平成 28 年度

原子力規制庁

平成 28 年度原子力施設等防災対策等委託費

(使用済み燃料貯蔵プール冷却試験) 事業

成果報告書

平成 29 年 3 月

原子燃料工業株式会社

本報告書は,原子力規制庁の平成28年度原子力 施設等防災対策等委託費(使用済み燃料貯蔵プー ル冷却試験)事業による委託業務として、原子燃 料工業株式会社が実施した平成28年度の成果を 取りまとめたものです。

目次

1	はじめ	と	1
2	事業計	画	2
	2.1 事業	業目的	2
	2.2 事業	業内容	2
	2.2.1	スプレイ熱伝達実験	2
	2.2.2	実験装置の改造	5
	2.2.3	成果報告書の作成	6
	2.2.4	外部評価委員会の設置	6
3	事業成為	果	7
	3.1 スプ	プレイ熱伝達試験	7
	3.1.1	試験ケースの選定	7
	3.1.2	試験装置および試験条件	7
	3.1.3	非加熱条件確認試験1	1
	3.1.4	試験結果1	2
	3.1.5	データ評価方針2	1
	3.2 試験	験装置の改造2	3
	3.3 外音	部評価委員会の開催2	5
4	まとめ	2	8

付録 1

付録 2

【本報告書における略語】

CCFL	:気液対向流制限(Counter Current Flow Limited)
CFD	:数值流体力学(Computational Fluid Dynamics)
D_{10}	:算術平均液滴径[mm]
D_{32}	: ザウター平均液滴径[mm]
ECVL	: 静電容量水位計(Electrical Conductance Void and water Level sensor)
LBLOCA	: 大破断冷却材喪失事故(Large-Break Loss-of-Coolant Accident)
LOCA	: 冷却材喪失事故(Loss-of-Coolant Accident)
PCT	:被覆管最高温度(Peak Clad Temperature) [℃]
P&ID	: 配管計装線図 (Piping & Instrument Diagram),
PIRT	: 重要度ランキングテーブル (Phenomena Identification and Ranking Table)
PTV	: 粒子追跡法(Particle Tracking Velocimetry)
SBLOCA	:小破断冷却材喪失事故(Small-Break Loss-of-Coolant Accident)
SCVS	: サブチャンネルボイドセンサ(SubChannel Void Sensor)
SFP	: 使用済燃料貯蔵プール(Spent Fuel Pool)
TCi	:発熱有効長上端から i 番目の熱電対
UTP	: 上部タイプレート(Upper Tie Plate)
Vx	:水平方向平均液滴速度[m/s]
Vy	: 垂直方向下向き平均液滴速度[m/s]

1 はじめに

本報告書は,原子力規制庁の平成28年度原子力施設等防災対策等委託費(使用済み燃料貯蔵 プール冷却試験)事業による委託業務として,原子燃料工業株式会社が実施した平成28年度の 成果を取りまとめたものである。

2 事業計画

2.1 事業目的

"実用発電用原子炉及びその付属施設の位置,構造及び設備の基準に関する規則"では第54 条(使用済燃料貯蔵槽の冷却等のための設備)の第2項において,使用済燃料貯蔵プール(以 下"SFP"という。)からの大量の水の漏えい,その他の要因により当該SFPの水位が異常に低 下する事故を想定し,その下でSFP内の燃料体などの著しい損傷の進行の緩和及び臨界の防止 のために必要となる設備,手順などを要求している。

SFP に対する通常の冷却水供給設備が動作しない状況下で,SFP においてこのような重大事故 が発生したときに,他の可搬式注水施設などが機能しない場合には,可搬式等のスプレイ冷却 系が想定される可能性がある。今後,安全性向上評価制度などにおいて,スプレイを使用した 対策を事業者が提出した場合に,その定量的効果の妥当性に関する審査を実施するためには, これに活用できる定量的な実験データが必要となる。

そこで、この委託では、SFP が大量の冷却材を喪失する重大事故時に、スプレイによる SFP 内の使用済燃料の冷却特性についての技術的知見を精緻化し、スプレイ冷却の定量的効果の評価に活用するための実験データの取得を目指す。

2.2 事業内容

平成27年度原子力施設等防災対策等委託費(使用済み燃料貯蔵プール冷却試験)事業の下で 設計・製作した単バンドル用の実験装置を用いて,スプレイ熱伝達実験を実施してスプレイ冷 却特性等の定量化のための実験データを取得するとともに,次年度に実施予定の4体模擬燃料集 合体体系の下でのスプレイ流量配分実験のために当該実験装置の改造を実施する。

2.2.1 スプレイ熱伝達実験

図2.2.1-1に示す流れに従って出力レベル及び集合体内の2相若しくは単相の水位又はプール 水タンク内の単相水位(以下"水位"という。)レベルを個々のケースで初期設定し、模擬燃料 集合体の熱出力を段階的に上昇することで燃料被覆管の表面熱流束及び温度上昇率を変化させ、 一連の実験を実施する。

なお、スペーサ及び上部タイプレートの交換にはそれぞれ長期間を要し、スプレイノズルの 交換にも一定時間を要することから、特定のタイプの上部タイプレート(3種類)、スペーサ(3 種類)及び/又はスプレイノズルを装着した後に、上述のように熱水力状態を変更した一連の 実験を実施し、必要な熱水力状態の実験を網羅できたら、次の段階のタイプの上部タイプレー ト及び/又はスペーサを装着し、続く一連の実験に進む。

次の各項で、図2.2.1-1の中で青枠・白抜文字にて示す4種類の測定について詳細を示す。た だし、記載内容は一つの例であり、実施内容が委託業務の目的に適いかつ実験方法、実験条件、 取得データ及びその整理方法などが妥当である場合には、その他の実験仕様でもよい。またそ れぞれの測定については、上部タイプレート、スペーサなどの条件によっては省略できる場合 があるので留意する。 なお,乾き部の燃料被覆管温度レベルの目標値(以下"目標温度"という。)は,実験計画の 段階で予め例えば100K間隔で設定しておく。目標温度の上限値は673Kとする。

また,表2.2.1-1に実験の基本仕様,図2.2.1-2に単バンドル実験装置のイメージ,図2.2.1-3 に単バンドル実験で用いる模擬燃料集合体の構成例を示す。

2.2.1.1 2相流挙動及び関連する燃料被覆管壁面熱伝達特性の測定(スプレイなし)

この過程は、図2.2.1-1の4か所の青枠部の中で、左上の枠に相当し、予め決定した特定の目 標温度に達するまでの昇温過程が対象となる。水位については、模擬燃料集合体内の水位がBAF からTAFまでの範囲にあることを想定する。

上部タイプレート並びにスプレイノズルのタイプ及び位置については、どの想定条件のもの でもよいが、特定の上部タイプレートタイプ並びにスプレイノズルのタイプ及び位置の場合に 限ってこの測定を実施する。一方、スペーサについては、スペーサの流路面積などによる2相流 挙動への影響の把握の観点から、3タイプのそれぞれについて測定を実施する。測定を実施しな い場合は、図2.2.1-1の左上の青枠部の測定過程が省略されるだけで、当該部の処理流れは昇温 操作のみになる。

この実験項目では、スプレイなしの状態で水位レベルをパラメータとして実験を行い、燃料 被覆管温度を上昇させながら、2相水位、ボイド率などの2相流挙動に関わる状態量(露出した SCVSは取外す)及び乾き部の燃料被覆管温度に係る実験データを取得する。このとき、2相流挙 動についてはスペーサタイプ、模擬燃料集合体出力レベル、2相水位などをパラメータとして整 理する。また、乾き部の燃料被覆管温度の上昇特性に基づいて、被覆管表面の熱伝達係数を2 相水位レベル及び熱電対位置ごとに評価し、スペーサタイプ、模擬燃料集合体出力レベル、模 擬燃料棒の位置及び相対出力レベル、2相水位、軸方向熱電対位置などをパラメータとして整理 する。

2.2.1.2 スプレイ注水下での燃料被覆管壁面熱伝達特性の測定

この過程は、図2.2.1-1の4か所の青枠部の中で、左下の枠に相当する。

2.2.1.1項に記載の測定に引き続いて,又は同項記載の測定を実施せず省略する場合には昇温の結果として,乾き部の燃料被覆管温度レベルが目標温度に達したときに,この項に記載する一連の測定を実施する。

この目標温度の下で、複数のスプレイ注水条件にて、スプレイ注水を実施し、上部タイプレートにおけるCCFL特性、燃料被覆管温度挙動、2相水位挙動及び2相流挙動の変化、液滴の径、 流速及び集合体内侵入量などを計測する。これらの計測データについては、2相水位レベル、模 擬燃料集合体出力レベル、模擬燃料棒の位置及び相対出力レベル、上部タイプレートタイプ、 スペーサタイプ、スプレイの注水及び位置に関する条件などをパラメータとして整理する。

なお、スプレイによる注水がなされると、通常、乾き部の燃料被覆管温度が低下するので、 スプレイ注水条件を変更して続く測定、すなわちスプレイ注水条件を変更した条件での測定又 は2.2.1.1項に記載の測定を行う際には、同燃料被覆管温度が目標温度に回復するまで昇温し、 温度変化が十分に安定したことを確認してから測定を行うものとする。

また、集合体外に落水したスプレイ流量の測定結果に基づいて差分量として集合体内へのス

プレイ水侵入量を評価する手法を採る場合,高温条件の下でスプレイ液滴の蒸発が生じる条件 では,蒸発量に応じた系統的な誤差及び不確かさが生じ得ることから評価手法を工夫する必要 がある。

2.2.1.3 空気冷却時の燃料被覆管熱伝達特性の測定(スプレイなし)

この過程は、図2.2.1-1の4か所の青枠部の中で、右上の枠に相当し、燃料集合体内及びプー ル水タンクとの連結用配管内から水が完全に排出され、集合体内の熱除去が空気冷却により安 定になされる状態(以下"水位なし"という。)になった後に実施されるものである。

この過程では、スプレイノズルのタイプ及びスプレイノズル位置は任意でよいが、特定のス プレイノズルタイプ及びスプレイノズル位置の場合に限ってこの測定を実施する。

この実験項目では、スプレイなしの状態で燃料被覆管温度を上昇させながら、空気の自然循 環流量を模擬したもの及び乾き部の燃料被覆管温度に係る実験データを取得する。このとき、 乾き部の燃料被覆管温度の上昇特性に基づいて、被覆管表面の熱伝達係数を空気流量レベル及 び熱電対位置ごとに評価し、スペーサタイプ、模擬燃料集合体出力レベル、模擬燃料棒の位置 及び相対出力レベル、空気流量レベル、軸方向熱電対位置をパラメータとして整理する。

2.2.1.4 空気冷却時の燃料被覆管熱伝達特性の測定(スプレイなし)

この過程は、図2.2.1-1の4か所の青枠部の中で、右下の枠に相当する。

2.2.1.3項に記載の測定に引き続いて,又は同項記載の測定を実施せず省略する場合には昇温の結果として,乾き部の燃料被覆管温度レベルが目標温度に達したときに,この項に記載する一連の測定を実施する。

この目標温度の下で、複数のスプレイ注水条件にてスプレイ注水を実施し、上部タイプレートにおけるCCFL特性、燃料被覆管温度挙動、並びに液滴の径、流速及び集合体内侵入量を計測する。これらの計測データについては、スプレイ注水前の空気流量レベル、模擬燃料集合体出力レベル、模擬燃料棒の位置及び相対出力レベル、上部タイプレートタイプ、スペーサタイプ、スプレイの注水及び位置に関する条件などをパラメータとして整理する。

なお、スプレイによる注水がなされると、通常、乾き部の燃料被覆管温度が低下するので、 スプレイ注水条件を変更して続く測定、すなわちスプレイ注水条件を変更した条件での測定又 は2.2.1.3項に記載の測定を行う際には、同燃料被覆管温度が目標温度に回復するまで昇温し、 温度変化が十分に安定したことを確認してから測定を行うものとする。

また,集合体外に落水したスプレイ流量の測定結果に基づいて差分量として集合体内へのス プレイ水侵入量を評価する手法を採る場合,高温条件の下でスプレイ液滴の蒸発が生じる条件 では,蒸発量に応じた系統的な誤差及び不確かさが生じ得ることから評価手法を工夫する必要 がある。

2.2.1.5 LOCA 実験

実験容器外に冷却水を流出させることで強制排水を行ってSFPのLOCA事象を模擬し,スプレイなしの条件で2相流挙動及び関連する燃料被覆管壁面熱伝達特性の測定(2.2.1.1項相当)及び

スプレイ注水下での燃料被覆管壁面熱伝達特性の測定(2.2.1.2項相当)を実施する。

排水流量は、燃料集合体内の水位低下率相当値として原子炉のLBLOCA相当(以下"大流量" という。)~SBLOCA相当(以下"小流量"という。)の範囲で設定する。このとき、2.2.1.1項と 同様に燃料被覆管及び2相流挙動の測定、並びに目標温度に達したときに2.2.1.2項と同様にス プレイ注水を行った場合の測定を実施する(目標温度に達しない場合は省略できる)。このとき、 水位低下率をパラメータとする他はそれぞれ2.2.1.1項及び2.2.1.2項と同様にデータを整理す る。また、水位変化率の影響の有無及びその程度についても整理する。

なお,排水流量レベル及び模擬燃料集合体の出力レベルは,それぞれ2~3レベル設定するものとする。

以上を踏まえた試験ケース例を以下に示す。

目標温度は373~673Kの4条件程度とし、以下をパラメータとして試験ケースを選定する。

- ・上部タイプレート(3条件),
- ・スペーサ (3条件)
- ・スプレイノズル(一様,広角,鋭角)
- ・スプレイ液滴径(1~5mmの3条件)
- ・スプレイ高さ(0.5~5mの3条件)
- ・スプレイオフセット (0~400mmの3条件)
- ・水位レベル/流出量(0~3mの4条件及び中LOCA,小LOCAの2条件)
- ・出力レベル(1~4%の3条件)
- ·冷却水温度(3条件)
- ・空気流量(3条件)
- ・スプレイ水温度(303K及び373Kの2条件)
- ・スプレイ流量(2条件, CCFLが生じるスプレイ流量もサーベイする)

2.2.2 実験装置の改造

平成29年度に実施する多バンドル(2×2バンドル相当)条件下でのスプレイ流量配分実験の 準備のため、平成27年度に製作した7行7列の正方格子縮小バンドル用の実験装置を次のように 改造する。

- ・平成27年度に製作した7行7列の正方格子のチャンネルボックス及び模擬ラックと水平断面内のそれぞれの外壁面のサイズが同一の模擬バンドル、模擬ラックなどから構成される構造物(以下"模擬燃料容器"という。)の組を1単位として、4単位の模擬燃料容器を2×2の格子上に配置する
- ・模擬燃料容器は上部タイプレート、上部端栓及び取手部を含み、チャンネルボックス及び ラックの上部構造を模擬する。(各模擬燃料容器ともその上部の構造及び上部タイプレート は、模擬燃料棒及びスペーサ部を除いて平成27年度製作の単バンドル実験装置の当該部と 同一)
- ・模擬燃料容器より上方の構造部,スプレイ部及びこの領域の計測系については,平成27年 度に製作したものを原則活用する。

- ・各模擬バンドルは非発熱とし、模擬燃料棒、スペーサ、並びに2相流挙動及び燃料被覆管温 度挙動に関する計測機器を含まない。
- ・各模擬バンドルは上部タイプレートから流体が流出する際の流況を模擬する機能を有する。
 作動流体は蒸気流,空気流又は両者の混合ガス(この3者を総称して,以下"ガス"という。)
 とし、ガス流量は模擬バンドルごとに個々に測定し調節できる。
- ・圧力は大気圧とし、過熱蒸気など373Kを相当量超える温度のガスを取り扱える。
- ・模擬燃料容器ごとに、上部タイプレート部からチャンネルボックス内側の領域内に落水したスプレイ水流量を計測できる。

また、主な実験パラメータは、崩壊熱相当の発熱レベルに相当するガス流量、ガス温度、ス プレイ流量、スプレイの設置位置(軸方向、横方向オフセット(4模擬燃料容器の中心軸上から のスプレイ中心軸のオフセット距離))などであり、それぞれのパラメータの値は、定格出力に 対し、4~1%、常温~423K、小流量~大流量の範囲で設定した喪失冷却水流量を当該スプレイ機 能だけで相殺できるスプレイ流量レベル、模擬燃料容器上端から0.5~5mの高さ及び0~上部容 器幅の半分までのオフセットなどである。ただし、ここで例示した実験パラメータの範囲は一 例であり、必要な成果の得られる範囲で適宜変更してよい。

計測系については、次の通りとする。

測定項目は,ガスの流量及び温度,集合体内部への落水量,スプレイ液滴の拡がり(分散) 角度,濃度分布及び液滴径分布,模擬燃料容器上方での液滴落下速度である。また,可能であ れば,上部タイプレート近傍の上下方向の媒質流速についての横方向断面内分布を測定できる とよい。

今年度は,以上に述べた仕様を実現する実験装置の改造部を設計し,その設計に従って必要 な機器,備品などを調達し,改造部を組み込んだ実験装置を組み立てる。

表2.2.2-1に改造する実験装置の構成,これを用いて実施する実験などについての基本仕様を 示す。

2.2.3 成果報告書の作成

2.2.1項及び2.2.2項の作業の内容に関する報告,並びに作業に伴って発生した課題,問題点, その対策などをとりまとめた技術資料を作成し,成果報告書とする。この技術資料に記載が必要となる主な項目は次の通りである。

- 1) 実験方法,実験条件及び実験結果
- 2) 実験データの整理結果
- 3) 改造実験設備(購入部品など,並びに装置の全景を含む各部の写真及び概要図を含む)
- 4) 改造実験設備及び計測系の詳細

2.2.4 **外部評価委員会の設置**

3名の学識経験者,専門家から構成される外部評価委員会を設置し,事業実施内容等への評価, 助言等を受ける。

3 事業成果

平成27年度原子力施設等防災対策等委託費(使用済み燃料貯蔵プール冷却試験)事業の下で 設計・製作した単バンドル用の試験装置を用いて,スプレイ熱伝達試験を実施してスプレイ冷 却特性等の定量化のための試験データを取得するとともに,次年度に実施予定の4体模擬燃料集 合体体系の下でのスプレイ流量配分試験のために当該試験装置の改造を実施した。

3.1 スプレイ熱伝達試験

平成27年度に設計・製作した単バンドル用の試験装置を用いて、スプレイ熱伝達試験を実施 し、スプレイ冷却特性等の定量化のための試験データを取得した。

3.1.1 試験ケースの選定

ー連のスプレイ熱伝達試験の試験パラメータは、上部タイプレート形状、スペーサ形状、模 擬燃料集合体出力、初期プール水位/LOCA模擬流出量、初期プール水温度、スプレイ開始温度 (目標温度)、スプレイ流量、スプレイ水温度、スプレイノズル、スプレイ液滴径、スプレイ高 さ及びスプレイオフセットの12パラメータであり、これら全ての組合せについて試験を実施す ることは現実的ではないため、原子力規制庁担当官と共にPIRT (phenomena identification and ranking table、重要度ランキングテーブル)を協議することでベース条件を設定し、各パラメ ータを振った試験マトリックスを作成した上で、選定したケースに対して試験を行った。

作成したPIRT, 試験マトリックスをそれぞれ表3.1.1-1, 表3.1.1-2に示す。

なお,表3.1.1-2には優先度「高」の試験ケースのみを記載しているが,より多くの試験ケースを実施できるように,原子力規制庁担当官と協議の上,CCFLサーベイは顕著にCCFLの効果が見られない場合には省略,スペーサタイプは2タイプ,平成28年度は自然循環試験を実施しないことになった。

3.1.2 試験装置および試験条件

本事業においては、以下に示す装置、条件、方法により試験を実施した。

3.1.2.1 試験装置概要

本事業において使用した試験装置の概略図を図3.1.2-1に示す。試験装置の詳細な寸法に関し ては図面を付録1に示す。試験装置は、試験部・実機SFPのプール水を模擬するための補助容器・ スプレイ供給系・ドレンタンク・整流器から構成される。補助容器は、下部において試験部と 配管により接続され、配管に設けられた連通弁により試験部との開閉および通過流量の制御が 可能である。スプレイ供給系は、スプレイタンクに貯水された冷却水を、スプレイポンプによ りスプレイノズルに供給した。スプレイノズルは、試験部上部容器内に設置され、試験条件に あわせて先端形状、高さ、軸方向位置を変更可能である。なお、補助容器およびスプレイタン クは、蒸気加熱により冷却水温度を調整可能である。ドレンタンクは、上部容器下部の排水管 と接続しており、試験体部(集合体および模擬ラック内)の外に噴霧されたスプレイ、および集 合体から溢れた冷却水を貯水する。本試験装置では、後述するように燃料の崩壊熱をヒータロ ッドの発熱により模擬した。本ヒータロッドは直流電流抵抗により発熱し,動力となる電力は 試験部下部から電力線によって接続された3台の整流器より供給される。本試験装置は,図 3.1.2-1に記載された,運転状態を把握するための計器を備える。これらの計器を用いて,装置 運転状態の監視,調整,記録を行った。

試験部形状・主要寸法・材質を表3.1.2-1,試験部および温度・差圧計測位置の概略図を図 3.1.2-2に示す。試験部は、模擬ラックと模擬燃料集合体から構成される。模擬燃料集合体は、 実機9×9燃料の内7×7の燃料領域を取出した縮小バンドルであり、模擬燃料棒を上部タイプレ ート、下部プレート、等間隔に配置されたスペーサによって固定し、径方向外周にチャンネル ボックスを取り付けた構造である。模擬燃料棒にはヒータロッドを用い、電気抵抗の発生熱に よって燃料の崩壊熱を模擬する。ヒータロッドは、発熱有効長上端を起点として約800mm間隔(図 3.1.2-2に示すTC1,3,5,7,9位置)で熱電対を表面に設置した熱電対付A型、発熱有効長上端 から下方412mm地点を起点として約800mm間隔(図3.1.2-2に示すTC2,4,6,8,10位置)で熱電 対を表面に設置した熱電対付B型,熱電対を設置していないC型の3種類がある。各ヒータロッド において、熱電対の径方向向きは全て同一である。なお、各種類のヒータロッドは、熱電対設 置場所もしくは熱電対の有無を除き、同一の性能である。また、軸方向出力分布は一様である。

試験部の断面図を図3.1.2-3に示す。各ヒータロッドは,高出力ロッド,平均出力ロッド,低 出力ロッドの3つの領域に分けて配置した。各領域は,それぞれ別の整流器に接続されており, 独立して出力を制御可能である。なお、2本のヒータロッドは非加熱ロッドとして,整流器に接 続していない。試験部の温度は、ヒータロッド表面以外に、チャンネルボックス内面、チャン ネルボックス外面、模擬ラック容器内面において熱電対を設置し測定した。各配置は図3.1.2-2, および図3.1.2-3に示す箇所である。ここで、本事業の最後に実施した、スペーサ肉厚が異なる Case22開始前の試験体組換えにおいて、平均出力1本の絶縁性低下が確認された。このため、 Case22のみ該当ロッドの位置を非加熱ロッドと交換、および対象位置のヒータロッドを交換し た配置により試験を実施した。

上記の運転状態監視用計器,集合体部熱電対の他に,集合体内のボイド率を計測するため, 差圧計(以下,区間差圧計とする),サブチャンネルボイドセンサ(以下SCVSとする),静電容量 水位計(以下ECVLとする)を設置した。SCVSにおいては,測定結果より気相速度の算出が可能で ある。ここで,SCVSは一般財団法人電力中央研究所の特許技術であり,本事業においては一般 財団法人電力中央研究所からの技術移転により,SCVSの設計・製作・計測について全面的なサ ポートを受けた。

また、スプレイの液滴径、速度、頻度を測定するため、液滴計(日本カノマックス製パーディクルマスタ)を用いた。各測定器の計測位置を図3.1.2-4、サブチャンネルボイドセンサ部の 概略図3.1.2-5に示す。区間差圧計によるボイド率計測は、発熱有効長上端から上部容器までの 1区間、および発熱有効長範囲内をほぼ当分割にした5区間においてデータを取得するため、各 区間の上下端に差圧導管を配置した。各差圧導管は、区間ごとにそれぞれの差圧計へ接続し、 隣接する区間においては差圧導管を共有した。SCVSは、発熱有効長上端から836mmの地点を起点 として、1024mm間隔の3カ所にセンサを設置し、それぞれのセンサをSCVS収録装置へ接続し測定 した。ECVLは、発熱有効長範囲内30点において、ほぼ等間隔に1対の電極を配置した。それぞれ の電極は、上方より10個ずつ3系統に分かれ、それぞれ切換器を介して3つのLCRメータに接続し た。計測の際には、切換器により計測する電極を切換え、各地点における静電容量を計測した。 液滴計は、上部タイプレート下端より上方約40mmの位置に設置された観測窓を介して計測を行った。各測定における計測法、ボイド率・気相速度・液滴径・液滴速度の算出法については、 付録2に示す。

3.1.2.2 試験条件および測定条件

本試験においては、表3.1.2-2に示す試験条件をベース条件とする。3.1.1において示したよ うに、各試験ケースにおいてはスプレイ冷却に関わる試験条件をパラメータとして、値をベー ス条件から変更した。各試験ケースにおいて着目したパラメータ、およびベース条件からの変 更値を表3.1.2-3に示す。各試験ケースでは、対象となるベース条件と各計測値を比較すること で、着目するパラメータが熱伝達特性やスプレイ冷却等に与える影響を確認した。

本試験においては、運転状態、熱電対温度、区間差圧計をデータロガーに接続し、計測を行った。SCVS、ECVL、液滴計は、それぞれ専用の収録機器を用いてデータ測定した。データロガーの測定内容および収録条件を表3.1.2-4、SCVSの収録条件を表3.1.2-6、ECVLの収録条件を表3.1.2-5、液滴計の収録条件を3.1.2-7に示す。なお、SCVS収録器とECVL切替器は、データ測定中もしくは切換えタイミングの信号を外部トリガーとしてデータロガーへ出力・収録させており、運転状態等のデータと時系列比較が可能である。

3.1.2.3 試験方法

試験およびデータ測定は、以下の手順により実施した。

(1) 試験初期条件の調整

試験の初期条件は、以下手順により整えた。

①スプレイ水温度をボイラもしくは冷却水注水によって試験条件に合わせる。

- ② 連通弁を閉じる。
- ③スプレイを放水し、スプレイ水流量が試験条件となるように合わせる。
- ④ 試験体水位を発熱有効長以上,補助容器水位を試験条件初期水位以上とする。
- ⑤ 補助容器内をボイラによって加熱し、試験条件初期水温に合わせる。
- ⑥ 整流器電源を入れ、ヒータ出力により試験容器内冷却水を加熱する。加熱時に、整流器出力を試験条件に合わせる。試験条件の初期水温を5℃程度上回った時点で整流器電源を切る。
- ⑦連通弁を徐々に開け、試験容器と補助容器を同水位とする。
- ⑧補助容器より排水を行い、水位を試験条件初期水位に合わせる。

代表例としてCase3-4スプレイ開始温度300℃試験における,⑥以降の手順の運転状態データ を図3.1.2-6に示す。図中最上段は,試験容器と補助容器の静水圧水位および連通弁開度,図中 中段はヒータ表面の最高温度およびバンドル出力を示す。また,最下段に条件設定開始時,加 熱中,出力停止時,条件設定終了時の非加熱ロッド,チャンネルボックス内面,外容器内面の 温度測定値を示す。

本試験では同日に複数ケースを実施し、試験後は装置が80℃以下に温度低下後に次の試験を

実施した。Case3-4についても、実施前に別の試験ケース試験を実施しており、初期温度を設定 する前に装置冷却水は暖められ80℃程度まで暖められていた。なお、冷却を待つ間に温度成層 が形成されるため、装置上部の温度が高い傾向にある。本装置においては、装置上部が大気開 放、下部が補助容器配管に接続されているため、装置上下部において系外への放熱が大きくな る。加熱中の温度分布はこの傾向を表しており、発熱有効長の中間部において温度が高い傾向 にある。特に蒸気が発生する上部に比べて、装置下部の温度が低い傾向を示す。加熱により蒸 気が発生すると、2相水位上昇により液面が模擬ラックもしくはチャンネルボックス上端を超え、 冷却水が溢れる。このため、試験容器内の静水圧水位が低下する。出力停止時点においては、 装置上部も発生した蒸気により温められ、装置の1/3以上が100℃となる。試験条件の初期水位 となるまで排水する間に、放熱によって温度が下がり、装置中間部において初期温度の95℃程 度となる。なお、装置下部の温度が上昇しているのは、排水によって暖められた冷却水が下部 に下がったためである。

(2) 試験·測定手順

初期条件設定後は、以下の手順により試験を実施した。

- ①データロガーの収録を開始する。
- ECVLの収録を開始する。
- ③トリガー信号変化によってECVL作動を確認後、整流器出力を入れる。

【スプレイ開始温度150℃の場合】

- ④ ヒータロッドの表面最高温度が100℃到達時にSCVS収録。
- ⑤ 高出力ヒータロッドの表面最高温度が150℃到達時にスプレイ開始
- ⑥ スプレイ開始後に液滴計データ収録開始
- ⑦ 全ヒータロッドの表面温度が100℃以下となった時間において試験終了として、データ 収録を停止する。なお、ヒータロッドの表面最高温度が350℃に達した場合、ヒータロ ッドの健全性を保つため試験終了として整流器出力を停止するが、全ヒータロッドの 表面温度が100℃以下となるまで計器のデータ収録を継続する。

【スプレイ開始温度300℃の場合】

- ④ ヒータロッドの表面最高温度が100℃, 150℃, 200℃, 280℃到達時にSCVS収録。
- ⑤ ヒータロッドの表面最高温度が300℃到達時にスプレイ開始
- ⑥ スプレイ開始後に液滴計データ収録開始
- ⑦ 全ヒータロッドの表面温度が100℃以下となった時間において試験終了として、データ 収録を停止する。なお、ヒータロッドの表面最高温度が350℃に達した場合、ヒータロ ッドの健全性を保つため試験終了として整流器出力を停止するが、全ヒータロッドの 表面温度が100℃以下となるまで計器のデータ収録を継続する。

【LOCA試験ケースの場合】

- ④ 整流器出力が試験条件到達時に排水を開始。
- ⑤ 排水開始と同時にSCVS収録。
- ⑥ 対象ロッドの表面最高温度が試験条件到達時にスプレイ開始 (対象ロッド:150℃条件は高出ヒータ力ロッド、300℃条件は全ヒータロッド)
- ⑦ スプレイ開始後に液滴計データ収録開始
- ⑧ 全ヒータロッドの表面温度が100℃以下となった時間において試験終了として、データ 収録を停止する。なお、ヒータロッドの表面最高温度が200℃に達した場合(300℃条 件は350℃)、ヒータロッドの健全性を保つため試験終了として整流器出力を停止する が、全ヒータロッドの表面温度が100℃以下となるまで計器のデータ収録を継続する。

3.1.3 非加熱条件確認試験

3.1.1において示した試験ケースを実施する前に、各スプレイノズルのスプレイ状態(液滴 径・速度・頻度の分布)、試験体へのスプレイ落水量、およびLOCA排水速度について、非加熱状態における初期条件を確認した。

(1) スプレイ条件

図3.1.3-1に示すように、上部タイプレートより上方約45mm位置、試験部中央位置より径方向 に20mm間隔において、各スプレイノズルのスプレイ状態を計測した。計測した結果を図3.1.3-2 ~図3.1.3-14に示す。なお、試験部中央位置における計測結果については、各試験ケースの液 滴計測結果において記載する。

各スプレイノズルのノズル直下における噴霧状況画像を図3.1.3-15~18に示す。鋭角スプレ イの噴霧角度は図3.1.3-19に示すように、約72°である。

(2) 模擬ラックへのスプレイ落水量

本試験において使用したスプレイノズルについて、模擬ラック内へ落水するスプレイ量を非 加熱条件において確認した。確認した結果を表 3.1.3-1に示す。

(3) LOCA排水速度

LOCA条件における排水速度を確認するため、非加熱条件において各試験条件のバルブ開度と して排水確認を行った。図3.1.3-19に結果を示す。なお、静水圧水位は発熱有効長下端を基準 とした水位である。水位が4mから1mとなるまでの平均排水速度は、小LOCA条件において 0.021m/s、中LOCA条件において0.155m/s、大LOCA条件において0.230m/sである。

3.1.4 試験結果

本試験において得られた試験結果について、各試験ケースの測定結果を示す。

3.1.4.1 ベース条件(スプレイ流量変化, Case 1-4, Case1-5)

(1) 150℃条件

スプレイ開始条件150℃条件における,バンドル出力上昇後のデータロガー測定値時間変化を, 図3.1.4.1-1,図3.1.4.1-2に示す。差圧計によるボイド率変化を見ると,出力上昇約50秒後に ボイド率が上昇し始めている。この結果,露出部において温度上昇していたヒータ表面は,2 相水位の上昇により冠水し,沸点程度まで冷却される。その後,冷却水蒸発によって試験部の 水位は低下し,発熱有効長最上段が露出することでTC1の温度が上昇する。スプレイ噴霧後は, ヒータ表面温度が急激に低下し,試験部水位が低下から増加に転じる。スプレイ流量による傾 向の大きな違いはとしては,スプレイ流量が大きい1.0 m³/h条件において,区間2の差圧計ボイ ド率が急激に低下している。これはスプレイ流量が増えたことで,水位面近傍の冷却水温度が 低下し,2相水位が低下もしくは蒸気発生量が低下したためと考えられる。

図3.1.4.1-3,図3.1.4.1-4にスプレイ液滴の計測結果を示す。なお,図縦軸は計測された全 液滴数に対する横軸数値に該当する液滴数の割合を示し,図中の青丸は3.1.3において示した, 非加熱条件において測定した値である。また,表3.1.4.1-1に計測結果から算出した算術平均液 滴径D₁₀,ザウター平均液滴径D₃₂,水平方向速度Vx,垂直方向下向き速度Vy,表3.1.4.1-3およ び表3.1.4.1-4に計測した液滴の画像例を示す。液滴径分布を見ると,非加熱条件より0~0.8mm の小液滴が減少,1mm以上の液滴が増加している。この原因としては,蒸気加熱によるスプレイ 液滴の蒸発,蒸気凝縮による小液滴の発生,もしくは蒸気吹き上げによって小液滴が集合体直 上から横に吹き飛ばされた可能性が考えられる。また,垂直方向速度に関して非加熱条件と比 較すると,マイナス方向(垂直上向き方向)速度の液滴が増加しており,蒸気によって吹き飛ば されたスプレイ液滴,もしくは集合体内から流出した凝縮液滴が観測された可能性がある。特 にCase1-5のスプレイ流量1.0m³/hの撮影画像においては,小液滴の増加が明らかである。

(2) 300℃条件

スプレイ開始条件300℃条件における,バンドル出力上昇後のデータロガー測定値時間変化を, 図3.1.4-5,図3.1.4-6に示す。ヒータロッドTC1の温度は150℃以降も上昇を続け,ヒータロッ ドTC1の温度約200℃においてヒータロッドTC2が,ヒータロッドTC2の温度約200℃においてチャ ンネルボックス内面TC1の温度が上昇し始める。(1)において示した150℃スプレイ条件と異なり, ヒータロッドTC1の温度はスプレイ噴霧後も300℃以上を保ち,その後緩やかに温度上昇した後 に急激に温度が低下する。この現象に関しては,スプレイ到達初期はライデンフロスト現象に よって液滴が直接ヒータロッド表面に接触せず蒸気冷却となり,ライデンフロスト温度未満に なると液滴がヒータ表面に接触することで急激に温度低下した可能性が考えられる。ヒータロ ッドTC2においてはスプレイ噴霧後も温度が上昇し続けており,噴霧したスプレイがTC2より上 部の領域で蒸発することで冷却効果が得られていないと推測される。なお,チャンネルボック ス内面はスプレイ噴霧直後に温度低下しているが,チャンネルボックス外面からスプレイ冷却 されたことが影響していると考えられる。

差圧計ボイド率については、PCT150℃以降も大きな変化はないが、約900秒において区間1の

ボイド率が瞬間的に一時低下後1.0で一定,区間2のボイド率が急激に低下している。本時間は, チャンネルボックス内面TC1の温度が上昇し始めた時間と一致している。このことから,発熱有 効長上端に位置する差圧導管上端部が露出し,過熱されたことによって同管内の水が沸騰・蒸 発し,差圧計測値に異常をきたしたと考えられる。よって,本時間以降の区間差圧1,2のボイ ド率データは有効な計測値ではない。その他の試験ケースにおいても,同様の状態が確認され ているが,本報告書においては得られたデータをそのまま記載する。

図3.1.4.1-7および図3.1.4.1-8にスプレイ液滴の計測結果を示す。また,表3.1.4.1-2に計測 結果から算出したD10,D32,Vx,Vy,表3.1.4-3および表3.1.4-4に計測した液滴の画像例を示 す。計測結果の分布図を見ると、150℃条件と大きな変化がないように見えるが、150℃条件と 比較すると平均液滴径の減少が大きくなり、液滴の計測数が大幅に増加している。また、水平 方向平均速度が増加し、平均垂直方向平均速度が上向き方向に変化している。このことから、 150℃条件におけるスプレイ液滴の蒸発,もしくは凝縮蒸気の吹き上げがより顕著に観測されて いると考えられる。

3.1.4.2 ベース条件(出力変化, Case 1)

(1) スプレイ流量0.2m³/h, スプレイ開始温度150℃条件

スプレイ流量0.2m³/h,スプレイ開始条件150℃条件における,ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度,静水圧水位およびドレンタンク水位の時間変化を図3.1.4.2-1, 図3.1.4.2-2,図3.1.4.2-3に示す。ヒータロッド表面最高温度について,ヒータ定格出力比1% のCase1-1のみ,出力上昇開始後に温度上昇し,スプレイ開始温度の150℃に達する。また,他 の条件においては最上段の熱電対が最も温度が高いが,Case1-1においては3段目のTC3が最も温 度が高くなる。これは,出力が低いために蒸気発生が少なく,2相水位の上昇が小さく発熱有効 長上端まで冷却水に冠水しないまま加熱されるためと考えられる。また,スプレイ噴霧後は出 力が高い方が冷却されにくい傾向にある。チャンネルボックス内面温度は,出力の違いによっ て大きな違いはない。同様に,試験体および補助容器水位に違いはないが,定格出力比3%の Case1-7については,2相水位の上昇が高く試験体上端を超えるため,溢れ水によってドレンタ ンク水位が上昇している。

液滴計の計測結果を表3.1.4.2-1,図3.1.4.2-4,図3.1.4.2-5,測定画像例を表3.1.4.2-2に 示す。なお、Case1-1については観測窓の蒸気除去ができておらず、画像が不鮮明であり計測結 果の信頼性が低い。計測結果は出力が高くなるほど、スプレイ液滴の蒸発、もしくは凝縮蒸気 の吹き上げと思われる効果が顕著となる。

(2) スプレイ流量1.0m³/h, スプレイ開始温度150℃条件

スプレイ流量1.0m³/h,スプレイ開始条件150℃条件における,ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度,静水圧水位およびドレンタンク水位の時間変化を図3.1.4.2-6, 図3.1.4.2-7,図3.1.4.2-8に示す。液滴計の計測結果を表3.1.4.2-3,図3.1.4.2-9,図3.1.4.2-10, 測定画像例を表3.1.4.2-4に示す。なお,Case1-2については観測窓の蒸気除去ができておらず, 画像が不鮮明であり計測結果の信頼性が低い。出力を上昇させた際の各計測値傾向は,スプレ イ0.2m³/hと同様である。 (3) スプレイ流量0.2m³/h, スプレイ開始温度300℃条件

スプレイ流量0.2m³/h,スプレイ開始条件300℃条件における,ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度,静水圧水位およびドレンタンク水位の時間変化を図3.1.4.2-11, 図3.1.4.2-12,図3.1.4.2-13に示す。出力上昇による傾向は,スプレイ開始温度150℃と同様で ある。なお,定格出力比3%のCase1-7においては,スプレイ開始後も温度上昇を続け350℃を超 えたため,スプレイ流量増やした後に出力を停止した。出力停止後も,温度低下まで100秒以上 を要している。

液滴計の計測結果を表3.1.4.2-5,図3.1.4.2-14,図3.1.4.2-15,測定画像例を表3.1.4.2-6 に示す。スプレイ開始温度150℃の結果に比べ,液滴計の変化に大きな変化はないが,上向き速 度は増加している。凝縮蒸気の吹き上げと思われる効果は、増大していると考えられる。

(4) スプレイ流量1.0m³/h, スプレイ開始温度300℃条件

スプレイ流量1.0m³/h,スプレイ開始条件300℃条件における,ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度,静水圧水位およびドレンタンク水位の時間変化を図3.1.4.2-16, 図3.1.4.2-17,図3.1.4.2-18に示す。また,液滴計の計測結果を表3.1.4.2-7,図3.1.4.2-19, 図3.1.4.2-20,測定画像例を表3.1.4.2-8に示す。出力上昇による傾向は,スプレイ開始温度 150℃と同様である。なお、Case1-2については観測窓の蒸気除去ができておらず画像が不鮮明 であり、Case1-8については蒸気凝縮によって発生したと思われる膜状液によって画像が覆われ、 計測結果の信頼性が低い。

3.1.4.3 スプレイ流量(Case 1-6a)

スプレイ流量を0.1m³/h, 0.4m³/h, 0.6m³/hにおける,スプレイ開始300℃条件のヒータロッド 表面最高温度,チャンネルボックス内面温度,静水圧水位およびドレンタンク水位時間変化を 図3.1.4.3-1~3に示す。スプレイ流量0.1m³/hにおいて,スプレイ冷却後も温度上昇が続く。そ の他の条件に関しては,スプレイ量の増加とともに冷却時間が短くなる。なお,Case1-6aのみ, 出力上昇後に2相水位増加によってTC1が冠水せず温度上昇を続けている。これは,条件設定時 に初期温度が若干低く,蒸気発生量が少なかったことが影響している可能性がある。

液滴計の計測結果を表3.1.4.3-1,図3.1.4.3-4~6,測定画像例を表3.1.4.3-2に示す。液滴 計の計測結果に大きな違いは見られない。

3.1.4.4 スプレイ液滴径の影響(Case 2, 3)

(1) スプレイ流量0.2m³/h

ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度, 静水圧水位およびドレンタンク 水位時間変化について, スプレイ開始温度150℃条件の結果を図3.1.4.4-1~3, スプレイ開始温 度300℃の結果を図3.1.4.4-4~6に示す。また, 各試験ケースにおける, 液滴計の計測結果を表 3.1.4.4-1, 図3.1.4.4-7~10に示す。スプレイ開始温度300℃においては, 液滴径が大きくなる ほど冷却にかかる時間が短い傾向にある。その他においては, 傾向に大きな違いは見られない。 (2) スプレイ流量1.0m³/h

ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度, 静水圧水位およびドレンタンク 水位時間変化について, スプレイ開始温度150℃条件の結果を図3.1.4.4-11~13, スプレイ開始 温度300℃の結果を図3.1.4.14-4~16に示す。また, 各試験ケースにおける, 液滴計の計測結果 を表3.1.4.4-2, 図3.1.4.4-17~20に示す。各試験ケースの傾向は, 0.2m³/hと同様である。

3.1.4.5 スプレイ高さの影響(Case 6a, 7)

(1) スプレイ流量0.2m³/h

ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度, 静水圧水位およびドレンタンク 水位時間変化について, スプレイ開始温度150℃条件の結果を図3.1.4.5-1~3, スプレイ開始温 度300℃の結果を図3.1.4.5-4~6に示す。また, 各試験ケースにおける, 液滴計の計測結果を表 3.1.4.5-1, 図3.1.4.5-7~10に示す。本ケースの試験結果においてはベース条件と異なり, 2 相水位上昇による温度低下の直後に, TC1熱電対の温度が再び上昇し始める。これは試験開始時 の初期温度がベース条件より低いため, 2相水位の上昇が少なく, TC1(発熱有効長上端)の露出 が早まった可能性が考えられる。ベース条件と比較すると, 300℃到達時までの時間に大きな違 いは見られないが, ベース条件よりTC2が温度上昇を開始するまでの時間が早い。また, スプレ イ開始後の冷却時間に若干の違いが見られ, 初期温度の影響かスプレイ高さの違いかを検討す る必要がある。

(2) スプレイ流量1.0m³/h

ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度, 静水圧水位およびドレンタンク 水位時間変化について, スプレイ開始温度150℃条件の結果を図3.1.4.5-11~13, スプレイ開始 温度300℃の結果を図3.1.4.5-14~16に示す。また, 各試験ケースにおける, 液滴計の計測結果 を表3.1.4.5-2, 図3.1.4.5-17~20に示す。ヒータ表面最高温度, スプレイ液滴径に大きな変化 は見られない。

3.1.4.6 スプレイ噴霧様式の影響(Case 6)

ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度, 静水圧水位およびドレンタンク 水位時間変化について, スプレイ開始温度150℃条件の結果を図3.1.4.6-1~3, スプレイ開始温 度300℃の結果を図3.1.4.6-4~6に示す。また, 各試験ケースにおける, 液滴計の計測結果を表 3.1.4.6-1, 図3.1.4.6-7~8に示す。

スプレイ開始温度150℃と300℃両方において、一様スプレイに比べ冷却効果が弱い傾向にあ る。なお、集合体内への落水量は一様スプレイと大きな違いが無く、大きな影響はないと考え られる。両条件の違いとしては液滴径分布の違いが挙げられる。鋭角スプレイの方が、液滴径 0.5mm~3mm程度までなだらかに分布しており、また加熱時の平均液滴径変化量が小さい。これ は、鋭角ノズルの方がスプレイ液滴の界面積濃度が小さいことを示している可能性があり、ス プレイ噴霧への影響を含めて今後検討する必要がある。

3.1.4.7 スプレイノズル径方向位置の影響(Case 8, 9)

ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度, 静水圧水位およびドレンタンク 水位時間変化について, スプレイ開始温度150℃条件の結果を図3.1.4.7-1~3, スプレイ開始温 度300℃の結果を図3.1.4.7-4~6に示す。また, 各試験ケースにおける, 液滴計の計測結果を表 3.1.4.7-1, 図3.1.4.7-7~10に示す。

スプレイ開始温度150℃条件においては,初期温度の違いによりTC1の温度上昇時刻が異なる。 スプレイ噴霧後の傾向は,全体として冷却されにくい傾向にあり,大きな違いは見られない。 なお,Case8-1においては,TC1冷却後にTC2の温度が上昇し始め冷却の傾向が見られないことか ら,途中で試験を中断した。

300℃条件においても、初期温度の違いによりTC2の温度上昇時刻に違いが見られるが、スプレイ後は何れの試験条件においても冷却できず、試験上限温度を超えている。

3.1.4.8 試験部冷却水初期温度の影響(Case 10, 11)

ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度, 静水圧水位およびドレンタンク 水位時間変化について, 定格出力比1%条件の結果を図3.1.4.8-1~3, 定格出力比2%条件の結果 を図3.1.4.8-4~6, 定格出力比3%条件の結果を図3.1.4.8-7~9に示す。また, 各試験ケースに おける, 液滴計の計測結果を表3.1.4.8-1~3, 図3.1.4.8-10~15に示す。

初期水温の変化によって、ヒータ表面温度の軸方向分布に大きな違いが見られる。なお、ス プレイ噴霧後の冷却に関しては、大きな違いが見られない。

3.1.4.9 スプレイ水温の影響(Case 12)

(1) スプレイ流量0.2m³/h

ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度, 静水圧水位およびドレンタンク 水位時間変化について, スプレイ開始温度150℃条件の結果を図3.1.4.9-1~3, スプレイ開始温 度300℃の結果を図3.1.4.9-4~6に示す。また, 各試験ケースにおける, 液滴計の計測結果を表 3.1.4.9-1, 図3.1.4.9-7~8に示す。スプレイ開始温度150℃, 300℃両条件において, スプレイ 開始後の冷却挙動に大きな違いは見られない。

(2) スプレイ流量1.0m³/h

ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度, 静水圧水位およびドレンタンク 水位時間変化について, スプレイ開始温度150℃条件の結果を図3.1.4.5-9~11, スプレイ開始 温度300℃の結果を図3.1.4.9-12~14に示す。また, 各試験ケースにおける, 液滴計の計測結果 を表3.1.4.9-2, 図3.1.4.9-15~16に示す。スプレイ開始温度150℃条件においては, 初期温度 の違いによりTC1の温度上昇時刻が異なる。スプレイ開始温度150℃, 300℃両条件において, ス プレイ開始後の冷却挙動に大きな違いは見られない。

3.1.4.10 試験部冷却水初期水位の影響(Case 13, 14)

(1) スプレイ流量0.2m³/h,

ヒータロッド表面最高温度,チャンネルボックス内面温度,静水圧水位およびドレンタンク 水位時間変化について,スプレイ開始温度150℃条件の結果を図3.1.4.10-1~3,各試験ケース における液滴計の計測結果について,表3.1.4.10-1,図3.1.4.10-4~5に示す。また,定格出力 比を変えた条件における,スプレイ開始温度300℃の結果を図3.1.4.10-6~14に示す。また,各 試験ケースにおける,液滴計の計測結果を表3.1.4.10-2~4,図3.1.4.10-15~20に示す。

何れの条件においても、初期水位を下げるに従い試験部中央部に位置するヒータ表面熱電対 TC3~6の温度上昇が顕著となる。また、スプレイ開始後も中央部の熱電対は温度が下がる傾向 が見られず、試験上限温度に達している。

(2) スプレイ流量1.0m³/h

ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度, 静水圧水位およびドレンタンク 水位時間変化について, スプレイ開始温度150℃条件の結果を図3.1.4.10-21~23, スプレイ開 始温度300℃の結果を図3.1.4.10-24~26に示す。また, 各試験ケースにおける, 液滴計の計測 結果を表3.1.4.10-5~6, 図3.1.4.10-27~30に示す。

スプレイ流量1.0³/hとすることで,初期水位1.5m条件については冷却可能となっている。なお,初期水位1.0mについては,スプレイ流量0.2 m³/h条件と同様の傾向にあり,スプレイ開始後も中央部の熱電対は温度が下がる傾向が見られない。

3.1.4.11 上部タイプレート水力等価直径の影響(Case 15 ~ 18)

(1) スプレイ流量0.2m³/h

ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度, 静水圧水位およびドレンタンク 水位時間変化について, スプレイ開始温度150℃条件の結果を図3.1.4.11-1~3, スプレイ開始 温度300℃の結果を図3.1.4.11-4~6に示す。また, 各試験ケースにおける, 液滴計の計測結果 を表3.1.4.11-1~2, 図3.1.4.11-7~10に示す。

スプレイ開始温度150℃条件において,初期温度の違いによりTC1の温度上昇時刻が異なる。 なお,スプレイ噴霧後の冷却に関しては,大きな違いが見られない。

(2) スプレイ流量1.0m³/h

ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度, 静水圧水位およびドレンタンク 水位時間変化について, スプレイ開始温度150℃条件の結果を図3.1.4.11-11~13, スプレイ開 始温度300℃の結果を図3.1.4.11-14~16に示す。また, 各試験ケースにおける, 液滴計の計測 結果を表3.1.4.11-3~4, 図3.1.4.11-17~20に示す。

スプレイ流量0.2m³/h条件と同様、スプレイ噴霧後の冷却に関して大きな違いが見られない。

3.1.4.12 スペーサ肉厚の影響(Case 22)

(1) 初期水位2m, スプレイ流量0.2m³/h

ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度, 静水圧水位およびドレンタンク 水位時間変化について, スプレイ開始温度150℃条件の結果を図3.1.4.12-1~3, スプレイ開始 温度300℃の結果を図3.1.4.12-4~6に示す。また, 各試験ケースにおける, 液滴計の計測結果 を表3.1.4.12-1~2, 図3.1.4.12-7~8に示す。

スプレイ開始前後において、ベース条件との大きな違いは見られない。

(2) 初期水位2m, スプレイ流量1.0m³/h

ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度, 静水圧水位およびドレンタンク 水位時間変化について, スプレイ開始温度150℃条件の結果を図3.1.4.12-9~11, スプレイ開始 温度300℃の結果を図3.1.4.12-12~14に示す。また, 各試験ケースにおける, 液滴計の計測結 果を表3.1.4.12-3~4, 図3.1.4.12-15~16に示す。

スプレイ開始温度150℃条件において,初期温度の違いによりTC1の温度上昇時刻が異なる。 なお,スプレイ噴霧後の冷却に関しては,大きな違いが見られない。

(3) 初期水位1.0m, スプレイ流量0.2m³/h

肉厚0.2mmのスペーサを用い,水位1.0m,スプレイ流量0.2m³/h条件において出力を変化させ た際のヒータロッド表面最高温度,チャンネルボックス内面温度,静水圧水位およびドレンタ ンク水位時間変化の結果について,スプレイ開始温度150℃条件の結果を図3.1.4.12-17~19, スプレイ開始温度300℃の結果を図3.1.4.12-20~22に示す。また,各試験ケースにおける,液 滴計の計測結果を表3.1.4.12-5~6,図3.1.4.12-23~27に示す。

Case 14のスペーサ肉厚0.5mm条件と比較して、特に大きな変化は見られない。

(4) 初期水位1.0m, スプレイ流量1.0m³/h

肉厚0.2mmのスペーサを用い,水位1.0m,スプレイ流量1.0m³/h条件において,出力を変化さ せた際のヒータロッド表面最高温度,チャンネルボックス内面温度,静水圧水位およびドレン タンク水位時間変化について,スプレイ開始温度150℃条件の結果を図3.1.4.12-28~30,スプ レイ開始温度300℃の結果を図3.1.4.12-31~33に示す。また,各試験ケースにおける,液滴計 の計測結果を表3.1.4.12-7~8,図3.1.4.12-34~38に示す。

Case 14のスペーサ肉厚0.5mm条件と比較して、特に大きな変化は見られない。

3.1.4.13 LOCA試験(Case 26~28)

LOCA試験においては、スプレイ流量を1.0m³/hとして排水速度を小・中・大の3ケース変更した試験、小・中LOCA条件においてスプレイ流量を変更した試験、小LOCA条件においてスプレイ 開始温度を変更した試験を実施した。それぞれパラメータを変更した試験結果について示す。

(1) 排水速度の影響

ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度, 静水圧水位およびドレンタンク 水位時間変化の測定結果を図3.1.4.13-1~3に示す。これまでの試験結果と異なり, 試験体下部 の温度も上昇しており, 中・大LOCAの試験ケースにおいては, 中央より下のTC5~10の温度が低 下せず, 試験終了温度である200℃に到達している。これは, スプレイが試験体上部の冷却によ って蒸発することで, 試験体中央以下まで到達していないためと考えられる。なお, Case26-2 において試験初期に急激に試験体静水圧水位が低下しているが, 水位低下が遅いために2相水位 が上昇し, 模擬チャンネルボックスおよび模擬ラックより冷却水が溢れたためである。

各試験ケースにおける,液滴計の計測結果を表3.1.4.13-1,図3.1.4.13-4~6に示す。小LOCA は、その他試験ケースと同様に平均液滴径が減少する傾向にある。一方、大・中LOCAにおいて は液滴径が大きくなる傾向にあり、その他試験ケースと大きく異なる。大・中LOCAにおいては、 発熱有効長内の冷却水が排水されており、蒸気もしくは空気の加熱区間が長くなっていること が影響している可能性がある。

(2) スプレイ流量の影響

ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度, 静水圧水位およびドレンタンク 水位時間変化の測定結果について,小LOCAの結果を図3.1.4.13-7~9,中LOCAの結果を図 3.1.4.12-10~12に示す。小LOCA・中LOCAどちらの試験ケースにおいても, スプレイ後も温度上 昇が続き試験終了温度に到達しているが, スプレイ流量を増やすことにより冷却されるTCは増 加している。特に小LOCAにおいてはスプレイ流量が排水量を上回るため, スプレイ噴霧後は試 験体水位の低下が抑制されている。

各試験ケースにおける,液滴計の計測結果を表3.1.4.13-2,図3.1.4.5-13~14に示す。0.2m³/h 条件においては、小LOCAにおいても平均液滴径が増加傾向にある。

(3) スプレイ開始温度の影響

ヒータロッド表面最高温度, チャンネルボックス内面温度, 静水圧水位およびドレンタンク 水位時間変化の測定結果について,小LOCAの結果を図3.1.4.13-15~17に示す。なお, スプレイ 開始温度200℃の試験のみスプレイ後の傾向を見るため, PCT300℃に達するまで試験を継続して いる。スプレイ開始温度による,大きな違いは見られない。

各試験ケースにおける,液滴計の計測結果を表3.1.4.13-3,図3.1.4.13-18に示す。スプレイ に関しては,スプレイ開始温度の違いによる大きな違いは見られない。

3.1.4.14 軸方向温度分布,ボイド率

以下に示す試験ケースにおいて,スプレイ開始温度300℃条件における軸方向温度分布,ボイ ド率分布,ボイド率の時間変化を代表例として示す。

SCVSの測定データには、ノイズを除去するためにカットオフ周波数150Hzのローパスフィ ルタを施した。SCVSは図3.1.2-4に示すように上段、中段及び下段の3か所について測定してい る。また、図3.1.2-5のように、各断面において間隔を30mm空けて下流側ワイヤ対と上流側ワ イヤ対を張っており、ワイヤ - ロッド間は上流側と下流側とで測定位置が異なる。時間平均ボ イド分布を整理する際には、下流側断面での値を用い、下流側断面で測定できていない位置に ついては上流側断面での値を参照した。

また, ECVL1-10, 2-6, 2-9, 3-4については, 数値に変化が無く明らかに傾向が異なるため, グラフに記載していない。

(1) Case1-4(定格出力比2%, 初期水位2m, 初期水温95℃)

ボイド率の時間変化を図3.1.4.14-1に示す。また,軸方向温度とボイド率について,PCT100℃ 到達時の分布を図3.1.4.14-2~3,PCT200℃到達時の分布を図3.1.4.14-4~5,スプレイ開始前 の分布を図3.1.4.14-6~7に示す。

(2) Case10-3(定格出力比2%, 初期水位2m, 初期水温30℃)

ボイド率の時間変化を図3.1.4.14-8に示す。また,軸方向温度とボイド率について, PCT200℃

到達時の分布を図3.1.4.14-9~10に示す。なお、本試験条件のみ測定時の誤操作により、ECVLのデータが測定できていない。

(3) Case11-3(定格出力比2%, 初期水位2m, 初期水温60℃)

ボイド率の時間変化を図3.1.4.14-11に示す。また,軸方向温度とボイド率について,PCT200℃ 到達時の分布を図3.1.4.14-12~13, スプレイ開始前の分布を図3.1.4.14-14~15に示す。

(4) Case13-4(定格出力比2%, 初期水位1.5m, 初期水温95℃)

ボイド率の時間変化を図3.1.4.14-16に示す。また,軸方向温度とボイド率について,PCT100℃ 到達時の分布を図3.1.4.14-17~18, スプレイ開始前の分布を図3.1.4.14-19~20に示す。

(5) Case14-4(定格出力比2%, 初期水位1m, 初期水温95℃)

ボイド率の時間変化を図3.1.4.14-21に示す。また,軸方向温度とボイド率について,PCT100℃ 到達時の分布を図3.1.4.14-22~23, スプレイ開始前の分布を図3.1.4.14-24~25に示す。

(6) Case22a-4(定格出力比3%,初期水位2m,初期水温95℃,スペーサ肉厚0.3mm)

ボイド率の時間変化を図3.1.4.14-26に示す。なお、本試験ケース実施前にSCVSセンサ1つに おいて、繰り返し昇降温による熱負荷により発生したと思われる亀裂が確認されたため、最上 段のSCVS1を取外して試験を実施した。このため、SCVS1のデータは取得していない。軸方向温 度とボイド率について、PCT100℃到達時の分布を図3.1.4.14-27~28、PCT200℃到達時の分布を 図3.1.4.14-29~30、スプレイ開始前の分布を図3.1.4.14-31~32に示す。

なお、付録2に記載したSCVSの測定データを基に気相速度の算出を検討したが、相関係数のピ ークが不明瞭、もしくは多数のピーク値が発生し、平均気相速度の特定が困難であった。この 原因としては、本試験条件のボイド率が高いことから気泡や気塊の代表径分布幅が大きく、気 相速度が異なるために複数の相関値ピークが生じる、もしくは流動変動が大きく相関が取り難 い可能性が考えられる。データの詳細な分析や、二値化や気泡通過時間ごとの相関係数算出な どのデータ処理方法について検討する必要があり、次年度に実施する。

3.1.4.15 試験結果まとめ

スプレイ冷却の定量的効果の評価に活用するための実験データ取得を目的とし、各種パラメ ータを変更した試験を実施した。本試験において確認された、各パラメータによるスプレイ冷 却への影響を3.1.4.15-1にまとめた。

スプレイ流量,バンドル出力,初期水位が特にスプレイ冷却に大きな影響を及ぼす。また, スプレイ液滴径,スプレイ噴霧様式によって,スプレイ冷却に違いが見られた。その他のパラ メータを変化させた試験においては,スプレイ冷却効果に大きな違いは見られなかった。なお, 一部試験条件においては,試験開始時の軸方向温度に違いが生じており,結果へ影響している 可能性がある。

3.1.5 データ評価方針

平成29年度事業では、4体バンドル体系スプレイ流量分配試験に加え、単バンドル体系熱伝達 試験も実施するようになった。

そのため、本年度は各試験ケースに対して取得したデータの整理までを行うが、次年度には4 体バンドル体系スプレイ流量分配試験で得られたデータに加え、本年度/次年度の単バンドル 体系熱伝達試験で得られたデータ全体を俯瞰したデータ分析を行う予定である。

以下、データ分析に先立つ、主な試験パラメータについての評価方針を示す。

3.1.5.1 2 相流挙動

(1) ボイド率分布

ボイド率分布として整理するのは,静電容量計の計測結果による軸方向ボイド率分布及び各 SCVSによるサブチャンネルボイド率分布の2種類である。

a)断面平均軸方向ボイド率分布

静電容量計の計測結果に基づき、断面平均の軸方向ボイド率分布を整理する必要があるが、 各段の計測に時間差(1段目と10段目で約100秒の時間差)があり、流動状態の変化をどう考慮 するかが課題となる。

また、2相水位が上下に振動するため、軸方向のボイド率分布は三つの領域に分かれるものと 推測される。つまり、2相水位上端より上の噴霧流領域、2相水位の振動(変動)範囲内の領域、 及び2相水位下端より下側の自然循環(3次元)2相流領域である。データ分析に先立ち、静電容 量計により得られた軸方向のボイド率分布特特性、特に軸方向高さに対するボイド率の増加傾 向の特徴の相違から、この三つの領域を識別し、区別する必要がある。

計測信号の周波数特性を分析し整理することも検討する。上記の三つの領域における周波数 特性は異なると考えられるため、周波数特性上の違いの整理を検討する。逆に、周波数特性の 相違から領域の分割又は特定の静電容量計の計測信号がどちらの領域に含まれるかの決定に結 び付けることができる可能性がある。

b)サブチャンネルボイド率分布

水面より下方に設置された個々のSCVSの結果を時間積分して整理し、断面内サブチャンネル ボイド率分布として整理する。a)の検討結果に基づいて、2相推移上端より上の噴霧流領域、2 相水位変動領域、通常の2相流領域内のうち、どの分布に属するかを判定する。

また、サブチャンネルごとのボイド率変化の周波数特性、気泡移動速度などの情報を整理も 検討する。このとき、2相水位に近い高さの断面内では、集合体中央部に蒸気相の発達状態(気 隗、液相ブリッジ)が確認できる可能性がある。また、チャンネルボックスに近い集合体外周 部では液相が下向きに流れると想定されることから、気泡移動速度も、巨大気泡が形成される 集合体中央部と液相が下向きに流れる外周部とで有意な差が生じるものと思われ、これが観測 されれば、CFDコードのvalidation用に有益な情報となることが期待できる。また、このような 情報はCFDコードのvalidation用だけでなく、システム解析コードに組み込むモデルを開発する ためにも重要である。 なお,SCVSの結果を断面内で空間積分して,静電容量計により得られた断面平均ボイド率分 布と一致することを確認しておくことが重要である。

(2) 2相水位

2相水位にかかわる情報は3.1.5.1 (1) a)の検討結果から得られるが,2相水位の平均値(平 均水位)及び水位変動幅を評価する。ただし,水位変動に有意な上下非対称性がみとめられる 場合には,上方及び下方への変動幅を個々に示す必要がある。また,ボイド率変動の周波数特 性も貴重なデータとなるので,2相水位挙動と関連付けての整理も検討する。

なお,2相水位の変動幅の評価に当たり,その変動範囲に熱電対が含まれている場合には,熱 電対による温度の変動データも2相水位の挙動の評価,把握などに活用する。

3.1.5.2 燃料被覆管壁面熱伝達特性

(1) スプレイなし状態

熱伝達係数の主要な評価対象は,熱電対による計測温度が有意に上昇した燃料被覆管の部位 である。2相水位より下方の2相流中の熱伝達係数は参考評価とする。

燃料被覆管壁面熱伝達特性(熱伝達係数)の評価を行うに当たり,チャンネルボックスから の熱流出や輻射の影響をどのように扱うか等,各種仮定を行わなければならない。

2相水位より上の領域の熱伝達係数を求めることは逆問題であるため,評価体系の簡略化を行 う必要がある。例えば,輻射を無視した上で,被覆管表面温度とヒータロッドの発熱体,絶縁 材などの内部素材部の温度をすべて同一として,集中乗数系の熱伝達方程式を解く。参考とし て,この解法を用いて,ヒータロッドの素材はすべてSUS材とし,被覆管表面温度は着目するヒ ータロッドの熱電対による計測温度,流体温度は同じ軸方向位置の非加熱ロッド熱電対による 計測温度として,Case 1-4 (スプレイ開始温度300℃)における900秒付近でのホットロッド最 上段位置の熱電対位置 (8TC1)の熱伝達係数を求めた結果,50~80W/m²Kであった。これは,熱 伝達係数は流路の形状等依存するものの,一般的に,自然対流状態では10~20 W/m²K程度,強 制対流状態では100 W/m²K程度以上であることを考えると,強制対流状態に近い値である。

このようにして得られた熱伝達係数を,時間依存の被覆管温度変化のグラフに重ね合わせて, 時間依存の熱伝達係数の変化の傾向を評価する。

また,2相水位より下方における熱伝達係数の評価では,蒸気発生に用いられた熱量を(バンドル出力)-(チャンネルボックス外への流出熱量),2相部の蒸気発生に用いられる熱伝達は, 各ロッドにおいて均一と仮定して算出する。

(2) スプレイあり状態

スプレイあり状態の場合も,被覆管表面の熱伝達係数の整理ついては,スプレイなし状態の 場合と同様である。

加えて,燃料棒ごと,軸方向高さごとのクェンチ時刻を整理し,上方からのクェンチの進展 速度を評価したうえで,クェンチ部の位置(燃料棒ごとの相違を含む)及び燃料被覆管温度と の関係を整理する。

3.1.5.3 CCFL 条件

CCFL及びそのbreakが観察された場合には、そのときの燃料被覆管温度の分布を示すとともに、 スプレイ流量と、加熱部最下端からのコラプスト水位と集合体熱出力との積(集合体出口蒸気 流量の近似指標)との関係を整理する。ただし、このスプレイ流量は、模擬燃料集合体の上部 に流入する流量のことであり、試験データに従って評価して整理に用いる。

3.1.5.4 3 次元流速場及び液滴径の分布

3次元流速場及び液滴径については,燃料集合体の上端,すなわち上部タイプレートの近傍領 域を主体に測定し,流速場については3次元データ,液滴径については各位置における液滴径の 頻度分布として整理して報告する。

なお、液滴径についてはスプレイ流量が小さい時のCCFL条件に関係する指標となる場合があ るので、CCFL条件を評価する場合には、これを併せて報告するとともに、必要に応じてその関 係を論じる。

3.2 試験装置の改造

平成29年度に実施する多バンドル(2×2バンドル相当)条件下でのスプレイ流量配分試験の 準備のため、平成27年度に製作した7行7列の正方格子縮小バンドル用の試験装置を改造した。

3.2.1 試験体部容器及びスプレイ筒最下部容器の設計

試験体部容器は、平成27年度に製作した7行7列の正方格子のチャンネルボックス及び模擬ラックと水平断面内のそれぞれの外壁面のサイズが同一の模擬バンドル、模擬ラックなどから構成される構造物を1単位として、4単位の模擬燃料容器を2×2の格子上に配置した構造とした。

模擬燃料集合体,模擬チャンネルボックス及びラックの主要寸法・仕様を表3.2.1-1に示す。 また,スプレイ流量配分試験装置のP&IDを図3.2.1-1に示す。

(1) 上部タイプレート

模擬燃料棒の上端を整列支持する上部タイプレートは1段とした。

気液対向流制限に対する感度を系統的に評価するため,流路面積などを3種類変更したものを 製作した。なお、上部タイプレートはステンレス製とし、形状及び寸法は平成27年度製作した 単バンドル試験装置の当該部材と同一設計とした。

製作した上部タイプレートを図3.2.1(1)-1に示す。また、グリッド部分の概略図を図 3.2.1(1)-2示す。

(2) スペーサ

模擬燃料棒を整列支持するスペーサの軸方向段数は1段とし,平成27年度製作の単バンドル試験に用いた肉厚0.5mm(ベース条件)のものを再利用している。

構造としては、フロータブ、バスタブなどの特殊なfluidic deviceがない単純形状のサイド バンド1式,及び冷却水連通口,ばね部などのない単純な筒状の丸セル型の燃料棒支持構造物か ら構成される簡素な構成である。なお、平成28年度同様、模擬燃料棒を保持するディンプル部 はセラミック製ボールを装着した。

製作したスペーサを図3.2.1(2)-1に、概略図を図3.2.1(2)-2に示す。

(3) 下部タイプレート

模擬燃料棒の下端を整列支持する下部タイプレートは1段とした。

下部タイプレートはステンレス製とし、チャンネルボックス内に流入した冷却水を模擬燃料 集合体内に流す通水孔と4本の脚を設けている。

製作した下部タイプレートを図3.2.1(3)-1に、概略図を図3.2.1(3)-2示す。

(4) 模擬燃料集合体

模擬燃料集合体は、上部タイプレート、7行7列の正方格子を構成する47本の実燃料と同等の 径をもつ模擬燃料棒、スペーサ、下部タイプレートからなる。なお、模擬燃料集合体の高さは 実機BWR燃料のスペーサ1枚を挟む上部2スパン相当の1.25mとした。

製作した模擬燃料集合体を図3.2.1(4)-1に示す。

(5) 試験体部容器(模擬チャンネルボックス及び模擬ラックを含む)

試験体部容器は4種類の構造物から形成され,最上部容器には燃料ラックを模擬した四角筒を 設け,内部に模擬チャンネルボックス及び模擬チャンネルボックスを固定するための中間フラ ンジがある。最下部容器は内部を4部屋に仕切り,部屋ごとに蒸気または空気を流入させるた めのノズルとドレンタンクへ接続されるノズルを設けている。

製作した試験体部容器組立体を図3.2.1(5)-1, 試験体部容器組立体の概略を図3.2.1(5)-2, 試験体部容器組込み順番の説明図を図3.2.1(5)-3に示す。

(6) スプレイ筒最下部容器

模擬燃料集合体を4体分装着するため、スプレイ筒の最下部容器のみを新規に製作し、上部 側のスプレイ筒は平成27年度に製作したものを流用することとした。

スプレイ筒の最下部容器の変更点としては、模擬燃料集合体を2×2の格子状に挿入・配置で きる構造とした。また、模擬燃料集合体4体それぞれに流入させる蒸気又は空気の流量を多様に 変化させ、この領域でのスプレイ水の流況を確認する必要があるため、観察用窓を従来の横方 向(90°-270°)に加え、斜め方向(135°-315°)に追加し、2方向から計測を可能とした。

製作したスプレイ筒最下部容器を図3.2.1(6)-1に、概略図を図3.2.1(6)-2に示す。

(7) 試験体部容器及びスプレイ筒最下部容器の耐圧試験

試験体部容器及びスプレイ筒最下部容器の耐圧試験を実施した。耐圧試験では、試験体部容器とスプレイ筒最下部容器を装着、起立した状態にて水頭圧による耐圧試験を実施し、水漏れのないことを確認した。耐圧試験の様子を図3.2.1(7)-1に示す。

3.2.2 スーパーヒータの設計・製作

模擬バンドルへ流入するガス(蒸気流、空気流又は両者の混合ガス)を過熱蒸気または過熱

空気とするため、試験部への入り口直上流側にスーパーヒータを設けた。

スーパーヒータはシェル型・縦型の構造,100A×2500Hのサイズである。能力は1基あたり18 kW,常温~150℃の範囲で温度調整できる設計とした。製作台数は4基とし,各バンドルのガス 量は個々に測定,以下の流量にて調整が可能である。

・蒸気流量: 23.5~282kg/h (×4バンドル)

(模擬燃料集合体1体あたりの最大出力は定格出力の最大4%相当)

・空気流量: 29.1~388kg/h (×4バンドル)

製作したスーパーヒータを図3.2.2-1及び図3.2.2-2に示す。

3.2.3 ドレンタンクの設計・製作

模擬燃料容器ごとに,上部タイプレート部からチャンネルボックス内側の領域内に落下した スプレイ水流量を計測するため,ドレンタンクを4基製作した。容器サイズはφ318×H2900の縦 長の形状,水位計測誤差を小さくなるよう設計している。スプレイ水流量は,差圧式水位計を 用いて計測する。

製作したドレンタンクを図3.2.3-1に示す。

3.2.4 各容器の設置

製作した各容器の設置状況を図3.2.4-1から図3.2.4-4,試験体の挿入状況を図3.2.4-5から 図3.2.4-11,制御盤設置状況を図3.2.4-12に示す。

3.3 外部評価委員会の開催

学識経験者1名,専門家2名から構成される外部評価委員会を設置し,平成28年9月5日,平成 28年12月12日及び平成29年2月23日の計3回,外部評価委員会会合を開催し,事業実施内容等へ の評価,助言等を受けた。

以下,外部評価委員会の議事を示す。

(1) 第1回外部評価委員会(平成28年9月5日)

平成27年度事業成果,並びに平成28年度事業の実施内容,試験マトリックス及び計測方法概要を説明し,外部委員による評価を実施した。また,平成28年度事業に用いる試験装置の視察及びPTV/SCVS計測のデモンストレーションを行った。

試験装置・体系に関しては,試験容器とダウンカマ容器をつないだまま試験を実施した場合, マノメータ振動発生により,ダウンカマ水位のふるまい次第で試験チャンネルの冷却特性に影響があるため,連通弁開閉の影響も確認してみるとよい等の意見が出された。

試験パラメータに関しては,試験ケース数が非常に膨大であるため,試験体出力,試験体に 流入する際のスプレイ水の温度等,着目する現象への試験パラメータ毎の重要度を再整理し, 試験ケース数を限定するのもよいとの意見が出された。また,スプレイノズルを交換して再度 取り付ける際,スプレイ液滴の流況が以前と同じであることを予め確認する手順があればよい との意見が出された。なお、CCFL条件を探すために長時間スプレイすると、試験容器内冷却材の状況が時々刻々と変わり、どの試験条件でのCCFL条件であるか不明となることも考えられるため注意すべきとの意見も出された。

また,計測方法のうち,SCVSの計測信号に整流器のリップルノイズが付加される件への対処 方法に関して,ノイズ除去に係る助言を得た。

(2) 第2回外部評価委員会(平成28年12月12日)

平成28年度事業の実施内容,試験マトリックス及び試験結果(中間報告)について説明し, 外部委員による評価を実施した。試験結果に関しては測定時の動画及び測定データ(ヒータ表 面温度,水位,スプレイ流量)の時系列データを説明し,外部委員より興味深いデータが得ら れているとの講評を頂いた。また、試験ケースを当初の案から一部変更することについて説明 し了解を得た。主な質疑は以下のとおり。

スプレイ液滴について、一様ノズルではスプレイ流量0.2m3/hと1m3/hでほぼ同サイズの球状 の液滴が得られている一方で、鋭角ノズルのスプレイ液滴では細長い形状の液滴が見られてい ることについて質問があり、細長い形状の液滴は2つ以上の液滴が衝突して連結された液滴であ り、これは鋭角ノズルだけでなく、一様ノズルでも見られていることを回答した。

スプレイにおいて、上部タイプレートに水が溜まるというMAAP解析での仮定は見られている か質問があり、内部を可視できないがヒータ表面温度のモニタリング状況からはスプレイ液滴 が上部タイプレートに衝突した後、ヒータ表面を伝う流下液膜となっていると考えていること を回答した。

試験開始後に温度が上昇しその後温度が低下する現象及び温度再上昇過程で約150℃で温度 が低下する現象について質問があり、試験開始時に露出している部分は温度が上昇するが、そ の後ボイドの発生により2相水位が上昇して冷却水に浸かるためであること及び2相水位の揺動 が関係している可能性があり、2相水位のデータと組合せて検討することとした。本件について は試験の再現性の観点でも重要であり、検討することとした。

(3) 第3回外部評価委員会(平成29年2月23日)

平成28年度事業の試験結果,主要データの評価方法及び多バンドル流量配分試験容器の製作 進捗について説明し,外部委員による評価を実施した。試験結果に関してはヒータ表面温度, 差圧計及び静電容量計によるボイド率,並びに水位及びスプレイ液滴径・分布のデータを説明 し,外部委員長より整合性の高いデータが得られているとの講評を頂いた。また,測定データ の評価方法の方針について説明し了解を得た。

主な質疑は以下のとおり。

出力2%及び3%の試験では,有効長上端以上の2相水位が形成されているにも関わらず燃料棒 最高温度が上昇する理由について質問があり,温度が上昇しているのはホットロッドなどの一 部の燃料棒だけであり,サブチャンネル単位でボイド率が異なる可能性があると回答した。

出力1%の試験のヒートアップ過程において,最上段よりも上から3段目の熱電対位置での温度 が高い理由について質問があり,温度上昇速度に着目すれば両者は同程度であり,最上段では 沸騰による水の付着等の理由により温度上昇開始が遅れた可能性があるとの意見があった。NFI からは,最上段熱電対位置と有効長上端の位置関係の影響もありうるとの見解を示した。 次年度実施予定の多バンドル試験体系のスプレイ開始条件について質問があり、上部タイプ レートまたはスプレイ筒の温度変化が定常状態になった時が一つの目安と考えると回答した。 多バンドル試験では着目する領域がスプレイ筒になるため、壁面凝縮やガスの組成による影響 に留意する必要があるとのコメントを得た。

4 まとめ

SFPが大量の冷却材を喪失する重大事故時に、スプレイによるSFP内の使用済燃料の冷却特性 についての技術的知見を精緻化し、スプレイ冷却の定量的効果の評価に活用するための実験デ ータの取得を目的とし、平成27年度原子力施設等防災対策等委託費(使用済み燃料貯蔵プール 冷却試験)事業の下で設計・製作した単バンドル用の実験装置を用いて、スプレイ熱伝達実験 を実施してスプレイ冷却特性等の定量化のための実験データを取得し、データの整理を行った。

また,次年度に実施予定の4体模擬燃料集合体体系の下でのスプレイ流量配分実験のために当 該実験装置の改造を実施し,試運転により動作確認を行った。

表 2.2.1-1 SFP 冷却試験の基本仕様

項目	内容	備考
	実験装置本体容器(模擬燃料集合体(ヒータロッド, 非加熱ロッド,スペーサ,上部タイプレートなど),	フィットサルズに対けノデレート
装置構成	模擬チャンネルボックス,模擬ラック),実験装置 上部容器,プール水タンク,計測系,制御系,冷却	へ、 の形状:3種類
	水供給ポンプ,予熱器,水抜き配管,弁,スプレイ など	スプレイも3種類
	熱電対(16 本のロッド及びチャンネルボックスの	
	それぞれに軸方向に 10 段程度設置),水位計,サ	
計測機器	ブチャンネルボイド率計, サブチャンネルボイド率	
	計などのボイド率計,及びシャドウ法/PTV 液滴	
	径・流速計,2相水位測定機器	
	• 上力条件:大気上	
	 ・	被覆管温度を監視し,急激な
実験条件	 ・	酸化等の反応が生じる温度
	 冷却水温度・常温~373K 	以下で実験条件を設定する。
	 初期水位: BAF~TAF の範囲内 	
		BWR 条件の場合,水面より上の
佐動法体	冷却水側は純水又は純水相当の水,	インチャンネル内では,蒸気流か 支配的である可能性が高いが,特
作助流冲	水面より上は空気及び発生した蒸気の混合流体	にスプレイ水による冷却時には 上部タイプレートからの空気の 下降流が想定される。
	 発熱レベル:崩壊熱相当(3レベル) 	
	 容器外に流出(喪失)する冷却水流量(= 喪 	
	失模擬冷却水流量):3レベル。最大で,水位	the full is write which is a state of
	低下率相当値として原子炉のLBLOCA 相当	BWR条件で発熱レベルが低
	 ・	い場合には,集合体内で蒸気
実験	・ ハノレイ加重: 茂大俣擬巾却小の加重をハノレ イ 単独で相独できるレベル	孤が相保りる 5 次九派的な 送動が生じる可能性がある
パラメータ	 スプレイ開始時刻の遅れ。 	学動が上しる可能性がある ので、留音し、必要に応じて、
	 スプレイ設定位置: 	実験パラメータに反映する
	• 軸方向:集合体上端から 0.5~5 m の高さ	こと。
	• 横方向オフセット:0~上部容器幅の半分	
	までのオフセット	
	 初期水位: BAF~TAF の範囲内(3 レベル) 	
	• 2相水位(集合体内外)	可能であれば,上部タイプレ
計測項目	• 冷却水内ボイド率	ート近傍の上下方向の媒質
	• 断面内及び軸方向の分布,軸方向の気泡移	流速についての横方向断面

動速度(可能なら)	内分布データを取得する。
 スプレイ 	
• 流量,液滴径分布,分散角度,濃度分布,	燃料被覆管温度は,集合体横
速度分布, 集合体内への落水量の配分又は	方向断面内の空間依存性に
複数集合体への3次元的分配挙動など	も着目して整理し,集合体内
• 燃料被覆管温度	の3次元流れの効果,液滴冷
 プール水温度及び集合体内流体温度 	却, Top down quench などの
	燃料棒位置依存性を把握す
	る。

表 2.2.2-1 SFP 冷却実験(2×2 バンドル)の基本仕様

項目	内容	備考
装置構成	実験装置本体容器(模擬燃料集合体(上部タイプレ ートなど),模擬チャンネルボックス,模擬ラック), 実験装置上部容器,計測系,制御系,冷却水供給ポ ンプ,予熱器,水抜き配管,弁,スプレイなど	上部タイプレートの形状:3種類 スプレイも3種類
計測機器	熱電対(ガス温度分布の測定用)及びシャドウ法 /PTV 液滴径・流速計	必要十分な計測を実現でき るものであれば,他の計測機 器等の使用,設置等も可。 必要に応じて高速度ビデオ カメラなどを考慮。
実験条件	 ・ 圧力条件:大気圧 ・ ガス流量レベル:崩壊熱レベルでの蒸気蒸発量 及び空気(SFP水位なし)の自然循環流量に相 当するレベル ・ ガス温度:常温~423K 	ガス温度の上限については, 可能な範囲での上限値(ただ し 373K 以上)であることが 望ましい。
作動流体	ガス:蒸気,空気又は両者の混合ガス スプレイ水:常温の純水又は純水相当の水	
実験 パラメータ	 ガス流量レベル:崩壊熱レベルでの蒸気蒸発量 及び空気(SFP水位なし)の自然循環流量に相 当するレベル(4体平均として3レベル) 模擬燃料容器ごとのガス流量分布(10~20パ ターン程度) ガス温度:常温~423K スプレイ流量:喪失模擬冷却水の流量をスプレ イ単独で相殺できるレベル スプレイ設定位置: 軸方向:模擬燃料容器上端から0.5~5mの 高さ 横方向オフセット:0~上部容器幅の半分 までのオフセット 	
計測項目	 スプレイ 流量,液滴径分布,分散角度,濃度分布, 速度分布,集合体内への落水量の配分又は 複数集合体への3次元的分配挙動,など ガス温度分布(模擬燃料集合体の内外,同集合 体より上部の空間内など) 	可能であれば,上部タイプレ ート近傍の上下方向の媒質 流速についての横方向断面 内分布データを取得する。

表 3.1.1-1 試験ケース選定に先立ち作成した重要度ランキングテーブル (1/4)

被覆管温度は空気中の酸化,燃焼等が生じない 500℃ より小さいものとする。また,圧力は大気圧近傍,集合体入口の冷却水温度は30~100℃とす

											想定す	「る現象	及びそ	の重	試験で知見を充足する必要性については, 最高ランキングがHの場合, 知見レベルが2以 要度に関しては, LOCA試験を除いて(準)定常実験であることを考慮し, スプレイ水注入後の水位の
	試験モード (大規模損壊事象における時間領域に相当)	水位あり (実機:非定常,試験:定常)					水位なし (実機:非定常,試 験:定常)			となる)		< 度 。 。 。 。 。 。	Ì		
			スプレイなし			スプレイあり		^{スプレイ} スプレイ		ありに		の 充 第 4 段		必要性	
物理 領域	現象 (着色セルは試験における操作パラメータ)	FoM = PCT	FoM = 臨界可能性	FoM = 2相水位	FoM = PCT	FoM = 集合体への落水量の割合	FoM = PCT	FoM = PCT	FoM = 集合体への落水量の割合	LOCA(実機srPの場合、左側の各列の最 FoM = PCT	最高ランキング	現象をモデル化する上での知見(数値が大きいほど充実すが高い	SFP試験で取り扱える現ま	SFP試験で知見を拡充するが	備 考
	燃料タイプ	М	М	М	М	Н	М	М	Н	М	Н	4	0	×	集合体への落水量については、上部タイプレート等の構造上の相違を考慮して Hとした。
	ブルトニウム富化度(濃度)(核特性及び崩壊熱への影響を除く)	М	L	M	М	M	M	М	M	M	M	3	×	×	富化度については、スクラム後10 ⁴ s後付近の時刻で崩壊熱に生じる相違を考慮してランク付け
	pin-by-pin出刀(乂はLPF) 被覆傍裏面の塗れ性(カラッドは美±影響)	н	L		H	M	H	H	M	н	H	2	0 V		試験においては、ビータビン出力の径方向分布を111ターン設定
				<u> </u>	<u> </u>	+- <u>-</u> -	<u>-</u>	<u>-</u>	<u> </u>		·				
	ヘレット内径方回発熱密度分布(燃焼度依存)	L	L	L.	ļ. L	L	L	L	L	L	L	2	×	×	
	ペレット・被覆管内熱伝導(伝熱遅れを含む)	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	3	×	×	熱伝導遅れは、密度、熱容量などに依存する
	い一度、 燃焼度、 小日ンフィ、 ソム序で、 酸に 勝序で 低仕 サノーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーー	L.	L	L	† _	† Γ	L	L	L	L	 L	2	×	×	 ギャップコンダクタンス. PCMI等に影響
	クラッド付着による熱抵抗	L	L	L	Ĺ	L	L	L	L	L	L	2	×	×	
		L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	3	×	×	
	燃料棒軸方向熱伝導	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	4	×	×	
	水ーZr反応(被覆管の内面及び外面)(BWR2のLBLOCAのみH)	Ι	I	L	I	L	I	Ι	L	I	L	3	×	×	
	被覆管の初期酸化膜厚さ	L	<u> </u>	Ļ.L.	L	L	L	L	<u> </u>	L	L	2	×	×	
林	被覆管高温酸化量 (又は ECR)		L.	L.	ļL	ĻĻ	L	L.	L.	L	L	3	×		perforation等で被覆管に貫通損傷が生じた場合には、内面酸化の考慮も必要(SAFERでも対応済
然	燃料棒内圧	L	L	L	<u>L</u>	L	L	L	L	L	L	3	×	×	
-	被覆管のperforation (rupture)	L.	L	L.	<u>↓</u> <u>∟</u>	L	L	<u> </u>	L.	L	L	2	X	×	外面水素化割れを含む
		<u>-</u>	<u>↓ </u>	┢╌└╴	<u>↓ </u>	↓ L	<u>L</u>	L.	<u>μ</u>	L		1	×	×	塑性金み又は全金みに関する制限値にかかわる
	被復官変形(膨れ,コフノス, 囲かり)	<u>-</u>	<u>↓ </u>	┝╌┝╴	<u>↓</u> ⊢	<u> </u>		L	÷		<u>L</u>	2	×	×	燃料棒曲かりに影響
			╆┅┢┅	╆╍┾╍	ᢤᡣᡛᡣ	╆┅┾┅			$\frac{1}{2}$		·	2		÷	
	へレットからキャック部等へのFPカス放山 			┢╌┝╌		+	 			L	 	2	- Â	÷	温度のト見枝林(樗林酒) 内頂たじにトス執温添添さの判阻の影響 カニッパたじのけぎにトス教
	122日/2227日 		$\frac{1}{1}$	╋╍╦╍					<u>.</u>	1VI				÷	□□反び上升付は、1月は項1,内子なといよる認及返床での削取の影音,アノットなどの11月による認 □□ Pが干洗配置にある燃料集合体を取り扱う場合は要注音
	ロビルス旅行作()ロジは進売旅行作) 部分長帙判壊(陸接帙判壊がPIP・干洗配置)	<u>-</u>	<u>-</u>		┢╌┝╸	+	+ <u>-</u>	<u>-</u>		<u>-</u>	<u>-</u>			÷	
	<u> 日27 区前111年(時135旅行11年775-11,29日</u>) 燃料	 -		<u></u>			<u>+</u>	<u>-</u>	+	<u>-</u>		3	- Â	Tî.	ーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーー
1	<u>ペレット中心温度又はペレット溶融</u>	1	1	†			†		<u>+</u>			3	×	1 x	
	ビータピン蓄積熱及び熱伝導上の慣性		† i	$\frac{1}{1}$	<u>†</u>	T	\uparrow			<u>î</u>		4	×	×	
	<u>ニー・ニー 間内((()) () () () () () () () () () () () (</u>	м	Ľ	† Ľ	м	<u>t</u>	M	м	Ľ	M	M	4	×	×	
		L		†	M	μĒ	L	M	Ē	M	M	2	×	×	
	崩壊熱(ヒータピン発熱レベル)	Н	Н	н	Н	Н	Н	н	н	Н	Н	4	0	×	

下。最高ランキングがMの場合,知見レベルが1の場合のみとし 増加,プール水のサブクール度の増加などを想定しないものとつ	た。 する
	~~~~
ī <i></i> λ)	
	~~~~
热抵抗	
S別して取り扱うべき Single Participation Single Partinity Single Participation Single Participation	
	~~~~
./140	
### 表 3.1.1-1 試験ケース選定に先立ち作成した重要度ランキングテーブル (2/4)

#### 燃料被覆管温度は空気中の酸化,燃焼等が生じない 500℃ より小さいものとする。また,圧力は大気圧近傍,集合体入口の冷却水温度は30~100℃とする。

	試験モード (大規模損壊事象における時間領域に相当)		水位あり (実機:非定常,試験:定常)						。 常, 試 )	<b>クと</b> なる)		実度 段階)			
		ス	プレイ	なし	スプI	レイあり	スプレイ なし	スプレ	ィあり	高いて		もあっ	豢	必要位	
物理 領域	現象 (着色セルは試験における操作パラメータ)	FoM = PCT	FoM = 臨界可能性	FoM = 2相水位	FoM = PCT	FoM = 集合体への落水量の割合	FoM = PCT	FoM = PCT	FoM = 集合体への落水量の割合	LOCA(実機SFPの場合、左側の各列の最 FoM = PCT	最高ランキング	現象をモデル化する上での知見 (数値が大きいほど充実度が高い	SFP試験で取り扱える現	SFP試験で知見を拡充する	備考
	減速材密度反応度	L	Н	L	L	L	L	L	L	L	Н	2	0	0	
	減速材温度反応度(インチャンネル、アウトチャンネルで独立に温度変化)	L	L	L.	L	L	L	L	L	L	L	3	×	×	
	ドップラ反応度	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	3	0	×	
	チャンネルーバイパス間水位差	I	Н	н	L	L	L	L	L	L	Н	2	0	0	
	チャンネルーバイパス間冷却材温度差	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	3	×	×	
	動特性パラメータ(遅発中性子生成割合、即発中性子寿命)	L	L	I	L	L	L	L	L	L	L	4	×	×	
	炉心及び燃料のサイクル設計	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	4	×	×	
	集合体間の出カレベル及び軸方向出力分布の相違	Ι	I	1	I	М	I	I	М	Ι	М	3	0	×	4体バンドル試験の対象。ただし、4体試験では、軸方向出力分布の相違は捉えられない。
	軸方向出力分布	Н	М	М	н	L.	Н	н	L	Н	Н	2	×	0	試験では一様発熱分布を設定
	集合体内非均一(核)	<u> </u>	L	<u> </u>	I	<u> </u>	I	I	I	Ι	L	2	×	×	pin単位の出力分布とは異なる現象として取り扱う。ただし、SFP中の燃料集合体では再臨界問題
Г	集合体間非均一(核)	I	Н	L.	<u>I</u>	I	I	<u> </u>	I	I	Н	2	0	0	キャスク間でチャンネルーバイバス間水位差が異なる場合も含む
<i>7</i> р	被覆管壁面摩擦(单相,2相)	L	L	L.	L	L	L	L		L	L	3	. ×	×	
Ķ	気液界面せん断力(相間摩擦)	Н	н	н	Н	L	L	н		H	H	2	0	0	試験では、2相水位及びボイド率の計測を通じて間接的に影響を確認
+	気液界面熱伝達(ボイド凝縮)	Н	Н	H	н	L	<u>I</u>	<u>I</u>	<u>I</u>	Н	Н	2	<u>.</u> 0	0	試験では、2相水位及びボイド率の計測を通じて間接的に影響を確認
ë	気液界面熱伝達(フラッシンク)	I	I	I	<u> </u>	I	I	I	I	I	<u>    I</u>	3	×	×	
マ	気液が回熱伝達(ノール水内での蒸発)	<u>-</u>	L.	<u>∔</u>		ĻĻ	<u>L</u>		<u>ــــــــــــــــــــــــــــــــــــ</u>			2	0	×	武康では、2相水位及びホイト率の計測を通じて間接的に影響を確認するか、影響は極めて小さい
して、	気液芥面熱伝達(スノレイ液滴の蒸発)	· · · · ·		<u>   </u>	м		<u>-</u>	M	<u> </u>	M	M		×	0	局 過 烈度の 雰囲気 カム 中での 蒸発。 液滴径, 液滴径, カム 温度などに 依仔
<b>以</b> 2	然风分년	1	1	<u> </u>	L.	<u>                                      </u>	<u>i</u>	M	ļ!		M		×		
推		н	н	н	н		<u>-</u>	·	<u> </u>	н	н		0	<u> </u>	武験では、2相水位及びホイト率の計測を通じて間接的に影響を確認
5	NVG(USV) 開始品	M	M	M	M		<u> </u>	<u> </u>		M	M		0	0	武鞅では、ホイト率の計測を通しし间接的に影響を確認。縦縮Nu数へ一人で取り扱えるかどうか…
A A	リントオノ丸氾住		IVI	IVI	IVI	+				IVI	IVI	2			試験では、ハイト半の計測を通して间接的に影響を確認。凝縮NU数と音体案件との関係の把握が
+	11212月里ノ に対応に使っ の 年均の 厄左	<u>.</u>	} <u>-</u>	<u></u>	<u>}</u> ⊢.	·	···	<u> </u>	<u>.</u>	<u></u>		1		÷	計除でけ デノビ変の計測に通じて関位的に影響な変効
* *	<u>仏然回辺方、の丸心の濡て</u> 与勾離昭国波教	···			<u>}</u>	+	····;			····				÷	<u>記歌では、ハイトキの計測を通して目抜けに影音を唯認</u> 熱流声が小さいので、従来の実験データの範囲内
酸」	<u>メルビールの数</u> 油味技态店			<u> </u>			I	T		 I				Û	<u>然ルネが小さいので、化本の実験)ークの範囲内</u> 熱法すが小さいので、従来の実験データの範囲内
た	/亦腐化血及 进滕気沟成具速度 又け growth force	· ¹	<u>-</u>	<u> </u>		+ <u>-</u>		<u>-</u>	 T	·····	<del></del>	1		- ŵ	<u>然派末が小といのと、従木の大歌) シの毛西内</u> 執法古が小さいので 影響け小さい
	行動面近座の温度倍界層厚さ	<del>Г</del>	м	м	M		···· <del>:</del>	<u>-</u>	1	<u>⊢</u> М	м	2	0	×	試験では、ボイド來の計測を通じて間接的に影響を確認 凝縮Nu数と合体条件との関係の把握が
	1436回21500/1123571175C ミクロ海暲茶発 伝熱面クェンチに伴う渦渡熱伝道	1				<del>.</del>	<del>:</del>	<u>-</u>	 T			···· <del>2</del> ···· 2	0		<u>  内心板では、ハイドキの前別を通じて同時に設置さ粧能。派遣で成立て</u>
	<u>に対応に、ため、は、は、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、</u>	^L	M	M	M	1		i i		ä I	<del>-</del> M	1	- Ŭ		
Ŧ	伝熱面近傍の気泡合体		м	н	м		<u>-</u>	 1	I	<u>-</u> M	H	1	Ö	0	試験では、ボイド率の計測を通じて間接的に影響を確認
E C	2相流流動様式及び/又は界面積濃度輸送	Н	м	м	Н	····-	1	T	I	Н	H	2	0	0	試験では 2相水位及びボイド率の計測を通じて間接的に影響を確認
05	液滴流に対する界面積濃度輸送	L	I	I	м	L	 I	м	Ľ	М	м	2	0	×	試験では、燃料被覆管温度の測定を通じて間接的に影響を確認
	スペーサの影響: 流動様式変化, 横方向結合巨大気泡の生成, クロスフローの阻害・促進	M	М	М	М	L	I	I	I	M	M	1	0	0	試験では、ボイド率の計測を通じて間接的に影響を確認
	 単相流壁面熱伝達(強制対流及び自然対流)	Н	I	I	М	L	Н	М	L	Н	Н	4	Ō	×	試験では、燃料被覆管温度の測定を通じて間接的に影響を確認
	単相流壁面熱伝達(管群効果)	L	I	I	L	L	М	L	L	М	М	3	0	×	試験では、燃料被覆管温度の測定を通じて間接的に影響を確認
	核沸騰壁面熱伝達(強制対流及び自然対流)	L	L	L	L	L	I	I	I	L	L	3	×	×	
	サブクール沸騰壁面熱伝達(強制対流及び自然対流)	М	М	М	М	L	I	I	I	М	М	3	×	×	
	噴霧流壁面熱伝達(強制対流,低流速時を含む)	L	I	I	Н	М	I	Н	М	Н	Н	2	0	0	試験では、燃料被覆管温度の測定を通じて間接的に影響を確認。なお、PCTが500Cで制限されることから
	沸騰様式の遷移	L	L	L	L	L	I	I	I	L	L	2	×	×	
	極低流速自然対流壁面熱伝達	L	I	I	I	I	М	I	I	L	М	2	×	×	水位が低い場合の蒸気流速又は空気冷却の場合に有意
	過渡壁面熱伝達(酸化の進行)	I	I	I	I	I	I	I	I	Ι	Ι	2	×	×	被覆管温度の上限を500Cとしている
	スペーサによる除熱・伝熱促進(直接及び流動を介した間接,界面熱伝達の促進も含む)	L	I	I	L	I	L	L	I	L	L	2	×	×	スペーサには熱電対を設置していない

)増加,	同 ノンマ プール7	ンク かMの 水のサブク·	ール度の	増加など	を想定し	合のみとした <u>ないものとす</u>	-。 -る
の場合	において	ても重要で	ない。				
\							
<u>`</u>							
、 、 							
、 ·。 ·必要。							
· ·。 ·必要。							
<u>。</u> 必要。							
·。 必要。 必要。							
·。 必要。 必要。							
·。 必要。 必要。							
· <u>·</u> 必要。 ···································							
··。 ·· ·· ·· ·· ·· ·· ·· ·· ·· ·· ·· ··	······································	ト及び水面	からのエン			の影響は小さ	
·。 必要。 · · · · · · · ·	······································	ト及び水面:	からのエン		·····································	の影響は小さ	

### 表 3.1.1-1 試験ケース選定に先立ち作成した重要度ランキングテーブル (3/4)

#### 燃料被覆管温度は空気中の酸化,燃焼等が生じない 500℃ より小さいものとする。また,圧力は大気圧近傍,集合体入口の冷却水温度は30~100℃とする。

試験で知見を充足する必要性については、最高ランキングがHの場合、知見レベルが2以下 想定する現象及びその重要度に関しては、LOCA試験を除いて(準)定常実験であることを考慮し、スプレイ水注入後の水位の2

											心たり	る近家	<u> </u>	い 生 3	安反に関しては、LOOA試験を除いて(牛)と市天歌でのることを分慮し、ハノレイホ圧入後の水位の
	試験モード (大規模損壊事象における時間領域に相当)	水位あり (実機:非定常,試験:定常)					水位なし (実機:非定常,試 験:定常)				度 階)	L			
		 ג	プレイ	なし	スプレ	レイあり	スプレイ なし	スプレ	ィあり	と高ランクと		の充実 。全4段	\$	必要性	
物理 領域	現象 (着色セルは試験における操作パラメータ)	FoM = PCT	FoM = 臨界可能性	FoM = 2相水位	FoM = PCT	FoM = 集合体への落水量の割合	FoM = PCT FoM = PCT FoM = 集合体への落水量の割合		LOCA (実機srPの場合, 左側の各列の最 FoM = PCT	最高ランキング	い言がすまた、まい毛大池前楼) 現後のアユる すいルビチネ像が高い	SFP試験で取り扱える現	SFP試験で知見を拡充する/	備考	
	スペーサ部のリウェット(スプレイ液滴,流下液膜による濡れを含む)	L	I	I	н	I	L	Н	I	Н	Н	1	0	0	燃料被覆管温度への影響は上下方向には10~20cm, 隣接ロッドに対しては1層分程度に限られる。試験で
	スペーサによる液滴分裂促進 スペーサによるディポジション促進効果(液滴・液塊)	<u>L</u>	I	I	L.	I	L I		I	<u>L</u>	L	2	× . ×	× ×	低流速のため, ほとんど影響はないものと思われる 低流速のため, ほとんど影響はないものと思われる
	スペーサによるディポジション促進効果の流れ方向分布	L	I	I	L	I	L	L	I	L	= L	2	×	×	低流速のため、ほとんど影響はないものと思われる
	スペーサ内及びスペーサ直後流領域での液膜保持	L	I	I	L.	I	L	L	Ι	L	L	2	×	×	低流速のため、ほとんど影響はないものと思われる
	スペーサによる流路の縮小・拡大による気泡合体の促進 スペーサの位置ずれ	L M	LL.	M	L	I	I 	I	I	L М	M M	1	O ×	0 ×	特に低圧のブール水条件下では、スペーサが巨大気泡の形成を促進(スペーサセル高さ内で流速 ドライアウト及びリウェット特性に対する影響大
	輻射熱伝達	L	I	I	L	I	L	L	I	L	L	3	×	×	崩壊熱レベルの発熱量かつ600~800℃を超える温度で有意。この試験では被覆管温度の上限/
	スプレー液滴による冷却(噴霧流熱伝達+液滴蒸発なので、最終的には要削除)	Ι	I	I	М	М	Ι	М	М	М	М	3	0	. ×	トップダウンクェンチ 又は 高温過熱蒸気中での液滴蒸発による蒸気冷却。試験では、燃料被覆管
	液膜冷却(強制対流蒸発/Post-BT後の液膜再進展/流下液膜による冷却) - 	<u>I</u>	I I		M	M	<u>I</u> 	M	M	<u>М</u> Т	M	2	×	× ×	トッフタウンクェンチによる液膜冷却。試験では、燃料被復管温度の測定を通じて間接的に影響を低
	非加熱壁面への蒸気凝縮及び/又は液滴付着	I	I	I	L	L	<u>i</u>	L	L	L	<u>i</u>	2	×	×	
	複数チャンネル効果(流量配分,定常及び過渡)	I	I	I	М	М	I	М	М	М	М	3	0	×	スプレイありでの各FoMについては落水量率の差に起因。
てて	複数チャンネル効果(2相水位の相違) 集合体内3次元ポイド率公布 準定堂	. I M	M	I H	L M	L	I 1	I	I	<u></u>	M	2	0	× ×	臨界可能性については2相水位の差に起因。スプレイありでの各FoMについては発生蒸気量の差1 時間平均2流休堤其礎式などで樽擬されスポイド挙動「試験でけ」ポイド率の計測を通じて間接的1
Х Х	<u>**ロド1382227(1)**231</u> 集合体内横流れ(熱流動) - 準定常	L	L	L	I	I	<u>i</u>	I	I	L	L	2	×	×	時間平均2流体場基礎式などで模擬される流速場。
Ŧ	集合体断面平均-瞬時的な軸方向1次元過渡ボイド挙動	М	L	L	L	I	I	Ι	I	М	М	2	0	×	時間平均2流体場基礎式などでは模擬できない瞬時的な軸方向1次元ボイド挙動。水面の搖動に影響。試
40	集合体内3次元ー瞬時的な過渡ボイド挙動(断面平均からの偏差) 集合体内3次元→瞬時的な過渡ボイド挙動(断面平均からの偏差)	<u>L</u>	L	M	<u>L</u>	I	<u>I</u>	I	I	<u>L</u>	M	2	<u>. 0</u>	. ×	時間平均2流体場基礎式などでは模擬できない瞬時的な集合体内3次元ポイド挙動。水面の搖動及び集合体外周部の液相流速に影響。試験 集合は中国如本のワナーを治った日に採起された宣声の流し日本、月田如本の法知のて欧法なし
通	<u>朱白体内3次元熱流動(アール水部)一燃料棒の除熱</u> 集合体内3次元熱流動(雰囲気部)ー燃料棒の除熱	L	I	I	M	M	M	M	M	<u>L</u>	M	 1	×	Ô	末ロ1247月回1250日、スパピのノエチーに防止された回述の次上チョル。 21月回2002代1101日1002代1101日のの次になった。 水位がある場合、集合体内周部での蒸気上昇流、外周部での蒸気又は空気(スプレイありの場合は液を含む)の下降流。水位がない場合、タ
及び	自然循環流量(空気流)	I	I	I	I	I	Н	М	М	I	Н	1	0	0	高温ロッド、低温チャンネルボックスに誘起される3次元的な自然循環空気流の知見は乏しい。まして、スプレイ水との相互作用が知わる場合にはなおさら。また、落水量割合につし
お	蒸気流量(蒸発による)	Н	I	<u> </u>	М	М	I	I	I	Н	Н	4		×	
, Х	燃料の露出 山ウェット・クェンチ失端(燃料 基素面)	H	M	I	H	<u>I</u>	<u>I</u>	<u>I</u>	I	H	H	3	0	×	"燃料の露出"とは、液水による冷却から気相による冷却に移ることをいう。 「ハップダウンクテンチ(流下漆瞳による)、試験でけ、燃料被覆管理度の測定を通じて閉接的に影響。
++++	リウェット・クェンチ先端(チャンネルボックス)	<u>1</u> I	I	I	L	L	I	L	L	L	L	2	0	×	トップダウンクエンチ(流下液膜による)であるが、燃料棒より先に生じるので上部タイプレートからの
然料	リウェット・クェンチ(blowdown)	I	I	I	I	I	I	I	I	L	L	2	0	×	blowdown過程ではBTしないと考えられる
た感	リウェット・クェンチ(bottom/reflood)	<u>I</u>	I	I	I	I	<u>I</u>	I	I	I	I	2	×	×	
ちち	リウェット・クエンナ(top/spray) 隣接燃料棒によるリウェット・クェンチ・BT特性への影響	 T			M	M I	I	H	M 	H M	H M	2	0	X	
副	冷壁効果(集合体内)	 L	I	I	M	M	i L	М	М	M	M	2	0	×	 チャンネルボックス及びウォータロッド(ウォータボックス)の壁面が該当する
置し	燃料被覆管への液滴ディポジション	М	I	I	Н	М	I	Н	М	Н	Н	2	0	0	試験では,燃料被覆管温度の測定を通じて間接的に影響を確認
뮾	チャンネルーバイパス間熱伝達	L	I	I	M	M		М	M	M	M	3	0	×	チャンネルボックス温度の計測値から、チャンネルボックス-キャスク内壁間の冷却水又はガスの激
SFI	WR煭水力特性 集合体圧損(廢擦)	<u>L</u>	<u>L</u>	<u>↓       </u>	<u> </u>	<u>L</u>	<u>I</u>	I	I	<u>L</u>	L	2	×	× ×	
	集合体圧損(局所)	Ë L	L	L	L	L	Ë L	L	 L	È L	L	2	×	×	
	集合体圧損(加速)	L	L	L	L	L	L	L	L	М	М	3	×	×	
		M	M	н	M	L	M	M	L	<u>M</u>	H	2	0	0	SFP内燃料の2相水位及びギャップ部水位を支配
	CCFL(UTP)ー 受人液滴と上昇刀入流との相互作用 CCFL(UTP)ー 形成された滞留水層の一部又は全体の落水	<u>1</u>		+	н Н	H		M	H	M H	н ц		0	0	人ノレイ水流重か小さい場合に発生(官群効果を含む) 通常のCCEIメカニズム、スプレイ水流量が大きい場合に発生(管理効果及び滞留水層下面での蒸
	CCFL(スペーサ)	I	I	I	L	I	I	L	Ι	L	L	3	×	×	
	過熱蒸気の温度	Н	I	I	Н	М	Н	н	М	Н	н	2	0	0	チャンネルボックスに配置された熱電対により、部分的にデータ取得可能
		H	H		H	M		<u>I</u>	I ,	H	H	2	0	0	
	と111/11(小山×は液ヘブン)の活動・振動   水面からエントレインされた液滴又は液塊による燃料棒の除熱	M					 I			M	M		×	0	19년7、191こへ丸にご知有。母枢小迷足か迷いよると、小囬版期は瑁加りる侯悚 代替注水時のように再冠水速度が極めて遅い場合の実験的知見が欠落
	ボトムリフラッド時のクェンチ部近傍からのエントレイン	I	i	i	1	I	i	I	I	I	I	2	×	×	
	集合体内流路閉塞 及び これに伴う横流れ	I	I	I	I	I	I	Ι	I	I	Ι	1	×	×	FFRD, ホットロッドの膨れ・曲りなどによる流路閉塞。試験では, 被覆管温度の上限を 500Cとしてし
	入口サフクーリング(集合体入口冷却水温度)	М	M	М	М	} L	Ι	I	Ι	М	М	1	×	0	影響を受ける現象(従属現象)としては,2相水位,ボイド率分布,位置圧損などがある

下。最高ランキングがMの場合、知見レベルが1の場合のみとした。 D増加、プール水のサブクール度の増加などを想定しないものとする
では、燃料被覆管温度の測定を通じて間接的に影響を確認
唐増加後、セル出ロ以降の減速過程で合体を促進)
か ⁵ 500C
温度の測定を通して同接的に影響を確認 確認
に起因して落水量率に影響。
に影響を確認
、験では、2相水位及びボイド率の計測を通じて間接的に影響を確認 酸では、2相水位、ボイド率及び気相速度の計測を通じて間接的に影響を確認
ビ_。 外周期での空気 (スプレイありの場合は渉を含む)下陸造を会む3次元流れ
いては、落水により自然循環が阻害されることで空気流量の影響が低下するため、Mとした。
を確認 2落水量の分布に影響を及ぼす可能性がある
温度を仮定することでそれなりの推定は可能
素気凝縮効果を含む) 
いることからこの現象の発生けたい
・ しーこと シーマンジャネマンロー 10/00

表 3.1.1-1 試験ケース選定に先立ち作成した重要度ランキングテーブル (4/4)

燃料被覆管温度は空気中の酸化,燃焼等が生じない 500℃ より小さいものとする。また,圧力は大気圧近傍,集合体入口の冷却水温度は30~100℃とする。

r	<u></u>	1					1				想定す	る現象	及びそ	の重要	要度に関しては、LOCA試験を除いて(準)定常実験であることを考慮し、スプレイ水注入後の水位の増加				
	試験モード (大規模損壊事象における時間領域に相当)	水位あり (実機:非定常,試験:定常)					(実	水位なし (実機:非定常,試 験:定常)		となる)		尾度 (略)							
		スプレイなし				レイあり	スプレイ なし	スプレ	レイあり	景高ランク		1の充実 、全4段	豢	必要性					
物理 領域	現象 (着色セルは試験における操作パラメータ)	FoM = PCT	FoM = 臨界可能性	FoM = 臨界可能性 FoM = 2相水位 FoM = PCT		FoM = 集合体への落水量の割合	FoM = PCT	FoM = PCT	FoM = 集合体への落水量の割合	、 LOCA(実機SFPの場合, 左側の各列の焉 FoM = PCT	最高ランキング	現象をモデル化する上での知見(教値が大きいほどをままが高い	SFP試験で取り扱える現	SFP試験で知見を拡充する	備考				
	界面せん断力(気相ー液滴間の相間摩擦)	Ι	I	I	М	М	I	М	М	М	М	2	×	×	噴流崩壊,液滴径,液滴速度,液滴拡散,3次元流れ,ひいては集合体への落水量などに影響				
	気液界面熱伝達(液滴などのスプレイ水への蒸気凝縮)	Ι	I	<u>I</u>	М	М	. I	М	М	М	М	3	×	×	液滴径,3次元流れ,ひいては集合体への落水量などに影響				
	気液界面熱伝達(液滴の蒸発)	<u>I</u>	I	<u> </u>	M	M	I	M	M	M	M	2	×	X	高過熱度の雰囲気ガス中でガス温度に依存して生じ、液滴径、3次元流れ、ひいては集合体への落水				
	3次元流れ(空気+液滴又は空気+蒸気+液滴)		÷ · · ·	+	M	M		М	M	M	M	1		0	スフレイ波滴のない場合は考慮する必要なし				
	ス相乱流及びUIPからの上昇流との相互作用による液滴拡散 軍声	····.	÷		H	H		H	н	Н	H M	2	<u> </u>		エジリングトナビを放きます。Caracing the instance エジリングのもながまエジリトのものプリングが必要				
	が回復辰度制区()次周宗先/ 燃料キャスクト面におけろスプレイ流の質量流声	· <u>1</u>	+ <u>+</u>	· + · · + · ·	IVI H		· · · · · · ·	H	IVI	H	IVI H	1	<u>.</u>		モノリング工は比較的重要。Grossing-trajectoryモノルなどの乱加加取モノルとのパラフリング加必要				
	燃料キャスクト面におけるスプレイ液滴径	<del>-</del>	T T	T T	H	м	T T	Н	м	н	н		0	0					
	燃料キャスク上面におけるスプレイ液滴の速度	I	I	I	Н	м	I	н	М	H	H	2	0	0					
TAFより上方	スプレイ流の到達(横方向)距離・水平断面内分布(気中)	I	I	I	Н	м	I	н	М	Н	Н	2	Ō	0					
の雰囲気部	ノズルからの噴流の崩壊長さ	I	I	I	М	L	I	М	L	М	М	3	×	×	放水砲とスプレイとの相違(放水砲では重要)				
⊽(+	ノズル噴流同士の相互作用	I	I	I	М	L	I	М	L	М	М	3	×	×	放水砲とスプレイとの相違(放水砲では重要)				
~16	液滴間相互作用(合体, 分裂)	I	Ι	I	М	М	I	М	М	М	М	2	×	×					
試験装置にお	蒸気分圧	<u>    I                                </u>	I	I	М	М	. I	L	L	М	М	2	×	×	液滴蒸発及び蒸気凝縮に影響。局所的な蒸気分圧に現象が支配されるのであれば、重要度はH。ただ				
ける上部容器	輻射熱伝達   時天見は時天  よな天ま2次時。の英気般的	<u>I</u>	I		<u>  I</u>	<u>  I</u>		<u>    </u>	I I	<u>I</u>	I	3	×	×	500C以下の温度条件が前提であるため、雰囲気部又は上部容器部のおける輻射熱伝達は重要でない				
内	壁面又は壁面上を流下する液膜への蒸気炭縮			+ + + + + + + + + + + + + + + + + + + +	<u></u> 	+		+ + + + + + + + + + + + + + + + + + + +	+			2		×	壁面とは、美媛のノール壁又は試験装直の上部谷कの側壁を表す。なら、可視化のためには阻害要P 陸声レけ、実機のプール陸又は試験装置の上部容異の側壁を表す。なら、可視化のためには阻害要P				
	<u> </u>	···· ¹			<u>}</u>	+	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	+			· · · · · ·	· · · · 2	÷.		<u>室田とは、天依のフール室又は試験表直の上部谷都の側室で取り。なら、可优化のにのには阻害安に</u> 膝面とは、実機のプール腔又は試験装置の上部突架の側膝を実す。なら、可視化のためには限実更用				
	至回ニの加下及族	·		· • · · · • · · ·	<del>.</del>	····ት··	+ <u>+</u>	+	<u></u>	·		2			至四こは、大阪のシール至大はは武家友世のエル合語の関王でなり。ない、円元にのパにの川にの川には四古女ビ 実施では始後ままでも時間に使える気化と見ての支持が小さいとに時間にもよったり、水平の時代においたも、対象にててゴレンがまたもつかいよる場合には				
	構造材蓄積熱量(試験装置に固有な現象)	·:	I	1	μ	1 L	<u>i</u>	L	L.	L	<del></del> L	2	×	×	来版くもの教教員とも、美国に数字も文化モニチルの加速が小さいエに美国にイヤベンとの小王は無が小さい。483、加数にてベンジー 単置さりノビノドラも場合には 率場SEPでは実慮する必要な1 左記のランキングは試験装置に対してのみであり 装置外面において断勢処理が十分になされていることを前提月している。断勢が				
	スプレイノズル形状(口径, 拡がり角など)	I	I	I	М	Н	I	М	Н	M	Н	2	0	0	影響を受ける現象(従属現象)としては、液滴径、スプレイ流質量流束、液滴速度など				
	スプレイ設置高さ	I	I	I	М	М	I	М	М	М	М	1	0	0	影響を受ける現象(従属現象)としては、液滴径、スプレイ流質量流束、液滴速度など				
	スプレイオフセット	I	I	I	М	Н	Ι	М	н	М	Н	1	0	0	影響を受ける現象(従属現象)としては、液滴の横方向速度など				
	スプレイ水温度	I	I	I	М	L	I	М	L	М	М	1	0	0	影響を受ける現象(従属現象)としては、液滴の蒸発、液滴径、液滴速度、噴霧流熱伝達など				
	スプレイ流量	Ι	Ι	I	Н	М	Ι	н	М	М	Н	2	0	0	影響を受ける現象(従属現象)としては、スプレイ流質量流束、液滴径、液滴速度、噴流間の相互作用、				
	燃料キャスクの配置パターン	H	н	L	H	M	H	н	М	H	. <u>H</u>	2	×	0					
SEDプ_11.7k	複数のスプレイノズルからの注水流の相互干渉	I	I	I	М	M	I	М	М	М	М	1	. ×	0					
全体	ブール内でのキャスク配置位置の相違によるスプレイ水条件の差	I	I	I	H	M	I	. Н	М	H	. Н		. ×	0	<u>落水量割合, 質量流束, 液滴径, 液滴速度, 液滴温度, 液滴侵入角など</u>				
	集合体頂部に落水しないスフレイ水のフール底部への苦頓による集合体内水位の再形成及び苦頓過程などでの蒸気冷却 フープローノンカレーミチェコントな、スッシャニンスカン(市国国会カロ)		ļ.		M		I .	M		M	M	· · · · ·	×	0	大規模預壊部の局さ及び口径にも依存する				
又は	人ノレイ派に誘起される3次元流れ(芬囲丸部) キャスク中ロ部からのガス時法の電田与の関内での2次一法を		$\frac{1}{1}$	+	M	M		M	M	M	M				かちや却の退合には、キャスク山口からの言泪ガスが電田生ガスト泪合後、毎週法トたってキャスクト				
计时发生	イマスクロロ市からのガス噴加の分囲丸三間内での3次ルルル		÷	+									÷ 	- V					
武駅表直回 有の特徴によ	<u>マスノンのルキャンフェックアンフロア/</u> 索囲気温度	 	T	1	м	M	<u>-</u>	M	м	M	м	1	- î	Ô	TTへノルロックットニットアレースコンドリア 2007-1000 (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997) (1997-1997-1997) (1997-1997-1997) (1997-1997-1997) (1997-1997-1997) (1997-1997-1997-1997) (1997-1997-1997-1997-1997) (1997-1997-1997-1997-1997-1997-1997-1997				
る実機との差	<u>パーーの</u> プール水の温度成層化	M	М	М	M	L	I	I	I	M	M	3	×	×	大規模損壊によるブール水流出箇所が下部にあり、流出量と相まって全量流出までに要する時間がブール水表面を高温化した雰囲気ガスが昇温するに十分である場合には、温度成層化				
異		М	М	М	М	L	I	I	I	М	М	2	×	×	"水位あり"のケースは流出量が小さいほど重要度が高まる。流出量が小さい場合又は流出が中途の水位レベルで止まる場合には、				
( ビナ こ ∔ ≣+ #▲	大規模損壊時に発生する亀裂又は孔の位置,高さ,口径,数,分布など	М	М	М	М	L	I	I	I	М	М	2	×	×	同上				
、C ららも試験 では模擬でき	大規模損壊に起因する過渡現象と試験で想定する定常条件との相違の影響	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	2	×	×	今後の検討項目であり、要検討。				
ない)	大規模損壊に起因して生じる別の現象(火災、可燃性ガス、火山灰等の堆積、雨水の侵入等による水質劣化など)	М	М	М	М	М	М	М	М	М	М	2	×	×	今後の検討項目であり, 要検討。				
	キャスク内に注水できなかたスプレイ水が計量槽に溜められ、"ブール水"インベントリの増加に寄与しないことの影響	I	<u> </u>	<u></u>	ļL		I	М	М	M	M	2	×	×	計量槽に溜められる冷却水は、実機の場合、他のキャスクに幾割かが注水され、(蒸発分を除く)残りがブール底部に到達する。空気冷却のケースでブール水位が上				
	スプレイ位置などの相違によるスケーリング効果(スケール柔み)	I	: I	: T	M	M	I I	M	M	M	M	1 1		$\cap$	会後の検討項目であけ 亜検討				

最高ランキングがMの場合, 知見レベルが1の場合のみとした。 □、プール水のサブクール度の増加などを想定しないものとする
量などに影響
 要かも。
ごし、液滴移動速度、蒸気流速などに依存 い。試験条件では更に低いので重要度を1とするのが妥当。
因となる。
因となる。
、影響が有意となる可能性もあるので、慎重にデータを分析する必要がある。 が不十分な場合には、ランキングを高める必要がある。特に水付ありの場合。
,雰囲気部3次元流れなど
S部から集合体部に流入する可能性がある
ロバン う来 ロード・ロハート パント ア のう れらし エン の の の の する。 たたし、 横方向流れによる機械力がキャスクに及ぼす影響は想定外とする。
とが生じる。さらに、水位が十分に低下した場合には、成層化した高温水がキャスクに流入する可能性がある。
Hとしてよい。逆に、瞬時全量流出の場合の重要度は L又は I となる。
上昇して、集合体内への空気の流入をブラグする場合には、重要度がHとなる。

表 3.1.1-2 試験ケース

			上部タイプレート	スペーサ	スプレイノズル	スプレイ液滴径	スプレイ高さ	スプレイオフセット	水位レベル/流出量	出力レベル	冷却水温度	空気流量	スプレイ水温度	スプレイ流量	目標温度			ケー	ス名	
	試験No.	ケース	1 2 3 5471 5472 5473	1 2 3 05mm 08mm 03mm	1 2 3	① ② ③ 3mm 1mm 5mm	1 2 3 3m 05m 5m	① ② ③ 0mm 100mm 200mm	1 2 3 4 5 6 7 2m 15m 1m 0m 10CA110CA2 ±10CA	1 2 3	1 2 2 30°C 60°C 95°C	1 2 3	① ② 30°C 60°C	1 2 3 02 10 CCEL	150 300	2相流挙動測定	150°C	実施	300°C	実施
		1	0							0			0	0.2 1.0 0012	2	0	1-1-150	0	1-1-300	0
			0	<u> </u>	<u> </u>	0	0	<u> </u>	0		С			0	2	<u> </u>	1-1-130	0	1-1-300	0
		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		1-2-150	0	1-2-300	0
		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2	0	1-4-150	0	1-4-300	0
		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		1-5-150	0	1-5-300	0
		-	-	~		~	-		~	~			-		-					-
	1	ба	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0.1					1-6a-300	0
		6b	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0.4	1				1-6b-300	0
		6c	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0.6	1				1-6c-300	0
			<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>	~	~			<u> </u>		<u> </u>	1 7 150	0	1 7 000	<u> </u>
		/	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	2	0	1-7-150	0	1-7-300	0
		8	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		1-8-150	0	1-8-300	0
		9	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	1					
		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		2-4-150	0	2-4-200	0
	2	4	0		0	0	0	0	0	0	U			0	Z		2-4-150	0	2-4-300	0
		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		2-5-150	0	2-5-300	0
		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		3-4-150	0	3-4-300	0
	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		3-5-150	0	3-5-300	0
		ů	-	-	<u> </u>	-	-				Ű			-	-		0 0 100	Ű	0 0 000	Ŭ
	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2					
		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2					
		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2					
	5				-	0	0		0		-		~	~						
		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2					
	c	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		6-1-150	0	6-1-300	0
	o	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2					
		1	0		0	0	0	0	0				0	0	2		6a-1-150	0	6a=1-300	0
	6a						0			0	0			9	2		04-1-150	0	04-1-300	
		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		6a-2-150	0	6a-2-300	0
[		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		7-1-150	0	7-1-300	0
	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		7-2-150	0	7-2-300	0
		-	-	-	-	-					<u> </u>			~	-				. 2 000	<u> </u>
	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		8-1-150	0	8-1-300	0
	-	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2					
		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		9-1-150	0	9-1-300	0
	9		-			~	~		-					-	-			•		
		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2					
		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	1	0			10-1-300	0
*	10	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	1				10-3-300	0
気		-	-	-	-	-	-	-		-	-		-	-		0			10 5 000	-
冷		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0		0			10-5-300	0
試		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	1	0			11-1-300	0
験	11	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	1				11-3-300	0
		F				0	<u> </u>	<u> </u>	0		_			0	4	0			11-5-200	0
		5	U	0	0	0	0	0		<u> </u>	U U		0	0		U			11-3-300	0
	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		12-1-150	0	12-1-300	0
	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		12-2-150	0	12-2-300	0
		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2	0			13-1-300	0
			-	-	, C	-	-		-	- -	, i i i i i i i i i i i i i i i i i i i		Ŭ.		~	, ,				-
	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2	0	13-4-150	0	13-4-300	0
		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		13-5-150	0	13-5-300	0
		7	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2	0			13-7-300	0
		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2	0			14-1-200	0
			0	0	U U	0	0	0	0	<u> </u>	<u> </u>		0	0	2	U			14-1-300	0
	14	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2	0	14-4-150	0	14-4-300	0
		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		14-5-150	0	14-5-300	0
		7	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2	0			14-7-300	0
			C C							<u> </u>			0	0			15 4 450	C	15 4 000	6
	15	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		15-4-150	0	15-4-300	0
		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		15-5-150	0	15-5-300	0
[		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		18-4-150	0	18-4-300	0
	18	5	0	0	0	0	0	0	0	0	<u> </u>		0	0	2		18-5-150	0	18-5-300	0
			5		~	-	~	~	~		5			ý l			10 0 100	<u> </u>		5
	22a	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2	0	22a-4-150	0	22a-4-300	0
		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		22a-5-150	0	22a-5-300	0
1		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2	0	22-1-150	0	22-1-300	0
														C			00.0.450	0	00.0.000	0
		2	0	0		0	0	0	0		0		0	0	2		22-2-150	0	22-2-300	0
	22	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2	0	22-4-150	0	22-4-300	0
	22	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		22-5-150	0	22-5-300	0
		7	0		0	0	0	0	0				0	0	2		22-7-150		22-7-200	0
			0		J. J			J. J	<u> </u>	0	9				2	0	22 7 100		22 ,-300	
L		8	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		22-8-150		22-8-300	0
		4	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	2		23-4-150		23-4-300	
	23	5	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	2		23-5-150		23-5-300	
F										-		-		0			04.4.45		04 4 005	
	24	4	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	2		24-4-150		24-4-300	
		5	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	2		24-5-150		24-5-300	
[		4	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	2		25-4-150		25-4-300	
	25	5	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	2		25-5-150		25=5-300	
$\vdash$									U U			0			2		20 0 100		20 0 000	
	26	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		26-1-150	0	26-1-300	0
Ō		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		26-2-150	0	26-2-300	
c		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	2		27-1-150	0	27-1-300	
A 試	27		-	-							-						97.0.150	-	97.0.000	
験		Z	U	0	U	U	U	U	0	0	Ŭ		0	U	z		2/-2-150	U	27-2-300	
	28	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	1		28-1-150	0		

	試験部(集合体入口から上部容器上端まで)	約 9.26 m
币	集合体部全長	約4 52 m (4520)
垩	(集合体部入口から上部タイプレート下端まで)	〒9 4.33 Ⅲ(4329)
旦. 十:	発熱部	
万	発熱有効長	3.708 m
回	集合体部入口から発熱有効長下端までの距離	0.416 m
、] シ <del>ト</del>	発熱有効長下端からの距離	
伝	模擬ラック上端まで	約 4.15m
	チャンネルボックス上端まで	約 4.17m
	上部容器	
	形状	円形
	内径	<b>\$</b> 900mm
	材質	SUS304
	模擬ラック形状	矩形
	内寸	128mm (角部 R12mm)
	材質	SUS304
	チャンネルボックス	
	形状	矩形
	内寸	102mm
	材質 母材	SUS304
	静電容量測定用絶縁材	マセライト SP
断	スペーサ	
面	形状	マルセル型
形	材質 母材	SUS304
状	模擬ディンプル絶縁材	A1 ₂ 0 ₃
	形状	ドリルホール型
	材質	マコール®
	ヒータロッド	
	外径	φ 11 mm
	材質 ヒータシース	NCF600TP
	芯線	Ni
	絶縁材	MgO
	集合体部	
	形状	7×7 ロッドバンドル
	ロッドピッチ	14 mm
	断面積	約 5747 mm ²
	水力等価直径	約 10.9 mm

表 3.1.2-1 試験部形状・主要寸法・材質

・【】内は項目をパラメータとする試験	険ケース
出力	
軸方向出力分布	一様
径方向ピーキング	低出力 0.7, 平均出力 1.0, 高出力 1.3
バンドル出力【Case 1】	26kW, 58 kW, 84kW
	(定格出力比*11%,2%,3%)
試験部冷却水	
平均初期水温【Case 10~11】	95°C
初期水位【Case 13~14】	2 m
補助容器冷却水	
平均初期水温【Case 10~11】	試験部冷却水と同様
初期水位【Case 13~14】	試験部冷却水と同様
連通弁開度*2【Case 26~28】	100%(全開)
排水量【Case 26~28】	無し
スプレイ	
噴霧様式【Case 6】	一樣噴霧
スプレイ向き【Case 8~9】	垂直下向き
ノズル高さ【Case 6a, Case7】	3 m
径方向位置【Case 6a, Case7】	上部容器中心
水温【Case 12】	30℃
スプレイ吐出圧	上部容器上端高さの流量調整弁前において 1.0 MPa
スプレイ流量* ^{3*4}	0.2 $m^3/h$ (Case1-4), 1.0 $m^3/h$ (Case1-5)
外気温	$10 \sim 30^{\circ} C$

表 3.1.2-2 ベース条件(Case1-4, Case1-5)の試験条件

*1:ABWR 定格運転時における燃料棒平均出力に対する、ヒータロッド平均出力の割合

*2:LOCA 試験ケースにおいて、排水量調整に使用

*3:0.2 m³/h において冷却できないことが明らかである試験ケースにおいては、1.0 m³/h 条件のみを実施 *4: 鋭角スプレイは、1.0 m³/h において安定的してスプレイ噴霧できなかったため、0.2m³/h 条件のみを実施。

試験番号	変化パラメータ	ベース条件における パラメータ値	各試験ケースにおける パラメータ値
	スプレイ流量	_	0.2 m ³ /h, 1.0 m ³ /h
Case 1 (ベース条件)	バンドル出力	58 kW (定格出力比 2%)	29 kW, 84 kW (定格出力比 1%, 3%)
Case 1-6a	スプレイ流量 (CCFL)	0.2, 1.0 m ³ /h	0.1, 0.4, 0.6 m ³ /h
Case 2~3	スプレイ 液滴径	3 mm	1mm, 5mm
Case 6a, 7	スプレイ 高さ	3m	0.5m, 5.0m
Case 6	スプレイ 噴霧様式	一様噴霧	鋭角噴霧
Case 8~9*1	スプレイノズル 径方向位置 (鋭角噴霧)	Case 6 上部容器中心より 0 mm(中心位置)	上部容器中心より 100mm* ² , 200mm* ³
Case 10~11	試験部冷却水 初期水温	95°C	30°C, 60°C
Case 12	スプレイ 水温	30°C	60°C
Case 13~14	試験部冷却水 初期水位	発熱有効長下端より 2.0m	1.5m, 1.0m
Case 15~18	上部タイプレート 水力等価直径	13.6 mm	13.3 mm, 14.0 mm
Case 22	スペーサ 肉厚	0.5 mm	0.2 mm
Case 26~28	LOCA 条件 冷却水排水速度	0 m/s (排水無し)	0.021 m/s, 0.155m/s, 0.230 m/s

表 3.1.2-3 各試験ケースにおいて着目したパラメータおよび変更値

*1:ベース条件とスプレイノズルが異なるため、Case6と比較する。

*2:垂直下向きにスプレイ噴霧させた場合,非加熱条件においてスプレイが集合体に入らなかったため,ノ ズルを水平面に対して 15 度傾けた。

*3:垂直下向きにスプレイ噴霧させた場合,非加熱条件においてスプレイが集合体に入らなかったため,ノ ズルを水平面に対して 30 度傾けた。

サンプリング周波数	1Hz (LOCA 条件,一部試験条件において 5Hz)
測定期間	【試験準備】 試験条件設定のための加熱~初期水位設定完了 【試験時】 整流器電源投入前(ECVL 設定開始前)~集合体内温度100℃以下
	測定レンジ
【整流器出力】 低出力ヒータロッド(2本分)合計 平均出力ヒータロッド(44本分)合計 高出力ヒータロッド	$0 \sim 9 \text{ kW}$ $0 \sim 150 \text{ kW}$ $0 \sim 9 \text{ kW}$
【流量】 スプレイ流量(小)	0∼1.2m ³ /h
【静水圧水位(差圧計測)】 試験体水位 補助容器水位	発熱有効長下端より 441mm 下側の地点基準 0~100%(17.46kPa~65.21 kPa) 発熱有効長下端より 798.15mm 下側の地点基準 0~100%(14.12kPa~83.06 kPa)
【区間差圧】 差圧計 1~6	-25~25 kPa(計器のレンジ -20~20 kPa)

表 3.1.2-4 データロガーの収録条件 (1/2)

計測項目	測定レンジ
【温度】	
ヒータ表面温度	0∼400°C
チャンネルボックス内面温度	0∼200°C
チャンネルボックス表面温度	0∼200°C
模擬ラック内面温度	0∼200°C
上部タイプレート温度	0∼200°C
上部容器内温度	0∼200°C
補助容器温度	0∼200°C
スプレイ水温度	0∼150°C
スプレイタンク温度	0∼150°C
【タンク液面】	
ドレンタンク液面(差圧式)	0~100%(レンジ:0~20kPa, 胴部内径:φ850mm, 断面積:約0.57m ² )
スプレイタンク液面(フロート式)	0~100%(レンジ:0~2.1 m, 胴部内径:φ800mm, 断面積:約 0.50m ² )
【その他】	
連通弁開度	0~100%
ECVL トリガー信号	0~1(0:切替器が電極1以外,1:切替器が電極1に一致)
SCVS トリガー信号	0~1 (SCVS 収録中 0, 収録待機中 1, 信号出力未設定時 0.5)

表 3.1.2-4 データロガーの収録条件 (2/2)



表 3.1.2-5 ECVL の収録条件

測定周波数	640Hz			
測定時の電圧パルス幅	11.75×10 ⁻⁶ 秒			
測定時間	60 秒			
ボイド率測定点	780(1 断面辺り 260 点)			
サブチャンネル部	192(64 サブチャンネル × 3 センサ)			
ギャップ部	588(196 ギャップ × 3 センサ)			
気相速度測定点	192(サブチャンネル部のみ)			

表 3.1.2-6 SCVS の収録条件

表 3.1.2-7 液滴計の収録条件

収録周波数	約 14. 7Hz
1計測あたりのレーザパルス間隔	3×10 ⁻³ 秒
レーザパルス幅	200×10 ⁻⁶ 秒
サンプリング数	200*1(液滴速度計測のため画像撮影数は400)
垂直方向測定位置	上部タイプレート下端より上方 42.53mm
水平方向位置	試験体中央位置

*1:撮影状況確認を把握するため Case1-4, Case1-5, Case1-7, Case1-8 のスプレイ開始温度 300℃のみ 500 枚

	•••				
スプレイ	パラメー	-タ	スプレイ	模擬ラック	内落水量
タイプ			流量	$[m^3/h]$	[%]
		3mm	$0.2~{ m m}^3/{ m h}$	0.081	40.6%
		[ベース条件]	$1.0~{ m m}^3/{ m h}$	0.267	26.7%
液滴径	1	$0.2~{ m m}^3/{ m h}$	0.115	57.3%	
	(スプレイ高さ 3m)	1 11111	$1.0 \text{ m}^3/\text{h}$	0.478	47.8%
<ul> <li>一様</li> <li>スプレイ</li> <li>スプレイ高さ (液滴径 3mm)</li> </ul>	5mm -	$0.2~{ m m}^3/{ m h}$	0.117	58.4%	
		$1.0~{ m m}^3/{ m h}$	0.379	37.9%	
		0 5m	$0.2~{ m m}^3/{ m h}$	0.121	60.3%
	スプレイ高さ	0. 511	$1.0~{ m m}^3/{ m h}$	0.638	63.8%
	(液滴径 3mm)	E.m.	$0.2~{ m m}^3/{ m h}$	0.144	72.2%
		SIII	$1.0~{ m m}^3/{ m h}$	0.564	56.4%
鉛岛		Omm	$0.2~{ m m}^3/{ m h}$	0.091	45.4%
「一」の一」	住力回位直	100mm	$0.2 \mathrm{m^3/h}$	0.089	44.6%
~ / / /		200mm	$0.2 \text{ m}^3/\text{h}$	0.091	45.3%

表 3.1.3-1 模擬ラック内へのスプレイ落水量

スプレイ流量	0.2 1	m3/h	1.0 1	m3/h
計測項目	非加熱条件 (参考)	Case1-4	非加熱条件 (参考)	Case1-5
算術平均液滴径 D ₁₀ [mm]	1.26	1.19	1.23	1.13
ザウター平均液滴径 D ₃₂ [mm]	3.53	2.63	4.18	3.06
水平方向液滴速度 V _X [m/s]	-0.0061	0.0781	0.2272	0.0903
垂直方向液滴速度 V _y [m/s] (下向き正)	1.11	0.24	1.95	0.52
液滴絶対速度	2.42	1.86	3.49	2.07
画像 200 枚(13.6 秒) 当たりの計測液滴数	2042	2713	3800	4056

表 3.1.4.1-1 ベース条件の液滴計測結果 (Case 1-4, Case 1-5, スプレイ開始温度 150℃)

表 3.1.4.1-2 ベース条件の液滴計測結果

スプレイ流量	0.2 r	m3/h	1.0 r	m3/h
計測項目	非加熱条件 (参考)	Case1-4	非加熱条件 (参考)	Case1-5
算術平均液滴径 D ₁₀ [mm]	1.26	0.98	1.23	1.00
ザウター平均液滴径 D ₃₂ [mm]	3.53	2.07	4.18	2.53
水平方向液滴速度 V _X [m/s]	-0.0061	0.2095	0.2272	0.1252
垂直方向液滴速度 V _y [m/s] (下向き正)	1.11	-0.43	1.95	0.26
液滴絶対速度	2.42	1.77	3.49	1.91
画像 200 枚(13.6 秒) 当たりの計測液滴数	2042	1815	3800	5009

(Case 1-4, Case 1-5, スプレイ開始温度 300℃)



# 表 3.1.4.1-3 ベース条件の計測液滴画像例(Case 1-4:スプレイ流量 0.2m³/h)



### 表 3.1.4.1-4 ベース条件の計測液滴画像例(Case 1-5:スプレイ流量 1.0m³/h)

(			1 <b></b>	,
定格出力比	非加熱条件	1%	2% ベース条件	3%
計測項目	(参考)	Case1-1	Case1-4	Case1-7
算術平均液滴径 D ₁₀ [mm]	1.26	1.16	1.19	1.15
ザウター平均液滴径 D ₃₂ [mm]	3.53	3.78	2.63	1.82
水平方向液滴速度 V _X [m/s]	-0.0061	0.2601	0.0781	0.1218
垂直方向液滴速度 V _y [m/s] (下向き正)	1.11	0.45	0.24	-1.07
液滴絶対速度	2.42	2.19	1.86	1.69
画像 200 枚(13.6 秒) 当たりの計測液滴数	2042	240	2713	6478

### 表 3.1.4.2-1 ベース条件の液滴計測結果 (Case 1:スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 150℃)

測定条件		測定閉	開始後の時間[sec]と撮影⊡	画像例	
Case1-1 定格出力比 1%			10mm		10mm
Case1-4 定格出力比 2%	10mm 1.360sec	10mm 1.429sec	10mm 1.497sec	10mm 1.565sec	10mm 1.633sec
Case1-7 定格出力比 3%	10mm 10mm 0.000sec	10mm 10mm 0.068sec	10mm 	 0.204sec	10mm 

### 表 3.1.4.2-2 ベース条件の計測液滴画像例(スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 150℃)

				,
定格出力比	非加熱条件	1%	2% ベース条件	3%
計測項目	(参考)	Case1-2	Case1-5	Case1-8
算術平均液滴径 D ₁₀ [mm]	1.23	1.46	1.13	0.90
ザウター平均液滴径 D ₃₂ [mm]	4.18	4.92	3.06	1.60
水平方向液滴速度 V _X [m/s]	0.2272	0.4033	0.0903	0.0405
垂直方向液滴速度 V _y [m/s] (下向き正)	1.95	1.30	0.52	-0.29
液滴絶対速度	3.49	2.57	2.07	2.13
画像 200 枚(13.6 秒) 当たりの計測液滴数	3800	963	4056	982

表 3.1.4.2-3 ベース条件の液滴計測結果 (Case 1:スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150°C)

測定条件	測定開始後の時間[sec]と撮影画像例					
Case1-2 定格出力比 1%	0.068sec		 0.612sec	10mm	1.497sec	
Case1-5 定格出力比 2%	10mm 10mm 0.000sec	10mm 10mm 0.068sec	10mm 10mm 0.136sec	10mm L D D D D 204sec	10mm 0.272sec	
Case1-8 定格出力比 3%	10mm 10mm 0.476sec	10mm 0.544sec	10mm 0.6122sec	10mm 0.680sec	10mm 0.748sec	

表 3.1.4.2-4 ベース条件の計測液滴画像例(スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 150℃)

			1 <b></b>	,
定格出力比	非加熱条件	1%	2% ベース条件	3%
計測項目	(参考)	Case1-1	Case1-4	Case1-7
算術平均液滴径 D ₁₀ [mm]	1.26	1.03	0.98	1.15
ザウター平均液滴径 D ₃₂ [mm]	3.53	2.52	2.07	1.91
水平方向液滴速度 V _X [m/s]	-0.0061	0.1988	0.2095	0.1484
垂直方向液滴速度 V _y [m/s] (下向き正)	1.11	0.46	-0.43	-1.33
液滴絶対速度	2.42	1.96	1.77	1.86
画像 200 枚(13.6 秒) 当たりの計測液滴数	2042	2268	1815	13905

### 表 3.1.4.2-5 ベース条件の液滴計測結果 (Case 1:スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



#### 表 3.1.4.2-6 ベース条件の計測液滴画像例 (スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)

定格出力比	非加熱条件	1%	2% ベース条件	3%
計測項目	(参考)	Case1-2	Case1-5	Case1-8
算術平均液滴径 D ₁₀ [mm]	1.23	1.29	1.00	0.87
ザウター平均液滴径 D ₃₂ [mm]	4.18	4.47	2.53	1.35
水平方向液滴速度 V _X [m/s]	0.2272	0.3255	0.1252	0.0577
垂直方向液滴速度 V _y [m/s] (下向き正)	1.95	1.00	0.26	-0.34
液滴絶対速度	3.49	2.30	1.91	2.17
画像 200 枚(13.6 秒) 当たりの計測液滴数	3800	2031	5009	2041

### 表 3.1.4.2-7 ベース条件の液滴計測結果 (Case 1:スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃)

測定条件		測定閉	뢲始後の時間[sec]と撮影ī	画像例	
Case1-2 定格出力比 1%	10mm 0.136sec	10mm 0.204sec	10mm 0.272sec	 0.340sec	10mm 0.408sec
Case1-5 定格出力比 2%	10mm 10mm 0.476sec	10mm I I I I I I I I I I I I I I I I I I	10mm I I I I I I I I I I I I I I I I I I I	10mm I IOMM I IO	10mm I I I I I I I I I I I I I I I I I I I
Case1-8 定格出力比 3%	10mm 0.952sec	10mm 1.020sec	10mm	10mm	10mm 1.224sec

表 3.1.4.2-8 ベース条件の計測液滴画像例(スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃)

スプレイ流量	0.1 r	n3/h	0.2 m3/h		0.4 m3/h		0.6m3/h		1.0 m3/h	
	非加熱	C1 (-	非加熱	Case1-4	非加熱	Case1-6b	非加熱	Case1-6c	非加熱	Case1-5
計測項目	(参考)	Case1-6a	(参考)	(参考)	(参考)		(参考)		(参考)	(参考)
算術平均液滴径	1 11	1.01	1.26	0.02	1.00	1.94	1.00	1 17	1.00	1.00
D ₁₀ [mm]	1.11	1.01	1.20	0.98	1.28	1.24	1.23	1.17	1.23	1.00
ザウター平均液滴径	9 59	0.00	2.52	2.07	0.04	0.77	9.10	0.57	4 1 0	0 50
D ₃₂ [mm]	3.98	2.38	5.55	2.07	2.84	2.11	3.16	2.97	4.18	2.93
水平方向液滴速度	0.4076	1.0052	-0.0061	0.2005	0.9466	0.2867	0 9991	0 4919	0 9979	0 1959
V _X [m/s]	0.4070	1.0905	0.0001	0.2095	0.2400	0.3807	0.2231	0.4215	0.2272	0.1202
垂直方向液滴速度										
V _y [m/s]	-0.18	0.48	1.11	-0.43	0.57	-0.15	0.80	-0.06	1.95	0.26
(下向き正)										
液滴絶対速度	1.98	2.60	2.42	1.77	1.85	1.74	2.15	1.85	3.49	1.91
画像 200 枚(13.6 秒)	1154	E 4 7	2042	1015	F201	4097	<b>E</b> 002	4119	2200	5000
当たりの計測液滴数	1104	047	2042	1919	0001	4087	9423	4113	3800	5009



表 3.1.4.3-2 Case1-6の計測液滴画像例 1/2 (スプレイ流量変化,スプレイ開始温度 300℃)



表 3.1.4.3-2 Case1-6の計測液滴画像例 2/2 (スプレイ流量変化,スプレイ開始温度 300℃)

液滴径		液滴径 1mm			(参考)液滴径 3mm			液滴径 5mm		
	Case 2-4			Case 1-4			Case 3-4			
	出土市志加	スプレイ	スプレイ	出出加满加	スプレイ	スプレイ	当时中国	スプレイ	スプレイ	
計測項目	升加款	開始	開始	升加款	開始	開始	<b></b>	開始	開始	
	朱件	150°C	300°C	朱件	150°C	300°C	禾件	150°C	300°C	
算術平均液滴径	1.91	1.00	1.90	1.26	1 10	0.00	1 1 5	1.00	1 1 4	
D ₁₀ [mm]	1.31	1.28	1.20	1.20	1.19	0.98	1.15	1.00	1.14	
ザウター平均液滴径	2.20	0.17	0.00	2.52	2.62	0.07	0.10	0.00	0.05	
D ₃₂ [mm]	2.28	2.17	2.09	5.55	2.05	2.07	5.19	2.38	2.67	
水平方向液滴速度	0.000	0.0055	0.0070	0.00/1	0.0791	0.000	0.4505	0.040	0.1.40	
V _X [m/s]	-0.030	0.2055	-0.0279	-0.0061	0.0781	0.2095	0.4585	0.240	0.140	
垂直方向液滴速度										
V _y [m/s]	1.61	0.67	0.25	1.11	0.24	-0.43	1.24	-0.27	-0.41	
(下向き正)										
液滴絶対速度	2.68	2.12	1.99	2.42	1.86	1.77	2.02	1.66	1.78	
画像 200 枚(13.6 秒)	2200	2997	4522	2042	2712	1015	9194	1970	0022	
当たりの計測液滴数	<u> </u>	9791	4002	2042	2/13	1919	2134	10/0	2299	

表 3.1.4.4-1 Case2-4, Case3-4の液滴計測結果 (スプレイ流量変化, スプレイ流量 0.2 m³/h)

### 表 3.1.4.4-2 Case2-5, Case3-5の液滴計測結果

(スプレイ流量変化,スプレイ流量1.0 m³/h)

液滴径	液滴径 1mm			(参考)液滴径 3mm			液滴径 5mm			
		Case 2-4			Case 1-5			Case 3-4		
	十日本加	スプレイ	スプレイ		スプレイ	スプレイ	十日本加	スプレイ	スプレイ	
計測項目	<b></b>	開始	開始	<b></b>	開始	開始	<b></b>	開始	開始	
	禾件	150°C	300°C	禾件	150°C	300°C	禾件	150°C	300°C	
算術平均液滴径	1.00	1 1 5	1.00	1.02	1.12	1.00	1 10	1.00	1.00	
D ₁₀ [mm]	1.30	1.15	1.08	1.25	1.15	1.00	1.12	1.09	1.06	
ザウター平均液滴径	0.40	1.00	1.00	4 1 0	2.00	0 50	4.00	0 50	0.00	
D ₃₂ [mm]	2.42	1.90	1.92	4.10	3.00	2.53	4.09	0.00	2.00	
水平方向液滴速度	0.0940	0.0000	0.0004	0 2272	0.0002	0 1050	0 1009	0.9559	0 1541	
V _X [m/s]	-0.0246	0.0090	0.0664	0.2272	0.0903	0.1252	0.1903	0.3993	0.1341	
垂直方向液滴速度										
V _y [m/s]	2.73	-0.11	-0.42	1.95	0.52	0.26	0.90	0.16	-0.16	
(下向き正)										
液滴絶対速度	3.90	1.79	1.64	3.49	2.07	1.91	2.18	1.89	1.63	
画像 200 枚(13.6 秒)	4929	9494	6491	3800	4056	5000	6020	9151	4111	
当たりの計測液滴数	4238	2434	0481	3000	4030	5009	6030	9191	4111	

スプレイ高さ	スプレイ高さ 0.5m		(参考) スプレイ高さ 3m			スプレイ高さ5m			
	Case 6-1a			Case 1-4			Case 7-1		
計測項日	非加熱	スプレイ	スプレイ	非加熱	スプレイ	スプレイ 問始	非加熱	スプレイ	スプレイ 問始
可例復日	条件	^{两页} 150°C	^{州 如}	条件	^{两页} 150°C	^{州 如} 300°C	条件	^{两页} 150°C	Ⅲ如 300℃
算術平均液滴径 D ₁₀ [mm]	4.47	3.45	2.99	1.26	1.19	0.98	0.88	1.06	0.98
ザウター平均液滴径 D ₃₂ [mm]	6.34	4.89	4.39	3.53	2.63	2.07	2.53	3.75	2.11
水平方向液滴速度 V _X [m/s]	-0.0671	-0.0462	-0.0250	-0.0061	0.0781	0.2095	0.3165	0.4509	0.4998
垂直方向液滴速度									
V _y [m/s]	1.62	0.89	0.55	1.11	0.24	-0.43	0.71	0.28	-0.32
(下向き正)									
液滴絶対速度	1.72	1.33	1.34	2.42	1.86	1.77	2.02	2.19	1.99
画像 200 枚(13.6 秒) 当たりの計測液滴数	1387	1654	1374	2042	2713	1815	2413	1026	1657

表 3.1.4.5-1 Case6-1a, Case7-1の液滴計測結果 (スプレイ高さ変化, スプレイ流量 0.2 m³/h)

### 表 3.1.4.5-2 Case6-2a, Case7-2の液滴計測結果

(スプレイ高さ変化,スプレイ流量1.0 m³/h)

スプレイ高さ	スプレイ高さ 0.5m		(参考) スプレイ高さ 3m			スプレイ高さ 5m			
		Case 6-2a		Case 1-5			Case 7-2		
	十日本加	スプレイ	スプレイ	十日本加	スプレイ	スプレイ	十日十日支加	スプレイ	スプレイ
計測項目	升/加款 冬/H	開始	開始	<b></b>	開始	開始	<b></b>	開始	開始
	禾件	150°C	300°C	禾件	150°C	300°C	禾件	150°C	300°C
算術平均液滴径	954	0.00	1 70	1.02	1.12	1.00	1.10	1.05	0.00
D ₁₀ [mm]	3.34	2.02	1.78	1.23	1.15	1.00	1.16	1.20	0.99
ザウター平均液滴径	7.00	5.04	4.00	4 1 0	2.06	0 50	4.90	4 5 7	9.49
D ₃₂ [mm]	7.60	0.24	4.02	4.10	5.00	2.93	4.30	4.07	5.42
水平方向液滴速度	0 1 4 1 9	0.0947	0.0079	0 2272	0.0002	0 1050	0.4919	0.4095	0.9471
V _X [m/s]	-0.1413	-0.0247	-0.0073	0.2272	0.0903	0.1252	0.4218	0.4925	0.3471
垂直方向液滴速度									
V _y [m/s]	1.52	0.06	-0.41	1.95	0.52	0.26	2.44	1.37	0.79
(下向き正)									
液滴絶対速度	1.76	1.09	1.10	3.49	2.07	1.91	3.52	2.97	2.48
画像 200 枚(13.6 秒)	1949	2022	9150	2800	1056	5000	2200	1202	1001
当たりの計測液滴数	1240	2923	2100	3000	4030	0009	2990	1999	1001

表 3.1.4.6-1	Case6-1の液滴計測結	耒
-------------	---------------	---

(スプレイ噴霧様式変化,スプレイ流量0.2 m³/h)

スプレイノズル	(参考) 一様スプレイノズル			鋭角スプレイノズル			
		Case 1-4		Case 6-1			
	十日志加	スプレイ スプレイ		十日本	スプレイ	スプレイ	
計測項目	<b></b>	開始	開始	升加款 冬研	開始	開始	
	禾仟	150°C	300°C	禾件	150°C	300°C	
算術平均液滴径	1.26	1 10	0.09	1.70	1.90	1.00	
D ₁₀ [mm]	1.20	1.19	0.98	1.76	1.80	1.62	
ザウター平均液滴径	2.52	2.62	2.07	2.20	2.20	9.02	
D ₃₂ [mm]	5.55	2.05	2.07	5.50	5.29	2.90	
水平方向液滴速度	0.0061	0.0791	0.2005	-0.0114	-0.0105	-0.0044	
V _X [m/s]	-0.0001	0.0781	0.2095	-0.0114	-0.0195	-0.0044	
垂直方向液滴速度							
V _y [m/s]	1.11	0.24	-0.43	2.45	1.33	0.97	
(下向き正)							
液滴絶対速度	2.42	1.86	1.77	2.62	1.78	1.66	
画像 200 枚(13.6 秒)	2042	2712	1015	2275	1449	1600	
当たりの計測液滴数	2042	2/13	1919	əə <i>t</i> ə	1440	1000	

#### 表 3.1.4.7-1 Case8-1, Case9-1の液滴計測結果

## (スプレイノズル径方向位置変化,スプレイ流量0.2 m³/h)

液滴径	(参考) オフセット 0mm			オフセット 100mm			オフセット 200mm			
		Case 6-1			Case 8-1			Case 9-1		
	十日本加	スプレイ	スプレイ	十日本	スプレイ	スプレイ	七市劫	スプレイ	スプレイ	
計測項目	<b></b>	開始	開始	<b></b>	開始	開始	7F加款 冬世	開始	開始	
	禾件	150°C	300°C	禾件	150°C	300°C	禾件	150°C	300°C	
算術平均液滴径	1.70	1.00	1.00	1.09	0.04	0.00	1.70	1.00	1.00	
D ₁₀ [mm]	1.76	1.80	86 1.62	1.63	2.24	2.62	1.70	1.80	1.92	
ザウター平均液滴径	2.20	2.20	0.00	2.00	4.00	4.91	2.97	2.90	2.90	
D ₃₂ [mm]	3.30	3.29	2.93	35 5.00	4.06	4.31	3.27	3.20	3.26	
水平方向液滴速度	-0.0114	-0.0105	-0.0044	0 5009	0 4971	0 5250	0.7090	0.9919	0 4250	
V _X [m/s]	-0.0114	-0.0195	-0.0044	0.5068	0.4271	0.5356	0.7686	0.2313	0.4350	
垂直方向液滴速度										
V _y [m/s]	2.45	1.33	0.97	2.00	1.66	1.75	2.12	1.13	0.90	
(下向き正)										
液滴絶対速度	2.62	1.78	1.66	2.40	2.10	2.14	2.47	1.80	1.75	
画像 200 枚(13.6 秒)	2275	1449	1000	4415	140	004	2974	1940	0000	
当たりの計測液滴数	əə7ə	1440	1000	4410	440	964	3214	1940	4944	

			,,	
初期温度	非加熱条件	30°C	60°C	95°C
計測項目	(参考)	Case10-1	Case11-1	(参考) Case1-2
算術平均液滴径 D ₁₀ [mm]	1.23	1.23	1.44	1.46
ザウター平均液滴径 D ₃₂ [mm]	4.18	4.02	4.35	4.92
水平方向液滴速度 V _X [m/s]	0.2272	0.5453	0.4644	0.4033
垂直方向液滴速度 V _y [m/s] (下向き正)	1.95	1.86	1.54	1.30
液滴絶対速度	3.49	2.92	2.70	2.57
画像 200 枚(13.6 秒) 当たりの計測液滴数	3800	6421	2804	963

表 3.1.4.8-1 Case10-1, Case11-1の液滴計測結果 (初期水温変化, 定格出力比 1%, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃)

表 3.1.4.8-2 Case10-3, Case11-3の液滴計測結果

(初期小温変化, 足俗出力比 2%, スノレイ 流星 1.0m/n, スノレイ 開始温度 300 C)								
初期温度	非加熱条件	30°C	60°C	95°C				
計測項目	(参考)	Case10-3	Case11-3	(参考) Case1-5				
算術平均液滴径	1 23	1 93	1 79	1.00				
D ₁₀ [mm]	1.25	1.20	1.75	1.00				
ザウター平均液滴径	/ 18	3 79	5 35	9 53				
D ₃₂ [mm]	4.10	5.72	0.00	2.00				
水平方向液滴速度	0 2272	0.2284	0.2589	0 1959				
$V_X [m/s]$	0.2272	0.2204	0.2383	0.1202				
垂直方向液滴速度								
V _y [m/s]	1.95	0.87	1.67	0.26				
(下向き正)								
液滴絶対速度	3.49	2.33	2.91	1.91				
画像 200 枚(13.6 秒)	3800	4969	1629	5000				
当たりの計測液滴数	3800	4002	1032	5009				

(初期水温変化, 定格出力比 2%, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃)

初期温度	非加熱条件	30°C	60°C	95°C
計測項目	(参考)	Case10-5	Case11-5	(参考) Case1-8
算術平均液滴径 D ₁₀ [mm]	1.23	1.57	1.03	0.87
ザウター平均液滴径 D ₃₂ [mm]	4.18	3.16 1.89		1.35
水平方向液滴速度 V _X [m/s]	0.2272	0.0592	0.1668	0.0577
垂直方向液滴速度 V _y [m/s] (下向き正)	1.95	0.10	0.11	-0.34
液滴絶対速度	3.49	1.81	1.96	2.17
画像 200 枚(13.6 秒) 当たりの計測液滴数	3800	343	1194	2041

表 3.1.4.8-3 Case10-5, Case11-5の液滴計測結果 (初期水温変化,定格出力比 3%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃)

#### 表 3.1.4.9-1 Case12-1の液滴計測結果

(スプレイ水温変化,スプレイ流量0.2 m³/h)

スプレイ水温		(参考) スプレイ水温 30℃		スプレイ水温 60℃	
		Case 1-4		Case 12-1	
	非加熱条件	スプレイ開始	スプレイ開始	スプレイ開始	スプレイ開始
計測項目		150°C	300°C	150°C	300°C
算術平均液滴径	1.26	1.19	0.98	1.20	1.04
D ₁₀ [mm]	1.20				
ザウター平均液滴径	2.52	2.63	2.07	2.99	2.01
D ₃₂ [mm]	3.55				
水平方向液滴速度	0.0061	0.0781	0.2095	0.1925	0.2782
V _X [m/s]	-0.0001				
垂直方向液滴速度					
V _y [m/s]	1.11	0.24	-0.43	0.38	-0.63
(下向き正)					
液滴絶対速度	2.42	1.86	1.77	2.10	1.72
画像 200 枚(13.6 秒)	2042	2713	1815	1988	3633
当たりの計測液滴数	2042				

#### 表 3.1.4.9-2 Case12-2の液滴計測結果

(スプレイ水温変化,スプレイ流量1.0 m³/h)

スプレイ水温		(参考) スプレイ水温 30℃		スプレイ水温 60℃	
		Case 1-5		Case 12-1	
	北加劫友供	スプレイ開始	スプレイ開始	スプレイ開始	スプレイ開始
計測項目	并加款采件	150°C	300°C	150°C	300°C
算術平均液滴径	1.00	1.13	1.00	1.42	1.25
D ₁₀ [mm]	1.23				
ザウター平均液滴径	4.10	3.06	2.53	4.34	4.15
D ₃₂ [mm]	4.18				
水平方向液滴速度	0 2272	0.0903	0.1252	0.2773	0.1833
V _X [m/s]	0.2272				
垂直方向液滴速度					
V _y [m/s]	1.95	0.52	0.26	1.93	1.30
(下向き正)					
液滴絶対速度	3.49	2.07	1.91	2.90	2.60
画像 200 枚(13.6 秒)	3800	4056	5009	1557	1700
当たりの計測液滴数	5800				
初期水位	非加熱条件	2.0m	1.5m	1.0m	
----------------------	---------	---------	----------	----------	--
	(参考)	(参考)	Case13-4	Case14-4	
計測項目		Case1-4			
算術平均液滴径	1.26	1 10	1 59	1.01	
D ₁₀ [mm]	1.20	1.17	1.02	1.01	
ザウター平均液滴径	2 5 2	2.63	4.40	9.11	
D ₃₂ [mm]	5.55	2.03	4.49	5.11	
水平方向液滴速度	-0.0061	0.0781	0 6495	0 5151	
V _X [m/s]	-0.0001	0.0781	0.6425	0.5151	
垂直方向液滴速度					
V _y [m/s]	1.11	0.24	0.67	0.39	
(下向き正)					
液滴絶対速度	2.42	1.86	2.31	2.02	
画像 200 枚(13.6 秒)	2042	2712	455	1691	
当たりの計測液滴数	2042	2713	400	1031	

表 3.1.4.10-1 液滴計測結果

(初期水位変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 150℃)

表 3.1.4.10-2 液滴計測結果

(初期水位変化, 定格出力比 1%, スノレイ流重 0.2m ⁰ /h, スノレイ開始温度 300 C)				
初期水位	非加熱条件	2.0m	1.5m	1.0m
計測項目	(参考)	(参考) Case1-1	Case13-1	Case14-1
算術平均液滴径 D ₁₀ [mm]	1.26	1.03	1.38	1.34
ザウター平均液滴径 D ₃₂ [mm]	3.53	2.52	3.65	3.65
水平方向液滴速度 V _X [m/s]	-0.0061	0.1988	0.7646	0.6686
垂直方向液滴速度 V _y [m/s] (下向き正)	1.11	0.46	1.46	1.09
液滴絶対速度	2.42	1.96	2.88	2.39
画像 200 枚(13.6 秒) 当たりの計測液滴数	2042	2268	1110	1009

(初期水位亦化) 完格出力比 1% スプレイ流長 0.2m³/h スプレイ開始泪度 200℃)

初期水位	非加熱条件	2.0m	1.5m	1.0m
制测项目	(参考)	(参考)	Case13-4	Case14-4
計側項日		Case1-4		
算術平均液滴径	1.26	0.08	1 59	1 4 4
D ₁₀ [mm]	1.20	0.38	1.02	1.44
ザウター平均液滴径	2 5 2	2.07	4 97	2 96
D ₃₂ [mm]	5.55	2.07	4.57	5.00
水平方向液滴速度	0.0061	0.2005	0.0010	0.7460
V _X [m/s]	-0.0061	0.2095	0.6016	0.7469
垂直方向液滴速度				
V _y [m/s]	1.11	-0.43	0.66	0.89
(下向き正)				
液滴絶対速度	2.42	1.77	2.30	2.51
画像 200 枚(13.6 秒)	2042	1015	944	750
当たりの計測液滴数	2042	1010	244	790

表 3.1.4.10-3 液滴計測結果

(初期水位変化, 定格出力比 2%, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)

表 3.1.4.10-4 液滴計測結果

(初朔小位変化, 足俗山力比 3%, ヘノレイ 加重 0.2007年, ヘノレイ 開始温度 300 0)				
初期水位	非加熱条件	2.0m	1.5m	1.0m
計測項目	(参考)	(参考) Case1-7	Case13-7	Case14-7
算術平均液滴径	1.26	1.15	1.22	1.17
$D_{10}$ [mm]				
ザウター平均液滴径	3 53	1 91	2 23	2.73
D ₃₂ [mm]	0.000	1.01		2.10
水平方向液滴速度	-0.0061	0 1484	0.9911	0.6870
V _X [m/s]	0.0001	0.1404	0.3311	0.0870
垂直方向液滴速度				
V _y [m/s]	1.11	-1.33	-0.41	0.20
(下向き正)				
液滴絶対速度	2.42	1.86	1.75	2.12
画像 200 枚(13.6 秒)	2042	12005	9741	1907
当たりの計測液滴数	2042	19909	0741	1097

(初期水位変化, 定格出力比 3%, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)

初期水位	非加熱条件	2.0m	1.5m	1.0m
	(参考)	(参考)	Case13-5	Case14-5
計測項目		Case1-5		
算術平均液滴径	1 23	1 13	1 55	1 83
D ₁₀ [mm]	1.25	1.15	1.00	1.05
ザウター平均液滴径	1 10	2.06	4.90	4.00
D ₃₂ [mm]	4.18	3.06	4.20	4.00
水平方向液滴速度	0 2272	0.0003	0 6908	0 0787
V _X [m/s]	0.2272	0.0905	0.6208	0.0787
垂直方向液滴速度				
V _y [m/s]	1.95	0.52	0.94	1.36
(下向き正)				
液滴絶対速度	3.49	2.07	2.47	2.92
画像 200 枚(13.6 秒)	3800	1056	1007	1000
当たりの計測液滴数	3800	4030	1007	1202

表 3.1.4.10-5 液滴計測結果

(初期水位変化, 定格出力比 2%, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150℃)

表 3.1.4.10-6 液滴計測結果

(初期水位変化, 定格出力比 2%, スノレイ流重 1.0m ^{-/} h, スノレイ開始温度 300 C)				
初期水位	非加熱条件	2.0m	1.5m	1.0m
計測項目	(参考)	(参考) Case1-5	Case13-5	Case14-5
算術平均液滴径 D ₁₀ [mm]	1.23	1.00	1.25	1.68
ザウター平均液滴径 D ₃₂ [mm]	4.18	2.53	3.72	4.45
水平方向液滴速度 V _X [m/s]	0.2272	0.1252	0.6955	0.6675
垂直方向液滴速度 V _y [m/s] (下向き正)	1.95	0.26	0.14	1.16
液滴絶対速度	3.49	1.91	2.16	2.74
画像 200 枚(13.6 秒) 当たりの計測液滴数	3800	5009	2393	1321

(初期水位亦化) 完成出力比 2% スプレイ流导 1  $0m^3/h$  スプレイ開始泪度 200%)

UTP 水力等価直径	非加熱条件	13.6mm	13.3mm	14.0mm
計測項目	(参考)	(参考) Case1-4	Case15-4	Case18-4
算術平均液滴径 D ₁₀ [mm]	1.26	1.19	1.32	1.72
ザウター平均液滴径 D ₃₂ [mm]	3.53	2.63	2.54	4.03
水平方向液滴速度 V _X [m/s]	-0.0061	0.0781	0.3013	0.1507
垂直方向液滴速度 V _y [m/s] (下向き正)	1.11	0.24	-0.08	1.14
液滴絶対速度	2.42	1.86	1.56	2.38
画像 200 枚(13.6 秒) 当たりの計測液滴数	2042	2713	3063	1173

表 3.1.4.11-1 液滴計測結果

(UTP 水力等価直径変化,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 150℃)

表 3.1.4.11-2 液滴計測結果

		,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,		- 1
UTP 水力等価直径	非加熱条件	13.6mm	13.3mm	14.0mm
	(去本)	(参考)	Casa15 4	Casa19 4
計測項目	(参考)	Case1-4	Case15-4	Case18-4
算術平均液滴径	1.26	0.08	1.94	1 99
D ₁₀ [mm]	1.20	0.98	1.34	1.55
ザウター平均液滴径	2 5 2	2.07	2.08	2 20
D ₃₂ [mm]	5.55	2.07	2.98	2.80
水平方向液滴速度	-0.0061	0.2005	0 1 4 5 0	0.0051
$V_X [m/s]$	-0.0001	0.2095	0.1459	0.0951
垂直方向液滴速度				
V _y [m/s]	1.11	-0.43	0.04	0.11
(下向き正)				
液滴絶対速度	2.42	1.77	1.62	1.61
画像 200 枚(13.6 秒)	2042	1015	4087	1099
当たりの計測液滴数	2042	1010	4087	1999

(UTP 水力等価直径変化,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)

UTP 水力等価直径	非加熱条件	13.6mm	13.3mm	14.0mm
計測項目	(参考)	(参考) Case1-5	Case15-5	Case18-5
算術平均液滴径 D ₁₀ [mm]	1.23	1.13	1.57	1.36
ザウター平均液滴径 D ₃₂ [mm]	4.18	3.06	4.77	3.90
水平方向液滴速度 V _X [m/s]	0.2272	0.0903	0.3012	0.2535
垂直方向液滴速度 V _y [m/s] (下向き正)	1.95	0.52	1.34	1.28
液滴絶対速度	3.49	2.07	2.42	2.36
画像 200 枚(13.6 秒) 当たりの計測液滴数	3800	4056	2123	1199

表 3.1.4.11-3 液滴計測結果

(UTP 水力等価直径変化,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 150℃)

表 3.1.4.11-4 液滴計測結果

UTP 水力等価直径	非加熱条件	13.6mm	13.3mm	14.0mm
	(参考)	(参考)	Case15-5	Case18-5
計測項目		Case1-5	Cuberte e	Cusero e
算術平均液滴径	1 23	1.00	1 10	1 17
D ₁₀ [mm]	1.25	1.00	1.10	1.17
ザウター平均液滴径	4.18	9 59	2.74	9.91
D ₃₂ [mm]	4.10	2.00	2.14	2.01
水平方向液滴速度	0 2272	0 1252	0.0521	0.1599
V _X [m/s]	0.2272	0.1202	0.0521	0.1022
垂直方向液滴速度				
V _y [m/s]	1.95	0.26	0.68	0.80
(下向き正)				
液滴絶対速度	3.49	1.91	1.98	2.03
画像 200 枚(13.6 秒)	3800	5000	1010	1400
当たりの計測液滴数	3800	9009	1213	1490

(UTP 水力等価直径変化,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃)

スペーサ肉厚	非加熱条件	0.5mm	0.2mm	
		(参考)		
計測項目	(参考)	Case1-4	Case22a-4	
算術平均液滴径	1.26	1.10	1 99	
D ₁₀ [mm]	1.20	1.19	1.55	
ザウター平均液滴径	3 53	2.63	3.06	
D ₃₂ [mm]	5.55	2.05	5.90	
水平方向液滴速度	-0.0061	0.0781	0 1250	
V _X [m/s]	0.0001	0.0781	0.1250	
垂直方向液滴速度				
V _y [m/s]	1.11	0.24	0.36	
(下向き正)				
液滴絶対速度	2.42	1.86	1.69	
画像 200 枚(13.6 秒)	2042	2713	699	
当たりの計測液滴数	2042	2713	688	

表 3.1.4.12-1 液滴計測結果

(スペーサ肉厚変化,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 150℃)

表 3.1.4.12-2 液滴計測結果

(スペーサ) 肉厚変化, スノレイ 加重 0.2m²/n, スノレイ 開始温度 300 C)						
スペーサ肉厚	非加熱条件	0.5mm	0.2mm			
計測項目	(参考)	(参考) Case1-4	Case22a-4			
算術平均液滴径 D ₁₀ [mm]	1.26	0.98	1.22			
ザウター平均液滴径 D ₃₂ [mm]	3.53	2.07	3.07			
水平方向液滴速度 V _X [m/s]	-0.0061	0.2095	0.2430			
垂直方向液滴速度 V _y [m/s] (下向き正)	1.11	-0.43	0.52			
液滴絶対速度	2.42	1.77	1.57			
画像 200 枚(13.6 秒) 当たりの計測液滴数	2042	1815	1681			

(スペーサ肉原亦化 スプレイ法書 0.9m³/h スプレイ開始泪度 200℃)

スペーサ肉厚	非加熱条件	0.5mm	0.2mm	
		(	0.211111	
計測項目	(参考)	Case1-5	Case22a-5	
算術平均液滴径	1.00	1.10	1.00	
D ₁₀ [mm]	1.23	1.13	1.38	
ザウター平均液滴径	4.19	3.06	4 50	
D ₃₂ [mm]	4.18	3.06	4.50	
水平方向液滴速度	0 2272	0.0003	0.9904	
V _X [m/s]	0.2272	0.0903	0.2204	
垂直方向液滴速度				
V _y [m/s]	1.95	0.52	1.30	
(下向き正)				
液滴絶対速度	3.49	2.07	2.38	
画像 200 枚(13.6 秒)	2800	1056	1077	
当たりの計測液滴数	3800	4030	1877	

表 3.1.4.12-3 液滴計測結果

(スペーサ肉厚変化,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 150℃)

表 3.1.4.12-4 液滴計測結果

(スペーサ肉厚変化, スノレイ 流重 1.0m³/h, スノレイ 開始温度 300 C)				
スペーサ肉厚	非加熱条件	0.5mm	0.2mm	
	(幺本)	(参考)	Casa22a 5	
計測項目	(参考)	Case1-5	Case22a-5	
算術平均液滴径	1 22	1.00	1.00	
D ₁₀ [mm]	1.25	1.00	1.09	
ザウター平均液滴径	4 18	9 59	2 75	
D ₃₂ [mm]	4.10	2.05	5.75	
水平方向液滴速度	0 2272	0 1959	0.2250	
$V_X [m/s]$	0.2272	0.1252	0.2250	
垂直方向液滴速度				
V _y [m/s]	1.95	0.26	0.98	
(下向き正)				
液滴絶対速度	3.49	1.91	2.03	
画像 200 枚(13.6 秒)	3800	5000	1955	
当たりの計測液滴数	3000	0009	1200	

(スペーサ肉原亦化 スプレイ法景1 0m³/h スプレイ開始泪度 200℃)

定格出力比	非加熱条件	1%	2%
計測項目	(参考)	Case22-1	Case22-4
算術平均液滴径 D ₁₀ [mm]	1.26	1.44	1.92
ザウター平均液滴径 D ₃₂ [mm]	3.53	4.24	4.56
水平方向液滴速度 V _X [m/s]	-0.0061	0.4135	0.2151
垂直方向液滴速度 V _y [m/s] (下向き正)	1.11	0.95	1.66
液滴絶対速度	2.42	2.03	2.51
画像 200 枚(13.6 秒) 当たりの計測液滴数	2042	475	193

表 3.1.4.12-5 液滴計測結果

(出力変化,スペーサ肉厚 0.2mm,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 150℃)

表 3.1.4.12-6 液滴計測結果

(ハト・)内序変に,ハノレイ加重0.2回/II,ハノレイ開始価度300℃)				
定格出力比	非加熱条件	1%	2%	3%
計測項目	(参考)	Case22-1	Case22-4	Case22-7
算術平均液滴径	1.26	1 19	1 22	1 77
D ₁₀ [mm]	1.20	1.12	1.00	1.77
ザウター平均液滴径	3 53	2 7 2	2 26	1 26
D ₃₂ [mm]	5.55	5.75	5.50	4.20
水平方向液滴速度	-0.0061	0 5626	0 4 4 9 9	0.9763
$V_X [m/s]$	0.0001	0.5050	0.4455	0.2705
垂直方向液滴速度				
V _y [m/s]	1.11	0.31	0.92	1.00
(下向き正)				
液滴絶対速度	2.42	1.68	2.04	1.86
画像 200 枚(13.6 秒)	2042	015	525	208
当たりの計測液滴数	2042	910	939	998 

(スペーサ肉厚変化,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)

定格出力比	非加熱条件	1%	2%
計測項目	(参考)	Case22-2	Case22-5
算術平均液滴径 D ₁₀ [mm]	1.23	2.35	3.79
ザウター平均液滴径 D ₃₂ [mm]	4.18	5.55	6.10
水平方向液滴速度 V _X [m/s]	0.2272	0.3444	0.0267
垂直方向液滴速度 V _y [m/s] (下向き正)	1.95	2.15	3.50
液滴絶対速度	3.49	3.02	4.28
画像 200 枚(13.6 秒) 当たりの計測液滴数	3800	459	246

表 3.1.4.12-7 液滴計測結果

(出力変化,スペーサ肉厚 0.2mm,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 150℃)

表 3.1.4.12-8 液滴計測結果

(へいいり) 内学変化, ハノレイ 加重 1.001/11, ハノレイ 開始価度 300 C)				
定格出力比	非加熱条件	1%	2%	3%
計測項目	(参考)	Case22-2	Case22-5	Case22-8
算術平均液滴径	1 23	1.84	2.80	1 35
D ₁₀ [mm]	1.25	1.04	2.00	1.55
ザウター平均液滴径	1 18	5 79	6 2 2	264
D ₃₂ [mm]	4.10	5.72	0.32	5.04
水平方向液滴速度	0 2272	0 4949	0.9879	0.0557
V _X [m/s]	0.2272	0.4243	0.2012	0.0557
垂直方向液滴速度				
V _y [m/s]	1.95	1.22	2.44	0.94
(下向き正)				
液滴絶対速度	3.49	2.61	3.42	2.17
画像 200 枚(13.6 秒)	3800	052	500	420
当たりの計測液滴数	3000	900	009	4 <i>3</i> 9

(スペーサ肉厚変化,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃)

				- /
定格出力比	非加熱条件	小 LOCA	中 LOCA	大 LOCA
計測項目	(参考)	Case26-2	Case27-2	Case28-1
算術平均液滴径 D ₁₀ [mm]	1.23	1.32	1.84	1.84
ザウター平均液滴径 D ₁₀ [mm]	4.18	3.68	5.18	5.26
水平方向液滴速度 V _X [m/s]	0.2272	0.3858	0.7570	0.5356
垂直方向液滴速度 V _y [m/s] (下向き正)	1.95	0.80	1.87	1.92
液滴絶対速度	3.49	2.24	3.18	3.11
画像 200 枚(13.6 秒) 当たりの計測液滴数	3800	2317	1277	1551

表 3.1.4.13-1 Case26-2, Case27-2, Case28-1の液滴計測結果 (排水速度変化, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150℃)

表 3.1.4.13-2 Case26-1, Case27-1の液滴計測結果 (スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)

定格出力比	非加熱条件	小 LOCA	中 LOCA
計測項目	(参考)	Case26-2	Case27-2
算術平均液滴径 D ₁₀ [mm]	1.26	1.45	1.45
ザウター平均液滴径 D ₁₀ [mm]	3.53	4.11	3.86
水平方向液滴速度 V _X [m/s]	-0.0061	0.7701	0.7236
垂直方向液滴速度 V _y [m/s] (下向き正)	1.11	0.76	1.08
液滴絶対速度	2.42	2.44	2.62
画像 200 枚(13.6 秒) 当たりの計測液滴数	2042	958	907

定格出力比 計測項目	(参考) 非加熱条件	150℃ スプレイ開始	200℃ スプレイ開始
算術平均液滴径 D ₁₀ [mm]	1.26	1.45	1.46
ザウター平均液滴径 D ₁₀ [mm]	3.53	4.11	4.15
水平方向液滴速度 V _X [m/s]	-0.0061	0.7701	0.7560
垂直方向液滴速度 V _y [m/s] (下向き正)	1.11	0.76	1.11
液滴絶対速度	2.42	2.44	2.54
画像 200 枚(13.6 秒) 当たりの計測液滴数	2042	958	712

表 3.1.4.13-3 Case26-1の液滴計測結果 (Case26-1スプレイ開始温度変化,小LOCA,スプレイ流量 0.2m³/h)

試験番号	変化パラメータ	パラメータによるスプレイ冷却への影響		
Case 1-4, Case 1-5	スプレイ流量	スプレイ量の増加とともに冷却時間が短くなる		
Case 1-6a				
Case 1	バンドル出力	出力が高くなるほど、スプレイ冷却が困難となる		
Case 2~3	スプレイ液滴径	液滴径が大きくなるほど冷却にかかる時間がやや短い傾向		
Case 6a, 7	スプレイノズル高さ	大きな変化は見られない		
Case 6	スプレイ噴霧様式	鋭角スプレイの方が一様スプレイに比べ、冷却効果がやや弱い傾向		
Case 8~9	スプレイノズル径方向位置	大きな変化け見られない		
	(鋭角噴霧)			
Case 10~11	試験部冷却水初期水温	スプレイ開始後の冷却挙動に大きな変化は見られない		
Case 12	スプレイ水温	スプレイ開始後の冷却挙動に大きな変化は見られない		
Case 13~14	試験部冷却水初期水位	水位が下がるほど、スプレイ冷却が困難となる		
Cara 15 19	上部タイプレート	キキな亦化け目とわれい		
Case 15∼18	水力等価直径	人さな変化は見られない		
Case 22	スペーサ肉厚	大きな変化は見られない		
	LOCA 条件	全ての条件においてスプレイ冷却不可		
Case 20∼28	冷却水排水速度	排水速度によって、冷却可能な軸方向位置変化		

表 3.1.4.15-1 各試験パラメータによるスプレイ冷却への影響

項目	寸法・仕様	材質
模擬燃料棒格子配列	$7 \times 7$	
模擬燃料棒本数	49 本	
模擬燃料棒外径	11 mm	
模擬燃料棒ピッチ	14 mm	
模擬燃料棒間隔	3 mm	
模擬上部タイプレート	1 個	SUS304
模擬スペーサ	1 個	母材:SUS304 絶縁材:A1 ₂ 0 ₃
模擬チャンネルボックス	内寸:102 mm 肉厚:6 mm コーナ内半径:0mm (板材貼り合せ)	SUS304
模擬ラック	内寸:128 mm 肉厚:6 mm	SUS304

表 3.2.1-1 模擬燃料集合体,模擬チャンネルボックス,ラックの主要寸法・仕様・材質



図 2.2.1-1 実験の流れ



図 2.2.1-2 単バンドル実験装置のイメージ



図 2.2.1-3 模擬燃料集合体の構成例



図 3.1.2-1 試験装置の概略図











図 3.1.2-6 試験開始時の条件設定: Case 3-4 スプレイ開始温度 300℃における例 (初期水位 2m, 初期水温 95℃)







図 3.1.3-2 スプレイ状態の計測結果(一様スプレイ液滴径 3mm, スプレイ流量 0.2m³/h)



図 3.1.3-3 スプレイ状態の計測結果(一様スプレイ液滴径 3mm, スプレイ流量 1.0m³/h)



図 3.1.3-4 スプレイ状態の計測結果(一様スプレイ液滴径 1mm, スプレイ流量 0.2m³/h)



図 3.1.3-5 スプレイ状態の計測結果(一様スプレイ液滴径 1mm, スプレイ流量 1.0m³/h)



図 3.1.3-6 スプレイ状態の計測結果(一様スプレイ液滴径 5mm, スプレイ流量 0.2m³/h)



図 3.1.3-7 スプレイ状態の計測結果(一様スプレイ液滴径 5mm, スプレイ流量 1.0m³/h)































(a) スプレイ流量 0.2m³/h
(b) スプレイ流量 1.0m³/h
図 3.1.3-15 液滴径 1mm スプレイノズルの噴霧状況





(a) スプレイ流量 0.2m³/h
(b) スプレイ流量 1.0m³/h
図 3.1.3-16 液滴径 3mm スプレイノズル (ベース条件)の噴霧状況



(a) スプレイ流量 0.2m³/h
(b) スプレイ流量 1.0m³/h
図 3.1.3-17 液滴径 5mm スプレイノズルの噴霧状況


図 3.1.3-18 鋭角スプレイノズルの噴霧状況 (スプレイ流量 0.2m³/h)



図 3.1.3-19 鋭角スプレイノズルの噴霧角度



(発熱部有効長下端を基準とした水位)



(Case 1-4:スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 1-5:スプレイ流量1.0m³/h,スプレイ開始温度150℃)



(Case 1-4:スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)





図 3.1.4.1-5 バンドル出力上昇後のデータロガー測定値時間変化 (Case 1-4:スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case 1-5:スプレイ流量1.0m³/h, スプレイ開始温度300℃)



図 3.1.4.1-7 液滴の計測結果 (Case 1-4:スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



図 3.1.4.1-8 液滴の計測結果 (Case 1-5:スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃)









(Case 1-1:定格出力比 1%, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 1-7:定格出力比 3%, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)









(Case 1-2:定格出力比 1%, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 1-8:定格出力比 3%, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150℃)









(Case 1-1:定格出力比 1%, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 1-7:定格出力比 3%, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)









(Case 1-2:定格出力比 1%, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 1-8:定格出力比 3%, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃)





(d) Case1-6c (スプレイ流量 0.6 m³/h)



図 3.1.4.3-1 バンドル出力上昇後のヒータロッド表面最高温度時間変化 2/2 (Case 1-6: CCFL・スプレイ流量変化,スプレイ開始温度 300℃)





(d) Case1-6c (スプレイ流量 0.6 m³/h)



図 3.1.4.3-2 バンドル出力上昇後のチャンネル内面温度時間変化 2/2 (Case 1-6: CCFL・スプレイ流量変化,スプレイ開始温度 300℃)







バワン 第 [m³]

静水压水位[m]

試験体静水圧水位 補助容器静水圧水位

ドレン貯水量

6a H

図 3.1.4.3-3 バンドル出力上昇後の静水圧水位・ドレンタンク水位時間変化 2/2 (Case 1-6: CCFL・スプレイ流量変化,スプレイ開始温度 300℃)


(Case 1-6a:スプレイ流量 0.1m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 1-6b:スプレイ流量 0.4m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



図 3.1.4.3-6 液滴の計測結果 (Case 1-6c:スプレイ流量 0.6m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



因 5.1.4.4 1 ハンドル山力工弁後のビークロッド表面取高温度時間変化 (Case 2, Case3:スプレイ液滴径変化,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 150℃)



(Case 2, Case3:スプレイ液滴径変化,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 150℃)



(Case 2, Case3:スプレイ液滴径変化,スプレイ流量0.2m³/h,スプレイ開始温度150℃)



(Case 2, Case3:スプレイ液滴径変化,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)





(Case 2, Case3:スプレイ液滴径変化,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case2-4:スプレイ液滴径 1mm, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case3-4:スプレイ液滴径 5mm, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case2-4:スプレイ液滴径 1mm, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case3-4:スプレイ液滴径 5mm, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



^{- 154 -}



^{- 155 -}



図 3.1.4.4-13 バンドル出力上昇後の静水圧水位・ドレンタンク水位時間変化 (Case 2, Case3:スプレイ液滴径変化,スプレイ流量1.0m³/h,スプレイ開始温度150℃) - 156 -



- 157 -



- 158 -



図 3.1.4.4-16 バンドル出力上昇後の静水圧水位・ドレンタンク水位時間変化 (Case 2, Case3:スプレイ液滴径変化,スプレイ流量1.0m³/h,スプレイ開始温度300℃) - 159 -



(Case2-5:スプレイ液滴径 1mm, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case3-5: スプレイ液滴径 5mm, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case2-5: スプレイ液滴径 1mm, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case3-5:スプレイ液滴径 5mm, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 6a-1, Case7-1:スプレイノズル高さ,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 150℃)



^{- 165 -}



(Case 6a-1, Case7-1:スプレイノズル高さ,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 150℃) - 166 -



(Case 6a-1, Case7-1: スプレイ液滴径変化, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 6a-1, Case7-1: スプレイ液滴径変化, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 6a-1, Case7-1: スプレイ液滴径変化, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case6a-1:スプレイ高さ 0.5m, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case7-1:スプレイ高さ5m, スプレイ流量0.2m³/h, スプレイ開始温度150℃)



(Case6a-1:スプレイ高さ 0.5m, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case7-1:スプレイ高さ5m, スプレイ流量0.2m³/h, スプレイ開始温度300℃)



- 174 -





- 176 -






(Case 6a-2, Case7-2:スプレイ液滴径変化,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case6a-2:スプレイ高さ 0.5m, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case7-2:スプレイ高さ5m, スプレイ流量1.0m³/h, スプレイ開始温度150℃)



(Case6a-2:スプレイ高さ 0.5m, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case7-2:スプレイ高さ5m, スプレイ流量1.0m³/h, スプレイ開始温度300℃)



図 3.1.4.6-1 バンドル出力上昇後のヒータロッド表面最高温度時間変化 (Case 6-1: 鋭角ノズル,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 150℃)



(Case 6-1: 鋭角ノズル, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 6-1: 鋭角ノズル, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



図 3.1.4.6-4 バンドル出力上昇後のヒータロッド表面最高温度時間変化 (Case 6-1: 鋭角ノズル,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case 6-1: 鋭角ノズル, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



⁽Case 6-1 : 鋭角ノズル,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case 6-1: 鋭角ノズル, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 6-1: 鋭角ノズル, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



- 192 -



(Case 8-1, 9-1:ノズル径方向位置変化,スプレイ流量0.2m³/h,スプレイ開始温度150℃)



図 3.1.4.7-3 ハントル出力上昇後の静水圧水位・トレンタンク水位時間変化 (Case 8-1, 9-1:ノズル径方向位置変化,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 150℃)



(Case 8-1, 9-1:ノズル径方向位置変化,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case 8-1, 9-1:ノズル径方向位置変化,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



図 3.1.4.7-6 バンドル出力上昇後の静水圧水位・ドレンタンク水位時間変化 (Case 8-1, 9-1:ノズル径方向位置変化,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case 8-1:オフセット100mm, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 9-1:オフセット 200mm, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 8-1:オフセット 100mm, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 9-1:オフセット 200mm, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 10, 11:初期水温変化,定格出力比 1%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃) - 202 -



(Case 10, 11:初期水温変化,定格出力比 1%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃) - 203 -



図 3.1.4.8-3 パンドル出刀上昇後の静水圧水位・ドレンタンク水位時間変化 (Case 10, 11:初期水温変化,定格出力比 1%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃) - 204 -



(Case 10, 11:初期水温変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃) - 205 -



(Case 10, 11:初期水温変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃) - 206 -



(Case 10, 11:初期水温変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃) - 207 -



(Case 10, 11:初期水温変化,定格出力比 3%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃) - 208 -



(Case 10, 11:初期水温変化,定格出力比 3%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃) - 209 -



図 3.1.4.8.9 ハントル山力上升後の靜水圧水位・トレンタンク水位時間変化 (Case 10, 11:初期水温変化,定格出力比 3%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃) - 210 -














⁽Case 12:スプレイ水温変化,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 150℃)



⁽Case 12:スプレイ水温変化,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 150℃)



図 3.1.4.9-3 バンドル出力上昇後の静水圧水位・ドレンタンク水位時間変化 (Case 12:スプレイ水温変化,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 150℃)



 $⁽Case 12: スプレイ水温変化, スプレイ流量 0. <math>2m^3/h$ , スプレイ開始温度  $300^{\circ}$ )







図 3.1.4.9-6 バンドル出力上昇後の静水圧水位・ドレンタンク水位時間変化 (Case 12:スプレイ水温変化,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case 12-1:スプレイ水温 60℃, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 12-1:スプレイ水温 60℃, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



⁽Case 12:スプレイ水温変化,スプレイ流量1.0m³/h,スプレイ開始温度150℃)



⁽Case 12: スプレイ水温変化, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150°C)



図 3.1.4.9-11 バンドル出力上昇後の静水圧水位・ドレンタンク水位時間変化 (Case 12:スプレイ水温変化,スプレイ流量1.0m³/h,スプレイ開始温度150℃)



(Case 12:スプレイ水温変化,スプレイ流量1.0m³/h,スプレイ開始温度300℃)



図 3.1.4.9 13 ハントル出力上升後のケヤンネル内面温度時间変化 (Case 12:スプレイ水温変化,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case 12:スプレイ水温変化,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case 12-2:スプレイ水温 60℃, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 12-2:スプレイ水温 60℃, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



図 5.1.4.10-1 ハンドル山刀工弁後のビークロッド表面取高温度時间変化 (Case 13-4, 14-4:初期水位変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 150℃)



(Case 13-4, 14-4:初期水位変化, 定格出力比 2%, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 13-4, 14-4:初期水位変化, 定格出力比 2%, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 13-4:初期水位 1.5m, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 14-4:初期水位1.0m, スプレイ流量0.2m³/h, スプレイ開始温度150℃)



図 3.1.4.10-6 バンドル出力上昇後のヒータロッド表面最高温度時間変化 (Case 13-1, 14-1:初期水位変化,定格出力比 1%,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case 13-1, 14-1:初期水位変化, 定格出力比 1%, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 13-1, 14-1:初期水位変化, 定格出力比 1%, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



図 3.1.4.10-9 バンドル出力上昇後のヒータロッド表面最高温度時間変化 (Case 13-4, 14-4:初期水位変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case 13-4, 14-4:初期水位変化, 定格出力比 2%, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 13-4, 14-4: 初期水位変化, 定格出力比 2%, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 13-7, 14-7:初期水位変化, 定格出力比 3%, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(a) 参考ベース条件 Case1-7 初期水位 2.0m)



図 3.1.4.10-13 バンドル出力上昇後のチャンネル内面温度時間変化 (Case 13-7, 14-7:初期水位変化,定格出力比 3%,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case 13-7, 14-7:初期水位変化,定格出力比 3%,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case 13-1: 定格出力比 1%, 初期水位 1.5m, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 14-1: 定格出力比 1%, 初期水位 1.0m, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)


(Case 13-4: 定格出力比 2%, 初期水位 1.5m, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 14-4: 定格出力比 2%, 初期水位 1.0m, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 13-7: 定格出力比 3%, 初期水位 1.5m, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 14-7: 定格出力比 3%, 初期水位 1.0m, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



図 3.1.4.10-21 バンドル出力上昇後のヒータロッド表面最高温度時間変化 (Case 13-5, 14-5:初期水位変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 150℃)



(Case 13-5, 14-5:初期水位変化, 定格出力比 2%, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



図 3.1.4.10-23 ハントル田刀上弁後の水位・トレンタンク水位時間変化 (Case 13-5, 14-5:初期水位変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 150℃)



図 3.1.4.10-24 バンドル出力上昇後のヒータロッド表面最高温度時間変化 (Case 13-5, 14-5:初期水位変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case 13-5, 14-5: 初期水位変化, 定格出力比 2%, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 13-5, 14-5:初期水位変化, 定格出力比 2%, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 13-5: 定格出力比 2%, 初期水位 1.5m, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 14-5: 定格出力比 2%, 初期水位 1.0m, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 13-5: 定格出力比 2%, 初期水位 1.5m, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 14-5: 定格出力比 2%, 初期水位 1.0m, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 15-4, 18-4: UTP 変化, 定格出力比 2%, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 15-4, 18-4: UTP 変化, 定格出力比 2%, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 15-4, 18-4: UTP 変化, 定格出力比 2%, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 15-4, 18-4: UTP 変化, 定格出力比 2%, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 15-4, 18-4: UTP 変化, 定格出力比 2%, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



- 268 -



(Case 15-4: UTP 水力等価直径 13.3mm, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 18-4: UTP 水力等価直径 14.0mm, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 15-4: UTP 水力等価直径 13.3mm, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 18-4: UTP 水力等価直径 14.0mm, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



図 3.1.4.11-11 ハンドル出力上升後のビータロット表面最高温度時间変化 (Case 15-5, 18-5: UTP 変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 150℃)



(Case 15-5, 18-5: UTP 変化, 定格出力比 2%, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 15-5, 18-5: UTP 変化, 定格出力比 2%, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 15-5, 18-5: UTP 変化, 定格出力比 2%, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 15-5, 18-5: UTP 変化, 定格出力比 2%, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 15-5, 18-5: UTP 変化, 定格出力比 2%, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 15-5: UTP 水力等価直径 13.3mm, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 18-5: UTP 水力等価直径 14.0mm, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 15-5: UTP 水力等価直径 13.3mm, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 18-5: UTP 水力等価直径 14.0mm, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



(Case 22a-4:スペーサ肉厚変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 150℃)



図 3.1.4.12-2 バンドル出力上昇後のチャンネル内面温度時間変化

(Case 22a-4:スペーサ肉厚変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 150℃)


(Case 22a-4:スペーサ肉厚変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 150℃)



(Case 22a-4:スペーサ肉厚変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



⁽Case 22a-4:スペーサ肉厚変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case 22a-4:スペーサ肉厚変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case 22a-4:スペーサ肉厚変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 150℃)



(Case 22a-4:スペーサ肉厚変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 0.2m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case 22a-5:スペーサ肉厚変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 150℃)



(Case 22a-5:スペーサ肉厚変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 150℃)



(Case 22a-5:スペーサ肉厚変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 150℃)



(Case 22a-5:スペーサ肉厚変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case 22a-5:スペーサ肉厚変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case 22a-5:スペーサ肉厚変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



(Case 22a-5:スペーサ肉厚変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 150℃)



(Case 22a-5:スペーサ肉厚変化,定格出力比 2%,スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 300℃)



図 3.1.4.12-17 バンドル出力上昇後のヒータロッド表面最高温度時間変化 (Case 22:初期水位 1.0m, スペーサ肉厚 0.2mm, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 22:初期水位 1.0m, スペーサ肉厚 0.2mm, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 22:初期水位 1.0m, スペーサ肉厚 0.2mm, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



図 3.1.4.12-20 バンドル出力上昇後のヒータロッド表面最高温度時間変化 (Case 22:初期水位 1.0m, スペーサ肉厚 0.2mm, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



- 303 -



(Case 22:初期水位 1.0m, スペーサ肉厚 0.2mm, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



図 3.1.4.12-28 バンドル出力上昇後のヒータロッド表面最高温度時間変化 (Case 22:初期水位 1.0m, スペーサ肉厚 0.2mm, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 22:初期水位 1.0m, スペーサ肉厚 0.2mm, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



(Case 22:初期水位 1.0m, スペーサ肉厚 0.2mm, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



図 3.1.4.12-31 バンドル出力上昇後のヒータロッド表面最高温度時間変化 (Case 22:初期水位 1.0m, スペーサ肉厚 0.2mm, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃) - 313 -



(Case 22:初期水位 1.0m, スペーサ肉厚 0.2mm, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



図 3.1.4.12-33 ハンドル山刀工弁後の水位・ドレンタンク水位時間変化 (Case 22:初期水位 1.0m, スペーサ肉厚 0.2mm, スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃) - 315 -



スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 150℃)



スプレイ流量 1.0m³/h,スプレイ開始温度 150℃)



スプレイ流量1.0m³/h, スプレイ開始温度300℃)



スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃)



スプレイ流量 1.0m³/h, スプレイ開始温度 300℃)








(Case26-2:小LOCA, スプレイ流量1.0m³/h, スプレイ開始温度150℃)



(Case27-2:中LOCA, スプレイ流量1.0m³/h, スプレイ開始温度150℃)











(スプレイ流量変化,中 LOCA,スプレイ開始温度 150℃)











(Case26-1:スプレイ開始温度変化,スプレイ流量 0.2m³/h,小LOCA)



(Case26-1:スプレイ開始温度変化,スプレイ流量 0.2m³/h,小LOCA)



(Case26-1:スプレイ開始温度変化,スプレイ流量 0.2m³/h,小LOCA)



(Case26-1:小LOCA, スプレイ流量 0.2m³/h, スプレイ開始温度 200℃)



- 339 -



(Case1-4:ベース条件, 定格出力比 2%, 初期水位 2m, 初期水温 95℃)



図 3.1.4.14·3 PCT 100℃到達時のボイド率分布 (Case1-4:ベース条件,定格出力比 2%,初期水位 2m,初期水温 95℃)



(Case1-4:ベース条件, 定格出力比 2%, 初期水位 2m, 初期水温 95℃)



図 3.1.4.14-5 PCT 200℃到達時のボイド率分布 (Case1-4:ベース条件,定格出力比 2%,初期水位 2m,初期水温 95℃)



図 3.1.4.14-6 スプレイ開始前の軸方向温度分布 (Case1-4:ベース条件,定格出力比 2%,初期水位 2m,初期水温 95℃) - 344 -



図 3.1.4.14-7 スプレイ開始前のボイド率分布 (Case1-4:ベース条件,定格出力比 2%,初期水位 2m,初期水温 95℃)





(Case10-3:定格出力比 2%,初期水位 2.0m,初期水温 30℃)





図 3.1.4.14-10 PCT 200℃到達時のボイド率分布 (Case10-3:定格出力比 2%,初期水位 2.0m,初期水温 30℃)







(Case11-3:定格出力比 2%,初期水位 2.0m,初期水温 60℃)



図 3.1.4.14-13 PCT 200℃到達時のボイド率分布 (Case11-3:定格出力比 2%,初期水位 2.0m,初期水温 60℃)



図 3.1.4.14·14 スプレイ開始前の軸方向温度分布 (Case11·3:定格出力比 2%,初期水位 2.0m,初期水温 60℃)





図 3.1.4.14-15 スプレイ開始前のボイド率分布 (Case11-3:定格出力比 2%,初期水位 2.0m,初期水温 60℃)



(Case13-4:定格出力比 2%,初期水位 1.5m,初期水温 95℃)



図 3.1.4.14-17 PCT 100℃到達時の軸方向温度分布 (Case13-4:定格出力比 2%,初期水位 1.5m,初期水温 95℃)



図 3.1.4.14-18 PCT 100℃到達時のボイド率分布 (Case13-4:定格出力比 2%,初期水位 1.5m,初期水温 95℃)


図 3.1.4.14-19 スプレイ開始前の軸方向温度分布 (Case13-4:定格出力比 2%,初期水位 1.5m,初期水温 95℃)



1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0

図 3.1.4.14-20 スプレイ開始前のボイド率分布 (Case13-4:定格出力比 2%,初期水位 1.5m,初期水温 95℃)



(Case14-4:定格出力比 2%,初期水位 1m,初期水温 95℃)



図 3.1.4.14-22 PCT 100℃到達時の軸方向温度分布 (Case14-4:定格出力比 2%,初期水位 1m,初期水温 95℃)



SCVS1 (有効長下端より 2.872m)

SCVS2(有効長下端より 1.848m)

SCVS3(有効長下端より 0.824m)



図 3.1.4.14-23 PCT 100°C 到達時のボイド率分布 (Case14-4:定格出力比 2%,初期水位 1m,初期水温 95℃)



図 3.1.4.14-24 スプレイ開始前の軸方向温度分布 (Case14-4:定格出力比 2%,初期水位 1m,初期水温 95℃)



1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0

図 3.1.4.14-25 スプレイ開始前のボイド率分布 (Case14-4:定格出力比 2%,初期水位 1m,初期水温 95℃)



3.1.4.14-26 ボイド率の時間変化

(Case22a-4:ベース条件,定格出力比 2%,初期水位 2m,初期水温 95℃,スペーサ肉厚 0.3mm)



図 3.1.4.14-27 PCT 100℃到達時の軸方向温度分布 (Case22a-4:ベース条件,定格出力比 2%,初期水位 2m,初期水温 95℃,スペーサ肉厚 0.3mm)



1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0

図 3.1.4.14-28 PCT 100℃到達時のボイド率分布 (Case22a-4:ベース条件,定格出力比 2%,初期水位 2m,初期水温 95℃,スペーサ肉厚 0.3mm)



図 3.1.4.14-29 PCT 200℃到達時の軸方向温度分布 (Case22a-4:ベース条件,定格出力比 2%,初期水位 2m,初期水温 95℃,スペーサ肉厚 0.3mm) - 367 -



1.0 0.8
0.6
0.4
0.2
0.0

図 3.1.4.14-30 PCT200℃到達時のボイド率分布 (Case22a-4:ベース条件,定格出力比 2%,初期水位 2m,初期水温 95℃,スペーサ肉厚 0.3mm)



図 3.1.4.14-31 スプレイ開始前の軸方向温度分布 (Case22a-4:ベース条件,定格出力比 2%,初期水位 2m,初期水温 95℃,スペーサ肉厚 0.3mm)



1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0

図 3.1.4.14-32 スプレイ開始前のボイド率分布 (Case22a-4:ベース条件,定格出力比 2%,初期水位 2m,初期水温 95℃,スペーサ肉厚 0.3mm)



図 3-2-1-1 多バンドル試験設備 P&ID



図 3.2.1(1)-1 上部タイプレートの外観



図 3.2.1(1)-2 上部タイプレートの概略図 (グリット部分)



図 3.2.1(2)-1 スペーサの外観



図 3.2.1(2)-2 スペーサの概略図



図 3.2.1(3)-1 下部タイプレートの外観



図 3.2.1(3)-2 下部タイプレートの概要図



図 3.2.1(4)-1 模擬燃料集合体の外観



図 3.2.1(5)-1 試験体部容器組立体の外観



図 3.2.1(5)-2 試験体部容器組立体の概略図

- 376 -



図 3.2.1(5)-3 試験体部容器の組込み順番



図 3.2.1(6)-1 スプレイ筒最下部容器の外観



図 3.2.1(6)-2 スプレイ筒最下部容器の概略図



図 3.2.1(7)-1 試験体部容器耐圧試験の様子(スプレイ筒結合)



図 3.2.2-1 スーパーヒータの外観(1)



図 3.2.2-2 スーパーヒータの外観(2)



図 3.2.3-1 ドレンタンクの外観



図 3.2.4-1 容器(試験体部容器)の設置状況



図 3.2.4-2 容器 (スプレイ筒)の設置状況



図 3.2.4-3 容器 (スーパーヒータ)の設置状況



図 3.2.4-4 容器(ドレンタンク)の設置状況



図 3.2.4-5 試験体挿入状況 (1)



図 3.2.4-6 試験体挿入状況 (2)



図 3.2.4-7 試験体挿入状況 (3)



図 3.2.4-8 試験体挿入状況(4)



図 3.2.4-9 試験体挿入状況 (5)



図 3.2.4-10 試験体挿入状況(6)



図 3.2.4-11 試験体挿入状況 (7)



図 3.2.4-12 制御盤の設置状況

## 平成 28 年度原子力施設等防災対策等委託費

(使用済み燃料貯蔵プール冷却試験)事業

## 成果報告書 付録1

装置図面




















# 平成 28 年度原子力施設等防災対策等委託費

(使用済み燃料貯蔵プール冷却試験)事業

## 成果報告書 付録2

計測手法及びデータ処理法

【本項目における使用記号】

i	:	液滴計により計測された液滴の番号		
j	:	SCVS のサンプリング番号		
f	:	SCVSの測定周波数		
g	:	重力加速度 [m/s ² ]		
m	:	計測された液滴総数		
n	:	SCVS のサンプリング数		
ta	:	α(j)の測定開始時刻		
$ta_0$	:	α(0)の測定開始時刻		
tb	:	β(j)の測定開始時刻		
$\mathbf{tb}_0$	:	β(0)の測定開始時刻		
Ai	:	バンドル断面積に対する SCVS 計測点の断面積比		
$C(\alpha)$	:	静電容量測定值 [pF]		
$C_{\alpha=0}$	:	気相における静電容量[pF]		
$C_{\alpha=100}$	:	液相における静電容量[pF]		
$\mathbf{D}_{\mathrm{i}}$	:	i番目液滴の直径[mm]		
$D_{10}$	:	算術平均液滴径[mm]		
$D_{32}$	:	ザウター平均液滴径[mm]		
DPi	:	上から i 番目の区間差圧計測定値 [Pa]		
ECVL	:	静電容量ボイド率水位計(Electric Capacitance Void and water Level sensor)		
L(i)	:	TC(i) と TC(i+1)の距離 [m]		
LP(i)	:	DPiの測定区間距離 [m]		
Lscvs	:	SCVS における上流側と下流側のワイヤ格子間距離		
$\mathbf{P}_{drain}$	:	ドレンタンク差圧水位		
$\mathbf{P}_{\mathrm{test}}$	:	全長差圧計測値 [%]		
$\mathbf{P}_{\mathrm{pool}}$	:	差圧計測値 [%]		
PTV	:	粒子追跡法(Particle Tracking Velocimetry)。広義において PIV (粒子画像流		
		速測定法 Particle Tracking Velocimetry)と同一である。		
SCVS	:	サブチャンネルボイドセンサ(Sub-Channel Void Sensor)		
TC _{in} (i)	:	上端よりi番目のチャンネルボックス内側熱電対		
TC _{out} (i)	:	上端よりi番目のチャンネルボックス外側熱電対		
TC _{rod} (i)	:	上端よりi番目のヒータロッド表面熱電対		
T _h (i)	:	DPi における絶対圧(大気圧+ $\sum_{j=1}^{i} DP_{j}$ )の沸点温度[ $^{\circ}$ C]		

T _{in} (i)	:	TC _{in} (i)の温度[℃]
T _{out} (i)	:	TC _{out} (i)の温度[℃]
T _{rod} (i)	:	TC _{rod} (i)の温度[℃]
Х	:	α (j)とβ (j)間の気相平均通過時間
X ₀ (j)	:	トランスミッタとレシーバ切替によるα (j)とβ (j)の計測時間差
V	:	SCVS 計測におけるα (j)とβ (j)間の気相平均速度
Vxi	:	i番液滴の水平方向速度[m/s]
$\overline{V}_x$	:	算術平均水平方向液滴速度[m/s]
Vyi	:	i 番液滴の垂直方向下向き速度[m/s]
$\overline{V}_y$	:	算術平均垂直方向下向き液滴速度[m/s]
$\mathrm{WL}_\mathrm{out}$	:	チャンネルボックス外の静水圧水位 [m]
$WL_{\text{pool}}$	:	補助容器水位 [m]
α	:	ボイド率(気相体積率)[-]
$\overline{\alpha}$	:	断面時間平均ボイド率[-]
$\overline{\alpha_i}$	:	SCVS 計測点 i の時間平均ボイド率[–]
α(j)	:	サンプリング番号 j の上流側 SCVS ボイド率(気相体積率)[–]
β(j)	:	サンプリング番号 j の下流側 SCVS ボイド率(気相体積率)[–]
$\rho_{\text{UTP}}(i)$	:	上部タイプレートの熱電対温度を用いた蒸気密度[kg/m ³ ]
$\rho_{Vx}(i)$	:	T _x (i)を基にした蒸気密度 [kg/m ³ ]
ρ _{wx} (i)	:	T _x (i)を基にした水密度[kg/m ³ ]
ho drain	:	ドレンタンクの密度 [kg/m³]
$ ho_{out}$	:	上流側差圧導管水密度[kg/m³]
$\rho_{\mathrm{pool}}$	:	補助容器温度を基にした密度 [kg/m³]

#### 1. 差圧計による水位・ボイド率計測

差圧計を用いて,各部の水位もしくはボイド率を以下の計算方法により算出した。なお, 各部の密度は,実用国際状態式 IF97*1により算出した。

1.1 試験体収納容器

試験体部には試験部全体を測定する差圧計1台,試験部を6区間に分けた差圧計6台,計7台により試験部の差圧を計測した。各差圧計において,差圧計測結果から静水圧水位,ボイド率を算出した方法を以下に示す。

- 1.1.1 全体差圧
  - (1) 圧力レンジ

全体差圧計は、常温状態において以下に示す測定レンジで設定した。なお、デー タロガーにおいては%の値を収録した。また括弧中の水位は、差圧計上流部差圧タ ップ位置を基準とした値である。

0%:17.46 kPa(水位 0mm) 100%:65.21 kPa(水位 4870mm)

従って、差圧計数値1%あたりの差圧は477.5 Paとなる。

(2) 発熱有効長下端(BAF)から差圧タップまでの距離

付録1の図面を基に、以下のようにBAFから差圧タップまでの距離を算出した。

試験体差圧タップ~ロッド支持フランジ下端距離までの距離: 25mm BAF~ロッド支持フランジ下端までの距離: 416mm

よって、有効長下端から試験体差圧タップまでの距離は441mmとなる。

(3) 水位計算方法

以下の式により,試験体全体の静水圧水位を算出した。なお,BAF 以下に関しては,チャンネルボックス最下端の熱電対温度 T_{in}(10)を用い,密度を算出した。

### 1.1.2 区間差圧

(1) 圧力レンジ

区間差圧計の測定レンジは、全て-20~20kPa である。なお、データロガーにお いては、kPa の値を収録した。

- (2) 区間差圧計1(DP1)ボイド率計算方法
  - 水密度pw

有効長上端におけるチャンネルボックス内面熱電対温度  $T_{in}(1)$ を用いた密度  $\rho_{Win}(1)$ を用いる。なお、 $T_{in}(1)$ が  $T_{h}(1)$ を超える場合、沸点における水密度 $\rho_{Wh}(1)$ を用いる。また、上流側は外気にさらされているため、 $\rho_{out}$ は外気温度を基にし た水密度とする。

## ・蒸気密度pv

 $\rho_{UTP}$ と $\rho_{Vin}(1)$ の平均値を用いる。なお、 $T_{in}(1)$ が $T_{h}(1)$ より低い場合、 $\rho_{UTP}$ を用いる。

#### ・区間長さ L₁'

ボイド率の算出する区間 Li'は,有効長上端からチャンネルボックス上端とする。 なお,チャンネルボックスより上の区間 Li"は, purp の蒸気で満たされていると して扱う。

 $\begin{array}{rll} LP_{1U} \ = \ 285 mm \\ LP_{1L} \ = \ 464 mm \end{array}$ 

ボイド率α1

以下の計算式により、ボイド率を算出した。

$$\begin{split} \alpha &= \frac{DP_{1} - \rho_{UTP} gLP_{1U} - \rho_{w} gL_{1L} + \rho_{out} gL_{1L}}{(\rho_{v} - \rho_{w}) gLP_{L}} \\ \rho_{w} &= \begin{cases} \rho_{Lin} &: T_{in}(1) \leq T_{h}(1) \\ \rho_{Lh} &: T_{in}(1) > T_{h}(1) \end{cases} \\ \rho_{v} &= \begin{cases} \rho_{UTP} &: T_{in}(1) \leq T_{h}(1) \\ 0.5(\rho_{UTP} + \rho_{Vin}(1)) &: T_{in}(1) > T_{h}(1) \end{cases} \end{split}$$

以下では、DPiのボイド率αiを次の式で算出する。

$$\alpha_{i} = \frac{DP_{i} - \rho_{w}gLP_{i} + \rho_{out}gL_{i}}{(\rho_{v} - \rho_{w})gLP_{i}}$$

(3) 区間差圧計2(DP2) ボイド率計算方法

・差圧計測区間

 $LP_2 = 741.6 \text{ mm}$ 

- ・水密度pw
   水密度は、以下①~③の順で決定する。
  - T_{in}(3)>T_h(3): 全区間露出 _{pwh}(2)
  - ② T_{in}(2)<T_h(2):水中もしくは TC_{in}(2)~TC_{in}(1)の間に水面形成 p_{Win}(2)
  - ③ T_{in}(2)≥T_h(2):TC_{in}(3)~TC_{in}(2)の間に水面形成 ρ_{Wh}(2)
- 上流側導管水密度pout
   Tout(2)を導管の代表温度とする。
- ・蒸気密度pv
   蒸気密度は、以下①~③の順で決定する。
  - ① T_{in}(3)>T_h(3): 全区間露出 _{p_{Vin}(2)}
  - ② T_{in}(2)<T_h(2):水中もしくは TC_{in}(2)~TC_{in}(1)の間に水面形成 p_{Vh}(2)
  - ③ T_{in}(2)≥T_h(2):TC_{in}(3)~TC_{in}(2)の間に水面形成 ρ_{Vin}(2)

- (4) 区間差圧計3 (DP3) ボイド率計算方法
  - · 差圧計測区間

 $LP_3 = 741.6 \text{ mm}$ 

- 水密度pw
   水密度は、以下①~④の順で決定する。
  - ① T_{in}(5)>T_h(4): 全区間露出 _{pwh}(3)
  - ② T_{in}(4)<T_h(3):水中もしくはTC_{in}(4)~TC_{in}(3)の間に水面形成 p_{Win}(4)
  - ③ T_{in}(4)≥T_h(3):TC_{in}(5)~TC_{in}(4)の間に水面形成 ρ_{wh}(3)
- ・上流側導管水密度ρ_{out}
   T_{out}(4)を導管の代表温度とする。
- ・蒸気密度pv
   蒸気密度は、以下①~③の順で決定する。
  - ① T_{in}(5)>T_h(4): 全区間露出 _{pvin}(4)
  - (2) T_{in}(4)<T_h(3):水中もしくは TC_{in}(4)~TC_{in}(3)の間に水面形成 p_{vh}(3)
  - ③ T_{in}(4)≥T_h(3):TC_{in}(5)~TC_{in}(4)の間に水面形成 ρ_{Vin}(4)

- (5) 区間差圧計4(DP4) ボイド率計算方法
  - ・差圧計測区間

 $LP_4 = 741.6 mm$ 

- ・水密度pw
   水密度は、以下①~④の順で決定する。
  - T_{in}(7)>T_h(5): 全区間露出 p_{wh}(4)
  - ② T_{in}(5)<T_h(4):水中もしくはTC_{in}(5)~TC_{in}(4)の間に水面形成
     0.5(p_{win}(5)+ p_{win}(6))
  - ③ T_{in}(6)<T_h(4):TC_{in}(6)~TC_{in}(5)の間に水面形成
     ρ_{Win}(6)
  - ④ T_{in}(6)≥T_h(4):TC_{in}(7)~TC_{in}(6)の間に水面形成 ρ_{wh}(4)
- ・上流側導管水密度ρout Tout(5)とTout(6)の平均値を導管の代表温度とする。
- ・蒸気密度pv
   蒸気密度は、以下①~③の順で決定する。
  - ① T_{in}(7)>T_h(5):全区間露出 0.5(p_{Vin}(5)+ p_{Vin}(6))
  - ② T_{in}(5)<T_h(4):水中もしくは TC_{in}(5)~TC_{in}(4)の間に水面形成 _{pvh}(4)
  - ③ T_{in}(6)<T_h(4):TC_{in}(6)~TC_{in}(5)の間に水面形成 ρ_{Vin}(5)
  - ④ T_{in}(6)≥T_h(4):TC_{in}(7)~TC_{in}(6)の間に水面形成
     0.5(ρ_{Vin}(5)+ ρ_{Vin}(6))

- (6) 区間差圧計5(DP5) ボイド率計算方法
  - · 差圧計測区間

 $LP_5 = 761.6 \text{ mm}$ 

- ・水密度pw
   水密度は、以下①~⑤の順で決定する。
  - T_{in}(9)>T_h(6): 全区間露出 p_{wh}(5)
  - ② T_{in}(7)<T_h(5):水中もしくはTC_{in}(7)~TC_{in}(6)の間に水面形成
     0.5(p_{Win}(7)+p_{Win}(8))
  - ③ T_{in}(8)<T_h(5):TC_{in}(8)~TC_{in}(7)の間に水面形成 p_{Win}(8)
  - ④ T_{in}(8)≥T_h(5):TC_{in}(9)~TC_{in}(8)の間に水面形成 ρ_{wh}(5)
- ・上流側導管水密度pout
   Tout(7)を導管の代表温度とする。
- ・蒸気密度pv
   蒸気密度は、以下①~③の順で決定する。
  - ① T_{in}(9)>T_h(6):全区間露出 0.5(p_{Vin}(7)+ p_{Vin}(8))
  - ② T_{in}(7)<T_h(5):水中もしくは TC_{in}(7)~TC_{in}(6)の間に水面形成 p_{vh}(5)
  - ③ T_{in}(8)<T_h(5):TC_{in}(8)~TC_{in}(7)の間に水面形成 p_{Vin}(7)
  - ④ T_{in}(6)≥T_h(4):TC_{in}(7)~TC_{in}(6)の間に水面形成
     0.5(ρ_{Vin}(7)+ ρ_{Vin}(8))

- (7) 区間差圧計6(DP6)ボイド率計算方法
  - · 差圧計測区間

 $LP_6 = 721.6 \text{ mm}$ 

- ・水密度pw
   水密度は、以下①~④の順で決定する。
  - T_{in}(10)>T_h(6):全区間露出 _{pwh}(5)
  - (2) T_{in}(9)<T_h(6):水中もしくはTC_{in}(9)~TC_{in}(8)の間に水面形成 p_{Win}(9)
  - ③ T_{in}(8)≥T_h(5):TC_{in}(9)~TC_{in}(8)の間に水面形成 ρ_{wh}(6)
- ・上流側導管水密度ρ_{out}
   T_{out}(9)を導管の代表温度とする。
- ・蒸気密度pv
   蒸気密度は、以下①~③の順で決定する。
  - ① T_{in}(10)>T_h(6): 全区間露出 p_{Vin}(9)
  - ② T_{in}(9)<T_h(6):TC_{in}(9)~TC_{in}(8)の間に水面形成 p_{Vh}(6)
  - ③ T_{in}(6)≥T_h(4):TC_{in}(10)~TC_{in}(9)の間に水面形成 ρ_{Vin}(9)

1.2 補助容器

(1) 圧力レンジ

全体差圧計は、常温状態において以下に示す測定レンジで設定した。なお、デー タロガーにおいては%の値を収録した。また括弧中の水位は、差圧計上流部差圧タ ップ位置を基準とした値である。

0%:14.12 kPa (水位 0mm) 100%:83.06 kPa (水位 7030mm)

従って, 差圧計数値 1%あたりの差圧は 689.4 Paとなる。

(2) BAF から差圧タップまでの距離

付録1の図面を基に、以下のようにBAFから差圧タップまでの距離を算出した。

連通配管距離~補助容器差圧タップまでの距離:

(1247 - 127) - 917.85 = 202.15 mm

試験体差圧タップ~連通配管までの距離: 110+25+20=155 mm 有効長下端~試験体差圧タップまでの距離: 441 mm

よって、有効長下端~補助容器差圧タップまでの距離は 798.15 mm となる。

#### (3) 水位計算方法

以下の式により、補助容器の静水圧水位を算出した。

 $WL_{pool} = 0.6894 P_{pool} / g\rho_{pool} - 0.79815$ 

- 1.3 ドレンタンク水量
  - (1) ドレンタンク水量

データロガーにおいて、ドレンタンクに設置された差圧計データは%の値を収録した。なお、差圧計出力 1%あたりの差圧は 200 Pa である。

(2) ドレンタンク断面積

ドレンタンク断面積は, 0.85²×π÷4である。

- (2) 水密度ρdrainρdrain は外気温を基に計算する。
- (3) 水量計算方法(なお,初期値を0とする) 以下の式により,ドレンタンク内の水量を算出した。

 $WL_{pool} = (200P_{drain}/g\rho_{drain})(0.85^{2}\pi/4) = \frac{36.125\pi P_{drain}}{g\rho_{drain}}$ 

#### 2. 静電容量ボイド率計(ECVL)

(1) 機器構成

本試験では、LCR メータを用いた 4 端子法により、模擬チャンネルボックスの対面に設 置された電極間の静電容量を測定した。本試験に使用した静電容量計は、付図 1 に示すよ うに、LCR メータ、切替機、電極から構成される。LCR メータの信号線は、切替器に接続 される。なお、4 端子法においてはレシーバ側、トランスミッタ側にそれぞれ 2 本の信号線 を持つが、説明を簡便化するため、本資料においては信号線をそれぞれ 1 本としている。 切替器のイメージ図を付図 2 に示す。切替機は、モータ、回転板、多芯電極板、リミット スイッチから構成される。回転板には、LCR メータ信号線と接続された電極 1 個が配置さ れる。多芯電極板に上に同心円で配置された 10 個の電極には、それぞれ各 ECVL 電極から の信号線が接続される。ステッピングモータによって回転板を回転させることで、任意の 電極と LCR メータが接続される。なお、回転盤外周には、リミットスイッチを押し上げる 凸部が 1 カ所設けられており、原点位置に達した際にスイッチが入り、外部機器(データロ ガー)においてタイミングを記録可能である。また、LCR メータと切替機のモータは、PC と接続し制御される。

本試験においては、試験部ヒータロッドによって電気加熱することから、安全性を考慮し て試験装置は接地されている。商用電源によって LCR メータを作動させると、商用電源の 片側が接地されているため、片側の信号線において試験部と LCR 間に電位差が生じない。 このため、絶縁トランスを用いて LCR メータをフローティングした。なお、本試験では、 上記に示した ECVL システムを3 セット用意し、30 電極の計測を行った。



付図1 サブチャンネルボイドセンサの構成



付図2 切替器のイメージ図

(2) 静電容量の測定手順

ECVL を用いた測定のフロー図を付図 3 に示す。本試験に用いた 3 台の ECVL(ECVL1, ECVL2, ECVL3)は、タイミングをずらしてサンプリングデータ収録、電極の切替えを行う。なお、一回サンプリングでは 20 点のデータを取得し、その後電極切替および次データ収録を、収録停止まで繰り返す。



付図3 ECVLの測定フロー

(3) 測定条件の設定

LCR メータにおいては、測定時に印加する交流電圧の周波数を変更することで、測定される静電容量が変化する。測定周波数に関しては、試験体を空気、水それぞれで満たした状態において、印加する交流電圧の周波数に対する各電極の静電容量を測定し、測定可能な周波数を検討した。交流電圧の周波数に対する静電容量の測定例を付図 4 に示す。測定値中においてデータが抜けている範囲は、測定エラーとなった周波数である。

本測定においては、各電極の測定データを比較し、交流電圧の周波数を測定可能な電極が 最も多い 340kHz に設定した。



(4) 静電容量の測定値

本試験においては、サンプリングした 20 点のデータを平均し、各測定時刻における静電 容量測定値とした。なお、エラーデータについては平均値から除いた。

(5) ボイド率の算出

各サンプリングデータのボイド率αは,渡辺らのC計測法*2を用いた,以下の式により算 出した。

$$\alpha = \frac{1.0 - C}{1 + 0.5C}$$
$$C = \frac{C(\alpha) - C_{\alpha = 100}}{C_{\alpha = 0} - C_{\alpha = 100}}$$

ここで、 $C(\alpha)$ は測定した静電容量、 $C\alpha_{=0}$ および  $C\alpha_{=100}$ は 95℃水中および空気中の状態に おける静電容量計測値である。各電極の  $C_{\alpha=0}$ および  $C_{\alpha=100}$ の値を付表 1, 2 に示す。なお、 算出した  $\alpha$  が 1.0 以上の値となった場合  $\alpha = 1$ , 0 以下の値となった場合  $\alpha = 0$  とした。

ECVL 番号 電極番号	ECVL1	ECVL2	ECVL3
1	1059	1043	862
2	1044	983	860
3	1058	896	1007
4	1037	921	3115
5	1300	2826	3153
6	844	3109	15493
7	2035	3080	2917
8	1361	2942	3049
9	1133	3038	1018
10	924	861	882

付表1 各電極の Ca=0

付表 2 各電極の Ca=100

ECVL 番号 電極番号	ECVL1	ECVL2	ECVL3
1	550	800	625
2	519	480	564
3	530	554	518
4	570	470	1469
5	0	1583	1809
6	166	1791	26538
7	1082	1783	1681
8	0	1688	1825
9	531	1692	533
10	579	623	505

#### 3. サブチャンネルボイドセンサ(SCVS)

SCVS においては、各計測点におけるボイド率が収録器に保存される。本試験においては、 1回の計測において 60 秒間のデータを測定した。保存されたデータを基に、断面ボイド率 分布の作成、および断面時間平均ボイド率を算出した。

(1) 断面のボイド率分布

サブチャンネルボイドセンサにおいては、2対のワイヤをそれぞれトランスミッタとレシ ーバとして、交点となるサブチャンネルのボイド率を計測する。また、ヒータロッド表面 をトランスミッタ、ワイヤをレシーバとすることでギャップ部のボイド率を計測する。従 って、2対のワイヤとヒータロッドでは、全サブチャンネルと一方向のギャップ部しかボイ ド率を測定できない。本試験に用いた SCVS センサは、速度計測を目的として 30mm の間 隔をおいた 2段1セットのワイヤ格子を持つ。このため本試験においては、付図5に示す ように、上流部と下流部でワイヤのトランスミッタとレシーバの役割を交換させ、それぞ れの断面で異なる方向のギャップ部ボイド率を測定している。

本試験においては、下流側ワイヤ格子のボイド率を基本的に用い、不足するギャップ部ボ イド率測定値は上流部ワイヤ格子測定値を用い、ボイド率分布を作成した。なお、ボイド 率分布の各計測点数値は、計測した 60 秒間の平均値である。

また一部測定条件においては、ワイヤとヒータロッドが接触したことによる絶縁性低下が 原因と思われる、高いボイド率の誤検知が確認されている。現時点において、誤検知と計 測値の判別が十分でないため、本報告書においては上記を含めた値を記載している。なお、 ワイヤとヒータロッドの接触については、試験体の温度上昇によってワイヤ等に伸びが生 じたことが原因と考えられる。



付図 5 交流電圧の周波数に対する静電容量の測定例(水温 95℃)

(2) 断面時間平均ボイド率

断面平均ボイド率 $\overline{\alpha}$ は、以下の式により算出した。ここで、 $\overline{\alpha}_i$ は計測点 i における計測 ボイド率の時間平均値、Ai は試験バンドル部の全断面積に対する各計測点の断面積比であ る。各計測点の断面積比を付表 3 に示す。

$$\overline{\alpha} = \sum A_i \overline{\alpha}_i$$



付表3 各計測部のAi

(3) 気相速度

SCVS のサンプリング周波数をfとした場合に、気相速度算出のための対となる上流側の 計測ボイド率を $\alpha$ (j)、下流側の計測ボイド率を $\beta$ (j)として、n 個のデータをサンプリングした とする。ここで j はサンプリング番号を示し、計測開始後 ta, tb 後に $\alpha$ (j)、 $\beta$ (j)をサンプリ ングしたとすると、以下のように j は表される。なお、tao と tbo をサンプリング開始から  $\alpha$ (0)、 $\beta$ (0)を開始するまでの時間とする。

$$j = (ta - ta_0)f = (tb - tb_0)f$$

 $\alpha$ (j)に対する $\beta$ (j+x)の相関係数を Cscvs(x)とすると、以下の式で表される。

$$C_{\text{SCVS}}(x) = \frac{S_x}{S_\alpha S_{\beta x}}$$

$$\overline{\alpha} = \frac{1}{n-x} \sum_{j=1}^{n-x} \alpha(j)$$

$$\overline{\beta} = \frac{1}{n-x} \sum_{j=1}^{n-x} \beta(j+x)$$

$$S_\alpha = \sqrt{\frac{1}{n-x} \sum_{j=1}^{n-x} \left\{ \alpha(j) - \overline{\alpha} \right\}^2} = \sqrt{\frac{1}{n-x} \sum_{j=1}^{n-x} \alpha(j)^2 - \overline{\alpha}^2}$$

$$S_{\beta x} = \sqrt{\frac{1}{n-x} \sum_{j=1}^{n-x} \left\{ \beta(j+x) - \overline{\beta} \right\}^2} = \sqrt{\frac{1}{n-x} \sum_{j=1}^{n-x} \beta(j+x)^2 - \overline{\beta}^2}$$

$$S_x = \frac{1}{n-x} \sum_{j=1}^{n-x} \left[ \left\{ \alpha(j) - \overline{\alpha} \right\} \left\{ \beta(j+x) - \overline{\beta} \right\} \right]$$

$$= \frac{1}{n-x} \sum_{j=1}^{n-x} \alpha(j) \beta(j+x) - \overline{\alpha} \overline{\beta}$$

Cscvs (x)が最大となる X を,  $\alpha$  (j)と $\beta$  (j)間の気相平均通過時間とする。よって,気相の平 均気相速度 V は以下のように表される。なお,Lscvs は $\alpha$ (j)と $\beta$ (j)間の距離とする。なお, X₀(j)はトランスミッタとレシーバ切替による $\alpha$  (j)と $\beta$  (j)の計測時間差を示す。

$$V = \frac{L_{SCVS}}{X + X_0(j)}$$

#### 4. 液滴計による各種平均値の算出法

本試験においては、スプレイ噴霧液滴に対して、シャドウ法により液滴径、粒子追跡法 (PTV)により液滴速度を計測した。測定されたデータを用い、以下の式により各種平均値を 算出した。なお、iは計測された液滴の番号、mは計測された液滴の総数、Diはi番液滴の 直径、Vxiはi番液滴の水平方向速度、Vyiはi番液滴の垂直方向下向き液滴速度を示す。

·算術平均液滴径 D10

$$D_{10} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{m} di$$

・ザウター平均液滴径 D₃₂ *3

$$D_{10} = \frac{\sum_{i=1}^{m} di^{3}}{\sum_{i=1}^{m} di^{2}}$$

·算術平均水平方向液滴速度 *V*_r

$$\overline{V}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m Vx^i$$

·算術平均水平方向液滴速度 *V*,

$$\overline{V}_{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{m} Vyi$$

【参考文献】

*1:「蒸気表」, 日本機械学会, 1999

*2:渡辺 博典,光武 徹,柴田 光彦,高瀬 和之,「静電容量式ボイド率計の高温高圧条 への適応研究」,日本機械学会論文集(B編)76巻 769号,2010

*3:日本機械学会編,「改訂 気液二相流技術ハンドブック」,コロナ社,2006