

災害時の非常用燃料供給における課題抽出

Difficulties on emergency fuel supply management in a disaster

関西大学 社会安全学部

一井 康二

Faculty of Societal Safety Sciences,
Kansai University

Koji ICHII

関西大学 社会安全学部

奥村 与志弘

Faculty of Societal Safety Sciences,
Kansai University

Yoshihiro OKUMURA

関西大学 社会安全学部

伊藤 大輔

Faculty of Societal Safety Sciences,
Kansai University

Daisuke ITO

SUMMARY

Emergency generators are expected to work in a disaster-related black-out, and emergency fuel supply to the generators at the companies and the residences in affected areas is important. Although some companies build a system of emergency fuel supply, the unique features of fuel transport such as the necessity of some skills and licenses make it difficult to establish an effective emergency response scheme. In order to overcome the problems, the difficulties on emergency fuel supply management are listed up from some case studies. The results clarified the topics to be considered in future studies.

Key word

Fuel, emergency generator, earthquake, BCP, sloshing

1. はじめに

2011年の東日本大震災では、被災地だけでなく関東圏でガソリン等の石油製品の不足が発生した。このような震災発生時の燃料不足は、人命救助や復旧支援活動の障害となる。また、避難所での暖房不足は関連死の発生にもつながる。大規模地震の発生に備えて、必要な燃料を備蓄し、被災地等への適切な燃料供給体制を整える必要があることは論を待たない。

災害時に備えて燃料を備蓄しておくことや、

燃料配送用の車両を用意しておくことは可能である。しかし、問題は誰が実際にそのような災害への備えを実施するかである。ガソリン等の危険物の取扱には資格が必要であり、タンクローリー等の燃料輸送車両はメンテナンス等の維持費が必要である。このため、常時より燃料を取り扱う燃料供給事業者を中心とした災害時の非常用燃料供給システムを構築していくことが現実的である。つまり、災害時の燃料供給の主体としては様々な企業等が想定可能であるが、災害時においても燃料を必要とするところに配

送することが可能な事業者が実質的な実施主体として期待でき、これらを燃料供給事業者として本論文では想定している。また、このような燃料供給事業者の中には、すでに民間企業等と災害時の燃料供給を請け負う契約をしている事業者もあるが、一般住宅やマンションなどの共同住宅にも将来的には拡張されるものと想定している。

しかし、燃料供給事業者は民間企業であり、事業として災害時の非常用燃料供給システムを構築するには、いくつかの解決しておくべき課題がある。例えば、燃料貯蔵施設の被災や、燃料貯蔵ルートから被災地への輸送ルートの被災、さらに被災地内での燃料配送能力が十分に担保できない場合などである。このような様々な事情で災害時の燃料供給が困難となり、燃料が必要な需要者に必要なタイミングで届かなかった時は、燃料供給事業者の責任問題が生じる可能性がある。このような事態によるトラブルを防ぐためには、事前に工学的な被災予測や車両の安全運行の可能性の検討を行い、想定される事態とその対処方法の有無を災害時燃料供給契約の前提条件として考慮しておくことが重要である。

なお、本論文で対象とする非常用燃料としては、非常用の発電機に使用されるガソリン・灯油等の液体燃料を主に想定する。現時点で、気体あるいは固体の非常用燃料は利便性が低く、利用実績も多くないと考えられるため、議論の対象としては着目していない。しかし、水素等の利用が進んだ際にも、本論文の知見の多くは適用可能であると考えている。

2. 災害時の燃料供給の流れと検討項目

日本は原油のほとんどを中東地域などからの輸入に頼っている。したがって、臨海部に位置する製油所に船舶によって原油が運び込まれ、

燃料が精製されたのちに、製油所のタンクに保管される。そして、内航タンカーやタンクローリー等により製油所から全国各地の油槽所に燃料が運ばれて貯蔵される。

燃料供給事業者はガソリンスタンド等に燃料タンクを所有し、常時より燃料を貯蔵している。そして、災害時の燃料供給においても常時と同様に、供給対象地域に所有する燃料タンクの燃料から使用する。

一般に用いられる大型の地下タンクは耐震性も高く、停電時にタンクからの燃料のくみ上げに支障が生じたりすることはあるものの、タンク自体に大きな問題が生じた事例はない。ただし、燃料は経時品質低下が生じるため、常時の適切な管理が必要である。つまり、災害時のみに使用する目的で備蓄していた場合、定期的な燃料の入れ替えなどを行わなければ、必要な時に使用できない恐れがある。常時の燃料利用と組み合わせて、適切に在庫を消費・入れ替えしていくことが望ましい。

燃料供給地域内のタンクの燃料在庫がなくなると、製油所・油槽所からの燃料の輸送が必要となる。このため、常時のみならず災害発生時においても製油所・油槽所における燃料の貯蔵場所の安全性が保たれていることが、災害時の燃料供給の安定のための必要条件となる。

しかし、2020年10月に会計検査院が国の支出する補助金に関連して、10社の20の製油所を調べたところ、12の製油所において、想定される最大クラスの地震よりも低い基準で対策を進めていたことが明らかになった¹⁾。具体的には、最新の地震データを用いていなかったり、複数の地震データがあった場合に危険性が小さくなる方のデータを採用していたりしたというものである。この事例から、燃料貯蔵地点の安全性確認が課題であることがわかる。

また、製油所・油槽所から被災地へ燃料を運

搬するにあたっては、車両や運転手の手配などが必要となる。もちろん、常時の燃料輸送車両や運転手による運搬も期待できるが、災害発生時には非常用発電機等の利用が増加するため、常時の車両・人員に加えて、災害対応としての車両や人員の確保が必要となる。このとき、災害発生直後の短時間で全国レベルの燃料輸送計画を立案・実行することは容易ではない。適切なマネジメント方法や事前の訓練方法の開発が必要である。

さらに被災地内においても、燃料供給を必要とする避難場所などへの配送を適切に行う必要がある。特に、燃料供給事業者が業として災害時の燃料配送を請け負う場合、所有するタンクローリー等の機材やスタッフ数に応じて、どの程度まで燃料供給を実際に行うことができるかを検討しておくことは、実効的な災害時燃料供給体制の構築において不可欠な検討項目である。

そこで、本稿では、燃料貯蔵地点の安全性確認、燃料輸送計画の立案・実行、燃料供給の実施可能レベルの検討の3項目についての検討事

例を概説する。そして、これらの検討結果から、災害時の燃料供給体制の構築において、重要な視点を述べる。

3. 燃料貯蔵地点の安全性の検討例

燃料タンクの災害時の典型的な被害は、地震時のスロッシングによる被害である。平成15年（2003年）十勝沖地震では、苫小牧の製油所の石油タンクで液面揺動（スロッシング）が生じ、甚大な被害が生じた。特に、地震の2日後に生じたナフサタンクの火災は、44時間も燃え続けた²⁾。

スロッシングは、地盤の固有周期とタンクの固有周期が一致する時に生じる共振現象である。そして、地盤の固有周期は図1に示すように算出されている^[1]。

一方、タンクの1次モードの固有振動数 f_{11} は、水深が極端に浅くなければ水深の影響はほぼ受けないので、 a をタンクの半径、 g を重力加速度、 D をタンクの直径として、式(1)³⁾で近似的に求めることができる。そして、その逆数として、固有周期を求めることができる。また、タンクの直径は航空写真より推定できる。

$$f_{11} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1.841g}{a}} = \frac{0.676}{\sqrt{a}} \approx \frac{1}{\sqrt{D}} \quad (1)$$

そこで、グーグルマップ⁴⁾を利用して、堺製油所（ENEOS株式会社）のタンクの固有周期を算定した例を図2に示す。なお、タンク内の水深が把握できないために式(1)を用いたが、水深に応じて固有周期は式(1)で求まる値よりも大きくなるため、本検討で算定したタンクの固有周期は過小評価されている傾向にある。この過小評価のレベルは水深に依存し、例えば、タンク半径の半分程度の水深まで浅くなると、固有周期1秒程度に相当する場合もある。

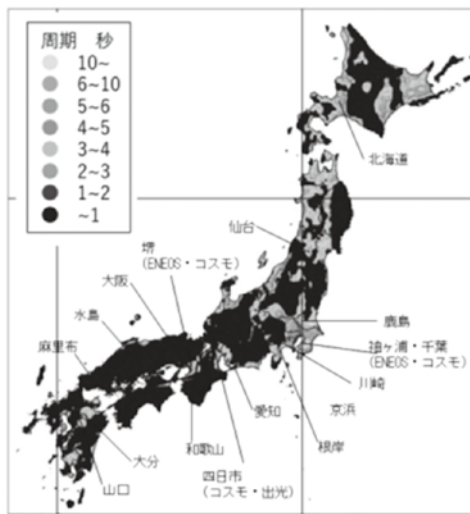


図1 全国の地盤の固有周期と製油所の位置（[1]を加筆・修正）

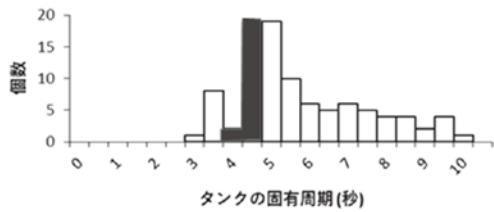


図2 堺製油所（ENEOS株式会社）のタンクの固有周期の分布，および地盤の固有周期（4～5秒）との一致度⁵⁾

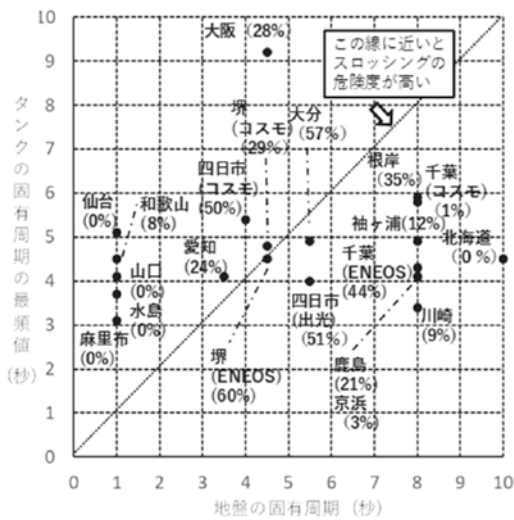


図3 全国の製油所の地盤の固有周期とタンクの固有周期（最頻値）の比較⁵⁾
 (地盤の固有周期と固有周期がほぼ一致するタンクの割合も併せて表記)

図2では、地盤の固有周期（4～5秒）と一致した部分を着色している。タンクの直径サイズを航空写真から読み取っただけであり、これらのタンクのすべてが実際に使用されているか、また、適切な地震対策が実施されているかどうかは不明である。

ただ、単純に固有周期の一致度だけを考慮すると、数多くのタンクにスロッシングの可能性があることがわかる。

同様の検討を全国20か所の製油所に対して行った結果を図3に示す。ただし、タンクの固有

周期は最頻値を示した固有周期を用いた。大分製油所（ENEOS株式会社）や堺製油所（コスモ石油）でも、地盤の固有周期とスロッシングの固有周期の差が小さいタンク（差が0.5秒未満）が多く存在していることがわかる。なお、タンクの固有周期の過小評価の存在を考慮しても、その傾向には大きな変化がない。

さらに、図2で示したように、一つの製油所内でも様々な大きさのタンクが存在し、固有周期が異なる。このため、地盤の固有周期とおおむね一致する（±1秒の範囲に収まる）固有周期となるタンクの割合を図3には加筆した。例えば、大阪製油所（ENEOS株式会社、2020年に事業終了）では、タンクは9秒程度の固有周期のものが多く、地盤の固有周期の約4.5秒からずれているように見える。しかし、実際には固有周期4.5秒前後のものも28%ほど（55基中12基）存在する。実際の危険度はタンクの使用状況や対策の有無などにも依存するため、危険性を単純に評価することは難しいが、図3に示したようなタンクの固有周期の最頻値の比較だけで安全だと判断することも難しいことに注意が必要である。なお、スロッシングは長周期振動によって起きるため、ここでは固有周期0.5秒未満ではスロッシングしないと仮定した。

図3の検討結果を概観すると、堺製油所、大分製油所（共にENEOS株式会社）に加えて、四日市の2か所の製油所（出光興産およびコスモ石油）などで、地盤の固有周期とおおむね一致するタンクの割合が高く（順に、60%、57%、51%、50%）、スロッシングの観点からは要注意であることがわかる。

実際の製油所の危険性は、対策の有無により異なる。また、スロッシング以外にも、振動や地盤変状による配管の破損の可能性など、さまざまな危険性を考慮する必要がある。そして、本検討事例からわかるように、地盤の固有振動

数など、各施設固有の条件を考慮したうえで災害時の安全性を評価していく必要がある。

さらに、燃料貯蔵地点としては製油所のほかに油槽所があり、同様にスロッシング等の危険性や対策の有無を確認しておく必要がある。そこで、燃料供給事業者は、契約地域ごとに燃料貯蔵施設をリストアップしておき、これらの燃料貯蔵施設が被災しないことを災害発生時に燃料供給を実施できる前提条件に加えておくなどの対応が考えられる。つまり、貯蔵個所も含めた燃料供給網のボトルネックの抽出が必要である。

4. 災害時の燃料輸送計画の検討例

災害時の燃料供給の事例としては、原油の輸入・精製・石油製品の全国的な販売を行っている企業11社からなる石油連盟が、東日本大震災の際に行った例がある。

このとき石油連盟は、大きく5つの対応を行った⁶⁾。①稼働中の製油所での生産体制の強化、②ガソリン等の緊急輸入・製品輸出のキャンセル

③西日本等から東北地方へのガソリン等の転送、④出荷可能な油槽所・タンクローリーなどの効率的活用による供給能力拡大、⑤約300台のタンクローリーの西日本等から東北地方への派遣、の5つである。簡単に言えば、被災地以外の場所で燃料を確保し、タンクローリー約300台を派遣し、鉄道による輸送と合わせて燃料を被災地に供給した。実際に石油連盟が東日本大震災の際に供給した燃料はドラム缶9,188本分にのぼる。

このような地域を横断した燃料輸送では、適切な輸送ルートを選定、車両や運転手の手配などのマネジメントが重要となる。

そこで、災害時の燃料供給を事業の一つとするシューワ株式会社⁷⁾が、2018年（平成30年）北海道胆振東部地震において実施した緊急災害対応の燃料輸送事例を分析し、適切なマネジメント手法の構築に向けての検討課題を抽出した。

シューワ株式会社は、地震発生直後から、大阪堺本社と東京神田支店のBCP事業部のメンバー計12名で連携して緊急災害対応にあたった。

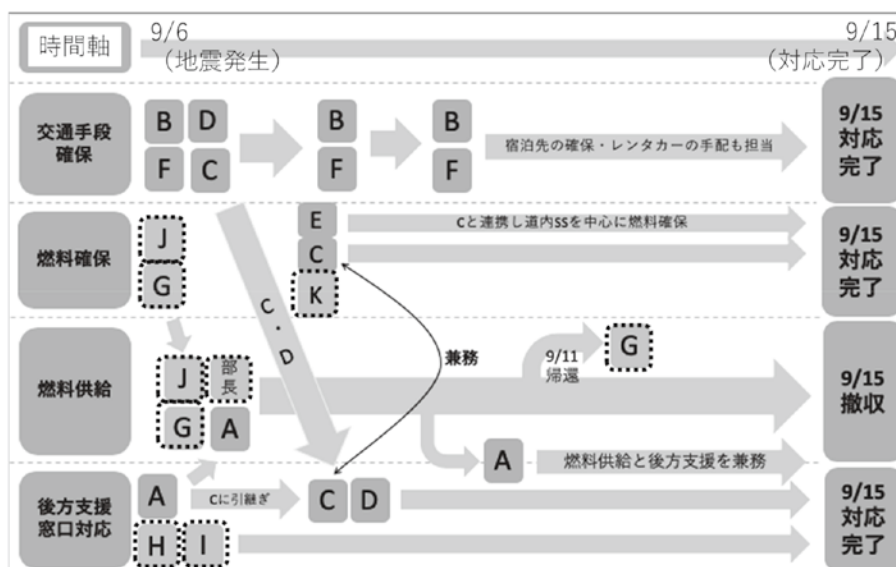


図4 北海道への災害時燃料供給派遣における各担当者（A～K）（太破線で囲まれた担当者は神田支店）の対応の流れ⁸⁾

特に、BCP事業部のスタッフとして、堺本社から1名、神田支店から3名の計4名が被災地に派遣された。これに石油事業部のドライバー5名を加えて、合計9名がシューワ株式会社から被災地に派遣され燃料供給を行ったメンバーとなる。具体的には放送・通信関係を中心とした契約先などに対して灯油、ガソリンや軽油を供給した。また、契約先以外の企業からの緊急の燃料供給要請にも対応した。

ここでは、現地派遣と後方支援の両方の観点に着目し、災害対応にあたったシューワ株式会社BCP事業部の社員11名に対して、アンケート調査を行った結果を示す。調査内容は、地震が発生した2018年9月6日から、燃料不足が順次回復した9月15日の間、「いつ・どこで・どのような災害対応を行ったか」の時系列での確認である。

次に、実際の災害対応を大きく4つに分類し、各担当者の対応の流れを模式図にした。災害対応の分類は、①交通手段の確保、②燃料確保、③燃料供給、④後方支援・窓口対応である。結果を図4に示す⁸⁾。各担当者はアルファベットで示しており、A、G、Jの3名が実際に北海道に派遣されたメンバーである。また、B、C、D、Fの4名は東京神田支店でチームとなって災害対応を行ったメンバー、H、I、Kの3名は大阪堺本社で対応したメンバーである。これらのメンバーは、それぞれが同じ執務室内で作業に当たっており、口頭で円滑に指示や状況の確認が行われたものと思われる。また、Eは神田支店で単独で動いたメンバーである。

図4では、担当者Aが窓口対応などをした後に実際の燃料供給業務にあっている。これは、災害は突然発生するため、「たまたま」仕事のできる状況にあった職員が最初に行うべき業務を担当することになり、他の職員が業務に加わるにつれて目まぐるしく業務分担を交代していく

ことを示している。この点は、担当業務がほぼ固定化している常時の業務体制と大きく異なり、災害対応業務では、全職員が自分の担当以外の業務の内容を把握していなければならないことを示している。このため、職員が十分に集まらないなどの様々な状況を想定した事前の訓練プログラムの開発などが必要であると思われる。

また、後方支援職員の業務としては、宿泊先や交通手段の確保のほか、被災地内外の燃料貯蔵個所（ガソリンスタンド・SSを含む）での燃料在庫の有無の確認などがある。すなわち、消費者の動向に応じて燃料の在庫量は日々変動するものの、各地のタンク内に残る燃料をタンクローリー等の資材で移動させることにより、迅速な燃料供給が可能となる。つまり、各地の在庫を迅速に把握するシステムや、適切なタンクローリー等の配置やルート選定の方法の確立が望まれる。

5. マンション等への供給能力の試算例

「ラストワンマイル」という言葉があり、通信回線等における最後の区間を指す。災害時の燃料供給においても、この部分は非常に重要であり、実効的なシステムを構築することが難しい点であると考えられる。

すなわち、燃料の取扱にはタンクローリー等の専用車両や有資格者が必要であり、事前に準備できている能力以上の燃料供給は不可能である。一方で、事前の車両の準備や維持には費用が掛かるため、常時のコスト負担を考えることなく無制約に準備を増やすこともできない。したがって、たとえばタンクローリー1台でどの程度の災害時燃料供給ができるかを計算しておき、その燃料供給能力に応じた費用負担の体制づくりなどが、実効的なシステムの構築において不可欠な作業となる。しかし、実際の燃料供給能力は道路の通行可否などの災害時の被災状

況にも依存し、実用的な燃料供給能力の検討方法は確立されていない。

そこで、本研究では、マンション等の住民に非常時の燃料供給を行うことを想定し、タンクローリー1台当たりの燃料供給能力の試算方法を提案する⁹⁾。なお、ここで示した試算方法は、条件の違いに応じた適切な変更を加えることで、住宅等以外にも適用可能であると考えている。

まず、前提条件として、災害による停電時に一人が必要とする電力量と燃料量を設定する。例えば、千葉市の避難所では、一箇所につき一日に38.83 kWhの電力を消費すると想定している¹⁰⁾。一方、避難所の平均収容人数を計算すると約1,050人となり¹¹⁾、これから、1人1日当たり0.037 kWhの電力が必要であると試算される。もちろん、実際の必要電力量は、例えば持病で人工呼吸器を装着している方にはそのための電源が必要になるなど、条件により大きく異なる。ここでは、団地の集会所や共同住宅の集会所等に集合して最小限の冷蔵庫やテレビ等を共同で使用するような状況を仮定し、最低限度の電力必要量の1事例として、千葉市の算定例をもとに議論する。

そして、必要な燃料量は発電機の性能に依存するものの、概ねカタログ値で1 kWhに0.5 ℓの燃料が必要¹²⁾と仮定できる。したがって、停電時に一人が一日に必要な燃料量は約0.019 ℓであり、以下では値を丸めて0.02 ℓが必要であると仮定した。

次に、タンクローリー1台当たりの供給能力を算定する。なお、マンションでは非常用発電機等の設備を共有しており、発電機等の燃料タンクに燃料を供給することを前提とした。算定の際に必要な前提条件は以下のとおりである。

- ・ 1世帯の平均居住人数（M人／世帯）

- ・ マンションの平均世帯数（H世帯）
- ・ 空になったタンクローリーを満タンにする回数（タンクローリーのサイズにも依存する：一日当たりE回）
- ・ 当該マンションへの燃料供給間隔（燃料消費量と貯蔵タンクの大きさに依存する。d日に1回）
- ・ タンクローリー1台当たりの1日の配送回数の上限（走行ルートやマンションの保有する非常用発電機のタンク容量に依存するが、燃料供給事業者へのヒアリングに基づいて40回とした）
- ・ タンクローリーの燃料タンク容量（W ℓ）

すると、マンション1箇所当たりの平均居住人数は、

$$N \text{ 人} = M \text{ 人} / \text{世帯} \times H \text{ 世帯}$$

となる。そして、1回の配送で当該マンションに供給する燃料量は、

$$z \ell = 0.02 \ell / \text{人} \cdot \text{日} \times N \text{ 人} \times d \text{ 日}$$

となる。

すると、タンクローリー1台の1日の配送回数は、上限である40回／日を超えない範囲で、
 $D \text{ 回} / \text{日} = W \ell / (z \ell \times d \text{ 日}) \times E \text{ 回}$
となり、トータルでの燃料供給能力は、d日間の配送回数と同じ件数となるため、

$$Y \text{ 件} = D \text{ 回} / \text{日} \times d \text{ 日}$$

となる。

1世帯当たりの平均居住人数を2.44人とし、小型のマンション（H = 20世帯）と大型のマンション（H = 100世帯）を対象に、様々なサイズのタンクローリーの供給能力を試算した結果を図5に示す。実際の配送では、様々なサイズのマンションや戸建て住宅を対象に燃料配送を行うことが想定されるが、ここでは燃料供給能力の特性を把握するために、同サイズのマンションのみに燃料供給を行うという条件を仮定

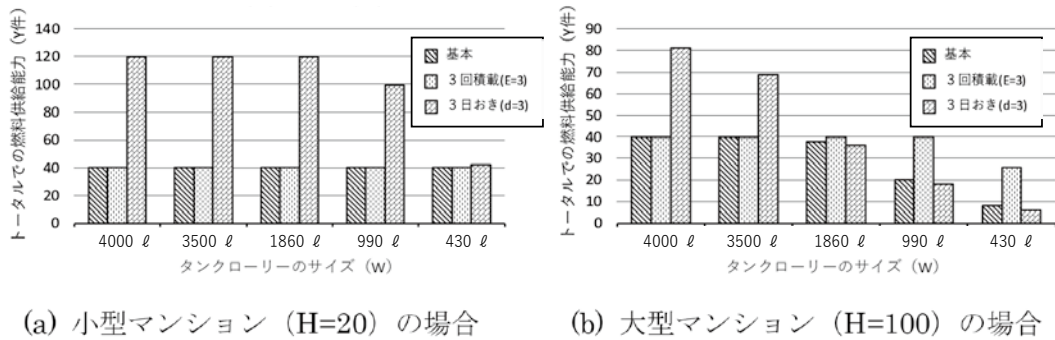


図5 タンクローリーサイズ (W) ごとの燃料供給能力の試算例

している。そして、タンクを毎日1回満載にして毎日燃料を供給するケースを基本とし、供給能力を増やすために1日に3回積載するケース (E=3) と、マンション側の貯蔵タンクを増強して3日に1回の配送にしたケース (d=3) を検討した。

小型マンション (H=20 世帯) を対象とすると、必要な燃料量が少ないため、すぐに一日の配送件数の上限に到達する。このため、毎日配送するケースでは燃料供給能力が一日の配送件数の上限の40件で頭打ちとなり、マンション側の貯蔵タンクを増強して3日に1回の配送にするなどの対策が必要となる。ただし、990 ℓ 及び 430 ℓ の小型のタンクローリーでは、マンションの3日分の燃料量に対してタンク容量が小さいため、空になったタンクの再積載を行わなければ、供給能力の向上にはつながらない。

大型マンション (H=100 世帯) を対象とした場合においても、大型タンクローリー (4,000 ℓ および 3,500 ℓ) を用いた場合は同様に一日の配送件数の上限に達する。しかし、3日おきの配送にした場合は、配送件数の上限には達せず、タンク容量と配送頻度のバランスが比較的取れた状態になっていることが示唆される。また、小型タンクローリー (990 ℓ および 430 ℓ) を用いた場合は、一日の積載回数を3回に増や

すことで燃料供給能力の向上が見込める。

この例は、同一サイズのマンション群の燃料供給を前提にするなど、極めて単純化した条件下での試算である。しかし、配送先のマンションのサイズとタンクローリーのサイズをうまく適合させることが実際の燃料供給能力の確保において重要であることが明らかとなった。また、



図6 実際のタンクローリーによる燃料配送ルート例

一日の配送能力の上限を燃料供給事業者へのヒアリングに基づいて40件と設定したが、その上限がボトルネックとなる場合が多いことも判明した。

ここで、実際に一日に配送可能な件数は、道路の状況にも依存することが予想される。例えば、図6はタンクローリーの実際の燃料配送業務における走行経路の例である。これは災害時ではなく常時の燃料配送業務であるが、タンクローリーという車両の特性を踏まえた走行のしやすさなどから、大通りを中心に同一の経路を何度も往復していることが読み取れる。災害時には、被災による道路閉塞などが発生する可能性もあり、通行可否だけでなく、復旧作業下での道路幅などの条件を考慮して、適切な走行経路を定め、燃料配送計画を構築する必要がある。このためには、通行可能な道路幅等の被災状況に応じた通行可否や通行速度の実績を収集し、被災状況下での配送計画の立案方法や、配送可能件数の算定方法を構築することが望ましい。

6. むすびにかえて

本研究では、災害時燃料供給ネットワークを構成する要素のうち、燃料貯蔵地点の安全性確認、製油所・油槽所から被災地への燃料運搬、そして被災地内の避難場所などへの燃料配送の3つのフェイズに着目して検討を行った。その結果、以下の点が明らかとなった。

(1) 全国の製油所20地点に対し、タンクサイズにより定まるスロッシングの固有周期と地盤の固有周期を比較した。その結果、タンクサイズも各地域の地盤の固有周期も多様であり、多くの製油所において、スロッシングの危険性の高い施設が存在する可能性があった。そして、燃料貯蔵地点としては製油所のほかに油槽所があり、同様にスロッシング等による被災の危険性がある。そ

こで、燃料供給事業者は、契約地域ごとに燃料貯蔵施設をリストアップしておき、これらの燃料貯蔵施設が被災しないことを災害発生時に燃料供給を実施できる前提条件に加えておくことが望ましいと考えられる。

(2) 2018年（平成30年）北海道胆振東部地震において実施された燃料供給事業者の緊急災害対応事例を分析した。その結果、災害発生時に「たまたま」仕事のできる状況にあった職員が最初の業務を担当し、その後、業務担当を交代していく状況が明らかになった。このため、全職員が業務の全体像を把握して円滑に業務の引継ぎができるように、職員が十分に集まらないなどの様々な状況を想定した事前訓練のプログラムの開発が望まれる。また、後方支援職員の業務を円滑に実施するためには、日々変動する各地の燃料の在庫量を迅速に把握するシステムや、適切なタンクローリー等の配置、ルート選定の方法の確立が望まれる。

(3) マンション等の住民に非常時の燃料供給を行うことを想定し、タンクローリー1台当たりの燃料供給能力の試算方法を提案し、様々な条件での試算を行った。その結果、配送先のマンションのサイズとタンクローリーのサイズをうまく適合させることが実際の燃料供給能力の確保において重要であることが明らかとなった。また、配送ルートによって一日の配送能力の上限が変化すると考えられるが、タンクローリーという車両の特性を踏まえた走行のしやすさなどからルート選定がなされるため、通行可能な道路幅等の被災状況に応じた通行可否や通行速度を考慮した配送計画が必要であることが示唆された。

今後の課題としては、地域ごとに想定される被災状況も異なれば、燃料供給先の分布状況や

製油所・油槽所からの供給ルートも異なるため、地域特性の異なる複数の地域に対して詳細な燃料供給シミュレーションを実施するなど、個別・具体的な検討を行うことが望ましい。

謝辞

本検討は、2019年度関西大学研究拠点形成支援経費において、研究課題「大規模地震発生時の燃料供給ネットワーク構築に関する研究」として研究費を受け、その成果を公表するものである。そして、2～4章で示した検討結果は、それぞれ筆頭著者の指導の下で高橋京氏、杉本憲一郎氏、日南休雄太氏が卒業研究として実施したものである。また、シューワ株式会社および日本BCP株式会社の皆様には、災害対応実務のアンケート調査やヒアリングなどで、様々な協力・助言をいただきました。ここに記して謝意を表します。

注

- (1) 会計検査院(2020)石油供給インフラ強じん化事業における大規模地震等の想定について(会計検査院法第36条の規定による意見表示)令和2年10月26日(参照2021.11.01)
https://www.jbaudit.go.jp/pr/kensa/result/2/pdf/21026_zenbun_02.pdf
- (2) 消防庁消防大学校消防研究センター石油タンク火災の性状解明と効果的な消火方法(参照2021.01.20)
http://nrifd.fdma.go.jp/research/seika/kagakubusshitsu/sekiyutank_kasai/index.html
- (3) 例えば、小松敬治(2015)スロッシング液面揺動とタンクの振動 森北出版 p.3.
- (4) Google maps:(参照2021.02.01)
<https://www.google.co.jp/maps>.

- (5) 筆頭著者の指導下の卒業研究として高橋京氏が作成した図面である。
- (6) 石油連盟 東日本大震災と石油業界の対応(参照2021.01.27)
http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/10/pdf/sub2.pdf
- (7) シューワ株式会社 BCP対策で災害時の燃料供給サービス(参照2021.09.09)
<https://www.shu-wa.jp/service/bcp/>.
- (8) 筆頭著者の指導下の卒業研究として杉本憲一郎氏が作成した図面である。
- (9) 筆頭著者の指導下の卒業研究として日南休雄太氏が試算を提案した。
- (10) 千葉市 導入設備規模の検討(参照2020.12.01)
https://www.city.chiba.jp/kankyo/kankyo_hozen/hozen/ondanka/documents/gnd1-8.pdf
- (11) 千葉市 指定緊急避難場所・指定避難所・広域避難場所に関する情報(参照2021.01.18)
<https://www.city.chiba.jp/somu/bosai/hinanbasyoichiran.html>
- (12) 例えば、EENOUR社のインバーター発電機GS2200iは4.1ℓのタンク容量で最大出力1.8kWhを3.2～7.0時間継続できるため、0.32～0.71ℓ/kWhとなる。(参照2021.09.09)
<https://eenour.com/products/generator-gs2200i>.

参考文献

- [1] 横田崇・池内幸司・矢萩智裕・甲斐田康弘・鈴木晴彦(2021). 長周期地震動の距離減衰および増幅特性 日本地震工学会論文集 第11巻 第1号 pp.81-101.

(原稿受付日:2021年9月22日)

(掲載決定日:2021年12月27日)