

# 電力供給への地球温暖化リスクに備える — 電力設備への影響と対応策

電力中央研究所「電気と環境のフォーラム」

## 1 電力設備への温暖化影響

### (1) 電力設備への温暖化影響

第6回の連載[1]では、既存の電力設備とその周辺の生態系を対象に、考慮すべき温暖化のリスクを整理した。その結果、電力設備の中には、常に自然環境にさらされ、気象や生物の影響を直接受けている設備があり、温暖化による気候変化の影響が懸念される事を指摘した。電力の安定供給の観点からは、十年あるいは数十年に一度発生するような極端現象が電力設備の安全性や健全性に及ぼす影響と、日々の気象の経年的な

変化が発電効率に及ぼす影響に大別できる。

暴風雨など極端現象の影響を直接受けている設備としては、送配電設備や水力発電施設が代表的であり、それぞれの地域の自然環境や気候特性に応じた設計が従来からなされてきた。このような設備の特徴として、耐用年数が数十年〜百年程度と長いこと、設備の高経年化が進み、その数も膨大であることが挙げられる。高経年化した設備の維持管理は、技術的・経営的に大きな課題となっているが、気候特性が将来的に大きく変化することまでは想定していない。

一方、発電効率に関する影響とし

ては、海水温や気温の上昇による火力・原子力発電所の熱効率の低下、取水水路や熱交換器に付着する海生生物の影響、自然エネルギーを直接利用する風力・太陽光発電設備への影響が考えられる。

これらの電力設備は、気象や生物の影響を直接受けているだけに、温暖化による気候変化のリスクも大きいと言える。わが国における温暖化影響のリスクや適応策を評価した研究はあるが、電力設備について検討された研究例は少ない。なお、温暖化関連の分野では「適応」あるいは「適応策」という言葉が使われているが、個別の設備を対象とする本稿では、

工学的にもよく使用される「対策」あるいは「対応策」という言葉を用いる事にする。

温暖化への対応策を考える上で、気候変化の時間的な進行度合いとその程度、対策の費用対効果などが重要となる。しかし、将来のCO<sub>2</sub>の排出シナリオとそれに伴う温暖化の地域的な予測や生物影響には、定性的にも定量的にも不確実性が残されている。このような状況下で、将来にわたり膨大な数の電力設備を維持管理・リニューアルし、電力の安定供給を確保するためには、温暖化とどのように向き合い、対応していけば



平口博丸

電力中央研究所 地球工学研究所 上席研究員、博士(工学)。波浪予測と耐波浪設計、気候モデルによる温暖化予測、気象モデルによる暴風雨雪の予測研究に従事。



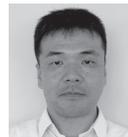
石川智巳

電力中央研究所 地球工学研究所 主任研究員、博士(工学)。送電設備の耐風設計合理化、雪害対策および配電設備の台風被害予測・復旧支援に関する研究に従事。



坪野考樹

電力中央研究所 環境科学研究所 主任研究員、博士(工学)。排水水の拡散予測および影響評価、海洋レーダによる沿岸流動観測技術に関する研究に従事。



豊田康嗣

電力中央研究所 地球工学研究所 主任研究員。豪雨・洪水メカニズムの解析、降雨・出水予測手法ならびに森林域水循環解析の開発に関する研究に従事。

よいのであろうか。

ここでは、設備の安全性の観点から送配電設備と水力発電設備について、発電効率の観点から火力・原子力発電設備と風力・太陽光発電設備についてより詳しく考えてみよう。

## 2 送配電設備への影響と対応策

### (1) 送配電設備における温暖化のリスク

常に自然環境にさらされている送配電設備は、不確定性の高い自然外力（強風、着氷雪など）、特に極端現象が安全性に影響を与える主な要因となる。また外力に対する抵抗力（耐荷力）についても、腐食など環境の影響を強く受ける。送配電設備固有の視点からは、外力に対する応答特性の異なる支持物と電線により構成される線状構造物であり、特に電線は揺れやすいことから、さまざまな振動による疲労の問題が生じる。加えて、機能維持のためには絶縁性能の確保も必要であり、数が膨大であるため事故時の復旧対応も重要な課題となる。以上の点を踏まえ、送配電設備固有の問題として、以下のよ

うに設計・維持管理、各種対策法、復旧対応の3つの視点でリスクをとらえることができる。

① 設計・維持管理・考慮すべき自然作用（強風、着氷雪など）の強さ・頻度の変化、構造部材・材料強度の劣化速度の変化、これら両者の関係で決まる安全性の変化

② 電線に関するギャロッピングなどの振動対策や着雪量の低減対策など各種対策法・風況特性や雪質の変化による各種対策法の効果の消失、対策地域の変化

③ 復旧対応への課題・被害規模の拡大、被害発生頻度の増加、被害発生地域の変化

送電設備では大規模な構造となること、配電設備では数が多く広域であるといった特徴を考慮して、本連載では送電設備については上記①に対する現状と対応策、配電設備については③に対する現状と対応策について取り上げる。

### (2) 送電設備における対応策

送電設備の設計に用いられるJEC127では、設計風速や設計着雪量として、地域別の再現期間50

年に対する値（以下、設計外力）を用いており、この設計外力による応答値が部材の強度を超えないように設計することで安全性のレベルを規定している。

さて、温暖化の影響を考慮したうえで、これまでの安全性と同等の安全性を確保するためには、どうすればよいか。設計外力が大きくなるのであれば強度アップ（補強、建て替え）する、絶縁性能を強化するなどの直接的な対策が考えられるが、対策の必要性、程度や方法を決める必要がある。このためには、温暖化による

あるシナリオのもとで再現期間50年の設計風速や設計着雪量がどのように変化するかを定量化することが重要となる。すなわち、例えば海面水温が1℃上昇すると、日本に影響する台風の中心気圧が平均的に7+5hPa低下する[1]といった情報から、実務的な判断材料になり得る情報への翻訳が必要と思われる。これは設計外力の変化だけでなく、強度の経年変化の問題も同様である。このような技術者の言葉に定量化された情報は、次のアクションにつな

げる大きな判断材料となり、数字を決める根拠となる。

電力中央研究所（以下、電中研）では、耐風設計研究などで開発した台風モデルを用いたモンテカルロ法に基づく設計風速評価法[2]を拡張し、種々の温暖化シナリオに対する設計風速の変化の定量化と現行設備の健全性評価に取り組み予定である。また、塩分飛散量解析法[3]と組み合わせれば、絶縁設計で用いられる汚損区分への影響や、腐食による材料劣化の影響などへの展開も期待できる。

メンテナンスの時代の中で、余寿命評価や維持管理の合理化研究が進められている。余寿命を踏まえた最適な補修・補強法やそのマネジメント、腐食・摩耗などに対する高耐久性材料や塗装技術の開発など、現状で進められている技術開発は、構造物の性能を向上させる方法である。このような現状の課題に対する技術開発は、地道な温暖化への対応策のひとつと理解することができる。現状の課題に対する技術開発を地道に進めつつ、現場での維持管理・保守の中でシナリオに基づく定量化を参考に、

補強の程度を変えするなど、少しずつ手を打っていくというのが、現実的な対応策であろう。

(3) 配電設備における対応策

我が国における架空配電設備は、支持物約2091万本(2005年現在)と報告されており、送電鉄塔(約24万基)に対して圧倒的に数が多く、また設計自体も単純化されていることから、安全性のばらつきも大きい。

このため、地球温暖化への対応として、(2)で述べた設計、維持管理面でのハード的な対応に加え、供給支障発生時の早期復旧への対応・その戦略の確立がより強く求められる。温暖化を意識したものではないが、台風被害に対する早期復旧対策として、これまでにも被害規模に応じた要員配置を早期に行う仕組み作りやその支援のための被害予測システムの開発、計画的かつ効果的な巡視・復旧作業の実施(カーナビゲーションシステム、携帯電話の活用)などの取り組みが報告されている[4]。

温暖化を踏まえた場合、早期復旧対策として課題となるのは、被害規模と被害頻度の変化による影響であ

ろう。ここでは、早期復旧に対する

対応策を、短期的な対応策と長期的な対応策とらえてみる。短期的な対応策とは、これまでに例のない強大な台風が襲来した場合でも、効果的に早期復旧を実現できる対策で、

台風接近時の被害数の事前把握、被害発生時の被害箇所の検知技術が重要となる。このような技術は温暖化の有無にかかわらず必要であり、台風の進路や強度、降雨の予報技術、被害数の予測技術、被害箇所の検知技術などの高度化が対応策となる。

一方、長期的な対応策は、台風の強度や襲来頻度が変化した場合の、年間の復旧費用、資材確保といった経営的な問題や復旧戦略への対応である。この場合は、(2)と同様に、事前のさまざまなシナリオ台風で相対的な被害規模の予測ができれば、このような問題に対する対応策の検討が可能となる。

電中研では、図1に示すような配電設備の台風被害予測システムを開発している[4]。このシステムは、気象庁の台風進路や中心気圧の予報値を入力として、台風接近時の地上の

風速や配電設備被害数を予測するも

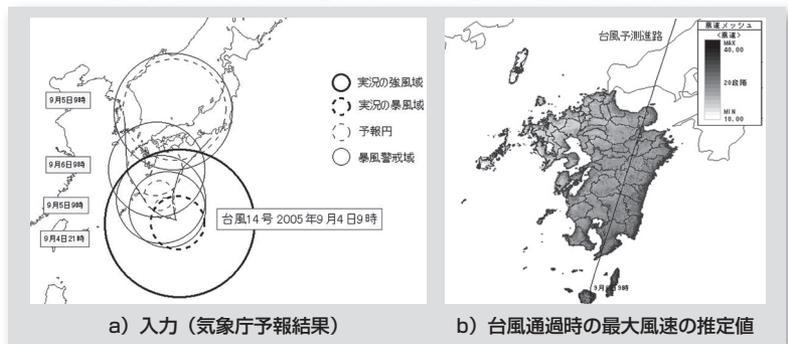
ので、前述した短期的な対応策として活用可能である。また、本システムの台風の予報値をシナリオ台風に置き換えれば、復旧戦略の策定に寄与できるものと考えている。

以上、台風を中心に、設計・維持管理の視点、災害早期復旧の視点から、現状と温暖化への対応策について述べた。ここでは、リスク回避・低減の具体的方策の検討、保守体制の強化への取り組みには、現状の技術開発を着実に進めるとともに、意思決定の判断に必要な情報の整理、「設計風速」のような実務の言葉での定量化が重要であることを強調した。

この点に関し、電中研では、種々の温暖化シナリオに対する設計風速の定量化と設備への影響度把握に取り組む予定である。加えて、対応への意思決定は、温暖化の影響がどのシナリオで、どこまで進んでいるのか

の情報が必要である。このためには、モニタリングと温暖化研究との融合が重要であり、今後、均一の信頼度を有する気象観測網の充実が望まれる。特に、地域ごとに温暖化の影響

図1 配電設備の台風被害予測システムを用いた最大風速の評価例



3 火力・原子力発電への影響と対応策

度が異なるため、送電用鉄塔を利用するなどの広域で密な観測を期待したい。

ここでは、地球温暖化による火力・

原子力発電所の運用に与える影響として、海水温および大気温の上昇による熱効率や生物活動の変化の影響について取り上げる。

**(1) 海水温および大気温の上昇が熱効率に与える影響と対応策**

復水器の冷却に海水を用いている日本の発電所では、海水温が熱効率に影響を与えることが知られている。

例えば原子力発電所の場合、海水温が約29℃（夏季）・12℃（冬季）に対して、熱効率は約35%（夏季）・約36%（冬季）となっている。この結果を内挿して海水温が1℃上昇した場合を計算すると、熱効率の低下量は約0・06ポイント（発電気出力の低下量は約0・17%）となる。また、LNG火力発電の主流となっているガスタービン複合発電においては、ガスタービンの吸込空気温度の変化により、圧縮機が吸い込む空気の質量が変化するため、ガスタービン、引いては蒸気タービンとを組み合わせた複合発電の熱効率や発電機出力が大きく変化する。地球規模の環境変化により海水温および大気温が変化すれば、発電機出力や熱効率に影響

を与え、当所開発の発電システム熱効率解析汎用プログラム[5]を用いることにより、海水温および大気温の上昇がそれぞれの発電機出力や熱効率に与える影響を検討することができる。

**(2) 生物が取放水設備に与える影響と対応策**

発電所の冷却水路に付着する生物は、圧力損失を引き起こして取放水量を低下させたり、熱交換器の熱伝導率を低下させるなど、発電所運用に影響を与えることが知られている。

また、その他生物の影響としては、脱落したコンブなどの海藻や大量発生したクラゲは、取水口を閉塞させ、取水困難となる場合が挙げられる。

付着生物の中でも外来種のムラサキイガイやミドリイガイは、付着個体数が多く、成長速度が速くて大型化する特徴を持つ。イガイ類の生存率や成長量は海水温と関連性が高いことが報告されており[6]、特に温暖化により高緯度・冬季の昇温が顕著になると、南北に長い日本では南方系のミドリイガイの生息範囲が拡大し、両種の優劣が変わる可能性が考

えられる。

付着生物の物理的な除去以外の対策としては、塩素注入などが考えられる。一般的に成貝よりも浮遊幼生の方が塩素に対する耐性が低いとされていることから、浮遊幼生の付着時期に集中して塩素注入することが、経済性および環境面から有効となる。

現在、幼生の付着開始時期から最盛時期を推定することを目的としたモニタリング手法が開発されつつある[7]。このようなモニタリング手法を活用しつつ、塩素注入の運用管理を動的に修正する順応的管理を実施することができれば、予測困難な将来の環境変化にも対応できると期待できる。

コンブの脱落は、海水温上昇の変化と関連性が高いことが知られており、また大量発生することがあるミズクラゲの発生状況（発生量や発生時期）は、冬季海水温との関連性が指摘されている。そのため、温暖化が海藻の脱落やクラゲの発生状況になんらかの影響を与える可能性がある。ただし、これら生物の発生状況などは、海水温以外の因子とも関連

性があることが指摘されており、第6回連載で「生態系影響予測は気候変化以上に大きな不確実性を含んでいる」と述べているように、温暖化の生物への影響を定量的に把握することは難しいと考えられる。

クラゲなどに対する対策としては、取水口前面でのエアバブリングやクラゲ防止ネット、生簀に移動させて自然溶解させる方法などが考えられているが、その費用は少なくない。

付着生物やクラゲなどに対する対策の費用対効果を検討するには、海水温上昇による生物への影響を抽出する必要があるため、過去のデータの分析や今後のデータの蓄積が重要となると考えられる。

**4 水力発電への影響と対応策**

**(1) 水力発電への影響**

地球温暖化による水力発電への影響としては、降水量の増減に伴う発電電力量の変化ならびに豪雨の増加に伴うダム堆砂の加速が最も懸念される事項である。電気事業連合会の電力統計情報[8]によると、北海道か

ら九州までの電力9社の水力発電による発電電力量は1年間に651億kWhであり、そのうちの約78%に当たる505億kWhが自流水発電によるものである。自流水発電はダムによる貯水を行わないため、ある

一定量以上に河川水が増えても発電電力量が多くなるわけではないが、一般的には河川水量が多くなるほど発電電力量も多くなる。毎月あるいは年度の平均流量を、過去40年の平均流量と比較したものを出水率という。自流水水力発電による1年間の発電電力量とその年の出水率の関係について、両者から得られた回帰式によると、出水率が1%増えると1年間に5000万kWhの電力量が増える。

しかし、台風や梅雨に伴う豪雨時の雨量が増えても、無効放流が増えれば発電電力量の増加とはならない。むしろ、豪雨の頻度や規模が大きくなることによって、斜面崩壊や河川洪水の規模が大きくなり、貯水地に流入する土砂の増加はさらに加速される恐れの方が重要な問題となってくる。経年的なダムの堆砂は、貯水

容量の減少や取水障害、上下流の河床変動等の問題を引き起こす。土砂により河床が高くなると、同じ流量が流れていても水位も高くなることから、洪水となる危険性が増すことになる。

## (2) 施設の対応策

国内の水力発電所は建設後50年を経過するものが増えてきており、50～100年の長期的視点で大規模な改造やリプレースを考え、効果的な発電所運用を検討する時期に来ている。気候変化による洪水の増加や土砂流入予測は、改造やリプレースの仕様を決める大きな鍵となってくる。

ダムの設計洪水流量の算定法は、時代によって基準が異なっており、戦前には洪水の確率を設計に考慮することが義務付けられておらず、過去に観測された河川の最大流量を以て設計値としたものが多い。設計値を超過する可能性の大きなダムについては、温暖化時の雨の降り方についての予測が可能であるならば、その雨量に基づく設計洪水流量を求めることができ、改造やリプレースの決断が容易になってくる。

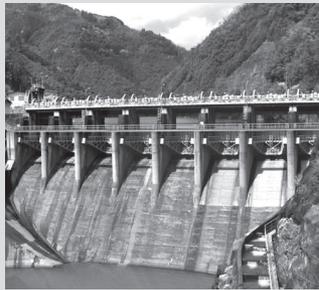
豪雨による山地の斜面崩壊は、導水路や水圧鉄管などの損壊・損傷リスクを増加させる。発電所やダム貯水地両岸の斜面崩壊対策としては、物理探査法による地下水の挙動の把握や岩盤変位や岩盤の崩落挙動を監視する遠隔モニタリング技術が開発されており、予め危険が予測されている斜面を常時監視することが容易となってきた<sup>[9]</sup>。

ダムの経年堆砂の対策としては、水の力を利用した湖内移動、堆砂の浚渫による建設材料としての転用、残土の埋め立て処分といった方法が取られている。しかし、浚渫土の有効利用や残土の埋め立てには限りがあるほか、その輸送や埋め立てによる環境破壊を伴う。また、下流河川や海岸への土砂供給を行うべきだとの市民の声が上がっている地域もあり、近年では下流への通砂の促進をにらんださまざまな手法が検討され実行されている。九州電力の水力発電所が多く位置する宮崎県の耳川では、平成17年9月に襲来した台風14号によって未曾有の洪水被害を受けた。ダム上流域で多数の斜面崩壊

が発生したため、今後、今以上の土砂流入が予測される。ダム上流域の洪水位を河川整備の保安レベルに確保するため、上流からの土砂を通砂するためのダム堤体の改造が計画されている。写真1右に示すように洪水吐ゲートを拡大し、上流から来る土砂を貯水地で堆積しないよう下流に流下しやすくする。この改造に当たり、上流からの流入土砂量やダムから通砂された後の下流の河床高の予測を行っているほか、下流域に生息する生物への影響も考慮するなど慎重な検討が実施されている。

## (3) 運用面からの対応策

洪水量が増加すると、洪水を適切に処理するために今以上の高度なゲート操作が求められる。また、可能な限り無効な放流を少なくし、洪水後にできるだけ多くの貯水量を確保するためにも高精度な降雨・出水予測手法の開発と実用化が望まれる。ダムへの流入量を予測する技術には、数値気象モデルや上流域の森林植生の影響などを考慮した水循環解析モデルなどがあり、これらは計算機の発達や情報通信網の整備とともに進



現在のダム堤体



通砂促進のための改造後のイメージ

写真1 九州電力山須原ダム改造後のイメージ図

(九州電力ご提供)

歩をとげている[10]。降水・出水予測が精度の高いものになれば、洪水時の無効放流を減らすことも可能になる。さらに出水予測の精度向上は、土砂移動予測の高度化にもつながっていく。

林業の伐採放棄などによる山林の荒廃は、土砂発生を増加させるほか、

濁水の長期化や流木の原因にもなっている。このような山林荒廃は、対象とする範囲がとてまもなく、電気事業者だけでは到底解決できるものではない。森林・山地保全に関する政策提言を電気事業者が行っていく、

自然循環型エネルギーである水力発電を有効に使える体制を整えていく必要がある。森林・山地保全は、地震による斜面崩壊リスクの低減にもつながり、土砂流出の抑制や下流への洪水緩和、水源涵養機能の向上によって異常渇水による出水率の極端な低下にも貢献するはずである。渇水時の水資源の安定供給では、既に発電ダムが水補給に貢献している事例もある。複雑に絡み合う諸課題を、他機関とともに同時に解決していきながら、最適な河川水利用を考えていくべきである。

## 5 自然エネルギー発電への影響と対応策

### (1) 風力発電

風力発電の場合、温暖化による風条件の変化は、設備の安全性および発電出力に直接影響を及ぼす。また、

現在でも問題となっている風車への落雷被害も懸念される事項である。

一般に、風車の選定に当たっては、ハブ高さにおける10分間平均風速の50年再現期待値などを考慮して、技術規格(IEC 61400-1(2005)など)で定められた風車クラス(I~III)を決定する。従って風条件が将来的に変化すれば、風車の安全性に問題が生ずることとなる。そのような場合には、基礎やタワーの補強、強風時にブレードが受ける風圧を最小限にするための制御技術(フェザリング)の高度化、あるいは立て替えなどが必要となる。一方、風車の発電出力は風速の2~3乗に比例するため、日々の風速の出現頻度は発電電力量や設備の経済性に影響を及ぼすことになる。

最近の風車は大型化しており、風車の上端は地上100mを超える。このため、落雷による被害が増加し、長期間の設備停止や稼働率低下が問題となっている。電中研では落雷頻度マップ[1]を作成しており、それを基にNEDO事業「日本型風力発電ガイドライン」において、風力発電

設備へのリスクを考慮した落雷頻度・被害マップを提示している[12]。温暖化に伴い落雷の発生頻度や強度がどのように変化するかについては不明であるが、「日本型風力発電ガイドライン」に示されているような雷保護対策を講じることが、まずは重要だと考えられる。

(2) 太陽光発電

ついで太陽光発電の温暖化リスクについて考える。太陽光発電の場合、発電効率に影響を与える気象要素として、気温、日射量および降雪量の変化が考えられる。

太陽光発電システムの出力はJISC 8907で推定方法が定められている。その推計方法を基に試算すると、月平均気温が1℃上昇すると結晶系シリコン太陽電池では出力が約0.5ポイント減少する。ただし、アモルファスシリコン太陽電池では、熱により光劣化が回復する効果があるため、逆に出力は増加する。一方、薄膜シリコン太陽電池の場合は、劣化の回復と温度上昇による低下が相殺され、出力変動は少ない。このように、太陽光発電システムの温度依

存性は太陽電池の種類によっても異なるが、温暖化による1℃の気温上昇で+0.5ポイント程度の出力変化が考えられる。

太陽光発電システムの稼働率は年間日照時間に依存する。また、温暖化に伴う降雪量の減少は、雪国での冬季発電出力の増加につながる可能性がある。

気温などの変化により、太陽光発電の効率は変化する可能性はあるが、定量的な将来予測は難しい。これらの発電設備は、前述したような電力設備に比べて耐用年数が短いことから、気象条件の良い地点を選定することが現時点での最善の対策であろう。

## 6 電力設備の温暖化対応策とは

以上、電力の安定供給の観点から、極端現象が電力設備の安全性や健全性に及ぼす影響と、日々の気象の経年的な変化が発電効率に及ぼす影響とに大別し、電力設備への温暖化リスクとその対応策について考えた。災害や供給支障をもたらすような極端現象に関しては、人為的な温暖化

に起因するものか自然の気候変動の範囲内なのかを判断することが難しい。また、温暖化の生物影響については不明な点が多い。

電力設備は供用期間が数十年あるいはそれ以上長期にわたるものが多いので、その設計には自然外力などの不確実性もある程度は考慮されている。将来的な気候変化が、設備供用期間に比較して緩やかに進行する場合であれば、電力設備の安全率の範囲内で設備の健全性や発電効率がある程度確保される可能性がある。

その場合は、数日先の気象や設備被害などの予測精度向上や生物・自然環境のモニタリング技術の向上など、維持管理や災害復旧方法の高度化が当面は重要になる。一方、気候変化が比較的短期間で急速に進み、災害や供給支障の発生頻度が多くなり、発電効率の低下が頻繁に見られるような場合には、計画的な復旧支援戦略や増強・改造・リプレース対策が重要となり、経済的な負担が大きくなる。

どのような対策を何時の時点で取るかの意思決定をサポートするため

には、CO<sub>2</sub>の排出シナリオや温暖化予測の精度向上に加え、長期にわたる気象や生態系のモニタリングにより、気候変化シグナルを適切に感知することが重要であることをあらためて指摘したい。特に電力会社などでは、さまざまな用途のために気象観測や動植物の環境調査などが行われており、そのようなデータを継続的に蓄積することが、将来の意思決定を行う上での基礎データとなるものと期待できる。

### 参考文献

- [1] 筒井純一ほか：第6回連載エネルギーフォーラム2009.4
- [2] 石川智巳：送電用鉄塔の耐風信頼性設計法に関する検討(その1) — 耐風信頼性解析コードの開発と風向を考慮した設計風速の設定方法の提案 —、電力中央研究所報告、N07032.2008.7
- [3] 須藤 仁ら：海塩粒子輸送シミュレーションによる塩分付着量推定に関する研究(その2) — 評価精度に及ぼす格子解像度の影響 —、電力中央研究所報告、N08017.2009
- [4] 石川智巳：配電設備における強風災害低減への取り組み、日本風工学会誌、

Vol.33.No.1.2008

- [5] 幸田栄一ら：発電システム熱効率解析汎用ソフトウェアの開発、電力中央研究所報告、W99034.1999
- [6] 坂口勇：発電所を困らせる水の生き物たち、<http://criapi.denken.or.jp/env/kinono.pdf>、2008
- [7] 野方 靖行：遺伝情報を用いた法損性フジツボ幼生の定量的検出方法の開発 — サイクリングプロープによる簡易検出法の検討 —、電力中央研究所報告(V08010)、2009
- [8] 電気事業連合会：電力統計情報、<http://www.tepc.or.jp/library/data/tokai/index.html>
- [9] 池川洋一郎・細谷真一：斜面モニタリング用の無線センサネットワークの開発と検証、電力中央研究所報告、N07035.2008
- [10] 豊田康嗣・平口博丸：気象予測モデルと連携した出水予測手法の開発 — 九州地方に襲来する台風事例 —、電力中央研究所研究報告、N08058.2009
- [11] 電力中央研究所(S003)：「かみなりから送電線をまもる」電中研ニュース0805
- [12] 新エネルギー・産業技術総合開発機構(2008)：「日本型風力発電ガイドライン」、落雷対策編、2008