

# 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

田島 正博\*, 浦崎 祥悟, 東川 甲平 (九州大学);  
 福本 祐介, 富田 優 (鉄道総研); 木須 隆暢 (九州大学);

Investigation of Fault Current Limiting Properties of RE-123 Coated Conductor  
 Based on Hardware-in-the-loop Simulation with Real-time Digital Simulator  
 Masahiro Tajima, Shogo Urasaki, Kohei Higashikawa (Kyushu Univ.);  
 Yusuke Fukumoto, Masaru Tomita (RTRI); Takanobu Kiss (Kyushu Univ.)

## 1. はじめに

超伝導線材は、そのゼロ抵抗特性や抵抗状態への遷移を生かし、限流器など様々な電力機器への応用が検討されている。一方、そのような非線形特性や熱的挙動から、特に系統事故時の挙動の精密な把握は困難となっており、これらを正確に考慮した試験手法の開発が求められる。そこで、我々はリアルタイムデジタルシミュレータ (RTDS) を用いたハードウェア閉ループ試験 (HILS) システムを構築することで、超伝導線材の状態をリアルタイムに反映した電力機器の系統内挙動の評価手法の開発に取り組んできた。本報告では、鉄道用直流き電系統における限流動作を対象として、線材の冷却状態や試料規模が与える影響を評価し、本手法の有効性・妥当性を検証する。

## 2. 方法

図 1 に示すように、RTDS を用いた HILS により、鉄道用直流き電系統への超伝導限流器 (SFCL) の導入を想定し、その非線形特性や熱的挙動を実際の超伝導線材を用いて反映することを目的とした。この際、用いるハードウェア (超伝導線材) と RTDS 内で想定した実規模機器 (SFCL) の間で規模調整を行っている。具体的には、電流量の比から通電電流を、線材長の比から電圧を調整することによって、線材が経験する電流密度と電界を揃えた上で、超伝導ハードウェアの規模が小型のものであっても、実規模相当の系統内挙動を再現することを目指している。本報告では、超伝導ハードウェアとして表 1 に示すような 3 種類の試料を用いることにより、数値シミュレーションのみでは過渡的挙動の予測が困難な冷却条件が与える影響 (試料 A と試料 B の比較) と、超伝導ハードウェアの規模を変えることで規模調整の妥当性 (試料 B と試料 C の比較) を検証した。

## 3. 結果・考察

き電線が時刻 0.2-0.4 s において地絡することを想定した際の電流波形を図 2 に示す。同図(a)の結果では、試料 A は線材が裸の状態に液体窒素に浸漬されており、試料 B では巻線部を模擬して樹脂により含浸されているが、後者の方で温度上昇が大きくより大きな抵抗が発生してきて限流効果が大きくなるものの、事故からの復帰時にも抵抗が残り、定常電流が若干小さめに出ていることがわかる。また、同図(b)では、使用している超伝導線材の線材長が異なるものの、その線材長と実規模機器の線材長の比を考慮して規模調整を行っていることにより、ほぼ同等の特性が得られていることがわかる。以上により、本手法が、精密なモデル化の困難な超伝導線材の非線形特性や熱的挙動をリアルタイムに反映し、かつ小規模プロトタイプ段階から実規模機器の系統内挙動を確認しながら機器設計・開発を行える、大変有効な試験手法であることを示すことができた。

謝辞 本研究の一部は、JST の戦略的イノベーション創出推進プログラム (S-イノベ) の一環として行われたものである。

表 1 HILS に用いた試料の諸元  
 TABLE 1. Specifications of the samples used for the HILS.

	Sample A	Sample B	Sample C
Wire	GdBCO coated conductor ( $I_c = 80$ A)		
Length	80 mm (straight)	80 mm (straight)	2.4 m (non-inductive winding)
Cooling	condition I (without resin)	condition II (with resin)	condition II (with resin)

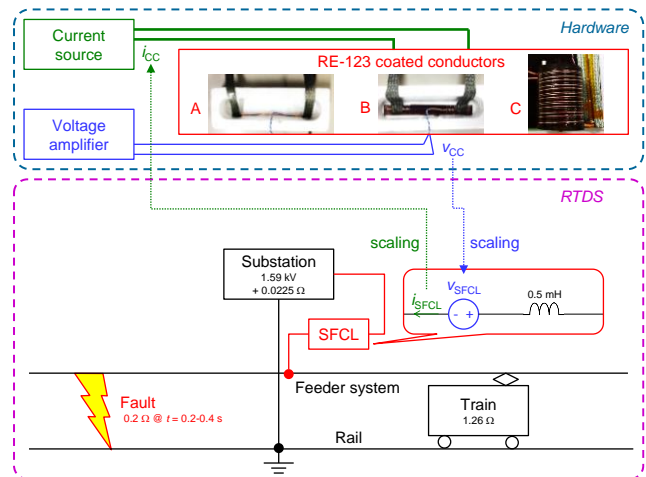


図 1 RTDS と超伝導ハードウェアを連携した HILS の概略  
 Fig. 1. Schematic of HILS with RTDS.

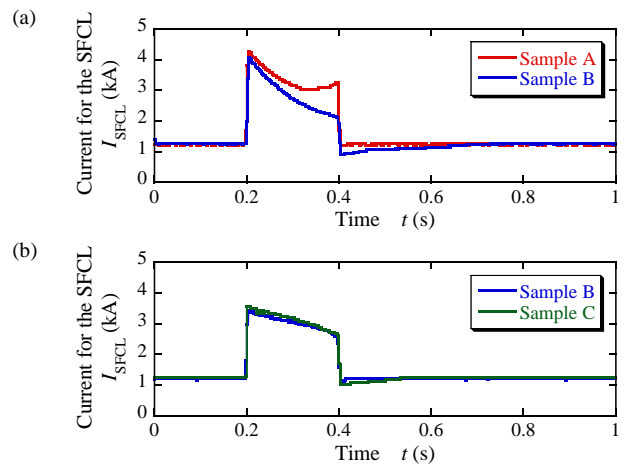


図 2 限流動作の評価 (a) 冷却条件の影響 (b) 試料規模の影響  
 Fig. 2. Demonstration of fault current limiting function by HILS:  
 (a) influence of the difference in cooling condition, and  
 (b) influence of the difference in the scale of the samples.