

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	磁場コイル用直流パルス電源に向けたフライホイール付自励誘導発電機の実証に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	村山真道
Author(English)	Masamichi Murayama
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11519号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:飯尾 俊二,小栗 慶之,林崎 規託,片淵 竜也,筒井 広明
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11519号, Conferred date:2020/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： 融合理工学 系  
Department of Graduate major in 原子核工学 コース  
学生氏名： 村山 真道  
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)  
Academic Degree Requested Doctor of  
指導教員 (主)： 飯尾 俊二  
Academic Supervisor(main)  
指導教員 (副)：  
Academic Supervisor(sub)

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文はトカマク型装置のトロイダル磁場コイル電流を駆動することを目的としたパルス電源装置の設計・製作と実証に関する論文である。

第 1 章では核融合研究に関する背景と磁場閉じ込め核融合装置特有の構造・用語について説明をした。またトカマク装置を含めた磁場閉じ込め実験装置では、銅などの常伝導コイルを用いて短時間の運転を行うことが一般的である。本章では特に電力系統から直接受電することの問題点を説明し、キャパシタやフライホイールといったエネルギー蓄積装置を備えたパルス電源が重要であること、またトカマク装置の規模に応じてエネルギー蓄積装置の使い分けが行われている点について指摘した。

第 2 章では、本論文で利用したエネルギー蓄積装置であるフライホイールと、運動エネルギーを電気エネルギーに変換する自励誘導発電機の原理について解説を行った。従来、小型装置ではキャパシタバンクにエネルギーを蓄えるパルス電源が一般的であったが、本論文では運動エネルギーとしてエネルギーを蓄積するフライホイールに着目して電源装置の開発を行った。検討の結果、トカマク装置の電源の設計に際して、エネルギー蓄積装置をフライホイールで構成する場合の方が電源を小型にできることが明らかになった。しかし、フライホイールは運動エネルギーとしてエネルギーを蓄積しているため、発電機を用いて運動エネルギーを電気エネルギーに変換する必要がある。従来用いられてきた直流発電機や同期発電機は内部に摺動部があり定期的な保守・点検が必須であり、また回転子・電機子に巻線構造を有するため発電機が大型になる傾向があった。これに対して本研究では摺動部を持たず、回転子にアルミダイキャスト構造を有するかご形誘導電動機を発電機として利用することで発電機の大幅な小型化を図った。さらに誘導電動機を自励誘導発電機として使用することでパルス電源装置の主回路の簡略化を図った。

第 3 章と第 4 章ではそれぞれ異なる回路方式による自励誘導発電機を用いたパルス電源の実証例について説明を行った。第 3 章ではトカマク装置 PHiX のパルス電源として運用することを念頭に、定格容量・蓄積エネルギーがそれぞれ 55 kW, 317 kJ である既存のフライホイールエネルギー蓄積装置に提案回路方式の制御盤を追加することでパルス電源を構成した。第 4 章ではトカマク装置 PLATO のパルス電源として運用することを念頭に、新規にフライホイール装置とパルス電源回路の設計を行った。トカマク装置 PLATO はトカマク装置 PHiX に比べて大半径が 2 倍程度の装置であり、トロイダル磁場コイルの消費電力は約 10 倍に上る。そのため PLATO 向けには定格容量と蓄積エネルギーがそれぞれ 250kW, 1.44 MJ であるフライホイールエネルギー蓄積装置を 2 台並列に使用することで必要な電力・エネルギーを確保した。第 3 章、第 4 章ともに、自励誘導発電機の 3 つの運転シーケンスである加速・電圧ビルドアップ・通電について行った実証実験結果について説明している。加速時には回転数計と加速専用の小容量三相インバータを併用したセンサ付き V/f 制御用いることで、他方式である直入れ起動やリアクトル起動に比べて、電力系統から受電する電力容量を大幅に削減できることを示した。また電圧ビルドアップについて、投入する自励キャパシタ容量に対して得られる誘導機の電圧の時間変化、および定常電圧を測定する試験を行った。その後、適切な負荷を用いて発電機と電力変換器の動作実験を行った。

第 5 章では従来法である定常等価回路を用いた設計で明らかになった問題点と、過渡現象をモデル計算するためのベクトル空間を用いた誘導機回路の固有値計算について説明を行った。提案する固有値計算により自励現象をある程度模擬することが可能となったが、等価回路を求めるための試験条件と自励現象が発生する条件がことなるため、その補正が必要であることも明らかとなった。第 6 章では以上の議論をまとめて結論とした。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)

Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： 融合理工学 系  
Department of Graduate major in 原子核工学 コース  
学生氏名： 村山 真道  
Student's Name

申請学位(専攻分野)： 博士 (工学)  
Academic Degree Requested Doctor of  
指導教員(主)： 飯尾 俊二  
Academic Supervisor(main)  
指導教員(副)：  
Academic Supervisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This paper deal with the design method and the demonstration of self-excited induction generators for pulsed power supplies for small tokamaks.

In chap. 1, the background of research on specific structures of magnetic field confinement nuclear fusion devices were reviewed. Generally, magnetic field confinement devices, including tokamaks, utilize non-superconducting coils and are operated in pulsed manners. In this chapter, the issues of direct receive of electricity and the importance of energy-storing system for pulsed power supply were described.

In chap. 2, principle of flywheels as energy storage systems (FESS) and self-excited induction generators (SEIGs) are explained. In conventional designs, capacitors are adopted for pulsed power supply for small tokamak devices. In this paper, flywheels that store kinetic energy storage are focused on designing power supplies. Stored kinetic energy, however, must be converted into electric energy. Conventional direct machines and synchronous machines have brushes and winding structures in rotors and armatures, and it leads to their large size. On the contrary, I aimed to downsize pulsed power supplies by employing SEIGs, that do not have brushes and winding due to die-cast structures.

In chaps. 3 and 4, the design method and demonstration of pulsed power supplies with two different circuit structures were described. In chap. 3, for the application to the operation of PHiX tokamak, a pulsed power supply was designed and demonstrated by employing the existed FESS with 55-kW rated induction motor and 317-kJ rated flywheel and the new control box with the proposed main circuit structure. In chap. 4, for the application to the operation of PALTO tokamak, a pulsed power supplied were designed and demonstrated by employing the new FESS with two 250-kW rated induction motor and 1.44-MJ rated flywheel.

In chap. 5, proposed design method employing Eigenvalues to estimate the growth rate of self-exciting phenomena was described. In Chap. 6, the above achievement and discussion were summarized.