212 kVA 交流用 Nb₃Sn 超電導コイル

正員 岸田 卓也 (関西電力) 正員 藤原 康夫 (三菱電機)
 正員 垣内 隆 (関西電力) 非会員 久保 芳生 (三菱電機)
 正員 原口 英二 (関西電力) 正員 中村 史朗 (三菱電機)
 正員 守田 正夫 (三菱電機) 正員 山田 忠利 (三菱電機)

A 212kVA Nb₃Sn Superconducting Coil for AC Use

Takuya Kishida, Member, Takashi Kaito, Member, Eiji Haraguchi, Member (The Kansai Electric Power Co., Inc.) Masao Morita, Member, Yasuo Fujiwara, Member, Yoshio Kubo, Non-member, Shiro Nakamura, Member, Tadatoshi Yamada, Member (Mitsubishi Electric Corp.)

キーワード：交流超電導，コイル，リアクトル，化合物系超電導線，クエンチ

1. まえがき

NbTi 超電導体を用いた超電導の交流への応用研究は多くの研究機関で行われており，コイルなどの試作研究が実施されている。一方，Nb₃Sn 超電導体の臨界温度は NbTi のそれに比べて高いという優位性を有するにもかかわらず，それを用いた交流用コイルなどの試作例はほとんどない⁽¹⁾。

著者らは，一次撚線間を絶縁した Nb₃Sn ケーブルを用いて，コイルを試作，試験し，良好な結果を得たので，その結果について述べる。

2. Nb₃Sn 超電導ケーブル

Nb フィラメントの極細化が可能な内部拡散法を用いて Nb₃Sn 超電導素線(素線)を試作した。試作した素線の諸元を表 1 に示す。素線を 7 本撚りし (一次撚線)，更に 7 本撚り (計 49 本) した撚線(ケーブル)を試作した。一次撚線およびケーブルを T ガラスで絶縁した。絶縁厚さはそれぞれ 0.1 mm, 0.15 mm である。なお，一次撚線のツイストピッチは 6 mm，ケーブルのツイストピッチは 22 mm である。

素線，一次撚線およびケーブルの通電電流がゼロの場合における 60 Hz，一サイクル当たりの交流損失を測定した結果を図 1 に示す。横軸は外部磁界のピーク値，縦軸は 1 サイクル，素線の体積当たりの損失である。素線，一次撚線およびケーブルの交流損失はほとんど同じである。このことは素線間の結合損失が素線の損失に比べて無視できる程度であることを意味する。

3. Nb₃Sn コイルの特性

ケーブルを用いて交流用 Nb₃Sn コイルをワインドアンドリアクト法により試作した。諸元を表 2 に示

表 1 素線の諸元

Table 1. Specifications of the basic strand.

素線径 (mm)	φ 0.202
フィラメント径 (μm)	0.4
フィラメント数	17,020
フィラメント間隔 (μm)	0.57
ツイストピッチ (mm)	2
Nb の占積率 (%)	6

図 1 超電導線の交流損失

Fig. 1. AC 60Hz losses of the strand, the sub-cable and the cable.

す。巻枠は渦電流損失がなく耐熱温度が高いセラミック製とした。巻線部の各層間および巻枠のフランジ部にはスペーサを設置し，冷却チャンネルとした。層間スペーサの厚さを 3 mm とし，円周方向に 24 個設置した。巻枠のフランジ部のスペーサの厚さを 5 mm とし，層間スペーサと同数設置した。

コイルを 630°C 24 時間で熱処理した後エポキシ樹脂で含浸した。含浸するとターン間にはエポキシで完全

表 2 コイルの諸元
Table 2. Specifications of the AC coil.

内径 (mm)	φ 156
外径 (mm)	φ 188
高さ (mm)	34
ターン数	60
インダクタンス (mH)	0.817
巻線部最高磁界 (T) peak at 829 A _{rms}	1.46
中心磁界 (T) peak at 829 A _{rms}	0.58

図 2 コイルのクエンチ特性

Fig. 2. DC quench currents and AC quench currents of the AC coil.

に固定され、層間は冷却チャネルが確保されている。

直流および交流クエンチ電流値を図 2 に示す。交流クエンチ電流の場合には縦軸、横軸共にピーク値を表している。図中に示した実線はケーブルの直流クエンチ電流値である。破線は素線の直流 I_c を 49 倍(ケーブルの素線数)したものである。トレーニングなしでケーブルのクエンチ電流値に達した。

コイルの交流クエンチ電流値は 829 A_{rms} であった。5 回クエンチを繰返したが全く同じ電流値であった。このときのコイルの容量は 212 kVA である。素線の外径断面積当たりの電流密度にすると 539 A_{rms}/mm² となる。交流クエンチ電流値が直流クエンチ電流値に比べて低い原因は、交流損失による素線の温度上昇であると推定される。(平成 4 年 5 月 25 日受付)

文 献

- (1) 岸田・垣内・水口・守田・山田・尾原・藤原・藤原・吉崎:
「交流用 Nb₃Sn コイルに関する研究」, 低温工学, 26, No. 3, 197 (平 3)

岸田 卓也 (正員)

昭和 19 年 3 月 30 日生。41 年神戸大学工学部電気工学科卒業。同年関西電力(株)入社。電力系統計画業務などに従事後、現在、同社総合技術研究所で超電導応用の研究に従事。

垣内 隆 (正員)

昭和 27 年 3 月 2 日生。51 年 3 月岐阜大学工学部電気工学科修士課程修了。同年 4 月関西電力(株)入社。現在、総合技術研究所において超電導応用の研究に従事。

原口 英二 (正員)

昭和 15 年 3 月 11 日生。39 年東京工業大学理工学部電気工学科卒業。同年関西電力(株)入社。水力発電所の建設、運営に従事。現在、同社総合研究所で超電導の研究に従事。

守田 正夫 (正員)

昭和 31 年 7 月 10 日生。50 年 3 月岡山県立笠岡工業高等学校電気科卒業。同年 4 月三菱電機(株)入社。中央研究所にて超電導マグネット応用の研究に従事。

藤原 康夫 (正員)

昭和 26 年 2 月 18 日生。44 年 3 月大阪市立都島工業高校電気科卒業。同年 4 月三菱電機(株)入社。以来、電力用変圧器の開発に従事、現在に至る。

久保 芳生 (非会員)

昭和 30 年 7 月 3 日生。57 年大阪大学大学院工学研究科修士課程(応用物理学専攻)修了。同年 4 月三菱電機(株)入社。材料研究所にて Nb₃Sn 超電導線材の研究開発に従事。

中村 史朗 (正員)

昭和 24 年 1 月 13 日生。47 年九州大学工学部電気工学科卒業。同年 4 月三菱電機(株)入社。中央研究所にて電磁界、電力機器、超電導応用の研究に従事。

山田 忠利 (正員)

昭和 20 年 10 月 1 日生。43 年 3 月京都大学工学部電気工学科卒業。同年 4 月三菱電機(株)入社。以来、中央研究所にて超電導マグネット応用の研究に従事。工学博士。