

【技術分類】 1 - 8 - 1 単位操作 / 析出 / 凝析

【技術名称】 1 - 8 - 1 - 1 アルカリ凝析法（硬水軟化）

【技術内容】

水中に溶解している成分を不溶化して分離する処理を凝析と言う。溶解している重金属イオンの多くは石灰 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、水酸化ナトリウム(NaOH)等のアルカリ剤を添加し pH を上昇させると難溶性の水酸化物、炭酸塩として析出する。この析出現象を利用する操作をアルカリ凝析と呼ぶ。

代表的な凝析処理としては、水中の硬度成分の主体をなすカルシウム等の除去、つまり硬水軟化がある。水中のカルシウム、マグネシウムイオンは脂肪酸ナトリウム（またはカリウム）と反応し、脂肪酸カルシウムやマグネシウムとなる。これが、硬度の高い水が石けんの泡立ちを悪くする原因でもある。

硬水をボイラ用水に使用するとボイラにスケールが発生する理由から軟水を必要とする場合が多い。日本の水の場合総硬度は 50mg/L as CaCO_3 程度であり、硬水が極めて少ないが欧米諸国では硬水の例が多く、硬水軟化処理が行われている。

硬水軟化法には、アルカリ凝析法以外にも錯塩法、イオン交換法などがある。

水中に溶解した重炭酸カルシウム $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 、重炭酸マグネシウム $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ に石灰を添加すると、重炭酸カルシウムの一時硬度は沈殿除去される。この方法を石灰軟化法という。更に過剰に石灰を加えると重炭酸マグネシウムの一時硬度も除去される（過剰石灰軟化法）。

これらの反応は pH10 以上で行われるため、処理水は pH を低下させる必要があり、再炭酸化処理（通常炭酸ガスを吹き込み炭酸カルシウムを生成させて pH を低下させる操作）を行う。

効果的な軟化を促進するためには、水と薬品とがすでに析出した固形物と十分に接触することが必要であり、急速、緩速攪拌槽、沈殿池の代わりにスラリー循環型の装置が多く使用されている。日本ではアクセレータとして知られる除濁用のスラリー循環型の高速凝集沈殿池は欧米では硬水軟化装置として使用されている。

【図】

図 硬水軟化フロー

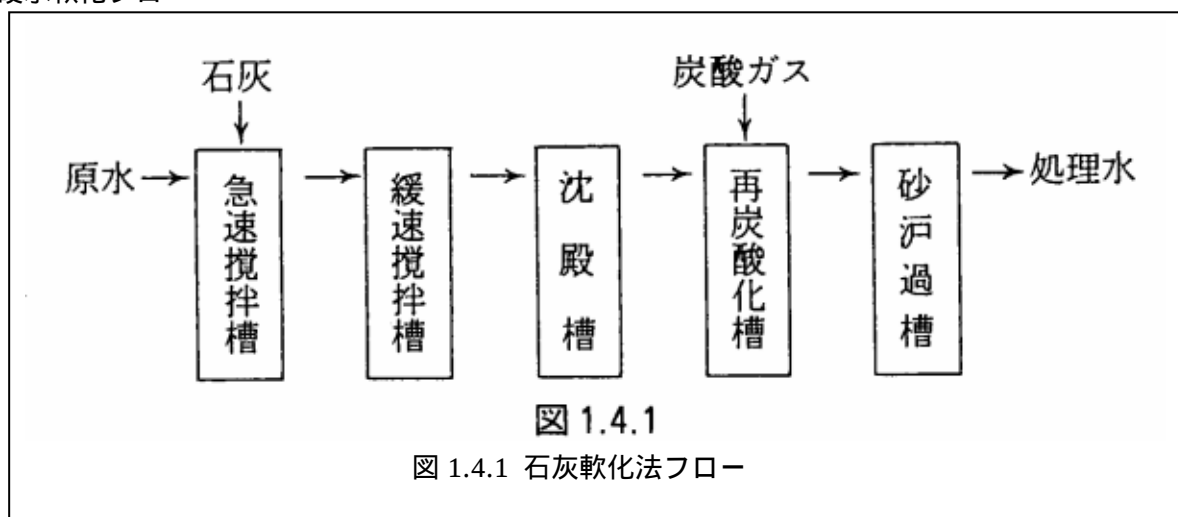


図 1.4.1 石灰軟化法フロー

出典：造水技術ハンドブック、1993 年 5 月 10 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、37 頁 図 1.4.1 石灰軟化法フロー

【出典 / 参考資料】

「造水技術ハンドブック」、1993 年 5 月 10 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、36 - 38 頁

【技術分類】 1 - 8 - 1 単位操作 / 析出 / 凝析

【技術名称】 1 - 8 - 1 - 2 酸化法（塩素、過マンガン酸）

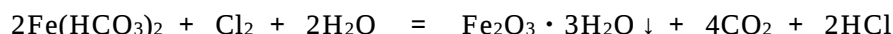
【技術内容】

酸化剤による不溶化現象を応用した凝析による不純物の処理の事例として、塩素による鉄の除去と過マンガン酸によるマンガンの除去がある。

鉄の酸化物は 2 価、3 価のものがおり、2 価の鉄イオンは中性付近で水によく溶けるが、酸化剤により比較的速やかに 3 価の鉄となり不溶化する。従って 2 価の鉄イオンを含む地下水などの場合、酸化剤を添加して 3 価の鉄に変えると容易に析出して、凝集沈殿ろ過等の処理で除去できる。

塩素は pH の影響をほとんど受けることがなく、2 価の鉄の強力な酸化剤として働くため塩素酸化除鉄法が一般的である。

塩素による酸化の反応式は下記となる。

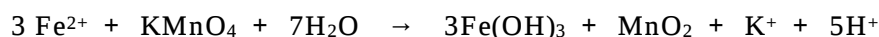


Fe^{2+} を完全に酸化させるには理論的には Fe 1mg / L に対し Cl_2 0.64mg / L で足りるが、通常用水で瞬時に酸化させるには $\text{Fe} : \text{Cl} = 1 : 1$ が必要とされている。

pH9 以上のアルカリ性領域ではマンガンイオンは空気等により酸化されやすくなり溶解度の低い水酸化第二マンガンを生成する。しかし、中性付近では、酸化剤の添加が必要である。マンガンは鉄よりも酸化されにくく、塩素単独による酸化では長時間を必要とするために酸化剤としては過マンガン酸カリウムが一般的であり、反応は下記となる。



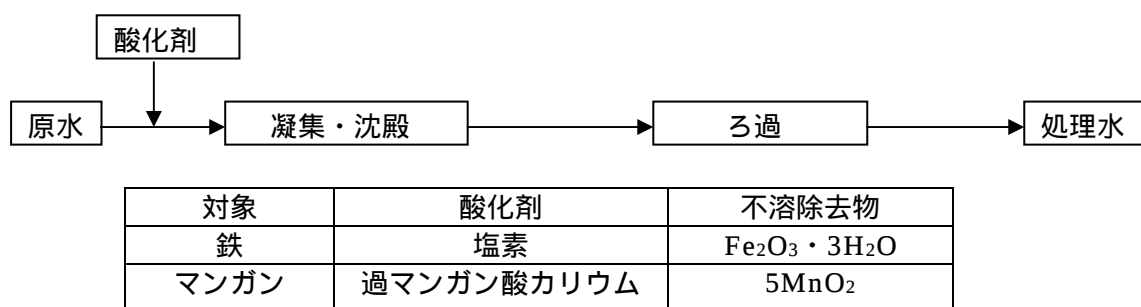
Mn^{2+} 1mg / L に対し KMnO_4 は 1.92mg / L 必要であるが、 Fe^{2+} が共存する場合は更に



となり、 Fe^{2+} 1mg / L に対し KMnO_4 は 0.94mg / L 必要となる。

【図】

図 酸化ろ過フロー



出典：本標準技術集のために作成

【出典 / 参考資料】

「造水技術ハンドブック」、1993 年 5 月 10 日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、36 - 40 頁

【技術分類】 1 - 8 - 1 単位操作 / 析出 / 凝析

【技術名称】 1 - 8 - 1 - 3 接触ろ過法（除鉄、除マンガン）

【技術内容】

接触ろ過法による、除鉄、除マンガンも浄水処理では使用されている。

地下水のように酸素を含まない水中の Fe^{2+} の除去には曝気による酸化方法があるが、水中の Fe^{2+} イオンは曝気による所要酸化時間が長く、また水中に溶性ケイ酸が 30mg/L 以上含まれている場合は酸化で生じた水酸化鉄の粒子がきわめて微細で凝集沈殿処理を困難にする。

接触ろ過法による除鉄操作は、曝気により溶存酸素を与えられた地下水等の原水を Fe^{2+} が酸化されないうちにオキシ水酸化鉄 (FeOOH) を被着された除鉄ろ材層を通水させる。 FeOOH ろ材層内では短時間のうちに FeOOH 表面で Fe^{2+} と O_2 が反応して新しく FeOOH を析出し、これが既成の FeOOH と一体となって結合し、 Fe^{2+} が除去される。つまり、 FeOOH は自触媒として作用する。

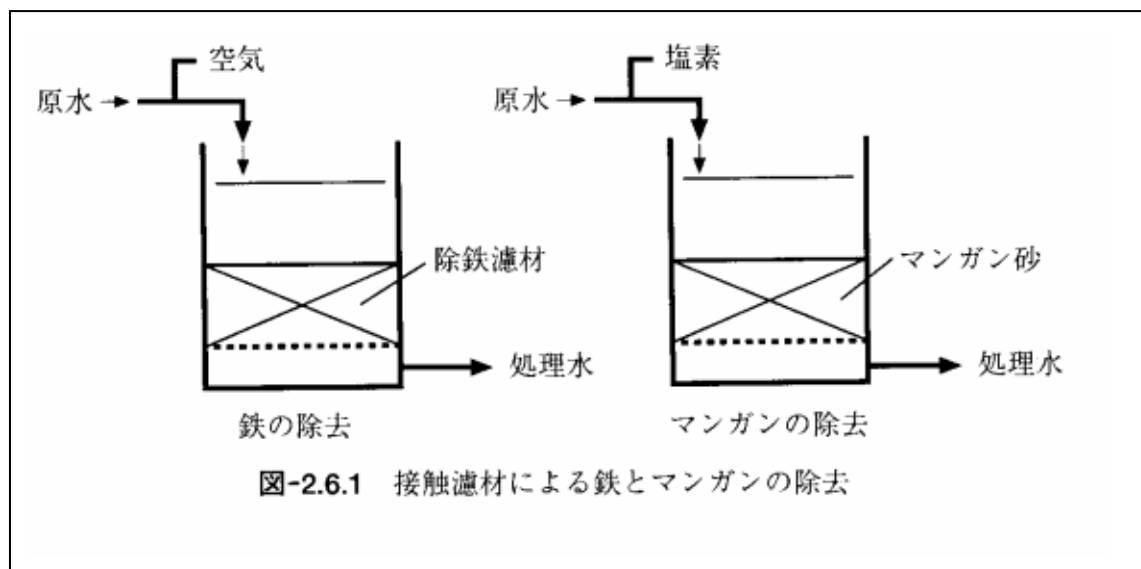
接触ろ過法による除マンガン操作は、原水に塩素を常時連続的に注入し、水和二酸化マンガンをコートしたろ材層(マンガン砂)を通水させる。水和二酸化マンガンの酸化自触媒反応により、原水中のマンガンイオンはマンガン砂表面で接触酸化され除去される。



$\text{MnO}_2 \cdot \text{MnO} \cdot \text{H}_2\text{O}$ は、非水溶性でかつ不溶性となり除去される。マンガンイオンと接触したマンガン砂の被覆 ($\text{MnO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) は、 $\text{MnO}_2 \cdot \text{MnO} \cdot \text{H}_2\text{O}$ となり、接触酸化能力を失うので塩素により接触酸化能力を復活させる必要がある。

【図】

図 接触ろ過フロー



出典：水処理薬品ハンドブック、2003年10月25日、藤田賢二著、技報堂出版株式会社発行、74頁
図 - 2.6.1 接触ろ材による鉄とマンガンの除去

【出典 / 参考資料】

「造水技術ハンドブック」、1993年5月10日、造水技術ハンドブック編集企画委員会編、財団法人造水促進センター発行、36 - 40頁

「水道施設設計指針」、2000年3月31日、水道施設設計指針改定委員会著、社団法人日本水道協会発行、332頁