



Title	仮想同期発電機制御インバータの並列運転に関する研究
Author(s)	平瀬, 祐子
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/55931">https://doi.org/10.18910/55931</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

氏名 ( 平瀬 祐子 )	
論文題名	仮想同期発電機制御インバータの並列運転に関する研究
論文内容の要旨	
<p>1. 再生可能エネルギー用いられる分散電源は、従来のインバータ制御手法のままでは、インバータにより系統連系される電源の容量が回転形の同期発電機と同等程度以上になった場合に、安定した電力の供給が難しい。そこで、第1章において、上位層における集中管理制御なしで自律分散的に上記並列運転に関する問題を解決できる手法として、蓄電池併設インバータに搭載する仮想同期発電機(Virtual Synchronous Generator : VSG)制御を提案し、本研究の目的と位置づけを明らかにした。</p> <p>2. VSG制御はインバータに疑似慣性力を具備させる制御手法で、インバータを回転形の同期発電機と同様に、上位層における集中管理制御なしで上記並列運転に関する問題を解決できる手法である。これまでにも、VSG制御と同様のコンセプトを持つ多くの手法が研究されており、第2章において、本研究との違いについて整理した。</p> <p>3. 発電機の模擬にParkの微分方程式による発電機モデルを詳細に用いた場合、発電機モデルが高次の方程式になり、同期機と負荷との間や、同期機相互間の共振の原因となる。本研究では、VSG制御されたインバータを含む複数の同期機から構成されるシステムの安定な並列運転を実現するため、発電機モデルのガバナ制御は比例制御だけで構成されるとし、これに疑似慣性の機構だけを搭載し、有効電力と周波数を制御する系全体が可能な限り低い次数の方程式で表現されたようにした。さらに仮想インピーダンスの概念と比例積分補償による単純なAutomatic Voltage Regulator (AVR)制御を導入して発電機電機子電流に相当するインバータ電流指令値を算出し、系統の電圧変動時などに過電流抑制が容易な電流制御電圧出力型インバータでVSG制御を実現することができた。第3章ではこのことについて解説し、シミュレーション試験と実機試験の双方で特性検証した結果を示した。</p> <p>4. 上記VSG制御は全て、回転する二相座標上で構成されている。VSGを一般の電力系統や比較的大規模な工場などの三相系統に接続する場合には、電圧や電流の三相交流瞬時値とVSGの二相座標との間には通常の三相/二相回転座標変換(dq変換)を用いれば良いが、一般家庭などの単相系統に連系する場合には別の変換手法が必要である。そこで、単相/二相変換にDouble Decoupled Synchronous Reference Frame (DDSRF)と呼ばれる手法をPhase Locked Loop (PLL)と組み合わせて使用することで、上記VSG制御の基本機構を変更することなく、単相系統においてもVSG制御インバータを実現することができた。第4章ではこのことについて解説し、単相インバータにおいても、シミュレーション試験と実機試験の双方で特性検証した結果を示した。</p> <p>5. さらに、同期発電機の有効電力・周波数制御を線形モデル化し、負荷電力変動に対する影響を考察した。その結果、負荷変動と共振して系統の周波数が大きく変動する現象の原因は二種類あり、一つは同期発電機自身の特性により負荷と同期機との間に生じる共振、もう一つは同期発電機の並列運転時に発生する同期化力により同期機間で生じる共振であることが判った。電力が大きく変動するような負荷が接続される系統に、上述のように、比例制御だけで構成されるガバナと疑似慣性の機構を搭載したVSG制御を適用すると、先述の二種類の共振現象を抑制することができる。これは、有効電力と周波数を制御する系が単純な一次遅れ関数で表現され、次数が可能な限り低く抑えられるからである。第5章では、離島のようなマイクログリッドを想定して同期発電機の有効電力・周波数制御を線形モデル化し、大容量負荷電力の変動による系統の周波数変動をVSG制御が抑制する原理について考察するとともに、その適用効果について示した。</p> <p>6. 最後に第6章では、本研究の総括を行い、残存する課題とこれからの取り組みについて述べた。</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 平瀬 祐子 )	
論文審査担当者	(職) 氏 名
	主査 教授 伊瀬 敏史
	副査 教授 高井 重昌
	副査 教授 舟木 剛
	副査 教授 谷野 哲三
	副査 教授 白神 宏之
	副査 准教授 三浦 友史

## 論文審査の結果の要旨

太陽光発電、風力発電および燃料電池などの分散電源は必ずインバータ（交直電力変換装置）を通して電力系統へ連系される。このような発電装置は今後、電力系統の中で占める割合が増加するものと予想される。しかしながら、現状のインバータの制御方式は大規模な系統へ接続（系統連系）されることを前提にしているため、インバータにより系統連系される電源の容量が回転形の同期発電機と同等以上になった場合に安定した電力の供給が困難となる。特に、電圧や周波数を維持する役割を持つ大容量の同期発電機が存在しない離島などではこの問題が顕著に現れる。そのため、従来のインバータ制御の上位に系統全体の制御を統括する集中管理制御系が必要となるが、システムの拡張性と柔軟性の点で問題が生じるため、自律分散的な手法で並列運転できる手法が望まれる。このような観点から本論文は、インバータ連系型分散電源に疑似慣性力を持つように制御する仮想同期発電機 (Virtual Synchronous Generator : VSG) の制御方式および並列運転について検討している。仮想同期発電機を適用することで、インバータに回転形の同期発電機と同様な慣性特性を持たせ、上位層における集中管理制御なしで自律分散的に並列運転に関する問題を解決できる。本研究では、インバータ連系型分散電源に適用する仮想同期発電機制御について、三相および単相のそれぞれに適用できる制御方式を提案し、それぞれの方式について実験装置及びコンピュータシミュレーションを用いて、提案制御方式の有効性を検証している。さらに、回転形の同期発電機の並列運転時に発生する共振現象を仮想同期発電機制御によって抑制する制御方式を提案し、詳細な解析を行うと同時に実機試験により特性を検証している。得られた結果は以下のとおりである。

(1) 系統の電圧変動時などに過電流抑制が容易な電流制御電圧出力形インバータで三相系統に適用可能な仮想同期発電機制御を実現している。

(2) 一般家庭などの単相系統に連系されるインバータにも仮想同期発電機制御を適用するため、Double Decoupled Synchronous Reference Frame (DDSRF) と呼ばれる手法を Phase Locked Loop (PLL) と組み合わせて使用することで、上記 (1) で開発した三相系統の仮想同期発電機制御の基本構成を変えることなく、単相系統においても仮想同期発電機制御を実現している。

(3) 回転形の同期発電機の有効電力・周波数制御の特性を線形モデル化し、負荷電力変動に対する影響を考察している。その結果、系統の周波数が大きく変動する現象の原因は二種類あり、一つは同期発電機自身の特性により負荷と同期発電機との間に生じる共振、もう一つは同期発電機の並列運転時に発生する同期化力により同期機間で生じる共振であることを示している。大きな負荷電力変動が発生するような系統に、有効電力・周波数制御が比例ガバナと疑似慣性で表現される仮想同期発電機制御を適用すると、この二種類の共振現象を抑制することができることを解析的に明らかにし、実機試験により検証している。これは、有効電力と周波数を制御する系が単純な一次遅れ関数で表現され、次数が可能な限り低く抑えられるからである。

以上の研究成果より、インバータ連系する分散電源におけるインバータの制御に関して、有用と考えられる制御方式が得られ、さらに回転形の同期発電機との並列運転時におけるシステムの特性が明らかとなった。以上のように本論文は、インバータ連系形分散電源におけるインバータの制御について有益な知見を与える内容となっており、この分野の技術の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。