

アジア太平洋研究所資料

15—07

## **エネルギーインフラ研究会報告書**

# **一 関西地区のエネルギーシステムの レジリエンス評価 一**

**2015年7月**

**一般財団法人 アジア太平洋研究所**

## 〈アブストラクト〉

日本近海のユーラシアプレートとフィリピンプレートの境界、駿河トラフから南海トラフ、にかけては東海、東南海、南海と呼ばれる大地震が周期的に発生しているが、安政東海地震(1854)の発生から 160 年以上経過しており、東海地震の発生が切迫化していると気象庁は指摘している。東南海地震(1944)、南海地震(1946)の発生からも約 70 年経っており、地震が連動し巨大地震が発生する可能性も高いとされている

巨大地震は無論のこと、いずれかの地震が発生しても関西地区は被害を受けることを逃れられない。その被害の発生を最小化し、迅速な回復を目指すために、インフラなどの設備の強靭化が図られているが、そのなかでも重要なのは、震災からの復旧を支える、電気、ガスを中心としたエネルギーインフラの強靭化だ。

関西地区のエネルギーインフラの強靭化をどのように進めるべきか、阪神淡路大震災、東日本大震災の教訓も踏まえ様々な視点から検討を行い、関西地区のエネルギーインフラ強靭化を図るための提言を行っている。

2015 年 7 月

## 〈キーワード〉

南海トラフ、巨大地震、エネルギーインフラ、レジリエンス

## 〈研究体制〉

リサーチリーダー	アジア太平洋研究所副所長	澤昭裕
リサーチリーダー	常葉大学経営学部教授	山本隆三
リサーチャー	岐阜大学工学部社会基盤工学科教授	能島暢呂
リサーチャー	神戸大学大学院工学研究科准教授	鋤田泰子
リサーチャー	石油連盟 総務部	橋爪吉博
オブザーバー	大阪ガス 秘書部 経営調査室室長	近藤誠一
オブザーバー	大阪ガス 企画部 環境・エネルギー政策チーム マネジャー	吉村和彦
オブザーバー	関西電力 秘書室 秘書役	大西 晃
オブザーバー	関西電力 火力事業本部 火力企画部門 マネジャー	岡本 央
オブザーバー	関西電力 国際事業本部 開発担当部長	竹林 潔

事務局 石田 博之 (アジア太平洋研究所 総括プロデューサー)  
事務局 矢野ひとみ (アジア太平洋研究所 調査役)

〈執筆者〉

第1章 矢野ひとみ 関西のエネルギーインフラの現状  
第2章 楢田泰子 阪神と東日本の大震災で明らかになったエネルギーインフラの地震対策における課題  
第3章 能島 暢呂 阪神・淡路大震災と東日本大震災におけるライフライン被害・復旧過程の比較  
第4章 能島暢呂 南海トラフ巨大地震によるエネルギー関連施設の震度・津波浸水深曝露評価  
第5章 山本隆三 エネルギーインフラ強靱化の方向

## まえがき

2011年の東日本大震災以降「レジリエンス」という言葉をよく聞くようになった。内閣官房に設置された「ナショナル・レジリエンス（防災・減災）懇談会」の括弧内が示すように、防災・減災の意味で使われているが、本来の意味は、復元力、強靭さ、回復力とされている。ちなみに、京都大学大学院の藤井聡教授は、震災に関するレジリエンスの性質を次としている。①致命傷を受けない②被害を最小化する③すぐに回復する。

日本の近海では複数のプレートにより複雑な力がかかっているために、プレート境界において周期的に大地震が発生している。ユーラシアプレートとフィリピンプレートの境界、駿河、南海トラフでは、東海地震、東南海地震、南海地震の発生が懸念されており、3地震の連動の可能性も指摘されている。地震が発生した場合には、関西地区も被災を免れない。

レジリエンスが関西地区においても必要とされる。致命傷を受けないために交通インフラ、学校、病院、公共施設などの耐震性を高め、津波対策を行うことが必要だ。さらに、震災の被害からの素早い回復のためには電力、ガスなどのエネルギーシステムの強靭化が必要とされる。阪神淡路大震災、東日本大震災では、エネルギー供給の回復が復旧を支えたが、震災時のエネルギー確保は生活にも、産業にも極めて重要になる。

エネルギーシステムの強靭化は、他のインフラ、施設の強靭化とは異なる視点から考える必要もある。エネルギー供給においては、設備の耐震性を高め、致命傷を受けない、被害を最小化するだけでは不十分であり、素早く回復するためのシステムの構築が必要とされる。

また、エネルギー供給を海外に依存しているために、受け入れ設備は海岸沿いに展開しており、地震発生時に津波の被害が想定される設備もある。設備が多く、分散設置されることは無論のこと、受け入れエネルギーが、例えば石炭、天然ガスと分散され、さらに供給地域も多角化されていることもエネルギーシステムを強靭化するためには重要になる。

エネルギーシステムの場合には、設備の分散、供給の多様化に加え、輸送、送電設備も重要になる。例えば、エネルギー自給率が極めて高い米国においてすら、供給の問題が発生したことがある。2014年の1月から2月にかけて、米国北東部は激しい寒波に襲われた。気温は過去20年間で最低となる零下

20度を下回り、新聞では体感気温は零下53度を記録したと報じられた。

この寒波により米国でのエネルギーインフラの脆弱性が明らかとなった。米国の家庭ではセントラルヒーティングにより暖房が行われている。使われるエネルギーは、天然ガスと電気がほぼ半分ずつだ。寒波が来れば家庭も事務所も暖房を多く使うようになる。電気の約30%は天然ガス火力から供給されており発電部門でも天然ガスへの需要が急増する。この結果、2014年の2月上旬天然ガス価格が急騰することになった。その理由は天然ガスの供給量が不足したためだ。

米国では49万キロメートルに及ぶ天然ガスパイプライン網がある。しかし、需要地を全て万遍なくカバーしている訳ではない。特に、米国北東部においては、シェールガス革命により天然ガス価格が下落したために火力発電所の燃料が石炭から天然ガスに切り替えられた。その結果、電力業界での天然ガス需要量も増加していた。寒波来襲時、急増した天然ガス需要量を満たすパイプラインの輸送能力がなかったのだ。

問題が発生したのは、輸送関係だけではなくだった。発電所でも問題が発生した。石炭火力発電所では石炭が凍りつきボイラーへの給炭ができなくなった。また、天然ガス火力ではボイラーへの着火ができないケースも発生した。北東部をカバーするPJM電力市場では1億9,000万kWの発電設備があるが、通常の点検による停止も含め4,000万kW以上の発電設備が停止し停電寸前まで追い込まれてしまった。

米国はエネルギー大国だ。天然ガスの生産量は数年前にロシアを抜き世界一となった。石油の生産量も2014年にサウジアラビアを抜き世界一になったと言われている。シェールガス・オイルの生産増によるものだ。また、石炭の生産は中国に次ぎ世界2位。輸出国だ。エネルギー資源に恵まれていても、自然の脅威によりエネルギー供給が脅かされることがある。

寒波に襲われ停電の恐怖に曝された米国では、既にガスパイプライン能力の増強が行われている。さらに、電源の多様化として注目されたのは原子力発電だった。零下20度を越える寒波でも停止した原発は1基もなかった。いま、米国で5基の原発が、スリーマイルアイランドの事故以降初めて新設されているが、その理由の一つは安全保障の強化のための多様化にある。

米国の自然災害の多くはハリケーンと寒波だ。どちらも事前を知ることが可能であり、ある程度対策を立てることができる。日本の自然災害には台風

などの気候問題に加え、地震と津波という事前に予知が難しい分野がある。しかも、地下構造物にも被害が及ぶという被害範囲の違いもある。

しかし、災害への対策の方法は共通している。レジリエンス、強靱化だ。前述の設備そのものの強靱化、選択肢を増やすことによるバックアップ体制の構築などだ。複数の供給源を持ち、複数の輸送ルートがあれば災害への対処が容易になる。

災害時に備えエネルギー供給システムの強靱化を図り、エネルギー供給への影響を最小限に抑えることは関西地区で生活する人、事業を行う企業には大きな関心事である。本レポートでは、阪神淡路大震災、東日本大震災の経験を踏まえ災害によるエネルギー供給システムへの影響とその強靱化対策を検討する。各章の概要は以下の通りだ。

第1章「関西のエネルギーインフラの現状」は、関西地区の電力、天然ガス、石油関連設備の概要を説明し、電力、天然ガスの需給状況にも触れている。

第2章「阪神と東日本の大震災で明らかになったエネルギーインフラの地震対策における課題」は、阪神淡路大震災の教訓とその後行われた対策を述べ、さらに東日本大震災で明らかとなった課題にも触れている。また、ライフライン間の相互の結びつきを分析し、他のライフラインに最も影響を与えるライフラインを明らかにしている。

第3章「阪神・淡路大震災と東日本大震災におけるライフライン被害・復旧過程の比較」は東日本大震災による被災と復旧の状況から、例えば阪神・淡路大震災を受け行われた天然ガス導管の耐震化の効果が現れている可能性を指摘している。

第4章「南海トラフ巨大地震によるエネルギー関連施設の震度・津波浸水曝露評価」は内閣府「南海トラフの巨大地震モデル検討会」の想定を元に、全国の発電所と液化天然ガス基地(LNG)の震度・津波曝露評価を行っている。バックアップ体制の強化と代替手段の確保の検討が必要とも指摘している。

第5章「エネルギーインフラ強靱化の方向」では強靱化の具体的な方策として、まずエネルギー供給の多様化と分散化が必要であると指摘し、関西地区の現状を分析している。さらに、短期的、長期的な観点から電力、天然ガス設備強靱化の方法と多様化の方向について述べている。また、システム改革が、エネルギーインフラ強靱化に与える影響についても言及している。

第1章は矢野ひとみ、第2章は楢田泰子、第3章、第4章は能島暢呂、第5章は山本隆三が担当した。研究会にご参加戴いた、大阪ガス（株）、関西電力（株）、石油連盟の方々には資料提供を戴くとともに、貴重な助言を多く戴いた。この場をお借りし、御礼を申し上げます。

本レポートが関西地区のエネルギーインフラの防災問題について考える切掛になれば、大変幸甚です。

澤昭裕 山本隆三

# エネルギーインフラ研究会報告書

## －関西地区のエネルギーシステムのレジリエンス評価－

### 目次

#### まえがき

#### 第1章 関西のエネルギーインフラの現状

1. はじめに .....	1
2. 電力 .....	4
3. ガス .....	5
4. 石油 .....	8
5. まとめ .....	10
参考文献 .....	13

#### 第2章 阪神と東日本の大震災で明らかになったエネルギーインフラの地震対策における課題

1. 電力供給の地震対策の課題.....	14
2. ガス供給の地震対策の課題.....	17
3. ライフライン相互連関を踏まえた課題.....	24
参考文献 .....	27

#### 第3章 阪神・淡路大震災と東日本大震災におけるライフライン被害・復旧過程の比較

1. 実際のライフライン被害・復旧過程 .....	29
参考文献 .....	33

#### 第4章 南海トラフ巨大地震によるエネルギー関連施設の震度・津波浸水深曝露評価

1. 震度・津波浸水深曝露評価の狙い.....	34
-------------------------	----

2. 火力発電所および LNG 基地のデータ .....	3 4
3. 震度曝露評価 .....	3 6
4. 津波浸水深曝露評価 .....	3 8
5. おわりに .....	4 2
参考文献 .....	4 3

## 第 5 章 エネルギーインフラ強靱化の方向

1. 供給の安全保障を考える .....	4 4
2. 強靱化のための課題 .....	4 8
3. 中長期の視点で必要な強靱化 .....	5 2
参考文献 .....	5 6

あとがき

研究会記録

# 第1章 関西のエネルギーインフラの現状

矢野 ひとみ

## 1. はじめに

本研究では、電力、ガス、石油を主要なエネルギーインフラとし、本章では関西<sup>1</sup>におけるエネルギーインフラの現状を概観する。

関連する指標を2013年時点で見ると、関西2府5県の人口は約2,160万人、全国に占める割合は17.0%である。関西電力株式会社(以下関西電力)の供給地域における販売電力量は、2013年度で1,404億kWhである。電源別構成は、2010年までは原子力発電が約5割、火力発電が約3割~4割を占めていたが、原子力発電所の停止により、2013年時点では水力発電が11.5%、火力発電が80.3%、原子力発電が8.1%となっている。

また、大阪ガス株式会社(以下大阪ガス)の2013年度の販売量は8,659百万m<sup>3</sup>、都市ガス大手4社の販売量に占める割合は、32.5%である。

関西2府4県の2013年度の石油製品(燃料油)販売量は16,191千kLで全国の消費量の8.7%を占める。また、製品別の消費構成比を全国と比べると、揮発油・軽油の消費量が大きく、石油化学原料であるナフサの消費が少ないことが特徴である。

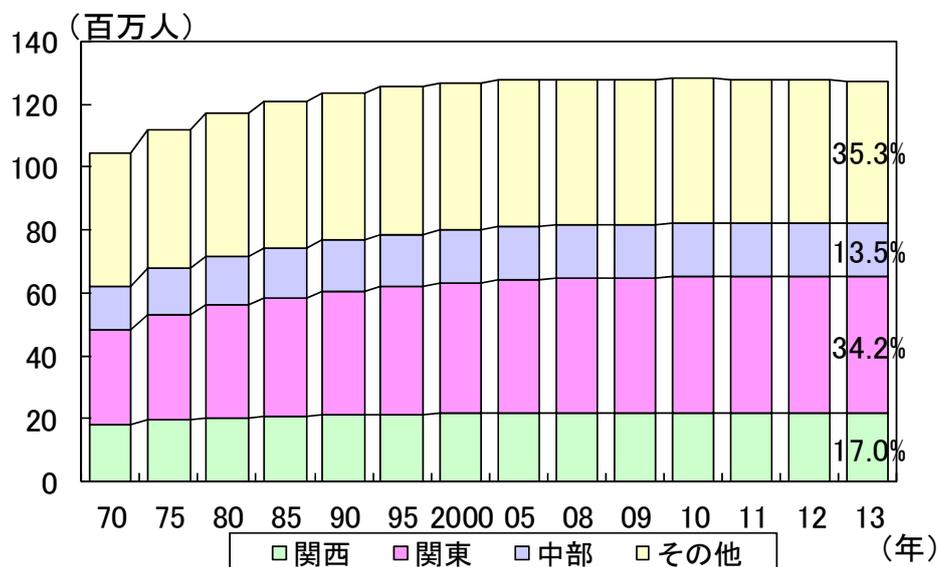


図1-1 地域別人口の推移

(出典) 総務省「住民基本台帳に基づく推計人口」(2013年)

<sup>1</sup> 本稿における「関西」とは、表示のない限り、福井県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県の2府5県を指す。

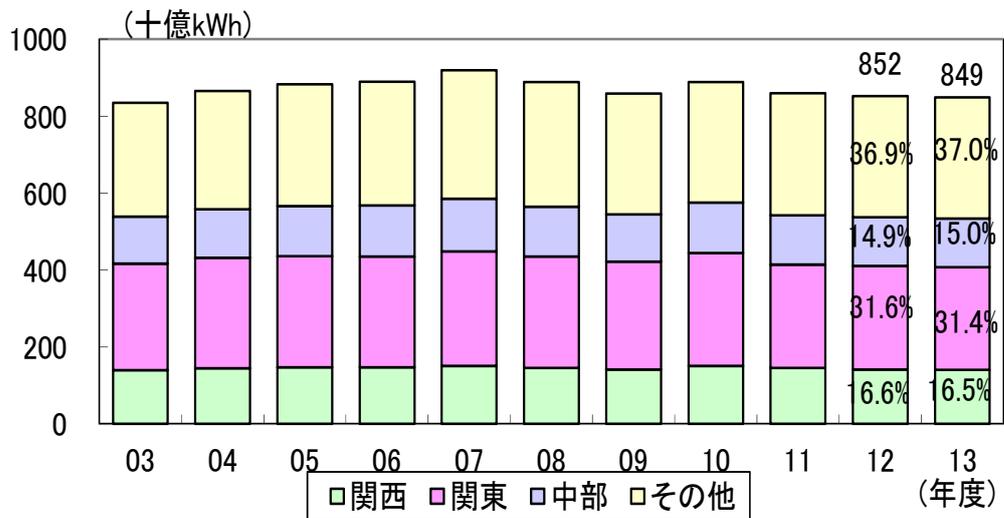


図1-2 地域別使用電力量の推移

(出典) 電気事業連合会「電力統計実績」

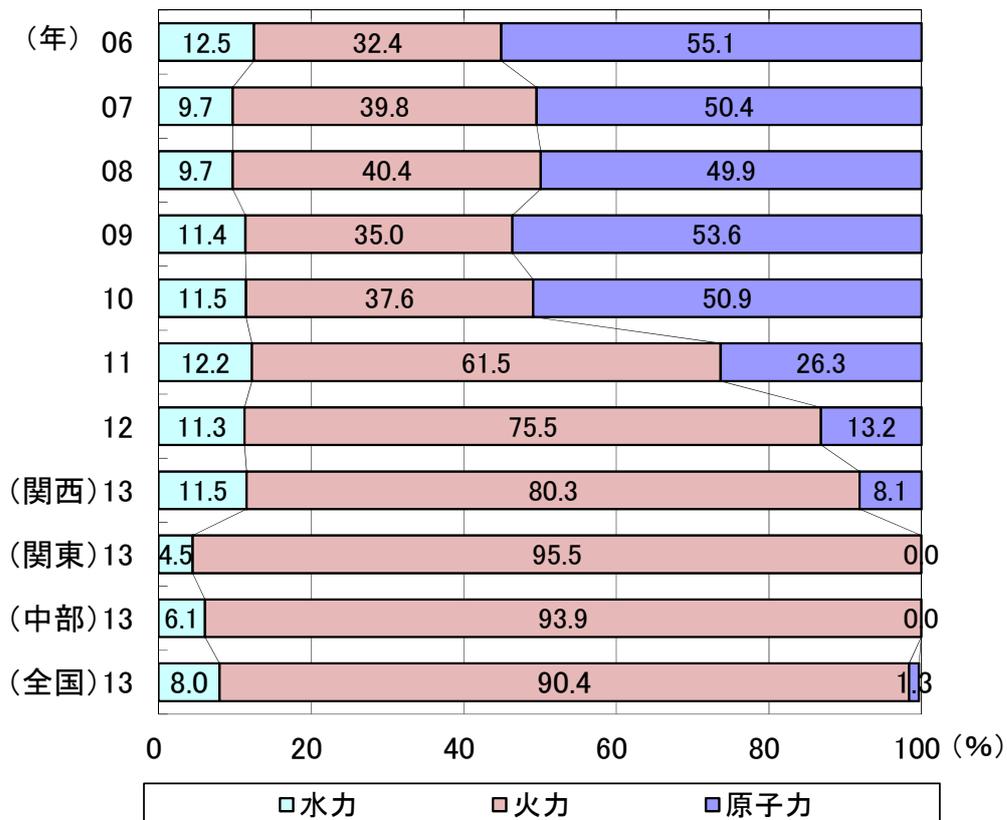


図1-3 関西の発電電力量（自社分）の電源別構成比

(出典) 電気事業連合会「電力統計実績」

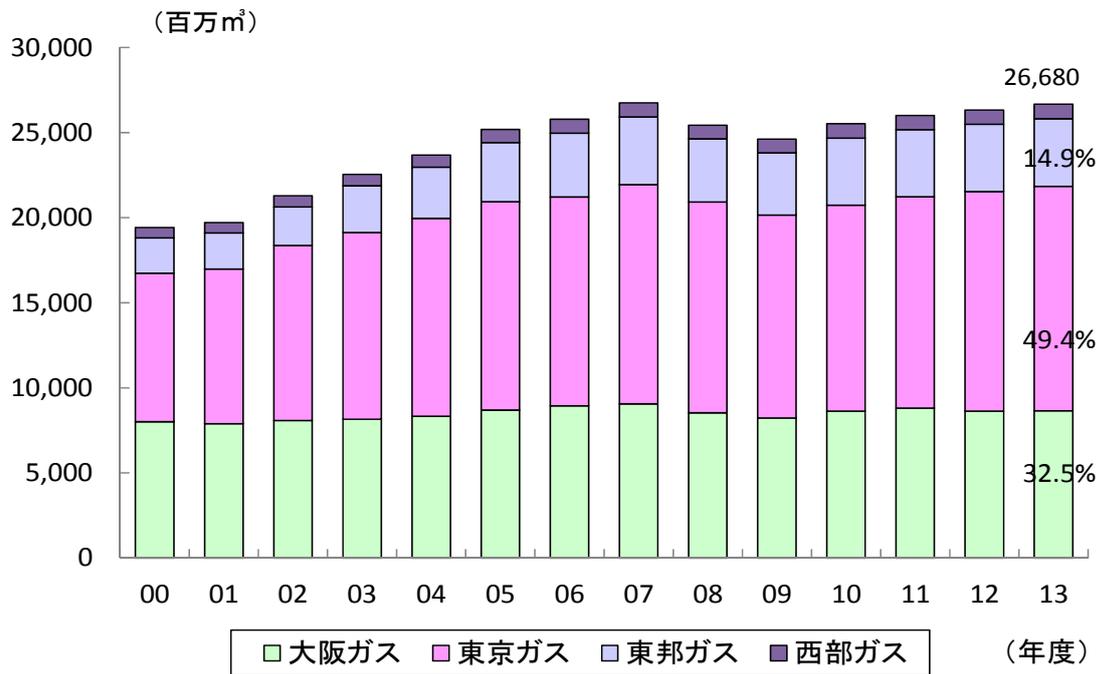


図 1 - 4 都市ガス販売量の推移

(出典) 日本ガス協会「都市ガス販売量/大手4社のガス販売量」

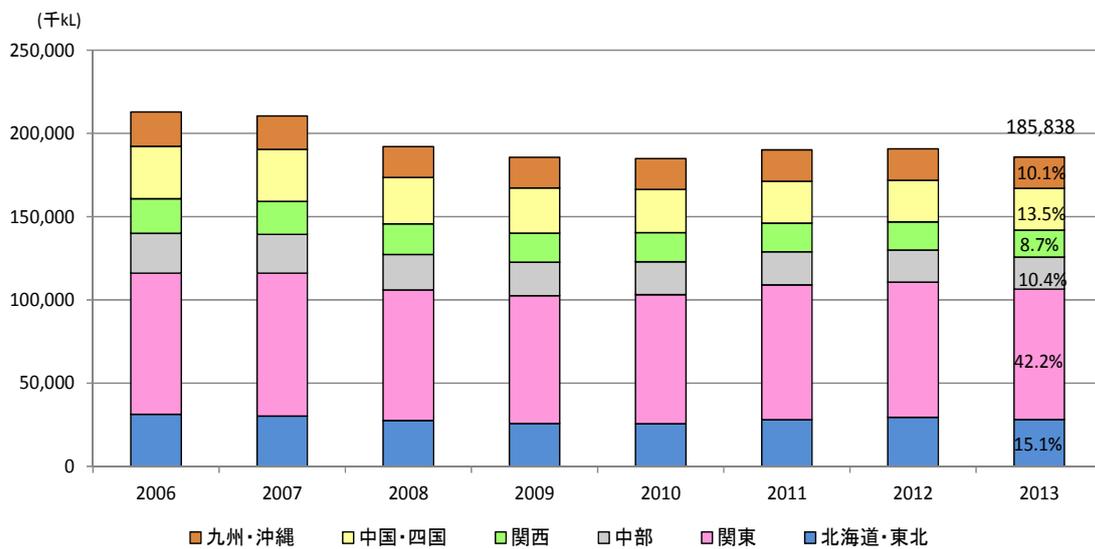


図 1 - 5 地域別石油製品販売量の推移

(出典) 石油連盟「都道府県別石油製品販売実績」

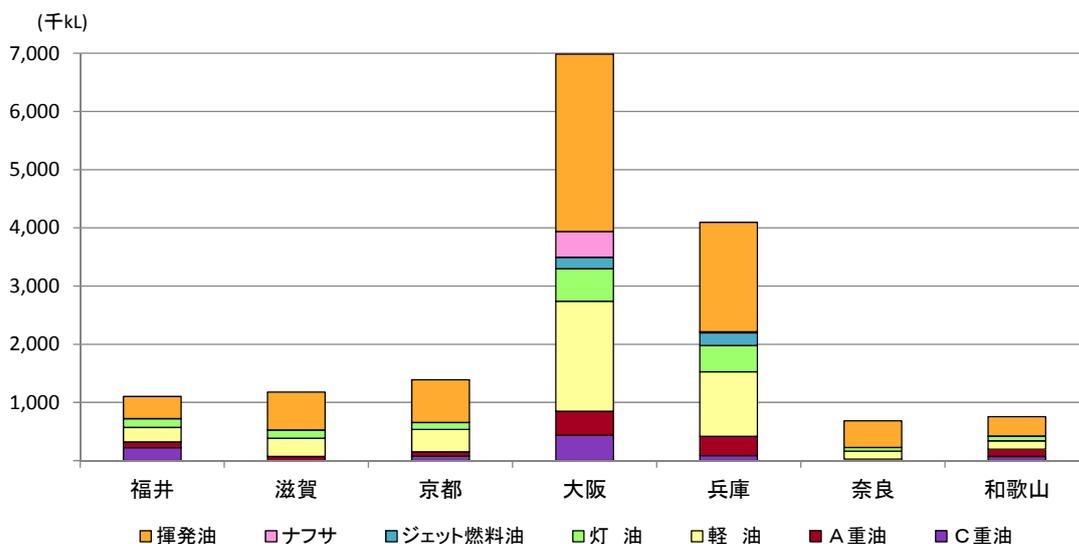


図 1-6 関西地区の石油製品別販売実績 (2013 年度)

(出典) 石油連盟「都道府県別石油製品販売実績」

## 2. 電力

### (1) 関西電力の発電所

関西電力の発電所は 2014 年 3 月末時点で 168 カ所あり、うち水力発電が 151 カ所、火力発電所が 12 カ所 (うち 2 カ所は長期計画停止中)、原子力発電所が 3 カ所、新エネルギー発電所が 2 カ所である。最大出力は、水力:8,208 千 kW、火力:16,972 千 kW、原子力:9,768 千 kW、新エネルギー:11 千 kW である。

### (2) その他の事業者による発電所

一般電気事業者である関西電力以外の事業者による関西の主な発電所として、電源開発株式会社による発電所が 5 カ所 (石炭火力 1 カ所、水力 4 カ所)、大阪ガスによる発電所が 5 カ所、製油所や製鉄所等による発電所が 5 カ所ある。

総出力が 100 万 kW 超のものもあり、非常時対応を考える際には、一般電気事業者である関西電力だけの対応だけでなく、これら一般電気事業者以外の設備も考慮に入れる必要がある。

表 1 - 1 一般電気事業者、卸電気事業者以外による関西の主な火力発電所

発電所名	使用燃料	総出力	種別	所在地	運営会社(親会社)
宇治エネルギーセンター	都市ガス	6.68万kW	PPS	京都府宇治市	大阪ガス
摂津エネルギーセンター	都市ガス	1.746万kW	PPS	大阪府摂津市	大阪ガス
西島エネルギーセンター	都市ガス	14.99万kW	IPP	大阪府大阪市此花区	大阪ガス
中山共同発電船町発電所	都市ガス	15万kW	IPP	大阪府大阪市大正区	大阪ガス、中山製鋼所
泉北天然ガス発電所	LNG	110.9万kW	PPS	大阪ガス泉北製造所第二工場 大阪府高石市高砂(1・2号機) 大阪ガス泉北製造所第一工場 大阪府堺市西区(3・4号機)	泉北天然ガス発電 (大阪ガス)
JX日鉱日石エネルギー 大阪製油所	残渣油	18.39万kW	自家発電 ・IPP	大阪府高石市	JX日鉱日石エネルギー
コスモ石油堺製油所	残渣油	2.164万kW	自家発電	大阪府堺市	コスモ石油
神戸製鋼神戸発電所	石炭	140万kW	IPP	兵庫県神戸市灘区灘浜東町	神鋼神戸発電 (神戸製鋼所100%出資)
新日鐵住金広畑製鐵所	石炭	13.3万kW	自家発電	兵庫県姫路市広畑区	新日鐵住金
和歌山共同発電所	高炉ガス、 コークス炉ガ ス、重油	30.6万kW	IPP	和歌山市湊	和歌山共同火力 (新日鐵住金、関西電力)

(注) 10万kW以上の発電所。

(出典) 各社ホームページ

### 3. ガス

#### (1) 大阪ガスの供給区域とガスパイプラインネットワーク

大阪ガスは、総延長約 60,800km のパイプラインネットワークで近畿 2 府 4 県 79 市 32 町 (2014 年 11 月 11 日現在)、約 714 万戸において都市ガス供給を行っている。グループ会社を含めると総延長 61,300km、約 716 万戸である。

2014 年からは、滋賀県多賀町と三重県四日市市を結ぶ約 60 km の「三重～滋賀ライン」との連結により、更に安定的なガス供給体制が構築された。

また、兵庫県姫路市(真砂ガバナステーション)から岡山県岡山市までは、全長約 86km の天然ガスパイプライン「姫路～岡山ライン」で連結している。



図 1-7 大阪ガスの天然ガスパイプラインネットワーク  
 (出典) 大阪ガスホームページ

## (2) 関西の LNG 基地

関西の LNG 基地の概要を一覧にまとめたものが表 1-2 である。堺 LNG と大阪ガスの泉北製造所は、堺泉北港において近隣に位置する(図 1-7 参照)。計画中和歌山を除けば、大阪ガス・関西電力ともに、堺と姫路の 2 地区体制になっており、それぞれ近接している。

貯蔵能力・気化能力とも大阪ガス泉北製造所第二工場が最も大きく、貯蔵能力は 18 基 158.5 万 kL、気化能力は 15 基 1,495 トン/時である。

(全国の LNG 基地の分布と貯蔵能力については、第 4 章の図 4-1 を参照)

表 1-2 関西の LNG 基地

LNG基地名	所在地	操業開始	貯蔵能力	気化能力	主なLNG受入産地
大阪ガス 泉北製造所第一工場	大阪府堺市築港 浜寺町	1972年	地上タンク1基 3.6万kl、 地下タンク1基 4.5万kl	6基 284トン/時	インドネシア、オーストラ リア、マレーシア、カタール、 オマーン、ブルネイ 等
大阪ガス 泉北製造所第二工場	大阪府高石市高 砂3-1	1977年	地上タンク18基 158.5万kl	15基 1,495トン/時	インドネシア、オーストラ リア、マレーシア、カタール、 オマーン、ブルネイ 等
堺LNG	大阪府堺市西区 築港新町3丁1 番地10	2006年	地上タンク3基 42万kl	6基 810トン/時	インドネシア、オーストラ リア、マレーシア、カタール 等
大阪ガス 姫路製造所	兵庫県姫路市白 浜町灘浜1番地	1984年	地上タンク8基 74万kl	6基 600トン/時	インドネシア、オーストラ リア、マレーシア、カタール、 オマーン、ブルネイ 等
関西電力 姫路LNG基地 (姫路第二発電所に併設)	兵庫県姫路市白 浜町字常盤	1979年	地上タンク7基 52万kl	8基 960トン/時	インドネシア、オーストラ リア、 カタール、マレーシア

(出典) 大阪ガス・関西電力ホームページ・パンフレットより作成

また、電気事業便覧（平成 25 年版）によれば、関西電力の 2012 年の電気事業用の LNG 受入れ量は 7,337 千 t であり、年度末貯蔵量をみると、ほとんどすべてを発電用に消費しており、現状では電力会社による平時の LNG 貯蔵は期待できないことがわかる。

表 1-3 会社別汽力発電用燃料実績（2012 年）

項目 事業者別	発電電力量 (100万kWh)	重油			原油			LNG		
		受入数量 (1,000kl)	消費	年度末貯油 (1,000kl)	受入数量 (1,000kl)	消費	年度末貯油 (1,000kl)	受入数量 (1,000t)	消費	年度末貯油 (1,000t)
			発電用 数量 (1,000kl)			発電用 数量 (1,000kl)			発電用 数量 (1,000kl)	
中部	122,936	25	26	65	1,062	1,098	629	14,279	13,221	54,720
北陸	23,725	605	509	305	390	392	49	-	-	-
関西	86,735	198	178	91	5,426	5,375	421	7,337	7,332	340
中国	40,529	1,345	1,336	140	1,121	1,076	162	2,069	2,005	160
四国	17,553	1,037	1,023	139	250	271	77	421	345	39
九州	60,015	1,838	1,846	154	1,730	1,703	159	4,493	4,571	109

(出典) 電気事業便覧平成 25 年版

## 4. 石油

### (1) 製油所

全国の製油所所在地と原油処理能力を示したものが、図1-8である。一般に、製油所の規模は、原油から石油製品を製造するための基本的な設備である常圧蒸留装置能力で示される。

現在(2015年6月)、全国には23の製油所があるが、関西には、大阪府に3カ所、和歌山県に1カ所の計4カ所の製油所が所在している。4カ所の原油処理能力合計は日量503千バレルで全国の13%を占める。503千バレル/日は年間29,192千kLに相当するので、関西地区の2013年度消費量16,191千kL(全国比8.7%)からすると、域内供給には十分な能力的余裕があり、他地区への供給拠点になっているものと思われる。

経済産業省により、国内製油所の合理化・再編が促されているところであるが、四日市や水島等近隣製油所との連携など、広域での非常時の供給体制の構築と言う観点からも検討することが必要である。

製油所の所在地と原油処理能力(2015年4月末現在)

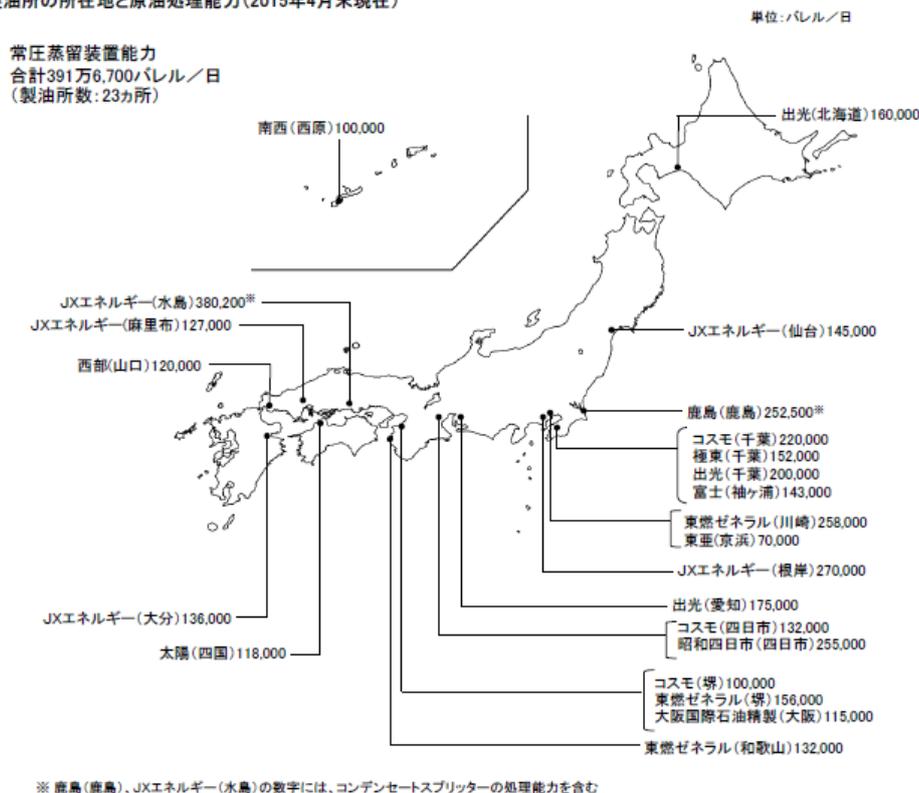


図1-8 製油所の所在地と原油処理能力(2015年4月末現在)

(出典) 石油連盟「精製能力一覧」

表 1-4 関西の製油所貯油能力（タンク容量・基数）

	原油タンク (千 kL)	同 (基)	製品タンク (千 kL)	(基)	原油処理能力 (千バレル/日)
コスモ石油 堺	738	8	946	90	100
東燃ゼネラル 堺	585	9	820	59	156
大阪国際石油 大阪	570	9	831	80	115
東燃ゼネラル 和歌山	2,370	30	2,410	424	132
合計	4,263	56	5,007	653	503

（注）タンク容量は最近時点、製品タンクには半製品タンクを含む

（出典）各社ホームページ・事業所パンフレットより作成

## （2）油槽所

関西圏内の主な油槽所をまとめたものが表 1-5 である。

関西各府県への石油製品の物流については、多くは 4 製油所からのタンクローリーによる直送であるが、製油所を有しない一部の元売石油会社等油槽所（オイルターミナル）経由の物流も存在する。

表 1-5 関西の主な油槽所

名称	所在地
三菱化学物流 尼崎油槽所	兵庫県尼崎市東海岸町
JX 日鉱日石エネルギー 尼崎油槽所	兵庫県尼崎市東海岸町
シェル石油大阪発売所 尼崎油槽所	兵庫県尼崎市道意町
JX 日鉱日石エネルギー 神戸油槽所	兵庫県神戸市須磨区外浜町 1 丁目
トーヨーエナジー 苅藻島油槽所	兵庫県神戸市長田区苅藻島町
伊丹産業 篠山油槽所	兵庫県篠山市北嶋海老田の坪
東西オイルターミナル 姫路油槽所	兵庫県姫路市飾磨区中島字宝来
出光興産岸和田油槽所	大阪府岸和田市臨海町
丸紅エネックス堺ターミナル	大阪府堺市西区築港新町
大同燃料 平尾油槽所	大阪府大阪市大正区平尾 1 丁目
大同燃料 桜島油槽所	大阪市此花区梅町 2 丁目
ジャパンオイルネットワーク 福井油槽所	福井県坂井市三国町新保テクノポート

（出典）各社ホームページより作成

## 5. まとめ

これまでみてきたエネルギーインフラを地図上で示したものが図 1 - 9 であり、堺泉北港付近を拡大したものが図 1 - 10 である。

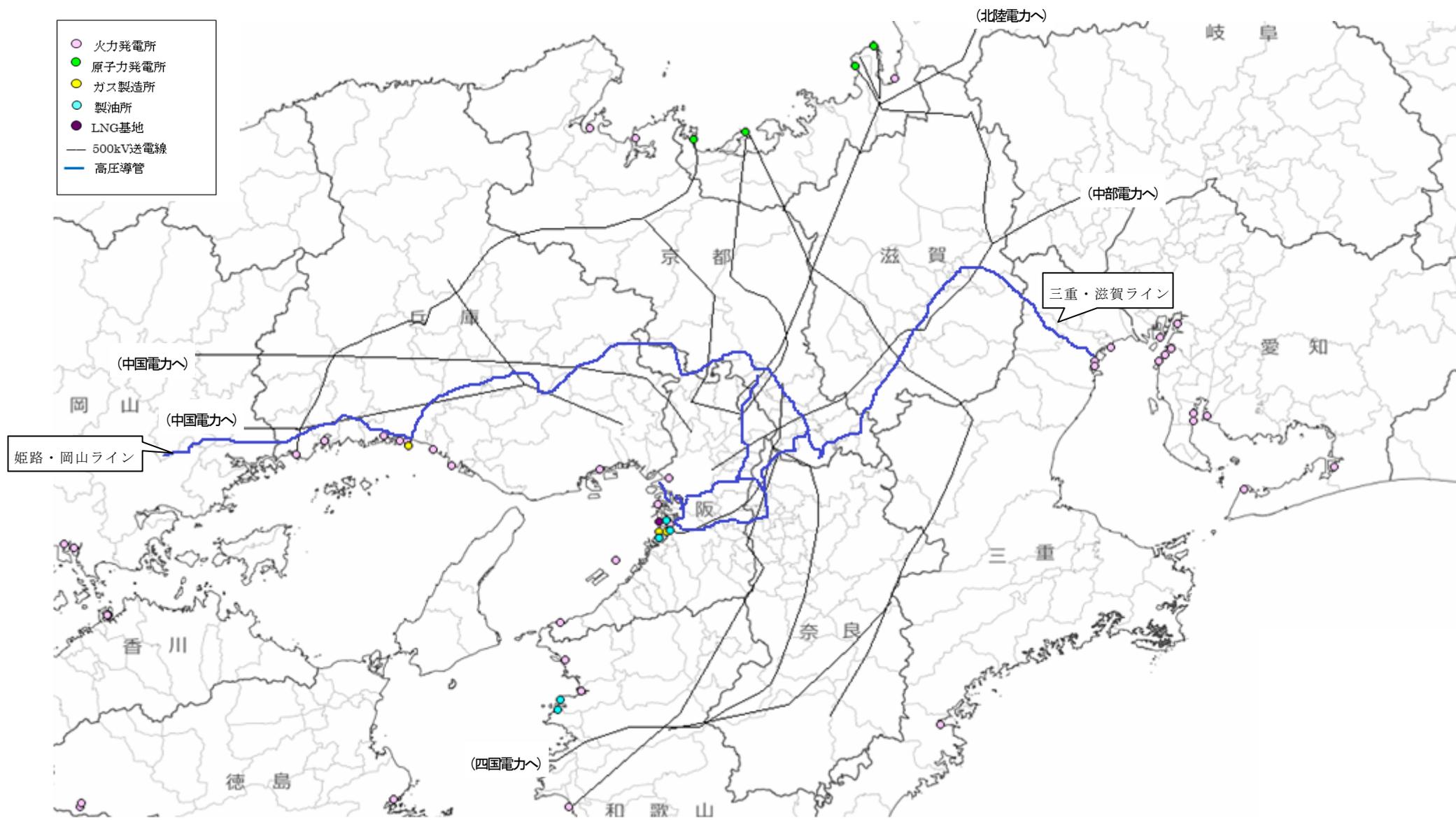


図1-9 関西のエネルギーインフラマップ



図 1 - 1 0 堺泉北港付近におけるエネルギーインフラ施設の位置  
 (出典) 国土数値情報、各社ホームページより作成

国においては、経済産業省の総合資源エネルギー調査会資源・燃料分科会石油・天然ガス小委員会等で、東日本大震災や阪神・淡路大震災の経験も踏まえ、電力・ガス・石油事業者もメンバーに加わった上で災害時の被害想定や早期復旧に向けた検討が行われている。しかし、経済産業省の部局の管轄が分かれていることもあり、電力、ガス、石油それぞれ別個に検討されている部分が多い。今後想定される首都直下型地震や南海トラフ地震に備えるためには、電力・ガス・石油という基幹のエネルギーインフラの防災、被害想定、早期復旧について、総合的・広域的に検討する必要がある。さらに、他地域からの電力・ガスの融通についても平時からも十分に検討しておくべきであり、住民の視点からの被害想定と対策の見える化が必要である。

1. でみたように、電力・ガスの LNG 基地は隣接しているところも多く、

災害時に連携することも考えられる。3.(2) でみたように、現在、電力会社の平時のLNG貯蔵量は少ないが、隣接基地同士パイプラインで繋がっている場合には、一方が被災した際に他方からの供給も可能となる等、緊急時には電力とガスでのLNG融通も考えられる。また、隣接している港では、被災した設備を互いに補完し合うことなども考えられるのではないかと。また、設備の電源喪失による機能不全が考えられることから、各設備の電源復旧を最優先とすることが想定される。電力・ガス・石油のエネルギーインフラ全体の中で、被災時の復旧の優先順位を決めておくことなどが考えられる。

特に電力事業者とガス事業者は、相互に発電やガス供給事業において、競争関係にある。電力やガスの小売り自由化によりその流れは加速するものと思われるが、災害時の被害の最小化・早期復旧は国を挙げて取り組むべきものである。個別事業者同士では連携が促進しがたい部分については、国がある程度関与し、非常時の連携についてきめ細かな連携を促しておくべきである。

第2章以降では、阪神・淡路大震災、東日本大震災の経験から明らかになったエネルギーインフラの地震対策における課題を見ていく。

#### 参考文献

- 1) 大阪ガスホームページ
- 2) 関西電力ホームページ
- 3) 経済産業省「第4回天然ガスシフト基盤整備専門委員会」資料
- 4) 電気事業便覧平成25年版
- 5) 石油連盟ホームページ 統計情報

## 第2章 阪神と東日本の大震災で明らかになったエネルギーインフラの地震対策における課題

鍬田 泰子

### 1. 電力供給の地震対策における課題

#### (1) 阪神・淡路大震災の教訓とその後の対策

1995年阪神・淡路大震災を受け、1995年7月に国の中央防災会議で決定された防災基本計画において、構造物、施設等の耐震性能の基本的考え方(性能目標)が定められている。電気設備はこの考え方に基づき、一旦機能喪失した場合に人命に重要な影響を与える可能性のある設備(ダム、LNGタンク、油タンク等)については、「個々の設備毎に機能に重大な支障が生じないこと」および「人命に重大な影響を与えないこと」を確保すべき耐震性とされている。

また、それ以外の電気設備(発電所建屋、変電設備、送電設備等)については、「個々の設備毎に機能に重大な支障が生じないこと」および「著しい(長期的かつ広域的)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」を確保すべき耐震性とされている。

このような性能を確保するために耐震設計や耐震補強が行われている。兵庫県南部地震では変電所設備のうち、重心が高く地震で大きく揺れる機器が大きな被害を受けたために重心が低い機器への更新や気中絶縁方式から耐震性の高いガス絶縁方式への切り替えなどの耐震性を高める対応が採られてきた。

一方で、被害が発生することを前提として、応急復旧等に関わる対応の合理化・迅速化およびネットワーク多重化という視点からのソフト対策がある。重要な送電系統は、1ルート2回線の送電線を複数ルートで構成している。また、複数の送電系統がそれぞれの電圧階級に応じた変電所で連系され、切り替えが可能になっている。多様な電力設備からなる電力系統全体の地震対策は、設備の耐震補強などのハードとネットワークの多重化などのソフト対策をバランスよく総合的に進められている。

#### (2) 東日本大震災の被害と復旧

東日本大震災では、東北電力および東京電力の管内を中心に電力施設にも

多大な被害が発生した。表 2 - 1 に東日本大震災時の停電発生状況を県別に示す<sup>1)</sup>。東北電力管内の青森、岩手、秋田、宮城県は、地震直後、ほぼ県内全域にわたって供給支障が発生した。一方、東京電力管内では、栃木や茨城が 4 割を超える停電率となった。地震発生の影響を受け、東北電力の電力供給能力は、約 730 万 kW が欠落し、3 月 11 日の地震発生直後は供給支障が約 466 万戸発生した。一方、東京電力においては、運転中であった火力発電機 63 台中、13 台が地震発生直後に停止した。これにより火力発電所総出力は、地震直後に 1,923 万 kW (約 69%) に減少した。

表 2 - 1 東日本大震災時の停電発生状況<sup>1)</sup>

	停電戸数	停電率 (%)		停電戸数	停電率 (%)
青森	900,000	99	栃木	567,925	43
岩手	770,000	95	千葉	346,489	9
秋田	660,000	98	埼玉	342,878	8
宮城	1,370,000	96	群馬	225,524	17
山形	510,000	74	茨城	823,404	42
福島	270,000	22	山梨	145,009	22
東京	102,665	1	静岡	113,051	13
神奈川	1,277,705	24			

(出典：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：配布資料，総合資源エネルギー庁原子力安全・保安部会，2011.)

東北電力<sup>2)</sup>によると、地震発生時に発生した 466 万戸の供給支障は、地震発生直後からの復旧作業によって地震発生 3 日後には約 80%の停電を解消し、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く約 94%の停電を解消した。その後、工事が可能となった地域から順次復旧を進め、6 月 18 日には復旧に着手可能な地域の停電を全て解消した。地震によって、373 変電所の全停及び一部停電が発生したが、設備巡視及び点検により設備の健全性を確認し変電所の復旧を行った。運転に支障のある設備については、設備の多重化が図られていたことから、隣接変圧器・他回線への切替えや東北電力の保有資材による取替作業を実施した。また、健全であった日本海側の系統及び 500kV 系統より復旧を進め 3 月 12 日に、154kV 変電所は 3 月 13 日に停電を解消し、3 月 17 日までに津波被害等の立入困難箇所を除き変電所の応急復旧を完了した。

### (3) 東日本大震災の教訓

#### ① 施設・設備の津波対策の強化

東日本大震災で広域に供給支障が発生したのは、太平洋沿岸にある発電施設が津波で被災して供給能力を落としたことにある。東北電力<sup>2)</sup>、東京電力<sup>3)</sup>、の被害報告書に基づいて、17 発電所を対象にして津波被害の有無と復旧日数との関係を表 2-2 に整理した。津波が発生した発電所では震度 6 弱の強震動地域が多いが、同じ震度を記録しても津波の浸水高さによって復旧日数に開きがある。そして、津波浸水の有り無しが、構造物被害だけでなくその後の復旧日数に強く関わっていることがわかる。従前の地震動の対策に加え、改めて津波対策の必要性が再認識される。

津波対策の重要性は変電所についても同様である。太平洋沿岸地域の青森、岩手、宮城、福島支店管内の 15 変電所において、津波による構内浸水・設備被害が発生した。浸水 1.5~4.0m(推定)の 7 変電所は周囲柵倒壊や建物の壁が破損し、屋外機器及び屋内設備が浸水により使用不可となり、電気所機能喪失に至っている<sup>2)</sup>。しかし、浸水 1.6m の八戸変電所では、以前から津波浸水が予想されていたため、事前の津波対策（機器架台嵩上げ、建物高層化・水密化）によって一部設備の被害に留めており、大きな効果があったものと考えられる。今後とも減災に向けた津波対策が必要である。

表 2-2 被災した火力発電所の震度、浸水高さと復旧日数<sup>2), 3)</sup>

	発電所	系列	震度	復旧日数	浸水高さ (m)
津波被害有	原町	1号機	6弱	777	13
	仙台	4号機	6弱	334	5
	広野	2号機	6弱	122	4
		4号機	6弱	125	
	新仙台	1号機	6弱	291	3
	新地	2号機	6強	283	3
	勿来	7号機	6弱	285	1.5
		9号機		111	0.4
	常陸那珂	1号機	6弱	65	1
	鹿島	2号機	6弱	27	1
		3号機		26	
		5号機		28	
6号機		40			
津波被害無	鹿島共同	1号機	6弱	36	—
		3号機		88	—
	東扇島	1号機	5強	13	—

	八戸	3号機	5弱	9	0.5
	千葉	2号機	5強	1	—
	大井	2号機	5弱	2	—
		3号機		6	
	能代	1号機	4	2	—
		2号機		3	
	坂田共同	1号機	5弱	1	—
		2号機		3	
	秋田	2, 3, 4号機	4	1	—
	五井	1号機	5弱	1	—

(出典：東北電力(株)：東日本大震災復旧記録，2012；東京電力(株)：東北地方太平洋沖地震に伴う電気設備の停電復旧記録，2013.3、より加工)

## ② 復旧時の長期停電対策

東北電力では、広範囲に亘る停電が長時間に及んだため、技術センター・制御所・発電所の所内電源の喪失が、復旧の大きな障害となった。発電所では直流電源(制御、操作電源)の確保、直流負荷制限を実施し、ほとんどの変電所では直流電源による復旧操作が可能であった。しかし、一部の変電所では、所内電源喪失による影響で機器制御・操作電源喪失、手動操作インターロック解除不可、油圧低下によるCB操作不能等復旧操作に影響があった<sup>4)</sup>。今後は、直流電源を喪失した変電所の対応として仮設エンジン発電機の配備等、復旧に必要な電源確保も見直しが必要である。

## ③ 災害時の連絡手段の確保

携帯電話をはじめとする公衆通信網は極めて繋がり難い状況であったが、保安電話は通信手段として機能していた。津波被害により通信回線を喪失した東北電力の変電所は、移動無線(約180台配備)を活用し連絡手段を確保したが、今後、通信回線喪失時の情報連絡手段の確保に関し、社内的な整理により通信ツールの整備・利用のあり方について検討が必要である。<sup>4)</sup>

## 2. ガス供給の地震対策における課題

### (1) 阪神・淡路大震災の教訓とその後の対策

1995年兵庫県南部地震では、大阪ガスの復旧は84日を要した。その反省を生かして1995年のガス地震対策委員会では、マイコンメータの義務付け、ポリエチレン(PE)管の普及、即時供給停止ブロック形成、SI値(スペクトル強度値、単位はkine=cm/s)が60kine以上の場合または送出量や圧力の

大変動により供給継続が困難な場合に即時に供給停止措置をとる「即時供給停止判断」が導入された。表 2-3 はこれまでの災害とその後の検討事項をまとめている。兵庫県南部地震時は PE 管比率が 6.5%であったが東北地方太平洋沖地震の直前で 37.2%にまで高まった。PE 管は材質的にも可撓性（かとうせい：柔軟な）があり、継手部は熱融着工法によって管路が一体化されるので耐震性の高いガス導管になる。阪神・淡路大震災以降、積極的な PE 管への取替え促進等設備対策が推進されている（図 2-1）。また、新潟県中越地震、新潟県中越沖地震後に規制が緩和されたことにより、移動式ガス発生設備を被災地に持ち込むことが可能となり、病院等への応急対応として実際に地震後に配備されている（図 2-2）。

表 2-3 これまでの震災対策に関する検討状況と講じた主な対策<sup>5) -8)</sup>

地震（発生年）	調査会・検討会	主な対策
宮城県沖地震（1978）	ガス事業大都市対策調査会 （1980：資源エネルギー庁）	導管網ブロック化
釧路沖地震（1993） 北海道南西沖地震（1993）	ガス地震対策調査会 （1993：資源エネルギー庁）	緊急措置ブロック化
兵庫県南部地震（1995）	ガス地震対策調査会 （1995：資源エネルギー庁）	マイコンメータの義務づけ PE 管の普及 即時供給停止ブロック形成
新潟県中越地震（2004）	新潟県中越地震ガス地震対策調査検討会 （2005：原子力安全・保安院）	復旧ブロック策定 移動式ガス発生設備の手続き簡素化
新潟県中越地震（2007）	新潟県中越沖地震における都市ガス事業・施設に関する検討会 （2008：原子力安全・保安院）	供給停止権限者への連絡手段の多重化 移動指揮ガス発生設備導入に係わる補助制度の創設



図 2-1 PE 管の熱融着部  
（著者撮影）

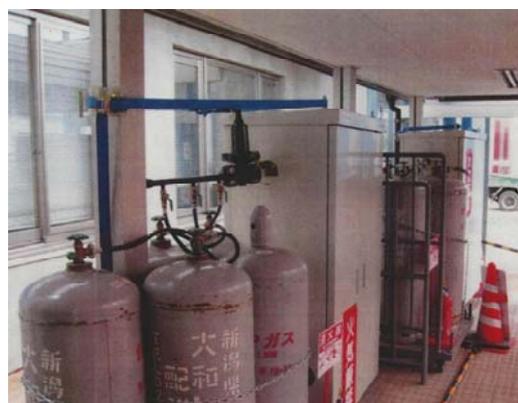


図 2-2 病院への移動式ガス発生設備（新潟県中越沖地震）<sup>8)</sup>（出典：文献 7）

## (2) 東日本大震災の被害と復旧

東日本大震災では、都市ガスの供給停止は8都県と広範囲に及び、一般ガス事業者16社の管轄内で462,528戸が停止した<sup>9)</sup>。表2-4に都市ガス導管の被害、また表2-5に過去の地震では被害のなかった製造設備への被害について示している。中圧ガス導管の総延長は約12,500kmであり、22箇所被害があった。被害箇所を見ると、これまでの地震時同様、フランジ継手部からの微少な漏えいが大半であった(13箇所)。津波による被害としては、漂流物の衝突による被害が2箇所であった。低圧ガス導管(本支管)の総延長は約83,000kmであるが、地震による被害は773箇所であった。また、管内管の被害は、7,132箇所であった。本支管の被害において、液状化を除く地震による被害は670箇所であり、このうち地盤変状によるものが45箇所、斜面崩壊によるものが7箇所であった。液状化による被害は103箇所であったが、大多数が東京湾岸において発生している。これは、東京湾岸付近の導管が抜け出し防止無しの継手部の割合がその他の地域より低いためである。津波により初めて被害が発生したものとしてLNG受入設備の損傷があり、これによりLNG供給が途絶した事例もある。地震動の強さによる影響もあるが、低圧本支導管の被害率が阪神・淡路の時は0.14箇所/kmであったものが0.008箇所/kmに減っており、PE管の普及対策が効果を示している。

表2-4 都市ガス供給設備の被害<sup>9)</sup>

導管	被害数	導管延長 (km)	被害率 (箇所/km)
中圧導管	22(津波2箇所)	12,549	0.002
低圧導管	地震	670	0.008
	液状化	103	0.075
	津波	1	不明

(出典：経済産業省：東北地方太平洋沖地震におけるガス供給に係る被害とその対策について)

表 2-5 一般ガス事業における製造設備・ガスホルダーの被害状況<sup>9)</sup>

製造所等の設備類	地震による被害	津波による被害
配管・架構	なし	杭のない基礎の配管・架構類の一部損壊
気化器等のガス発生設備	なし	中圧気化器が損傷（3事業所） 高圧機器はほぼ健全
電気設備	なし	浸水により故障（4事業所）
LNG貯蔵・LPG貯蔵	なし	津波による漂流物との接触による塗装剥離程度の被害
ガスホルダー	球形ホルダーのうち支持部材損傷 有水式ガスホルダーのうち、ガイド ローラーの外れ	津波による浸水地域 石巻市：浸水2基／全2基 仙台市：浸水3基／全8基

（出典：経済産業省：東北地方太平洋沖地震におけるガス供給に係る被害とその対策について）

東日本大震災では、震度5弱以上を記録した全ての事業者において、速やかに災害対策本部が設置された。第一次緊急停止判断までの最大時間は、阪神・淡路大震災では約6時間であったのに対して、東日本大震災では約10-40分、地震発生から全ブロック供給停止までの最大時間は約16時間と大幅な時間短縮ができて被害拡大阻止に繋がった。

図2-3は事業者別の復旧進捗状況を示している<sup>9)</sup>。4月16日までにほとんどの事業者で復旧が完了している。最も復旧に時間がかかったのは津波による被害が甚大であった石巻ガスで、5月3日に復旧が完了した。4月7日に起きたM7.1の余震の影響を受け、仙台市ガスでは5643戸が再供給停止となった。山間部などプロパンガス世帯が多い地域では、一部の集中ガス地域にカセットコンロとガスボンベを配布することで復旧までしのいだ。他事業者からの災害応援については、延べ約10万人、最大応援時1日あたり約4,100人の復旧応援にも助けられ、津波等による被害甚大地区を除いて54日で復旧が完了した。修繕歩掛も兵庫県南部地震よりも格段に良くなった。

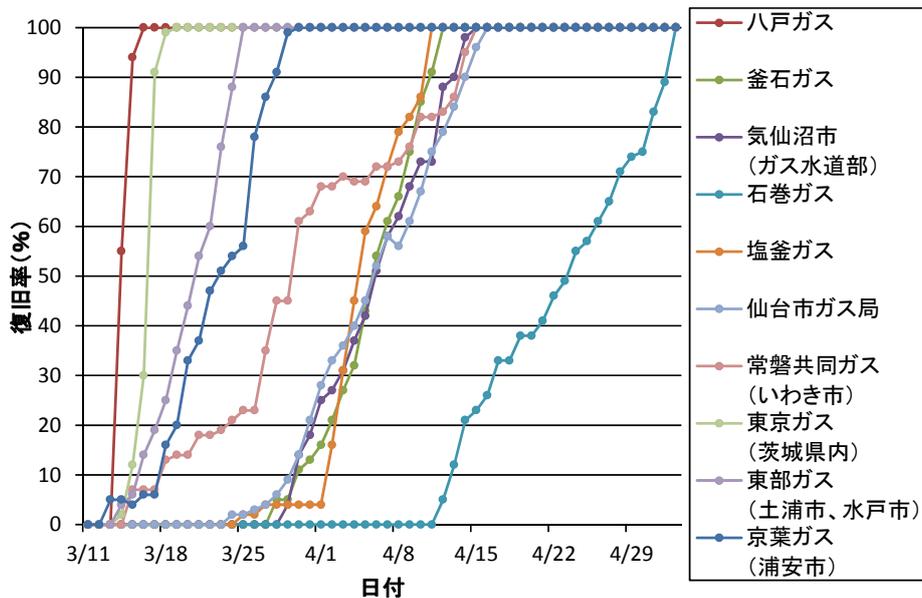


図 2-3 事業者別復旧進捗状況<sup>10)</sup>

(出典：経済産業省資源エネルギー庁、ガス安全小委員会災害対策WG：東日本大震災を踏まえた都市ガス供給の災害対策報告書、2012. 3.)

### (3) 東日本大震災の教訓

#### ① 沿岸貯蔵施設の津波・液状化対策

東京湾岸で液状化の影響によって中低圧ガス導管耐震設計指針に規定する標準設計地盤変位の 5cm を超える大きな地盤変位が生じた。今後、液状化による著しい地盤変位が生じる可能性の高い地区に導管を新設する際には、継手部において耐震性の高い PE 管および溶接鋼管を使用することが液状化に対する対策として有効である<sup>11)</sup>。

東日本大震災では、仙台市ガス局の LNG 港工場は津波により浸水した(図 2-4)。半地下タンクは冠水を免れるが、停電、機器・配管に被害が出た。また、津波漂流物の衝突を原因とする二次災害は発生しておらず、これまでも LNG 基地での津波漂流物の衝突による被害は報告されていない。しかしながら、大規模な津波が発生した場合には、津波波力による被害に加え、漂流物の衝突による被害も起こりうる。このため、今後は製造所の所在地域における津波浸水と、港湾施設関係者等による津波漂流物対策の検討状況を踏まえつつ、各製造所の津波影響評価が求められる。



図 2 - 4 仙台市ガス局の LNG 港工場の津波浸水の様子 3/11 15:52<sup>12)</sup>  
(出典：仙台市ガス局：東日本大震災 復旧の記録，2012)

## ② ナショナルパイプラインの構築

上述したように仙台市ガスの LNG 港工場は津波により浸水し配管類に甚大な被害が生じた。震災直後はガス製造再開の見通しが立てられなかった。しかし、仙台市は海上輸送型の供給とは別に、高圧パイプライン型の供給の 2 つの方式をもっており、パイプライン型の設備に大きな被害はなく、地震による LNG タンクや供給エリアの主要導管にも大きな被害がなかったことから、パイプラインによる供給再開を行った。

このパイプラインは、石油資源開発 (JAPEX) が新潟から東北電力の新仙台火力発電所への供給ラインを敷いていたものを、2002 年に仙台市ガス局が自身の導管と結んでできたものである (図 2 - 5)。この新潟—仙台間の 260km を結ぶ天然ガス・パイプラインによって、仙台市の都市ガス復旧は早期に実現できたと考えられる。

日本における天然ガス高圧パイプラインは一部の都市間でつながっているが、日本全土を縦断するようなナ



図 2 - 5 新潟—仙台パイプライン  
(出典：仙台市ガス局 HP)

ショナルパイプラインは構築されていない。東日本大震災では、大都市の都市ガスの製造施設が被災したことにより、製造所の津波対策と共に広域パイプラインも有用である。南海トラフ巨大地震において被災が想定される都市の多くは、太平洋沿岸の都市である。巨大地震の切迫性からも製造所における津波対策を急ぐと共に太平洋の都市間を結ぶ広域パイプラインの構築・運用が期待される。

### ③ オールジャパンの災害支援体制の確立

東日本大震災では複数の都市ガス事業者が被害を受けたために、全国の都市ガス事業者が被災地の応援に入った。図2-6は東日本大震災における災害支援体制を示している<sup>13)</sup>。阪神・淡路大震災以降、ガス事業者間で迅速な災害支援を行うための情報収集のシステムや自己完結型の支援隊のあり方について検討されてきた。しかし、震災においては、復旧活動のための支援物資等の輸送に支障が生じ、食料・燃料・資機材の調達ルートの確保の重要性が浮き彫りになった。この課題については、ガス供給関係者だけで解決できるものではなく、国土交通省で検討されている支援物資物流システムの基本的な考え方の策定等各方面での検討結果をフォローし、ガス供給における復旧支援活動に取り込んでいくことが有用である<sup>14)</sup>。

日本ガス協会による復旧応援隊の概要

仙台応援隊（最大時 3,869 名/日で計 311,144 戸を復旧）

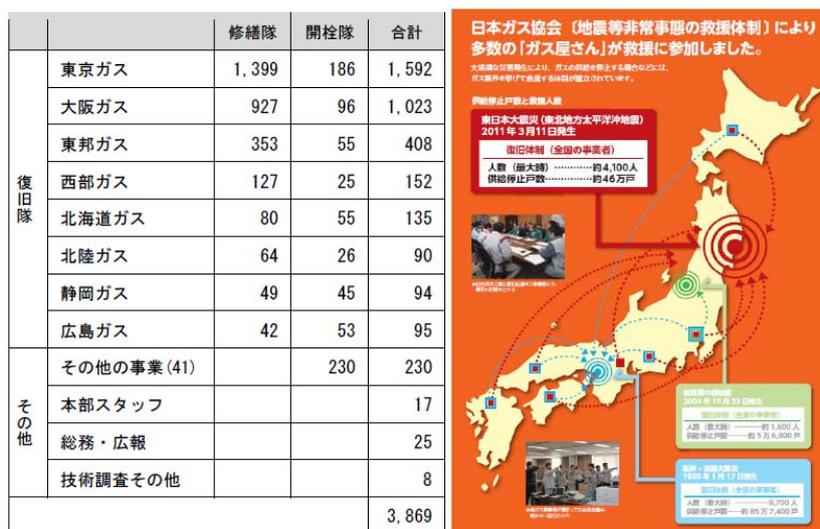


図2-6 東日本大震災時の日本ガス協会の災害支援体制<sup>13)</sup>

(出典:総合資源エネルギー調査会都市熱エネルギー部会ガス安全小委員会  
災害対策ワーキンググループ:東日本大震災を踏まえた都市ガス供給の災害  
対策検討報告書報告書)

#### ④ LP ガスの活用

東日本大震災では、強震域が広域であったために水道や電力などのライフラインの供給停止戸数は阪神・淡路大震災時の戸数の倍以上になったが、都市ガスについては半分程度であった。被災地の多くはLPガスの供給地域であり、都市ガスの導管網がなかった。LPガスについては、発災当日にはガスメータの安全装置で自動的に停止しているが、数日後にはLPガス事業者の点検が済めば、供給を順次再開している。そのため、阪神・淡路大震災ほど、ガスの供給停止に対する住民の不満の声は少なかった。このようなことから、LPガスは、一時的に供給停止しても直ぐに復旧できるので災害時に有効な熱源である。

### 3. ライフライン相互連関を踏まえた課題

都市域では、電力・ガスのエネルギーインフラに限らず多くのライフラインが高密度に隣接して敷設されている。そのため、地震などの災害時にあるライフラインが供給停止したことが他のライフラインにもその影響が波及する。阪神・淡路大震災では能島・亀田<sup>15)</sup>がライフラインの相互連関に関して詳細に調査を行い、ライフライン間で物理的被害・機能的損傷などに影響をもたらしたことを明らかにしている。さらに、ライフラインの中では、電力の供給停止が他のライフライン供給に最も影響を与えるとされている。本稿では、東日本大震災における各ライフラインの被害報告書に基づき、ライフライン相互の影響について定量的に評価することを試みた。

本研究では震災発生から2014年10月までに公開されている表2-6の資料を用いた。電力については、東京電力と東北電力のそれぞれの報告書で検討を行ったが、分析結果は両者の傾向は類似しており、東北電力の報告書は物理的被害と機能的損傷の分類が明確であったため、本稿では東京電力のみを示す。

表 2-6 ワーズ検索に用いたライフラインの被害報告書一覧 (2), 14), 16-21)

ライフライン	報告書名
電力	東北電力：東日本大震災復旧記録 東京電力：東北地方太平洋沖地震に伴う電力設備の復旧記録
都市ガス	経済産業省：東日本大震災を踏まえた都市ガス供給の災害対策検討報告会
上水道	厚生労働省：東日本大震災水道施設被害状況調査最終報告書
下水道	国土交通省：東日本大震災における下水道施設被害の総括
通信	総務省：情報通信白書
鉄道・道路	国土交通省：東日本大震災の記録
廃棄物	環境省：災害廃棄物の広域管理

分析においては、まず各ライフラインやそのライフラインのサービスを想像させる関連ワーズを設定した。例えば、電力であれば電力、電気、停電などである。次に、あるライフラインの被害報告書にある他のライフラインの関連ワーズは、当該ライフラインは他のライフラインにより何らかの影響を受けたものと仮定し（表 2-7）、総ページ数の中の関連ワーズの検索ヒット数を計算し、ポイント化する。ただし、あるライフラインについては、自身のイフラインの関連ワーズは検索していない。また、ガスの関連ワーズに「漏洩、爆発」をしているが「情報漏洩、発電所の爆発」など、著者らが意図しないワーズの使われ方がされている場合は除外した。

図 2-7 にライフラインの被害報告書ごとの他のライフラインの関連ワーズの出現割合を相対的に表している。また、図中の電力（+原発）は一般的な電力関連ワーズと原発事故に関連するワーズ（例えば、放射線、汚染など）を合わせた割合である。図 2-7 の最も左の電力の報告書を例にとると、報告書に出現した関連ワーズの内、通信の関連ワーズの割合が 41% となっており、東日本大震災において電力に最も影響を与えたライフラインは通信であることを示唆している。

表 2-7 テキスト検索に用いた検索ワード

電力	原発関連	都市ガス	上水道	下水道	道路	鉄道	通信	廃棄物
電力	原発	ガス	上水	下水道	道路	鉄道	通信	ゴミ
電気	原子力	PE	断水	下水	東北自動車道	JR	NTT	廃棄物
送電	放射能	漏洩	通水	マンホール	仙台東部線	線路	携帯	がれき

					道路		
信号	セシウム	爆発	上水道	処理場	橋梁	新幹線	モバイル
電柱	放射線		配水	処理施設	国道 45 号	駅	輻輳
東電	線量		水道	汚水	通行止め	電車	電子メール
配電	被爆		浄水		IC	三陸鉄道	無線
通電	放射性物質		ポンプ		橋脚	地下鉄	衛星
停電	汚染		使用制限		橋桁		通話規制
	警戒区域		冷却水		バス		電話
	除染				高速道路		ネット
					添架		HP

(筆者作成)

図 2-7 より、電力、道路、通信の関連ワーズが他のライフラインの被害報告書に多く出現している。また、全てのライフラインで電力が 35% を超えており、最も影響力が大きいことが分かる。物理的被害に関連する頁では、電力の報告書では、通信用電源や通信機器、無線回線の停止など電力施設内の通信設備被害に関する記述が多く見られた。都市ガスの報告書では、道路の陥没・橋梁の破損により、敷設・添架ガス管の損傷など記述が目立った。とくに、地震や津波により各ライフライン施設が管理している電気系統設備が直接被害を受けたことと、停電による機器等の作動停止などが挙げられる。また、原発事故関連については道路・鉄道、通信、廃棄物関連の物理的被害に影響が出ていたことが明らかになった。一方、ライフラインの機能的損傷に関する頁では、「停電」のワーズが上水道や鉄道の報告書中に多く出現しており、復旧段階において停電の影響を強く受けている。電力の報告書では、道路通行止め・道路規制・被災車両により現場への出向が困難になる、通信回線が通じず連携困難・電話不通であったが衛星電話は使用可能であったことなどが挙げられる。また、都市ガスの報告書では通信回線が通じず連携困難に陥った、衛星電話は使用可能であり活躍したことなどが記述されており、発災後の時間経過とともに各ライフラインの連携に関する内容が見られた<sup>22)</sup>。

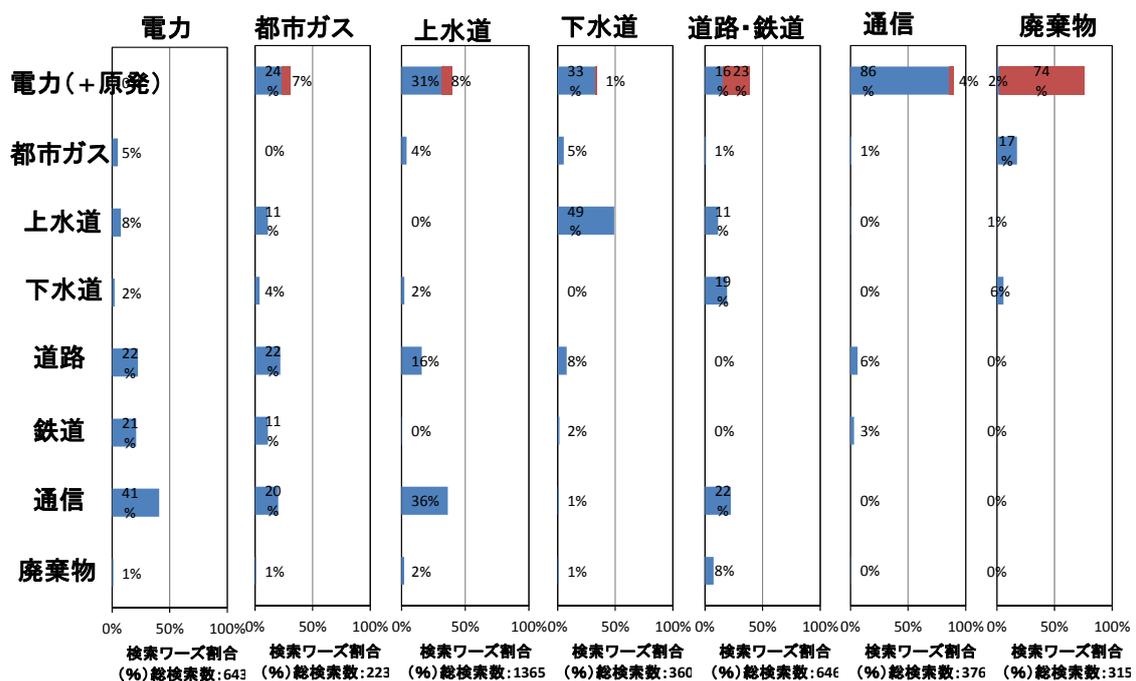


図 2-7 報告書ごとライフライン関連ワーズ出現割合（筆者作成）

これらの結果より、阪神・淡路大震災の時に指摘されていたように電力システムが他のライフライン供給に多大な影響を与えていることが東日本大震災でも明らかになった。とくに、停電期間が長かったために、電力による影響が強く表れたといえる。一つ一つのライフラインの地震対策を検討することは重要であるが、都市域ではライフライン間の結びつきが強いため、相互連関を踏まえた対策も今後必要となってくる。

#### 参考文献

- 1) 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：配布資料，総合資源エネルギー庁原子力安全・保安部会，2011.
- 2) 東北電力(株)：東日本大震災復旧記録，2012.
- 3) 東京電力（株）：東北地方太平洋沖地震に伴う電気設備の停電復旧記録，2013.3
- 4) 東日本大震災合同調査報告書編集委員会：東日本大震災合同調査報告 土木編3 ライフライン施設の被害と復旧，丸善出版、p.248、2015
- 5) ガス地震対策調査会：ガス地震対策調査会報告書、1993.
- 6) ガス地震対策検討会：ガス地震対策検討会報告書、1996.

- 7) 新潟県中越地震ガス地震対策調査検討会：新潟県中越地震ガス地震対策調査検討会報告書、2005.
- 8) 総合資源エネルギー調査会 都市熱エネルギー部会 ガス安全小委員会 新潟県中越沖地震における都市ガス事業・施設に関する検討会：新潟県中越沖地震における都市ガス事業・施設に関する検討会報告書、2008.
- 9) 経済産業省：東北地方太平洋沖地震におけるガス供給に係る被害とその対策について
- 10) 経済産業省資源エネルギー庁、ガス安全小委員会災害対策 WG：東日本大震災を踏まえた都市ガス供給の災害対策報告書、2012.3.
- 11) 中央防災会議：防災基本計画、  
[http://www.bousai.go.jp/taisaku/keikaku/pdf/20111227\\_basic\\_plan.pdf](http://www.bousai.go.jp/taisaku/keikaku/pdf/20111227_basic_plan.pdf)、  
2013.
- 12) 仙台市ガス局：東日本大震災 復旧の記録，2012
- 13) 総合資源エネルギー調査会都市熱エネルギー部会ガス安全小委員会災害対策ワーキンググループ：東日本大震災を踏まえた都市ガス供給の災害対策検討報告書報告書、p.134、, 2012
- 14) 経済産業省：ガス東日本大震災を踏まえた都市ガス供給の災害対策検討報告会，2012
- 15) 能島暢呂，亀田弘行：ライフラインの相互連関，阪神・淡路大震災，－防災研究への取り組み－，京都大学防災研究所，pp. 360-369，1996
- 16) 東京電力（株）：東北地方太平洋沖地震に伴う電力設備の復旧記録，2013
- 17) 厚生労働省：東日本大震災水道施設被害状況調査最終報告書，2013
- 18) 国土交通省：東日本大震災における下水道施設被害の総括，2012
- 19) 総務省：情報通信白書，2011
- 20) 国土交通省：東日本大震災の記録 2012
- 21) 環境省：災害廃棄物の広域処理，2014
- 22) 加藤想，鋏田泰子：東北地方太平洋沖地震におけるテキスト検索を用いたライフライン相互連関，平成 27 年度土木学会関西支部年次学術講演会，2015

### 第3章 阪神・淡路大震災と東日本大震災におけるライフライン被害・復旧過程の比較

能島 暢呂

#### 1. 実際のライフライン被害・復旧過程

阪神・淡路大震災と東日本大震災は、地震タイプ（内陸直下型地震と海溝型地震）の相違により、強震動の性質、揺れの広がり、継続時間、津波の影響など、あらゆる点で異なった様相を示すが、これらの二度の大震災における電気・都市ガスの被害と復旧について比較しておく<sup>1)</sup>。初期停止戸数を表3-1に示し、その解消過程および復旧率を図3-1と図3-2に示す（東日本大震災の電力については東北電力管内のみ）。参考までに水道についても示している（阪神・淡路大震災については兵庫県内のみ）。これらは文献<sup>2)-6)</sup>に基づいて作成したものである。

地震直後の被災規模に関しては、停電と断水では東日本大震災が阪神・淡路震災を大きく上回っているのに対して、東北地方では都市ガス普及率が低いため（岩手県 14.7%、宮城県 44.2%、福島県 20.3%、茨城県 19.4%、4 県平均 25.9%）、ガス停止については下回っている。電気・水道・都市ガスの順に停止戸数が多く、細部には違いがみられるものの、復旧の早さもこれと同順であることは両震災で共通している。

表 3-1 初期停止戸数の比較

ライフライン	東日本大震災 (2011年東北地方太平洋沖地震)	阪神・淡路大震災 (1995年兵庫県南部地震)	2011/1995比
電気	計 891 万戸(東北電力管内 486 万戸)	260 万戸	342% (187%)
水道	220 万戸以上	126 万戸 (兵庫県)	180% 以上
都市ガス	46 万戸	86 万戸	53%

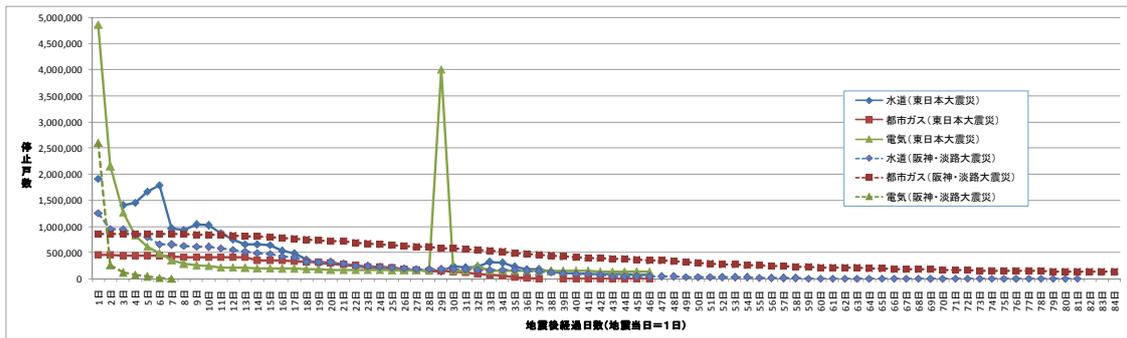


図3-1 電気・水道・都市ガスの停止戸数の解消過程の比較  
(東日本大震災と阪神・淡路大震災) (文献<sup>7)</sup>より引用)

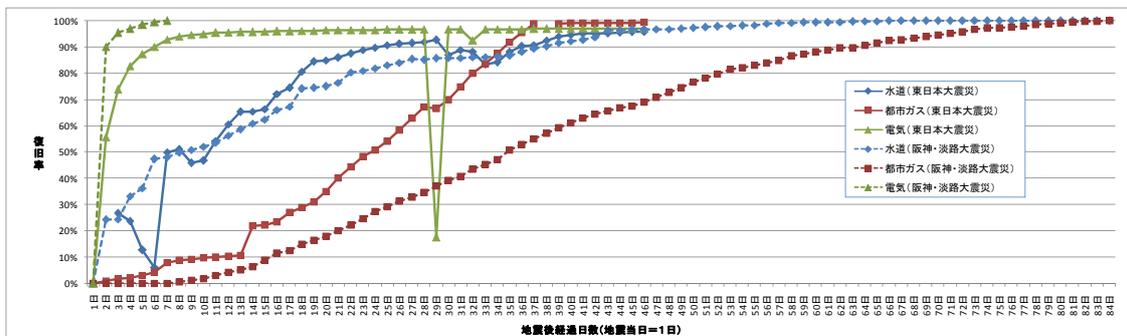


図3-2 電気・水道・都市ガスの復旧率の推移の比較 (文献<sup>7)</sup>より引用)  
(復旧率 = (延べ停止戸数 - 停止戸数) / 延べ停止戸数)

## 2. 阪神・淡路大震災の被災事例に基づくライフライン被害・復旧予測モデルの東日本大震災への適用

供給系ライフラインの地震時機能被害・復旧に関する二段階予測モデルを東日本大震災の被災事例に適用して考察する<sup>7)</sup>。ここで適用する被害・復旧予測モデルは、阪神・淡路大震災の被災事例に基づいて構築されたものであり、震度をパラメータとしている。電力供給システムについては1995年と2011年で大きな差はないと考えられることから、被災事例に基づくオリジナルモデルを適用したが、都市ガス供給システムについては、地震防災対策の進展や施設の脆弱性の変化を考慮して改良した<sup>7)</sup>。具体的には、SIセンサーの観測値に基づく供給停止判断に関する規程が確立されたことから、SI値 65kine を供給停止判断基準とする機能的フラジリティ関数(50%停止確率相当の計測震度 5.90, 標準偏差 0.174)を採用した。また、前述のガス導

管の非耐震化率の低減に関する考察に基づいて、平均復旧所要復旧期間を54.8% (=0.198/0.361) に短縮した改良モデルとした。東日本大震災における本震（3月11日14:46）、余震1（茨城県沖の地震、3月11日15:15）、余震2（宮城県沖の地震、4月7日23:32）、誘発地震（福島県浜通りの地震、4月11日17:16）の4イベントによる震度曝露人口をもとに得られた供給支障人口の解消過程を時系列的に合成して得られた推定結果と実測値とを比較した結果を示す。なお実測値については停止戸数を人口換算した。

図3-3は被災地全域での停電人口の解消過程の推定値と実測値<sup>2),3)</sup>とを比較したものである。初期被害に関してみると、両者はほぼ整合している。しかしその後の1週間をみると、全体的に実測値の方が長期間を要している。発電所施設の津波被災に伴う電源喪失が大きく影響していると考えられる。また地震後1週間以降の長期にわたる復旧停滞は、津波被災地域における復旧作業の難航によるものである。ここでは図示を省略するが、都道府県別の検証によると、東北電力管内では宮城県では初期被害は推定値よりもやや多い結果となり、復旧過程は推定値よりかなり遅れている。一方、東京電力管内に関しては東京都での推定値の過大評価が顕著であった。多方面から複数の送電系統が都内に入っているため、ネットワーク冗長性の効果により電力供給信頼性が高くなっている可能性が示唆される。

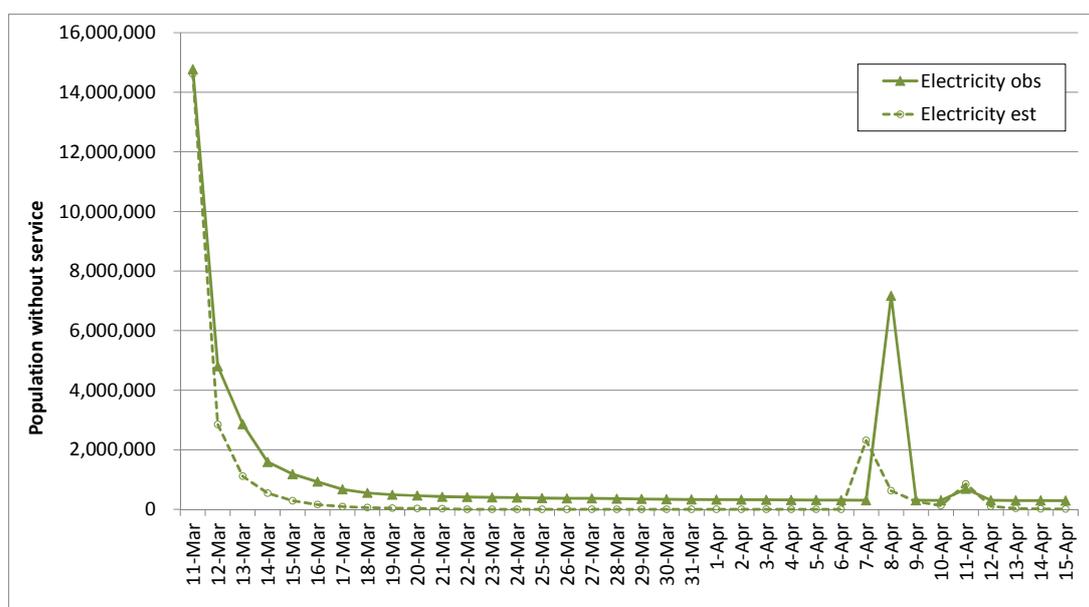


図3-3 供給支障人口（停電）の解消過程の推定値(est：破線)と実測値(obs：実線)との比較（全域）（文献<sup>8)</sup>より引用）

図3-4は被災地全域でのガス停止人口の解消過程の実測値と推定値とを比較したものである。実測値<sup>4),5)</sup>は推定値を大幅に上回っている。第2章でも触れられているように、仙台市ガス局のガス製造設備である港工場が津波被災によりガス送出を停止したことが大きく影響している<sup>5)</sup>。地震動に伴う都市停止に限定すれば、過小評価の度合いは小さくなるものと考えられるが、南海トラフ巨大地震への対策を進めるうえでは、こうした拠点施設の被害を適切に評価することが重要であるといえる。3月23日に新潟～仙台間のパイプラインによる天然ガス供給に系統を切り替えて供給再開した後は、復旧進捗のペースは早い。また、PE管の普及によりガス導管網の脆弱性（＝非耐震化率）が36.1%（1995年、推定値）から19.8%（2011年）に低下し、低圧導管の被害が少なかったことに加えて、日本ガス協会の相互応援体制強化などの効果が現れたものと考えられる。この点が、解消過程の実測値と推定値の差の主要因となっている。

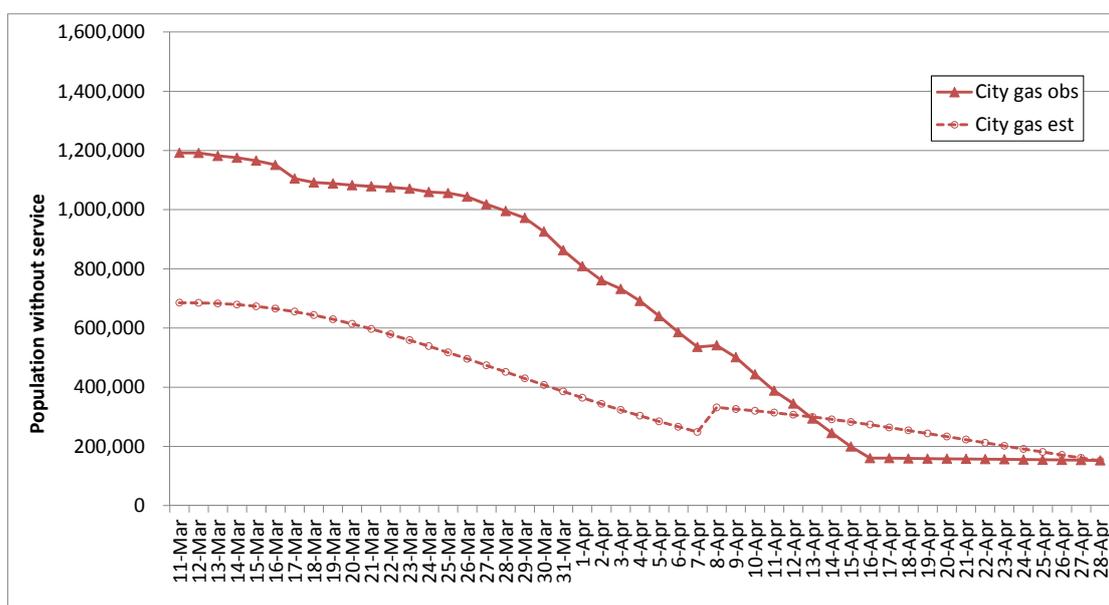


図3-4 供給支障人口（都市ガス停止）の解消過程の推定値  
推定値(est:破線)と実測値(obs:実線)との比較(全域)(文献<sup>8)</sup>より引用)

## 参考文献

- 1) 能島暢呂：東日本大震災における供給系・通信系ライフラインの復旧概況，地域安全学会梗概集，No.28，2011.5，pp.97-100.
- 2) 東北電力(株)：ホームページ「緊急情報」の「地震発生による停電等の影響について，（別紙）H23 東北地方太平洋沖地震の復旧見通しについて(PDF)」，2011.3.11～4.25.  
<http://www.tohoku-epco.co.jp/emergency/9/index.html>
- 3) 東京電力(株)：プレスリリース「東北地方太平洋沖地震における当社設備への影響について」，「東北地方太平洋沖地震における影響について」，2011.3.11～4.25. <http://www.tepco.co.jp/index-j.html>
- 4) (社)日本ガス協会：「東北地方太平洋沖地震による都市ガス供給の停止状況について」2011.3.11（第2報）～4.25（第51報）
- 5) 仙台市ガス局：ホームページ「仙台市ガス事業の概要 2010」  
[http://www.gas.city.sendai.jp/gas\\_gaiyo/index.html](http://www.gas.city.sendai.jp/gas_gaiyo/index.html)
- 6) 厚生労働省：ホームページ「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の被害状況及び対応について，（別紙）水道における被害情報」2011.3.13（第11報）～4.25（第59報）. <http://www.mhlw.go.jp/8>
- 7) 能島暢呂：東日本大震災における供給系・通信系ライフラインの復旧概況，地域安全学会梗概集，No.28，2011.5，pp.97-100.
- 8) Nojima, N. and Kato, H., "Modification and Validation of an Assessment Model of Post-Earthquake Lifeline Serviceability Based on the Great East Japan Earthquake Disaster," Journal of Disaster Research, Vol.9, No.2, 2014, pp.108-120.

## 第4章 南海トラフ巨大地震によるエネルギー関連施設の震度・津波浸水深曝露評価

能島 暢呂

### 1. 震度・津波浸水深曝露評価の狙い

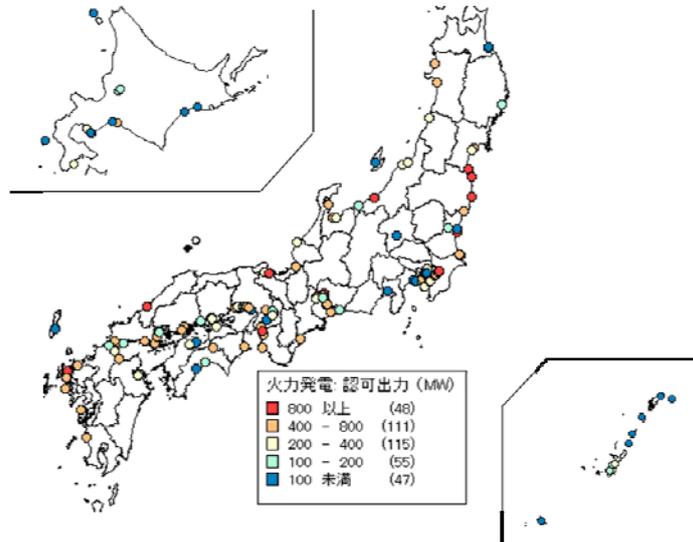
第2章および第3章でみたように、東日本大震災が提起した重要な問題の一つに、多種多様なエネルギー関連施設の広域同時被災によって生じたエネルギー供給力低下が挙げられる。多くの原子力発電所が稼働停止し、日常的にエネルギー需要が逼迫する状況にあって、近い将来に南海トラフ巨大地震が発生した場合には、エネルギー供給力がさらに低下し、エネルギー需要をみたすことができない事態が懸念される。その予測と対策が地震防災対策上の急務であることは論を待たない。

そこでここでは、内閣府「南海トラフの巨大地震モデル検討会<sup>1)</sup>」により想定された南海トラフ巨大地震の予測震度分布および津波浸水深分布と、全国の火力発電所およびLNG基地の広域分布を重ね合わせることにより、エネルギー供給側の震度・津波浸水深曝露評価を行う。これにより任意の震度・津波浸水深レベルに曝される施設規模を評価し、将来の地震時における潜在的なエネルギー供給力低下に関する基礎情報とすることを狙いとするものである。

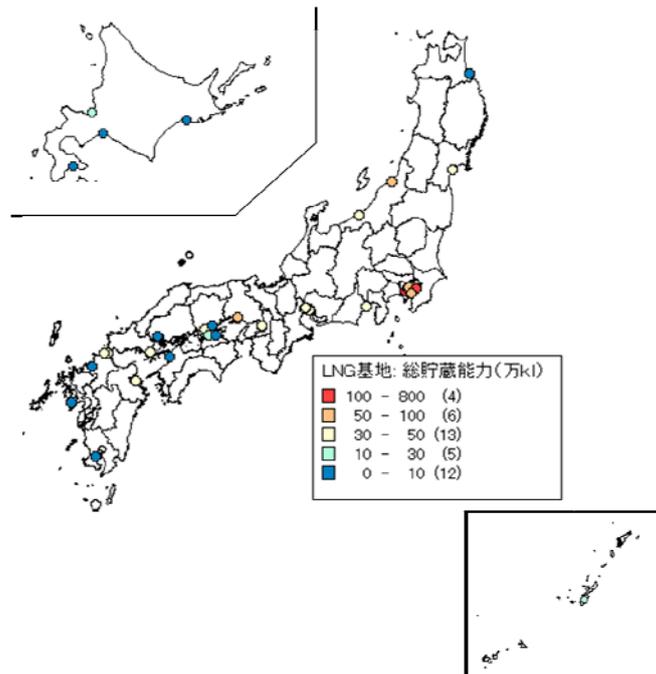
### 2. 火力発電所およびLNG基地のデータ

まず全国各地の火力発電所およびLNG基地を対象としたエネルギー関連施設の現況把握のためデータ収集を行った。火力発電所については国土数値情報<sup>2)</sup>をもとに、発電所名・位置情報・管理事業者・認可出力など（平成19年度）をデータ化した。火力発電所は380機、うち稼働中および運転休止中の発電機353機（天然ガス系101機、石油系130機、石炭系89機、その他33機）の合計の総認可出力は151,864MWである。図4-1(a)にその分布と認可出力を示す。

LNG基地についてはWikipedia<sup>3)</sup>をもとに基地名・位置情報・貯蔵方法・貯蔵能力などをデータ化した。国内には40ヶ所（今後操業予定を含む）存在し、全国のLNG基地の総貯蔵能力合計は1,639万kLとなっている。図4-1(b)にその分布と貯蔵能力を示す。



(a) 火力発電所の分布と認可出力 (MW) (文献<sup>2)</sup> より作成)



(b) LNG 基地の分布と貯蔵能力 (万 kL) (文献<sup>3)</sup> より作成)

(注) : 複数基が隣接されている場合には、表示の縮尺では重なってプロットされるため、貯蔵能力が少ないように見える。総貯蔵能力については、表 1-2 を参照されたい。

図 4-1 主な火力発電所および LNG 基地の分布とそれらの容量

### 3. 震度曝露評価

#### (1) 震度分布の推定条件<sup>1)</sup>

南海トラフ巨大地震による震度推定にあたって想定された震源断層域は駿河湾から日向灘にかけての領域である。過去の地震発生履歴を考慮して4つのセグメントに分割され、3次元的に複雑な曲面構造を持つ強震断層面を約10kmメッシュの小断層で近似的に表し、強震断層モデル全体としては $M_w9.0$ である。強震動生成域の設定にあたっては、過去の南海トラフ巨大地震における震度分布を概ね再現することに加えて、日向灘地震の震度分布もあわせて再現するように設定された。

強震波形計算による震度推定に関しては、上記の設定条件を「基本ケース」として、強震動生成域の位置の不確定性を考慮して、やや東側・西側・陸域側に設定した「東側ケース」、「西側ケース」、「陸側ケース」のあわせて4ケースが検討対象とされている。これに加えて、強震波形計算による結果を補完する意味で、距離減衰式を用いた震度推定も行われ、「経験的手法」と称されている。強震断層全域からの距離に応じた平均的な震度分布を推定できるという意義を持つ。以上の強震波形計算による4ケースと経験的手法による震度分布を比較して、地点ごとの最大値を取ったものとして「最大ケース」の震度分布も示されている。図4-2に基本ケースの震度分布を示す。

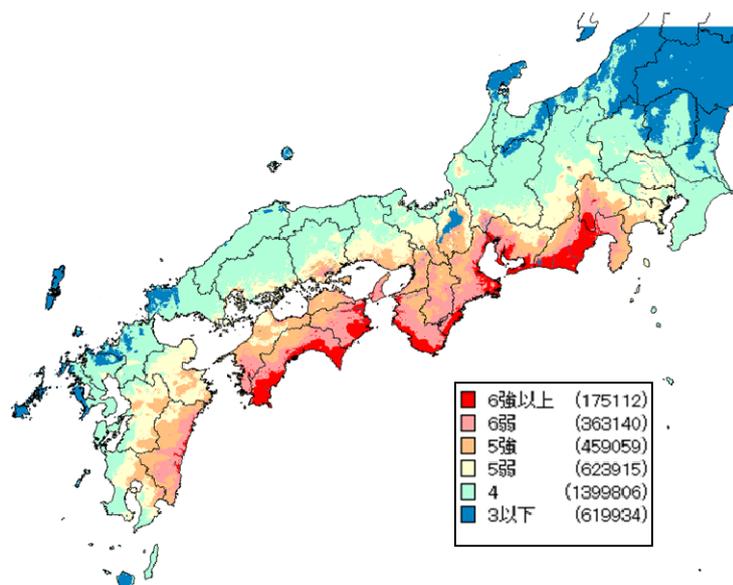


図4-2 南海トラフ巨大地震の予測震度分布（基本ケース）

（内閣府提供データより筆者作成）

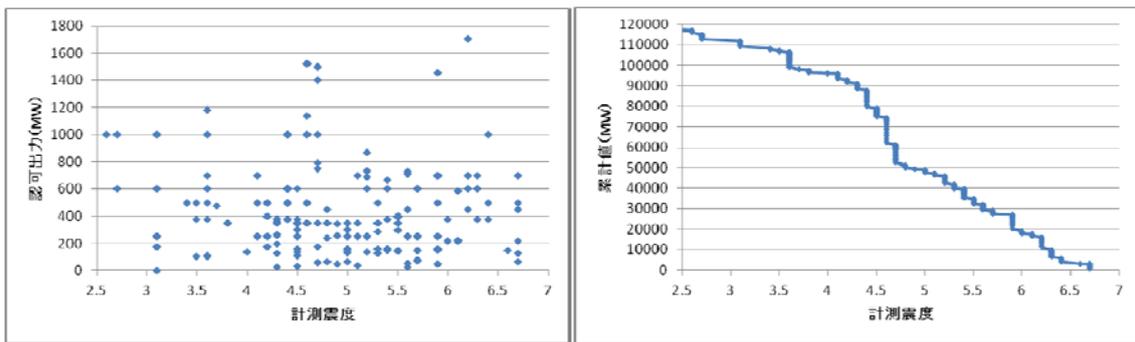
## (2) 火力発電所およびLNG基地の震度曝露評価

上述のデータベースを用いて、南海トラフ巨大地震の震度分布に基づいて震度曝露評価を行った<sup>4),5)</sup>。

図4-3は基本ケースに対する火力発電所の分析結果を示す。震度6弱以上の揺れが生じる地域に分布する発電所は76機存在し、その認可出力の累計は34,872MW（全国の総認可出力の約23%）に及ぶ。同様に、震度6強以上では36機、18,970MW（同約12%）である。

図4-4は同じく基本ケースに対するLNG基地の分析結果を示す。震度6弱以上のLNG基地の総貯蔵能力累計は469万kL（全国の総貯蔵能力の約29%）であり、震度6強以上では160万kL（同約10%）である。

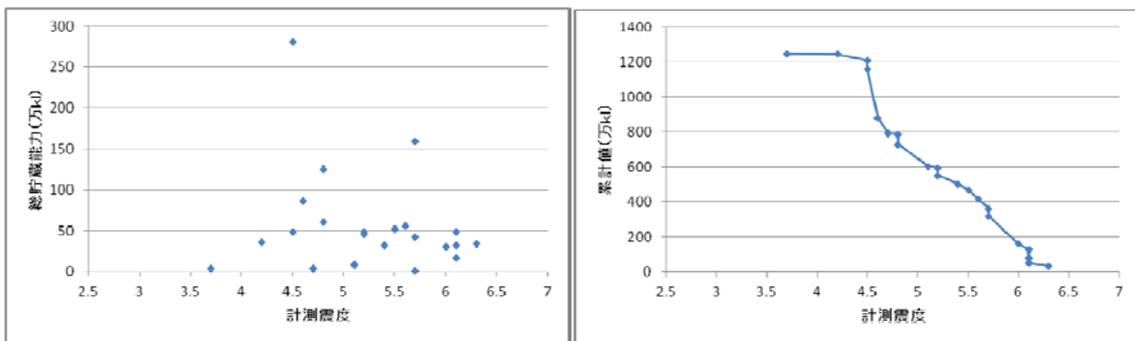
以上のまとめとして、図4-5および図4-6に6ケースの震度曝露評価の一覧を示す。このような曝露評価によって、任意の震度レベルに曝されるエネルギー拠点施設・基幹施設の数量や規模を読み取ることができる。



(a) 震度と認可出力(MW)

(b) 震度と認可出力累計値(MW)

図4-3 火力発電所の震度曝露評価（基本ケース）



(a) 震度と貯蔵能力（万kL）

(b) 震度と貯蔵能力累計値（万kL）

図4-4 LNG基地の震度曝露評価（基本ケース）

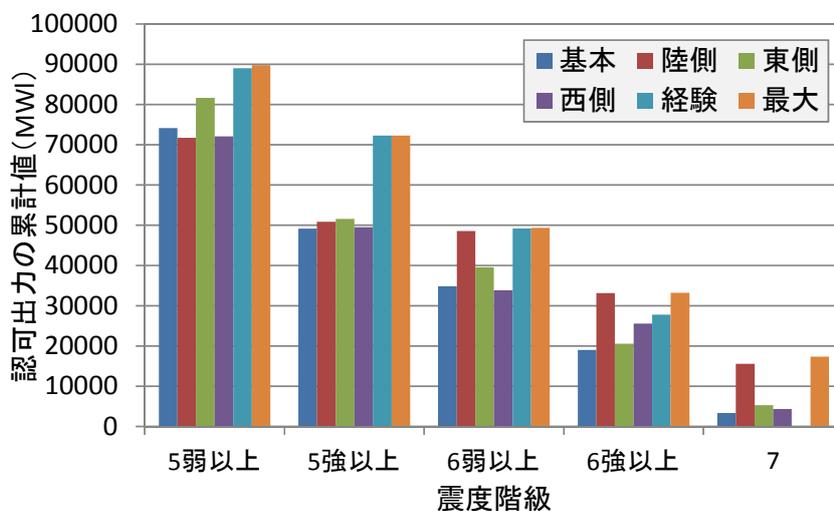


図 4-5 断層ケースごとの火力発電所の震度曝露評価  
(縦軸の上限值 100,000MW は総認可出力 151,864MW の 66%相当)

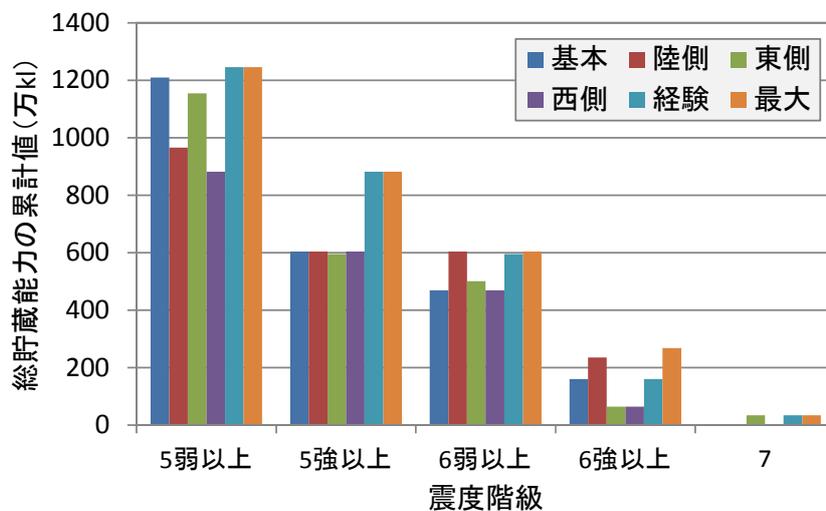


図 4-6 断層ケースごとの LNG 基地の震度曝露評価  
(縦軸の上限值 1,400 万 kL は総貯蔵能力 1,639 万 kL の 85%相当)

#### 4. 津波浸水深曝露評価

##### (1) 津波浸水深分布の推定条件<sup>1)</sup>

津波断層モデルとしては、断層上のすべり量が平均すべり量の 2 倍以上となる「大すべり域」と、平均すべり量の 4 倍程度となる「超大すべり域」を

1箇所ずつとしたパターンを「基本ケース」としている。南海トラフ沿いを全体的にカバーするため、それらの位置として、ケース①（駿河湾～紀伊半島沖）、ケース②（紀伊半島沖）、ケース③（紀伊半島沖～四国沖）、ケース④（四国沖）、ケース⑤（四国沖～九州沖）の5ケースが検討された。一例として断層ケース①の津波断層モデルを図4-7に示す。この他、派生的な検討ケースとして、分岐断層が生じるパターン（2ケース）と、大すべり域と超大すべり域をそれぞれ2箇所ずつとしたパターン（4ケース）の計6ケースが検討され、基本ケースと併せて全11ケースが設定された。

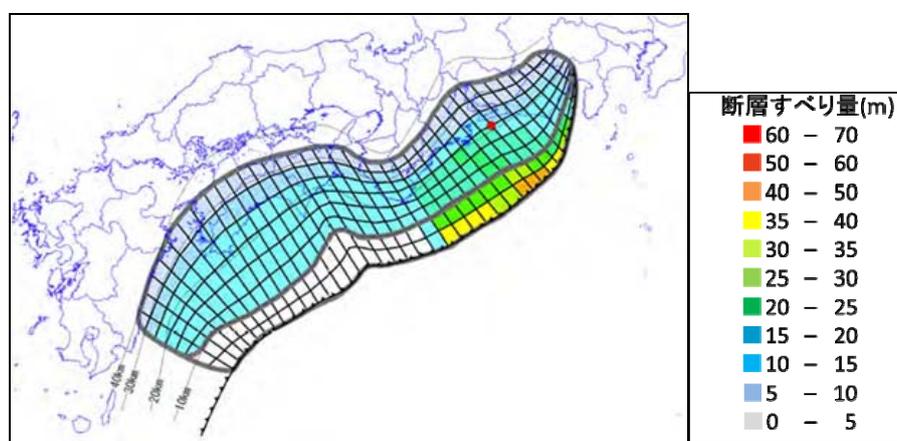


図4-7 津波断層モデル（断層ケース①）（文献<sup>1)</sup>より引用）

内閣府の検討では津波による被害の指標として津波高・浸水深が扱われているが、ここでは浸水深（津波などで浸水した際の水面から地面までの深さ）を用いる。浸水深を検討する際に堤防（水門を含む）がある場合、「津波が堤防を越えると当該堤防は破壊する」（これ以降、堤防破壊）という条件と、「地震発生から3分後に堤防が破壊する」（これ以降、03分破壊）という条件で計算が実施されている。

以上により、津波断層モデル11ケース×堤防破壊2条件＝計22パターンとなる。一例として断層ケース①の浸水深分布図を図4-8に示す。

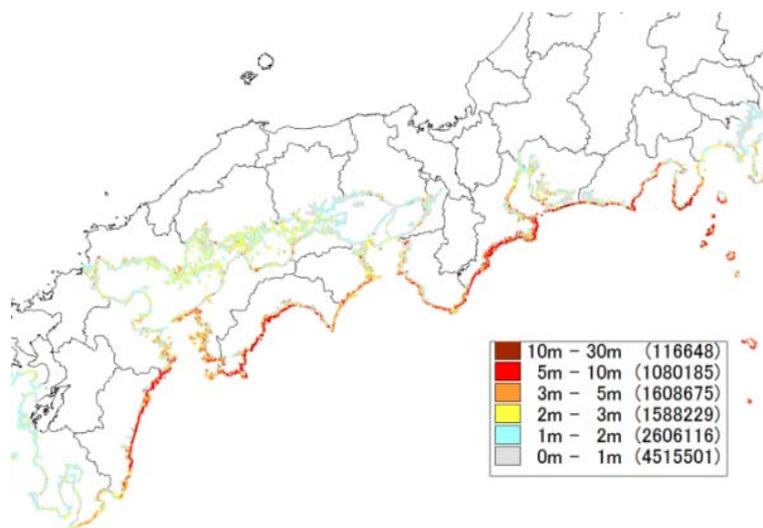
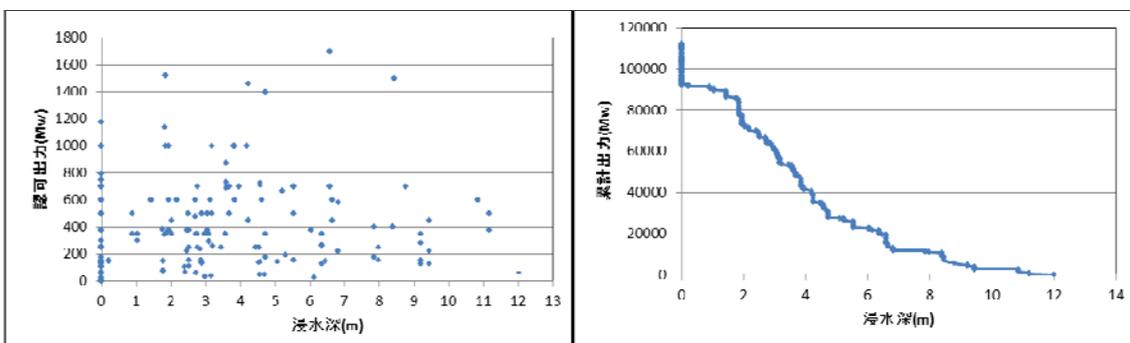


図 4 - 8 津波浸水深分布図（断層ケース①，堤防破壊）  
（内閣府提供データより作成）

## (2) 火力発電所およびLNG基地の津波浸水深曝露評価

浸水深データは 10m メッシュであるため、施設の広がりを考慮し、火力発電所および LNG 基地の中心から半径 1km のバッファを設け、その円内の浸水深の最大値と平均値を求めて使用した。

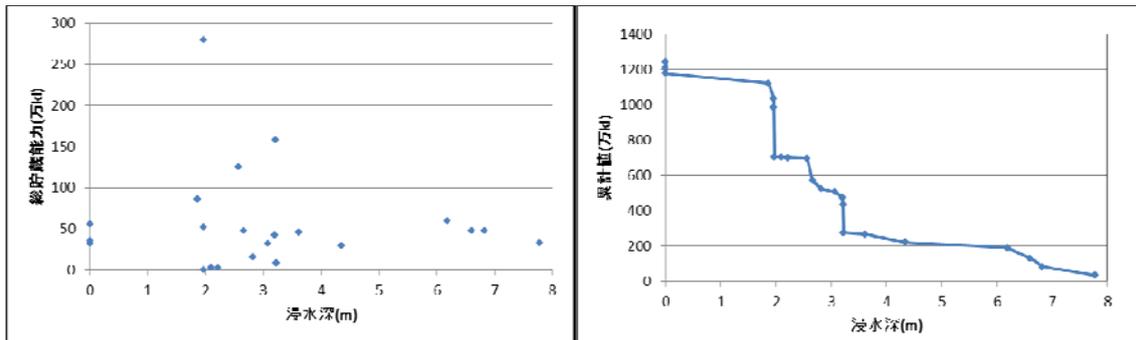
火力発電所に関する津波浸水深と認可出力の分布およびその累計値の例（断層ケース①・堤防破壊・最大値）を図 4 - 9 に示す。また、LNG 基地に関する津波浸水深と貯蔵能力の分布およびその累計値の例（断層ケース①・堤防破壊・最大値）を図 4 - 10 に示す。



(a) 浸水深と認可出力 (MW)

(b) 浸水深と認可出力累計値 (MW)

図 4 - 9 火力発電所の津波浸水深曝露  
（断層ケース①・堤防破壊・最大値）



(a) 浸水深と総貯蔵能力(万 kL) (b) 浸水深と貯蔵能力累計値(万 kL)

図 4 - 1 0 LNG 基地の津波浸水深曝露  
(断層ケース①・堤防破壊・最大値)

断層ケース①～⑤（堤防破壊・最大値）について、浸水深レベルごとにまとめた結果を図 4 - 1 1 および図 4 - 1 2 に示す。浸水深の深さの分類に関しては、避難・防災対策を検討するための目安<sup>1)</sup>として、浸水深 0.3m 以上（避難行動がとれない）、1m 以上（ほとんどの人が亡くなる）、2m 以上（木造家屋が半壊か全壊）、5m 以上（2 階建ての建物が水没）の 6 ランクを用いた。

図 4 - 9 および図 4 - 1 0 にも示した断層ケース①についてみると、火力発電所については、浸水深 0.3m 以上に曝露されるのは 232 機でそれらの累計認可出力は 91,571MW（全国の火力発電所の総認可出力の約 60%）にも及ぶ。浸水深 2m 以上に曝露されるのは 81 機で、それらの総認可出力は 72,793MW（同 約 48%）となった。LNG 基地については、浸水深 0.3m 以上に曝露されるのは 19 基でそれらの総貯蔵能力は 1,121 万 kL（全国の LNG 基地の総貯蔵能力の約 68%）にも及ぶ。浸水深 2m 以上に曝露されるのは 15 基で、それらの総貯蔵能力 703 万 kL（同 約 43 %）となった。こうした津波浸水深曝露レベルが、直ちに被災を意味するわけではないが、東日本大震災の曝露レベルをはるかに上回る規模となることは疑いない。

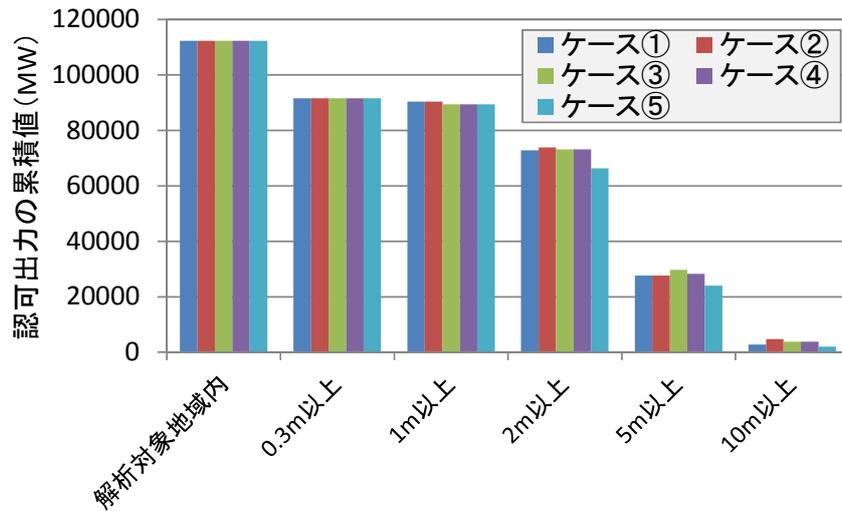


図 4-1-1 断層ケースごとの火力発電所の津波浸水深曝露  
(縦軸の上限値 120,000MW は総認可出力 151,864MW の 79%相当)

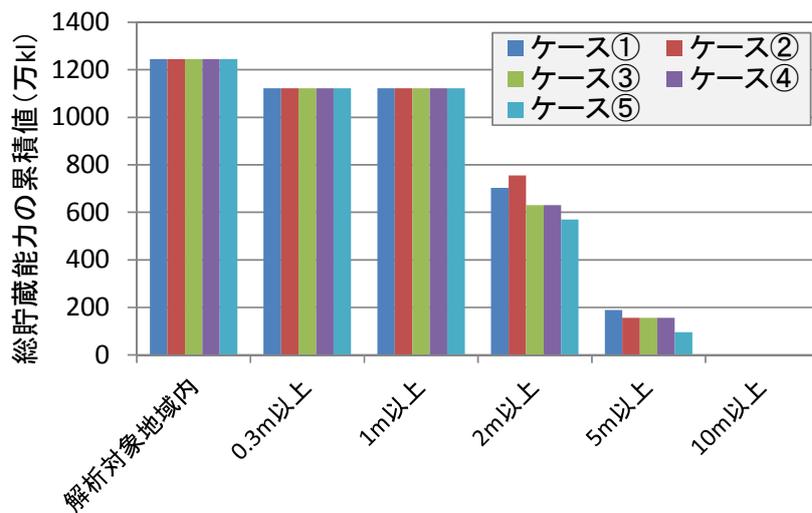


図 4-1-2 断層ケースごとの LNG 基地の津波浸水深曝露評価  
(縦軸の上限値 1,400 万 kL は総貯蔵能力 1,639 万 kL の 85%相当)

## 5. おわりに

東日本大震災においては、火力発電所、原子力発電所、ガス製造・貯蔵設備などのエネルギー関連施設の被災が、エネルギー供給力を大きく低下させ、長期的影響を及ぼすに至った。南海トラフ巨大地震に関して、エネルギー供給力低下やその影響波及の予測を行うには、揺れや津波外力に対する各施設の脆弱性関数や復旧期間の導入が必要である。表 4-2 に示されたよ

うな被災実績や、「産業構造審議会保安分科会電力安全小委員会 電気設備自然災害等対策ワーキンググループ 中間報告書」<sup>6)</sup>などを参考に、今後さらに検討を進める必要がある。

本研究で得られた基礎資料は、その端緒として位置づけられるものである。震度・津波浸水深の曝露レベルとしては、わが国全体における高いシェアに及び、エネルギー関連施設の強震動・津波対策を促進することが重要である。また、エネルギー供給の全国的な融通体制の構築や、被災地からの遠隔地におけるバックアップ体制の強化、代替手段の確保等について、検討を進めておくことが必要と考えられる。

#### 参考文献

- 1) 南海トラフの巨大地震モデル検討会：強震断層モデル編－強震断層モデルと震度分布について－（第二次報告），2012.8.29．  
[http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai\\_trough/pdf/20120829\\_2nd\\_report05.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai_trough/pdf/20120829_2nd_report05.pdf)
- 2) 国土交通省国土政策局国土情報課：国土数値情報ダウンロードサービス，  
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>
- 3) Wikipedia：日本のLNG基地一覧，<http://ja.wikipedia.org/>
- 4) 能島暢呂・加藤 宏紀：南海トラフ巨大地震の震度曝露評価，地域安全学会梗概集，No.32，2013.5，pp.11-14.
- 5) 能島暢呂・加藤宏紀：南海トラフ巨大地震によるエネルギー関連施設の曝露評価，第14回日本地震工学シンポジウム，2014.12，pp.267-274.
- 6) 産業構造審議会：保安分科会：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，中間報告書，2014.6，pp.1-48.

## 第5章 エネルギーインフラ強靱化の方向

山本隆三

### 1. 供給の安全保障を考える

#### (1) ハーフィンダール・ハーシュマン指数で考える安全保障

エネルギー供給で最も重要な課題の一つは、安全保障である。常に必要な量の供給を確保できなければ、国内での電力あるいは天然ガスの供給設備の強靱化を行っても、その効果を得ることができないことになる。

エネルギー資源供給の安全保障は、調達源の多様化により原則達成されると考えられる。多くの調達源を持つほど、調達における供給の安定性が強化されることになるのは自明の理だが、経済学では、ハーフィンダール・ハーシュマン指数（HHI）を利用し、供給の安全性を測る。HHI は市場の集中度、独占の度合いを図る指数であるが、調達源の多様化の度合いも同様に計測することが可能である。

HHI は供給者の占めるシェアを二乗し、合計することにより求めることができる。その結果、寡占化が進むほど、HHI は大きくなる。供給者が1人しかいなければ、HHI は  $100 \times 100 = 10,000$  になるが、シェア 10% の供給者が 10 人いれば、HHI は 1,000 になる。

一次エネルギー供給は、石油、天然ガス、石炭の化石燃料に加え、原子力、再生可能エネルギーからなる。化石燃料と原子燃料については、さらに供給源を分散することが可能だが、ここでは化石燃料、原子燃料の供給源までは考えない。化石燃料、原子力、再エネの 5 種類の一次エネルギーが等量の 20% ずつ供給されると HHI は 2,000 になる。即ち、供給源が 5 種類の場合理想的に分散が行われると HHI は 2,000 になる。

欧州連合（EU）28 カ国にノルウェー、トルコを加えた 30 カ国の一次エネルギー供給比率は図 5-1 の通りである。HHI は 2,340 であり、供給の分散は適切に行われていると考えられる。一方、日本の一次エネルギー供給は、図 5-2①の通り東日本大震災前の 2010 年度は EU28 カ国の分散と非常に近く、HHI は 2,660 だったが、東日本大震災による原子力発電所の停止を受け、2012 年度の供給は図 5-2②となり、化石燃料のシェアが増加したことから HHI は 3,160 に悪化している。

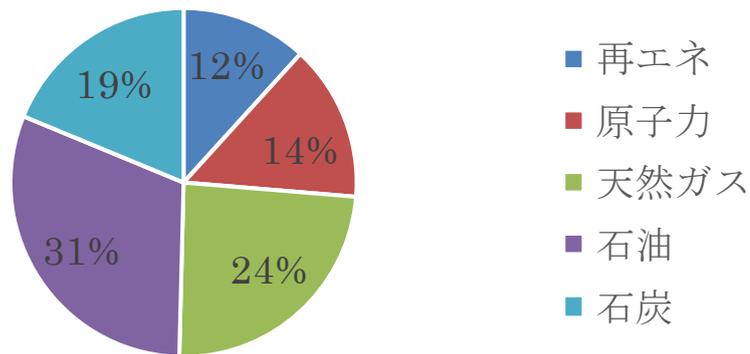


図 5 - 1 EU28 カ国の一次エネルギー供給

注：EU28 カ国とノルウェー、トルコの 30 カ国 2012 年の数字  
 (出典) EU 環境庁 Primary Energy Consumption by Fuel (2015 年 1 月)

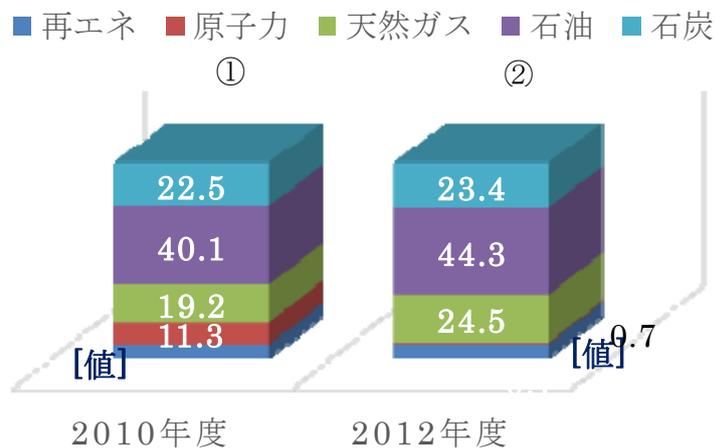


図 5 - 2 日本の一次エネルギー供給

(出典) 資源エネルギー庁エネルギー白書 2012 及び 2014

## (2) 燃料面からみた関西地区の電力供給の安全保障

電力供給は、化石燃料を燃焼させる火力発電、原子力発電、水力、太陽光・風力・地熱などの再エネにより行われる。電力供給設備が分散されることは安全保障上重要だ。2013 年度の一般電気事業者と呼ばれる北海道から沖縄までの地域電力会社 10 社の供給力における電源別発電供給量は表 5-1 の通りだ。東日本大震災以降の原発の停止により、火力発電の比率が 90%を超えている。一方、関西電力では水力発電の比率が全国平均より高いこと、また 2013 年度には大飯原発が稼働していたことから、供給力全体に占める

火力発電量の比率は約 80%となっている。

表 5 - 1 2013 年度の一般電気事業者の火力・水力の発電実績（自社分）  
100 万 kWh

	全国 (%)	関西 (%)
水力発電量	58,849 (7.9)	13,268 (11.5)
火力発電量	672,996 (90.5)	92,318 (80.3)
全電源の合計	743,691	114,901

注：水力以外の再エネ、原子力があるので、火力と水力だけでは 100%にはならない

（出典）資源エネルギー庁電力調査統計

火力発電所では石油、天然ガス、石炭を燃焼させ発電を行う。ほぼ 100%の化石燃料を輸入している日本の状況では、化石燃料を分散して購入することは、供給の安全保障上極めて重要になるが、米国商工会議所の 21 世紀エネルギー研究所による化石燃料の安全保障調査<sup>1)</sup>では、エネルギーを大量に使用している 25 カ国中、日本の安全保障に関する順位は 2012 年で 18 位と中位より下になっている。オイルショック以降石油への依存度を下げようとした日本は、80 年の 20 位から徐々に順位を上げ 11 年には 14 位になっていたが、原発の停止により日本は順位を悪化させた。

発電所でも化石燃料を分散して購入することにより、安全保障上のリスクを軽減することが可能になる。13 年度の一般電力 10 社と関西電力の化石燃料の購買比率を表 5-2 に示した。全国との比較では関西電力の燃料調達においては石炭の比率が相対的に少なく、原重油の比率が高いとの特徴がある。

表 5 - 2 2013 年度の一般電気事業者（全国／関西電力）の年間消費量

	10 電力 シェア (%)	関西電力 シェア (%)
石炭 (千トン)	59,854 (29.6)	4,212 (15.2)
原油・重油 (千 kL)	24,241 (16.2)	6,333 (30.9)
液化天然ガス (千トン)	56,092 (54.2)	7,626 (53.8)

注：シェアはカロリーベース

（出典）資源エネルギー庁電力調査統計

石炭輸出国は、豪州、米国、カナダ、インドネシア、南アフリカなど政治的に安定した地域に位置する国が多く、地政学的なリスクが小さい。さらに、価格面でも相対的に安定している。一方、日本は原油調達の80%以上を中東地域依存しており、高い地政学的リスクに直面している。

関西電力は、相対的に高い化石燃料調達のリスクを保有していると言えるが、その理由は原発の停止により、1970年代、80年代に運転開始され老朽化が進んでいる石油火力を利用せざるを得ないためとも言える。東日本大震災前の2010年度の関西電力の電力供給量では原子力が51%を占めており、一般電力会社10社平均の33%を大きく上回っている。原発の再稼働により化石燃料調達のリスクが減少することが期待される。

### (3) 天然ガス供給の安全保障

2012年度の日本の液化天然ガス（LNG）輸入量8,687万トンの供給国のシェアは、図5-3に示されている。原油との比較では中東依存度は低く、28.6%に過ぎない。<sup>2)</sup> 供給国は豪州、マレーシアなどに多様化されており地政学的なリスクは相対的にかなり低いと言える。また、北米、豪州、南ア、中国、インドネシアなどに供給国が分散されている石炭も、地政学的リスクは原油との比較では低くなっている。

同じ12年度の大阪ガスの輸入量790万トンの供給国は図5-4に示されている。中東依存度は日本全体より低い21.2%であり、地政学的なリスクはさらに小さいと考えられる。

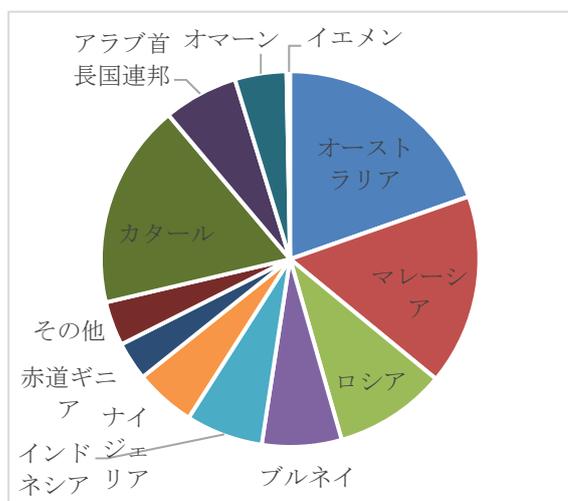


図5-3 日本のLNG輸入国

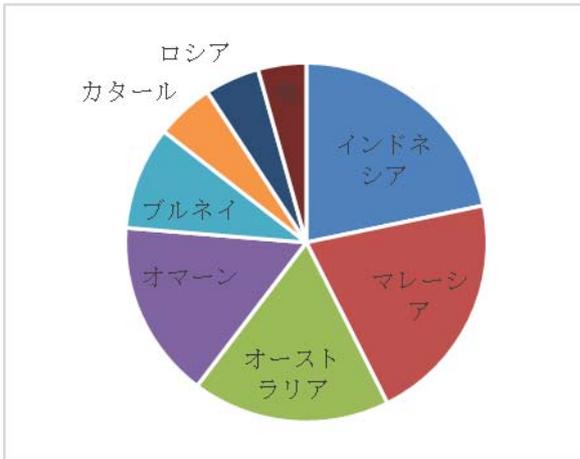


図5-4 大阪ガスのLNG輸入国  
(出典) 大阪ガス資料

シェールガスをLNGとして欧州、アジアに輸出するプロジェクトが、米国において早ければ2015年末に立ち上がると予想されている。さらに、パプア・ニューギニア、タンザニアなどでもLNG輸出プロジェクトの建設が予定されており、世界では天然ガス供給の多角化が今後も進むことになる。日本も供給源多角化の恩恵を受けることになり、安全保障上のリスクはさらに低減すると思われる。

## 2. 強靱化のための課題

### (1) 電力供給

阪神・淡路大震災を経験した関西電力では、緊急時に備えた社内内規「給電運用・運転業務要綱」<sup>3)</sup>にて緊急時対応の基本ルールを定めている。また、電力業界での震災を含めた緊急時の対応については、電力広域的運営推進機関（以下、広域機関）のルール（2015年3月までは一般社団法人電力系統利用協議会の「電力系統利用協議会ルール」<sup>4)</sup>）にて定められている。

例えば、震災などによる電源脱落、あるいは天候急変による負荷の急増により運転予備力が3%を下回ると判断した場合には、火力発電の増出力、受給契約を締結している発電者からの余力受電、広域機関に対する電力融通の要請などの対策が定められている。

第2章では、阪神・淡路大震災、東日本大震災の経験を踏まえ衛星電話など通信手段の確保の重要性が指摘されているが、緊急時には可搬型無

線装置、衛星通信用移動地球局車などが既に活用されている。変電所の所内電源喪失に備えたエンジン発電機の配置などについては、これからの検討課題だろう。

緊急時の体制については整備されているが、さらに関西地区は多くの地区と電力融通が可能である。総合資源エネルギー調査会基本政策分科会電力需給検証小委員会資料によると、連系線の能力は中部地区から 178 万 kW、北陸地区から 160 万 kW、中国地区から 400 万 kW、四国地区から 140 万 kW ある（2015 年度夏季[8月]断面）。仮に関西地区の一部の発電設備が被災したとしても、送配電設備が健全であり他地区の発電設備と連系線に余力があれば、電力融通による供給を受けることも可能だ。

関西地区においては、大規模電源として原子力発電所が日本海側に立地されている一方、火力発電設備は舞鶴石炭火力と現在長期計画停止中の宮津エネルギー研究所を除くと、残りの火力発電機が全て瀬戸内、太平洋岸に位置しており、災害時の安定供給という面で地理的な分散ということを検討する必要がある。この問題については、後ほど触れることにする。

## （２）天然ガス供給

第 2 章に記載のとおり、天然ガス供給における強靱化という視点では製造と供給設備が対象となる。これらについては、経済産業省の総合資源エネルギー調査会総合部会天然ガスシフト基盤整備専門委員会にて議論が行われ、大阪ガスからも防災への取り組みを含め、供給体制についての報告が行われている。<sup>5)</sup>

製造設備における対策としては、栈橋、タンク、気化器の耐震設計、建物の水密化実施による津波対策、防液堤、水幕設備などの防災設備の設置が行われている。供給設備については、地震ブロック細分化、津波ブロック、供給停止システムの導入が緊急対策として行われており、第 2 章で指摘されたポリエチレン管への更新、マイコンメーターの普及が行われている。

大阪ガスの LNG 基地は泉北製造所第 1 工場、第 2 工場北地区・南地区、姫路製造所の 4 ヶ所あり、それぞれが機能的に独立した設計となっているが、泉北第 2 工場北地区に全体の製造能力の 40%があり、泉北地区全体に 75%がある。ネットワーク連携によるバックアップとして 2014 年に四日市 LNG センターと導管を結び、泉北製造所 3 基地全てが停止した場合でも姫路製

造所とあわせ過去最大需要量の 45%程度が供給可能となっている。

最大の製造能力がある泉北第 2 工場北地区が停止した場合でも、過去最大の需要量の 80%を賄うことが可能とされており、さらに三重-滋賀ラインからの供給により 90%の供給が可能となっている。また万が一供給不足が発生する場合には節ガス要請や大口需要家への需要調整により対応するとされている。契約上供給制限の実施が可能な大口需要家への供給量はピーク需要量の 10%以上を占めており、契約上の供給制限により対処可能だ。

### (3) 自由化という課題

阪神・淡路大震災、東日本大震災を経験したことにより、第 2 章から第 4 章で触れた通り防災、減災のための多くの課題が浮き彫りになったが、本章でみたように、既に多くの対策が着手・実施されている。その対策には費用の支出を伴う設備の強化が含まれているが、支出、投資に影響を与えるのが今後予定されているシステム改革、電力とガスの自由化だ。

現在契約電力 50kW 以上の需要家向け電力販売は自由化されているが、2016 年から全面的に小売が自由化される予定だ。年間使用量 10 万立法メートル以上の供給が自由化されているガス販売は、17 年から全面的に小売が自由化される予定だ。さらに、電力会社およびガス会社のネットワーク部門を別会社化するための法的分離それぞれ 2020 年 4 月、2022 年 4 月に予定されている。

自由化の目的は、競争環境を作り出し需要家の選択肢を拡大し、販売価格を最大限抑制することだ。現在は総括原価主義の下、設備に対する投資が計画的に実施されているが、自由化によって競争が活発化した市場においては中長期視点での投資が困難になり防災、減災レベルの低下につながることを危惧する。

更に供給能力に関しても同様のことが考えられる。

電力市場では、この問題を解決するために考え出された手法の一つが容量市場 (Capacity Market) だ。既にギリシャなど欧州の一部では導入されていたが、以下に述べるように、主要国の一つである英国が 2014 年 12 月に入札方式により導入したことから注目されている。欧州委員会は、2014 年に欧州連合各国に対し容量市場の導入を検討するように要求している。この

理由の一つは再生可能エネルギーによる発電量が増えてきたことだ。

太陽光、風力発電のような再生可能エネルギー電源による発電からの売電を優先する制度があるため、天然ガスなどの火力発電所は稼働率が低下し、収益が減少する。自由化した市場では収益力が低下した発電所は閉鎖されることとなり、やがてピーク需要を賄う電源が不足する。

14年12月に英国において18年から19年の設備を対象に容量市場の入札が行われた。対象期間に設備を保有し要請があれば発電を行うことを約束した設備には、決定された金額が支払われる制度だ。入札は支払額を下げる形で行われ、図5-5の通り、1kW当たり19.40ポンド（約3,500円）の金額が約5,000万kWの設備に支払われることになった。

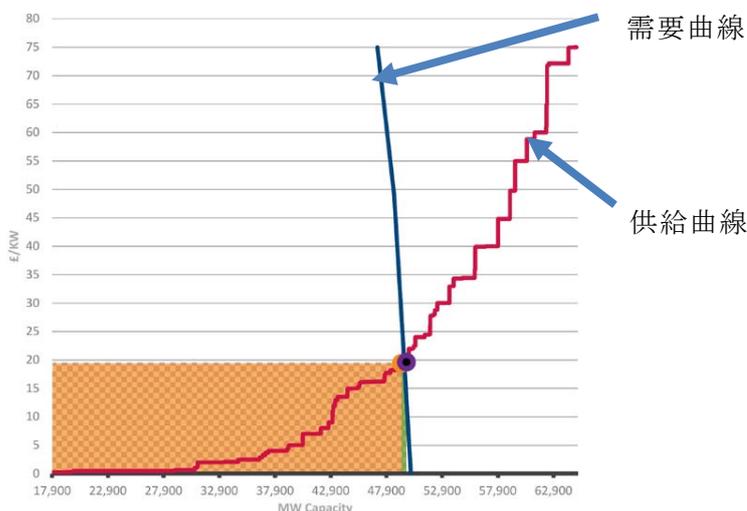


図5-5 英国の容量市場オークション結果

(出典) 英国 National Grid<sup>6)</sup>

この結果については、多くの批判がある。一つは、新規設備が全体の5%しかなく、設備の新設が促進されないことだ。さらに、石炭火力が全体の20%近くを占めたことから温暖化対策に逆行するとの批判もあった。新設設備の比率が低いのは、支払い金額が低く決まったためであり、設備新設にはさらに大きな金額が必要との指摘もあった。

防災、減災の費用まで含んだ設備が容量市場で落札対象となる可能性は低い。自由化を行う際には、防災、減災への投資額をどのように賄うのか、し

っかりとした制度設計が必要だ。市場任せでは、防災、減災への投資は滞ることになる。

### 3. 中長期の視点で必要な強靱化

#### (1) 電力供給設備の強靱化

関西電力の火力発電設備の概要は、第1章にて触れられているが、その位置図は図5-6、設備の詳細は表5-3の通りである。石炭、LNG火力は比較的新しい設備が多いが、石油火力は最も古い海南1、2号機の70年の運転開始をはじめ、全設備が1970年代から80年代の運転開始であり、老朽化が進んでいる。

火力発電所は、燃料受け入れの関係から港湾を必要とするために海岸沿いの建設が望ましいが、関西電力の火力発電所は、舞鶴石炭火力、宮津エネルギー研究所を除き、瀬戸内海沿岸や太平洋沿岸に設置されている。このため、火力発電所の供給力という面では、南海トラフ地震などの影響を受ける地理的な潜在リスクを抱えることになっている。さらに、燃料分散のリスクを考えると、既に本章の1.(2)で触れた通り、供給の安定性に優れる石炭の比率が相対的に小さいという傾向であり、石炭使用比率の向上が課題になる。



図5-6 関西電力発電所位置図

(出典) 関西電力ホームページ

表 5 - 3 関西電力火力発電設備

火力発電所名	規模 (万 kW) 及び燃料	運転開始時期
舞鶴 1 号機	90 石炭	平成 16 年 8 月
2 号機	90	22 年 8 月
海南 1 号機	45 石油	昭和 45 年 5 月
2 号機	45	9 月
3 号機	45	47 年 4 月
4 号機	45	48 年 6 月
多奈川第二 1 号機	60 石油 (計画停止中)	昭和 52 年 7 月
2 号機	60	8 月
相生 1 号機	37.5 石油	昭和 57 年 9 月
2 号機	37.5	11 月
3 号機	37.5	58 年 1 月
御坊 1 号機	60 石油	昭和 59 年 9 月
2 号機	60	11 月
3 号機	60	60 年 3 月
赤穂 1 号機	60 石油	昭和 62 年 9 月
2 号機	60 石油	12 月
宮津 1 号機	37.5 石油 (計画停止中)	平成元年 8 月
2 号機	37.5	12 月
姫路第一 5 号機	72.9 LNG	平成 7 年 4 月
6 号機	71.3	平成 8 年 5 月
姫路第二 5 号機	60 LNG	昭和 48 年 10 月
6 号機	60	11 月
姫路第二 1 号機	48.65	平成 25 年 8 月
2 号機	48.65	11 月
3 号機	48.65	26 年 3 月
4 号機	48.65	7 月
5 号機	48.65	9 月
6 号機	48.65	27 年 3 月
南港 1 号機	60 LNG	平成 2 年 11 月

2号機	60		3年2月
3号機	60		10月
堺港1号機	40	LNG	平成21年4月
2号機	40		7月
3号機	40		10月
4号機	40		22年4月
5号機	40		9月
関空エネルギーセンター1号機	2	LNG/油	平成5年11月
2号機	2		11月

(出典) 関西電力ホームページ

老朽化が進む石油火力の建て替えが今後課題として浮上するが、ひとつの考え方として、仮に日本海側で石炭火力が建設されると、地理的なリスクの分散と燃料供給の多様化という面で望ましい結果となる。日本海側において適切な港湾と用地を確保することが簡単ではない可能性もあるが、リスク分散の観点からは、少なくとも場所あるいは燃料のどちらかの分散が実現されることが望ましい。

しかし、先に触れたシステム改革、電力自由化が実施されると事業者の競争力の強化に直接つながらない防災、減災だけを目的とした投資を民間事業者だけで負担することは困難となる。このような投資を促進するためには、強靱化を目的とした場合の発電所建設に際しての規制の緩和、財政的な支援を含め新制度の創出が必要になる。

## (2) 天然ガス供給の強靱化

大阪ガスの基地は4ヶ所あり、全体の能力の75%は泉北地区にある。表5-4の通りだ。泉北地区全体の製造能力に問題が生じた場合でも、先に述べた通り、三重-滋賀ラインからの供給があれば姫路製造所と合わせ過去最大需要量の45%程度が供給可能となっている。

姫路の基地も含め全ての基地が大需要地に位置している一方、関西地区外の四日市LNGセンターともパイプラインで接続されている。更なるリスク分散の観点から、LNG基地と製造所を日本海側に設置し、パイプラインを

敷設することは、一層の供給安定に資すると考える。仮に LNG 基地が瀬戸内海・伊勢湾以外の海域となる日本海側に設置された場合、発電所の地理的な分散という観点で、天然ガス火力発電所を併設することについて検討することも考えられる。

その方策としてそのような投資費用削減に資する規制緩和、財政・税制上の支援、ファイナンススキームの整備などが考えられる。また、同時に LNG 基地あるいは発電設備に投資を行う事業主体を顕在化させるためには、このようなリスク分散のための設備投資に関する新制度と財政的な支援策の導入も必要になる。

表 5－4 大阪ガス基地製造能力

基地名	泉北第 1	泉北第 2 北	泉北第 2 南	姫路
製造能力比	10%	40%	25%	25%

(出典) 第 4 回天然ガスシフト基盤整備専門委員会

### (3) まとめ

阪神・淡路大震災、東日本大震災の経験を踏まえたうえで、第 2 章にて言及されているエネルギーインフラに関する防災、減災の観点からの取り組みについては、既に、関西においても様々な対策、取り組みが開始されている。しかし、第 3 章、第 4 章にて言及されているとおり、南海トラフ巨大地震発生時にはエネルギーインフラにも被害が発生することが避けられない。

被害軽減のための事前の防災対策、さらに復旧のための手順などについても多くの取り組みが既に実施されているが、最大の対策は複数のエネルギーインフラを様々な場所に用意しておくことだろう。関西地区では、エネルギーの効率的供給の観点から、多くの火力発電所や LNG 基地が大阪湾岸や瀬戸内等の需要地に存在する一方、大規模電源である原子力発電所は日本海側に設置されており、全体俯瞰すると地理的分散化が図られている。しかしながら、更なるエネルギーインフラの強靱化という観点からは、火力発電所や LNG 基地などを新たに日本海側に設置することも、一層の地理的な多様化実現の一手段として検討が必要である。

そのためには、設備に対する投資が必要になるが、来年度から予定されている電気、ガスの自由化により、新たな投資が困難になる可能性がある。ま

た、防災、減災のための投資も影響を受ける可能性がある。

防災を主目的とした新たな投資のための制度を、システム改革と並行し検討することが喫緊の課題として浮上していると言ってもよいだろう。また、設備建設をよりスムーズに進めるための規制緩和も検討する必要があることは言うまでもない。

#### 参考文献

- 1) Institute for 21<sup>st</sup> Century Energy U.S. Chamber of Commerce  
“International Index of Energy Security Risk 2013 Edition” 2013, U.S. Chamber of Commerce
- 2) 資源エネルギー庁 2014年エネルギー白書
- 3) <http://www.kepco.co.jp/business/partner/pdf/fairness5.pdf> で公開されている。
- 4) [http://www.escj.or.jp/making\\_rule/guideline/data/rule\\_japan141021.pdf](http://www.escj.or.jp/making_rule/guideline/data/rule_japan141021.pdf) で公開されている。
- 5) 委員会の報告書については、経済産業省のホームページにて公開されている。  
[http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/sougou/kiban\\_seibi/006\\_haifu.html](http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/sougou/kiban_seibi/006_haifu.html)
- 6) “Provisional Auction Results T-4 Capacity Market Auction 2014” National Grid

## あとがき

研究会の当初の目的は、関西地区のエネルギーインフラ強靱化の具体策を検討する一方、首都直下地震が発生した場合のバックアップ機能を関西地区が果たすための方策を検討することだった。エネルギーとしては、電気、ガス、石油を対象と考えた。

しかし、研究会の時間的な制約から、関西地区の電気、ガスを中心としたインフラ強靱化の具体策とエネルギーシステムの強靱化を進める政策の検討に留まらざるを得なかった。

本レポートで指摘された短期、中長期の強靱化を実行するには、資金が必要になる。システム改革によりエネルギー価格の引き下げが市場に期待されるなかで、設備の強靱化への取り組みを行い、さらに代替供給設備を建設することが可能か、またその資金をいかに手当するのか、解決すべき課題が浮き彫りになった。

このレポートが契機となり、関西地区のエネルギーシステム強靱化の議論が広く行われることになれば、幸いです。

## 研究会記録

2014年7月16日（水） 第1回 研究会

- ・研究会のねらいとテーマの確認

2014年9月 5日（金） 第2回 研究会

- ・エネルギーインフラマップのイメージ報告
- ・データ提供依頼、論点整理

2014年11月4日（火） 第3回 研究会

- ・エネルギーインフラマップ報告
- ・石油連盟資料報告
- ・意見交換

2014年12月15日（月） 打合せ

エネルギーインフラ研究会報告書

－ 関西地区のエネルギーシステムのレジリエンス評価 －

---

発行日	2015（平成 27）年 7 月
発行所	〒530-0011 大阪市北区大深町 3 番 1 号 グランフロント大阪 ナレッジキャピタル タワー C 7 階 一般財団法人 アジア太平洋研究所 Asia Pacific Institute of Research (APIR) TEL (06) 6485-7690（代表） FAX (06) 6485-7689
発行者	榎原 則之

---

ISBN 978-4-87769-666-5

ISBN ISBN978-4-87769-666-5