

深冷空気分離

100年以上前から使われる エアセパレートガス製造の基幹技術

深冷空気分離とは、大気を原料とするエアセパレートガス（酸素・窒素・アルゴンなど）を製造するのに用いられる産業ガス製造技術の一つである。同技術を用いた深冷空気分離装置（ASU、Air Separate Unitの略）は、99%以上の高純度かつ大量（1000Nm³/h以上）の酸素、窒素、アルゴンを製造できる。一つのプロセスで酸素、窒素、二つのガス製品を製造できる。

深冷空気分離技術は、19世紀終末、欧州で技術確立され、1902年にドイツ、フランスでそれぞれ装置化され、そこからわずか5年後の1907年には日本にも20m³/hの酸素発生装置が輸入されている。1934年には、日本酸素と神戸製鋼所が国産化に漕ぎつけている。それから100年余り経過した現在も深冷空気分離は、産業ガス事業の根幹を成すエアセパレートガス製造の主力として使われ続けている。

気体成分の沸点差を利用して 分離・精製

同技術は、気体成分ごとに異なる「沸点（液体が気体に変化する温度）」の差を利用して、分離・精製するもので、（別表「空気の構成成分と沸点」参照）。空気内に微量に存在するレアガス（ネオン・クリプトン・キセノン）や同位体の分離も可能となる。

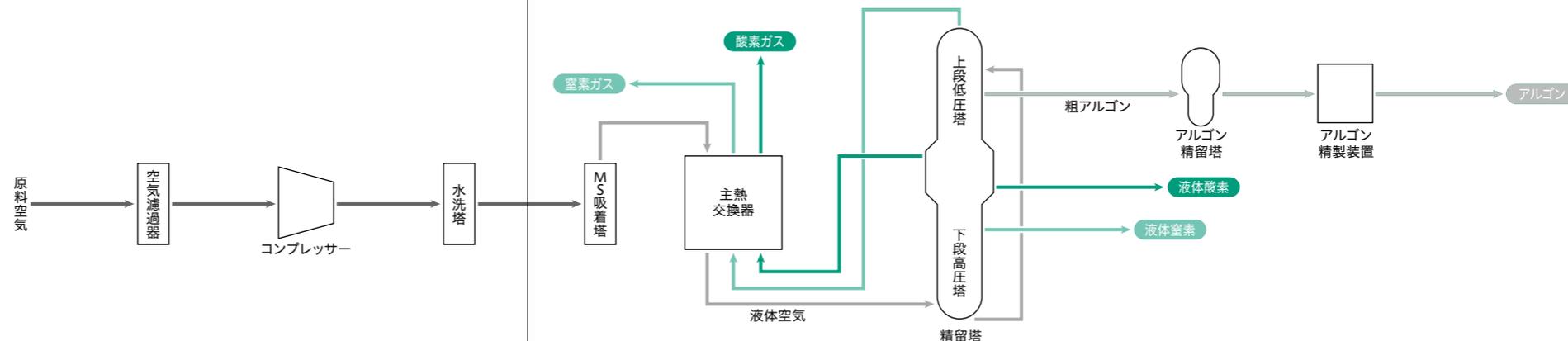
深冷空気分離装置は、原料空気圧縮機、MS吸着塔と呼ばれる空気前処理（不純物を除去する装置）、熱交換器、精留塔などのプロセス機器からなる複合装置である。製造するガス種（ガス体、液体）や流量に応じて、上記プロセス機器のス

ペックを最適になるよう組み合わせている。従って、深冷空気分離装置は、個々のプロセス機器の性能だけでなく、最適化を図るエンジニアリング力が問われる装置といえる。

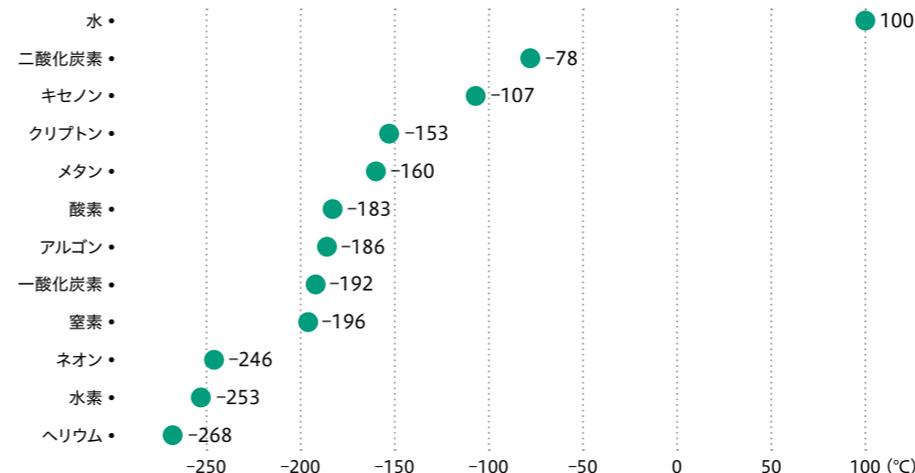
具体的な酸素、窒素の製造プロセスは、①原料空気をフィルターを通してゴミを取り除き、②圧縮機で後の液化に必要な圧力・約0.5MPaまで加圧、③加圧によって約80℃まで上昇した温度を水洗冷却塔で約10℃まで予備冷却し、④低温で固化すると配管が詰まる原因となる水分や炭酸ガスをMS吸着塔（MS＝モレキュラーシーブ、吸着剤）にて吸着除去、⑤熱交換器で-200℃程度の極低温まで冷却することで液化したあと、⑥精留塔に導入して蒸留することで酸素と窒素に分離するという流れとなる。

-200℃近傍の環境を保つため、圧縮から精留までの一連のプロセスは「コールドボックス」と呼ばれる断熱保冷庫のな

深冷空気分離法のフロー



空気の構成成分と沸点



かで行われる。なお、液体のまま酸素と窒素を取り出すことも可能だが、大量に取り出してしまうとプロセス全体の効率を悪化させてしまうことから、ガスと液化ガスを併産する場合は、ガスを液化する装置（液化機）を別途導入して製造を行っている。

アルゴンについては、酸素に近い沸点（-185℃）を持つため、まず酸素の分離ポイントにあるガス（酸素90% / アルゴン10%）を粗アルゴンとして取り出し、その粗アルゴンを専用の精留塔に供給して再度精留を行うことで、高純度なアルゴンが得られる仕組みとなる。ただし、本誌2-3の主要ガス別解説「アルゴン」の欄でも述べたように、大気中に1%という含有量の低さから、酸素発生量5000Nm³/h以上のASUないと設備費が嵩み収益性が悪化してしまう。

レアガスについて、ネオンは沸点が-246℃と窒素よりも低く、クリプトン（同-153℃）とキセノン（同-107℃）は酸素よりも高い。そのため、ネオンは初めに窒素ガス中に含まれる粗ネオン（ネオン75% / 水素5% / ヘリウム20%）を取り出し、さら

に専用の精製装置で粗ネオンから水素とヘリウムを除去することで、高純度なネオンが得られる仕組みとなる。一方のクリプトンとキセノンは、酸素ガス中に含まれる様々な成分を含んだ粗ガスを取り出し、そこからまずは爆発の危険性がある炭化水素を、触媒燃焼を用いて炭酸ガスと水に変えて除去するとともに、再び冷却・蒸留することで酸素も除去。これにより得られたクリプトンとキセノンの混合ガスを、専用の精製装置でさらに精留・分離することで、それぞれ高純度なガスが得られるという仕組みである。

深冷空気分離によるガス製造は、原料の空気にはコストがかからないものの、空気からガスを分離するまでのプロセスで多くの電力を消費する。なかでも圧縮機が必要となる電力が大きい。JIMGA（日本産業・医療ガス協会）によると、産業ガス業界の年間電力消費量は94億kWhで日本の総電力消費量の2.4%に相当する。その大半は深冷空気分離装置によるガス製造によるものである。