

# 高圧配電線用 A<sup>2</sup>-STATCOM の開発

Development of Aichi Advanced – Static Synchronous Compensator for high voltage distribution line

五藤 和志※  
Kazushi Goto  
吉野 真※  
Makoto Yoshino  
岡庭 雅幸※  
Masayuki Okaniwa  
廣瀬 和雅※  
Kazumasa Hirose  
辻本 賢次※  
Kenji Tsujimoto

## 1. はじめに

近年、新エネルギーを利用する分散型電源が大量に配電系統に接続されている。これら分散型電源を代表する太陽光発電や風力発電は、日射や風速に左右されるため、連系点周辺の配電線の電圧を短時間かつ頻繁に変動させる。また、分散型電源に用いられる一部のパワーコンディショナは単独運転を検出するための能動的検出機能(無効電力の注入)により、周期的かつ高速な電圧変動を引き起こす可能性がある。そのため、これらの分散型電源の普及がさらに進んだ場合には、配電系統の電力品質の低下が懸念される。

当社は、この配電線の電圧変動を抑制する高圧配電線用 STATCOM(以下、STATCOM)の研究開発に取り組み、2016年に製品化した。STATCOMは、自励式 SVC (Static Var Compensator)ともよばれ、インバータによって無効電力を連続的かつ高速に制御し、無効電力によって配電線の電圧を調整する装置である。販売開始後、複数の電力会社の配電線にて実運用されており、お客さまから高い評価を受けている。

今回、STATCOMの更なる性能向上とお客さまのニーズに合わせた高圧配電線用 A<sup>2</sup>-STATCOM(以下、A<sup>2</sup>-STATCOM:登録商標)を開発したため、紹介する。

## 2. STATCOMの特長

STATCOMの特長は、SVR(Step Voltage Regulator)のようなタップ切換回数に制限のある機械接点による調整ではなく、機械的磨耗のない半導体による調整であるため、メンテナンス周期を長くすることができる。また、高速スイッチング動作が可能な半導体(IGBT等)でインバータを構成するため、TVR(Thyristor-type Step Voltage Regulator)よりも早い応答が可能である。さらに、SVRやTVRのようなタップ切換えによる段階的な電圧調整ではなく、無効電力調整による無段階の電圧調整が可能である。

## 3. 従来型 STATCOMの特長と課題

従来型 STATCOMは、高圧配電線用に特化した定格容量 300 kVA の製品である。特長として、半導体のスイッチング周波数を高めることで応答時間を高速化し、さらに制御方式に最新のロバスト制御、アイデア制御とフェーザ制御を組み合わせることで配電線の電圧変動に対し高速(応答時間 30

ms以下、6 Hzの電圧変動(フリッカ)を1/3以下)に応答できる。また、インバータの冷却方式は長寿命ファンを採用した強制風冷とすることで、メンテナンス周期 15年としている。定格容量(300 kVA)で調整容量が不足する場合は3台まで並列接続し、900 kVAまで増加させることができる。

しかし、単機容量 75 kVA のインバータを4並列構成としていることから回路が複雑化しており、さらにインバータ1機あたりの体積、質量が大きい他他の柱上配電線用電圧調整装置と比較し、大型となっている。このため、装置の小型化が課題となっていた。回路構成を図1に示す。

さらに、塩害地区への設置には対応していないなど市場ニーズに十分に答えていなかった。

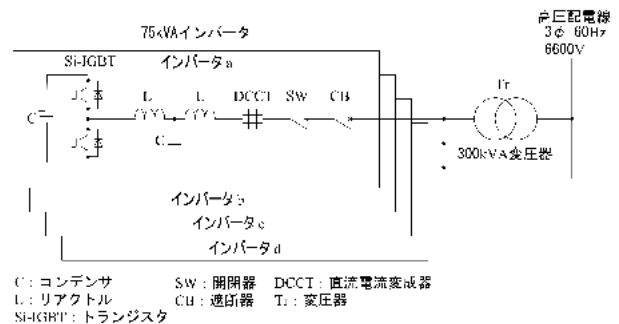


図1 従来型 STATCOM の回路構成

## 4. A<sup>2</sup>-STATCOMの仕様・構成

A<sup>2</sup>-STATCOMは従来型 STATCOMの課題を解決するとともに、性能向上を図った。

### 4.1 定格・仕様

A<sup>2</sup>-STATCOMの定格・仕様を表1、外観を図2に示す。従来型 STATCOMと同様に、補償容量増加のニーズに対し、A<sup>2</sup>-STATCOMを並列接続(最大3台)することで容量を増加させる並列運転機能を搭載した。これにより変電所から STATCOM 設置点までの距離が短く、線路インダクタンスが小さい配電線においても十分な電圧調整が可能となる。また、寸法・質量を他の柱上電圧調整装置と同等するため、従来型 STATCOMより設置面積と質量を約 10% 削減した。これは、当社 TVR(3MVA)相当であり、同製品では国内最小クラスとなる。

※ 電力事業部 電力システム部 パワエレグループ

インバータの冷却方式は、従来通り安価に構成が可能な冷却ファンとヒートシンクを用いた強制風冷としながら、塩害地区への設置を可能とし、市場ニーズへ対応した。

表1 A<sup>2</sup>-STATCOMの定格・仕様

項目	定格・仕様
定格電圧	6600 V
定格容量	300 kVA
無効電力発生量	± 300 kvar (並列運転機能(※1)により最大±900 kvar)
冷却方式	電力変換器：強制風冷 変圧器：油入自冷
制御方式 (※2)(※3)	無効電力一定制御：設定値 ± 300 kvar 電圧一定制御：設定値 6600 V ± 150 V フリッカ対策用制御
制御性能	無効電力一定制御：応答時間 20 ms 以内(30 ms 以内) 電圧一定制御：応答時間 20 ms 以内(30 ms 以内) フリッカ対策用制御：フリッカ電圧(6 Hz) 30 % 以下 (45 % 以下) ( )は従来型 STATCOM の性能
総合電流歪率	3 % 以下(定格出力時)
寸法・質量	1465 mm(W)2055 mm(H)1490 mm(D)   2750 kg
設置場所	屋外(※4)

(※1)オプション (※2)いずれかを選択 (※3)力率一定制御も可能 (※4)塩害地区への設置可能



図2 A<sup>2</sup>-STATCOMの外観

## 4.2 構成

A<sup>2</sup>-STATCOMの回路構成を図3に示す。

単機容量 150 kVA の低損失インバータを新規に開発し、2並列で構成した。

インバータは、SiC(炭化ケイ素)パワーモジュールを採用した。これにより、損失を低減させ、インバータ本体を小型化することで2並列構成を実現した。詳細については、5章で述べる。

並列数を従来の4並列から半減したことで部品点数を削減した。さらに、回路を簡素化したことで装置の組立工数、試験工数も削減でき、インバータの製作コストを従来品に対し約 15 % 削減した。

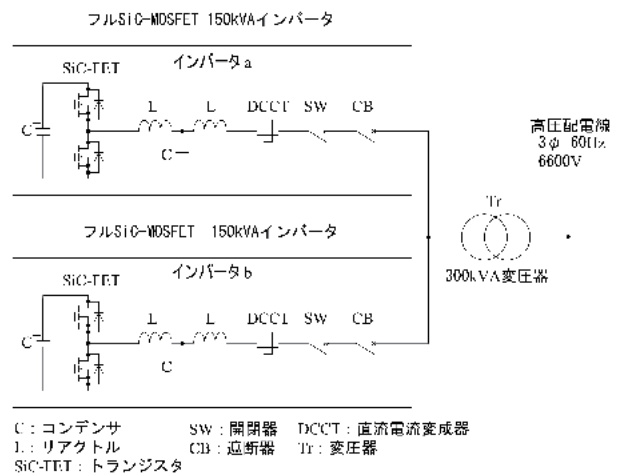


図3 A<sup>2</sup>-STATCOMの回路構成

## 5. 特長

### 5.1 小型・軽量・低損失インバータ

A<sup>2</sup>-STATCOMの製品化にあたり、小型・軽量・低損失インバータを新たに開発した。

装置の小型・軽量化をするためには、回路で消費する損失を削減し、冷却機構(ヒートシンク、冷却用ファン)を小型化する必要がある。STATCOMの主たる損失源はインバータであり、従来品は装置全体の損失の約70%を占めていた。そこで、A<sup>2</sup>-STATCOMでは以下の特長をもつ小型軽量インバータを搭載した。

#### (1) フルSiCモジュールインバータ

インバータなどのスイッチングに使用するパワーモジュールは、Si(シリコン)製のSi-IGBTモジュールが主流であった。しかし、Siは物性の限界に近づきつつあり、性能の大幅な向上が見込めないのが現状である。近年はSiの物性限界を超えるSiC(炭化ケイ素)やGaN(窒化ガリウム)などの絶縁破壊強度に優れたワイドギャップ半導体を用いたパワーモジュールの市販が開始されている。これらの半導体は、Si製に比べスイッチング損失を大幅に低減している。

そこで、A<sup>2</sup>-STATCOMでは、このワイドギャップ半導体であるフルSiCパワーモジュールをインバータに採用した。

これにより、モジュールの損失を従来品に対して50%削減し、ヒートシンクのサイズを半減した。

#### (2) 低損失リアクトル

インバータの出力フィルタに使用する高周波リアクトルも損失源の一つであり、低損失化する必要がある。前述のとおりSiCパワーモジュールの採用でスイッチング損失が減るため高周波領域での動作が可能となる一方、高周波の

電圧や電流に起因するリアクトルの損失(鉄損、銅損)が増加してしまう。開発品では、従来品で特に損失の割合が大きかった鉄損に着目し、コアを軟磁気特性の優れたナノ結晶軟磁性材料に変更することで低損失化を図った。また、インダクタンス調整のためにコアに設けたギャップからの漏れ磁束による電流損も課題であった。これに対してはギャップ配置と巻線構造を最適化することで損失を低減した。これらにより、リアクトルの損失は従来品に対して75%削減でき、冷却用ファンの小型化が可能となった。

開発したインバータ(150 kVA)と、従来品(75 kVA)との損失の比較結果を表2に示す。インバータの損失を60%削減し、冷却機構を簡素化したことで体積、質量ともに約30%削減したインバータを実現した。

表2 開発品インバータと従来品の比較

項目	従来品	開発品
出力容量	300 kVA	
インバータ単機容量	75 kVA	150 kVA
並列数	4	2
損失	10 kW	4 kW
寸法	1300 mm(W) 2080 mm(H) 930 mm(D)	1410 mm(W) 1680 mm(H) 790 mm(D)
質量	1140 kg	820 kg

## 5.2 並列運転機能

本機能は従来型STATCOMにも搭載しており、A<sup>2</sup>-STATCOMを並列接続(最大3台)することで補償容量を増加させる(最大±900 kVAr)。例として、3台並列運転時の接続形態を図4に示す。

並列接続したA<sup>2</sup>-STATCOMの任意の1台を主機とし、主機が配電線の電圧の制御を行う。他のA<sup>2</sup>-STATCOMを従機(aまたはb)とし、従機は主機の指令に従い無効電力を出力する。各装置間には高速伝送が可能で、雷サージ等のノイズに強い光ファイバー通信とし、装置間の距離は最大100mまで接続可能とした。

特長として、並列運転が必要となる部品(光メディアコンバータなど)を全てユニット化し、既に設置した製品に対する並列運転機能の追加にも対応可能とした。ユニットは耐ノイズ性に優れた設計を行い、配電線用機器として十分なノイズ耐量を確保している。また、万が一、本装置の一台もしくは二台が故障した場合でも、正常なA<sup>2</sup>-STATCOMで運転を行うシーケンスも搭載している。

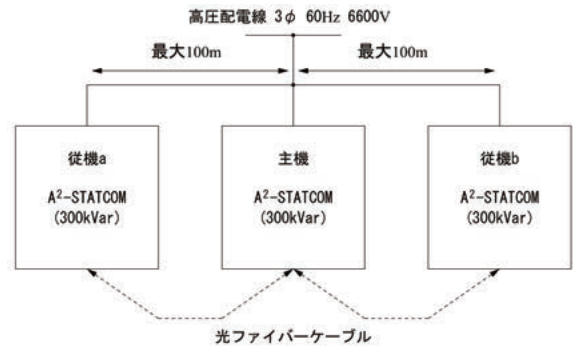


図4 3台並列運転時の接続形態

## 5.3 塩害地区への設置

インバータの冷却方式を強制風冷としているSTATCOMでは、塩害地区へ設置する場合、外気と接触する部品を耐塩品に変更する必要がある。耐塩品への変更による影響(コストアップ、信頼性など)を抑えるため、A<sup>2</sup>-STATCOMでは、プリント基板、リレー等の制御装置部を強制風冷が必要な発熱部と分離した密閉スペースに収納する構造とした。これにより、塩害地区への設置を可能とした。

課題は、密閉部の温度上昇による内部機器の性能(寿命)低下である。対策として、インバータの大幅な損失削減で熱の間接的な影響を低減し、さらに、外気への放熱効率が良い構造へ変更した。これにより、温度上昇を内部機器の性能(寿命)に影響を与えない温度まで抑制し、従来と同様のメンテナンス周期15年を実現した。

## 6. 試験結果

### 6.1 損失測定試験

A<sup>2</sup>-STATCOMの無効電力出力(0~300 kVAr)時の損失を測定した結果、従来品に対して損失が大きく低減している。定格(300 kVAr)出力時は従来品の14 kWと比べ、約8 kWの損失となった。試験結果を図5に示す。

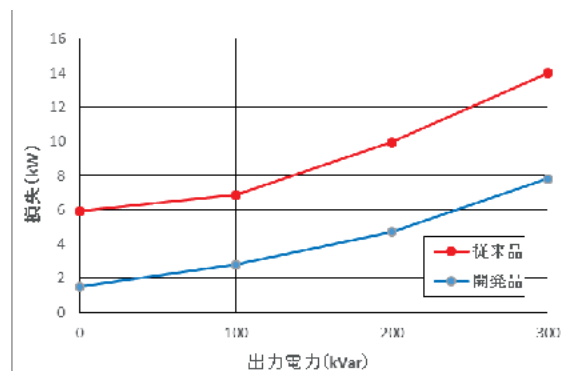


図5 損失測定結果(出力電力対損失)



## 6.2 電圧一定性能試験

電圧が急峻に低下した場合でも、A<sup>2</sup>-STATCOMは即座に無効電力を出力し、電圧調整を行なう。例として、瞬時電圧低下時の動作波形を図6に示す。A<sup>2</sup>-STATCOMの応答時間(80%補償時間)は13msであり、従来型STATCOMの応答時間(16ms(実力値))と同等性能であることを確認した。

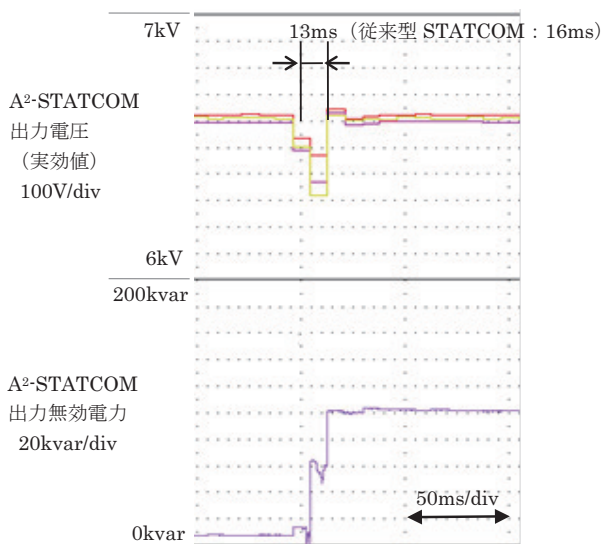


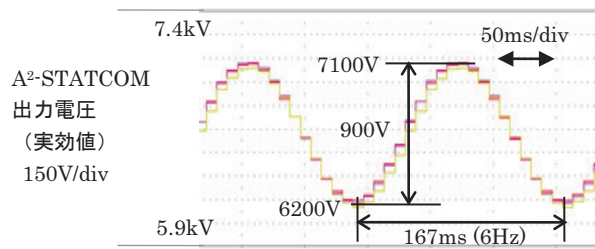
図6 ステップ状の変化に対する動作

## 6.3 並列運転機能試験

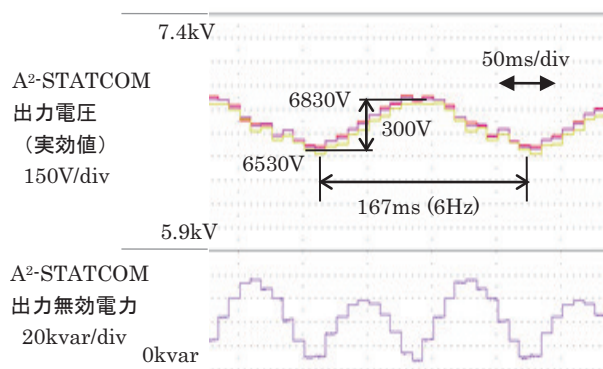
A<sup>2</sup>-STATCOMのミニモデル機(定格容量75kVA)にて試験を実施した。2、3台並列時も1台動作時と同等性能であることを確認した。ここでは、例として3台並列時に電圧が正弦波状に変化(6Hzフリッカ)した場合の動作波形を図7に示す。167ms(6Hz)周期の正弦波状の電圧変動に対し、A<sup>2</sup>-STATCOMが電圧調整を行なうことで、A<sup>2</sup>-STATCOMがない場合に比べ電圧変動の幅を約67%抑制している。

## 6.4 耐食性試験(塩水噴霧試験)

A<sup>2</sup>-STATCOMは非常に大型な装置であるため、一般的な耐食性試験で使われる試験機で試験を実施することができない。また、フィールド試験でも多くの時間を要するため、前述した外気と接触する部品(発熱部品)に対して個々に耐食性試験を実施した。試験条件は、一般的な塩害地区に設置した場合でメンテナンス周期15年に耐えうる時間とし、全ての部品において性能の劣化等がないことを確認した。



(a) A<sup>2</sup>-STATCOM 停止時



(b) A<sup>2</sup>-STATCOM3台並列運転時

図7 正弦波状の変化に対する動作

## 7. おわりに

今回、当社の従来型STATCOMよりもお客様が使いやすく、性能・機能を大幅に向上したA<sup>2</sup>-STATCOMを製品化した。近年問題となっている新エネルギーを利用する分散型電源による配電線の高速かつ多頻度の電圧変動に対して、本装置は効果的である。

また、低圧の太陽光発電や大容量単相機器の導入が進んだ場合、配電線の電圧変動による問題がますます大きくなることが予想され、電圧調整機能を有効に活用することで、配電線の電圧管理が容易となる。

今後も電圧調整器のトップランナーとして更なる製品開発を進め、電力品質の向上に貢献していく。

## 参考文献

- (1)「高圧配電線用 STATCOM の開発」愛知電機技報 No.37 (2017)
- (2) 廣瀬、桑原：「高圧配電線用 STATCOM」電気評論 第 637 号 (2017)