

---

| 目次 | CONTENTS |
|----|----------|
|----|----------|

---

|    |                                           |                                                                                                  |
|----|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | ＜巻頭言＞<br>技術開発とプラントエンジニアリング                |                                                                                                  |
| 2  | 多孔樹脂製散気装置の攪拌性能および<br>酸素溶解性能シミュレーションモデルの構築 | Numerical Analysis of Mixing and Oxygen Mass Transfer<br>Capability of a Porous Plastic Diffuser |
| 9  | ストーカ炉における排ガス<br>再循環シミュレーション               | Simulation Analysis on Flue Gas Recirculation<br>in Grate Incinerator                            |
| 15 | 新しいグラスライニング<br>補修用の樹脂材料                   | New Resin System for Repairing<br>Glass Lined Equipments                                         |
| 21 | グラスライニング製機器用<br>「E・マンホール」のラインナップ          | The Lineup of "E-MANHOLEs" for Glass-lined Equipment                                             |
| 26 | 新型水素酸素発生装置<br>「高圧水素サーバ」                   | A New Model of High-purity Hydrogen and<br>Oxygen Generator "High Pressure Hydrogen Server"      |
| 35 | (株)みすずコーポレーション殿向<br>汚泥減量型排水処理設備の納入事例      | Wastewater Treatment Plant with Reduced Sludge<br>Production Installed for Misuzu Corporation    |
| 43 | 製品・技術紹介                                   |                                                                                                  |

---

## 技術開発とプラントエンジニアリング



株式会社神鋼環境ソリューション

取締役社長 **青木 克規**

Katsunori Aoki

若い頃からプラントビジネスに携わってきて、プラント・エンジニアリングとは何か、ということを考えてきた。予定された納期内に、予算の枠内で、決められた性能を発揮するプラントを建設するために、エンジニア個人に求められることは何か、エンジニアリングを遂行する組織に求められることは何か。

実績のあるメニューの場合、もっとも重要なことはプロジェクトマネジメント能力である。プロジェクトの成否は、とりわけプロジェクトマネジャーの個人的資質や能力によるところが大きい。過去に類似のプラントの建設や操業の実績があるのだから、永年の経験から、想定されるリスクに対処する方法に関する知見は組織内に蓄積されており、有能なプロジェクトマネジャーであれば、これらを充分考慮した上で常日頃の仕事をおこなうので、プラント建設はスムーズに進む。たとえば多少の技術的挑戦があり難問に遭遇しても、蓄積された知見により解決可能な場合が多い。

しかしながら技術開発をとまなう新しいメニューの場合事情は大きく異なる。開発の過程で、種々な実証試験やパイロット・プラントの建設・運転を通して、商業プラント段階において予想される技術的課題に対する対策は施してきてはいるものの、実際のプロジェクトにおいては初めて経験する問題が多く、解決には大きな困難と労力を要する。このときもっとも重要なことは、技術開発と実施設計との間の連携である。とくにプロジェクトの初期のデザインレビューは決定的な意味を持つ。開発過程で検証できたことは何か、設計過程で検証すべき残された課題は何か、すなわち、エンジニアリング展開のなかで具体的な設備をイメージして、建設・試運転・操業に至るまでの視点でさらなる検証を加えることが重要である。

そのとき、エンジニアに要求されることは、幅広い情報あるいは知識である。プロセスそのものについて、プラントを構成する個々の機器について、コスト情報、さらにはそのプラントから生産される製品に関する知見等々、豊富な知識をアイデアや知恵にまで高めることが重要である。プロジェクトの成功は、これらを具備した技術開発と実施設計の連携によるといっても過言ではないと思うのである。このような観点から当社は総合環境ソリューション企業としてお客様にご満足して戴ける新商品、新技術の開発に積極的に取組み社会に貢献してまいりますので、今後とも皆様のご教示・ご鞭撻をお願い致します。

# 多孔樹脂製散気装置の攪拌性能および 酸素溶解性能シミュレーションモデルの構築

## Numerical Analysis of Mixing and Oxygen Mass Transfer Capability of a Porous Plastic Diffuser



技術開発本部  
水・汚泥技術開発部 水処理室  
三 浦 雅 彦  
Masahiko Miura  
(農学博士)  
技術本部水処理第一技術部膜処理室  
二 星 幸 弘  
Yukihiro Niboshi

効率的な新規エアレーションシステムを低コストで提案できるように、散気装置の攪拌性能と酸素溶解性能を予測できるシミュレーションモデルの構築を目的とした。第一に、微細気泡群の動きをオイラー法をもちいて数値モデル化した。続いて、多孔樹脂製散気装置の攪拌性能と酸素溶解性能を実験水槽で評価した。その実験結果からえられたボイド率をもとにした平均気泡径をパラメータフィッティングすることによって、実際の攪拌性能と酸素溶解性能を表現できるシミュレーションモデルを構築した。

Numerical analysis technique was developed to simulate mixing and oxygen mass transfer capability of a porous plastic diffuser. The minute bubble group was numerical value modeled by using the Euler's method. The model was calibrated by the average bubble diameter based on the experimental void fraction value.

### Key Words :

|         |                      |
|---------|----------------------|
| 数 値 解 析 | Numerical analysis   |
| 散 気 装 置 | Diffuser             |
| 酸 素 溶 解 | Oxygen mass transfer |
| 攪 拌     | Mixing               |

### ま え が き

下水処理施設における消費電力の30～50 %をエアレーションのための動力が占めている<sup>1)</sup>。したがって、エアレーションシステムの効率化を図ることは、水処理施設全体のランニングコストの削減、省エネルギーの観点から重要な意義がある。また、電力の削減は温暖化ガス排出量の削減にもつながり、地球温暖化防止への具体的な対策として環境保全にも寄与する。このような背景から、超微細気泡散気装置をもちい曝気風量を削減することによるエネルギー削減事例が報告されている<sup>2)</sup>。

一方、エアレーションシステム全体のエネルギー効率の改善を考えた場合、散気装置の更新だけではなく、散気装置の最適な配置や運転方法の確立および

評価が望まれる。しかしながら従来より、散気装置の攪拌や酸素供給能力の評価は単独の実験水槽による試験や実施設での実証によっておこなわれている。したがって、新規アイデアの配置方法や運転方法を幅広く試すことは、現実的に限界がある。

そこで、散気装置の攪拌や酸素供給能力を詳細に表現できる数値解析シミュレーションを開発することができれば、施設ごとの最適な配置の解明、さらには新規な配置や運転方法に関するアイデアの検証を低コストでおこなえるようになる。

本報では、オイラー法をもちいた3次元流体の数値解析技術を応用することによって数値モデル化した、多孔樹脂製散気装置の攪拌性能と酸素移動効率を表現できるシミュレーションの開発について報告

する。

## 1. シミュレーションモデル構築の流れ

シミュレーションモデル構築の手順として、まず、微細気泡群の動きをオイラー法をもちいて数値モデル化することによって、酸素溶解を表現できるプログラムを開発した。続いて、実験水槽で実施した散気実験結果と解析結果が整合するように、気泡径と酸素拡散係数のパラメータフィッティングをおこなった。

## 2. 計算手法

### (1) 記号

|            |                               |
|------------|-------------------------------|
| $\rho$     | : 密度                          |
| $\nu$      | : 速度                          |
| $d$        | : 直径                          |
| $\mu$      | : 粘性係数                        |
| $f_{drag}$ | : 抗力                          |
| $S_{O_2}$  | : 溶存酸素濃度 (kg/m <sup>3</sup> ) |
| $G_{O_2}$  | : 気泡中酸素体積比率 (—)               |
| $\phi$     | : 体積占有率                       |
| $\alpha$   | : 吸収係数                        |
| $g$        | : 重力加速度                       |
| $k_g$      | : 酸素移動拡散係数                    |

### 添字

|       |            |
|-------|------------|
| $q$   | : 背景相 (水)  |
| $p$   | : 第2相 (空気) |
| $O_2$ | : 酸素       |
| $m$   | : 混合相平均    |

### (2) 流れの解法

粗大気泡では気泡の個数が少ないので、気泡列の運動を追跡するように表現した方程式で気泡の動きを計算するラグランジュ法による解析がおこなわれる。一方、本報で検討した散気装置のような微細気泡の場合には、気泡数が多いのでラグランジュ法は適さない。そこで、オイラー法により気泡群を表現することとした。<sup>3)</sup>

各相の連続の式 (省略)、液と気泡の混合相平均の N.S. 方程式 (省略) を解き、背景相 (水) と第2相 (気泡) のスリップ速度を式(1)~(3)により表現する。

$$\vec{v}_{pq} = \vec{v}_p - \vec{v}_q \quad (1)$$

$$\vec{v}_{pq} = \frac{(\rho_p - \rho_q) d_p^2}{18\mu_q f_{drag}} \{ \vec{g} - (\vec{v}_m \cdot \nabla) \vec{v}_m \} \quad (2)$$

$$\left. \begin{array}{ll} \text{if } Re \leq 1000 & f_{drag} = 1 + 0.15 Re^{0.687} \\ \text{else} & f_{drag} = 0.0183 Re \end{array} \right\} \quad (3)$$

### (3) 酸素溶解モデル

気泡から液へ溶け込む酸素の生成項は式(4)により表される。

$$\frac{\partial \phi_q S_{O_2}}{\partial t} = k_g \frac{6\phi_p}{d_p} \{ \rho_{O_2} G_{O_2} - S_{O_2} \} \quad (4)$$

同時に、気泡内の酸素濃度は低下するので、その場合の気泡内酸素の生成項 (多くの場合、負になる) は式(5)により表される。

$$\frac{\partial \phi_p \rho_{O_2} G_{O_2}}{\partial t} = -k_g \frac{6\phi_p}{d_p} \{ \rho_{O_2} G_{O_2} - S_{O_2} \} \quad (5)$$

なお、酸素が溶け込むことにより気泡内酸素濃度が低下しても、気泡密度と気泡径は変わらないとした。

## 3. 実験装置および実験条件

実験水槽の外観を写真1に示す。底面寸法が1 m × 2 m、水深は0 ~ 5 m に設定できる。今回の実験では水面高さを5 m に設定した。また、同水槽は2方向の側面が透明アクリル製であり、内部が観察できるようになっている。散気装置には、長さ750 mm、外径72 mm の円筒型の多孔樹脂製散気装置をもちい、散気装置を水槽の底部中央に配置した全面曝気と、端部に配置した旋回曝気条件の散気条件について検討した。散気装置と計測機器の概略配置を



写真1 実験水槽外観

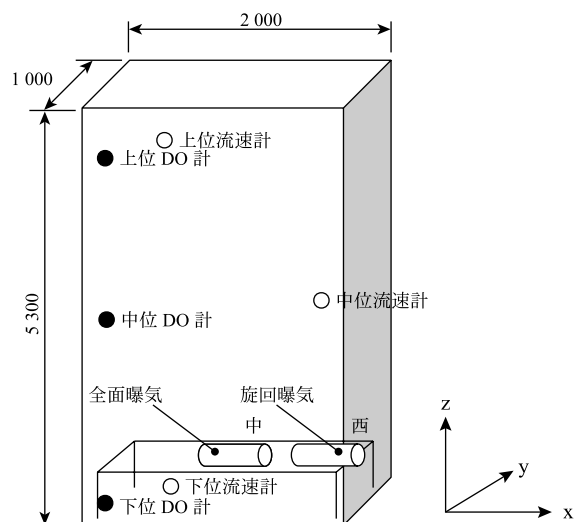


図1 実験水槽への散気装置と計測器の概略配置

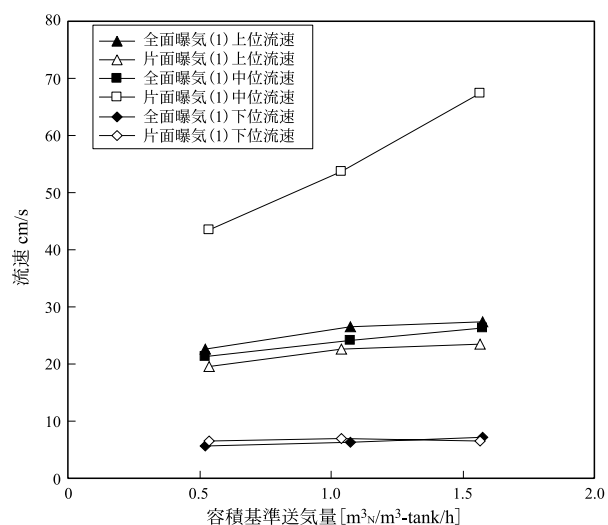


図2 容積基準送気量と流速絶対値の関係



全面曝気



旋回曝気

写真2 散気時の外観

表1 散気条件

| 曝気方法 | 総送気量 [L/min] |
|------|--------------|
| 全 面  | 87           |
|      | 174          |
|      | 261          |
| 旋 回  | 87           |
|      | 174          |
|      | 261          |

表2 攪拌性能実験結果

| 条 件  | 送気量                 | 容積基準<br>送 気 量 | 下位流速計 (500, 500, 100) |        |        |        | 中位流速計 (1 500, 500, 2 500) |        |        |        | 上位流速計 (500, 500, 4 500) |        |        |        |
|------|---------------------|---------------|-----------------------|--------|--------|--------|---------------------------|--------|--------|--------|-------------------------|--------|--------|--------|
|      |                     |               | X-vel.                | Y-vel. | Z-vel. | V-mag. | X-vel.                    | Y-vel. | Z-vel. | V-mag. | X-vel.                  | Y-vel. | Z-vel. | V-mag. |
|      | L <sub>N</sub> /min | m³/m³-tank/h  | cm/s                  | cm/s   | cm/s   | cm/s   | cm/s                      | cm/s   | cm/s   | cm/s   | cm/s                    | cm/s   | cm/s   | cm/s   |
| 全面曝気 | 87                  | 0.52          | 1.1                   | 0.0    | -1.5   | 5.7    | -3.5                      | -1.9   | -5.1   | 21.3   | -6.2                    | 1.6    | 10.5   | 22.7   |
|      | 179                 | 1.07          | -3.0                  | 0.1    | 0.0    | 6.4    | -4.0                      | -2.1   | -10.6  | 24.1   | -5.9                    | 2.1    | 14.5   | 26.5   |
|      | 263                 | 1.58          | -1.5                  | -0.3   | -0.1   | 7.2    | -5.4                      | -2.8   | -12.4  | 26.3   | -6.4                    | 2.3    | 13.9   | 27.4   |
| 旋回曝気 | 89                  | 0.54          | 2.2                   | 3.1    | -3.1   | 6.6    | 7.0                       | 2.0    | 39.3   | 43.4   | -6.8                    | 2.8    | -12.0  | 19.7   |
|      | 173                 | 1.04          | 2.9                   | 2.7    | -3.5   | 6.9    | 7.8                       | 1.8    | 49.6   | 53.7   | -7.5                    | 1.1    | -14.8  | 22.6   |
|      | 261                 | 1.57          | 2.9                   | 1.8    | -3.4   | 6.5    | 8.6                       | 1.0    | 63.9   | 67.4   | -6.6                    | 0.6    | -15.8  | 23.5   |

図1に、散気条件を表1に、また、散気時の外観を写真2に示す。

## 4. 実験結果

### 1) 攪拌性能

表2に攪拌性能実験の結果を示す。図2に容積基準送気量と流速絶対値の関係を示す。流速の結果から判断して攪拌性能として良い評価をえられるのは旋回曝気の条件であった。中位流速計の下側に散気装置が設置されている影響で中位流速の上向き流速が大きくなっている。また、ほとんどの条件で送気

量増加にともなって流速絶対値が増加する傾向であった。なお、下部流速が10 cm/sを越えていないが、水槽の大きさにくらべ相対的に大きな散気筒固定用の枠組みが流れを乱したためと推察する。

### 2) 酸素移動効率

表3に酸素溶解性能実験の結果まとめを示す。図3～5には平均ボイド率、総括酸素移動容量係数  $KLa$ 、酸素吸収効率  $\eta$  の結果を示す。

水槽内に含まれる気泡の容積は、旋回曝気のほうが全面曝気よりも多かった。総括酸素移動容量係数

表 3 酸素溶解性能実験結果

| 条 件  | 送気量              | 容 積 基 準<br>送 気 量                        | 水温                 | 平 均<br>ボイド率 |
|------|------------------|-----------------------------------------|--------------------|-------------|
|      | $L_N/\text{min}$ | $\text{m}^3_N/\text{m}^3\text{-tank/h}$ | $^{\circ}\text{C}$ | —           |
| 全面曝気 | 87               | 0.52                                    | 14.4               | 0.00236     |
|      | 179              | 1.07                                    | 14.4               | 0.00385     |
|      | 263              | 1.58                                    | 14.5               | 0.00607     |
| 旋回曝気 | 89               | 0.54                                    | 14.7               | 0.00452     |
|      | 173              | 1.04                                    | 15                 | 0.00560     |
|      | 261              | 1.57                                    | 15.6               | 0.00722     |

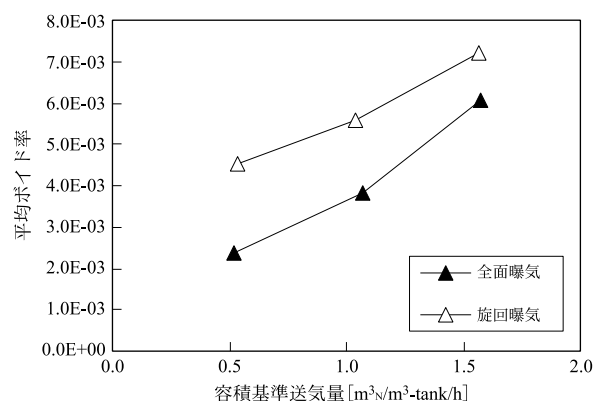
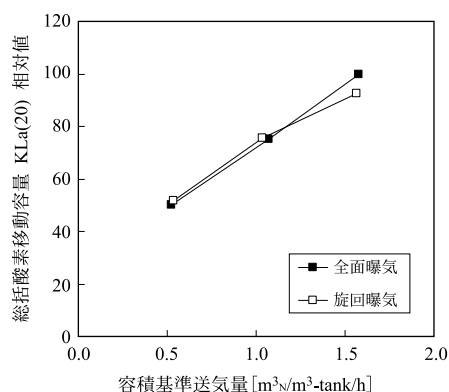
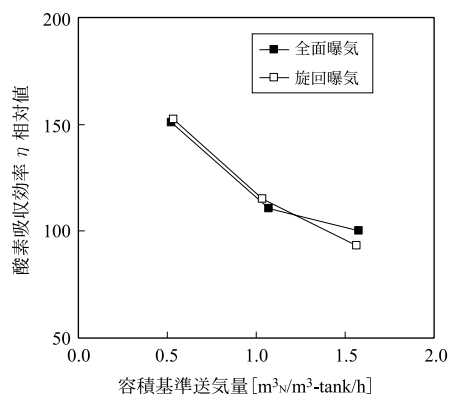


図 3 容積基準送気量と平均ボイド率の関係



注：全面曝気 $1.5 \text{ m}^3_N/\text{m}^3\text{-tank/h}$ を100%として表した

図 4 容積基準送気量と総括酸素移動容量係数の関係



注：全面曝気 $1.5 \text{ m}^3_N/\text{m}^3\text{-tank/h}$ を100%として表した

図 5 容積基準送気量と酸素吸収効率の関係

KLa は、両条件においても送気量の増加にともなって上昇した。また、単位水量あたりの酸素移動性を示す酸素吸収効率  $\eta$  の結果を比較すると、両条件とも送気量の増加にともなって減少傾向にあった。

今回の実験結果から、平均ボイド率の値が高くなっている旋回曝気条件では、水槽底部への流れは少ないものの、槽全体として形成された循環流によって気泡が水中に長時間保持されることで、水面から大気放出する気体の量が少なくなっていると考えられる。

## 5. 気泡径のパラメータフィッティング

平均ボイド率と流速の計測結果を基に気泡径のパラメータフィッティングをおこなった。

図 6, 7 にフィッティングした平均ボイド率の解析結果と実験結果の比較を示す。

解析的および実験的に求められた球体に作用する抗力の式(3)に適合させるためには、気泡径を  $\phi 1 \text{ mm}$  以下に設定する必要がある。実際には、同散気装置から噴出直後の気泡径は数 mm と考えられ、設定値が実際の値よりも小さいと推察される。この

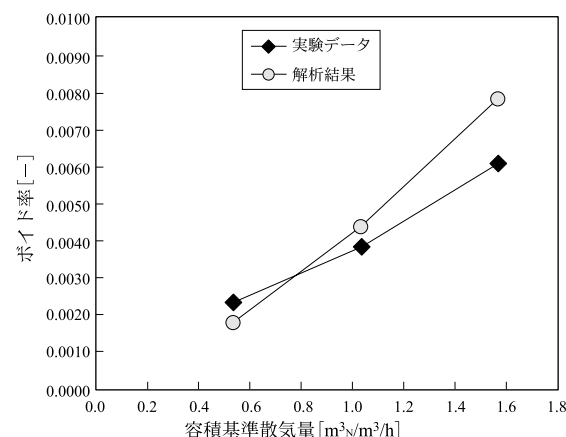


図 6 全面曝気での平均ボイド率

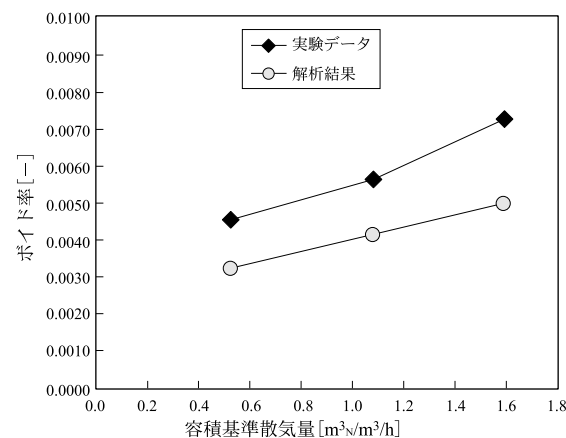


図 7 旋回曝気での平均ボイド率

不整合の要因の一つは、現実の水槽内で起こる気泡の分散や合一を正確に表現できていないことであろう。この気泡径の設定値を実際の値と整合させることが、さらに精度の高いシミュレータ開発に向けた課題の一つと考えている。表4に最終的にフィッティングした容積基準散気量あたりの設定気泡径を示す。

### 6. 攪拌性能の解析結果

図8に全面曝気、図9に旋回曝気条件での流速の測定結果と計算結果をそれぞれ示す。酸素溶解性能を確度高く計算することを優先してボイド率が測定

表 4 容積基準散気量とパラメータフィッティングで設定した平均気泡径の関係

| 容積基準散気量                                             | 数値計算で表現する気泡径 |
|-----------------------------------------------------|--------------|
| 0.52 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /m <sup>3</sup> /h | φ0.5 mm      |
| 1.04 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /m <sup>3</sup> /h | φ0.7 mm      |
| 1.57 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /m <sup>3</sup> /h | φ0.8 mm      |

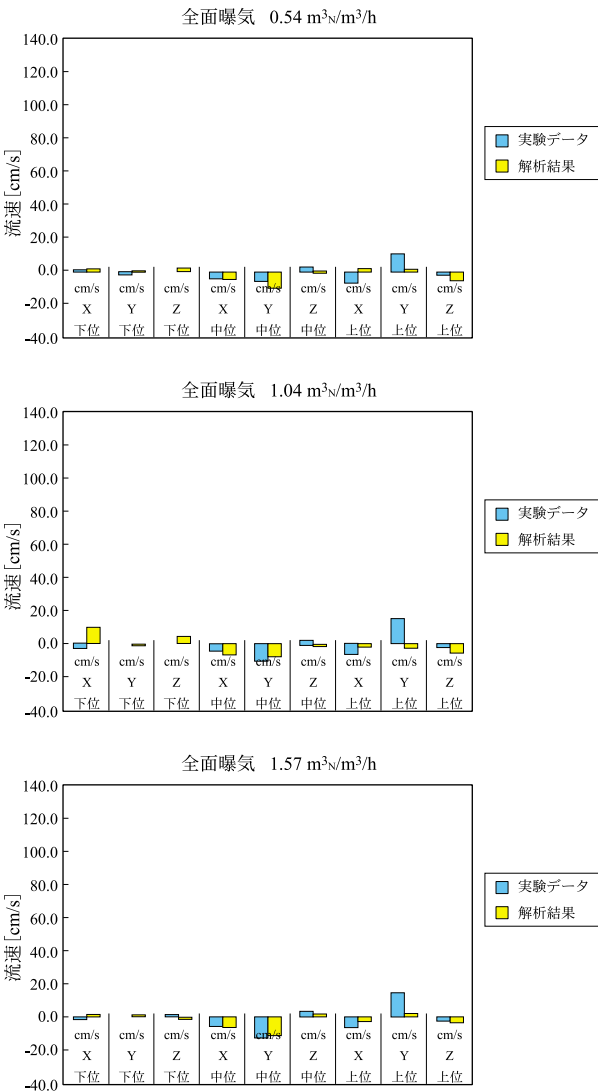


図 8 全面曝気条件における流速の実験値と解析値の比較

結果と整合するように気泡径をパラメータフィッティングした。そのため、1 部、旋回曝気条件での中位計測点 Y 方向流速のように大きな差異が認められる箇所もあるが、全体的な傾向ではシミュレーションできていると考えられる。

計算結果をもとにした全面曝気条件の流速分布と速度ベクトルを図10に、旋回曝気条件のものを図11に、また、両条件のボイド率分布を図12に示す。それぞれの曝気条件において槽内の水流と気泡群の動きが良くシミュレーションできていることがわかる。

### 7. 酸素溶解性能のパラメータフィッティング

式(4)、(5)における酸素拡散係数  $k_g$  は次元解析的には式(6)のように表記される。

$$K_{La} = k_g \frac{6\phi_p}{d_p} \tag{6}$$

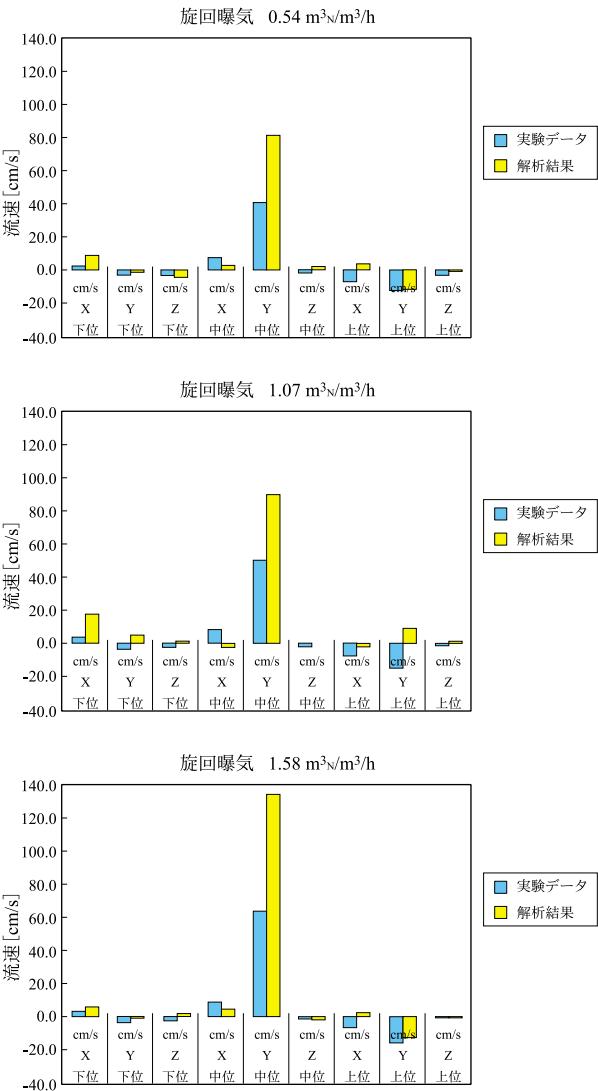


図 9 旋回曝気条件における流速の実験値と解析値の比較

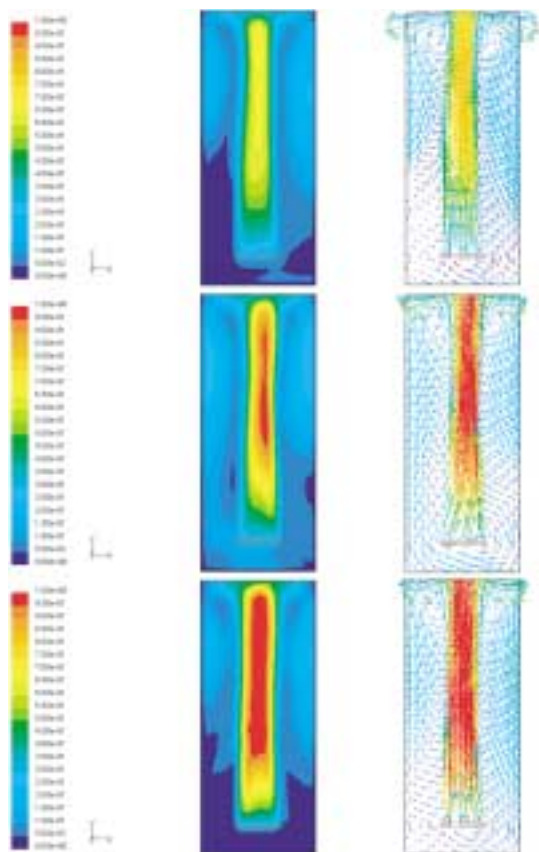
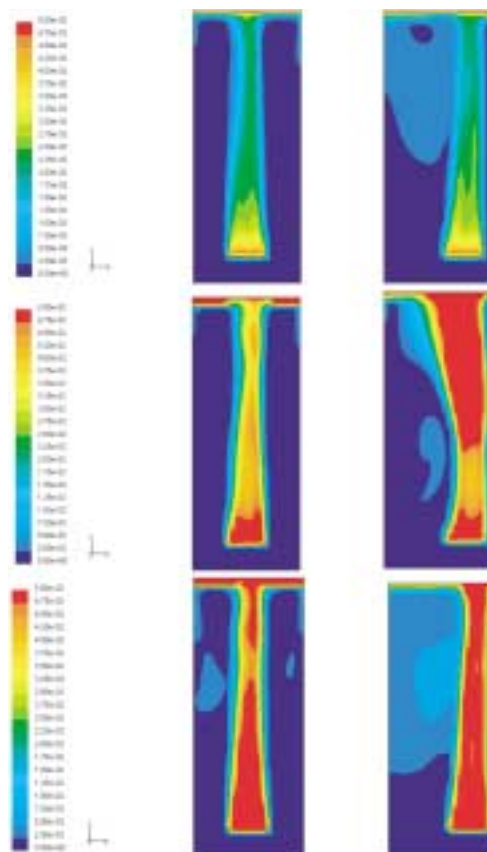


図10 全面曝気条件の流れ解析結果



左：全面曝気条件，右：旋回曝気条件

図12 ボイド率の解析結果

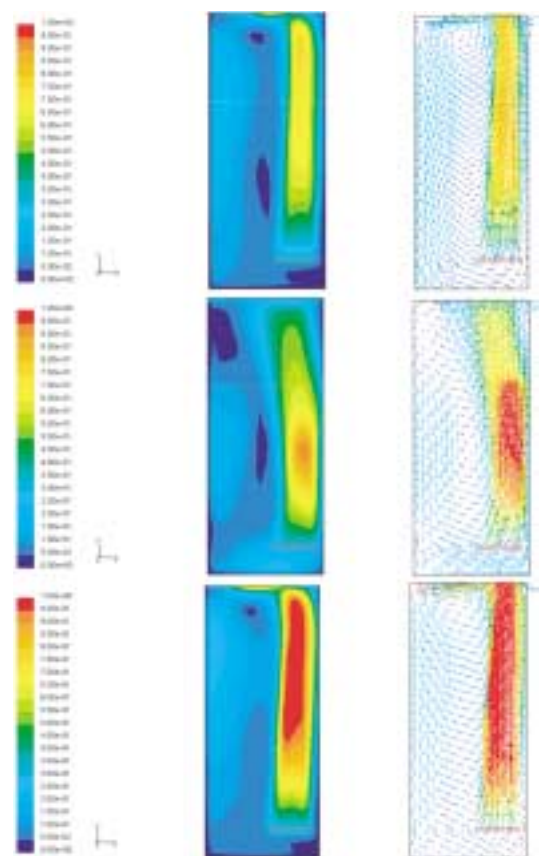


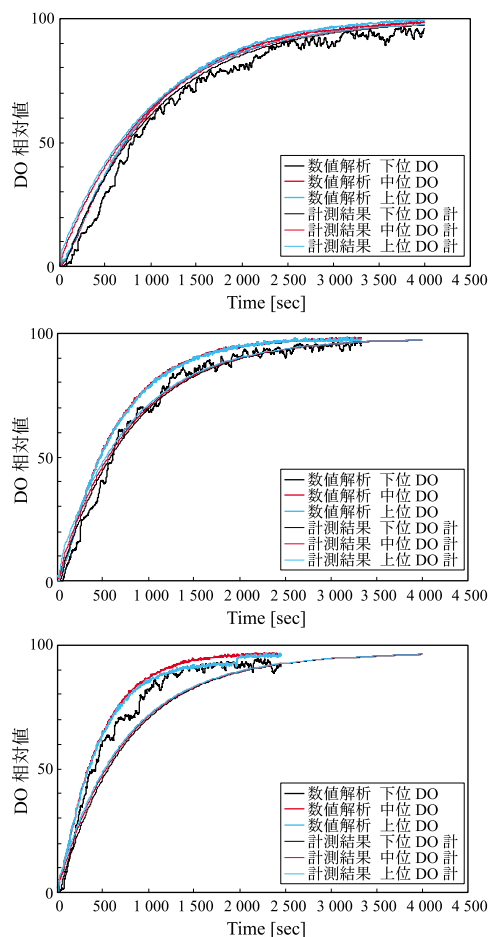
図11 旋回曝気条件の流れ解析結果

酸素拡散係数  $k_g$  は熱伝達率のようにレイノルズ数に依存するはずである。酸素拡散係数  $k_g$  を一定として、実験水槽における清水実験結果をもちいて酸素拡散係数  $k_g$  をパラメータフィッティングした。その結果、 $k_g=0.0010$ を採用することにより、各容積基準散気量での全面、旋回曝気の両条件の実験結果と解析値がもっとも整合した。酸素の溶解込み速度に関しては、式(4)、(5)から酸素拡散係数  $k_g$  とボイド率に比例し、気泡径に反比例することがわかる。

図13に全面曝気条件の、図14に旋回曝気条件のDO計測結果と数値解析結果の比較を示す。DO時刻歴に若干の差が認められるものの、曝気条件、送気量によるDO履歴の傾向は表れていることから、よく一致していることがわかる。

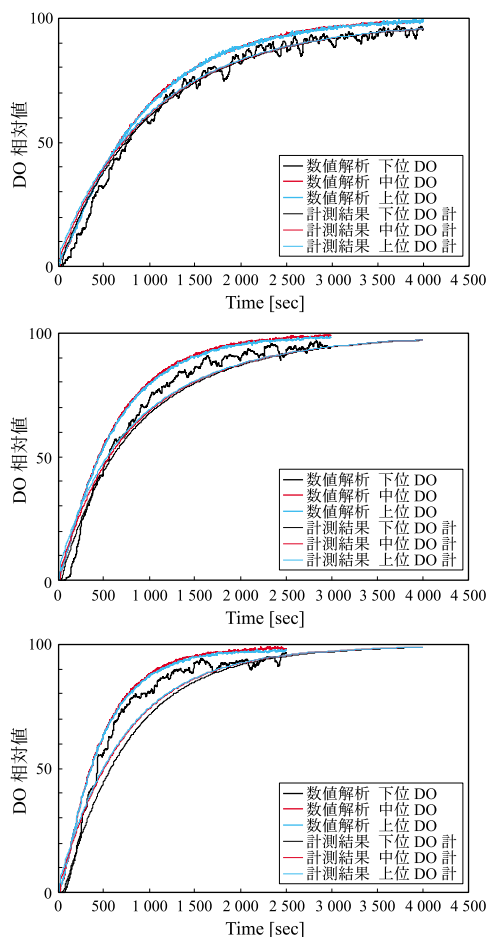
## 8. 数値解析シュミレーションの有効性

- 1) 多孔樹脂製散気装置から散気した微細気泡の気泡径を実験水槽実験におけるボイド率計測結果をもとにフィッティングし、気泡群を3次元解析流体数値解析シミュレーションモデルで表現することができるようになった。
- 2) 実験水槽におけるDO上昇曲線をもちいて酸素拡散係数をフィッティングした結果、同散気装置



上 :  $0.52 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-tank/h}$   
 中 :  $1.07 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-tank/h}$   
 下 :  $1.58 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-tank/h}$   
 注 :  $0.52 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-tank/h}$  の上位 DO 計測結果の到達 DO (mg/L) を100とした

図13 全面曝気条件の DO 計測結果と解析結果比較



上 :  $0.54 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-tank/h}$   
 中 :  $1.04 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-tank/h}$   
 下 :  $1.57 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-tank/h}$   
 注 :  $0.54 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-tank/h}$  の上位 DO 計測結果の到達 DO (mg/L) を100とした

図14 旋回曝気条件の DO 計測結果と解析結果比較

では、一定の酸素拡散係数 ( $kg=0.0010$ ) で全条件を再現できることがわかった。

3) 式(4), (5)から酸素の溶け込み速度は酸素拡散係数  $kg$  とボイド率に比例し、気泡径に反比例することがわかる。

ここで報告したパラメータフィッティング手法によるシミュレーションモデルは、未知の水槽や散気装置の新規配置条件での攪拌性能、酸素溶解性能を推定する上で有効なツールになると考える。

## む す び

本報では、3次元流体の数値解析技術を応用することによる散気装置の性能推定シミュレーションの構築について述べた。紙面の都合にて割愛したが、同じモデルをもちいたシミュレーションが、メンブレン式やチューブ式の超微細散気装置の性能推定にも適用可能なことを確認している。

一方、今回のモデルでは、ボイド率から求めた平

均気泡径でパラメータフィッティングしており、気泡の分散や合一の影響を考慮できておらず、実際の気液混合現象を詳細に表現するには課題が残っていると考えている。今後、散気気泡の気泡径、密度、移動速度などの特性を実測してパラメータフィッティングに活用することにより、さらに確度の高い性能評価ツールとして改良を進めていきたい。

最後に、本開発を進めるにあたり業務遂行をご支援いただきました神鋼テクノ(株)小畑聡氏に深く感謝いたします。

## 【参考文献】

- 1) 散気装置の効率化に関する調査報告書, 東京都下水道局 p.2, (2002)
- 2) 高橋隆一ほか, 超微細散気装置の特性と導入効果について, 第41回下水道研究発表会講演集, p.906, (2004)
- 3) 泡のエンジニアリング, p.301, テクノシステム, (2005)

# ストーカ炉における排ガス 再循環シミュレーション

## Simulation Analysis on Flue Gas Recirculation in Grate Incinerator



技術本部操業技術部施設管理室  
伊 藤 正  
Tadashi Ito

(株)神戸製鋼所 技術開発本部  
機械研究所流熱技術研究室  
多 田 俊 哉  
Toshiya Tada

当社は、2000年6月に下関市よりストーカ式都市ごみ焼却施設を受注し、2002年11月の竣工以来、順調に運転を継続している。本施設は高温燃焼・高効率熱回収に加えて、焼却灰、飛灰の熔融処理による総合的な環境対策技術を適用したものであるが、さらなる総空気比の低減をめざして、汎用熱流体解析プログラムをもちいたシミュレーション解析により、排ガス再循環をおこなった場合の効果について評価した。その結果、排ガスを再循環することによって、大気中に放出される排ガス流量およびNOx濃度の双方の低減を達成できることが予想された。

The plant in Shimonoseki City is composed of a grate incinerator featuring high-temperature incineration with air ratio of 1.6, a high-efficiency heat recovery process, and an ash melting process. The effect of flue gas recirculation has been evaluated aiming at the reduction of a further total air ratio by the simulation analysis using a 3D CFD code. The analysis results show that both the reduction of the NOx density and flue gas will be achieved.

### Key Words :

都 市 ご み  
ストーカ式焼却炉  
低 空 気 比  
排 ガ ス 再 循 環  
シミュレーション解析

Municipal solid waste  
Grate incinerator  
Low air ratio  
Flue gas recirculation  
Simulation analysis

### ま え が き

当社は、2000年6月に下関市よりストーカ式都市ごみ焼却施設を受注し、2002年11月の竣工以来、順調に運転を継続している。本施設は高温燃焼・高度排ガス処理に加えて、焼却灰、飛灰の熔融処理による総合的な環境対策技術を適用したものであるが、さらなる環境負荷の低減をめざして2004年11月より総空気比1.4における低空気比燃焼運転をおこなっている。

さらに総空気比を低減し、総空気比1.3以下を達成するためには、炉内温度の局所高温化にともなうクリンカの付着・成長やNOx発生量の増加といっ

た課題を解決する必要があるが、その対応策としては炉内に燃焼排ガスの一部を導入・再循環する方法があげられる。本報では汎用熱流体解析プログラムをもちいた数値解析により、ストーカ炉において排ガス再循環をおこなった場合の効果について評価した結果について報告する。

### 1. ストーカ炉概要

当社ストーカ炉の模式構造図を図1に示す。炉の火格子は対向摺動式と並行摺動式を組合わせたコンバインドストーカ、主燃焼室は全メンブレンボイラ壁構造としている。また、二次燃焼室は炉中央部に位置する直交流型で、一次燃焼室出口に絞り部を設

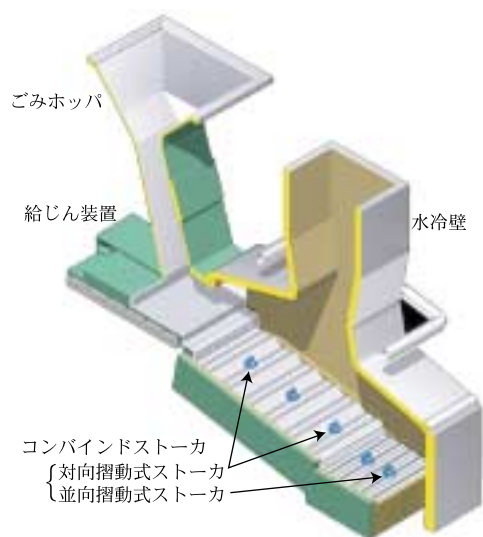


図1 模式構造図

表1 計算条件

| 3 成 分     |                                 |        |
|-----------|---------------------------------|--------|
| 水 分       | %                               | 42.5   |
| 可 燃 分     | %                               | 50.4   |
| 灰 分       | %                               | 7.1    |
| 低位発熱量     | kJ/kg                           | 9 712  |
| 可燃物中の元素割合 |                                 |        |
| C         | %                               | 61.2   |
| H         | %                               | 7.5    |
| N         | %                               | 1.9    |
| O         | %                               | 29.4   |
| S         | %                               | 0      |
| Cl        | %                               | 0      |
| 合 計       | %                               | 100    |
| 理論空気量     | m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /kg | 3.26   |
| 運 転 条 件   |                                 |        |
| 供 給 量     | kg/h                            | 7 500  |
| 一次空気流量    | m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /h  | 27 700 |
| 空気比       |                                 | 1.13   |
| 二次空気流量    | m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /h  | 12 000 |
| 空気比       |                                 | 0.49   |

け、さらに二次空気を前後方向から吹込む構造となっている。

## 2. 解析方法と条件

### 2.1 評価対象および項目

数値解析にもちいたストーカ炉の形状（計算領域）は実際の180 t/d 炉を忠実に再現した左右対称の1/2モデルを採用しており、メッシュ数は約11万要素である。また、ごみ性状、ごみ処理量、燃焼空気量分配などの計算条件は2003年3月（10日、15日、19日、24日、26日の5日間の平均的な数値）の実炉運転実

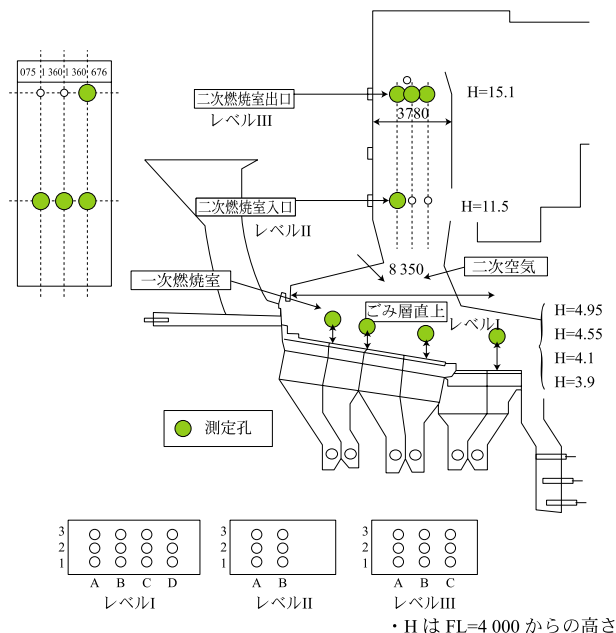


図2 炉内ガス測定位置

績を模擬した。表1に計算条件を示す。同日に炉内ガス組成・温度を実測しており、数値解析の比較データとした。図2にその測定位置について示す。

排ガス再循環に関する評価としては、とくにNO<sub>x</sub> 発生量に着目した。一方、評価項目としては、

- ① 排ガス再循環率の影響
- ② 空気比と排ガス再循環の影響
- ③ 二次空気吹き込み流速の影響
- ④ 二次空気配分の影響
- ⑤ 二次空気ノズル配置の影響

の5項目をかかげた。

### 2.2 数値解析モデル

数値解析は汎用熱流体解析プログラム“Fluent ver. 6. 1. 22”でおこない、評価にはNO<sub>x</sub> モデルを採用した。このNO<sub>x</sub> モデルでは事前にえられた流れ場と燃焼の解析結果に基づいてNO<sub>x</sub> 生成に関連する化学種の輸送方程式を解いている。なお、今回おこなった数値解析ではNO<sub>x</sub> 生成機構として、サーマルNO<sub>x</sub>、プロンプトNO<sub>x</sub>、フューエルNO<sub>x</sub>の生成を考慮している。また、乱流モデルにはk-εモデルを採用している。

### 2.3 計算条件

火格子上で発生する燃焼ガスの条件は以下のような手順で決定した。

- ① 考慮したガス種は、CH<sub>4</sub>、CO、H<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>Oの7種類であり、ガス組成は各ゾーンでの物質収支が成り立つようにした上で、実測データの近似値となるように調整した。

表 2 火格子から発生するガス条件

|      |    | 流 速    | 温 度 | CH <sub>4</sub> | CO         | H <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | Total      |
|------|----|--------|-----|-----------------|------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|------------|
|      |    | m/s    | K   | mass frac.      | mass frac. | mass frac.     | mass frac.      | mass frac.     | mass frac.     | mass frac.       | mass frac. |
| 乾燥帯  | I  | 0.0306 | 788 | 0.00824         | 0.08862    | 0.00684        | 0.10435         | 0.08485        | 0.58332        | 0.12379          | 1.00000    |
|      | II | 0.8989 | 788 | 0.00824         | 0.08862    | 0.00684        | 0.10435         | 0.08485        | 0.58332        | 0.12379          | 1.00000    |
| 燃焼帯  | I  | 1.9205 | 788 | 0.00824         | 0.08862    | 0.00684        | 0.10435         | 0.08485        | 0.58332        | 0.12379          | 1.00000    |
|      | II | 1.1754 | 788 | 0.00411         | 0.03994    | 0.00335        | 0.05695         | 0.17168        | 0.72123        | 0.00273          | 1.00000    |
| 後燃焼帯 | I  | 0.4815 | 735 | 0.00285         | 0.01471    | 0.00032        | 0.00000         | 0.22544        | 0.75668        | 0.00000          | 1.00000    |
|      | II | 0.1241 | 735 | 0.00285         | 0.01471    | 0.00032        | 0.00000         | 0.22544        | 0.75668        | 0.00000          | 1.00000    |

表 3 二次空気条件

|        | 流量                | 温度  | 空気比  | 排ガス<br>再循環率 | ごみ入口側ノズル |    |     | ごみ出口側ノズル |    |     | ガス組成           |                |                 |                  |
|--------|-------------------|-----|------|-------------|----------|----|-----|----------|----|-----|----------------|----------------|-----------------|------------------|
|        |                   |     |      |             | 径        | 本数 | 流速  | 径        | 本数 | 流速  | O <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O |
|        | m <sup>3</sup> /h | K   |      | Vol %       | mm       |    | m/s | mm       |    | m/s | Vol %          | Vol %          | Vol %           | Vol %            |
| Case1  | 12 300            | 293 | 1.65 | 0           | 68       | 9  | 59  | 68       | 8  | 59  | 21             | 79             |                 |                  |
| Case2  | 4 100             | 293 | 1.30 | 0           | 68       | 9  | 20  | 68       | 8  | 20  | 21             | 79             |                 |                  |
| Case3  | 8 898             | 293 | 1.30 | 15          | 68       | 9  | 43  | 68       | 8  | 43  | 10             | 75             | 9               | 6                |
| Case4  | 8 898             | 293 | 1.30 | 15          | 63       | 9  | 50  | 63       | 8  | 50  | 10             | 75             | 9               | 6                |
| Case5  | 8 898             | 293 | 1.30 | 15          | 58       | 9  | 60  | 58       | 8  | 60  | 10             | 75             | 9               | 6                |
| Case6  | 8 898             | 293 | 1.30 | 15          | 74       | 9  | 43  | 61       | 8  | 43  | 10             | 75             | 9               | 6                |
| Case7  | 8 898             | 293 | 1.30 | 15          | 61       | 13 | 43  | 61       | 8  | 43  | 10             | 75             | 9               | 6                |
| Case8  | 8 898             | 293 | 1.30 | 15          | 75       | 9  | 35  | 75       | 8  | 35  | 10             | 75             | 9               | 6                |
| Case9  | 8 898             | 293 | 1.30 | 15          | 58       | 9  | 43  | 78       | 8  | 43  | 10             | 75             | 9               | 6                |
| Case10 | 8 898             | 293 | 1.30 | 15          | 61       | 8  | 43  | 61       | 13 | 43  | 10             | 75             | 9               | 6                |
| Case11 | 8 898             | 293 | 1.30 | 15          | 68       | 9  | 31  | 68       | 8  | 31  | 14             | 77             | 6               | 4                |
| Case12 | 11 961            | 293 | 1.30 | 22.5        | 68       | 9  | 58  | 68       | 8  | 58  | 7              | 75             | 10              | 8                |

② 火格子をごみの入出方向に乾燥帯，燃焼帯，後燃焼帯として各 2 分割，計 6 分割するとともに入口から 3：1：2 の割合で計 3 種類のガス組成を設定した。

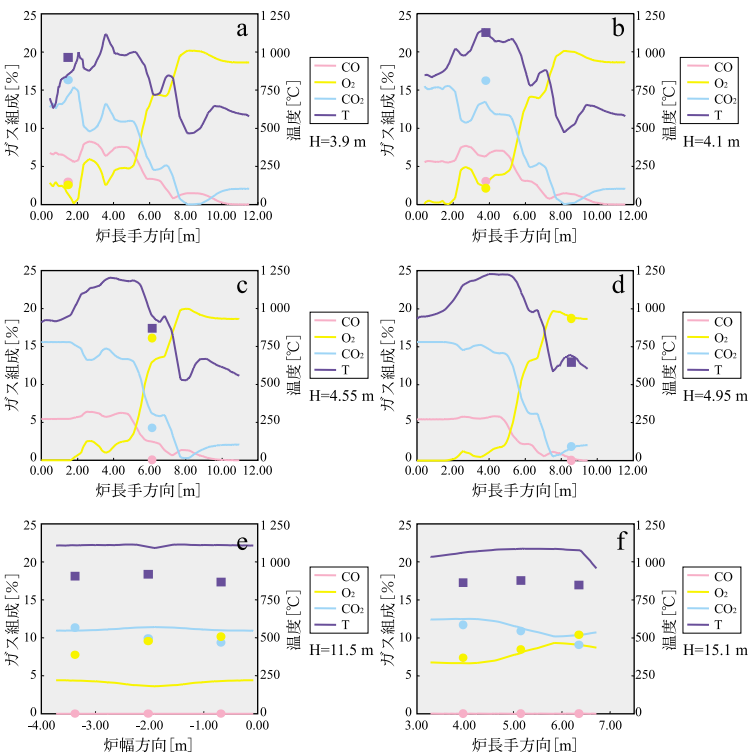
③ ガス組成と温度を仮設定した入力値で燃焼解析を実施し，実測結果（ガス温度と CO，CO<sub>2</sub>，O<sub>2</sub> 組成）に近くなるか確認をおこなった。

上記の手順で最終決定した火格子境界から流入するガス組成と温度を表 2 に示す。前述の 5 項目を評価できるように設定した二次空気に関する条件を表 3 に示す。なお，今回の数値解析では，排ガス再循環は二次空気のみにおこなうものとしている。

3. 結果と考察

3. 1 実測ガス組成との比較

Case1 は 2003 年 3 月 炉内ガス実測時の平均的な運転条件を模擬した解析をおこなっている。炉内ガス組成（CO，CO<sub>2</sub>，O<sub>2</sub>）・温度の実測値と計算結果の比較を図 3 に示す。火格子上的 CO 濃度が若干高く，二次燃焼部の温度が高くなっている。ただ，計



・ a~d は火格子上，e~f は 2 次燃焼部  
・ 炉長手方向は 0 m がごみ入口  
・ ガス組成は乾ベース

図 3 実測値との比較

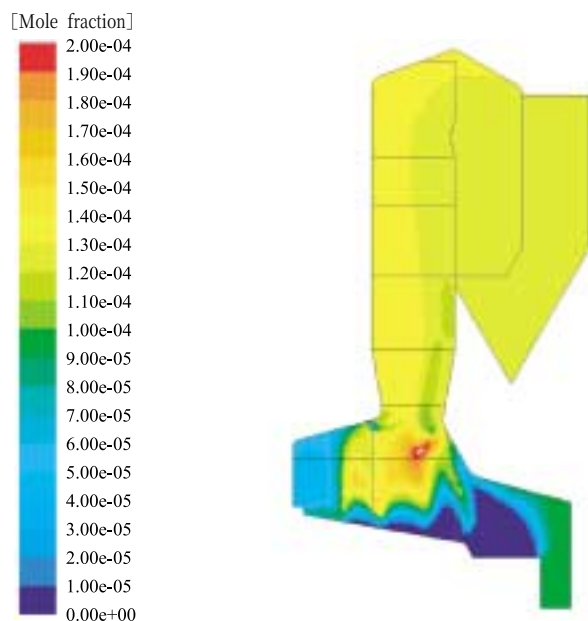


図4 NOx コンター図 (Case1)

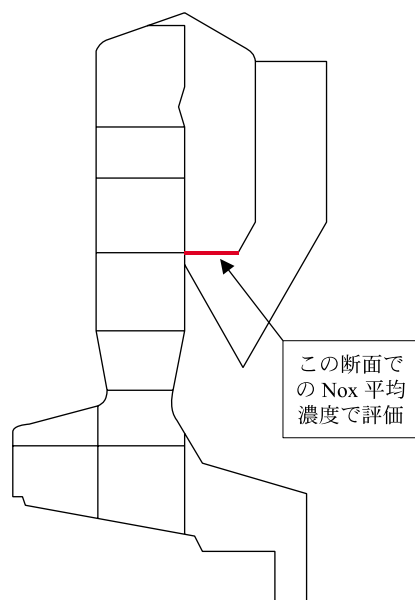
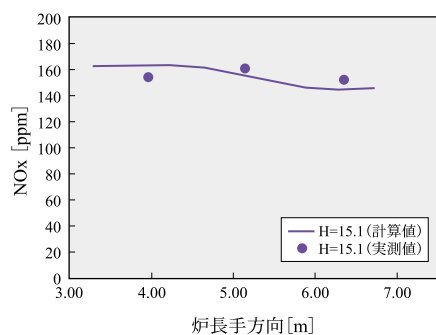
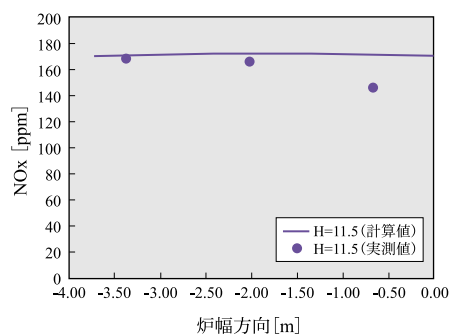
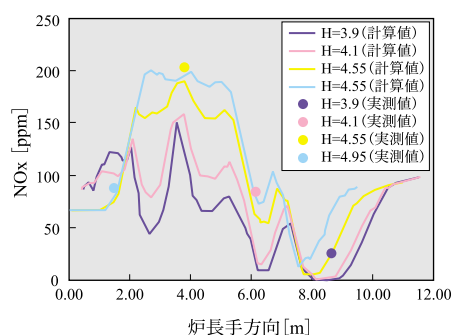


図6 NOx 平均濃度算出断面



- ・ 炉長手方向は0m がごみ入口
- ・ ガス組成は乾ベース

図5 NOx の実測値との比較

算条件と実機の運転条件は完全に一致していないことや排ガス再循環とノズル形状の効果を把握することに主眼をおくべきと考えて、本条件をベースとして検討を進めることにした。

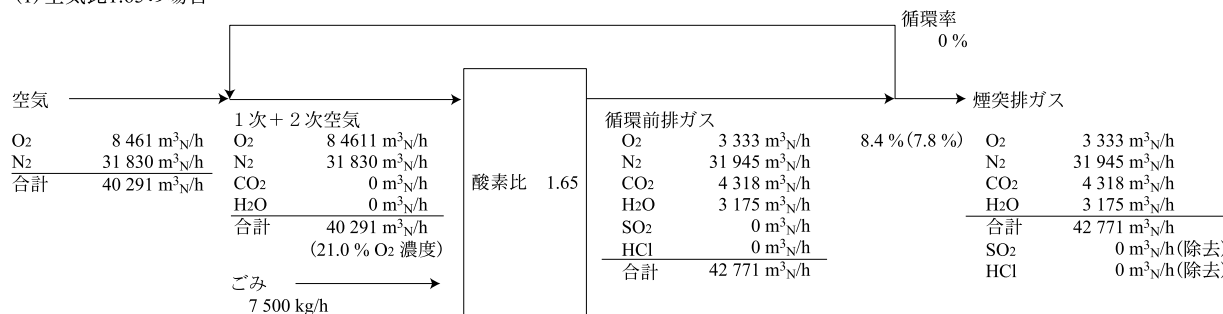
Case1 における NOx 濃度のコンター図を図4に示す。また、計算値と実測値の比較を図5に示す。計算における火格子上の NOx 濃度は位置による変動が大きい傾向は合っていると思われる。また、二次燃焼部における比較でもおおむね良好であると考えられる。

実測値と比較した結果から本入力条件で実測値を概ね表現できたと判断して、排ガス再循環とノズル形状の効果を評価した。ここで、評価にもちいた NOx 濃度は図6に示す位置での断面平均濃度である。これは火格子上部の二次燃焼部やモデル出口では偏流があり、評価に適さないと判断したためである。

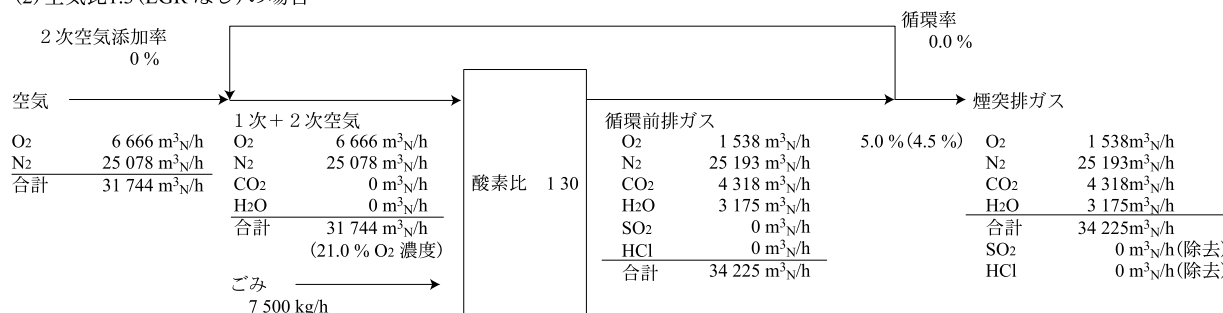
### 3.2 空気比と排ガス再循環の影響

空気比1.65の場合 (Case1), 排ガス再循環なしで空気比1.3の場合 (Case2), 排ガス再循環率15%で空気(酸素)比1.3の場合 (Case3) の各条件での発生する排ガス量の計算結果を図7に示す。また、各条件での NOx 濃度の計算結果を図8に示す。図7に示すように、空気比1.65では炉出口排ガス量が43 000 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/h 程度であり、空気比を1.3にすることで排ガス量を34 000 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/h に低減することができるが、図8に示すように、NOx 濃度が上昇することが予想される。一方、排ガス再循環をおこなうことで、排ガス量を33 000 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/h まで低減しつつ、NOx 濃度

(1) 空気比1.65の場合



(2) 空気比1.3 (EGR なし) の場合



(3) 空気比1.3 (EGR 率15 %) の場合

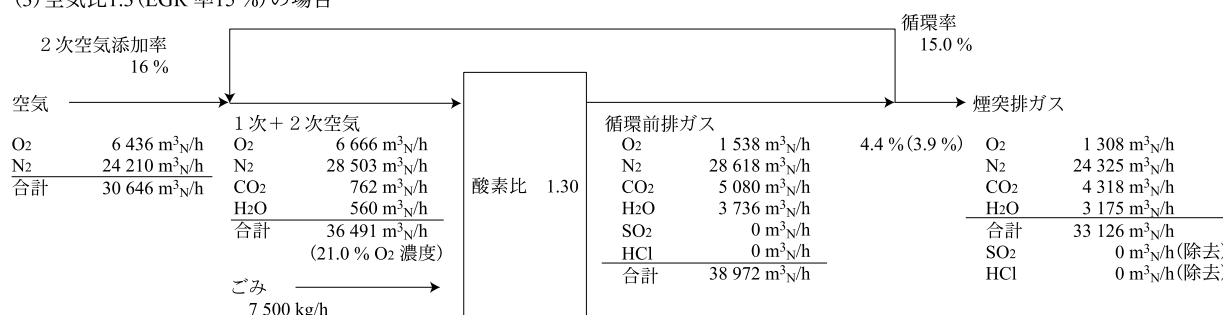


図7 排ガス量低減効果

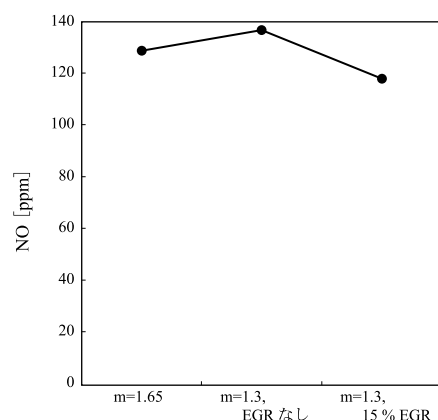


図8 空気比, 排ガス再循環の影響

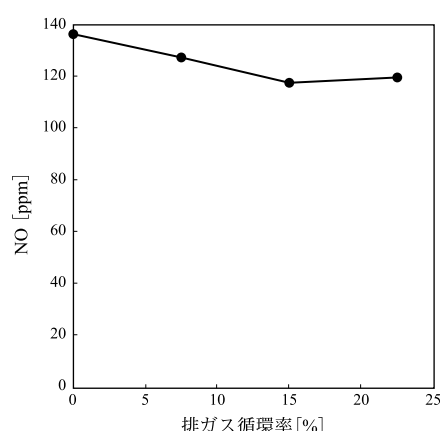


図9 排ガス再循環率の影響

も低減できることが予想された。

### 3.3 排ガス再循環率の影響

排ガス再循環率を変化させた場合の NO<sub>x</sub> 低減にあたる影響について図9に示す。排ガス再循環率が15 %までは NO<sub>x</sub> 低減効果があるが、それ以上の

排ガス再循環率では低減効果は認められなかった。また、今回の数値解析では二次空気にも排ガス再循環をおこなっており、二次燃焼室における未燃ガスの燃焼反応を考慮した場合、実炉における二次空気中の O<sub>2</sub> 濃度を18 %以下に下げることにはリスク

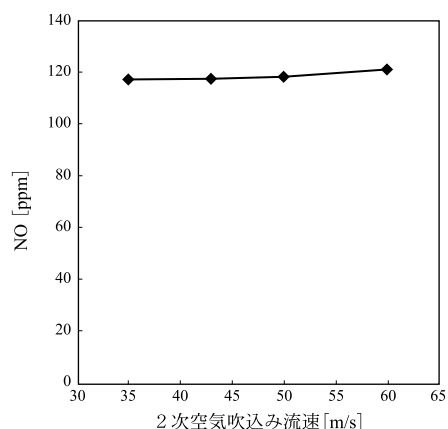


図10 二次空気吹込流速の影響

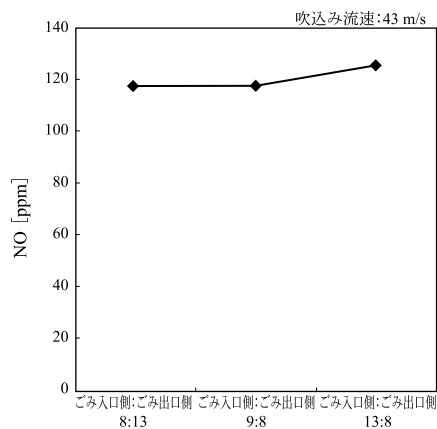


図12 二次空気ノズル配置の影響

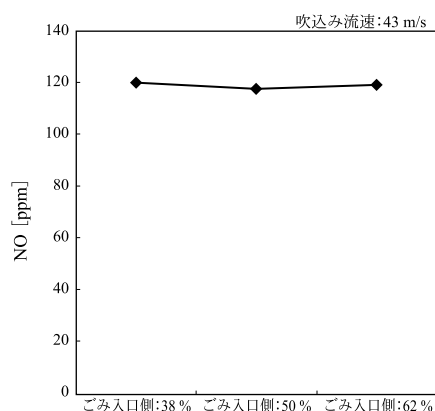


図11 二次空気配分の影響

があると考えられる。したがって、排ガス再循環率は15 %が上限と判断した。

### 3. 4 二次空気吹込み流速の影響

火格子上のNOx発生濃度が比較的高いことから、二次空気流速不足による吹抜けを懸念して吹込み流速の影響について検討した。検討結果について図10に示す。吹込み流速の速いほうが若干NOx濃度が上昇しているが、この差は大きいものとはいえず、今回検討した範囲では二次空気吹込み流速の影響は少ないと考えられる。

### 3. 5 二次空気配分の影響

表2に示したように、実炉においてはごみ入口側の火格子から発生する排ガス量の方が多い。ここでは、対向する2次燃焼空気の配分を、吹込み流速43 m/s一定の条件で、不均等化した場合の影響につい

て調べた。検討結果を図11に示す。今回検討した範囲ではNOx濃度に有意な差は認められず、二次空気配分の影響は少ないと考えられる。

### 3. 6 二次空気ノズル配置の影響

3. 5と同様の条件で、二次空気ノズル配置（本数）の影響について調べた。検討結果を図12に示すが、この場合もNOx濃度に有意な差は認められなかった。

## む す び

180 t/d 実炉形状・ノズル配置をベースにして、排ガス再循環に関する数値解析をおこなった結果、以下の知見がえられた。

- ① 二次空気に排ガスを再循環することによって、排ガス流量の低減とNOx濃度低減の両方を達成できることが予想された。
- ② NOx濃度低減効果と二次空気中のO<sub>2</sub>濃度を考慮して、排ガス再循環率は15 %程度が上限と予想された。
- ③ 二次空気の吹込み流速、空気配分、ノズル配置を変更することによるNOx濃度低減に対する大きな改善効果は認められず、とくに設計変更の必要がないことが予想された。

今後はさらに実炉データ点数を増やし、数値解析による予測精度を向上させる予定である。

### 【参考文献】

- 1) 樋口豪, 伊藤正, 前田知幸: 神鋼環境ソリューション技報「ストーカ式焼却炉における低空気比燃焼運転」, Vol.2 (2), p.19-25, (2006)

# 新しいグラスライニング 補修用の樹脂材料

## New Resin System for Repairing Glass Lined Equipments



技術開発本部  
プロセス技術開発部 新規プロセス室  
多田 篤志  
Atsushi Tada  
プロセス機器事業部  
カスタマーサービス部  
青木 一章  
Kazuaki Aoki

グラスライニング機器のガラス面が破損した場合、破損箇所、破損状況により現地補修がおこなわれるが、現有技術には補修用の樹脂材料が剥離しやすい等の問題がある。より信頼性の高い補修を望むユーザの声に答えるべく、現行材料を上回る性能を備えた補修用樹脂を開発した結果、優れた密着性や耐薬品性を備えるグラスライニング補修専用の新樹脂材料『RESIGLASS（レジグラス）』を見出した。

現在2007年度の上市に向け、材料を改良しながら使用環境や寿命の把握、フィールドテスト等の適用検討を実施中である。

When a part of glass layer in glass lined (GL) equipments was damaged during the use, field maintenance is carried out to repair the damaged section with a suitable method. There is a need from the market to improve the reliability of the GL products by increasing the adhesive strength of the interface between resin used for repair and glass surface because of peeling off during the use. As a result of our research and development for making our customers satisfy, new resin system (RESIGLASS) which has better adhesive strength between resin and glass surface and corrosion resistance than the repairing resin now being used has been found. To put RESIGLASS into the market in 2007, the final field tests and the improvement have been performed.

### Key Words :

現 地 補 修  
エ ポ キ シ 樹 脂  
耐 グ ラ ス 密 着 性  
耐 薬 品 性  
溶 出 性  
施 工 性  
フィールドテスト

Field maintenance  
Epoxy resin  
Adhesion on glass  
Corrosion resistance  
Elution of resin ingredients  
Construction of resin  
Field test

### ま え が き

グラスライニング（以下、GL）とは素地金属上に高耐食性のガラス層がライニングされることにより、ガラスの耐食性と鋼の強靱性を兼ね備えた複合材料であり、石油化学や医薬、半導体等のファインケミカル分野、食品工業分野等の幅広い分野で使用

されている。しかし、使用中の不測の事故等により、ライニングされたガラス層が損傷することがあり、そのような場合には直ちに補修をおこなう必要がある。

当社では樹脂の肉盛り補修や、耐食金属ピースによる補修等、種々の補修を現地で実施しているが、

樹脂をもちいた補修は、どのような形状でも補修できる反面、剥離しやすい等の問題を抱えるため、マイルドな環境にしか適用できず、過酷な条件下でも使用可能な樹脂材料への改良をユーザより強く要望されている。

そこで、安定した補修を可能としユーザ満足度を向上させるために、2005年度より現行材料を上回る新樹脂材料の探索、適用検討を開始した。

本報告では2007年度の上市に向けて、現在適用開発を実施している新樹脂材料『RESIGLASS』の性能について報告する。

1. 現在の補修技術と補修用樹脂

1.1 当社の補修技術

ユーザ工場内でガラス層を修理する場合、破損状況（破損箇所、破損部の大きさ、形状等）、ユーザの使用環境（機器内容物、使用温度、圧力等）に応じて、以下のような種々の方法のうちから、もっとも適した方法を選択して現地補修を実施している。<sup>1)</sup>

1) 樹脂の肉盛り補修

図1-(a)のように破損箇所を耐食樹脂をもちいて埋めることで肉盛り補修をおこなう。施工箇所は選ばないが、機械的強度が弱く、耐薬品性、耐熱サイクル性等も劣るため、主に貯槽関係で低温の弱酸、弱アルカリ等、比較的マイルドな環境における補修時に実施されている。

2) 耐食金属材料をもちいた補修

図1-(b)のように、破損箇所を樹脂で埋めて、その上に PTFE ガasket を被せ、それを耐食金属のビスで抑えて補修をおこなう。主に、補修後もガラス同様の耐食性を求められる反応器の胴部等に施工されることが多い。ノズル R 部は耐食金属製のスリーブをはめ込むことで補修をおこなう。耐食性は良好であるが、タンタル (Ta) 等の耐食金属をもちいるため補修費用は高価であり、施工箇所も限定される。

3) ポリテトラフルオロエチレン（以下、PTFE）材料をもちいた補修

図1-(c)のように、破損箇所を樹脂で埋めて、そこに充填材を詰めた PTFE 製のスリーブをはめ込み、破損箇所をフランジ面で抑えて補修をおこなう。主にノズルフランジ面等、凹凸がある箇所の補修に使用され、攪拌翼や軸等は PTFE 製の収縮チューブ等で補修される。

1.2 当社の補修用樹脂材料

現在当社では、表1に示すように計4種類の補修用樹脂材料を有しており、破損箇所や用途によって

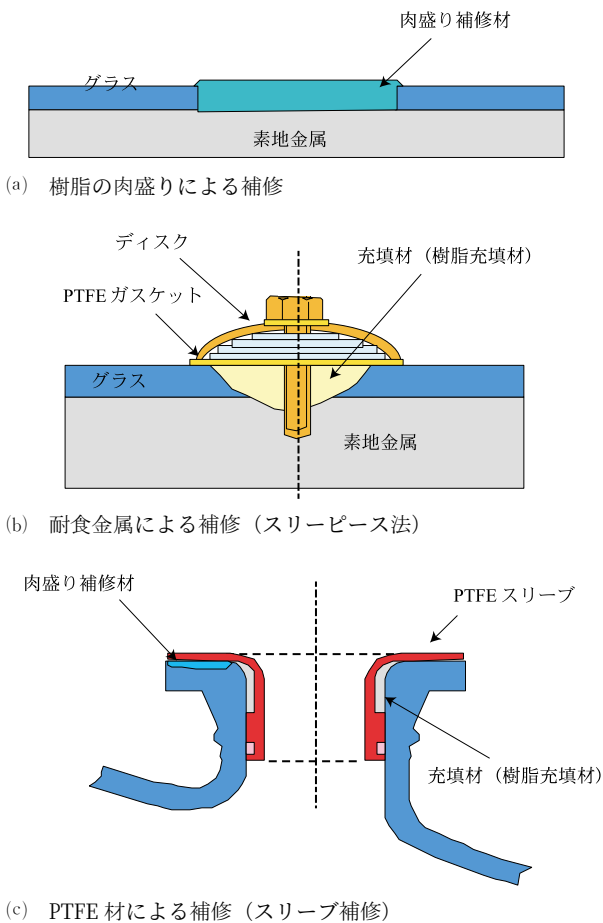


図1 当社の補修技術

表1 当社の現行樹脂材料

| 樹脂名           | ベルゾナ R   | ベルゾナ S   | F フィラーコート | タフジン   |
|---------------|----------|----------|-----------|--------|
| 主な用途          | 化工機用     | 食品用      | 補修用充填材    | 食品用    |
| MSDSの有無       | 有        | 有        | 有         | 有      |
| 食品向け使用        | 可        | 可        | —         | 可      |
| 環境ホルモン溶出      | 無        | 有        | —         | 無      |
| 耐熱性※ドライ時カタログ値 | −40〜250℃ | −40〜200℃ | <190℃     | <60℃   |
| 密着性           | 良        | 良        | 不良        | 良      |
| 耐食性           | 良        | 弱い       | (良)       | 弱い     |
| 施工性           | 易(固め)    | 普通(柔らかめ) | —         | 難(垂れる) |

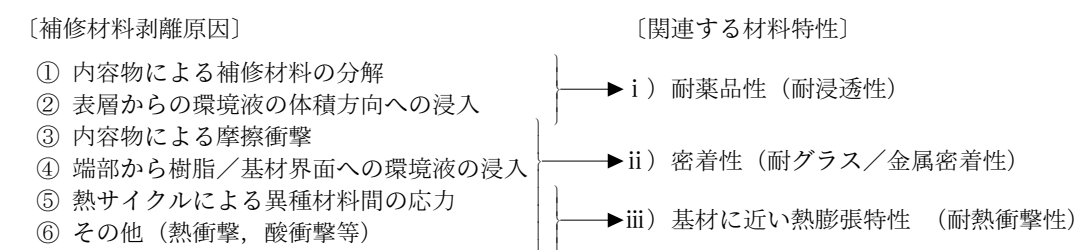
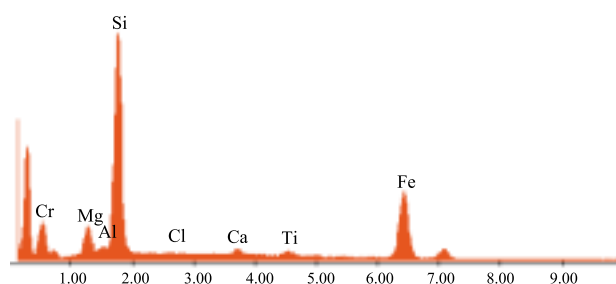


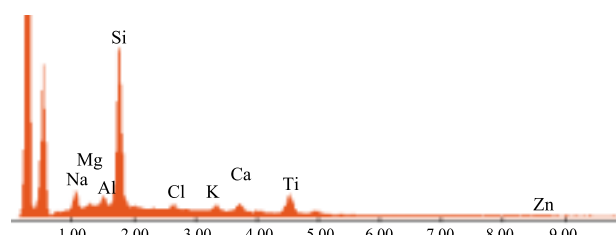
図 2 樹脂補修材の剥離原因とその関連特性

表 2 現行材料と新規材料の基本情報

| 樹 脂 名                | 現 行 材 料<br>(ベルゾナ R) | 新 規 材 料<br>(RESIGLASS)               |
|----------------------|---------------------|--------------------------------------|
| 主 な 用 途              | 化 工 機 用             | 防食コーティング用                            |
| 材 料 タ イ プ            | 主剤 & 硬化剤<br>2 液混合型  | 主剤 & 硬化剤<br>2 液混合型<br>+<br>下地プライマー処理 |
| 主剤：硬化剤比<br>(重量比)     | 5：1                 | 5：1                                  |
| 完全硬化条件<br>(メーカー推奨条件) | 50℃-10 h            | 60℃-6 h                              |
| 耐 熱 性<br>(ドライ時カタログ値) | －40～250℃            | <300℃                                |
| 特 長                  | 機械加工性に優れる           | ガラスとの密着が良好                           |



(a) 現行材料断面の EDS 分析結果（×200）



(b) RESIGLASS 断面の EDS 分析結果（×200）

図 3 補修材に含まれる元素成分の比較

使い分けている。しかしいずれも肉盛り補修材として単独でもちいるのは困難であり，寿命保証していない状態である。そのためユーザから，より安定した材料による補修を要望されている。

## 2. 新規樹脂材料の探索とその性質

### 2.1 新規材料の探索と絞り込み

補修樹脂材料が剥離する原因と，その改善に必要な性能の関係は図 2 のようになる。そこで，金属面／ガラス面に対する密着性，薬液の浸透性，材料からの溶出性等の性能に注目し，新規材料の探索を実施した。探索した材料と，現行材料中でもっとも優れた特性を備えたベルゾナ R の性能を比較するこ

とにより，適用材料の絞りこみをおこなった結果，RESIGLASS を適用材料として選定した。以下に現行材料と RESIGLASS の性能を比較した結果を示す。

### 2.2 材料の特長

現行材料（ベルゾナ R）と RESIGLASS の基本特性の違いを表 2 に示す。また，成形後の各材料の断面を SEM-EDS をもちいて分析（以下，EDS 分析）することで，含まれる元素成分を調べた。その結果を図 3 に示す。

両材料の詳細な組成はメーカより明らかにされていないが，ともにエポキシ系の樹脂材料である。しかし硬化剤と含有する充填材が異なるため，後述す

表 3 現行材料と新規材料の密着強度の比較

| 基 材 材 質 及 び 試 験 条 件    |         |          | 施 工 条 件 |  | 各材料とその密着強度 (MPa) |           |
|------------------------|---------|----------|---------|--|------------------|-----------|
|                        |         |          |         |  | 現行材料             | RESIGLASS |
| 金 属                    | プライマーあり | 50℃-6 h  |         |  | —                | 7         |
|                        | プライマーなし |          |         |  | 5.6              | 5.1       |
| グ ラ ス                  | プライマーあり | 80℃-20 h |         |  | —                | 9.2       |
|                        | プライマーなし |          |         |  | 3.4              | 7.3       |
| グ ラ ス<br>HCl 浸漬300 h 後 | プライマーあり | 50℃-6 h  |         |  | 2.7              | 8.4       |
|                        |         |          |         |  | 0.2              | 9.8       |

※表中の密着強度は10点の平均密着強度を示した。  
※ガラス面への施工は粗面化していないガラス面にサンプルを施工した。  
※現行材料の硬化条件は、50℃-10 h である。(メーカー推奨硬化条件が異なるため)

るように硬化後の耐薬品性、密着性等には大きな差が生じた。

また図 3 からわかるように、各材料はそれぞれ異なる金属成分を含んでいる。これらの金属元素は充填材に起因するものと考えられる。

2. 3 金属、およびガラス面に対する密着性

現行材料と RESIGLASS の、金属、およびガラス面それぞれに対する密着強度と、ガラス面に施工し HCl へ300 h 浸漬させた後の密着強度を評価した結果を表 3 に示す。各サンプルは表中に示すような硬化条件でサンプルを製作した。密着強度は樹脂ライニング工業会が定めた「樹脂ライニング皮膜の接着強さ測定基準書：PLA-R-105-98」に準拠した方法により評価した。浸漬試験は、GL 機器が使用される環境の中で、とくに過酷な環境である高温塩酸 (20 %HCl-80℃) 条件を採用し、加速的な評価試験をおこなった。

RESIGLASS の金属面に対する密着強度 (7.0 MPa) は現行材料 (5.6 MPa) の約1.3倍大きい結果となった。またプライマーを使用しない場合でも、5.1 MPa と現行材料と同等の値を示した。

一方ガラス面に対する密着強度は、プライマーを使用しない場合でも現行材料の 2 倍以上と大きな値を示した。さらに HCl に300 h 浸漬した後では、現行材料では密着強度が低下し、気相では剥離してしまったのに対して、RESIGLASS はほとんど低下が見られなかった。

HCl 浸漬後、逆に RESIGLASS (気相) の密着強度が若干向上したのは、80℃の環境に浸漬されたことにより硬化が進み、密着強度が向上したと考えられる。

以上のように、RESIGLASS はガラスに対して非常に強い密着性を示す樹脂材料であり、GL の補修に適した材料であるといえる。

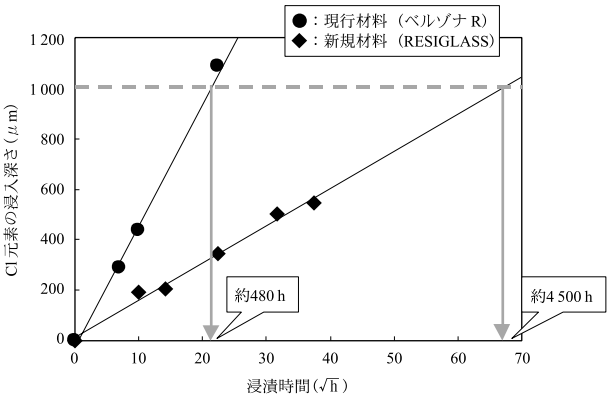


図 4 現行材料と新規材料の表面からの HCl 浸透性

2. 4 薬液の浸透性

環境液による補修樹脂の剥離原因は、以下のように 2 方向から環境液が浸入し、樹脂層内や界面においてブリストーが発生することが主な原因と考えられる。

- ①「樹脂の表面から体積方向に内部へ浸入」
- ②「補修箇所の端部から樹脂／基材界面へ浸入」

この 2 種類の浸入速度を確認するために、各材料の板状サンプルを 20 %HCl-80℃環境へ浸漬した際の、浸漬時間と薬液の浸透深さの関係を調べ、その結果を図 4 に示す。浸透深さはサンプル断面の Cl 元素を EDS でマッピング分析することにより確認した。また粗面化していないガラス面に RESIGLASS を施工し、HCl に300 h 浸漬した後の樹脂表面、樹脂／ガラス界面への HCl の浸入度合いを、同様に断面の Cl を EDS 分析して確認した。その結果を図 5 に示す。

図 4 からわかるように、エポキシ樹脂への HCl の浸透深さは浸漬時間の平方根に比例することが知られているが、<sup>2)</sup> 現行材料と RESIGLASS では浸透速度に大きな差があることがわかる。

また図5から明らかなように300 h 浸漬後に補修箇所の端部から RESIGLASS／ガラス界面への HCl の浸入はほとんど確認されていないため、樹脂表面から体積方向内部への環境液の浸入が支配的と考えられ、図4に示した浸透深さ－浸透時間曲線と施工厚みから寿命を予測することが可能となる。

仮に基材上に1 mm の厚みの樹脂を施工したとすると、HCl が基材に到達するまでの時間は現行材料で約480 h、RESIGLASS では約4 500 h であり、これが1 mm 施工した場合の HCl 環境での最長寿命となる。

以上のように RESIGLASS は耐薬品性（耐浸透性）に非常に優れた材料であるといえる。

## 2. 5 樹脂材料成分の溶出性

GL 機器はアルコール類の貯槽等の食品分野、医薬分野においても使用され、補修がおこなわれる。そのため補修にもちいた材料をその分野で使用して

も問題がないかどうか確認する必要がある。そこで食品衛生法（容器包装に関わるプラスチック材料）規格に基づいた溶出テスト、および環境ホルモンの溶出確認テストを実施し、樹脂材料の溶出性を確認した。その結果を表4に示す。

表4から明らかなように、RESIGLASS は現行材料と同等以上に低溶出性の材料であるといえる。

## 3. 実機への適用

実際に実機の補修をおこなう場合、以下のような施工手順で補修はおこなわれるが、RESIGLASS を GL 補修用途として適用するには、現行品との材料特性の違いにより、施工手順の内容を見直す必要がある。そこでメーカーや樹脂ライニングの専門家と協力して、施工手順、材料特性の改良を検討した。

①下地処理 → ②樹脂材料の肉盛り  
→ ③養生（加熱硬化） → ④硬化後表面加工  
以下に、主な材料、施工手順の改良点を示す。

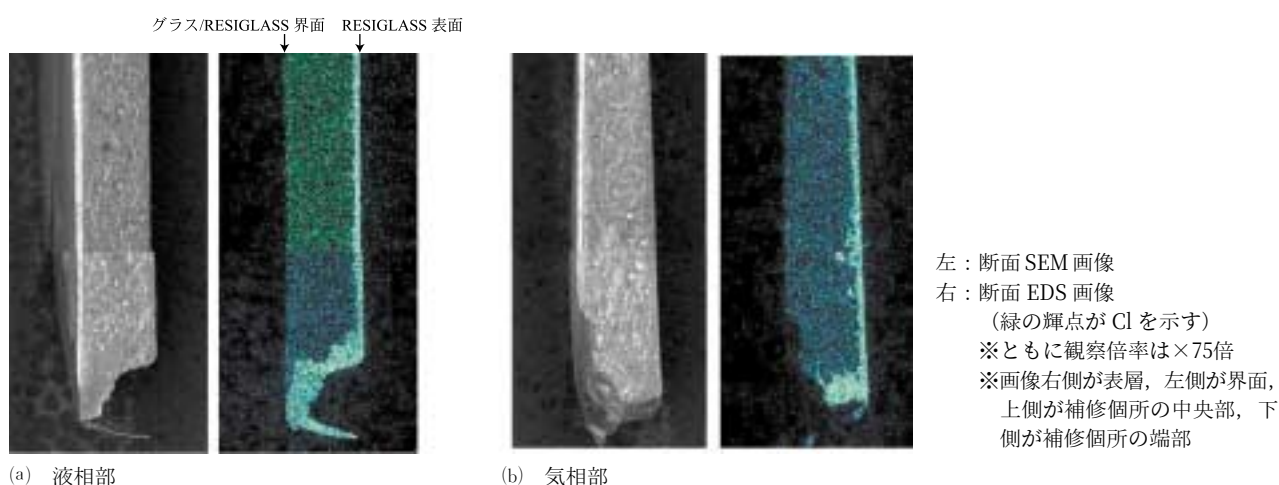


図5 RESIGLASS／ガラス界面の HCl 浸透性（浸漬300 h 後）

表4 現行材料と新規材料の溶出性の比較

| 分析試験項目            | 試験条件       | 規格値                     | 現行材料                            | RESIGLASS                       |
|-------------------|------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 〔一般規格〕            |            |                         |                                 |                                 |
| カドミウム             | 材質試験       | 100 $\mu\text{g/mL}$    | 限度以下                            | 限度以下                            |
| 鉛                 | 材質試験       | 100 $\mu\text{g/mL}$    | 限度以下                            | 限度以下                            |
| 重金属               | 4 %-酢酸     | 1 $\mu\text{g/mL}$      | 限度以下                            | 限度以下                            |
| 過マンガン酸<br>カリウム消費量 | 水          | 10 $\mu\text{g/mL}$     | 限度以下<br>(4.9 $\mu\text{g/mL}$ ) | 限度以下<br>(0.9 $\mu\text{g/mL}$ ) |
| 〔溶出試験項目〕          |            | 検出限界値                   |                                 |                                 |
| フェノール類            | 水          | 0.5 $\mu\text{g/mL}$    | 検出せず                            | 検出せず                            |
| ホルムアルデヒド          | 水          | 0.5 $\mu\text{g/mL}$    | 検出せず                            | 検出せず                            |
| 蒸発残留物             | 4 %-酢酸     | 5 $\mu\text{g/mL}$      | 限度以下                            | 限度以下                            |
| ビスフェノール A         | 水          | 0.0005 $\mu\text{g/mL}$ | 0.051 $\mu\text{g/mL}$          | 検出せず                            |
| ビスフェノール A         | 20 %-エタノール | 0.0005 $\mu\text{g/mL}$ | 0.37 $\mu\text{g/mL}$           | 検出せず                            |

### 3. 1 下地処理工程での改良点

従来は破損箇所の素地金属面を研磨により剥き出しにし、周辺ガラス面を粗面化した後に樹脂を施工していたが、RESIGLASSは金属面に対してよりもガラス面に対する密着性の方が強固なため、あえて素地金属面を出さずクラック部分を取除くのみとし、できるだけガラス面を残して樹脂を施工することとした。ただしガラス面を粗面化した方が密着性は良好であることが確認されたので、従来と同様にガラス面の粗面化は実施する。

### 3. 2 樹脂材料肉盛り工程での改良点

GL 機器の補修では、壁面等へ樹脂を肉盛りする施工が求められるため、施工後の樹脂が垂れないよう材料粘度を高くする必要がある。防食コート用材料であった RESIGLASS は従来粘度の低い材料であったため、壁面へ施工しても垂れないよう、充填材の調整により、材料特性を担保したまま増粘性を付加

して GL 補修用へと改良を図った。

## む す び

現行材料と比較して優れた特長を備えた新補修用樹脂材料『RESIGLASS』を紹介した。本材料を持ちいて現地補修をおこなうことで、より一層顧客満足度の向上を図れると確信している。今後はフィールドテストをおこない判明した問題点の解決、材料の改良をおこなうとともに、適用可能な環境液の把握や剥離するまでの寿命の把握等の確認評価を実施し、2007年度月上旬の上市を目指す。

最後に RESIGLASS の選定と評価を進めるにあたり、多大なご助言・ご協力をいただいた東京工業大学 化学工学専攻 久保内助教授と原田殿に、深く感謝の意を表します。

#### [参考文献]

- 1) 阪上ら, 化学装置, 10月号 (1988), p.97-101
- 2) 平元ら, Journal of the Materials Science of Japan, 40

# グラスライニング製機器用 「E-マンホール」のラインナップ

## The Lineup of "E-MANHOLE" for Glass-lined Equipment

〔特許出願中：特開2006-206107〕



プロセス機器事業部  
技術部商品開発グループ  
山 本 昌 史  
Masafumi Yamamoto  
技術部 GL グループ  
徳 岡 洋 由  
Hiroyuki Tokuoka

グラスライニング機器は高度な耐食性と製品の純度が要求される医薬・化学工業の分野で長年使用されている。このグラスライニング機器に設けられたマンホールは原料の投入口として頻繁に開閉されるが、多数のクランプにより締付けられており、その開閉作業には手間と時間がかかる。この問題を解決すべく、「E-マンホール」の開発<sup>1)</sup>をおこなった。

「E-マンホール」はシートガスケットにくらべ所要締付け力の小さいOリングをシール部にもちいることにより、少ないクランプで締付けができる。そのため、開閉作業が容易で使いやすいマンホールである。また、コンタミレス化に貢献するクリーンなマンホールである。2005年11月から販売を開始し、着実に販売台数を伸ばしており、顧客満足度調査においても好評をえている。このたび、φ400マンホールに続いて、他の寸法についてもE-マンホールのシリーズ化を完了したので報告する。

Glass-lined equipment have been used for years in the fields of pharmaceutical and chemical industries where high degrees of corrosion resistance and product purity are required. Manholes provided for such glass-lined equipment, used as inlets for feeding materials, are frequently opened and closed. However, manholes are closed tightly with many clamps, and its opening and closing take extra work and time. "E-Manhole" was developed to solve this problem. An "E-Manhole" can be tightened with fewer clamps by the use of an O-ring for sealing which requires less tightening force compared with sheet gasket. Accordingly, the manhole insures easy opening and closing operations and is thus easy to use. Furthermore, it is a clean manhole contributing to reducing contamination (with the O-ring easily removed for cleaning). Since the introduction to market in November 2005 the number of sales has been on a steady increase, and a customer satisfaction survey shows that the product has been favorably accepted. The report here is made at this time when a series of "E-Manhole" of other dimensions have been completed following 400 mm φ.

### Key Words :

|               |                   |
|---------------|-------------------|
| グラスライニング (GL) | Glass Lining (GL) |
| マ ン ホ ー ル     | Manhole           |
| ク リ ー ン       | Clean             |
| 使 い や す い     | Easy to use       |

## まえがき

神鋼環境ソリューション技報 Vol.1 No.2ですでにE-マンホールの開発について報告しているが改めて紹介する。グラスライニング（以下 GL と呼ぶ）製反応機には通常缶内点検用，原料投入口の目的でマンホールが設けられている。とくに，原料投入口用として利用する場合，開閉頻度が比較的多くなるが，GL製反応機においては通常多数のクランプで締付けられているため，その開閉作業には時間と手間がかかる。また，近年製品の高純度化への要求にともない，製造設備へのコンタミレス化，洗浄性の良さが求められている。これらの問題を解決すべく開発されたのが「E-マンホール」である。このE-マンホールは上市後約1年が経過し，着実に販売台数を伸ばしている。また，顧客満足度調査からもφ400以外への適応ニーズの声は大きく予想以上に使用者の作業環境において評価をしてもらっていることがわかってきた。このたび，上市以降取組んできたE-マンホールのシリーズ化を終え，φ400以外のマンホールへの適応が可能になったので改めて報告し纏めとする。

## 1. E-マンホール

### 1.1 E-マンホールの構造

E-マンホールと従来型マンホールの外観をそれぞれ写真1，2，3に示す。また，それぞれの構造を図1，2に示す。

E-マンホールはGL製反応機のマンホール用ノズルに押さえリングから延びたJ金具で取付けられる。取付けの際，マンホール用ノズル面とPTFEリング

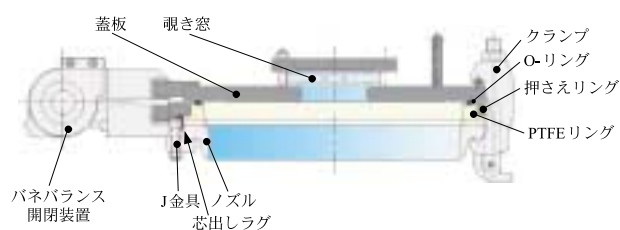


図1 E-マンホール

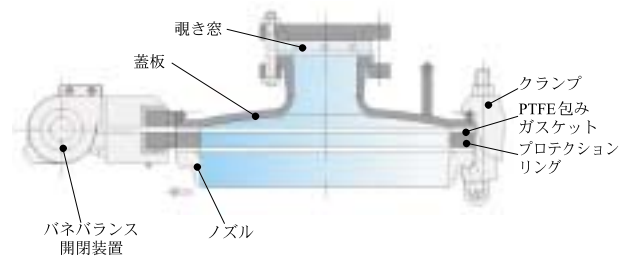


図2 従来型マンホール

下面の間に装着されるガスケットは従来と同様ガスケット調整を必要とするが，押さえリングに芯出し用ラグを設けたことで，据付時の芯出し作業を容易にできる構造となっている。E-マンホールは開閉部シール材にOリングを使用している。このOリングは押さえリングで固定されたPTFEリングに設けられたOリング溝に装着する。このOリング溝は片アリ溝形状となっているため，マンホール蓋板



写真1 φ400 E-マンホール外観



写真2 φ300×400 E-マンホール外観



写真3 従来型マンホール外観



写真4 φ300×400 E-マンホール据付状態

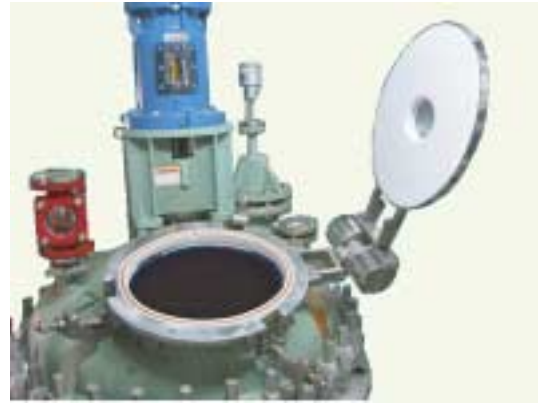


写真5 φ300×400 E-マンホール据付状態  
(マンホール開の状態)

を開ける際に O リングが外れない構造である。O リングの取外しは O リング溝外周に部分的に設けられた切欠き部を利用して簡単におこなえるため、O リングおよび O リング溝のコンタミ除去が容易にできる。また、写真1, 2, 3の比較で明らかに、E-マンホールは少数のクランプでマンホールの締付けをおこなっているためマンホールの開閉作業の手間を大幅に軽減することができる。例えば、φ400マンホールの場合、従来型は14本に対し、E-マンホールは4本のクランプで十分である。これは、前述したように、シール材を O リングにしたことにより実現可能となった。従来の GL 製マンホールは通常開閉部シール材に PTFE 被覆のシートガスケットを使用している。シートガスケットはそのシート面でシールをおこなわなくてはならないが、GL 製品は焼成品であるが故、ガスケットの当たり面は機械加工のように平滑でない。このため、マンホールごとにガスケットの当たり面を均一にすべくガスケット調整をおこなう必要がある。さらには確実なシールをおこなうために狭いピッチでクランプを締付けていく必要がある。これに対し、シール材に O リングを使用すると、線接触でシールをすることになるため、少ない締付け力でシールを担保することができる。また、O リングの線径は、GL 製品焼成精度を吸収できる径のものを選定している。

さらに E-マンホールは図1のように覗き窓を盖板に直接取付けることで従来型（図2）のような立上りノズルを無くしている。これによって反応機内の視界が広くなり、洗浄性を向上した構造となっている。

従来型のマンホールに変えて E-マンホールを据え付け、フィールドテストをした状態を写真4, 5に示す。

## 1.2 E-マンホールの特長

次に、E-マンホールの特長を示す。

- ① クランプの本数が少ないため、開閉操作が迅速におこなえる。
- ② O リングを使用することで、ガスケット調整が不要。
- ③ 覗き窓用の立上りノズルが無いので、視界が広く、洗浄性も良い。
- ④ 従来のマンホールと互換性がある。

## 1.3 設計仕様

基本設計仕様を以下に示す。

- ① 設計圧力：F.V.～0.2 MPa
- ② 設計温度：－30～158℃
- ③ 適用法規：一圧、二圧、消防法
- ④ 主要部材質
  - ・ 蓋 板：炭素鋼＋GL またはステンレス鋼＋GL
  - ・ O リング：FEP 被覆 FKM または FEP 被覆 VMQ
  - ・ PTFE リング：グラス入り PTFE
  - ・ 押さえリング：炭素鋼またはステンレス鋼
- ⑤ クランプ本数（M22クランプ）

| マンホール<br>サイズ | E-マンホール<br>クランプ本数(本) | 従来型マンホール<br>クランプ本数(本) |
|--------------|----------------------|-----------------------|
| φ300×400     | 3                    | 12                    |
| φ400         | 4                    | 14                    |
| φ450         | 5                    | 16                    |
| φ500         | 6                    | 20                    |
| φ550         | 7                    | 20                    |

\*おおむね従来型マンホールの1/3～1/4のクランプ数となる。



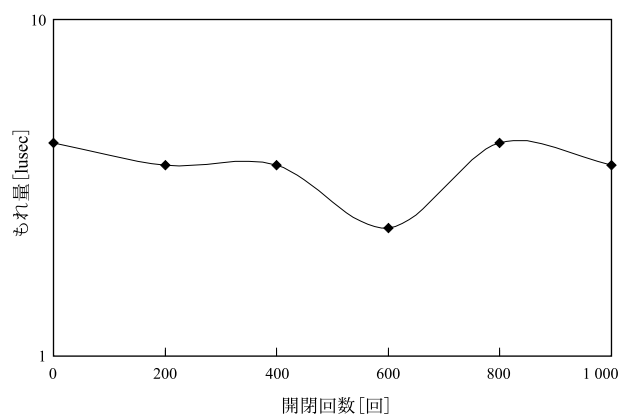


図4 真空リークテスト結果

回として200回ごとに耐圧テストをおこない、1000回の開閉でも設計圧力を保持できることを確認した。図4は耐久試験における真空リークテストの結果である。漏れ量は4 lusec 近辺で安定していることが確認できた。

### 3. クランプレスマンホールへの適用

「クランプレスマンホール」は2002年4月に上市して以来、順調に実績を伸ばしている商品である。潜水艦のハッチを思わせる外観であり、中央のハンドル操作だけでマンホールの開閉がおこなえる構造となっているため操作性の良さに高い評価をえている。このクランプレス構造とE-マンホールを組合



写真6 クランプレス E-マンホール

わせることでさらに操作性、クリーン度を増したマンホールにすることが可能である。写真6がクランプレスタイプE-マンホールである。

### むすび

GL製機器用「E-マンホール」について上市以降ラインナップの追加を含め再度紹介した。プロセス機器事業部の商品が適用される分野では、製品の高付加価値化、コンタミレス化に対する要求がますます増えてくることが予想される。今後も、使用者側の立場に立って、顧客に喜ばれる製品を作り出していけるよう努力する所存です。

### 【参考文献】

- 1) 中尾末貴：神鋼環境ソリューション技報 Vol.1, No.2 (2005/2)

# 新型水素酸素発生装置 「高圧水素サーバ」

## A New Model of High-purity Hydrogen and Oxygen Generator "High Pressure Hydrogen Server"



技術開発本部  
プロセス技術開発部新規プロセス室  
三宅 明子  
Akiko Miyake  
(学術博士)  
プロセス機器事業部 UC事業室  
平井 清司  
Kiyoshi Hirai

高圧型 HHOG (High-purity Hydrogen and Oxygen Generator) をコンパクト化した「高圧水素サーバ」を開発した。従来の高圧型 HHOG は、電解モジュールを電解タンク内に設置し酸素側と水素側の差圧を制御することにより高圧水素を発生させていた。耐圧性および耐差圧性の高い新型電解モジュールを搭載し、酸素側を大気圧にし水素側を加圧する方式により大幅にシステムを簡素化した。また、電極膜接合体の改良により、高圧水素サーバは実運転条件で消費電力量 $5.5 \text{ kWh/m}^3_{\text{N}}$ 以下(エネルギー効率64 %以上)を達成した。

By improving the current high pressure type of HHOG (High-purity Hydrogen and Oxygen Generator), a more compact High Pressure Hydrogen Server has been developed. In the current HHOG, high pressure  $\text{H}_2$  was generated with controlling the pressure difference between  $\text{O}_2$  side and  $\text{H}_2$  side. The electrolysis module should be located in the high pressure electrolysis tank. In the newly developed High Pressure Hydrogen Server, the electrolysis module was redesigned and had high resistance against the high pressure and pressure difference. It can be operated under atmospheric pressure at  $\text{O}_2$  side without any pressure control, maintaining high pressure at  $\text{H}_2$  side. Therefore, the total system can be simplified and becomes more compact. The improvement of the Membrane electrode assembly also brings about reduction of power consumption. Less than  $5.5 \text{ kWh/m}^3_{\text{N}}$  was established under the practical condition ( $>64 \%$  of energy efficiency).

### Key Words :

水 素 発 生 装 置

水 電 解

固体高分子電解質膜

電 極 膜 接 合 体

Hydrogen generator

Water electrolysis

Polymer electrolyte membrane

Membrane electrode assembly

### ま え が き

近年の中国を中心とした途上国の経済発展は目ざましく、それにともなうエネルギー需要の拡大は化石燃料資源の枯渇問題を一層深刻化させている。加えて、地球温暖化問題の原因とされる温室効果ガスの二酸化炭素の排出削減に関し、日本は1990年を排出量の基準年として6 %の削減目標がCOP3において設定された。このような状況で、化石資源の有効利用と地球環境保全の観点から、人類社会の持続的発

展を可能とするエネルギーシステムの開発が重要なテーマとなっている。そして、環境負荷の低いエネルギーシステムへの転換の最終形として、「水素」がクリーンなエネルギー媒体として期待される。

水素は炭化水素系ガスの改質からも製造されるが、水の電気分解はクリーンな水素の製造方法として注目される。とくに、固体高分子電解質膜をもちいた水電解はメンテナンスが容易であり、精製装置なしで高純度の水素がえられるなど実用面でも優れた特

長をもつ。当社では、この固体高分子型水電解による水素発生装置 HHOG (High-purity Hydrogen and Oxygen Generator) を商用化し、工業ガス用途向けにオンサイト水素発生装置を提供してきた。これまでに海外を含め80基以上の納入実績がある。

当社は、固体高分子型水電解方式のオンサイト水素発生装置の普及に向けて、高効率化、高性能化、コスト削減の開発を進めており、既報において4 kWh/m<sup>3</sup><sub>N</sub> 高効率水電解システムの開発について報告した。<sup>1)</sup> 本報では、このシステムを基に開発した新型水素酸素発生装置「高圧水素サーバ」について報告する。

## 1. HHOG とは

### 1.1 水素発生原理

水素と酸素は水の電気分解により発生させるが、電解質溶液の代わりに固体高分子電解質膜 (PEM=Polymer Electrolyte Membrane) をもちいることにより純水を電気分解する。固体高分子電解質

膜は、厚さ20～200 μm のパーフルオロカーボンスルホン酸膜であり、プロトン伝導性高分子膜である。この固体高分子電解質膜の両面に白金族金属の電極触媒を接合したものを電極膜接合体 (MEA=Membrane and Electrode Assembly) と呼ぶ。

MEA の陽極に純水を供給し直流電圧を印可すると、陽極の電極触媒作用により水が分解し酸素とプロトン (H<sup>+</sup>) が生成する。プロトンは、電解質溶液中で電解質イオンが対極へ向かって移動するように、固体高分子電解質膜中のスルホン酸基 (-SO<sub>3</sub>H) を介して水和イオン (H<sup>+</sup>(H<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>) の形で陽極から陰極へ移動する。陰極の電極触媒作用によりプロトンが結合し水素を発生する (図1)。このようなしくみにより、純水を電気分解することができ、その結果として高純度の水素と酸素を生成し、また、濃厚アルカリ溶液等の電解質を使用する電気分解にくらべクリーンで扱いが容易であるという特長がある。

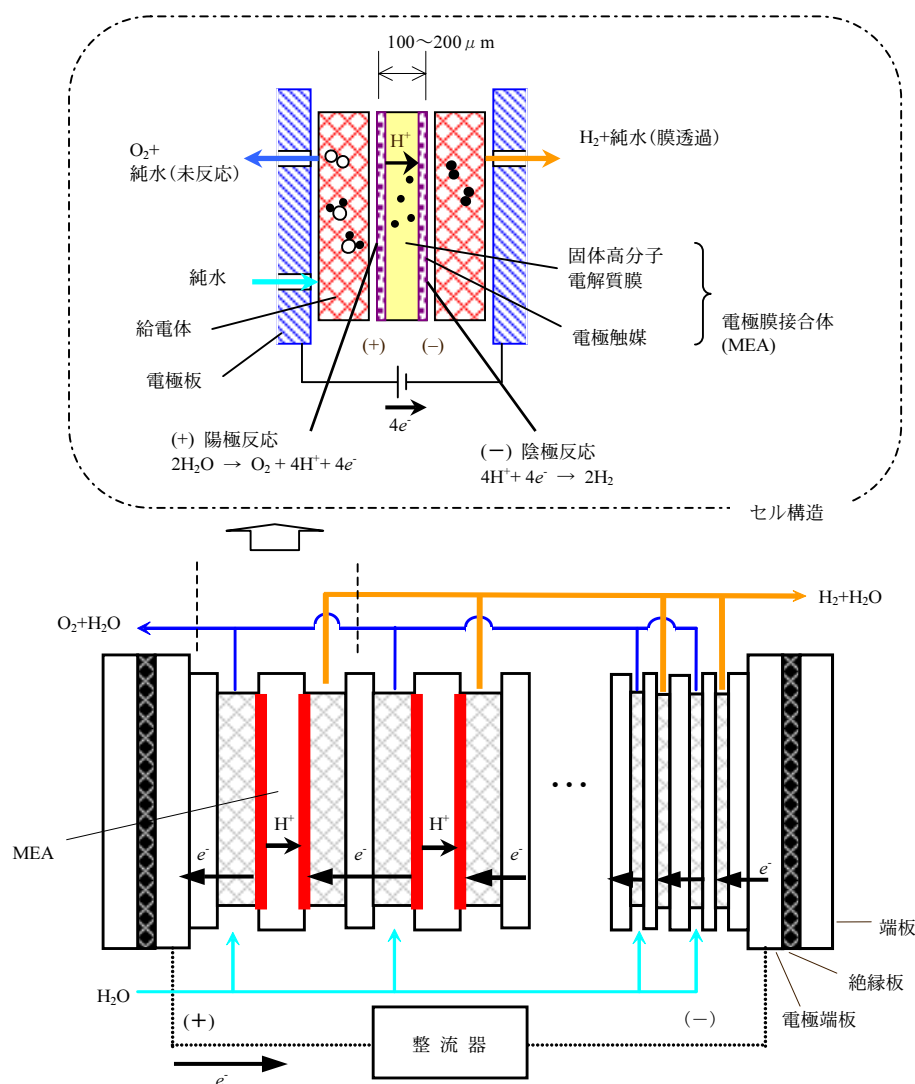


図1 固体高分子型水電解の原理



写真1 低圧型 HHOG スキッドマウントタイプ納入装置 SL-50  
(50 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/h, 0.37 MPa)

実際の装置では、図1に示すように電極板／給電体／MEA／給電体／電極板から成る単位ユニット（セル）を直列に積層し、複極式電解モジュールを組む。電解モジュールは、主に電極板、給電体、MEA、ガスケットから成り、MEAと電極板で仕切られた陽極室と陰極室が交互に並ぶ。陽極室には純水を供給する経路および酸素と未反応の純水を取り出す経路を設け、陰極室には水素と透過純水を取り出す経路を設ける。

固体高分子電解質膜は絶縁体であり、MEAの陽極面で発生する電子は給電体を通して隣のセルのMEAの陰極まで移動し、プロトンはMEA内を陰極へと移動する。したがって、電解モジュール全体の電気の流れは、MEA内のプロトンの移動とそれ以外の導電体部での電子の移動から成り、陽極電極触媒層でプロトンと電子の分離、陰極電極触媒層でこれらの再結合が起こる。導電体部の電子の移動にくらべ、MEA内のプロトンの移動が電解モジュール全体の律速段階となる。

固体高分子型水電解では、溶液抵抗や電極間のガス抵抗はないが、電極板—給電体—MEA間の固体同士の接触抵抗があり、これを最小にする電解モジュールの設計が重要である。

## 1.2 経緯

1993年にMEA製造技術を導入し、10 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/h規模の装置化開発をおこなった。その一方で、高圧型装置を開発し、水素の最高使用圧力によって0.4 MPaまでの低圧型と0.9 MPa未満の高圧型の2機種の販売を1996年から開始した。水素発生量によって低圧型と高圧型それぞれについて、10～80 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/h（スキッドマウント、写真1）と10 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/h以下（パッケージ）がある。前者は、工場のマルチユース向け水素ガス



写真2 水素サーバ CL-5  
(5 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/h, 0.4 MPa)

供給設備として、後者は各ユースポイントで単体機器と組合せた水素供給設備としている。

2003年には、10 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/h以下の低圧型装置に動的分離機構による気液分離器を採用することにより装置のコンパクト化を図った。これにより、機器類をひとつの筐体に収容した新シリーズパッケージ型「水素サーバ」を発売した（写真2）。<sup>2)</sup>

## 1.3 特長

### (1) 水素ガス純度

純水を電気分解するため、炭化水素系の不純物や薬品ミストの混入が少ない。また、固体高分子電解質膜は非多孔質膜であり発生する水素と酸素のセパレータとなる。極少量の水素と酸素が膜を透過するが、膜両面に接合した白金族金属触媒の作用により、電気化学的あるいは化学的に水に戻すことができる。このため、精製装置なしで99.999%以上の高純度水素ガスがえられる。酸素ガス純度は水素透過量が若干多いため99.9%である。超高純度の水素が必要な場合は、精製装置との組合せで99.9999%以上を達成できる。

### (2) 操作性

必要時に電源スイッチのONにより瞬時に水素を発生させることができる。水素発生量はファラデー則に基づき電流値に比例するため、水素の必要量に応じて0～100%の範囲で調節することができる。急激な負荷変動に対しても対応可能である。

### (3) メンテナンス性

純水水質を維持するためイオン交換樹脂（非再生ポリシャ）を1回／年程度で交換するほかは特別なメンテナンスを要しない。廃液処理も不要である。

#### (4) 安全性

電源を遮断することによりガス発生を止めることができ、各種インターロックを装備し異常発生時に安全に装置を自動停止させることができる。とくに酸素中の水素濃度は常時監視し、停止の際に自動で窒素ガスパージをおこなう。

#### 1.4 適用分野

工業用水素ポンペ供給の代替として、半導体製造やセラミックコンデンサ等の電子部品製造、金属熱処理、アルゴンガス精製、発電機冷却用など様々な分野で使用されている。また、中東、中国、東南アジアなど水素供給体制が整備されていない地域ではオンサイト装置のニーズが高い。従来は水電解法の中でもアルカリ水電解装置が多かったが、固体高分子型水電解装置が薬品を使用せずトラブルが少ないため採用されつつある。

最近では、国立大学・国立研究機関の独立法人化

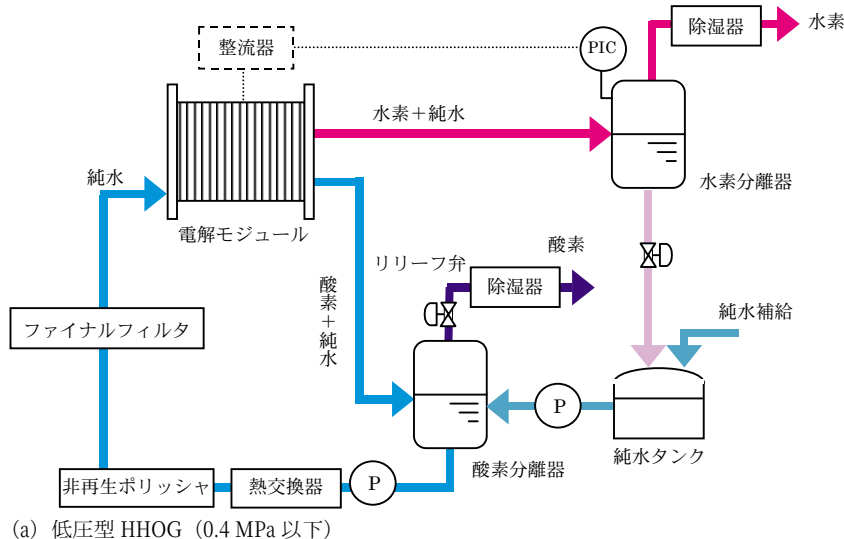
により法令遵守が強く求められるようになり、高压ガス容器の保有量を減らすためオンサイト装置へのニーズが高まっている。また、燃料電池試験用など研究開発用の需要も増えている。

## 2. 高压水素サーバの概要

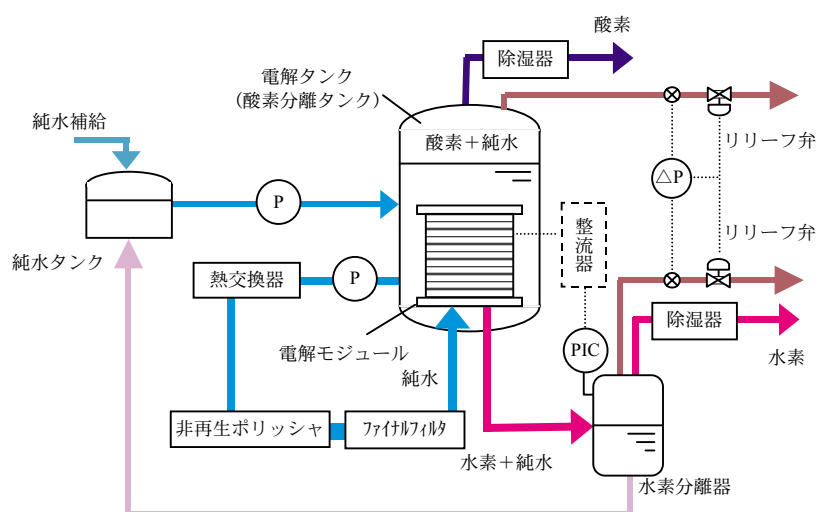
### 2.1 低压型 HHOG と高压型 HHOG

現状の HHOG 装置で使用している電解モジュールは、耐圧0.4 MPa、水素と酸素の耐差圧0.1 MPaである。耐差圧を超える圧力差が MEA の両側にかかると MEA が破損する危険性があるため、0.1 MPa 以内の差圧制御が必要である。このため、低压型 HHOG では水素および酸素の気液分離器の圧力をそれぞれ制御し差圧を保つ。高压型 HHOG では酸素気液分離タンク（電解タンク）の中に電解モジュールを入れ、水素気液分離器と電解タンクの差圧を制御する。

図2をもちいて、装置フローを少し詳しく説明す



(a) 低压型 HHOG (0.4 MPa 以下)



(b) 高压型 HHOG (0.4-0.9 MPa)

図2 現状の装置フロー

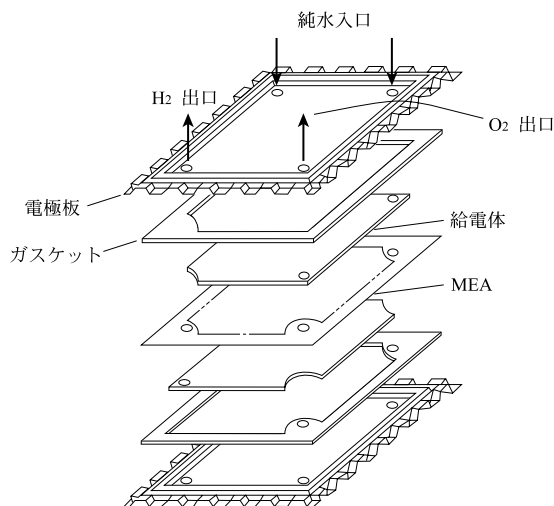


図3 新型電解モジュールの単位セルの構成

る。装置の基本的な構成は低圧型も高圧型も同じであり、純水製造ユニット、電解モジュール、気液分離器および除湿器から成る。発生した酸素ガスと水素ガスは、それぞれ酸素側気液分離器と水素側気液分離器で純水と分離し、水素は除湿器を通してユースポイントへ供給する。気液分離された純水は、循環ラインに戻し、熱交換器、非再生型ポリリッシャーおよびファイナルフィルタを通して水質を維持し循環使用される。

高圧型 HHOG は、電解モジュールを電解タンク内に配置しているため、水素気液分離器と電解タンクの差圧制御により MEA の両側の圧力差をなくすだけでなく、電解モジュールの内部と外部をほぼ同圧に保つ。このため、低圧型 HHOG と同じ電解モジュールを使用して高圧水素を発生させることができる。高圧ガス保安法の規制を考慮しなければ、この方式で 1 MPa 以上の水素を製造できる。

しかし、いっぽうで高圧型 HHOG は電解タンクが大きいためコンパクト化が難しく、低圧型 HHOG より高コストであった。

## 2.2 新型電解モジュール

新型電解モジュールは、高圧型 HHOG に必要な耐圧 1.5 MPa、耐差圧 0.9 MPa を保つことができる。

このため、酸素側は大気圧とし水素側のみを加圧して 0.9 MPa の水素を発生させることが可能になった。図 3 に、新型電解モジュールの構造図を示す。耐差圧を可能にしたポイントは、給電体を従来のエキスパンドメタルから焼結体に変え MEA の支持を強固にしたこと、水素と酸素が混合しないようガスケットのシール構造を強化したことなどによる。

新型電解モジュールの耐差圧性に関する実験結果

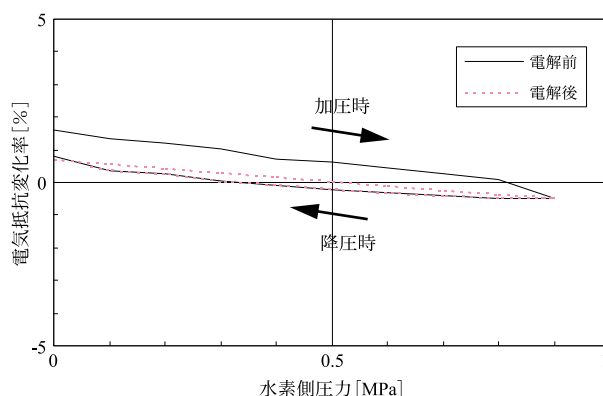


図4 差圧時の電解モジュールの電気抵抗変化

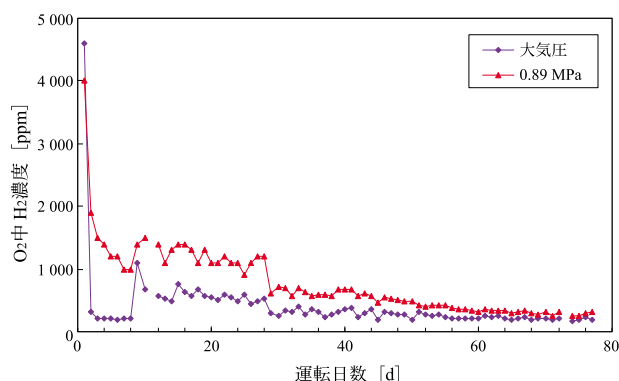


図5 差圧運転時の酸素中水素濃度変化（DSS 運転）

を示す。

### (1) 接触抵抗

運転時の差圧を模擬して、水素側を窒素で加圧し差圧をかけたときの電解モジュールの電気抵抗変化を示す。電気抵抗は電解モジュールの電極端板間で測定した。図 4 に実験結果を示す。大気圧と 0.9 MPa の昇圧、降圧を繰り返しても電気抵抗変化率は ±2 % 以内と小さく、モジュール部材の接触抵抗が良好であることを確認した。

### (2) 差圧運転時の酸素中水素濃度

酸素側を大気圧にして運転するため、MEA の破損あるいはガスケットのシール漏れがあると高圧水素が酸素側に漏れ込み、酸素中水素濃度が上昇する。大気圧と 0.9 MPa の差圧繰り返しテストを DSS (Daily Start and Shutdown) 運転により約 80 日間おこなった。図 5 に実験結果を示す。酸素中水素濃度は安定しており、電解モジュールの耐差圧性は良好であることがわかった。

## 2.3 高圧水素サーバ

図 6 に、高圧水素サーバの装置フローを示した。新型電解モジュールを搭載することにより、従来の高圧型 HHOG の電解タンクをなくすことができる。

また、酸素側ラインが大気圧になるため、酸素分離器を純水タンクと兼用にし純水補給ポンプをなくすることができる。さらに、配管・バルブ・継手類を大気圧仕様にすることができ、低圧型 HHOG と比較しても大幅にシステムを簡素化し、機器類や電気計装品の点数削減が可能になった。その結果、これまで低圧型 HHOG しかパッケージ型「水素サーバ」にできなかったが、高圧型 HHOG も同様に装置をコンパクト化し、「高圧水素サーバ」を実現した。

3. 消費電力量の低減

水電解では電力費が運転コストのほとんどを占める。これまでに、電流密度 1 A/cm<sup>2</sup>、電解温度 353 K の標準的条件において 1 m<sup>3</sup><sub>N</sub> の水素を発生するのに必要な消費電力量が 4 kWh/m<sup>3</sup><sub>N</sub> 以下（エネルギー効率 90 %）の高効率装置を開発してきている。

ここで、消費電力量とエネルギー効率は表 1 のように定義する。

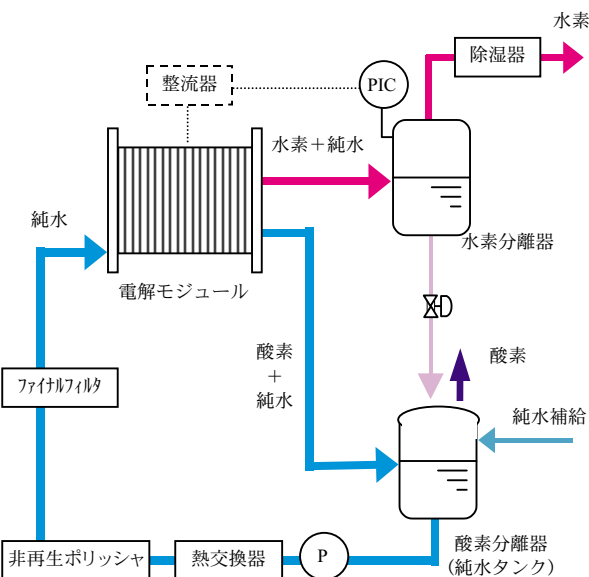


図 6 高圧水素サーバの装置フロー

商用機では、設備コストを低減するため比較的高い電流密度で、加熱器を使用せず 323 K 以下で運転する。この実運転条件での商用機の補機を含めた消費電力量は 6.5 kWh/m<sup>3</sup><sub>N</sub>（エネルギー効率 55 %）であり、消費電力量の低減が求められていた。

3. 1 電極膜接合体 MEA-Ver. 5

固体高分子型水電解では電流効率はほぼ 100 % に近いので、電解電圧を下げて電圧効率を向上させることが重要である。電解電圧を低減するには、①陽極電極触媒の高活性化（活性化過電圧の低減）、② PEM の薄膜化（電気抵抗の低減）が必要である。

4 kWh/m<sup>3</sup><sub>N</sub> 以下の高効率は①と②により達成しているが、薄膜 MEA の長期耐久性が課題として残されており、商用機向けには①のみをおこなって消費電力量の低減を図った。

陽極電極触媒として、従来の Pt 系触媒より高活性な Ir 系触媒を使用した MEA 製造方法（MEA-Ver.5）を開発し、その量産技術を確認した。

3. 2 性能および耐久性

図 7 に MEA-Ver.5 の電流－電圧特性を従来 MEA と比較して示した。MEA-Ver.5 は従来 MEA より電

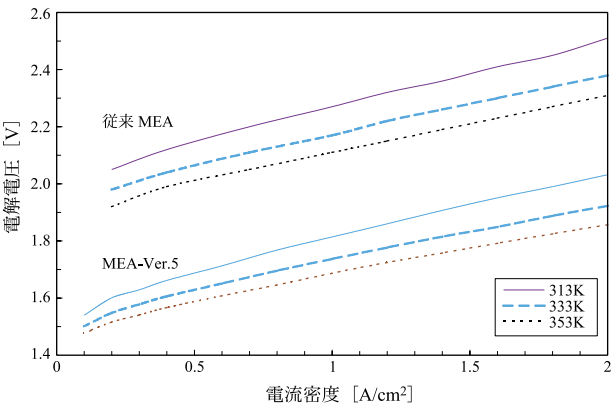


図 7 高効率電極膜接合体 MEA-Ver.5 の電流－電圧特性

表 1 水素製造に関する定義式

|                                              | 定 義 式                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 電 流 効 率 [%]                                  | 水素発生量 [m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ] ÷ 理論水素発生量 [m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ] × 100                                                          |
| 電 圧 効 率 [%]                                  | 理論稼働電圧 [V] ÷ 電解電圧 [V] × 100<br>* 理論稼働電圧 : 1.48 [V]                                                                                           |
| 電 解 効 率 [%]                                  | 電流効率 [%] × 電圧効率 [%] ÷ 100                                                                                                                    |
| 電 解 電 力 量 [kWh/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ] | 電解電圧 [V] × 理論電気量 [kAh/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ] ÷ 電流効率 [%] ÷ 100<br>* 理論電気量 : 2.393 [kAh/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]                   |
| 消 費 電 力 量 [kWh/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ] | 電解電力量 [kWh/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ] (+ 補機電力量 [kWh/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ])                                                        |
| エ ネ ル ギ 効 率 [%]                              | 理論電解電力量 [kWh/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ] ÷ 消費電力量 [kWh/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ]<br>* 理論電解電力量 : 3.54 [kWh/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> ] |

表 2 MEA-Ver.5の水素ガス純度

|           | 不純物ガス濃度 <sup>1)</sup> [ppm] |                |       |                 |       |      | 純度<br>[Vol%] |
|-----------|-----------------------------|----------------|-------|-----------------|-------|------|--------------|
|           | O <sub>2</sub>              | N <sub>2</sub> | CO    | CO <sub>2</sub> | CnHm  | Ar   |              |
| MEA-Ver.5 | 0.44                        | 1.21           | <0.01 | 0.32            | <0.01 | 0.02 | 99.9998      |
| 従来 MEA    | 0.93                        | 0.17           | <0.1  | <0.01           | <0.01 | 0.01 | 99.9999      |

1) 不純物ガス濃度は水分を除去して測定した

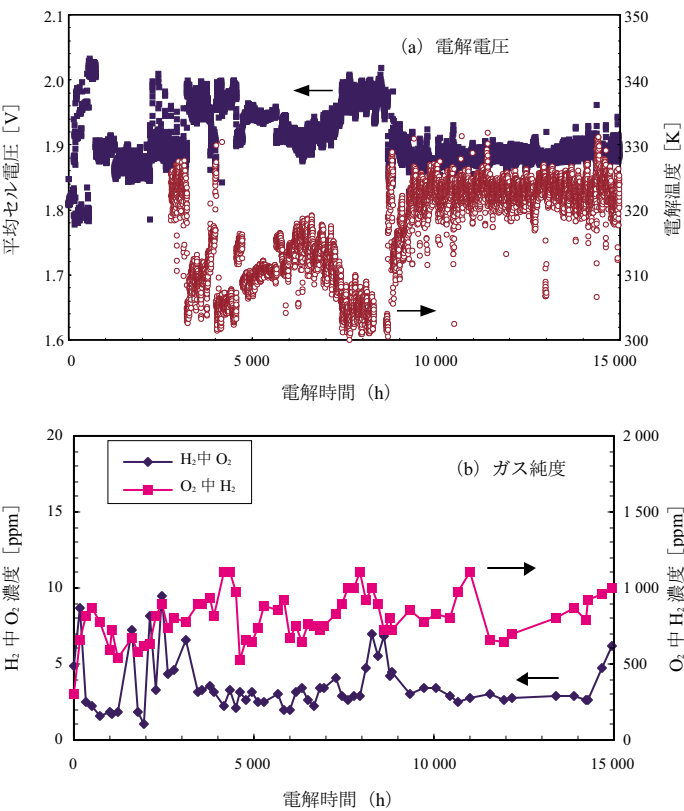


図 8 MEA-Ver.5の耐久性テスト結果

解電圧が大幅に低減した。また、水素ガス純度は表 2 に示すとおり従来 MEA と同等であった。

MEA-Ver.5の耐久性を、実運転条件での長期連続運転テストで調べた結果を図 8 に示した。電解温度の変動により電解電圧の変動があるものの、15 000 時間以上経過し電解電圧はほぼ一定で、消費電力量は4.7 kWh/m<sup>3</sup><sub>N</sub>（エネルギー効率75 %）に相当した。また、ガス純度の目安として水素中の酸素濃度と酸素中の水素濃度を測定した結果、前者は10 ppm 以下、後者は1 000 ppm以下を示しており、ガス純度も良好であった。

MEA-Ver.5により、補機を含めた消費電力量を5.5 kWh/m<sup>3</sup><sub>N</sub> 以下（エネルギー効率64 %以上）に低減した。

4. 高圧水素サーバの仕様

高効率 MEA-Ver.5を採用した高圧水素サーバの



写真3-1 高圧型 HHOG スキッドマウントタイプ 納入装置 SH-30D（除湿器付帯）  
(30 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/h, 0.82 MPa, 5 700 W×2 000 L×2 500 H)



写真3-2 高圧水素サーバ CH-5D（除湿器付帯）  
(5 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/h, 0.82 MPa, 900 W×1 700 L×2 000 H)

仕様をまとめた。また、写真 3 に装置の外観を高圧型 HHOG と比較して示した。

- 水素発生量：5 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/h
- 水 素 圧 力：0.82 MPa
- 水 素 純 度：99.999 %以上
- 消費電力量：5.5 kWh/m<sup>3</sup><sub>N</sub> 以下（補機類を含む）
- 装 置 寸 法：900 mmW×1 700 mmL×2 000 mmH

5. 家庭用コジェネシステムへの適用例

2003～2004年度に中国電力(株)と、固体高分子型水電解と燃料電池を組合せた家庭用コジェネレーションシステムの共同研究を実施した。このとき、高圧水素サーバのコンセプトに基づく水電解装置を試作し、燃料電池と組合せてパッケージ型1kW級コジェネレーション装置を開発した。装置の主な仕様は表3にまとめた。写真4に、装置本体と水素貯蔵タンクおよび貯湯槽の全景を示す。

本コジェネシステムを一般家庭向けに実用化するには水素貯蔵タンクが大きく設備全体のコンパクト化が課題であるが、高圧水素サーバの適用例として今後期待される。

共同研究の概略を紹介する。

5. 1 コジェネシステムの概要

本コジェネシステムは、安価な夜間電力を利用して水を電気分解して水素を製造・貯蔵し、昼間の電力ピーク時に系統電源に加えて燃料電池で発電した電力を供給すると同時に、333 Kの温水として熱回収し給湯・暖房器具に利用するものである。図9にイメージ図を示す。

5. 2 実証試験

中国電力(株)のグループ会社であるエネルギー・

ソリューション・アンド・サービス (ESS) のエネルギー利用技術開発センター（島根県松江市ソフトビジネスパーク内）において実証試験を実施した。

総合効率などの性能評価をおこなった結果、季節変動の影響を考慮した年間を通しての水素製造・貯蔵効率は、整流器の効率を入れて約63 %であった。また、燃料電池発電と温水回収については、気温が



写真4 1 kW級固体高分子型水電解/燃料電池コジェネ装置（島根県松江市ソフトビジネスパーク内、ESS技術開発センター設置）

表3 コジェネレーション装置の仕様

|         |        |                       |
|---------|--------|-----------------------|
| 水電解部    | 方式     | 固体高分子型                |
|         | 水素発生量  | 1 [m <sup>3</sup> /h] |
|         | 水素供給圧力 | 0.85 [MPaG]           |
|         | 水素純度   | 99.99 [%]             |
| 燃料電池部   | 方式     | 固体高分子型（水冷式）           |
|         | 発電量    | 1 [kW]                |
|         | 排熱回収温度 | 333 [K]               |
| 水素貯蔵タンク | 容量     | 0.6 [m <sup>3</sup> ] |
| 貯湯槽     | 容量     | 200 [L]               |

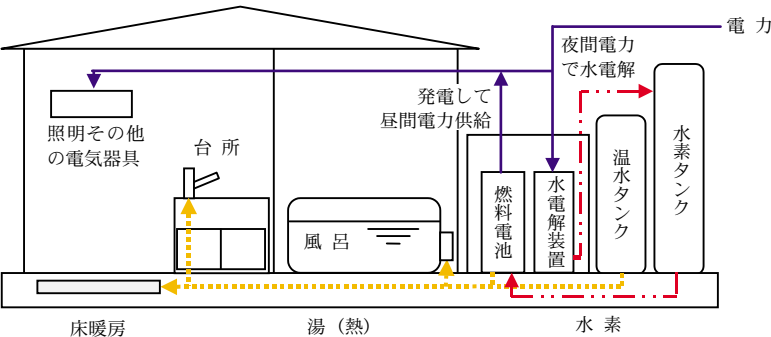


図9 家庭用コジェネレーションシステムのイメージ図

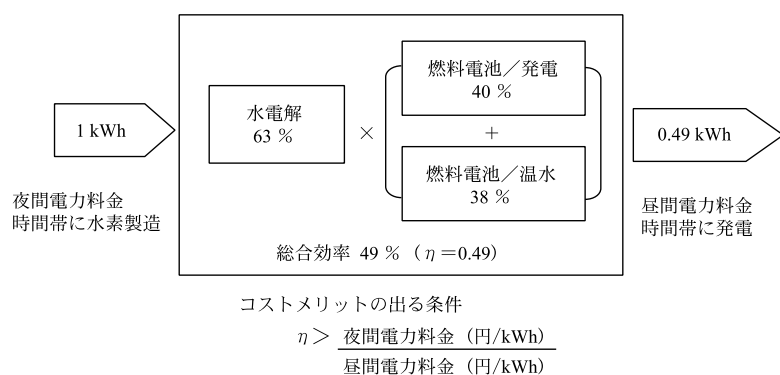


図10 水素製造／燃料電池コジェネシステムの効率とコストメリット

低い冬季に温水回収効率が低下する傾向が見られたが、平均して発電効率40 %、温水回収効率38 %であり、熱電併給の効率は約78 %であった。水素製造からの総合エネルギー効率は約49 %となった。

夜間電力で製造した水素を使用して燃料電池発電と温水製造をする場合、図10に示すように、昼間ピーク電力で同量の電気を消費し、電気温水器で温水製造する場合との差額がランニングコストメリットとなる。実証試験でえられた49 %の総合エネルギー効率は夜間電力料金と昼間ピーク電力料金の比率以上であり、コストメリットが出ることがわかった。

## む す び

電極膜接合体にはもっと差圧をかけられるはずという1997年当時の想いから「高圧水素サーバ」を開発した。現状の高圧型 HHOG 方式はさらなる高圧

化に際してその真価を発揮するはずであり、たかだか1 MPa 程度の水素圧力に対しては手軽な「高圧水素サーバ」で対応できる。今後、「高圧水素サーバ」を商品化し、量産化を進めていく予定である。

なお、固体高分子型水電解と燃料電池の組合せによる家庭用コジェネレーションシステムの共同研究においてご指導を賜りました、中国電力（株）火力事業企画担当 小林克嘉氏に謝意を表します。

## 【参考文献】

- 1) 三宅明子，泰永順久：4 kWh/m<sup>3</sup> 高効率水電解システム，神鋼パンテック技報，Vol.47，No.1（2003）pp.14-19
- 2) 上村全弘，平井清司，安井信一：新シリーズパッケージ型 HHOG 「水素サーバー」，Vol.46，No.2（2003）pp.61-63

# (株)みすずコーポレーション殿向 汚泥減量型排水処理設備の納入事例

## Wastewater Treatment Plant with Reduced Sludge Production Installed for Misuzu Corporation



技術本部  
水処理第三技術部  
塩 田 憲 明  
Noriaki Shiota  
(農学博士)

当社は、(株)みすずコーポレーション本社工場殿向けに汚泥減量型排水処理設備を納入した。本設備は、流動床式生物膜リアクターと活性汚泥法、汚泥可溶化槽から構成される。納入後10カ月にわたる運転で、BOD 除去率95 %以上、処理水 BOD は20 mg/L 以下に処理されている。余剰汚泥減量についても所定の減量効果がえられている。

This paper describes the operating results of a newly installed wastewater treatment plant (WWTP) with reduced sludge production for Misuzu Corporation at Nagano, Japan. The plant consists of an activated sludge bioreactor combined with moving bed biofilm reactor as well as thermophilic aerobic sludge digester. The operation of the WWTP was started in April 2006. Removal efficiency of influent BOD was more than 95 %, resulting that the quality of effluent was less than 20 mg/L of BOD. It was observed that biological excess sludge was significantly reduced.

### Key Words :

食 品 工 場 廃 水  
生 物 膜 法  
活 性 汚 泥 法  
余 剰 汚 泥  
可 溶 化

Food industry wastewater  
Biofilm process  
Activated sludge process  
Excess sludge  
Solubilization

### はじめに

(株)みすずコーポレーションは本社および工場を長野市中心部に位置し、凍り豆腐、および油揚げとその加工品を製造する食品メーカーである。全社あがって廃棄物のゼロエミッションに取組み、資源循環型工場を目指している。一方で、工場が市街地にあることから敷地の制約を受けるとともに、環境対策設備には近隣住民への配慮も求められている。

もともと同工場の排水処理は、表面式機械曝気機を備えたラグーン法を採用していた。広く浅い好気性酸化池が3池並んでおり、工場内でもかなりのスペースを取っていた。製造廃水には豆腐絞り汁など

の高濃度有機系廃水が含まれており、当社は、洗浄水などの低濃度廃水と分別して処理することを提案して1991年に固定床式嫌気処理装置（PANBIC-F システム）を納入した。廃水からのメタンガス回収とエネルギー再利用を実現する画期的な設備であった。その後、工場増設による廃水量の増加と2003年からの排水排出基準の見直しにともない、排水処理設備増強を検討した際に、高効率・省エネルギーを実現する流動床式高負荷嫌気処理装置（PANBIC-H）を納入した。これにより余剰汚泥発生量が導入前の約60 %にまで減量され、ラグーン曝気動力に相当する電力費も40～50 %削減された。

今回は、将来的な工場増設にともなう敷地有効利用とさらなる余剰汚泥削減を目的としてラグーンをより高効率・省スペースで環境に調和した設備に更新したいという要望にもとづき設備提案をおこなった。当社提案は客先ニーズを満足する以下の思想を基本とした。

- ① 廃水性状を考慮したプロセスの使い分け
- ② 従来より高効率なプロセス
- ③ 負荷変動時にプロセス切替え可能
- ④ 余剰汚泥の減量化

最終的に、これら思想に合致する製品として、加圧浮上装置、流動床式生物膜プロセス（パビオムバー）、高効率攪拌・曝気機（PABIO MIX, PABIO AERATOR）、汚泥減量化プロセス（エステプロセス®）を選定し、これらを組合わせた排水処理設備を納入するに至った。

## 1. 設備概要

### 1.1 プロセスの特長

図1に、既設設備を含む排水処理設備全体のフローシートを示す。大きく4つの処理工程に分けられる。

#### 1) SS 除去工程

SS 除去設備は、既設の PANBIC-F システムの前処理を目的としており、加圧浮上装置と浮上スカム濃縮装置から成る。高濃度廃水の SS を浮上分離することにより固定床式リアクターの閉塞を防ぎ、リアクター逆洗の頻度を減らすことができる。分離した浮上スカム（SS）は豆腐くずやおからを主体とす

る有機物であり、これは別途設置されているメタン発酵設備で処理してメタンガスとしてエネルギー回収される。メタン発酵設備に投入するためには含水率90%程度まで濃縮する必要があったため、ポリマーで凝集させたスカムをドラムスクリーンで濃縮脱水する方式を採用している。

#### 2) 嫌気性排水処理工程<sup>1)</sup>

本工場では2種類の嫌気処理プロセスが採用されている。工場から排出される廃水のうち、高濃度廃水は PANBIC-F システム（設備名称；高濃度廃水処理設備）で、また同システムで処理した高濃度処理水と低濃度廃水とを合流させて PANBIC-H システム（設備名称；高効率廃水処理設備）で中間処理している（写真1a）。

PANBIC-F システムは、槽内に担体を充填した密閉型リアクターとサージタンク、脱硫塔、ガスホルダーで構成されている。リアクター底部から流入した原水は、充填材表面に付着した嫌気性微生物と接触し、有機物がメタンおよび炭酸ガスに分解される。リアクターで発生したガスは、脱硫塔でガス中の硫化水素が除去され、ガスホルダーに一時貯留されたのち工場ボイラーの燃料として有効利用される。

一方、PANBIC-H システムは、高濃度微生物を自己造粒・懸濁させたグラニュールタイプの嫌気処理プロセスであり、リアクターと分離槽で構成されている。本システムは通常の UASB 法とは異なりリアクター内の気固液分離スペースを極端に小さくし



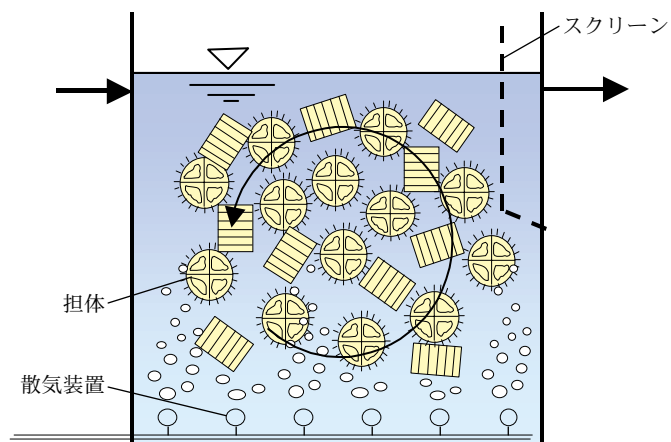
a) PANBIC-F システム（高濃度廃水処理設備）



b) PANBIC-H システム（高効率廃水処理設備）

写真1 既設嫌気処理設備外観





a) 好気リアクターの構造模式図

図2 流動床式生物膜プロセス



b) リアクター内部写真

て、リアクター全体を反応スペースとした、いわゆる膨張床（EGSB）式に分類される。リアクターがコンパクトになるため省スペースで、最大20 kg-BOD/m<sup>3</sup>・d という超高負荷運転も可能となる。リアクター底部から流入した原水が懸濁グラニュール層を通過する際に、有機物がメタンおよび炭酸ガスに分解される。グラニュールの一部は処理水とともにリアクター上部より流出するが、後段の分離槽で沈降分離させてリアクターに返送される。原水が比較的高濃度であり、発生メタンガス処理に既設設備が流用できることから、放流前の中間処理として本システムが採用されている。（写真1b）

### 3) 好気性排水処理工程

PANBIC-H システムからの処理水を放流可能なレベルまで仕上げ処理するために、パビオムーバーと曝気槽（活性汚泥処理槽）を直列に配置する好気処理設備を設置した。

浮遊式の活性汚泥法と組み合わせることで、曝気槽の負荷変動調整能力が高まりパルキングの発生が抑制される。

パビオムーバーは以下のような特長を有している。<sup>2)</sup>

#### ① 担体を用いた流動床式生物膜プロセス

特殊担体に有用微生物を大量に保持させており、担体の攪拌・流動により酸素溶解効率・反応効率を向上させる。担体に生物膜を固定化するため、汚泥管理（返送汚泥の調整）や溶存酸素（DO）の管理が不要である。

#### ② 高効率処理が可能

担体に付着した生物が高密度に存在しており、また担体上の付着微生物は常に世代交代をしていることから、生物あたりの除去速度が高いことに

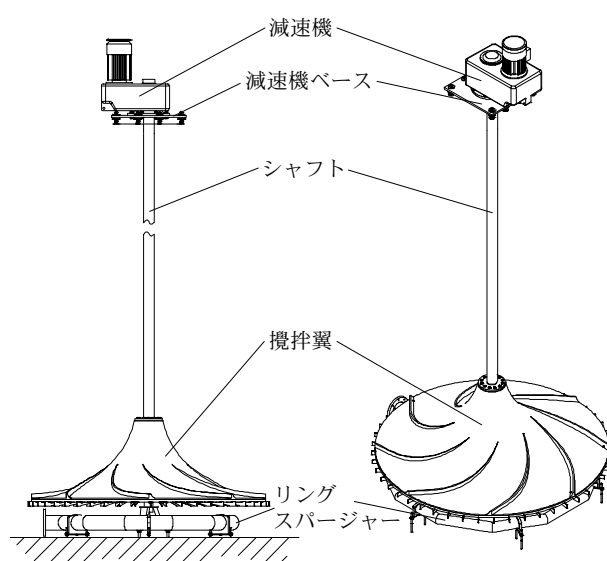


図3 PABIO AERATOR の構造図

より高負荷処理が可能である。

#### ③ 逆洗操作が不要

担体が流動により常に洗浄状態にあるため、一定の厚みで生物膜相が維持され、付着過多による閉塞の心配がない。

また、図2にリアクター（以下、PABIO 槽とする）の構造模式図と内部写真を示す。

PABIO 槽では、比較的高い負荷で運転して浮遊性微生物を優占にして有機物のうちおもに溶解性有機物を荒取り・分解することを狙っている。一方、後段の曝気槽では残存する固形性有機物分解に寄与するフロック性微生物が優占となり、既設最終沈殿槽で容易に固液分離されたのち河川放流される。

曝気槽と後述する汚泥可溶化槽（以下、S-TE 槽とする。）には、高効率型の PABIO AERATOR を採用している。図3に PABIO AERATOR の構造図

表 1 設 計 条 件  
1-1) 排水処理設備

| 項 目    | 単位             | 原 水               |                   |               |                   |
|--------|----------------|-------------------|-------------------|---------------|-------------------|
|        |                | 高効率<br>設 備<br>処理水 | 冷凍ス<br>クリー<br>ン廃水 | 解凍水           | メタン<br>発 酵<br>消化液 |
| 処理水量   | m³/d<br>(m³/h) | 5 280<br>(230)    | 300<br>(12.5)     | 1 080<br>(45) | 10<br>(0.4)       |
|        |                | 混合原水として6 300      |                   |               |                   |
| 水 温    | ℃              | 20—30             |                   |               |                   |
| pH     | —              | 6.0—8.0           |                   |               |                   |
| BOD    | mg/L           | <330              | <400              | <600          | <20 000           |
| BOD負荷量 | kg/d           | 混合原水として<2 295     |                   |               | <200              |
| T-N    | mg/L           | 混合原水として <60       |                   |               | —                 |
| T-P    | mg/L           | 混合原水として <8        |                   |               | —                 |
| SS     | mg/L           | <300              | <20               | <60           | <15 000           |

を示す。特長は以下のとおり。

- ① 高い酸素移動効率  
リングスパージャー（下部散気管）から供給される空気を攪拌翼下面の突起で微細化するため、少ない曝気動力で効率よく酸素を溶解できる。
- ② 高い攪拌能力  
双曲面型の攪拌翼を槽底部付近で回転させるため十分な底部流速がえられ、沈降物の堆積が起こりにくい。
- ③ シンプルな構造でかつ軽量  
駆動部、シャフト、攪拌翼のみで構成されており、構造が非常にシンプルである。攪拌翼はFRP製であり、総重量は最大翼径2 500 mm で200 kg程度と軽量である。
- さらに、解凍水を貯留・調整するために調整槽を設けているが、この調整攪拌にはほぼ同じ構造でリングスパージャーがない攪拌機 PABIO MIX を採用して省動力化を図っている。

4) 汚泥減量化工程（エステプロセス®<sup>3), 4)</sup>

納入設備の特長の一つとして、余剰汚泥減量化プロセスとの組み合わせが挙げられる。本プロセスの原理は、S-TE 槽内で増殖する好熱性細菌（以下、好熱菌とする。）が分泌する酵素により余剰汚泥を溶解し、生物分解しやすい性状に変化させたのち、それを活性汚泥により分解・減量化するものである。S-TE 槽は60～65℃に加温されており、槽内で好熱菌が増殖しやすいような運転条件を整えている。以下にその特長を示す。

- ① 維持管理が容易  
ポンプ、ブローアなど汎用機器のみから構成さ

1-2) 汚泥可溶化装置

| 項 目        | 単 位        | 処 理 条 件 |        |
|------------|------------|---------|--------|
|            |            | 最 大     | 最 小    |
| 投入汚泥量      | kg-DS/d    | 3 300   | 2 640  |
|            | m³/d       | 275     | 220    |
| 水 温        | ℃          | 20-30   |        |
| pH         | —          | 6.0-8.0 |        |
| 汚泥濃度       | mg/L as SS | 15 000  | 12 000 |
| MLVSS/MLSS | —          | 1.0     | 0.8    |

1-3) SS 除去設備

| 項 目        | 単位   | 原水（高濃度廃水）                    |
|------------|------|------------------------------|
| 受入水量       | m³/d | 675                          |
| 処理水量       | m³/h | 最大30<br>最小10                 |
| 水 温        | ℃    | 38-46                        |
| pH         | —    | 4.5-5.0                      |
| BOD        | mg/L | 5 000-7 000                  |
| n-ヘキサン抽出物質 | mg/L | 10-20                        |
| SS         | mg/L | 最大1 200<br>最小 700<br>平均1 000 |

れている。温度と通気量は自動制御されるため、S-TE 槽への投入汚泥量の調整をおこなうのみで、運転管理が容易である。

- ② 運転経費が安価  
必要なユーティリティは電気と蒸気のみであり、薬品類は使用しない環境に優しいプロセスである。最終沈殿槽から返送汚泥の一部として引き抜かれた生物余剰汚泥は、汚泥可溶化装置の S-TE 槽に投入・処理されたのち再び曝気槽に返送される。処理汚泥の熱は原汚泥との熱交換により回収され、加温エネルギーの節減をおこなう。

1. 2 設 計 条 件

表 1 に今回納入した汚泥減量型排水処理設備の設計条件を示す。

1. 3 設 備 仕 様

写真 2 に汚泥減量型排水処理設備の外観を、写真 3 に SS 除去設備の外観を示す。

1. 3. 1 SS 除去設備

1) 加圧浮上装置

|       |                       |
|-------|-----------------------|
| 反 応 槽 |                       |
| 基 数   | : 1 基                 |
| 容 量   | : 5 m³                |
| 材 質   | : SS400（内面 FRP ライニング） |



a) 好気処理設備



b) 最終沈殿槽（既設流用）

写真2 汚泥減量型排水処理設備外観



a) 加圧浮上装置



b) 浮上スカム濃縮装置

写真3 SS除去設備外観

#### 加圧浮上槽

基 数：1基

浮上面積：6.2 m<sup>2</sup>

材 質：SS400（内面 FRP ライニング）

付 属 機 器：原水ポンプ 2台

循環ポンプ 2台

スカム移送ポンプ 1台

滞 留 槽 1基

原 水 受 槽 1基

スカム受槽 1基

#### 2) 浮上スカム濃縮装置

ドラムスクリーン

台 数：1

型 式：ウェッジワイヤスクリーン

処 理 量：最大 2 m<sup>3</sup>/h

材 質：SUS304

付 属 品：自動洗浄ユニット

付属機器：濃縮スカム圧送ポンプ 1台

凝集混和槽 1基

#### 3) ポリマー注入装置

ポリマー自動溶解機 1台

ポリマーポンプ 4台

#### 1. 3. 2 好気処理設備

##### 1) 調 整 槽

基 数：2

容 量：705 m<sup>3</sup>（1基あたり）

材 質：RC+防食ライニング

付属機器：調整槽ポンプ 2台

攪拌装置（PABIO MIX<sup>®</sup>）2台

##### 2) PABIO 槽（パビオムバー）

基 数：2

容 量：425 m<sup>3</sup>（1基あたり）

材 質：RC+タールエポキシ塗装

設置機器：担 体 2式

曝気ブロワー 4台

計 量 槽 1基

### 3) 曝 気 槽

基 数：2

容 量：1 210 m<sup>3</sup>（1基あたり）

材 質：RC

設置機器：散気装置（PABIO AERATOR）

2台

分 配 槽 1基

### 4) 沈殿槽（既設）

基 数：2

水 面 積：387 m<sup>2</sup>（1基あたり）

材 質：RC

設置機器：返送汚泥ポンプ 2台

## 1. 3. 3 汚泥可溶化装置

### 1) S-TE 槽

基 数：1

容 量：275 m<sup>3</sup>

材 質：RC

設置機器：原汚泥ポンプ 2台

処理汚泥ポンプ 2台

S-TE ブロワー 1台

排気ファン 2台

散気装置（PABIO AERATOR）

1台

汚泥熱交換器 2台

消泡剤ユニット 1式

## 2. 運 転 状 況

今回納入した汚泥減量型排水処理設備は2006年2月より馴養運転を開始した。排水処理設備には段階

的に負荷をかけつつ、3月からは汚泥可溶化装置の立ち上げもおこなって、最終的に4月中旬に性能確認をおこなったのち設備引渡しに至った。表2に試運転期間中の排水処理設備放流水質を示す。当初、工場休業日の低負荷運転による硝酸化進行とそれに引き続く沈殿槽での汚泥脱室浮上の現象が見られたことで処理水SSの数値にばらつきがあったものの、期間を通じて放流基準は十分満足した。

図4に汚泥可溶化装置における汚泥可溶化率の推移を示す。汚泥可溶化率はS-TE槽の入口と出口での余剰汚泥MLVSSの除去率として表される。立ち上げから約1カ月経つと定常状態になり、汚泥可溶化率は計画値33％に対して40～50％で推移した。実際の余剰汚泥発生量も理論発生量にくらべて約70％減量されていることを確認している。

図5に納入設備のマテリアルバランスを示す。PABIO槽ではSSの除去がほとんどおこなわれないことから溶解性有機物（S-BOD）が優先的に分解されていると考える。残存する固形性有機物とS-TE処理汚泥は後段の曝気槽で分解され、原水BODに対する除去率は95％以上、処理水BODは20 mg/L

表2 排水処理設備の処理水質

| 項 目        | 単位   | 放 流 水 |         |
|------------|------|-------|---------|
|            |      | 保証値   | 測定値(平均) |
| pH         | —    | —     | 7.3     |
| BOD        | mg/L | 20    | 10.6    |
| SS         | mg/L | 40    | 9       |
| T-N        | mg/L | —     | 9.5     |
| T-P        | mg/L | —     | 0.7     |
| n-ヘキサン抽出物質 | mg/L | —     | 4       |

対象期間：試運転期間中の2006/2/12から3/31まで

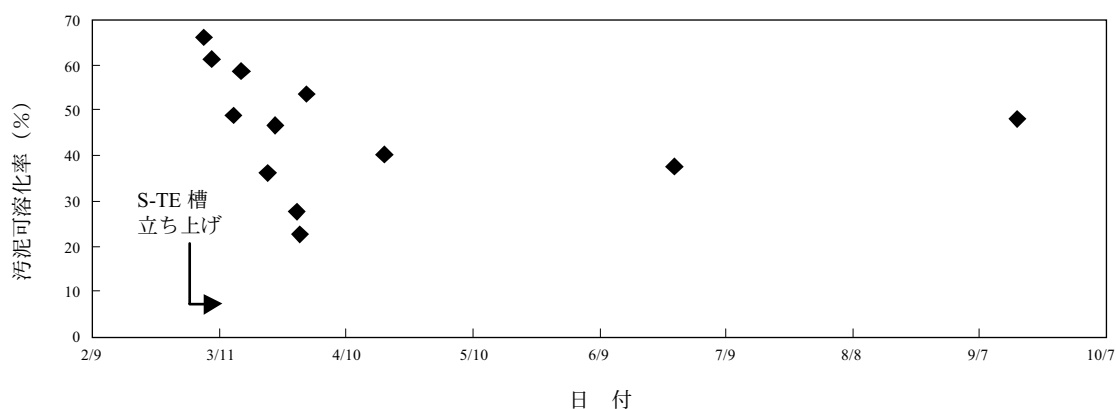


図4 汚泥可溶化率の推移

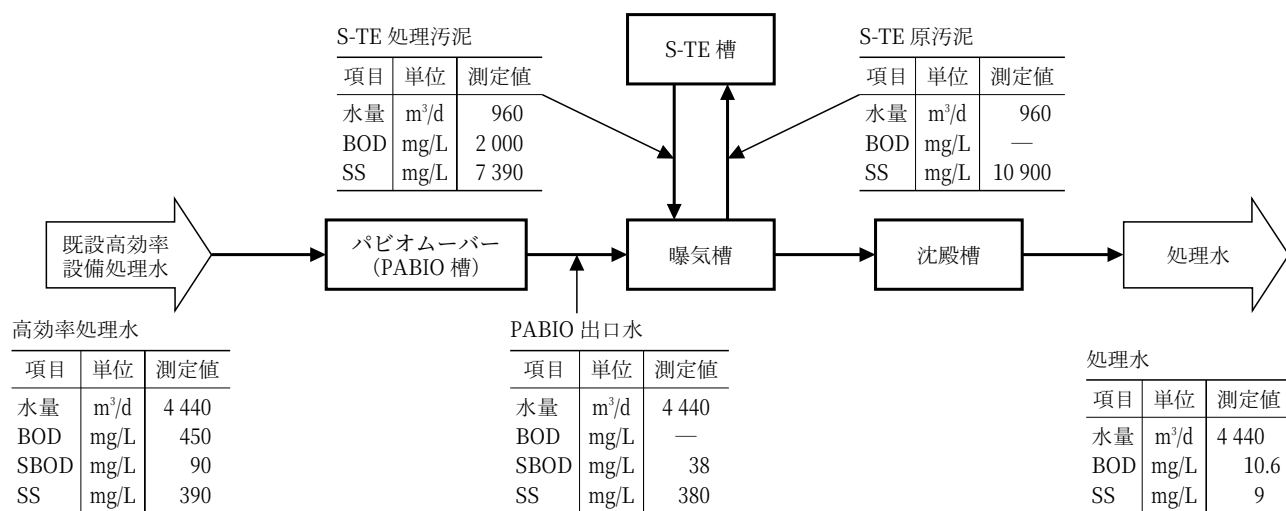


図5 納入設備のマテリアルバランス

以下に処理されている。原水 SS が設計条件を超えた場合に処理が不安定になることから、排出ポイントでの原水 SS 対策が今後の改善点と考える。

## む す び

(株)みすずコーポレーション本社工場殿に納入した汚泥減量型排水処理設備について、その設備概要と運転状況を報告した。高負荷かつ短い反応時間で処理できるパピオムーバーと活性汚泥法を組み合わせることで既設ラグーン設備の半分の設置面積に収めることができ、空いた敷地を有効に活用していただけることとなった。また、エステプロセスの余剰汚泥減量化効果も現れており、顧客からも大いに評価いただいている。今後、既設設備を含めた工場廃水設備全体の運転最適化を図るべくさらなる改善提案をおこなっていききたい。

最後に、本設備を納入するにあたり、また本稿の執筆にあたりご協力をいただいた(株)みすずコーポレーションの関係各位に深く感謝の意を表します。

## 【参考文献】

- 1) 稲森悠平, 宝月章彦, 田原邦彦: 食品工場排水の最適処理ハンドブック, (2002) pp.110-123, (株)サイエンスフォーラム
- 2) 川嶋淳: 微生物固定化法による水処理, (2000) 161-184, (株)エヌ・ティー・エス
- 3) N. Shiota, A. Akashi, and S. Hasegawa: A strategy in wastewater treatment process for significant reduction of excess sludge production. Wat. Sci. Tech., 45(12), (2002) 127-134
- 4) 塩田憲明: 産業機械, No.621 (2002) p.35-37

## 高圧水素サーバー 水電解式高純度水素酸素発生装置

Water electrolytic-type High purity Hydrogen Oxygen Generator (HHOG)

### コンパクトシリーズ 新機種 New model in compact series

固体高分子電解質膜を利用して、純水から高圧・高純度な水素と酸素をオンサイトで発生させる水電解式高純度水素酸素発生装置（HHOG）がコンパクトで高機能、低価格になりました。



#### 新機種では…

##### Features of new model

##### 消費電力 DOWN

##### Reduction in power consumption

電解モジュールの性能向上により、消費電力低減を実現。

##### 水素ガス圧力 UP

##### Improvement in hydrogen gas pressure

電解モジュールのみで高圧化を達成。従来のタンク内蔵型より、さらにコンパクト、システム簡略化を実現。

##### 水素ガス純度 UP

##### Improvement in hydrogen gas purity

精製器（オプション）を付加することにより、容易に高純度対応可能。

#### 水素サーバーの特長

##### Features of Hydrogen Server

##### 高純度ガスが発生

##### Generates High purity gas

##### 簡単な操作，メンテナンス

##### Easy operation and maintenance

##### 法規制にかからない

##### Clears the regulations

##### 安全

##### Safety

#### 高圧水素サーバー CH5D

##### High pressure hydrogen server CH5D

|                                            |                                  |
|--------------------------------------------|----------------------------------|
| 水素発生量<br>The amount of hydrogen occurrence | 5 m <sup>3</sup> /h (Normal)     |
| 水素圧力<br>Hydrogen pressure                  | 0.82 MPa                         |
| 水素純度<br>Hydrogen purity                    | 99.999 %以上<br>more than 99.999 % |
| 水素露点<br>Hydrogen dew point                 | −70 °C以下<br>less than −70 °C     |
| 純水ユニット内蔵<br>A built-in pure water unit     |                                  |
| 寸法<br>Size                                 | 900 W×1 700 D×2 000 H mm         |

#### 導入事例

##### Introductory example

- 1 電子産業 Electronic industry
- 2 金属熱処理 Metal heat treatment
- 3 火力発電所 Thermal power plants
- 4 燃料電池 Fuel cells

## 回転型ろ過乾燥機 RFD

ろ過乾燥機は、1台の機器でろ過から乾燥までの工程をおこなうことができる装置であり、主に医薬品、電子材料、ファインケミカル分野で粉体製造プロセスの用途に対応するものである。RFD はろ過・乾燥室を回転させるユニークな構造で、従来機種では達成できなかったろ過・乾燥両方を高効率でおこなうことを可能にした。さらには、コンパクトな構造で、洗浄度の確認が容易である次世代型のろ過乾燥機です。

### 回転型ろ過乾燥機 RFD



### 機能



### 従来型との比較

