

9-3 ITER 超伝導導体の撚りピッチの変化 —トロイダル磁場コイル用超伝導撚線の振る舞い—

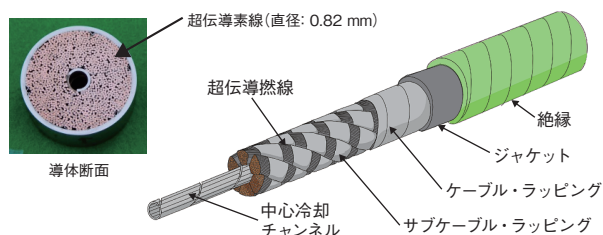


図9-7 ITER-TF コイル用超伝導導体

直径 0.82 mm の超伝導素線約 1000 本を 5 段階に撚り合わせた超伝導撚線がステンレス製のジャケットの中に入っています。

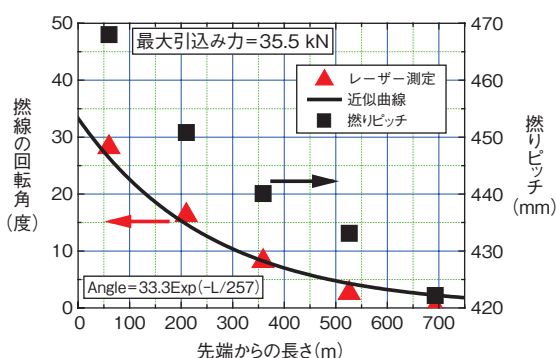


図9-9 製造した代表的導体の長さ方向に対する撚りピッチの分布と撚線引込み時の撚線の回転角度

トロイダル磁場(TF) 導体は、図9-7のように、直径 0.82 mm の超伝導 Nb_3Sn 素線約 1000 本を撚り合わせた超伝導撚線を図9-8のように、突合せ溶接により 760 m の長さに長尺化された円形ステンレス製保護管(ジャケット)の中に引き込みます。その後、圧縮成型装置の4個のローラにより、所定の外径(43.7 mm)に1回で圧縮成型を行い、直径 4 m に巻き取り、コイル製作工場に出荷します。ところが、この方法により製造された導体先端部サンプルの分解検査により、撚線の撚りピッチは撚線製作時の 430 mm に対して、474 mm に伸びていることが確認されました。撚線は 2 社で製作しましたが、両社とも同様に撚りピッチが伸びていましたので、撚りピッチが伸びた原因を解明しました。なお、撚りピッチが伸びた導体の超伝導性能を測定した結果、493 mm までは、超伝導性能に支障がないことが分かっていました。

そこで、撚りピッチの分布を調査するために、先端から 760 m の後端まで連続的に約 20 mm の長さごとに測定した導体の外径データを基に、撚りピッチに起因する 0.05 mm 程度の凹凸の周期をフーリエ解析により、製造した導体の長さ方向に対する撚りピッチを求めました。その結果を図9-9の■に示します。引き込みを行った

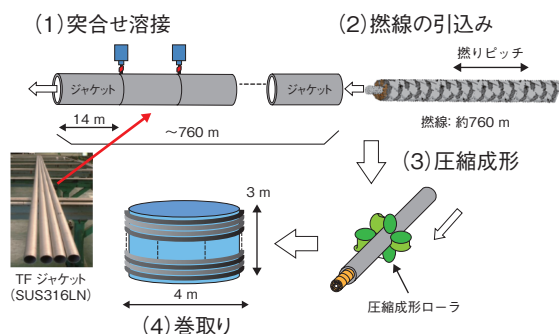


図9-8 超伝導導体の製造方法

突合せ溶接により、円形ステンレス製ジャケットの中に超伝導撚線をウインチにより引き込み、圧縮成形され、直径 4 m に巻き取られ、出荷します。

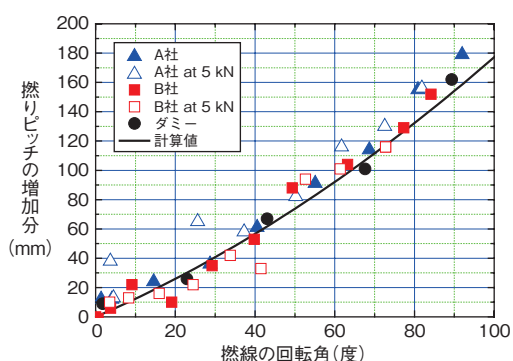


図9-10 撚線（長さ：5 m）の回転と撚りピッチの変化の関係
実機撚線の引張試験により求めた測定値と幾何学モデルによる計算値を示します。

撚線の先端部（ $L=0$ m）から単調に減少していることが分かります。

引込み時の撚線の振る舞いを解明するために、長さ約 5 m の撚線の引張試験を行い、撚線の撚りピッチと回転角を測定しました。その結果、図9-10に示す回転角と撚りピッチの増加の関係が得られました。—線は、撚線を螺旋モデルにし、幾何学的にその関係を計算したもので、測定と良く一致します。この関係を用いて、図9-9の撚りピッチからそれぞれの位置の回転角は、▲のように求めました。回転角を先端から後端まで積分して、引込み中の回転角を求めた結果、先端部の回転数は 50 ターンでした。

また、回転センサーを用いて、引込み時の撚線先端部の回転数を測定しました。撚線の先端の回転数は、51 ターンです。これは、計算で求めた値と良く一致します。

引張試験と回転測定により、撚りピッチの増加は、引込み中に引っ張られて、撚線は撚りが戻る方向に回転した結果であることが定量的に説明できます。この方法で導体を製作する場合、これは回避できないと考えられるので、導体端部の接続部の設計などにおいて考慮する必要があります。

●参考文献

Takahashi, Y. et al., Cable Twist Pitch Variation in Nb_3Sn Conductors for ITER Toroidal Field Coils in Japan, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol.23, issue 3, 2013, p.4801504-1-4801504-4.