

1. 寒冷地特性の冷凍機エネルギー効率増大と海洋深層水

○手塚正博 (ICE2.0 LLC)

はじめに

冷凍機を用いる低温度技術分野には冷水製造、造氷、凍結濃縮、凍結乾燥等がある。冷凍機は、稼働エネルギー（動力）以上のエネルギー（熱）の移動を可能とするヒートポンプと同じ原理の省エネルギーシステム機械である。また、冷凍機のエネルギー効率（熱移動量／動力）は、高温度熱源（放熱側）と低温度熱源（吸熱側）の温度差が小さい程増大する。寒冷地には上記低温度技術の必要冷却温度よりも高温であるが温度差が小さく、かつ（年間を通して）安定した水温の海洋深層水がある。本報告は、冷凍機における上記温度差の小ささによるエネルギー効率の増大の視点を凍結濃縮による Mg 高濃度ミネラル液の生産を例に考察する。

1. 冷凍機の理論エネルギー効率

冷凍機の理論エネルギー効率（COP_t）は、理想気体と理想シリンダで構成される逆カルノー可逆サイクルから次式で表される。

$$COP_t = Q_c / W = T_c / (T_h - T_c) \cdots (1)$$

Q_c: 低温度熱源からの熱移動量 (kJ/kg)、W: 動力 (kJ/kg)、T_h: 高温度熱源の絶対温度 (K)、T_c: 低温度熱源の絶対温度 (K)

1) 式は温度差 (T_h - T_c) が小さいほど少ないエネルギー（動力）で多量のエネルギー（熱）の移動が可能となることを表している。

2. 寒冷地の海水温度 (T_h)

オホーツク海及び日本海における深度 400m 以下の海水温度は、年間を通してほぼ 0°C (273.15 K) で安定している。一方、海面水温度 (北海道) は、オホーツク海の冬期 (2月) が約 0°C、夏期 (8月) が約 17.5°C で、日本海の冬期 (2月) が約 5°C、夏期 (8月) が約 22.5°C である。

3. 凍結濃縮

3.1 Mg 高濃度ミネラル液の生産

凍結濃縮により海洋深層水 (3.5wt%) から

Mg 及び Ca リッチ、Ca/Mg < 2、Na 低減の高濃度ミネラル液 (15wt%以上) を生産する事ができる (前報)。Mg は人体の免疫機能に重要な役割を果たしているミネラルである。しかし、その摂取量は先進国において不足し、特に高齢者の摂取不足が懸念される。

3.2 凍結濃縮液の生産に必要なエネルギー

海水を高濃度濃縮する時に必要な熱（移動量）は、凍結濃縮が 334kJ/kg (=80kcal/kg) (凝固潜熱) であり、蒸発濃縮が 2,442kJ/kg (=560Kcal/kg) (蒸発潜熱) である。

また、上記凍結濃縮に必要な熱量（吸熱）を得るための冷凍機の実際のエネルギー効率 (COP_r) は次式となる。

$$COP_r = \eta COP_t = \eta T_c / (T_h - T_c) \cdots (2)$$

η: 高・低熱源への冷媒の昇・降温度の必要性、圧縮機の効率、冷媒の圧縮率及び冷媒配管の熱損失等によるエネルギー効率の損失割合

寒冷地で凍結濃縮液を生産することを想定し、その条件として冷凍機の高温度熱源を寒冷地海洋深層水の 0°C (273.15 K)、また低温度熱源 (被凍結濃縮海洋深層水) の温度を -10°C (263.15 K) 及び -20°C (253.15 K) とした場合、COP_r はそれぞれ (圧縮機が往復動式) で 6 及び 5 ほどとなる。これは上記凝固潜熱 (凍結濃縮必要吸熱量) を 1/ (5 ~ 6) のエネルギー (動力) で得ることになる。

4. 視点の展開

本報告の低温度技術分野必要温度と高温度熱源の温度差の小ささの視点は、寒冷地における海洋深層水の各種低温度技術分野への利用に限らず ・他地域海洋深層水の冷房以外への利用 ・寒冷地における外気、河川、海面水、地下水の季節間温度変動追従冷凍機の検討 ・夜間外気の利用 (その温度は昼間に比べて低温であり、かつ安定している) 等も考えさせる。