

硫化水素の発生原因について

1. 発生原因

旧厚生省水道環境部が平成12年9月にまとめた「廃棄物最終処分場における硫化水素対策検討会報告書」において、硫化水素の発生原因は次のように記載されており、5つの条件が満足されたときに硫化水素が発生するとされている。

3. 硫化水素(H₂S)の発生原因について

(1) 硫酸イオン(SO₄²⁻)が高濃度で存在すること

硫酸イオンは、自然の土壌によっても供給されるが、高濃度のケースでは、CaSO₄などの硫酸塩を含む廃棄物(廃石膏ボードなど)もその供給源となりうる。

(2) 有機物(硫酸塩還元菌の炭素源)が存在すること

硫酸イオンだけでは硫化水素が硫酸塩還元菌により発生することはなく、炭素源となる有機物が必要である。有機物は自然の土壌等自然界によっても供給されるが、付着・混入した有機性の廃棄物によっても供給される。

(3) 嫌気性の環境であること(酸素が存在しない)

酸化還元電位がマイナスの値となる嫌気性の環境下では、硫化水素が硫酸塩還元菌により発生する。

(4) 埋立層内に水がたまっていたり、たまりやすい状況があること

埋立層内に水のたまる場所があると、嫌気性環境が一層促進。

(5) 硫酸塩還元菌が存在していること

参考文献：国立環境研究所研究報告第188号「安定型最終処分場における高濃度硫化水素発生機構の解明ならびにその環境汚染防止対策に関する研究」

2. 硫酸塩還元細菌

「硫酸塩還元菌」は、嫌氣的(酸素がない)環境で有機物を分解し、そこで生じた電子を用いて硫酸塩を還元する微生物の総称で、この菌の働きにより、硫酸塩は硫化物イオンにまで還元され、硫化水素として発生したり、金属イオンと反応して硫化物を生成したりする。



硫酸塩還元菌は嫌氣的環境に広く分布しており、硫酸塩還元菌が生育している嫌氣的環境は、硫化水素臭や黒色の金属硫化物が認められる。

3. 金属硫化物

金属硫化物は難溶解性で、溶解度積は極めて小さい。したがって、硫化水素が金属塩と接すると金属硫化物の沈殿が生じる(すなわち、下式で反応は左から右へ進む)。一方、金属硫化物が溶解して、硫化物イオンを生じる(すなわち、下式で反応が右から左へ進む)ことはない。

例	反応式	溶解度積
鉄	$\text{Fe}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{FeS}$	$[\text{Fe}^{2+}][\text{S}^{2-}] = 10^{-16.4}$
マンガン	$\text{Mn}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{MnS}$	$[\text{Mn}^{2+}][\text{S}^{2-}] = 10^{-11.6}, 10^{-12.6}$
鉛	$\text{Pb}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{PbS}$	$[\text{Pb}^{2+}][\text{S}^{2-}] = 10^{-27.9}$

「安定型最終処分場における高濃度硫化水素発生機構の解明ならびにその環境汚染防止対策に関する研究」

(独立行政法人国立環境研究所ホームページ (<http://www.nies.go.jp/kanko/kenkyu/pdf/r-188-2005.pdf>))

第6章 総括

1) 高濃度硫化水素の発生機構

硫化水素は、埋立処分された廃棄物に含まれる硫酸塩が、最終処分場内に生息する硫酸塩還元菌による有機物の代謝過程で、硫化物イオン (S^{2-}) に還元されることによって発生する。そして、次のような条件が全て整った場合には、周辺環境に悪影響を与えるほど埋立層内で高濃度の硫化水素が発生する可能性が非常に高くなる。

最終処分場内に硫酸塩還元菌が存在する

最終処分場内に硫酸塩 (S) 源が存在する

硫酸塩還元菌が増殖するに足る有機物源が存在する

硫酸塩還元菌が増殖するのに適当な温度・水分・嫌気の状態が保持されている

発生した硫化水素を捕捉除去する物質が少ない

2) 硫化水素発生ポテンシャルおよび硫酸塩還元菌の増殖条件

安定型最終処分場を模したライシメータ実験の結果、硫化水素の発生条件である硫酸塩源の存在、有機物源、適当な温度・水分・嫌気の状態が揃うことによって高濃度の硫化水素が発生することが確認された。特に、有機物については、廃プラスチック（建設系混合廃棄物由来）に付着した有機物が十分な栄養源となるとともに、石膏ボード自身が有する有機物だけでも十分な栄養源となって高濃度の硫化水素が発生することが明らかにされた。

また、バイアル実験の結果、硫酸塩還元菌の増殖条件としては、嫌気的条件であることに加えて水分の影響が大きいことがわかり、特に水没した状況において、硫化水素が顕著に発生することを明らかにした。

さらに、硫化水素発生簡易判定実験によって、試験対象物の硫化水素発生の有無を短期間で判定する方法（目視判定法）の有効性を明らかにした。すなわち、試験対象物に判定剤（硫酸第一鉄）を混合し、容器内の気相部を窒素パージして恒温培養を行うものである。試験対象物が硫化水素発生能を有する場合は、3～10 日程度で黒色化するため、容易に目視判定が可能となる。

3) 最終処分場における硫化水素による環境汚染防止対策

1) で示した条件が満たされないようにすることで、最終処分場における硫化水素の発生を抑制することが可能と考えられる。しかし、の硫酸塩還元菌は自然界の常在菌であることからその存在をなくすることは不可能である。の硫酸塩源およびの有機物に対しては、これらを含む廃棄物、すなわち硫化水素発生能の高い廃棄物を埋め立てないことが重要な対策となる。すなわち、展開検査によって、硫酸塩を高濃度を含むものや有機物の混入量が多いものの埋立を回避するとともに、バイアル培養による目視判定法によって事前に硫化水素発生ポテンシャルを評価することが有効な対策であると考えられる。特に、石膏ボードはそれ自身で硫化水素発生の原因となるため、埋立を回避することが必要である。

の硫酸塩還元菌の増殖条件については、特に水没した状況において、硫化水素が顕著に発生することが明らかにされたので、埋立地に浸透水が内部貯留しないようにすることが重要である。すなわち、浸透水排除や雨水排除、通気設備による嫌気状態の改善があげられる。また、これらの設備等の機能が保たれるように適切な維持管理を行うことも必要である。の発生した硫化水素を捕捉除去する物質については、硫化水素と反応して捕捉しやすい遊離鉄等を多く含む土材を覆土材等として用いることが有効である。これらの土材は地域差はあるものの自然土壌に含まれているため、比較的 low コストでの対策が可能と考えられる。

既存の安定型最終処分場については、石膏ボードやある程度の有機物が埋め立てられていることが多いと考えられる。これらの処分場で浸透水を内部貯留しているような場合や、すでに黒い水が発生しているような場合は、硫化水素の発生の可能性が高いものと考えられる。そのため、できるだけ水分の内部貯留を回避するように雨水排除等の対策を行うことが必要となる。

以上のような防止策を講じても硫化水素が発生した場合には、硫化水素は毒性の強いガスであることを念頭におき、まず作業員の安全確保を図るとともに、周辺住民等への健康被害防止を図る必要があり、その後に発生抑制対策を行う。発生抑制対策としては、できるだけ水分の内部貯留を回避するように雨水排除等の対策を行うとともに、硫化水素を捕捉除去し易い遊離鉄等を多く含む土材を覆土材等として用いることが有効である。