

FACTS適用による北米系統の安定化

松田明洋*
 山中大輔*
 土谷多一郎**

Power System Stabilizing within USA by Application of FACTS Devices

Akihiro Matsuda, Daisuke Yamanaka, Taichiro Tsuchiya

要旨

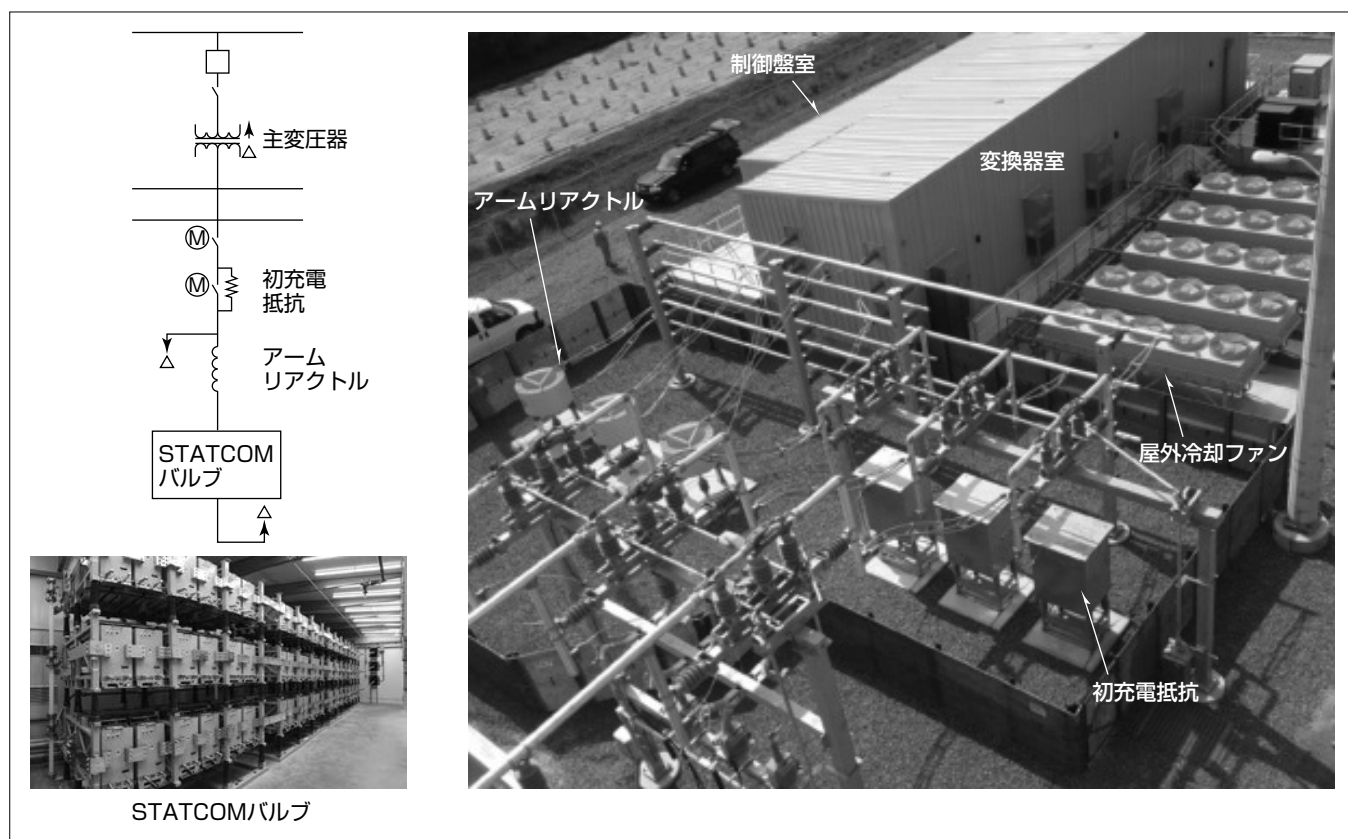
1990年代半ば以降、北米の電力系統システムの規制緩和や発電と送電の分離によって、電圧安定性の問題が表面化し、無効電力の制約条件が電力会社にとって懸念材料となってきた。近年は、石炭火力発電所の廃止と再生可能エネルギー普及率の増加によって、電力系統の安定性問題が更に悪化しているが、その有効な対策として、FACTS (Flexible AC Transmission System)が適用されている。FACTSの代表機種として、SVC(Static Var Compensator)とSTATCOM(STATIC synchronous COMPensator)があり、三菱電機は、Mitsubishi Electric Power Product Inc.(以下“MEPPI”という。)と協調し、これまで多数のSVCとSTATCOMを北米系統に設置してきた。

三菱電機FACTSの代表的適用例として、Indianapolis

Power & Light社のSouthwest-SVCとDominion Energy社のColington-STATCOMが挙げられる。

Southwest-SVCの設置目的は、石炭火力発電所の廃止に伴い、系統事故発生に伴う電圧回復遅れ現象(Fault Induced Delayed Voltage Recovery : FIDVR)への対策であった。

Colington-STATCOMの設置目的も、誘導機比率の大きな夏季負荷によるFIDVRへの対策であった。なお、Colington-STATCOMは、三菱電機の初号機となるMMC (Modular Multilevel Converter)方式である。SM(Sub-Module)と呼ばれる小型変換器を直列接続する方式であり、SM単位で冗長性を持たせているという特長がある。



Dominion Energy社のColington-STATCOM

SMと呼ばれる小型変換器を直列接続した三菱電機の初号機となるMMC方式のSTATCOMであり、2017年6月から運用が開始されている。SMには、三菱電機製IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)を採用しており、PWM(Pulse Width Modulation)制御して、無効電力を進相から遅相まで高速かつ連続に補償できる。

1. ま え が き

電力会社は、発電事業者や需要家の両者が許容する電力システムを構築する必要があり、電力システムシステムのセキュリティ、信頼性を妥当なコストで実現しなければならない。しかしながら、1990年代半ば以降、北米の電力システムシステムの規制緩和や発電と送電の分離によって、電圧安定性の問題が表面化し、無効電力の制約条件は、電力会社にとって懸念材料となってきた。

北米の電力システムで、さらに近年、図1に示すように、炭素排出量の低減の観点から、老朽石炭火力発電所の廃止と配電システムの再生可能エネルギー増加の傾向がある。これによって、同期発電機を用いた火力発電所の減少で弱まった系統に、インバータ接続の再生可能エネルギー源を連系させることになり、電力システムの電圧安定性を悪化させる一因となっている。

その一例として、テキサス西部では風力発電設備の導入が進められているが、シェールガスオイルの掘削処理に伴って電力負荷が急増しており、無効電力補償による系統電圧安定度の向上が急務となっている。

このような電力システムの電圧安定性対策として、新たな送電線網の建設は、非常に高コストになる。また、遮断器開閉の調相設備機器は、操作遅れ・離散の制御・開閉回数寿命制約などによって、系統事故を含む過渡的な系統安定性問題に対して、有効な対策にはならない。そこで、FACTSの代表機種であるSVCとSTATCOMが、定常時及び過渡時の無効電力制御を高速に行えることによる電力システムの電圧安定性向上対策として広く適用されている。

本稿では、SVCとSTATCOMについて、特性と適用例について述べる。

2. SVCとSTATCOMの特性

FACTS機器であるSVCとSTATCOMの導入は、既存の送電容量を増加させて系統電圧の安定制御に寄与するため、電力会社にとっては電力システムシステムの広範囲な要求に対する費用対効果が高い解決策となっている。一般的なSVCとSTATCOMの特性について、その比較を表1に示す。

SVCは、スイッチング素子として、サイリスタが適用される。系統電圧によって電流を転流させるため他励式と呼ばれる。主な構成機器は、TCR(Thyristor Controlled Reactor)、TSC(Thyristor Switched Capacitor)、高調波

フィルタである。TCRの出力電流には、高調波が含まれているため、高調波フィルタが必要となる。またSVCの出力可能電流は、TCR、TSC、及び高調波フィルタのインダクタンス、キャパシタンスが固定値であるため、系統電圧の低下に比例して小さくなる。

STATCOMは、スイッチング素子として、GCT(Gate Commutated Turn-off)サイリスタやIGBTなどが適用される。素子自体が電流遮断して転流させるため自励式と呼ばれる。STATCOMの発生高調波は一般的に小さく、高調波フィルタが不要であり、SVCよりも据付面積が小さくなる。またSTATCOMの出力可能電流は、系統電圧の低下に関係なく一定であるため、電圧低下時の無効電力補

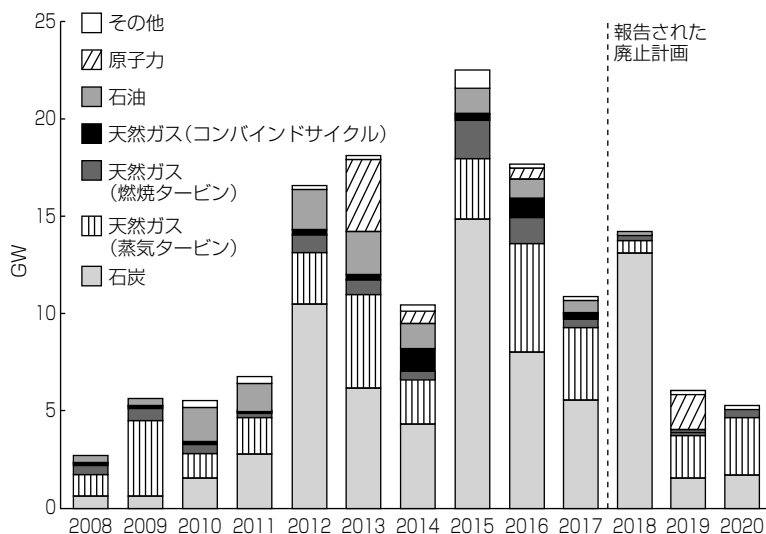


図1. 北米の電力会社での発電所廃止計画 (1)

表1. SVCとSTATCOMの特性比較

	SVC	STATCOM
出力電流特性		
高調波	TCR位相制御によって、高調波大	多重インバータ制御によって、高調波小
損失特性		
据付け面積	大：高調波フィルタが必要のため	小

償特性はSVCより優れる。

三菱電機は、MEPPIと協調し、これまで多数のSVC、STATCOMを北米系統に設置してきた。その適用例を次章に示す。

3. FACTSの適用例

3.1 SVCの適用例

2016年5月、Indianapolis Power & Light社(以下“IPL社”という。)のSouthwest S/S(SubStation)-SVC(+300/-100Mvar)の運用が開始された。

SVCの設置目的は、138kV系統事故発生に伴うFIDVRの対策である。環境保護局(Environmental Protection Agency; EPA)は、2016年までに、IPL社の138kV系統の石炭火力発電のほとんどを廃止、又は天然ガス発電への変更を要求した。結果として、2016~2017年に多くの石炭火力発電所が廃止され、新たにコンバインドサイクル天然ガス発電所が2017年に運転開始した。しかしながら、系統解析では、系統事故発生による電圧挙動が、運用指標を満足しておらず、FIDVRによって系統負荷が脱落するという結果が示された。対策として、機械式シャントキャパシタ(300MVA)の適用をまず検討したが、FIDVRに対して有効性を確認できなかった。そこで応答の速いFACTSの適用を検討することになり、SVC(+300/-100Mvar)、又はSTATCOM(+250/-100Mvar、短時間過負荷125%)の適用によって、FIDVR対策となることを確認でき、スペースに余裕があること、系統側が高調波に対して余裕があること、低コストなどからSVCが選択された。

三菱電機が納入したSouthwest-SVCの単線図を図2に示す。TCR=0~-200Mvar、TSC=+200Mvar、高調波フィルタ(5次、7次)=+100Mvarで構成している⁽²⁾。

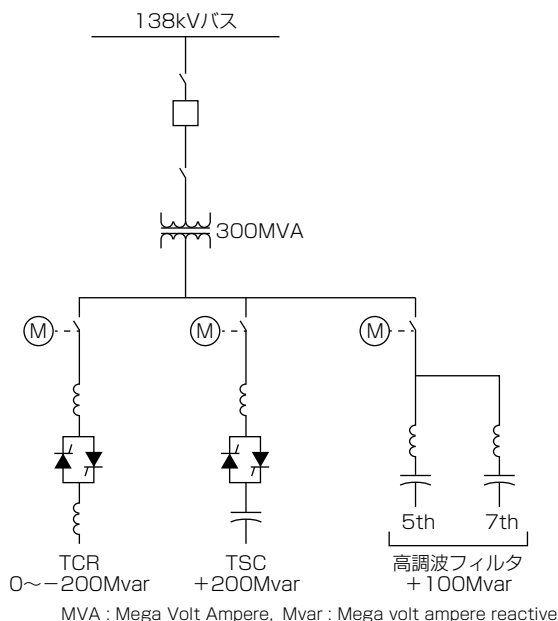


図2. Southwest-SVCの単線図

3.2 STATCOMの適用例

2017年6月、Dominion Energy社のColington S/S-STATCOM(+/-125Mvar)の運用が開始された。

STATCOM設置目的は、115kV系統事故発生に伴うFIDVRの対策である。Colington S/Sが位置する地域は、200マイル(約320km)超の砂洲(さす)で形成されており、末端系統側に位置する。また亜熱帯気候に属し、夏季には、人口が3~5倍程度に増大する観光名所である。そのため、夏季での空調負荷の条件下で、N-1-1(1設備停止中での更なる1設備故障)の系統事故を想定し、PJM(Potomac-Jersey-Maryland)系統運用指標に沿って、事故後2.5sec以内に70%まで系統電圧を回復させる条件として検討された。特に弱い系統であったため系統への高調波影響抑制を重視してSTATCOMが選択され、定格は、+/-125Mvar(短時間過負荷125%)となった。

なお、Colington S/Sには、FIDVR対策として、他社製SVC(+167/-30Mvar)が1997年から運転されていたが、約20年の運転になり、交換部品を考慮した運転信頼度、屋外機器の塩害状況、安定化性能向上などから、STATCOMへ更新された。図3、図4に、更新前SVC及び更新後STATCOMの上空写真をそれぞれ示すが、STATCOMの方が、敷地面積が小さいことが分かる。

三菱電機はGCT素子を用いて、米国では2001年からリアクトル並列方式⁽³⁾、国内では1990年から変圧器多重方



図3. 更新前Colington-SVCの上空写真



図4. 更新後Colington-STATCOMの上空写真

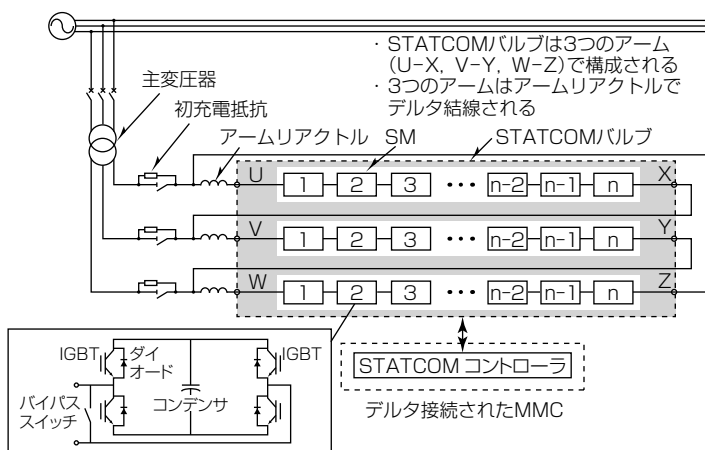
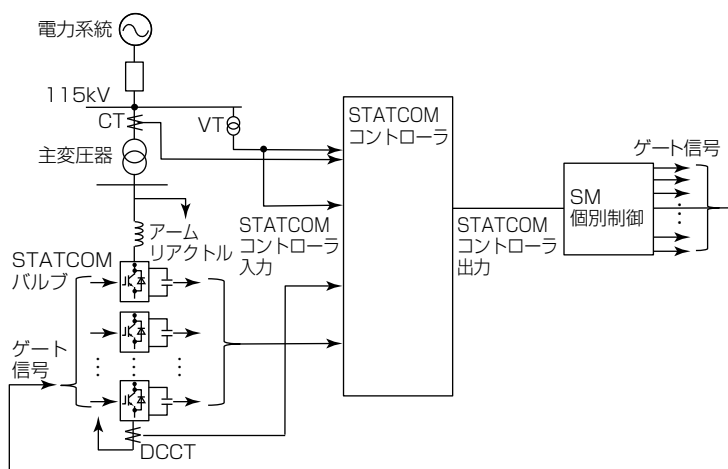


図5. Colington-STATCOMの主回路構成図



CT : Current Transformer, VT : Voltage Transformer, DCCT : DC Current Transformer

図6. Colington-STATCOMの制御構成図

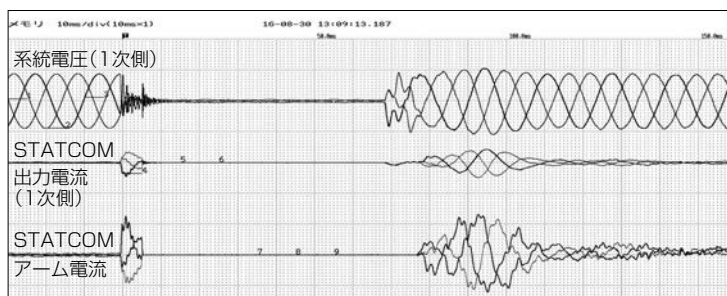


図7. 制御シミュレータ試験波形の一例

式⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾のSTATCOM納入実績があるが、Colington-STATCOMは、三菱電機の初号機となるMMC方式のSTATCOMである。MMC方式は、SMと呼ばれる小型変換器を、図5に示すように直列接続する方式である。スイッチング素子は、IGBT(三菱電機製)を適用している。また各SMには、SM故障時に閉じられるバイパススイッチ(三菱電機製)が配置されており、SM単位で冗長性を持たせている。

Colington-STATCOMの制御では、図6に示すよう

に、系統1次側の電圧、電流、及び系統2次側のSTATCOMのアーム電流、各SMの直流電圧が、制御盤に入力される。系統電圧制御、無効電力制御、直流電圧制御等によって計算されたゲートパルスが、各SMにそれぞれ出力され、IGBTがOn/Offすることで運転する。

Colington-STATCOMの制御装置の試験では、RTDS Technologies社のRTDS(Real Time Digital Simulator)^(注1)を適用した。その試験波形の一例として、至近3相地絡故障模擬の波形を図7に示す。故障除去後、負荷遮断で電圧上昇するケースであり、STATCOMが無効電力を吸収することで電圧変動を抑制し、正常に動作していることが分かる。

(注1) RTDSは、Manitoba Hydro International Ltd.の登録商標である。

4. む す び

SVCやSTATCOM等のFACTS機器は、電力システムの安定性問題の対策として導入されている。三菱電機はMEPPIと協調し、これまで多数のSVCやSTATCOMを北米系統に設置しており、本稿では、その適用例を示した。また中東にもSVCの納入実績がある。今後も、欧州、中東、アジアを含め、FACTSビジネスを展開していく。

参 考 文 献

- (1) US Energy Information Administration (eia) website, <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=34452>
- (2) Grainger, B., et al. : Technical Requirements and Design of the Indianapolis Power & Light 138kV Southwest Static Var Compensator, IEEE PES T&D Conference and Exposition (2016)
- (3) 竹田正俊, ほか : 並列冗長形自励式無効電力補償装置の開発, 電気学会論文誌B, 124, No.9, 1147~1153 (2004)
- (4) 長谷川泰三, ほか : 系統安定化用大容量自励式無効電力補償装置の開発, 電気学会論文誌D, 111, No.10, 845~854 (1991)
- (5) 森口聡一, ほか : 450MVA GCT-STATCOMの系統連系試験, 平成25年電気学会全国大会論文集, No.6, 435~436 (2013)
- (6) 藤井俊成, ほか : 犬山開閉所新SVG(STATCOM)の運開前試験その2 ~系統連系試験~, 平成26年電気学会全国大会論文集, No.6, 349~350 (2014)