

CO₂ ヒートポンプ用熱交換器の高性能化に関する検討

- 第二報：平滑管内平均蒸発熱伝達率に及ぼす熱流束の影響 -

背景

自然冷媒 CO₂ ヒートポンプ給湯機は、省エネルギー効果が高く、温室効果ガスの排出量削減に大きな効果がある。このため、政府は 2010 年までの累積 520 万台普及を目標に、普及促進策や技術開発を実施している。普及促進のためには、給湯機の小型化への要望が強く、蒸発器の高性能化によるコンパクト化が重要な課題となっている。本課題に資するため、住友軽金属工業と電力中央研究所は、基礎データとなる水平平滑管内の平均 CO₂ 蒸発熱伝達率^{注1)}を計測した。この結果、平均熱伝達率は、質量速度、または、熱流束により最大値を持つことを明らかにしたが、両者を独立に変化させることが出来ず、それぞれの影響の検討は出来なかった^{注2)}。

目的

異なる長さの伝熱管（水平設置、平滑内面）を用いて、質量速度が等しく熱流束が異なる CO₂ 冷媒（純度 99.999%、潤滑油混入なし）の平均蒸発熱伝達率を計測し、質量速度と熱流束が熱伝達率に与える影響について検討する。

主な成果

当所の臨界域 CO₂ ヒートポンプ伝熱流動ループの直管伝熱試験部を拡張して（図 1）、伝熱長 3m、4m、5m の伝熱管を設置し、それぞれの伝熱管で CO₂ 冷媒の圧力と質量速度を変化させて、平均熱流束、並びに、熱伝達率を取得した（表 1）。

(1) 質量速度と平均熱伝達率（図 2）

平均熱伝達率は CO₂ 冷媒圧力、並びに、平均熱流束（伝熱長）にかかわらず、冷媒質量速度 300 ~ 400kg/m²s で最大値を持つことがわかった。

(2) 熱流束と平均熱伝達率（図 3）

質量速度が 150 と 270kg/m²s の場合（同図 A 印）には、平均熱伝達率と平均熱流束には指数関数の関係があること、400kg/m²s ではその関係が崩れ始め（同図 B 印）、520 と 630kg/m²s では関係が見られなくなる（同図 C 印）もわかった。このように低熱流束側では熱伝達率に対する熱流束の影響が大きいことから、この領域では CO₂ 蒸発熱伝達率は核沸騰が支配的であることが推察される。

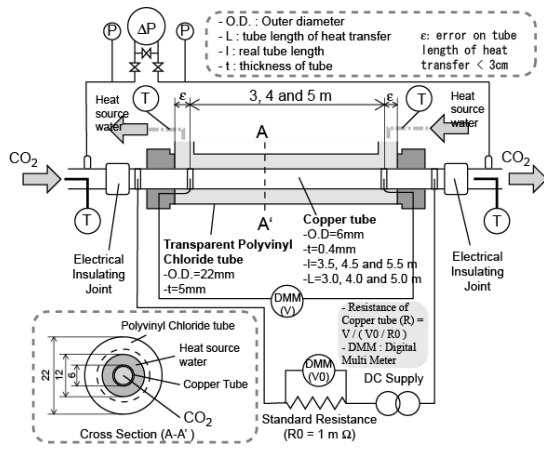
また、高熱流束・高質量速度の領域では平均熱伝達率は低下したが、これは、低い乾き度で伝熱面がドライアウトし伝熱性能が低下したためと推察される。

今後の展開

潤滑油混入による伝熱性能の低下が指摘されている。これを定量的に確認するために、潤滑油混入割合を変えて熱伝達率を計測する。

注 1) 入口乾き度(0.17)から出口過熱度(5K と 7K)までの平均熱伝達率。

注 2) 研究報告 M04017, CO₂ ヒートポンプ用熱交換器の高性能化に関する検討 - 第一報：水平平滑管内 CO₂ 蒸発熱伝達率の計測 - , 橋本、清谷, 2005



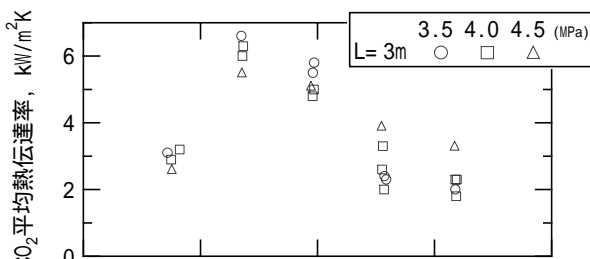
- ・ 熱交換量 $Q_b (= \rho_b C_p V_b (T_{b,i} - T_{b,o}))$
- ・ 銅管抵抗値と温度の関係から管壁平均温度 T_w を求めた (電気抵抗法)。このため、直間伝熱試験部は試験装置の他の部分とは絶縁した。
- ・ CO_2 代表温度 T_r は、入口圧力飽和温度と出口圧力飽和温度の平均値。
- ・ 蒸発熱伝達率 $\alpha_e = Q_b / \{ S (T_w - T_r) \}$ 。伝熱面積 $S = \pi D_o L$ (D_o 内管径)。
- ・ 伝熱長 L は 3m, 4m, 5m

図1 試験部の概要

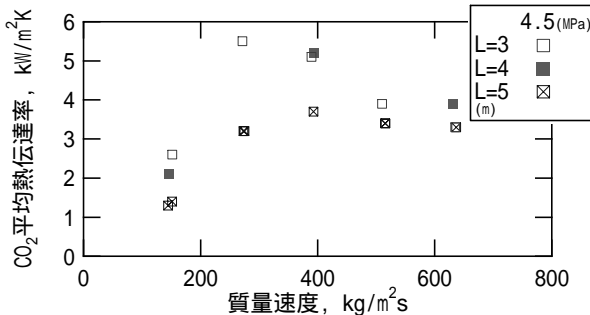
表1 実験条件と平均熱流束

質量速度 (kg/m ² s)	伝熱長		冷媒圧力(MPa)		
	(m)	3.5	4.0	4.5	
150	3	10	11	10	
	4	9.6	9.0	8.2	
	5	7.1	6.2	5.8	
270	3	21	20	18	
	4		17		
	5	13	12	11	
400	3	31	30	27	
	4	26	24	22	
	5	19	18	17	
520	3	44	42	36	
	4		26		
	5	25	23	22	
630	3	45	52	46	
	4		39	36	
	5	31	29	27	

- ・ 表中は平均熱流束の実測値(kW/m²)
- ・ 質量速度は、実機相当の値を中心に選択した。
- ・ 固定した実験条件は、(1)入口乾き度=0.17、(2)出口過熱度(下記) (3)熱源水流量(一定) (4)熱源水出入口温度差<3K。
- ・ 全ての計測で、出口過熱度を正確に一定値(目標5K)にするのは困難なため、過熱度を変えた二つの計測より補間し5Kでの熱伝達率を求めた。

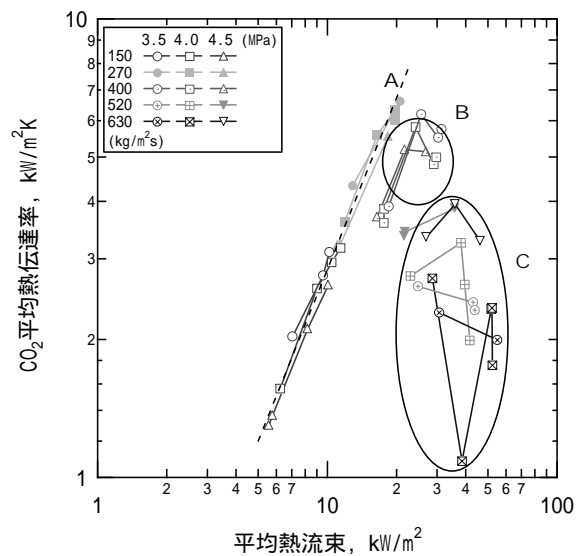


(a) 伝熱長 3m で圧力を変えた場合



(b) 圧力 4.5MPa で伝熱管長を変えた場合

図2 質量速度と熱伝達率 (一例)



A では平均熱伝達率と平均熱流束は指数関数の関係がある (核沸騰支配が示唆される)。B ではこの関係が崩れ始める。熱伝達率低下はドライアウトによる伝熱性能の低下と推定される。C では関係が見られず、熱伝達率はさらに低下する。

図3 熱流束と熱伝達率

研究報告 M05021	キーワード：自然冷却、ヒートポンプ、伝熱、熱交換器、蒸発
担当者	橋本 克巳 (エネルギー技術研究所・システム熱工学領域)
連絡先	(財)電力中央研究所 エネルギー技術研究所 Tel. 046-856-2121(代) E-mail : eerl-rr-ml@criepi.denken.or.jp