

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月 1日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2011

課題番号：21560869

研究課題名（和文） ナトリウム冷却高速炉の自由液面からの渦によるガス巻き込み量定量評価に関する研究

研究課題名（英文） Research on Quantitative Examination of Gas Entrainment Rate into Liquid from Free Surface by Vortex

研究代表者

小泉 安郎 (KOIZUMI YASUO)

信州大学・繊維学部・教授

研究者番号：20215156

研究成果の概要（和文）： 現在我が国で設計が進められている高速増殖炉において、カバーガスの冷却材への巻き込みが、検討課題の一つになっている。本研究課題は、自由液面からの渦型ガス巻き込みによるガス巻き込み量定量評価法確立を目的としている。試験流体を水およびシリコンとし、内径100 mm、高さ250 mmの透明なアクリル樹脂円筒容器を試験部として、接線方向から液を流入させ、底面から液を流出させて試験容器内にくぼみ渦を形成させた。液流量、容器内液位を変えて、ガス巻き込み量を測定した。

研究成果の概要（英文）： The cover gas entrainment into sodium coolant is one of problems to be examined for the fast breeder reactor that is in the designing stage in Japan. The objective of the present study is to quantitatively examine the gas entrainment rate from the free surface into liquid by a vortex. Test fluid was water and silicone. The height and the diameter of the test vessel were 250 mm and 100 mm, respectively. The test fluid flowed into the test vessel tangentially and left from the outlet at the bottom of the test vessel, and then the hollow vortex was formed. The gas entrainment rate was measured by changing the water flow rate and also the height in the test vessel.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・原子力学

キーワード：熱流動・構造、高速増殖炉信頼性および経済性向上

1. 研究開始当初の背景

我が国において高速増殖炉は、今後のエネルギー供給源の基幹の1つになるものとし

て位置づけられている。様々な議論の中、高速増殖炉サイクルの実用施設及びその実証施設の概念設計並びに実用化に至るまでの研究開発計画を2015年までに決定、20

25年頃に実証施設の実現、2050年頃までに商業炉の導入が国の方針として掲げられてきている。

概念設計に当たって、今後必要となる研究開発項目を

- (a) 信頼性に係わる課題
- (b) 安全性向上に係わる課題
- (c) 経済性に係わる課題

に区分けし、それぞれにおいて各々の課題が挙げられている。本研究提案テーマは、(a)信頼性に係わる課題の中、運転信頼性技術開発、(c)経済性に係わる課題の中、原子炉容器のコンパクト化に係わる技術開発、に関するものである。

ナトリウム冷却高速増殖炉（以下 FBR）概念設計において、経済性向上の方策の1つとして、出力に比してコンパクトな炉容器設計が課題となっている。炉容器サイズの減少は炉容器内冷却材速度の増加をもたらす。このことは、炉容器内で冷却材自由液面からカバーガス巻き込みの懸念を生じさせる。冷却材へのカバーガスの巻き込みは、炉心出力の擾乱、炉心除熱性能劣化など原子炉運転上障害を引き起こす可能性がある。従って、カバーガス巻き込みの発生条件の明確化と、ガス巻き込み量の定量評価法開発は、経済性向上に大きな関わりを持つ。原子炉容器のコンパクト化設計、また、原子炉の運転信頼性に、強く係わる課題である。

2. 研究の目的

幾つかある自由液面からのガス巻き込み発生要因の内、FBRでは様々なコンポーネントがあり、且つ下降流が共存するため、自由液面渦が容易に発生することが想定され、自由液面渦型ガス巻き込みが強く危惧されている。一度これが生じると大量のガス巻き込みが発生する。

自由液面ガス巻き込み発生条件に関しては、可成りの研究が為されてきており、実規模体系におけるガス巻き込み発生条件を評価できる見通しが得られている。

一方、現在進められている FBR 概念設計では、自由液面からのガス巻き込みを或る程度許容し、逆に巻き込まれたガスのガス抜き機構を導入して対応を図ることが検討されている。この場合、炉容器内自由液面からのガス巻き込み量がどの程度になるか、明確に把握されなければならない。このガス巻き量予測手法は確立されておらず、更には、ガス巻き込み量測定例そのものが極めて少ない。以前の設計方針では、ガス巻き込みを許容せず、ガス巻き込み発生限界把握が研究の中心であった事による。

本研究課題は、上述した自由液面からの渦型

ガス巻き込みによるガス巻き込み量を実験的に求め、ガス巻き込み量の定量評価手法確立を目指すものである。

本研究成果は、FBR 設計の基本情報提供になり、資するところ大と言える。また、数値計算手法の検証データを提供する役割をも合わせ持つ。

3. 研究の方法

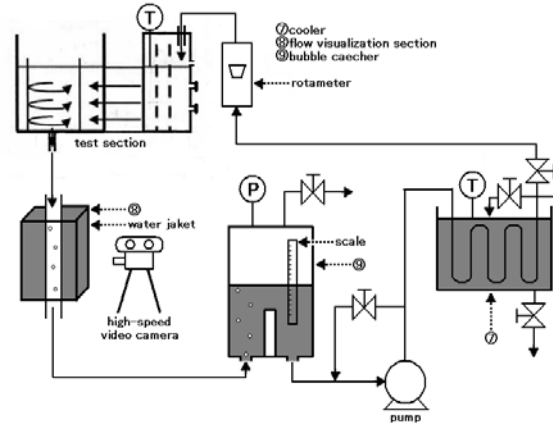


図1 装置系統図

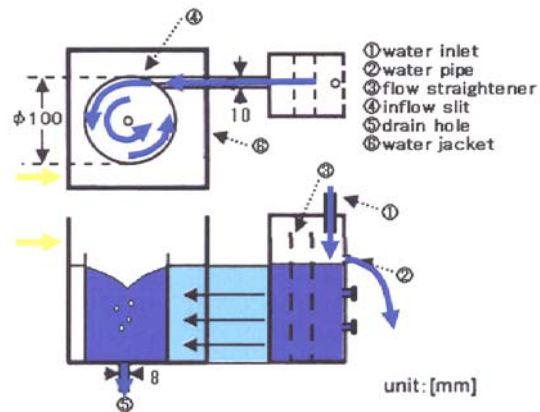


図2 試験部詳細

実験装置系統図を図1に示す。図2は、試験部詳細である。試験部は内径100mm、高さ250mmの円筒容器であり、側面部に接線方向からの液の流入口、底面に液流出孔を持つ。試験容器内には旋回流が形成され、流出孔が底面に有ることからくぼみ渦が形成される。このくぼみ渦から生じるガス巻き込み量について調べる。装置全体は主に透明なアクリル樹脂により構成される。

ガス巻き込みは、

- (a) くぼみ渦先端から気泡がはぎ取られ場合、
- (b) くぼみ渦が底面出口孔に達し、ガスが巻き込まれていく場合、
- (c) くぼみ渦の生成消滅があり、消滅時に気泡が取り残され、流れによって流出孔から

吸い出されていく場合、
がある。

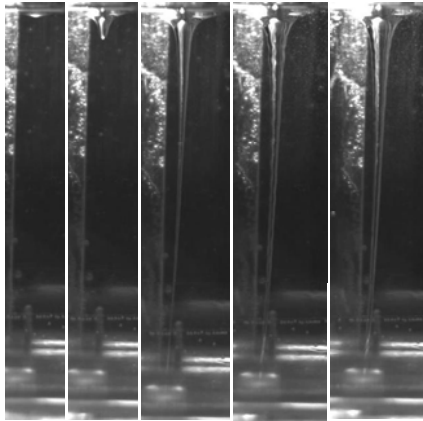
ガス巻き込み量測定は、

- (1) 試験部下に位置する流れ可視部で流れを気泡流化させ、高速度カメラで撮影し、気泡径と通過気泡個数を求め、時々刻々のガス巻き込み量を求める。
- (2) 流れ可視部と循環ポンプの間に位置する気泡収集部に気泡を集め、その容器内時間あたり気相体積変化から時間平均ガス巻き込み量を求める。

試験流体には、水および 20cSt のシリコン油を用いた。実験は室温で実施した。

4 . 研究成果

図3に示すように、流量が少ないときに、まず液面に小さなくぼみ渦が発生し、液流量の増加に伴にくぼみ渦は下方に伸展し、ついには渦先端は容器底面出口孔に達し、渦は出口管路に侵入していく。



U m/s 0.33 0.66 0.99 1.33 1.66

図3 流量増に伴う渦の伸展（流体水）

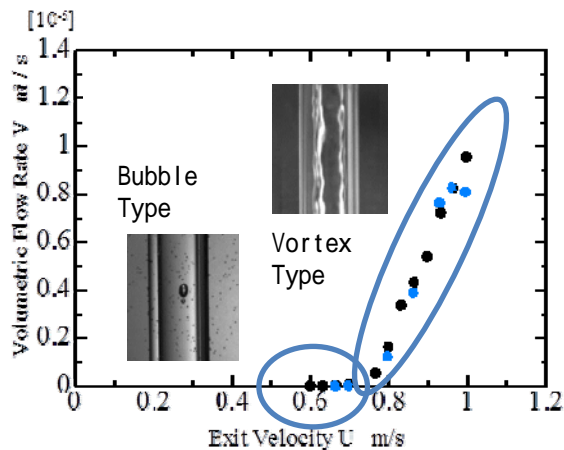


図4 ガス巻き込み量と流量の関係
容器内液位 h = 60 mm (流体水)

図4に、容器内液位 h = 60 mm の場合のガス巻き込み量と液流量の関係を示す。液流量が少ない場合、渦先端から気泡が剥ぎ取られ、ガス巻き込みが発生する。ガス巻き込み量は液流量の増加と共に増すものの、この場合のガス巻き込み量は可成り小さい。液流量が増加すると、出口管路内に侵入した渦は、気相部分が流大部を占め、出口管路内流動状態が下降スラグ流或いは下降環状流状態へ遷移する。この遷移が発生すると、ガス巻き込み量は液流量の増加と共に急激に増大する。前者を気泡状巻き込み (Bubble Type)、後者を渦状巻き込み (Vortex Type) と呼ぶことにする。

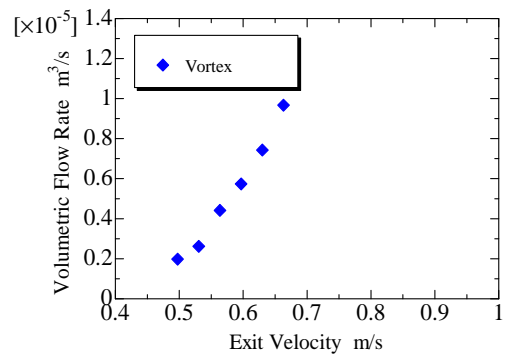


図5 ガス巻き込み量と流量の関係
容器内液位 h = 30 mm (流体水)

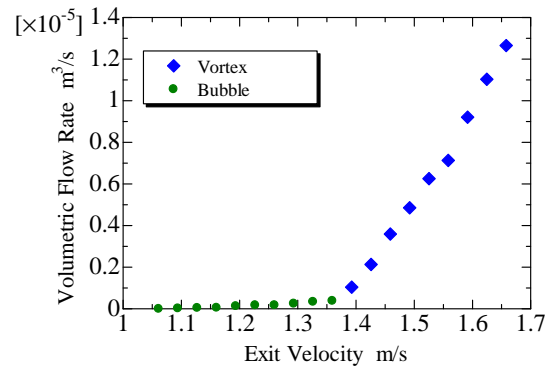


図6 ガス巻き込み量と流量の関係
容器内液位 h = 120 mm (流体水)

図5に示すように、液位が低い場合には、渦状巻き込みのみが観察された。液位の増加と共に、図6にあるように、まず気泡状巻き込みが観察され、次いで渦状巻き込みが発生するようになり、液位増加と共に、気泡状巻き込みの期間が長くなり、図7に示すように、液位が 180 mm になると、本実験範囲では気泡状巻き込みのみが観察された。液位 210 mm では、ガス巻き込みは観察されていない。

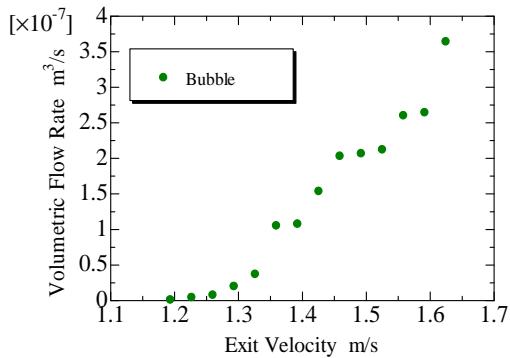


図7 ガス巻き込み量と流量の関係
容器内液位 $h = 180 \text{ mm}$ (流体水)

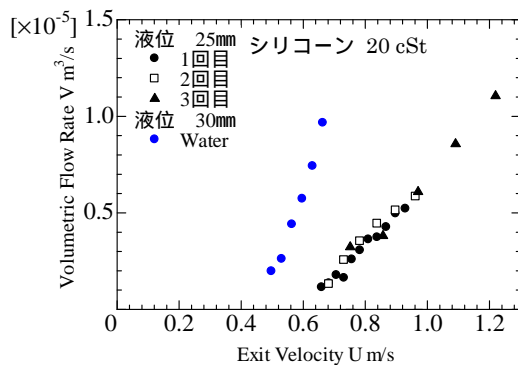


図8 流体を 20 cSt シリコン油とした場合

流体を粘度が水の20倍ある20 cSt シリコン油とした場合のガス巻き込み量測定結果を、水の場合と比較して、図8に示す。ガス巻き込みの液流量への依存性は水の場合に比べて緩やかである。液粘性の増加はガス巻き込み量抑制に働くようである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計11件)

伊藤啓、大野修司、上出英樹、功刀資彰、小泉安郎、河村拓己、ガス巻き込み現象の直接数値解析に向けた手法の開発(5): ガス巻き込み流量の定量評価、日本原子力学会 2012年春の大会予稿集、CD-ROM, F39、2012.3.21、福井。

大手直介、小泉安郎、上出英樹、大野修司、伊藤啓、渦によるガス巻き込み現象の観察と巻き込み気泡量の定量評価、日本原子力学会 2012年春の大会予稿集、

CD-ROM, F34、2012.3.20、福井。

生駒祐介、小泉安郎、伊藤啓、大島宏之、Bubble-Type Gas Entrainment into Liquid from Free Surface by Vortex、19th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE19)、CD-ROM ICONE19-43167、2011.24 - 25、2011.10.25、大阪。

伊藤啓、小泉安郎、大島宏之、河村拓己、高精度気液二相流数値解析手法によるガス巻き込み現象の定量評価、日本機械学会第16回動力・エネルギー技術シンポジウム講演論文集、P219~222、2011.6.24、大阪。

Kei Ito, Yasuo Koizumi, Hiroyuki Ohshima, Takumi Kawamura, Quantitative Evaluation of Gas Entrainment by Numerical Simulation with Accurate Physics Model, International Congress on Advances in Nuclear Power Plants, 2011.5.5, Nice, France.

生駒祐介、小泉安郎、伊藤啓、大島宏之、渦によるガス巻き込み現象の観察と巻き込み気泡量の定量評価(第4報)、日本原子力学会 2011年春の大会予稿集、CD-ROM, J49、2011.3.20、福井。

小泉安郎、伊藤啓、大島宏之、大竹浩靖、Study on Gas Entrainment Rate into Liquid from Free Surface by Vortex、2010 ASME Int. Mechanical Engineering Congress and Expo., CD-ROM, IMECE2010-39587、2010.11.15、Vancouver。

生駒祐介、小泉安郎、伊藤啓、大島宏之、渦によるガス巻き込み現象の観察と巻き込み気泡量の定量評価(第3報)、日本原子力学会 2010年秋の大会予稿集、CD-ROM, K13、2010.9.15、札幌。

小泉安郎、伊藤啓、大島宏之、大竹浩靖、渦によるガス巻き込み現象の研究、日本混相流学会年会講演会 2010 講演論文集、P394~395、2010.7.19、浜松。

鈴木浩之、小泉安郎、伊藤啓、大島宏之、渦によるガス巻き込み現象の観察と巻き込み気泡量の定量評価、日本原子力学会 2010年春の大会予稿集、CD-ROM, E47、2010.3.28、水戸。

鈴木浩之、小泉安郎、岡寄翔太郎、渦によるガス巻込み現象の観察と巻込み気泡量の定量評価、日本原子力学会 2009 年秋の大会予稿集、CD-ROM, D32、P171、2009.9.17、仙台。

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

小泉 安郎 (KOIZUMI YASUO)
信州大学・繊維学部・教授
研究者番号 : 20215156

(3) 連携研究者

大竹 浩靖 (OHTAKE HIROYASU)
工学院大学・工学部・教授
研究者番号 : 40255609