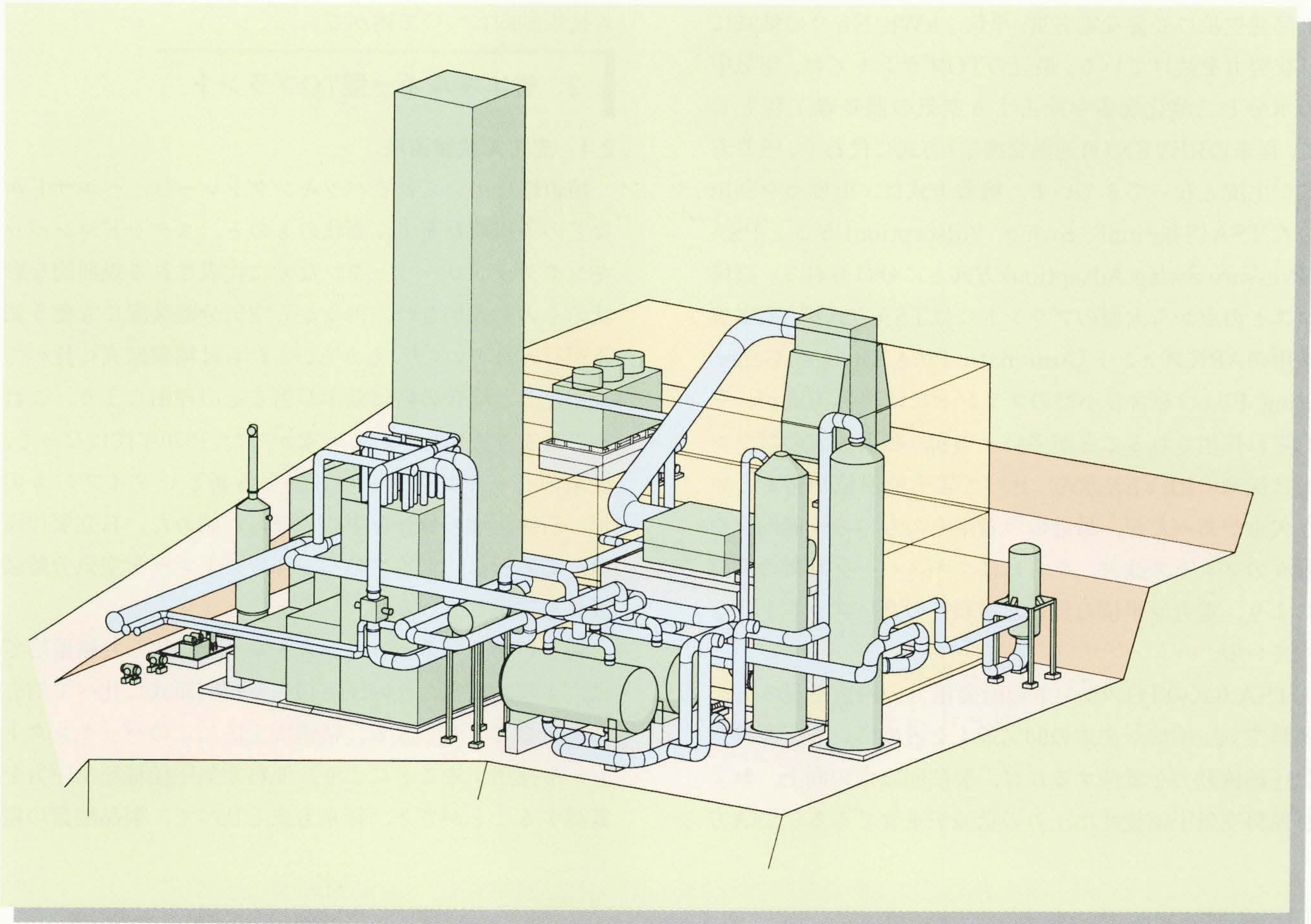


# 省エネルギーを実現した高性能空気分離装置

High-Efficiency Air Separation Plants with Low Energy Consumption

岡本成恭 *Nariyasu Okamoto* 小山祥二 *Shôji Koyama*  
津嶋 寛 *Hiroshi Tsushima* 染矢和夫 *Kazuo Someya*



日鉱金属株式会社佐賀製錬所納め 22,000 Nm<sup>3</sup>/h TOプラント (Tonnage Oxygen Plant : 空気分離装置)

このプラントでは、精留塔上塔にパッキングトレーを用いるとともに、低酸素純度用プロセスを採用することによって大幅な電力原単位低減を達成した。

世界を取り巻く環境問題とエネルギー節約の観点から、従来に比べて、より電力消費量の少ない空気分離装置へのニーズが高まっている。パッキングトレーを用いた精留塔では、精留塔での圧力損失を従来の精留皿式と比べて約10分の1に低減し、総電力使用量の約88%近くを占める原料空気圧縮機動力を低減することにより、TOプラント (Tonnage Oxygen Plant : 空気分離装置) の電力原単位を約9%改善できた。また、要求される酸素純度が97%以下の低純度のものに対しては、低酸素純度用プロセスを採用することにより、所定純度の酸素を

より高効率に製造することができる。

窒素製造装置では、半導体製造用に供するためppbレベルの超高純度窒素の要求を満足させるとともに、排ガスの一部を循環させることにより、約21%の窒素原単位低減を達成した。

また、これまで蓄積した技術を応用してIGCC (Integrated Gasification Combined Cycle : ガス化複合発電設備) に供するため、加圧式TOプラントの運用について検討を進めている。



### 1. はじめに

近年、世界を取り巻く環境問題とエネルギー節約の観点から、従来に比べて、より電力消費量の少ない空気分離装置へのニーズが高まっている。日立製作所は、1952年に深冷分離技術を応用した最初のTOプラント(Ton-nage Oxygen Plant)を建設して以来、電力原単位(単位製品発生量に必要な電力量, 単位: kWh/Nm<sup>3</sup>)の低減に日夜努力を続けている。最近のTOプラントでは、空気中の水分と二酸化炭素を除去する空気の前処理工程として、従来のREVEX(可逆熱交換器)方式に代わり、吸着方式が主流となってきている。吸着方式は、温度差を利用したTSA(Thermal Swing Adsorption)方式とPSA(Pressure Swing Adsorption)方式とに分けられる。設備コストの点から大型のプラントにはTSA方式が、窒素製造用のAPNプラント(Automatic Pure Nitrogen Generating Plant)を含む小型のプラントにはPSA方式が、それぞれ採用されることが多い。当初、吸着方式のプラントは従来のREVEX方式に比べて電力原単位が劣るという欠点があったが、最近の吸着剤そのものの性能向上や種々のプロセス改善、さらにはエキスパート制御の開発により、電力原単位の優れた信頼性の高いプラントになっている。

TSA方式のTOプラントの所要電力の内訳を見ると、原料空気圧縮機が全体の90%近くを占めている。原料空気圧縮機動力を低減するには、製品回収率の向上、および原料空気圧縮機吐出圧力の低減が重要である。TSA方

式の採用により、製品窒素の採取量を従来の2, 3倍まで採取することが可能となった。また、高効率精留皿の採用により、製品回収率を改善し、さらに、寒冷発生効率の高いタービン圧縮機の採用によってプラントの所要空気量を低減させてきた<sup>1)</sup>。

ここでは、電力原単位のいっそうの低減を目指した最近の省エネルギー型TOプラント、およびAPNプラントの技術動向について述べる。

### 2. 省エネルギー型TOプラント

#### 2.1 充てん式精留塔

精留塔に用いられるパッキングトレーは、ベルサドルなどの不規則な充てん形状のものと、ステッドマンパッキンやグッドローパッキンなどに代表される規則的な形状のものに大別され、古くから空気分離装置にも使う試みが行われていた<sup>2)</sup>。しかし、これらは精留皿式に比べて大型化した場合の精留効率が劣るとの理由により、これまであまり実用化されていなかった。1970年代になって、従来のパッキングトレーと異なる新しいタイプのものが、石油化学の分野を中心に使われ始めた。日立製作所は、この新しいタイプのパッキングトレーを空気分離装置にも採用している。

新しいタイプのパッキングトレーを採用した精留塔では、1理論段当たりの圧力損失を精留皿式に比べて約 $\frac{1}{10}$ に抑えることができる。精留塔上塔にこのパッキングトレーを採用することにより、原料空気圧縮機吐出圧力を低減することができ、従来方式と比べて、製品酸素の電

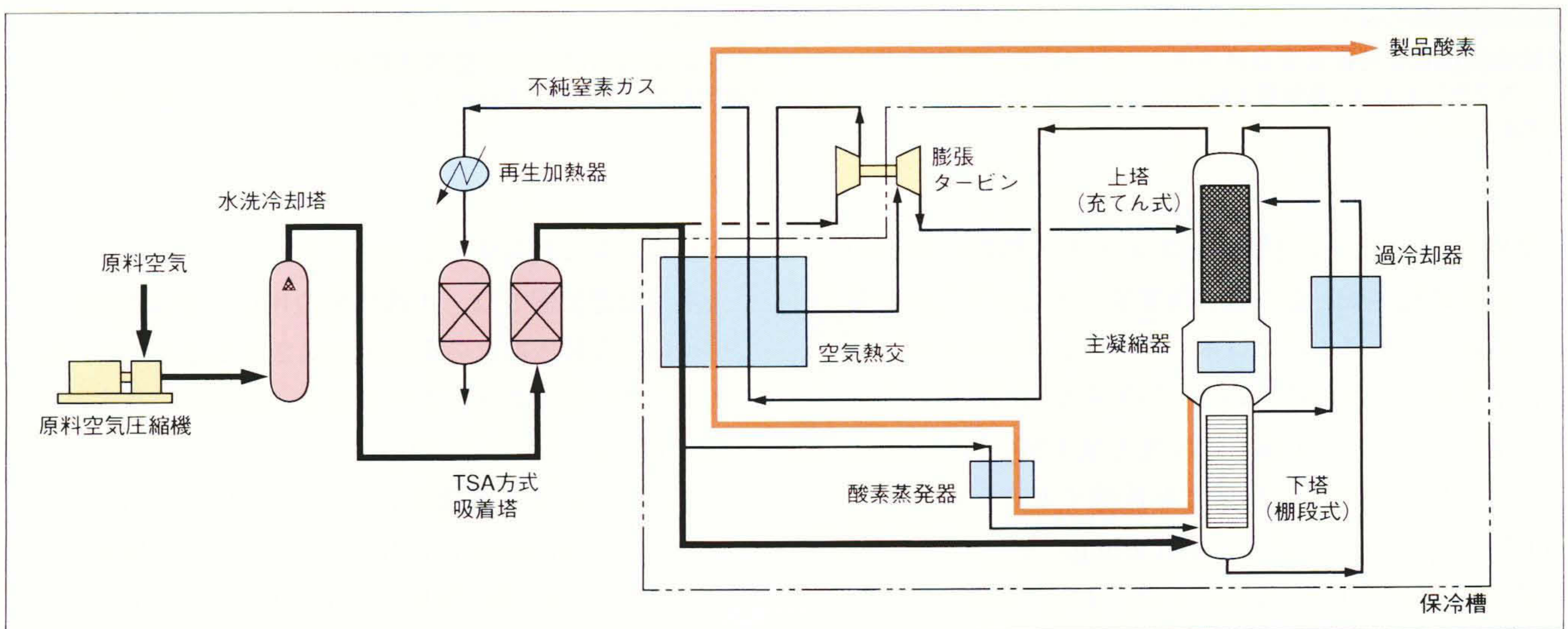


図1 TSA方式低酸素純度用TOプラントのフロー

TSA方式を採用した低酸素純度用TOプラントのフローを示す。精留塔上塔にパッキングトレーを用いて電力原単位を大幅に低減した。



力原単位の約10%に相当する電力使用量を低減することが可能となった。

充てん式精留塔を用いたTOプラントの別の特徴として、(1)製品の許容増減量の幅が大きいこと、(2)増減に対する応答性が精留皿式に比べて非常に速いことがあげられる。TOプラントで可能な製品の増減量比率は、主に原料空気圧縮機の可能な増減量比率と、精留塔の運転が可能な増減量比率によって決定される。原料空気圧縮機の増減量範囲を考えないとすると、充てん式精留塔によって約110~40%までの増減が可能となった。

## 2.2 低酸素純度用TOプラント

1996年1月、最新式の低酸素純度用TOプラントを日鉱金属株式会社佐賀製錬所に完成、納入した。このプラントは銅精錬用の低純度酸素を製造するプラントであり、前述のパッキングトレーを使用した充てん式精留塔を採用したほか、低酸素純度要求に適したプロセスを採用することにより、従来と比べて大幅な電力原単位低減を達成している。このプラントでは、原料空気圧縮機の吐出圧力は約0.5 MPa、電力原単位は約0.35 kWh/Nm<sup>3</sup>-O<sub>2</sub>であった。

TSA方式の低酸素純度TOプラントのフローを図1に示す。

高酸素純度TOプラントと低酸素純度TOプラントのフローの違い、および製品酸素純度に対する電力原単位の変化を図2に示す。高酸素純度TOプラントでは、精留

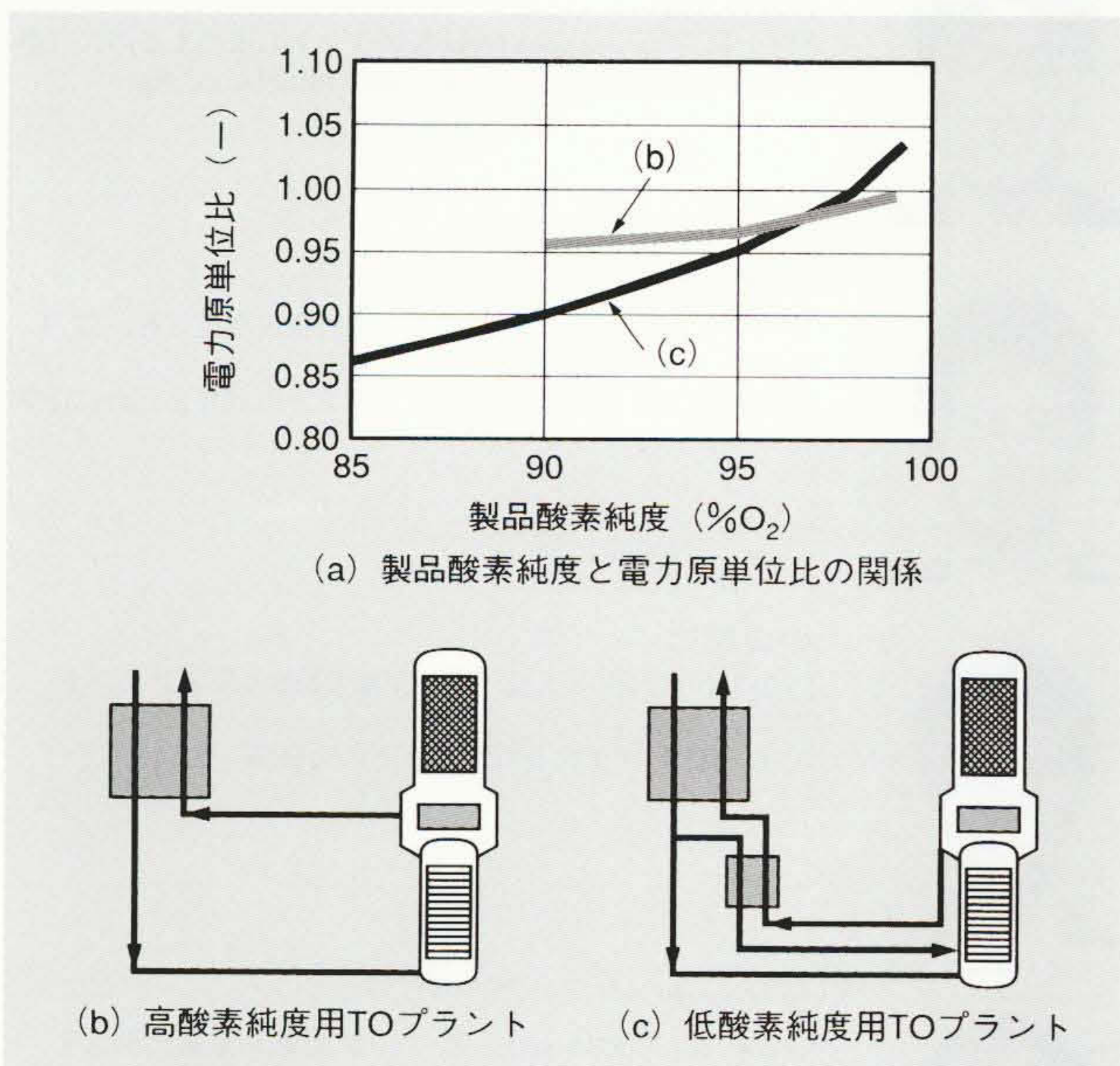


図2 高酸素純度TOプラントと低酸素純度TOプラントの相違  
上図(a)から、製品酸素純度が97%以下であれば、下図(c)に示す低酸素純度用TOプラントのほうが電力原単位で優位であることがわかる。

塔に組み込まれた主凝縮器で、蒸発した製品酸素ガスを直接抜き出すのに対し、低酸素純度TOプラントでは、液化酸素を主凝縮器から抜き出し、原料空気との熱交換で蒸発させた後に製品酸素ガスとして送り出す違いがある。製品酸素純度が90%の場合では、製品酸素純度が99.6%の場合と比べて、約10%の電力原単位低減が可能である。この低酸素純度用プロセスは、製品酸素純度が97%以下の場合に特に有効である。

## 3. 空気循環式APNプラント

### 3.1 超高純度窒素製造技術

半導体製造に使用される超高純度窒素に対する要求は年々増すばかりである。半導体の高集積度化に伴い、不純物が、ppb (Parts per Billion: 10<sup>-9</sup>) レベルから ppt (Parts per Trillion: 10<sup>-12</sup>) レベルの超高純度窒素へと移行し始めている。

こうした要求にこたえるために、日立製作所は、さまざまな技術を開発し、実用化してきた。高活性でかつ耐被毒性の強い触媒を開発し、精留分離だけでは分離が困難な水素・一酸化炭素の除去技術を確認している。

### 3.2 空気循環プロセスによる原単位低減

空気循環式APNプラントのフローを図3に示す。従来のAPNプラントでは、精留塔で製品窒素を分離後不要となった排ガスは、その一部をタービンに送って寒冷を発生させながら、原料空気中の水分と二酸化炭素を除去するPSA塔の再生ガスに用いられていた。改良型となる空気循環式APNプラントでは、タービンを通らない排ガス

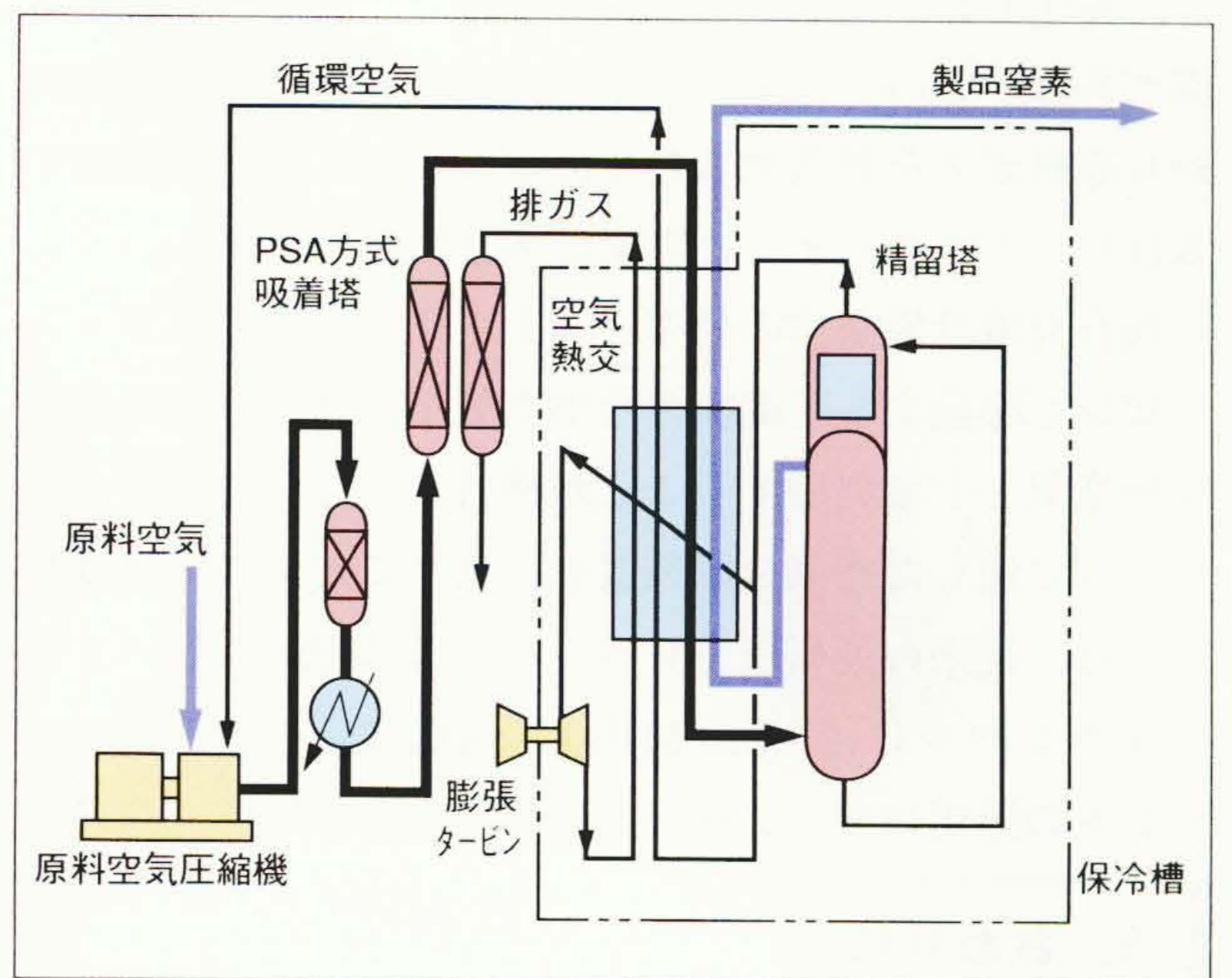


図3 空気循環式APNプラントのフロー

電力原単位を従来式と比べて大幅に改善した空気循環式APNプラントのフローを示す。



表1 従来式APNプラントと空気循環式APNプラントの比較  
従来式を100とした比較例を示す。

項目	単位	従来式	空気循環式
製品窒素ガス量	Nm <sup>3</sup> /h	100	100
原料空気量	Nm <sup>3</sup> /h	100	70
消費電力	kW	100	80
電力原単位	kWh/Nm <sup>3</sup>	100	80

を再度圧縮した後、原料空気とすることにより、原料空気圧縮機動力を大幅に低減した。

従来式と改良型の空気循環式APNプラントの比較を表1に示す。同表では、製品窒素ガス発生量を同一にして、従来式と空気循環式APNプラントの比較を行っている。空気を循環させることによって循環しない原料空気量を約30%低減し、その分消費電力も低減し、製品窒素ガス1Nm<sup>3</sup>/hに対する電力消費量(電力原単位)を従来式と比べて約20%改善した。

#### 4. IGCC向け加圧式TOプラント

近年、電力の自由化に伴ってIPP(Independent Power Producer)による電力卸売りが始まり、多種の電力エネルギー源が見直されている。特に、エネルギー効率に優れた固体燃料のガス化によるIGCC(Integrated Gasification Combined Cycle: ガス化複合発電)が注目を浴びている。ガス化複合発電設備のブロックフローを図4に示す。ガス化複合発電は、石炭や石油残渣(さ)などの燃料をガス化し、ガスタービンで燃焼して発電を行う一方、ガスタービンの燃焼排ガスを排熱回収ボイラに供給し、発生した蒸気でタービンを駆動し、発電する複合設備である。このシステムの中で、空気分離装置は、燃料から原料ガスを製造するためのガス化炉に酸素を供給するほか、ガスタービンに窒素ガスを供給している。

複合発電設備全体の効率を向上させるために、ガスタービンで駆動する圧縮機の吐出空気を、空気分離装置の原料空気として利用することが検討されている。このシステムに適した空気分離装置を提供するために、日立製作所は、従来の運転圧力レベル(約0.5MPa)に比べて高い圧力レベル(1.2~2.0MPa)で運転する加圧式TOプラントの運用について検討を進めている。

#### 5. おわりに

ここでは、省エネルギー型TOプラントおよびAPNプラントの最近の技術動向について述べた。

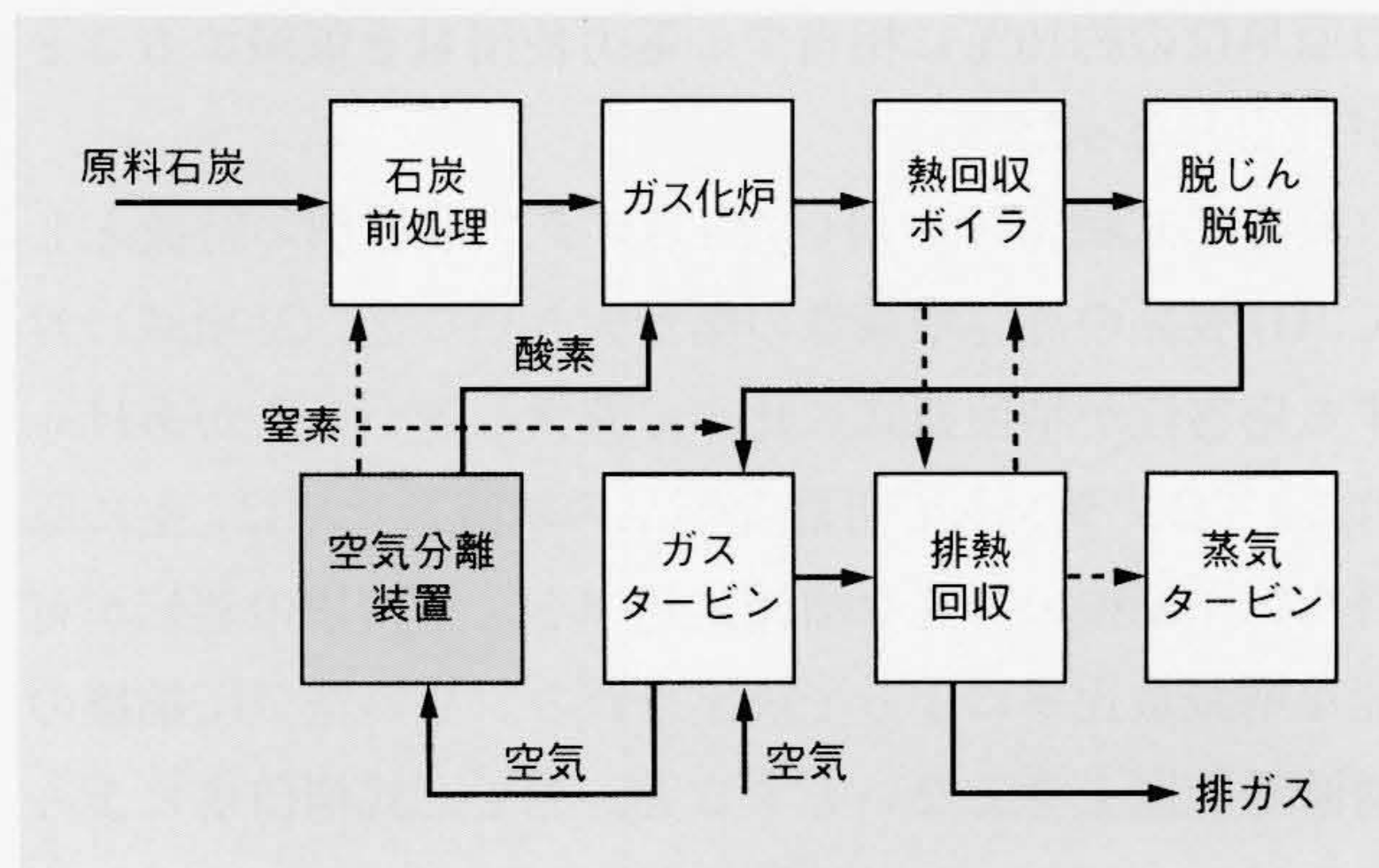


図4 IGCCのブロックフロー

IGCCを構成する関連設備群を示す。空気分離装置(TOプラント)は、ガス化炉へ酸素を、ガスタービンに窒素をそれぞれ供給する。

今後も、これまで蓄積してきた技術を基に、より信頼性の高い、高効率な空気分離装置の開発に積極的に取り組んでいく考えである。

#### 参考文献

- 1) 喜多, 外: 省エネルギー化を図る最新の空気分離装置, 日立評論, 74, 4, 315~320(平4-4)
- 2) J. A. Weedman, et al.: Rectification of Liquid Air in a Packed Column, Industrial and Engineering Chemistry (1947-6)

#### 執筆者紹介



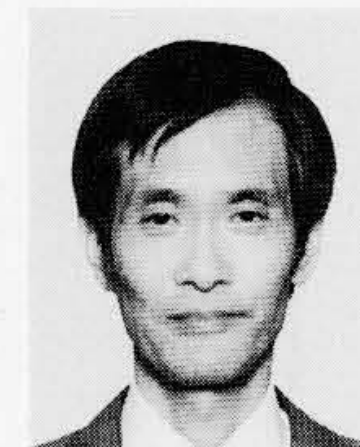
##### 岡本成恭

1991年日立製作所入社, 笠戸工場 流通・産業プラント設計部 所属  
現在, TOプラントおよびAPNプラントの取りまとめに従事  
E-mail: naru-okamoto@kasado.hitachi.co.jp



##### 津嶋 寛

1980年日立テクノエンジニアリング株式会社入社, 笠戸事業所 交通産業設計部 所属  
現在, TOプラントおよびAPNプラントの取りまとめに従事



##### 小山祥二

1970年日立製作所入社, 笠戸工場 流通・産業プラント設計部 所属  
現在, APNプラントの取りまとめに従事



##### 染矢和夫

1976年日立製作所入社, 笠戸工場 流通・産業プラント設計部 所属  
現在, TOプラントおよびAPNプラントの取りまとめに従事