

# 世界で進む高圧直流送電 (HVDC) の導入とその背景

日立ABB HVDCテクノロジーズ株式会社  
代表取締役会長兼CEO

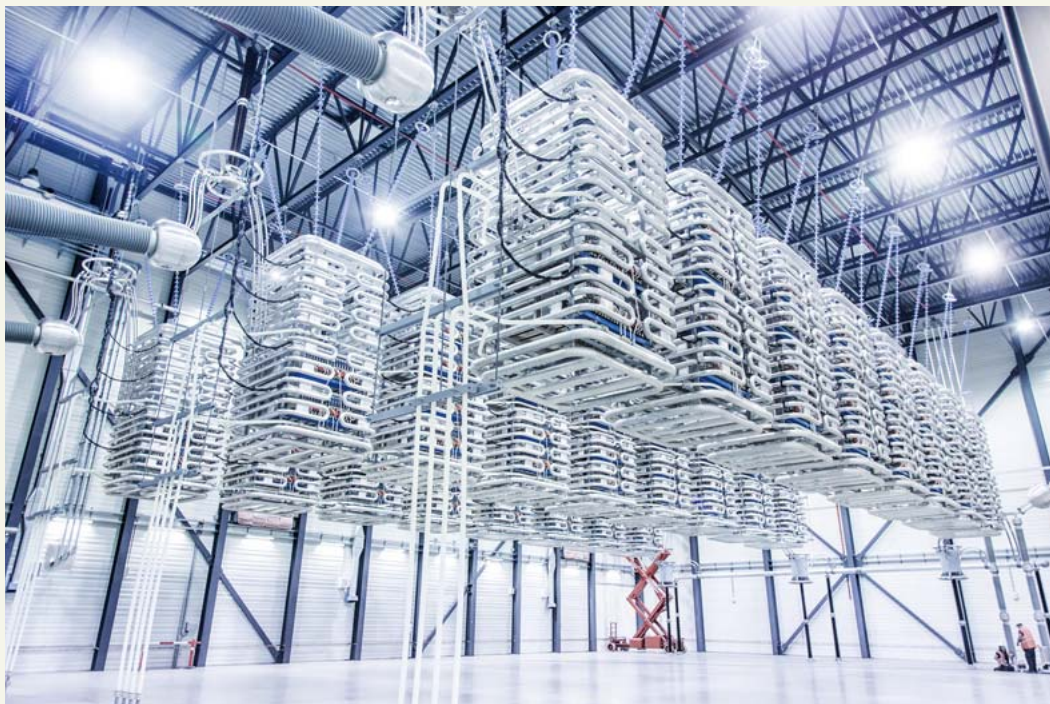
西岡 淳

日立ABB HVDCテクノロジーズ株式会社  
President & COO

Fidel Alvarez

株式会社日立製作所  
エネルギービジネスユニット 電力流通事業部  
電力パワーエレクトロニクス本部 担当本部長

大森 隆宏



By courtesy of ABB Power Grid

## はじめに

以前は、交流による系統連系とHVDC (High Voltage Direct Current : 高圧直流) 送電による系統連系を比較したとき、特に日本国内では交流の選択が第一であり、HVDCは周波数変換や海底ケーブル送電などの特定の条件下で選択される手段として考えられていた。

対して現在では、欧州をはじめ南北アメリカ、中国など世界中でHVDCの導入が急速に進んでおり、その傾向はますます加速している(図1参照)。2020年から2025年にかけてのHVDC市場の年平均成長率(CAGR: Compound Average Growth Rate)は約11%と予測されており、これは世界のGDP (Gross Domestic

Product) 成長率予測の3倍以上である。

この背景には、再生可能エネルギーのさらなる導入拡大、広域電力取引の拡大、電力供給信頼性の向上ニーズの増加などがあるが、これらに加えentso-e<sup>\*1)</sup>による費用便益分析(CBA: Cost Benefit Analysis)などでHVDCによる連系強化の経済合理性が実証されてきたことがある。これには自励式HVDCの急速な技術進歩も大きく貢献していると考えられる。電力システムにさまざまなベネフィットをもたらす自励式HVDCの技術が成熟してきたことにより、HVDCが系統連系強化の有効な選択肢となってきている。

本稿ではそうしたHVDC市場の現況について、特に自励式HVDCに絞って概説する。

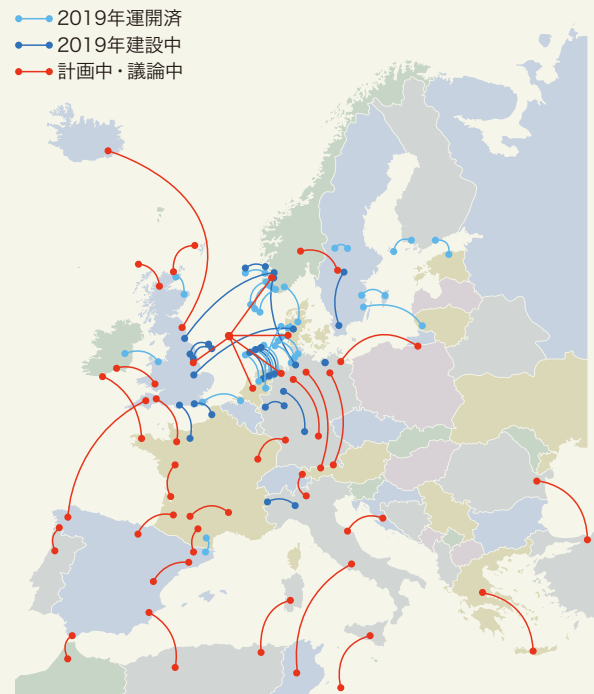
## 自励式HVDC市場の現在と今後

1999年に初めて商用の自励式HVDCが運用を開始して以来、2019年までの約20年間に世界で39件の自励式HVDCが運用開始されている。その累計容量は2019年時点で2,000万キロワット(20 GW)を超えており、2020年には3,000万キロワット(30 GW)に達する見込みである(図2参照)。

特にマルチレベル変換器を適用した自励式HVDCの運用開始が相次いだ2014~2015年以降、数十万から

※1)36か国、46の電力系統運用者から成る欧州電力系統運用者ネットワーク。

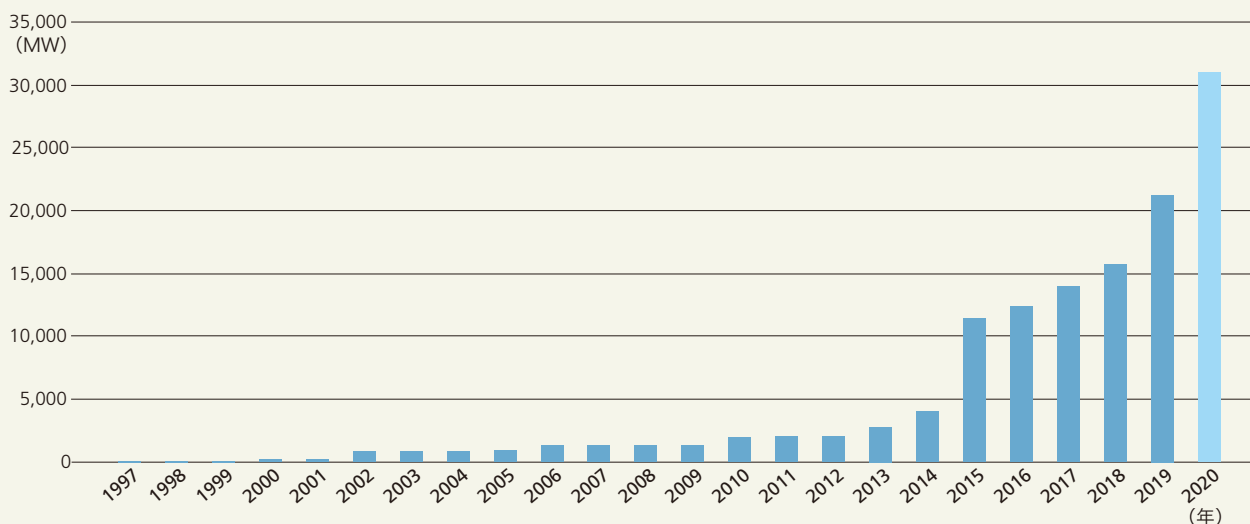
図1 | 欧州で進む自励式HVDCの建設



百万キロワットクラスの自励式HVDCが次々と運用を開始したことから、累計HVDC容量が急速に増えている。2020年以降もこの傾向は続き、2020~2028年の間にはさらに3,500万キロワット以上に相当する設備の運用が開始される見通しとなっている。これは2010~2019年の10年間に運用を開始した容量の約2倍となる。

近年の特筆すべき変化としては、従来のHVDC連系は系統と系統を結ぶ、特に海を越えてケーブル送電で結

図2 | 運用開始した自励式HVDCの累計容量



ぶ案件が多かったことに対して、最近では、従来交流での増強が選択されていた同期系統内の連系強化にHVDCが適用されるケースや、既存の交流系統と並行してHVDCが建設されるケースが増えてきていることが挙げられる。これらの事実が示すのは、HVDCによる連系が系統増強におけるさまざまな課題に対してのソリューションになりつつあること、またHVDCが交流による増強に対しても競争力を有するケースが増えつつあるという実態である。

つまり、HVDCは以前のように特殊な条件下でのみ限定的に適用されるものではなく、より多様な状況下で広く適用される選択肢に変わってきているのである。

## 自励式HVDCによる既存交流系統の安定化への貢献

近年自励式HVDCが急速に普及拡大している理由の一つとして、既存交流系統の安定化への貢献がある。

交流系統には、電圧不安定、周波数不安定、電力動揺、過渡現象など、さまざまな不安定現象が潜在しており、こうした不安定現象が発生しないように、あるいは発生しても短時間に抑制されるように、運用上の送電容量を制限したり調相設備を設置したりするなど、さまざまな対策が取られている。また、大規模な再生可能エネルギーの適地などは、もともと系統が弱く、短絡容量が小さいため不安定現象が発生しやすく、再生可能エネルギーの増加によりさまざまな対策が必要となる状況であることが多い。

自励式HVDCは、連系により電力を送電するだけで

はなく、こうした既存の交流系統の安定化にも貢献することができ、そうした自励式HVDCの機能を積極的に活用する事例が増えている。

### (1) 自励式HVDCによる電圧の安定化

再生可能エネルギーの適地には、系統が弱く電圧が不安定になりやすい地域が多い。こうした地域に自励式HVDCを設置すると、再生可能エネルギーを需要地に送電するだけでなく、地域系統の安定化にも寄与する。自励式HVDCによる電圧安定化の実波形を図3に示す。自励式HVDCの交流電圧制御により電圧の変動が抑制されている。

### (2) DC Link in AC Grid

既存の交流系統に並行して自励式HVDCを建設するケースも増えている。こうすることによって、既存の交流系統もより有効に活用できるようになる場合がある。

例えば、図4のような系統において、既存交流系統が電圧安定度による運用制約を受けている場合、自励式HVDCが両端で電圧を安定化するため、そうした運用制約が緩和される。また、並行する自励式HVDCは有効電力を正確に制御できるため、既存の交流系統に電力動揺などが発生した場合でも、そうした現象を抑制するダンピング制御が可能となる。

### (3) 自励式HVDCによる過渡現象に対する安定化

自励式HVDCは過渡現象に対しても、既存の交流系統の安定化に寄与できる。例えば、自励式HVDCは容量の小さい系統にも設置できるが、容量の小さい系統は雷撃などの系統事故に対するレジリエンスが弱いケースがある。こうした系統に対し、自励式HVDCを設置することにより、系統事故中も無効電流を供給し電圧低下を抑制したり、事故除去後の電力動揺を抑制したりするなど、系統のニーズに応じてさまざまな過渡安定度向上のためのスキームを提供することができる。

図5は、カナダ・ニューファンドランド島における自励式HVDC活用の例である。

また、万一停電した際も自励式HVDCからブラックスタート<sup>※2)</sup>を行い、系統復旧することができる。

※2) 停電状態の系統を再充電し、復旧する機能。

図3 | 自励式HVDCにより安定化した電圧の実波形

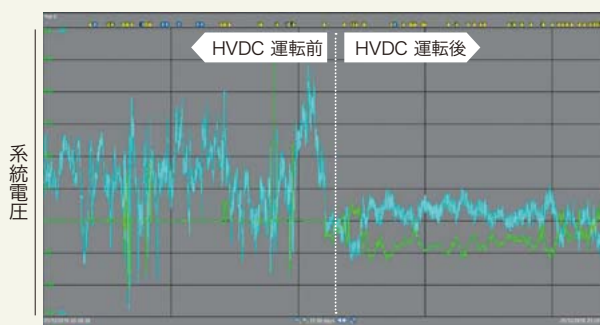


図4 | 既存の交流系統と並行して自励式HVDCを設置するケース

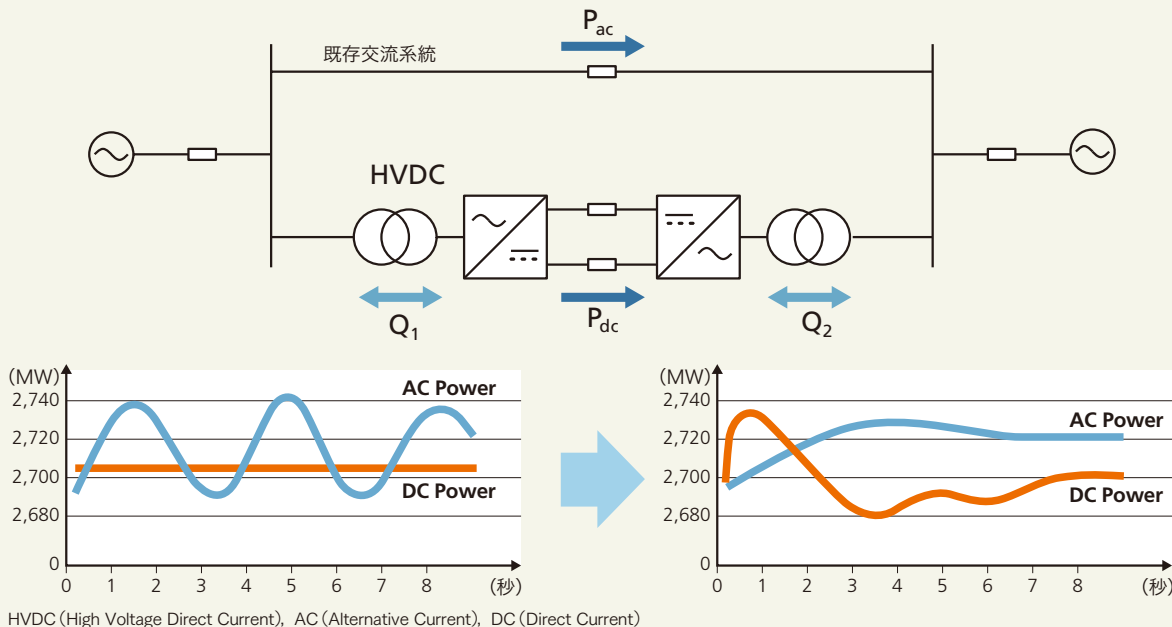
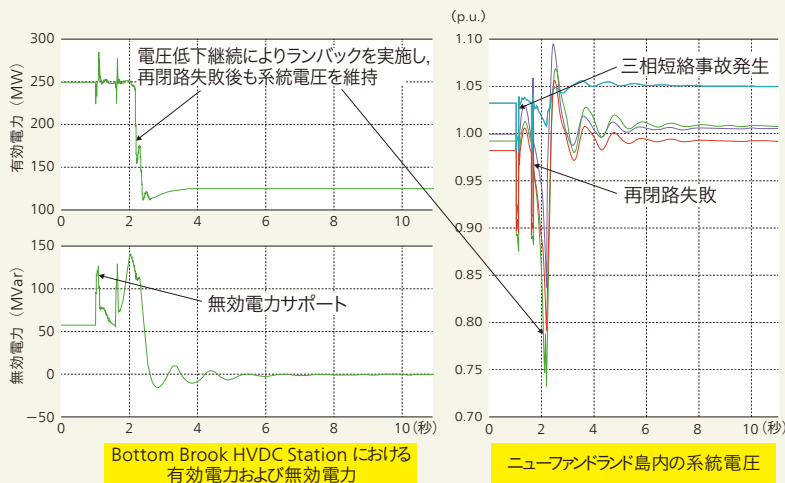
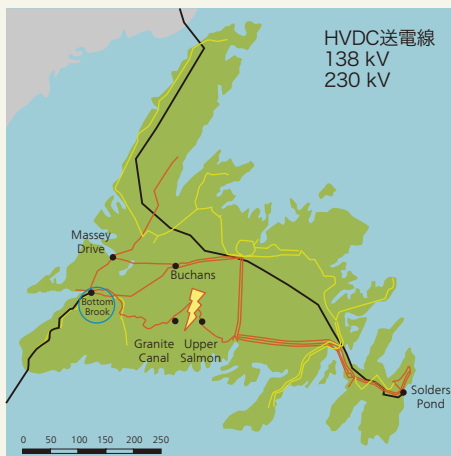


図5 | カナダ・ニューファンドランド島における自励式HVDCによる過渡安定度向上の例



### 自励式HVDCの最新技術

自励式HVDCの技術がこの20年間で発展・成熟してきたことも、HVDCの採用が増加している理由の一つである。

現在、自励式HVDCとしては、300万あるいは400万キロワットの容量も実現可能とされている。したがって、容量のうえではほとんどのニーズに対応できるようになっている。

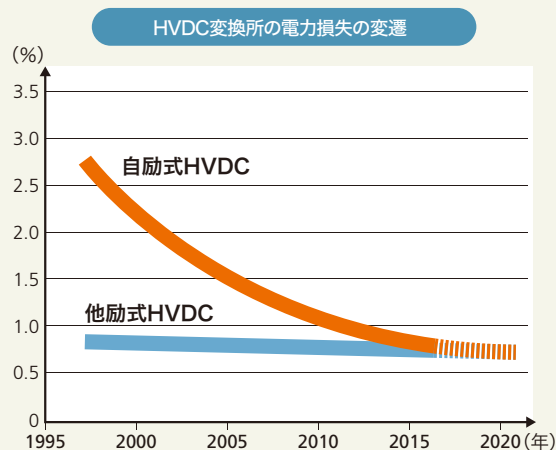
また、必要となる敷地面積や、交直変換所における電力損失も技術の発展とともに小さくなってきており、結果的にHVDC建設の総合経済性が向上している(図6参照)。

### おわりに

自励式HVDCは、世界各地で再生可能エネルギーの導入拡大に大きな役割を果たしており、同時にシステムの安定度向上にも寄与している。



図6 | HVDC変換所のレイアウト例と電力損失の変遷



日本国内における今後の再生可能エネルギーの導入拡大に際しても、北海道や東北地方の日本海側などに風力発電の大きな潜在性があることや、一部地域の太陽光発電などでは既に出力抑制を余儀なくされていることなどから、その巨大なエネルギーを大需要地へ送る必要が近い将来出てくるものと予測される。

これに対し、自励式HVDCは有効なソリューションであり、再生可能エネルギーの需要地への送電だけでなく、さまざまな系統へのベネフィットが提供できると考えている。

参考文献など

- 1) entso-e: Ten Year Network Development Plan, <https://tynpd.entsoe.eu/>
- 2) The National HVDC Center (Scottish & Southern Electricity Networks): HVDC News Letter, <https://www.hvdccentre.com/library-category/newsletters/>
- 3) Peter Lundberg et al.: Enabling High Availability with a VSC HVDC Transmission, Cigre Winnipeg 2017 Colloquium(2017.9)
- 4) ABB: HVDC Light reference list, <https://new.abb.com/systems/hvdc/hvdc-light>
- 5) Mordor Intelligence: Global HVDC Transmission Systems Market
- 6) The evolution of HVDC Light, <https://www.youtube.com/watch?v=r4WRW3XtF4Q>
- 7) 西岡 淳, 日立ソーシャルイノベーションフォーラム 2019 HVDCセミナー



**西岡 淳**  
日立ABB HVDCテクノロジーズ株式会社  
現在, 国内のHVDCプロジェクトに従事  
電気学会会員



**Fidel Alvarez**  
日立ABB HVDCテクノロジーズ株式会社  
現在, 国内のHVDCプロジェクトに従事



**大森 隆宏**  
日立製作所 エネルギービジネスユニット  
電力流通事業部  
電力パワーエレクトロニクス本部  
現在, 国内のHVDCプロジェクトに従事  
電気学会会員