

新エネルギー系統影響の全体像

駒見 慎太郎^{*1} 山岸 良雄^{*2}

はじめに

新エネルギー (Renewable Energy, RE) 大量導入が現実味を帯びてきたにもかかわらず、RE 系統影響の理論的説明は未だ十分にはなされていない。本論文では電力系統に生じる好ましくない物理現象を、RE 大量導入の悪影響を受けるか否かという観点から精査し、RE 系統影響、その原因 (あるいは緩和要素)、および対策として、重複を含め 39 項目を抽出した。その中の今日なお広く理解されていない 23 項目の中から今までの研究成果を紹介する。

複数の RE の遅い変動は同期し、速い変動はランダムであることがわかった。供給予備力は周波数調整力よりも RE 大量導入の影響を深刻に受けることがわかった。電圧・同期・振動安定度は誘導機負荷、負荷端子に至るまでの流通経路のリアクタンス、および RE の設計に影響されることがわかった。RE の故障乗り切り (Fault Ride Through, FRT) および動的電圧支持 (Dynamic Voltage Support, DVS) 能力は系統影響緩和に顕著な貢献を示すことがわかった。RE 単独系統は、誘導機

負荷を考慮すると、考えられてきた以上に深刻な問題である。

今後の RE 対応として、第一に RE 系統影響の全体像を理解すること、第二にトータルシステム設計を最適化すること、第三に関係者の利害調整をすることが必要である。そうすれば「スマートグリッド」は自ずから完成し、同時にそれが何であるかもわかるだろう。

1. RE 系統影響

著者らがこれまでの研究で得た新エネルギー (新エネ, Renewable Energy, RE) の系統影響の項目、原因 (緩和要素)、対策を Table 1 に示す。39 項目あり、太字で示す 23 項目は未だ広く知られていない。新エネ大量導入に際して系統影響を網羅的に把握することは不可欠ゆえ、広く知られていない項目を以下に順次解説する。

2. 相互平滑化効果⁽¹⁾

ならし効果ともいう。広範囲に分散する新エネの変動が相互に平滑化され総合変動が各変動の算術和より小さくなることは知られているが、大量

Table 1 RE の系統影響一覧表

地理的規模	系統影響	原因 (緩和因子)	対策	理解度
大 1000km	需給不平衡 周波数逸脱 必要調整力増加 必要予備力増加	RE の出力変動 (RE 出力の相互平滑化)	蓄電池 蓄電池 LFC RE の出力抑制	不十分
		RE の一斉解列 (一部負荷停止)	RE の不要解列防止 (=FRT)	
中 100km	電圧崩壊 同期外れ 振動拡大	モーター負荷 負荷までの流通経路	SMES RE の FRT 機能 RE の DVS 機能 高速・強力な励磁装置	乏しい
	周波数不安定	水撃作用 RE の DVS RE の単独防止機能	Δf 型 PSS 蓄電池ガバナ	
小 10km	電圧逸脱	RE の出力変動	SVC RE の進相運転	不十分
	単独系統	局所的需給平衡 モーター負荷 (モーター負荷)	RE の単独防止機能 転送遮断 強制接地短絡 RE の進相運転	

*1 技術開発研究所

*2 技術開発研究所 電力品質チーム

導入時の総合変動を予測しうる理論はまだない。他方、Table 2 に示す同期 (Coherent) 仮説、ランダム (Random) 仮説に従う新エネの出力変動は予測可能であることがわかっている。もし現実の新エネの出力変動がこれらの何らかの合成で表現できるなら、大量導入時の総合変動が予測できる可能性がある。

Table 2 同期仮説とランダム仮説

仮説	同期	ランダム
相互平滑化効果	ない	最大限に発揮
複数 RE の総合変動	算術和	ピタゴラス和
大量導入 RE の総合変動	容量に比例	容量の $\sqrt{\quad}$ に比例

(1) 周期的変動

系統の LFC (周波数調整) 能力に影響するのは主に 1 時間周期より速い変動であり、FFT (Fast Fourier Transform) 手法により分析されている。しかし FFT の結果は Fig. 1 に示すように速い変動でのデータ量が膨大になり、多数の新エネを対象とする分析に適さない。そこで 1/10 decade 法を用いる。これは対数軸上で 10 倍の周波数を 10 等分した帯を設け、帯内に含まれる変動成分の 2 乗和を保存するものである。「 $1/f$ ゆらぎ」に従うといわれる自然界の変動が平坦になることから 1/10 decade 法 (1/3 octave 法ともいう) は音楽分野で好んで用いられている。

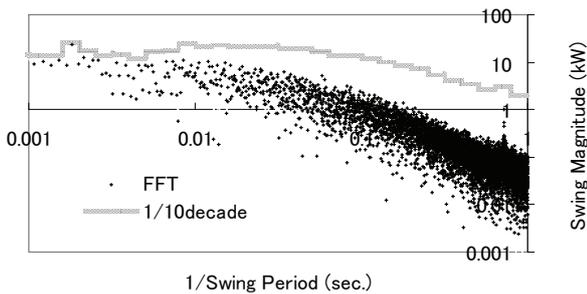


Fig. 1 FFT and 1/10 decade method

現実の風力 3 サイトの周期的変動を Fig. 2 に示す。24 時間周期より遅い変動は同期仮説に従い、それより速い変動はランダム仮説に従うようになる。両者を滑らかにつないだ遷移 (Transfer) 仮説は現実をよく説明しており、新エネの系統周波数変動、LFC 調整力への影響を予測できる可能性がある。

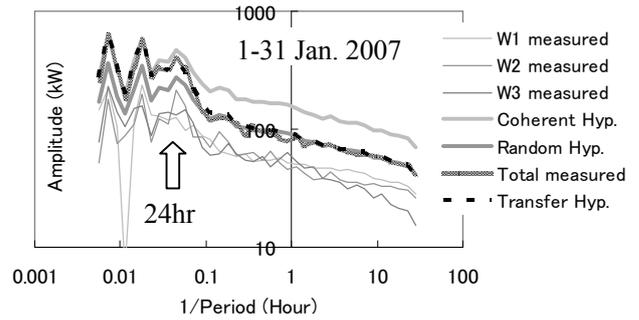


Fig. 2 Coherent, Random and Transfer Hypotheses

(2) ステップ/ランプ変動

系統の予備力・下げ代に影響するのは数時間にわたりステップ状あるいはランプ状に増減する変動であり、これには FFT 分析は適さない。そこでまず Fig. 3 の方法により時間幅 T_w における増減: ΔP を求める。グレーの 2 つの窓をデータの刻み時間単位に平行移動しながら増減を算出する。この方法はステップ/ランプ変動の本質に忠実であり、データ数がほとんど減らないという美点がある。

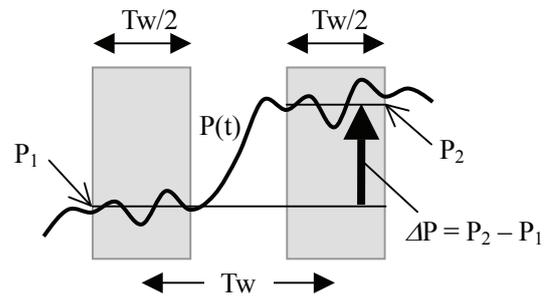


Fig. 3 Time Span and Step/Ramp Increase/Decrease

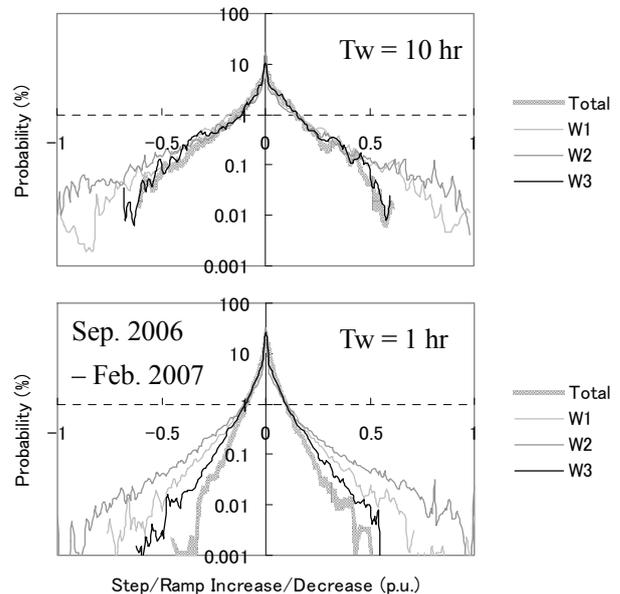


Fig. 4 Probability of Increase/decrease Magnitude

同じ風力3サイトの観測から増減の大きさとその出現確率の関係が Fig. 4 のように算出できる。時間幅 10 時間の遅い増減は総合変動も各サイトの変動も大差ない。これは各サイトの変動が同期に近いことを意味する。逆に時間幅 1 時間の速い増減は総合変動の方が小さくなる。これは各サイトの変動がランダムに近いことを意味する。

様々な時間幅について、例えば確率 95.44% (2σ 相当) でこれ以上大きな変動がないといえる最大増減量を求めることにより、Fig. 2 と同様な表現が可能である。結果を Fig. 5 に示す。遅い増減の総合は各サイトの増減の合計の 83% にしかない。その理由はまだわからない。時間幅 6.6 時間あたりまでの遅い増減は概ね同期仮説 (の 83%) に従い、それより速い増減はランダム仮説に従うように見える。

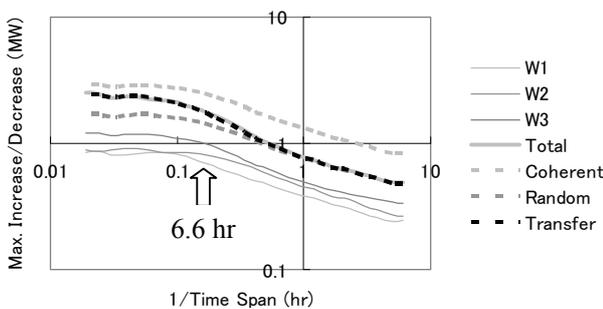


Fig. 5 Maximum Increase/Decrease of Various Time Span

(3) 大量導入時の問題

周波数調整に影響する速い変動は導入規模の平方根に比例して増大し、予備力・下げ代に影響する遅い増減は導入規模に比例して増大するとすれば、新エネ大量導入にあたって問題となるのは周波数調整よりむしろ予備力・下げ代の方であろう。下げ代については新エネの出力抑制という方法がある。他方、蓄電池などで一時貯蔵するという方法もある。選択は経済性で決定してもよいのではないか。

3. 負荷の実態⁽²⁾⁽³⁾と系統縮約⁽⁴⁾

(1) 負荷の実態

電力系統のふるまいが負荷の特性に大きく影響されることはよく知られているが、負荷の特性そのものはよく知られていない。新エネ、特に太陽光は負荷近傍に立地することが多いので、負荷の実態を知ることが重要であろう。大きな擾乱に対

する負荷応答は瞬時電圧低下 (瞬低) があつたときの電圧 V 、有効電力 P 、無効電力 Q を観測すればよいのだが、観測点 (多くは一次変電所の 66kV 級母線) から負荷端子に至る経路の少なくともリアクタンス X (ピーク需要ベースで大略 17%) くらいは考慮することが重要である。分析には 1998 年から 2008 年 3 月までの北陸地域で観測した瞬低 594 事例を用いた。

まず、一部負荷停止である。Fig. 6 に示すように深さ 20% までの浅い瞬低では負荷はほとんど停止しない。非常に深い瞬低では負荷の 30% 程度が停止する。

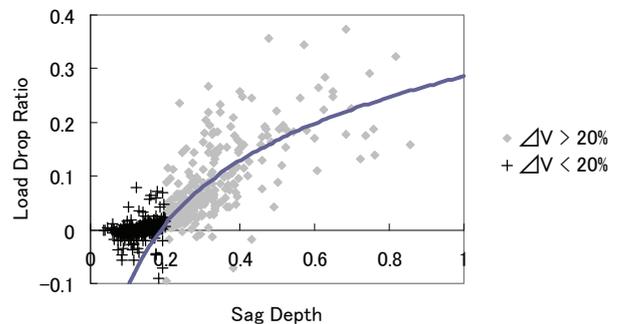


Fig. 6 Load Drop Ratio as Affected by Sag Depth

負荷を最も動的な要素である (交流で直接駆動される) 誘導機 (IM) と最も静的な要素である抵抗器の混合と仮定し、誘導機比率 (誘導機の消費電力が負荷の消費電力に占める割合) を求める。瞬低の観測で得られるのは瞬低後、つまり一部負荷停止後の誘導機比率であり、Fig. 7 に示すように瞬低による負荷停止率に大きく左右される。ここで、瞬低で停止するのは抵抗器のみと仮定して瞬低前の誘導機比率を推定してみたところ、負荷停止率に大きく左右されなくなり、最初の仮定は現実的と判断できる。現実には、多くの低圧誘導機の保護にはモーター・ブレーカーが用いられており、これらは瞬低で停止しない。

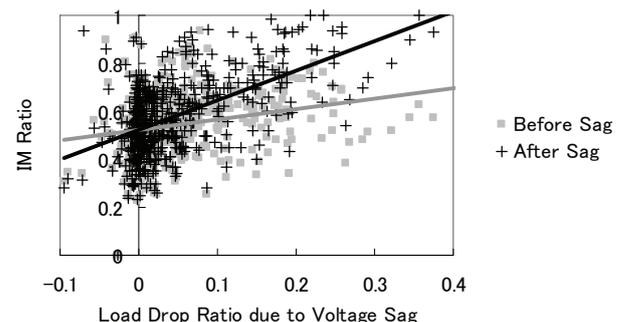


Fig. 7 IM Ratio before and after Voltage Sag

こうして得られた瞬低前のモーター比率の推定値は、季節、需要の高低に影響されるであろう。その様子を Fig. 8 に示す。夏季と冬季では少し様相が違うが、ピーク需要時においては大略 50%強が誘導機負荷である。よって以下の解析、シミュレーションでは負荷を誘導機 50%と抵抗器 50%の混合で模擬する。

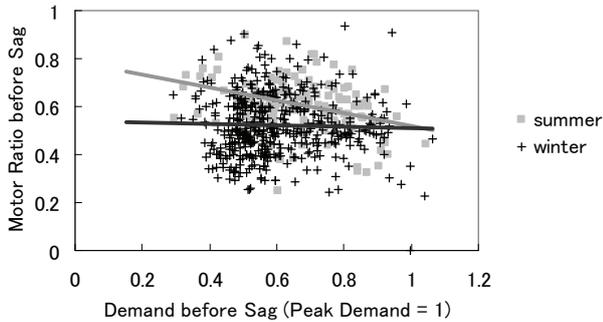


Fig. 8 IM Ratio as Affected by Season and Demand

(2) 系統縮約

観測点から負荷端子までのリアクタンス X は、純負荷系統だけでなく、発電・負荷が混在する部分系統においても重要である。こういう部分系統の多くは下位系統であり、外部系統ともども計算結果に大きく影響しないため、系統縮約 (Aggregation) という技法で 1 発電機と 1 負荷に縮小した縮約モデルとして表現されることが多い。系統縮約はシミュレーションに要する時間の節減とデータ整備の手間や誤りの防止に一定の効果があるため、広く用いられている。

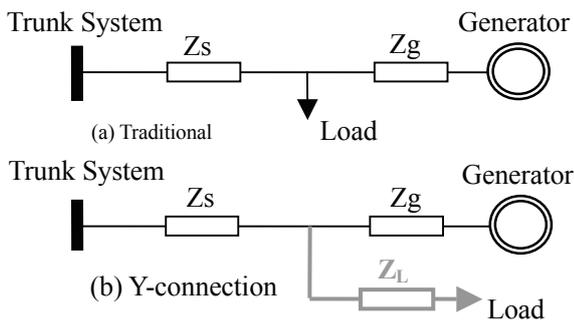


Fig. 9 Traditional and Y-connection Aggregation

従来の縮約手法 (伝統法, Traditional) は Fig. 9 (a) のように負荷を基幹系統と縮約発電機の間直付けしてきた。これでは負荷までのリアクタンス X が考慮されない。そこで同図(b)のように表現し、これを Y 結線法 (Y-connection) と称する。これ

により負荷までのリアクタンス X の考慮が可能になる。以下の解析、シミュレーションでは、特に断らない限り、Y 結線法を用いる。

4. 電圧崩壊⁽⁵⁾

電圧崩壊には変圧器タップ制御の不安定による遅い電圧崩壊と誘導機負荷のストール (減速したまま戻らない現象) による速い電圧崩壊があり、新エネに主に関係するのは後者である。速い電圧崩壊に至るか否かは瞬低直後の誘導機負荷の回転数において加速トルクが正か負かで判別できる。

例題として 2 回線送電線で受電する純負荷の一次変電所をとりあげる。1 回線が 3 相短絡で停止する。瞬低で全負荷の 30%が停止する (但し誘導機は停止しない)。新エネなしの場合の電圧安定性を Fig.10 に示す。誘導機の回転数は瞬低前の 0.977 から 0.877 に低下しており、負荷 0.40GW までは瞬低直後の加速トルクが正ゆえ安定である。このとき基幹系統から負荷に至る流通経路のリアクタンス全部を考慮する必要がある。

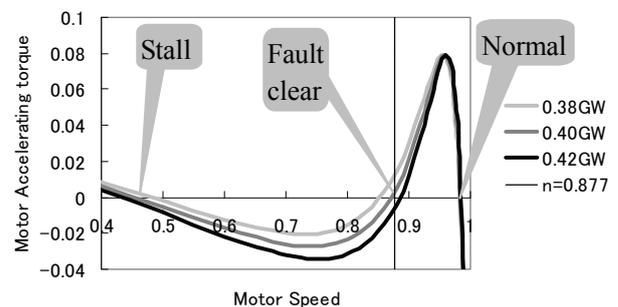


Fig. 10 IM Accelerating torque as affected by load amount

RE の設計として次の 3 種類を想定する。

- Drop 型は瞬低で停止する。
- FRT (Fault ride-through) 型は瞬低で停止しない。
- DVS (Dynamic voltage support) 型は瞬低で停止せず、瞬低後の系統電圧回復を支援する。

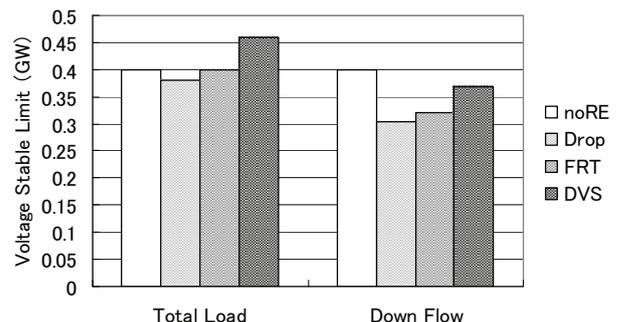


Fig.11 Voltage Stability Limit as Affected RE Design

新エネは負荷の 20% に供給している。電圧安定限界を Fig. 11 に示す。負荷総量という観点からは DVS 型が効果的である。しかし新しい試みとして故障前の下り潮流（負荷総量－新エネ発電量）という観点から見ると DVS 型といえども新エネなしの場合に及ばない。即ち、新エネ発電量を把握せず下り電力潮流だけで管理することは危険である。

5. 同期外れ⁽⁶⁾

誘導機負荷を模擬する場合、同期外れ現象は同期発電機だけで考えることはできず、誘導電動機との相互作用として考えねばならない。発電機と誘導機負荷は、系統電圧低下を共通項にして互いに不安定（同期外れとストール）を助長しあう。新しい試みとしてこれを Fig. 12 のように表現してみた。発電・負荷が混在する系統ではもはや従来の電圧安定度と過渡安定度を別個に扱うことはできず、同期発電機と誘導電動機という代表的な 2 種類の電気機械の相互作用としての「速い不安定現象」として扱う必要がある。

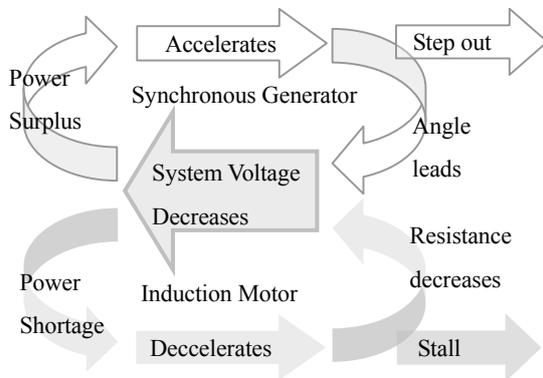


Fig. 12 Mutual Instabilization of Generator and Motor

負荷に至るまでの流通経路を全部考慮することも重要である。Fig. 13 に伝統的縮約法と Y 結線法で描いた発電機の電力－位相曲線を示す。誘導機負荷を意識して負荷内部抵抗を 100%（故障前）、80%、60%と変えてみた。伝統法では負荷内部抵抗の低下につれて発電機出力が増加するので同期外れしにくくなる。逆に Y 結線法では負荷内部抵抗の低下につれて発電機出力が減少するので同期外れしやすくなる。よって伝統法はリスク見逃しの危険があるので注意を要する。

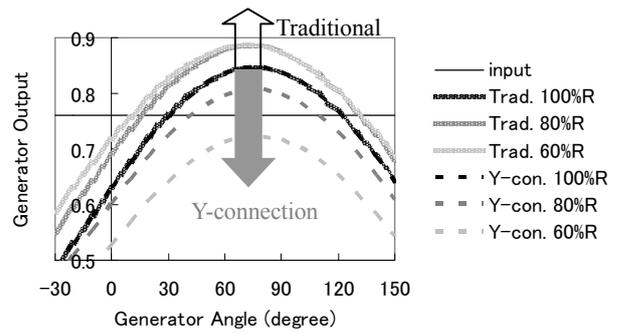


Fig. 13 Generator's P-δ curves as Affected by Aggregation

前章と同じ 3 種類の新エネを導入し、負荷の 20% に供給する。一部火力を停止する。基幹系統の 1 回線 3 相短絡故障停止、一部負荷停止を模擬したときの同期安定度を、新エネなしの場合と比較した結果を Fig. 14 に示す。Drop 型では同期外れに至り、DVS 型では安定化される。

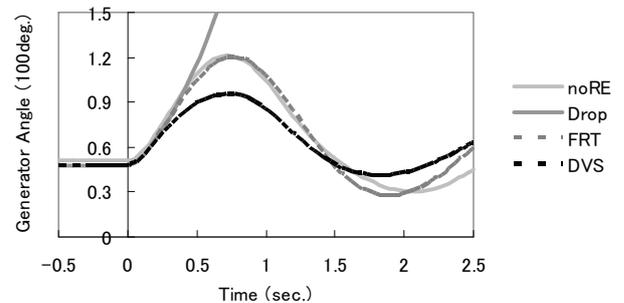


Fig. 14 Synchronous Stability as Affected by RE Design

同期外れは大系統へ送電する部分系統（送電系統）に生じるものとされているが、大系統から受電する部分系統（受電系統）でも誘導機のストールが発生し、Fig. 12 の機構により同期外れが生じうることに注意する必要がある。また、発電機が加速する同期外れ（加速脱調）の他に、場合によっては発電機が減速する同期外れ（減速脱調）が生じうる⁽⁷⁾。

高速かつ強力な励磁装置は、発電機自身の出力を大きくするとともに、負荷の電圧回復を支援するので、送電系統、受電系統の双方において効果的である。

6. 振動拡大⁽⁸⁾

これは送電線 1 回線が故障を伴わずに停止するなどの軽微な擾乱により電力系統に振動が発生し、拡大し、最後には電圧崩壊や同期外れに至る現象である。持続振動の観測例を Fig. 15 に示す。この

事例は火力発電機の横軸過渡リアクタンス Xq' 、時定数 Tq' を無視した伝統的発電機モデルでは再現できなかった。 Xq' 、 Tq' を考慮すると横軸回転子電流が塊状回転子表面に流れる渦電流（制動力の源泉）と大ループ電流（制動力に寄与しない）に分流する。よってこれら無視した伝統的モデルでは制動力を不当に高く見積もってしまう。伝統的発電機モデルは今日でもなお使われているので注意を要する。

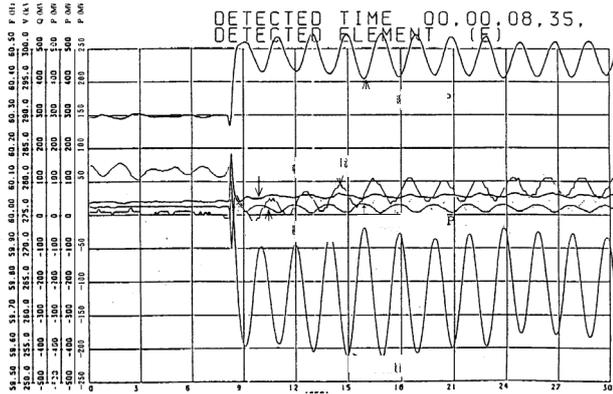


Fig. 15 Oscillatory Instability Observed in 1985

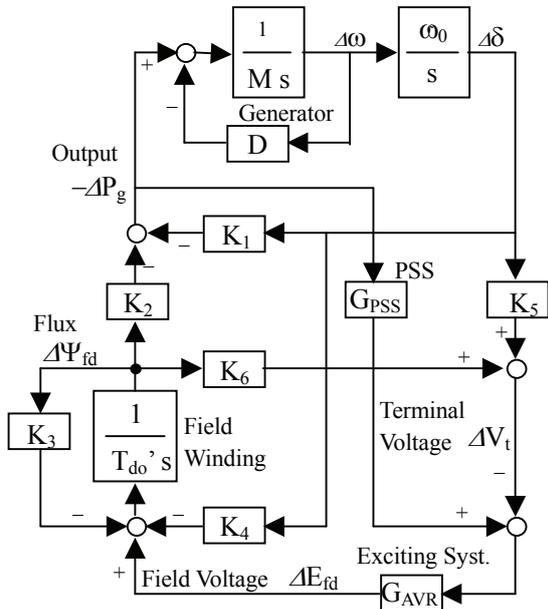


Fig. 16 Demello's Block Diagram

振動拡大現象は Fig. 16 に示す Demello のブロック図⁽⁹⁾でよく表現される。Demello の係数 K_1 から K_6 は負荷の有効・無効電力の電圧感度に影響される⁽¹⁰⁾。今回、新しい試みとして、誘導機負荷単体の電圧感度を調べた。負荷運転時の消費電力

有効電力 : $P1$ 無効電力 $Q1$

を、無負荷時の消費電力

有効電力 : $P0$ 無効電力 $Q0$

と、機械的負荷が加わったことによる増加分

有効電力 : $P1 - P0$ 無効電力 : $Q1 - Q0$

に分解する。これら 6 個の要素を、電圧を変えて計測、計算した結果を Fig. 17 (両対数軸) に示す。 $P0$ は電圧の 2 乗に比例し、 $P1 - P0$ に比べて十分小さく、無視しうる。 $Q0$ も電圧の 2 乗に比例するが、通常は（これも電圧の 2 乗に比例する要素である）補償コンデンサにより、電圧の如何にかかわらずキャンセルされ、無視しうる。残る $P1 - P0$ は電圧の 0 乗に比例する定電力特性を示す。 $Q1 - Q0$ は電圧の -2 乗に比例する（同図では -3 乗に近く見える）。これがコンデンサで補償された誘導機負荷の実態と考えられる。

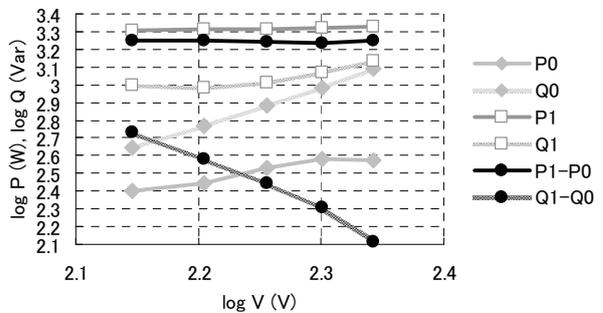


Fig. 17 Voltage Sensitivity of Induction Motor Load

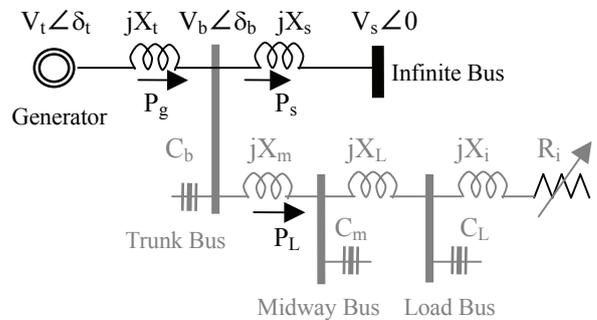


Fig. 18 Realistic Partial System Model

現実的な部分系統モデルの構造を Fig. 18 に示す。負荷母線 (Load Bus) における負荷の電圧感度はコンデンサ補償つき誘導機と抵抗器の混合比率で決まる。これから直列リアクタンス、並列コンデンサを考慮して中間母線 (Midway Bus)、系統母線 (Trunk Bus) から見た負荷の有効・無効電力の電圧感度 Kp 、 Kq が計算できる。結果 (送電系統の例) を Fig. 19 に示す。注目すべきは系統母線から見た負荷無効電力の電圧感度 Kq が大きな負値をとることである。これは中間母線に配備さ

れる大量のコンデンサによるものであり、系統電圧低下⇒無効電力不足⇒系統電圧低下という悪循環を意味する。この悪循環が甚だしい場合には系統の電圧維持能力で支えきれなくなり、振動拡大が生じうる。

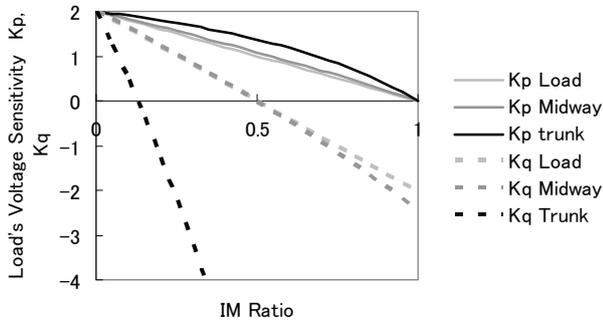


Fig. 19 Load's Voltage Sensitivity Seen from Various Bus

送電系統の場合、こうして求めた負荷の電圧感度を用いて Demello の係数を計算すると Fig. 20 のようになった。他の要素もあるので正確ではないが、係数が負になると不安定になりやすい。誘導機比率が低い場合でも負になっているのは K_5 である。これによる負制動が発電機自身の制動力 D を上回ると振動拡大となる。これは普通に見られる電力動揺モードの振動拡大現象である。

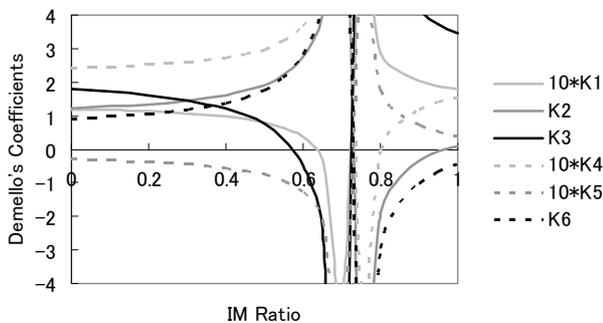


Fig. 20 Demello's Coefficients of Power Sending System

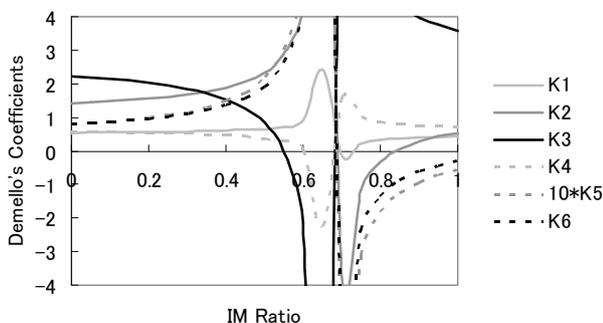


Fig. 21 Demello's Coefficients of Power Receiving System

振動拡大は送電系統固有の現象と思われているが、誘導機負荷を考慮すると受電系統でも発生し

うる。負荷の電圧特性は受電系統でも Fig. 19 とほとんど変わらない。他方、Demello の係数は Fig. 21 となり、送電系統とは様相が異なる。誘導機比率の増加につれて最初に負になるのは K_3 である。これは発電機単体では系統電圧を支持しきれなくなる現象で、励磁装置の助力が必要となる。しかし励磁装置の感度が低く遅れが大きい場合には振動拡大となる。これを電圧モードの不安定とよぶことがある。

Fig. 20, Fig. 21 では誘導機比率 70% 付近に特異点がある。これは今回の発見で、新たな研究課題になるかもしれない。

高感度、高速の励磁装置に PSS (系統安定化装置) の組み合わせは送電系統の振動拡大抑制に非常に効果的であることは広く知られているが、受電系統でも効果的である。

送電系統において前章までと同じ 3 種類の設計の新エネを導入し負荷の 20% に供給する。一部火力を停止する。振動拡大では大きな瞬低を模擬しないので、一部の負荷も Drop 型の新エネも停止しない。結果的に Drop 型も FRT 型も同じになる。結果を Fig. 22 に示す。Drop 型、FRT 型では新エネなしの場合と同程度の安定性を示し、振動は拡大傾向にある。DVS 型では振動はよく制動されている。

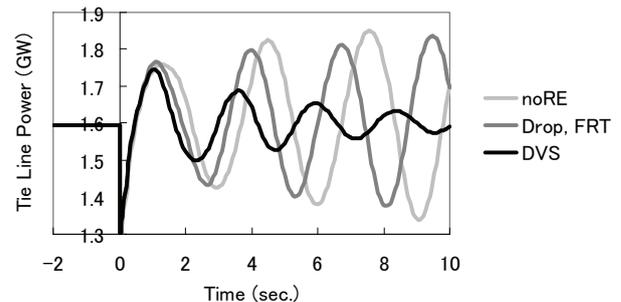


Fig. 22 Oscillatory Stability as Affected by RE Design

7. 電圧逸脱

新エネ出力増による配電線規模の局所的電圧上昇問題に対しては SVC などの追加機器の必要性を説く記事が多い中、新エネの進相運転が効果的との報告は、少数ながらある。ここでは少数派の補強として、10km という非常に長い配電線の末端側 60% で日射が急増し、配電線全体で太陽光発電が需要を若干上回ったという極端な場合を想定してみる (Fig. 23)。

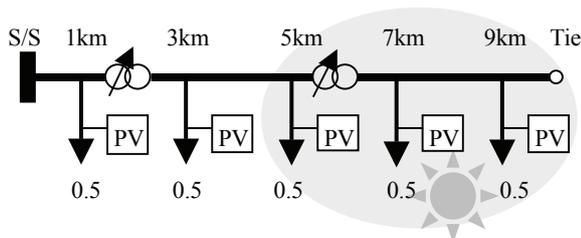


Fig. 23 a Very Long Distribution Line with PVs

現在の標準的新エネ設計では、有効電力出力 P の如何にかかわらず、無効電力出力は $Q = 0$ に制御される。その代替案として $Q = -0.3P$ という進相運転を想定してみる。この配電線末端の電圧を計算した結果を Fig. 24 に示す。 $Q = 0$ では末端電圧が極度に上昇し、根元の電圧を上回る。電圧が上昇すると新エネが出力抑制されるという問題を生じる。これが新エネを有する需要家からの苦情となっている。

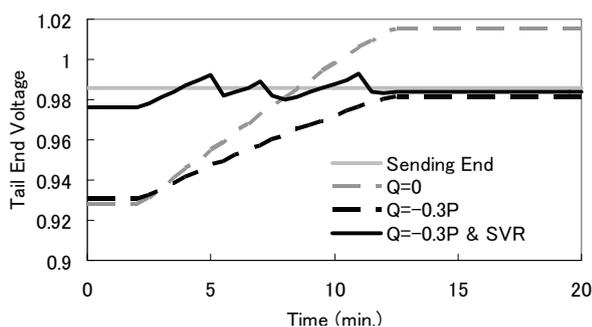


Fig. 24 Voltage Profile at Tail End as Affected by RE Control

他方、 $Q = -0.3P$ の進相運転では末端電圧の上昇が抑制され、根元の電圧を上回らない。10km もの長さの配電線では 2 段直列に SVR (Step Voltage Regulator) を用いるのが一般的ゆえ、この場合でも計算してみると、電圧変動はタップ変更の瞬間的変動も含めて 2% に収まっている。

新エネを進相運転するに際しては全系統の無効電力バランスに与える影響を考慮する必要があるが、新エネの進相運転は魅力的解決策に映る。

低圧系統では抵抗分がリアクタンス分より大きいから進相運転の効果はほとんどないという意見がある。現在の配電系統では柱上変圧器 1 バンクが受け持つ範囲が狭く、リアクタンスの方が大きい柱上変圧器、高圧系統幹線が支配的である。ゆえに配電線全体に大量の太陽光などが導入された際には進相運転の効果には期待できる。むしろ現代の配電系統では電圧が高めになっている可能性があるから、配電電圧の管理については精度を高

める必要があろう。負荷の消費電力はほぼ電圧に比例すると言われているから、配電電圧を下げることは消費電力削減につながり、低炭素社会にも資する。

8. 単独系統

純負荷の一次変電所に供給する 2 回線送電線が 2 回線とも同じ相の地絡で遮断され当該変電所が停電したときの電圧波形を Fig. 25 に示す。電圧はすぐにゼロになるのではなく 0.4 秒 (6 波が 0.1 秒) ほどでゼロになっている。この現象は負荷に誘導機が含まれていると仮定するとよく説明、再現できる⁽¹¹⁾。この事象から誘導機負荷は停電時には誘導発電機になって単独系統を維持する方向に作用することがわかる。即ち誘導機負荷は単独系統の解消を妨げる⁽¹²⁾。

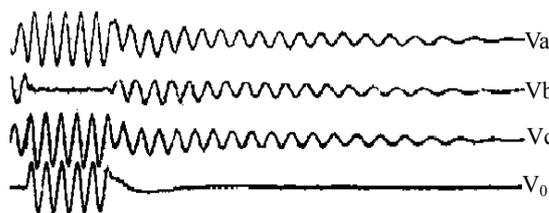


Fig. 25 Delayed Voltage Fade out by Grounding Fault Outage

新エネの単独防止機能のいくつかは DVS 機能と相性が悪い。相性の良いものとして高調波を利用した受動的方式が開発されている。また、単独系統発生時に強制的に接地短絡して系統状態を大幅に変更し、新エネに停止を促すという特許も出されている⁽¹³⁾。

むすび

基礎的な理論研究は有益である。理論は拡張性の高いものに価値がある。データ収集だけでは進歩がなく、仮説を立て検証するという科学の手法が進歩をもたらす。

最初に制約条件としての新エネ系統影響の全てを知ることが重要である。次に制約条件の中で新エネも含めた系統の全体最適を図ることが必要である。最後に関係者の利害調整のための制度が作られよう。このようにしてスマートグリッドが実現でき、同時にスマートグリッドとは何かが理解されよう。

本論文には新規性・有用性がないとの意見があった。しかし、RE 系統影響を部分的に解明してきた今までの成果を Table 1 にまとめただけでも新規性・有用性がある。中には互いに矛盾する項目があり、これは何かを犠牲にする必要が生じることを意味する。ある対策が別の現象の原因になる(副作用)ことがある。複数の対策があるのが普通であり、この場合、経済的優劣が論じられ、副作用も含めて賢く選択されることが国民経済の向上に資する。また、論者が自分に都合の良い部分だけ取り上げて論じて、聞き手の側が全体像を把握していれば、ミスリードされることはないだろう。全体像を述べるには、論文はページ数が少なすぎるから、複数の論文からなる全体を総括する何らかの手段が必要である。

また、引用文献が著者らのものに偏っているとの意見もあったが、この種の研究を行い、少なくとも公表しているのは、現在のところ当研究所のみであり、他の文献を引用しようにも公表されていないのが実態である。

低炭素社会実現のために RE を大量導入するのであれば、系統影響の一部だけでなく、全部が解決されなければならない。本研究は全部の問題を解決し低炭素社会の実現に向かう第一歩として重要と思うので、研究年報の紙上にて公開する。

なお、電圧逸脱については太陽光発電の進相運転の基幹系統への影響も含めて現在研究中である。また、単独系統については模型実験により他の機能と矛盾しない方式が実現できないか検討の予定である。

参考文献

- (1) 山岸良雄・上田智之・金尾則一・駒見慎太郎:「複数サイト間での風力発電出力変動に関する一考察」, *電学論 B*, Vol. 129, No. 5, pp.661-667 (2009)
- (2) 上田智之・駒見慎太郎:「物理的構造と観測データに基づく電力系統の動的負荷モデル」, *電学論 B*, Vol. 126, No. 6, pp.635-667 (2006)
- (3) 上田智之・駒見慎太郎:「物理的構造と観測データに基づく電力系統の動的負荷モデル(2)-負荷モデルのパラメータ同定に関する検討-」, *平成 20 年電学電力・エネルギー部門全国大会*, Vol. 19, No. 13, pp.15-21 (2008)
- (4) Y. Yamagishi and S. Komami: “Practical Power System Aggregation Considering Dynamic Load”, *IEEJ Trans. PE*, Vol. 128, No. 2, pp.381-387 (2008)
- (5) 上田智之・駒見慎太郎:「分散型電源大量導入時における動的負荷の安定性解析」, *電学論 B*, Vol. 127, No. 2, pp.371-378 (2007)
- (6) 上田智之・駒見慎太郎:「分散型電源大量導入時における動的負荷を考慮した過渡安定度」, *電学論 B*, Vol. 126, No. 10, pp.969-976 (2006)

- (7) 上田智之・駒見慎太郎:「動的負荷の影響を考慮した減速脱調現象に関する一考察」, *電学電力技術・電力系統技術研究会資料*, PE-05-5, PSE-05-12, pp.25-30 (2005)
- (8) 山岸良雄・駒見慎太郎:「動的負荷と分散型電源を考慮した電力系統の動態安定度解析」, *電学論 B*, Vol. 126, No. 10, pp.977-984 (2006)
- (9) F. P. Demello and C. Concordia: “Concepts of Synchronous Machine Stability as Affected by Excitation Control”, *IEEE Trans. Power Apparatus Syst.*, Vol. PAS-88, No. 4, pp.316-329(1969)
- (10) 駒見慎太郎・木村茂夫・小向敏彦・小柳薫:「動態安定度に及ぼす負荷特性の影響」, *電学論 B*, Vol. 107, No. 7, pp.341-348 (1987)
- (11) 駒見慎太郎・水野弘一:「負荷の特性と過渡安定度の関係」, *平成元年電学全大*, No. 1037, p.198 (1989)
- (12) 五十嵐広宣・佐藤孝則・宮本和典・黒川浩助:「誘導電動機の発電確認と単独運転検出装置への影響について」, *電学論 B*, Vol. 128, No. 7, pp.967-975 (2008)
- (13) 石橋千尋・市岡立美・波多野達彦:「逆充電防止装置」, *公開特許広報(A)*, 特開平 5-336667(1993)