

## 第65回

# 車両用補助電源装置

### はじめに

鉄道車両に必要な電気は走行用の電気だけではありません。たとえば照明装置、空調装置の電気はどこから供給されるのでしょうか。ここではその供給源となる車両用補助電源装置の役割、歴史と展望について紹介します。

### 補助回路と補助電源装置

電車において、主電動機および主電動機を駆動させるために必要な電気機器（パンタグラフ、主抵抗器、チョッパ―やインバーターなどの電力変換装置、主接地装置など）を接続した電気

回路を「主回路」と呼びます。それに対し、補機と補機を接続した回路を補助回路と呼びます。図1に補機の内訳を示します。補機には冷暖房などの空調装置、照明装置、電気機器を冷却するための送風機（ブロー）、ブレーキやドアに必要な圧縮空気を作る電動空気圧縮機などがあります。補助電源装置とは、補機および制御回路に電力を供給する装置です。補助電源装置として、電動発電機（Motor Generator：MG）や、静止形インバーター（Static Inverter：SIV）が使用されています。なお、SIVは和製英語で、海外ではAPU（Auxiliary Power Unit）と呼ばれています。

補機に必要な電圧は単一ではありません。補助電源装置は一般的に交流440V、交流100V、直流100V（または直流24V）を供給しています。車載機器によっては交流200Vを供給していることもあります。それぞれどのような機器があるか紹介します。まず、一般に使用されている商用電源と同じ交流100Vがあります。最近の新幹線や特急車両などに設置されているお客様用のコンセント、車内の照明装置に使用されています。照明装置の一部は停電時でも一定時間機能することが求められているため、直流100V（または直流24V）から供給されています。直流100V（または直流24V）は非常時

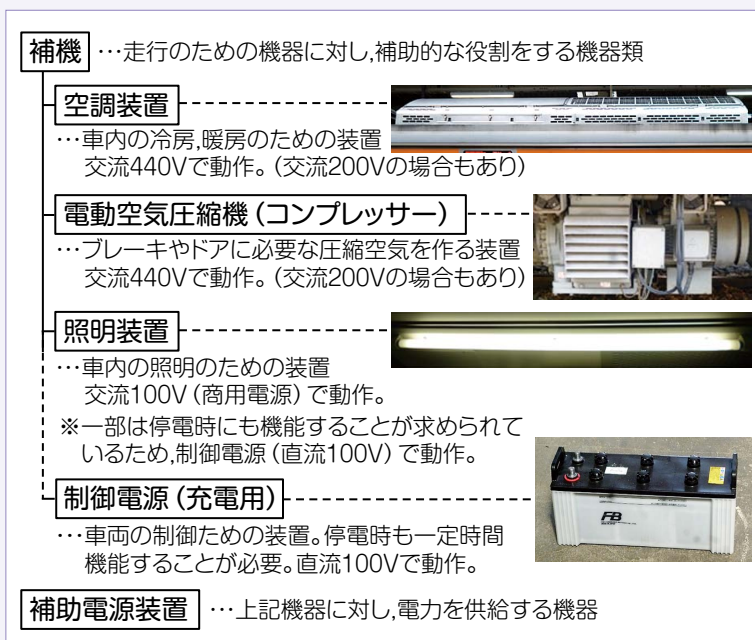


図1 補機および補助電源装置

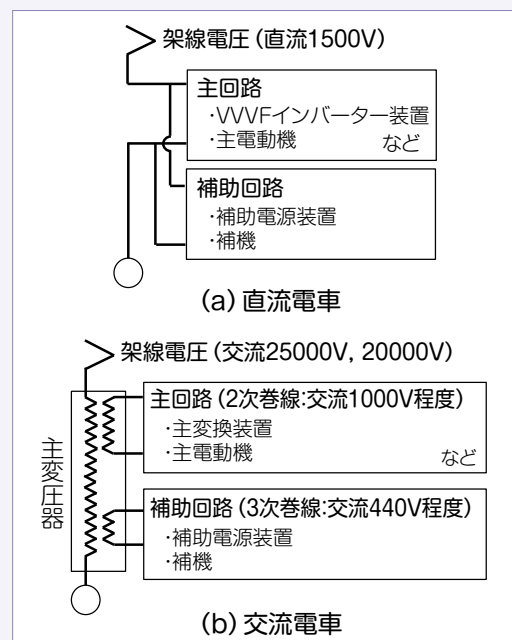


図2 補助電源装置と主回路機器の構成

でも機能することが求められる機器に供給しているほか、制御電源にも使用されています。また、大容量の冷房装置、電動空気圧縮機、暖房機器などは交流440Vで動作します(車両によっては交流200Vで動作する機器もあります)。

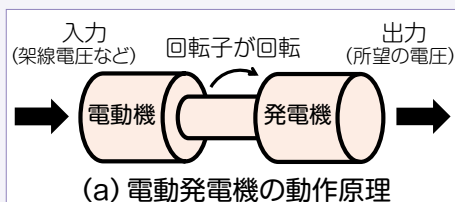
図2に補助電源装置と主回路機器の構成を示します。補助電源装置の入力は直流電車と交流電車で異なります。直流電車の場合は架線電圧(1500V、600V)を入力することが一般的です。交流電車の場合、一般的には主変圧器の3次巻線(交流440V程度)を入力としています。そのため直流電車と比較すると補助電源装置は小型になります。

また、補助電源装置は必要な各電圧を供給する役割を持つほ

かにも絶縁という重要な役割を果たしています。具体的には補機を主回路の高圧から絶縁すること、補機内で不具合が生じて主回路機器に影響を及ぼさないことといった役割です。つまり、補助電源装置はお客様へのサービスのみならず、安全上も必要不可欠な機器です。次に補助電源装置の変遷について紹介します。

## 電動発電機

電動発電機は、その名のとおり電動機と発電機から構成されます。図3に示すように、入力側の電力を電動機に入力することで電動機を回転させ、同軸上の発電機で所望の電力を得る電力変換器です。電動機と発電機の組み合わせによって電圧変換、周波数変換などさまざまな電力変換に対応できます。このため、半導体技術が進展する前は、



(a) 電動発電機の動作原理



(b) 電動発電機

図3 電動発電機

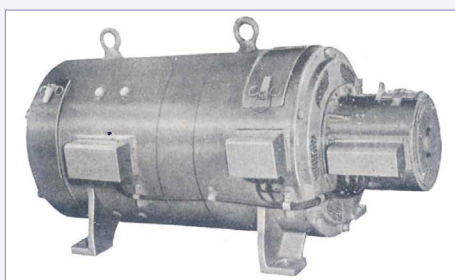


図5 150kVA 電動発電機

出典：国鉄パンフレット 特急電車つばめ・こだま、1960



図4 京浜線用のデハ6340

出典：東京市街高架鉄道建築概要、鐵道院東京改良事務所、1914.12(画像提供：土木学会附属土木図書館)

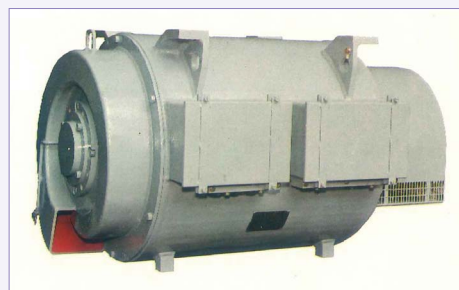


図6 名古屋市交通局向ブラシレスMG

出典：東洋電機技報、No.29、1977.1

電圧の変換に電動発電機を用いていました。

初めて電動発電機を搭載した車両は京浜線(現JR京浜東北線)用のデハ6340(図4)であり、1914(大正3)年に登場しました<sup>1)</sup>。当時直流600Vき電区間と直流1200Vき電区間が存在したため、どちらにも対応すべく電動発電機が搭載されました。この電動発電機で主回路も補助回路も賄っていました。なお、この車両の制御電圧は600Vであり、電車の黎明期には制御電圧は主回路と同じ電圧でした。制御電圧が100Vになると、これを得るための補助電源装置としての電動発電機が必要となり、1923(大正12)年に1.5kWの電動発電機が製作されました。制御電源、照明の電源として電動発電機が使用されることで、今日まで続く車両用補助電源装置の歴史が始まったといえるでしょう。

電動発電機は架線電圧の変動や負荷の変動に対し、出力電圧、周波数を安定させるために電動機の回転数を制御するため、応答性が悪いという欠点を持っていました。また、回転部分が存在するため、保守上手間がかかり、騒音も発生します。回転機構を介した電圧変換であるため、効率もあまりよくありませんでした。しかし、回転機であるため、入力電源の瞬時停電などの影響を受けにくく、堅牢で波形の歪みも少ないといった長所を持っています。そのため、電車の黎明期から後述の静止形インバーターが汎用されるまでは車両用補助電源装置として電動発電機が使用されていました。

電動発電機が採用されはじめた頃は数kW程度の容量でしたが、その後電動発電機は大容量化されました。大容量化のきっかけは、編成中の搭載台数の集約化、および、今では当たり

前となった冷房の搭載です。1958(昭和33)年の特急「こだま」用151系は全車冷房付きで登場しました。冷房用電源として150kVAの電動発電機(図5)が搭載されました。また、当初主回路からの分圧で賄っていた照明や暖房といった冷房以外の補機の電力が補助電源装置から賄われるようになりました。お客様のための補機も低圧化し、補助電源装置を介して主回路と絶縁したことで、安全性が向上しています。

また、電動発電機の後期にはブラシレスMG(図6)が製作され、省メンテナンスも実現しました。しかし、回転機であることには変わらないため、効率、騒音やメンテナンスの課題は残ったままでした。

## 静止形インバーター

静止形インバーターはインバーター装置(スイッチング素子により直流から交流に変換する装置)と波形を滑らかにするフィルター装置(交流リアクトルおよび交流コンデンサー)、変圧器から構成されます(図7)。イン

バーター装置は主回路で使用されているインバーター装置と同様の構成となっていますが、動作方法が異なります。主回路のインバーターは電圧、周波数を変化させて制御します(VVVF: Variable Voltage Variable Frequency: 和製英語)。これに対し、補助電源装置として使用されているインバーターは定電圧定周波数(CVCF: Constant Voltage Constant Frequency: 和製英語)で制御しています。入力側の直流電圧を三相交流に変換し、フィルター装置で正弦波に近い波形とした後、トランスを介して低圧交流を出力しています。制御に必要な低圧直流は、得られた交流を整流することで得られます。なお、交流電車は主変圧器の3次巻線で得た交流を整流して直流にした後、静止形インバーターに入力することが一般的です。

国鉄における初の静止形インバーター車載は1960(昭和35)年でした。車内の蛍光灯用インバーターが搭載されました。当初、照明は白熱灯が使用されていましたが、蛍光灯は白熱灯よりも明るいことが確認され、翌年度以降

も普及しました。1962(昭和37)年には、客車用の電気式冷水器用電源としてオロネ10形にインバーターが設置されました<sup>2)</sup>。容量は400VAでした。客車は直流24Vの制御電源しか持たないため、商用電源で動作させるための変換器が必要でした、その変換機用として、インバーターが搭載されました。当初は初期故障も発生しましたが、その後は安定して動作したようです。その実績と安定性から、1965(昭和40)年には新幹線0系(3次車)に列車無線用電源として採用されました。容量は1kVAでした。静止形インバーターは省電力かつ安定性が求められるATC電源や非常電源などに採用されていきました。

初めて車両用補助電源装置として静止形インバーターを搭載した車両は東京都交通局6000形電車で1968(昭和43)年に登場しました。容量は7.5kVAでサイリスターをスイッチング素子として使用していました。

その後、パワーエレクトロニクスの技術の発展とともに、静止形インバーターの技術も発展しました。使用するスイッチング素子は当初サイ

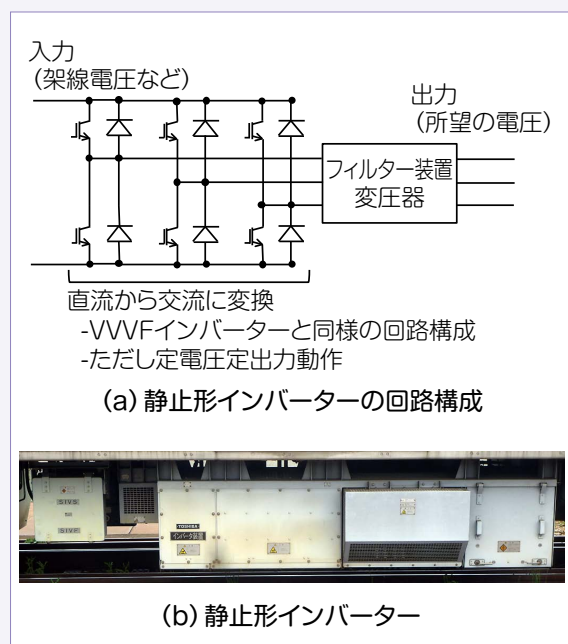


図7 静止形インバーター

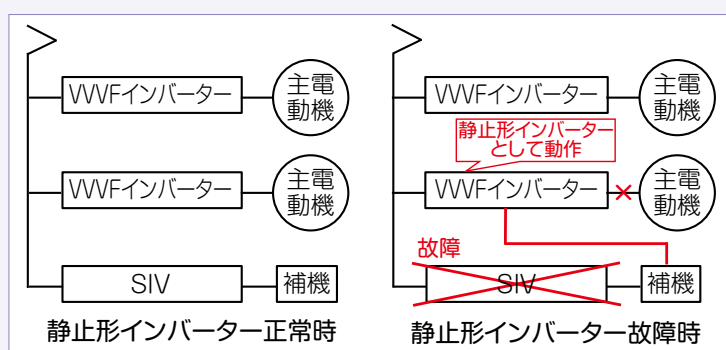


図8 VVVFインバーターとの共用

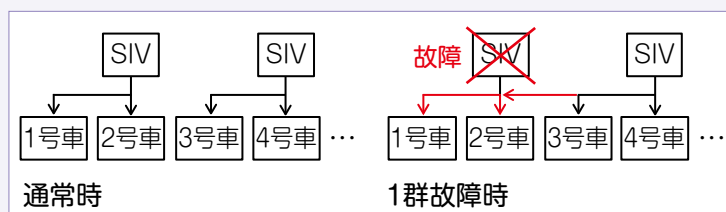


図9 延長給電方式

リスターでしたが、GTO (Gate Turn Offサイリスター)、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor: 絶縁ゲートバイポーラトランジスター) へと変遷しました。最近ではSiC (Silicon Carbide: 炭化ケイ素) を用いた車両もあります。この変遷は主回路用のインバーターと同様であり、小型軽量化、低損失化などが図られています。

## 最近の動向

走行用以外の車両の電気を賄う補助電源装置は、安定した動作が求められています。近年は、お客様へのサービスのため補機に必要な電力は増加している一方、安定した動作や冗長性が求められています。信頼性の向上や大容量化と省エネルギーの両立など、最近の補助電源装置の動向について紹介します。

### (1)VVVFインバーターとの共用

補助電源装置もインバーターとなったことで、構成要素、とくに半導体部分については主回路用インバーターと共通になりました。補助電源装置が故障した場合、主回路用のインバーターの1群をCVCF動作させることでSIVの役割をさせる車両もあります(図8)。これにより、補助電源装置の信頼性が向上します。

### (2)延長給電方式

図9に示すように、通常1台の補助電源装置は編成内の数両分の補機電力を賄っています。そのため、1台の補助電源装置が故障すると、該当する車両の補機電力を賄うことが不可能となります。異常時のみSIVから延長して給電することで、使用できる補機電力に制限がかかるものの、編成全体の補機を動作させることが可能となります。この方式は延長給電方式と呼ばれています。

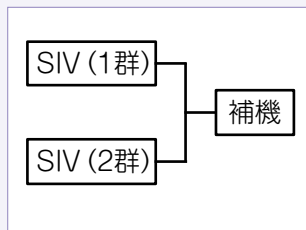


図10 並列同期運転

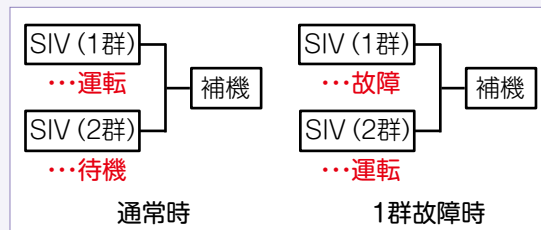


図11 待機二重系

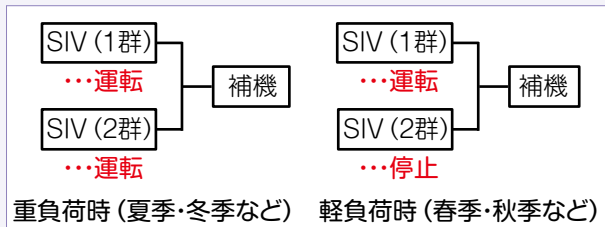


図12 並列同期・休止運転

### (3) 並列同期運転と待機二重系

1台の補助電源装置で編成内の補機電力を賄う場合、その補助電源装置が故障してしまうとサービス低下につながります。そのため、複数台のSIVを並列で使用する例も増えています(図10)。これにより、負荷が大きい場合にも対応できると同時に、一つの群が故障した場合でも残りの健全な群で補機に必要な電力を賄うことができ、冗長性が向上します。この運用方法は並列同期運転と呼ばれています。また、補助電源装置を2群搭載し、通常時は1群使用し、故障した場合のみもう1群を使用する運用もあります。この方法は待機二重系と呼ばれています(図11)。

補助電源装置の負荷である空調装置は季節により負荷の変動が大きくなります。そこで、空調負荷の大きい時期には複数台の補助電源装置を稼働させ、空調負荷の小さい時期は1台の補助電源装置を停止させ、残り1台の補助電源装置で補機電力を賄うような運用をしている車両も登場しています。一般的にインバーター装置は軽負荷で運用するよりも定格負荷付近で運用するほうが効率が良いです。そのため、複数台を軽負荷で運用するよりも、1台で定格負荷付近で運用することで補助電

源装置全体としての効率向上を図っています。この制御方法は並列同期・休止運転と呼ばれています(図12)。大きな負荷への対応と信頼性向上を満たしつつ、省エネルギーに対する要求も満たしています。

## おわりに

補助電源装置は主回路機器と比較すると目立たない装置のように見えますが、車両には必要不可欠な装置です。昨今、省エネルギーと快適性向上の両立が鉄道車両に求められています。これを実現するための鍵となるのが補助電源装置です。車両の縁の下の力持ちとして機能してきた補助電源装置の重要性は今後ますます高まるでしょう。今後はハード面と運用面の両面から、大電力に対応し、冗長性を確保しつつ省エネルギーになるよう補助電源装置の開発が進んでいくことでしょう。

(仲村孝行/車両制御技術研究部 駆動制御研究室)

## 文献

- 1) 鉄道電化協会編: 電気鉄道技術発達史, 鉄道電化協会, 1983
- 2) 福原俊一: 国鉄~JR電車のSIV, 電気車の科学, Vol. 47, No. 4, p41-45, 1994