

大容量 2700USRt ターボ冷凍機へのインバータ導入による 省エネルギーの実現とその効果

Realization of Energy Saving and Its Effect
by Introducing an Inverter to a Large Capacity 2700 USRt Centrifugal Chiller



松倉 紀行* ¹ Noriyuki Matsukura	竹本 明広* ² Akihiro Takemoto
清水 和美* ³ Kazumi Shimizu	御厨 正義* ³ Masayoshi Mikuriya
河野 剛洋* ³ Takahiro Kono	中川 翔太* ⁴ Shota Nakagawa

大容量ターボ冷凍機へのインバータ導入事例とその効果を紹介する。固定速ターボ冷凍機は、冷却水入口温度が定格値の場合に定格能力での COP が最も高い。しかし年間負荷を見ると、定格条件で運用されるのはまれで、ほとんどが部分負荷や低冷却水温度条件で運用される。一方、可変速ターボ冷凍機は、部分負荷や低冷却水温度条件での COP を大幅に向上できる。設備の運用改善と過去に固定速機として納入したターボ冷凍機に対しインバータ導入を行った結果、2018 年度の設備冷熱 COP が 2012 年度対比で 15% 向上した。

1. はじめに

現在のターボ冷凍機は、冷媒を圧縮する圧縮機を電動機で駆動させるものが主流である。図 1 に三菱重工サーマルシステムズ(株)(以下、当社)のターボ冷凍機の効率を示す定格 COP (Coefficient Of Point) 及び部分負荷最高 COP の変遷を示す。2000 年代もしくはそれ以前のターボ冷凍機は、電動機を商用電源で駆動させる固定速機が主流で、定格能力 COP が最も高くなる特徴を有する。しかし一般的な工場、商業施設やオフィスビルの年間冷房負荷を見ると、定格条件で運用されるのはまれで、ほとんどが定格能力に満たない部分負荷や JIS が定める冷却水入口温度条件 32℃ に比べ低い冷却水温度で運転されている。

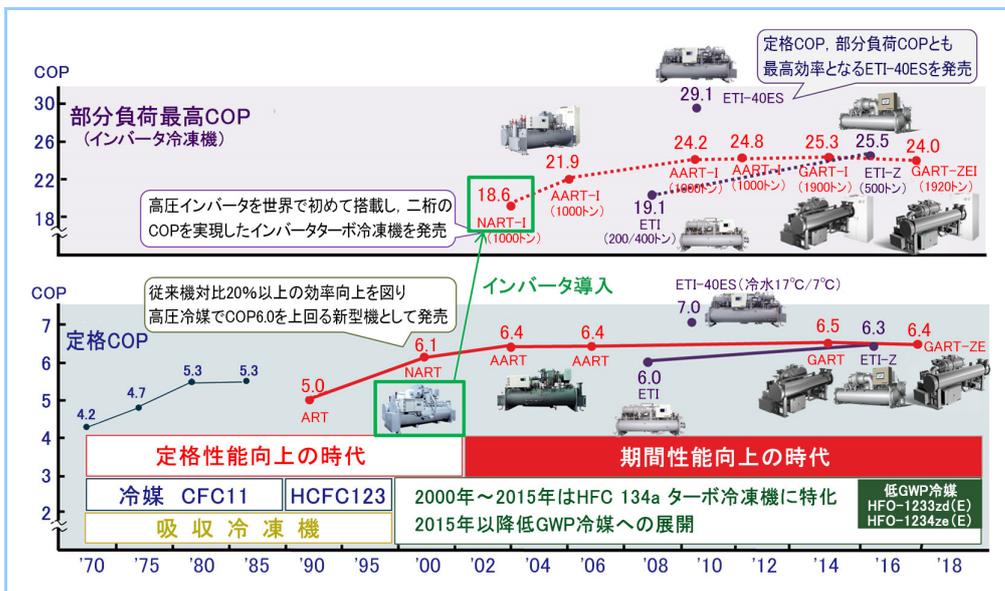


図1 当社ターボ冷凍機の定格及び部分負荷最高 COP の変遷

*1 三菱重工サーマルシステムズ(株)大型冷凍機技術部 主席技師 技術士(機械部門)
 *2 三菱重工サーマルシステムズ(株)大型冷凍機技術部 主席技師
 *3 三菱重工サーマルシステムズ(株)大型冷凍機技術部 *4 大成エンジニアリング(株)

当社は 2000 年頃からインバータ駆動のターボ冷凍機を実用化し、年間を通してベース負荷に対応できる高性能固定速ターボ冷凍機に加えて、部分負荷や低冷却水温度条件で高い COP を実現できるインバータターボ冷凍機をお客様へ提供してきた。2002 年に圧縮機 2 台を搭載した冷凍能力 2700USRt の固定速ターボ冷凍機 NART-270PLH を池袋地域冷暖房(株)以下、お客様と記載)へ納入した。ターボ冷凍機の年間効率改善を目的とし、2013 年と 2014 年に圧縮機 1 台ずつをインバータ駆動に改良し、さらに低冷却水温度条件での運転可能範囲拡大を目的とし 2018 年に圧縮機改良工事を行った。本報では改良の内容とその効果を紹介する。

2. 地域冷暖房設備⁽¹⁾

お客様の熱供給エリアを図2に示す。熱製造プラントはサンシャインシティの地下にあり、24 時間 365 日体制で冷水・蒸気を製造し、東池袋地区のお客様(延床面積 60 万 m²)に冷温熱が安定供給されている。

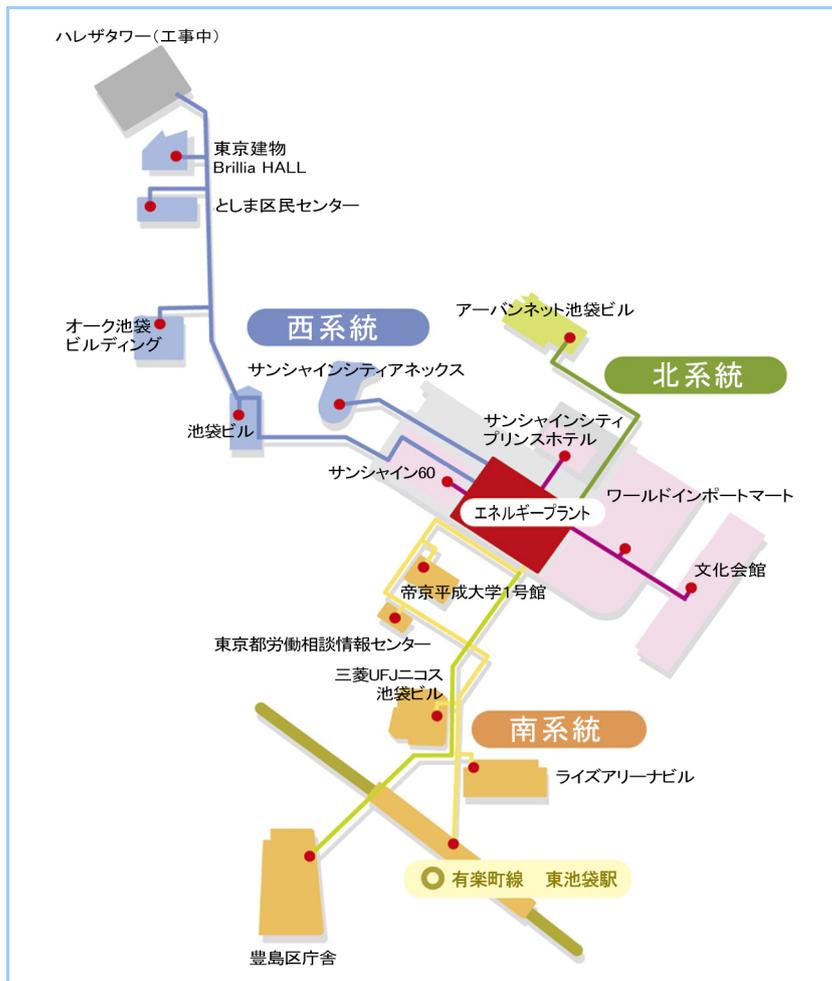


図2 池袋地域冷暖房(株)の供給エリア

熱供給システム構成を図3に示す。冷水供給設備として、合計 10800USRt のターボ冷凍機 (TR) 4 台と合計 8100USRt の吸収冷凍機 (AR) 6 台と氷蓄熱設備が設置されている。四角で囲まれた冷凍機(お客様呼称 TR-4)が本報で説明するインバータ導入ターボ冷凍機である。なお、四角で囲まれた冷凍機の横にある3つの冷凍機 (TR) も、当社製の固定速ターボ冷凍機である。

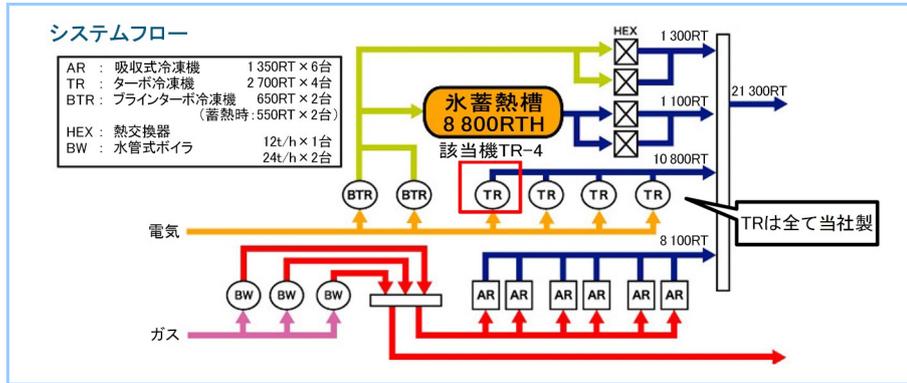


図3 池袋地域冷暖房(株)のシステム構成

3. TR-4 へのインバータ導入

3.1 2002 年納入時の冷凍機仕様と運用制限

インバータ導入工事を実施したターボ冷凍機 (TR-4) の仕様を表1に示す。圧縮機を2台有する 2700USRt のターボ冷凍機で、負荷に応じて圧縮機を1台運転及び2台運転に切り替えることができる。TR-4 は圧縮機の制約上、当初は冷却水入口温度が常に 20℃以上になるようお客様に運用いただいていた。

表1 インバータ導入をしたターボ冷凍機 (TR-4) の仕様

	2002 年納入当時	2013, 14 年インバータ導入後	2018 年圧縮機内部部品改良後
冷凍機型式	NART-270PLH		
冷媒	R134a		
圧縮機台数	2		
冷凍能力	2700 USRt (9494 kW)		
冷水温度	14℃ → 5℃		
冷水流量	907.2 m ³ /h		
冷却水温度	32℃ → 40℃		
冷却水流量	1211.2 m ³ /h		
定格入力※1	電動機 1770 kW	インバータ 1824 kW	
定格 COP	5.36	5.2	
運用制限	冷却水入口 20℃以上	図4参照	冷却水入口 13℃以上

※1 電動機2台またはインバータ2台の合計を示す。

3.2 2013 年と 2014 年のインバータ導入と運用制限

2013 年に TR-4 の 2 台の圧縮機のうち一方、2014 年に他方に対してインバータ導入工事を実施した。高圧インバータの外径寸法が幅 5000mm × 奥行 1500mm × 高さ 3000mm と大きく、搬入口寸法を考慮して、5つの盤に分割して搬入した。横倒しが必要な盤に対して、盤内部の重量部品を事前に取り外し、機械室にユニットを据え付けた後に重量部品を再設置した。また、元々の固定速用の冷凍機操作盤を可変速用に改造するにあたり、追加する電子部品の盤内配置検討を実施した。インバータ専用の接地が必要となったため、お客様にご協力いただき、新たな接地工事を実施した。

インバータ導入工事後も圧縮機の制約上、図4の赤い線の左側になるようお客様に運用いただいた。具体的には、以下のとおりである。

- ・100%冷凍能力の場合、冷却水入口温度は 20℃以上
- ・80%冷凍能力の場合、冷却水入口温度は 18℃以上
- ・60%冷凍能力の場合、冷却水入口温度は 15℃以上
- ・50%冷凍能力の場合、冷却水入口温度は 13℃以上

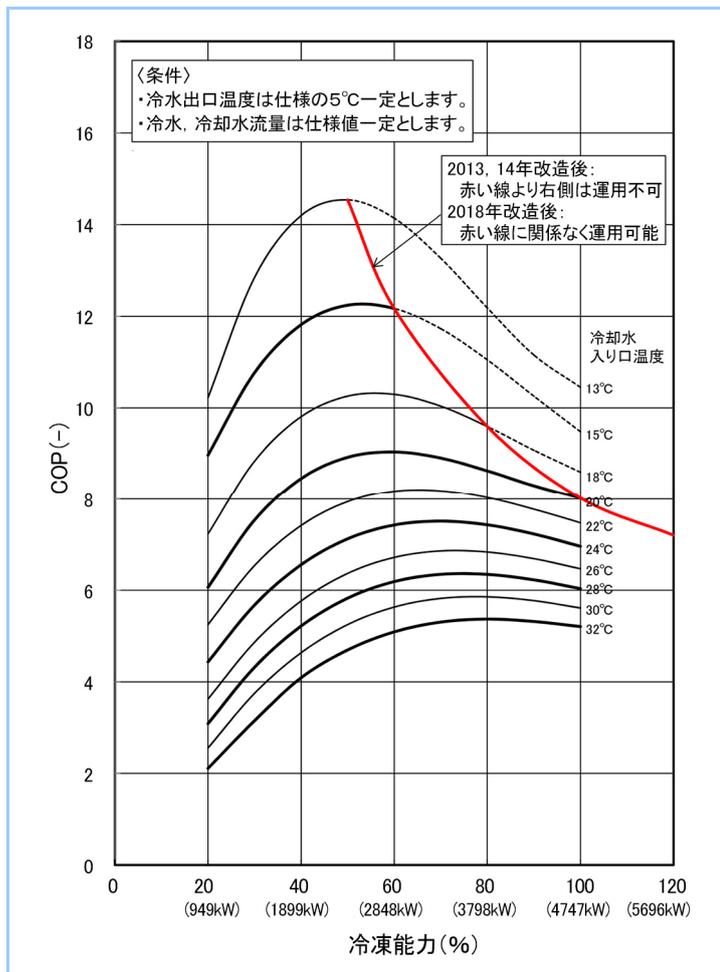


図4 TR-4 のインバータ導入後の部分負荷予測性能と運転制限

3.3 2018 年の圧縮機内部部品の改良と運用制限解除

2018 年に TR-4 の 2 台の圧縮機の全分解点検を行い、圧縮機内部部品の取り換えを実施した。この時、圧縮機内部部品の形状を改良した。圧縮機内部部品の改良後は、図4の赤い線の運用制限は不要となり、冷却水入口温度 13°C 以上であれば、全ての冷凍能力領域において運用可能となった。この冷却水入口温度 13°C は、冷凍機を安定運転できる最低の冷却水温度であり、当社最新の冷凍機は 12°C である(冷水出口温度が 7°C の場合)。

4. TR-4 へのインバータ導入の効果

4.1 TR-4 単体の COP

インバータ導入前後、圧縮機改良後の TR-4 の冷却水入口温度別の COP をそれぞれ図5, 6, 7に示す。これらの図は圧縮機1台運転を示しており、もう1台の圧縮機を運転した場合でも同等の COP である。2012 年度の固定速 COP (図5) では、定格 100% 負荷付近において COP が最高になり、冷却水入口温度が低いほど COP が高いことが確認できる。予想性能曲線とほぼ同等かそれ以上の COP を達成した。2017 年度の可変速 COP (図6) では、冷却水温度が低くなるほど、COP が高くなり最高 14 を超えるまで上昇し、可変速機の予想性能曲線(図4)と同等かそれ以上の COP を達成した。赤い線を目安に制御された結果、一部赤い線を超えるデータもあるが、概ね計画通りの制限で運用頂いた。2019 年度の圧縮機改良後 COP (図7) では、図6と比較して黒枠で示した、低冷却水温度かつ高負荷率領域が運転可能になったことが分かる。

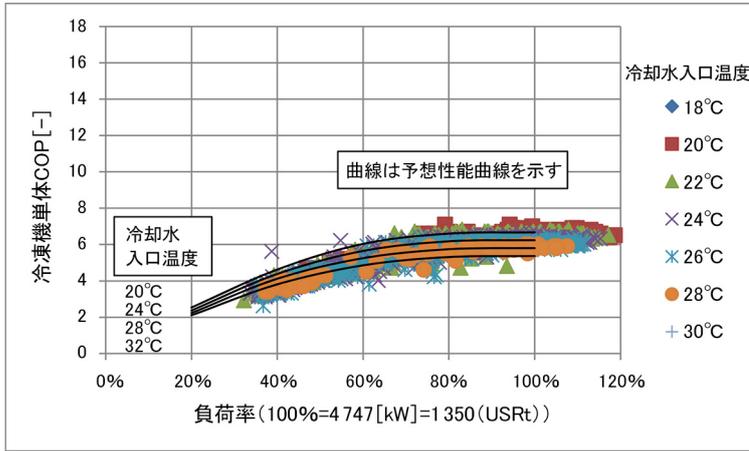


図5 TR-4 単体 COP(インバータ導入前 2012 年度)

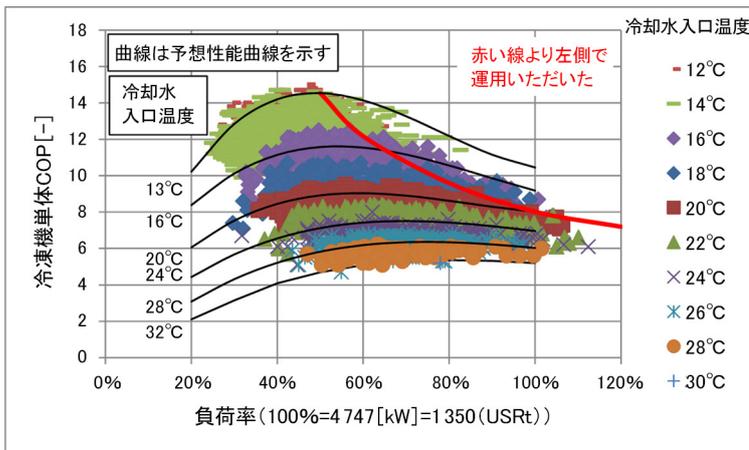


図6 TR-4 単体 COP(インバータ導入後 2017 年度)

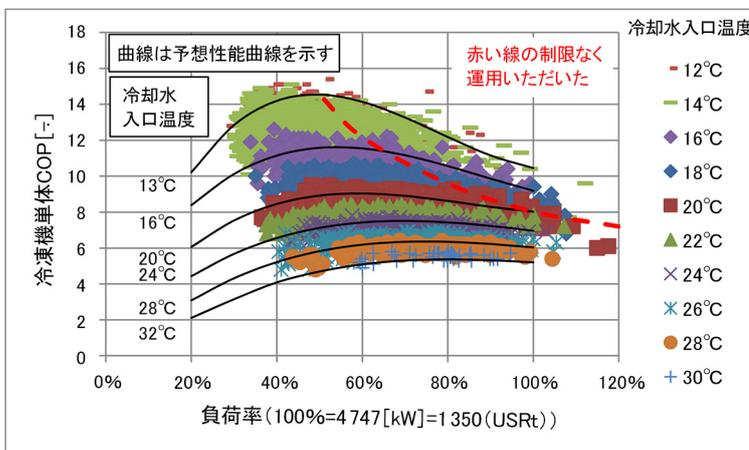


図7 TR-4 単体 COP(圧縮機改良後 2019 年度)

4.2 ターボ冷凍機冷熱製造 COP

TR-4 を含む4台のターボ冷凍機全体の COP を図8に示す。TR-4 へのインバータ導入前の2012年度は年間を通してCOPが4程度であった。しかしインバータ導入後の2017年度は、冷却水温度が高い夏季は2012年度と同等であるものの、それ以外の季節ではCOPが6程度まで上昇した。これは、冬季以外は固定速ターボ冷凍機を定格付近のみで運用し、インバータ導入TR-4を年間を通して高効率な部分負荷で運用された結果と考える。また2017年度と2019年度のCOPは同程度であり、インバータ導入後の高いCOPを維持できていることが分かる。

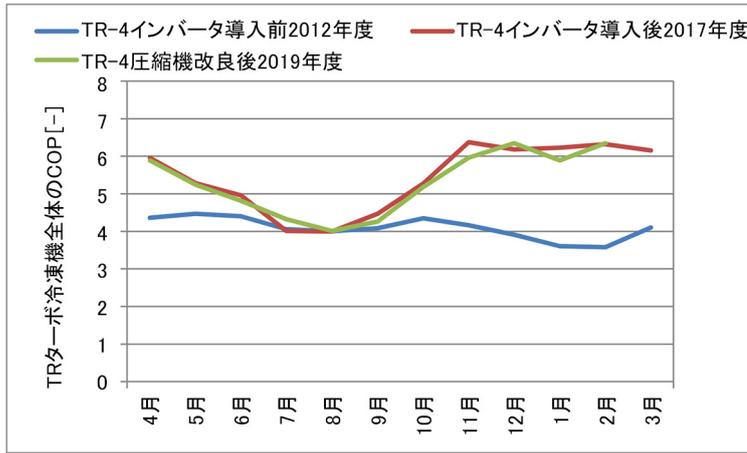


図8 TRターボ冷凍機全体 COP

4.3 冷熱製造全体 COP

2008年度から2019年度までの設備データを図9に示す。2019年度は2020年2月末までのデータである。冷熱製造 COP は冷熱供給熱源機全ての冷熱製造合計熱量と消費電力と吸収冷凍機の蒸気使用量の熱量合算より計算した。TR-4 の製造熱量比率は、氷蓄熱設備と吸収冷凍機とターボ冷凍機の冷熱製造合計熱量に対する、TR-4 の冷熱製造熱量を示す。2013, 2014 年度に TR-4 にインバータ導入をした結果、2015 年度の冷熱製造 COP が 2012 年度対比で約 12% 向上した。また 2012 年度は TR-4 の製造熱量比率が 27% だったが、2015 年度は 40% を超えている。これは TR-4 にインバータを導入したことで、TR-4 の部分負荷 COP が向上し、TR-4 の定格能力以外での運転時間が増え、氷蓄熱設備と固定速ターボ冷凍機の運転時間が減り、冷熱製造 COP が増加したと考えられる。さらに 2017 年度以降、冷熱製造 COP が大きく上昇している。これは設備運用変更で吸収冷凍機及び氷蓄熱の運転時間を縮小したことで冷熱製造 COP がさらに増加したと考えられる。設備の運用改善と TR-4 のインバータ導入より、2018 年度の冷熱製造 COP は 2012 年度対比で 15% 向上した。

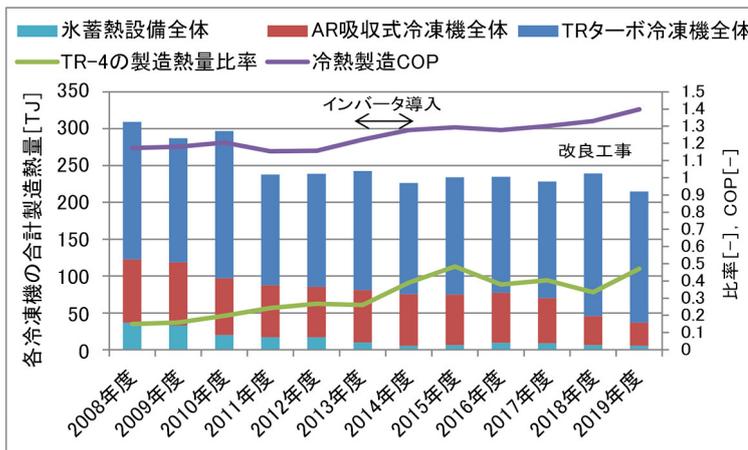


図9 各冷凍機の製造熱量と TR-4 の製造熱量比率

5. まとめ

総冷凍能力 18900USRt (66.5MW) の冷熱製造設備(氷蓄熱設備容量は含まず)において、吸収冷凍機及び氷蓄熱の運転時間縮小等の設備の運用改善と、2700USRt (9494kW) の固定速ターボ冷凍機 TR-4 にインバータ導入をした結果、2018 年度は 2012 年度対比で冷熱製造 COP が 15% 向上した。また 2018 年度に実施した圧縮機内部部品の改良によって、最新のターボ冷凍機と同等の最低冷却水入口温度 13℃ まで運転を可能にした。TR-4 の高効率な部分負荷運転時間が延び、他の固定速機が高効率な定格運転を行う等の設備運用改善がなされ、冷熱製造 COP

が向上した。今後引き続き TR-4 の性能を最大限に活用できる設備運用が可能かを検討するとともに、冷凍機の長期にわたる高効率を維持できるメンテナンスを提案していく所存である。最後に、設備の運用改善計画に尽力され、TR-4 の性能向上にご理解とご協力いただき、さらに貴重な設備データをご提供いただいた池袋地域冷暖房(株)の平井様、山口様、菊池様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 平井, 山口, 後藤, 既設固定速ターボ冷凍機圧縮機のインバータ化とその効果, 一般社団法人日本熱供給事業協会第 23 回技術シンポジウム, (2016.11)p.45~54