

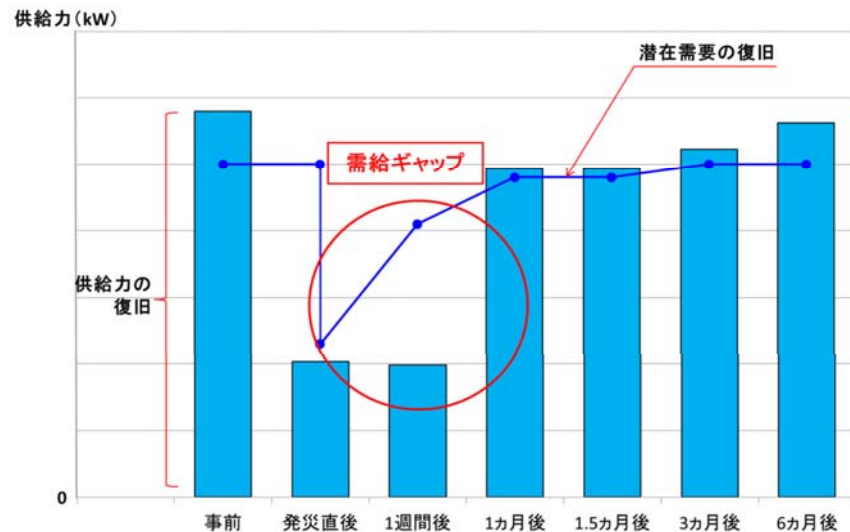
南海トラフ巨大地震における 電力需給ギャップについて

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
虎谷 健司

電力需給ギャップとは？
(おさらい)

大規模災害後の電力需給ギャップとは？

発災後の供給（電力設備：発電所・変電所・送電・配電）の復旧が、需要の復旧（+復興需要）においつかないこと
⇒節電要請、計画停電などの対応が必要となる

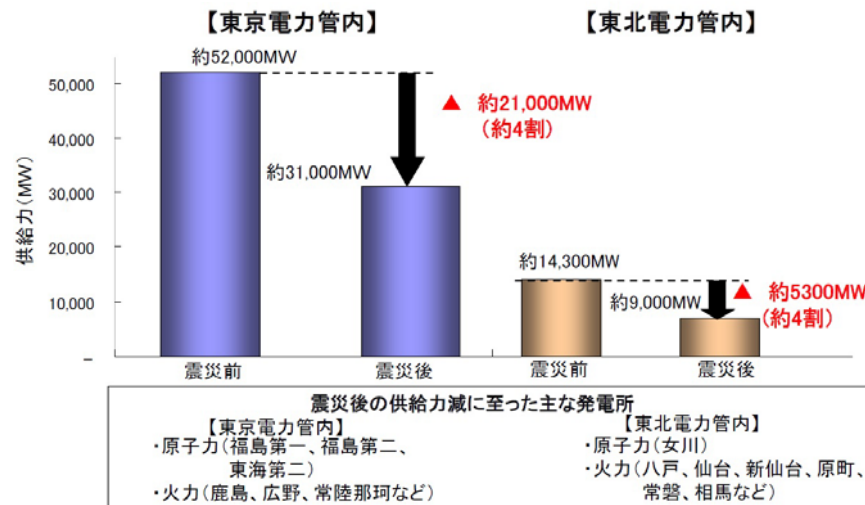


東日本大震災で発生した
電力需給ギャップ

- ①電力の需給バランスが崩れ広域が停電する
- 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（過去実績は約1週間）
- 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（需給バランスに関連）

電力の需給バランスが崩れ 広域が停電する

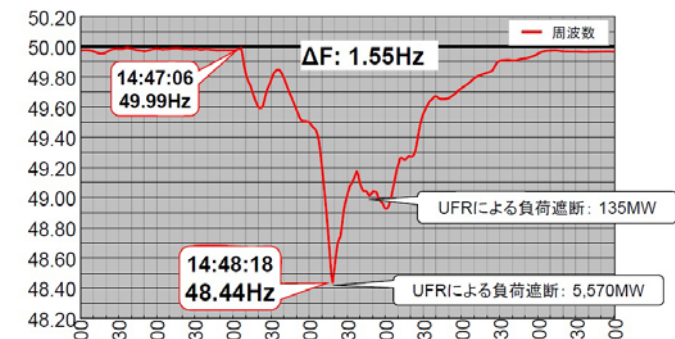
3.11地震発生前後の供給力



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

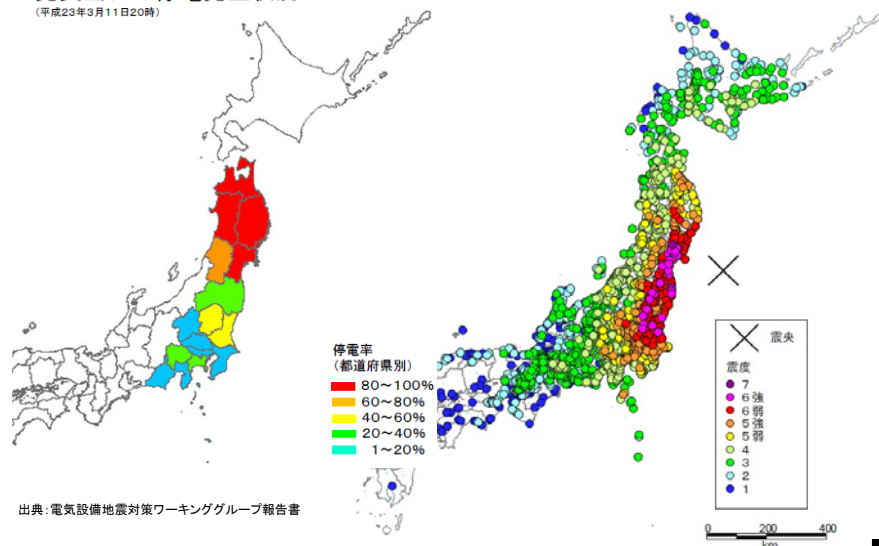
- 系統の周波数が電源の脱落により48.44Hzまで低下
- UFR (under frequency load shedding relay)動作によりブラックアウトは回避
- UFR及び電源回復により、約5分で周波数が回復



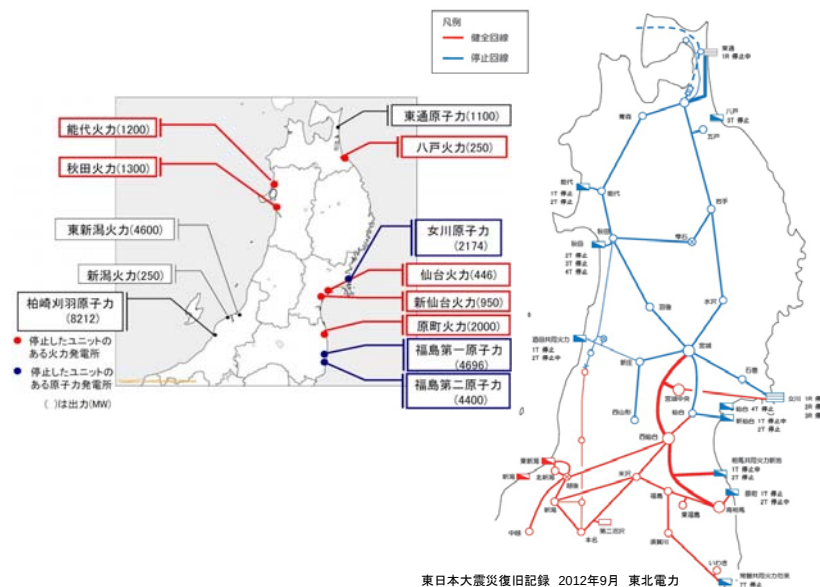
経済産業省産業構造審議会保安分科会電力安全小委員会
電気設備地震対策ワーキンググループ報告書の概要
電気事業連合会

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)



3.11需給バランス阻害による広域停電



震災後の東北地方の電力復旧地域



東日本大震災復旧記録 2012年9月 東北

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(※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)

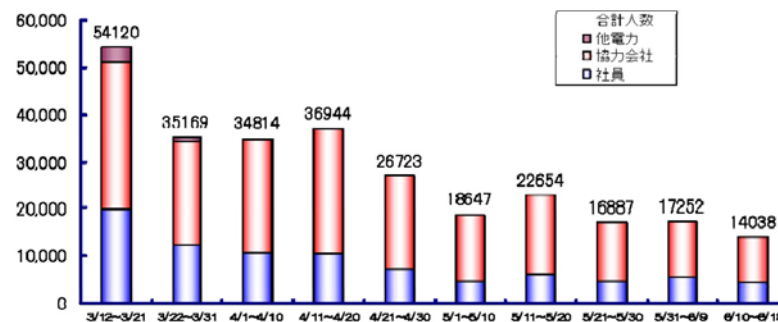
※2 被害のあった変電所50カ所の設備に対する使用不能となった設備の被害率

※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)。

流通設備の復旧は人海戦術 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

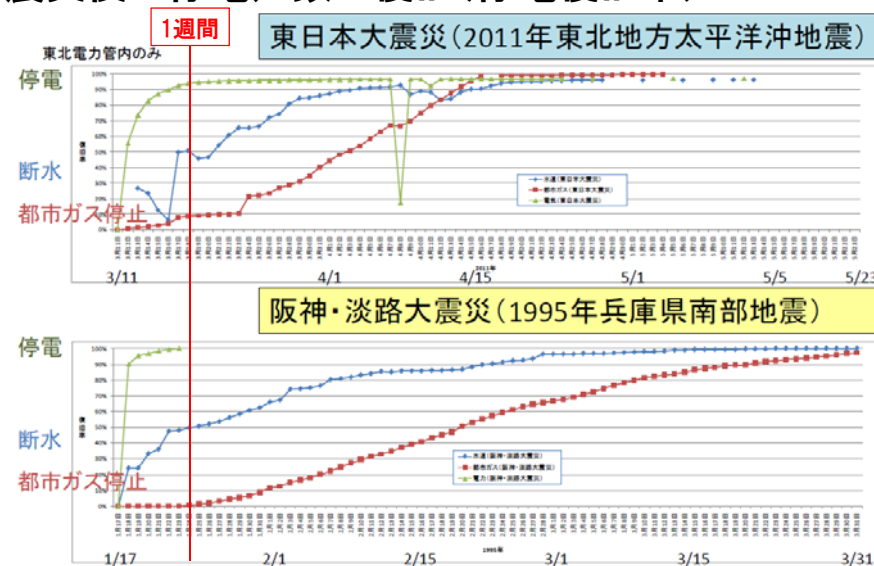
経済産業省産業構造審議会保安分科会電力安全小委員会
電気設備地震対策ワーキンググループ報告書の概要
電気事業連合会

電力会社間の応援状況



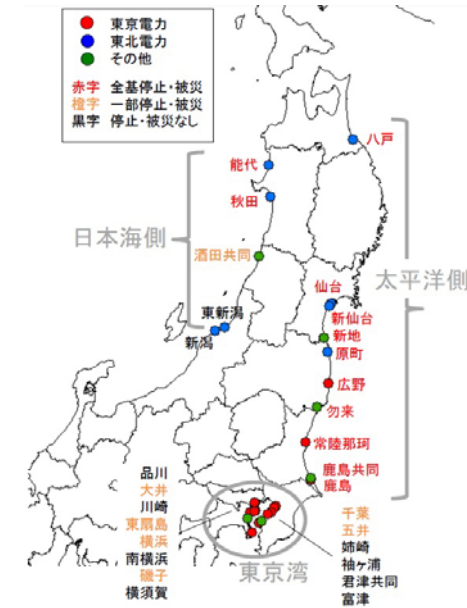
概ね1週間で停電が解消

震災後の停電戸数の復旧(停電復旧率)



出典:東日本大震災におけるライフライン被害と今後の課題、岐阜大学能島暢昌教授、横浜国大教佐土原教授、稲垣特別研究

発電設備が被災し
発電設備復旧まで
長期的に停電する
(需給バランスに関連)



火力発電設備地震被害

構成要素	1	2	3	4	5	6	7	8	9
燃料設備	A	A	A	A	A	A	B	A	B
ガスタービン	B	-	-	-	-	-	A	-	-
ボイラ	B	B	B	B	B	B	A	C	B
蒸気タービン	B	A	B	A	B	B	A	B	A
冷却水系	A	A	A	A	B	B	A	B	A
通風排煙設備	A	B	A	A	B	B	A	B	A
受電・送電, 非常用電源	A	A	A	A	B	A	A	B	A
その他									
事務棟, 建屋設備	B	B	B	B	A	B	B	A	A
通信設備	A	B	A	A	A	A	B	A	A
岸壁, 構内道路	A	B	A	B	C	A	A	A	A

- A : 損傷無し
- B : 軽微な損傷 (少しの部品交換で修理)
- C : 重度な損傷 (基礎をやり直す, 多くの部品交換)
- D : 再使用不可能

缶左右ケーシ壁貫通亀裂

地割れ, 陥没, 湾曲

火力発電設備津波被害

揚炭機破損, パイプライン, ベルトコンベア破損
タンク破損 等

構成要素	1	2	3	4	5	6	7	8	9
燃料設備	B	B	D	D	C	C	B	C	A
ガスタービン	B	-	-	-	-	-	A	-	-
ボイラ	B	B	B	C	A	A	B	A	A
蒸気タービン	A	C	B	C	C	A	A	A	A
冷却水系	B	C	C	C	C	C	B	A	A
通風排煙設備	A	B	B	D	A	A	B	A	A
受電・送電, 非常用電源	B	B	C	D	B	C	A	A	A
その他									
事務棟, 建屋設備	B	B	C	D	A	A	B	A	A
通信設備	B	B	C	C	A	A	B	A	A
岸壁, 構内道路	B	B	C	C	A	B	B	B	A

補機浸水, BFPT浸水
潤滑油系統停止⇒軸受け損傷,
タービン翼とシュラウドの一部接触

サービスビル浸水

- A : 損傷無し
- B : 軽微な損傷 (少しの部品交換で修理)
- C : 重度な損傷 (基礎をやり直す, 多くの部品交換)
- D : 再使用不可能

原町火力 津波被害



東日本大震災から推定された火力発電設備の復旧期間

地震

被害レベル	レベルA	レベルB	レベルC
被害の程度	ボイラー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有。	ボイラー過熱管等に中規模な被害が発生。また、鉄骨に軽微な塑性変形が発生する可能性有。	ボイラー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
復旧期間の目安	1ヶ月程度以上 〔ユニットが複数ある発電所は、復旧作業の継続状況等に応じた復旧期間が必要〕	1ヶ月程度以内 〔ユニットが複数ある発電所は、復旧作業の継続状況等に応じた復旧期間が必要〕	1週間程度以内もしくは運転継続 〔被害状況が運転に支障のない程度であれば運転継続〕
復旧の概要	・被害レベルBの復旧内容に加え、塑性変形した本体構造物の修理等に相当の期間が必要。	・被害状況を点検し、ボイラー過熱管等の部品の交換、または可能な範囲で代替部品での応急的な修理で復旧。	・点検や応急的な修理により早期に復旧。

津波

被害レベル	レベルA	レベルB	レベルC
被害の程度	ユニット移動に不可欠な機器および電動機等が浸水。	ユニット移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。
浸水深の目安*	1m程度～数10m	数十cm～1m程度	数十cm未満
復旧期間の目安	4か月程度以上 〔被害範囲が広がれば、それに応じた復旧期間が必要。〕	4か月程度以内	運転継続可能
復旧の概要	・高圧電動機のコイル巻き替え修理に、3～4ヶ月程度（通常時）の期間が必要。また、被害機器数の増加により、修理工場の対応可能状況等に応じて復旧期間は延長。 ・更に主要機器（タービン等）が被害を受けた場合、詳細な点検修理に相当期間必要。	・被害を受けた各機器の点検を実施し、部品の交換や洗浄、または可能な範囲で代替部品での応急的な修理により復旧。	—

※機器の設置状況により被害レベルは異なる。
経済産業省・電力安全小委員会
電気設備自然災害等対策ワーキンググループ
平成26年6月中旬報告書

東北電力管内で実際のおこったことの概要

- 供給力が1,430万kw⇒530万kwに低下
- ブラックアウト回避のため負荷遮断（東北5県ほぼ全域停電）
- 3/20ぐらいまで：春という季節と、節電に助けられ、他社からの融通なしで運用
- 8月までに火力発電所がかなり復旧するが、他社からの融通なしでは供給予備率が最大△9.1%



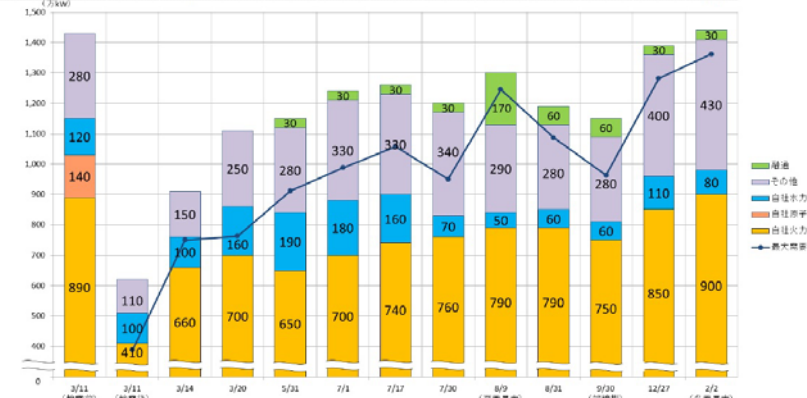
支店	停止率 (%)
青森	99.7
岩手	100
秋田	100
宮城	100
山形	84.4



需給バランスの安定に需要側・供給側共に最大限に努力

供給側：早期復旧、他社からの電力融通
需要側：節電、ピークシフト

	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	9/30 (復旧期)	12/27	2/2 (全冬最大)
供給力合計	1,430	619	910	1,107	1,146	1,241	1,264	1,204	1,303	1,190	1,149	1,386	1,436
最大需要		389	750	763	912	988	1,058	950	1,246	1,087	963	1,282	1,362
復旧・追加した電源			新設1号機 (11.1MW) 新設2号機 (11.1MW) 新設3号機 (11.1MW)	新設4号機 (11.1MW) 新設5号機 (11.1MW)	新設6号機 (11.1MW) 新設7号機 (11.1MW)	新設8号機 (11.1MW) 新設9号機 (11.1MW)	新設10号機 (11.1MW) 新設11号機 (11.1MW)	新設12号機 (11.1MW) 新設13号機 (11.1MW)	新設14号機 (11.1MW) 新設15号機 (11.1MW)	新設16号機 (11.1MW) 新設17号機 (11.1MW)	新設18号機 (11.1MW) 新設19号機 (11.1MW)	新設20号機 (11.1MW) 新設21号機 (11.1MW)	新設22号機 (11.1MW) 新設23号機 (11.1MW)



停電戸数のカウントの仕方(例:東北電力管内)

停電率 = 停止戸数 / 総需要家戸数

実際は停止フィーダ毎にぶら下がっている戸数を停止戸数をしている

※直接的な被害があった個所数ではない

支店	全フィーダ数	総需要家戸数	停止フィーダ数	最大停止			復旧日時
				停止戸数	時刻	停止率 (%)	
青森	666	910,732	662	908,415	3/11 14:54	99.7	4/ 8 17:48
岩手	772	809,471	772	809,471	3/11 14:48	100.0	5/28 15:21 ※2
秋田	654	672,265	654	672,265	3/11 14:48	100.0	4/ 8 17:13
宮城	1,320	1,424,180	1,320	1,424,180	3/11 14:50	100.0	6/18 11:03 ※2
山形	730	690,492	637	582,507	4/ 7 23:33	84.4	4/ 8 10:14
福島	1,226	1,223,961	611	347,337	3/11 15:44	28.4	4/28 12:37 ※2, ※3
新潟※1	1,578	1,385,369	2	1,313	3/12 4:49	0.1	3/12 15:51
合計	6,946	7,116,470	4,658	4,659,265	3/11 15:44	65.5	

※1新潟は3月12日3時59分に発生した新潟県中越地方を震源とする地震の影響

※2「津波等で公共的なインフラ,お客さま家屋等が流失してしまった地域のお客さま」を除く

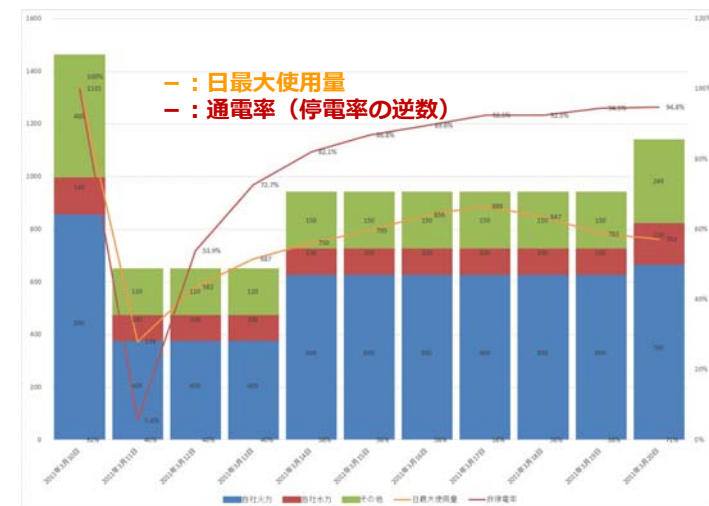
※3「福島県内の立入制限区域において停電しているお客さま」を除く

(出典: 東日本大震災復旧記録 東北電力(株) 2012年9月)

3月10日(前日)~3月20日まで

- 3月11日15時の電力供給619万kwに対して、電力使用量が374万kw、通電率(停電率の逆数)は5.6%
- 3月20日には停電がほぼ解消されるが、日最大の電力使用量は3/10の70%程度

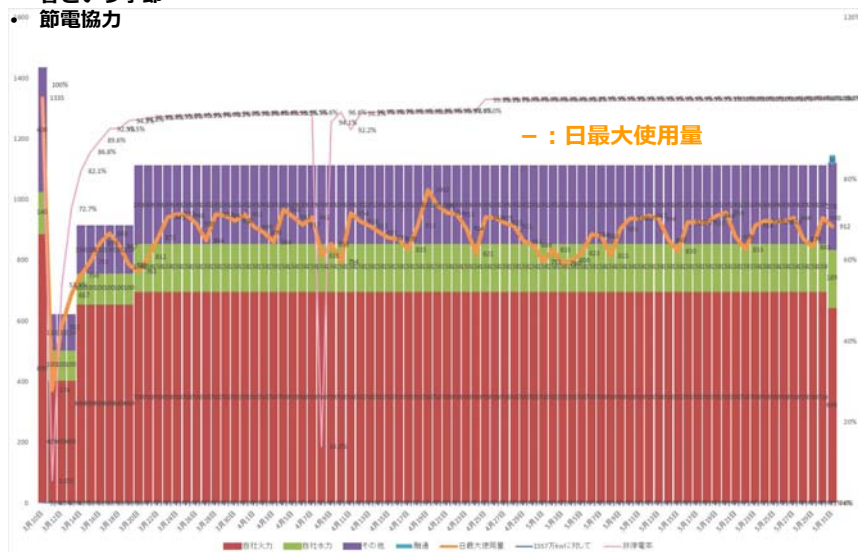
⇒停電率(復旧率)をそのまま電力需要想定に用いるのは無理がある



3月20日~5月末まで

日最大使用量(オレンジ色の折れ線)が、自社供給力の範囲内でおさまっている

- 需要が復興しきっていない
- 春という季節
- 節電協力



日最大使用量の比較(2010年・2011年比較)

3月11日以降、2011年の日最大使用量は、2010年よりも抑制されている。特に夏は、3月11日当日並みの節電協力(+需要の落ち込み)があったと推定される。



2010年・2011年の日最大使用量(万kw)の比較(曜日合わせ済み)、東北電力管内

しかし2011夏：電力供給はギリギリの綱渡り

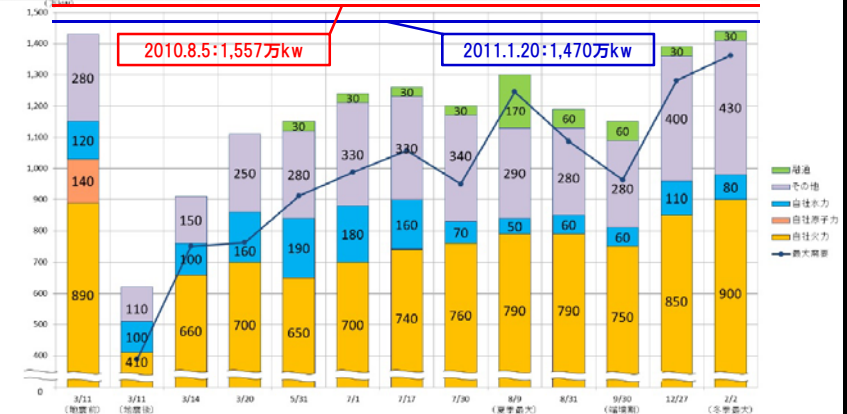
節電の協力にも関わらず、8月は他社からの融通が無かったら計画停電する必要があった

もし南海トラフ巨大地震が夏に発生したら??



結果論的には需給バランスがとれた

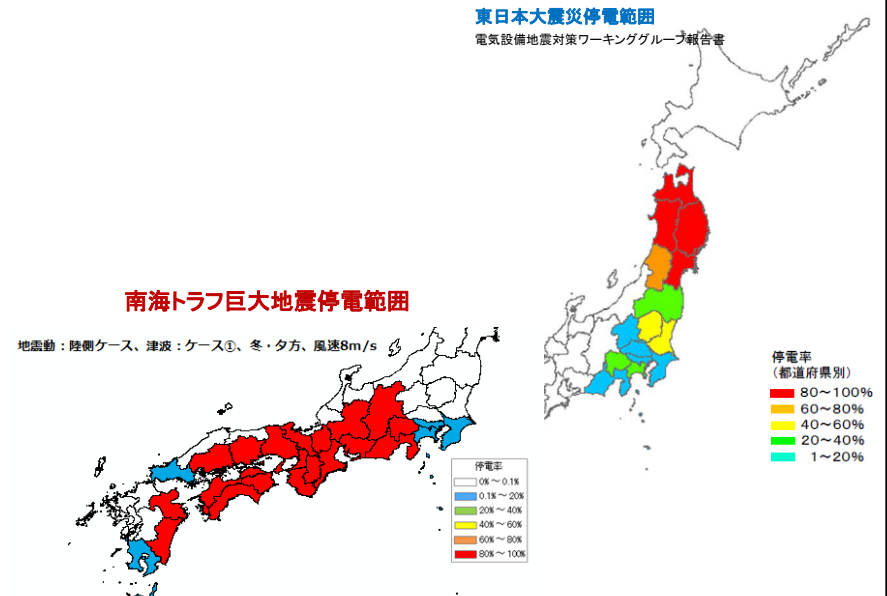
	3/11 (地震前)	3/11 (地震後)	3/14	3/20	5/31	7/1	7/17	7/30	8/9 (夏季最大)	8/31	9/30 (収束前)	12/27	2/2 (冬季最大)
供給力合計	1,430	619	910	1,107	1,146	1,241	1,284	1,204	1,303	1,190	1,149	1,386	1,436
最大需要		389	750	763	912	988	1,058	950	1,246	1,087	963	1,282	1,362
復旧・追加した電源		送電1・2号 (110kV線路) 新設2・4号 送電1号 (110kV線路)	送電2号 (110kV線路) 八戸3号 送電1号 (110kV線路)	東新島 港1号	伊東2号 (110kV線路)	伊東3号 (110kV線路)	伊東4号 (110kV線路)	新島5号 系別		東新島 港3号系別 (110kV線路)	新島1号 (110kV線路) 新島2号 (110kV線路) 新島3号 (110kV線路)	新島4号 (110kV線路) 新島5号 (110kV線路)	新島6号 (110kV線路) 新島7号 (110kV線路) 新島8号 (110kV線路)



東北電力HPによる

南海トラフ巨大地震と電力の需給バランス

中央防災会議 発災直後の広域停電

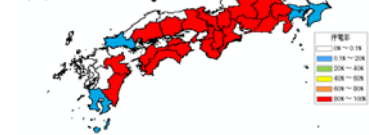


中央防災会議 電力被害は停電率のみで評価

本当の需給バランスは？

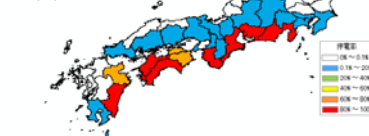
地震動：陸側ケース、津波：ケース①、冬・夕方、風速8m/s

被災直後



地震動：陸側ケース、津波：ケース①、冬・夕方、風速8m/s

被災1日後



地震動：陸側ケース、津波：ケース①、冬・夕方、風速8m/s

被災4日後



地震動：陸側ケース、津波：ケース①、冬・夕方、風速8m/s]

停電率（停電軒数÷電灯軒数）

復旧に要する日数：停電軒数と東日本大震災等の復旧状況の関係から算出。なお、復旧予測に当たっては、津波浸水により建物が全壊した需要家数を除く

【被災直後の被害】

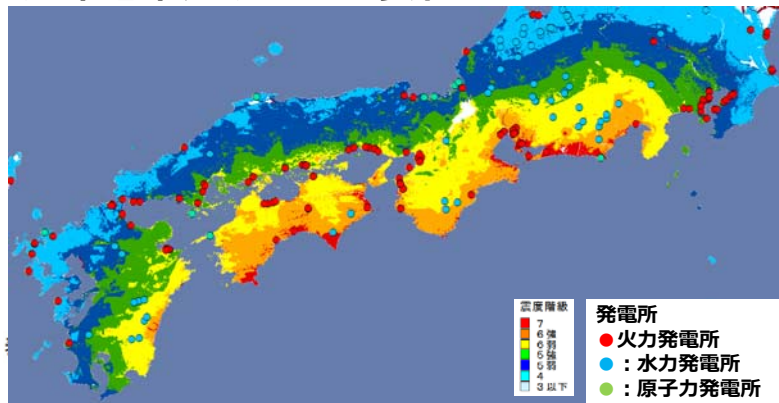
最大約2,710万軒が停電し、東海三県の約9割、近畿三府県の約9割、山陽三県の7割、四国の約9割、九州二県の約9割で停電（被災直後に需給バランスが不安定になることが主因）

【復旧の推移】

電力供給の切り替え調整により、需給バランス等に起因した停電は数日間で解消される。電柱被害に基づく停電は、復旧に約2週間を要する

火力発電所の被害が長期に渡る可能性も

復旧方策を策定する上で要検討



火力発電所の 喪失出力量 (万kW)	5割以上	5割以上	6割以上	6割以上	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

流通：短期⇔発電：長期

寅屋敷・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

中央防災会議「最悪シナリオの例・電力」

電力被害予測で考慮されていない項目

- ・強震動や津波により沿岸部の火力発電所等が被災し、停電が長期化する。
- ・停電により排水ポンプの機能が停止し、長期湛水が継続する。
- ・ゼロメートル地帯や津波被害を受けた地域では、湛水が排水されるまでの間、復旧作業が困難となる。
- ・発電用燃料、消耗品、資機材等の調達先企業の操業停止が長期化する場合や、これらの物品の輸送経路（陸路、航路）の障害が長期化する場合、発電停止や復旧が長期化する。
- ・地震から数日後の供給能力が大幅に低下し電力需要との乖離が大きい場合は、節電要請に加えて緊急的措置として計画停電が行われ、供給能力が向上するか、大口需要家への電力使用制限等の需要調整等が行われるまで継続する。
- ・火力発電所施設の定期検査期間中に被災し、供給能力の低下が長期化する。
- ・発電用水（工業用水、上水等）の断水が長期化する場合、発電停止や復旧が長期化する。
- ・火力発電設備が被災し、それらに単品受注生産のような希少部品が含まれていて、部品調達に数か月を要する場合、発電停止や復旧が長期化する。

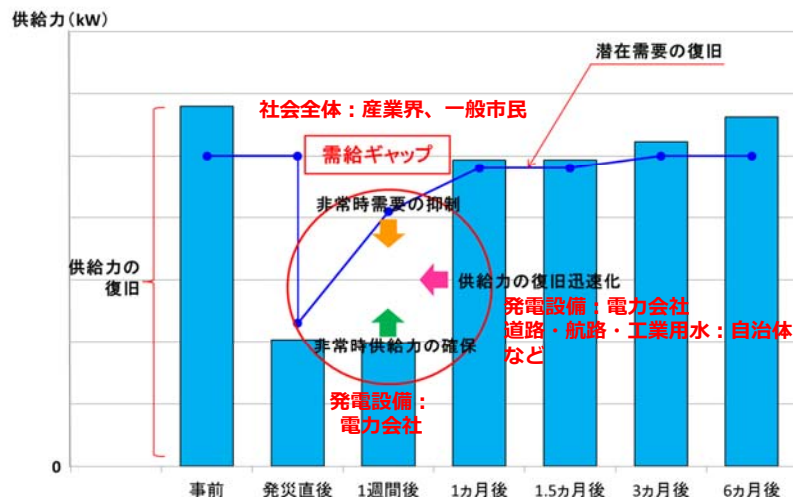
火力発電所の被害が長期に渡る可能性も

経済産業省・電力安全小委員会
電気設備自然災害等対策ワーキンググループ
平成26年6月中旬報告書・最大クラス地震動の影響

耐震性区分	設備	耐性評価	（補足等）
設備区分Ⅰ （評価の視点：人命に 重大な影響を与えないこと）	燃料油 タンク	震度7までの地震動を受ける全48箇所に ついて、過去の実績から、重大な被害は無い ものと想定。	—
	LNGタンク	震度6強までの地震動を受ける全10箇所に ついて、過去の実績から、重大な被害は無い ものと想定。	—
設備区分Ⅱ （評価の視点：著しい （長期的かつ広範 囲）供給支障が生じ ないよう、代替性の 確保、多重化等によ り総合的にシステム の機能が確保され ること）	ボイラ、 タービン等 発電設備	発電出力の8割超の発電所が1ヶ月程度以 内で順次復旧。また、約2割の発電所は1ヶ月 程度以上の復旧期間が必要。	中・西日本の供給区域において、 ・1週間以上停止が約5,300万kW （火力発電出力全体の約70%） ・1ヶ月以上停止が約2,200万kW （火力発電出力全体の約28%）
	基幹送変 電設備	多重化・多ルート化されており、過去の評価 から、基本的に耐震性能は満足していると 考えられることから、システムとしての機能は 確保。	過去の地震の被害においては、 震度7の影響を受けた設備が少ない ことから、今後、最終報告に向けて、 代表設備を用いた詳細評価等を行い、 耐震性の妥当性を検証する予定。

複数想定される最大ケース地震動のうち各発電所に最も過酷な被害が及ぶ場合を選んで集計しており、安全サイドの結果であることに留意が必要

電力需給ギャップの解消には



これら全てを包括した電力需給シミュレーションと、現実的な対策

電力需給シミュレーションとその課題

- ◆ 需要予測・供給力予測共に実績データに基づく知見は、南海トラフ巨大地震におけるレベル1程度までのハザードへの適用は可能であるが、レベル2への適用には課題が残る
- ◆ 現実の対応については、行政・インフラ事業者・産業界・市民が、様々なハザードレベルにおける被害復旧に関する知見を共有し、対策レベルの統一や整合および復旧の優先順位についての意見交換や社会合意を行うための枠組みの構築が必要
- ◆ 科学的知見を根拠に精度良い需給シミュレーションを実施することと、現実レベルでの災害対応の強靱化対策は別問題⇒出来る対策を着実に実施することが何よりも大切!!!

まとめ 電力需給ギャップの解消への取り組み

非常時の供給力の確保 ⇒電力会社

非常時の需要抑制 ⇒東日本大震災では節電要請により10～15%の需要抑制に成功した。今後も省エネを推進するとともに、非常時の需要抑制について、事前に産業界・一般市民など社会全体と共有しておく

供給力の復旧迅速化 ⇒道路・航路・工業用水などについて、自治体・産業界が協力して復旧迅速化



地域連携・情報の共有
地域全体のBCM（インフラ、自治体、企業活動）
↓
地域全体で災害対応の強靱化を図る

ありがとうございました