

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 10 日現在

機関番号：33910

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23651077

研究課題名（和文）低炭素都市設計のための超伝導送配電による柔軟で堅牢なグリッド用シミュレータ開発

研究課題名（英文）Superconducting flexible and robust grid system for low carbon city design

研究代表者

河原 敏男 (KAWAHARA TOSHIO)

中部大学・藤原洋記念超伝導・持続可能エネルギー研究センター・教授

研究者番号：80437350

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、超伝導の電力到達性を活かして電力送配電のための単純制御送電網（グリッド）技術を開発、都市的規模に適用し、柔軟で堅牢なグリッドシステム（Superconducting flexible and robust grid system; SFG）を構築することで、都市設計上の制約も克服した社会システムの改革像を提示することを目的に研究を行った。超伝導送配電システムの実測パラメータをもとに SFG 型グリッドシミュレータ開発を行うとともに、都市設計のパラメータ化と検証を試みた。

研究成果の概要（英文）：Superconductivity can solve the energy problems in the world as energy saving technologies. Among them, superconducting direct current (DC) transmission and distribution (T&D) systems should be promising, as it can be easily enlarged to the large scale energy transmission systems as energy sharing. In the cooling experiments on the 200 m-class superconducting DC transmission and distribution system (CASER-2), we have estimated several performances of systems as superconducting applications. When we can estimate the performance of operation for the superconducting grid systems, they can be enlarged to the superconducting flexible and robust grid system. Based on the scalability of superconducting systems, we discuss about the compactness of a new generation city design and have also developed grid simulator for campus level for the future city design.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境技術・環境材料

キーワード：省エネルギー、低消費電力・高エネルギー密度、環境調和型都市基盤整備・建築、エネルギー効率化、表面・界面物性

1. 研究開始当初の背景

低エネルギー損失・高電流密度の超伝導技術は、高温超伝導線材の量産化を受けて、環境問題解決のためのキーテクノロジーとして送電応用が検討され、日米を中心に交流送電の実験が行われてきた。近年では、需要家での直流機器配電を中心に直流送配電システムの応用が検討される中、我々は、超伝導

応用システムとして 200 m 級超伝導直流送電実証実験装置(CASER-2)で冷却・運用試験を行ってきた。

一方、電力を有効活用し総消費エネルギーを減らすために、送配電を行うグリッドの接続形状を最適化し IT 技術により精密な制御をめざすスマートグリッドの研究が進められている。スマートグリッドでは、最適制

御する技術としてスマート制御が求められている。常伝導送電を用いる既存のグリッド設計では、スマートグリッドは都市設計との連携が必須の複雑なシステムとなることは周知の事実である。

ところで、日本ではシステムの安定性を基盤に小規模給電の安定性を確保するマイクログリッドの開発で先行して来た。そこで、我々は超伝導直流送配電システムのスケラビリティを活用して超伝導送配電システムをグリッドに組み込み、マイクログリッドで開発した単純な制御技術をスマートグリッドで想定される規模に拡大することにした。この日本版の新たなグリッド設計 (Superconducting flexible and robust grid system: SFG) は、制御が単純であり柔軟で堅牢なグリッドとなると共に、自由な都市設計でグリッド・都市設計連携が自然に可能で低炭素型都市開発に発展すると期待できる。

2. 研究の目的

超伝導の電力到達性を活かして、電力送配電のための単純制御送電網(グリッド)技術を開発、都市的規模に適用し、柔軟で堅牢なグリッドシステム(Superconducting flexible and robust grid system: SFG)を構築することで、都市設計上の制約も克服した社会システムの改革像を提示する。本研究では、超伝導送配電システムのグリッド内での活用に関するパラメータを実験的に明らかにし、シミュレーション方法を確立することで都市設計に新概念 SFG の適用を試みる。特に、モデル都市のパラメータ化を行い SFG の安定性を示す。その結果、自然エネルギーとの連携での安定性を確立し、移動体含有システムへの拡張と日本版グリッドシステムとしての世界展開に繋げる。そこで、超伝導技術の運用性を考慮した地域都市レベルでの SFG の実証パラメータを示すことを目標に、以下のことを明らかにする。

(1) SFG シミュレータによる新規都市設計手法を明らかにすることで、新規概念に基づく単純制御型グリッドでの都市設計手法の提示と地域への適用方策を示す。

(2) 超伝導送配電システムでの長寿命化・高性能端末パラメータを実験的に提示することで、プロセス開発まで考慮した超伝導送配電システムの端末間最短距離等の想定パラメータを示す。

3. 研究の方法

(1) SFG 型グリッドシミュレータ開発

200 m 級超伝導直流送電実証実験装置(CASER-2)での送電実験で実測した各種パラメータ(端末性能・線路ロス等)を組み込んだグリッドシミュレーションコードを開発

する。さらに、CASER-2 の拡張により可能となる多端子型の太陽光発電連携型超伝導グリッドのパラメータの組み込みも行う。これを元に太陽光発電連携システムのシミュレーションを行い、スマートエコキャンパス構想に展開する。SFG の都市応用では端末性能がキーパラメータとなるので、技術開発の可能性を明らかにするため、端末の電流リードでの熱損失を評価しグリッド性能への影響を計算する。この結果を、グリッドシミュレータに組み込み都市規模応用の際の超伝導送配電システムのパラメータを決定する。

太陽光発電連携システムに大学内の電力データを組み合わせることでキャンパスレベルでのグリッドのシミュレーションを行う。現在の CASER-2 のパラメータと高性能化端末のパラメータを用いて、グリッドの安定性に要求される系統安定性、太陽光発電電力量の検討を行い、SFG 型グリッドシステムの安定性条件を明らかにする。さらに、超伝導送配電の距離依存性や電力需要家の移動の影響もシミュレーションすることで、柔軟性を持ったスマートエコキャンパスの将来設計を行う。

(2) 超伝導送配電システム用エリアマネジメントシステム開発と都市設計

マイクログリッドやスマートグリッドの導入を計画・実施している国内外の各都市の設計上の課題を整理するとともに、超伝導送配電システムでは、電力出入口の端末における熱侵入により端末個数が制限を受けるため、端末個数の制限が発電側及び需要側の施設の配置等の都市設計に与える影響を検証する。また、小規模のモデルケースとして、大学内の消費電力・日照時間等のデータの収集・解析を行い、スマートエコキャンパス用の基礎データとする。さらに、端末個数の制約に応じた分散電源エネルギーの集約・配分、系統電力の導入を制御するグリッドの基本的な構成及び地域の需要家を主体とした課金や維持管理のためのエリアマネジメントシステムについて設計・検討を行う。

次に、都市プロジェクトの規模及び特性に応じて、SFG の都市設計への適用検証を行うため、愛知県内を中心に検証対象都市を選定し、実際の都市整備計画等をもとに、モデル化を行う。さらに、電力の到達性、自然エネルギーの不安定性の伝搬に対する SFG によるグリッド安定性条件の検討を元に、都心開発、ニュータウン再生、中心市街地再生等の実際の都市整備プロジェクトに基づく都市設計モデルに対し、SFG 型グリッドシミュレータで得られたパラメータの適用性を研究する。また、自然エネルギー連携でのパラメータの一般化を行いフィールド試験・他地域への展開へつなげることとする。

4. 研究成果

(1) SFG 型グリッドシミュレータ開発では、200 m 級超伝導直流送電実証実験装置 (CASER-2) での送電実験で実測した各種パラメータ (端末性能・線路ロス等) を組み込んだグリッドシミュレーションコードを開発するために、損失パラメータの整理とシミュレーションによる効率化の検討を行った。特に、短距離応用を目指した超伝導送電システムでは、電流リードの高性能化により端末の熱侵入低減を図ることが重要であるので、ペルチェ電流リード (PCL) に用いられる熱電材料の性能向上等の熱的な最適設計が鍵であり、熱電技術は広く超伝導送配電システムの性能向上に寄与する。そこで、端末の電流リードでの熱損失を評価して熱電材料特性に対する依存性を調べた。その結果、電気抵抗率を低減させた場合、熱伝導率も増加するにも関わらず熱侵入が低減されることがわかった。また、形状因子も熱電材料で熱を分担する方向に変化し、より PCL 導入効果が向上することがわかる。すなわち、通電のため大電流で用いる PCL では電気抵抗が小さい試料が好ましく、性能指数が一定でドーピングにより Wiedemann-Franz 則に従って制御する場合に電気抵抗率の減少を目指すことが効率的に熱侵入を低減することがわかった。また、傾斜機能材料の導入効果を議論した。2 段電流リードでは、単独の熱電材料を用いた場合よりも熱侵入が小さくなることが分かった。その際、形状因子は、単独の場合の約半分となり、高温側と低温側で分担して PCL として働くことで性能向上が図られている。これは、傾斜機能材料が PCL 性能向上の一つの方策として有用であるということを示す。

次に、実際の運用を考慮した電流リードの評価を行った。具体的には、過電流が流れた場合の安定性と熱応力に対する安定性を議論した。

実測の熱電パラメータを用いて、PCL の性能 (熱侵入量) を計算した。まず、熱バランス方程式を用いて温度分布を求め、形状因子を最適化することで熱侵入を計算する。これを、PCL1, 2, 3, 4 とする。次に過電流条件を模擬するために、形状因子が 2 倍の場合の熱侵入を計算した。これらを PCL5, 6, 7, 8 と呼ぶことにする。計算された熱侵入の電流依存性を図 1 に示す。最適条件の場合、熱侵入は 160 A で最小となる。これに対して、過電流条件では熱侵入が最小となる電流が小さい方向にシフトし、160 A 付近が過電流条件となる。このとき、電気抵抗率の小さい PCL6, 8 では、より過電流側での熱侵入の上昇が大きく過電流に弱いことが分かった。銅の電流リードでも同様に急激に熱侵入が増大する。また、Sample 1, 2 を 2 段に重ねると中間的な挙動を示すことも分かった。以上の結果、動

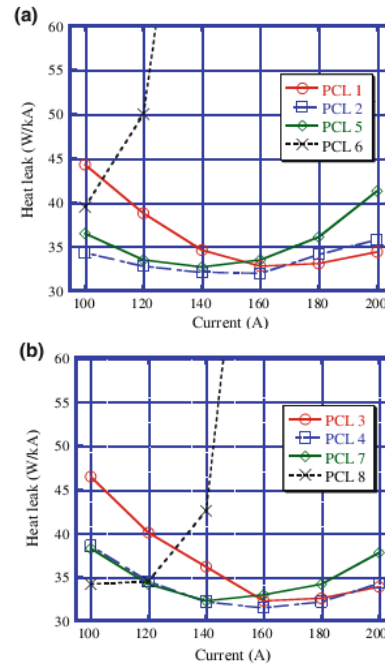


図 1: 熱侵入の電流依存性。(a)は n 型、(b)は p 型。

作モードに依存した最適化が求められることが分かった。また、力学特性を議論から、応力の緩和を考えた電流リードの形状設計が重要であることが明らかとなった。PCL の大電流化に伴い形状因子が小さくなるので熱応力が増加する。そこで、電流リードの形状の対称性を増した設計で応力分布を最適化し、電流リードの長寿命化を図っていく必要がある。

CASER-2 の冷却試験では、長時間安定性を評価すると共に、分割型の熱電素子を用いることで特性の安定化 (図 2) 及び高性能化にも成功し、実システムへの適用性も明らかとなった。

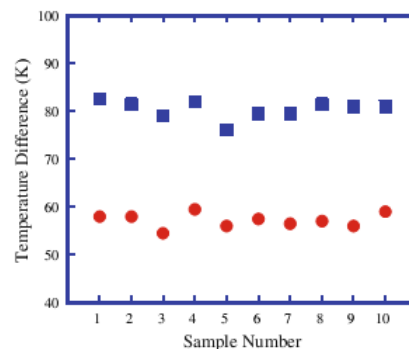


図 2: PCL の熱電部での温度差。●は $I = 0$ A, ■は、 $I = 720$ A。

以上のように、熱電材料の材料開発及び最適組み合わせを設計することで端末性能を向上させられることが分かるとともに、運用条件まで考慮した電流リードの研究開発を受けて、電流リードの長寿命化・高性能化を

進めて端末性能を向上させることで、高温超伝導線材を活用した超伝導グリッドの展開が可能になると思われる。

同時に、グリッドシミュレータの整合性のチェックのために交流配電システムに適用した。実運用としては、中部大学に構築したキャンパス版スマートグリッドを導入したが、2012年度は前年度比で、ピーク電力24.3%、電力使用量29.5%削減を達成した。本システムの活用により、自動制御による需要抑制と分散型電源による電力供給を軸とすることで節電に対する手間や準備を省き、節電メールによる自主的な節電を要請することで担当者が空いている時間に身の回りの節電ができ、無理をしない節電が可能になった。キャンパス版スマートグリッドは、大学キャンパスに特有の要素を考慮し、供給側と需要側を統合制御して、多棟の節電と省エネを実現するシステムで、電力需給が課題となるこれからの社会において注目される技術である。

(2) 超伝導送配電システム用エリアマネジメントシステム開発、都市設計では、低炭素化からみた都市設計を整理し、コンパクト化と超高齢化対応の2つの切り口からリデザインの方向性をパラメータ化した。

コンパクトシティの低炭素化のための効果として、都市の機能を出来る限り、一点に集約すれば、エネルギー供給の効率性が高まることは容易に理解できる。しかし、このためには、高密度な都市構造となり、生活の質の低下は免れない。このため、ある程度の分散配置を許容することになり、グリッド制御が必要となる。スマートグリッドでは、刻々と変化する需要家の電力使用量や、時刻や気候などで変化する太陽光などの再生利用エネルギーの供給量を考慮し、原子力等の系統電力との組み合わせを系統安定性も含めて最適化しようとするものであるが、最適な制御のためには、同一種別の施設相互の近接配置が求められる。これにより、異業種の交流による都市の創造性、職住の近接性などが犠牲となり、都市設計の自由度が低下する。

そこで、スマートグリッドに超伝導送電を組み込むことにより、施設相互の近接性を考慮する必要がなくなれば、都市設計の自由度は格段にあがり、都市機能の向上と生活の質の確保に専念することができる。スマートグリッドの制御も、電力平準化のための個々の需要家の行動の最適化、気候変化や時刻変動に対応したエネルギー供給制御などに特化したよりスマートなものとなる。特に、マイクログリッドの制御を拡張適用することで、制御の単純性と堅牢性を確保することができれば、災害や犯罪、そして人為的ミスにより都市の安全性が阻害される可能性が低くなり、都市設計のリスクマネジメント上の効果も大きい。

このように、超伝導送電を組み込んだグリッド制御の実現性を高めることは、都市設計の自由度の向上とリスク低減に大きな効果が期待できる。

次に都市設計への応用として、愛知県豊川市において、コンパクトシティを目指したまちづくりを実践し、課題の抽出、対応方策の検討を行うため、中心市街地である諏訪地区に「まちDENラボ」と名付けたまちづくりの拠点を設置し、地域住民の参加を得て、活動を展開してきた結果を述べる。豊川市では、図3(赤丸部分)のように、諏訪地区を都市核として位置づけている。まちDENラボの取組は、都市計画マスタープランが示す多極型都市構造の中での都市核としての機能の発揮を意識したものであり、「参加誘因」の活動をより活発化して地区の吸引力を高めつつも、交流創発、情報発信の活動を拡大して、多極型ネットワーク構造全体の活性化に貢献していく。このような活動の創出と集積の



図3: 豊川市の都市計画マスタープラン

結果として、諏訪地区の空間イメージは形成され、マスタープランの示す都市構造との連続性が確保されることになる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計9件)

(1) Toshio Kawahara, Masahiko Emoto, Hirofumi Watanabe, Makoto Hamabe, Sataro Yamaguchi, Yasuo Hikichi, Masahiro Minowa, "Developments of Peltier current lead for 200 m-class superconducting direct current transmission and distribution system," J. Electron. Mater., **42** (2013) DOI: 10.1007/s11664-012-2419-5. (査読有)

(2) Toshio Kawahara, Masahiko Emoto, Hirofumi Watanabe, Makoto Hamabe, Sataro Yamaguchi, Yasuo Hikichi, Masahiro Minowa, "Time dependence of terminals temperature with current feeding in the superconducting direct current transmission test device of CASER-2," Proceedings of ICEC 24-ICMC 2012 (2013) 723-726. (査読有)

(3) 河原敏男、服部敦、「スマートエコキャンパスのための太陽光連携超伝導グリッド用シミュレータ開発」、総合工学 **24** (2012) 55-65.

<http://www.isc.chubu.ac.jp/istr/pdf/vol24/24-10.pdf> (査読有)

(4) Toshio Kawahara, Hirofumi Watanabe, Masahiko Emoto, Makoto Hamabe, Satarou Yamaguchi, Yasuo Hikichi, Masahiro Minowa, "Current dependence of heat leak on the terminals in the superconducting DC transmission and distribution system of CASER-2," J. Phys.: Conf. Ser. **400** (2012) 052009. DOI: 10.1088/1742-6596/400/5/052009 (査読有)

(5) Toshio Kawahara, Masahiko Emoto, Hirofumi Watanabe, Makoto Hamabe, Satarou Yamaguchi, Yasuo Hikichi, Masahiro Minowa, "Possibility of a gas-cooled Peltier current lead in the 200 m-class superconducting direct current transmission and distribution system of CASER-2," Physics Procedia, **27** (2012) 380-383. DOI: 10.1016/j.phpro.2012.03.490 (査読有)

(6) Toshio Kawahara, Masahiko Emoto, Makoto Hamabe, Hirofumi Watanabe, Yury Ivanov, Jian Sun, Satarou Yamaguchi, "Thermoelectric properties dependence on the performance of Peltier current leads under over-current conditions," J. Electron. Mater., **41** (2012) 1205-1209. DOI: 10.1007/s11664-011-1877-5 (査読有)

(7) T. Kawahara, M. Emoto, H. Watanabe, M. Hamabe, J. Sun, Y. Ivanov, S. Yamaguchi, "Optimization of Peltier current lead for applied superconducting systems with the optimum combination of cryo-stages," AIP Conf. Proc. **1434** (2012) 1017-1024. DOI: 10.1063/1.4707020 (査読有)

(8) T. Kawahara, T. Fujii, M. Emoto, M. Hamabe, H. Watanabe, J. Sun, S. Yamaguchi, "Double Peltier Current Lead for Heat Leak Reduction at the Terminals Superconducting Direct Current Applications," IEEE Trans. Appl. Supercond., **21** (2011) 1070-1073. DOI: 10.1109/TASC.2010.2096451 (査読有)

(9) T. Fujii, S. Fukuda, M. Emoto, K. Osada, T. Kawahara, M. Hamabe, H. Watanabe, Y. Ivanov, J. Sun, S. Yamaguchi, "Thermoelectric Property Dependence and Geometry Optimization of Peltier Current Leads Using Highly Electrically Conductive Thermoelectric Materials," J. Elec. Mater., **40** (2011) 691-695. DOI: 10.1007/s11664-011-1513-4 (査読有)

[学会発表] (計 17 件)

① 河原敏男、浜辺誠、渡邊裕文、山口作太

郎、岡本庸一、緒方雄大、真下茂、「重力場プロセスによる傾斜機能材料の超伝導直流送配電システムへの応用の検討」, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会、神奈川工科大学、3月27日~30日、29p-B6-7 (2013年3月29日). 招待講演

② 服部敦、「多極型地方都市でのまちなかと郊外の共生」, 2012年度日本建築学会大会都市計画部門研究協議会資料「地区まちづくりのステップアップ」, (2012) 25-30 名古屋大学 (2012年9月13日).

③ 河原敏男、渡邊裕文、浜辺誠、山口作太郎、江本雅彦、引地康雄、箕輪昌啓、「200 m級超伝導直流送電実証実験装置(CASER-2)での通電中の端末の温度変化と熱侵入評価」, 第73回応用物理学会学術講演会、愛媛大学・松山大学、9月11日~9月14日、13p-PA3-6 (2012年9月13日)

④ 河原敏男、江本雅彦、浜辺誠、渡邊裕文、山口作太郎、引地康雄、箕輪昌啓、菅根秀夫、「200 m級超伝導直流送電実証実験装置におけるペルチェ電流リードの開発」, 第9回日本熱電学会学術講演会(TSJ2012)東京工業大学、8月27日~28日、S10-2 (2012年8月28日).

⑤ Toshio Kawahara, Masahiko Emoto, Hirofumi Watanabe, Makoto Hamabe, Satarou Yamaguchi, Yasuo Hikichi, Masahiro Minowa, "Developments of Peltier current lead for 200 m-class superconducting direct current transmission and distribution system," The 31st International & 10th European Conference on Thermoelectrics (ICT/ECT 2012), July 9th-12th 2012, Aalborg, Denmark, C6-1 (2012.07.10).

⑥ Toshio Kawahara, Masahiko Emoto, Hirofumi Watanabe, Makoto Hamabe, Satarou Yamaguchi, Yasuo Hikichi, Masahiro Minowa, "Time dependence of terminals temperature with current feeding in the superconducting direct current transmission test device of CASER-2," 24th International Cryogenic Engineering Conference-International Cryogenic Materials Conference, 2012/5/14~5/18, Fukuoka, Japan, 15P-P07-09 (2012.05.15).

⑦ 河原敏男、山口作太郎、「超伝導直流送配電システムの熱侵入低減のためのペルチェ電流リードの開発」, 第59回応用物理学関係連合講演会、早稲田大学、3月15日~3月18日、15p-C3-6 (2012年3月15日). 招待講演

⑧ 河原敏男、渡邊裕文、浜辺誠、孫建、イワノフ ユーリ、山口作太郎、「超伝導送配電システムの熱侵入低減とペルチェ電流

リード,” 第10回低温物質科学研究センター講演会・研究交流会、京都大学3月9日、P55 (2012.03.09).

⑨ Toshio Kawahara, Hirofumi Watanabe, Masahiko Emoto, Makoto Hamabe, Yury Ivanov, Jian Sun, Satarou Yamaguchi, “Interface strain analysis for Peltier current lead used in CASER-2,” Asian Conference on Applied Superconductivity and Cryogenics 2011 (ACASC 2011), New Delhi, India, Nov. 15-18, 2011, P-111 (2011.11.18).

⑩ T. Kawahara, M. Emoto, H. Watanabe, M. Hamabe, S. Yamaguchi, Y. Hikichi, M. Minowa, “Possibility of the gas cooled Peltier current lead in 200 m-class superconducting direct current transmission and distribution system of CASER-2,” 24th International Symposium on Superconductivity (ISS2011), Tokyo, 2011年10月24日～26日, SAP-11 (2011.10.24).

⑪ 服部 敦, 岡本 肇, “地方都市における中心と郊外を結ぶ拠点の形成に関する考察ー豊川市諏訪地区における「まちDENラボ」の実践例を通じてー,” 第22回日本都市計画学会中部支部研究発表会, じばさん三重, 10月7日, pp. 35-38 (2011年10月7日).

⑫ 河原敏男, 江本雅彦, 渡邊裕文, 浜辺 誠, 孫 建, ユーリ イワノフ, 山口作太郎, “ペルチェ電流リードの断熱性能への中間ステージの影響の検討,” 第72回応用物理学会学術講演会、山形大学、8月29日～9月2日、1a-ZJ-7 (2011年9月1日).

⑬ Toshio Kawahara, Masahiko Emoto, Hirofumi Watanabe, Makoto Hamabe, Jian Sun, Yury Ivanov, Satarou Yamaguchi, “HIGH PERFORMANCE SUPERCONDUCTING TRANSMISSION AND DISTRIBUTION FOR SHORT LENGTH AND LARGE CURRENT SYSTEMS,” 1st Asia-Arab Sustainable Energy Forum (jointly with 3rd International Workshop on Sahara Solar Breeder and 2nd International Workshop on Superconducting DC transmission and Distribution) (AASEF), Nagoya, 2011.08.23-26, S-7 (2011.08.25). 招待講演

⑭ Toshio Kawahara, Hirofumi Watanabe, Masahiko Emoto, Makoto Hamabe, Satarou Yamaguchi, Yasuo Hikichi, Masahiro Minowa, “Current dependence of heat leak on the terminals in the superconducting DC transmission and distribution system of CASER-2,” 26th International Conference on Low Temperature Physics (LT26), Beijing, China, 2011.08.10~08.17, 13P-E006 (2011.08.13). 招待講演

⑮ 河原敏男, 江本雅彦, 浜辺誠, 渡邊裕文, イワノフユーリ, 孫建, 山口作太郎, “ペルチェ電流リードの電流依存性と形状因子最

適化,” 第八回日本熱電学会学術講演会、北海道大学、2011.08.08-2011.08.09, PS-14 (2011.08.08&09).

⑯ Toshio Kawahara, Masahiko Emoto, Makoto Hamabe, Hirofumi Watanabe, Yury Ivanov, Jian Sun, Satarou Yamaguchi, “Thermoelectric properties dependence on the performance of Peltier current leads under over-current conditions,” The 30th International Conference on Thermoelectrics (ICT2011), Traverse City, Michigan, USA, July 17-21, 2011, P213 (2011.07.18).

⑰ T. Kawahara, M. Emoto, H. Watanabe, M. Hamabe, J. Sun, Y. Ivanov, S. Yamaguchi, “Optimization of Peltier current lead for applied superconducting systems with the optimum combination of cryo-stages,” Cryogenic Engineering Conference & International Cryogenic Materials Conference (CEC-ICMC 2011), SPOKANE, USA, JUNE 13-17, 2011, C2PoC-07, (2011.06.15).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河原 敏男 (KAWAHARA TOSHIO)
中部大学・藤原洋記念超伝導・持続可能エネルギー研究センター・教授
研究者番号：80437350

(2) 研究分担者

服部 敦 (HATTORI ATSUSHI)
中部大学・工学部・教授
研究者番号：10460536

古川 慧 (FURUKAWA KEI)
清水建設株式会社技術研究所・高度空間技術センター・研究員
研究者番号：70600956

山口 作太郎 (YAMAGUCHI SATAROU)
中部大学・藤原洋記念超伝導・持続可能エネルギー研究センター・教授
研究者番号：10249964

高橋 道郎 (TAKAHASHI MICHIO)
中部大学・経営情報学部・教授
研究者番号：30340201