

氏名	つき 築	じ 地	ひろし 浩
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)		
学位記番号	論 工 博 第 3593 号		
学位授与の日付	平 成 13 年 5 月 23 日		
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当		
学位論文題目	磁束ポンプ励磁形ブラシレス超伝導発電機に関する研究		

論文調査委員 (主査) 教授 牟田一彌 教授 宅間 董 教授 奥村浩士

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、近年、超伝導発電機の研究が注目されるなか、移動磁界形超伝導磁束ポンプ（以下、磁束ポンプと称す。）を用いてパワーリードや超伝導永久スイッチを不要とし、かつ励磁系内のブラシレス化を図った先導的研究内容であり、在来形励磁系とこのブラシレス励磁系に関する発電機特性の特徴について理論的かつ実験的に考察して、ブラシレス超伝導発電機の可能性を追求したものである。すなわち、本論文の内容は、世界的に類をみない超伝導発電機のブラシレス励磁法確立に挑戦し、この磁束ポンプ基本特性の理論的究明とその発電機への適応研究開発、並びにブラシレス超伝導発電機の静特性に關した理論的考察と小形試作機による検証試験についてまとめたものである。本論文は以下の9章よりなっている。

第1章は、序論であり、現在までの超伝導発電機の研究開発状況のあらましを述べ、その効率向上を図るうえで、励磁系をブラシレスならびに超伝導化することの必要性を提唱している。さらに、磁束ポンプによる励磁系のブラシレス化の具体的方法や、励磁系がブラシレス超伝導化された発電機の出力特性の検証方法を追求した本論文の構成を示している。

第2章ではブラシレス全超伝導試作発電機の界磁励磁電源となっている磁束ポンプについて述べている。電流発生の基本原理に触れ、それに基づき電流の発生特性式を導いている。また、特性式は単基のみ、直列接続、並列接続、複数基を直並列接続した多基接続のそれぞれの場合について導出しており、それぞれの特性を理論的に検討している。

第3章では磁束ポンプによるブラシレス励磁の特長の一つである永久電流モードでの発電機の静特性について論じ、従来の励磁法との比較を理論的に行っている。その際、永久電流モードでの出力特性を論じる上で必要な一般的特性式を導出している。

第4章では、まず、全超伝導および界磁超伝導発電機のブラシレス化の可能性を証明するため試作した磁束ポンプ励磁形ブラシレス全超伝導発電機の概要とその界磁励磁試験について紹介している。本装置の励磁システムや、発電機自体の構造・寸法、試験結果等から得られた諸定数などを示している。次に、本装置を用いて行ったブラシレス励磁による永久電流モードでの実負荷発電特性の試験結果について述べている。また、試験結果の一部より、永久電流モードでの同期リアクタンスを求め、発電機本来に定義される同期リアクタンスよりも見かけ上減少することを明らかにしている。また、界磁超伝導機との比較のため、電機子巻線の線材を同容積で超伝導線からCu線に置き換えた場合の特性や、交流超伝導線の交流損失についても検討している。

第5章では、磁束ポンプを外して試作発電機にブラシ・スリップリングを設け、従来の励磁法（外部励磁法）で試験した出力特性結果を示している。また、第4章と本章の両試験結果および第3章で論じた特性式を用いて行った計算結果とを突き合わせ、ブラシレス励磁法と外部励磁法との出力へ及ぼす影響を理論的かつ実験的に比較考察している。さらに、試作発電機のブラシレス励磁法と外部励磁法における静特性時の運転可能範囲の差異について、界磁調整を行わない場合と界磁調整を行う場合のそれぞれの運転モードにおいて論じている。その結果、任意の負荷力率や発電機設計定数で運転可能領域をより大きくとれる運転モード選択法を明確にしている。

第6章では、まず、導出した磁束ポンプ特性式の検証の上で必要な定量的実験のため、別途製作した磁束ポンプの実験装

置を紹介している。次に、本装置による実験結果から、磁束ポンプを直並列に接続することで電流や電圧の性能向上が図れることを確認している。また、第2章で述べた特性式による電流発生発生シミュレーションとの比較検討も行っており、その結果において両者が良く一致したことから、導出した式の妥当性を証明している。

第7章では、磁束ポンプの出力特性の向上ために、第2章および第6章での考察に基づいて新しく製作した多基直列形磁束ポンプについて述べている。本装置は1966年に Wipf が開発したものと原理的には同様だが、磁束ポンプを構成する一部を超電導線から超電導箔材に替えているところに独自の特徴がある。これにより、Wipf の試作装置より多数の磁束ポンプをコンパクトにユニット化することが可能となり、大幅な電圧向上が図れることを示している。本装置の特性実験の結果、磁束ポンプの出力電圧を高めるための知見を得ることに成功している。また、第2章で導出した多基直並列接続形の場合の理論式の妥当性も実験結果との比較により検証している。

第8章では、実用規模での特性検討のために、Super-GM 等の 200MW 級ブラシレス超電導発電機を対象とした磁束ポンプの概念設計を行っている。すなわち、第7章に挙げた装置開発の成果を踏まえ、実用規模発電機の励磁系に適用できる装置の概念設計を試みている。また、この装置を実用規模の超電導発電機に用いた場合を想定し、第5章の成果をもとに、界磁調整運転と永久電流モード運転における限界出力を実用規模で比較検討し、200MW 級ブラシレス発電機の可能性を示唆するに十分な結果を得ている。

第9章では本論文のむすびとして、研究で得られた成果を要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、近年、超電導発電機の研究が注目されるなか、移動磁界形超電導磁束ポンプ（以下、磁束ポンプと称す。）を用いて、励磁系内のブラシレス化を図った先導的研究内容であり、在来形励磁系とこのブラシレス励磁系に関する発電機特性の特徴について理論的かつ実験的に考察して、ブラシレス超電導発電機の可能性を追求したものである。すなわち、本論文の内容は、世界的に類をみない超電導発電機のブラシレス励磁法確立に挑戦し、この磁束ポンプ基本特性の理論的究明とこの発電機への適応研究開発、並びにブラシレス超電導発電機の静特性に関した理論的考察と小形試作機による検証試験についてまとめたものであり、以下のような成果が示されている。

- 1) 磁束ポンプの特性や設計法との関係が、理論的考察により明確化されている。特に、本論文中に示した特性式や定数算定法は独自の方法で導出したものであり、これを用いた特性予想は小形磁束ポンプの特性実験の結果と良く一致し、その妥当性が示されている。
- 2) 磁束ポンプは大電流を発生できるが、その発生電圧は微小で、励磁速度の面から発電機などへの実用化には不適とされていた。本研究では、複数の磁束ポンプユニットを直並列に接続したいわゆる多基接続法を提案し、その試作装置による実験結果および1)の成果をもとに定量的考察を行い、磁束ポンプの実用化が可能であることを示している。また、この独自の接続法は、多基接続により生じる大型化の問題を解決しており、実用化へ有効な一方法を提案したものである。
- 3) 励磁系を磁束ポンプでブラシレス化した場合の永久電流モード時の静特性式を導出し、ブラシレス超電導発電機の出力特性の理論的考察を行っている。また、実際に実負荷可能な小形モデル機を試作して、その界磁励磁試験および実負荷試験を行い、ブラシレス超電導発電機の可能性を確認している。さらに、試験結果と導出した静特性式による計算は一致することを検証している。
- 4) ブラシレス超電導発電機と在来形励磁系をもつ超電導発電機の出力特性比較を理論的かつ実験的に行い、励磁系の出力へ及ぼす影響を明確にしている。特に、界磁調整を行う際、ブラシレス励磁系の場合は非接触で電流微調整ができ、かつ在来形励磁系の場合と同出力が得られること、また任意の負荷力率、発電機定数に関連してより高出力を得るための運転モードについて言及している。
- 5) 1), 2)の成果を踏まえ、通産省工業技術院 NEDO プロジェクト組合 (Super-GM) の 200MW 級超電導プロトタイプ発電機の界磁巻線に関する実用規模の磁束ポンプの概略設計ならびにその励磁特性予測を行っている。その結果、磁束ポンプの界磁励磁系に適用可能な構造・構成法・仕様を示している。また、これを用いた 200MW 級ブラシレス超電導発電機の運転可能範囲についても在来形励磁の場合と比較し計算を行い、本提案のブラシレス励磁法の実用規模におけ

る可能性を示唆するに十分な結果を得ている。

以上、これらの成果は学術上、実際に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成13年4月24日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。