

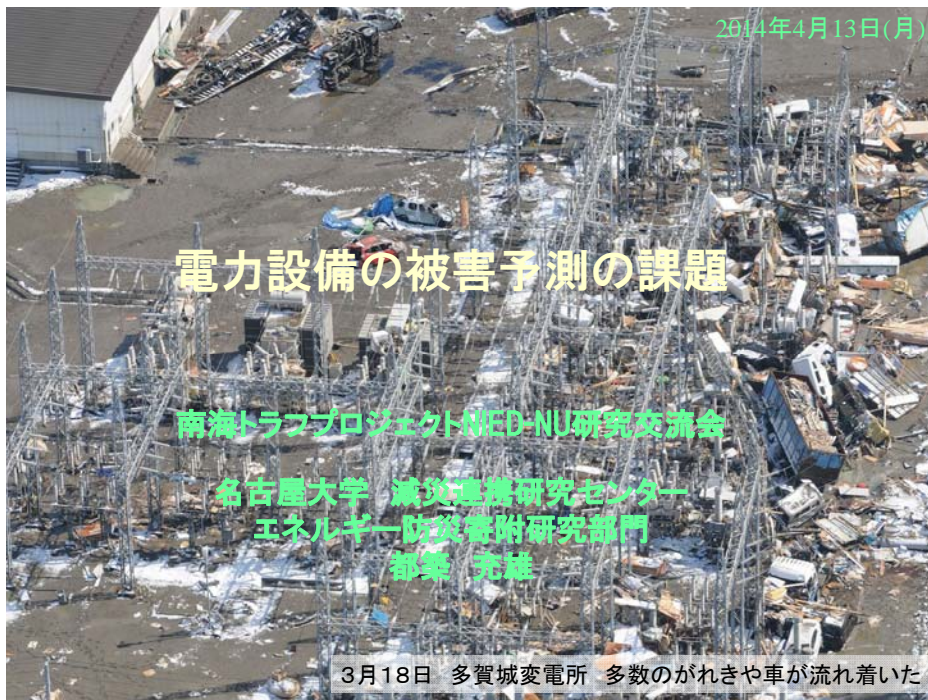
2014年4月13日(月)

# 電力設備の被害予測の課題

南海トラフプロジェクトNIED・NU研究交流会

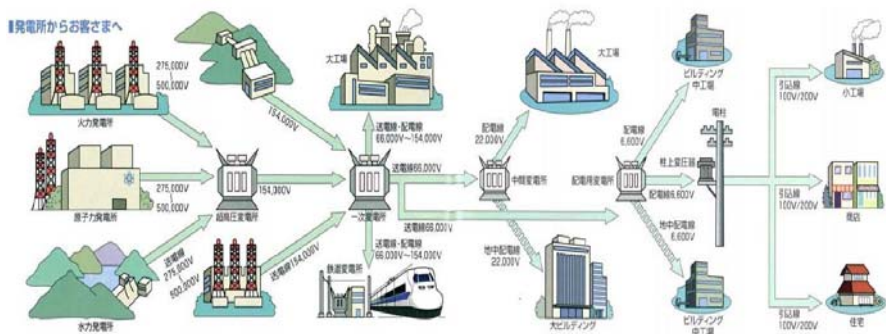
名古屋大学 減災連携研究センター  
エネルギー防災寄附研究部門  
都築 充緒

3月18日 多賀城変電所 多数のがれきや車が流れ着いた



# 電力供給のしくみ

# 発電所から一般家庭へ送られる電気の流れ



**高圧**  
点的・線的  
設備信頼度:高  
被災時復旧:難

**低圧**  
面的  
設備信頼度:低  
被災時復旧:容易

常に需要と供給がバランスしている

# 電力ネットワーク(中部地方)

- 発電設備 → 点
- 送変電設備 → 線+地域拠点
- 配電設備 → 面

巨大な設備系統ネットワークを形成  
全体システムとして  
常に需給バランスをとっている

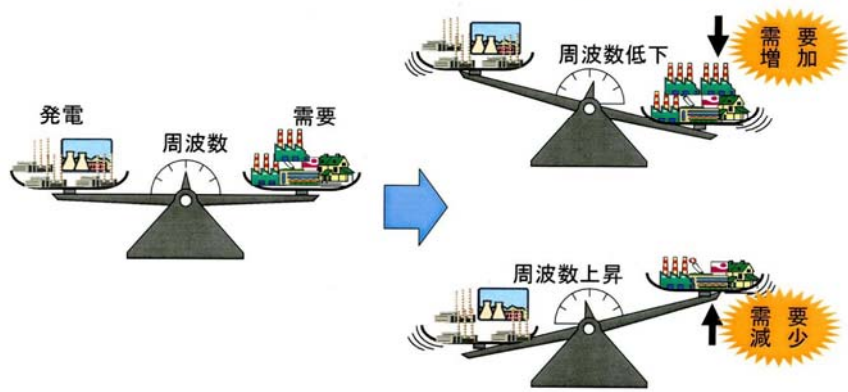
- ◇ 発電設備
    - 火力 11箇所
    - 水力 183箇所
    - 原子力 1箇所
  - ◆ 電源設備構成
    - 火力 69%
    - (石油15%・石炭13%・LNG41%)
    - 水力19%
    - 原子力 12%
- \*平成23年3月31日時点



# 需要と供給のバランス調整

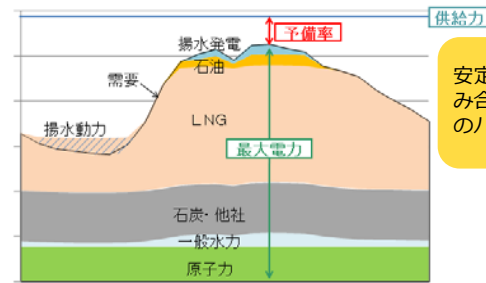
## 【平常時の運用】

電力系統では、エリア全体の発電と需要のバランスが崩れると周波数が変化する特性がある。このため、エリアの周波数調整に責任を持つ一般電気事業者は、エリア全体の需要にあわせて多くの発電機を組み合わせ、常に発電と需要のバランスを維持するよう運用している。



出典：電力系統利用協議会

# 平常時の電力供給

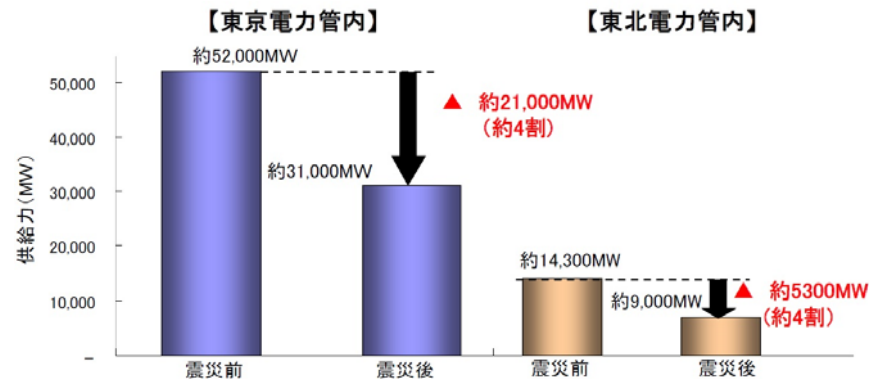


安定供給のために、様々な電源を組み合わせ、瞬時瞬時に需要と供給のバランスを一致。

発電方式	特性
原子力	資本費は高いが、運転コストが安く、高利用率運転に適する
調整池式水力、貯水池式水力	初期コストは高いが耐用年数平均で見ると経済性に優れた出力の変化速度が迅速で、需要変動への対応が極めて容易
石油火力	運転コストは比較的高いが、資本費が安い発電電力の調整力に優れる
LNG火力	運転コストは石油火力より安く、資本費は石炭火力より安いある程度の需要変動対応力を有する
石炭火力	資本費は高いが、運転コストは火力の中で最安原子力よりも需要変動に対応しやすい(ベース～ミドル利用)
揚水発電	主に火力発電による電力を使用して上流のダムに水を汲み上げて発電を行うことから、運転コストは火力発電よりも高い。

2011.3.11

# 3.11地震発生前後の供給力



震災後の供給力減に至った主な発電所	
【東京電力管内】	【東北電力管内】
・原子力(福島第一、福島第二、東海第二)	・原子力(女川)
・火力(鹿島、広野、常陸那珂など)	・火力(八戸、仙台、新仙台、原町、常磐、相馬など)



### 3.11地震発生後の周波数低下

#### <東北・東京系統の周波数>

- ・地震発生直前 50Hz
- ↓
- ・電源停止等による需給ギャップにより周波数大幅低下
- ↓
- ・他エリアからの即応周波数維持装置が自動対応(右図参照)
- ↓
- ・需給ギャップ解消せず、周波数低下継続(48.5Hz以下)
- ↓
- ・一部の需要への供給の自動停止(負荷遮断)、及び運転継続発電所の出力増により周波数は地震発生から約5分後に50Hzに復帰し、**東北・東京エリア全系の停止(ブラックアウト)を回避**

#### <他エリアからの電力応援>

北海道本州連系設備を通しての電力供給応援



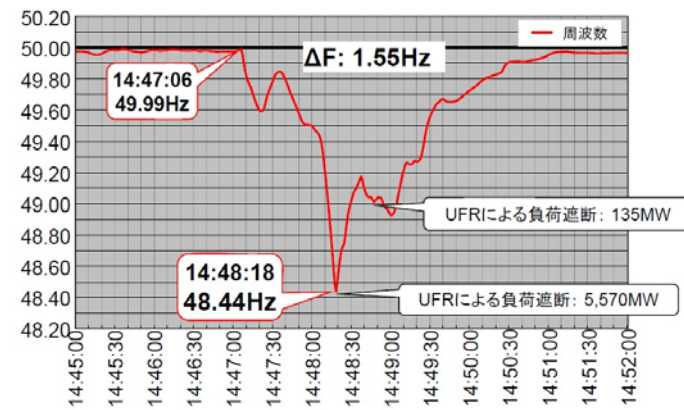
東京中部間連系設備FC(周波数変換装置)を通しての電力供給応援

[出典:平成23年 電気学会 電力・エネルギー部門大会 【震災特別セッション】一般社団法人電力系統利用協議会発表資料をもとに作成]

経済産業省産業構造審議会保安分科会電力安全小委員会  
電気設備地震対策ワーキンググループ報告書の概要  
電気事業連合会

### 3.11地震発生後の周波数低下

- 系統の周波数が電源の脱落により48.44Hzまで低下
- UFR (under frequency load shedding relay)動作によりブラックアウトは回避
- UFR及び電源回復により、約5分で周波数が回復

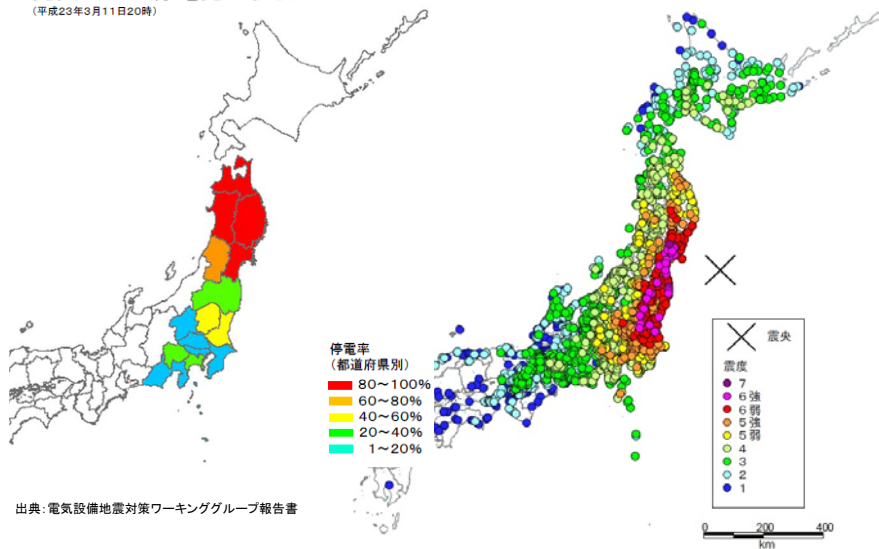


経済産業省産業構造審議会保安分科会電力安全小委員会  
電気設備地震対策ワーキンググループ報告書の概要  
電気事業連合会

### 3.11需給バランス阻害による広域停電

#### 発災当日の停電発生状況

(平成23年3月11日20時)

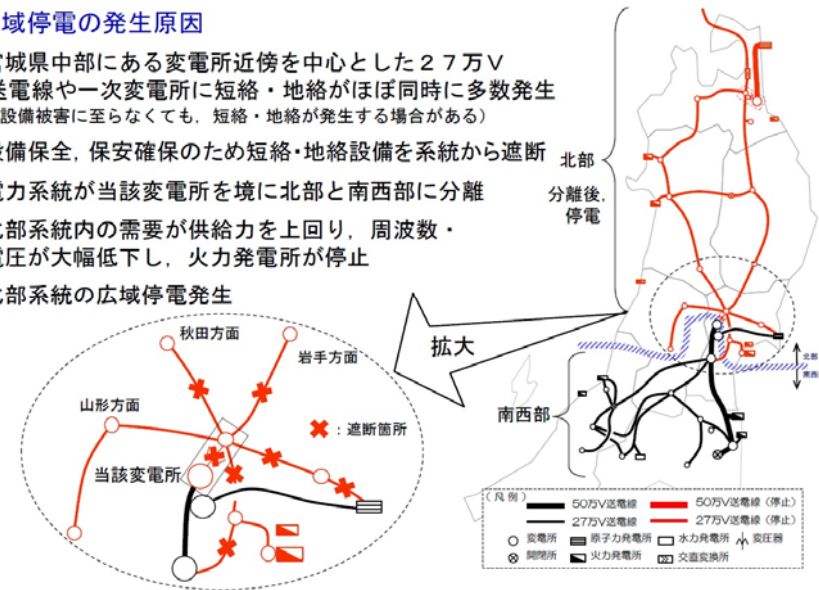


出典:電気設備地震対策ワーキンググループ報告書

### 3.11需給バランス阻害による広域停電

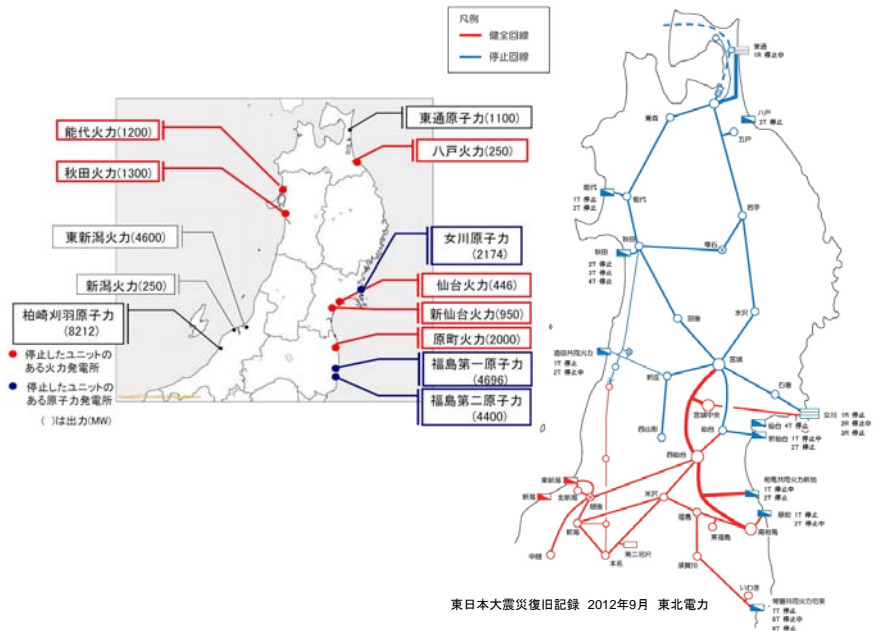
#### ■ 広域停電の発生原因

- 宮城県中部にある変電所近傍を中心とした27万V送電線や一次変電所に短絡・地絡がほぼ同時に多数発生(設備被害に至らなくても、短絡・地絡が発生する場合があります)
- 設備保全、保安確保のため短絡・地絡設備を系統から遮断
- 電力系統が当該変電所を境に北部と南西部に分離
- 北部系統内の需要が供給力を上回り、周波数・電圧が大幅低下し、火力発電所が停止
- 北部系統の広域停電発生

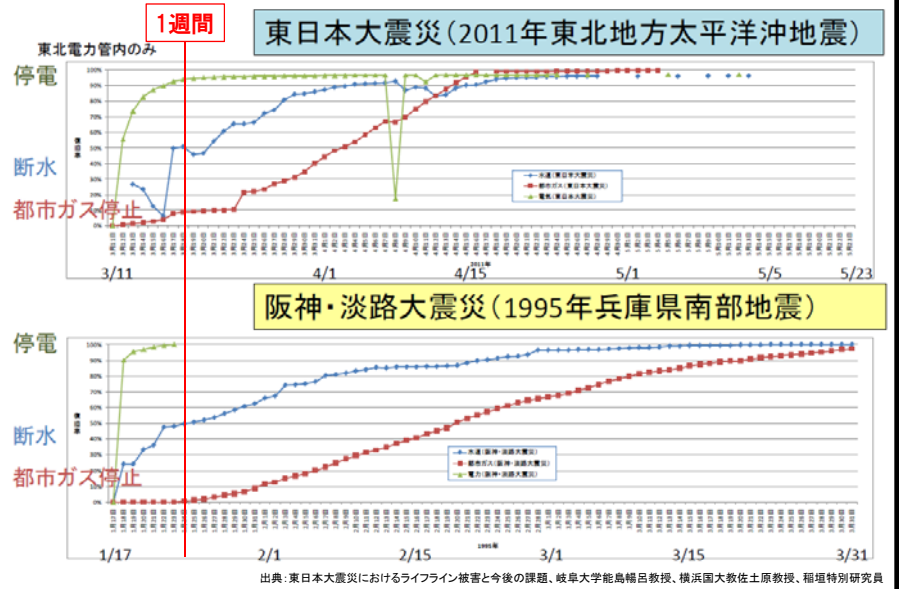


【凡例】  
 50万V送電線 (停止)  
 27万V送電線 (停止)  
 変電所  
 原子力発電所  
 水力発電所  
 火力発電所  
 変圧器  
 開閉所  
 交直流変換所

### 3.11 需給バランス阻害による広域停電



### 3.11 震災後の電力の復旧率



### 3.11 東北地方の電力の復旧



中央防災会議の被害予測

## 4.3 電力

### ○基本的な考え方

- 津波浸水と揺れによる電線被害等の影響を考慮して、停電軒数を算出する。
- 揺れの影響として、火災による延焼と電柱折損、変電所の機能停止を考慮する。
- 復旧予測は、停電軒数と東日本大震災等での復旧状況を考慮する。

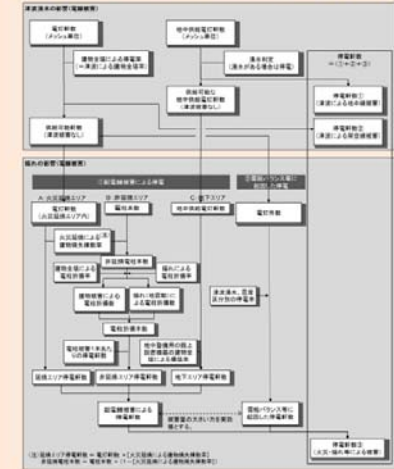
### ✓ 東日本大震災で得られた知見等

- 揺れや液状化、津波等により電柱（＝支持物）等の架空配電設備の被害が発生している。東北電力管内では津波による被害が大半を占め、浸水エリア内での被害率は16.3%であった。揺れによる被害率は、従来手法よりも小さな値となっている。

（参考）東北電力管内では、最大約466万戸の停電が発生した。3日後には被害全体の約80%を復旧、8日後には津波等の影響で復旧作業に入れない区域を除いて停電を解消した。東京電力管内では、最大約405万戸が停電したが、翌日には、60万戸、4日後には7,300戸まで減少し、7日後には全ての停電が復旧した。

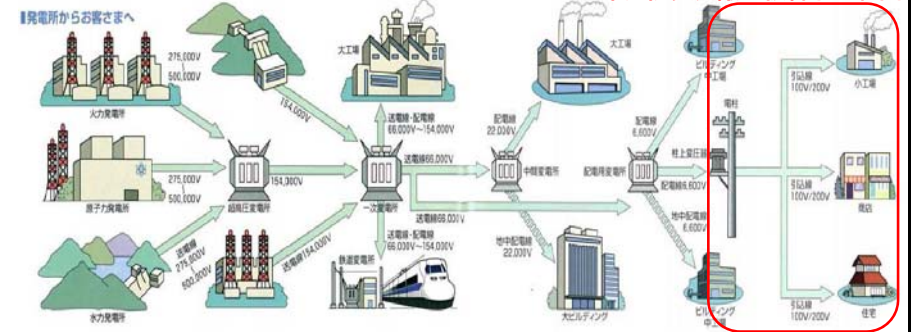
### ◆ 今回想定で採用する手法

- 津波浸水及び揺れによる電線被害から、停電軒数を算出する。



注) 復旧予測にあたっては、津波浸水により建物全壊した需要家数に相当する停電軒数を別途算出し、復旧対象から除くものとする。

## 中央防災会議の被害予測範囲



**高圧**  
点的・線的  
設備信頼度: 高  
被災時復旧: 難

**低圧**  
面的  
設備信頼度: 低  
被災時復旧: 容易

常に需要と供給がバランスしている

- 電力供給と需要のバランスが崩れ広域が短期的に停電する
- 配電設備を中心とする流通設備が被災し復旧まで停電する
- 発電設備が被災し発電設備復旧まで長期的に停電する

地震直後	<p>線、変電所、送電線・鉄塔の被害等が発生し、停電する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>需要側の被災と発電設備の被災により需給バランスが不安定になることから、広域的に停電が発生する。</li> <li>東海三県(静岡、愛知、三重)で約9割、近畿三府県(和歌山、大阪、兵庫)で約9割、山陽三県(岡山、広島、山口)で約3~7割、四国で約9割、九州二県(大分、宮崎)で約9割の需要家が停電する。</li> <li>停電全体のうちほとんどが需給バランス等に起因した停電であり、電柱・電線被害に起因した停電は停電全体の1割以下である。</li> </ul>
3日後の状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>需給バランスに起因した停電は、供給ネットワークの切替等により多くの停電が解消されるが、東海三県では約1~5割、近畿三府県で最大約1割、四国で約2~5割、九州二県で約2~3割の需要家が停電したままである。山陽三県では、停電がほとんど解消される。</li> </ul>
1週間後の状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>停止した火力発電所の運転再開は限定的である。</li> <li>電柱・電線被害等の復旧も進み、約9割以上の停電が解消される。(解消されない地域には、津波で大きな被災を受けた地域も含まれる。)</li> </ul>
1か月後の状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>停止した火力発電所が徐々に運転再開するために、西日本(60Hz)全体の供給能力は、電力事業者間で広域的に電力を融通すれば、電力需要の約9割まで回復する。</li> </ul>

シナリオ①  
電力供給と需要のバランスが崩れ  
広域が短期的に停電する  
→ 需給バランスによっては長期に



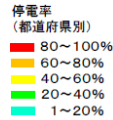
# 中央防災会議 需給バランス阻害による広域停電



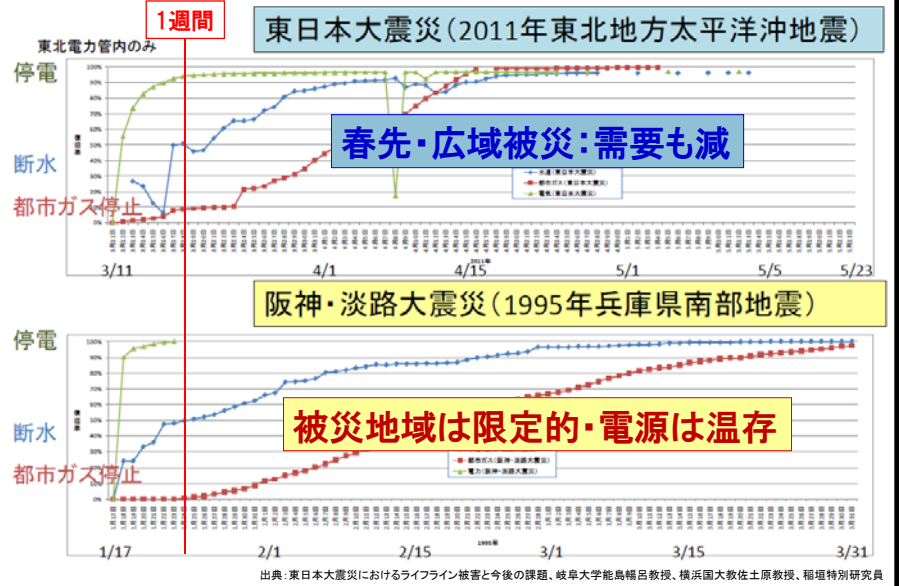
東日本大震災停電範囲  
電気設備地震対策ワーキンググループ報告書

南海トラフ巨大地震停電範囲

地震動：陸棚ケース、津波：ケース①、冬・夕方、風速8m/s



# 3.11震災後の電力の復旧率

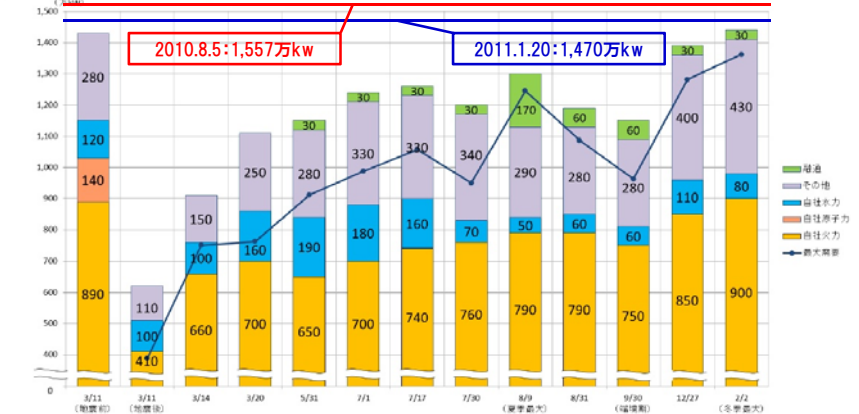


# 被災後の東北電力の需要と供給力



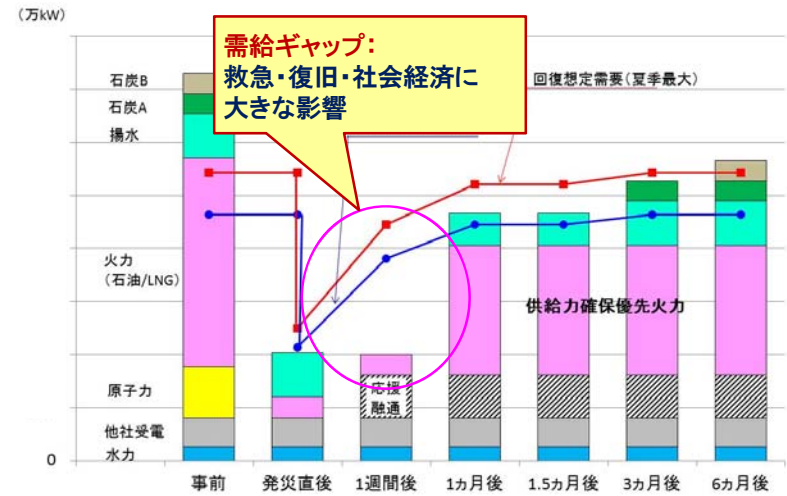
	3/11 (地震前)	3/11 (地震後)	3/14	3/20	5/31	7/1	7/17	7/30	8/9 (夏季最大)	8/31	9/1 (臨時)
供給力合計	1,430	619	910	1,107	1,146	1,241	1,264	1,204	1,303	1,190	1
最大需要		389	750	763	912	988	1,058	950	1,246	1,087	

中部地方では  
春・秋 約2,000kw  
冬 約2,300kw  
夏 約2,700kw

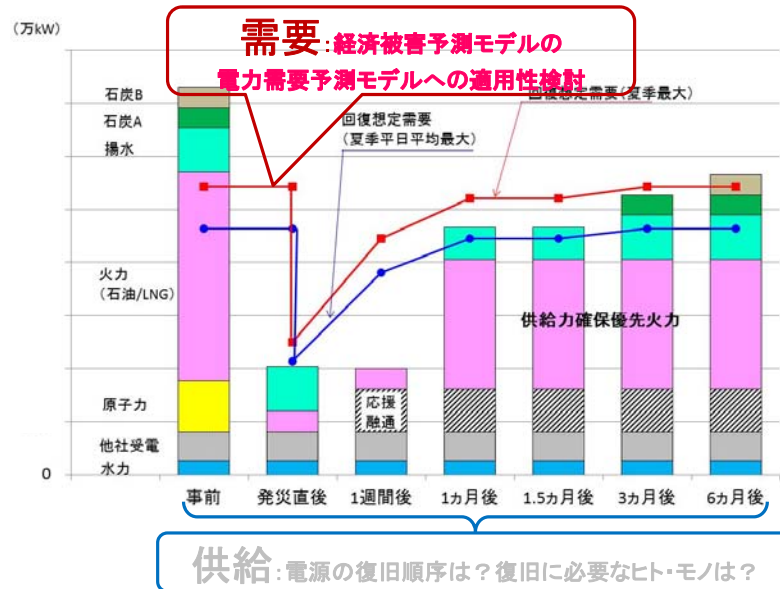


東北電力HPによる

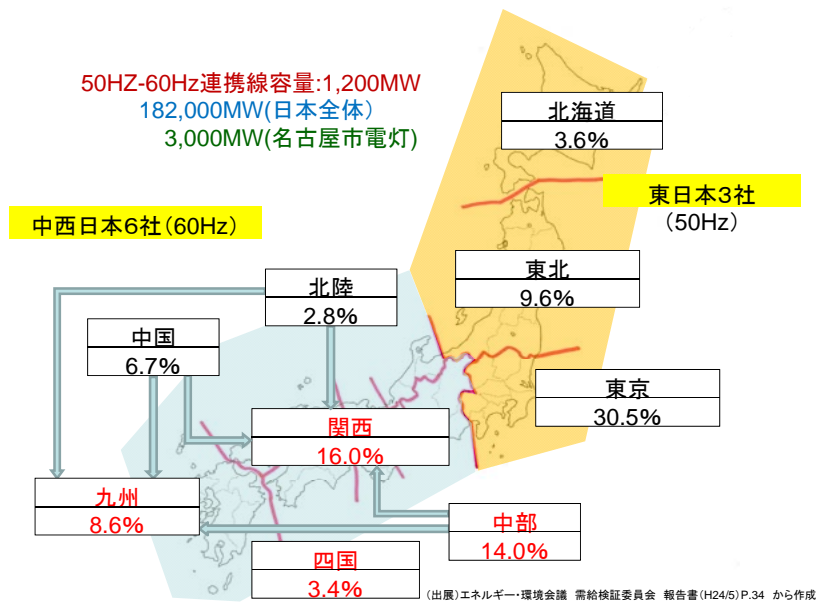
# もし、夏に南海トラフ巨大地震が起こったら？



# 需給バランスの予測の高精度化が必要



# 電力の融通と広域連携がどこまで可能か?



# シナリオ②

配電設備を中心とする流通設備が被災し復旧まで停電する

# 3.11 電力設備の被害数・被害率

設備	東京電力		東北電力		(参考) 兵庫県南部地震 (関西電力) (地震による被害のみ)		
	被害数/設備数(※1)	被害率	被害数/設備数(※1)	被害率	被害数/設備数(※1)	被害率	
火力発電設備 (基)	14/81	17%	5/20	25%	20/64	31%	
変電設備 (配電用含む)	変圧器 (台)	17/2,997	0.57%	30/1,712	1.8%	-	6.9%(※2)
	遮断器 (台)	11/3,180	0.35%	4/4,104	0.10%	-	1.3%(※2)
	断路器 (台)	104/8,388	1.2%	32/6,975	0.46%	-	1.1%(※2)
架空送電設備	鉄塔 (基)	15/30,555	0.05%	46/28,205	0.16%	20/10,765	0.19%
地中送電設備	ケーブル (回線)	30/3,714	0.81%	20/472	4.2%	385/5,795(※3)	6.6%
架空配電設備	電柱 (基)	14,288/5,818,237	0.25%	36,048/3,038,915	1.2%	11,289 (被害数のみ)	0.5%

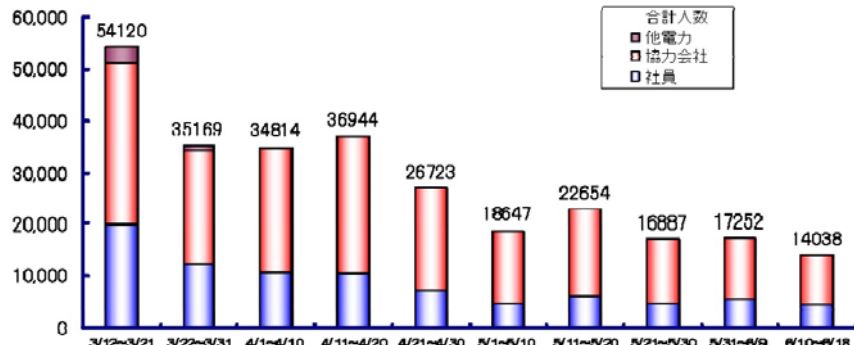
※1 被害数: 被害のあった設備の数 (ただし、変電設備は使用不能となった設備の数、架空・地中送電設備は早急復旧を要する設備の数) 設備数: 東京電力、東北電力、関西電力が保有する設備の数 (変電・架空送電・地中送電設備については、震度5弱以上の地域における設備の数)

※2 被害のあった変電所50カ所の設備に対する使用不能となった設備の被害率

※3 設備数は平成7年時の調査数であり、また単位は(条)であるため、今回調査と単純な比較はできない (例えば、同一回線で5カ所に被害があった場合、今回調査では1(回線)、平成7年時調査では5(条)とカウントされる)。

# 東北電力流通部門の復旧人員の推移

■ 送電可能な地域の停電が全て解消した6月18日までに延べ約27万7千人を投入



(参考)東北電力における電力会社間の応援状況(配電)

	北海道	東京	北陸	中部	関西	合計
稼働数(人日)	622	454	439	2,458	203	4,176
発電機車(台)	17	-	3	19	2	41

経済産業省産業構造審議会保安分科会電力安全小委員会  
電気設備地震対策ワーキンググループ報告書の概要  
電気事業連合会

# 電力会社間の応援状況



# 復旧人員・応援体制は確保できるか？

東日本大震災	被災	事業規模 =社員数 =売上シェア	南海トラフ 巨大地震	被災	事業規模 =社員数 =売上シェア
北海道		3.6%	北海道		3.6%
東北	×	9.6%	東北		9.6%
東京	△	30.5%	東京		30.5%
北陸		2.8%	北陸		2.8%
中部		14.0%	中部	×	14.0%
関西		16.0%	関西	×	16.0%
中国		6.7%	中国		6.7%
四国		3.4%	四国	×	3.4%
九州		8.6%	九州	×	8.6%

東日本大震災

東北を他電力が応援→1週間で復旧

約(9.6%+10%) / 80% = 1/4

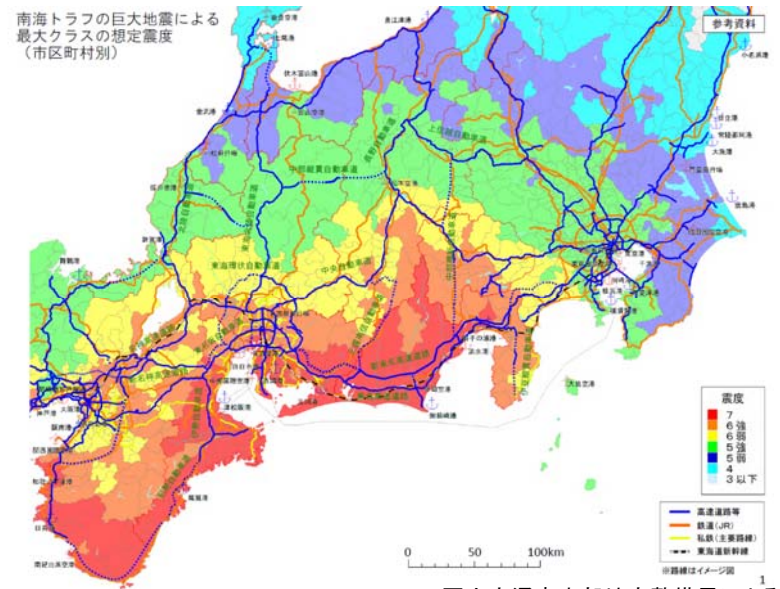
南海トラフの巨大地震

中電・関電・四電・九電(の一部)が被災

約(14%+16%+3.4%+4.3%) / 62.3% = 1/1.6

→復旧の長期化の可能性

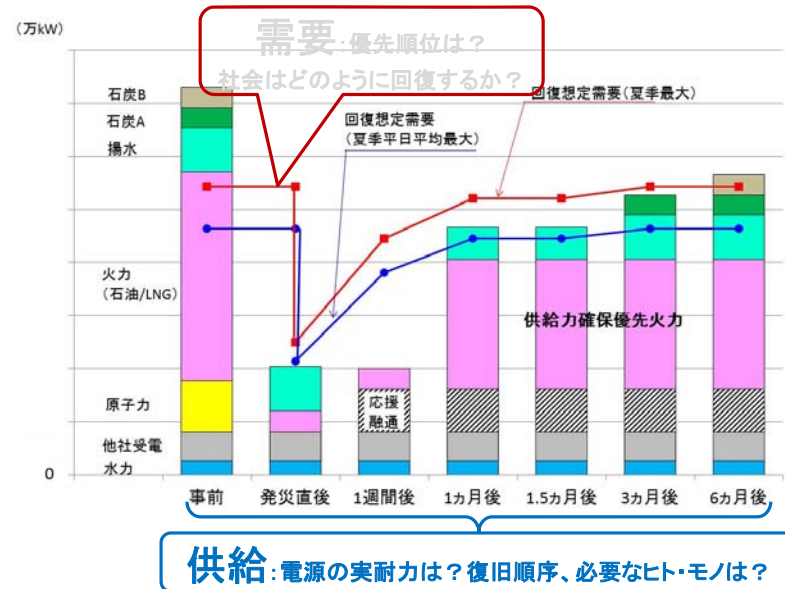
# 人員・資材の復旧応援ルートは確保できるか？



国土交通省中部地方整備局による



## シナリオ③ 発電設備が被災し 発電設備復旧まで長期的に停電する



## 東北電力火力発電所被害

- 運転中であった20台中、12台が地震発生直後に停止。火力・地熱発電所総出力(設備容量)は492.6万kW(約55%)減少。
- 日本海側の火力発電所および地熱発電所は停止した8台全てが3日以内に運転再開。
- 太平洋沿岸4火力発電所(八戸, 仙台, 新仙台, 原町)は、運転中4台のうち3台が地震により停止、津波により1台停止。地震により防振器が外れるなどの被害に加え、津波により揚炭機が大破するなどの被害も発生し、停止中2台を含め被害を受けた。
- 太平洋沿岸3火力発電所(仙台, 新仙台, 原町)については、津波による被害が大きく復旧に時間を要している。

【地震前後の運転中設備容量推移】

地震発生前	894.6万kW
地震直後	402.0万kW (▲492.6万kW)
(参考)	
火力・地熱発電設備 (設備量合計)	1086.98 万kW(※)

※長期計画停止中の東新潟火力港1号は含まない

【震災後の発電設備復旧状況(台)】

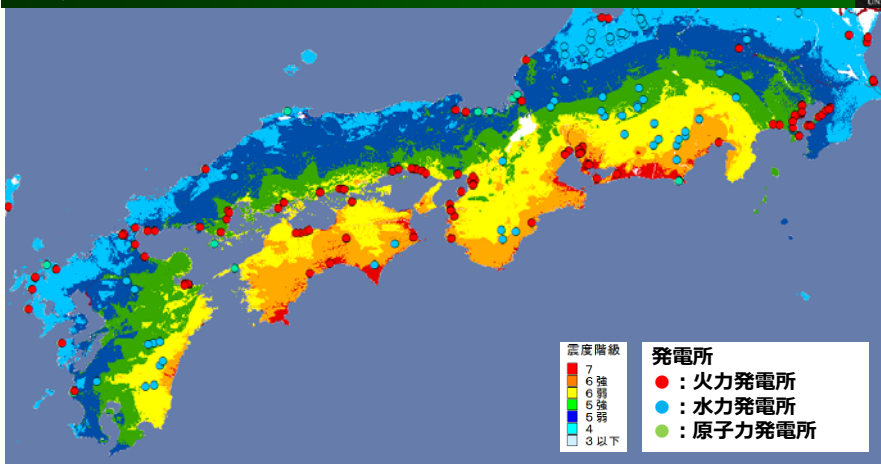
震災前の状態	震災後の状態	復旧状況(停止残台数)					
		3日後	3月末	4月末	6月末	7月末	
日本海側 火力発電所・ 地熱発電所 (18台)	運転中 (16台)	運転継続	8	-	-	-	-
	震災で停止	8	0	-	-	-	
停止中※(2台)		2	2	2	1	0	0
太平洋沿岸 4火力発電所 (6台)	運転中 (4台)	運転継続	0	-	-	-	-
	震災で停止	4	4	3	3	3	3
停止中※(2台)		2	2	2	2	2	2
合計		24	8	7	6	5	5

※ 定期検査等の作業停止や予備停止(長期計画停止中火力は除く)

## 原町火力 津波被害



## 地震動による火力発電所フラジリティ?



軟弱埋立地盤+震度7  
は未経験の領域

火力発電所の 喪失出力量 (万kW)	5弱以上	5強以上	6弱以上	6強以上	津波影響
南海トラフ地震	9436.1	6464.6	5567.2	4458.3	7016.5
東日本大震災	3782.9	2549.5	1667.1	200.0	1122.1
比率	2.5	2.5	3.3	22.3	6.3

真屋敷・河田、南海トラフ巨大地震における中長期的な電力需給ギャップ推計方法の一試案、2014.3

## 火力発電所の供給力に関するその他の課題

- 東日本大震災ではM7クラスの余震により、停電復旧率が大きく低下した。余震とそれに伴う津波警報等の頻発により、沿岸部の火力発電所等の復旧作業に入れずに発電停止や復旧が長期化することが予想される。
- 火力発電所の復旧において、人員・資材の運搬や復旧応援をスムーズに進めるためには、主要幹線道路や高速道路が健全であることが不可欠である。特に、愛知県・三重県の沿岸部は全域が震度6強以上であり、道路の復旧スピードが伊勢湾周辺に立地する火力発電所の復旧に影響を及ぼすことが想定される。
- 火力発電所は港湾に隣接して立地しているが、復旧や燃料調達には、航路の健全性や港湾施設の安全性を確保することが不可欠であるため、航路や港湾施設の被害・復旧想定との整合を図る必要がある。
- 火力発電は、蒸気を使って蒸気タービンの羽根車を回すことで、タービンにつないだ発電機を動かし発電している。この蒸気となる水は工業用水を用いているため、工業用水の被害・復旧想定との整合を図る必要がある。

2014年4月13日(月)

ありがとうございました

名古屋大学 減災連携研究センター  
 エネルギー防災寄附研究部門  
 都築 充雄