

読者の広場

Q&A

Q : 「加速器に酸化物超電導線を使うとどのようなメリットが期待されるのでしょうか？」

A : 粒子加速器においては、荷電粒子の軌道を制御するために磁界が用いられ、その磁界を発生するために電磁石（ここではマグネットと呼ぶことにします）が使用されます。その代表例は、荷電粒子の軌道を曲げるために用いられる偏向マグネットです。偏向マグネットにおいては、磁界が高いほど荷電粒子に作用するローレンツ力が大きくなり粒子軌道を大きく曲げることができ、例えば円形加速器を小型化できます。銅線を用いたマグネットでは、荷電粒子が通過する空間における磁界を高くするために鉄芯が用いられますが、鉄芯の飽和のために発生できる磁界（磁束密度）はたかだか 2 T に制限されてしまいます。超電導線を用いれば、銅線を用いた場合に比べて巻線断面積あたりの電流密度を格段に高くでき、その結果、鉄芯に頼らずに、すなわち鉄芯の飽和に制限されずに、高い磁界（磁束密度で 3~5 T 以上）を発生することができます。欧州原子核研究機構（CERN）の大型ハドロン衝突型加速器（LHC）という円形加速器においては、周長 27 km にわたって 1,232 台の偏向マグネットを含む約 5,000 台の超電導マグネットが並べられています。LHC のビーム偏向マグネットはニオブチタン線で巻かれており、1.8 K の運転温度で 8.3 T の磁界を発生することができます。また、高磁界の発生以外にも、省エネと運転コスト低減も加速器用マグネットに超電導を用いることの大きなメリットです。水冷銅マグネットは莫大な電力と冷却水を消費し、その運転コストは大変高くなりますが、適切に設計された超電導マグネットは、冷却に要する電力・コストを勘案しても、水冷銅マグネットより消費電力・運転コストを大きく低減できます。

このように、「超電導」を使うこと自体、高磁界化、省エネ・運転コスト低減というメリットを有しているわけですが、「酸化物超電導線」を用いると、これらのメリットがさらに高められます。これは、酸化物超電導線が高い臨界磁界を有し、また、運転温度を高くできれば本質的には冷却の効率が向上するからです。加えて、高い臨界温度ゆえに高い温度マージンを持ち得ることから、熱負荷に対して強いマグネットを実現できることも酸化物超電導線適用のメリットです。例えば、米国のブルックヘブン国立研究所やローレンスバークレイ国立研究所で、ビスマス 2212 酸化物超電導線（丸線）を撚り合わせたラザフォードケーブルを用いたマグネットの研究開発が進められてきました。これは、放射線熱負荷に対して強く、高い磁界を発生できる加速器マグネットの実現を目指したものです。また、LHC アップグレードと呼ばれる LHC の改造計画ではマグネットの置き換えが検討されていますが、置き換えられるマグネットは放射線熱負荷が増え 1.8 K での冷却は困難なため 4.2 K で運転し、かつ、10 T 以上の磁界を発生することが求められています。これは、ニオブチタン線では実現できない条件であり、ニオブ 3 スズ線が候補とされていますが、今後の線材開発の進展次第では、酸化物超電導線も候補となり得るでしょう。これまで、超電導の適用は、大型加速器に限られてきました。これは、液体ヘリウムを用いた冷却システムが複雑で運転・維持に手間がかかるからです。しかし、10~50 K 程度の温度領域で、小型冷凍機による伝導冷却で運転できる加速器用超電導マグネットが酸化物超電導線により実現されれば、医療用・産業用などに用いられる中小型加速器においても超電導の応用が広がる可能性があります。これも、加速器に高温超電導を使う大きなメリットとして期待されます。

回答者：京都大学大学院 工学研究科 教授 雨宮尚之 様

[超電導 Web21 トップページ](#)