

世界最大容量ガス絶縁変圧器を適用した地下変電所の実現

Realization of Nonflammable Underground Substation Applying World's Largest Capacity Gas-Insulated Transformer

小林 恒夫

KOBAYASHI Tsuneo

橋本 偉生

HASHIMOTO Hideo

目黒 雅也

MEGURO Masanari

大都市の中心部においては、狭い地域に人口が集中し、変電所用スペースの確保が難しい状況にある。このような中においても、安定でより質の高い電力の安定供給が求められており、ビル・公共用地などの地下空間を利用した地下変電所の建設が必要不可欠となっている。

当社は、オーストラリア国トランスグリッド社向けに330 kV-400 MVA ガス絶縁変圧器ほかを納入するのに合わせ、豊富なガス絶縁機器納入実績を背景として、変電所システム最適化に向けたソリューション提案を行い、客先ニーズを具体化することができた。

Even though it is difficult to build large-capacity substations in urban areas, the demand for stable and high-quality electric power continues to increase. It is therefore becoming essential to build underground substations utilizing dead space such as that under buildings or public areas.

Toshiba has proposed a gas-insulated transformer as a solution to this problem.

1 まえがき

シドニー市街地においては、過去4年間の電力需要が平均4%の割合で伸びており、今後新たな商業施設や住居の建設に伴って、更なる需要増が見込まれる。これに対応して、ニューサウスウェールズ州の送変電会社であるトランスグリッド社は、2003年10月運用開始を目指して、330/132 kV ハイマーケット変電所を含む新たな電力供給ルートを建設することとした。

当社は、275 kV-300 MVA 級までの累計700台に及ぶガス絶縁・ガス冷却式変圧器(以下、ガス絶縁変圧器と略記)の納入実績を持つことを背景に、ガス絶縁変圧器・リアクトルの適用のメリットを最大限にアピールし、変電所システム最適化に向けたソリューション提案を行った。その結果、ハイマーケット変電所向け330 kV-400 MVA ガス絶縁変圧器3台を含む契約を締結することができた。客先の変電所コンセプトを具体化するため、世界最大容量となるガス絶縁変圧器を実現できる技術と、機器から発生する熱を効率的に冷却するシステム技術の適用がキーとなった。

2 変電所のコンセプト

2.1 客先のニーズ(変電所立地上の制約)

ハイマーケット変電所は、シドニー市の人口密集地に建設されることから、次のような制約があった。

- (1) 火災を発生させない、防災性に優れた施設とする。

- (2) 商業ビルの地下空間利用のため、面積をミニマム化する。
- (3) 周囲のホテルや大学などの施設があるため、騒音をミニマム化する。
- (4) 周囲環境との調和を図り、景観上のインパクト(Visual Impact)を与えない。

これらに対して、以下のガス絶縁機器適用のメリットを説明し、ガス絶縁変圧器・リアクトルの適用を前提とした変電所コンセプトが採用された。

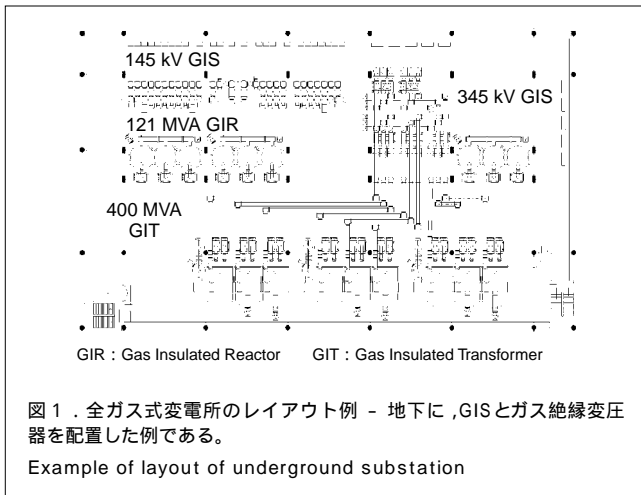
2.2 ガス絶縁変圧器・リアクトルを適用した全ガス式変電所のメリット

全ガス式変電所のメリットは次のとおりである。

- (1) 機器の不燃性と防災性向上 ガス絶縁機器は不燃性であるため、防災性に優れた設備形成が可能となった。また、消火設備を合理化して、コストの削減にも寄与できた。
- (2) レイアウトのコンパクト化 ガス絶縁機器の場合、従来の油入変圧器のように独立の機器室に設置する必要がないため、レイアウトがコンパクト化できた。また、ガス絶縁変圧器の場合、ガス絶縁開閉装置(GIS)との取合いが、GISとGISの間のように絶縁スペースでできるため、取合い部の簡素化が実現できた。
- (3) 階高低減による変電所建屋のミニマム化 ガス絶縁変圧器では、油絶縁変圧器で機器高さの原因となるコンサベータがないため、機器高さを抑えることができる。300 MVA クラスの大容量器の場合、階高を2~2.5 m 低

減することができ、設備をコンパクト化できた。

- (4) 変電所周辺との調和 送電系統との接続は、すべて地中送電線(ケーブル)を適用できた。このため、鉄塔類が不要となり、周囲景観との調和が図れた。変電所建屋により機器を密閉し、冷却装置を最適化することにより、騒音値も厳しい規制値をクリアできる見込みを付け、送風機を建屋内に設置して変圧器冷却装置の給/排気口を上部建屋と一体の構造とすることで、周囲との調和性に優れた変電所を建設できる見込みを付けた。検討された全ガス式変電所のレイアウト例を図1に示す。以下にガス絶縁変圧器について説明する。



3 ガス絶縁変圧器

3.1 ガス絶縁変圧器の定格と構成

当社は1967年に日本最初のガス絶縁変圧器を製品化して以来、これまでに500 kV-1,500 MVA ガス絶縁変圧器の基礎的・要素的な技術開発を終え、プロトタイプ器⁽¹⁾の製作検証まで完了している。今回のガス絶縁変圧器は、これまでの当社のガス絶縁変圧器開発の延長線上に位置づけられる。

今回適用されるガス絶縁変圧器の主要定格事項について、表1にまとめた。これは、定格電圧330 kV、容量400 MVAで、世界最高電圧・最大容量のガス絶縁変圧器となる(これまでは定格電圧275 kV、容量300 MVAが最大⁽²⁾)。

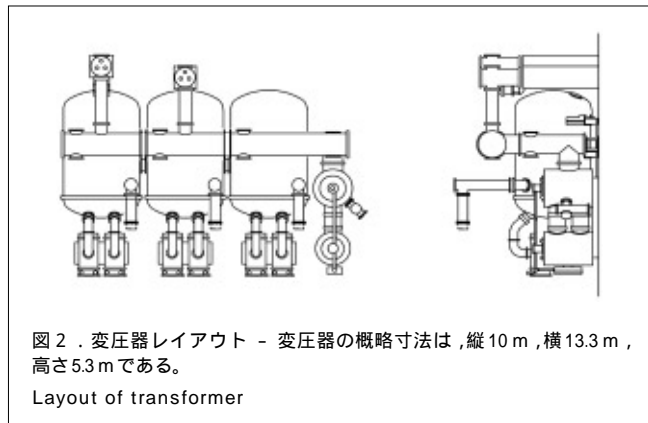
変圧器のレイアウト図を図2に示す。レイアウトは、建物のマシンハッチからの出し入れや、都心への変圧器輸送を考慮して、三相の各相ごとに変圧器を分割する特別三相方式が採用された。タンク上部にリードダクトが設けられ、これで各タンクは接続される。変圧器で発生する熱は水冷クーラによりガスから水に熱交換される。

3.2 設計

人間系で最適解を探す従来の設計手法では、特に冷却設

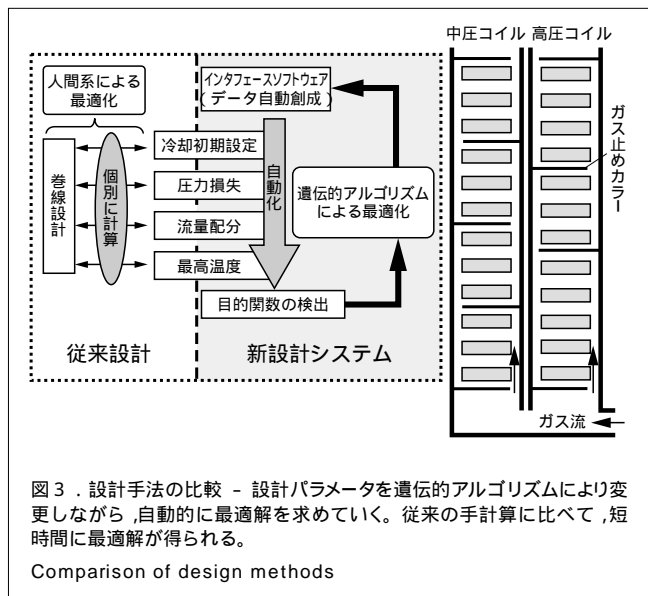
表1 主要定格
Specifications of gas-insulated transformer

| 項目 | 仕様 | |
|-----------|--------------------------|-----------------------------|
| 適用規格 | オーストラリア規格 AS-2374.1-1997 | |
| 方式 | 屋内負荷時タップ切換付特別三相ガス絶縁変圧器 | |
| 電圧・容量 | 一次 | 330 kV ± 10 % (21点) 400 MVA |
| | 二次 | 138.6 kV-400 MVA |
| | 三次 | 11 kV-20 MVA |
| インピーダンス電圧 | 18 % 一次・二次定格タップ | |
| 定格ガス圧 | 0.43 MPa-g (20 °C) | |
| 冷却方式 | 導ガス水冷方式 | |



計にむだが出る可能性があった。そこで、最適解を探し出すのに定評のある遺伝的アルゴリズムを用いた設計手法を開発した。

従来の設計手法と、今回の設計手法の概念比較を図3に示す。これまで設計者の経験に頼っていた圧力損失や流量の配分などの設計パラメータを、計算機によって自動的に最適化していくシステムである。



4 冷却器設計

システムは遺伝的アルゴリズムに基づき、水平ガス道高さやガス止めカラー位置などの初期設定事項、圧力損失や流量配分などのパラメータを変更しながら最適解を探していく。温度設計例を図4に示す。横軸を計算回数、縦軸を最高温度上昇値で整理しており、温度上昇値がしだいに最小値に近づいていくようすがわかる。

最終的に収束した巻線の温度分布図例を図5に示す。この結果、従来の手法に比較して最高温度を約10 K低くすることができた。

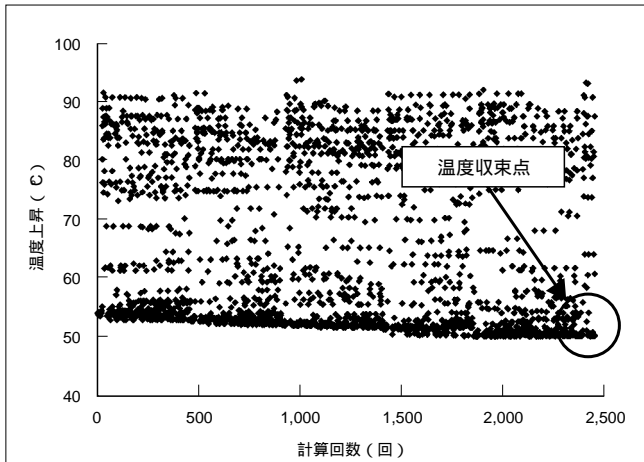


図4．遺伝的アルゴリズムによる巻線温度設計例 - 計算機で大量の計算を行い、最適な解が得られていくようすを示す。

Example of winding temperature design using genetic algorithm

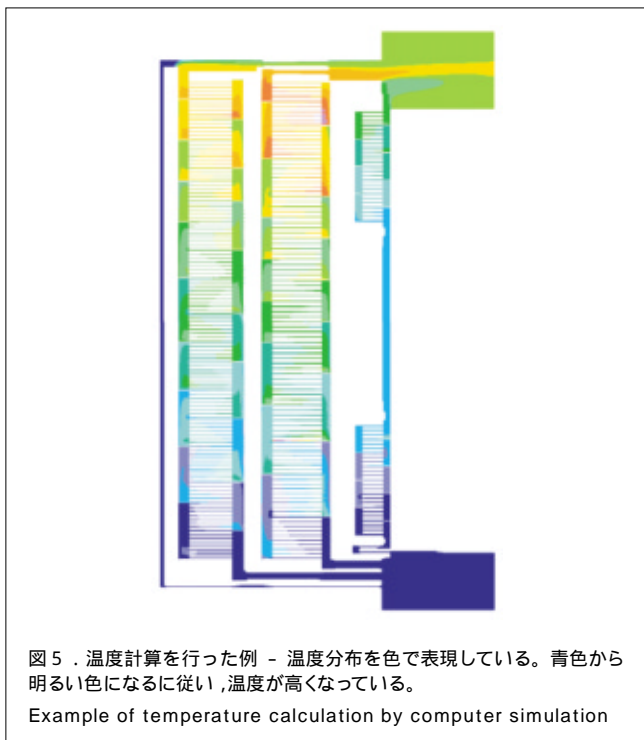


図5．温度計算を行った例 - 温度分布を色で表現している。青色から明るい色になるに従い、温度が高くなっている。

Example of temperature calculation by computer simulation

今回の変電所には、最終的に変圧器3台と分路リアクトル1台が設置される。運転中に地下の機器から発生する熱を、建物上部にある放熱器まで効率よく輸送できる水冷方式が選択された。

4.1 放熱器方式の選択

外部に熱を放熱する放熱器の方式を各種検討した。

以下の利点から、蒸発潜熱を使用しないで、冷却器間を流れる風への熱伝達のみで放熱する乾式の冷却塔システムを採用することが決まった。大容量変電所でこの方式の選択がなされたことがなく、屋内としては世界最大クラスの冷却容量を持つ乾式冷却塔システムとなる。

乾式冷却塔システムの利点は次のとおりである。

- (1) 冷却水の消費が少なくランニングコストが小さい。
- (2) 貯水槽など付帯設備が小さくてすむ。
- (3) 冷却水が密閉系となることから汚れが少ない。

一方、この方式の欠点は、放熱効率が悪くなることである。発生する熱を冷却するため、大量の風を巨大な放熱器に送り込む必要がある。いかに風の流れを制御するかが課題である。この方式の技術的なポイントは次の二つである。

- (1) 大量の空気の流れの制御
- (2) 空気の流れとそれを作り出す送風機で生ずる騒音の低減

4.2 乾式冷却塔の構成

乾式冷却塔の構成を図6に示す。変圧器から発生する熱は、冷却水により上部階の乾式冷却塔へ送られる。熱は放熱器により放散され、乾式放熱器に風を送り込むためファン

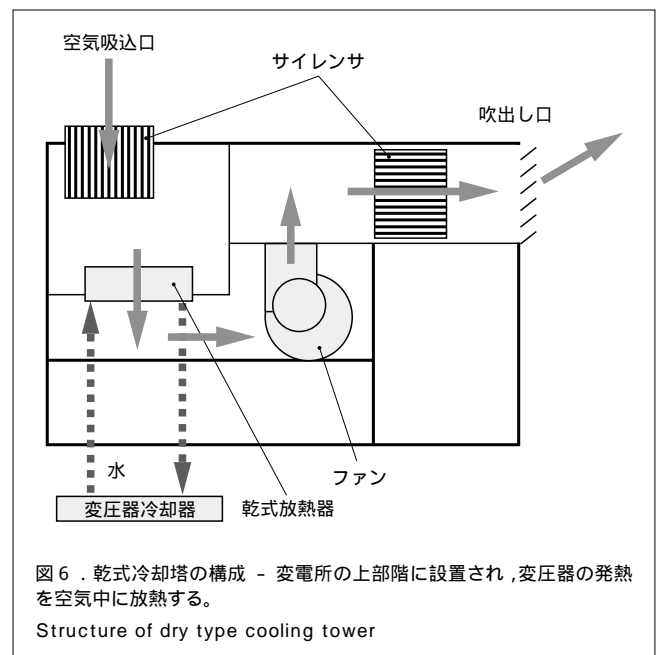


図6．乾式冷却塔の構成 - 変電所の上部階に設置され、変圧器の発熱を空气中に放熱する。

Structure of dry type cooling tower

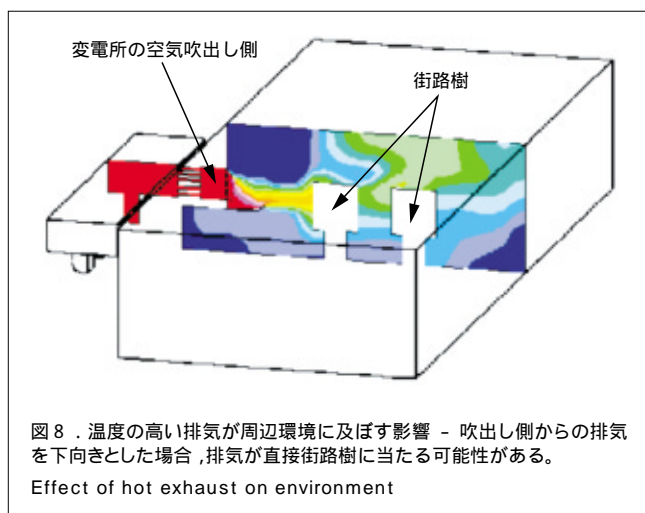
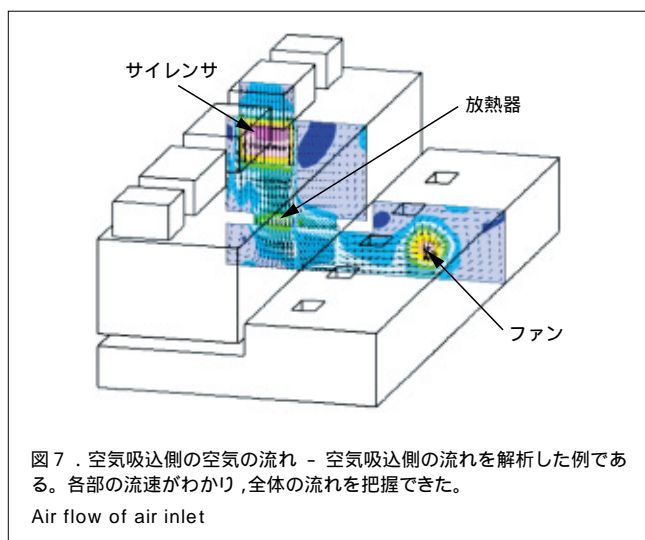
が設けられる。放熱器とファンは仕切られた空間となっており、空気の流れが必ず放熱器を通るような設計となっている。空気の通り道は、変電所の建物の壁を利用して構成され、空気吸込口・吹出し口の双方にサイレンサを取り付け、ファンや乾式放熱器を通る風の音を低減させる。

4.3 通風量確保と環境への配慮

今回の冷却システム全体で、ダクト内を流す風量は約15,500 m³/minとなる。これだけの空気量を効率よく流すために空気の流れの解析を行い、障害物の影響や、温度の上昇した排気が周辺環境へどのような影響を及ぼすかをシミュレーションした。

図7は空気吸込側の流れを解析した例である。各部の流速がわかり、全体の流れを把握できた。

また、変電所が周辺環境へ及ぼす影響を、シミュレーションすることにより検討した。図8は排気部のルーバを下側にし



た計算例である。このように、変電所からの排熱が周辺環境へ及ぼす影響を最小とするような設計的配慮に結びつけた。

騒音は、サイレンサの性能把握とそこからの通過騒音を考慮した騒音解析を行い、建物壁からの透過騒音の影響などを把握した。

これらの検討結果を基に、建物の構成を客先へ提案し、最適な冷却環境が得られるように配慮している。

5 あとがき

トランスグリッド社向けに330 kV-400 MVA ガス絶縁変圧器ほかを納入するのにあたり、当社の豊富なガス絶縁機器納入実績を背景として、変電所システム最適化に向けたソリューション提案を行った。また、客先の変電所コンセプトを具体化するために、遺伝的アルゴリズムに基づいた解析技術を適用し設計した、世界最大容量となるガス絶縁変圧器を開発した。ガス絶縁変圧器・リアクトルは、不燃性や防災性、及び環境調和性に優れたコンパクトな変電所を実現するためのキーテクノロジーである。今後ともユーザーのニーズを実現すべく、当社が持つ豊富な納入実績とシステム技術をベースにして、多様な提案を行ってきたい。

文 献

- (1) Suzuki, Y. PROGRESS OF GAS INSULATED TRANSFORMERS. 2000 International Conference on Electrical Engineering. 2000, p.693 - 696 .
- (2) 戸田克敏,ほか. 変圧器の新時代をひらくガス絶縁技術. 東芝レビュー. 50, 5, 1995, p.365 - 370 .



小林 恒夫 KOBAYASHI Tsuneo

電力システム社 浜川崎工場 変圧器部主査。
ガス絶縁変圧器の開発・設計業務に従事。電気学会会員。
Hamakawasaki Operations



橋本 偉生 HASHIMOTO Hideo

東芝エンジニアリング(株)電力事業部 システム技術部参事。
変圧器冷却装置の設計・エンジニアリング業務に従事。
Toshiba Engineering Corp.



目黒 雅也 MEGURO Masanari

電力システム社 電力事業部 電力変電技術部部長。
変電機器の開発と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 & Services Div.