

戦略的創造研究推進事業(ALCA)
技術領域(プロジェクト名)「液体水素冷却による超
伝導電気機器の開発」
課題名「液体水素冷却 MgB₂ 超伝導電力機器の
開発」

終了報告書

研究開発期間 平成22年10月～平成31年 3月

研究開発代表者：白井康之
(京都大学大学院エネルギー科学研究
科、教授)

○報告書要約 (和文)

研究開発代表研究者 : 京都大学 教授 白井 康之

研究開発課題名 : 液体水素冷却 MgB₂ 超伝導電力機器の開発

1. 研究開発の目的

液体水素冷却超伝導機器とこれをキーとした水素・電力協調エネルギーインフラ構築による低炭素化を目的とした。超伝導電力機器導入による省エネルギー効果、液体水素の冷熱による超伝導機器冷却によるシナジー効果、電力系統の柔軟性を高め再生エネルギー電源の大量導入を推進する。具体的には液体水素冷却超伝導機器のための**高温超伝導マグネットとその液体水素冷却システムの開発**を目的とした液体水素の熱流動特性の把握、防爆対応設計、液体水素冷却超伝導材料の電磁特性、液体水素冷却高温超伝導マグネットおよびその機器システムなどの開発を行う。

2. 研究開発の概要

(1) 内容:

超伝導分科会では、京大チーム、NIMS チーム、前川製作所チームの間で、それぞれ液体水素冷却及び超伝導材料特性、MgB₂ 超伝導線材開発、これらを応用した先進電力変換システム開発で分担し、協力して研究開発を進めた。具体的には、液体水素冷却超伝導機器のための液体水素冷却特性データベースの構築(京大・JAEA)、拡散法・PIT 法による線材の試作、構造・組織解析、特性評価(NIMS・九大)、液体水素浸漬冷却 MgB₂ 超伝導線の通電特性(京大)、液体水素冷却 MgB₂ 導体・超伝導コイルの開発、先進超伝導電力変換システムの実証試験、導入効果検討(前川・東北大・KEK・八戸工大・岩谷産業・中部電力)、水素冷却システムに関する安全対策基準の確立(JAXA)である。

実用化 PJでは、京大チームと前川製作所チームが、それぞれ主に超伝導回転機と SMES をターゲットとして、液体水素冷却 MgB₂ 超伝導電力機器の開発を実施した。具体的には、MgB₂ 界磁レーストラックモデルコイルの製作と液体水素浸漬冷却下通電試験、液体水素冷却回転子試験装置・液体水素給排装置等を設計・製作・冷却試験(京大・JAXA・熊本高専・IHI・太陽日酸)、超伝導発電機導入効果のシステム検討(上智大 A・前川・上智大 B・KEK・中部電力)、MgB₂ 素線および撚り線の基礎データの取得、R&W・W&R SMES 用小型コイルのパルス連続運転、サーモサイフォン式冷却の試験(前川・上智大 B・KEK・中部電力・東北大・鉄道総研・岩谷産業)、超伝導電力機器の水素冷却システムに関する安全対策基準の確立(JAXA)

(2) 成果:

1: 超伝導冷媒としての液体水素の熱伝達特性に関して、系統的に実験を実施し機器設計のためのデータベース、表示式を導出した。2: 液体水素浸漬および間接冷却の MgB₂ 導体・コイルの開発を行い、液体水素冷却下で励磁試験、クエンチ試験、安全性検証を実施し、電力機器開発への基盤を築いた。3: 液体水素冷却超伝導回転機の回転子への水素給排システムの設計・製作、回転体への給排・貯液・液面制御を世界で初めて実証した。水素防爆設計、安全性検証を行って、電力用回転機開発の基盤を築いた。4: 先進超伝導電力変換システムの提案と実証実験を実施した。液体水素冷却 SMES 用の MgB₂ 撚り導体の開発を実施し、今後の MgB₂ 大型マグネットの開発に指針を示した。

(3) 今後の展開:

本プロジェクトの液体水素冷却超伝導機器の設計・要素技術および運用実績によって、実用を想定したプロトタイプ機器の開発のステージにきている。開発、整備した液体水素冷却超伝導機器を想定した実験設備は、世界でも唯一のものであり、今後の液体水素冷却超伝導機器の開発に重要な試験サイトとなる。液体水素を利用した実験を長時間効率的に行える態勢を整え、事故を想定した試験や過酷試験も、適切な計画のもとで可能である。

○Report summary (English)

Principal investigator: Kyoto University professor Yasuyuki Shirai

R & D title: Study of liquid hydrogen cooled MgB₂ superconducting power apparatus.

1. Purpose of R & D

Project target is to make way for hydrogen & electricity hybrid energy system with hydrogen cooled superconducting power apparatus as an innovative energy infrastructure for low CO₂ emission. Liquid hydrogen (LH₂) has excellent physical properties, high latent heat and low viscosity of liquid, as a coolant for high critical temperature superconductors. We focused on the fundamental database of heat transfer characteristics of LH₂ for cooling design of superconducting devices. At the same time, since there is no hydrogen cooled superconducting power device, we should take the initiative to develop elemental technologies on hydrogen cryostat, cooling system (hydrogen supply and ventilation), safety design (leakage detection, explosion-protection emergency system) for power apparatus. Test facilities for LH₂ cooling property and for electro-magnetic property of LH₂ cooled superconductors must be designed and made for fundamental knowledge for power device design. Another purpose is to demonstrate LH₂ cooled superconducting devices, such as SMES, superconducting rotating machine in a power system. Accumulation of the safe operation experience of the hydrogen test facilities in this project is also important as an evidence of safety in the design and the handling method.

2. Outline of R & D

(1) Contents:

Phase I (superconducting section): Three teams (Kyoto univ. G, NIMS G and Mayekawa G) cooperate and work well together in research of LH₂ cooling property and system, MgB₂ wire fabrication and advanced power conversion system. In precise, 1; Database of heat transfer characteristics of LH₂ for superconducting device design. 2; Production process of MgB₂ wire (IMD and PIT) and their evaluation method of configuration, constitution for advanced critical property. 3; Measurement of critical property of MgB₂ wires in LH₂ pool cooling under external magnetic field. 4; Development of large capacity MgB₂ composite conductors. 5; Fabrication of small scale MgB₂ superconducting magnet conduction cooled MgB₂. 6; Demonstration of ASPCS (Advanced Superconducting Power Conversion System) consists of SMES, fuel cell, water electrolyzer. 7; Safety design, criteria and explosion proof for LH₂ superconducting devices.

Phase II (practical application PJ): Based on the results of Phase I project, Kyoto univ. G and Mayekawa G developed LH₂ cooled MgB₂ superconducting power devices, such as rotating machine and SMES system, respectively. In precise, 1: Design and test of LH₂ pool cooled superconducting MgB₂ racetrack magnet for rotating machine field. 2: Design, fabrication and test of LH₂ cooled rotor. (LH₂ supply and ventilation system of machine rotor). 3: Introduction effect of LH₂ cooled power apparatus into power systems. 4: Development of MgB₂ twisted conductors (Rutherford cable). 5: Design and test of MgB₂ pancake coils with twisted conductor for SMES system.

(2) Achievements:

1; Database of heat transfer characteristics of LH₂ for superconducting device design was constructed in serve. 2; MgB₂ wires (IMD and PIT) were improved to practical use for power devices. 3; Large capacity MgB₂ composite conductors and small scale MgB₂ superconducting magnet were developed and tested in LH₂. 4; Small scale of ASPCS was demonstrated. 5: LH₂ supply and ventilation system of machine rotor was fabricated and tested. 6: Introduction effect of LH₂ cooled power apparatus into power systems was discussed. 7: Safety design, criteria and explosion proof for LH₂ cooled superconducting devices were presented.

(3) Future developments:

Under the development in the design, the elemental technologies and the operating experience of LH₂ cooled superconducting power devices in this project, we are now in progress stage of prototype devices. The unique test facilities for the LH₂ cooled power devices developed in this project are now in serve for practical application research.