



大規模地震災害時における火力発電所 の供給リスク評価

電力中央研究所 地球工学研究所

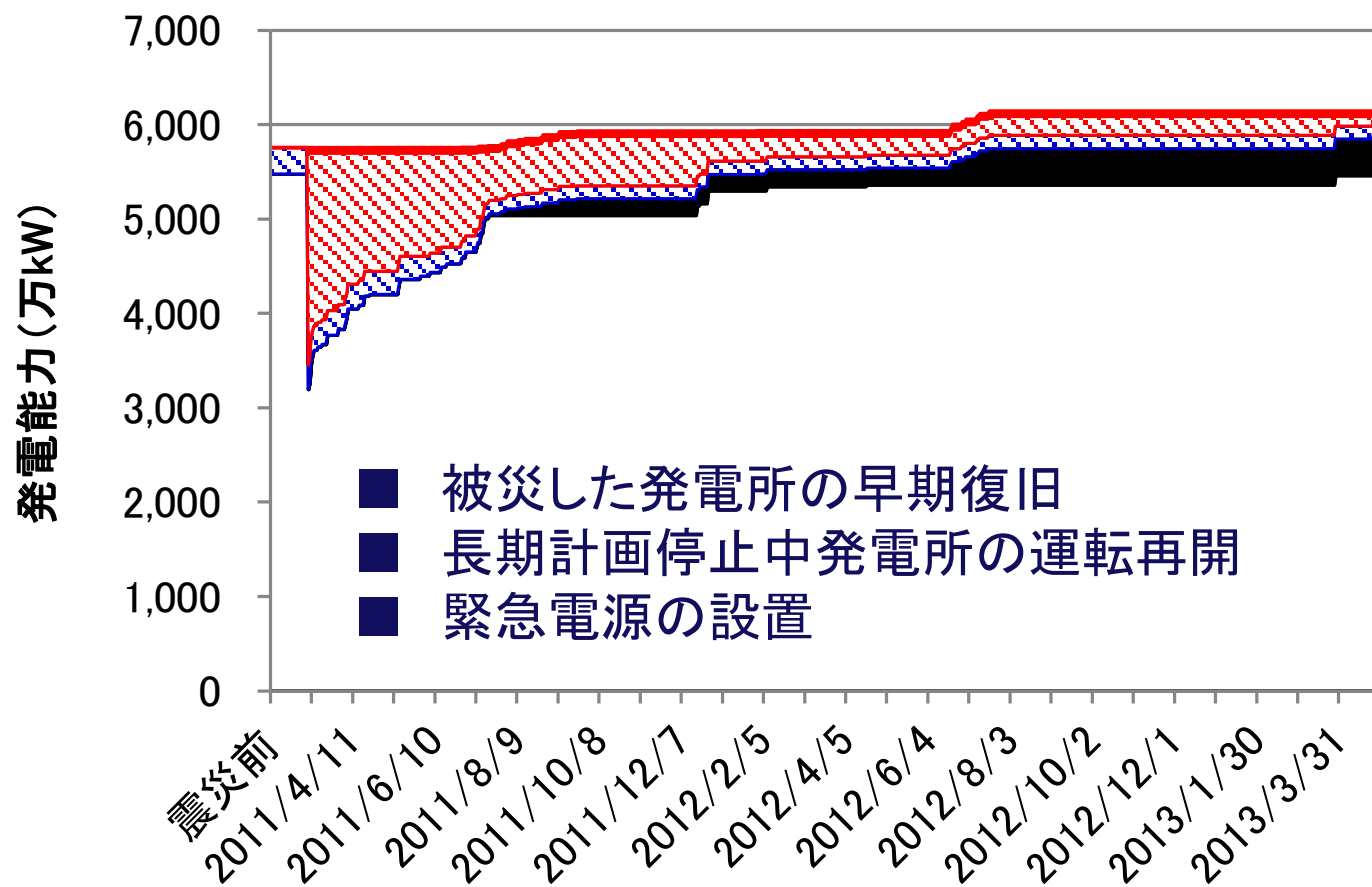
湯山 安由美

土木学会・地震工学委員会 平成30年度 第3回研究会

2018/12/20

 電力中央研究所

東日本大震災後の火力発電能力の推移



➡ 適切な事前・事後対策のためには、火力発電所の被害・停止期間の想定が必要

【データ出典】東京電力プレスリリース, 東北電力プレスリリース

火力発電所の被害想定 の例

■ 経産省 電力安全小委員会 電気設備自然災害等対策WG(2014)

揺れ

被害レベル	A		B		C
被害程度	ボイラ鉄骨やタービン建屋鉄骨に塑性変形等大規模な被害が発生する可能性あり		ボイラ過熱管等に中規模な被害が発生。鉄骨に軽微な塑性変形が発生する可能性あり		ボイラ過熱管等を含め小規模な被害が発生、もしくは、被害なし
震度階	7		6強	6弱	5強以下
復旧期間の目安	1ヶ月程度以上		1ヶ月程度以内		1週間程度以内もしくは運転継続

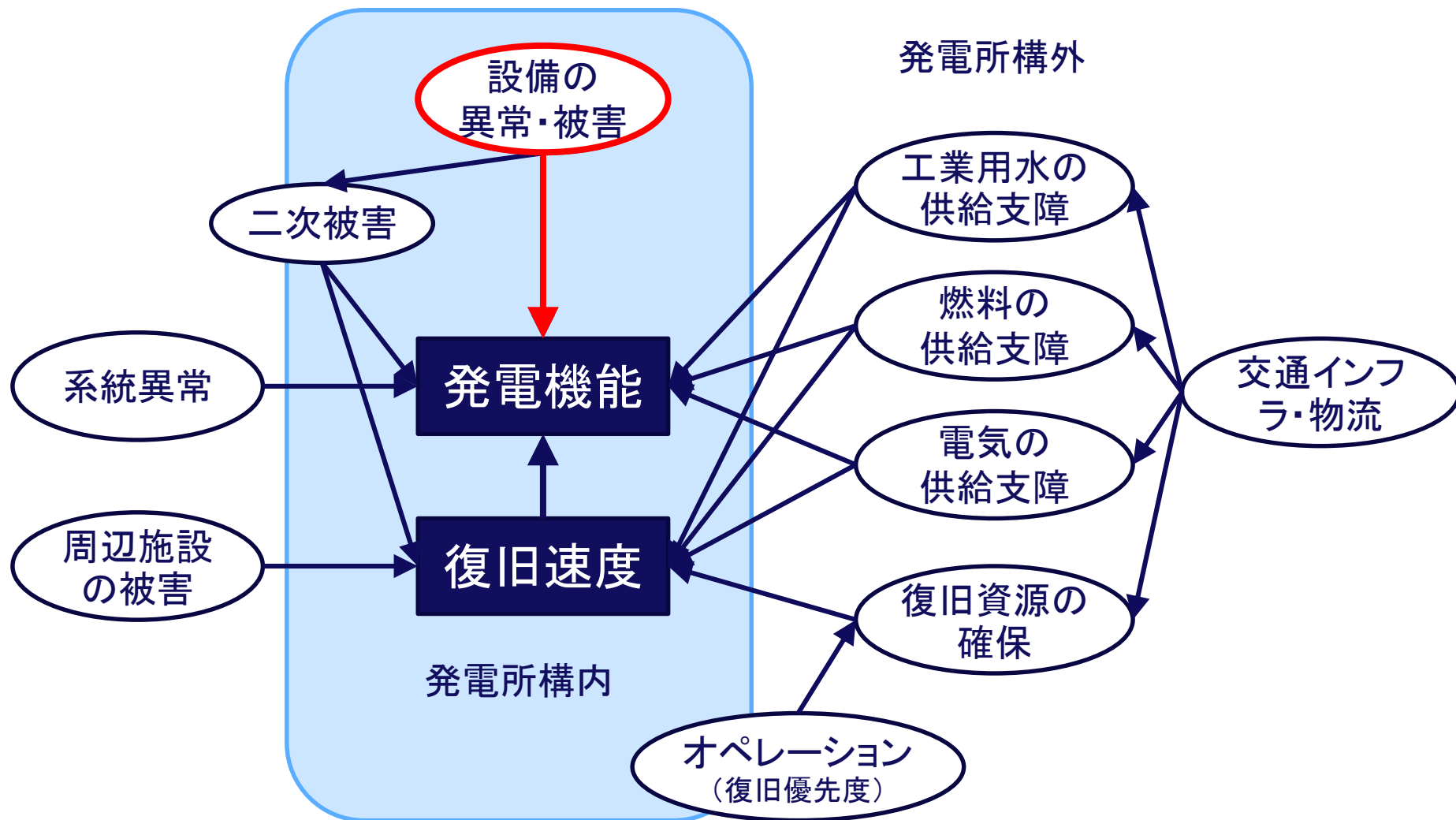
津波

被害レベル	A	B	C
被害程度	ユニット稼動に不可欠な機器および電動機器等が浸水	ユニット稼動に不可欠な機器の現地制御盤・操作盤および電源等が浸水	構内が一部浸水するが、機器は浸水しない
浸水深	1m程度～数十m	数十cm～1m程度	数十cm未満
復旧期間の目安	4ヶ月程度以上	4ヶ月程度以内	運転継続可能

既往地震時における火力発電所被害の調査

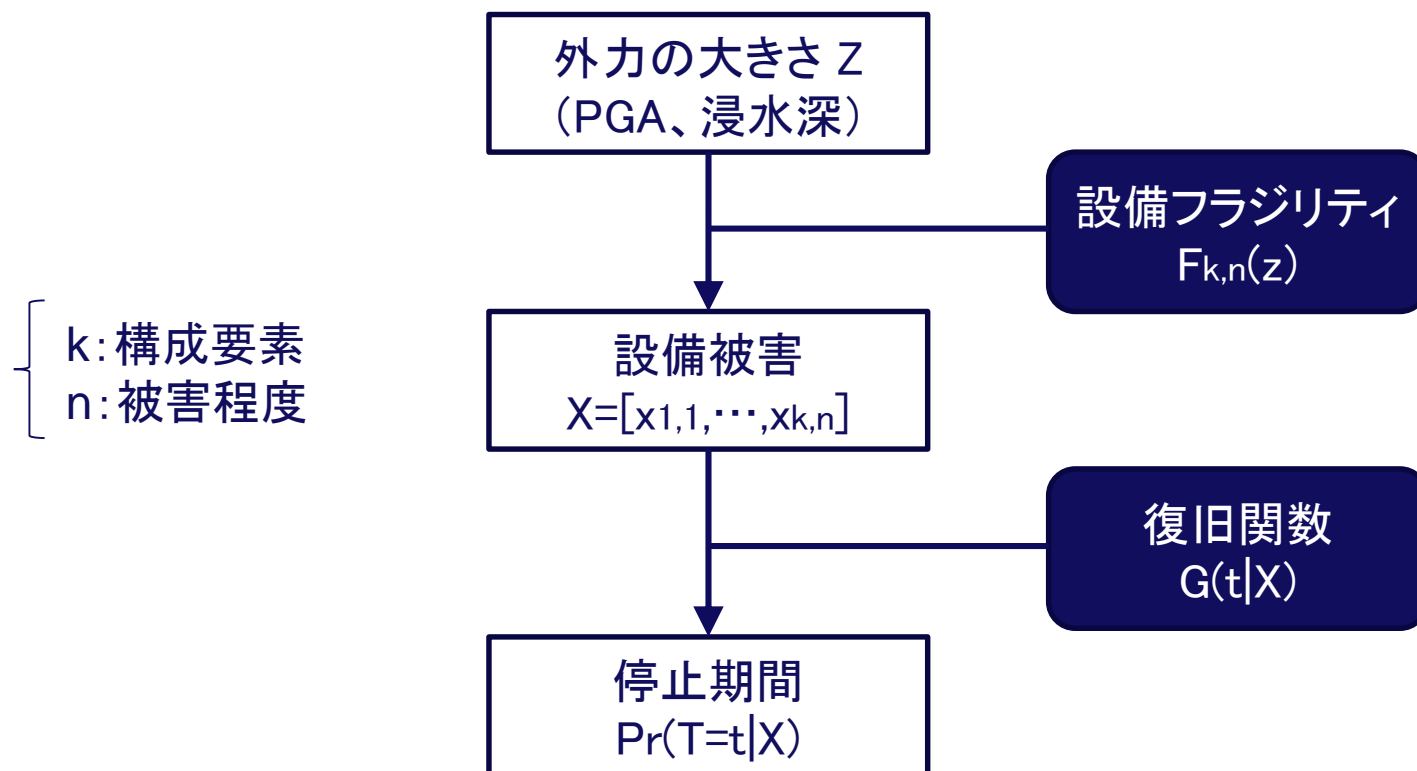
No.	地震	M _{JMA}	津波	影響発電所数
1	1960年 新潟地震	7.5		3
2	1968年 十勝沖地震	7.9		1
3	1978年 宮城県沖地震	7.4		3
4	1983年 日本海中部地震	7.7	○	2
5	1987年 千葉県東方沖地震	6.7		2
6	1993年 釧路沖地震	7.5		1
7	1993年 北海道南西沖地震	7.8	○	2
8	1995年 兵庫県南部地震	7.3		10
9	2000年 鳥取県西部地震	7.3		1
10	2001年 芸予地震	6.7		1
11	2003年 宮城県沖地震	7.1		1
12	2003年 十勝沖地震	8.0		1
13	2005年 宮城県沖地震	7.2		1
14	2007年 能登半島地震	6.9		1
15	2011年 東北地方太平洋沖地震	9.0*	○	26
16	2016年 熊本地震	7.3		1
17	2016年 福島県沖地震	7.4		1

発電機能の低下・復旧遅延要因の整理



分析のフレーム

東日本大震災における火力発電所の設備被害や停止期間，外力等を整理したデータベースを構築し，その統計的な分析に基づいて，**大規模地震災害時における火力発電所の機能評価に必要な被害・復旧関数**の推計を行う。

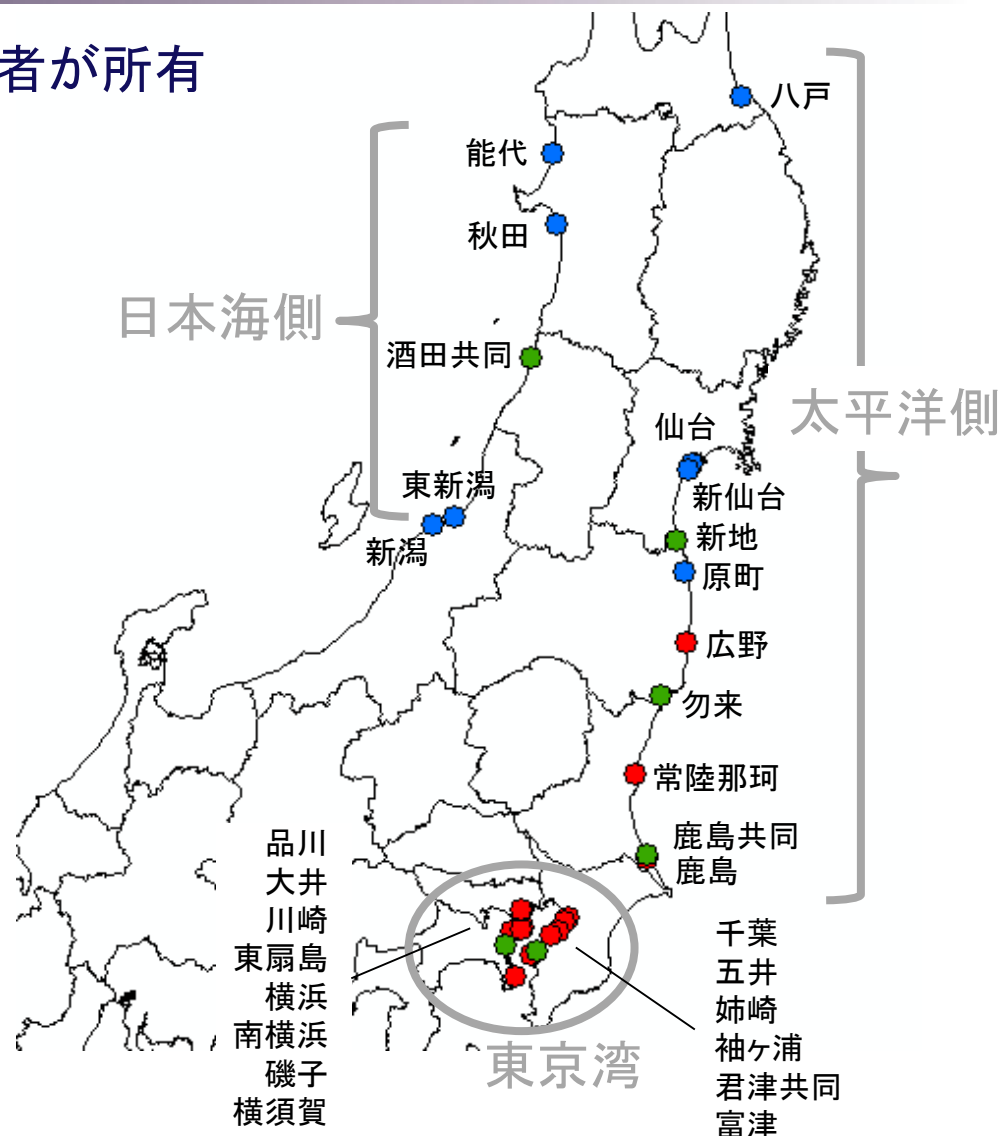


データベース化の対象

- 一般電気事業者及び卸電気事業者が所有
(共同火力も含む)
- 関東・東北地方に立地
- 2011/3/11時点で営業運転開始
⇒29発電所125ユニット(5,758万kW)

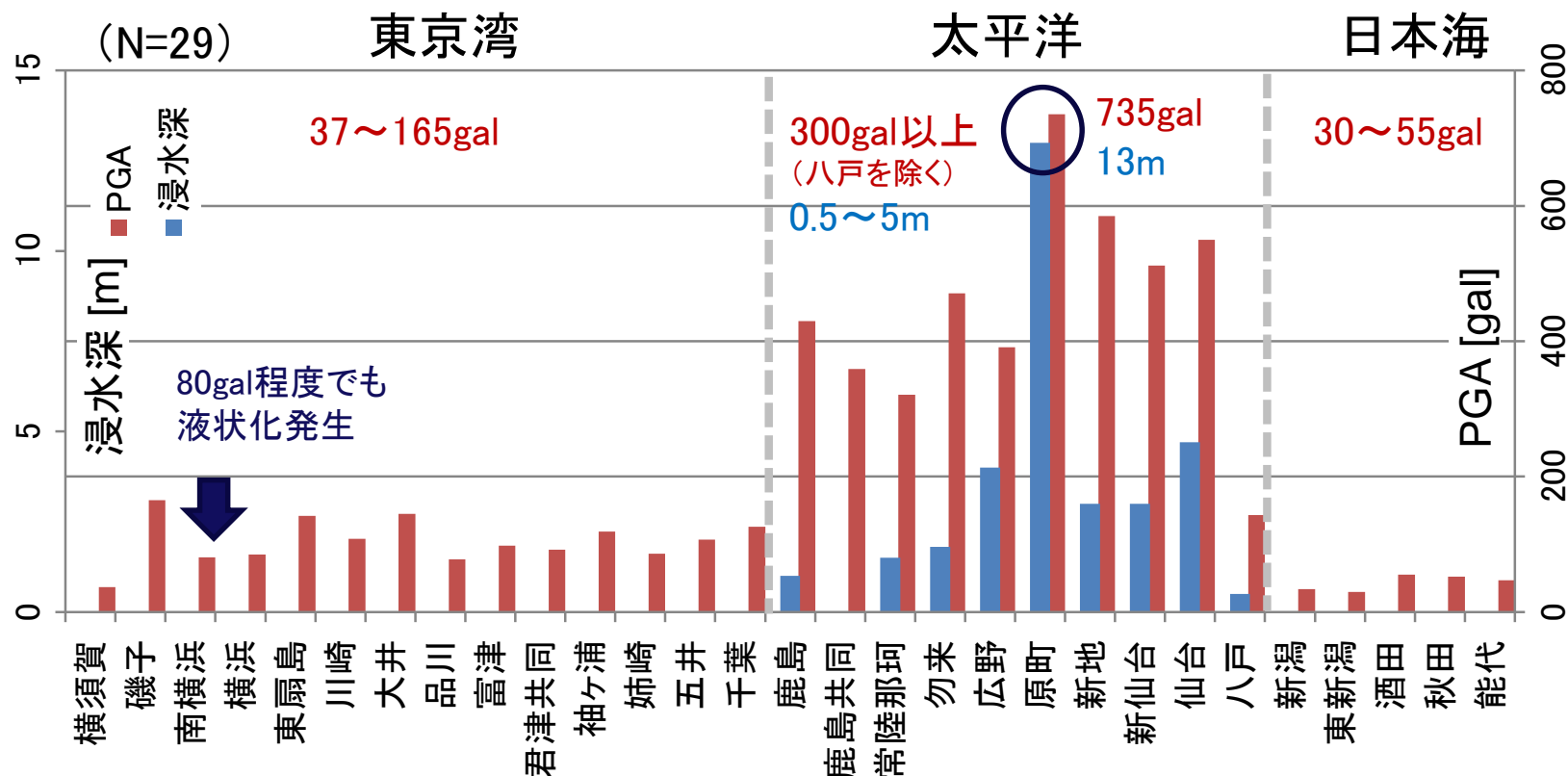
	東京湾	太平洋	日本海
発電所	14	10	5
ユニット	82	27	16
発電能力 (万kW)	3,196	1,752	811

- ➔
- ・外力
 - ・設備被害
 - ・停止期間



観測された外力の大きさ

- 浸水発生は, 太平洋岸の9発電所
- 液状化発生は, 東京湾・太平洋岸の12発電所

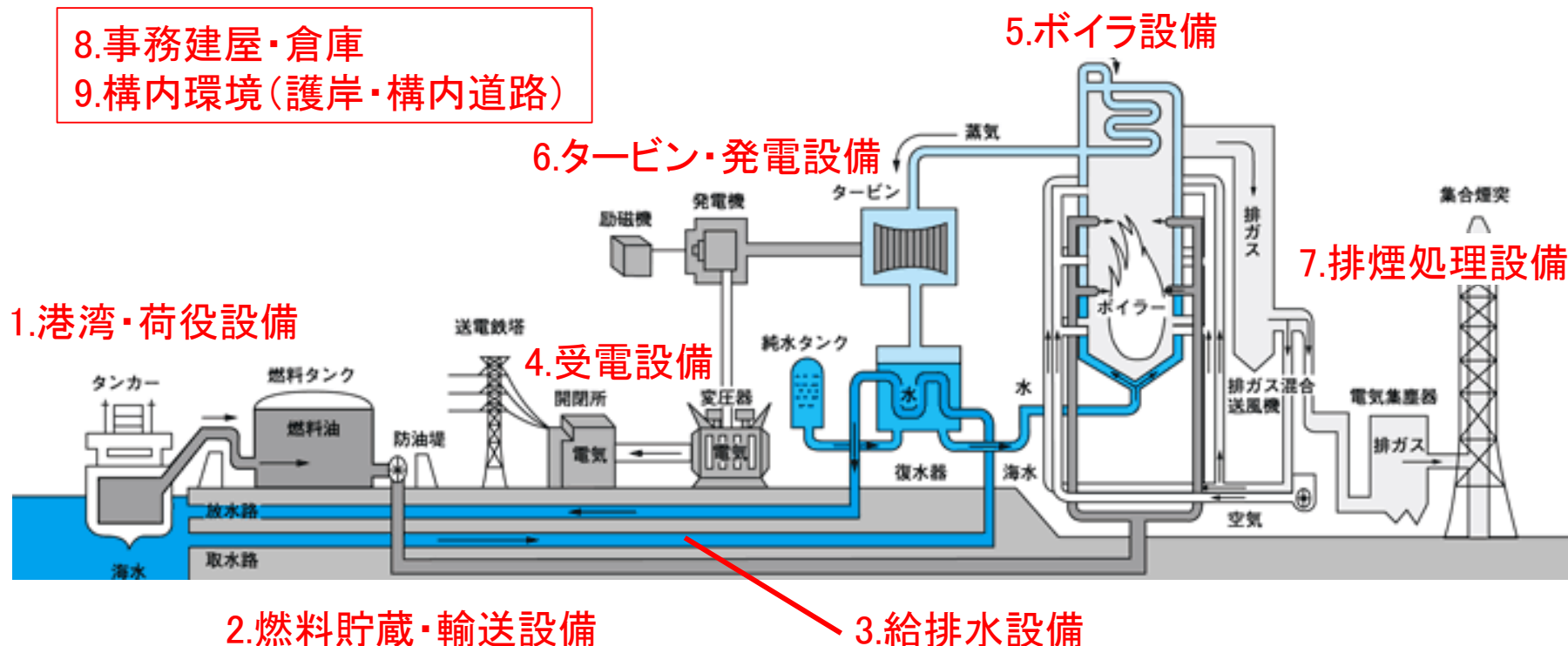


液状化の発生状況: ■...各所で発生, ●...一部発生, ×...不明, (無印)...非発生

設備被害の分析

■ 設備分類

- 8.事務建屋・倉庫
- 9.構内環境(護岸・構内道路)



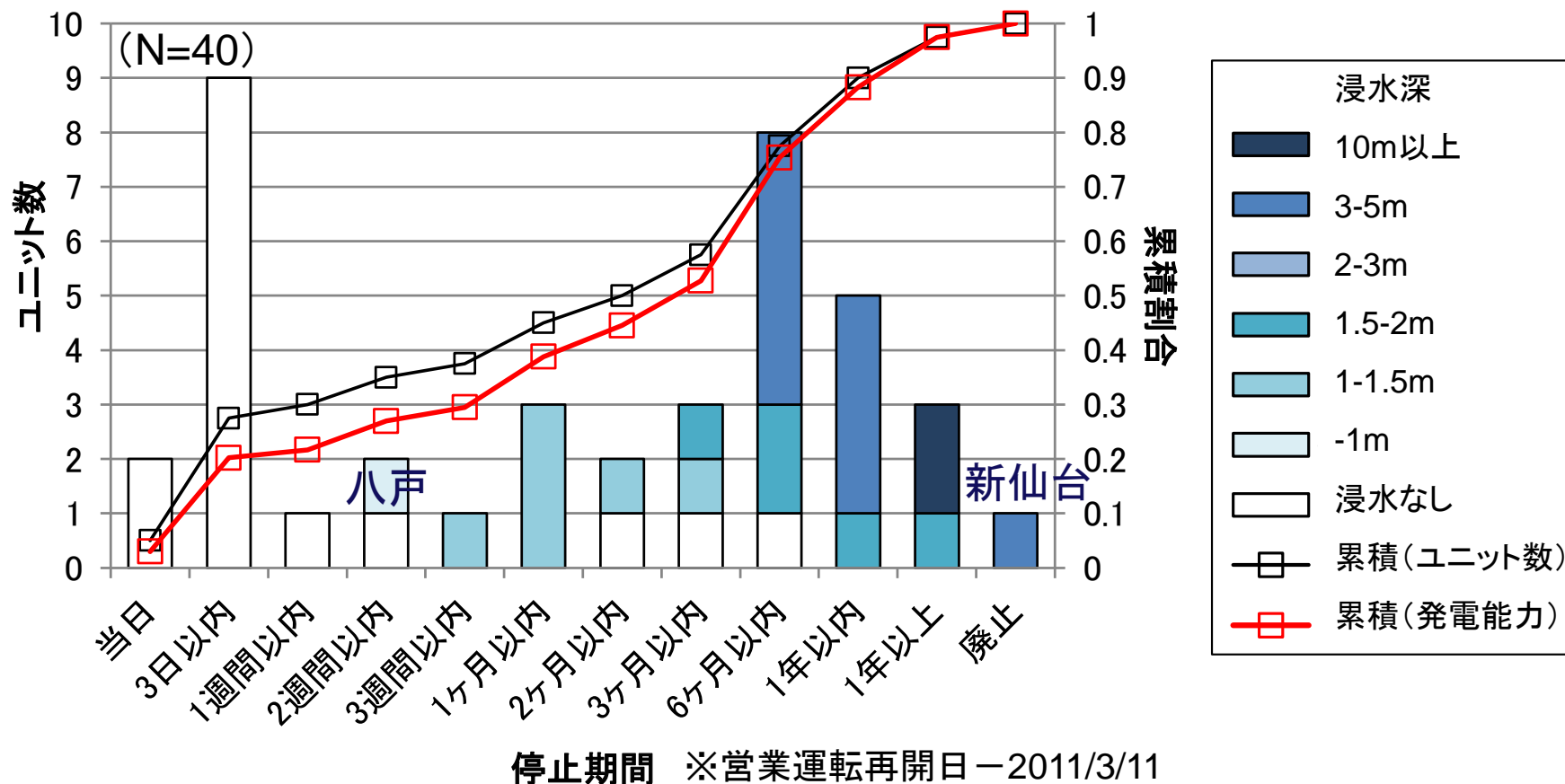
■ 被害要因: ①地震動, ②津波, ③地盤変状

■ 被害ランク: A)全壊, B)一部損壊, C)軽微な不具合

【図出典】電気事業連合会HP (https://www.fepc.or.jp/enterprise/hatsuden/fire/kiryoku/sw_index_01/index.html)

停止期間の分析

- 停止・被災したユニットの半数は2ヶ月以内に復旧
- 浸水なし…ほとんどが2週間以内, 一部1ヶ月以上(鹿島共同)
- 浸水あり…2週間以内~2年以上, 浸水深が大きくなるほど長期化



設備の脆弱性推計

- 外力= z の時に被害ランク k 以上の被害が発生する確率 $F_k(z)$

$k=A$ 全壊
 $k=B$ 一部損壊
 $k=C$ 軽微な被害
 $k=0$ 被害なし

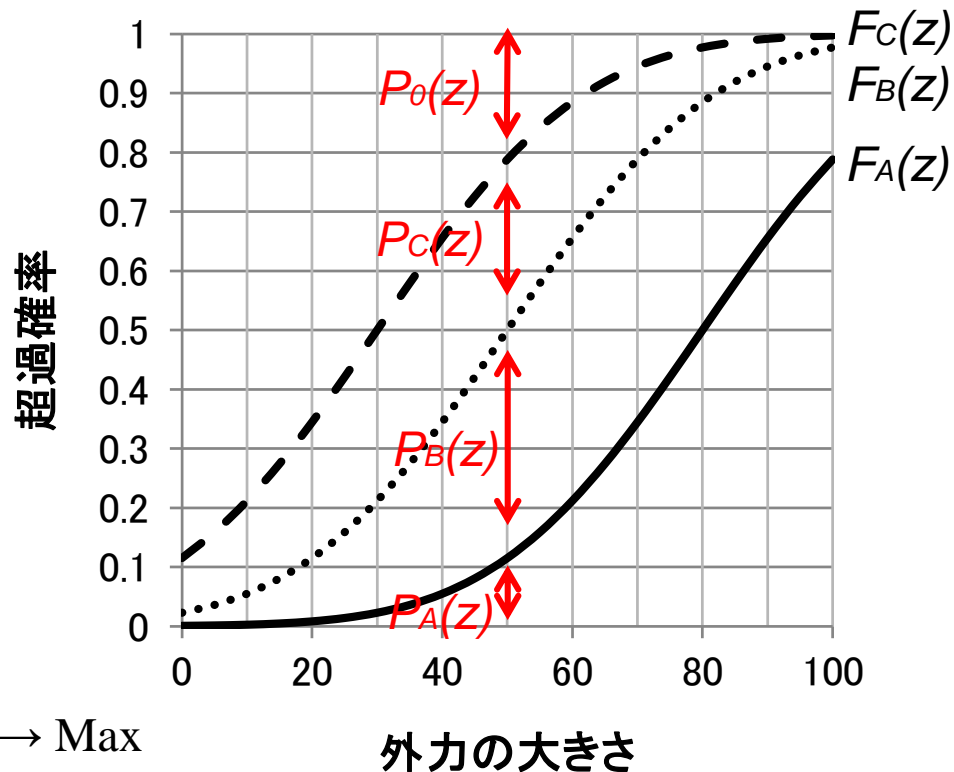
$$F_{n,k}(z) = \int_0^z f_{n,k}(x) dx$$

$$f_{n,k}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\xi_n x}} \exp\left(-\frac{(\ln x - \lambda_{n,k})^2}{2\xi_n^2}\right)$$

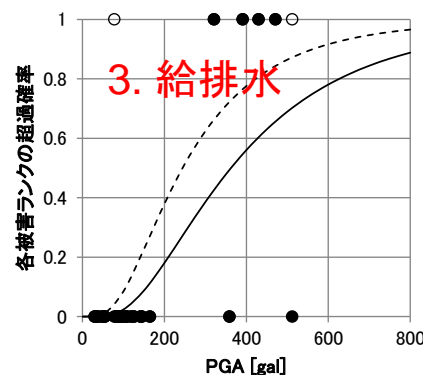
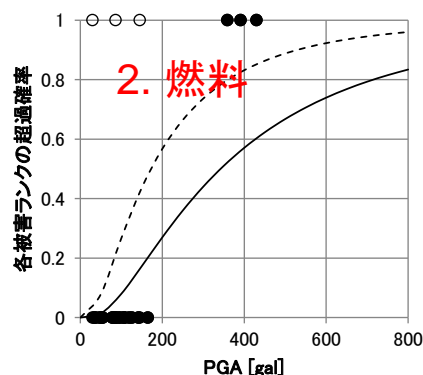
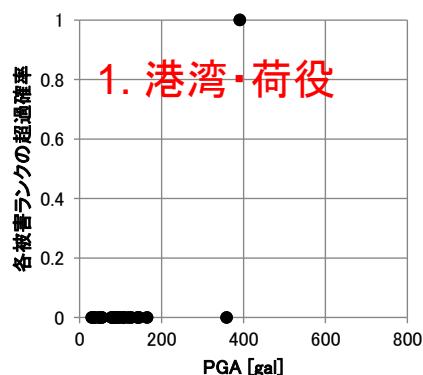
ζ が一定の多項反応モデル

$$L(\lambda_{n,A}, \lambda_{n,B}, \lambda_{n,C}, \xi_n) = \prod_{i=1}^N \prod_{k \in \Omega} P_{n,k}(z_i)^{\delta_{n,ki}} \rightarrow \text{Max}$$

データが被害ランク k の場合に1,
それ以外の場合0



地震動に対する設備の脆弱性

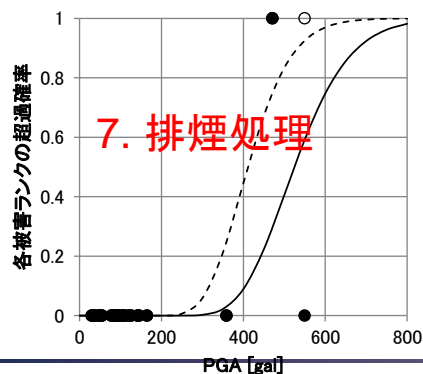
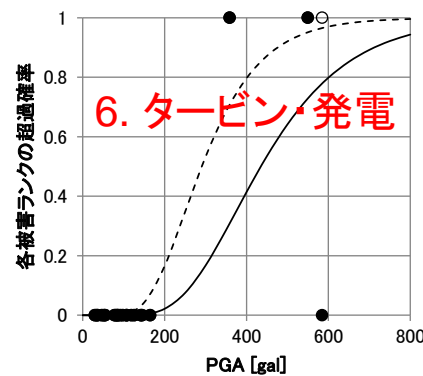
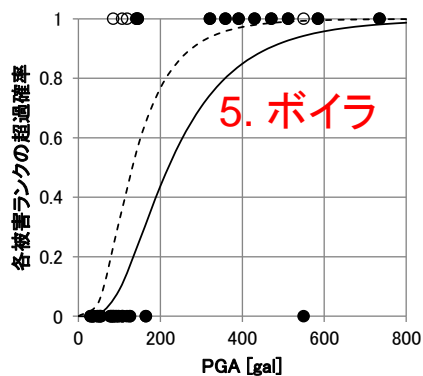
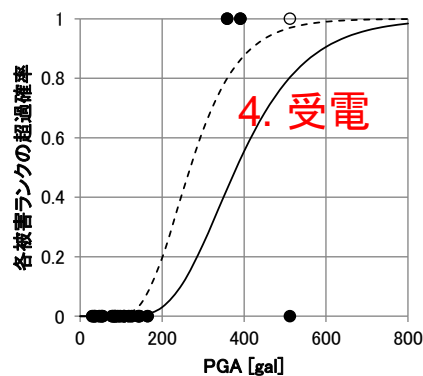


観測値

- 一部損壊(B)
- 軽微な被害(C)

脆弱性曲線

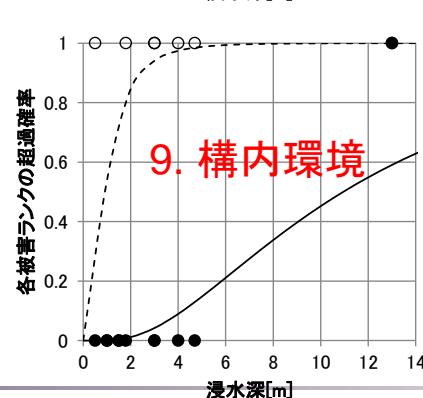
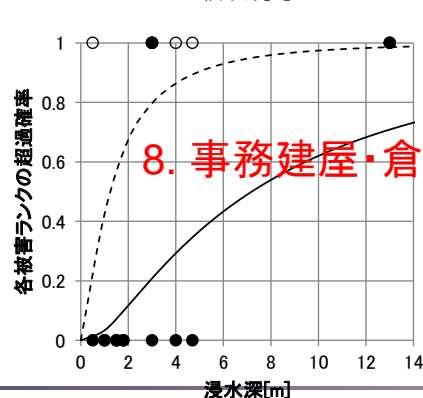
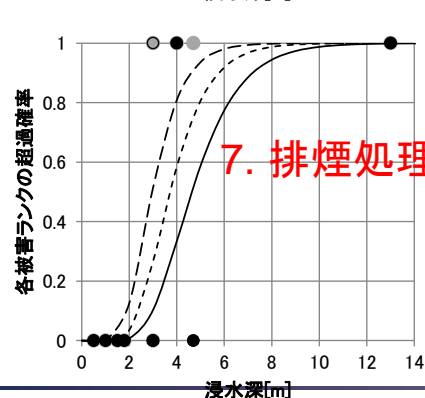
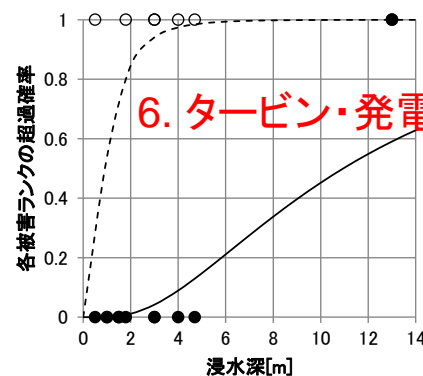
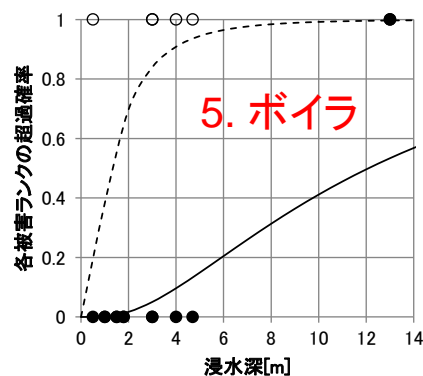
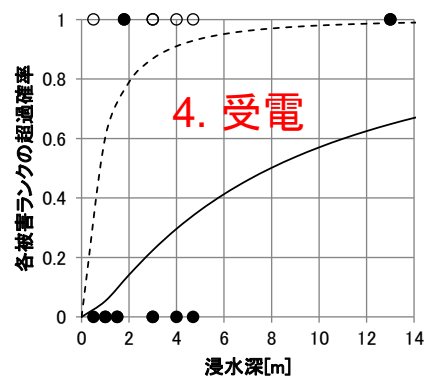
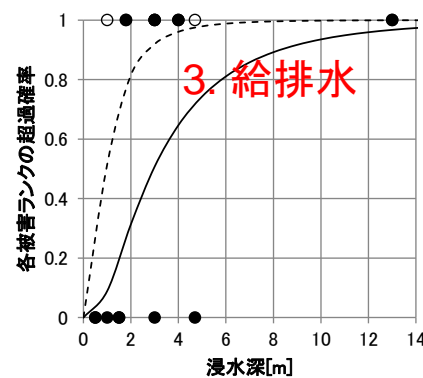
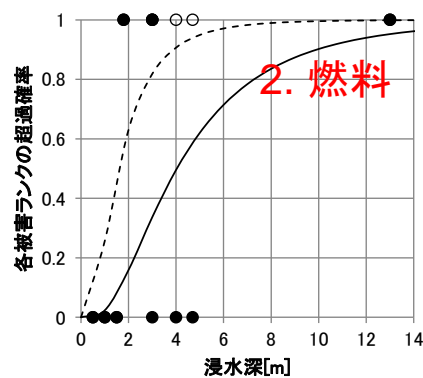
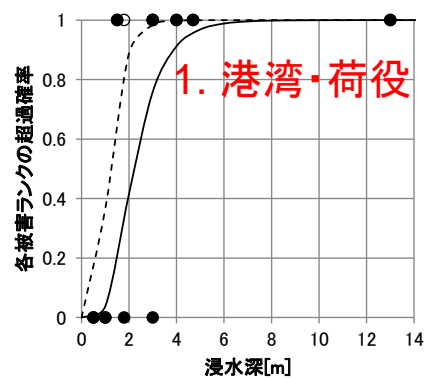
- 一部損壊(B)
- 軽微な被害(C)



8. 事務建屋・倉庫
(被害なし)

9. 構内環境
(被害なし)

津波に対する設備の脆弱性



観測値

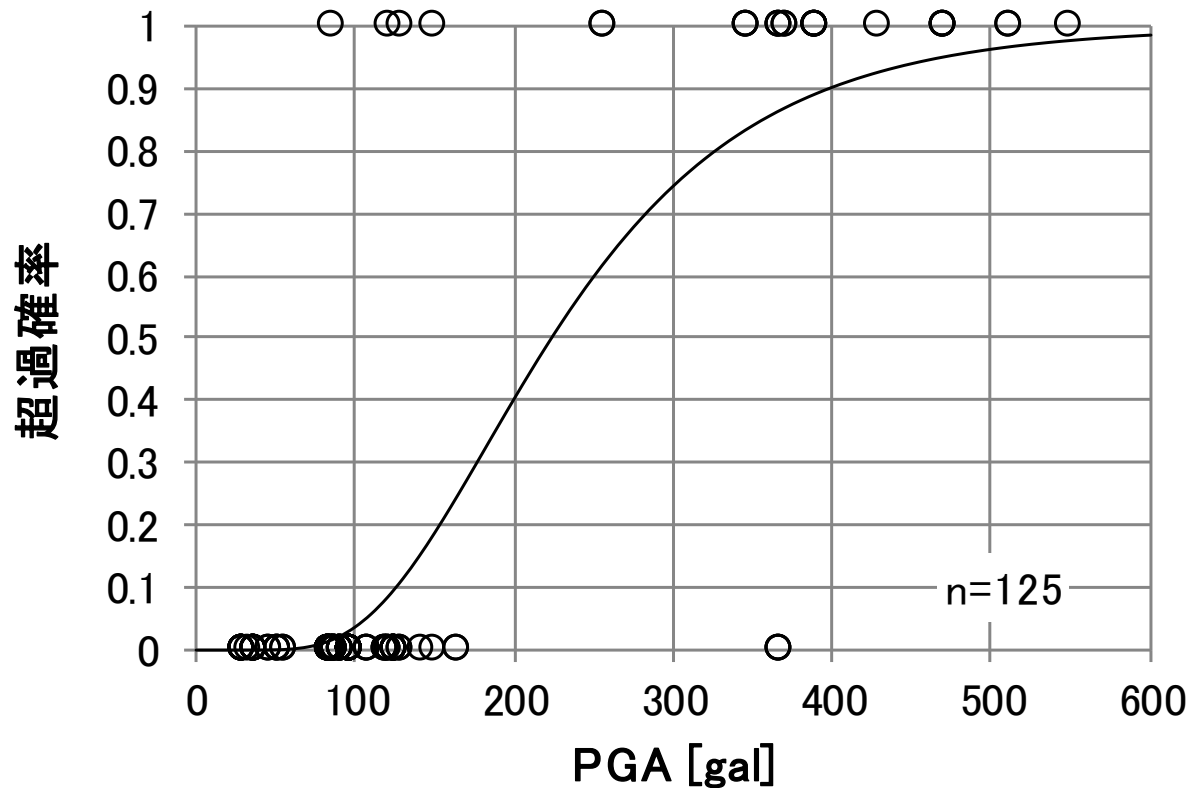
- 全壊 (A)
- 一部損壊 (B)
- 軽微な被害 (C)

脆弱性曲線

- 全壊 (A)
- - - 一部損壊 (B)
- · - 軽微な被害 (C)

ボイラのフラジリティ

配管・付属設備



復旧関数の推計結果

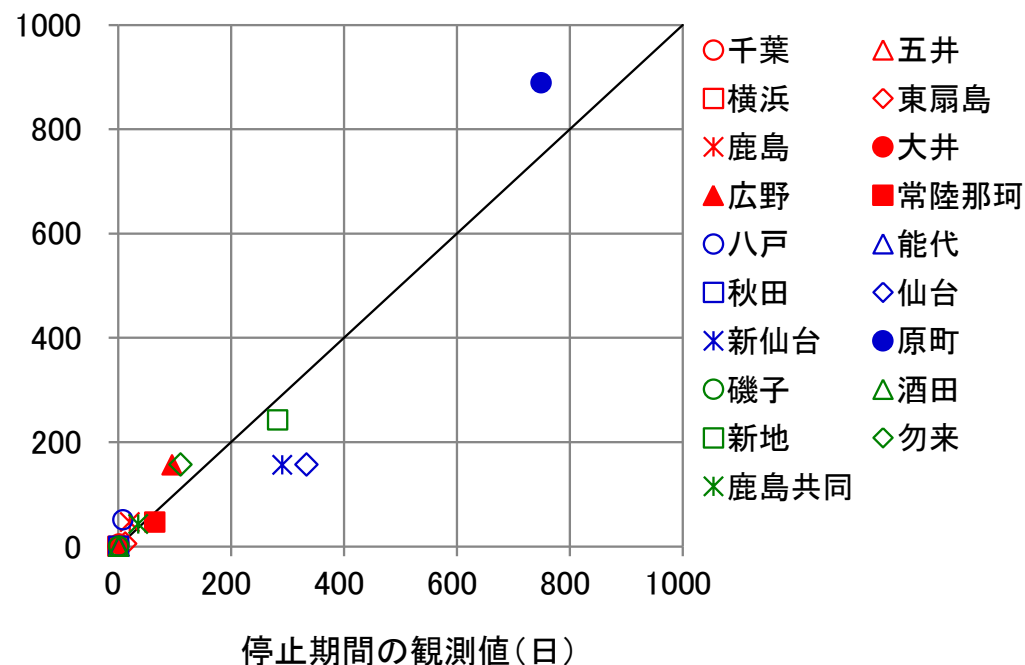
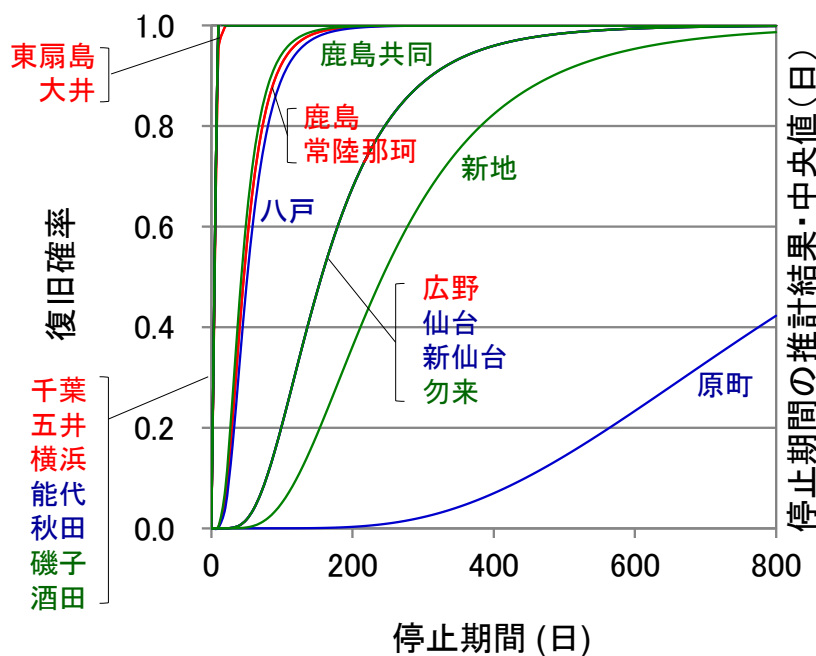
個別設備の被害がXの場合に、停止期間Tがt以下となる確率

$$G(t | X) = \Pr(T \leq t | X) = \Phi\left(\frac{\ln t - \beta X}{\xi}\right)$$

X: 個別設備の被害発生状況(0/1)
 β: 個別設備の被害の有無が停止期間に与える影響の大きさ

β1	β2	β3	β4	β5	σ
給排水(C)	受電(C)	ボイラ(B)	排煙(C)	事務建屋・倉庫(A)	—
1.12	1.22	1.41	1.30	1.74	0.54

- A) 全壊
- B) 一部損壊
- C) 軽微な不具合



まとめ・今後の課題

- 2011年東日本大震災による火力発電所の被害データベースを構築し，基本的な分析を実施。
 - ✓ 個別設備のフラジリティ曲線
 - ✓ 個別設備の被害発生状況をパラメータとした復旧関数
(→多様な被害パターン，シナリオの想定に活用)

- 課題
 - ✓ 既往災害における被害・復旧調査の継続
 - ✓ 設計で担保している条件，耐震・耐津波対策の実施状況の反映
 - ✓ 実験・シミュレーション結果との比較
 - ✓ 設備被害の相関