

ギヤレス可変速風力発電装置の開発

Development of Gearless Variable-Speed Wind Turbine

長崎造船所 長田 勇^{*1} 早川 公視^{*2}
 技術本部 有永 真司^{*3}
 東北電力株式会社 猪股 登^{*4}

風力発電は無尽蔵で再生可能なエネルギーである風力を利用した環境に優しい発電システムとして、近年世界的に急速に普及している。これまで風力発電システムは発電コスト低減のための機器本体を含めたコスト低減と信頼性の向上が先行していたが、近年はこれらに加え、電力系統への影響を低減する技術として、風力エネルギーの変動を慣性エネルギーとして吸収し、出力変動を大幅に低減する可変速技術に注目が向けられている。当社では、1998年より永久磁石式同期発電機を採用した新型可変速風力発電装置（MWT-300 S）の開発に着手した。2000年7月に風力発電装置用としては世界で初めての實用化となる検証用初号機を東北電力（株）竜飛ウィンドパーク内に建設し、可変速風力発電装置の特徴である（1）出力変動の低減、（2）突入電流の低減、（3）低騒音化、（4）メンテナンス性の向上等について、東北電力（株）と共同で実機検証試験を行っており、運転調整にて出力変動低減効果や低騒音化を確認しており、その他の項目についても現在実運転での検証を進めている。

Wind turbine generators are coming rapidly into wide use in electricity generation because they use renewable wind energy and do not emit pollutants. Improvements up to now have mainly been in cost-saving and reliability. Changes in power due to changes in wind speed adversely affect such electrical grid-line properties as voltage and frequency, which is why variable-speed wind turbines that reduce adverse effects have attracted attention. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. has developed the MWT-300S gearless variable-speed wind turbine with a permanent magnet synchronous generator. The first MWT-300S was installed at Tappi Wind Park at Tohoku Electric Power Co. Inc. in July 2000. The new turbine features, (1) reduced power fluctuation and inrush current, (2) reduced noise, and (3) improved maintenance. The first 2 features have been demonstrated since July in test operation, with more detailed operating characteristics to be measured in future.

1. ま え が き

風力エネルギーを利用し発電する風力発電システムは、環境に優しい再生可能なエネルギー源として、近年、太陽光発電システムとともに、飛躍的に導入が進んでいる。この流れはもはやヨーロッパやアメリカを始めとした風力先進国のみならず、全世界的な広がりをみせており、日本においても例外ではない。1997年より始まったNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）による補助金制度や2000年秋より始まっている各電力会社によるグリーン電力料金制度を利用した風力発電所が全国的に建設され始めており、現在では国内の風力発電の設備容量も約70 MWに達している。

一般に、電力需要が大きい（電源系統容量が大きい）地域やウィンドファーム用では、風力発電からの電圧・周波数変動への影響は小さく、安価な従来型定速風力発電の方が経済性に優れる。しかしながら、離島や電力需要の小さい（電源系統容量が小さい）地域では、併入時の突入電流や風力発電の出力変動に伴う電圧・周波数変動の問題が発生する。また、民家が近い場合はより騒音の小さいことが求められる。

このような背景の下に、変動する風力エネルギーを慣性エネルギーとして吸収し、出力変動を低減した質の良い電力が供給できる可変速技術に注目が向けられている。当社では、

1998年より永久磁石式同期発電機を採用した騒音の小さい新型ギヤレス可変速風力発電装置（MWT-300 S）の開発に着手した。2000年7月には風力発電用としては世界で初めての實用化となる検証用初号機を東北電力（株）竜飛ウィンドパーク内に建設し、可変速風力発電装置の特徴である（1）出力変動の低減、（2）突入電流の低減、（3）低騒音化、（4）メンテナンス性の向上等について、東北電（株）と共同で検証試験を行っている。

以下に、新型可変速風力発電装置（MWT-300 S）の特徴や可変速運転制御、竜飛ウィンドパークでの運転実績について紹介する。

2. ギヤレス可変速風力発電装置の特徴

突入電流の低減や電圧・周波数変動の原因となる出力変動の低減を図るため、新たに開発された風力発電用永久磁石式多極同期発電機をギヤを介さずに風車ロータに直結し、これを可変速制御することにより風力エネルギーの変動を慣性エネルギーとして吸収し電力変動の低減を可能にした新型風力発電装置を開発した。ギヤレス可変速風力発電装置（MWT-300 S）の主な仕様を表1に、また、構造を図1に示す。

多極の永久磁石式同期発電機の採用により、低回転からの発電が可能になり、これまで必要とされてきた増速装置がな

*1 風力・船用機械設計部風車プロジェクト室主幹

*3 長崎研究所制御システム研究室長

三菱重工技報 Vol. 38 No. 2 (2001-3)

*2 風力・船用機械設計部風車プロジェクト室

*4 研究開発センター電源技術グループ研究主任

表1 MWT-300 S仕様

Principal items of MWT-300 S

項 目		仕 様
形 式		水平軸プロペラ式 可変翼/可変速型風車
定格出力		300 kW
ロータ径		30 m
回転数		16～49 rpm
定格風速		14.0 m/s
Cut-in 風速		2.5 m/s
Cut-out 風速		25.0 m/s
耐風速		60.0 m/s
発 電 機	形 式	全閉防まつ型永久磁石式 多極同期発電機
	電 圧*1	400 V
	周波数*1	50/60 Hz
	回転数制御*1	IGBT 方式
	突入電流*1	なし
	力 率*1	1.0
ハブ高さ		30 m

*1：電力変換器（インバータ・コンバータシステム）端での値。

くなり（ギヤレス化）、翼で捕えられる風力エネルギーはロータヘッド、主軸を介して直接発電機回転子を駆動し、発電される。これにより、機械音の大幅な低減とメンテナンス性の向上を可能にしている。また、本発電機は巻線を採用した同期発電機に比べ、ネオジウム系の強力な永久磁石の採用により、励磁のため必要であった電力供給用スリップリングがなくなるなど、(1)小型化、(2)部品点数の低減、(3)メンテナンス性の向上を実現している。

同発電機の可変速制御は AC-DC-AC リンクでの PWM（Pulse Width Modulation）制御により実現しており、従来の定速式風力発電装置では、 $\pm 50 \sim 100 \%$ あった定格出力時の電力変動を $\pm 3 \%$ 以内に低減することを可能にしている。

また、可変速制御により低風速時には、翼の特性で決まる最適な回転数で運転することが可能となり、低風速域での性能向上が図られる。

ギヤレス化によるロータ中心軸に空いた空間を利用し、これまで回転体であるロータヘッドに配置されていたピッチ駆動用油圧シリンダをナセル内に配置することで、油圧ライン及び制御信号ラインを固定側から回転側へつなぐロータリジョイント、スリップリングがなくなり、メンテナンス性が大幅に向上されている。

さらにギヤレス化による機械騒音の低減に加え、1 MW 風力発電装置用大型翼⁽¹⁾で採用された先端先細化による低騒音翼とすることで、これまでの当社従来機の音響パワーレベル 99 dB(A) から 95 dB(A)（ハブ高さ風速 8 m/s 時）以下への大幅な低騒音化を図った。

3. 可変速運転による出力変動低減効果

ギヤレス可変速風力発電装置では、従来のピッチ制御に加え、出力制御が新たに制御パラメータに加わるため、当社で開発した風力発電装置シミュレーションモデルにより可変速運転制御の最適化を行っている。

図2に従来型風力発電装置と最適化された可変速風力発電装置の運転シミュレーション結果を示す。

従来型固定速風力発電装置では誘導発電機のため回転数は系統周波数に依存し、一定速となる（ただし、誘導発電機の極数切替えにより、低速と高速の二速運転が現在の標準型となっている）。

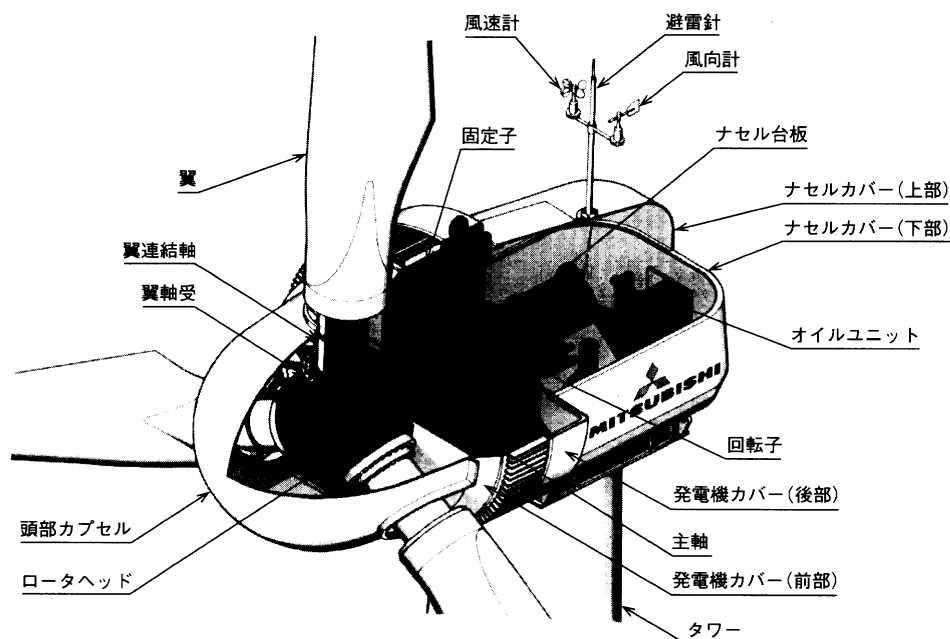


図1 MWT-300 S ナセル構造
Nacelle of MWT-300 S

MWT-300 S 初号機のナセル構造を示す。

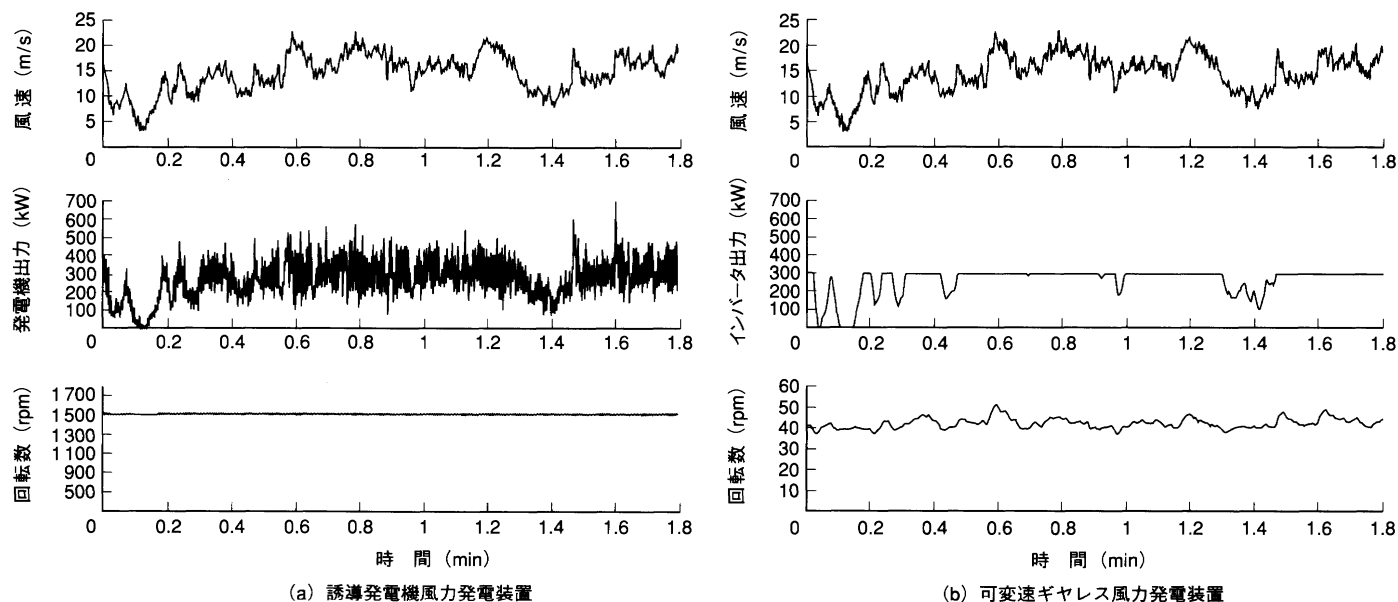


図2 ギヤレス可変速風力発電装置運転シミュレーション 従来型誘導発電機固定速風力発電装置とギヤレス可変速風力発電装置の運転シミュレーションの比較を示す。
Operating simulation for gearless variable-speed wind turbine

そのため、部分負荷時はあらかじめ求められた最適ピッチ角にて運転されるが、風速の変動やタワーせき止め効果などの影響により出力は大きく変動する。また、定格負荷時には過負荷を防止するため、あらかじめ求められた風速に対するピッチ角と出力からのフィードバックによりピッチ制御が行われるが、ピッチ制御の応答遅れやタワーウェイクなどの影響により定格出力を中心に出力変動が大きい。

これに対し、ギヤレス可変速風力発電装置では永久磁石式同期発電機の PWM 制御により理論的には任意の電力を取出すことが可能になる。部分負荷時には風速に応じた最適な回転数となるように制御を行う。

また、定格負荷時には可変速運転により定格出力一定制御が行われる。このとき従来型風力発電装置と同様にピッチ制御により過大となる風力エネルギーを逃がすことになるが、ギヤレス可変速風力発電装置ではインバータ電力変換装置 (AC-DC-AC リンク装置) で回転数可変出力制御を行っているため、瞬時過大入力風エネルギーは回転数の上昇に費やすことで、出力一定となるようにしている。

4. 竜飛ウィンドパークにおける運転実績

4.1 出力変動低減効果

東北電力(株)竜飛ウィンドパークで2000年7月より試験運転を開始している MWT-300 S 初号機を図3に示す。本機を使用し、可変速運転制御の検証や性能計測、騒音計測、その他可変速運転による各部変動応力への影響等について実施検証が行われている。

7月の運転調整時における運転実績例を図4に示す。本運転実績からも激しく変化する風速においても、可変速運転により定格出力一定制御が実現されていることが分かる。

さらに、AC-DC-AC リンクを活用した出力制御により、系統側の要求に応じて、任意の出力制限も可能である。図4(b)



図3 竜飛ウィンドパーク向け MWT-300 S 竜飛ウィンドパーク向け MWT-300 S 初号機を示す。
MWT-300 S for Tappi Wind Park

に出力制限による運転実績例を示す。ここでは、出力制限を200 kW として、過出力を5%以下に抑えられていることが分かる。

4.2 騒音低減効果

図5に MWT-300 S 初号機の運転調整時における騒音計測結果を示す。ギヤレス化と低騒音翼の効果にて、計画値以上の低騒音化が実現されていることが分かる。

4.3 今後の実機検証

これまで述べた出力変動抑制効果や騒音低減効果の検証のほか、今後、参照風速計による性能評価 (パワーカーブの取得) や可変速運転による各部に働く変動応力への影響評価、保守性評価、長期運転による信頼性評価を実施していく予定である。

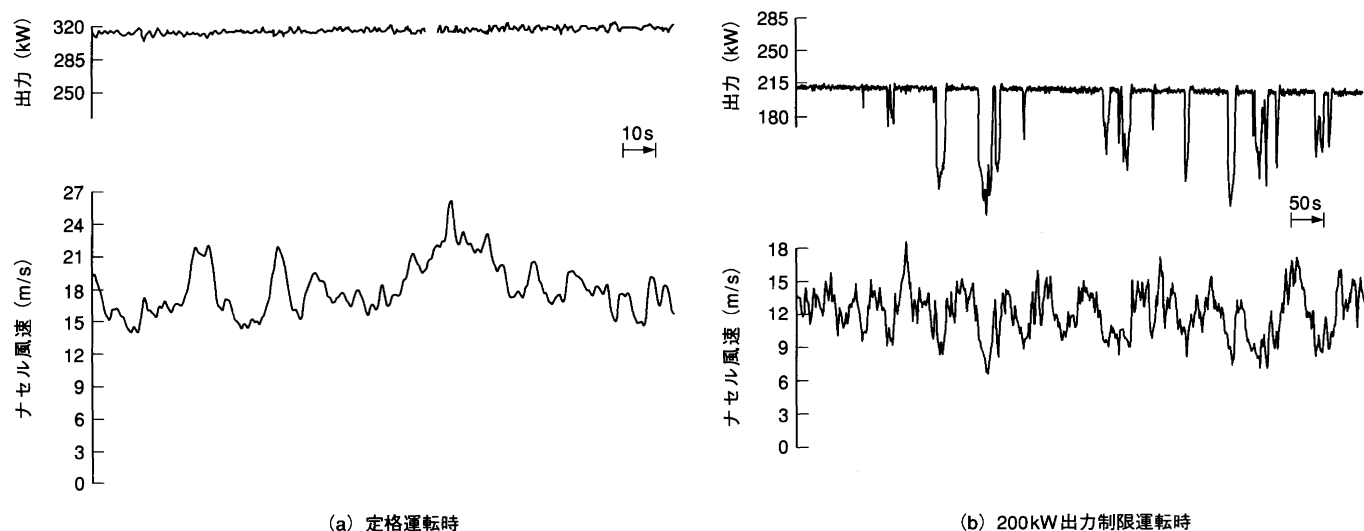


図4 MWT-300 S 運転実例 MWT-300 S の定格運転時と 200 kW 出力制限運転時の運転実績例を示す。
Operating data of MWT-300 S

ナセル風速 (m/s)	等価騒音レベル [dB(A)]	暗騒音 [dB(A)]	音響パワーレベル [dB(A)]	計画値 [dB(A)]
8	57.1	46.8	93.1	95
10	59.0	47.0	95.1	98
12	60.9	47.3	97.1	100

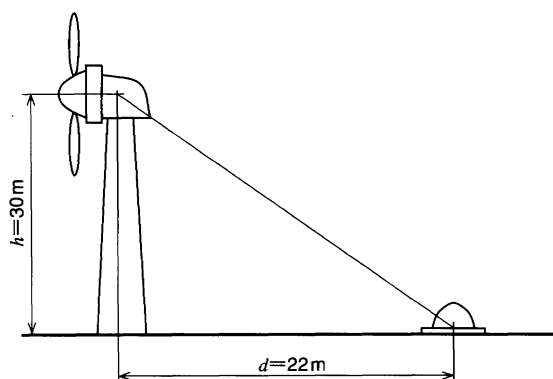


図5 MWT-300 S 騒音計測結果 MWT-300 S のナセル風速に対する音響パワー計測結果を示す。
Results of noise measurement for MWT-300 S

5. 結 び

1999 年開発着手から 2000 年 7 月の実機検証段階に入り、

永久磁石式同期発電機を使用した可変速運転による出力変動抑制とギヤレス化、低騒音翼による低騒音化が確認された。さらに、今後実施される性能評価、可変速運転制御の最適化、保守性評価、可変速運転による各部変動応力への影響等を明らかにし、次号機へのフィードバックを行い更なる低コスト化、信頼性の向上を行い、製品としての競争力強化を図っていく。

また、現在主流となっている 600 kW/1 000 kW 機へのスケールアップ、さらには競合メーカーが開発にしのぎを削っている 2 000 kW 機の開発にこの実機検証の成果を反映していく。竜飛ウィンドパークにて永久磁石式同期発電機を使用した可変速風力発電装置 (MWT-300 S) の実用化に成功したことで、高品質の電力供給と低騒音化を実現した次世代型風力発電装置を製品ラインナップに加えていきたい。

参 考 文 献

- (1) 高塚 汎ほか、1 MW 風力発電装置の開発、三菱重工技報 Vol.37 No.1 (2000) p.22~25