

技術開発報告書概要版
J1707「マイクロ波による土壤無害化技術の開発」

1.技術開発担当・照会先

技術開発担当 与川 慎太郎、木嶋 敬昌 (日本スピンドル製造㈱技術開発室)
青木 正裕、三坂 浩司、辰巳 道雄 (日本スピンドル製造㈱環境システム事業部)
照会先 尼崎市潮江 4-2-30 技術開発室 TEL.06-6499-4304、FAX.06-6495-2241
尼崎市潮江 4-2-30 環境システム事業部 TEL.06-6499-5560、FAX.06-6495-2051

2.技術開発の目的と開発内容

本事業は、これまでに日本スピンドル製造㈱と大阪大学との共同開発により確立された、小型試験機における、マイクロ波化学に基づくダイオキシン類無害化処理技術と電磁波照射方法を基に、オンサイト処理可能且つ、環境負荷を低減できる高効率で低コストな連続処理システムを製作し、汚染土壌および産業廃棄物飛灰の長期連続処理試験を行い、操作条件の最適化を行うことを目的としている。

本事業ではこの目的達成のため、実証試験機（連続処理システム）を実際に設計・製作して、実汚染物質を使用した実証試験を実施し以下の目標達成を目指した。

- [1]対象物質中のダイオキシン類の分解率の実証（99.9%以上）
- [2]省エネルギー条件での長期安定運転の実証(0.2kwh/kg 以下)
- [3]通常空気雰囲気条件での 1.を充足するマイクロ波照射条件最適化
- [4]前後処理装置を含めたマイクロ波処理システムによるオンサイト連続運転(200kg/h)
- [5]高環境負荷での連続運転におけるシステムの耐久性実証
- [6]処理後土壌の再利用技術の検討
- [7]高温操作条件下における重金属類挙動の明確化

上記開発により、商用規模として 1～2 t/h 以上の処理能力を有するオンサイト方式による連続装置の設計製作が可能となる。

3.実証試験機の製作

装置製作にあたり、マイクロ波の照射効率を高めるために装置内への入射波に対して反射波が少なく、且つ処理対象物質に効果的に照射される構造の装置を開発する必要がある。また、マイクロ波発振装置内に含塵ガスが逆流するのを防止するための汚染防止窓と窓に付着する粒子状物質の洗浄装置の開発が必要となる。さらに、上記を充足した条件下において、マイクロ波を効果的に吸収させる目的で処理対象物質の混合攪拌処理を最適化する必要があり、それぞれ以下の検討により実証試験機を製作する。

3.1 電磁波解析（装置寸法・形状・マイクロ波発振装置設置位置の設計）

既存の小型試験機には 2 台の発振装置が設置されている。この装置を使用したこれまでの知見から、本照射対照物に必要と考えられる照射電力以上の複数台のマイクロ波発振装置を反射電力が入射電力の 20%未満となるような装置形状と設置位置を開発することを目的とした解析を行い、装置設計を行う。

3.2 高環境負荷耐久性向上化設計

マイクロ波を透過し、且つ含塵ガスの発振機内への逆流を防止する石英ガラス製またはマイカ製逆流防止窓に空気流をシースエアとして間欠的に吹き付けて窓の洗浄機構とした装置を開発する。

3.3 対象物質の混合攪拌操作の最適化

これまでに小型試験機にて開発したマイクロ波照射場においても粉体の混合攪拌を良好にする攪拌羽根をほぼ相似的にスケールアップ化した攪拌羽根を開発する。

4.実証施設の規模・設置基数

上記により製作した実証試験機と既存の小型試験機を使用して、試験を実施する。

表 1 試験装置の仕様

項目	小型試験機(既存装置)	実証試験機(本製作装置)
容量	50kg/バッチ	最大750kg/バッチ(オンサイト)
型式	マイクロ波照射処理(10kw出力)	マイクロ波照射処理(61kw出力)
処理温度	200、450	250～430
設置場所	本社工場内単独設置	某種飛灰輸送プラント併設
基数	1基	1基
備考	土壌処理試験に使用	飛灰処理試験に使用

5.処理対象廃棄物の種類

処理試験に際し、以下の物質を処理対象物とした。

- ダイオキシン類に汚染された土壌（土壌 A、土壌 B）
- ダイオキシン類に汚染された某産業廃棄物飛灰(飛灰)

表 2 処理対象物の組成

試料	C(wt%)	Al(wt%)	Si(wt%)	Fe(wt%)	Ca(wt%)
土壌 A	0.18	5.99	20.70	2.96	8.42
土壌 B	0.01	6.29	20.10	2.86	11.00
飛灰	10.00	0.72	2.00	28.00	2.90

* 各平均値による

6.試験方法

開発項目の[1],[6],[7]については、土壌試料を用いて図 1 に示す小型試験機により、装置内に予め装填した調整試料に対して試料の混合攪拌操作を伴ったマイクロ波照射処理を実施し（空気雰囲気）処理前後の試料のダイオキシン類を含む成分分析を実施した。本試験では、処理中に発生する排ガスおよび凝縮水を装置後段に設置した採取装置により採取し、ダイオキシン類の挙動を検討した。尚、各照射処理終了後は、窒素ガスにて装置内を換気して残留する排ガスを強制排出させ、採取した。

開発項目の[1]～[5]については、飛灰試料を用いて図 2 に示す実証試験機を用いて、オンサイトにて長期高環境負荷装置耐久性と処理前後のダイオキシン類の分析を実施した。本処理では、消石灰を添加して調整された試料が供給コンベアから装置内に供給された後、供給弁を閉じて混合攪拌操作を開始すると同時にマイクロ波照射処理を実施し、処理後排出弁を開いて試料を排出するプロセスとなる。試料温度は、装置内高さ方向 3 箇所に設置した熱電対により測定した。マイクロ波の反射率は / により測定した。尚、排ガスはセラミックフィルタ後段に設置した ACF(活性炭素繊維吸着フィルタ)による吸着処理後大気開放した。

6.1 調整試料

これまでのラボスケール試験で添加により分解促進効果が確認されている活性炭、消石灰を各処理対象物に適宜添加して調整試料とした。

6.2 試験装置

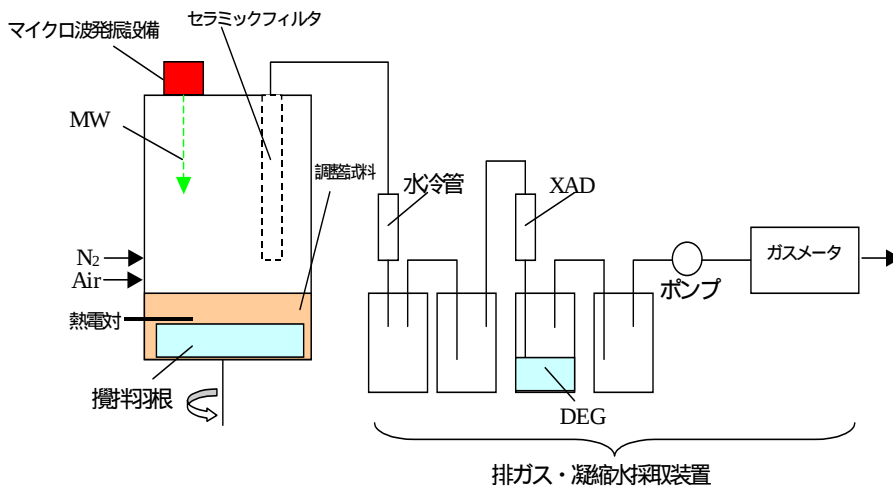


図 1 小型試験機概略

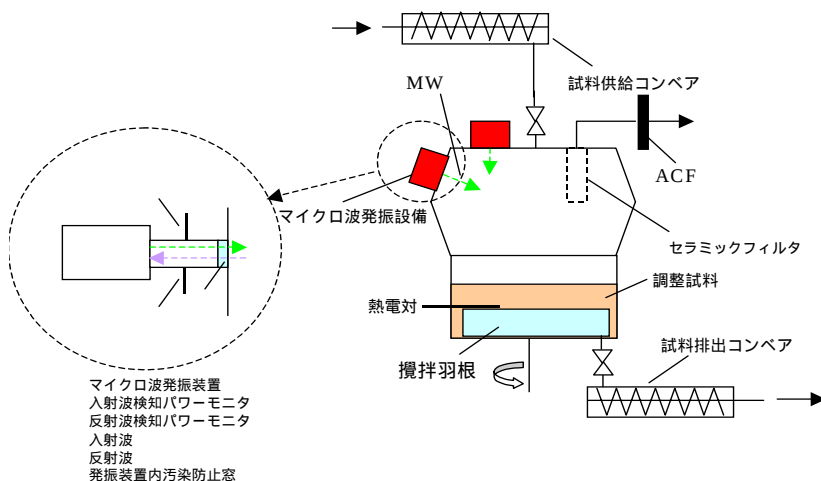


図 2 実証試験機概略（本製作装置）

6.3 分解試験条件

表 3 分解試験条件

試料	添加剤		処理温度 ()	処理量(kg)	使用装置
	消石灰	活性炭			
土壌A、B	有り	有り	200,450	50	小型試験機
飛灰	有り	なし	250 ~ 430	300 ~ 750	実証試験機

7.事業工程

表 4 事業工程

平成 17 年						平成 18 年		
7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
装置設計 (電磁波解析・装置スケールアップ化)			装置製作・詳細実験計画・準備					
					実証試験 (小型試験機・実証試験機)			
							データ分析・解析	
								報告書作成

8.技術開発の成果

8.1 ダイオキシン類分解挙動

表 5-1 より、組成の異なる両土壌に対して 200 程度でもダイオキシン類が分解しているが、450 処理を行うことで 99.9%前後の高分解が実現できていることがわかる。表 5-2 からは、処理時に発生する排ガス量は数 m³と少量であるが、土壌の種類により、排ガス・凝縮水へ数%のダイオキシン類の揮発が見られ、本処理においては後段に ACF を始めとする吸着処理などが必要であることがわかる。尚、土壌 A は含水率が高かったが、混合・攪拌操作中の固化などによる粉体トラブルは生じず良好に操作することができた。

これまでにマイクロ波照射処理においては、処理対象物質中の含有塩素に対して消石灰を添加することで分解効果を向上させることを確認しており、図 3 より本申請にて製作した実証試験機においても同一の傾向を得ることが実証できた。また、250 < 350 の順に高い分解効果が得られている。

表 5-1 ダイオキシン類の分解挙動(1)

	dxn初期濃度 (ng-TEQ/g)	200 処理			450 処理		
		総量分解率	毒性分解率	消費電力	総量分解率	毒性分解率	消費電力
土壌A	0.64	28.3%	21.9%	0.58kwh/kg	99.9%	99.8%	0.87kwh/kg
土壌B	0.27	51.3%	48.1%	0.25kwh/kg	99.1%	99.7%	0.6kwh/kg

表 5-2 ダイオキシン類の分解挙動(2)

		200 まで			200 ~ 450 まで		
		総量混入率	毒性混入率	排出量	総量混入率	毒性混入率	排出量
土壌A	排ガス	0.02%	0.10%	4.00m ³ N	0.29%	3.13%	2.85m ³ N
	凝縮水	0.26%	3.13%	4.72L	0.68%	8.13%	1.49L
土壌B	排ガス	0.00%	0.00%	1.07m ³ N	0.04%	0.05%	1.58m ³ N
	凝縮水	2.27%	2.15%	0.98L	0.61%	0.70%	0.87L

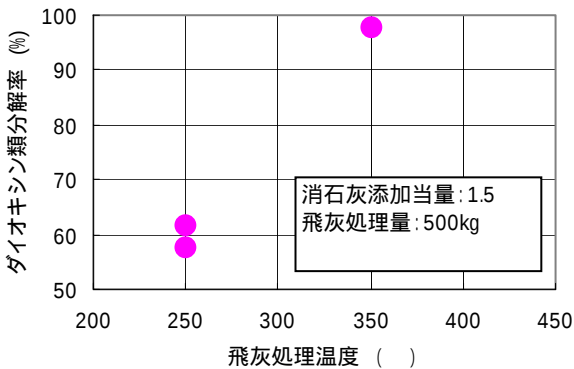
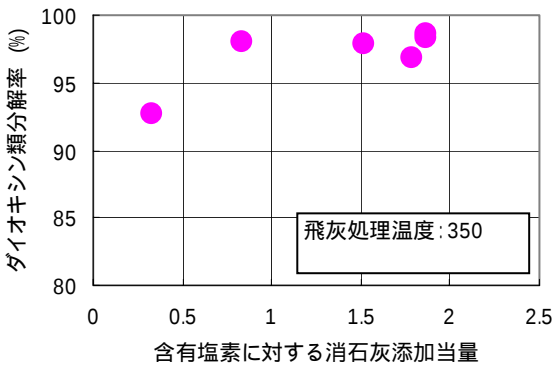


図 3 実証試験機による飛灰分解性能

8.2 省エネ運転実績

表 6 は実証試験機と小型試験機による飛灰の 350 処理時における消費電力を比較したものである。これより、処理量が多いほど、また連続処理するほど省エネが実現できていることがわかる。尚、バッチ連続処理とはバッチ処理終了後、連続して次のバッチ処理を実施する処理を示す。

表 6 処理に伴う消費電力比較

消石灰含有量(%)	消費電力(kwh/kg)			
	小型試験機(50kg/バッチ処理)	実証試験機(500kg/バッチ処理)	実証試験機(500kg/バッチ連続処理)	実証試験機(750kg/バッチ連続処理)
10	0.56	0.36	0.29	-
18	-	0.43	0.35	0.27

8.3 重金属類挙動および処理後土壌の再利用化の検討

表 7 は、処理前後における土壌の含有重金属類を比較したものである。これより、450 処理において含有量はほとんど変化していないことがわかる。また、450 処理後土壌についての溶出試験結果から両土壌に対して第二溶出基準未満であったため、本処理による処理後土壌は、運搬費及び埋め戻し土の購入費等の経済的な面を考慮すると 原位置への埋め戻し、再利用として活用するのであれば セメント原料化 などが適していると考えられる。

表 7 含有重金属類成分比較

	単位	土壌A		土壌B		土壌含有基準値
		初期	450 処理後	初期	450 処理後	
Cd	mg/kg	< 5	< 5	< 5	< 5	150
Cr	mg/kg	< 2	< 2	< 2	< 2	250
CN	mg/kg	< 2	< 2	< 2	< 2	50
T-Hg	mg/kg	0.2	< 0.1	< 0.1	< 0.1	15
Se	mg/kg	< 2	< 2	< 2	< 2	150
Pb	mg/kg	73	74	6	9	150
As	mg/kg	2	3	< 2	< 2	150
F	mg/kg	< 50	60	< 50	60	4000
B	mg/kg	5	6	< 5	< 5	4000

8.4 連続運転実績

マイクロ波利用技術では、省エネ化と装置耐久性の観点から、反射波率を少なくすることが必要であるが、これまでの 100 時間に及ぶ長期連続試験において 20% 未満を維持できた。また、電磁波漏洩量は 0.1mW/cm² 未満を維持でき、高い安全性を実証できた。また、設計仕様を上回る処理量においてもマイクロ波照射場において、測定部位での試料温度差が±20 未満となる均一加熱が実現でき、供給・排出時を含め目立った粉体トラブルは生じなかった。ただし、発振機内への汚染防止窓には塵埃が若干量付着しており、より効果的な窓洗浄機能の開発が望まれる。

9.まとめ

表 8 に開発成果をまとめた。これらより、省エネ化については、やや下回ったが、多くの点で目標値を達成することができ、特に溶融処理に代わる簡易な処理が望まれている土壌処理に普及できるものとする。以上より、本事業における達成率は 80% 以上と評価する。

マイクロ波は対象となる物質によって、吸収性能が異なるため、全ての廃棄物に対して利用できるとは限らない。本事業では土壌および飛灰に対して多くの点において、事業化可能な性能を実証することができたが、今後他の対象物質についても処理可能性の検討を行う予定である。また、廃棄物処理のみでなく、本事業で得た知見を基に活用して、他のマイクロ波有効利用技術も視野に入れていく予定である。

表 8 開発成果

開発項目	開発目標値	運転実績値	評価
[1] ダイオキシン類分解率	99.9%以上(土壌)	99.9%(総量分解率)・99.8%(毒性分解率)	○
[2] 省エネ処理化	0.2kwh/kg以下	0.27kwh/kg	○
[3] 照射条件最適化	[1]を充足する条件化	消石灰・活性炭添加量調整にて達成	○
[4] オンサイト連続実証運転	積算100h実証運転実績(処理量200kg/h)	100h(飛灰処理量340kg/h; 350 処理時)	○
[5] マイクロ波反射率	<20%(測定部位平均)	<20%	○
[5] 処理試料温度差	<±20 (500kg, 350 処理時)	<±20	○
[5] 電磁波リーク量	<0.2mW/cm ²	<0.1mW/cm ²	○
[6] 処理後土壌の原位置埋め戻し	<第二溶出基準	<第二溶出基準(450 処理)	○
[6] 処理後土壌のセメント原料材料化	<第二溶出基準	<第二溶出基準(450 処理)	○
[7] 重金属類挙動(処理後土壌の含有量および溶出量)(Pb,Cr(),CN,Hg,As,F,B,Se)	処理後土壌の含有基準値・溶出基準値未満	処理後土壌の含有基準値・溶出基準値未満(450 処理)	○

* (…期等以上 ○…達成 …(ほぼ達成) ×…未達)

* 飛灰処理量は、前後処理装置(コンベアによる試料供給・排出処理)の操作時間を含む