



目次	CONTENTS
1 <巻頭言> 大学と企業との共同研究	
2 SD を用いた Na-TMP 合成と クロスカップリング反応	Synthesis Na-TMP and Cross Coupling Technology with Sodium Dispersion
9 バイオ天然ガス化装置を利用した水素製造実証	Demonstration of Hydrogen Production Combined with Sewage Biogas Upgrading
14 <i>Euglena gracilis</i> EOD-1株由来パラミロンの 免疫調節機能の可能性	Possibility for Immune Regulatory Function of Paramylon from <i>Euglena gracilis</i> EOD-1 strain
21 流動床式ガス化溶融炉の実績と高度化	Delivery Results and Latest Technologies of Fluidized Bed Gasification and Melting Furnace
26 仙南クリーンセンター 流動床式ガス化溶融炉の安定稼働実績	Stable Operation Record for Gasification and Melting Furnace in Sennan Clean Center
32 フィルタドライヤの高機能化技術	An Introduction of Advanced Technologies of the Filter Dryer
38 施設・技術紹介	
40 登録特許一覧	
42 企業理念制定	

大学と企業との共同研究



岡山大学 大学院自然科学研究科
応用化学専攻 教授

高井和彦

Kazuhiko Takai

大学教員が企業と共同研究することは世の中に研究結果を活かすという点からは評価されるべきであろう。しかし、学術上の意義を複数の視点で厳しくチェックされて研究費を得る科学研究費のような審査プロセスを経っていないため、大学教員が研究の主体性を失ったとき、それを研究者の評価指標とするのは微妙になる。社会への貢献という言葉が研究意義への言い訳ともなり、また、ときに桁の違う研究費が得られることから、一旦、そのスパイラルに身を置くと、そこから抜出することは難しい。

私は有機合成化学、有機金属化学の研究をおこなっているが、これまで、積極的に企業との共同研究はしてこなかった。一番の理由は、研究のテーマは自らの意思で決めたい、とくにテーマ自体は研究のきっかけであり、より面白い研究への糸口が途中で見つかったときにすぐに切替えられる自由度を担保しておきたいからであった。その他にも、大学と企業とでは最終的な目標と、そこに至る道のりでのすり合わせ、たとえば特許との関係で学生の発表などが難しそうだと思っていた。しかし今回、この共同研究に対する考え方が、よい意味で期待を裏切られることとなった。

「先生の研究材料として当社の金属ナトリウム分散体（SD）にご興味をお持ちいただけませんか。」このメールを神鋼環境ソリューションの方からもらってからほぼ5年が経った。PCBの処理が数年後に終了するので、つくったSD製造設備を活用して新しい事業ができないだろうか、という話であった。googleで私の研究室が一番上にヒットしたとのことで最初に声がかかり、共同研究をスタートしたが、これは自身の研究テーマ、「低原子価金属からの電子移動をきっかけとして、有機合成に使える有機金属活性種を創製する」に合致すると判断したからであった。

共同研究をおこなったことで、仕事が速いことの重要性を改めて感じた。とくにこの研究を始めて数ヶ月で一つ目の結果が出て、勢いづいたことも大きい。神鋼環境ソリューションの方からは研究で得られた結果に実社会でこのような使い道もあるのだと教えられることが多く、seedsを持ちその利用法を考えると夢がどんどん広がっていくことを知った。大学での研究からだけでは味わえない「わくわく感」をもらったことが、私にとってこの共同研究で得た一番のことだったと思う。きっかけをもらったことをありがたく思っている。

幸い、研究の学問的意味を伝える論文（Nature Catalysis など）としても発表することができたが、それ以上に、今おこなっている研究が大学実験室レベルだけでなく、化学工業の製造工程そのものを大きく変える可能性をもつことが明らかになってきたことが大きい。今はこの共同研究を実りあるものになりたいと思っている。

SD を用いた Na-TMP 合成とクロスカップリング反応

Synthesis Na-TMP and Cross Coupling Technology with Sodium Dispersion



村上吉明*
Yoshiaki Murakami



坪内 源*
Gen Tsubouchi



片山裕美子*
Yumiko Katayama

金属ナトリウム分散体 (SD) は微粒化した金属ナトリウムを油中に分散させたスラリー状の流体であり、これまで当社では PCB を処理するための薬剤として用いてきた。SD は室温で反応に利用できるため、有機塩素化合物からウルツカップリングを伴わずに芳香族ナトリウム化合物 (ArNa) を調製できる。ArNa からはナトリウムアミドの調製が可能で、本検討ではナトリウムアミドの 1 つである Na-TMP を調製した。Na-TMP はリチウムアミドの代替となり、価格が高騰するリチウムに対するリスク回避技術になりうる。また、有機ナトリウム化合物は鈴木-宮浦カップリングや根岸カップリングの反応剤原料となる。さらに ArNa を直接反応剤とするクロスカップリング反応が可能であることを見出した。

Sodium dispersion (SD) is slurry fluid that consists of fine particle of sodium and oil. At Kobelco eco-solutions, SD is mainly used to decompose PCBs. Since SD can be used for reactions at room temperature, aromatic sodium compounds (ArNa) can be prepared from organochlorine compounds without Wurtz coupling. Sodium amide can be prepared from ArNa, and Na-TMP, one of the sodium amides, was prepared in this study. Na-TMP can be an alternative to lithium amide and a risk avoidance technology for the rising price of lithium. Also, organic sodium compounds are used as reactant raw materials for Suzuki-Miyaura and Negishi coupling. Furthermore, it has been found that a cross-coupling reaction using ArNa as a direct reactant is possible.

Key Words :

金属ナトリウム分散体	Sodium Dispersion (SD)
有機リチウム化合物	Organolithium compounds
有機ナトリウム化合物	Organosodium compounds
クロスカップリング反応	Cross Coupling Reaction

【セールスポイント】

- ・ SD は微粒化させた金属ナトリウムを油中に分散させたもので安全性と反応性を向上
- ・ SD を用いると、有機塩素化合物から有機ナトリウム化合物を調製可能
- ・ 有機ナトリウム化合物から合成したナトリウムアミドはリチウムアミドの代替として利用可能
- ・ 有機ナトリウム化合物から鈴木-宮浦カップリングや根岸カップリングが可能
- ・ 有機ナトリウム化合物を用いた新しいクロスカップリング反応

まえがき

当社は中間貯蔵・環境安全事業株式会社や中国電力株式会社絶縁油リサイクルセンター向けに PCB 処理技術を提供してきた。当社が保有する PCB の脱塩素化技術（SP プロセス）は、PCB を金属ナトリウム分散体（Sodium Dispersion：SD）およびプロトン供与体と反応させることで、無害なピフェニルに変化させるプロセスである¹⁾。当該プロセスでは、濃度を調製した SD に PCB とイソプロピルアルコール（IPA）の混合物を滴下し、脱ハロゲンを進めながら PCB を無害なピフェニルに変化させている。プロセスフローを図 1 に示す。

SD は 10 μm 程度まで微粒化させた金属ナトリウムを油中に分散させたもので、金属ナトリウムと比較して以下の特長を有する²⁾。

- (1) 金属ナトリウムの微粒子が油によってコーティングされているために空気中에서도比較的安定に存在でき、反応時における局所的な発熱も抑制できる。そのため、金属ナトリウムが消防法の危険物第 3 類に該当するのに対し、SD はこれよりも危険性の低い危険物第 4 類第 3 石油類に該当する（表 1 参照）。これにより、指定数量当たりで保有できる金属ナトリウムが約 45 倍まで増加する。
- (2) 毒物および劇物取締法において、金属ナトリウムは劇物に指定されているが、ナトリウム製剤である SD は同法の対象外である。

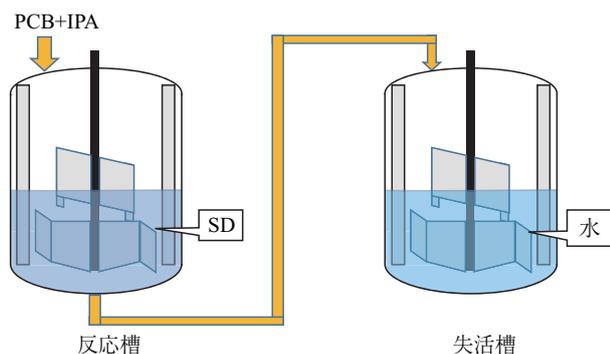


図 1 SD プロセス

- (3) 金属ナトリウムは融点（97.8℃）以上に加熱し、液体として使うことが一般的である。金属ナトリウムは反応性が高く、高温での反応性はさらに高いため、副生成物を多く生成してしまう。一方、写真 1 に示すように SD はシリンジでも扱えるほど粒子径が細かく、常温でも液体として取扱うことができる。実際 PCB 処理の現場でも配管供給を行っている。そのため、反応温度を低減させることが可能であり、結果的に副生成物の生成を抑制できる。

従来、SD はほとんど PCB 処理用途にのみ用いられてきたが、SD の優れた特長を活かせば、有機化学にも応用が可能と考えた。

そこで、岡山大学大学院自然科学研究科の高井和彦教授、浅子壮美助教らと共同研究を行い、SD の新たな用途開発に着手した。

まず近年価格が高騰しているリチウム代替技術の開発を目指した。ナトリウムの性質がリチウムと近いことに着目し、SD を用いて合成した有機ナトリウム化合物で有機リチウム化合物を代替することを考えた。さらに有機ナトリウム化合物の用途として、クロスカップリング反応に着目した。クロスカップリング反応は医農薬分野や電子材料分野に多く用いられ、現代化学の重要技術の 1 つである。有機ナトリウム化合物が有機リチウム化合物をはじめと



写真 1 SD の外観

表 1 金属ナトリウムと SD の法律上の違い

	危険物分類	指定数量 ^{※1}	指定数量当たりの Na 保有可能量	劇物
金属 Na	第 3 類	10 kg	10 kg	該当
SD	第 4 類第 3 石油類 非水溶性液体	2 000 L	約 450 kg	非該当

※1 消防法の規制を受ける危険物の量

する高価な薬品を代替できれば、大きなメリットが期待できる。

1. リチウムについて

リチウムは原子番号3のアルカリ金属で、耐熱ガラスや連続鋳造プロセスにおけるフラックスなどに用いられてきたが、近年はリチウムイオンバッテリー (LiB) が最大の用途である。

リチウムはかん水 (主に南米) や鉱山 (主にオーストラリア) から産出されている。冷戦終了後から数年前までは南米のかん水がリチウム生産拠点となったが、近年のLiBブームにより、世界的にリチウムの需要が増加し、それに伴い単価も上昇している。近年ではオーストラリアや中国等での鉱山開発が盛んになっている³⁾。

化学工業用途では、主にブチルリチウム (BuLi) が重合開始剤をはじめとした有機合成に用いられている。世界全体における BuLi の生産量は約17 000 t (2016年) である³⁾。この内、低分子の有機合成に用いられる BuLi は2割程度と言われている。

リチウムの需要および価格はまだ上昇中であり、今後も成長が見込まれている。図2に世界全体のリチウム生産量推移⁴⁾、図3に我が国のリチウム輸入単価推移を示す⁵⁾。2008年における世界市場は2.5万 t/年であったが、2018年の市場規模は8.5万 t/年と見込まれ、需要は急激に増加している。

将来におけるリチウムの需給状況は不透明である一方、ナトリウムは資源の普遍性が高く、枯渇リスクも無い。また、リチウムもナトリウムも同じアルカリ金属であるため、化学的な類似点が多く、少なくともリチウムを用いた技術の一部を代替できると期待された。

そこで、有機合成における有機リチウム化合物を代替できる有機ナトリウム化合物の開発に着手した。

2. 有機リチウム化合物の代替技術の検討

2.1 有機合成における有機リチウム化合物の役割

有機合成における有機リチウム化合物の主な役割は塩基、すなわちプロトン (水素原子) を引抜くことである。主要な塩基としてリチウム-ジイソプロピルアミド (LDA)、リチウム-テトラメチルピペリジド (Li-TMP) やリチウム-ヘキサメチルジシラザン (LHMDS) 等が挙げられる。図4に主要な有機リチウム化合物の構造を示す。

上記の化合物群はリチウムが窒素原子と結合したリチウムアミドである。リチウムアミドは窒素原子がリチウムから電子を受取り、窒素がアニオンとして作用するため強塩基性となる。基質のプロトンの

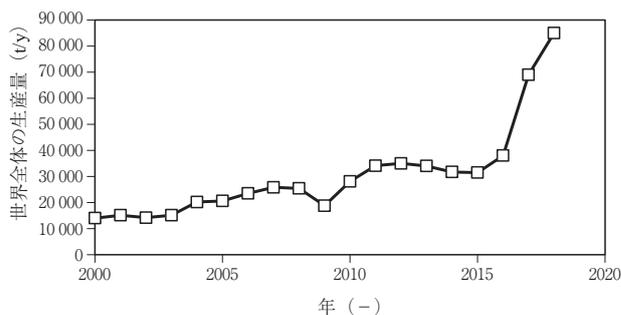


図2 世界全体のリチウム生産量推移

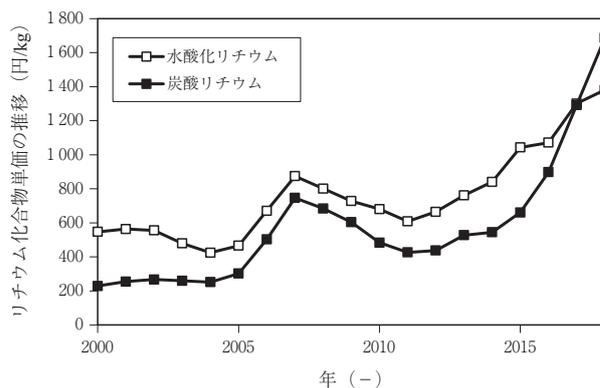


図3 リチウムのCIF^{※2}価格推移
※2 運賃、保険料込み条件

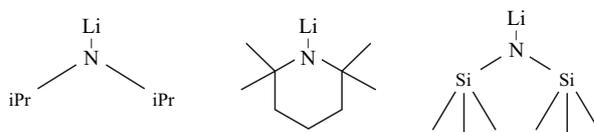


図4 有機リチウム化合物
(左: LDA, 中央: Li-TMP, 右: LHMDS)

うちもっとも酸性度の高いプロトンが引抜かれてリチウムに置換わる。

ナトリウムもリチウムと同様にアルカリ金属であり、窒素原子に電子を渡して強塩基のナトリウムアミドとして働くことが期待される。本検討では、この中から立体障害によって求核性の低い強塩基として用いられる Li-TMP の代替としてナトリウム-テトラメチルピペリジド (Na-TMP) の合成を目指した。

2.2 Na-TMP の合成

Na-TMP の合成方法を以下に示す。クロロベンゼンあるいはブロモベンゼンに2倍当量以上のナトリウムを反応させるとほぼ定量的にフェニルナトリウム (PhNa) が生成する。さらに PhNa にテトラメチルピペリジド (TMP) を加えると Na-TMP が得られる⁶⁾。

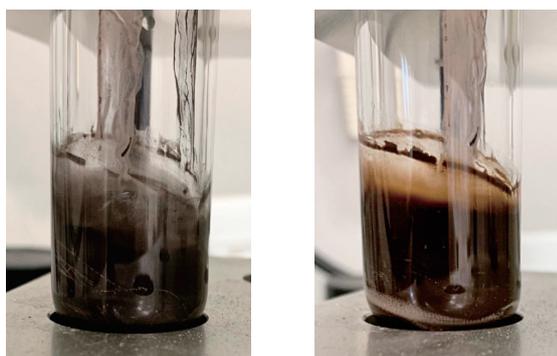
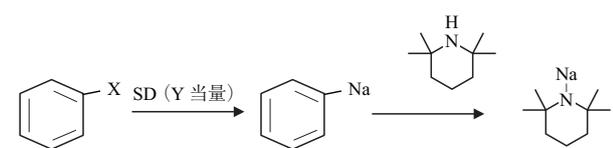


写真2 Na-TMPの調製の様子
(左: PhNa, 右: Na-TMP)



実験No	X	Y	収率 (%)	ビフェニル収率 (%)
1	Br	2	90	3
2	Br	2.1	94	1
3	Br	2.2	99	trace
4	Cl	1.95	81	15
5	Cl	2	92	trace
6	Cl	2.1	98	trace
7	Cl	2.2	98	trace

図5 PhNa合成の反応式

SDは灰色の液体だが、PhNaが生成すると写真2のように5分程度で反応液が真っ黒に変化する。反応温度は25~30℃で、溶媒にはヘキサンを用いた。溶媒にはヘキサン以外にもオクタンやデカンなどの炭化水素、あるいはトルエンを用いることもできる。ここにさらにTMPを添加することでNa-TMPの茶色の液体が生成した。

合成スキームならびに基質(クロロベンゼンあるいはブロモベンゼン)の比較ならびにナトリウム投入量の評価結果を図5に示す。

ナトリウム当量比が理論量である2を超えれば、副生成物であるビフェニルの副生成はほとんどなくNa-TMPを調製できた。また、クロロベンゼンとブロモベンゼンとでは基質による有意差は見られなかった。一般に有機塩素化合物は有機臭素化合物よりも安価なので、より安価な有機塩素化合物を用いることで原料コストの削減が可能である。

2.3 Na-TMPの利用

プロトンが引抜かれた場所にはナトリウムが入り、さらに求電子剤を添加すれば官能基化させることができる。

Ar-H	NaTMP (1.25 equiv) hexane, rt, 30 min	electrophile (1.5 equiv) 0 °C to rt, 1h	Ar-E	
entry	substrate	electrophile	product	Yield/%
1		Mel		90 (E=Me)
2		allylBr		84 (E=allyl)
3		PhC(O)Cl		72 (E=benzoyl)
4		CO ₂		89 (E=CO ₂ H)
5		Br ₂ CHCHBr ₂		81 (E=Br)
6		Cl ₃ CCl ₃		90 (E=Cl)
7		Me ₃ SiCl		98 (E=SiMe ₃)
8		B(OMe) ₃		64 (E=B(OH) ₂)
9		Ph ₂ PCl		72 (E=PPh ₂)
10		Me ₃ SiCl		82 (E=SiMe ₃)
11		Me ₃ SiCl		85 (E=SiMe ₃)
12		CO ₂		96

図6 Na-TMPによる官能基化⁶⁾

官能基化した結果の一覧を図6に示す。基質は元々ハロゲンを持たない物質だが、酸性度の高いプロトンを引き抜いたことで官能基化できている。

基質に官能基を付与させたい場合、多くの場合はハロゲン等反応性の高い官能基を付与してから、さらに目的の官能基に変換する必要がある。しかし、本成果を用いれば、引き抜き可能なプロトンの位置は酸性度によって予め決まるものの、ハロゲン化を経由せずに官能基化が可能である。同様の機能を持つ薬剤としてLDAが有名だが、反応温度を-78℃まで下げる必要がある。一方、Na-TMPは検討に用いた基質がヘキサン溶媒に溶解したこともあるが、室温でのプロトン引き抜きが可能である。

Na-TMPを用いることで、薬剤費のみならず用益費の低減も期待できる。

3. クロスカップリング反応への応用

クロスカップリング反応は異なる2つ以上の化学物質をつなげる技術で医薬分野や電子材料をはじめとした精密合成には必要不可欠な技術である。

3.1 従来のクロスカップリング反応

Na-TMPを合成するために調製したPhNaはフェニルグリニャールやフェニルリチウムとも類似構造を持つ。フェニルグリニャールとはベンゼン環にMgX(X:ハロゲンで、多くは臭素)が付いたもので、臭化ベンゼンにマグネシウムを添加して得られるグリニャール試薬の一種である。グリニャール試薬は有機化合物にMgX(X:ハロゲン)が付いた

もので、アルコールやケトンを合成する際に用いられる。また、フェニルリチウムは、臭化ベンゼンにブチルリチウムを添加して得られるもので、基質にベンゼン環を付与するため等に用いられる。どちらも空気中の水分や酸素に対して敏感で不安定であり、また高価な薬剤である。このグリニャール試薬やフェニルリチウムにハロゲン化亜鉛やホウ素エステルを加えると、図7に示すような有機亜鉛化合物および有機ホウ素化合物が合成される⁷⁾。

有機亜鉛化合物や有機ホウ素化合物はクロスカップリング反応の中間体として知られている。

一方、臭素やマグネシウムには、以下のような課題もある。

(1) 臭素

臭素は難燃剤や化学品合成における中間体として多く用いられる。臭素は海水にも微量成分として含まれ、死海などの塩湖から産出される。現在、最大の産出国はアメリカである。

環境中に放出された臭素化合物はオゾン層を破壊することが知られているため、近年生産量は減少傾向にある。図8に世界全体の臭素生産量推移を示す⁴⁾。

さらに、有機臭素化合物は有機塩素化合物と比較して流通量が少なく単価も高い。

(2) マグネシウム

マグネシウムはドロマイトや海水に含まれ、主にマグネシウム合金やアルミニウム合金への添加にもちいられる。グリニャール試薬は有機ハロゲン化合物とマグネシウムから得られる物質で、クロスカッ

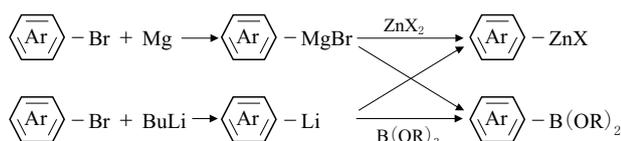


図7 従来のクロスカップリング前駆体の調製

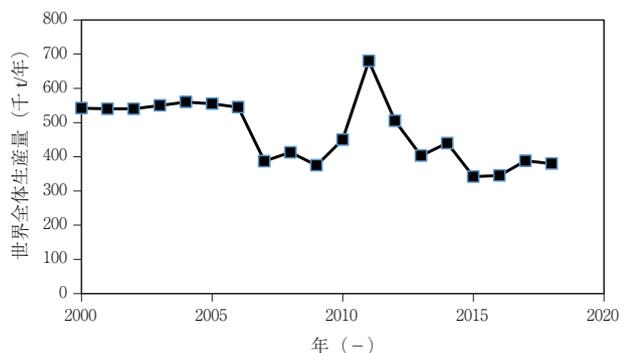


図8 世界全体の臭素生産量推移

プリング反応の前駆体以外にもアルコール合成に用いられる。我が国では化学用途として2 400 t/年利用されている⁸⁾。

クロスカップリングの中でもっとも多く用いられる鈴木-宮浦カップリングは、塩基性の水溶液中で行われるが、中間体であるグリニャール試薬に由来する水酸化マグネシウムは塩基性下で非水溶性のコロイドとなる。このコロイドは反応タンクの底に沈降するため、反応終了後における容器の洗浄に手間がかかる。水酸化マグネシウムを溶解させるには、水溶液を中和するかアンモニア塩を添加する必要があるが、中和時の発熱は大きく、追加の薬剤コストも発生する。

3.2 SD を用いたクロスカップリング反応

(1) 根岸、鈴木-宮浦カップリングへの応用

PhNa を用いてグリニャール試薬やフェニルリチウムと同様の反応ができれば、有機臭素化合物や有機リチウム化合物に依存しないクロスカップリングが可能になり、医薬品や電子材料のコストダウンが期待できる。

そこで PhNa に塩化亜鉛やホウ酸エステルを添加したところ、図9に示すように有機亜鉛化合物および有機ホウ素化合物を調製することができた。これらはそれぞれ根岸カップリングおよび鈴木-宮浦カップリングの反応剤となる。

さらに合成した有機亜鉛化合物や有機ホウ素化合物に対して有機ハロゲン化合物と触媒を添加したところ、根岸カップリングおよび鈴木-宮浦カップリングが進行した。反応例をそれぞれ図10および図11に示す。

反応剤を臭素フリーにできたので、さらなる環境負荷低減に向けて、高活性な Pd-PEPPSI-iPr を触媒として用いた結果、完全に臭素フリーなクロスカップリングになることを確認した。

(2) 新しいクロスカップリング反応

さらに、ArNa と有機塩素化合物とをより活性の高い Pd-PEPPSI-IPent を触媒として用いて反応させたことで、臭素のみならずホウ素や亜鉛も用いない環境負荷の極めて低い新しいクロスカップリングが

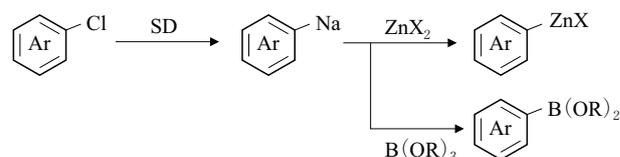


図9 開発したクロスカップリング前駆体の調製

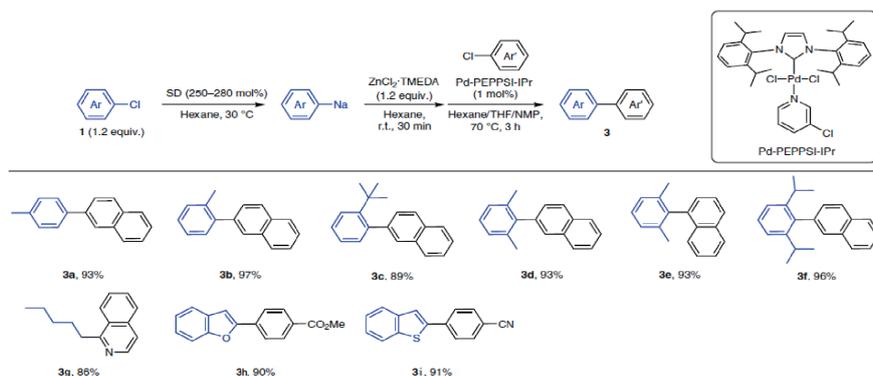


図10 根岸カップリングの反応例⁷⁾

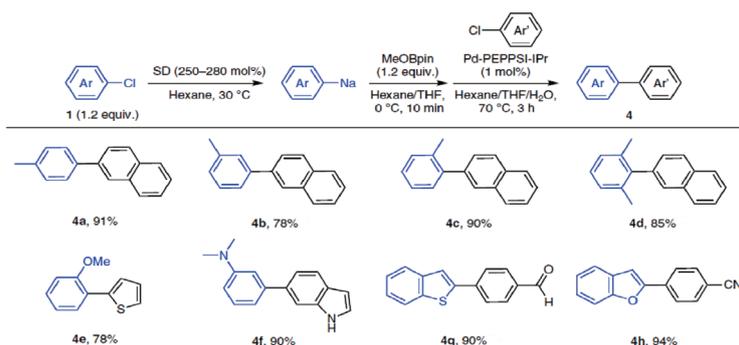


図11 鈴木-宮浦カップリングの反応例⁷⁾

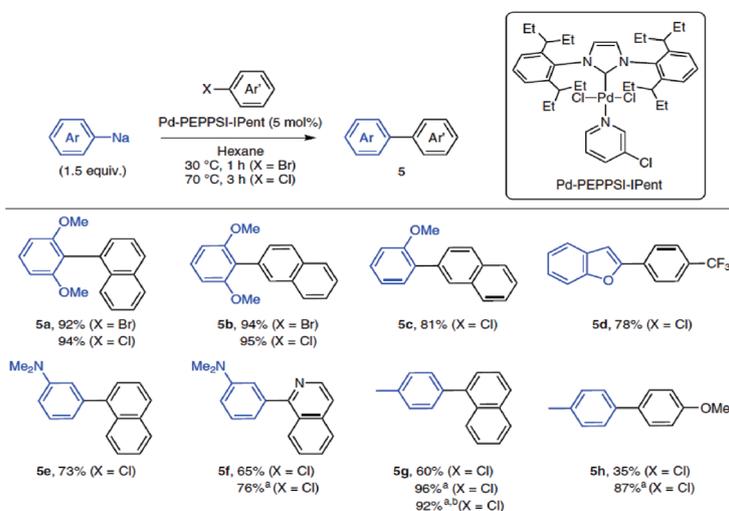


図12 新しいクロスカップリングの反応例⁷⁾

できた。反応例を図12に示す。

4. 開発技術のメリット

本開発を通じて、ArNa から Na-TMP あるいはクロスカップリングの反応剤を調製することができた。

Na-TMP は価格が高騰しているリチウムを用いたリチウムアミドを用いた反応を、安価かつマイルドな条件で代替できる可能性がある。

また、クロスカップリングは医農薬や電子材料を

はじめ、現代化学において極めて重要な反応だが、原料となる有機臭素化合物や有機リチウム化合物は非常に高価という課題があった。一方、塩素は海水からも取れる極めて普遍性の高い物質であり、枯渇の恐れがなく、また臭素と比べれば安価である。本成果の活用により、製薬や化学工業分野におけるコストダウンが期待でき、かつ持続可能性を高めることもできる。

5. 今後の方向性

Na-TMPをはじめとした有機ナトリウム化合物の普及には、有機リチウム化合物と同等以上の性能とコストパフォーマンスを示すことが必要である。適用範囲のさらなる拡大を目指したい。

また、ナトリウムクロスカップリングは見いだされたばかりの技術であり、反応剤の調製条件や触媒の最適化を含めてさらなる研究開発を要する。当面は、安価な有機塩素化合物から鈴木-宮浦カップリングをはじめとしたクロスカップリングの中間体製造技術として積極的に用途開発していく所存である。

アルカリ金属を用いた主要な技術を図13に示す。リチウムで行える各種反応のうちゴムの製造を除く多くの用途をナトリウムで代替できると期待できる有機リチウム化合物を用いた塩基やクロスカップリング反応は従来から知られていたが⁹⁾、今回の成果により、有機ナトリウム化合物でも使えることを明らかにできた。

今後、我々はアルカリ金属を用いた反応のうち、「リチウムでもナトリウムでもできる反応」の中でSDの強みを活かせる技術に着目しながら、さらなる技術開発を進めていく所存である。これにより、リチウム価格の高騰に対するリスク回避が可能となり、持続可能な成長にも寄与できると期待する。

むすび

これまで、当社を含めたPCB汚染廃棄物の処理分野から見れば、SDとはPCBを分解/無害化するための技術だった。一方、有機成分分野から見れば、SDとは危険で厄介な金属ナトリウムの一形態に過ぎず、積極的には顧みられてこなかった。

本検討を通じて、SDを用いると安価な有機塩素化合物から有機ナトリウム化合物を容易に調製できた。有機ナトリウム化合物から調製したナトリウムアミドは有機リチウム化合物の一種であるリチウムアミドを代替できることを示すことができた。リチウムアミドは医薬品製造以外にはほとんど用いられない非常に高価な薬剤であったが本成果を用いることで、従来と同様の反応をより低コストで実施可能となることが期待できる。

また、有機ナトリウム化合物は、鈴木-宮浦カップリングや根岸カップリングの中間体となる有機ホウ素化合物や有機亜鉛化合物の材料にもなることを示した。さらに、触媒の選定によって、有機ナトリウム化合物から直接クロスカップリング反応を行うことも可能となった。クロスカップリング反応は元々医薬、電子材料分野に用いられてきた技術で、

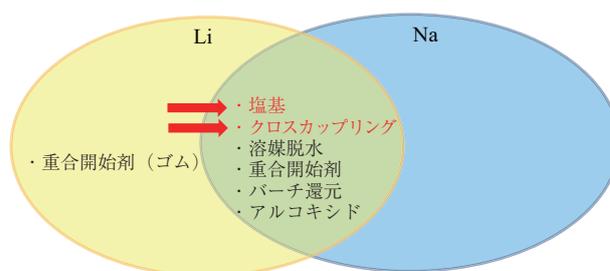


図13 アルカリ金属が用いられる主要な反応
(赤字はリチウムとナトリウムで実施可能となった)

高付加価値品の製造技術であったが、本成果によってより汎用性の高い技術になることを期待する。

今回の成果によってSDが「分解する技術」から「創造する技術」に生まれ変わり、さらにこれまでリチウムでしかできないと思われていた反応をナトリウムでもできる反応とできたことは非常に意義深いことであると嬉しく感じる。引き続き、SDの適用範囲の拡大と使いやすさの改善に努め、さらに有機成分分野に普及させていく所存である。

謝辞

本研究は岡山大学大学院自然科学研究科高井研究室との共同研究によって行われました。

高井研究室の高井和彦教授および浅子壮美助教(現在、理化学研究所)には有機合成における薬品の取扱いなど基礎的なご指導から、特許出願に向けたデータ取得に至るまで多大なるご支援をいただきました。心より感謝いたします。

[参考文献]

- 1) 川井ら: 神鋼パンテック技報, 41(2), p90-97 (1997)
- 2) 長谷川ら: 神鋼環境ソリューション技報, 4(2), p43-47 (2008)
- 3) 三菱総合研究所: 平成29年度鉱物資源開発の推進のための探査等事業(鉱物資源基盤整備調査事業(鉱物資源確保戦略策定に係る基礎調査)) 報告書
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H29FY/000278.pdf
- 4) "Mineral Commodity Summaries" U.S. Geological Survey
<https://www.usgs.gov/centers/nmic/mineral-commodity-summaries>
- 5) "財務省貿易統計"
<http://www.customs.go.jp/toukei/srch/index.htm>
- 6) Asako, S.; Kodera, M.; Nakajima, H.; Takai, K.: *Adv. Synth. Catal.* 2019, *in press*
- 7) Asako, S.; Nakajima, H.; Takai, K.: *Nat. Catal.* (2), p297-303 (2019)
- 8) 鉱物資源マテリアルフロー2018リチウム (Li), (2019)
http://mric.jogmec.go.jp/wp-content/uploads/2019/03/material_flow2018_Li.pdf
- 9) Valentin Hornillos, et al: *Org. Lett.* 2013, 15(19), p5114-5117 (2013)

バイオ天然ガス化装置を利用した水素製造実証

Demonstration of Hydrogen Production Combined with Sewage Biogas Upgrading



宮本博司*
Hiroshi Miyamoto



佐藤朋弘*
Tomohiro Sato



小野田草介*
Sosuke Onoda
博士（工学）

バイオ天然ガス化装置と水素製造装置との組合せによる水素製造プロセスを実証し、製造された水素ガスの品質、水素製造効率、ライフサイクルコスト（LCC）を検証した。その結果、燃料電池自動車（FCV）に供給可能な品質の水素を、都市ガス原料の場合と同等の効率で製造できることを実証したほか、従来の水素製造プロセスに対してLCCで有利な試算結果が得られ、本プロセスがバイオガスからの水素製造に適用可能であることが分かった。

We demonstrated the hydrogen production process combined with sewage biogas upgrading to verify the quality of produced hydrogen, production efficiency, and life cycle cost (LCC). As a result, we confirmed that hydrogen with adequate quality for supplying fuel cell vehicles (FCV) can be produced with the efficiency equivalent to that of the production from natural gas, and that the LCC is lower than that of the conventional process. The result indicates that the process we demonstrated is applicable to hydrogen production using biogas.

Key Words :

水素製造
バイオ天然ガス化
高圧水吸収法
水蒸気改質
燃料電池自動車

Hydrogen Production
Biogas Upgrading
Pressurized Water Scrubbing
Steam Reforming
Fuel Cell Vehicle (FCV)

【セールスポイント】

- ・水素製造に必要な前処理をバイオ天然ガス化装置で一括して行うため、プロセスを簡略化できる。
- ・バイオ天然ガス化装置との組合せにより、実績のある都市ガス向け水素製造装置を適用できる。

まえがき

再生可能エネルギーの一層の利用拡大が求められている中、多量の温室効果ガス（国内排出量約621万t-CO₂/年、平成26年度¹⁾）を排出している下水道分野において、下水汚泥や下水熱といったカーボンニュートラルなエネルギー資源の有効利用が期待されている。

下水汚泥は発生量・性状が安定したバイオマスであり、そのエネルギー利用に向け様々な取組みが行われてきた。これまでは消化タンクからのバイオガスをそのまま有効利用してきた例が多いが、近年は、バイオガスを精製し、メタン濃度を高めることで、更なる利用用途拡大を図る取組みも行われている。

さらに、水素社会の実現に向けて国をはじめとした取組みが進む中、バイオガスから水素を製造する技術も実用化されている。しかし、水素製造にはバイオガスを精製する前処理が必要であり、これは従来、バイオガス中の不純物を成分ごとに除去する複数のプロセスが必要という課題があった。

そこで、我々は水素製造に必要なバイオガス精製（前処理）を、高圧水吸収法によるバイオ天然ガス化装置で一括して行うプロセスを検討した。これにより、煩雑であったプロセスが簡略化でき、水素製造コストの低減も期待できる。また、高圧水吸収法

はメタン回収率が高く（98 %程度）、水素製造原料ガスのロスも低減することができる。

本研究では、バイオ天然ガス化装置と水素製造装置との組合せによる水素製造プロセスを実証し、製造された水素ガスの品質、水素製造効率、LCCを検証した。なお、本研究は実証フィールドをご提供いただいた京都市、日本下水道事業団および当社の3者共同で実施したものである²⁾。

1. 実証方法

実証場所である京都市上下水道局鳥羽水環境保全センターでは、京都市内の5つの処理場から発生する汚泥を集約処理しており、主に重力濃縮された初沈汚泥を消化タンク（高温消化5 500 m³×2基）に投入し、発生したバイオガス全量をバイオ天然ガス化装置にてメタン濃度98～99 %に精製し、都市ガス代替燃料として汚泥焼却炉などで利用している。

図1に実証フローを示す。既設バイオ天然ガス化装置で精製したガスの一部を、今回設置した水素製造装置に供給した。バイオ天然ガス化装置は、加圧下でのバイオガス各成分の水への溶解度差を利用してメタン濃度を高めると同時に、硫化水素、シロキサンなどの不純物を除去する装置であり、高いメタン濃度（97 %以上）およびメタン回収率（98 %程度）を得ることが可能である。水素製造装置（大阪

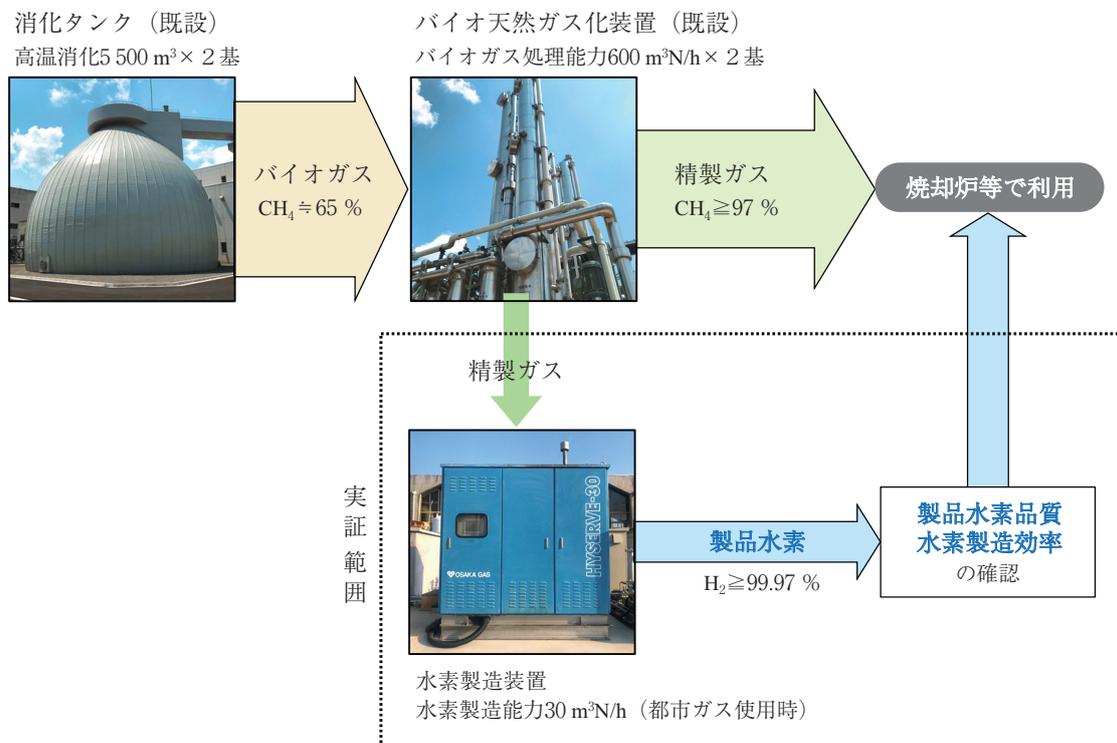


図1 実証フロー

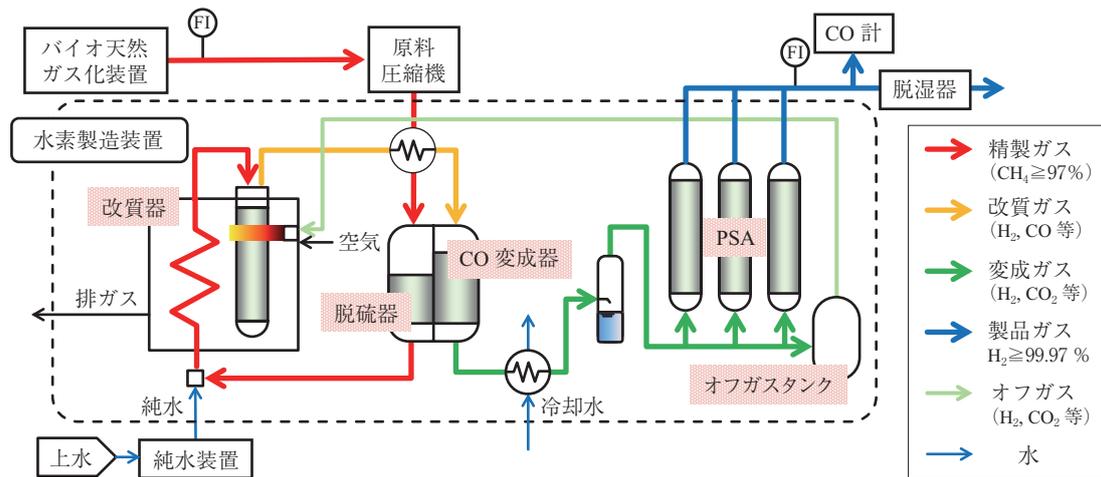


図2 水素製造フロー

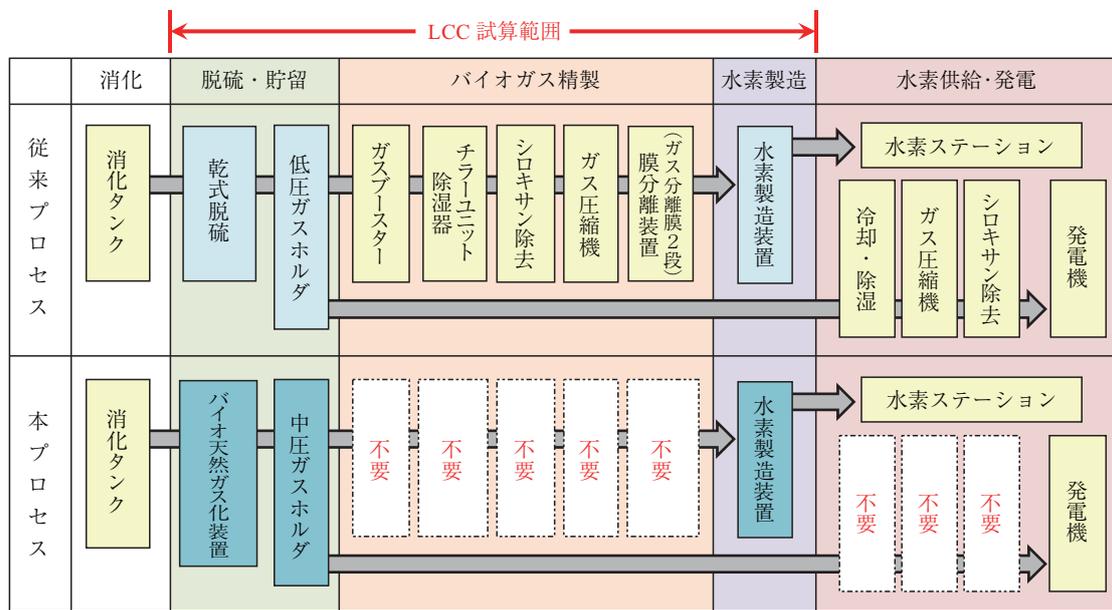


図3 LCC 試算範囲

ガス(株)開発品 HYSERVE-30) は、水蒸気改質反応および CO 変成反応により水素を含む改質ガスを生成させた後、圧力変動吸着法 (PSA) で水素を高純度 (バイオガス原料での本研究目標値は99.97%以上) に精製する装置 (図2) であり、都市ガスからの水素製造で多くの実績がある。

本実証設備を用いて、2017年秋から2018年夏にかけて四季データを取得し、以下を検証した。

(1) 水素ガス品質

水素ガス品質については、定格負荷時に製品水素をサンプリング、分析し、FCV 用水素燃料規格値を満たしているか確認した。

(2) 水素製造効率 (精製ガス原単位)

水素製造効率については、精製ガス原単位 (= 製

品水素 1 m³N 当たりの精製ガス使用量) で評価した。都市ガス原料の場合の同規模機種におけるメーカー実績が0.42 m³N-都市ガス/m³N-H₂ (定格負荷時) であることから、熱量換算 (精製ガス39 MJ/m³N, 都市ガス45 MJ/m³N) により0.48 m³N-精製ガス/m³N-H₂を目標とした。

(3) LCC 比較

平成26年度 B-DASH プロジェクト*で実証された水素製造技術³⁾を組込んだプロセスと、LCC (建設費年価+維持管理費) を比較した。図3に試算範囲を示す。試算規模としては、バイオガス発生量17 000 m³N/d、うち2 700~2 800 m³N/d を用いて3 300 m³N/d の水素を製造する条件とした。また、水素製造時間は12 h/d、水素製造日数は345 d/年とした。

2. 結果および考察

(1) 水素ガス品質

各季、定格負荷時に採取した製品水素の分析結果とFCV用水素燃料規格値（ISO14687-2）を表1に示す。

春季、夏季において、規格値を全て満足する結果が得られた。これに先立ち実施した秋季、冬季の製品水素分析において水分の規格値を満足できなかったのは、当初、水素製造装置の後段に脱湿器を設置していなかったこと、また、サンプリング方法にも不備があったためと判断した。この対策として、脱湿器の設置、サンプリング方法の見直し（サンプリング配管のパージ時間延長など）を実施した結果、水分値を含め全ての規格値を満足することができた。

なお、不純物濃度上昇の指標となる一酸化炭素濃度のオンライン連続監視も行ったところ、製品水素の一酸化炭素濃度は常に規格値0.2 ppmを下回っていた。

(2) 水素製造効率（精製ガス原単位）

表2に精製ガス原単位の結果を示す。定格負荷時の精製ガス原単位は、0.47~0.49 m³N-精製ガス/m³N-H₂（四季平均0.48 m³N-精製ガス/m³N-H₂）で、目標と同等の原単位が確認された。

なお、本実証では定格負荷（水素製造量約26 m³N/h）に加え、70%（同18 m³N/h）、40%（同10 m³N/h）の部分負荷におけるデータ取得も実施した。表2に示すように70%負荷では定格負荷と同等の原単位を維持したが、40%負荷では原単位が高く（効率が低い）、また、冬季など低温期の効率低下が

表1 製品水素分析結果^{注1)}

項目	単位	ISO規格値 (ISO14687-2)	秋季 2017/11/21	冬季 2018/2/21	春季 2018/4/19	夏季 2018/8/31
水素	vol%	≥99.97	>99.97	>99.98	>99.98	>99.98
全炭化水素	ppm	≤2	<1	<1	<1	<0.6
水分	ppm	≤5	17 ^{注2)}	8.6 ^{注2)}	1.5	0.75
酸素	ppm	≤5	<1	<1	<1	<0.05
ヘリウム	ppm	≤300	<100	<100	<100	<100
アルゴン	ppm	≤100	<100	<10	<10	13.6
窒素	ppm			<10	<10	16.7
二酸化炭素	ppm	≤2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.05
一酸化炭素	ppm	≤0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.05
全硫黄化合物	ppm	≤0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
ホルムアルデヒド	ppm	≤0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.005
ギ酸	ppm	≤0.2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.1
アンモニア	ppm	≤0.1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.04
ハロゲン化物	ppm	≤0.05	<0.001	<0.001	<0.001	<0.03
微粒子	mg/kg	≤1	<1	<1	<1	非測定

注1) 分析方法はISO14687-2に示された方法に準じた。

注2) 脱湿器なし（秋季）、サンプリング方法見直し前（秋季、冬季）におけるデータのため参考値とする。

表2 精製ガス原単位（単位：m³N-精製ガス/m³N-H₂）

負荷	秋季	冬季	春季	夏季	平均
定格負荷	0.48	0.48	0.49	0.47	0.48
部分負荷	70%	0.49	0.49	0.47	0.48
	40%	0.50	0.58	0.50	0.52

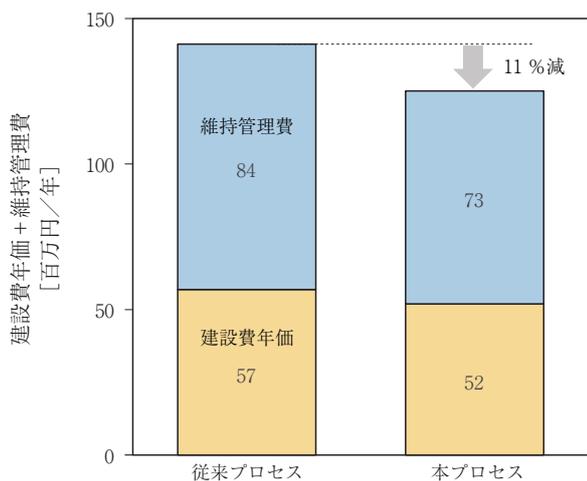


図4 LCC比較

目立った。これは、旧型の試験機（2005年製造）を使用したことに起因するもので、現行機種では制御性の向上などによる改善が図られている。

なお、精製ガスのメタン濃度（通常98～99%）を変更した条件で水素製造を行ったが、異なるメタン濃度（96.4～99.3%）でも水素製造装置のパラメータ調整により効率を落とすことなく水素製造が可能であった。

(3) LCC比較

2項で述べた条件に基づき試算した結果、従来プロセスに対しLCC（建設費年価+維持管理費）で11%程度の削減ができる見込みがあることが分かった（図4）。

むすび

鳥羽水環境保全センターをフィールドとして、バイオ天然ガス化装置と都市ガス向け水素製造装置を組合わせたプロセスを実証したところ、以下の結果が得られ、バイオガスからの水素製造に適用可能であることが分かった。

(1) 水素製造装置後段での脱湿器の追加によりFCVに利用可能な品質の水素を製造できることを確認した。

バイオガス発生量	17 000 m ³ N/d
水素製造量	3 300 m ³ N/d
水素製造時間	12 h/d
水素製造日数	345 d/年
建設費補助率	55 %
耐用年数	機械電気設備15年 土木建築設備50年
利率	2.3 %
参考資料	B-DASH No.11 ガイドライン (H28) 下水汚泥エネルギー化技術ガイド ライン (H29) など

(2) 都市ガス原料の場合と同等の効率（熱量換算ベース）で水素製造が可能であることを確認した。
(3) 従来水素製造プロセスに対してLCCで有利な試算結果が得られた（水素製造量3 300 m³N/d規模）。

これらの結果を踏まえ、再生可能エネルギーの利用拡大に寄与するバイオガスの多面的利活用を可能とする技術としてPRしていきたい。

謝辞

最後に、共同研究者である京都市、日本下水道事業団および関係各位の多大なるご協力に深く感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部：下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン—平成29年度版一，平成30年1月
 - 2) 太田ら：精製消化ガスを用いた水素製造プロセスに関する研究，第56回下水道研究発表会講演集，令和元年7月
 - 3) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：B-DASH プロジェクト No.11下水バイオガス原料による水素創エネ技術導入ガイドライン（案），平成28年10月
- * 国土交通省 下水道革新的技術実証事業（Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project）

Euglena gracilis EOD-1株由来パラミロンの免疫調節機能の可能性

Possibility for Immune Regulatory Function of Paramylon from *Euglena gracilis* EOD-1 strain



大中信輝*
Nobuteru Onaka



西田典永*
Norihisa Nishida



西岡満智子**
Machiko Nishioka
博士（農学）



高橋 円***
Madoka Takahashi



石橋健一****
Ken-ichi Ishibashi
博士（薬学）



大野尚仁****
Naohito Ohno
薬学博士

当社独自の *Euglena gracilis* EOD-1株は、 β グルカンの一種であるパラミロンを多量に蓄積する。 β グルカンは、免疫を活性化することなどから様々な応用展開が可能な素材として期待されている。EOD-1株の免疫機能について検討した結果、臨床試験により、粘膜免疫の向上、精神関連 QOL (Quality of Life) の向上が確認され、健康機能の向上に寄与することが示唆された。

Our company's *Euglena gracilis* EOD-1 can synthesize a large amount of paramylon, a kind of β -glucan. β -glucan activates immunity and is expected to be used in various applications. We have demonstrated that EOD-1 enhanced immunity in the mucous membranes and increased mental-related QOL in clinical trials, thereby contributing to health improvement.

Key Words :

β グ ル カ ン	β -glucan
免 疫	immunity
ユーグレナ・グラシリス EOD-1株	<i>Euglena gracilis</i> EOD-1
パ ラ ミ ロ ン	paramylon

【セールスポイント】

- ・ β グルカンの一種であるパラミロンを豊富に含む EOD-1株。
- ・EOD-1株摂取による臨床試験で粘膜免疫の向上、精神関連 QOL の向上を確認。

まえがき

我国は超高齢社会であり、医療介護費の抑制をはかるために、ヘルスケア志向を高め、国民ひとりひとりの努力で健康増進を目指すことが必要である。このような背景から、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、健康食品素材としての事業を展開している。ユーグレナは葉緑体を持つ単細胞の微細藻類であり、当社独自の

Euglena gracilis EOD-1株は β グルカンの一種であるパラミロンを多量に蓄積する。 β グルカンは多糖類の一種であり免疫を活性化する素材として応用が期待されている。

本報では、免疫機構の概略とこれまでに研究されてきた β グルカンによる免疫調節の可能性について概説し、EOD-1株を用いて行った臨床試験（東京薬科大学との共同研究）について紹介する。

1. ユーグレナが産生するパラミロン^{1), 2)}

当社独自の *Euglena gracilis* EOD-1株はβグルカンであるパラミロンを多量に蓄積することから、免疫機能への効果が期待される。βグルカン研究の歴史は長く、自然免疫や獲得免疫といった免疫機構に関わっていることが分かってきている。以下にユーグレナおよびパラミロンについて紹介する。

1.1 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。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。当社は食品素材としての安全性などの観点から従属栄養培養法を採用している。

1.2 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β-1,3結合をした直鎖状のβ-1,3-グルカンである（図1）。

3本の直鎖状β-1,3-グルカンが右巻きの縄のようになじれあった緩やかな3重らせん構造をとり、これらが複数集まった状態でパラミロン顆粒を形成する（図2）¹⁾。

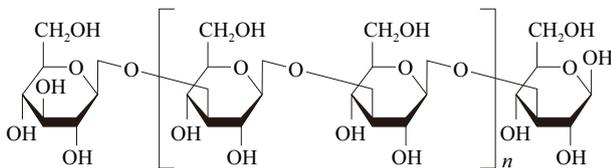


図1 パラミロンの構造式

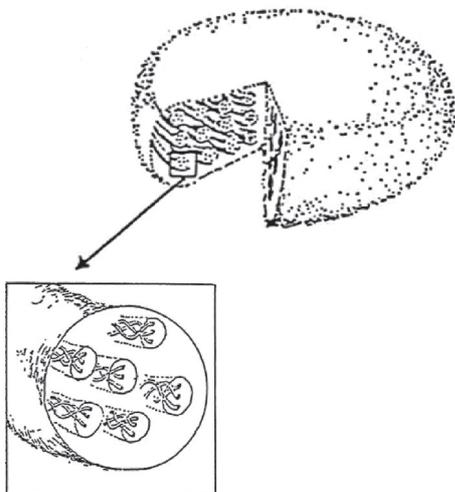


図2 パラミロンの3重らせん構造¹⁾

酵母などの細胞壁に含まれるβグルカンは網目構造をとるが、ユーグレナ・グラシリスに含まれるパラミロンは顆粒の中までβグルカンが詰まっており、珍しいβグルカンであるといえる。写真1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 μmであり、丸餅の様な形をしている。

1.3 *Euglena gracilis* EOD-1株^{3)~5)}

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2）。

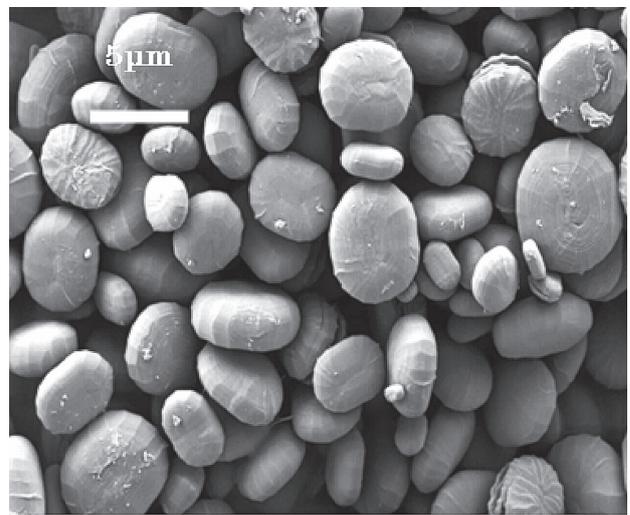


写真1 パラミロンの電子顕微鏡写真



写真2 従属栄養培養で培養した *Euglena gracilis* EOD-1株の光学顕微鏡像
細胞内に観察される白い顆粒がパラミロン

当社はこれまでに安定的に EOD-1株中に70~80 % のパラミロンを蓄積する培養条件を確立している。また、EOD-1株の乾燥物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。

近年、ユーグレナやパラミロンに関して機能性が研究されており、動物実験などで免疫賦活、アレルギー、等への効果が報告されている。また、EOD-1株の乾燥物および精製パラミロンの摂取が食餌誘発性肥満モデルマウスにおける耐糖能改善作用などの可能性が示唆されている。そのため、EOD-1株には、食物繊維としての機能や、免疫向上機能が期待されている。

2. 免疫機構の概略とβグルカンによる免疫調節

EOD-1株を用いた臨床試験結果を紹介するにあたり、免疫機構の概略とこれまでに研究されてきたβグルカンによる免疫調節の可能性について概説する。免疫機構は、高次の生体恒常性維持機構の一つであり、正常な自己細胞を見分けることで、感染症、癌、アレルギーといった様々な疾患から身を守っている。免疫機構は様々な分子、細胞、組織、臓器から構築され、それらがバランスよく働いている。

2.1 免疫機構の概略⁶⁾

免疫系は、様々な分子、細胞、臓器から構成されている。免疫系はこれらを用いて、様々な形の免疫機能を発揮している。免疫機能は、表1に示すように、能動免疫・受動免疫、体液性免疫・細胞性免疫、全身免疫・粘膜免疫、自然免疫・獲得免疫などと大別される。それぞれの免疫系がバランスよく働くことで、様々な局面において全身の恒常性を維持している。

免疫機構は胎児の段階で徐々に形成され、成長に伴って各細胞や分子の機能が成熟し、免疫系全体が成熟する。その後、年齢とともに機能は衰える。加齢によって自己非自己の識別能力が低下し、様々な疾病に繋がっている。皮膚の変化、白髪、アミロイドーシス、自己抗体上昇、がんの増加などは、いずれも自己識別能力の低下による変異細胞の認識除去能力の低下が関係している。

獲得免疫の特長は免疫記憶である。同じ感染症には2度は罹患しないという特長から、予防接種法が確立され、広く普及するに至っている。

皮膚や粘膜は、体表を形成し、病原体やアレルギーなどと最初に接触する最初のバリアである。また、消化管は嫌気的環境の中で常在菌叢と接し、栄

表1 免疫機構の分類

- ◆能動免疫と受動免疫
 - ・能動免疫：感染、ワクチンなど、直接に免疫系が刺激された後に成立する。
 - ・受動免疫：母乳、抗血清（抗毒素）、輸血、グロブリン製剤など、免疫機能を発揮するものを直接投与する。免疫補充療法。
- ◆体液性免疫と細胞性免疫
 - ・体液性免疫：抗体が中心となって作用する。抗体移入で再現できる。
 - ・細胞性免疫：感作T細胞などが中心となる。抗体移入では伝達できない。
- ◆全身免疫と粘膜・皮膚免疫
 - ・粘膜・皮膚免疫：体表面のバリア。
 - ・全身免疫：体表面のバリアを超えたものに対応する免疫応答。
- ◆自然免疫と獲得免疫
 - ・自然免疫：自然抵抗性、皮膚・粘膜の物理障壁、分泌成分（抗菌物質など）、補体、食細胞、NK細胞、ある程度の免疫記憶（trained innate immunity）
 - ・獲得免疫：抗体、リンパ球（強い免疫記憶、感作されて機能を発揮する、予防接種成立の背景となっている）

*どの階層に至るかは、病原体（異物）と宿主の状況で変化する。（種類、量、感染ルート、年齢、感作状況…）

養素の吸収を行い、皮膚は紫外線を吸収し、体温調節を行うなど、いずれも多くの機能を発揮している。このように体表と体内はそれぞれ特長的な環境にあるので、免疫系の細胞や制御機構はそれぞれに特長的な面を含んでいる。

2.2 免疫系調節のしくみ

免疫系は、多種多様な分子・細胞・臓器を用い、精密に構築されている。免疫系は常に体内を監視しており、定常状態を保とうと機能している。しかし、病原体等によって恒常性が乱されると、活性化され修復に向かう。活性化のレベルは、局所、全身、急性、慢性と様々である。免疫系の恒常性は、免疫系自身によって保たれているだけでなく、他の恒常性維持機構によっても制御されている（表2）。

第一は免疫系の中で生じる調節である。免疫にかかわる分子や細胞には、相反する機能を有する様々なものが存在している。

第二は神経・内分泌系との連携である。生体は多数の恒常性維持装置を有している。視床下部は交感神経・副交感神経機能や内分泌を統合的に調節することで、生体の恒常性維持に重要な役割を果たしている。免疫系の臓器は交感神経・副交感神経の制御を受け、さらに内分泌で産生されるホルモン（ステ

表2 免疫機構のしくみ

i	免疫細胞間：免疫担当細胞は沢山の種類から構成されている。それらが、複雑なネットワークによってバランスが築かれる。例えば Th1/Th2 バランス、酸化型・還元型マクロファージ、様々な液性因子、エイコサノイド。
ii	神経、内分泌：からだは脳によって制御される“神経系”，“内分泌系”，“免疫系”の3つの流れがあって全体を調節している。単に免疫系を超えた調節がなされる。
iii	常在菌叢：免疫系の発達には、常在菌とのせめぎ合いが重要。(腸内細菌、皮膚・粘膜常在菌)。生れ落ちればすぐにこれらの菌にさらされる。胎盤を介して生まれる前に母親の抗体を受取る意味はここにある。

ロイドホルモン)は強力な免疫抑制機能を有している。したがって、身体的、精神的、または社会的ストレスや、信仰、音楽、喜怒哀楽など、多くの日々の営みが免疫系に影響を与えている。性周期、更年期など性ホルモンのバランスの変化は免疫系の変化に繋がっている。このように免疫系は、神経系、内分泌系と密接に関連しているため、免疫を調節するためには、神経系・内分泌系との相互作用も視野に入れる必要がある。

第三は常在菌叢の存在である。ヒトは微生物と共生することにより、免疫系の発達が促されている。また、常在菌叢の乱れは多くの疾患と関連していることも明らかになってきている。無菌動物の免疫機能は正常マウスと比較し、低下している。また、消化管疾患の患者から得られた腸内菌叢はバランスが崩れているとする多数の報告がある(表3)⁷⁾。

2.2.1 βグルカンの研究のあゆみ^{8)~10)}

βグルカンに関連する生体防御や免疫関連の研究は著しく進展してきた。この背景には、1980年代にがんの免疫治療に積極的に用いられ、がん免疫療法の分子メカニズムの解明を目指した点をあげることができる。また、2000年代には真菌感染症や真菌アレルギーが広がり、診断・治療へのニーズが高まったことが挙げられる。一方、わが国では古くから発酵産業が食生活に密接につながっている。その中で、麹菌、酵母などの真菌は中心的な存在である。また、藻類や茸類は汎用され、食卓を賑わす食材である。これらのβグルカンを豊富に含む食材を中心として免疫機能を解析し、食品産業として推進することは、わが国の重要な戦略となりうるものである。

現在、我が国が向かうべき方向性を示すキーワー

表3 腸内細菌叢の変化との関連性が指摘されている疾患⁷⁾

消化管疾患	消化管以外の疾患
Clostridium Difficile 感染症 炎症性腸疾患 過敏性腸症候群 大腸癌	肥満 糖尿病・耐糖能異常 非アルコール性脂肪肝炎 喘息 アトピー性皮膚炎 自己免疫性疾患 慢性疲労症候群 多発性硬化症 自閉症

ドは、健康寿命の延伸、ヘルスケアの推進、健康増進であり、βグルカン研究もその方向へ向かっている。βグルカンは医薬品素材であること、受容体研究が進んでいること、自然免疫を活性化する分子パターンであること(後述)などから、あらゆる面でパイオニア的存在であり、今後も様々な応用展開が可能な分子である。

2.2.2 βグルカンの製造法と構造の特長

細胞壁は複数の高分子物質がネットワークを形成して構築された超高分子であり、細胞の形態、剛直性、宿主抵抗性などを規定している。機能性高分子としてのβグルカンは、キノコ、酵母、菌糸体など様々な素材の骨格物質あるいは細胞間の充填物質として存在しており、様々な方法で抽出されている。

2.2.3 βグルカン機能の年齢・個人差(系統差)

宿主の免疫機能の状況によって、βグルカン受容体の発現が制御され、βグルカン応答性には著しい差が生じる可能性のあることが強く示唆されており、βグルカン反応性の個人差はヒトでも見出されている。東京薬科大学の大野教授の研究グループの研究結果ではヒト末梢血の単核球をβグルカンで刺激し、サイトカイン産生を測定したところ、健康人ボランティア間で産生量に著しい差が認められた^{11), 12)}。個人差の原因は明確で無いが、細胞レベル、受容体レベル、シグナル伝達レベルなど様々な点で多様性が生じる可能性がある。

2.2.4 βグルカンと自然免疫

今世紀に入って、免疫機構の研究は急速に進んだ。とくに自然免疫に関連する分野には様々な細胞や分子が見出された。その過程で Pathogen associated molecular patterns (PAMPs)-Pattern recognition receptors (PRRs) という概念が提案され、宿主による認識機構、活性化機構についても体系化されつつある。早期から注目を集めた PRR 分子は Toll-like-receptors (TLRs) であり、これらの分子に対するさ

まざまりガンド分子が同定された。 β グルカン特異的受容体としてはCR3, lactosylceramide, Dectin-1が知られている。とくに90年代末には、自然免疫研究が急速に進展し、樹状細胞から見出された受容体としてDectin-1が注目され始めた。Dectin-1が β グルカン受容体として機能することは、西城ら、Brownらによる遺伝子欠損マウスの開発によって明らかにされた^{13), 14)}。Dectin-1の解析はマウス、ヒト、ラット、など多種で進められている¹⁵⁾。

β グルカンは一次構造、分子量、溶解性、ゲル化能、高次構造など多様性に富んでいる。自然界から得られることが多く、純度も様々である。 β グルカンの構造と活性との関係を明確にすることは興味ある点であり、様々な活性が報告されている。

自然免疫受容体を介した β グルカンの免疫活性化作用については、構造活性相関の面からも詳細な解析が進められているところであり、自然免疫の中心的な研究課題となっている。

2.2.5 β グルカンと獲得免疫

抗 β グルカン抗体の有無については、疾病との関連性が明確で無く、着目されてこなかった経緯がある。東京薬科大学の大野教授の研究グループでは、献血で得られた血液から製造されたグロブリン製剤を用いて、抗 β グルカン抗体の存在をカンジダ由来の β グルカンを用いて検討し、特異抗体の存在を確認した¹⁶⁾。さらに、 β グルカンの粘膜免疫に及ぼす影響について検討するため、唾液を用いて抗 β グルカン抗体の産生を検討したところ、唾液からもIgAクラスの抗 β グルカン抗体の産生が認められた。ボランティアにキノコ系の機能性食品を継続的に摂取していただくと、力価の上昇が認められたことなどからも自然に感作されたことが強く示唆された¹⁷⁾。また、著しい個人差が認められたことから、感受性に個人差があることが示唆された¹⁸⁾。抗体は、病原性真菌の表層に結合し、食細胞の殺菌作用を上昇させたことから、抗体力価の差は、真菌に対する感染免疫の個人差を反映している可能性がある。さらに、抗 β グルカン抗体の交差反応性について検討したところ、植物多糖とも反応したことから、抗 β グルカン抗体は広範な交差反応性を示すことが示唆された。これらのことから、 β グルカンは宿主の自然免疫と獲得免疫の両システムによって認識される分子であることが明らかとなった。

2.2.6 β グルカンと粘膜免疫

実用面から β グルカンによる免疫系の賦活化を考えると、粘膜面を介した活性化機構の解析が要とな

る。東京薬科大学の大野教授の研究グループではこれまでに様々な機能性成分について実験動物を用いて経口投与での免疫修飾作用を検討してきたが、高分子 β グルカンは吸収されるとは考えにくく、消化管の滞留時間も短く、経口免疫寛容も働くので、腹腔内投与や静脈内投与と比較し、軽微な変化であった。

最初に着目したのは、子囊菌の1株、*Sclerotinia sclerotiorum* IFO9395株の培養外液から得られる高分岐の β グルカン、SSGであり、経口投与でも有意な抗腫瘍活性を発揮することを見出した。さらにSSGの経口投与の影響を体系的に検討し、複数の同種同系固形癌に効果を有すること、転移抑制効果を示すこと、脾臓細胞のConA並びにLPSに対する応答性が上昇すること、NK活性が上昇すること、腹腔並びに肺胞マクロファージ活性化作用（酸性ホスファターゼ、貪食、殺菌、過酸化水素、IL-1）を示すこと、IgA産生増強作用を示すこと、パイエル板機能が上昇することを明らかにした^{19), 20)}。また、SCGをDBA/2マウスに経口投与すると、腸管パイエル板や脾臓でのGM-CSFならびにIFN- γ 産生が上昇することを見出した²¹⁾。さらに、カンジダ由来の β グルカンCSBGをマウスの気管内に投与すると、肺胞マクロファージの活性化、アジュバント作用など粘膜免疫系の活性化作用を示すことを明らかにした^{22), 23)}。また、動物実験では、飼料の影響が極めて大きいことが明らかになってきた。マウス血管炎モデルを用い、天然飼料CE2と合成飼料AIN93Gの影響を比較したところ、後者が重篤な症状を示し、腸内菌叢にも変化が認められた。天然飼料中には β グルカンやイソフラボンが含まれていることが影響しているものと思われる²⁴⁾。先に述べたとおり、免疫系が多重に制御されていることの現れである。これらの結果は β グルカンが粘膜面を介して免疫系を活性化できることを示唆するものである。

3. *Euglena gracilis* EOD-1株摂取による唾液IgA反応性および健康関連QOLへの影響²⁵⁾

前述のとおり、免疫系は様々な調節を受けており、 β グルカンは免疫機構に関わっていることが示唆されている。一方でヒトでの*Euglena gracilis*摂取による免疫機能への影響については未だに明らかとなっていない。そこで共同研究ではパラミロンを豊富に含むEOD-1株はヒトで免疫活性を示すと考え、パラミロンの免疫に与える影響に着目した。また、免疫は先に述べたとおり、神経や内分泌系との

連携から、身体や精神に影響し、QOLに影響する可能性がある。

まず、ヒト血清や唾液中にパラミロンに反応する抗体があるのかを調べた。次に、臨床試験において、EOD-1株の摂取が免疫やQOLへ与える影響について調べた。免疫への効果は感染防御に寄与する唾液中の分泌型免疫グロブリン A (s-IgA) および抗 EOD-1パラミロン IgA を測定により調査した。さらに健康に関する一般的な QOL に対する効果について、世界共通の健康関連 QOL アンケートである SF-36v2 を用いて調べた。

3.1 ヒト血清および唾液中の免疫グロブリンとパラミロンの結合

EOD-1株から精製したパラミロン (EOD1PM) に免疫グロブリン製剤を加えて抗体との結合を評価したところ、抗体との結合が認められ、ヒト血中にパラミロンに反応性を示す抗体の存在が示唆された。比較物質として他の微生物由来のβグルカンと共存させるとその結合が阻害されたことから、結合した抗体はパラミロンに特異的であることが示唆された。

同様に、唾液中に含まれるパラミロンに反応する抗体を測定した。パラミロンをプレート上に固層化した後、ヒトの唾液を加えてパラミロンと結合するか調べたところ、唾液中にもパラミロンに反応性を示す抗体が確認された。

さらに、ヒト健康人ボランティア13名の唾液中での抗 EOD1PM 抗体価を調べたところ各健康人唾液中に抗 EOD1PM IgA が検出され、その力価には個人差があった。ヒトの体内にパラミロンに反応性を示す抗体が存在したことから、EOD1PM は感染防御機能などの免疫機能に関与する可能性が示唆された。

3.2 EOD-1株を用いた臨床試験

3.2.1 試験方法

試験デザインは二重盲検クロスオーバー試験とし、健康人ボランティア13人を対象として試験を行った。摂取開始前 (0 週) 検査とし、唾液採取と健康関連 QOL アンケート (SF-36v2) などの各種検査を実施した。初回検査後、被験者を2つのグループに分け、EOD-1株の乾燥物またはプラセボ (EOD-1株を含まない食品) を1日500 mg、4週間摂取させた。摂取開始から4週後に同様の検査を行い、非摂取の期間 (ウォッシュアウト期間) を4週間設け、同様に検査を行った (8w)。次に0wとは異なる試験食を4週間摂取させた。4週間後 (12w) の検査日に同様の検査を実施した。採取した唾液は

感染防御の指標となる唾液中分泌型 IgA (s-IgA) および抗 EOD1PM IgA 抗体を測定した。試験期間中に適切な時間に測定ができないなど試験に不適当であると判断された対象者を除外し、7名の試験対象者を解析した。

3.2.2 結果および考察

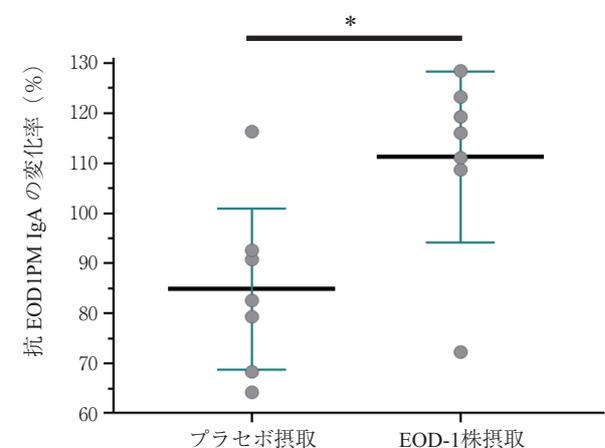
EOD-1株摂取後の s-IgA 濃度と分泌速度を検討したところ、プラセボ摂取時と比較して EOD-1株4週間摂取で唾液中分泌型 IgA 濃度と分泌速度が有意に上昇した (表4)。

次に、EOD-1株摂取後の、唾液中の抗 EOD1PM IgA 抗体の変化を確認したところ、プラセボ摂取後と比較して、EOD-1株摂取後では抗 EOD1PM IgA 抗体価が有意に高かった (図3)。EOD-1株の摂取により、粘膜面において、EOD-1株に含まれるパラミロンに特異的な免疫応答が引き起こされることが示唆された。抗 EOD1PM IgA 抗体は、*Candida* および *Aspergillus* 由来のβグルカンにも応答した。ヒト血清中の抗βグルカン抗体はヒトマクロファージの抗真菌活性を増強することが報告されている¹⁶⁾。よって、抗 EOD1PM 抗体はマクロファージの抗真菌活

表4 唾液中分泌型免疫グロブリン A (s-IgA) 濃度と分泌速度の変化率²⁵⁾

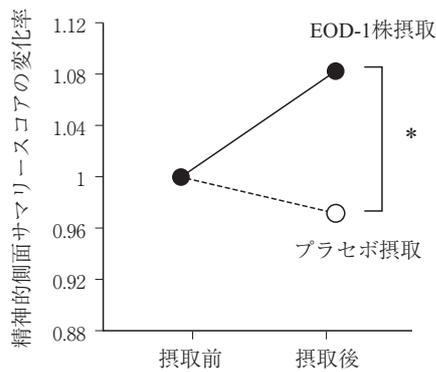
		摂取後の変化率
s-IgA 濃度	プラセボ摂取	0.77 ± 0.82
	EOD-1株摂取	1.41 ± 0.26
s-IgA 分泌速度	プラセボ摂取	0.88 ± 0.28
	EOD-1株摂取	1.91 ± 1.29

* プラセボ摂取と EOD-1 株摂取で有意差あり (p < 0.05)
Nutrients 2019, 11(5), 1144 を改変



* プラセボ摂取と EOD-1株摂取で有意差あり (p < 0.05)
Nutrients 2019, 11(5), 1144 を改変

図3 抗 EOD1PM IgA 抗体の変化率²⁵⁾



* プラセボ摂取と EOD-1 株摂取で有意差あり (p<0.05)
Nutrients 2019, 11 (5), 1144 を改変

図 4 精神的側面サマリースコアの変化率²⁵⁾

性を増強する可能性がある。*Candida* は口腔など粘膜表面に感染症を引起す可能性があり、*Aspergillus* は気管支および肺感染症を引起す。粘膜に分泌される抗 EOD1PM IgA を含む抗 β グルカン IgA 抗体も病原性真菌のような感染性の病原体に対する防御に関与していると考えられる。EOD-1 株の摂取による抗 EOD1PM IgA 抗体価の上昇は、微生物感染に対する感染防御能を上昇させる可能性が考えられた。

EOD-1 株摂取による健康関連 QOL への影響については、SF-36v2 を用いて調べた。EOD-1 株摂取後に心の健康の項目において有意に上昇した。さらに EOD-1 株摂取群ではプラセボ群と比較して摂取後の精神的側面サマリースコアが有意に上昇した (図 4)。 β グルカンの摂取がアレルギー患者の全体的な QOL のベースラインを上げ、QOL を向上させることが報告されており^{26), 27)}、EOD-1 株に含まれるパラミロンも QOL 向上に関わっている可能性もある。前述のように、免疫は、神経や内分泌系との連携から、身体や精神にも影響しており、EOD-1 株摂取により免疫指標が上昇していることからそのようなメカニズムを介していることも考えられる。

以上より EOD-1 株摂取は免疫調節と健康関連 QOL を改善したことから EOD-1 株が人にとって有用な機能をもつ食品であることが示唆された。

むすび

本稿では免疫機構の概略と、これまでに研究されてきた β グルカンによる免疫調節の可能性について概説し、EOD-1 株摂取による免疫調節と健康関連 QOL 改善について紹介した。免疫や β グルカン研究の範囲は著しく広がってきている。また、健康長寿を達成するためにヘルスケア領域は拡大しつつあ

り、 β グルカン応用面の拡大が期待される。 β グルカンにまつわる研究は様々な分野と連携している。本分野がさらに発展することを期待するとともに、今後も EOD-1 株に含まれるパラミロンの詳細な作用メカニズムの解明を目指し、確かなエビデンスに基づく商品開発などにつなげていきたい。

[参考文献]

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 赤司昭, 他: 神鋼環境ソリューション技報, 12(1), p9-15 (2015)
- 5) 大中信輝, 他: 神鋼環境ソリューション技報, 14(2), p3-10 (2017)
- 6) 宿前利郎, 大野尚仁編. 2010, 免疫学概説 第3版, 廣川書店
- 7) Brandt LJ et al., Gastrointest Endosc, 78(2), p240-249 (2013)
- 8) 大野尚仁, ドーシンニュース2005, (114), p1-10 (2005)
- 9) β グルカンの基礎と応用—感染, 抗がん, ならびに機能性食品への β グルカンの関与—. 2016, 大野尚仁監修, シーエムシー出版
- 10) β グルカンの基礎研究と応用・利用の動向. 2018, 大野尚仁監修, シーエムシー出版
- 11) Hirata N et al., Zentralbl Bakteriologie, 288(3), p403-13 (1998)
- 12) Ishibashi K et al., Int Immunopharmacol, 2(8), p1109-22 (2002)
- 13) Saijo S et al., Nat Immunol, 8(1), p39-46 (2007)
- 14) Taylor PR et al., Nat Immunol, 8(1), p31-38 (2007)
- 15) Kato Y et al., Microbiol Immunol, 52(8), p418-28 (2008)
- 16) Ishibashi K et al., FEMS Immunol Med Microbiol, 44(1), p99-109 (2005)
- 17) Ishibashi K et al., Int J Med Mushrooms, 13(2), p101-107 (2011)
- 18) Ishibashi K et al., Int J Med Mushrooms, 15(2), p115-26 (2013)
- 19) Sakurai T et al., Int J Immunopharmacol, 14(5), p821-30 (1992)
- 20) Suzuki I et al., Int J Immunopharmacol, 11(7), p761-9 (1989)
- 21) Hida TH et al., Int J Med Mushrooms, 15(6), p525-38 (2013)
- 22) Inoue K et al., Immunopharmacol Immunotoxicol, 31(1), p140-145 (2009)
- 23) Inoue K et al., Int J Immunopathol Pharmacol, 20(3), p499-508 (2007)
- 24) Sato W et al., Med Mycol, J58(2), E47-E62 (2017)
- 25) Ishibashi K et al., Nutrients, 11(5), p1144 (2019)
- 26) Feldman et al., J. Appl. Res., p9,30-43 (2009)
- 27) Talbott et al., Food Sci. Nutr., p1,90-101 (2013)

流動床式ガス化溶融炉の実績と高度化

Delivery Results and Latest Technologies of Fluidized Bed Gasification and Melting Furnace



植浦大樹*
Daiki Ueura



伊藤 正**
Tadashi Ito

当社の流動床式ガス化溶融炉は、ごみのガス化を行う流動床部において高炉床負荷で緩慢燃焼を追求することにより、燃焼変動を極限まで低減した様々な廃棄物性状に対応可能な技術である。一般廃棄物の処理に加え、最終処分場の掘起こしごみや災害廃棄物など社会ニーズに応える形で適用範囲を拡大し、納入された施設規模は60 t/d～525 t/dに達し、分散型中小施設から広域化された大規模施設までを網羅する実績となった。さらに、廃棄物処理に関わる発電量の安定化や省力化と言う社会の要請に対して、近年発展の著しいAI・ICT技術を活用した運転支援技術の開発を行い、流動床式ガス化溶融炉の高度化に向けた取組みを加速させている。本稿では、当社の納入した流動床式ガス化溶融炉の実績と最新の技術について報告する。

Our fluidized bed gasification and melting furnace suppresses combustion fluctuation to minimal amounts by pursuing slow combustion under the condition of a high waste feeding rate in the fluidized bed section that gasifies waste. This allows for various waste properties to be targeted for incineration. The scope of these applications has been expanded in response to social needs such as the treatment of not only domestic waste but also excavation waste at landfills as well as disaster waste. The scale of waste treatment facilities delivered has reached between 60 t/d to 525 t/d which means that it covers the nearby small and medium-sized facilities as well as large-scaled facilities that have expanded in area. Furthermore, we are accelerating efforts to upgrade the fluidized bed gasification and melting furnace by developing operation support technology using recently developed prominent AI and ICT technologies, thereby stabilizing the amount of power generation and saving labor in the field of waste treatment. In this paper, we report the delivery results and the latest technology of our delivered fluidized bed gasification and melting furnaces.

Key Words :

流動床式ガス化溶融炉
ごみの混合処理
運転支援技術

Fluidized bed gasification and melting furnace
Mixed treatment of waste
Operation support technology

【セールスポイント】

- ・ 廃棄物の保有する熱エネルギーを利用することで外部燃料を使用せずに廃棄物のガス化、高温燃焼、灰の溶融処理を一貫して行うことのできる経済的な処理方式である。
- ・ 広範な処理規模の対応実績がある。
- ・ 多種多様な性状の廃棄物に適用可能である。
- ・ AI・ICT技術を活用した運転支援技術の開発により、流動床炉の高度化を推進している。

まえがき

ごみ焼却処理から排出されるダイオキシン類の削減を主な目的として、平成9年に環境省より「ごみ処理の広域化計画について」が通知され、各都道府県にてごみ処理の広域化が推し進められてきた。図1で示すように、平成10年度には100 t/d以上の施設が550施設と全体の約31%であったのに対し、平成29年度には100 t/d以上の施設は約54%に増加している¹⁾。平成31年3月29日には、環境省から「持続可能な適正処理の確保に向けたごみ処理の広域化及びごみ処理施設の集約化について（通知）」が発表され、安定的かつ効率的な廃棄物処理体制の構築に向けて、今後も広域化・集約化が進められていくものと予想される。一方、広域化・集約化した場合にスケールメリットが見込めないケースでは、これまでどおり地域に即した分散型の形態を維持していく格好となり、広域化による大規模なごみ処理施設と、分散型の中小ごみ処理施設は、今後も共存していくものと思われる。

CO₂排出量削減が急務となっているが、廃棄物の燃焼処理施設では廃棄物由来のCO₂が排出され、助燃剤として化石燃料が使用される場合、排出されるCO₂はさらに加算されてしまう。当社の流動床式ガス化溶融プロセスは、廃棄物の保有する熱エネルギーを利用することで外部燃料を使用せずに廃棄物のガス化、高温燃焼、灰の溶融処理を一貫して行うことのできる経済的な処理方式である。本処理方式による都市ごみ処理施設は、現在全国各地へ普及し、一般的な処理方式の一つとなっている。流動床式ガス化溶融炉が納入された施設規模は60 t/d (30 t/d × 2 炉) ~525 t/d (175 t/d × 3 炉) であり、分散型中小施設から広域化された大規模施設までを網羅し、今後の新設需要に対して幅広く対応できる実

績を積上げてきた。

加えて、当社では流動床炉が様々な廃棄物性状に対応できるという特長を生かし、汚泥や災害廃棄物の混焼へ適用範囲を拡大してきた。最近では流動床式ガス化溶融炉納入施設における灰溶融に加えて、最終処分場に埋立てられている焼却灰を掘起こして溶融し、最終処分場の再生による残余年数を拡大する取組みや、他焼却施設で排出される焼却灰の混合溶融への対応の実績を積上げている。このように、流動床式ガス化溶融炉を様々な社会ニーズへ対応させてきたが、少子・高齢化と言う社会状況に即した省力化による処理技術の高度化も進めている。本稿では流動床式ガス化溶融炉の実績や最新の技術の紹介を通じて、当社の取組みについて報告する。

1. 流動床式ガス化溶融炉の実績

当社は、流動床式ガス化溶融施設について国内最多である合計17施設の実績を有し、施設規模は合計2877 t/dである。

ごみ処理施設において長期連続運転は、起動停止回数の低減に伴うCO₂削減や発電した電力の安定供給に有効であるため、施設の性能を示す一つの指標となる。ビュークリーンおくえつ（福井県）では1炉あたり308日連続運転、年間339日稼働（年間稼働率：約94%）を達成している²⁾。石巻広域クリーンセンター（宮城県）では2系列とも年間300日以上運転を行い、甲府・峡東クリーンセンター（山梨県）でも年間の休炉2回、330日以上運転を行うなど、流動床式ガス化溶融施設の優れた安定性により、長期連続運転の実績が示されている。

また、石巻広域クリーンセンターでは、東日本大震災により発生した約2万tの災害廃棄物を約14%の平均混合割合で処理した。流動床式ガス化炉の砂層は投入ごみに対して大きな熱容量を有している

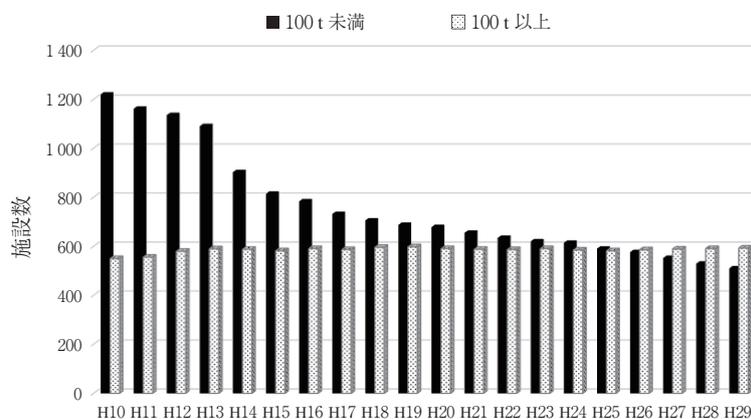


図1 ごみ処理施設の規模別施設数（H10～H29）

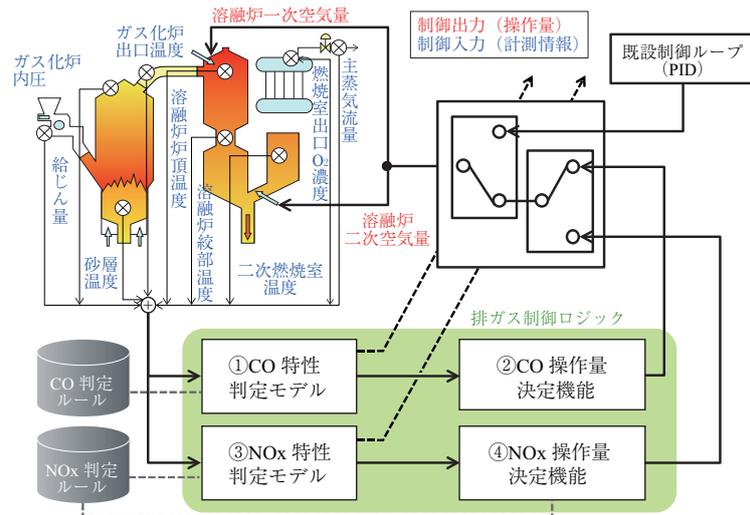


図2 排ガス CO, NOx 抑制の制御システムの概要

ため、ごみ質の変動を吸収して安定した運転を行え、汚泥等の低発熱量のごみからプラスチック等の高発熱量のごみまで多種多様なごみの混合処理に適しており、雑多なごみの混合物である災害廃棄物も確実に処理することができる³⁾。

仙南クリーンセンターでは、最終処分場から掘起こしたごみを都市ごみと混合溶融し、最終処分場の延命化を進めている。掘起こしごみの混合溶融実績は、計画値4.6%に対し、平成29年度は3.1%、平成30年度は5.2%であり、おおむね計画通り推移している。掘起こしごみの混合溶融は、最終処分場の延命化を、ごみを貴重な熱エネルギー資源として最大限活用することで実現した事例である。

ごみのエネルギー資源としての利用は、ごみ発電として広がりを見せ、国内のエネルギー自給率向上と低炭素社会の実現に寄与している。現在ごみ発電ボイラの蒸気条件は4MPa×400℃が標準となっているが、当社ではLCCを増加させることなく高い経済性を維持できる運用条件の把握に努めている。廃熱ボイラを有する複数の流動床式ガス化溶融施設において、過熱器管の長期に渡る減肉状況調査による評価の結果、高効率条件下であっても過熱器管の減肉はほとんど見られず、流動床式ガス化溶融炉は経済性と環境性に優れた設備である結果が示されている⁴⁾。当社では流動床式ガス化技術を溶融炉とは別に燃焼炉としても適用しており、ガス化燃焼炉では国内最高クラスとなる6MPa×450℃の高効率ボイラを導入している。今後のごみ発電の高効率化という社会の要請に応えられるよう技術開発を進めていく。

2. 流動床式ガス化溶融炉の最新技術

低炭素社会への移行に向けた動きが加速されてお

り、廃棄物は化石燃料を代替するエネルギー資源の一つとして注目され、廃棄物発電の需要はますます高まってきている。廃棄物発電による電力安定供給の観点から廃棄物処理施設においては稼働率の向上が求められており、安定運転の実現に向けた運転管理の最適化が必要となっている。また、少子高齢化に伴う労働人口の減少によって、廃棄物処理分野においても運転員の確保が困難になることが予想されており、持続可能な廃棄物処理施設の運営に向けて運転の省力化も喫緊の課題となっている。こうした社会の要請にこたえるべく、近年発展の著しいAI・ICT技術を活用し開発を進めてきた運転管理を支援する技術について紹介する。

2.1 排ガスのCO, NOx抑制の自動化

ごみ性状の急激な変化やごみに混入した焼却不適物に起因して運転状態が非定常に変化した際に、排ガス濃度の急な上昇を抑制するために運転員により手動介入する場合がある。運転員の監視・操作業務の負荷削減のため、排ガスCO濃度、NOx濃度に着目して非定常な手動介入操作を自動化する制御システムを開発した。

CO濃度は炉内燃焼状態の良否に影響され、NOx濃度は、燃料中窒素分のNOxへの転換率が炉内の燃焼雰囲気の影響され、それぞれ排出濃度は変化する。燃焼雰囲気の代表的な指標として炉内O₂濃度や各所炉内温度などを制御入力値として、低CO濃度と低NOx濃度を両立できる炉内雰囲気を維持するように燃焼空気量を適応的に操作する。

具体的には図2に示すように、過去の運転ビッグデータを基に、機械学習を用いてCO濃度、NOx濃度抑制のための手動介入の要否判定のロジックを

モデル化した。そして、そのモデル判定に基づき燃焼空気量を制御しCO濃度、NOx濃度の発生抑制を図っている。

本システムを実機に導入した結果、運転員の手動介入の自動化による負荷削減に加え、排ガスのCO濃度は4hr平均値で11.5%低減、NOx濃度は1hr平均値で27.5%低減されることを確認できている⁵⁾。

2.2 モデル予測制御を用いた発電量一定制御

流動床式ガス化溶融プロセスでは、ごみ給じん量や燃焼空気量を操作することで廃熱ボイラの蒸気発生量や炉内温度等が自動制御される。同プロセスは制御応答が速く、負荷変動に追従しやすいという特長を有する。この制御をもってしても制御性能が不十分となるほどごみ質が急激に変化した場合、運転員のスキルで補助することがある。この課題に対して、図3に示すモデル予測制御による発電量の一定制御技術を開発した。

従来のフィードバック制御が目標値と過去の値の変化から現在の値を制御するのにに対して、モデル予測制御は、運転データに基づき未来の制御量の変化を予測することで、制御量予測値と制御量の目標軌道の差異を最小化できる操作量を決定する。廃棄物処理施設では、処理する対象物性状の地域による差や、処理規模によっても応答性は異なり、外乱要素が与える処理工程への影響は様々である。施設の状況に応じた最適制御を実現する上では、導入するモデル設計が重要であり、これまでの広範な処理規模の納入実績から廃棄物処理に適したモデルを構築した。具体的には、廃熱ボイラの蒸気発生量を給じん量により制御する場合、あらかじめ給じん量をステップ状あるいはランダムに変化させたときの蒸気発生量の動特性に関する基礎データを取得し予測モデルを作成する。つぎにこの予測モデルで同定した制

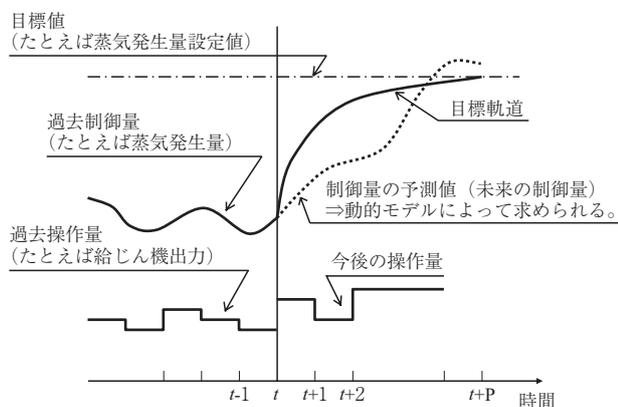


図3 モデル予測制御の概要

御パラメータを制御システムに実装し、蒸気発生量が一定となるよう給じん量を制御する。

モデル制御の適用事例として、給じん速度を操作量として発電量を制御した結果、蒸気発生量の変動係数(=標準偏差÷平均値×100)は1.7%と安定し、発電量の変動係数は0.06%で非常に安定した発電量制御を確認した⁴⁾。評価を行った施設は処理能力100t/d以下である。本制御の活用により中小規模のごみ処理施設においても安定した発電が可能となり、ごみ処理施設が地域における身近なエネルギー供給拠点として役割を果たす上で有効な制御であることが確認された。

2.3 画像解析による出滓監視自動化

廃棄物の灰性状は均一でないため、炉内温度を一定に保っても溶融スラグの溶流状況は変化する。安定した溶融スラグの排出を維持するために出滓口を健全に保つことは、操業の安定化に欠かせない。ガス化溶融炉においても出滓口におけるスラグの流出状況は運転員の重要な監視業務であり、出滓口に固着したスラグはバーナによる加熱等の手段により適宜除去されている。出滓口の監視自動化は運転員の負荷低減に有効であるため、図4に示すように出滓口監視カメラ画像を解析し、出滓口開口率(スラグの存在しない割合)を定量化して出滓口状況を自動判断できるシステムの開発を進めてきた⁶⁾。

熟練運転員の判断基準から求めた開口率と、開発手法の計算開口率を比較したところ平均誤差-6.5%という結果を得た。ここでの誤差は開発手法の計算開口率が目視評価の計算開口率より大きい場合にプラスの値を示す。誤差は実操業での判断基準として支障のない値であり、開発手法の開口率は、目視

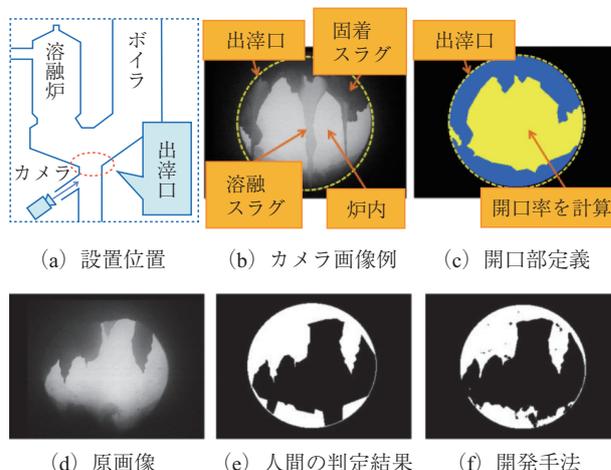


図4 出滓口開口率の定量化技術

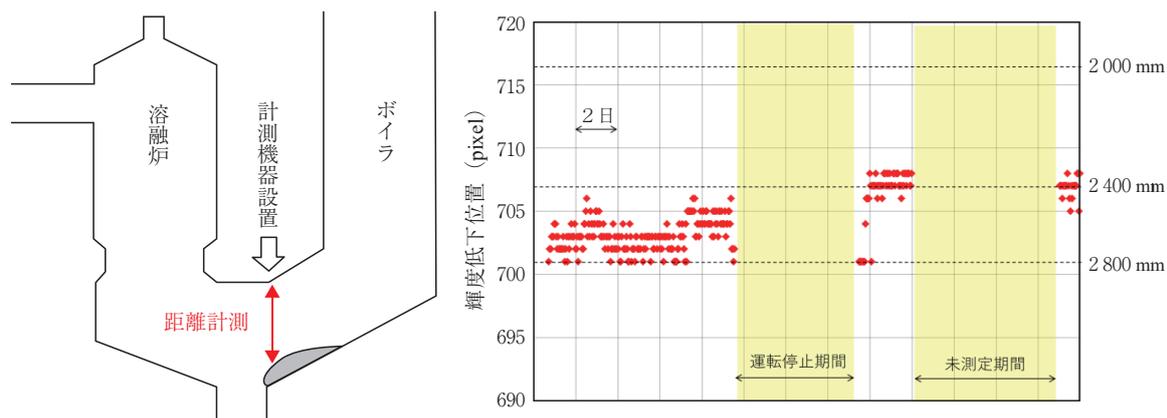


図5 溶融炉内距離計測の概要（左）および炉内距離計測結果（右）

評価よりも小さく算出されるため、開口維持の観点からは安全側の運転指標として活用できることが明らかになった。

2.4 溶融炉内クリンカの堆積検知

流動床式ガス化溶融炉では、灰性状の季節変動に対してこれまでの知見に基づき塩基度調整剤供給量を調整し、安定出滓を維持している。状況によっては、塩基度調整剤が不足となり炉壁にクリンカが付着堆積することもある。溶融炉のような高温雰囲気内のクリンカ堆積状況を監視する有効な手段は確立されておらず、炉内で精度良く距離を測定できればクリンカ堆積状況の管理や塩基度調整剤供給量の最適化が可能となる。炉内のクリンカ堆積高さの測定はレーザー三角測量法で行った。測定対象物に照射する入射光と反射光の幾何学的角度から距離を測定する。炉内はダストが浮遊しているため、レーザー光はダストにより散乱し距離計測に影響する。ダスト散乱による反射光と測定対象からの反射光との輝度減衰の差を考慮して画像解析することにより、炉内での距離計測が可能となった。

図5はレーザーを用いて稼働中の炉内で距離計測

を行った結果である。試験の結果、稼働中の溶融炉内の値と炉運転停止期間中の距離実測値を比較すると、その差は数10 mmであり、十分に高温炉内での監視方法として活用できることが明らかになった⁶⁾。

むすび

広範囲な処理規模の実績がある当社の流動床式ガス化溶融技術は、広域化、分散化が同時進行するごみ処理分野においても、新設需要に柔軟に対応できる技術である。さらに、掘起こしごみや災害廃棄物など多種多様なごみの混合処理に適した特長を活かして、今後も様々な社会ニーズに対応していく所存である。そして、運転管理の最適化、運転の省力化を推進することにより、安全・安心で持続可能なごみ処理施設の実現に引続き取り組んでいきたい。

【参考文献】

- 1) 環境省 廃棄物処理技術情報 一般廃棄物処理実態調査結果
- 2) 水岡ら：神鋼環境ソリューション技報7(1), (2010.8)
- 3) 山形ら：神鋼環境ソリューション技報10(2), (2014.2)
- 4) 道田ら：神鋼環境ソリューション技報12(2), (2016.3)
- 5) 江口ら：神鋼環境ソリューション技報14(1), (2017.9)
- 6) 植浦ら：第40回全国都市清掃研究・事例発表会 講演論文集, II-6-108 (2019.1)

仙南クリーンセンター 流動床式ガス化溶融炉の安定稼働実績

Stable Operation Record for Gasification and Melting Furnace in Sennan Clean Center



黒岡達男*
Tatsuo Kurooka



藺田雅志**
Masashi Sonoda



西村俊哉***
Syunya Nishimura



佐藤吉壽****
Yoshihisa Sato

仙南クリーンセンターは、一般廃棄物を対象とした流動床式ガス化溶融による熱回収施設である。平成29年3月に竣工し、運営開始以降、仙南最終処分場の掘起こしごみも処理しつつ安定した稼働を継続している。副生成物として製造される溶融スラグはエコスラグとして全量リサイクルされている。また、圏域内に保管された8 000 Bq/kg以下の放射性廃棄物についても、昨年度試験実施した混合溶融処理により安全性が確認されたことから、本年度より本格的な処理を開始している。

Sennan Clean Center is a Waste to Energy plant that uses a fluidized bed gasification and melting system. Sennan Clean Center was completed in March 2017, and it has continued stable operation while treating excavated waste from the Sennan landfill. All of the melted slag, a byproduct of the melting furnace, is recycled as eco-slag. Also, last year the radioactive waste of less than 8 000 Bq/kg, which was stored within the Sennan area, was treated with MSW in trials and the safety of the procedure was confirmed. Therefore, the full-blown treatment of radioactive waste with MSW started in 2019.

Key Words :

都 市 ご み	Municipal solid waste (MSW)
ガ ス 化 溶 融 炉	Gasification and melting furnace
最 終 処 分 場	Final disposal site
掘 起 こ し ご み 処 理	Digging-up refuse disposal
ごみ処理発電施設	Waste to Energy (WtE) plant
安 定 連 続 運 転	Stable continuous operation

【セールスポイント】

- ・都市ごみを処理するガス化溶融施設で最終処分場からの掘起こしごみを混合処理することにより、最終処分場の延命化を実現。
- ・都市ごみと放射性セシウム濃度8 000 Bq/kg以下の廃棄物の試験焼却を行い安全性を確認。本焼却を開始。

まえがき

仙南クリーンセンターは、宮城県の仙南地域広域行政事務組合圏域（2市7町）で排出される一般廃棄物を処理対象として平成29年3月に竣工した熱回収施設であり、処理規模200 t/日（100 t/日×2炉）の流動床式ガス化溶融炉である（図1）。本施設は、設計・建設を（株）神鋼環境ソリューションが、運営・維持管理を特別目的会社である（株）仙南環境サービスが15年間担うDBO事業である。多種多様なごみ処理が可能な流動床式ガス化溶融炉の特長を活かし、仙南最終処分場の埋立物を掘起こして処理することで、最終処分場の延命化も進めており、竣工以来順調に稼働している。さらに副生成物として生産される溶融スラグの有効利用についても、稼働開



図1 仙南クリーンセンター

始後順調に行われている。

また圏域内に保管された、東京電力福島第1原発事故に伴う放射性物質で汚染された国の基準8 000 Bq/kg以下の農林業系廃棄物について、昨年度に試験焼却を実施し、安全性の確認ができたため、今年度からは本格的に焼却処理を実施している。

本稿では、本施設の特長や稼働状況、最終処分場の延命化計画および溶融スラグの有効利用、農林業系廃棄物の混焼等について報告する。

1. 仙南クリーンセンターの施設概要

仙南クリーンセンターの施設概要を表1に、処理フローを図2にそれぞれ示す。

表1 施設概要

施設名称	仙南クリーンセンター
処理能力	200 t/日（100 t/日×2炉） 可燃ごみ、し尿脱水汚泥
処理対象物	可燃／不燃／資源化不適／容りづ ら残渣、最終処分場の掘起こしごみ
受入供給設備	ピット・アンド・クレーン方式
燃焼溶融設備	流動床式ガス化溶融炉
燃焼ガス冷却設備	廃熱ボイラ+水噴霧方式
排ガス処理設備	バグフィルタ+触媒反応塔
排水処理設備	凝集沈殿+膜処理設備 （排水クロード）
発電量	3 200 kW

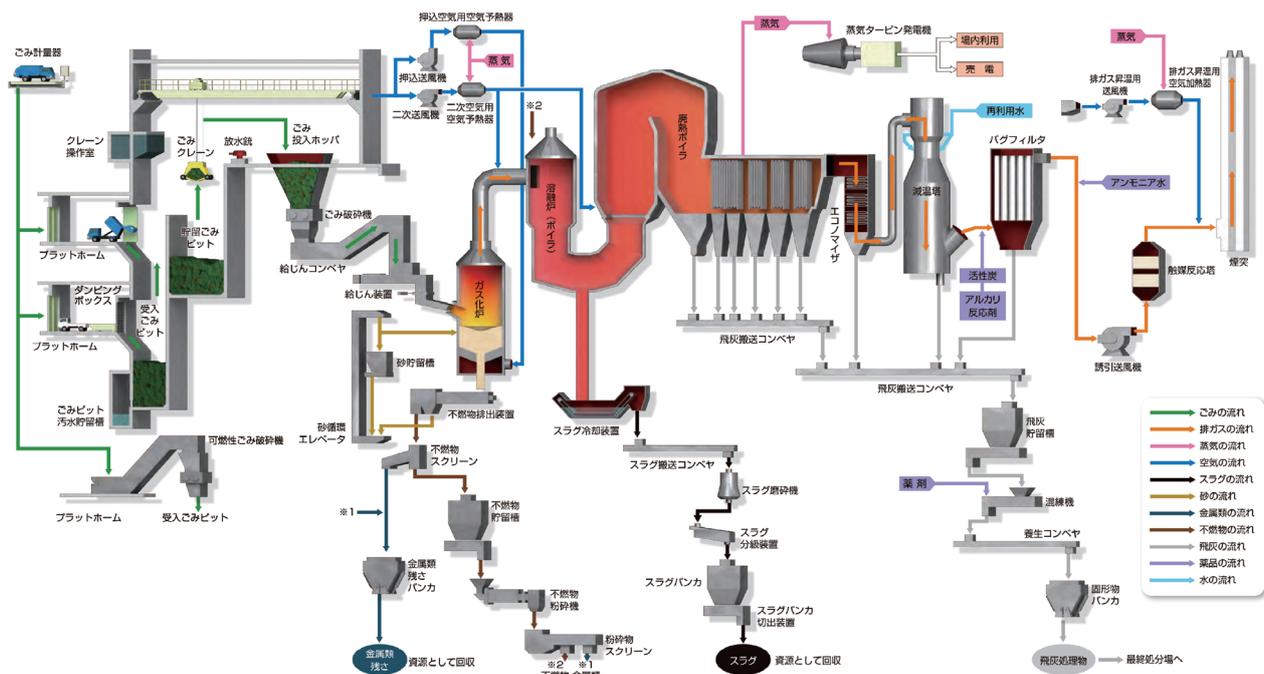


図2 処理フロー

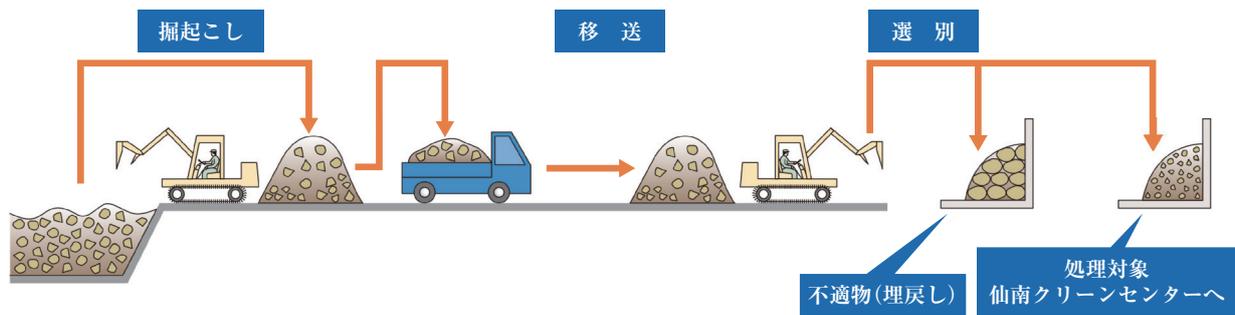


図3 仙南最終処分場掘起こし作業フロー

本施設の受入対象は、一般可燃ごみのほか、し尿脱水汚泥、仙南リサイクルセンターからの残渣、仙南最終処分場掘起こしごみなどである。掘起こしごみは、全ごみ量に対し4.6%を受入れる計画としており、ごみピットに直接投入している。ごみピットは、搬入ごみを一時的に受入れ／攪拌する「受入ごみピット」と、溶融処理するまで貯留する「貯留ごみピット」から構成されており、それぞれが分離されることで、ピットワークが容易な構造となっている。

熱回収は、旋回流溶融炉、低層型テールエンド式ボイラおよびエコノマイザにて行い、蒸気条件は4 MPaG × 400℃で定格3 200 kWの蒸気タービン発電機にて発電を行っている。

流動床式ガス化炉底部より排出され砂分級された残さは、目開き20 mmでの分級のみで金属類残さと不燃物に分離し、金属類残さは未酸化状態のため、有価資源として全量リサイクルされている。なお不燃物については、粉碎後溶融しスラグ化させることでスラグ化率向上ならびに最終処分場負荷低減に寄与している。

溶融炉から排出される溶融スラグは磨砕および分級処理後、JIS規格（JIS A 5031（コンクリート用）：MS5A，JIS A 5032（道路用）：FM2.5）を満足したエコスラグとして、施設稼働以来全量リサイクルされている。

2. 仙南最終処分場の延命化

仙南最終処分場は平成10年1月から埋立てを開始し、組合が所有する施設から排出される焼却灰や残渣物が埋立てられ、平成31年には満杯となる見通しであった。そこで、一般廃棄物の溶融処理による埋立物の削減に加え、既埋立物を掘起こして仙南クリーンセンターで溶融処理することで、約16年間最終処分場を延命化できる予定である。図3に掘起こし作業のフローを示す。

掘起こされたものを、目開き60 mmのトロンメルバケットで篩分けし、篩上は不適物として再埋



図4 覆蓋施設全景

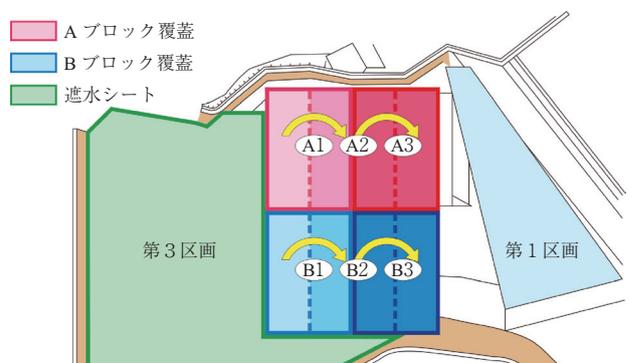


図5 覆蓋移動順序

立、篩下を掘起こしごみとして仙南クリーンセンターへ搬出する。

なお、掘起こし／埋立て作業は、粉じんの飛散と浸出水の発生を防止するため、覆蓋（大型テント）内で行う。埋立地という良好とは言えない地盤上に設置するため、覆蓋は作業に支障のない最小サイズ（W40 m × L52 m × H10 m × 2基）とし、掘起こし・埋立て作業の進捗に応じ、順次移動させる計画である。図4、5にそれぞれ覆蓋の全景および覆蓋の移動順序を示す。

覆蓋はAとBの2張り構成で、内部では、掘起こされた場所に順次仙南クリーンセンターからの固化灰を埋立てていく。まずA1-B1の構成から開始し、A1からB1に向かって掘起こし・埋立てを進めていく。そしてA1が満杯になると覆蓋をA2へ移動させ、A2-B1の構成となり、B1からA2へ掘起こし・埋立てを進める。このように、その後はA2-B2⇒A3-B2⇒A3-B3の構成となるように覆蓋を移動させる計画である。

3. 稼働状況

運営開始以降、操炉計画に基づき7月中旬までに予定された定期点検を各系で実施し、その後安定稼働試験（定格処理能力（100 t/日）に対し70 %（70 t/日）以上の処理実績を90日以上の連続運転で確認するもの）を実施した。それぞれの稼働実績について図6に示す。

まず2号系では6/26から9/23までの93日間、1号系においては8/29から12/14までの108日間連続運転

を実施し、いずれの系においても計画停止まで安定的にごみ処理を継続できている。その後は操炉計画に基づき60～80日の運転スパンで順調にごみ処理を継続している。

次に、掘起こしごみの混合溶融処理実績について図7に示す。元々4.6 %であった計画混合処理率に対し、平成29年度は3.10 %（1 574 t）、平成30年度は5.22 %（2 675 t）であり、おおむね計画どおり処理できており、延命化年数も約16年で予定どおりである。

4. 溶融スラグの有効利用について

本施設より生産される溶融スラグについては、販売・有効利用を含めて(株)仙南環境サービスが行う契約となっている。そこで、施設建設中の平成27年に溶融スラグ利用先等と「溶融スラグ利用協議会」を設立して、利用にあたっての準備を進め、その一環として道路用アスファルトの試験施工とコンクリート用二次製品の試験と試作を行った。

	平成29年度												平成30年度											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
2炉運転	9	28	6	16	11	26	13	30	14	6	28	18	20	12	14	20	19	30	8	17	23	14	15	16
1炉運転	21	2	24	15	20	4	18	0	17	18	0	13	10	19	10	9	12	0	23	13	8	17	13	15
共通休炉	-	1	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	6	2	-	-	-	-	-	-	-	-
1号系	108日運転												108日運転											
2号系	93日運転												93日運転											

図6 安定稼働試験ごみ処理実績

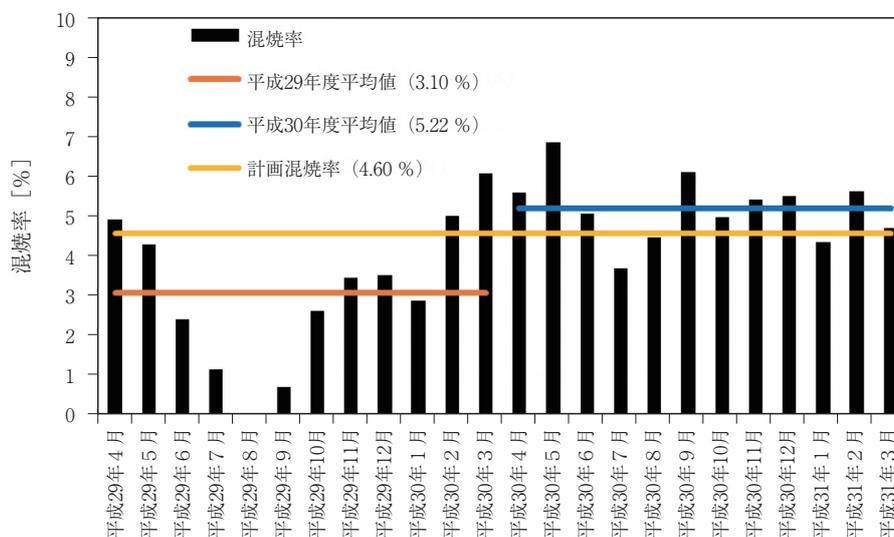


図7 掘起こしごみの混合溶融処理実績



図8 溶融スラグ入り道路用アスファルトの試験施工状況



図9 溶融スラグ入り落ち蓋式U形側溝試験施工実施状況

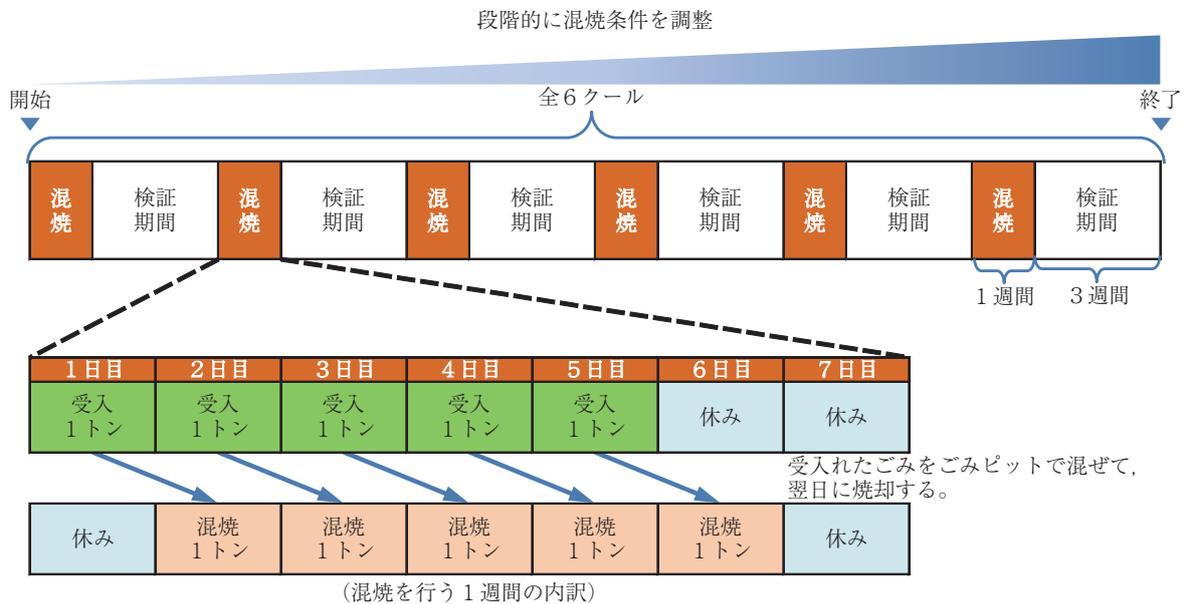


図10 試験焼却の流れ

道路用アスファルトの試験施工については、図8に示すように本施設内の一般車進入道路の一部の約160mとし、幅3.3m×2車線の内、片方を本施設製造の溶融スラグ5%入りの再生密粒アスファルト混合物(20F)で施工し、他の片側を、比較のためスラグの入らない再生密粒アスファルト混合物(20F)で施工している。またコンクリート用二次製品については、図9に示すように溶融スラグを20%混入した落蓋式U形側溝3種300A×2mと蓋を試作し、強度確認テストを実施するとともに、仙南圏域である角田市一般道路に試験施工している。

宮城県は溶融スラグ生産施設が少なく仙台市が生産を中止したこともあり、県の利用基準が制定され

ていなかった。そこで、宮城県内で多くの溶融スラグの有効利用をスムーズに進めるために、宮城県知事宛に仙南地域広域行政事務組合構成自治体(2市7町)の全首長連名での「一般廃棄物の溶融固化物の有効利用促進に関する要望書」をご提出いただき、平成29年4月18日付で、宮城県土木部より「溶融スラグ利用基準」が公布され適用開始となった。これにより、宮城県下における溶融スラグの有効利用がより一層進められると期待している。

5. 農林業系廃棄物の処理について

東京電力福島第1原発事故に伴う放射性物質で汚染された、国の基準8000Bq/kg以下の廃棄物(以下、農林業系廃棄物)については、廃棄物処理法に

表2 第1クールと第5クールの試験焼却結果

クール		単 位	基 準 値	第 1		第 5	
混焼対象物				ほ だ 木		稲 わ ら	
混焼物放射性セシウム濃度		Bq/kg	—	38.1~70.8		4 241.4~7 533.4	
平均混焼率		%	—	0.48		0.52	
搬入車両空間線量率		μSv/h	≤0.23	0.032~0.040		0.044~0.070	
搬出物 放射性セシウム濃度	排ガス	Bq/m ³	Cs - 134/20 + Cs - 137/30 ≤ 1	1号系 不検出	2号系 不検出	1号系 不検出	2号系 不検出
	スラグ	Bq/kg	≤100	27		73	
	固化灰	Bq/kg	≤1 758	453		732	
敷地境界空間線量率 (クリーンセンター)	混焼中	μSv/h	≤0.23	0.034~0.086		0.040~0.082	
	混焼後	μSv/h	≤0.23	0.032~0.072		0.036~0.090	
敷地境界空間線量率 (最終処分場)	混焼中	μSv/h	≤0.23	0.038~0.090		0.040~0.088	
	混焼後	μSv/h	≤0.23	0.038~0.078		0.044~0.098	

基づき市町村が処理を行うこととなっている。しかし、その処理が進まないことから、やむを得ず農家の敷地等に一時保管されていた。そこで、宮城県から圏域ごとの個別処理案が示され、仙南地域広域行政事務組合ではこれを実施する方針で決定した。なお本圏域内には、約10 000 t保管されており、一部の堆肥化等を除くと約7 000 tの農林業系廃棄物を処理する必要がある。この処理を仙南クリーンセンターが担うこととなり、昨年度試験焼却を実施し、処理の安全性を確認した。以下に、昨年度実施した試験焼却の概要について示す。

試験焼却は、1日当たり最大1 t（混焼率約0.5%）、週5日間混焼、2~3週間の検証等を含めた期間を1クールとし、各クールで段階的に混焼条件を調整しながら、6クール実施した（図10）。

安全性の確認としては、搬入物、排ガス、固化灰およびスラグの放射性セシウム濃度を測定するとともに、各所空間線量率を測定し、それぞれが基準値以内であることを確認した。表2にもっとも混焼物

の放射性セシウム濃度が低かった第1クールと高かった第5クールの結果をそれぞれ示す。双方比較しても大差なく、安全に処理できていることがわかる。この結果をもとに、今年5月より本焼却を開始し、約4年で全量処理できる予定である。

む す び

仙南クリーンセンターは、仙南最終処分場の延命化を実践しつつ、また多種多様なごみ処理を継続し、順調に安定稼働している。引き続き、発電によるサーマルリサイクルやスラグ等のマテリアルリサイクルを行っていき、地球温暖化防止・循環型社会の形成促進に向け貢献していきたい。

謝 辞

最後に、本寄稿に当たり、ご協力いただきました仙南地域広域行政事務組合をはじめ、関係者各位に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 黒岡ら：39回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集 P200-202 (2017)
- 2) 黒岡ら：都市清掃, 343号 P270-274 (2017)

フィルタドライヤの高機能化技術

An Introduction of Advanced Technologies of the Filter Dryer



竹井一剛*
Kazuyoshi Takei



半田裕利*
Hirotochi Handa



福原隆介*
Ryusuke Fukuhara



久谷修平*
Syuhei Hisatani



橋本友作*
Yusaku Hashimoto



大角愁斗*
Syuto Osumi

当社のフィルタドライヤは医薬、ファインケミカル業界を中心に幅広い分野でご使用頂いている。とくに近年は医薬製造におけるコンテインメントの考え方、ファインケミカル分野での高純度化をはじめとし、クリーン化、省力化、使い易さ、安全性に対してのニーズはさらに高度なものになってきている。

本報では当社フィルタドライヤの新たな高機能化技術として「焼結金網を使用した全量回収機構」「急速開閉装置の大型化」「バグフィルタの小型化」について紹介する。

Our filter dryers have been used in a wide range of industries including pharmaceuticals and fine chemicals. Particularly in recent years, requirements for cleanliness, laborsaving, usability and safety are increasingly more stringent to correspond to the demands including the containment policy of production in pharmaceutical fields and the needs for higher levels of purity in fine chemical fields. This report introduces our improvements to advanced technologies such as the “total discharge model using a sintered metallic filter” “upsizing of the quick opening & closing device” and “downsizing of the bag filter” for our filter dryer.

Key Words :

医薬・ファインケミカル
ろ過乾燥機
焼結金網

Pharmaceuticals and fine chemicals
Filter dryer
Sintered metallic filter

【セールスポイント】

- ・全量回収型フィルタドライヤは「缶体傾斜」+「ろ板の振動」の組み合わせで製品の99.5%を全自動回収可能
- ・全量回収機構用のろ材は従来のろ布仕様に加えて焼結金網仕様も採用可能
- ・フェルール式急速開閉装置の適用範囲を拡大
- ・ブリーツ型フィルタを採用したノズル一体型コンパクトバグフィルタを製品化

まえがき

フィルタドライヤは、反応・晶析などによって生成されたスラリーをろ過・乾燥するプロセスに使用され医薬、電子材料分野を中心に数多くの実績がある。とくに1台の密閉容器内で処理できる特長から高薬理活性物質の取扱いが増加する医薬分野や、高純度化が進む電子材料分野においてケミカルハザードおよびコンタミレス対応を実現できる装置といえる。なかでも当社独自の技術である「缶体傾斜」と「ろ板振動」の組み合わせによる全量回収機構はこれらの高度化する要求に応える画期的なシステムとして2004年の上市以来着実に採用件数を伸ばしている。またユーザの安全性と作業効率の向上の両面を実現する本体フランジのワンタッチ開閉機構「フェルール式急速開閉装置」も同様に採用件数は右肩上がりとなっている。今回はこれらの機構に対する新たな取組みと付属品であるバグフィルタの改良について紹介する。

1. フィルタドライヤ改良への取組み

フィルタドライヤは、スッチェ型ろ過器に展延、掻き取り、攪拌洗浄、攪拌乾燥などの機能を加えた多機能型ろ過乾燥機である。容器内の攪拌翼は上下に昇降し、展延、ケーキ洗浄、乾燥等の各工程を効率よくおこなうことが可能である。

フィルタドライヤの全体外形図と新たな改良項目を図1に示す。本稿では今回改良に取組んだ

- ① 焼結金網全量回収機構
- ② 大型フェルール式急速開閉装置
- ③ ノズル一体型バグフィルタ

について紹介する。

2. 焼結金網全量回収機構

2.1 全量回収機構の特長

全量回収型フィルタドライヤは、従来のフィルタドライヤに本体傾斜とろ板振動を加えた当社独自の技術である。フィルタドライヤは、原料をろ過、洗浄、乾燥して得られた製品粉体を攪拌翼の回転により缶内から回収する。しかし、従来のフィルタドライヤではろ板と攪拌翼のクリアランス部に粉体が残留する。そこで、缶体の片側を油圧シリンダで持ち上げることで缶体自身を傾斜させ、さらにエアパイププレートによって多孔板を振動させることで、クリアランス部に残留した粉体を徐々に排出口へ移送しながら回収できる。全量回収機構により人の手を介さずに従来よりも高い回収率を達成できるため、高価な製品や薬理活性の高い製品のろ過乾燥に最適であり、2004年の上市以来各ユーザに好評を得ている。

2.2 焼結金網全量回収機構の構造

フィルタドライヤに採用できるろ材には、大別するとろ布と焼結金網の2種類がある。ろ布の特長としてはろ材自体が焼結金網に比べて安価であり、多品種少量生産等の製品毎にろ材交換が必要なケースにおいて有利となる。一方でユーザによっては、耐久性、耐熱性、ろ布繊維コンタミレスの要求から、焼結金網や金網をろ材に採用するケースもある。全量回収機構に採用可能なろ材は、振動に対する耐久性の問題から従来はろ布に限定しており、焼結金網は採用できなかった。しかしながら、全量回収機構を望む焼結金網使用ユーザの声も数多く、実用化すべ

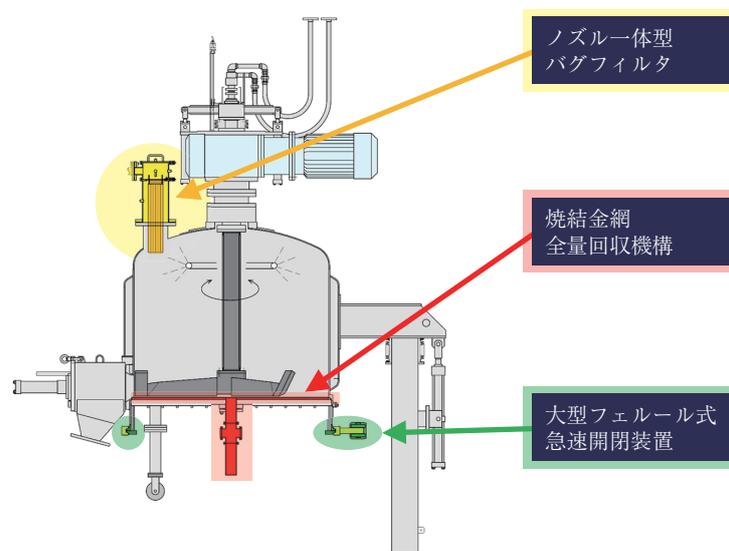


図1 改良への取組み

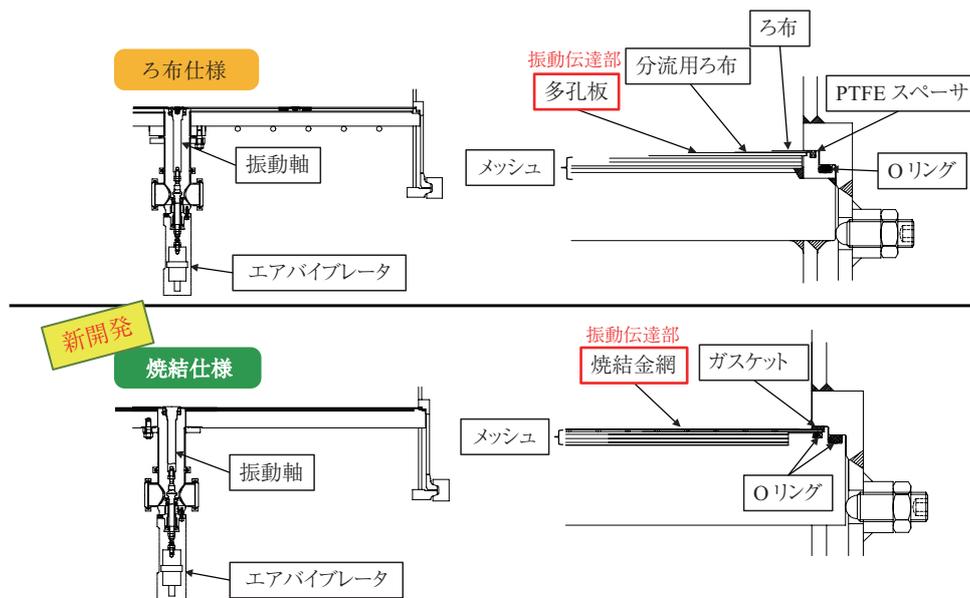


図2 全量回収機構 構造詳細

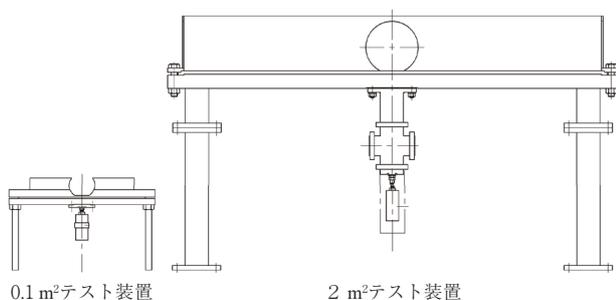
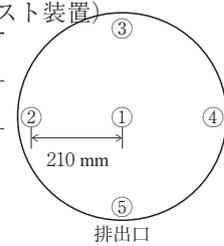


図3 焼結金網 全量回収テスト装置

表1 振幅値 (0.1 m²テスト装置)

ろ材タイプ	振幅 (mm)	
	ろ布	焼結金網
①	1.87	1.48
②	0.43	0.19
③	0.54	0.15
④	0.65	0.30
⑤	0.71	0.32



※エアバイブレータ圧力0.4 MPaG

く開発に取り組んできた。このたび振動に対する十分な耐久性を有する新たな構造を開発することで焼結金網全量回収機構を確立した。図2に構造図を示す。ろ布仕様、焼結金網仕様ともに、振動軸を介してエアバイブレータの振動をろ材に伝達する構造となっている。ろ布仕様では、振動軸と連結された多孔板を振動させることで多孔板上面に設置したろ布を振動させている。一方、焼結金網仕様はパンチングプレートと一体となった特殊焼結金網と振動軸が直接連結されており、ろ材自体を振動させている。

2.3 回収性能比較テスト

0.1 m²、2 m²テスト機を用いて粉体の回収テストを実施した。図3にテスト機の外形図を示す。

2.3.1 0.1 m²機でのテスト結果

0.1 m²のテスト機で、ろ布仕様と焼結金網仕様の両タイプについて振幅値の測定を行った。ろ布タイプについてはセンサー部を直接ろ布に固定できない

ため、測定部位のろ布を切り取り多孔板にセンサーを固定して測定した。結果を表1に示す。全ての部位でろ布仕様の振幅値が上回る結果となった。

次に模擬粉体を使用して回収性能を確認した。

テスト方法：テスト装置のろ材上面に攪拌翼とのクリアランス部分 (10 mm) に残留した製品粉体を想定した模擬粉 (炭酸カルシウム No.A 重炭) を仕込み、缶体を15°傾斜させて振動による回収を行った。

回収量の終点は、ろ布仕様の全量回収機構で指標としている99.5 %回収に相当する1.84 kgとした。結果を図4に示す。ろ布タイプと比較して、焼結金網タイプは約6割の時間で目標回収率を達成することができた。この結果は振幅値のデータと相反する結果となった。理由としては、振動がダイレクトにろ材に加えられる焼結金網構造に対して、ろ布タイプは多孔板に伝わった振動を介してろ布を振動させる構造となっていることが要因と考えられる。

2.3.2 2 m²機でのテスト結果

2 m²のテスト機で、ろ布仕様と焼結金網仕様の両タイプについて振幅値の測定および回収性能確認テストを実施した。振幅値の測定結果を表2に示す。0.1 m²機と同様に、外周部の振幅値はろ布タイプの方が高くなる傾向が確認された。同心円状の箇所では振幅値に差があるが、理由として溶接による多孔板の微少なひずみが影響していると考えられる。

次に回収性能確認テストの結果を図5に示す。なお2 m²テスト機での回収テスト方法は、実機運転方法に近づけるため、0.1 m²機の振動と傾斜に加えて1分毎に攪拌翼回転を想定したかきとり回収を実施した。回収量の終点はろ布仕様の全量回収機構で指標としている99.5 %回収に相当する20.7 kgとした。結果0.1 m²機の回収テスト結果と同様に、ろ布仕様と比較して焼結金網仕様が短い時間で目標回収率を達成することができた。

2.3.3 焼結金網の耐久テスト

全量回収機構は焼結金網を振動させ粉体を回収する構造であり、振動による焼結金網の疲労破壊が懸

念される。とくに1 m²機以上の機種については焼結金網の溶接構造採用が必須となるため、全量回収機構の実機最大サイズである2 m²機を使用して耐久テストを実施した。焼結金網はろ布仕様の多孔板で培ったノウハウを生かして応力集中部や溶接部での疲労減少係数が大きくなる部位をなくした構造とした。

<テスト条件>

- ・テスト装置サイズ：2 m²
- ・バイブレータ：FPLF-25-M / 振動力364N
- ・焼結金網材質：SUS316L/SUS304
- ・耐久振動回数：1.1 × 10⁸回

<テスト結果>

焼結金網およびバイブレータ連結部は、テスト開始時と変化はなく正常な状態であった。また耐久テスト後には模擬粉を使用したろ過テストを実施し、ろ液側への粉の流入がなく溶接部が健全であることを確認した。運転時間は計480時間であり、1バッチあたりの焼結金網の振動時間を30分と仮定すると960バッチ分に相当する。

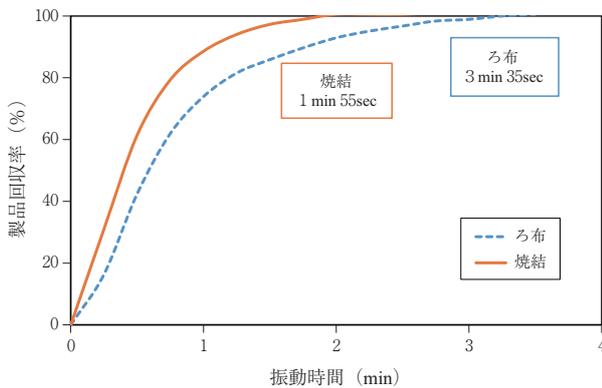


図4 回収テスト結果 (0.1 m²テスト装置)

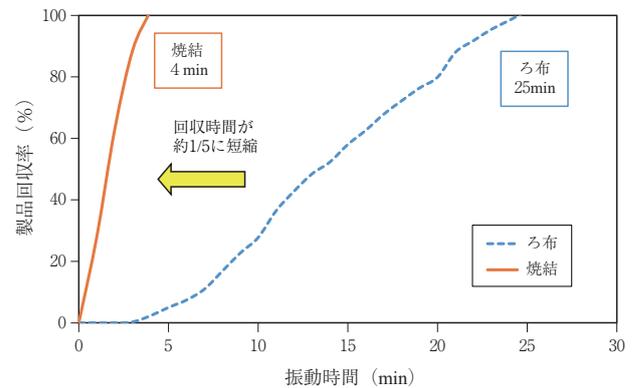
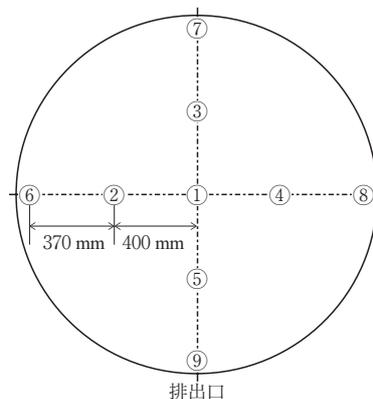


図5 回収テスト結果 (2 m²テスト装置)

表2 振幅値 (2 m²テスト装置)

ろ材タイプ	振幅 (mm)	
	ろ布	焼結金網
①	1.53	1.72
②	1.29	0.83
③	0.73	0.80
④	0.67	1.20
⑤	0.94	1.38
⑥	0.56	0.03
⑦	0.31	0.14
⑧	0.62	0.07
⑨	1.07	1.00

※エアバイブレータ圧力0.4 MPaG



3. 大型フェルール式急速開閉装置

3.1 フェルール式急速開閉装置の特長

フェルール式急速開閉装置は、フェルール式のクランプリングと油圧シリンダで構成されており、下蓋フランジの自動開閉を可能とする当社独自の技術である。断面構造は、医薬、ファインケミカル分野の配管継手などでその分解組立の容易性から目にする機会の多いフェルールクランプを採用している。フィルタドライヤでは、ろ布交換、缶内洗浄等のメンテナンス時に、下蓋フランジを分解する必要がある。従来、下蓋フランジの締結は、手でクランプを締め付ける方式であった。しかしながら、手動クランプ方式は、クランプの締付、取外しを1つずつ手作業で行うため多くの作業時間を要すること、クランプ開閉時に作業者が缶体に近づく必要があり缶内残製品や洗浄液の液だれに曝露するリスクがあることなどの問題点がある。こうした暴露リスクに対応する従来技術としてクラッチタイプの急速開閉装置があるが、クラッチテーパ部のかじり防止のため定期的な潤滑油塗布が必要で、製品への潤滑油混入リスクが避けられない。そのため医薬、電子材料等のGMP仕様が多いフィルタドライヤには不向きな構造であった。これらの問題点を解決するために、フェルール式急速開閉装置が開発された。フェルール式急速開閉装置を適用することで、手動クランプ方式と比べて作業時間を大幅に短縮できるとともに、曝露リスクの低減が可能となる。またクランプリングには、耐摩耗性、滑り性を改善する表面処理が施工されており、これにより摺動部に潤滑油を塗布する必要がないため、潤滑油混入リスクが無くなり、医薬、電材等のファインケミカル分野に適した構造となっている。

3.2 大型化への取組み

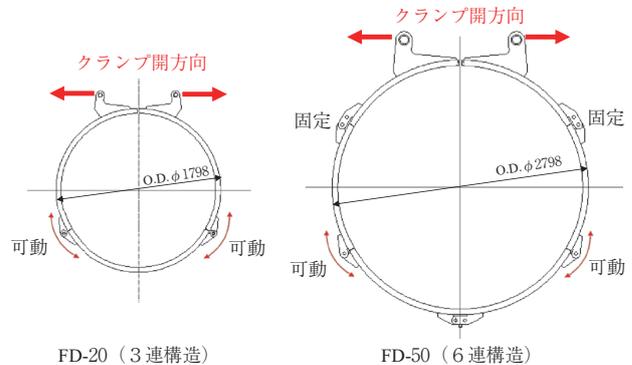
手動クランプ方式と比較し、フェルール式急速開閉装置を適用した場合の作業時間短縮効果は、機器サイズに比例して大きくなる。しかしながら従来、フェルール式急速開閉装置の対応機器サイズはFD-20（ろ過面積 2m^2 ）までに限定されていた。そこで、このたび構造を見直し、FD-50（ろ過面積 5m^2 ）まで対応可能な大型フェルール式急速開閉装置を開発した。

フェルール式急速開閉装置を適用した場合の作業時間短縮効果を表3に、フェルール式急速開閉装置のクランプ外形図（FD-20, FD-50）を図6に示す。

実機最大サイズとなるFD-50試作機を用いて、連続開閉による耐久試験を実施した。その結果、従来

表3 下蓋フランジ締付作業に要する作業時間

	作業時間		削減時間
	手動クランプ方式	フェルール式急速開閉装置	
FD-20	30 min	2 min	28 min
FD-50	60 min	2 min	58 min



FD-20（3連構造）

FD-50（6連構造）

図6 クランプ外形図（FD-20, FD-50）

のFD-20までの開閉動作と同様に作動性に問題なく、またクランプの耐久性も問題ないことが確認できた。

3.3 シリーズ化

これまでのFD1～FD20に加えて新たにFD-30, FD-40, FD-50用のフェルール式急速開閉装置をラインナップに追加した。適用範囲を拡大したことにより、全サイズのフィルタドライヤ（FD-01～FD-50）にフェルール式急速開閉装置の適用が可能となった。

4. ノズル一体型バグフィルタ

4.1 バグフィルタとは

バグフィルタは、気相中から粒子を分離する技術の一種であり、様々な工業プロセスで使用されている。当社のフィルタドライヤ、SVミキサー、PVミキサー等の粉体真空乾燥機においても、缶体上鏡にバグフィルタを設置し、蒸気と粒子の分離および飛散粉体の捕集を行うことで、真空ポンプの保護、製品ロスの低減を担っている。効率的な乾燥を実現するには、製品の処理量や粉体の比重、運転条件等から適切なフィルタサイズ（ろ過面積）を選定することが重要である。フィルタサイズが大きくなるとケーシングサイズも大きくなるため、マルチ仕様の少量多品種の処理工程で使用される機器においてはバグフィルタの組立・分解・洗浄等の作業効率改善が望まれていた。とくにクリーンルームに設置される機器においては、建屋の全高制限から十分なメンテナンススペースを確保できず、必要なフィルタサ

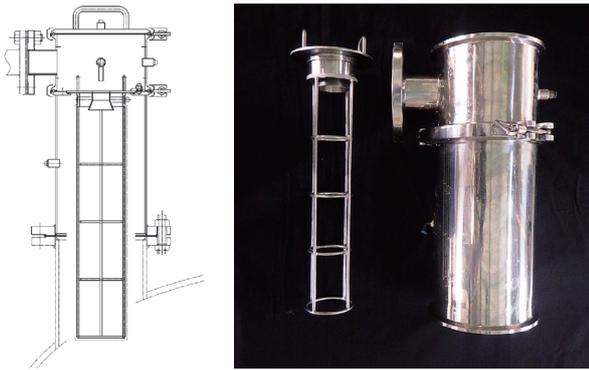


図7 ノズルー体型バグフィルタ



図8 プリーツ型フィルタ

イズの採用が難しいことがある。そこで機器の小型化を目指し、図7に示す当社粉体真空乾燥機に最適なバグフィルタを開発した。

4.2 小型化への取組み

機器の小型化を実現するため、フィルタ形状および本体構造の検討を実施した。

4.2.1 プリーツ型フィルタの採用

一般的に用いられるフィルタ形状は円筒型が多く、ろ過面積の増加に合わせてフィルタの全長および外径が増加する。それに伴いバグフィルタケーシングサイズも大型化する。つまりフィルタサイズがバグフィルタ機器サイズに大きく影響を与える。

そこでフィルタサイズを変えずにろ過面積を確保することができるプリーツ型のフィルタを採用した。図8にプリーツ型フィルタを示す。これによりろ過面積の増加によるバグフィルタケーシングの大型化を抑制することができた。

4.2.2 ノズルー体型構造の開発

従来型バグフィルタとノズルー体型バグフィルタのサイズ比較図を図9に示す。従来型の上鏡ノズル据置構造からノズルー体型構造にすることにより、

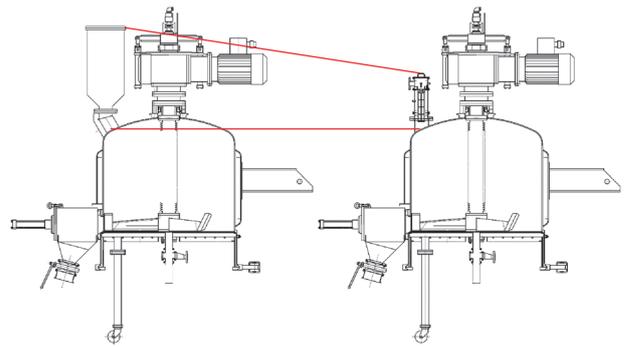


図9 従来型(左)とノズルー体型(右)のサイズ比較図

バグフィルタの小型化を実現した。またケーシングの一部を上鏡ノズルで代用することで必要部材の削減も実現した。ろ過面積 0.2 m^2 タイプでは、体積比で従来型バグフィルタの約 $1/10$ まで小型化を実現した。機器の小型化に加え、ノズル継手部にフェール継手を採用することで、機器の組立・分解・洗浄等の作業効率も大幅に向上した。ろ過面積 0.2 m^2 タイプでは分解組立に要する時間が約15分と、当社従来比で約 $1/2$ に短縮された。また、従来型よりも小型および軽量になったことで、機器サイズによってはクレーンを使用せずにケーシングのハンドリングが可能となった。これにより、作業効率向上だけでなく作業者の安全性も向上している。従来のバグフィルタと同様に機器側面に洗浄ノズルを設けることが可能で、フィルタのCIP(定置洗浄)も可能である。

4.3 シリーズ化

多品種少量生産を考慮して、フィルタドライヤ等で使用頻度の高いろ過面積 0.2 m^2 、 0.4 m^2 、 0.6 m^2 および 1.0 m^2 のノズルー体型バグフィルタをラインナップした。本バグフィルタはフィルタドライヤだけでなく、SVミキサー、PVミキサーといった粉体真空乾燥機全般に採用可能である。

むすび

本報では、このたび新たにラインナップしたフィルタドライヤの3種類の高機能化技術について紹介した。なかでも焼結金網全量回収機構は振動に対する耐久性の問題から長年実現が困難であったが、これまで培った振動機構のノウハウを生かしこのたび開発に成功した。今後も粉体のろ過、乾燥の効率向上だけでなく、機器の作業性、安全性といったお客様目線で開発を継続し、品質向上、生産性向上に貢献したいと考えている。

[参考文献]

- 1) 戸嶋大輔ら：神鋼環境ソリューション技報, 1(1), p.70-76 (2004)

下関市上下水道局山陰終末処理場消化ガス発電事業の開始

当社は、山口合同ガス株式会社、ヤンマーエネルギーシステム株式会社と共同で、下関市と「下関市上下水道局山陰終末処理場消化ガス発電事業」に関する事業契約を締結し、発電所建設を進めてきました。このたび試運転調整期間を経て、2019年4月1日より消化ガス発電を本格稼働しました。

山口合同ガスを代表企業とする企業グループは、山陰終末処理場内に発電設備を建設し、処理場で発生する消化ガスを下関市から買取り、「再生可能エネルギー固定価格買取制度（以下、FIT制度）」の適用を受けた民設民営の消化ガス発電事業を行います。本事業により下水汚泥の処理過程で発生する消化ガスの有効利用を促進し、地球温暖化防止に貢献します。また、地元企業が代表企業となることで事業収益の地元循環に貢献し、再生可能エネルギーの地産地消を行います。

【発電事業の概要】

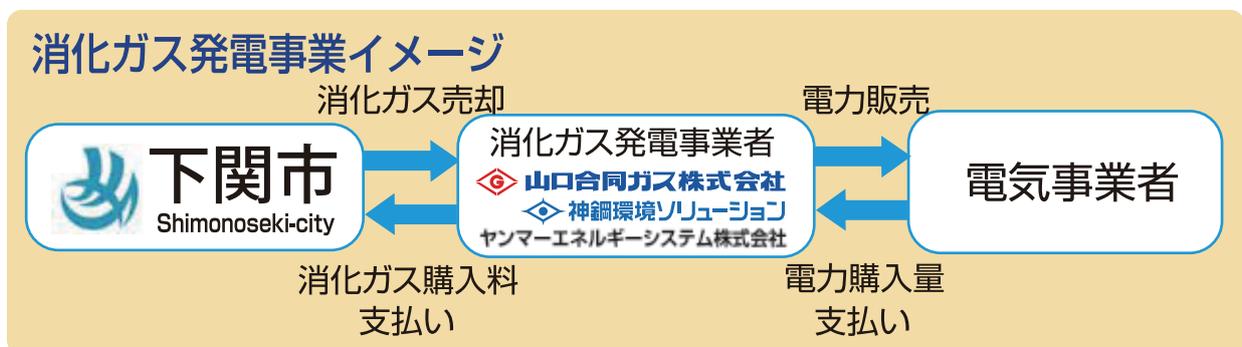
- ①事業名：下関市上下水道局山陰終末処理場消化ガス発電事業
- ②事業方式：民設民営方式
- ③事業場所：山口県下関市大字垢田字洞の上（山陰終末処理場内）
- ④施設概要：発電設備 一式
発電容量 300 kW（消化ガスエンジン25 kW×12台）
- ⑤年間発電量（最大）：約2 700 000 kWh/年（一般家庭約800世帯相当）
※将来の増設見込み含む
- ⑥発電事業期間：2019年4月1日～2039年3月31日

【用語説明】

「再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT制度）」

再生可能エネルギーで発電した電気を、電力会社が一定価格で買取することを国が約束する制度です。電力会社が買取る費用を電気をご利用の皆様から賦課金という形で集め、今はまだコストの高い再生可能エネルギーの導入を支えています。この制度により、発電設備の高い建設コストも回収の見通しが立ちやすくなり、より普及が進みます。

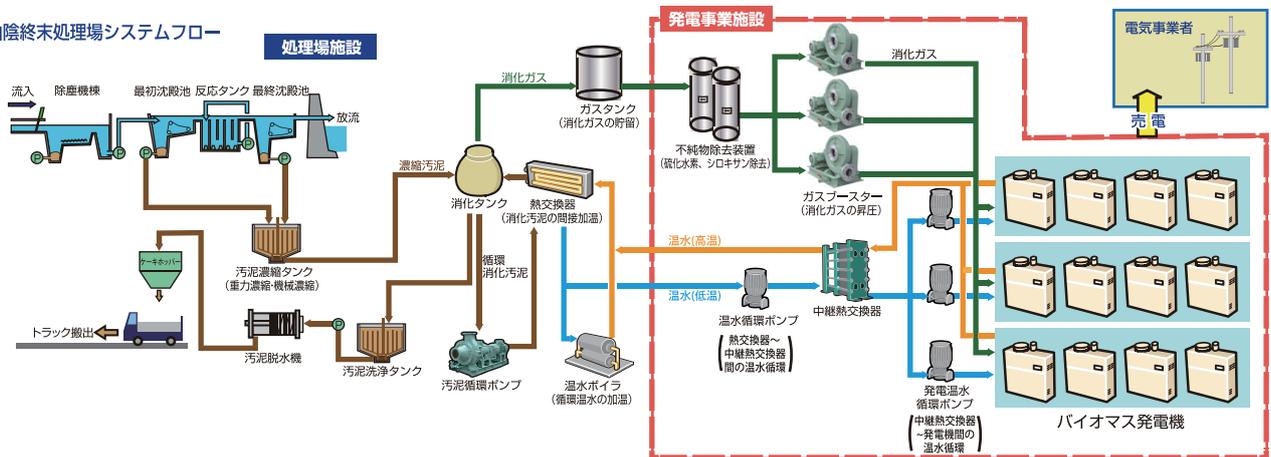
【事業スキーム】



【外観写真】



山陰終末処理場システムフロー



(株)神鋼環境ソリューション登録特許一覧 (2018年4月1日～2019年3月31日まで)

No.	出願日	登録番号	登録日	発明(考案)の名称	出願人
1	2015/9/17	6316253	2018/4/6	ポリシラン製造方法	株式会社神鋼環境ソリューション
2	2017/8/30	6317020	2018/4/6	炭化物製造設備及び炭化物製造方法	株式会社神鋼環境ソリューション
3	2017/10/11	6322327	2018/4/13	流動床式ガス化炉への酸素含有ガス供給方法及び流動床式ガス化炉	株式会社神鋼環境ソリューション
4	2014/10/31	6322122	2018/4/13	中央監視制御システム, サーバ装置, 検出情報作成方法, 及び, 検出情報作成プログラム	株式会社神鋼環境ソリューション
5	2015/4/3	6326388	2018/4/20	ベルト式濃縮機	株式会社神鋼環境ソリューション, 神戸市
6	2014/3/24	6329940	2018/4/27	ユーグレナ属微細藻類, 多糖類の製造方法, 及び有機化合物の製造方法	国立大学法人筑波大学, 株式会社神鋼環境ソリューション
7	2017/2/2	6348999	2018/6/8	廃棄物埋立処理方法	イー・アール・シー高城, 株式会社神鋼環境ソリューション
8	2016/5/31	6353866	2018/6/15	二環式含窒素複素環化合物の製造方法	株式会社神鋼環境ソリューション
9	2018/3/20	6353997	2018/6/15	水素ガス製造設備	株式会社神鋼環境ソリューション
10	2016/5/30	6357190	2018/6/22	ハロゲン化ピリジン化合物とハロゲン化芳香族化合物のカップリング方法	株式会社神鋼環境ソリューション
11	2016/12/28	6359624	2018/6/29	廃棄物処理システム及び廃棄物処理方法	株式会社神鋼環境ソリューション
12	2018/3/20	6360984	2018/6/29	水素ガス製造設備	株式会社神鋼環境ソリューション
13	2018/1/31	6363311	2018/7/6	廃棄物処理設備	株式会社神鋼環境ソリューション
14	2018/1/30	6363310	2018/7/6	廃棄物処理設備及びその立ち上げ方法	株式会社神鋼環境ソリューション
15	2018/2/7	6363810	2018/7/6	バイオマス炭化物製造システム	株式会社神鋼環境ソリューション
16	2018/1/26	6363808	2018/7/6	バイオマス炭化物製造システム	株式会社神鋼環境ソリューション
17	2018/1/26	6363809	2018/7/6	バイオマス炭化物製造システム	株式会社神鋼環境ソリューション
18	2015/1/9	6363024	2018/7/6	水洗塗装ブース	IHI 環境エンジニアリング, 株式会社神鋼環境ソリューション
19	2015/3/10	6370730	2018/7/20	不燃物排出装置	IHI 環境エンジニアリング, 株式会社神鋼環境ソリューション
20	2017/3/30	6373438	2018/7/27	PCB 汚染電気機器の洗浄無害化処理方法	株式会社神鋼環境ソリューション
21	2015/12/17	6372925	2018/7/27	リグノフェノールの製造方法	株式会社神鋼環境ソリューション, 株式会社藤井基礎設計事務所
22	2015/4/15	6382145	2018/8/10	燃料供給装置および燃料供給方法	IHI 環境エンジニアリング
23	2015/3/27	6386958	2018/8/17	攪拌装置	株式会社神鋼環境ソリューション
24	2014/12/18	6385813	2018/8/17	アスファルトプラントの骨材加熱乾燥装置	IHI 環境エンジニアリング
25	2014/11/10	6385799	2018/8/17	燃焼空気供給方法及び装置	IHI 環境エンジニアリング
26	2018/1/30	6389973	2018/8/24	廃棄物処理設備	株式会社神鋼環境ソリューション
27	2016/1/27	6391605	2018/8/31	二軸剪断式破砕機	株式会社ヘリオス, 株式会社神鋼環境ソリューション
28	2016/8/9	6397860	2018/9/7	リグノフェノールの製造方法	株式会社神鋼環境ソリューション
29	2014/8/20	6397264	2018/9/7	攪拌装置および収容容器	株式会社神鋼環境ソリューション
30	2014/11/14	6405201	2018/9/21	排出弁	株式会社神鋼環境ソリューション

No.	出願日	登録番号	登録日	発明(考案)の名称	出願人
31	2018/1/30	6404506	2018/9/21	廃棄物処理設備	株式会社神鋼環境ソリューション
32	2017/11/8	6403083	2018/9/21	ナトリウム2,2,6,6-テトラメチルピペリジド類の合成方法	株式会社神鋼環境ソリューション, 国立大学法人 岡山大学
33	2016/8/9	6409032	2018/9/28	リグノフェノールの製造方法	株式会社神鋼環境ソリューション, 株式会社藤井基礎設計事務所
34	2016/8/9	6407215	2018/9/28	リグノフェノールの製造方法	株式会社神鋼環境ソリューション
35	2014/12/18	6408896	2018/9/28	廃プラスチックの粉体化方法及び装置, 並びに, 粉体プラスチック燃料製造方法	IHI 環境エンジニアリング, 株式会社関商店
36	2018/1/23	6411682	2018/10/5	廃棄物処理設備及びその運転方法	株式会社神鋼環境ソリューション
37	2016/3/11	6412038	2018/10/5	ピピリジン化合物の合成方法	株式会社神鋼環境ソリューション
38	2016/2/1	6412033	2018/10/5	ピリジン化合物の製造方法	株式会社神鋼環境ソリューション
39	2014/8/20	6420592	2018/10/19	攪拌装置および収容容器	株式会社神鋼環境ソリューション
40	2017/10/17	6419287	2018/10/19	堆積物処理方法	株式会社神鋼環境ソリューション
41	2014/3/13	6425900	2018/11/2	汚泥脱水システム, および汚泥の脱水方法	株式会社神鋼環境ソリューション, 神戸市
42	2017/3/30	6435364	2018/11/16	PCB 汚染電気機器の洗浄無害化処理方法	株式会社神鋼環境ソリューション
43	2015/5/28	6446328	2018/12/7	濾過装置	株式会社神鋼環境ソリューション
44	2017/6/23	6446508	2018/12/7	粉体供給装置	株式会社神鋼環境ソリューション
45	2015/2/6	6450605	2018/12/14	蒸気温度制御装置, 及び, 蒸気温度制御方法	株式会社神鋼環境ソリューション
46	2016/4/21	6450703	2018/12/14	廃棄物処理設備及びそれを用いた廃棄物処理方法	株式会社神鋼環境ソリューション
47	2018/9/13	6449527	2018/12/14	有機亜鉛化合物の合成方法	株式会社神鋼環境ソリューション, 国立大学法人 岡山大学
48	2015/3/23	6454575	2018/12/21	溶融炉の運転方法	株式会社神鋼環境ソリューション
49	2015/1/30	6454556	2018/12/21	バイナリー発電装置, およびバイナリー発電方法	株式会社神鋼環境ソリューション
50	2017/5/16	6457012	2018/12/28	安定器の詰替方法	株式会社神鋼環境ソリューション
51	2017/3/6	6458065	2018/12/28	リグノフェノールの製造方法	株式会社神鋼環境ソリューション
52	2015/1/7	6460799	2019/1/11	廃棄物供給装置及びその運転方法	株式会社神鋼環境ソリューション
53	2015/3/4	6460846	2019/1/11	廃棄物処理方法および廃棄物処理装置	株式会社神鋼環境ソリューション
54	2015/3/11	6460848	2019/1/11	溶融炉の運転方法	株式会社神鋼環境ソリューション
55	2017/7/11	6471196	2019/1/25	廃棄物処理システム及び廃棄物処理方法	株式会社神鋼環境ソリューション
56	2017/10/16	6470377	2019/1/25	二次燃焼室への酸素含有ガス供給方法及び二次燃焼設備	株式会社神鋼環境ソリューション
57	2017/12/13	6469262	2019/1/25	繊維化パラミロン, 添加剤, 及び, 該添加剤の製造方法	株式会社神鋼環境ソリューション
58	2018/8/3	6473847	2019/2/1	廃棄物処理設備及びその非常運転方法	株式会社神鋼環境ソリューション
59	2015/3/30	6475536	2019/2/8	熱伝導性ガラスライニング, 熱伝導性ガラスライニング製構造物及び熱伝導性ガラスライニングの施工方法	株式会社神鋼環境ソリューション
60	2017/2/24	6488368	2019/3/1	水処理設備	株式会社神鋼環境ソリューション
61	2017/7/24	6492131	2019/3/8	ガス製造方法	株式会社神鋼環境ソリューション
62	2018/10/31	6500157	2019/3/22	廃棄物処理設備及びその運転方法	株式会社神鋼環境ソリューション
63	2015/3/24	6498980	2019/3/22	廃油処理方法および廃油処理装置	株式会社神鋼環境ソリューション
64	2015/6/19	6501646	2019/3/29	PCB 処理方法	株式会社神鋼環境ソリューション

神鋼環境ソリューショングループ企業理念制定

当社グループは2019年1月1日に株式会社IHI環境エンジニアリングの廃棄物処理施設関連事業を統合しました。これを機に水処理関連事業、統合した廃棄物処理関連事業、化学・食品機械関連事業から成る「新生」神鋼環境ソリューショングループが、これからも時代を超えて繁栄し続けるため、全社で共有できる当社グループの企業理念を新たに制定しました。

この企業理念制定に於いては、神戸製鋼グループの理念である「KOBELCOの3つの約束」、行動規範である「KOBELCOの6つの誓い」を基盤に置く価値観として、新たに当社グループ独自の「Slogan」「Vision」「Mission」「Value」を企業理念としました。

Slogan

ブランドの合言葉

Keep the Earth Sky-blue
Kobelco Eco-Solutions

Vision

実現したい未来

社会と地球が調和する
未来を支える。

Mission

日々果たすべき使命

今を越える発想で、
健やかな環境と暮らしを次世代へ。

Mission Story

この国では、多くの人が安全で安心な暮らしを送っています。しかしながら、異常気象やインフラの老朽化などの問題が顕在化し始めています。また、世界に目を向ければ、地球温暖化や資源の枯渇、水資源の不足、森林破壊など、人々の暮らしを脅かす問題が後を絶ちません。

私たちが存在する意義は、まさにここに 있습니다。真の課題追求に向け、お客様に寄り添い、議論を尽くします。技術力と発想力で、多くの人が心の底に抱える未来への不安を取り除きます。「今」だけでなく「未来」をも守る、「ものづくり力・環境技術」を基盤に「社会や地域」に貢献する強い意志を持っています。

私たち、神鋼環境ソリューションが目指しているのは、健やかな環境と暮らしが続いていく世界。そして、社会と地球が永続的に調和する世界です。

Value

約束する価値, 強み

以下の価値を発揮することで、
私たちは健やかな環境と暮らしづくりを支えます。

踏み込む。

核心に踏み込み、
隠れた課題を明らかにします。

挑む。

独創性を一歩先ゆく技術で、
期待を超えた価値の実現に挑みます。

やり抜く。

使命感と情熱を胸に、
最後まで確実にやり抜きます。

KOBELCO の3つの約束 グループ理念

- 1 信頼される技術、製品、サービスを提供します
- 2 社員一人ひとりを活かし、
グループの和を尊（たつと）びます
- 3 たゆまぬ変革により、新たな価値を創造します

KOBELCO の6つの誓い グループ行動規範

- 1 高い倫理観とプロ意識の徹底
- 2 優れた製品・サービスの提供による
社会への貢献
- 3 働きやすい職場環境の実現
- 4 地域社会との共生
- 5 環境への貢献
- 6 ステークホルダーの尊重

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(三宮グランドビル)	☎ (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 / 〒141-0033 東京都品川区西品川1丁目1番1号(飯子橋駅前ビル)	☎ (03)5931-3700 FAX(03)5131-5700
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 名古屋市中区名駅2丁目27-8(結晶ライオンビル)	☎ (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
フェルトドゥル事務所 / Berliner Allee 55, 40212 Düsseldorf Germany	☎ +49-211-7792-0430 FAX+49-211-7792-0450
ロンドン事務所 / Building 3, Chiswick Park, 566 Chiswick High Road, London, W4 5YA, United Kingdom	
プノンペン事務所 / Soma Tower, 1st Floor, #2C, street120, 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 2019年度 Vol.16 No.1 通巻31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/高橋円・細田博之・小川正浩・酒井耐治・丸山智裕・荻野行洋・成澤道則・菊池雅彦・須田龍生・松本勝生

《発行》2019年9月15日印刷 2019年9月20日発行 年2回発行《禁無断転載》《発行人》隅晃彦《印刷所》中村印刷株式会社

神鋼環境ソリューション

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。