



神鋼環境ソリューション **技報**

Vol.14 No.2 (通巻28号)

**KOBELCO ECO-SOLUTIONS ENGINEERING REPORTS**

目次	CONTENTS
1 <巻頭言> 新規食物繊維素材「パラミロン」の可能性に期待	
2 <i>Euglena gracilis</i> EOD-1 株が産生する パラミロンの機能性	Function of Paramylon from <i>Euglena gracilis</i> EOD-1
11 生物応答による排水処理設備の 省エネルギー、低コスト化	Saving Energy and Cost on Wastewater Treatment using Biological Response
17 準好気性埋立処分場の機能検査と評価事例(その2)	Performance Inspection and Evaluation on Semi Aerobic Landfill (No2)
21 CFD シミュレーションによる溶融炉二次空気供給 方法の最適化	Optimization of Melting Furnace Secondary Air Supply Method by Simulations using Computational Fluid Dynamics (CFD)
28 最新のグラスライニング (2018年) 一多様化する機能性グラスライニング	Latest Glasslinings -Diversified Functional Glasslinings-
34 TOPICS	



## 新規食物繊維素材「パラミロン」の可能性に期待



大妻女子大学家政学部学部長 博士（農学）

教授 青江 誠一郎

Seiichiro Aoe

近年の糖質オフブームにより、炭水化物の摂取量が減少し、それに伴って食物繊維摂取量も減少しており、十数年以上目標量に達していない。食物繊維摂取不足による腸疾患や代謝性疾患が増加するとともに、*dysbiosis* といわれる腸内細菌叢の乱れも大きな問題である。腸内細菌叢の乱れは、各種疾患の原因や増悪因子となることが明らかになりつつある。

このような背景の中、食物繊維の機能性研究が世界的に注目されている。新規な食物繊維素材も登場し、現在ではオリゴ糖やレジスタントスターチも含めて研究開発がなされている。食物繊維は、その包括的な定義から様々な物理化学的特性を有するものが多く、これまでには大まかに水溶性食物繊維と不溶性食物繊維に分類されてその機能が研究されてきた。一般的に不溶性食物繊維は腸疾患の予防や改善に、水溶性食物繊維は代謝性疾患の予防・改善に有効とされてきた。しかし、近年になって不溶性食物繊維に富む食品の摂取は、肥満、2型糖尿病、冠状動脈疾患のリスク低減に有効とするシステマティックレビューが報告された。したがって、このような食物繊維の多彩な生理機能は、これまでの水溶性食物繊維と不溶性食物繊維による機能分類では説明できなくなってきた。そのような中、不溶性の $\beta$ -グルカンに注目が集まっている。褐藻類、特にコンブに多く含まれるラミナラン、酵母の $\beta$ -グルカン、土壌細菌 (*Alcaligenes faecalis*) の変異株が細胞外につくるカードランなどがある。近年になって、ユーグレナグラシリスに多く含まれる不溶性 $\beta$ -グルカンであるパラミロンに注目が集まっている。著者らは、パラミロンに耐糖能改善作用や血中コレステロール正常化作用があることを動物実験で見出している。さらに、パラミロンの構造の特性から種々の加工処理により物性が変化し、機能性を増強できる可能性を見出し、メカニズム研究も含めて取り組んでいる。これまで高粘性の水溶性食物繊維の特徴であった食後血糖上昇抑制作用や血中脂質改善作用、さらにはメタボリックシンドロームの予防にパラミロンが有効である可能性がある。パラミロンは、不溶性でかつ安定であるため様々な機能性食品やサプリメントへの応用が可能な次世代食物繊維素材として期待したい。

# *Euglena gracilis* EOD-1株が産生するパラミロンの機能性

## Function of Paramylon from *Euglena gracilis* EOD-1



大中信輝\*  
Nobuteru Ohnaka



竹崎 潤\*  
Jun Takezaki  
技術士 (生物工学部門)



川嶋 淳\*  
Jun Kawashima



高橋 円\*  
Madoka Takahashi



青江誠一郎\*\*  
Seiichiro Aoe

当社独自の *Euglena gracilis* EOD-1株は、その独自成分として、食物繊維に分類される不溶性のβ-グルカン（パラミロン）を多量に蓄積する。食物繊維は、様々な物理化学的特性を有するものが多く、生理機能も多岐にわたる。EOD-1バイオマスおよびパラミロンの機能性について検討した結果、動物実験により、食後血糖値の上昇抑制効果（耐糖能改善）、血中コレステロール低下作用が確認された。

*Euglena gracilis* EOD-1 synthesizes a large amount of insoluble β-glucan (paramylon), known as dietary fiber. Dietary fiber has various physicochemical properties and physiological functions. We confirmed that oral administration of EOD-1 biomass and paramylon improved glucose tolerance and lowered blood cholesterol in mice.

### Key Words :

食物繊維	Dietary fiber
β-グルカン	β-glucan
ユーグレナ グラシリス EOD-1	<i>Euglena gracilis</i> EOD-1
パラミロン	Paramylon

### 【セールスポイント】

EOD-1バイオマスおよびパラミロンに、食後血糖値の上昇抑制効果、血中コレステロール低下作用が確認された。これより、EOD-1バイオマスおよびパラミロンが健康食品素材として有望であることが示唆された。

### まえがき

当社はユーグレナに含まれる栄養成分や機能性に着目し、食品素材としての利用を軸とした事業を展開している。当社独自の *Euglena gracilis* EOD-1株は食物繊維に分類される特徴的なβ-グルカン（パラミロン）を多量に蓄積する。

近年、動脈硬化症、脂質異常症、糖尿病、肥満などの疾病は、食物繊維の不足が深く関わっていることが明らかになってきている。そのため、食物繊維の十分な摂取が、生活習慣病の予防や治療に重要と

されている。

本報では、食物繊維について解説するとともに、EOD-1バイオマスおよびパラミロンの機能性について検討した結果を報告する。

### 1. 日本人の食物繊維摂取量の変遷

日本人の食物繊維の1日平均摂取量は、1955年度の国民栄養調査成績では22 gだったが、2016年度の国民健康・栄養調査結果では14.2 gに減少した（図1）<sup>1, 2)</sup>。食物繊維の給源としての食品群は、かつては穀類がもっとも重要であったが、現在では野菜



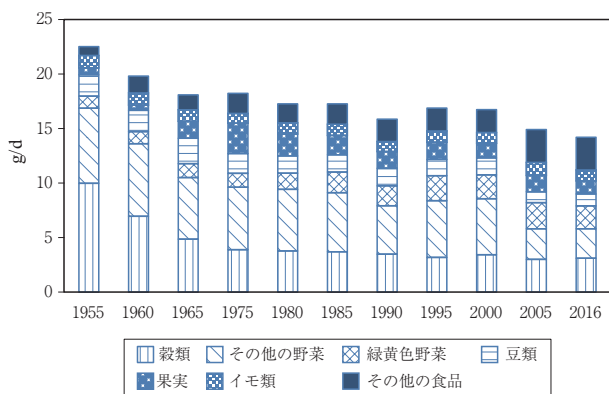


図1 日本人の食物繊維摂取量の変遷<sup>1, 2)</sup>

類がもっとも寄与率が高い。日本人の食事摂取基準(2015年版)では、1日の食物繊維の目標量は成人男性が20g以上、女性が18g以上であるが、若い世代で摂取量が少ない。とくに穀類からの食物繊維の摂取が年々低下しており、2015年度では1955年度の約1/3である<sup>2)</sup>。これは、糖質を避ける傾向が強まり、米飯類を食べなくなったことも一因である。

近年になって、穀物摂取が疾病リスク低下に関係すると報告された<sup>3)</sup>。全粒穀物を多く含む食品は、2型糖尿病のリスク低減、過体重や肥満のリスク低減と関係すると評価された。さらに、1日16g(1回)の全粒穀物摂取で全死亡リスクが7%低下、1日48g(3回)の摂取で20%低下することが示された<sup>4)</sup>。全粒穀物の効果に関して、64報の論文についてメタ解析\*が行われ、1日90gの全粒穀物の摂取は、冠動脈性心疾患、心血管疾患、全てのガン、呼吸器、感染症、糖尿病、その他疾患が原因の死亡率のリスクを低下させることが報告された<sup>5)</sup>。全粒穀物の食物繊維の主体は全粒小麦由来の不溶性食物繊維である。しかし、穀物中の不溶性食物繊維のどの性質が疾病予防に重要であるかは未だ解明されていない。

\*過去に独立して行われた複数の臨床研究のデータを収集・統合し、解析すること

## 2. 食物繊維の分類ならびにβ-グルカンについて

日本における食物繊維の定義は、「ヒトの消化酵素によって消化されない食物中の難消化性成分の総体」である。この定義によれば、難消化性オリゴ糖やレジスタントスターチも含まれることになるが、食品成分表や食事摂取基準に用いられている食物繊維は、プロスキー変法(酵素一重量法)を用いて定量されるものに限られる。したがって、難消化性オ

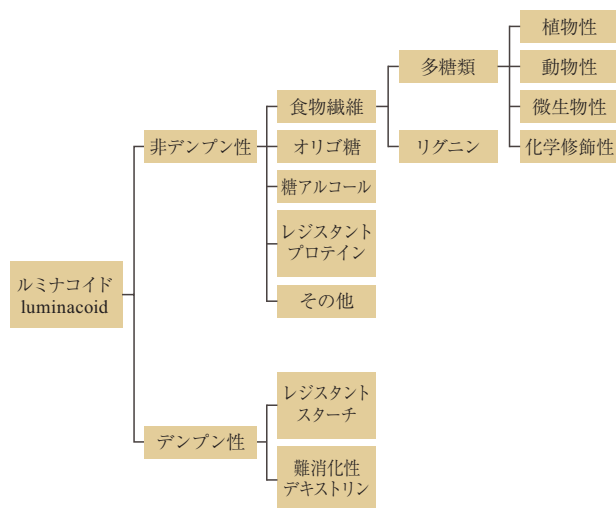


図2 ルミナコイドと食物繊維の関係

リゴ糖は含まれず、レジスタントスターチも老化デンプン(RS3と呼ばれる)と加工デンプン(RS4と呼ばれる)のみが測定される。各分析法が開発され、食物繊維に類似したはたらきをする成分を食物繊維の分類に入れるようになったが、食物繊維の定義を全て反映させると図2のようになり、日本食物繊維学会ではルミナコイドという名称を食物繊維とは別に命名している。成分名ではなく包括的な用語である。

食物繊維の中でも、β-グルカンに関する記事、論文が多く見受けられるようになっている。β-グルカンは、グルコースがβ結合した多糖類の総称である。もっとも身近で自然界に多く存在するセルロースもβ-グルカンの1種である。セルロースは、グルコースがβ-1,4結合した不溶性の多糖類である。一方、ラミナランは褐藻類、とくにコンブ属に多く含まれる貯蔵多糖で、グルコースのうちの大部分がβ-1,3結合を形成していると推測されており、これもβ-グルカンの一種である。古くからその存在が注目され研究されてきたのが、パン酵母の不溶性β-グルカンである。構造的には、β-1,3結合とβ-1,6結合の組み合わせで、長い直鎖状のβ-グルカンを形成している。また、カードランは土壌細菌(*Alcaligenes faecalis*)の変異株が細胞外につくるβ-グルカンである。ほとんどβ-1,3結合のみからなる直鎖状のβ-グルカンと考えられている。近年、ユーグレナグラシリスに含まれるβ-グルカンもパラミロンと称され注目されている。パラミロンは、β-1,3結合をした直鎖状のβ-1,3-グルカンである。表1に食物繊維源としてのβ-グルカンを示す。

表1  $\beta$ -グルカンの種類

名称	結合様式	起源
セルロース	$\beta$ -1,4結合	植物細胞壁
パラミロン	$\beta$ -1,3結合	ユーグレナグラシリス
ラミナラン	大部分が $\beta$ -1,3結合	褐藻類, とくにコンブ属
カードラン	$\beta$ -1,3結合	土壌細菌 ( <i>Alcaligenes faecalis</i> ) の変異株
麦類 $\beta$ -グルカン	$\beta$ -1,3, $\beta$ -1,4結合分枝型	大麦, ライ麦, オート麦
酵母 $\beta$ -グルカン	$\beta$ -1,3, $\beta$ -1,6結合分枝型	酵母
きのこ $\beta$ -グルカン	$\beta$ -1,3結合直鎖型 $\beta$ -1,4, $\beta$ -1,6結合分枝型	キノコ類

### 3. 食物繊維の機能性

食物繊維が腸疾患や代謝性の疾患と密接な関連をもつことが示唆されて以来、食物繊維の生理作用に関する実験的研究、介入試験などが精力的に行われてきた。研究に使用される食物繊維素材も多様化し、様々な食物繊維素材が開発されている。食物繊維は、その包括的な定義から様々な物理化学的特性を有するものが多く、生理機能や疾病予防効果も多岐にわたる。一般に従来から疾病予防効果が確認されてきた食物繊維は、以下のいずれかの物理化学的性質を有するものが多い。

- ①保水性…食物繊維の組織中に水分を含んで数倍～十数倍に膨れる
- ②粘性…水を含むと粘性の高い溶液になる性質をもつ
- ③吸着性…様々な物質（栄養素、有害成分、胆汁酸など）を吸着する性質をもつ
- ④イオン交換能…ある種の多糖類（ウロン酸や硫酸基をもつ）はナトリウム、カリウム、カルシウムなどと交換能をもつ

食物繊維は、胃および小腸内では、他の栄養素を包込む作用があるために炭水化物や脂質の消化吸収を緩やかにする独特の作用がある。ある食物繊維は胆汁酸の排泄を促進するので、コレステロールから胆汁酸合成の促進がコレステロール低下作用のメカニズムとして提案されている。他の性質として、病原性細菌との結合性や、食品中の変異源物質の消化管との結合を阻害したりする。また、上記の物理化学的特性とは別に大腸内では、多くの水溶性食物繊維は腸内細菌により発酵を受け、短鎖脂肪酸が産生され、吸収されてエネルギー源となり、様々な生理機能の発現に関与することが明らかとなっている。一方、発酵を受けにくい不溶性食物繊維は、水分を吸

収し、便のかさを増す働きがある。表2に疾病予防に関するエビデンスについて示す。

#### 1) 腸疾患予防とエビデンス

##### ①排便・便性改善効果

食物繊維は、大腸内の通過時間の短縮<sup>5)</sup>、便の重量と排便回数の増加<sup>6)</sup>、大腸内容物の希釈、また大腸内の腸内細菌叢による発酵基質となることにより大腸機能に影響を与えている。腸内通過時間を考える場合、大半は大腸内の通過時間である。食物繊維の摂取は、便重量に大きく影響し、通過時間を短縮させる。この作用が排便には重要であり、大腸の疾患を予防するのに重要な役割を果たしている。これらの作用は、セルロース、ヘミセルロースなどの発酵を受けにくい不溶性食物繊維に顕著である。

大部分の水溶性食物繊維は、発酵により産生された短鎖脂肪酸が大腸内 pH を低下させ、ぜん動を促進する。大部分の食物繊維は、水の吸着、発酵産物による浸透圧効果、菌体量の増加のいずれかにより便通を促す。

##### ②腸疾患の予防効果

食物繊維は、大腸の腸憩室症を予防し、症状を緩和する作用があることが報告されている<sup>7, 8)</sup>。便の重量を増やし、腸内容物の通過時間を短縮し、大腸内の圧力を低下させることが、予防効果に関与していると考えられている。健康なアメリカ人男性を対象に、食物繊維摂取量と大腸憩室症発症の関係を4年間追跡した調査では<sup>9)</sup>、食物繊維摂取の多い集団は、少ない集団に比べて、有意に相対危険度が低下した。食物繊維給源の比較では、果実由来と野菜由来の食物繊維摂取の増加が、発症リスクの低下に有意に関係していた。また、水溶性食物繊維の摂取の増加よりも、不溶性



表2 疾病予防とエビデンス

生理機能	エビデンス
<b>腸 疾 患</b>	
排便・便性改善効果 IDF	かさ増加, 便形成の調節 排便回数の改善
腸疾患の抑制 IDF	炎症性腸炎の予防とコントロール 結腸癌のリスク低減 ポリープ形成, 腸憩室症の予防効果
プレバイオティクス効果 SDF	腸内細菌叢の改善 短鎖脂肪酸の生成
消化管機能 IDF, SDF	消化管組織形態変化 小腸粘膜機能の調節: ムチンの産生促進 消化酵素の活性調節 消化管ホルモンの分泌調節: 消化管ペプチドホルモン (GIP, GLP-1, エンテログルカゴンなど) の産生刺激
<b>代 謝 性 疾 患</b>	
糖尿病予防 SDF	糖質の消化吸収速度の遅延 (低 GI) インスリン分泌の節約 (インスリン抵抗性の予防)
脂質代謝 SDF	血清コレステロール低下作用 胆汁酸排泄促進
<b>そ の 他 疾 患</b>	
免疫刺激 IDF, SDF	バリア機能や腸管感染の改善 細菌侵襲による全身性感染の防御
有害物質毒性軽減効果 IDF, SDF	変異源物質の吸着排泄作用 環境汚染物質の体外排泄作用
骨粗鬆症予防 貧血改善 など SDF	Ca, Mg 吸収促進作用 Fe, Cu, Zn の吸収への影響

IDF: 不溶性食物繊維の効果, SDF: 水溶性食物繊維の効果

食物繊維の摂取の増加の方が, 大腸憩室症リスクの低下に有効であったという報告もある<sup>10)</sup>。

食物繊維には, 結腸, 直腸癌の発症リスクを低下させる効果が古くから言われてきた。その効果は未だ議論の対象となっている。作用機序として, 発癌性物質との結合およびその希釈による有害作用の軽減, 2次胆汁酸生成の抑制, 大腸内通過時間の短縮, 発酵代謝産物などの関与が提案されている。しかし, 食物繊維摂取と大腸癌発症の関係については, 疫学研究の結果が一致していないのが現状である。

## 2) 代謝性疾患予防とエビデンス

### ① 糖尿病予防

総食物繊維摂取と2型糖尿病の発症リスクは負の相関性があることが報告されている。とくに, 全粒穀物に由来する食物繊維が2型糖尿病のリスクを軽減するというエビデンスが多くある。食物

繊維の中では水溶性食物繊維の摂取は, 食後の血糖値上昇やインスリン分泌を緩和する機会が多い。一方, セルロースなどの不溶性食物繊維は, 食後の血糖値やインスリン応答にはわずかな影響しか与えない。

2型糖尿病患者を対照にした介入試験により, 粘性のある水溶性食物繊維を摂取した場合, 血糖応答を有意に低下させることが報告されている。食物繊維の長期摂取が糖代謝に及ぼす影響についても, 健常者から糖尿病患者, 肥満者などを対象として多くの報告がある。評価に用いられた食物繊維もオーツ麦, 小麦フスマ, サイリウム, グアーガム, ポリデキストロース, フルクトオリゴ糖などがある。空腹時血糖値や糖尿病関連マーカーに対して有効であったとする報告<sup>11, 12)</sup>と, 有意差が認められなかったとする報告<sup>13, 14)</sup>があり, 食物繊維の質と量によって有効性が異なる可能性

がある。

## ②脂質異常症の予防

食物繊維摂取と冠状動脈心疾患の発症リスクは、逆相関することが多くのメタ解析で示された。Andersonら(2000)<sup>15)</sup>は、過去20年間における12のコホート研究のメタ解析を行い、冠状動脈疾患と食物繊維摂取の関係を調べた。その結果、総食物繊維、とくに全粒穀物の摂取が、冠状動脈心疾患のリスクを低下させると結論づけた。高コレステロール血症の患者への効果を調べた研究のメタ解析により、脂肪摂取などを減らすなどの食事の変化に加えて、粘性タイプの食物繊維の摂取を増やすと、コレステロールの低下に有効であることが示された。一方、粘性のほとんどないセルロース、リグニンなどの単離食物繊維やトウモロコシ外皮や小麦フスマなどの食物繊維源は、血中コレステロール値にほとんど影響を与えないとされている。

心臓血管系に与える食物繊維の明らかな予防効果は、様々なメカニズムにより説明されてきたが、血中コレステロール値低下作用の機序は未だ確立されていない。有力な仮説として、コレステロールまたは胆汁酸の排泄促進によるもの、コレステロール合成能の低下、血中からのコレステロール除去速度の増加などが挙げられる。その中でも、粘性の高い食物繊維は共通して胆汁酸の排泄を増加させることから、ステロール排泄促進作用が有力である。また、低分子の食物繊維素材であるポリデキストロースや難消化性デンプンが血中脂質低下作用を有するというエビデンスも少ない。

## 3) その他の疾患予防とエビデンス

動物といくつかのヒト試験で、難消化性オリゴ糖や易発酵性食物繊維が大腸で発酵するとカルシウム、マグネシウム、鉄などのミネラルの吸収を促進するという報告がある<sup>16, 17)</sup>。本作用は骨密度増加作用や鉄欠乏性貧血改善作用をもたらす。ミネラル吸収を促進する作用機序は、発酵により生成された短鎖脂肪酸が、大腸内容物のpHを低下させ、その結果ミネラル類の可溶性が増し、受動的拡散により大腸上皮の通過を促進する。

## 4. ユーグレナが産生するパラミロン<sup>18, 19)</sup>

前述のとおり、食物繊維はその種類により、様々な機能を持つことが分かってきている。ユーグレナが産生するパラミロンは不溶性の食物繊維に分類される。当社独自の *Euglena gracilis* EOD-1株はパラミロンを多量に蓄積する。ここからは、ユーグレナ

とその特有の成分であるパラミロンおよびそれらを用いた動物実験の機能性評価について紹介する。

### 4.1 ユーグレナ(ミドリムシ)とは

ユーグレナは、葉緑体を持つ単細胞の微細藻類である。細胞幅が約10 μm、細胞長が約50 μmで細胞の一端に2本の鞭毛があり、活発に遊泳する。また、ペリクルと呼ばれるらせん状の細胞外構造を有し、細胞が伸び縮みしたりくねくねする独特の運動(ユーグレナ運動または、すじりもじり運動という)を行う。

ユーグレナは、光独立栄養(いわゆる光合成)培養法、グルコースなどの有機性炭素を利用して暗所・好気条件で培養する従属栄養培養法、あるいは、それらの中間の光従属栄養のいずれの方法でも培養可能である。パラミロンの生産量は、従属栄養条件で培養した方が圧倒的に高く、株や培養条件により差はあるが、その生産量はユーグレナバイオマス乾燥重量の50%以上に達するものもある。当社は食品素材としての安全性および生産性の観点から、従属栄養培養法を採用している。

### 4.2 *Euglena gracilis* EOD-1株の培養<sup>20, 21)</sup>

当社は筑波大学との共同研究において、*Euglena gracilis*の新規株であるEOD-1株を分離した。本株は、研究に多用されている *Euglena gracilis* Z株(NIES-48)に比べ増殖が速く、パラミロンの含有率が高いといった優れた性質を有する(写真1)。

図3にEOD-1株とZ株の培養結果の一例を示す。AF-6培地<sup>22)</sup>に25 g/Lのグルコースと2.5 g/Lの酵母エキスを添加し、暗所28℃の条件で72時間培養した。EOD-1株のバイオマス生産量はZ株の約2倍、パラ

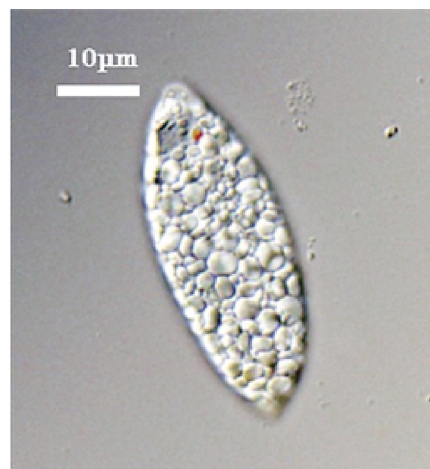


写真5 従属栄養培養で培養した *Euglena gracilis* EOD-1の光学顕微鏡像。細胞内に観察される白い顆粒がパラミロン。



表3 EOD-1バイオマスの安全性評価

項目	結果	備考
遺伝毒性試験	陰性	—
・Ames 試験 (微生物)	問題なし	突然変異
・致死感受性試験	問題なし	DNA 損傷
・小核試験	問題なし	染色体異常
単回投与毒性試験	問題なし	ラットにおける急性経口毒性 (LD50) : 2 000 mg/kg/day 以上
反復投与毒性試験	問題なし	ラットに1 000 mg/kg/day を90日間反復投与を行い, 異常は認められなかった。
催奇形性試験	問題なし	1 000 mg/kg/day の強制投与を行い, 母ラット胎児ともに催奇形性は認められなかった。
アレルギー性試験	検出されず	特定原材料5項目 (乳, 卵, 小麦, そば, 落花生) 甲殻類は原材料に含まれないため除外

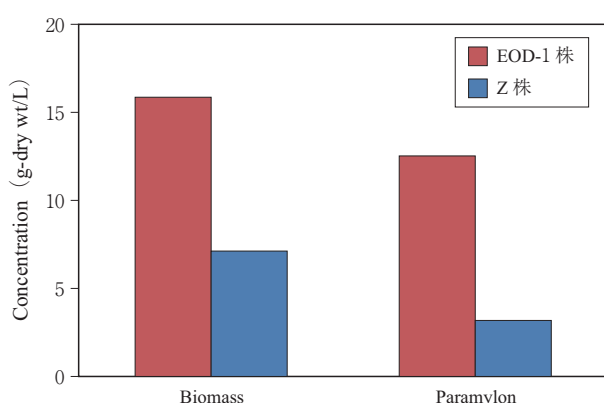


図3 *Euglena gracilis* EOD-1株とZ株 (NIES-48) のバイオマス生産性およびパラミロン生産量の比較

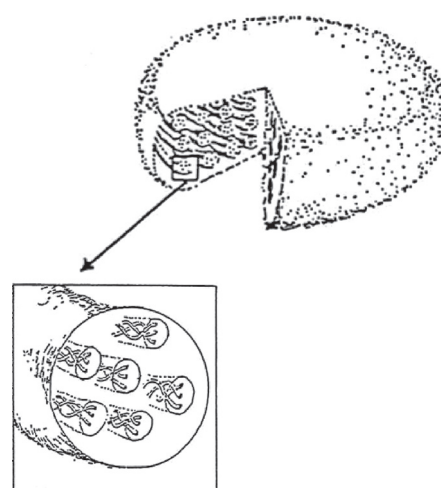


図5 パラミロンの3重らせん構造<sup>18)</sup>

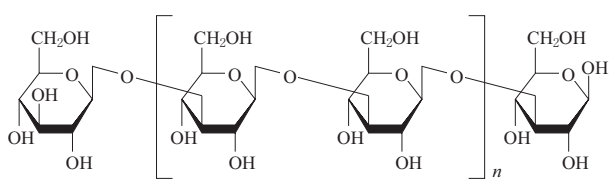


図4 パラミロンの構造式

ミロン生産量は約4倍の差があった。当社では培養方法の改良によりさらに生産性を向上させ、安定的にバイオマス中に70~80%のパラミロンを蓄積する培養条件を確立している。なお、バイオマス中のパラミロン ( $\beta$ -1, 3-グルカン) 含有率は定量NMR法で定量している<sup>23)</sup>。また、EOD-1バイオマスを食品として提供するにあたり各種安全性試験を実施し、問題がないことを確認している (表3)。

#### 4.3 パラミロンとは

パラミロンは1 000個前後のグルコースが $\beta$ -1,3結

合をした直鎖状の $\beta$ -1,3-グルカンである (図4)。3本の直鎖状 $\beta$ -1,3-グルカンが右巻きの縄のようにねじれあった緩やかな3重らせん構造をとり、これらが複数集まるとぐるを巻いた状態でパラミロン顆粒を形成する (図5)。近年、ユーグレナやパラミロンに関して機能が研究されており、現在までに免疫賦活<sup>24, 25)</sup>、花粉症<sup>26)</sup>、胃潰瘍<sup>27)</sup>等への効果が報告されている。

写真2に、EOD-1株のパラミロンの電子顕微鏡写真を示す。EOD-1株のパラミロン顆粒の平均直径は約3 $\mu$ mであり、丸餅の様な形をしている。

パラミロンの化学的性質として、熱水も含め水には全く溶解しないが、希アルカリ等には溶解し、無色透明の粘度を帯びた水溶液になる。また、パラミロン顆粒は、*in vitro* 試験 (試験管内試験) では $\beta$ -1,3-グルカナーゼで分解されないが、希アルカリ

で前処理することにより分解されるようになる。これは、希アルカリ処理によりタイトな結晶構造が壊れ、酵素がアタックしやすくなったためと考えられる。このように、パラミロンの構造の特性から、種々の加工処理により物性が変化することが分かっている。

## 5. EOD-1バイオマスおよびパラミロンを用いた動物実験<sup>28)</sup>

### 5.1 実験概要

EOD-1バイオマスおよびパラミロンの機能性を調べるため、動物実験によりこれらの摂取が血糖値や血中脂質に及ぼす影響について検証した。図6に動物実験の概要を示す。

試験飼料は標準精製飼料を基本に、脂肪エネルギー比が50%となるようにラードを配合した高脂肪食

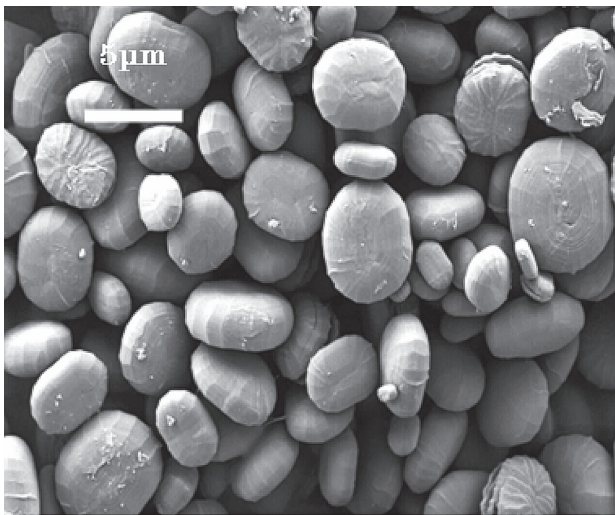


写真2 パラミロンの電子顕微鏡写真

を対照とした。試験群としてEOD-1バイオマスまたはEOD-1由来のパラミロンを配合した高脂肪食を調製した。

実験動物は5週齢の雄マウスを用いた。1週間の予備飼育後、体重が均一になるように群分けした。試験飼料を12週間摂取させ、試験最終週に経口ブドウ糖負荷試験を行った。

経口ブドウ糖負荷試験とはブドウ糖(グルコース)摂取後の血糖値の変化を測定する検査であり、ヒトでは糖尿病の診断に適用されている試験である。

試験終了時にマウスを8時間絶食させ、解剖および採血を実施し、血中総コレステロールおよび血中non-HDLコレステロール、血中インスリン濃度を測定した。

血中総コレステロールは、血液中に含まれる善玉コレステロール(HDL-C)や悪玉コレステロール等の全てのコレステロールの総量である。一方、血中non-HDLコレステロールは総コレステロールからHDL-Cを引いた値であり、脂質異常症の指標として注目されている。

### 5.2 実験結果および考察

マウスの成長結果および各種臓器重量に有意差は認められず、同等であった。

経口ブドウ糖負荷試験の結果、血糖値はグルコース投与後60分でパラミロン摂取群が低下傾向を示し、120分後ではEOD-1バイオマス摂取群とパラミロン摂取群が有意に低値を示した(図7)。一方、血中インスリン濃度に差はなかった。このことから、EOD-1バイオマスおよびパラミロンの継続的な摂取により耐糖能が改善していることが示唆され

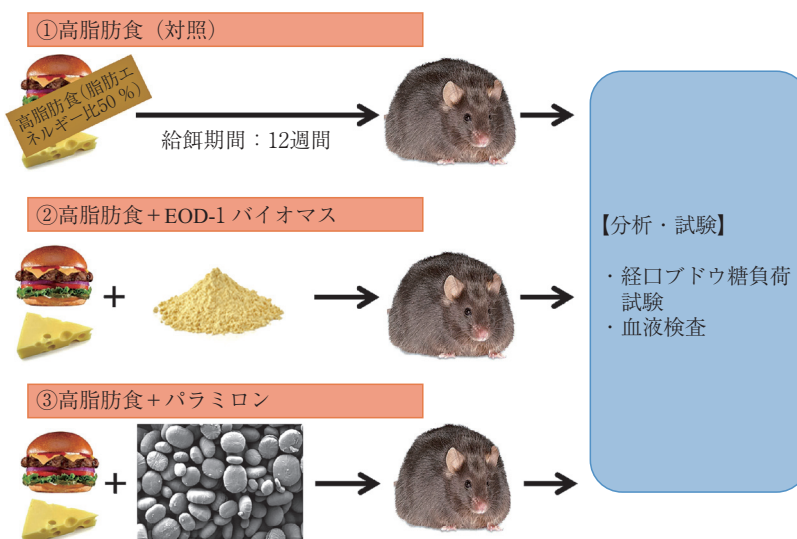
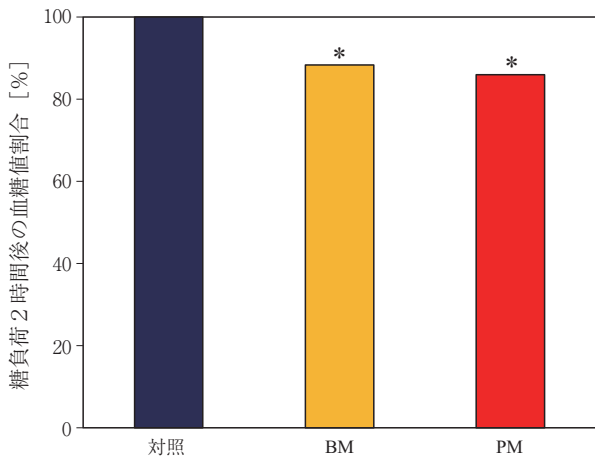


図6 動物実験概要





BM: EOD-1 バイオマス摂取群 PM: パラミロン摂取群  
\* 対照群と比べて有意差あり (p<0.05)

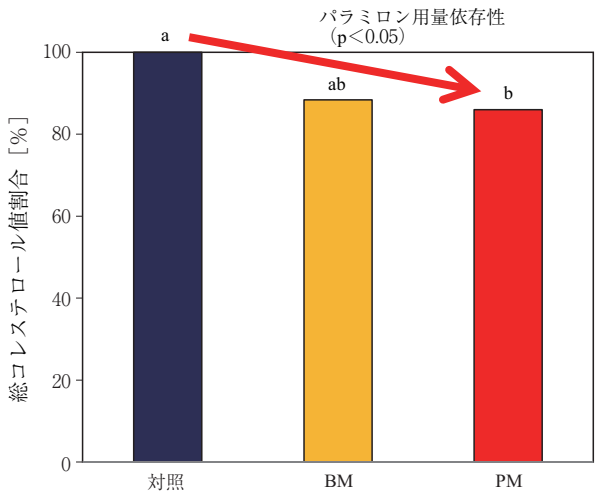
図7 経口ブドウ糖負荷試験による血糖値の比較

た。(耐糖能が悪化すると、インスリンが分泌されても血糖値は下がりにくくなる。)

血中総コレステロールおよび血中 non-HDL コレステロール濃度はパラミロン摂取群で有意に低下、EOD-1バイオマス摂取群で低下傾向にあり、パラミロン量に依存した低下が認められた(図8, 9)。

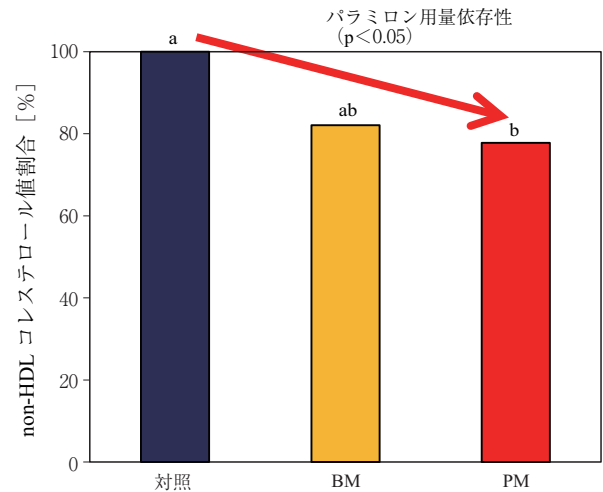
以上の結果から、EOD-1バイオマス中のパラミロンは、食後血糖値の上昇抑制効果(耐糖能改善)および血中コレステロール低下作用を有することが確認された。

これまで高粘性の水溶性食物繊維の特徴とされる機能性が、不溶性食物繊維であるパラミロンで見られた。図10に推測されるパラミロンの作用メカニズムを示す。パラミロンの摂取により、摂取した餌の



異なるアルファベットの付く群同士 (a: 対照群と b: PM 群) で有意差がある (p<0.05)

図8 血中総コレステロール値の比較



異なるアルファベットの付く群同士 (a: 対照群と b: PM 群) で有意差がある (p<0.05)

図9 血中 non-HDL コレステロール値の比較

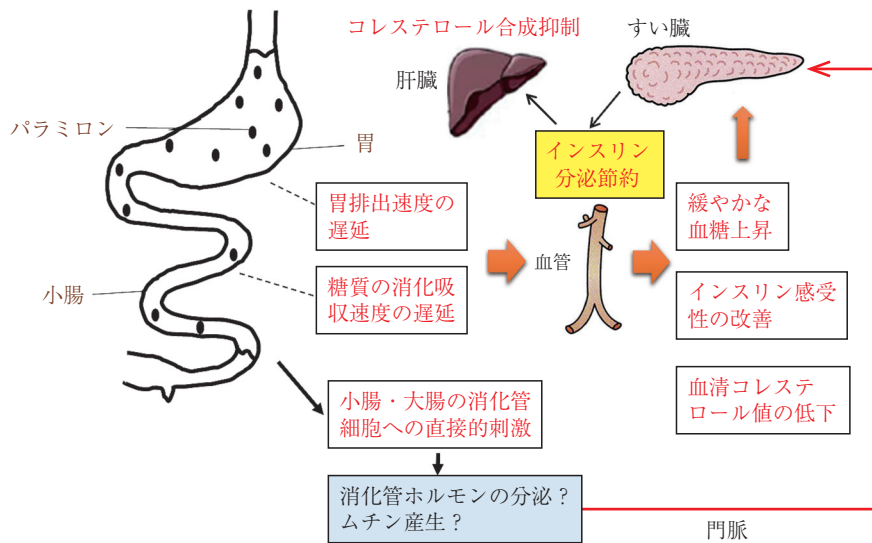


図10 推定されるパラミロンの作用機序

胃内滞留時間が延長し、糖質の吸収速度の遅延が起こることで、インスリンの分泌が節約され、血糖値上昇抑制（耐糖能改善）や血中コレステロール低下につながる可能性が考えられた。

## むすび

本稿では食物繊維とその機能性について解説し、EOD-1バイオマスおよびパラミロンを用いた動物実験について、血糖値上昇抑制効果（耐糖能改善）、血中コレステロール低下作用を紹介した。当社は本実験を含め、EOD-1バイオマスの食品素材としての可能性について機能性エビデンスの取得を目指している。今後もさらなる機能性の追及を目指し、精力的に取り組んでいく所存である。

## [参考文献]

- 1) 池上幸江, 日本食物繊維研究会誌, 1, 3-12 (1997)
- 2) 厚生労働省健康局がん対策・健康増進課, 平成28年国民健康・栄養調査結果の概要 (2017)
- 3) Williams PG, *Adv Nutr*, 5, 636S-673S (2014)
- 4) Zong G *et al.*, *Circulation*, 14, 2370-2380 (2016)
- 5) D.P. Burkitt *et al.*, *Lancet*, 2, 1408 (1972)
- 6) T. Saito *et al.*, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, 37, 493 (199)
- 7) 太田昌徳他, 日本消化器病学会雑誌, 82, 51 (1985)
- 8) S. Nakaji *et al.*, *Int. J. Colorectal. Dis.*, 17, 365 (2002)
- 9) W.H. Aldoori *et al.*, *Am. J. Clin. Nutr.*, 60, 757 (1994)
- 10) W.H. Aldoori *et al.*, *J. Nutr.*, 128, 714 (1998)
- 11) V. Vuksan *et al.*, *Diabetes Care*, 22, 913 (1999)
- 12) S.A. Ziai *et al.*, *J. Ethnopharmacol.*, 102, 202 (2005)
- 13) M.S. Alles *et al.*, *Am. J. Clin. Nutr.*, 69, 64 (1999)
- 14) D.J. Jenkins *et al.*, *Diabetes Care*, 25, 1522 (2002)
- 15) J.W. Anderson *et al.*, *Am. J. Clin. Nutr.*, 71, 472 (2000)
- 16) H. Younes *et al.*, *J. Nutr.*, 115, 53 (1985)
- 17) A. Ohta *et al.*, *J. Nutr.*, 128, 486 (1998)
- 18) 北岡正三郎編. 1989, ユーグレナ 生理と生化学, 学会出版センター
- 19) 藻類ハンドブック. 2012, 渡邊 信監修, 藻類ハンドブック, 株式会社エヌ・ティー・エス
- 20) 赤司昭, 竹崎 潤, 濱田武志, 出村幹英, 河内正伸, 渡邊 信, 2014年度日本農芸化学会大会
- 21) 赤司昭, 他: 神鋼環境ソリューション技報, Vol.12, No.1, 9-15 2015
- 22) 国立研究開発法人国立環境研究所 微生物系統保存ホームページ <http://mcc.nies.go.jp/02medium.html>
- 23) 一般財団法人日本食品分析センターホームページ <http://www.jfri.or.jp/item/other/nmrqnmr.html>
- 24) Y. Kond *et al.*, *J. Pharmacobio-Dym.*, 15 617-621 (1992)
- 25) R. Russo *et al.*, *Food Science & Nutrition*, 5 (2) 205-214 (2017)
- 26) 大串美沙, 他: ビタミン, 89, 215 (2015)
- 27) 小泉未希, 他: 日本食生活学会誌, 24巻, 3号 p. 171-176 (2013)
- 28) 青江誠一郎, 山中千恵美, 瀨瀬琴音, 竹崎 潤, 寺澤 圭, 大木亨祐, 赤司 昭, 日本食品科学工学会第64回大会 (2017)

# 生物応答による排水処理設備の省エネルギー，低コスト化

## Saving Energy and Cost on Wastewater Treatment using Biological Response



藤原尚美\*  
Naomi Fujiwara



野中信一\*  
Shinichi Nonaka



三浦雅彦\*  
Masahiko Miura  
農学博士



豊久志朗\*\*  
Shiro Toyohisa



平野 豊\*\*  
Yutaka Hirano



八木弓博\*\*  
Yumihiko Yagi

研究対象の産業廃棄物最終処分場は、埋立地がバイオリアクタとして準好気性埋立が機能するよう工夫し、埋立箇所でのガス発生状況の管理に加えて、機器分析による浸出水の各物質濃度を常に管理している。本研究では、さらなる環境保全を目指し、複数の化学物質の相互作用も配慮でき、かつ放流先への環境影響を評価し総合的な「安全性」として捉えることができる“生物応答試験”を各水処理工程に適用した。処理過程の処理水が生物に影響のある場合はその要因の推定と対策を実施した。その結果、安全安心な浸出水であることを確認できたとともに、過剰な処理工程を使用しないことや、水処理薬剤量の低減を検討することで、省エネルギー、低コスト化につながったのでここに紹介する。

At this industrial waste landfill site, we continuously manage the gas generation in each location and the substance concentration in leachate by instrumental analysis in order to demonstrate this semi-aerobic site's ability to function as a bioreactor for landfill. In this study, aiming at further environmental conservation, we did "biological response testing" in each water treatment process, as it can identify overall safety by evaluating the interaction of multiple chemicals and the environmental impact at the discharge point. When the treated water affects organisms, we have identified the cause of the toxicity and taken measures to eliminate it. As a result, we found that this leachate was safe and secure and this approach to maintenance using biological response testing can lead to energy-savings and lower costs by not using excessive treatment processing and reducing chemical dosing. This paper reports on this work of ours.

### Key Words :

最終処分場	Landfill site
浸出水	Leachate
生物応答	Biological response
毒性削減評価	Toxicity Reduction Evaluation: TRE
毒性同定評価	Toxicity Identification Evaluation: TIE

### 【セールスポイント】

- ・生物応答試験を用いることは、排水中の化学物質の個々の物質管理ではなく、排水そのものの水生生物への影響を把握できる。さらに当社では、生物応答試験で生物への影響があった場合、その対応策として、影響要因の特定と改善技術いわゆる TRE/TIE の検討まで可能であり、生物応答試験と TRE/TIE 技術を組み合わせることで排水処理設備の新たな維持管理が可能である。



## まえがき

我が国において、1960年代の高度成長期に水質汚濁が大きな社会問題となり、1970年に水質汚濁防止法が制定され、現在、排水規制として水質汚濁防止法に基づいて生活環境項目15項目と、健康項目28項目が規制対象となっている。このため、日々増続けている多様な化学物質への管理が難しい状態である。工場排水では、化学物質が単独に存在することはまれで、通常、複数のものが同時に存在する。そのため、化学物質どうしの相互作用により、毒性がどう変化するかは非常に重要な問題である。その作用は、相加的、相乗的あるいは拮抗的のいずれであるのか、また、その作用が、どの濃度で、どの混合割合で起こるかを知ることは、これらの物質の有害性を評価するためには必要であり、機器分析による濃度管理のみではこの評価は困難である。

この状況に対して、生物応答試験は排水を個別の「濃度」としてではなく総体的な「安全性」としてとらえることができるため、欧米をはじめ海外で広く採用されている。国内においてもこの試験をCSR等へ活用される事業者が増加しつつある。2016年からは環境省による生物を用いた水環境の評価・管理手法に関する検討会が進められ、14事業場の排水で生物応答試験が実施されている<sup>1)</sup>。その結果、魚では良好な結果が得られているものの、ミジンコ、緑藻には影響が見られるケースもあり、生物応答試験で生物に影響が見られた場合の対応方法は重要な課題となっている。

これらの背景を踏まえ、我々は、産業廃棄物管理型最終処分場の浸出水を対象に生物応答試験と生物に影響のあった場合の改善手段であるTRE/TIE

(Toxicity Reduction Evaluation: 毒性削減評価 / Toxicity Identification Evaluation: 毒性同定評価)の検討を実施した。当該放流水ではミジンコ、魚および緑藻に影響がなかったことから、放流水の上流側の各処理水に対して生物応答試験を実施し、排水処理工程における水生生物への影響を把握した。

## 1. 研究対象処分場の概要

当該最終処分場では、“準好気性埋立方式”を採用し<sup>2)</sup>、埋立箇所でのガス発生状況の管理に加えて浸出水原水水質を常に管理している。浸出水処理設備フローは図1に示すとおりで、処理規模は180 m<sup>3</sup>/dであり、凝集沈殿設備では水処理薬剤（ポリ塩化アルミニウム：PAC）を注入し、膜処理設備として1段目ROと2段目ROを採用している。

## 2. 実験方法

### 2.1 各処理工程の機器分析

浸出水処理設備の流入水、調整槽、砂ろ過水、1段目ROおよび2段目ROの各処理水について、廃掃法で定められた処理水の毎月の測定5項目（pH、BOD、COD、SSおよび窒素）の機器分析を実施し、各工程の処理状況を確認した。

### 2.2 生物応答試験

生物応答試験は、生物応答を用いた排水試験法（検討案<sup>3)</sup>）に準じて、ミジンコ繁殖試験、魚類胚・仔魚期短期慢性毒性試験、藻類生長阻害試験を行った。それぞれの試験に用いたニセネコゼミジンコ（*Ceriodaphnia dubia*）、ゼブラフィッシュ（*Danio rerio*）、ムレミカヅキモ（*Pseudokirchnerie subcapitata*）は、国立研究開発法人国立環境研究所より分譲された生物を親として、当社の飼育水で継代飼育した生物を用いた。

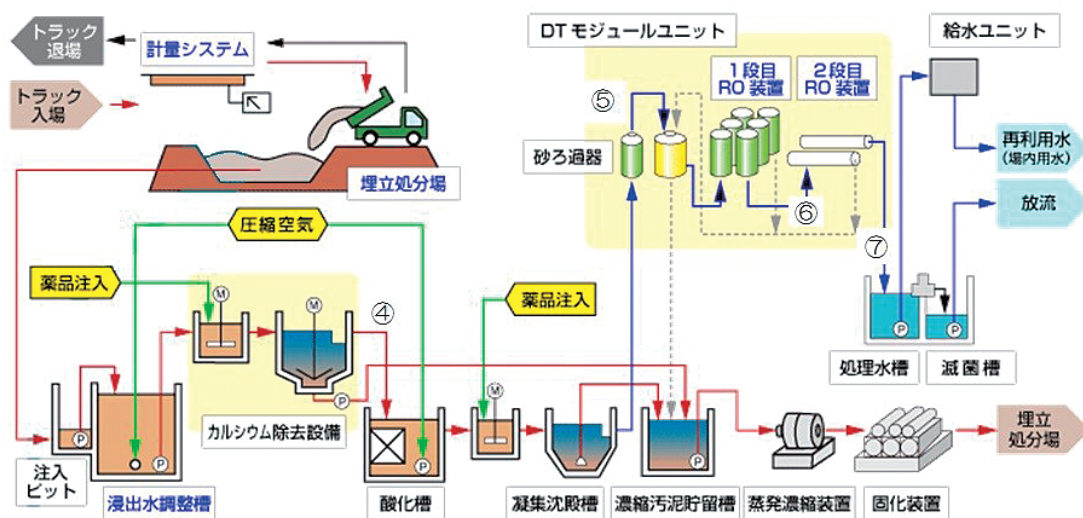


図1 浸出水処理設備フロー

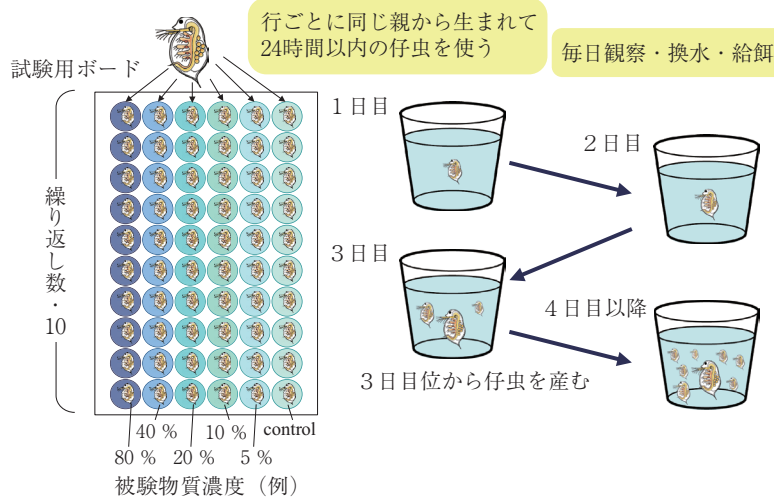


図2 ミジンコ繁殖試験

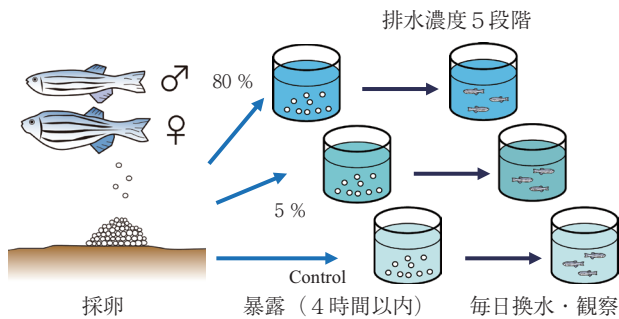


図3 魚類胚・仔魚期短期慢性毒性試験

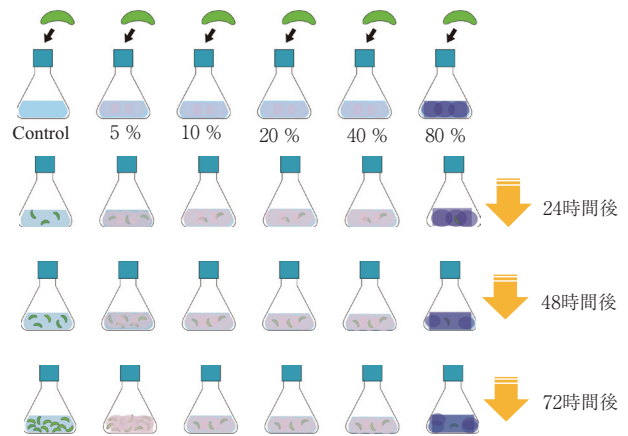


図4 藻類生長阻害試験

### (1) ミジンコ繁殖試験

対象排水を含まない飼育水を対照区として、対象排水を5%、10%、20%、40%、80%添加した希釈排水を各10個ずつ作成（繰返し数（n数）10）し、生後24時間以内の仔虫を各希釈排水に1個体ずつ配置して、暴露し、毎日、生死観察と生まれた仔虫の計数を行った。試験は対照区の試験個体の60%以上が3回目の出産をした時点で終了とし、最長でも試験期間は8日間とした。

### (2) 魚類胚・仔魚期短期慢性毒性試験

前述の希釈排水を各4個ずつ作成し（繰返し数（n数）4）し、受精後4時間以内の胚を15粒ずつ配置して、暴露し、毎日、胚発生異常（発生停止、眼球形成不全、血管形成不全）の有無および死亡数を調べた。孵化後、8日目まで暴露を継続し、形成異常（遊泳不能）、死亡について観察した。

### (3) 藻類生長阻害試験

前述の希釈排水を各3個ずつ作成（繰返し数（n数）3）し、前培養したムレミカツキモの初期生物量が $5 \times 10^3$  cells/mLとなるように調整して、暴露し、24、36、72時間後の生物量を測定した。

### (4) 統計処理と生物への影響判断

統計解析は、統計解析は元大分大学の吉岡によって開発された日本環境毒性学会のEcoTox-Statistics<sup>4)</sup>を用いた。各試験区間の有意差の判定は、Bartlett検定で等分散性が認められた場合は、パラメトリック手法による一元配置分散分析（ANOVA）により、等分散性が認められない場合は、ノンパラメトリック手法により有意差があるかを判定した。有意差が認められた場合はDunnett多重比較検定にて、危険率5%未満を有意として、NOEC（No Observed Effect Concentration: 無影響濃度）を推定した。有意差が認められなかった場合、NOECは最高濃度区以上とした。

生物への影響については、このNOECで判断した。生物への影響が見られないときの対象排水の混合割合（生物の飼育水で希釈した割合）を示すものであり、現在の生物への影響が無いとする暫定的な基準は、NOEC 10%以上である。

### 2.3 TRE/TIE (Toxicity Reduction Evaluation: 毒性削減評価 / Toxicity Identification Evaluation: 毒性同定評価) 手法

生物に影響のあった場合は、その要因の削減と同定の検討 (TRE/TIE) を実施し、改善を図った。TRE/TIE の内容説明については以下のとおり。

TRE とは、排水毒性の原因の特定、発生源の分離、毒性制御代替法の効率評価、排水毒性の削減効果の確認を目的として段階的に実施される発生源を対象とした一連の調査手法である<sup>5)</sup>。

TIE とは、排水に対して何らかの処理を行い、その処理後に生物応答試験を実施し、生物影響が削減されたならその処理によって削減された物質の中に毒性要因物質が含まれていたと考える方法である<sup>6)</sup>。

本研究では、水処理薬剤の影響に着目して、当該 TRE/TIE 手法を活用した。

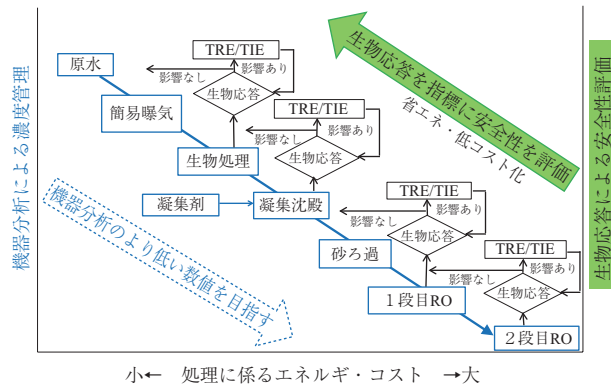


図5 排水処理設備に係るエネルギー・コストとの関係

### 2.4 新たな排水管理の維持管理手法

従来の機器分析による一律排水基準との比較を実施するとともに、処理設備最下流の排水から生物応答試験を実施し、生物に影響が無ければその上流側の排水の試験を実施し、生物に影響のあった場合は、その要因の削減と同定の検討 (TRE/TIE) を実施した。

機器分析による濃度管理と生物応答試験による安全性評価に対する排水処理設備のエネルギー・コストとの関係を図5に示す。従来の機器分析では、一律排水基準値以下であっても、より低い数値結果を目指す傾向があるが、生物応答では環境保全に十分な処理水質が提示されるので、処理に係るエネルギーいゆる化石燃料使用量も踏まえた最適な処理工程を検討することができる。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 各処理工程の機器分析

図6に1年間の各処理工程に対する毎月の機器分析結果の範囲を示す。流入部で放流水基準値 (窒素は最大值) を満足し、BOD, COD は工程が進むにつれて確実に低減、SS は調整槽で一旦上昇するがその後安定、窒素は膜処理で低減している。なお pH も流入部で基準値以内を確認している。1 段目, 2 段目 RO ともに、廃掃法の基準値を満足しており、当該最終処分場では、準好気性埋立が機能するように管理し、埋立地がバイオリアクタ機能を発揮できていることから、良好な浸出水原水が得られていると推定する。

### 3.2 生物応答試験

図7に各工程の生物応答試験結果を示す。生物に

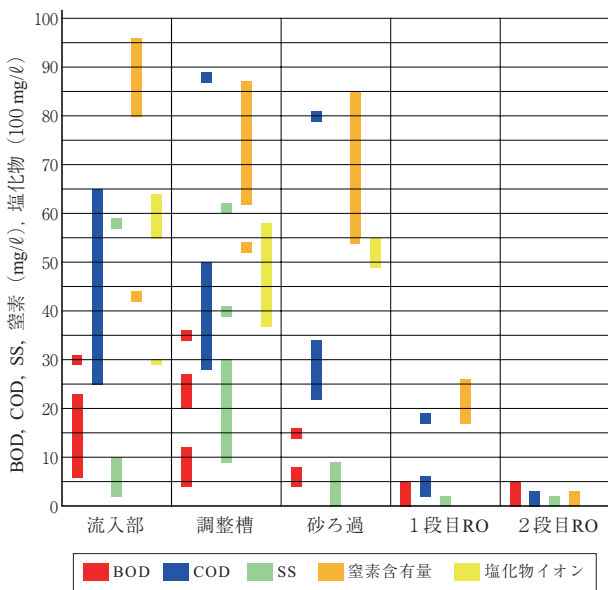


図6 各処理工程の機器分析結果

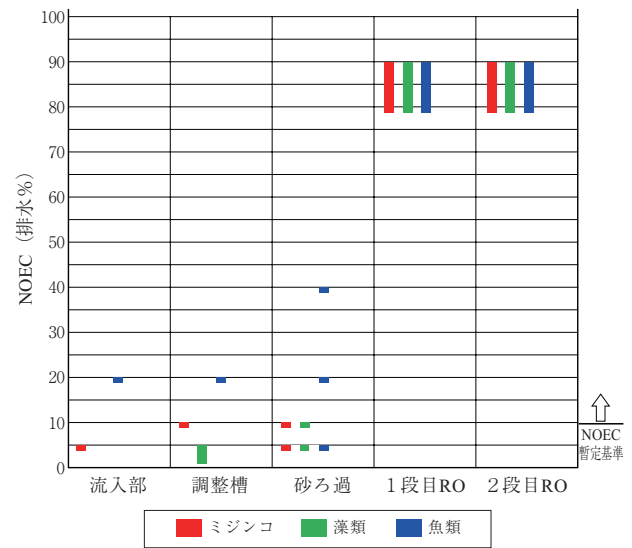


図7 各工程の生物応答試験結果



表1 水処理薬剤の機器分析と生物応答試験結果

凝集時設定 pH	PAC 注入率 mg/L	Al 注入量 mg/L	処理水 Al 濃度 mg/L	NOEC (排水濃度%)	
				ミジンコ	緑藻
4.0	200	10.6	6.5	5 未満	5 未満
4.5	200	10.6	4.0	—	—
6.5	200	10.6	0.22	10	10

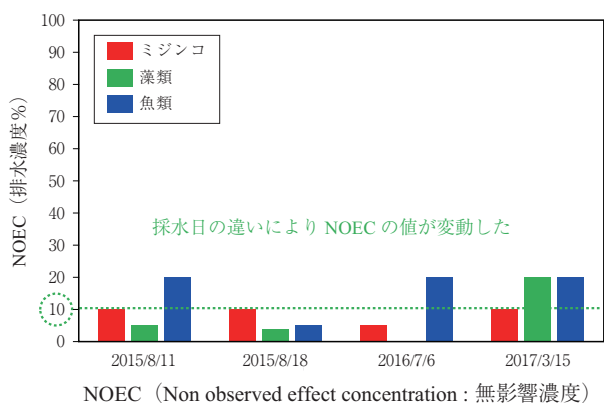


図8 砂ろ過水の生物応答試験結果

影響の無い管理目標値は、ミジンコ、魚、緑藻ともに NOEC は10 % 以上とされている。1 段目と 2 段目 RO ともに、NOEC は80 % 以上であり、水環境に影響はみられなかったことから、1 段目 RO 処理までで十分水質保全に寄与でき、2 段目 RO 処理を使用しなくてよい指標を得た。

砂ろ過水においては、NOEC は採水日によって管理目標値の10 % を下回る場合と、20 % 以上の場合があり、数値の変動があったため、TRE/TIE にて要因を調査することとした。

### 3.3 TRE/TIE 手法

砂ろ過水の生物応答試験結果における NOEC 変動の要因を調査するために、砂ろ過水の生物応答試験の結果をまとめた。図8からミジンコ、緑藻が暫定基準を満足していない場合が多く、これらは金属の影響を受けやすい<sup>7)</sup> 知見から前工程である凝集沈殿設備の水処理薬剤の Al の影響について、TRE/TIE (毒性削減/同定評価) 検討を行った。検討内容は、砂ろ過水の pH と水処理薬剤に含まれる Al に着目しビーカ試験を実施した。表1から砂ろ過水が pH6.5 の場合は、凝集処理後の処理水中の Al の残存率は1 % 未満であったが、pH4.0 では Al の残存率が約60 % であった。それぞれのミジンコの NOEC は10 % と5 % 未満であった。この結果を実設備に反映し、水処理薬剤 (PAC) の注入時の pH 制御を留意することで管理目標値である NOEC 10 % 以上

の結果を再現することができた。

以上のことから砂ろ過水の低 NOEC の要因のひとつは、pH が低くなると水処理薬剤中の Al が溶解し、処理水中に残留したことでミジンコに影響を与えたと推定した。しかし、水中でのスペシエーションについては解明できていないため、ミジンコへの要因であるかは断定できなかった。

さらに、pH6.5 に制御することで処理水中に Al が流出しないことから凝集効果が高まると判断し、実設備にて水処理薬剤の注入率を従来の1/2に低減し運用したところ、凝集沈殿の除去機能および砂ろ過水の SS の値は従来どおりを維持している。これにより排水処理設備の低コスト化を図ることができた。

### 3.4 新たな維持管理指標としての考察

従来の機器分析によれば、浸出水処理設備の1 段目 RO 処理水よりも2 段目 RO 処理水の方が低い数値が得られるため、2 段目 RO まで運転する方が良いと判断される。一方、生物応答試験では、1 段目と2 段目 RO ともに、NOEC は80 % 以上であり、水環境に影響はみられなかったことから、1 段目 RO 処理までで十分水質保全に寄与でき、2 段目 RO 処理を使用しなくてよい指標を得ることができた。

水処理薬剤の影響について TRE/TIE 手法による検討を実施した結果、pH 制御の重要性を再認識することができた。一般的に、基準値をより安心に維持するため凝集剤は若干多めに注入しているが、必ずしも多めの凝集剤が安全ではなく、逆に生物に影響を与えることが判明した。これを実設備に反映し、水処理薬剤の注入率を従来の1/2に低減し運用し、凝集沈殿の除去機能および砂ろ過水の SS の値は従来どおりを維持していることから機器分析の個別管理では見えない、排水そのものの影響を生物応答試験にて見ることで低コスト化につながる排水処理設備の運転に活用できる知見を得た。

従来、水処理設備の維持管理では、機器分析による濃度を指標としていたが、今回、複数の化学物質の複合影響も評価できる生物応答試験を実施するこ

とで、安全安心な水であることを確認できるとともに、過剰な処理工程を使用しないことや、水処理薬剤量の低減を検討するドライビングフォースが働き、その結果省エネルギー、低コスト化につながった。

## むすび

- (1) 当該処分場では、準好気性埋立が機能していることから、浸出水の水質が良好であった。
- (2) 浸出水処理設備の1段目ROよりも2段目ROの機器分析結果が良好であるが、生物応答試験ではその差異は見られないことから、現状では2段目RO処理を省略する指針が得られ、省エネルギー、低コスト化を図ることができた。
- (3) 砂ろ過水の生物応答試験を実施することで、機器分析のみでは気付かない水処理薬剤の過剰薬注の課題を生物応答試験により認識でき、凝集操作を工夫することで従来の薬注率を半減し低コスト化につながった。

今後とも、浸出水処理設備の管理に生物応答試験およびTRE/TIE手法を取入れて、さらなる知見を集め、水処理薬剤の使用量や処理設備運用の最適化を行い、浸出水が安全安心であり、かつ処理設備の

省エネルギー、低コスト化に寄与していきたい。

## 謝辞

本研究の実施において、愛媛大学の鑑迫先生のご指導を頂いた。ここに感謝申し上げます。

## [参考文献]

- 1) 環境省：生物を用いた水環境の評価・管理手法に関する検討会（第5回）
- 2) 長野ら：準好気性埋立処分場の機能検査と評価事例（その2）、第37回全国都市清掃研究・事例発表会（2016）
- 3) 環境省：生物応答を用いた排水試験法（検討案）、排水（環境水）管理のバイオアッセイ技術検討分科会（2013）
- 4) 日本環境毒性学会：EcoTox-Statistics, <http://www.intio.or.jp/jset/ecotox.htm>
- 5) 鑑迫典久：水圏保全のための新たな排水管理ツール“WET”の最新事情、資源環境対策, Vol.47 No.5, pp.58-66（2011）
- 6) 新野竜太：排水管理手法“WET”研究の最新事情－生物応答試験と毒性削減評価（TRE）／毒性同定評価（TIE）、資源環
- 7) 藤原ら：金属製品製造工場のWETを用いた排水中毒性要因の推定とその改善例、環境化学, 25, 35-42（2015）

## 準好気性埋立処分場の機能検査と評価事例（その2）

### Performance Inspection and Evaluation on Semi Aerobic Landfill (No2)



豊久志朗\*  
Shiro Toyohisa



八木弓博\*  
Yumihiro Yagi



二見公之\*  
Hiroyuki Futami



後藤勝郎\*  
Katsuro Goto

株式会社神鋼環境ソリューションの子会社である株式会社イー・アール・シー高城は管理型最終処分場を運営し、2017年12月で開業満12年を経過し、この間、無事故無災害を継続している。本設において、浸出水集排水管から埋立地に空気が流入することで埋立地が全体的には準好気状態に維持されていることを前回紹介した<sup>1)</sup>。今回は、埋立地の中でも硫化水素等のガスが発生している箇所を、可搬式ブロワを用いて簡易的に、かつ効果的に改善する方法について知見を得たのでここに紹介する。

As of December 2017, ERC Takajo Co., Ltd. has been operating a controlled landfill site as a subsidiary company of Kobelco Eco-Solutions Co., Ltd. for 12 years, and operated it without any accidents or disasters since the start of business. In the last issue (Vol.12 No2 03/2016), we clarified that the air flowing into the landfill site through the leachate pipes keeps the landfill in semi-aerobic condition. In this study, we found an easy and effective way to improve areas of the landfill site emitting H<sub>2</sub>S.

#### Key Words :

管理型最終処分場  
浸出水  
浸出水集水管  
準好気性埋立

Controlled type of landfill site  
Leachate  
Leachate collection pipe  
Semi aerobic landfill

#### 【セールスポイント】

- ・我が国の最終処分場は、バイオリアクタ型の準好気性埋立構造であるが、その機能を検証した事例は少なく、当社では日々埋立管理を実践することで豊富なデータを有し、これを考察／評価することで準好気機能が発揮し、臭気が少なく、清澄な浸出水が得られている。
- ・今回紹介する可搬式ブロワによる埋立地の硫化水素発生防止方法は、準好気性埋立機能を活かした簡易的、かつ効果的な方法である。

#### まえがき

我が国の最終処分場は自然の浄化機能とその分解メカニズムを利用する、バイオリアクタ型の準好気性埋立構造を基本としている。準好気性埋立は、好気性領域による有機物の分解と嫌気性領域による硫化水素の発生に伴い重金属を硫化物として不溶化する

側面を有しており、埋立地の早期安定化に有効な技術である。埋立地の安定化は、閉鎖時のみならず埋立中においても良好な作業環境や地域住民からの信頼を得る観点から、早期に実現されることが望まれ、我々はその一例として、埋立期間中のシートキャッピングによる安定化を提案し、悪臭源である過



大な硫化水素発生抑制の抑制に取り組んでいる<sup>2)</sup>。本研究では、ガス抜き管へ簡易的に空気を供給する手法と、外気を取入れているガス抜き管の外気の先行を制御する手法で、埋立地の硫化水素発生箇所を改善できる知見を得たので報告する。

## 1. (株)イー・アール・シー高城の概要

当該管理型最終処分場は宮崎県都城市に位置し、計画埋立容量は93万 m<sup>3</sup>で、2018年1月にはその1/2以上の埋立が進捗している。埋立対象廃棄物は燃え殻、汚泥、廃プラ、紙屑、木くず、鋳さい、ばいじん、13号廃棄物等15種類であり、準好気性埋立構造を採用している。この地域は年間降水量が多く、直近20年間の平均降水量は2 460 mm、開業後の2012年には、3 535 mm/年を記録している。このため水管理を工夫し、埋立完了部や埋立法面表面にはシートキャッピングを施し、表流水の排除による浸出水量の制御を行なっている。さらに浸出水調整槽は28 100 m<sup>3</sup>の容量を有し屋根も備えている。

## 2. 研究方法

### 2.1 ガス抜き管への空気供給方法

埋立地のガス抜き管から日々各種ガス(硫化水素、酸素、メタン)濃度と温度を測定し、ガス抜き管全体の傾向を把握している。その中で、硫化水素が発生しているガス抜き管にジャバラ状のホースで可搬式ブロワを接続し、1回あたり3～4時間程度、約60 m<sup>3</sup>/minの空気を供給し、その後のガス中の硫化水素、酸素、メタンの濃度と温度を監視した。

### 2.2 ガス抜き管のガス先行制御方法

ガス抜き管全24本中比較的硫化水素の発生が少ない箇所のガス抜き管の上部に蓋をして、硫化水素が著しく発生している5本

のガス抜き管へ外気をより多く供給できるよう制御し、ガス濃度、温度を監視した。

## 3. 結果<sup>3)</sup>

### 3.1 ガス抜き管への空気供給

2016年3月から2017年4月までの埋立地ガス抜き管の硫化水素(測定レンジ30 ppm未満、これを超えた場合は40 ppmと表現)、メタン、酸素濃度とガス温度を示す。グラフの上部▲と■は可搬式ブロワで空気を供給したポイントを示す。

図1の測点⑪では、2016年3月と7月に3時間の空気供給を実施し、その後1ヵ月間は硫化水素の発生が抑制されたものの、その後再度発生したため、10月と11月にそれぞれ4時間程度空気を供給した。その結果、硫化水素濃度は徐々に低下し、2/末には2 ppm以下まで低減し、以降安定している。

図2の測点⑭では、2016年9月、10月、11月に3～4時間の空気供給を実施した。その結果、12月には一度硫化水素の発生が見られたものの、その後は安定し2月以降は1 ppm以下を維持している。



写真1 最終処分場全景

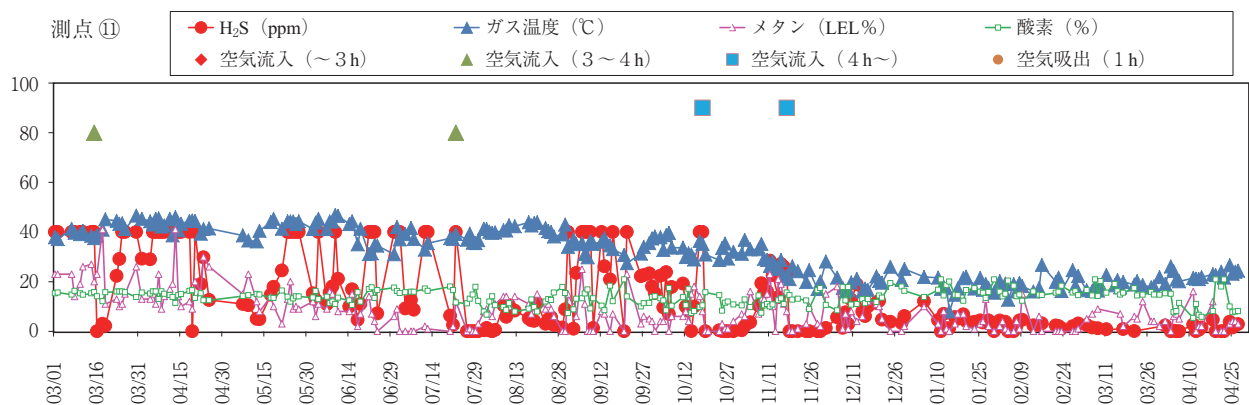


図1 測点⑪の測定結果

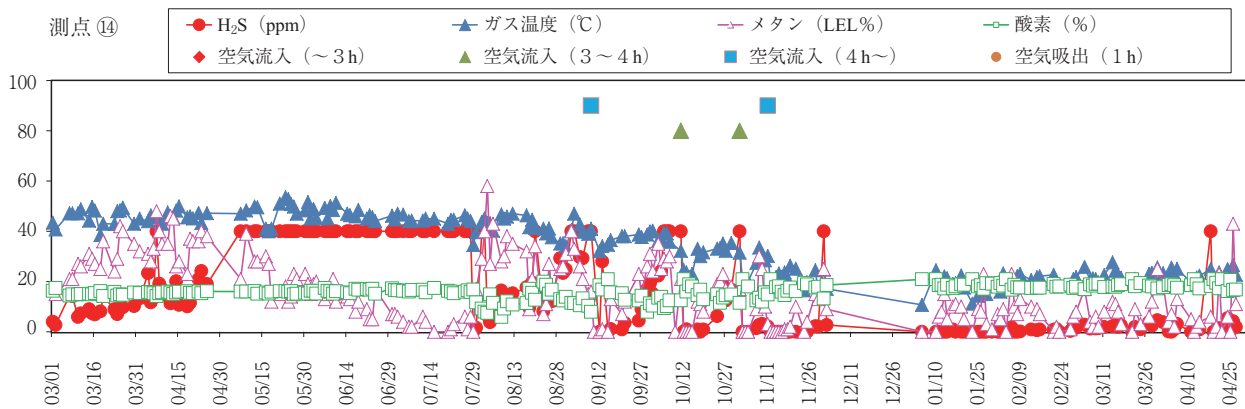


図2 測点⑭の測定結果

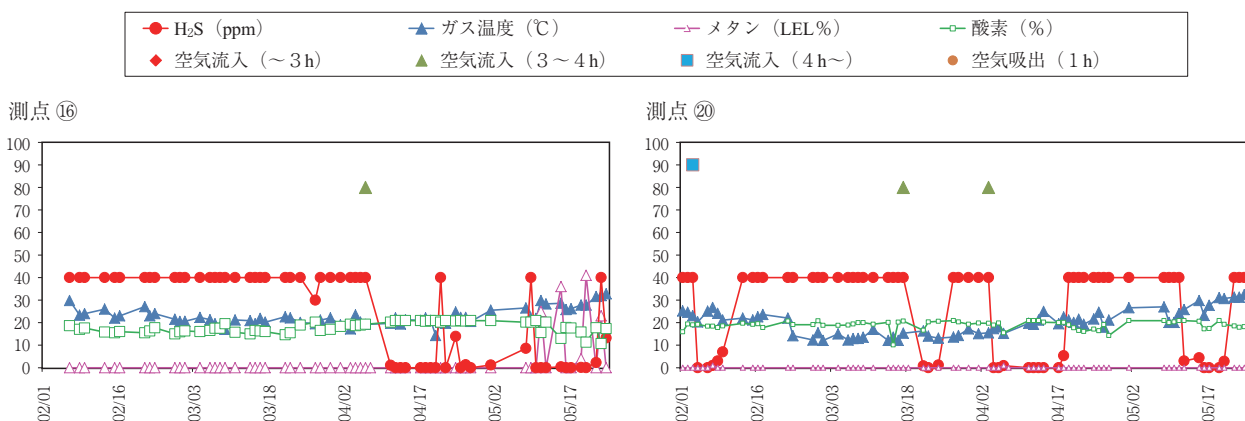


図3 測点⑯, ⑳の測定結果

### 3.2 ガス抜き管のガス先行制御

ガス抜き管に蓋をする前の、当該処分場に取り込まれる外気の流量は約35 m<sup>3</sup>/minであり、ガス抜き管から排出される流量は45 m<sup>3</sup>/minであった<sup>4)</sup>。4/24からガス抜き管のガス先行制御を開始し、硫化水素発生箇所からのガス抜き管の一例を次に示す。

図3の測定⑯では、2、3月と硫化水素が30 ppmを超過していたが、4月にブロワで空気を供給し一旦安定化後、再度30 ppmとなり、4/24のガス先行制御後は硫化水素の改善が見られると同時にガス温度の上昇が確認された。

測点⑳では、硫化水素30 ppm以上が継続していたが、1月、3月および4月のブロワによる空気供給で一時的に改善がみられ、4/24のガス先行制御後も、同様に一時的に硫化水素が低下するとともにガス温度の上昇が見られた。

## 4. 考察

### 4.1 ガス抜き管への空気供給

硫化水素発生個所に、継続的に空気を供給するこ

となく、3～4時間/回の空気供給を1～4回程度実施することで、その箇所が改善した。これは空気供給により硫酸塩還元菌の活性が低下し、硫化水素の発生が一時的に停止、その後ガス抜き管周辺の硫化水素流入による嫌気化で菌が活性化、また空気供給で活性低下を繰り返すことで徐々に好気状態を維持し、有機物の分解が促進され、その分解熱の上昇流で自発的に外気が供給され、安定化に向ったと考察した。

### 4.2 ガス抜き管のガスの先行制御

ガス抜き管は有孔管であり、地上に出ている管の円周部からもガスがリークし、かつガス抜き管回りに施工している栗石のすき間からもガスは排出されるが、取込まれた外気の流量と排出された流量は相関があり、流量測定は、外気の先行制御のおおよその目安となった。この量を制御することで、より多くの外気が供給されたであろう箇所では、好気分解が促進され、温度が上昇したと推定でき、その結果硫化水素発生抑制の兆候が見られたと推定した。

## 5. まとめと今後の課題

今回の研究により、準好気性埋立方式を採用している管理型最終処分場において、下記の知見を得た。

- (1) 硫化水素の発生が見られる箇所へのガス抜き管へ可搬式ブロワを設置し、1回当たり3～4時間の空気供給を数回実施することで、その箇所の好気性分解が促進され上昇流が生じ、その後自発的に硫化水素の発生を抑制できた。
- (2) ガス抜き管のガスの行先を、空気を必要としている分解箇所へ供給するよう制御することで、硫化水素の発生を抑制できる可能性が示唆された。しかし、本件の実用化には、今後各種の検討が必要である。  
今後は、空気供給およびガス行先制御ともに、硫

化水素発生抑制のメカニズムをさらに考察し、管理型最終処分場の早期安定化技術に貢献して行きたい。

### 謝 辞

本実験の実施において、福岡大学 樋口先生、長野先生のご指導を頂いた。ここに感謝申し上げます。

### [参考文献]

- 1) 豊久ほか：準好気性埋立処分場の機能検査と評価事例, Vol.12 No2 神鋼環境ソリューション技報 (2016/3)
- 2) 長野ほか：準好気性埋立処分場の機能検査と評価事例 (その2), 第37回全国都市清掃研究・事例発表会 (2016)
- 3) 豊久ほか：準好気性埋立処分場の機能検査と評価事例 (その3), 第28回廃棄物資源循環学会研究発表会 (2017)
- 4) 長野ほか：最終処分場早期安定化技術, 第28回福岡大学資環研研究発表会 (2017)



# CFD シミュレーションによる溶融炉二次空気供給方法の最適化

## Optimization of Melting Furnace Secondary Air Supply Method by Simulations using Computational Fluid Dynamics (CFD)



福富裕太\*  
Yuta Fukutomi



多田俊哉\*  
Toshiya Tada

当社主力メニューの一つであるガス化溶融炉において燃焼における総空気比を低減することで大きなライフサイクルコスト低減効果が期待できることから、より安定した低空気比燃焼運転の実現は重要な課題である。

本報では、ガス化溶融炉の低空気比燃焼を実現するための重要な因子である溶融炉二次空気供給方法を、CFD (Computational Fluid Dynamics) によるシミュレーションを活用して検討した結果について報告する。検討の結果、最適な二次燃焼空気の供給方法として、旋回流の形成と炉中心への燃焼空気供給を兼ね備えたノズル配置を上下段とも同じ旋回方向に設置する方式が最適であった。さらに、実稼働中のガス化溶融炉を用いた燃焼試験を行い、CFD で最適であったノズル配置を模擬した二次空気供給方法が CO 低減にもっとも効果があることが確認できた。

Low excess air ratio operation can reduce the life-cycle costs of a gasification and melting furnace, which is one of our leading products. The melting furnace secondary air supply method is an important factor of low excess air ratio combustion. By simulations using Computational Fluid Dynamics (CFD), a nozzle position has been optimized that can achieve both generation of swirl flow and air supply to the center of the boiler. Furthermore, a combustion test was conducted at an operating plant equipped with a gasification and melting furnace. It was confirmed that the CFD-optimized method of supplying secondary air for melting furnace is the most effective way to reduce CO.

### Key Words :

ガス化溶融炉  
数値流体力学  
低空気比  
一酸化炭素  
二次燃焼

Gasification and Melting Furnace  
Computational Fluid Dynamics  
Low Excess Air Ratio  
Carbon Monoxide  
Secondary Combustion

### 【セールスポイント】

- ・最適な溶融炉二次空気供給方法
- ・CFD シミュレーションの予測精度向上

## まえがき

当社環境プラント関連の主力メニューの一つであるガス化溶融炉は2000年に初号機が稼働して以来、国内15カ所で順調に稼働しており、2カ所で新規建設が進められている。これら多くの実績の下、環境負荷の少ない安定操業の実現にむけて、ガス化溶融炉の性能向上に取り組んでいる。燃焼改善に関する取組みでは、レーザ O<sub>2</sub> 計を用いた溶融炉燃焼空気制御等により、より高度な燃焼安定性を達成できることを報告している<sup>1)</sup>。ここで、ガス化溶融炉は灰が溶融することを前提として設計されており、温度調整のための排ガス再循環設備が不要である。排ガス循環がなくとも低空気比運転が可能なのでボイラ内の排ガス量が少なく、ボイラをコンパクトに設計することができる。このようなメリットがあるガス化溶融炉において、燃焼における総空気比を低減することでさらなるライフサイクルコスト低減効果が期待できることから、より安定した低空気比燃焼運転の実現は重要な課題である。

今回、ガス化溶融炉の低空気比燃焼を実現するための重要な因子である溶融炉二次空気供給方法を、CFDによるシミュレーションを活用して検討し、供給方法を最適化した。さらに、実稼働中のガス化溶融炉を用いて実施した燃焼試験結果についても報告する。

## 1. ガス化溶融プロセスの概要

ガス化溶融炉の概要を図1に示す。ガス化炉は気泡流動層炉であり、供給された廃棄物は押込空気中で部分燃焼され、速やかにガス化される。ガス化炉で発生したガス化ガスおよびチャー・タールは溶融炉に導入され、一次空気によって燃焼することで溶融炉を高温化する。溶融炉では、ガス化炉で発生する

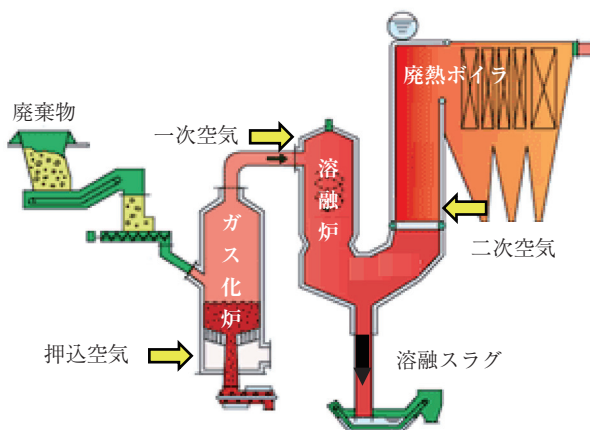


図1 ガス化溶融炉の概要

飛灰を廃棄物自体の熱量を利用して溶融スラグ化する。溶融スラグは重金属類が閉じ込められるため、路盤材などに利用可能である。溶融炉からの高温排ガスは二次空気完全燃焼させたのち、廃熱ボイラで熱回収し、回収した熱は発電などに利用される。

## 2. シミュレーションによる溶融炉二次空気供給方法の検討

### 2.1 シミュレーション方法

燃焼方法の適正化において、CFDシミュレーションは非常に有効なツールであり、これまでも多くの成果<sup>2, 3)</sup>を上げている。今回は、ケーススタディによってボイラ内の流れとCO燃焼挙動を可視化して比較することで、二次空気のノズル配置や供給方法の最適化を行った。

シミュレーションには汎用熱流体解析ソフトANSYS® Fluent® (アンシス・ジャパン(株)の商標)を使用し、解析領域は溶融炉入口からボイラ1パス出口までとした。シミュレーションで使用したモデル等の設定内容を表1に示す。

図2に解析形状を模式的に示す。溶融炉入口から解析領域に流入するガス化ガスの流量と組成(C, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>)は、ごみの性状と発熱量および押込空気量から決定した。流入したガス化ガ

表1 シミュレーション設定

領域	三次元
時間	定常
乱流モデル	k- $\omega$ SST
燃焼モデル	渦消散モデル
輻射モデル	DOモデル

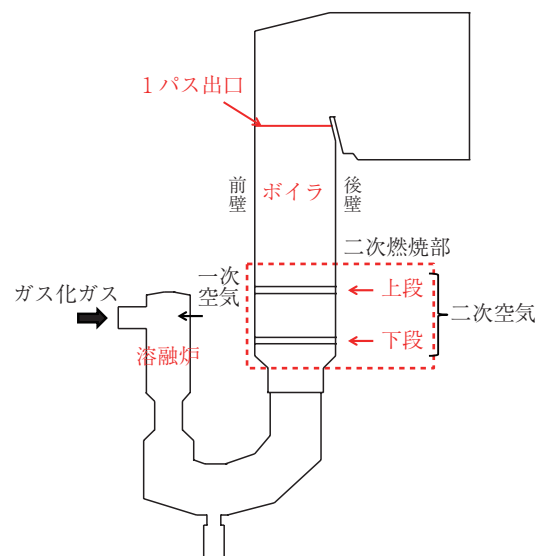


図2 解析形状

スは溶融炉溶融部に供給される一次空気とボイラ入口の二次燃焼部で供給される二次空気によって燃焼する。溶融炉～ボイラ部分の壁面には伝熱条件を与えており、対流と輻射による伝熱を考慮した。

## 2.2 二次空気供給条件

低空気比運転を可能とする二次空気供給方法の最適化を行うために、図2に示した二次燃焼部のノズル配置についてケーススタディを行った。検討に当たっては、ボイラ内を流れる排ガス流量に対して、二次空気量が少ないことに留意する必要がある。すなわち、低空気比運転条件として総空気比1.3を想定した場合は、二次空気流量は供給する全空気量の25～30%の少流量で効果的な燃焼を実現する必要がある。したがって、三段以上にすると一段当たりの空気量が少なくなるので、ノズル段数は二段を採用することとした。

表2に、ケーススタディをおこなったノズル配置の中で代表的なものを示す。各条件において供給される二次空気の総量は同じであり、全てのノズルに均等に分配されて供給される。また、それぞれのノズル配置の狙いを以下に示す。

- T-1：ボイラ内への均一な燃焼空気の供給のため、下段・上段とも全面に二次空気を供給する。
- S-3：強い旋回流での攪拌を狙って、炉壁4面から下段・上段とも同じ方向に二次空気を供給する。
- ST-1：旋回流形成だけでなく、排ガスが吹抜けやすい炉中心部への燃焼空気を供給する。
- ST-3：ST-1と同じ思想で、下段と上段で旋回方向を逆にする事で攪拌効果向上を狙う。

表2 ノズル配置

	T-1	S-3	ST-1	ST-3
上段				
下段				

※左側がボイラ前壁側

シミュレーションでは、各ノズル配置でのボイラ内の流れとCO濃度分布を可視化して燃焼挙動を把握し、図2に示した1パス出口でのCO濃度で最適なノズル配置を評価した。

## 2.3 シミュレーション結果

まず、シミュレーション結果から、ボイラ内排ガス流れの状況を確認した。各条件での下段、上段ノズル高さの水平断面における流速ベクトル図を図3～6に示す。また、S-3、ST-1については、下段、上段ノズル高さ断面のZ（垂直方向）成分の流速コンタ図を図7、8に示す。

T-1では、下段ノズルにおいて二次空気を交差するように供給したが、ボイラ内排ガスの流れは不規則な状態になった。これは、二次空気に比べて排ガス主流の流れの方が強かったためと思われる。一方、後流の上段ノズル高さでは二次空気は交差するように流れており、ボイラ内全面に空気を供給できていたものと思われる。

S-3では、上段・下段とも同じノズル配置で壁面寄りに二次空気を吹込んだことにより、ボイラ内の周方向に排ガスの強い旋回流が形成された。しかし、ボイラ中心部には水平方向の流速の小さい領域が形成されており、図7に示すように、その領域の排ガスは上向きの流速が大きく、吹抜けが生じていることがわかった。

ST-1では、下段ノズル高さにおいて中心部も含めたボイラ全体で排ガスの旋回流が形成された。これは、ボイラ中心部へも二次空気を供給するノズルを配置した効果と考えられる。さらに、上段ノズルでも下段ノズルと同じ旋回方向に二次空気を供給することで、下段ノズル高さと同じように全体を攪拌するような旋回流が維持された。その結果、図8に示されるように、排ガスの上向きの流れが上段・下段ノズル高さで一部分に集中することはなく、十分に混合できていたものと思われる。

ST-3では、下段ノズル高さにおいてST-1と同様の旋回流が形成された。しかし、逆旋回させる方向に二次空気を吹込んだ上段ノズル高さでは、不規則な流れとなった。これは上段の二次空気によって、下段ノズルで形成された旋回流が打消されてしまったためだと考えられる。

次に、CO燃焼挙動を確認することで、最適な二次空気の供給方法を検討した。ボイラ中心を通る垂直断面における乾きガスベースのCO濃度コンタ図を図9に示す。



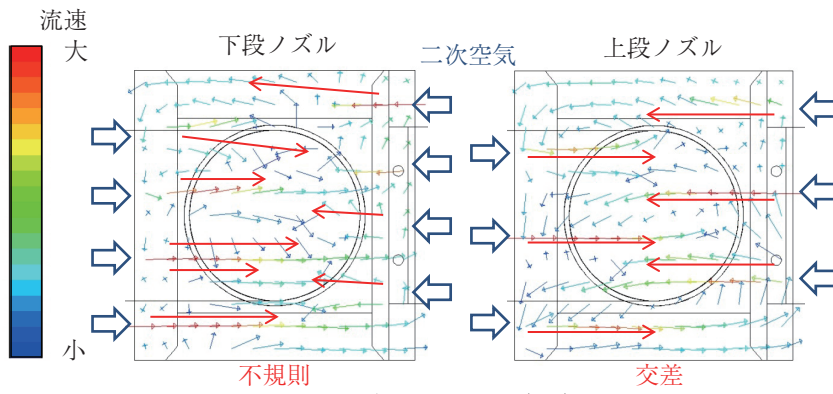


図3 流速ベクトル図 (T-1)

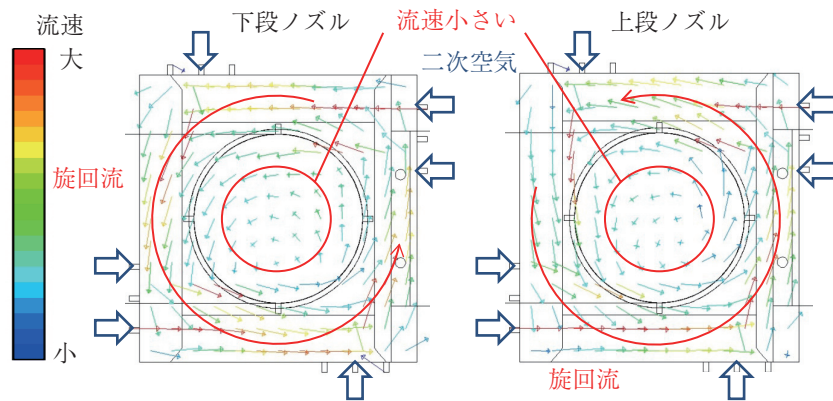


図4 流速ベクトル図 (S-3)

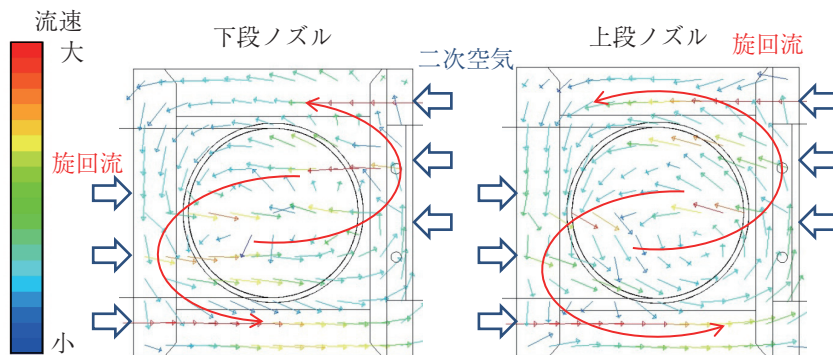


図5 流速ベクトル図 (ST-1)

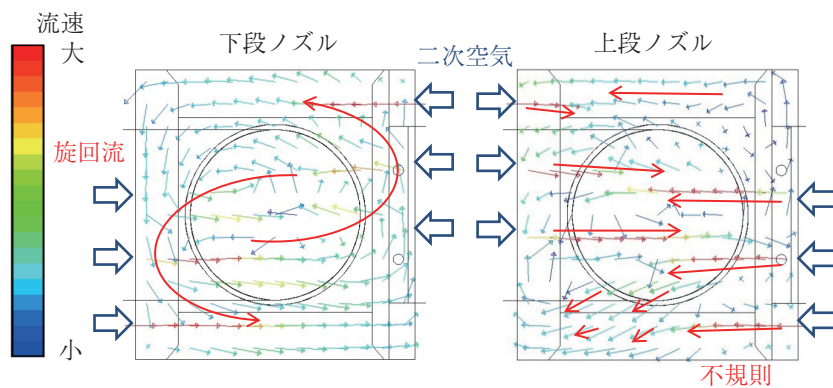


図6 流速ベクトル図 (ST-3)

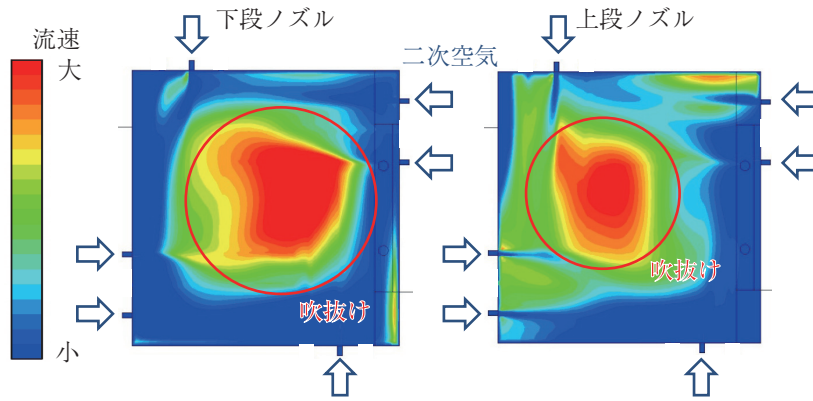


図7 Z方向成分速度コンタ図 (S-3)

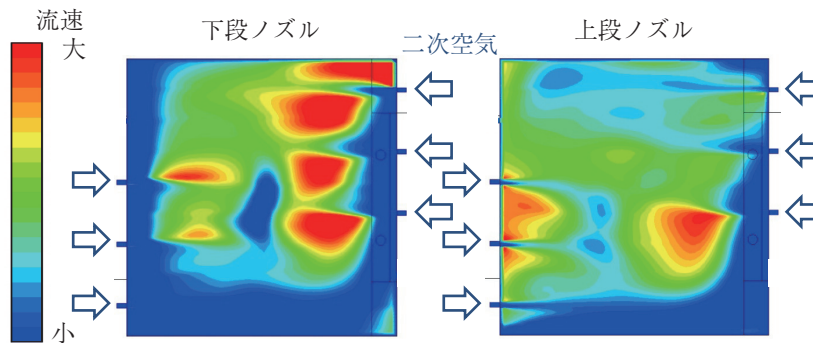


図8 Z方向成分速度コンタ図 (ST-1)

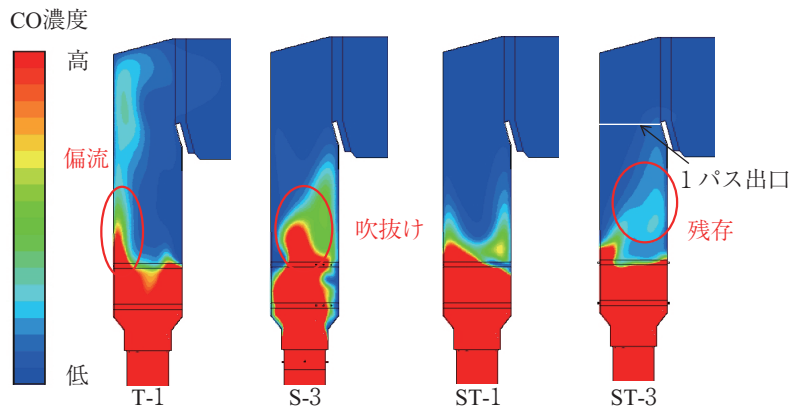


図9 CO濃度コンタ図

T-1では、ボイラ前壁側にCO濃度の高い排ガスが流れ、それによって1パス出口において高濃度のCOが残存する結果となった。対向するノズルから全面に空気を吹込んで均一な燃焼を期待したが、壁際のノズル間に燃焼空気が不足する部分が発生し、ボイラ1パス内での混合も不十分であったため、もっともCOが残存する結果となったと思われる。

S-3では、前述したとおり、ボイラ内に強い旋回流が形成されたことでボイラ中心部の上向き流速が

大きくなったため、ここをCO濃度の高い排ガスが吹抜けて、1パス出口においても高濃度のCOが残存する結果となった。

一方、旋回流の形成と炉中心への燃焼空気供給を兼ね備えたノズル配置であるST-1では排ガスの偏流や吹抜けはなく、二次燃焼部でのCOの燃焼状況は非常に良好な結果であった。上段と下段で同じ方向に旋回させることで、中心部も含めてボイラ全体を攪拌するような旋回流が維持されたためと考えられる。

また、旋回方向を上段と下段で逆にしたノズル配置である ST-3では、CO がボイラ後壁側でやや残存した。前述したとおり、下段ノズルで形成された旋回流が上段ノズルによって打ち消されたことによって流れが不規則になったことが原因と考えられる。

各条件における 1パス出口断面平均の CO 濃度を表 3 に示す。CO 濃度は乾きガススペースであり、酸素濃度換算していない。もっとも CO 濃度が低い結果となったのは ST-1であり、旋回流の形成と炉中心への燃焼空気供給を兼ね備えたノズル配置を上下段とも同じ旋回方向に設置することが、低空気比条件下で CO 濃度を抑制するのに最適であることがわかった。

### 3. 実機を用いた燃焼試験

#### 3.1 燃焼試験内容

燃焼試験は処理規模100 t/day のガス化溶融設備にて行った。図10に試験を行った廃棄物処理施設の概

表 3 各ノズル配置における 1パス出口 CO 濃度

	T-1	S-3	ST-1	ST-3
CO 濃度 [ppm]	236	178	11	47

略プロセスフローを示す。試験を行った溶融炉の二次燃焼部には上段に 8カ所、下段に10カ所の二次空気ノズルを有しており、これらを組合わせて使用することによって表 4 に示した 3つの二次空気供給パターンで試験を行った。

ここで、試験を行ったガス化溶融設備の形状はシミュレーションとは異なる形状であるため、シミュレーションと実機試験結果の比較は相対的なものである。燃焼試験のパターン 1 では下段ノズル R4~5 と L4~5, 上段ノズル R1~2 と L1~2 を使うことで同じ方向に旋回流を形成し、さらに上段および下段ノズルの R3 と L3 で炉中心に燃焼空気を供給した。これはシミュレーションの ST-1 を模擬した供給方法である。

パターン 2 は、下段では全てのノズルを用いて均一に二次空気を供給した後上段で旋回吹込みを行った。これはシミュレーションの T-1 の模擬に近い供給方法と言える。

パターン 3 では下段をパターン 1 と同様に旋回吹込みを行うが、上段では逆方向に旋回するようにノズル R2~4 と L2~4 を使用した。これはシミュレー

表 4 二次空気供給パターンと使用したノズル

		パターン 1	パターン 2	パターン 3
使用したノズル	上段	旋回 L1~3, R1~3	旋回 L1~3, R1~3	逆旋回 L2~4, R2~4
	下段	旋回 L3~5, R3~5	全面 L1~5, R1~5	旋回 L3~5, R3~5
ノズル配置図 (⇨: 使用) (X: 不使用)				
シミュレーション条件との対応		ST-1	T-1 近似	ST-3

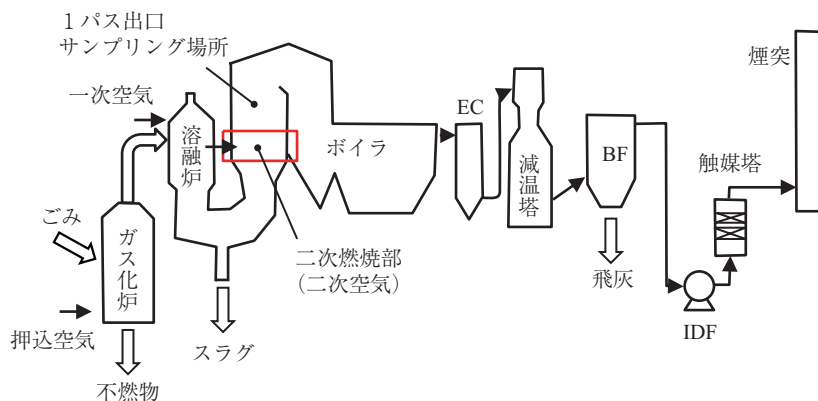


図10 概略プロセスフロー



シヨンの ST-3を模擬した供給方法となる。

また、燃焼試験では二次燃焼部での最適な燃焼空気の供給方法を確認するために、図10中に示したボイラ1パス出口における排ガス中 CO 濃度を測定した。測定時間は1時間とし、プローブから排ガスを連続的に吸引して分析計に通し、CO 濃度を測定した。

### 3.2 燃焼試験結果

各二次空気供給パターンでの排ガス中 CO 濃度測定結果を表5に示す。CO 濃度は実測された濃度(1時間平均値)であり、酸素濃度換算していない。測定の結果、上段・下段とも同じ方向に回転させるとともに炉中心にも燃焼空気を吹込むパターン1における CO 濃度は7 ppm となり、良好な結果が得られた。一方、下段で二次空気を全面に供給し、上段を回転させたパターン2では74 ppm、下段と上段を逆方向に回転させたパターン3では62 ppm となり、ボイラ1パス出口での CO 濃度を低く抑えることはできなかった。

実機による燃焼試験結果は、先のシミュレーション結果と整合性があった。これより、ガス化溶融炉における二次燃焼空気の供給方法として、旋回流の

形成と炉中心への燃焼空気供給を兼ね備えたノズル配置を上下段とも同じ旋回方向に設置する方式が CO 低減にもっとも効果があることが確認できた。

### むすび

ガス化溶融炉の安定した低空気比燃焼運転を実現するための溶融炉二次空気供給方法をシミュレーションで検討し、旋回流の形成と炉中心への燃焼空気供給を兼ね備えたノズル配置を上下段とも同じ旋回方向に設置する方式が最適であった。さらに、実稼働中のガス化溶融炉を用いた燃焼試験を行うことで、提案したノズル配置を模擬した二次空気供給方法が CO 低減にもっとも効果があることが確認できた。

今回のように CFD シミュレーションで検討した結果が実機での性能向上に役立つ例は多く、有効なツールとして活用が定着している。今後もシミュレーションの予測精度向上を図り、魅力ある当社製品の提供に貢献していく。

### [参考文献]

- 1) 砂田浩志ほか：神鋼環境ソリューション技報“ガス化溶融炉の燃焼改善”，Vol.8, No.2 (2012) p23-30
- 2) 井上尚子ほか：神鋼環境ソリューション技報“機器設計における熱流体解析の活用事例”，Vol.11, No.1 (2014) p38-42
- 3) 井上尚子ほか：神鋼環境ソリューション技報“流動床式焼却炉における低 NOx 燃焼技術の検証”，Vol.13, No.2 (2017) p11-16

表5 1パス出口における CO 濃度測定結果

	パターン1	パターン2	パターン3
CO 濃度 [ppm]	7	74	62

# 最新のグラスライニング (2018年)

## —多様化する機能性グラスライニング—

### Latest Glasslinings -Diversified Functional Glasslinings-



椿野直樹\*  
Naaki Tsubakino



前背戸智晴\*  
Tomoharu Maeseto



多田篤志\*\*  
Atsushi Tada



香川博行\*\*  
Hiroyuki Kagawa



北岡俊男\*\*\*  
Toshio Kitaoka

電子情報材料等，機能化学品分野を強みとする国内化学市場では，多品種対応，生産性・安全性の向上等，製品の高純度化等に配慮した高品質な生産システムが必要とされ，その結果，グラスライニング（以下 GL）機器に対するニーズも多様化してきた。本報では，2017年11月に販売開始した高伝熱性 GL「9000HT II」，ならびに高伝熱性と帯電防止の，2つの機能を併せ持ったハイブリッド品を中心に，当社の機能性 GL を紹介する。

研究開発型企業が多く厳しい国内市場で研鑽した当社の機能性 GL は世界的にもオンリーワンかつハイエンドな性能を保有している。なかでも高伝熱性と帯電防止のハイブリッド品は，これまでに前例のない業界初の製品である。

The Japanese chemical market excels at producing key products such as IT materials and specialty chemicals, and requires high-quality production systems that support small-lot-wide-variety production, enhance productivity and safety, and deliver higher levels of purity, etc. Therefore, demands for improving glasslined (GL) equipment have diversified. In this report, we introduce KES' s functional glass lineup and particularly our new 9000 HT II high-thermal conductivity glass and hybrid glass. Hybrid glass offers both high-thermal conductivity and electrical conductivity. Honed in the cut-throat domestic market where lots of R&D-based companies compete, our functional glass is internationally regarded as the product of choice and a high-end model. To the best of our knowledge, hybrid glass is a completely new product not previously found on the conventional GL market.

#### Key Words :

機能性グラス  
高伝熱性グラス  
帯電防止グラス  
低溶出性グラス  
ハイブリッドグラス

Functional glasslining  
High thermal conductivity glasslining  
Electro-conductivity glasslining  
Low elution glasslining  
Hybrid glasslining

#### 【セールスポイント】

- ・高伝熱性 GL 9000HT II は，一般的な伝熱改善方法である施工ガラス厚みの低減に加え，ガラス自身の熱伝導率を向上させることで従来 GL より伝熱性能を大幅に向上させた製品で，加熱・冷却時間の短縮等，生産性向上に貢献可能である。
- ・ハイブリッドグラスライニングは，業界初となる高伝熱性と帯電防止性の2つの機能を有したグラスで，生産性向上に加え，静電気トラブルの抑制が可能となり，マルチパーパス（多用途）なプロセスに適した製品である。

## まえがき

GLは、腐食性を持つ製造原料や反応プロセスで使用可能な耐食材料で、当社は、化学・医薬プラントで利用される攪拌槽、貯槽、熱交換機等にGLを施工して販売している。2017年には、GL事業の創業70周年を迎え、化工機器メーカーとして、国内化学産業に携わり、ともに歩んできた。

国内化学産業は、汎用品と異なる高付加価値品を強みに、各種中間体原料のファインケミカルや電子情報材料等、機能化学分野で成長を続けている。機能化学品の多くは、ASEAN市場をはじめ海外へと輸出され、現地で二次（最終）加工されてから全世界へ流通する。国内化学製品の輸出額はASEAN向けの比率が非常に高く、2016年には総輸出額の約74%にあたる約5.3兆円をASEAN向けに輸出しており、日本の化学品市場が広がっていることが分かる<sup>1)</sup>。

生産プロセスに目を向けると、欧州等のバルクケミカル（少品種・連続生産）に対して、国内化学産業では、多品種・少量生産のバッチプロセスが多く、求められる製造機器の仕様も異なる。

このような製造品目・生産方式の違いを背景に、国内GLトップメーカーの当社には、顧客から多様なニーズが寄せられ、これまでの製品開発に繋がっている<sup>2)</sup>。本報では、2017年11月に販売を開始した新製品「高伝熱性ガラス9000HT II」、「ハイブリッドガラスライニング」を中心に、市場ニーズに応える当社の機能性GLメニューを紹介する。

## 1. 高機能化するガラスライニング

### 1.1 多様化する高機能化ニーズ

GLの高機能化ニーズを表1に示す。伝熱性能、金属イオン溶出、静電気対策、洗浄性（機器CIP技術を含む）等は、いずれも近年間合せが増加している項目である。国内市場において、ますます多品種・少量生産へのシフトが進み、生産性・品質・安全性への配慮が高まっていることが伺える。

## 1.2 当社の機能性GLメニュー

機能性GLとは、多様なニーズに対応するため、GLの基本特性である耐食性に加えて、本来GLが持ち合わせていない特性（高伝熱性、帯電防止、低溶出性等）を付与した製品である。当社では、技術開発を通して独自のガラス配合や施工構造を確立することで、各機能性GLを商品化している。

## 2. 製品技術

### 2.1 高伝熱性ガラス9000HT II

GL攪拌槽における伝熱の抵抗となる要因には、ジャケット（JKT）流体の特性、母材板厚、ガラス（厚み、熱伝導性）、内容液物性や攪拌性能等があるが、母材鋼板と比較してガラスの熱伝導率は約1 W/mKと低く、GL機器の伝熱抵抗に占める割合はもっとも大きい。代表的な使用法の伝熱抵抗を図1に示す。いずれのプロセスでもガラス部が大きな比率を占め、伝熱律速となっていることがわかる。

当社の高伝熱性ガラス9000HT IIはこのガラス部の伝熱性の課題を改善するために開発した。その特長を表2に示す。9000HT IIは熱伝導率が約1.9倍に向上した高伝熱性上引きガラスを内層に施工し、さらにガラス層厚みを低減することで伝熱性能を大幅に向上させた製品である。ガラス層の伝熱抵抗は当社標準GL（9000）比の約1/2になり、総括伝熱係数

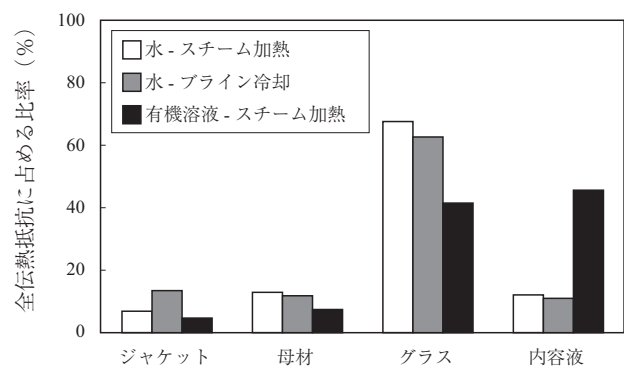


図1 GL攪拌槽における伝熱抵抗比率


表1 GL機器に求められる高機能化ニーズ

高機能化ニーズ	求められる性能	当社適用製品
①生産性向上	昇温・冷却時間の短縮	高伝熱性GL 9000HT II
②高純度化	金属イオン溶出量の低減 コンタミレス（シールレス）	低溶出性GL 9500 スイングスター攪拌機
③マルチパーパス化	多用途（多品種）への対応	帯電防止GL ECOGL II
④洗浄性・缶内視認性	缶内が見えやすく洗やすい	医薬用GL PPG（※1）
⑤作業性（製品切替、原料仕込、取出等）	時間短縮、作業負担の軽減	クリーンフラッシュバルブ 各種マンホール等

（※1）PPG(Pfaunder Pharma Glass)はPfaunder Werk GmbHとの技術提携品です。



表2 高伝熱性 GL 9000HT II の特長

種類	標準 GL (9000)	高伝熱性 GL 9000HT II
施工イメージ		
特長	-	高伝熱性上引きを施工し、ガラス部の熱伝導率を向上
ガラス部の伝熱抵抗比	1	約0.5

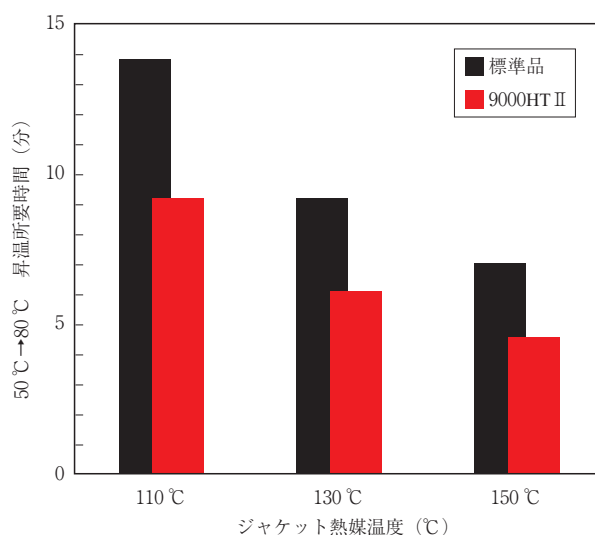


図3 昇温所要時間

表3 昇温テスト仕様

項目	テスト条件
機器容量	100 L
JKT 伝熱面積	0.8 m <sup>2</sup>
内容液, 仕込量	水, 100 L
攪拌翼 (回転数)	3 枚後退翼 (106 rpm)
ジャケット熱媒	飽和蒸気110, 130, 150 °C
測定項目	缶内水温, ジャケット熱媒温度

表4 100L 昇温テスト結果に基づく U 値評価

GL 種類	標準品	9000HT II
加熱温度	130 °C	
50 °C → 80 °C 昇温所要時間	9 分 9 秒	6 分
U 値 (W/m <sup>2</sup> K)	444	674
U 値比	1	1.5

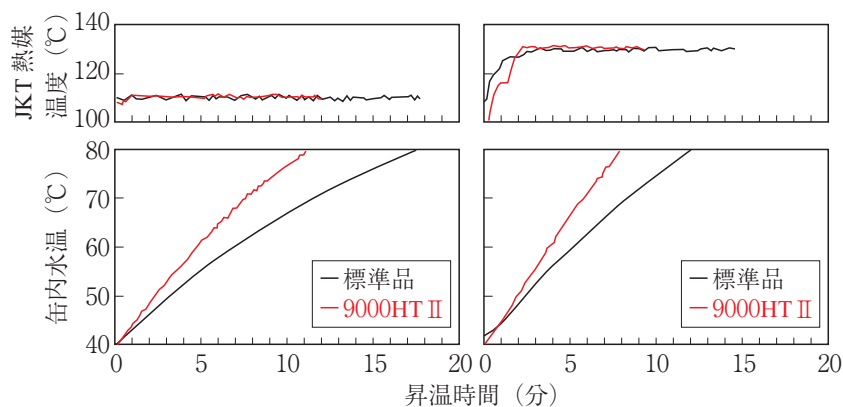


図2 昇温プロファイル (左: 110 °C 昇温時, 右: 130 °C 昇温時)

(U 値) は9000比で約1.5倍に向上する。9000HT II の特長は、高耐食かつ高配合率で添加可能な熱伝導ファイラーの採用と、適切な釉薬配合設計によって上引きガラスを高伝熱化している点であり、施工ガラス厚みの低減による従来の伝熱改善策よりも伝熱性向上が可能となっている。また、当社標準ガラス9000を表層に施工しており、接液部のガラス材質、耐付着性、溶出成分等、バリデーション項目に変化はなく、これまでと同様の使用が可能である。

9000HT II の伝熱性能を評価するため、表3に示

す条件で昇温テストを実施した。110, 130 °C 蒸気で加熱した場合の昇温プロファイルを図2に、各加熱条件における50 °Cから80 °Cの昇温に要した時間を図3に示す。9000HT II 使用時は、標準品より昇温速度が速く、50 °Cから80 °Cの昇温時間は約2/3に短くなった。ここで、系外への放熱がなく、熱媒から与えられた熱がすべて水の昇温に消費されたと仮定すると、時間  $\theta_i \rightarrow \theta_f$  間の水温変化 ( $T_i \rightarrow T_f$ ) は次式で表すことができ、GL 攪拌槽の伝熱指標である U 値の評価が可能となる。

$$MC_p \int_{T_i}^{T_f} dT = UA(t_{\text{steam}} - T) \int_{\theta_i}^{\theta_f} d\theta$$

- $M$  : 缶内水量 (kg)  
 $C_p$  : 比熱 (J/kg · K)  
 $U$  : 総括伝熱係数 (W/m<sup>2</sup>K)  
 $A$  : 伝熱面積 (m<sup>2</sup>)  
 $\theta$  : 加熱時間 (h)  
 $T$  : 缶内水温 (K)  
 $t_{\text{steam}}$  : 蒸気温度 (K)  
 ※加熱中の平均温度で定数化

130℃加熱時の50℃→80℃の昇温時間に基づく  $U$  値評価結果を表4に示す。9000HT II の  $U$  値は674W/m<sup>2</sup>Kと標準GLの1.5倍に向上し、GL 攪拌槽として非常に大きな値を示した。これは鋼板・高伝熱性ガラスの熱伝導率、各伝熱(境膜)係数を用いた試算値に近似しており、妥当な値であると考えられる。

本評価は、汎用翼の3枚後退翼で実施したが、当社の高効率攪拌翼(Twinstir<sup>®</sup>, FULLZONE<sup>®</sup>)を採用すれば、内容液側の伝熱(境膜)係数が向上し、さらなる伝熱性能の向上が可能となる。実際は、使用するプロセス条件(内容液種類・熱媒・攪拌等)によって伝熱改善比は変化し、9000HT II (+FULLZONE<sup>®</sup>)を使用することで昇温・冷却時間

の短縮、温度応答性の改善ができ、生産性・製品品質向上が期待できる。

## 2.2 導電性ガラス ECOGL II<sup>®</sup>

ガラスは絶縁体であるため、GL 機器は電気抵抗率の高い溶剤や粉体等を攪拌する場合、摩擦帯電で放電が発生し、GL 層を破損させてしまう可能性がある。その対策として、GL 層「全層」に導電性を付与することで静電気を機器外部へ逃がし、GL 面の帯電防止が図られてきた。しかし、導電性 GL を使用していても、内容物同士の摩擦帯電を防ぐことはできないため、内容物の帯電量が增大するにつれ、GL 面へ放電が発生し、GL 層を破損させてしまう可能性がある。

当社の帯電防止ガラス ECOGL II<sup>®</sup> (特許4223456号) は GL 面の帯電防止に加えて、内容物の帯電に由来する万一の放電に備え、GL の耐放電破壊性を高めた製品である。表5のとおり、ECOGL II は、GL 層「表層」にのみ導電性を付与することで、内容物からの放電エネルギーを面方向に分散して緩和し、下層の絶縁層で静電気による破損を防ぐ。一方、全層導電構造の場合、体積方向へ導通することがかえって、放電エネルギーを集中させ、耐放電破壊性の低下を招いてしまう。標準 GL, 全層導電 GL, 表層導電性 GL の絶縁破壊強度の評価結果を図4に示す。表層導電構造を採用した ECOGL II の絶縁破壊強度は標準品の約2倍に向上するのに対し、全層

表5 帯電防止 GL ECOGL II<sup>®</sup> の特長

導電方式	全層導電性	表層導電性 (ECOGL II <sup>®</sup> )
除電イメージ		
帯電緩和	体積方向	表面方向
放電(スパーク)に対する挙動		
耐絶縁破壊強度	放電が1カ所に集中, 弱い	放電が面方向に分散, 強い

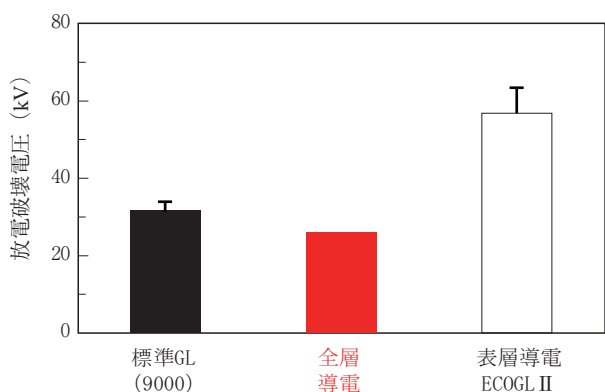


図4 絶縁破壊強度の評価

導電構造の絶縁破壊強度は標準品以下であることが実験的に確認できる<sup>3)</sup>。攪拌条件や原料投入・排出条件等、プロセス側からも帯電量低減を検討されることが望ましいが、ECOGL IIを使用することによって、プラントの安全性向上に貢献することができる。静電気トラブル対策、マルチパーパスプラントの安全対策の他、将来の転用を見据えてECOGL IIがスペックインされるケースが増加している。

### 2.3 ハイブリッドガラスライニング

ハイブリッドガラスライニングは、高伝熱性と帯電防止、2つの機能を有し、2017年11月に販売開始した新製品である。機能性GLは、本来GLが持っていない機能を備えるため、ガラス成分調整や添加物を検討しており、各機能に特化した製品が多く、単純な掛合せでは、施工が困難になる等の問題があった。

これに対し、当社はこれまでに培った複層施工の技術を活かし、この問題をクリアした。つまり、9000HT IIの表層9000の代わりに、ECOGL IIの導電性ガラスを施工することで、高伝熱性と帯電防止のハイブリッド化が可能となった(表2)。

多品種・少量生産方式を採用するマルチパーパスプラントの場合、バッチ生産性を向上させることはもちろん、多用途への対応力が求められるため、複数の機能を持つハイブリッド化が有効になる。高機能化ニーズの多様化に対応する製品で、今後さらに、ハイブリッド化ニーズが増加することが予想される。

### 2.4 低溶出性ガラス 9500

GLは化学的耐食性に優れた材料であるが、わずかながらガラス成分が溶出する。これに対し、製品純度がもっとも重要視される電子情報材料の製造分野では、原料に由来のコンタミ低減だけでなく、製造機器由来のコンタミ(微量成分の溶出等)にも厳格な管理と徹底した低減が求められている。

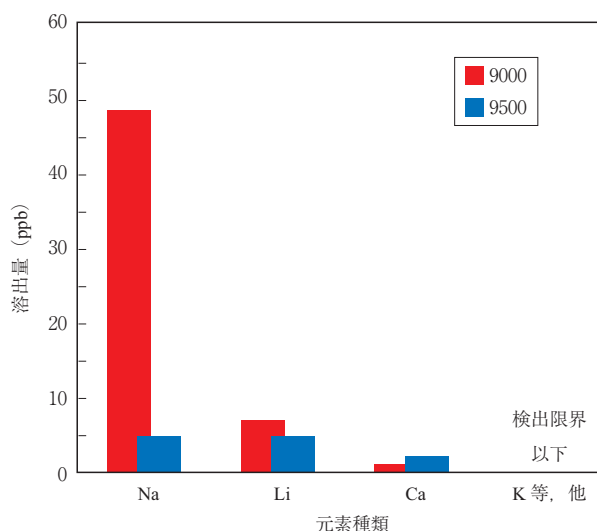


図5 低溶出ガラス9500の溶出試験結果 (純水70℃条件)

ガラスからとくに溶出しやすい成分はNaやK等のアルカリ金属成分等で、Siのガラス骨格内部に修飾酸化物として存在する。従来は製造使用前に、GL機器に希酸や純水を入れて炊上げ洗浄し、ガラスからアルカリ金属成分を強制的に溶出させ、溶出量を許容値以下に低減させてから製造に使用するケースがある。しかしながら、この使用前洗浄は時間と費用を要するものであった。

当社は2005年に、この使用前洗浄の手間を軽減可能な低溶出性ガラス9000AFを開発した。9000AFは当社特有のガラス完成後に表面を改質する技術「Ag処理」を応用して、表面近傍のアルカリ金属成分等を除去した機能性GLで、微量な溶出を初期から低減可能なガラスである。

さらに、2011年には、ガラス中のNa含有量を極限まで低減することで、Na溶出量を従来の1/10に減少させた新たな低溶出性ガラス9500を商品化した。9500はNa含有量を低減することで耐食性が向上するため、腐食量自身が少なくなっており、図5に示すように、Na成分をはじめアルカリ金属成分の溶出低減が可能である。

また、オプションとして、9500に9000AFの表面改質処理を施し、使用前洗浄の軽減にも対応した9500AFも商品化しており、様々なニーズに対応した低溶出性GLをラインナップしている。

### 2.5 医薬用ガラス PPG

(独 Pfaudler 社からの技術導入品)

PPG (Pfaudler Pharma Glass) は Pfaudler 社が医薬製造プロセス向けに開発した機能性GLで、当社では国内医薬市場でのニーズを見込み、2003年から技



術導入して製作・販売を行っている。

PPGの一番の特長は「ライトブルー」の色調であり、缶内の内容物付着状況の目視確認が容易になることから洗浄性が向上する。また、標準品よりも耐アルカリ性が20%向上しており、アルカリ洗浄を行う場合にも有効である。現在も明るい色調から多くの医薬ユーザから好評頂いている製品である。

### 3. 今後の見通し

本報では、最新の機能性GLを紹介してきたが、紹介した以外にも、当社は耐アルカリ用や極低温用といった種々のガラスを保有し、高機能化ニーズに対してきめ細やかな対応が可能となっている。

さらに、ハイブリッドガラスライニングというこれまでにない複数の機能を備えたGLを商品化したことで、機能性GLは新たな時代に突入したと捉えている。商品化した高伝熱性と帯電防止の組合せ以外にも、様々な組合せが考えられ、種々の組み合わせに対して問合せを頂いている。

今後も、顧客ニーズに応えつつ、業界をリードするような新たな機能性GLの商品化を目指して、GL機器の開発に取り組んでいく。

### むすび

当社の機能性GLは、釉薬配合、ガラス成分、複層構造等の当社独自技術に加えて、施工するガラスの溶解からライニングまで一貫した生産体制を備えていることによって生まれた商品である。今後もナンバーワン・オンリーワンのGL商品を産み出す開発力と、それらを確実に製造する生産技術を、より一層磨いていく。

#### [参考文献]

- 1) ケミカルビジネス情報MAP2018, 化学工業日報社
- 2) 宮内啓隆ほか: グラスライニング創業70周年を迎えて, 神鋼環境ソリューション技報, Vol.13, No.1, (2016), p.2-14
- 3) 多田篤志ほか: 新しい導電性ガラスライニング ECOGL II, 神鋼環境ソリューション技報, Vol.7, No.1, (2010), p.9-15

## 展示会だより

### ■2017高松水道展に出展

昨年10月に香川県高松市のサンポート高松シンボルタワー北側広場にて開催されました水関連（一般社団法人日本水道工業団体連合会）が主催する「2017高松水道展」に当社ブースを神鋼環境メンテナンスと共同で出展いたしました。

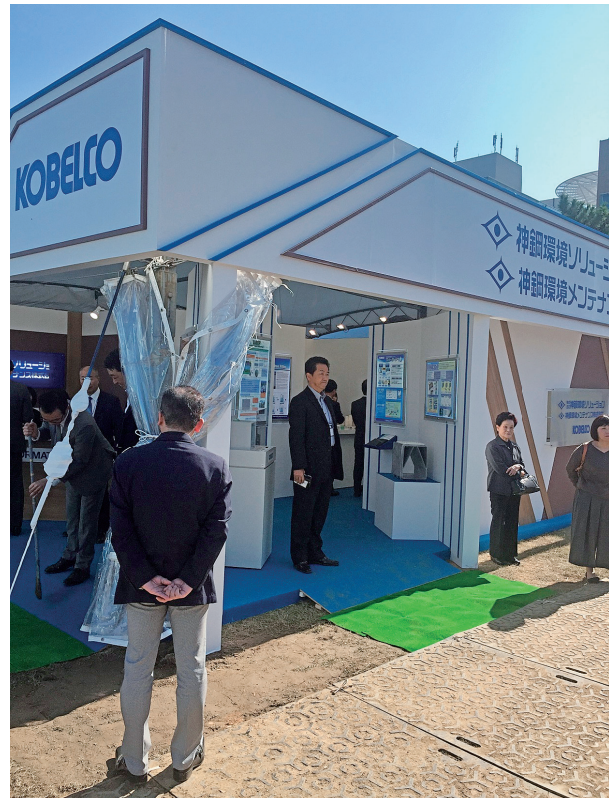
「2017高松水道展」は「耐震化・更新を実行し、続けよう水道の信頼を!!」をテーマに、水道関係企業が最新技術・製品を出展しました。開催直前に台風21号が四国から近畿に上陸、屋外展示であったため開催が危ぶまれましたが、当初10月25日から27日の3日間の開催予定を26・27日の2日間の短縮開催とすることで開催にこぎつけることができました。

そのような中、事業体などの水道関係者等約4,800名が来場（\*昨年の「京都水道展来場者」は約6,000名、一昨年の「さいたま水道展」は約5,900名）し、当社ブースにも多くの方のご来場を頂きました。当社ブースでは上向流式生物接触ろ過設備やAW有孔ブロック等のパネルおよび模型展示を行い、ご来場のお客さまから多くの関心、資料請求を頂きました。また、自動サイフォンフィルターや上向流式生物接触ろ過設備については英文パネルの展示も行い、海外のお客さまからも低動力で処理が行える当社技術に大きな関心をもって頂きました。

同時に開催された水道研究発表会においては、当社から「生物接触ろ過後段の精密ろ過膜モジュールに付着したファウラントの解析」および「鉄バクテリア法を用いた浄水場の運用事例」の2題について研究発表を行いました。

これからの人口減少社会の水道事業において、「官民連携」の重要性が叫ばれる中、自治体やコンサルタントの皆様にご紹介できる格好の機会ですので、次回以降も有効なPRの場として出展していきたいと思っております。

なお、本年開催地は福岡市の予定です。「福岡水道展」の出展に向け準備を行ってまいりますので、改めて関係者の皆様には、ご協力のほどお願いいたします。





## 展示会だより

### ■ INCHEM2017 プラントショー & 水イノベーション

2017年11月20日～22日 東京ビッグサイト国際展示場にて、公益社団法人化学工学会／一般社団法人日本能率協会が主催する INCHEM TOKYO 2017が開催され、当社は、プラントショーにプロセス機器事業部、水イノベーションに営業本部産業ソリューション営業部が出展を行いました。

前回に引続き、一つのブースで共同出展しました。当社ブースには約800名の方に来訪して頂きました。

プロセス機器事業部は、業界のリーディングカンパニーとしてグラスライニングのウィークポイントと言われる伝熱性を大幅に改善した高伝熱ガラスに導電性を付与したハイブリッドグラスライニングを開発・展示致しました。またハイブリッドグラスライニングを施工した高機能反応機を展示し、グラスライニング機器特有のクランプを使用しない急速開閉装置付きの本体フランジを採用するなど新たな GL 機器や熱交換器等の実物を多数展示し、商品を PR しました。

また出展セミナーにて「最新のグラスライニング～多様化する機能性 GL への取り組み」「ろ過・乾燥技術～高度化する封じ込め・コンタミレスへの取り組み」の2テーマの発表を行い、どちらも満席になるなど、当社技術への注目の高さを感じました。



拡大図

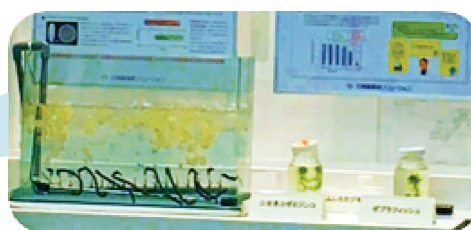
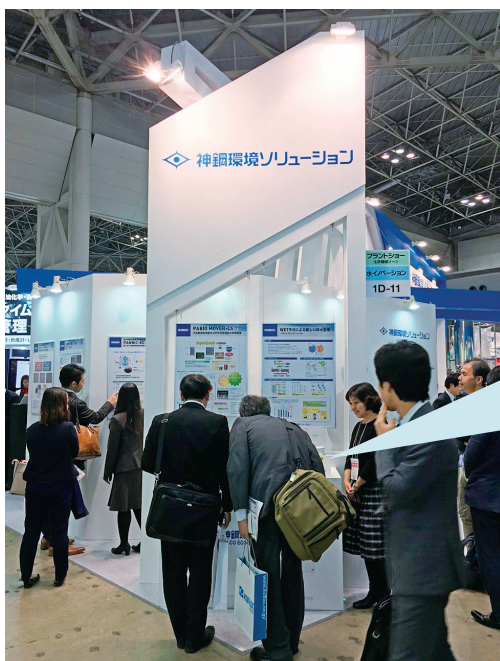


高機能反応機や熱交換器など実機展示（プラントショー展示側）



営業本部産業ソリューション営業部は、「省エネ、省廃棄物に向けた設備・薬剤提案から、メンテナンスまでトータルソリューションを提供」をテーマに、主力である排水処理技術を中心に WET（生物応答を利用した排水管理手法）や CT ウォッチをパネル展示し、WET に用いる生物のひとつであるゼブラフィッシュ等や PABIOMOVER 充填材を水槽で展示しました。

御来場者の方から「排水の処理に困っているから対策を考えたい」や、「排水処理設備の老朽化更新を検討している」と言った今後の営業活動に繋がる貴重なご意見を多数頂く事ができ、非常に有意義な展示会となりました。



拡大図

WET（ゼブラフィッシュ等）、PABIOMOVER 充填剤を展示（水イノベーション展示側）

## ■ RWM 2017 - Resource efficiency & Waste Management solutions 2017

イギリス・バーミンガムの NEC・Birmingham にて2017年9月12日（火）～9月14日（木）の3日間、イギリス最大のリサイクルと廃棄物処理に関わる展示会 RWM2017に出展しました。

EU 向けガス化溶融炉システムのフロー展示を中心に、会社概要、当社技術紹介、福井バイオマス等のパネル展示を行いました。本展示会には、7回目の出展となります。今回は約500社が出展、2万人の来場者がありました。欧州のみならず、北米、中東、アジアからも多数来場していました。ほとんどの来場者は、WEB で来訪先の会社情報を入手していました。



## 展示会だより

### ■下水道展 '17東京

2017年8月1日（火）～4日（金）、東京ビッグサイトにて開催され、神鋼環境メンテナンスと共同出展しました。来場者数は約5万5千人、当社ブースへは1400人の方に来場頂きました。

今回は3テーマを中心の展示をしました。①地域に還元できる創エネ技術として、消化ガスの有効利用、FIT 発電事業の展示、②省エネ・長寿命化によるコスト削減技術として、ノンメタリック汚泥掻寄機、汚泥焼却炉、③ICT・IoTを活用した維持管理業務の効率化として、遠隔監視システム、業務の効率化および省力化システムを展示しました。

今回、パネルを視線より低い位置に配置したレイアウトとしたため、開放感があり、入りやすいブースであったと好評を頂きました。また、ノベルティーとしてユグレナを用いたサンプル品を用意し、こちらも好評でした。



ノベルティーで好評だった「神戸ユグレナ」のサンプル品



本 社	〒651-0072 神戸市中央区脇浜町1丁目4-78	☎ (078)232-8018	FAX(078)232-8051
	〒651-0086 神戸市中央区磯上通2丁目2番21号(三宮ランドビル)	☎ (078)232-8018	FAX(078)232-8051
技術研究所	〒651-2241 神戸市西区室谷1丁目1-4	☎ (078)992-6500	FAX(078)997-0550
東京支社	〒141-8688 東京都品川区北品川5丁目9-12(ONビル)	☎ (03)5739-5800	FAX(03)5739-5821
	〒141-0001 東京都品川区北品川5丁目9-11(大崎MTビル)	☎ (03)5739-5800	FAX(03)5739-5821
大阪支社	〒541-8536 大阪市中央区備後町4丁目1-3(御堂筋三井ビル)	☎ (06)6206-6751	FAX(06)6206-6760
九州支社	〒812-0012 福岡市博多区博多駅中央街1-1(新幹線博多ビル)	☎ (092)474-6565	FAX(092)441-4440
北海道支店	〒060-0004 札幌市中央区北四条西5丁目1-3(日本生命北門館ビル)	☎ (011)241-4647	FAX(011)241-5759
東北支店	〒980-0811 仙台市青葉区一番町1丁目2-25(仙台NSビル)	☎ (022)716-6651	FAX(022)263-2049
名古屋支店	〒451-0045 名古屋市西区名駅2丁目27-8(総務乃仁セントリタワ)	☎ (052)581-9876	FAX(052)563-2313
播磨製作所	〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島19	☎ (079)436-2500	FAX(079)436-2506
室蘭SD製造所	〒050-0055 室蘭市崎守町387-25	☎ (0143)50-3036	FAX(0143)50-3066
デュッセルドルフ事務所	Berliner Allee 55, 40212 Düsseldorf Germany	☎ +49-211-7792-0430	FAX+49-211-7792-0450
プノンペン事務所	Soma Tower, 1st Floor, #2C, street 120, Sangkat Phsar Thmey II, Khan Daun Penh, Phnom Penh, Kingdom of Cambodia	☎ +855-23-210-301	FAX+855-23-210-309

神鋼環境ソリューション技報 2017年度 Vol.14 No.2 通巻28号

《本社》株式会社神鋼環境ソリューション 〒651-0072 神戸市中央区脇浜町1丁目4-78

《編集発行》〒651-2241 神戸市西区室谷1丁目1-4 株式会社神鋼環境ソリューション 技術開発センター（神鋼環境ソリューション技報編集委員会事務局）

☎ (078) 992-6527 FAX (078) 992-6504 <http://www.kobelco-eco.co.jp>

《編集委員》編集委員長/田頭成能 委員/高橋丹・細田博之・下梨孝・高橋伸也・丸山智裕・荻野行洋・青木勇・菊池雅彦・須田龍生・松本勝生

《発行》2018年3月15日印刷 2018年3月22日発行 年2回発行《禁無断転載》《発行人》横山英樹《印刷所》中村印刷株式会社





この用紙は、パルプを漂白するときに塩素ガスを使わない「無塩素漂白 (ECF)」という方法で作られています。