

# TSK 技報

2008  
SPRING

No.9

月島機械株式会社

特集テーマ：環境を考える

過給式流動焼却設備の実証運転

塩酸回収技術

製品紹介

TSKの産業排水処理技術

TSK 上水向け紫外線消毒装置

月島ードライシールガスホルダ

**TSK** 月島機械株式会社  
www.tsk-g.co.jp



|    |                                           |                                 |
|----|-------------------------------------------|---------------------------------|
| 4  | 巻頭言<br>月島環境エンジニアリング(株)と環境関連技術             | 月島環境エンジニアリング株式会社 代表取締役社長 横島 亀久夫 |
| 6  | 特集1<br>過給式流動焼却設備の実証運転                     | 長沢 英和・山本 隆文                     |
| 14 | 特集2<br>塩酸回収技術                             | 山口 展弘                           |
| 20 | 技術紹介<br>大電流プラズマアシスト蒸着装置の開発と<br>光学薄膜成膜への展開 | 飯田 竜一                           |
| 28 | ティーブレイク“月島茶房”<br>期待される森林の機能:二酸化炭素の吸収と貯蔵   |                                 |
| 30 | 製品紹介1<br>TSKの産業排水処理技術                     | 近藤 洋正                           |
| 34 | 製品紹介2<br>TSK 上水向け紫外線消毒装置                  | 今川 洋介                           |
| 38 | 製品紹介3<br>月島-ドライシールガスホルダ                   | 福富 久益                           |
| 42 | 会社概要・編集後記                                 |                                 |

TSK 技報

NO.9 2008

|    |                                                                                                                                                                      |                                                                    |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 4  | Foreword                                                                                                                                                             | Kikuo MAKISHIMA, President&CEO, Tsukishima Kankyo Engineering Ltd. |
| 6  | Paper1<br><i>Demonstration of Fluidized Bed Incinerator with Turbocharger</i>                                                                                        | Hidekazu NAGASAWA / Takafumi YAMAMOTO                              |
| 14 | Paper2<br><i>HCl Recovery System</i>                                                                                                                                 | Nobuhiro YAMAGUCHI                                                 |
| 20 | Technology Introduction<br><i>The development of High-current Plasma Assisted Deposition system and<br/>the application examination to optical thin-film coating</i> | Ryoichi IIDA                                                       |
| 28 | Tea Break “Expected functions of forests: absorption and storage of CO <sub>2</sub> ”                                                                                |                                                                    |
| 30 | Product1<br><i>Industrial Wastewater Treatment System of TSK</i>                                                                                                     | Hiromasa KONDO                                                     |
| 34 | Product2<br><i>TSK Drinking Water Disinfection System</i>                                                                                                            | Yosuke IMAGAWA                                                     |
| 38 | Product3<br><i>Tsukishima-Dry Seal Gas Holder</i>                                                                                                                    | Hisayoshi FUKUTOMI                                                 |
| 42 | Corporate Profile / Editor’s Note                                                                                                                                    |                                                                    |

表紙の写真



2004年に世界遺産へ登録された  
紀伊山地の春の風景

# 月島環境エンジニアリング(株)と環境関連技術



榎島 亀久夫

月島環境エンジニアリング株式会社  
代表取締役社長

以前からの「公害防止技術」や「省エネ技術」と言う言葉に出会うことが少なくなり、代わりに登場したのがもっと大きな領域を示す「環境関連技術」ということになるのであろうか。

今年1月末の「世界経済フォーラム総会＝ダボス会議」での福田首相の洞爺湖サミットに関する講演でも温室効果ガス削減を目指す「クールアース50」が取上げられたことは記憶に新しい。来るべきサミットでは地球環境問題が主要テーマと言われており、温室効果ガス削減が政治課題として議論されるであろう。特にCO<sub>2</sub>排出については地球温暖化の元凶として注目を浴びているがやや懐疑的意見も見られる。地球温暖化は「太陽活動の変化」や「地軸の傾き」に起因しており地球の時間軸を考えれば地球温暖化も出現するとの主張である。しかしこの主張のなかでも我々現代人が造りだす地球環境負荷の変化の速さは問題だとしており、CO<sub>2</sub>削減努力が温暖化防止の有効打であることは間違いなく、弊社も関連技術を駆使して貢献していく。

最近の若手エンジニアも環境関連技術を指向する傾向が強くなっていると聞くが、一口に環境関連技術といってもその間口は実に広い。一般的には汚染対策技術、資源循環技術、温暖化対策(省エネ)技術等に分類されることが多いようであるが、いずれも関連性があり手段として用いる技術とそれが生み出す効果は複雑に絡み合っており簡単に分類することも容易ではない。広く環境を捉えれば全ての技術が環境に関連するように思えてくるのではないだろうか。

一昔前までは環境関連技術は余計な

のとして取り扱われてきたが、近年の環境保全に関する規制や意識の高まりによって計画時から確実に生産設備に付帯されるようになってきている。

そこで本稿では半世紀に亘って弊社が市場に送り出してきた技術のうち、現在展開している代表的環境関連技術の概要を最近のトピックスも交えて紹介させていただくので、弊社の理解を深めていただく一助となれば幸甚である。

## 1 廃液処理技術

### A. 液中燃焼技術

エチレン設備をはじめとする石化コンプレックスや、化学・紙パ工場からの廃液を処理する技術で、特にアルカリを含有する廃液に対応する特殊な燃焼炉が設備の中心となる。廃液中の有機物は高温(950-1000℃)で酸化無害化され、アルカリは無機塩となって炉後段のクエンチャーから溶解して排出される。排ガスの熱エネルギーは廃液濃縮工程などで熱回収される。弊社では本設備を海外も含めて320基以上を市場に送り出しており、環境負荷となる有害物を処理する代表的技術となっている。

### B. 塩酸回収技術

VCM・ECHなどを生産する製造工場からの塩素イオンを含む廃残さ・廃ガスを処理する技術である。燃焼炉は高温(1400-1500℃)で運転され炉内で有機物を分解した後、排ガス中に存在する塩化水素を塩酸または塩化水素ガスとして回収

するリサイクル技術である。回収塩酸はその濃度に応じて工業用塩酸等として再利用される。さらに高温排ガスの熱エネルギーも基本的に廃熱ボイラーで蒸気として回収される。なお本技術については本誌の中でその詳細を紹介しているのでぜひご覧いただきたい。

## 2 廃ガス処理技術

### A. フロン類破壊技術

オゾン層の破壊物質として知られ、また温室効果が炭酸ガスの数百倍から一万倍といわれるフロン類を前述1-Aの液中燃焼炉を使用して1250-1350℃で燃焼し効率よく破壊する。フロンとはオゾン層破壊の元凶とされ温室効果も確認されているCFC,HCFC,更にオゾン層を破壊しない代替フロンとして登場したHFC,PFCなどである。現在では代替フロンも温室効果は高いとされている。弊社の中国・インド向けの三設備が最近注目を浴びている国連CDMプロジェクトに登録されている

### B. シアン分解技術(直接燃焼法)

廃ガスの処理はそのガスの成分や濃度に応じて様々な処理方法があるが、シアン含有廃ガスに関しては、シアン分離のため比較的高温で処理する必要性があり、直接燃焼法が採用される。また含有されるNによるNO<sub>x</sub>生成を抑制するため燃焼炉は



「世界最大級の液中燃焼装置」

還元一酸化の二段燃焼方式をとっている。また高温排ガスが持つ熱エネルギーは廃熱ボイラーで蒸気として回収される。

### C. 蓄熱式燃焼技術

化学工業や印刷会社など種々の産業設備から排出される廃ガスに含有される臭気成分やVOCを焼却処理する技術である。回転するセラミックス製の特殊蓄熱体が組み込まれた燃焼炉が設備の中心となる。燃焼排ガスで加熱された蓄熱部に原ガスを通すと、ガスは予備加熱されて燃焼室に導入され臭気成分やVOCなどが燃焼無害化される。燃焼排ガスは蓄熱体の冷却部を流れ熱エネルギーはそこへ蓄熱されて予備加熱に再利用される。この方式は燃焼に必要な燃料を大幅に節減できる省エネ型の燃焼技術である。

## 3 固形廃棄物処理技術

産業廃棄物の中間処理設備(焼却)を幅広いユーザーニーズに合わせて計画し納入している。中心機器となる焼却炉は普通流動炉、高速流動炉、キルン炉、キルンストーカ炉等の型式を揃え、多様な廃棄物に適合させる。高温排ガスのエネルギーは廃熱ボイラーによって回収され、その蒸気を発電に有効利用する設備を付帯する場合が増加している。排ガス中のダイオキシンは特殊触媒によって分解される。また通常は最終処分場に埋め立てられる飛灰も灰溶融設備を併設してスラグとして回収し路盤材等へのリサイクルを可能にしている。

## 4 触媒湿式酸化システム {(株)日本触媒と技術提携}

一般的な廃水処理(低濃度廃水処理)と廃液燃焼処理(高濃度廃液処理)の中間に位置する技術であり、廃液によっては従来の燃焼処理の代替となる処理方法である。

まず高圧法と称するものは触媒反応槽が、圧力8MPaG温度260℃で運転され、

反応槽内の触媒により90%の有機物が酸化分解される。99.99%の分解が可能な燃焼処理ほどの分解能ではないが、燃料を使う必要がない省エネ処理技術である。後段に生物処理設備を備えることで要求される排水規制値に適合させる。一方低圧法はエチレン製造設備等からのソーダ廃液の硫化ソーダ処理などに適用され、この場合は圧力1MPaG温度165℃で運転され前述1-Aの液中燃焼技術に変わって採用される場合がある。

以上、液体・ガス・固形のそれぞれに関する代表的技術を紹介したが、弊社は他にも数多くの環境関連技術を保有し納入実績は幅広くその数も多い。詳細については順次本技報にて紹介させていただきたいと考えている。

弊社の親会社の月島機械(株)も環境関連技術の老舗である。汚泥処理技術、排煙脱硫技術やバイマスエタノール技術などを市場に送り出している。弊社はこれからも月島機械グループの一員として月島機械(株)と連携しながら「かけがえのない地球環境のため当社の環境関連技術をもって地球環境保全に貢献する」という企業理念の実現にむけて前進して参ります。ご期待下さい。



# 過給式流動焼却設備の実証運転

## Demonstration of Fluidized Bed Incinerator with Turbocharger



長沢 英和  
Hidekazu NAGASAWA  
研究開発本部  
研究開発部プロジェクトグループ

廃棄物学会  
環境システム計測制御学会



山本 隆文  
Takafumi YAMAMOTO  
研究開発本部  
研究開発部プロジェクトグループ

### Abstract

Sludge generation is increasing yearly with widespread use of the sewage system. The majority of sewage sludge is dewatered and then incinerated. Fluidized Bed Incinerator (FBI) is the mainstream for incinerating dewatered sludge, and accounts for 80% of total installations of 280 units in Japan. Large amount of hot sand is used as a heating medium, which excels in incinerating high-moisture content waste materials such as dewatered sludge. However, FBI uses much power as auxiliary fuel is required to treat high-moisture waste materials.

As a measure, energy recovery system from dewatered sludge has been developed by combining the Fluidized Bed Incinerator with turbocharger for converting high-moisture sewage sludge into exhaust gas, which obtains surplus pressurized air in excess of the amount required for combustion. The system is operated at 100 ~ 300kPaG, driving the turbocharger with high-temperature and high-pressure exhaust gas and generating combustion air, which eliminates the blower. Electric power consumption is reduced by about 40% compared to typical FBI that requires forced draft blower and induced draft fans. Sewage sludge is burned completely as pressurization accelerates burning rate.

For actual sewage sludge incinerators, moisture in sludge is converted into 40 to 50% exhaust gas, thus more air is generated in FBI with turbocharger. Exhaust gas heat is exchanged with the air preheater, dust is removed with the hot gas filter, and then exhaust gas is used in the turbocharger to recover energy.

A general-purpose turbocharger used for trucks was applied for the pilot plant. The commercial plant will apply a larger general-purpose turbocharger used for ships.

The pilot plant was operated at 180 kg/hr of processing time. Other operating condition such as temperature, pressure and exhaust gas properties are described in this paper.

キーワード：流動床、過給機、下水汚泥、電力削減  
Keyword : Fluidized Bed, Turbocharger, Sewage Sludge, Electric Power Reduction

## 1 はじめに

下水道の普及拡充に伴い発生する汚泥は年々増加し、その多くが脱水後焼却処理されている。脱水汚泥の焼却炉としては気泡流動炉が主流で、月島機械でも多くの納入実績がある。全国で稼働している約280基の焼却炉の内、80%を気泡流動炉が占めている。

気泡流動炉は、熱媒体である高温砂が炉内に多量に存在しているため、脱水汚泥等の高含水廃棄物を焼却処理する焼却炉として非常に優れている。しかし、消費電力が大きく、高含水率であるが故に多くの補助燃料が必要である等のデメリットもある。また、下水道事業活動において地球温暖化防止への取組や厳しい財政状況による建設費の低減といった社会的ニーズも高まっている。

そこで、我々は気泡流動炉と過給機を組み合わせた脱水汚泥からのエネルギー回収システム(図1)を提案し<sup>1), 2), 3)</sup>、脱水汚泥の燃焼特性や過給機の運転特性について研究開発を行ってきた。本稿では、実用化に向けた実証設備の検証運転を実施したので報告する(平成16年度より段階的に開発を実施しており、平成20年度以降も継続する予定である)。

## 2 開発システムの特徴とメリット

### 2.1 特徴

本システムは従来の焼却設備と比べて2つの大きな特徴がある。

- ①過給機出口圧力を概ね0.10MPa・G以上、最大で0.3MPa・G程度とし、通常の運転では過給式流動炉内を0.10 ~ 0.20MPa・G程度に保持しながら燃焼を行う(炉内圧力は過給機出口空気圧力が0.2MPa・Gの場合、流動炉内の砂層圧力損失を差し引いた0.17MPa・G程度となる)。
- ②燃焼排ガスのエネルギーを利用して過給機(ターボチャージャー)を駆動することで圧縮空気が生み出され、それを燃焼空気として利用する。

### 2.2 メリット

気泡流動炉に比べて以下のメリットがある。

- ①加圧下で燃焼させるため、誘引ファンが不要である。
- ②燃焼排ガスで過給機のタービンを駆動して燃焼用空気を送風するため流動ブロワが不要となる。①と合わせて従来焼却設備よりも消費電力が40%以上削減できる(図2)。

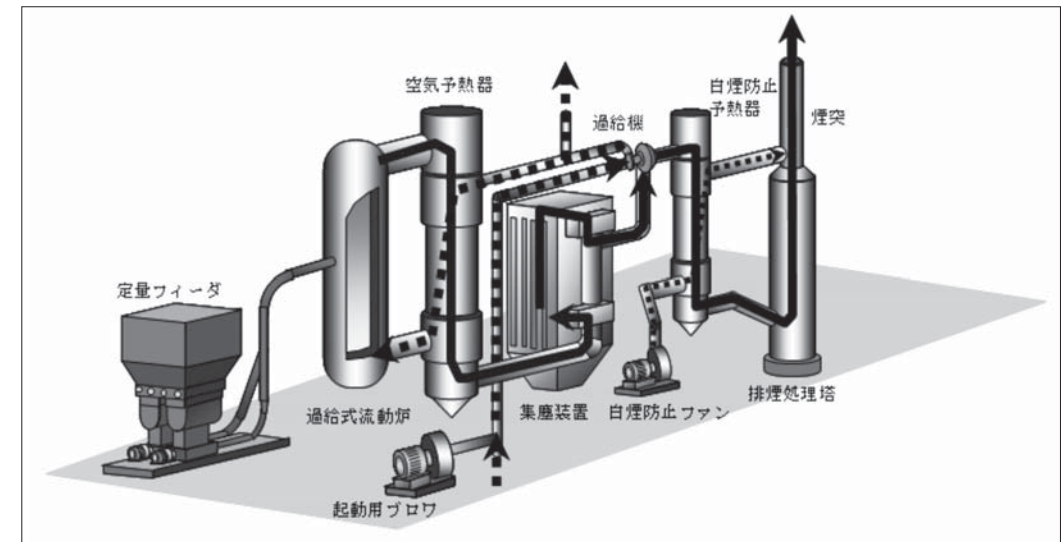


図1 開発システム  
Fig.1 Flow chart of Fluidized Bed Incinerator with the turbocharger

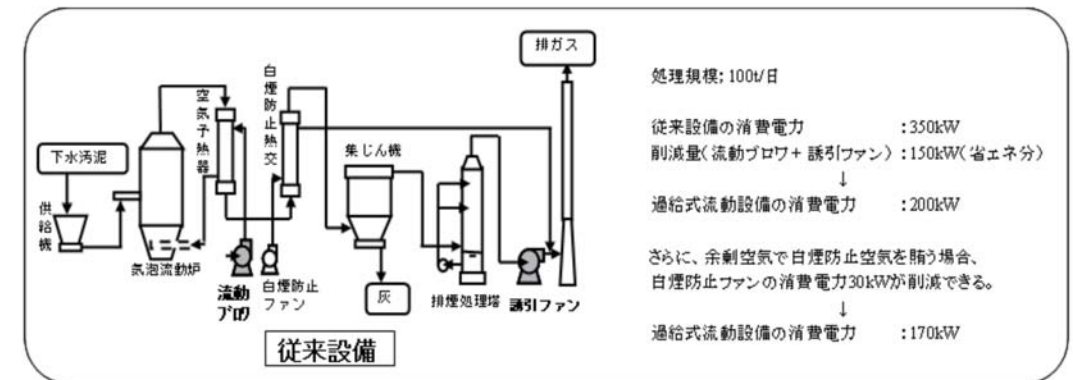


図2 消費電力削減量  
Fig.2 Reduced electric power consumption



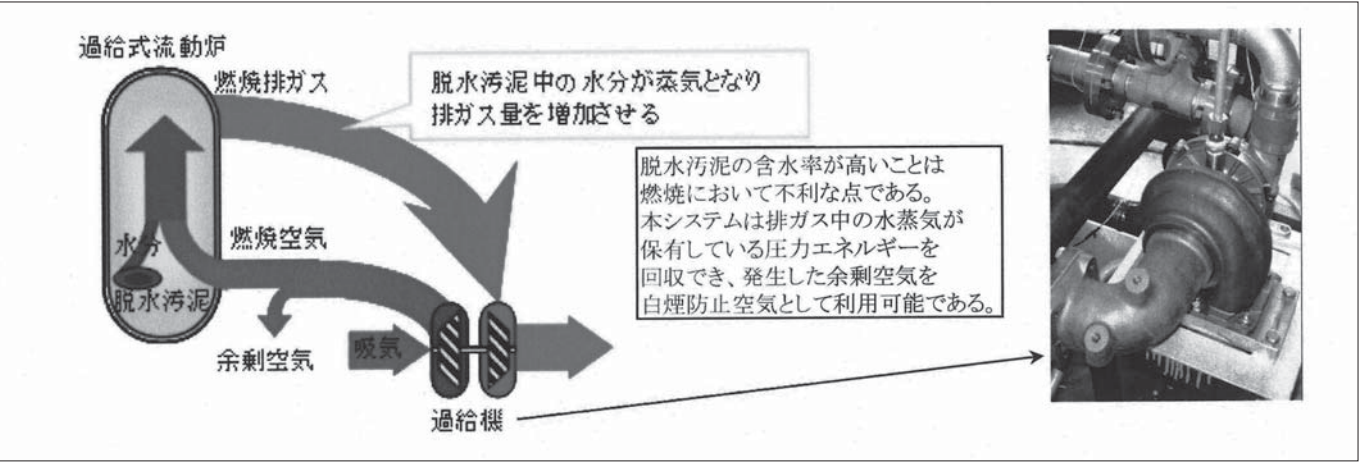


図3 過給機によるエネルギー回収  
Fig.3 Energy recovery by the turbocharger

- ③脱水汚泥中の水分により、燃烧排ガスが多くなるため、約0.2MPa・G程度の圧力で送風動力(=流動プロワ)および吸気動力(=誘引ファン)無しで運転でき、炉で必要な燃烧空気(流動空気)以外に発生する余剰空気を白煙防止空気に利用することで、創エネルギーが可能である(図3)。
- ④加圧下で燃烧を行うため、燃烧速度が速くなり、高密度燃烧ができる。
- ⑤加圧下での燃烧であるため、燃烧ガス密度が大きくなり、炉および集塵機内容積が1/3～1/2となる。

以上のメリットから、下水汚泥のような高含水廃棄物の焼却に最適であるという従来の気泡流動炉の良さは生かしたまま、省エネルギー・創エネルギーシステムが実現でき、地球温暖化防止にも貢献できる。

3 実証設備

3.1 実証設備のフロー

実証設備は北海道・長万部終末処理場内に建設し、実用化に向けた検証運転を行っている。実証設備の外観を図4に、またフローを図5に示す。実証設備は、過給式流動炉、空気予熱器、集塵機、過給機、コントロール弁から構成される。この他、燃烧供給装置、汚泥供給用の一軸ネジ式ポンプ、オイルガン等の付属機器がある。

3.2 主要機器

(1) 過給式流動炉

過給式流動炉は、加圧状態で燃烧する流動炉で、加圧効果により酸素分圧が高くなり燃烧速度が速くなる。ガス密度が大きくなるため、従来の気泡流動炉に比べて排ガス容積が1/3程度(炉内圧力を0.2MPa・Gで運転する場合)となることから炉本体を小型化することができる。過給式流動炉の昇温は、始動用バーナにより熱風を発生させて砂層上部より加熱する。さらに砂層温度が550℃以上に達したらオイルガンに着火し、運転温度850℃まで昇温する。過給式流動炉の仕様を表1に示す。また、外観を図6、図7に示す。

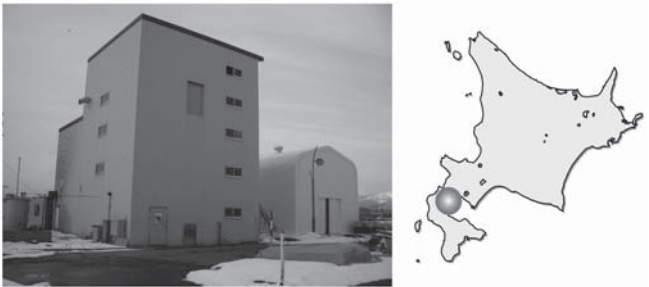


図4 実証設備建屋外観および長万部の位置  
Fig.4 Photo and location of the pilot plant at Osyamanbe, Hokkaido, Japan

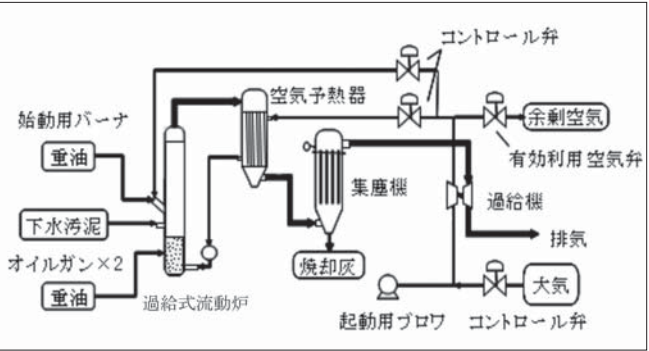


図5 実証設備フロー  
Fig.5 Flow chart of the pilot plant

| 表1 過給式流動炉の仕様<br>Table1 Specification of Fluidized Bed Incinerator with turbocharger |                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 外径／内径                                                                               | Φ1,200mm／Φ700mm  |
| 高さ                                                                                  | 9,200mm          |
| 流動媒体                                                                                | 珪砂               |
| 流動媒体量                                                                               | 530kg(流動部)       |
| 投入汚泥量                                                                               | 180kg-wet/h(85%) |
| 補助燃料                                                                                | A重油              |

(2) 集塵機

空気予熱器出口排ガスには、脱水汚泥を焼却した際に発生する灰分(ダスト)が含まれている。過給機に供給する前に、高温・高圧を維持しながら排ガス中の灰分を除去するために、集塵機はセラミックフィルタを採用する。灰分は、排ガスがセラミックフィルタを通過する際、フィルタ表面で除塵される。フィルタ表面に堆積した灰分は、パルスジェットにより定期的に逆洗され払い落とし、下部に集積される。集塵機内部を図8に示す。

(3) 過給機ユニット

過給式流動炉で発生した高温・高圧状態の排ガスのエネルギーで過給機を駆動し、圧縮空気としてエネルギー回収するものである。過給機入口排ガスが持つ圧力エネルギーと断熱膨張による温度低下分が、過給機の駆動エネルギーとなる。圧縮空気は燃烧用空気に用いるとともに、一部を余剰空気として有効利用することが可能である。過給機ユニットは、過給機軸受部へ潤滑油を供給するポンプおよび潤滑油温度を一定に保つ熱交換器により構成される。過給機の仕様は表2の通りである。また、過給機の外観を図9に示す。

4 実験概要

4.1 目的

過給式流動炉と過給機を組み合わせたシステムが成立することを実

証し、燃烧特性および余剰空気発生時の安定性を検証する。また、低負荷運転への適応性についても検証を行う。

4.2 運転方法

実験設備の立ち上げは、起動用プロワからの空気を過給式流動炉砂層部と始動用バーナに供給する。始動用バーナにより砂層上部から加熱し昇温する。砂層温度が550℃以上に達してから、オイルガンを着火し所定の温度まで炉内を昇温する。尚、始動用バーナは徐々に重油を減らして消火する。昇温により、排ガスの温度および流量が共にアップし、過給機の回転数が上昇する。これにより、炉内圧力が上昇および圧縮空気量が増加し、起動用プロワが無くても圧縮空気を過給式流動炉へ供給できる状態になる。最終的に起動用プロワを停止して昇温が完了する(脱水汚泥を投入できる状態)。この時点で過給機は、起動用プロワの運転が不要になり、自立運転状態となる。自立運転後、汚泥供給ポンプにより脱水汚泥を供給する。

表2 過給機の仕様  
Table2 Specification of Turbocharger

|            |                         |
|------------|-------------------------|
| 形式         | 遠心式                     |
| 最高回転数      | 140,000rpm              |
| 圧縮空気量      | 2～15m <sup>3</sup> /min |
| 最大圧力比      | 3.0                     |
| 許容タービン入口温度 | 750℃                    |
| 重量         | 10.5kg                  |



図6 過給式流動炉(汚泥投入部)  
Fig.6 Photo of Fluidized Bed Incinerator with turbocharger



図7 過給式流動炉(フリーボード部)  
Fig.7 Photo of Fluidized Bed Incinerator with turbocharger(freeboard)

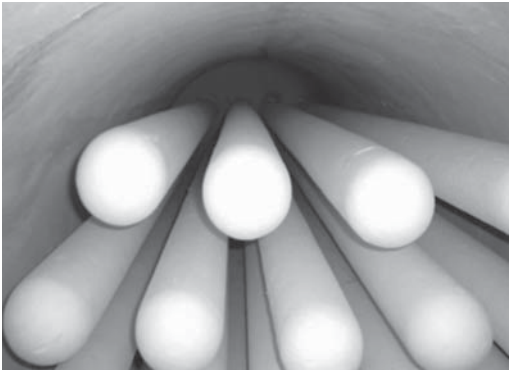


図8 集塵機内部  
Fig.8 Photo of hot gas filter

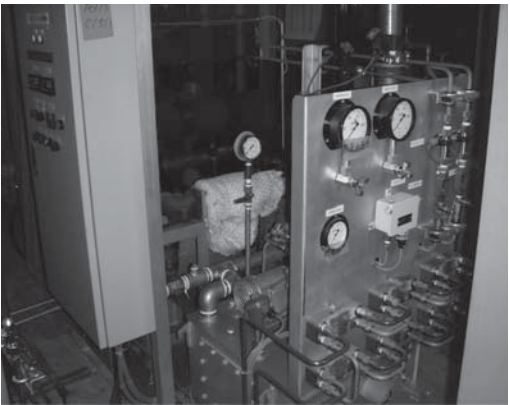


図9 過給機ユニット外観  
Fig.9 Photo of turbocharger unit



### 4.3 運転条件

汚泥を定格の180kg-wet/hで供給し、加圧下における燃焼運転を行った。焼却運転は50時間連続運転2回を含む合計207時間行った。

## 5 結果と考察<sup>4)、5)、6)</sup>

本実験に使用した脱水汚泥の性状を表3に、運転状況を図10に示す。

### (1) システムの実証と基礎的な燃焼特性の検証

連続運転時の炉内温度、圧力および汚泥、重油供給量変化を図11に、排ガス性状変化を図12に示す。

表3 脱水汚泥の性状  
Table3 Characteristics of Sewage Sludge

|       |                |
|-------|----------------|
| 水分    | 86.1 %         |
| 強熱減量  | 87.2 dry%      |
| 高位発熱量 | 20.3 MJ/kg-dry |
| 低位発熱量 | 18.8 MJ/kg-dry |
| C     | 44.9 dry%      |
| H     | 6.7 dry%       |
| O     | 26.4 dry%      |
| N     | 8.2 dry%       |
| S     | 1.05 dry%      |

砂層温度は750℃程度で安定しており、フリーボード温度(FB温度)も850℃に達して安定している。また、炉出口の排ガス温度(800～830℃)および圧力(0.080～0.095MPa)共に非常に安定している。燃焼空気量の変動もなく、過給式流動炉と過給機を組み合わせたシステムが送風動力、吸気動力無しで安定運転できることが確認できた。

実証設備では小型過給機の特性上、圧力が制限されること、また炉本体、空気予熱器および集塵機等の放熱量が大きく、圧力は0.1MPa・Gとなっている。実機では過給機を大型化し、集塵機の断熱能力アップやダクト短縮化によって容易に放熱量を低減することができ、圧力を0.2MPa・Gとすることが可能である。

排ガス性状については、炉出口温度が800℃を下回るときにCO濃度は若干高くなっているが、800℃以上では50ppm以下で推移してい

る。また、 $\text{N}_2\text{O}$  濃度は  $\text{NO}_x$  濃度とトレードオフの関係が見られ、 $\text{CO}$  濃度と正の相関があることが分かる。経過時間 600min 以降で、炉内温度(砂層温度(3)=砂層直上部)が少し上昇したときに  $\text{N}_2\text{O}$  濃度が急激に減少していることから炉内温度に依存していることも確認された。

炉内温度分布を見ると、砂層部の直上(砂層温度(3))が最も高温となっており、従来の気泡流動炉と比較して燃焼速度が速いことも確認された。今後の実証設備運転によってNO<sub>x</sub>発生量も考慮した最適運転条件を検証していく。

## (2) 余剰空気発生時の安定性

余剰空気量変化による炉内温度、圧力変化を図13に、その時の排ガス性状変化を図14に示す。

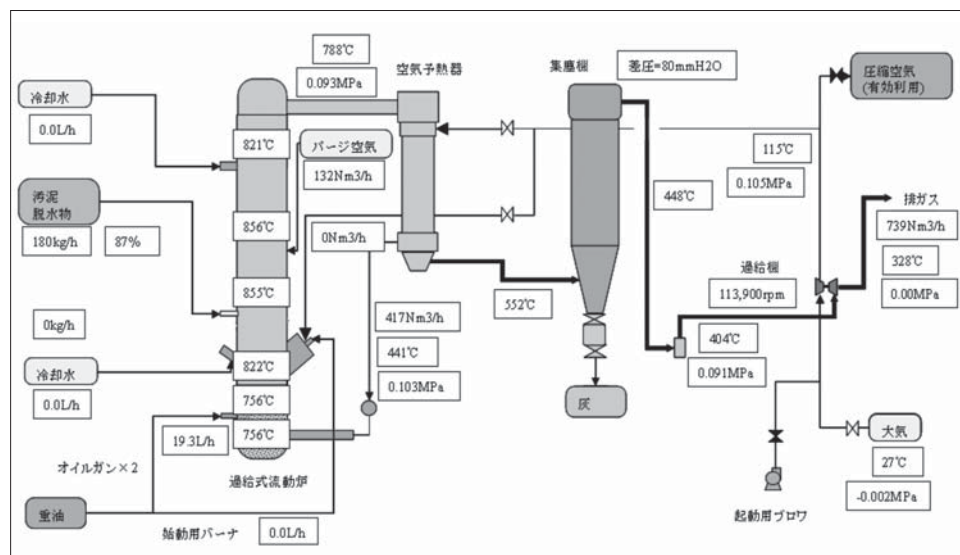


図10 運転状況  
Fig.10 Operating example of pilot plant

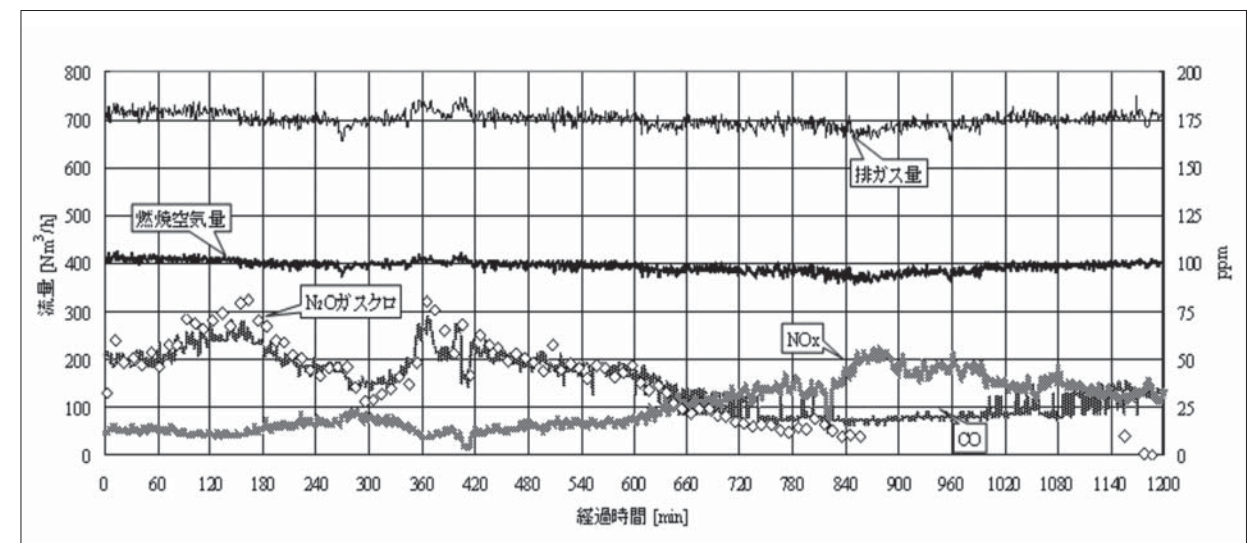


図12 排ガス性状変化  
Fig.12 NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O and CO of pilot plant

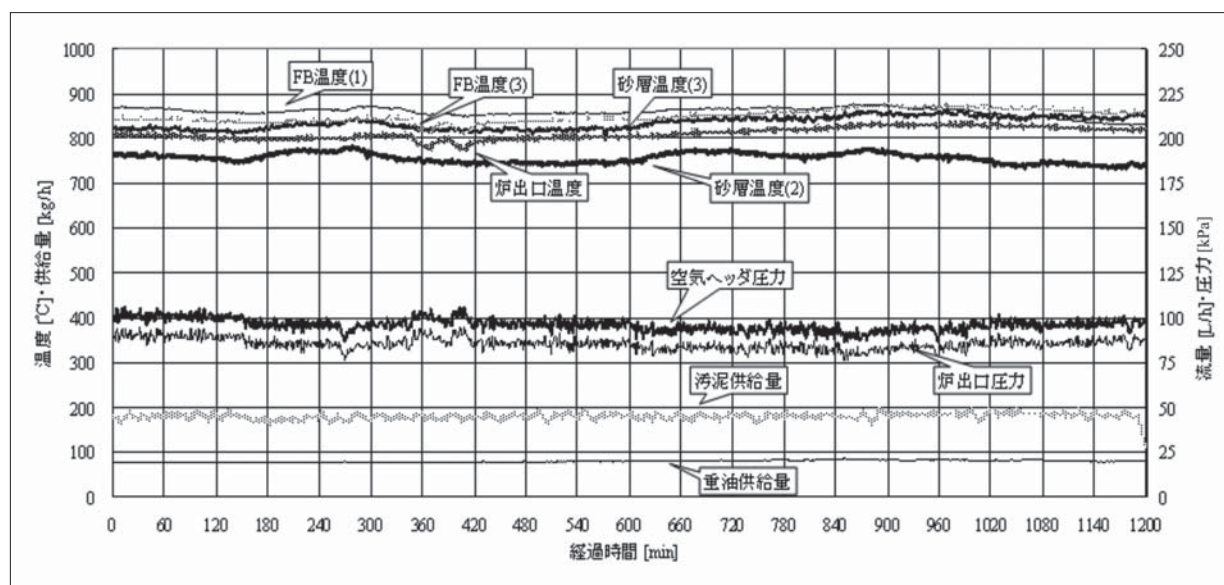


図11 炉内温度、圧力および汚泥、重油供給量変化  
Fig.11 Temperature, pressure, feed rate and oil rate of pilot plant

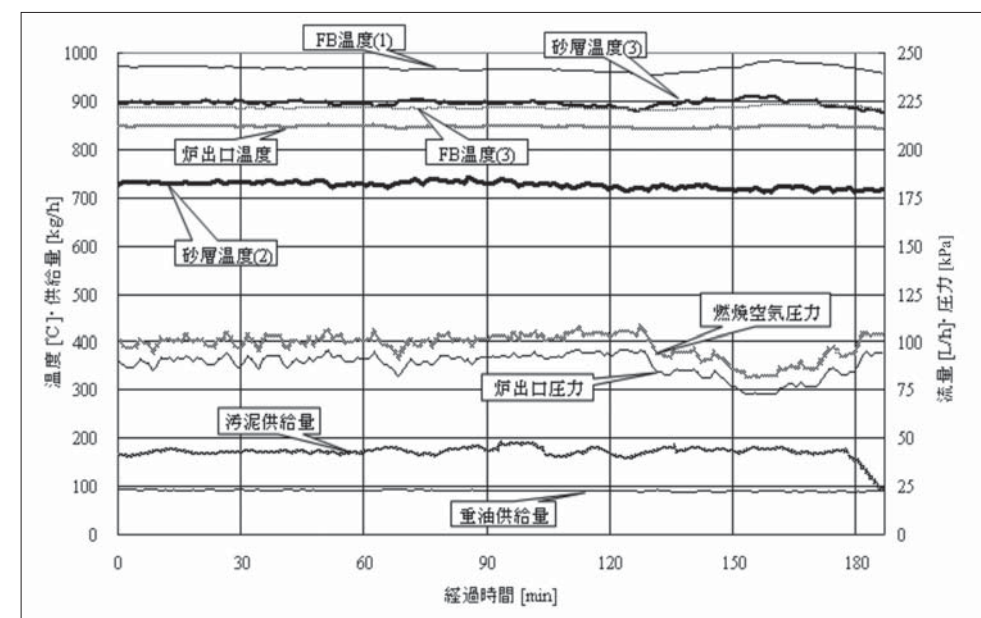


図13 余剰空気量変化による炉内温度、圧力変化  
Fig.13 Temperature, pressure, feed rate and oil rate of pilot plant while generating surplus air

図14に示すように経過時間120min以降に有効利用空気弁を徐々に開け、余剰空気を放出した。これによって、炉に供給される燃烧空气および炉から排出される排ガス量が減少すると共に、系内の圧力が下がるが余剰空気が最大で150Nm<sup>3</sup>/h発生しているときの排ガス中O<sub>2</sub>濃度は5.5%であり、燃烧空气は十分確保されている（このとき空气比は約1.3である）。つまり、送風動力および吸気動力無しの自立運転は維持される。COなどの未燃成分が増加しておらず、排ガス性状への悪影響は見られない。但し、余剰空気を発生させた時間が短いため今後も検証する。

(3)低負荷運転への適応性

実際の焼却設備において供用開始直後は定格処理量に満たない量の脱水汚泥を処理することがあるため、汚泥の供給量を変動させて負荷変動試験を行った。負荷量を180kg/h→110kg/hまで下げたときの炉内温度、圧力変化を図15に、排ガス性状変化を図16に示す。

図15に示すように経過時間80min～150minの間、汚泥供給量を定格量180kg/hから110kg/h（負荷率61%）に絞って運転を行った。これに追従して排ガス量および燃烧空气量も低下した。過給機における駆動エネルギー減少により、圧縮空气(燃烧空气)の圧力も降下したが、排ガス中のCO濃度からも分かるように不完全燃烧は見られていない。

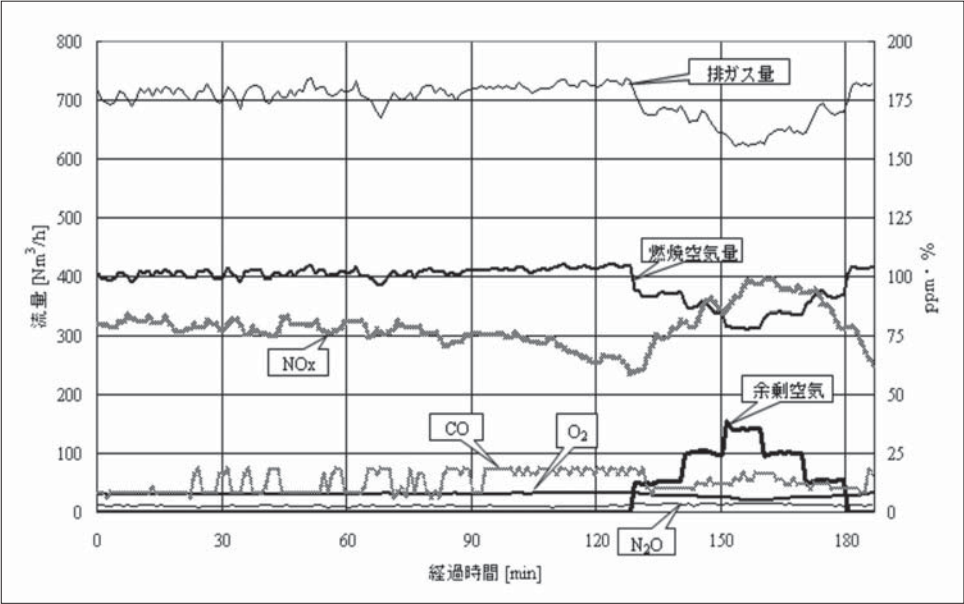


図14 余剰空気量変化による排ガス性状変化  
Fig.14 NOx, N<sub>2</sub>O and CO of pilot plant while generating surplus air

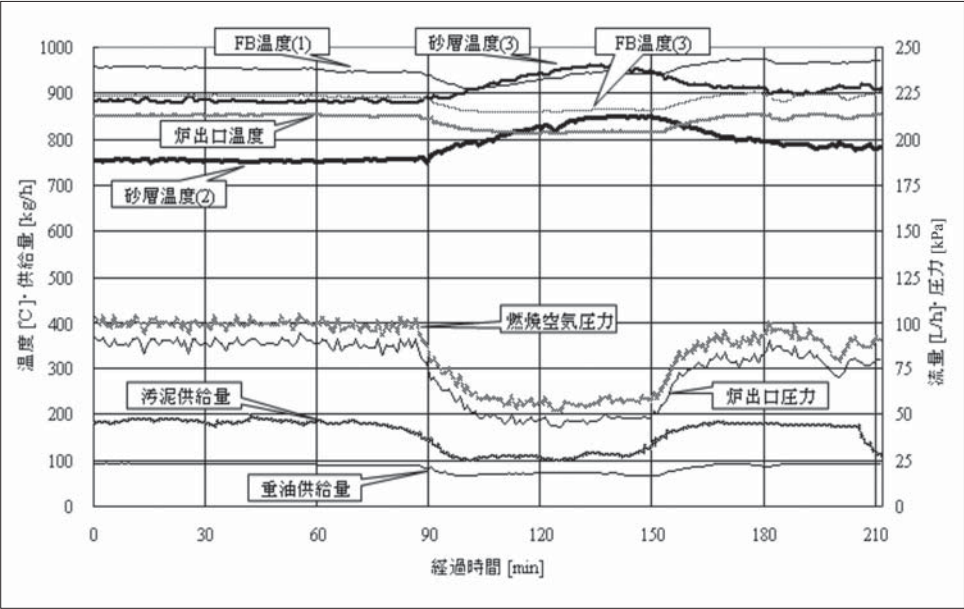


図15 汚泥供給量変化による炉内温度、圧力変化  
Fig.15 Temperature, pressure, feed rate and oil rate of pilot plant during low feeding

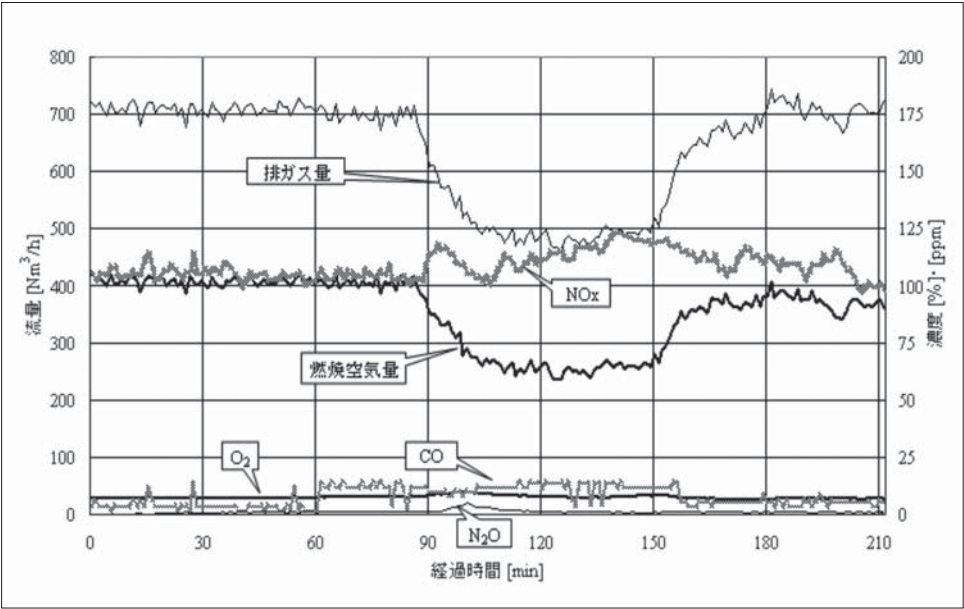


図16 汚泥供給量変化による排ガス性状変化  
Fig.16 NOx, N<sub>2</sub>O and CO of pilot plant during low feeding

6 まとめ

炉内温度および系内圧力は非常に安定しており、送風動力（流動ブロワ）および吸気動力（誘引ファン）のないシステムが50時間の連続運転で問題なく運転できることを確認した。また、焼却灰の物性値、粒度分布および排ガス性状は従来の気泡流動炉と同等であり、脱水汚泥を安定して処理できることも確認できた。

実証設備の運転圧力でも過給機が自立しているため、流動ブロワと誘引ファンは運転する必要がなく、消費電力40%削減は確実である。創エネについては運転圧力の設定によって左右される。設定圧力を高くすれば、それだけ過給機タービンにおける仕事量が増えるので発生する余剰空気量が増える。

今回の実証試験により、本システムが脱水汚泥焼却に十分適用可能であることが確認できたことから、今後は第1号機受注に向けたPR活動に注力するとともに、さらにシステムの信頼性向上を図るために、来年度も実証設備の運転を継続する。

7 謝辞

本研究は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の平成17-19年度「バイオマスエネルギー転換要素技術開発」事業に採択され、(独)土木研究所、(独)産業技術総合研究所および三機工業(株)との4社共同研究によって得られた成果である。関係者の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 長沢英和ら：下水汚泥を想定した加圧燃焼に於ける運転特性、第42回下水道研究発表会、p.1065～1067、2005
- 2) 長沢英和ら：下水汚泥の加圧状態における燃焼特性、第43回下水道研究発表会、p.965～967、2006
- 3) 長沢英和ら：加圧流動燃焼設備の実証運転、第44回下水道研究発表会、p.841～843、2007
- 4) 長沢英和ら：加圧流動層による下水汚泥焼却炉の開発、第12回流動化・粒子プロセスシンポジウム、p.247～252、2006
- 5) 長沢英和ら：加圧流動層による下水汚泥焼却炉の開発(第2報)、第13回流動化・粒子プロセスシンポジウム、p.281～286、2007
- 6) 山本隆文ら：加圧流動汚泥燃焼設備の実証運転、土木技術Vol.62、No.11、2007



# 塩酸回収技術

## HCl Recovery System



山口 展弘

Nobuhiro YAMAGUCHI

月島環境エンジニアリング株式会社  
プロポーザル本部  
プロセス設計部

### Abstract

Many industrial products containing Chlorine (Cl) such as synthetic fibers, plastics, pesticides and solvents require safe treatment of Chlorine. In addition, even if Chlorine is not contained in the product itself, many products use Hydrochloric Acid (HCl) or Chlorine Gas ( $\text{Cl}_2$ ) in the manufacturing process and generate wastes containing Chlorine called Chlorinated Organic Waste that require treatment without pollution.

Technologies or processes developed and established by Tsukishima Kankyo Engineering Ltd.(TSKE) include the following:

- Decomposition of incombustible Chlorinated Organic Waste by incineration
- Neutralization of combustion gas containing of HCl gas
- Recovery of 20wt% HCl solution by absorber
- Recovery of 35wt% HCl solution or 100wt% HCl gas by distillation
- Recovery of energy such as steam recovery by waste heat boiler

This paper describes the HCl recovery system, performance, installation records including awards for the technologies.

キーワード：塩酸、塩化水素、塩酸回収設備、有機塩素系廃棄物、燃焼炉  
Keyword：HCl, Hydrochloric Acid, HCl Recovery System, Chlorinated Organic Waste, Combustion Furnace

### 1 はじめに

合成繊維、プラスチック、農薬、溶剤、その他で塩素 (Cl) を含有する工業製品は非常に多い。また製品自体に塩素を含まなくても、製造過程で塩酸 (HCl) ないし塩素ガス ( $\text{Cl}_2$ ) を使用するものも多い。これらの製造工場では必ず塩素を含有する廃棄物、いわゆる有機塩素系廃棄物が発生し、これらを安全かつ無公害で処理しなければならない。

月島環境エンジニアリングでは、難燃性の有機塩素系廃棄物を燃焼処理し、燃焼にて発生した HCl を中和処理し無害化するか、または吸収塔で水吸収により数～20wt% 程度の塩酸を回収したり、さらに吸収塔で回収した塩酸を蒸留して 35wt% 程度の塩酸または 100wt% 塩化水素として回収する技術を確認してきた。さらに燃焼分解ガスから廃熱回収として廃熱ボイラーを設置してスチームを回収するなどのエネルギー回収にも取り組んでいる。

以下に月島環境エンジニアリング独自の塩酸回収技術について説明する。

### 2 装置の概要

本装置は図1に示すように有機塩素系廃液、廃ガスを燃焼分解し、燃焼ガスからスチーム回収及び 100wt% 塩化水素を回収するものである。(図1は廃熱ボイラーによるスチーム回収及び 100wt% 塩化水素回収の例を示す。)

処理システムは、燃焼分解工程(燃焼炉)、廃熱回収工程(廃熱ボイラー)、ガス冷却・塩酸吸収工程(冷却塔・吸収塔)、排ガス洗浄工程(除害塔)及び蒸留工程(放散塔)の5工程から成る。

本システムでは、有機塩素系廃液、廃ガス及び補助燃料をバーナーに導き、所定量の空気と共に燃焼する。バーナーは高速短焰バーナーを用いて高負荷燃焼を行っているため有機物は完全に分解され、塩素分はほとんどが塩化水素になる。

この燃焼ガスは次の廃熱ボイラーでスチームを発生させると同時に 300～350℃ 程度まで冷却され、続く冷却塔でさらに冷却される。冷却塔より出た燃焼ガスは吸収塔に導入され、塩化水素は吸収水により 22～25wt% 程度の塩酸として回収される。

吸収塔からの塩酸は放散塔にてリボイラーによる加熱により塔頂からの塩化水素蒸気と、塔底からの共沸組成の希塩酸に分離される。塩化水素蒸気はコンデンサーにおいて水分を除去され 100wt% 塩化水素として回収される。

一方、吸収塔塔頂より出る燃焼ガスは、更に除害塔にてアルカリ水溶液で中和処理され大気に放出される。除害塔塔頂には塩化水素及び塩素除去用のアルカリ水溶液と塩素とアルカリ水溶液との反応で生成する次亜塩素酸ナトリウムを分解するための還元剤が供給され、塔底から除害塔排水として排出される。

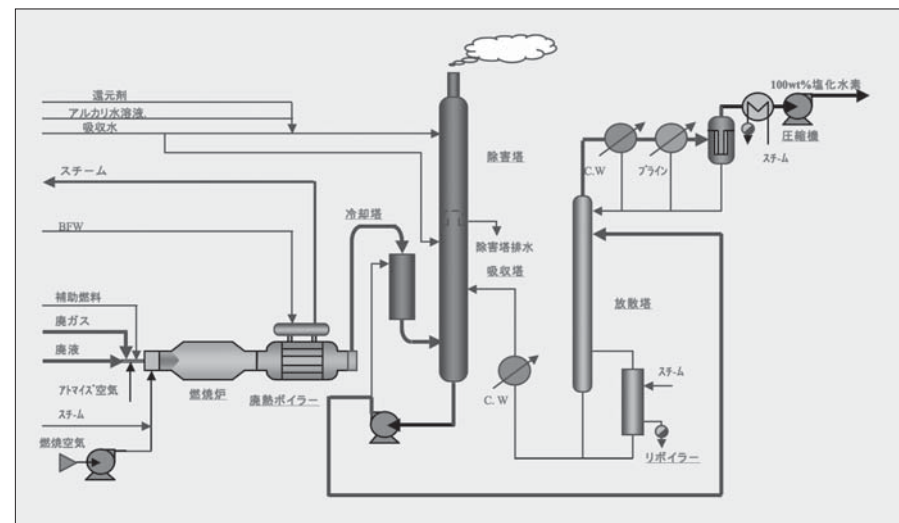


図1 塩酸回収設備フローシート  
Fig.1 Flow sheet of HCl Recovery System

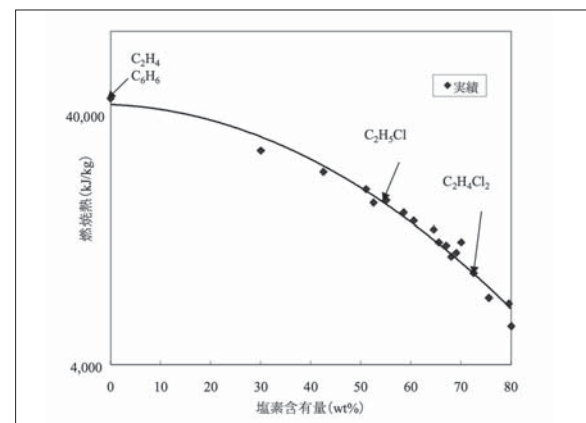


図2 塩素含有量と燃焼熱<sup>1)</sup>  
Fig.2 Relation between Chlorine Content and Higher Heating Value

#### 2.1 燃焼分解工程

本工程は、難燃性の有機塩素系廃液及び廃ガスを特殊な設計の基に開発された燃焼炉により、高負荷燃焼及び高分解率を実現するためのものである。

##### (1) 廃液・廃ガスの燃焼性

有機塩素系廃液及び廃ガスの燃焼性は含有する塩素の量によって低下していく。図2は塩素の含有率と廃液1kg 当りの燃焼熱を示すものであり、塩化ビニルモノマー (VCM) 製造工場において生成される廃液は、40～75wt% 程度の塩素含有量のものが多い。一方バーナーにより補助燃料の添加なしでも安定した燃焼が可能な限界は、廃液組成によっても異なるが 12,550 kJ/kg (3,000 kcal/kg) 程度である。従って塩素含有率が 65wt% 以上の廃液については、何らかの方法で補助燃料との混合によりカロリーアップするか、または補助燃料との混焼が必要となる。

##### (2) 高負荷燃焼バーナー

燃焼用のバーナーは高負荷燃焼を行う月島環境エンジニアリング製

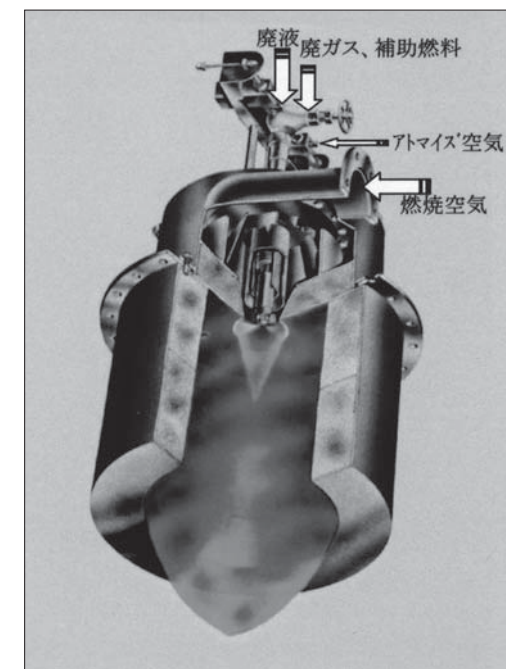


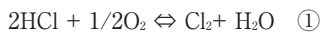
図3 ボルテックスバーナー説明図  
Fig.3 Explanatory drawing of Vortex Burner

のボルテックスバーナーを使用する。図3にその説明図を示した。燃料・廃液はアトマイズ空気 (0.5MPaG 程度) で噴霧・微粒化を行うと同時に燃焼用空気は急激な旋回流を与えて短時間で燃焼が完結するので炎が非常に短い。これにより燃焼負荷は 38 GJ/m<sup>3</sup>/h (9 Gcal/m<sup>3</sup>/h) 程度となり、バーナー部にて難燃性の有機塩素系廃液、廃ガスはほとんど酸化分解が完了する。さらに廃液、廃ガスが完全に酸化分解を終了するには、ある程度高温での滞留時間が必要である。本装置では燃焼温度が 1200～1450℃ の温度範囲にてガス滞留時間は 0.4～2 秒としている。VCM 廃液燃焼における実績として 1400℃、0.75 秒で分解率 99.9999% (6- ナイン) を達成している。



### (3) 塩素

廃液、廃ガス中の塩素分はほとんど塩化水素になるが、高温化では次式の反応により微量の塩素が副生する。



燃焼ガス中の残存塩素の量を極力少なくするためには、水蒸気が充分存在する下で、理論空気量付近で燃焼を行うことが必要である。また、①式の水蒸気添加による燃焼ガス中の水蒸気分圧を上げる操作は、平衡上、塩素低減効果になる。

### 2.2 廃熱回収工程

本工程は、燃焼炉で燃焼分解された燃焼ガスを廃熱ボイラーに導き廃熱回収を行う。燃焼ガス中には塩化水素と水蒸気が存在しているため露点腐食(下限温度)と高温域の塩化鉄形成による腐食(上限温度)の二様があり廃熱ボイラーの腐食設計はこの上下限内のさらに充分安全を見込んだ比較的狭い温度領域内にいかにしてメタル温度を収めるかがもっとも重要なポイントとなっている。

#### (1) 露点腐食対策

例として、70wt%含有のVCM廃液燃焼ガスについて、HCl～H<sub>2</sub>O気液平衡データから露点を推算すると約70℃となるが、通常は充分な安全をみて、150℃程度をメタル下限温度として設計する。これは大気圧下の20wt%塩酸の最高共沸温度が110℃となること、さらに鋼材の吸湿性を考慮して露点+30℃が必要とされることが根拠となっている。

#### (2) 高温腐食対策

HClによる腐食メカニズムについては諸説発表されており、とくにH<sub>2</sub>O、O<sub>2</sub>が共存する場合には、これらが腐食生成物に関与しさらに金属酸化物のデポジットが存在すると、これが触媒作用により異常腐食促進となる等、複雑な要因がからんでいる。メタル上限温度としては300～320℃としている。これは、FeCl<sub>3</sub>の融点(300℃)及び沸点(317℃)に対応するものでHCl含有量の多少、その他の条件のいかんを問わず超えてはならない上限としている。腐食速度の管壁温度による変化を図4に示す。

#### (3) ダイオキシン対策

廃熱ボイラー出口ガス温度は通常300～350℃となる。本装置は有機塩素系廃液、廃ガスを燃焼処理し、廃熱ボイラー内部でダイオキシンが再合成されやすい温度範囲(300～470℃)を通過するため排ガス中のダイオキシン発生の抑制として、廃熱ボイラー出口温度をダイオキシンが再合成される温度範囲より上げたり、廃熱ボイラー出口から冷却塔までの距離を短くし、再合成されやすい温度域の滞留時間を短くする事で対応している。また、0.1ng-TEQ/Nm<sup>3</sup>以下の規制値を求められる場合は、廃熱ボイラーを設置せず燃焼炉からの燃焼ガスを直接液中に噴射して冷却する液中燃焼法によるガス冷却を採用するケースもある。

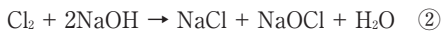
### 2.3 ガス冷却・塩酸吸収工程

廃熱ボイラー出口ガス温度は通常300～350℃となる。従って、このガスを後続の吸収塔へ導入する前に冷却する必要がある。その方式はスプレー方式の冷却塔を採用しており、吸収塔入口ダクト部へ塩酸スプレーを行うことで冷却している。冷却塔で冷却された燃焼ガスは吸収塔に導き塩化水素を吸収水及び放散塔からの希塩酸で吸収する。吸収塔は泡鐘塔ないし充填塔が使用され、気液向流接触により水吸収が行なわれる。吸収した塩酸は22～25wt%程度の塩酸として回収される。

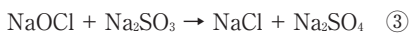
### 2.4 排ガス洗浄工程

前述2.1燃焼分解工程で生成する塩素(反応式①)は水に対する溶解度が低く冷却塔及び吸収塔では完全には吸収除去できない。従って、塩素及び塩酸吸収工程で吸収しきれなかった微量の残存塩化水素を水酸化ナトリウム水溶液等のアルカリ水溶液で中和洗浄する。中和洗浄後、燃焼ガスは大気に放出される。除害塔は吸収塔と同様、泡鐘塔または充填塔が使用される。

なお、水酸化ナトリウムと塩素との反応で次式のように次亜塩素酸ナトリウムを生成する。



次亜塩素酸ナトリウムは、洗浄設備の構成材料であるFRP等の樹脂層と反応して設備を腐食させる原因となる。従って、亜硫酸ナトリウム等の還元剤を添加して以下のように分解し設備の腐食を防ぐ。



以上の除害塔での管理は、pH測定により苛性ソーダ供給量を、ORP(酸化還元電位)測定により還元剤供給量を自動または手動制御している。

### 2.5 蒸留工程

VCM製造工場では100wt%塩化水素を回収し、VCM製造工程の

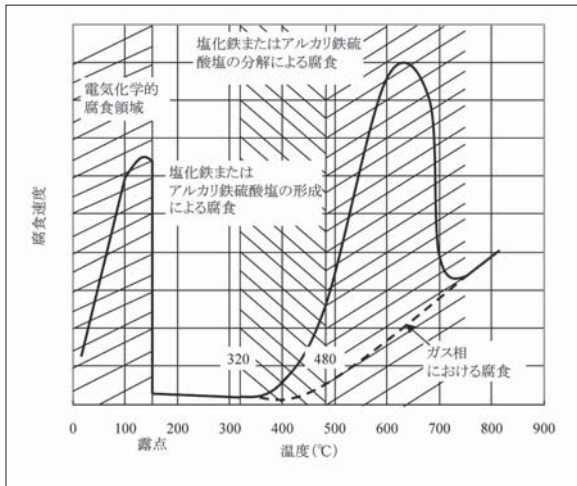


図4 腐食速度の管壁温度による変化<sup>2)</sup>  
Fig.4 Relation between Corrosion Rate and Tube Temperature

原料として循環使用したいという要望がある。塩酸は常圧においては約20wt%の共沸組成を有することは衆知の通りである。一般にVCM製造工場から排出される廃液中の塩素の含有量は40～75wt%程度のもが多く、これを燃焼処理し、燃焼ガス中の塩化水素を吸収塔で水吸収した場合、共沸組成以上の22～25wt%程度の塩酸が回収できる。この共沸組成以上の塩酸を蒸留し100wt%塩化水素として回収する。また、図1のプロセス以外にも条件により2.5 (2)、(3) 項のようなプロセスが採用される。

#### (1) 1塔式による100wt%塩化水素回収

図1に示すように1本の放散塔から構成され、回収された100wt%塩化水素は圧縮機にて圧縮されVCM製造工程に戻されるシステムである。

圧縮機にてVCM製造工程に戻されるのであるが、100wt%塩化水素中に残存する水分は圧縮機の腐食を防止するために極力除去され

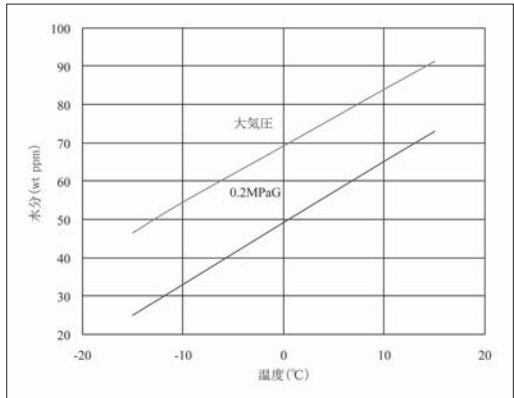


図5 塩化水素中の水分と温度の関係<sup>1)</sup>  
Fig.5 Relation between Moisture of HCl Gas and Temperature

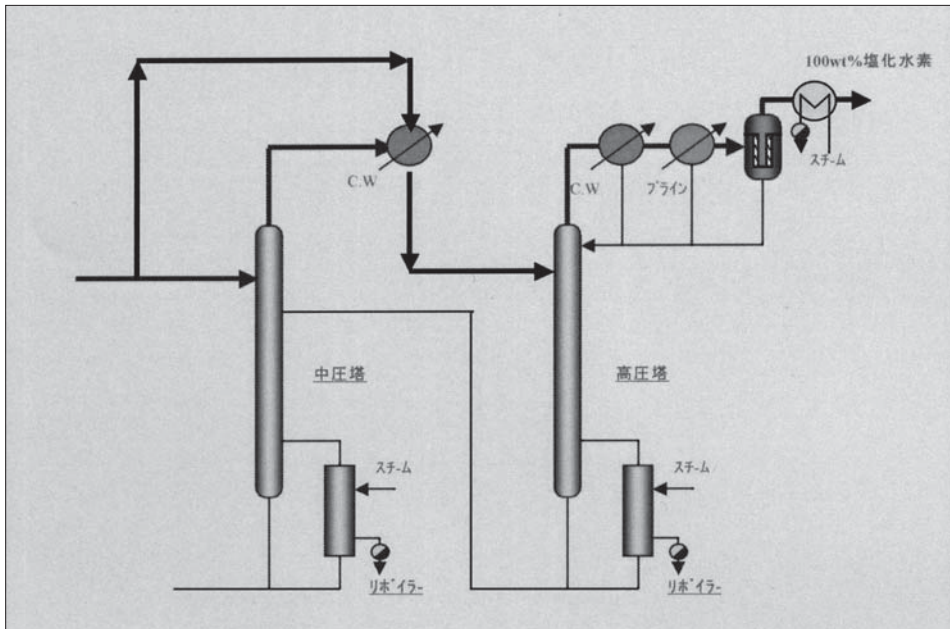


図6 2塔式塩化水素回収設備フローシート  
Fig.6 Flow sheet of HCl Gas Recovery System using two towers



の濃度を共沸濃度まで下げず、約27wt%程度で操作圧力を0.5MPaG程度に調整すると操作温度は、第1塔の操作温度と同じような温度条件で制御可能となる。このことにより材質、熱交換器の問題が解決でき、圧縮機無しで所定圧力の100wt%塩化水素が回収する事ができる。

(3) 抽出蒸留による100wt%塩化水素回収

塩酸は常圧においては約20wt%の共沸組成を有するので、共沸濃度以下の濃度を蒸留しても共沸濃度以上には上がらないが、塩酸に硫酸または塩化カルシウムなどの抽出剤を添加していくと、その添加量の増加に従って共沸組成は低下し、硫酸の場合は約38wt%、塩化カルシウムの場合には約30wt%で塩酸-水系の共沸点は消失する。これら抽出剤添加量と塩酸-水系の気液平衡は図7、図8に示す。抽出蒸留を適用することにより吸収塔での回収塩酸濃度が薄い濃度でも100wt%塩化水素の回収は可能となる。

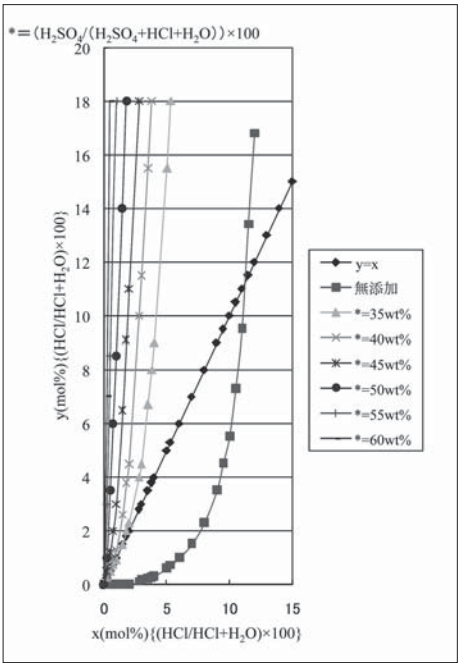


図7 HCl－H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>－H<sub>2</sub>O系気液平衡図<sup>1)</sup>  
Fig.7 Vapor-Liquid Equilibrium of HCl－H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>－H<sub>2</sub>O

3 塩酸回収設備の性能

塩酸回収設備の性能の一例を表1に示す。当社の塩酸回収設備は、以下のように大気中に排出される排ガス濃度は環境規制値を十分に満足する性能を持つ。また、回収された35wt%塩酸は、日本ソーダ工業会規格合成塩酸 (JSIA04-1998) 2種以上の品質のものが得られる。100wt%塩化水素中の水分も充分に低減できVCM製造工程ヘリサクルが可能な品質を有する。

4 実績

月島環境エンジニアリングでは、塩酸回収設備を1965年頃より建設開始し現在では国内外において100基以上納入している。有機塩素系廃棄物の代表的なものとしてVCM含有廃液、廃ガスがあるが、当

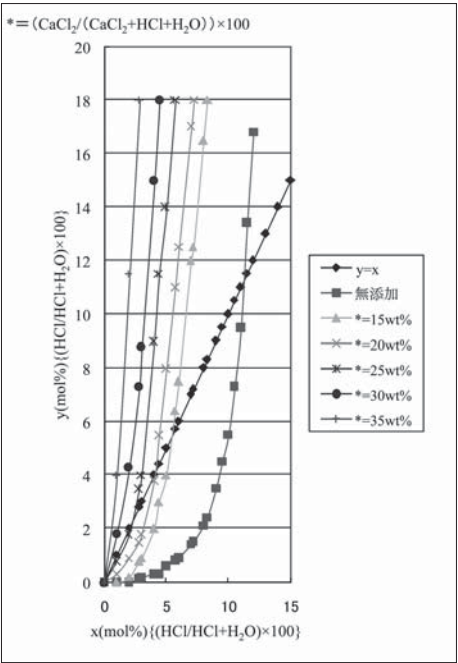


図8 HCl－CaCl<sub>2</sub>－H<sub>2</sub>O系気液平衡図<sup>1)</sup>  
Fig.8 Vapor-Liquid Equilibrium of HCl－CaCl<sub>2</sub>－H<sub>2</sub>O

社納入の塩酸回収設備の60%程度をVCM製造工場へ納入している。塩酸回収技術は有機塩素系廃棄物の燃焼技術、液中燃焼方式による冷却技術、廃熱ボイラーによる廃熱回収技術、塩化水素ガスの吸収技術、塩素ガスの除害技術、高濃度塩酸回収技術の組合せの設備となっており、当社の技術開発、技術改良による長年のノウハウの蓄積により40年以上の実績を積み上げている。この塩酸回収技術は第2回分離技術会賞技術賞(1993年)を受賞している。また、フロン類破壊装置は、この塩酸回収技術の応用のもとに開発された技術であり第30回優秀環境装置の日本産業機械工業会長賞(2004年)の受賞、第8回オゾン層保護・地球温暖化防止大賞では経済産業大臣賞(2005年)を受賞している。

5 おわりに

塩酸回収設備はVCM製造工場の建設が一段落し建設件数は減少傾向であるが、今後、廃プラスチック処理後の脱塩素ガスの処理、共沸濃度以下の塩酸から高濃度塩酸回収、塩化水素、塩素ガス含有の排ガス処理、有機塩素系貯蔵タンクからのベントガス処理など塩酸回収技術を適用した塩素リサイクル設備は今後も注目され、将来的にも期待される設備と考える。

参考文献

- 1) 見立和夫:塩化ビニル工業よりの有機塩素化合物廃液の処理、塩化ビニールとポリマー,8,9(1968)
- 2) 諏訪良和、小野田忠雄、立石泰弘:有機塩素化合物廃液の焼却システム,化学装置,23,11(1981)
- 3) 原行明:有機塩素系廃棄物の焼却処理技術,安全工学, Vol.29 No.6(1990)

表1 塩酸回収設備の性能表  
Table1 Performance Table of HCl Recovery System

| 項目         |                      | 単位                     | 規制値      | A 社要求値    | A 社実績値       | 備考           |
|------------|----------------------|------------------------|----------|-----------|--------------|--------------|
| 排ガス        | HCl                  | mg/Nm <sup>3</sup>     | 700      | 40.0 以下   | 0.38         |              |
|            | Cl <sub>2</sub>      | mg/Nm <sup>3</sup>     | 30       | 15.0 以下   | 0.005        |              |
|            | NO <sub>x</sub>      | vol-ppm                | 250      | 50 以下     | 17           |              |
|            | ダイオキシン類              | ng-TEQ/Nm <sup>3</sup> | —        | 0.1 以下    | 0.000008     | 液中燃焼装置にて     |
|            | PCB <sup>3)</sup>    | %                      | —        | 99.99 以上  | 99.999999 以上 | 分解率として       |
| 35%塩酸      | 塩酸                   | wt-%                   | 35 以上    | 35 以上     | 35.5         | JSIA 04-1998 |
|            | 鉄(Fe)                | wt-%                   | 0.002 以下 | 0.002 以下  | 0.00005 以下   | JSIA 04-1998 |
|            | 強熱残分                 | wt-%                   | 0.01 以下  | 0.01 以下   | 0.01 以下      | JSIA 04-1998 |
|            | 塩素(Cl <sub>2</sub> ) | wt-%                   | —        | 0.0001 以下 | 0.00001 以下   |              |
| 100wt%塩化水素 | 水分                   | wt-ppm                 | —        | 100 以下    | 50           |              |



# 大電流プラズマアシスト蒸着装置の開発と光学薄膜成膜への展開

## The development of High-current Plasma Assisted Deposition system and the application examination to optical thin-film coating

### Abstract

Digital electric appliance market is actively headed toward the start of digital broadcasting in recent years, represented by thin and large screen TV, DVD recorders, digital cameras and other devices. For all of these devices, optics technology becomes the key and various optical elements such as lenses are used. Optical thin-film multi-layers that appropriately fit application on infra-red-cut filters are formed on the surface of those optical elements.

Tsukishima Kikai Co., Ltd. (TSK) has produced the vacuum thin-film coating system by contracted manufacturing, and accumulated technologies for vacuum apparatus production since 1980. Furthermore, the challenge was taken to develop the technology for thin-film coating process, essential for vacuum thin-film coating makers.

Our thin-film coating process technology was developed by using pressure gradient type plasma source together with vacuum evaporation called, “Plasma Assisted Deposition (PAD) method,” and the High-Current Plasma Assisted Deposition system (XLS1500PA) was developed by combining experience from these two vacuum technologies. The feature of XLS1500PA is to take reactive evaporation in a plasma activity atmosphere.

As the film is formed mainly by metallic compounds, our attention is focused on applying the PAD technology effectively on optical thin-films. The configuration and features of XLS1500PA are described, and characteristics of the optical thin-film formed by this PAD system are introduced in this paper.

キーワード：光学薄膜、真空蒸着、イオンプレーティング、プラズマアシスト蒸着、圧力勾配型プラズマガン  
Keyword：Optical thin-film, Vacuum evaporation, Ionplating, Plasma assisted deposition, Pressure gradient type plasma source

### 1 はじめに

近年、デジタル放送の開始に向け薄型大画面TV、DVDレコーダー、デジタルカメラ等に代表される、いわゆるデジタル家電市場が活況を呈している。これらは全て光学技術がキーポイントとなっており、光学レンズ等の様々な光学素子を使用されている。

光学素子の表面にはその使用目的に合わせた光学的なフィルターもしくはミラー機能を持つ光学薄膜が成膜され、例えばこれらの薄膜は光を三原色に分けるなどの役割を担っている。従って、映像機器、光記録機器等の光学技術をキーポイントとする機器には光をコントロールする光学薄膜技術が必要不可欠である。<sup>1)</sup>

当社では、以前より真空成膜装置<sup>注1)</sup>の受託製造を行っており、それにより培ってきた真空装置製造技術に加え、プラズマアシスト蒸着方式(以下、PAD (Plasma Assisted Deposition) 方式)と呼ぶ成膜プロセス技術を自社開発した。これらの技術を融合して開発した大電流プラズマアシスト蒸着装置(XLS1500PA)は、真空中で材料蒸気を発生し成膜を行う真空蒸着装置であり、特にプラズマ活性雰囲気中で反応性蒸着を行うことを特徴している。光学薄膜は主に金属化合物で形成されるため、PAD方式が最も適した分野と考え、その適用を検討した。本技術紹介では大電流プラズマアシスト蒸着装置(XLS1500PA)の構成、特徴を記述し、本装置で成膜を行った光学薄膜の特徴について紹介する。

### 2 光学薄膜とその成膜法

ナノメートルオーダーの薄い透明な誘電体膜をガラス基板に積層すると、そのガラスを通る光が多重干渉を起こす。その現象を利用することで様々な光学特性を得ようとする膜が光学薄膜である。図1に光学薄膜の模式図を示す。屈折率の異なる媒質が光が通過すると、各層の境界面で光が反射する。光は波の性質を持つため、各層の反射波は膜厚に依存して起こる位相差により干渉を起こす(図1下)。その位相差は波長により異なるため、反射波の合成となる反射光は波長に依存した強度を持つことになる。透過光強度はエネルギー保存則により、膜自身による光の吸収を無視すれば、入射光強度から反射光強度を差し引いたものと考えることが出来る。よって各層の膜厚を適切な厚みに設定すれば、波長ごとに反射率、透過率のコントロールが可能となる。

従来、光学薄膜の成膜は真空蒸着法<sup>注2)</sup>により行われてきたが、出来る膜は柱状晶<sup>注3)</sup>であるため、その結晶粒界に大気中の水分が入り込み光学特性が変化する現象が見られる。このような不安定な膜特性では、最近の厳しい光学薄膜の要求仕様を満たすことは出来ない。この問題を解決する方法として、蒸発粒子になんらかのエネルギーを与えながら蒸着を行うことで、膜成長面での蒸発粒子の表面拡散、反応を促進し、緻密なアモルファス<sup>注4)</sup>膜を形成する方法が最近用いられている。この方法を一般にアシスト蒸着と呼ぶ。<sup>1)</sup>

アシスト蒸着方式は、アシストするための高エネルギーイオンを放出するイオンガンを用いたイオンアシスト蒸着方式と高密度プラズマ雰囲気中で蒸着を行うイオンプレーティング方式に大別される。本装置はイオンプレーティングの部類に属すが、特にプラズマ発生源に低電圧、大電流プラズマを発生させる圧力勾配型プラズマガンを用いていることが特徴であり、大電流プラズマアシスト蒸着方式と呼んでいる。

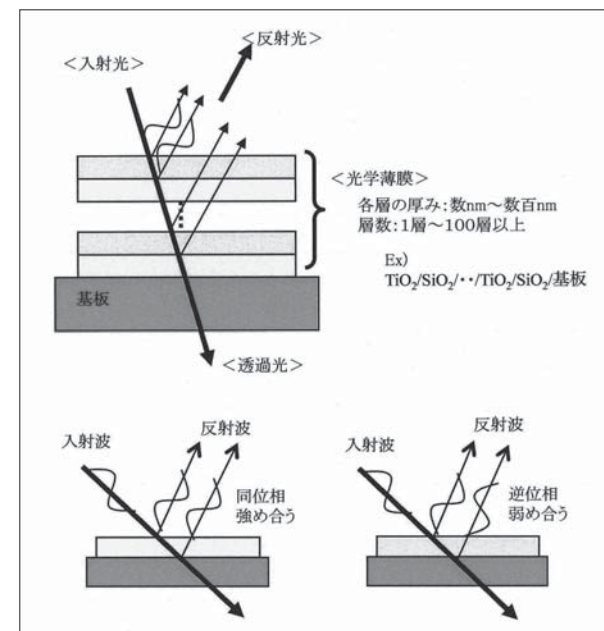


図1 光学薄膜の模式図  
Fig.1 Schematic drawings of multiple optical layers

### 3 プラズマアシスト蒸着方式

図2にイメージ図を示す。以下に簡単に成膜工程を説明する。また、説明文中の番号はイメージ図上の番号に対応する。

- 工程1：成膜する基板をチャンバー内天井側にある①基板搭載治具に複数枚セットする
- 工程2：②真空チャンバー内を真空排気系で目標の到達圧力まで真空排気を行う
- 工程3：排気中及び成膜中は③基板加熱ヒーターで基板を加熱する また、基板搭載治具は基板を均等に加熱するために常時回転している
- 工程4：④プラズマガンよりチャンバー内に高密度プラズマを放出する。放電ガスは、成膜したい膜材料により選択する。例えば、可視光域をコントロールする光学薄膜の材料には主に金属酸化物が用いられるため、この場合は酸素プラズマを発生させる
- 工程5：⑤電子ビーム<sup>注5)</sup>照射により、ルツボにセットした材料を加熱蒸発させる

以上の工程を経て、材料蒸気が基板に到達することにより成膜が行われる。

PAD方式の特長は、プラズマ雰囲気中に材料蒸気を発生させることにより、材料蒸気の一部がイオン化することに加え、金属化合物の膜を形成する場合、プラズマ中の活性なラジカル粒子<sup>注6)</sup>が膜形成における反応過程に大きく寄与することである。アシスト源を持たない(図2で言えばプラズマを発生させるプラズマガンがない状態)従来の電子ビーム蒸着(以下、EB (Electron Beam) 蒸着)は、膜形成に寄与するエネルギーが材料の熔融温度と基板加熱のみであり、基板に到達した蒸発粒子はすぐにそのエネルギーを失う。一方、イオン化した蒸発粒子は基板とプラズマガンとの間で発生する電位差により加速され、加熱エネルギー以外のエネルギーが付加される。例えば1価のイオンを1Vで加速したエネルギー = 1eVは約12000℃のエネルギーに相当するため、基板に到達してもすぐにエネルギーを失うことがない。このことによる効果を図3にて説明する。

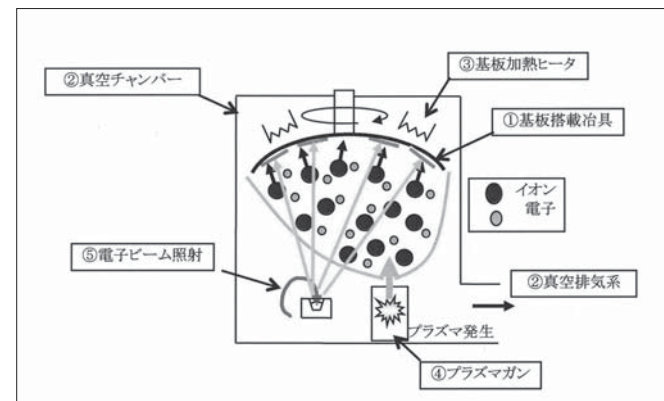


図2 PAD方式の模式図  
Fig.2 Schematic drawing of PAD



①基板表面クリーニング

成膜前の基板にプラズマを照射することにより、プラズマ洗浄の効果を得ることが出来る。表面の濡れ性の変化や活性化により、膜の密着性が増す効果がある。

②表面拡散

前述したイオンエネルギーを持つことにより、基板に到達した蒸発粒子イオンはすぐにその場に留まらず、表面をある程度移動することが出来る(表面拡散)。これにより、エネルギー的に安定な隙間に粒子が埋め込まれ充填密度が増す。また、後から突入してくるイオンは表面拡散エネルギーを与えると同時に物理的な衝撃により、粒子を押し込む効果がある。

③反応ガスイオン・ラジカル粒子の衝突

イオンエネルギーやプラズマ中にラジカル粒子が存在することにより、非常に活性化状態で金属化合物の化学反応を起こすことが出来る。例えば酸化物であれば、不完全酸化を防ぐことになり、光学的な機能では損失となる膜自身による光吸収を小さくすることが出来る。

ここで、③反応性について酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)成膜での実例を挙げる。TiO<sub>2</sub>の蒸着にはそのままの組成比では無く、Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の組成比の材料を用いることが行われる。その理由は溶融、蒸発と同時に電子ビームのエネルギーにより材料が分解され、その組成比が変化してしまうためである。目的の組成比にするには、組成比をコントロールした材料を用いるとともに、真空チャンバー内に酸素を必要量導入し、酸素雰囲気中で材料を蒸発させる。PAD方式の場合、酸素プラズマ中で蒸発させることでより高反応性雰囲気での成膜が出来ることになる。

図4はPAD方式の酸化能力を示すために行ったテストの結果であ

る。TiO<sub>2</sub>をEB蒸着および、PAD方式にてそれぞれ成膜した。基板を図2の基板搭載治具において同じ位置に設置し、成膜条件は蒸発スピード、酸素導入量、成膜時間を同一にしており、違いは酸素雰囲気におけるプラズマ化の有無である。左写真のEB蒸着では酸化が追いつかず、不完全酸化となったために光を吸収し、黒く見える。一方、右のPAD方式では完全酸化に近付き光吸収量が減ったために透明になっている(少しピンク色に見えるのは、前述した光干渉の効果で、赤色に相当する波長が他の波長に比べ多く透過しているため)。この結果からプラズマアシストでの高反応性蒸着による酸化能力の高さが示された。これは光学的機能において損失となる光吸収を抑えるだけでなく、同じ酸化度合いの膜を成膜したい場合PAD方式の方が成膜速度を速く設定することができ、結果生産時間の短縮にもつながることを示している。

以上のプラズマアシストによる効果をEB蒸着との比較として表1にまとめる。基板クリーニング、表面拡散、反応性について関係するエネルギーを挙げた。PAD方式は、EB蒸着が持つエネルギーにさらに付加的なエネルギーを与えることにより、充填密度の高い膜が形成され、EB蒸着方式と比べて表面の平滑さ、高温・高湿に対する耐久性、密着性などの点で優れた膜を成膜することが出来る。

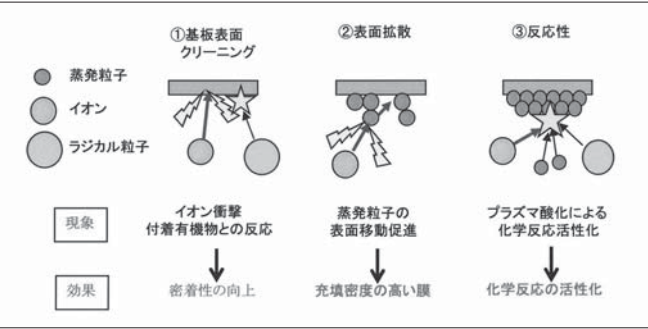


図3 プラズマアシストによる効果  
Fig.3 Effect by Plasma Assist

表1 電子ビーム蒸着とプラズマアシスト蒸着方式の比較  
Table.1 Comparison of electron beam deposition and PAD

|      | 電子ビーム蒸着                      | プラズマアシスト蒸着                         |
|------|------------------------------|------------------------------------|
| 基板洗浄 | 基板加熱による吸着ガスの脱離               | 左記<br>+プラズマ洗浄効果                    |
| 表面拡散 | 溶融温度1000～2000℃<br>基板加熱300℃程度 | 左記<br>+イオンエネルギー<br>(1eVは12000℃に相当) |
| 反応性  | 反応ガス導入<br>+基板加熱              | 左記<br>+イオン・ラジカルによる<br>プラズマ酸化効果     |

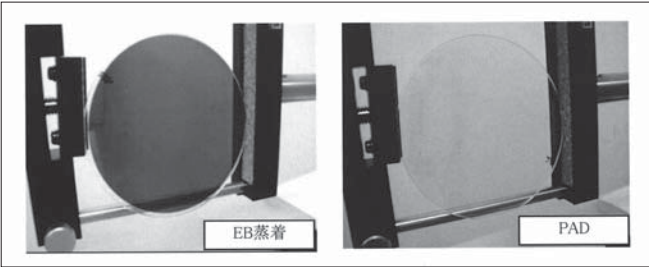


図4 EB蒸着とプラズマアシスト蒸着で成膜したTiO<sub>2</sub>膜  
Fig.4 TiO<sub>2</sub> film coated with electron beam deposition and PAD

4 装置構成

XLS1500PAの装置構成を図5および6に示す。本装置は、主に成膜を行う様々な機器が接続された真空チャンバーと真空チャンバー内の真空排気を行う真空排気系から構成される。主な仕様を表2に示す。主要な構成要素について以下に説明する。

(1)真空チャンバー

通常、蒸着装置の真空チャンバーはステンレス鋼で製作されており、内部に熱源があるため壁面は水冷されているのが普通である。それに対して本装置は、月島機械真空事業の強みである大型アルミニウム合金製チャンバーの製作技術を生かし、アルミニウム合金で製作されている。アルミニウムは熱の放射率がステンレス鋼の10分の1であるため、放射による伝熱が支配的な真空容器においては内部の熱源から伝わる熱量が非常に小さく、また良好な放熱特性から一切の冷却を行う必要がない。従って、水冷に用いるユーティリティーコストの削減が可能となった。

(2)真空排気系

真空排気系は10<sup>-5</sup>Pa台の到達圧を目標とするため、粗引きポンプと

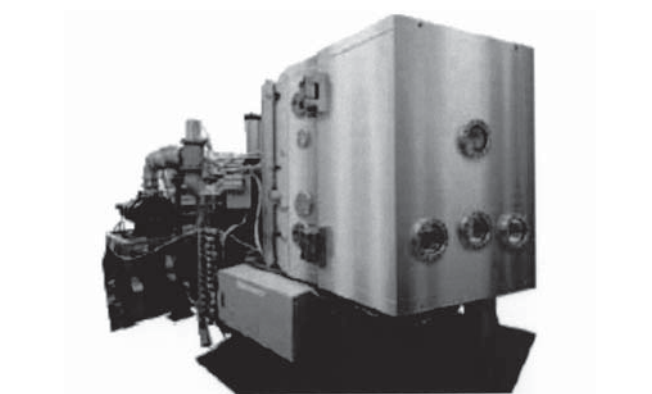


図5 XLS1500PAの外観  
Fig.5 External view of XLS1500PA

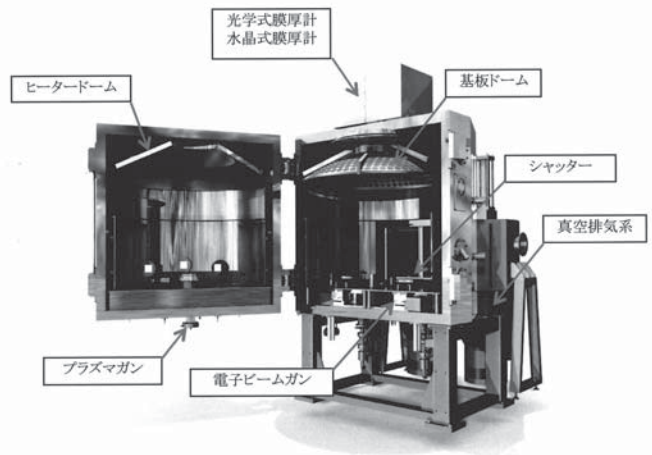


図6 XLS1500PAの内部イメージ  
Fig.6 Internal view of XLS1500PA

高真空ポンプから成る。粗引きポンプにはメカニカルブースターと油回転ポンプを用い、高真空ポンプは油拡散ポンプを用いている。さらに水分子に対する排気速度の大きいコールドトラップを搭載した。これにより空間に最も多く存在し、熱源により内部表面から放出される水分子をすばやく排気することが可能になる。また、トラップを冷却するための冷媒には通常フロン系のガスが用いられるが、本装置ではヘリウムガスを用いた方式を採用し、環境負荷を下げるよう配慮していることも特長である。

(3)蒸発源

蒸発源は電子ビーム加熱方式を採用している。水冷ルツボに成膜する材料を入れ、電子ビームガンから数kVに加速した電子を照射することで材料を加熱蒸発させる方法である。本装置ではチャンバー内に多量のイオンが存在するため、負電位となっているフィラメントが直接イオンに暴露されない270°偏向タイプを使用している。チャンバー内に電子ビーム蒸発源を配置した様子を図7に示す。

光学薄膜は主に2種類の材料を交互に成膜するため材料ごとに1台ずつ蒸発源を設置している。図7の配置は酸化シリコン(SiO<sub>2</sub>)と酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)の蒸着を想定した例である。TiO<sub>2</sub>は多点ルツボ(図7中左)

表2 XLS1500PAの主な仕様  
Table.2 Main specifications of XLS1500PA

|         |                                                              |
|---------|--------------------------------------------------------------|
| 真空チャンバー | アルミ合金製/φ1500mm×H1500mm<br>(成膜室概寸法)                           |
| 基板ドーム   | 公転ドーム/自公転方式ドーム                                               |
| 基板加熱    | シースヒーター                                                      |
| 蒸発源     | 電子銃2台                                                        |
| アシスト源   | 圧力勾配型プラズマガン                                                  |
| ハース     | 多点/リング形ハース                                                   |
| 成膜制御    | 膜厚/成膜速度制御<br>透過型光学式膜厚計<br>水晶式膜厚計+6点式センサー<br>成膜圧力制御<br>プラズマ制御 |
| 真空計     | 複合型真空計+ピラニ計                                                  |
| 真空排気系   | 拡散ポンプ2台<br>ロータリーポンプ1台<br>メカニカルブースター1台<br>クライオトラップ2台          |
| 到達圧力    | 10 <sup>-6</sup> Pa台                                         |

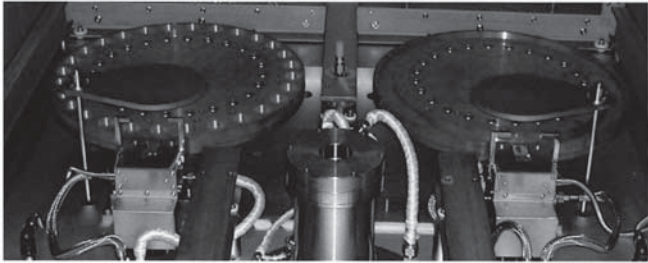


図7 電子ビームガン、ルツボの配置(中央：プラズマガン、左右：ルツボ)  
Fig.7 Arrangement of electron beam gun and melting pot  
(Center:plasma source, Both side of gun:Melting pot)



を用い、 $\text{SiO}_2$ にはリング状のルツボ(図7中右)を用いている。 $\text{SiO}_2$ は昇華性の材料であるため、静止状態では電子ビームが照射される材料面が深く掘り込まれることで照射面の周囲に壁が出来る。そのため蒸発分布が変わりやすく、安定した蒸着ができない。安定な蒸着を行うためには溶融面を平坦に保つことが重要である。本装置では、一定の位置にビームを照射し、さらにリング状のルツボを一定方向に回転させることで、平坦な面を保ちながら安定な昇華性材料の蒸着を可能とした。

#### (4) 圧力勾配型プラズマガン

本装置のキーコンポーネントである圧力勾配型プラズマガンは通称URガンと呼ばれ、元核融合研究所浦本博士により開発されたプラズマ発生装置である<sup>2)</sup>。図8に概略を示す。

メンテナンスをしやすくするために開閉するチャンバーの扉側に設置した。このプラズマガンは直流アーク放電<sup>注7)</sup>を利用し、Ta製パイプとLaB<sub>6</sub>製リングの複合陰極により低電圧、大電流の高効率放電を実現する。陰極領域と成膜室との間には、陰極部へ通ずる中間電極の穴を小さくしコンダクタンスを小さくすることで圧力勾配を形成している。陰極領域の圧力を高くすることで陰極への逆流イオンの直撃を緩和し、損傷を防ぐことが目的であり、これが圧力勾配型プラズマガンの基本原理である。この効果により、消耗品である陰極部品の長寿命化が可能にしている。また、URガンの構造に加え電子加速部を設けたアノード電極を追加することで、1m以上の長距離でも高密度プラズマを発生することが可能となっている。

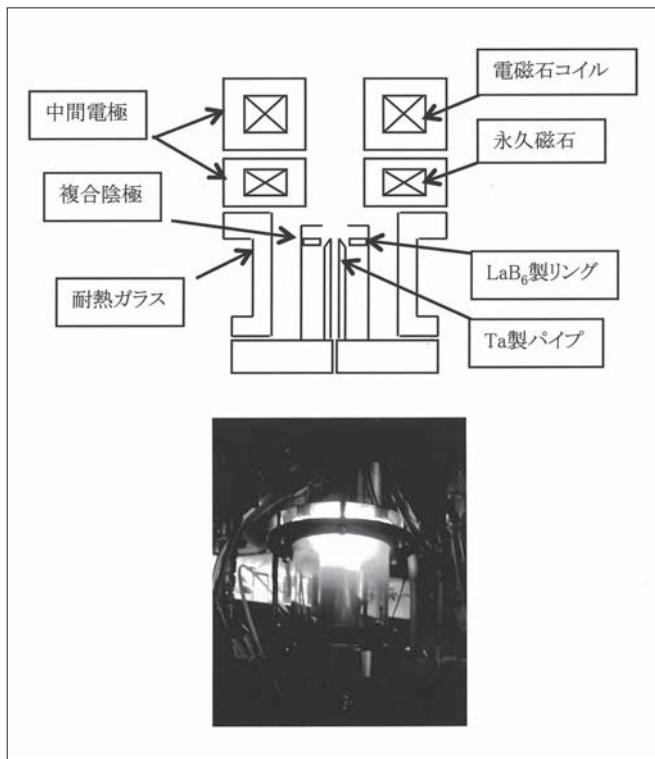


図8 URガンの概略図とプラズマ放電の様子  
Fig.8 Outline of UR gun and state of plasma electric discharge

#### (5) 基板搭載治具および膜厚分布補正機構

成膜する基板は、複数枚を一度に処理するために基板ドームと呼ばれる傘状の金属板に必要な枚数を搭載し、蒸発源上部にセットされる。成膜中はドームを毎分数十回転の速度で回転(基板から見れば公転)し、各基板の成膜膜厚の均一化を図る。回転のみではドームの周方向の均一化は可能だが径方向の均一化は期待出来ないため、蒸発源とドームの間に径方向の分布を調整する補正板と呼ぶ遮蔽板を設置する。遮蔽の幅は材料ごとの蒸発分布に合わせて最適幅に調整する。図9にドームと補正板を設置した様子を示す。

また、立体的な形状へ均一に成膜しなければならない場合基板ドーム構造の交換により、遊星回転方式と呼ばれる、蒸発源に対して基板を自公転させる構造に変更することも可能である。

#### (6) 基板加熱機構

基板を加熱しながら成膜することで膜の付着力や膜特性を改善することが出来る。本装置では基板ドームと同形状の金属板にシースヒーターを均等に敷き詰めたヒータードームを基板ドーム上部に設置した。温度分布の均一性は内周、中周、外周の3つのゾーンに分け、それぞれ独立に温度制御を行うことで達成している。

#### (7) ガス導入機構

成膜中は膜材料に応じて酸素などのガスを導入する。例えば金属酸化物の膜を生成したい場合には酸素ガスを導入し、酸素が豊富な雰囲気中で成膜を行うことで酸化反応を促すことが出来る。ガスの導入はマスフローコントローラを用いて一定量導入する場合と、真空計の測定圧力を指標にすることで成膜中の圧力を一定に保つようにガス導入量を変化させる場合がある。

#### (8) 成膜速度制御

膜質を一定の品質に保つためには成膜速度の制御が必須となる。成膜速度の制御は水晶式制御方式を用いている。ドームの回転中心(図9の基板ドーム中心部にある小さい方の穴の裏側に配置されている)に水晶振動子を配置し、その振動子上の着膜量(重さ)によって変化する固有振動数の変化を成膜速度に換算する。そして、その速度(振動数の変化率)を一定に保つように材料を蒸発させる電子ビーム出力を自動制御する。

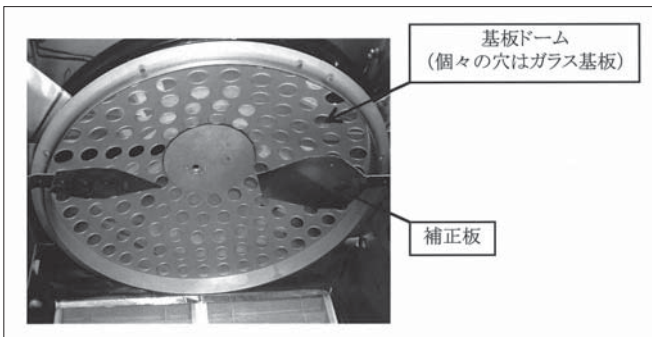


図9 基板ドームと補正板(蒸発源から見上げる)  
Fig.9 Dome shaped substrate holder and film thickness compensation board  
(Looking up from evaporation source)

#### (9) 膜厚制御法-多波長制御方式

光学的なフィルター・ミラー機能を有するには、干渉効果を生むために屈折率の違う膜を交互に多層成膜する。その層数は得たい特性により数層から100層以上まで様々であるが、1層ごとの膜厚は多層膜シミュレーションソフトを使った膜設計によりそれぞれ決まっている。よって、膜厚を精度良く制御することが必要となる。膜厚制御は、一般に光学式膜厚制御方式と呼ばれる方式を用いている。まず、回転しているドーム上の製品用基板を直接計測するのではなく、その回転中心に停止している膜厚モニター用ガラス(図9の基板ドーム中心部にある大きい方の穴の裏側に配置されている)の分光特性を計測する。膜厚到達判断は到達時の分光特性をシミュレーションソフトで理論予測しておき、その値との比較制御を行う。ドーム上基板との違いは予め膜厚の比例係数を求めておくことで、その値を考慮した到達判断をする。

本装置では、従来方式であるモニターに使う波長を限定した単一波長制御方式ではなく、数波長を一度にモニターする独自多波長制

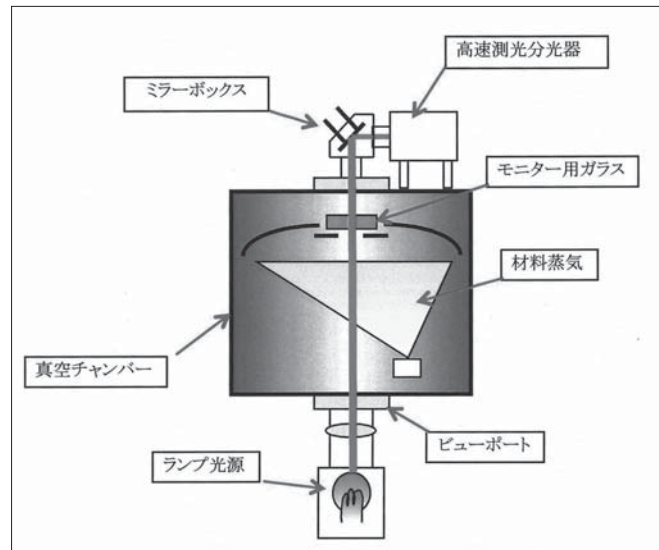


図10 真空中での光学式膜厚モニターの模式図  
Fig.10 Schematic drawing of optical monitor system in vacuum

御方式を確立した。測定系について、図10を用いて簡単に説明する。図は透過率測定を行う仕様となっている。装置底部に設置した例えばハロゲンランプの様な可視光光源から測定光をモニター用ガラスへ向けて投光する。モニター用ガラスは真空中にあるため測定光はビューポート<sup>注8)</sup>を通過して大気中から真空中へ、さらに真空中から大気中へ取り出される。モニター用ガラスを透過した測定光は受光部への光軸調整を行うミラーを介して分光器<sup>注9)</sup>へ導かれる。分光器は高速測光タイプを用い、瞬時に可視光域の透過率分光特性を出力する。目標膜厚到達はモニター用ガラスの波長ごとの分光特性をin-situで計測しながら事前に予測した分光特性と比較し、予測と実測が一致した時点で判断する。成膜停止は到達判断指令を受け、蒸発源上に設けた蒸気遮蔽シャッターを閉じることにより行う。モニターする波長を1つに限定している従来方式に比べ、多波長での膜厚到達判断方法を確立したことにより従来方式では判断が困難であった10nm以下の膜厚も精度よく判断することが可能になった。

以上、主な構成要素について述べたが、全ての必要な作業はパソコン上でモニターや操作が可能であり、事前に入力したレシピに従って全自動で成膜を行うことが出来る。その他特許を取得した当社独自のプラズマ制御法等のノウハウも多数含まれている。

## 5 膜特性解析

光学薄膜成膜におけるPAD方式の優位性を膜の断面構造、耐環境試験(高温、高湿度環境に放置)、膜表面の平滑性の3点で評価した。PAD方式にて成膜した光学薄膜を、従来のアシストを行わないEB蒸着と比較してその特長を述べる。

#### (1) 膜の断面構造

図11にEB蒸着で成膜した多層膜とPAD方式で成膜した多層膜断面を電子顕微鏡にて観察した結果を示す。

図11左のEB蒸着で成膜した多層膜の断面に比べ、PAD方式での膜は膜の境界面も滑らかであり、膜構造も柱状の構造や配向性が見られず充填密度の高い膜となっていることがわかる。このような膜は結晶構造を持たないアモルファス膜であり、大気にさらしても膜中の隙間への水分吸収がないため、耐環境性の強い膜であるということが出来る。

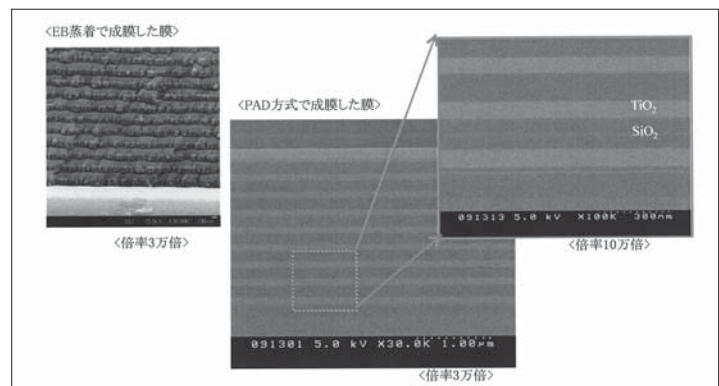


図11  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 多層膜断面の電子顕微鏡観察  
Fig.11 Electron microscope observation of the multiple layers ( $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ ) film sections



(2)耐環境試験(吸湿特性)

アシストを行わないEB蒸着の膜は図11に示したように一般に密度が低い。それに起因して真空中での成膜後大気にさらすと大気中の水分がそれまで真空であった膜中の隙間(結晶粒界)に浸透する。(1)式は膜の充填密度による吸水後の屈折率変化を表す。真空の屈折率は1であり、よって(1)式の $n_v$ は1となるが、大気にさらすと $n_w$ は水の屈折率1.33に入れ替わることになる。よって充填密度が低い場合、膜として機能する場合の等価屈折率が変化する。

$$n_f = n_v P + n_w (1 - P) \cdot \cdot \cdot (1)$$

$n_v$ : 膜の等価屈折率

$n_w$ : 膜物質の屈折率

$n_v$ : 膜以外の空間部分の屈折率

$p$ : 膜の充填率

図12にEB蒸着で成膜した充填密度の低い膜を高湿度な環境化にさらした場合の結果を示す。膜構成はTiO<sub>2</sub>とSiO<sub>2</sub>をある決まった膜厚で交互に成膜したものである。恒温恒湿器を用い、温度60℃湿度90%の環境化に24時間放置した。放置前後を比較すると全体に分光特性が変化していることがわかる。これは、(1)式にて述べた等価屈折率の変化により、図1にて説明した多層膜の各層境界面での反射波の位相差が変化することに起因する。

一方、最適なPAD条件で図12と同じ思想で成膜した膜ではあるが、倍の層数を成膜した結果を図13に示す。層数が増え吸水する確率が増えているにも関わらず、放置前後でほとんど分光特性が変化していない。数値として評価するためには、一般に半値の波長シフト量を評価する。図13に矢印で示すように透過率の立ち上がりもしくは立ち下がり部で50%の位置を半値と呼ぶ。耐湿テスト前後で半値が横軸(波長)方向に何nm変化したかが波長シフト量である。図12と図13を比較するとEB蒸着での図12が波長シフト量20～30nmに対し、PAD方式での図13は1nm以下となっている。これは大気にさらされても水分子が入る隙間のない充填密度の非常に高い膜が形成されていることを示している。

(3)膜表面の平滑性(散乱特性)

膜表面の平滑性は、光学的機能上では膜が光が通過する際に起こる光の散乱という現象となって現れる。散乱についての要因を図14に示す。図14左に示すように膜を光が通過しようとする際、膜の凹凸や結晶粒界等で入射光の一部が散乱される。正確には凹凸の大きさによるが、ほとんどの場合散乱には波長依存性がないため散乱光は白色に見える。例えば凹凸の多い膜であるとその散乱成分が増え損失となり、デジタルカメラなどの映像機器ではフレアー<sup>注10)</sup>という現象を引き起こすなど、最終製品の性能に悪影響を及ぼす。そのためより高機能な製品には散乱を出来るだけ小さくすることが求められる。

散乱の影響を評価するためにTiO<sub>2</sub>とSiO<sub>2</sub>を決められた膜厚構成で交互に21層成膜し、赤外線カットフィルターを作成した。図15にその分光特性を示す。可視光域は透過し、赤外線領域を反射するフィルター特性を持つ。赤外線カットフィルターは、主にデジタルカメラのCCD<sup>注11)</sup>素子の手前に配置することで赤外線をCCDに入射させない役割に用いられる。

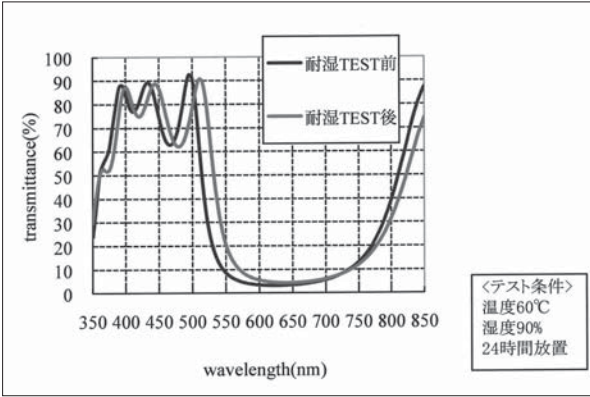


図12 EB蒸着で成膜したTiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>多層膜の耐湿テスト前後の分光特性変化  
Fig.12 Spectral response change of multiple layers (TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>) film coated with electron beam deposition after humidity test

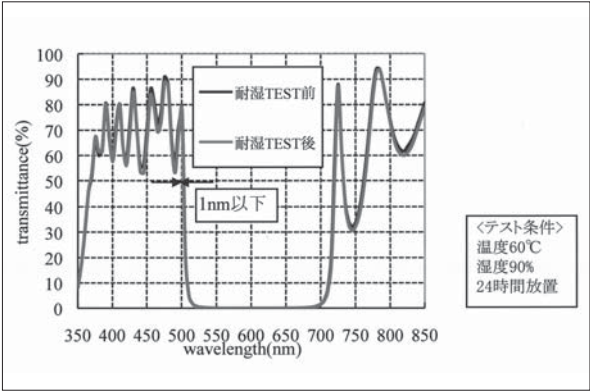


図13 PAD方式で成膜したTiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>多層膜の耐湿テスト前後変化  
Fig.13 Spectral response change of multiple layers (TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>) film coated with PAD after humidity test

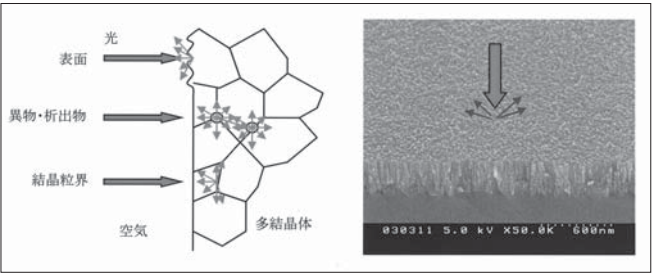


図14 散乱の模式図  
Fig.14 Schematic drawing of the light scattering

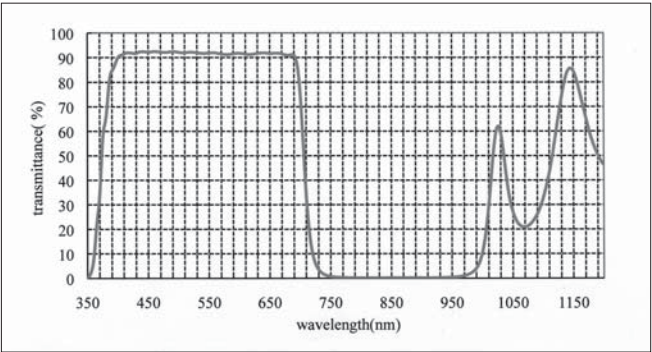


図15 PAD方式で成膜した21層赤外線カットフィルターの分光特性  
Fig.15 Spectrum characteristic of infrared cut filter coated with PAD

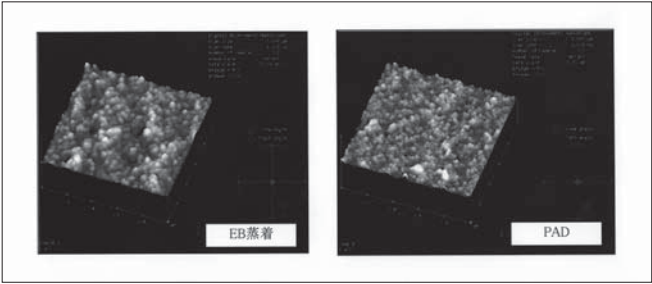


図16 膜表面の原子間力顕微鏡での観察結果  
Fig.16 Result of observation with atomic force microscope on the surface of multiple layers (TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>) film

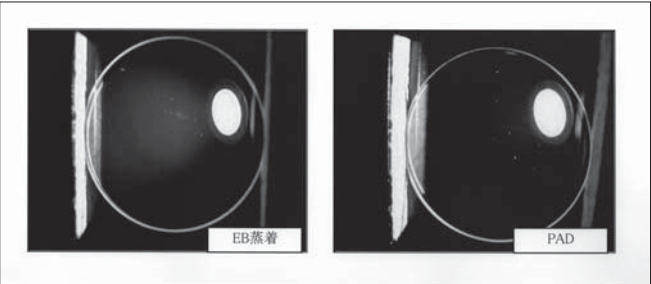


図17 外観品質(散乱状態)の比較  
Fig.17 Comparison of light scattering

表3 EB蒸着とPAD方式で成膜した膜の特性比較

Table.3 Characteristic comparison table of thin-film coated with electron beam deposition and PAD

| 成膜方式    | 電子ビーム蒸着                 | プラズマアシスト蒸着              |
|---------|-------------------------|-------------------------|
| 断面構造    | 膜充填密度低い                 | 膜充填密度高い                 |
| 耐環境試験   | 波長シフト20nm以上             | 波長シフト1nm以下              |
| 膜表面の平滑性 | R <sub>max</sub> 9.62nm | R <sub>max</sub> 7.60nm |

まず、膜の凹凸の観察を行った。図16は前述の赤外線カットフィルターを成膜したサンプルを用いて、表面形状を原子間力顕微鏡にて原子分子レベルで観察したものである。

EB蒸着と比較するとPAD方式の膜の方が緻密で細かい粒子形状をしており、より平滑であることがわかる。数値化して評価すると、任意断面での最大高低差を表すR<sub>max</sub>は

EB蒸着: 9.62nm

PAD: 7.60nm

となっていることがわかった。

次に、強い白色光を当てたときの実際の散乱の様子を目視で確認した。その比較写真を図17に示す。散乱の度合いは外観品質と呼ばれ、実際の生産現場でも同じ方法で検査が行われる。EB蒸着膜と比較してPAD方式の膜は白濁したような散乱光がほとんど見られず、透明度が高い良好な状態となっていることがわかる。

以上、評価のまとめとして、表3に3つの特性での評価結果の代表的な値を示す。これらの結果から従来のEB蒸着膜と比較して、より高品質な膜の形成がPAD方式により可能であることが証明された。よって、PAD方式はデジタル家電に使用されるような赤外線カットフィルター、ダイクロイックフィルター、コールドミラー等の可視光域を制御するフィルター、ミラーにおいて高品質な成膜をユーザーに提供することが出来る。

## 6 まとめ

自社開発成膜プロセスであるプラズマアシスト蒸着(PAD)方式を採用した大電流プラズマアシスト蒸着装置XLS1500PAを紹介した。そしてPAD方式の高品質光学薄膜への適用検討を膜の断面構造、耐環境試験、膜表面の平滑性の3点で評価を行った。評価結果により、PAD方式で成膜した光学薄膜が従来のアシストを行わない電子ビー

ム蒸着膜と比較して高品質な成膜が可能であることを証明した。

現在、光学薄膜の成膜を行っているユーザーへ営業展開し、評価サンプル成膜のご依頼を多く頂いている。その他にも高反応性を生かし、透明導電膜、金属窒化物等の光学的な性能以外の機能膜への適用検討も行っている。また、比較的低温での高品質成膜が可能であることがわかってきており、樹脂製基材への成膜に関するお問い合わせも多く頂いている状況である。

今後も納入実績を伸ばすとともに適用分野の探索を進めていく予定である。

注記)

- 注1) 真空状態にした容器の中で、成膜対象物に目的に応じた薄い膜をつける装置
- 注2) 真空中で材料の蒸気を発生し、成膜を行う方法
- 注3) 成膜面に垂直な方向に凝固した柱状の構造
- 注4) 非晶質。構成する原子や分子が結晶のような規則的な配列をしていない状態
- 注5) 高電圧で加速した電子を磁場で収束し、ビーム状にした状態
- 注6) 励起状態にある中性粒子
- 注7) 陰極から熱電子放出がされている状態で電極間に直流電圧を印加して行う放電
- 注8) 真空チャンバー内を観察するために設ける窓のこと。通常、漏れを防ぐための真空シール部と差圧に耐える程度の厚みを持った透明なガラス板で構成される
- 注9) 光を波長ごとに分散させる装置
- 注10) 強い光を受けた時、光の散乱により白濁して見える現象
- 注11) 電荷結合素子 (Charge Coupled Devices) の略で、光を電気信号に変換させる素子

## 参考文献

- 1) 小倉繁太郎:生産現場における光学薄膜の設計・作成・評価技術、技術情報協会(2001)
- 2) 浦本上進:真空第25巻第10号,P660、日本真空協会(1982)



## 期待される森林の機能:二酸化炭素の吸収と貯蔵

2008年は京都議定書の第一約束期間の初年度となります。既にご存知のように日本は基準年である1990年の排出量から6%削減することを国際的に約束しています。この削減目標の内、なんと3.9%を森林機能にて達成することとされています。当社でも今までの技報にて紹介しておりますように、温暖化ガス削減に貢献すべく、新エネルギーシステムや省エネルギー機器の開発・提案を行っていますが、今回は当社の事業分野と異なる森林機能についてご紹介したいと思います。



### 1 日本の森林

日本の森林面積は24,081千ha(ゴルフ場に換算すると24万箇所相当)で、陸地に占める割合は64.0%となっています。これは二酸化炭素排出量上位5カ国の森林面積と比較しますと(図1参照)、日本は国土の狭さゆえ、比較にならないほど少ない値となっています。一方、森林の占有率は高い数値となっており(他の先進国との比較でも高い数値)、日本は森林に囲まれた国土といえます<sup>1)</sup>。

ちなみに東京都は78.4千haの森林を有しておりますが、全国的には最も森林面積の少ない大阪に次ぐ順位となっています。

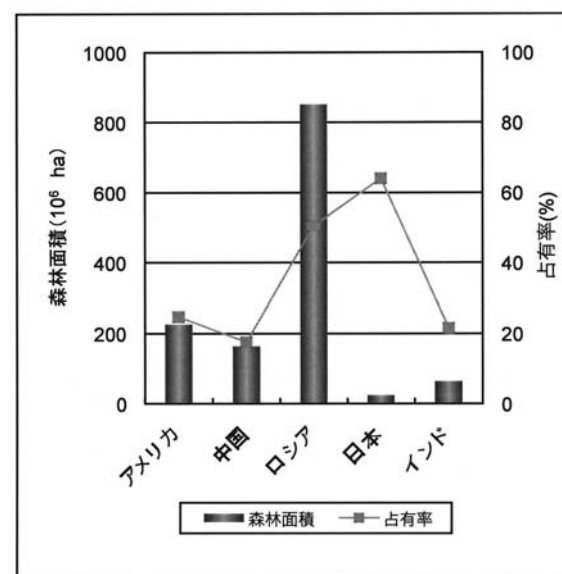


図1 二酸化炭素排出量上位5カ国

### 2 木の二酸化炭素の吸収量は?

木はどのくらいの二酸化炭素を固定化するのでしょうか?  
式1<sup>2)</sup>を用いて算出してみましょう。

$$\text{炭素貯留量} = \text{森林面積} \times \text{haあたりの幹材積} \times \text{拡大係数} \times \text{容積密度} \times \text{炭素含有率} \quad (\text{式1})$$

幹材積とは森林の幹の量を体積で表しており、林業で用いられている数値です。この数値は製品である幹部分が対象であり、枝葉や根は含まれていません。一方、二酸化炭素吸収という面では、これら枝葉、根も貢献しており、定量化する必要があります。この枝葉を含めた補正を行うのが拡大係数です。一般的に針葉樹では幹の重量を1とすると枝葉や根を含めた全重量は1.7となります。また容積密度とは木の密度であり、樹種により異なりますが、約0.3となります。そして最後になりますが、炭素含有率は木に含まれている炭素量であり、0.5となります。

幹材積:200m<sup>3</sup>/haと仮定すると、1haあたりの炭素貯留量は式1から約51トンとなります。1haあたり500本とすると、木1本の炭素量は

約100kg(二酸化炭素換算では370kgに相当)となります。これはガソリン160リットルを燃やしたときに発生する炭素量に相当します。木1本あたりの炭素量はガソリン換算では多いと思われそうですが、160リットルのガソリンを消費する時間と比べると、木1本を成長させる年月(30～50年)は非常に長期であることに注意する必要があります。

次に東京都の森林による年間の二酸化炭素の吸収能力を試算してみます。先ほどの貯留量は過去の二酸化炭素の固定量であり、吸収能力を求めるには、森林の年間成長量が必要となります。成長量は樹種、林齢、間伐の有無等により異なりますが、本試算では約5.5トン/ha/年の数値を用いて試算してみます。東京都の森林面積は78.4千haですから、1年間に約430千トンの森林が増えていることになります。これに炭素含有率をかけますと、東京都の森林が炭素を吸収できる量は約220千トン/年(二酸化炭素換算:約800千トン/年)となります。

東京都の二酸化炭素の排出量は68,700千トン/年(2004年度)ですから、これに対する森林の吸収量は約1%になります。

### 3 森林による吸収量を拡大するには?

二酸化炭素をより多く吸収するための施策として、森林面積の拡大があげられます。但し、残念なことに国内では年々森林面積は減少傾向にあり、年あたり3,000ha減少しています<sup>3)</sup>。これは先ほど説明した試算方法から年間約30,000トンの二酸化炭素吸収源を失うことを意味しています。また世界的に見てもほとんどの国で森林面積が減少しています。例外として森林面積が増加している国としては、放棄された牧草地後に植林を進めているニュージーランドやヨーロッパ諸国の一部(スペイン、ギリシャ等)のみとなっています。

そこで、どのような取り組みが必要となるのでしょうか?その答えが、

「間伐」です。間伐とは込み合った森林から製品価値の低い木(曲がり木等)を間引きする作業です。これは日のあたりを良くし、残った樹木の成長を促進するとともに、林床植生の繁茂による表層土壌の保護等多くの機能発揮に役立っております。また間伐を行っていない森林の成長量:4トン/年/haに比べ、間伐を行った森林の成長量:5.5トン/年/haと約1.4倍となっています<sup>4)</sup>。森林の成長は二酸化炭素吸収の促進となることから、間伐が地球温暖化対策に充分効果があることがわかります。

### 4 森林がもたらす経済的な効果

森林は「①木材の生産」、「②生物の多様性の保存」、「③土壌と水資源の保全」、「④保健文化」そして「⑤炭素の吸収と貯蔵」と多機能を有しています<sup>5)</sup>。⑤の目的のために新たな森林造成や間伐を行うのではコスト高となり、メリットは見いだせません。本来の森林機能である①～④を管理、運営する森林経営を絶えず発展させることにより、付随的な効果として⑤が得られる訳です。

二酸化炭素の削減費用の経済的な試算の一例を図2<sup>6)</sup>に示します。自動車交通(ハイブリット車等)、省エネ及びエネルギー転換(新エネルギー等)と比較し、森林経営による二酸化炭素削減費用は、1/50～1/15以下と非常に安価となっています。森林経営の重要性を伺える結果となっています。

私たち個人の生活レベルでは省エネ対策が中心となりますが、休日の束の間を利用し、心身のリフレッシュとともに森林に目を向けるのも一考かもしれません。

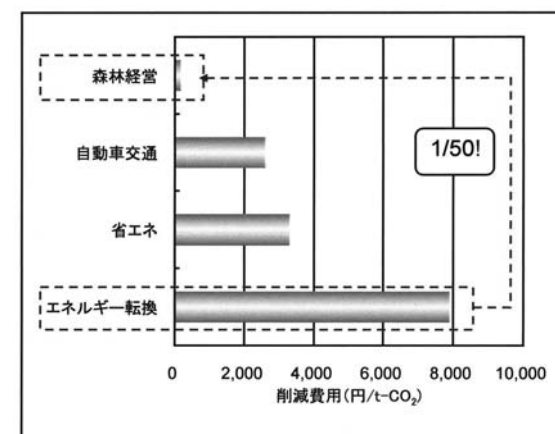


図2 二酸化炭素の削減費用

#### 参考文献

- 1)総務省統計局「森林の面積」
- 2)飯田和明:スギ人工林の現存量と容積密度の測定,森林計画学会誌, pp59-pp63,2005.
- 3)天野正博:日本の森林と温暖化防止 日本の森林のCO2吸収量, 森林環境,pp43-pp51,2004.
- 4)細田和男:間伐は人工林のバイオマス成長を促すのか?, 森林総合研究所研究成果選集,pp26-pp27,2005
- 5)藤森隆郎:持続可能な社会の構築への森林の役割, 応用科学学会予稿集,pp11-pp15,2005.
- 6)加用千裕:長期的炭素収支に基づく日本国内の森林経営手法の評価, 環境システム研究論文集,pp235-pp243,2006.



# TSKの産業排水処理技術

## Industrial Wastewater Treatment System of TSK



近藤 洋正  
Hiromasa KONDO  
産業事業本部  
プラント計画部  
排水グループ

### Abstract

The challenge for strengthening competitiveness in the industrial wastewater treatment business from now is “strengthening the capability to develop higher value products,” which cater to “a proposal-based solution business.”

Two key environmental products of Tsukishima Kikai have been introduced for competitive applications in the industrial wastewater business that reduce sludge volume, save energy and generate energy. The first is anaerobic treatment of High Efficiency Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) that operates under higher load than that of the competitors. The second is aerobic treatment of continuous self-cleaning fixed-media bioreactor, named “Aero Slalom,” equipped with an air-shearing mechanism as measure against clogging that was common in conventional aerators. For one example, Aero Slalom is used for pretreatment of activated sludge and its treated water can be discharged directly to a sewage treatment plant.

Comparative features and applications of these two products are described.

キーワード：嫌気処理、好気処理、UASB、エアロスラローム、地球温暖化防止  
Keyword：Anaerobic Treatment, Aerobic Treatment, UASB, Aero Slalom, Prevention of global warming

### はじめに

近年、月島機械の産業排水処理ビジネスは、中東や韓国でのプロジェクトを皮切りに売れるコンサルティングビジネスとしての期待が高まっている。今後の産業排水処理ビジネスに関する製品戦略の課題は「高付加価値製品の開発強化」であり、その商品を軸とした「提案型ソリューションビジネス」を展開することが必要とされる。

現状、月島機械が保有する産業排水に適用可能な主要コア商品は、「超微細気泡散気装置」並びに「固定床嫌気リアクター」である。これらを補完し、排水処理の基幹である嫌気及び好気生物処理システムとして提案するために、以下2装置を導入し、基幹となる嫌気生物処理及び好気生物処理での競争力の強化を図ったので、ここに紹介する。

## 1 嫌気生物処理

### 1.1 システム名

高効率UASB (High Efficiency Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

### 1.2 システムの説明

UASBとは、リアクター内にグラニュール(自己凝集性のある微生物の塊)を浮遊させ、有機物を除去する方式である。表1にUASB法の比較<sup>1)</sup>を示した。

月島機械高効率UASBの模式図及び写真を図1～3に示した。ガスリフトの効果を最大限利用するリアクター構造の工夫及び小粒径グラニュール(1mm)による排水との接触効率アップにより、他社に比べ

表1 UASB法の比較  
Table1 Comparison of UASB

| 項目           | A社 従来型UASB                                                                                                           | B社 タイプ                                                           | C社 タイプ                                     | 月島機械 高効率UASB                                          |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| リアクター概略図     |                                                                                                                      |                                                                  |                                            |                                                       |
| リアクター構造      | リアクター最上部のみにバイオガス、処理水、浮上グラニュールを分離・回収する気液固分離装置を備えた構造                                                                   | 多段に気液固分離装置を備えた構造                                                 | 多段に気液固分離装置を備え、バイオガスをリサイクルする構造              | 多段に気液固分離装置を備え、バイオガスをリサイクルする構造                         |
| リアクター内汚泥保持濃度 | リアクター容量の30～50%<br>30～50kgVSS/m <sup>3</sup>                                                                          | リアクター容量の70%以上<br>50kgVSS/m <sup>3</sup>                          | リアクター容量の70%以上<br>50kgVSS/m <sup>3</sup>    | リアクター容量の90%以上<br>70kgVSS/m <sup>3</sup>               |
| 有機物負荷        | 10～20kgCOD <sub>C</sub> /m <sup>3</sup> ・D                                                                           | 20～30kgCOD <sub>C</sub> /m <sup>3</sup> ・D                       | 20～30kgCOD <sub>C</sub> /m <sup>3</sup> ・D | 30～50kgCOD <sub>C</sub> /m <sup>3</sup> ・D            |
| コメント         | 初期のタイプであり、高負荷運転が難しい。<br>・負荷高めると発生ガス量が増加し、気液固分離が不十分となる。<br>・通水速度を高めると気液固分離が困難となる。<br>・グラニュール保持量が少ないため、負荷を高めることが困難である。 | 初期タイプの改良型であり、多段に設置されたセパレーターで初期タイプに比べ、気液固分離性は安定するため、高負荷運転が可能となった。 |                                            | ガスリフト効果を有効活用し、排水とグラニュールの接触効率を向上させた。他に比べ最も高負荷運転が可能である。 |

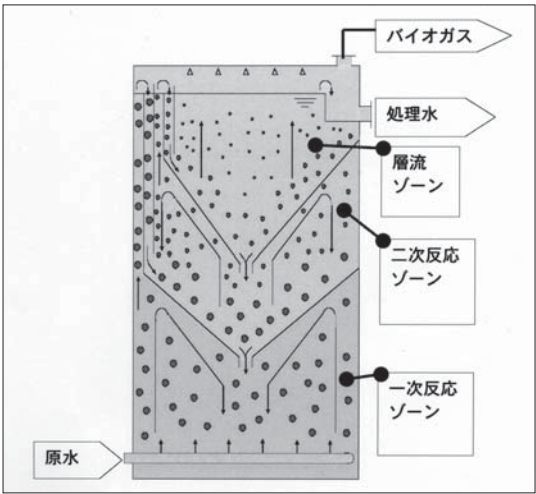


図1 高効率UASBの模式図  
Fig.1 Configuration of High Efficiency UASB

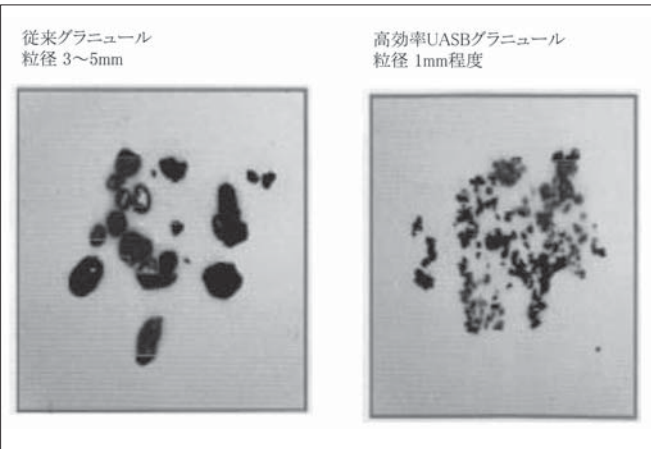


図2 グラニュール写真  
Fig.2 Photo of granules.

高負荷を実現している。原水はリアクター底部よりパルス供給される。一次反応ゾーン、二次反応ゾーンではガスの流れと水の流れによりリアクター内を乱流状態にし、グラニュールと排水を十分に接触させ、反応を促進させる。最後に残存する有機物を層流状態で反応させ、原水の未反応流出を極力防止する。

例えば、食品発酵工業排水に対するCOD<sub>C</sub>容積負荷 (COD<sub>C</sub>濃度10,000mg/Lにおいて除去率80%以上とした場合)を比較した場合、次のようになる。

|              |       |                               |
|--------------|-------|-------------------------------|
| 月島機械 高効率UASB | 30    | kg/m <sup>3</sup> ・D          |
| B社 タイプ       | 15～20 | kg/m <sup>3</sup> ・D (ヒアリング値) |
| C社 タイプ       | 20    | kg/m <sup>3</sup> ・D (ヒアリング値) |
| COD：化学的酸素要求量 |       |                               |



図3 高効率UASB写真  
Fig.3 Photo of High Efficiency UASB



表2 触媒工場排水処理への高効率UASBの適用に関する試算  
Table2 Study of Application of High Efficiency UASB to Wastewater Discharged from a Catalyst Plant

| 項目                      |                                     | 単位                 | 既設    |             | 高効率UASB<br>プロセスの場合      | 既設踏襲の<br>好気処理の場合 |
|-------------------------|-------------------------------------|--------------------|-------|-------------|-------------------------|------------------|
| 水量                      |                                     | m <sup>3</sup> /hr | 30    | 水量増加にあわせて更新 | 45                      |                  |
| COD <sub>Cr</sub>       |                                     | mg/L               | 7,000 |             | 7,000                   |                  |
| 高効率UASB容量               |                                     | m <sup>3</sup>     | —     |             | COD <sub>Cr</sub> 80%除去 | —                |
| 活性汚泥槽容量                 |                                     | m <sup>3</sup>     | 2,300 |             | 760                     | —                |
| 曝気に関わる電力                | 散気装置                                |                    | 表面曝気  |             | 760                     | 3,450            |
|                         | 電力                                  | kWh/D              | 2,950 |             | 月島機械製<br>超微細気泡<br>散気装置  | 表面曝気             |
|                         | CO <sub>2</sub> 排出量 <sup>※1</sup>   | t/年                | 598   |             | 600                     | 4,450            |
| 生物余剰汚泥                  | 固形物量                                | kg/D               | 1,100 |             | 120                     | 900              |
| 創エネルギー<br>(バイオガスのA重油換算) | A重油換算量                              | L/D                | —     |             | 440                     | 1,700            |
|                         | CO <sub>2</sub> 排出量削減 <sup>※2</sup> | t/年                | —     |             | 2,100                   | —                |
|                         |                                     |                    |       |             | 2,070                   | —                |

※1 電力のCO<sub>2</sub>排出換算係数<sup>2)</sup> 0.555 kg-CO<sub>2</sub>/kWh  
※2 A重油のCO<sub>2</sub>排出換算係数<sup>2)</sup> 2.71 kg-CO<sub>2</sub>/L

UASBプロセスへの更新による  
主要設備のCO<sub>2</sub>排出量削減  
曝気に関わる電力 478t/年  
創エネルギー 2,070t/年

1.3 高効率UASBの適用に関する試算

COD<sub>Cr</sub>で5,000 ～ 10,000mg/L 程度の排水を好気処理しようした場合、莫大な敷地、ランニングコストが必要となる。従い、「前段UASB＋後段好気処理」の組合わせとし、UASBで有機物を80 ～ 90%除去後、好気処理を行い、設置スペース及びランニングコストの削減を図る。表2に実験により実証された触媒工場排水への高効率UASBの適用試算を示した。既設を踏襲した場合、水量アップ分だけ比例的に設備は大きくなるが、高効率UASB プロセスでは、水量アップにも関わらず、活性汚泥槽容量は減少し、ランニングに伴う優位性確保と共に地球温暖化防止への貢献が可能となる。また、高効率UASBを核としたプロセスによりエネルギー指定工場でのエネルギー削減提案も可能である。

1.4 納入実績

納入実績を表3に示した。食品工業を中心に8件の実績がある。

2 好気生物処理

2.1 システム名／製品紹介

システム名：固定床式好気生物処理

製品名：エアロスラローム(Aero Slalom)

2.2 製品の説明

図4、5にエアロスラロームの模式図及び写真を示した。エアロスラロームは固定床式の好気生物処理であり、リアクター内の充填材に連続的に底部に設置された回転する散気管により空気を供給する。充填材全面に対する定期的なエア－剪断効果により、固定床の弱点である充填材目詰まりの問題を解消している。

エアロスラロームの利用例を以下に挙げる。

- ①活性汚泥装置の前処理として有機物の低減(高負荷、高活性化)、汚泥発生量の減少(生物環拡大に伴う食物連鎖、捕食作用)、プラントの省スペース化・省エネ化を図る。
- ②後段に沈殿槽を置かず、エアロスラローム処理水を直接下道へ放流し、システムの簡素化を図る。
- ③後段に沈殿槽、凝集浮上槽又はろ過機を設置し、河川放流を図る。

2.3 エアロスラロームの適用事例

COD<sub>Cr</sub>で5000mg/L 程度以下の排水に対し、「前段エアロスラローム＋後段活性汚泥」の組合せで、活性汚泥単独に比べ、汚泥量の半減及び設置スペースの削減が可能となった。図6に適用事例を示した。食品発酵工場排水処理にエアロスラロームを納入した事例である。

2.4 納入実績

近年の納入実績を表4に示した。  
食品業界を中心に120件以上の実績があり、信頼性のある装置である。

3 おわりに

今後、排水の規制は益々厳しくなる一方で、近隣住民を含む環境との調和、地球視点での省・創エネルギーの高まり、新環境時代の中で排水処理のCSR施策としての積極的PR要求が高まっていく。

当社は、従来より保持していた商品群に新たに本報で紹介した2つのコア商品を加えることで、顧客との積極的対話を推進し、ソリューション提案を通して、顧客、地球環境へ貢献していきたいと考えている。

最後に、本文作成にあたり、資料を提供していただいた株式会社エイブル殿に深く感謝いたします。

表3 高効率UASBの納入実績  
Table3 Installation Record of High Efficiency UASB

| No. | 排水種別         | 納入先   | 処理量(m <sup>3</sup> /D) |
|-----|--------------|-------|------------------------|
| 1   | オリゴ糖製造排水     | 関西地区  | 87                     |
| 2   | ジャム等製造排水     | 中国地区  | 240                    |
| 3   | ジャガイモ澱粉排水    | 北海道   | 6                      |
| 4   | 焼酎飼料加工排水     | 九州    | 16                     |
| 5   | 糖類製造排水       | タイランド | 150                    |
| 6   | 精糖排水         | 中国    | 700                    |
| 7   | タピオカ澱粉製造排水   | 中国    | 150                    |
| 8   | 蔗糖蜜アルコール製造排水 | 中国    | 150                    |

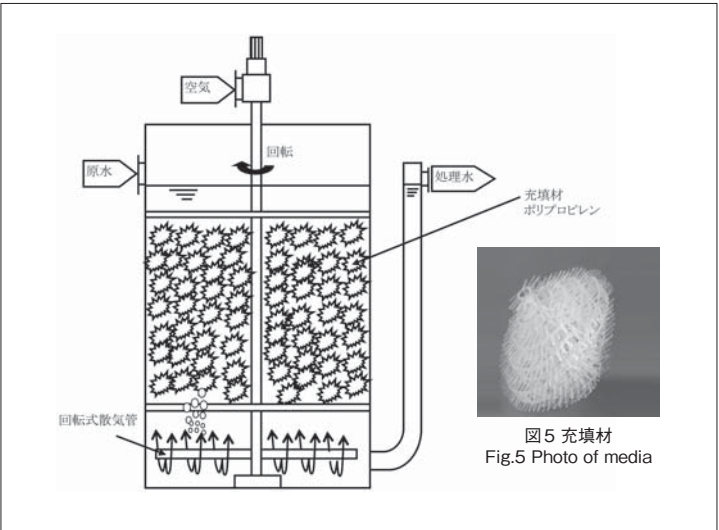


図4 エアロスラローム模式図  
Fig.4 Configuration of Aero Slalom

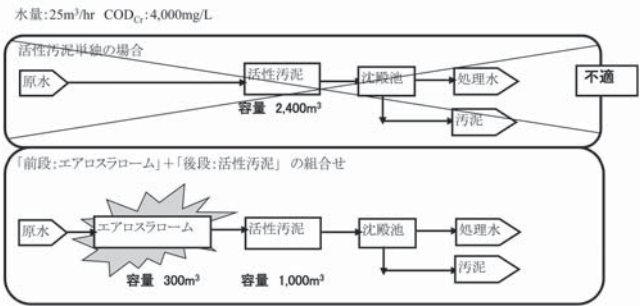


図6 食品発酵工場排水へのエアロスラロームの適用事例  
Fig.6 Block flow of Aero Slalom system applied to the food industry

表4 エアロスラロームの主要納入実績  
Table4 Installation Record of Aero Slalom

| No. | 排水種別    | 納入先  | 処理量(m <sup>3</sup> /D) |
|-----|---------|------|------------------------|
| 1   | 豆腐製造排水  | 関東地区 | 1,800                  |
| 2   | ハム製造排水  | 関東地区 | 2,000                  |
| 3   | ジャム製造排水 | 中国地区 | 150                    |
| 4   | 乳製品製造排水 | 関東地区 | 100                    |
| 5   | 菓子製造排水  | 東北地区 | 15                     |
| その他 |         |      | 120件以上                 |

参考文献

- 1) 特別企画 / 新たなUASB法システムの実力, 資源環境対策, Vol 39, NO.7, pp. 66-77 (2003)
- 2) 地球温暖化対策の推進に関する法律施行例第三条, 環境省, 平成14年12月19日



# TSK 上水向け紫外線消毒装置

## TSK Drinking Water Disinfection System



今川 洋介  
Yosuke IMAGAWA  
水環境事業本部  
ソリューション技術部  
上水グループ

### Abstract

In April 2007, the Ministry of Health, Labor and Welfare in Japan recognized the application of ultraviolet (UV) disinfection as countermeasure for chlorine-resistant protozoa (ex. Cryptosporidium, Giardia). This recognition is increasing studies to introduce UV disinfection systems at public water supply plants in Japan because up to now, there was the need to effectively treat these protozoa, but are yet to adopt measures mainly due to economic reasons.

The mechanism of UV disinfection is known as inactivation that lowers infectability by direct action to DNA. In Europe and the United States, there are already many large-scale installations as the effectiveness of UV against Cryptosporidium has been recognized earlier than in Japan.

For UV disinfection against Cryptosporidium, Tsukishima Kikai Co., Ltd. (TSK) has adopted SENTINEL, the drinking water UV disinfection system from Calgon Carbon Corporation, the pioneer of the process and the holder of basic patents and the largest share in the United States.

This paper describes verifications of the high reliability of UV disinfection system. The actual SENTINEL is used for the verifications based on flow examination as well as Calgon Carbon's many installation records and knowledge with its firmly recognized disinfection performance to further advance the proposal of the simple and sure disinfection process.

キーワード：紫外線、クリプトスポリジウム、中圧UVランプ、装置認証  
Keyword：Ultraviolet, Cryptosporidium, Medium Pressure Ultraviolet Lamp, Validation

## 1 はじめに

2007年4月、「水道施設の技術的基準を定める省令」の一部改正により、耐塩素性病原生物対策として上水道への紫外線処理設備の適用が認められた。これを受け、クリプトスポリジウム(以下、クリプト)、ジアルジア対策が必要とされながら、主に経済的な要因等によって未対策であった多くの水道施設において、紫外線消毒装置導入が検討、具体化されつつある。

紫外線の消毒メカニズムは、微生物のDNAに直接作用することで感染能力のみを失わせる、いわゆる“不活化”である。このため、シストと呼ばれる固い殻を有する耐塩素性病原生物においても、少ない紫外線照射量で効果的に消毒が可能である。こうした紫外線の有効性は欧米においてより早く認知され、既にクリプト対策として多くの大規模な紫外線消毒装置が実際に稼働している。

月島機械では、こうした状況を鑑み、Calgon Carbon社(米国)より紫外線消毒装置「センチネル(Calgon Carbon社製品名)」を導入した。同社はアメリカ国内でトップシェアの実績を有すると共に、クリプトの紫外線消毒に関する特許保有でも知られており、当該分野の先駆的存在である。本稿では、センチネルの最大の特徴とも言える高い消毒性能の信頼性(米国環境保護庁(以下、USEPA)ガイドラインに則った認証を取得)を中心に紹介する。

## 2 特徴

本装置の特徴を以下に示す。

### (1) 中圧紫外線ランプの採用

本装置では低圧紫外線ランプに対し、1本あたりの出力が高く、出力あたりのサイズ(ランプ長)が数十分の一となる中圧紫外線ランプを採用している。高出力な中圧紫外線ランプの特徴を最大限に発揮するため、水流に対してランプを垂直配置としており、コンパクトな設置面積を実現している。加えて、対応流量あたりのランプ本数が少ないことから、維持管理が容易なことも特徴の一つである。また、図1からもわかるように、フランジ(ANSI規格<sup>\*1</sup>)による配管接続型であり、既設配管を利用した設置が可能である。

### (2) 高い信頼性

詳細は後述するが、特に上水向け紫外線消毒装置は納入後に消毒性能を確認する事が困難である。よって、装置としてあらかじめ消毒性能が確認されていること、連続運転時において客観的な数値により消毒

※1 日本のプラントではJIS規格配管にANSI規格フランジを溶接し、対応している。

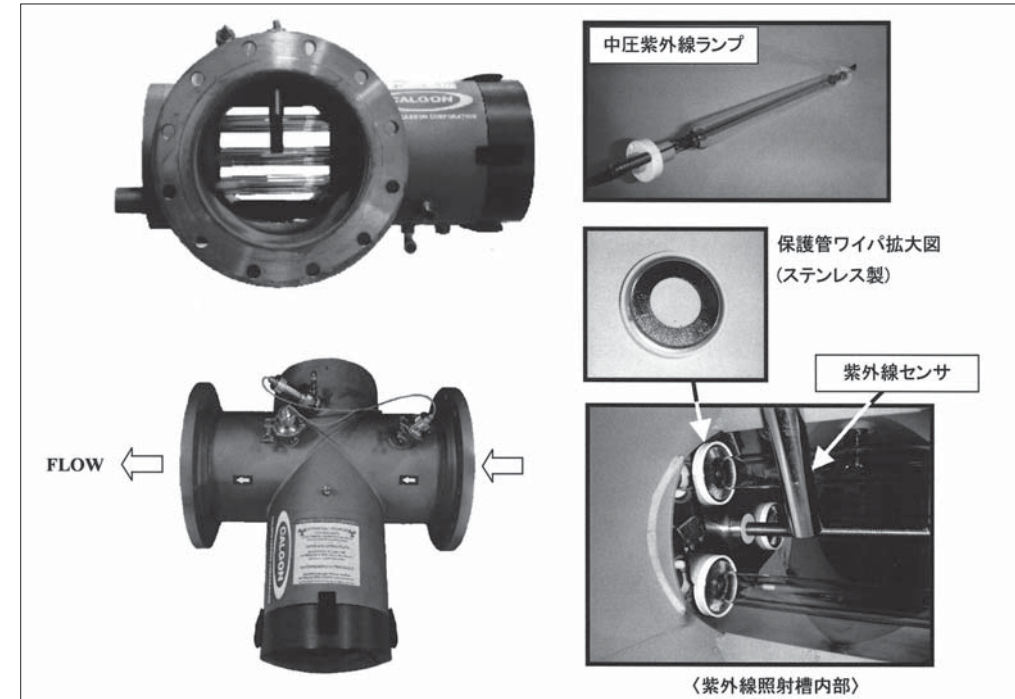


図1 上水向け紫外線消毒装置 センチネル300型 外形図  
Fig.1 Exterior design of Drinking Water Disinfection System SENTINEL Type 300

表1 紫外線消毒装置 センチネル ラインナップ  
Table1 Lineup of Ultraviolet Disinfection System SENTINEL

|              |                         | 300型          | 450型   | 600型   | 900型      | 1200型     |
|--------------|-------------------------|---------------|--------|--------|-----------|-----------|
| 概略寸法<br>[mm] | 径                       | φ300          | φ460   | φ600   | φ900      | φ1200     |
|              | 長さ                      | 750           | 1000   | 900    | 1000~2400 | 1200~2700 |
| ランプ仕様        | 種類                      | 中圧紫外線ランプ      |        |        |           |           |
|              | 出力[kW]                  | 4             | 4      | 10     | 10        | 20        |
|              | 本数[本]                   | 1~3           | 1~8    | 1~5    | 1~9       | 1~9       |
|              | 処理流量[m <sup>3</sup> /日] | 18,000        | 38,000 | 75,000 | 100,000   | 150,000   |
|              | 適用紫外線透過率[%T]            | 70以上          | 70以上   | 70以上   | 75以上      | 80以上      |
|              | 保護管洗浄機構                 | ステンレス製ブラシ(電動) |        |        |           |           |
|              | 紫外線センサ                  | 1台/ランプ1本      |        |        |           |           |

性能が確認できることが求められる。本装置は、USEPAのガイドラインに準拠し、第三者機関による装置認証を取得、クリプトを99.9%(3log)不活化可能であることを確認済みである。また、紫外線センサはDVGW(ドイツガス水道協会)規格<sup>\*2</sup>に準拠した機器をランプ1本あたり1台設置し、常時紫外線強度をモニタリングしている。石英製ランプ保護管はステンレス製ワイパによる自動洗浄機構で任意の周期で洗浄される。

### (3) 豊富な実績

前述の通り、導入元であるCalgon Carbon社は北米において紫外線消毒装置のトップシェアを有し、米国、カナダの他、オーストラリアにおいて2007年末時点で30件超の実績がある。また、クリプトに対する紫外線消毒の有効性が確認されて間もない2000年に初号機を納入し、約8年間の運転実績を保有している。また、処理規模としては最大1,130,000m<sup>3</sup>/日の浄水場への実績例がある。

日本国内においては本年度中に東北地区某浄水場において、センチネル300型が稼働予定である。

※2 紫外線センサに関する規格は現段階でDVGW規格のみであり、信頼性を示す指標の一つである。



図2 北米実績 センチネル1200型(処理流量 = 360,000m<sup>3</sup>/日)  
Fig.2 Installation of SENTINEL Type 1200 in Canada (flow rate = 360,000m<sup>3</sup>/d)

表2 紫外線消毒装置 センチネル実績(一部)  
Table2 Installation List of Ultraviolet Disinfection System SENTINEL (select review)

| No | 納入年度 | プラント名称                  | 処理量[m <sup>3</sup> /日] |
|----|------|-------------------------|------------------------|
| 1  | 2000 | Bowling Green, USA      | 45,000                 |
| 2  | 2001 | West View Water, USA    | 150,000                |
| 3  | 2002 | E.L.Smith Plant, Canada | 360,000                |
| 4  | 2003 | Mannheim, Canada        | 73,000                 |
| 5  | 2004 | Hulton Plant, USA       | 38,000                 |
| 6  | 2005 | Rossdale, Canada        | 180,000                |
| 7  | 2005 | Deacon, Canada          | 780,000                |
| 8  | 2005 | City of Kelowna, Canada | 180,000                |
| 9  | 2006 | Potomac, USA            | 1,130,000              |
| 10 | 2006 | Pawtucket, USA          | 120,000                |



3 紫外線消毒装置の認証について

紫外線消毒装置を導入する際、最も重点を置くべきポイントは「消毒性能が確かな手法で評価されているかどうか」である。センチネルが取得している米国の認証は、日本国内の指針で規定された消毒性能を十分満足すると共に、さらなる安全性の確保、及び各プラントの実状に即したフレキシブルな運転を可能としている。以下に紫外線消毒装置における装置認証の重要性、及びセンチネルが取得したUSEPAガイドラインにある装置認証フローについて説明する。

3.1 装置認証とは

紫外線消毒装置の性能は対象となる微生物の不活化率によって定められる。例えば、下水処理からの放流水を紫外線消毒する場合、対象は大腸菌群となるため、紫外線消毒装置前後でサンプリング、分析することで継続的に性能を確認する事が可能である。一方、上水処理においては、耐塩素性病原生物の対策が必要な施設でも、原水から対象微生物が常時検出されるわけではなく、処理水の分析による性能確認だけでは不十分である。

そこで、上水向け紫外線消毒装置に関しては、各国で装置認証という方式が採用されている。これは、各装置毎に適用流量、適用紫外線透過率（水質、主に濁度による影響が大きい）における紫外線照射量を確認し、消毒性能を規定する手法である。複数の確認方法があるが、微生物を実装置に通水し、換算紫外線照射量（RED<sup>\*3</sup>）を求める「生物線量法」が最も認知された手法である。この他、コンピュータ解析を用いた「CFD法」、「紫外線強度分布計算法」があるがUSEPA等では認められておらず、日本国内の基準においても生物線量法との併用が定められている。

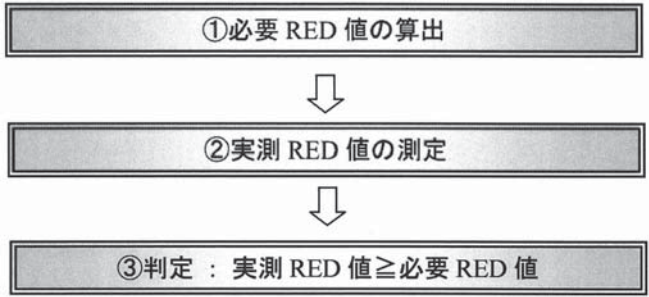
3.2 USEPAの装置認証フロー

センチネルはUSEPAより発行されているガイドライン（UV Disinfection Guidance Manual）に準拠し、「生物線量法」で第三者機関による認証を取得している。日本国内指針においては「紫外線照射槽を通過する水量の95%以上に対して、紫外線の照射量を常に10mJ/cm<sup>2</sup>以上確保できること」と規定されており、対象病原生物の不活化率は明記されていない。一方、米国のガイドラインでは対象微生物毎、及びその不活化率毎にRED値がそれぞれ規定されている。これは、砂ろ過+紫外線消毒等、複数技術を組合せた浄水プロセスとして、不活化率を評価する手法が採られているため、浄水場毎に求められる不活化率が異なることに因る。以下にUSEPAの認証フローを示す。

※3 紫外線照射槽内で実際に与えられた紫外線照射量を表す指標。微生物を用いた生物線量法  
の他、化学薬品を用いた化学線量法等により測定可能である。

USEPA 認証フロー

前述の通り、USEPAでは生物線量法のみが紫外線消毒装置の認証手段として認められている。フローを便宜的に3段階に分け、下記に詳述する。なお、一部内容を簡略化した。



①必要 RED 値の算出

STEP1 必要 UV 照射量の決定

対象微生物、及びその目標不活化率より必要 UV 照射量（下表）を決定する。ここで論じられる必要 UV 照射量はラブレベルのバッチ試験における値であり、論文等から導き出されている。

ex) “クリプトスポリジウム3log 不活化”には12mJ/cm<sup>2</sup> 必要

| Target Pathogens       | Log Inactivation |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                        | 0.5              | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
| <i>Cryptosporidium</i> | 1.6              | 2.5 | 3.9 | 5.8 | 8.5 | 12  | -   | -   |
| <i>Giardia</i>         | 1.5              | 2.1 | 3.0 | 5.2 | 7.7 | 11  | -   | -   |
| Virus                  | 39               | 58  | 79  | 100 | 121 | 143 | 163 | 186 |

STEP2 VF 値（不確実性因子）の算出

上記で決定されたラボ試験における必要 UV 照射量を“実装置規模”に変換する因子として、以下①～⑤を基に不確実性因子 VF を求める。

- ① UV センサの不確実性〔U<sub>s</sub>〕
- ② ラボ試験（照射量 vs 不活化率グラフ）の実験的不確実性〔U<sub>DR</sub>〕
- ③ 対象微生物と代替微生物の UV 耐性の差係数〔RED Bias〕
- ④ フィールド試験の不確実性〔U<sub>VAL</sub>〕
- ⑤ 多波長時の補正係数〔B<sub>Poly</sub>〕

STEP3 必要 RED 値の算出

上記により求めた VF より必要 RED 値を算出する。

必要 RED = 必要 UV 照射量 × VF

②実測 RED 値の測定

STEP1 代替微生物の不活化率 vs RED 値グラフ作成

コリメートビーム照射ユニット（図3）等を用い、紫外線照射量と代替微生物<sup>\*</sup>の不活化率の相関関係を求め、グラフを作成する（図4）。なお、紫外線照射量は紫外線強度計を用いて測定する。

※耐塩素性病原生物は安全面等の問題から、実際の試験に用いることが難しい。このため、大腸菌や大腸菌ファージなどの代替となる微生物を用いて試験を行う。本来対象とする病原生物との差違は前記 VF により補正されている。

STEP2 フィールド試験：実装置による不活化試験

浄水場の一部などのフィールド試験設備（図5）において、代替微生物を添加、設計水量を通水し、実装置による不活化率を求める。この際、前後の直管長は厳しい条件とすることが規定されており、センチネルでは流入側で配管径の3倍、流出側で同1倍とし、流出入共に90°エルボを設置して試験を行った。

STEP3 実測 RED 値の算出

図4のグラフを用い、フィールド試験で得られた不活化率から該当装置の実測 RED 値が算出される。例えば、代替微生物の不活化率が3log（99.9%）であった場合、矢印で示す様に実測 RED 値は60mJ/cm<sup>2</sup>となる。

③判定

上記②で測定した実測 RED 値が、①で算出した必要 RED 値を上回っていれば、所定の不活化性能を有する装置として適合していると判定され、認証が与えられる。センチネルでは、全機種について同様の認証を公平な第三者機関に委託しており、客観的に証明された消毒性能と言える。

4 将来の展望

日本国内における認証制度開始に伴い、今後上水向け紫外線消毒装置の導入は加速度的に進むと予想されている。また、当面は簡易水道など小規模浄水場における採用が主であるが、将来的には地表水市場への展開、砂ろ過等との組合せによる安全の多重化目的への移行など市場の広がりが期待される。大規模流量では紫外線照射槽内の滞留時間はコンマ数秒単位と極めて短く、装置の客観的な信頼性がさらに求められていくことは確実である。月島機械では、実装置による通水試験を行い、確かな消毒性能が認証されているセンチネルを、Calgon Carbon 社の豊富な実績と知見をベースに、さらにブラッシュアップを重ね、シンプルかつ確実な消毒プロセスの提案を進めていく。

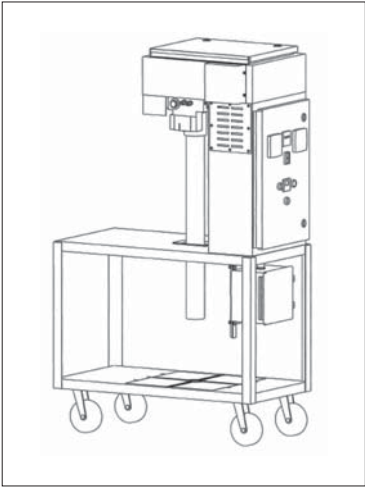


図3 コリメートビーム照射ユニット  
Fig.3 Collimated Beam Unit

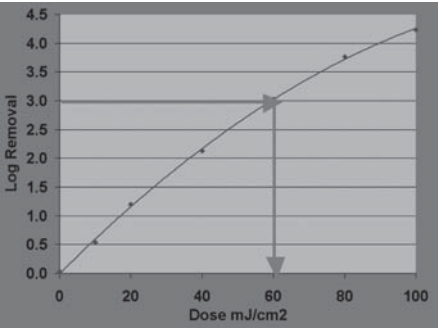


図4 紫外線照射量 vs MS2 不活化率グラフ  
Fig.4 UV dose vs Log Removal of MS2



図5 センチネル 450 型 フィールド試験  
Fig.5 Field Test of Sentinel type 450



# 月島ードライシールガスホルダ

*Tsukishima- Dry Seal Gas Holder*

福富 久益  
Hisayoshi FUKUTOMI  
水環境事業本部  
建設部  
タンクプロジェクトグループ

## Abstract

Tsukishima-Dry seal gas holder was adopted in the 1950's. Since then, the applications of the storage gas have expanded into fields such as steel works, sewerage treatment plant, and biomass plant with total global installation record of approximately 500 units.

The gas holder is a completely dry type that does not use any liquids such as water, greases or oil. As one of the key components of this dry type gas holder, a special synthetic rubber membrane has been developed jointly with Japanese rubber company for sealing the gas. The most suitable rubber membrane is selected to meet individual gas characteristics.

Dry seal gas holder is a well-established, core technology of Tsukishima Kikai and its progress is continuing further.

This paper describes the functions, features, configuration and mechanisms of the large-scale dry seal gas holder.

キーワード：ドライシール、製鉄所、副生ガス  
Keyword：Dry Seal, Steel Mill, By-Product Gas

## 1 はじめに

月島機械のタンク建設に関わる歴史は長く、古くは1900年代初頭には石油タンクを建設した記録が残っている。その後長年にわたり石油タンクの建設を手がけ、80年代から90年代には10万kl級の大型石油備蓄タンクを建設した実績を有している。月島機械は石油タンクをはじめとする液体貯槽のほかに、低圧及び中圧の気体を貯留するタンク（ガスホルダと云う）をも手がけており、特に今日では1950年代に技術導入した低圧で気体を貯留する月島ードライシールガスホルダがタンク事業の中核をなしており、下水道の汚泥消化ガス、製鉄業の副生ガスを貯留する用途に数多く使用されている。本稿では製鉄業で使用されている大型のドライシールガスホルダについての設備概要、特長等について紹介する。

## 2 設備概要

### 2.1 製鉄所におけるガスホルダ使用のメリット

高炉一貫製鉄所では、鉄が作られる過程で種々のガスが副生される。高炉から発生する高炉ガス（BFG）、コークス炉で石炭を乾留したときに発生するコークス炉ガス（COG）、製鋼工場において転炉から発生する転炉ガス（LDG）等である。

これらの副生ガスは混合された状態で製鉄所内の自家発電所、焼結工場、製鋼工場等で燃料として使用される貴重なエネルギー源となっており、現在では一貫製鉄所では石油を一切使用しないオイルレス操業が行われて、省エネ、省資源、環境対策に大きく貢献している。

### 2.2 副生ガスの種類と概要

#### (1) BFG

高炉では、鉄鉱石とコークスが熱風炉から送られた高温の空気によって還元・溶融される。この時に高炉の頂部から高炉ガスが回収される。他の副生ガスに比較して発生量が多いが、カロリーが低い。



図1 月島ードライシールガスホルダ全景  
Fig.1 External view of Tsukishima- Dry Seal Gas Holder

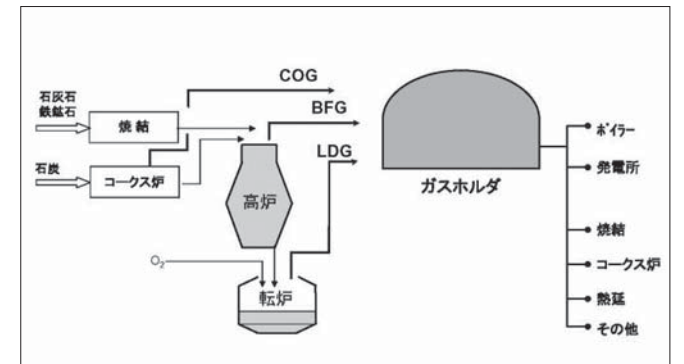


図2 製鉄所における副生ガスの流れ  
Fig.2 Gas flow at steel works

表1 他型式ガスホルダとの比較表  
Table1 Comparison of Dry Seal & Liquid Seal Gas Holders

| No. | 項目       | 月島ードライシール | 有水式    | オイルシール式 |
|-----|----------|-----------|--------|---------|
| 1   | シール方式    | 合成ゴム膜     | 水      | 油       |
| 2   | メンテナンス周期 | 10 ～ 15年  | 4 ～ 5年 | 3 ～ 5年  |
| 3   | メンテナンス費用 | ◎         | ×      | △       |
| 4   | 操業費用     | ◎         | △      | ×       |
| 5   | 環境保全     | ◎         | ×      | ○       |
| 6   | 耐寒性      | ◎         | ×      | △       |
| 7   | 基礎工事費    | ◎         | ×      | ○       |
| 8   | 耐震性      | ◎         | ×      | ○       |
| 9   | 異物の混入    | ◎         | ×      | ×       |

#### (2) COG

コークス炉では、高炉で鉄鉱石を溶解するためのコークスが、石炭を乾留することによって生産される。この際にCOGが副生される。COGには水素が多く含まれているため、副生ガスの中でも最もカロリーが高いため、製鉄所内の多くの工場で使用されている。

#### (3) LDG

転炉では、高炉で作られた鉄鉄に、高純度の酸素を吹き込んで脱炭して鋼が作られる。この時に発生するCOの未燃焼ガスがLDGである。BFGと同様にカロリーが低いためCOG等と混合して使用される。COG、BFGに比較してダストを多く含有する。

### 2.3 ガスホルダの役割

副生ガスの発生は、各々の炉の操業状況で大きく変化する。また、副生ガスを使用する各工場においても、稼働状況によってガスの使用量も変化する。この発生側と使用側の量のバランス調整、ガス成分

の均等化、圧力の安定化等を目的として設置される。一般的に製鉄所の副生ガスは、低圧で運用されることから乾式ガスホルダが多く採用されている。図2に製鉄所における副生ガスの流れを示す。

### 2.4 設備の特長

ドライシールガスホルダは、その名の通り完全乾式で、ガスをシールするために特殊合成ゴム膜を使用している。そのことから、油や水を使用している他型式ガスホルダに比較して多くの特長を有している。また、水を一切使用しないことから、全体の重量も軽く基礎費も大幅に軽減できること、同様に軽量であることから地震時における慣性力も小さいため耐震性に優れている。月島ードライシールガスホルダの特長を以下に述べると共に、表1に他型式ガスホルダとの比較を示す。

#### (1) シール方式

月島ードライシールガスホルダはシール部に水や油を一切使用していない。有水式に対して別名無水式とも呼ばれることもある。



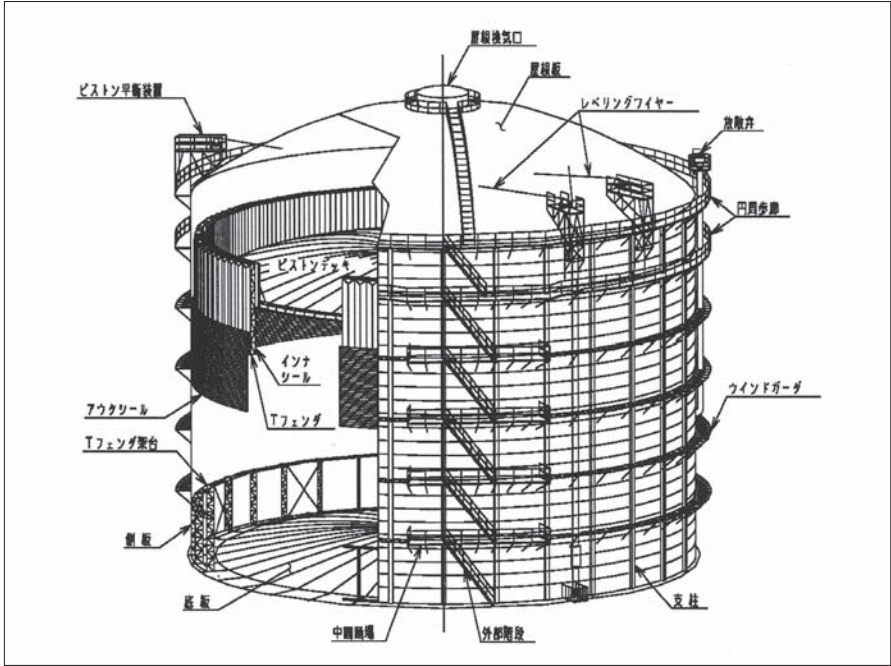


図3 月島ードライシールガスホルダの鳥瞰図  
Fig.3 Bird's eye view of Tsukishima-Dry Seal Gas Holder

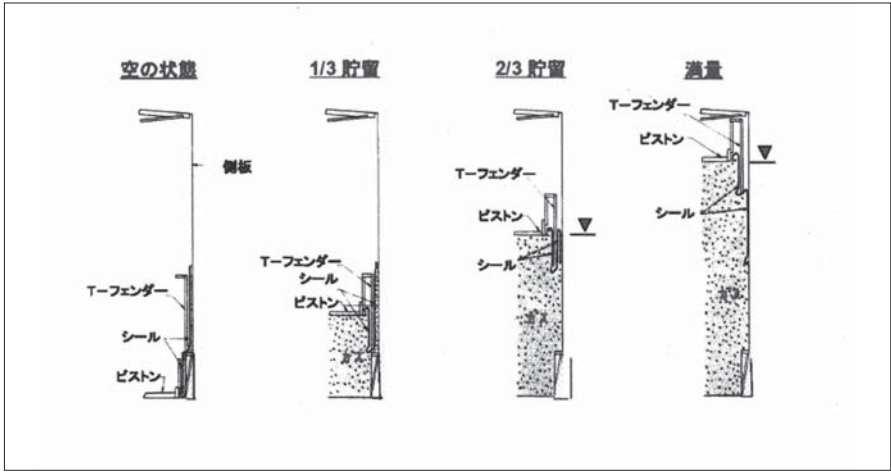


図4 月島ードライシールガスホルダの作動状態  
Fig.4 Mechanism of Tsukishima- Dry Seal Gas Holder

表2 月島ードライシールガスホルダの納入実績  
Table2 Installation Record of Tsukishima- Dry Seal Gas Holder

| 納入先      | 納入基数  |
|----------|-------|
| 日本国内の製鉄所 | 26 基  |
| 海外の製鉄所   | 7 基   |
| 汚泥消化ガス   | 378 基 |
| 一般化学 その他 | 63 基  |

(2)メンテナンス周期

摺動部分を有しないことから、シールゴム取替等の大修繕は10～15年程度である。

(3)メンテナンス費用

オイルシール式の5年程度でのシール摺動部の取替や、同様の5年程度での有水式のシール水貯留部の取替が無いことからメンテナンス費用は低廉である。また、ポンプ等の補機が無いため、それらのメンテナンスも不要である。

(4)操業費用

水や油の補給が不要のため、それらを随時補給する必要がないためランニングコストがゼロに近い。また、同様に補給のためのポンプ等の動力も不要となり、電力供給は運転制御のための計測装置用のみである。

(5)環境保全

ガスが溶け込んだシール水の排出やドレンへのシール油の混入がないため、ガスホルダ外へ排出されるのは、少量のガスドレンのみであり、環境への影響が最小限に押さえられる。

(6)耐寒性

シール部に水や油を使用していないので、凍結の心配がない。このため加温装置なしに寒冷地で使用できる。

(7)基礎工事費

水を貯める水槽がないことから基礎にかかる荷重が小さく、基礎費が大幅に低減出来る。

(8)耐震性

水を貯めないことから全体重量が軽くなり、地震時の慣性力も小さく、耐震上も非常に有利となる。

(9)異物混入の心配が無い

完全乾式であるため、ガスが水分や油分を吸収しないためガスの純度が低下する心配がない。

3 構造と作動の概要

月島ードライシールガスホルダは、図3に示すような構造となっており、側板、底板、屋根板等の外殻の中にTフェンダ及びピストンと称する内部構造物が設けられている。Tフェンダ及びピストンは、ガスの流入・流出に伴って図4に示すような作動を行って、ガス量の変動を吸収する。この作動を行う際にシールゴム膜は巻き上げられるように変形するのみで、摩擦あるいは摺動は一切行われない。また、シールゴム膜はガス圧力によってピストンの外周に浮き輪状の形状をなし、ピストン昇降の際にガイドの役目を果たして偏芯を防止している。

この他に月島ードライシールガスホルダにはレベリング装置と呼ばれる自動平衡装置を備え、ガス流出入に伴って昇降するピストンの水平を常に維持する役目を果たしている。

4 月島ードライシールガスホルダの信頼性

前述のように、月島ードライシールガスホルダは50年以上にわたり、約500基の実績を有している。

外国からの技術導入以来、機構面では月島機械独自の考案を加えるとともに、オリジナルデザインに改良・改善を重ね、今日では世界でも有数のドライシールガスホルダのメカとなっている。また、月島機械はその高い総合力から計画、設計、製作、施工及び試運転まで一貫して行うとともに、建設以後もメンテナンスを含めた対応が可能である。

5 納入実績

月島ードライシールガスホルダの納入実績は、1955年に名古屋の化学会社に納入して以来、汚泥消化ガス用を含め約500基に達している。この内1万m³以上の製鉄所向け副生ガス用は現在建設中のものを含め、33基となる。表2に月島ードライシールガスホルダの納入実績を示す。

月島機械は今回紹介している月島ードライシールガスホルダ以外の貯槽分野も手がけており、液体貯槽の分野では10万KL級の原油タンクを含め1,000基以上、粉体貯槽ではテレフタル酸用をはじめとするサイロを90基以上、都市ガス用の1万m³球形ガスホルダを含む中圧ガスホルダを30基以上建設するなど、数多くの建設実績を誇っている。

6 おわりに

最近の世界的な鉄鋼需要の影響を受け、世界各地で高炉一貫製鉄所の設備増強が続いており、本稿で紹介した大型の月島ードライシールガスホルダは、輸出を中心に受注が相次いでいる。特に韓国では既に2基の受注が決まっている。また、下水処理場で発生する汚泥消化ガスの分野でも数多くのドライシールガスホルダが使用されており、近年高まりつつあるバイオガスの分野においても重要な役割を果たしていきたい。

さらに、国内において1960年から1980年代に納入した下水処理場向けガスホルダの建て替え需要も見込まれており、これらの受注拡大に努めていきたいと考えている。

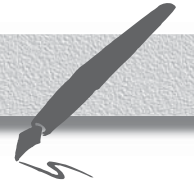


| 会社概要  |                             |      |                  |
|-------|-----------------------------|------|------------------|
| 名称    | 月島機械株式会社                    | 設立   | 大正6年5月           |
|       | (TSUKISHIMA KIKAI CO.,LTD.) | 資本金  | 66億4680万円        |
| 取締役社長 | 山田 和彦                       | 従業員数 | 701名(平成20年2月末現在) |
| 創業    | 明治38年8月                     | 売上高  | 572億円(平成19年3月期)  |

| 事業所    |                                                                           |                    |                                                                                                                                                                                                |
|--------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 本社     | 〒104-0051 東京都中央区佃2-17-15<br>TEL.03-5560-6511 FAX.03-5560-6591             | 沖縄営業所              | 〒901-2131 沖縄県浦添市牧港1-5-12<br>TEL.098-874-5793 FAX.098-874-5793                                                                                                                                  |
| 東京支社   | 〒104-0051 東京都中央区佃2-17-15<br>TEL.03-5560-6541 FAX.03-5560-6593             | 市川事業所(工場)          | 〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12<br>TEL.047-397-6111 FAX.047-397-3354                                                                                                                                    |
| 大阪支社   | 〒541-0043 大阪市中央区高麗橋3-5-12(東京海上日動ビル)<br>TEL.06-6229-1331 FAX.06-6229-1415  | (研究所)              | 〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12<br>TEL.047-359-1651 FAX.047-359-1661                                                                                                                                    |
| 札幌支店   | 〒060-0807 札幌市北区北七条西1-1-2(SE山京ビル)<br>TEL.011-726-0510 FAX.011-726-0520     | (環境プロセス<br>開発センター) | 〒272-0011 千葉県市川市高谷新町6-4<br>TEL.047-328-8761 FAX.047-328-8789                                                                                                                                   |
| 仙台支店   | 〒980-0014 仙台市青葉区本町1-11-2(SK小田急ビル)<br>TEL.022-227-9267 FAX.022-223-0316    | 〈海外〉               |                                                                                                                                                                                                |
| 横浜支店   | 〒231-0015 横浜市中区尾上町4-47(リスト関内ビル)<br>TEL.045-651-7331 FAX.045-664-5086      | TSKジャカルタ駐在員事務所     | TSUKISHIMA KIKAI CO., LTD. JAKARTA REPRESENTATIVE OFFICE《TJO》<br>22nd Floor, Plaza DM, Jl. Jend. Sudirman Kav. 25, Jakarta 12920, Indonesia<br>TEL. +62-21-526-7732/7734 FAX. +62-21-526-7790  |
| 名古屋支店  | 〒045-0003 名古屋市中村区名駅南1-17-29(広小路ESビル)<br>TEL.052-581-2378 FAX.052-581-1624 | TSKハノイ駐在員事務所       | TSUKISHIMA KIKAI CO., LTD. HANOI REPRESENTATIVE OFFICE《THO》<br>Unit202, V-Tower, 649 Kim Ma Street Ba Dinh District, Hanoi<br>TEL. 84-4-7669965,7,8 FAX. 84-4-7669969                          |
| 広島支店   | 〒730-0015 広島市中区橋本町10-10(広島インテス)<br>TEL.082-227-3093 FAX.082-223-8771      | TSKムンバイ駐在員事務所      | TSUKISHIMA KIKAI CO., LTD. MUMBAI LIAISON OFFICE<br>138A 1st floor Shaheed Bhagat Singh Colony JB Nagar Andheri(East)<br>Mumbai 400 059 India<br>TEL. +91-22-2831-4596 FAX. +91-22-2825-6265本社 |
| 福岡支店   | 〒810-0062 福岡市中央区荒戸2-1-5(大濠公園ビル)<br>TEL.092-741-5736 FAX.092-761-4806      |                    |                                                                                                                                                                                                |
| 和歌山営業所 | 〒640-8343 和歌山市吉田432(シティビル太田)<br>TEL.073-427-6085 FAX.073-427-6085         |                    |                                                                                                                                                                                                |

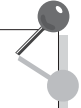
| 連結会社及び主な関連会社     |                                                                        |                     |                                                                                                                                                                                              |
|------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ※月島テクノメンテサービス(株) | 〒104-0052 東京都中央区月島4-8-14<br>TEL.03-3533-6272 FAX.03-3533-2588          | 〈海外関連会社〉            |                                                                                                                                                                                              |
| ※月島テクノマシナリー(株)   | 〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12<br>TEL.047-397-6111 FAX.047-397-3354            | 月島エンジニアリングシンガポール(株) | TSUKISHIMA ENGINEERING SINGAPORE PTE. LTD. 《TES》                                                                                                                                             |
| 月島テクノソリューション(株)  | 〒272-0127 千葉県市川市塩浜1-12(市川事業所)<br>TEL.047-701-0221 FAX.047-397-6201     | 月島エンジニアリングマレーシア(株)  | TSUKISHIMA ENGINEERING MALAYSIA SDN. BHD. 《TEM》<br>SUITE16, 04-05, 16th Floor, Wisma Mca,<br>163 Jalan Ampang, 50450 Kuala Lumpur, Malaysia<br>TEL. +60-3-2162-8679 FAX. +60-3-2162-8377     |
| ※月島環境エンジニアリング(株) | 〒104-0033 東京都中央区新川2-12-15(ハイトビル)<br>TEL.03-6386-3964 FAX.03-3537-8764  | TSKエンジニアリングタイランド(株) | TSK ENGINEERING (THAILAND) CO., LTD. 《TET》<br>United Center Building 14th Floor, Room1404,<br>323 Silom Road, Bangrak, Bangkok 10500, Thailand<br>TEL. +66-2-231-1726～30 FAX. +66-2-231-1731 |
| ※サンエコサーマル(株)     | 〒322-0017 栃木県鹿沼市下石川737-55<br>TEL.0289-72-0371 FAX.0289-72-0381         | TSKエンジニアリング台湾(株)    | TSK ENGINEERING TAIWAN CO., LTD. 《TETA》<br>6th Floor, No.24, Min Sheng, W.Road, Taipei, Taiwan R.O.C.<br>TEL. +886-2-2523-6975～6 FAX. +886-2-2521-1429                                       |
| ※寒川ウォーターサービス(株)  | 〒253-0106 神奈川県高座郡寒川町宮山4058-6(事業所)<br>TEL.0467-72-0862 FAX.0467-72-0863 |                     |                                                                                                                                                                                              |
| ※連結子会社           |                                                                        |                     |                                                                                                                                                                                              |





## 編集後記

## Editor's Note



高橋 正純 編集委員

今年7月、洞爺湖サミットが開催されるのに先駆け、この4月、日本の公約である温室効果ガス排出量“マイナス6%”の約束年がスタートする。テレビ、新聞等のマスメディアも、このところ環境特集と題して地球の悲鳴を種々の側面からレポートし、我々に訴えかけている。

本号では、地球に優しい環境関連の新技术、新商品を取り

上げた。当社の企業理念の一つに“最良の技術をもって環境保全に寄与し、社会に貢献”とあるように、これら環境技術を通して、さらには前号のバイオマス有効利用技術とあわせ、地球に優しい環境作りへの貢献、子供達の明るい未来へ結びつけられと思っ

てならない。

TSK技報 NO.9 2008 年2回(4月・10月)発刊

発行:月島機械株式会社 技報編集委員会

総責任者:西田 克範

編集委員長:吉越 昭雄

編集委員:高橋 正純 荒井 健 迎 崇博 佐藤 教子 千代島 有里 山口 彩子

08042100GMW

42 TSK 技報 2008 no.9

TSK 技報 2008 no.9 43