

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14216

研究課題名(和文) 直流超伝導ケーブルによる電力系統のエネルギー貯蔵機能の創出

研究課題名(英文) Creation of Energy Storage Function in Electric Power System by DC Superconducting Cable

研究代表者

東川 甲平 (Higashikawa, Kohei)

九州大学・システム情報科学研究所・准教授

研究者番号：40599651

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、直流超伝導ケーブルによる電力系統のエネルギー貯蔵機能の創出である。環境への意識の高まりと電力自由化の流れから太陽光や風力を原資とする再生可能エネルギーの大量導入が期待されるが、これらの発電量は天候による時間変化が大きく、設備容量や周波数変動の問題から、現状の電力系統の受け入れ許容量はごく限られたものになっている。この観点から、発電量の変動を吸収できる電力貯蔵技術の確立が極めて重要な課題となっている。そこで本研究では、超伝導ケーブルによる電力系統のエネルギー貯蔵機能を実証し、電力系統自体が再生可能エネルギーの出力変動補償を行える次世代電力ネットワークの可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：This study aims at the creation of energy storage function in electric power system by DC superconducting cable. For large-scale introduction of renewable energies into electric power system, smoothing of their output fluctuation is indispensable. However, it is difficult and inefficient to compensate such large-scale fluctuation only by conventional batteries. In this study, novel power system with energy storage function with superconducting cable was proposed. The energy storage function by the superconducting cable was confirmed by a hardware-in-the-loop simulation (HILS), and its smoothing operation against severe fluctuation from photovoltaic (PV) power generation was demonstrated. This will become a key solution for future large-scale introduction of renewable energies.

研究分野：超伝導工学

キーワード：超伝導ケーブル 電力貯蔵 電力系統

1. 研究開始当初の背景

環境への意識の高まりや、特に 2012 年に施行された固定価格買い取り制度の全量買い取り制への移行により、太陽光や風力を原資とする再生可能エネルギーの導入がそれ以前の倍増となるペースで進んでいる。一方、これらの発電量は天候による時間変化が大きく、設備容量や周波数変動の問題から、現状の電力系統の受け入れ許容量はごく限られたものになっている。例えば、2014 年には電力会社が再生可能エネルギーの受け入れを停止したことが話題となった。そこで、発電量の変動を吸収できる電力貯蔵技術の確立が極めて重要なテーマとなっている。

従来の電力貯蔵技術としては、NAS 電池などの電池類が比較的エネルギー貯蔵量が大きく、電気二重層キャパシタは応答速度が速いといった特長を有している。ただし、太陽光や風力発電などの再生可能エネルギーの変動補償には、その双方の特長を有する新しい電力貯蔵技術が必要となっている。また、導入量の拡大に伴ってこれらの電力貯蔵装置を逐次導入することは、再生可能エネルギー大量導入社会への根本的な解決策にはならず、電力系統そのものが進化していくことが望まれる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、直流超伝導ケーブルによる電力系統のエネルギー貯蔵機能の創出である。新しい超伝導ケーブルを用いた直流電力網を提案することにより、電力系統自体がエネルギー貯蔵機能を有する次世代電力ネットワークの実現可能性について検討する。

3. 研究の方法

本提案の概略を図 1 に示す。原理は単純なものであり、インダクタンスの大きな超伝導ケーブルを直流で運用することにより、電力を磁気エネルギーとして貯蔵することを可能とするものである。これまでのところ、超伝導技術の導入により電力輸送時の損失を低減することだけでもメリットが叫ばれていたが、それに加えて今後の再生可能エネルギー大量導入を支える鍵となる機能まで有することになる。その特長を下記に列挙する：①再生可能エネルギーと近年の負荷に親和性の高い直流運用であること、②再生可能エネルギー導入時の電力貯蔵設備の逐次増強が不要となること、③電池類では困難となる高速大出力動作を電力系統自体が行えることなどである。

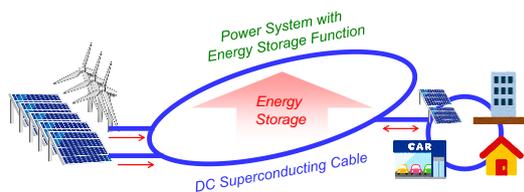


図 1 超伝導ケーブルを用いたエネルギー貯蔵機能を有する電力系統の概念図

本研究の達成に向けて、(1)試作ケーブルによるエネルギー貯蔵機能の実証、(2)エネルギー貯蔵機能を有する電力系統の太陽光発電出力変動補償動作の評価に取り組んだ。

4. 研究成果

上述の各項目について下記の成果が得られ、目的を達成した。

(1) 試作ケーブルによるエネルギー貯蔵機能の実証

エネルギー貯蔵を可能とするインダクタンスの大きな超伝導ケーブルの様態として超伝導線材を巻き回した試作ケーブルを製作し、リアルタイムデジタルシミュレータと連携したハードウェア閉ループ試験によって、そのエネルギー貯蔵機能を実証した。その概略と結果を図 2 に示す。本手法は規模調整により小型のハードウェアでも実規模相当の挙動を模擬でき、再生可能エネルギーからの電力の供給が途絶えても、しばらくの間は同ケーブルによるエネルギー貯蔵機能によって電力が賄えることを明らかとした。

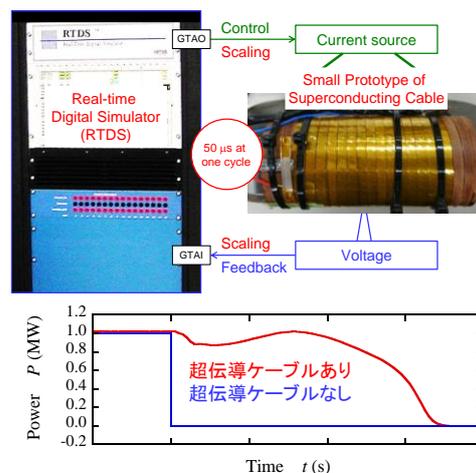


図 2 試作ケーブルのハードウェア閉ループ試験 (HILS) によるエネルギー貯蔵機能の実証

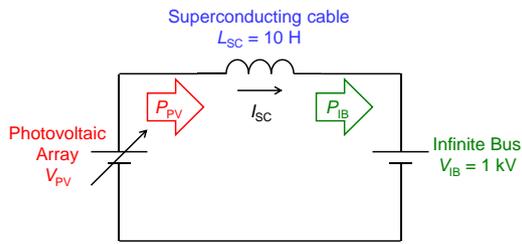


図3 太陽光発電を有する 10 MW 級
マイクログリッドへの
直流超伝導ケーブルの適用例

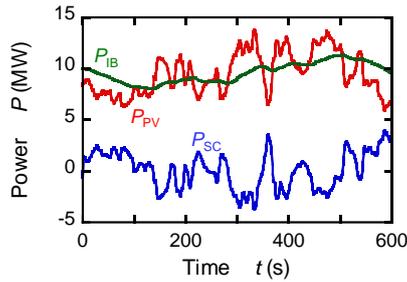


図4 直流超伝導ケーブルの
エネルギー貯蔵機能による
太陽光発電の出力変動の平準化
 P_{PV} : 太陽電池パネルからの出力
 P_{IB} : マクログリッドから商用系統への電力
 P_{SC} : 超電導ケーブルによる出力補償

(2) エネルギー貯蔵機能を有する電力系統
の太陽光発電出力変動補償動作の評価

一例として、太陽光発電を有する 10 MW 級 (1 kV, 10 kA 級) のマイクログリッドの直流運用を考え、そこにインダクタンスの大きな超電導ケーブルを導入することを図3のように想定した。超伝導ケーブルのインダクタンスは 10 H (1 H/km を 10 km と想定) とし、このマイクログリッドと商用系統の接続点を 1 kV の電圧源としている。このとき、太陽電池パネルからの出力変動が商用系統側にどのように伝わるかを計算した。その結果を図4に示す。太陽電池パネルからの出力 (P_{PV}) 波形は、文献 (NEDO「八戸市 水の流れを電気で返すプロジェクト」) のデータを定格 15 MW に換算したものをを用いた。1 秒に定格の 5% 以上も変化するような激しい変動であり、このような急峻な変化を調整可能電源で補償することは困難である。一方、商用系統側に流れる電力 (P_{IB}) は、かなり平滑化されており、その変化は 1 秒に定格の 0.3% 未満にまで抑制された。このような平滑化は、超伝導ケーブルがそのエネルギー貯蔵機能により自動的に出力 (P_{SC}) 補償したことによるものである。すなわち、この単純な

例では、10 MW 級のマイクログリッドにおける数 MW もの出力変動補償を、電池類もなしに、超伝導ケーブルだけで行えていることとなった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① K. Higashikawa, D. Uetsuhara, M. Inoue, S. Fujita, Y. Iijima, T. Kiss: Characterization of Local Critical Current Distribution in Multifilamentary Coated Conductor Based on Reel-to-Reel Scanning Hall-Probe Microscopy, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 27 (2017), ArtID. 6603004, DOI: 10.1109/TASC.2016.2641238.
- ② K. Higashikawa, X. Guo, M. Inoue, Z. Jiang, R. Badcock, N. Long, T. Kiss: Characterization of Critical Current Distribution in Roebel Cable Strands Based on Reel-to-Reel Scanning Hall-Probe Microscopy, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 27 (2017), ArtID. 8001404, DOI: 10.1109/TASC.2016.2639278.
- ③ K. Higashikawa, T. Suzuki, M. Inoue, S. Fujita, Y. Iijima, T. Kiss: Current Capacity of Cu-Sheathed Multifilamentary Coated Conductors under the Influence of Spatial Variation of Local Critical Currents in Each Filament, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 28 (2018), ArtID. 4801205, DOI: 10.1109/TASC.2018.2794965.
- ④ K. Higashikawa, M. Tajima, S. Urasaki, M. Inoue, Y. Fukumoto, M. Tomita, T. Kiss: Hardware-in-the-loop Simulation on Fault Current Limiting Operation of RE-123 Coated Conductors under the Influence of Spatial Inhomogeneity, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 28 (2018), ArtID. 5602405, DOI: 10.1109/TASC.2018.2815768.

[学会発表] (計 19 件)

- ① (招待講演) K. Higashikawa, M. Inoue, S. Fujita, M. Igarashi, K. Kakimoto, Y. Iijima, Z. Jiang, R. Badcock, N. Long, R. Buckley, T. Izumi, A. Matsumoto, H. Kumakura, T. Kiss:
Spatially Resolved Measurements on Critical Current in Coated Conductors and MgB₂ Wires,
29th International Symposium of Superconductivity (ISS2016), Tokyo International Forum, Tokyo, Japan,
2016 年 12 月 12~15 日.
- ② (招待講演) 東川 甲平, 木須 隆暢:
超電導応用技術の最近の動向と鉄道応用の可能性,
平成 29 年電気学会全国大会, 富山大学,
2017 年 03 月 15~17 日.
- ③ 東川 甲平, 上津原 大, 井上 昌睦, 藤田 真司, 飯島 康裕, 木須 隆暢:
RE-123 長尺マルチフィラメント線材の局所臨界電流分布評価,
2016 年度春季低温工学・超電導学会, タワーホール船堀,
2016 年 05 月 30 日~6 月 01 日.
- ④ K. Higashikawa, D. Uetsuhara, M. Inoue, S. Fujita, Y. Iijima, T. Kiss:
Characterization of local critical current distribution in multi-filamentary coated conductor based on reel-to-reel scanning Hall-probe microscopy,
2016 Applied Superconductivity Conf. (ASC2016), Colorado Convention Center, Denver, Colorado, USA,
2016 年 09 月 04~09 日.
- ⑤ K. Higashikawa, X. Guo, M. Inoue, Z. Jiang, R. Badcock, N. Long, T. Kiss:
Characterization of critical current distribution in Roebel cable strands based on reel-to-reel scanning Hall-probe microscopy,
2016 Applied Superconductivity Conf. (ASC2016), Colorado Convention Center, Denver, Colorado, USA,
2016 年 09 月 04~09 日.
- ⑥ K. Higashikawa, X. Guo, M. Inoue, Z. Jiang, R. Badcock, N. Long, R. Buckley, T. Kiss:
Reel-to-reel Characterization of Two-dimensional Distribution of Local Critical Current Density in Coated Conductors as a Diagnostics for Roebel Strands and Cable,
Coated Conductors for Applications 2016 (CCA2016), Aspen, Colorado, USA,
2016 年 09 月 11~14 日.
- ⑦ 田島 正博, 浦崎 祥吾, 東川 甲平, 福本 祐介, 富田優, 木須隆暢:
リアルタイムデジタルシミュレータを用いたハードウェア閉ループ試験による RE-123 線材の限流特性に関する検討,
電気・情報関係学会九州支部連合大会, 宮崎大学,
2016 年 09 月 29~30 日.
- ⑧ K. Higashikawa, M. Tajima, S. Urasaki, M. Inoue, Y. Fukumoto, M. Tomita, T. Kiss:
Investigation of Fault Current Limiting Properties of RE-123 Coated Conductors Based on Hardware-in-the-loop Simulation for DC Railway Feeder System,
1st Asian ICMC and CSSJ 50th Anniversary Conference, Kanazawa Kageki-za, Kanazawa, Japan,
2016 年 11 月 07~10 日.
- ⑨ 東川 甲平, 木須 隆暢:
超伝導電力応用機器の系統連系時挙動の模擬手法,
九州パワーアカデミーフォーラム 2016, 九州大学伊都キャンパス,
2016 年 12 月 02 日.
- ⑩ H. Tsuji, H. Nakagiri, K. Higashikawa, M. Inoue, T. Kiss:
Analysis for Local Magnetization in Stacks of High-Tc Superconducting Tapes for the Development of Non-Destructive Diagnosis Method for Pancake Coils,
Asian Applied Physics Conference, Tsushima, Japan,
2016 年 12 月 03~04 日.
- ⑪ Y. Kondo, K. Higashikawa, M. Inoue, T. Kiss:
Investigation of Interaction between Permanent Magnet and High-Tc Superconducting Tape Based on Finite Element Method,
Asian Applied Physics Conference, Tsushima, Japan,
2016 年 12 月 03~04 日.

- ⑫ Y. Nishimiya, K. Higashikawa, M. Inoue, T. Kiss, T. Machi, A. Ibi, T. Izumi:
Characterization of local inhomogeneity of critical current density and site-specified microstructure observation in a 10-mm-wide 20-filamentary coated conductor,
Asian Applied Physics Conference, Tsushima, Japan,
2016年12月03~04日.
- ⑬ S. Urasaki, M. Tajima, K. Higashikawa, M. Inoue, Y. Fukumoto, M. Tomita, T. Kiss:
Experimental and Analytical Investigation of Transient Properties of RE-123 Coated Conductors in Fault Current Limiting Operation,
29th International Symposium of Superconductivity (ISS2016), Tokyo International Forum, Tokyo, Japan,
2016年12月12~15日.
- ⑭ 東川 甲平, 井上 昌睦, 藤田 真司, 飯島 康裕, 木須 隆暢:
RE-123 マルチフィラメント線材におけるフィラメントごとの局所臨界電流分布が電流容量に与える影響,
2017年度春季低温工学・超電導学会,
2017年.
- ⑮ 東川 甲平, 浦崎 祥悟, 田島 正博, 井上 昌睦, 富田 優, 木須 隆暢:
ハードウェア閉ループ試験によるRE-123 線材の限流動作時過渡特性の評価とモデリングに関する検討,
2017年度春季低温工学・超電導学会,
2017年.
- ⑯ K. Higashikawa, T. Suzuki, M. Inoue, S. Fujita, Y. Iijima, T. Kiss:
Current Capacity of Cu-sheathed Multi-filamentary Coated Conductors under the Influence of Spatial Variation of Local Critical Currents in Each Filament,
International Conference on Magnet Technology 25 (MT25),
2017年.
- ⑰ K. Higashikawa, M. Tajima, S. Urasaki, M. Inoue, Y. Fukumoto, M. Tomita, T. Kiss:
Hardware-in-the-loop Simulation on Fault Current Limiting Operation of RE-123 Coated Conductors under the

Influence of Spatial Inhomogeneity,
The 13th European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS2017),
2017年.

- ⑱ 東川 甲平, MOHAN Shyam, 鈴木 匠, 大村 俊介, 今村 和孝, 井上 昌睦, 淡路 智, 中岡 晃一, 和泉 輝郎, 木須 隆暢:
UTOE-MOD 法による BZO 導入 YGdBCO 線材の磁界中磁気顕微観察,
2017年度秋季低温工学・超電導学会,
2017年.

- ⑲ 東川 甲平, 木須 隆暢:
エネルギー貯蔵機能を有する超電導ケーブルの可能性,
平成 30 年電気学会全国大会,
2018年.

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

東川 甲平 (HIGASHIKAWA, Kohei)
九州大学・大学院システム情報科学研究所
・准教授
研究者番号: 40599651

(2) 研究分担者 ()

研究者番号 :

(3) 連携研究者 ()

研究者番号 :