

# 東日本旅客鉄道株式会社 E956 形式新幹線高速試験電車（新幹線専用車）用補助電源装置

Auxiliary power unit of series E956 high-speed experimental shinkansen train for East Japan Railway Company

This paper describes the Auxiliary power unit (APU) of series E956 high-speed experimental shinkansen train (ALFA-X) for East Japan Railway Company (JR-East). This APU inputs a single-phase AC 400 V from the tertiary winding of the main transformer, and outputs regulated DC 100 V for control power supply and battery, AC 100 V (constant voltage) for power outlet and AC 100 V (auxiliary transformer output) for heater.

In this APU, the following points have been improved over the series E5 APU (SC215). First, the switching frequency has been tripled due to low switching loss characteristics of full SiC power device. Second, PWM converter is applied to input rectifier circuit. Third, AC 100 V output circuit are smaller and lighter by applying leakage transformer and dry-type film capacitor. Finally, parallel synchronous operation of AC 100 V (constant voltage) output and condition monitoring by train information system (S-INTEROS) are realized.

As a result, total efficiency of APU is improved 3.4 % from conventional APU. Power factor of APU input is improved 19.4 %. The volume and weight of APU decreased 2.4 % and 2.5 %, respectively. Power density of APU is increased by 10.6 %.

長崎 悠平  
Nagasaki Yuhei

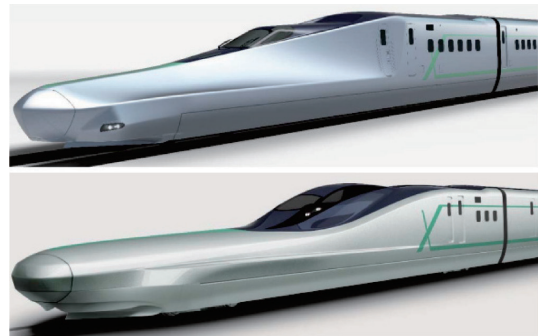
小箆 亮太郎  
Kokago Ryotaro

中村 将之  
Nakamura Masayuki

森 雄生  
Mori Takao

## 1. 序論

東日本旅客鉄道株式会社（以下、JR東日本）では、次世代の新幹線で営業運転速度360 km/hを目指した技術開発を行うため、E956形式新幹線高速試験電車（新幹線専用車）「ALFA-X（アルファエックス）」（以下、E956形とする。）を製造し、2019年5月から東北新幹線にて試験走行を開始した。E956形の車両外観を図1に示す。当社ではE956形向け電機品として、補助電源装置（Auxiliary Power Unit：APU）・パンタグラフ・駆動装置を納入している。



（写真提供：東日本旅客鉄道株式会社）

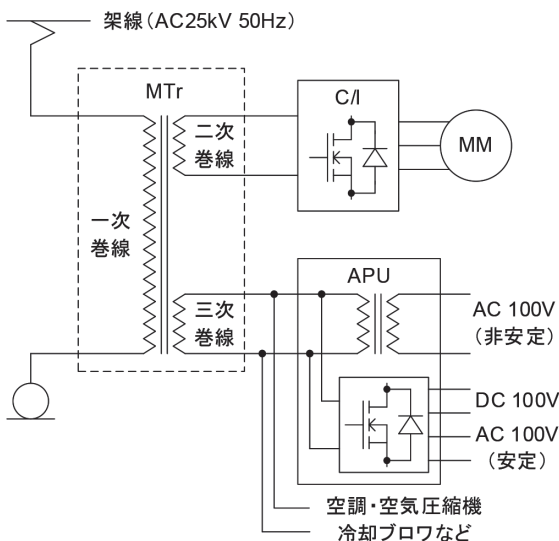
■ 図1 E956形式新幹線高速試験電車（新幹線専用車）「ALFA-X」

Fig.1 Series E956 high-speed experimental shinkansen train (ALFA-X)

これらの機器のうちAPUは、図2に示すとおり、架線からの単相交流25 kVが主変圧器により降圧された、三次巻線出力である単相交流400 Vを入力とし、安定した電力を車両の各機器に供給する装置である。

APUに求められる出力と主な用途としては、

- ・ 直流100 V：保安装置・列車情報装置などの各種機器の制御電源や制御機器用蓄電池充電、客室照明
- ・ 単相交流100 V（安定出力）：客室内コンセント
- ・ 単相交流100 V（非安定出力）：車両各所設置のヒーターの3種類となっている。在来線電車とは異なり、空調機器や空気圧縮機、主変圧器（Mtr）・主電動機（MM）・主変換装置（C/I）の冷却ブロワといった回転機を有する負荷は、電源周波数が50 Hzと60 Hzの両方に対応する必要がある車両を除き



■ 図2 新幹線車両内におけるAPUの接続  
Fig.2 APU connection in the shinkansen train

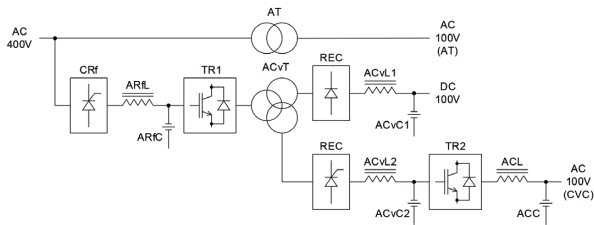
■ 表 1 JR東日本新幹線車両向けAPUの一覧  
Table1 List of APU for JR-East shinkansen train

車両形式	952形/953形 (STAR21)	E1系	E4系	E5系	E6系	E956形 (ALFA-X)
編成両数	9両	12両	8両	10両	7両	10両
編成搭載数	3台	3台	2台	4台	2台	4台
装置型式	SC929	SC204	SC210	SC215	SC216	SC944
装置出力容量 [%] ※	45	70	61	100	64	108
パワー密度	容積比 [%] ※	79	45	86	100	111
	質量比 [%] ※	65	58	80	100	111
入力整流回路	回路方式	混合ブリッジ			ダイオード整流器	PWMコンバータ
	使用素子	サイリスタ・ダイオード			ダイオード	SiC MOSFET
高周波絶縁部	SW周波数 ※	0.27	0.27	0.67	1	1
	使用素子	パワートランジスタ			Si IGBT	SiC MOSFET

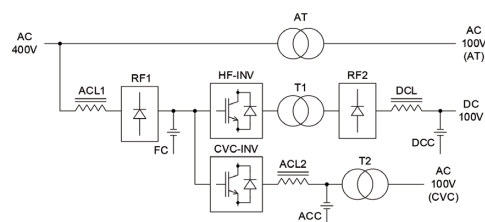
※E5系APU(SC215)を1、もしくは100%とした比率で示している。

APUで受け持たず、主変圧器の三次巻線から各機器に対して直接供給される。

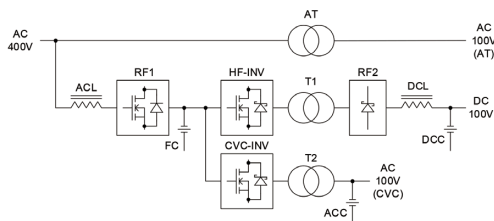
表 1 に、これまでJR東日本向けに当社が開発・製作した APUの一覧とそれぞれの仕様を、図 3 に APU内の接続ブロック図を示す。APUに対する要求として、「小型・軽量化」と「出力容量の増大」といった、相反する二つの事項が存在する。



(a) 952形/953形 (STAR21) ・ E1系 ・ E4系



(b) E5系 ・ E6系



(c) E956形 (ALFA-X)

■ 図 3 各型式におけるAPUの接続ブロック図  
Fig.3 APU connection block diagram for each type shinkansen

小型・軽量化への要求としては、2階建て車両では車端機器室や運転台部床下、新幹線・在来線直通(新在直通)車両においては小型車体といった限られたスペースへのぎ装が求められてきたほか、近年では320 km/hといった高速走行のための軽量化も求められている。一方、出力負荷容量としては、車両制御の高度化や、客室内コンセントの全席設置や旅客案内の充実、グランクラスの導入などの旅客サービス向上により増加している。

これらの新幹線車両向けAPUでは、在来線車両向けSIVで一般的な三相正弦波インバータと商用周波トランスを用いた直接変換方式ではなく、高周波絶縁DC-DCコンバータを用いた高周波絶縁方式を適用している。高周波絶縁方式では、スイッチング周波数の高周波化による変圧器と入出力フィルタの小型化・軽量化が、装置全体の小型・軽量化に対して有効である。高周波化を実現するため、サイリスタやパワートランジスタ(バイポーラトランジスタ:BJT)、IGBTなど、パワーデバイス技術の進展に合わせ、最も適したスイッチング素子と回路構成を使用し、装置全体のパワー密度の向上を図ってきた。

これらを踏まえ、E956形APU(装置型式:SC944 以下、本APUとする。)における新技術として、装置単体では、

- ・フルSiCパワーデバイスの適用による高周波化と低損失化(営業線を走行する車両として当社初)
- ・入力整流回路へのPWMコンバータの適用による入力力率改善
- ・中間リンク電圧の安定化による高周波インバータと正弦波インバータの最適化
- ・リーケージトランスと乾式フィルムコンデンサの適用による小型・軽量化

車両システム全体としては、

- ・単相交流100 V出力の並列同期運転
- ・列車情報管理装置(S-INTEROS)による状態監視

をそれぞれ実現した。

以下、本稿では本APUについて、E5系APU(型式：SC215以下、従来APUとする。)に対する改善点を中心に、各項目の詳細とその効果を報告する。

## 2. 本APUの概要

本APUの主要諸元を表2に、主回路接続ブロック図を図3(c)に示す。APUの主回路は下記の4要素から構成されている。

- ・主変圧器三次巻線からの単相交流400 Vを、中間リンク直流電圧に変換する入力整流回路(RF1)
- ・中間リンク直流電圧を入出力間絶縁し、単相交流100 V(安定出力)に変換する正弦波インバータ回路(CVC-INV)
- ・中間リンク直流電圧を入出力間絶縁し、直流100 V(蓄電池回路)に変換するDC-DCコンバータ回路(高周波インバータ：HF-INV・高周波整流器：RF2)
- ・主変圧器三次巻線からの入力電圧を、単相交流100 V(非安定出力)に変換する補助変圧器(AT)

次に、本APUの装置外観を図4に示す。従来APUでは、現車にてアクセスする頻度の高い無接点制御装置や耐圧試験コネクタを装置正面側に配置していたため、これらの機器に対して車両底面からアクセスする必要があった。そこで本APUでは、これらの機器を装置側面側に配置することで、車両側面からアクセスできるようになり、メンテナンス性が向上した。

## 3. 本APUでの改善点(APU装置単体)

### 3.1 SiCパワーデバイス適用による高周波化と低損失化

従来APUでは、主回路半導体素子にSi(シリコン)パワーデバイスを使用していたが、本APUでは、すべてのスイッチング素子にSiC(シリコンカーバイド)パワーデバイスを適用した。

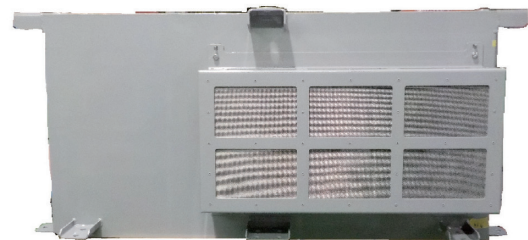
表3にパワーデバイスの比較を示す。一般にSiCパワーモジュールと呼ばれるものには大きく分けて2種類存在する。現在主流として多く使用されているSi-IGBTモジュールに対し、並列接続されている還流ダイオードをSi-PNDからSiCショットキーバリアダイオード(SiC-SBD)に置き換えたハイブリッドSiCモジュールと、スイッチング素子もSi-IGBTからSiC-MOSFETに置き換えたフルSiC(オールSiC)モジュールの2種類となる。さらに、フルSiCモジュールのうち、還流ダイオードとしてSiC-SBDを並列に接続しているものと、MOSFET内に構造上形成されるボディダイオード(SiC-

■ 表2 主要諸元

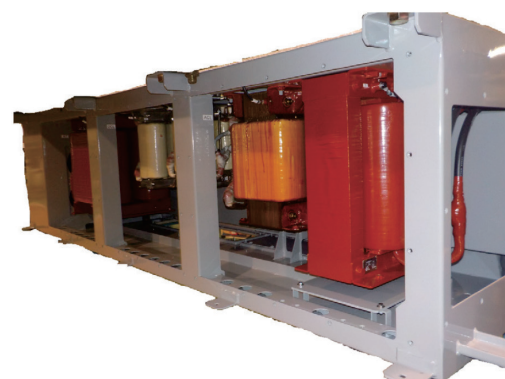
Table2 The specification of APU (SC944)

項目		仕様		
装置型式		SC944		
入力	定格電圧	単相AC400V		
	周波数	50Hz		
出力	定格電圧	DC100V	単相AC100V(安定)	単相AC100V(非安定)
	電力容量※	133%	100%	100%
	力率	—	0.85(遅れ)	—
	周波数	—	50Hz	50Hz
装置全体	制御電源電圧	DC100V		
	冷却方式	強制風冷方式		
	機器構造	耐寒耐雪構造		
	耐振性	JIS E4031:2013 附属書JA 2種B		
	周囲温度	-30 ~ 45°C		

※E5系APU(SC215)を100%とした比率で示している。



(a) 装置側面(車両側面)



(b) 装置背面(開放部)

■ 図4 本APUの外観

Fig.4 The exterior of APU (SC944)

PND)を使用するものの2種類が存在する。

本APUではSiCパワーデバイスの特徴のうち、高速スイッチング特性を活かすことで小型・軽量化を図っている。ハイブリッドSiCモジュールでは、ターンオン損失とリカバリ損失は減少するものの、ターンオフ損失は減少せず、高周波周波化に限界がある。特に、高周波絶縁型DC-DCコンバータ

の一次側高周波インバータでは、ターンオン損失とリカバリ損失は発生しないため、本APUにハイブリッドSiCを適用しても効果は限定的となる。

よって、本APUでは、ターンオフ損失も含めたすべてのスイッチング損失を低減できるフルSiCモジュールを、すべてのスイッチング素子に適用した。

### 3.2 入力整流回路へのPWMコンバータの適用による入力力率改善

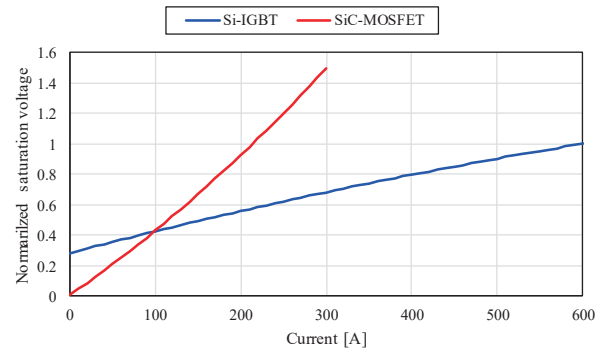
これまでのAPUで使用してきた入力整流回路の回路構成と入力電流波形、特徴の比較を表4に示す。入力整流回路における装置効率改善のポイントとしては、「入力電力力率の改善による無効電力の低減」と「架線電圧変動の吸収による後段変換器の最適化」が挙げられる。

E4系以前では、サイリスタ整流器(混合ブリッジ)を使用していた。この方式では、サイリスタの点弧角の位相制御により中間リンク電圧を制御し、入力電圧変動(架線電圧変動)を吸収している。整流回路の出力電圧(中間リンク電圧)は入力電圧の下限に合わせるため、中間リンク電圧の安定化が図れる。一方、スイッチング周波数は入力周波数の50 Hzとなるため、入力電流が歪むとともに力率が悪化する。

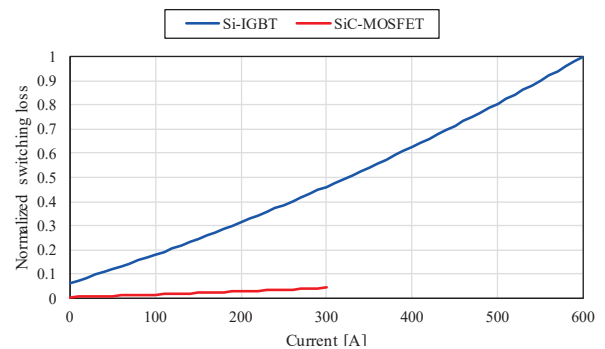
次に、従来APUではダイオード整流器を使用していた。この方式では、部品構成がシンプルになる利点があるものの、中間リンク電圧および入力電流は無制御となる欠点がある。サイリスタ整流器同様、入力電流が歪み、力率が悪化するほか、中間リンク電圧は架線電圧変動に応じた値となる。JRIS J0531:2017の規定では、定格電圧に対し最大-33 ~ +25%の範囲で変動するため、入力電圧の大幅な変動を後段変換器で吸収しなければならない。

そこで、本APUでは入力整流回路にPWMコンバータ方式

を使用した。この方式では、入力電流を入力電圧の位相に合わせると同時に、入力電圧を昇圧し中間リンク電圧が一定となるような力率1制御を実現できる。中間リンク電圧が高くなることから、後段の変換器には高耐圧素子を使用しなければならない点は同じとしてもスイッチング速度が高い小電流素子が適用できる。



(a) 素子飽和電圧



(b) スwitching損失

■ 図5 Si-IGBTとSiC-MOSFETの素子特性比較  
Fig.5 Characteristic comparison between Si-IGBT and SiC-MOSFET

■ 表3 SiCパワーデバイスの構成比較

Table3 Comparison of configuration and characteristics of SiC power devices

構成の名称	IGBT	ハイブリッドSiC	フルSiC(オールSiC)	
回路記号				
スイッチング素子 (SW)	Si-IGBT	Si-IGBT	SiC-MOSFET	SiC-MOSFET
還流ダイオード (FWD)	Si-PND	SiC-SBD	SiC-SBD	SiC-PND (Body diode)
ターンオン損失	×	△	○	○
ターンオフ損失	×	×	○	○
リカバリ損失	×	○	○	○

### 3.3 中間リンク電圧安定化による後段変換器の最適化

従来APUのダイオード整流器では、架線電圧変動を吸収できず中間リンク電圧が変動する。同一負荷容量の場合、入力電圧が高い場合には電流は小さくなるが、中間リンク電圧も高くなることから、後段変換器(高周波インバータと正弦波インバータ)に高耐圧素子を使用しなければならない。一方、入力電圧が低い場合には、中間リンク電圧が低くなり、低耐圧素子が適用できるが、その分電流が大きくなるため、後段変換器には大電流容量の素子が必要となる。よって、どちらの条件にも対応するには、高耐圧かつ大電流(1700 V 600 A)素子の使用が必須となっていた。大電流素子は一般にスイッチング速度が遅いため、高周波化に伴いスイッチング損失が増大し、小型・軽量化に限界があった。そこで、本APUでは入力整流回路にPWMコンバータを適用し、入力電圧を昇圧することで中間リンク電圧を一定に保つようにした。大電流に対応する必要をなくしたことで、小電流容量の素子(1700 V 300 A)の適用が可能となった。

図5に従来APUで使用していたSi-IGBTと、本APUで使用したSiC-MOSFETにおける、飽和電圧とスイッチング損失の比較を示す。この図において、縦軸はSi-IGBTの定格電流での値を1として正規化し示している。このうち、素子電流は従来APUで使用する領域は400 A程度までであるのに対し、

本APUで使用するのは200 A程度までの領域となる。

導通損失の要因となる素子飽和電圧に着目すると、FETにはビルトイン電圧がないため、100 Aを境に小電流領域ではSiC-MOSFETの電圧降下が小さく、大電流領域ではSi-IGBTの電圧降下が小さい特性となっている。特に、補助電源装置では、定格負荷で連続運転することは少なく、軽負荷での動作も多いため、小電流領域での損失低減が有効であるうえ、常用するすべての領域において装置効率の改善が期待できる。また、スイッチング損失については、素子電流が100 Aの点で1/12となるなど、すべての領域で大幅に低減できる。

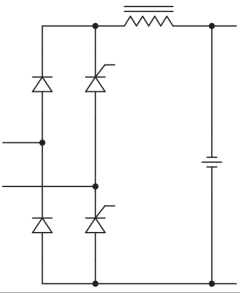
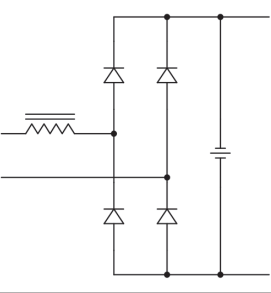
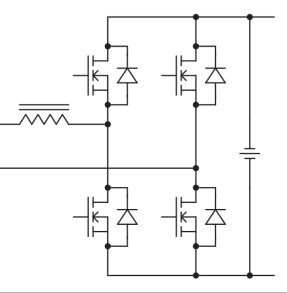
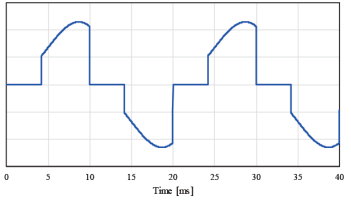
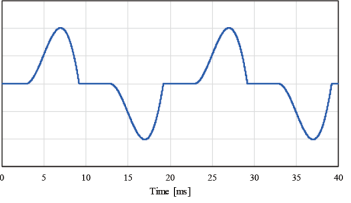
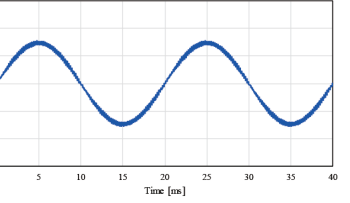
さらに、高周波整流器にもSiファストリカバリダイオード(Si-FRD)の代わりにSiC-SBDを使用することにより、リカバリ損失の大幅な低減を図っている。

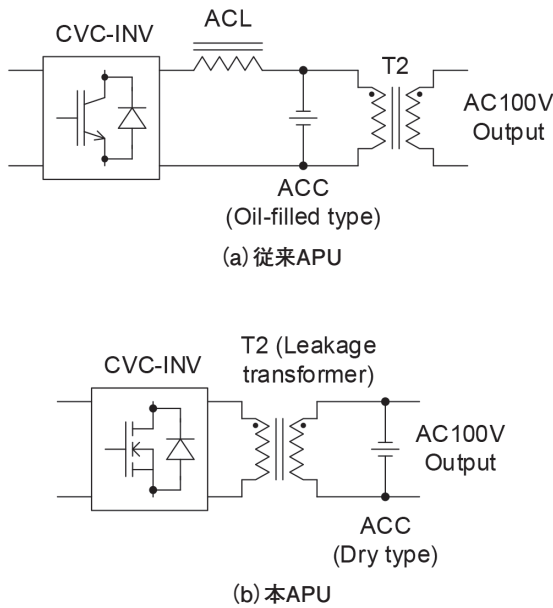
### 3.4 リーケージトランスと乾式フィルムコンデンサの適用による小型・軽量化

図6に従来APUと本APUにおける交流100 V出力の回路構成を示す。従来APUでは、正弦波インバータ交流100 Vの出力回路として、交流フィルタリアクトル(ACL)と交流フィルタコンデンサ(ACC)からなるフィルタ回路と、入出力間の電氣的絶縁を図る出力トランス(T2)で構成していた。

■ 表4 入力整流回路の比較

Table4 Comparison of input rectifier circuit

構成の名称	サイリスタ整流器	ダイオード整流器	PWMコンバータ
回路構成			
入力電流波形			
スイッチング周波数	50Hz	—	数kHz
力率	0.67	0.77	1
電流歪率	40%	52%	4%
トポロジー	降圧型	—	昇圧型
出力電圧	一定(架線電圧の最低値)	変動	一定(架線電圧の最高値)



■ 図6 交流100V出力回路の構成  
Fig.6 Circuit configuration of AC100V output (constant voltage)

一方、本APUでは、出力トランスにリーケージトランスを採用し、ACLの機能を出力トランスの漏れインダクタンスに持たせることでACLを省略した。また、ACCには小型・軽量化および長寿命化が期待できる、乾式フィルムコンデンサを使用した。

従来APUではACCをトランス一次側に設置しなければならず、コンデンサに高電圧が印加されるため、オイルコンデンサの使用が必須となっていた。オイルコンデンサは絶縁油で満たした金属ケースにコンデンサエレメントを取めたものであり、質量・容積ともに小型化のネックとなるほか、油漏れなどの問題もある。

そこで、樹脂モールドによる乾式フィルムコンデンサを高電圧回路に適用する解決策として、コンデンサに印加される電圧が低減できるよう、トランスをリーケージトランスとし、ACCをトランスの二次側に設置した。

さらに、正弦波インバータのスイッチング周波数を従来

APUの約3倍とすることで、フィルタ回路全体の小型・軽量化と磁歪音の低減も図っている。

また、従来APUでは、中間リンクコンデンサにもオイルコンデンサを使用していたが、前述のとおり、質量・容積ともに大きいうえ、設置方向に制約があったため、パワーユニットの外部に設置せざるを得なかった。

一方、本APUにおけるSiCパワーデバイスの適用によるスイッチング速度の高速化は、スイッチングに伴うサージ電圧の低減が必須であり、中間リンクコンデンサから各パワーモジュールへの配線インダクタンスを極力小さくしなければならない。

この問題に対し、中間リンクコンデンサに乾式フィルムコンデンサを使用することで、小型・軽量化が図れるとともに設置方向の自由度が生まれ、パワーユニット内に内蔵することが可能となった。また、中間リンクコンデンサを三分割し、入力コンバータ・高周波インバータ・正弦波インバータそれぞれのパワーモジュールの直近に置くことで、配線インダクタンスの低減を図った。

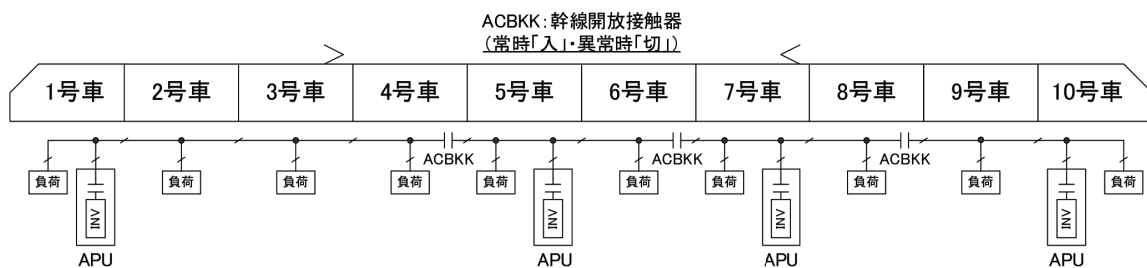
また、交流100 V出力については、パンタグラフの離線などにより入力コンバータが停止し、電力供給が途絶えても出力を継続しなければならない期間（離線補償期間）が必要となる。この期間において、正弦波インバータは中間リンクコンデンサに蓄えられているエネルギーにより出力を継続する。

同一のエネルギーを蓄積する場合、コンデンサに充電する電圧が高ければ、必要な静電容量は小さく済む。本APUでは正常動作時において、入力コンバータにより中間リンク電圧を一定に保っていることから、従来APUに比べ中間リンク電圧が高いため、必要な静電容量は従来APUの3/4で済み、これもコンデンサの小型・軽量化に貢献している。

#### 4. 本APUでの改善点(車両システム全体)

##### 4.1 単相交流100V出力の並列同期運転

E956形では、新幹線電車では初となる単相交流100 V(安定出力)の並列同期運転を実現した。編成におけるAPUの搭載位置と、交流100 V(安定出力)幹線接続を図7に示す。



■ 図7 単相交流100V幹線接続図  
Fig.7 Connection diagram of AC100V (constant voltage) main line in E956 shinkansen train

APUは編成中に1・5・7・10号車の4台搭載され、各APUの交流100 V出力(安定出力)を並列接続している。

E5系では、編成内に4つの給電区分があり、各区分に1台のAPUが配置されていた。そのため、故障発生時は電源誘導の処置が必要であった。一方E956形では、並列同期運転により、APUが1台停止しても負荷制限処置なく編成全体への電力供給が継続でき、故障時の高い冗長性を有している。なお、本APUは、編成4台のAPUのうち1台が故障しても、残りの健全な3台で編成の全負荷を供給できる出力電力容量となっている。

また、単相幹線に地絡等の異常があった場合には、APUからの指令により、列車情報管理装置(S-INTEROS)が編成中3箇所に設けられた単相幹線開放接触器(ACBKK)を自動開放し、異常側の単相幹線を切り離せるシステムとしている。

さらに、編成全体の負荷使用量が少ない時に、一部のAPUを停止させる「軽負荷時一部運転休止制御」を行うことで、省エネルギー化を図っている。

4.2 列車情報管理装置(S-INTEROS)による状態監視

E956形では、列車情報管理装置としてS-INTEROSを搭載し、本APUとイーサネット伝送を介した情報の送受信を行っている。通信に関する仕様を表5に示す。

制御1系・制御2系では故障情報や機器の状態情報などを、状態監視系では各部電圧・電流・温度や機器の動作情報などを、それぞれ本APUからS-INTEROSに対して送信している。状態監視系の伝送情報は、状態基準保全(CBM: Condition Based Maintenance)によるメンテナンス手法の実現のために活用される。

5. 本APUの製作・試験結果

5.1 半導体電力損失と装置効率・入力力率

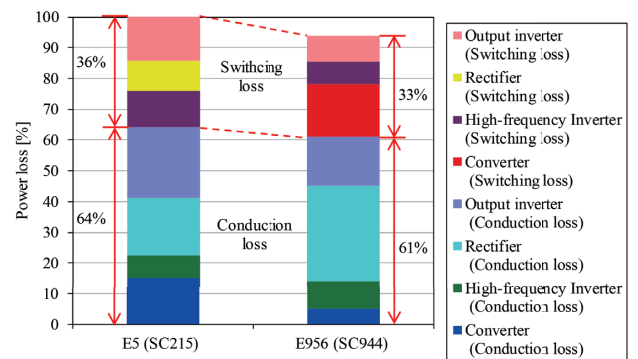
図8に、定格電圧・定格負荷時の半導体電力損失の従来APUに対する本APUの比較を示す。以下のような損失増大要因があるにもかかわらず、SiCパワーデバイスの低損失特性と後段変換器の最適化により約6%の損失低減を実現した。

- ・入力回路のPWMコンバータ化
- ・高周波インバータ・正弦波インバータの高周波化
- ・DC100 V出力の33%容量増

APU装置全体として、定格入力電圧・定格出力負荷の条件における実測で、従来APUの89.1%に対し、本APUでは92.5%となり、3.4%の効率向上が確認できた。また、入力部の力率については、78.0%から97.6%となり、19.4%の向上が図れた。

■ 表5 列車情報管理装置(S-INTEROS)との通信仕様  
Table5 Communication specifications with S-INTEROS

名称		仕様
伝送インターフェース		DHCP準拠 Ethernet 100BASE-TX ポイントツーポイント接続 全二重固定 通信ポート3系統 (制御1系・制御2系・状態監視系)
伝送機能	制御1系 制御2系	状態情報・故障情報・アナログデータ 車上試験・時刻・トレース付帯情報
	状態監視系	機器動作時間・機器動作回数・機器動作状況 地上リモートローディング機能による ソフトウェア書き込み



■ 図8 半導体電力損失の比較  
Fig.8 Comparison power loss in semiconductor power device



■ 図9 パワーユニット(インバータユニット)と高周波トランス  
Fig.9 Power unit (Inverter unit) and High-frequency transformer

■ 表6 従来APUに対する各要素の質量・容積比較  
Table6 Comparison of mass and volume of each element with respect to conventional APU

要素	容積 [%]	質量 [%]
装置全体	97.7	97.5
高周波トランス	76.3	58.1
AC100V 出力回路	66.7	75.7
RF1ユニット	93.2	67.5
INVユニット	76.1	61.4
RF2ユニット	100.0	80.6

※E5系APU(SC215)を100%とした比率で示している。

5.2 装置容積・質量

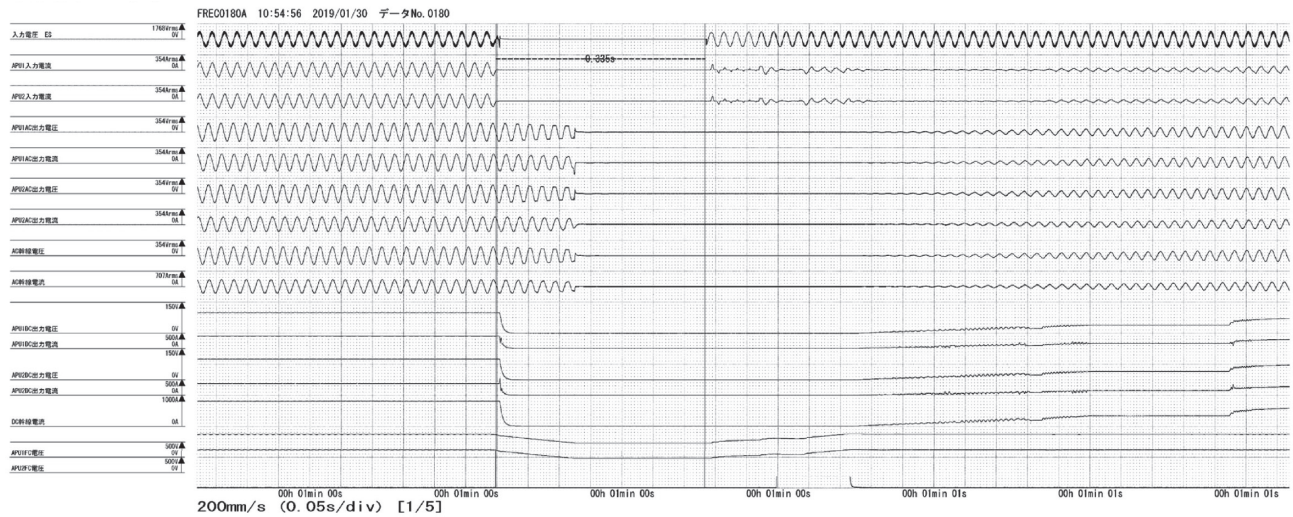
本APUの従来APUに対する各部の質量・容積の比較を表6に示す。装置全体では、2.5%の軽量化と2.4%の小型化を実現した。パワー密度では、表1に示すとおり、質量ベース・容積ベースともに11%の改善を図った。

また、リアクトル・コンデンサ類やパワーユニットについても、3章で説明した各項目の効果により小型・軽量化が図れた。特に、図9に示すパワーユニット（インバータユニット）について、単体では従来同等の容積でフィルタコンデンサを内蔵できており、合計で24%の小型化と39%の軽量化を実現した。高周波トランスに関しても、印加電圧の周波数を約3.4倍とすることで、出力負荷容量が33%増加したにもかかわらず、42%の軽量化と24%の小型化を実現した。

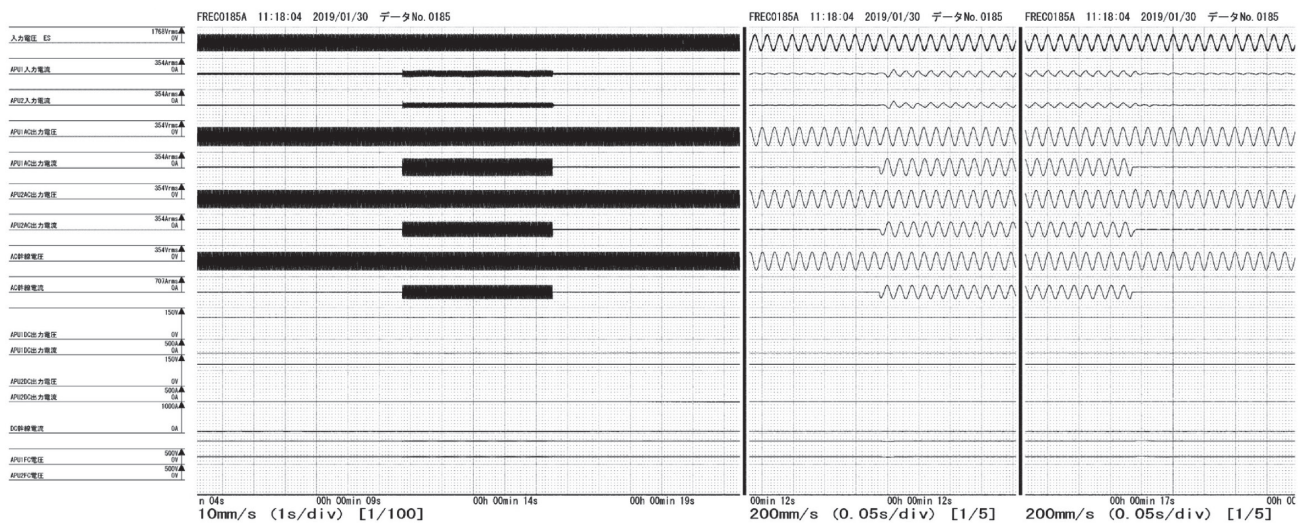
5.3 社内試験結果

まず、図10に「並列電力中断・再加圧試験」の各部電圧・電流波形チャートを示す。この試験は、異相区分切替セクション通過を模擬したもので、2台のAPUが並列運転を行っている状態で入力電圧の供給を300ms中断し、再度入力電圧を印加するものである。

車両がセクションに進入し、入力電圧の喪失を検知すると、入力コンバータと高周波インバータは瞬時に動作を停止する。一方、正弦波インバータは中間リンクコンデンサに蓄えられたエネルギーで動作を継続するが、入力コンバータが動作していないため中間リンク電圧は低下していく。その後、離線補償時間(数10ms)程度出力を維持し、中間リンク電圧が規定値以下となった時点で停止する。



■ 図10 並列電力中断・再加圧試験チャート(中断時間300ms)  
 Fig.10 Waveform chart of parallel power interruption / repressurization test (interruption time 300ms)



■ 図11 並列瞬時負荷変動試験チャート  
 Fig.11 Waveform chart of Parallel instantaneous load fluctuation test



次に、セクションを通過し入力電圧の復帰を検知すると、入力コンバータが再起動し中間リンク電圧を規定値まで昇圧する。加えて、高周波インバータ・正弦波インバータが2台同時に起動(同期併入)する。

以上の動作期間中において、入力コンバータの入力電圧・電流は同位相となっており、力率が1となっていることと、直流100 V・交流100 Vの各出力ともに、再起動後においても負荷分担のアンバランスが発生していないことを確認できる。

次に、図11に「並列瞬時負荷変動試験」の各部電圧・電流波形チャートを示す。この試験は、2台のAPUを並列運転している状態において、交流100 Vの負荷を無負荷(0 kVA)から一定の負荷容量に、その後再度無負荷へとそれぞれ瞬時で変動させたものである。図の左側に測定期間全体を、右側に負荷投入時・負荷遮断時における拡大波形を示している。

負荷容量の瞬時変動に対しても、交流100 Vの出力電圧に有意な歪みなどは見られず、かつ2台のAPU間で負荷分担のアンバランスなどは発生せず、安定した出力が得られていることを確認した。

これらの社内試験に加え、現車搭載における誘導障害試験や並列運転試験、360 km/hを超える領域を含む走行試験においても問題は発生せず、本APUが良好に動作していることを確認している。

## 6. 結論

本稿では、E956形APUについて、E5系APUに対する改善点を中心に、各項目の詳細とその効果を報告した。

- E956形APUにおける新技術として、装置単体においては
- ・フルSiCパワーデバイスの適用による高周波化と低損失化(営業線を走行する車両として当社初)
  - ・入力整流回路へのPWMコンバータの適用による入力率改善
  - ・中間リンク電圧の安定化による高周波インバータと正弦波インバータの最適化
  - ・リーケージトランスと乾式フィルムコンデンサの適用による小型・軽量化

車両システム全体としては、

- ・単相交流100 V出力の並列同期運転
- ・列車情報管理装置(S-INTEROS)による状態監視

をそれぞれ実現した。

これらの項目を適用した結果、小型・軽量化の面では、従来APUと比べ、直流100 V負荷の定格容量が33 %増加したにもかかわらず、体積比2.4 %の小型化、装置質量比2.5 %の軽量化を実現し、パワー密度が11 %向上した。

また、定格入力電圧・定格出力負荷の条件で実測した結果、装置効率は3.4 %の向上、入力部の力率は19.4 %の向上とそれぞれ大幅に改善できた。

本APUを搭載したE956形式新幹線高速試験電車(新幹線専用車)「ALFA-X」は2019年5月に東北新幹線で試験を開始して以来、2020年2月には北海道新幹線での走行試験を行うなど、継続して試験走行を行っており、引き続き現車搭載状態でAPUの性能を確認している。

今後も、高速化や車両制御の高度化、旅客サービス向上などの要求に対して、さらなる小型・軽量化、信頼性と冗長性の向上を図った補助電源システムを提供していくことで、新幹線の発展と輸送ネットワークの高度化に貢献していく。

最後に、本APUの開発・製作にあたり、多大なご指導・ご協力を賜った東日本旅客鉄道株式会社をはじめ、関係各位に厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] 高橋建一郎：「車両用補助電源装置」, 東洋電機技報第88号, 1994年2月, pp.10-16
- [2] 高橋建一郎・上野出：「新幹線用補助電源装置」, 東洋電機技報第102号, 1998年11月, pp.14-18
- [3] 「東日本旅客鉄道株式会社E5系新幹線電車(量産車)用電機品」, 東洋電機技報第123号, 2011年3月, pp.37-38
- [4] 白木直樹, 佐藤真哉, 小籠亮太郎, 長崎悠平：「E956形新幹線試験電車用補助電源装置」, 第56回鉄道サイバネ・シンポジウム, 2019年11月, 論文番号526

## 執筆者略歴



長崎 悠平

2016年入社。  
交通事業部交通工場設計部に所属し、  
主に鉄道車両用補助電源装置の開発設  
計に従事。



小籠 亮太郎

2009年入社。  
交通事業部交通技術統括部交通技術部  
に所属し、主に鉄道車両用電機品の技  
術提案に従事。



中村 将之

2010年入社。  
交通事業部開発部に所属し、主に鉄道  
用電力変換装置の研究開発に従事。  
電気学会会員。



森 雄生

2013年入社。  
交通事業部交通工場設計部に所属し、  
主に鉄道車両用補助電源装置の開発設  
計に従事。  
博士(工学)。電気学会会員。IEEE  
Member。