

新作問題シリーズ 第6回 電気(ジュール熱)

次の文章は、2000年1月25日の神戸新聞の文章である。この文章を読み下の問いに答えなさい。

液体窒素で冷却すると電気抵抗がゼロになる高温超電導(超伝導)物質が実用化時代を迎えている。米電力会社のデトロイトエジソン社は今年後半、変電所内の配線を高温超電導ケーブルに換える。実際の送電に超電導技術を用いるのは世界で初めてだ。

超電導の発見は1910年、鉛をセ氏269度まで冷却したところ電気抵抗がゼロになったことに始まる。エネルギーを有効に使う新技術として、その後、チタン・ニオブ合金など多くの超電導素材が開発された。しかし、超電導が発生する絶対温度零度(セ氏零下273度)近くに冷却するには高価な液体ヘリウムが必要であり、このため、特殊な電磁石など用途は限られていた。

しかし、86年にIBMチューリッヒ研究所の二博士が、従来の記録より12度高い温度で超電導になる①セラミックスを発見。一時は室温での電気抵抗ゼロも可能との見方もあり、世界中で高温超電導物質の開発競争が始まっていた。今も室温での超電導は未達成だが、液体ヘリウム(沸点が -269°C)よりはるかに安価で取り扱いも簡単な液体窒素(沸点が -196 度)で冷却すると、抵抗がゼロになるセラミックスが次々に発表されている。

デトロイトエジソン社が変電所に敷設する超電導ケーブルもその一つ。アメリカンスーパーコンダクタ社が開発した。ビスマス、ストロンチウム、カルシウム、銅の粉末を銀の細い管に入れ、これをつぶし、幅4ミリ程度の薄いテープ状の素材に加工されている。タイヤ製造で有名なピレリ社がテープを筒状に編み上げて送電ケーブルを作った。筒の内部には液体窒素を通すパイプがあり、ケーブル全体を冷やす仕組みだ。ケーブルの電気抵抗は完全にはゼロにはならない。②編んだテープを包む銀が超電導体でないからだ。しかし、抵抗は極めて小さく、同じ太さの銅線の3倍の電流を流すことができる。デトロイトエジソン社の変電所では、地下に埋めた長さ122メートルの管9本の中を通っている銅でできた送電ケーブルを取り外し、3本の超電導ケーブルで置き換える。③余った6本の管も将来、利用可能だ。

アメリカンスーパーコンダクタ社のケビン・コーツ氏は「大都会では新たに電線の管を敷設する土地はない。しかし、既存の銅線を3分の一の太さですむ超電導ケーブルに置き換えれば、電力需要の増大にも対応でき、あまったスペースを光ファイバーなど情報化に利用できる」と強調する。変電所への敷設費用は約550万ドル(約5億77百万円)。このうち半額をエネルギー省が出し、国として実用化を支援する。

問1 下線部①の「セラミックス」とはどのようなものを言うのか、その特徴を述べなさい。

問2 下線部②について、超電導ケーブルがどのような構造になっているのかを説明し、電気抵抗が完全にゼロにならない理由の原因を説明しなさい。

問3 銅線の太さが半径5.0ミリメートルとすると、地下に埋めてある銅線1本の電気抵抗は何オームであったのだろうか。ただし、銅の電気抵抗率を $1.7 \times 10^{-8} [\Omega \cdot \text{m}]$ とする。

問4 送電電圧を20万ボルトとする。銅線で送電するとき、100万キロワットの電力を送電する場合の送電ロス(失われる電力)はいくらになるか。

問5 超伝導体送電は、銅線に比べて3倍の電流を流せる理由を挙げなさい。

問6 超電導による経済効果はどのように見積もれるか。ただし、超電導ケーブルを冷やす経費が1時間当たり、1000円かかるものとする。ただし、1キロワット時の電力量当たり25円である。

問7 下線部③について、なぜ、6本の管が余るのかを説明しなさい。

新作問題シリーズ 第6回 電気(ジュール熱) 解答・解説

問1 セラミックスとは、純度の高い金属の酸化物、窒化物などの粉末を焼き固めたもの。陶土から作る磁器の発展したものである。磁器と違うところは、精製された粉末を素材とすること。

問2 超電導体が粉末状になっているが、超電導体粒子同士がわずかでも接触しておれば電気抵抗がゼロの状態である。しかし、超電導体をリボン状にしたときまれに超電導体微粒子の接触が途切れることがあり得る。このとき、とぎれたわずかの部分のみ、周りを包む銀薄膜を通じて電流が流れる(この部分の距離は非常に短いので、 $R = \rho \frac{l}{S}$ の公式より、その電気抵抗は微少である)。この電氣的な結合部分を完全になくすことができないため、わずかな電気抵抗が存在する。

問3 公式 $R = \rho \frac{l}{S}$ に代入すると、 $R = 1.7 \times 10^{-8} \times \frac{122}{3.14 \times (5.0 \times 10^{-3})^2}$ だから、0.0264 [Ω]の抵抗

である。

問4 電流はプラスマイナスの2本の一組だから、0.053 [Ω]になる。送電電圧を20万ボルトとすると100万キロワットでは電流が5000 [A]の電流だ。送電ロス(失われる電力)は $P = I^2 R$ より、 $P = 5000^2 \times 0.053$ だから、約1300 [kW]である。

問5 銅線での送電量の限界は電流を流したときのジュール熱による加熱の問題による。温度が上昇することによる絶縁皮膜の焼損などだ。電気抵抗が小さければジュール熱は小さくなる。銅線では抵抗を小さくするには太くすること以外に方法はない。しかし、銅線の太さには物理的な限界(送電パイプの太さ)が存在するから、送電量の限界が定まる。超伝導体による送電線は電線の太さを変えずに抵抗を減らすことができる。

問6 1時間当たりの損失電力量は1300[kWh]だから、送電ロスによる損失金額は約3万3千円になる。超電導ケーブルを冷やす経費が1時間当たり、1000円かかるとしても十分元が取れることになる。(実際にはその他のコストとして、送電設備、冷却施設の償却費などが追加される)。

問7 送電できる電流が3倍になるため、元の3本分の送電ケーブルが1本分で済むため、元の9本が3本に集約されることになる。そのため、6本の送電ケーブルが不要になるから。