

平成 29年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「農水産物の長期保存輸送を実現するインバーター冷蔵コンテナの設計と
コンパクト発電機の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成30年5月

担当局 近畿経済産業局

補助事業者 前出産業株式会社

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標……………3～5
- 1-2 研究体制……………6
- 1-3 成果概要……………7～8
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口……………8

第2章 本編

- ① ヒートシンク含む熱対策……………9
- ② 輸送用冷凍ユニット駆動・制御による発電機・制御装置の評価
 - ②-1 大型車の輸送用電動冷凍装置の開発
 - ②-1-1 インバータ制御冷凍コンプレッサの検討……………9～18
 - ②-1-2 誘導モータ～インバータの検討……………19～23
- ③ 2t 電動冷凍車の開発……………23～35
- ④ トラブル対応事例……………35～36

最 終 章

- ㊦27年度成果総括……………37～38
- ㊧28年度成果総括……………38～39
- ㊨29年度成果総括……………39
- ㊩3年度性K総括……………40～41

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

・研究開発の背景

川下製造業者等の特有の課題及びニーズの イ.小型化・軽量化 オ.高安全性、高信頼性に該当

TPP 交渉が大詰めを迎え、将来、食品等の輸送が海を挟んで往来する事が予想される。食肉類は冷凍、魚介類は冷蔵、花卉、野菜類は低温、状態で輸送されるのが品質を確保する上で最適である。現在、陸上では食品の保存は電力を用いてインバーター駆動された電動コンプレッサーでほぼ理想の温度状態で品質維持が行われている。ところが、トラックでは大電力の供給装置である小型発電機が存在せず、機械式コンプレッサーを用いている事が多く、まれに 300kg以上のエンジン発電機を用いた電動コンプレッサーを使って冷凍機を作動させている。その為、食品の品質を確保した温度、湿度等の条件設定が出来ないため長期輸送が出来ないばかりか、積荷を陸から船に船から陸に積み替えを行い、その度に品質劣化を招き、コストアップ(廃棄ロス発生)を招いている。

コンテナに取り付けられた冷凍機を陸ではトラックエンジンに取り付けた発電機の電力で、船では輸送船の大型発電機の電力で、再上陸時にはまたトラックエンジンの発電機で輸送出来れば積荷の劣化が無く、鮮度を保ったまま食品等の輸送が実現出来、積荷の乗せ換え等の手間が省ける。

近年、日本食品が味、鮮度、農業等の管理が優れている事を理由に中国人に好まれる傾向が増大し、野菜、魚介類、食肉類が好んで輸出される傾向が増えている。逆に中国、オーストラリア等からは花卉類、果物等の輸送が増えている。こうした状態で輸送品の品質を確保した輸送形態が望まれ、庫内温度、湿度等を自由に変化させ、安定した品質保持の輸送形態を確立させる必要がある。

電力が十分に存在する陸上では電動コンプレッサーが使用され、食品の冷蔵、冷凍機が運転されたが、これらに使用された電動コンプレッサーは周波数 50 又は 60 サイクルで負荷制御は電動機の ON-OFF 制御により行われた。2005年頃からインバーター制御による温度管理がされてから、これらの効率向上が図られ、50%以上の大幅な省エネルギー化が実現した。

ところが、トラック等の大電力を必要とする冷凍、冷蔵車では小型、高効率、高出力装置が損存しないため、省エネルギー化の時代の趨勢から取り残された状態である。

発電機の小型、高出力化では 2000 年頃から永久磁石式が開発され、冷蔵庫、エアコン等に用いられてきたが、回転速度が一定状態での制御はほぼ完結したが、回転が変動する永久磁石発電機では欠点とされる高回転での高電圧、低速時の低電圧を制御する技術が充分でなく、該当する自動車用発電機は開発から置き去りにされた状況が続いている。

その中でも、ハイブリット自動車では永久磁石発電、電動機が使用され、その電圧制御は発電機に取り付けられた機械式トランスミッションと6個の大型トランジスターからなるブリッジ回路を用いている。その為、コスト高と熱発生に苦しみ、大型の制御装置の冷却装置を使っている。

輸送用冷凍ユニット製造企業の中には後付けの永久磁石式発電機を用いて稼働させている電機冷凍車を販売していることもあるが、アイドリング時の冷却性能は若干低く、スタンバイ装置に市中電源を接続した時程の冷却性能には達していない。仮に、バッテリーを搭載していても、長時間渋滞の際には意味をなさず、積載食品の鮮度保持には不安がある(物流企業ギオンの見解)

・研究目的及び目標

車載発電機はエンジンに直結されるためアイドリング時の回転数、高速時の回転数により電圧が一定しないので、冷凍装置を稼働させるコンプレッサーの安定稼働に影響を与える。即ち、コンプレッサーの冷媒吐出量が一定に保てないため、コンテナ内の温度が一定に保てない事態を招く。そのため回転数にかかわらず、一定電圧に制御する制御装置が必要となり、特許取得した 2 層巻線永久磁石発電機と併せて一体で特許(特許 4913234)を取得した次第である、

従って、研究目的はひとえに上述したとおり、省エネルギー化の趨勢から置き去りにされた車載冷凍装置に省エネルギーと称しても恥ずかしくない稼働・制御システムを提供することである。そのためには、車載である制約から被る様々な課題をクリアする必要があり、且つ昨年度は 3 つの未達項目を発生させたことを受け、以下の目標(3 つの研究開発テーマ)の達成を今年度の目標とした。

- 今年度の目標は①制御装置、チョークコイル用ヒートシンクの放熱対策技術の確立
 ② 市販の輸送用(車載)冷凍装置を相模原研究所で再現し、テストベンチにおいて発電機と制御装置で制御できることを確認(発電機・制御装置の性能検証を兼ねる)。
 ③ 12KW 発電機のダウンサイジング版の 4.5KW 発電機と制御装置ユニットの性能・耐久性検証及び当該ユニット搭載2トン冷凍車の燃費等の比較検証

上記3テーマの達成であるが、ノントラブルが6ヶ月確認できれば、第三者検証(ギオン営業冷凍車に実装)に移行するとともに、公設試験場による環境負荷型大型振動試験(テーマ③補足)も実施し、実車と併せて耐久性検証を行うスケジュールの実行を目標とした。

上記3テーマをサブテーマ番号に沿って進捗状況を以下に記す。

- [1-1] 発電機、インバーター、永久磁石式モーター、コンプレッサー負荷の試験(輸送用冷凍ユニットに対する本研究開発制御システムの制御性確認)ベンチの製作と12KW発電機改良型制御装置ユニットの評価試験～テーマ②～

- [1-1]「結果」クーリングユニットとクーリングユニット起動装置を12月5日に取付け完了
 12KW発電機(→PMモーターへの変換)駆動検証に時間要し開発スケジュールに比し約3ヶ月遅延が生じたが、クーリングユニットテストランを行った後、12KW 発電機・改良型制御装置の評価試験を実施し12KW 発電機・改良型制御装置及びコンプレッサー駆動制御回路による輸送用クーリングユニットの制御をぎりぎり(発電機出力がコンプレッサー駆動電力と同一)確認した。
 但し、発電機のPMモーター変換は所定出力に至らず、やむなく手持ちの誘導モーターを使用してコンプレッサーを駆動させた。

- [1-2] 高速、高負荷運転による実用性確認～テーマ③～

- [1-2]、[2-2]、[2-3]のうち耐久性試験、[3-1]、[3-2]、[3-3]、[A-1]は2トン冷凍車で実装検証を行った。

- [1-2] [2-2] [2-3]「結果」

改良前制御装置搭載の相模原冷凍車で、3000Km以上ノントラブルを確認している。
 上田事業所冷凍車は29年度10月迄実装検証した相模原冷凍車の制御装置の改良版を搭載している。上田事業所冷凍車は相模原冷凍車と制御装置設置位置の変更収納箱の熱対策改良を施しており、本ユニットが上市製品のプロトタイプとなる。
 本ユニット完成に時間を要し、年度末3月から実装検証を開始し、5月25日現在走行距離は3000Km、今のところ、本ユニットにトラブルは発生していない。

- [2-1] 放熱量に合致したヒートシンクの完成～テーマ①～

放熱性を向上した27年度製作のヒートシンク(12KW制御装置用)の追加工改良を実施し、また、大型冷却ファンを取り付けることで放熱性の向上を図った。

- [2-1]「結果」制御装置用ヒートシンクについては放熱性改善を4.5KW制御装置用ヒートシンクに

おいては熱降下を確認できたが、[1-1]テストベンチの12KW制御装置用ヒートシンクでは放熱効果を確認できたとは断定できない(素子の交換で改善する可能性があるため)のが現状である。

- [3-1] 電動コンプレッサーの高速、後負荷耐久性の確認

- [3-1]「結果」4.5KW発電機:制御装置搭載2トン冷凍車のスタンバイ電源組込コンプレッサーは自己経費開発のスタンバイ用インバーター制御装置搭載効果により、コンプレッサーの安定挙動を確認した

- [3-2] 切り換え時のショック低減技術の確立

- [3-2]「結果」実車走行中のスイッチング ON/OFF 切替え時の衝撃による巻線間のスパーク

発生を抑制するために巻線取り出し口にガラスチューブを取付けることで防ぐことができた。また、巻線自体に真空耐圧含浸することで絶縁性を向上させた。

上田事業所冷凍車で検証中であり、3000Km実車検証でのトラブル発生はない。

[3-3] 庫内温度の制御性を実装確認

[3-3]「結果」4.5KW発電機と制御装置ユニットのインバーターによる制御を確認した。

[A-1] 冷凍車の燃費検証と庫内予冷時間の比較検証

[A-1]「結果」燃費比較はメカ式コンプ搭載現行冷凍車と同程度であることを確認した。但し、今後の盛業方法の変更(ON/OFF制御→比例制御)により、燃費改善の可能性はある。

[A-3]庫内制御要素技術の最適パラメータを実行する制御盤の作製

可能であるならの条件つきでサブテーマに掲げたテーマであった。

名古屋大学が確立したコンテナ環境制御に最適な設計パラメータを実行する制御装置は名古屋大学の制御方法(湿度・温度・風速が夫々のコントローラーで制御)を一つで制御可能とする制御盤の製作であり、小林先生から夫々の制御プロトコルの情報を戴き製作可能性を検討したが、年度内に開発できるスケジュール調整ができず、実行できなかった。

[A-3]「結果」可能であるならの条件つきでサブテーマに掲げたテーマであった。

名古屋大学が確立したコンテナ環境制御に最適な設計パラメータを実行する制御装置は名古屋大学の制御方法(湿度・温度・風速が夫々のコントローラーで制御)を一つで制御可能とする制御盤の製作であり、小林先生から夫々の制御プロトコルの情報を戴き製作可能性を検討したが、年度内に開発できるスケジュール調整ができず、実行できなかった。

1-2 研究体制

※(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者

1) 履行体制図

補助事業者 前出産業株式会社(本社)

(2) 管理員、研究員及び補助員

【補助事業者】前出産業株式会社

管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
矢野 泰孝	前出産業本社:プロジェクト管理員	

研究員

前出産業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
樋上 真吾	前出産業株式会社,上田事業所長	1-1~3-3、A-1
河村 英男	前出産業株式会社,相模原研究所長	1-1~3-3 A-1
滝村 清	前出産業上田事業所,研究員	1-1~3-3、A-1~A-31-1~
上田 洋平	前出産業株式会社,相模原研究所,研究員	3-3、A-1~A-3

補助員

前出産業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
津田 満	前出産業株式会社,相模原研究所	1-1~3-3、A-1

協力者(アドバイザー委員)

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
櫻井 茂宏	会宝産業株式会社:常務取締役	
山崎 豊	山東冷熱工業株式会社:代表取締役	
田村 健次	株式会社MTI:取締役	
大西 規之	株会社ギオン:取締役	

1-3 成果概要

サブテーマ毎の実行できたことは上述の 1-1 の目標に対する成果として記載したので1-3ではできたことを○、できなかったことを×、条件により×とも○とも判断できないことを△として、サブテーマ番号に付し列記する。詳細は本編で展開する。

[1-1]発電機、インバーター、永久磁石式モーター、コンプレッサー負荷の試験ベンチの制作と12KW発電機の評価試験=△(下記理由により評価)

※大型冷凍車のコンプレッサー(5.5KW2連)を余裕をもって駆動させるには12KWの出力(実出力12KWが好ましいが、実際には10KWで駆動できることが、菱重コールドチェーンの内部資料で判明したため)、ぎりぎり10KWの出力を確認できたので○
この際に使用したのは標準装備の誘導モーターであった。

標準装備の誘導モーターに変えて12KWモーター(12KW発電機をモーターに変換)により上記コンプレッサー制御を実行したが40Hz,7KWの出力しか確認できず、PMモーター変換は×

※ 現行冷凍車搭載コンプレッサー駆動は誘導モーターであるが、主任研究員がPMモーターの方が省エネになると主張しているため12KW発電機をモーターに変換したものの、失敗した。今後、コンプレッサー駆動をPMモーターで行う場合は、安く調達できる市販のPMモーターを用いて40Hz以上の周波数でのコンプレッサー駆動制御確認を行う所存である。

[1-2] 高速、高負荷運転による実用性確認=○(4.5KWでの現状検証)

[2-1] 放熱量に合致したヒートシンク(12KWと4.5KW制御装置)の完成=△(下記の理由から)

12KWでは現状制御装置(EA-009)とのマッチングではX。但し制御装置の素子変更によりマッチングが○になる可能性あり,実装検証中の4.5KWでは現状○

[2-2] 低速～高速での耐久性維持=○(4.5KWでの現状検証)

[2-3] 改善項目を反映した制御基板の製作と耐久性実証試験の実施=△(下記理由による)

※ 12KWと4.5KW兼用制御装置であるが、12KWテストベンチにおいては12KW用のチョークコイルの発熱(4.5KWチョークコイルの9倍の発熱量)によりトラブルが発生した(トラブル解決は現在中性点切替機能を持たせているFET、IGBT以外の切替を実行するか、或いは12KW用ヒートシンクの放熱性を向上させるかのいずれか)。よって、4.5KWで使用する場合は○、12KWで使用する場合は現状×

[3-1] 電動コンプレッサーの高速、後負荷耐久性の確認=○(45KW系で実装検証)

[3-2] 切り換え時のショック低減技術の確立=○(4.5KWでの現状検証)

[3-3] 庫内温度の制御性を実機確認=○(相模原冷凍車4.5KWでの検証結果による)

[A-1] 冷凍車の燃費: 予冷時間の比較検証=○

上田事業所(4.5KW発電機搭載冷凍車の搭載前(メカ式コンプレッサー搭載)との比較検証により燃費はメカ式コンプレッサー搭載時と同程度確認,温度維持は勝っていること予冷時間が短いことを確認した

[A-3]庫内温度制御技術の最適パラメータ実行基盤の製作=X、

開発スケジュールが年度内に実行できればとの条件付きサブテーマであったが、

開発には時間がかかること及び、名古屋大学の最適パラメータの提供時期から年度内の製作は無理と判断した、

上記[1-1]～[3-3]のテーマを ①ヒートシンク放熱対策含む熱対策の実行

②=大型輸送用冷凍システムベンチテストにおける12KW発電機・制御装置ユニットの性能検証と当該ユニットによる輸送用冷凍システム制御の確認

③=4.5KW発電機・制御装置ユニットの性能・耐久性検証と当該ユニット搭載冷凍車と現行メカ式冷凍車との庫内温度一定維持性能、予冷時間、燃費の比較検証

※ サブテーマ番号(1-2,2-2,2-3,3-1.3-2.3-3, A-1)

に総括し,詳細を本編で記載する。

また、サブテーマにはリストされないものの、発電機と制御装置ユニットの上市直前の製作ステージと見做せるベストプラクティスの創出に寄与したと考えるトラブル対応事例成を④に記載する。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

前出産業株式会社:前出 博幸 Tel:0748-37-1647 FAX:0748-37-1699

E-mail address: hiro.maede@maede.co.jp

第2章 本論

サブテーマ番号は3テーマに収束できると研究目的及び目標に記載したのでテーマ1～3(①～③)の研究内容及び成果を④(トラブル対応事例)と併せて以下に記載する。

因に、サブテーマ番号は以下のとおり3テーマに収束されている。

- ① 放熱量に合致したヒートシンク(12KWと4.5KW)完成[2-1]含む熱対策～テーマ①～
- ② 輸送用冷凍ユニット駆動・制御テストベンチによる発電機・制御装置の評価～テーマ②～
- ③ [1-2]、[2-2]、[2-3]、[3-1]、[3-2]、[3-3]、[A-1]は発電機・制御装置ユニットの耐久性検証と当該ユニット搭載冷凍車と現行メカ式冷凍車との比較検証～テーマ③～

①車載搭載機器の放熱対策が重要な課題であることから、[2-1]ヒートシンクによる放熱対策(フィン形状の変更)とチョークコイル(コア含む)の放熱対策を実施した。併せてエンジン横に搭載されている発電機の熱対策(エンジン輻射熱から被る表面温度上昇)も実施中である。12KW制御装置用ヒートシンクについては上述したとおり、評価を保留したが、4.5KW盛業装置用ヒートシンクについては効果があったと評価している。

- 1) 発電機の内蔵ファン改良型を上田事業所冷凍車搭載発電に装着したが、改良効果は確認できなかった。
- 2) 発電機ステーターコアを接着積層に変え渦電流発生をなくしステーター巻線が発する熱の降下を図ったが、溶接積層コア発電機を相模原冷凍車から取り外し比較検証すると、相模原冷凍車での検証ができないため、相模原冷凍車での検証が終了してから取り外し比較検証することになった。しかし、新日鉄技報によれば、接着積層は抜熱性に優れていると記載されており、また、接着積層の専門業者からも同様な知見を載いているので相応の効果はあったものと考えている。
- 3) チョークコイル発熱はヒートシンク装着と冷却ファン併用により温度降下が確認できた。
- 4) 4.5KW制御装置の熱対策は3)の対策効果と制御装置収納箱を従来のエンジンに近いシャーシ設置からエンジンからの熱を受けないコンテナに設置することに変更するとともに、収納箱の天地に開口部を設け気流を上下に流すことで温度降下が確認できた。但し12KWで使用する制御装置に関しては上述したとおり検討課題となった。
- 5) 発電機の表面温度上昇を抑制する対策として発電機放射熱を吸気するファンを取り付けた。外気温30℃未満の現状では問題ないが、夏季の猛暑時に対応するには、更なる熱対策開発を継続する。

② 大型冷凍車輸送用電動冷凍装置ユニット駆動・制御テストベンチによる発電機・制御装置の評価

- ・国内で走行している大型車の冷凍車のコンプレッサーの駆動方式は概ね
- ・メインエンジン駆動式
- ・サブエンジン駆動式

に分かれている。

メインエンジン駆動式では、エンジンルーム内に冷媒配管やクラッチが取り付けられるため、熱害から大きな故障の要因となっている。

またコンプレッサー回転数はメインエンジンの回転数に依存することから、不安定な冷凍となってしまうている。

サブエンジン式では、エンジンが独立していることからコンプレッサーの一定回転を保持できるものの、別置エンジンの重量増による積み荷の減少、サブエンジンの騒音などが問題になっている。

メインエンジンで巻線切替式発電機を駆動し、エンジンルーム外に冷凍コンプレッサーを配置してモーターで駆動させれば、上記問題は解決する。

本研究で大型(10t)車の冷凍装置を電動化検討すべく大型冷凍車の改造を検討したものの、大型10t冷凍車に電動式装置を組み込んで試験する事は運転者の確保、保管場所そして予算上の問題により大変難しい。そこで実験装置はリグ試験で行う事にした。

大型車用発電機を開発し、既存の大型車用機械式冷凍装置のコンプレッサをモータ駆動するシステムを構築検討した。モータは発電機をベースにPMモータを開発した。

設備構成として

(エンジンに見立てた)誘導モータ → 発電機 → チョークコイル → 制御装置 → インバータ → PMモータ → 冷凍コンプレッサ(冷凍装置)

を検討したものの、設備を設置する部屋のサイズの制約などから、

①誘導モータ～インバータ(2-1-1)

②インバータ～冷凍コンプレッサ(冷凍装置)(2-1-2)

に分けて検討した。

②-1 誘導モータ～インバータの検討

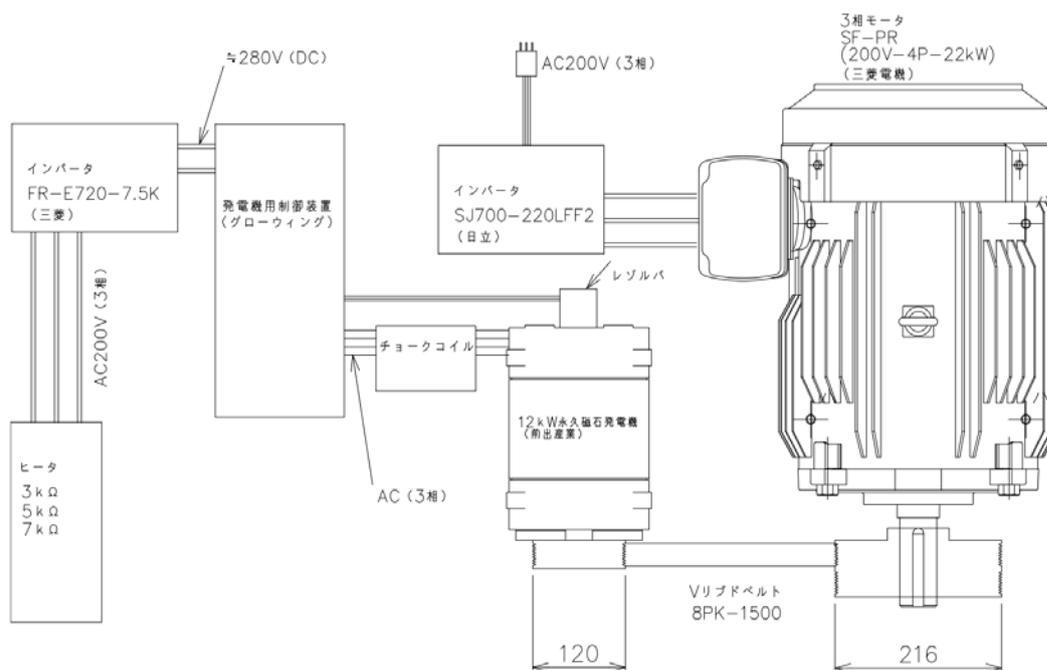
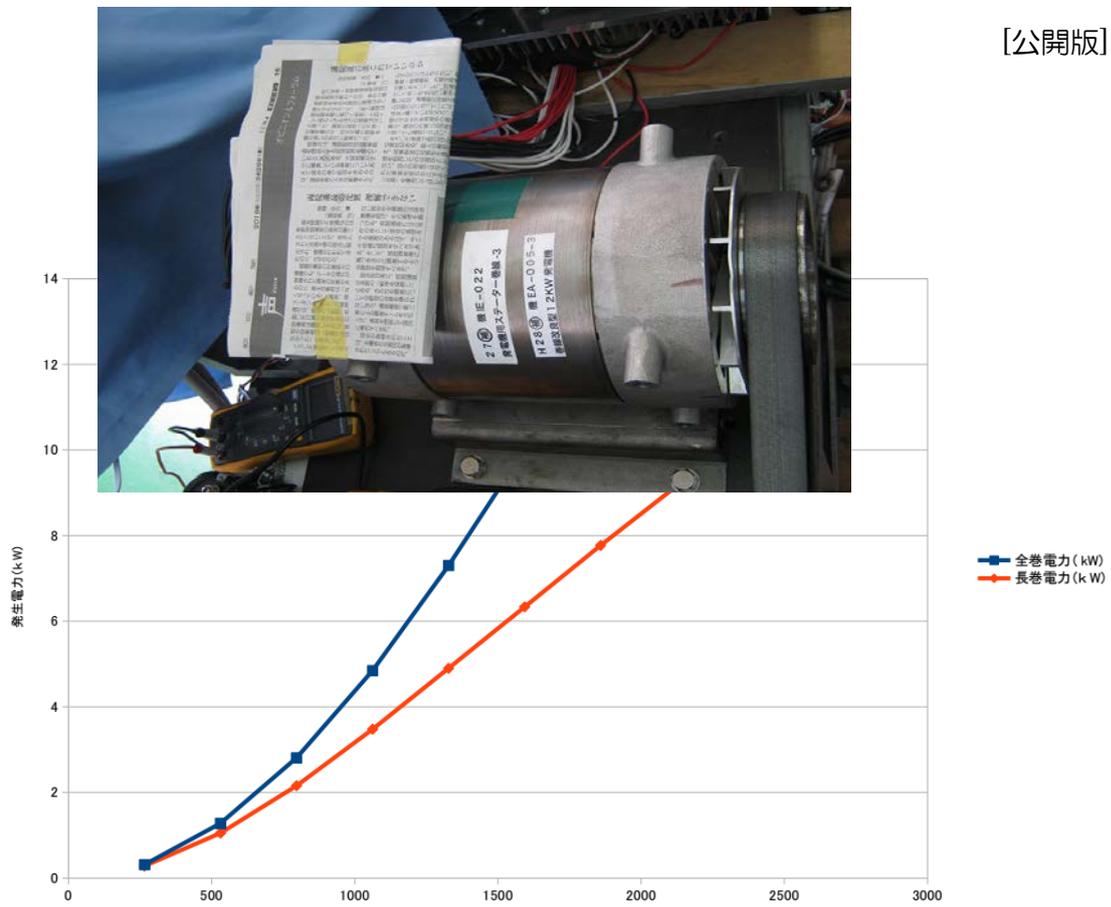


図 1.誘導モータ～インバータのテスト設備システム概要

題記の実験を行うため、図1の通り、(エンジンに見立てた)誘導モータ→発電機→チョークコイル→制御装置→インバータ→ヒータ(3 or 5 or 7kW)という設備を製作した。2-1-2の試験で用いる冷凍機は10kW程度の出力があるため、10kW程度のヒータ負荷を用いることが望ましいが、まずは3 or 5 or 7kWを用いて試験することにした。

今回開発した各パーツ概要を以下説明する。



12 kW 発電機電力測定
ヒータ 12 kW 負荷接続

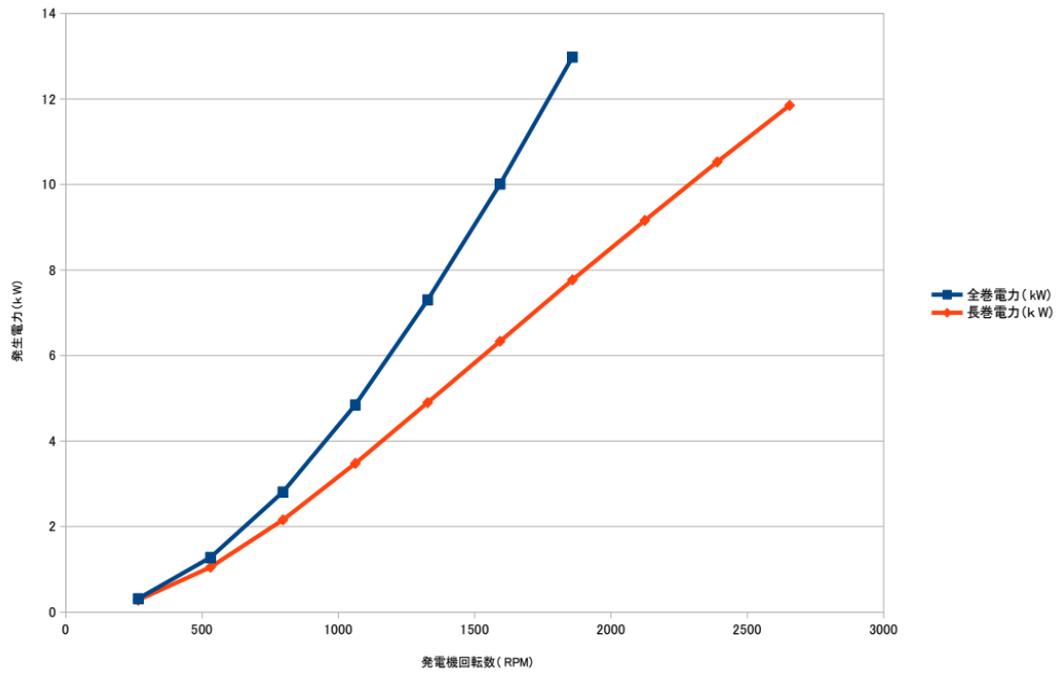


図 4. 12kW 発電機の回転数と出力の関係

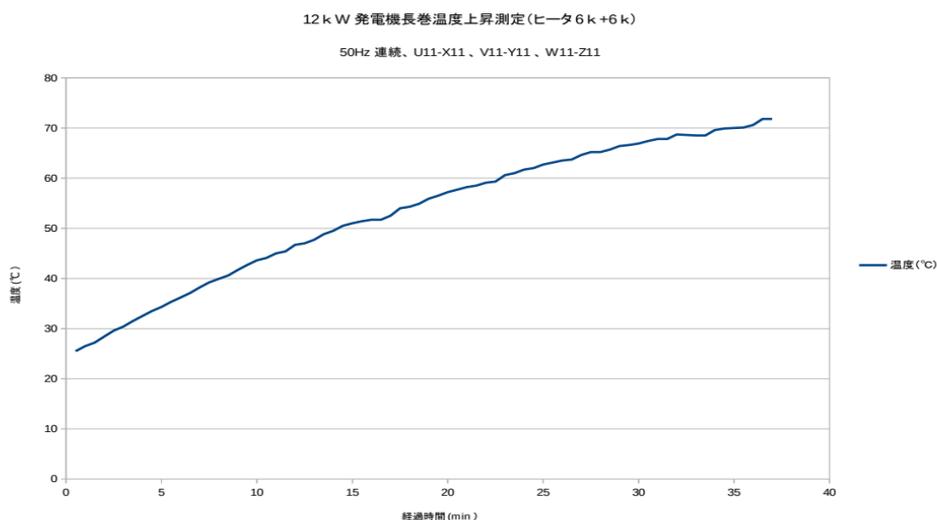


図 5. 12kW 発電機の経過時間と温度の推移

また発電機温度もステータ外部の表面温度を測定してみた。(図 5 参照) 条件の厳しい

長巻線のみで計測してみたが、雰囲気温度 20°C 前後の場所でステータ温度が 70°C を

超えている。エンジンルームで使用すると、雰囲気温度 90°C ほどと仮定するとステータ温度は 140°C に達する。巻線温度は 4.5kW 発電機はステータ表面+20°C という実績があるため 160°C と仮定できる。

コイルの巻線仕様(H 種)は雰囲気温度 40°C のときに、180°C である。エンジンルーム 90°C 前後とするとコイル許容温度は 130°C となる。

そのため車載のためには現状より、冷却性能向上を検討しなければならない。4.5KW 発電機においては、上田事業所冷凍車において外気温が 30 度を越える夏季における実証に向け、ブLOWERによる強制冷却等試行錯誤しており、経済的な冷却法を継続開発中である。

(2) チョークコイル

図 6 にこの板状チョークコイルを示す。チョークコイルを極力小型化し、制御系をコンパクト化させるために、薄板状コイルの試作を行った。計画では 2 連のコイルを用いる事になっていたが、実験の結果、単一のコイルで必要なインダクタンスが得られる為、単一コイルを 3 個並べた。

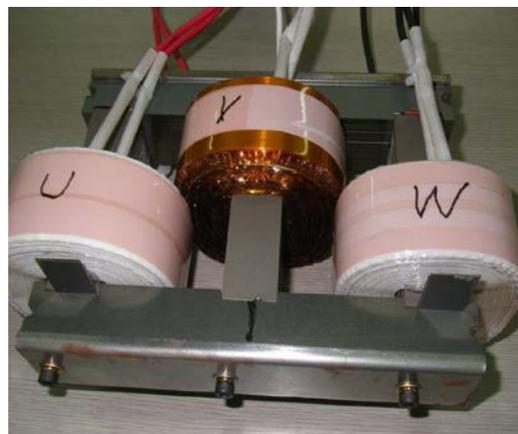


図 6. 板状チョークコイルの外観

本コイルでは薄板(0.2mm)状銅板を積層させるので、銅板に流れる電流の銅損により発熱する。そこで、線材性チョークコイルと薄板性チョークコイルを併設し、3相電流を流し、その温度上昇の差を調査した。丸線の場合、線の外周に空気が存在するので熱は外部に伝導し難く、内部に籠っているが薄板材では薄板同士が密着しているので内から外に伝導し易く、コイルの温度が低くなるものと推察される。図7に試験の様子を示した。

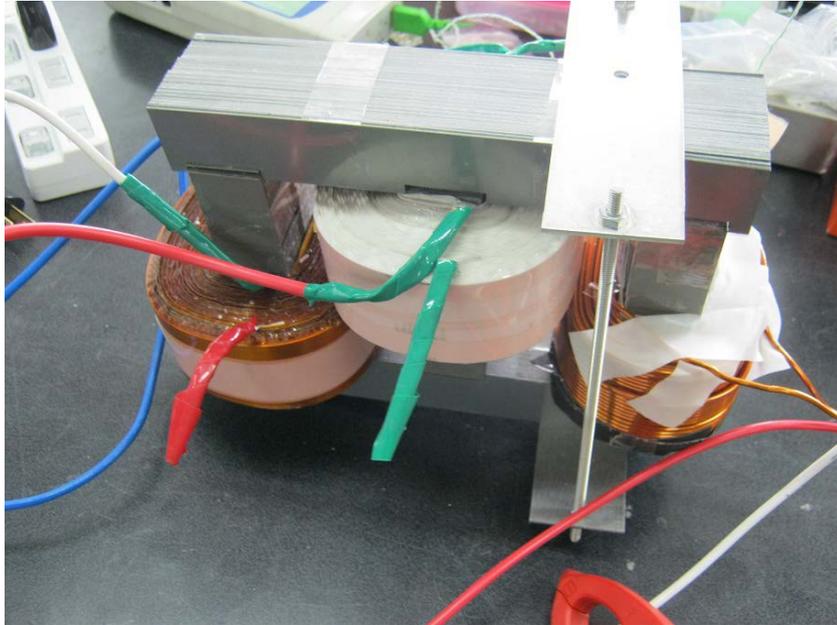


図7. 薄板状コイルと円形コイルの温度上昇試験

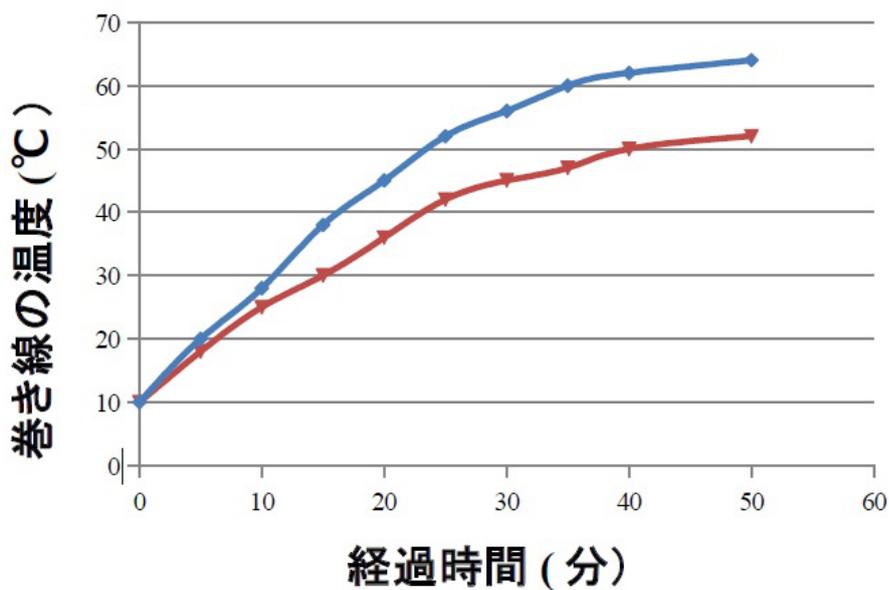


図8. 平線と丸線で作成した

チョークコイルの温度上昇比較

グラフは平線と丸線(断面積は同一)で作成したチョークコイルに 16A を通電し、経過時間によって変化する温度上昇の具合を調査した。通電後約 40 分でサチュレートし、温度の差は約 12℃であった。平板のチョークコイルの方が温度上昇が少なく有利である事が実証されたが、平板のチョークコイルではしばしば途中でリークが発生して信頼性が十分でないので、丸線コイルにて制御装置を作成して試験する事にした。

チョークコイルの仕様は仕様変更を数度繰り返し、試行錯誤の上

大巻線: $\Phi 2.0 \times 160$ ターン

小巻線: $\Phi 2.0 \times 56$ ターン

で最終製作し、実験に使用した。

(3) 制御装置

本システムで発電機とインバータを使用する場合、橋渡しとして制御装置が必要となる。

2 系統より交流出力される発電機の電力を合算させつつ、設定した発電機回転数で巻線を全巻から長巻に切替する装置である。インバータへは DC200~350V の範囲で電圧出力しないといけない。

今回の制御装置の開発は以下を留意の上、グローウイング(株)へ依頼した。

- 回転数を変化させた場合でも電圧一定であり、負荷を変更させた条件下でもデューティ比率制御により電圧が一定値に保持できる制御装置とする。
- 回路に含まれるチョークコイルとスイッチングトランジスタおよびスナバの最適化を図るため、回路構成・抵抗・コンデンサー・コイル等のデバイスを様々に変更した際のスパーク電圧を低く抑える為のシミュレーションおよびデータ解析を実施し、制御装置設計への支援を実施する。
- 低周波チョークコイル2個を用いた相互インダクタンスによる制御電流の最小化研究や、分岐回路に設けた3相ブリッジダイオードとトランジスタ1個で電圧制御する制御装置の最適化において、サージ電圧変化を測定やピーク電圧の低減化を図りスイッチング周波数およびサージ電圧吸収スナバの最適仕様を決定する。

一般的な PWM 式制御回路(図 9)は大型トランジスタを複数個使用し、このトランジスタに発電機の発電電流が全て流入する事によって導通損による発熱ロスが発生する。

これに対し、検討した制御回路(図 10)は FET を1つのみで制御する回路であり、大型パワートランジスタを不要となるために部品点数削減はもとより、副回路に流れる電流を FET により制御し、負荷電圧の一定化によるスナバ損出の大幅低減が期待できる。

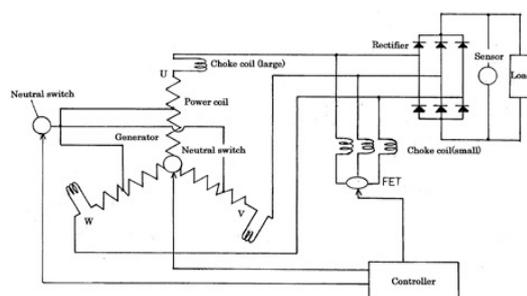
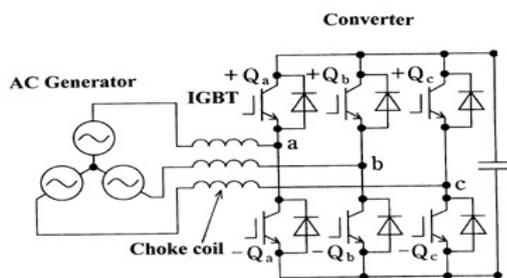


図9.従来用いられた PWM 式制御回路図

図 10. 新しい制御回路図

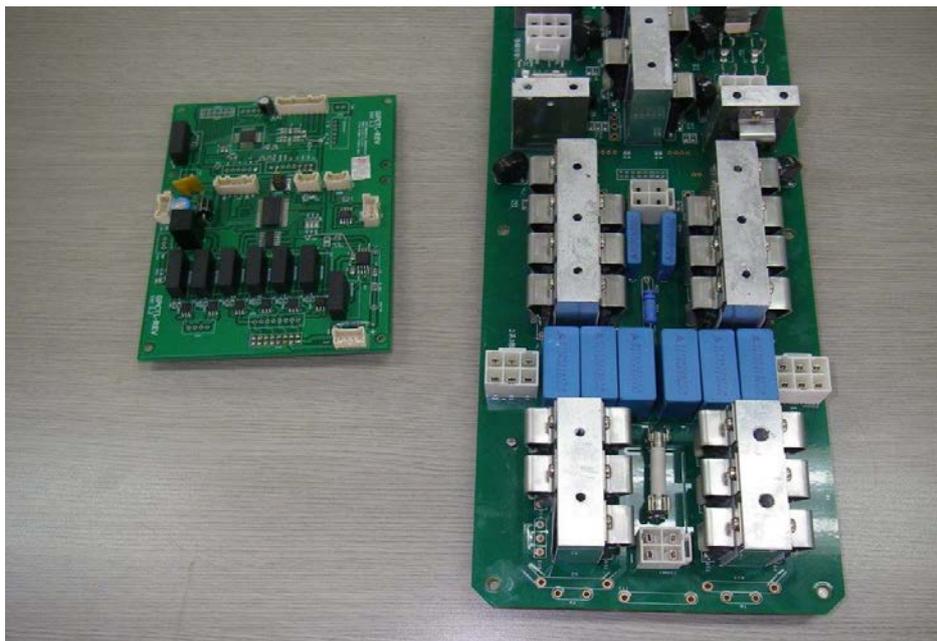


図 11. 制御装置基板一式

開発した部品は以上である。

制御装置の試験を以下のシステムを構築の上行った。

試験場所: No.2 ベンチ

測定日: 2018 年 4 月 30 日

測定箇所: V1、A1=チョークコイル大の後(線間)

V2,A2=インバータ 3 相線間出力

V3、A3=制御装置 DC 出力

負荷: チョークコイル(下記記載)+インバータ 7.5kW+ヒーター3kW

プーリー径: モーター $\phi 212$. 発電機 $\phi 120$ (速比約 1.77)

特記: 巻き線切替は発電機 1890rpm(35.6Hz 時)

チョークコイルのインダクタンス(大+小コイル)

	1系	2系
U相	28.9(16.8)	26.3(15)
V相	30.6(17.5)	26.9(15.5)
W相	29(16.8)	27.5(15.8)

単位はmH、カッコ内は小コイル

- ① 負荷を 3KW、5KW、7KWに変化させ、発電機速度を 540rpmから 2400rpmに上昇させ、発電機出力、制御装置出口の直流出力、インバータからの3相出力を測定した。
- ② 速度の変化に伴って、一定電圧制御、巻線切替制御の状況を評価する事が出来る。
- ③ この試験条件によって、負荷抵抗 3kW では発電機出力電圧 300V以上から制御電圧

125V(相電圧)まで降下させる試験が出来る。

④負荷 7kW の条件では制御電流が大きな条件でのトランジスターのスイッチング抵抗による

発熱状況进行评估し、ヒートシンクの性能を確認出来る。

⑤ 負荷 7KWの条件では、本技術開発の大きな特長である発電機巻線の巻数を切替える「巻線切替」スイッチが巻線の根元中性点に設けられているが、この部分の電流が大きくなるので最適なトランジスターの選択を評価出来る。

⑥ 負荷 5KWでの評価を実施したのは3点を評価する事により、前後の傾向を掴み、制御装置の最適仕様を決定する事が目的である。図-13には実験状況を示した。制御装置は後方に、発電機は右側前方に、負荷抵抗は左前方に配置した。



図 11. 発電機の一定電圧、巻線切替の試験状況

図 12 には一定電圧制御性を評価した結果を示す。制御装置からの出力電圧を 200V~285Vに制御出来れば、インバーターによって3相 200V(AC)に調整し、負荷側に送る事が出来るので、制御装置出力電圧がこの範囲に制御出来るか評価した。

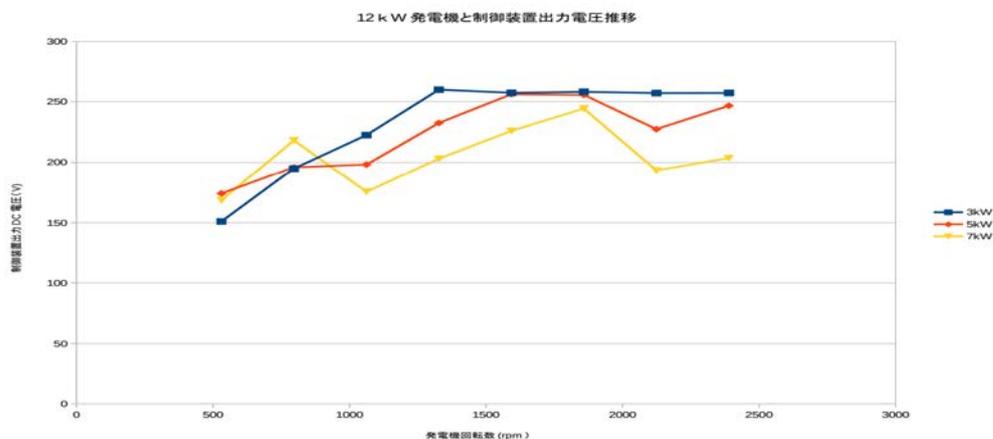


図 12. 制御装置による一定電圧試験結果(2018年4月30日測定)

負荷 3kW では 900rpm にて 200V に達成し、負荷 5kW では 1080rpm、負荷 7kW では 1200rpm で 200V に達成した。また、巻線切替は 1890rpm に設定して実験を行ったところ、3kW 負荷を除いては、ほぼこの回転数で巻線切替の電圧の落ち込みを観測できた。5kW については電圧は 200V を維持されているので、何とかインバーターの動作を維持できるものの、7kW に関しては 200V を下回るため、実用としては問題がある。

図 13 には上記試験条件で得られた出力変位を示す。

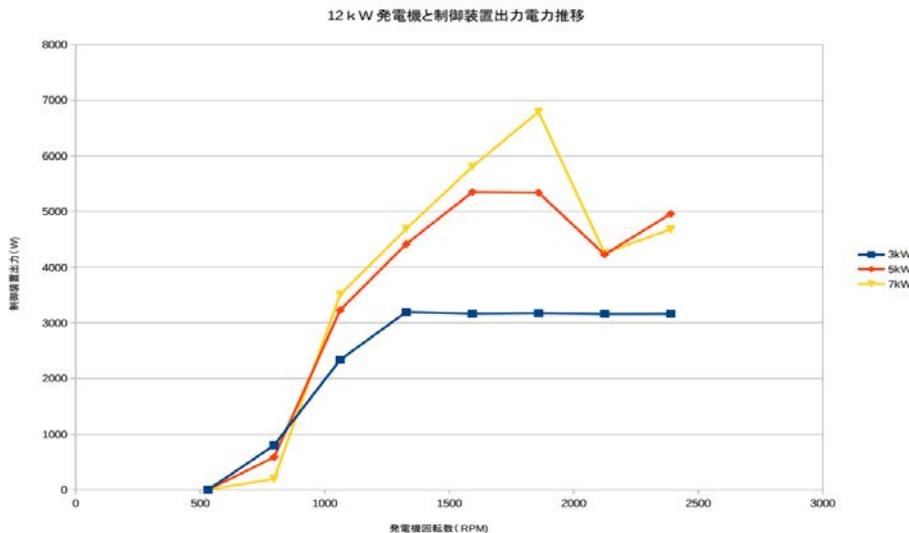


図 13. 制御装置により一定電圧化した時の出力(2018年4月30日測定)

負荷 3kW の条件では 1250rpm で 3kW に到達し、2400rpm までその出力が維持された。

負荷 5kW では 1500rpm で 5.0kW の性能に達し、巻き線切り替え時に 1kW 程の出力ダウンがある。

負荷 7kW では 1890rpm で 6.8kW に達成するものの、巻線切替により 3kW 程度の出力低下がある。また中性点(三相→直流変換回路内)に流れる電流値が高く、温度上昇し素子が損傷した。

まずは次の改良が必要と思われた。

- (1) 発電機の回転数をもう少し上昇させるため、プーリー比を変更する。
- (2) 巻線切替時の電圧の落ち込みを少なくするため、長巻線のターン数を増加させる。
- (3) 素子の損傷については、ヒートシンクを強化するか？素子を変更するか？

以上は補完研究として進めていく予定。因に本制御装置は 12kW & 4.5kW 発電機汎用制御装置として開発したものであり、4.5kW 発電機用チョークコイルの発熱量は 12kW に比べ、1/9 なので、4.5kW 発電機制御に使用するには、問題点は発生しないと考えており、実際、上田事業所 2 トン冷凍車での 2500km の実装検証では問題は発生していない。4.5kW 実装での検証を継続し経過観察を実行していく。

②- 2 インバータ～冷凍コンプレッサー(冷凍装置)の検討

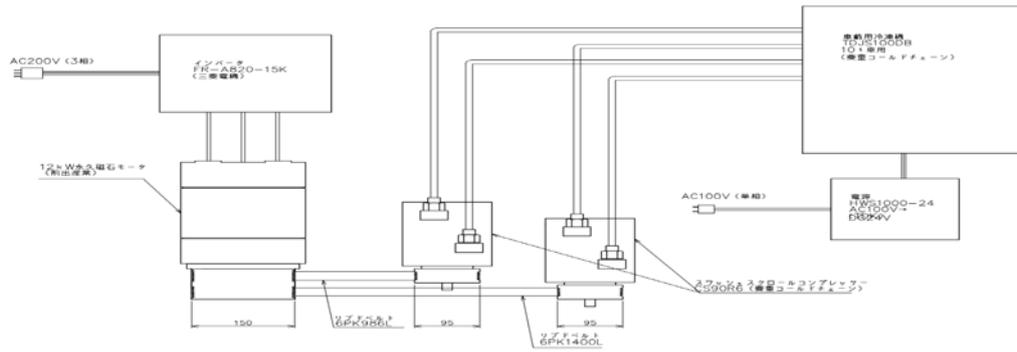


図1 インバータ～冷凍コンプレッサー（冷凍装置）のテスト設備システム概要

題記の実験を行うため図1の通り、インバータ→12kW永久磁石モーター→冷凍機コンプレッサーという設備を製作した。②-2-2の試験で用いる冷凍機は10kW程度の大きな出力があるため、省エネルギー化の一環として高効率を目指した12kW永久磁石モーターを製作し、搭載した。

冷凍機は10t車に採用されている、三菱電機製10kW冷凍機（TDJS100DC）とした。手前にコンプレッサーとPM電動機、中間に電動機駆動インバーター、台上にコンデンサー、エバポレーターが配置されている。また、背後に発電機が配置され、発電機の200V（AC）電力によって、PM電動機が運転されている。PM電動機はインバーターにより、10Hz～60Hzまで運転出来ることを確かめた。今回開発した各パーツ概要を以下説明する。

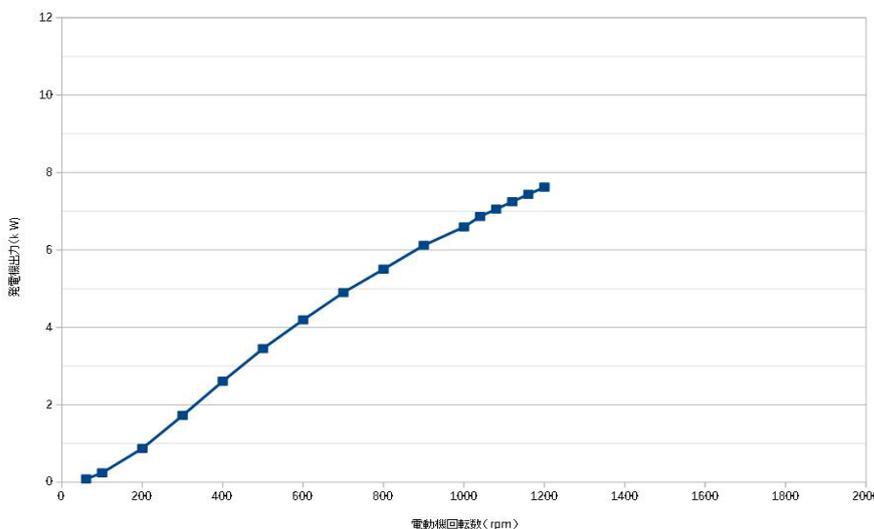
(1) 12kW永久磁石モーター

今年度は12kW発電システムを構築するにあたり、コンプレッサー駆動用モーターを誘導モーターからPMモーターに変更したらシステムとしての効率が上がるということから、本事業で製作した12kW発電機をベースとし、巻線を変更して構築してみた。

本開発の電動機に既に開発済みの20kW発電機（右側）をベルトにて接続し、PM発電機の出力を測定し、電動機出力を算出した。（図2、3参照）PMモーターの駆動には、回転センサーレスの駆動ができる三菱FR-A820-15Kを用いた。



12kW電動機出力
2017年11月27日測定



電動機の性能

10t 用冷凍

図3.電動機の出力量特性

10t車用冷凍コンプレッサー2台の合計駆動力は最大10kW程度であるので、効率を考慮し、最大12kWは必要となる。諸般の都合で発電機にヒーター負荷10kWを接続し、1200rpmまでしか試験できなかったが、グラフから推測すると、2200rpm程度で12KWに達すると思われる。

(1200rpm以上の回転での計測は、補完研究にて実施予定)

開発した部品は以上である。

上記部品を用いて試験装置を構築し、所定の冷凍性能が得られるかの試験を実施した。

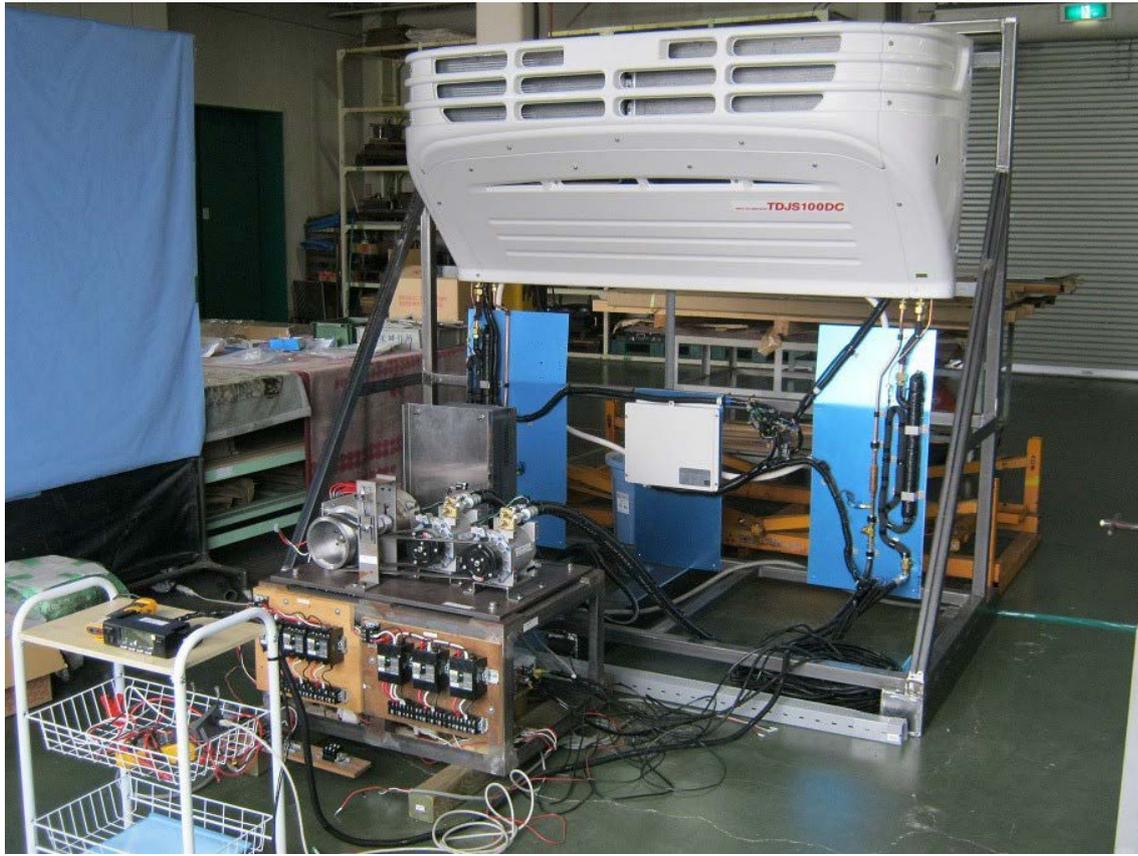


図4.10t冷凍車の冷却装置のリグ試験装置

測定日:2018年4月29日

測定箇所:V1、A1=インバーター出力(線間)

上記システムを稼働し、以下のグラフのような電圧と出力の関係が見られた。(図5参照)

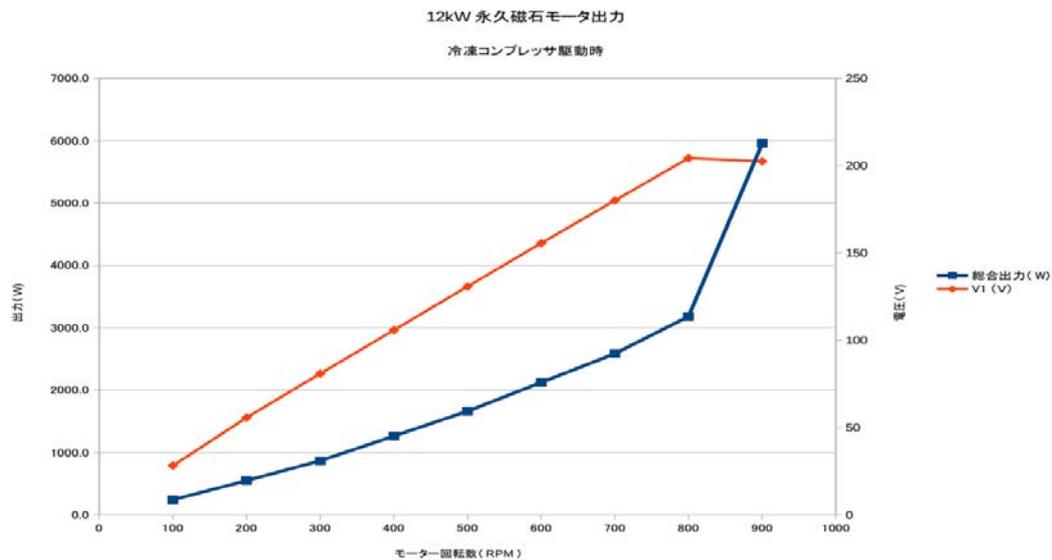


図5.コンプレッサ稼働時の12kW永久磁石モータ電圧と出力の関係(4/29測定)

900rpmでグラフが終わっているが、これは振動が大きく、また回転変動も大きく、時折インバーターが停止するためである。800rpmを境として電圧上昇が止まり、出力が増大している。インバーターの設定値を再度確認したが200Vに設定ということではない。このインバーターは最大240Vまで出力可能である。パワーアナライザーで電流の推移を確認してみた。

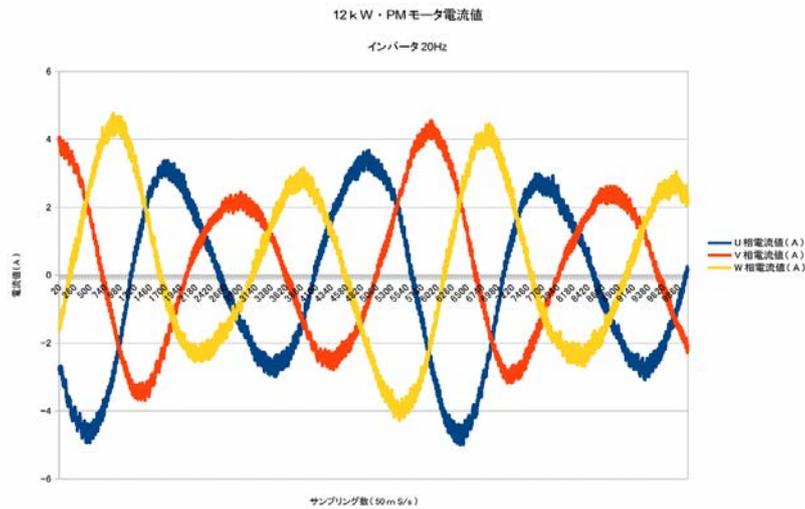


図6.インバーター20Hz(モーター400rpm)での電流値変化

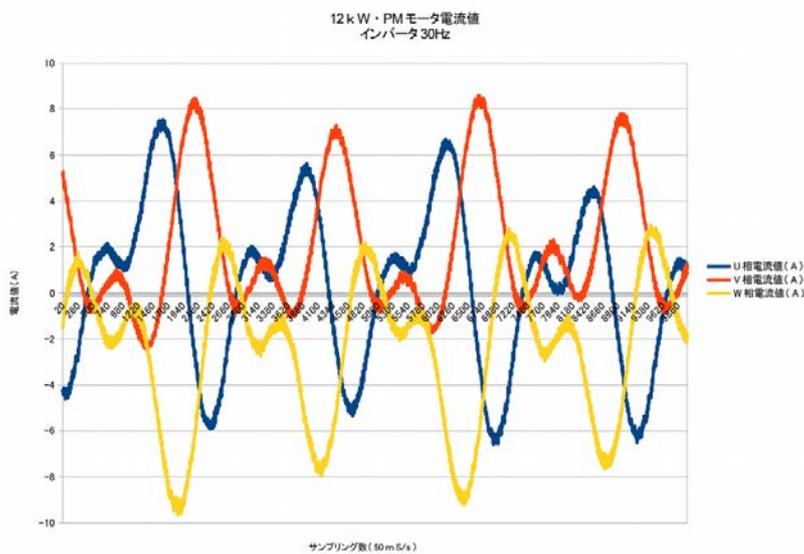


図7.インバータ30Hz(モーター600rpm)での電流値変化

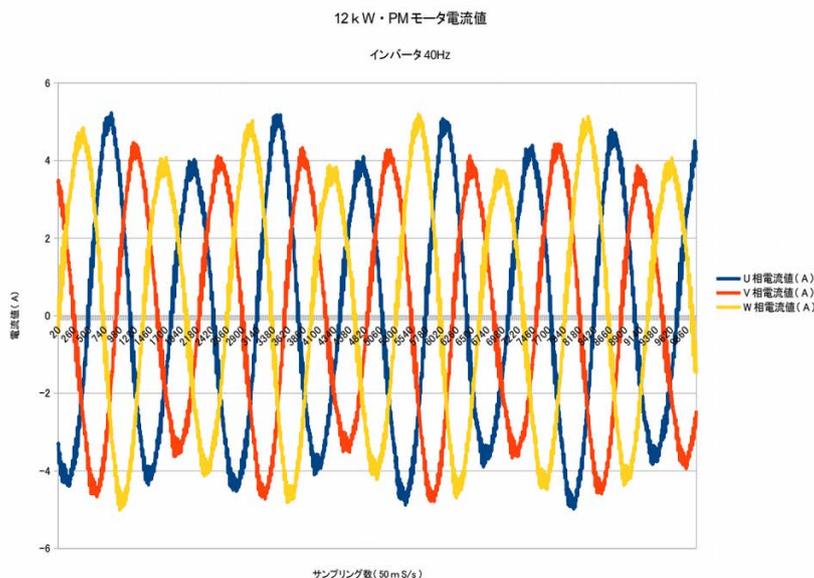


図8.インバータ40Hz(モーター800rpm)での電流値変化

図6～8を見る限り、どの回転数でも、UVW相の電流値がバラバラであり、特に振動の多かった30Hz付近では波形がかなり乱れているのがわかる。どうして、このような結果になってしまったか今後補完研究で調査していくこととする。

③ 2t 電動冷凍車の開発

2-1 章で開発を行った 12kW 発電機のダウンサイジング版として 4.5kW 発電機を開発し、制御装置を含め搭載して、巻線切替式発電機及び制御装置が冷凍車として実用に耐えるか検証した。

一般的なエンジン直結式冷蔵冷凍車では機械駆動式コンプレッサーをエンジンに取り付け、冷凍庫へ供給する圧縮冷媒を作っているが、エンジンのアイドリング時、低速域では 50%以下の効率しか得られず、十分な冷凍性能が得られていない。また、コンプレッサーから冷凍機までの冷媒輸送に使われている配管が長く接続箇所が多いため、循環量が低下し冷却性能が悪く、冷媒の輸送途中に温度上昇する等の問題があった。

また高温で多振動のエンジンルームでは圧縮系部品(コンプレッサ・クラッチ等)の故障も多く、安定稼働の点でも常に不安が付きまとう。

そのため、庫内温度低減のためドライアイス(CO₂)や保冷材を積み込んでおり、現在は保冷材 2,000t/年、ドライアイス 1,500t/年が使用されている。さらに、エンジン直結式冷蔵冷凍装置では「過負荷対策」が必要であり、①オイルセパレーター、②気液熱交換器、③サブコンデンサー、④吸入圧力調整弁(副合弁)を設けなければならない、複雑な冷媒回路となっている。

発電式冷蔵冷凍車として、電気駆動式コンプレッサーも試行されてきた。コンプレッサを電動化する利点はエンジン稼働状態にかかわらずコンプレッサを自由に動かせることである。電磁石式発電機は回転子の磁力密度が小さく、必要な大電力を供給できなかった。また、低速域での出力が大きく、

発電効率、電圧の安定性に優れた永久磁石式発電機とその制御装置の研究開発もされてきたが、発電機の制御装置が簡潔・安価にできなかった。またアイドリング付近で十分な発電をしているとは言い難く、渋滞等の長時間のアイドリングでは十分なコンプレッサー出力で稼働できているとは言い難い。

現在も機械駆動式装置が主流となっている。

本研究開発では、2相巻線切替式永久磁石式発電機の電圧一定制御の研究開発を行い、電気駆動式冷凍装置を備えた冷凍車に搭載し、高出力化を図る。また、本装置を冷凍車用発電機、として製作し、実用化を目指す。当社の永久磁石式発電機による電気駆動式冷凍装置を完成させることにより、コンプレッサー、エバポレーター、コンデンサー等の電気制御による最適運転プログラムの構築が可能となり、脱フロン先兵として電気駆動式冷凍装置を利用し環境対応に速応することができる。

●従来の「エンジン直結式」冷蔵冷凍装置

配管接続が20箇所以上あり、平均でフロンガス約2グラム／年の漏れが生じている。

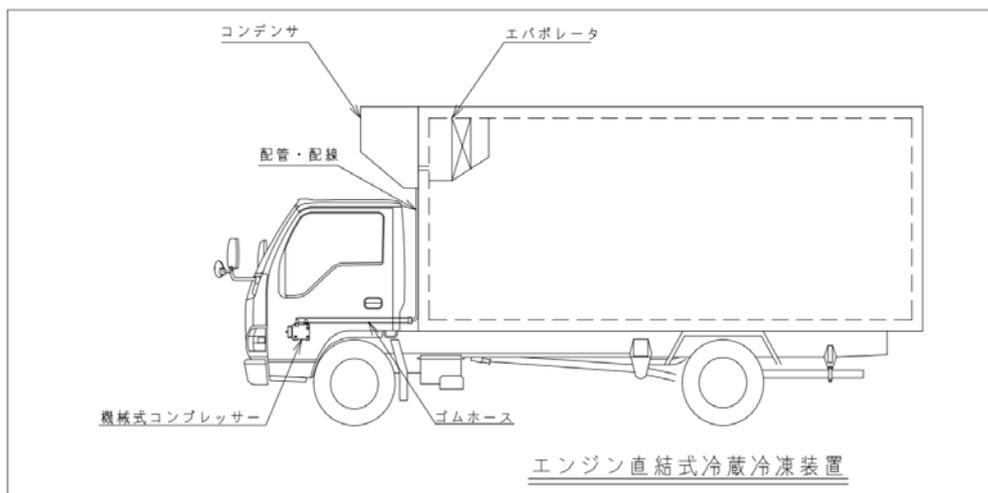


図1.エンジン直結式冷蔵冷凍装置概要

●発電式冷蔵冷凍装置

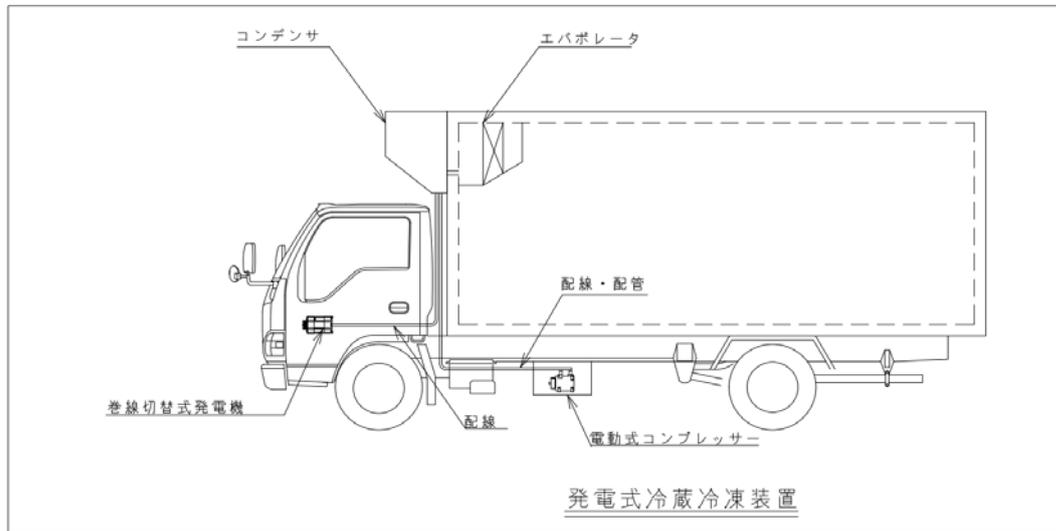


図2.発電式冷蔵冷凍装置概要

電動コンプレッサを利用した発電式冷蔵冷凍装置配管接続は全て溶接されており、フロン放出目標ゼロを実現することができる。

●冷凍車用コンプレッサの運転効率

コンプレッサをベルト駆動する従来式ではアイドル回転では効率の低い部分でしか運転できない。これを電動機で高効率の領域でON-OFF運転すれば大幅に効率改善が実現される。(図4参照)

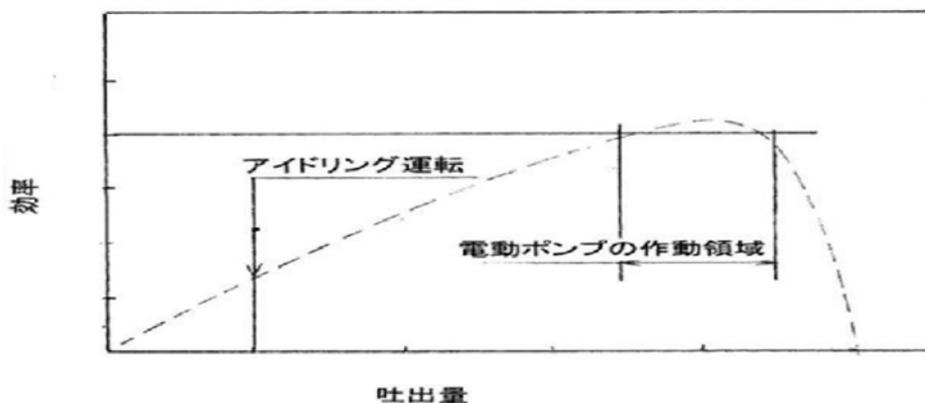


図3.コンプレッサの吐出量と効率の関係

●弊社実験用冷凍車のシステム概要

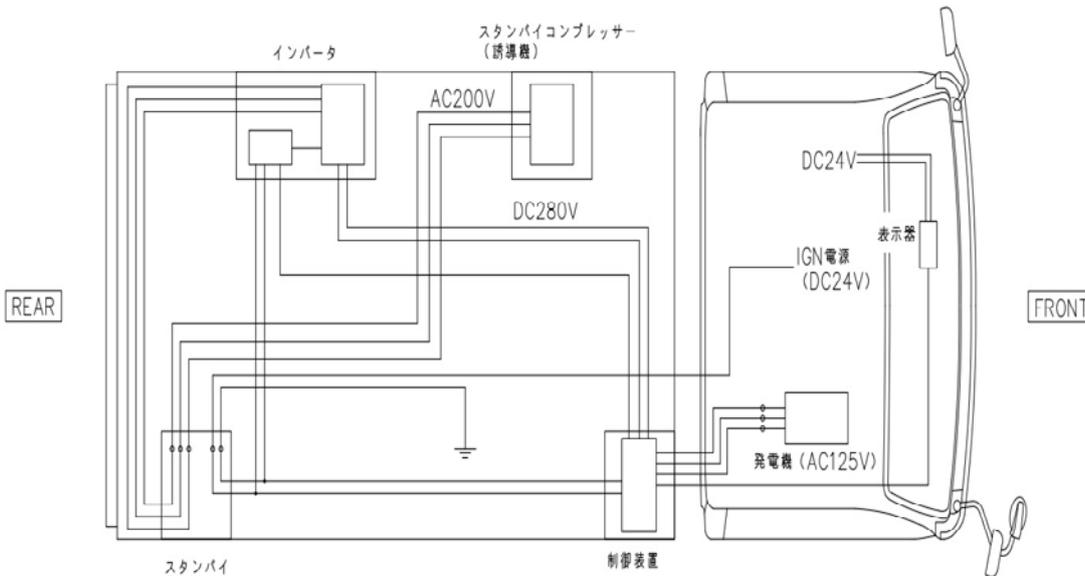


図4.弊社の冷凍車システム配置図(相模原研究所冷凍車の配置例)

直結式の冷凍車に電気駆動式冷凍装置を組み込んで実験を行なった。(図4参照)
 ドライバーの都合上、車両を2台用意した。

前出産業相模原研究所(以下相模原研究所)で基本開発を行い、前出産業上田事業所で主に耐久試験を行った。

制御装置のユニット形状が相模原研究所と上田事業所のもので違うが、中身はほぼ同じものである。

また発電機について大型車電動冷凍車構想で開発した2相巻線切替式永久磁石式発電機を小型化したものを採用した。従来の発電機で車のエンジンを発電機の動力源とする場合、低速回転から高速回転までの広い回転速度変動に対応することが難しく、発電機とは別に増速機を用いられる事が一般的であった。しかし、増速機の設置による機器コストの増大や伝達効率の劣化、機器信頼性悪化、メンテナンスコスト増大など多くのデメリットを抱えていた。

この問題を解消する最善の方式は増速機を利用せずに発電機自体が低速回転から高速回転まで対応可能な仕様とすることであるが、発電機ステーターからの出力電圧は下式①に表されるとおり、磁力および巻線が一定の条件においては回転数に比例する。したがって、低回転時においても十分な出力が得られ、かつ高回転時においても制御可能な電圧とする必要がある。そのためには発電機内にシリーズ化した巻線を持たせ、回転速度に応じた適切な巻線に切替えられる発電機が必要であり、今回採用に至った。

$$E=4.44 \cdot f \cdot \Phi \cdot W_s \text{ ————— ①}$$

(f:回転数、Φ:磁力の強さ、Ws:ステーターの巻き線数)

試作した巻線切替を行う回路(図1)は各相共に巻線L1と巻線L2を持ち、スイッチS1とスイッチS2で巻線数を制御している。発電機が低速回転の際にはスイッチS2をオン、スイッチS1をオフにすることによって巻線はL1およびL2を共に使用し、発電機が高速回転の際にはスイッチS2をオフ、スイッチS1をオンとし、巻線Aのみを使用することとした(表1)。

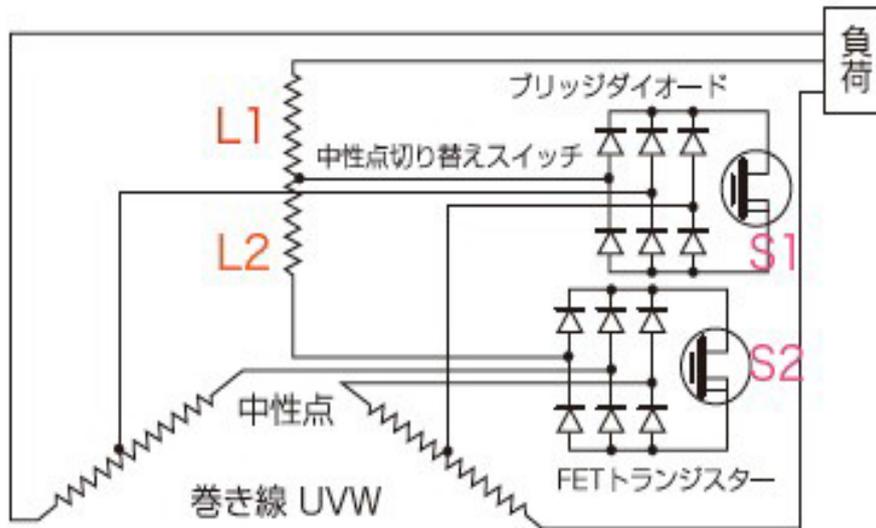


図1.巻線切替回路

発電機回転数	スイッチS1	スイッチS2	使用巻線
低速回転時	OFF	ON	L1+L2
高速回転時	ON	OFF	L1

表1.低速・高速回転時の切替パターン

③-1 電圧制御機構の開発

2②で製作した12kWと4.5kW兼用として開発した制御装置を採用した。(図6)12kW発電機では中性点周りに問題が生じたものの、4.5kW発電機では使用する分には、電力が小さいため問題が生じていない。

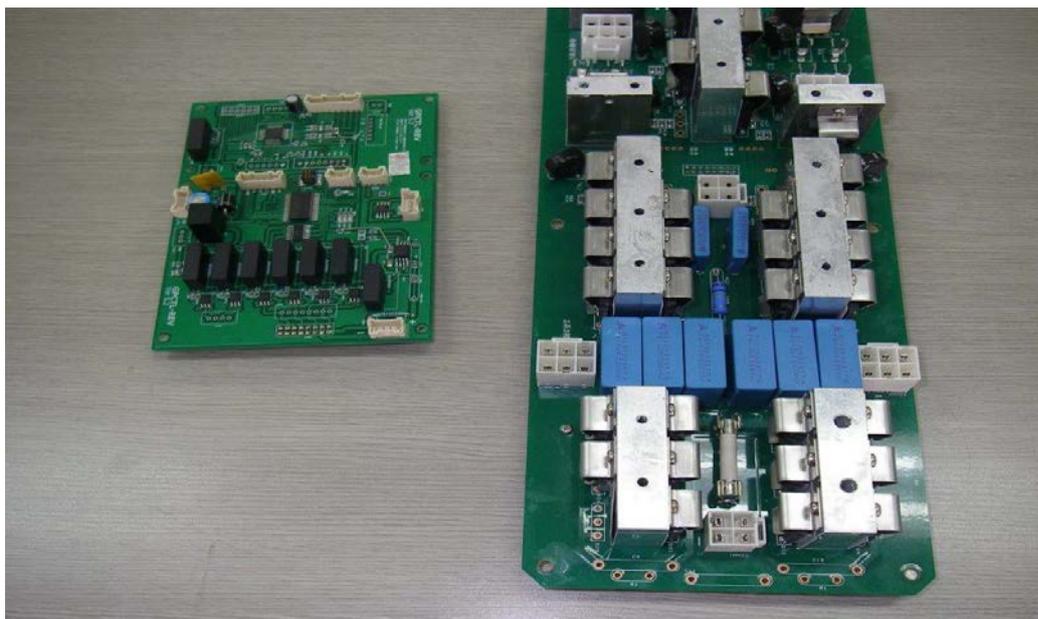


図6.制御装置スイッチング基板とコントロール基板

③-2 チョークコイルの開発

コアの全体的な形状は12kW用コアをダウンサイジングしたものである。(図7参照)線径 $\Phi 1.4$ のコイルを巻いて製作した。巻数は検討の結果、大コイル265ターン、小コイルを85ターンに落ち着いた。



図7.4.5kW発電機用チョークコイル

③-3 制御装置のユニット化

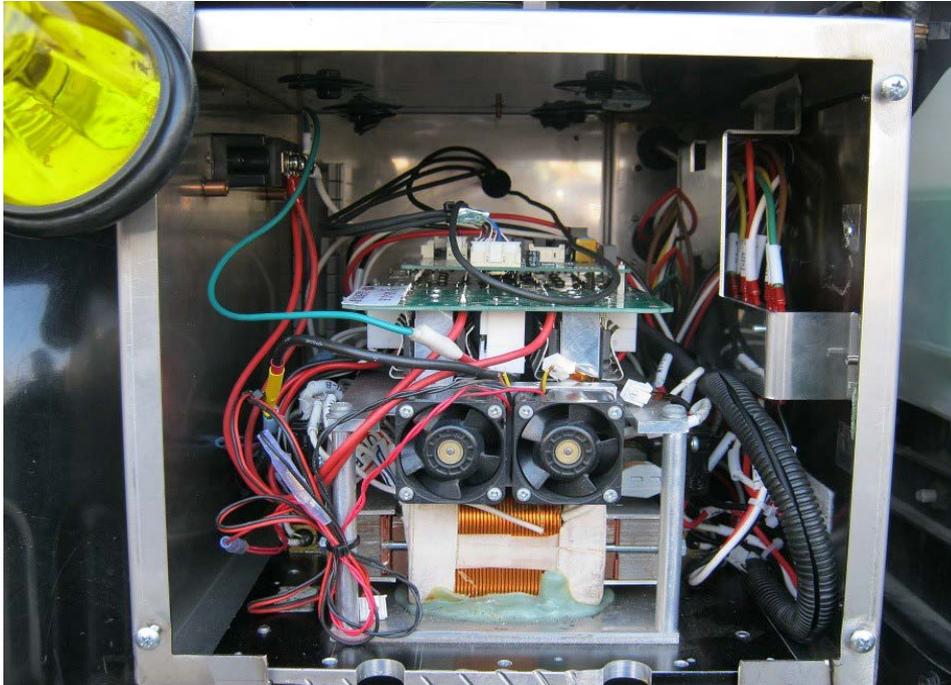


図8.相模原研究所冷凍車の制御装置

相模原研究所の冷凍車で開発の際には、下からヒートシンク下→チョークコイル→ヒートシンク中→制御スイッチング基板→制御コントロール基板という重層構造で製作した。

(図8)これをステンレスの箱に納め、コンテナの下部に取り付けた。

ヒートシンク下は走行風で冷やし、ヒートシンク中はファン2個で強制冷却を試みた。この構造で走行し、熱の問題は発生しなかったものの、故障や調整の際に、基板やチョークコイルの取り外しは非常に困難であった。また製造コスト高となった。

そこで上田事業所の冷凍車製作の際は、チョークコイルと基板を別置のレイアウトした。(図9参照)

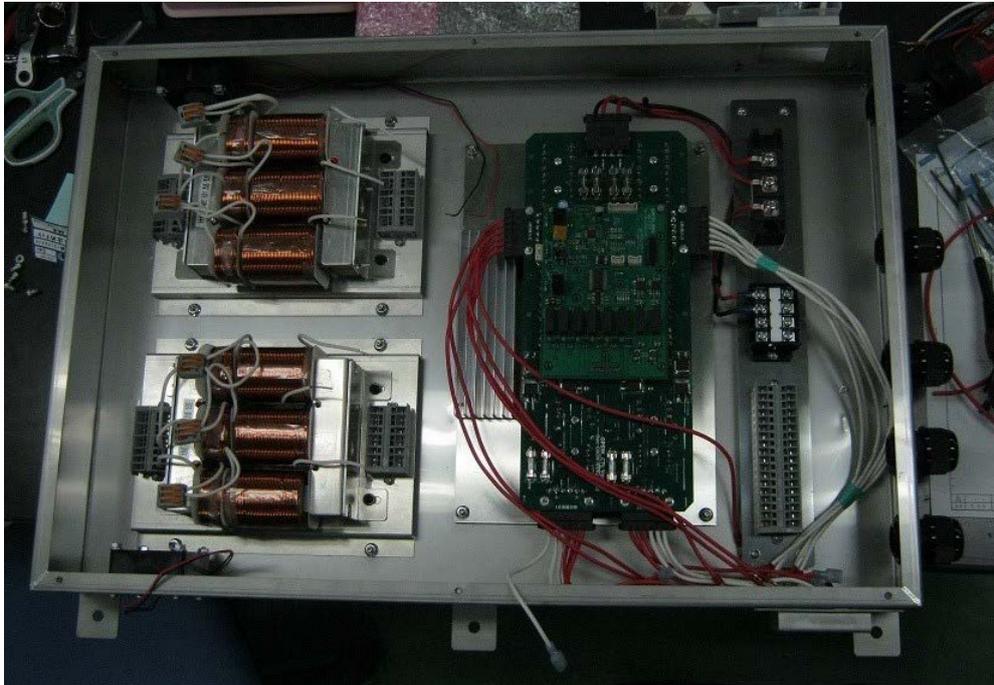


図9.上田事業所冷凍車の制御装置内部レイアウト

この制御装置は、コンテナ前方にマウントした。



図10.上田事業所冷凍車の制御装置取付状態

結果的には、本レイアウトでも追加の改良によって相模原研究所の制御装置ユニットとほぼ同等程度となり熱的問題をクリアでき、無事走行テストを行うことができた。改良点は以下の通りである。

- ①、チョークコイルに放熱板取付(コイル上下に熱伝導ゲルを介してアルミ板取付)
- ②、制御盤蓋の下方に新たに空気導入口を設け、上方でファンによる排気するように改良
- ③、制御盤内部(チョークコイル部)に内部攪拌ファン取付
部品の脱着や点検も、かなり容易となった。

③-4 発電機の改良開発

相模原冷凍車では購入した4.5kWの2相巻線切替式発電機(以下、プロトタイプ発電機)を用いて試験を行った。上田事業所では、購入したものをベースとして、改良を加えたもので試作を行った。改良点は以下の通りである。

1)リアハウジングの壁の位置を後方にずらし、ステータコイルエンドから離れた。

ステータ巻線の施工会社より、コイルエンドの成型が厳しく、ショートの原因となりかねないと指摘を受けた。

そのため、リアハウジングの形状をコイルエンドより離すよう、形状変更した。(図10)コイルエンドの成型をより緩く出来、またコイルエンドの熱対策にも貢献した。

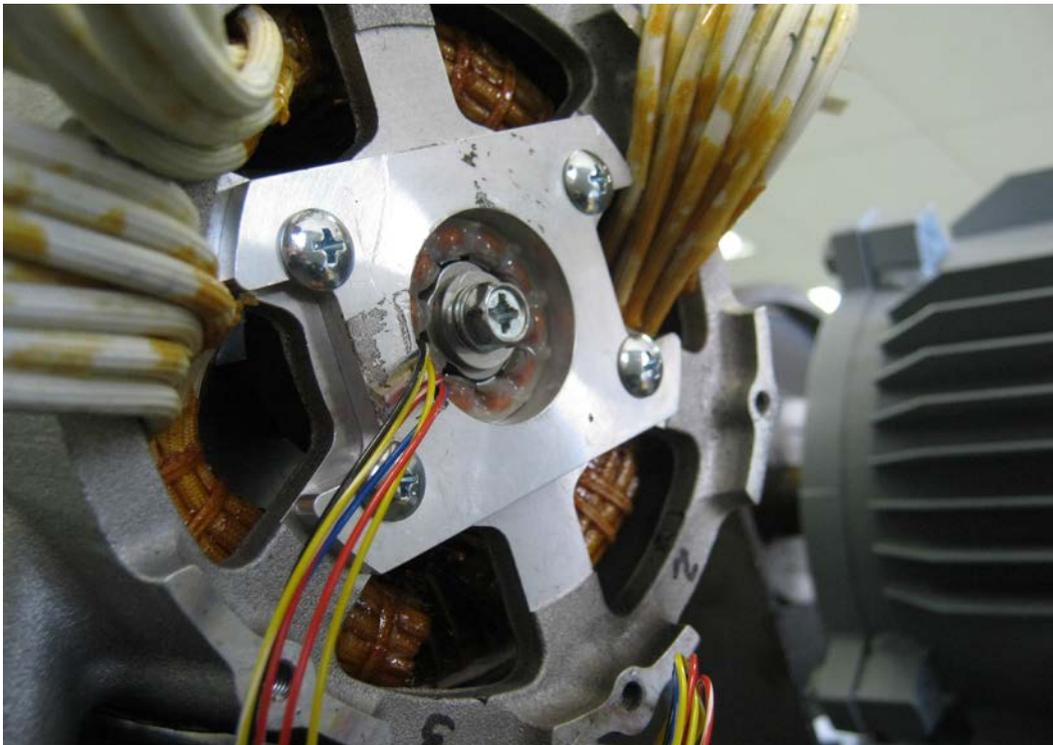


図11.新リアハウジング

2) ステータのヨーク幅を厚くする(+5mm)設計変更を行い、漏れ磁束を減らし、効率の向上を図った。(発熱の低減)

3)ステータ積層をリベットによるカシメ積層から接着積層に変更し、鉄損の低減を図った。

接着積層メーカー資料より

「接着積層品の鉄損効果 $\Phi 120\text{mm}$ ブランク品の鉄損を100とした場合 接着積層品: Δ 5%
カシメ積層品: Δ 15% 溶接積層品: Δ 20%」との記述がある。プロトタイプ発電機はカシメによる積層構造だが、少しでも鉄損を晴らし、発電機の熱を抑えたいので、接着積層を行った。

③-5 インバーター容量の変更

開発当初、相模原の冷凍車では7.5kWのインバーター(三菱FR-E720-7.5K)を採用していた。その際、発電機の焼損事故が相次いだ。色々原因を調査したところ、インバーターの出力電流が過大となっていることがわかった。(図12)

幸い電動コンプレッサーのモータに異常はみられなかったものの、あまりよい状況とは言えない。2.2KW電動コンプレッサーの立ち上がりの出力に対応するため、約3.4倍の出力のインバーターを選定したが、出力電流を見る限り過大と判断した。

そこで3.7kのインバーター(三菱FR-E720-3.7k)に変更した。出力電流ログを測定して観察してみると、7.5Kインバーターの出力電流は20Aを超え、恐らく40A近くに達していると思われる。それに対し3.7Kインバーターの出力電流値は15A以下に収まっている。(図13)交換後に発電機の焼損はなくなった。

上田事業所の冷凍車にも3.7kインバーターを採用した。

使用者

2017/08/30 14:22:35

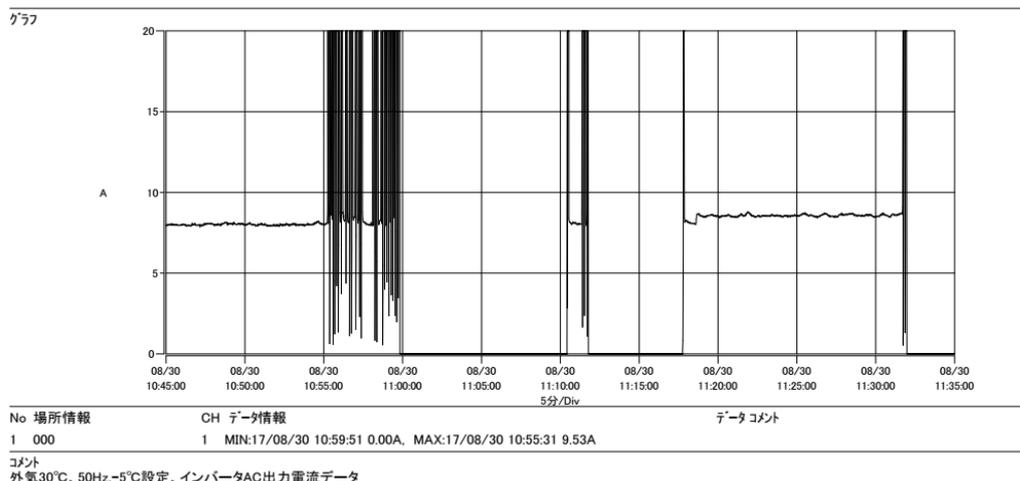


図13. 7.5Kインバーターの出力電流ログ(相模原研究所)

3.7kインバーター出力電流データ
2017.10.10 (TUE)

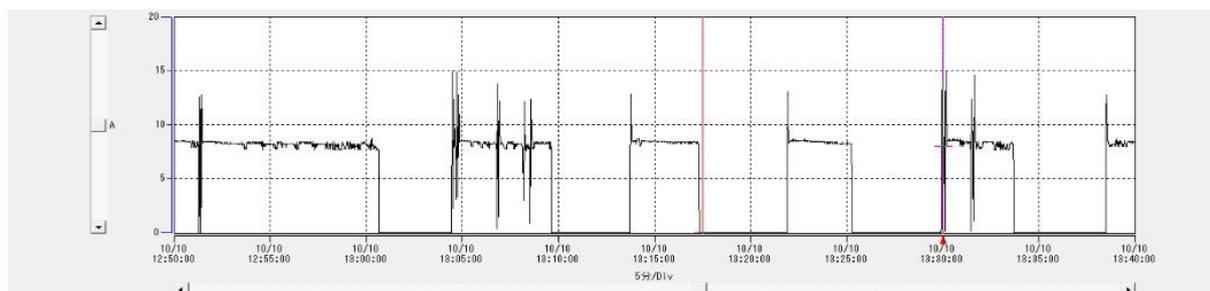


図14 3.7kインバーターの出力電流ログ(相模原研究所)

③-6 車載評価車両のスペック

	上田事業所冷凍車	相模原研究所冷凍車
車両型式		BKG-NMR85N
エンジン	4JJ1-TCS	4JJ1-TCS
ミッション	スムーサーEX	6MT
積載量	2000Kg	2000kg
冷凍装置メーカー	トプレック	トプレック
冷凍装置型式	MP32LSD-B	MJ32LSC-B
冷媒番号(封入量)	R404A	R404A
庫内設定温度	-30℃～+30℃	-30℃～+30℃
コンプレッサー	KALC-016-TAC-020	KATC-020-TAUN-250
コンプレッサー消費電力	2.0KW	2.2KW

表2 上田事業所冷凍車と相模原研究所冷凍車の差異

表2に上田事業所冷凍車と相模原研究所冷凍車の差異を示す。

上田事業所の冷凍車は後から購入したものである。本来なら同型の車を用意すべきであったが、現実的に入手できる最も条件に近い車両を選択した結果、現在の車両となった。

(図15)

制御装置、インバータBOXの搭載位置が両車で違うが、部品内容は同一である。



図15.上田事業所の冷凍車



図16.相模原研究所の冷凍車

日付け 年 月 日 天候			走行距離 ()内高速	燃料補給			リッター走行 距離赤字有効	冷凍 運転	積載 量Kg	記事 (補正について、2018・3・17～4・26までは助手等(70kg)が積載量に+。 5/11以降は積載量-70kgに調整)	
				トリップ メーター	走行 距離	補給 数量					
2017	11	16	226(45.8)		225.4	25.72	8.76	OFF	0	改造前走行データー	
		17	226(45.8)		225.4	27.46	8.21	OFF	0	改造前走行データー	
		20	226(45.8)		225.4	27.26	8.27	ON	0	改造前走行データー	
		24	226(45.8)		225.4	27.4	8.23	ON	0	改造前走行データー	
		27	226(45.8)		225.4	24.35	9.26	OFF	1t	改造前走行データー、積載物 1t (20kg小石袋×50個)	
		30	226(45.8)		225.4	28.04	8.04	OFF	1t	改造前走行データー、積載物 1t (20kg小石袋×50個)	
2017	12	1	226(45.8)		225.4	28.05	8.04	ON	1t	改造前走行データー、積載物 1t (20kg小石袋×50個)	
			226(45.8)		225.4	29.5	7.64	ON	1t	改造前走行データー、積載物 1t (20kg小石袋×50個)	
2018	4	20	24					ON	0	改良工事、パネルメーター、チョークコイルNo-3.4 ALヒートシंक付きに交換、動作確認走行	
		21	35					ON	0	動作確認走行	
		23	111(45.8)					ON	0	往路湖岸道路	
		24	114(45.8)	200097	191	24.31	7.86	ON	0	往路湖岸道路、雨降り時走行	
		24	114(45.8)	200303	206	25.24	8.16	ON	0	復路湖岸道路、雨降り時走行	
		26	113(45.8)					ON	0	風強、蒲生ICから始める	
		26	113(45.8)	200530	227	28.58	7.94	ON	0	風強、蒲生ICから始める	
		27	55					OFF	1t	重量物(20kg×50個)積載のため竜王第二⇄北津田工場、竜王第二～蒲生テスト走行	
		5	11	109(17.4)	200606	76	9.41	8.08	ON	0.93t	名神彦根一名神八日市間事故発生のため通行止め、名神、一般道渋滞、
		5	11	114	200807	201	27.04	7.43	ON	0.93t	燃費データー正確性取れず。
		5	15	19					ON	0.93t	
		5	18	曇り	113(45.8)				ON	0.93t	外気温≒25℃、発電機温度103℃(短時間/5700～5800rpm/高速道路)
		5	18	曇り	113(45.8)	201053	246	32.77	7.51	ON	0.93t

図16.相模原研究所の冷凍車

③-7 電動冷凍車の評価

(1) 耐久性の確認

上田事業所の冷凍車は改造後 2000km 走行し、不具合がなかった。また相模原研究所の冷凍車もインバータ交換後に 2000km ほど走破したが、不具合はなかった。

但し発電機の温度は依然として高く、大きな懸案事項はとなっている。

上田事業所のこれまでの高負荷テスト運転での最高値は、4/23 には外気温 26.7℃、発電機回転数 6300 rpm (6500～6900rpm 時もかなり含む) 時の発電機温度(ステーター外側)は 107.5℃となっている。おそらくコイル温度は 120℃ 近くになっているものと推測できる。

又、最新 5 月 18 日の「通常データ走行」では外気温 27.5℃、発電機 5700rpm (≒ 時速 80km) の連続走行で発電機温度(ステーター外側)は 103℃ (瞬間的 105℃ 有り) となっている。この時の発電機付近の中空温度は 63℃～65℃ になっている。

相模原研究所の発電機もほぼ同じような数値であり、あまり改良成果は見られなかった感じもある。

故障はないものの、今後の補完研究で改良していきたい部分である。

(2) 燃費の効果

表3.上田事業所冷凍車の燃費測定結果

燃費効果の主な検証は、上田事業所の冷凍車で行った。改造前の機械式コンプレッサーのときのデータを採っており、改造前後のデータ比較ができるためである。(相模原研究所の冷凍車は、改造前のデータは殆どない。)

滋賀冷凍車(メカコンプ) 庫内温度測定

171201、1t積載、冷凍 ON ($\Delta T = 30^{\circ}\text{C}$)、8.04 km/l

滋賀冷凍車(メカコンプ) 庫内温度測定

171201、1t積載、冷凍 ON ($\Delta T = 30^{\circ}\text{C}$)、8.04 km/l



滋賀冷凍車(メカコンプ) 庫内温度測定

171201、1t積載、冷凍 ON ($\Delta T = 30^{\circ}\text{C}$)、8.04 km/l



滋賀冷凍車(メカコンプ) 庫内温度測定

171201、1t積載、冷凍 ON ($\Delta T = 30^{\circ}\text{C}$)、8.04 km/l

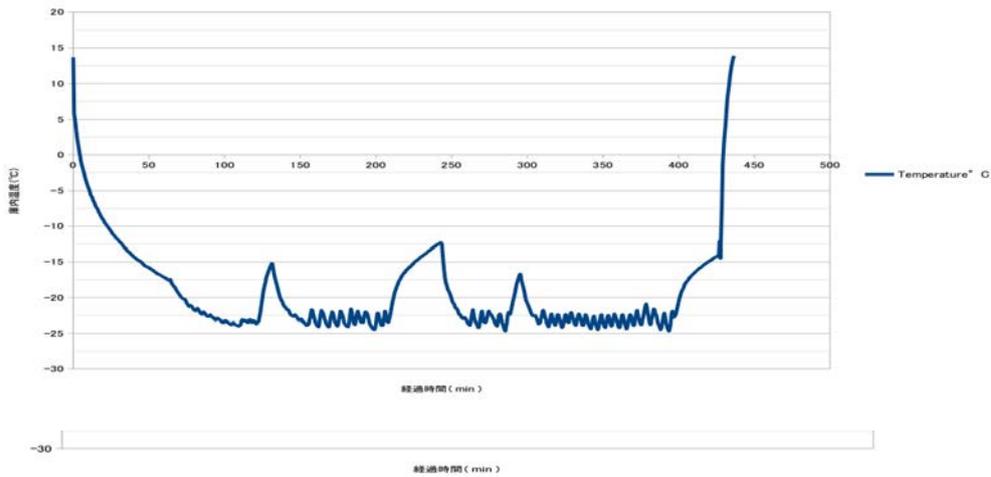


図18.機械式コンプレッサーの庫内温度推移(上田事業所冷凍車)
外気温と庫内温度(設定温度到達時)の差は約 36.5°C

滋賀冷凍車(電動コンプ) 庫内温度測定

180521、1t積載、冷凍 ON (-10°C 設定)、7.76 km/l

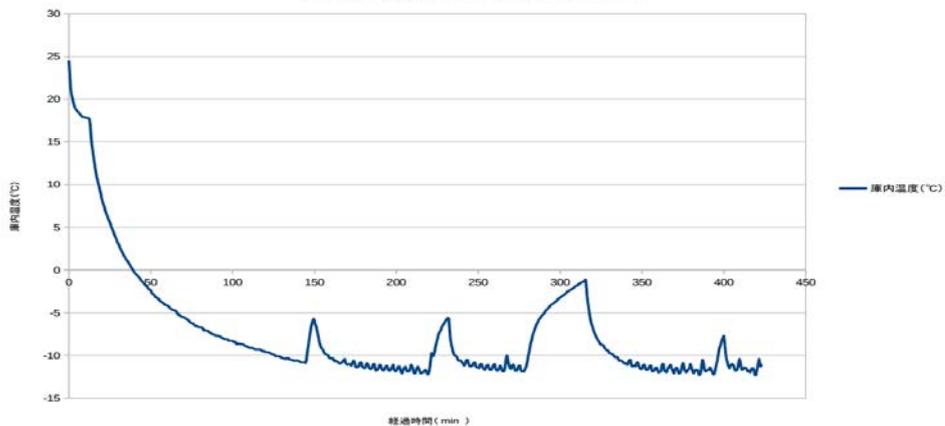


図19.機械式コンプレッサーの庫内温度推移(上田事業所冷凍車、当該装置実装前)

外気温と庫内温度(設定温度到達時)の差は約 36.0°C

温度の下がり方は、予想に反し、電動式コンプレッサーより速いという結果となった。但し電動式の測定時期は、外気温が上昇変化しやすい季節であったことも影響しているかもしれない。どうしてこのような結果となったかは、さらに考察が必要である。補完研究で実施予定とする。

温度の安定性を見る限りは、電動式のほうがよいと言える。(2)で提案した比例制御を用いると、更なる安定性向上を見込める。これも補完研究で実施予定である。

④また、トラブル対応事例も成果であるので、以下に付記する

29年7月28日発生トラブルは原因究明した結果、冷凍車のスタンバイ電源(電動コンプレッサー内蔵)の不具合であることが判明し、スタンバイ電源ボックスを交換した。

それにもかかわらず、コンプレッサーが起動しない事態が発生し、更に原因究明した結果、コンプレッサー制御のインバーターのサーマルリレーとコンプレッサーの回路との間にミスマッチングがあることが判明し、急速、インバーター制御回路を追加製作することにした。

その結果、無事、コンプレッサーを制御起動することが出来る様になり、相模原の冷凍車で制御装置、発電機のマッチング確立と耐久性検証を年度末まで実行することができた。

本制御回路追加制御装置は、上田事業所冷凍車にも搭載し現在、実装検証継続中である。

本研究開発の発電機・制御装置ユニットは既存の現行冷凍車改造用に販売することになるので、既存現行冷凍車のスタンバイ電源とインバーター制御回路の開発は販売する際の訴求力を高める結果となると考えている。

多くのトラブルが発生しそのつど解決できたのは自己経費で予備発電機、制御装置を予備機として以下の通り使用・対応してきたからである。

4.5KWプロトコル発電機は1台サポイン予算に計上し、28年3月のサブテーマ番号A-1の燃費検証に使用したが、制御装置(27年度予算で製作の制御装置納品前であり、それと同じアーキテクチャーで製作された河村個人保有の制御装置を搭載していた)トラブル発生を受け、1台しかない4.5KW発電機の損傷するリスクを考え、アイドル時の出力等の確認で使用後直ちに取り外し、発電機・制御装置のベストプラクティスが確立するまで、河村個人保有の発電機を使用した。それらもリード線ショート等の数回のトラブルで損傷したため、前出産業自己経費で4.5KW発電機ステーター金型改修を行い、改修金型によりステーターと巻線加工を行い予備機を数台造り2.5t冷凍車に搭載し検証を行ってきたためサポイン予算計上の4.5KW発電機が温存でき、燃費検証等の実車走行ができたこと、

28年3月燃費検証で損傷した制御装置(河村個人保有制御装置)の損傷原因を究明したことから27年度サポイン経費で製作した制御装置を直ちに原因除去の追加回路を組み込んだ改良型制御装置開発に着手したこと、

上記2点を付記する。

本研究開発期間中発生したトラブル事象(E)とそのソリューション(S)は本研究開発の成果であり、トラブルとソリューションは上市に向け発行することが想定されるマニュアルのトラブルQ&Aに記載できる財産であると考えるので以下に主だったE&Sを列記する。

1) 27年度燃費検証が2.5日しかできず、発電機・制御装置のミスマッチングと記載したトラブル事象の原因究明とそのソリューション

E)-1冷凍車のクーリングユニットの制御システム(所定温度に達した場合、過剰になる電力の供給を遮断するシステム)によりエンジン直結で常時発生する電力は供給する場を失い行き場のない電力は迷走電流となり制御装置のダイオード等を破損した

- S-1)制御装置の回路の迷走電流を逃がすエスケープ回路を追加し、27年度製作と同じアーキテクチャーで製作していた河村保有制御装置で改良試作し効果が検証できた為、28年度改良型正業装置製作に反映した。
- 2)28年4月以降発生したEとSは以下のとおり(該当サブテーマ番号記載)

サブテーマ番号2-3

E-2)制御装置の耐久性の評価は発電機の発電電圧が高く、充足性が大きい場合、スイッチングによって生じるスパイク電圧がパワートランジスタを破壊させた～巻線改良発電機とのミスマッチング～

S-2)その対策としてスナバの開発を行い、120例程の各種スナバを試験した結果、抵抗値3.4KΩコンデンサー0.047μFの組み合わせが最適との結論を得て採用した。

E-3)発電機との組み合わせにより耐久試験を行った結果、3相巻き線の1つに異常が出た場合、AC出力線をDCに変換するブリッジダイオードのダイオードが発熱し、破壊する事が判った。

S-3)3相発電機では巻き線の1つに異常が生じると中性点のゼロ電圧が崩れ、異常値に上昇することが判ったので、この異常電圧をキャッチし、巻き線の前後を遮断するストップ回路を追加することとし S)1同様、保有制御装置を試験改良し効果が確認できたので28年度改良制御装置に反映した。

サブテーマ番号3-2

E-4)発電機が運転中に出力端でON-OFF等の衝撃を加えた時、巻き線間でスパークが発生し巻き線間のショートが発生する事象がしばしば発生した。

S-4)そこで線間の絶縁性を高めるため、絶縁ワニスの真空含浸を実施するとともに、巻き線の取出し口にガラスチューブを取り付ける、等の振動による取り出し巻線の接触防止対策を施し、成果を得た。また発電機の表面温度を降下する効果も確認できた。

サブテーマ2-3

E-5)発電機巻線に発生する相間の発生電圧の異常を放置すると、異常巻き線以外の線に大電流が流れ、ダイオードの焼損が発生した。また、エンジンの燃料流量の異常でアイドリング時のエンジン出力が低下する場合、電動コンプレッサーの回転数、即ち冷媒の吐出量を減少させないと誘導機が失速する不具合が生じた。

S-5)これらの問題を解決するため制御基板にスイッチを配置し、発電を停止するストップ回路製作、
或いは、電磁クラッチの採用等解決策を見いだして入るが、リードタイム、開発経費等を鑑み、
今後、検討する所存である。

最終章 全体総括

過年度の研究開発成果

㊦27年度の成果

1) 発電機(12KW)の小型化・軽量化

[1-1],[1-2] 今年度は12KW 発電機に必要な磁束密度を有するマグネットコアをローターに組み込み、発電機を製造するスケジュールであり予定とおり完成した。

～伸長率 100%,目標達成と評価する。

2) 制御装置の小型化・軽量化。

[2-1]、[2-2]、[2-3] チョークコイルの安定インダクタンスを得るため絶縁紙の厚さの検討と板状チョークコイルへの仕様変更を実施し更に最新のパワートランジスタを組み込み性能アップを計測により検証した。また、12KW 制御装置では放熱性を改善する必要性から大型のヒートシンクを開発した。～進捗率100%、目標達成と評価

3) コンパクト、軽量でインバーターにより自在に運転出来る永久磁石電動機

[3-1]、[3.2] 巻き線切り替えにより低速から高速まで運転出来る電動機の開発研究においては巻き数の大きな巻き線を用いてコンプレッサーの始動トルクが満足する条件を探し更に、定格回転まで必要なトルクで運転出来る高速用の巻き数と小さな巻き線の仕様を実験により求め所定のデータを取得したが、[3-3] コンプレッサー電動機のインバーター制御技術の確立については、エンジン回転数とインバーター制御の実験をダウンサイジングしたプロトタイプ 4.5KW 発電機で検証する予定であったが、4.5KW 発電機出力制御盤に不具合がたびたび発生したことから 12KW 用の基礎データ取得に至らなかった。

～進捗率50%、目標未達成。～次年度同じ保冷車を用いて再度実施予定。

4) [A-1] 現行保冷車とプロトタイプ発電機搭載の保冷車による燃費検証(CO²削減検証)、熱交換換気扇等による気流生成が食品鮮度に及ぼす影響検証並びに現行保冷温度におけるリンゴのエチレンガス発生の確認現行保冷車を1ヶ月リースして燃費検証と鮮度計測及び食品微生物検査を実行したものの、プロトタイプ発電機搭載保冷車との比較検証が上述のとおりできなかった。エチレンガス生成は保冷温度が0℃であることから最大72個のリンゴを収納しても検知できなかった。リンゴの数が少なかったためか？保冷温度が低かったことに由来するのか不明であることと、運転者がエアコンを使用しエンジンに負荷がかかる夏期で検証を実施しなすと訴求する燃費検証データが取得できないと判断したことから次年度再度燃費検証を夏期に実施することにした。

プロトタイプ発電機電源稼働と保冷車のスタンバイ電源稼働による 160 ファンと熱交換換気扇による気流生成が鮮度に及ぼす影響評価においては僅か3日の比較検証であったが、鮮度の有意差は見られなかった。次年度夏期(同一保冷車と検体同一購入車の条件)で再度1ヶ月程度の比較検証を実施する所存である。～進捗率30%、目標未達成。次年度で達成する所存である。

5) (4-6) 鮮魚(ブリ、カツオ、サバ)、ホタテ貝、野菜(ほうれん草、小松菜)、イチゴの現行保冷システムによる鮮度評価を行ったが、非破壊軽装器が示すデータと食品微生物検査の結果と相違が見られ、鮮度評価を示すデータが取得できたかという点では疑問である。

～開発項目としての進捗率は100%。但し、野菜、イチゴは想定とおりの鮮度低下が確認されたが、カビ発生事象が危険ではなく、カビの種類(例えば *Aspergillus oryzae* 等)は有用カビであるが、*Aspergillus flavus* (病原カビ)により安全か否かが決定するので、カビの同定が必要なことと、イチゴ出荷時点でのカビ数を検査しないと経費変化が把握できないことからイチゴの鮮度劣化評価を細菌数とカビ数のみで評価するのは妥当ではない。目に見えない状態のカビ数(10×3 乗程度の細菌数)で安全かを評価するには官能検査が一番である、そもそも私たちが普段食べているイチゴも目に見えないカビ数を付着した「ものを平気で食しているのが現状と推定できる。

魚介類の鮮度評価については検体数も不足しており(クロスオーバー試験として第三者に認可されるためには少なくとも 30 以上の検体数が必要であろう)、微生物検査とトリーメータ、K値測定器が示す鮮度

指標が真逆な評価となったことから、今回取得したデータは参考データでしかないことを付記する。

27年度研究開発総括

食品の鮮度検証は単年度の研究開発テーマであり鮮度を示す取得データ評価に疑問があるもののテーマとしては実行できていた。燃費検証は上田事業所は現行冷凍車(レンタル車)で1ヶ月実行したが、比較対象となる発電機搭載冷凍車が不具合につき2.5日しか実行できず、次年度に再度燃費検証することになったので未達

コンパクト、軽量でインバーターにより自在に運転出来る永久磁石電動機(3-1~3-3)のテーマは[3-3]が[未達となったので50%の評価、それ以外のテーマは目標達成できたので、100%評価]よって総括すると80%の自己評価とする次第である。

①28年度の研究開発成果

1) 発電機(12KW)の軽量化、小型化

1)「1-1」「1-2」昨年度完成した12KW 発電機の性能評価を実施し、低速出力 6KW/1500rpm、高速出力 12KW/4000rpmを確認した。また、重量は23Kgであり、同タイプの誘導機の重量133Kgに対し、大幅低減が出来た。

2) 制御装置の小型化、軽量化

「2-1」「2-2」「2-3」チョークコイルの安定インダクタンスを得るため、銅板間の絶縁紙の厚さを種々変更し、製作したが、絶縁性の改良が進まず、次年度の課題となった。また、12KW 制御装置では試験中しばしば経験した整流器、制御素子の破損の問題を徹底的に解明し解決策を見出したので。今後、問題が生じない様に改良設計を実施することにし、以前制作した手持ちの4.5KW 制御装置を用いて自己負担で改良試作を行い改良設計の効果を確認した。この改良結果を12KW 制御装置に反映し改良設計を実施した為、性能検証は次年度になるが、プロジェクトの進展に寄与するものと考えている。

制御装置による発電機回転数と電圧の一定性(図-1)



図-1 発電機回転数と電圧の一定性

(赤線: 発電機の回転数: 7000RPM(エンジン 2800rpm)~2000rpm(800RPM))

(青線: 制御装置で一定化され得た電圧 28/5V)



図-2: 薄板銅板による超小型チョークコイル

「2-2」チョークコイルの放熱性向上と小型化についての研究

一般にはチョークコイルの巻き線は円形断面の線材が使われるが、線材積層により隙間が出来、又重なり部が隙間だらけである為、薄板銅板によるチョークコイルを考案し、試作した。設備不足の為、線間の絶縁として絶縁紙を挟んだが巻き線の何処かでリークが起り、成功しなかったため急遽巻線型チョークコイルに変更製作したが、河村SL急病により巻線仕様の十分な検討ができなかった。

上田事業所用チョークコイルは設計値満たさず、その報告を受け、河村 SL 復帰後、巻線仕様決定し相模原分は設計値充足したチョークコイルとなった。計算上では薄板状チョークコイルが優れており設備が整えば、いずれかの機会に試行する所存である、

3)コンパクト、軽量でインバーターにより自在に運転出来る永久磁石電動機

「3-1」「3-2」巻き線切り替えにより低速から高速まで運転出来る電動機の開発では、巻き線の大きな状況でコンプレッサーの始動トルクが得られるかの検討を行ったが、小型で出力の大きなコンプレッサーが見つからず、次年度の課題となった。そこで、誘導機付きコンプレッサーの運転を自在の周波数で制御するシステムをプロトタイプ 4.5KW(2t 車用)で実施した処、目標通りの制御性が得られ、10t 車への転用が出来ることを確信した。

[A-1] 冷蔵冷凍車の燃費(CO2 発生量)の比較検証(本発電機搭載車と現行冷凍車=レンタル車)

比較する両冷凍車の車重は同重量としても、年式、クーリングユニットの仕様が異なる車両による燃費検証は参考データ扱いとし、ユーザーのニーズが高い庫内の温度モニタリングと予冷時間に比較検証の重点を移し検証を試みた。検証期間については燃費比較は熱伝達式による計算上では 15%削減の効果を示すので、現行冷凍車をレンタルし、理論値と実証値との差の検証に必要な期間としそれぞれ4日とした。走行ルートは市内走行、山道走行、高速走行を取り交ぜ負荷をかけて試験した。双方の車重の違いは裁可物の搭載物個数で調整し、同じ搭載物荷で試験しようとしたが、現行冷凍車の燃費等の継続は予定とおり4日間実施できたが、プロトタイプ発電機搭載冷凍車の制御装置に異常が発生し、年度末までに燃費比較検証ができない事態となった。次年度の再々度検証は上述のとおり条件つきの実施項目とした。

但し、上田事業所、相模原研究所での燃費検証では配車走行パターンで実施しており、35%のアイドル状態での燃料消費を確認した。物流業界の保冷車は配達時アイドル時にエンジンを停止し燃料を削減せざるを得なく、保冷剤が必要であることが理解できた。鮮度保持の観点からは、生産者、消費者の鮮度低下の危惧は払拭できない状況が継続していると判断できたことを付記する。

28年度研究開発総括

燃費検証は 28 年度も 45KW 発電機と制御装置ユニットのトラブルで 3 日しか実行できなかったのも、最終年度も実施することになった。河村SLの急病もあり、28年度としては、トラブルに対応し解決してきた実績を鑑み、せいぜい、60%と自己評価せざるを得ないと判断している。

㊦29 年度研究開発成果

本編で詳細は記載したので、簡潔に総括する。

29年度総括

㊦(4.5KW発電機・制御装置ユニットのベストプラクティス確立)が最重要テーマとなっている。

ベストプラクティスに目処がつけば、物流企業「ギオン」の営業冷凍車に実装検証し、そこで、問題ないと評価されれば、ギオン保有冷凍車(2トン冷凍車160台)に順次搭載するオファーを載っているからである。現在、ベストプラクティス確立を目指し、上田事業所冷凍車で本年度末から継続検証中である。相模原冷凍車においても発電機表面温度137°Cでもトラブルが発生しなかった事例もあるので夏季の実装検証も乗り切れるという楽観的観測もあるが、当該発電機・制御装置ユニットに対する熱対策を試行している。逆に夏季をノントラブルで乗り切れれば、ギオンとの成約につながる可能性が現実味を帯びる。現状相模原冷凍車と上田事業所冷凍車合計走行時間と走行距離180h、5000Km。現在迄はトラブルの発生に遭遇していないが、500hを第1マイルストーンとして実装検証継続中である。

第三者検証として公設試験場で環境負荷型大型振動試験(ISO16750-3)とHALT(Highly Accelerated Limit Time)試験を依頼し実装検証結果と併せて、当該発電機・制御装置ユニットの訴求性を向上させる所存である。尚、サブテーマ[A-3]は今後、小林先生とも協議していずれかの時期に制作できればと考えている。

当該製作制御盤は湿度制御もできるのであるが、現行冷凍車に加湿装置が準備されていないので、実車による検証については、現状では不可能であることを付記する、

また、㊦トラブル対応事例も成果であるので、本編の記載を簡潔にまとめた一覧表を付する。

㊦3年度総括

サポイン研究開発成果としては

- 1) 12KW発電機・制御装置ユニット(以下、12KW系ユニット)の完成と当該ユニットによる大型冷凍車冷凍システムの駆動制御(コンプレッサー駆動・制御)の確認
- 2) 上記12KW系ユニットのダウンサイジング版である4.5KW発電機・制御装置ユニット(以下4.5KW系ユニット)による実装検証である。当該ユニット出導入オファーをギオンから頂戴しており、搭載しても問題ないことを現在、実装検証中である。

4.5KW系ユニットで上市できれば、12KW系ユニットも同じアーキテクチャーであるので、実装検証も問題なく達成できると想定している。

1)と2)を達成率～自己評価すると

- 1) 12KW系は発電機の開発はできたものの、制御装置とのマッチングに問題があり、達成率50%
- 2) 4.5KW系は現状のまま、夏季をノントラブルで乗り切るという条件つきではあるが、達成率80%(未だ夏季の猛暑に遭遇していないが、熱問題で改善する余地があるため)。

しかし、早い時期に、販売につなぐことができる市場性(2トン～4トン冷凍車の搭載可能であり、日本自動車工業会の「2016年度普通トラック市場動向調査度」のデータから、125万台が販売ターゲットとなる)の観点から1)と2)の成果達成率を1:3で勘案すると、2)の達成率は72.5%と評価しても良いと考える。

また、サポインの研究成果として制御装置の特許出願(発明者:グローウイング.山口 伸一=制御装置開発者、出願人:前出産業)を進めており、現在発明者と特許事務所において、特許明細書を作成中である。

6月中頃には出願できるであろうとの報告を発明者から頂戴していることを付記する。

主なるトラブル対応事例

部位	発生トラブル	原因	対処方法
運転席モニター	運転席モニターに回転数表示が出ない。ノイズ対策するも、解消せず。	コネクタの接触不良	コネクタに接点復活剤を塗布
制御装置	制御基板の動作が不安定	基板パターンが振動により亀裂損傷した	基板取付部をクッション構造とした
コンプレッサー	コンプレッサー電流値がハンチングを起こす	コンプレッサーのサーマルスイッチが原因か？	今後検討する
ステーター	線間ショートを起こしている	コイルエンドの成形を設計寸法に入れるのが厳しく、歪んでハウジングと接触した	ステーターのインローの軸方向高さを9.5→6に変更して、コイルの空間を従来より確保した
ステーター	出力が出ていない。また巻線抵抗値がおかしい	コイル引出線根元が棄損し、欠相状態になった。引き出し線が長く、固定されていないことが原因か？	ステーターの上に中継端子台を設置した。コイルのブラブラがなくなった。
チョークコイル	引き出し部に丸端子を圧着していたが折れた。	圧着により銅線に加工硬化が生じ、もろくなった	WAGO 端子(板バネで挟む端子)を採用
発電機～制御装置中継コネクタ	ピン間でショートした	半田ブリッジが生じていた(作業ミス)	ピン間の広いコネクタに交換
発電機～制御装置中継コネクタ	ピン間でショートした	誘導電流が想定より大きかった	許容電流値の高いコネクタに変更
制御基板	制御装置の後にあるコンデンサの出力が逆流し、制御基板を損傷した	基板上のダイオードで逆流を阻止できると思っていたが無理だった	大きなダイオードをコンデンサ前に追加
制御装置	出力コネクタが損傷した	制御装置後のコンデンサに溜まった電荷が悪化した？	コンデンサの近くに抵抗を設置し、不要な電力を消費するようにした
インバータ	50Hz 設定時、冷凍スイッチ OFF 時でも、インバータが作動しだす	ノイズが原因？	信号ラインにコンデンサと抵抗を接続した
発電機端子台の緩み	端子台ねじが緩み、出力がおかしくなった	エンジンの振動と熱？	ねじロックを塗布したが、取り外しに面倒なので、基板を製作してコネクタ化した
制御装置全体	冷凍車が設定温度に達した後に制御装置や発電機の損傷が多発した	制御オフにした瞬間、発生した電流が逃げ場を失い制御装置や発電機を破損した	エスケープ回路を設置しチョークコイルで電流消費させ迷走電流をなくした。