

未臨界試験体の実効増倍率評価

1991年11月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

未臨界試験体の実効増倍率評価

大谷暢夫^{*)}、加納卓司 ^{**)}

要旨

大洗工学センター実験炉部臨界工学試験室で実施されている未臨界度測定研究で、実験に使用される未臨界試験体について検討しデータをまとめた。

ここで検討された未臨界試験体は、重水臨界実験装置を一部改造して建設される未臨界度測定試験装置に装荷されることが想定されており、幾何学的に装荷可能な大きさの各種の形状の試験体の実効増倍率が計算されている。形状は平板または円筒形または円環であり、試験体に使用される核燃料物質としては、臨界工学試験室で保有している新型転換炉規格の、酸化ウランおよび混合酸化物燃料ピン、高速炉規格の混合酸化物燃料ピン、及び、液体燃料である硝酸ウラニル溶液である。燃料ピンを用いた試験体では、減速材として軽水を使用する。

解析は、臨界工学試験室で現在保有している新型転換炉規格の燃料ピンを用いて、どの程度の(高い)実効増倍率の試験体が可能であるかとの観点で始められた為、得られた結果が実効増倍率の高い試験体に偏っている傾向があるが、前述の核燃料をもちいて未臨界度測定研究に必要な試験体が構成できる事が明らかになった。

^{*)} 大洗工学センター実験炉部臨界工学試験室

^{**)} 同上、現三菱重工業(株)

Multiplication Factors of Sub-Critical Test Assemblies

Nobuo OHTANI, Kyouji KANO *)

Abstract

Effective neutron multiplication factors of subcritical assemblies, which will be applied to the experiments of subcriticality measurement, are estimated and summarized.

Subcritical assemblies investigated here are supposed to be loaded in the subcriticality experiment system: The subcritical experiment system will be constructed by changing the core structure of Deuterium Critical Assembly, and the geometrical dimensions of investigated assemblies were selected so as the assemblies can be loaded to the experiment system. Subcriticalities or effective multiplication factors of cylindrical, slab and annular assemblies by using ATR fuel pins, FBR fuel pins or liquid uranium fuel were evaluated.

The assemblies studied here have rather high multiplication factors, and the assemblies with lower multiplication factors should be added as future problem.

It has been proved that the subcritical assemblies with desirable multiplication factors can be formed by the fuels mentioned above.

*) Criticality Engineering Section, Experimental Reactor Division
O-Arai Engineering Center, PNC

目次

要旨	I
Abstract	II
目次	III
図表一覧	V
 1. 緒言	1
 2. 燃料等の仕様	2
2.1 新型転換炉燃料	2
2.2 高速炉燃料	3
2.3 液体燃料	3
2.4 中性子吸收体	3
 3. 無限増倍率	12
3.1 新型転換炉燃料の無限増倍率	12
3.2 高速炉燃料の無限増倍率	12
3.3 4因子公式による評価	13
 4. 平板体系実効増倍率	21
4.1 新型転換炉燃料、平板1領域、 $52\text{cm} \times 34\text{cm} \times 200\text{cmH}$ (水位依存性)	21
4.2 新型転換炉燃料、平板1領域、 $23\text{本} \times 15\text{本} \times 150\text{cmH}$ (格子ピッチ依存性)	22
4.3 新型転換炉燃料、平板1領域、 $23\text{本} \times 200\text{cmH}$ (試験体厚さ依存性)	23
4.4 高速炉燃料、平板1領域、 $58\text{cm} \times 20\text{cm} \times 100\text{cmH}$ (水位依存性)	23
4.5 高速炉燃料、平板1領域、 $39\text{本} \times 13\text{本} \times 80\text{cmH}$ (格子ピッチ依存性)	24
4.6 高速炉燃料、平板1領域、 $39\text{本} \times N\text{本} \times 100\text{cmH}$ (試験体厚さ依存性)	24
4.7 硝酸ウラニル溶液、平板1領域、 $51.75\text{cm} \times 33.75\text{cm}$ (液位依存性)	25
4.8 硝酸ウラニル溶液、平板1領域、 $58.50\text{cm} \times 19.50\text{cm}$	26
4.9 高速炉燃料、平板2領域、 $35\text{本} \times 6\text{本} \times 100\text{cmH} \times 2\text{体}$	

(試験体間隔依存性)	27
4.10 高速炉燃料、平板2領域、35本×N本×2体 (試験体厚さ依存性)	28
4.11 硝酸ウラニル溶液、平板2領域、52.5cm×9cm×2体 (試験体間隔依存性)	28
4.12 硝酸ウラニル溶液、平板2領域 (試験体厚さ依存性)	29
4.13 高速炉燃料、平板2領域+ポリエチレン吸収体	29
4.14 高速炉燃料、平板2領域+ポロンステンレス吸収体	30
4.15 高速炉燃料、平板2領域+HRS吸収体	31
4.16 硝酸ウラニル溶液、平板2領域+ポリエチレン吸収体	33
4.17 硝酸ウラニル溶液、平板2領域+ポロンステンレス吸収体	33
4.18 硝酸ウラニル溶液、平板2領域+HRS吸収体	34
 5. 円筒体系実効増倍率	84
5.1 新型転換炉燃料、高さ2m	84
5.2 高速炉燃料、高さ1m & 1.5m	85
5.3 硝酸ウラニル溶液、高さ1m	86
5.4 試験体容器の材質と厚さ	88
5.5 高速炉燃料、高さ1m、 試験体直径と格子ピッチ依存性	88
5.6 新型転換炉燃料、高さ2m、 試験体直径と格子ピッチ依存性	89
5.7 試験体高さ(軽水水位)依存性	89
5.8 円環形状試験体(中央部は軽水)	90
5.9 円環形状試験体、水位依存性(中央部は軽水)	90
5.10 円環形状試験体、試験体高さ及び円環内径依存性	90
5.11 円環形状試験体、可溶吸収材濃度依存性	91
 6. 考察とまとめ	119

図表一覧 一表一

第2-1-1表	新型転換炉規格5S燃料	5
第2-1-2表	新型転換炉規格8S燃料	6
第2-1-3表	新型転換炉規格2.7%EU燃料	7
第2-2-1表	高速炉規格燃料(「常陽」MK-I)	8
第2-2-2表	高速炉規格燃料(「常陽」MK-II)	9
第2-2-3表	高速炉規格燃料(「常陽」MK-III)	10
第3-1-1表	新型転換炉燃料の無限増倍率	14
第3-2-1表	高速炉燃料の無限増倍率	14
第3-3-1表	4因子公式による評価	14
第4-1-1表	新型転換炉規格の燃料による平板形状試験体の 実効増倍率	15
第4-2-1表	新型転換炉規格(2.7%EU)の燃料による平板形状 試験体の実効増倍率の格子ピッチ依存性	35
第4-3-1表	新型転換炉規格(2.7%EU)の燃料による平板形状 試験体の実効増倍率の試験体厚さ依存性	36
第4-4-1表	高速炉規格(「常陽」MK-III)の燃料による 平板形状試験体の実効増倍率	36
第4-5-1表	高速炉規格(「常陽」MK-III)の燃料による平板形状 試験体の実効増倍率の格子ピッチ依存性	37
第4-6-1表	高速炉規格(「常陽」MK-III)の燃料による平板形状 試験体の実効増倍率の試験体厚さ依存性	38
第4-7-1表	硝酸ウラニル溶液による平板形状試験体の実効増倍率 (51.75cm×33.75cm、ウラン濃縮度20%)	38
第4-8-1表	硝酸ウラニル溶液による平板形状試験体の 実効増倍率-A (58.5cm×19.5cm、ウラン濃縮度20%)	39
第4-8-2表	硝酸ウラニル溶液による平板形状試験体の 実効増倍率-B (58.5cm×19.5cm、ウラン濃縮度20%)	40
第4-9-1表	高速炉規格(「常陽」MK-III)の燃料による 2体の平板形状試験体の実効増倍率 - 試験体間隔依存性 - (35本×6本×100cm×2体)	41
第4-10-1表	高速炉規格(「常陽」MK-III)の燃料による 2体の平板形状試験体の実効増倍率 - 試験体厚さ依存性 - (35本×N本×2体)	42
		43

第4-11-1表	硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体の 実効増倍率 - 試験体間隔依存性 - (525mm×90mm×2体)	44
第4-12-1表	硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体の 実効増倍率 - 試験体厚さ依存性 - (400gU/l、2.0N)	45
第4-12-2表	硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体の 実効増倍率 - 試験体厚さ依存性 - (200gU/l、0.1N)	46
第4-13-1表	高速炉規格の燃料による2体の平板形状試験体の中間に ポリエチレン吸収体を設置した場合の実効増倍率 (35本×6本×2体)	47
第4-13-2表	高速炉規格の燃料による2体の平板形状試験体の中間に ポリエチレン吸収体を設置した場合の実効増倍率 (35本×12本×2体)	48
第4-14-1表	高速炉規格の燃料による2体の平板形状試験体の中間に ボロンステンレス吸収体を設置した場合の実効増倍率 (35本×6本×2体)	49
第4-14-2表	高速炉規格の燃料による2体の平板形状試験体の中間に ボロンステンレス吸収体を設置した場合の実効増倍率 (35本×12本×2体)	50
第4-15-1表	高速炉規格の燃料による2体の平板形状試験体の中間に HRS吸収体を設置した場合の実効増倍率 (35本×6本×2体)	51
第4-16-1表	硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体の中間に ポリエチレン吸収体を設置した場合の実効増倍率 - 400gU/l、2.0N -	52
第4-16-2表	硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体の中間に ポリエチレン吸収体を設置した場合の実効増倍率 - 200gU/l、0.1N -	53
第4-17-1表	硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体の中間に ボロンステンレス吸収体を設置した場合の実効増倍率 - 400gU/l、2.0N -	54
第4-17-2表	硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体の中間に ボロンステンレス吸収体を設置した場合の実効増倍率 - 200gU/l、0.1N -	55

第4-18-1表	硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体の中間に HRS吸収体を設置した場合の実効増倍率 - 200gU/l、0.1N -	56
第5-4-1表	試験体容器の材質と厚さの影響 (高速炉燃料、円筒形状)	92
第5-5-1表	試験体直径と格子ピッチ依存性 (高速炉燃料、円筒形状)	93
第5-6-1表	試験体直径と格子ピッチ依存性 (新型転換炉燃料、円筒形状)	94
第5-7-1表	試験体高さ依存性 (新型転換炉燃料および高速炉燃料、円筒形状)	95
第5-8-1表	円環形状試験体 (中央部は軽水、中央軽水領域直径依存性)	96
第5-9-1表	円環形状試験体、水位依存性(中央部は軽水)	97
第5-10-1表	「常陽」MK-III燃料による円環形状試験体の実効増倍率	98
第5-11-1表	円筒形状試験体、可溶吸収材濃度依存性	99

図表一覧 一図一

第2-4-1図	中性子吸收体	11
第3-1-1図	新型転換炉燃料の無限増倍率	16
第3-2-1図	高速炉燃料の無限増倍率	17
第3-3-1図	4因子公式による評価(2.7%EU)	18
第3-3-2図	4因子公式による評価(8S)	19
第3-3-3図	4因子公式による評価(MK-III)	20
第4-1-1図	新型転換炉規格燃料による平板形状試験体	57
第4-1-2図	新型転換炉規格燃料による平板形状試験体の実効増倍率	58
第4-1-3図	新型転換炉規格燃料による平板形状試験体の実効増倍率	59
第4-2-1図	新型転換炉規格燃料による平板形状試験体の実効増倍率 (格子ピッチ依存性)	60
第4-3-1図	新型転換炉規格燃料による平板形状試験体の実効増倍率 (燃料ピン配列数依存性)	61
第4-4-1図	高速炉規格燃料による平板形状試験体	62
第4-4-2図	高速炉規格燃料による平板形状試験体の実効増倍率	63
第4-5-1図	高速炉規格燃料による平板形状試験体の実効増倍率 (格子ピッチ依存性)	64
第4-6-1図	高速炉規格燃料による平板形状試験体の実効増倍率 (燃料ピン配列数依存性)	65
第4-7-1図	硝酸ウラニル溶液による平板形状試験体	66
第4-7-2図	硝酸ウラニル溶液による平板形状試験体の実効増倍率 (試験体寸法 51.75cm × 33.75cm)	67
第4-8-1図	硝酸ウラニル溶液による平板形状試験体の実効増倍率-A (試験体寸法 58.5cm × 19.5cm)	68
第4-8-2図	硝酸ウラニル溶液による平板形状試験体の実効増倍率-B (試験体寸法 58.5cm × 19.5cm)	69
第4-8-3図	硝酸ウラニル溶液による平板形状試験体の実効増倍率 (溶液濃度依存性)	70
第4-8-4図	硝酸ウラニル溶液による平板形状試験体の実効増倍率 (遊離硝酸濃度依存性)	71
第4-9-1図	高速炉規格の燃料による2体の平板形状試験体の実効増倍率 (試験体間隔依存性)	72

第4-10-1図	高速炉規格の燃料による2体の平板形状試験体の実効増倍率 (試験体厚さ依存性)	73
第4-11-1図	硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体の実効増倍率 (試験体間隔依存性)	74
第4-12-1図	硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体の実効増倍率 (試験体厚さ依存性)	75
第4-13-1図	高速炉規格燃料による2体の平板形状試験体+ポリエチレン吸収体 (実効増倍率の吸収体厚さ依存性)	76
第4-14-1図	高速炉規格燃料による2体の平板形状試験体+ポロンステンレス鋼 (実効増倍率の吸収体厚さ依存性)	77
第4-15-1図	高速炉規格燃料による2体の平板形状試験体+HRS吸収体 (実効増倍率の吸収体厚さ依存性)	78
第4-15-2図	高速炉規格燃料による2体の平板形状試験体+吸収体 (実効増倍率の吸収体種類依存性)	79
第4-16-1図	硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体+ポリエチレン吸収体 - 実効増倍率の吸収体厚さ依存性 - (400gU/l, 2.0N)	
第4-16-2図	硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体+ポリエチレン吸収体 - 実効増倍率の吸収体厚さ依存性 - (200gU/l, 0.1N)	80
第4-18-1図	硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体+HRS吸収体 - 実効増倍率の吸収体厚さ依存性 -	81
第4-18-2図	硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体+吸収体 - 実効増倍率の吸収体種類依存性 -	82
第5-1-1図	新型転換炉燃料2.7%EUによる円筒形状試験体200A	83
第5-1-2図	新型転換炉燃料2.7%EUによる円筒形状試験体350A	100
第5-1-3図	新型転換炉燃料2.7%EUによる円筒形状試験体400A	100
第5-1-4図	2.7%EU燃料による円筒形状試験体の実効増倍率	101
第5-1-5図	新型転換炉燃料5Sによる円筒形状試験体650A	102
第5-1-6図	5S燃料による円筒形状試験体の実効増倍率	103
第5-2-1図	高速炉燃料による円筒形状試験体200A	104
第5-2-2図	高速炉燃料による円筒形状試験体300A	105
第5-2-3図	「常陽」燃料による円筒形状試験体の実効増倍率	105
第5-3-1図	硝酸ウラニル溶液による円筒形状試験体の実効増倍率	106
	107

第5-3-2図	硝酸ウラニル溶液による円筒形状試験体の実効増倍率	108
第5-3-3図	硝酸ウラニル溶液による円筒形状試験体の実効増倍率 (遊離硝酸濃度依存性)	109
第5-3-4図	硝酸ウラニル溶液による円筒形状試験体の実効増倍率 (HM濃度依存性)	110
第5-5-1図	「常陽」MK-III燃料による円筒形状試験体の実効増倍率	
第5-6-1図	8S燃料による円筒形状試験体の実効増倍率	111
第5-6-2図	2.7%EU燃料による円筒形状試験体の実効増倍率	112
第5-7-1図	円筒形状試験体の実効増倍率(試験体高さ依存性)	113
第5-8-1図	円環形状試験体の実効増倍率 (中央部軽水領域直径依存性)	114
第5-8-2図	円環形状試験体中の中性子束分布 (「常陽」MK-III燃料、中央部軽水領域直径15cm)	115
第5-8-3図	円環形状試験体中の中性子束分布 (「常陽」MK-III燃料、中央部軽水領域直径40cm)	116
第5-10-1図	円環形状試験体の実効増倍率 (中央部領域直径依存性)	117
		118

1. 緒言

大洗工学センター実験炉部臨界工学試験室で設計を進めている未臨界度測定試験施設では、新型転換炉の臨界実験装置である重水臨界実験装置を改造して、その炉心中央部に空洞の試験体領域を設け、未臨界試験体系を設置する。実験装置全体としては、未臨界試験体と周辺の新型転換炉の燃料クラスターで構成されるドライバー領域とで臨界とされるが、中央に設置される試験体は未臨界であることが想定されている。本報告書では、各種の核燃料または核燃料物質を用いた種々の形状の試験体について、その実効増倍率(未臨界度)が評価されている。

未臨界試験体を構成する核燃料物質としては、現在臨界工学試験室で保有している新型転換炉仕様の燃料ピンの他、未臨界度測定実験のために新しく準備する必要のある高速炉仕様の燃料ピン(具体的には「常陽」Mk.III仕様の燃料ピン)および硝酸ウラニル溶液燃料について評価した。固体の燃料を用いた未臨界試験体としては、密封されたピン形状の燃料による構成以外に、燃料ペレットまたは燃料粉体を用いて構成することも考えられるが、有効性と現実性が明らかでないので、ここではピン形状の燃料のみを対象とした。尚、未臨界試験体の構成要素として核燃料物質の他に、再処理施設等で未臨界確保のために採用される各種の中性子吸収体を考慮した。

燃料ピンを用いた未臨界試験体は、燃料ピンを容器中に格子状に配列し、軽水を容器に順次充填していくこととした。未臨界試験体の構成方法としては他にも可能性があると思われるが、今回の計算では上記の様な試験体が念頭におかれている。ウラン溶液燃料についても、容器に順次充填して実効増倍率を変化させることとした。

未臨界試験体の形状は、平板、円筒、および、中空円筒とし、平板については2体並べた干渉体系も評価した。又、選択された体系については、中性子吸収体を設置した場合についても実効増倍率を評価した。

計算には、格子計算コードWIMS、拡散コードCITATION、2次元輸送計算コードTWOTRAN、臨界安全解析システムSCALE等を使用した。各計算体系について適用された計算コードは明記されているが、今回の計算評価の目的から、計算コードや計算手法の特性、計算精度等については検討されていない。又、本報告書には、計算手法に関する記述は含まれていない。計算精度や計算手法の特性については、別途実験解析やベンチマーク計算によって評価する必要がある。

2. 燃料等の仕様

未臨界試験体を構成する核燃料の仕様をまとめる。今回の評価では、核燃料として以下の3種類を想定した。

- ①新型転換炉仕様の燃料
- ②高速炉仕様の燃料
- ③硝酸ウラン溶液

新型転換炉仕様の燃料は、新型転換炉の臨界実験を重水臨界実験装置を用いて実施するために、臨界工学試験室が既に保有している燃料であり、ジルカロイ製の被覆管に収納された低濃縮の酸化ウラン燃料またはジルカロイ製の被覆管に収納された低富加度の混合酸化物燃料である。

高速炉仕様の燃料のとしては「常陽」の燃料ピンを想定した。高速炉仕様の燃料ピンについては現在臨界工学試験室では保有しておらず、計画の進展に伴って購入する必要があり、詳細な仕様はその際に検討されることになるが、ここでは上記のピンを仮定した。新型転換炉の燃料と高速炉の燃料とでは、プルトニウム富加度が大きく異なる為、高速炉燃料の再処理施設を念頭において未臨界度測定研究では、高速炉仕様の燃料が必須であるが、細かい仕様の変更は炉物理実験のための燃料としては問題にならない。

再処理施設に係わる炉物理研究では、燃料溶液に関する炉物理現象が課題となる。高速炉燃料の再処理施設では、当然、プルトニウム溶液が主たる研究対象となるが、炉物理現象に限定すれば、取扱いの容易なウラン溶液とプルトニウムを含む燃料ピンとを同時に体系に組み込むことによって大半の目的が達せられるので、ここでは、ウラン溶液のみを評価した。

以上の核燃料の他、未臨界試験体にはいくつかの中性子吸收体が使用されている。本章の最後に、中性子吸收体についてのデータがまとめられている。

2.1 新型転換炉燃料

臨界工学試験室で現有する新型転換炉仕様の燃料の内、未臨界試験体を構成して評価するのに使用されたのは下記の燃料ピンである。

燃料ピンの 通称	概要
5S	PuO ₂ (0.54weight %)+UO ₂
8S	PuO ₂ (0.87weight %)+UO ₂
2.7%EU	UO ₂ (2.7%濃縮ウラン)

第2-1-1表～第2-1-3表に各燃料ピンの同位体組成、幾何形状がまとめられている。

2.2 高速炉燃料

未臨界試験体を構成するのに使用された高速炉仕様の燃料ピンは、「常陽」の各種炉心の燃料ピンである。高速炉仕様の燃料ピンは、新型転換炉の燃料ピンよりも富加度が高く反応度が高い事と、未臨界度測定で問題になると考へられるプルトニウムからの中性子の発生を模擬することができる事とによって、試験体に採用する事とし検討を実施した。第2-2-1表～第2-2-3表に燃料ピンの諸元がまとめられている。尚、計算に際しては、MK-I 燃料については20年、MK-II 燃料については10年のPu-241の崩壊を考慮した。(表に記載の数値は崩壊が考慮されていない値)

3.3 液体燃料

再処理施設等の核燃料取扱い施設の臨界管理を検討する際には、溶液状の核燃料物質を含む体系を考慮する必要がある。特に高速炉燃料の再処理ではプルトニウム溶液を含む体系が対象となるが、プルトニウム溶液は取扱いが面倒であり、本研究室で検討している炉物理研究(未臨界度測定研究)の実験施設に取り込むのは、技術的・経費的に合理的とは言えないので、ここでは、ウラン溶液のみを対象として評価した。尚、実験では、ウラン溶液と上記の高速炉仕様の燃料ピンを組み合せることによって、評価に必要な試験体が構成できると考えている。

ウラン燃料の溶液としては硝酸ウラニルの溶液が一般的であり、本検討でも硝酸ウラニル溶液を対象とした。硝酸ウラニルは、純水に対する溶解度が十分でないので、硝酸溶液に溶解する。従って、炉物理評価に必要となるパラメーターは下記の通りとなる。

ウラン-235の濃縮度

溶液中のウラン濃度(モル濃度)

硝酸の濃度(モル濃度または規定)

溶液の密度

ウラン-235の濃縮度としては5～40%(重量%)の範囲で評価し、ウラン濃度としては200～450g/l、硝酸の濃度としては0.2～2Nを評価の範囲とした。硝酸ウラニルの溶液の密度については、臨界安全ハンドブック等に各種の経験的な計算式が記載されているが、本検討でSCALEコードシステムを計算に使用したものについては、SCALEコードシステムに内蔵されている式をそのまま採用した。

第2-3-1表にピン燃料と後述の中性子吸收体の数値を含んで、硝酸ウラニル溶液の原子数密度がまとめてある。

2.4 中性子吸收体

核燃料取扱い施設においては、臨界安全性を確保することを目的として、核燃料を含むタンク等の間に中性子吸收体を設置する場合がある。今回の未臨界試験体の検討においても、中性子吸收体を挿入または併置した場合の実効増倍率を評価した。

中性子吸收体としては、

①カドミウム被覆されたポリエチレン

②SUS304の容器に封入されたHRS

HRSは商品名かと思われる。組成は別掲。

③ボロン入りステンレス鋼

吸收体の形態や大きさについては、各々の評価について適宜記載してある。

第2-4-1図に中性子吸收体の概念図が示されている。又、第2-3-1表に組成密度がまとめられている。

第2-1-1表 新型転換炉規格5S燃料

燃料ピン

	内径(cm)	外径(cm)	長さ(cm)	材質	密度(g/cc)
燃料ペレット		1.469	200 2*)	1*)	10.17
ギャップ	1.469	1.506	-	ヘリウム	-
被覆管	1.506	1.668	-	ジルカロイ-2	6.525

1*) Pu富加度0.542重量%のMOX($\text{PuO}_2 + \text{UO}_2$) 2*)ペレット充填部長さ

燃料ペレット(Pu富加度 0.54 重量%、Standard Grade)

同位体	Pu中の重量%	ペレット中の重量%	原子数密度 ($10^{24}/\text{cc}$)
U-235	(0.711 in U)	0.6214	1.620×10^{-4}
U-238	(99.289 in U)	86.782	2.233×10^{-2}
Pu-238	0.021	1.02×10^{-4}	2.6×10^{-8}
Pu-239	90.360	0.4304	1.103×10^{-4}
Pu-240	8.640	0.04115	1.050×10^{-5}
Pu-241	0.915	0.004359	1.108×10^{-6}
Pu-242	0.064	3.03×10^{-4}	7.67×10^{-8}
O		12.12	4.640×10^{-2}

算定基準日 1971年8月23日

被覆管

同位体	被覆管中の重量%	原子数密度 ($10^{24}/\text{cc}$)
Zr	98.22	4.218×10^{-2}
Sn	1.48	4.897×10^{-4}
Fe	0.14	9.85×10^{-5}
Cr	0.10	7.56×10^{-5}
Ni	0.06	4.01×10^{-5}

データ出典 SN941 74-22 DCAハンド・ブック p.31

第2-1-2表 新型転換炉規格8S燃料

燃料ピン

	内径(cm)	外径(cm)	長さ(cm)	材質	密度(g/cc)
燃料ペレット		1.472	200 2*)	1*)	10.17
ギャップ	1.472	1.506	-	ヘリウム	-
被覆管	1.506	1.668	-	ジルカロイ-2	6.528

1*) Pu富加度0.862重量%のMOX(PuO₂+UO₂) 2*)ペレット充填部長さ

燃料ペレット(Pu富加度 0.87重量%、Standard Grade)

同位体	Pu中の重量%	ペレット中の重量%	原子数密度(10 ²⁴ /cc)
U-235	(0.711 in U)	0.6194	1.615×10 ⁻⁴
U-238	(99.289 in U)	86.503	2.226×10 ⁻²
Pu-238	0.019	1.45×10 ⁻⁴	3.7×10 ⁻⁸
Pu-239	90.314	0.6849	1.755×10 ⁻⁴
Pu-240	8.682	0.06584	1.680×10 ⁻⁵
Pu-241	0.918	0.006960	1.769×10 ⁻⁶
Pu-242	0.067	5.10×10 ⁻⁴	1.291×10 ⁻⁷
O		12.12	4.641×10 ⁻²

算定基準日 1971年8月23日

被覆管

同位体	被覆管中の重量%	原子数密度(10 ²⁴ /cc)
Zr	98.22	4.218×10 ⁻²
Sn	1.48	4.897×10 ⁻⁴
Fe	0.14	9.85×10 ⁻⁵
Cr	0.10	7.56×10 ⁻⁵
Ni	0.06	4.01×10 ⁻⁵

データ出典 SN941 74-22 DCAハンド・ブック p.32

第2-1-3表 新型転換炉規格2.7%EU燃料

燃料ピン

	内径(cm)	外径(cm)	長さ(cm)	材質	密度(g/cc)
燃料ペレット		1.24	200 2*)	1*)	10.332
ギャップ	1.24	1.27	-	ヘリウム	-
被覆管	1.27	1.45	-	ジルカロイ-2	6.523

1*) 濃縮度2.7重量%のUO₂ 2*)ペレット充填部長さ

燃料ペレット

同位体	U中の重量%	ペレット中の重量%	原子数密度(10 ²⁴ /cc)
U-235		2.36725	
U-238		85.73275	
O		11.90	

検査日 ?

被覆管

同位体	被覆管中の重量%	原子数密度(10 ²⁴ /cc)
Zr	98.21	
Sn	1.50	
Fe	0.14	
Cr	0.10	
Ni	0.05	

データ出典 平成元年度新型転換炉技術確証試験(VI) 炉心特性確証試験
核特性試験 報告書記載値

第2-2-1表 高速炉規格燃料(「常陽」MK-I)

燃料ピン

	内径(cm)	外径(cm)	長さ(cm)	材質	密度(g/cc)
燃料ペレット		0.54	100 2*)	1*)	
ギャップ	0.54	0.56	-	ヘリウム	-
被覆管	0.56	0.63	-	-	

1*)Pu富加度17.7重量%のMOX($\text{PuO}_2 + \text{UO}_2$) U濃縮度 - 重量% O/M = -

2*)ペレット充填部長さ

燃料ペレット

同位体	Pu中の重量%	ペレット中の重量%	原子数密度 (10 ²⁴ /cc)
U-235	(23.0 in U)		
U-238	(77.0 in U)		
Pu-238	0.0		
Pu-239	76.6		
Pu-240	19.0		
Pu-241	3.7		
Pu-242	0.7		
O			

算定基準日 ?

被覆管

同位体	被覆管中の重量%	原子数密度 (10 ²⁴ /cc)
Fe		
Cr		
Mn		
Ni		
Mo		

データ出典

第2-2-2表 高速炉規格燃料(「常陽」MK-II)

燃料ピン

	内径(cm)	外径(cm)	長さ(cm)	材質	密度(g/cc)
燃料ペレット		0.463	100 2*)	1*)	-
ギャップ	0.463	0.480	-	ヘリウム	-
被覆管	0.480	0.550	-	-	-

1*)Pu富加度30.0重量%のMOX(PuO₂+UO₂) U濃縮度12.0重量% O/M = -

2*)ペレット充填部長さ

燃料ペレット

同位体	Pu中の重量%	ペレット中の重量%	原子数密度(10 ²⁴ /cc)
U-235	(12.0 in U)		
U-238	(88.0 in U)		
Pu-238	0.0		
Pu-239	75.6		
Pu-240	20.9		
Pu-241	2.7		
Pu-242	0.7		
O			

算定基準日 ?

被覆管

同位体	被覆管中の重量%	原子数密度(10 ²⁴ /cc)
Fe		
Cr		
Mn		
Ni		
Mo		

データ出典

第2-2-3表 高速炉規格燃料(「常陽」MK-III)

燃料ピン

	内径(cm)	外径(cm)	長さ(cm)	材質	密度(g/cc)
燃料ペレット		0.463	100 2*)	1*)	11.03
ギャップ	0.463	0.480	-	ヘリウム	-
被覆管	0.480	0.550	-	SUS	8.035

1*)Pu富加度20.8重量%のMOX($\text{PuO}_2 + \text{UO}_2$) U濃縮度18.5重量% O/M=1.97

2*)ペレット充填部長さ

燃料ペレット

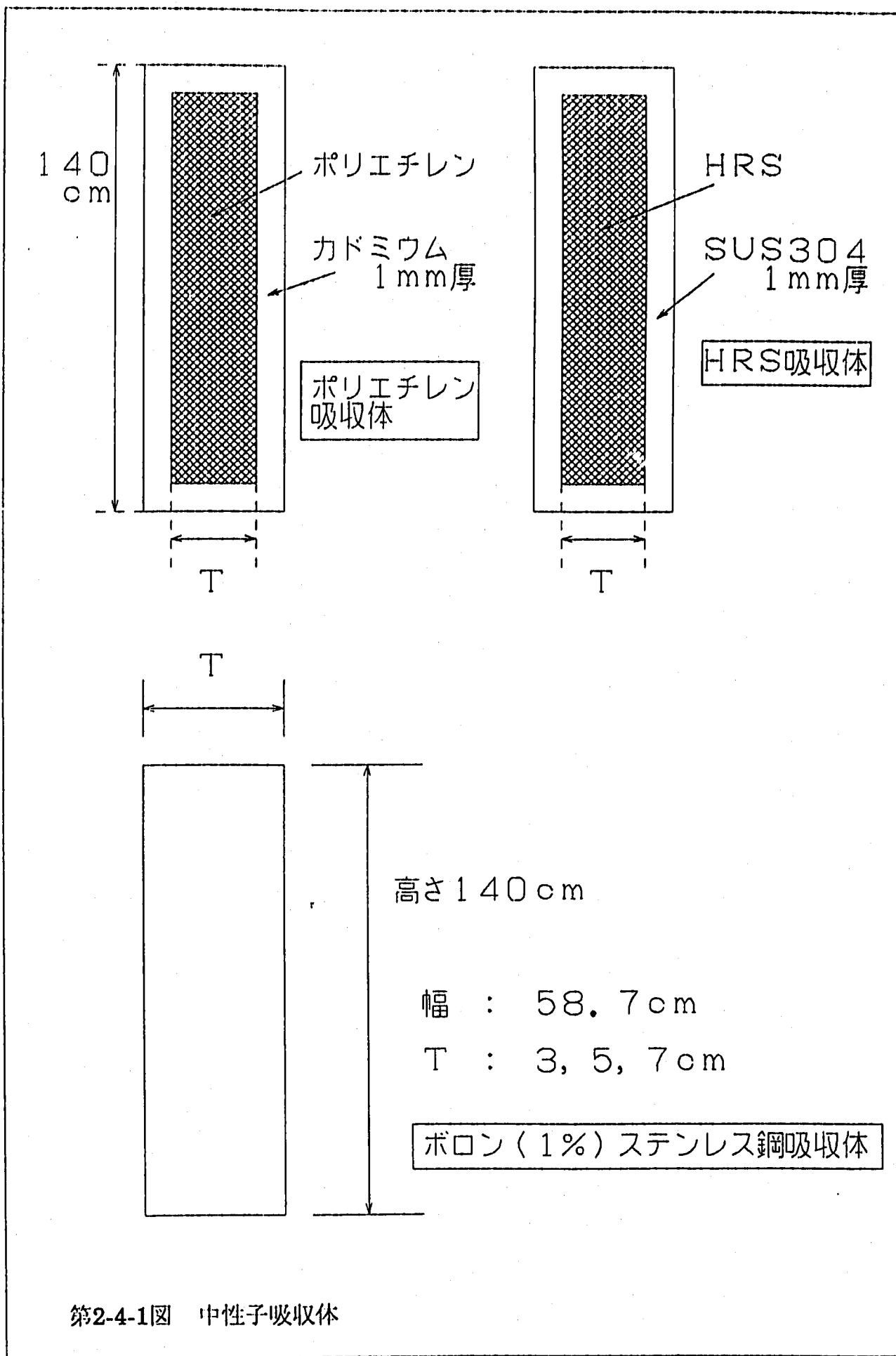
同位体	Pu中の重量%	ペレット中の重量%	原子数密度 (10 ²⁴ /cc)
U-235	(18.5 in U)		
U-238	(81.5 in U)		
Pu-238	0.0		
Pu-239	67.3		
Pu-240	22.9		
Pu-241	6.8		
Pu-242	3.0		
O			

算定基準日 ?

被覆管

同位体	被覆管中の重量%	原子数密度 (10 ²⁴ /cc)
Fe	66.44	
Cr	14.50	
Mn	1.75	
Ni	20.5	
Mo	2.5	

データ出典



第2-4-1図 中性子吸収体

3. 無限増倍率

新型転換炉規格の燃料ピンまたは高速炉規格の燃料ピンを格子状に配列し、減速材として軽水を用いた場合の中性子無限増倍率を評価した。燃料ピンの配列を正方格子とし、格子間隔(ピッチ)をパラメーターとして評価することによって、中性子増倍率を最大とする最適ピッチを求めた。実際の試験体の様な有限の体系では、体系表面からの中性子の漏洩がある為、実効増倍率を最大にする最適ピッチが、ここで求められた無限体系の最適ピッチとは異なる事を留意する必要がある。

3.1 新型転換炉燃料の無限増倍率

第2-1-2表～第2-1-3表に示された臨界工学室現有の新型転換炉規格の燃料ピンを用いて、減速材を軽水とした場合の無限増倍率を評価した。

計算にはSCALE3.1コードシステムの計算手順CSAS1を適用し、核定数にはSCALE3.1システムに含まれるENDF/B-IVによる27群のライブラリーを使用した。計算手順CSAS1では、Nordheim法によって実効共鳴積分の処理を行った後、1次元Sn法コードXSDRNPM-Sによる円柱座標系の格子計算で無限増倍率を求める。

第3-1-1表に格子ピッチをパラメーターとした各燃料ピンの無限増倍率がまとめられている。前述の通り、減速材は軽水である。表に示されている様に、5S、8S、2.7%EUの順に反応度が高くなり、最大の無限増倍率は2.7%EU燃料で格子ピッチ2.1cmの場合の1.37である。各々の燃料で達成できる最大の無限増倍率は以下の通りである。

(新型転換炉燃料の最大無限増倍率)

燃料	格子ピッチ (cm)	無限増倍率
5S	2.3	1.194
8S	2.4	1.266
2.7%EU	2.1	1.370

尚、体系を有限にした場合は、中性子の体系表面からのもの為に最適格子ピッチが変化する。新型転換炉の燃料を用いた有限体系の実効増倍率は、第4章にまとめられている。

3.2 高速炉燃料の無限増倍率

高速炉規格のプルトニウム富加度の高い燃料についても、軽水を減速材とした場合の無限増倍率を計算した。評価に用いた燃料は「常陽」MK-I、MK-IIおよびMK-IIIの燃料ピンであり、第2-2-1表～第2-2-3表に諸元がまとめられている。

実効増倍率の計算法は、新型転換炉の燃料の場合と同様SCALE3.1システムの計算手順CSAS1であり、使用した核定数ライブラリーも同一(ENDF/B-IVによる27群)である。

第3-2-1表および第3-2-1図に格子ピッチをパラメーターとして、無限増倍率がまとめられている。MK-Iの燃料がウラン濃縮度が高いため反応度が高く、無限増倍率1.55程度を実現できる。

(高速炉燃料の最大無限増倍率)

燃料	格子ピッチ (cm)	無限増倍率
MK-I	1.5	1.554
MK-II	1.4	1.521
MK-III	1.4	1.548

尚、基本的な計算方法は同一であるが、MK-III燃料の計算についてはSCALE-4コードのCSAS1が使用されている。群定数についてはCSRL27群定数であり、他と同一である。最適ピッチからピッチを小さくしていくと増倍率は減少するが、MK-III燃料については、格子ピッチが極端に小さい領域の計算が実施されており、ピッチ0.6cmで増倍率は再度増大する。ピッチ1.4cmでは $V_m/V_f = 7.29$ (減速材体積 V_m と燃料体積 V_f の比)であるのに對して、ピッチ0.6cmでは $V_m/V_f = 0.52$ であり、ピッチを0.6cmまで小さくすると中性子スペクトルが硬くなり、高速核分裂の効果が現れてきている為と思われる。

3.3 4因子公式による評価

「常陽」MK-III燃料の評価で、格子ピッチを極端に小さくした場合に見られる無限増倍率の上昇について、4因子公式の数値を用いて評価した。計算は新型転換炉規格の燃料についても行い、格子ピッチをパラメーターとした結果が第3-3-1表および第3-3-1図～第3-3-3図に示されている。計算は格子計算コードWIMSによって行った。計算条件等に差異があるため、前述のSCALEコードシステムによる無限増倍率の計算結果とは一致していないが、相対的な数値の増減については正しい傾向が示されていると考えている。

第3-1-1表 新型転換炉燃料の無限増倍率

格子ピッチ (cm)	無限増倍率		
	5S	8S	2.7%EU
2.0	1.16193	1.21333	1.36804
2.1	-	-	<u>1.36970</u>
2.2	1.19259	1.25790	1.36455
2.3	<u>1.19426</u>	1.26543	-
2.4	1.18951	<u>1.26605</u>	1.38938
2.5	1.18000	1.26128	-

(被覆管はジルカロイ-2、減速材は軽水)

第3-2-1表 高速炉燃料の無限増倍率

格子ピッチ (cm)	無限増倍率		
	「常陽」MK-I	「常陽」MK-II	「常陽」MK-III
0.6	-	-	1.4817
0.7	-	-	1.4273
0.8	-	-	1.4365
1.0	1.4703	1.4624	1.4941
1.1	1.4974	-	1.5186
1.2	1.5207	1.5053	1.5359
1.3	-	1.5165	1.5455
1.4	1.5490	<u>1.5206</u>	<u>1.5481</u>
1.5	<u>1.5537</u>	1.5188	1.5446
1.6	1.5527	1.5113	-
1.7	1.5465	-	-
2.0	1.5039	-	1.4579
2.5	-	-	1.3108

(被覆管はSUS316、減速材は軽水)

第3-3-1表 4因子公式による評価

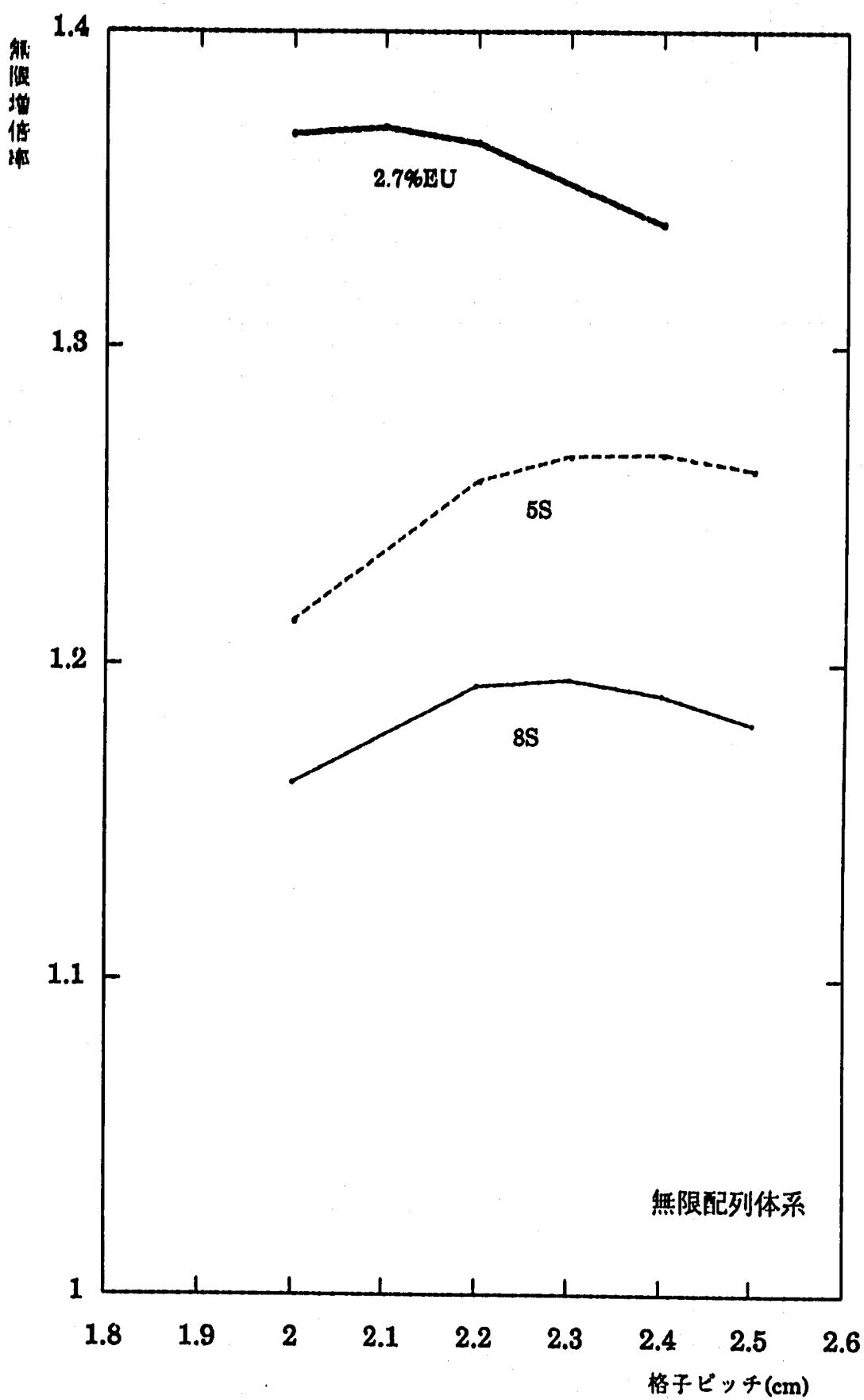
	ピッヂ cm	k_{∞}	ϵ	p	η	f
2.7%EU	1.5	1.1358	1.6354	0.41482	1.7785	0.94146
	1.8	1.3082	1.2385	0.66447	1.7911	0.88757
	2.1	1.3291	1.1472	0.77316	1.7956	0.83451
	2.4	1.2892	1.1085	0.83266	1.7978	0.77686
	2.7	1.2299	1.0875	0.86948	1.7991	0.72297
8S	2.1	1.2029	1.1882	0.67902	1.6791	0.88789
	2.4	1.2175	1.1276	0.77089	1.6826	0.83238
	2.7	1.1895	1.0985	0.82535	1.6846	0.77876
	3.0	1.1404	1.0821	0.86065	1.6860	0.72631
「常陽」MK-III	1.1	1.4553	1.3931	0.61436	1.8581	0.91513
	1.4	1.4796	1.2133	0.74582	1.8830	0.86834
	1.7	1.4462	1.1428	0.81939	1.8973	0.81408
	2.0	1.3865	1.1070	0.86409	1.9063	0.76044

WIMSによる計算。

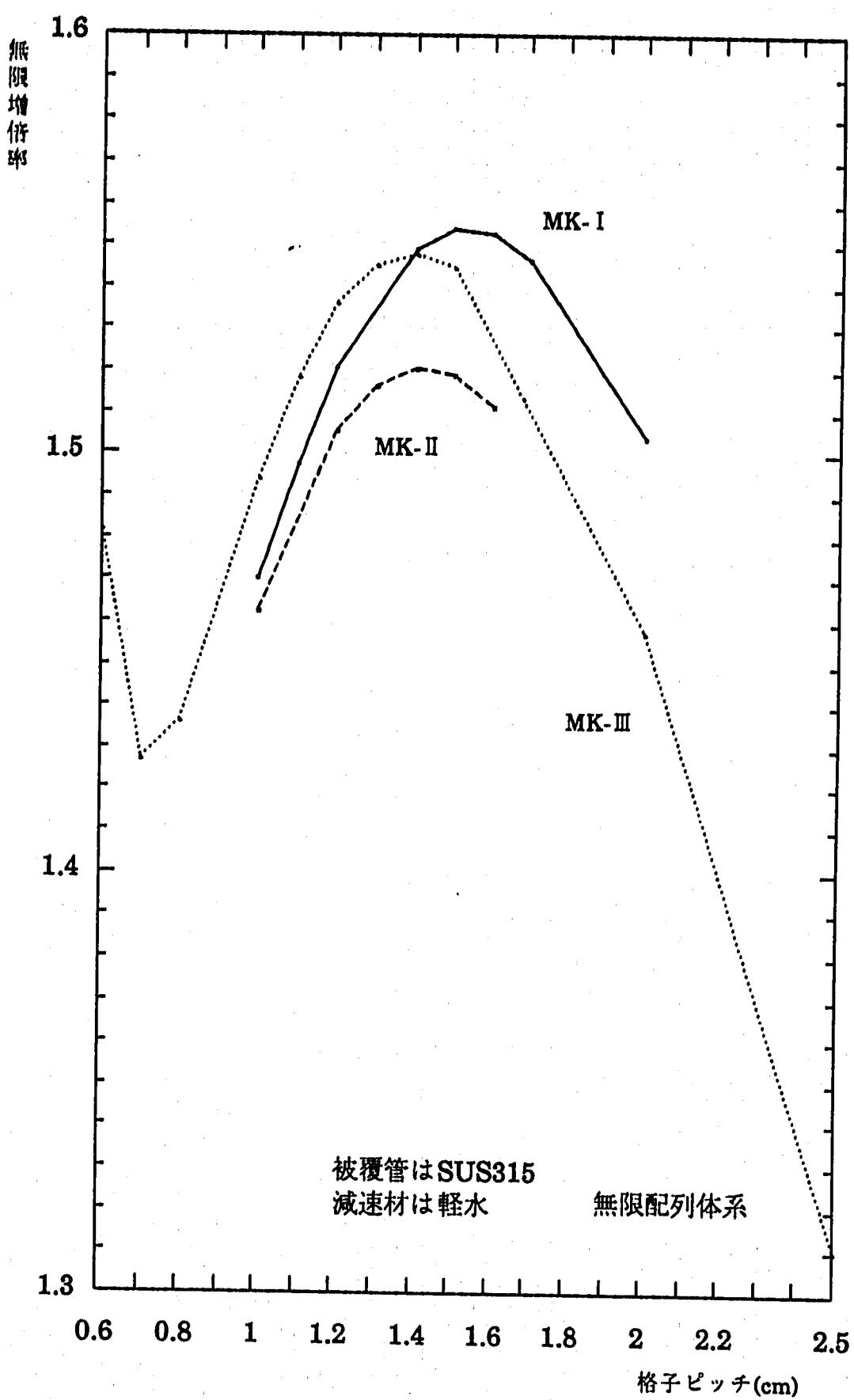
ピッヂは正方格子の格子間隔。

「常陽」MK-III燃料の計算では、Puの崩壊が(誤って)評価に含められている。

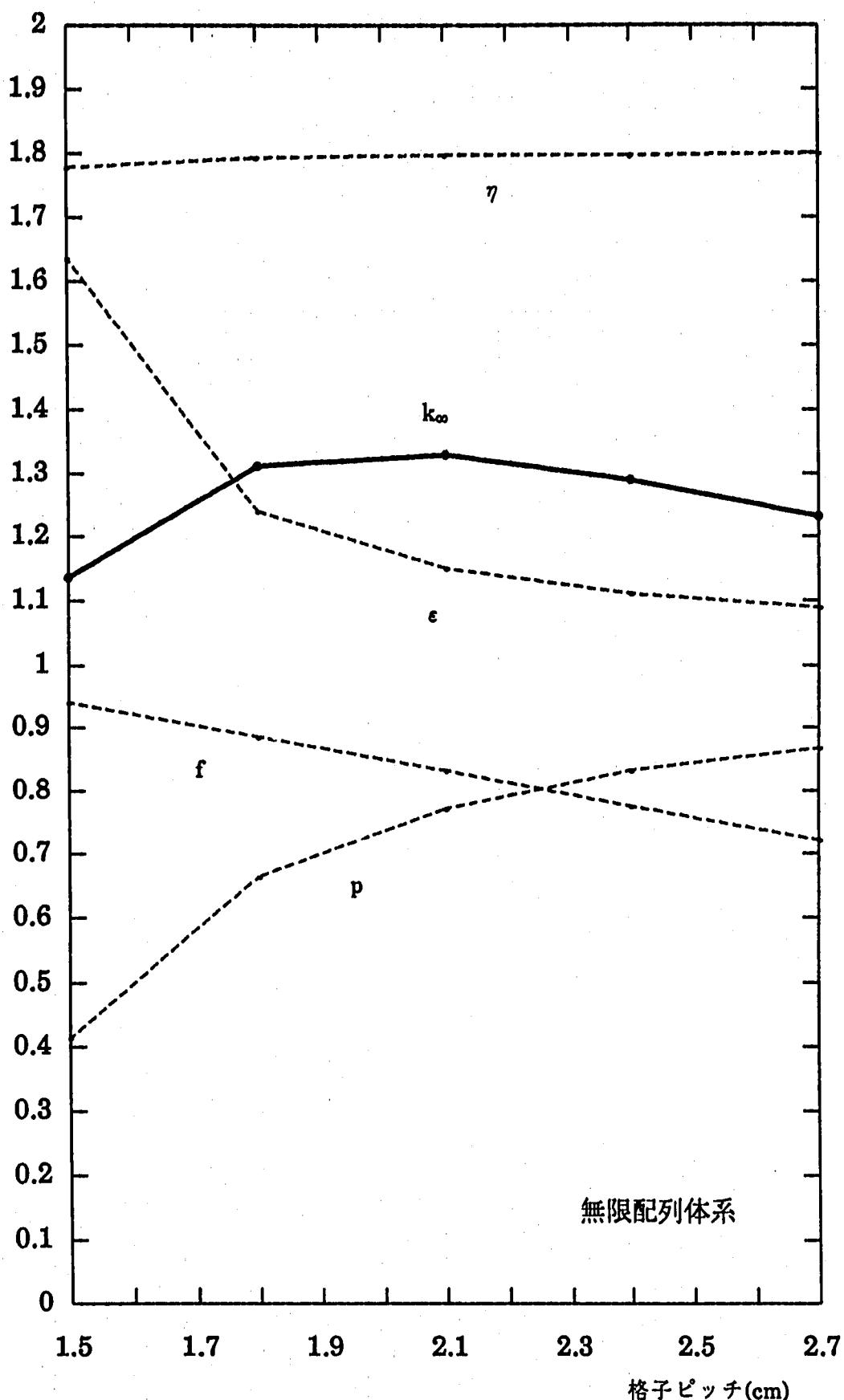
WIMSによる無限増倍率の計算結果とSCALEシステムによる計算結果には、無視できない差がある。原因調査中。



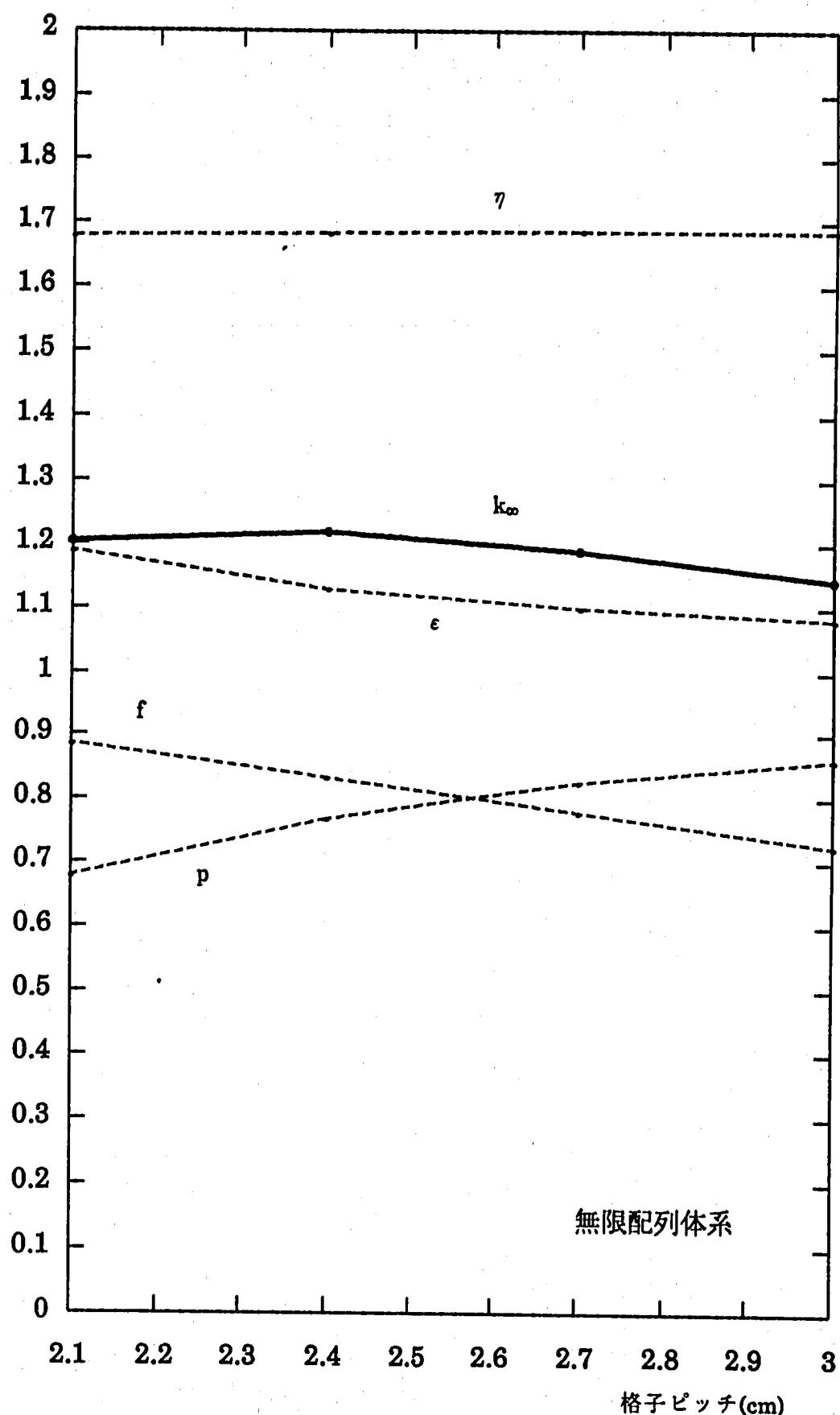
第3-1-1図 新型転換炉燃料の無限増倍率



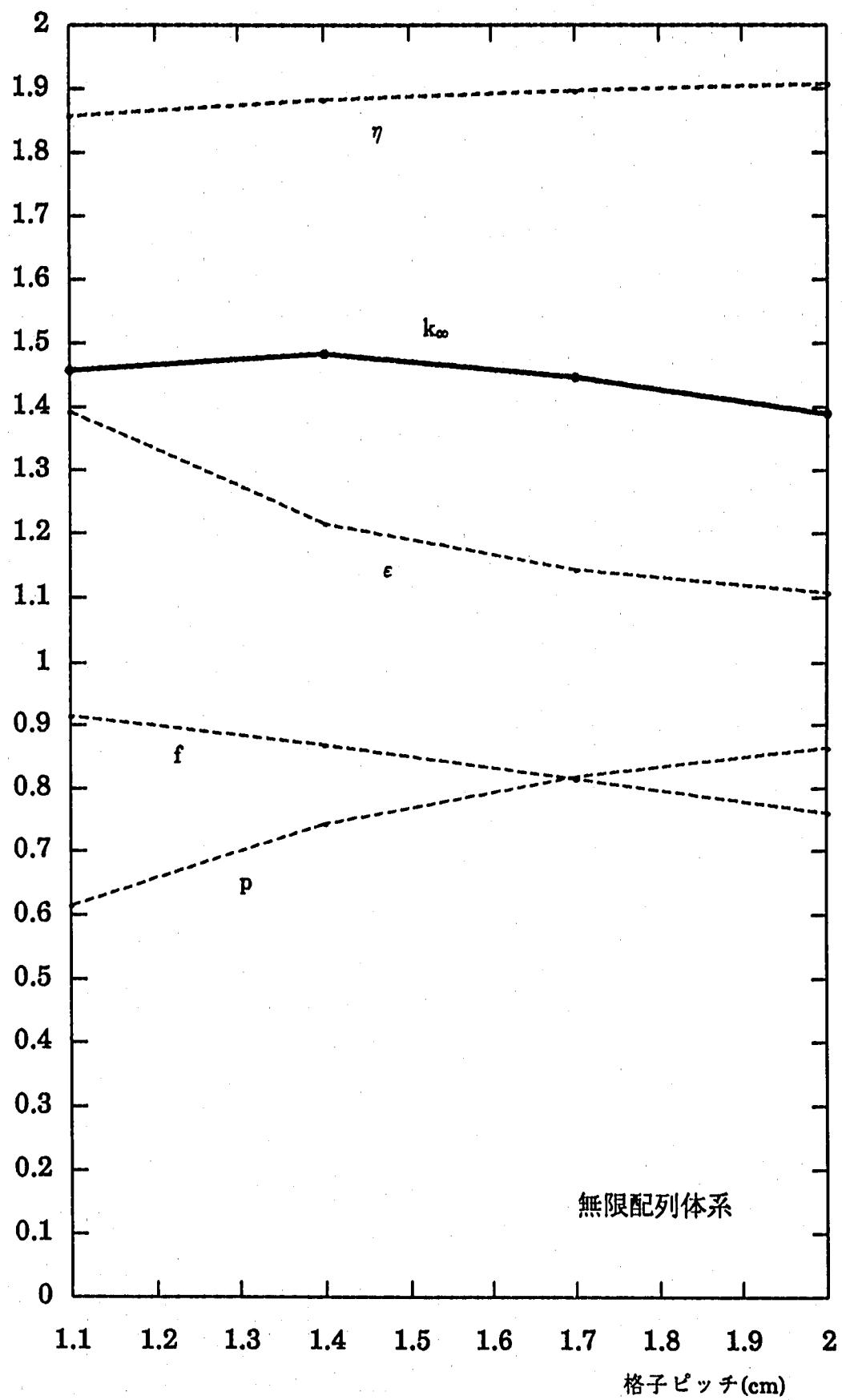
第3-2-1図 高速炉燃料の無限増倍率



第3-3-1図 4因子公式による評価(2.7%EU)



第3-3-2図 4因子公式による評価(8S)



第3-3-3図 4因子公式による評価(MK-III)

4. 平板体系実効増倍率

本章では、燃料ピンまたは液体燃料を用いて平板形状の試験体を構成した場合の実効増倍率を評価した。

燃料ピンを核燃料物質とする試験体では、原則的にはステンレス鋼製のタンクの中に燃料ピンを配列し、減速材である軽水を順次充填して実効増倍率を変化させていくとした。同様に、核燃料物質を含む液体(具体的には硝酸ウラニル溶液)を用いた試験体でも、ステンレス鋼製のタンクに燃料を充填していくとした。試験体タンクについては適当な設定が仮定されているが、考慮されているのは、本試験体を設置する予定の未臨界度測定試験施設に改造された重水臨界実験装置の外略の幾何形状のみであり、機械的構造については一切評価されていない。

燃料ピンを用いた試験体の評価の計算では、減速材となる軽水が充填されていない部分の燃料も計算モデルに含まれている。各評価の説明中に軽水の水位を試験体の高さと表記している箇所があるが、その場合でも軽水に浸されていない部分の燃料は考慮されている。

原子炉炉心と比較して試験体が小さいため通常の炉心設計に適用される拡散コードでは評価が困難であり、また、試験体の形状が平板である為、TWOTRAN等の2次元の輸送計算コードでも計算が実施できない。本章の計算はすべて、臨界安全解析にもっぱら使用されているSCALEコードシステムの最新版であるSCALE-4コードシステムによって行った。最終的な実効増倍率計算にはモンテカルロ法コードであるKENOが使用されている為、計算結果には偏差があり、適当なパラメーターに対して計算結果を整理すると、計算値のバラツキが目につく場合が多い。しかしながら、今回の作業は試験体のサーベイを目的としているので、収束の改善等の対策はなされておらず、又、結果の図においても、計算結果のノミナル値を単純に結んで表示してある。

特に記載のない場合の計算条件は以下の通りである。

使用計算コード	SCALE-4
核定数	SCALE-4付属中性子27群断面積
計算手順	CSAS25(NITAWL+KENO-V)
計算世代数	100
ヒストリー数	300/世代

4.1 新型転換炉燃料、平板1領域、52cm×34cm×200cmH(水位依存性)

臨界工学試験室現有の新型転換炉規格の燃料である2.7%EU、5S、および、8S燃料を使用して平板状の試験体を構成した場合の実効増倍率を評価した。

試験体の概念図が第4-1-1図に示されている。容器の材質や燃料ピンの支持板等の構造は、今回の評価の為の適当な設定であり、構造上の検討の結果ではない。新型転換炉規格の燃料ピンを用いた試験体では、 $23 \times 15 = 345$ 本の燃料ピンをピッチ22.5mmで正方格子配列するものとした。その結果、試験体容器内寸法は、燃料部高さが2m、長辺が $23 \times 2.25 = 51.75$ cm、短辺が $15 \times 2.25 = 33.75$ cmとなる。

水位をパラメーターとした実効増倍率の値が第4-1-1表と第4-1-2図、第4-1-3図に示されている。第4-1-2図は試験体として現実的な水位の範囲を示した図であり、第4-1-3図は水位0cmからの全データを示した図である。実効増倍率の変化が滑らかではないのは、計算されたヒストリー数が若干不十分である為であり、物理的な理由によるものではない。2.7%濃縮ウランの燃料ピンを用いれば臨界を越える試験体が構成できる事、8Sまたは5SのMOX燃料では水位50cmから200cmの範囲で0.8~0.9の実効増倍率となり、実効増倍率の変化が少ないことが判る。

(新型転換炉燃料による実効増倍率、23×15=345本、51.75cm×33.75cm)

水位 (cm)	2.7%EU		5S		8S	
	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
0			0.14221	0.00109	0.14834	0.00112
10			0.43979	0.00375	0.46996	0.00382
50	0.93295	0.00451	0.78370	0.00393	0.83294	0.00371
150	1.00171	0.00418	0.84179	0.00398	0.89267	0.00408
冠水			0.84941	0.00398	0.90239	0.00383

4.2 新型転換炉燃料、平板1領域、23本×15本×150cmH(格子ピッチ依存性)

新型転換炉規格の燃料である2.7%EU燃料を用いて試験体を構成し、水位(試験体高さ)を150cmとした場合について、無限増倍率の評価で行ったのと同様の、実効増倍率の燃料格子ピッチ依存性を評価した。試験体容器の構造等は4.1で評価した試験体と同一である。

実効増倍率の格子ピッチ依存性が第4-2-1表と第4-2-1図にまとめられている。本試験体の様な幾何的に薄い体系では最適格子ピッチは2.6cmとなり、水位150cmで実効増倍率2.027となる。4.1の評価では格子ピッチ2.25cmとした為、150cmで実効増倍率1.00171となつたが、格子ピッチをより厳密に選択することによって実効増倍率を数%増大することが出来る。尚、本節の評価では燃料ピンの本数を一定としているので、格子ピッチによって試験体の寸法が変化する。

(2.7%EU燃料最適格子ピッチによる試験体、23本×15本×高さ150cm)

格子ピッチ	試験体の大きさ	k_{eff}	1σ
1.9cm	47.3cm×28.5cm	0.87786	0.00392
2.6cm(最適)	59.8cm×39cm	1.027	0.00381

4.3 新型転換炉燃料、平板1領域、23本×200cmH(試験体厚さ依存性)

新型転換炉規格の燃料である2.7%EU燃料を用いて試験体を構成し、4.2で得られた最適値に近い格子ピッチ2.5cmとした場合の、実効増倍率の試験体厚さ依存性を評価した。水位は満水状態、即ち、試験体高さは2mとした。

第4-3-1表と第4-3-1図に実効増倍率の試験体厚さ依存性がまとめられている。表に示されている様に、試験体の厚さを9本(22.5cm)から18本(45cm)に増やしても、実効増倍率の増大は $1.07839 - 0.83793 = 0.24049$ であり、0.5から0.99といった広範囲の実効増倍率は、極端な幾何形状を採用しない限り実現が困難であることが判る。

(2.7%EU燃料最適格子ピッチ2.5cmによる試験体、23本×N本×高さ200cm)

格子配列	試験体の大きさ	k_{eff}	1σ
23×9	57.5cm×22.5cm×200cm	0.83793	0.00438
23×21	57.5cm×52.5cm×200cm	1.10909	0.00420

尚、4.2の計算結果を参照すると、燃料ピン $23 \times 15 = 345$ 本、 $57.5\text{cm} \times 37.5\text{cm}$ の場合の実効増倍率の水位依存性を見ることができる。

(2.7%EU燃料最適格子ピッチ2.5cmによる試験体、23本×15本)

水位(cm)	k_{eff}	1σ
150	1.02179	0.00406
200	1.03120	0.00387

4.4 高速炉燃料、平板1領域、58cm×20cm×100cmH(水位依存性)

高速炉規格の混合酸化物燃料ピンを用いて試験体を構成した場合の実効増倍率を評価した。

燃料ピンは、「常陽」のMK-III炉心で採用されるピンとして現在設定されているピンを想定した。試験体の概念図が第4-4-1図に示されている。試験体容器等の考え方は4.1で評価した新型転換炉規格の燃料を用いた試験体の場合と同じである。燃料ピンはピッチ15mmの正方格子に $39 \times 13 = 507$ 本配列するとした。その結果、試験体容器内側寸法は、燃料部高さが1m、長辺が $39 \times 1.5 = 58.5\text{cm}$ 、短辺が $13 \times 1.5 = 19.5\text{cm}$ となる。

水位をパラメーターとした実効増倍率が第4-4-1表と第4-4-2図に示されている。

(「常陽」MK-III燃料による試験体、格子ピッチ1.5cm、 $39 \times 13 = 507$ 本)

水位 (cm)	k_{eff}	1σ
30	0.90476	0.00487
100	1.01450	0.00474

新型転換炉規格の燃料ピンを採用した場合も同様であったが、水位にたいする実効増倍率の変化が少なく、100cmの水位で臨界近傍となる試験体を構成すると、現実的と思われる水位の下限30cmでは実効増倍率は0.9程度にしかならない。1体の試験体容器で広い範囲の実効増倍率を得るには、更に検討が必要である。

4.5 高速炉燃料、平板1領域、39本×13本×80cmH(格子ピッチ依存性)

39本×13本=507本の高速炉規格の混合酸化物燃料ピンを用いて試験体を構成し、水位を80cm一定とした場合の実効増倍率の格子ピッチ依存性を評価した。試験体容器の構造等は4.4における評価に用いたものと同一としたが、燃料ピン本数を一定として格子ピッチを変化させた為、各体系の外寸法は各々異なることになる。

第4-5-1表と第4-5-1図に計算結果を示す。一定の燃料ピン本数で実効増倍率0.8程度から1.08程度までの試験体が構成できることが判る。尚、燃料ピン外径が5.5mmであるので、格子ピッチ1.1cmは物理的な限界である。

(「常陽」MK-III燃料ピンによる試験体、 $39 \times 13 = 507$ 本、高さ80cm)

格子ピッチ	試験体の大きさ	k_{eff}	1σ
1.1cm	$42.9 \times 14.3 \times 80$	0.79343	0.00472
2.2cm(最適)	$85.8 \times 28.6 \times 80$	1.08109	0.00466

4.6 高速炉燃料、平板1領域、39本×N本×100cmH(試験体厚さ依存性)

高速炉規格の燃料(「常陽」MK-III)を用いて試験体を構成し、4.5で得られた最適値に近い格子ピッチ2.0cmとした場合の、実効増倍率の試験体厚さ依存性を評価した。水位は満水状態、即ち、試験体高さは1mとした。

第4-6-1表と第4-6-1図に実効増倍率の試験体厚さ依存性がまとめられている。表に示されている様に、試験体の厚さを9本(18cm)から17本(34cm)に増やすと、実効増倍率の増大は $1.18707 - 0.93025 = 0.24049$ となる。

(高速炉燃料最適格子ピッチ2.0cmによる試験体、39本×N本×高さ100cm)

格子配列	試験体の大きさ	k_{eff}	1σ
39×9	78.0cm×18.0cm×100cm	0.93025	0.00462
39×17	78.0cm×34.0cm×100cm	1.18707	0.00436

尚、4.5の計算結果を参照すると、燃料ピン39×13=507本、78.0cm×26.0cmの場合の実効増倍率の水位依存性を見ることができる。

(高速炉燃料最適格子ピッチ2.0cmによる試験体、39本×13本)

水位(cm)	k_{eff}	1σ
80	1.08068	0.00448
100	1.08355	0.00443

4.7 硝酸ウラニル溶液、平板1領域、51.75cm×33.75cm(液位依存性)

硝酸ウラニル溶液を平板形状のステンレス容器に収納した試験体の実効増倍率を、溶液の液位をパラメーターとして評価した。試験体の構造概念が第4-7-1図に示されている。硝酸ウラニル溶液は、次の2種類とした。

- ① ウラン濃縮度20%、溶液濃度400gU/l、遊離硝酸濃度2.0N
- ② ウラン濃縮度20%、溶液濃度200gU/l、遊離硝酸濃度0.1N

第4-7-1表と第4-7-2図に実効増倍率の計算結果が示されている。断面が52cm×34cm程度の平板試験体では、溶液濃度400gU/lを用いると、反応度が液位の上昇によって急速に増大することが判る。試験体の大きさが4.1で評価した新型転換炉規格の燃料による試験体の大きさと同一であるので、代表的な水位(液位)について比較すると以下の様になる。

(硝酸ウラニル溶液、新型転換炉規格燃料による平板形状試験体)

液位/水位 (cm)	400gU/l 2.0N	200gU/l 0.1N	2.7%EU	5S	8S
20	0.86177	0.80791			
50	1.13227	1.05502	0.93295	0.78370	0.83294
100		1.11930	0.98156		
150			1.00171	0.84179	0.89267

試験体サイズ51.75cm×33.75cm

ピンピッチ22.5mm (新型転換炉規格燃料の場合)

4.8 硝酸ウラニル溶液、平板1領域、58.50cm×19.50cm

硝酸ウラニル溶液を平板形状のステンレス容器に収納した試験体の実効増倍率を、溶液の液位をパラメーターとして評価した。4.7で行った評価と同様であるが、試験体の寸法と硝酸ウラニル溶液のパラメーターが異なっている。本節で採用した試験体寸法は、4.4で評価した高速炉規格の燃料ピンによる試験体と同一である。

4.7の評価と同一の溶液による試験体の評価の結果が、第4-8-1表と第4-8-1図に示されている。硝酸ウラニル溶液は、次の2種類である。

① ウラン濃縮度20%、溶液濃度400gU/l、遊離硝酸濃度2.0N

② ウラン濃縮度20%、溶液濃度200gU/l、遊離硝酸濃度0.1N

液位による実効増倍率の変化が小さいため計算値の変化が滑らかではないが、モンテカルロ計算のバラツキの範囲である。

同一の試験体容器を用いて、計算する水位の点数を少なくし溶液の種類を多くした評価の結果が、第4-8-2表と第4-8-2図に示されている。実効増倍率の変化が小さく、計算値にバラツキも認められるが、ここで評価したウラン濃度、遊離硝酸濃度の範囲では、幅広い実効増倍率(例えば0.5~0.99)の試験体を実現するのは困難であることが明らかである。

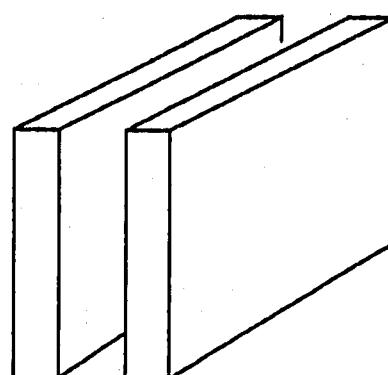
第4-8-3図は、液位100cmの計算値をウラン溶液濃度で整理した図であり、第4-8-4図は遊離硝酸濃度で整理した図である。ここで評価した形状等の条件では、実効増倍率のスケールを0.0~1.0の様にとれば、ウラン溶液濃度または遊離硝酸濃度に対する依存性が大きいとは言えないことが判る。実効増倍率の数値例は以下の通りである。

(硝酸ウラニル溶液、58.50cm×19.50cm、ウラン濃縮度20%)

液位 (cm)	400gU/l 2.0N	400gU/l 0.1N	800gU/l 2.0N
50	0.92677±0.00485	0.94831±0.00504	0.88841±0.00491
200	0.98127±0.00496	1.01810±0.00500	0.96816±0.00437

4.9 高速炉燃料、平板2領域、35本×6本×100cmH×2体(試験体間隔依存性)

高速炉規格(「常陽」MK-III)の燃料ピンを用いて、平板形状の試験体2体を構成し、試験体の間隔を変化させて平行に2体ならべた場合の実効増倍率を評価した。



2体の試験体の構造は第4-4-1図に示された試験体と同一であり、ピンピッチは1.5cmと2cmの2種類を評価した。減速材の軽水は冠水状態とした。

試験体1体の実効増倍率と2体分の配列の試験体の実効増倍率は以下の通りである。尚、試験体容器の中性子吸收等の効果がある為、35本×12本の試験体の実効増倍率は、35本×6本の試験体を2体密着させた場合の実効増倍率とは一致しない。

(「常陽」MK-III燃料、試験体高さ100cm)

格子ピッチ (cm)	配列	試験体寸法 (cm)	k_{eff}	1σ
1.5	35×6	52.5×9	0.55371	0.00445
1.5	35×6×2体 (間隔0cm)	52.5×9×2体	0.91988	0.00521
1.5	35×6×2体 (間隔13.5cm)	52.5×9×2体	0.75335	0.00495
1.5	35×12	52.5×18	0.96163	0.00474
2.0	35×6	70×12	0.68444	0.00502
2.0	35×12	70×24	1.04847	0.00425

試験体間隔をパラメーターとした実効増倍率の変化を第4-9-1表と第4-9-1図に示す。2体の平板形状試験体の相対的な配置や、各々の試験体の構成には無限に多くの組合せが考えられるが、ここに示した最も単純な例でも、2体の増倍体系の干渉の効果を見ることができる。

4.10 高速炉燃料、平板2領域、35本×N本×2体(試験体厚さ依存性)

高速炉規格(「常陽」MK-III)の燃料ピンを用いて、平板形状の試験体2体を構成し、試験体の間隔を変化させて平行に2体ならべた場合について、試験体の厚さの実効増倍率への影響を評価した。燃料ピンピッチは1.5cm、2体の試験体の間隔は13.5cm、減速材(鈀水)の水位は50cmと冠水状態(燃料部高さは100cm)の2種類で、試験体1体当たりの燃料ピン配列は8本から12本とした。第4-10-1表と第4-10-1図に実効増倍率の計算値が示されている。

(「常陽」MK-III燃料、平板形状試験体2体)

配列	k_{eff}	1σ
35×6×2体	0.75335	0.00495
35×12×2体	1.07160	0.00428

ピンピッチ 1.5cm

燃料部高さ 100cm(減速材高さ 満水)

試験体間の間隔 13.5cm

4.11 硝酸ウラニル溶液、平板2領域、52.5cm×9cm×2体(試験体間隔依存性)

硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体を平行に設置して、試験体間隔を変化させた場合の実効増倍率を評価した。試験体の大きさは525mm×90mm、溶液の高さは50cm、100cm、135cmの3種類とした。硝酸ウラニル溶液としては、(400gU/l、2.0N)及び(200gU/l、0.1N)の2種類を考慮した。ウラン濃縮度は20%である。

計算結果が第4-11-1表と第4-11-1図に示されている。(400gU/l、2.0N)の溶液と(200gU/l、0.1N)の溶液を比較すると、(400gU/l、2.0N)の方が若干実効増倍率が高いことが示されている。(400gU/l、2.0N)の溶液を用いて溶液高さ100cmとした場合、以下の様な評価値が得られる。

(400gU/l、2.0N)、(52.5cm×9cm×100cm×2体)

試験体間隔 (cm)	k_{eff}	1σ
0.0	0.86449	0.00472
13.5	0.68291	0.00491
(単体)	0.48155	0.00426

4.12 硝酸ウラニル溶液、平板2領域(試験体厚さ依存性)

硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体を平行に設置した場合について、試験体の厚さに対する実効増倍率の依存性を評価した。試験体の長辺方向長さは52.5cmとし、試験体の幅、溶液の高さ、2体の試験体間の間隔および硝酸ウラニル溶液の種類(濃度等)をパラメーターとして計算値が得られている。ウラン濃縮度は20%である。

第4-12-1表に(400gU/l、2.0N)の硝酸ウラニル溶液を用いた体系の計算値がまとめられている。第4-12-2表は(200gU/l、0.1N)の場合である。

第4-12-1図に計算結果の例として、(400gU/l、2.0N)の硝酸ウラニル溶液で溶液部高さ100cmの場合の実効増倍率の試験体厚さ依存性が図示されている。

4.13 高速炉燃料、平板2領域+ポリエチレン吸収体

高速炉規格(「常陽」MK-III)の燃料ピンを配列し、軽水を減速材とする2枚の平板形状試験体の中間にポリエチレン吸収体を設置した場合の実効増倍率を評価した。ポリエチレン吸収体は2.4または第2-4-1図に示されている様に、ポリエチレンを1mm厚のカドミウムで覆った物であり、核燃料取扱い施設等で用いられる中性子吸収体の候補として考えられる構造のひとつである。ポリエチレンの厚さとしては、3cm、5cm、7cmの3種類について実効増倍率が得られている。燃料ピンを含む試験体は、ピッチ1.5cmで35本×6本の試験体2体、又は、ピッチ1.5cmで35本×12本×2体とし、2体の試験体間の間隔は13.5cmである。計算結果が第4-13-1表および第4-13-2表にまとめられている。典型的な結果を再記すると以下のとおりとなる。第4-13-1図に35本×6本の試験体について、実効増倍率の吸収体厚さ依存性が示されている。吸収体の効果は、試験体の大きさが35本×12本となると小さくなる。

(35本×6本×2体)

	k_{eff}	1σ
2体、間隔0cm*、吸収体なし	0.91988	0.00521
2体、間隔13.5cm**、吸収体なし	0.75335	0.00495
2体、間隔13.5cm**、ポリエチレン厚さ3cm	0.68538	0.00435
2体、間隔13.5cm**、ポリエチレン厚さ5cm	0.65721	0.00469
2体、間隔13.5cm**、ポリエチレン厚さ7cm	0.64580	0.00503
35本×6本×1体**	0.55371	0.00445

*) 水位100cm **) 満水

(35本×12本×2体)

	k_{eff}	1σ
2体、間隔0cm*、吸収体なし	1.20067	0.00454
2体、間隔13.5cm**、吸収体なし	1.07160	0.00428
2体、間隔13.5cm**、ポリエチレン厚さ3cm	1.08799	0.00387
2体、間隔13.5cm**、ポリエチレン厚さ5cm	1.01421	0.00383
2体、間隔13.5cm**、ポリエチレン厚さ7cm	1.00669	0.00386
35本×12本×1体**	0.96163	0.00474

4.14 高速炉燃料、平板2領域+ボロンステンレス吸収体

高速炉規格(「常陽」MK-III)の燃料ピンを配列し、軽水を減速材とする2枚の平板形状試験体の中間にボロンステンレス吸収体(1重量%の天然ボロンをステンレス鋼に混入したもの)を設置した場合の実効増倍率を評価した。ボロンステンレス吸収体は2.4または第2-4-1図に示されている。吸収体の厚さとしては、3cm、5cm、7cmの3種類について実効増倍率が得られている。燃料ピンを含む試験体は、ピッチ1.5cmで35本×6本の試験体2体、又は、ピッチ1.5cmで35本×12本×2体とし、2体の試験体間の間隔は13.5cmである。計算結果が第4-14-1表および第4-14-2表にまとめられている。典型的な結果を第4-14-1図に示し、下表に再記する。

(35本×6本×2体)

	k_{eff}	1σ
2体、間隔0cm*、吸収体なし	0.91988	0.00521
2体、間隔13.5cm**、吸収体なし	0.75335	0.00495
2体、間隔13.5cm**、吸収体厚さ3cm	0.78016	0.00521
2体、間隔13.5cm**、吸収体厚さ5cm	0.74440	0.00471
2体、間隔13.5cm**、吸収体厚さ7cm	0.75321	0.00482
35本×6本×1体**	0.55371	0.00445

*) 水位100cm

**) 满水

(35本×12本×2体)

	k_{eff}	1σ
2体、間隔0cm*、吸收体なし	1.20067	0.00454
2体、間隔13.5cm**、吸收体なし	1.07160	0.00428
2体、間隔13.5cm**、吸收体厚さ3cm	1.07128	0.00336
2体、間隔13.5cm**、吸收体厚さ5cm	1.07219	0.00360
2体、間隔13.5cm**、吸收体厚さ7cm	1.07918	0.00310
35本×12本×1体**	0.96163	0.00474

計算結果が示す様に、ここで評価したポロンステンレス吸收体は中性子吸收体としてほとんど機能していない。ポロンの吸収効果が十分でなく、吸收体が中性子反射体として作用している為、吸收体の厚さを増加すると燃料試験体間の空隙が狭くなり、中性子のものが少なくなつて実効増倍率が増大する結果となっている。

4.15 高速炉燃料、平板2領域+HRS吸收体

高速炉規格(「常陽」MK-III)の燃料ピンを配列し、軽水を減速材とする2枚の平板形状試験体の中間にHRS吸収体を設置した場合の実効増倍率を評価した。HRS吸収体は2.4または第2-4-1図に示されている。吸収体の厚さは、3cm、5cm、7cmの3種類とした。燃料ピンを含む試験体は、ピッチ1.5cmで35本×6本の試験体2体とし、2体の試験体間の間隔は13.5cmである。計算結果が第4-15-1表にまとめられている。典型的な結果を第4-15-1図と下表に再記する。

(35本×6本×2体)

	k_{eff}	1σ
2体、間隔0cm*、吸收体なし	0.91988	0.00521
2体、間隔13.5cm**、吸收体なし	0.75335	0.00495
2体、間隔13.5cm**、吸收体厚さ3cm	0.70560	0.00529
2体、間隔13.5cm**、吸收体厚さ5cm	0.68942	0.00517
2体、間隔13.5cm**、吸收体厚さ7cm	0.67600	0.00410
35本×6本×1体**	0.55371	0.00445

*) 水位100cm

**) 満水

4.13~4.15で評価した3種類の吸收体について、同じ寸法の吸收体を比較すると以下の様になる。3種類の吸收体の比較が第4-15-2図に図示されている。

(35本×6本×100cm×2体)

	k_{eff}	1σ
間隔13.5cm、吸收体なし	0.75385	0.00495
間隔13.5cm、ポロンステンレス厚さ5cm	0.74440	0.00471
間隔13.5cm、HRS厚さ5cm	0.68942	0.00517
間隔13.5cm、ポリエチレン厚さ5cm	0.65721	0.00469

4.16 硝酸ウラニル溶液、平板2領域+ポリエチレン吸収体

硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体を平行に設置し、中間にカドミウム被覆されたポリエチレンの中性子吸収体を挿入した場合の実効増倍率を評価した。2種類の硝酸ウラニル溶液、2種類の試験体寸法、3種類の試験体間隔、3種類の吸収体厚さについて計算結果が第4-16-1表と第4-16-2表に示されている。第4-16-1表は(400gU/ℓ、2.0N)の硝酸ウラニル溶液の試験体についての数値であり、第4-16-2表は(200gU/ℓ、0.1N)の溶液の場合である。各々の表には、試験体系を臨界にする事を意図した場合の計算値が付記されている。結果が第4-16-1図と第4-16-2図に図示されている。代表的な体系の実効増倍率を下表に示す。

溶液の種類	試験体の大きさ	試験体間隔	吸収体厚さ	k_{eff}	1σ
400gU/ℓ 2.0N	52.5cm×9cm ×100cm×2体	13.5cm	0cm	0.68291	
400gU/ℓ 2.0N	52.5cm×9cm ×100cm×2体	13.5cm	5cm	0.57930	0.00440
400gU/ℓ 2.0N	52.5cm×18cm ×100cm×2体	10.5cm	0cm	1.06029	
400gU/ℓ 2.0N	52.5cm×18cm ×100cm×2体	10.5cm	5cm	0.98121	0.00362
200gU/ℓ 0.1N	52.5cm×9cm ×100cm×2体	13.5cm	0cm	0.62126	
200gU/ℓ 0.1N	52.5cm×9cm ×100cm×2体	13.5cm	5cm	0.52853	0.00470
200gU/ℓ 0.1N	52.5cm×18cm ×100cm×2体	7.5cm	0cm	1.01451	
200gU/ℓ 0.1N	52.5cm×18cm ×100cm×2体	7.5cm	5cm	0.89373	0.00308

4.17 硝酸ウラニル溶液、平板2領域+ポロンステンレス吸収体

硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体を平行に設置し、中間にポロン入りステンレスの中性子吸収体を挿入した場合の実効増倍率を評価した。2種類の硝酸ウラニル溶液、2種類の試験体寸法、3種類の試験体間隔、3種類の吸収体厚さについて計算結果が第4-17-1表と第4-17-2表に示されている。高速炉規格の燃料による試験体の場合と同様、今回評価したポロンステンレス鋼は、中性子吸収体としての効果が小さく、むしろ中性子反射体として作用することがわかる。

4.18 硝酸ウラニル溶液、平板2領域+HRS吸収体

硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体を平行に設置し、中间にHRS中性子吸収体を挿入した場合の実効増倍率を評価した。200gU/l、0.1Nの硝酸ウラニル溶液、試験体寸法52.5cm×9cmの2体の試験体について、3種類の試験体間隔、3種類の吸収体厚さの計算結果が第4-18-1表と第4-18-1図に示されている。代表的な実効増倍率は以下のとおりである。

溶液の種類	試験体の大きさ	試験体間隔	吸収体厚さ	k_{eff}	1σ
200gU/l 0.1N	52.5cm×9cm ×100cm×2体	13.5cm	0cm	0.62126	
200gU/l 0.1N	52.5cm×9cm ×100cm×2体	13.5cm	5cm	0.55728	0.00358

4.16~4.18で評価した3種類の吸収体について、同じ寸法の吸収体を比較すると以下の様になる。3種類の吸収体の比較が第4-18-2図に図示されている。

(52.5cm×9cm×100cm×2体、200gU/l、0.1N)

	k_{eff}	1σ
間隔13.5cm、吸収体なし	0.62126	
間隔13.5cm、ボロンステンレス厚さ5cm	0.59366	0.00411
間隔13.5cm、HRS厚さ5cm	0.55728	0.00358
間隔13.5cm、ポリエチレン厚さ5cm	0.52853	0.00470

第4-1-1表 新型転換炉規格の燃料による平板形状試験体の実効増倍率

水位 (cm)	2.7%EU		5S		8S	
	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
0*			0.14221	0.00109	0.14834	0.00112
10			0.43979	0.00375	0.46996	0.00382
50	0.93295	0.00451	0.78370	0.00393	0.83294	0.00371
80			0.81270	0.00366	0.87486	0.00415
100	0.98156	0.00410				
110	0.99168	0.00396				
120	0.98623	0.00431				
150	1.00171	0.00418	0.84179	0.00398	0.89267	0.00408
170			0.85058	0.00389	0.89773	0.00379
180			0.84627	0.00377	0.89675	0.00404
190			0.84684	0.00381	0.89650	0.00405
冠水			0.84941	0.00398	0.90239	0.00383

燃料ピンピッチ 22.5mm

23×15=345本

51.75cm×33.75cm

*) 水位0cmでも燃料ピンがある為、 k_{eff} は0.0にはならない。水位10cm以上の計算でも乾燥部分の燃料ピンは計算体系に含まれている。

第4-1-1図に示されている様に、水位は燃料ペレット充填部下端からの高さで記載されているが、水位0cmの場合のみ、燃料ピン支持板下側の水まで完全に排水されてい

るとした。

第4-2-1表 新型転換炉規格(2.7%EU)の燃料による
平板形状試験体の実効増倍率の格子ピッチ依存性

格子 ピッチ (cm)	試験体の大きさ (cm)	2.7%EU	
		k_{eff}	1σ
1.9	43.7×28.5×150	0.87786	0.00392
2.0	46.0×30.0×150	0.92931	0.00481
2.1	48.3×31.5×150	0.95643	0.00370
2.2	50.6×33.0×150	0.98835	0.00452
2.3	52.9×34.5×150	1.00779	0.00417
2.4	55.2×36.0×150	1.01899	0.00412
2.5	57.5×37.5×150	1.02179	0.00406
<u>2.6</u>	59.8×39.0×150	<u>1.02700</u>	0.00381
2.8	64.4×42.0×150	1.02312	0.00347

2.7%EU
 $23 \times 15 = 345$ 本
 150cmH(一定)

第4-3-1表 新型転換炉規格(2.7%EU)の燃料による
平板形状試験体の実効増倍率の試験体厚さ依存性

ピン 配列数	試験体の大きさ (cm)	2.7%EU	
		k_{eff}	1σ
23×9	57.5×22.5×200	0.83793	0.00438
23×12	57.5×30.0×200	0.96720	0.00377
23×15	57.5×37.5×200	1.03120	0.00387
23×18	57.5×45.0×200	1.07839	0.00417
23×21	57.5×52.5×200	1.10909	0.00420

格子ピッチ 2.5cm

第4-4-1表 高速炉規格(「常陽」MK-III)の燃料による
平板形状試験体の実効増倍率

水位 (cm)	'常陽' MK-III	
	k_{eff}	1σ
30	0.90476	0.00487
40	0.94522	0.00479
50	0.96411	0.00473
55	0.98194	0.00496
60	0.97828	0.00401
80	0.99809	0.00572
100	1.01450	0.00474

燃料ピンピッチ 15mm
 39×13=507本
 58.5cm×19.5cm

第4-5-1表 高速炉規格(「常陽」MK-III)の燃料による
平板形状試験体の実効増倍率の格子ピッチ依存性

格子 ピッチ (cm)	試験体の大きさ (cm)	'常陽' MK-III	
		k_{eff}	1σ
1.1	42.9×14.3×80	0.79343	0.00472
1.2	46.8×15.6×80	0.87143	0.00541
1.3	50.7×16.9×80	0.91862	0.00481
1.4	54.6×18.2×80	0.97248	0.00447
1.5	58.5×19.5×80	0.99809	0.00572
1.6	62.4×20.8×80	1.02383	0.00531
1.7	66.3×22.1×80	1.04394	0.00486
1.8	70.2×23.4×80	1.07060	0.00426
2.0	78.0×26×80	1.08068	0.00448
<u>2.2</u>	85.8×28.6×80	<u>1.08109</u>	0.00466
2.4	93.6×31.2×80	1.05733	0.00363

Pu富化度20.8%、U濃縮度18.5%

39×13=507本

80cmH(一定)

第4-6-1表 高速炉規格(「常陽」MK-III)の燃料による
平板形状試験体の実効増倍率の試験体厚さ依存性

ピン 配列数	試験体の大きさ (cm)	2.7%EU	
		k_{eff}	1σ
39×9	78.0×18.0×100	0.93025	0.00462
39×11	78.0×22.0×100	1.01601	0.00493
39×13	78.0×26.0×100	1.08355	0.00443
39×15	78.0×30.0×100	1.14177	0.00436
39×17	78.0×34.0×100	1.18707	0.00436

格子ピッチ2.0cm

第4-7-1表 硝酸ウラニル溶液による平板形状試験体の実効増倍率
(51.75cm×33.75cm、ウラン濃縮度20%)

液位 (cm)	400gU/ℓ、2.0N		200gU/ℓ、0.1N	
	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
20	0.86177	0.00522	0.80791	0.00427
30	1.01436	0.00481	0.95152	0.00421
35	1.04868	0.00524		
40	1.08625	0.00520	1.01318	0.00443
50	1.13227	0.00411	1.05502	0.00443
60			1.07778	0.00465
70			1.08711	0.00437
80			1.09947	0.00491
90			1.11251	0.00451
100			1.11930	0.00492

第4-8-1表 硝酸ウラニル溶液による平板形状試験体の実効増倍率--A
(試験体サイズ58.5cm×19.5cm、ウラン濃縮度20%)

液位 (cm)	400gU/l、2.0N		200gU/l、0.1N	
	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
50	0.92677	0.00485		
60	0.93354	0.00512		
70	0.95622	0.00513		
80	0.95143	0.00511	0.89503	0.00406
90	0.96316	0.00500	0.90884	0.00454
100	0.96917	0.00501	0.92006	0.00437
110			0.91148	0.00457
120			0.91467	0.00448
130			0.92126	0.00462
150			0.92363	0.00425
180			0.92353	0.00420

第4-8-2表 硝酸ウラニル溶液による平板形状試験体の実効増倍率-B
 (試験体サイズ58.5cm×19.5cm、ウラン濃縮度20%)

溶液種類	液位50cm		液位100cm		液位150cm		液位200cm	
	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
400gU/l、2.0N	0.92677	0.00485	0.96917	0.00501	0.97365	0.00527	0.98127	0.00496
500gU/l、2.0N	0.92878	0.00488	0.96299	0.00491	1.00052	0.00513	0.99244	0.00485
600gU/l、2.0N	0.90818	0.00510	0.96425	0.00489	0.97360	0.00554	0.98024	0.00471
700gU/l、2.0N	0.91967	0.00560	0.96844	0.00476	0.97479	0.00455	0.96839	0.00582
800gU/l、2.0N	0.88841	0.00491	0.94307	0.00506	0.95808	0.00533	0.96816	0.00437
200gU/l、0.1N			0.92006	0.00437	0.92363	0.00425	0.92084	0.00402
300gU/l、0.1N	0.92449	0.00446	0.97179	0.00544	0.97942	0.00491	0.98675	0.00493
400gU/l、0.1N	0.94831	0.00504	0.99833	0.00493	1.02146	0.00542	1.01810	0.00500
500gU/l、0.1N	0.95499	0.00545	1.00805	0.00477	1.02485	0.00490	1.01832	0.00499
600gU/l、0.1N	0.94935	0.00492	1.00291	0.00512	1.01588	0.00553	1.01590	0.00528

第4-9-1表 高速炉規格(「常陽」MK-III)の燃料による
 2体の平板形状試験体の実効増倍率 -- 試験体間隔依存性 --
 (35本×6本×2体、試験体高さ100cm)

試験体 間隔*) (cm)	ピンピッチ1.5cm (52.5cm×9cm×100cm) 2体		ピンピッチ2cm (70cm×12cm×100cm) 2体	
	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
0.0	0.91988	0.00521		
4.5	0.84791	0.00488		
7.5	0.80786	0.00450		
10.5	0.77895	0.00447	0.90074	0.00525
12.0			0.88581	0.00475
13.5	0.75335	0.00495	0.86813	0.00452

*) 2体の試験体容器の間のすきまの距離

試験体中の燃料部の高さは100cmであるが、減速材(軽水)は試験体容器に満水の状態であるとして評価されている。

試験体1体および2体分のピンで構成した試験体の実効増倍率は以下のとおり。

	ピンピッチ1.5cm (52.5cm×9cm×100cm) 35本×6本、1体		ピンピッチ2cm (70cm×12cm×100cm) 35本×6本、1体	
	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
	0.55371	0.00445	0.68444	0.00502

	ピンピッチ1.5cm (52.5cm×18cm×100cm) 35本×12本、1体		ピンピッチ2cm (70cm×24cm×100cm) 35本×12本、1体	
	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
	0.96163	0.00474	1.04847	0.00423

第4-10-1表 高速炉規格(「常陽」MK-III)の燃料による
2体の平板形状試験体の実効増倍率
— 試験体厚さ依存性 —
(35本×N本×2体)

配列数 N	減速材水位 50cm		減速材水位 (満水)	
	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
6			0.75335	0.00495
8	0.84866	0.00481	0.90616	0.00471
10	0.94274	0.00462	1.00535	0.00477
11	0.98739	0.00496	1.03058	0.00443
12	1.01311	0.00446	1.07160	0.00428

計算条件)

燃料ピン配列 35×N

ピンピッチ 1.5cm

燃料部高さ 100cm

2体の試験体容器の間のすきまの距離 13.5cm

第4-11-1表 硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体の実効増倍率
 -- 試験体間隔依存性 --
 (525mm×90mm×2体)

(400gU/l、2.0N)

試験体 間隔*) (cm)	溶液高さ 50cm 2体		溶液高さ 100cm 2体		溶液高さ 135cm 2体	
	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
0.0			0.86449	0.00472		
4.5	0.72694	0.00458	0.77487	0.00486	0.79930	0.00473
7.5	0.67208	0.00498	0.74018	0.00490	0.74727	0.00455
10.5	0.64433	0.00500	0.70600	0.00426	0.71797	0.00461
13.5	0.61698	0.00425	0.68291	0.00491	0.69426	0.00511
(1体)			0.48155	0.00426		

*) 2体の試験体容器の間のすきまの距離

(400gU/l、2.0N)	k_{eff}	1σ
52.5cm×18cm×100cm、1体	0.90497	0.00503
52.5cm×18cm×100cm、2体、間隔0cm	1.17239	0.00510

(200gU/l、0.1N)

試験体 間隔*) (cm)	溶液高さ 50cm 2体		溶液高さ 100cm 2体		溶液高さ 135cm 2体	
	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
4.5	0.65691	0.00408	0.71926	0.00389	0.72696	0.00418
7.5	0.62252	0.00381	0.67689	0.00412	0.69086	0.00383
10.5	0.59273	0.00470	0.64730	0.00349	0.66306	0.00424
13.5	0.56732	0.00397	0.62126	0.00411	0.64262	0.00416

第4-12-1表 硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体の実効増倍率
- 試験体厚さ依存性 - (400gU/l、2.0N)

溶液部寸法 (cm)			試験体間隔13.5cm		試験体間隔10.5cm		試験体間隔7.5cm		試験体間隔4.5cm	
			k _{eff}	1 _σ						
長さ	厚さ	高さ								
52.5	9	50	0.61698	0.00425	0.64433	0.00500	0.67208	0.00498	0.72694	0.00458
52.5	12	50	0.78290	0.00459	0.79562	0.00457	0.84132	0.00562	0.87924	0.00475
52.5	15	50	0.88344	0.00501	0.91358	0.00493	0.94070	0.00520	0.97350	0.00531
52.5	18	50	0.95991	0.00513	0.98456	0.00453	1.00752	0.00460	1.04453	0.00482
52.5	9	100	0.68291	0.00491	0.70600	0.00426	0.74018	0.00490	0.77487	0.00486
52.5	12	100	0.84377	0.00464	0.87647	0.00558	0.90559	0.00386	0.93472	0.00514
52.5	15	100	0.96306	0.00479	0.97347	0.00462	1.00829	0.00553	1.04866	0.00508
52.5	18	100	1.04617	0.00511	1.06029	0.00541	1.08365	0.00488	1.11925	0.00546
52.5	9	135	0.69426	0.00511	0.71797	0.00461	0.74727	0.00455	0.79930	0.00473
52.5	12	135	0.86938	0.00493	0.88414	0.00449	0.91630	0.00451	0.95931	0.00487
52.5	15	135	0.97881	0.00513	1.00156	0.00467	1.01638	0.00431	1.06118	0.00496
52.5	18	135	1.05981	0.00481	1.06850	0.00495	1.09941	0.00496	1.13124	0.00477

第4-12-2表 硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体の実効増倍率
－試験体厚さ依存性－ (200gU/l、0.1N)

溶液部寸法 (cm)			試験体間隔13.5cm		試験体間隔10.5cm		試験体間隔7.5cm		試験体間隔4.5cm	
			k _{eff}	1σ						
長さ	厚さ	高さ								
52.5	9	50	0.56732	0.00397	0.59273	0.00470	0.62252	0.00381	0.65691	0.00408
52.5	12	50	0.71610	0.00419	0.73353	0.00436	0.77328	0.00444	0.80690	0.00384
52.5	15	50	0.82240	0.00436	0.84001	0.00488	0.87845	0.00440	0.90197	0.00459
52.5	18	50	0.89159	0.00490	0.90923	0.00467	0.93158	0.00440	0.97052	0.00425
52.5	9	100	0.62126	0.00411	0.64730	0.00349	0.67689	0.00412	0.71926	0.00389
52.5	12	100	0.77715	0.00441	0.79659	0.00433	0.82647	0.00461	0.86031	0.00416
52.5	15	100	0.87768	0.00416	0.90927	0.00410	0.93660	0.00467	0.95401	0.00414
52.5	18	100	0.96213	0.00472	0.98181	0.00439	1.01451	0.00438	1.02496	0.00473
52.5	9	135	0.64262	0.00416	0.66306	0.00424	0.69086	0.00383	0.72696	0.00418
52.5	12	135	0.80180	0.00458	0.81897	0.00502	0.84256	0.00472	0.88315	0.00427
52.5	15	135	0.89738	0.00441	0.92880	0.00499	0.94827	0.00448	0.96537	0.00411
52.5	18	135	0.98510	0.00440	1.00097	0.00395	1.01904	0.00420	1.04355	0.00380

第4-13-1表 高速炉規格の燃料による2体の平板形状試験体の中間に
ポリエチレン吸収体を設置した場合の実効増倍率
-35本×6本×2体-

(35本×6本×2体)

減速材 水位 (cm)	ポリエチレン厚さ 3cm		ポリエチレン厚さ 5cm		ポリエチレン厚さ 7cm	
	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
40	0.62207	0.00423	0.60580	0.00503	0.58843	0.00481
50	0.65189	0.00455	0.63201	0.00448	0.61634	0.00437
60	0.66055	0.00411	0.63413	0.00497	0.61729	0.00445
70	0.67485	0.00427	0.64543	0.00475	0.62675	0.00514
80	0.67146	0.00460	0.64971	0.00512	0.63616	0.00415
満水*	0.68538	0.00435	0.65721	0.00469	0.64580	0.00503

*) (燃料領域100cm)

(吸収体のない場合、水位100cm)

	k_{eff}	1σ
35本×6本×2体、間隔0cm**	0.91988	0.00521
35本×6本×2体、間隔13.5cm***	0.75335	0.00495
35本×6本×1体***	0.55371	0.00445

**) 水位100cm

***) 満水

(吸収体のない場合、水位50cm)

	k_{eff}	1σ
35本×6本×2体、間隔0cm	0.88528	0.00494
35本×6本×2体、間隔13.5cm		
35本×6本×1体	0.53517	0.00460

第4-13-2表 高速炉規格の燃料による2体の平板形状試験体の中間に
ポリエチレン吸収体を設置した場合の実効増倍率
- 35本×12本×2体 -

(「常陽」MK-III燃料、ピッチ1.5cm、35本×12本×2体)

減速材 水位 (cm)	ポリエチレン厚さ 3cm		ポリエチレン厚さ 5cm		ポリエチレン厚さ 7cm	
	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
40	0.96941	0.00297	0.94628	0.00368	0.93766	0.00343
50	0.98845	0.00336	0.96191	0.00332	0.95930	0.00332
80	1.02148	0.00355	0.99949	0.00321	1.00294	0.00342
満水*	1.03799	0.00337	1.01421	0.00333	1.00669	0.00336

*) (燃料領域100cm)

(吸収体のない場合、水位100cm)

	k_{eff}	1σ
35本×12本×2体、間隔0cm**	1.20067	0.00454
35本×12本×2体、間隔13.5cm***	1.07160	0.00428
35本×12本×1体***	0.96163	0.00474

**) 水位100cm

***) 満水

(吸収体のない場合、水位50cm)

	k_{eff}	1σ
35本×12本×2体、間隔0cm	1.13695	0.00502
35本×12本×2体、間隔13.5cm		
35本×12本×1体	0.91874	0.00447

第4-14-1表 高速炉規格の燃料による2体の平板形状試験体の中間に
ボロンステンレス吸収体を設置した場合の実効増倍率
—35本×6本×2体—

(35本×6本×2体)

減速材 水位 (cm)	吸収体厚さ 3cm		吸収体厚さ 5cm		吸収体厚さ 7cm	
	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
40	0.66063	0.00483	0.66429	0.00493	0.67813	0.00469
50	0.67896	0.00409	0.69078	0.00382	0.71161	0.00468
60	0.69882	0.00437	0.71246	0.00424	0.71866	0.00479
70	0.70939	0.00445	0.71829	0.00415	0.72801	0.00396
80	0.71436	0.00444	0.73850	0.00474	0.73697	0.00404
満水*	0.73016	0.00521	0.74440	0.00471	0.75321	0.00482

*) (燃料領域100cm)

(吸収体のない場合、水位100cm)

	k_{eff}	1σ
35本×6本×2体、間隔0cm**	0.91988	0.00521
35本×6本×2体、間隔13.5cm***	0.75335	0.00495
35本×6本×1体***	0.55371	0.00445

**) 水位100cm

***) 満水

(吸収体のない場合、水位50cm)

	k_{eff}	1σ
35本×6本×2体、間隔0cm**	0.88528	0.00494
35本×6本×2体、間隔13.5cm***		
35本×6本×1体	0.53517	0.00460

第4-14-2表 高速炉規格の燃料による2体の平板形状試験体の中間に
ボロンステンレス吸収体を設置した場合の実効増倍率
- 35本×12本×2体 -

(「常陽」MK-III燃料、ピッチ1.5cm、35本×12本×2体)

減速材 水位 (cm)	吸収体厚さ 3cm		吸収体厚さ 5cm		吸収体厚さ 7cm	
	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
40	0.97975	0.00322	0.98590	0.00286	0.98817	0.00268
50	1.01859	0.00288	1.00784	0.00356	1.02300	0.00343
80	1.05400	0.00334	1.06550	0.00331	1.06979	
満水*	1.07128	0.00336	1.07219	0.00360	1.07918	0.00310

*) (燃料領域100cm)

(吸収体のない場合、水位100cm)

	k_{eff}	1σ
35本×12本×2体、間隔0cm**	1.20067	0.00454
35本×12本×2体、間隔13.5cm***	1.07160	0.00428
35本×12本×1体***	0.96163	0.00474

**) 水位100cm

***) 満水

(吸収体のない場合、水位50cm)

	k_{eff}	1σ
35本×12本×2体、間隔0cm	1.13695	0.00502
35本×12本×2体、間隔13.5cm		
35本×12本×1体	0.91874	0.00447

第4-15-1表 高速炉規格の燃料による2体の平板形状試験体の中間に
HRS吸収体を設置した場合の実効増倍率
—35本×6本×2体—

(35本×6本×2体)

減速材 水位 (cm)	吸収体厚さ 3cm		吸収体厚さ 5cm		吸収体厚さ 7cm	
	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
40	0.63585	0.00466	0.63000	0.00456	0.61152	0.00465
50	0.65771	0.00521	0.64014	0.00440	0.64159	0.00436
60	0.68057	0.00421	0.65707	0.00471	0.65700	0.00468
70	0.69372	0.00420	0.67412	0.00431	0.66243	0.00462
80	0.69814	0.00438	0.68572	0.00468	0.67159	0.00418
満水*	0.70560	0.00529	0.68942	0.00517	0.67600	0.00410

*) (燃料領域100cm)

(吸収体のない場合、水位100cm)

	k_{eff}	1σ
35本×6本×2体、間隔0cm**	0.91988	0.00521
35本×6本×2体、間隔13.5cm***	0.75335	0.00495
35本×6本×1体***	0.55371	0.00445

**) 水位100cm

***) 満水

(吸収体のない場合、水位50cm)

	k_{eff}	1σ
35本×6本×2体、間隔0cm**	0.88528	0.00494
35本×6本×2体、間隔13.5cm***		
35本×6本×1体	0.53517	0.00460

第4-16-1表 硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体の中間に
ポリエチレン吸収体を設置した場合の実効増倍率
—400gU/ℓ、2.0N—

(400gU/ℓ、2.0N、52.5cm×9cm×2体、試験体間隔13.5cm)

溶 液 液 位 (cm)	吸收体 なし k_{eff}	吸收体厚さ 3cm		吸收体厚さ 5cm		吸收体厚さ 7cm	
		k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
50	0.61698	0.56275	0.00431	0.54933	0.00377	0.53460	0.00505
100	0.68291	0.60741	0.00458	0.57930	0.00440	0.56784	0.00386
135	0.69426	0.61043	0.00460	0.58387	0.00434	0.56803	0.00432

(400gU/ℓ、2.0N、52.5cm×18cm×2体、試験体間隔10.5cm)

溶 液 液 位 (cm)	吸收体 なし k_{eff}	吸收体厚さ 3cm		吸收体厚さ 5cm		吸收体厚さ 7cm	
		k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
100	1.06029	0.99408	0.00355	0.98121	0.00362	0.96121	0.00370
135	1.06850	1.00913	0.00361	0.98508	0.00348	0.97097	0.00384

第4-16-2表 硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体の中間に
ポリエチレン吸収体を設置した場合の実効増倍率
- 200gU/ℓ、0.1N -

(200gU/ℓ、0.1N、52.5cm×9cm×2体、試験体間隔13.5cm)

溶 液 液 位 (cm)	吸 收 体 な し k_{eff}	吸 收 体 厚 さ 3cm		吸 收 体 厚 さ 5cm		吸 收 体 厚 さ 7cm	
		k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
50	0.56732	0.51115	0.00371	0.49738	0.00362	0.48449	0.00388
100	0.62126	0.55689	0.00381	0.52853	0.00470	0.51770	0.00431
135	0.64262	0.55106	0.00390	0.52980	0.00342	0.52712	0.00363

(200gU/ℓ、0.1N、52.5cm×18cm×2体、試験体間隔7.5cm)

溶 液 液 位 (cm)	吸 收 体 な し k_{eff}	吸 收 体 厚 さ 3cm		吸 收 体 厚 さ 5cm		吸 收 体 厚 さ 7cm	
		k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
100	1.01451	0.92268	0.00310	0.89373	0.00308	0.90659	0.00319
135	1.01904	0.93966	0.00335	0.91052	0.00337	0.91076	0.00315

第4-17-1表 硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体の中間に
ボロンステンレス吸収体を設置した場合の実効増倍率
— 400gU/ℓ、2.0N —

(400gU/ℓ、2.0N、52.5cm×18cm×2体、試験体間隔13.5cm)

溶液液位 (cm)	吸收体なし k_{eff}	吸收体厚さ 3cm		吸收体厚さ 5cm		吸收体厚さ 7cm	
		k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
50	0.95991	0.95103	0.00307	0.95245	0.00352	0.96581	0.00356
100	1.04617	1.02263	0.00334	1.02942	0.00344	1.04129	0.00328
135	1.05981	1.03978	0.00346	1.03474	0.00353	1.05004	0.00345

(400gU/ℓ、2.0N、52.5cm×18cm×2体、試験体間隔10.5cm)

溶液液位 (cm)	吸收体なし k_{eff}	吸收体厚さ 3cm		吸收体厚さ 5cm		吸收体厚さ 7cm	
		k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
50	0.98456	0.97380	0.00341	0.97271	0.00233	0.98076	0.00241
100	1.06029	1.03673	0.00361	1.04432	0.00321	1.03959	0.00328
135	1.06850	1.04975	0.00343	1.06349	0.00298	1.05627	0.00342

第4-17-2表 硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体の中間に
ボロンステンレス吸収体を設置した場合の実効増倍率
—200gU/ℓ、0.1N—

(200gU/ℓ、0.1N、52.5cm×9cm×2体、試験体間隔13.5cm)

溶 液 液 位 (cm)	吸收体 なし k_{eff}	吸收体厚さ 3cm		吸收体厚さ 5cm		吸收体厚さ 7cm	
		k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
50	0.56732	0.54553	0.00425	0.55346	0.00397	0.55828	0.00354
100	0.62126	0.59297	0.00396	0.59366	0.00411	0.60005	0.00386
135	0.64262	0.59500	0.00379	0.60220	0.00359	0.60443	0.00423

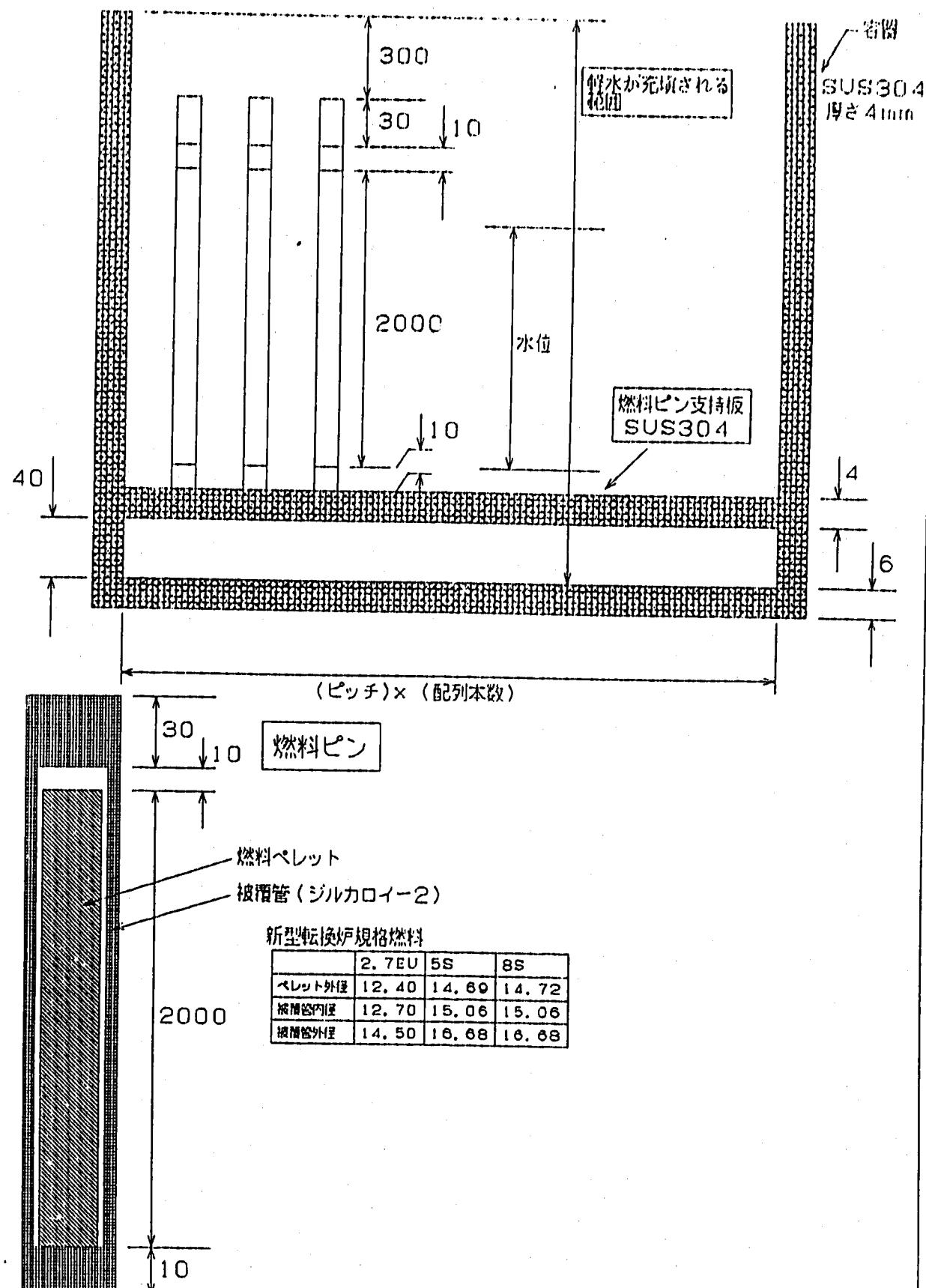
(200gU/ℓ、0.1N、52.5cm×18cm×2体、試験体間隔7.5cm)

溶 液 液 位 (cm)	吸收体 なし k_{eff}	吸收体厚さ 3cm		吸收体厚さ 5cm		吸收体厚さ 7cm	
		k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
100	1.01451	0.96465	0.00290	0.97514	0.00314	0.97099	0.00297
135	1.01904	0.97597	0.00288	0.97756	0.00311	0.97780	0.00326

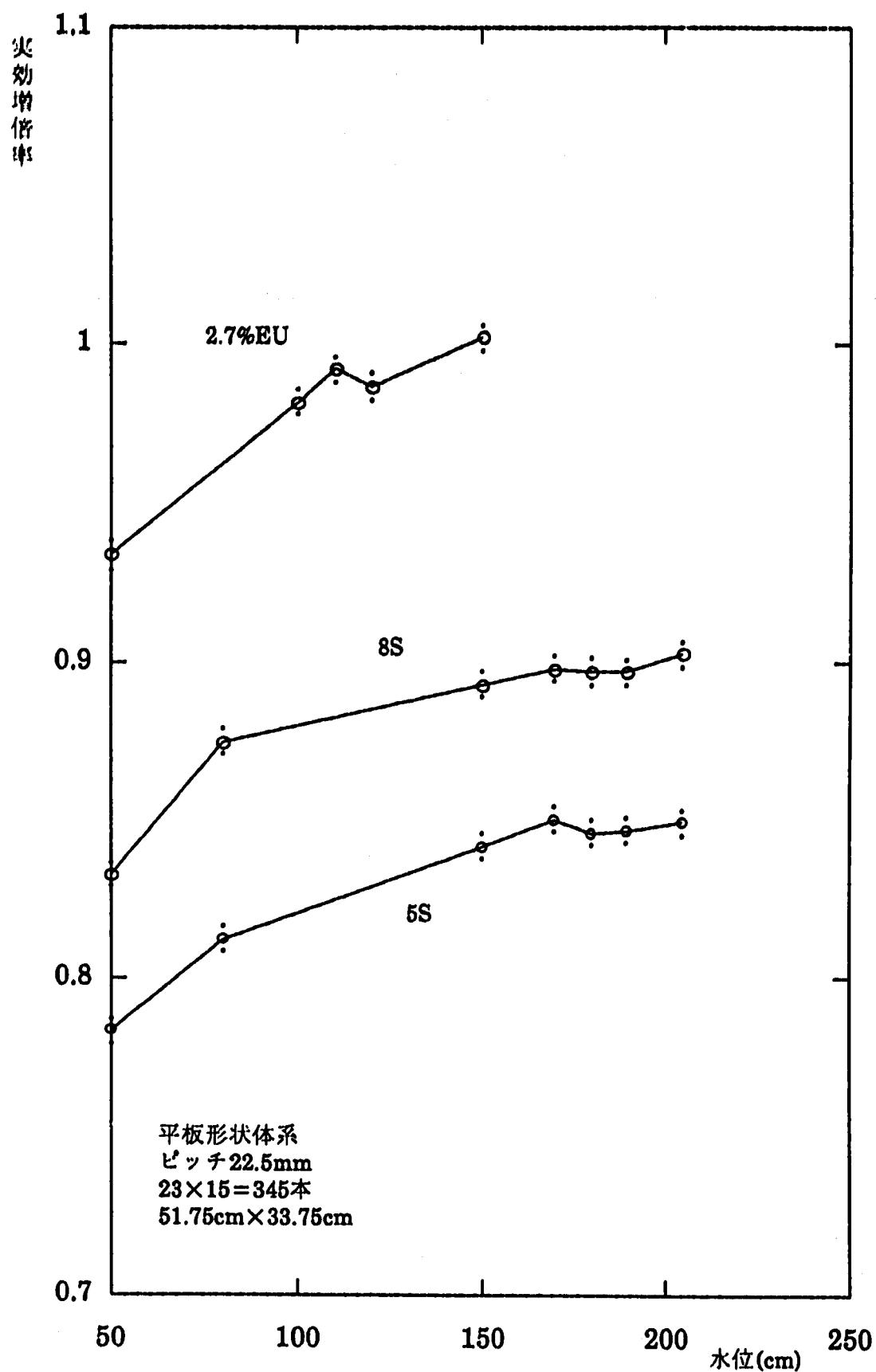
第4-18-1表 硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体の中間に
HRS吸収体を設置した場合の実効増倍率
—200gU/ℓ、0.1N—

(200gU/ℓ、0.1N、52.5cm×9cm×2体、試験体間隔13.5cm)

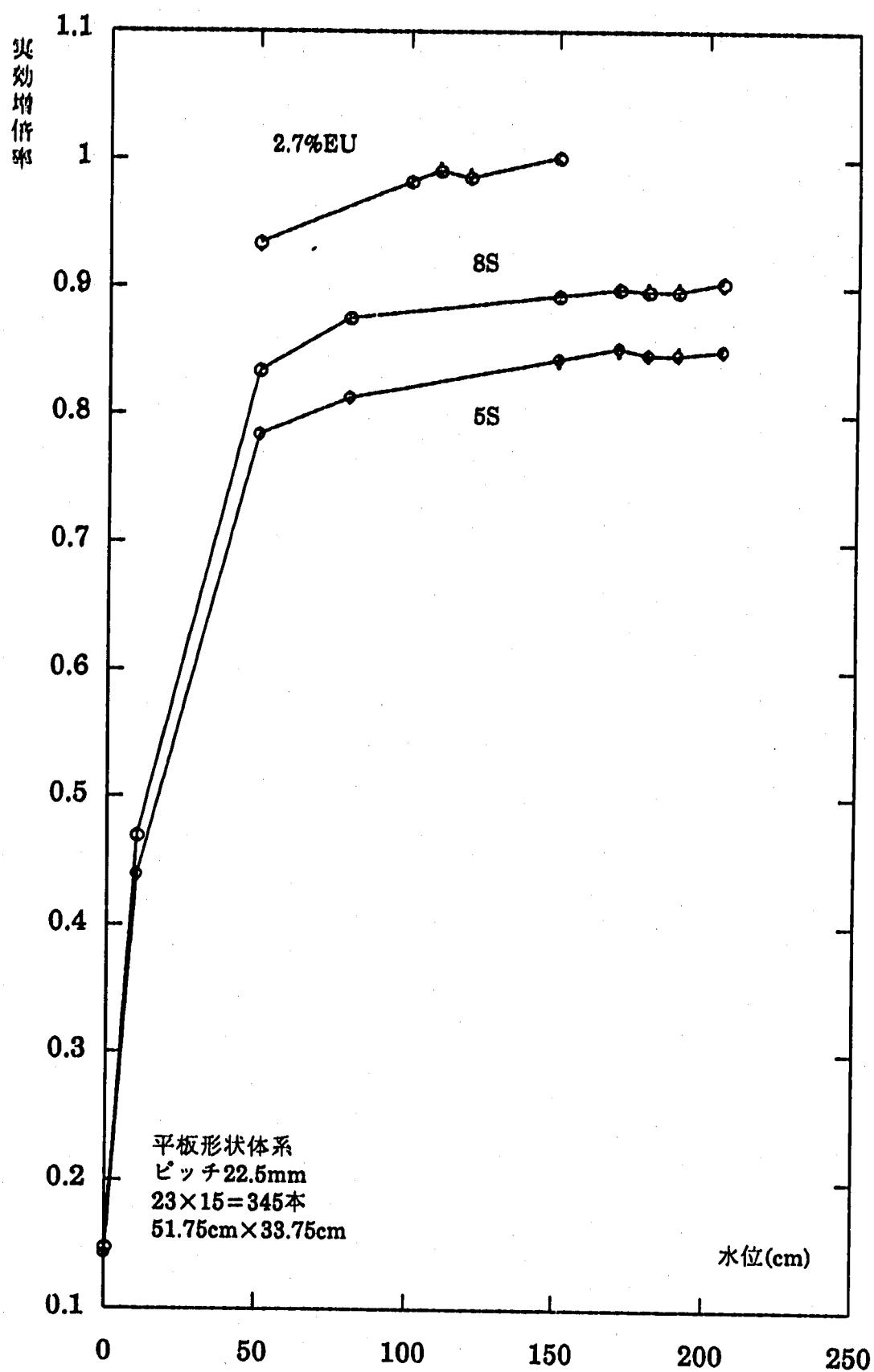
溶液液位(cm)	吸收体なし k_{eff}	吸收体厚さ 3cm		吸收体厚さ 5cm		吸收体厚さ 7cm	
		k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ	k_{eff}	1σ
50	0.56732	0.53393	0.00408	0.51885	0.00404	0.51634	0.00422
100	0.62126	0.56543	0.00402	0.55728	0.00358	0.54681	0.00405
135	0.64262	0.57516	0.00368	0.56677	0.00405	0.55495	0.00381



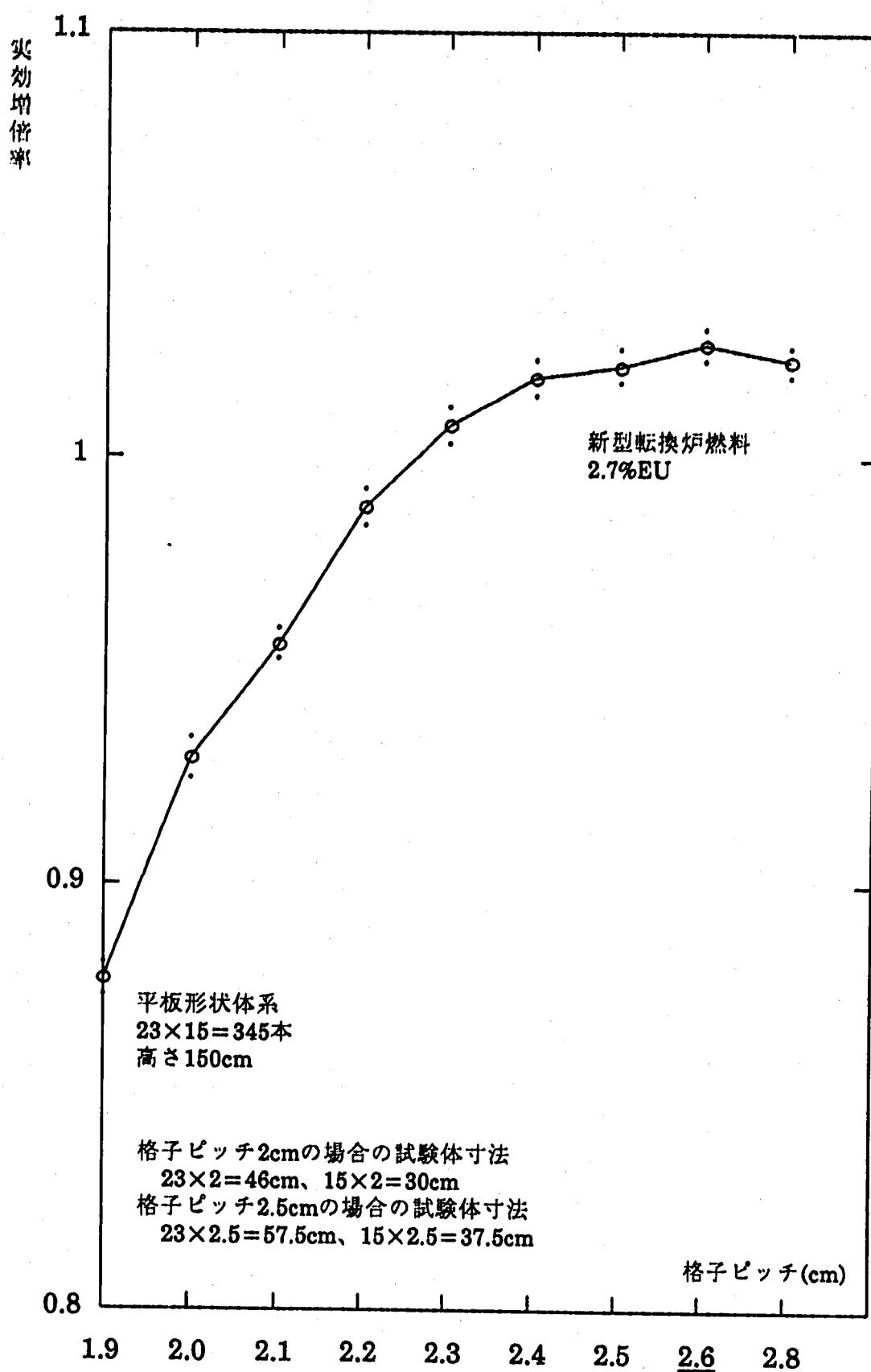
第4-1-1図 新型転換炉規格燃料による平板形状試験体



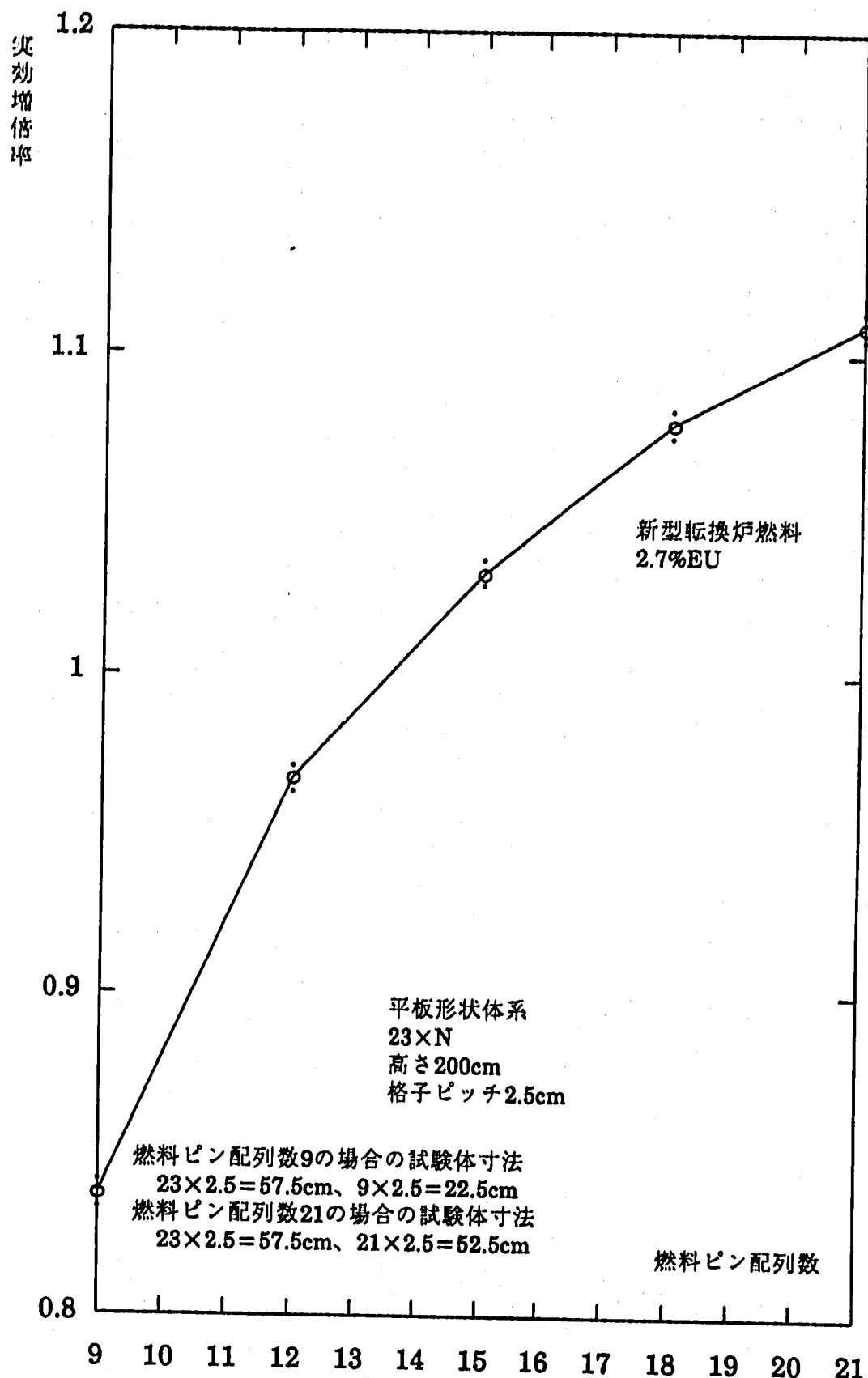
第4-1-2図 新型転換炉規格燃料による平板形状試験体の実効増倍率



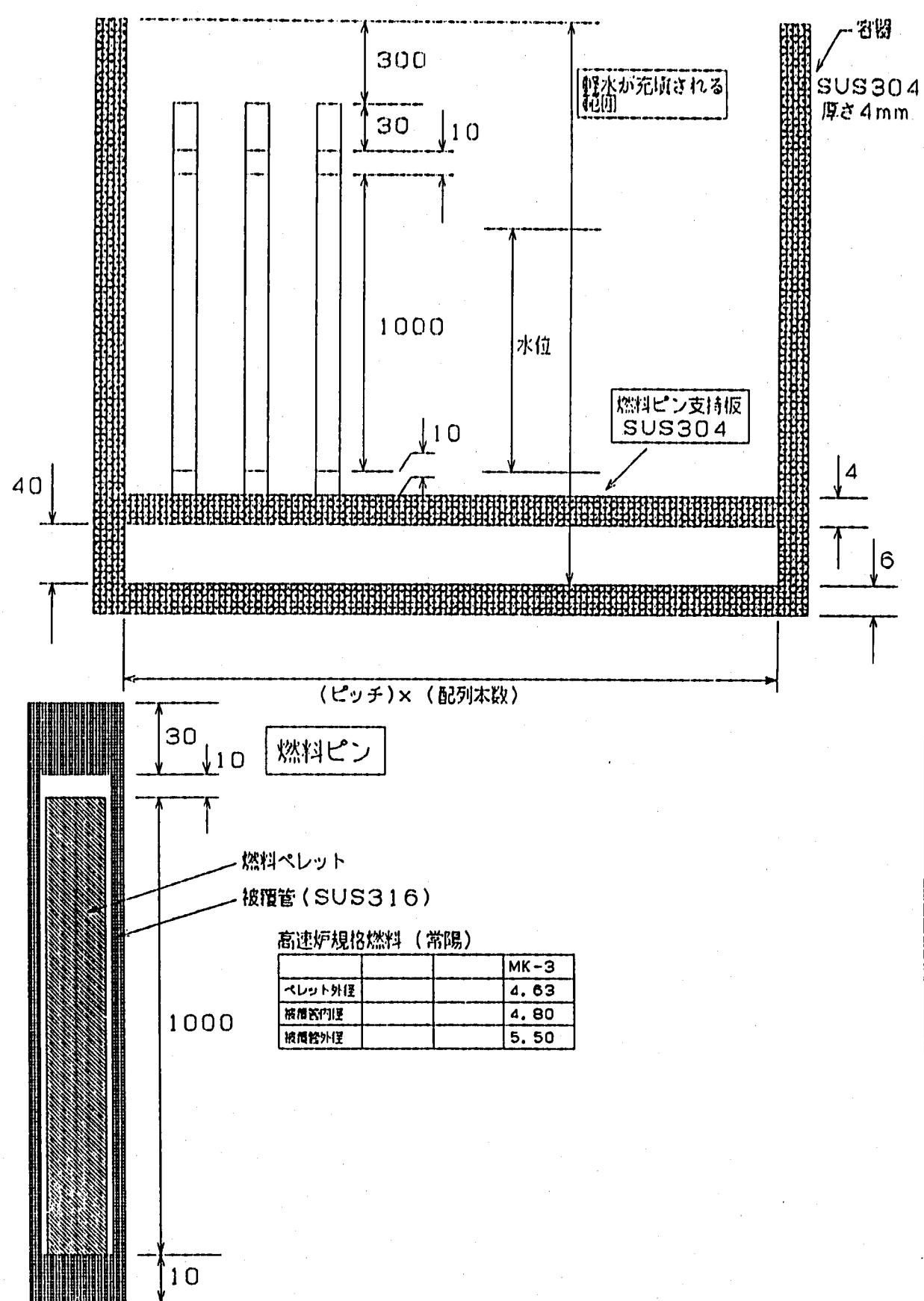
第4-1-3図 新型転換炉規格燃料による平板形状試験体の実効増倍率



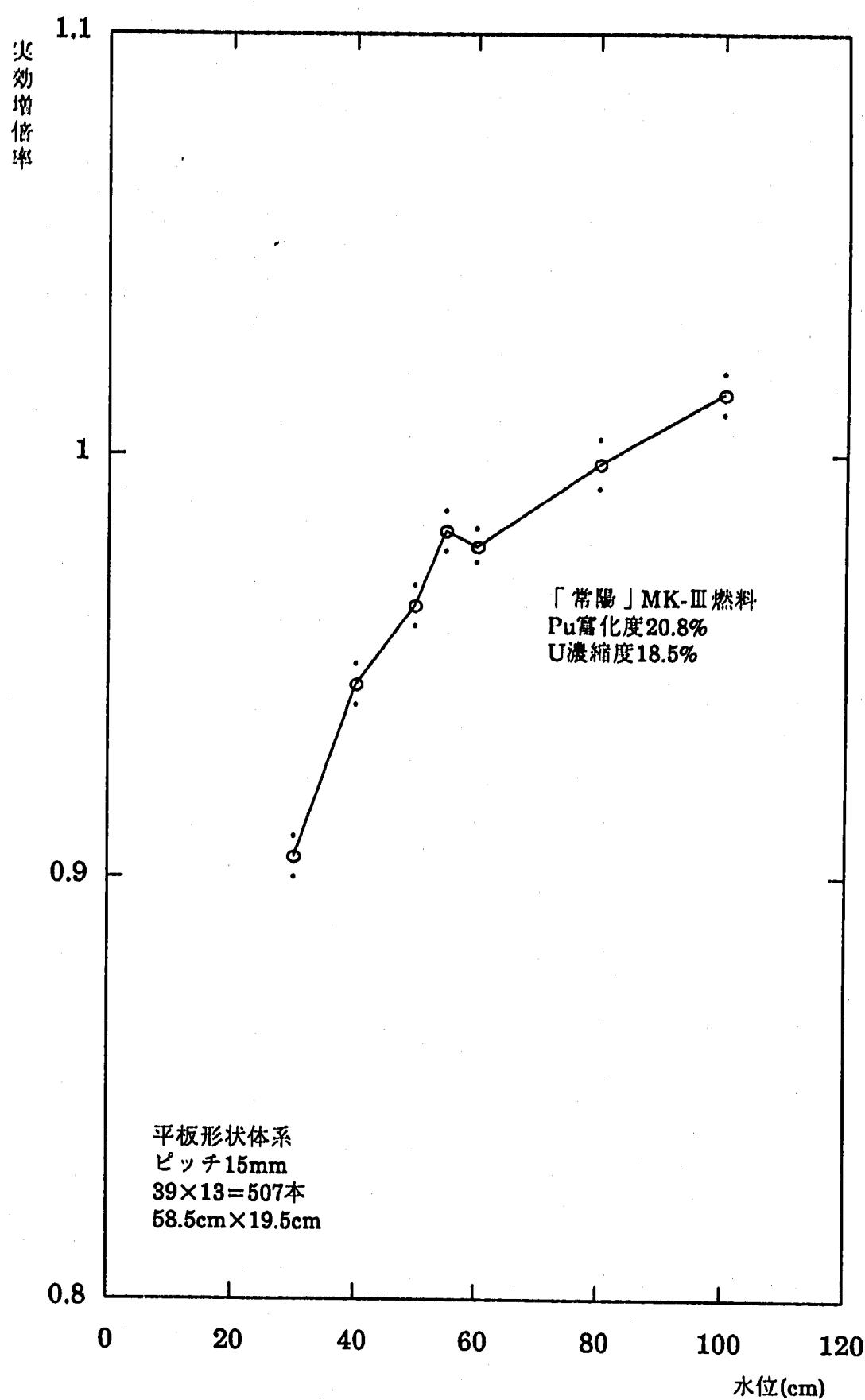
第4-2-1図 新型転換炉規格燃料による平板形状試験体の実効増倍率
(格子ピッチ依存性)



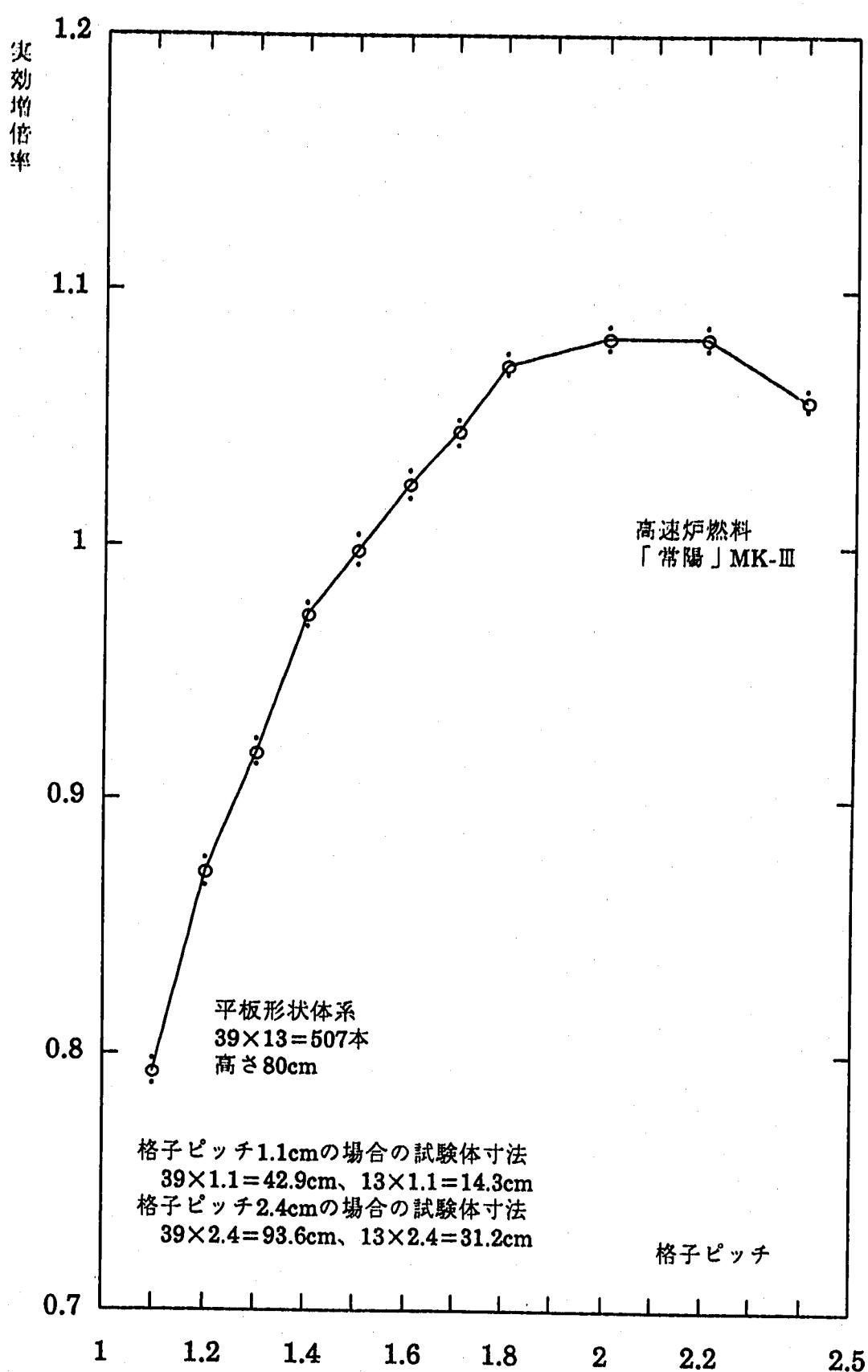
第4-3-1図 新型転換炉規格燃料による平板形状試験体の実効増倍率
(燃料ピン配列数依存性)



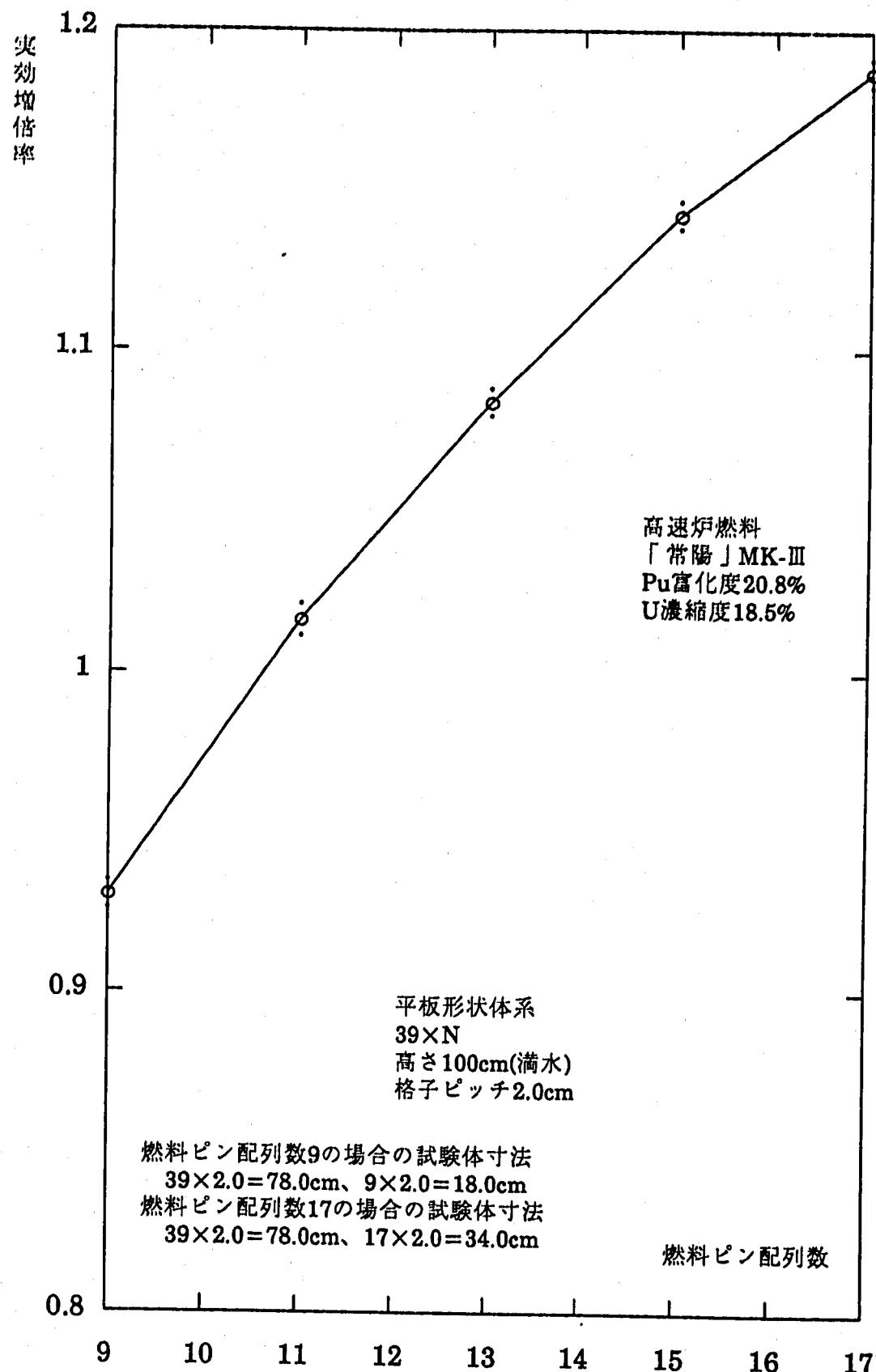
第4-4-1図 高速炉規格燃料による平板形状試験体



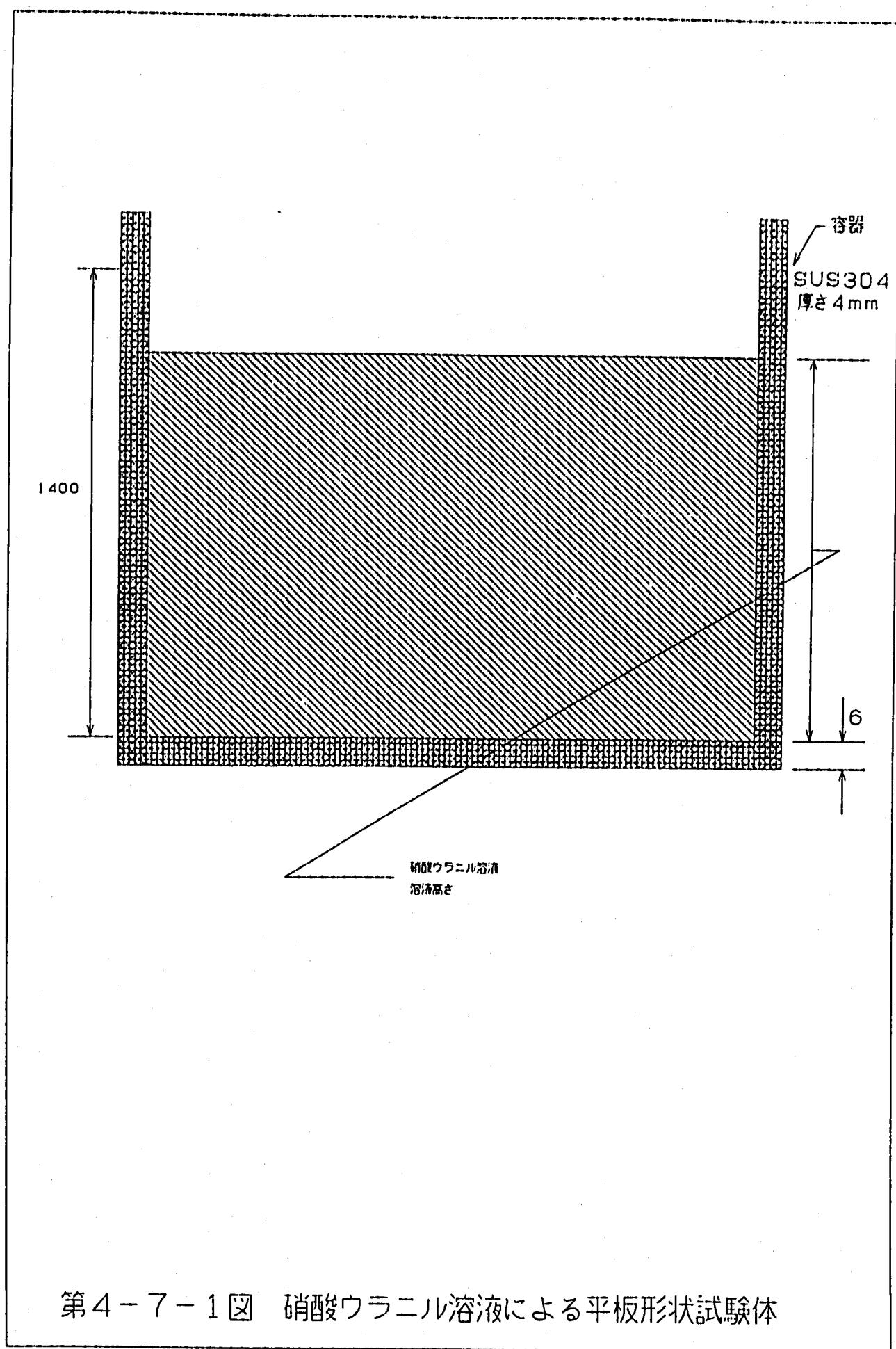
第4-4-2図 高速炉規格燃料による平板形状試験体の実効増倍率

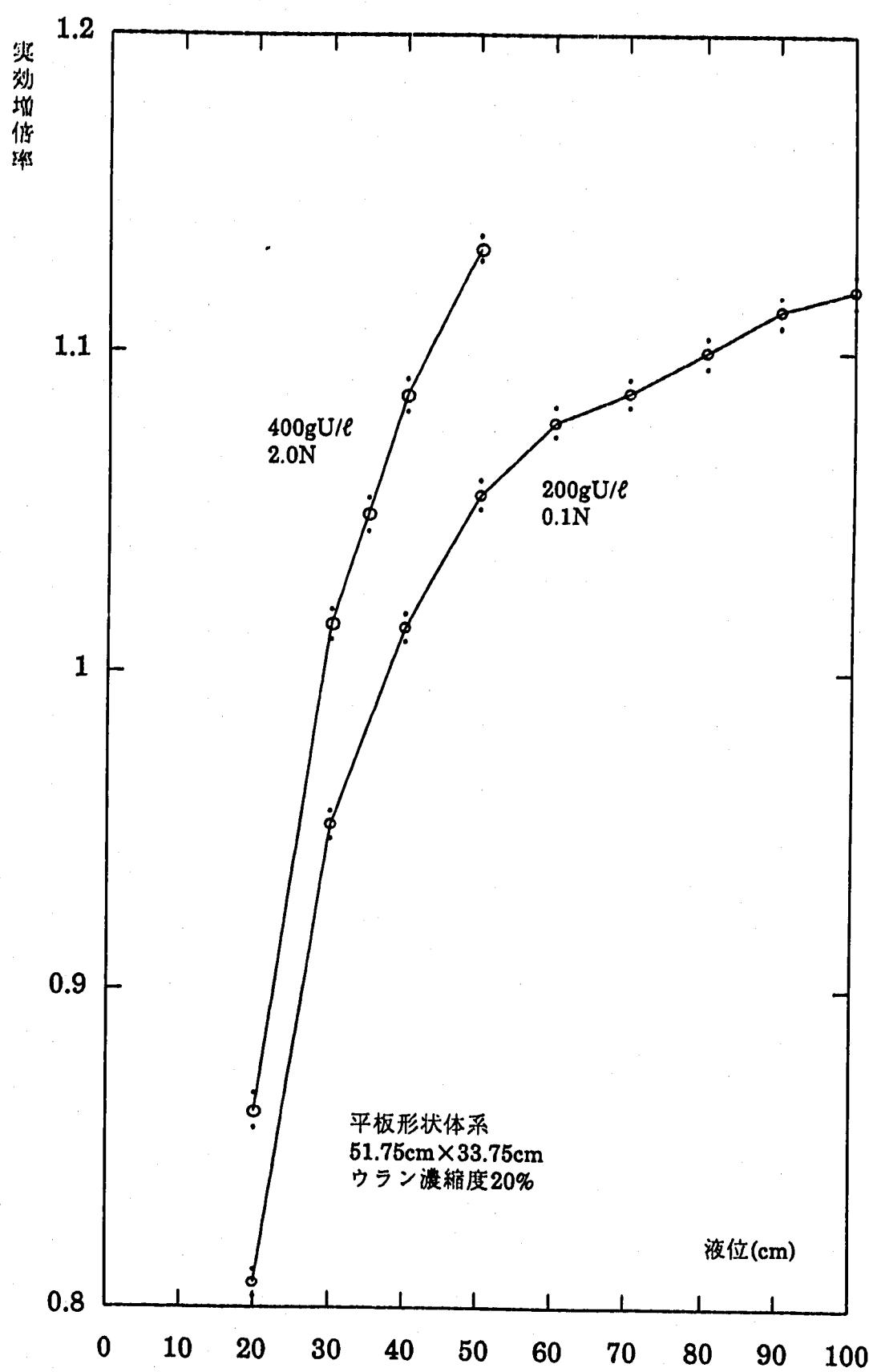


第4-5-1図 高速炉規格燃料による平板形状試験体の実効増倍率
(格子ピッチ依存性)

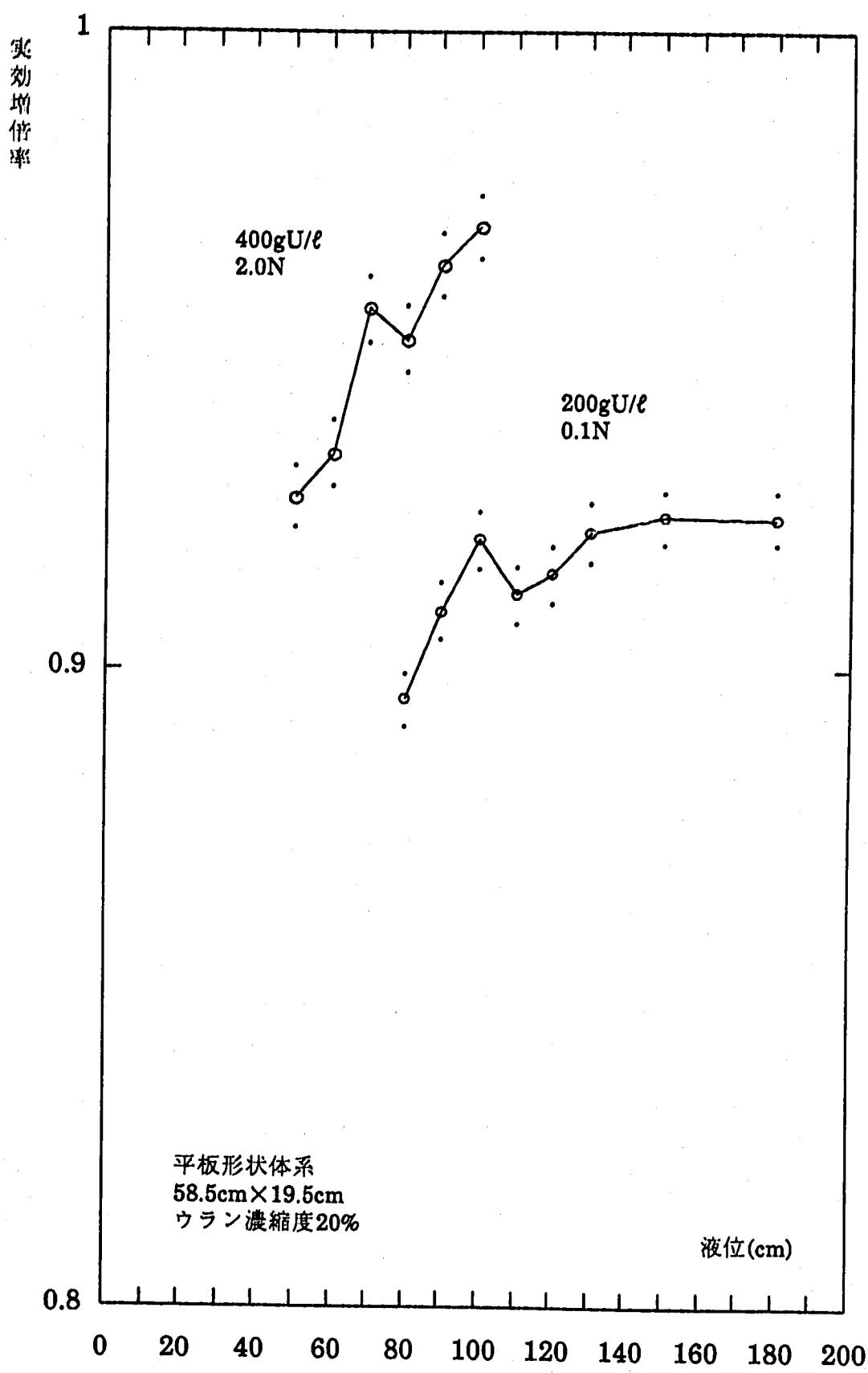


第4-6-1図 高速炉規格燃料による平板形状試験体の実効増倍率
(燃料ピン配列数依存性)

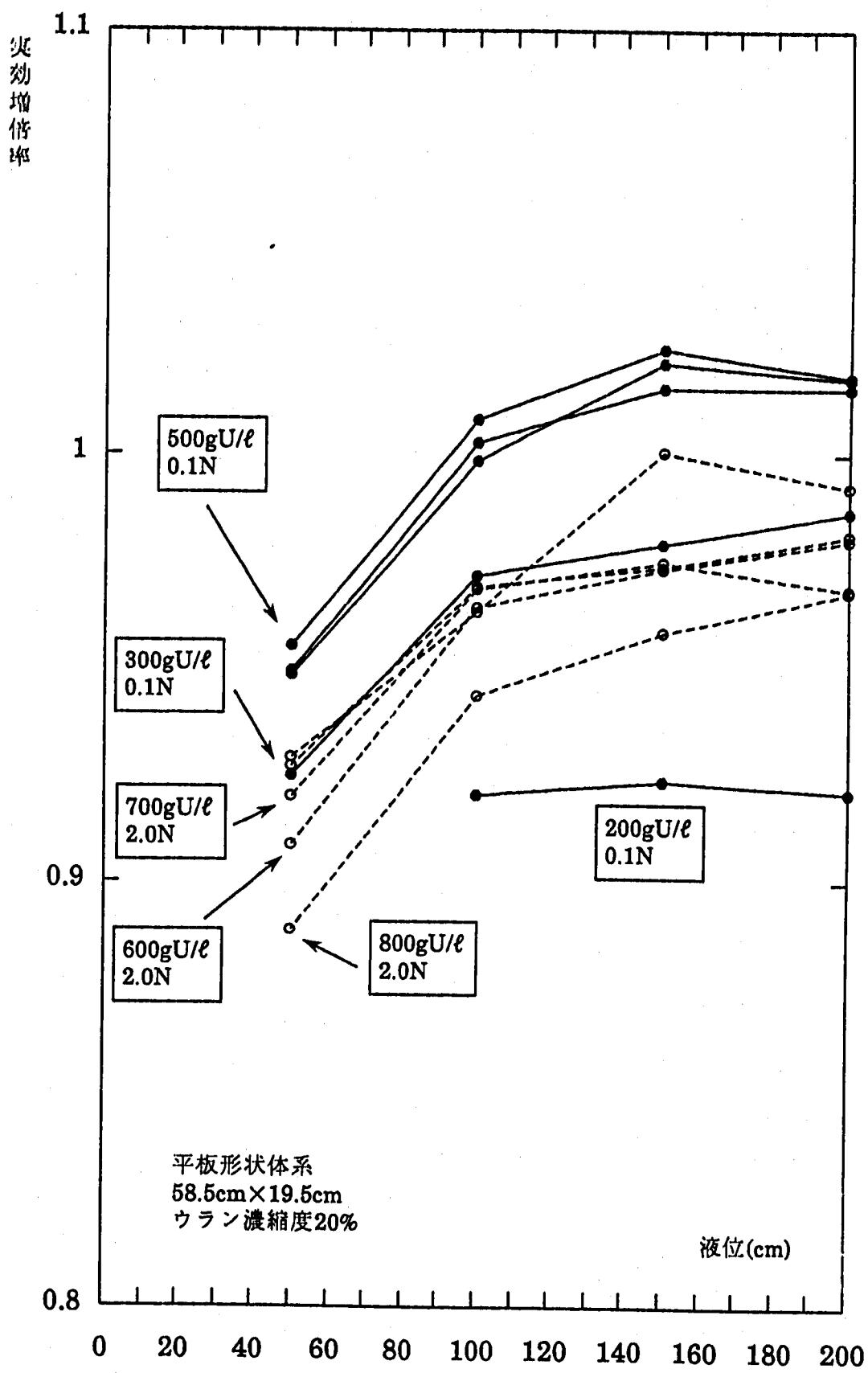




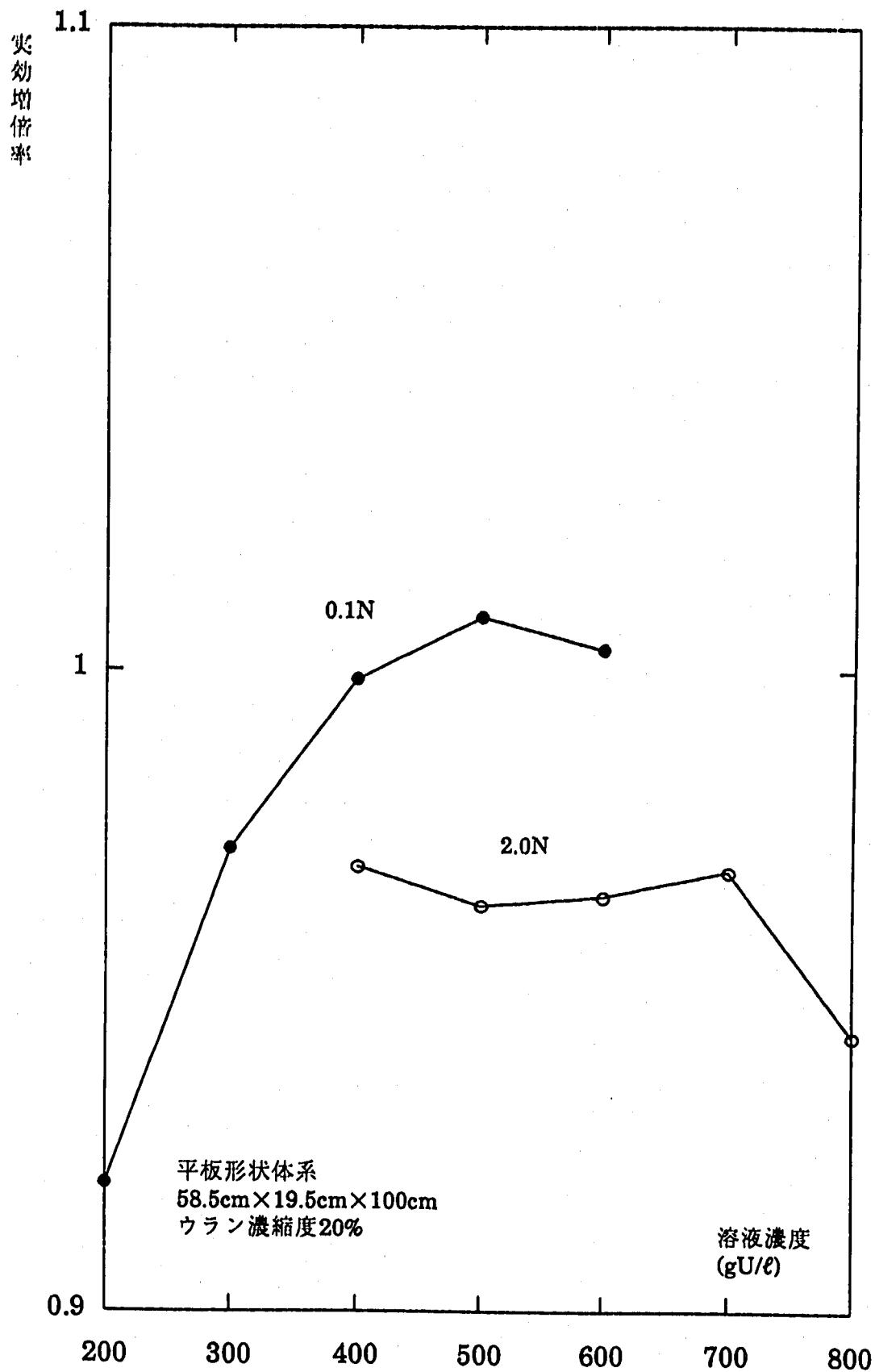
第4-7-2図 硝酸ウラニル溶液による平板形状試験体の実効増倍率
(試験体寸法51.75cm×33.75cm)



第4-8-1図 硝酸ウラニル溶液による平板形状試験体の実効増倍率-A
(試験体寸法58.5cm×19.5cm)



第4-8-2図 硝酸ウラニル溶液による平板形状試験体の実効増倍率-B
(試験体寸法58.5cm×19.5cm)



第4-8-3図 硝酸ウラニル溶液による平板形状試験体の実効増倍率
(溶液濃度依存性)

実効増倍率

1.1

1

0.9

1

2

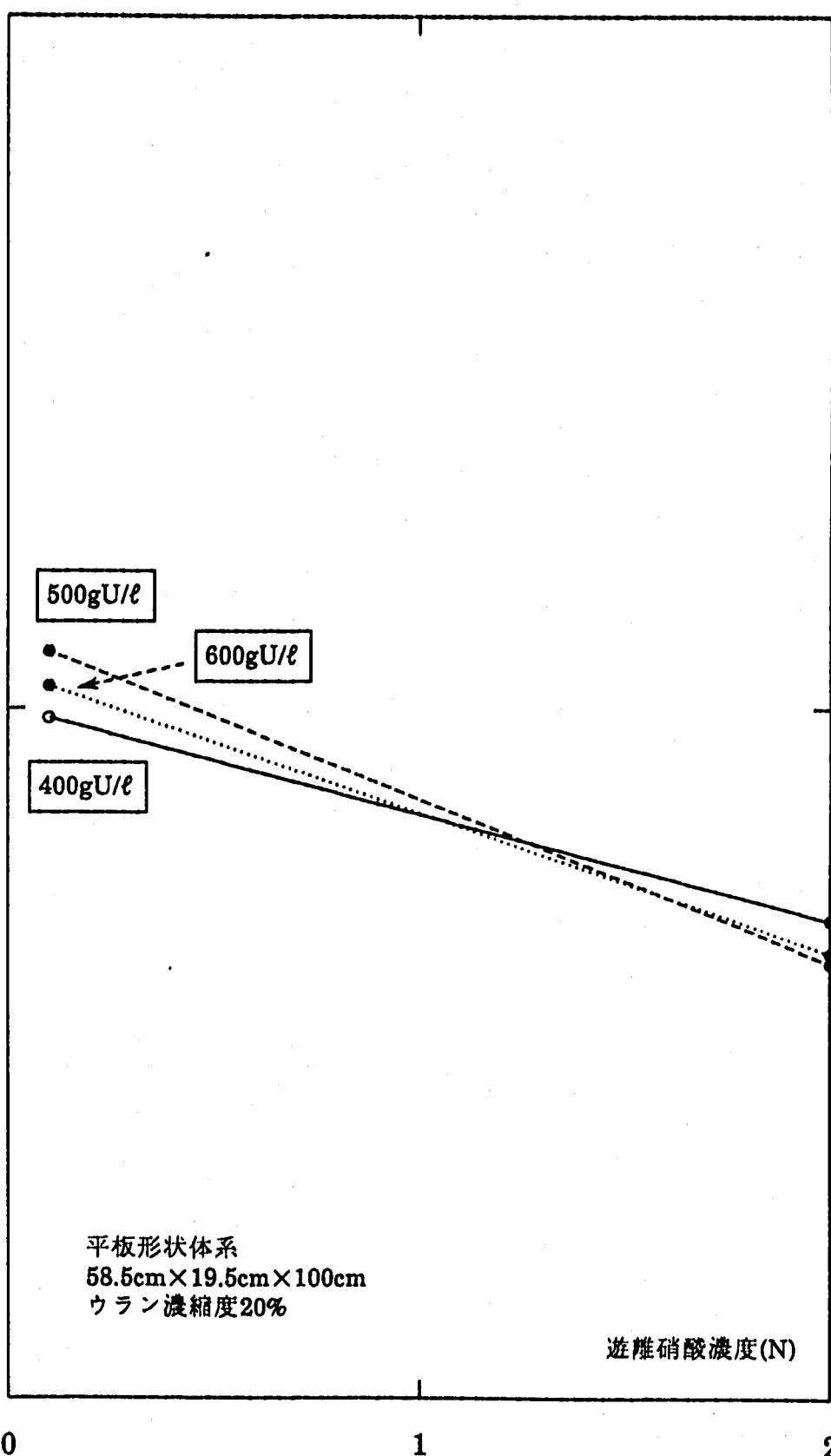
平板形状体系
 $58.5\text{cm} \times 19.5\text{cm} \times 100\text{cm}$
ウラン濃縮度20%

遊離硝酸濃度(N)

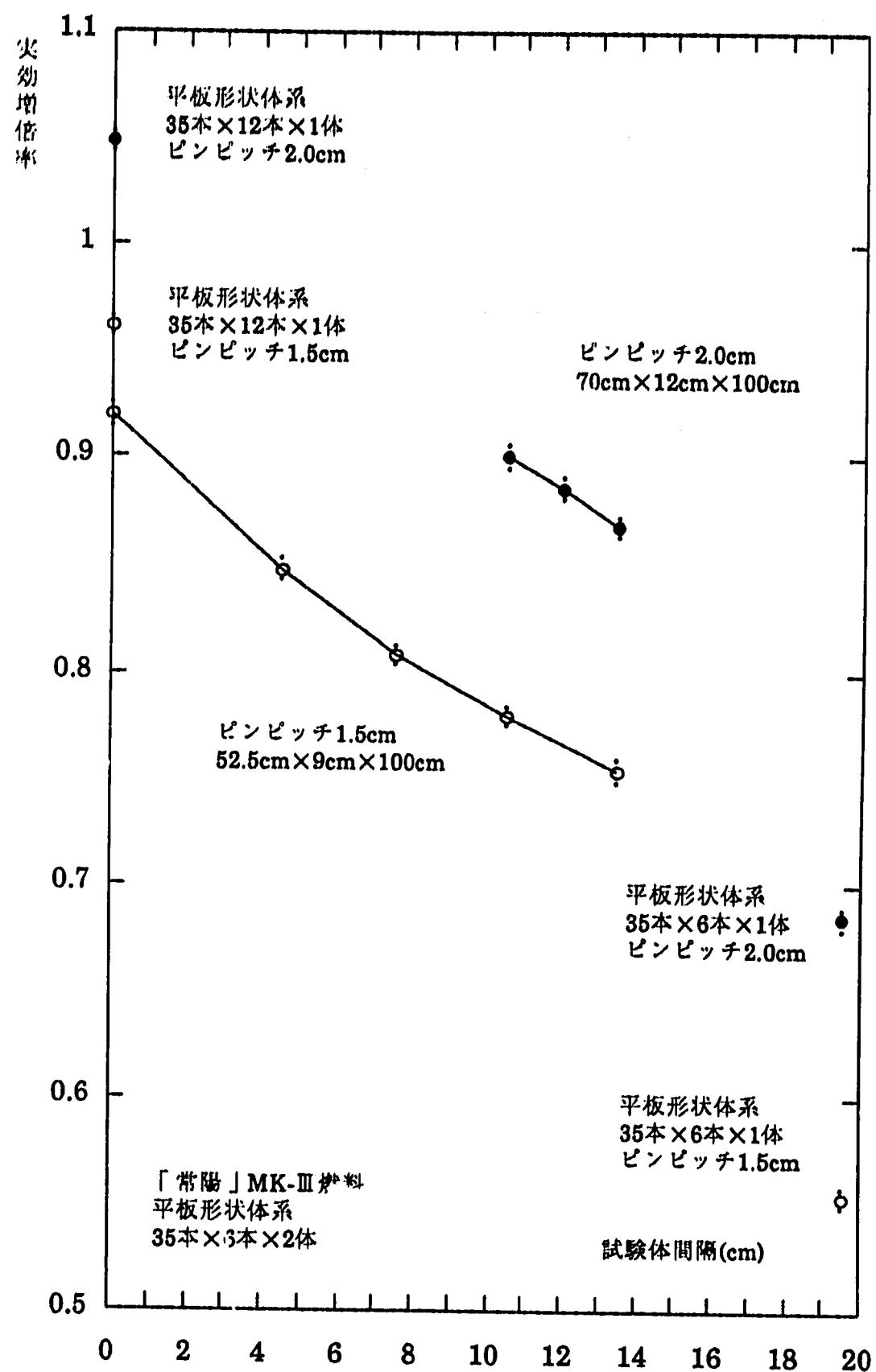
500gU/l

600gU/l

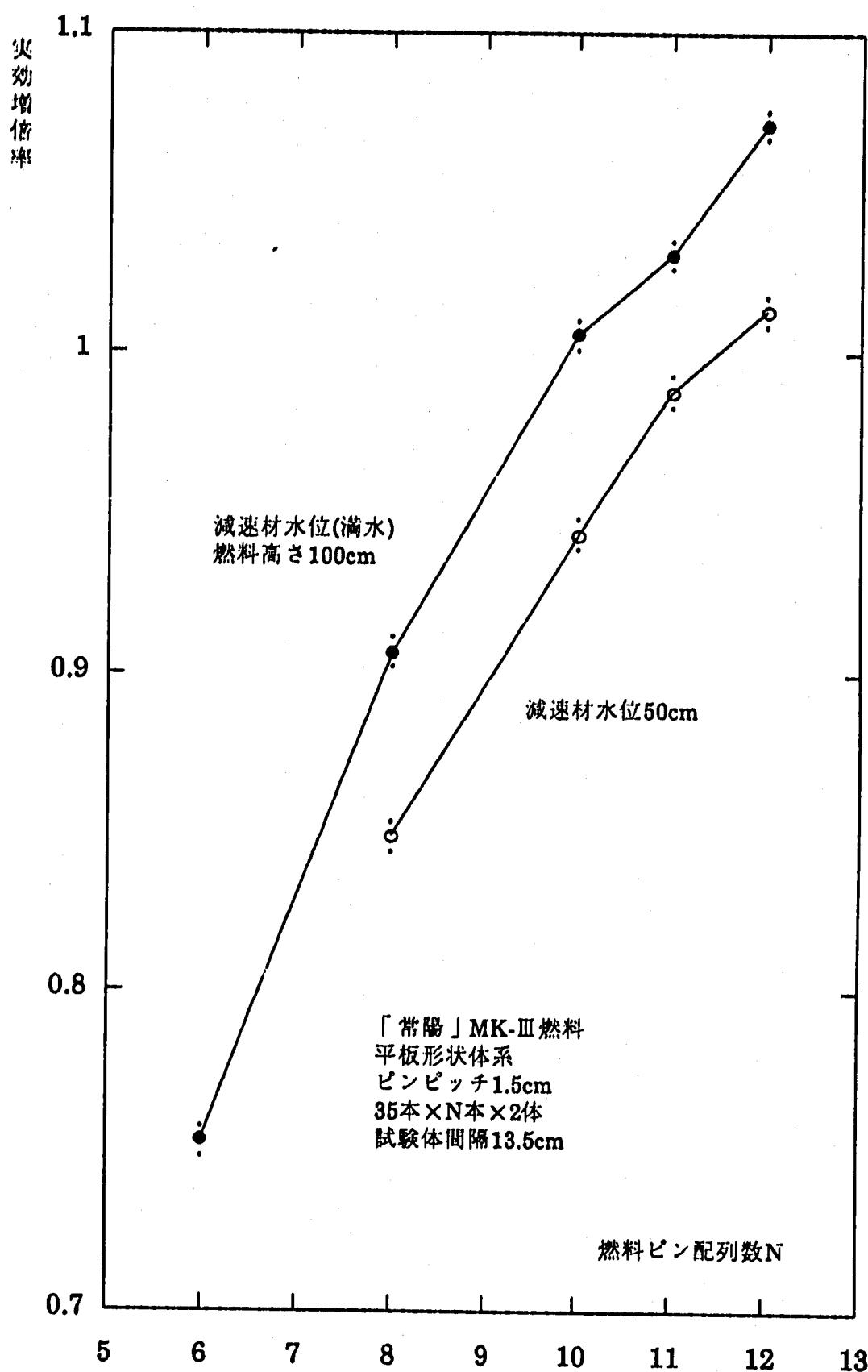
400gU/l



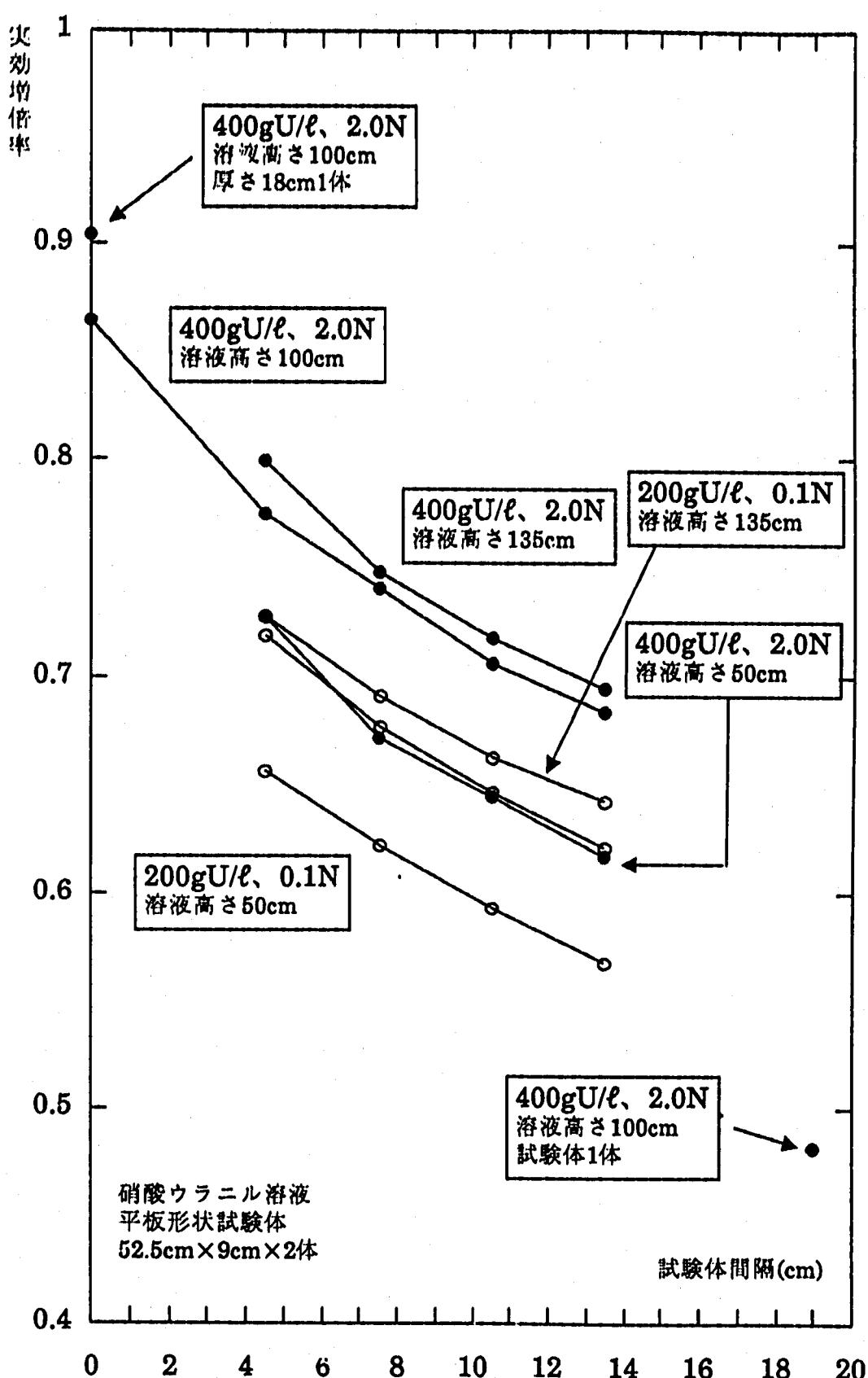
第4-8-4図 硝酸ウラニル溶液による平板形状試験体の実効増倍率
(遊離硝酸濃度依存性)



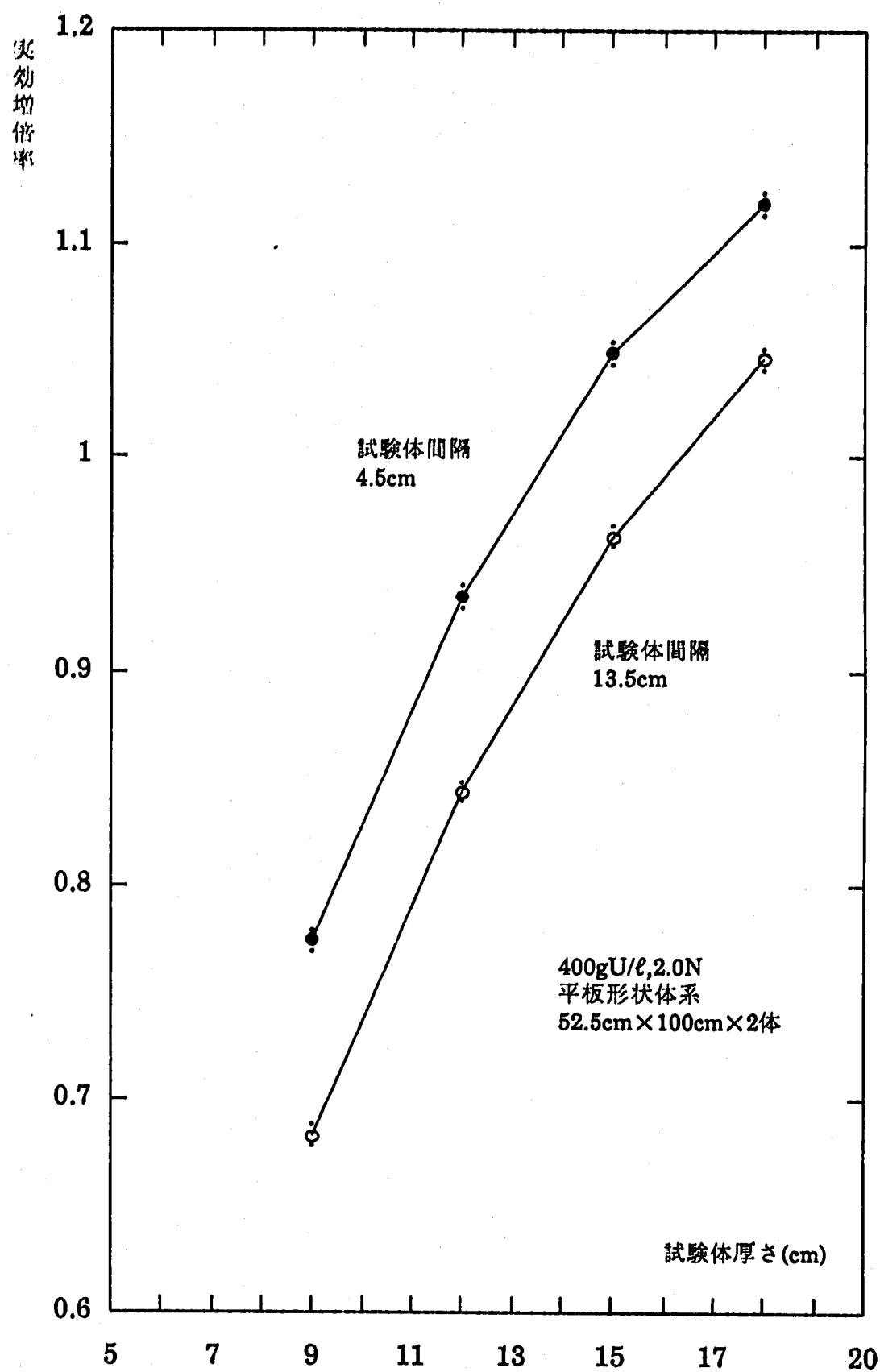
第4-9-1図 高速炉別格の燃料による2体の平板形状試験体の実効増倍率
—試験体間隔依存性—



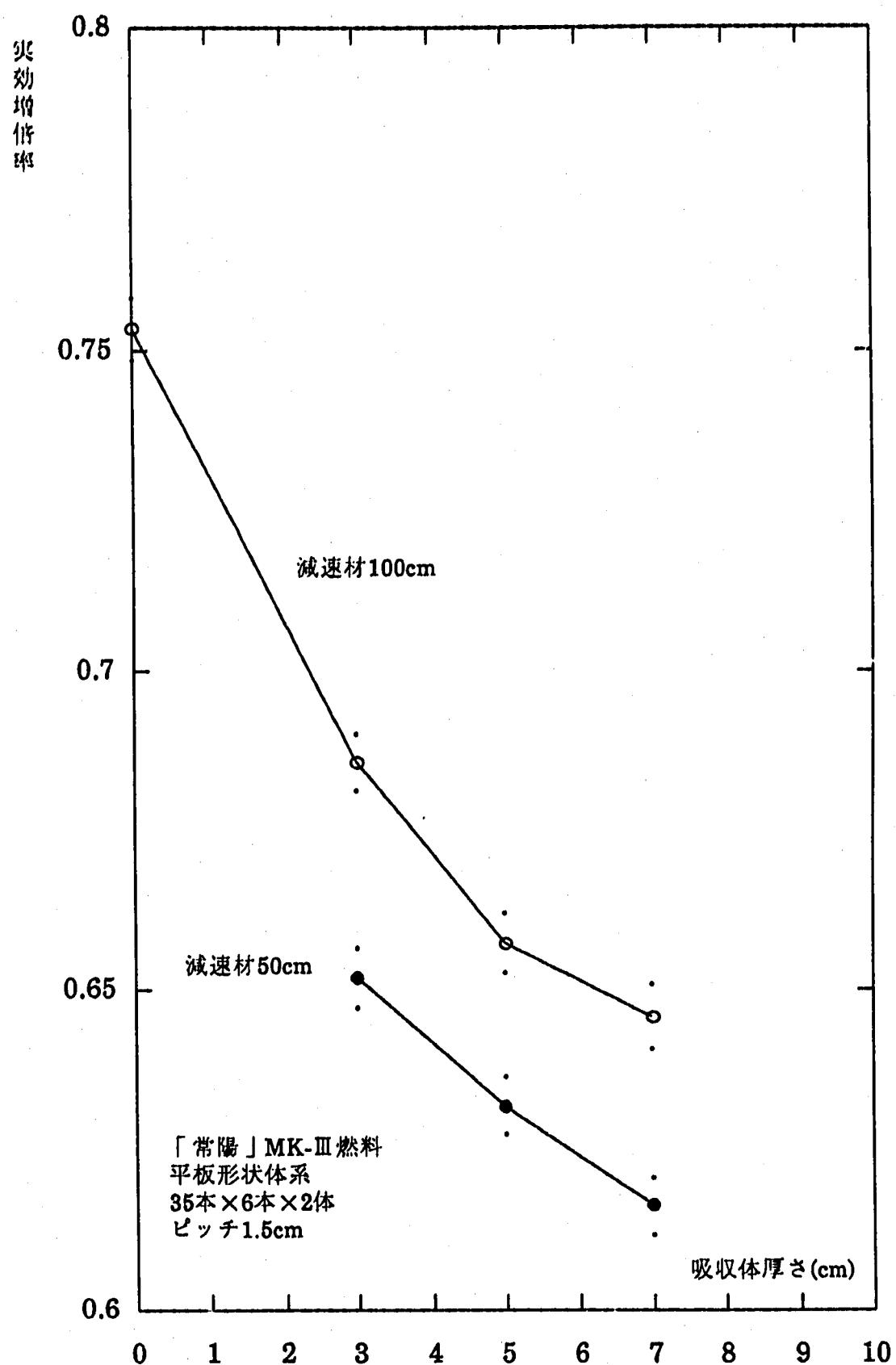
第4-10-1図 高速炉規格の燃料による2体の平板形状試験体の実効増倍率
— 試験体厚さ依存性 —



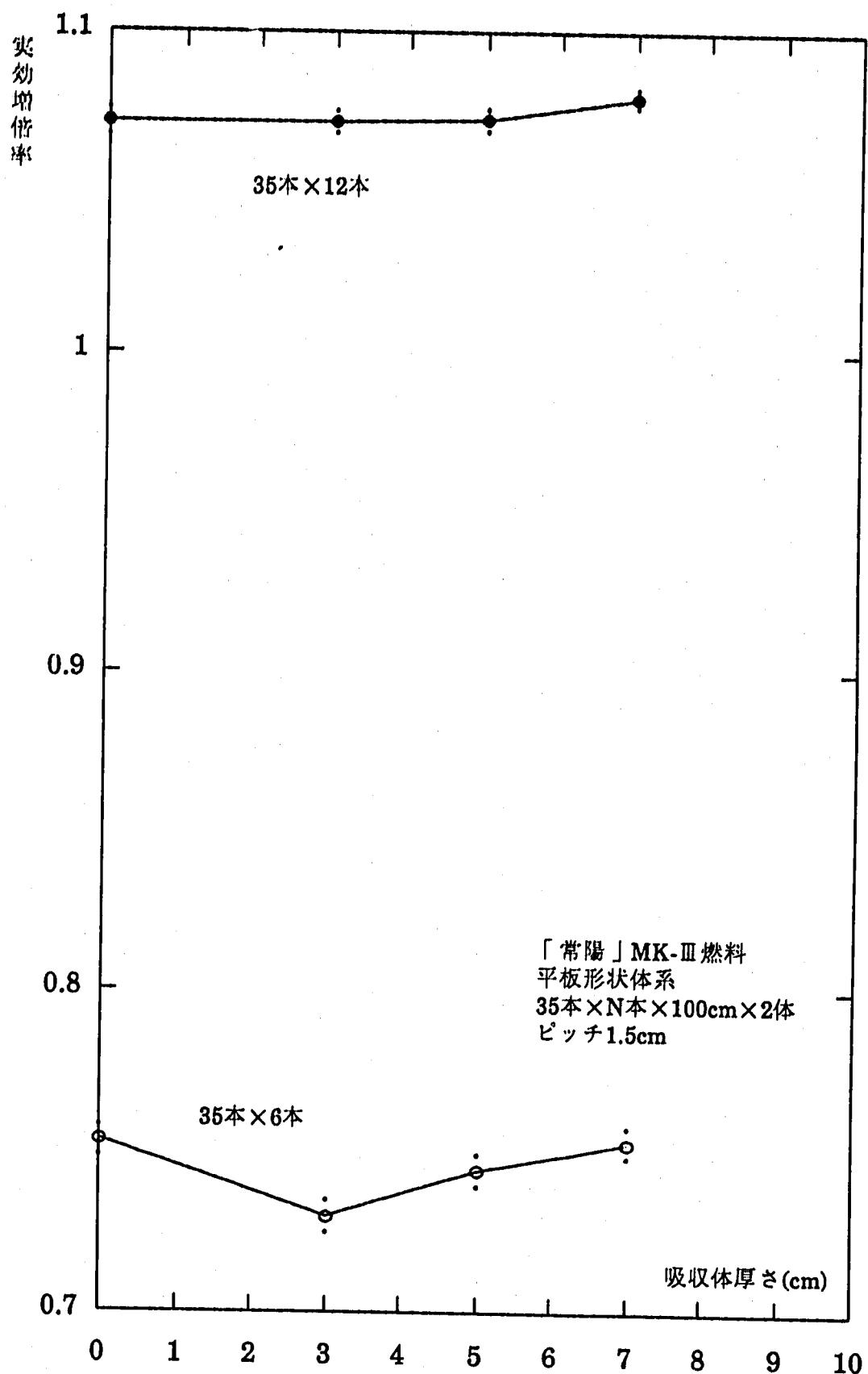
第4-11-1図 硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体の実効増倍率
- 試験体間隔依存性 -



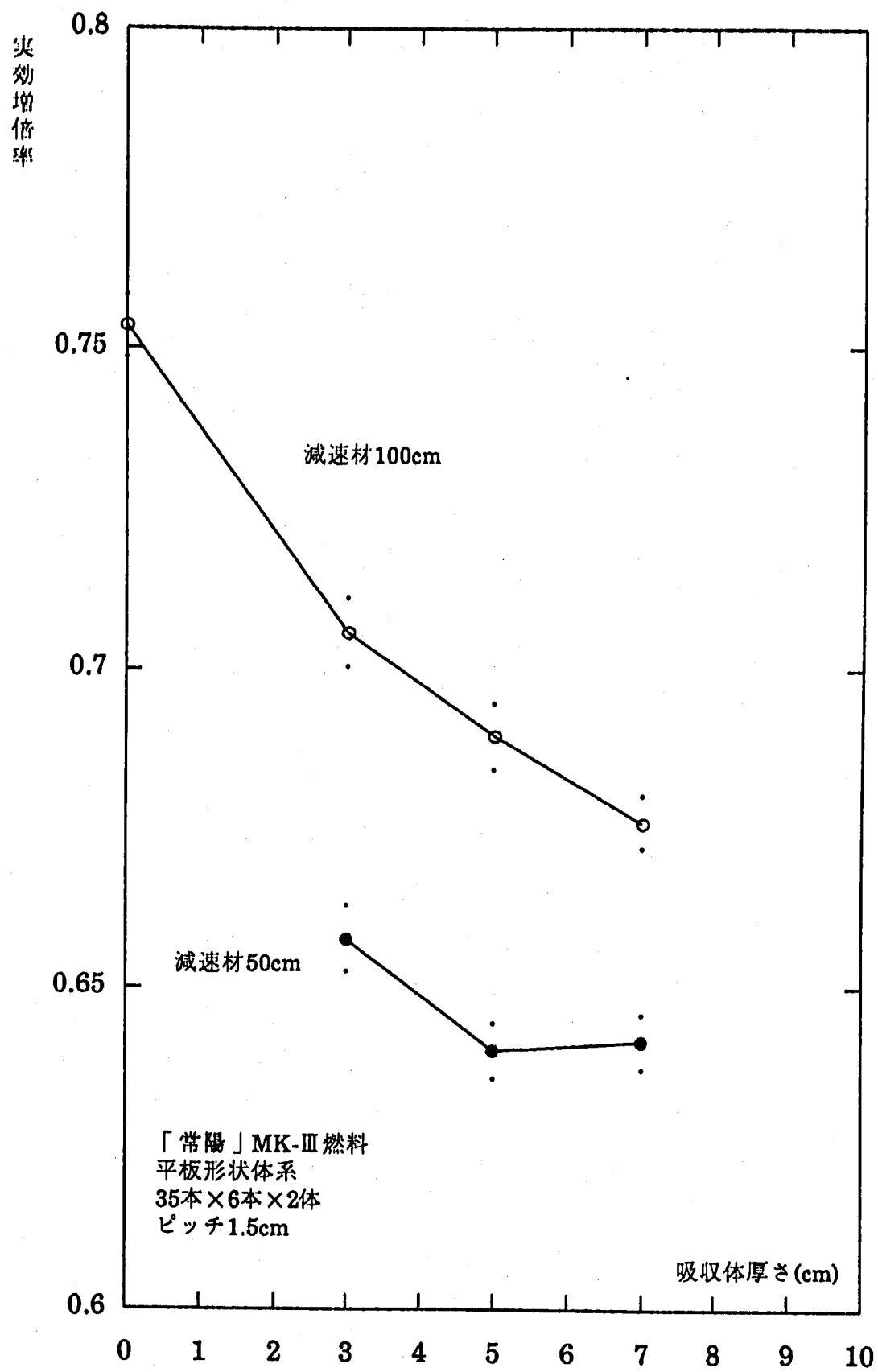
第4-12-1図 硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体の実効増倍率
—試験体厚さ依存性—



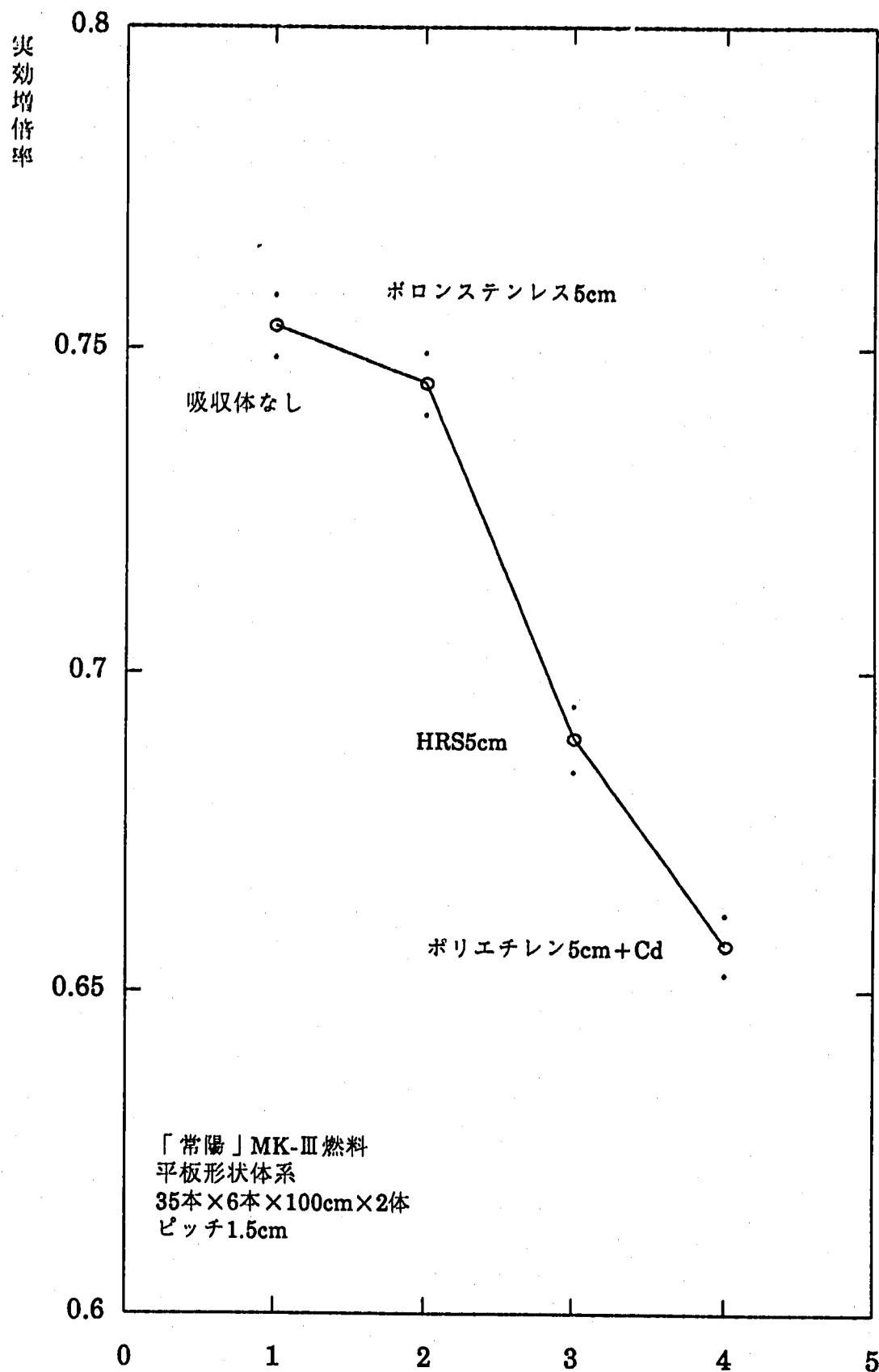
第4-13-1図 高速炉規格燃料による2体の平板形状試験体+ポリエチレン吸収体
-実効増倍率の吸収体厚さ依存性-



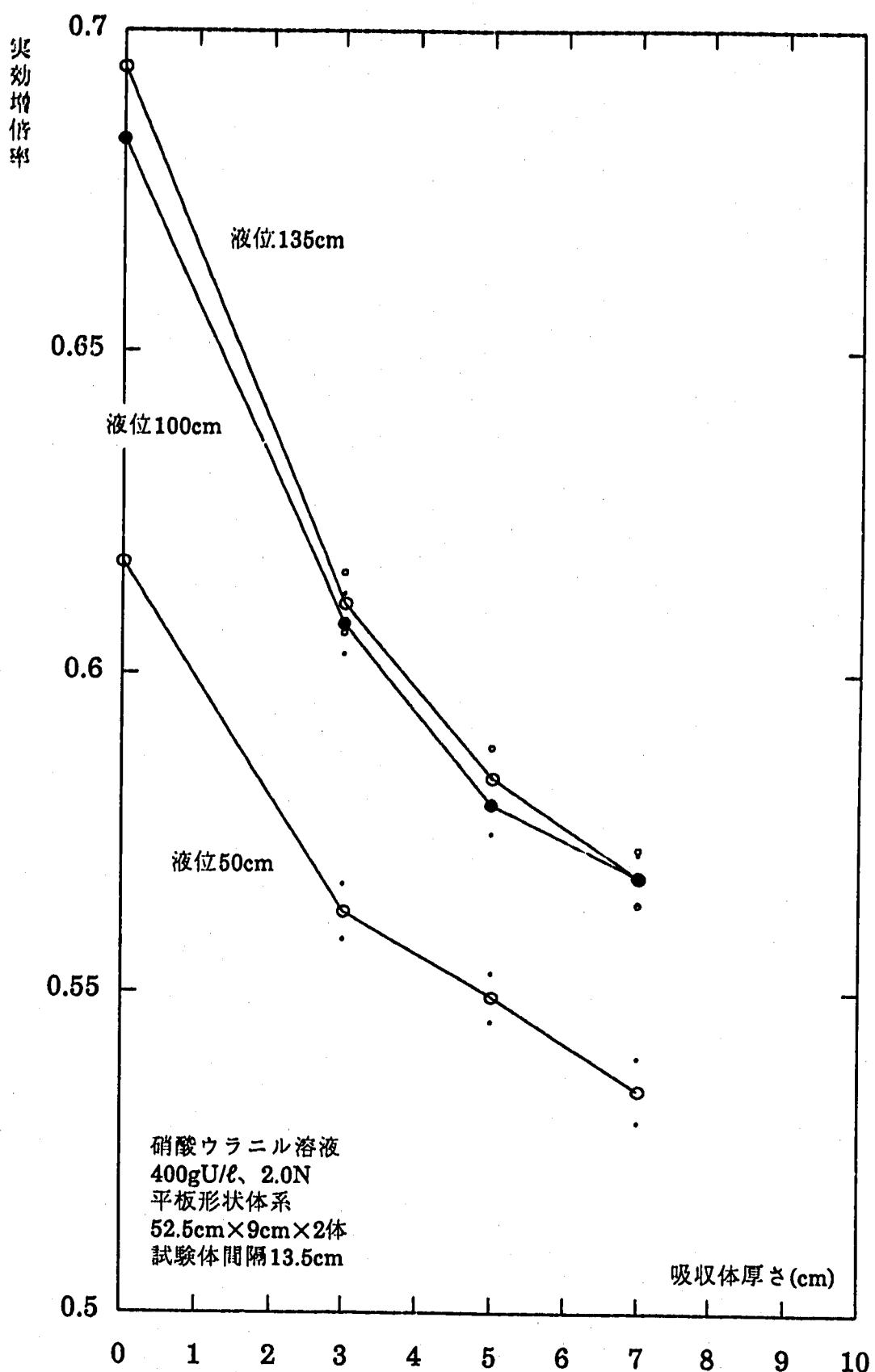
第4-14-1図 高速炉規格燃料による2体の平板形状試験体+ポロンステンレス鋼
- 実効増倍率の吸収体厚さ依存性 -



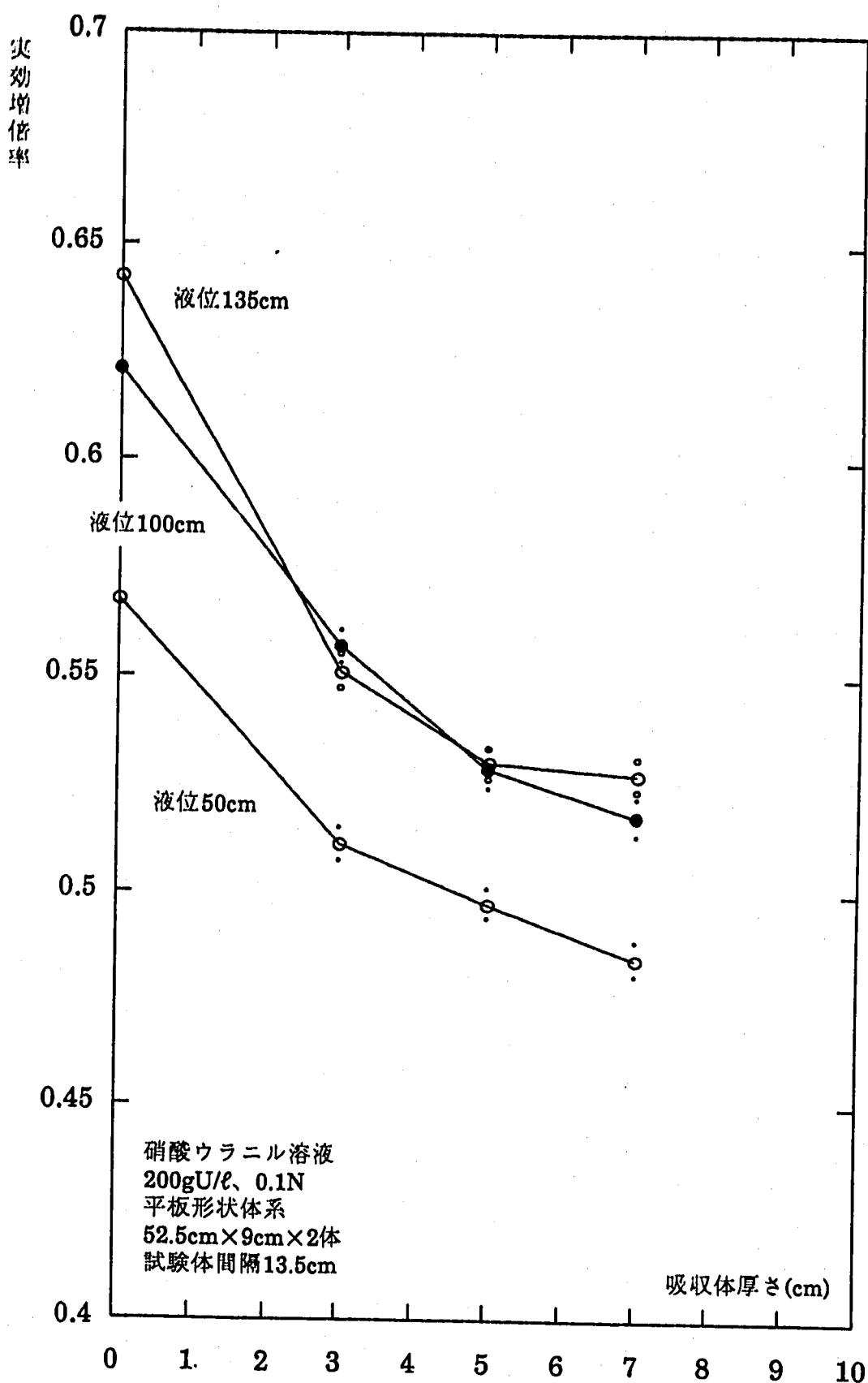
第4-15-1図 高速炉規格燃料による2体の平板形状試験体+HRS吸収体
-実効増倍率の吸収体厚さ依存性-



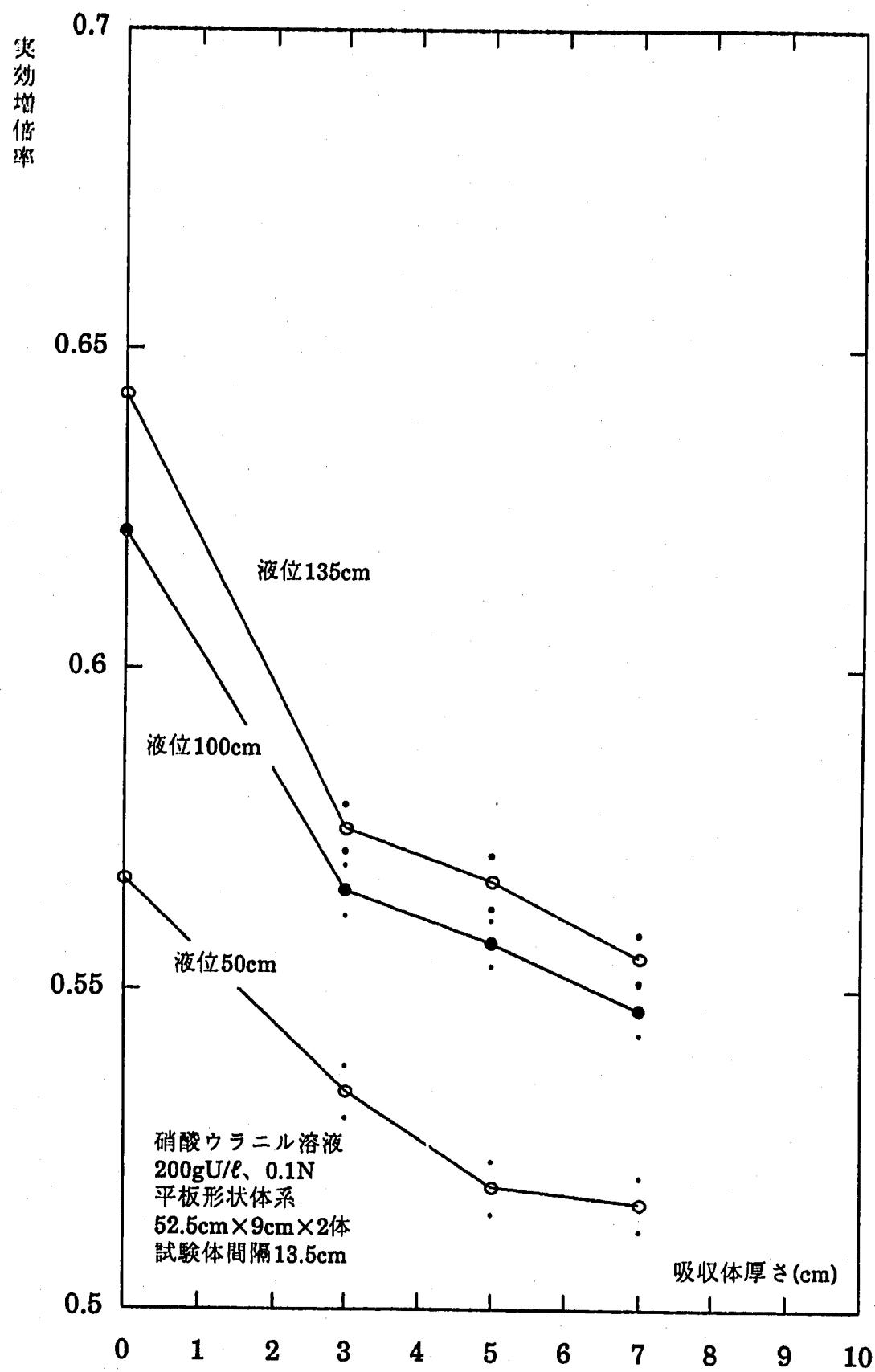
第4-15-2図 高速炉規格燃料による2体の平板形状試験体+吸収体
- 実効増倍率の吸収体種類依存性 -



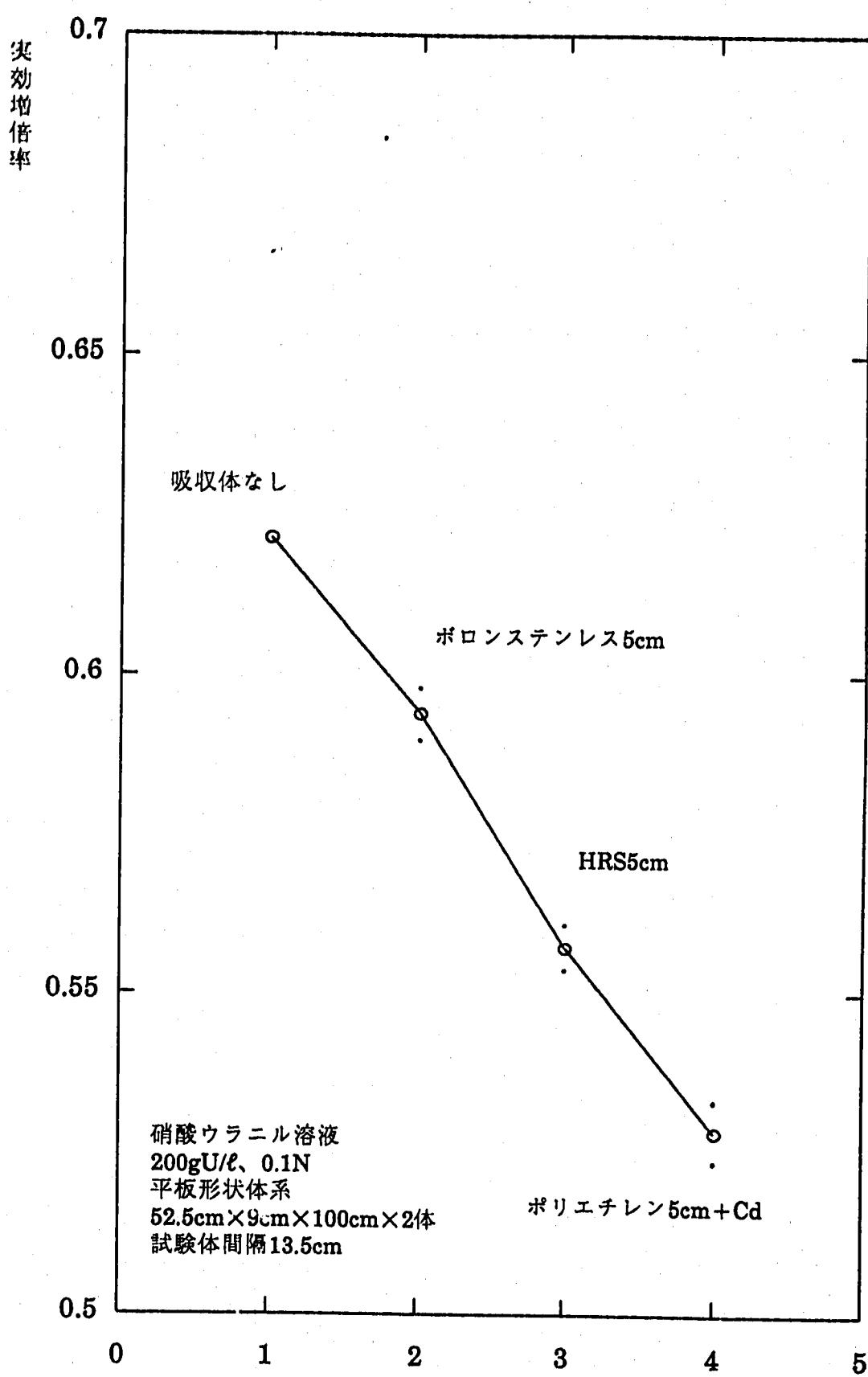
第4-16-1図 硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体+ポリエチレン吸収体
-実効増倍率の吸収体厚さ依存性- (400gU/l、2.0N)



第4-16-2図 硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体+ポリエチレン吸収体
—実効増倍率の吸収体厚さ依存性— (200gU/l、0.1N)



第4-18-1図 硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体+HRS吸収体
—実効増倍率の吸収体厚さ依存性—



第4-18-2図 硝酸ウラニル溶液による2体の平板形状試験体+吸収体
- 実効増倍率の吸収体種類依存性 -

5. 円筒体系実効増倍率

本章では、円筒体系の実効増倍率の評価がまとめられている。未臨界試験体を構成する燃料の構造と種類、および、計算手法が多様であるため、各々の節の表題で評価の内容が識別できる様に配慮されている。尚、一般的に評価は物理的な内容に限定されており、構造的な成立性等には考慮が払われていない。

5.1 新型転換炉燃料、高さ2m

3.1における評価の結果、反応度が最も高いことが示されている2.7%EU燃料のピンについて、直径約20cm、約33cm、約38cmの試験体の実効増倍率を評価した。標記の様に試験体高さは2mとし、減速材は軽水、燃料ピンはピッチ2.1cmで四角格子に配列されているとした。ピッチ2.1cmは無限体系では増倍率が最大となるが、有限体系で最大の実効増倍率を与えるピッチにはなっていない。試験体容器はSUS304として、計算の中に考慮してある。試験体の断面を第5-1-1図～第5-1-3図に示す。

計算はSCALE3.1コードシステムの計算手順CSAS2Xを行った。使用した核定数ライブラリーはコードシステム内蔵のENDF/B-IVによる27群定数である。計算手順CSAS2Xでは、BONAMIおよびNITAWLコードで共鳴断面積の処理を行った後、XSDRNコードで格子計算を行い均質化定数を求め、最後にKENOコードで実効増倍率を計算する。尚、BONAMIコードは、この場合は断面積の転送のみを行う。又、KENOコードの領域データは、四角格子を単位として入力した。

試験体の仕様と計算結果は以下の通りである。

燃料ピン 2.7%EU(新型転換炉規格)

格子ピッチ 2.1cm(四角格子配列)

減速材 軽水

試験体高さ 2m

試験体容器(材質はSUS304)

200A OD=216.3mm ID=199.9mm

350A OD=355.6mm ID=333.4mm

400A OD=406.4mm ID=381.0mm

試験体名称	燃料ピン領域 直径	燃料ピン本数	実効増倍率
200A	~20cm	57本	0.53156±0.00210
350A	~33cm		0.87290±0.00234
400A	~38cm		0.94625±0.00236

臨界工学試験室現有の2.7%濃縮ウラン燃料ピンを用いた場合、直徑約40cmの試験体で高さ2mとすると、実効増倍率は0.946となる。燃料ピン領域直徑を横軸として、実効増倍率の変化が第5-1-4図に示されている。

ブルトニウム富化度約0.54%の新型転換炉燃料を用いて、同様の形態の大きな試験体の実効増倍率を計算した。計算法は上記の2.7%EU燃料の場合と同様である。

試験体の仕様と計算結果は以下の通りである。ピッチ1.8cmの場合の試験体の断面を第5-1-5図に示す。

燃料ピン 5S(新型転換炉規格)
 格子ピッチ 1.8~2.25cm(四角格子配列)
 減速材 軽水
 試験体高さ 2m
 試験体容器(材質はSUS304)

650A OD=660.4mm ID=622.6mm

格子ピッチ	燃料ピン領域直徑	燃料ピン本数	実効増倍率
1.80cm	~62cm	869本	0.82206±0.00176
2.00cm	~62cm	693本	0.92840±0.00211
2.25cm	~62cm	553本	0.97326±0.00180

3.1の評価では、5S燃料ピンの無限増倍率は格子ピッチ2.3cmで最大となる。評価した格子ピッチからは、有限体系で最大の実効増倍率を与えるピッチが明らかにできないが、格子ピッチの選択によって、実効増倍率に大きな差が生ずることが判る。5S燃料ピンを用いることによって、最大0.97程度の実効増倍率を持つ未臨界試験体が実現できる。格子ピッチを横軸として、実効増倍率の変化が第5-1-6図に示されている。

5.2 高速炉燃料、高さ1m & 1.5m

3.2で無限増倍率が評価された「常陽」MK-I燃料を用いて、円筒形の試験体を構成した場合の実効増倍率を評価した。

格子ピッチは、無限増倍率が最大となる1.5cmとし、試験体高さは1mまたは1.5mとした。試験体の直徑は20cmまたは30cmである。減速材は軽水であり、SUS304製の試験体容器を考慮した。「常陽」の燃料ピンは燃料領域の長さが1m弱であり、被覆管はSUS316であるが、ここでは燃料領域が1.5mの場合の評価も行っており、又、被覆管は新型転換炉規格の燃料ピンと同様のジルカロイ-2とした。

計算はSCALE-4コードシステムの計算手順CSAS2Xによって行い、ENDF/B-IVによる27群のライブライバーを使用した。

試験体の仕様と計算結果は以下の通りである。第5-2-1図～第5-2-2図に試験体の断面図が示されている。

燃料ピン 「常陽」 MK-I

(Pu富化度17.7%、ウラン濃縮度23%、高速炉規格)

格子ピッチ 1.5cm

減速材 軽水

試験体高さ 1mまたは2m

試験体容器(材質はジルカロイ-2)

200A OD=216.3mm ID=199.9mm

300A OD=318.5mm ID=297.9mm

試験体名称	燃料ピン領域 直径	実効増倍率	
		試験体高さ 1m	試験体高さ 1.5m
200A	~20cm	0.76106±0.00249	0.76273±0.00297
300A	~30cm	1.03817±0.00267	-

第5-2-3図に実効増倍率が図示されている。試験体高さ1mで十分高い実効増倍率を持つ試験体系が構成できる事、及び、試験体高さを1.5mとしても実効増倍率は高さ1mの場合とほとんど差がない事が判る。

5.3 硝酸ウラニル溶液、高さ1m

硝酸ウラニル溶液を用いて未臨界試験体を構成する場合には、幾何学的な形状の他に、HM(heavy metal)濃度、遊離硝酸濃度、ウラン濃縮度がパラメーターとなる。ここでは、JIS規格の配管寸法で高さ1mの試験体を構成した場合の、実効増倍率のウラン濃縮度依存性を評価し必要なウラン濃縮度を明らかにした後、実効増倍率のHM濃度依存性、遊離硝酸濃度依存性を評価するための計算を実施した。

計算はSCALE3.1コードシステムのBONAMI→NITAWL→KENO-IVによっておこない、ENDF/B-IVによる27群定数を使用した。

試験体の仕様と計算結果は以下の通りである。

硝酸ウラニル溶液

HM濃度 400gU/ℓ

遊離硝酸濃度 0.1N

ウラン濃縮度 5%、20%、40%(重量%)

試験体寸法(高さは1m、材質はSUS304)

650A OD=660.4mm ID=622.6mm 容器厚=18.9mm

300A OD=318.5mm ID=297.9mm 容器厚=10.3mm

200A OD=216.3mm ID=199.9mm 容器厚=8.2mm

(実効増倍率)

試験 体 名称	燃料 領域 直径	U-235濃縮度(重量%)		
		5%	20%	40%
650A	~62cm	0.96411±0.00326	-	-
300A	~30cm	0.68490±0.00332	1.02648±0.00528	1.14459±0.00560
200A	~20cm	0.46748±0.00339	0.73692±0.00577	0.84192±0.00556

第5-3-1図にウラン濃縮度をパラメーターとして実効増倍率の試験体領域直径依存性が、又、第5-3-2図に試験体直径をパラメーターとして実効増倍率のウラン濃縮度依存性が示されている。図に示されている様に、ウラン濃縮度が20%であれば現実的な試験体の大きさで広範囲の実効増倍率が実現できる。

次に、代表的な試験体として試験体大きさ300A、高さ1mでウラン濃縮度20%の場合について、遊離硝酸濃度の実効増倍率に対する効果を評価した。計算手法は上記の計算と同一である。計算結果は以下の通りである。

(実効増倍率の遊離硝酸濃度依存性、300A、1m、20%、400gU/ℓ)

遊離硝酸濃度	実効増倍率
0.1N	1.02648±0.00528
2N	1.00789±0.00522

結果が第5-3-3図に示されている。再処理工程のモデル化としての妥当性、又は、試験体の成立性については検討していないが、遊離硝酸濃度によって実効増倍率はかなり大きく変化することが判る。

実効増倍率のHM濃度依存性についても、同様の場合について計算を行った。結果は以下の通りであり、第5-3-4図に図示されている。

(実効増倍率のHeavy Metal濃度依存性、300A、1m、20%、0.1N)

HM濃度	実効増倍率
200gU/l	0.92966±0.00434
400gU/l	1.02648±0.00528

5.4 試験体容器の材質と厚さ

高速炉規格の「常陽」MK-III燃料ピンを用いて、高さ1mの円筒形状の試験体を構成した場合について、実効増倍率の試験体容器の材質と厚さに対する依存性を評価した。

評価はWIMSコードで格子ピッチ1.4cmの正方格子の均質定数を作成し、650A(外径660.4mm)又は450A(外径457.2mm)相当の容器の外径を一定として容器肉厚を変化させ、内部に均質定数相当の燃料物質を充填した場合について行われている。即ち、所定の内寸法の領域に、全部で何本のピンが挿入可能であるかについては配慮されておらず、容器の端の部分についても仮想的に無駄無く燃料ピン格子が詰まっていることになっている。又、容器の外寸法を一定とした為、容器厚さに対する実効増倍率の依存性には、容器の肉厚の増大に伴って燃料格子領域が小さくなる効果が含まれている。

結果が第5-4-1表にまとめられている。表から明らかなように、試験体容器の材質や厚さが実効増倍率に与える影響は無視できる程度であり、試験体の構造が実効増倍率の観点から制約を受けることはないと言える。但し、所定の試験体を臨界集合体の中に収納し、周辺のドライバー燃料で臨界にする場合には、容器の中性子吸収効果がより大きく影響すると思われ、更に詳細な評価が必要である。

5.5 高速炉燃料、高さ1m、試験体直径と格子ピッチ依存性

「常陽」MK-IIIの燃料ピンを用いて、高さ1mの円筒形状試験体を構成した場合について、燃料ピン格子ピッチと試験体直径の実効増倍率に対する依存性を評価した。

評価した試験体の条件および計算の条件は以下の通りである。

- ・ 燃料を収納する容器は、650A、450Aまたは250A配管相当の外径を持つものとし、容器はSUS304で肉厚はすべて8mmとした。(実効増倍率の評価にはSUS製の容器壁が含まれている。ただし、上下の底面は、燃料格子の領域が直接真空境界条件を満足するとした。) 650Aの外直径は660.4mm、450Aの外直径は457.2mm、250Aの外直径は267.4mmである。
- ・ 燃料格子は正方格子であるとし、格子ピッチは燃料ピンの中心間距離である。所定の格子ピッチに対する格子計算をWIMSコードで行い、得られた定数をTWOTRANコー

ドに入力して実効増倍率を計算した。TWOTRANによる計算はS4、4群で実施されている。

- WIMSで得られた格子定数を、そのまま試験体の燃料格子領域の定数としてTWOTRANコードの計算を行っているため、試験体壁と燃料格子の幾何学的な関係は無視されている。即ち、所定の容器の中に何本の燃料ピンまたは燃料格子が収納できるかは直接計算されていない。計算結果の表中に示された燃料ピン本数に端数があるのは、形式的に燃料領域の面積を格子面積で割った値が示されていることによっている。

第5-5-1表、及び、第5-5-1図に計算結果がまとめられている。格子ピッチ1.4cm程度で、各試験体の実効増倍率は最大となる。但し、未臨界度測定の為の試験体という観点からは、格子ピッチ1.1cmから1.7cmまで変化させた程度では、実効増倍率の変化は大きいとは言えない。格子ピッチを1.7cmから1.1cmにすると、燃料ピン本数は約2.4倍になる。

5.6 新型転換炉燃料、高さ2m、試験体直径と格子ピッチ依存性

臨界工学試験室保有の新型転換炉規格の燃料を用いて、高さ2mの円筒形状試験体を構成した場合について、燃料ピン格子ピッチと試験体直径の実効増倍率に対する依存性を評価した。計算条件は、燃料領域の高さが2mである以外は、5.5で評価した高速炉燃料の場合と同じである。

計算結果が第5-6-1表、及び、第5-6-1図、第5-6-2図にまとめられている。容器の寸法を同一とした場合、8S燃料では格子ピッチ2.4cm~2.7cmで実効増倍率が最大となり、2.7%EU燃料では格子ピッチ2.1cm~2.4cmで実効増倍率が最大となる。各燃料、各容器で格子ピッチを変化させても、実効増倍率に大きな変化が見られない事も、高速炉燃料の場合と同様である。

5.7 試験体高さ(軽水水位)依存性

円筒形状の容器に燃料ピンを収納した試験体について、容器中の軽水水位と実効増倍率の関係を評価した。5.5及び5.6で評価された各試験体と燃料ピンの格子ピッチから、最高水位(新型転換炉規格燃料で2m、高速炉規格燃料で1m)の場合の実効増倍率が概略1.0になる体系を選択し、水位0cmから最高水位までの実効増倍率が計算されている。計算条件や容器等の条件(SUS304、8mm厚)は、5.5、5.6と同様である。

計算結果が第5-7-1表、及び、第5-7-1図に示されている。平板形状の試験体の場合と同様、水位0cmからの水位の上昇に対して実効増倍率の上昇が急激であり、ここで評価された計算例では、最高水位に対して1/4の水位で、実効増倍率は0.8~0.95まで上昇する。即ち、未臨界度測定実験の為の試験体として、極端に偏平な試験体は不適切である事を考慮すると、実効増倍率0.5~0.99程度までの試験体を、单一の直径と格子ピッチの試験体の水位を調整することによって実現するのは、非常に困難であることが判る。

5.8 円環形状試験体(中央部は軽水)

核燃料物質が円環状に配置された試験体の実効増倍率を評価した。ここでは、機械的に最も実現が容易な試験体として、円筒形状の試験体の中央部の燃料ピンを順次抜いていく方法を想定した。従ってここで評価した体系は、中央部が空洞である円環状タンクを模擬した試験体ではなく、中央部には軽水が充填された体系となっている。試験体外直径はすべて660.4mm(650A相当)であり、8mm厚のSUS304製容器が仮定されている。格子状に配列された燃料ピンを順次抜いていくので、燃料ピン領域内側には容器または隔壁は不要であるとした。

計算結果が第5-8-1表と第5-8-1図にまとめられている。試験体高さは、「常陽」MK-III燃料を用いた場合は1m、8S又は2.7%EUの新型転換炉燃料を用いた場合は2mである。燃料ピン格子ピッチは各々実効増倍率が最大となる最適ピッチとなっている。

参考として、中央部に軽水領域がある場合の、臨界計算による中性子束分布を第5-8-2図と第5-8-3図に示す。ともに「常陽」MK-III燃料を使用した試験体の計算結果であり、第5-8-2図は中央部軽水領域直径15cm、第5-8-3図は中央部軽水領域直径40cmの場合の中性子束分布である。前述の様に、両図に示された中性子束分布は臨界計算の結果であり、外部中性子源を含む計算の結果ではない事に留意する必要がある。

5.9 円環形状試験体、水位依存性(中央部は軽水)

前節5.8で評価した円環形状試験体の中から数例を選択し、実効増倍率の軽水水位依存性を評価した。円筒形状の試験体の中央部の燃料ピンを抜き取って円環状とする事が想定されている為、円環の中央部は軽水が充填されており、パラメーターとなっている水位は、中央部の軽水部分でも燃料領域と同じ値となっている。

第5-9-1表に計算結果がまとめられている。最高水位で実効増倍率が1.0近傍となる体系が選ばれているので、5.7で評価した円筒形状試験体の場合と同様、最高水位の1/4で実効増倍率は0.8~0.9となる事が示されている。

5.10 円環形状試験体、試験体高さ及び円環内径依存性

「常陽」MK-III燃料ピンを使用し、軽水を減速材とする円環形状の試験体の実効増倍率を評価した。

「常陽」MK-III燃料ピンの最適ピッチ(無限増倍率が最大)である1.4cm間隔(正方格子)に燃料ピンが配列された領域が、円環を形成しているとした。円環外径は66cmで一定とし、試験体高さと円環内径をパラメーターとして評価した。円環の外周は8mm厚のSUS304(SUS304の外側の直径が66cm)としたが、円環の内周壁は計算には考慮されていない。円環内部(円柱の中心軸を含む領域)は、空洞又は軽水が充填されているとした。尚、計算手順としてはWIMSコードで作成した燃料領域の均質化定数を円環領域の定数として使用した為、燃料領域の外端と内端に生ずる軽水領域(格子に含まれない領域)は考慮されていない。即ち、実際に製作可能な試験体とは若干の矛盾がある。

計算体系に空洞部領域が含まれる為、2次元体系ではあるが拡散コードによる評価が不可能であり、本節の計算には2次元輸送コードTWOTRANを使用した。前述の様に、TWOTRANに入力する群定数はWIMSコードで作成した。付属の69群ライブラリーを縮約し、14群でセル計算を行い、更に、4群に縮約してTWOTRAN用の定数とした。WIMSコードで作成された為、群定数はP-0近似、TWOTRANコードにおける角度分点はS-4とした。

第5-10-1表と第5-10-1図に実効増倍率の計算結果がまとめられている。尚、試験体高さ1mで中心領域が軽水の計算値は5.8にも記載されており重複している。計算結果には、円環中心領域(中心軸を含む領域)の媒質が軽水又は空洞で、中央部領域上下端からの中性子の漏洩、中央部領域の軽水による吸収、中央部領域の軽水による中性子の反射の効果の大小によって、実効増倍率の大小関係が変化する事が示されている。

中央部領域の直径が40cmで試験体高さが100cmの場合を考察する。中央部領域の直径に対して試験体高さが充分高い為に、中央部領域が空洞の場合、円環内面から中央部領域に漏洩した中性子は大部分円環領域(燃料ピンを含む領域)に再入射する。中央部領域に軽水が充填されていると、軽水の吸収で中性子の燃料領域への再入射がさえぎられ、実効増倍率は、中央部が空洞の場合と比較して小さくなる。

試験体高さが25cmの場合は、中央部領域が空洞である場合、中性子の中央部領域上下端からの漏洩が大きく、軽水を充填した方が、軽水の中性子に対する反射効果によって実効増倍率が高くなる。

5.11 円筒形状試験体、可溶吸収材濃度依存性

「常陽」MK-Ⅲ燃料、又は、新型転換炉規格の燃料である8S及び2.7%EU燃料を用いて構成された円筒形状の試験体の軽水中に、可溶性の中性子吸収材を混入した場合の実効増倍率を評価した。中性子吸収材としてはB-10及びGdを想定し、最大100ppmまでの濃度依存性を求めた。

第5-11-1表に計算結果がまとめられている。B-10濃度100ppmで実効増倍率が0.1程度低下する。尚、新型転換炉「ふげん」の運転におけるB-10濃度は6ppm以下程度、再処理施設で臨界安全の為に溶液に混入されるB-10濃度は0.7gr/l(比重1.0を仮定すると700ppm)程度である。

第5-4-1表 試験体容器の材質と厚さの影響
(高速炉燃料、円筒形状)

試験体容器 外径	試験体容器 材質	試験体容器 板厚	実効増倍率
660.4mm (650A配管相当)	Al	25mm	1.3106
		20mm	1.3137
		15mm	1.3167
660.4mm (650A配管相当)	SUS	8.7mm	1.3253
		7.9mm	1.3253
		7.1mm	1.3254
660.4mm (650A配管相当)	Zr	8.0mm	1.3228
		6.0mm	1.3234
		4.0mm	1.3239
457.2mm (450A配管相当)	Al	20mm	1.1790
		15mm	1.1863
		12mm	1.1904

「常陽」MK-III燃料、格子ピッチ1.4cm
試験体高さ 1m

第5-5-1表 試験体直径と格子ピッチ依存性
(高速炉燃料、円筒形状)

試験体容器 外直径(mm)	試験体容器 内直径(mm)	格子ピッチ (cm)	燃料ピン 本数	実効増倍率
660.4mm (650A配管相当)	644.4	1.1	2695.4	1.2920
		1.4	1664.0	1.3248
		1.7	1128.5	1.3056
457.2 (450A配管相当)	441.2	1.1	1263.5	1.1743
		1.4	780.0	1.2043
		1.7	529.0	1.1853
267.4 (250A配管相当)	251.4	1.1	410.2	0.9014
		1.4	253.3	0.9224
		1.7	171.8	0.9025

- ・「常陽」MK-III燃料
- ・格子は正方格子、格子ピッチは正方格子の燃料ピン中心間距離
- ・試験体高さ 1m
- ・試験体容器材質 SUS304
- ・試験体容器厚さ 8mm
(試験体容器の底面と上面は評価上無視されている。)
- ・燃料ピン本数は試験体容器内の面積を燃料格子面積で除した値。その為に端数が生じる。

第5-6-1表 試験体直径と格子ピッチ依存性
(新型転換炉燃料、円筒形状)

燃料	試験体容器 外直径(mm)	試験体容器 内直径 (mm)	格子ピッチ (cm)	燃料ピン 本数	実効増倍率
8S	660.4mm (650A配管相当)	644.4	2.1	739.5	1.0404
			2.4	566.2	1.0770
			2.7	447.4	1.0636
			3.0	362.4	1.0254
	457.2 (450A配管相当)	441.2	2.1	346.7	0.9049
			2.4	265.4	0.9470
			2.7	209.7	0.9401
			3.0	169.9	0.9087
	267.4 (250A配管相当)	251.4	2.1	112.6	0.6159
			2.4	86.2	0.6606
			2.7	68.1	0.6632
			3.0	55.2	0.6443
2.7% EU	660.4mm (650A配管相当)	644.4	1.8	1006.6	1.1289
			2.1	739.5	1.1747
			2.4	566.2	1.1575
			2.7	447.4	1.1115
	457.2 (450A配管相当)	441.2	1.8	471.9	0.9788
			2.1	346.7	1.0327
			2.4	265.4	1.0238
			2.7	209.7	0.9861
	267.4 (250A配管相当)	251.4	1.8	153.2	0.6607
			2.1	112.6	0.7207
			2.4	86.2	0.7240
			2.7	68.1	0.7012

- ・ 臨界工学試験室保有の新型転換炉規格燃料
- ・ 格子は正方格子、格子ピッチは正方格子の燃料ピン中心間距離
- ・ 試験体高さ 2m
- ・ 試験体容器材質 SUS304
- ・ 試験体容器厚さ 8mm
(試験体容器の底面と上面は評価上無視されている。)
- ・ 燃料ピン本数は試験体容器内の面積を燃料格子面積で除した値。その為に端数が生じる。

第5-7-1表

試験体高さ依存性
 (新型転換炉燃料および高速炉燃料、円筒形状)

燃料	試験体サイズ	格子ピッチ	水位(cm)	実効増倍率
8S	650A 外直径660.4mm 燃料ピン本数 362.4本	3.0cm	0 50 100 150 200	0.1111 0.9492 1.0040 1.0176 1.0254
2.7%EU	450A 外直径457.2mm 燃料ピン本数 209.7本	2.7cm	0 50 100 150 200	0.0827 0.9099 0.9600 0.9727 0.9861
「常陽」 MK-III	250A 外直径267.4mm 燃料ピン本数 253.3本	1.4cm	0 25 50 75 100	0.0727 0.7755 0.8821 0.9103 0.9224

第5-8-1表 円環形状試験体
(中央部は軽水、中央軽水領域直徑依存性)

試験体条件	内側軽水領域 直徑(mm)	実効増倍率
「常陽」MK-III燃料 試験体外直徑660.4mm(650A) 試験体容器SUS304、8mm厚 格子ピッチ1.4cm 高さ1m	0 50 100 150 200 250 300 350 400	1.3248 1.3219 1.3012 1.2663 1.2244 1.1780 1.1232 1.0608 0.9813
新型転換炉規格8S 試験体外直徑660.4mm(650A) 試験体容器SUS304、8mm厚 格子ピッチ2.4cm 高さ2m	0 50 100 150 200 250	1.0770 1.0746 1.0520 1.0149 0.9712 0.9233
新型転換炉規格8S2.7%EU 試験体外直徑660.4mm(650A) 試験体容器SUS304、8mm厚 格子ピッチ2.1cm 高さ2m	0 50 100 150 200 250 300	1.1747 1.1716 1.1466 1.1061 1.0581 1.0059 0.9452

第5-9-1表 円環形状試験体、水位依存性
(中央部は幅水)

試験体条件	内側幅水領域 直径(mm)	水位(cm)	実効 増倍率
「常陽」MK-Ⅲ燃料 試験体外直径660.4mm(650A) 試験体容器SUS304、8mm厚 格子ピッチ1.4cm	350	0	0.1086
		25	0.8828
		50	1.0112
		75	1.0470
		100	1.0608
	400	0	0.0952
		25	0.8199
		50	0.9364
		75	0.9688
		100	0.9813
新型転換炉規格8S 試験体外直径660.4mm(650A) 試験体容器SUS304、8mm厚 格子ピッチ2.4cm	150	0	0.1486
		50	0.9324
		100	0.9946
		150	1.0095
		200	1.0149
	200	0	0.1414
		50	0.8938
		100	0.9526
		150	0.9668
		200	0.9712
新型転換炉規格2.7%EU 試験体外直径660.4mm(650A) 試験体容器SUS304、8mm厚 格子ピッチ2.1cm	250	0	0.1415
		50	0.9264
		100	0.9862
		150	1.0007
		200	1.0059
	300	0	0.1302
		50	0.8738
		100	0.9292
		150	0.9427
		200	0.9452

第5-10-1表 「常陽」MK-Ⅲ燃料による円環形状試験体の実効増倍率

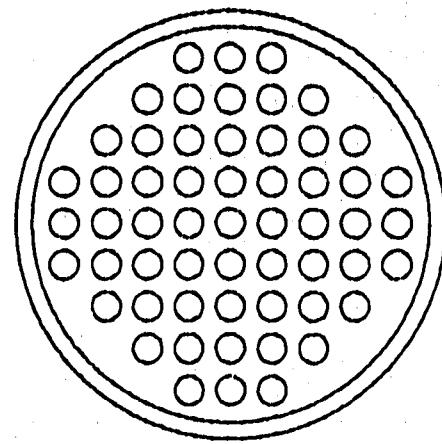
円環内直径 (cm)	試験体高さ 100cm		試験体高さ 75cm		試験体高さ 50cm		試験体高さ 40cm		試験体高さ 25cm	
	中心領域 軽水	中心領域 空洞	中心領域 軽水	中心領域 空洞	中心領域 軽水	中心領域 空洞	中心領域 軽水	中心領域 空洞	中心領域 軽水	中心領域 空洞
0	1.3248	1.3248	1.3053	1.3053	1.2555	1.2555	1.2124	1.2124	1.0713	1.0713
5	1.3219	1.3208								
10	1.3012	1.3076	1.2816	1.2847	1.2327	1.2299	1.1903	1.1842	1.0511	1.0397
15	1.2663	1.2864								
20	1.2244	1.2567	1.2063	1.2283	1.1612	1.1674	1.1219	1.1200	0.9922	0.9765
25	1.1780	1.2183								
30	1.1232	1.1686	1.1074	1.1347	1.0673	1.0685	1.0322	1.0201	0.9157	0.8814
35	1.0608	1.1041								
40	0.9813	1.0168	0.9681	0.9770	0.9346	0.9063	0.9051	0.8584	0.8061	0.7322

格子ピッチ1.4cm(正方格子)

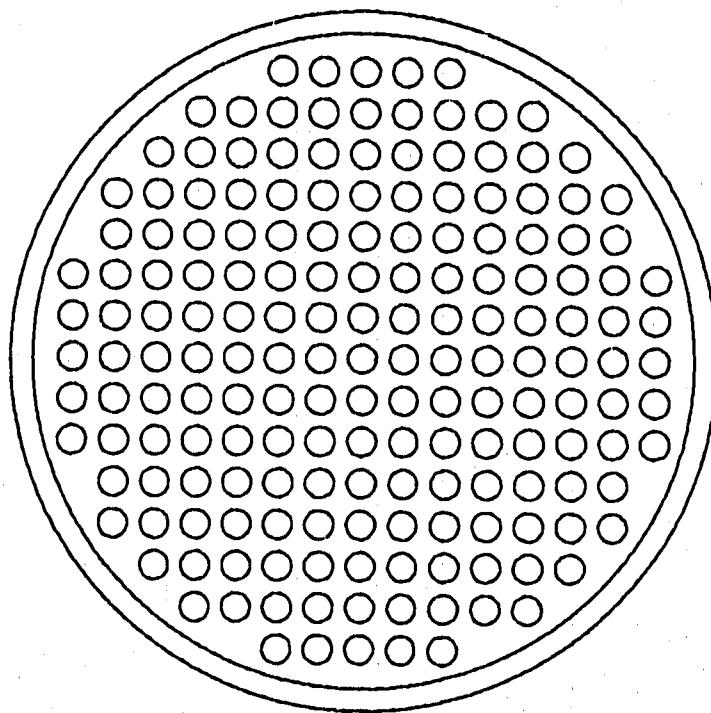
試験体外直径66cm

第5-11-1表 円筒形状試験体、可溶吸收材濃度依存性

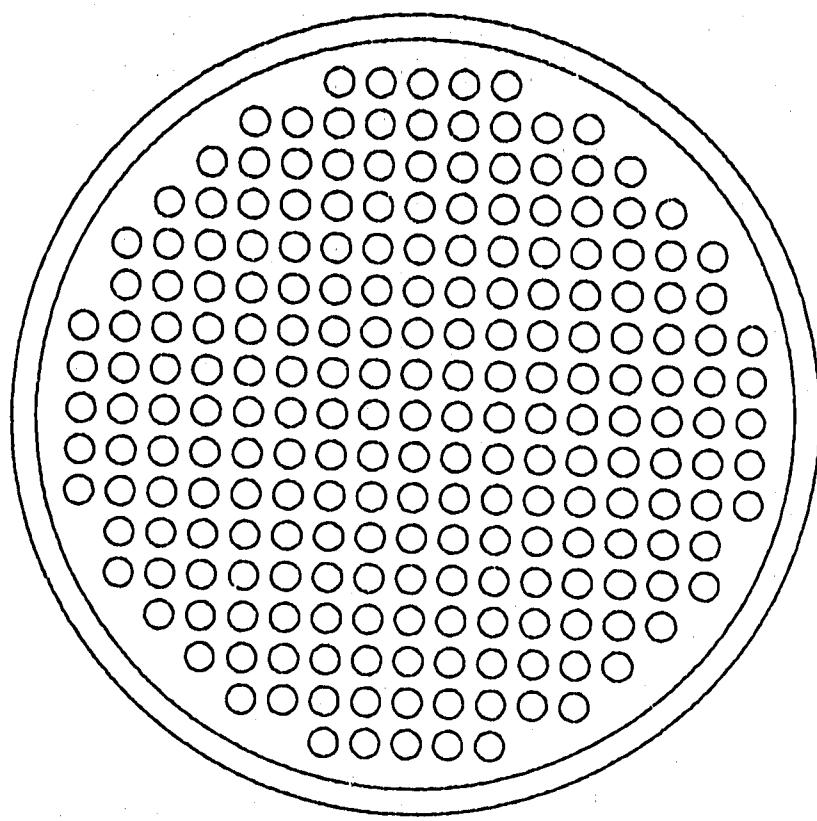
試験体条件	可溶吸收材	濃度(ppm)	実効増倍率
「常陽」MK-Ⅲ燃料 試験体外直径660.4mm(650A) 試験体容器SUS304、8mm厚 格子ピッチ1.4cm 高さ1m	B-10	0	1.3248
		25	1.3009
		50	1.2776
	Gd	100	1.2340
		25	1.3116
		50	1.2981
新型転換炉規格8S 試験体外直径660.4mm(650A) 試験体容器SUS304、8mm厚 格子ピッチ2.4cm 高さ2m	B-10	0	1.0770
		25	1.0468
		50	1.0173
	Gd	100	0.9643
		50	1.0409
		100	1.0061
新型転換炉規格2.7%EU 試験体外直径660.4mm(650A) 試験体容器SUS304、8mm厚 格子ピッチ2.1cm 高さ2m	B-10	0	1.1747
		25	1.1427
		50	1.1112
	Gd	100	1.0539
		25	1.1561
		50	1.1369
		100	1.1012



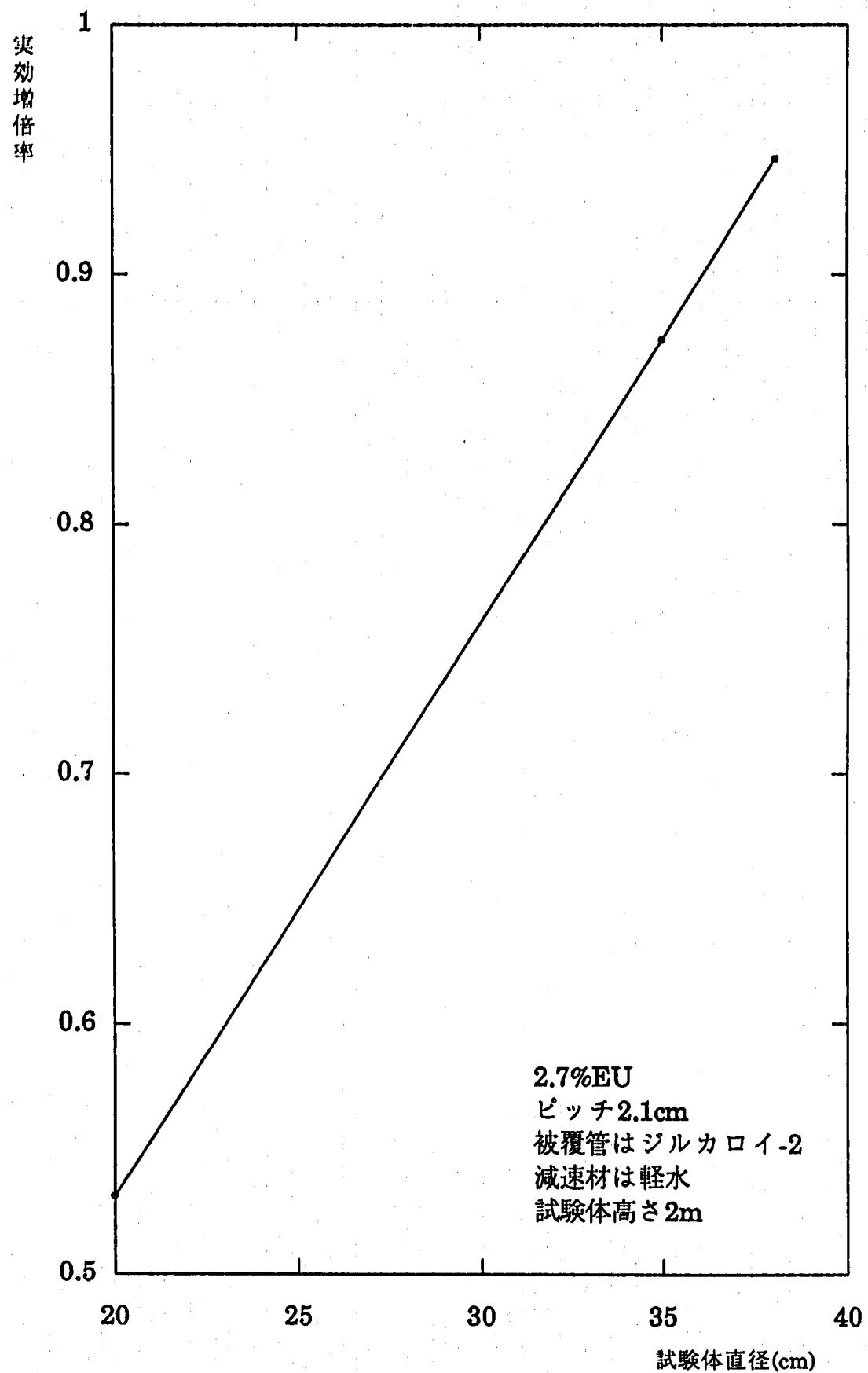
第5-1-1図 新型転換炉燃料2.7%EUによる
円筒形状試験体200A



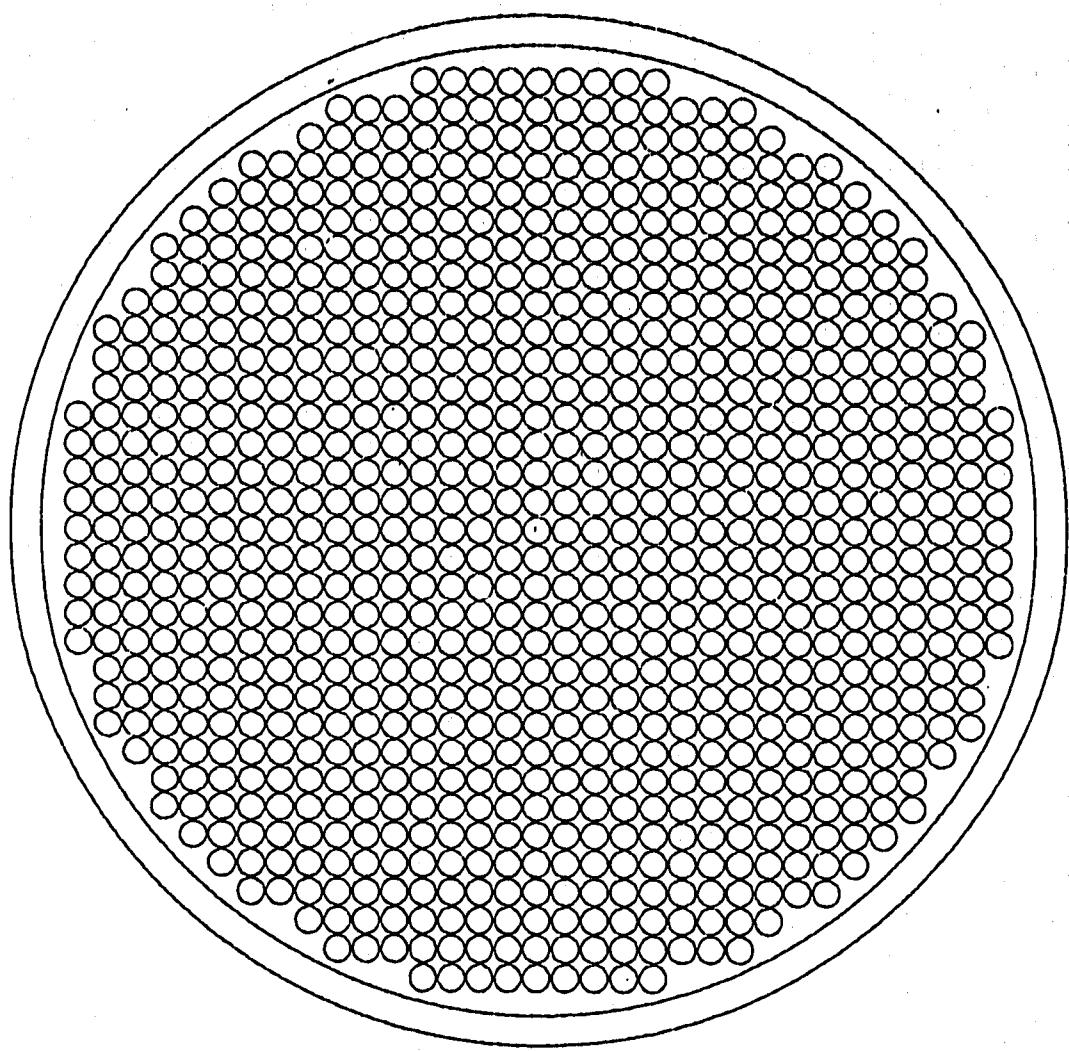
第5-1-2図 新型転換炉燃料2.7%EUによる
円筒形状試験体350A



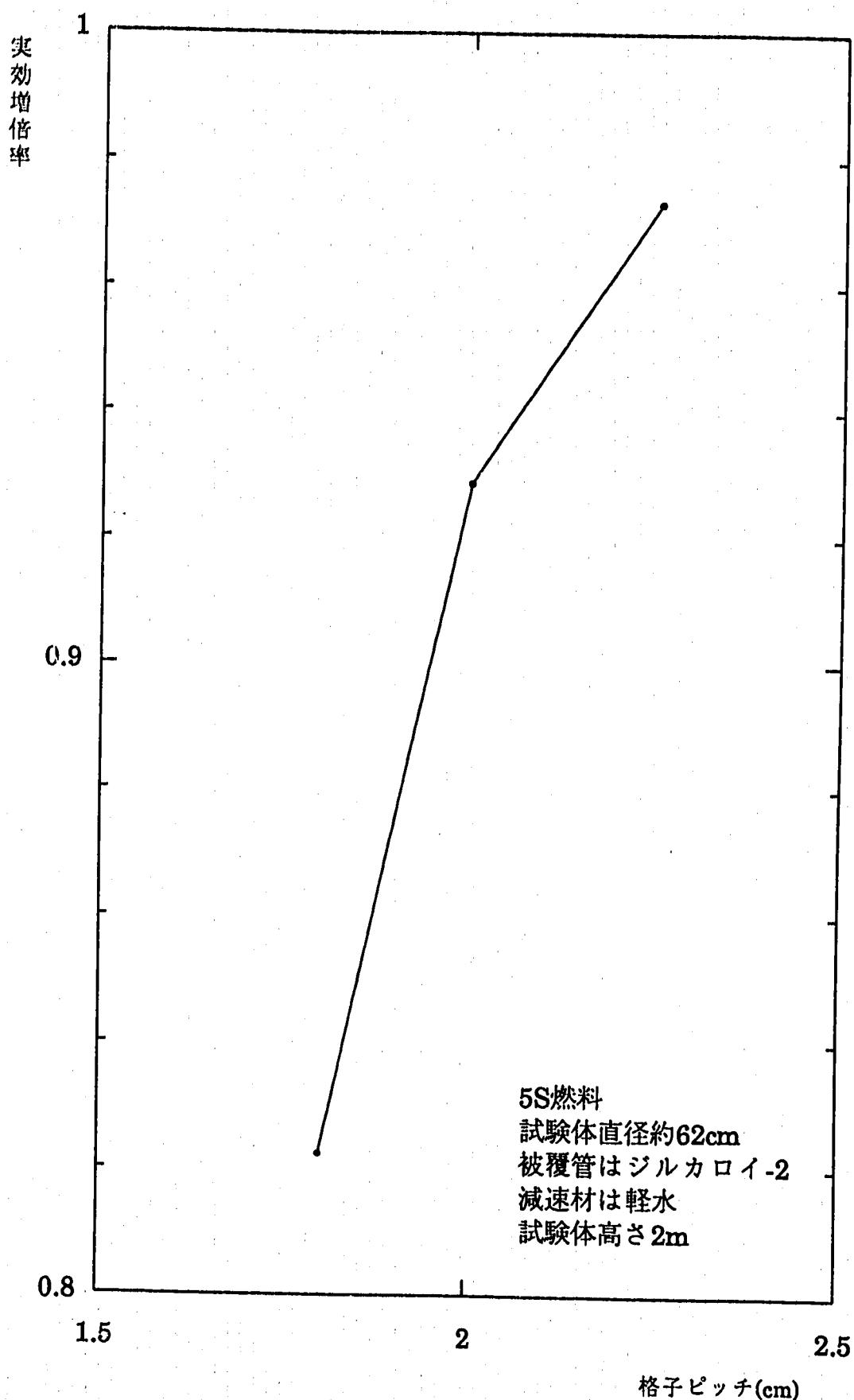
第5-1-3図 新型転換炉燃料2.7%EUによる
円筒形状試験体400A



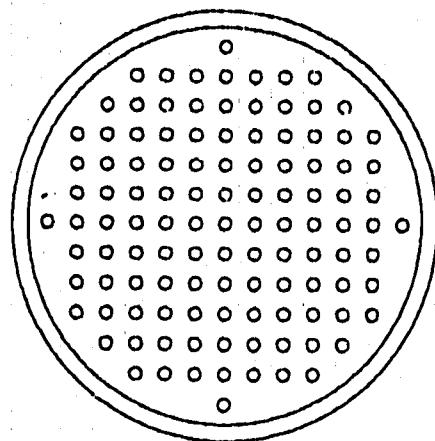
第5-1-4図 2.7%EU燃料による円筒形状試験体の実効増倍率



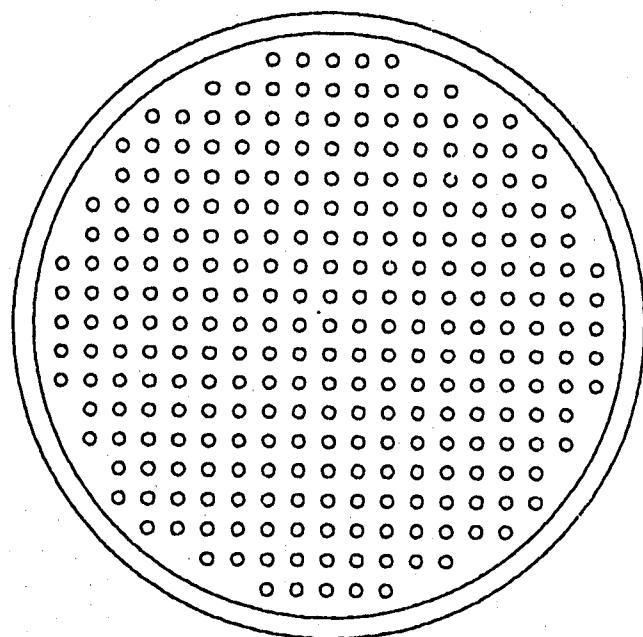
第5-1-5図 新型転換炉燃料5Sによる
円筒形状試験体650A



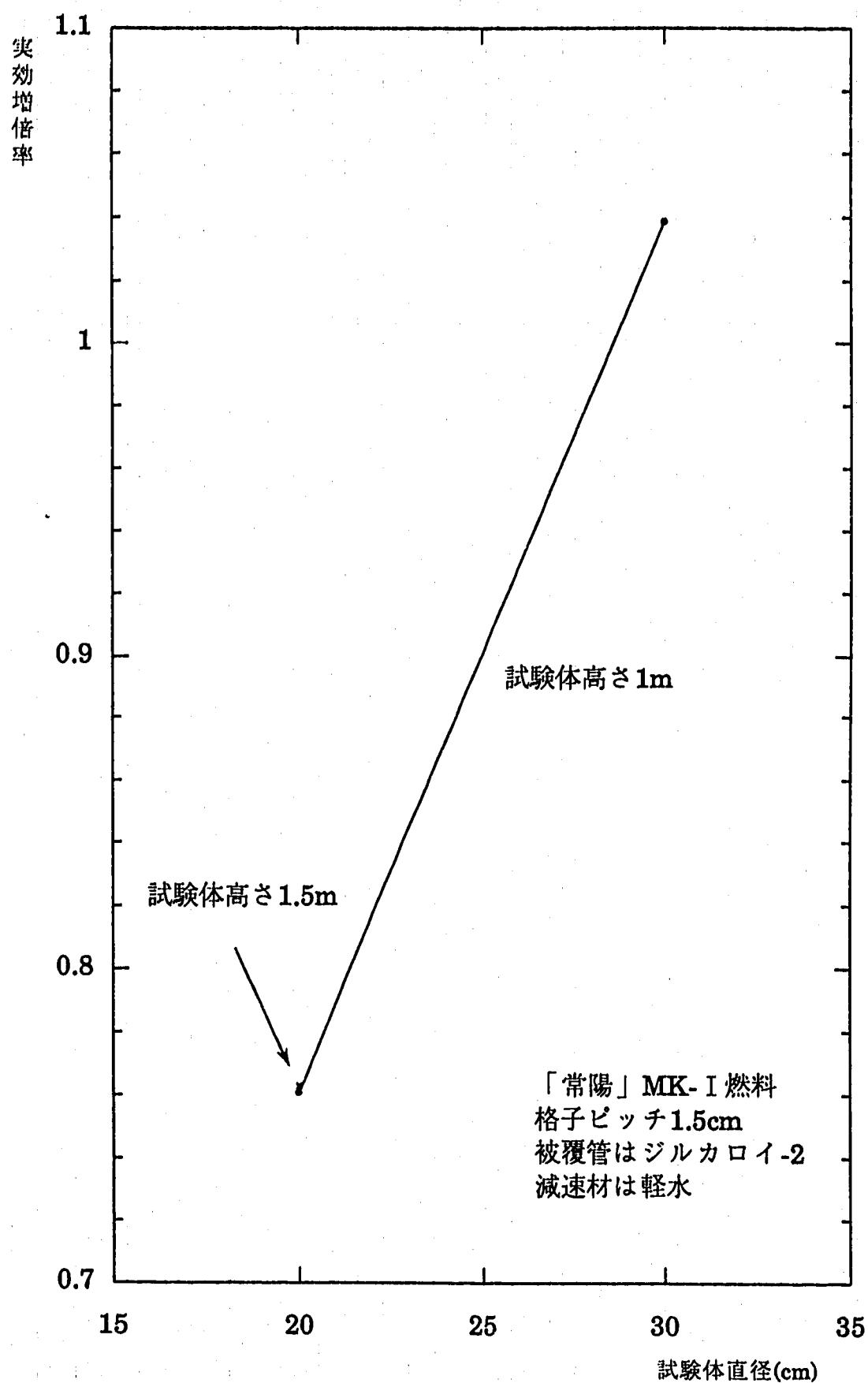
第5-1-6図 5S燃料による円筒形状試験体の実効増倍率



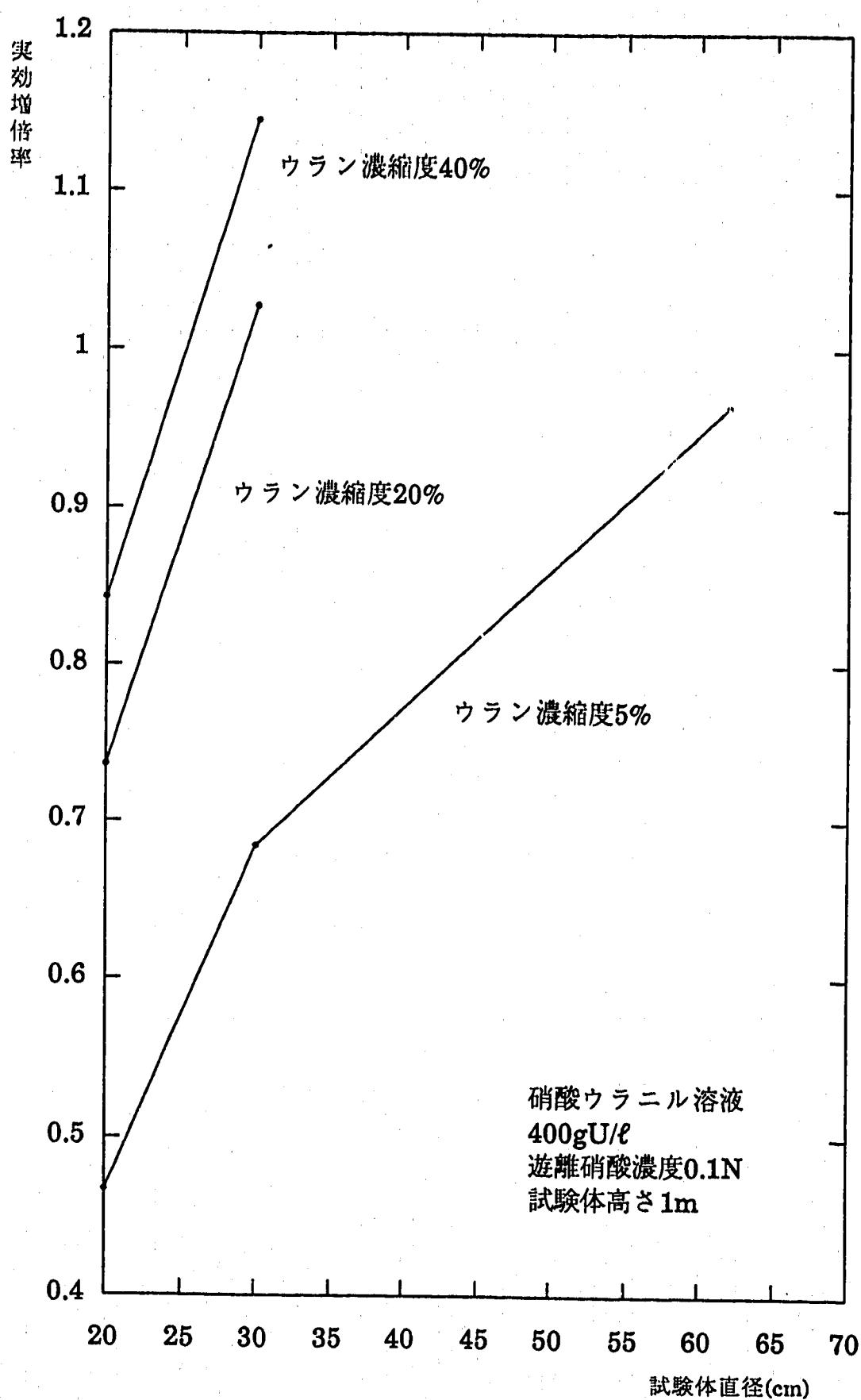
第5-2-1図 高速炉燃料による円筒形状試験体200A



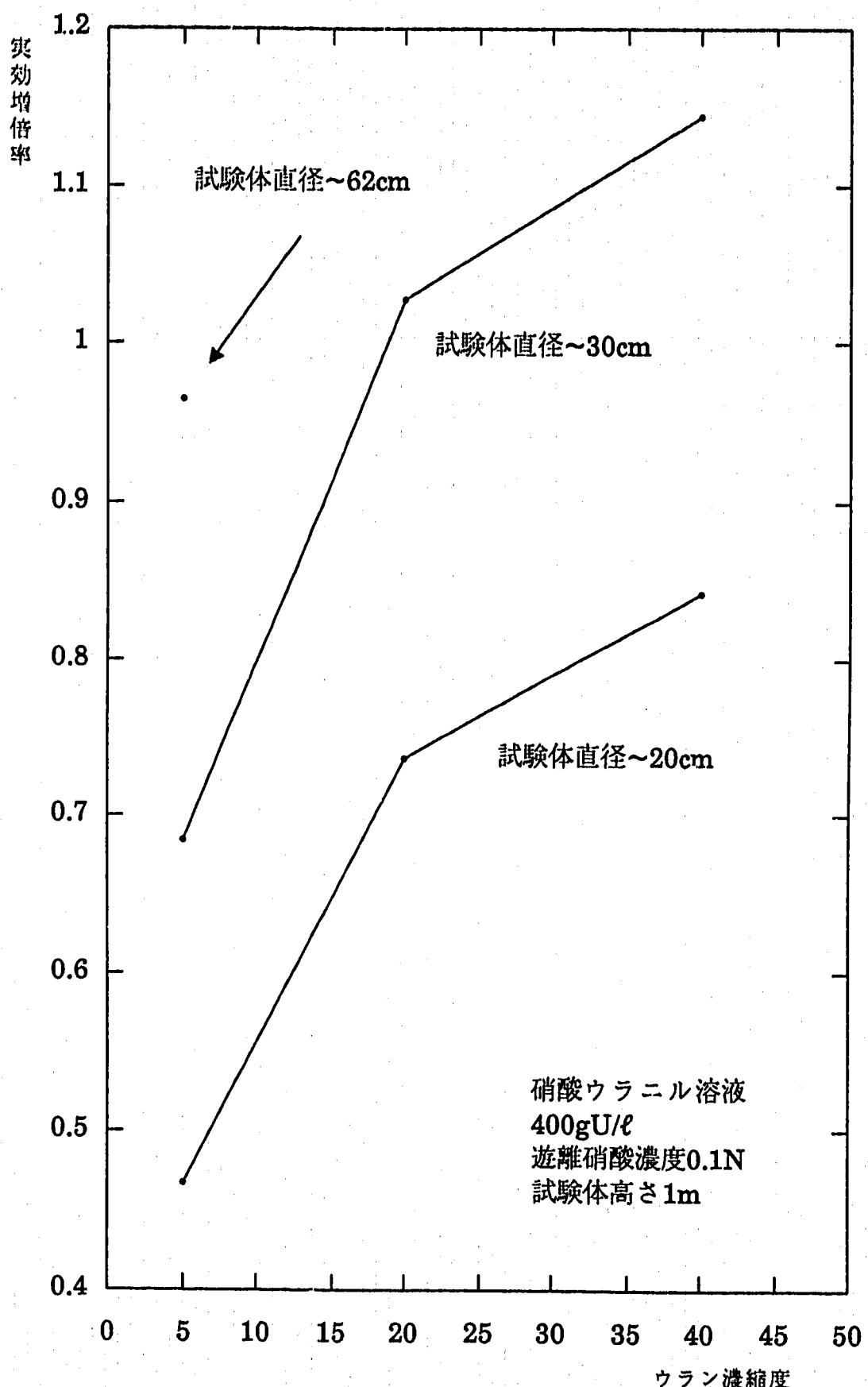
第5-2-2図 高速炉燃料による円筒形状試験体300A



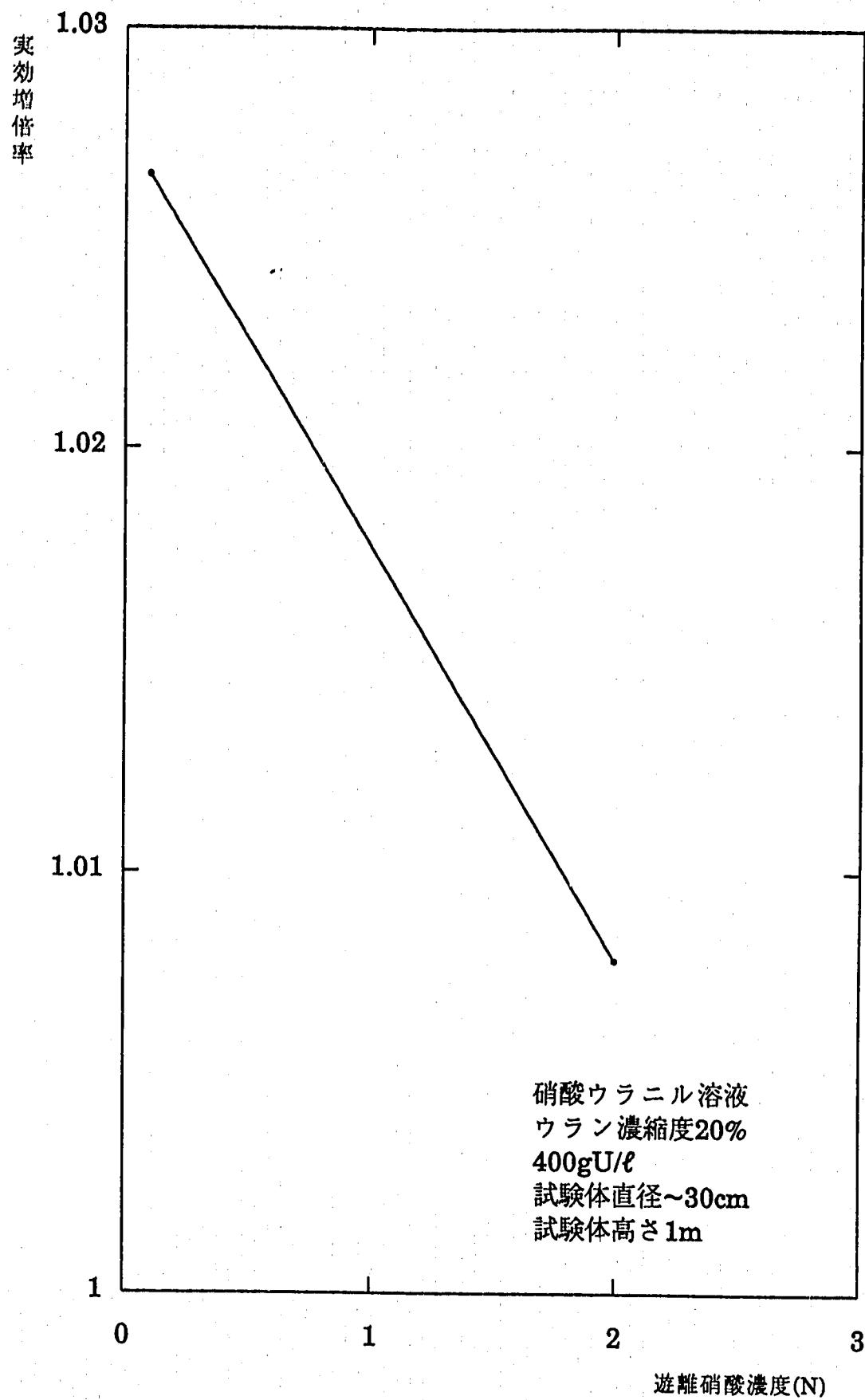
第5-2-3図 「常陽」燃料による円筒形状試験体の実効増倍率



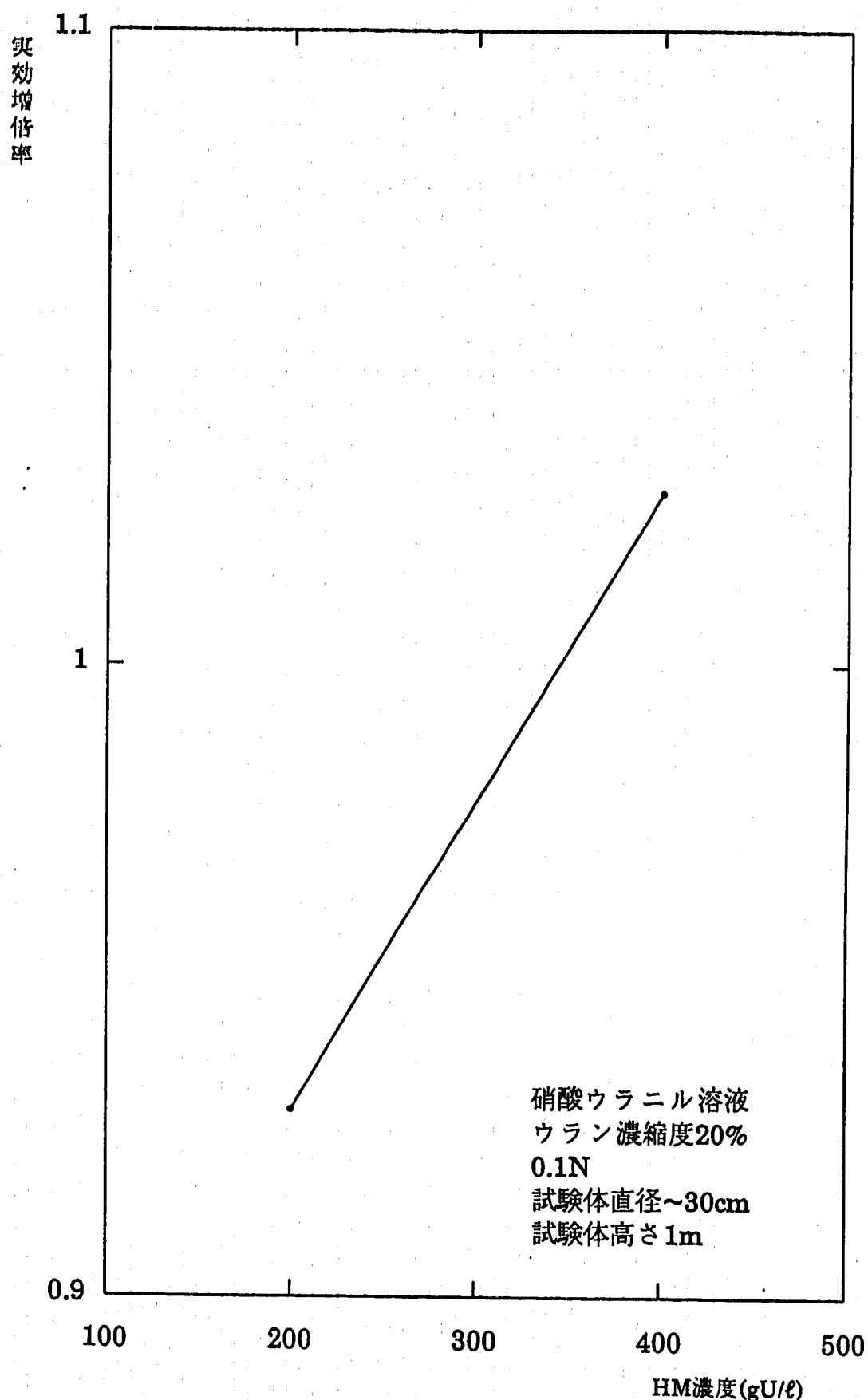
第5-3-1図 硝酸ウラニル溶液による円筒形状試験体の実効増倍率



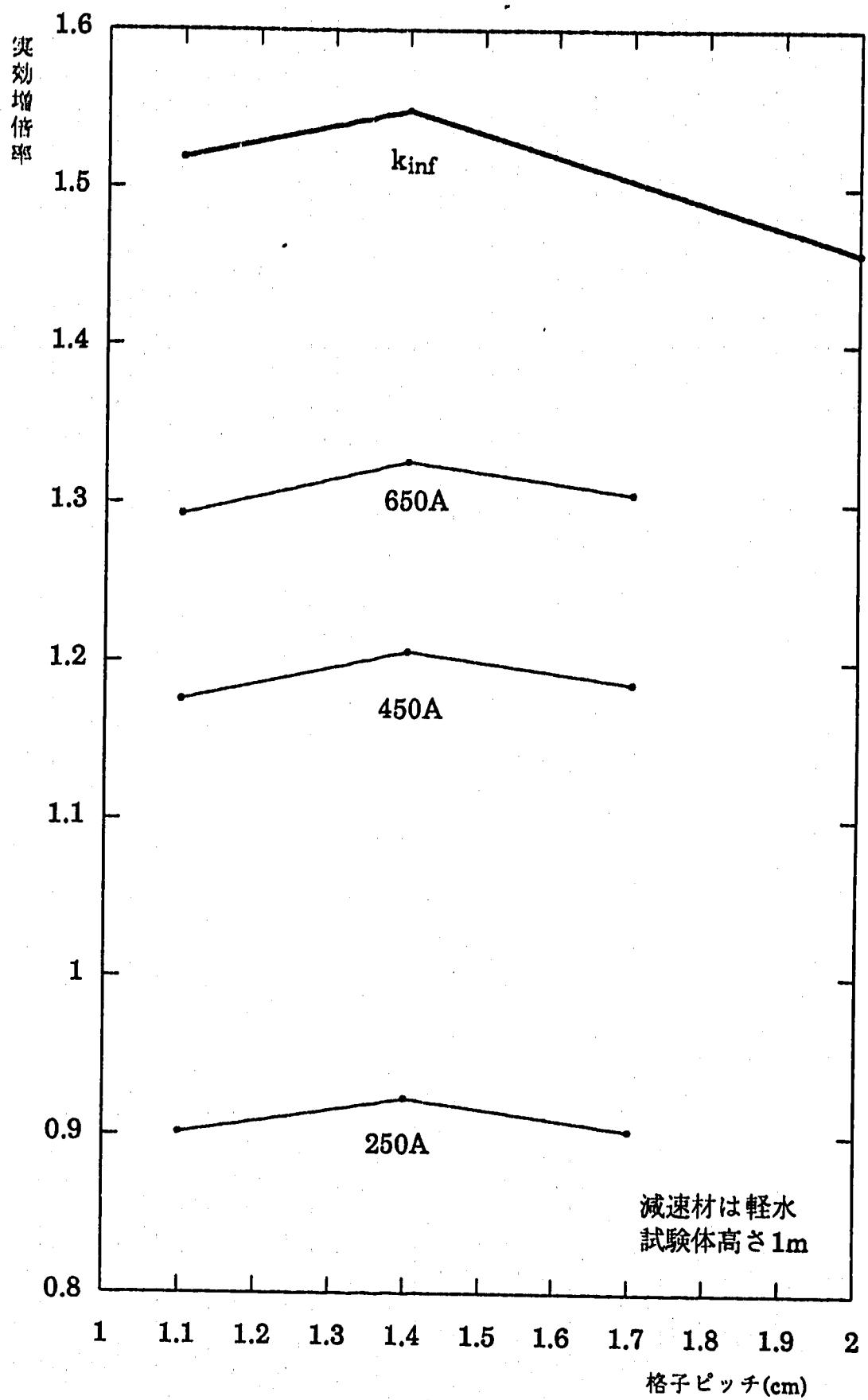
第5-3-2図 硝酸ウラニル溶液による円筒形状試験体の実効増倍率



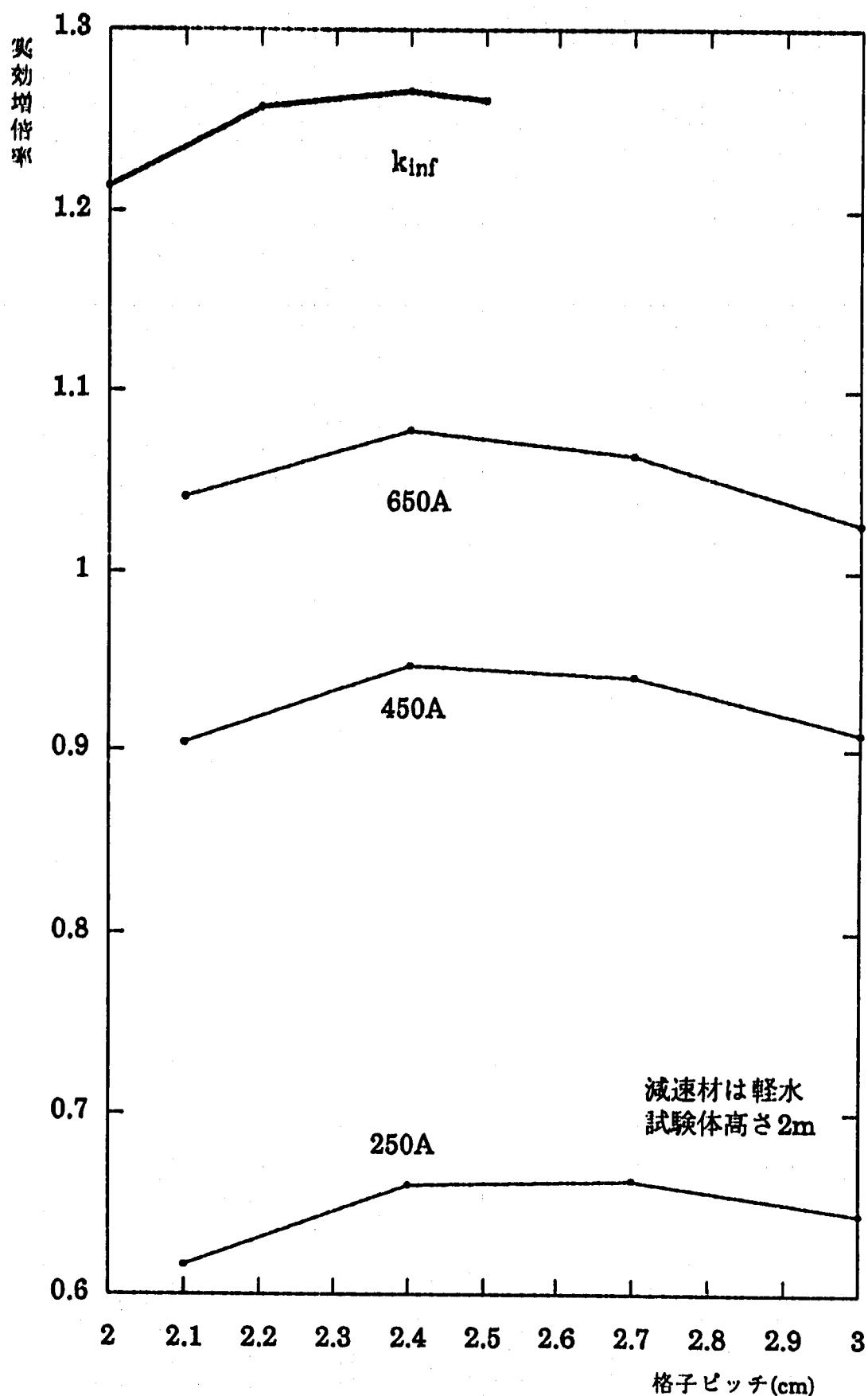
第5-3-3図 硝酸ウラニル溶液による円筒形状試験体の実効増倍率
(遊離硝酸濃度依存性)



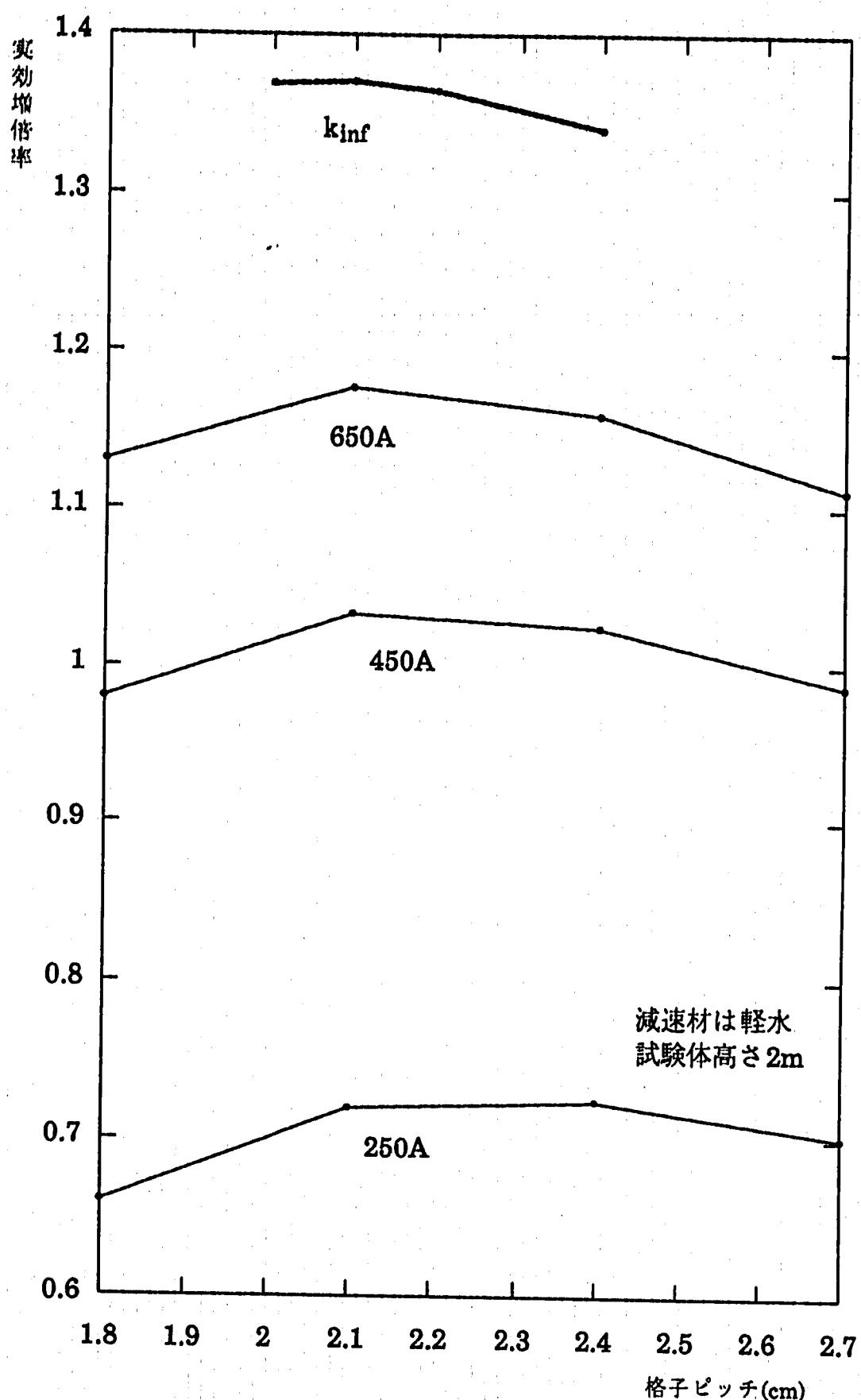
第5-3-4図 硝酸ウラニル溶液による円筒形状試験体の実効増倍率
(HM濃度依存性)



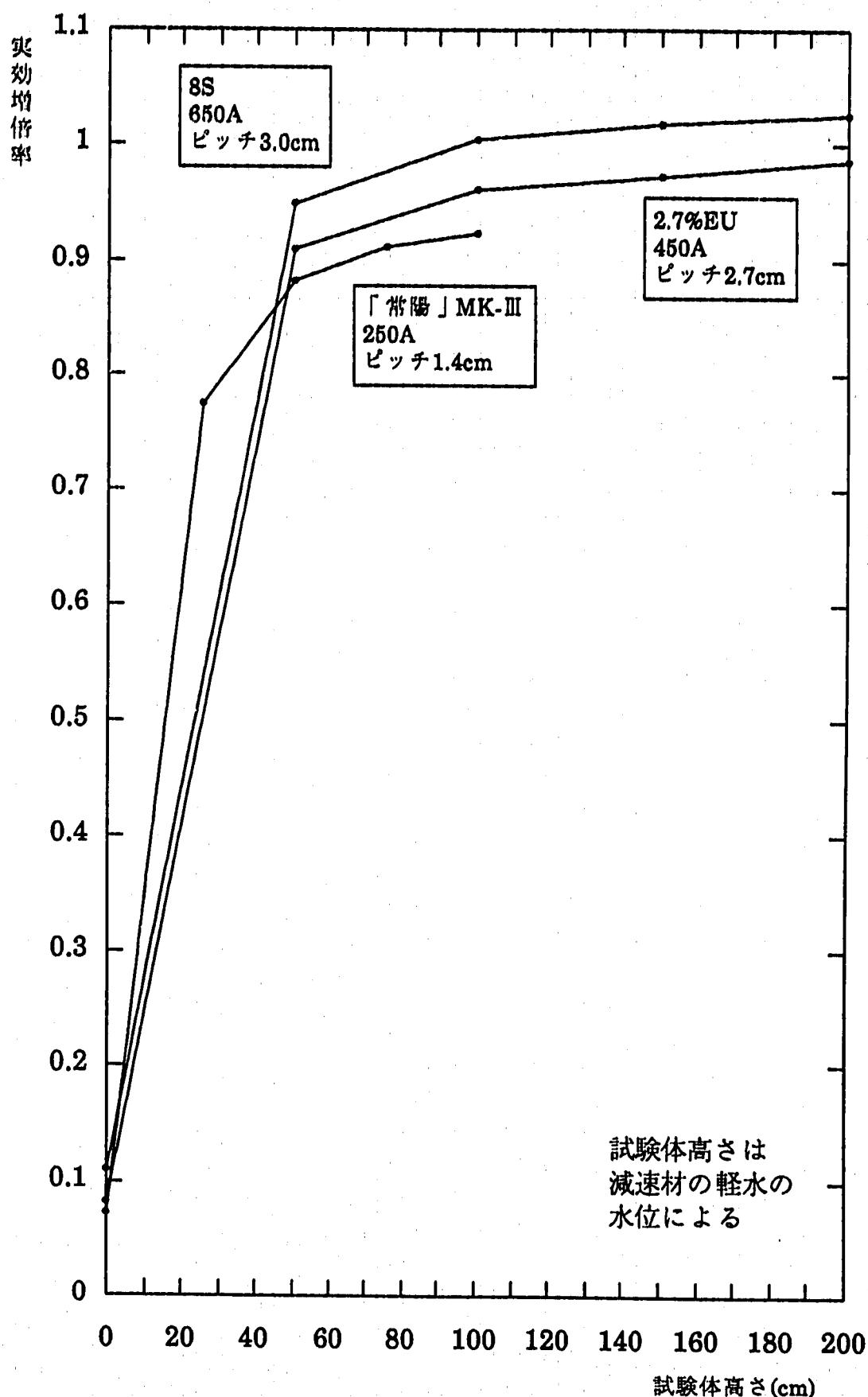
第5-5-1図 「常陽」 MK-III燃料による円筒形状試験体の実効増倍率



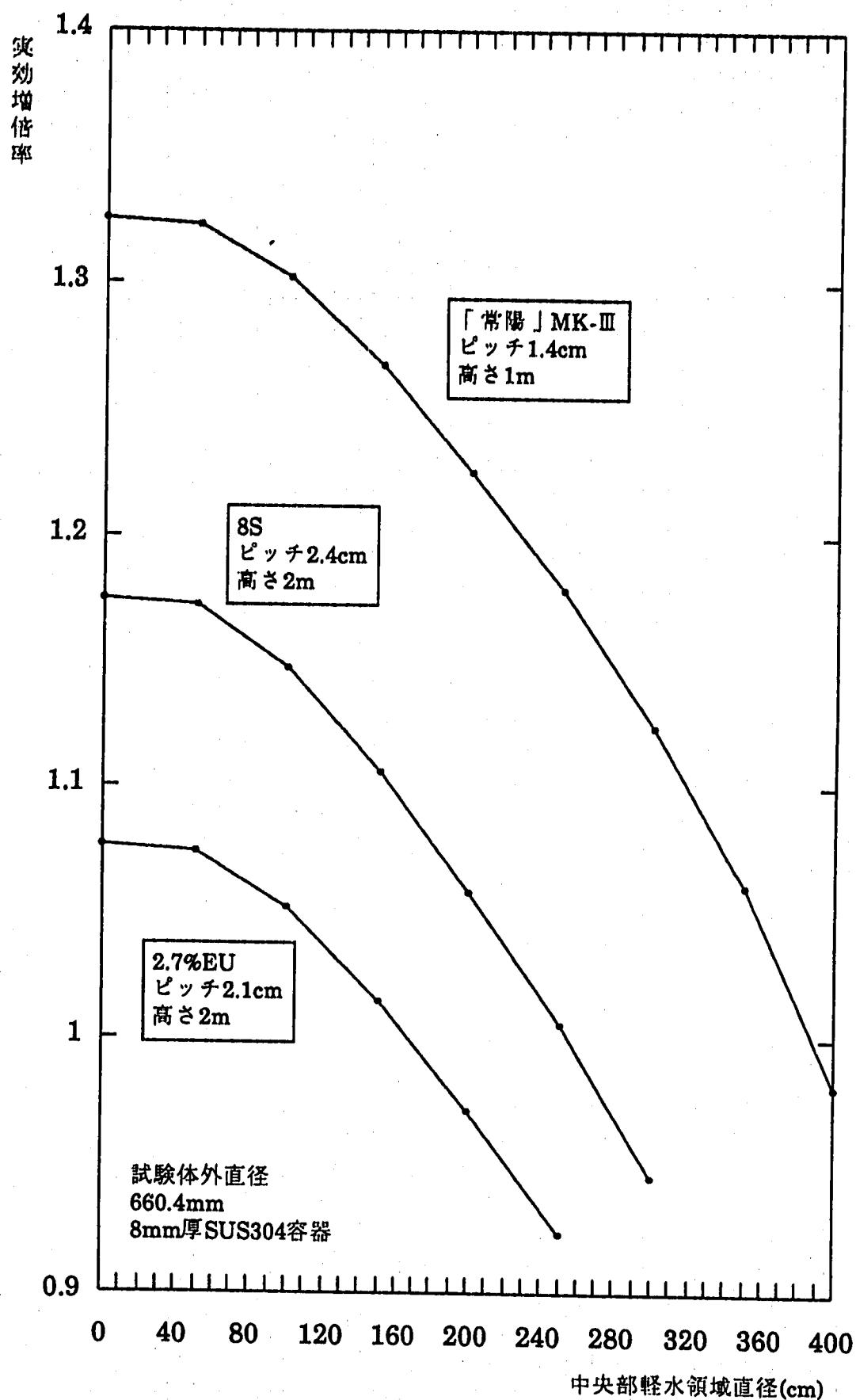
第5-6-1図 8S燃料による円筒形状試験体の実効増倍率



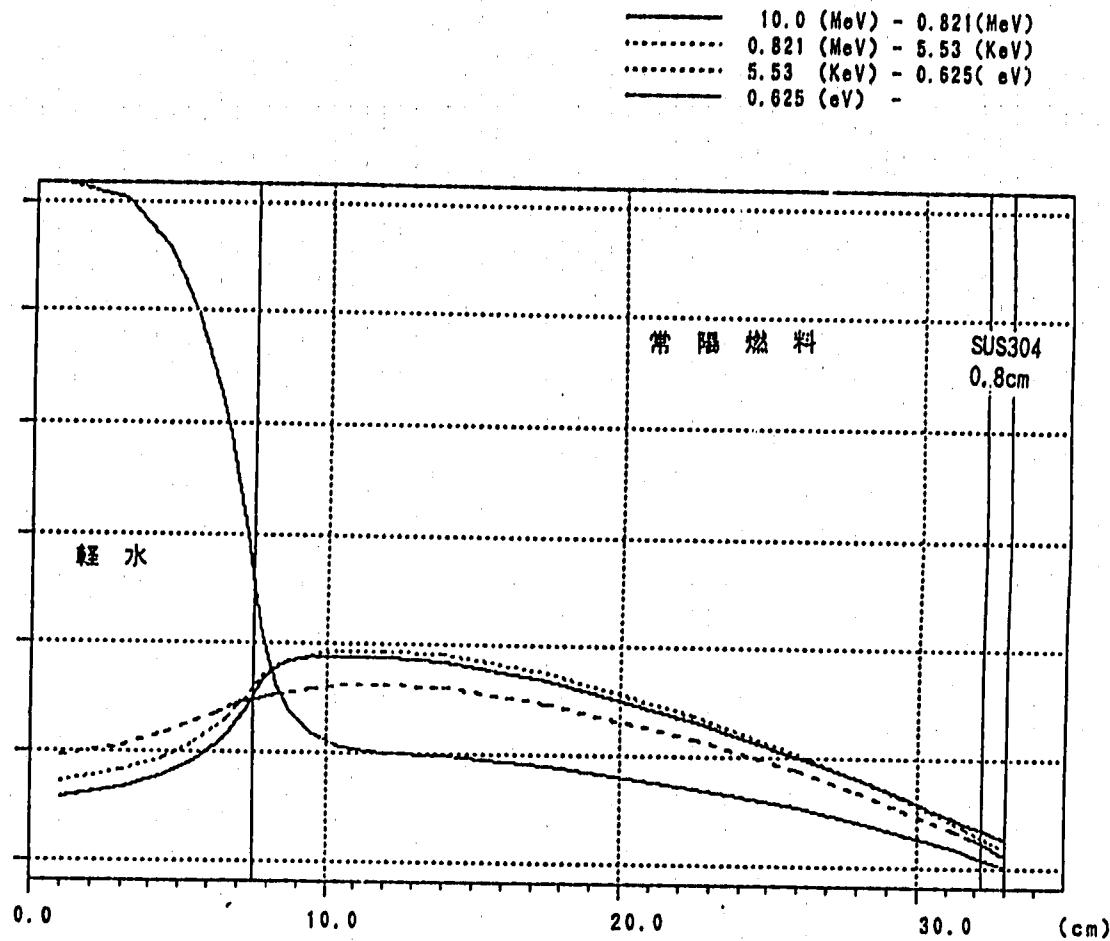
第5-6-2図 2.7%EU燃料による円筒形状試験体の実効増倍率



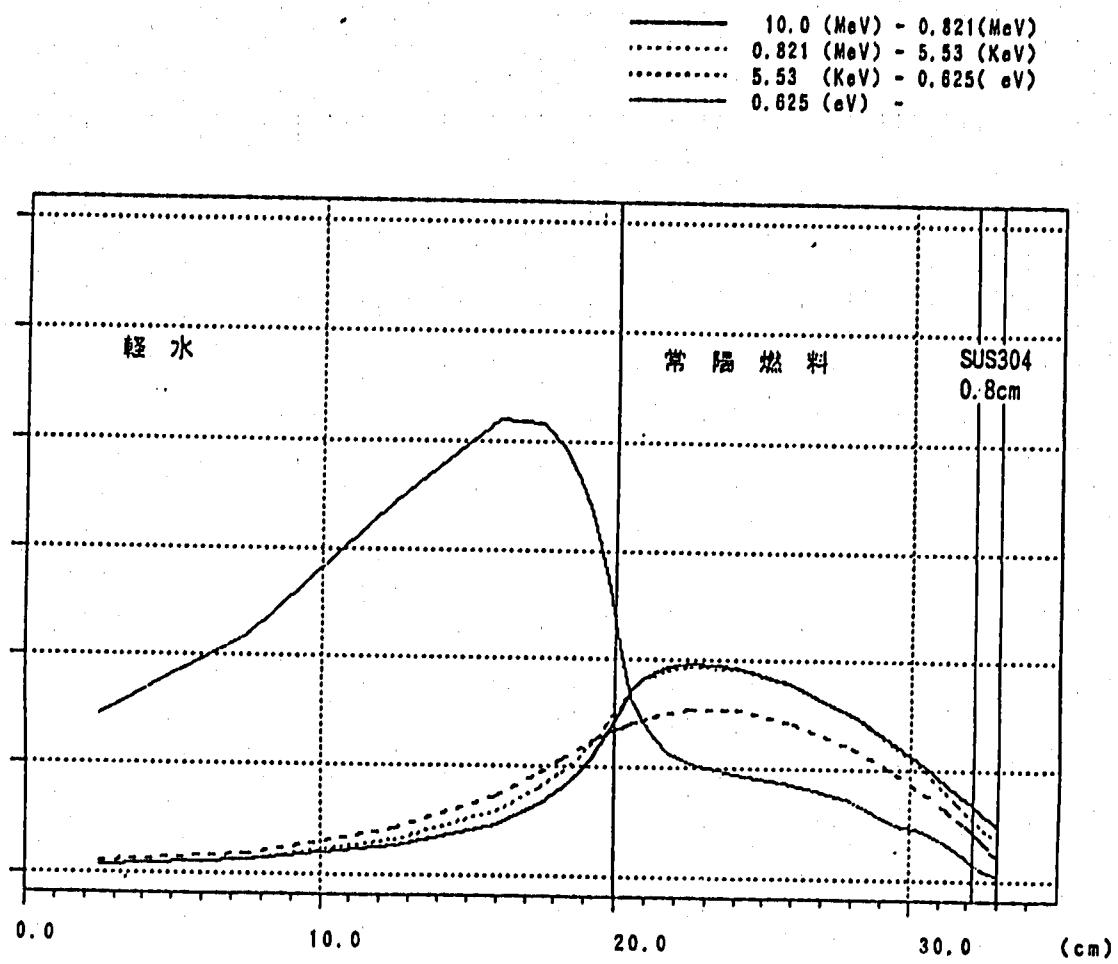
第5-7-1図 円筒形状試験体の実効増倍率(試験体高さ依存性)



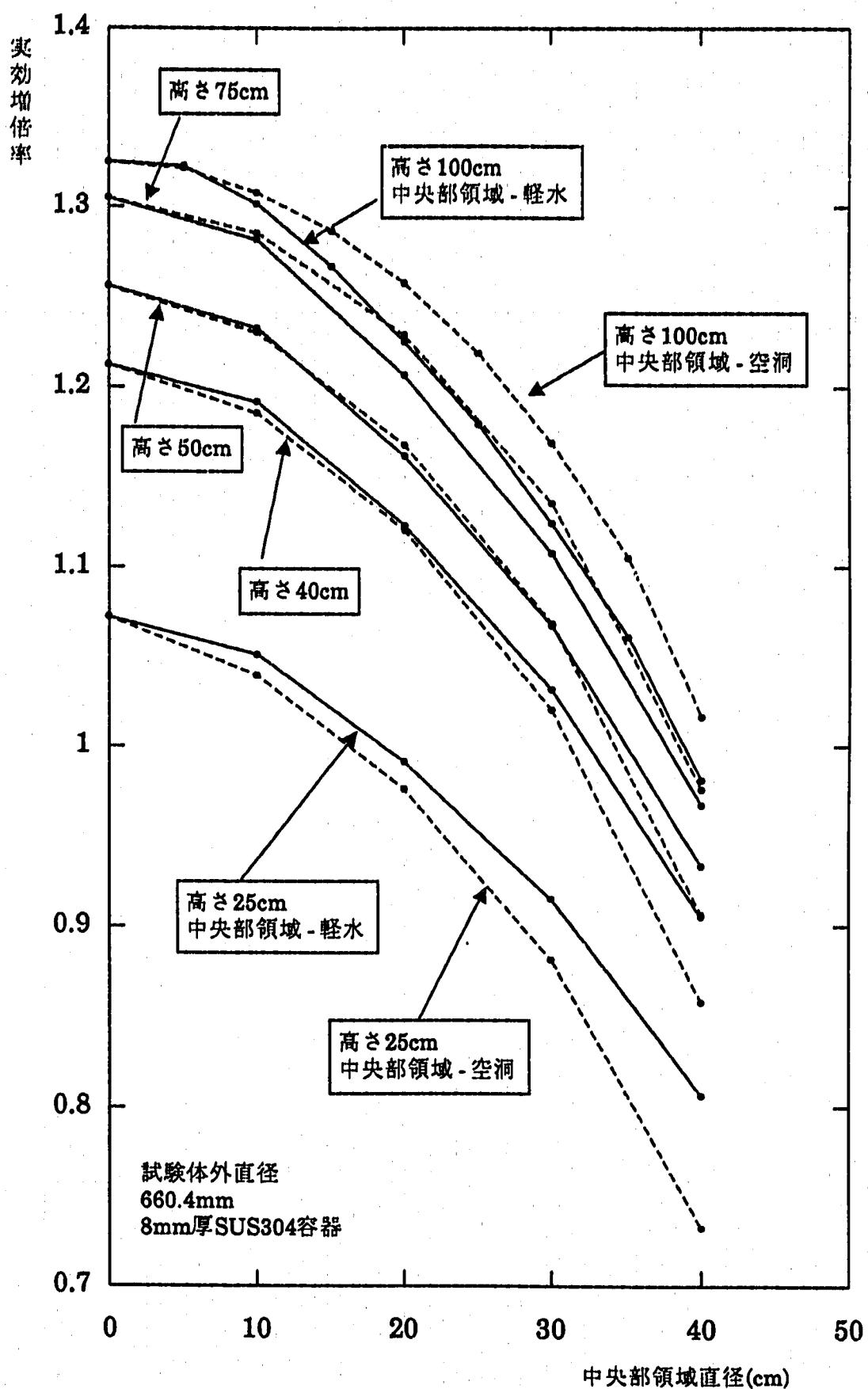
第5-8-1図 円環形状試験体の実効増倍率(中央部軽水領域直径依存性)



第5-8-2図 円環形状試験体中の中性子束分布
(「常陽」MK-III燃料、中央部軽水領域直径15cm)



第5-8-3図 円環形状試験体中の中性子束分布
(「常陽」MK-III燃料、中央部軽水領域直径40cm)



第5-10-1図 円環形状試験体の実効増倍率(中央部領域直径依存性)

6. 考察とまとめ

平板、円筒、及び、円環形状の中性子増倍体系の実効増倍率を評価した。本来の目的は、重水臨界実験装置を改造することによって建設される未臨界度測定試験装置に装荷される未臨界試験体を検討することであるが、第1段階のパラメーターサーベイである為、一部の計算結果は臨界を越える実効増倍率を与えている。今回の検討では、どちらかと言えば高い実効増倍率を得ることを主眼として評価したので、未臨界度測定試験装置では主な課題として低い実効増倍率の試験を考えているのとは、若干の矛盾がある。より低い実効増倍率の試験体の検討は今後の課題である。尚、計算体系には単純なモデルが用いられており、機械的に必要な構造は考慮されていない。又、実効増倍率が高い試験体で必要となる可能性のある安全棒や吸収体も一切考慮されていない。

今回評価した未臨界試験体では核燃料物質として、新型転換炉規格の燃料ピン、高速炉規格の燃料ピン、及び、濃縮ウラン溶液を用いるとした。試験体の機械的構造等に対する制約は未だ明らかではないが、ここでは、溶液燃料についてはタンクにポンプでくみ上げる事、燃料ピンを用いる試験体については、タンク内にピンを格子状に配列し、そこへ軽水をポンプでくみ上げる事を想定した。この方法では1つの試験体で、その体系で実現できる最大の実効増倍率から非常に低い(溶液の場合は液位が0であれば $k_{eff}=0.0$)までの状態を実現できると考えたが、未臨界試験体に要求している実効増倍率を0.5から0.99程度とすると、水位又は液位の変化に対して実効増倍率の変化が、液いの低い所で急激であり急速に飽和してくる傾向があり、ひとつの試験体で広い範囲の実効増倍率を実現するのは必ずしも容易でないことが明らかになった。

本報告書における実効増倍率は、すべて一般的な臨界計算手法によって計算されている。即ち、適当に仮定された初期中性子束分布または中性子源分布から外部反復計算(outer iteration)を開始し、各々の外部反復において中性子源を再度規格化して実効増倍率が収束するまで繰返し計算を継続する。この様な計算法によっている為に、得られる中性子束スペクトルや中性子束の空間分布は仮想的な臨界状態に対応するものであり、実際に未臨界体系内で実現される分布とはならない。未臨界体系における中性子束スペクトルや空間分布は、体系内外の外部中性子源に依存して決定される。即ち、外部中性子源が存在しなければ、未臨界体系内には中性子束は発生しない。計算においても臨界計算とは別に、外部中性子源を含む計算を実施しなければ、未臨界体系中の中性子束分布は評価できない。

未臨界試験体は、単独で設置して未臨界度測定の対象として用いる他、重水臨界実験装置の中央部に設けられた空洞部に設置し、周辺部の新型転換炉クラスター燃料によって臨界とする。単独で設置する場合の外部中性子源は、自発核分裂やPu-238等の崩壊で生じる α 線による(α 、n)反応であるが、今回の様なエネルギー群数の少ない計算では、臨界状態で主となる核分裂による中性子スペクトルと大きな差は見られなかった。空間分布については、実効増倍率が低い場合には外部中性子源分布(体系内の燃料密度が一定であれば均一分布)に近い分布となり、実効増倍率が高くなるに従って基本モード(平板体系であればコサイン分布)に近い空間分布となる。

今回の評価は未臨界試験体単独の体系に限定したが、未臨界試験体を重水臨界実験装置の中央部に装荷した場合の中性子束のエネルギースペクトルと空間分布は、検討すべきパラメーターが多く、最終的な実験体系を確立する際には広範囲の評価が必要になると思われる。