

仮置場の可燃性廃棄物の火災予防(第二報) 抜粋

(取り纏め: 国立環境研究所)

- 仮置場に積み上げられる可燃性廃棄物は、**高さ5メートル以下**、一山あたりの**設置面積を200平方メートル以下**にする。また、積み上げられる山と山との**離間距離は2メートル以上**とすること。
 - 5メートルを超過すると、内部の発熱速度 > 表面からの放熱速度となり、蓄熱が促進される危険性があるため。
 - 堆積高さ、設置面積、離間距離を適切に管理することで、火災発生時の消火活動が容易になるため。
- 積み上げられた山の上で作業する**重機の活動範囲を日単位で変更**すること(毎日同じ場所に乗らない)。
- 数週間に1度は**仮置場の堆積物の切り返し**を行い、積み上げたままの状態では長期放置しないようにすること。
- ガスボンベ、ライター、灯油缶、バイク等の燃料を含む危険物や、電化製品、バッテリー、電池等の**火花を散らす廃棄物の混在を避ける**。また、これらを含む可能性のある家電・電子機器等の保管場所と**可燃性廃棄物を近接させない**。
- 降雨が繰り返されることによって、廃棄物層内の温度が上昇することが懸念されるため、**降雨が多い時期には特に注意が必要**。
- 積み上げられた堆積廃棄物の深層温度は、気温よりも1~2か月遅れで上昇することから、**8月を過ぎても少なくとも10月下旬程度までは注意が必要**である。
- 火災予防のモニタリング
 - 最低でも**1週間に1度程度は仮置場の山を巡回視察**すること。
 - 表層から1メートル程度の深さの温度が**摂氏75度を超過していたら危険信号**
 - 表層から1メートル程度の深さの**一酸化炭素濃度が50 ppmvを超過していたら危険信号**
 - 堆積物から出てくる水蒸気が**芳香系の揮発臭がある場合は危険信号**
 - モニタリングは**法肩部、小段部分**を重点的に調査すること。
- 散水による火災防止効果を過度に期待せず、蓄熱しない環境(高さ制限等)や危険物の混入を避ける対策を実施すること。



仮置場の可燃性廃棄物の火災予防（第二報）

震災対応ネットワーク（廃棄物・し尿等分野）

（取り纏め：国立環境研究所）

1. 火災予防策

- ・可燃性廃棄物とは、木くず、畳、シュレッダーダスト、廃タイヤ、廃プラスチック類、粗大ごみ、剪定枝等、ならびにそれらの混合廃棄物である。
- ・仮置場に積み上げられる可燃性廃棄物は、高さ 5メートル以下、一山当たりの設置面積を 200m²以下にする。積み上げられる山と山との離間距離は 2 m 以上とする〔参考〕。
 （なお、カナダの推奨基準では、木材チップに対して高さ 4メートル以下、幅最大 8メートル、全体で 1000 m³以下が規定されている。）
- ・ガスボンベ、ライター、灯油缶、バイク等の燃料を含む危険物や、電化製品、バッテリー、電池等の火花を散らす廃棄物の混在を避ける。また、これらを含む可能性のある家電・電子機器等の保管場所と可燃性廃棄物を近接させない。
- ・積み上げられた山の上で作業する重機の活動範囲を日単位で変更する（毎日同じところに乗って転圧しない）。
- ・数週間に一度は仮置場堆積物の切り返しを行い、積み上げたままの状態では長期放置しないようにする。
- ・目視による観察を毎日行い、放熱による空気の揺らぎや水蒸気が確認された場合には、直ちに 2. で示す方法で温度を確認し、摂氏 40～70 度であれば、その部分の切り返しと置き換えの作業を行う。煙が確認された場合には、消防に連絡すること。
- ・繰り返しの降雨の後には堆積廃棄物内の温度が上昇するため、特に注意が必要である。
- ・堆積廃棄物の深層温度は、気温よりも 1～2 か月遅れで上昇することから、少なくとも 10 月下旬頃までは注意が必要である。
- ・積み上げから撤去までが短期間（数週間）の場合はこの限りでない。
- ・火災が発生したときのために、消火器・防火水槽等の消火手段を準備しておく。

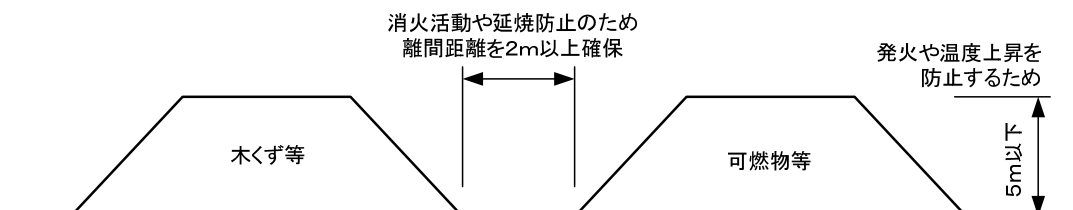


図 1： 理想的な仮置場の廃棄物堆積状況

2. 火災予防モニタリングと異常が発見された場合の対応

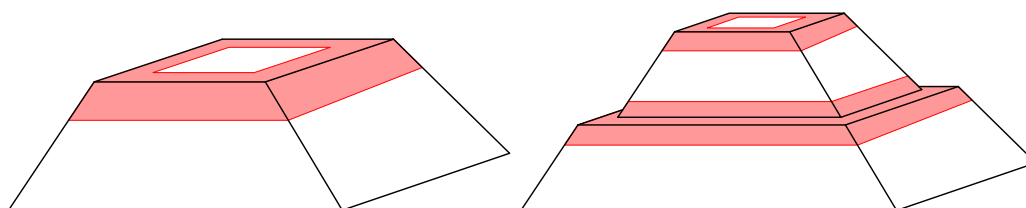
仮置場の巡回を最低でも週に1回程度実施し、下記のいずれか、もしくは、組み合わせたモニタリングを実施することで仮置場の安全性を確保する。

- ・ 表層から1m程度の深さの温度を測定する。
 - 摂氏60度以下であれば微生物発酵のみと考えて良く、火災の危険性はない。
 - 摂氏75～80度以上であれば、化学反応や酸化発熱と共に蓄熱が起きていると考えられ、地中火災が発生する可能性があることから、危険信号と考えて良い。
 - 摂氏80～100度にて温度の上昇は一旦停止するが、これは水分の蒸発（顕熱）によるものであり、水分蒸発が終了すると発火する危険性が高い。法面を土砂等で被覆して酸素の供給を遮断するか、可燃性廃棄物の山の高さを低くするなどの対応が必要。
- ※ 摂氏80度を超過している場合の対応： 不用意な切り返しによって酸素が侵入し、急激に火災発生の危険性が高まる可能性があるため、摂氏80度を超えるときは、法肩部等に覆土を行い、温度が低下するのを待つこと。また、念のために消防に連絡しておくことが望ましい。摂氏70度以下であれば、切り返しや、高さを低くする等の対策を実施可能と判断される。

- ・ 表層から1m程度の深さの一酸化炭素濃度を測定する。
 - 一酸化炭素濃度が50ppmvを超過するようであれば、危険信号と考えてよい。
 - 実際に無炎燃焼が内部で発生している場合、一酸化炭素濃度は数百ppmを超過することが多い。
 - 深さ1mのガス濃度を測定するのは、大気による希釈を防止するためである。
- ※ 一酸化炭素濃度が50ppmvを超過した場合の対応： 深さ1m程度の廃棄物温度を測定し、摂氏70～80度を超過しているかどうか確認すること。温度が80度を超過している場合、上述の通り、不用意な切り返しを行わないこと。また、数百ppmv以上ある場合は、温度が低くても廃棄物層内部のどこかで燃焼がおこっている可能性があるため、詳細な調査を実施してから切り返し等の作業や、覆土の設置等を実施すること。

- ・ 温度計も一酸化炭素濃度計も無い場合
 - 仮置場堆積物の上に上がり、芳香系の揮発臭があるかどうかを確認する。
 - 水蒸気の上昇よりもやや速度の速い蒸気もしくは煙があるかどうか確認する。
 - 別添資料1の仮置場の安全性評価チャート（案）を用いてもよい。
- ※ くすぶったような芳香系の揮発臭がある場合の対応： 地中温度が上昇している可能性があるため、廃棄物層内の温度もしくは一酸化炭素濃度を測定すること。以後の対応は上述の通り、温度、一酸化炭素濃度の測定を実施し、適切な対策を施すこと。

- ・モニタリングする重点領域
 - 法肩部分の最も危険性が高く、法肩から 4m 程度までを重点的に調査する。
 - 小段部分についても空気の流入が大きくなることから注意が必要である。
 - ただし、本重点領域は目安であり、全体的に調査することが望ましい。



a) 小段がない場合

b) 小段がある場合

図 2：仮置場廃棄物における火災発生危険性の高い領域

【米国における廃棄物処分場の地中火災診断】

USFA (United State Fire Administration) の地中火災診断

- 短期間での特異的な沈下があること
- 亀裂等から放出される煙とくすぶったような芳香系の臭気があること
- 一酸化炭素濃度が 1,000ppm 以上であること
 - ※ カリフォルニア州では、100~1,000ppm で火災が疑わしいとして、温度観測が必要とし、10~100ppm では、火災が発生しているかもしれないが、活発な燃焼は発生していないと判断している。
- 放出ガス温度が摂氏 60 度以上あること
- 廃棄物温度が摂氏 75 度以上あること

3. 火災発生メカニズム

- ・可燃性廃棄物の積み上げを開始した初期には、微生物による好気性代謝や化学的な水和反応等によって発熱が生じる。その上にさらに廃棄物を積み上げることで蓄熱が起こる。
- ・積み上げ高さが高くなると、可燃性廃棄物の山の内部が嫌気状態となり、嫌気性微生物代謝によりメタンガス等が発生する。
- ・このとき、作業重機等による荷重圧縮や、5メートルを超過する積み上げによる自重圧縮によって可燃性廃棄物内の嫌気性雰囲気が強まる。5メートルを超過すると、内部の発熱速度 > 表面からの放熱速度となり、蓄熱も促進される。
- ・不飽和脂肪酸（木材からも抽出される）が存在すると、その酸化（二重結合の炭素に酸素が結合）熱により、比較的低い温度でも蓄熱火災（余熱発火）が生じる。

- 不飽和脂肪酸のうち、二重結合の不飽和結合を多く持つものほど発熱しやすい。
- 不飽和脂肪酸のうち、オレイン酸は摂氏 80 度の環境下で 20 時間で発火（余熱発火）し、100 度の環境下では 2.5 時間で発火する。（内田ら：消防科学研究所報 3 号「油脂（脂肪酸）の発熱性について」1966 年）
- ・ この酸化反応による発火が、メタン等の可燃性ガスに引火することで、他に火花の発生等の着火の要因がない場合でも、火災が発生する。
- ・ この時、酸素の供給が不十分だと無炎燃焼（炭焼き状態）となる。無炎燃焼は堆積物の内部で発生し、地中火災となることから煙等が目視されるまで気が付かないことが多い。
- ・ 酸素の供給が十分だと有炎燃焼となる。表層火災となることから直ぐに目視によって確認できる。



a) 地中火災



b) 表層火災

図 3 : 地中火災と表層火災における炎と煙の違い

- ・ 降雨が繰り返されることによって廃棄物層内の温度が上昇することが懸念されるので、降雨が多い時期には特に注意が必要である。

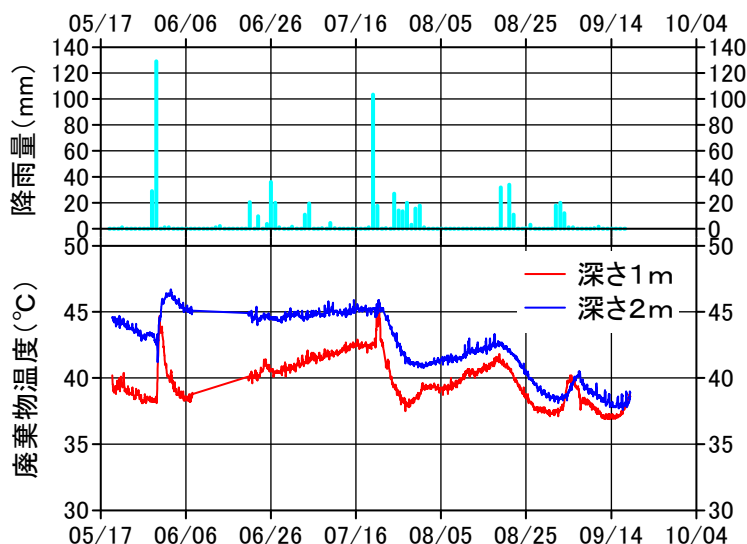


図4：被災県某仮置場における降雨量と堆積廃棄物内の温度の関係

(降雨後に廃棄物温度が上昇する傾向にある。本データは初動時のがれき堆積現場であり、3月より1度も移動していないが、仮置場堆積廃棄物の高さが5m程度であるため、温度の上昇が全体的に抑制されていることも確認できる。)

- ・ 堆積廃棄物の深層温度は、気温よりも1~2か月遅れで上昇することから、8月を過ぎても少なくとも10月下旬程度までは注意が必要である。

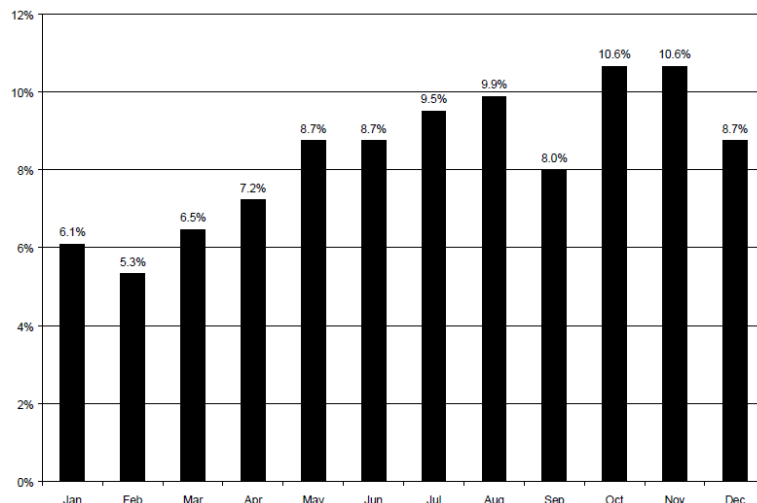


図5：北米最終処分場における月別の自然発火件数の割合

(原典：USFA: LANDFILL FIRES, -Their magnitude, characteristics, and mitigation-, May 2002/FA-225)

4. その他の重要な留意点

4. 1 シート等による被覆について

- ・覆土による窒息消火（大気中の酸素の供給量を減少させ、燃焼を抑制する消火方法）という手法は、堆積物火災の消火時に多用されているが、シート被覆では、大気との遮断を十分に確保できない可能性があり、ガス道ができることで、大気からの酸素の供給が部分的に継続することが懸念される。
- ・また、シート被覆によって表面からの放熱が抑制、蓄熱が促進され、蓄熱火災（余熱発火）が生じる可能性があることから、飛散防止等のためのシート被覆は極力避けることが望ましい。
- ・ただし、堆積した可燃性廃棄物の法面のみをシート被覆することで、飛散防止と酸素の過剰侵入を防止できることから、法面のみシート被覆は有効と考えられる。

4. 2. 散水による火災防止等について

- ・適度な水分（表面が湿る程度）を与えることで飛散防止の効果がある。
- ・過剰な散水の場合、余剰水による浸出水が発生することや、廃棄物層の嫌気性雰囲気が強まるため、過剰な散水を行わないように注意する。表面が湿る程度に抑える。
- ・また、表面からの散水では可燃性廃棄物の山全体に均一に水が浸透しないことから、散水による火災防止効果を過度に期待せず、蓄熱しない環境（高さ制限等）や危険物等の混入を避ける対策の方が確実である。

【参考】

可燃性廃棄物の堆積高さを5メートルに制御するのは、財団法人廃棄物処理事業振興財団編著「不法投棄及び不適正処理現場の対策と技術」p. 80、p. 90の対策工法より引用した。本書籍は不法投棄現場（主に建設系混合廃棄物）を対象としているが、仮置き場の混廃となっている災害廃棄物の組成が建設系混廃となっていることから、同様の対応が適用可能と考えられる。また、高さ5メートル、離間距離2メートルは、容易な消火活動を行う上でも必要な対応である。

災害廃棄物仮置場における堆積廃棄物の安全性評価

(正)遠藤和人¹⁾、(正)高田光康²⁾、(正)山田正人¹⁾

1) 独立行政法人国立環境研究所、2) 大阪湾広域臨海環境整備センター

1. はじめに

東日本大震災のがれき発生量は2,260万トンと推計¹⁾され、その多くが既に一次仮置場へと集積されている。集積された災害廃棄物は混合廃棄物状態である場合が多く、仮置場によっては10mを超える堆積高さとなっていたり、1つの山が広大な面積となっている場合も少なくない。混合廃棄物には、草木類、畳、粗大ごみ、ふとん等綿花類の可燃性廃棄物が混入していることが一般的であるため、不適切に堆積させると火災の危険性がある。さらに、ガスボンベやバイク、ライター類も混入している可能性が高い。以上のことを鑑み、火災、悪臭、衛生問題に着目し、仮置場の適正な管理を目的とした安全性評価について検討した結果をとりまとめる。

2. 堆積廃棄物の発火メカニズム

混合廃棄物の堆積物における発火メカニズムは明確にされていないが、廃棄物組成を考えると不法投棄や不適正廃棄物処分場における発火事例を参考にすることができる。可燃性廃棄物の積み上げを開始した初期には、微生物による好気性代謝や化学的な水和、酸化反応等によって発熱が生じ、その上にさらに廃棄物を積み上げていくことで、放熱量が減少し、蓄熱がおこる。積み上げ高さを高くしていくと、廃棄物自身の自重や、重機が通過することで下層の堆積廃棄物が徐々に圧縮され、さらに放熱が困難となることで蓄熱が促進されていく傾向がある。同時に、空気の侵入道もふさがれるため、内部が嫌氣的になり、悪臭成分が発生したり、嫌気性微生物反応によってメタンガスが生成させる。メタンガスは引火性のガスであることから、適度な酸素濃度を有するガスと混合し、何かしらの点火作用によって発火する危険性が生じる。

発火を防ぐために最も大切なことは、「内部の発熱速度 < 表面からの放熱速度」を維持することであり、この不等号が逆転することによって蓄熱が生じることになる。混合廃棄物の積み上げ高さを5m以下にすることで、発火の危険性を大幅に軽減できることが経験的に分かっている^{2, 3)}。

また、不飽和脂肪酸が存在すると、その酸化(二重結合の炭素に酸素が結合)熱によって、比較的低い温度でも蓄熱火災(余熱火災)がおきると報告されている。不飽和脂肪酸のうち、二重結合の不飽和結合を多く持つものほど発熱しやすく、オレイン酸は摂氏60度の環境下で20時間放置されると発火(余熱発火)し、100度の環境下では2.5時間で発火することが報告されている⁴⁾。この不飽和脂肪酸は木材からも抽出してくるから、混合廃棄物の堆積物の温度を適切に管理することが必要である。

仮に温度が上昇してしまうと、この酸化反応等による発火によってメタンガス等の可燃性ガスに引火することで火災が生じる。この時、酸素の供給が不十分だと無炎燃焼(炭焼き状態)となる。無炎燃焼は災害廃棄物の堆積物の内部で発生する地中火災となることから、水蒸気ではない煙等が目視されるまで気が付かないことが多い。酸素の供給が十分な領域があると、そこでは有炎燃焼となる。有炎燃焼となる場合は、廃棄物表面近傍での火災となるため、目視によって炎を確認することが可能となる。以上は、発火メカニズムの一例であり、全ての発火メカニズムを説明できる訳ではない。

いずれにしても、まずは温度をモニタリングすることが最も判断しやすい管理となる。表層から1m程度の深さで、摂氏60度以下であれば火災の危険性は少なく、摂氏75~80度を超過すると危険信号と考えてよい。深さ1mの温度のモニタリングが困難な場合、一酸化炭素濃度を測定して50ppmを超過するようであれば、危険信号とする考え方もある³⁾。

3. 仮置場の安全性評価チャート

災害廃棄物現場では、堆積廃棄物の温度をモニタリングすることや、一酸化炭素濃度を測定することは、機器類や労力という観点から困難と考えられる。そこで、簡易的に安全性を判断するチャートを作成した(図-1)。山の高さや面積、管理状況、放置時間等の8項目について採点(自己採点も可能)し、その合計点を用いて安全性評価をレベル1~4までの4ステップで実施するものである。レベル1であれば、心配なし、ということで問題なく、レベル4になると、早急な改善が必要となることから、何らかの対策を施し、少なくともレベル2の範囲になるような維持管理を行うことが推奨される。

①高さ②面積は、災害廃棄物の堆積物における発熱と放熱の関係から、蓄熱を防止する観点があり、嫌気性発酵による悪臭や衛生問題等の発生を防止することを目的としている。③可燃物の量について、一次仮置場における堆積物は可燃物のみではなく、金属くずのみを山積みしている事例もある。その場合、このチャート案での採点は0点となり、最も安全側の採点となる。④廃棄物の大きさは、放熱の流路に関係し、大きさが大きければ放熱可能な空隙面積も大きくなることから、蓄熱しにくいと判断される。⑤経過した時間は、蓄熱時間を意味しており、短い期間に山を崩しているのであれば、蓄熱が軽微と判断できる。⑥管理状況は、堆積物を定期的に積み替え(置き換え)することで蓄熱を防ぐ役割を果たす。重機道は、重機が堆積物上の同じルートをいつも通っているかどうかを判定しており、いつも同じルートを通っていると、その下部だけ締固められることで、嫌氣的な状態が作られることに対する懸念を判断している。⑦は危険物であるガスボンベや灯油缶、ライター類の混入であり、土砂が多量に混合している場合は、発火の危険性が減少することから、採点が小さくなるように設定している。⑧は、目視による確認として、水蒸気の発生状況や衛生害虫、悪臭等を定期的に管理しているかを問うものであり、直接的な火災発生にはつながらないが、気を配っているかどうかの確認項目となっている。

これら8項目について確認し、レーダーチャートに線を引くことで、どの部分に注意しなければならないかが、一目瞭然となる。できる限りレーダーチャートの面積を小さくし、かつ丸くすることが、仮置場の安全管理として望ましい姿といえる。

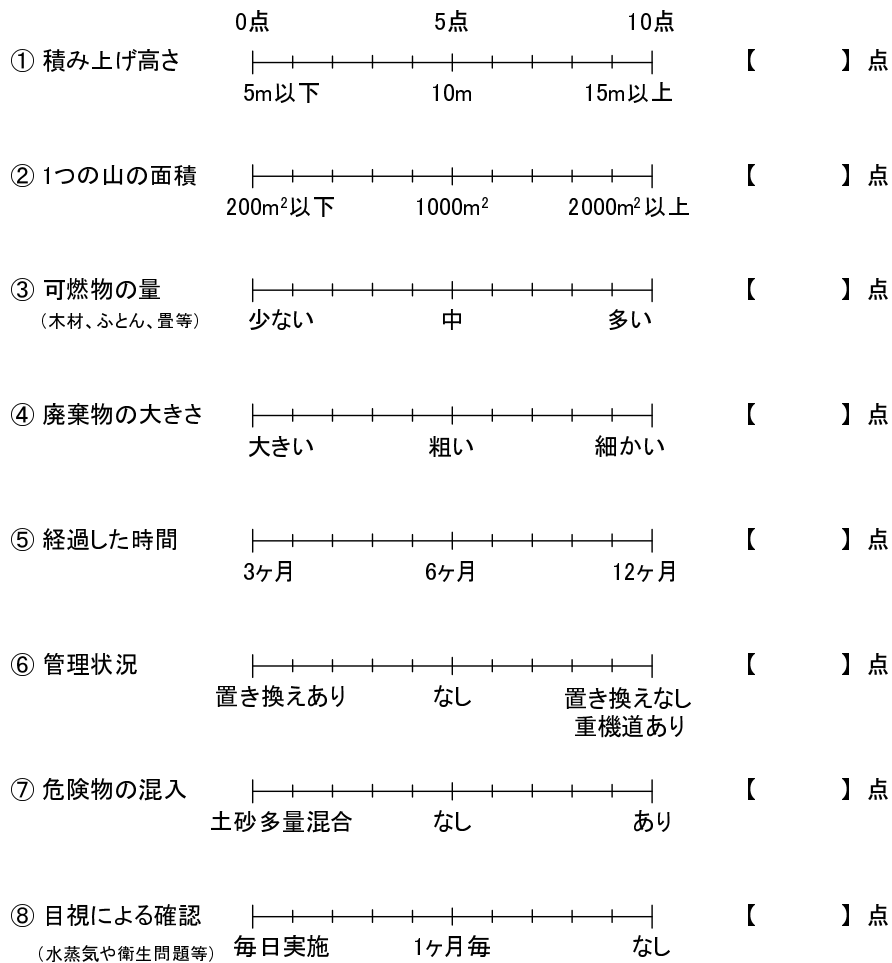
本論では災害廃棄物の仮置場を対象に記述しているが、平常時の不適正保管や仮置残置の堆積廃棄物についても本評価が利用可能と考えられる。

参考文献

- 1) 内閣府: <http://www.cao.go.jp/shien/index.html>, 7月22日(2011)
- 2) 財団法人廃棄物処理事業振興財団編著: 不法投棄及び不適正処理現場の対策と技術、大成出版社、pp. 80-90(2010)
- 3) 独立行政法人国立環境研究所ほか: 火災発生危険を有する堆積廃棄物の消火技術に関する共同研究成果報告書(2008)
- 4) 内田ら: 油脂(脂肪酸)の発熱性について、消防科学研究所報、第3号(1966)

仮置場の安全性評価チャート(案)

下記の指標をもとに仮置場の火災危険度、悪臭、衛生問題の発生危険度を評価する。総合評点で、レベル1(心配なし)からレベル4(早急な改善が必要)までの判定を行う。



≪ 総合評価 ≫

合計点数	レベル	処 置
0 ~ 25	1	心配なし
26 ~ 40	2	注意を継続
41 ~ 60	3	改善が望まれる
61 ~ 80	4	早急な改善が必要

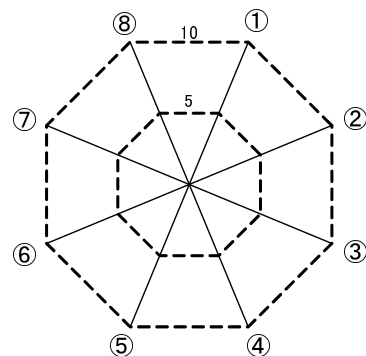


図-1 仮置場の安全性評価チャート(案)