## 令和2年度中性子イメージング研究会

## ミニチャネル直交型蒸発器内冷媒二相流の ボイド率分布計測

Void Fraction Measurement of Refrigerant Two-Phase Flow in Cross-Flow Mini-Channel Evaporator

> ○ 井上隼介 浅野 等 村川 英樹 杉本 勝美 神戸大学大学院工学研究科機械工学専攻

> > 久保 洋平 山田 紗矢香

神戸製鋼所

低炭素社会の実現・システムの小型化の観点から、

熱交換器の高性能化が必要 く・コンパクト化 ・熱交換量の増大

伝熱面積密度の増大(単位体積あたりの伝熱面積の増大)



流路の細径化が有効

## 拡散接合マイクロチャネル熱交換器



参君· http://www.kobelco.co.jp/products/ecmachinery/dche/overview.html

・コンパクト → コスト,設置スペースの削減につながる

・高耐圧性 → 水素ステーションで広く利用されている



・高温側と低温側の流路が直交

・多数の細径並行流路で構成されている

加熱媒体の入口に近い側の冷媒流路で 温度差が大きく熱流束が相対的に高くなる









直交型蒸発器における<mark>冷媒相分布</mark>の均一化



SUS製 単層のミニチャネル直交型蒸発器 加熱媒体の加熱による鉛直上昇沸騰二相流





冷媒相分布を可視化・計測

中性子ラジオグラフィによるボイド率計測

冷媒流路







## 実験装置



7

	Mass flow rate Mass flux	143, 191, 286, 572, 953 g/min 75, 100, 150, 300, 500 kg/(m²s)
冷媒 HFC134a	Inlet subcooling degree	2 K
	Inlet pressure (Saturation temperature)	0.614MPa (22.0 ℃)
加熱媒体 FC3283	Mass flow rate Mass flux	1250, 2500, 8000 g/min 460, 920, 2947 kg/(m²s)
	Inlet temperature	50.0 °C 70.0  °C

中性子ラジオグラフィによるボイド率計測

物体(厚さδ)を透過する中性子線の減衰

 $I = I_0 \exp(-\rho\mu_m \delta)$ 

□ 画像輝度

 $S(x,y) = G'(x,y) \cdot I(x,y) + O(x,y)$ 

✓ 気液二相流の場合  $S_n(x,y) = Gexp(-\rho_w \mu_{mw} \delta_w(x,y) - \rho_L \mu_{mL} \delta_L(x,y)) + O(x,y)$ ✓ 液で満たされている場合  $S_{Full}(x,y) = Gexp(-\rho_w \mu_{mw} \delta_w(x,y) - \rho_L \mu_{mL} \delta_{Full}(x,y)) + O(x,y)$ ✓ 蒸気で満たされている場合  $S_{Empty}(x,y) = Gexp(-\rho_w \mu_{mw} \delta_w(x,y)) + O(x,y)$ 

I:物体を透過した線量

*I*<sub>0</sub>:物体に入射した線量

 $\delta$ :物体の厚さ

 $\mu_m$ : 質量減衰係数

*o*:密度

ロ 中性子線照射方向の平均ボイド率  

$$\alpha(x,y) = 1 - \frac{\delta_L(x,y)}{\delta_{Full}(x,y)} = 1 - In \left( \frac{\frac{S_{Empty}(x,y) - O}{S_n(x,y) - O}}{\frac{S_{Empty}(x,y) - O}{S_{Empty}(x,y) - O}} \right)$$

中性子ラジオグラフィによるボイド率計測

- 京都大学複合原子力科学研究所 研究炉 B4ポート
- ・原子炉出力:1 MW
- ・ビームサイズ:30×90 mm

冷却型CCDカメラ

- ・画像サイズ:1024×1024 pixel
- ・画素寸法:86~91 µm/pixel
- ・輝度階調:16 bit (65536)
- ・露光時間:15, 30 秒

熱交換器の大きさ(58.4×75.6 mm)に 対してビームサイズが小さいため, 試験部を移動し5枚に分けて撮影







黄色部分の輝度分布







黄色部分の輝度分布





中性子線ビーム 強度が不安定

係数をかける ことで輝度値 を補正







ボイド率計測結果(パーフォレート型)



ボイド率計測結果(パーフォレート型)



ボイド率計測結果(パーフォレート型)



断面平均ボイド率(パーフォレート型)



## 冷媒流路形状による影響(低出ロクォリティの条件)

冷媒質量流束 300 kg/(m<sup>2</sup>s) 冷媒出ロクォリティ 0.105 < x<sub>out</sub> < 0.123 加熱媒体入口温度 70 ℃ 加熱媒体質量流束 921 kg/(m<sup>2</sup>s)



ストレート型 オフセット型 パーフォレート型 1.0 Void fraction 0  $1.0_{1}$ 1.0Straight 0.8 0.0 0.0 0.4 0.2 Perforated 0.8 Void fraction 9.0 4 7.0 5 8.0 Offset Straight Perforated 0.2 Offset 0 20 25 0 5 10 15 20 25 5 15 ()Channel number Channel number

19

冷媒流路でのボイド率分布

冷媒流路でのボイド率分布



## 偏流改善効果に関する考察



入口サブクール液条件においては沸騰核生成を促進させることが流動均一化に有効

## 冷媒流路形状による影響(高出ロクォリティの条件)



 $0 \quad 0.1 \quad 0.2 \quad 0.3 \quad 0.4 \quad 0.5 \quad 0.6 \quad 0.7 \quad 0.8 \quad 0.9 \quad 1$ 



## まとめ(流路形状変更の影響に関して)

直交型蒸発器に対し,リブ形状操作による冷媒相分布の均一化を 中性子ラジオグラフィによるボイド率分布計測に基づき評価した.

#### 全体の傾向

✓ 流路形状によらず加熱媒体入口に近い冷媒流路でボイド率が高くなった た 流体間温度差が大きいため

#### <u>リブ形状の影響</u>

✓ パーフォレート型 相分布が均一化する傾向 が確認された ✓ オフセット型 相分布がストレート型より不均一 であった

# $\hat{\nabla}$

入口サブクール液の場合,流路間の冷媒移動より 沸騰核生成の促進が相分布均一化に重要である.

今後の展望

オフセット型試験部のリブ間距離を小さく



#### ② 流路径の影響評価



直径(d)	1.7 mm	0.8 mm	2.4 mm
等価直径	1.47 mm	0.49 mm	1.47 mm
流路断面積	47.5 mm <sup>2</sup>	12.1 mm <sup>2</sup>	47.5 mm <sup>2</sup>
流路本数	28本	48本	21本

流動抵抗の違いによるボイド率分布への影響を評価

## 画像処理







# 可視化区間(中性子線照射箇所)は切削加工することで,薄くしている.













添え字 w:容器 L:液体







同じ流量における液単相状態に対する沸騰状態の熱交換量の割合で比較

#### 加熱媒体入口温度:70℃



	加熱媒体(FC3283) 質量流束 [kg/(m²⋅s)]		
	460	921	2947
ストレート型			
パーフォレート型			
オフセット型			

パーフォレート型およびオフセット型で 高い値を示した

## ボイド率計測結果

冷媒質量流量 217 g/min
冷媒出ロクォリティ 0.94 ~ 0.96
加熱媒体入口温度 70 ℃
加熱媒体質量流束 2947 kg/(m<sup>2</sup>s)

#### d=2.4 mm



#### d=0.8 mm



1.0

Void fraction

0