# 原子炉構造コンパクト化のための 炉内流動適正化方策の検討

- 適正化方策の形状サーベイ試験 -

(研究報告)

# 2003年9月

核燃料サイクル開発機構 大洗工学センター 本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ ください。

〒319 - 1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49 核燃料サイクル開発機構 技術展開部 技術協力課 電話:029-282-1122(代表) ファックス:029-282-7980 電子メール:jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to : Technical Cooperation Section , Technology Management Division , Japan Nuclear Cycle Development Institute 4-49 Muramatsu , Tokai-mura , Naka-gun , Ibaraki 319-1184 , Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute) 2003 原子炉構造コンパクト化のための炉内流動適正化方策の検討 - 適正化方策の形状サーベイ試験 -

> 佐藤 博之\*、五十嵐 実\* 木村 暢之\*、上出 英樹\*

#### 要旨

実用化戦略調査研究において、ナトリウム冷却ループ型高速炉の経済性向上の観点から炉容器のコンパクト化が検討されている。炉容器コンパクト化を図るために炉上 部機構の簡素化が検討されており、その一方策として「切込みを有するコラム型 UIS (炉心上部機構)」の採用が考えられている。

本報告書では、「切込みを有するコラム型 UIS」の切込み部を通る冷却材の流れお よび炉上部プレナム内の基本的な挙動に着目し、切込みを通過する流速の低減化およ びプレナム内の流動の適正化を図る構造を検討するために、水を作動流体として用い た 1/20 スケールの可視化試験装置を用い、炉心出口流速および UIS 形状をパラメー タとして行った流動可視化試験の結果について示す。

試験では、水にトレーサ粒子を混入し、スリット状のハロゲン光源を照射すること により、トレーサ粒子の挙動をデジタルビデオカメラで撮影し、UIS 切込み部、切込 み反対側、ホットレグ部正面・側面、切込み部正面等におけるプレナム内流況の定性 的な可視化観察を行った。また、超音波ドップラー流速計(UVP)を用いて UIS 切 込み部を上昇する流れについて鉛直流速成分の計測を行い、速度分布および速度変動 強度の評価を行った。その結果、以下のことが分かった。

試験条件(Re:約2,500~5,000)の範囲では、炉心出口流速を変えても切込み部の流況に大きな影響はないことから、切込み部流況について Re 数の影響は小さく、本試験による流況の評価が可能である。

切込み部を除く UIS 側面に、多孔状の板を巻き付けた結果、H13 年度設計を模擬したリファレンス体系と比較すると、UIS 切込み部を抜けるジェットの方向を 炉壁方向に曲げる効果および UIS 側面からの流れの平坦化に効果が期待できる。 切込み部側面にコアンダ効果(Coanda effect)を利用したフローガイドを設置 した場合、曲面を持つフローガイドの効果が大きく、試験範囲(半径 15~45mm) では半径 15mm のフローガイドを片側に設置した場合、切込み部鉛直方向流速の 低減に対し最大の効果が得られた。

ジェットの抑制のために切込み部内に等間隔になるように3本の円筒(ダミープ ラグ)を鉛直方向に設置した場合、ホットレグ(HL)近傍において切込み部ジェ ットに起因する下降流速を低減でき、流動適正化の効果が期待できる。

# Investigation of flow optimization in a compact reactor vessel of a FBR (Survey of flow optimization devices shape)

Hiroyuki Sato\*, Minoru Igarashi\*, Nobuyuki Kimura\*, Hideki Kamide\*

# Abstract

In the feasibility studies on Commercialized Fast Reactor Cycle Systems, a compact reactor vessel is investigated in terms of economical improvement of a sodium cooled loop type fast reactor. In order to compact reactor vessel, a simple fuel handling system is considered using "a column type UIS (Upper Inner Structure) with a slit".

Gas entrainment due to high flow velocity in the UIS slit is one of major point of reactor vessel design. A 1/20th scaled model water experiment for a reactor vessel upper plenum was performed to evaluate flow through a slit in the column type UIS, fundamental behavior of reactor upper plenum flow, and survey some devices which reduce flow velocity through the slit and optimize flow in the plenum.

In the flow visualization tests, tracer particles were added to the water, and illuminated by the halogen lump light sheet. The flow visualized images were captured with a digital video camera. The visualization was done at a slit of UIS, opposite side of the UIS slit, front and side of hot leg (HL), front of slit and so on. We obtained fluid vertical velocity and fluctuation strength in the UIS slit using Ultrasound Velocity Profile monitor(UVP).

The results are as follows.

In the test condition (Reynolds number;  $2,500 \sim 5,000$  at core outlet), flow field in the UIS slit was nearly identical in spite of core outlet velocity change. It is believed that this small scaled model test is adequate to see the flow pattern in the plenum and effect of the flow control devices.

An outer shroud was set on the UIS, which was perforated plate, and covered the UIS from middle to bottom except for the slit direction. The shroud had effects to bend the jet through the UIS slit toward the reactor vessel wall and also to flatten flow exiting from the UIS.

Flow guide was set beside of the slit of UIS baffle plate to reduce the jet velocity in the UIS slit using Coanada effect. The maximum effect was seen by using around shape guide.

Three cylinders were set in the UIS slit to shut the jet through the UIS slit. The cylinders had effect to reduce high flow velocity area and to limit it inside the UIS. It resulted in reduction of downward velocity around the hot leg piping.

<sup>\*</sup>New Technology Development Group, Advanced Technology Division, OEC, JNC.

# 目 次

ほじめに	.1
試験体概要	.2
炉上部プレナム試験体概要	.2
炉上部プレナム部	.2
その他の炉内構造物	.2
リファレンス体系におけるプレナム内流況	.3
プレナム内流況に対する炉心出口流速の影響	.3
実験方法	.3
実験条件	.3
実験結果	.3
可視化によるプレナム内流況の観察	.4
実験方法	.4
実験条件	.4
実験結果	.4
UVP による切込み部ジェットの流速測定	.6
実験方法	.6
実験条件	.6
実験結果	.7
スケールの相違による流況への影響	.8
老奴	Q
万宗	. 0
	.0
UIS 多孔胴による UIS からの流れの整流	10
<sup>ち豪</sup> UIS 多孔胴による UIS からの流れの整流 UIS 多孔胴のねらい	10 10
<sup>写奈</sup> UIS 多孔胴による UIS からの流れの整流 UIS 多孔胴のねらい 実験条件	10 10 10
UIS 多孔胴による UIS からの流れの整流 UIS 多孔胴のねらい 実験条件 実験結果 可想化に トスプレナム 中流辺の知察	10 10 10 10
<ul> <li>         マママ・マン・マン・マン・マン・マン・マン・マン・マン・マン・マン・マン・マン・</li></ul>	10 10 10 11 11
<ul> <li>マ祭</li> <li>UIS 多孔胴による UIS からの流れの整流</li> <li>UIS 多孔胴のねらい</li> <li>実験条件</li> <li>実験結果</li> <li>可視化によるプレナム内流況の観察</li> <li>UVP による切込み部ジェットの流速測定</li> </ul>	10 10 10 11 11 13
<sup>1</sup> S 察 UIS からの流れの整流 … UIS 多孔胴のねらい… 実験条件 実験結果 可視化によるプレナム内流況の観察 UVP による切込み部ジェットの流速測定 考察	10 10 10 11 11 13 13
<ul> <li> <sup>1</sup> S. S. UIS シミン いっからの流れの整流</li></ul>	10 10 10 11 11 13 13
<ul> <li>「京京</li> <li>UIS 多孔胴による UIS からの流れの整流</li> <li>UIS 多孔胴のねらい</li> <li>実験条件</li> <li>実験結果</li> <li>可視化によるプレナム内流況の観察</li> <li>UVP による切込み部ジェットの流速測定</li> <li>考察</li> <li>フローガイドによる UIS 切込み部ジェットの抑制</li> <li>平面フローガイドによる抑制効果</li> </ul>	10 10 10 11 11 13 13 14
<ul> <li>「京京</li> <li>UIS 多孔胴による UIS からの流れの整流</li> <li>UIS 多孔胴のねらい</li> <li>実験条件</li> <li>実験結果</li> <li>可視化によるプレナム内流況の観察</li> <li>UVP による切込み部ジェットの流速測定</li> <li>考察</li> <li>フローガイドによる UIS 切込み部ジェットの抑制</li> <li>平面フローガイドによる抑制効果</li> <li>平面フローガイドのねらい</li> </ul>	10 10 10 11 11 13 13 14 14 14
<ul> <li>UIS 多孔胴による UIS からの流れの整流</li> <li>UIS 多孔胴のねらい</li> <li>実験条件</li> <li>実験結果</li> <li>可視化によるプレナム内流況の観察</li> <li>UVP による切込み部ジェットの流速測定</li> <li>考察</li> <li>フローガイドによる UIS 切込み部ジェットの抑制</li> <li>平面フローガイドによる抑制効果</li> <li>平面フローガイドのねらい</li> <li>実験条件</li> </ul>	10 10 10 11 11 13 13 14 14 14 14
マ県         UIS 多孔胴による UIS からの流れの整流         UIS 多孔胴のねらい         実験条件         実験結果         可視化によるプレナム内流況の観察         UVP による切込み部ジェットの流速測定         考察         フローガイドによる UIS 切込み部ジェットの抑制         平面フローガイドによる抑制効果         平面フローガイドのねらい         実験条件         実験条件         実験条件	10 10 10 11 11 13 13 14 14 14 14 14
写菜         UIS 多孔胴による UIS からの流れの整流         UIS 多孔胴のねらい         実験条件         実験結果         可視化によるプレナム内流況の観察         UVP による切込み部ジェットの流速測定         考察         フローガイドによる UIS 切込み部ジェットの抑制         平面フローガイドによる抑制効果         平面フローガイドのねらい         実験条件         実験結果         可視化によるプレナム内流況の観察	10 10 10 11 11 13 13 14 14 14 14 14 15 15
<ul> <li>「気奈</li> <li>UIS 多孔胴による UIS からの流れの整流</li> <li>UIS 多孔胴のねらい</li> <li>実験条件</li> <li>実験結果</li> <li>可視化によるプレナム内流況の観察</li> <li>UVP による切込み部ジェットの流速測定</li> <li>考察</li> <li>フローガイドによる UIS 切込み部ジェットの抑制</li> <li>平面フローガイドによる抑制効果</li> <li>平面フローガイドのねらい</li> <li>実験条件</li> <li>実験結果</li> <li>可視化によるプレナム内流況の観察</li> <li>UVP による切込み部ジェットの流速測定</li> </ul>	$ \begin{array}{c} 10\\10\\10\\11\\11\\13\\13\\14\\14\\14\\14\\15\\15\\16\end{array} $
<ul> <li><sup>5</sup>宗</li> <li>UIS 多孔胴による UIS からの流れの整流</li></ul>	$ \begin{array}{c} 10\\10\\10\\11\\11\\13\\13\\14\\14\\14\\15\\15\\16\\16\end{array} $
<ul> <li>「ラ宗</li> <li>UIS 多孔胴による UIS からの流れの整流</li></ul>	$ \begin{array}{c} 10\\10\\10\\11\\11\\13\\13\\14\\14\\14\\15\\15\\16\\16\\17\end{array} $
<ul> <li>「京京</li> <li>UIS 多孔胴による UIS からの流れの整流</li> <li>UIS 多孔胴のねらい</li> <li>実験条件</li> <li>実験結果</li> <li>可視化によるプレナム内流況の観察</li> <li>UVP による切込み部ジェットの流速測定</li> <li>考察</li> <li>フローガイドによる UIS 切込み部ジェットの抑制</li> <li>平面フローガイドによる抑制効果</li> <li>平面フローガイドのねらい</li> <li>実験条件</li> <li>実験結果</li> <li>可視化によるプレナム内流況の観察</li> <li>UVP による切込み部ジェットの流速測定</li> <li>考察</li> <li>曲面フローガイドによる抑制効果</li> <li>曲面フローガイドのねらい</li> </ul>	$\begin{array}{c} 10\\ 10\\ 10\\ 11\\ 11\\ 13\\ 13\\ 14\\ 14\\ 14\\ 15\\ 15\\ 16\\ 16\\ 17\\ 17\\ \end{array}$
<ul> <li>「気気」</li> <li>UIS 多孔胴による UIS からの流れの整流</li> <li>UIS 多孔胴のねらい</li> <li>実験条件</li> <li>実験結果</li> <li>可視化によるプレナム内流況の観察</li> <li>UVP による切込み部ジェットの流速測定</li> <li>考察</li> <li>フローガイドによる UIS 切込み部ジェットの抑制</li> <li>平面フローガイドによる抑制効果</li> <li>平面フローガイドのねらい</li> <li>実験条件</li> <li>実験結果</li> <li>可視化によるプレナム内流況の観察</li> <li>UVP による切込み部ジェットの流速測定</li> <li>考察</li> <li>曲面フローガイドによる抑制効果</li> <li>曲面フローガイドのねらい</li> <li>実験条件</li> </ul>	$\begin{array}{c} 10\\ 10\\ 10\\ 11\\ 11\\ 13\\ 13\\ 14\\ 14\\ 14\\ 15\\ 16\\ 16\\ 17\\ 17\\ 17\end{array}$
	試験体概要 炉上部プレナム試験体概要 炉上部プレナム部 つの他の炉内構造物 リファレンス体系におけるプレナム内流況 プレナム内流況に対する炉心出口流速の影響 実験方法 実験条件 実験結果 可視化によるプレナム内流況の観察 実験方法 実験未用 UVPによる切込み部ジェットの流速測定 実験方法 実験方法 実験結果 UVPによる切込み部ジェットの流速測定 実験方法 実験名件 実験結果 UVPによる切込み部ジェットの流速測定 またる切込み部ジェットの流速測定 またる切込み部ジェットの流速測定 またる切込み部ジェットの流速測定 またる切込み部ジェットの流速測定 またの 来の

5.2.3.1	可視化によるプレナム内流況の観察	17
5.2.3.2	プレナム内流動の概要	19
5.2.3.3	UVP による切込み部ジェットの流速測定	19
5.2.3.4	フローガイド効果への流速の影響	21
5.2.4	考察	21
6.	UIS 多孔胴とフローガイドを組み合わせた効果	22
6.1	組み合わせのねらい	22
6.2	実験条件	22
6.3	実験結果	22
6.3.1	可視化によるプレナム内流況の観察	22
6.3.2	UVP による切込み部ジェットの流速測定	23
6.4	考察	23
7.	ダミープラグ	24
7.1	ダミープラグのねらい	24
7.2	実験条件	24
7.3	実験結果	24
7.4	考察	25
8.	おわりに	27
謝辞		29
() <u> </u>	- •	
参考文	钬	29

図表リスト

表 2.1	設計条件	30
表 2.2	構造物の仕様	30
図 2.1	試験装置図	31
図 2.2	配管系統図	32
図 2.3	炉上部プレナム部概略図	33
<ul> <li>図 3.1</li> <li>図 3.2</li> <li>図 3.3</li> <li>図 3.4</li> <li>図 3.5</li> <li>図 3.6</li> <li>図 3.7</li> <li>図 3.8</li> <li>図 3.9</li> <li>図 3.10</li> <li>図 3.11</li> <li>図 3.12</li> <li>図 3.13</li> <li>図 3.14</li> <li>図 3.15</li> </ul>	PIV による計測方法 リファレンス体系における鉛直方向流速成分 プレナム内流況計測方法 リファレンス体系における流況(切込み側面) リファレンス体系における流況(切込み反対側) 燃料交換機案内管の有無による切込み部流況の比較 リファレンス体系における流況(切込み正面) リファレンス体系における流況(HL正面) リファレンス体系における流況(HL 更面) リファレンス体系における流況(HL 側面) 鉛直方向流速分布、変動強度分布 1/10、1/20 スケールモデルにおける流況の比較 1/10、1/20 スケールモデルにおける流速分布の比較(1) 1/10、1/20 スケールモデルにおける流速分布の比較(2) UIS 高さ方向速度ピーク位置の比較 モデル間の規格化流速の比較	34 35 37 37 38 39 40 40 41 42 43 44 45 45
図 4.1 図 4.2 図 4.3 図 4.4 図 4.5 図 4.6 図 4.7 図 4.8 図 4.9 図 4.10 図 4.11	<ul> <li>多孔胴概念図(3段胴)</li> <li>多孔胴概念図(4段胴)</li> <li>多孔胴における流況(切込み部)</li> <li>多孔胴における流況(切込み反対側)</li> <li>多孔胴における流況(4段胴の切込み正面)</li> <li>多孔胴における流況(HL 正面)</li> <li>多孔胴における流況(HL 側面)</li> <li>切込み反対側の渦</li></ul>	46 47 48 50 51 52 53 54 55
図 5.1.1	フローガイドおよび UIS 概念図	57
図 5.1.2	90°フローガイド両側設置条件における切込み部流速	58
図 5.1.3	フローガイド角度の影響(切込み部)	59
図 5.1.4	フローガイド角度の影響(切込み正面)	60
図 5.1.5	フローガイド角度の影響(HL 正面)	61

义	5.1.6	フローガイド角度の影響(HL側面)	62
义	5.1.7	UIS 切込み部鉛直方向流速分布	63
义	5.1.8	UIS 切込み部鉛直方向速度変動強度	64
义	5.1.9	鉛直方向速度分布へのフローガイドの効果	65
义	5.1.10	鉛直方向速度変動強度へのフローガイドの効果	66
义	5.2.1	フローガイドおよび UIS 概念図(千鳥配置)	67
义	5.2.2	フローガイドおよび UIS 概念図(片側配置)	68
义	5.2.3(1)	曲面フローガイドによる流況(切込み部)	69
义	5.2.3(2)	曲面フローガイドによる流況(切込み部)	70
义	5.2.4(1)	曲面フローガイドによる流況(切込み正面)	71
义	5.2.4(2)	曲面フローガイドによる流況(切込み正面)	72
义	5.2.5	フローガイド設置位置の効果(HL正面)	73
义	5.2.6	フローガイド設置位置の効果(HL側面)	74
义	5.2.7(1)	R15 片側フローガイドでの流れの非対称性(B/P3枚目下面)	75
义	5.2.7(2)	R15 片側フローガイドでの流れの非対称性(B/P4枚目下面)	76
义	5.2.7(3)	R15 片側フローガイドでの流れの非対称性(B/P5枚目下面)	77
义	5.2.7(4)	R15 片側フローガイドでの流れの非対称性(DP下面)	78
义	5.2.8	プレナム内流動模式図	79
义	5.2.9	UIS 切込み部鉛直方向流速分布	80
义	5.2.10	UIS 切込み部鉛直方向速度変動強度	81
义	5.2.11	鉛直方向速度分布へのフローガイドの効果	82
义	5.2.12	バッフル板形状および設置位置	83
义	5.2.13	バッフル板形状および設置位置の効果	84
义	5.2.14	フローガイド効果への流速の影響(切込み部)	85
义	5.2.15	フローガイド効果への流速の影響(切込み正面)	86
义	5.2.16	フローガイド効果への流速の影響(バッフル板2~3枚目)	87
义	5.2.17	鉛直方向速度と変動強度の比較	88
	•		
凶	6.1	多孔胴とフローカイドの概念図	89
凶	6.2	多孔胴とフローカイドによる流況(切込み部)	90
凶	6.3	多孔胴とフローカイドによる流況(切込み反対側)	91
凶	6.4	多孔胴とフローカイドによる流況(切込み止面)	92
凶	6.5	多孔胴とフローカイドによる流況(HL止面)	93
凶	6.6	多孔胴とフローカイドによる流況(HL側面)	94
凶	6.7	UIS 切込み部鉛直方回流速分布	95
凶	6.8	UIS 切込み部鉛直万向速度変動強度	96
৵স	71	ダミー プラグ 趣今回	07
凶	1.1 7.9	フィーノノノ阪心凶ガンション	91
区	1.4 79	フニーノノノによるルルル(切込の即)	98
区	1.J 7 A	フィーノノソによる流流(切込の区刈測)	
凶	1.4	フミーノノソによる爪爪し切込の止阻!	101
凶	1.0 7.6	フミーノノソによる流流(ILL 止山)	.101
凶	1.0	フ ニーノノソ に よ 回 流 ( 口 L 1) 囲 丿	.102

#### 1. はじめに

平成 11 年度から開始されている高速炉の実用化戦略調査研究において、革新技術 を採用した様々な冷却材の FBR プラント概念が考えられている。その中でナトリウ ム冷却ループ型炉<sup>[1]</sup>については、安全性確保を前提とし、将来の軽水炉と比肩しうる 経済性を実現するための経済性向上方策として、高出力化(150 万 kWe) ループ数 削減(2ループ) 炉容器コンパクト化(容器径:約 10m)等が検討されている。そ れに伴い、冷却材の炉上部プレナム内および配管内の流速は増加している(炉上部プ レナム内断面平均流速は約 0.3m/s となり、実証炉<sup>[2]</sup>の約 2.5 倍)。

現在の設計では、炉容器をコンパクト化する上で、燃料交換の際に炉心上部機構 (UIS)を待避する必要のない「切込みを有するコラム型 UIS」が検討されている。 炉上部プレナム内は、スクラム過渡時等に急激な温度勾配が生じないためのミキシン グスペースが必要であり、炉上部プレナム内のナトリウム容量を有効に用いるため、 現在の設計における UIS は、従来のタイプのように周囲に胴を有さず、制御棒上部 案内管を支持するための水平多孔板(バッフル板)並びにホールドダウンプレートで 構成され、UIS 内部をナトリウムが流動する構造となっている。バッフル板とホール ドダウンプレートには中心から外側に向かって切込みが設けられており、燃料交換機 のアームが半径方向に移動できる構造になっている。さらに、UIS 自体が炉心に対し てわずかに偏心して回転することにより、すべての集合体に燃料交換機がアクセスで きる構造になっている。

炉心から出た流れの一部は UIS 内部を通るとともに、バッフル板に設けた切込み 部を選択的に通過することが考えられ、この流速の増加に伴い炉上部プレナム内自由 液面からのカバーガスの巻き込みが懸念される。ガスが巻き込んだ場合、熱交換器等 での伝熱特性の低下や、循環して炉心内に流れ込んだガスが炉心反応度に影響する可 能性がある。これに加えて、プレナム内に不安定な流れや局所的に流速の増加を生じ る可能性があり、過渡時における温度成層化(サーマル・ストラティフィケーション) 界面の振動、サーマル・ストライピングの助長等が懸念される。

本研究では、以上の観点から、

ナトリウム冷却炉に「切込みを有するコラム型 UIS」を採用した際のホットレグ (HL)近傍を含めた炉上部プレナム内の基本的流動特性を把握し、プレナム内 の流動を適正化するための検討に反映する。

別途実施している 1/10 スケール炉上部プレナム流動試験に反映するために、適 正化方策の形状をパラメータとするスクリーニングを行う。

ことを目的に、水を作動流体として用いて、実用化戦略調査研究で検討している FBR プラント概念(以下、実機)の1/20スケールモデル水流動試験を行った。

「切込みを有するコラム型 UIS」における流速場の基本的特性を把握する試験のうち、前報では、リファレンス体系での炉内流動の可視化<sup>[3]</sup>について報告した。

本報告書は、切込み部を除く UIS 周囲に多孔状の板を巻き付けた UIS 多孔胴、切込み横に板を設置したフローガイド、そして切込み部内に鉛直に3本の円柱を設置したダミープラグを炉内流動適正化方策として考え、炉上部プレナム内流速場への影響についてまとめたものである。

#### 2. 試験体概要

#### 2.1 炉上部プレナム試験体概要

試験装置の概要を図 2.1、配管系統を図 2.2、また試験部の詳細を図 2.3 に示す。 試験装置は、実機の 1/20 スケールで、円筒容器内部の構造物については、流況を 可視化可能とするために、大部分の材質をアクリル等の光学的に透過性の高い材料を 用いて製作した。また、円筒容器の外側には曲率の影響を低減させるためにウォータ ージャケットを設置している。なお、全体の流れを把握するために、コールドレグ (CL)、コールドトラップ(CT)、浸漬型炉心冷却器(DHX: Dipped Heat Exchanger)、 制御棒上部案内管の本数等、容器内の構造物を簡素化している。

装置の設計条件は表 2.1 の通りである。また、構造物の主な仕様を表 2.2 に示す。

# 2.2 炉上部プレナム部

(1) 炉心模擬部

炉心模擬部については、炉心出口部の下方に、円盤状の穴あきプレートを3枚設置 し整流している。炉心出口部は炉心燃料集合体を模擬し、簡素化のために、ブランケ ット燃料集合体は模擬していない。また、炉心燃料集合体の出口径、個数および配置 は、実機と同等となるように 4.5mmの穴を548個設置している。

(2) UIS 部

UIS 部は、実機の制御棒案内管 55 本に対し、 10mm の支持棒 9 本でバッフル板 を支持する構造とし、バッフル板には、燃料交換機アームが通るための切込みを図 2.3 のように設けた。バッフル板とバッフル板の間隔と位置は、スペーサの長さを調 節することで調整できる。円筒スペーサは、外径を 12mm として、実機制御棒案内 管の 1/20 縮尺を模擬している。バッフル板には、実機と相似形の形状となるように

5.5mm の穴を 509 個設置している。また、UIS 最下部にあるホールドダウンプレート(以下 HDP)は、支持棒をネジ止めするため機械的に大きな応力がかかる可能性を考慮して、SUS を用いて製作した。

(3) ディッププレート

ディッププレート(以下 DP)は、DP 下面での流動観察ができるようにアクリル を用いており、内側 DP および外側 DP はそれぞれ1枚の DP で構成される。円形の 内側 DP は UIS の上部に固定され、ドーナツ板状の外側 DP はホットレグ配管などの 貫通部を有する。1/20 スケールモデルではスケールが小さく自由液面でのガス巻き込 みの発生を直接試験対象とすることは困難と考えられることから、内側 / 外側 DP の 隙間および外側 DP と炉容器・配管との隙間は、組立上必要な隙間はあるが、自由液 面の乱れがないようにできるだけ小さくした。

#### 2.3 その他の炉内構造物

CL、CT、DHX 等の構造物については、切込み部ジェット、UIS 内部および全体 流況の観察が試験目的であり、観察の障害となると考えられることから省略した。 UIS バッフル板切込み正面には燃料出入機案内管を設置するとともに、プレナム出口 配管である2本のホットレグ(HL)配管を模擬した構造とした。

## 3.リファレンス体系におけるプレナム内流況

# 3.1 プレナム内流況に対する炉心出口流速の影響

#### 3.1.1 実験方法

プレナム内のリファレンス体系として、H13 設計体系である開口率 30%のバッ フル板5枚を設置した UIS 形状を設定した。最初に、このリファレンス体系におい て、炉心出口流量をパラメータとした試験を行い、流量変化によるプレナム内の流 況への影響を確認するための試験を行った。試験は、作動流体である純水中にトレ ーサ粒子(エクスパンセル)を混入し、切込み部に YAG レーザを鉛直方向のスリ ット光として照射して、切込み部の流速分布を粒子画像流速測定法(Particle Image Velocimetry: PIV)<sup>[3],[4],[5]</sup>により測定した(図3.1)。

#### 3.1.2 実験条件

プレナム内流況への流速による影響を確認するために、試験装置の最大流速 20m<sup>3</sup>/h(炉心出口流速 0.47m/s)から、実機流速に対して 1/20(スケール比と同じ) 流速となる 12m<sup>3</sup>/h(炉心出口流速 0.28m/s)を含め、10m<sup>3</sup>/h(炉心出口流速 0.24m/s) までをパラメータとして切込み部の流速測定を行った。なお、このリファレンス体 系での試験においては、燃料出入機案内管は模擬していない。

バッフル板枚数:	5枚
バッフル板形状:	開口率 30%( 10×150 個の穴)
試験体流量:	20m³/h(炉心出口流速 0.47m/s)
	18m³/h(炉心出口流速 0.42m/s)
	16m³/h(炉心出口流速 0.38m/s)
	14m³/h(炉心出口流速 0.33m/s)
	12m³/h(炉心出口流速 0.28m/s)
	10m³/h(炉心出口流速 0.24m/s)
PIV 画像時間間隔:	7ms
画像枚数:	300枚(150組)
流速ベクトルサンプリンク	ブ周波数:15Hz

#### 3.1.3 実験結果

PIV により得られた流速分布から、バッフル板2枚目から DP までの各バッフル 板間の中間位置における鉛直方向流速成分に着目し、これを各試験条件における炉 心出口流速で規格化して比較した(図 3.2)。これより、各バッフル板間における 規格化流速分布を比較すると、試験範囲の 20~10m<sup>3</sup>/h(炉心出口流速 0.47~ 0.24m/s、炉心出口径を代表長さとする炉心出口部の Re 数 2,500~5,000 程度) において、切込み部ジェットの流況に大きな違いは見られず、炉心出口流速の影響 は小さいと考えられる。

#### 3.2 可視化によるプレナム内流況の観察

#### 3.2.1 実験方法

リファレンス体系として、3.1.1 節と同じ開口率 30%のバッフル板 5 枚を有する UIS 形状を基準とした。これにおける可視化試験として、作動流体である純水中に トレーサ粒子(エクスパンセル)を混入し、これに光源としてハロゲンランプをス リット状にしたものを照射し、スリット光の垂直方向からデジタルビデオカメラで 撮影して観察を行った。これらの流況を UIS 切込み側面・正面、HL 正面・側面、 そしてそれ以外に UIS 内部の流動を把握する観点から代表として UIS 切込みの反 対側について観察した(図 3.3)。また、UIS 切込み正面からの観察は、UIS 中心か ら約 62mm の位置(UIS 半径の約 1/2 の位置)に切込み側面よりスリット光を当 てて観察を行った。

#### 3.2.2 実験条件

切込み部を通過するジェットの流況は、3.1 節で述べたように、この試験装置の 流速範囲では大きな違いがないことを確認している。また、最大流量 20m<sup>3</sup>/h(炉 心出口流速 0.47m/s)を流した場合、ポンプからキャビテーションが発生し、その 気泡が観察の妨げになることから流量を抑え、流量 16 m<sup>3</sup>/h(炉心出口流速 0.38m/s) を試験条件として設定した。

バッフル板枚数: 5枚
 バッフル板形状: 開口率 30%( 5.5×509 個の穴)
 試験体流量: 16m<sup>3</sup>/h(炉心出口流速 0.38m/s)
 トレーサ粒子:平均粒子径約 20µmのプラスチック粒子
 スリット光源: MORITEX 社製 MHF-G150LR
 平均照度:約 80.0001x

ハロゲン光源は、スリット状(幅5~10mm 程度)にして照射し、上部プレナム を上下2分割して2分間程度撮影した。

4章以下に示す UIS 多孔胴やフローガイド等の流動適正化方策を適用した試験 ケースにおいても、可視化試験は同じ計測条件を基本として試験を行った。

3.2.3 実験結果

試験結果として、デジタルビデオカメラによる画像を示す。比較的流速が速く(トレーサ粒子の動きがデジタルビデオカメラの1フレーム撮影時間より速いために線状に写っているもの)特徴のある流況を実線の矢印で、比較的流速が遅く(トレーサ粒子が粒子として認識できるもの)特徴のある流況を破線の矢印としてフリーハンドで記入したものを示す。その他の領域は流れが遅く一定しないか、あるいは流況の観察が困難なことから矢印を入れていない。

- (1) 切込み部側面(図 3.4)
  - ・切込みを抜けるジェットは、約10~15°程度の傾きで上昇し、DP下面に至る まで炉壁方向等へあまり拡散しない。DP下面に衝突したジェットの一部は、 UIS中心方向に向かい、切込み反対側から切込み側に流れ込んできた流れと衝 突し、DP下面をHL方向に広がりながらHLに吸い込まれるか、UIS中心近

傍を下降する流れになる。

・切込み周囲のバッフル板1,2枚目下面からは下図に示すように、切込み部左 右から炉壁方向へ向かう流れは、燃料出入機案内管を回り込み、案内管下端近 傍の高さで炉壁に衝突する。衝突後、上下に分かれ、一部の流れは下方向の流 れを形成し、プレナム下面に沿って UIS 方向に戻る。そのために、切込み部 側面からの画像では炉壁から炉心出口方向に向かう流れが生じている。

燃料出入機案内管



また、炉壁衝突後に上方向に向かう流れは、燃料出入機案内管と炉壁間を上昇 し、案内管を回り込んで下降してきた流れとバッフル板4枚目の高さで衝突し ている。案内管を設置しなかった条件(図3.6)と比較すると、炉壁近傍およ び炉壁からの流れが観察されていないことから、これらの流れは、燃料出入機 案内管を設置したことにより、案内管を回り込む流れが生じたためと考えられ る。

- (2) 切込み反対側(図 3.5)
  - ・バッフル板1,2枚目下から出た流れは、炉壁方向の流れを形成し、炉壁から DPに向かって上昇し DPからさらに UIS 中心方向に向かう流れと、プレナム 下面に沿って炉心出口方向に向かう大きな循環を形成する。
  - ・炉心から UIS 内を上昇する流れの大部分は、バッフル板4枚目までの下面に あたって水平方向から UIS 外側に流れ出ている。その際に、バッフル板2~
     4枚目下側の UIS 外周において渦を生じている。一部の流れは、バッフル板4枚目まで到達するが、バッフル板5枚目の上部から下降する流れとぶつかって、炉壁方向にゆっくり流れ出る。
- (3) 切込み正面(図 3.7)
  - ・切込みを上昇するジェットは、バッフル板3枚目(BP3)の下面までは、バッフル板通過後、一部の流れが不安定に左右に揺れながらジェットから分かれて 広がるが、次のバッフル板を通過する際には広がった一部の流れは再びジェットに合流する流況となり、バッフル板4枚目以降に比べると、あまり左右に拡散せずに切込み部を流れる。
  - ・UIS 中心近傍の流況は、バッフル板を下から上に通過する流れと、バッフル板 の穴を通過する際に分かれ、バッフル板下面に沿って炉壁方向へ向かう流れが あると考えられる。切込み正面から見た切込み部以外の流れは、炉壁方向に向 かう流れに影響されて UIS 外側方向に大きく曲がった流れになっている。

- ・切込み部を通過し、DPの下面に衝突したジェットは、左右に分かれ下降しな がら炉壁方向に流れる。一部の流れはバッフル板5枚目を上から下に斜めに抜 けながら図 3.5のバッフル板4、5枚目間に見られるような炉壁方向の流れに なっている。
- (4) HL 正面(図 3.8)
  - ・HL の切込み側は切込みから DP にぶつかって HL に向かう流れにより HL 右 上から左下への流れになり、HL 左側(切込み反対側)は1,2枚目のバッフ ル板下面に沿って UIS から吹き出して、炉壁に沿いながら HL に向かう流れ により左下から右上への流れが顕著である。
  - ・HL下では、(2)の切込み反対側で見られるように、バッフル板1,2枚目下から炉壁方向に向かい、プレナム下面に沿って炉心出口方向に向かう流れの断面をHL中心に向けて図の右側から照射したスリット光で捉えているため、HL 左右対称の渦状の断面が見られる。これらはHLに回転しながら吸い込まれているものと考えられる。
- (5) HL 側面(図 3.9)
  - ・バッフル板1~3枚目の下面に沿って UIS から流出した流れは、HL に直接吸い込まれている。HDP 下面からも噴流が形成されバッフル板1枚目からの流れに合流して吸い込まれている。一方、(2)の切込み反対側では HDP の下でUIS 中心方向に向かう流れが見られたことから、HDP 下面の流れに分布が生じていることが考えられる。
  - ・HL 下側に炉壁側から HL 中心部に向かう流れと、UIS からの流れがぶつかる 流れの境界領域があることと、(4)の HL 正面においても HL 下部で左右の流れ が衝突して回転しながら流れ込む領域があることから、HL 下部には HL に流 れ込みながら渦が生じていると考えられる。

# 3.3 UVP による切込み部ジェットの流速測定

#### 3.3.1 実験方法

可視化試験とあわせて UIS 切込み部の鉛直方向速度成分の計測を行うために、 切込み部の UIS 中心近傍、外側近傍およびその中間部の上方に位置する DP に計測 用の穴を設置した。この穴を通して、超音波流速分布計測計(Ultrasound Velocity Profile Monitor; UVP)<sup>[5]</sup>の超音波プローブを差し込み、DP 下面から炉心出口まで の流速分布の測定を行った。(図 3.3)

#### 3.3.2 実験条件

バッフル板形状や流量などの試験条件は 3.2.2 可視化試験と同様とした。

計測条件は、切込み上部の DP に UIS 中心からそれぞれ 24mm、64mm、104mm の位置に(以下、それぞれ UIS 中心近傍、UIS 中間、UIS 外側近傍と呼ぶ)プロ ーブを設置し、DP 下面を基準として上方へ約 41mm の高さにプローブの先端を固 定して測定した。

計測装置:MET-FLOW 社製 X-1 モデル トランスデューサ: 送信周波数:4MHz

プローブ直径:8mm (トランスデューサ径5mm)

収録データ数:1024点(71.4秒間)

サンプリング周波数:約14Hz(音速1,510m/s)

**流速分解能:**1.4mm/s

- 計測範囲:プローブ端より 41mm の位置から下方に 128 点の鉛直方向直線 上の空間分布を測定する設定とし、UIS 切込み部を横から見た領 域を上下方向に 2 つの領域に分けて、一部領域をオーバーラップ させて計測し、これらを合成して速度分布を求めた。
  - 上の領域は 41mm (DP 下面) から 1.51mm 間隔で 232.8mm ま で、下の領域は 150mm から 1.51mm 間隔で 341.8mm (炉心出 口面より 5mm 程度下側) までとした。
- 測定回数:1回の測定で1,024 点測定し、同一条件を2回測定して、ゼロデ ータを除いて時系列データとした。

トレーサ粒子:平均粒子径約20µmのプラスチック粒子

4章以下に示す UIS 多孔胴やフローガイド等の流動適正化方策を適用した試験 ケースにおいても、UVP による流速測定は同じ計測条件を基本として試験を行った。

#### 3.3.3 実験結果

図3.4より、UIS切込み部におけるUIS中間部とUIS外側における流れ方向は、 鉛直方向よりそれぞれ10°、15°の角度を有しており、鉛直方向流速成分は流れ 方向流速の96%程度であること、また、DPへ向かう流速を見ることが重要である ことから、鉛直方向流速成分のみ比較した。

・バッフル板1枚目より下の領域は、炉心出口に近いほど大きくなり、炉心出口 部流速 0.38m/s と同程度の流速が予想される。しかし、図 3.10 を見ると最大 0.32m/s 程度の流速しかなく、炉心出口に近づくにつれて流速が小さくなる逆 の傾向があることから、UVP によるこの領域での測定は困難であると考えら れる。他の試験ケースにおいても、この領域での流速はデータとして示すが、 特に言及しない。可視化試験では、炉心出口の穴から出た流れの一部が周囲の 炉心出口から出た流れの間を下降流として炉心出口方向に流れて、不安定な高 流速の循環を形成しており、これが最下部のデータが予想外に小さくなる要因 の1つの原因と考えられる。

・「3.2.3(3) 切込み正面」で述べたように、切込み部のジェットは、一部の流れが バッフル板下面にあたり左右に流れ、次のバッフル板通過直前にジェットから 分かれた一部の流れがバッフル板下面で再びジェットに引き寄せられて合流 する。そのために、流速分布においてバッフル板手前までに流速は小さくなり、 バッフル板通過時には、バッフル板により流量が一時的に増加するものと考え られる。バッフル板1,2枚目が特にその傾向が顕著になっている。DP下面 では全てのジェットが左右に分かれ、鉛直方向流速が水平方向流速となるため に急激に流速が低下し、ゼロになる。

・速度変動強度を見ると、UISのどの位置においても大きな差はなく 0.02~ 0.04m/s(炉心出口流速の 5~10%)程度の速度変動がある。UIS中心近傍の 分布を見ると、バッフル板通過後の変動が大きく、バッフル板 3 枚目より下の 領域で、最大で炉心出口流速の 13%程度になる。これは、可視化試験で見られ る UIS 中心近傍の渦によるものと考えられる。

# 3.4 スケールの相違による流況への影響

本試験で用いた試験装置は、実機の 1/20 スケールの試験装置であるが、このようにスケールモデルを用いた場合における、プレナム内の流況への影響について把握するために、実機 1/10 スケールの試験装置で行った試験結果<sup>[6]</sup>と比較することにより、スケールモデルによる流況の相違について検討した。

(1)可視化試験結果の比較

図3.11にリファレンス体系における(1)1/20スケールと(2)1/10スケールモデル の試験結果を示す。計測位置は、UIS 切込みを通る鉛直断面である。(1)の 1/20 スケールモデルの試験結果は、PIV を用いて得られた速度分布(カラーの矢印) と可視化試験より得られた流況(黒の矢印)を重ね合わせた結果を示している。 そのため、カラーの矢印は燃料交換機案内管のない条件での速度分布、黒の矢印 は燃料交換機案内管のある条件での可視化試験結果を示している。

(2)の 1/10 スケールモデル試験結果は、UIS 内の構造物(制御棒案内管)が多 いために切込み側面からの UIS 内部の計測ができないことから、UIS の外側近傍 から炉壁までの速度分布を示している。また、試験結果は燃料交換機案内管のあ る条件での試験結果である。

これより、2つのスケールモデルの試験結果より流況を比較すると、以下の共 通点が見られる。

切込み部におけるジェットの右端部位置に着目すると、どちらの結果もバッフル板2枚目から出て、DP下面の衝突位置が UIS と炉壁の中間にあり、ジェットの上昇角度を含めて流況に大きな差異はない。

燃料出入機案内管の下側から、バッフル板1枚目の下側に至る、炉壁から UIS 方向の流れがある。

しかしながら、以下のような相違点もある。

1/10 スケールモデルのジェットの流速分布は、バッフル板3枚目近傍からの 流れの流速が大きいが、1/20 スケールモデルではバッフル板2~4枚目での バッフル板間の流速が大きく、最大流速の位置が異なる。

1/10 スケールモデルにおいて、燃料出入機案内管下側から UIS 方向の流れは、 始点は案内管後ろ側のバッフル板 3 枚目の高さで、途中、UIS に至る前に切 込み部ジェットの影響で UIS 方向から再度、DP 方向に上昇し、最後は燃料 出入機案内管側面に沿って下降するような大きな循環を形成している。これ に対し 1/20 スケールモデルでは、始点は、燃料出入機案内管下側から、終点 は UIS までの流れになっており、明確な循環は形成されていない。

#### (2)速度分布の比較

図 3.12 に切込み部の UIS 外周部における鉛直方向速度分布図を示す。これより、UIS 外周部における流速分布は、バッフル板3枚目まではほぼ一致しており、3枚目以降は規格化流速で 0.15 程度、1/20 スケールモデルの方が大きくなる。

図 3.13 はバッフル板 2 枚目から DP までの各バッフル板中間高さにおける鉛 直方向速度の UIS 水平方向分布を示しており、1/20 スケールモデルは UIS 中心 から炉壁まで、1/10 スケールモデルでは UIS 外周部から炉壁までの分布を示し ている。図 3.13 (5)のバッフル板 2,3枚目間では、UIS 外側における流速分布 およびピーク位置はよく一致している。バッフル板 3 枚目より上の領域では、 ピークにおける流速の大きさとピークの水平方向位置に差が生じている。その 速度分布は相似形状をしていることから、そのピークの差について図 3.14 にま とめた。これより、バッフル板 3 枚目からピーク位置はずれ始めるが 1/20 では 規格化した UIS 高さで 0.05 ほど遅れてずれ始めるため、DP 下面までその差は 一様である。

また、UIS高さ方向のピーク時の流速分布に着目したのが図3.15である。1/20 モデルにおけるピーク時の規格化流速を横軸に、それに対応する UIS 高さ位置 における 1/10 スケールモデルでの規格化流速を縦軸に示した。ただし、バッフ ル板 1 枚目より下の流速は除いている。これより、高流速領域では 1/10 スケー ルモデルと 1/20 スケールモデルの流速はほぼ同じか、1/20 スケールモデルの方 が 20%ほど大きい流速になっている。低流速領域においても 1/20 スケールモデ ルの方が 20%ほど大きい流速になっており、切込み部の流動適正化の観点から は、1/20 スケールモデルは安全側の結果になっていると考えられる。

### 3.5 考察

- ・切込み部における各バッフル板中間位置の規格化流速分布を比較すると、試験範囲 20~10m<sup>3</sup>/h (炉心出口流速 0.47~0.24m/s) において流況に大きな違いは見られないことから、切込み部流況への炉心出口での Re 数による影響は小さく、モデル試験での切込み部流況の概要は実機評価へ適用できると考えられる。
- ・切込み部流況について、スケールの異なるモデル(1/10 スケールモデル)と比較すると、流況の概要については大きな差異はないが、詳細な部分について差異が見られる。また、鉛直方向流速の UIS 水平方向のピーク位置に着目すると、 1/20 スケールモデルのピーク流速の大きさは、流れの適正化の観点からは安全側の結果を示しているが、DP下面でのピーク位置は若干 UIS 中心よりになり、異なっている。
- ・可視化試験より、切込みを抜けるジェットは、約10~15°の傾きで上昇し、DP 下面に至るまで UIS 半径方向にあまり広がらない。また、切込み正面から見て 横方向にはバッフル板3枚目まであまり広がらないが、3枚目以降ではバッフ

ル板下面に当たったジェットの一部がバッフル板下面に沿って流れる傾向が強 くなる。最後に DP 下面に衝突したジェットは炉壁を下降する流れと UIS 中心 方向の流れ、切込み正面から見て左右方向への流れを形成する。そして、切込 み正面から見て DP 下面、バッフル板下面に沿いながら左右に広がる流れは、 HL 方向に流れ、炉壁で下降流となって HL に吸い込まれる流れを形成する。

- ・UIS 切込み部において、ジェットが通過している UIS 中間部と UIS 外側近傍の 鉛直方向流速分布を見ると、ジェットの影響を大きく受けているため、両者の 流速に大きな差はないが、ジェットが通過しない UIS 中心部では、流速は UIS 中間部と外側近傍に比べて4~6割程度まで小さくなることがわかる。
- ・切込み反対側では、炉心から出た流れは、バッフル板2~4枚目の下面に当たり、 そのほとんどはUISから流れ出る際にバッフル板外周に渦を生じている。また、 バッフル板1,2枚目下からの流れは、UISの外側で炉壁方向の流れを形成し、 炉壁衝突後に下方向に向かう流れとなり、プレナム下面に沿って炉心出口方向 に流れて、バッフル板1枚目の高さに渦を生じる。バッフル板2~4枚目横の 渦は、HLの側面でも観察され、バッフル板1枚目横の渦断面は、HL正面でも 観察されていることから、切込み部を除くUIS周囲に渦が形成されていると考 えられる。また、これらの渦のうち、バッフル板1枚目横およびバッフル板4 枚目下の渦はHLの側面では見えなくなっていることから、HLに回転しながら 吸い込まれているものと考えられる。

#### 4. UIS 多孔胴による UIS からの流れの整流

#### 4.1 UIS 多孔胴のねらい

リファレンス体系では、バッフル板下面に衝突した流れが UIS から流れ出る際 に、バッフル板下面に沿って流れ出るため局所的に速い流れが生じ、それに伴い UIS 外周に渦を生じてしまう。また、1/10 スケールの試験装置<sup>[6]</sup>においてコールド レグ(以下、CL)と HL 間に気泡を伴う水中渦が生じたため、これを抑制する必 要性が指摘された。この水中渦につながるような UIS から出る流れを抑制する観 点から UIS の外周に多孔板の胴を設置した。また、これにより UIS を径方向に出 る流れを平坦化し、局所的な高流速を作らないことが期待された。2種類の UIS 胴の形状について、流況をプレナム内全体、切込み側面・正面、HL 正面・側面に ついて観察した。また、あわせて UVP による UIS 切込み部の鉛直方向流速成分の 測定を行った。

#### 4.2 実験条件

リファレンス体系におけるプレナム内の流況として、3.2.3 節に示すように、バ ッフル板1~4枚目下面に沿った UIS 径方向の速い流れと UIS 側面の渦が観察さ れた。これらを抑制するために HDP から上方に多孔胴を設置することとし、バッ フル板3枚目までの胴(以下、3段胴)(図4.1)と4枚目までの胴(以下、4段胴) (図4.2)の2種類について試験を行った。なお、3段胴の試験より HDP 下面か ら炉壁方向への流れが顕著に見られたため、UIS 内の圧力を緩和し、HDP 下面からの流れを押さえる観点から、4段胴については、HDP からバッフル板2枚目までの開口率を大きくし、多孔板側面からの流れを多くした。また、流速条件はリファレンス体系と同様にポンプから気泡が発生しない条件0.38 m/s とし、UVP による流速測定についてもリファレンス体系と同様の条件で実施した。

	穴の範囲	穴径 mm	個数	開口率 %
2 眨眼	HDP から バッフル板 2 枚目	7	200	20
	バッフル板 2-3 枚目	8	150	20
▲ 64月日	HDP から バッフル板 2 枚目	9	200	30
4 +又加吗	バッフル板 2-4 枚目	8	300	20

#### 4.3 実験結果

# 4.3.1 可視化によるプレナム内流況の観察

可視化画像に示す実線の矢印と破線の矢印は、リファレンス体系の試験結果 (3.2.3)と同様に、比較的流速が速く特徴のある流況を実線の矢印で示し、比較 的流速が遅く特徴のある流況を破線の矢印で示す。

- (1) 切込み部側面(図 4.3)
  - ・リファレンス体系ではほとんど垂直に上昇した切込み部ジェットは、UIS 多孔 胴を付けることにより、ジェットの流れの範囲が鉛直方向から切込み正面の半 径方向まで広がる。これは、UIS 多孔胴設置により UIS 内部の圧力が上昇し、 圧損の小さい切込み方向の胴に空いたスリットから吹き出すことにより、炉心 出口の鉛直方向流速以外に半径方向流速が加わったためと考えられる。
  - ・特に、最も圧力が高くなると考えられる HDP からバッフル板1枚目の間では、 下図のように切込み部のジェットと UIS 胴の間のスリット部分から炉壁方向に 水平に向かう流れが顕著に現れている。



- ・リファレンス体系と3段胴の場合のジェットの左端が DP 下面に当たる位置は ほぼ同様であるが、4段胴の場合、UIS 多孔胴を抜ける4枚目バッフル板にお いて約10°程度炉壁方向に曲がるように流れる。
- (2) 切込み反対側(図 4.4)
  - ・リファレンス体系で4枚目までしか到達しなかった UIS 内の流れは、3段の UIS 多孔胴を付けることによりバッフル板5枚目の上まで到達する。4段胴の 方が、その傾向は顕著であり、これにより右上に大きな循環が生じている。
  - ・UIS 多孔胴を付けることにより、バッフル板下面から炉壁方向の速い流れとそれに伴い生じていた1,2枚目下面の縁にあった渦は解消した。UIS 多孔胴の側面から流れ出た流れにより、3段胴の場合、UIS 横、バッフル板1,2枚目の中間部の高さに大きな渦を生じている。また、3段胴のバッフル板4、5枚目の下面に発生していた渦は、4段胴の場合、解消し顕著な渦は見られない。
- (3) 4段胴の切込み正面(図4.5)
  - ・UIS 多孔胴が設置されている段において切込み部を通過するジェットは、バッフル板通過時にバッフル板下面に一部の流れが当たり左右に広がる傾向がリファレンス体系より強くなる。UIS 多孔胴部分を通過したバッフル板5枚目以降は、リファレンス体系の UIS 形状と同様に、バッフル板下面に一部の流れがあたり広がりながら切込みを通過する流れとなる。
- (4) HL 正面(図 4.6)
  - ・3段胴では、リファレンス体系と同様にHLの切込み側に右上からHLに流れ込む速い流れが見られる。リファレンス体系と比較すると、切込みを通るジェットが拡散されるために、プレナム上部からの流れが弱くなり、HL右下からHLに向かう流れが相対的に強くなっている。HL左側(切込み反対側)は、リファレンス体系と同様、DP近傍まで上がった流れが下降してHLに流れ込んでいる。4段胴では切込み側の上からおよび下からの流れの境界は、あまり明確ではない。切込み反対側はDP下面からUISを抜けてくる流れにより下降流が見られる。
  - ・Nずれのケースにおいても HL を中心とする左右の流れのバランスはリファレンス体系よりよくなっていることから、UIS から HL への流れは全体的により 一様な流れになっているものと考えられる。
- (5) HL 側面(図 4.7)
  - ・リファレンス体系では、UIS 中央部の流れは、4枚目のバッフル板の上で遅く なって炉壁方向に曲がり5枚目はほとんど通過しない。これに対し、3段胴の 場合、リファレンス体系と比べるとバッフル板5枚目を通過する流れが強くな る。4段胴を付けると、流れは5枚目まで通過後、下降流となって HL に至る 流れとなり、UIS 上部に導かれる流れは多孔胴による効果といえる。
  - ・UIS 多孔胴を付けることにより、HDP 下部から炉壁に向かう流れが顕著になり、これは炉壁に沿って上昇する流れとなる。
- (6) 切込み反対側の渦(図4.8)
  - ・3 段胴における渦の流況を図の 切込み後ろ、 切込み後ろから約 70°の鉛直 方向断面、 バッフル板 1-2 枚目間の水平方向断面に示す。切込み反対側に生 じている渦は、 の図からわかるように、HL 近傍の位置までつながっている。 また、HL 入口へ上方向から流れ込む流れと下方向から流れ込む流れの境界が観 察される。

- ・渦を水平断面から観察したのがの図で、図の手前(切込み反対側)の方から 渦の中心が HL 方向にのびている。の断面と同じ位置に右回りの渦が観察されており、これらはからへ延びる渦の水平断面を捉えたものである。
- (7) プレナム内流動模式図(3段胴)(図4.9)
  - ・これらの3段胴における各断面での流況観察からプレナム内の流れを模式的に 表したのが図4.9となる。これより、切込み反対側の3段胴側面に生じる渦は、 炉壁近傍に沿って切込み方向へ向かう流れがHLに吸い込まれる際に斜めに上 昇する影響を受けて、渦方向が左回りするような形でHLに吸い込まれている ものと考えられる。
- 4.3.2 UVP による切込み部ジェットの流速測定
  - ・図 4.10 にリファレンス体系と3 段胴、4 段胴の UIS 切込み部鉛直方向流速分 布を示す。リファレンス体系と同様に3 段胴、4 段胴でも、UIS 中心部ではジ ェットが流れていないために UIS 中間部や UIS 外側近傍と比較して流速が小さ い。また、リファレンス体系と比較するとバッフル板通過時における速度の増 加と通過後の減速が著しい。
  - ・3 段胴については、ジェットが通過している UIS 中間部と UIS 外側近傍では リファレンス体系と流速の差があまり見られない。4 段胴では、リファレンス 体系と比べて 0.08~0.1m/s (炉心出口流速の 22~27%)程度、流速が小さくな っている。
  - ・図 4.11 にリファレンス体系と3 段胴、4 段胴の UIS 切込み部鉛直方向流速変 動強度を示す。リファレンス体系と比較すると、UIS 中間部と UIS 外側近傍に おいて多孔胴設置による大きな影響は見られないが、UIS 中心近傍では、多孔 胴により変動が大きくなる傾向があり、4 段胴ではその傾向がより強く、 0.06m/s (炉心出口流速の 16%)程度の変動が見られる。

# 4.4 考察

- ・UIS 多孔胴を付けることにより、UIS 内の流れは、バッフル板下面に沿って炉 壁方向へ向かう流れが抑制され、それに伴って生じていたバッフル板下面の渦 も生じていない。また、UIS 内を流れる流れもバッフル板 5 枚目の上まで到達 しており、UIS から流れ出る流れを平坦化する効果が期待できる。
- ・4 段胴において、切込み部を通り HL 切込み側上から HL に向かう流れは、リ ファレンス体系に比べて HL 切込み側下からの流れより相対的に抑えられてい る。また、UIS 内を通り切込み反対側から HL に流れ込む流量が増加している ために、リファレンス体系よりも HL を中心にした左右のバランスはよくなる 傾向にあり、全体的により一様な流れになっている。
- ・リファレンス体系において、切込み部のジェットはほとんど垂直に上昇していた。UIS 多孔胴を設置することにより、UIS 側面から径方向外側へ吹き出す流れが抑制され、UIS 内部の圧力が高くなることで、切込み正面に開いた胴のスリットから炉壁方向への流れを生じさせる。そのために、切込み部側面から観察するとジェット以外の流れを含めて、切込み部の流れは水平方向に広がりを持つ。特に、1枚目のバッフル板の下では炉壁に向かう水平方向の流れが顕著

になる。

- ・UIS 多孔胴により UIS 内部の圧力が上昇すると考えられるが、それにより切込 み部の鉛直方向流速はリファレンス体系と比べて大きくなることはなく、同程 度あるいはそれ以下になっており、UIS 多孔胴設置による鉛直方向流速の減速 効果が見られる。その効果は4段胴のほうが高い。
- ・UIS 多孔胴設置により、HDP とプレナム下面の隙間から炉壁方向に向かう水 平方向の強い流れが生じる。これにより、3段胴では切込み反対側の UIS 横、 バッフル板1,2枚目の中間部の高さに大きな渦を生じ、HL に吸い込まれてい る。4段胴でも同様に水平方向の強い流れが見られるが、これに起因する渦は見 られない。
- 5. フローガイドによる UIS 切込み部ジェットの抑制

#### 5.1 平面フローガイドによる抑制効果

5.1.1 平面フローガイドのねらい

切込み部ジェットの流れは、DP に向かうことからこれを抑制することが液面の 流速を低減する上で重要である。しかし、この UIS 切込み部ジェットの流れの向 きを炉壁方向に向けたとしても炉壁に沿って上昇する流れが形成される。そこで、 ジェットを DP 方向および炉壁方向に向かわせず、切込みの左右方向に向かわせる 方策について検討した。構造物として、バッフル板の切込み部長手方向に並行して フローガイドを設置した(図 5.1.1)。「流体がノズル等から、速度のより小さい周 囲流体中に流出している状態で、これを壁面等に沿って吹き付けると、流体はかな りの範囲にわたって壁面に沿って流れる」<sup>[7]</sup>性質をコアンダ効果(Coanda effect) と呼ぶが、フローガイドは、この効果でジェットの方向を水平方向に曲げて HL 方 向に導きそのまま HL に吸い込ませることにより、DP に向かう流れを抑制するこ とを狙ったものである。

まず、プレナム内流動の切込みを中心とした左右対称性を確保するために、切 込みの左右両側に3対のフローガイドを設置して試験を行った。水平方向に曲げる 効果が小さく、逆に、フローガイドが流れの拡散を抑えるような形になり、UIS 切込み部の流速がリファレンス体系(胴なし)より全体的に大きくなった(図5.1.2)。 次に、プレナム内の流動が一方向に循環し非対称にならないよう、フローガイドの 位置を切込みの左右交互に設置した(千鳥配置)。

これらの流況をプレナム内全体流況、切込み側面・正面、HL 正面・側面について観察した。また、あわせて UVP による UIS 切込み部鉛直方向の流速成分の測定を行った。

5.1.2 実験条件

フローガイドは、図 5.1.1 に示すような高さ 15mm の平板を左右交互に設置した。高さは、下部バッフル板の間隔(30mm)を基準として、流れが曲がった後にフローガイドの上を通過する空間を考慮してバッフル板間の 1/2 とした。設置位置

は、切込みの端に合わせると単に上に流れてしまい、切込みから離しすぎるとコア ンダ効果が期待できないことから、コアンダ効果が期待でき流れの向きを変えられ る位置として、切込み部から 2mm 外側の距離を設定した。また、フローガイドは、 流れの向きを変えるために、図 5.1.1 に示す鉛直方向(90°)以外に切込み反対側 に傾けた形状を選定した。鉛直方向からの角度は、流れが剥離しないように7°傾 けた形状を含め、3条件を設定した。流速条件はリファレンス体系と同様にポンプ から気泡が発生しない条件 0.38 m/s とし、UVP を用いた流速測定についてもリフ ァレンス体系と同様の方法で実施した。

 フローガイドの角度
 90°、83°、80°

 設置位置
 切込み正面から見て、バッフル板1枚目から左右交

 互に切込み端面から2mmの位置に設置。

- 5.1.3 実験結果
- 5.1.3.1 可視化によるプレナム内流況の観察

試験結果内に示す実線の矢印と破線の矢印は、リファレンス体系の試験結果 (3.2.3)と同様に、比較的流速が速く特徴のある流況を実線の矢印で示し、比較 的流速が遅く特徴のある流況を破線の矢印で示す。

- (1) 切込み部側面(図 5.1.3)
  - ・90°フローガイドのケースでは、リファレンス体系と流況に大きな違いはな く、切込み部をジェットが 10~15°の傾きで DP 下面まで到達する。
  - ・80°フローガイドのケースでは、UIS の径方向位置により流れの角度が異なり、UIS 外側の流れは約 20°程度の傾きで DP 下面まで至り、UIS 中心側の流れはバッフル板 3 枚目までは約 10~15°の傾きで、3 枚目を通過すると約 25~30°程度の角度で DP 下面に到達する。
- (2) 切込み正面(図 5.1.4)
  - ・リファレンス体系と比較すると、90°フローガイドの場合、フローガイド方 向にジェットが引き寄せられ曲がっている。80°フローガイドのケースの方 が、フローガイド方向に引き寄せられる流れの傾き角度は大きくなる。しか し、90°フローガイドと比較すると、フローガイド表面の途中から流れが剥 離しやすくなる。
- (3) HL 正面(図 5.1.5)
  - ・HL 正面では、UIS の切込み側から HL に向かう流れは、フローガイドの傾き 角が異なっても、上と下からの流況とその境界、切込み反対側において大き な違いは見られない。
  - ・80°フローガイドおよび90°のいずれの条件でも、HL下部には、プレナム下面近傍のバッフル板1枚目の高さを中心としたに左右一対の渦があり、これよりUISの周囲に一本の渦が生じていると考えられる。また、左右一対の渦はリファレンス体系と比較すると切込み反対側に位置がシフトしていることから、フローガイド設置による影響と考えられる。
- (4) HL 側面(図 5.1.6)
  - ・UIS からの流れにフローガイドの角度による大きな違いは見られないが、80° フローガイドの場合、90°のケースに比べて HL の下を炉壁に沿って上昇する 流れより、UIS から吹き出す流れが相対的に強くなり、炉壁から HL に向かう

流れはほとんど見られない。

- 5.1.3.2 UVP による切込み部ジェットの流速測定
  - ・図 5.1.7 にリファレンス体系と 90°および 80°フローガイドの UIS 切込み部 鉛直方向流速分布を示す。フローガイドの設置により、UIS 中心近傍から外 側近傍までの鉛直方向流速を小さくする効果がある。また、図 5.1.3 の切込み 側面から観察した図を見ると、傾き角度 80°の方が炉壁方向へのジェットの 傾き角度が大きいが、それを考慮しても、ジェットの流れ方向流速を小さく する効果は 80°フローガイドの方が大きい。また、リファレンス体系と比較 するとフローガイドを設置してある方がバッフル板通過時における速度の増 加と通過後の減速の差が著しく、80°フローガイドの方がその傾向が強い。
  - ・図 5.1.8 に鉛直方向速度変動強度を示す。リファレンス体系と同様にバッフル 板通過後の変動が大きく、UIS 中心近傍において変動強度のピークは、プレ ナム下面に近いほど大きい。これは、80°フローガイドのケースでその傾向 が強い。
  - ・図 5.1.9 に各試験ケースにおける UIS 内の鉛直方向流速をリファレンス体系 と比較した流速比を示す。計測位置は、図 5.1.7 に示すように、バッフル板の 影響を直接受けないバッフル板の中間で、DP とバッフル板 5 枚目間では DP の影響で急激に流速が低下することから、4、5 枚目間(高さ約 210mm)を 選択している。これより、フローガイドを両側に設置すると、リファレンス 体系より流速が大きくなり、フローガイドがジェットの広がりを抑制してい るためと考えられる。千鳥設置の条件では両側に設置するより減速効果が大 きく、フローガイドの角度 80°のケースが最も UIS 切込み部内のジェットの 鉛直方向流速を低下させることができる。その効果として、ジェットが通過 する UIS 外側近傍において2 割程度減速できる。
  - ・図 5.1.10 に同様にリファレンス体系との鉛直方向流速の速度変動強度比を示 す。これより、ジェットが通過している UIS 中間部、外側近傍ではいずれの ケースでもあまりリファレンス体系と大きな相違は見られない。80°フロー ガイドによりジェットが通過しなくなった UIS 中心近傍では、1/5 程度まで 変動が小さくなる傾向が見られる。
- 5.1.4 考察
  - ・フローガイドを切込み側面に交互に設置した場合、切込み部ジェットをフローガイドの面に沿わせるように曲げて、一部の流れをバッフル板下面にあてることにより水平方向に曲げ、切込み部の鉛直方向流速を小さくすることができる。その効果は、90°よりも80°のフローガイドの方が大きく、80°の場合には、切込み側面方向から見たジェットの方向も炉壁方向に曲げる効果がある。
     ・切込みを抜ける鉛直方向流速は、平板フローガイドを切込みの両側に設置すると流れの広がりを抑えるためにリファレンス体系より速度が大きくなる。

#### 5.2 曲面フローガイドによる抑制効果

# 5.2.1 曲面フローガイドのねらい

「5.1 平面フローガイドのによる抑制効果」と同様の考え方のもと、ジェットに 接する面の形状をジェットがより曲がりやすいように曲面とし、半径 R15、高さ 15mm のフローガイドを設置した(図 5.2.1)。ガイドを曲面形状としたことから 切込みを通った流れがガイドに沿うように、切込み端部から 0mm の位置(端面位 置)にガイドを設置した。このフローガイドは、平面フローガイドと同様にプレナ ム内の流動が一方向に循環し非対称にならないよう、フローガイドの位置を切込み の左右交互になるように設置した(千鳥配置)。

また、図 5.2.2 のように、フローガイドを切込みの片側側面(このケースでは左側)に設置してジェットが同一方向に曲がるように設置した検討も行った(片側配置)。

また、フローガイドの効果は炉心出口流速により異なる可能性があることから、 流速を変化させてその挙動の違いを観察した。

#### 5.2.2 実験条件

フローガイドは、図 5.2.1 に示すような左右交互の設置位置(千鳥配置)を基本 として、フローガイドのジェットに接する曲面の曲率半径を R45 および R15 の 2 条件設定して試験を行った。また、フローガイドを切込み左の片側のみに設置した 条件(図 5.2.2)を半径 R15、高さ 15mm のフローガイドを用いて行った。

これらの流況を切込み側面・正面、HL 正面・側面から観察した。そして、片側 設置のケースではプレナム内に一方向の流れが生じることが考えられることから、 炉上部プレナム内の流れを DP 上部より観察することとし、バッフル板3枚目の下 面から DP 下面の各高さで UIS 内部から HL 近傍までについて観察した。炉心出 口の流速条件はリファレンス体系と同様にポンプから気泡が発生しない条件 0.38 m/s とし、切込み部流速についてもリファレンス体系と同様の方法で測定した。

フローガイドの半径R15、R45(片側設置では R15 のみ)設置位置千鳥設置は、バッフル板1枚目のガイドを右側に設置し、左右交互に5枚目まで切込みの端面とフローガイドの曲面が一致する位置に設置。

片側設置では、バッフル板の左側に切込みの端面とフ ローガイドの曲面が一致する位置に設置。

また、炉心出口流速によるフローガイドの効果への影響を把握するために、炉心 出口流速を 0.38m/s と 0.24m/s に変えて試験を行った。

5.2.3 実験結果

# 5.2.3.1 可視化によるプレナム内流況の観察

各可視化画像内に示す実線の矢印と破線の矢印は、リファレンス体系の試験結果 (3.2.3 節)と同様に、比較的流速が速く特徴のある流況を実線の矢印で示し、比 較的流速が遅く特徴のある流況を破線の矢印で示す。

- (1) 切込み部側面(図 5.2.3(1),(2))
  - ・リファレンス体系、R45 千鳥配置、R15 千鳥配置、R15 片側配置の結果を示 す。切込み部ジェットの左端の流れ方向は、フローガイドを付けた方が炉壁方 向への傾きが大きくなる。また、R45 千鳥配置 < R15 千鳥配置 < R15 片側配置 の順で炉壁方向に曲げる効果が大きくなり、R15 片側配置のケースでは鉛直方 向から約 20°傾いた角度で DP に達する。
  - ・DP 下面に衝突するジェットの幅は、リファレンス体系よりフローガイドを付けた方が範囲が小さくなるが、R45 千鳥配置、R15 千鳥配置、R15 片側配置では大きな差はない。
- (2) 切込み正面(図 5.2.4(1),(2))
  - ・曲面フローガイド設置のケースは、リファレンス体系に比べると、バッフル 板2枚目で切込みに向かって左側に設置したフローガイドの効果により、ジェ ットが左側に曲げられており、フローガイドの効果が見られる。
  - ・R45 千鳥配置とR15 千鳥配置を比較すると、R15 千鳥配置のケースではジェ ットがフローガイドの曲面部にかかったところですぐに剥離してしまうが、バ ッフル板2枚目において剥離しながらも全体の流れは大きく曲がっている。こ の効果を受けR15 千鳥配置のバッフル板4枚目においてフローガイドにジェ ットがよく密着しながら曲がっておりフローガイドの効果が大きく現れてい る。バッフル板3枚目では、フローガイド設置の反対側(左側)に曲がってお り、フローガイドの効果は見られない。
  - ・R15 片側配置のケースでは、R15 千鳥配置のケースに比べて、バッフル板1 ~5枚目まで全体的にフローガイド方向へジェットが曲げられており、片側設 置によりフローガイドの効果が大きくなったと考えられる。
- (3) HL 正面(図 5.2.5)
  - ・R15 千鳥配置、R15 片側配置の結果を示す。R45 千鳥配置のケースについて はR15 千鳥配置と大きな差異は見られなかった。図に示すように、R15 千鳥配 置、R15 片側配置においても大きな差は見られないが、リファレンス体系(図 3.8)と比較するとHL 右上から HL 入口に向かうジェットの流れと、右下から HL 入口に向かう流れは相対的に右上からの流れが弱くなり、流れの境界はリ ファレンス体系より上向きになっている。
- (4) HL 側面(図 5.2.6)
- ・R15 千鳥配置、R15 片側配置の結果を示す。R45 千鳥配置のケースについてはR15 千鳥配置とそれほど大きな差異はなかった。また、R15 千鳥配置のケースはリファレンス体系と比較してもフローガイドの設置による大きな違いは見られなかった。R15 千鳥配置、R15 片側配置のケースを比較すると、リファレンス体系、R15 千鳥配置のケースにおいて炉壁からの流れと UIS からの流れにより形成されていると考えられるHL下方向の流れの境界がR15 片側配置のケースでは見られない。その理由としては、片側配置の場合には、切込み部を抜けるジェットの流速がフローガイドにより小さくなったために、切込み側から炉壁に沿ってHL入口に向かう流れが弱くなっているためと考えられる。
   (5) B/P 3 枚目下面(図 5.2.7(1))
  - ・図 5.2.7(1)~(4)は、R15 片側設置のケースにおけるバッフル板3枚目下面から DP 下面における水平面内の可視化結果を示す。図 5.2.7(1)のバッフル板3

枚目下面では、切込み左側(フローガイドのある方向)の流れが速く、バッフ ル板下面に沿って UIS から流れ出る流れは、半径方向に流れ出ながらこの影 響を受けるため、半径方向よりも少し HL 方向に向きを変えている。切込み右 側でも流れの範囲は小さいが一部が左方向に流れている。

- ・HL 近傍において、UIS から HL に吸い込まれる流れは、HL の吸込流速が大きいため、フローガイドによる影響はあまり見られない。
- (6) B/P 4 枚目下面(図 5.2.7(2)), B/P 5 枚目下面(図 5.2.7(3))
  - ・切込み部は、大きくフローガイドの方にジェットが傾くために、左側へ向かう流れとなっている。UIS中心部の流況は、切込み部の流れに引かれて切込み方向に向かい、切込み近傍からフローガイドの方に引かれて切込み左側に流れている。
  - ・HL 近傍の UIS から HL に吸い込まれる流れを観察すると、切込み右側の HL では炉壁に沿った流れが HL に吸い込まれるために 1 個ないし 2 個の渦を形成 しながら流れ込んでいる。一方、切込み左側の HL では、フローガイドにより 曲げられた切込みからの流れが HL にあたるために、渦が形成されないなど左 右非対称の流況となっている。
- (7) DP 下面(図 5.2.7(4))
  - ・切込み部は、DP下面にジェットが直接衝突するため、ジェット吹き出し部を中心に周囲に流れ出ている。また、リファレンス体系における切込み反対側(図3.5)のように、切込み反対側(図の上側)は炉壁に沿って流れが上昇して、DP下面に沿って、切込み反対側から切込み側に流れ込んでいる。この2つの流れは、DP下面で衝突し、左右に方向を変え、一部は衝突後、UIS内部を下方向に潜り込みながらHLに吸い込まれていると考えられる。また、フローガイドの設置により(6)と同様に左右非対称性が見られる。

# 5.2.3.2 プレナム内流動の概要

フローガイドの効果が最も大きく現れたフローガイド片側条件におけるプレナム内の全体流況を模式的に図 5.2.8 に示す。

・フローガイドにより、切込み部を通過する UIS 内のジェットは、切込み正面から見て右側の流れを引き込みながらフローガイドのある左方向に曲がって、バッフル板に衝突した後、バッフル板下面に沿って流れて HL に吸い込まれる。また、バッフル板により曲がらなかった切込み部のジェットの一部は、UIS の外側で DP に当たった後、切込み正面から左右に広がり DP 下面に沿って HL に至る流れとなる。

・プレナム内部の流況を観察すると、切込み近辺でフローガイドを片側のみに 設置したことに起因する流れがあり、HL 近傍等においても流れの強弱等によ る切込みを中心とした左右の相違が見られるが、プレナム内全体が一方向に流 れるなどの顕著な左右非対称性は見られない。

5.2.3.3 UVP による切込み部ジェットの流速測定

・図 5.2.9 にリファレンス体系、R45 千鳥配置、R15 千鳥配置、R15 片側配置の切込み部鉛直方向流速分布を示す。リファレンス体系と比較すると、フロー

ガイド設置により UIS 中心付近および中間部では、鉛直方向流速は小さくなる。UIS 外側近傍においては、R15 千鳥配置、R15 片側配置のケースでは流速はリファレンス体系より低くなるが、R45 千鳥配置のケースではリファレンス体系と同じか、逆に流速が大きくなる領域があり、鉛直方向流速を小さくする 観点からは、R15 のフローガイドが最も効果があると考えられる。

・図 5.2.10 に流速変動強度を示す。R15 千鳥配置のケースではバッフル板 3 枚 目までの変動強度は大きくなる傾向があり、特に UIS 中心近傍における変動 強度のピークは、バッフル板 1 枚目通過時の平均流速の約 60%(炉心出口流速 の約 30%)に至る。また、R15 片側配置のケースにおいて、UIS 外側近傍に おけるバッフル板 3 枚目までの変動強度が大きく、千鳥配置と片側設置による 相違が生じている。

図 5.2.11 にリファレンス体系(フローガイドなし)の鉛直方向流速を基準としたバッフル板の下から4枚目と5枚目の中間部(高さ約210mm)における鉛 直方向流速比を示す。これより、フローガイドを曲面形状にすると、ジェット は平板形状よりもフローガイドの方向に流れやすくなり、曲面の半径を小さく するとフローガイドの曲面からのジェットの剥離が大きくなるが、曲げる効果 が大きくなるとともに、DP下面に向かうジェットの流量は小さくなる。また、 千鳥設置の場合、バッフル板通過ごとに、ジェットが左右から交互に引っ張ら れるが、フローガイドを切込みの片側のみに設置するとジェットは一方向に引 っ張られ続けるため曲げる効果は大きくなる。

以上から、図の R15 一方設置のケース、つまり R15 の曲面のフローガイドで、 フローガイドを片側に設置した場合に最大の効果が得られ、ジェットが通過す る UIS 外側近傍の流速をリファレンス体系での流速に比べて約 1/2 にすること ができた。

また、参考として、前報<sup>[3]</sup>で報告したバッフル板の開口率および設置位置(図 5.2.12)を変えた場合におけるリファレンス体系との鉛直方向流速比について図 5.2.13に示す。これは、今回 UVPにより得られた4枚目と5枚目の中間位置(高 さ約210mm)の UIS 中心近傍、UIS 中間、UIS 外側近傍における計測点と、 前回 PIV により得られたリファレンス体系における切込み部断面の流速分布か ら、ほぼ同じ位置の流速を求め、これと各試験ケースにおける流速比を比較し たものである。ただし、炉心出口流速は 0.47m/s の条件を用い、バッフル板 3 枚形状においては、2枚目と3枚目の中間部(計測点177mm)における流速を 用いた。また、1,2枚目0%と3,4枚目0%の条件では UIS 中心部での計 測データが得られなかった。

この図より、リファレンス体系と比較して開口率 0%(0%3枚)のバッフル 板の効果が高く、開口率 0%のバッフル板を上の方に設置(3,4枚目 0%)す るよりより下方に設置(1,2枚目 0%)した方が切込みを通るジェットの鉛直 方向流速を低下させる効果が大きいことを確認できた。また、今回の UVP 試験 結果(R15 一方設置)と比較すると、R15 のフローガイドを一方向に設置した ケースが、UIS 内の鉛直方向流速を最も小さくできることがわかる。

## 5.2.3.4 フローガイド効果への流速の影響

- ・炉心出口流速を変えた場合の切込み部側面の流況を図 5.2.14 に示す。これより、 流速を変えても切込み部ジェットの方向および流速が大きい領域の範囲に、大 きな差異は見られない。図 5.2.15 および図 5.2.16 に切込み正面からの流況を示 す。これから、フローガイドのジェット接触面での剥離点についても、バッフ ル板2,3枚目でフローガイドの下端から約 1/2 程度、4枚目で 3/4 程度の位置 に剥離点があり大きな違いは見られない。また、HL 近傍の流況を含め、いずれ の観察面においても流速条件により流況への大きな影響は認められなかった。
- ・試験体流量を 0.38m/s と 0.24m/s にしたときのそれぞれの流速分布および速度 変動強度を図 5.2.17 に示す。流速および速度変動強度は炉心出口流速で規格化 した。これより、炉心出口流速を変えても切込み部の流速分布に大きな違いは 見られず、流速変動強度にも大きな差異は認められない。

#### 5.2.4 考察

- ・曲面を持つフローガイドを切込み側面に交互に設置した場合、切込み部ジェットをフローガイドの曲面に沿わせることで、流れの方向を水平方向に曲げることができる。これにより、切込みを通るジェットの鉛直方向流速を小さくするとともに、切込みの側面から見てジェットを炉壁方向に曲げる効果が見られ、ジェットが DP に衝突する範囲がより小さくなった。その効果は、R45 よりもR15 のフローガイドの方が大きくなる。
- ・R15のフローガイドを左右交互に設置した場合、バッフル板2枚目のフローガ イドの効果が大きいため、ジェットは切込み正面から見て左側に曲げられ、3 枚目バッフル板の右側に取り付けたフローガイドに沿った流れは見られなかっ た。これに対し、フローガイドを同一方向に設置することにより効果が小さい フローガイドが無くなり、より効率的にジェットを曲げることができる。
- ・フローガイドの効果を UIS 中間部におけるバッフル板4,5枚目間の鉛直方向 流速で比較すると、R15のフローガイドを片側に設置することにより、DP に向 かう切込みを通るジェットの流速を最も抑制でき、約1/2にすることができる。
   ・フローガイドを片側に設置した場合、HL 側面における流れは、バッフル板下 面に沿って切込み左側に流れる流量が増えるために、リファレンス体系のケー スのような切込みを通過して DP 下面から炉壁に沿って HL へ至る流れは弱く なっている。対照に切込み右側では、切込み側からの流量が少なくなる分、リ ファレンス体系と流況が異なり、切込みを中心として左右非対称な流況になっ ているものと考えられる。
- ・フローガイドの効果への炉心出口流速の影響について試験を行った結果、炉心 出口流速を 0.38 と 0.24m/s (Re 数で約 4,000 と 2,500)に変えても流れの剥離 点を含め、フローガイドの効果に違いは見られなかった。このことから、リフ ァレンス体系と同様に、フローガイドを付けた場合においても試験範囲(炉心 出口流速 0.47 ~ 0.24m/s)の流速により切込み部流況に大きな差異はなく、モデ ル試験での切込み部流況の概要は実機評価へ適用できると考えられる。

#### 6. UIS 多孔胴とフローガイドを組み合わせた効果

#### 6.1 組み合わせのねらい

切込み横にフローガイドを設置したケースから、切込みにおけるジェットは切込 みの左右に引っ張られ、ジェットの鉛直方向流速が低下することがわかった。また、 UIS 胴を設置したケースでは、切込み部のジェットは炉壁方向に広がり、UIS 内 の流れは UIS 多孔胴の上まで導かれる傾向が強くなり、流れを平坦化できること から、両者の有効な効果を合わせることを目的として、両者を同時に設置した試験 を行った(図 6.1)。

これらの流況をプレナム内全体流況、切込み側面・正面、HL 正面・側面について観察した。また、あわせて UVP による UIS 切込み部の鉛直方向流速成分の測定を行った。

#### 6.2 実験条件

UIS 多孔胴は、3 段胴と80°平板のフローガイド(図 6.1)を切込み左右交互に 設置した。流速条件はリファレンス体系と同様にポンプから気泡が発生しない条件 0.38 m/s とし、UVP による流速測定もリファレンス体系と同様の条件で実施した。

フローガイドの角度 80°

設置位置 バッフル板1枚目を切込み正面から見て右側に設置 し、左右交互に切込み端面から2mmの位置に設置 2 印名4 明の各件は 49 節余昭

3段多孔胴の条件は、4.2節参照。

#### 6.3 実験結果

#### 6.3.1 可視化によるプレナム内流況の観察

可視化画像に示す実線の矢印と破線の矢印は、リファレンス体系の試験結果 (3.2.3)と同様に、比較的流速が速く特徴のある流況を実線の矢印で示し、比較 的流速が遅く特徴のある流況を破線の矢印で示す。

(1) 切込み部側面(図 6.2)

・フローガイドと UIS 多孔胴を併設することにより、それぞれ単独で用いた場合の結果よりジェットの方向を炉壁方向に曲げる働きが強くなる。バッフル板3,4枚目では、ジェットがフローガイドを通過後に炉壁方向に曲げられており、80°フローガイドのケースと同様にフローガイドの効果によるものである。 バッフル板1枚目とホールドダウンプレート間で炉壁方向に向かう横方向流れは、UIS 多孔胴の効果によるものである。

(2) 切込み反対側(図 6.3)

・(1)に示すフローガイドの可視化の結果は、80°と90°フローガイドにおける 流況が同様であったことから、90°フローガイドの結果を代わりに示しており、 リファレンス体系と同様の流況である。また、多孔胴とフローガイドを組み合 わせたケースでは、切込み反対側にバッフル板2枚目の高さを中心とする渦を 生じており、3段胴の UIS 多孔胴を単体で用いた場合と同じ流況になっていることから、UIS 多孔胴の効果が大きいと考えられる。

- (3) 切込み正面(図 6.4)
  - ・80°フローガイドに UIS 多孔胴を設置すると、バッフル板1,2枚目間はあ まりフローガイドの効果は見られないが、それより上の領域では、切込み部は フローガイドによるバッフル板下面に沿った左右への流れ、切込み周囲は多孔 胴による UIS 上方向への流れとなっており、両方の効果による流況が観察さ れる。
- (4) HL 正面(図 6.5)
  - ・80°フローガイド単独のケースと比較すると、UIS 多孔胴設置により、切込 み側のHL右上から下降してくる流れは右下からの流れより相対的に弱くなる ため、流れの境界は上方にシフトしており、UIS 多孔胴のみのケースと同様の 流況である。切込み反対側は、左上から HL に向かう流況になっており、これ は、UIS 内部を上昇する流れが DP 下面に至り、炉壁に沿って下降する流れが 相対的に強くなるためと考えられる。
- (5) HL 側面(図 6.6)
  - ・80°フローガイドと UIS 多孔胴と組み合わせることにより、HDP 下部から 炉壁に向かい HL に吸い込まれる流れが顕著になる。また、UIS 内部の流れは 4枚目を通過し5枚目まで到達しており、これらの流況は、多孔胴単体の可視 化試験結果と同様の流況である。
- 6.3.2 UVP による切込み部ジェットの流速測定
  - ・80°フローガイド単体とフローガイドと UIS 多孔胴を組み合わせたケースでの 鉛直方向流速分布を図 6.7 に示す。全体的にはいずれのケースもリファレンス体 系より鉛直方向流速は抑えられている。フローガイドと UIS 多孔胴を組み合わ せたケースでは、UIS 中心近傍の流速が 80°フローガイド単体のケースより全 体的に大きいが、UIS 外側近傍において一部流速が小さくなる領域があり、組 み合わせの効果が見られる。基本的には、フローガイド単体のケースにおける 速度分布と同様の結果である。
  - ・速度変動強度を図 6.8 に示す。UIS 多孔胴とフローガイドを組み合わせたケース における変動強度は、切込み内のいずれの測定位置においても UIS 下部の変動 強度はリファレンス体系より大きい。特に、変動強度のピーク値は、フローガ イドおよび UIS 多孔胴のそれぞれの相乗効果により、それぞれ単体で用いたと きの速度変動強度より大きくなっている。

#### 6.4 考察

・可視化試験結果から、フローガイドと UIS 多孔胴を併設することにより、UIS 内部の流れがバッフル板4枚目を通過して5枚目まで到達しており、UIS多孔胴 の効果が見られる一方、切込み部のジェットはバッフル板下面に沿うように曲げ られ、フローガイドの効果が見られており、組み合わせの効果が観察される。ま た、それぞれ単体よりもジェットの方向を炉壁方向に向ける働きは強くなり、組 み合わせの効果が観察される。 ・鉛直方向速度分布は、フローガイドと UIS 多孔胴を併設した場合、フローガイ ド単体で用いたときと同等か少し上回る程度で組み合わせたことによる大幅な効 果は見られない。変動強度は単体で用いたときより大きくなる。

# 7.ダミープラグ

# 7.1 ダミープラグのねらい

UIS 切込みを通るジェットの流速を抑制する一つの方策として、UIS 切込みを 部分的にふさぐように円筒のプラグを挿入する案が提案された<sup>[8]</sup>。図 7.1 に示すよ うに、UIS 中心近傍、中間部、外側近傍に 35mm のダミープラグ 3 本を差し込 み、可視化試験を行った。また、UVP による流速測定は、プローブの設置位置が ダミープラグと競合してしまうため行っていない。

#### 7.2 実験条件

ダミープラグは、切込み内に設置し、その流況を切込み側面、正面、HL 正面、 側面について可視化試験を実施し観察した。流速条件はリファレンス体系と同様に ポンプから気泡が発生しない条件 0.38 m/s とした。

ダミープラグ径	35mm		
設置位置	UIS 中心から 24mm、	64mm、	104mm <b>の位置</b>
	(バッフル板半径:	121.5mr	n )
ダミープラグ下端位置	プレナム下面より 40m	nm の位詞	置)

#### 7.3 実験結果

可視化試験結果として、左側にリファレンス体系の試験結果、右側にダミープ ラグの試験結果を示す。図中に示す実線の矢印と破線の矢印は、リファレンス体系 の試験結果(3.2.3)と同様に、比較的流速が速く特徴のある流況を実線の矢印で 示し、比較的流速が遅く特徴のある流況を破線の矢印で示す。

- (1) 切込み部側面(図 7.2)
  - ・ダミープラグは、切込み部において流れをガイドする役割を果たすと考えられ、 切込み部のジェットは、切込み内をほぼ鉛直方向に流れる。UIS 中心近傍と中 間部のダミープラグ間を上昇する流速が最も流速が大きく、次に UIS 中間部 と外側近傍に設置してあるダミープラグの間を流れる流速が大きくなってお り、切込み内の流速に分布が生じている。
  - ・切込み部ジェットの一部は、UIS 外側ダミープラグ下面に衝突して方向を変え てバッフル板1枚目から右上方向に吹き出している。バッフル板2枚目以降か らも流動範囲は小さいものの吹き出しており<sup>[3]</sup>、これは、ダミープラグ表面に 沿った流れが UIS から流れ出るときに、下図のように切込みの内側方向に曲 がるためであると考えられる。



- ・このダミープラグに沿った流れが要因となって、燃料出入機案内管の UIS 側 に DP に向かう流れが生じている。DP に当たった流れは UIS 方向に流れ、ダ ミープラグに当たる旋回流を生じている。
- (2) 切込み反対側(図 7.3)
  - ・ダミープラグの設置により、切込み部ジェットの一部は、DP下面に当たって 切込み反対側へ流れ込み、DP下面に沿った流れが UIS から流れ出ている。こ の流れは、バッフル板1,2枚目下面から流れ出て、炉壁に沿って上昇してく る流れを抑制し、バッフル板4枚目の高さで大きな旋回流を形成しており、ダ ミープラグにより切込み反対側への流れが増加しているものと考えられる。
- (3) 切込み正面(図7.4)
  - ・UIS 切込み部近傍では、バッフル板4枚目までは、リファレンス体系と大きな 差異はない。バッフル板4枚目以降は、DP に至ったジェットがリファレンス 体系のように下降流とならず DP 下面に沿って左右に流れている。
- (4) HL 正面(図 7.5)
  - ・リファレンス体系と比較すると、HL 右側では切込みから DP 下面にぶつかっ て HL 右上から HL に向かう流速が大きく低下している。そのため、UIS から 吹き出した右下からの流れが相対的に強くなり、2 つの流れの合流部の境界が 上にシフトしている。
- (5) HL 側面 (図 7.6)
  - ・炉壁側から HL 中心部に向かう流れと、UIS からの流れがぶつかる流れの境界 はリファレンス体系と比較すると明確ではない。また、HL 正面においても、 一様に吸い込まれており左右の流れが衝突しているような領域が見られない ことから、リファレンス体系のように HL に吸い込まれる渦は形成されていな いものと考えられる。
- 7.4 考察
  - ・ダミープラグを UIS 切込みに挿入することにより、リファレンス体系と比較す ると、ダミープラグがジェットをガイドする役割を果たし、鉛直方向の流れが

強くなる一方で、UIS の外側へ向かうジェットはほとんど見られない。また、 UIS 中心近傍から外側までのダミープラグ間の流速には分布があり、UIS 中心 部のダミープラグと中間のダミープラグ間の流速が大きい。また、ジェットが 鉛直に DP に当たるため、DP に衝突後、切込み反対側へ向かう流量が多くなり、 DP 下面での流況がリファレンス体系と異なる。

・リファレンス体系と比較すると、切込み部 DP 下面の流況から、切込み部ジェットの流れの速い領域が UIS 中心近傍のダミープラグと中間のダミープラグ間 に限定されており、切込みを抜ける流量は小さくなっていると考えられる。このジェットに起因する HL 正面から見て HL 右上から HL 方向の流れは、リファレンス体系と比べると遅くなり、UIS 下側からの流れに比べ相対的に流量も小さくなっている。よって、ダミープラグは、切込みを通過し DP 下面にあたり HL に向かう流れに対して減速効果があるものと考えられる。

8. おわりに

高速炉の実用化戦略調査研究において、ナトリウム冷却ループ型高速炉の炉容器 コンパクト化を図ることを目的に燃料交換機が通る「切込みを有するコラム型 UIS」の採用が検討されている。この切込みを通過する流速の低減化および炉容器 上部プレナム内の流動の適正化を図る構造を検討するために、1/20 スケールの可 視化試験装置を製作し、炉心出口流速および UIS 形状をパラメータとして流動特 性を把握した。その結果を以下に示す。

【リファレンス体系における流況】

炉心出口流速 0.47 ~ 0.24m/s (Re 数で約 2,500 ~ 5,000)の範囲の試験を行った結果、切込み断面のフローパターンに大きな差異はない。よって、試験範囲において、切込み部のジェットの流況に炉心出口流速の依存性がなく、Re 数の影響が小さいことから、本試験による流況の評価は、妥当であると考えられる。また、切込み部流況について、1/10 スケールモデルと比較すると流況に大きな差異は見られないが、これに起因する 2 次流れについては流況が異なる可能性がある。

流動適正化構造として、以下の3種類の構造物について効果を把握した。

- ・UIS 多孔胴:UIS 外周に沿って多孔の胴を設け、切込み正面のみ鉛直方向に スリット状の隙間を開けた構造。
- ・フローガイド:バッフル板切込み部の長手方向に並行して、高さ 15mm の板 をジェットに沿うようにして設置した構造。
- ・ダミープラグ:切込み部を部分的に塞ぐように、3本の円筒を DP 下面から 鉛直方向に設置した構造。

【UIS 多孔胴の効果】

UIS 多孔胴は、切込み部の流れを炉壁方向に広げ、切込み部鉛直方向流速を 抑える効果がある。また、リファレンス体系で生じていたバッフル板下面の周 方向に生じていた渦は解消され、UIS から流れ出る流れの平坦化の効果が期待 できる。切込み部以外の UIS 内の流れはバッフル板 5 枚目の上まで到達してお り、UIS 内のミキシングスペースを有効活用できる。これらの効果は4 段胴で さらに顕著になる。しかし、多孔胴を設置することにより、HDPの下面から吹 き出る流れが顕著になり、UIS 多孔胴と炉壁間に大きな渦を形成することから、 これによる影響を検討する必要がある。

【フローガイドの効果】

曲面形状のフローガイドはコアンダ効果が大きく、試験範囲内では曲面の半 径が小さいほどジェットを曲げる効果は大きくなり、R15 のフローガイドで最 大の効果が得られた。また、フローガイドを千鳥に設置するよりも片側に設置 することにより、効果は助長され、UIS 切込み部のジェットをバッフル板下面 に沿う流れにして、上昇流速を約 1/2 にすることができる。

フローガイドの効果への炉心出口流速の影響を見るために、R15のフローガイドを片側に設置したケースで炉心出口流速を0.38と0.24m/s(Re数で約4,000

と 2,500) に変えても、フローガイドからの流れの剥離点を含めた流況およびフ ローガイドの効果に影響はなかった。

【UIS 多孔胴とフローガイドの組み合わせの効果】

UIS 多孔胴とフローガイドを併設すると、プレナム内全体の流況は多孔胴の 効果、切込み部の流況はフローガイドのそれぞれの効果が見られ、ジェットの 方向を炉壁方向に向ける効果は、フローガイドと多孔胴の両方の効果が見られ る。しかし、切込み部流速分布では、併設による顕著な効果は見られず、切込 み部以外の全体流況についても多孔胴による影響が大きく併設の効果はあまり 見られない。

【ダミープラグの効果】

切込み部内にダミープラグを設置した場合、ダミープラグに沿ってジェット が鉛直方向に向かう流況となり、流れの速い領域が限定されている。このため、 DP下面に沿って、炉壁から HL 方向へ向かう流れが抑制され、流動適正化の効 果が得られるものと考えられる。

以上より、切込みを通過する流速の低減化を図る構造として、UIS4段多孔胴、 または、R15フローガイドを片側に設置したUIS構造により、プレナム内の流動 を適正化できる見通しを得た。また、本試験結果は、1/10 縮尺モデルの炉上部プ レナム試験に反映された。
## 謝 辞

試験結果の考察にあたり、三菱重工業の白石 直氏に多大なご助言を頂きました。 ここに感謝の意を表し厚く御礼申し上げます。

本研究を行うにあたり、原子力システム(株) 中根 茂氏には、データ処理にあ たり多大なご協力を頂きました。ここに感謝の意を表し厚く御礼申し上げます。

また、実験の遂行にあたり、常陽産業(株) 遠藤 郁夫氏、矢部 忍氏には多大 な御協力を頂きました。ここに感謝の意を表し厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- Y. Shimakawa, S. Kasai, et al.: "An Innovative Concept of the Sodium-Cooled Reactor to Pursue High Economic Competitiveness", Nuclear Technology, Vol.140, pp.1-17 (2002)
- [2] M. Ueta, et al.: "The Development of Demonstration Fast Breeder Reactor (DFBR)", ICONE-3, Vol.2, p.771 (1995)
- [3] 佐藤、五十嵐、木村、上出:「原子炉構造コンパクト化のための炉内流動安定化 方策の検討 - 炉内流動の可視化 - 」, JNC TN9400 2002-020 (2002)

[4] 三宅、木村、西村、上出:「ノイズ除去手法を用いた PIV の複雑体型流速場への 適用」、日本原子力学会「2000 年春の年会」、E18 (2000)

- [5] 木村、田中、林田、小林、上出、Tokuhiro、菱田:「炉心槽内流速分布測定への 超音波流速計の適用性評価 - 粒子画像流速計測を含めた水試験への適用 - 」, JNC TN9400 2000-057 (2000)
- [6] 木村、林、伊藤、関根、五十嵐、佐藤、上出:「炉容器コンパクト化に関する流動特性試験 炉内流況の把握と流動適正化方策の考案 」、JNC TN9400 2003-032 (2003)
- [7] 日本機会学会偏:「機械工学便覧 基礎編 A5 流体工学」(1986)
- [8] 村松、村上、山口:「ナトリウム冷却高速炉の原子炉容器内熱流動の研究(I)~炉 上部プレナム内流動適正化に関する解析的検討」, JNC TN9400 2001-117 (2002)

12 2.1	ᅅᆈᆓᇅ
項目	条件
作動流体	水
使用最高温度	50
設計圧力	0.2MPa
試験体最大流量	20m <sup>3</sup> /h(炉心出口:0.47m/s)

**表 2.1** 設計条件

_	
主 の の	「基準物の仕样
TX 4.4	伸迫物の止除

	円筒容器	H/L 配管	模擬炉心部	バッフル板
数量	1	2	1	5
材料	アクリル	アクリル	アクリル	アクリル
型式	円筒	円筒	円板多孔構造	円板多重構造
				開口率 30%
寸法	$480 \times 500$	$62 \times 5t$	$300 \times 30t$	$231 \times 5t$
mm				切込み部
				94 × 19mm
その他			4.5mm の穴	5.5mm の穴
			548 個	509 個

	HDP	ディップ	循環ポンプ	流量計	ウォータ
		プレート			ジャケット
数量	1	1	1	2	1
材料	SUS	アクリル	-	-	アクリル
型式	円板構造	円板	横型渦巻き	差圧式	矩形
	開口率 30%				
寸法	$243 \times 5t$	外径 476	-	-	$570 \times 500$
mm		内径 250			
その他	切込み部		最大流量	計測流量	
	96 × 17mm		20m³/h	~ 10 m³/h	
			揚程 12.5m		
			AC200V		

L

			1		T	Г		Γ	Г		1	1	Γ	Γ	
₩ 第	*	*	*	*	*	•	*	*	日本フローセル	*	*	-84	•	荏原	
44 300	植れ	SS 400	SS 400	SS 400	88	滿几	SS 400	SS 400	ss	쳶		8	SS 400	SS	
凝結	25A	9t	6t	91	15A	#65.50.40.25	L65 × 65 × 66t	M12	FDG-N-40A	50A		20CR-20-20	6~9t	50F0051.5A	*
ев 947	F. LDA' RJ'	流出配管取付板	支持棒固定板(2)	支持棒固定板(2)	給水及1%17-接告// №7'	80 122	令 米	4 4.3 8	thr-3流量計(2~10m <sup>3</sup> /h)	连量調節// 87'		防被17.1	\$">7" A" -3	t' > 7'	•
重数	-	~		-	~	+	-	4	~	~	*	4	-		*
痲嘔	-	~	en	4	s	6	~	••	0	2	*	12	2	2	*
- 作 - 垣			地有機材	旭有機材		*		IXDY	CDX1	CUXI	ADVANTEC	•	*	*	*
# #	格に	799A	1994	77946	2114	1144	SS 400	行 の	*	植し	綿石	植の	BS	*	<b>*</b> .
規格	1/4		VSTF-25	集居式-65		\$74×\$62	L40×40×5t	#50×20	#20	EJ-HISW-20	1PC	#20	20A	* -	
в 2	染料導入バルブ	試験体流入部	バイバス弁(フランジ式)	HUN'A7' (7529' 武)	水 檣	流出配簧	# ンブ業台	TSF-3'	TSIB4"	5' a (2) (X)	\$4.89M92" 29"	4 446 , CM ,V	\$, -PV, PJ,	*	*
教量			-	-	-	5	-	2	9	2	-	4	2	*	*
		~	~		0	-	N	m		10	6	0	~		







置刻 図2.1 試験装

1













図3.5 リファレンスにおける流況 (切込み反対側)

図3.4 リファレンスにおける流況 (切込み側面)







図3.9 リファレンスにおける流況 (HL側面)

## 図3.8 リファレンスにおける流況 (HL正面)

切込み側















図4.2 多孔胴概念図(4段胴)

































(2)80°平板千鳥配置

(1)90°平板千鳥配置

図5.1.5 フローガイド角度の影響(HL正面)

61





観測面

図5.1.6 フローガイド角度の影響(HL側面)

(1)90°平板千鳥配置

(2)80°平板千鳥配置





64










# 図5.2.3(1) 曲面フローガイドによる流況(切込み部)



# 図5.2.3(2) 曲面フローガイドによる流況(切込み部)

### (4) R15曲板片側配置

(3) R15曲板千鳥配置

### (2)R45曲板千鳥配置

### スペリアレンス











## 図5.2.5 フローガイド設置位置の効果(HL正面)

(1) R15曲板千鳥配置













79



80





















# 図6.2 多孔胴とフローガイドによる流況(切込み部)

(2)多孔胴と80。平板千鳥配置

平板千鳥配置

(1)80° ·

90







図6.5 多孔胴とフローガイドによる流況(HL正面)

1 m





### (1)80°平板千鳥配置









図7.1 ダミープラグ概念図





(b)ダミープラグ

スペリファレンス

図7.2 ダミープラグによる流況(切込み部)






## JNC TN9400 2003-079





(b)ダミープラグ

図7.6 ダミープラグによる流況(HL側面)

