

JENDL-2のナトリウム断面積の 遮蔽ベンチマークテスト

NAIG 川合将義

前回(昭和60年秋の分科会)の折、動燃の大谷氏から JENDL-2 のナトリウム断面積の遮蔽解析への適用性に関する問題提起があったが、その後、その発言の根拠となったステンレス鋼/ナトリウム/鉄多重層体系の中性子透過実験の解析に関する見直しを通じて、上記解析に計算ミスが見出され、改めて解析し直された。また、シグマ委員会の遮蔽定数サブWGでも、提起された問題の有無と JENDL-2 ナトリウム断面積の適用性を明らかにするためにナトリウム単層での中性子透過実験を解析評価した。今回、それらの結果を紹介し、上記適用性に関して結論を下すとともに、JENDL-3 に向けてさらに改良すべき点を述べる。

1. SS/Na/Fe 多重層透過実験の解析

この実験は、米国の高速原型炉 CRBR の軸方向遮蔽モックアップとして ORNL で実施されたものであり、厚いナトリウム層を透過後の軟スペクトルの中性子を源として鉄体系中の中性子透過特性をボナーボール検出器を用いて測定したものである。解析は、2 次元 S_n 輸送コード DOT-3.5 を用いて、21 群 P_3 -S100 近似で行われた。計算に使用した群定数は、JENDL-2 又は ENDF/B-IV のデータを MINX コードで処理して得た 100 群定数から、それをベースとした 1 次元 S_n 輸送計算による中性子スペクトルを重みとして縮約して得たものである。第 1 図には、SS 46.56 cm, Na 459.83 cm, Cs 61.68 cm の供試体中のボナーボール検出器計数率の空間分布について、JENDL-2, ENDF/B-IV それぞれについて結果を比較して示す。ナトリウム中で両者は殆んど一致しているが、炭素鋼領域で最大 3 倍の食い違いが生じている。これは、ボナーボール検出器計数率が、ナトリウム中では JENDL-2, ENDF/B-IV の差が小さい keV 以下の中性子によって決まっているのに対し、鉄中では、食い違いの目立つ 24 keV を代表としたやや高エネルギーの中性子によって決まっているためである。この keV 以上の中性子束のずれは、第 2 図に示すようにナトリウム中で既に見出される訳で、ここにナトリウム断面積の重要性が現われている。

第 3 図には、4 インチボナーボール検出器計数率に関する C/E 値を示す。JENDL-2 の場合、炭素鋼厚が 20 cm までほぼ一定の C/E 値(~ 0.8)であるが、それより厚さが増すと過小評価の程度が大きくなる傾向がある。そして、62 cm 厚では約 1 桁過小評価を与える。一方、

ENDF/B-IVの場合のC/E値は、0 cmの0.75から25 cm厚の1.35まで増加し、それ以上では、62 cmの0.5まで減少する。ボナーボール検出器計数率の線源からの空間的な減衰が $Z = 0$ cmで約7桁、62 cmで約13桁もあることを考慮すると、上記の測定値の再現性は、遮蔽解析上実用的な範囲にあるといえる。なお、ENDF/B-IVで1を超えるC/E値の変化は、それに含まれる鉄データのうち、24 keVの全断面積の谷が最近の測定値以上に深くえぐれていて、window効果が強調されているためと思われる。

2. ナトリウム単層での中性子透過実験の解析

上記の多重層透過実験の解析結果には、鉄断面積の不確かさが影響しており、それだけではナトリウム断面積の適用性に関して十分な結論が出せない。そこで、ORNLで行われたナトリウムに関する遮蔽ベンチマーク実験のうち、透過厚10フィートの体系について解析した。解析に用いた群定数は、RADHEAT-V 4システムを用いてJENDL-2及びENDF/B-IVから処理して得た100群断面積である。中性子輸送計算は、DOT-3.5を用い、100群 P_3-S48 近似で行い、その結果をSPACETRANに入力し、供試体後方での検出器位置でのボナーボール検出器計数率及び中性子束を求めた。

解析結果は、エネルギーの高い順から以下に説明する。第4図には、NE-213による1~10 MeVの中性子スペクトルについて計算値と比較して示したものである。測定値の誤差は比較的大きく、JENDL-2はその下限付近を、ENDF/B-IVは、上限付近を通過している。両方の計算値は、約2倍の開きがある。次いで、第5図には、Benjaminスペクトロメータによる0.1~1 MeV域の中性子スペクトルの結果を示す。JENDL-2の結果は、測定値と非常に良い一致を示しているのに対し、ENDF/B-IVは過大評価のみである。第6図のボナーボール検出器計数率について、JENDL-2の方が5~20%高い値を与えており、過大評価となっている3インチボナーボールの場合を除けば、JENDL-2の方がENDF/B-IVよりも実験の再現性が良く、しかもその誤差が20%以内であることを示している。

以上の結果から、MeV以下の中性子に関してJENDL-2はENDF/B-IVよりも良好な結果を与えることがわかった。

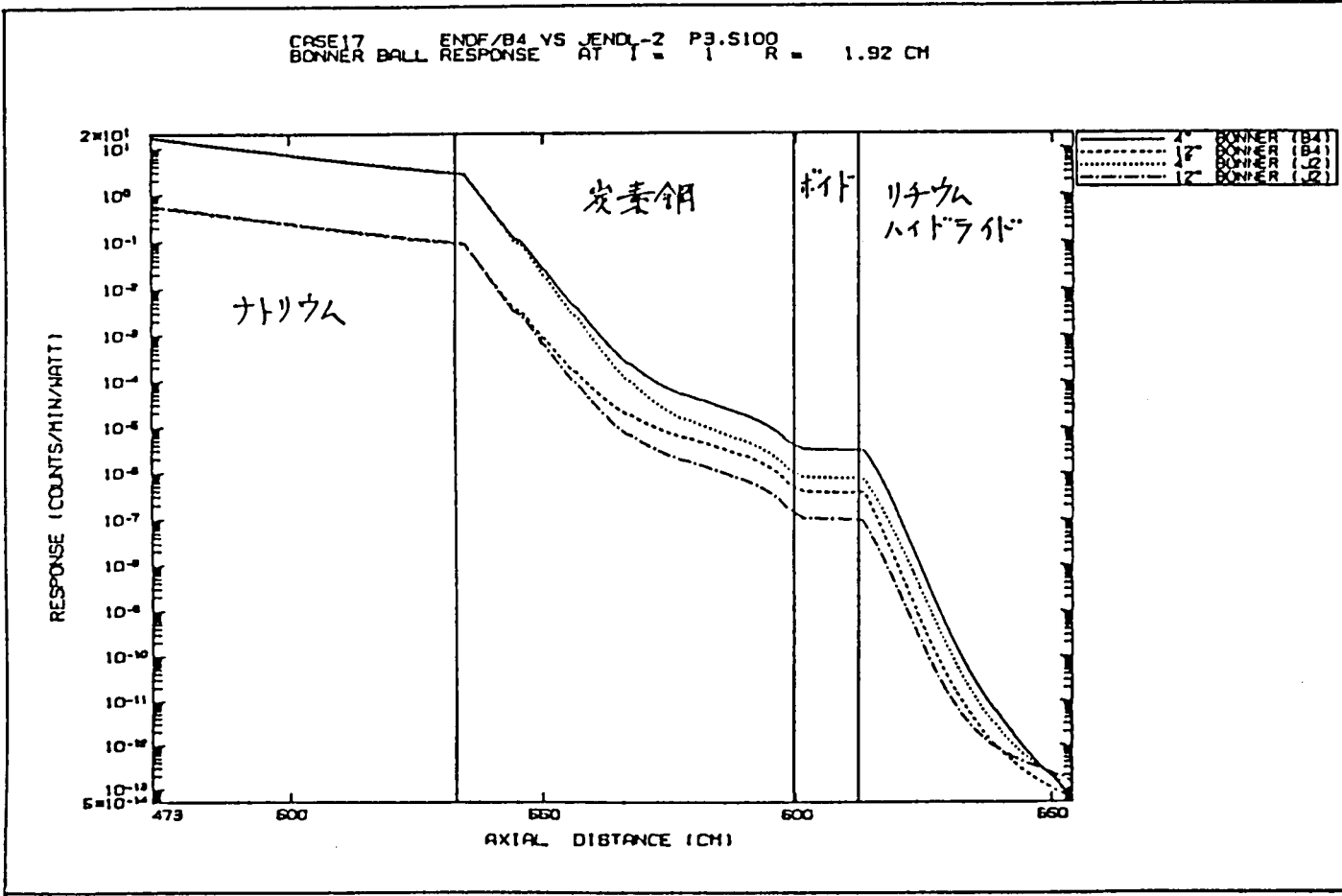
3. JENDL-3に向けて

上記の限られたケースであるが、JENDL-2のナトリウム断面積の遮蔽解析への適用性がENDF/B-IVに比べて優るとも劣らないことが示された。しかし、単層実験におけるMeV中性子束の過小評価は、今後改善すべき問題点として残る。また、SS/Na/Cs多重層実験での過小評価傾向は、その責任を一概にナトリウム断面積のみ負わせ得ないが、保守的な解を好みがちな遮蔽設計者にはJENDL-2採用を踏み留まらせる原因の一つともなり得る。したがって、

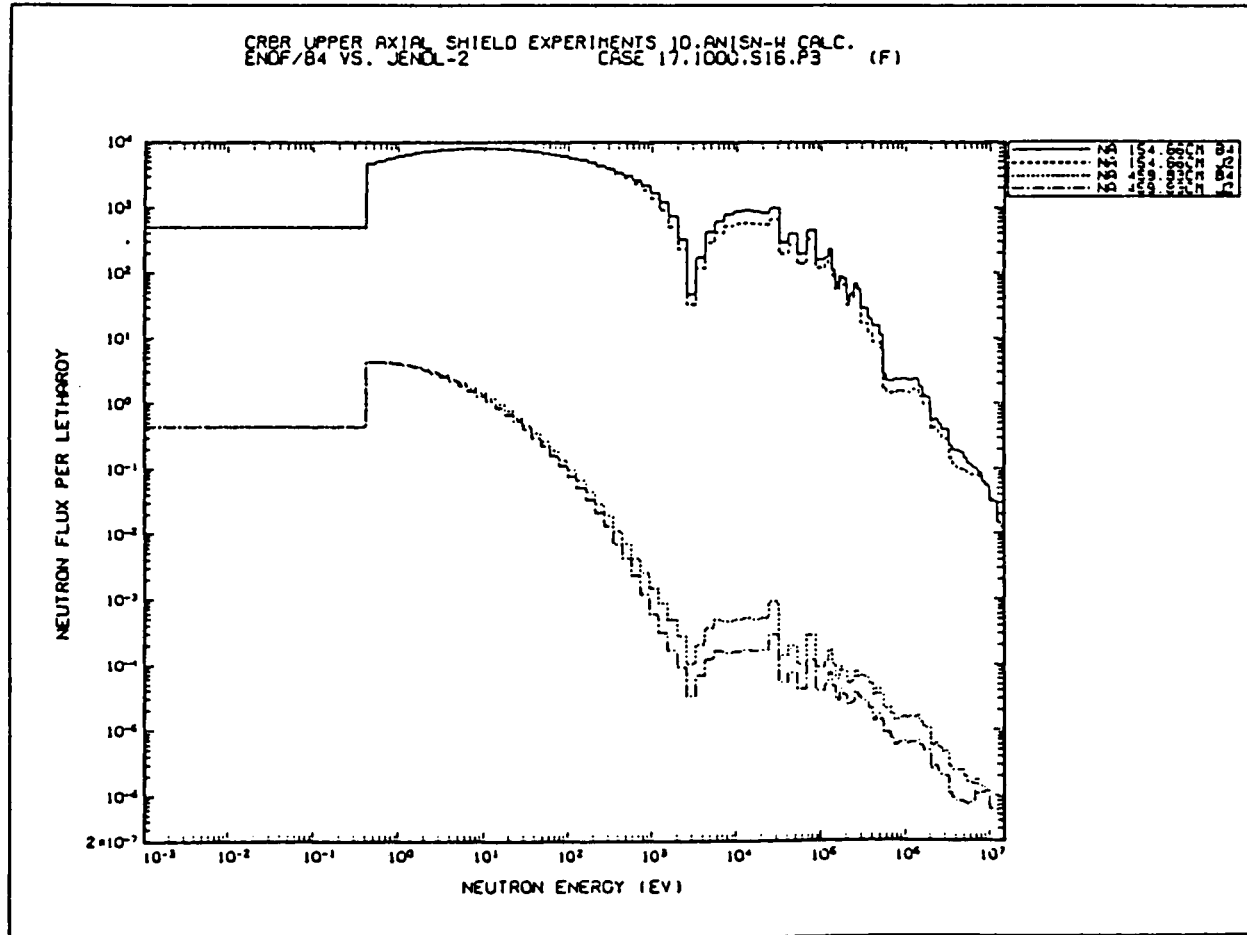
JENDL-3ではこれらの問題点ができるだけ解決されていることを期待する。

因みに、JENDL-2とENDF/B-IVのNaの断面積を比較した場合、0.4～4 MeVの非弾性散乱断面積について、JENDL-2が最大40%大きいこと、また、10 keV～1 MeVの全断面積について最大10%大きいことがわかる。前者は、中性子の減速特性の過大評価につながり、これがMeV中性子の過小評価を引き起こしている可能性がある。

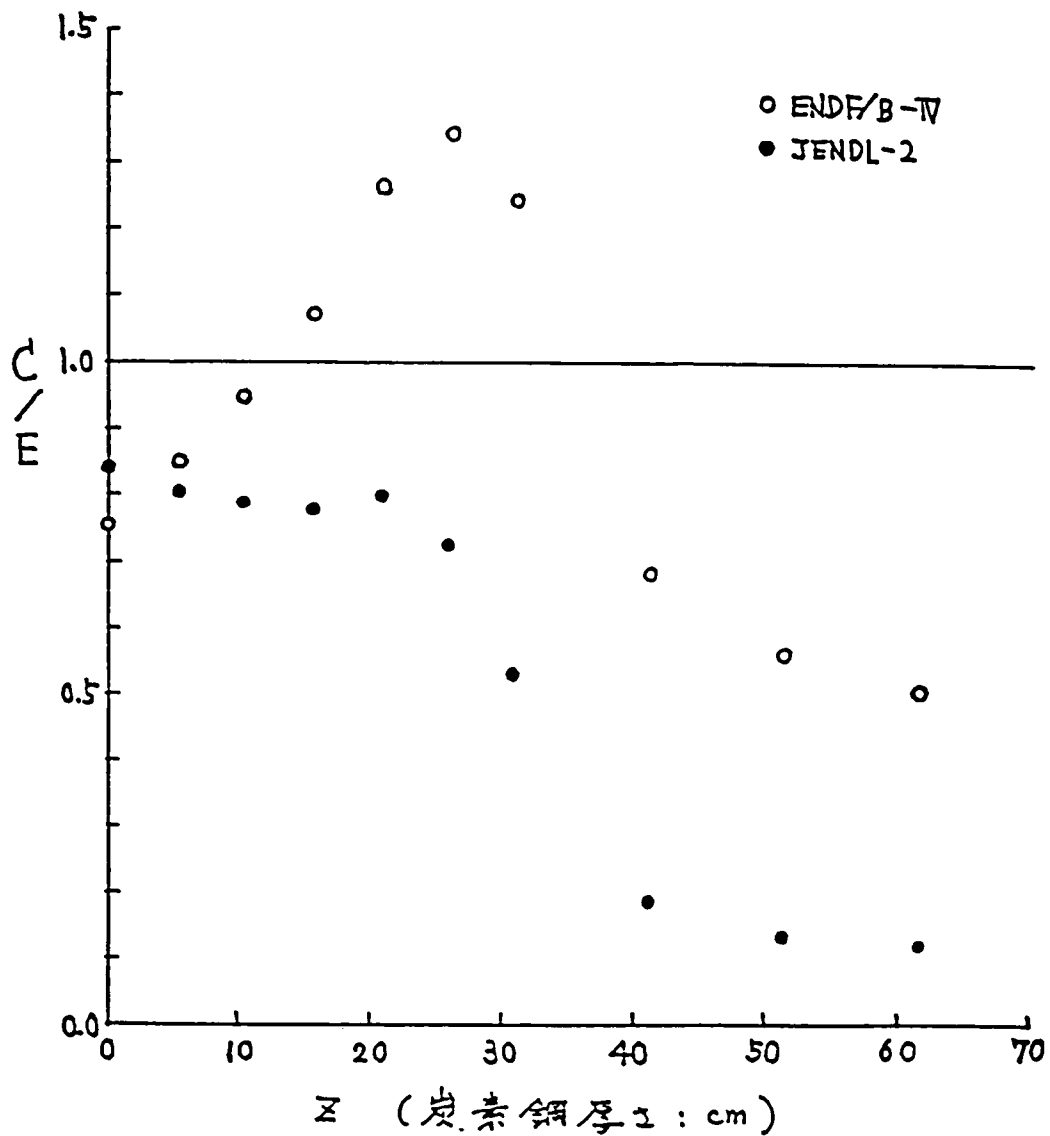
今回特に触れていないが、断面積の不確かさを除く遮蔽解析手法の粗さからくる誤差の問題もこうした積分テストには充分考慮しなければならない。例えば、多群化近似は、遮蔽体深層透過問題で影響の大きい窓効果を多かれ少なかれ過小評価する。従って、積分テストにおいて測定値の再現性が不十分な場合には、解析上の誤差も疑ってみることが大切であるということが、今回の作業を通じて得たもう一つの結論でもある。



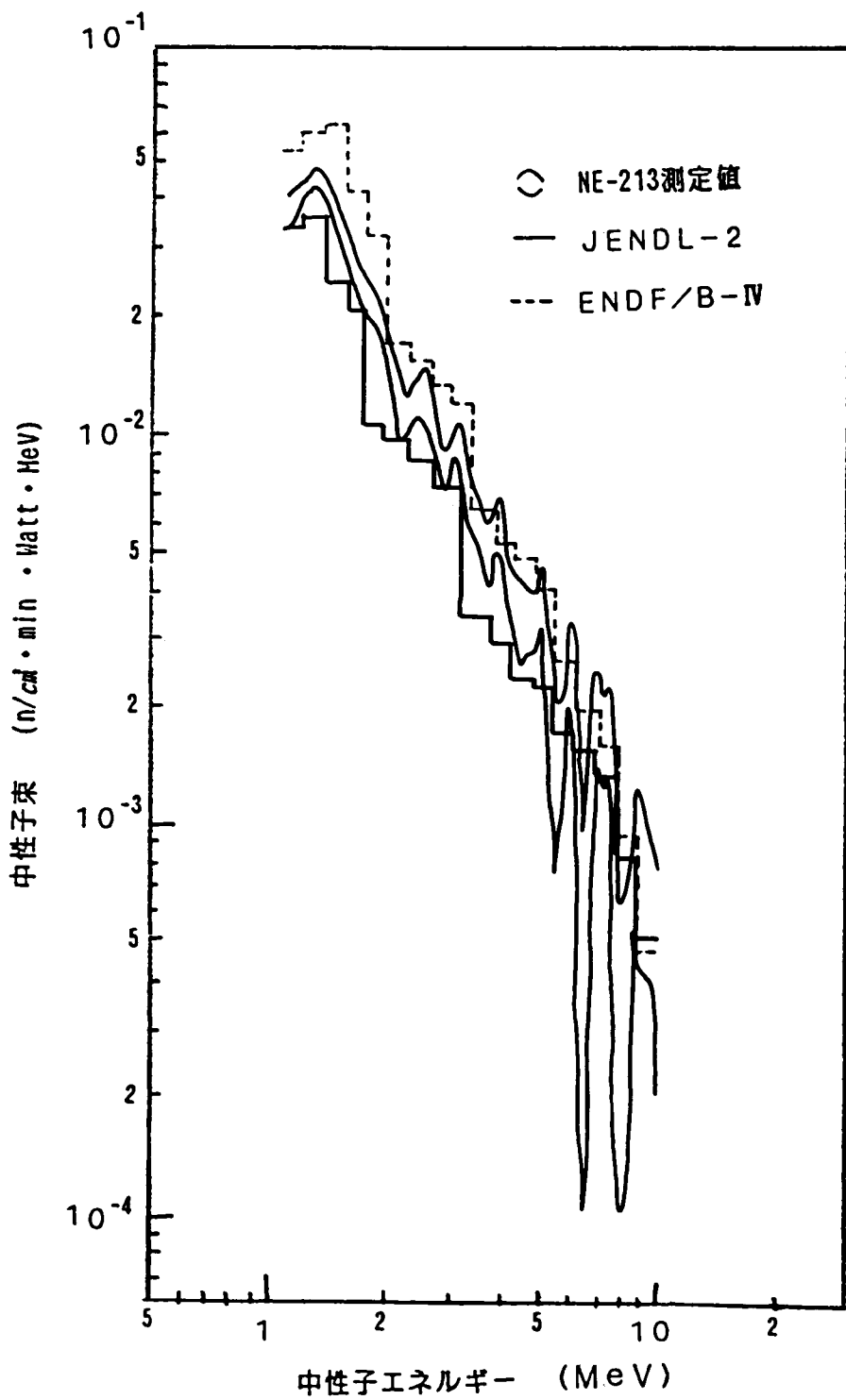
第1図 2次元計算ボナーボール計数率の比較, Case 17



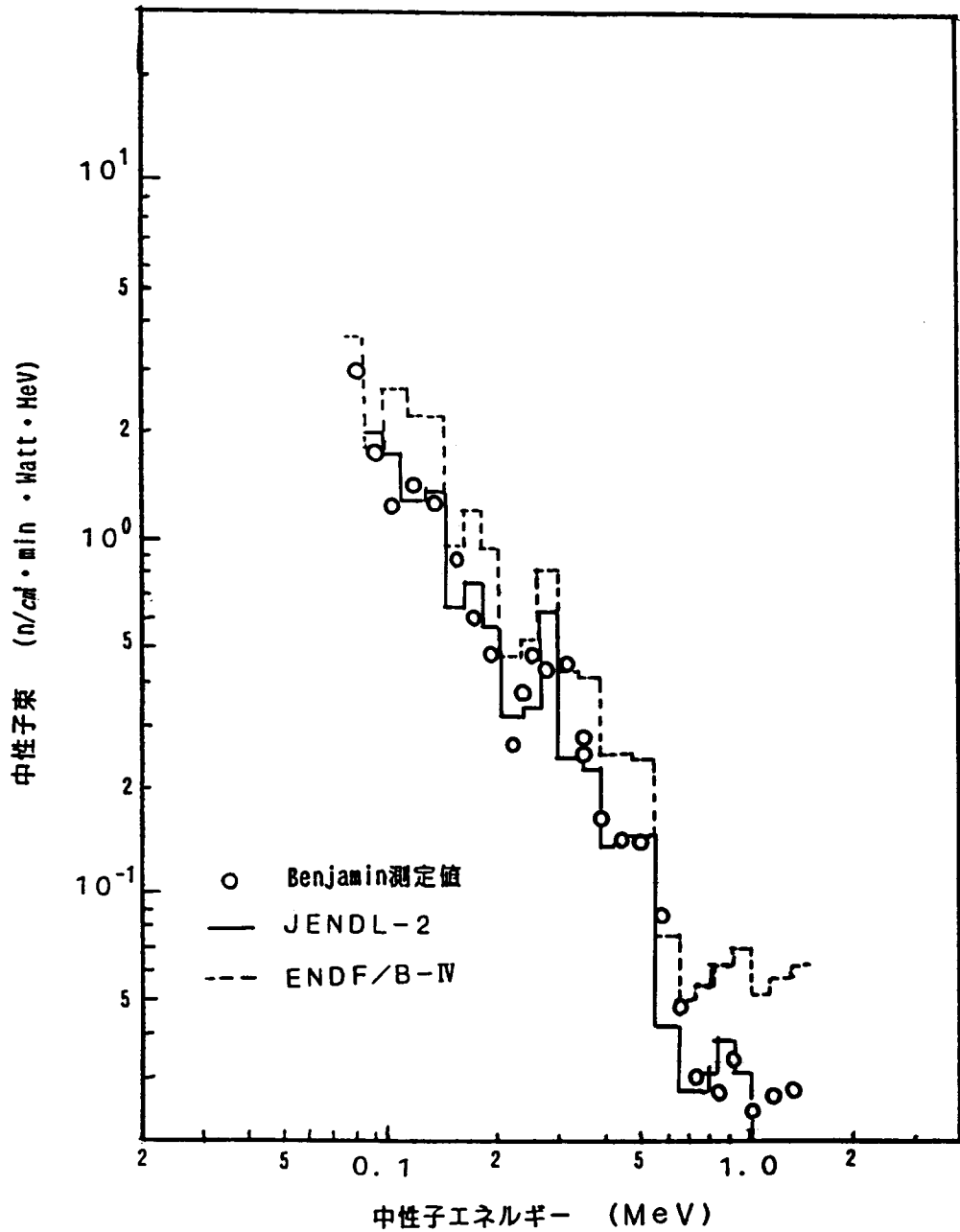
第2図 ナトリウム領域中の中性子スペクトルの比較(1次元計算結果)



第3図 2次元計算による4"ボナーボール計数率C/E値の比較

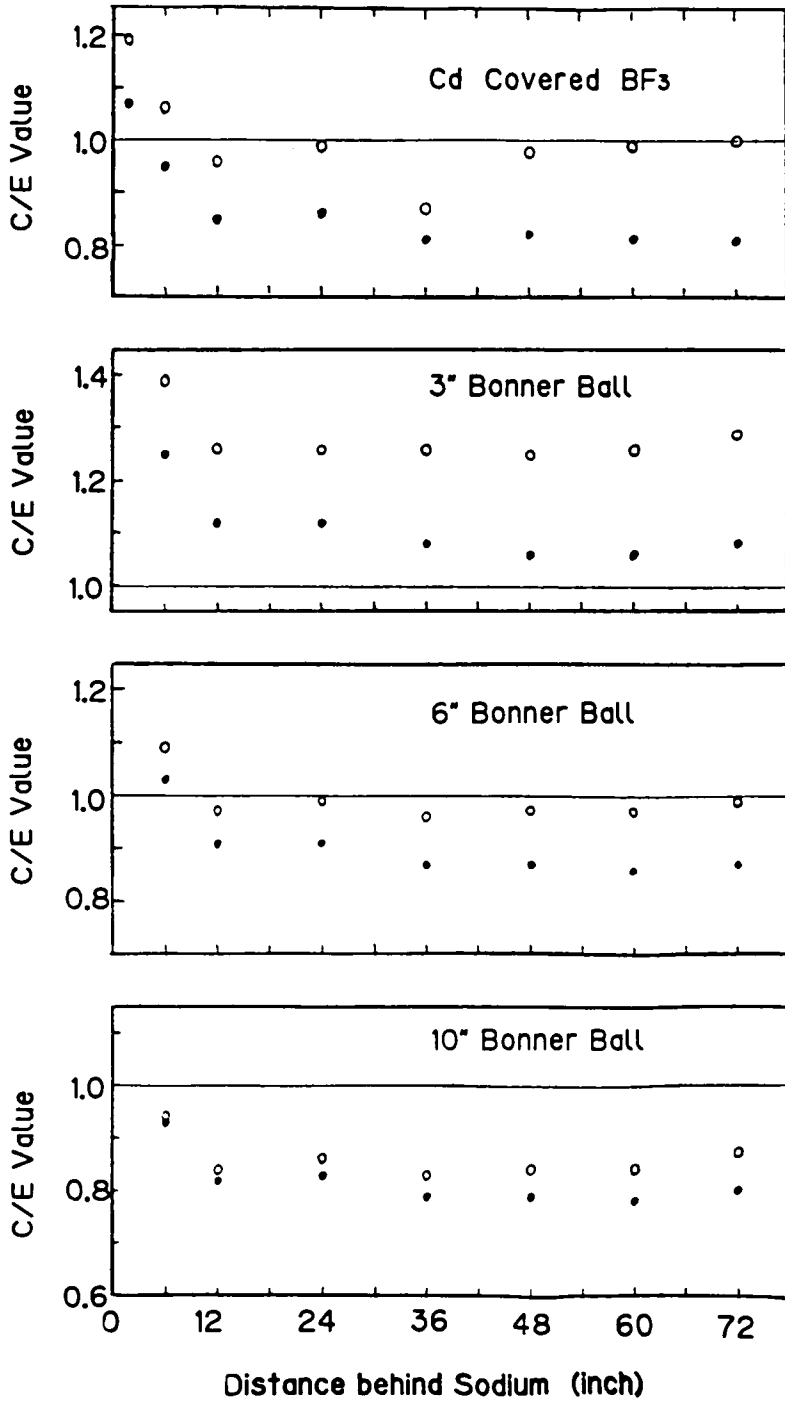


第4図 NE-213 スペクトルの比較



第5図 Benjamin スペクトルの比較

○ JENDL-2 ● ENDF/B-IV, $\theta=0$



第6図 ボナーボール検出器計数率のC/E値の比較