



(P.26は事後に中村氏から追加されたシートです (GEN事務局の注記))

「北海道電力の風力発電制限25万kWについて」

中村 和人 (株)KRI

* 多くの資料・図面は、北電・総合エネルギー部会報告書・NEDO報告書等から転載したものです。

<< 風力発電の受け入れ枠15万kWの技術検証結果について(H14.8.28) >>

NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)の「風力発電電力系統安定化等調査」の報告内容及び検証手法に基づき、15万kWの風力発電の出力変動分析と15万kW及びさらに増加させた場合の、

- ・ **出力変動が周波数に与える影響**(短周期周波数シミュレーション)
- ・ **出力変動が需給計画、運用面に与える影響**(長周期需給シミュレーション)

について各々シミュレーションを実施し、連系可能量の評価を行いました。技術検証結果として、当社における風力発電の連系可能量は25万kW(約10万kW増)となりましたのでお知らせいたします。

NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)の「風力発電電力系統安定化等調査」について (概要)

調査内容は、北海道全域を対象として、16サイトに設置した30本の観測ポストにおいて、風況観測を平成12年12月から平成13年11月の1年間実施した。この観測結果から、風況分析と、風速から風力発電出力への変換を行い電力系統に与える影響を調査した。

また、本調査では、風力発電の出力変動分析、系統に与える影響の検証手法なども調査されている。

< 調査結果の概要 >

-1	風力発電の出力変動
	・ 低気圧通過時などは全域で大きな変動が見られる。
	・ 季節毎の変動では冬期が夏期に比べ多少大きい、1日の変動では季節による差は小さい。
	・ 代表的な風力発電出力を用いて、ウィンドファームの合計出力を推定する手法を提案した、など。
-2	大量導入時の風力発電出力変動
	・ 風車の地理的な分布が変わらないとすれば、風力発電出力変動は総設備容量にほぼ比例する、など。
-3	系統に与える影響
	・ 周波数への影響度合は常時の需要変動と風力発電の変動との相対関係で異なる。
	・ 風力発電出力変動のうち長周期の大幅な出力変動は、系統に与える影響が大きい、など。

北電プレスリリース 2003.08.28 3/3(資料全体)

* 北電HPから転載

風力発電データ収集
(平成13年11月～平成14年3月)

特別高圧送電分(12箇所、約12.9万kW)について、オンラインで8秒間隔のデータを収集
高圧送電分(8箇所、約2.7万kW)は、特別高圧送電所発電地点の平均出力として評価

<< 送電および運転状況 >>

風力合計	項目	送電量 (H14年3月末)	運転実績 (H14年3月)
	総出力(単位)	41	42
	送電容量 [kW]	186,765	127,243
	稼働率 [%]	-	27.9

※ 一部の発電所で送電後に発電機の調整等を実施している状況が続き、送電量と運転実績は一致しない。

<< 1.5万kW 稼働検証データ >>
特別高圧送電分のうち、調整中の発電所(2箇所、4.2万kW)については、データ収集ができなかったことから、NEDOの安定化等調査での推定手法を使用して出力を推定し、実測データおよび高圧送電分と合わせて、1.5万kW の検証データとした。

出力変動分析

NEDOの安定化等調査の分析方法に近い、送電量1.5万kWの出力変動を出力変動調整方法に対応する評価時間間隔に分析

<< 変動実績 - 送電量 1.5万kWに対する変動率 >>

評価時間	項目	11月	12月	1月	2月	3月
5分以下	最大 [%]	17.9	19.9	22.0	23.2	18.9
	3σ [%]	14.9	14.9	12.0	14.6	12.4
20分以下	最大 [%]	17.9	40.9	33.9	48.4	31.7
	3σ [%]	11.0	39.2	38.9	38.9	34.2
1時間以下	最大 [%]	49.9	51.9	59.9	49.4	42.7
	3σ [%]	39.9	49.5	42.9	37.7	40.9
24時間以下	最大 [%]	12.9	44.9	45.9	15.2	17.9
	3σ [%]	-	-	-	-	-
1ヶ月未満出力(2σ)	最大 [%]	44.9	45.9	46.5	46.5	42.7
	3σ [%]	118.71	119.71	119.71	119.71	119.21

※ 3σ(3σ程度)を求めたデータの約99.7%がこの値以内となり、統計的な評価を行うための目安)

各評価時間における出力変動は、送電量に対し、5分で1.0%～2.0%程度、20分で2.0%～4.0%程度、1時間では2.0%後半～5.0%程度に平準化されている。

24時間以下の精度では、送電量に対して7.0%～9.5%、時間的には、8～10時間程度に亘る変動となる。なお、出力の月間最大は、送電量の8.7%程度、最小は帯である。

11月～3月の各月で出力の最小値は帯であったことから、風力発電は他の発電所の代替にはならず、火力発電所の燃料を減らすことにはかならないことを確認した。

短期・期間変動シミュレーション

風力発電の短期出力変動による周波数への影響について、NEDOの安定化等調査での手法を適用したシミュレーションを実施し、周波数が運用目標値(50±0.3Hz)以内で運用できるかを検証

<< 送電量 1.5万kWでの周波数変動 >>
送電量 1.5万kWでは、周波数変動の目標値(±0.3Hz)以内で運用が可能。

<< 送電量増加時の評価 >>
送電量を5万kWずつ増加させたシミュレーションの結果、送電量が2.5万kWになると、周波数変動が運用目標値(±0.3Hz)を超えることがあることから、送電量は2.5万kW程度が限度となる。

一般負荷変動(平均30分実データ)
風力出力変動(平均4年11月15日までのデータ)を容量比率で拡大

送電量増加時の周波数変動(50Hz)

送電量増加時の電力変動(50MW)

長期間変動シミュレーション

風力発電の長期出力変動が需給計画・運用面に与える影響について、当社火力ユニット出力調整を模擬したプログラムによるシミュレーションを実施し、出力変動を吸収するための調整力(調整幅、調整スピード)不足が発生しないかを検証

<< 送電量 1.5万kWにおける需給調整 >>
送電量 1.5万kWの変動では、調整力不足は発生しない。

<< 送電量増加時の評価 >>
送電量を5万kWずつ増加させてシミュレーションを実施した結果、送電量2.0万kWで調整力不足が発生する可能性がある。調整力不足は絶対に回避しなければならぬことから、送電量は2.5万kWが限度となる。

送電量増加時の需給調整(50MW)

送電量増加時の電力変動(50MW)

調整力不足量

検証結果

出力変動分析および短期・長期間のシミュレーション結果から、
・1.5万kW送電では、電力品質を低下させることなく対応可能
・送電における送電可能量は、約1.0万kW程度の2.5万kW



25万kW制限の理由(北電)

北海道電力は、昨年2003年8月28日のプレスリリースで、基本的にNEDOの調査プロジェクト「**風力発電電力系統安定化等調査**」をもとにして、現状の15万kW風力発電設備の出力変動や短期周波数変動、長周期需給シミュレーションを行った結果、風力発電設備の連系量限界が、25万kWであると発表した。

おもに以下の2点を理由としている。

- **風力発電設備容量25万kWで、系統の周波数変動が運用目標値の ± 0.3 Hzを超えてしまう。**
- **連系量30万kWで、調整能力が不足する。**



25万kW制限の検証について

A3 - 1枚のデータを添付したプレスにより、詳細についてはNEDO「風力発電電力系統安定化等調査」報告書に委ねている。一方、NEDO報告書は、北海道を主体に調査検討した膨大な報告書であるが、北電プレスには、

15万kW風力発電の収集データについてオンラインで3秒間隔でデータ収集したとあるがこれらのデータが

一部でも公開されていない、あるいは第三者が検証可能な形態で公開されておらず、
短周期周波数シミュレーションのところで1時間の風力発電入力変動波形として記載があるだけである。

過去の周波数変動の実績値と解析値について報告がなく、NEDO手法に委ねる形で25万kW連系時の周波数変動を計算している。

したがって、客観的な解析の信頼性の評価が出来ない。

一般的に、数値解析では解析結果と実際値の突合せにより精度検証を行うのが常識。

周波数変動が重要であれば、なおさら解析の誤差範囲を必要とする。

また、NEDO報告書との対照がされておらず検証困難。



周波数変動許容値について 1 / 3

北電として $\pm 0.3 \text{ Hz}$ の理論的根拠が明確にされていない。

例えば、北海道内の産業構造、周波数変動に影響される産業とその調査データおよびシステムの周波数特性(負荷の周波数特性、主な発電機の周波数特性等)が明確ではない。

これらは電力セキュリティや顧客情報とは無関係と考えられ北電側が情報公開しない理由はないように思われ、逆に説明責任を問われる可能性もある。

周波数変動幅について

2000年7月の電力系統影響評価検討小委員会中間報告書で

「**電動機や制御装置、計算機等、機器自体の動作保証範囲は、概ね基準周波数の1 ~ 5 % (50Hz 系で0.5 ~ 2.5Hz)**」となっている。

また核燃料サイクル機構のホームページ内Q & Aで(<http://www.jnc.go.jp/park/q-a/sin/44.html>)

「鉄鋼業界は『**周波数等変動幅が多少悪化しても特段の影響はない**』」

「通信機械業界は製品について、『**動作保証範囲内であれば特段の問題はない**』」

「**電機の動作保証変動範囲(定格周波数 $\pm 5\%$)を超えると機器の動作が保証できない**」

「**工作機械の機器動作上の変動許容範囲は $\pm 1 \text{ Hz}$ 以内**」



周波数変動許容値について 2 / 3

これらに加えて、昨今の家電製品は、関東関西(50 / 60 Hz)で部品交換の必要のあるものが殆どないことは公知である。また、最近の家電機器はパワー一定型になっており周波数の影響を請けにくいという報告がある。(p.7参照)

METIでは、「新エネルギーの電力系統連系が増加するにつれて電力品質が悪化し、一般需要家へ影響を及ぼす可能性も指摘されています」としているがその理論は成り立たないことになる。

以上を鑑みると、

少なくとも ± 1 Hzの周波数変動は問題がないとみなせるのではないか？

電源直付けのモータにせよ、機械的慣性があり、周波数の微変動がただちに回転数のジッタやトルクむらにつながるとは考えにくい。そのような産業では、あらかじめCVCFインバータやベクトル制御付(トルク制御)VVVFインバータを設けている。現実にこうしたインバータシステムは汎用化され、廉価で量産・販売されている。

微細な鋼板厚みや線材の直径精度が必要な産業では生産設備全体が高精度のトルクベクトル制御付の可変周波数制御システムになっている。



周波数変動許容値について 3 / 3

しかしながら電力系統影響評価検討小委員会中間報告書を出所とすると思われる下記の記述が各所で現れている。

- 周波数変動の影響として化学繊維の糸切れ、糸の太さにむらなどが発生、特に瞬間的な変動の影響が大きい、
- 製紙の紙切れが発生、裁断寸法が狂う等製品製造が不可能、
- アルミニウム製品の厚さにむらやばらつきが発生、
- 石油の不純物が除去されないなど一定の品質の製品ができない可能性がある、
- 自動車の焼入れ、溶接、切削等に不具合が生じ強度等品質に影響する
- これを超えると加工品の品質に影響が生じる

などの指摘があり、電気事業者に対して現在の変動幅の維持が強く求められています。

* <http://www.jnc.go.jp/park/q-a/sin/44.html> より

が、産業別アンケート調査報告書など明確なデータが見当たらず、**実態に則さないのではないか？**

むしろ電圧変動やフリッカ、遮断容量を問題にすべきではないのか？

単体機器(家電機器)の負荷特性の調査

より一層の系統解析精度向上を目指して

Investigation into Load Characteristics of Stand-alone Equipment (Household Electric Appliances)

To further improve the accuracy of power system analysis

(電力技術研究所 システムAG 系統1)

電力系統の安定度解析には負電機や送電線の誘定数と負荷の特性定数が必要である。負荷特性の把握には、系統のある地点から負荷側をまとめてこの応答を測るメタロな解析と、負荷機器個々の特性を測るメタロな解析がある。本研究ではメタロな観点から個々の負荷の単体特性を把握することを目的に、各種家電機器の電圧や周波数変動時の挙動性を調査した。

(Power System Team, System Technology Group, Electric Power Research and Development Center)

In order to perform the stability analysis of an electric power system, the factors of load characteristics are needed. The realization of load characteristics can be divided into macroscopic analysis, in which the response of considered loads is measured from a certain point of the power system, and microscopic analysis, in which the characteristics of load equipment are measured individually. In this study, load characteristics of various household electric appliances with respect to voltage fluctuation and frequency fluctuation were investigated for the purpose of grasping the stand-alone characteristics of individual loads from the microscopic point of view.

1 研究の背景と目的

電力系統の安定度解析に必要なパラメータの多くは負荷特性があり、系統解析精度に影響を与える。近年、インバータを使用した機器が増加する傾向にあり、負荷特性が変化していると考えられるため、最近の負荷特性の実態を解析することは、解析精度の向上にとって重要である。本研究ではメタロな観点から個々の負荷の単体特性を把握することを目的に、各種家電機器の電圧や周波数変動時の挙動性を調査した。

2 研究の概要

家電機器を模擬送電機装置に接続し、①電圧を変化させる、②短絡故障を発生させる、③甲種系統を作成し周波数を変化させる(50Hz～60Hz：60±0.1%)など、色々な電圧・周波数を与えた場合の家電機器の振る舞いを電力計測装置にて測定する。また、測定した負荷の電圧、周波数、電力の実効値から負荷の特性定数を算出する。

3 調査の結果

(1) 電圧特性の調査
電圧を緩やかに変化させたときの電圧、電流、電力を測定した結果から負荷の電圧特性指数を算出した。家電機器ごとに平均値を求めた結果の代表例を第1図、及び、第1表に示す。

(2) 周波数特性の調査

模擬送電機装置にて単機系統を作り、単機系統の周波数を50.0～64.0Hzの間で変化させて、家電機器が消費する電力を電力計測装置にて測定し、周波数特性指数を算出した。家電機器ごとに平均値を求めた結果の代表例を第2図、及び、第2表に示す。

(3) 健全運転可能範囲の調査

模擬送電機装置にて短絡故障を模擬し、瞬時電圧低下を発生させる。その時の家電機器に流れる電流の変化を電力計測装置にて測定すると共に動作をモニタした。なお、電圧低下時間は、0、99.9Vレベルの3段階とし、瞬時電圧低下時に家電機器に流れる電圧は、50V、80V、70Vと10V段階で変化させた。

調査結果のグラフから家電機器の健全運転可能範囲をまとめた結果について、代表例を第3表に示す。

4 まとめ

近年、家電電化製品にインバータが用いられた機器の普及が進んできているため、家庭全体での電圧特性は定電力特性に近づき、電圧変動性が激しくなる方向にあると推定される。また、周波数特性も小さくなる方向にあると推定される。

家電機器に加える周波数を50Hz～60Hzと言う広範囲で測定した結果、機器が停止するような大変化は周波数特性には存在しないことや周波数変化に対して電力はほぼリニアな特性を持つことが分かった。

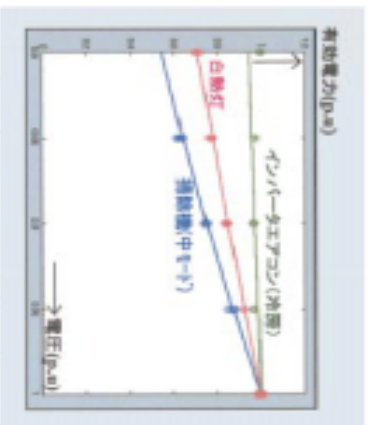
家電機器の周波数特性に関する報告1 / 2 (中電)

家電機器の周波数特性に関する報告2 / 2 (中電)

5 今後の展開

電力系統における負荷の構成状況は年々変化しており、これに伴って負荷特性も変化していくと考え

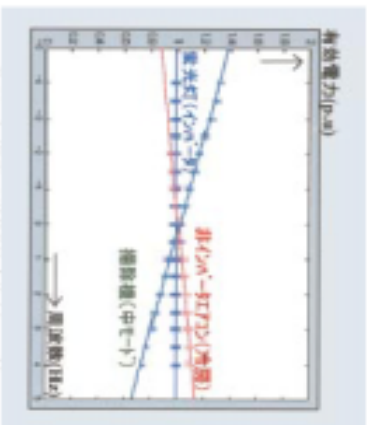
られる。そのため、前述のワタロの負荷特性の把握も現在行っている。今後、総合的な負荷特性の分析を継続的に行いながら、系統解析への適用を図っていく予定である。



第1図 家電機器の電力特性(有効電力)の一例

家電機器名	電力特性係数	有効電力 ap	無効電力 aq
エアコン (インバータ)	0.29	0.18	
冷蔵庫 (インバータ)	0.31	1.07	
洗濯機(インバータ)エアコン(内機)	0.26	0.64	
洗濯機(インバータ)エアコン(外機)	-0.29	0.28	
扇 風 機 (インバータ)	0.02	-0.32	
白 熱 灯 (電 気 ス タ ン ド)	1.94	0.00	
フ ラ イ ナ ー (H o t L o w)	2.01	0.00	
フ ラ イ ナ ー (H o t L o w)	2.19	1.15	
掃 除 機 (中 電)	2.38	1.60	

第1表 家電機器の電力特性



第2図 家電機器の電力特性(有効電力)の一例

家電機器名	電力特性係数	有効電力 ap	無効電力 aq
エアコン (インバータ)	0.02	-0.07	
冷蔵庫 (インバータ)	0.14	0.41	
洗濯機(インバータ)エアコン(内機)	0.17	0.02	
洗濯機(インバータ)エアコン(外機)	2.17	1.22	
扇 風 機 (インバータ)	-0.04	0.34	
白 熱 灯 (電 気 ス タ ン ド)	-0.02	-1.38	
フ ラ イ ナ ー (H o t L o w)	-0.33	0.00	
フ ラ イ ナ ー (H o t L o w)	-0.29	-0.05	
掃 除 機 (中 電)	-1.41	-1.40	

第2表 家電機器の電力特性

(注: $P = V^2 P$, $Q = V^2 Q$)

電圧低下係数(中電)	電圧低下係数(中電)		
	3	0	9
エアコン(インバータ)	○	○	○
冷蔵庫	○	○	○
洗濯機	○	○	○
扇風機	○	○	○
白熱灯	○	○	○
フライナー	○	○	○
掃除機	○	○	○

第3表 家電機器の電力特性(変動率)の一例

電圧低下係数(中電)	電圧低下係数(中電)		
	3	0	9
エアコン(インバータ)	○	○	○
冷蔵庫	○	○	○
洗濯機	○	○	○
扇風機	○	○	○
白熱灯	○	○	○
フライナー	○	○	○
掃除機	○	○	○

第4表 家電機器の電力特性(変動率)の一例

電圧低下係数(中電)	電圧低下係数(中電)		
	3	0	9
エアコン(インバータ)	○	○	○
冷蔵庫	○	○	○
洗濯機	○	○	○
扇風機	○	○	○
白熱灯	○	○	○
フライナー	○	○	○
掃除機	○	○	○

第5表 家電機器の電力特性(変動率)の一例

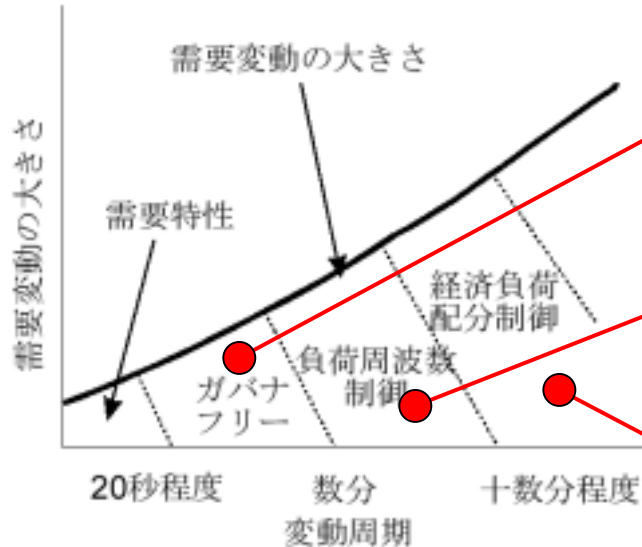
電圧低下係数(中電)	電圧低下係数(中電)		
	3	0	9
エアコン(インバータ)	○	○	○
冷蔵庫	○	○	○
洗濯機	○	○	○
扇風機	○	○	○
白熱灯	○	○	○
フライナー	○	○	○
掃除機	○	○	○

第6表 家電機器の電力特性(変動率)の一例



周波数調整方法

* 図: NEDO「風力発電電力系統安定化等調査」報告書より



需要変動、風力発電出力変動に対する制御分担の概念図

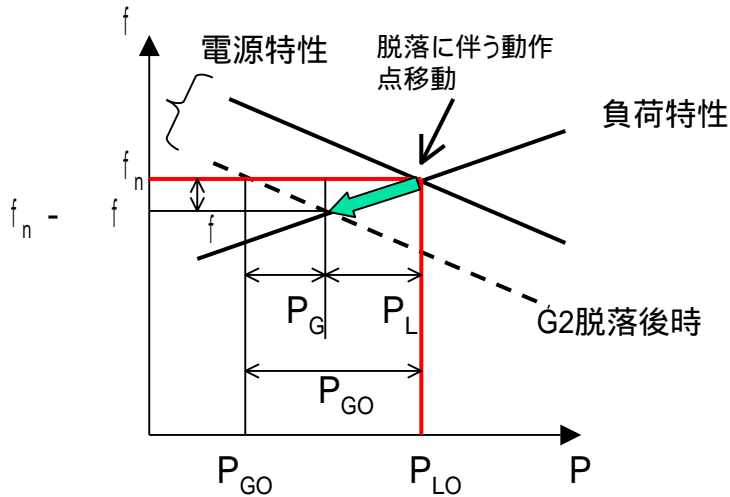
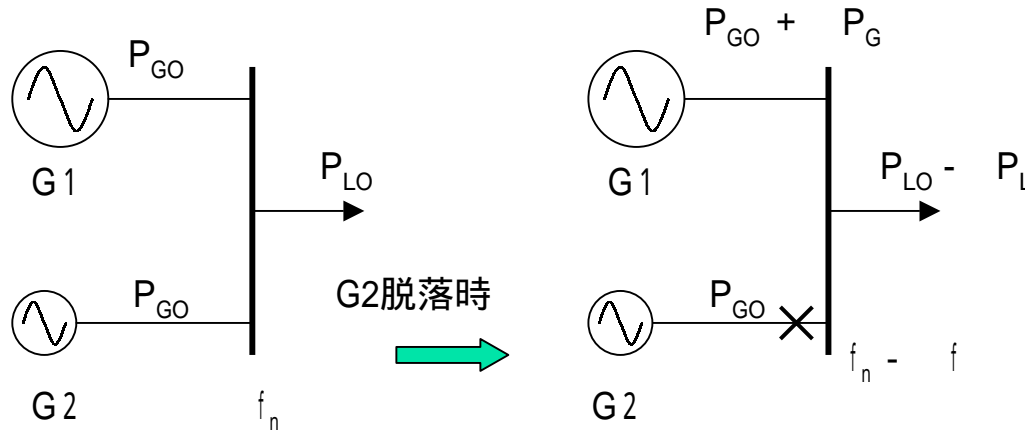
北電のシミュレーションでは、1時間 = 3600秒までのデータが記載されているため、右記でいえばガバナフリー制御の数分以下の短周期成分での周波数変動である。

短周期成分: ガバナフリー運転 = 発電機のガバナ(調速機)において、発電機の入力制限を解除した運転。

LFC制御: 中央給電指令所において系統周波数と基準周波数の差を検出し、系統全体としての発電機出力制御量を設定、さらにこれを水力発電所及び火力発電所に配分する。出力変動幅は、発電機出力の数%程度に制限されている。

経済負荷配分制御: ガバナフリー運転やAFC調整では、大きくかつ持続的な需要変動に対応できないため、中央給電指令所において需要予測を行い、これに応じて最適な運転出力を計算した上、水力発電所及び火力発電所に運転出力信号を送信する。

電源脱落時の周波数変化

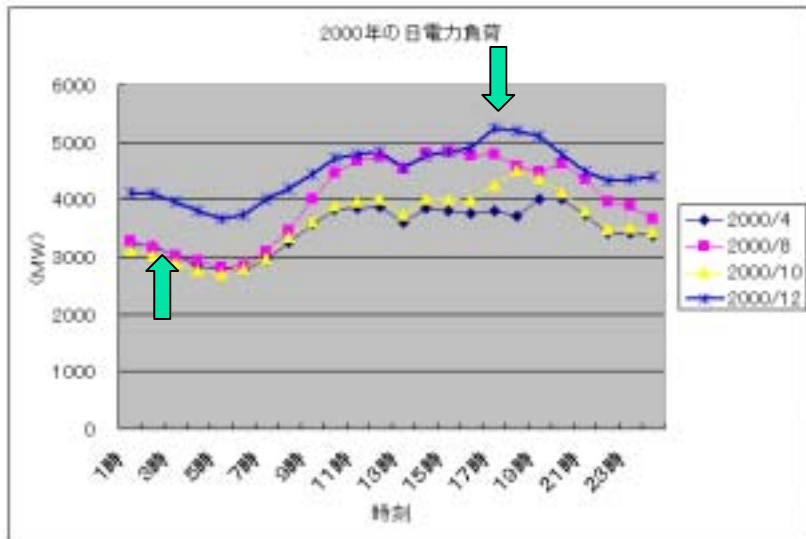


負荷の周波数特性 K_L 、電源(発電機)の周波数特性 K_G とすると、系統周波数特性は、 $K = K_G + K_L$

電源の周波数特性が $3\% / \text{Hz}$ 、負荷の周波数特性が $5\% / \text{Hz}$ のとき、総発電力の 4% の発電機が脱落したとすると

周波数変化は、 $f = - P_{GO} / K = - 4 / 8 = -0.5 \text{ Hz}$ となる。

北電の場合の概略試算



総発電電力を3000MW ~ 5500MWとする。

風力発電電力を250MWとして、それぞれ比率は
8.3%、4.5% である。

仮に北電の電源周波数特性を3% / Hz、負荷周波数特性を5% / Hz とすれば、風力発電フル出力が脱落した時の周波数変動は、 $f1 = - 8.3 / 8 = -1.04 \text{ Hz}$

$$f2 = - 4.5 / 8 = -0.56 \text{ Hz}$$

となる。

これはワーストケースでの計算

総発電電力を3000MW ~ 5500MWとする。

脱落する風力発電出力を250MWの50%とすると、125kWとなり、それぞれ比率は、4.2%、2.3% である。

仮に北電の電源周波数特性を3% / Hz、負荷周波数特性を4% / Hz とすれば、風力発電フル出力が脱落した時の周波数変動は、 $f1 = - 4.2 / 7 = -0.6 \text{ Hz}$

$$f2 = - 2.3 / 7 = -0.33 \text{ Hz}$$

となる。



調整能力不足について

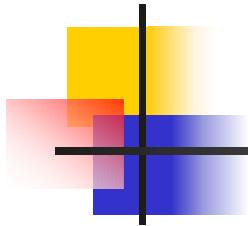
出力変動分析で北電は、

**風力発電出力の最小値が0(無風時)であるので、
火力発電所燃料費削減にしかならず、ベース電力にはならない。**

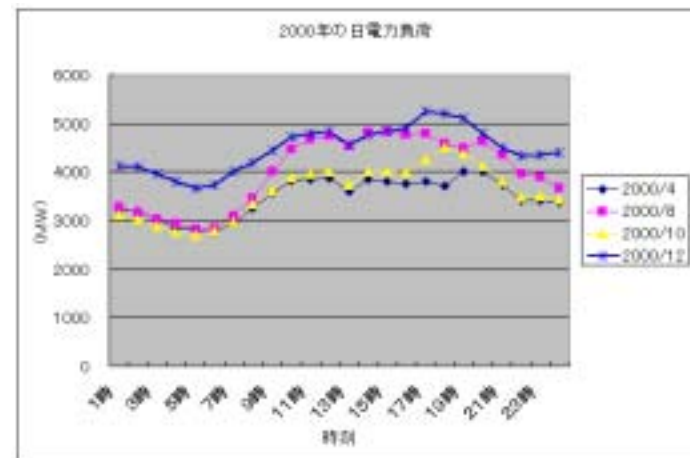
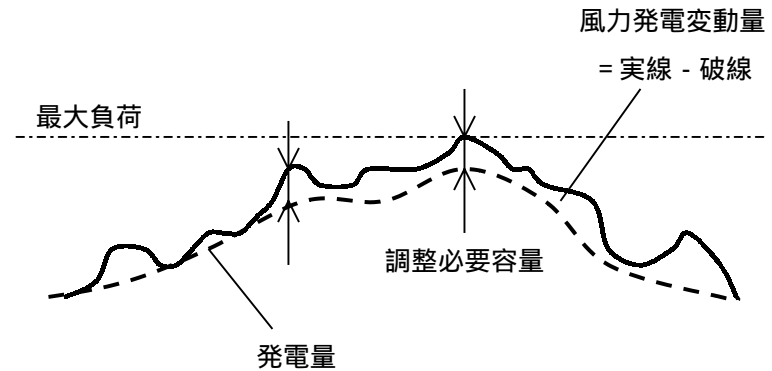
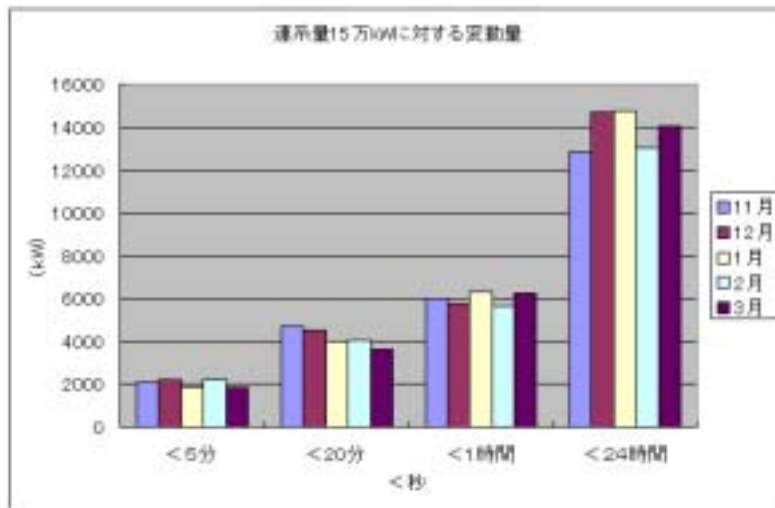
と、主張している。

風力出力の最小値が0になる時に必ずしも需要が最大とは限らない。需要曲線は統計的に予測確率が高く、需要予測と風況予測からの風力出力予測のマッチングで評価すべきである。

11月～3月、冬場の18-21時ごろが、北電にとって最大需要の季節と思われるが、そのデータが明確ではない。



つまり、24時間以内の変動量は、季節に関わらずほぼ1.5MW程度である。P.20の時間負荷変動に対して、風力発電出力変動量がプロットされていないとそれぞれの時間で必要な調整電力量がわからない。

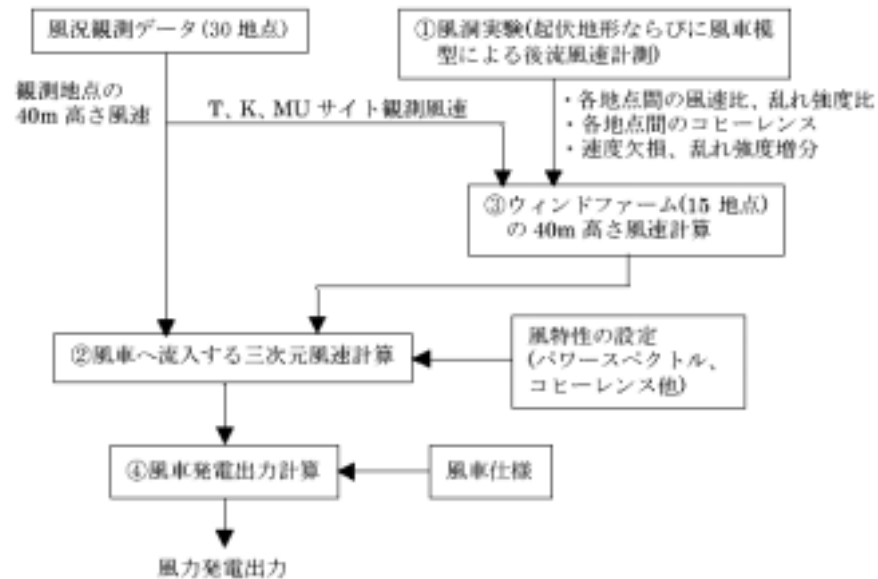


長期需給シミュレーションについて

長期需給シミュレーションでは、総需要実績を2001年12月の24時間データに対して風力出力変動量を連系量5万kWずつ順次増加させてシミュレーションしたとしている。

このシミュレーションは、NEDOのシミュレーションを元にして、風況予測から風力出力を計算したと考えられる。下図は、NEDO報告書の風力出力算出へのフロー図であるが、これに該当する仮定や、数値などがオープンにされておらず、

検証が不可能である。



風力発電出力への換算計算の簡単な流れ * NEDO報告書より転載

風力発電データ収集(プレスリリース資料P.5より)

*北電HPから転載

風力発電データ収集

(平成13年11月
～平成14年3月)

特別高圧連系分(12箇所, 約12.9万kW)について, オンラインで3秒間隔のデータを収集

高圧連系分(30箇所, 約2.7万kW)は, 特別高圧連系発電所地点の平均出力として評価

<< 連系および運転状況 >>

	項目	連系量 (H14年3月末)	運転実績 (H14年3月)
風力合計	箇所数 [箇所]	42	42
	設備容量 [kW]	156,268	127,768
	利用率 [%]	-	27.3

※ 一部の発電所で連系後に機器の調整等を実施している状況が続き, 連系量と運転実績は一致しない。

<< 15万kW 技術検証データ >>

特別高圧連系分のうち, 調整中の発電所(2箇所, 4.2万kW)については, データ収集ができなかったことから, NEDOの安定化等調査での推定手法を使用して出力を推定し, 実測データおよび高圧連系分と合わせて, 15万kWの検証データとした。

風力発電出力変動分析(プレスリリース資料P.5より)

* 北電HPから転載

出力変動分析

NEDOの安定化等調査の分析方法に従い、連系量15万kWの出力変動を出力変動調整方法に対応する評価時間毎に分析

<< 変動実績 ; 連系量 15万kWに対する変動率 >>

評価時間	項目	11月	12月	1月	2月	3月
5分以下	最大 [%]	27.3	29.3	22.1	23.2	18.9
	3σ [%]	14.0	14.6	12.1	14.6	12.4
20分以下	最大 [%]	37.0	41.0	31.0	40.4	31.7
	3σ [%]	31.1	30.2	26.6	26.8	24.2
1時間以下	最大 [%]	48.8	51.6	50.6	49.4	42.7
	3σ [%]	39.9	38.5	42.0	37.7	41.3
24時間以下	最大・3σ [%]	72.8	84.3	85.0	75.2	77.3
< 参考 > 月間最大出力	最大 [%] ([MW])	84.9 (125.7)	85.9 (131.7)	86.5 (132.7)	86.5 (132.7)	82.7 (129.2)

※ 3σ (3σ相当値; 得られたデータの99.7%がこの値以内となる値, 統計的な評価を行うため算出)

各評価時間における出力変動は、連系量に対し、5分で10%~30%程度、20分で20%台~40%程度、1時間では30%後半~50%程度に平滑化されている。

24時間以下の領域では、連系量に対して70%台~85%、時間的には、8~10時間程度に亘る変動となる。なお、出力の月間最大は、連系量の87%程度、最小は零である。

11月~3月の各月で出力の最小値は零であったことから、風力発電は他の発電所の代替にはならず、火力発電所の燃料を減らすことにはかならないことを確認した。

短期周波数シミュレーション(プレスリリース資料P.5より)

* 北電HPから転載

短周期周波数 シミュレーション

風力発電の短周期出力変動による周波数への影響について、NEDO安定化等調査での手法を適用したシミュレーションを実施し、周波数が運用目標値 ($50 \pm 0.3 \text{ Hz}$) 以内に運用できるかを検証

<< 連系量 15万kWでの周波数変動 >>

連系量 15万kW では、周波数偏差の目標値 ($\pm 0.3 \text{ Hz}$) 以内に運用が可能。

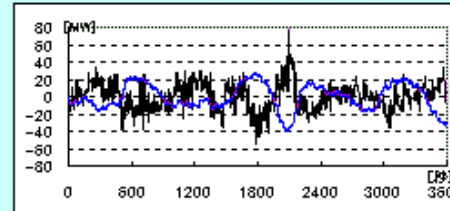
<< 連系量増加時の評価 >>

連系量を5万kWずつ増加させたシミュレーションの結果、連系量が25万kWになると、周波数偏差が運用目標値 ($\pm 0.3 \text{ Hz}$) を超えることがあることから、連系量は25万kW程度が限度となる。

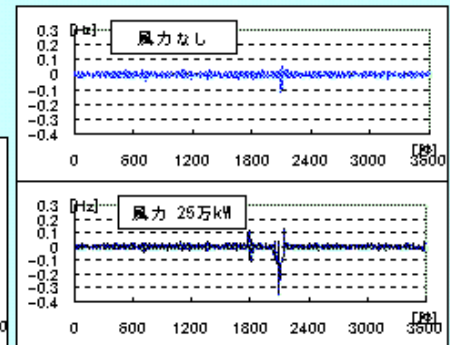
一般負荷変動：平成13年 実データ

風力出力変動：平成14年 2月
15万kW のデータを容量比率で拡大

<入力変動, 風力連系量 25万kW>



<周波数偏差>



長期需給シミュレーション(プレスリリース資料P.5より)

* 北電HPから転載

<p>長周期需給シミュレーション</p>	<p>風力発電の長周期出力変動が需給計画・運用面に与える影響について、当社火力ユニット出力調整を模擬したプログラムによりシミュレーションを実施し、出力変動を吸収するための調整力(調整幅、調整スピード)不足が発生しないかを検証</p>
<p><< 連系量 15万kW における需給調整 >></p> <p>連系量 15万kW の変動では、調整力不足は発生しない。</p> <p><< 連系量増加時の評価 >></p> <p>連系量を 5万kW ずつ順次増加させてシミュレーションを実施した結果、連系量 30万kW で調整力不足が発生する場合がある。調整力不足は絶対に回避しなければならないことから、連系量は 25万kW が限度となる。</p>	<p>総需要実績 : 平成13年 実データ 風力出力変動: 平成13年12月 15万kW のデータを容量比率で拡大</p> <p>総需要実績</p> <p>入力風力変動(連系量 30万kW)</p> <p>調整力不足量</p>

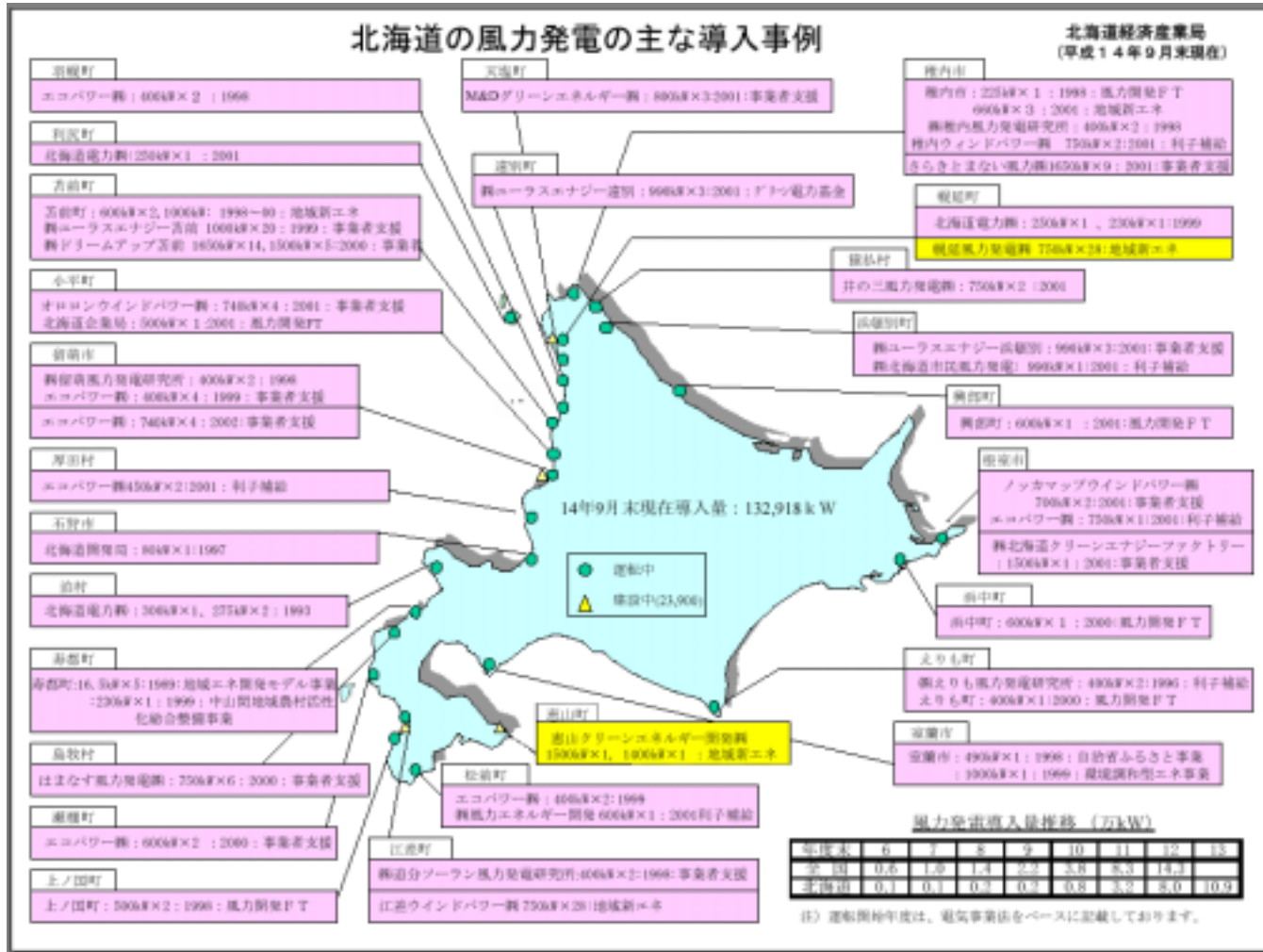
<p>検証結果</p>	<p>出力変動分析および短周期・長周期のシミュレーション結果から、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 15万kW連系では、電力品質を低下させることなく対応可能 ・ <u>当社における連系可能量は、約10万kW増の25万kW</u>
-------------	---

北海道の風力発電設備

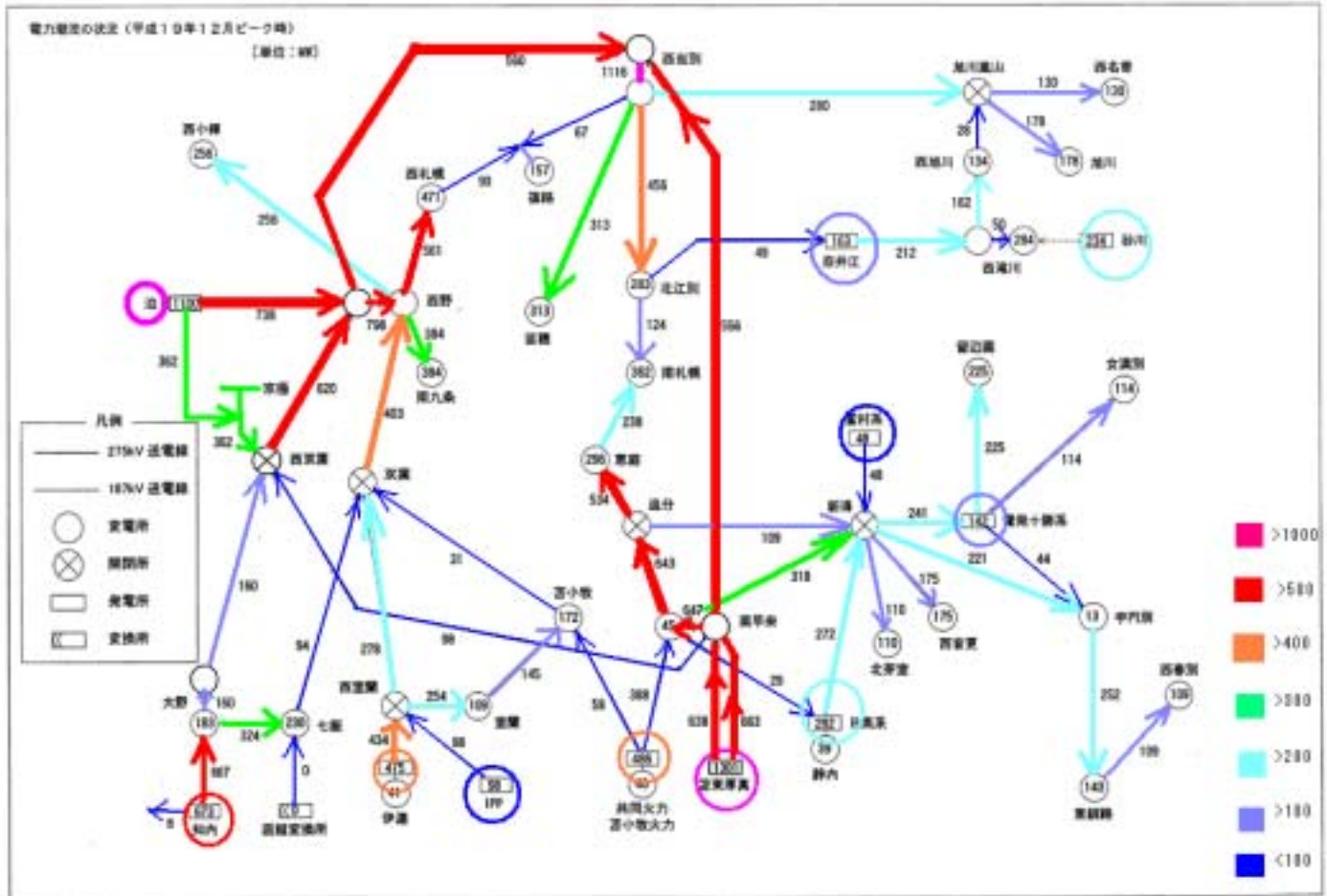
場所	運営	(kW)	基数	容量(kW)
稚内市	稚内市	225	1	225
		660	3	1980
	稚内風力発電	400	2	800
	稚内ウインドパワー	750	2	1500
	さらきとまない	1650	9	14850
猿払村	井ノ三風力	750	2	1500
浜頓別町	ユースエナジー	990	3	2970
	北海道市民風力	990	1	990
興部町	興部町	600	1	600
天塩町	M&Dグリーン	800	3	2400
遠別町	ユースエナジー	990	3	2970
幌延町	北電	250	1	250
		230	1	230
	幌延風力	750	28	21000
羽幌町	エコパワー(株)	400	2	800
利尻町	北電	250	1	250
苫前町	苫前町	600	2	1200
		1000	1	1000
	ユースエナジー	1000	20	20000
	ドリームアップ苫前	1650	14	23100
	1500	5	7500	
小平町	オロソウインドパワー	740	4	2960
	北海道企業局	500	1	500
留萌市	留萌風力研究	400	2	800
	エコパワー(株)	400	4	1600
	エコパワー(株)	740	4	2960

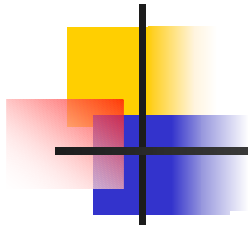
場所	運営	(kW)	基数	容量(kW)
小平町	オロソウインドパワー	740	4	2960
	北海道企業局	500	1	500
留萌市	留萌風力研究	400	2	800
	エコパワー(株)	400	4	1600
	エコパワー(株)	740	4	2960
厚田村	エコパワー(株)	450	2	900
石狩市	北海道開発局	80	1	80
泊村	北電	300	1	300
		275	2	550
寿都町	モデル事業	16.5	5	82.5
		230	1	230
島牧村	はまなす風力	750	6	4500
瀬棚町	エコパワー(株)	600	2	1200
上ノ国町	風力開発FT	500	2	1000
江差町	追分ソーラ	400	2	800
	江差ウインドパワー	750	28	21000
松前町	エコパワー(株)	400	2	800
	風力エネルギー開発	600	1	600
恵山町	恵山クリーンエネルギー	1500	1	1500
		1400	1	1400
室蘭市	室蘭市	490	1	490
		1000	1	1000
えりも町	えりも風力発電	400	2	800
		400	1	400
浜中町	浜中町	600	1	600
根室市	ノッカマップウインドパワー	750	1	750
		700	2	1400
	北海道クリーンエナジー	1500	1	1500
			総計	156817.5

北海道の風力発電実績

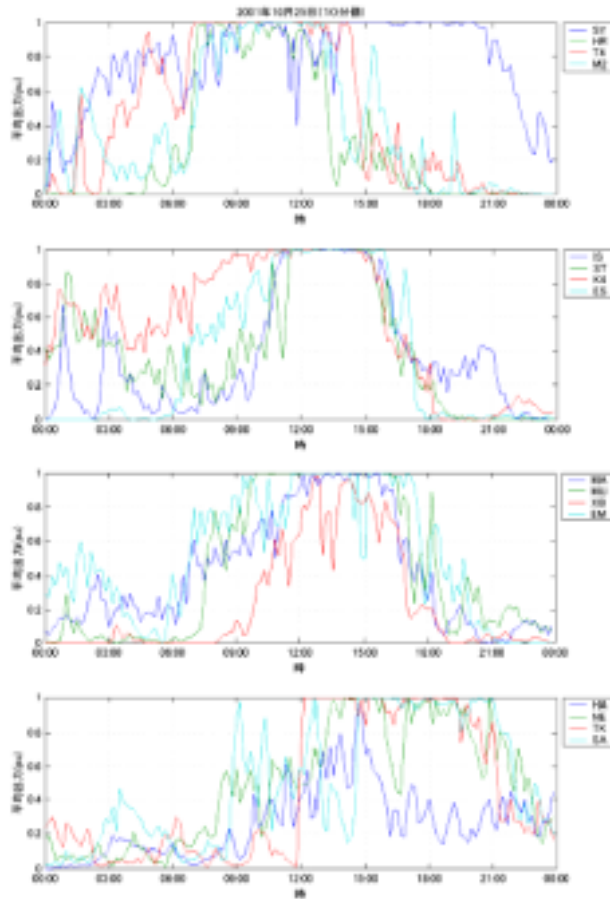


北電の電力潮流の例

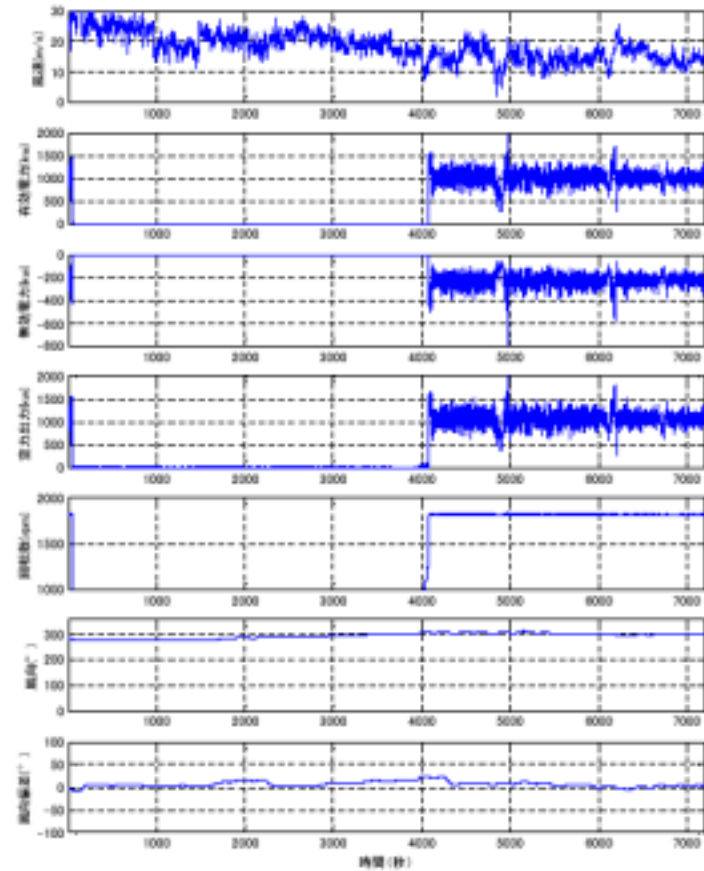




風車出力の例 (NEDO 報告書から)



16サイトにおける出力の変動 (2001年10月25日)



風力発電出力変動：カットアウト+リカバリー
(2001年10月25日、EM地点)



9.12の議論を受けての結論・まとめ

< 周波数変動 >

需要家側、特に一般家庭では周波数変動許容値は、前述のように1Hzオーダーでも問題はないが、主に発電機の技術的問題、一部産業需要家の要求があり、クレームもある。

現状のシステムでは $\pm 0.2 \sim 0.3 \text{ Hz}$ はやむを得ない。

< 周波数変動概算 >

北海道で風力25万KWを連系した場合、風車出力が全て解列するという極端なワーストケースの簡易計算で、 $-0.33 \sim -0.6 \text{ Hz}$ の周波数低下となった。

< 風況予測 >

風車の多い北海道に限らず、日本の地形は風の予測の難易度が高く、特に地域差はない。

< 連系線の調整電力としての利用 >

今回、議論は先送りにしたが、文献・報告書によれば、北本連系線のDC/AC変換装置の周波数調整能力を利用できるが、『本来、電力事業者間の緊急的融通が主たる目的』であり調整能力には入れられない。また、逆に『東北電力側の調整能力が減少する』という記述もあった。