



背景

廃棄物の熱処理における金属回収は近年注目されており、金については灰の分級や加熱による回収法が提案されている。今後の発展のためには、金属の高温挙動について理解を深めることが有効である。本研究では、金の高温下の揮発特性を試算するための金化合物のデータベースを整備し、廃棄物の熱処理を想定した熱力学平衡計算に適用した。

計算のためのデータベース整備

廃棄物の熱処理において想定される金の化合物形態：
 単体または合金の金、ハロゲン化金（塩化金）、硫化金、スラグに分配
 SGTEデータベース 実測データが不足

□ 塩化金

固体：塩化金(I)と塩化金(III)

液体：塩化金(I)

蒸気種：Au₂Cl₂およびAu₂Cl₆ [1,2]

⇒塩素ガス雰囲気下における金塩化物の平衡分圧[1]（右図）が測定されているため、それらを再現するようにデータベースを調整した。

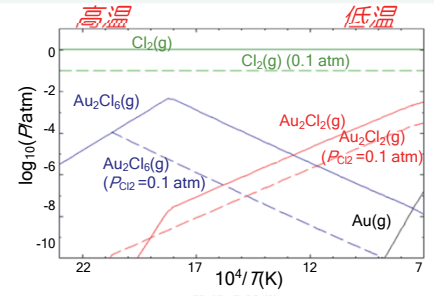
□ 硫化金

固体：Au₂S [3]

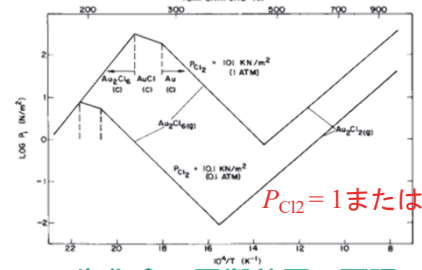
液体：文献情報なし

気体：AuS [4]

⇒市販データベースを使用



計算値



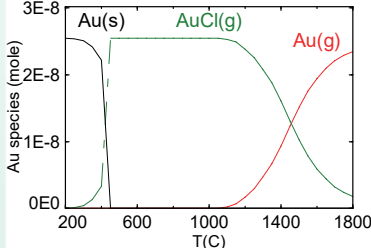
文献[1]

塩化金の平衡分圧の再現

廃棄物の熱処理における挙動

廃棄物+空気の系の金の平衡計算結果

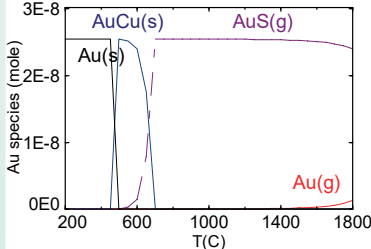
酸化雰囲気 (空気比1.5)



□ 常温~400°C：雰囲気によらず金属金の固体が熱力学的に最も安定

□ 850~：酸化雰囲気では気体として金の蒸気 (Au(g)) と微量の塩化金 (Au₂Cl₂(g))、還元雰囲気では金蒸気その他、硫化金 (AuS(g)) (Sを含む場合) の形態が安定に存在できる

還元雰囲気 (空気比0.5)



FactSage(Ver7.2) (gtt-technologies) による試算
 計算に用いた廃棄物の組成：文献[6]より引用（主要成分+金）

まとめ

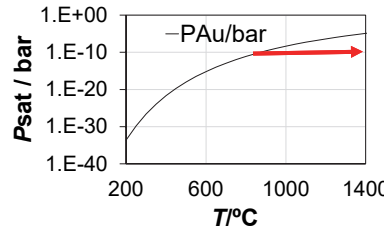
□ 高温では金は蒸気として揮発する。還元雰囲気では硫化金として揮発する可能性がある。

□ 塩化揮発には高濃度の塩化水素が必要（右の例ではガス中の濃度1~2%以上）だが、純金では揮発しない温度でも、塩化金の蒸気として存在できる可能性がある。

金を揮発させるための条件の試算

廃棄物1 kgに対して空気5 m³_N、金含有量0.004 mg/kgの場合、金が全て揮発すると、その分圧は最大10⁻¹⁰ atm
 ⇒金の蒸気圧または化合物の平衡分圧 > 10⁻¹⁰ atmとなる条件ならば、理論上は金が全て揮発することが可能

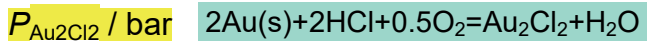
金 (単体) の蒸気圧



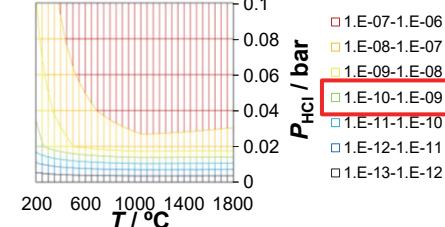
□ 900°C以上であれば、塩素量にかかわらず金は全て揮発することが可能

※含有量が本想定より多い場合、空気が少ない場合、空気と固体の接触が少ない場合は、固体または液体の金としても残留

金の塩化揮発による塩化金 (I, III) の分圧



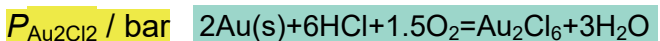
($P_{H_2O}=0.3, P_{O_2}=0.15 \text{ bar}$)



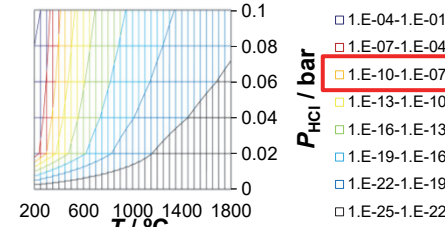
□ HCl分圧0.01barで Au₂Cl₂の分圧(600-1800°C)=10⁻¹⁰ bar

⇒600~900°Cは、金の蒸気はあまり揮発しないが、気体状の塩化金としては存在できる

$K = (p_{Au_2Cl_2} \cdot p_{H_2O}) / (p_{HCl}^2 \cdot p_{O_2}^{0.5} \cdot a_{Au}^2)$



($P_{H_2O}=0.3, P_{O_2}=0.15 \text{ bar}$)



□ HCl分圧0.02barで Au₂Cl₆の分圧(200-400°C)=10⁻¹⁰ bar

⇒200~400°Cは、金の蒸気は揮発しないが、気体状の塩化金としては存在できる

$K = (p_{Au_2Cl_6} \cdot p_{H_2O}^3) / (p_{HCl}^6 \cdot p_{O_2}^{1.5} \cdot a_{Au}^2)$

引用文献 [1] James, S. E., & Hager, J. P. Metal. Trans. B, 9, 501-508 (1978). [2] Hargittai, M., et al., J.Am.Chem.Soc., 123 1449-1458 (2001). [3] Gurevich, V. M. et al., Thermochem. Acta, 412, 85-90 (2004). [4] Kokkin, D. L., et al., J. Phys. Chem. A, 119, 11659-11667 (2015). [5] Han, Y. S. et al., Metal. Mater. Trans. B, 46, 2449-2457 (2015). [6] 倉倉宏史 環境研究総合推進費 3K143007総合研究報告書