

研究成果報告書

研 究 題 目		高温超電導単相空心変圧器を用いた超小型・軽量の交流大電流電源の開発	実 施 年 度
			2017-2018 年度
代 表 研 究 者	所 属	岡山大学 大学院自然科学研究科 産業創成工学専攻	
	氏 名	七戸 希	印
1. 研究の目的・背景 安定的な電気エネルギー供給と低炭素化の実現のため，高温超電導電力機器の実用化が期待されている。同機器の最適設計のためには，同機器に用いられる高温超電導線の通電特性を十分に把握しておく必要がある。同線の臨界電流は市販品でも液体窒素温度・自己磁場下にて 200A 以上あるため，特性把握のためには大電流を通電可能な電源が必要になる。しかしながら，特に交流電源については，市販電源では重量も体積も非常に大きいため，特定の研究機関でしか導入できず，このことが同機器開発の妨げとなっている。そこで，代表研究者らはこれまで，高温超電導単相変圧器を用いた小型・軽量の交流大電流電源の開発を進めてきた[1]。 本研究では，さらなる小型・軽量化を目的として，巻線抵抗の無い超電導の優位性を最大限活用し，これまでにない「空心」の単相高温超電導変圧器を用いた超小型・軽量の交流大電流電源の開発を行った。本変圧器は低圧・大電流出力であるため，励磁インピーダンスにかかる電圧は小さく，励磁電流も小さくなる。よって鉄心無くして励磁インピーダンスを小さくしても励磁電流は小さく抑えられる。さらには，巻線抵抗が無い場合，この励磁電流によって銅損は生じない。以上より，空心にすることが可能と考えられるためである[2]。変圧器の重量と体積の大半を鉄心が占めているため，この空心化により，大幅に小型・軽量化された電源を実現することができる。さらには鉄心の一般的な問題である，「磁気飽和に伴う高調波電流や過電流の発生」，「磁歪による騒音」などの問題も同時に解消することができる。 以上の優位性を持った電源を作製するため，本研究を実施した。特に重要なのは空心高温超電導変圧器の開発であり，これを重視して研究を進めた。なお，出力電流は，今後の高温超電導線開発の進展を見越し，最大振幅 1,000A_{peak} を目標とした。 [1] 七戸，高温超電導変圧器を用いた小型・軽量電源およびその状態監視システムの開発，電気評論，第 101 巻，pp. 59-62 (2016) [2] N Nanato, N Kishi, Y Tanaka and M Kondo, Basic study for a large AC current supply with a single phase air-core Bi2223 high temperature superconducting transformer Journal of Physics: Conference Series, Vol. 871, 012101 (2017)			

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

空心変圧器の開発において重要なことはもれ磁束を低減して磁気結合度を高くすることである。2017 年度では、3 種類の構造の空心変圧器を提案し、そのうち、レイヤー巻き構造の一次巻線で同構造の二次巻線を挟み込んだ構造（挟み巻き構造）と一次および二次巻線とも渦巻状に巻いた構造のものを適切に重ね合わせた構造（パンケーキ構造）において、磁気結合度が向上し、大電流化が期待できることを見出した。特に後者では磁気結合度が高いうえに小型化されるため、こちらを対象として 2018 年度の研究を進めることとした。

2018 年度では、図 1 に示す構造と写真の変圧器を作製した。2017 年度において得られた挟み巻き構造の利点も考慮し、一次巻線を渦巻状の 2 つのコイルに分けて重ね合わせて直列

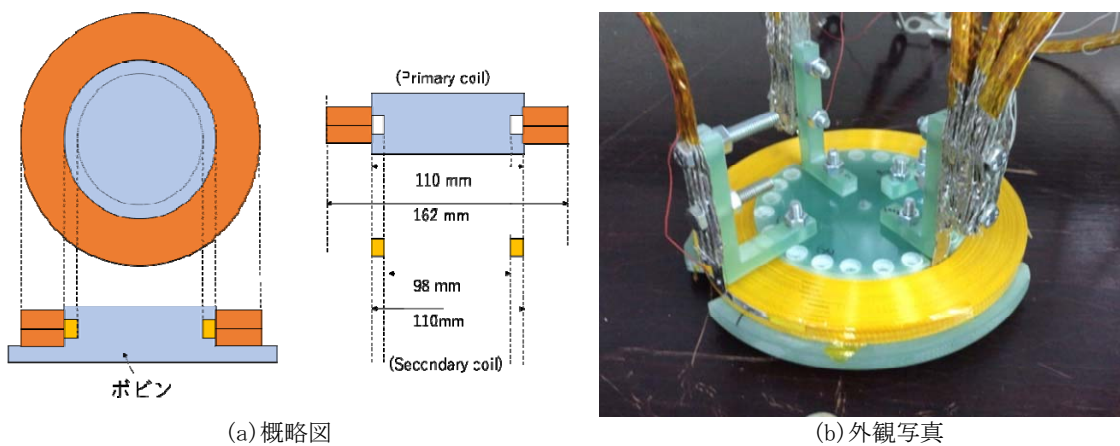


図 1 空心パンケーキ変圧器外観図

に接続し、その内側中心に渦巻状の二次巻線を置く構造とすることでもれ磁束を低減し、磁気結合度のさらなる向上を図った。諸元を表 1 に示す。本変圧器にて周波数 60Hz において、一次電流 30Apeak を通電することで目標の二次電流 1,000Apeak を達成することに成功した。電流波形を図 2 に示す。本変圧器にて構成した電源は、市販電源と比べて、サイズは 1/300 程度、重量は 1/200 程度（変圧器に接続する一次電源、冷却容器および液体窒素を含む）となり、小型・軽量化に成功した。以上のように、当初計画をほぼ達成することができた。

表 1 200:1 提案型パンケーキ型空心変圧器の諸元

	一次コイル	二次コイル
内径	110 mm	98 mm
外径	162 mm	110 mm
高さ	9 mm	4.5 mm
巻数	200	1
臨界電流	76.2 A (1 本線)	1900 A (10 本束)

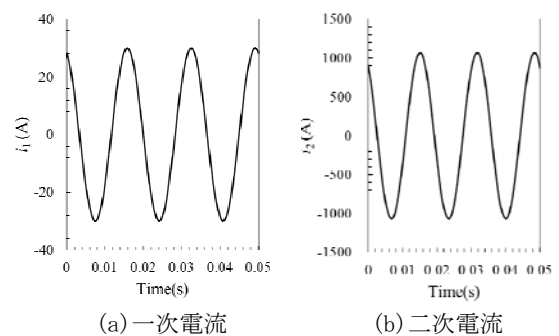


図 2 電流波形

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

設備備品として AC/DC カレントセンサを購入し、変圧器出力電流の 1,000 Apeak を測定できるようにした。消耗品として、変圧器巻線用の高温超電導線 Bi2223 Type ACTi と Hi を、巻線ボビンとして GFRP ボビンを、電流リードとして編組銅線を購入し変圧器を作製した。巻線を液体窒素で冷却するための冷却容器を購入した。さらにねじ、ケーブル、絶縁テープ、圧着端子、接着剤、クリップを購入し、変圧器通電用リード線の取り付けや電圧計測線の取り付けを行った。旅費を、作製した変圧器の通電特性などを国際会議 ISS2017 および ISS2018 で発表する際の交通費・宿泊費として使用した。その他として本学工学部の予算管理費、ISS2017 の参加費を使用した（ISS2018 の参加費は別予算を充てた）。変圧器通電用リード線の取り付けや電圧計測線の取り付けのために使用した消耗品費のみ、小額ではあるが申請時の計画には含まれていない。大半の経費に相当するそれ以外は計画通りに使用した。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

2 の成果において、60Hz にて 1,000Apeak を達成したが、現在、高周波化に向けて検討を進めている。周波数を高くすると、もれインダクタンスの影響により、1,000Apeak の通電を行うには一次電圧を高電圧化する必要がある。これにともない一次電源を高電圧出力にすると、電源容量の増加にともない、一次電源の重量と体積を増加させることになる。これを抑制するため、現在、構造の観点からさらなるもれ磁束の低減や、共振を利用した一次電源の出力インピーダンス低減などを検討している。これらにより、最終的には 1,000Hz にて 1,000Apeak の出力電流を達成することを目指す。この最大値までで周波数および電流値が可変となれば、高温超電導線材の通電特性評価用電源としては十分実用に足るものとなる。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

学術論文

1. N Nanato and H Aoyama, Early Detection of Normal Transitions in a High Temperature Superconducting Transformer Wound with a Plurality of HTS Tapes Using the Active Power Method, Journal of Physics: Conference Series, accepted
2. N Nanato, T Adachi and T Yamanishi, Development of Single-phase Bi2223 High Temperature Superconducting Transformer with Protection System for High Frequency and Large Current Source, Journal of Physics: Conference Series, accepted
3. N Nanato, S Tanaka and S Tenkumo, Study on a Magnetic Flux Detection Coil for Detection of Normal Transitions in a Hybrid Single-phase Bi2223 Superconducting Transformer by the Active Power Method, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1054, 012070 (2018)
4. N Nanato and H Kumagai, High resolution locating of normal transitions in a high temperature superconducting coil by capacitor type voltage terminals, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1054, 012069 (2018)
5. N Nanato, T Ono, T Adachi and T Yamanishi, Protection System for Normal Transitions in a Single-phase Bi2223 Full Superconducting Transformer by the Active Power Method under Flowing Currents of Various Frequencies, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1054, 012068 (2018)

学会発表

1. Takafumi Adachi, Nozomu Nanato, Takahito Yamanishi, Structural Study on a Single-phase Bi2223 High Temperature Superconducting Transformer for a 1 kHz-1 kA Class Power Supply, 31th International Symposium on Superconductivity, December 12 - 14, 2018, Tsukuba, Japan
2. Mikishi Kondo, Nozomu Nanato, Hokuto Yamada, Design of an Air-core Bi2223 High Temperature Superconducting Transformer with Pancake Structure for a Large AC Current Supply and its Protection System for Normal Transitions, 31th International Symposium on Superconductivity, December 12 - 14, 2018, Tsukuba, Japan
3. Hiroki Aoyama, Nozomu Nanato, Early Detection of Normal Transitions in a High Temperature Superconducting Transformer Wound with a Plurality of HTS Tapes Using the Active Power Method, 31th International Symposium on Superconductivity, December 12 - 14, 2018, Tsukuba, Japan
4. 山西 隆仁, 七戸 希, 交流大電流電源用の単相高温超電導変圧器への YBCO 巻線導入に向けた基礎的検討, 平成 30 年度 (第 69 回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会, No. R18-15-10, 2018.10.20, 広島市立大学
5. 天雲 捷太, 七戸 希, 交流大電流電源用のハイブリッド高温超電導変圧器の構造およ

び常電導転移保護に関する検討, 平成 30 年度 (第 69 回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会, No. R18-15-09, 2018.10.20, 広島市立大学

6. Yuhi Tanaka, Nozomu Nanato, Mikishi Kondo, Takahiro Niwase, Study on Configuration of a Single-phase Air-core Bi2223 High Temperature Superconducting Transformer for a Large AC Current Supply, 30th International Symposium on Superconductivity, December 13 - 15, 2017, Tokyo, Japan
7. Takaaki Ono, Takahumi Adachi, Takahito Yamanishi, Nozomu Nanato, Protection System for Normal Transitions in a Single-phase Bi2223 Full Superconducting Transformer by the Active Power Method under Flowing Various Frequency Current, 30th International Symposium on Superconductivity, December 13 - 15, 2017, Tokyo, Japan
8. Hironobu Kumagai, Nozomu Nanato, High Resolution Location of Normal Transitions in A High Temperature Superconducting Coil by Capacitor Type Voltage Terminals, 30th International Symposium on Superconductivity, December 13 - 15, 2017, Tokyo, Japan
9. Shinichi Tanaka, Shota Tenkumo, Nozomu Nanato, Study on a Magnetic Flux Detection Coil for Detection of Normal Transitions in a Hybrid Single-phase Bi2223 Superconducting Transformer by the Active Power Method, 30th International Symposium on Superconductivity, December 13 - 15, 2017, Tokyo, Japan
10. 近藤 美輝志, 田中 雄飛, 庭瀬 崇浩, 七戸 希, 単相空心 Bi2223 高温超電導変圧器を用いた交流大電流電源の開発に関する基礎研究, 平成 29 年度 (第 68 回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会, No. R17-15-04, 2017.10.21, 岡山理科大学
11. 足立 孝文, 小野 孝晃, 七戸 希, 単相 Bi2223 高温超電導変圧器における有効電力法を用いた巻線ごとの常電導転移検出・保護, 平成 29 年度 (第 68 回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会, No. R17-15-03, 2017.10.21, 岡山理科大学
12. 青山 拓生, 坂本 凌太郎, 七戸 希, YBCO 並列導体巻線の変圧器における常電導転移検出, 平成 29 年度 (第 68 回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会, No. R17-15-02, 2017.10.21, 岡山理科大学