

# 風車の落雷の実機計測実績

## Measurement Experience of Lightning Current Fell to Wind Turbines



上田悦紀\*<sup>1</sup> 有永真司\*<sup>2</sup> 福田光芳\*<sup>3</sup>  
 Yoshinori Ueda Shinji Arinaga Mitsuyoshi Fukuda  
 岩井信樹\*<sup>4</sup> 松下崇俊\*<sup>5</sup> 井上厚助\*<sup>6</sup>  
 Nobuki Iwai Takatoshi Matsushita Kosuke Inoue

風力発電は、地球温暖化防止を担う再生可能エネルギーの主役として世界的に導入拡大が続いている。一方で、日本の厳しい気象条件による風車の故障も増加しており、その最も多い原因は落雷被害である。特に北陸地方の日本沿岸部には、“冬季雷”という世界的にもまれな高エネルギーの雷が存在し、毎年、多数の風車が被災している。当社は風車に落雷した際に、雷のエネルギーを速やかに地面に逃がす技術を確認するために、2003年から実際の風車で冬季雷の計測を実施してきた。この論文では日本各地での風車落雷時の雷電流の計測結果を分析し、現在の風車落雷の国際設計標準 IEC 61400-24 とは別に、日本型風車ガイドライン策定が必要であることを確認した。

### 1. はじめに

日本には2007年3月末時点で1314台、1491 MWの風車が建っている<sup>(1)</sup>。導入量増大に応じて風車の故障例も増加し、欧州主体で制定された現在の風車の国際設計標準 (IEC 61400) は、“台風”“山岳風”“冬季雷”という日本特有の気象に対して不十分なのではないか、という懸念が生じた。このため(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) により、冬季雷対策<sup>(2)</sup>と日本型風車ガイドライン策定<sup>(3)</sup>の研究事業が開始されている。

日本の風車の故障原因で最も多いのが落雷である<sup>(4)</sup> (図1)。特に北陸地方の日本海沿岸部の“冬季雷”は

風車ブレードに被害を多くもたらしている<sup>(2)(5)(6)</sup> (図2)。“冬季雷”は、日本海の暖流と上空の寒気団の温度差により、広大な雷雲が発達して、蓄積された電荷が一気に放電することで、通常よりずっと大きなエネルギーを持つ。これに耐える風車ブレードを設計するには、“冬季雷”の性状を定量的に把握する必要がある。そこで当社は2002年から風車で“冬季雷”の実機計測を開始している。なお、当社は前述のNEDO研究事業にも参画している。

### 2. 雷電流の計測

#### 2.1 計測方法

雷の大電流を直接計測しようとすると、計測器自体

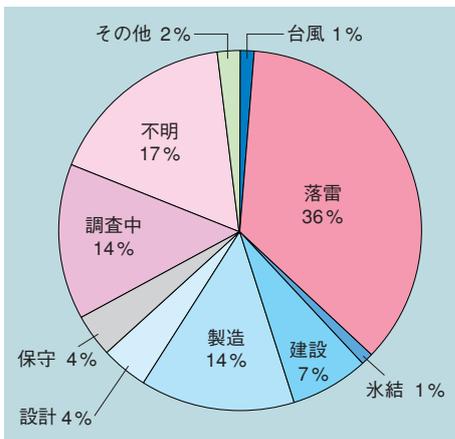


図1 国内風車の故障原因<sup>(4)</sup>

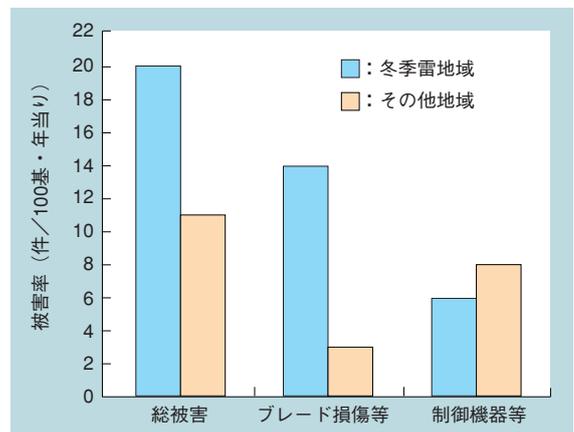


図2 風車の雷による被害の頻度<sup>(5)</sup>

\*<sup>1</sup> 原動機事業本部原動機業務部事業戦略企画グループ主席  
 \*<sup>2</sup> 技術本部長崎研究所制御システム研究室主席  
 \*<sup>3</sup> 長崎造船所プラント技術部計装電気課風車チーム

\*<sup>4</sup> 長崎造船所風力発電事業ユニットプロジェクト計画課  
 \*<sup>5</sup> 長崎造船所風力発電事業ユニット技術開発課  
 \*<sup>6</sup> 原動機事業本部原動機業務部事業戦略企画グループ

が焼損する恐れがある。そこで雷電流計測は、電流センサーとして、大口径のログスキーコイル（図3）を風車のタワー基部（および碁石が峰サイトでは主軸）にループ状に巻きつける非接触方式とした<sup>(7)</sup>（図4）。風車に落雷して雷電流がループ内を通過すると、磁界が発生してログスキーコイルに誘導電流が流れる。計測した誘導電流から磁界の変化率を求め、それを積分すれば元の雷電流の大きさ（電荷量・クーロン）を求めることができる。計測装置の構成を図5に示す。この計測手法は、元々は送電鉄塔の雷対策用に（財）電力中央研究所と北陸電力（株）によって開発されたものを、東光電気（株）が風車のタワー基部に適用して、風車への落雷の実機計測に成功したものである<sup>(8)</sup>。

当社は2002年に石川県の能登半島の付け根にある碁石が峰山頂の600 kW 風車で雷の観測を開始した。風車のブレードとナセル上の避雷針への落雷を区別するために、ログスキーコイルを主軸とタワー基部の二箇所を設置した（図4）。北陸電力（株）雷センターの協力により、落雷観測カメラも設置し（図6）、どの部位に落雷するかを視覚的にも観測できる体制を整えた。

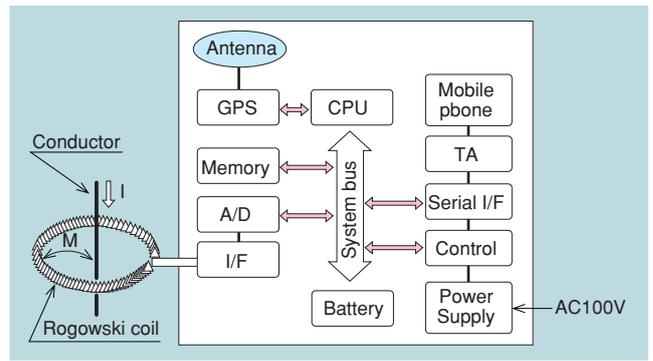


図5 雷電流計測装置の構成



図6 落雷のカメラ観測装置

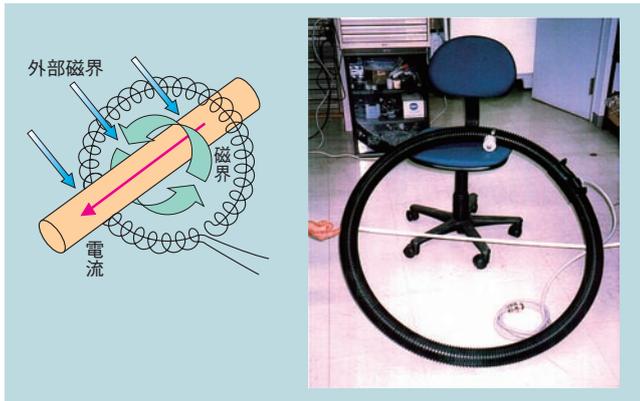


図3 ログスキーコイルの構造

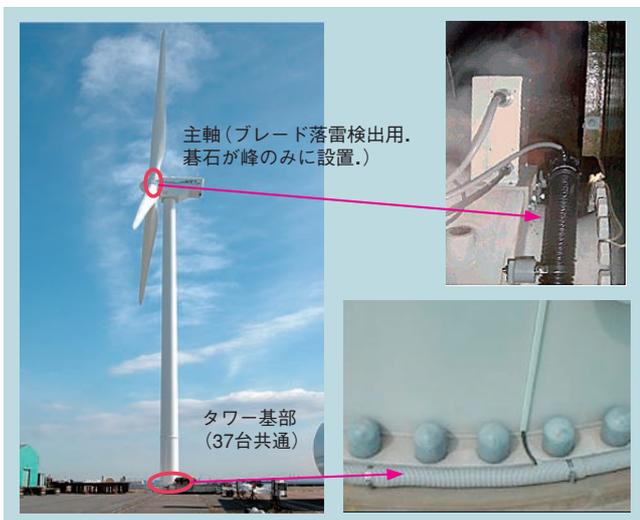


図4 雷電流計測装置

## 2. 2 雷観測の実施サイト

碁石が峰での観測経験を踏まえて2005年から計測サイトを拡大した。当社は日本各地の10サイト、37台で雷観測を実施し、2005-06と2006-07の2冬季分のデータを収集した（図7、表1）。NEDOの冬季雷危険研究の4サイトを囲む形で観測することで、冬季雷危険地域の境界を調べることも考えた配置である。なお、石川県の碁石が峰はNEDO研究と共通である。また、電源開発（株）もNEDOとは独自に秋田県仁賀保で落雷計測を実施している<sup>(2)</sup>（表1）。

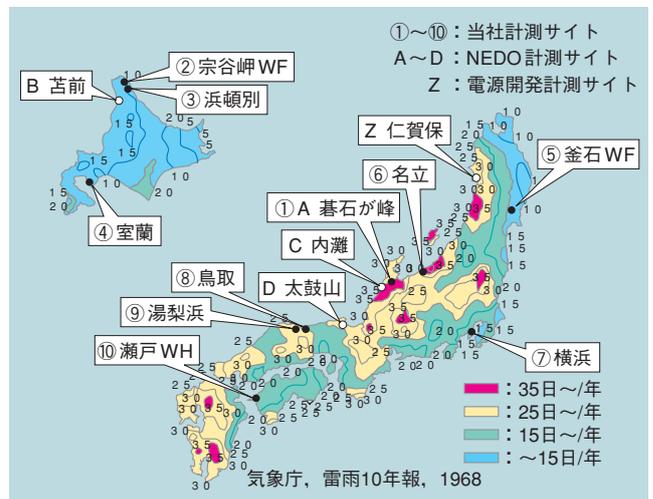


図7 雷観測の実施サイト

表1 観測サイトと落雷回数の一覧表

着色部は冬季雷地域

	計測サイト	冬季雷の有無	地形	定格出力	レセプターの有無	サイト内の風車台数	雷電流計計測台数	カメラ観測設置台数	落雷回数				
									2002-03	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07
当 社	① 石川県碓氷が峰	有	山頂	600kW	(無→)有	1	1	1	11	-	16	119	23
	② 北海道宗谷岬WF	無	岬の丘	1000kW	有	57	10		-	-	-	3	-
	③ 北海道浜頓別	無	海岸	1000kW	有	1	1		-	-	-	0	-
	④ 北海道室蘭	無	海岸	1000kW	無	1	1		-	-	-	6	-
	⑤ 岩手県釜石WF	無	山岳	1000kW	有	43	7		-	-	-	8	2
	⑥ 新潟県名立	有	海岸	600kW	無	1	1		-	-	-	1	2
	⑦ 神奈川県横浜	無	海岸	2400kW	有	1	1	1	-	-	-	5	-
	⑧ 鳥取県鳥取	有	海岸丘陵	1000kW	有	3	3		-	-	-	34	11
	⑨ 鳥取県湯梨浜	有	海岸丘陵	600kW	有	1	1		-	-	-	12	5
	⑩ 愛媛県瀬戸WH	無	岬の峰	1000kW	有・無	11	11		-	-	-	2	-
合計									11	0	16	190	43
N E D O 他	A 石川県碓氷が峰	①と同じ											
	B 北海道苫前	無	海岸丘陵	1000kW	有	20	1		-	-	0	4	-
	C 石川県内灘	有	海岸	1500kW	有	1	1		-	-	14	28	-
	D 京都府太鼓山	有	山岳	750kW	有	6	1		-	-	-	-	-
	Z 秋田県仁賀保	有	海岸丘陵	1650kW	有	15	2	2	-	10	12	-	-
総合計									11	10	42	222	43

### 3. 観測結果

#### 3.1 落雷計測の結果

2005年9月から2007年4月までの2冬季分の雷電流の観測結果を表1に示す。当社計測では、9サイトにおいて233回の風車への落雷が観測された。その内の142回(61%)は碓氷が峰である。特に2005-06は当たり年で、12月8日に13回、同16日に18回、同21日に10回など、短期間に集中的に落雷を受けている。

2005-06はNEDO計測分も含めると12サイト・39台で222回の落雷を計測しており、最もデータが充実している。そこで、このシーズンで落雷頻度を求めると、約5.7回/台・シーズン(当たり年だった碓氷が峰を除くと約2.7回/台・シーズン)となる(表2)。冬季雷地域はその他の地域より落雷頻度が10倍以上高い値となっている。ただし、落雷計測の実施に際し、落雷リスクの高い風車(過去の落雷実績、地形、地域)を選抜しているバイアスもあるため、落雷頻発地域での目安と考えるべきである。また、図2のNEDOの落雷被害率の統計(0.2回/台・年)より頻度が1桁高いが、これは落雷しても、被害を受けずに済む場合があるためと思われる。

表2 風車への落雷頻度(2005-06)

	サイト	計測台数	落雷回数	頻度
冬季雷地域	5(4)	7(6)	194(75)	27.7(12.5)
その他地域	7(7)	32(32)	28(28)	0.9(0.9)
合計	12(11)	39(38)	222(103)	5.7(2.7)

注:( )内は碓氷が峰を除いた場合を示す

#### 3.2 雷電流の計測結果

2005年9月から2007年4月までの2冬季シーズンの雷電流の観測結果を図8に示す。雷電流の大きさの頻度分布は、大電流のものほど、頻度が減少する傾向が見て取れる。国際設計標準IEC 61400-24<sup>9)</sup>の保護レベルI(300クーロン:表3参照)を越える観測値が、碓氷が峰、鳥取、湯梨浜、内灘(NEDO)の4サイト(いずれも冬季雷地域)で10回、得られている(表4)。2005年の12月22日には複数サイトで大きな落雷が計測されている。この日の天気図<sup>10)</sup>は強い冬型を示す(図9)。寒気団が西日本上空まで入りこみ、日本海の暖流との温度差が拡大し、広い範囲で雷雲が発生

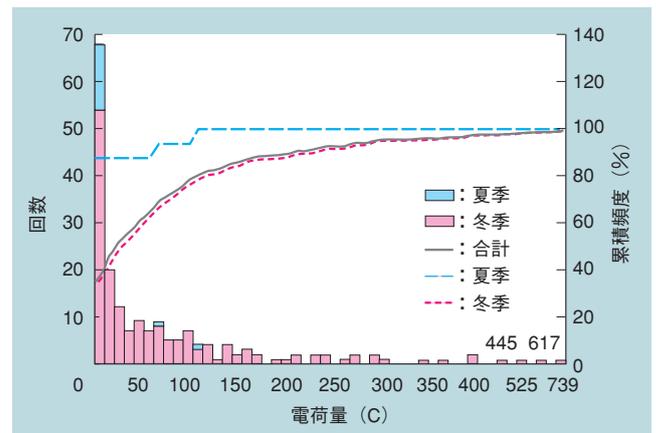


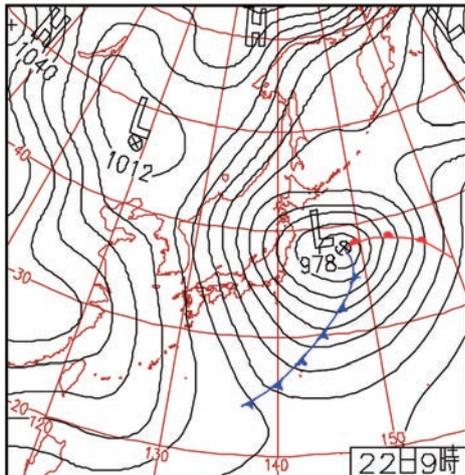
図8 観測された雷電流の分布

表3 IEC 61400-24の保護レベル標準

IECの保護レベル	電荷量(C)
I	300
II	225
III & IV	150

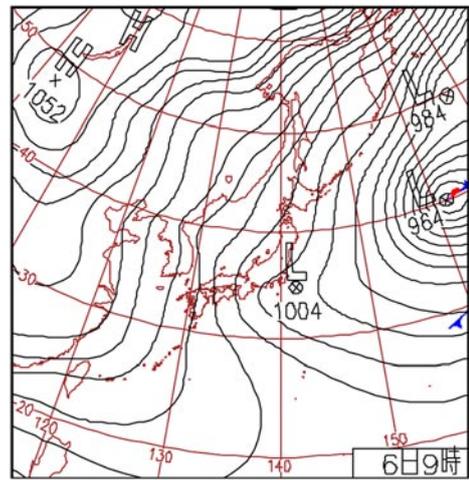
表4 IEC 保護レベルIを越える観測データ

	電荷量	計測サイト	計測日
1	739C	鳥取	2005/12/6
2	617C	鳥取	2005/12/22
3	525C	鳥取	2005/12/22
4	445C	内灘 (NEDO)	2005/1/19
5	415C	碓石が峰	2005/12/16
6	386C	碓石が峰	2005/12/16
7	383C	碓石が峰	2005/12/8
8	356C	鳥取	2005/12/22
9	337C	湯梨浜	2007/1/7
10	325C	内灘 (NEDO)	2005/12/22



22日(木)再び強い冬型へ  
鳥取県米子市上空5200m付近で-40℃以下。積雪が秋田市56cm、鹿児島市11cm、共に88年ぶりに12月の最深積雪記録を更新。東京都八丈島町で最大瞬間風速北西38.2m/s。

図9 天気図 (2005年12月22日)



6日(火)西日本中心に大雪  
寒気は引き続き西日本中心に流れ込み、9時までの24時間に岐阜県郡上市で71cm、岡山県真庭市で40cm、広島県庄原市で38cmの降雪。岐阜県郡上市では積雪が119cmに達す。

図10 天気図 (2005年12月6日)

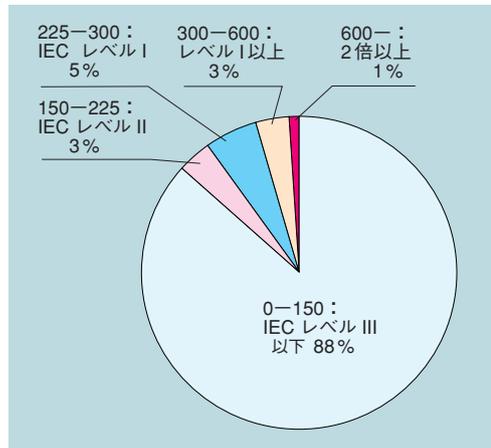


図11 雷電流の確率分布

して、降雪と落雷をもたらしている。最も大きな雷は、2005年12月6日に鳥取に落ちた739クーロンのものである。この日の天気図(図10)も22日と同様に西日本上空まで寒気団が覆っている。“日本海の暖流と上空の寒気団で、大気層に大きな温度差が生じる”ことが、“冬季雷”の発生源になっていることが分かる。

IECの保護レベルに準じて、計測された雷の大きさの確率を整理したものを図11に示す。IEC保護レベルI以上の雷の確率は約4%、2倍以上のものも1%以上ある。表2の落雷頻度の高さと合わせて考えると、北陸地方の“冬季雷”がIECの想定を超える日本特有の気象現象であることが分かる。

### 3.3 レセプターについて

碓石が峰の風車は、建設時には非レセプター翼(非電導製のFRP無垢)だったが、2005年5月にレセプター翼(翼内に避雷針を通した翼)への換装工事を実施した。

風車への落雷部位は、非レセプター翼の時期には、ブレードとナセル上避雷針に、ほぼ半々の割合で落雷

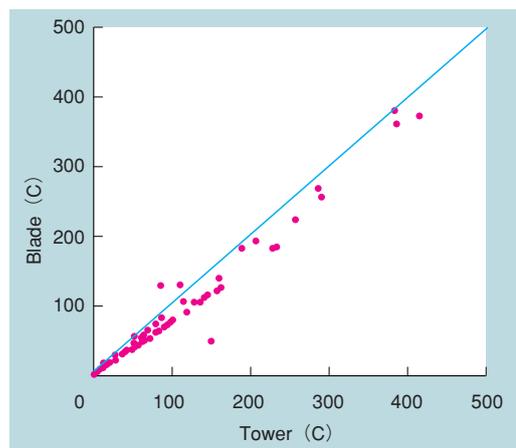


図12 ブレードとタワー基部の電流値の対比

していたが、レセプター化後は100%の確率でブレードのレセプターに落雷している(表5, 図12)。これはカメラ観測からも確認されている(図13, 図14)。

なお、風車への落雷頻度自体について、レセプター

表5 レセプターの有無による落雷頻度の変化

時期	レセプターの有無	雷電流計測		カメラ	落雷回数				翼への落雷率
		翼	タワー	観測	翼	ナセル	不明	合計	
2002-03	無	-	-	有	6	5	0	11	55%
2004-05	無	有	有	有	6	4	6	16	60%
2005-06	有	有	有	有	113	0	6	119	100%
2006-07	有	有	有	有	22	0	1	23	100%

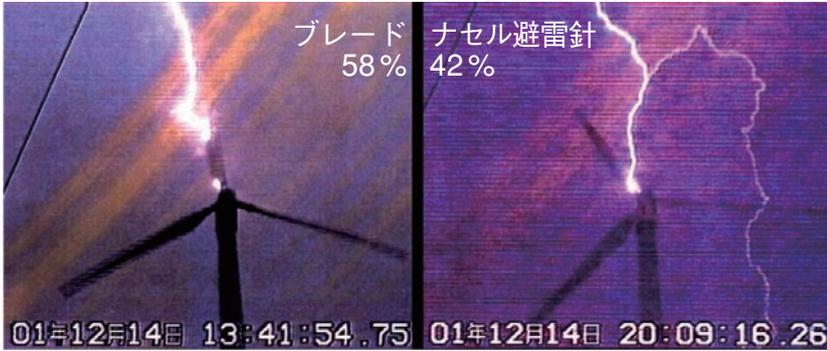


図13 非レセプター期

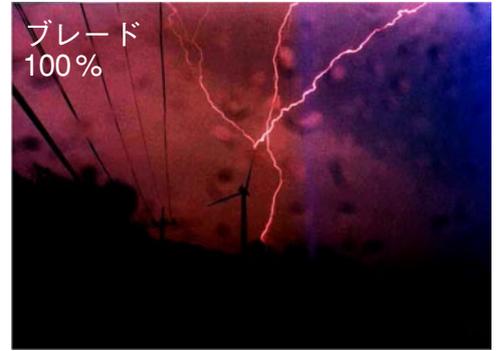


図14 レセプター化後

翼への換装工事後は1.5倍（～10倍）増加しているようにも思われるが、シーズンごとのばらつきも1.5～5倍と大きいため、レセプター化の影響とは断言できない。

#### 4. ま と め

国内の10サイトにおける37台の風車で2005年9月から2007年4月までに2冬季分の雷観測を行い、233回の落雷を計測した。その結果はIEC 61400-24の保護レベルの設定は冬季雷には不十分であることを示している。

- (1) 冬季の雷の4%はIEC保護レベルI（300クーロン）を超過している。
- (2) 冬季の雷の1%はIEC保護レベルIの2倍を超過している。
- (3) 最も大きな計測値は2005年12月6日の鳥取の739クーロンである。

地球上の地域ごとに気象や風土が異なるのは自明である。今回観測した“冬季雷”は気象の地域性の典型例である。おそらく“台風”や“山岳風”においても、同様の日本特有の気象現象が発見されると思われる。NEDOにより“日本型風車のガイドライン”が制定され、万全の体制とすることが必要とされる所以である。

#### 参 考 文 献

- (1) NEDO, 日本における風力発電設備・導入実績, 2007年3月末

- (2) NEDO, “平成18年度風力発電設備への落雷対策に関する調査（平成19年3月）”報告書
- (3) NEDO, “日本型風力発電ガイドライン策定事業”に係る委託先の公募について, 平成17年6月28日
- (4) NEDO, 風力発電設備の故障・事故等調査委員会, 平成17年度報告書
- (5) NEDO 丸山隆一・白石裕之他, 日本型風力発電ガイドライン策定事業, 第7回風力エネルギー利用総合セミナー（足利工業大学, 2007/6/22・23）
- (6) 日本風力発電協会, 風車への落雷対応について, NEF主催第1回風力発電システム導入のための基礎研修会（2003/12/19）
- (7) Y.Ueda et al, "Measurement of Lightning Currents Fell to the Actual Wind Turbines", RE2006 at Chiba, Oct.10, 2006
- (8) 東光電気 大塚尊裕他, 風力発電設備における直撃雷電流観測, 電学論B 124巻12号（2004）
- (9) IEC TR 61400-24, "Wind turbine generator systems-Part 24: Lightning protection"（2002）
- (10) 気象庁HP, 日々の天気図 No.47 2005年12月



上田悦紀



有永真司



福田光芳



岩井信樹



松下崇俊



井上厚助