



JP9712034

# ATR 格子計算手法について

PNC-TN1410-97-027

1997年8月

日本原子力研究所蔵書



3300253303

動力炉・核燃料開発事業団

29-09  
D

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technical Evaluation and Patent Office, Technology Management Division, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 9-13, 1-chome, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107, Japan

© 動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1997

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 「WIMS-ATR」コード .....	2
2.1 計算の流れ .....	2
2.2 核データライブラリ .....	4
3. 「LOIEL BLUE」コード .....	7
3.1 計算の流れ .....	7
4. 実測データによる検証 .....	9
5. 参考文献 .....	10

## 1. はじめに

格子計算は、炉心出力分布計算、反応度特性計算等の炉心核特性計算に必要な単位燃料格子平均の核定数を計算するものである。主な核定数を以下に示す。

- (a) 無限増倍率 ( $k_{\infty}$ )
- (b) 中性子移動面積 ( $M^2$ )
- (c) 拡散計算用断面積 ( $D$ 、 $\Sigma_a$ 、 $\Sigma_f$ 、 $\Sigma_r$ )
- (d) 局所出力分布
- (e) 同位元素組成

格子計算コードは、英国で開発された「WIMS-D」コード<sup>1),2),3)</sup>を基に、動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センターの重水臨界実験装置(以下DCAという。)における実験解析及びATR原型炉「ふげん」の炉心管理を通じ、解析精度の向上を目的として、Honeckモデル<sup>4)</sup>による温度依存性を考慮した重水散乱断面積の追加等の改良・整備を行なった「WIMS-ATR」コードを使用する。

また、制御棒に隣接する格子の核定数作成には、制御棒による中性子吸収量の計算が必要である。この計算は、制御棒効果計算コード「LOIEL BLUE」を使用する。このコードは、制御棒を囲むスーパーセル体系において、制御棒による中性子吸収割合に対応する指標である制御棒中性子吸収面積(「制御棒に流入する中性子数」と「格子内中性子減速密度」の比)<sup>5),6)</sup>を計算する。計算体系は、制御棒を囲む4つの格子であり、1次元3群拡散計算により体系内の中性子バランスを求め、これを基に制御棒中性子吸収面積を計算する。この計算の際に必要な制御棒表面における中性子束の外挿距離は「THERMOS」コード<sup>7)</sup>及び「DTF」コード<sup>8)</sup>を用いて、また、隣接格子の格子定数は「WIMS-ATR」コードを用いて各々計算する。

## 2. 「WIMS-ATR」コード

### 2.1 計算の流れ

「WIMS-ATR」コードの計算の流れを図1に示す。

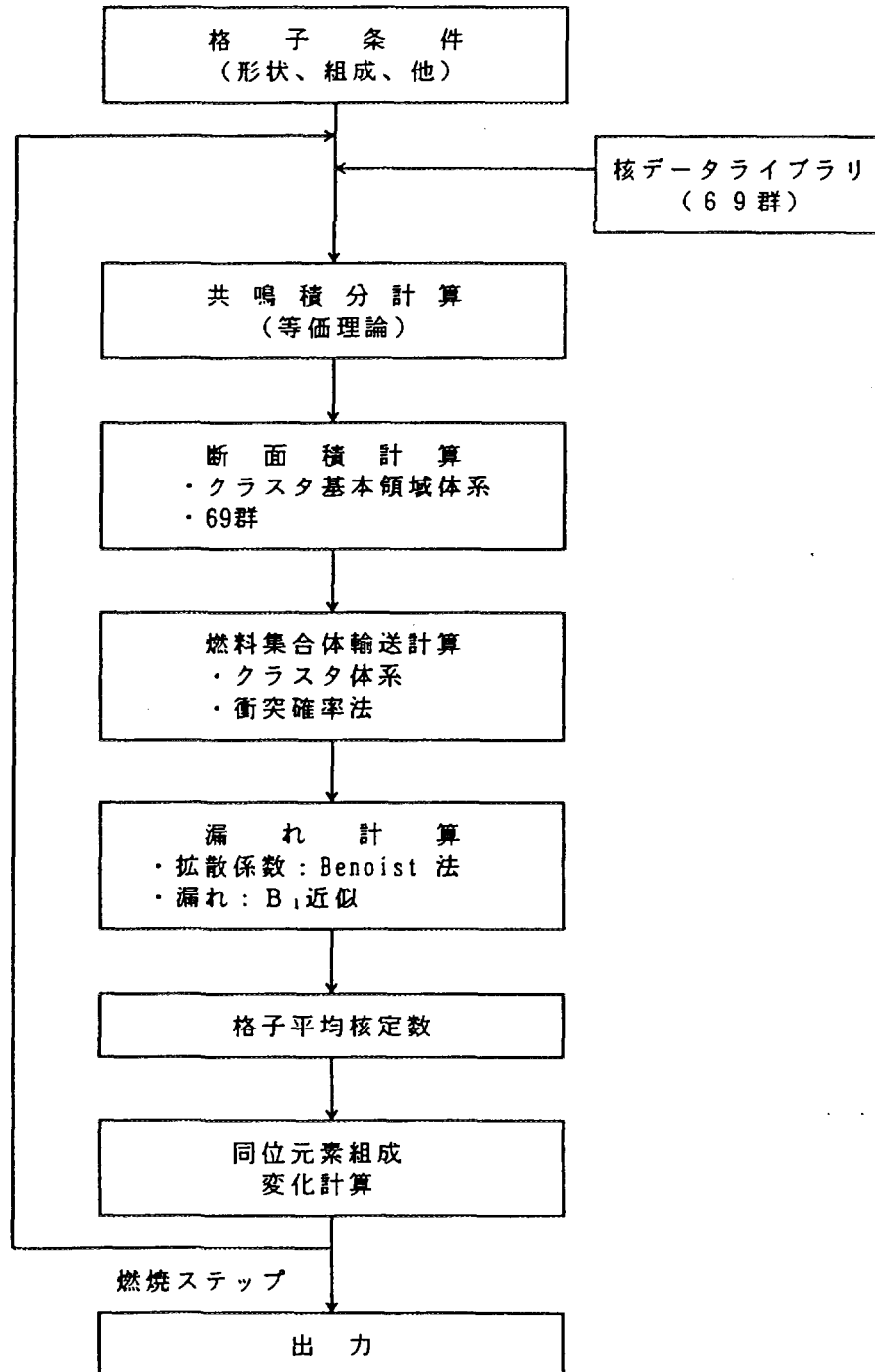


図1 「WIMS-ATR」コードの計算の流れ図

図1における各計算ルーチンの内容は、以下に示す通りである。

- ・ 共鳴積分計算 …………… あらかじめ核種毎、詳細群毎に温度  $T$ 、バックランド断面積  $\sigma_b$  のテーブルが用意されており、必要に応じて、そのテーブルを内挿して求められる。ここで、 $\sigma_b$  は、 $\Sigma_{po}/N_A$  で表され、着目核種  $A$  の希釈度合を示す。また、 $\Sigma_{po}$  の計算に際しては、IR 近似の  $\lambda$  に相当する概念が使用されている。
- ・ 断面積計算 …………… 燃料集合体格子を数領域に分割した基本領域毎に 69 群での中性子エネルギースペクトルを求め、そのスペクトルを使用して核断面積を少数群に縮約する。
- ・ 燃料集合体輸送計算 …………… 燃料集合体内を多領域に分割した 2 次元体系について中性子輸送方程式を解き、燃料集合体内の中性子束分布、出力分布を計算する。
- ・ 漏れ計算 …………… 格子平均の拡散係数は、Benoist 法等のオプションを使用できる。Benoist 法は、クラスタ問題に使用され、拡散計算における高次の相関項まで含む Benoist 理論に基づいている。  
漏れ評価に使用している  $B_1$  近似は、基本バックリングモードと  $P_1$  散乱の輸送方程式の 1 つの解であり、異方性散乱が問題となり高次のバックリングモードを考慮する必要がある場合に適用できる。
- ・ 同位元素組成変化計算 …………… 各同位元素について燃焼方程式を解き、同位元素の組成変化を計算する。

この計算は、燃料タイプ・ボイド体積率・燃焼ステップ毎に計算する。

## 2.2 核データライブラリ

核データライブラリは、「WIMS-D」コード用の UKAEA ファイルに基づく「WIMS」69 群ライブラリを ATR 用に改良・整備したものを使用している。また、 $^{241}\text{Am}$  を含む高次核種データの追加も実施している。

### (1) 核種の種類

表 1 に示す約 80 種類の核種が準備されている。

### (2) エネルギー区分

中性子エネルギーは、表 2 に示すように、

- ・高速領域 14 群 (9.118keV~10MeV)
- ・共鳴領域 13 群 (4eV~9.118keV)
- ・熱領域 42 群 (0~4eV)

の合計 69 群に分割されており、 $^{239}\text{Pu}$  の 0.3eV の共鳴吸収と  $^{240}\text{Pu}$  の 1.0eV の共鳴吸収が群定数に適切に反映されるように共鳴領域付近で中性子エネルギー群が細分化されている。計算は、69 群を任意の群に分割して使用できる。

表1 「WIMS-ATR」核種一覧

No.	核種	No.	核種	No.	核種	No.	核種
1	H	26	$^{99}\text{Tc}$	51	$^{151}\text{Sm}$	76	$^{242\text{m}}\text{Am}$
2	D	27	$^{101}\text{Ru}$	52	$^{152}\text{Sm}$	77	$^{243}\text{Am}$
3	$^3\text{He}$	28	$^{103}\text{Ru}$	53	$^{153}\text{Eu}$	78	$^{242}\text{Cm}$
4	$^4\text{He}$	29	$^{103}\text{Rh}$	54	$^{154}\text{Eu}$	79	$^{243}\text{Cm}$
5	$^6\text{Li}$	30	$^{105}\text{Rh}$	55	$^{155}\text{Eu}$	80	$^{244}\text{Cm}$
6	$^7\text{Li}$	31	$^{105}\text{Pd}$	56	$^{155}\text{Gd}$	81	$^{245}\text{Cm}$
7	Be	32	$^{108}\text{Pd}$	57	$^{156}\text{Gd}$	82	その他核種(FP)
8	$^{10}\text{B}$	33	$^{109}\text{Ag}$	58	$^{157}\text{Gd}$		
9	B	34	Cd	59	$^{158}\text{Gd}$		
10	C	35	$^{113}\text{Cd}$	60	$^{164}\text{Dy}$		
11	N	36	$^{115}\text{In}$	61	$^{176}\text{Lu}$		
12	O	37	Sn	62	Hf		
13	F	38	$^{127}\text{I}$	63	Pb		
14	Na	39	$^{131}\text{Xe}$	64	$^{232}\text{Th}$		
15	Mg	40	$^{135}\text{Xe}$	65	$^{233}\text{U}$		
16	Al	41	$^{133}\text{Cs}$	66	$^{234}\text{U}$		
17	Si	42	$^{134}\text{Cs}$	67	$^{235}\text{U}$		
18	Cr	43	$^{135}\text{Cs}$	68	$^{236}\text{U}$		
19	Fe	44	$^{143}\text{Nd}$	69	$^{238}\text{U}$		
20	Ni	45	$^{145}\text{Nd}$	70	$^{239}\text{Pu}$		
21	Cu	46	$^{147}\text{Pm}$	71	$^{240}\text{Pu}$		
22	$^{83}\text{Kr}$	47	$^{148}\text{Pm}$	72	$^{241}\text{Pu}$		
23	Zr	48	$^{147}\text{Sm}$	73	$^{242}\text{Pu}$		
24	Nb	49	$^{149}\text{Sm}$	74	$^{241}\text{Am}$		
25	$^{95}\text{Mo}$	50	$^{150}\text{Sm}$	75	$^{242}\text{Am}$		



表2 中性子エネルギー群の区分

グループ No	領域	エネルギー (eV)	グループ No	領域	エネルギー (eV)	グループ No	領域	エネルギー (eV)
1	高速 領域	$1.000 \times 10^7$	24	熱 領域	48.03	47	熱 領域	0.500
2		$6.066 \times 10^6$	25		27.70	48		0.400
3		$3.679 \times 10^6$	26		15.97	49		0.350
4		$2.231 \times 10^6$	27		9.38	50		0.320
5		$1.353 \times 10^6$	28		4.00	51		0.300
6		$8.210 \times 10^5$	29		3.30	52		0.280
7		$5.000 \times 10^5$	30		2.60	53		0.250
8		$3.025 \times 10^5$	31		2.10	54		0.220
9		$1.830 \times 10^5$	32		1.50	55		0.180
10		$1.110 \times 10^5$	33		1.30	56		0.140
11		$6.734 \times 10^4$	34		1.15	57		0.100
12		$4.085 \times 10^4$	35		1.12	58		0.080
13		$2.478 \times 10^4$	36		1.10	59		0.067
14		$1.503 \times 10^4$	37		1.07	60		0.058
15	共 鳴 領 域	$9.118 \times 10^3$	38	1.05	61	0.050		
16		$5.530 \times 10^3$	39	1.02	62	0.042		
17		$3.519 \times 10^3$	40	0.996	63	0.035		
18		$2.239 \times 10^3$	41	0.972	64	0.030		
19		$1.425 \times 10^3$	42	0.950	65	0.025		
20		$9.069 \times 10^2$	43	0.910	66	0.020		
21		$3.673 \times 10^2$	44	0.850	67	0.015		
22		$1.487 \times 10^2$	45	0.780	68	0.010		
23		75.50	46	0.625	69	0.005		

### 3. 「LOIEL BLUE」コード

#### 3.1 計算の流れ

制御棒隣接格子の核定数作成までの計算の流れを図2に、使用するコードを表3に示す。なお、「LOIEL BLUE」コードの計算機能は、「WIMS-ATR」コードの中に組み込まれている。

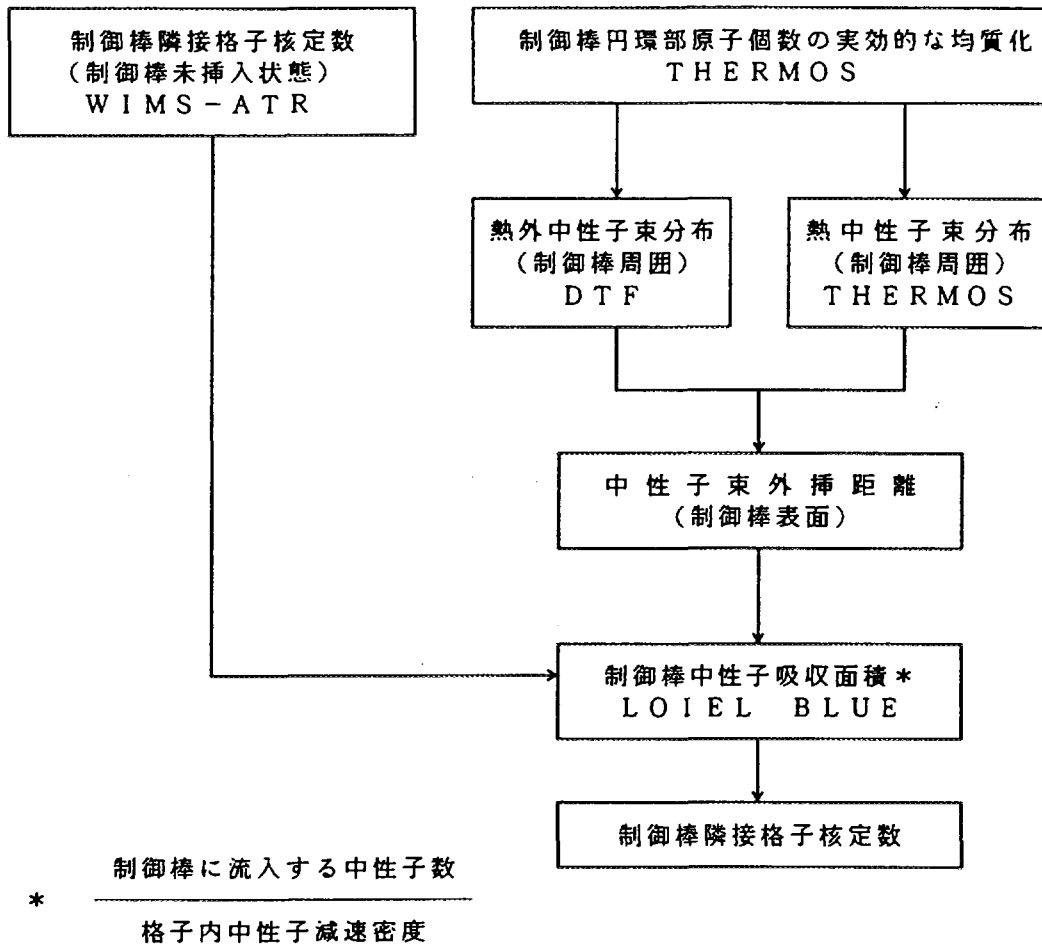


図2 制御棒隣接格子核定数計算の流れ図

表 3 制御棒隣接格子の核定数計算に用いる計算コード

コード	計算項目	計算モデル	核データライブラリ、入力定数
DTF	熱外中性子束分布 熱外中性子束外挿距離 (制御棒表面)	1次元 S <sub>n</sub> 近似法輸送計算	Hansen核データ
THERMOS	熱中性子束分布 熱中性子束外挿距離 (制御棒表面)	1次元 積分型輸送計算	THERMOS ライブラリ H <sub>2</sub> O, D <sub>2</sub> O: Nelkin散乱核 データ
WIMS-ATR	制御棒隣接格子核定数 (制御棒未挿入状態)	2次元 衝突確率法輸送計算	WIMSライブラリ
LOIEL BLUE	制御棒中性子吸収面積	1次元 吸収面積法 拡散計算	中性子束外挿距離 ← DTF, THERMOSから 制御棒隣接格子核定数 (制御棒未挿入状態) ← WIMS-ATRから

#### 4. 実測データによる検証

「WIMS-ATR」コードを用いて求めた燃料集合体内局所出力分布と DCA を用いて実施された局所出力分布測定実験に基づくデータの比較を行い、解析精度の検証を行った。

図 3 に 36 本標準試験体の局所出力分布の実験値と解析値の比較例を示す。実験における局所出力分布は、減速材領域からの熱中性子の流れ込みに対応して、外層、中間層 (Gd なし)、内層の順に小さくなっており、中間層の Gd 添加燃料要素の相対出力は Gd の熱中性子吸収効果により大きく低下している。解析値は、この傾向を精度良く再現しており、最も出力の高い外層の相対出力 (LPF) も両者で良く一致している。

図 4 に DCA 実験データと「WIMS-ATR」コードによる局所出力分布 (LPF) 解析値の比較例を示す。図 4 に示すように、実験値と解析値の相対誤差は-3.3%~+2.3%の範囲にあり、その平均二乗誤差は 1.5%である。

## 5. 参考文献

- (1) J. R. Askew : A General Description of the Lattice Code WIMS, ENEA COMPUTER PROGRAMME LIBRARY
- (2) M. J. Roth : The Preparation of Input Data for WIMS, AEEW-R538
- (3) A. T. D. Butland : Thermal Neutron Diffusion Data and the WIMS Scattering Models for Light Water, AEEW-R701
- (4) H. Honeck : An Incoherent Thermal Scattering Model for Heavy Water, Trans. Am. Nucl. Soc., 5, 47 (1962)
- (5) H. Hurwitz et.al.: J. Nucl. Energy, 2, 85 (1955)
- (6) M. Ueda et.al.: Reactivity Worths of Annular Control Rods in a Pressure-Tube-Type Heavy Water Lattice, Nucl. Sci. Eng., 62, 559 (1977)
- (7) H. Honeck: THERMOS A Thermalization Transport Code for Reactor Lattice Calculations, BNL-5826
- (8) Bengt G. Carlson et.al.: DTF Users Manual, UNC Phys/Math-3321 Vol. I, Nov. (1963)

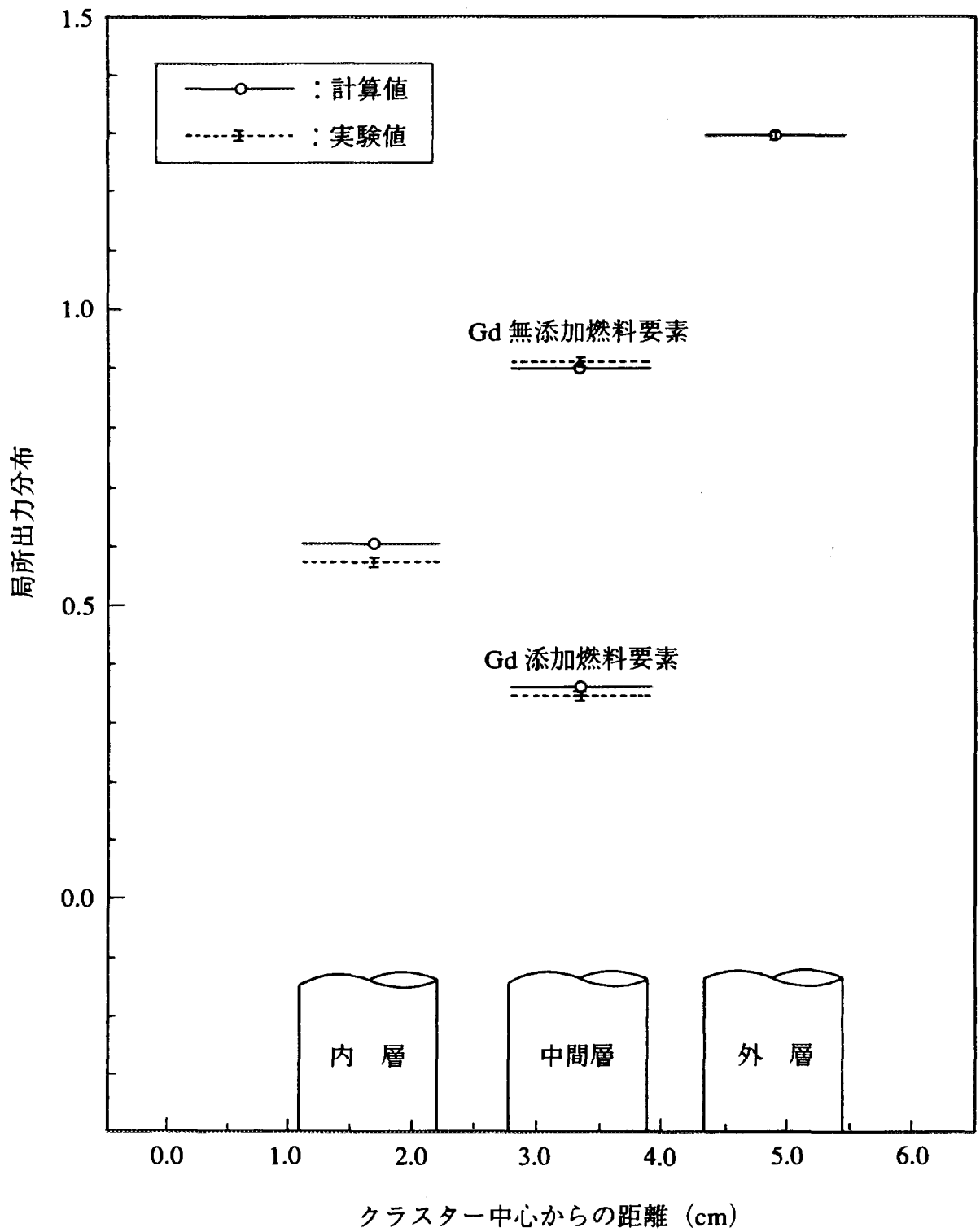


図3 36本標準試験体の局所出力分布の解析値と実験値の比較例

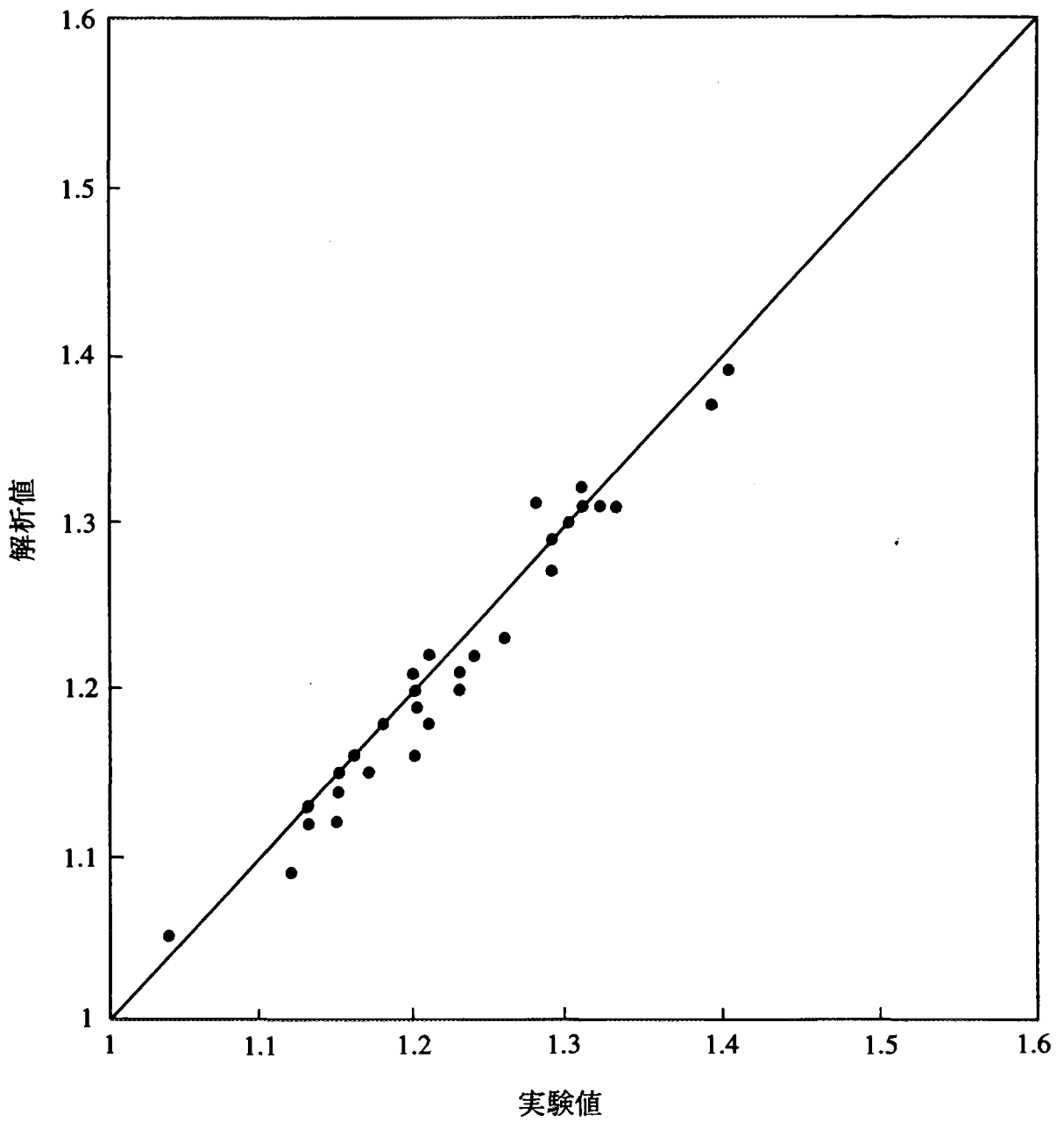


図4 DCA 実験データと「WIMS-ATR」による LPF 解析結果の比較例