

図 5.9：二床三搭式イオン交換水製造装置の原理

5.1.2 RO 処理

ROとは逆浸透 (Reverse Osmosis) のことで、水だけを透過し、溶存成分は透過しない膜 (浸透膜) を用いて溶存成分を除去する処理法である。そのメカニズムを図5.10に示す。浸透については左の図のように、塩類濃度の高い水と低い水をこの膜で隔てて共存させると、水が塩類濃度を薄めようとして高塩類濃度の水側へ浸透して水位が上昇し、高濃度側と低濃度側に水位の差が生じる。この水圧の差が浸透圧である。逆に右の図のように高塩類濃度水側に浸透圧以上の圧力を掛けると、高塩類濃度水側から水だけが低濃度水側に浸透して出て行く。すなわち、高塩類濃度水から塩類を含まない浸透水が得られる。これが逆浸透である。

この原理を利用して、溶解成分を除去するのがRO処理である。

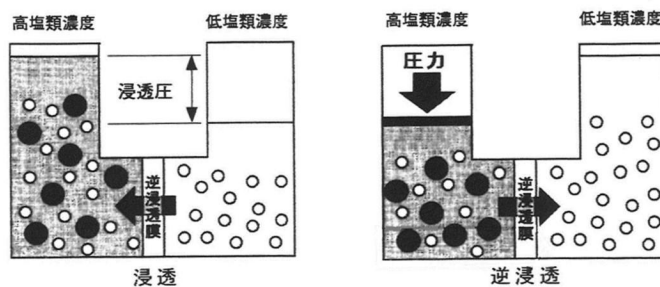
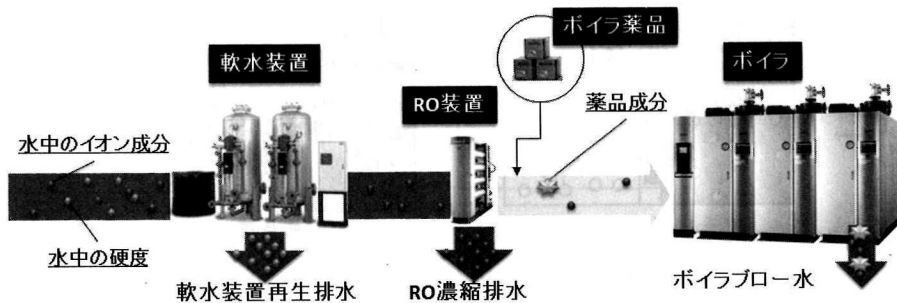


図 5.10：逆浸透膜の働き

RO装置の浄化性能には、長所と短所がある。長所は二つで陽イオンと陰イオンが同時に除去できることと、イオン交換樹脂では除去できない有機物、細菌類なども除去でき、食品分野では好都合である。短所は三つで、塩類の除去性能がイオン交換樹脂より処理量が劣り、イオン成分が若干混入すること、逆浸透膜の汚染防止（目詰り）のため、原水の前処理（ろ過など）が不可欠であること、及び採水中も濃縮排水が生ずることである。

なお、この処理ではボイラー水のpH上昇に有用な酸消費量（pH4.8）の成分なども除去されるので、注意を要する。このため、軟化水と混合して望ましい水質に近づける方法も用いられている。図5.11にRO装置による処理法の例を示す。塩化物イオンなどを高濃度に含む地下水を利用する場合など、この処理は効果がある。

RO装置処理水のみ（RO水方式）



軟水と混合（RO水+軟水ブレンド方式）

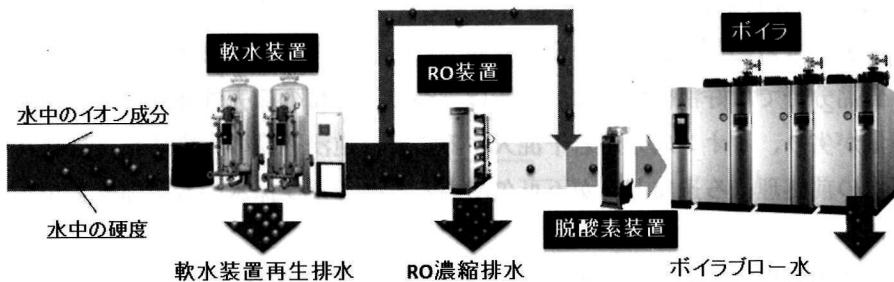


図 5.11：RO 装置による処理方法の例

5.2 脱気（酸素除去）

溶存酸素の除去は、腐食防止を目的に行うもので、物理的処理と、薬品による化学的処理がある。

これらの方法は単独で用いることは少なく、実用的には併用することが多い。

5.2.1 物理的脱気

物理的脱気には次のように、加熱脱気、膜脱気、窒素置換の三つの方法が使われている。

① 加熱・真空脱気法

水温上昇に伴う溶存酸素の溶解度低下を利用

② 膜脱気法

気体（酸素、窒素、二酸化炭素など）だけを透過する気体分離膜を利用

③ 窒素置換法

水に窒素を吹き込み、溶存酸素を放出

その配置については、図5.12のように給水タンクの前か後に設置されている。

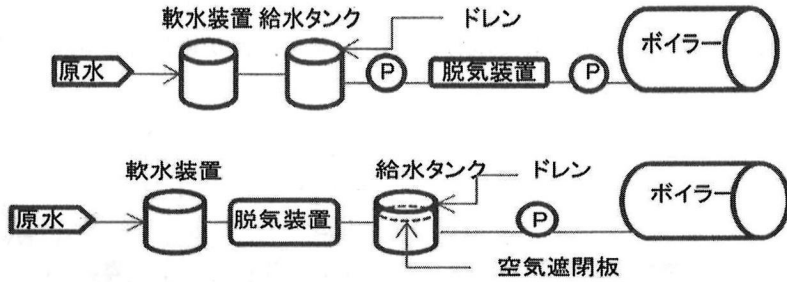


図 5.12：物理的脱気装置の配置の例

5.2.2 加熱・真空脱気法

給水温度を上昇させることによって酸素の溶解度を下げて溶存酸素を除去する方法である。図5.13は、水温と酸素の溶解度との関係を示している。水温が上昇すると酸素の溶解度が低下している。つまり、水温を上昇させることによって水中に溶けきれなくなった酸素が遊離する。特に水温が沸点に達すれば、溶存酸素は全て気化する。これを利用しているのが加熱脱気である。また、同様に給水温度に相当する飽和圧力まで圧力を下げ（真空にする）れば、水は沸騰するので、脱酸素することができる。これが、真空脱気装置である。

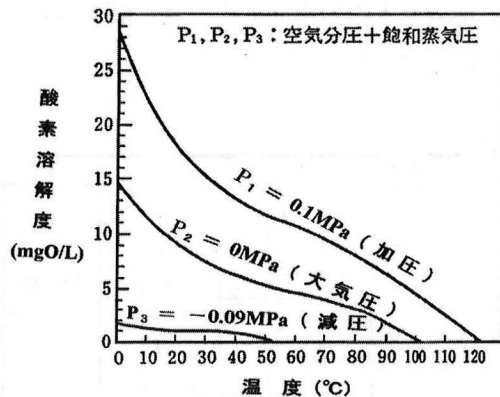


図 5.13：水中の酸素の溶解度と温度・圧力の関係

5.2.3 膜脱気法

膜脱気法は、水と真空の間を気体分子だけを透過する膜が隔てていることが特徴である。この膜の材質は水は通さず、気体だけを透過する高分子膜である。装置は、膜の表面積を稼ぐために、直径0.2 mm程度のストロー状の中空糸毛管を数万本束ねた、モジュール構造をしている。膜で隔てられた気体側を減圧することで溶存気体を除去する。

モジュール構造は、図5.14のように、内側に水を流し、外側を真空ポンプで減圧にして、溶存気体を減圧側に吸引して取り除く。内側と外側が逆になる例もある。

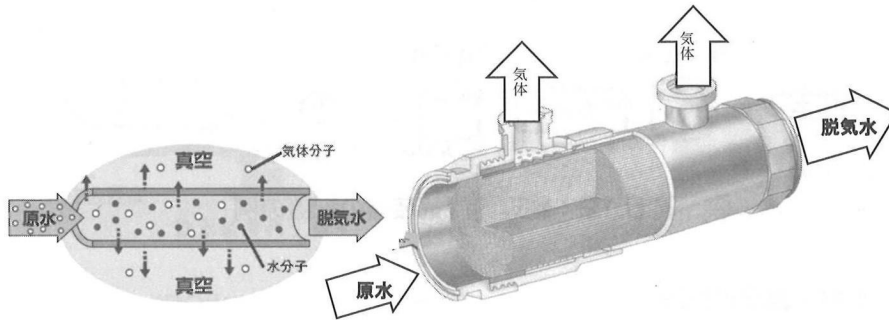
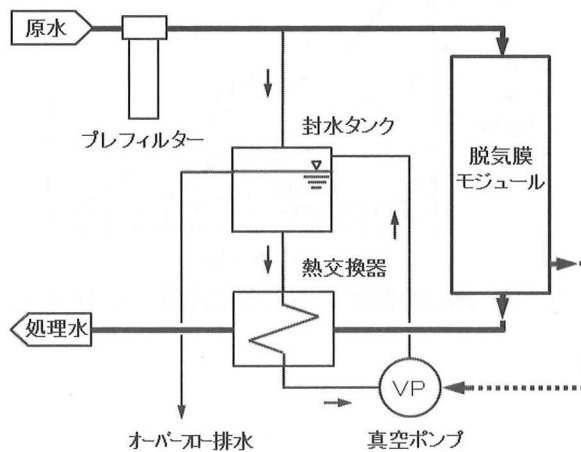


図 5.14：中空糸脱気膜による脱気の原理とモジュール構造の例

図5.15は膜脱気装置の概略の一例である。太い線が水の流れて、脱気性能は $0.5 \text{ O}_2\text{mg/L}$ である。

中空糸は目詰まりしやすいので、プレフィルタで懸濁状成分を事前に除去するようになっている。

また、真空ポンプには冷却水が必要であるが、中空糸は高温に弱いので、冷却水は、脱気膜モジュールに入る前の原水を使用せず出た後に設置された熱交換器により処理水で冷却され、真空ポンプに供給される。



脱気性能 $0.5 \text{ O}_2\text{mg/L}$ 以下

※小型貫流ボイラー及び給湯系の脱酸素用として用いられている。

図 5.15：膜脱気装置の概略的なフローの一例

5.2.4 窒素置換法

窒素置換法は、水に窒素を吹き込んで酸素の分圧を下げることによって溶存酸素の溶解度を下げるメカニズムによるものである。溶解度と気相の酸素の分圧との関係は図5.16のようにヘンリーの法則に従っており、20℃の場合、大気と接する水は8.84mg/Lの酸素を溶解している。工業用の窒素（99.9%）は、酸素分圧が大気の210分の1であるので、この窒素で脱気した水の溶存酸素は0.0421mg/Lとなる。しかし、実際には時間と脱気プロセスに限界があり、理論値よりは高目の濃度に留まるのが普通である。

実用面で必要な窒素の量は、基本的には、窒素量と処理水量の比率（気液比）が0.1～0.3なので、処理水量10m³/h当たり窒素量は、1～3m³/hとなる。また、排気窒素は、酸素含有量が増加し、窒素の純度は十数%低下するが、溶存酸素を一次除去した給水タンクのシールガスとして利用される。

装置の概要の一例を図5.17に示すが、水と窒素を混合するミキサーが直列2塔のものである。この方法は給水の汚れに強く、構造が簡単でメンテナンスが容易なのが特徴である。

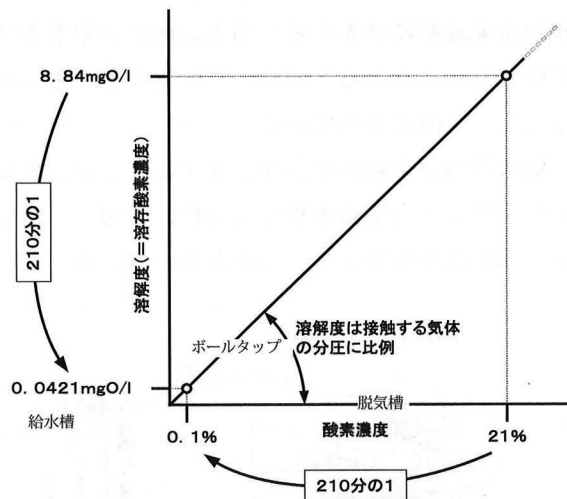


図 5.16. ヘンリーの法則を説明したグラフ

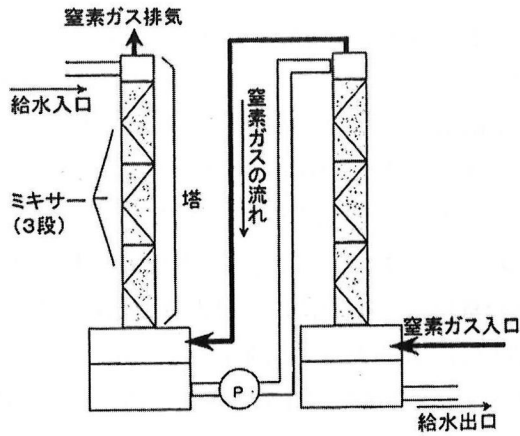


図 5.17：窒素置換脱酸素装置のラインミキサーの構造例

図5.18に窒素置換式酸素除去装置の例を示す。

PSA（Pressure Swing Adsorption：圧力変動吸着）装置によって空気中から得られた窒素をボイラー給水の循環経路に注入する。給水に触れる窒素の濃度が高くなると分圧の影響で、窒素が水中に取り込まれると同時に、酸素などの水中に含まれる他の気体は気層へ押し出されることで脱酸素されていく。

この装置の例では、給水槽内は余剰の窒素が存在することで、大気中の酸素の再溶解が防止されている。また、タンク内を給水槽と脱気槽に仕切ること、常に脱酸素された処理水だけがボイラーへ供給されるシステムがとられている。

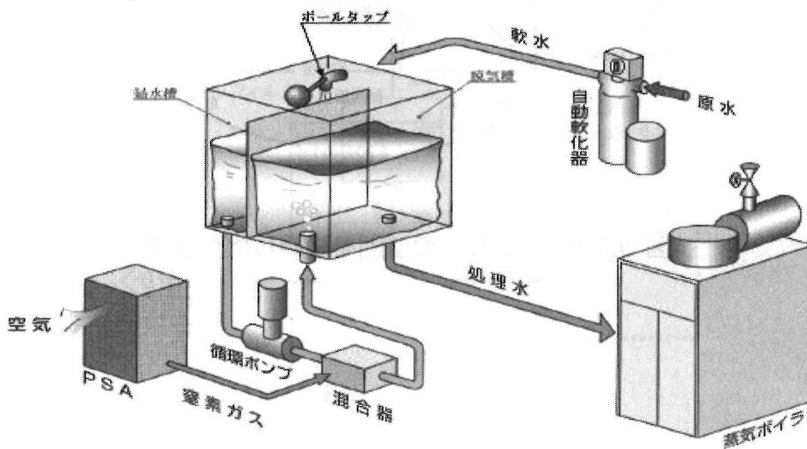


図 5.18. 窒素置換式酸素除去装置の例