

放射冷却素材を用いて過冷却度を増大させた蒸気圧縮冷凍サイクルの構築 Construction of sub-cooling of vapor compression refrigeration cycle by using radiative sky cooling materials

○大杉亮輔^{1,2†}, 若林努¹, 甲坂朋也², 杉本雅行¹, 末光真大^{1,2‡}
大阪ガス¹, SPACECOOL²

Osaka Gas, SPACECOOL, ○R. Osugi^{1,2†}, T. Wakabayashi¹, T. Kosaka², M. Sugimoto¹, M. Suemitsu^{1,2‡}
E-mail: [†]r-oosugi@osakagas.co.jp, [‡]m-suemitsu@osakagas.co.jp

【序】放射冷却現象によって直射日光下においても夜間同様、周囲より受動的に温度低下する素材(放射冷却素材)は、脱炭素社会実現の一助として期待されており、近年研究が盛んに行われている^[1-4]。我々はこれまで放射冷却素材を実現^[2]するとともに、放射冷却パネルを用いた蒸気圧縮冷凍サイクルの冷媒過冷却度の向上による冷却効率(COP_c)の改善について理論検討を行ってきた^[4]。蒸気圧縮冷凍サイクルの圧力-比エンタルピー線図を Fig.1 に示す。本サイクルでは冷媒を蒸発器で蒸発(4→1)させた際の蒸発潜熱を冷却に利用しており、Fig.1 赤点線のように凝縮後の冷媒温度を飽和液温度(3)より更に低温(3')に冷却する(過冷却度を増大させる)ことで COP_c を向上させられる。前回の検討では、全波長における大気および素材の熱輻射を考慮した熱収支計算を行い、パネル温度(T_{sc})について実測との整合をとり、併せて COP_c の計算を行った。今回は実際に放射冷却パネルを構築しその中に熱媒体として水を流し、熱媒体を放射冷却により冷却する実証試験を実施したので報告する。

【設計・作製】パネルの外観を Fig.2A)に示す。流体の流れる管路が蛇腹状に並列された塩化ビニル製樹脂シート(INTEX 製 Krystal Clear Pool Basics™)を用意し、日射反射率 95%、赤外放射率 95%の粘着剤付の放射冷却素材(SPACECOOL 製フィルム SCF-A25M-ONS)を貼り合わせた。管路の幅は 20mm、管路壁面間の距離は 5mm であり、水が熱交換する有効面積が 88%であるパネルを用いた。裏面に地面や空気からの入熱を抑制する目的で厚さ 40mm の断熱材(スタイロフォーム)を設置し実験を行った。温水器によって温められた水を電動ポンプにて一定流量で流す系を構築した。パネル通過前後の水の温度およびパネル中央の水温を、K 熱電対を用いて測定した。

【実証試験】試験時の外部条件は、外気温 28.2℃、日射強度 0.8 kW/m²、パネル上の空気の風速が 1 m/s であった。1.44m² のパネルに対し、2.0L/min の流量で水を流したところ、44.0℃の水が 42.6℃まで冷却されパネル中央裏面の温度は 41.5℃となった。パネルの表面温度の分布を Fig.2B) に示す。試験と同条件で計算を実施すると、温水から放出される熱エネルギーが 0.31 kW/m² となり、出口温度が 42.5℃と 1.5℃低下することがわかり、おおむね実験と一致することが分かった。パネル面積と水温の関係に関して、実験と理論の比較とあわせ、放射冷却性能と温度の関係など詳細は当日報告する。

【文献】[1] A.P. Raman, *et.al.*, *Nature* **515**, 540 (2014). [2] 末光 *et al.*, 秋応物, 21a-E208-11 (2019). [3] E A. Goldstein, *et.al.*, 17th IRACC, 2293 (2018). [4] 大杉 *et al.*, 春応物, 16a-E502-3(2023).

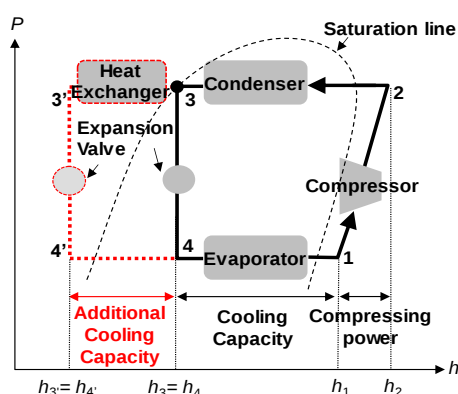


Fig. 1 Pressure-enthalpy chart of a vapor compression refrigeration cycle.

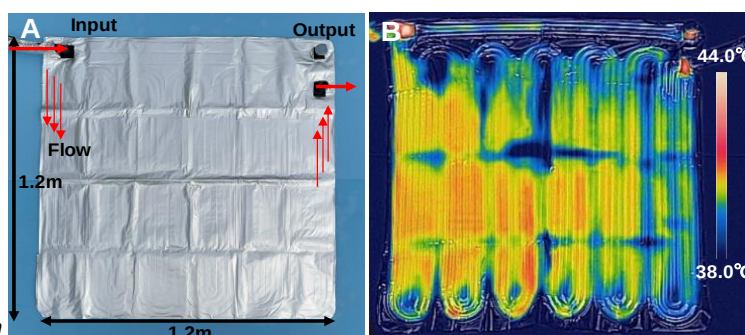


Fig. 2 A) A passive radiative cooling panel, B) thermographic image of the panel.