

低純度酸素製造プロセスにおける HIDiC 利用技術

Application Technology of HIDiC for Low Purity Oxygen Production Process

橘 博志*

TACHIBANA Hiroshi

1. はじめに

近年、地球温暖化防止対策の観点からも深冷空気分離装置の更なる省エネルギー化が重要な課題となっており、この問題に対処すべく、優れた省エネルギー特性を持つ HIDiC (Heat Integrated Distillation Column) が注目されてきている。

HIDiC とは、熱交換と蒸留を同時に且つ効率的に行うことが可能な装置であり、石油化学の分野等で実用化が期待されている技術である。当社においても、空気分離の分野における HIDiC の利用を検討しており、2001 年よりプレートフィン流路を用いた HIDiC の開発に着手し、酸素製造プロセスの更なる省エネルギー化に向けて研究開発に取り組んでいる。

本稿では、HIDiC による熱統合が比較的容易な低純度酸素製造プロセスにおける HIDiC 利用技術について紹介する。

2. HIDiC による省エネルギー化

2.1 従来の低純度酸素製造プロセス

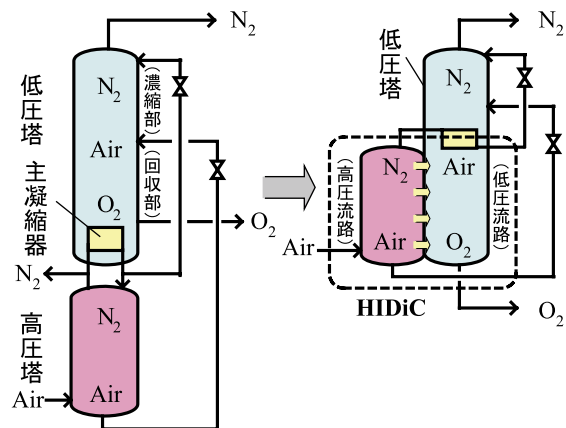
図1(a) に示すように従来の低純度酸素製造プロセスの蒸留部には複式精留プロセスが用いられている。圧縮冷却された原料空気を蒸留して窒素ガスと酸素濃度約 40% (volume) の酸素富化液体空気に分離する高压塔、酸素富化液体空気を窒素ガスと液体酸素に分離する低压塔、および高压塔の塔頂と低压塔の塔底を熱的に統合する主凝縮器を主要構成機器としている。主凝縮器では高压塔塔頂から低压塔塔底への潜熱での熱供給により低压塔の液体酸素を蒸発させて上昇ガスを生成し、同時に高压塔の窒素ガスを凝縮させて還流液体窒素を生成する。従って高压塔の圧力は、高压塔塔頂の窒素の飽和温度が低压塔塔底の酸素の飽和温度よりも高くなるような圧力で操作される。このため低純度酸素製造装置の大部分の消費エネルギーを決定する原料空気圧縮機の吐出圧力 (以降、原料空気圧力と

* オンサイト・プラント事業本部プラント事業部プラントエンジニアリングセンター

いう) を大幅に低減することは、現行の複式精留プロセスを基本としている限り、困難である。

2.2 HIDiC の低純度酸素製造プロセスへの適用

従来のプロセスでは還流液体窒素を生成するために高沸点成分である酸素を用いているが、より飽和温度の低い空気を用いることにより原料空気圧力を低減することができる。同様に、従来のプロセスでは低压塔で酸素を蒸発させるために低沸点成分である窒素を用いているが、より飽和温度の高い空気を用いることにより原料空気圧力を低減することができる。図1(b) は、これを実現するために従来のプロセスの高压塔と



(a) 従来型 (複式精留プロセス) (b) HIDiC 利用型
図1 複式精留プロセスへの HIDiC の適用例

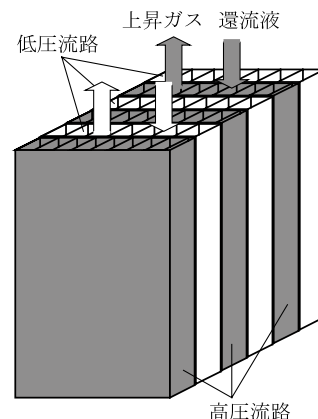


図2 プレートフィン型 HIDiC の流路

低圧塔の回収部に HIDiC を適用した例である。図中の破線で囲まれた部分が HIDiC であり、概念的には従来の高圧塔と低圧塔回収部が並列に配列された形態で、塔全体が熱統合されており、各々の流路で蒸留するとともに流路の間で熱交換が行われる。

流路の構造としては、従来の高圧塔や低圧塔では棚段塔や充填塔が用いられているのに対して、HIDiC では、図2に示すようなプレートフィン型の流路を採用する。高圧塔に相当する高圧流路と低圧塔回収部に相当する低圧流路が交互に積層され、互いの流路が流路間のプレートおよび各流路内のフィンを伝熱面として熱交換可能な構造となっている。

3. ケーススタディ

次にケーススタディとして、従来のプロセスと HIDiC 利用プロセスについてシミュレーションを行った。製品酸素量は 50,000 m³ (normal) /h (酸素純度 100% に換算した流量)、製品酸素純度は 95% (volume) とした。

図3に従来のプロセスのフローを示す。原料空気は、圧縮機により 524 kPa (absolute) まで圧縮された後に空気予冷設備で圧縮熱を取り除かれ、次いで空気精製設備で水・炭酸ガス等が取り除かれる。この精製空気は、断熱保冷されたコールドボックス内に供給され、主熱交換器で窒素ガス、酸素ガスと熱交換することにより飽和温度付近まで冷却された後に蒸留部に供給される。蒸留部のプロセスは図1(a)を基本とし、高圧塔、低圧塔および主凝縮器よりなる。蒸留部に供給された原料空気は、酸素と窒素に分離され、製品として回収される。このうち製品窒素の一部は高圧塔から高圧で回収される。また、侵入熱等によるコールドボックスでの熱損失は、寒冷発生用膨張タービンでの寒冷発生により補われる。本ケースでは、消費動力比較のための便宜上、高圧塔塔頂から抜き出された窒素ガスを動力回収用膨張タービンで膨張させて動力を回収する。

図4に HIDiC 利用プロセスのフローを示す。原料空気は、圧縮機1により 334 kPa (absolute) まで圧縮され、予冷、精製された後に2系統に分岐される。このうち一方は、圧縮機2で更に昇圧され、主熱交換器で冷却された後に副凝縮器に供給され、HIDiC 低圧流路下部から抜き出された液体酸素を蒸発させる。原料空気の残りは、そのまま主熱交換器で冷却された後に蒸留部に供給される。蒸留部のプロセスは、図1(b)を基本とし、HIDiC、低圧塔および主凝縮器よりなる。蒸留部に供給された原料空気は、酸素と窒素に分離され、それぞれ製品として回収される。

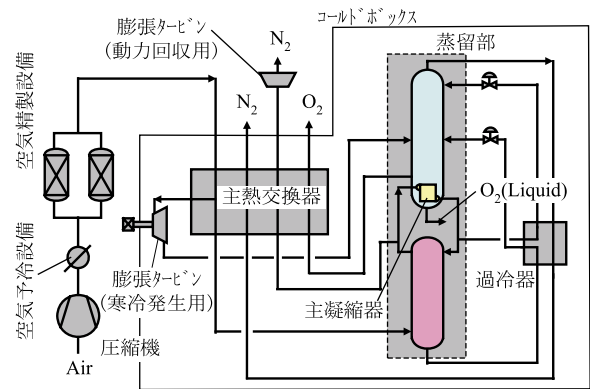


図3 従来型プロセスの概略フロー

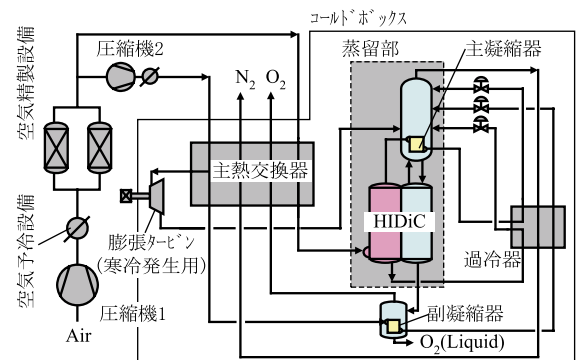


図4 HIDiC 利用型プロセスの概略フロー

表1に従来のプロセスと HIDiC 利用プロセスの消費動力の比較を示す。消費動力は従来型プロセスを 100 とした場合の値である。従来のプロセスの消費動力は、圧縮機等の消費動力から動力回収用膨張タービンによる動力回収分を差し引いた値を示す。

表1から分かるとおり、本条件において低純度酸素製造プロセスに HIDiC を適用することにより、従来のプロセスと比較して消費動力を約9%削減できる。

表1 消費動力の比較

	従来型	HIDiC 利用型
原料空気量 (m ³ (normal) /h)	242,000	242,000
原料空気圧力 (kPa (absolute))	524	334
製品酸素量 ^{*1} (m ³ (normal) /h)	50,000	50,000
製品酸素純度 (% (volume))	95	95
消費動力 ^{*2}	100	91

*1 酸素純度 100% に換算した流量

*2 従来型プロセスを 100 とした場合

4. エクセルギー解析による性能評価

次にエクセルギー解析を用いて HIDiC の省エネルギー効果をより詳細に説明する。エクセルギーとは、ある熱力学環境の中で、環境とは異なる状態にある系が環境と熱平衡に至るまでの間に、系から取り出すことができる最大仕事である。従って、各機器に対して

エクセルギー収支を計算し、エクセルギー損失を求めることにより機器別の省エネルギー効果を定量的に評価することができる。図5に各機器のエクセルギー損失を示す。各機器のエクセルギー損失に理論動力を加えた合計値は各プロセスの消費動力を表している。従来のプロセスでは、蒸留部のエクセルギー損失が18と大きく、この部分に HIDiC を適用することによりエクセルギー損失が11になり、消費動力が7削減されていることがわかる。この理由を蒸留部の気液平衡線および操作線を用いて以下に説明する。

図6(a)に従来のプロセスの低圧塔における気液平衡線および操作線、図6(b)に HIDiC 利用プロセスの低圧塔および HIDiC 低圧流路における気液平衡線および操作線を示す。従来のプロセスでは、低圧塔回収部の操作線が気液平衡線から大きく離れており、蒸留のための推進力は大きいものの不可逆損失が大きいことを表している。極限状態として操作線が気液平衡線と一致する状態では不可逆損失はゼロすなわち可逆過程となり、蒸留分離に必要な仕事は最小となる。

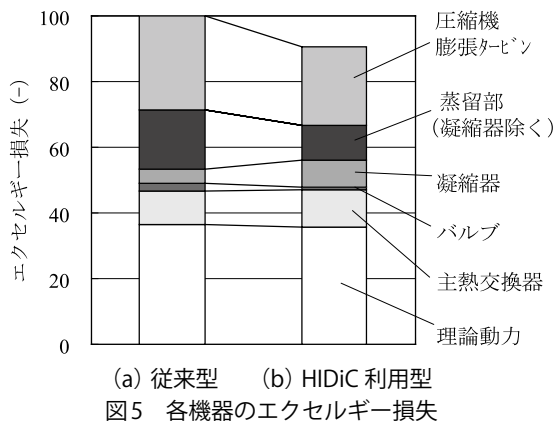


図5 各機器のエクセルギー損失

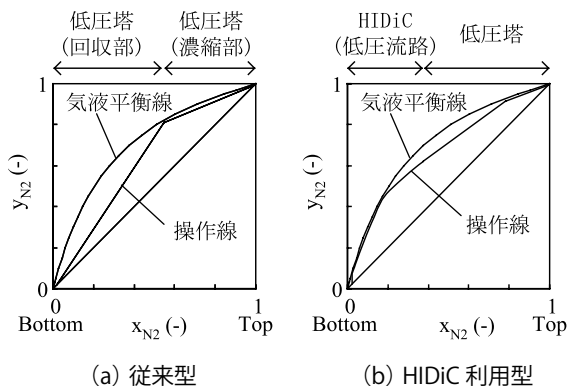


図6 気液平衡線と操作線

HIDiC の低圧流路では下部に近づく程上昇ガス量が減少し、上昇ガス量に対する還流液量の割合が大きくなるため、図6(b)に示す操作線は、下部に近づく程傾きが大きくなっている。従って操作線が気液平衡線に近づき、不可逆損失、すなわちエクセルギー損失が減少している。

一方、凝縮器のエクセルギー損失は従来プロセスに比べて4程度大きくなっている。これは、従来プロセスの主凝縮器の温度差が約1℃であるのに対して、HIDiC 利用プロセスでは HIDiC の流路間で必要な温度差(今回の条件では最小0.1℃)を確保するために主凝縮器の温度差が2.5℃になっていることによるものである。このように、HIDiC 自体の省エネルギー効果は高いものの、HIDiC による熱統合が、その代償として、主凝縮器等の他の部分におけるエクセルギー損失の増加を引き起こしている。この結果は、HIDiC 利用プロセスの熱統合に改善の余地があることを示唆している。

5. おわりに

省エネルギー化を目的とした低純度酸素製造プロセスへの HIDiC 利用技術について紹介した。当社では、これらの技術を用いて、小型装置を用いた実証試験により製品酸素量 16 m³(normal)/h、製品酸素純度 95.5%(volume) で原料空気圧力 305.3 kPa(absolute) を達成し、HIDiC の利用により消費動力削減が可能であることを実証した。

現在、NEDO との共同開発によって、製品酸素量 5,000 m³(normal)/h 規模のパイロットプラントを設計・製作中であり、2008年には、建設・実証運転を行う予定である。今後は HIDiC の普及のため、実用化レベルでの技術の確立を図るべく、HIDiC の安定性の評価・確認、製作コスト、安全性の評価などの課題に取り組み、また、プロセスに関しても、エクセルギー解析により示された熱統合の非効率部分を改善した更に効率的なプロセスの開発に取り組む予定である。

謝辞

本内容の一部は NEDO (独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構) からの資金援助を得て実施されたものである。記して謝意を表する。