



## 炉内燃料移送機 ガスブローダウン試験

佐藤 和二郎 村松 寿晴 上出 英樹  
村上 隆典 前川 勇

大洗工学センター安全工学部

資料番号：60-4

### Effect of Gas Blow-down in In-vessel Fuel Transfer Machines

Kazuziro Sato Toshiharu Muramatsu Hideki Kamide  
Takanori Murakami Isamu Maekawa  
(Safety Engineering Division, O-arai Engineering Center.)

燃料交換機類の環状流路への放射性カバーガスの上昇を抑制するのに必要なブローダウン流量を、適切な裕度で評価できるようにするため、実寸大環状流路模倣による実験および汎用多次元熱流動解析コードCOMMIX-PNCの質量輸送モデル(MT Ver.)の開発を行った。これらにより、従来の実験判定式は約2倍の保守的な評価結果を与えることが明らかにされ、「もんじゅ」のアルゴンガス系設備により、適切な裕度をもってブローダウンできることが評価された。

**Key Words:** Fuel Transfer Machine, Annulus, Radioactive Cover Gas, Blow-down, Argon Gas, COMMIX-PNC, Mass Transfer, Monju.

### 1. 緒言

燃料交換時に原子炉容器上部に据付けられた機器のシャヘイプラグ貫通部(環状流路)には、軸方向温度分布( $\Delta T \approx 120^\circ\text{C}$ )により自然対流が発生する。この自然対流は炉容器内の放射性カバーガスを燃料交換機類の内部へ輸送する。機器内部へ混入したカバーガスは新鮮アルゴンガスと置換され、気体廃棄物として原子炉外へ排出される。高速増殖炉「もんじゅ」ではこの気体廃棄物中の放射性物質量の削減を図るため、シャヘイプラグ上部から新鮮アルゴンガスを吹き込み、上記の自然対流の発生を抑制する。本研究はこの吹き込み(ブローダウン)効果に対する軸方向温度分布の影響を実験的に解明し、環状流路へのブローダウン流量を適切な裕度で評価する方法を開発したものである。

### 2. 実験装置

図1に実機の炉内燃料移送機の代表的な環状流路部を実寸大で模倣したブローダウン試験装置を示す。装置の作動流体にはブローで送風する空気を用いている。装置には環状流路の軸方向、周方向および径方向の詳細な温度分布を測定するために、総数171本の熱電対を設置した。環状流路への加熱容器内流体の上昇は、容器にトレーサガス(Xe)を注入し、流路から採取した作動流体中のトレーサガスの濃度を分析して確認した。

### 3. 実験結果

銅加熱板表面温度および軸方向温度差を、それぞれ実機燃料交換時に相当する $200^\circ\text{C}$ および約 $120^\circ\text{C}$ とし、ブローダウン量を定格流量 $0.1\text{m}^3/\text{min}$ の20-300%の範囲で変えて、環状流路の温度分布特性およびト



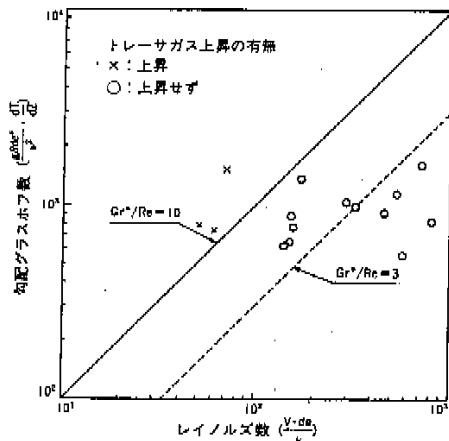


図3 ガスブローダウン効果に関する  
Gr\*数とRe数との関係

= 3、図中の破線)までは、自然対流の効果を完全に無視できない。この場合、ブローダウン効果の度合の詳細検討等に関しては、後述する解析手法などを用いた詳細な評価による確認が有効である。

#### 4. COMMIX-PNC MT Ver.の開発

適切なブローダウン流量を任意の体系について定量的に評価できるようにするため、単相多次元熱流動解析コードCOMMIX-PNCに質量輸送モデルを追加したMT Ver.を開発した。このコードでは1次風上差分法と数値粘性効果を低減する高精度差分スキームのQUICK-FRAM法<sup>7-9)</sup>を用いることができる。図2に示した実験ケースの解析に用いたメッシュ分割および境界条件を図4に示す。メッシュ数は径方向22、軸方向81および周方向6で、計算総セル数は3558個となった。加熱壁の軸方向および周方向温度分布は、離散的に得られている測定値を内挿して与えた。また、内管壁は管内を真空としていることから断熱として取扱った。

図5に環状流路下端部の径方向流速分布計算結果を示す。流速分布は加熱壁側が浮力の効果により若干持ち上げられた歪んだ分布となっている。また、周方向の流れには平均流速0.18 m/secに対して約±0.1 m/secの歪みが生じているが、流路を逆流するまでには至っていない。したがって、自然対流の効果は無視できないものの、ブローダウン効果は期待できる領域であることがわかる。これはトレーサガス濃度分析結果を裏付けるもので、定量的な濃度

分布比較でも計算値と実験値との一致は良好である。

一方、1次風上差分法とQUICK-FRAM法の比較では、両者の差は小さく、間隙の小さな環状流路体系では計算時間の短い風上差分法の方が有利であることがわかった。よって、実機解析は風上差分法を用いることができる。

#### 5. 結論

環状流路におけるトレーサガスの上昇は $Gr^*/Re$ により、以下に示すように分類できる。

- (1) トレーサガスが上昇する領域： $Gr^*/Re > 10$
- (2) トレーサガスが上昇しない領域： $Gr^*/Re < 10$

環状流路におけるブローダウン効果は、流路の軸方向温度分布にも依存するが、上記の(2)の条件を満たすことが必要である。

これに対して従来設計に用いられていた判定条件式<sup>11-14)</sup>は、本来局所的な流況とは関連性の薄い領域をも含む流路の全長にわたる温度差を用いて評価しているため、約2倍のブローダウン流量を必要とする保守的な結果を与える。

形状の複雑さなどから上記の判定条件式が適用できない体系や、ブローダウンの継続による希釈効果の定量化(非定常濃度分布の評価)等に対する評価手法として、COMMIX-PNCに質量輸送モデルを組み込んだMT Ver.を開発した。実験値と解析値の一致は良好であり、COMMIX-PNC MT Ver.によって環状流路部での希薄濃度物質の輸送現象を定量的に評価できる見通しを得た。

#### 6. 謝辞

本実験のトレーサガス濃度分析は実験炉部技術課で実施していただいた。ここに溝尾貫辰課長を初めとして、分析を担当された鈴木実彦主査研究員、飯島稔氏に謝意を表わす。また、計画と実施面で御協力いただいた動力炉建設運転本部原子炉二課 和泉啓課長、前田太志副主研、機械課 大貫康二副主研に謝意を表わす。

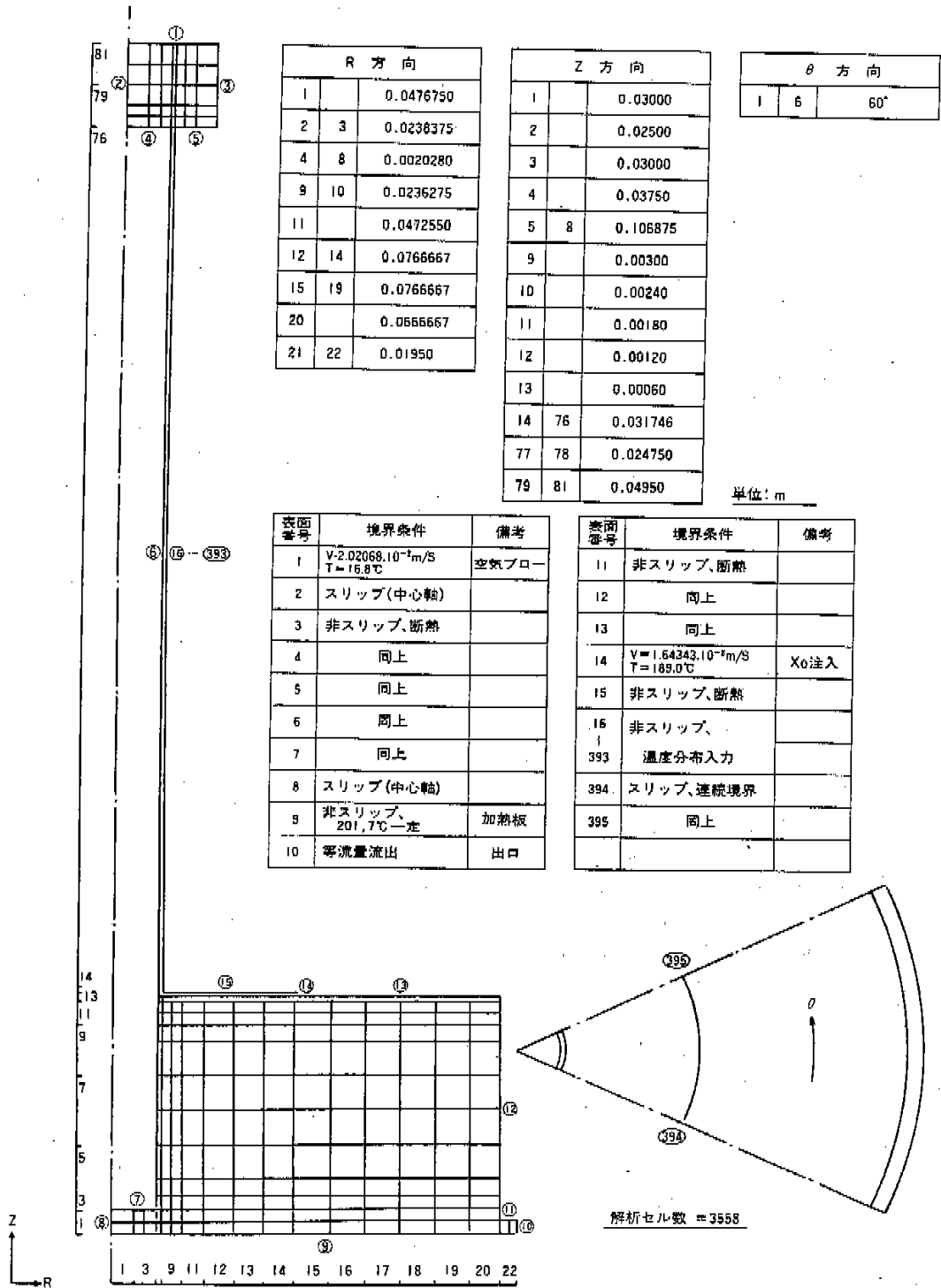


図4 実験解析モデルのメッシュ分割および境界条件

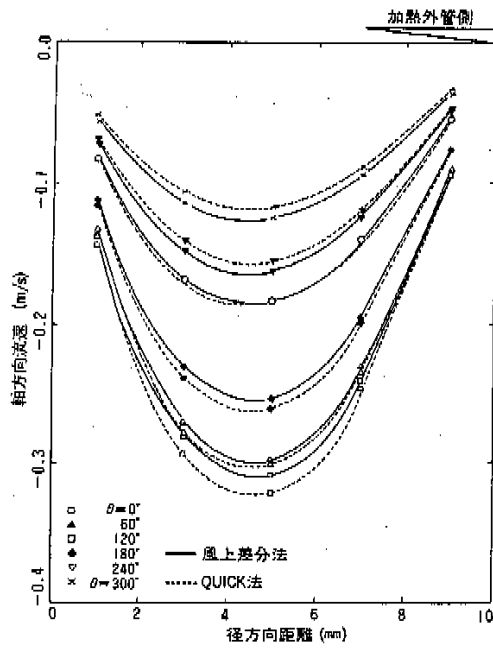


図5 風上差分法とQUICK法による環状流路内軸方向流速分布の比較

参考文献

- 1) 島通恒、飯田精一、"制御棒駆動機構メカニカルシール開発試験"、PNC SJ-222 78-16(1978)。
- 2) 飯田精一、村上陽一郎、他5名、"制御棒駆動機構メカニカルシール試験(II)―気中耐久試験―"、PNC SJ-222 79-13(1979)。
- 3) 河野広、阿部義人、他8名、"制御棒駆動機構メカニカルシール試験(III)―ナトリウム蒸気中耐久試験およびガスブローダウン試験―"、PNC SJ-222 80-16(1980)。
- 4) 中原栄文、"制御棒駆動機構メカニカルシールナトリウム中試験―ガスブローナトリウム中試験―"、PNC SJ-222 81-15(1981)。
- 5) H.Tanaka, et al., "Effects of Buoyancy and of Acceleration Owing to Thermal Expansion on Forced Turbulent Convection in Vertical Circular Tubes—Criteria of the Effects, Velocity and Temperature Profiles, and Reverse Transition from Turbulent to Laminar Flow", J.Heat Mass Transfer, Vol. 16, pp1257-1288(1973)。
- 6) H.L.Greene, et al., "Effect of Fluid Viscosity on Combined Free Convection Flow Phenomena in Vertical Pipes," AIChE Journal, Vol. 16, No.6, pp. 1039-1047(1970)。
- 7) 前川勇、二ノ万寿、"多次元伝熱流動解析コードの整備改良(II) タスク2：数値拡散防止差分法の検討"、PNC N9410 85-022 (1985)。
- 8) B.P.Leonard, "A Stable and Accurate Convective Modeling Procedure Based on Quadratic Upstream Interpolation", Comp Meth, in Appl. and Eng 19, (1979)。
- 9) M.Chapman, "FRAM-Nonlinear Damping Algorithms for the Continuity Equation", J.Comp. Physics, 44 (1981)。