

特 集 論 文

3D スクロール圧縮機を搭載した高効率
直結式陸上輸送用冷凍機 S シリーズHigh Performance Direct Driven Refrigeration
S-Series Units for Transportation

甲斐 政和^{*1}
Masakazu Kai

長田 和巳^{*2}
Kazumi Osada

渡辺 泰^{*3}
Yasushi Watanabe

田中 孝史^{*2}
Takashi Tanaka

柘磨 恒志^{*2}
Koushi Taruma

トラック排出ガス規制強化、原油高騰による燃料費上昇、地球温暖化防止への取組み強化など物流業界を取り巻く環境は近年大きく変化している。当社はこの環境変化に対し、圧縮機小型化による車両への搭載性確保と高効率化の同時実現をコンセプトとした直結式陸上輸送用冷凍機 S シリーズを開発し対応した。

1. はじめに

我が国の CO₂ 排出量の約 2 割を占める運輸部門では、CO₂ 削減への取組みが強く求められており、燃料価格高騰と相まって輸送用冷凍機に対する高効率化の要望が急速に高まっている。一方、トラック排出ガス規制対応による排ガス浄化関連機器の増加は、冷凍機用圧縮機の搭載スペースにも影響を与え始めており、現在各トラックメーカーで開発中のポスト新長期規制対応車においては、冷凍機用圧縮機の小型化が切望されている。

当社では大幅なエネルギー消費効率改善と圧縮機の小型化という要望を同時実現するため、空調用で培った三次元圧縮式スクロール（以下 3D スクロール）技

術を適用した輸送用冷凍機専用圧縮機（CS コンプレッサ）を開発し、本圧縮機を採用した直結式陸上輸送用冷凍機 S シリーズをラインアップした。本報では、S シリーズの特徴について述べる。

2. S シリーズの特徴

2. 1 開放型 3D スクロール圧縮機

直結式輸送用冷凍機で長年使用されてきたレシプロ式圧縮機は図 1、図 2 に示すとおり、高回転になるに従い効率が低下する特性を持つため、小型化と高効率化を同時実現することは極めて困難である。

一方、スクロール圧縮機は体積効率が高く、高回転でも高い効率を維持する優れた特性を有しているが、従来スクロールでは冷凍機の運転点に合わせて高圧力

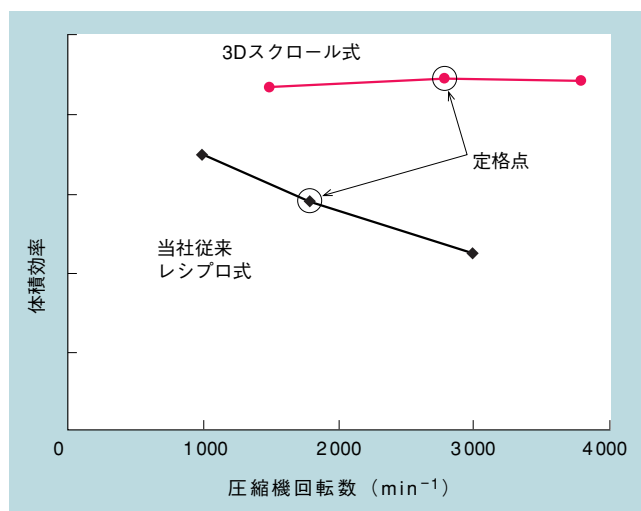


図 1 体積効率特性

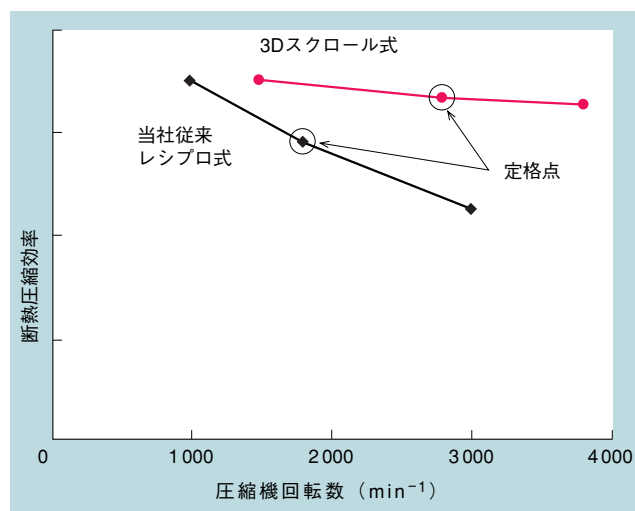


図 2 断熱圧縮効率特性

^{*1} 冷熱事業本部輸送冷凍機部設計グループ主席

^{*2} 冷熱事業本部輸送冷凍機部設計グループ

^{*3} 技術本部名古屋研究所流体・伝熱研究室

比設計すると、スクロールの巻数が増大し胴径が拡大することから車両搭載性に課題があった。

Sシリーズではこの技術課題に対し、軸方向圧縮機構を持つ3Dスクロールを採用することで、胴径を拡大することなく冷凍機に適した設計圧力比とすることに成功した。その結果、同等能力を発揮する当社従来レシプロ式と比較し、圧縮機体積約60%削減、重量50%削減と大幅な小型軽量化を達成し、定格回転数における圧縮効率は約15%向上した。

2.2 運転範囲拡大による稼働率向上

車両エンジンで圧縮機を駆動する直結式冷凍機の場合、圧縮機回転数は車両エンジン回転数により決定され、自ら制御することはできない。スクロール圧縮機は使用する全回転数範囲で高い体積効率を発揮するため、レシプロ式圧縮機に対して回転数変動による運転圧力変化が大きくなる。Sシリーズでは直結式冷凍機で初めて高圧・低圧に各々圧力センサを装備し、運転圧力を高圧・低圧の二次元マップ管理することで圧縮機が許容する運転範囲を最大限使用するようにし、過渡的なエンジン回転数変動で冷凍機が保護停止する頻度を最小化した。

2.3 消費電力削減

直結式冷凍機は車両用電源から電力供給を受けて動作するが、オルタネータの発電効率はエンジン中速域で約50%であるため、冷凍機消費電力の削減はエンジン負荷軽減、すなわち車両燃費低減に対して効果が大きい。Sシリーズでは消費電力の80%以上を占める送風系に着目し、コンデンサファンの大径化及びセレーション翼の採用による渦損失の低減（図3）、コンデンサファンモータのブラシレス化による効率改善、車内気流改善による送風量適正化を行い、消費電力を当社従来機対比最大23%削減すると同時にコンデンサファンの送風音を大幅に低減した。

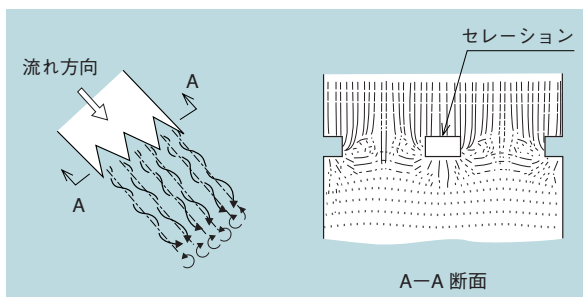


図3 セレーション翼による渦損失低減

2.4 熱損失・圧力損失の低減

車両エンジンに取り付けられる圧縮機と保冷車体側に取り付けられる冷凍機本体は、図4に示すように高

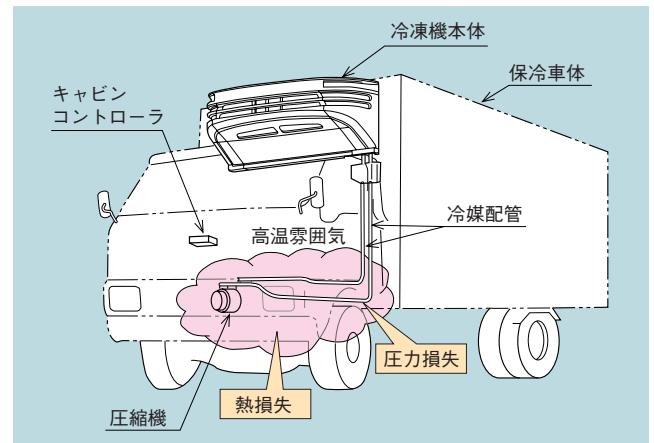


図4 車両架装状態

温環境となるエンジンルームを經由して冷媒配管接続される。このため、エバポレータで蒸発した低圧低温のガス冷媒は圧縮機に吸入されるまでに多くの熱を吸収し運転効率を低下させる。また、エンジンルーム内には太い冷媒配管を通すだけの十分なスペースがないのが実情であり、一般的に適正配管径より細い冷媒配管が使用されている。この車両側制約による配管小径化は圧力損失の増加を招き、運転効率を大幅に低下させる要因となっている。Sシリーズでは大型気液熱交換器を標準搭載し、前記のように高温のエンジンルームで無駄に熱交換されていた熱量を自身の冷凍能力増加に有効に活用し効率を向上させた。また、気液熱交換器による過冷却増加は、規定冷凍能力を得るのに必要となる冷媒循環量を減少させる効果があり、圧力損失低減に対しても大きな効果を発揮する。

2.5 架装部品のライン装着化促進

直結式冷凍機は、ボディメーカーもしくは架装メーカーにて車両に組み付けられる。Sシリーズでは図5に示すように、従来個別に架装作業されていた部品（例えばユニットコントローラ）のユニット組み込みを行うことで、架装時間を短縮（架装コスト低減）し、架装

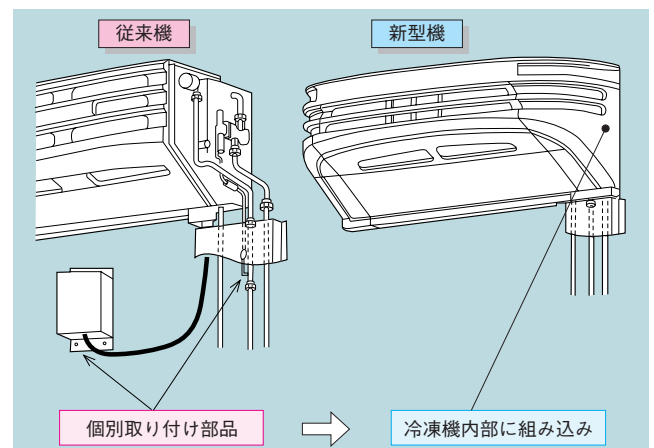


図5 個別架装部品のユニット組み込み

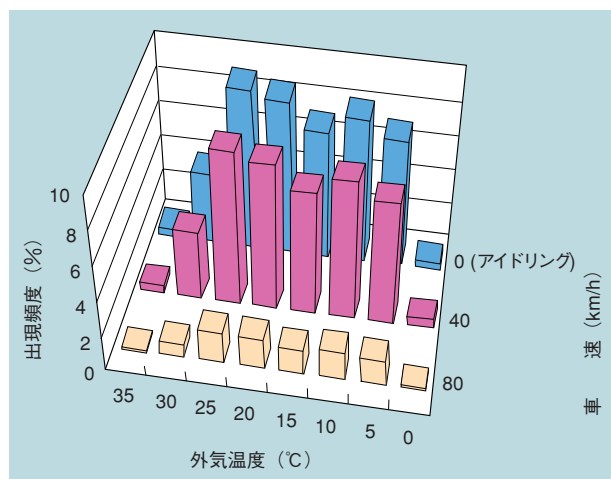


図6 冷凍機使用条件頻度分布

後のシステム品質を向上させた。

2. 6 信頼性向上

運転停止時に圧縮機をヒータ加温できない車載用冷凍機では、圧縮機への液冷媒寝込みが発生しやすく、液圧縮起動や、フラッシングによる低潤滑起動が圧縮機の大きな故障要因となる。Sシリーズでは冷凍機停止時に圧縮機吸入及び吐出側に設けられた弁が閉止する液寝込み防止回路を採用した。また、圧縮機には液圧縮が発生した場合の発生応力を大幅に低減するマルチリーフポートを装備した。

3. 実車による省エネ性検証

冷凍能力がほぼ等しい当社従来機と新型機を同一車両に架装し、冷凍機年間燃料消費量の比較試験を実施した。年間の冷凍機使用条件は車速・気温をパラメータとして、JE05重量車試験モード、東京・名古屋・大阪の気温データに基づき、図6に示す頻度割付として冷凍機年間燃料消費量を算出した。

表1 年間燃料消費量

項目	従来機	新型機
燃料消費量	365 L	267 L

27%削減

冷凍機年間稼働時間を2000時間とした場合の冷凍機燃料消費量測定結果は表1に示すとおりであり、新型機は当社従来機に対し冷凍機負荷分燃料消費量が27%削減されるとの結果を得た。

4. ま と め

3Dスクロール圧縮技術の適用により、市場要求である大幅な効率改善と圧縮機の小型化を同時達成した。これまでに小型冷凍車から中型冷凍車に対応する製品のラインナップを終え、現在大型冷凍車用・マルチテンプ用を開発中である。運輸部門のCO₂排出量削減に貢献するため、エネルギー効率を大幅に向上させた新型直結式冷凍機シリーズの普及に努めていく。



甲斐政和



長田和巳



渡辺泰



田中孝史



柞磨恒志