

# 大飯原子力発電所 3, 4号機の再起動 安全確保のための提案！

2012年6月21日

佐藤 暁

1

## ポイント

- 需給逼迫時の原子力発電所のリスク
  - = 外部電源喪失
  - 外部電源喪失 → SBO → 炉心損傷（原子炉事故）
- 提案
  - ① リスク評価
  - ② 非常用ディーゼル発電機（EDG）に対するサベイレ  
ンス試験の臨時的な強化
  - ③ ピーク期の EDG 連続運転
  - ④ バックアップ電源の起動訓練強化
  - ⑤ 荒天時の体制強化、テロ対策強化

2

# 停電・外部電源喪失

- 2003年8月14日 米国北東部大停電（～50,000,000人が影響）
  - 263ヵ所の発電所（531基）が停止。
  - 3分間の間に、**米国の原子力発電所9基が停止。**
- その後、原子力発電所における外部電源確保の強化のための強化策が検討され運用。
  - NRC（原子炉事業者）、FERC（送電事業者）による強力な行政指導により、停電発生時の原子力発電所に対する優先的な外部電源融通の体制を確立。（MOUベース）
- 2011年9月8日 カリフォルニア大停電（～6,000,000人が影響）
  - 影響範囲： カリフォルニア州、アリゾナ州、メキシコ
  - San Diego 気温： 46℃

3

## 今夏の需給見通しに対する評価書



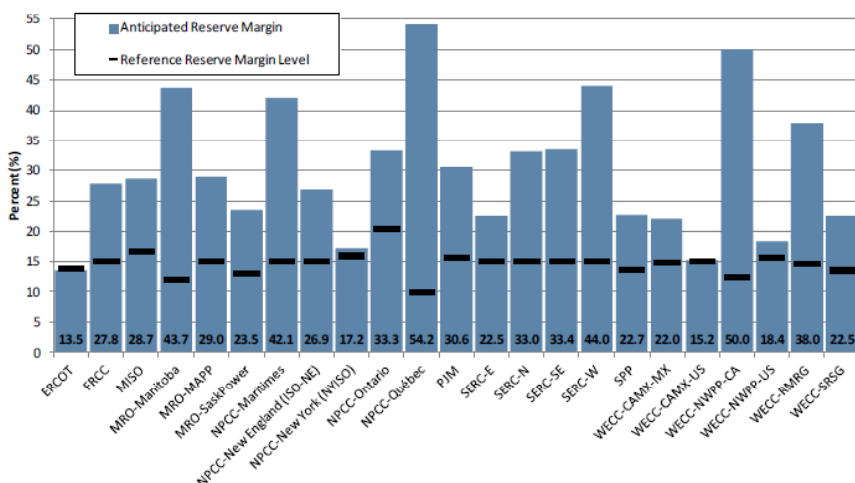
NERC  
NORTH AMERICAN ELECTRIC  
RELIABILITY CORPORATION

### 2012 Summer Reliability Assessment

May 2012

RELIABILITY | ACCOUNTABILITY

3353 Peachtree Road NE  
Suite 600, North Tower  
Atlanta, GA 30326  
404-446-2560 | www.nerc.com



4

**① 大飯原子力発電所 3/4号機 の同時スクラム停止を想定した場合の当該発電所における外部電源喪失事象のリスク評価。  
SBOの起こるリスクが十分に小さいことの確認。**

- 需給逼迫状態では、負荷変動の外乱（電圧、周波数）に対する送電網の安定性が低下し、外部電源喪失が起こり易くなる。
- 外部電源喪失は、原子炉の安全性に対する有意な脅威。
  - 米国における1993～2004年に発生した34件の外部電源喪失事象のうち48%が、重要予事象（Important Precursor）として分類。
    - 重大予事象：  $CCDP > 1 \times 10^{-3}$ （TMI事故を含めて1969年以降34件のみ）
    - 重要予事象：  $CCDP > 1 \times 10^{-4}$
    - 事象の発生頻度  $\times$   $CCDP =$  炉心損傷（原子炉事故）頻度
- 大飯原子力発電所の停電に対する評価は？

5

**シナリオ-A （自プラントのみ停止**



6



## シナリオ-B



7

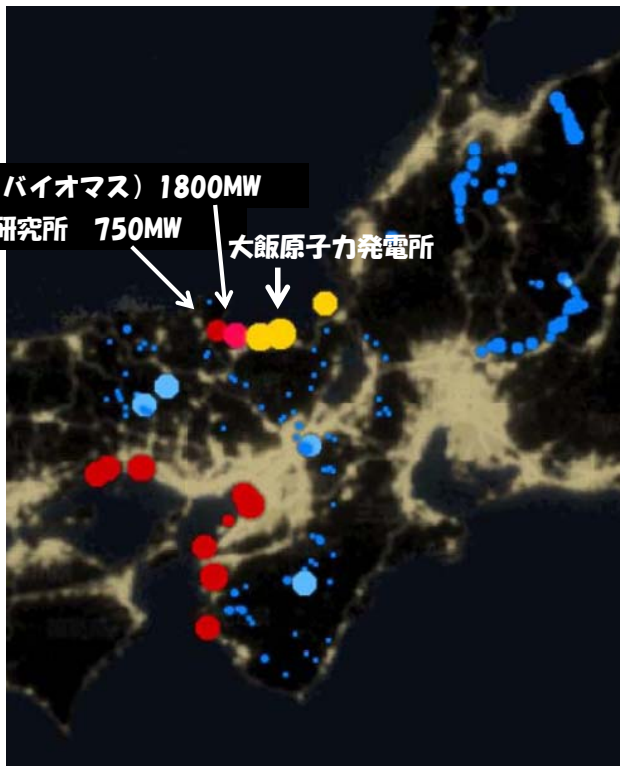
## シナリオ-C 他の発電所の停止による連鎖的「共倒れ」



8

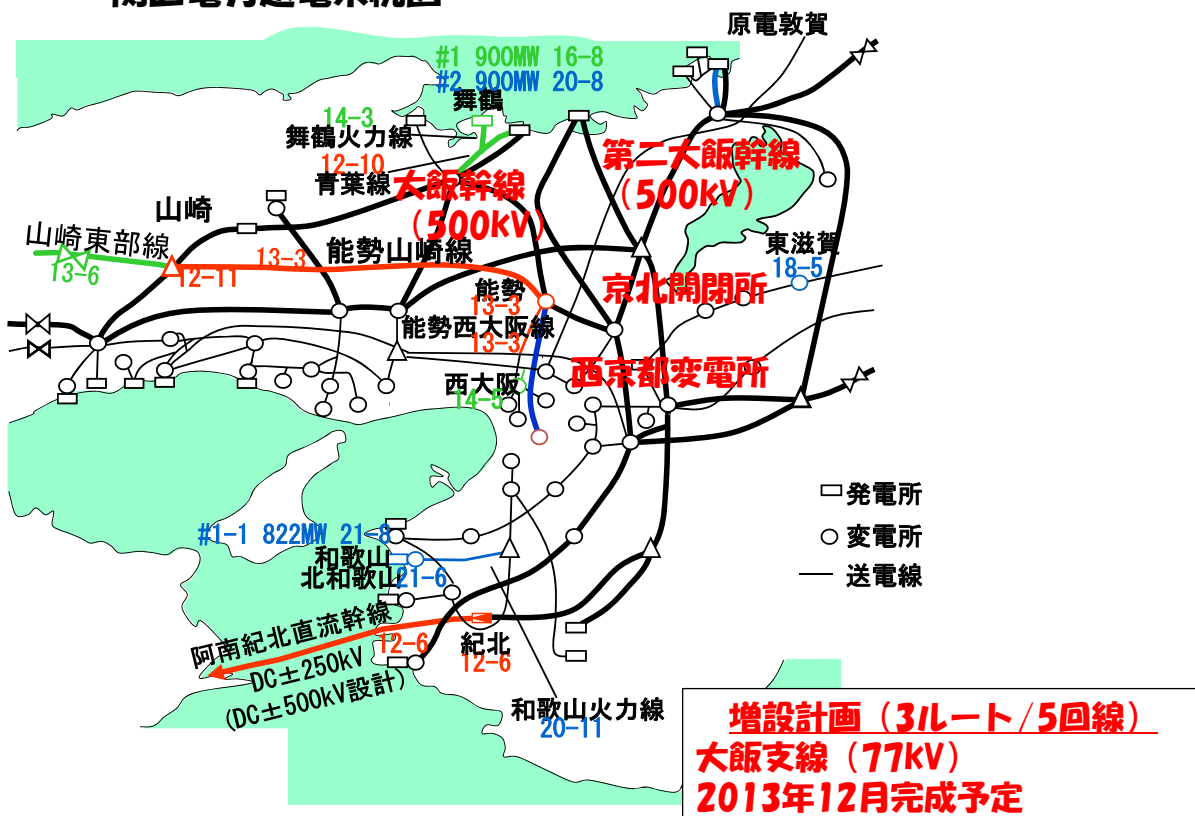
関西電力の発電所  
166ヵ所  
34879.371MW

舞鶴火力(バイオマス) 1800MW  
宮津エネルギー研究所 750MW  
大飯原子力発電所



図の出典： エレクトリカル・ジャパン

関西電力送電系統図



図の出典： 関西電力

## シナリオ-D (送電線トラブル)

2005年12月22日 大雪+強風による送電トラブル



図の出典： 関西電力

### 負荷遮断応答

1/2 号機： 自動停止

3/4 号機 (バイパス容量100%)： 所内単独運転 (5% 定格出力で運転)

11

**② 非常用ディーゼル発電機に対して保安規定で定められているサベイランス試験の要件を臨時に強化し、一層の安全性を期すこと。**

- 外部電源喪失が発生した場合の非常用電源の確保に充てられる非常用ディーゼル発電機に対し、通常よりも更に念入りに信頼性を確認する。
  - Reliability と Availability のバランスを考慮。
  - 停止中の高浜原子力発電所、美浜原子力発電所、敦賀原子力発電所、もんじゅに対する適用性についても要検討。

12

# 保安規定 (Technical Specifications) に基づく非常用ディーゼル発電機 (EDG) に対するサバイランス試験

## SURVEILLANCE REQUIREMENTS (continued)

SURVEILLANCE	FREQUENCY
<p>SR 3.8.1.2</p> <p>-----NOTES-----</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>All DG starts may be preceded by an engine prelube period and followed by a warmup period prior to loading.</li> <li>A modified DG start involving idling and gradual acceleration to synchronous speed may be used for this SR as recommended by the manufacturer. When modified start procedures are not used, the time, voltage, and frequency tolerances of SR 3.8.1.7 must be met. ]</li> </ol> <p>-----</p> <p>Verify each DG starts from standby conditions and achieves steady state voltage <math>\geq [3740]</math> V and <math>\leq [4580]</math> V, and frequency <math>\geq [58.8]</math> Hz and <math>\leq [61.2]</math> Hz.</p>	<p>例えば、7日？ ↑</p> <p>31 days</p>

**EDG が待機状態から起動し、（無負荷運転により）所定の電圧、周波数で安定することの確認。**

13

<p>SR 3.8.1.3</p> <p>-----NOTES-----</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>DG loadings may include gradual loading as recommended by the manufacturer.</li> <li>Momentary transients outside the load range do not invalidate this test.</li> <li>This Surveillance shall be conducted on only one DG at a time.</li> <li>This SR shall be preceded by and immediately follow without shutdown a successful performance of SR 3.8.1.2 or SR 3.8.1.7.</li> </ol> <p>-----</p> <p>Verify each DG is synchronized and loaded and operates for <math>\geq 60</math> minutes at a load <math>\geq [4500]</math> kW and <math>\leq [5000]</math> kW.</p>	<div style="border: 2px solid red; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p><b>ピーク期間中には、所外電源に替えて連続負荷運転してはどうか？</b></p> </div> <p>例えば、7日？ ↑</p> <p>31 days</p>
---	---

**EDG を60分間以上定格負荷で運転。**

14



SR 3.8.1.7	<p>-----NOTE-----</p> <p>All DG starts may be preceded by an engine prelube period.</p> <p>-----</p> <p>Verify each DG starts from standby condition and achieves:</p> <p>a. In ≤ [10] seconds, voltage ≥ [3740] V and frequency ≥ 58.8] Hz and</p> <p>b. Steady state voltage ≥ [3740] V and ≤ [4580] V, and frequency ≥ [58.8] Hz and ≤ [61.2] Hz.</p>
------------	--

例えば、ピーク期突入前に1回、その後1ヵ月に1回？



184 days

### 起動特性の確認試験

**③ 特に逼迫している期間中は、非常用ディーゼル発電機を待機運転、又は負荷運転して、外部電源喪失に備える。**

#### 発想の根拠：

- 2005年8月29日のハリケーン・カトリーナ襲来時、ウォーターフォード原子力発電所では、所外電源が復旧後（8月30日）も、暫くの間は、安全系への受電に切替えせず、EDG による給電を続けている。
- このように、所外電源の安定性が危ういと思われる期間には、より信頼性の高い EDG によって予め給電させておき乗り切るという発想もあるはず。

#### 検討事項：

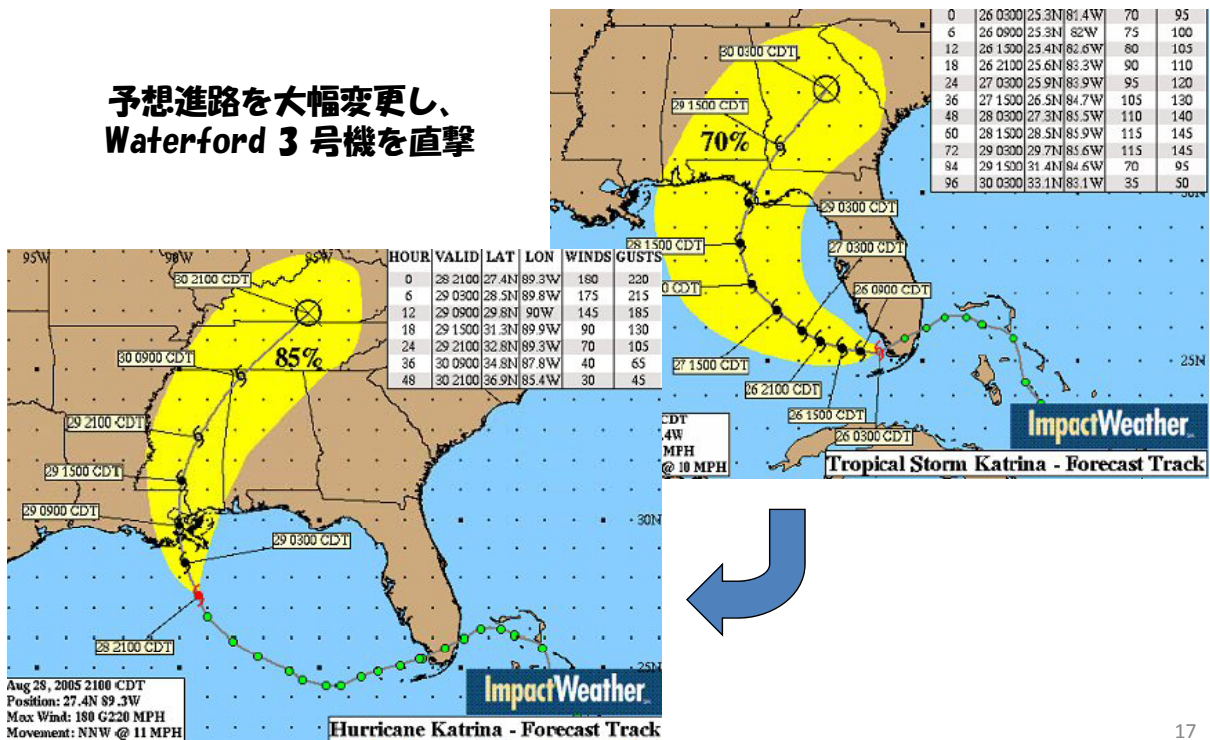
- 停止中の高浜原子力発電所、美浜原子力発電所、敦賀原子力発電所、もんじゅに対する適用性についても要検討。
- ネガワットとしてのベネフィット??



# 外部電源喪失 事例

## ハリケーン・カトリーナ 2005年8月29日

予想進路を大幅変更し、  
Waterford 3号機を直撃



17



18

## 8月27日

- ・ 08:00 ハリケーン・コマンド・センター設置  
138人（NRC 2人を含む）が24時間体制
- ・ 17:00 コア・チームが現地で守備体制
- ・ 22:00 警戒態勢

## 8月28日

- ・ 10:59 フラント停止操作開始
- ・ 13:16 タービン解列
- ・ 20:58 高温停止

## 8月29日

- ・ 06:00 停電（外部電源喪失）発生  
EDG 2基起動

## 8月30日

- ・ 06:00 外部電源復旧。EDG はそのまま運転継続。  
EDG (A) は9月1日まで、EDG (B) は9月2日まで運転。  
その後、外部電源に切替え。

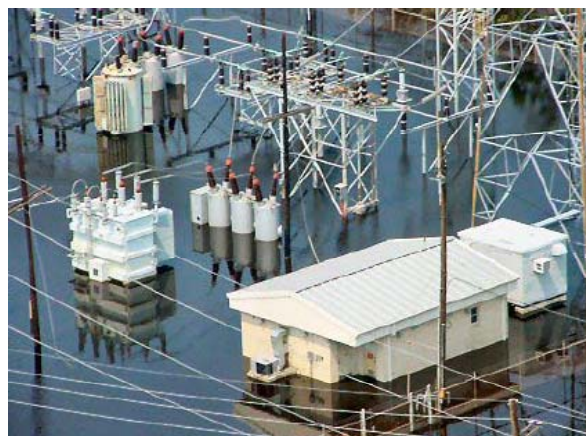
19

## 送・発電システムへの影響

- ・ 火力発電所29基、原子力発電所1基（Waterford 3）停止
- ・ 715ヵ所の変電所水没、故障
- ・ 522本の送電線遮断
- ・ 28900本の電柱損傷
- ・ 187万世帯の停電

## その他の併発事象

- ・ 本社退避
- ・ 従業員の家屋浸水
- ・ 通信設備破壊
- ・ 交通遮断
- ・ ガソリン、経由の不足
- ・ ガス停止



20



## 消防署も警察署も潰滅状態



水が引いた後の変電所

09/26/2005

21

- ・ 9月6日 NRC/FEMA（連邦緊急事態管理庁）が再起動調査チームを派遣
- ・ 9月9日 再起動許可
- ・ 9月13日 送電開始



- ・ トレーニング・センターを臨時復旧支援センターとし、800人を収容するテント村を設営して送電系、配電系の復旧に従事する作業者に提供。
- ・ 600人の従業員のうち、141人が家屋喪失。トレーラー・ハウスなどを提供。

22

④ 今般、ストレステストの一環として追加したバックアップ電源の起動操作に関する訓練を臨時的に強化。

⑤ 特に台風、雷雨、竜巻などの気象条件に注意。テロ対策の強化。

- 荒天による送電線のトラブルに伴う所外電源喪失は、珍しい事象ではない。
- 大飯原子力発電所の場合、これらの気象条件に対する、「2ルート/4回線」の独立性には、疑問がある。
- 因みに、安全設計審査指針には、「独立性」が要件として謳われていない。

23

○発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針

平成2年8月30日  
原子力安全委員会決定

一部改訂 平成13年3月29日 原子力安全委員会

#### 指針48. 電気系統

1. 重要度の特に高い安全機能を有する構築物、系統及び機器が、その機能を達成するために電源を必要とする場合においては、外部電源又は非常用所内電源のいずれからも電力の供給を受けられる設計であること。
2. 外部電源系は、2回線以上の送電線により電力系統に接続された設計であること。
3. 非常用所内電源系は、多重性又は多様性及び独立性を有し、その系統を構成する機器の単一故障を仮定しても次の各号に掲げる事項を確実にを行うのに十分な容量及び機能を有する設計であること。
  - (1) 運転時の異常な過渡変化時において、燃料の許容設計限界及び原子炉冷却材圧力バウンダリの設計条件を超えることなく原子炉を停止し、冷却すること。
  - (2) 原子炉冷却材喪失等の事故時の炉心冷却を行い、かつ、原子炉格納容器の健全性及びにその他の所要の系統及び機器の安全機能を確保すること。
4. 重要度の高い安全機能に関連する電気系統は、系統の重要な部分の適切な定期的試験及び検査が可能な設計であること。

24



*Criterion 17—Electric power systems.* An onsite electric power system and an offsite electric power system shall be provided to permit functioning of structures, systems, and components important to safety. The safety function for each system (assuming the other system is not functioning) shall be to provide sufficient capacity and capability to assure that (1) specified acceptable fuel design limits and design conditions of the reactor coolant pressure boundary are not exceeded as a result of anticipated operational occurrences and (2) the core is cooled and containment integrity and other vital functions are maintained in the event of postulated accidents.

The onsite electric power supplies, including the batteries, and the onsite electric distribution system, shall have sufficient independence, redundancy, and testability to perform their safety functions assuming a single failure.

**Electric power from the transmission network to the onsite electric distribution system shall be supplied by two physically independent circuits (not necessarily on separate rights of way) designed and located so as to minimize to the extent practical the likelihood of their simultaneous failure under operating and postulated accident and environmental conditions.** A switchyard common to both circuits is acceptable. Each of these circuits shall be designed to be available in sufficient time following a loss of all onsite alternating current power supplies and the other offsite electric power circuit, to assure that specified acceptable fuel design limits and design conditions of the reactor coolant pressure boundary are not exceeded. One of these circuits shall be designed to be available within a few seconds following a loss-of-coolant accident to assure that core cooling, containment integrity, and other vital safety functions are maintained.

Provisions shall be included to minimize the probability of losing electric power from any of the remaining supplies as a result of, or coincident with, the loss of power generated by the nuclear power unit, the loss of power from the transmission network, or the loss of power from the onsite electric power supplies.

**建設許可証取得のための  
共通設計基準**


1960年代当時としては、今日の標準審査指針 (SRP) の前身的役割。その後整備された審査指針は、詳細な膨大なマニュアル。

**General Design Criteria for Nuclear  
Power Plant Construction Permits**

***Criterion 39—Emergency Power for Engineered Safety Features (Category A).*** Alternate power systems shall be provided and designed with adequate independency, redundancy, capacity, and testability to permit the functioning required of the engineered safety features. As a minimum, the onsite power system and the offsite power system shall each, independently, provide this capacity assuming a failure of a single active component in each power system.

補遺

不信を拭えない政府の再起動決定

日本の原子力安全の現状 対応済  未対応

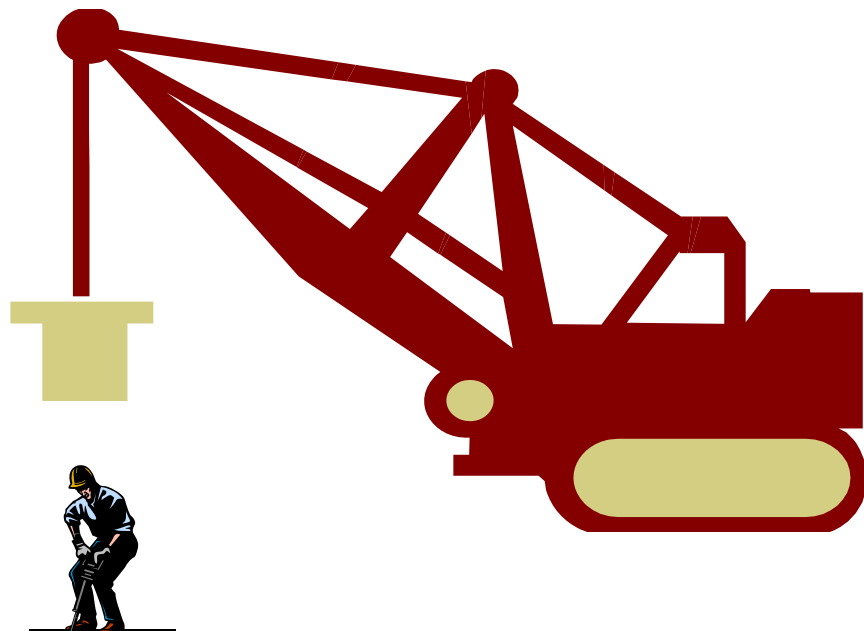
脅威 防護	内部要因	外部要因	破壊工作
発生防止	ストレス ・テスト		アンタッチャブル
進展緩和			
公衆保護 緊急対応			
損害賠償	適用外		



29

### **労働安全衛生規則第562条**

- 吊りワイヤーロープの最大積載荷重に対する**安全係数10**
- **クレーン等安全規則第74条の2**
- 吊り荷の下立入禁止



30





31



もんじゅ

32