●研究題材（テーマ）

立地条件（？）による風況によって変化する風力発電の効率的運用

主な風力発電の設置場所　山、海岸線沿い

ある程度の風量・風況を場所によって設定

陸上、洋上でのポテンシャルの違いを調べる

陸上での足りない電力を太陽光発電、洋上なら波力発電などを併用することによって安定した電力供給は可能か？

現在日本では洋上風力発電は行われていない

洋上が上手く実用できれば原発10基分の電力を補うことが可能？

トレードオフの関係で考える

単純な比較ではなく、数理計画問題や制約条件などを考える

温暖化リスク・エネルギー安全保障リスクと鳥殺傷・風景騒音等のリスク間のトレード・オフ

これまでの風力発電事業におけるキャッシュフローの性格

建設費

売電収入（変動） 発電量（変動）×売電単価（固定）

営業支出（ほぼ固定） 燃料費は風ゆえ無料

人件費関連はほぼ全額固定費

税金

①借入返済前CF 多ければ多いほど良い

②借入元利返済レンダーの取り分（安定性を好む）

③余剰資金スポンサーの取り分

（Upsideメリットを追求）他

資材高騰、為替

課題（要検証・検討項目）

補助金の動向（補助率・補助金額、補助形態）

売電単価及びRPS単価の変動リスク

契約期間のリスク

RPS法の動向リスク

需要量（解列時間含む）変動リスク

オフテイクリスク

（含む、オフテイククレジット・市場リスク）

供給量変動リスク（風況予測・蓄電池等）

ハイブリッド化等による変動費増

各種優遇税制等の存続、新設、廃止？

出力予測データ

気象予測に基づく風力発電出力予測を実施した出力予測データを使用すること。予測は当日予測、翌日予測、週間予測が可能なものとし、最小予測時間は30分平均出力値、更新頻度は最低6時間更新とすること。

また、出力予測誤差幅も出力できることが望ましい。

（<https://app3.infoc.nedo.go.jp/informations/koubo/koubo/FF/nedokouboplace.2009-09-30.3991922020/nedokoubo.2010-02-09.3517021067/4ed569d866f8.pdf>）

予測対象期間 　当日 6 時発表とし，予測発表時刻から24時間先までを予測．

（<http://www.engineering-eye.com/rpt/r070_power_and_energy200806a/pdf/r_power_and_energy200806a.pdf>）

●設備利用率・利用可能率の定義

設備利用率＝ [%]

利用可能率＝[%]

風車が運転可能な状態にある時間(hr)＝ 全暦時間(hr) － 保守･点検・故障による停止時間(hr)

（１年：8760時間）

（<http://www.eesol.co.jp/release/pdf/20080606_release_02.pdf>）より転載

●短所

・風力原動機を設置する場所の風況が発電の採算性に大きく影響する

　風力原動機・・・風の運動エネルギーを、ほかの形態の機械エネルギーへ変化する機械や装置

　　　　　　　　　通常、風車や風力タービンを使い回転運動のエネルギーに変換するが、振動などを利用するものも研究されている

　　　　　　　　　おもに、発電機を回して風力発電に使われるが、機械エネルギーのままでの利用も、構造が単純なことから、開発途上地域や、歴史的な経緯で使われている場合もある

・風速の変動に伴って、出力の電圧や力率が需要と関係なく変動する

・現時点ではコスト面で法的助成措置を必要とする場合が多い。また、系統の拡張などにある程度の追加費用を要するとされる

・風量によっては余剰電力を増大させる

　風力発電の最大の敵は強風

　風力発電機には定格風速があり、定格を大幅に超える速度で運転すると原動機の焼損やブレードの破損などを招く場合がある。

　そのため風速が過大な場合は、保護のために速度を抑制するか、場合によって一時的に発電を停止する

　風速約20ｍ/秒以上でだいたいの発電はストップする

●発電量予測

　風力発電の事業化にあたっては、事前の風況の調査が重要

　風は不随意に変動するが、その変動量や変動速度、平均強度などは確率的に取り扱うことが可能で

　風力発電の発電量もまた、確率・統計的に取り扱うことができる

　日本ではNEDO等による風況調査の実施や予測技術の開発、実績データの蓄積により、事前に長期間の発電量予測が可能

　実際に設置するにあたっては、測定用風車を用いた実測や、周辺地形に基づいたシュミレーションも利用される

　年間総発電量の年ごとのばらつきは、10～15年間の調査により±2～10％程度

　風況調査を充分に行えば、長期間で見た風況由来のリスクは事業場問題にならないことが多い

　近代では計算機を用いた局地気象解析技術により、短時間の変動についてもある程度の発電量の予測が可能

(風力発電－Wikipediaより抜粋　<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%A2%A8%E5%8A%9B%E7%99%BA%E9%9B%BB>）

「風エネルギー」を「運動エネルギー」に最も効率的に変換するには、風力発電機の後方側風速が3分の1に低下するようにした場合で、その際の最大効率は、約59.3%であることが証明されています（これを「ベッツの法則」「ベッツ限界」などと呼んでいます）

理論的に導き出された理想上の限界値であり、実際の風力発電機用風車においては、20～45%程度のエネルギー変換効率となっています。

（一般に高効率型の風車は、高速回転型となりますので、騒音や寿命、安全性を犠牲にせざるを得なくなる傾向があり、また設計点から外れるような幅広い風速域で柔軟な性能を発揮する目的などからも、必ずしも最大効率だけを優先した風車デザインが採用されるわけではありません。）

発電機や送電などによる電気的な効率、回転力の伝達などの機械的効率などがありますが、これらのエネルギー効率(変換効率や伝達効率)は、概ね80～95%程度と上記の風車効率と比較して、ずっと大きな値となっています。

以上から、風力発電によって得られる電気エネルギー量は、風車が受ける風エネルギーのおよそ10～35%程度であるとされています

（<http://www.rakuten.ne.jp/gold/northpower/np/how_to/index_howto_windturbine_002.htm>）

・風車の種類

風車の回転軸の方向で分類すると水平軸（主にプロペラ）型と垂直軸型の二つに大別されます。また風車のトルク発生形態からみると、風車の翼に生じる抗力を利用するものと、揚力を利用する形式とに分類できます。風力発電には主に揚力形の風車を利用します。

・風車の発電効率

風速(秒速)をV[m/s]、翼の受風面積をA[m2]、空気密度を

ρ[kg/m3]、風車のパワー係数をCpとすると、風車から得られるパワーP[W]は　P= Cp×(1/2)×ρ×A×V3

という計算式で求められます。

ベッツの法則では風から取り出せるパワー係数Cpは最大で16/27(ベッツ係数）としています。風の持っているパワーの0.593までは理論的には取り出せることを示しています。

Cpが大きくなるほど風車の発電出力性能が高いと言えます。

上記の計算式から風車のパワーは受風面積と風速の３乗に比例することがわかります。

また風車のパワー Pはトルク[N-m］×回転角速度［rad/s］でも表されます。これは風車の動力から発電機によって電気変換したパワーを表しています。風車のシャフトに与える力を大きくし回転数が上がれば、風車から取り出せる発電出力は大きくなります。

一般的な大型プロペラ風車は抗力になりうる翼面積を減らし、回転数（周速）を上げることで発電効率を高めようとしています。ベルシオン式風車では揚力を引き出す翼面積を広げ、かつ最適な回転数まで上げて発電効率を高めるよう工夫を施しています。

・風車の性能評価

一般的に風車の性能を評価する場合、パワー係数、周速比、ソリディティなどの特性係数を利用して性能評価しています。

パワー係数とは風車の受風面積から得られる風のパワーを基準にして、風車から取り出せるパワーとの割合を示しています。実際の風車では揚力形の高性能プロペラ型大型風車で0.4、抗力形のサボニウス風車では0.15程度です。

周速比とは風車翼の先端速度と風速の比を表しています。揚力形の風車では翼先端は風速よりも早く回転でき、抗力形の風車では風速以下でしか回転できません。

ソリディティとは風車の受風面積に対する風車翼の全投影面積の比をとして定義されています。（Fig. 1）

A．ベッツはどのような風車でも最大のパワーを取り出す場合のソリディティと周速比には一定の法則があるとしています。 曲線と曲線の範囲内(影部分）に 入るとしています。（Fig. 2）

（<http://www.globalenergy.jp/product/faq/windpower.htm>）

実は台風等の風速２５ｍ/秒以上の風が吹くと、風車は止まるように設計（カットアウト）されています。現在、世界の様々なメーカーが開発した風車には、２５ｍ/秒以上の風を受けても発電が可能なものもあります。しかし大型台風のように４０ｍ/秒を超えるような風で発電が可能な風車は今のところありません。今、風力発電を開発する人々は、台風や雷等の自然の脅威に対する研究を日々行っているのです

（<http://www.nbskk.co.jp/engineering/solution/wind.html>）

■風力発電の種類

風力発電にはさまざまな種類の風車があります。ここでは、その中で主に利用されている4つの風車を紹介します。

・プロペラ型風車

2002年現在、実用されている風力発電の中でもっとも普及しているのがこのプロペラ型です。三枚の羽が、風を受けその力で回ります。

プロペラ型は、発電効率が良く大型化が可能なので、大きな電力の発電も可能です。大抵三枚羽のものが多く、白い外見が一般的です。発電中に鳥などがブレードにぶつからないように、航空法では赤いランプなどの目印を取り付ければいけないなどと記されています。

　　長所－発電効率がもっとも良い

　　短所－強風の時、騒音がうるさい

　　　　　ブレードでけがをする危険性が高い

・サボニウス型風車

　サボニウス型といっても色々なデザインがあり、全体的に発電効率は全体的にそんなに良くないのですが、設置場所を選ばず、強風時の音も静かなので街中などに設置するには適しているデザインです。

　長所－弱い風でも発電可能

風を切らない構造の為、静寂性が優れている

設置場所を選ばない

　短所－発電効率がプロペラ型より劣る

・ダリウス型風車

　　縦に曲がって伸びた羽が風を受けて回る風車です。このダリウス型は建設するためのコストが低く、さらに風の向きを選ばず、強風の時でも騒音をあまり出さずに回るので都市部などでの発電に向いています。

　　　　長所－騒音が少ない

風向きを選ばない

　　　　　　　コストが低い

　短所－プロペラ型より効率が劣る

・オランダ型風車

　昔からヨーロッパを始めとして粉引き、揚げ水などに利用されてきた風車です。一般的な「風車」のイメージでは、このオランダ型風車を思い浮かべる人が多いと思います。

その他、ジャイロミル形風車・セルフウィング形風車・バドル形風車などたくさんの種類があります。

（<http://www.fun.ac.jp/~kimura/wind/study/wingene/kind-of.htm>）

・気象庁風力階級表（ビューフォート風力階級）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 風力階級 | 開けた平らな地面から10ｍの高さにおける相当風速[m/s] | 状態 | |
| 陸上 | 海面 |
| 0 | 0.0　～　0.2 | 静穏、煙はまっすぐに昇る。 | 鏡のような海面 |
| 1 | 0.3　～　1.5 | 風向きは煙のなびきでわかるが風見には感じない。 | うろこのようなさざ波ができるが、波頭に泡はない。 |
| 2 | 1.6　～　3.3 | 顔に風を感じる。木の葉が動く。風見も動き出す。 | 小波の小さいもので、まだ短いがはっきりしてくる。波頭はなめらかに見え、砕けない。 |
| 3 | 3.4　～　5.4 | 木の葉や細かい小枝が絶えず動き、軽い旗が開く。 | 小波の大きいもので、波頭が砕けはじめる。泡はガラスのように見える。ところどころ白波が現れることがある。 |
| 4 | 5.5　～　7.9 | 砂ぼこりが立ち、紙片が舞い上がる。小枝が動く。 | 波の小さいもので、長くなる。白波がかなり多くなる。 |
| 5 | 8.0　～　10.7 | 葉のある木が揺れ始める。池や沼の水面に波頭がたつ。 | 波の中ぐらいのもので、いっそうはっきり長くなる。白波がたくさん現れる。（しぶきを生じることもある） |
| 6 | 10.8　～　13.8 | 大枝が動く。電線が鳴る。傘はさしにくい | 波の大きなものができはじめる。いたるところで、白く泡立った波頭の範囲がいっそう広くなる。（しぶきを生ずることが多い） |
| 7 | 13.9　～　17.1 | 樹木全体が揺れる。風に向かっては歩きにくい。 | 波はますます大きくなり、波頭が砕けてできた白い泡は、すじをひいて風下に吹き流され始める。 |
| 8 | 17.2　～　20.7 | 小枝が折れる。風に向かって歩けない。 | 大波のやや小さいもので長さが長くなる。波頭の端は砕けて水煙となりはじめる。泡は明瞭なすじをひいて風下に吹き流される。 |
| 9 | 20.8　～　24.4 | 人家にわずかな損害が起こる。（煙突が倒れ、かわらがはがれる） | 大波。泡は濃いすじをひいて風下に吹き流される。波頭はのめり、崩れ落ち、逆巻きはじめる。しぶきのため視程がそこなわれることもある。 |
| 10 | 24.5　～　28.4 | 陸地内部では珍しい。樹木が根こそぎになる。人家に大損害が起こる。 | 波頭が長くのしかかるような非常に高い大波。大きな固まりとなった泡は濃い白色のすじをひいて風下に吹き流される。海面は全体として白く見える。波の崩れ方は、激しく衝動的になる。視程は損なわれる。 |
| 11 | 28.5　～　32.6 | 滅多に起こらない、広い範囲の破壊を伴う | 山のように高い大波（中小船舶は、一時波の陰に見えなくなることもある）。海面は、風に吹き流された長い白い波の固まりで完全に覆われる。至るところで波頭の端が吹き飛ばされて水煙となる。視程は損なわれる。 |
| 12 | 32.6以上 | ― | 大気は、泡としぶきとが充満する。海面は、吹き飛ぶしぶきのために完全に白くなる。視程は著しく損なわれる。 |

・風速の高度分布

ν：地上高ｚにおける風速

：地上高における風速

ｎ：指数法則のべき指数

指数法則のべき指数ｎの値（多くの観測値の平均）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 地表状態 | ｎ | １/ｎ |
| 平坦な地形の草原 | 7～10 | 0.10～0.14 |
| 海岸地方 | 7～10 | 0.10～0.14 |
| 田園 | 4～6 | 0.17～0.25 |
| 市街地 | 2～4 | 0.25～0.50 |

（風力エネルギーの基礎　　牛山　泉　著）

余剰電力が生じた場合の扱いは電力会社との協議となるが、必ずしも自家発余剰電力の扱いを受けられないわけではない

AC-DC変換回路とは、交流電流から電圧の異なる直流電流へと変換するための整流回路（rectifier）の一種である。

電子回路は直流電流を利用するため、交流電流として供給される家庭用電源から給電するためには、AC-DC変換回路を使用して電流を変換する必要がある。AC-DC変換回路は、機器に内蔵されているか、あるいはACアダプタとして外部に付属している。

AC-DC変換回路には、当初はサイリスタ（Thyristor）と呼ばれる半導体素子が用いられていたが、最近ではトランジスタを使用することが一般的になってきている。