



JAEA-Technology

2007-001



JP0750019

ガドリニウムを添加した6wt%濃縮硝酸ウラニル溶液と  
格子間隔1.5cm棒状燃料とで構成する  
**STACY非均質炉心の核特性解析**

Analyses of Neutronic Characteristics of STACY Heterogeneous Cores  
Composed of 6wt%-Enriched Uranyl Nitrate Solution Containing  
Gadolinium and 1.5cm-Lattice-Pitch Fuel Pins

井澤 一彦 青山 康夫 曽野 浩樹 小川 和彦  
柳澤 宏司

Kazuhiko IZAWA, Yasuo AOYAMA, Hiroki SONO, Kazuhiko OGAWA  
and Hiroshi YANAGISAWA

東海研究開発センター  
原子力科学研究所  
安全試験施設管理部

Department of Criticality and Fuel Cycle Research Facilities  
Nuclear Science Research Institute  
Tokai Research and Development Center

February 2007

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JA  
E  
A  
T  
e  
c  
h  
n  
o  
l  
o  
g  
y

本レポートは日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp/index.shtml>)  
より発信されています。このほか財団法人原子力弘済会資料センター\*では実費による複写頒布を行つております。

〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4  
日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920

\* 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4 日本原子力研究開発機構内

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,  
Japan Atomic Energy Agency  
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920

## ガドリニウムを添加した 6wt%濃縮硝酸ウラニル溶液と格子間隔 1.5cm 棒状燃料とで構成する STACY 非均質炉心の核特性解析

日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター

原子力科学研究所 安全試験施設管理部

井澤 一彦, 青山 康夫\*, 曽野 浩樹, 小川 和彦, 柳澤 宏司

(2007 年 1 月 4 日受理)

日本原子力研究開発機構の定常臨界実験装置 STACY では、2006 年度に、非均質炉心での臨界実験を実施している。当該炉心は、可溶性毒物（ガドリニウム）を添加した硝酸ウラニル溶液燃料 ( $^{235}\text{U}$  濃縮度 6wt%) 及び格子間隔 1.5cm で配置した二酸化ウラン棒状燃料 ( $^{235}\text{U}$  濃縮度 5wt%) 333 本で構成される。その実験に先立ち、当該炉心の核的安全性及び核的制限値の評価を目的として核特性解析を行った。解析対象とした項目は、臨界、反応度及び原子炉停止余裕に関するパラメータである。解析には、モンテカルロコード MVP 及び核計算コードシステム SRAC を使用し、断面積ライブラリには JENDL-3.3 を用いた。解析の結果、当該実験で使用するすべての燃料条件下において、原子炉停止余裕が安全基準に適合する見通しであることを確認した。また、運転時に制限値の確認を容易に行うため、臨界液位、反応度等に関する解析値を補間する簡易推定式を評価した。

Analyses of Neutronic Characteristics of STACY Heterogeneous Cores  
Composed of 6wt%-Enriched Uranyl Nitrate Solution Containing  
Gadolinium and 1.5cm-Lattice-Pitch Fuel Pins

Kazuhiko IZAWA, Yasuo AOYAMA\*, Hiroki SONO, Kazuhiko OGAWA  
and Hiroshi YANAGISAWA

Department of Criticality and Fuel Cycle Research Facilities  
Nuclear Science Research Institute  
Tokai Research and Development Center  
Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 4, 2007)

A series of critical experiments is conducted in F.Y. 2006 using a heterogeneous core of the Static Experiment Critical Facility (STACY) in the Japan Atomic Energy Agency (JAEA). In the experiment, the core is composed of uranyl nitrate solution ( $^{235}\text{U}$  enrichment 6wt%) containing soluble poison (gadolinium) and 333 pins of uranium dioxide ( $^{235}\text{U}$  enrichment 5wt%) loaded at a lattice-pitch of 1.5cm. Prior to the experiment, the following neutronic characteristics were analyzed to assess safety of the core and operation parameter limits: criticality, reactivity and reactor shutdown margins. In the analyses, a Monte Carlo code, MVP, and a neutronics code system, SRAC, were used with an evaluated nuclear data library, JENDL-3.3. From these analyses, it was confirmed that the reactor shutdown margins would comply with the safety criteria under all conditions of the fuel used in the experiments. Simplified formulas for criticality and reactivity were also evaluated based on the analyzed values which are utilized to confirm the operation parameter limits during operations of the core.

**Keywords:** Critical Experiment, Heterogeneous Core, STACY, Uranyl Nitrate Solution, Soluble Poison, Gadolinium, Neutronic Characteristics, MVP, SRAC, JENDL-3.3

---

\*Research Staff on Loan

## 目 次

<b>1.</b>	<b>緒言</b>	<b>1</b>
1.1	目的	1
1.2	実験実施内容	1
<b>2.</b>	<b>計算条件</b>	<b>3</b>
2.1	計算コード及び核データ	3
2.2	溶液燃料	3
<b>3.</b>	<b>解析結果</b>	<b>11</b>
3.1	臨界液位	11
3.2	安全板挿入時の中性子実効増倍率	14
3.3	液位微分反応度係数	16
3.4	温度反応度効果	25
<b>4.</b>	<b>まとめ</b>	<b>28</b>
<b>謝辞</b>		<b>28</b>
<b>参考文献</b>		<b>29</b>
<b>付録-1. 液位計上昇制限液位設定表</b>		<b>30</b>
1.1	水反射体系	31
1.2	裸体系	36

## Contents

<b>1.</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
1.1	Purpose	1
1.2	Contents of Experiment	1
<b>2.</b>	<b>Calculation Method</b>	<b>3</b>
2.1	Codes and Nuclear Data	3
2.2	Fuel Solution	3
<b>3.</b>	<b>Results</b>	<b>11</b>
3.1	Critical Solution Level	11
3.2	Reactor Shutdown Margin and One-rod-stuck Margins	14
3.3	Differential Reactivity Worth in Fuel Solution Level	16
3.4	Temperature Effect of Reactivity	25
<b>4.</b>	<b>Conclusion</b>	<b>28</b>
<b>Acknowledgements</b>		<b>28</b>
<b>References</b>		<b>29</b>
<b>Appendix 1 Table of Feeding Limit</b>		<b>30</b>
1.1	Water Reflected Core System	31
1.2	Unreflected Core System	36

## 1. 緒言

### 1.1. 目的

日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター 原子力科学研究所の定常臨界実験装置 STACY(以下「STACY」と言う)では、1995年2月の初臨界以来、様々な炉心条件において低濃縮硝酸ウラニル水溶液の臨界量及び核特性値の取得を目的とした臨界実験を行ってきている<sup>1, 2, 3, 4)</sup>。その臨界実験計画の一貫として、核燃料再処理施設の溶解槽を模擬するため、2006年度に実施している臨界実験では、硝酸ウラニル水溶液に可溶性毒物(ガドリニウム)を添加した溶液燃料とウラン酸化物棒状燃料(格子間隔1.5cm)を組み合わせた非均質炉心を構成した。

当該炉心については、すでに機器設計・工事段階において安全解析及び規制当局による使用前検査がなされているが、実燃料装荷時の炉心性能確認は、保安規定に基づき、炉心を構成した最初の運転時に行われることになっている。そこで、以下の核特性評価項目について予備解析を行い、以下の点について当該炉心の安全性の確認及び運転時の核的制限値の評価を行った。

- (1) 臨界液位
- (2) 安全板挿入時の中性子実効増倍率
- (3) 液位微分反応度係数
- (4) 温度反応度効果

(1) の臨界液位は、臨界近接時の臨界推定値として用いるだけでなく、運転時の核的制限値を設定する上で重要なパラメータである。(2) の安全板挿入時の中性子実効増倍率は、原子炉の緊急停止時の原子炉停止余裕が制限値を満足することを確認するために評価される。(3) の液位微分反応度係数は、炉心タンク内溶液燃料液位(以下「燃料液位」という)を調整することによって反応度を制御するSTACYにおいて、反応度制御量の基準となる重要なパラメータである。(4) の温度反応度効果は、昇温実験の際、体系の温度変化に伴う反応度変化量を推定するために用いられる。

本報告書は、上記の解析結果をとりまとめたものである。なお、実験結果については、別途報告される予定である。第2章で解析方法について、第3章で解析結果について、最後に、第4章で本報告のまとめについて述べる。付録として、運転時に燃料液位の上限値を設定するために使用する液位計上昇制限設定値を付録-1に添付する。

### 1.2. 実験実施内容

当該実験では、炉心タンクとして直径約60cmの非均質円筒型炉心タンク<sup>5)</sup>を用い、炉心タンク内部には格子間隔1.5cmの棒状燃料格子板を組み込む。使用する棒状燃料(<sup>235</sup>U濃縮度5.0wt%)は333本であり、図1.1のように配置する。<sup>235</sup>U濃縮度6.0wt%の硝酸ウラニル水溶液(ウラン濃度約330gU/l、遊離硝酸濃度約2.0mol/l)にガドリニウムを添加した溶液燃料を炉心タンク内に給液し、水反射及び裸の条件における臨界液位等の測定を行う。ガドリニウムは数回に分けて添加し、添加のつど臨界実験を実施する。また、昇温実験では、炉心タンク側面に保温材(厚さ2.4cmのグラスウール)を装着し、40°Cまでの温度反応度効果を測定する。

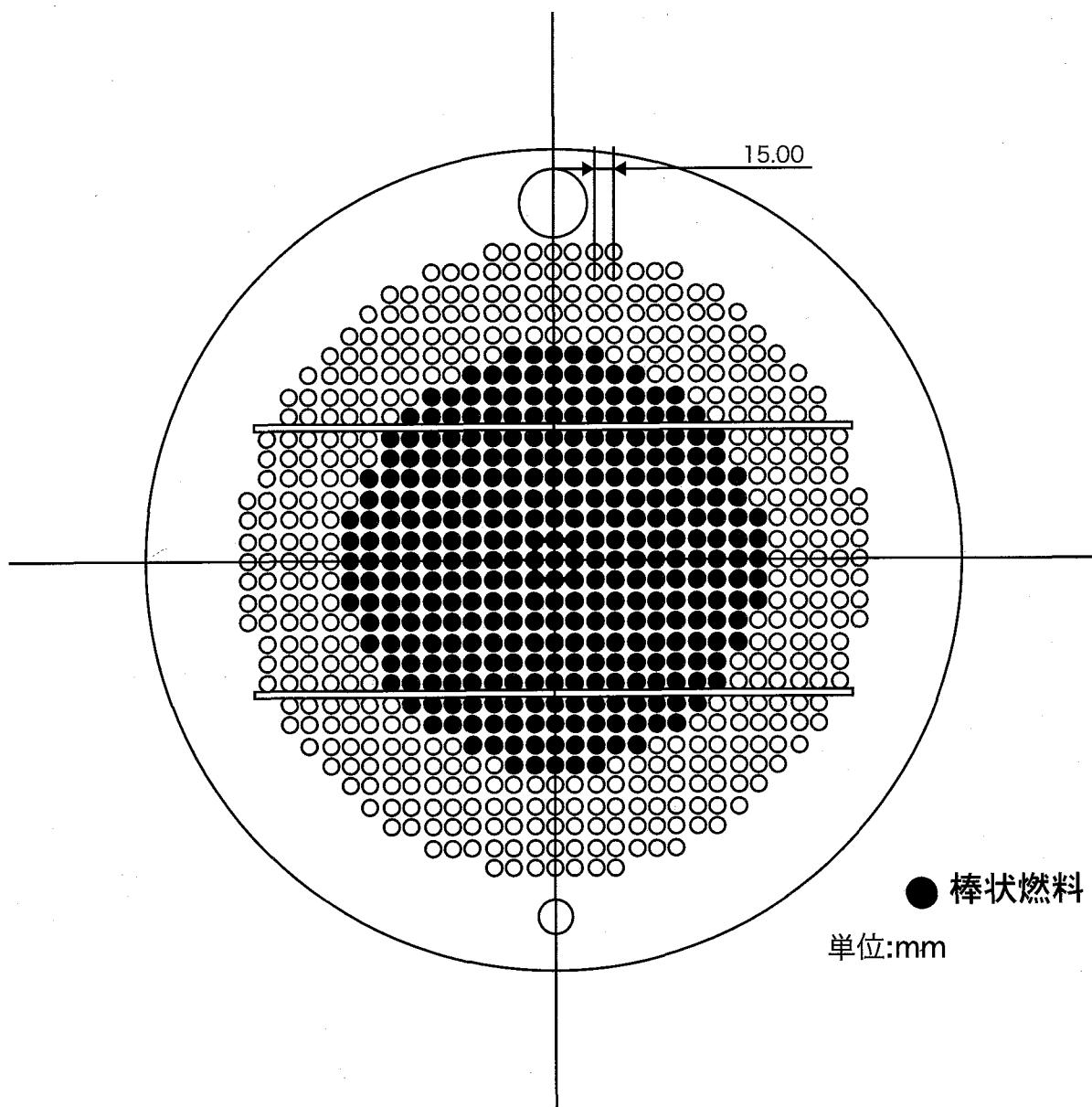


図 1.1 棒状燃料配置図

## 2. 計算条件

### 2.1. 計算コード及び核データ

当該炉心の主要な核特性として、臨界液位、安全板挿入時の中性子実効増倍率、液位微分反応度係数、温度反応度効果について解析を行った。前二者については、実験体系の棒状燃料配置及び安全板挿入位置を正確にモデル化するためにコンビネーション・ジオメトリ機能を有する連続エネルギーモンテカルロコード MVP<sup>⑥</sup>を使用して計算した。一方、後二者については、液位変化または温度変化に起因する微小な反応度変化を解析する必要があり、統計誤差を伴うモンテカルロコードで精度よく計算することは困難であるため、決定論的方法に基づく核計算コード SRAC システム<sup>⑦</sup>の衝突確率計算モジュール PIJ、1 次元 Sn 輸送計算モジュール ANISN、及び 2 次元 Sn 輸送計算モジュール TWOTRAN を組み合わせて計算した。いずれの計算でも核データライブラリには JENDL-3.3<sup>⑧</sup>を用いた。図 2.1 に計算フローを示す。

MVP による計算では、JENDL-3.3 に基づくポイントワイズ断面積を用いた。追跡粒子のヒストリ数は 1 計算あたり 100 万 (5000 ヒストリ × 300 バッチ；初期の 100 バッチを統計処理から除く)とした。MVP の計算モデルを図 2.2、図 2.3、及び図 2.4 に示す。このモデルにおいては、炉心タンクのフランジ部、胴板サポートリング、触針式液位計、炉心温度計、安全板ガイドピン、タイロッド及びスペーサ及び炉心タンク外の構造材（炉心タンクサポート、炉心水槽、核計装設備等）を省略した。

SRAC による計算については、JENDL-3.3 に基づく 107 群パブリック断面積ファイル (高速中性子 61 群、熱中性子 46 群、熱中性子カットオフ・エネルギー 2.3824eV) を用い、PIJ により棒状燃料セルの 107 群均質化断面積を求めた。次いでこの均質化断面積を用いて ANISN による一次元 107 群輸送計算 (ルジャンドル展開係数 1 次、角度分点 8、高さ方向の中性子の漏れはバックリングで補正) を行い、17 群 (高速中性子 10 群、熱中性子 7 群) に縮約した均質化断面積を作成した。最後に、この 17 群均質化断面積を用いて TWOTRAN による二次元輸送計算 (ルジャンドル展開係数一次、角度分点 8) を行った。なお、ANISN、TWOTRAN による計算では、棒状燃料セル部が占める領域の水平断面積を保存した等価円筒領域を設け、これを均質化棒状燃料セル領域としてモデル化した。すべての溶液燃料及び炉心構成材の温度は、温度反応度効果以外の計算では 25 °C とし、温度反応度効果の計算にあたっては、それぞれ 30 °C、35 °C、40 °C とした。計算モデルを、PIJ について図 2.5 に、ANISN について図 2.6 に、TWOTRAN について図 2.7 にそれぞれ示す。

### 2.2. 溶液燃料

実験に使用する溶液燃料は、<sup>235</sup>U 濃縮度 6.0wt%、ウラン濃度約 330gU/l、遊離硝酸濃度約 2mol/l に調整したものである。実験の進行に従って、この溶液燃料にガドリニウムを順次添加する。

本解析では、溶液燃料中のガドリニウム濃度をパラメータとして、それぞれ 0, 0.025, 0.050, 0.075, 0.1, 0.125 gGd/l の濃度条件について解析した。また、ガドリニウム添加の際ガドリニウムを溶解させた水溶液の追加に伴ってウラン濃度の変動が予想される。このため、ガドリニウムを添加した溶液燃料に対しては、ウラン濃度をそれぞれ 320, 330, 340gU/l とした濃度条件についても解析し、ウラン濃度の変動が臨界量に及ぼす影響を調べた。

上記に加え、昇温実験時の温度反応度効果の解析にあたっては、ウラン濃度が 330gU/l で

ガドリニウム濃度が異なる溶液燃料それぞれについて体系の温度をそれぞれ 30, 35, 40 °Cに昇温した場合の中性子実効増倍率を計算した。

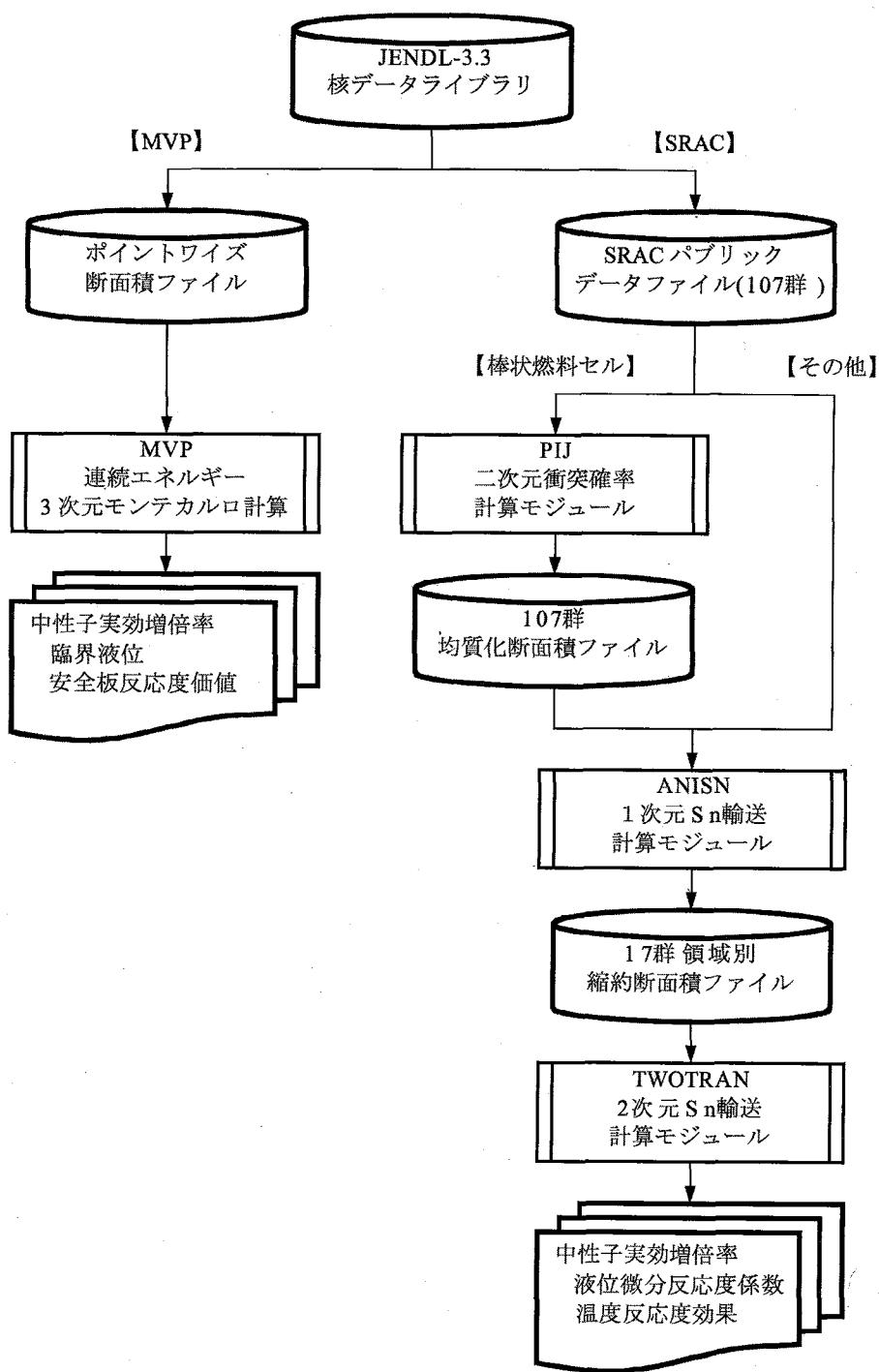
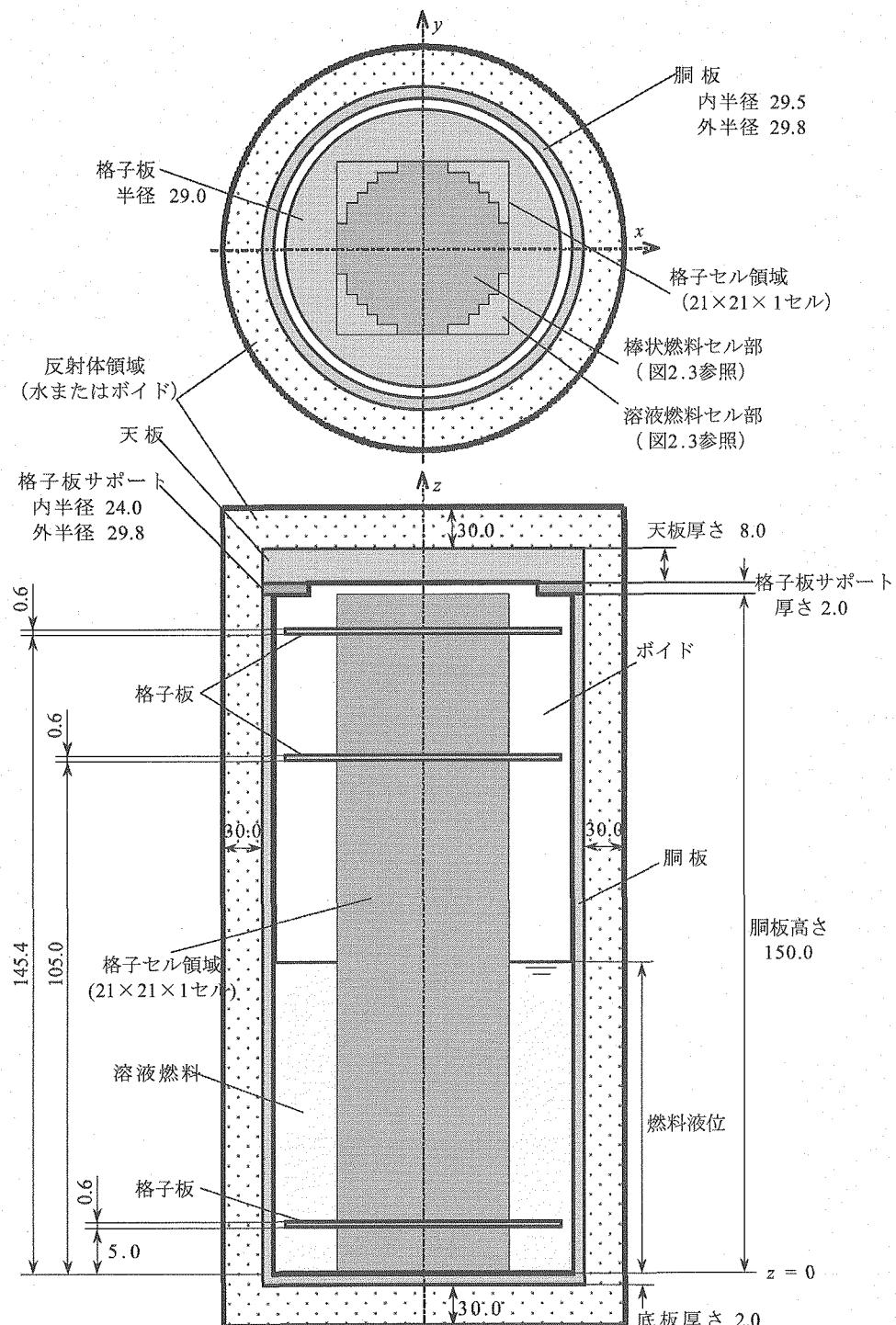


図 2.1 計算フロー



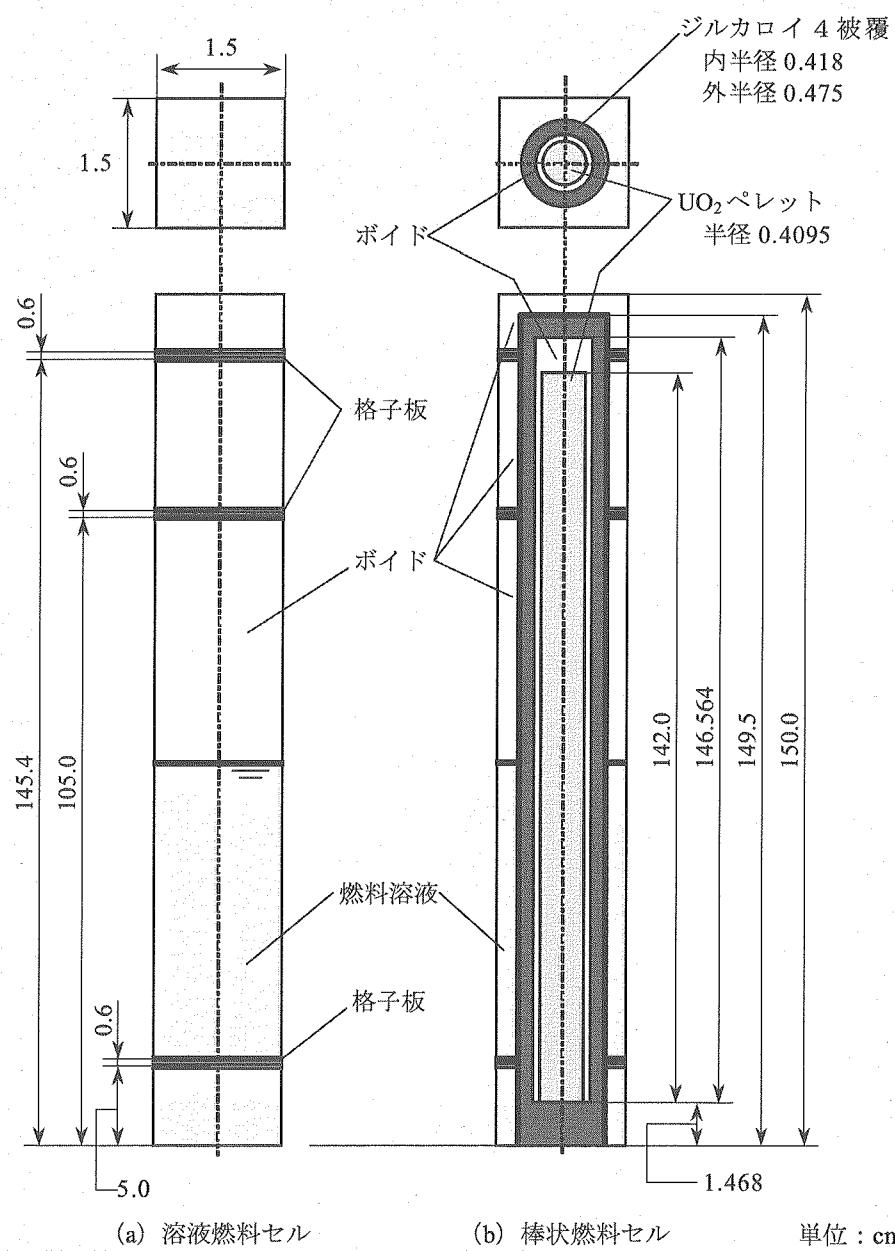


図 2.3 MVP 計算モデル (棒状燃料領域セル)

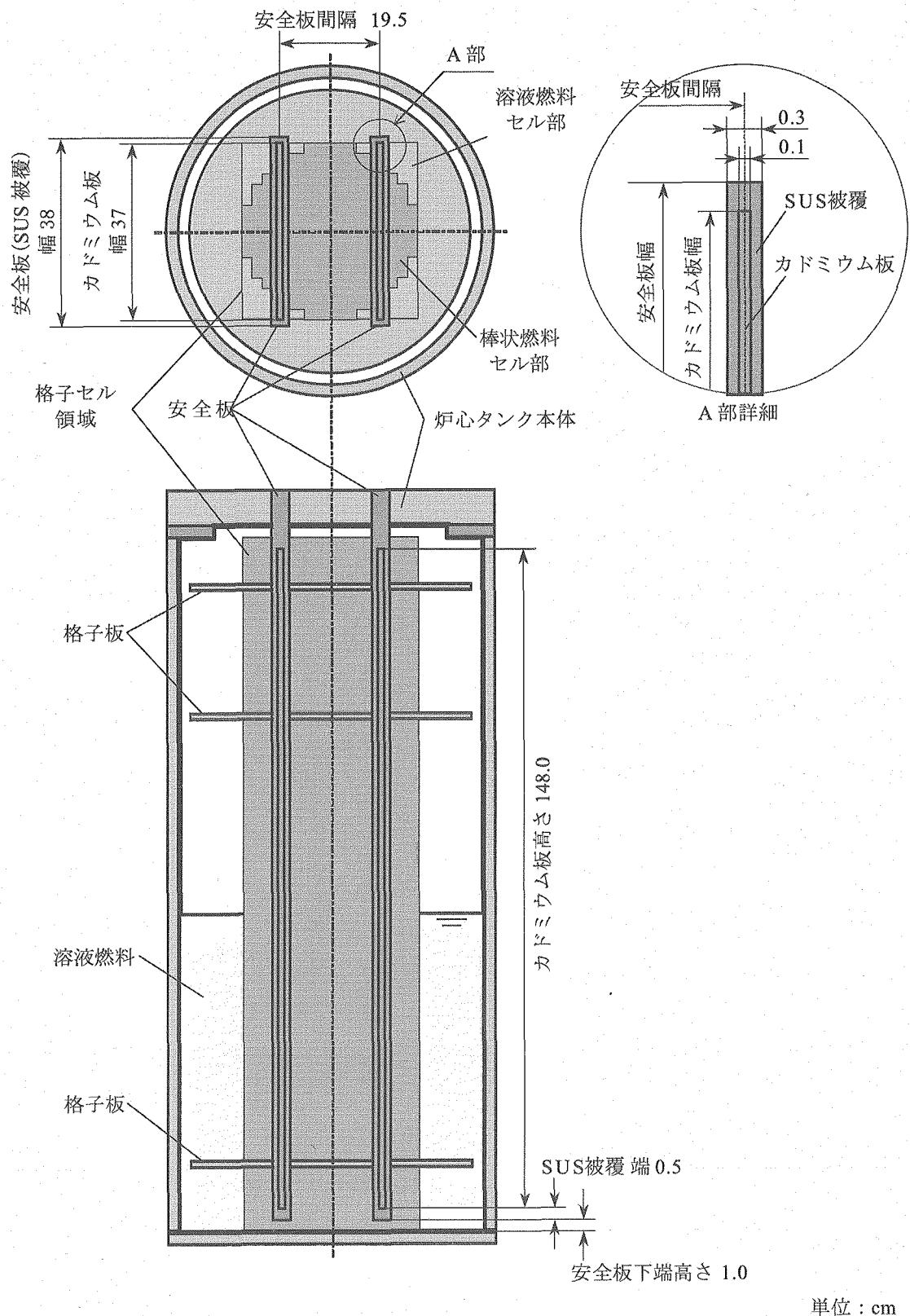
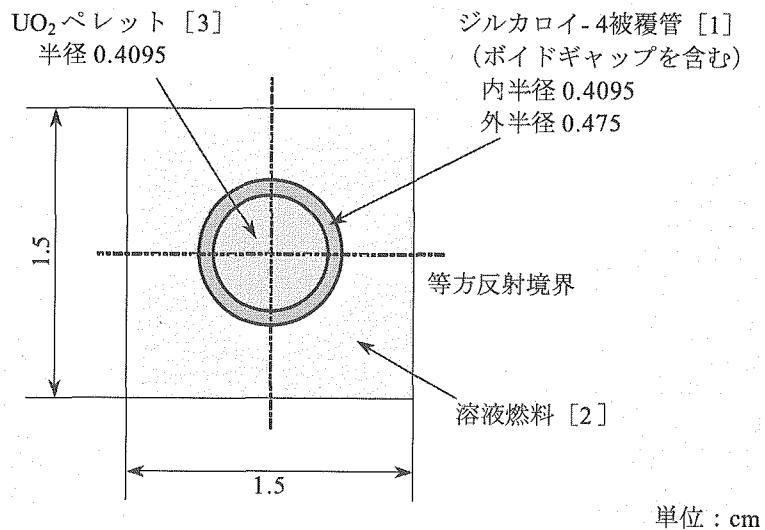
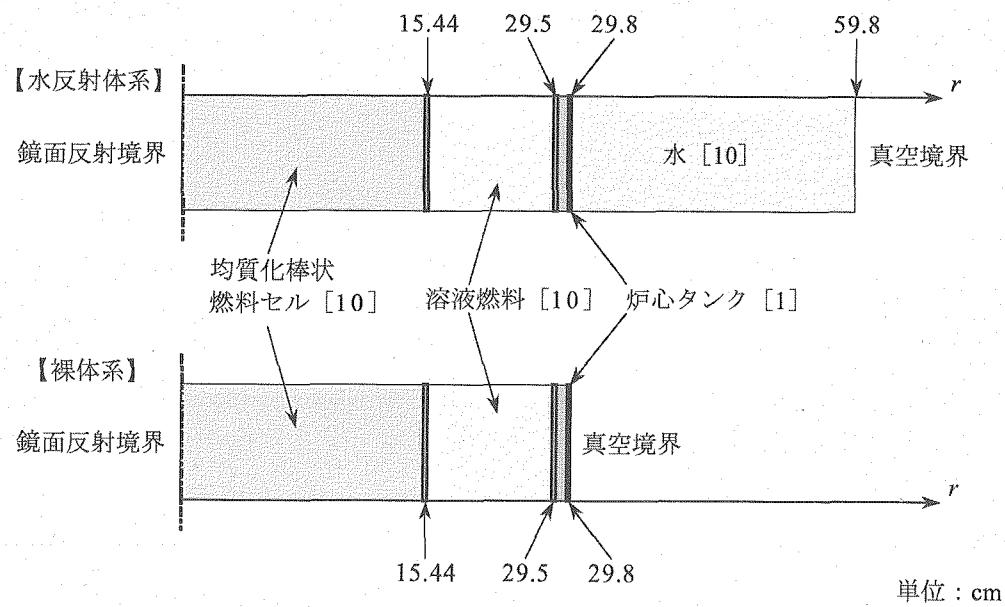


図 2.4 MVP 計算モデル (安全板挿入位置)



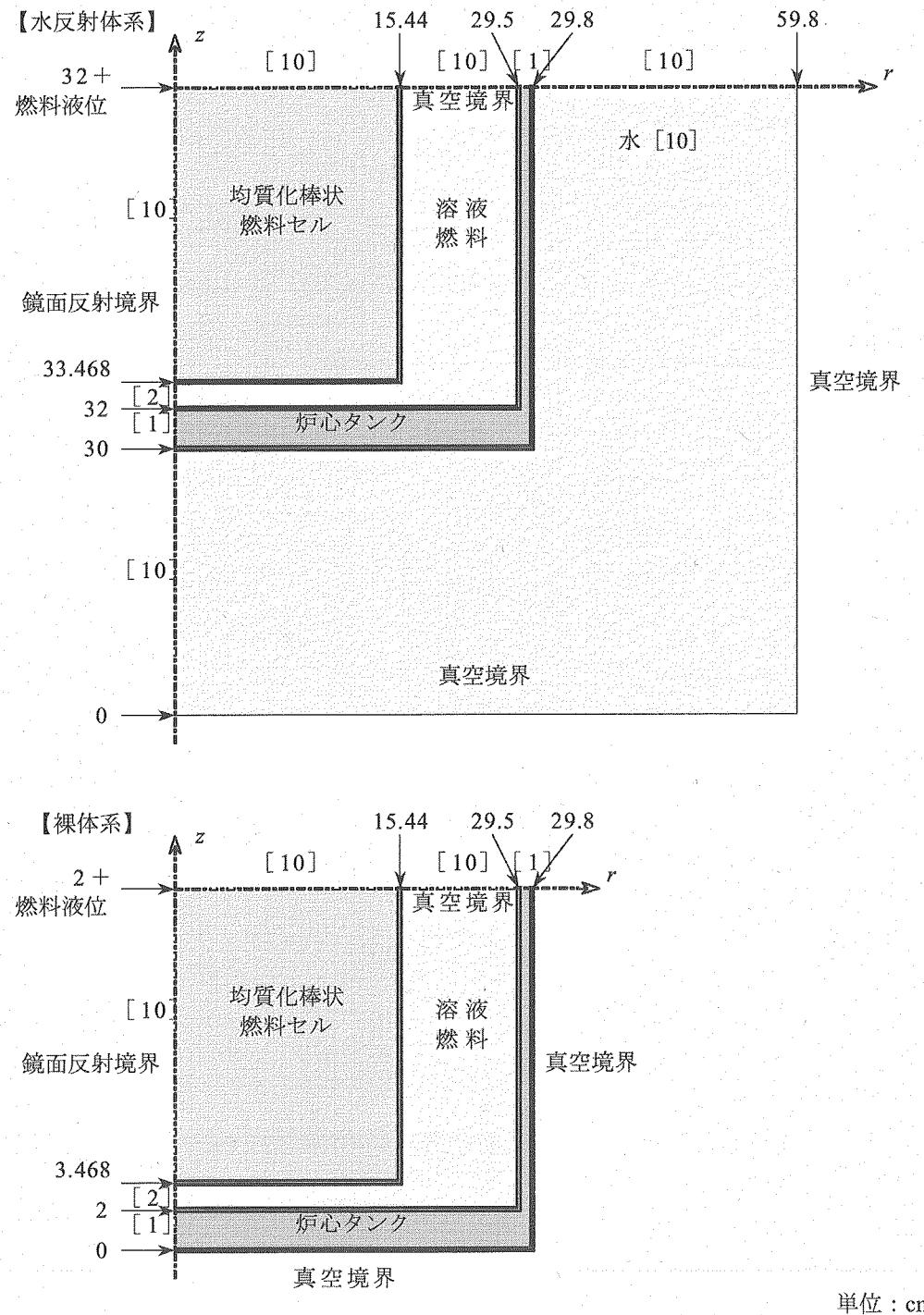
(注) [ ] 内数字は、領域分割数を表す。

図 2.5 SRAC 計算モデル (PIJ, セル均質化計算, 同心円分割正方格子)



(注) [ ] 内数字は、領域分割数を表す。

図 2.6 SRAC 計算モデル (ANISN, 断面積縮約計算, 一次元円柱体系)



(注) [ ] 内数字は、領域分割数を表す。

図 2.7 SRAC 計算モデル (TWOTRAN, 全炉心計算, 二次元円柱体系)

### 3. 解析結果

#### 3.1. 臨界液位

燃料液位を変化させて中性子実効増倍率の計算を行い、臨界となる液位をサーチした。燃料条件と臨界液位との関係を表 3.1 に示す。以下では、ガドリニウム濃度及びウラン濃度の変化が臨界液位に与える影響について考察する。

##### 3.1.1. ガドリニウム濃度と臨界液位の関係

ウラン濃度 330gU/ℓ におけるガドリニウム濃度と臨界液位の関係を図 3.1 に示す。臨界液位は、ガドリニウム濃度が増加するにつれて単調に増加していることがわかる。また、同図から、臨界液位制限範囲内 (40 ~ 140cm) で臨界を得られるのはガドリニウム濃度約 0.13g/ℓ 程度までであることがわかる。

図 3.1 に示された臨界液位の変化をガドリニウム濃度をパラメータとする多項式でフィッティングし、ガドリニウム濃度から臨界液位を推定する近似式を導出した。

以下に得られた近似式を示す。

$$\begin{aligned} \text{水反射体系 } H_c = & 4.7381 \times 10^5 C^4 - 6.4511 \times 10^4 C^3 \\ & + 3.9225 \times 10^3 C^2 + 1.7506 \times 10^2 C + 40.645 \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} \text{裸体系 } H_c = & 5.4054 \times 10^5 C^4 - 7.2032 \times 10^4 C^3 \\ & + 4.3589 \times 10^3 C^2 + 1.8208 \times 10^2 C + 44.162 \end{aligned} \quad (3.2)$$

ただし、

$H_c$ : 臨界液位 (cm)

$C$ : ガドリニウム濃度 (g/ℓ)

である。また、この近似式の解析値に対する誤差は最大 0.4% 程度である。

##### 3.1.2. ウラン濃度と臨界液位の関係

ウラン濃度と臨界液位の関係を図 3.2 に示す。同図より、臨界液位はウラン濃度 320 ~ 340gU/ℓ の範囲では、濃度の増加と共に減少する傾向にあることがわかる。図中の直線は臨界液位をウラン濃度の 1 次式で補間したものである。図 3.2 に示された直線の傾きから求めたウラン濃度の変化による臨界液位の感度係数を表 3.2 に示す。感度係数はガドリニウム濃度 0.1g/ℓ 以下では 1gU/ℓ あたり 1mm を越えないが、ガドリニウム濃度が上がるにつれ大きくなる。これは、ガドリニウム濃度が増大するにつれ液位微分反応度係数が低下するためであると思われる。感度係数は最大でガドリニウム濃度 0.125g/ℓ 時に約 0.5cm/(gU/ℓ) 程度である。

表 3.1 臨界液位サーチ結果

反射条件	ガドリニウム濃度 (g/ℓ)	ウラン濃度 (gU/ℓ)	硝酸濃度 (mol/ℓ)	溶液燃料温度 (°C)	臨界液位 (cm)
水反射体系	0	330	2.0	25	40.64
	0.025	320	2.0	25	47.15
	0.025	330	2.0	25	46.68
	0.025	340	2.0	25	46.41
	0.050	320	2.0	25	54.53
	0.050	330	2.0	25	54.05
	0.050	340	2.0	25	53.51
	0.075	320	2.0	25	65.10
	0.075	330	2.0	25	63.67
	0.075	340	2.0	25	63.34
	0.1	320	2.0	25	82.42
	0.1	330	2.0	25	80.22
	0.1	340	2.0	25	78.33
裸体系	0.125	320	2.0	25	116.18
	0.125	330	2.0	25	113.50
	0.125	340	2.0	25	108.72
	0.000	330	2.0	25	44.14
	0.025	320	2.0	25	50.86
	0.025	330	2.0	25	50.63
	0.025	340	2.0	25	50.20
	0.050	320	2.0	25	58.95
	0.050	330	2.0	25	58.32
	0.050	340	2.0	25	58.09
	0.075	320	2.0	25	70.17
	0.075	330	2.0	25	69.27
	0.075	340	2.0	25	69.36
水反射体系	0.1	320	2.0	25	88.78
	0.1	330	2.0	25	87.87
	0.1	340	2.0	25	85.94
	0.125	320	2.0	25	130.83
	0.125	330	2.0	25	126.33
	0.125	340	2.0	25	121.35

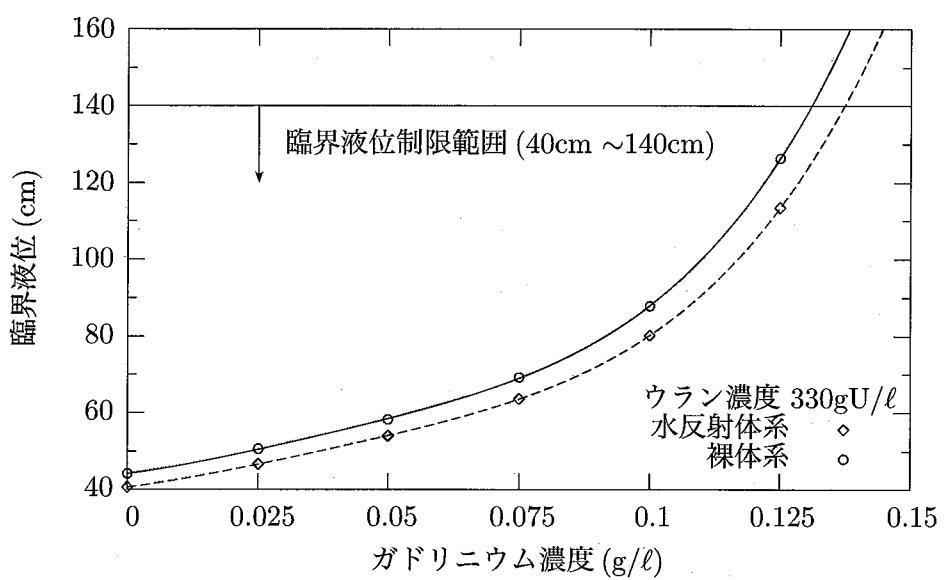


図 3.1 ガドリニウム濃度と臨界液位の関係

表 3.2 ウラン濃度による臨界液位の変化

反射条件	ガドリニウム濃度 (g/ℓ)	ウラン濃度による臨界液位の変化 (cm/(gU/ℓ))
水反射体系	0.025	-0.0366
	0.050	-0.0511
	0.075	-0.0881
	0.1	-0.2047
	0.125	-0.3731
裸体系	0.025	-0.0330
	0.050	-0.0429
	0.075	-0.0400
	0.1	-0.1422
	0.125	-0.4736

### 3.2. 安全板挿入時の中性子実効増倍率

第 3.1 節で得た臨界条件それぞれについて、安全板 2 枚または 1 枚を挿入した状態の中性子実効増倍率を計算した。なお、安全板挿入に伴う液位上昇については、溶液燃料の総重量が保存されるように考慮した。ただし、ここで臨界とした条件で計算された中性子実効増倍率が必ずしも 1 とはならないため、まず、反応度差として安全板の反応度価値を次式によって求めた。

$$\rho_{\text{rod}} = \frac{1}{k_{\text{out}}} - \frac{1}{k_{\text{in}}} \quad (3.3)$$

ただし、

$\rho_{\text{rod}}$ : 安全板反応度価値 ( $\Delta k/k$ )

$k_{\text{out}}$ : 安全板未挿入時の中性子実効増倍率

$k_{\text{in}}$ : 安全板挿入時の中性子実効増倍率

である。

ついで、次式から安全板挿入時の中性子実効増倍率を求めた。

$$k_{\text{rod}} = \frac{1}{1 - \rho_{\text{rod}}} = \frac{k_{\text{out}} k_{\text{in}}}{k_{\text{out}} k_{\text{in}} - k_{\text{in}} + k_{\text{out}}} \quad (3.4)$$

ただし、

$k_{\text{rod}}$ : 安全板挿入時の中性子実効増倍率

である。

ガドリニウム濃度 0.025, 0.050, 0.075, 0.1, 0.125g/ℓ、ウラン濃度 320, 330, 340gU/ℓ それぞれの条件で安全板挿入時の中性子実効増倍率を計算した。計算結果を表 3.3 ~ 表 3.5 に示す。表中の誤差は MVP コードの計算結果に付随する誤差(約 0.07%程度)を誤差の伝播により評価したものである。また、この結果をプロットしたものを原子炉停止余裕について図 3.3 に、ワンロッドスタックマージンについて図 3.4 に示す。図から、安全板挿入時の中性子実効増倍

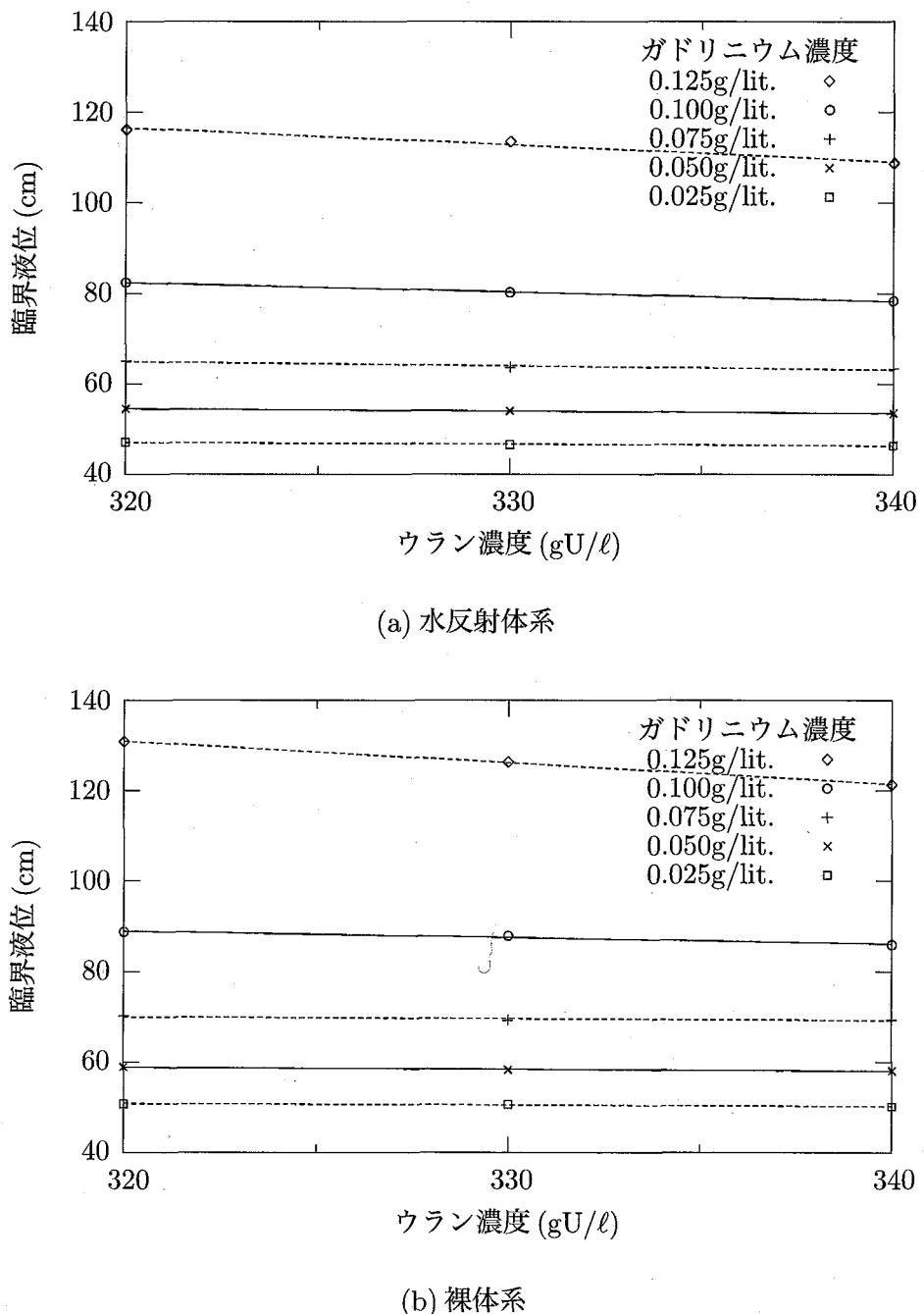


図 3.2 ウラン濃度変化に対する臨界液位の感度係数 ((a) 水反射体系 (b) 裸体系)

表 3.3 安全板挿入時の中性子実効増倍率(ウラン濃度 320gU/ℓ)

反射条件	ガドリニウム濃度 (g/ℓ)	中性子実効増倍率			
		安全板 1 枚挿入時 (ワンロッドスタックマージン)		安全板 2 枚挿入時 (原子炉停止余裕)	
水反射体系	0.025	0.953	±0.20%	0.906	±0.19%
	0.050	0.956	±0.19%	0.907	±0.19%
	0.075	0.956	±0.19%	0.909	±0.18%
	0.100	0.955	±0.18%	0.910	±0.17%
	0.125	0.960	±0.17%	0.913	±0.18%
裸体系	0.025	0.954	±0.19%	0.907	±0.18%
	0.050	0.955	±0.17%	0.908	±0.18%
	0.075	0.957	±0.17%	0.909	±0.19%
	0.100	0.958	±0.17%	0.911	±0.16%
	0.125	0.959	±0.18%	0.912	±0.17%

率は、ガドリニウム及びウラン濃度に大きな影響を受けず、水、裸いずれの反射条件下においても安全基準値(原子炉停止余裕において 0.985 以下、ワンロッドスタックマージンにおいて 0.995 以下)に対して十分な安全裕度が得られることがわかる。

### 3.3. 液位微分反応度係数

本節では、第 3.1 節において求めた臨界液位及びその臨界液位から 10mm 上昇させた液位における中性子実効増倍率を求め、次式から液位微分反応度係数を計算した。

$$\frac{d\rho}{dH} = \left( \frac{1}{k_c} - \frac{1}{k_{ex}} \right) \times \frac{100}{\Delta H \cdot \beta_{eff}} \quad (3.5)$$

ただし、

$d\rho/dH$ : 液位微分反応度係数 (cent/mm)

$\Delta H$ : 臨界液位からの液位変位量 (10mm)

$k_c$ : 臨界液位における中性子実効増倍率

$k_{ex}$ : 臨界液位より 10mm 上昇させた液位における中性子実効増倍率

$\beta_{eff}$ : 実効遅発中性子割合 (0.007)

である。なお、 $\beta_{eff}$  の値には STACY の施設定期検査などで用いられる代表値 (0.007) を使用した。臨界液位と液位微分反応度係数の関係を図 3.5 に示す。液位微分反応度係数は、修正 1 群理論に基づき、次式で近似することができる<sup>9)</sup>。

$$\frac{d\rho}{dH} = \frac{C}{(H + \lambda)^3} \quad (3.6)$$

ただし、

$d\rho/dH$ : 液位微分反応度係数 (cent/mm)

表 3.4 安全板挿入時の中性子実効増倍率(ウラン濃度 330gU/ℓ)

反射条件	ガドリニウム濃度 (g/ℓ)	中性子実効増倍率	
		安全板 1 枚挿入時 (ワンロッドスタックマージン)	安全板 2 枚挿入時 (原子炉停止余裕)
水反射体系	0.025	0.956 ±0.20%	0.908 ±0.19%
	0.050	0.956 ±0.17%	0.909 ±0.18%
	0.075	0.955 ±0.19%	0.910 ±0.19%
	0.100	0.958 ±0.17%	0.909 ±0.17%
	0.125	0.959 ±0.17%	0.911 ±0.17%
裸体系	0.025	0.955 ±0.18%	0.908 ±0.18%
	0.050	0.955 ±0.17%	0.906 ±0.18%
	0.075	0.956 ±0.16%	0.909 ±0.16%
	0.100	0.957 ±0.17%	0.911 ±0.17%
	0.125	0.957 ±0.16%	0.911 ±0.16%

表 3.5 安全板挿入時の中性子実効増倍率(ウラン濃度 340gU/ℓ)

反射条件	ガドリニウム濃度 (g/ℓ)	中性子実効増倍率	
		安全板 1 枚挿入時 (ワンロッドスタックマージン)	安全板 2 枚挿入時 (原子炉停止余裕)
水反射体系	0.025	0.955 ±0.20%	0.907 ±0.19%
	0.050	0.955 ±0.18%	0.908 ±0.18%
	0.075	0.958 ±0.16%	0.909 ±0.18%
	0.100	0.956 ±0.17%	0.909 ±0.17%
	0.125	0.957 ±0.18%	0.911 ±0.17%
裸体系	0.025	0.953 ±0.18%	0.904 ±0.19%
	0.050	0.955 ±0.19%	0.906 ±0.18%
	0.075	0.956 ±0.18%	0.910 ±0.18%
	0.100	0.956 ±0.16%	0.908 ±0.19%
	0.125	0.957 ±0.16%	0.911 ±0.17%

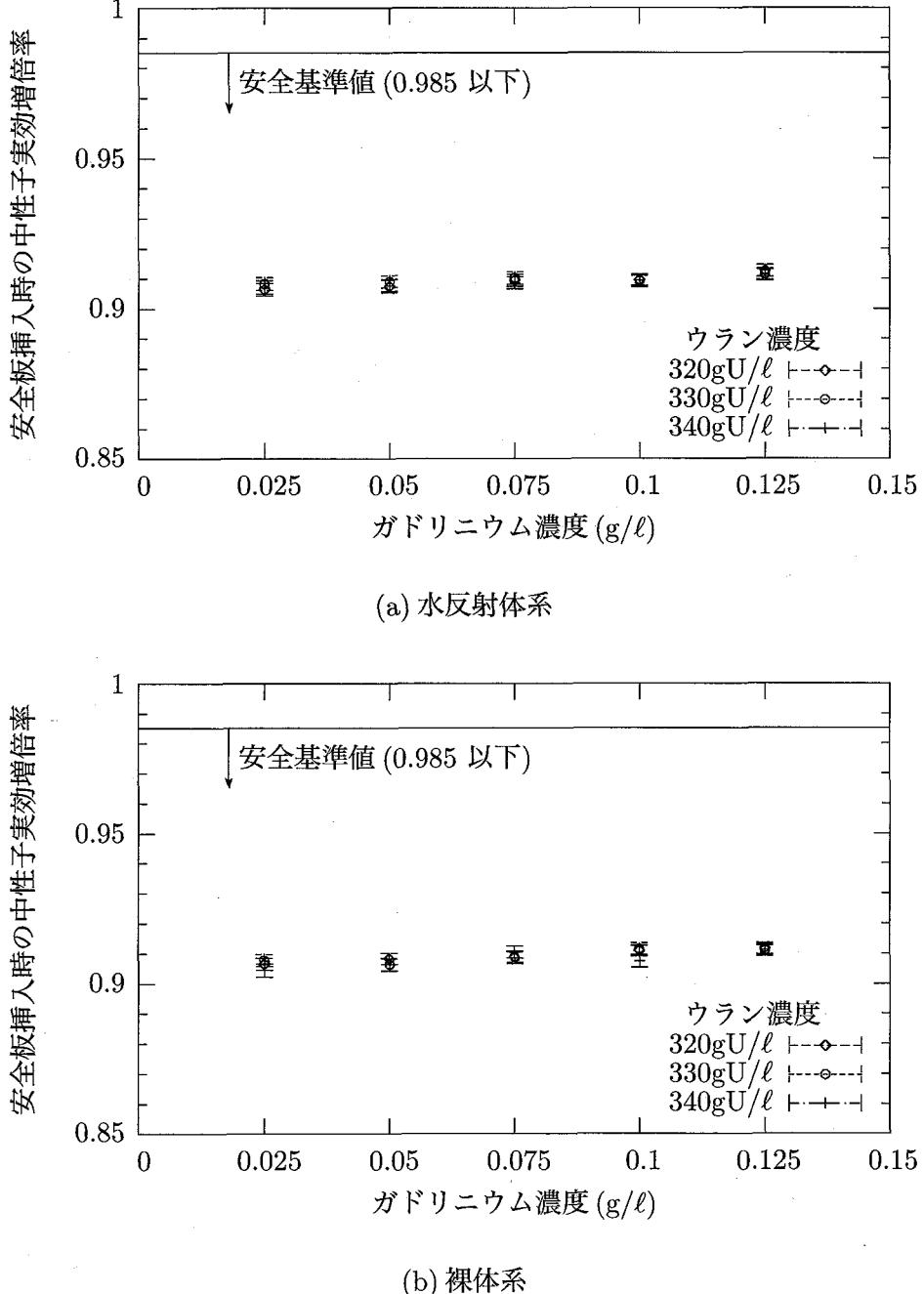


図 3.3 原子炉停止余裕 ((a) 水反射体系 (b) 裸体系)

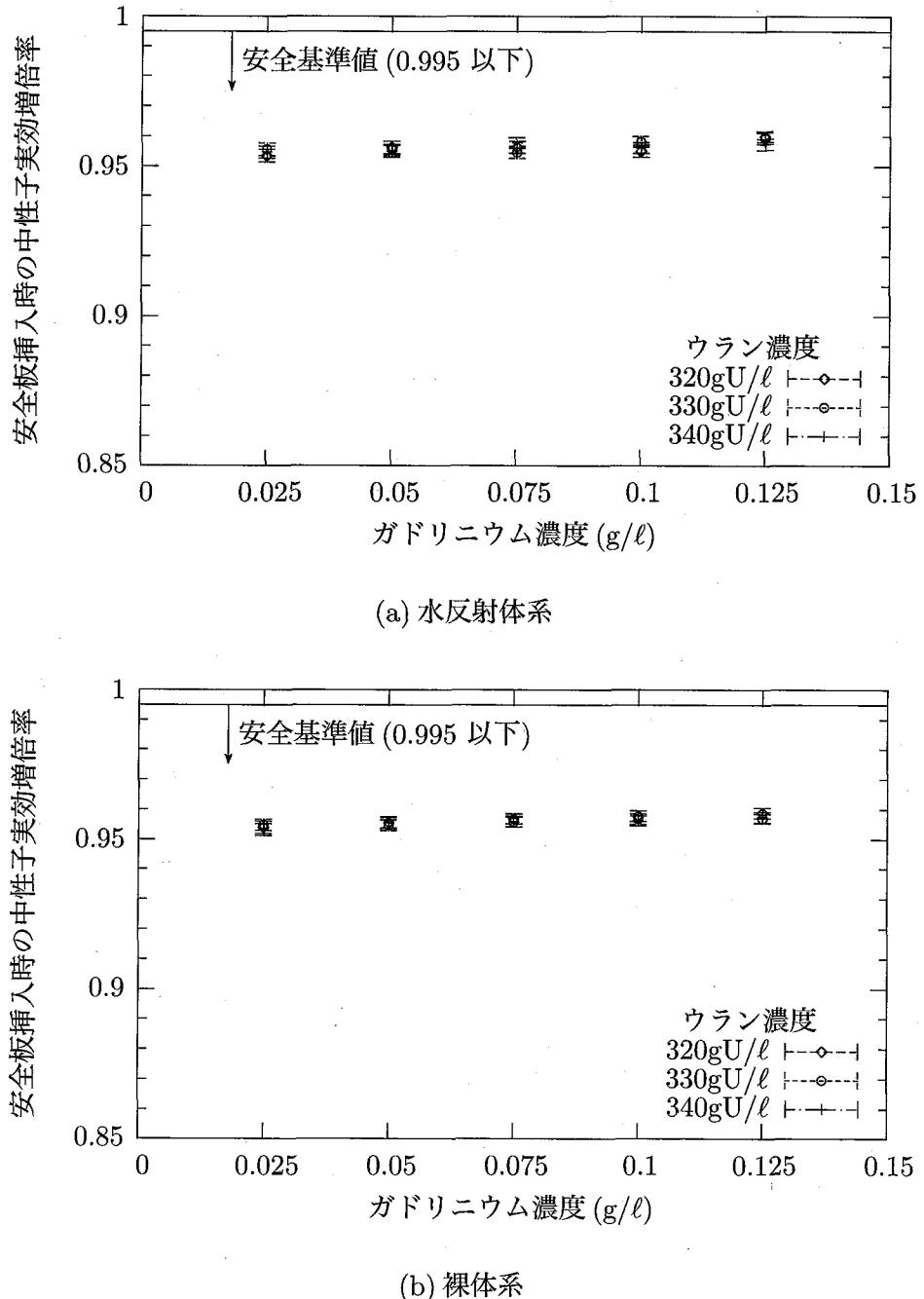


図 3.4 ワンロッドスタックマージン ((a) 水反射体系 (b) 裸体系)

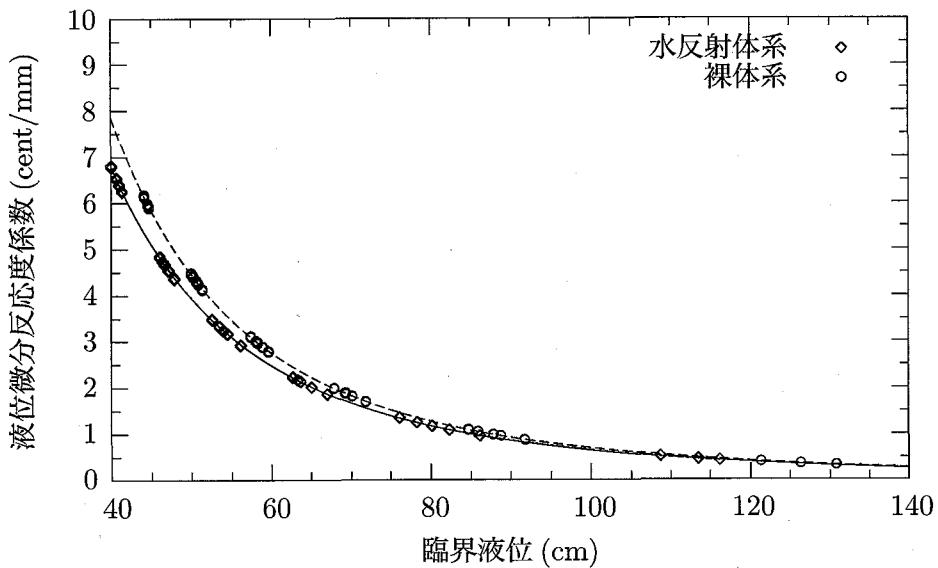


図 3.5 臨界液位と液位微分反応度係数の関係

 $H$ : 燃料液位 $\lambda$ : 高さ方向外挿距離(両端を含む)(mm) $C$ : 変換定数(cent·mm<sup>2</sup>)

図 3.5 に示した液位微分反応度係数を、 $\lambda, C$  をパラメータ係数として最小二乗法でフィッティングし、水反射体系及び裸体系について  $\lambda, C$  をそれぞれ求めた。 $\lambda, C$  の値を表 3.6 に示す。

この液位微分反応度係数を基に、以下、反応度添加率(第 3.3.1 節)、最大添加反応度及び最大過剰反応度(第 3.3.2 節)、及び液位計上昇制限液位(第 3.3.3 節)を算出した。

表 3.6 液位微分反応度フィッティング係数

中性子反射条件	$C$ (cent·mm <sup>2</sup> )	$\lambda$ (mm)
水反射体系	$8.739 \times 10^8$	105.19
裸体系	$8.766 \times 10^8$	81.68

### 3.3.1. 反応度添加率

STACY の運転管理上、臨界近傍における反応度添加率は 3cent/s 以下に制限される。反応度添加率は、給液による炉心タンク内の燃料液位の上昇速度(以下「液位上昇速度」と言う)とその燃料液位における液位微分反応度係数の積で表される。ここで、当該炉心の溶液燃料が占める部分の水平断面積として  $2.464 \times 10^3 \text{ cm}^2$ <sup>10)</sup>を用いると、液位上昇速度と給液ポンプによる給液流量との関係は次式のようになる。

$$\frac{dH}{dt} = \frac{F \times 1000}{60} \times \frac{10}{2.464 \times 10^3} = 0.06764F \quad (3.7)$$

ただし、

$dH/dt$ : 液位上昇速度 (mm/s)

$F$ : 給液流量 ( $\ell/\text{min}$ )

$\lambda$ : 高さ方向外挿距離 (両端を含む)(mm)(表 3.6 を参照)

$C$ : 変換定数 ( $\text{cent}\cdot\text{mm}^2$ )(表 3.6 を参照)

である。式(3.6)に式(3.7)を乗じることにより、臨界液位近傍における給液流量と反応度添加率の関係は、次式で表される。

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{d\rho}{dH} \times \frac{dH}{dt} = \frac{C \times 0.06764F}{(H_c + \lambda)^3} \quad (3.8)$$

ただし、

$d\rho/dt$ : 反応度添加率 (cent/s)

$H_c$ : 臨界液位 (mm)

$F$ : 給液流量 ( $\ell/\text{min}$ )

図 3.6 に臨界液位と反応度添加率の関係を給液流量毎に示した。同図から、当該実験の燃料範囲においては、給液流量を  $5\ell/\text{min}$  以下に制限することにより、反応度添加率の制限値である 3cent/s を満足する見通しが得られた。

### 3.3.2. 最大添加反応度及び最大過剰反応度

最大添加反応度とは、臨界液位を超えて給液停止触針を設定できる上限位置に相当する反応度であり、運転管理上 20cent 以下に制限される。また、給液停止触針を超えて溶液燃料が給液されることを防ぐために、給液停止触針の 1.8mm 上方に給液制限触針が備え付けられている<sup>11)</sup>。最大過剰反応度とは、この給液制限触針の位置に相当する反応度であり、80cent 以下に制限される。以下では、当該炉心における最大添加反応度及び最大過剰反応度を見積った。

臨界液位を超えて溶液燃料を  $\Delta H_{\text{mm}}$  給液した時の反応度  $\rho$  は、式(3.6)を積分することによって求められる。

$$\rho = \int_{H_c}^{H_c + \Delta H} \frac{C}{(\lambda + h)^3} dh = \frac{C}{2} \left( \frac{1}{(H_c + \lambda)^2} - \frac{1}{(H_c + \Delta H + \lambda)^2} \right) \quad (3.9)$$

ただし、

$\lambda$ : 高さ方向外挿距離 (両端を含む)(mm)(表 3.6 を参照)

$C$ : 変換定数 ( $\text{cent}\cdot\text{mm}^2$ )(表 3.6 を参照)

$\rho$ : 反応度 (cent)

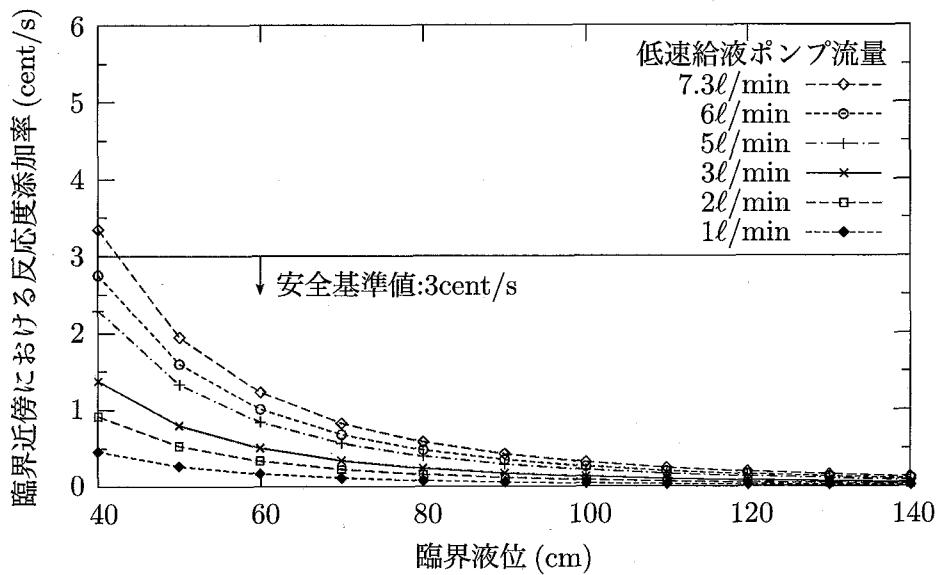
$H_c$ : 臨界液位 (mm)

$\Delta H$ : 臨界液位との液位差 (mm)

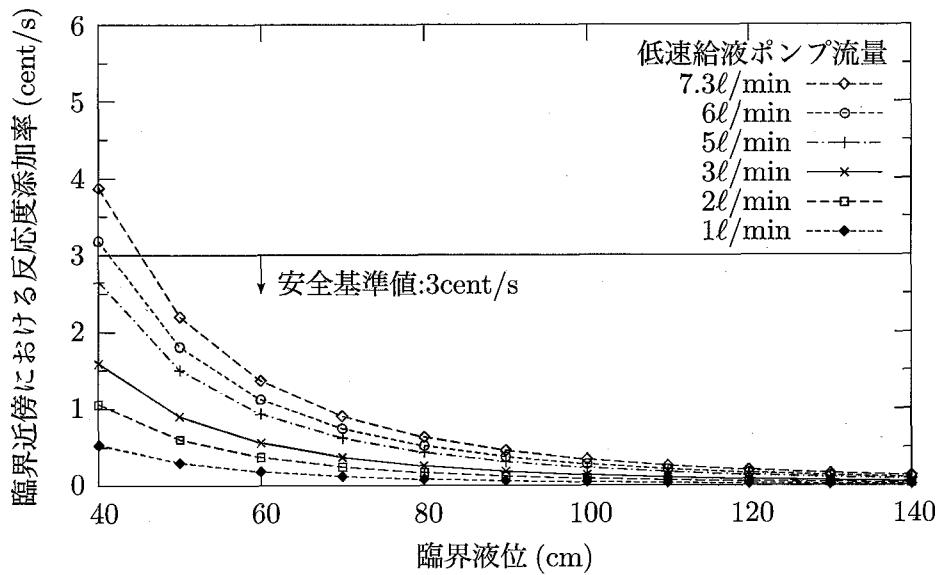
したがって、反応度  $\rho$  に対応する臨界液位との液位差  $\Delta H$  は、式(3.9)を  $\Delta H$  について解くことで求められる。

$$\Delta H = \left[ \frac{1}{(H_c + \lambda)^2} - \frac{2\rho}{C} \right]^{-\frac{1}{2}} - H_c - \lambda \quad (3.10)$$

このとき、給液停止触針の設定位置は、給液停止信号が発されてから給液が停止するまでのタイムラグ (1s) を見込み、その間の液位上昇分を差し引く必要がある。したがって、最大添加



(a) 水反射体系



(b) 裸体系

図 3.6 臨界液位と反応度添加率の関係 ((a) 水反射体系 (b) 裸体系)

反応度及び最大過剰反応度の制限値に対応する給液停止触針の設定位置と臨界液位との液位差は、それぞれ、以下のように表される。

$$\Delta H_{20} = \left[ \frac{1}{(H_c + \lambda)^2} - \frac{2 \cdot 20}{C} \right]^{-\frac{1}{2}} - H_c - \lambda - 0.06764F \quad (3.11)$$

$$\Delta H_{80} = \left[ \frac{1}{(H_c + \lambda)^2} - \frac{2 \cdot 80}{C} \right]^{-\frac{1}{2}} - H_c - \lambda - 1.8 - 0.06764F \quad (3.12)$$

ただし、

$\lambda$ : 高さ方向外挿距離(両端を含む)(mm)(表 3.6 を参照)

$C$ : 変換定数(cent·mm<sup>2</sup>)(表 3.6 を参照)

$H_c$ : 臨界液位(mm)

$\Delta H_{20}$ : 最大添加反応度(20cent)に対応する  $\Delta H$ (mm)

$\Delta H_{80}$ : 最大過剰反応度(80cent)に対応する  $\Delta H$ (mm)

$F$ : 給液流量(ℓ/min)

図 3.7 に、給液流量をパラメータとして最大添加反応度及び最大過剰反応度それぞれに対応する  $\Delta H$  をプロットした。同図を見ると、給液流量 1ℓ/min ~ 7.3ℓ/min に対応する曲線は、ほぼ一致している。このことから、給液停止触針の設定位置( $\Delta H$ )は給液ポンプ流量にはほとんど依存しないことがわかる。また、本実験の条件においては最大添加反応度に対応する  $\Delta H$  は、常に最大過剰反応度に対応する  $\Delta H$  よりも小さい。従って、最大添加反応度に対応する  $\Delta H$  を用いることによって、常に制限値を満たすことができる。

### 3.3.3. 液位計上昇制限液位

STACY の運転においては、最大添加反応度(20cent)から 1 秒間に添加され得る最大反応度(3cent)を差し引いた反応度(17cent)に対応する溶液燃料液位を液位計上昇制限液位と定め、臨界近接の都度予想される臨界液位に大する値を評価し、設定している。液位計上昇制限液位は、次式のように表される。

$$H_2 = \left[ \frac{1}{(H_c + \lambda)^2} - \frac{2 \cdot 17}{C} \right]^{-\frac{1}{2}} - \lambda - 0.06764F \quad (3.13)$$

ただし、

$\lambda$ : 高さ方向外挿距離(両端を含む)(mm)(表 3.6 を参照)

$C$ : 変換定数(cent·mm<sup>2</sup>)(表 3.6 を参照)

$H_c$ : 臨界液位(mm)

$H_2$ : 液位計上昇制限液位(mm)

$F$ : 給液流量(ℓ/min)

式(3.13)に従って給液流量を 5ℓ/min とした時の液位計上昇制限液位の設定値を付録-1 に添付した。また、出力上昇における安定ペリオドを測定するための 10cent 相当の燃料液位(倍増時間測定液位)も同様に求め、付録-1 に併記した。

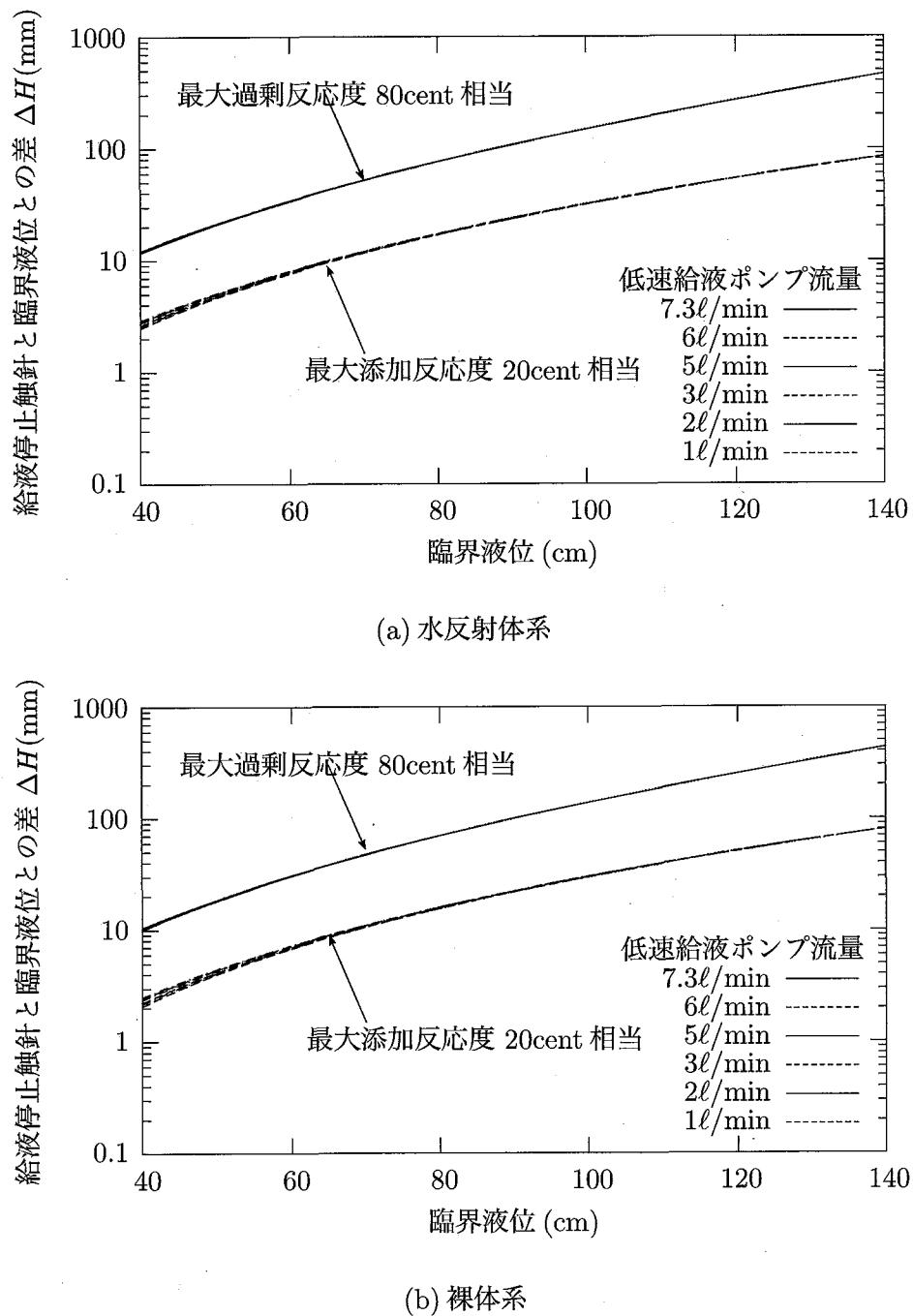


図 3.7 最大添加反応度及び最大過剰反応度を与える臨界超過液位 ((a) 水反射体系 (b) 裸体系)

### 3.4. 温度反応度効果

昇温実験時の温度反応度効果を推定するために、ウラン濃度  $330\text{gU}/\ell$ 、ガドリニウム濃度  $0.025, 0.050, 0.075, 0.1, 0.125\text{g}/\ell$  の燃料それぞれについて体系の温度をそれぞれ  $30, 35, 40\text{ }^{\circ}\text{C}$  に昇温した場合の中性子実効増倍率を計算した。なお、燃料液位は、第 3.1 節で求めた臨界液位から、昇温による溶液燃料の密度変化を考慮し、溶液燃料の総量を保存するように算出した。

得られた中性子実効増倍率から、温度反応度効果を次式により計算した。

$$\rho_T = \left( \frac{1}{k_{25}} - \frac{1}{k_T} \right) \times \frac{100}{\beta_{eff}} \quad (3.14)$$

ただし、

$\rho_T$ : 温度反応度効果 (cent)

$k_{25}$ : 体系温度が  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  の時の中性子実効増倍率

$k_T$ : 昇温時の中性子実効増倍率

$\beta_{eff}$ : 実効遅発中性子割合 (0.007)

式 (3.14) から求められた温度反応度効果を表 3.7 に、炉心温度と反応度効果との関係を図 3.8 に示す。解析の結果、本実験範囲における温度反応度効果は常に負であり、かつその絶対値はガドリニウム濃度が増大するにつれて減少することがわかる。これは、高ガドリニウム濃度の溶液燃料では、ガドリニウムによる中性子吸収効果が大きいため、温度変化による影響が相対的に小さくなるためであると考えられる。40  $^{\circ}\text{C}$ までの体系温度の変化による温度反応度効果の最大値は、最大 37 cent 程度である。

表 3.7 に示した温度反応度効果を、温度差とガドリニウム濃度をパラメータとしてフィッティングすることにより、次の近似式を得た。

$$\begin{aligned} \text{水反射体系 } \rho_T = & -0.938971 + 31.8919C - 203.224C^2 - \\ & 2.03489\Delta T + 6.61563C\Delta T - 0.0131421\Delta T^2 \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} \text{裸体系 } \rho_T = & -0.877156 + 30.3599C - 203.224C^2 - \\ & 2.36872\Delta T + 7.17569C\Delta T - 0.0154007\Delta T^2 \end{aligned} \quad (3.16)$$

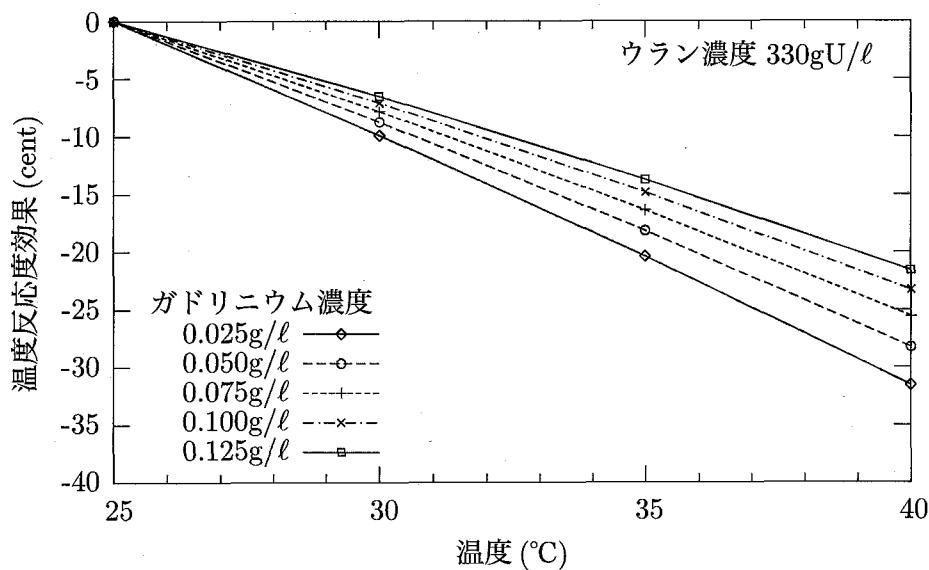
ただし、

$\rho_T$ : 温度反応度効果 (cent)

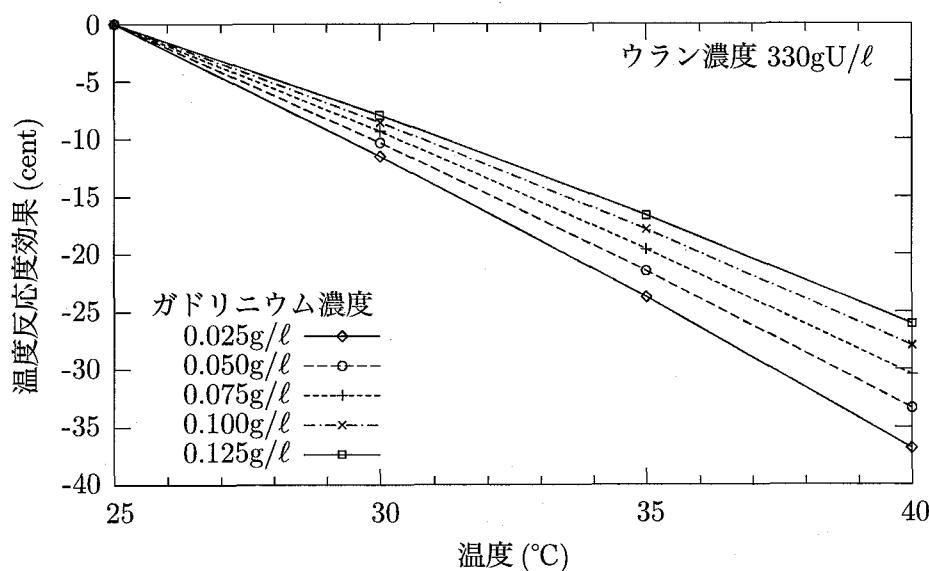
$\Delta T$ : 基準温度 ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) からの温度差 ( $^{\circ}\text{C}$ )

$C$ : ガドリニウム濃度 ( $\text{g}/\ell$ ) ( $0 \leq C \leq 0.125$ )

である。なお、この近似式の解析値に対する誤差は最大 2% 程度である。



(a) 水反射体系



(b) 裸体系

図 3.8 温度反応度効果 ((a) 水反射体系 (b) 裸体系)

表 3.7 溫度反応度効果

反射条件	ガドリニウム濃度 (g/ℓ)	溶液燃料温度 (°C)		
		30	35	40
水反射体系	0.025	-9.9	-20.4	-31.5
	0.050	-8.7	-18.2	-28.2
	0.075	-7.8	-16.4	-25.5
	0.1	-7.1	-14.8	-23.3
	0.125	-6.5	-13.7	-21.6
裸体系	0.025	-11.5	-23.7	-36.8
	0.050	-10.3	-21.5	-33.3
	0.075	-9.3	-19.6	-30.4
	0.1	-8.6	-17.9	-27.9
	0.125	-7.9	-16.6	-26.0

#### 4. まとめ

日本原子力研究開発機構東海研究開発センター原子力科学研究所の定常臨界実験装置(STACY)において、2006年度に実施している非均質炉心(棒状燃料格子間隔1.5cm及びガドリニウム添加6wt%濃縮硝酸ウラン水溶液燃料)での臨界実験に先立ち、当該炉心の核的安全性及び核的制限値を評価することを目的として、臨界液位、反応度及び原子炉停止余裕に関する核特性解析を行った。

連続エネルギーモンテカルロコードMVPを用い、ガドリニウム(非放射性)を添加した溶液燃料の組成をパラメータとして臨界液位を計算し、ガドリニウム濃度から臨界液位を推定する近似式を導出した。また、MVPにより、同条件下において安全板挿入時の中性子実効増倍率を計算し、当該実験におけるすべての燃料条件において原子炉停止余裕及びワンロッドスタックマージンが安全基準を満足する見通しを得た。

また、汎用核計算コードシステムSRACを用いて、燃料溶液の液位微分反応度係数を算出し、液位から液位微分反応度係数を推定する近似式を導出した。それを基に当該実験における燃料条件下において反応度添加率の制限値を満足する給液流量、最大添加反応度及び最大過剰反応度を与える給液停止触針の設定位置を評価した。さらに、昇温実験時の温度反応度効果を計算し、温度反応度効果が25°C~40°Cの範囲で常に負であることを確認した。また、温度上昇が体系に及ぼす反応度効果を推定する近似式を導出した。

#### 謝辞

本報告書をまとめるにあたり、土尻滋安全試験施設管理部長及び三好慶典安全試験施設管理部次長に貴重な助言及び激励を頂きました。また、安全研究センター核燃料サイクル施設安全評価研究グループの外池幸太郎研究副主幹には、本書の原稿を閲読して頂き、貴重なご意見を頂きました。ここに記して御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) Y. Miyoshi, T. Umano, K. Tonoike, *et al.*, "Critical experiments on 10% enriched uranyl nitrate solution using a 60-cm-diameter cylindrical core," *Nucl. Technol.*, **118**, 69 (1997).
- 2) S. Watanabe, Y. Yamane, Y. Miyoshi, *et al.*, *STACY: 80-cm-diameter cylindrical tank of 10%-enriched uranyl nitrate solutions, water-reflected, LEU-SOL-THERM-020, NEA/NSC/DOC(95)03/IV*, OECD/NEA (2001).
- 3) T. Yamamoto, Y. Miyoshi, T. Kikuchi, *et al.*, "Criticality safety benchmark experiment on 10% enriched uranyl nitrate solution using a 28-cm-thickness slab core," *J. Nucl. Sci. Technol.*, **39**[7], 789 (2002).
- 4) K. Tonoike, Y. Miyoshi, T. Kikuchi, *et al.*, "Kinetic parameter  $\beta_{\text{eff}}/\ell$  measurement on low enriched uranyl nitrate solution with single unit cores (600 $\phi$ , 280T, 800 $\phi$ ) of STACY" *J. Nucl. Sci. Technol.*, **39**[11] 1227 (2002).
- 5) 村上清信, 小野寺清二, 広瀬秀幸, 他, 「定常臨界実験装置(STACY)の製作」, JAERI-Tech 98-033, 日本原子力研究所 (1998).
- 6) 森貴正, 中川正幸, 「MVP/GMVP; 連続エネルギー法及び多群法に基づく汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコード」, JAERI-Data/Code 94-007, 日本原子力研究所 (1994).
- 7) 奥村啓介, 金子邦男, 土橋敬一郎, 「SRAC95; 汎用核計算コードシステム」, JAERI-Data/Code 96-015, 日本原子力研究所 (1996).
- 8) K. Shibata, T. Kawano, T. Nakagawa, *et al.*, "Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-3: JENDL-3.3," *J. Nucl. Sci. Technol.*, **39**[11], 1125 (2002).
- 9) 曽野浩樹, 三好慶典, 大野秋男, 「STACY800 $\phi$ 円筒炉心における10%濃縮ウラン硝酸水溶液燃料を用いた臨界実験の予備解析」, JAERI-Tech 98-016, 日本原子力研究所 (1998).
- 10) 曽野浩樹, 深谷裕司, 柳澤宏司, 他, 「棒状燃料格子間隔1.5cmのSTACY非均質炉心の核特性解析」, JAERI-Tech 2003-065, 日本原子力研究所 (2003).
- 11) 曽野浩樹, 小野寺清二, 広瀬秀幸, 他, 「平成7年における定常臨界実験装置STACYの運転記録—600 $\phi$ 円筒炉心・10%濃縮ウラン硝酸水溶液—」, JAERI-Tech 97-005, 日本原子力研究所 (1997).

## 付録-1. 液位計上昇制限液位設定表

本付録では、STACY の運転時に設定する触針式液位計上昇制限液位の設定値を示す。ここで、表中の  $H_2$  は、最大添加反応度 (20cent) から 1 秒間に添加され得る最大の反応度 (3cent) を差し引いた反応度 (17cent) に相当する液位である。また、 $H_d$  は運転中に出力倍増時間を測定する際に設定する液位であり、反応度約 10cent に相当する。 $H_2$  及び  $H_d$  の算出にあたっては次式を用いた。

$$H_2 = \left[ \frac{1}{(H_c + \lambda)^2} - \frac{2 \cdot 17}{C} \right]^{-\frac{1}{2}} - \lambda - 0.06764F \quad (\text{A1.1})$$

ただし、

$\lambda$ : 高さ方向外挿距離 (両端を含む)(mm)(表 A1.1 を参照)

$C$ : 変換定数 (cent·mm<sup>2</sup>)(表 A1.1 を参照)

$H_c$ : 臨界液位 (mm)

$H_2$ : 液位計上昇制限液位 (mm)

$F$ : 給液流量 ( $H_2$  計算時 5 ℓ/min、 $H_d$  計算時 0ℓ/min)

である。また、パラメータ  $\lambda, C$  には、本文第 3.3 節で求めた以下の値を用いた。

表 A1.1 液位微分反応度フィッティング係数

中性子反射条件	$C$ (cent·mm <sup>2</sup> )	$\lambda$ (mm)
水反射体系	$8.739 \times 10^8$	105.19
裸体系	$8.766 \times 10^8$	81.68

## 1.1. 水反射体系

H<sub>2</sub> テーブル 水反射体系 $C = 8.7390 \times 10^8, \lambda = 105.190$  $H_c = 400.0 \sim 600.0$ 

$H_c$ (mm)	$H_d$ (mm)	$H_2$ (mm)									
400	401.5	402.2	450	452.0	453.0	500	502.6	504.0	550	553.2	555.2
401	402.5	403.2	451	453.0	454.0	501	503.6	505.0	551	554.3	556.2
402	403.5	404.2	452	454.0	455.1	502	504.6	506.1	552	555.3	557.3
403	404.5	405.2	453	455.0	456.1	503	505.6	507.1	553	556.3	558.3
404	405.5	406.2	454	456.0	457.1	504	506.6	508.1	554	557.3	559.3
405	406.5	407.3	455	457.0	458.1	505	507.6	509.1	555	558.3	560.3
406	407.5	408.3	456	458.0	459.1	506	508.6	510.2	556	559.3	561.4
407	408.5	409.3	457	459.0	460.2	507	509.6	511.2	557	560.3	562.4
408	409.6	410.3	458	460.1	461.2	508	510.7	512.2	558	561.4	563.4
409	410.6	411.3	459	461.1	462.2	509	511.7	513.2	559	562.4	564.4
410	411.6	412.3	460	462.1	463.2	510	512.7	514.2	560	563.4	565.5
411	412.6	413.4	461	463.1	464.2	511	513.7	515.3	561	564.4	566.5
412	413.6	414.4	462	464.1	465.2	512	514.7	516.3	562	565.4	567.5
413	414.6	415.4	463	465.1	466.3	513	515.7	517.3	563	566.4	568.5
414	415.6	416.4	464	466.1	467.3	514	516.7	518.3	564	567.5	569.6
415	416.6	417.4	465	467.1	468.3	515	517.7	519.4	565	568.5	570.6
416	417.6	418.4	466	468.1	469.3	516	518.8	520.4	566	569.5	571.6
417	418.6	419.5	467	469.2	470.3	517	519.8	521.4	567	570.5	572.6
418	419.6	420.5	468	470.2	471.4	518	520.8	522.4	568	571.5	573.7
419	420.7	421.5	469	471.2	472.4	519	521.8	523.4	569	572.5	574.7
420	421.7	422.5	470	472.2	473.4	520	522.8	524.5	570	573.6	575.7
421	422.7	423.5	471	473.2	474.4	521	523.8	525.5	571	574.6	576.8
422	423.7	424.5	472	474.2	475.4	522	524.8	526.5	572	575.6	577.8
423	424.7	425.6	473	475.2	476.5	523	525.9	527.5	573	576.6	578.8
424	425.7	426.6	474	476.2	477.5	524	526.9	528.6	574	577.6	579.8
425	426.7	427.6	475	477.2	478.5	525	527.9	529.6	575	578.6	580.9
426	427.7	428.6	476	478.3	479.5	526	528.9	530.6	576	579.6	581.9
427	428.7	429.6	477	479.3	480.5	527	529.9	531.6	577	580.7	582.9
428	429.7	430.6	478	480.3	481.6	528	530.9	532.7	578	581.7	584.0
429	430.8	431.7	479	481.3	482.6	529	531.9	533.7	579	582.7	585.0
430	431.8	432.7	480	482.3	483.6	530	533.0	534.7	580	583.7	586.0
431	432.8	433.7	481	483.3	484.6	531	534.0	535.7	581	584.7	587.0
432	433.8	434.7	482	484.3	485.6	532	535.0	536.8	582	585.7	588.1
433	434.8	435.7	483	485.3	486.7	533	536.0	537.8	583	586.8	589.1
434	435.8	436.7	484	486.4	487.7	534	537.0	538.8	584	587.8	590.1
435	436.8	437.8	485	487.4	488.7	535	538.0	539.8	585	588.8	591.1
436	437.8	438.8	486	488.4	489.7	536	539.0	540.9	586	589.8	592.2
437	438.8	439.8	487	489.4	490.7	537	540.1	541.9	587	590.8	593.2
438	439.8	440.8	488	490.4	491.8	538	541.1	542.9	588	591.8	594.2
439	440.9	441.8	489	491.4	492.8	539	542.1	543.9	589	592.9	595.3
440	441.9	442.8	490	492.4	493.8	540	543.1	545.0	590	593.9	596.3
441	442.9	443.9	491	493.4	494.8	541	544.1	546.0	591	594.9	597.3
442	443.9	444.9	492	494.5	495.8	542	545.1	547.0	592	595.9	598.3
443	444.9	445.9	493	495.5	496.9	543	546.1	548.0	593	596.9	599.4
444	445.9	446.9	494	496.5	497.9	544	547.2	549.1	594	597.9	600.4
445	446.9	447.9	495	497.5	498.9	545	548.2	550.1	595	599.0	601.4
446	447.9	448.9	496	498.5	499.9	546	549.2	551.1	596	600.0	602.5
447	448.9	450.0	497	499.5	501.0	547	550.2	552.1	597	601.0	603.5
448	449.9	451.0	498	500.5	502.0	548	551.2	553.2	598	602.0	604.5
449	451.0	452.0	499	501.5	503.0	549	552.2	554.2	599	603.0	605.6

給液流量 = 5ℓ/min

$H_2$  テーブル 水反射体系 (続き) $C = 8.7390 \times 10^8, \lambda = 105.190$  $H_c = 600.0 \sim 800.0$ 

$H_c$ (mm)	$H_d$ (mm)	$H_2$ (mm)									
600	604.0	606.6	650	655.0	658.2	700	706.0	710.0	750	757.2	762.1
601	605.1	607.6	651	656.0	659.2	701	707.1	711.1	751	758.3	763.1
602	606.1	608.6	652	657.0	660.3	702	708.1	712.1	752	759.3	764.2
603	607.1	609.7	653	658.0	661.3	703	709.1	713.1	753	760.3	765.2
604	608.1	610.7	654	659.1	662.3	704	710.1	714.2	754	761.4	766.3
605	609.1	611.7	655	660.1	663.4	705	711.2	715.2	755	762.4	767.3
606	610.2	612.8	656	661.1	664.4	706	712.2	716.2	756	763.4	768.4
607	611.2	613.8	657	662.1	665.4	707	713.2	717.3	757	764.4	769.4
608	612.2	614.8	658	663.1	666.5	708	714.2	718.3	758	765.5	770.5
609	613.2	615.9	659	664.2	667.5	709	715.2	719.4	759	766.5	771.5
610	614.2	616.9	660	665.2	668.5	710	716.3	720.4	760	767.5	772.5
611	615.2	617.9	661	666.2	669.6	711	717.3	721.4	761	768.5	773.6
612	616.3	618.9	662	667.2	670.6	712	718.3	722.5	762	769.6	774.6
613	617.3	620.0	663	668.2	671.6	713	719.3	723.5	763	770.6	775.7
614	618.3	621.0	664	669.3	672.7	714	720.4	724.6	764	771.6	776.7
615	619.3	622.0	665	670.3	673.7	715	721.4	725.6	765	772.6	777.8
616	620.3	623.1	666	671.3	674.7	716	722.4	726.7	766	773.7	778.8
617	621.3	624.1	667	672.3	675.8	717	723.4	727.7	767	774.7	779.9
618	622.4	625.1	668	673.3	676.8	718	724.5	728.7	768	775.7	780.9
619	623.4	626.2	669	674.4	677.8	719	725.5	729.8	769	776.7	782.0
620	624.4	627.2	670	675.4	678.9	720	726.5	730.8	770	777.8	783.0
621	625.4	628.2	671	676.4	679.9	721	727.5	731.9	771	778.8	784.0
622	626.4	629.3	672	677.4	681.0	722	728.6	732.9	772	779.8	785.1
623	627.5	630.3	673	678.4	682.0	723	729.6	733.9	773	780.9	786.1
624	628.5	631.3	674	679.5	683.0	724	730.6	735.0	774	781.9	787.2
625	629.5	632.4	675	680.5	684.1	725	731.6	736.0	775	782.9	788.2
626	630.5	633.4	676	681.5	685.1	726	732.7	737.1	776	783.9	789.3
627	631.5	634.4	677	682.5	686.1	727	733.7	738.1	777	785.0	790.3
628	632.6	635.5	678	683.6	687.2	728	734.7	739.1	778	786.0	791.4
629	633.6	636.5	679	684.6	688.2	729	735.7	740.2	779	787.0	792.4
630	634.6	637.5	680	685.6	689.3	730	736.7	741.2	780	788.0	793.5
631	635.6	638.5	681	686.6	690.3	731	737.8	742.3	781	789.1	794.5
632	636.6	639.6	682	687.6	691.3	732	738.8	743.3	782	790.1	795.6
633	637.6	640.6	683	688.7	692.4	733	739.8	744.4	783	791.1	796.6
634	638.7	641.6	684	689.7	693.4	734	740.8	745.4	784	792.2	797.7
635	639.7	642.7	685	690.7	694.4	735	741.9	746.4	785	793.2	798.7
636	640.7	643.7	686	691.7	695.5	736	742.9	747.5	786	794.2	799.8
637	641.7	644.7	687	692.8	696.5	737	743.9	748.5	787	795.2	800.8
638	642.7	645.8	688	693.8	697.6	738	744.9	749.6	788	796.3	801.9
639	643.8	646.8	689	694.8	698.6	739	746.0	750.6	789	797.3	802.9
640	644.8	647.8	690	695.8	699.6	740	747.0	751.7	790	798.3	804.0
641	645.8	648.9	691	696.8	700.7	741	748.0	752.7	791	799.4	805.0
642	646.8	649.9	692	697.9	701.7	742	749.0	753.7	792	800.4	806.0
643	647.8	650.9	693	698.9	702.7	743	750.1	754.8	793	801.4	807.1
644	648.9	652.0	694	699.9	703.8	744	751.1	755.8	794	802.4	808.1
645	649.9	653.0	695	700.9	704.8	745	752.1	756.9	795	803.5	809.2
646	650.9	654.0	696	702.0	705.9	746	753.1	757.9	796	804.5	810.2
647	651.9	655.1	697	703.0	706.9	747	754.2	759.0	797	805.5	811.3
648	652.9	656.1	698	704.0	707.9	748	755.2	760.0	798	806.6	812.3
649	654.0	657.1	699	705.0	709.0	749	756.2	761.1	799	807.6	813.4

給液流量 = 5ℓ/min

$H_2$  テーブル 水反射体系 (続き)

$C = 8.7390 \times 10^8, \lambda = 105.190$

$H_c = 800.0 \sim 1000.0$

$H_c$ (mm)	$H_d$ (mm)	$H_2$ (mm)									
800	808.6	814.4	850	860.1	867.1	900	911.8	920.0	950	963.7	973.3
801	809.6	815.5	851	861.2	868.1	901	912.9	921.1	951	964.7	974.4
802	810.7	816.5	852	862.2	869.2	902	913.9	922.1	952	965.8	975.4
803	811.7	817.6	853	863.2	870.2	903	914.9	923.2	953	966.8	976.5
804	812.7	818.6	854	864.3	871.3	904	916.0	924.3	954	967.9	977.6
805	813.8	819.7	855	865.3	872.4	905	917.0	925.3	955	968.9	978.6
806	814.8	820.7	856	866.3	873.4	906	918.0	926.4	956	969.9	979.7
807	815.8	821.8	857	867.4	874.5	907	919.1	927.5	957	971.0	980.8
808	816.8	822.8	858	868.4	875.5	908	920.1	928.5	958	972.0	981.8
809	817.9	823.9	859	869.4	876.6	909	921.2	929.6	959	973.1	982.9
810	818.9	824.9	860	870.5	877.6	910	922.2	930.6	960	974.1	984.0
811	819.9	826.0	861	871.5	878.7	911	923.2	931.7	961	975.1	985.1
812	821.0	827.1	862	872.5	879.8	912	924.3	932.8	962	976.2	986.1
813	822.0	828.1	863	873.6	880.8	913	925.3	933.8	963	977.2	987.2
814	823.0	829.2	864	874.6	881.9	914	926.3	934.9	964	978.3	988.3
815	824.0	830.2	865	875.6	882.9	915	927.4	936.0	965	979.3	989.3
816	825.1	831.3	866	876.7	884.0	916	928.4	937.0	966	980.3	990.4
817	826.1	832.3	867	877.7	885.0	917	929.4	938.1	967	981.4	991.5
818	827.1	833.4	868	878.7	886.1	918	930.5	939.2	968	982.4	992.5
819	828.2	834.4	869	879.8	887.2	919	931.5	940.2	969	983.5	993.6
820	829.2	835.5	870	880.8	888.2	920	932.6	941.3	970	984.5	994.7
821	830.2	836.5	871	881.8	889.3	921	933.6	942.4	971	985.6	995.8
822	831.3	837.6	872	882.9	890.3	922	934.6	943.4	972	986.6	996.8
823	832.3	838.6	873	883.9	891.4	923	935.7	944.5	973	987.6	997.9
824	833.3	839.7	874	884.9	892.5	924	936.7	945.5	974	988.7	999.0
825	834.3	840.7	875	886.0	893.5	925	937.7	946.6	975	989.7	1000.0
826	835.4	841.8	876	887.0	894.6	926	938.8	947.7	976	990.8	1001.1
827	836.4	842.8	877	888.0	895.6	927	939.8	948.7	977	991.8	1002.2
828	837.4	843.9	878	889.1	896.7	928	940.9	949.8	978	992.8	1003.3
829	838.5	844.9	879	890.1	897.7	929	941.9	950.9	979	993.9	1004.3
830	839.5	846.0	880	891.1	898.8	930	942.9	951.9	980	994.9	1005.4
831	840.5	847.0	881	892.2	899.9	931	944.0	953.0	981	996.0	1006.5
832	841.6	848.1	882	893.2	900.9	932	945.0	954.1	982	997.0	1007.6
833	842.6	849.2	883	894.2	902.0	933	946.0	955.1	983	998.1	1008.6
834	843.6	850.2	884	895.3	903.0	934	947.1	956.2	984	999.1	1009.7
835	844.7	851.3	885	896.3	904.1	935	948.1	957.3	985	1000.1	1010.8
836	845.7	852.3	886	897.3	905.2	936	949.2	958.3	986	1001.2	1011.9
837	846.7	853.4	887	898.4	906.2	937	950.2	959.4	987	1002.2	1012.9
838	847.8	854.4	888	899.4	907.3	938	951.2	960.5	988	1003.3	1014.0
839	848.8	855.5	889	900.4	908.3	939	952.3	961.5	989	1004.3	1015.1
840	849.8	856.5	890	901.5	909.4	940	953.3	962.6	990	1005.3	1016.1
841	850.8	857.6	891	902.5	910.5	941	954.4	963.7	991	1006.4	1017.2
842	851.9	858.6	892	903.5	911.5	942	955.4	964.7	992	1007.4	1018.3
843	852.9	859.7	893	904.6	912.6	943	956.4	965.8	993	1008.5	1019.4
844	853.9	860.7	894	905.6	913.7	944	957.5	966.9	994	1009.5	1020.4
845	855.0	861.8	895	906.6	914.7	945	958.5	967.9	995	1010.6	1021.5
846	856.0	862.9	896	907.7	915.8	946	959.5	969.0	996	1011.6	1022.6
847	857.0	863.9	897	908.7	916.8	947	960.6	970.1	997	1012.6	1023.7
848	858.1	865.0	898	909.8	917.9	948	961.6	971.2	998	1013.7	1024.7
849	859.1	866.0	899	910.8	919.0	949	962.7	972.2	999	1014.7	1025.8

給液流量 = 5ℓ/min

$H_2$  テーブル 水反射体系 (続き) $C = 8.7390 \times 10^8, \lambda = 105.190$  $H_c = 1000.0 \sim 1200.0$ 

$H_c$ (mm)	$H_d$ (mm)	$H_2$ (mm)									
1000	1015.8	1026.9	1050	1068.1	1080.9	1100	1120.5	1135.2	1150	1173.3	1190.0
1001	1016.8	1028.0	1051	1069.1	1082.0	1101	1121.6	1136.3	1151	1174.3	1191.1
1002	1017.9	1029.0	1052	1070.2	1083.0	1102	1122.6	1137.4	1152	1175.4	1192.2
1003	1018.9	1030.1	1053	1071.2	1084.1	1103	1123.7	1138.5	1153	1176.4	1193.3
1004	1020.0	1031.2	1054	1072.2	1085.2	1104	1124.8	1139.6	1154	1177.5	1194.4
1005	1021.0	1032.3	1055	1073.3	1086.3	1105	1125.8	1140.7	1155	1178.5	1195.5
1006	1022.0	1033.4	1056	1074.3	1087.4	1106	1126.9	1141.8	1156	1179.6	1196.6
1007	1023.1	1034.4	1057	1075.4	1088.5	1107	1127.9	1142.9	1157	1180.7	1197.7
1008	1024.1	1035.5	1058	1076.4	1089.5	1108	1129.0	1144.0	1158	1181.7	1198.8
1009	1025.2	1036.6	1059	1077.5	1090.6	1109	1130.0	1145.1	1159	1182.8	1199.9
1010	1026.2	1037.7	1060	1078.5	1091.7	1110	1131.1	1146.1	1160	1183.8	1201.0
1011	1027.3	1038.7	1061	1079.6	1092.8	1111	1132.1	1147.2	1161	1184.9	1202.1
1012	1028.3	1039.8	1062	1080.6	1093.9	1112	1133.2	1148.3	1162	1185.9	1203.2
1013	1029.4	1040.9	1063	1081.7	1095.0	1113	1134.2	1149.4	1163	1187.0	1204.3
1014	1030.4	1042.0	1064	1082.7	1096.1	1114	1135.3	1150.5	1164	1188.1	1205.4
1015	1031.4	1043.0	1065	1083.8	1097.1	1115	1136.3	1151.6	1165	1189.1	1206.5
1016	1032.5	1044.1	1066	1084.8	1098.2	1116	1137.4	1152.7	1166	1190.2	1207.6
1017	1033.5	1045.2	1067	1085.9	1099.3	1117	1138.4	1153.8	1167	1191.2	1208.7
1018	1034.6	1046.3	1068	1086.9	1100.4	1118	1139.5	1154.9	1168	1192.3	1209.8
1019	1035.6	1047.4	1069	1088.0	1101.5	1119	1140.5	1156.0	1169	1193.4	1210.9
1020	1036.7	1048.4	1070	1089.0	1102.6	1120	1141.6	1157.1	1170	1194.4	1212.0
1021	1037.7	1049.5	1071	1090.1	1103.7	1121	1142.7	1158.2	1171	1195.5	1213.1
1022	1038.8	1050.6	1072	1091.1	1104.7	1122	1143.7	1159.3	1172	1196.5	1214.2
1023	1039.8	1051.7	1073	1092.2	1105.8	1123	1144.8	1160.4	1173	1197.6	1215.3
1024	1040.8	1052.8	1074	1093.2	1106.9	1124	1145.8	1161.5	1174	1198.6	1216.4
1025	1041.9	1053.8	1075	1094.3	1108.0	1125	1146.9	1162.6	1175	1199.7	1217.5
1026	1042.9	1054.9	1076	1095.3	1109.1	1126	1147.9	1163.7	1176	1200.8	1218.6
1027	1044.0	1056.0	1077	1096.4	1110.2	1127	1149.0	1164.8	1177	1201.8	1219.7
1028	1045.0	1057.1	1078	1097.4	1111.3	1128	1150.0	1165.8	1178	1202.9	1220.9
1029	1046.1	1058.2	1079	1098.5	1112.4	1129	1151.1	1166.9	1179	1203.9	1222.0
1030	1047.1	1059.2	1080	1099.5	1113.4	1130	1152.1	1168.0	1180	1205.0	1223.1
1031	1048.2	1060.3	1081	1100.6	1114.5	1131	1153.2	1169.1	1181	1206.1	1224.2
1032	1049.2	1061.4	1082	1101.6	1115.6	1132	1154.3	1170.2	1182	1207.1	1225.3
1033	1050.3	1062.5	1083	1102.7	1116.7	1133	1155.3	1171.3	1183	1208.2	1226.4
1034	1051.3	1063.6	1084	1103.7	1117.8	1134	1156.4	1172.4	1184	1209.2	1227.5
1035	1052.3	1064.6	1085	1104.8	1118.9	1135	1157.4	1173.5	1185	1210.3	1228.6
1036	1053.4	1065.7	1086	1105.8	1120.0	1136	1158.5	1174.6	1186	1211.4	1229.7
1037	1054.4	1066.8	1087	1106.9	1121.1	1137	1159.5	1175.7	1187	1212.4	1230.8
1038	1055.5	1067.9	1088	1107.9	1122.1	1138	1160.6	1176.8	1188	1213.5	1231.9
1039	1056.5	1069.0	1089	1109.0	1123.2	1139	1161.6	1177.9	1189	1214.5	1233.0
1040	1057.6	1070.0	1090	1110.0	1124.3	1140	1162.7	1179.0	1190	1215.6	1234.1
1041	1058.6	1071.1	1091	1111.1	1125.4	1141	1163.8	1180.1	1191	1216.7	1235.2
1042	1059.7	1072.2	1092	1112.1	1126.5	1142	1164.8	1181.2	1192	1217.7	1236.3
1043	1060.7	1073.3	1093	1113.2	1127.6	1143	1165.9	1182.3	1193	1218.8	1237.4
1044	1061.8	1074.4	1094	1114.2	1128.7	1144	1166.9	1183.4	1194	1219.8	1238.5
1045	1062.8	1075.5	1095	1115.3	1129.8	1145	1168.0	1184.5	1195	1220.9	1239.7
1046	1063.9	1076.5	1096	1116.3	1130.9	1146	1169.0	1185.6	1196	1222.0	1240.8
1047	1064.9	1077.6	1097	1117.4	1132.0	1147	1170.1	1186.7	1197	1223.0	1241.9
1048	1066.0	1078.7	1098	1118.4	1133.0	1148	1171.1	1187.8	1198	1224.1	1243.0
1049	1067.0	1079.8	1099	1119.5	1134.1	1149	1172.2	1188.9	1199	1225.2	1244.1

給液流量 = 5ℓ/min

$H_2$  テーブル 水反射体系 (続き) $C = 8.7390 \times 10^8, \lambda = 105.190$  $H_c = 1200.0 \sim 1400.0$ 

$H_c$ (mm)	$H_d$ (mm)	$H_2$ (mm)									
1200	1226.2	1245.2	1250	1279.4	1300.8	1300	1332.9	1357.0	1350	1386.6	1413.6
1201	1227.3	1246.3	1251	1280.5	1302.0	1301	1333.9	1358.1	1351	1387.7	1414.7
1202	1228.3	1247.4	1252	1281.5	1303.1	1302	1335.0	1359.2	1352	1388.8	1415.9
1203	1229.4	1248.5	1253	1282.6	1304.2	1303	1336.1	1360.3	1353	1389.8	1417.0
1204	1230.5	1249.6	1254	1283.7	1305.3	1304	1337.2	1361.5	1354	1390.9	1418.1
1205	1231.5	1250.7	1255	1284.7	1306.4	1305	1338.2	1362.6	1355	1392.0	1419.3
1206	1232.6	1251.8	1256	1285.8	1307.5	1306	1339.3	1363.7	1356	1393.1	1420.4
1207	1233.6	1253.0	1257	1286.9	1308.7	1307	1340.4	1364.9	1357	1394.1	1421.6
1208	1234.7	1254.1	1258	1287.9	1309.8	1308	1341.4	1366.0	1358	1395.2	1422.7
1209	1235.8	1255.2	1259	1289.0	1310.9	1309	1342.5	1367.1	1359	1396.3	1423.8
1210	1236.8	1256.3	1260	1290.1	1312.0	1310	1343.6	1368.2	1360	1397.4	1425.0
1211	1237.9	1257.4	1261	1291.1	1313.1	1311	1344.7	1369.4	1361	1398.5	1426.1
1212	1239.0	1258.5	1262	1292.2	1314.3	1312	1345.7	1370.5	1362	1399.5	1427.3
1213	1240.0	1259.6	1263	1293.3	1315.4	1313	1346.8	1371.6	1363	1400.6	1428.4
1214	1241.1	1260.7	1264	1294.4	1316.5	1314	1347.9	1372.8	1364	1401.7	1429.5
1215	1242.1	1261.8	1265	1295.4	1317.6	1315	1349.0	1373.9	1365	1402.8	1430.7
1216	1243.2	1262.9	1266	1296.5	1318.7	1316	1350.0	1375.0	1366	1403.8	1431.8
1217	1244.3	1264.1	1267	1297.6	1319.9	1317	1351.1	1376.2	1367	1404.9	1433.0
1218	1245.3	1265.2	1268	1298.6	1321.0	1318	1352.2	1377.3	1368	1406.0	1434.1
1219	1246.4	1266.3	1269	1299.7	1322.1	1319	1353.3	1378.4	1369	1407.1	1435.2
1220	1247.5	1267.4	1270	1300.8	1323.2	1320	1354.3	1379.5	1370	1408.2	1436.4
1221	1248.5	1268.5	1271	1301.8	1324.3	1321	1355.4	1380.7	1371	1409.2	1437.5
1222	1249.6	1269.6	1272	1302.9	1325.5	1322	1356.5	1381.8	1372	1410.3	1438.7
1223	1250.7	1270.7	1273	1304.0	1326.6	1323	1357.5	1382.9	1373	1411.4	1439.8
1224	1251.7	1271.8	1274	1305.0	1327.7	1324	1358.6	1384.1	1374	1412.5	1440.9
1225	1252.8	1273.0	1275	1306.1	1328.8	1325	1359.7	1385.2	1375	1413.6	1442.1
1226	1253.8	1274.1	1276	1307.2	1330.0	1326	1360.8	1386.3	1376	1414.6	1443.2
1227	1254.9	1275.2	1277	1308.2	1331.1	1327	1361.8	1387.5	1377	1415.7	1444.4
1228	1256.0	1276.3	1278	1309.3	1332.2	1328	1362.9	1388.6	1378	1416.8	1445.5
1229	1257.0	1277.4	1279	1310.4	1333.3	1329	1364.0	1389.7	1379	1417.9	1446.7
1230	1258.1	1278.5	1280	1311.5	1334.5	1330	1365.1	1390.9	1380	1419.0	1447.8
1231	1259.2	1279.6	1281	1312.5	1335.6	1331	1366.1	1392.0	1381	1420.0	1449.0
1232	1260.2	1280.8	1282	1313.6	1336.7	1332	1367.2	1393.1	1382	1421.1	1450.1
1233	1261.3	1281.9	1283	1314.7	1337.8	1333	1368.3	1394.3	1383	1422.2	1451.2
1234	1262.4	1283.0	1284	1315.7	1338.9	1334	1369.4	1395.4	1384	1423.3	1452.4
1235	1263.4	1284.1	1285	1316.8	1340.1	1335	1370.4	1396.5	1385	1424.4	1453.5
1236	1264.5	1285.2	1286	1317.9	1341.2	1336	1371.5	1397.7	1386	1425.5	1454.7
1237	1265.6	1286.3	1287	1318.9	1342.3	1337	1372.6	1398.8	1387	1426.5	1455.8
1238	1266.6	1287.4	1288	1320.0	1343.4	1338	1373.7	1399.9	1388	1427.6	1457.0
1239	1267.7	1288.6	1289	1321.1	1344.6	1339	1374.8	1401.1	1389	1428.7	1458.1
1240	1268.8	1289.7	1290	1322.2	1345.7	1340	1375.8	1402.2	1390	1429.8	1459.3
1241	1269.8	1290.8	1291	1323.2	1346.8	1341	1376.9	1403.4	1391	1430.9	1460.4
1242	1270.9	1291.9	1292	1324.3	1347.9	1342	1378.0	1404.5	1392	1431.9	1461.6
1243	1271.9	1293.0	1293	1325.4	1349.1	1343	1379.1	1405.6	1393	1433.0	1462.7
1244	1273.0	1294.1	1294	1326.4	1350.2	1344	1380.1	1406.8	1394	1434.1	1463.8
1245	1274.1	1295.3	1295	1327.5	1351.3	1345	1381.2	1407.9	1395	1435.2	1465.0
1246	1275.1	1296.4	1296	1328.6	1352.5	1346	1382.3	1409.0	1396	1436.3	1466.1
1247	1276.2	1297.5	1297	1329.7	1353.6	1347	1383.4	1410.2	1397	1437.4	1467.3
1248	1277.3	1298.6	1298	1330.7	1354.7	1348	1384.4	1411.3	1398	1438.4	1468.4
1249	1278.3	1299.7	1299	1331.8	1355.8	1349	1385.5	1412.4	1399	1439.5	1469.6

給液流量 = 5ℓ/min

## 1.2. 裸体系

 $H_2$  テーブル 裸体系 $C = 8.7660 \times 10^8, \lambda = 81.680$  $H_c = 400.0 \sim 600.0$ 

$H_c$ (mm)	$H_d$ (mm)	$H_2$ (mm)									
400	401.3	401.8	450	451.7	452.6	500	502.3	503.5	550	552.9	554.6
401	402.3	402.9	451	452.7	453.6	501	503.3	504.5	551	553.9	555.6
402	403.3	403.9	452	453.7	454.6	502	504.3	505.6	552	554.9	556.7
403	404.3	404.9	453	454.8	455.7	503	505.3	506.6	553	555.9	557.7
404	405.3	405.9	454	455.8	456.7	504	506.3	507.6	554	557.0	558.7
405	406.3	406.9	455	456.8	457.7	505	507.3	508.6	555	558.0	559.7
406	407.3	407.9	456	457.8	458.7	506	508.3	509.6	556	559.0	560.8
407	408.3	408.9	457	458.8	459.7	507	509.3	510.7	557	560.0	561.8
408	409.3	410.0	458	459.8	460.7	508	510.4	511.7	558	561.0	562.8
409	410.4	411.0	459	460.8	461.8	509	511.4	512.7	559	562.0	563.8
410	411.4	412.0	460	461.8	462.8	510	512.4	513.7	560	563.0	564.8
411	412.4	413.0	461	462.8	463.8	511	513.4	514.7	561	564.0	565.9
412	413.4	414.0	462	463.8	464.8	512	514.4	515.8	562	565.1	566.9
413	414.4	415.0	463	464.9	465.8	513	515.4	516.8	563	566.1	567.9
414	415.4	416.0	464	465.9	466.8	514	516.4	517.8	564	567.1	568.9
415	416.4	417.1	465	466.9	467.9	515	517.4	518.8	565	568.1	570.0
416	417.4	418.1	466	467.9	468.9	516	518.5	519.8	566	569.1	571.0
417	418.4	419.1	467	468.9	469.9	517	519.5	520.9	567	570.1	572.0
418	419.4	420.1	468	469.9	470.9	518	520.5	521.9	568	571.2	573.0
419	420.4	421.1	469	470.9	471.9	519	521.5	522.9	569	572.2	574.1
420	421.4	422.1	470	471.9	472.9	520	522.5	523.9	570	573.2	575.1
421	422.5	423.1	471	472.9	474.0	521	523.5	525.0	571	574.2	576.1
422	423.5	424.2	472	473.9	475.0	522	524.5	526.0	572	575.2	577.1
423	424.5	425.2	473	475.0	476.0	523	525.5	527.0	573	576.2	578.2
424	425.5	426.2	474	476.0	477.0	524	526.6	528.0	574	577.2	579.2
425	426.5	427.2	475	477.0	478.0	525	527.6	529.0	575	578.3	580.2
426	427.5	428.2	476	478.0	479.1	526	528.6	530.1	576	579.3	581.2
427	428.5	429.2	477	479.0	480.1	527	529.6	531.1	577	580.3	582.3
428	429.5	430.2	478	480.0	481.1	528	530.6	532.1	578	581.3	583.3
429	430.5	431.3	479	481.0	482.1	529	531.6	533.1	579	582.3	584.3
430	431.5	432.3	480	482.0	483.1	530	532.6	534.1	580	583.3	585.4
431	432.5	433.3	481	483.0	484.1	531	533.6	535.2	581	584.3	586.4
432	433.5	434.3	482	484.1	485.2	532	534.7	536.2	582	585.4	587.4
433	434.6	435.3	483	485.1	486.2	533	535.7	537.2	583	586.4	588.4
434	435.6	436.3	484	486.1	487.2	534	536.7	538.2	584	587.4	589.5
435	436.6	437.4	485	487.1	488.2	535	537.7	539.3	585	588.4	590.5
436	437.6	438.4	486	488.1	489.2	536	538.7	540.3	586	589.4	591.5
437	438.6	439.4	487	489.1	490.3	537	539.7	541.3	587	590.4	592.5
438	439.6	440.4	488	490.1	491.3	538	540.7	542.3	588	591.5	593.6
439	440.6	441.4	489	491.1	492.3	539	541.7	543.4	589	592.5	594.6
440	441.6	442.4	490	492.1	493.3	540	542.8	544.4	590	593.5	595.6
441	442.6	443.5	491	493.2	494.3	541	543.8	545.4	591	594.5	596.6
442	443.6	444.5	492	494.2	495.4	542	544.8	546.4	592	595.5	597.7
443	444.7	445.5	493	495.2	496.4	543	545.8	547.4	593	596.5	598.7
444	445.7	446.5	494	496.2	497.4	544	546.8	548.5	594	597.5	599.7
445	446.7	447.5	495	497.2	498.4	545	547.8	549.5	595	598.6	600.8
446	447.7	448.5	496	498.2	499.4	546	548.8	550.5	596	599.6	601.8
447	448.7	449.6	497	499.2	500.5	547	549.9	551.5	597	600.6	602.8
448	449.7	450.6	498	500.2	501.5	548	550.9	552.6	598	601.6	603.8
449	450.7	451.6	499	501.2	502.5	549	551.9	553.6	599	602.6	604.9

給液流量 = 5ℓ/min

$H_2$  テーブル 裸体系 (続き) $C = 8.7660 \times 10^8, \lambda = 81.680$  $H_c = 600.0 \sim 800.0$ 

$H_c$ (mm)	$H_d$ (mm)	$H_2$ (mm)									
600	603.6	605.9	650	654.5	657.4	700	705.5	709.1	750	756.6	761.0
601	604.7	606.9	651	655.5	658.4	701	706.5	710.1	751	757.7	762.1
602	605.7	607.9	652	656.5	659.4	702	707.5	711.2	752	758.7	763.1
603	606.7	609.0	653	657.6	660.5	703	708.6	712.2	753	759.7	764.2
604	607.7	610.0	654	658.6	661.5	704	709.6	713.2	754	760.7	765.2
605	608.7	611.0	655	659.6	662.5	705	710.6	714.3	755	761.8	766.3
606	609.7	612.1	656	660.6	663.6	706	711.6	715.3	756	762.8	767.3
607	610.8	613.1	657	661.6	664.6	707	712.7	716.4	757	763.8	768.3
608	611.8	614.1	658	662.7	665.6	708	713.7	717.4	758	764.8	769.4
609	612.8	615.1	659	663.7	666.7	709	714.7	718.4	759	765.9	770.4
610	613.8	616.2	660	664.7	667.7	710	715.7	719.5	760	766.9	771.5
611	614.8	617.2	661	665.7	668.7	711	716.7	720.5	761	767.9	772.5
612	615.8	618.2	662	666.7	669.8	712	717.8	721.5	762	768.9	773.6
613	616.9	619.3	663	667.8	670.8	713	718.8	722.6	763	770.0	774.6
614	617.9	620.3	664	668.8	671.8	714	719.8	723.6	764	771.0	775.6
615	618.9	621.3	665	669.8	672.9	715	720.8	724.7	765	772.0	776.7
616	619.9	622.3	666	670.8	673.9	716	721.9	725.7	766	773.0	777.7
617	620.9	623.4	667	671.8	674.9	717	722.9	726.7	767	774.1	778.8
618	621.9	624.4	668	672.9	676.0	718	723.9	727.8	768	775.1	779.8
619	623.0	625.4	669	673.9	677.0	719	724.9	728.8	769	776.1	780.9
620	624.0	626.5	670	674.9	678.0	720	725.9	729.8	770	777.1	781.9
621	625.0	627.5	671	675.9	679.1	721	727.0	730.9	771	778.2	782.9
622	626.0	628.5	672	676.9	680.1	722	728.0	731.9	772	779.2	784.0
623	627.0	629.5	673	678.0	681.1	723	729.0	733.0	773	780.2	785.0
624	628.0	630.6	674	679.0	682.2	724	730.0	734.0	774	781.2	786.1
625	629.1	631.6	675	680.0	683.2	725	731.1	735.0	775	782.3	787.1
626	630.1	632.6	676	681.0	684.2	726	732.1	736.1	776	783.3	788.2
627	631.1	633.7	677	682.0	685.3	727	733.1	737.1	777	784.3	789.2
628	632.1	634.7	678	683.1	686.3	728	734.1	738.2	778	785.3	790.3
629	633.1	635.7	679	684.1	687.3	729	735.1	739.2	779	786.4	791.3
630	634.1	636.8	680	685.1	688.4	730	736.2	740.2	780	787.4	792.3
631	635.2	637.8	681	686.1	689.4	731	737.2	741.3	781	788.4	793.4
632	636.2	638.8	682	687.1	690.4	732	738.2	742.3	782	789.4	794.4
633	637.2	639.8	683	688.2	691.5	733	739.2	743.4	783	790.5	795.5
634	638.2	640.9	684	689.2	692.5	734	740.3	744.4	784	791.5	796.5
635	639.2	641.9	685	690.2	693.6	735	741.3	745.4	785	792.5	797.6
636	640.3	642.9	686	691.2	694.6	736	742.3	746.5	786	793.5	798.6
637	641.3	644.0	687	692.2	695.6	737	743.3	747.5	787	794.6	799.7
638	642.3	645.0	688	693.3	696.7	738	744.4	748.6	788	795.6	800.7
639	643.3	646.0	689	694.3	697.7	739	745.4	749.6	789	796.6	801.8
640	644.3	647.1	690	695.3	698.7	740	746.4	750.6	790	797.7	802.8
641	645.3	648.1	691	696.3	699.8	741	747.4	751.7	791	798.7	803.8
642	646.4	649.1	692	697.3	700.8	742	748.4	752.7	792	799.7	804.9
643	647.4	650.2	693	698.4	701.8	743	749.5	753.8	793	800.7	805.9
644	648.4	651.2	694	699.4	702.9	744	750.5	754.8	794	801.8	807.0
645	649.4	652.2	695	700.4	703.9	745	751.5	755.8	795	802.8	808.0
646	650.4	653.3	696	701.4	704.9	746	752.5	756.9	796	803.8	809.1
647	651.5	654.3	697	702.4	706.0	747	753.6	757.9	797	804.8	810.1
648	652.5	655.3	698	703.5	707.0	748	754.6	759.0	798	805.9	811.2
649	653.5	656.3	699	704.5	708.1	749	755.6	760.0	799	806.9	812.2

給液流量 = 5ℓ/min

$H_2$  テーブル 裸体系 (続き) $C = 8.7660 \times 10^8, \lambda = 81.680$  $H_c = 800.0 \sim 1000.0$ 

$H_c$ (mm)	$H_d$ (mm)	$H_2$ (mm)									
800	807.9	813.3	850	859.4	865.8	900	911.0	918.5	950	962.8	971.6
801	809.0	814.3	851	860.4	866.8	901	912.0	919.6	951	963.8	972.7
802	810.0	815.4	852	861.4	867.9	902	913.0	920.7	952	964.8	973.8
803	811.0	816.4	853	862.5	868.9	903	914.1	921.7	953	965.9	974.8
804	812.0	817.5	854	863.5	870.0	904	915.1	922.8	954	966.9	975.9
805	813.1	818.5	855	864.5	871.0	905	916.1	923.8	955	967.9	977.0
806	814.1	819.5	856	865.5	872.1	906	917.2	924.9	956	969.0	978.0
807	815.1	820.6	857	866.6	873.1	907	918.2	926.0	957	970.0	979.1
808	816.1	821.6	858	867.6	874.2	908	919.2	927.0	958	971.1	980.2
809	817.2	822.7	859	868.6	875.2	909	920.3	928.1	959	972.1	981.2
810	818.2	823.7	860	869.7	876.3	910	921.3	929.1	960	973.1	982.3
811	819.2	824.8	861	870.7	877.3	911	922.4	930.2	961	974.2	983.4
812	820.3	825.8	862	871.7	878.4	912	923.4	931.3	962	975.2	984.4
813	821.3	826.9	863	872.8	879.4	913	924.4	932.3	963	976.3	985.5
814	822.3	827.9	864	873.8	880.5	914	925.5	933.4	964	977.3	986.6
815	823.3	829.0	865	874.8	881.6	915	926.5	934.4	965	978.3	987.6
816	824.4	830.0	866	875.9	882.6	916	927.5	935.5	966	979.4	988.7
817	825.4	831.1	867	876.9	883.7	917	928.6	936.6	967	980.4	989.8
818	826.4	832.1	868	877.9	884.7	918	929.6	937.6	968	981.4	990.8
819	827.5	833.2	869	879.0	885.8	919	930.6	938.7	969	982.5	991.9
820	828.5	834.2	870	880.0	886.8	920	931.7	939.7	970	983.5	993.0
821	829.5	835.3	871	881.0	887.9	921	932.7	940.8	971	984.6	994.0
822	830.5	836.3	872	882.1	888.9	922	933.7	941.9	972	985.6	995.1
823	831.6	837.4	873	883.1	890.0	923	934.8	942.9	973	986.6	996.2
824	832.6	838.4	874	884.1	891.1	924	935.8	944.0	974	987.7	997.2
825	833.6	839.5	875	885.1	892.1	925	936.8	945.0	975	988.7	998.3
826	834.7	840.5	876	886.2	893.2	926	937.9	946.1	976	989.8	999.4
827	835.7	841.6	877	887.2	894.2	927	938.9	947.2	977	990.8	1000.5
828	836.7	842.6	878	888.2	895.3	928	940.0	948.2	978	991.8	1001.5
829	837.7	843.7	879	889.3	896.3	929	941.0	949.3	979	992.9	1002.6
830	838.8	844.7	880	890.3	897.4	930	942.0	950.4	980	993.9	1003.7
831	839.8	845.8	881	891.3	898.4	931	943.1	951.4	981	995.0	1004.7
832	840.8	846.8	882	892.4	899.5	932	944.1	952.5	982	996.0	1005.8
833	841.9	847.9	883	893.4	900.6	933	945.1	953.5	983	997.0	1006.9
834	842.9	848.9	884	894.4	901.6	934	946.2	954.6	984	998.1	1007.9
835	843.9	850.0	885	895.5	902.7	935	947.2	955.7	985	999.1	1009.0
836	844.9	851.0	886	896.5	903.7	936	948.2	956.7	986	1000.2	1010.1
837	846.0	852.1	887	897.5	904.8	937	949.3	957.8	987	1001.2	1011.1
838	847.0	853.1	888	898.6	905.8	938	950.3	958.9	988	1002.2	1012.2
839	848.0	854.2	889	899.6	906.9	939	951.4	959.9	989	1003.3	1013.3
840	849.1	855.2	890	900.6	908.0	940	952.4	961.0	990	1004.3	1014.4
841	850.1	856.3	891	901.7	909.0	941	953.4	962.1	991	1005.4	1015.4
842	851.1	857.3	892	902.7	910.1	942	954.5	963.1	992	1006.4	1016.5
843	852.2	858.4	893	903.7	911.1	943	955.5	964.2	993	1007.4	1017.6
844	853.2	859.4	894	904.8	912.2	944	956.5	965.3	994	1008.5	1018.6
845	854.2	860.5	895	905.8	913.2	945	957.6	966.3	995	1009.5	1019.7
846	855.2	861.5	896	906.8	914.3	946	958.6	967.4	996	1010.6	1020.8
847	856.3	862.6	897	907.9	915.4	947	959.6	968.4	997	1011.6	1021.9
848	857.3	863.6	898	908.9	916.4	948	960.7	969.5	998	1012.7	1022.9
849	858.3	864.7	899	909.9	917.5	949	961.7	970.6	999	1013.7	1024.0

給液流量 = 5ℓ/min

$H_2$  テーブル 裸体系 (続き) $C = 8.7660 \times 10^8, \lambda = 81.680$  $H_c = 1000.0 \sim 1200.0$ 

$H_c$ (mm)	$H_d$ (mm)	$H_2$ (mm)									
1000	1014.7	1025.1	1050	1066.9	1078.9	1100	1119.3	1133.0	1150	1171.9	1187.6
1001	1015.8	1026.1	1051	1068.0	1079.9	1101	1120.3	1134.1	1151	1172.9	1188.7
1002	1016.8	1027.2	1052	1069.0	1081.0	1102	1121.4	1135.2	1152	1174.0	1189.8
1003	1017.9	1028.3	1053	1070.0	1082.1	1103	1122.4	1136.3	1153	1175.0	1190.9
1004	1018.9	1029.4	1054	1071.1	1083.2	1104	1123.5	1137.4	1154	1176.1	1192.0
1005	1019.9	1030.4	1055	1072.1	1084.3	1105	1124.5	1138.5	1155	1177.2	1193.1
1006	1021.0	1031.5	1056	1073.2	1085.3	1106	1125.6	1139.5	1156	1178.2	1194.2
1007	1022.0	1032.6	1057	1074.2	1086.4	1107	1126.6	1140.6	1157	1179.3	1195.3
1008	1023.1	1033.7	1058	1075.3	1087.5	1108	1127.7	1141.7	1158	1180.3	1196.3
1009	1024.1	1034.7	1059	1076.3	1088.6	1109	1128.7	1142.8	1159	1181.4	1197.4
1010	1025.2	1035.8	1060	1077.4	1089.7	1110	1129.8	1143.9	1160	1182.4	1198.5
1011	1026.2	1036.9	1061	1078.4	1090.7	1111	1130.8	1145.0	1161	1183.5	1199.6
1012	1027.2	1037.9	1062	1079.5	1091.8	1112	1131.9	1146.1	1162	1184.5	1200.7
1013	1028.3	1039.0	1063	1080.5	1092.9	1113	1132.9	1147.2	1163	1185.6	1201.8
1014	1029.3	1040.1	1064	1081.6	1094.0	1114	1134.0	1148.3	1164	1186.7	1202.9
1015	1030.4	1041.2	1065	1082.6	1095.1	1115	1135.0	1149.3	1165	1187.7	1204.0
1016	1031.4	1042.2	1066	1083.6	1096.2	1116	1136.1	1150.4	1166	1188.8	1205.1
1017	1032.4	1043.3	1067	1084.7	1097.2	1117	1137.1	1151.5	1167	1189.8	1206.2
1018	1033.5	1044.4	1068	1085.7	1098.3	1118	1138.2	1152.6	1168	1190.9	1207.3
1019	1034.5	1045.5	1069	1086.8	1099.4	1119	1139.2	1153.7	1169	1191.9	1208.4
1020	1035.6	1046.5	1070	1087.8	1100.5	1120	1140.3	1154.8	1170	1193.0	1209.5
1021	1036.6	1047.6	1071	1088.9	1101.6	1121	1141.3	1155.9	1171	1194.0	1210.6
1022	1037.7	1048.7	1072	1089.9	1102.6	1122	1142.4	1157.0	1172	1195.1	1211.7
1023	1038.7	1049.8	1073	1091.0	1103.7	1123	1143.5	1158.1	1173	1196.2	1212.8
1024	1039.8	1050.8	1074	1092.0	1104.8	1124	1144.5	1159.2	1174	1197.2	1213.9
1025	1040.8	1051.9	1075	1093.1	1105.9	1125	1145.6	1160.3	1175	1198.3	1215.0
1026	1041.8	1053.0	1076	1094.1	1107.0	1126	1146.6	1161.3	1176	1199.3	1216.1
1027	1042.9	1054.1	1077	1095.2	1108.1	1127	1147.7	1162.4	1177	1200.4	1217.2
1028	1043.9	1055.2	1078	1096.2	1109.1	1128	1148.7	1163.5	1178	1201.4	1218.3
1029	1045.0	1056.2	1079	1097.3	1110.2	1129	1149.8	1164.6	1179	1202.5	1219.4
1030	1046.0	1057.3	1080	1098.3	1111.3	1130	1150.8	1165.7	1180	1203.6	1220.5
1031	1047.1	1058.4	1081	1099.4	1112.4	1131	1151.9	1166.8	1181	1204.6	1221.6
1032	1048.1	1059.5	1082	1100.4	1113.5	1132	1152.9	1167.9	1182	1205.7	1222.7
1033	1049.1	1060.5	1083	1101.5	1114.6	1133	1154.0	1169.0	1183	1206.7	1223.8
1034	1050.2	1061.6	1084	1102.5	1115.6	1134	1155.0	1170.1	1184	1207.8	1224.9
1035	1051.2	1062.7	1085	1103.5	1116.7	1135	1156.1	1171.2	1185	1208.8	1226.0
1036	1052.3	1063.8	1086	1104.6	1117.8	1136	1157.1	1172.3	1186	1209.9	1227.1
1037	1053.3	1064.8	1087	1105.6	1118.9	1137	1158.2	1173.4	1187	1211.0	1228.2
1038	1054.4	1065.9	1088	1106.7	1120.0	1138	1159.2	1174.4	1188	1212.0	1229.3
1039	1055.4	1067.0	1089	1107.7	1121.1	1139	1160.3	1175.5	1189	1213.1	1230.4
1040	1056.5	1068.1	1090	1108.8	1122.2	1140	1161.3	1176.6	1190	1214.1	1231.5
1041	1057.5	1069.2	1091	1109.8	1123.2	1141	1162.4	1177.7	1191	1215.2	1232.6
1042	1058.5	1070.2	1092	1110.9	1124.3	1142	1163.5	1178.8	1192	1216.2	1233.7
1043	1059.6	1071.3	1093	1111.9	1125.4	1143	1164.5	1179.9	1193	1217.3	1234.8
1044	1060.6	1072.4	1094	1113.0	1126.5	1144	1165.6	1181.0	1194	1218.4	1235.9
1045	1061.7	1073.5	1095	1114.0	1127.6	1145	1166.6	1182.1	1195	1219.4	1237.0
1046	1062.7	1074.5	1096	1115.1	1128.7	1146	1167.7	1183.2	1196	1220.5	1238.1
1047	1063.8	1075.6	1097	1116.1	1129.8	1147	1168.7	1184.3	1197	1221.5	1239.2
1048	1064.8	1076.7	1098	1117.2	1130.8	1148	1169.8	1185.4	1198	1222.6	1240.3
1049	1065.9	1077.8	1099	1118.2	1131.9	1149	1170.8	1186.5	1199	1223.7	1241.4

給液流量 = 5ℓ/min

$H_2$  テーブル 裸体系 (続き) $C = 8.7660 \times 10^8, \lambda = 81.680$  $H_c = 1200.0 \sim 1400.0$ 

$H_c$ (mm)	$H_d$ (mm)	$H_2$ (mm)									
1200	1224.7	1242.6	1250	1277.8	1298.0	1300	1331.1	1353.8	1350	1384.7	1410.2
1201	1225.8	1243.7	1251	1278.9	1299.1	1301	1332.2	1355.0	1351	1385.8	1411.3
1202	1226.8	1244.8	1252	1279.9	1300.2	1302	1333.2	1356.1	1352	1386.8	1412.5
1203	1227.9	1245.9	1253	1281.0	1301.3	1303	1334.3	1357.2	1353	1387.9	1413.6
1204	1229.0	1247.0	1254	1282.0	1302.4	1304	1335.4	1358.3	1354	1389.0	1414.7
1205	1230.0	1248.1	1255	1283.1	1303.5	1305	1336.5	1359.5	1355	1390.1	1415.9
1206	1231.1	1249.2	1256	1284.2	1304.6	1306	1337.5	1360.6	1356	1391.1	1417.0
1207	1232.1	1250.3	1257	1285.2	1305.8	1307	1338.6	1361.7	1357	1392.2	1418.1
1208	1233.2	1251.4	1258	1286.3	1306.9	1308	1339.7	1362.8	1358	1393.3	1419.3
1209	1234.2	1252.5	1259	1287.4	1308.0	1309	1340.7	1364.0	1359	1394.4	1420.4
1210	1235.3	1253.6	1260	1288.4	1309.1	1310	1341.8	1365.1	1360	1395.4	1421.5
1211	1236.4	1254.7	1261	1289.5	1310.2	1311	1342.9	1366.2	1361	1396.5	1422.7
1212	1237.4	1255.8	1262	1290.6	1311.3	1312	1343.9	1367.3	1362	1397.6	1423.8
1213	1238.5	1256.9	1263	1291.6	1312.4	1313	1345.0	1368.4	1363	1398.7	1424.9
1214	1239.6	1258.0	1264	1292.7	1313.6	1314	1346.1	1369.6	1364	1399.8	1426.1
1215	1240.6	1259.1	1265	1293.8	1314.7	1315	1347.2	1370.7	1365	1400.8	1427.2
1216	1241.7	1260.2	1266	1294.8	1315.8	1316	1348.2	1371.8	1366	1401.9	1428.3
1217	1242.7	1261.3	1267	1295.9	1316.9	1317	1349.3	1373.0	1367	1403.0	1429.5
1218	1243.8	1262.5	1268	1297.0	1318.0	1318	1350.4	1374.1	1368	1404.1	1430.6
1219	1244.9	1263.6	1269	1298.0	1319.1	1319	1351.4	1375.2	1369	1405.1	1431.8
1220	1245.9	1264.7	1270	1299.1	1320.3	1320	1352.5	1376.3	1370	1406.2	1432.9
1221	1247.0	1265.8	1271	1300.2	1321.4	1321	1353.6	1377.5	1371	1407.3	1434.0
1222	1248.0	1266.9	1272	1301.2	1322.5	1322	1354.7	1378.6	1372	1408.4	1435.2
1223	1249.1	1268.0	1273	1302.3	1323.6	1323	1355.7	1379.7	1373	1409.4	1436.3
1224	1250.2	1269.1	1274	1303.3	1324.7	1324	1356.8	1380.8	1374	1410.5	1437.4
1225	1251.2	1270.2	1275	1304.4	1325.8	1325	1357.9	1382.0	1375	1411.6	1438.6
1226	1252.3	1271.3	1276	1305.5	1327.0	1326	1358.9	1383.1	1376	1412.7	1439.7
1227	1253.3	1272.4	1277	1306.5	1328.1	1327	1360.0	1384.2	1377	1413.7	1440.9
1228	1254.4	1273.5	1278	1307.6	1329.2	1328	1361.1	1385.3	1378	1414.8	1442.0
1229	1255.5	1274.6	1279	1308.7	1330.3	1329	1362.2	1386.5	1379	1415.9	1443.1
1230	1256.5	1275.7	1280	1309.7	1331.4	1330	1363.2	1387.6	1380	1417.0	1444.3
1231	1257.6	1276.9	1281	1310.8	1332.6	1331	1364.3	1388.7	1381	1418.1	1445.4
1232	1258.7	1278.0	1282	1311.9	1333.7	1332	1365.4	1389.9	1382	1419.1	1446.5
1233	1259.7	1279.1	1283	1313.0	1334.8	1333	1366.4	1391.0	1383	1420.2	1447.7
1234	1260.8	1280.2	1284	1314.0	1335.9	1334	1367.5	1392.1	1384	1421.3	1448.8
1235	1261.8	1281.3	1285	1315.1	1337.0	1335	1368.6	1393.2	1385	1422.4	1450.0
1236	1262.9	1282.4	1286	1316.2	1338.1	1336	1369.7	1394.4	1386	1423.5	1451.1
1237	1264.0	1283.5	1287	1317.2	1339.3	1337	1370.7	1395.5	1387	1424.5	1452.2
1238	1265.0	1284.6	1288	1318.3	1340.4	1338	1371.8	1396.6	1388	1425.6	1453.4
1239	1266.1	1285.7	1289	1319.4	1341.5	1339	1372.9	1397.8	1389	1426.7	1454.5
1240	1267.2	1286.8	1290	1320.4	1342.6	1340	1374.0	1398.9	1390	1427.8	1455.7
1241	1268.2	1288.0	1291	1321.5	1343.7	1341	1375.0	1400.0	1391	1428.8	1456.8
1242	1269.3	1289.1	1292	1322.6	1344.9	1342	1376.1	1401.2	1392	1429.9	1457.9
1243	1270.3	1290.2	1293	1323.6	1346.0	1343	1377.2	1402.3	1393	1431.0	1459.1
1244	1271.4	1291.3	1294	1324.7	1347.1	1344	1378.3	1403.4	1394	1432.1	1460.2
1245	1272.5	1292.4	1295	1325.8	1348.2	1345	1379.3	1404.5	1395	1433.2	1461.4
1246	1273.5	1293.5	1296	1326.8	1349.4	1346	1380.4	1405.7	1396	1434.2	1462.5
1247	1274.6	1294.6	1297	1327.9	1350.5	1347	1381.5	1406.8	1397	1435.3	1463.7
1248	1275.7	1295.7	1298	1329.0	1351.6	1348	1382.5	1407.9	1398	1436.4	1464.8
1249	1276.7	1296.9	1299	1330.0	1352.7	1349	1383.6	1409.1	1399	1437.5	1465.9

給液流量 = 5ℓ/min

# 国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	$m^2$
体積	立方メートル	$m^3$
速度	メートル毎秒	$m/s$
加速速度	メートル毎秒毎秒	$m/s^2$
波数	メートル	$m^{-1}$
密度(質量密度)	キログラム每立法メートル	$kg/m^3$
質量体積(比体積)	立法メートル毎キログラム	$m^3/kg$
電流密度	アンペア每平方メートル	$A/m^2$
磁界の強さ	アンペア每メートル	$A/m$
(物質量)の濃度	モル每立方メートル	$mol/m^3$
輝度	カンデラ每平方メートル	$cd/m^2$
屈折率	(数の)	1

表3. 固有の名称とその独自の記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン <sup>(a)</sup>	rad	$m \cdot m^{-1}=1$ <sup>(b)</sup>	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$
立体角	ステラジアン <sup>(a)</sup>	sr <sup>(c)</sup>	$m^2 \cdot m^{-2}=1$ <sup>(b)</sup>	$m^2 \cdot s^{-1}$
周波数	ヘルツ	Hz	$s^{-1}$	$s^{-1}$
圧力	ニュートン	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
エネルギー、仕事、熱量	パスカル	Pa	$N/m^2$	$N \cdot m$
エネルギー、仕事、熱量	ジユール	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
工率、放射束	ワット	W	$J/s$	$s \cdot A$
電荷、電気量	クーロン	C	$W/A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
電位差(電圧)、起電力	ボルト	V	$C/V$	$m^2 \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
静電容量	ファラード	F	$V/A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^2$
電気抵抗	オーム	$\Omega$	$A/V$	$m^2 \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
コンダクタンス	ジemens	S	$Wb$	$Wb/m^2$
磁束密度	テスラ	T	$V \cdot s$	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリイ	H	$Wb/A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度	$^\circ C$	$K$	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd=cd$
光度	ルーメン	lm	$cd \cdot sr^{(e)}$	$m^2 \cdot m^{-2}$
(放射性核種)の放射能	ベクレル	Bq	$lm/m^2$	$m^2 \cdot m^{-4} \cdot cd=m^2 \cdot cd$
吸収線量、質量エネルギー	グレイ	Gy	$s^{-1}$	$m^2 \cdot s^{-2}$
ギガ分与、カーマ				
線量当量、周辺線量当量				
方向性線量当量、個人線量当量、組織線量当量	シーベルト	Sv	$J/kg$	$m^2 \cdot s^{-2}$

(a)ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なった性質をもつた量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作るときのいくつかの用例は表4に示されている。

(b)実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号“1”は明示されない。

(c)測光学では、ステラジアンの名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。

(d)この単位は、例としてミリセルシウス度 $m^\circ C$ のようにSI接頭語を伴って用いても良い。

表4. 単位の中に固有の名称とその独自の記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	$Pa \cdot s$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^2$
表面張力	ニュートン每メートル	$N/m$	$kg \cdot s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎平方秒	rad/s <sup>2</sup>	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度、放射照度	ワット每平方メートル	$W/m^2$	$kg \cdot s^{-3}$
熱容量、エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量熱容量(比熱容量)	ジュール每キログラム		
質量エンタルピー	每ケルビン	J/(kg · K)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量エネルギー(比エネルギー)	ジュール每キログラム	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
熱伝導率	ワット每メートル每ケルビン	$W/(m \cdot K)$	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール每立方メートル	J/m <sup>3</sup>	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
電界の強さ	ボルト每メートル	V/m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
体積電荷	クーロン每立方メートル	C/m <sup>3</sup>	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
電気変位	クーロン每平方メートル	C/m <sup>2</sup>	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
誘電率	ファラード每メートル	F/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
透磁率	ヘンリー每メートル	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール每モル	J/mol	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
モルエンタルピー	ジュール每モル每ケルモル	J/(mol · K)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
モル熱容量	ビン		
照射線量(X線及びγ線)	クーロン每キログラム	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
吸収線量率	グレイ每秒	Gy/s	$m^2 \cdot s^{-3}$
放射強度	ワット每ステラジアン	W/sr	$m^4 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
放射輝度	ワット每平方メートル每ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> · sr)	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3} = kg \cdot s^{-3}$

表5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
$10^{-24}$	ヨクタ	Y	$10^{-1}$	デシ	d
$10^{-21}$	ゼタ	Z	$10^{-2}$	センチ	c
$10^{-18}$	エクサ	E	$10^{-3}$	ミリ	m
$10^{-15}$	ペクタ	P	$10^{-6}$	マイクロ	μ
$10^{-12}$	テラ	T	$10^{-9}$	ナノ	n
$10^9$	ギガ	G	$10^{-12}$	ピコ	p
$10^6$	メガ	M	$10^{-15}$	フェムト	f
$10^3$	キロ	k	$10^{-18}$	アト	a
$10^2$	ヘクト	h	$10^{-21}$	ゼット	z
$10^1$	デカ	da	$10^{-24}$	ヨクト	y

表6. 国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86400 s
度	°	$1^\circ=(\pi/180) rad$
分	'	$1'=(1/60)^\circ=(\pi/10800) rad$
秒	"	$1''=(1/60)'=(\pi/648000) rad$
リットル	L	$1L=1 dm^3=10^{-3} m^3$
トン	t	$1t=10^3 kg$
ネーベル	Np	$1Np=1$
ベル	B	$1B=(1/2) ln10(Np)$

表7. 国際単位系と併用されこれに属さない単位でSI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	$1 eV=1.60217733(49) \times 10^{-19} J$
統一原子質量単位	u	$1u=1.6605402(10) \times 10^{-27} kg$
天文単位	ua	$1ua=1.49597870691(30) \times 10^{11} m$

表8. 国際単位系に属さないが国際単位系と併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海里	里	1 海里=1852m
ノット	ト	1 ノット=1 海里毎時=(1852/3600)m/s
アード	ル	$1 a=1 dam^2=10^4 m^2$
ヘクタール	ha	$1 ha=1 hm^2=10^4 m^2$
バル	ル	$1 bar=0.1 MPa=100 hPa=10^5 Pa$
オングストローム	A	$1 \text{ \AA}=1 nm=10^{-10} m$
バーン	b	$1 b=100 fm^2=10^{-28} m^2$

表9. 固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	$1 erg=10^{-7} J$
ダイナ	dyn	$1 dyn=10^{-5} N$
ボアズ	P	$1 P=1 dyn \cdot s/cm^2=0.1 Pa \cdot s$
ストーカス	St	$1 St=1 cm^2/s=10^{-4} m^2/s$
ガウス	G	$1 G=10^{-4} T$
エルステッド	Oe	$1 Oe=(1000/4\pi) A/m$
マクスウェル	Mx	$1 Mx=10^{-8} Wb$
スチルブ	sb	$1 sb=1 cd/cm^2=10^4 cd/m^2$
ホルト	ph	$1 ph=10^4 lx$
ガル	Gal	$1 Gal=1 cm/s^2=10^{-2} m/s^2$

表10. 国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
キュリ	Ci	$1 Ci=3.7 \times 10^{10} Bq$
レントゲン	R	$1 R=2.58 \times 10^{-4} C/kg$
ラド	rad	$1 rad=1 Gy=10^{-2} Gy$
レム	rem	$1 rem=1 cSv=10^{-2} Sv$
X線単位		$1 X unit=1.002 \times 10^{-4} nm$
ガンマ	γ	$1 \gamma=1 nT=10^{-9} T$
ジャンスキー	Jy	$1 Jy=10^{-26} W \cdot m^{-2} \cdot Hz^{-1}$
フェルミ	fm	$1 fermi=1 fm=10^{-15} m$
メートル系カラット		$1 metric carat=200 mg=2 \times 10^{-4} kg$
トーラ	Torr	$1 Torr=(101325/760) Pa$
標準大気圧	atm	$1 atm=101325 Pa$
カリ	cal	
ミクロ	p	$1 \mu=1 \mu m=10^{-6} m$