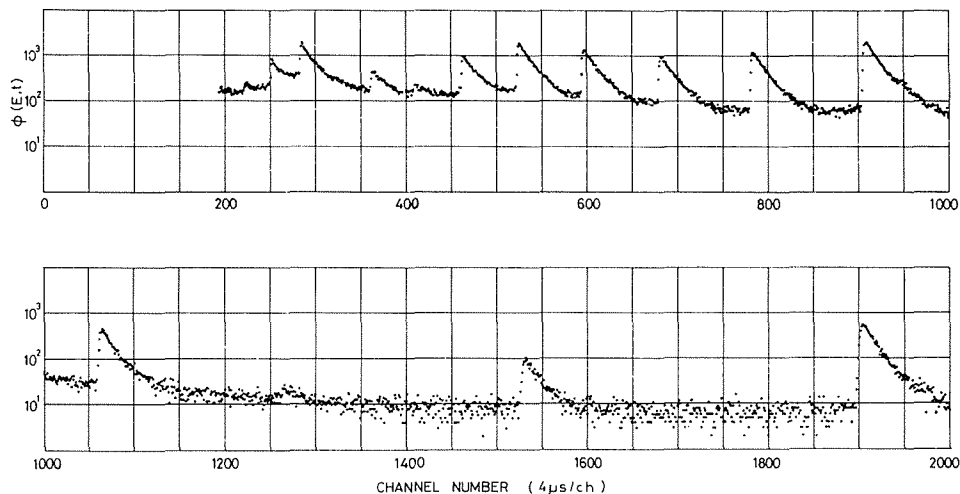


図8 酸化ベリリウム反射体 (厚さ 5 cm) つき水減速材 (室温, $10 \times 10 \times 5 \text{ cm}^3$) のパルスタイムスペクトル (カドミデカップラーなし)

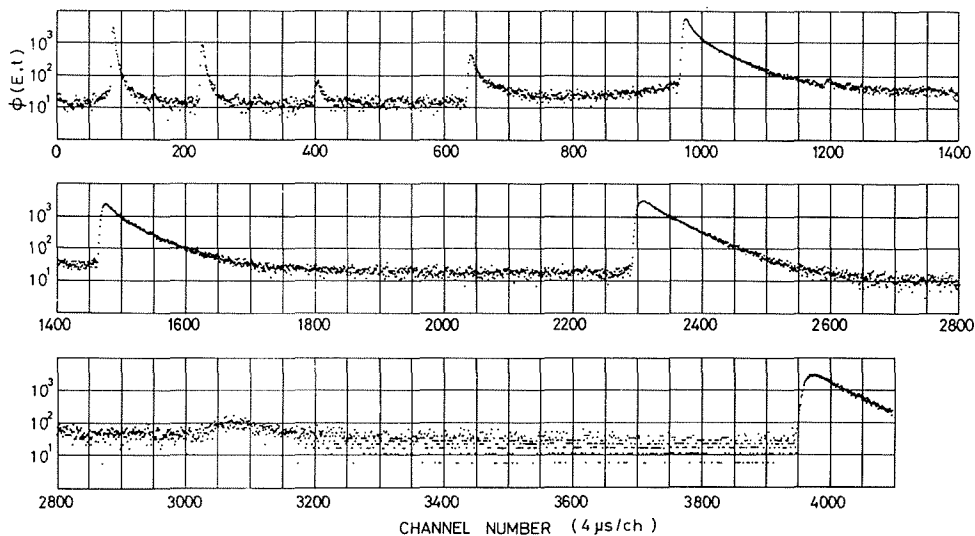


図9 メタン冷減速材 (20°K , $25 \times 25 \times 5 \text{ cm}^3$) のパルスタイムスペクトル

揃えた。図6, 図7の両者のスペクトルはほとんど差がなく, 立上り時間が数 μs , 減衰時間が $45 \mu\text{s}$ 程度となっている。この事より, 反射体から減速材へ入る速中性子は非常に速い時間に減速材に入射してしまい, 時間的に遅れて入射し, パルス巾を広げるような中性子がほとんど存在しない事が示された。また, パルスの立上り部分だけを散乱実験のデータ解析に用いようとする場合には, 漸近減衰部分が広がる事を無視すれば, 反射体を速中性子に対してだけでなく, 熱中性子に対しても用いて中性子強度を増加させるため, カドミデカップラーを取外す事が考えられる。図8は図7と同じ体系でカドミデカップラーを取り外した場合のパルスタイムスペクトルである。このスペクトルでは, 漸近減衰部分のスペクトルが二成分になっており, 前二つの結果が単一成分で減衰しているのに較べて大きな違いを見せている。しかし, 立上り部分についてはほとんど差がなく, ピーク付近で若干の丸みが見られる程度である。

図9は 20°K 固体メタン ($25 \times 25 \times 5 \text{ cm}^3$) のパルスタイムスペクトルである。ここでは反射

体はつけていない。中性子パルスは漸近減衰の部分が二成分になっており、減衰時間は $160 \mu\text{s}$ で、前述の水の場合より大分長くなっているが、立上り時間は $20 \mu\text{s}$ 前後で水の場合と大きな差はない。

5. 中性子エネルギー・時間スペクトルの合成

中性子散乱実験において、データ解析を行うには、放出中性子に対してエネルギー・時間の二次元の情報が必要である。図10に図5、図9のデータをもとにして作成した、 20°K 固体メタン冷減速材の中性子エネルギー・時間スペクトルを示す。但しこの図は放出面表面でのものである。解析に用いたパルスデータは $1.89, 3.36, 5.26, 7.57 \text{ meV}$ の四つで、立上り部分については分解能補正及び減速熱化理論による補正を行って全体を首尾一貫したものとした。四つの実験点以外のデータは全てこの実験点より内挿して求めたもので、実験データの範囲内の任意のエネルギーに対して、エネルギー・時間スペクトルを計算する事ができる。图中、衝立状に書いてあるのは、このデータから求めた各種時間定数である。減衰定数は全てのエネルギーに対してほぼ一定で $160 \mu\text{s}$ であるが、半値巾はスペクトルの形が急激に変化するのを反映して、 $140 \mu\text{s}$ 程度から $30 \mu\text{s}$ 程度まで大きく変化する。また立上り時間は、 $23.2 \mu\text{s}$ から $13.3 \mu\text{s}$ という小さな値であり変化しない。したがって、この立上り部分を利用する事によって、中性子散乱実験での分解

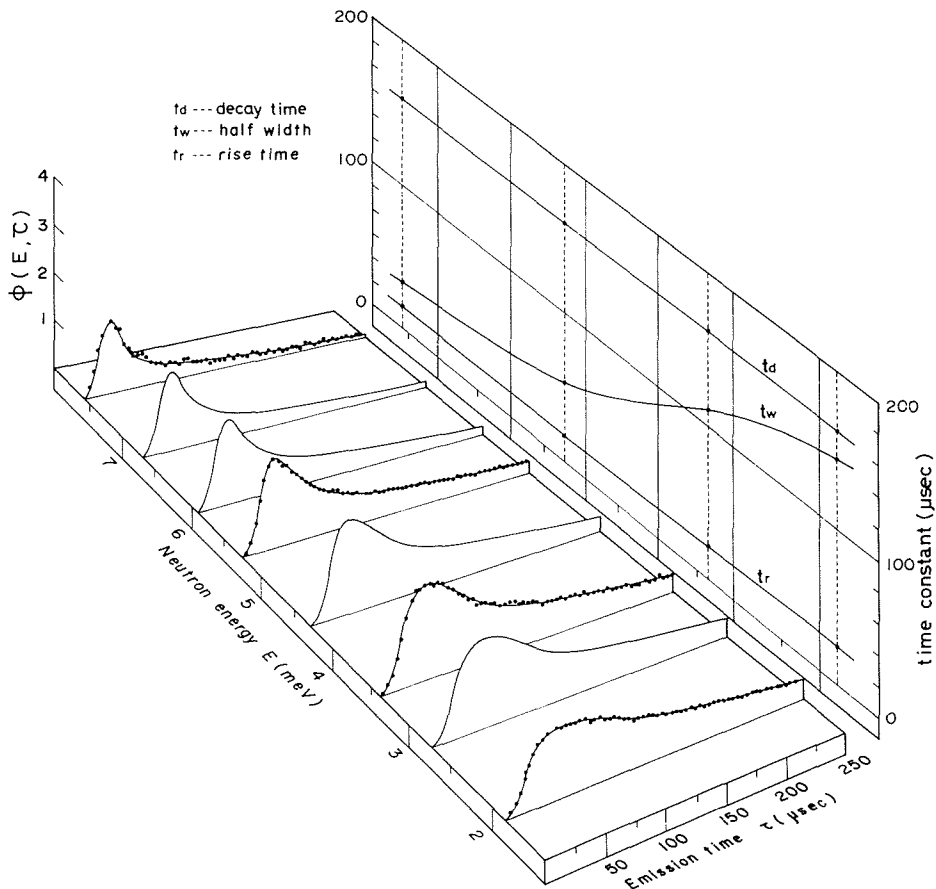


図10 パルス冷中性子源エネルギー・時間スペクトル

能の向上をはかる事が可能である。

6. 結 言

パルス中性子源の板状減速材についての測定の結果、中往子放出面積にある程度比例して中性子強度が増大し、その中心付近の強度は $15 \times 15 \text{ cm}^2$ 以上の放出面積では一定であること、また放出面上での強度分布がコサイン分布に近い形をしている事などがあきらかとなった。

速中性子反射体としては酸化ベリリウムが一番よく3倍となり、黒鉛では2倍、含水素系ではせいぜい1.5倍にしかない。

冷減速材では 20°K 固体メタンが軽水氷、水素、エタンより冷中性子強度が強く最も有効な冷減速材と考えられる。5 meV の中性子強度は同じ大きさの常温軽水の場合の約8倍となっている。

放出中性子のパルス特性は、カドミデカップラーをつけた場合には反射体をつけてもほとんど影響はなく、カドミデカップラーを取外した場合でも反射体による影響は主に漸近減衰部分にのみあらわれる。 20°K 固体メタンのパルスタイムスペクトルは熱中性子減速材の場合よりは全体の広がり可成り大きい、立上り部分はあまり長くなっていない。

パルス中性子源の最適設計のために必要な情報は、今回行った測定によって得られたものの他にもまだ沢山あり、実験的にも更に系統的な研究を進めなければならない。一方、冷中性子スペクトル、あるいはパルスタイムスペクトルなどの理論解析は、まだほとんど行われておらず、今後の課題として残されている。

参 考 文 献

- 1) Day, D. H. and Sinclair, R. N.: Nucl. Instr. Meth., 72 (1969) 237.
- 2) Carpenter, J. M.: *ibid.*, 145 (1977) 91.
- 3) Harling, O. K.: *ibid.*, 119 (1974) 217.
- 4) 石川義和: 高エネルギー研中性子源 (KENS) の建設とそれによる中性子散乱 (昭和53年度科研報告書).
- 5) Asaoka, T; J. Nucl. Energy: A/B 18 (1964) 665.