

【論文】日本のエネルギーセキュリティ —減災と復旧—

泉谷 清高

日本大学大学院総合社会情報研究科

Japan's Energy Security —Disaster risk reduction (DRR) and Recovery—

IZUMIYA Kiyotaka

Nihon University, Graduate School of Social and Cultural Studies

Japan has almost no primary energy (coal, crude oil, natural gas, etc.). Therefore, Japan imports primary energy by sea transport. Primary energy arrives from the port of the producing country (starting point) to the port of Japan (ending point) and is stored. Primary energy in the port area is converted to final energy (petroleum products, electricity) and consumed. That is, the port area is a critical connection between primary energy and final energy. In addition, energy facilities are located almost 100% in the port area. Many of its energy facilities are located in areas where large earthquakes are expected. This paper presents ideas for energy security indicators of domestic risk in the energy supply chain.

Key word: Energy security, Supply chain, Disaster risk reduction (DRR), Recovery, RTO, RLO

1.はじめに

2020年10月、菅内閣総理大臣は「2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言した。これを踏まえ、同年12月に、経済産業省が中心となり「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を策定した。政府が計画しているカーボンニュートラルの骨格はエネルギー政策である。具体的には、燃焼するとCO₂（二酸化炭素）を排出する一次エネルギー（石炭、コークス、原油、石油製品、天然ガス等）の消費を減らし、CO₂を排出しない水力発電、原子力発電、地熱、新エネルギー（太陽光発電、風力発電、太陽熱等）を増やす。CO₂を排出せざる得ない場合は、排出したCO₂を回収する。さらに、最終エネルギー（二次エネルギー）の「電化」と「水素化」を推進しCO₂の排出量をゼロにするとなっている。

資源エネルギー庁は、エネルギーに関しておこな

った施策について国会に年次報告を提出している。これに基づいて、2004年より毎年「エネルギー白書」を発行している。「エネルギー白書2010」において、「エネルギーセキュリティ指標」を用いたエネルギーセキュリティの定量評価が行われた。対象国は、英国、ドイツ、フランス、韓国、米国、中国、日本の7カ国である。エネルギーセキュリティ指標は、①一次エネルギー自給率、②エネルギー輸入先多様化、③エネルギー多様度、④チョークポイントリスク、⑤電力の安定度供給力、⑥エネルギー消費のGDP原価、⑦化石燃料の供給途絶対応の対応能力の7つである。「エネルギー白書2021」では⑧蓄電能力と⑨電力サイバーセキュリティが加わった。

わが国は、資源エネルギー小国であり島国であるため、国内で消費する一次エネルギーである石炭、原油、天然ガス等は、ほぼ全量輸入であり、海上輸送によるものである。エネルギーサプライチェーンは、生産国の港湾を始点に海上輸送され、わが国の

港湾（終点）に着き、貯蔵される。港湾エリアに貯蔵された一次エネルギーは、製油所や火力発電所でエネルギー転換され、最終エネルギー（石油製品、電力）となり消費される。その意味で、港湾エリアは、一次エネルギーのサプライチェーンと最終エネルギーのサプライチェーンのクリティカルな接続点である。また、エネルギー施設は、ほぼ100%港湾エリアに所在する。そして表1にあるように、その多くは首都直下地震予想地域と南海トラフ巨大地震予想地域に偏在している。現在のエネルギーセキュリティ指標は、甚大な津波被害のあった東日本大震災（2011年）の前年に考案されたており、その後も国際比較を行っており有用な指標といえる。他方で、東日本大震災の経験を踏まえ、首都直下地震と南海トラフ巨大地震の予想がある状況下で国内最大級のリスクである大規模地震・津波による被害を指標化し、既存の9つのエネルギーセキュリティ指標に追加する、あるいは組み込むことは有用であると考えた。

本論文の構成は以下のように構成される。第2節では、エネルギーセキュリティ指標の先行研究と資源エネルギー庁の9つのエネルギーセキュリティ指標を概観する。第3節では、東日本大震災における災害復旧を検証し、追加すべきエネルギーセキュリティの要素は何かを考察する。第4節ではその要素をどのような指標で記述できるのかを示す。

表1 首都直下地震緊急対策区域、東海地震防災対策強化地域、東南海・南海地震防災対策地域にある拠点（全国比）

施設	首都直下地震 予想地域	南海トラフ巨 大地震予想地 域
製油所	33%	46%
石油タンク	26%	34%
LNG 基地	41%	45%
LPG 基地	36%	48%
LNG 火力発電所	44%	40%
石炭火力発電所	5%	34%
石油火力発電所	38%	41%

出所：資源エネルギー庁、『エネルギー供給レジリエンスの向

上』, 2013年8月, p.3を加工した。

2. エネルギーセキュリティと定量評価

エネルギーセキュリティ（エネルギー安全保障）の定義は複数あるが、国際エネルギー機関（IEA：International Energy Agency）によれば、エネルギーセキュリティとは“Reliable, affordable access to all fuels and energy sources”とある。わが国のエネルギー政策基本法では、「安定供給の確保」（第2条）、「環境への適合」（第3条）及びこれらを十分に考慮した上での「市場原理の活用」（第4条）を基本方針として掲げており、エネルギーセキュリティ概念の間接的に記述している。エネルギー白書2010では、第1部1章に序節を設け、「エネルギー安全保障概念の本質」を題目とし正面から取り組んでいる。これを要約すると、現在の「エネルギー安全保障」概念の意義は、「国民生活、経済・社会活動、国防等に必要な『量』のエネルギーを、受容可能な『価格』で確保できること」としている。また、エネルギー安全保障を強化するためには、エネルギー自給率等の改善を図ることによりエネルギー安全保障そのものを向上させるとともに、エネルギー安全保障を脅かす「リスク」を低減することを目指していくことが基本となるとしている。そして、エネルギー安全保障を構成する要素を「資源調達」、「国内供給」、「国内消費」という一連のサプライチェーンに基づいて選定し、各国が講じてきたエネルギー安全保障政策の定量評価を試みる、としている。

2.1 エネルギーセキュリティ指標の先行研究

エネルギーセキュリティを定量的かつ総合的に評価することは、エネルギー政策を立案し推進するうえで有効である。しかし、エネルギーセキュリティに関する先行研究のなかで定量的評価をテーマとしているものは多くはない。内山ほか（1986）の研究¹では、「最適電源構成の総合評価」を構成する階層を第1レベル、第2レベルとした。第1レベルには、経済性、セキュリティ、リスク、の3つの属性を、更に、第2レベルは、セキュリティの属性として、燃料供給途絶、電源供給停止の属性を、リスクの属性として物理リスク、心理的リスクの2つの属性を

設定し、階層分析を行っている。戒能（2004）の研究²では、各エネルギー源の供給リスクを、国産エネルギー源については設備稼働率、輸入エネルギー源については、輸入先国の貿易保険において保険料の算定基礎と使用されている国倍率から算定した国別リスクを用いて算出し、供給構成から、わが国のエネルギー供給に関わるリスクの総和を定量的に評価している。山田（2007）の研究³では、先行研究を踏まえ、エネルギーセキュリティに関わる概念の多様化を指摘し、エネルギーセキュリティに関わる評価軸と指標を設置している。評価軸は、(1)エネルギー利用効率、(2)エネルギーの安定輸入、(3)エネルギーの供給構造、(4)経済への影響、(5)電力供給のセキュリティ評価に関わる指標となっている。2011年1月、日本エネルギー経済研究所⁴より報告書「各国のエネルギー安全保障政策と実態の調査分析」⁵が公表されている。この報告は前年度に、同研究所が経済産業省より受諾し実施した「平成21年度エネルギー環境総合戦略調査等」の一部である。この報告書は、「エネルギー白書2010」のエネルギーセキュリティ定量評価の考え方の基になっているように見える。

2.2 エネルギーセキュリティ指標

「エネルギー白書2010」におけるエネルギーセキュリティ指標の選定は下記のように行われた。最初にエネルギーのサプライチェーンを、「資源調達」、「国内供給」、「国内消費」の三段階で構成されていると考えた。「資源調達」は、国内外で資源を発見・確保し、消費地まで安定的に輸送することを指し、その段階でエネルギー安全保障を強化する要素は「国産・準国産エネルギー資源の開発利用」、「海外エネルギー資源の確保」、「資源の輸送リスク管理」であるとした。次に、「国内供給」の段階で、安定的な供給を持続してエネルギー安全保障を確保するためには「国内リスク管理」が必要と考えた。また、「国内消費」の面からエネルギー安全保障を強化するには「需要抑制」が有効とした。さらに、サプライチェーン全体を支えるものとして「供給途絶への対策」が備わっているかもエネルギー安全保障の重要な要素とした。これらをイメージしたものが図1である。こうした観点に加え、国際比較、年代比較が

できることを条件とし、エネルギー安全保障を定量評価するための基軸となる指標を次のとおり選定したとしている。「エネルギー白書2021」では、2050カーボンニュートラルに向けた気候変動対策の強化や太陽光や風力発電等の自然変動電源の大量導入などを巡る情勢の変化を背景に⑧蓄電能力が加わった。デジタル化の進展に伴い、主要インフラであるエネルギーにおけるサイバーセキュリティの重要性は増加していることから、新たに⑨電力のサイバーセキュリティを加えた。9つのエネルギーセキュリティ指標（大項目）、基軸指標と補足指標を表2にまとめた。補足指標は、基軸指標と並列で論ずるには概念のレベルが異なるものや、国際比較・年代比較が困難なものであって、政策立案に際してのインプリケーションを含む指標である。

本研究で着眼点は、2010年から2021年の間に、東日本大震災が発生し日本のエネルギー政策が大きく変化したが、その後もエネルギーセキュリティ指標は変わっておらず、2021年においても地震・津波のリスク要素が組み込まれていないことである。資源エネルギー庁は、国際比較、年代比較ができることを指標選定の条件としているためなのかも知れない。しかし、前出にあるように、エネルギー安全保障を強化するためにはエネルギー安全保障を脅かすリスクを低減することが基本となっており、国際比較するにせよ、最大級のリスクである地震・津波リスクを「国内リスク管理（図1）」へ追加、あるいは組み入れることは合理的な必要性があると考えており、次節で東日本大震災の被害と復旧過程より、その方法について考察していく。



図1 エネルギーサプライチェーンにおけるエネルギー安全保障を構成する要素

出所：「エネルギー白書2010」第1部第1章4節より転載

表2 エネルギーセキュリティ評価の指標

大項目	基軸指標	補足指標
(1) 国産・準国産エネルギー資源の開発・利用	一次エネルギー自給率（原子力含む）	電源設備利用率
(2) エネルギー輸入先多様化	各資源輸入相手国の寡占度	評価対象国から産資源国への直接投資額
(3) エネルギー供給源構造多様化	・一次エネルギー供給源の分散度 ・発電電力量構成の分散度 (補足指標は無し)	
(4) 資源の輸送リスク管理	チョークポイントリスクへの依存度（補足指標は無し）	
(5) 国内リスク管理	電力供給信頼度（停電時間）	政府のエネルギー関連研究開発予算額
(6) 需要抑制	エネルギー消費のGDP原単位	部門別エネルギー消費のGDP原単位
(7) 供給途絶への対応	石油備蓄日数	国産資源利用可能年数
(8)蓄電能力	・発電量に対する蓄電容量の比率 ・蓄電池と蓄電池素材の輸入分散度（補足指標は無し）	
(9) 電力のサイバーセキュリティ	国際電気通信連合（ITU）のサイバーセキュリティの5つの指標を使用。（補足指標は無し）	

出所：「エネルギー白書 2010」第1部第1章4節と「エネルギー白書 2021」第1部第3章第3節より筆者作成。

3.東日本大震災における復旧過程の検証

一般消費者が日常生活する際に消費する最終エネルギーは多岐にわたり、電気、ガス、自動車を動かすためのガソリンや軽油などの石油製品がある。電気は、供給者から発電→送電→配電というケーブルネットワークを介して需要家に届く。ガスも同様に導管ネットワークを介して届く。石油製品では、原油から石油製品を製造する製油所から、内航タンカー、鉄道、タンクローリーを用いて移送し、地域にある油槽所（オイルターミナル）に貯油、そこから

給油所、さらに一般消費者に届くサプライチェーンとなっており、種々の輸送ネットワークに支えられている。このように消費者に届くまでのエネルギーサプライチェーンの範囲は非常に広い。本節では、政府が震災後に政策を立案したことに対比した範囲での記述となる。

震災中に「石油が“エネルギー供給の最後の砦”」と謳われたこと。また、カーボンニュートラル政策の根底にある「化石燃料の消費を最小化する」方針についてエネルギーレジリエンスの面から考察する。

3.1 津波被害の概要

津波による被害の概要は以下のとおり、東北地方から北関東にいたる太平洋沿岸の広範囲で甚大であり、第一線防波堤の全壊や半壊、防潮堤の倒壊、ガレキ、木材、漁網等の漂流物による被害、コンテナの散乱、荷役機械の損傷があった。地震動・液状化による被害は、仙台湾より南部に位置する港湾で顕著であり、地震動により係留施設や護岸が被災したほか、液状化により岸壁背後のエプロンや荷さばき地が沈下や入出荷設備の被災により荷役作業に支障が生じた。例えば、鹿島港では、地震・津波・船舶漂流等の複合災害が発生した。航路の埋没の要因として、外港航路では津波による土砂流入による航路埋没、中央航路では地震・津波による護岸背後盛土の崩壊、流出による航路の埋没、さらに内陸に入り込んだ南航路では岸壁・護岸からの土砂流入による航路の埋没、地震による液状化に伴う岸壁背後の陥没があった。津波の押波と引波により、中央航路では漂流した船舶が石油栈橋へ衝突した。北地区では、船舶の衝突によるガントリークレーンの倒壊があった。また、原油タンカーが外港で座礁した。このように被害は、港湾と港湾設備の損壊と航路の使用が不可能になったことに集約される。

3.2 石油製品サプライチェーンの被災と知見

被災あるいは十分に機能しなかった状況を取りあげ、そこから得られた知見とその対策をまとめた。

(1) 石油コンビナート被災：

「平成23年版 消防白書」⁶⁾によれば、東日本大震災により、東北地方から関東地方にかけて複数の石油

コンビナート等特別防災区域内の危険物施設や特定防災施設等で被害が発生した。

久慈地区（久慈市）では、津波により屋外タンク貯蔵所等が破損し、石油約 8kl が流出した。仙台地区（多賀城市、七ヶ浜町、仙台市）では、津波後に発生した火災により一般取扱所や屋外タンク貯蔵所等が焼損した。この火災により隣接する高圧ガス施設が爆発する危険があったため、付近住民に対して避難指示が出された（3日間）。また、複数の特定事業所において、屋外タンク貯蔵所の配管等が津波により破損し、事務所敷地内に数千 kl の石油が流出した。鹿島地区（神栖市、鹿嶋市）では、津波及び地震により、屋外タンク貯蔵所や移送取扱所等に被害が発生した。可燃性ガス施設から火災が発生した。流出油等防止堤の亀裂や陥没、屋外給水施設の配管等に被害が発生した。京葉臨海中部地区（市原市）では、液化石油ガスの貯蔵施設において火災が発生し、複数のガスタンクが炎上するとともに、ガスタンクが爆発し近隣の危険物製造所等や指定可燃物施設へ燃え移った。液化石油ガスの貯蔵施設の火災は、出火から 10 日後に鎮火した。この火災及び爆発により、付近住民に対して避難勧告が出された（約 14 時間）。

知見：

石油精製設備が停止した後、仮に設備に損傷がなくても運転再開までは 7 日前後かかり、また損傷が大きければさらに長期化する可能性がある。停電により復旧に時間がかかる可能性がある。地盤の液状化が発生し、海上・陸上の入出荷ができなくなる可能性がある。特に大規模な液状化が起これば、コンビナートの地盤全体が大きく海に押し出される「側方流動」が発生し、タンカーを製油所へ着けることが難しくなったり、製油所の配管類が破損・切断したり、石油タンクが傾いて沈下したりする可能性がある。このようなことが起これば、広範囲かつ長期間にわたる、石油製品の供給障害につながるものが判明した。

対策：（設備対策、復旧計画）

(7) 2012 年、経済産業省、国土交通省が主導となり、首都直下地震や南海トラフ巨大地震の被災想定地域にある、製油所や化学工場など 26 事業所について、災害耐性の総点検を実施し、地震や液状化に対する

耐性などを確認した。(4) 2013 年以降は、点検結果に基づき、耐震・液状化・津波対策や、二次被害防止のための設備の安全停止対策、入出荷バックアップ能力の増強対策などに、官民が協力し取り組んだ。

(ウ) 国土交通省が主導で、道路啓開・航路啓開等のオペレーション計画が策定された。

(2) 機能しなかった状況：流通網に障害発生

東日本大震災では、港湾や鉄道、道路も大きく被災した。石油コンビナートそのものや栈橋などの周辺設備がダメージを受けたり、瓦礫や漂流物でそれらへのアクセスが寸断されたりするなどしたことで、輸送網に障害が発生した。石油製品を国内の他の地域から被災地へ輸送するのに長い時間がかかってしまうなどの問題が発生した。さらに被災地内での輸送をになうタンクローリーが、津波により流されたり、水没したりしたことで、絶対量が不足しました。

知見：

他地域からのタンクローリーの応援や、被災地内で稼働が可能なタンクローリーのスムーズな移動をおこなうための取組みとして、タンクローリーを「緊急通行車両」扱いにする措置を急ぎ取ろうとしたが、手続きに時間がかかるなどの問題が発生した。

対策：（法制化、復旧計画・訓練）

製油所・油槽所につながるアクセス道路や航路について、早期に、啓開作業（瓦礫の除去など）をおこなうことをルール化した。2015 年に、石油精製・元売会社 8 社（当時）を、「災害対策基本法」が定める「指定公共機関」として追加指定した。これにより災害時に政府に協力することを義務付ける一方、タンクローリーが被災地をスムーズに移動できるよう、緊急通行車両として事前に登録しておくことを可能にした。また、民間による輸送が難しい場合には、自衛隊などとも協力できるよう、毎年、国内各地で輸送協力訓練を実施している。

(3) 機能しなかった状況：石油会社間や系列間の連携

石油産業では、「元売」と呼ばれる自らのブランド名で石油製品を販売している会社と、タンカーやタンクローリーを持つ運送会社、元売のブランドマークを掲げる給油所は、「系列」と呼ばれるグループを形成している。しかし、これらは同じマークを付け

ていたとしても、必ずしも同一の資本関係にあるわけではない。そのため、東日本大震災が発生した当初は、生産・出荷・配送・販売という一連の機能が一体的に把握・管理されにくいという状況が発生した。こうした状況は、石油の供給能力を早く回復し、自治体や重要施設からの緊急要請にスムーズに対応することを困難にした。また、石油会社の間では、災害時に稼働することが可能なインフラを共同で使ったり、災害に関する情報を共有したりするなどの相互支援や、連携して対応をおこなう体制やルールが整備されていなかった。このため、地震発生後、元売の業界団体である石油連盟内に、共同オペレーションルームを立ち上げ、関係企業と資源エネルギー庁が一体となって、供給がスムーズになるよう取り組む体制を構築した。ただし、“だれが配送するのか、どこに販売するのか、を事業者間で調整する”という行為は、独占禁止法に抵触することになるのではないかという懸念があったため、体制構築までに時間がかかってしまった。

知見：

独占禁止法に抵触することへの懸念は、公正取引委員会 HP にて、事務総局より下記のように整理された。

「今回の地震は前例のない大規模なものであり、その被害は広範囲に及び、被災地は必要な様々な物資が供給されにくい困難な状況に置かれています。

このような緊急の状況に対処し、被災地に円滑に物資を供給するため、関係事業者が共同して、又は関係団体において、配送ルートや配送を担当する事業者について調整することは、(1)被災地に救援物資を円滑に輸送するという社会公共的な目的に基づくものであり、(2)物資の不足が深刻な期間において実施されるものであって、かつ、(3)特定の事業者に対して差別的に行われるようなおそれはないと考えられることから、独占禁止法上問題となるものではありません。」(原文そのまま)

出所：公正取引委員会 HP、「被災地への救援物資配送に関する業界での調整について」、2011年3月18日

<https://www.jftc.go.jp/soudan/shinsaikanren/110318busshi.html>

(最終閲覧日：2021年9月21日)

対策：(法制化、復旧計画・訓練)

2012年には、災害時の情報収集や共有をスムーズに実施しやすくなるとともに、緊急要請への対応や貯蔵施設の共同利用などを、独占禁止法に抵触することを心配せずにおこなうことができるよう、「石油備蓄法」が改正され、「災害時石油供給連携計画」制度が誕生した。これにより、石油会社間で連携することが容易になった。また、系列グループごとの連携を強化するため、資源エネルギー庁から石油会社に対して、「系列BCP(業務継続計画)」の策定を要請した。自社だけでなく、運送会社や給油所なども含んだ系列の供給網全体で、災害時にも事業を継続できるような体制づくり(ルール・マニュアル整備、訓練の実施、司令塔機能の移転など)を求めた。

(4)機能しなかった状況：販売拠点の問題：在庫不足や販売能力の低下

東日本大震災発生後には、東北地方の約4割の給油所が営業できない状態になった。陸前高田市や大槌町などの地域では、津波によりタンクへの浸水や給油設備の破損が起こり、従業員の確保が困難になるなどの問題が起きて、ほとんどの給油所が営業できなくなった。そのため、それらの地域では住民が燃料にアクセスできない状態が続き、政府に対して特に強い供給要請があり、ドラム缶を使った応急的な出荷を行った。また、都市部や沿岸部の給油所では、被災地からの避難や買い出しのために自家用車を利用する住民が長蛇の列を作った。しかし、前述したとおり、燃料供給拠点からの出荷能力の低下、道路の損壊・大渋滞などによって、被災地の各給油所への配送は大幅に遅れた。

知見：

被災地で重要な供給拠点となる給油所の災害対応能力の強化が必要。災害でタンクローリーが被災した場合は、ドラム缶によるトラックでの代替輸送が効果的であることが分かった。

対策：(協定化、設備対策)

経済産業省は、全国の石油組合では地元自治体などと「災害時協定」を結び、平常時から燃料確保を推し進めるとともに、災害時のスムーズな連絡体制を構築するなどの取り組みを進めた。また、各県や地域における総合防災訓練に積極的に参加するな

ど、地域との連携を強化した。加えて、自家発電機を設置、災害時にはパトカー・消防車・救急車や自衛隊車両といった緊急通行車両などに優先して給油をおこなう「中核サービスステーション」を全国で約 1600 カ所（2018 年 4 月 1 日現在）を整備した。加えて、熊本地震を契機に非常用発電機を備えて災害時に一般車両への燃料給油を担う「住民拠点サービスステーション」の設置を進めており、2021 年 3 月末までに、全国 3 万サービスステーションの半数の 15,000 箇所を整備した。

(5) 重要施設における燃料備蓄の不足：

被災地の病院や避難所、通信施設、消防や警察などの緊急対応車両や重要施設では、非常用発電機などを稼働させるために必要な燃料の備蓄が不足した。特に緊急を要する病院などからの緊急要請に対しては、秋田県や山形県、新潟県など日本海側や関東の石油供給施設から直接、タンクローリーを派遣することで対応した。

知見：

災害時には燃料供給網の回復に一定の時間が必要だが、災害拠点病院などの重要施設において自衛措置としての燃料備蓄量が不足していた。地方自治体から、国への支援要請を確実に行うには、地域内の重要施設をあらかじめ把握し、その施設が使用する燃料の種類や担当者の連絡先などの情報共有が不可欠であることが分かった。

対策：（協定化，設備対策の法制化）

災害時の緊急の燃料要請への対応をスムーズにおこなうため、各自治体は、地域内の重要施設をあらかじめ把握し、その施設が使用する燃料の種類や担当者の連絡先などの情報を事前に共有する「情報共有覚書」を石油連盟と交わしている。2018 年 3 月現在、47 都道府県で覚書を締結済み。現在、公共機関（中央省庁・地方自治体）の BCP ガイドラインにて、「業務継続性確保のため、非常用電源については、72 時間は稼働できるよう燃料等を備蓄しておくこと」と定められた。

3.3 “エネルギー供給の最後の砦”としてのサービスステーション（SS）

まず、石油製品が生活・産業に欠かせないエネ

ギーである理由は、動力源、熱源、原材料と用途が幅広く、可搬性（持ち運びやすさ）や貯蔵性に優れた利便性の高い分散型エネルギーだからである。さらに非常時には、この 2 つの利便性が強調される。電気やガスは系統型のエネルギーであり、送配電線やガス管のどこかに被害が出ると、広いエリアで供給が停止してしまう。これに対して可搬性・貯蔵性に優れた石油製品は、ドラム缶に充填し被災地に運び届けることが可能な分散型エネルギーである。これが、“石油製品がエネルギー供給の最後の砦”と言われる理由である。現在、カーボンニュートラル政策の方針は「化石燃料の消費を最小化する」である。しかし、災害の多い日本では、カーボンニュートラル政策を推進するにしても、非常時のエネルギー供給を忘れてはならず、“石油製品がエネルギー供給の最後の砦”であることの重要度は変わらない。

3.4 石油業界から見るカーボンニュートラル政策

2021 年 3 月 26 日、経済産業省 HP に「カーボンニュートラルに向けた自動車政策検討会」（第 2 回）の資料として、全国石油商業組合連合会より「カーボンニュートラルに向けた自動車政策に対する意見・要望」⁷が収められている。連合会の主張の要点は以下のとおり。国の目指す方針・政策は、3E+S（経済・エネルギー・環境+安全）を十分検討の上、決めるべき。今回のカーボンニュートラルに向けた自動車政策には、大きく 3 点の視点での検討が欠落・不足していると主張している。

(1) 災害対応の視点

我が国は、地震・台風・大雨・豪雪などの災害が多く、近年、電力の脆弱性と停電時における分散型エネルギーである石油の地域社会の生活と安全を守る役割が「最後の砦」として高い評価を受けてきた。SS 業界は、国策である国土強靱化の一環として、2020 年度末までに全国約 3 万 SS のうち半分の 1.5 万 SS に自家発電機を設置し、さらに推進する。災害時においては、停電時でも SS における給油を継続し、併行して、多くのタンクローリーで地域の医療機関や電力会社の電源車への燃料（軽油・重油等）の緊急配送に努めている。このように、SS が災害対応に果たす最後の砦の役割を説明し、このことは従

来から国策として推進してきたこととしている。

(2) エネルギーライフサイクル全体の視点

災害時におけるEV自体の安全性(感電の危険性、充電・蓄電時間問題など)とともに、地域社会の生活と安全を守るインフラネットワークの議論が欠落していること。発電段階からライフサイクル全体でのCO₂排出削減議論がまだ行われていない。にもかかわらず、CO₂排出の約19%の運輸部門、うちガソリン関係はその半分の約10%の部分だけを取り上げ、「2035年100%電動車、EV強力導入」というのは、不適當である。自動車のエネルギー源においても、3E+Sを十分踏まえて、過度に電気のEVに偏ることなく、車のエネルギー源の組み合わせ、ベストミックスを検討していくべきである。

(3) 産業構造・雇用/消費者の視点

SS業界(35万人)を含めた産業構造・雇用面の議論そして消費者の納得する議論が全く不十分である。自動車産業が誇るエンジン技術・ハイブリッド(HV)技術を活かすべきで、自動車業界の産業構造・雇用面の検討が不十分である。そもそも、現時点でパリ協定により2050年カーボンニュートラルにコミットしている国のCO₂排出量は世界全体の23%。今後EVしか受け入れないと表明している国は更に少ないにもかかわらず、日本国内で「100%電動車」と自ら手足を縛る政策をとる正当性は不明である。また、最終的にどの車を買うかは、消費者の選択であり、国が「100%電動車、EV強力導入」と一方的販売禁止によって日本国内の消費者の選択権を奪うのは不適當である。

これら連合会の主張をエネルギーレジリエンスの視点から考察する。経済産業省のエネルギーレジリエンスの定義は、「エネルギーレジリエンスとは、平時には需要者を含む社会に対して所要のエネルギーを安定的に供給するとともに、有事には自然・人為的災害等によるエネルギー供給支障が、人命・資産や経済活動及び社会にもたらす影響を低減するための、災害等の発生前後における、ハード・ソフト面での安全性・堅牢性及び迅速な停止復旧能力である」⁸である。また、「電気自動車(EV)化」はカーボンニュートラル政策の大きな柱の1つであるが、災害の多い日本ではバッテリー駆動のみのEVよりも、燃

料で起動し走行している間に蓄電池に充電するハイブリッド自動車(HV)や、バッテリーへの外部充電機能を加えたプラグインハイブリッド自動車(PHV)のほうが、災害の多い我が国の実情に適していると言える。

3.5 電力関連施設

東日本大震災では、強い地震動と津波により多数の発電所が停止した。稼働中だった原子力発電所については、福島第1原子力発電所1~3号機、福島第2原子力発電所の1~4号機、女川原発1・3号機、東海第2原子力発電所は地震動で自動停止した。ただし、福島第1原子力発電所は敷地内の送電鉄塔の倒壊で外部電源を失い、非常用発電装置が一旦稼働したが、津波による浸水で全電源を喪失し、冷却機能を失って放射性物質放出という深刻な事態となった。

火力発電所も、東京電力では広野火力発電所、常陸那珂火力発電所、鹿島火力発電所、大井火力発電所、五井火力発電所、東扇島火力発電所が停止した。東北電力では新潟県内の火力発電所を除くすべての発電所が停止した。東北地方や関東地方の広域で停電が発生した。東北電力エリアでは最大466万戸、東京電力では最大406万軒の停電が発生した。

発電所に加え、送電設備、変電設備、配電設備も大きな被害を受けた。とくに東北地方の太平洋側の送電設備や変電設備は、津波による瓦礫や車両が流入したことで送電鉄塔の倒壊などの被害が生じた。それに加え、揺れによる碍子などの折損などが多数発生し、津波による電柱等の倒壊・流失も深刻であった。

被害状況：

福島第1原子力発電所、太平洋沿岸部の火力発電所などが被災し、東京電力エリア内で供給力が大幅に減少した。東京電力の供給力は、約2,100万kWが欠落(約5,200万kWから約3,100万kWへ約4割減)した。この結果、東京電力管内のこの時期のピーク時の想定需要量約4,100万kWに対し、約1,000万kWの大幅な供給力不足が発生した。東北電力の供給力は、約500万kWが欠落(約1,400万kWから約900万kWへ約3.5割減)し、供給力が低下した。

全国的には十分な供給力があつたが、東京電力は

エリア内に十分に電力融通を受けることができなかつた。このため、供給不足になると思われる時間帯に、地域を区切って輪番で停電させる計画停電の実施を余儀なくされた。計画停電は3月14日以降、計10日間（延べ32回）実施された。

知見：

大手電力会社の通常の供給エリアを跨いで電力を送る送電線を地域間連系線と呼ぶ。この地域間連系線は、災害や事故が起きた時などに地域間で電力を融通できるようにして停電を防ぐ役割がある。しかし、東日本大震災後に電力融通が必要となきに、連系線の容量がネックとなり、東京電力エリアの不足分を補う電力を融通できなかった。特に、非常時の50ヘルツ圏と60ヘルツ圏をつなぐ周波数変換所(FC)の容量不足が指摘された。

対策：(設備対策、災害時の省令運用)

(ア)2014年、周波数変換所の容量(当時：120万kW)を90万kW増強が計画され、2021年3月末に完成した。北海道と本州を結ぶ北本連系設備(当時：60万kW)を30万kW増強が計画され、2019年3月末に完成した。(イ)震災により失われた東京電力及び東北電力の発電設備の供給力を補うために同社が行う発電設備の設置事業については、災害復旧事業に該当するため、環境影響評価法(排ガスに含まれる煤煙等の規制など)の適用除外とした。さらに、火力発電所の定期検査時期の延長を認める運用を実施した。(ウ)電力の供給力を強化するため、自家発電設備の増設・増出力に対する支援などが行われた。

3.6 ガス関連施設

ガス事業者は、天然ガスを配管で供給する都市ガス事業者と、液化石油ガス(LPガス)をボンベないし配管で供給するLPガス事業者に分かれるが、主に都市ガス事業者の被害状況について述べる。

(1) 被害概況

都市ガス事業等では、震災による津波や液状化等によりガスの製造設備や導管等が破損した。供給設備の被害は過去の震災においてもあったが、東日本大震災では、津波により一部の製造設備が機能停止にまで陥った。特に、沿岸部にあった仙台市ガス局のLNG基地は津波で被災し、主要な電気設備が冠水

した。大規模な需要をまかなうLNG基地が長期にわたり機能停止に追い込まれたのは初めてであった。東日本大震災による被害によって、8県16事業者で都市ガスの供給が停止、復旧対象戸数は約40万戸に及んだ。特に、仙台市ガス局のLNG基地の被災により、仙台市ガス局の供給区域では、約31万戸への復旧作業が必要となった。また、簡易ガス事業では、7県の団地で供給停止が生じ、復旧対象戸数は約1万8千戸に及んだ。

(2) 復旧過程

ガス事業者の全国組織である日本ガス協会が現地救援対策本部を立ち上げ、同協会の主導により、全国58のガス事業者で復旧隊を組織し、延べ約10万人で被災地の復旧作業を支援した。結果、5月3日に家屋流出等地域を除き復旧が完了しました。特に、最大の復旧対象戸数を抱える仙台市ガス局の供給区域については、ガスの供給源が確保された3月23日以降集中的に作業に当たり、4月16日に復旧を完了した。津波被害により、復旧に1年近い期間を要することが見込まれていた仙台市ガス局のLNG基地に代わり、新潟からの広域天然ガスパイプラインを用いた代替供給により、仙台市ガス局管内、塩釜ガス株式会社管内の供給再開作業が可能となりました。結果として、大震災から1ヶ月強で復旧を完了させることができた。

知見：

(ア) 東日本大震災において、中圧管以上の基幹パイプラインや、耐震性等の向上に努めてきた低圧導管網の被害は少なかった。全国の都市ガス事業者による復旧応援態勢が構築されており機能したこと。

(イ) 新潟-仙台を結ぶ広域天然ガスパイプラインにより代替供給が受けられたこと等により、発災から1ヶ月強で復旧を完了することができた。仙台の被災ケースでは、広域天然ガスパイプラインによる代替供給がなければ、1年程度供給が途絶えた可能性があった。日本の都市ガス事業は、需要地毎にそれぞれ分断されている。そのため、仮に単独のLNG基地に供給を依存する地域において製造設備が被災し、機能停止に陥った場合、たとえ復旧応援があったとしても都市ガスの供給そのものが停止するため、長期間に渡りガス供給が途絶するリスクがあることが

判明した。

対策：

広域のガスパイプラインの整備状況については、震災翌年の天然ガスシフト基盤整備専門委員会をはじめ累次にわたって議論されているが、整備は進んでいない。三大都市圏間でのガスの相互融通もできていない状況である。背景には、我が国の都市ガス事業は、歴史的に事業者が大消費地の中心に供給拠点を設け需要見通しを立てた上で、事業採算性を勘案して、合理的な天然ガスインフラを整備してきた。その結果、供給区域の拡大とともに扇状にパイプラインネットワークが拡張されたが、供給区域は整備主体毎に分断されており、主要大都市間やLNG基地間を連結するパイプラインの整備は進んでいない。

このように石油、電力、ガスのエネルギー事業体や業界の防災・減災には、ハードウェアによる設備対策とソフトウェアによる復旧計画（協定化、法制化含む）があることが分かる。追加すべきエネルギーセキュリティの要素は「復旧」と考える。次節では、「防災・減災」と「復旧」の関係について考察する。

4. 電力会社における防災・減災と復旧

電力会社には「防災業務計画」がある。この計画は災害対策基本法第39条、大規模地震対策特別措置法第6条および南海トラフ地震に係る地震対策の推進に関する特別措置法第5条に基づき、電力設備に係る災害予防、災害応急対策および災害復旧を図るため、一般防災業務計画、大規模地震防災強化計画および南海トラフ地震防災対策推進計画を定め、主体たる電力会社による災害対策の円滑かつ適切な遂行に資することを目的として、作成されている。10電力会社の計画の構成は共通している。以下、中部電力の「防災業務計画」⁹の内容を見ていく。防災業務計画の基本構想は、電力設備の災害を防止し、また発生した被害を早期に復旧するため、災害発生原因の除去と耐災環境の整備に常に努力を傾注する。このため、防災対策の推進を図るとし、防災体制の

確立、災害予防対策、災害応急対策、災害復旧対策の4つを掲げている。電力事業は、消防法、石油コンビナート等災害防止法など関連法令に基づく諸計画があるが、調整を図り運用するとしている。つまり、法令に基づく「電力設備の災害を防止し、また発生した被害を早期に復旧するため」に計画が整備されている。

4.1 電力会社における設備対策・復旧計画の考え方

電力会社は、電力施設の所在する地方自治体の被害予想結果を踏まえ、大規模地震対策の再評価、並びにレベル1およびレベル2に基づく自社設備に対する被害想定を実施し、レベル1に対しては早期供給力の確保および公衆保安確保の観点で必要な事前・事後対策（設備対策）や被災後の復旧計画の検討、レベル2に対しては直接被害（設備損壊等）に対する公衆保安（減災）の確保の観点で必要な事前対策について取り組んでいる。設備対策と設備対策・復旧計画のフローの関係性を図2と表3を使い説明する。図2の想定地震動は、一般地震動、高レベルの地震動、最大クラスの地震動に区別されている。対策目標は、一般地震動に対しては耐震設計基準・指針に基づく設計を満たせば達成でき、これは従来の耐震性を確保すれば良いことになる。

次に、高レベル地震動に対しては、自治体ごとの防災目標である県地震防災戦略や市地震防災戦略の要件を満たす必要があるが、これを達成するには、従来の耐震性では不十分で、追加対策する必要がある。追加対策は、事前対策（設備対策）、発生中対策、事後対策にて構成される。設備対策は、耐震余裕度向上対策（地盤強化等）や浸水対策（防水壁の設置等）がこれに相当する。発生中対策は、津波到来時にタンカーを緊急的に栈橋から離す設備の設置などが相当する。事後対策は、高圧発電機車による応急送電等の早期復旧対策が相当する。図2の4行目にある「早期供給力確保に向けた対策」は、「可能な範囲で被害を減じ、或いは復旧を容易とする」ことである。最後に、最大クラスの地震動に対しては、直

⁹ レベル1の地震動と津波は対象となる設備・構造物などの併用期間中に1~2回程度発生する確率をもつ一般的な地震と津波を意味する。レベル2の地震動と津波は一般的な地震

動よりも発生確率は低い。直下型地震または海溝型巨大地震に起因する高いレベルの地震動を意味する。

接被害（設備損壊等）に危険な箇所がある場合は区画や仮処置を行い、公衆保安を確保すること。人命に係る重要施設への電力供給の確保の2つがある。これらは「公衆保安の確保に向けた対策」となる。

表3の見方を説明する。例えば、日本大震災後には(1)被害想定は厳しい方向にシフトし、(2)被災後の需給ギャップも厳しくなる。しかし、(5)被災後の需給見直しに「配電設備については、約2週間以内に応急復旧する」とあるが見直しの際に約2週間より遅くすることは許されない。つまり、「目標復旧時間」(RTO: Recovery Time Objective)と「目標復旧レベル」(RLO: Recovery Level Objective)は維持する必要がある。これを維持するには、さらに設備対策を追加し、復旧計画を充実することで実現できることになる。一般に、目標復旧時間を短縮し、目標復旧レベルを向上させるケースも、さらに設備対策を追加し、復旧計画を充実することで実現できる。例えば、表3の(5)にある配電設備の耐震補強は、「震災後に被害想定が厳しく変更なった。ただし、既存配電設備に耐震補強することで、目標復旧時間(約2週間)と目標復旧レベル(応急復旧)を維持が可能」のように対処可能である。このように設備対策の効果を目標復旧時間と目標復旧レベルの2つの指標で記述できる。同様に、設備対策の種類・規模・予算が異なる場合でも、目標復旧時間と目標復旧レベルの2つの指標で統一的に記述することが可能である。

想定地震動	一般地震動	高レベルの地震動	最大クラスの地震動
対策目標	耐震設計基準・指針に基づく設計	自治体等による防災対策目標	命を守ることを基本とする
従来の耐震性		事前対策 発生中対策 事後対策	公衆保安の確保に向けた対策
早期供給力確保に向けた対策			

図2 対策の位置付け

出所：中部電力「南海トラフ地震に対する中部電力のBCPの取組み」より筆者作成。

<https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/295107.pdf>

(最終閲覧日：2021年9月21日)

表3 設備対策・復旧計画の検討フロー

フロー	内容
(1) 被害想定	地震動・津波等のハザードデータを入手
(2) 被災後の需給想定	被災後の需給想定に基づき復旧目標の設定。需給ギャップの想定から追加対策を考えることになる。
(3) 設備対策	耐震性向上のための補強、浸水対策として、防水壁設置や嵩上げ等
(4) 復旧計画	平時から情報交換を継続すると共に、各種訓練を通じて連携強化を図る。例：燃料確保に各地区石油組合と協定締結等。
(5) 被災後の需給見直し	例：送電設備および変電設備については、一部の浸水エリアを除き電力給電する。配電設備については、約2週間以内に応急復旧する。ただし、他社からの応援電力融通を考慮しても需給ギャップが1カ月程度生ずることから、節電(10~20%)の要請する可能性あり。

出所：中部電力「南海トラフ地震に対する中部電力のBCPの取組み」より筆者作成。

<https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/295107.pdf>

(最終閲覧日：2021年9月21日)

4.2 被害推定の重要性

2010年5月、東北電力は、大規模地震発生時における配電設備(電柱、電線、柱上変圧器等)の被害推定を行う「地震被害推定システム」¹⁰を電力中央研究所と共同で開発し導入したことを発表した。翌年、東日本大震災発生時に、地震被害推定システムにより評価された被害推定結果が実際に復旧体制の確立や人員・資材計画を立案する基礎資料として活用されている¹¹。以下、地震被害推定システムを開発した経緯とシステムの概要を述べる。大規模な地震災害が発生した場合、早期復旧を図るためには被害状況の把握と効果的な応援隊の派遣が必要になる。一方で、配電設備は地域的に面的に広がっているため、設備量は膨大となっている。また、地震発生時は道路の寸断などにより巡視による被害状況の把握に多くの時間が掛かる。こうした背景により、地震発生後、早期に主要な配電設備の被害推定を行いシステ

ムの開発が必要になった。地震被害推定システムは、(1)地震発生直後に得られる地震情報、(2)予めシステム内にデータ登録している東北電力管内の地盤情報、(3)設備情報などにに基づき、自動的に配電設備の被害状況を推計する。さらに、被害推定後に得られた詳細な地震情報や巡視情報をデータ入力することで、被害推定を補正し、被害推定の精度を向上することができる。導入効果は、(1)平時には、シミュレーション機能の活用による被害推定結果に基づき、耐震対策を先見的に実施することができる。(2)地震発生時には、早期に被害推定により、巡視地域の優先順位付け、応援派遣要請、効果的な人員配置などの判断をより迅速かつ的確に行うことができ、停電の早期復旧につながる。以上の記述には、例えば、電柱、電線、柱上変圧器の1箇所を応急復旧するために必要な目標復旧時間と目標復旧レベルが事前にデータ登録されており、復旧スケジュールの推定結果により、応援派遣要請の判断材料になることである。

5.おわりに

これまで、東日本大震災後の復旧過程を概観し、電力会社を例として設備対策・復旧計画の検討フロー、対策の位置付けを分析し、地震被害推定システ

ムのシミュレーション機能の有用性も確認した。これらより、被害予想と復旧予想が、防災・減災計画の基礎であることが分かった。さらに実務レベルの防災・減災計画の内容は、被害予想と復旧予想を行い、設備対策と復旧計画の充実を図ることといえる。これらは、いずれも目標復旧時間と目標復旧レベルの2つの指標で記述できることが分かった。今後の課題として、目標復旧時間と目標復旧レベルの2つ指標で防災・減災を記述することの応用範囲と有用性について探求し、資源エネルギー庁が採用する9つのエネルギーセキュリティ指標に対して、防災・減災要素を追加あるいは組み込む方法について研究を進めたい。

参考資料

- [1]経済産業省、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン戦略」
- [2]経済産業省、「エネルギー基本計画」(1~5次)
- [3]経済産業省、「エネルギー白書」(2004~2021年)

(Received: October 19,2021)

(Issued in internet Edition: November 1,2021)

¹ 内田洋司、高橋圭子、齋藤雄志、「経済性、セキュリティ、リスクから見たわが国の最適電源構成の検討」、電力経済研究 No.20 1986.1

² 戒能一成、「エネルギー安全保障の定量的評価の研究」、文部科学省学術フロンティア推進事業(慶応大学 G-SEC 黒田班)

³ 山田英司、「先進諸国との比較におけるわが国のエネルギーセキュリティレベルの評価研究」、日本原子力学会和文論文誌, Vol.6.No.4,p.383-392

⁴ 日本エネルギー経済研究所は、エネルギーと環境、および中東の政治経済に関する研究・調査などを行う研究所である。1966年設立。元資源エネルギー庁所管の財団法人。

⁵ 「各国のエネルギー安全保障政策と実態の調査分」
<https://eneken.ieej.or.jp/data/3548.pdf>

(最終閲覧: 2021年9月21日)

⁶ 「平成23年防災白書」
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h23/index.htm>

(最終閲覧: 2021年9月21日)

⁷ 全国石油商業組合連合会は1953年設立。全国16組合、現在の会員数は約14000社。

https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/carbon_neutral_car/pdf/002_05_00.pdf

(最終閲覧: 2021年9月21日)

⁸ 第1回 エネルギーレジリエンスの定量評価に向けた専門家委員会、資料4

https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/energy_resilience/pdf/001_04_00.pdf

(最終閲覧: 2021年9月21日)

⁹ 中部電力「防災業務計画」, 2020年4月。

https://www.chuden.co.jp/publicity/topics/_icsFiles/afieldfile/2021/04/22/20210428a.pdf (最終閲覧: 2021年9月21日)

¹⁰ 東北電力のプレスリリース, 2010年5月27日

https://www.tohoku-epco.co.jp/pastnews/normal/1181504_1049.html

(最終閲覧: 2021年9月21日)

¹¹ 朱牟田善治, 電気設備学会誌, 「電力設備の自然災害対策の基本的考え方」, p161-162

https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieiej/33/3/33_159/pdf/-char/ja
(最終閲覧: 2021年9月21日)