

# 風力発電機の電圧安定性に関する考察

正員 田村 淳二 (北見工業大学)

正員 世永 茂、正員 松村 喜治、正員 久保 宏 (北海道電力[株])

## A Consideration on the Voltage Stability of Wind Generators

Junji Tamura, member (Kitami Institute of Technology),

Shigeru Yonaga, member, Yoshiharu Matsumura, member, Hiroshi Kubo, member (Hokkaido Electric Power Co.Ltd.)

**Abstract** : Recently the wind power generation has attracted special interest and many wind power stations are being in service in the world. In the wind power stations, induction machines are mostly used as a generator. Since induction machines can become unstable during a fault in power system, like a step-out of synchronous machines, it is important to analyze the stability of power system including wind generators. This paper presents a consideration on the stability of induction generators from a point of view of voltage stability.

キーワード : 風力発電、誘導発電機、電力系統、電圧安定性

### 1. まえがき

近年、環境に優しいエネルギー源として風力発電が注目され、海外はもとより我が国でも年々その数が増加している。風力発電機として、現段階では誘導発電機が最も多く使用されているが、誘導機は基本的に最大出力を与えるすべりを境として安定・不安定領域が存在し、大きな外乱に対して不安定になる場合がある。従って、このような不安定現象に関して検討することは今後ますます重要になると考えられる。このような観点から、筆者らは風力発電機を含む電力系統の過渡安定度特性に関して検討し、報告してきた<sup>(1),(2)</sup>。これらの検討結果より、系統での地絡故障時に風力発電機が通常の同期発電機における加速脱調と同様に不安定になることが確認された。一方、これらの結果を見ると、速度が上昇すると同時に端子電圧が低下し、いわゆる電圧不安定状態になっていることも確認できる。

電圧安定性は、基本的に系統のP-V特性に最大電力点が存在し、負荷がその最大点を超えると電圧が低下して不安定になるという形で説明され<sup>(3)</sup>、このような電圧崩壊が発生する一つの原因として誘導電動機の負荷特性が指摘され、実際に誘導電動機モデルを用いたシミュレーション解析なども行われている<sup>(4)</sup>。筆者らのこれまでの研究では、地絡故障時に誘導発電機が加速して不安定(加速脱調)になることから、過渡安定度として検討してきた。しかしながら、誘導発電機を含む系統にも基本的には同様のP-V特性が存在し、相違はただ電力Pの符号が異なるのみである。従って、これまで得られている結果で、視点を加速脱調ではなく電圧崩壊に向ければ、電圧不安定という側面も浮かび上がってくる。本レターでは、以上の観点から外乱

として地絡故障ではなく電圧安定度解析でよく用いられる送電線の開放を想定して誘導発電機の過渡応答を計算し、電圧安定度の面から考察した結果を報告する。

### 2. モデル系統および計算結果

図1に検討に用いたモデル系統を示す。これは、発電機と2回線送電線から成る1機無限大母線系統であり、IGが風力発電機としての誘導発電機である。発電機端子に並列コンデンサ $X_C$ を設置し、誘導機の無効電力消費(0.447pu)を補償して発電機系統側端子での無効電力は0となっている。誘導機モデルとして普通かご形機を用いて検討した。ただし、誘導機の磁気飽和は考慮していない。系統定数、発電機定数は図中に示されている(発電機容量ベース値)。誘導機の初期すべりは-1.73%である。

図2(a)は図1のモデル系統に対して、すべりをパラメータとして定常時における誘導発電機の有効電力、無効電力(いずれも発電方向を正)と端子電圧の特性を計算したもの

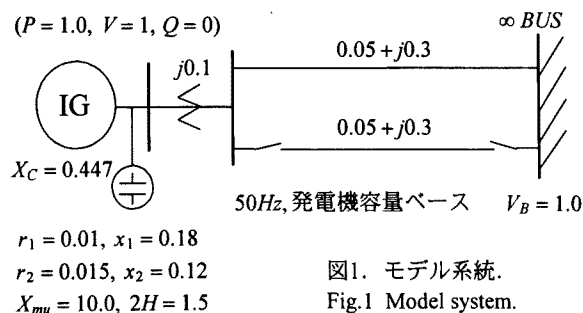


図1. モデル系統.  
Fig.1 Model system.

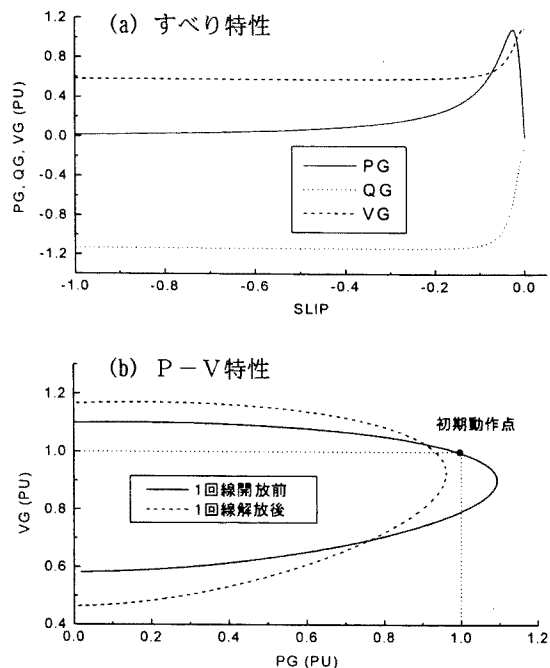


図2. 定常特性.  
Fig. 2 Steady state characteristics.

であり、同図(b)の実線は(a)図の結果より有効電力と端子電圧の特性として描いたものである。これは電圧安定性解析に出てくる典型的なP-V特性であり、初期動作点は電圧高め側の安定領域に存在している。一方、(b)図の点線は1回線開放後の特性であり、これより1回線開放すると電圧不安定になることが予想される。なお、図2は発電機としての特性であり、発電電力が増加するに従って電圧が低下することに多少の違和感があるが、これは図2(a)から分かるように有効電力の増加につれて無効電力の消費量(系統から誘導機が引き込む)が増加し、結果として電圧も低下するためである。

次に、送電線1回線開放のシミュレーションを行った。計算には前報告<sup>(1,2)</sup>にて用いたプログラムを用い、風力発電機における風車トルク特性としては文献(2)の図8の特性( $K_0=4$ とした)を用いた。ただし、速度上昇を抑制する保護システムとしてのピッチ制御系は考慮していない。シミュレーションの条件は、2回線送電線の片側1回線を $t=0.1s$ で3相開放するものである。図3は発電機の回転速度と端子電圧の応答である。これより、この場合に風力発電機は不安定になるが、回転速度が上昇している点から見ればこれまでの解釈と同様に過渡安定度的に不安定で加速脱調したと見なせるが、電圧応答からは誘導機における典型的な電圧低下現象、つまり電圧不安定現象が発生していると見ることもできる。これより、地絡故障に比較して軽微な線路開放等の外乱によっても風力発電機は不安定になる場合があり、その際の不安定現象は過渡安定度としての加

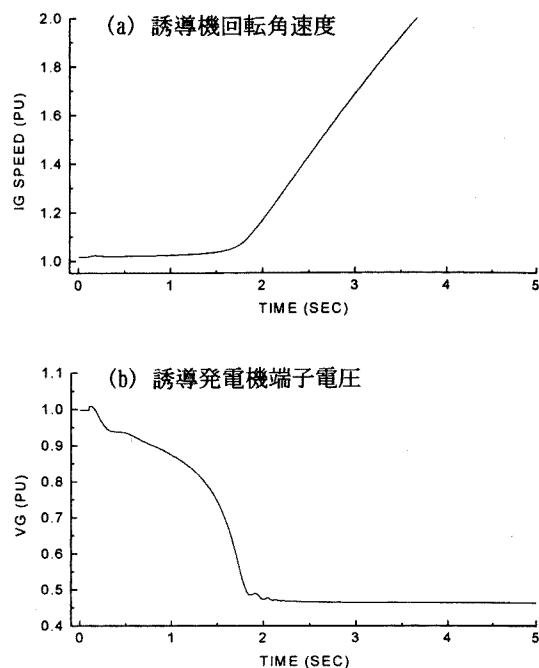


図3. シミュレーション結果.  
Fig.3 Simulation results..

速脱調と電圧不安定現象が同時に発生する形を取ることができる。なお、文献(2)で示した速度上昇を抑制する風車ピッチ制御系を考慮した計算も行ったが、初期回転速度では1回線開放後の系統で安定な定常状態を確立できないために、一旦は発電機の加速が止まり減速に転じるものの、最終的には再度不安定になる解となった。現在、このような場合も安定化できる制御系の検討を進めている。

### 3. あとがき

本稿では、誘導機による風力発電機の安定度に関して、電圧安定度の観点からの検討結果を示した。誘導発電機を含む系統にも基本的にP-V特性が存在することを示し、2回線送電線の1回線開放に対するシミュレーション結果から、風力発電機が不安定となり、その際速度が上昇して加速脱調すると同時に電圧が低下して電圧不安定状態になることを示した。以上のことから、誘導発電機による風力発電機の不安定現象は、過渡安定度のみならず電圧安定度の観点からも検討を加える必要があると言える。

(平成14年4月4日受付, 平成14年5月20日再受付)

#### 〈参考文献〉

- (1) 田村 他: 風力発電機を含む電力系統の過渡安定度シミュレーション, 電気学会論文誌B, Vol.120-B, No.12, p.1636~1645, 2000.
- (2) 田村 他: 風力発電機を含む電力系統の過渡安定度シミュレーション(続報), 電気学会論文誌B, Vol.121-B, No.12, p.1623~1632, 2001.
- (3) 関根 他: 電力系統工学, コロナ社.
- (4) 大槻 他: 誘導機モデルを用いた電圧崩壊現象の過渡解析の検証と一般系統への拡張, 電学論B, Vol.112, no.8, p.677, 1992.