

# 鉄道変電所向け新型コンパクトシリコン整流器

## New Compact Silicon Rectifier for Railway Substations

石口 翔太 ISHIGUCHI Shota    今野 純也 KONNO Junya

鉄道変電所において、電気に直流(DC)電力を供給するため、ヒートパイプ自冷式シリコン整流器が広く使われている。経年による機器更新の場合、変電所屋内の設置スペースの制約などで更新が困難なケースが生じていた。

そこで東芝グループは、小型・軽量化を図った屋内用コンパクトシリコン整流器を開発し、初号機を阪急電鉄(株)大山崎変電所に納入した。設置スペースの制約から更新が困難な屋内変電所であったが、従来製品に比べ約40%小型・軽量化したコンパクトシリコン整流器の採用で、今後更新が予定されるほかの変電機器の設置スペースを確保した上での更新が可能になった。

Heat-pipe type self-cooling silicon rectifiers have been widely used in electric railway systems as key equipment for DC feeding substations. In the renewal of these silicon rectifiers due to aging, it has become increasingly difficult in recent years to ensure adequate space for replacement under congested conditions caused by other equipment installed inside the substation.

To resolve this issue, the Toshiba Group has developed a new compact heat-pipe type self-cooling silicon rectifier featuring small size and light weight for indoor use and installed the first product at the Oyamazaki Substation of Hankyu Corporation. This compact silicon rectifier, which achieves reductions in both volume and mass of about 40% compared with our conventional products, makes it possible not only to implement the renewal of aging rectifiers that have been considered difficult to replace due to the lack of space, but also to secure the space to install other equipment that will be renewed in the future.

### 1. まえがき

電気鉄道用直流変電所は、電気にDC電力を供給するための変電所であり、交流(AC)電力をDC電力に変換するシリコン整流器は、直流変電所の中核機器として重要な機器である。従来のシリコン整流器の冷却方式は、油冷式や沸騰冷却式が主流であったが、現在はヒートパイプ自冷式が主流になっている。

東芝グループは、このヒートパイプ自冷式を採用しており、多数の鉄道事業者へ納入実績がある。今回、ヒートパイプ自冷式を踏襲した上で小型・軽量化、並びに安全性に重点を置いた次世代シリコン整流器として、コンパクトシリコン整流器を開発した。ここでは、その概要と適用事例について述べる。

### 2. コンパクトシリコン整流器の概要

#### 2.1 ヒートパイプ自冷式シリコン整流器の原理と特長

ヒートパイプ自冷式シリコン整流器の冷却方式は、負荷電流通電時に整流素子に発生する熱をヒートパイプによって冷却する方式である。その冷却原理を図1に示す。整流素子から吸収した熱エネルギーによりヒートパイプの加熱部が

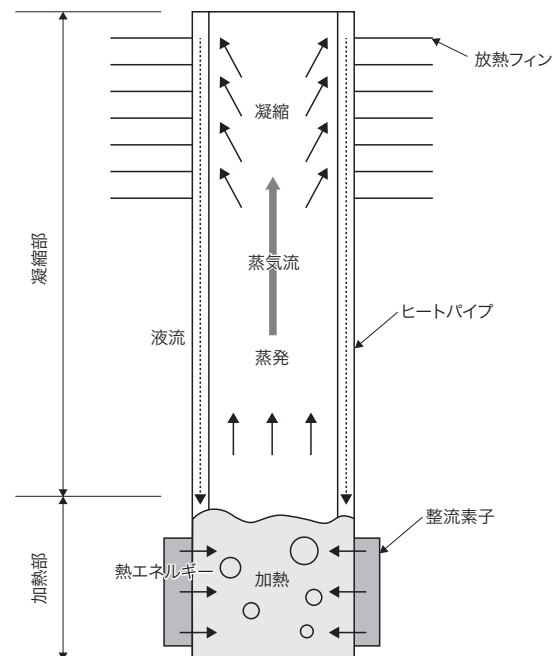


図1. ヒートパイプ自冷式シリコン整流器の冷却原理

通電により高温となった整流素子を冷却するために、ヒートパイプ内にある冷媒(純水)が加熱部で整流素子から熱エネルギーを吸収して加熱され、蒸発する。蒸気流となって上昇した冷媒は、凝縮部で放熱フィンによって冷却、凝縮されて液流となり、再び加熱部に戻る。

Cooling mechanism of heat-pipe type self-cooling silicon rectifier

加熱されると、その熱エネルギーがヒートパイプ内の冷媒を蒸発させる。上昇した蒸気流は、放熱フィンで冷却・凝縮され、液流になって加熱部に戻る。この冷媒には純水を用いており、環境に配慮した機器となっている。

### 2.2 ヒートパイプ自冷式シリコン整流器の問題点

東芝グループのヒートパイプ自冷式シリコン整流器は、整流素子が露出したシンプルでメンテナンス性の高い構造である。しかし、機器更新を控えている変電所においては、現状寸法のまま今後の更新スペースを確保することが難しいケースがあった。こうした問題に対応できるように小型・軽量化の製品開発が急務であった。

### 2.3 コンパクトシリコン整流器の特長

2.2節で述べた背景から、従来よりコンパクトなシリコン整流器の開発に着手することになった。開発にあたり、小型・軽量化だけでなく、安全性の向上、標準化による仕様検討期間の短縮といった点についても考慮した。

#### 2.3.1 小型・軽量化

現在の整流方式は、高調波電流の電力系統への流出量低減のため、30°の位相差を持つ2組の6パルス整流器を組み合わせた並列12パルスの回路構成が主流となっている。また、近年の整流素子の性能向上により、最小素子構成で6,000 kWまでの出力が可能となっているため、従来のシリコン整流器は、これに準じた構造設計となっている。

一方で、これまでの納入実績から今後の更新需要を精査したところ、4,000 kWまでの容量帯の需要が多いことが判明した。このことから、小型・軽量化のターゲット容量を4,000 kWに設定した。ヒートパイプと換気性能の最適化によって、図2の外観写真に見られるように、従来製品に対して、体積を40%に縮小し、質量を40%に軽量化すること



図2. 従来製品(左)とコンパクトシリコン整流器(右)の外観比較

ヒートパイプと換気性能の最適化により、従来製品に対して、体積を40%に縮小し、質量を40%に軽量化することができた。

Comparison of size of conventional and compact silicon rectifiers

ができた。表1に、従来製品とコンパクトシリコン整流器の外形・質量を比較して示す。

#### 2.3.2 安全性の向上

近年、鉄道事業者の安全性に対する意識が高まっており、コンパクトシリコン整流器についても、図3に示すように、安全性の向上に着目した。

- (1) 電磁ロック機構内蔵ハンドルの採用 点検作業時の感電防止を強化するため、扉に電磁ロック機構内蔵ハンドルを採用した。これによりシリコン整流器運転中の開扉を制限し、感電リスクを低減した。

表1. 従来製品とコンパクトシリコン整流器の外形寸法と質量の比較

Comparison of external dimensions and mass of conventional and compact silicon rectifiers

	従来製品	コンパクトシリコン整流器
幅 (mm)	2,200	1,400
奥行き (mm)	2,000	1,550
高さ (mm)	2,400	2,000
質量 (kg)	3,000	1,850

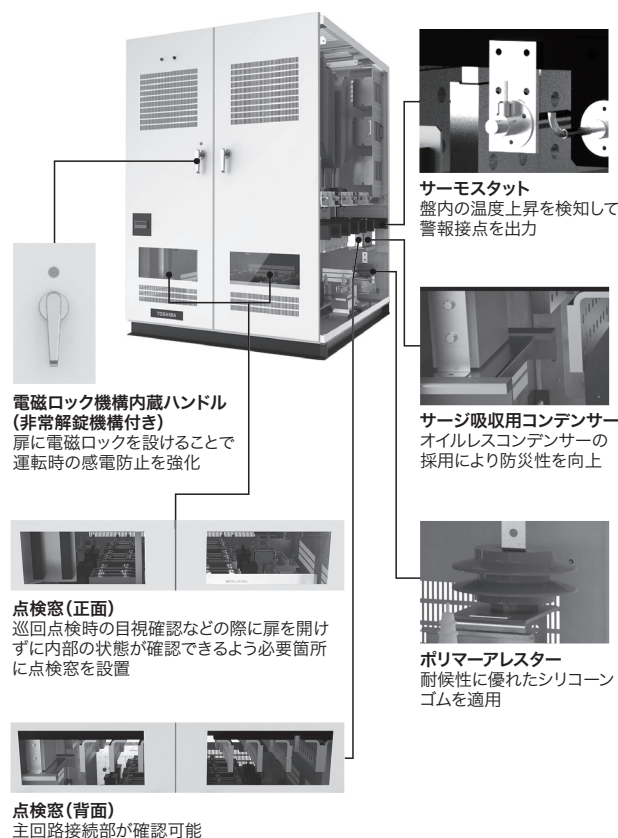


図3. コンパクトシリコン整流器の安全性設計

近年、鉄道事業者の安全性に対する意識が高まっており、コンパクトシリコン整流器についても、安全性の向上に着目した様々な設計を行っている。

Safety design of compact silicon rectifier

表2. 標準仕様とオプション仕様の一覧

List of standard and optional specifications of compact silicon rectifier

仕様項目	標準	オプション
準拠規格	JEC-2410	-
設置場所	屋内	-
周囲温度	-5 ~ +40 °C	-
保護等級	IP2X	IP21 相当
DC 側定格電圧	DC1,500 V	-
定格出力	~ 4,000 kW	-
過負荷定格	クラスD (100%連続, 150% 2時間, 300%1分)	-
絶縁耐力	主回路-対地: 5,500 V-1 分間 制御回路: 1,500 V-1 分間	-
インパルス耐電圧	波高値: 20 kV 波形: 1.2 x 50 μs	-
効率	98% 以上	-
温度上昇限度	65 K (JEM 準拠)	-
冷却方式	縦型純水ヒートパイプ(非絶縁)	-
主回路構成	並列 12パルス	-
主回路取り合い	下部ケーブル取り合い	上部ケーブル取り合い 上部・下部混在ケーブル取り合い
主回路ケーブル条数	AC側: 最大3条/相 (C4圧縮端子) DC側: 最大8条/極 (C4圧縮端子)	-
直流アレスター	実装(ポリマータイプ)	-
放電抵抗(正負極間)	実装	-
温度モニター方法	サーモスタット (温度表示なし, 警報接点のみ)	サーモスタット+温度表示器 (4~20 mA外部出力用)
運転表示灯	LED表示灯(赤, 緑)	マクリット表示灯(赤, 緑)
所内変圧器接続用端子	なし	AC側端子からの分岐接続
移行サージ抑制用コンデンサー・抵抗	なし	実装
計器用変成器(保護継電器用)	なし	実装
素子チェックパネル	なし	実装
防滴屋根	なし	実装

JEC: 電気学会 電気規格調査会標準規格  
JEM: 日本電機工業会規格 LED: 発光ダイオード

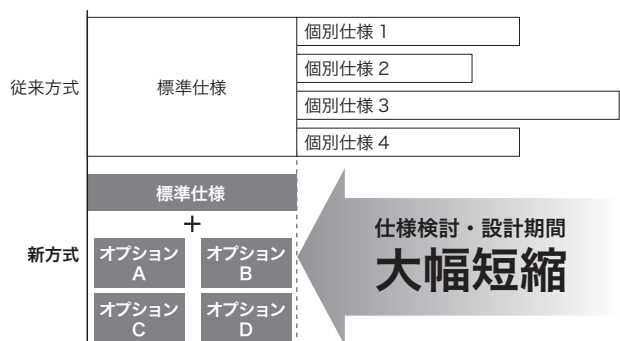


図4. 仕様検討期間の短縮

標準仕様とオプション仕様とに分け、必要なオプションを選択する新方式に変更することで、図面提出に要する期間が従来方式と比べて大幅に短縮できた。

Shortening of period for investigating product specifications

(2) 点検窓の設置 シリコン整流器運転時でも開扉せずに内部の状態を目視確認できるよう正背面の必要箇所に点検窓を設置した。

(3) サージ吸収用コンデンサーのオイルレス化 サージ吸収用コンデンサーをオイルレス化することで油漏れや発火リスクを低減し、防災性を向上させた。

### 2.3.3 標準化による仕様検討期間の短縮

従来のシリコン整流器は、事業者ごとに要求仕様や要望が異なるため、都度対応の可否について検討を行っていた。そのため、図面の提出に時間を要するという問題があった。そこで、標準仕様とすべきものとオプション仕様とすべきものを表2のように明確に分け、図4に示すように、必要なオプションを選択する新方式に変更することで仕様検討期間の短縮が可能になり、事業者に対して従来と比べて早期に図面を提出することが可能になった。

## 3. コンパクトシリコン整流器の初号機納入

今回開発したコンパクトシリコン整流器の初号機が阪急電鉄(株)の大山崎変電所(京都本線)に採用された。

大山崎変電所は屋内変電所であり、住宅街に囲まれた位置に立地している。そのため、変電所建屋内の設置スペースに制限があり、機器更新内容の検討が課題となっていた。更新前の機器配置を図5(a)に示す。

当該変電所は整流器設備が2バンクあり、常用・予備として運用されていることから、1バンクを停止し、更新することは可能であった。しかしながら、従来のシリコン整流器を用いた更新では、今後整流器設備以外の変電設備を更新するためのスペースが確保できなかった。そこで、今回開発したコンパクトシリコン整流器を用いて更新の検討を行ったところ、図5(b)に示す更新後の機器配置のように整流器設備以外の更新スペースを確保することが可能となり、採用に至った。

## 4. 今後の展望

今回開発したコンパクトシリコン整流器は、DC1,500 V 屋内形の製品となっている。今後、屋外変電所に対応した屋外形の製品や、DC1,500 V 以下のDC600 V/750 V に対応した製品を開発・ラインアップしていく予定である。

## 5. あとがき

今回開発したコンパクトシリコン整流器は、設置スペースに制約のある変電所における潜在的な更新需要への対応に適した製品である。また、安全性や仕様検討期間の短縮にも配慮しており、より事業者目線に沿った付加価値の高い

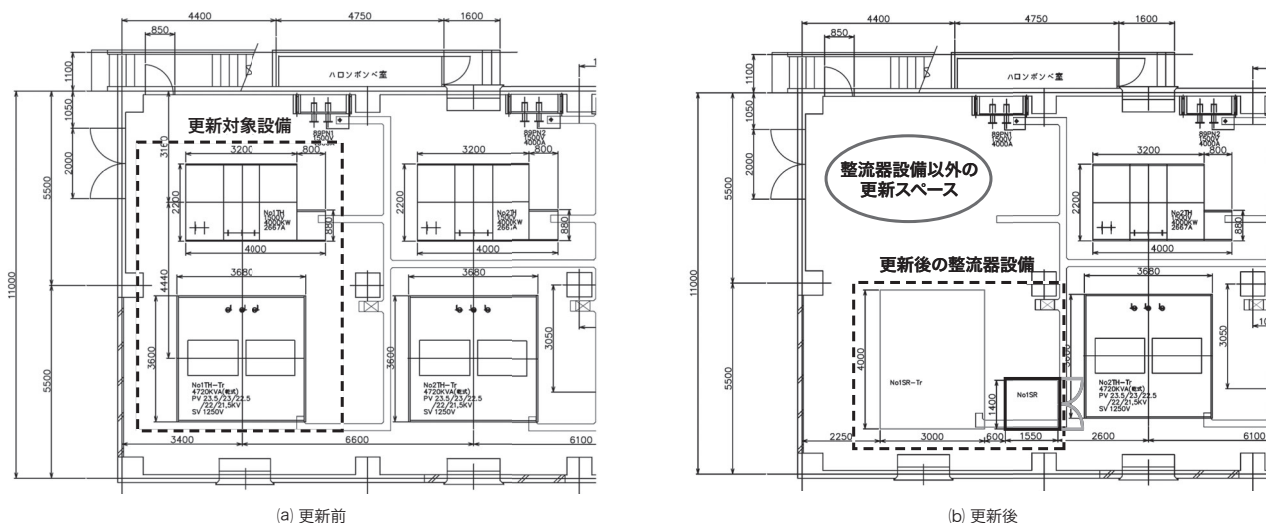


図5. 更新前後の大山崎変電所の機器配置

更新前の機器配置には今後のほかの変電機器のための更新スペースがないが、コンパクトシリコン整流器を設置したことで更新スペースが確保できた。

Equipment layout in Oyamazaki Substation before and after renewal of aging rectifier

製品となっている。今後、屋外形やDC600 V/750 V仕様のコンパクトシリコン整流器をラインアップに加えることで更なる更新需要に貢献していく。



石口 翔太 ISHIGUCHI Shota  
東芝インフラシステムズ (株)  
鉄道システム事業部 鉄道システム技術部  
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



今野 純也 KONNO Junya  
東芝三菱電機産業システム (株)  
パワーエレクトロニクスシステム事業部 パワーエレクトロニクス部  
Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Systems Corp.