# 分散電源発電装置の制御方法 Control method of distributed power supply system

The environmental problem represented by global warming is actualizing after the 1990s.

On the other hand, deregulation of an electric power industry is progressed, and new entry of a power generation enterprise is being expanded. Therefore, the power supply which is called distributed power supply is spreading.

We explain two methods in this thesis. The first is the torque control method which takes out electric power from the natural energy to change to the maximum extent using a permanent-magnetic type synchronous generator.

Another is an active islanding detection method which the electric power generated by distributed power supply is safely output in power system.

# 1. まえがき

1990年代以降,地球温暖化に代表される環境問題が顕在化 しつつある。この問題解決のために,環境負荷の小さな自然 (再生可能)エネルギー利用システムの導入が進められてい る。

一方,電気事業規制緩和が進められ,発電事業の新規参入 が拡大しつつあり,炭酸ガスをはじめとした環境負荷の低減, 省エネルギー等の観点から,大規模集中型ではなく,図1に 示すような分散電源と呼ばれる電源が普及しつつある。<sup>(1)</sup>



# 図1 分散電源の種類 Fig.1 Kind of distributed power supply.

このような分散電源の中で,自然エネルギーである風力や 小型水力により発電する分散電源用発電装置においては,風 力発電システムまたは小型水力発電システムからエネルギー を最大限に取り出す工夫と,発電機の小型化が重要である。

塩田 剛	田中 啓太	井坂 勉
Takasi Siota	Keita Tanaka	Tsutomu Isaka

しかしながら,風力または小型水力は,流速が変動するために、常に風または水からエネルギーを最大限に取り出すの は難しいという問題がある。また,発電機の小型化は、省資 源により環境負荷を小さくできるとともに、発電機を風車の ナセル内に収納したときに、ナセル等の小型化を図ることが できるので重要である。

また,分散電源の系統連系に際して,電力品質や系統保護, また保安面に対して悪影響を及ぼさないことが必要である。 特に,分散電源より系統に出力している電力と負荷がバラン スしているときに,負荷よりも系統側が停電しても,負荷へ の電力は分散電源より供給され続けるので,停電を検出でき ないという問題がある。

本論文では、当社発電装置に適用した小型永久磁石型同期 発電機,発電システムからエネルギーを最大限に取り出す技 術,及びその発電電力を電力系統に有効かつ安全に出力する 技術について報告する。

#### 2. 永久磁石型同期発電機

当社の永久磁石型同期発電機(以下,EDG と称する)は, 回転子に1990年ごろから普及したネオジウム磁石を採用して いる。このネオジウム磁石は,原料が豊富で,フェライト磁 石に対し約10倍もの最大エネルギー積を有する。この強力な ネオジウム磁石の採用により,回転子部分の内部損失の少な い EDG となり,従来の誘導発電機と比べて重量比で約1/2の 小型化を図ることができた。

**図2**に、このEDGと誘導発電機の出力別の質量比較(当社 比較)を示す。またEDGの構造例を**図3**に示す。<sup>(2)</sup>

ハッチングした永久磁石を回転子の内部に挿入した埋め込み磁石構造 (IPM:Interior Permanent Magnet) である。

• 1





Fig.2 Mass comparison between EDG and induction generator.



# 図3 永久磁石型同期発電機の構造 Fig.3 Structure of EDG.

IPM の場合は磁石軸である d 軸方向より,それと直交する q 軸方向の磁気抵抗が小さくなるため突極構造となり, d 軸イ ンダクタンス Ld より q 軸インダクタンス Lq が大きくなる。 この突極性により,磁石トルク以外のリラクタンストルクが 併用でき,更なる効率アップが期待できる。

このような発電機のモデルは次の電圧方程式で表され、ベクトル制御によって制御される。

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + pL_d & -\omega L_q \\ \omega L_d & R + pL_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \omega \begin{bmatrix} 0 \\ \phi \end{bmatrix} \cdot \cdot \cdot (1)$$

ここで,

vd, vq:各軸一次電圧

id, iq:各軸一次電流

R:一次抵抗

- Ld, Lq:各軸インダクタンス

ω:回転子回転角速度

- P:=d/dt
- τ:トルク

であり、上式は回転子の永久磁石軸方向を d 軸とし、それと

直交した方向をq軸としたdq座標で表されている。

EDG に発電機インバータを接続した時の主回路,及び上式 に基づいて EDG をベクトル制御する基本ブロック図を図4に 示す。



図4 発電機インバータの主回路及び その制御回路ブロック図

# Fig.4 Main circuit of dynamo inverter and the control circuit block diagram.

トルク指令 τ\*から(2)式に基づいてq軸電流指令を求める。 また, EDG を最大効率で運転するために,(3)式に基づいて d 軸電流指令を求める。

$$id^{*} = \frac{\phi}{2 \times (Ld - Lq)} - \sqrt{\frac{\phi^{2}}{4 \times (Ld - Lq)^{2}} + i_{qLPF}^{2}} \cdot \cdot$$
(3)

ここで,

 $i_d^*:d$ 軸電流指令

i<sub>qLPF</sub>: q軸電流指令i<sub>q\*</sub>のLPF(一次遅れ)出力 である。

当社の効率最大制御方式は、上記インダクタンスLd、Lqの 差を積極的に利用し、全ての発電機回転数において、最小の 電流で高出力を得る方式である。当社独自のセンサーレスに より、回転子の永久磁石軸であるd軸位置 $\theta$ を得て、それに 基づいて検出したモータ電流を座標変換し各軸成分電流を得 る。それらが各指令に追従するようにPI制御などで電流制御 される。図4は、直流電圧を制御した時の制御ブロック図で あるが、図4のトルク指令 $\tau$ \*を可変することにより、トル クおよび出力を制御できる。

図5に、1200rpm、110kWの誘導発電機とEDGに110kVAの 発電機インバータを接続して発電したときに、発電機回転数 に対する誘導発電機とEDGのそれぞれの出力と効率を比較し た計算結果の一例を示す。同図に示すように、誘導発電機に は適用できないが、突極性を有するEDGには適用できる前述

の効率最大制御方法により, EDG は発電機回転数が700rpm 位 までは誘導機よりも1.3倍の出力を取り出すことができる。 また,回転子に永久磁石を用いている EDG の効率 (EDG 効率) は,誘導機の効率 (IG 効率)より高い。従って,自然エネル ギーである風力や小型水力から効率良く電力が得られ,さら に EDG は発熱が抑えられるために,例えば,この EDG を風車 のナセル内に収納した場合は,ナセル内の換気扇の容量を減 らすことができる。

以上のように、ネオジウム磁石を用いた EDG による小型化 と、効率最大制御方式による従来比1.3倍の高出力化の結果、 同一出力で、発電機の重量を最大1/3に低減できた。



# 図5 発電機の回転数に対する発電機出力および効率 Fig.5 Output and efficiency on rotating speed of generator.

#### 3. 風力発電機への EDG の適用

#### 3.1 各種風力発電機方式

図6に、各種風力発電方式を示す。図6(a)は、誘導発電 機を直接、系統に接続して電力を取り出す方式である。この 方式は、安価であるが、発電機が重い、出力変動が大きい、 及び羽への変動荷重が大きいという課題がある。

図6(b)は、巻線型誘導発電機の2次巻線を制御するとと もに、1次巻線は直接、系統に接続する方式である。この方 式は、図6(a)の方式よりも発電機が重い、可変速運転が可 能であるが図6(c)の方式と比較して可変速範囲が狭いので 図6(c)より発電量が少ないのが一般的である。

図6(c)は、EDG 出力を AC-DC-AC 変換して、電力を取り出 す方式である。この方式は、可変速範囲が広いので年間を通 した発電量が多く、風速変動を回転速度の変動に吸収できる ので羽への変動荷重が小さいという特長がある。

風力発電は、自然エネルギーの中で、一番コストパフォー マンスが良いと言われているが、出力変動が大きい欠点があ る。経済産業省資源エネルギー庁主催の「風力発電系統連系 対策小委員会」報告書に、風車出力の平滑化のために、蓄電 池対策を優先実施して、平成22年度、風力300万 kW を達成す ることが記載されている。 従って、対策用の蓄電池をAC-DC-AC変換のDC部に設置す る方法は、蓄電池を系統側に設置する方法よりも、安価な DC/DC チョッパーをDC部に接続できるので、図6(c)の方式 は風車出力の平滑化のためにも有効である。



#### 図6 各種風力発電機方式



## 3.2 風車特性

風からエネルギーを最大限に取り出すためには、風車特性 を知ることが重要である。当社では、風車特性を把握した上 で、図6(c)の方式を用いて風車より最大出力を取り出すト ルクパターン方式を提案するが、以下に、その方式の概要を 記す。

**図7**に直線翼垂直軸型風車の周速比βと風車効率Cpの特性例 を示す。<sup>(3)</sup>





周速比 $\beta$ は(4)式で与えられる。従って,各風速において、風車が最大出力を発生する回転数N(opt)は、(5)式で与えられ、各風速に比例する。また各風速における風車出力は、(6)式で与えられる。従って、各風速における風車最大出力W(max)は(7)式で与えられ、風車回転数Nの3乗に比例する。従って、各風速における風車最大出力時の風車トルク $\tau$ (max)は、出力=トルク×回転数から、風車回転数Nの2乗に比例する。**図8**および**図9**は、風速をパラメータとした時の、風車回転数対風車出力特性、および風車回転数対風車トルク特性を示した図である。

$$N_{(opt)} = \frac{\beta_{\max} \times V}{2\pi \times R} = K_1 \times V \cdot \cdots \cdot \cdots \cdot (5)$$

173

TT 7

ここで、R: 翼半径、N: 翼回転数、N(opt):各風速Vにお ける風車最大出力時の回転数N、V:風速、Cp:風車効率、  $\beta$ :周速比、 $\beta$ max:風車効率Cpが最大となる周速比 $\beta$ 、 $\rho$ : 空気密度、W:風車出力、W(max):各風速Nにおける風車最 大出力、K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>、K<sub>3</sub>:比例定数である。

従って,風力発電システムに用いる風車が決まれば,最大 出力を取り出せる風車回転数対風車トルク特性が一義的に定 まる。従って,発電機インバータは風車回転数を検出して, 風車回転数に対して一義的に定まるトルク(2乗特性)を発 生すれば,変動する風速に対しても,常に,応答良く風車よ り最大出力を得ることができる。





Fig.9 A wind turbine torque characteristic.

### 3.3 トルクパターン制御方式

図10に、従来より行われている風速計に基づく制御方式 の主回路と制御回路ブロック図を示す。発電機インバータは、 計測した風速に基づいて決定される回転数指令を入力して、 垂下制御によりトルク制御される。図11に、当社が提案す るトルクパターンに基づく制御方式の主回路と制御回路ブ ロック図を示す。発電機インバータは、風車回転数を入力し て、風車回転数より一義的に定まる2乗曲線に従うトルクを 出力する。



#### 図10 風速計に基づくトルク制御方式

Fig.10 Torque control system based on air speedometer.





4







Fig.12 Control system comparison when a wind velocity changes.

図12は、定格風速15m/s、定格出力100kWの風車に対して、 風速計に基づく制御方式とトルクパターン制御方式を、風速 を変動させて比較したシミュレーション結果である。

シミュレーションモデルにおいて,発電機は両方式ともEDG であり,風車のイナーシャーおよびトルクは680kWの風車<sup>(4)</sup> より100kWの風車を類推し,銅損,機械損も考慮した。ここ で,風速計に基づく制御方式においては,制御に用いる風速 値の風速計を含む一次遅れ時定数を20秒,出力開始風速値を 2.25m/s,垂下量を0.25とした。

風速を V=7.5m/s+3m/s×SIN(2π×5sec)で変化させた結果 を比較すると、風速計に基づく制御方式においては、風車回 転数の変動は小さいが、出力変動が大きい。しかし、トルク パターン制御方式においては、風車回転数の変動は大きいが、 出力変動が小さく、変動する風のエネルギーを風車のイナー シャーに吸収していることが分かる。

なお,この回転数に対するトルクパターン方式は,風力の みならず,水流の変化する小型水力にも適用が可能である。

風車出力の平滑化の方法として,回転数に対するトルクパ ターン制御を行うと,出力=回転数×トルクなので確実に出 力を制御できる。



図13は、図6(c)のシステムに、例えば、図7のような 風車効率を有する風車を接続し、発電機インバータで発電機 出力を50kW以下に制限した場合の各種計算例である。この 風車は、風速15m/sまでは回転数に対して2乗曲線のトルク パターン制御により風車から最大出力を取得し、風速15m/s から18m/sまでは反比例のトルクパターン制御により50kWの 一定出力とし、風速18m/sを超えると停止している。この2 乗曲線と反比例のトルクパターンは、回転数に対して連続し た曲線なので、羽のピッチ制御をすることなく発電機インバー タの制御により、発電機出力は確実に50kW以下にすることが できる。 このような広い範囲の回転数でのトルク制御は,**図6**(b) の巻線型誘導発電機では可変速範囲が狭いために不可能であ り,EDGを使った風力発電システムの優位性が分かる。

#### 4. 連系インバータ

#### 4.1 電力系統技術要件ガイドライン '98への準拠

一般電気事業者および卸電気事業者以外による風力発電機 などの高圧配電線または特別高圧配電線への連系に対して, 電力品質(電圧,周波数,高調波など)や系統保護,また保 安面に対して悪影響を及ぼすことがないように,電力系統技 術要件ガイドライン '98が経済産業省によって制定されて いる。

この電力系統技術要件ガイドライン '98は,高圧配電線 または特別高圧配電線への連系に対して定められているが, 一般配電線との連系であっても,同様に準拠することが求め られている。以下に,当社連系インバータが内蔵する保護継 電器の概要を記す。

表1	保護項目	の種類

Table 1 Kind of protection item.

系統電圧異常時の保護	過電圧,不足電圧
系統周波数異常時の保護	過周波数,不足周波数
系統地絡保護	地絡過電圧(高圧連系時 のみ外部設置)
 単独運転防止	単独運転検出機能     (受動的)     単独運転検出機能     (한動的)

#### 表2 保護継電器の整定値

Table 2 Setting of protective relay.

保護継電器の 種別		整定範囲	整定上の 特記事項	推奨整定値
電力品質	OVR (過電圧)	動作レベル 100.1~130% 整定時間 0~5sec	3相	115% 0.3sec
	UVR (不足電圧)	動作レベル 70.0~99.9% 整定時間 0~5sec	3相	85% 0.3sec
	OFR (過周波数)	動作レベル 0.1~9.9% 整定時間 0~5sec	1相	1.0Hz 0.3sec
	UFR (不足周波数)	動作レベル 0.1~9.9% 整定時間 0~5sec	1相	1.0Hz 0.3sec
単独運転防止	能動的方式	周波数判別レヘル 0.01~9.99Hz 周波数判別整定時間 0.001~9.999sec		0.75Hz 0.1sec
	受動的方式	位相跳躍検出レベル 0.5~20度 位相跳躍整定時間 0~2sec		6度 0.1sec

#### 4.2 連系インバータの特徴

当社系統連系インバータは、2つの特徴を有している。1 つは、電力系統技術要件ガイドライン '98の電力品質面で 準拠するために、CPU等のディジタル演算装置を内蔵するPWM インバータに最適な、当社独自の電流制御方式(瞬時ひずみ 最小化PWM変調法)を採用したことである。この瞬時ひずみ 最小化PWM変調法により、系統への高調波流出を最小限に抑 制することが可能である。<sup>(5)</sup>

図14に、37kW 連系インバータの定格負荷における線間電 圧と電流の波形を示す。電流総合歪率1.7%であり、各高調 波電流を0.7%以下に抑制している。







2つ目は,系統連系ガイドラインの保安面で準拠するため の能動方式単独運転検出方法として,当社独自の無効電圧正 帰還方式を採用していることである。

#### 4.3 単独運転検出装置

以下に,当社連系インバータの単独運転装置に採用してい る受動方式,及び能動方式について記す。

商用電源と系統連系運転する連系インバータには,連系され た系統に事故が発生した場合には「単独運転」を防止する単 独運転検出装置を設置することが,電力系統技術要件ガイド ライン '98で求められている。

従来は、**図15**に示すように、電力会社よりの転送遮断信 号を受信して,連系インバータを開放する方式が一般的であっ た。通常,電力系統遮断器は分散電源設置場所から遠隔地に 存在するために,この転送遮断信号を受信するには多大な設 備が必要となる。

当社の単独運転検出装置は,転送遮断信号を必要とせず, 系統事故を装置自身が検出して連系インバータを開放する。 そのために,当社の単独運転検出装置には東洋独自の能動方 式(無効電圧正帰還方式)を採用している。

• 6





Fig.15 The current method of transfer interception signal.

以下に、その制御方式について記す。各3相量(電圧、電流)は、基準正弦波( $\theta$ , cos $\theta$ , sin $\theta$ , PLL から出力)を 用いた式(9)の座標変換行列[C]により、3相2相変換される。

 $[C] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos\theta, \cos(\theta - 2\pi/3), \cos(\theta + 2\pi/3) \\ -\sin\theta, -\sin(\theta - 2\pi/3), -\sin(\theta + 2\pi/3) \end{bmatrix}$ ....(9)



ここで,

Vu, Vv, Vw: 電源電圧

iu, iv, iw: 電源電流

Vd, Vq:有効分および無効分電圧

id, iq:有効分および無効分電流

#### である。

**図16**に,系統連系インバータの単独運転検出装置の制御 回路ブロック図を示す。

上記の無効分電圧Vqを比例増幅して、単独運転検出用無効 電流指令I<sub>単独運転</sub>\*に加算する。(10)式において求められる上 記無効分電EVqは、直流値であり、3相系統電EVu、Vv、Vwが バランスしている限り零となるが、CPUの量子化誤差のため、 及び系統全体に接続される諸負荷の変動により微小な系統周 波数変動が存在するために、零を境として微小に変動した値 となる。

無効分電EV q と比例乗数K との積である単独運転検出用 無効電流指令 I <sub>単独運転</sub>\*は, 正または負に揺動する電流指令と なる。この I <sub>単独運転</sub>\*と無効分電流指令 I  $_{\pm 300}$ \*を加算した無効 電流指令 I q \*と有効電流指令 I d \*に基づいて系統連系イン バータを制御する。





Fig.16 A control circuit block diagram of an islanding protection

system.



# 図17 能動方式単独運転検出タイムチャート

Fig.17 Time chart of active method at islanding protection system.

この無効電圧正帰還方式について、図17のタイムチャートを参照して,詳細に説明する。

今,電力系統が OFF する直前の無効分電圧が正の値で,正 の揺動分無効電流指令が出力されているものとする。時間 T1 において,系統周波数を固定していた電力系統が OFF すると, 正の揺動分無効分電流により,連系インバータ出力電圧の周 波数は等価的に上昇し,正の無効分電圧がさらに上昇する。 このようにして,無効分電圧が正帰還的に上昇して,連系イ ンバータ出力周波数が上限設定値を越え,1秒以内にトリッ プ信号が出力されて,連系遮断器が時間 T2において開放され る。逆に,電力系統が OFF する直前の無効分電圧が負の値の 時は,負の揺動分無効電流指令により,連系インバータ周波 数が下降して,最終的に連系遮断器が開放される。

• 7

上記の揺動分無効分電流は、実際には系統に外乱を与える 懸念があるが、系統が正常の間は、系統インピーダンスが小 さいために、この影響は無視できる。系統が停電して始めて、 系統遮断器より負荷側の系統にとって外乱となる。





受動方式単独運転検出について、**図18**により詳細に説明 する。単独運転検出の受動方式は、系統電圧がゼロクロスす るとき、PLL ループの $\theta$ (位相)と比較して、その位相差 $\Delta$  $\theta$ がリミット値を越えたらスイッチング素子の全ゲート信号 を 0FF、すなわちゲートブロックする方式である。

図18では、系統に時間 T1で電源変動(電力系統 OFF も電 源変動の一種)が発生したとすると、時間 T2までは位相差 $\Delta$  $\theta$ が大きくないために全ゲート信号は ON 状態であるが、時 間 T2で位相差 $\Delta$   $\theta$  がリミット値を越えたために全ゲート信号 が OFF、すなわちゲートブロックする。

**図19**に,連系インバータの単独運転検出装置全体ブロック図を示す。



# 図19 連系インパータの単独運転検出装置全体ブロック図 Fig.19 The entire block diagram of islanding protection system at interconnected inverter.

このように構成する,当社連系インバータの単独運転検出 装置に採用している受動方式,及び能動方式は,要約すると 以下の特徴を有している。

### 表3 受動方式(電圧位相跳躍検出方式)

Table.3 Passive method (voltage phase jump detectio	n method).
---	------------

原理	特長
電圧検出器出力の位相と、	・速い。
PLL 同期ループ出力の位相と	・不感帯(連系インバータ
を比較する。	の出力と負荷がバランス
	している場合、系統停電
	を検出できない状態)が
	ありうる。

#### 表4 能動方式(無効電圧正帰還方式)

Table.4 Active method

(reactive voltage positive feedback method).

原理	符長
系統電圧より検出した無 効分電圧に比例した値を,揺 動指令として,無効電流指令 に加算してインバータ電流制 御を行う。 系統停電時は,揺動指令に より系統周波数が正帰還的 に発散するのを検出して,単 独運転状態と判定する。	<ul> <li>・連系時、系統への影響が 極小。</li> <li>・不感帯がない。</li> <li>・複数台並列運転時も特性 が劣化しない。</li> </ul>

### 4.4 連系インバータ単独運転検出装置の試験結果

系統停電時の単独運転検出機能の確認を,**図20**の試験回 路により行った。



# 図20 単独運転検出機能確認試験回路(系統停電時) Fig.20 Test circuit at islanding protection system

#### (The system is blacked out).

図21に単独運転検出装置が無い場合,図22,23に単 独運転検出装置がある場合の単独運転検出機能動作状態を示 す。ここで,図22は受動方式の場合,図23は能動方式の 場合を示す。

図21,22,23では、図20における系統電流をほぼ 零になるように系統模擬負荷を調整して連系インバータを定 格付近で運転中に系統開閉器をオフにして、単独運転検出機 能の動作を確認する。

- 8

**図21**において、全ての単独運転検出機能がオフの時は、 系統開閉器がオフになっても連系インバータは停止していないので、このような場合は保安面で問題となる。



(In passive and active off)

図22において、受動方式の単独運転検出機能のみがオン の時は、系統開閉器がオフして1秒以内に、連系インバータ も停止している。



図22 単独運転検出機能オン時(受動オン,能動オフ) Fig.22 In Islanding protection system on. (In passive on and active off) **図23**において,能動方式の単独運転検出機能のみがオン の時は,系統開閉器がオフして1秒以内に,連系インバータ も停止している。



(In passive off and active on)

上記の試験では、受動方式と能動方式の単独運転検出装置を 別々に試験したが、連系インバータに受動方式と能動方式の 単独運転検出装置を共に付加することで、確実に系統停電を 検出することができる。

#### 4.5 連系インパータの他の特長

当社連系インバータは、**図16**におけるI<sub>無効分</sub>\*を零にする ことで、常に力率1で運転することが可能である。また、連 系インバータの電流容量の許す範囲で、I<sub>無効分</sub>\*に進み又は遅 れの無効分電流指令を与えることで、系統のインピーダンス 降下を利用して、分散電源連系点の電圧変動を緩和する、一 種のSVCとして動作することが可能である。

#### 5. 分散電源発電装置の全体構成

当社では,発電機インバータと連系インバータをセットで パワーコンデイショナーと呼んでいる。

図24に、EDGとパワーコンデイショナーを組み合わせた 主回路および制御回路ブロック図を示す。同図の制御回路で は、エンジンにより駆動されるEDGが、発電機インバータに よりトルクパターン制御と高効率制御されて、発電電力を直 流部に出力する。連系インバータは、直流電圧制御されて、 発電電力を系統に出力する。

9



# 図24 EDGとパワーコンディショナーの主回路及びその 制御回路ブロック図





# 図25 2乗曲線トルクパターン制御時の各部波形 Fig.25 Waveform at pattern control of the secondary torque curve.

図25は、図24のEDGとパワーコンデイショナーの組み 合わせにおいて、エンジンとして風車を想定し、風速を定格 風速まで一定傾斜で上げ下げした、実験時の各部波形である。 発電機インバータにより、発電機軸トルクは、発電機回転速 度に対して2乗曲線で変化し、系統への出力電流R相は3乗 曲線で変化している。

## 6. むすび

本稿では、風力や小型水力等の分散電源に用いられる永久 磁石型同期発電機、その発電機の高効率制御方法、AC-DC-AC 変換の優位性、連系インバータの保護装置について記述した。 さらに、風力発電システムから最大出力を取り出すためのト ルクパターン制御方式と、電力系統技術要件ガイドライン<sup>5</sup> 8に準拠する単独運転検出能動方式として無効電圧正帰還方 式を提案し、それらの有効性を確認した。

これからは、図1に示す分散電源の重要性が高まるものと 予想され、提案した永久磁石型同期発電機とパワーコンデイ ショナーの組み合わせが非常に有効である。また、これらの 分散電源を単独ではなくハイブリッド電源として使用する時 も、各種発電出力を直流部で結合し、連系インバータにより 系統に出力する方法が有効である。

## 参考文献

- (1) 電気協同研究 第56巻 第4号
- (2)大森,萩原:「永久磁石型同期モータ制御」東洋電機 技報,第111号,2005年3月,pp.13-21
- (3)相良,野本,笹原,関:「直線翼垂直軸型風力発電シ ステムの実験的研究」第25回風力エネルギー利用シ ンポジウム,平成15年11月
- (4) 佐々木,松坂,土屋:「風力駆動誘導発電機の系統並 列時における電圧変動シミュレーション」電気学会論 文誌 B,110巻1号,平成2年
- (5)陳,藤川,小林:「瞬時ひずみ最小化 PWM 変調法とその応用」東洋電機技報,第106号,2000年9月,pp.2-9

**塩田 剛** 1970年入社。電機機械 およびパワーエレクト ロニクスの研究・開発 に従事。現在技術セン ターに所属。 電気学会会員。日本風 力エネルギー協会会員。



田中 啓太
 2002年入社。パワーエレクトロニクスの研究・
 開発に従事。現在技術センター新技術リサーチグループに所属。



**井坂 勉** 2005年入社。技術セン ター新技術リサーチグ ループにて発電機の研 究・開発に従事。



執筆者略歴