

1点切りガス遮断器を適用した 550 kV 新型 GIS

Development of New 550 kV Gas-Insulated Switchgear

澄川 俊雄
SUMIKAWA Toshio

菅野 好裕
KANNO Yoshihiro

小坂田 昌幸
KOSAKADA Masayuki

550 kV 1 点切りガス遮断器を適用し、その他の各構成機器の縮小化を図った新型 550 kV ガス絶縁開閉装置(GIS: Gas Insulated Switchgear)を製品化した。従来と同等の信頼性を維持しながら縮小化するために、基本仕様から現地工事までのあらゆる段階に配慮して細かな検討を行い、各種仕様の合理化、最新機器技術の採用、レイアウトの最適化などを図った。据付面積、機器質量の低減や据付工程の短縮に加え、機器の縮小化に伴って六フッ化硫黄ガス(SF₆ガス)をはじめとする各種材料の使用量が大幅に削減された新型 GIS は、次世代の GIS と呼ぶにふさわしいものである。

Toshiba has launched a new 550 kV gas-insulated switchgear (GIS). This GIS incorporates a 550 kV single-break gas circuit-breaker and downsized GIS components. In order to maintain reliability and minimize its size, various items from basic specifications to on-site commissioning work were studied in detail, followed by optimization of the specifications, adoption of new technology, and optimization of the GIS layout.

This GIS qualifies as next-generation equipment because of its level of reductions in installation area, duration of commissioning work, GIS weight, and amount of sulfur hexafluoride gas.

1 まえがき

当社は、国内の最高運転電圧である 500 kV 系統に用いる GIS を、1979 年に 4 点切りガス遮断器(GCB)を用いて製品化した後、2 点切り GCB の適用、三相一括型母線の適用、雷インパルス耐電圧値の低減といった大きな技術革新を経ながら、各種の新技術適用による小型化と進歩を図ってきた。

550 kV 新型 GIS は、93 年に世界に先駆けて製品化した 550 kV 1 点切りガス遮断器(1 点切り GCB)を適用し、併せて基本コンポーネントである断路器および母線をはじめとする各構成機器の縮小化を図った最新鋭の 550 kV GIS である。

550 kV 新型 GIS の総組立形式検証姿を図 1 に示す。

2 開発の課題とポイント

新型 GIS は、部品点数低減による信頼性向上と製造コスト低減に加え、機器据付面積および質量の低減による変電所の用地面積や土木工事量の低減といった総合経済性の向上、さらには環境面で有利な SF₆ガス量の削減など、さまざまなニーズに対応することが求められている。GIS の小型化は、GCB を別にすれば、各機器のタンク寸法に影響する母線径の縮小と直列機器である断路器の縮小化に大きく依存している。また、これら主要機器の縮小化と協調し、他のコンポーネントについてもより縮小化が必要になってくる。

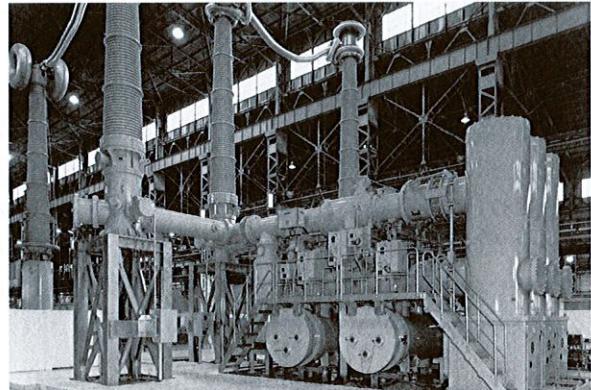


図 1. 550 kV 新型 GIS 総組立形式検証姿 規格に基づく各種検証試験を実施し、良好な結果を得ている。

Fully assembled 550 kV GIS

る。一方、信頼性の観点では、各機器単体での信頼度維持と併せ、組合せ機器としての GIS の性能を發揮するためのシステム技術が重要となってくる。

こうしたことから、新型 550 kV GIS の製品化にあたっては、新技術を単に各機器に適用するだけではなく、仕様・設計・調達から現地据付工事までを含めた、総合的な縮小効果を追求する形で取り組んだ。

3 レイアウト⁽¹⁾

550 kV 新型 GIS の基本仕様を表 1 に示す。1 点切り

表1. 550 kV 新型GIS 基本仕様

Basic specifications and ratings of 550 kV GIS

項目	定格仕様
定格電圧	550 kV
定格電流	2/4/6/8 kA
定格短時間耐電流	50/63 kA (2秒)
雷インパルス耐電圧	1,425/1,550 kV
定格ガス圧力	0.6 MPa (GCB) 0.4 MPa (GCB以外)

GCBの適用により、550 kV GISでこれまで困難であったGCBの縦型配置が可能となり、この効果を生かす積層型レイアウトを採用することとした。図2に線路回線の側面レイアウト例を従来型GISと比較して示す。回線寸法は従来の2点切りGCB適用レイアウトと比べて45%に縮小できている。

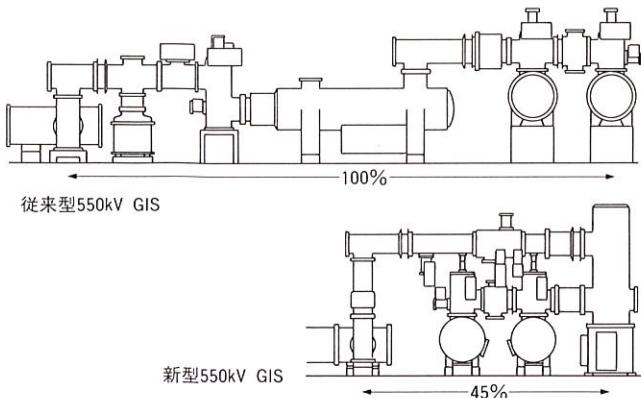


図2. 側面レイアウト比較 1点切りGCB、積層レイアウトの採用などにより、回線引出し寸法の大幅な縮小化を実現。また、保守性に配慮したレイアウトの検討を行い、断路器／接地開閉器の操作装置を1か所に集約することにより、操作フロアの簡素化も可能とした。

Side view of 550 kV GIS

特に寸法縮小効果が大きく、今後のGISはこの合理化した温度上昇仕様が基本になると考えられる。

これらの条件をパラメータとして母線径、導体径を解析した例を図3に示す。詳細設計においては、材料面で新規に開発した高耐熱樹脂の適用や導体材料の最適化により通電性能を向上させるとともに、一部電界値が高くなる高電圧導体表面に絶縁コーティング処理を施し、絶縁性能を向上させた。三相主母線に関しては、タンク底面電界条件を満たすために導体配置において図4のA寸法をB寸法よりも若干短くする最適化設計を行い、最小の母線径を実現した。こうして決定した母線寸法の新旧比較を表2に示す。また、絶縁スペーサでは、樹脂内部に設けた導電性エポキシ樹脂を用いた電極による電界分布の最適化と、金属法兰による信頼性の向上を図るなどいざれも当社独自技術を適用して性能向上を図るとともに、樹脂注型時の硬化温

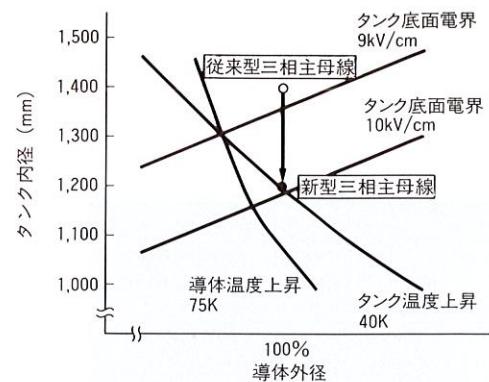


図3. 母線径、導体径の解析計算例 各パラメータ曲線の上側が条件を満たす領域。新型三相主母線では、タンク温度上昇40 Kの条件とタンク底面電界10 kV_{rms}/cmの両条件を満たしながら、極限までタンク径の縮小化を図った。

Examples of calculating tank inner diameter and conductor diameter parameters

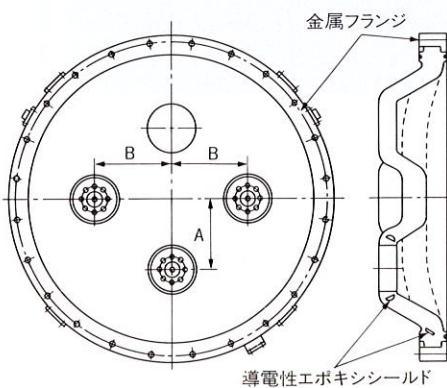


図4. 三相主母線 中相導体配置のくふうによりタンク径の縮小化を実現した。

Three-phase busbar configuration

表2. 母線径比較

Busbar inner diameter

項目	開発器	従来器
三相主母線	1,200	1,400
単相母線	600	750/690

度制御による品質の安定化に努めている。

4.2 断路器⁽³⁾

断路器の小型化にあたって検討した項目を以下に示す。

(1) 通電温度上昇 温度上昇許容値の合理化に伴う断路器可動導体の小型・軽量化を図った。

(2) 絶縁性能 これまでの研究開発で得られた断路器サージ現象に関する知見と三次元電界解析技術を駆使し、電極およびシールド形状の最適化を図り、これらを小型化しながら再点弧アークの表面電界を従来よりも低減し、アークのタンク側への進展防止効果を高めた。図5に断路器サージ再点弧発生時の極間電界解析例を示す。

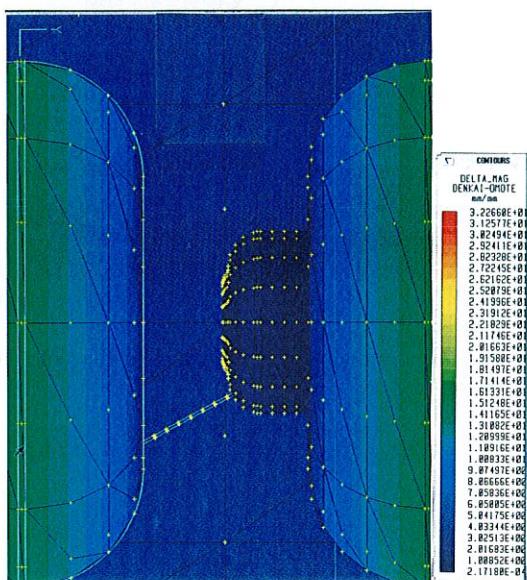


図5. 断路器極間の三次元電界解析 三次元電界解析による断路器の電極・シールド形状の最適化を図っている。図は左右の電極間での再点弧アーク発生時電界の解析例を示す。線状に見えるアーク部分の電界が十分低いことを示す青色になっていることがわかる。

Three-dimensional electric field analysis of disconnector contact

(3) ループ電流開閉責務 優れた遮断性能と多くの実績をもつ磁界消弧方式(当社有力特許)を採用した。図6に磁界消弧方式の概要を示す。

これらの結果、可動質量および摺(しゅう)動摩擦抵

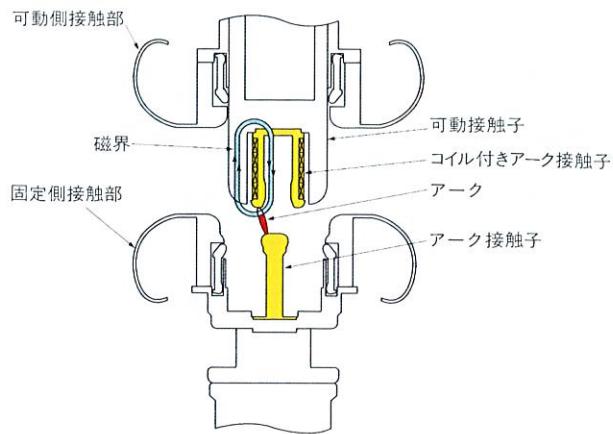


図6. 磁界消弧方式 遮断時の電流をコイルに通電し、発生する磁界によりアークを駆動、消弧時間の短縮を図っている。

Magnetic field extinction method

抗を大幅に低減し、所要駆動力を従来比で約60%に低減できた。

(4) 操作装置 装置の小型化のために、占有空間容積当たりの蓄積エネルギーが大きい渦巻ばねを用いた新型操作装置を開発し、適用した。この操作装置は、遠方操作の断路器、接地開閉器に共通して適用し、品質の安定化も図っている。

以上のような小型・軽量化と駆動力低減により、構造面でも機構部分のタンク内収納、断路器内部導体の支持構造簡素化などの施策が適用可能となり、断路器全体の大幅縮小を実現した。なお、主母線断路器は、従来どおり当社保有特許による母線一体型とし、機器寸法縮小とループ電

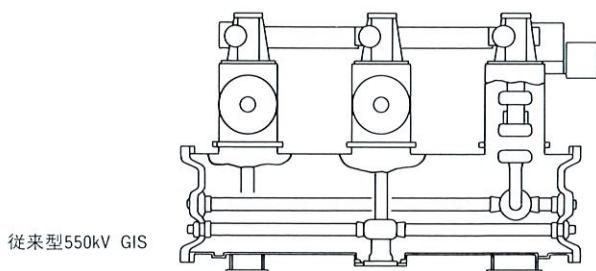


図7. 主母線一体型断路器の新旧比較 母線径と断路器の縮小効果が集約されている。従来比で全高は80%，全幅は70%にコンパクト化した。

Three-phase busbar disconnector

流の多数回開閉に対する信頼性向上を図っている。図 7 に母線一体型断路器の新旧比較を示す。

4.3 その他のコンポーネント

4.3.1 1点切り GCB⁽⁴⁾ ハイブリッドバッファ型消弧室、デュアルモーション機構、絶縁ノズル形状の新しいくふうなど先進的な新技术を投入し、すでに製品化済みの1点切り GCB を縦型配置で適用した。遮断点数が1点となったために、GCB 自身の縮小化に加えて、前述の GIS レイアウトの最適化が可能となった。

4.3.2 光変換型計器用変圧器 GIS 本体の電圧検出部と信号処理盤の間を光伝送として耐サーボ性能を向上させた光変換型計器用変圧器を採用し、取付け用母線長の短縮を実現した。

4.3.3 新型避雷器 別稿 (p.54) で紹介する高耐圧素子を使用した新型避雷器を適用し、部品点数削減と避雷器の縮小を実現した。避雷器としての非線形特性も改善できるため、現地耐電圧試験時に必要であった避雷器切離し装置が不要となり、GIS 構造の簡素化にも寄与している。

5 システム技術

550 kV 新型 GIS には、長年の高電圧大容量 GIS の研究開発成果と製作実績／運転実績に基づく解析技術を中心とした各種システム技術を適用している。主なシステム技術とその適用効果を表 3 に示す。また、システム技術の一例として、図 8 に大規模変電所における長尺 GIB (Gas Insulated Busbar) の熱伸縮挙動を解析した例を示す。

新型 GIS は、近年制定された規格 “ガス絶縁開閉装置” (JEC-2350-1994) に準拠し、図 1 に示した GIS 総組立形態で、組合せ機器として温度上昇試験や耐電圧試験などの各

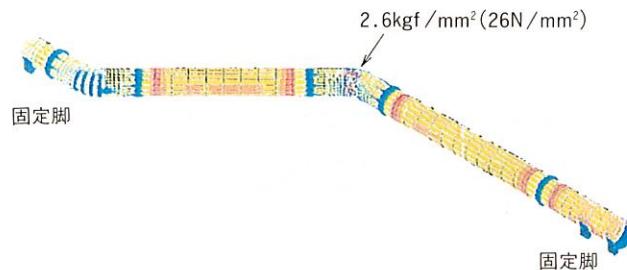


図 8. 長尺 GIB の熱伸縮挙動解析 三次元シェルモデルによる曲がり形状の GIB の発生応力解析例を示す。赤色部が相対的に高い応力が発生している部分である。熱伸縮解析は、長尺 GIB の敷設設計に必須(す)のシステム技術である。

Thermal expansion analysis of GIB

種形式試験を実施した。

6 縮小効果

表 4 に新型の 550 kV GIS の縮小効果を、図 9 に 550 kV GIS の据付面積の新旧比較を示す。GIS 部分の据付面積をはじめ大幅な縮小化が実現できている。

表 4. 新型 GIS の縮小効果

Advantages of new 550 kV GIS

項目	縮小率
GIS 部分の据付面積	37 %
機器質量 ^(注)	55 %
輸送ユニット数 ^(注)	60 %
現地工事工程	80 %
SF ₆ ガス使用量 ^(注)	60 %

(注) コ形 GCB 適用の線路回線の場合

表 3. 主なシステム技術とその適用効果

System engineering items for 550 kV GIS

項目	適用技術	適用効果
絶縁協調	EMTP (Electro Magnetic Transient Program) を使用した雷および各種開閉サーボ、過電圧現象の高精度解析技術	・絶縁協調設計の最適化 ・避雷器配置・適用数の最適化
接地方式	・高電圧大容量 GIS に適した多点接地方式の採用 ・直列機器のすべてのアルミタンク化を可能とするアルミタンク製造技術 ・金属フランジスペーサー ・シース・接地線電流解析技術 ・大電流定格 GIS の豊富な納入実績と現地実測データの蓄積	・大電流定格 GIS における外部漏れ磁界、異常発熱の防止 ・外部へのサーボ発生防止、開閉器操作時の外部せん絡抑制
熱伸縮・耐震設計	・独自開発の解析コードによる熱伸縮・耐震解析技術 ・構造の複雑さに応じた hari モデル、三次元シェルモデルの使い分け ・豊富な長尺 GIB 納入実績と各種現地実測データの蓄積 ・変位データの多点入力も可能な、耐震解析技術 ・ユニバーサルペローズの開発適用	・熱伸縮設計の最適化 ・機器・架構の耐震設計最適化 ・基礎配置・荷重検討の最適化 ・敷設レイアウトの最適化、変位吸収用ペローズ数低減
レイアウト設計	独自開発の CAD (Computer Aided Design) システムの適用	レイアウト・機器設計の標準化、迅速化、省力化
保守運用性	・コーン形スペーサーの導電性エポキシ内部埋込み電極設置 ・コーン形スペーサーへの検電端子の具備 ・金属フランジスペーサーの適用	・簡易な内部検電機能の実現 ・GIS 内部電界分布の最適化 ・内部部分放電やサーボ電圧の高精度かつ容易な測定 ・耐候性向上

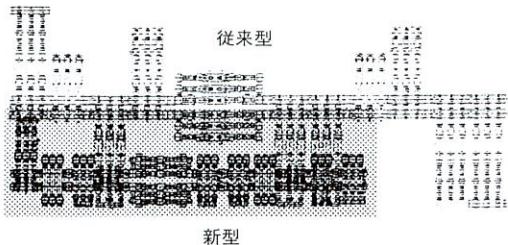


図9. 全体レイアウト比較 1点切りGCB縦置きレイアウトの採用と、相間、回線間寸法の低減により、GIS部分の据付面積を大幅に縮小、さらに主母線全長は従来型に比べ約70%に低減。

Reduction of installation area for new 550 kV GIS

7 あとがき

今回の開発は、単に新規技術を適用するだけでなく、各ユーザーのニーズを取り込んで検討し、総合的な評価を加えながら進めたことにより、信頼性を維持しながらGISの大幅な縮小化が実現できたと考える。

なお、この550 kV 新型GISは、現在、数か所の電気所への適用が決定しており、製作および現地据付工事を進行中である。

文 献

- (1) 小坂田昌幸, 他, 平成9年電気学会全国大会, 1585, 1997.
- (2) 山本浩義, 他, 平成9年電気学会全国大会, 1586, 1997.
- (3) 金田 浩, 他, 平成9年電気学会全国大会, 1587, 1997.
- (4) 小林昭夫, 他, 550 kV 1点切りガス遮断器, 東芝レビュー, 47, 6, 1992, p.443-448.

澄川 俊雄 SUMIKAWA Toshio

電力事業部 電力変電技術部主査。
変電設備の開発・システムエンジニアリング業務に従事。
Power Systems Div.

菅野 好裕 KANNO Yoshihiro

浜川崎工場 開閉装置部グループ長。
ガス絶縁開閉装置の開発・設計に従事。電気学会, IEEE
会員。
Hamakawasaki Works

小坂田 昌幸 KOSAKADA Masayuki

電力事業部 電力変電技術部主務。
変電設備の開発・システムエンジニアリング業務に従事。
電気学会, IEEE 会員。
Power Systems Div.