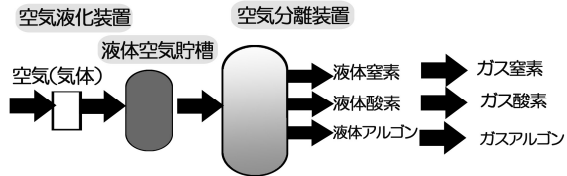


#### 4. 4 深冷空気分離装置の基本形

前述のように空気分離の歴史は、空気の液化から始まっており、法令でも「空気液化分離装置」と呼ばれる。

そのために図 4-4-1 に示すような「原料空気を冷却・液化し、この液体空気を原料として蒸留する装置」と思われることがある。

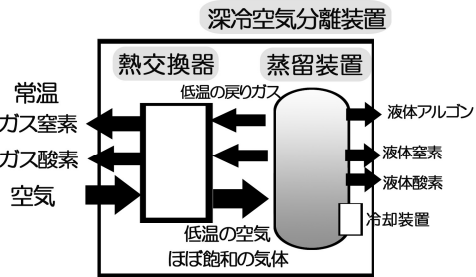
石油精製（原油を蒸留分離）や蒸留酒の製造（原酒の蒸留精製）は、原料が液体で製品も液体であるため、蒸留というとき、原料は液体で供給されるものと



「空気液化分離装置」のイメージ

図 4-4-1-空気液化分離装置のイメージ

思われてしまい、空気の蒸留であっても、このように空気の液化装置で液体原料が作られ、これを原料として次に分離装置がある。まだ工業装置としての空気分離装置が開発される前、19 世紀末から 20 世紀初頭にかけて、空気の液化が実現され、そこで作られた少量の液体空気を蒸留してアルゴンが濃縮され、その研究の過程で、クリプトンやキセノン、ネオンなどの新元素が発見された（第 3 章参照）。その時の、実験室規模で製造された「液体空気」を用意してこれを蒸留装置で分離した時のイメージである。実際の空気分離装置のイメージは、図 4-4-2 に示すようなものである。原料は気体の空気であり、製品も気体の酸素、窒素である。内部では、蒸留に必要な液化とガス化が行われるが、空気分離装置を外から見た時は、原料も製品も気体である。原料空気は戻りのガス（製品と排ガス）と熱交換されて冷却される。気体の原料



実際の「深冷空気分離装置」の例

図 4-4-2-実際の深冷空気分離装置のイメージ

気体の原料

空気は、ほぼ飽和の気体の状態で蒸留塔に入り、そこで分離されたガスはもほぼ飽和温度の気体として蒸留塔から出てくる。原料空気と戻りのガスは、熱交換器で熱を交換するので、装置の出入り口における原料と製品の温度はほとんど等しい。この時、熱交換器の温端（温度の高い端）では、行きと戻りのガスの温度と圧力が異なり、わずかに温度が異なり、この違いがエネルギーロスとなるが、図 4-4-1 のように空気を液化するのに一旦大きなエネルギーを消費するというイメージとは異なる。

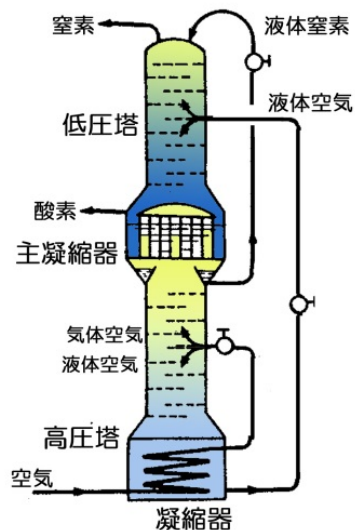
原料空気を液化するというイメージに近いのは、図 4-4-3 に示す「複精溜塔」である。これは、空気分離を解説するのに用いられた 50 年ほど前の教科書の図である。原料空気は凝縮器で冷却液化され膨張弁を介して高圧塔へ送られ液体空気・気体空気を供給する。高圧塔で蒸留が行われ、窒素（塔頂）と酸素富化空気（塔底）に分離され、低圧塔へ液体窒素と液体空気が送られ、ここで窒素と酸素に分離される。

この図には、図 4-4-1 のような原料液体空気のタンクはないものの、原料空気のかなりの部分が液化され、液体空気が原料となって酸素や窒素に分離される。空気液化分離のイメージの元になっている。

この方式は、原料空気の圧力を非常に高圧にしなければならずエネルギーを多消費するので初期の小型の装置に採用されたが、現在は使用されていない。

現在の一般的な深冷空気分離装置は、図 4-4-4 に示すような低圧型（全低圧型）のダブルカラム方式であり、原料空気の圧力と高圧塔の圧力がほぼ等しい（仕組みについては「4-5-5 ダブルカラム・プロセス」で説明する）。

原料空気は、ほぼ飽和の気体（一部液化することもある）で高圧塔に供給される。そこで作られた液体窒素と液体空気が低圧塔に送られ、窒素と酸素に分離されるのは高圧型の装置と同じであるが、原料空気の圧力が低いため、



複精溜塔

図 4-4-3-「複精溜塔」

エネルギー消費がかなり小さくなる。

図 4-4-3 の高圧型も、図 4-4-4 の全低圧型も、蒸留塔の内部で液体酸素や液体窒素が作られるが、実際の空気分離装置は、図 4-4-1 に示すようなイメージではなく、図 4-4-2 のように気体の空気を原料として気体の製品を製造するというものが正しい。

一旦、全ての空気を液化して、これを原料にするというイメージからは、どうしても、エネルギーを多く消費するプロセスとわれてしまう。実際は、できる限りエネルギーを回収し、省エネルギーになるように設計されている。たとえば蒸発や凝縮には、大きな熱移動を伴うが、蒸発器と凝縮器は熱的に結合されているため、液化のエネルギーがそのまま消費エネルギーになっている訳ではない。深冷空気分離装置のプロセスに必要なエネルギーは、不可逆過程や機械の損失などを含めた全エネルギー消費が、分離エネルギー（空気を分離するのに理論的に必要なエネルギー）の数倍程度で済んでいる。

図 4-4-2 の右端に示すように、製品の一部を液体酸素や液体窒素として取り出すことがあるが、これらの液体は、ガス供給のバックアップ用に貯蔵され、一部は、タンクローリーなどで液体製品として配送されている。深冷空気分離装置の基本形は、このように気体の原料空気から気体の酸素と気体の窒素を生産し、これを配管（パイピング）で、周辺顧客へ供給し、一部を液体で生産するというものであり、これ

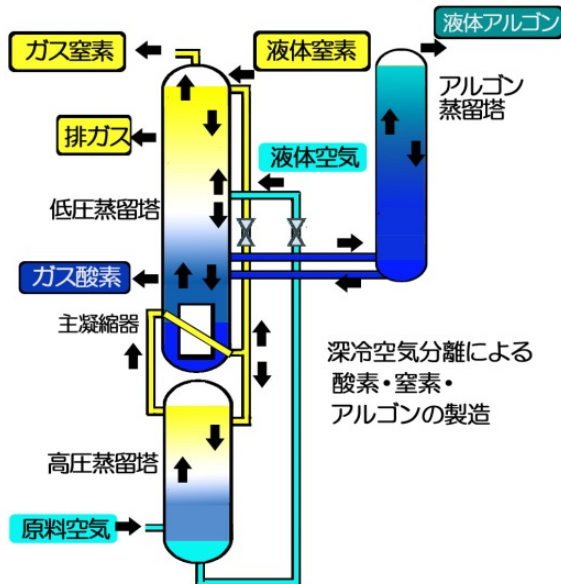


図 4-4-4. 現在の一般的なダブルコラム

を配管（パイピング）で、周辺顧客へ供給し、一部を液体で生産するというものであり、これ

を通称「ガス採り機」と呼んでいる。

これに対して、一部の深冷空気分離装置は、主に液体製品を生産する仕様となっており「液採り機」と呼ばれる。製品として取り出されるガスを液化するための冷凍サイクルを持っており、「ガス採り機」に比べるとかなり大きなエネルギー消費となる。

「ガス採り機」は、顧客周辺（コンビナートや製鉄など）に設置され、パイピングでガスを供給する「オンサイトプラント方式」に採用される。「液採り機」は、地域の生産拠点に設置されて、そこから比較的小口の顧客へ液体製品がタンクローリーで配送される。液採り機が置かれるところは、「液酸工場」などとも呼ばれる。「液酸工場」という名称であるが、液体の酸を製造しているのではなく、また液体の酸素だけでなく液体窒素、液体アルゴンなど、セパレーションガスの液体製品を製造・出荷する工場である。オンサイト方式プラントや液酸工場の呼び方は、事業各社でそれぞれ独自の呼称がある。

産業ガスの供給会社では、空気のセパレートガス・ビジネスを、①パイピング（ガス製品）、②シリンダー（容器、ボンベ）、③バルク（液体製品、タンクローリー輸送）という3つの形態で区別している。タンクローリーや液体の貯槽の方が、送ガス配管よりも目立つため、バルクの量が多く見えることがあるが、量はパイピングの方が圧倒的に多い。ただし、バルクは生産コスト（エネルギーコスト、設備コスト）、流通コストが高いため、ビジネス規模としてはパイピングと同程度になる。

なお、アルゴンは、酸素や窒素に比べて生産量が少なく、深冷空気分離装置から離れた場所で利用されることも多いため、製品はパイピングではなく、液体アルゴンとして採取、バルク供給されることが多い。