

高温超電導電力ケーブルの交流損失低減を目指して

野地 英樹教授

都城高専 電気情報工学科



1. はじめに

発電所で作られた電気エネルギーは、送電の間に約 5 % が損失として熱に変わる。この損失をできるだけ最小にするため、既存の銅ケーブルを高温超電導ケーブルでリプレースする計画が進んでいる。計画を実現するために重要なのは、高温超電導ケーブルの交流損失を低減することである。この低減は、液体窒素での冷却コストを削減することに繋がる。本研究室では、交流損失を低減するため、電気回路モデルと 3 次元電磁界解析により、低損失な高温超電導ケーブルの構造について研究（シミュレーション）を行っている。

2. 活動の詳細

ケーブル構造の設計は、3 芯一括型ケーブルを対象としている。図 1 に、3 芯一括型ケーブルの 1 相の模式図を示す。ケーブルの 1 相は、REBCO 超電導線材をらせん状に巻いて構成される 4 層の導体部分と、2 層の磁気シールド部分からなる。低損失ケーブルを設計するためには、まず、ケーブルの 1 相を電気回路でモデル化する。図 2 に電気回路モデルを示す。このモデルより、数式処理ソフト Mathematica を使って推移式アルゴリズムでプログラムを作成し、32 通りある超電導線材の巻き付け方向の組み合わせに対して、各層の電流が均一になるような巻き付けピッチを決める。この過程により、最適な巻き付け方向と巻き付けピッチ（構成パラメータ）を決定する。

電気回路モデルでは、超電導線材に磁界が印加されることによる電気抵抗の増減は考慮しておらず、また各層の電

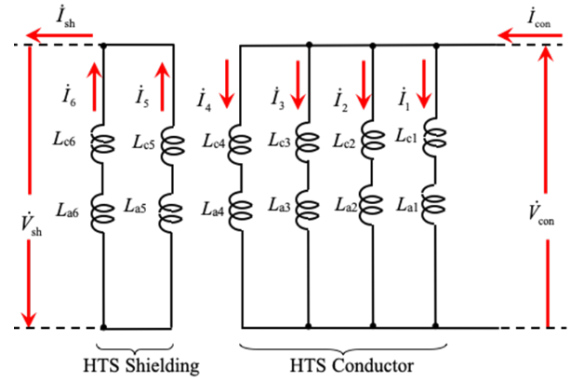


図 2 3 芯一括型ケーブル 1 相の電気回路モデル

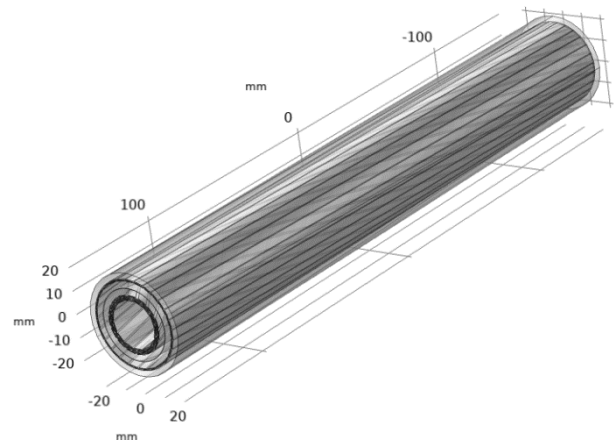


図 3 3 芯一括型ケーブル 1 相の 3 次元モデル

流が均一になることを指針として構成パラメータを決めているため、実際には最小損失を持つケーブルとはならない。そこで、電気回路モデルで決定した構成パラメータを初期値として、次に 3 次元電磁界解析を行う。3 次元電磁界解析は、有限要素解析ソフト COMSOL Multiphysics により、高速化した H formulation により行う。3 次元電磁界解析に使用するケーブルモデルを図 3 に示す。本研究で対象としたのは、2013 年に(株)フジクラが公表している 66 kV-5 kA 級ケーブルであり、このケーブルに $3 \text{ kA}_{\text{rms}}$ 通電した場合のケーブルモデル長さに対する交流損失および計算時間を図 4 に示す。赤丸が交流損失、青三角が計算時間である。計算した交流損失は、ケーブルモデルの長さに対して指数関数的に減少し、一定値に収束する。逆に、計算時間は指数関数的に

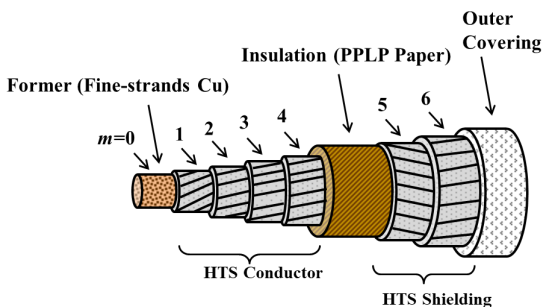


図 1 3 芯一括型ケーブル 1 相の模式図

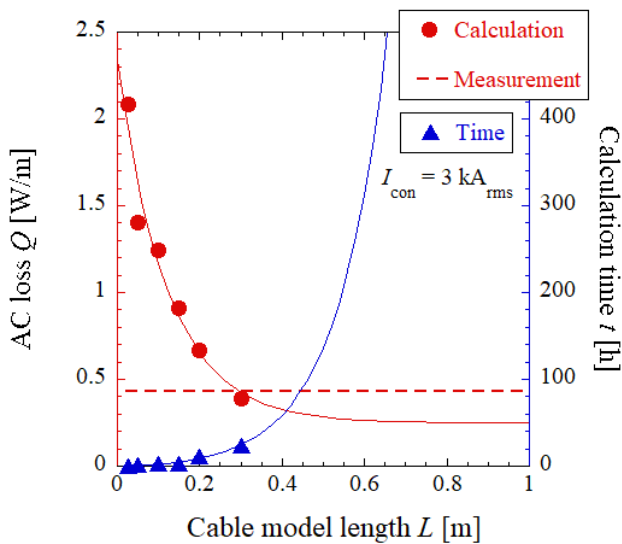


図4 交流損失・計算時間 vs ケーブルモデル長さ特性

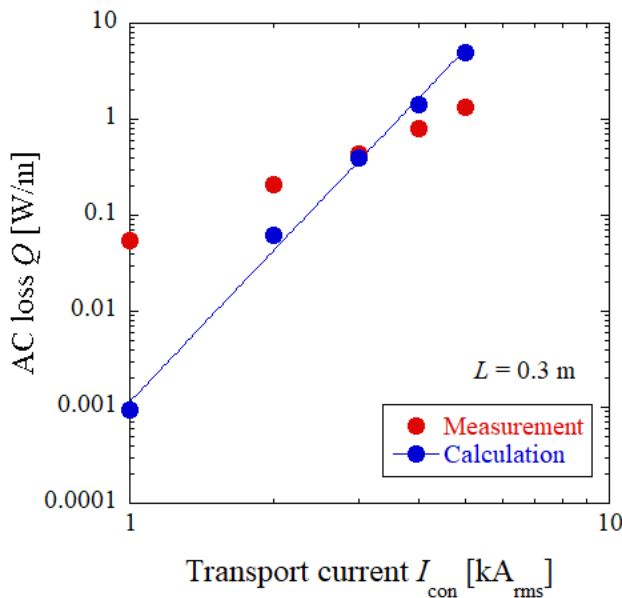


図5 交流損失 vs 通電電流特性

増加するので、計算に適切なケーブルモデル長さを決める。このケーブルの場合、計算時間を考慮して、交流損失がほぼ一定になる最小のケーブルモデル長さを 0.3 m とした。このとき、計算時間は 24 時間であった。計算用のマシンは、2022 年に 25 万円で購入した特別仕様の PC である。図 4 の結果は、構成パラメータの値によって変化する。次に、通電電流に対する交流損失の特性を図 5 に示す。赤丸がフジクラの測定値、青丸が計算値である。測定値が傾き 2 であるのに対し、計算値は 5 となり、かなり違うことが分かる。図 6 に、各層の損失（計算値）を示す。この図より、6 層目（磁気シールドの最外層）の損失が大きいことが分かる。最後に、図 7 に各層の電流（計算値）を示す。この図より、6 層目に大きな電流が流れていることが分かる。そこで、損失を下げるためには、6 層目の巻き付けピッチを小さくしてインダクタンスを大きくし、6 層目の電流を抑制する方

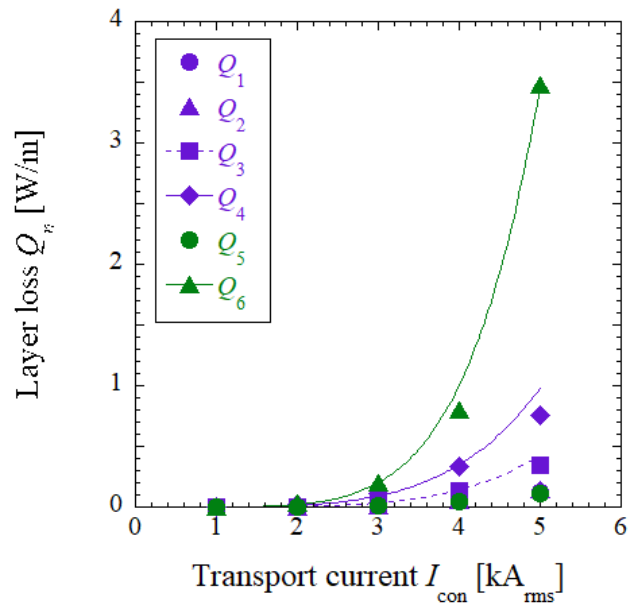


図6 各層の損失 vs 通電電流特性

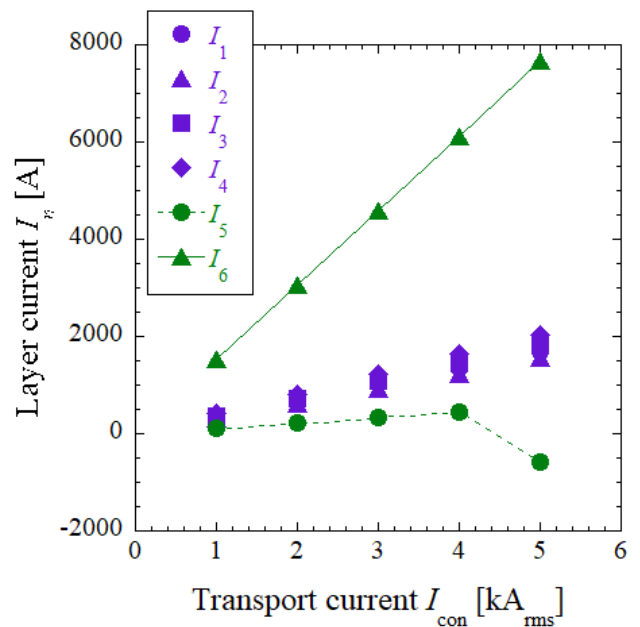


図7 各層の電流 vs 通電電流特性

法が考えられる。

主な研究テーマ

- ・ 3次元電磁界解析の高速化など

ホームページ

- ・ 国立高専研究情報ポータル <https://research.kosenk.go.jp/plugin/rmaps/details/11/122/read0047720>

連絡先

E-mail: noji@cc.miyakonjo-nct.ac.jp

Tel: 0986-47-1312 (直通)