

2020年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	東京大学 大学院工学系研究科 電気系工学専攻
職位または役職	助教
氏名	大西 亘

1. 研究題目

超高加速度リニアモータを用いたヒューズ半導体ハイブリッド直流遮断器の開発

2. 研究目的

本研究のねらいは、超高加速度リニアモータを用いた、ヒューズ半導体ハイブリッド型超高速直流遮断器の開発である。提案するハイブリッド型超高速直流遮断器により、以下が期待される。

1. 鉄道用の直流遮断器(1.5kV)の小型化・低コスト化
2. 小型・低コストの直流 25kV の超高速遮断器の実現により、
 - ・直流マイクログリッドシステム
 - ・未来の高電圧直流(9kV, 25kV)システム の社会実装への道を拓く

本研究は図1に示す、“使い捨てる電力機器”という斬新な設計思想を採用することで、

- ① 100kA にも及ぶ直流大電流が $\sim 10\text{ms}$ 以内に遮断できる **高速遮断性能**
- ② 遮断完了後に印加される 25kV 超の過渡回復電圧に耐えうる **絶縁性能**
- ③ 遮断完了後 $\sim 50\text{ms}$ 以内での **高速再閉路**
- ④ $\sim 1\text{m}$ スケールの **コンパクト性**

の全てを満たす高速直流遮断器を目指しており、**特許も出願済み[3]**である。本直流遮断器は、ヒューズを使い捨てるという特殊性から、③の高速再閉路のためにはヒューズの高速な転換が必要である。そこで本研究は、ヒューズの切り替え・高速再閉路のための **15G を超える超高加速度のリニアモータの開発**と、極限加速度における**高速高精度位置決め**技術開発を目的とする。

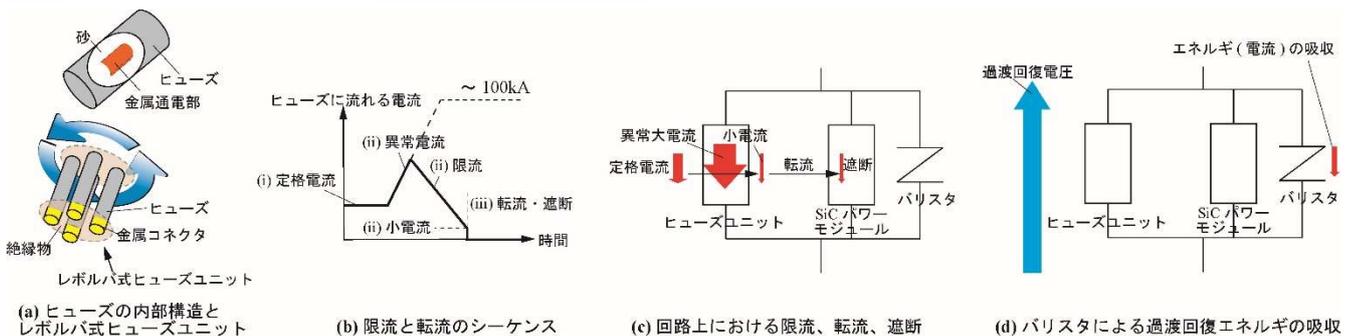


図1 本研究で提案する新しい直流遮断器

3. 研究内容及び成果

図 2 に示すような、限流ヒューズと IGBT を備える回路と、図 3 に示すリニアモータを用いた高速ヒューズ転換装置を作成し、遮断試験を実施した。3.6kA の限流・遮断・ヒューズ転換実験に成功し、提案するヒューズ半導体ハイブリッド遮断器のコンセプトの有効性を実証した。この成果は、国際論文誌発表[1]，研究会発表[2] および国際特許出願 [3]へとつながった。

図 4 にヒューズ転換を含めた遮断波形全体を、図 5 に遮断波形の拡大を示す。限流・遮断が 4.64ms で完了し、さらにヒューズ転換再閉路が 68.2ms で完了し、極めて高い性能を示した。

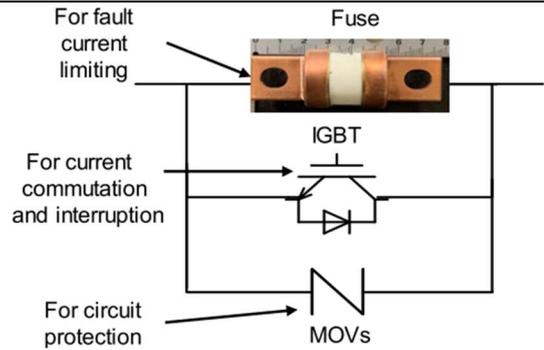


図 2 回路図

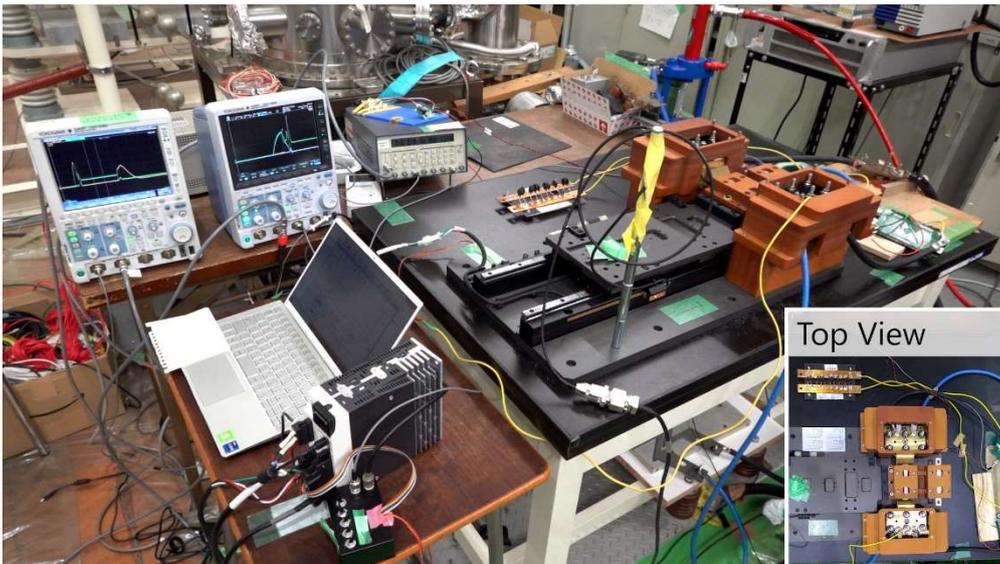


図 3 試作したヒューズ高速転換機能を備えたヒューズ・半導体ハイブリッド遮断器

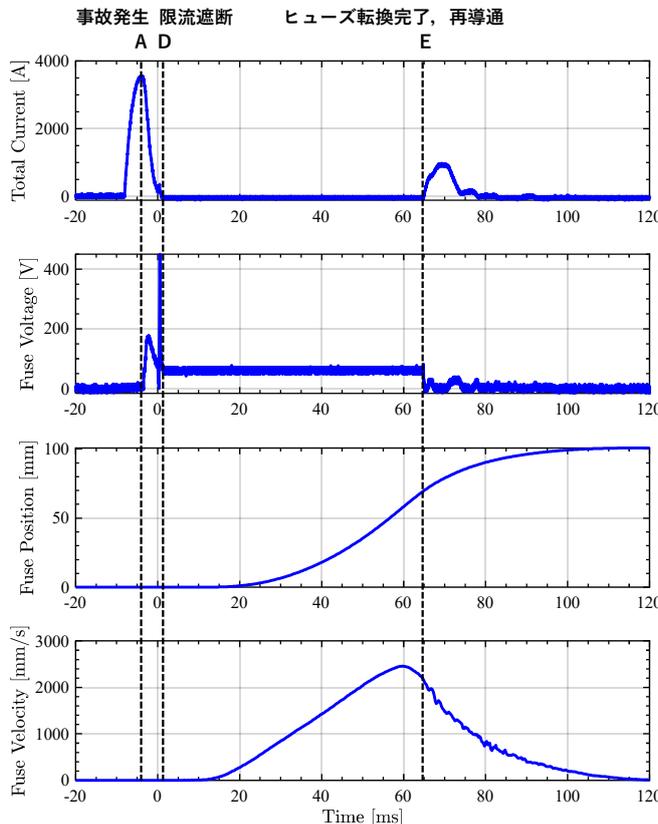


図 4 ヒューズ転換を含む遮断波形全体

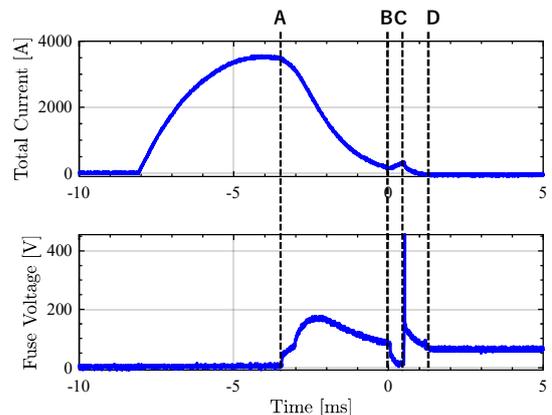


図 5 図 4 の拡大波形

- A: 事故発生
- A~B: ヒューズによる限流
- B~C: 半導体素子に転流, ヒューズ冷却
ヒューズが絶縁体になる
- C~D: 半導体素子による遮断
バリスタ作動
- D~E: 遮断完了
ヒューズ転換中
- E: ヒューズ転換完了, 再導通

4. 今後の研究の見通し

図3, および図6,7に示した1号機は以下のスペックであるが, 大推力化した図8,9に示す2号機を設計製作し, ヒューズ転換時間を更に短縮する計画である。

1号機スペック 永久磁石2列構造

定格推力 180 N @ 3 A

最大推力 381.6 N @ 9 A

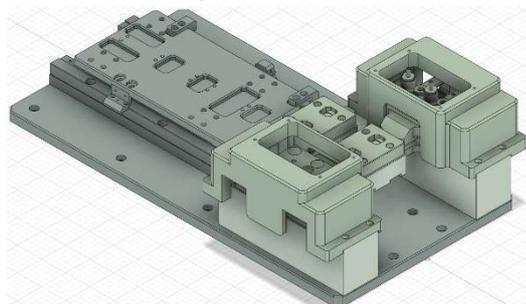


図6 図3に示した1号機のCADモデル

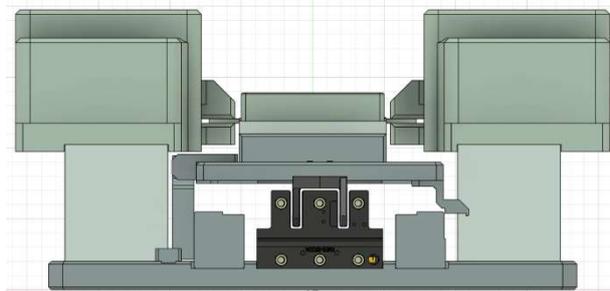


図7 1号機の正面図, 2列の永久磁石を持つ

2号機スペック 永久磁石3列×2段構造

定格推力 1000 N 級

最大推力 2000 N 級

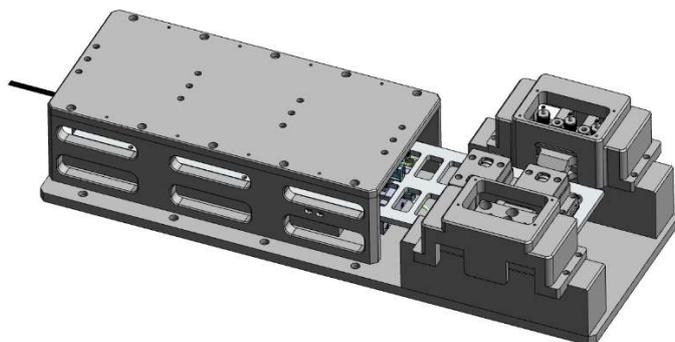


図8 2号機のCADモデル(設計中)

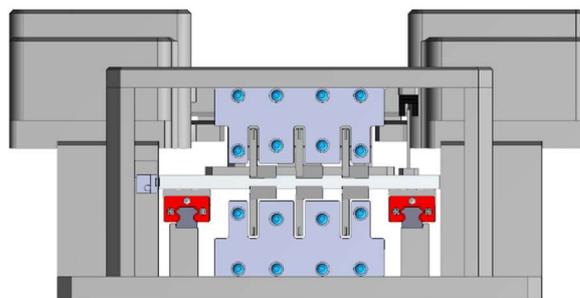


図9 2号機の正面図, 3列×2段の永久磁石を持つ

なお, 本研究は埼玉大学 稲田助教, 東京工業大学 全助教との共同プロジェクトの一部であり, リニアモータおよびヒューズ交換装置の設計・製作については KOVERY 社の支援を受けている。

5. 助成研究による主な発表論文, 著書名

学術論文(査読付)

[1] S. Zen, Y. Inada, W. Ohnishi, Y. Fukai, N. Takayasu, M. Maeyama, and T. Yamano, “Prototype Current-Limiting Hybrid DC Circuit Breaker Incorporating a Fuse and a Semiconductor Device,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 36, no. 4, pp. 2231–2233, Aug. 2021, doi: 10.1109/TPWRD.2021.3055430.

国際会議(査読なし)・国内会議

[2] 大西亘, 稲田優貴, 全俊豪, 佐々木怜音, 高田康宏, 宮岡優太, 塚本幸佑, 山納康: 高速再閉路可能なヒューズ半導体ハイブリッド遮断器の実証, 放電・プラズマ・パルスパワー/開閉保護/高電圧合同研究会, 2021 (発表予定)

その他(特許など)

[3] 国際特許 Y. Inada, Y. Yamano, M. Maeyama, S. Zen, and W. Ohnishi, “CURRENT INTERRUPTION DEVICE AND CURRENT INTERRUPTION METHOD,” PCT/JP2020/034978.