

回転機のレトロフィット対応技術

松尾知成 Tomonari Matsuo
宮本洋介 Yosuke Miyamoto
田崎一晃 Kazuaki Tazaki
利根川良一 Ryoichi Tonegawa

キーワード 電動機, レトロフィット, 巻き替え, 絶縁技術, 技術の伝承

概要



圧延機用電動機（1935年製）

新日鐵住金(株)東京鋼管部で運用されている圧延機用電動機は1935年製で、戦前から運用を開始し戦火を免れ80年以上活躍している。出力1000馬力、電圧3150V、極数60P、回転数約 100min^{-1} 、固定子直径約5m、総質量約60t、低速で高いトルクを生み出す電動機である。

過去に2回、電動機の心臓部であるコイルを巻き替え、故障もなく稼働してきた。そして、2016年9月から10月にかけて、更なる延命化のために3回目のコイル巻き替え整備を実施した。

契約工期22日間で無事故・無災害で完了に至ったが、安全・品質・納期を確保するための事前の準備、検討及び現場作業員の意識、チームワークの重要性を再認識した案件であった。

1 まえがき

新日鐵住金(株)東京鋼管部に納入した圧延機用電動機は、1935年以来、過去2回のコイル巻き替え整備を行ってきた。1回目は1958年狩野川台風発生時に水没したため、2回目は1985年に延命化のために巻き替え整備を実施した。いずれもお客様ラインの定期修理期間に合わせた工期の関係で、現地からの持ち出しが困難なことから、現地据え付け状態で行った。第1図に圧延用電動機の輸送風景（1935年）を示す。

今回で3回目となるコイル巻き替え整備は、(株)明電エンジニアリングが受注し、当社と協力体制の下、過去と同様に現地で実施した。

現地工事は、お客様の操業・生産に直接の影響を与えない22日間という短い工期で完了させる必要があった。短い工期の中で、安全・品質・納期を確



第1図 圧延用電動機の輸送風景（1935年）

本電動機の製作当時の輸送風景である。写真右側の布がかかっているものが電動機である。電動機が大きいため夜間に輸送している。

保するために、現地工事を考慮した設計段階からの事前検討、現地の体制作りを実施した。

本稿では、コイル巻き替え整備における事前検討・現場体制・現地工事・緊急時対応を紹介する。

2 事前検討

2.1 前回整備の情報提供

前回(1985年)整備時の図面及び現地整備資料が、少ないながらも保管されていたため、その資料を基に検討した。

2.2 工場検討

工場に80年前の最初の製作当時の図面が保管されており、その図面を基に3Dモデルを作成し、各現地工程のイメージを明確にした。第2図に電動機3Dモデルを示す。図面で把握できない箇所は、実際に現地に足を運び調査した。工場で実施した主な検討事項を以下に紹介する。

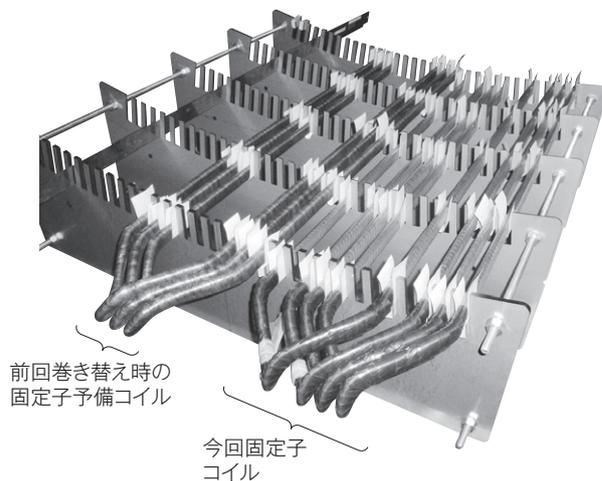
2.2.1 コイル検討

第3図に固定子コイルの新旧比較を示す。コイルの検討にあたり、前回巻き替え時の予備コイルをお客様にお借りし、形状・絶縁仕様・コイル間接続を検討した。固定子コイル540本、回転子コイル1440本と非常に多く、また短期間の巻き替え作業のため、絶縁仕様はもちろんのこと、現地の作業性を考慮して設計した。

現在、固定子コイルの絶縁は一体含浸を行うが、現地では不可能なため、今回は絶縁構成を検討した。現地で絶縁の熱硬化ができ、なおかつ工期の短

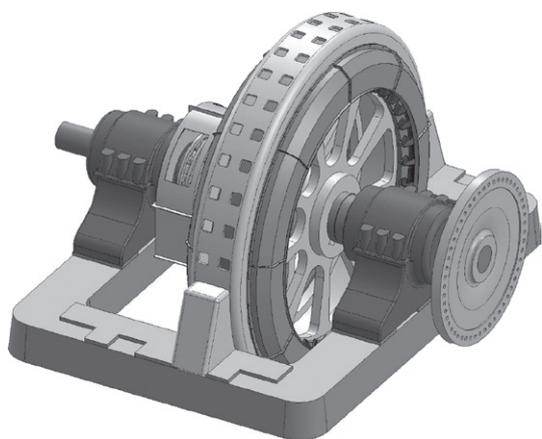
縮に寄与する方式として、最新の風力発電機で実績のある絶縁方式を採用した。採用にあたっては、コイルを先行製作し、絶縁特性試験(誘電正接試験・部分放電試験)に加え、ヒートサイクル試験・耐電圧試験などを行い、今回の絶縁仕様を満たしていることを確認した。固定子コイル間接続も検討した。第4図に固定子コイル間接続の外観を示す。現地の作業性、作業者によるばらつきを考慮し、3種類ある接続方法の中から最も作業性の良いピストル型と呼ぶ形状を採用した。

回転子コイルは通常の巻き替え作業で使用する絶縁方式を採用した。回転子コイル間の接続・絶縁



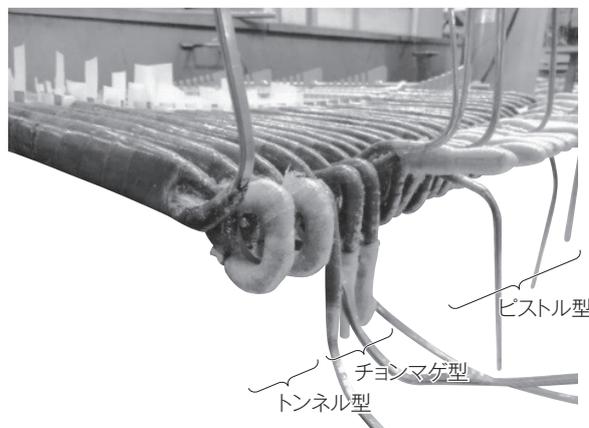
第3図 固定子コイル新旧比較

前回巻き替え時の固定子コイルを参考にし、今回のコイルの検討を進めた。



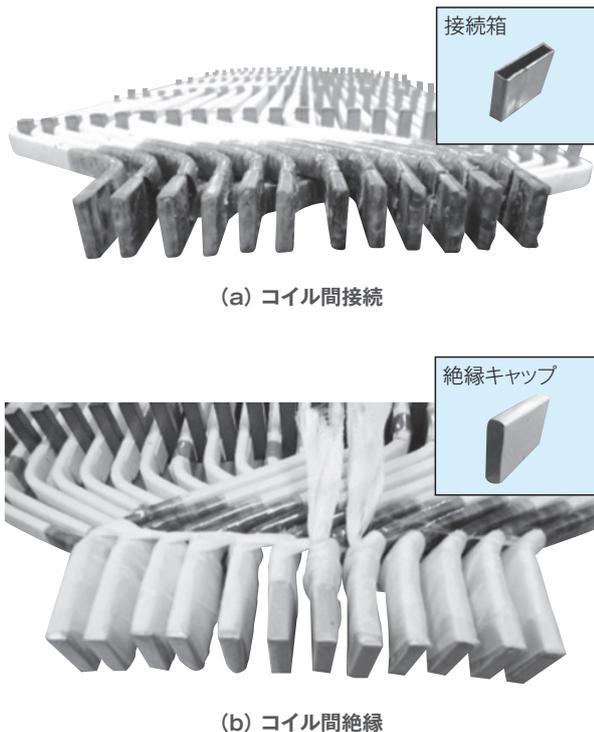
第2図 電動機3Dモデル

製作当時の図面を基に3Dモデルを作成した。3Dモデルを活用することで、各工程のイメージを明確にした。



第4図 固定子コイル間接続

現地の作業性を考慮し、3種類の接続方法(トンネル型・チョンマゲ型・ピストル型)で検討した結果、ピストル型を採用した。



第 5 図 回転子コイル間接続及び絶縁

(a) は接続箱をかぶせてTIG溶接を行っている様子を示す。(b) はキャップ絶縁をガラステープで固定している様子を示す。

は、作業性及び作業員の熟練度を考慮し検討した。

第 5 図に回転子コイル間接続及び絶縁を示す。作業性を考慮した方法と従来からの方法とを試作機で比較検証しながら信頼性を確認した。ここでは従来からの接続部に銅材の接続箱をかぶせTIG溶接（電氣を用いたアーク溶接方法の一種）を行い、絶縁は改良したキャップ絶縁をガラステープで固定する方法を採用した。

2.2.2 ターニング装置検討

ターニング装置は、回転子巻線を巻き替えする上で欠かせない装置である。回転子の質量は約30t、外形は3650mmであるため、ターニングには大きな動力を必要とした。また、巻き替え作業の妨げにならないよう限られたスペースに装置を設置する必要があったため、軸端にギヤをはめて駆動モータの動力をチェーンで伝える方式を採用した。

2.2.3 巻き替え工程検討

現地工程を短縮するために、固定子と回転子の作業を並行して行うことが必要不可欠であった。固定

子から回転子を完全に抜き出せない限られたスペースで、それぞれの作業を妨げないよう固定子や足場の位置・作業手順・検査のタイミングなどを含めて、最良な工程になるよう検討した。

2.2.4 鉄心の健全性確認

80年前の電動機のため、鉄心の傷みが想定された。そのため鉄心の目視検査に加え、誘導加熱試験で健全性を確認した。誘導加熱試験は、鉄心に必要数をターンさせたケーブルに徐々に電流を流し試験を行った。試験電源は、(株)明電エンジニアリング所有の移動電源車を用いた。

2.2.5 リスク管理

現地で不具合が発生した際に迅速に対応できるようFMEA (Failure Mode and Effect Analysis) を応用し、あらかじめ現地で想定される不具合を洗い出し、各不具合に対する危険回避の設計や作業の流れをまとめて管理した。

3 現場体制

前回1985年の巻き替え整備では、12時間作業二交代体制で作業したが、今回は、労働衛生法規を順守して、8時間作業三交代体制で工事を進めた。また、巻き替え作業の重要な工程では設計者が現地で各作業を確認し、問題が発生した場合にすぐ対応できる体制をとった。

4 安全対策

現場作業は、9月から10月の残暑厳しい時期に実施した。電動機は閉鎖された部屋に設置され、足場上での作業が多かった。そのため、保護具の着用はもちろんのこと、作業員の体調管理が最も重要であると考え、スポットクーラー数台を常設し、作業エリアの快適化を図った。

また、新日鐵住金(株)推奨の4timeKY (①作業開始前・②2時間後休憩時・③食事後・④③から2時間後休憩時)活動を順守した。1日に4回危険予知活動を行うことで、作業員の危険への感度を向上し、作業員の休憩時間確保・体調不良防止に役立った。

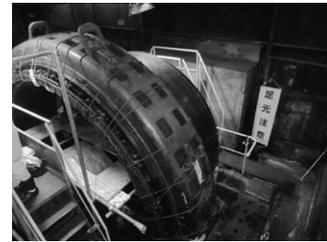
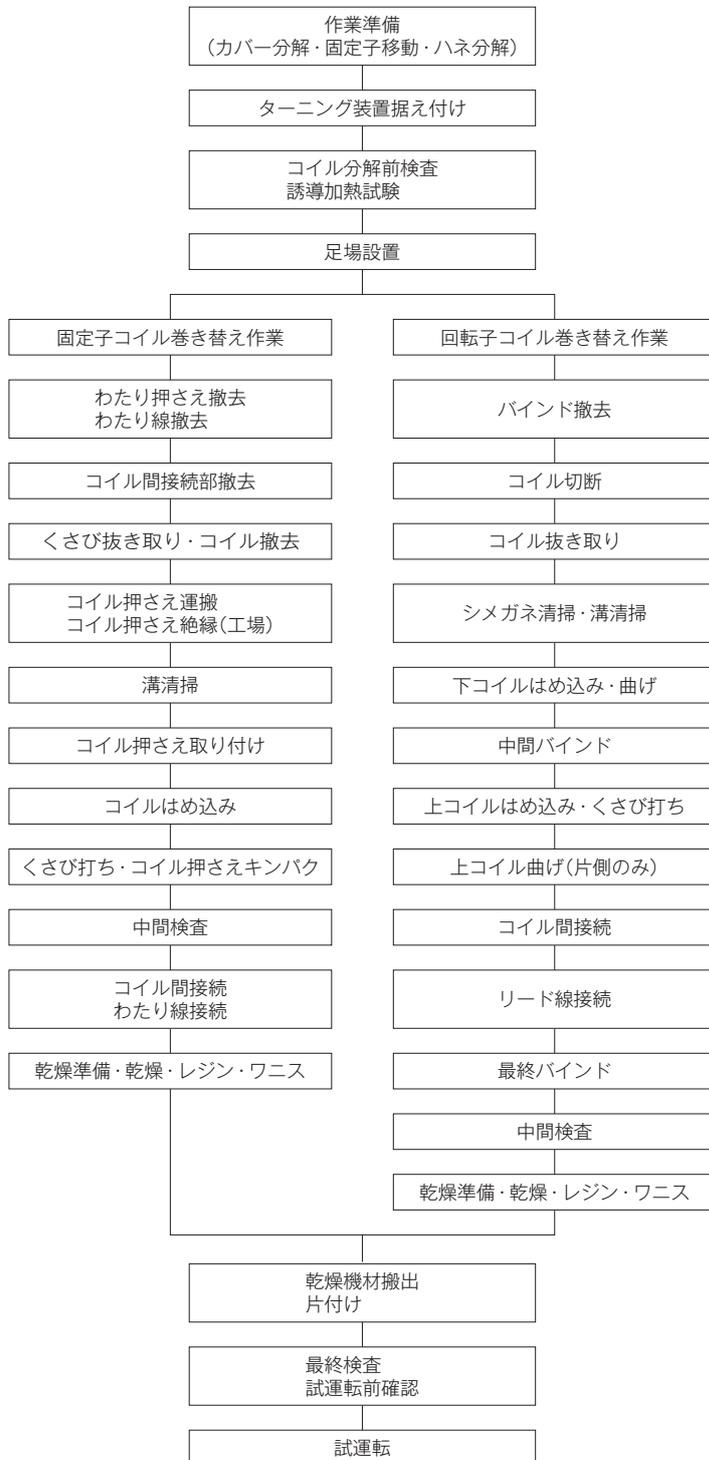
5 現地工事

5.1 現地巻き替え作業

第6図に現地巻き替え作業フローを、第7図に

固定子・回転子の構造断面図を示す。固定子・回転子を並列で作業することで、工期を短縮した。以下に巻き替え作業の一部を紹介する。

(1) 固定子移動 専用のジャッキを使用して、固



(a) 誘導加熱試験



(b) 固定子コイルはめ込み



(c) 回転子コイル間接続



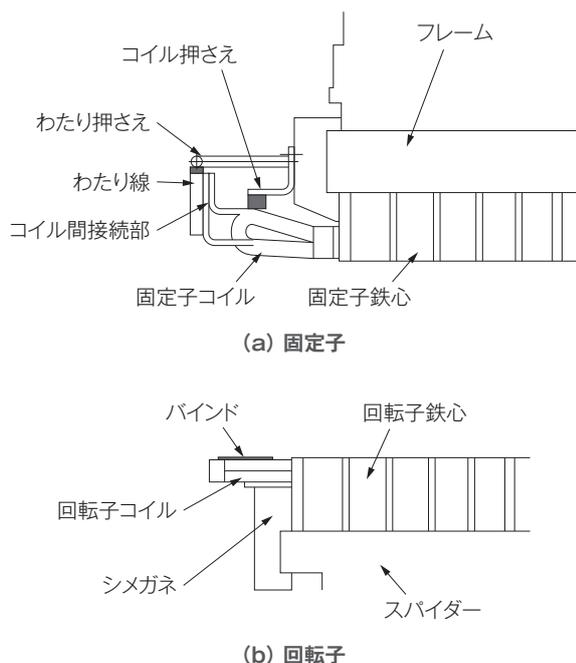
(d) 作業の全体風景



(e) 乾燥

第6図 現地巻き替え作業フロー

現地巻き替えの作業フローを示す。固定子と回転子の巻き替え作業は並行して行った。右側の写真は、5工程の様子を示している。



第7図 固定子・回転子の構造断面図

固定子と回転子の構造を示す。

定子を約2000mm移動させた。固定子と回転子のギャップは2mm程度で、慎重な移動が必要である。

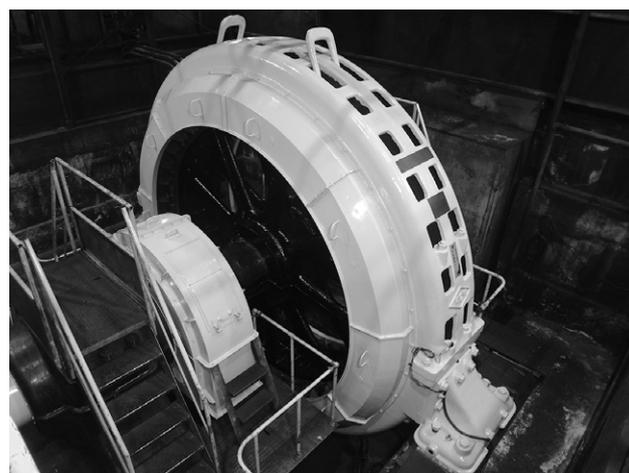
(2) 溝清掃 コイルを抜き取り、鉄心溝を清掃した。新しいコイルをはめるため、鉄心溝内の絶縁材料を十分に取り除く必要がある。力任せに取り除こうとすると鉄心を傷つける可能性があるため、細心の注意が必要である。

(3) コイル間接続 固定子コイルはろう付け、回転子コイルはTIG溶接でコイルを接続した。特殊作業となるため、接続作業は有資格者が行った。コイル間の接続・絶縁を事前に検討することで、作業時間を短縮した。

(4) 乾燥・ワニス処理・硬化乾燥 単管パイプ・ヒータ・高熱ブロワ・耐火シートを使用して、乾燥炉を組み上げた。乾燥後、ワニス処理、再度硬化乾燥を行った。

乾燥炉内を100℃以上の高温に上昇させ、温度を保つ必要があることから、ヒータの容量や配置に注意した。また、温度は所定の場所に取り付けた熱電対によって監視した。

第8図に巻き替え完了後の電動機を示す。工期内に無災害で、全ての巻き替え作業を完了した。



第8図 巻き替え完了後の電動機

巻き替え作業が完了した電動機を示す。

5.2 現地工事緊急時対応

本工事における緊急対処を紹介する。回転子コイル抜き取り作業で、鉄心溝内に絶縁材料が固着し、抜き取りが困難な状況であった。コイルを抜き取り、はさみ込み段階に入った際、回転子コイルが鉄心溝に挿入できないことが発覚した。原因は前回・前々回の巻き替え整備で、古い絶縁材料を十分に除去できずに、鉄心溝内に残存していたためである。固着した絶縁材料を取り除くことが困難であったため、急きょ現地で新規回転子コイルの寸法調整用ライナーを取り外し、コイルの絶縁を巻き直すことにした。しかし、回転子コイルは上コイル・下コイルを合わせて1440本あり、工程に大きな影響が出る可能性があった。

本工事では、早期に現状を把握し、現地・当社工場・協力会社工場に回転子コイル1440本を振り分けて対応した。これにより翌日中には全コイルの処置を完了し、大幅な日程遅れを回避することができた。事前の危険回避検討と迅速な現状把握（報告・連絡・相談）が功を奏した。

6 むすび

近年、回転機コイルの巻き替え需要が高まっている。コストダウンを目的としたもの、基礎、機械側との取り合いを重視したもの、また今回のように外

部への持ち出しが困難なものなど需要は様々である。

機器の生まれからの情報を持ち、機器の強み・弱みを全て把握し、後々に活かしていけることがメーカーの強みであると考えます。

今後も今回紹介した超レトロフィット対応などのように、お客様の様々な要望に応えられるよう回転機技術の維持と向上に寄与していく所存である。

- ・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



松尾 知成
Tomonari Matsuo

回転機システム工場
回転機の設計に従事



宮本 洋介
Yosuke Miyamoto

(株)明電エンジニアリング
回転機のメンテナンスに従事



田崎 一晃
Kazuaki Tazaki

回転機システム工場
回転機の製造に従事



利根川 良一
Ryoichi Tonegawa

(株)明電エンジニアリング
回転機のメンテナンスに従事
