

放火事件における自動車ガソリンの火災危険性について

科学警察研究所 法科学第二部 火災研究室長

岡本 勝弘 *Katsuhiko Okamoto*

1. はじめに

2019年7月、京都市に所在するアニメーション制作会社京都アニメーション第一スタジオにおいて、自動車ガソリンを使用したとみられる火災が発生し、死者36名を含む死傷者71名の甚大な被害が発生した¹⁾。古くは、新宿駅西口バス放火事件の例にみられるように、自動車ガソリンを用いた放火事件においては、人的被害を含む甚大な被害が発生することがしばしばである。表1に過去40年間に発生した主な自動車ガソリンを使用した放火事件を示すが、いずれも社会の耳目を引く事件となったものばかりである。自動車ガソリンは、室内の暖房燃料として使用される灯油

に比べるとややハードルが高いとはいえ、自動車の燃料であることから一般人が手軽かつ大量に入手が可能な危険物であり、この自動車ガソリンを用いた放火事件が我々の社会生活において大きな脅威となっている。

本稿では、自動車ガソリンが放火における可燃物として使用された場合の火災危険性に着目し、石油系液体燃料としての自動車ガソリンの概要及び自動車ガソリンの各種危険性について解説する。

2. 自動車ガソリンの危険性

自動車ガソリン（以下、ガソリン）や灯油などの石油系液体燃料は、燃料としての長所

表1 自動車ガソリンを使用した放火事件

年	月	事 件
1980年	8月	東京都の発車待ちをしていたバスにバケツに入ったガソリンを投げ込み放火、5名死亡、14名重軽傷。
1983年	12月	北海道の信用金庫にガソリンをまいて放火、木造2階建ての1階事務所部分約80 m ² を焼損し、6名死亡。
1999年	5月	神奈川県 <small>の</small> 麻雀店にガソリンをまいて放火、7名死亡。
2000年	3月	兵庫県 <small>の</small> テレホンクラブに火炎瓶（ガソリン入り一升瓶）が投げ込まれ、4名死亡。
2000年	6月	栃木県 <small>の</small> 宝石店にガソリンをまいて放火、鉄筋3階建ての1階店舗部分約109 m ² を焼き、6名死亡。
2001年	5月	青森県 <small>の</small> 消費者金融にガソリンをまいて放火、5名死亡、4名負傷。
2003年	9月	愛知県 <small>の</small> 宅配会社における人質立てこもり事件。ガソリンをまいて放火、爆発・炎上し、3名死亡、41名重軽傷。
2010年	9月	愛知県 <small>の</small> キャバクラにガソリンをまいて放火、従業員1名が死亡、従業員2名が重軽傷。
2015年	6月	神奈川県を走行中の東海道新幹線車内で発生したガソリンで焼損自殺を図った火災。自殺企図者と乗客1名が死亡。
2019年	7月	京都府 <small>の</small> アニメーション制作会社スタジオにガソリンをまいて放火、36名死亡、35名重軽傷。

である「液体で運搬しやすい」という特性から、しばしば放火事件における可燃物として使用されることがある。これら石油系液体燃料は、燃料として同じカテゴリでくくられていることから、いずれも同じように燃えやすく危険であるとのイメージを持たれている方が多い。しかし、同じ石油系の液体燃料であっても、ガソリンと他の燃料では、その危険性に大きな違いがある。ガソリンの製造方法及び燃料として要求される性能を踏まえると、その危険性には他の石油系液体燃料とは異なる3つの特徴がある。

第1に、ガソリンエンジンの燃料としての始動性を高めることを目的に、ガソリンには石油ガス成分が配合されていることから、蒸気圧が高く、引火性が高いという特徴である。灯油・軽油・重油といった他の石油系液体燃料はいずれも引火点が室温以上であることから、燃料表面に火気を近づけても容易に引火しないのに対し、ガソリンは火気が存在があれば容易に着火することから、放火を企てた犯人がガソリンを散布した場合には、たとえ着火する意思がなかったとしても、スイッチやモーターといった電気設備で発生する電気火花や人体の静電気帯電に起因する火花放電といった着火源でも着火する可能性があるため、犯人に着火の意思がない不測の事態でも火災が発生する可能性が生じることとなる。

第2に、ガソリンは他の石油系液体燃料に比べ沸点が低い成分を多く含むため、燃焼した場合に燃料が火炎の熱を受けて蒸発する速さ、つまり、可燃性蒸気の供給速度が高いことから、燃焼速度が高いという特徴である。これによって、形成される火災高さが大きくなり、周囲に延焼拡大する危険性が高くなることとなる。

第3に、ガソリンは揮発性が高いことから、発生したガソリン蒸気が拡散し、周囲に可燃性混合気を形成するという特徴である。この

ため、ガソリンが放火を目的に床面に散布された場合には、ガソリン蒸気によって周囲に形成される可燃性混合気の燃焼による火災危険性についても考慮する必要がある。発生したガソリン蒸気が流動拡散することによって、ガソリン散布箇所から離れた不測の場所で着火する可能性が生じるだけでなく、室内など閉閉空間で着火した場合には圧力上昇による破壊を伴う爆燃の危険性が生じることとなる。

次節以降では、ガソリンが放火に使用された場合の火災危険性として、前記の引火性、燃焼性、揮発性について、それぞれ解説する。

3. ガソリンの引火性

(1) 飽和蒸気圧

ガソリンの高い引火性は、その蒸気圧の高さに由来している。ガソリンの飽和蒸気圧(以降、「蒸気圧」と称する)は、JIS規格によって、37.8℃で44 kPa から78 kPa の範囲に規定されており、灯油よりも約100倍高い値となっている。

ガソリンの高い蒸気圧は、始動性を高めるために配合されている石油ガス成分に起因するため、揮発性の高い石油ガス成分が蒸発して失われると、ガソリンの蒸気圧は下降し、その引火性は低下することになる。蒸発の進行によるガソリン蒸気圧 p [Pa] の変化は、蒸発の進行のパラメーターである重量蒸発率^{※1} a と絶対温度 T [K] を用いて以下の式で表される。

$$\ln p = (\alpha_A - \alpha_B/T)a + (\beta_A - \beta_B/T) \quad (1)$$

ここで、 α_A , β_A , α_B , β_B は製品ごとに決まる蒸気圧定数であり、その値の一例を示すと、それぞれ2.51、20.9、2230K、2960Kである²⁾。(1)式を用いることによって、任意の温度、重量蒸発率におけるガソリンの蒸気圧を計算することができる。

※1
重量蒸発率
初期ガソリン重量に対する蒸発ガソリン重量の割合。

(2) 引火点

液体燃料を加熱しながらその表面に引火源を近づけた時に、発火が起こる最低温度を引火点という。引火点は測定方法や装置の違いの影響を受けるため、物質固有の特性値ではないことに注意する必要がある。ガソリンの引火点は、新品の状態で -40°C 以下であることから、常温以下の低温環境でも高い引火性を有する。さらに、重量蒸発率が50 wt%に到達しても引火点は 0°C 以下といわれており、ガソリンは蒸発変性により揮発性成分の多くが失われてもなお引火危険性が高い液体燃料であると言える。

(3) 着火源

ガソリン蒸気を着火させるために必要なエネルギーの最小値である最小着火エネルギーは、およそ $0.2\sim 0.4\text{ mJ}$ と 10^{-4} J のオーダーとなっており、極めて小さい。このため、マッチやライターの裸火はもちろんのこと、赤熱したニクロム線ヒーターなどの高温表面もガソリンの着火源となり得る。また、およそ50 W以上の負荷接続時の電気回路におけるスイッチの開閉時に発生する電気火花でもガソリンの着火源となるとされている。さらに、静電気を帯電した人体が接地導体に触れた場合に発生する静電気放電もガソリンの着火源となる可能性がある。人体の静電容量 C は100 pF程度であるとされていることから、人体の帯電電位 V が3,000 Vとなれば、火花放電のエネルギー $W (=1/2 CV^2)$ は0.45 mJとなり、ガソリンの最小着火エネルギーに相当する。この時の静電気放電は、指先にわずかに感じる程度の微弱なものであるが、人体帯電による静電気放電はガソリンの着火源に十分になり得る。このため、ガソリン蒸気が発生する可能性がある危険場所では、静電気災害の防止対策として、静電気帯電防止靴や帯電防止作業服の着用による作業者の接地と帯

電防止を実施しなければならない。なお、たばこは、灰に覆われた火種部分のエネルギーが微小であること、また、内部が酸欠状態となっており、可燃性蒸気が吸引されても着火できないことから、ガソリンのような可燃性液体や蒸気を着火させることはできない。同様に、線香や赤熱したマッチの軸木など、くん焼^{※2}可燃物も、ガソリンの着火源とはなり得ない。

4. ガソリンの燃焼性

ガソリンのような揮発性の可燃性液体の燃焼は、液体そのものが燃焼するのではなく、火炎の熱を受けて気化した蒸気が拡散しながら空気と混合することによって燃焼する拡散燃焼の形態をとる。したがって、沸点が低い成分で燃料が構成されるガソリンは、燃焼時に気化しやすく、燃料供給速度が高くなるので、極めて燃焼性が高い燃料となる。また、放火を目的にガソリンが散布された場合には、ガソリンが床面の広範囲に広がるために、これに着火するとガソリンが短時間で大量に燃焼するため発熱速度が高くなり、規模の大きなガソリン火炎を形成するため、周囲に大きな火災被害を与えることになる。

ガソリンを床面に散布した場合の液面の液厚は、0.3~0.7 mm程度となることが知られている。液厚0.5 mmとすると、1 Lのガソリンを散布した場合には散布ガソリン液面の面積は 2 m^2 となる。ガソリンの単位面積当たりの燃焼速度は $0.055\text{ kg/m}^2\text{s}$ であることから、単位重量当たりの発熱量である $43,700\text{ kJ/kg}$ と液面の面積を乗じることによって、ガソリンの発熱速度 \dot{Q} [kW] を求めることができる。散布ガソリン火炎の平均火炎高さ L_f は、ガソリンの発熱速度と散布ガソリン液面の直径 D [m] から予測できることが実験的に確認されている³⁾。

※2
くん焼(燻焼)
酸素の供給が不十分なために火炎を形成できないが、炭化した物質表面での燃焼が緩慢に継続する状態のこと。火炎を維持する有炎燃焼に対して無炎燃焼ともいわれる。

$$L_f = 0.23\dot{Q}^{\frac{2}{3}} - 1.02D \quad (2)$$

(2) 式から、室内にガソリンが散布して放火された場合には、ガソリン散布量が500 mLであっても火炎高さが4 mとなることから、天井に到達する火炎を形成する。ガソリンは、燃焼速度が高いために燃焼が継続する時間は20秒程度と短い、火炎が天井に到達すると、天井面に熱気層^{※3}を直ちに形成し、その熱によって室内の可燃物が一斉に燃焼して、室内の燃焼が急激に盛期に到達するフラッシュオーバーを発生することになるので、極めて危険である。

5. ガソリンの揮発性

(1) 蒸発拡散特性

ガソリンは始動性を高めるために、石油ガスが配合されていることから、蒸気圧が高い。蒸発速度は蒸気圧と比例する関係にあることから、ガソリンの蒸発速度は極めて高く、放火を目的に床面に散布された場合には、液面から大量のガソリン蒸気を発生する高い揮発性を示すことになる。新品ガソリンの蒸発速度は、0.5 g/m²s 程度であるが、蒸発により揮発性成分が失われると大きく低下し、蒸発率が10 wt%となると0.3 g/m²s 程度、蒸発率が30 wt%では0.1 g/m²s 程度にまで低下する。ガソリンの散布面積 S [m²] と散布量 w_0 [kg] が既知であれば、時間 t [s] 経過後の蒸発量 aw_0 [kg] は、以下の式で予測することができる。

$$aw_0 = w_0 \ln \{ mnSt/w_0 + 1 \} / n \quad (3)$$

ここで、 m 、 n は蒸発速度定数であり、その値の一例を示すと、それぞれ 4.96×10^{-4} kg/m²s、5.13である⁴⁾。

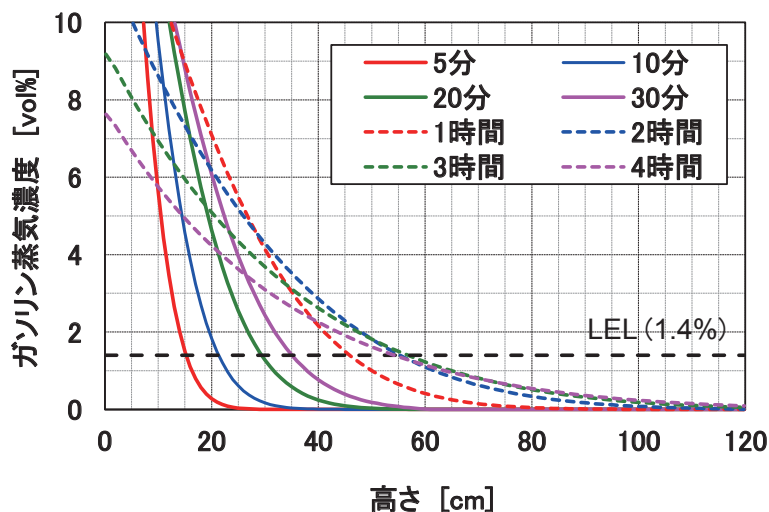
液面から蒸発して発生したガソリン蒸気の密度は、空気の3倍から4倍と空気よりもかなり重いことから、床面にガソリンを散布した場合には発生したガソリン蒸気は床面全体

に急速に広がり、低い位置に溜まる性質がある。また、床面に傾斜や溝がある場合には、空気との密度差に起因する密度流が発生し、速やかに低い方へ流れる性質がある。このため、ガソリンを散布した箇所から離れた思わぬ位置にガソリン蒸気が溜まることがあるので、注意が必要となる。

床面に滞留するガソリン蒸気は、その場に留まっているわけではなく、気体の分子運動によって、濃度が高い床面から濃度が低い上方へ向かって、徐々に拡散する性質がある。この濃度拡散の働きによって、時間経過とともに高さ方向に蒸気濃度分布が生じて、床面から高い位置でも着火する可能性が生じる。放火を目的にガソリンを床面に散布した場合には、発生したガソリン蒸気がまず床面全体に広がり、その後、濃度差によって上方に拡散すると考えることができるため、複雑な密度流は無視することができる。この考えに基づいて、換気回数が毎時0.5回の気温20°Cの室内において床面全体にガソリンを液厚1 mmで散布した場合におけるガソリン蒸気濃度分布の予測結果²⁾を図1に示す。ガソリン蒸気の燃焼下限界 (LEL) は1.4%であることから、3時間経過後には、高さ56 cmまで着火可能性領域が拡がること分かる。こ

※3 熱気層
火炎が天井に到達して天井面に広がった熱い空気は室内の冷たい空気よりも軽いために、室内上部に熱い空気が層状に溜まることになるが、この高温の空気層を熱気層という。

図1 ガソリン蒸気濃度分布の時間変化予測



れ以上の時間が経過すると、ガソリンからの蒸発速度が自然換気により室外に排出される速度よりも低くなるため、濃度が低下するようになる。以上の予測結果から、室内の床面に全体にガソリンを散布したとしても、着火の危険性がある範囲は床面から高さ60 cmまでと考えることができる。

(2) 爆燃危険性

室内などの閉空間に充満したガソリン蒸気に着火した場合には圧力上昇による破壊を伴う爆燃を発生する危険性がある。ここで、ガソリン蒸気の主成分である炭素数4のブタンの燃焼反応について以下に考える。



1 L のガソリン蒸気 (ブタン) は、6.5 L の酸素と反応し、5 L の水蒸気と4 L の二酸化炭素を生じる。つまり、燃焼前にはガソリン蒸気と酸素併せて7.5 Lであったものが、燃焼後には9 Lになるので、燃焼前後で体積が1.5 L増加する。加えて、ガソリン蒸気燃焼時に生じる燃焼熱によって、気体の温度が上昇し、さらに体積膨張する。建物室内など一定容積の空間内で、燃焼生成ガスの体積膨張が起きると、室内の圧力が上昇するため、この圧力上昇が爆風圧になり、爆風圧が建物の破壊強度を超えると爆発が生じることになる。一般に、爆発による圧力上昇が2.1 kPa (約0.02気圧) までは、95%の確率で大きな被害は発生しないとされている⁵⁾。そこで、換気回数が毎時0.5回、気温20℃、天井高さ2.4 mの室内において、床面全体にガソリンを液厚1 mmで散布した場合に発生したガソリン蒸気に着火した場合の爆風圧が2.1 kPaに到達し得るガソリン量を計算すると、床面積30 m²では370 mL、床面積100 m²では1.2 Lとなる⁶⁾。部屋の広さや気温等の条件によるが、1 L程度のガソリンが床面に散布された場合には、時間経過によって爆燃の危険が生じる

と予測される。そのため、ガソリン散布事件においては、発生被害を最低限にとどめるため、できるだけ早期の事案対応が必要である。

6. おわりに

本稿では、放火事件において自動車ガソリンが床面に散布された場合の火災危険性として、引火性・燃焼性・揮発性に着目してそれぞれ解説した。過去の研究結果から、具体的なデータをいくつか示したが、ガソリンは工業製品であることから、製品間で蒸気圧をはじめとする各種燃料特性に違いが存在するという点に留意する必要がある。その上で、今回紹介した各種データが今後ガソリンを取り扱う際のリスクアセスメントに活用していただければ幸いである。

最後に、京都アニメーション第一スタジオ火災において、お亡くなりになられた方々のご冥福を心からお祈り申し上げます。

参考文献

- 1) 総務省消防庁災害対策室：京都府京都市伏見区で発生した爆発火災 (第13報)、2019.
- 2) Okamoto, K. et al. : Induced fire hazard by gasoline spills, Fire Safety Journal, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103112>
- 3) Heskestad, G. : Luminous height of turbulent diffusion flames, Fire Safety Journal, 5, pp.103-108, 1983.
[https://doi.org/10.1016/0379-7112\(83\)90002-4](https://doi.org/10.1016/0379-7112(83)90002-4)
- 4) Okamoto, K. et al. : Changes in evaporation rate and vapor pressure of gasoline with progress of evaporation, Fire Safety Journal, 44, pp.756-763, 2009.
<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2009.03.004>
- 5) 火薬学会 爆発物探知専門部会編：爆発物探知・CBRNEテロ対策ハンドブック、p.78、丸善、2016.
- 6) 岡本勝弘ほか：床面ガソリンから発生するガソリン蒸気とその爆発危険性、第51回安全工学研究発表会講演予稿集、111-114、2018.

おかもと かつお

東京工業大学大学院修士課程修了。1996年警察庁科学警察研究所 法科学第二部 火災研究室に入所。主任研究官を経て、2017年から現職。火災の原因究明、石油系液体燃料の危険性評価、電気火災、自動車火災に関する研究などに従事。工学博士。