

海外におけるタービン発電機の改良保全技術

Generator Rehabilitation Technologies for Overseas After-Care Market

鴨田 史尚

■ KAMOTA Fuminao

片山 仁

■ KATAYAMA Hitoshi

篠田 俊彦

■ SHINODA Toshihiko

海外における経年タービン発電機は、多様な顧客がそれぞれ多様な課題を抱えて運転保守を行っており、改良保全に対するニーズも多岐にわたる。

東芝は、このような顧客の声(VOC)をとらえて課題へのソリューションを提供すべく、高熱伝導絶縁システム(HTC)、ステータコイル水漏れ診断技術、ロータ補修及び解析技術といった先進的技術を開発・実用化し、機器の経年劣化や出力増加対応に伴う機器一式更新のほか、ステータコイル巻替やロータ更新といった部分更新、更には各種補修・診断技術に至るまで、他社の経年機も含め、顧客のニーズに応じたきめ細かいサービスを提供している。

The field of turbine generator rehabilitation for overseas markets is characterized by the various types of problems faced by power plant owners in the operation and maintenance of aging generators.

In order to offer solutions that are appropriate for each need, Toshiba provides a variety of technologies such as the high thermal conductivity (HTC) insulation system, water leak detection by the potential mapping test (PMT), rotor maintenance with the high-pressure/high-velocity oxygen fuel process, and other analysis technologies. These technologies demonstrate our capability to offer optimal solutions for turbine generator rehabilitation in the after-care market.

1 まえがき

国内におけるタービン発電機の補修サービスは、顧客によって策定される中長期的保全計画に基づき、予備品の交換や予防保全活動(オーステナイト非磁鋼(18Mn-5Cr)を採用しているエンドリングの交換や水冷却発電機ステータコイルの水漏れ対策など)といった比較的定形化されたメニューが中心となる。一方、広く海外の経年タービン発電機に目を向けると、多様な顧客がそれぞれ多様な問題点を抱えていることが多く、これら問題点を解決することがニーズの高い顧客の声(VOC)となっている。東芝は、VOCに応えるべく、課題の真因把握と解決方法(ソリューション)を研究し、顧客に対し投資効果の高い多様なサービスを提供すべく注力している。

2 海外経年タービン発電機の運転状況と課題

海外の顧客を取り巻く環境として、特に欧米や豪州においては電力自由化に伴う体制再編や民営化が進められており、それを起因とする以下のような問題が散見される。

- (1) 体制スリム化により運転技術を熟知したオペレーター数が不足し、それに伴う発電機運転不適合(非同期投入、過励磁運転、冷却機無通水運転など)の発生
- (2) 保全予算の削減により予防保全活動が不足し、それに伴う品質不適合(ロータコイルクリープに伴う過熱や

地絡、冷却コイル水漏れ、コイル端部振動問題など)の発生

- (3) 発電稼働率改善のため、定期点検期間の削減及びインターバル増加が強いられ、それに伴う品質不適合(振動大による運転継続上の問題など)の発生

なお、地域によっては固定子水冷却コイルなどに問題を抱え、十分な補修予算が得られず停止を余儀なくされているケースも存在する。

一方、メーカー側環境として、企業の合併・買収(M&A)が繰り返されており、従来からオリジナルメーカー(OEM)によるサービスが継続されてきた地域においても、近年では十分なサービスが受けられないケースも見受けられる。

これらの情勢のなかで、顧客のなかには運転保守を必ずしもOEMのみに依存しないよう市場開放に向けた動きも見受けられる。当社では、これら多岐にわたるニーズに対応すべく、以下に述べる先進的技術を開発・実用化している。

3 改良保全サービスを支える技術

改良保全サービスに適用されるタービン発電機要素技術、補修技術、診断技術の一例を紹介する。

3.1 要素技術を適用した実施例

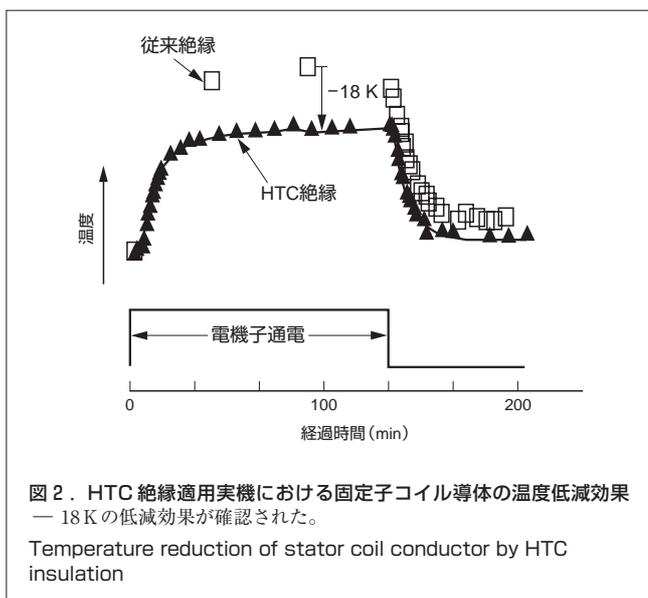
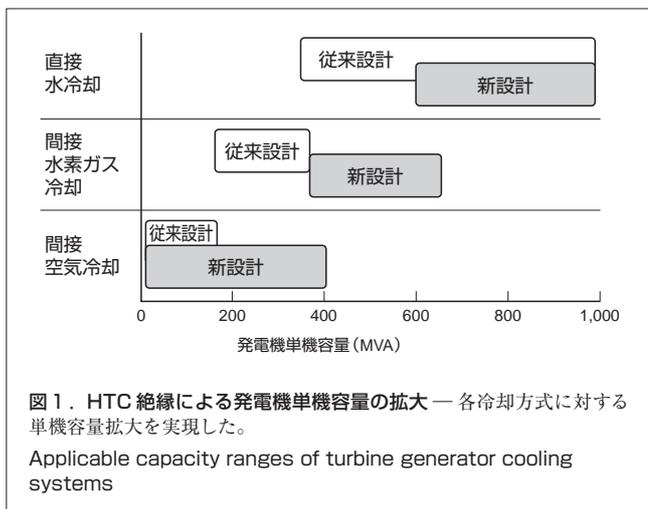
3.1.1 高熱伝導絶縁システム(HTC)の開発・適用

高電圧回転機固定子コイルに用いられる絶縁システムは、

優れた電気絶縁性能を要求される。一般に絶縁物は電気絶縁とともに熱絶縁としても機能するため、いかに効率よくコイルを冷却するかが設計上重要となる。そこで開発されたのが、HTCである。従来の絶縁システムに比べ約2倍の熱伝導率を持ち、**図1**に示すように各冷却方式に対する発電機単機容量を増すことができる。**図2**は、同一設計で固定子コイル絶縁のみHTC絶縁に変更した発電機(350 MVA級)の温度上昇試験結果を示し、HTC絶縁適用によるコイル温度低減効果が確認された。

この技術を生産機改良保全に適用することで、顧客は次のような選択肢を持つことができる。

- (1) 既設発電機の基礎台を流用しつつ、出力アップ
- (2) 運転の容易性と保守費の削減効果(水冷却機の空気/水素冷却機への更新など)
- (3) 発電機の効率改善



当社ではこの技術を適用し、**表1**、**図3**に示すとおり、広く海外の他社製経年機(Non-OEM)の一式更新をした実績を持っている。

また、固定子コイル巻替においては、電機子電流を増し発電機出力アップが可能であるほか、定格変更のない場合でもコイル温度が低減される分コイル冷却風損を抑えられ、結果として発電機の効率を改善することができる。

表1. 他社製経年機の一式更新の例

Examples of turbine generator replacement of other manufacturers

納入先	既設機(他社製)		リブレース機(当社製)	
	容量(MVA)	冷却方式(固定子/回転子)	容量(MVA)	冷却方式(固定子/回転子)
A	176.2	水/水素	208.7	空気
B	282.5	水素	410.0	水素
C	389.0	水/水素	445.0	水素

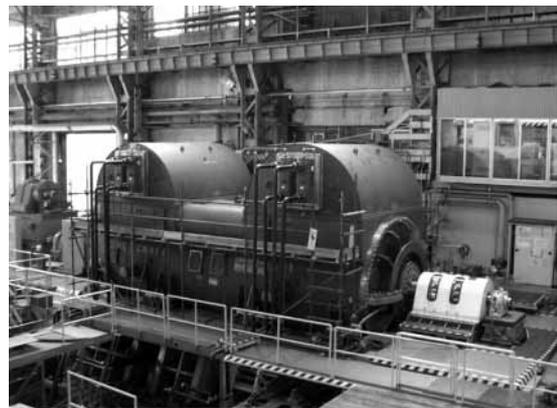
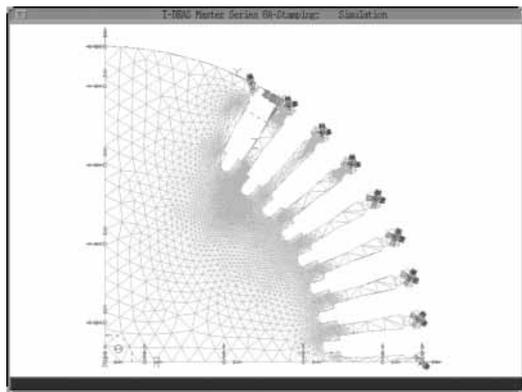


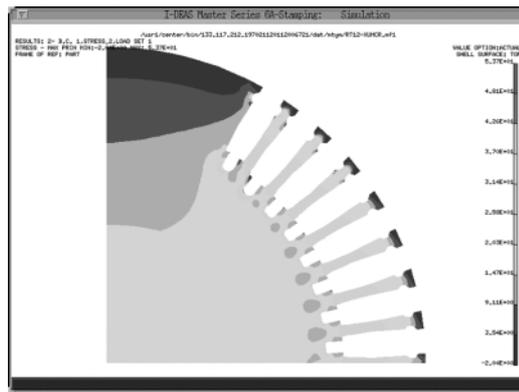
図3. リブレース用445 MVA発電機の外観 — 工場試験時のようすを示す。
445 MVA generator in shop test

3.1.2 ロータ性能向上技術 当社は海外向けに945 MVA発電機(Non-OEM)の予備ロータを納入した実績を持つ。既設ロータはコイル温度の上昇値が高く、コイルの熱伸びによりコイルが大きく塑性変形し、隣のターンのコイルに接触するという不適合が発生していた。

当社では、1,000 MW級大容量発電機の製作実績に基づき、既設ロータでの外径寸法を変えずに、ロータスロット形状を有限要素法(FEM)解析(**図4**)により最適化し、ロータコイル寸法を変更するとともに、コイル冷却通風穴寸法の最適化を図り、通風冷却性能を改善した。これにより、ロータコイル温度を低減することに成功し、既設の不適合を解決した製品(**図5**)を客先に提供することができた。



(a) 発電機スロット断面のFEMメッシュ



(b) 発電機スロット断面の応力状態

図4. ロータの有限要素モデルと解析結果 — ロータスロット形状をFEM解析により最適化する。
Analytical model of rotor



図5. 945 MVA 発電機用ロータ — 1,000 MW 級大容量発電機の製作実績に基づき、既設の不適合を解決した予備ロータを納入した。
Spare rotor of 945 MVA generator

3.2 補修技術を適用した実施例 — ロータ溶射技術

溶射とは、溶かした金属の粉末を被射体(金属)に高速で射出し、被射体の上に数mmの薄い金属の皮膜を作る技術のことである。当社はロータの補修技術として、ロータ材料に近いCr-Mo-V(クロム・モリブデン・バナジウム)粉体を溶射し、ロータ水素シール部の傷を現地にて補修する技術を確認した(図6)。

ロータ水素シール部表面に深い傷ができてしまうと、通常はロータ外径を削り、水素シールリング径を小さくして使用するが、数台の同型の発電機で予備ロータを共有しているような発電所では、一台だけ寸法を変更して使用することができない。溶射技術を用いると、ロータ表面の傷を埋められるため、ロータ径の変更なしに補修が可能となる。

当社では、海外他社製発電機ロータの補修を現地にて実施した実績を持っている。

今後、溶射技術を適用できる補修箇所としてロータジャーナル部が考えられる。ジャーナル部は水素シール部と異なり、ロータ荷重を受けている部分で、溶射補修部には大きな力が加わるため、補修部の剥離(はくり)などのおそれがある。



図6. ロータシール部の現地溶射補修 — ロータ水素シール部の傷を現地にて補修する技術を確認した。

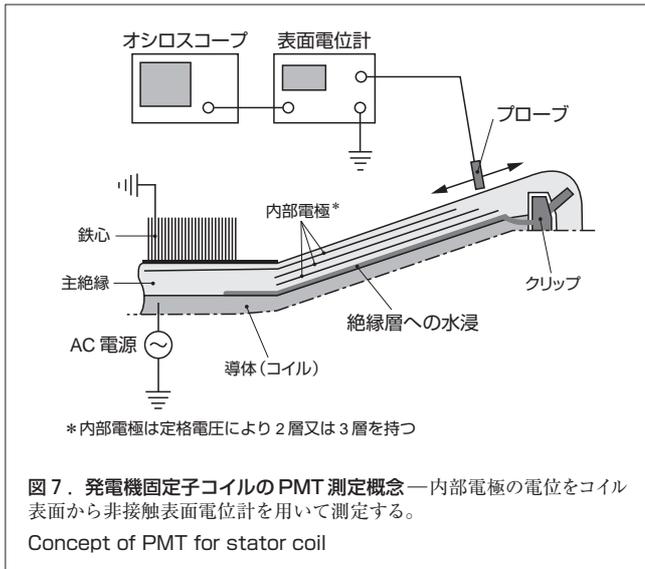
High-pressure/high-velocity oxygen fuel process for rotor seal

そのため、溶射金属と補修母体との接着強度を高めた補修技術を開発する必要があり、現在、補修母体の表面処理方法の検討や溶射金属の選定などを行っている。

3.3 診断技術を適用した実施例

3.3.1 発電機固定子コイル水漏れ診断技術 水冷却固定子コイルは、コイル端の接続部腐食などにより冷却水が漏れ出して絶縁層が吸湿し、加速劣化するおそれがある。そのため定検時の各種漏えい試験やコイル絶縁層の静電容量を測定し吸湿の有無を判定するCMT(Capacitance Mapping Test)の実施を推奨している。

一方、メーカーによっては、水冷却固定子コイルエンド部表面の電界緩和のため、絶縁層中に内部電極金属はくの巻込みを持った仕様としている。一般的に水漏れにより吸湿する絶縁層は、この内部電極(最内層)とコイル間に存在する。従来の水漏れ診断技術(CMT)では、測定電極の面積に対



し内部電極が極端に大きく、これらが電氣的に直列接続となるため、測定電極を当てた部分と内部電極(最内層)の静電容量だけが検出されてしまう。

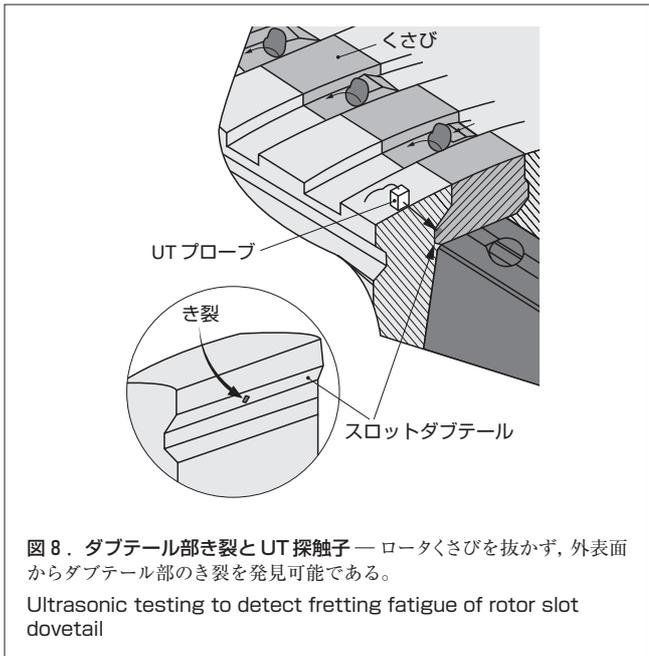
そこで当社は、内部電極の電位を非接触表面電位計を用いてコイル表面から測定する技術を独自に開発し、PMT (Potential Mapping Test)と名づけ、2003年1月に米国のEPRI主催の国際会議で発表した(図7)。この発表を契機に海外から計5台(いずれも原子力発電所)の発電機PMTを依頼され、水漏れコイルの発見に成功している。

3.3.2 ロータスロットダブテール部のき裂進展シミュレーション技術 最近、海外で古い大型発電機ロータのスロットダブテール部のき裂問題が話題となっている。長年運転した大型発電機ロータのスロットダブテール部にき裂が発生するというものである。これに対しOEMは、ロータ点検時にき裂のチェックと補修を推奨している。

当社製ロータでもこの種のき裂問題を経験しているが、1980年代に対策を終了しており、同時にこのき裂をUT(超音波探傷)検査により発見する技術を既に開発している。

このUT技術は、ロータスロットダブテール部のき裂検査用UT探触子を開発し、ロータくさびを抜かずにロータの外表面から容易にダブテール部にあるき裂を発見できるようにしたものである(図8)。

現在、この探触子を用い、き裂の詳細寸法を測定できる技術を開発中で、今後は他社製ロータのき裂検査と、運転履歴から、そのロータのき裂発生メカニズムをシミュレーション技術により解明し、個々のロータの余寿命診断サービスを展開していく。



4 あとがき

発電機の改良保全サービスは、VOCに対応したソリューションを提供するビジネス活動である。VOC(困っている点)をよく聞き、それに付随する多様な問題に対するフレキシブルな解決策をいくつか提示し、顧客にとって最良の解決策をいっしょに模索するというプロセスが必須である。改良保全サービスの定型化ということは困難であるが、同じ問題を抱えた機種を複数ユニット持っている顧客もあり、効率的かつ投資効果の高い提案をもとに、今後も海外タービン発電機へのサービス展開を図っていく。



鴨田 史尚 KAMOTA Fuminao
電力・社会システム社 火力・水力事業部 火力エンジニアリングセンター主務。火力発電所の電気系エンジニアリング業務に従事。
Thermal Power & Hydroelectric Power Systems & Services Div.



片山 仁 KATAYAMA Hitoshi
電力・社会システム社 京浜事業所 発電機部主務。タービン発電機の機械基本設計業務に従事。日本機械学会会員。
Keihin Product Operations



篠田 俊彦 SHINODA Toshihiko
電力・社会システム社 京浜事業所 発電機部主務。タービン発電機の改良保全業務に従事。電気学会会員。
Keihin Product Operations