

# モジュールによる同期発電機の並列運転の構築および計測

AE19017 戸張善章

指導教員 藤田吾郎

## 1. はじめに

現代、再生可能エネルギーによる発電が増加している。それとともに、電源が多様化し、電力システムがより複雑化している。電力技術関係者の需要が増加し、効率のよい実習が必要である。しかし、既存の市販されている教育用電力実習装置は大型、高価、特定の実験しか行えないといった問題点が挙げられ、効率のよい実習を行うのが難しい。

そこで小型かつ容易に組み換えが可能なモジュール型電力システム実習装置を用いることにより、机上で様々な実験を効率よく行うことができる。本研究では船舶などで使われる発電機の並列運転をモジュールで模擬すること、また実習を可能にすることを目的としている。

## 2. モジュール型電力システム実習装置<sup>[1]</sup>

モジュール型電力システム実習装置は既存の電力システム実習装置とは異なり、コンパクトな箱型である。既存の市販品である大型の実習装置は非常に高価であり、また改造が困難であるため様々な実験に対応する柔軟性が低い。これらの問題を踏まえ製作された実習装置が図1に示すような、モジュール型電力システム実習装置である。

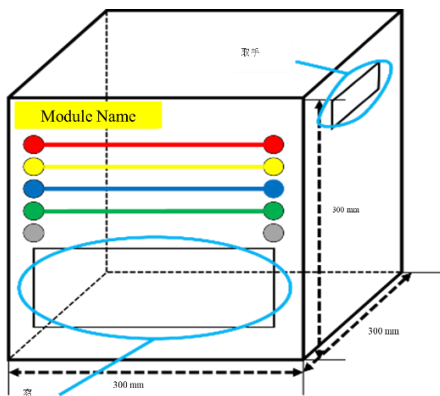


図1 モジュール型電力システム実習装置の規格

## 3. 先行研究:同期発電機システム概要<sup>[2]</sup>

図2に小型同期発電機システムの構成図を示す。システムは、インバータモジュール、Induction Motor-Synchronous Generator (以下IM-SG)モジュール、コントローラモジュールの三つのモジュールで構成される。このシステムでは、インバータと誘導電動機を用いて水車

タービンを模擬し、同期発電機により発電を行うことで、水力発電を模擬している。インバータに指令する周波数と同期発電機に投入する励磁電圧はArduinoを用いて制御を行う。

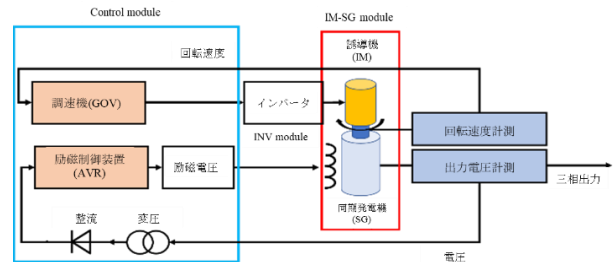


図2 小型同期発電システムの構成

## 4. 発電機の並列運転

### 4.1 並列運転の利点と条件

並列運転の利点は、使用する負荷にあわせて運転台数を変更できる、それぞれの発電機にかかる負荷を均等にできる、1台の発電機に依存しないため電力供給が安定するなどが挙げられる。

並列運転の条件はそれぞれの発電機の電圧の大きさ、周波数、位相が等しいことである。

### 4.2 並列運転の回路設計

図3に並列運転の回路図、図4に並列運転の実験風景を示す。IM-SGで計測した回転速度をコントローラモジュールに通して、インバータにフィードバックし周波数を制御する。また、コントローラモジュールから出力される励磁電流を調整することによりIM-SGで発電する電圧を制御する。同期検定器を用い、同期投入する。

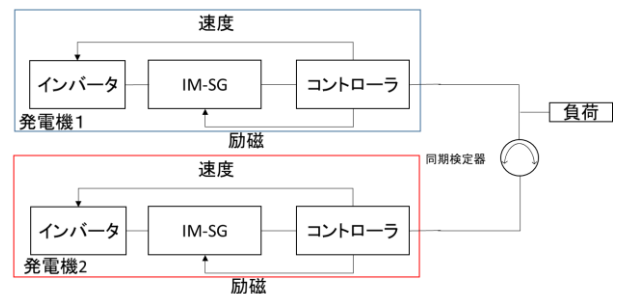


図3 並列運転の回路図



図4 並列運転の実験風景

### 4.3 コントローラの設計

MATLABのSimulinkを用いて回転速度制御と電圧制御のモデルを作成した。計測した回転速度と電圧を、PI制御を用いて出力が目標値に追従するように制御を設計した。作成したSimulinkモデルを図5, 図6に示す。同期発電機にDroop特性を持たせている。

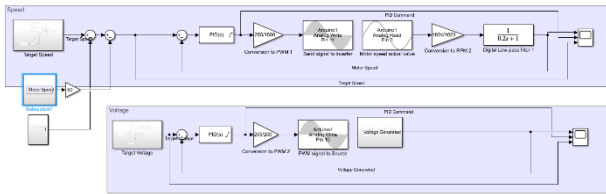


図5 Simulinkモデル(上段:回転数制御, 下段:電圧制御)

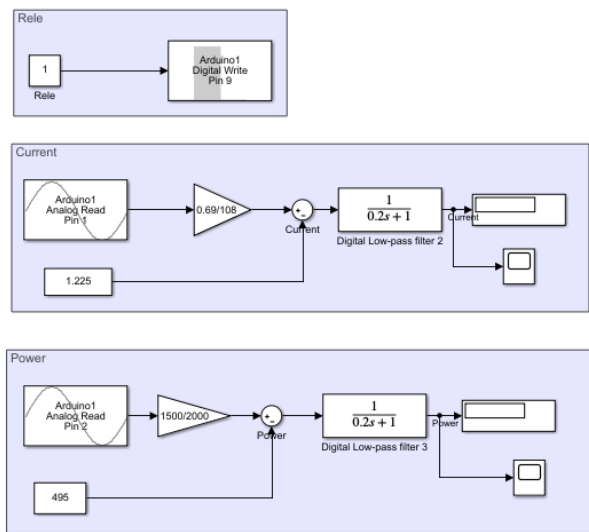


図6 Simulinkモデル(上段:リレー制御, 中段:電流計, 下段:電力計)

### 4.4 Droopの仕組み

速度のDroop特性とは、負荷が増加すると回転速度が低下する特性のことである。図7にDroop特性を持った周波数の例<sup>[3]</sup>を示す。2台で並列運転する時、速度設定値を上下してそれぞれの負荷率を変更し均等になるようにし、負荷分担する。

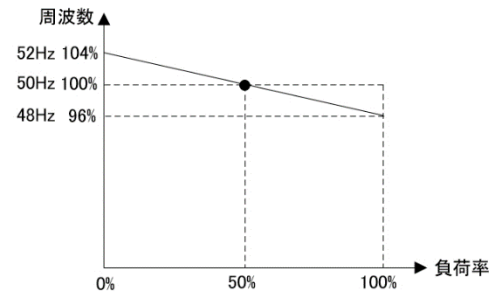


図7 速度のDroop特性<sup>[3]</sup>

## 5. 並列運転試験

2台のPCを使い、Simulinkで2台の発電機の回転速度、電圧を並列運転の条件を満たすように制御する。同期検定器を用い、位相の一致を確認し、同期投入する。その後、負荷を投入し、負荷分担しているか確認する。図8に実験で得た2台の発電機の電力波形を示す。

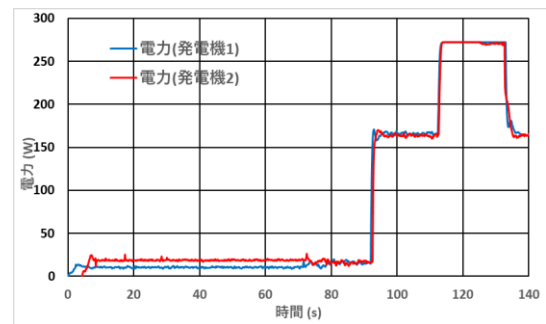


図8 電力波形

## 6. 考察

図8より、約70 s時点の同期投入から約90 s, 約110 sの負荷投入においてそれぞれの発電機でほぼ同じ電力を出力していることを確認でき、負荷分担が達成された。

## 7. まとめと展望

本研究では、モジュール型電力系統実習装置を用いて発電機の並列運転試験を行った。結果より、モジュールで並列運転が可能である。

展望として、有効横流、無効横流の確認や並列運転時の負荷移動の測定を行う予定である。また並列運転の実験マニュアルを作成し、より効率の良い実習を行えるようにする。

### 参考文献

- [1] 一松祥右, 藤田吾郎, 坂井直樹, 三岡功治「モジュール型電力系統実習装置の提案」日本工学教育会 工学教育 61-2(2013)
- [2] 電気学会技術報告書 第1443号(D部門)「発電機励磁系の仕様と特性」一般社団法人 電気学会 (2018)
- [3] エネ管ドットコム 【発電機】ドロープ制御とアイソクロナス制御の違い、使い分け <https://energy-kanrishi.com/droop-iso/>