

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02364

研究課題名（和文）次世代低GWP作動媒体による船舶機関の低温排熱回収熱交換器の熱設計および最適化

研究課題名（英文）Thermal design and optimization of a low temperature exhaust heat recovery heat exchanger for marine engines by next generation low GWP working fluids

研究代表者

井上 順広（Inoue, Norihiro）

東京海洋大学・学術研究院・教授

研究者番号：80251677

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、排熱回収としての船舶搭載機器のみならず民生用エネルギー消費の6割を占める冷凍空調・暖房給湯需要の高効率・省エネ化にも応用できる積層マイクロチャンネル熱交換器で温暖化係数（GWP）の小さい純および混合作動媒体を対象として行った。

従来の作動媒体の平滑管・各種溝付管内の性能を基準値として、従来管における低GWP作動媒体の基礎特性を比較・把握した。また、異なる流路形状の積層マイクロチャンネル熱交換器でその流路形状の相違による伝熱性能と流動様相の可視化を行い、分担者の成果も含めた解析でこの熱交換器の優位性を実証し、排熱源を利用した実用上の可能性、流路形状の最適化の方向性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

IMOで国際海運のカーボンニュートラルが求められ、モントリオール議定書/キガリ改定では温暖化係数（GWP）の小さい作動媒体への転換が動力用、産業・民生機器で求められている。そのためLNG、水素、アンモニア燃料の船舶機関が開発され、これら排ガスは低温腐食がなく、未利用低温域まで排熱回収でき、低温で沸騰する低GWP作動媒体が期待できる。

研究で船舶機関の省エネ・スペース化のため積層型マイクロチャンネル熱交換器で低GWP作動媒体の基礎特性を把握して高い伝熱性能、圧力損失を軽減する最適な流路構成・形状の指針は学術・理論的にも重要であり、海運におけるカーボンニュートラル達成に向けて社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）： This research targeted pure and mixture working fluids with low global warming potential (GWP) and the layered-microchannel heat exchangers that can be applied not only to vessels equipment for exhaust heat recovery but also to high efficiency and energy saving of refrigeration and air-conditioning, heating and hot water supply, which account for 60% of consumer-use energy consumption.

Using the performance of previous working fluids in various tubes as standard values, the fundamental characteristics of low-GWP working fluids were compared. In addition, the heat transfer performance and flow patterns due to differences in flow channel geometries were visualized in layered-microchannel heat exchangers and the superiority of this heat exchanger was demonstrated through analysis including the results of the joint researchers, and the practical possibility of using exhaust heat sources and the direction of optimization of the flow channel geometries were shown.

研究分野：船舶海洋・冷凍空調工学

キーワード：熱交換器 低GWP マイクロチャンネル 細径 排熱回収 蒸発 凝縮 圧力損失

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2023年7月に強化されたIMOによる国際海運のGreenhouse Gas (GHG)削減戦略により、2050年までにGHG排出ゼロ(カーボンニュートラル)が求められている。一方で2016年のモントリオール議定書/キガリ改定により、次世代作動媒体としてHFC系代替フロン系からさらに温暖化係数(GWP)の小さい作動媒体の動力用、産業・家庭用冷凍空調機器等での転換が必死の情勢となっている。また、石油価格の高騰や東日本大震災以降の原子力政策の転換から、エネルギー資源の分散化が進められ、化石燃料起源では比較的温室効果ガスの排出原単位が小さいLNG需要が増加し、輸入・輸送量も増加している。その結果、LNG船の需要も増加しており、積荷のボイルオフLNGを燃料とするガス推進機関も開発され、環境に優しい水素やアンモニアを燃料とする機関も開発されている。これら機関の排ガスは熱交換器の低温腐食がなく、材質の耐食性向上により、これまで利用できなかった低温域まで排熱回収が可能であり、水よりも低温で蒸発し過熱蒸気にできるHFC系代替フロン冷媒の有効利用が期待できる。

カーボンニュートラルに向け一層の船舶機関の省エネ・省スペース化を図るため従来型の熱交換器から低温域まで排熱回収が可能で高効率な積層型マイクロチャンネル熱交換器で低GWP作動媒体の基礎特性を把握し、最も効果的な伝熱性能を発揮し圧力損失を軽減する最適な流路構成・形状の指針を得ることは学術・理論的にも重要であり、海運におけるGHGガス排出削減の実用化に向けて社会的意義も大きい。

2. 研究の目的

地球温暖化防止のための京都議定書(COP3)ではHFC系代替冷媒は温室効果ガスとして指定され、2015年のパリ協定(COP21)では日本はCO₂排出量を2030年度までに13年度比26%減、2050年までにカーボンニュートラルを宣言している。さらに2016年にはモントリオール議定書のキガリ改定が決定されたことにより2011~13年生産量基準にHFC系代替フロンを2036年までに85%削減することが合意されている。

その対応のために新規に開発された環境対応型で高温域まで使用できる作動媒体で、バイナリー発電機器や低温排熱回収に使用可能な次世代低GWP作動媒体 R1233zd, R1234ze, R1336mzz, R1224yd やそれら混合作動媒体を、従来型から同一能力で大幅に容積をコンパクト化できる高効率積層マイクロチャンネル熱交換器を用いて、船舶搭載機器のみならず民生用エネルギー消費の6割を占める冷凍空調・暖房給湯需要の高効率・省エネ化のため、積層マイクロチャンネル熱交換器内の凝縮・蒸発伝熱特性および圧力損失、流動様式などの基礎特性を把握し、流路構成・形状の最適化の指針を得ることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究は、代表研究者、分担研究者2名、研究協力者2名(技術職員、大学院生)の5名にて遂行した。研究では、これまでの研究で取得したR245faやR245faを主成分とするR245fa/R134およびR245fa/R1234ze(E)混合作動媒体の平滑管・各種溝付管の凝縮・蒸発伝熱特性および圧力損失を基準値として、それらの代替候補である次世代低GWP作動媒体 R1233zd, R1234ze, R1336mzz, R1224yd およびそれら混合作動媒体を対象としてミニチャンネル熱交換器内の凝縮・蒸発伝熱特性および圧力損失などの基礎特性を把握した。その上で、積層型マイクロチャンネル熱交換器の内の凝縮・蒸発伝熱特性および圧力損失、流動様式などの基礎特性を把握し、流路構成・形状の最適化の指針を得た。

実験装置は、作動媒体循環系統、熱源系統、システム運転制御および測定系統から構成される。作動媒体循環系統は一定流量・圧力に維持できる構成となっており、耐圧容器、交流インバータ制御の作動媒体循環ポンプ(耐高圧ライン・揚程増強のため)、流量調整電磁弁、質量式流量計(循環ポンプの変更に伴う測定範囲とするため)、プレ熱交換器、試験熱交換器、リア熱交換器を経て、耐圧容器へ戻る。熱源系統は、熱源タンクを常に一定温度に保持するための恒温循環装置が接続されている。それぞれのタンクからプレ・リア・試験熱交換器へ冷却水または加熱水を供給するためポンプを介して、容積式流量計、温度測定のための入口混合器、プレ・リア・試験熱交換器、出口混合器を経て、熱源タンクにそれぞれ戻る。Fig.3-1のTest section部をミニチャンネル/積層マイクロチャンネル熱交換器または可視化部に付け替えて、それぞれ測定を行った。測定は、試験熱交換器の入口冷媒圧力を歪みゲージ式絶対圧力計、出入口の間の圧力損失を高精度差圧計、出入口冷媒温度をシース型熱電対で測定した。また、冷却水または加熱水の試験伝熱区間出入口温度はシース型測温抵抗体で測定した。冷媒流量は質量式流量計、プレ熱交換・試験伝熱区間へ冷却水・加熱水流量は容積式流量計でそれぞれ測定した。冷媒の混合組成比は、サンプリングポートから微量の冷媒を圧力容器に採取し、ガスクロマトグラフで分析して求めた。これら測定値をデータ収録装置からPCノートに取り込み、データ解析を行った。

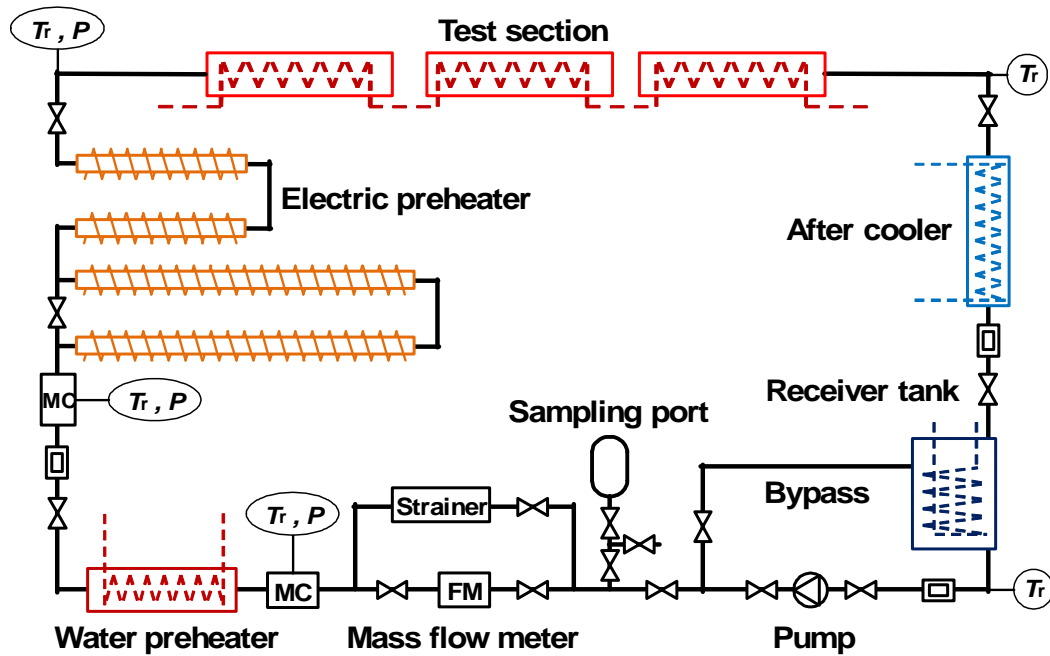


Fig.3-1 Schematic of the experimental loop

4. 研究成果

4.1 次世代低 GWP 作動媒体の基礎特性

実験は Fig.3-1 を使用して行い, 試験伝熱管は, 外径 9.52 mm, 内径 8.40 mm の平滑管および Table 4-1, Fig.4-1 に詳細を示す以下の溝付管である.

Table 4-1 Details of test micro-fin tubes

		LF	HF
Equivalent diameter [m]	d_e	8.89	8.73
Fin height [mm]	h_f	0.12	0.18
Number of fins [-]	N	65	85
Helix angle [deg.]	θ	16.5	39.4
Surface area enlargement	η	1.31	2.09



(a) LF tube

(b) HF tube

Fig. 4-1 Schematic view of micro-fin tubes

Fig. 4-2 に R245fa, R1336mzz(E)および混合媒体 R1336mzz(E)/R1336mzz(Z)の溝付管 LF における質量速度 $100 \text{ kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ の摩擦圧力損失勾配を示す. また, Fig. 4-3 に混合媒体 R1336mzz(E)/R1336mzz(Z)の平滑管 ST, 溝付管 LF および HF の質量速度 $100 \text{ kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ における蒸発熱伝達率を示す.

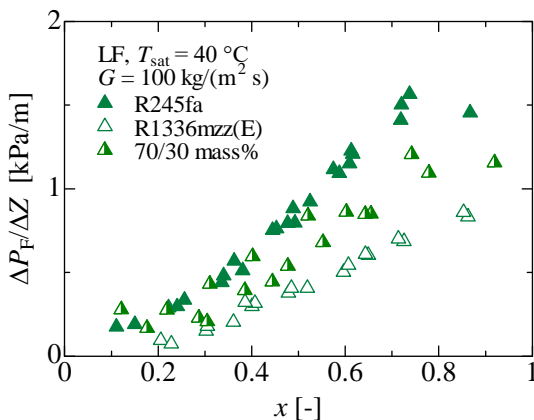


Fig. 4-2 Pressure drop in evaporation process

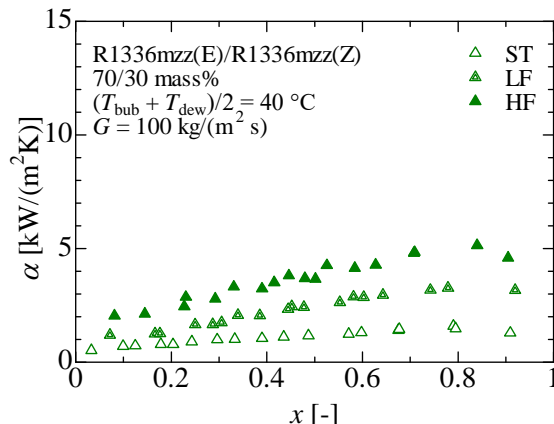


Fig. 4-3 Evaporation heat transfer

Fig.4-4 に R245fa, R1336mzz(E)および混合媒体 R1336mzz(E)/R1336mzz(Z)の溝付管 LF における質量速度 $100 \text{ kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ の摩擦圧力損失勾配を示す. Fig.4-5 に混合媒体 R1336mzz(E)/R1336mzz(Z)の平滑管 ST, 溝付管 LF および HF の質量速度 $100 \text{ kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ における凝

縮熱伝達率を示す。

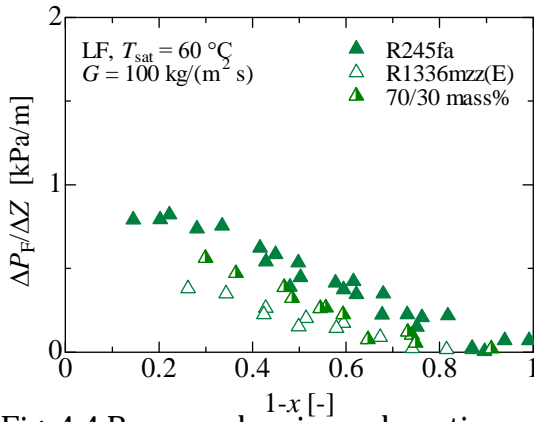


Fig. 4-4 Pressure drop in condensation process

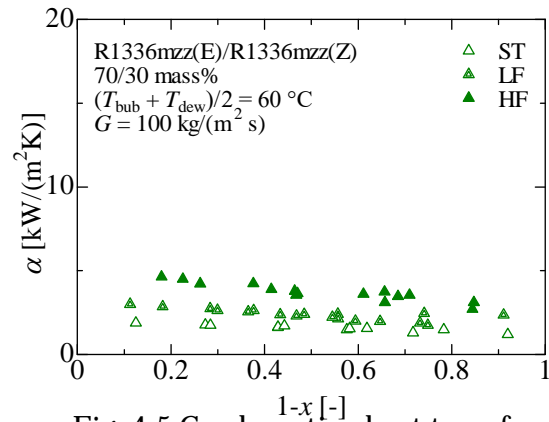


Fig. 4-5 Condensation heat transfer

本節では、成果の一例として R245fa と飽和圧力が同等で R245fa を使用した機器にドロップイン可能な次世代低 GWP 混合媒体について、蒸発・凝縮流における圧力損失・伝熱性能を示した。この他にも高温域まで使用できる次世代低 GWP 媒体として R1233zd(E), R1234ze(E)/(Z), R1224yd(Z)などの候補があり、それぞれの媒体の圧力損失・伝熱性能についても解明し、機器の熱的設計に資する情報を提供している。

4.2 積層マイクロチャンネル熱交換器の伝熱性能および可視化

Fig. 4-6 および Table 4-2 に実験使用した LMHE, PHE の外観と仕様をそれぞれ示す。積層型マイクロチャンネル熱交換器 (LMHE) の单相伝熱および圧力損失特性を示すとともに、定格熱交換量 5kW が同じプレート式熱交換器 (PHE) との比較を行った結果を Fig.4-7, Fig.4-8 に示す。LMHE と PHE は同じ圧力損失であるが、単位体積あたりの熱交換量は約 7 倍優れる。

Table 4-2 Specifications of LMHE and PHE

			LMHE	PHE
Rated heat transfer rate	Q	kW	5	5
Width	W	mm	57	95
Thickness	D	mm	46	41
Height	H	mm	69	325
Volume	V	m^3	1.81×10^{-4}	1.27×10^{-3}
Heat transfer area	A	m^2	0.217	0.510
Hydraulic diameter	D_H	mm	0.398	2.44
Heating length	L	mm	47.5	269
Sectional area	A_C	m^2	4.59×10^{-4}	1.20×10^{-3}

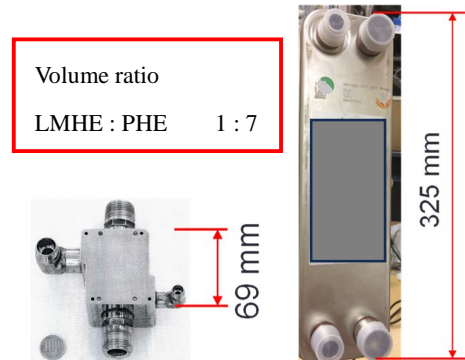


Fig. 4-6 Appearance of LMHE and

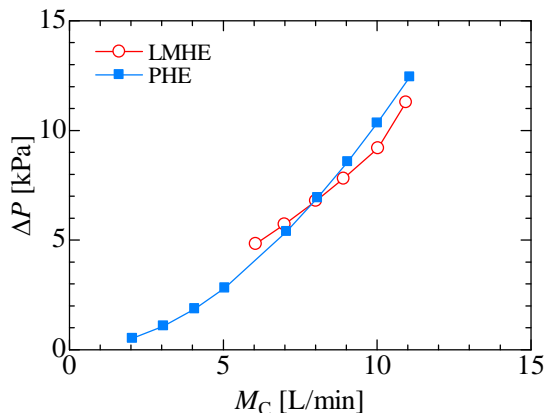


Fig.4-7 Pressure drop of LMHE and PHE

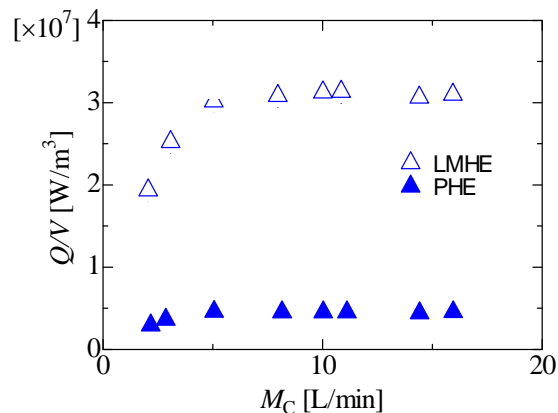


Fig.4-8 Heat transfer rate per unit volume of LMHE and PHE

次に LMHE の凝縮流の伝熱および可視化実験の結果について示す。なお、同様の実験を蒸発流についても行い結果を得ている。実験は、以下の Fig.4-9 の流路形状について行った。

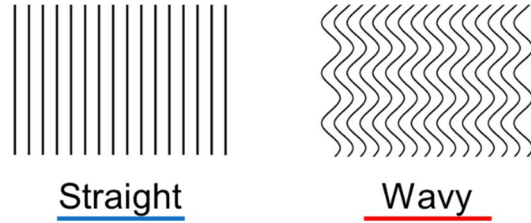


Fig.4-9 Schematic of flow channel geometries

Fig.4-10 および Fig.4-11 に R1234ze(E) の直線流路および曲線流路における熱通過率および圧力損失を冷媒流量に対して示す。また、Fig.4-12(a)(b)(c) に流動様相の観察結果の一例を示す。

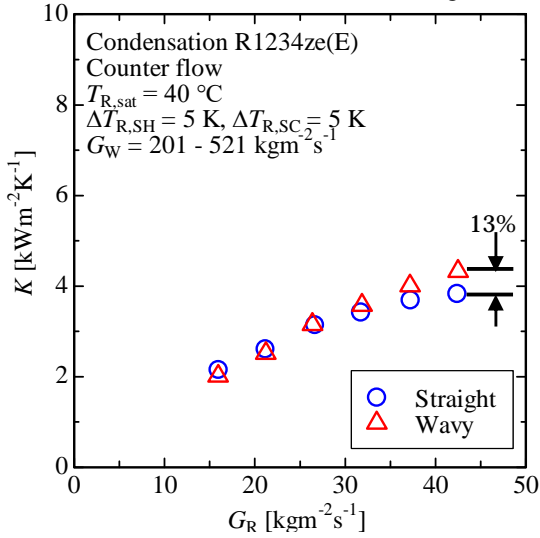


Fig.4-10 Heat transfer coefficient of R1234ze(E) due to differences on the flow channel geometries

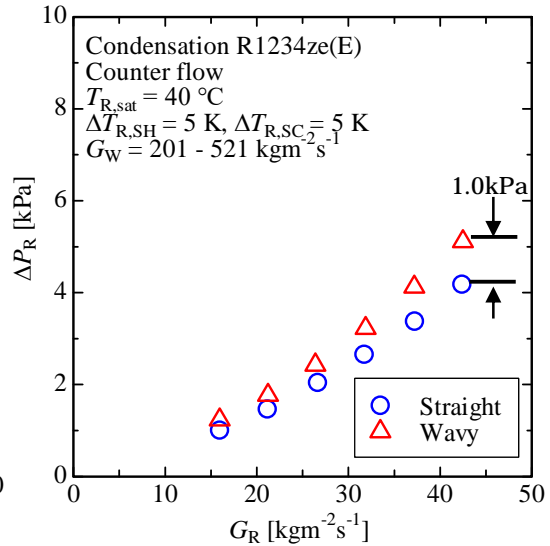


Fig.4-11 Pressure drop of R1234ze(E) due to differences on the flow channel geometries

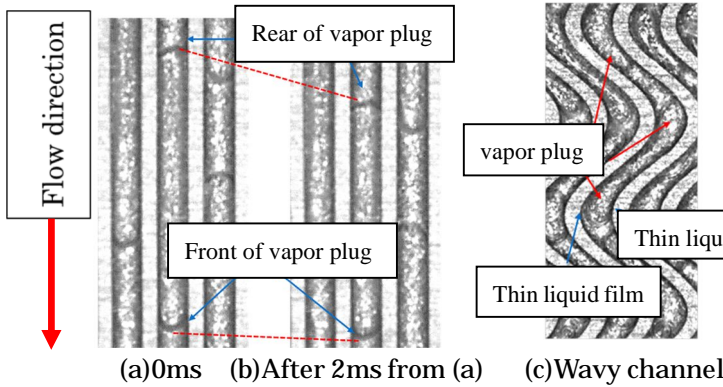


Fig.4-12 Flow pattern at 24-28mm from the inlet

4.3 船舶機関からの低温排熱回収

サイクルは圧縮機、凝縮器、膨張弁、蒸発器から成る基本的構成、それぞれの行程は理想的な変化とし、船舶から低温排熱を熱源とする高温ヒートポンプサイクルの成績係数、このサイクルに使用した場合の LMHE 熱交換器の作動媒体毎の熱通過

係数について予測した結果について、以下の Fig.4-13 および Fig.4-14 に示す。

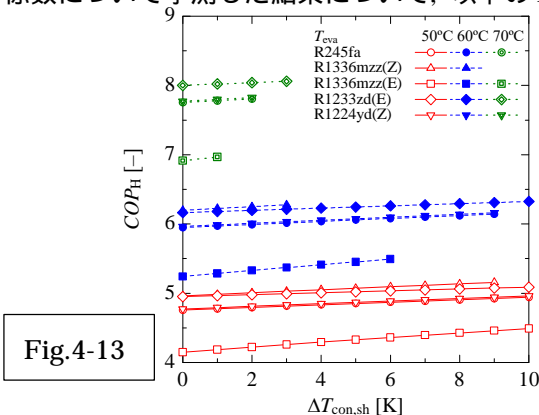


Fig.4-13

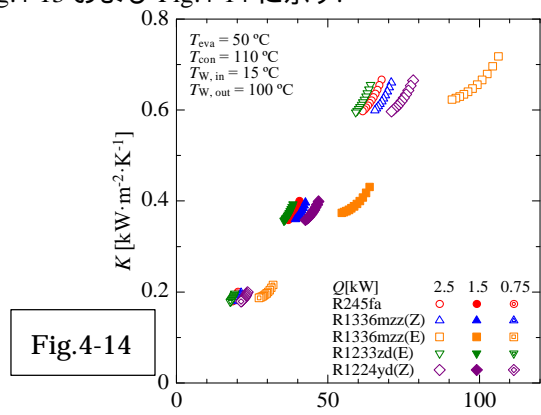


Fig.4-14

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tatsuki GOTO, Daisuke JIGE, Norihiro INOUE, Kentaro SAGAWA,	4. 巻 152
2. 論文標題 Experiment on condensation heat transfer and pressure drop in layered microchannel heat exchangers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Refrigeration	6. 最初と最後の頁 234-240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijrefrig.2023.05.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Masataka HIROSE, Daisuke JIGE, Norihiro INOUE,	4. 巻 -
2. 論文標題 Development the correlation of condensation heat transfer for non-azeotropic refrigerant mixtures inside 4mm OD small-diameter microfin tubes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 26th International Congress of Refrigeration	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18462/iir.icr.2023.0418	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Norihiro INOUE, Tatsuki GOTO, Daisuke JIGE, Kentaro SAGAWA,	4. 巻 -
2. 論文標題 Experiment on condensation performance and flow visualization in layered microchannel heat exchangers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 26th International Congress of Refrigeration	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18462/iir.icr.2023.0854	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kazuhide WATANABE, Norihiro INOUE,	4. 巻 -
2. 論文標題 Performance analysis of high-temperature heat pump using low quality waste heat source from marine engines	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 26th International Congress of Refrigeration	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18462/iir.icr.2023.0693	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masataka HIROSE, Daisuke JIGE, Norihiro INOUE,	4. 巻 ID-1012
2. 論文標題 Condensation Characteristics of Non-Azeotropic Mixture Refrigerant R32/R1234ze(E) inside Horizontal 4 mm Microfin Small-diameter Tubes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 HF02021, 2nd IIR Conference on HFOs and Low GWP blends	6. 最初と最後の頁 213 - 220
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kazuhide WATANABE, Yufei LIU, Daisuke JIGE, Norihiro INOUE,	4. 巻 ID-1030
2. 論文標題 Experiments on boiling heat transfer and pressure drop of low- pressure, low-GWP refrigerants inside a horizontal microfin tube	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 HF02021, 2nd IIR Conference on HFOs and Low GWP blends	6. 最初と最後の頁 229 - 236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tatsuki GOTO, Daisuke JIGE, Norihiro INOUE, Kentaro SAGAWA,	4. 巻 ID -168
2. 論文標題 Experiment on condensation heat transfer and pressure drop in layered microchannel heat exchangers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The 10th Asian Conference on Refrigeration and Air Conditioning	6. 最初と最後の頁 5 pages
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 井上順広, 劉宇飛, 渡邊和英, 地下大輔	4. 巻 56
2. 論文標題 高温用R1336mzz(E) およびその混合作動媒体の水平溝付管内蒸発・凝縮熱伝達および圧力損失	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本マリンエンジニアリング学会誌	6. 最初と最後の頁 355-366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 広瀬正尚, 井上順広,	4. 巻 38
2. 論文標題 4 mm細径溝付管内の流動様相に基づく凝縮熱伝達率の予測	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本冷凍空調学会論文集	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shotaro KAMIYAMA, Ryogo NOGUCHI, Daisuke JIGE, Norihiro INOUE	4. 巻 D2-4
2. 論文標題 Experimental study on heat transfer and pressure drop of R454C and R32 in layered microchannel heat exchanger	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 8th IIR International Conference on Sustainability and the Cold Chain (ICCC2024)	6. 最初と最後の頁 733-739
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18462/iir.iccc2024.1111	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計26件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 野口凌吾, 後藤樹, 地下大輔, 井上順広, 佐川賢太郎,
2. 発表標題 R32の積層型マイクロチャンネル熱交換器における蒸発伝熱性能
3. 学会等名 第56回空気調和・冷凍連合講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中大暉, 南知花, 広瀬正尚, 井上順広,
2. 発表標題 冷媒R1234ze(E)の4 mm内面溝付管内蒸発熱伝達特性
3. 学会等名 第93回マリンエンジニアリング学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野口凌吾, 地下大輔, 井上順広, 佐川賢太郎,
2. 発表標題 積層型マイクロチャンネル熱交換器の蒸発伝熱性能に及ぼす流動方向の影響
3. 学会等名 第93回マリンエンジニアリング学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井上順広, 野口凌吾, 地下大輔, 佐川賢太郎,
2. 発表標題 積層型マイクロチャンネル熱交換器の伝熱性能
3. 学会等名 空気調和・衛生工学会 北海道支部 第58回学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 野口凌吾, 地下大輔, 井上順広, 佐川賢太郎,
2. 発表標題 積層型マイクロチャンネル熱交換器の蒸発伝熱特性評価
3. 学会等名 日本冷凍空調学会2023年度年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Norihiro INOUE
2. 発表標題 Heat Transfer Performance of Layered Microchannel Heat Exchangers
3. 学会等名 ASHRAE Winter Conference, Chicago, UAS (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Tatsuki GOTO, Daisuke JIGE, Norihiro INOUE, Kentaro SAGAWA,
2. 発表標題 Experiment on condensation heat transfer and pressure drop in layered microchannel heat exchangers
3. 学会等名 The 10th Asian Conference on Refrigeration and Air Conditioning (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 後藤樹, 地下大輔, 井上順広, 佐川 賢太郎,
2. 発表標題 R1234ze(E)のマイクロチャンネル内における凝縮流の可視化実験
3. 学会等名 日本冷凍空調学会2022年度年次大会講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 後藤樹, 地下大輔, 井上順広, 佐川賢太郎,
2. 発表標題 積層型マイクロチャンネル熱交換器におけるR32の蒸発熱伝達および圧力損失に関する実験的研究
3. 学会等名 第92回マリンエンジニアリング学術講演会論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tatsuki GOTO, Ryogo NOGUCHI, Daisuke JIGE, Norihiro INOUE, Kentaro SAGAWA,
2. 発表標題 Experimental study on evaporation heat transfer and pressure drop of R32 in a layered microchannel heat exchanger,
3. 学会等名 Grand Renewable Energy 2022 International Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野口凌吾, 後藤樹, 地下大輔, 井上順広, 佐川賢太郎,
2. 発表標題 R32の積層型マイクロチャンネル熱交換器における蒸発伝熱性能
3. 学会等名 第56回空気調和・冷凍連合講演会論文集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊和英, 井上順広,
2. 発表標題 船用機関の低質排熱源を利用した高温ヒートポンプの性能解析
3. 学会等名 第92回マリンエンジニアリング学術講演会論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 広瀬正尚, 岩城賢太, 伊藤友仁, 井上順広,
2. 発表標題 透明内面溝付管を用いた水-空気系二相流の流動様相可視化
3. 学会等名 第55回空気調和・冷凍連合講演会論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 下地佑磨, 岩城賢太, 五十嵐太一, 広瀬正尚, 伊藤友仁, 井上順広,
2. 発表標題 透明内面溝付管内の水-空気二相流の流動様相に与えるリード角の影響
3. 学会等名 第92回マリンエンジニアリング学術講演会論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩城賢太, 広瀬正尚, 伊藤友仁, 五十嵐 太一, 下地佑磨, 井上順広,
2. 発表標題 透明細径内面溝付管を用いた水-空気系二相流の流動様相観察
3. 学会等名 第56回空気調和・冷凍連合講演会論文集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 後藤樹, 地下大輔, 井上順広, 佐川賢太郎,
2. 発表標題 積層型マイクロチャンネル熱交換器における凝縮熱伝達および圧力損失に関する実験的研究
3. 学会等名 第91回マリンエンジニアリング学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鷹野友輝, 地下大輔, 井上順広,
2. 発表標題 細径管内における混合冷媒R32 + R1234ze(E)の流動沸騰熱伝達に関する実験
3. 学会等名 日本機械学会 熱工学コンファレンス2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 広瀬正尚, 岩城賢太, 伊藤友仁, 井上順広,
2. 発表標題 透明内面溝付管を用いた水-空気系二相流の流動様相可視化
3. 学会等名 第55回空気調和・冷凍連合講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上順広, 劉宇飛, 地下大輔, 渡邊和英,
2. 発表標題 高温用ヒートポンプの低GWP作動媒体の伝熱性能
3. 学会等名 マリンエンジニアリング学術講演会(福岡)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊和英, 劉宇飛, 地下大輔, 井上順広,
2. 発表標題 R1336mzz(E)の水平溝付管内沸騰熱伝達および圧力損失
3. 学会等名 マリンエンジニアリング学術講演会(福岡)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 劉宇飛, 渡邊和英, 地下大輔, 井上順広,
2. 発表標題 R1336mzz(E)の水平溝付管内凝縮熱伝達および圧力損失
3. 学会等名 マリンエンジニアリング学術講演会(福岡)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 広瀬正尚, 地下大輔, 井上順広
2. 発表標題 冷媒R32/R1234ze(E)の細径溝付管内凝縮における溝形状の影響
3. 学会等名 マリンエンジニアリング学術講演会(福岡)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 後藤樹, 高林遼太郎, 地下大輔, 井上順広, 佐川賢太郎,
2. 発表標題 R32の積層型マイクロチャンネル熱交換器における凝縮伝熱性能
3. 学会等名 第54回空気調和・冷凍連合講演会(東京)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yufei LIU, Daisuke JIGE, Norihiro INOUE,
2. 発表標題 Correlation for Flow Boiling Heat Transfer of Low-pressure Refrigerants Inside A Horizontal Smooth Tube
3. 学会等名 18th International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue (Purdue, USA) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryogo NOGUCHI, Shotaro KAMIYAMA, Daisuke JIGE, Norihiro INOUE, Kentaro SAGAWA,
2. 発表標題 EXPERIMENTAL STUDY ON EVAPORATION HEAT TRANSFER AND PRESSURE DROP OF R32 AND R1234ze(E) IN A LAYERED MICROCHANNEL HEAT EXCHANGER
3. 学会等名 11th Asian Conference on Refrigeration and Air Conditioning (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 神山将太郎, 野口凌吾, 地下大輔, 井上順広, 佐川賢太郎,
2. 発表標題 R454Cの積層型マイクロチャンネル蒸発器性能の評価
3. 学会等名 第57回空気調和・冷凍連合講演会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	広瀬 正尚 (Hirose Masataka) (50824207)	鳥羽商船高等専門学校・その他部局等・准教授 (54102)	
研究 分担者	渡邊 和英 (Watanabe Kazuhide) (90811000)	海上保安大学校(国際海洋政策研究センター)・国際海洋政策研究センター・准教授 (85406)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------