

24aB1

強制冷凍超電導コイルの冷媒流量低下
Flow reduction of forced flow superconducting coil
made from cable-in-conduit conductors

高橋 良和、島本 進⁽¹⁾、杉本 誠、加藤 崇、磯野 高明、中嶋 秀夫、辻 博史

日本原子力研究所・那珂研究所、⁽¹⁾東北大学大学院・工学研究科

ITER超電導コイルに適用される強制冷凍型超電導コイルでは、冷媒である超臨界ヘリウムを極低温ヘリウム・ポンプによりコイルの導体内に強制的に供給し、コイルを安定に運転する。超電導コイルが大電流・大型化すると、コイル運転に必要な冷媒流量も増加する。一方、強制冷凍超電導コイルはパルス通電により発生する変動磁場損失や核発熱により、冷媒流量が低下する(Fig.1)。この冷媒流量低下によりコイルには冷媒が供給されないため、電気磁気的条件でなく熱的条件によりコイルの安定運転限界が定まることが判明した。この冷媒流量低下による安定運転限界を、複数の強制冷凍超電導コイルについて、冷媒流量をパラメータとして定量的に示し、そのデータベースを構築した。この実測結果に基づき、変動磁場損失などの定常熱負荷条件やクエンチなどの非定常熱負荷条件の場合について、コイルの内部発熱による冷媒流量低下現象を解明した。強制冷凍超電導コイルの性能向上には、高い臨界電流密度、小さい変動磁場損失等のコイルそれ自身の開発ばかりでなく、極低温ヘリウム・ポンプの大型化が必須の開発課題であることを定量的に示した。

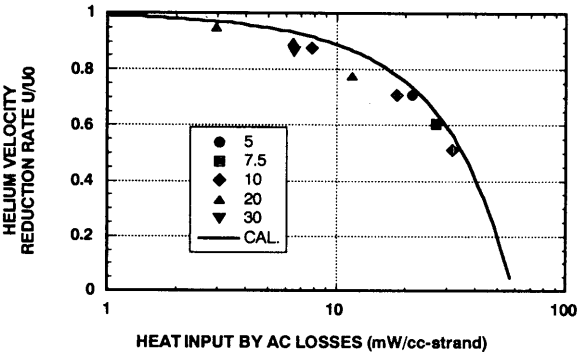


Fig.1 Inlet flow reduction due to the AC losses. Symbols show the exp. data with the pulse operation time. And solid line shows the calculation results.

24aB2

高温超伝導体の核融合炉への応用に対する冷却方法の検討
Cooling Method of High-temperature Superconducting Coils for Fusion Applications

高畑一也
核融合科学研究所

高温超伝導体(HTS)は臨界温度が高く、特にBi2232は液体窒素温度でも応用が可能と期待されている。現状ではコスト面のみならず、高磁場中での臨界電流密度の劣化、機械的劣化の問題点から、HTSマグネットの大型化・高磁場化が遅れているが、近い将来には実用段階に到達すると予想される。その時、速やかに低温超伝導体からHTSに移行できるように、核融合炉についても応用可能性を検討しておくことが重要である。本研究では、LHD用に開発されたボロイダルコイル[1]の超伝導体をNbTiからHTSに置き換えた場合を想定した冷却方法について検討を行った。LHDボロイダルコイルは、ケーブル・イン・コンジット型の導体を使用し、4.5Kの超臨界圧ヘリウムで強制循環冷却を行っている。この方式はコイル剛性が高く、現状では核融合炉への応用が最も有力視されている。HTSに移行した場合にも、新しい形状の導体を開発するのではなく、同じケーブル・イン・コンジット型導体を用いることで、速やかな移行が可能になると期待される。

図1は、本研究で検討対象とするLHDボロイダルコイル(OVコイル)の断面構造である。冷却方法としてヘリウム同様、77Kの超臨界圧窒素を強制循環させる方法が考えられるが、窒素は臨界圧が3.4MPaと高いことから、高圧ガス取り扱いの注意が必要となる。これに対し、コイル表面に液体窒素を循環させ、表面温度を77Kに保つ間接冷却方式[2]は、これまでのコイルの構造を変更することなく、容易に冷却することができる。

核融合炉では、核発熱による定常的な発熱がコイル内部に存在する。間接冷却でこれを除熱できるかを、1mW/cm³の内部発熱を想定し、1次元平板モデルで最大温度上昇を計算した。図1に示すように内周面と外周面を液体窒素温度77Kに保持する。得られた計算結果を表1に示す。コイルの平均熱伝導率は、実験で測定した導体の断面方向熱伝導率と絶縁物の熱伝導率との複合則から求めた。結果から、断面方向熱伝導に対し、燃線部の寄与は大きく、低温で熱伝導の良いヘリウムガスを封入すると、さらに熱伝導が向上することが分かった。さらに大気圧のヘリウムを封入した計算では、温度上昇を2.9Kまで抑えることが可能であり、液体窒素間接冷却方式の応用可能性が高いことが分かった。

表1 定常内部発熱に対する温度上昇

燃線の熱伝導を考慮	コンジット内部状態	平均熱伝導率 W/(m·K)	最大温度上昇 (K)
しない		1.3	7.9
する	真空	1.9	5.3
	ヘリウム封入	3.5	2.9

参考文献

- [1] 高畑:プラズマ核融合学会誌, 72, 1334 (1996).
- [2] K.Takahata et al., IEEE Trans. Magn., 32, 2252 (1996).

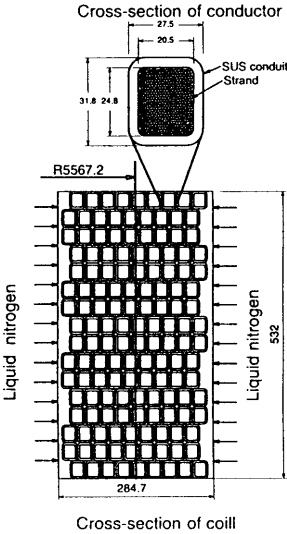


図1 コイル断面構成

なお本研究は平成10および平成11年度の科学研究費(奨励A)の補助によって行われた。