

コンバインドサイクル発電所用昇圧変圧器

安部 正彰(あべ まさあき)

松瀬 圭介(まつせ けいすけ)

大野 佳雄(おおの よしお)

① まえがき

近年、高い熱効率、経済的な優位性、環境への優しさなどの特長があるコンバインドサイクル発電プラントの建設が増加してきている。富士電機も表1に示すように、国内電力会社の火力発電所用昇圧変圧器を多数製作、納入してきているが、最近ではコンバインドサイクル発電所用を相次いで出荷し、着実にその設計ノウハウを積み重ねている⁽¹⁾。

一方、電力自由化の流れのなかで、発電所建設コストの見直しが進み、昇圧変圧器単体をとってみても、変圧器本

体、輸送、現地工事、それに基礎も含めたトータルコストの低減が強く要請されている。

本稿では、このような要請にこたえるべく、富士電機がコンバインドサイクル発電所用昇圧変圧器に最近適用している技術の一端を紹介する。

② 全装輸送式変圧器⁽²⁾

一般に、変圧器は工場試験完了後、外装部品を取り外して輸送し、現地で再度組み立て直すという工程を踏んでい

表1 最近の国内電力会社向け火力発電所用昇圧変圧器の納入実績

納入年 (工場出荷年)	納入先	台数	容量 (MVA)	電圧 (kV)	Hz	冷却方式	備考
1990年	東京電力(株) 東扇島火力発電所 2号	1	1,100	19.5/280	50	送油風冷	別置形負荷時タップ 切換器付き
1990年	北陸電力(株) 敦賀火力発電所 1号	1	530	19.5/275	60	送油風冷	負荷時タップ切換器付き
1993年	東北電力(株) 能代火力発電所 2号	1	620	19.4/275	50	送油風冷	負荷時タップ切換器付き
1993年	北陸電力(株) 七尾大田火力発電所 1号	1	530	19/275	60	送油風冷	負荷時タップ切換器付き
1995~1996年	東京電力(株) 横浜火力発電所 7&8号系列	4 4	395 395	22.5/283 22.5/148	50 50	送油風冷 送油風冷	
1996年	東北電力(株) 原町火力発電所 2号	1	1,050	19.5/275	50	送油風冷	負荷時タップ切換器付き
1997年	北陸電力(株) 七尾大田火力発電所 2号	1	740	25/275	60	導油風冷	負荷時タップ切換器付き
1997年	中部電力(株) 新名古屋火力発電所 7号系列	6	265+9	17.6/281 18/6.9	60	送油水冷	主変圧器+直結変圧器 (所内変圧器),ファン タンク収納形,全装輸送式
1997~1998年	東京電力(株) 千葉火力発電所 1&2号系列	4 4	380 380	21.5/281.25 22.5/281.25	50 50	導油風冷 導油風冷	全装輸送式
1999年	北陸電力(株) 敦賀火力発電所 2号	1	740	25/275	60	導油風冷	負荷時タップ切換器付き
1999年	電源開発(株) 橘湾火力発電所 2号	1	1,100	20/510	60	導油風冷	
1999年, 2000年	東京電力(株) 富津火力発電所 3号系列	2	2×410 /820	2×22.5/525	50	導油風冷	スプリット形
2000年	東京電力(株) 品川火力発電所 1号系列	3	395	22.5/154	50	導油風冷	負荷時タップ切換器付き 全装輸送式

注 網掛け部はコンバインドサイクル発電所



安部 正彰

火力発電設備の電気機器のエンジニアリング業務に従事。現在、電機システムカンパニー火力事業部電気制御技術部課長。電気学会会員。



松瀬 圭介

国内電力会社向け変電設備のエンジニアリング業務に従事。現在、電機システムカンパニー電機・交通システム事業部変電技術部。



大野 佳雄

電力用および工業用油入変圧器の設計に従事。現在、変電システム製作所変圧器部。

る。これに対し、工場完成状態のまま輸送し、現地で据え付けることができれば、現地工程の大幅な短縮のみならず製品の信頼性向上にも大きく寄与することができる。特に火力発電所の場合、岸壁があるため海上輸送が可能で、構内の輸送制限も一般公道より緩やかであるため、最近では可能な限り全装輸送式変圧器の適用を進めている。

全装輸送式変圧器の実現にあたっての基本的な狙いをまとめると図1のようになる。

2.1 変圧器構造の見直し

(1) 防音壁の省略と冷却器の本体マウント

防音壁付変圧器の場合、現地で組み立てるうえに、冷却器は防音壁の外側に別置されるため、全装輸送は困難である。このため、ステップラップ方式接合鉄心や制振鋼板などの新しい低騒音化技術を採用して、防音壁の省略を実現した。これにより、冷却器の本体マウントも可能となった。

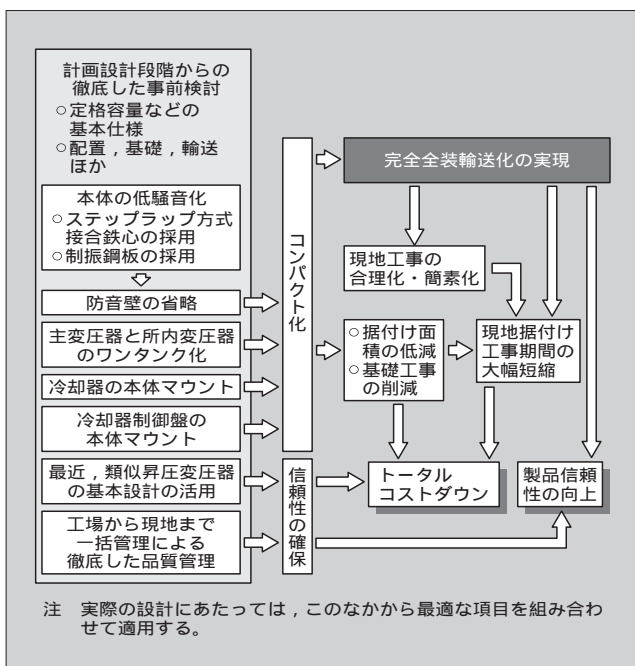
(2) 冷却器制御盤の本体マウント

冷却器制御盤は変圧器近傍に別置されることが多いが、変圧器本体にマウントして工場で試験した状態のまま輸送することにより、現地での変圧器本体とのケーブル接続工事が不要となる。ただし、変圧器から伝わってくる振動に対して、防振ゴムの適用などの対策を実施している。

(3) つり上げを考慮した外装部品のレイアウト

すべての外装部品を取り付けた状態でつり上げるためには、変圧器の重心位置がほぼ中央になるように、かつ、つりワイヤと部品との干渉がないように、部品の配置を検討する必要がある。具体的には、冷却器の左右対称配置や、一次、二次の取り合い点のバランスの良い配置などの工夫をしている。このため、設計レビューには物流部門も参画し、設計の早い段階から輸送方法や現地の条件を考慮して、変圧器構造の決定を行っている。

図1 全装輸送式変圧器設計のポイント



2.2 現地輸送と据付け工事

発電所構内の輸送にはスーパーキャリアを、基礎上でのつり降ろし、オンベッド作業にはリフトシステムを用いている。これにより、岸壁での水切りからオンベッドまで1日で安全に完了することができ、据付け工事期間も従来に比べて30～50%短縮することが可能となった。

図2、図3に現地輸送状況を示す。

③ 低減容量の採用

一般の汽力発電プラントの発電機出力は、気温に関係なく一定であるが、コンバインドサイクル発電プラントでは、ガスタービンの特性から図4に示すとおり、気温に反比例して気温が高くなるほど出力が低下する。つまり、コンバインドサイクル発電用の変圧器は、気温が高くなれば負荷が減少することになる。

一方、変圧器の寿命は、その巻線最高点温度に最も大きな影響を受ける。すなわち、巻線最高点温度が高いほど、変圧器の寿命損失が増加することになる。

図2 スーパーキャリアによる構内輸送



図3 リフトシステムによる据付け作業



図4 発電プラントの発電機出力特性

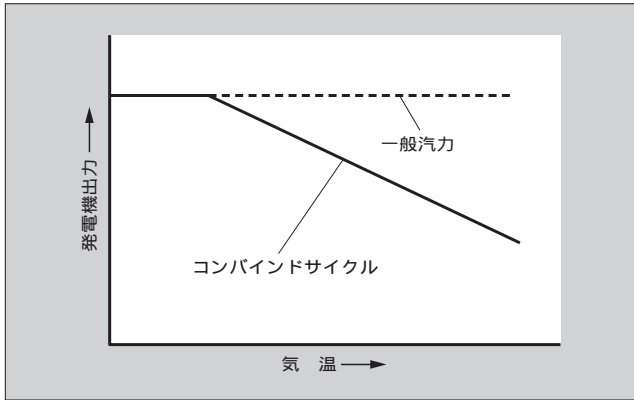
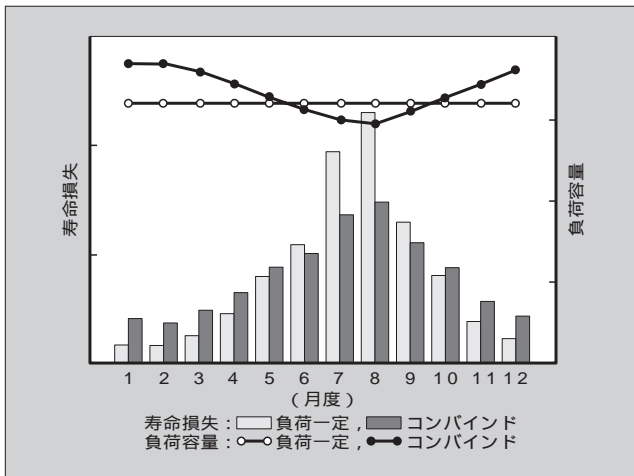


図5 変圧器の寿命損失と負荷容量



一定負荷の変圧器の場合、気温の高い夏場に巻線最高温度が高くなり、寿命損失の大半を消費することになるが、逆に、コンバインドサイクル発電用変圧器では、気温の高い夏場に変圧器負荷が減少するので、巻線最高温度が低くなり、一定負荷の変圧器に比べると年間の寿命損失は少なくなる。

そこで、図5に示すように、変圧器が設置される場所での毎月の気温の変化を考慮して、

$$〔コンバインドサイクル用変圧器の年間寿命損失〕 = 〔一定負荷の変圧器の年間寿命損失〕$$

となるような一定負荷の変圧器容量を求め、これに若干の余裕を加えて、コンバインドサイクル用変圧器の定格容量としている。こうすることで、冬場のコンバインドサイクル発電プラントの最大出力に見合った変圧器容量よりも低減された定格容量を選定することができる。

4 スプリット形変圧器

4.1 巻線構造

従来、発電所の昇圧変圧器は、1台の発電機に対して1台設置されるのが一般的であるが、最近のコンバインドサイクル発電所では、変圧器設置スペースの削減や変圧器と開閉装置を含めた機器全体のコストダウンを図るため、図

図6 主回路結線図

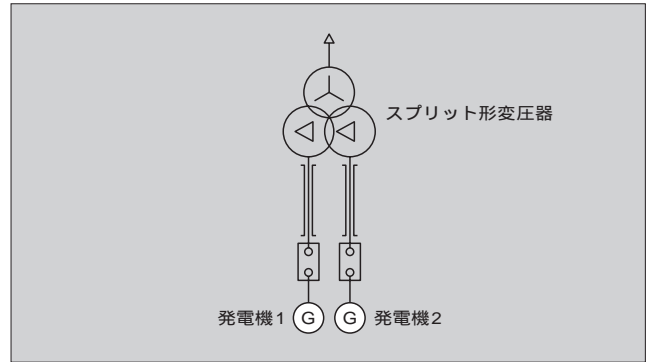


図7 スプリット形変圧器の巻線配置

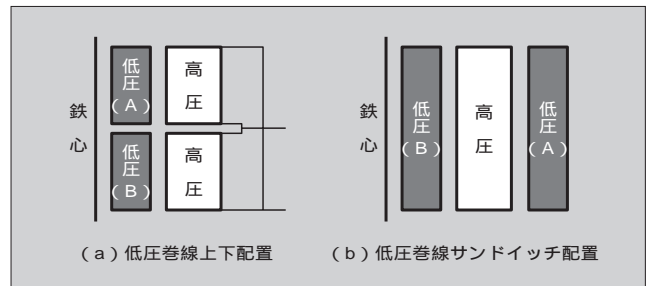


図8 低圧巻線（上下配置）



6に示すように、発電機2台に対して変圧器1台を設置するケースがある。このように同一定格の低圧巻線を二つ有する3巻線変圧器をスプリット形と呼んでいる。

スプリット形変圧器の巻線配置には、図7に示すような低圧巻線を上下に配置する方式と、低圧巻線で高圧巻線をサンドイッチのようにはさむ配置方式があるが、富士電機では、高圧巻線が外側にあるため高圧リードの引出しが容易となる低圧巻線上下配置を採用している。図8に低圧巻線の製作状況を示す。

4.2 設計上の留意点

低圧巻線上下配置の変圧器の場合、簡単にいえば2台の同一定格の変圧器を上下に重ね合わせたような構造であり、高圧巻線も低圧巻線と同様に上下に分かれて、それが並列接続されている。このため、低圧巻線の一方のみが運転さ

図9 スプリット形変圧器の巻線磁界マッピング例

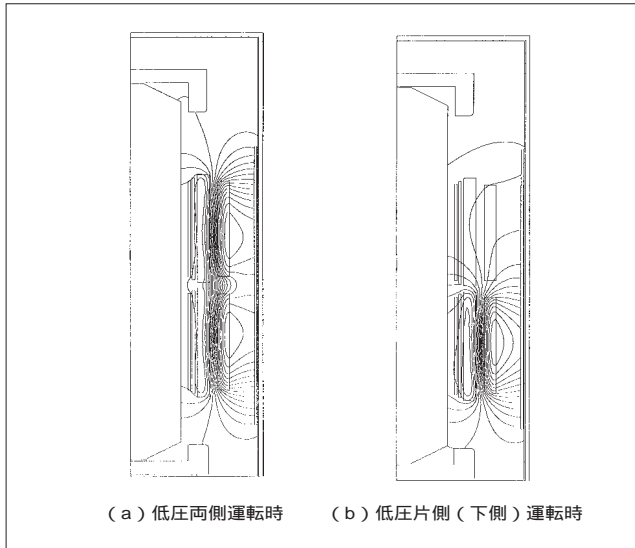
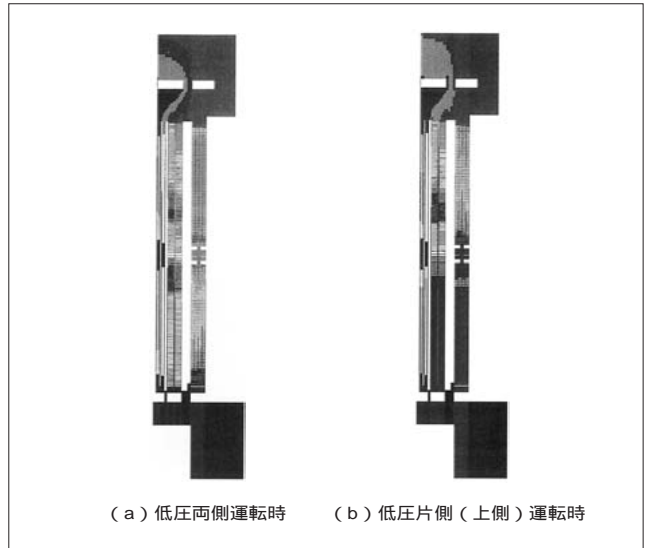


図10 スプリット形変圧器の巻線温度解析例



れる片側運転時に、設計上、留意すべき事項がでてくる。

(1) インピーダンス整合

高圧巻線が上下に並列接続されているために、片側運転時は高圧巻線の上側と下側とにある割合で電流が分流することになる。この分流割合を精度の高い解析を行って把握し、インピーダンスの整合を十分確認する必要がある。

(2) 漏れ磁束対策

前項で述べたように、片側運転時の電流分布が不均一となるため、漏れ磁束分布が両側運転時に比べて巻線端部領域において非対称となる。この漏れ磁束分布については、漏れ磁束解析を行い、各構造部分に局部加熱を発生させないように十分な対策を実施する必要がある。図9に磁界マッピングの一例を示す。片側運転時は、漏れ磁束の分布が巻線中央部で鉄心側とタンク側に還流し、分布が上下対称とならないことが分かる。

(3) 冷却設計

同容量の低圧巻線が二つあるため、例えば、変圧器の負荷率が50%といってもいろいろなケースが想定される。一例として、両方の低圧巻線の負荷が均等に半分になっている場合と、片側巻線のみ全負荷運転している場合とを考えてみても、発生する負荷損は異なってくる。すなわち、負荷率100%の変圧器で発生する負荷損に比べて、前者の場合に発生する負荷損は約25%となるのに対し、後者の

場合のそれは約50%となる。さらに実際には、漏れ磁束の影響を受けて停止側の巻線からも損失が若干発生するため、片側運転時に発生する負荷損は50%よりも大きくなる。スプリット形変圧器では、これらのことを十分考慮して冷却器の制御システムを検討する必要がある。

なお、図10に巻線の温度解析例を示す。停止側の巻線に、運転側の影響が及んでいることが分かる。

5 あとがき

昇圧変圧器は、本稿で述べたコンバインドサイクル発電所用に限らず、火力発電設備の重要な機器としての高信頼性の確保はもとより、コンパクト化やコストダウンの要請が、今後ますます高まるものと考えられる。

富士電機はこれまでの経験を生かしながら、新たな技術開発を進め、これらの要請に的確にこたえていく所存である。

参考文献

(1) 大久保堅司ほか：最近の変圧器技術，富士時報，Vol.71，No.9，p.488-493（1998）
 (2) 齋藤義夫：全装輸送式大容量変圧器，電気評論，Vol.84，No.3，p.16-18（1999）



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。