

■ シリーズ特集 ■ 各部門における省エネルギー対策 (17)

食品工業における省エネルギー

— 冷熱利用を中心として —

Energy Saving in Food Industry

— LNG Cold Utilization —

石 田 彌 重 郎* 松 原 俊 彦**
Yajuro Ishida Toshihiko Matsubara

1 はじめに

大阪ガスでは、昭和47年に液化天然ガス（以下、LNG）の導入を開始し、現在、その取り扱い量は年間200万トンに達して、当社の都市ガス原料の7割を占めるまでになった。約-160℃の超低温で、1kg当り潜熱熱合わせて約200kcalの冷熱を有しているLNGを気化するには、従来、海水と熱交換する方法（海水は冷却され、廃棄される）がとられていたが、低い温度のエネルギーの有効利用、省エネルギーの観点から、LNGの冷熱利用が考えられるに至った。

2 LNG冷熱利用

LNG冷熱利用には、図-1に示すように、LNG基地、またはその隣接地で実施あるいは、実施が計画されている空気分離・冷凍倉庫・液化炭酸の製造・冷熱発電のように、LNG冷熱を直接利用する方法（近接地利用）以外に、空気分離により製造される液化窒素、液化酸素などを利用して食品の低温処理・低温（凍結）粉碎・水処理などをおこなう方法がある。これは、LNG冷熱を液化窒素、液化酸素などの形に変えて、LNG基地から遠く離れた所へ輸送し、利用しているので、LNG冷熱の遠隔地利用（または間接利用）と言われている。

2.1 近接地利用

LNG基地の近接地では、経済的な冷熱の配管輸送が可能である。このとき、LNGをそのまま配管輸送して利用する場合と、LNG冷熱を冷媒（R12等）に熱交換し、これを配管輸送する場合とが考えられる。たとえば、1トン/時（40JRT）の凍結加工工程、10,000トンの冷凍倉庫（170JRT）、10,000トンの冷蔵倉庫（200JRT）の能力をもつ食品工場を、基地近接地

に設置するモデル（図-2、図-3）を考えて計算すると、配管距離がいかなる場合にも冷媒輸送の方が経済的に有利となり、距離が長くなるほど、そのメリットは大きくなる¹⁾。

次に、LNG冷熱の冷媒配管輸送方式と、一般の冷凍機方式とを比較する。図-3と同じように、凍結加工、冷凍倉庫、冷蔵倉庫をもつ食品工場モデルにより計算をおこなうと、LNG基地に近い範囲（即ち、配管距離が短い範囲）では、LNG冷熱を利用する方が有利になる。しかし、距離が長くなるにつれ、冷熱利用メリットは減少し、ある点で冷凍機式と等価になる。この点を輸送「限界距離」と呼ぶ。工場で使用される冷熱量の大きさにより限界距離も変化する。限界距離と電力代、工場での冷熱使用量との関係を図-4に示した²⁾。冷熱使用量（冷熱輸送量）が増加するにつれて限界距離も増加するが、その増加率は冷熱輸送量の増加にともない減少する。現在、電力料金は18円/kWh程度になっているので、限界距離はもう少し延びていると考えられる。

試算の一例として、LNG基地から700m離れた地点に食品コンビナートを建設し、凍結装置（-40℃、1トン/時）を26基、冷凍倉庫（-35℃、10,000トン）を4棟、冷蔵倉庫（0℃、10,000トン）を6棟設置した場合（総冷熱量2,920JRT）、冷熱利用によって年間3,028万kWhの電力（石油換算で年間約7,000kl）の省エネルギーが実現する。

2.2 遠隔地利用

LNG基地から遠く離れた地点で冷熱を利用する場合には、冷熱を輸送車で輸送する必要がある。このためには、最も経済的で、冷熱が容易に取り出せる熱容量の大きい熱媒体か、あるいは、その他の適確な方法が発見されない限り、今のところ、LNGそのものか、LNG冷熱を利用して製造した液化窒素、液化酸素をタンクローリーで輸送する以外にはない。

食品工場がLNGのローリー輸送を受けて、輸送費

* 大阪ガス(株) 総合研究所課長

〒554 大阪市此花区西島6-19-9

** 大阪ガス(株) 総合研究所

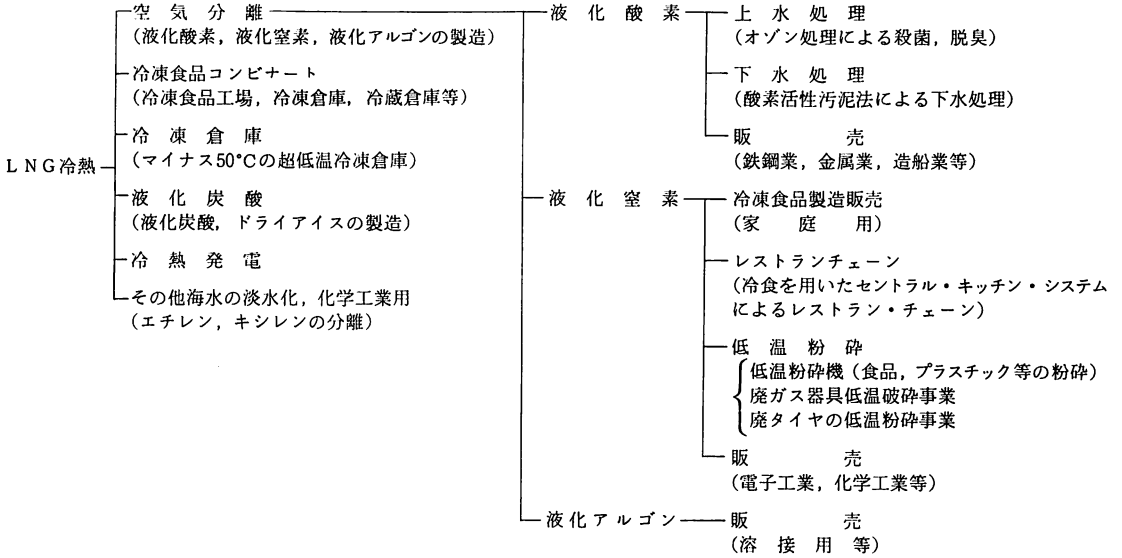


図-1 LNG 冷熱利用の体系

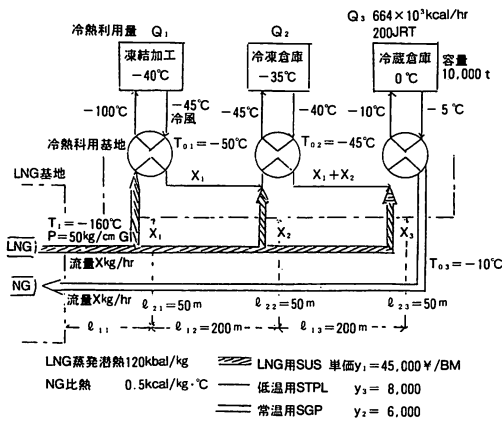


図-2 冷熱利用モデル (LNG 配管輸送法)

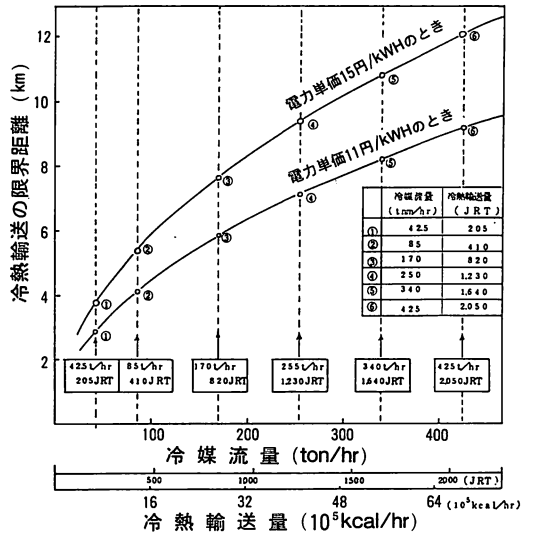


図-4 冷熱輸送限界距離 (冷媒配管輸送法)

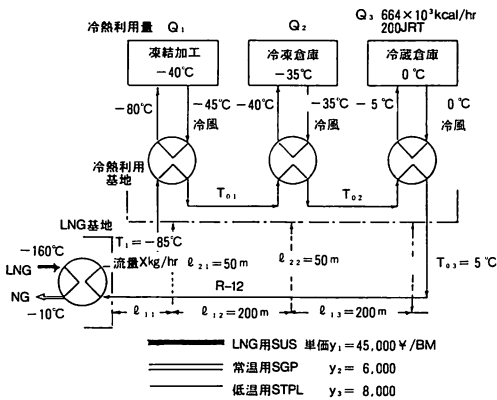


図-3 冷熱利用モデル (冷媒配管輸送法)

も含めて LNG を買い取る時、冷熱利用後の NG (天然ガス) を燃料として使うことになる。しかし、この場合、冷熱利用に必要な LNG 量と燃料として必要な LNG 量との間にバランスがとれず、蒸発器やガス貯槽など、余分な設備投資が必要になり、冷熱利用のメリットはなくなる。したがって、現在、遠隔地利用の一般的なものは、液化窒素、液化酸素のローリー輸送による場合である。

大阪ガスでは、以上のような近接地、および遠隔地での冷熱利用検討を含め、種々の LNG 利用技術の開発を進めてきたが、次に、それらの中から、液化窒素、液化酸素等を利用する食品工場向けの装置、プロセス

を中心に、他社で開発されたものも交えつつ紹介する。

3 食品の低温処理

食品の低温処理技術としては、その目的・温度レベルにより、各種の技術が存在するが、ここでは、冷熱の遠隔地利用—主に液化窒素利用の観点から、凍結処理、凍結乾燥について述べる。

3.1 凍結処理

現在、我国の食品凍結に使用されている装置を冷熱源で分けると、機械式（冷凍機式）と液化ガス式（ LCO_2 、 LN_2 ）となる。

機械式凍結方式は、フロン等を冷媒とした冷凍機を使用するため、凍結コストが低くすむ利点はあるが、凍結温度が -40°C を標準とするため、凍結時間が長く、また広い凍結スペースを要する。一方、液化窒素凍結方式は、 -196°C という凍結温度であるため、急速な凍結速度は得られるものの、実際に利用される冷熱量は、排ガス温度によって、大きく変化するため、窒素ガスの冷熱をできるだけ回収し、効率的に利用する工夫が必要である。

(1) 液化窒素凍結の方式と装置

(i) スプレー式フリーザー

市販トンネルフリーザーの一例を図-5に示す²⁾。横型断熱トンネルの中をステンレスのネットコンベアがエンドレスに駆動し、凍結すべき食品は、製品入口から送入される。トンネルの中央よりやや出口側に液化窒素のスプレーヘッダーがあり、ここでいっきょに凍結が進む。蒸発した窒素ガスはトンネル内を製品入口方向に強制排気され、この間攪拌ファンにより食品との充分な熱交換が行なわれる。スプレーゾーンを通過した食品は、さらに出口側のトンネル内で食品の表面と中心の温度を平衡化し、製品出口から連続的に取り出される。断熱トンネル内に2本のコンベアを通し、それぞれ異なるスピードで運転できる装置もあり、これによると、種類、形状の異なる2種の食品を熱効率よく、同時に凍結処理することが可能で

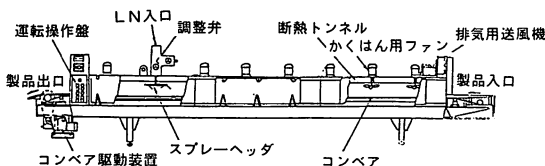


図-5 トンネル式フリーザー

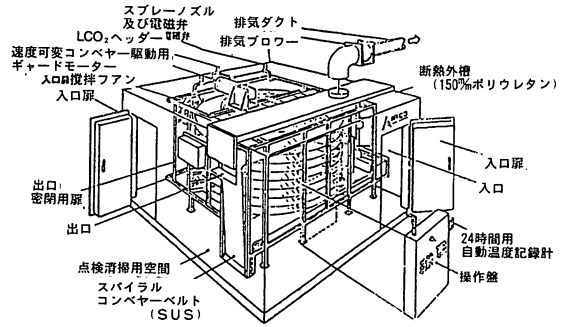


図-6 スパイラル式フリーザー（液化炭酸式）

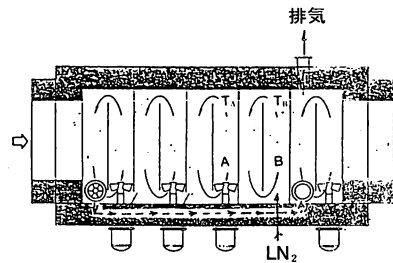


図-7 冷気循環式フリーザーの内部

ある。

次にスパイラル式フリーザーの一例を図-6に示す³⁾。ネットコンベアが立体的、スパイラルになっているため、空間を有効に利用でき、少ない設置面積で凍結能力が大きくなっているのが特徴である。液化ガス（図-6では液化炭酸）を直接スプレーして急速凍結させる方式はトンネル式フリーザーと全く同様である。

少量生産に適したバッチ式フリーザーは、スプレーした液化窒素の冷気を強制対流させ、固定した凍結棚の上に並べた食品を急速凍結する装置である。

(ii) 冷気循環式フリーザー

図-7に、当社とテイサン㈱で共同開発した冷気循環式フリーザー内部の冷気循環系を示す。食品が乗せられた数多くのトレイが冷気循環経路を形成するよう工夫されている。この方式の特徴は、トンネル式フリーザーの長所がすべて生かされているうえに、

- ① 液化窒素の消費量が一般のトンネル式フリーザーと比較して20~30%節約できる。
- ② 同じ処理能力のトンネル式フリーザーよりコンパクトである。

等の利点をもつ省エネタイプで、かまぼこ等の凍結に用いられている。

(2) 液化窒素凍結の特徴

液化窒素凍結のもつ特徴をまとめる。

- ① 高品質の冷凍食品が得られる。
- ② 凍結目減りが非常に少ない。
- ③ 経済性の面では、設備費、動力・人件費、メンテナンス費のいずれをとっても、機械式凍結方式と比較して、大幅節減が図れる。
- ④ 液化窒素が相対的に高価なことから、ランニングコストが高い。

以上の点からも明らかなように、品質面および経済性の両面から、相反する諸要素をどこでバランスさせるかが採用のポイントとなる。今後の技術開発により、液化窒素消費量がさらに低減され、LNG冷熱を使った安価な液化窒素が広く普及するに従って、液化窒素凍結が有利な対象食品、生産規模の範囲が拡大すると予想される。

3.2 凍結乾燥

凍結乾燥は、予め凍結した食品を真空中に置き、多少の熱を与えて、食品中の凍結した水分(氷)を解かすことなく水蒸気に変化させ(いわゆる「昇華」)、水分を除去する乾燥法である。凍結乾燥食品は ① 味、栄養価、芳香、色等がほとんど変化なく乾燥でき、復元も容易である、② 低水分率まで乾燥できるので、常温下で長期間貯蔵可能である、等の特徴をもっている。

従来の凍結乾燥装置は図-8のようなもので、乾燥槽、低温トラップ、真空ポンプから構成されている。乾燥槽では、食品を挟むように輻射加熱棚が上下に配置されており、乾燥に必要な昇華潜熱はこの加熱棚から供給される。食品から飛び出した水蒸気は、真空ポンプの方向に引かれ、低温トラップの冷却面で凝結し、氷となって、バッチ式に系外へ排出される。

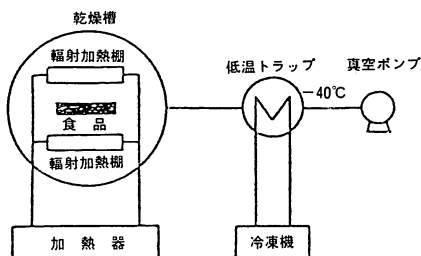


図-8 凍結乾燥装置(従来法=輻射加熱)

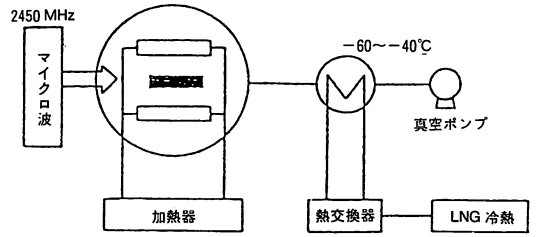


図-9 凍結乾燥装置(複合加熱法)

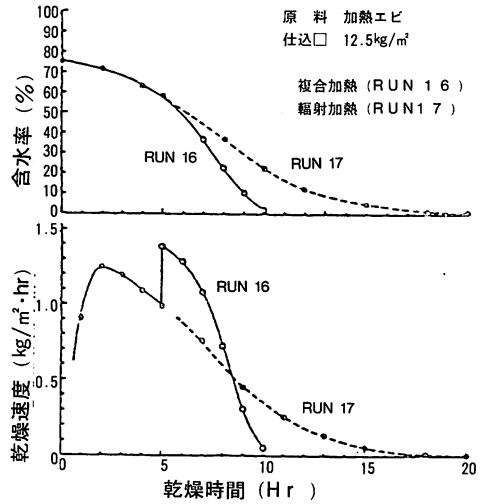


図-10 エビの凍結乾燥(含水率、乾燥速度の変化)

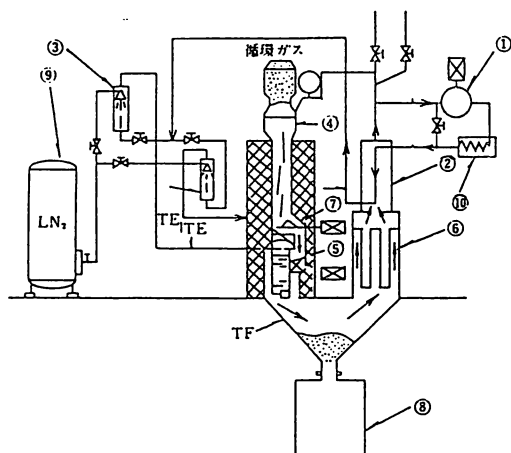
大阪ガスでは、食品の予備凍結、および低温トラップ冷却用にLNG冷熱を利用し、さらに従来の輻射加熱に加え、マイクロ波加熱を併用する新型凍結乾燥装置を開発した。(図-9参照)この装置では、マイクロ波による食品の殺菌効果、乾燥時間の20~50%短縮(図-10)により、生産性の向上、省エネルギー等を実現できた。

4 低温粉碎

低温粉碎の原理そのものは、古くから知られており、すでに1920年代から特許出願がなされているが、当時は技術的、経済的な理由から、ほとんど工業規模で実施されることがなかった。その後、第二次大戦後の低温技術の発達と、LNGの冷熱利用による安価な液化窒素の供給が可能になったため、再び低温粉碎が脚光を浴びるようになってきた。

4.1 低温微粉碎システム

食品、プラスチック等を対象とした低温微粉碎システムとして、外国では、レール・リキッド社、リンデ社、エア・プロダクツ社等のシステムがある。また国内では、日本酸素㈱、東洋酸素㈱、当社等のシステム



①圧縮機 ④冷却機 ⑦スクリーユ押出機 ⑩圧縮機冷却器
 ②熱交換器 ⑤パーミル ⑧製品補集器
 ③蒸発器 ⑥フィルター ⑨LN₂タンク

図-11-1) リンデ社低温粉碎フローシート

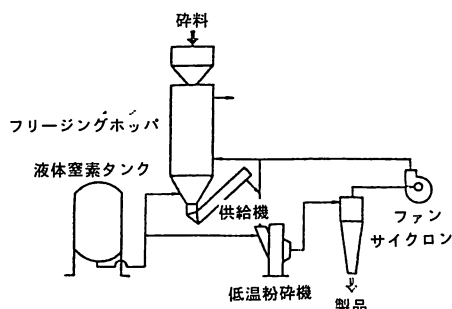


図-11-2) 「リンレックス」システム・フローシート

がある。(図-11参照)⁴⁾

当社のシステムは、ホソカワミクロン㈱と共同で開発したもので、「リンレックス」と呼ばれている。他社のシステムに比べ、システム全体を冷凍庫式の保冷ボックス内に収納したため、掃除が簡単、保冷効果が高い、騒音が低い等の特徴を持っている。

4.2 低温粉碎の特徴

最近の低温粉碎は、ほとんど液化窒素を冷媒として用いるが、この低温粉碎の目的を要約すると次のようになる。

- ① 低温脆性の利用
- ② 粉碎時の発熱防止と熱的変質防止
- ③ 窒素雰囲気による酸化防止、粉塵爆発防止

①については、ほとんどの物質が低温で脆化し、割れやすくなる。このため、常温粉碎に比べ、より細かい粉末が得られ、粉碎動力が減少し、装置が小型化される。また粉碎機構が衝撃粉碎となるため、得られる

粉末に「ひげ」がなく、流動性が改善される。また低温脆化するものとならないもの、または脆化温度の異なるものについて、適当な温度を選ぶことにより、選択粉碎が可能になる。

②については、常温粉碎では連続運転不能である含油性食品(大豆、カカオ豆、ゴマ、カラシ、乳製品等)が低温では容易に粉碎できるようになる。このため従来の常温粉碎システムでは、粉碎前に脱脂し、粉碎後、油脂分を戻すといった複雑な工程をとっていたものでも、そのまま簡単に粉碎され、工程の簡略化、省エネルギーを図ることができる。また、香辛料や香気食品を常温で粉碎すれば、かなりのフレーバー、芳香が散逸するが、低温粉碎ではこれを防止できる。

③については、食品をはじめ、医薬品、化学製品を低温粉碎する場合、温度の低いこととあまって、ほとんど完全な変質の防止が可能である。また、有機物可燃物の常温粉碎で注意しなければならない粉塵爆発も窒素雰囲気ですべて防止することも可能である。

このように低温粉碎は数多くのメリットをもっているため、食品、医薬品、プラスチック等の粉碎、廃棄物の再資源化用の粉碎に利用されており、今後、さらに多くの分野で用いられると期待される。

5 酸素活性汚泥法

4.1 活性汚泥法の原理

活性汚泥法は、1914年に英国で開発されたものであり、廃水中に含まれている種々の有機物を、好気性微生物によって処理する方法である。都市下水や工場廃水の高級処理法として広く利用されており、現在の廃水処理法の主流になっている。

活性汚泥は、種々の好気性細菌や原生動物と、ゼラチン状の有機物質やその他の無機物などの混合体である。

下水や廃水は、夾雑物などを除去した後、曝気槽へと送られ、活性汚泥と混合される。そこで廃水中の有機物は好気性条件下で活性汚泥により酸化分解され、同時に細胞合成にも利用されて浄化される。

反応が終った混合液は、沈殿槽に導かれ、2～3時間滞留させて、汚泥を沈降分離し、上澄液は処理水として放流される。

沈殿した汚泥は、曝気槽に返送されるが、増殖により増加した汚泥は、余剰汚泥として系外に抜き出され、処分される。

このような活性汚泥処理プロセスで、廃水中のB.O.

D. (生物化学的酸素要求量) 成分は95%以上除去される。

5.2 酸素活性汚泥法

有機物の酸化や活性汚泥の呼吸に必要な酸素源として、通常は空気を用いているが、その代りに純酸素を供給して、酸素の供給速度を大きくしようとするのが酸素活性汚泥法であり、1949年にOKUNによって報告され⁵⁾、以後、各種のプロセスが開発されてきた。

一般の活性汚泥法(空気法)と比較して、酸素活性汚泥法には

- ① 汚泥濃度が高く、装置がコンパクトになる。
- ② 十分な酸素供給能力があるため、負荷変動に強い。
- ③ 高負荷に耐える。
- ④ 汚泥の沈降性、脱水性に優れている。
- ⑤ 酸化が充分に進み、余剰汚泥の発生量が少ない。
- ⑥ 排ガス量が少なく、臭気も弱い。
- ⑦ 曝気量が少なく、動力が少なくてよい。

等の利点があり、敷地面積が限られた食品工場等での水処理設備の新設、旧設備の能力アップに適した方法である。また、処理能力が限界に近づいたにもかかわらず、拡張の余地のない公共下水処理場の能力アップにも、今後、普及すると予想される。

5.3 各種の酸素活性汚泥処理プロセス

(1) UNOX 法(図-12)⁶⁾

米国のユニオン・カーバイド社が開発したプロセスであり、密閉式曝気槽を用い、多段にして循環曝気をおこなうことにより、酸素の利用効率の向上を図っている。

酸素要求度の高い前段に酸素を供給しており、ガスと液は並流で流れ、全体に高DO(溶存酸素)を保つ後段になるほど、炭酸ガスの蓄積によるpHの低下が生じる。また、可燃性ガスの蓄積を避けるため、ガス検知器を設けることが望ましい。

(2) OG式酸素活性汚泥法(図-13)^{7) 8)}

酸素消費速度が速い最初の槽では空気を用い、活性汚泥の吸着作用を促進し、処理の効率化と経済性

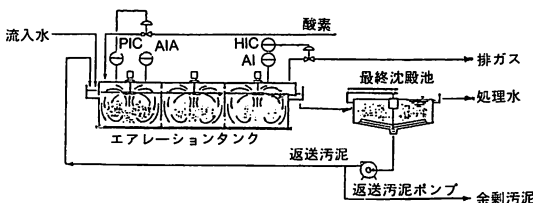


図-12 UNOX 法フローシート

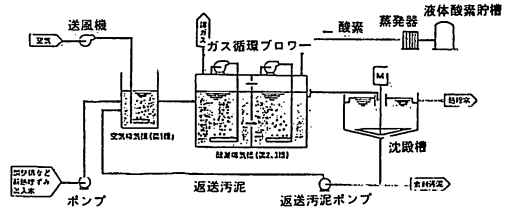


図-13 OG式酸素活性汚泥法フローシート

の向上を図っている。同時に揮発性有機物の除去もおこなわれているため、安全性が高い。

また、後段になるほど高濃度酸素ガスによる緩やかな曝気がおこなわれ、余剰汚泥の減少とともに、汚泥の沈降性の回復が図られている。

6 おわりに

大阪ガスの冷熱利用事業展開の中核会社である近畿冷熱(株)では、液化窒素、液化酸素、液化炭酸の製造販売をおこなう一方、昭和49年より冷凍食品の製造販売をおこなっているが、今年5月、上述の技術を生かし日産4万食規模の新工場を大阪ガス泉北製造所第2工場隣接地に完成した。この工場には、冷凍食品製造ラインばかりでなく、新型の凍結乾燥食品製造装置も設置され、実規模でのテスト操作をおこなっている。

消費者の嗜好が多様化している昨今、食品業界としては、エネルギーを有効に使って美味しい食品をつくる(言いかえれば、コストパフォーマンスの優れた食品を製造する)ための技術開発を進める必要性が、今後も高まるであろう。

参考文献

- 1) LNG冷熱利用研究会(農林省食品流通局): LNG冷熱利用研究会報告書(1977-8)
- 2) 日本酸素(株) パンフレット
- 3) 松田: ジャパンフードサイエンス, (1975-3).
- 4) J. Weishaupt and J. Oberpriller: Hauts-Polymeres, 30 (1971-2) pp. 33-37.
- 5) Okun, D. A.; Sewage J., 21, (1949), pp. 763.
- 6) ユノックスシステム・パンフレット, 5, (1980).
- 7) 市川: 京都大学環境衛生工学研究会 第2回シンポジウム講演論文集(1980), pp. 52
- 8) 三宅, 兼田: 第19回下水道研究発表会講演集(1982) pp. 185